

植物生态学的方法

[英] S. B. 查普曼 等著





58.85
218

植物生态学的方法

[英] S. B. 查普曼 等著

阳含熙 等 译



科学出版社

1980

中科院植物所图书馆



S0020226

内 容 简 介

本书是植物生态学研究方法方面的一本重要著作。全书共分九章。分别论述了植被的历史及其分析与描述；产量生态学和养分预算；生理生态和植物营养；立地、土壤、气候和环境的测定；化学分析以及数据的收集和整理等。是由生态学各个领域的专家分别编写的。收集的资料比较广泛，内容比较全面新颖，反映了当代植物生态学研究领域内英、美学者们的一些观点。可供我国植物生态学、地植物学、自然地理学以及从事农、林科学工作者参考。也可供大专院校有关专业师生的参考。

S. B. Chapman

METHODS IN PLANT ECOLOGY

1976, Blackwell Scientific Publications

植物生态学的方法

[英] S. B. 查普曼 等著

阳含照 等译

•
科学出版社出版

北京朝阳门内大街 137 号

石家庄地区印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

•
1980年5月第一版 开本：787×1092 1/16

1980年5月第一次印刷 印张：23

印数：0001—6,630 字数：588,000

统一书号：13031·1198

本社书号：1668·13—8

定价：3.50 元

目 录

第一章 引论	S. B. Chapman (1)
第二章 植被的历史	K. E. Barber (4)
第三章 植被的描述与分析	F. B. Goldsmith 和 G. M. Harrison (62)
第四章 产量生态学和养分预算	S. B. Chapman (111)
第五章 生理生态学和植物营养	P. Bannister (158)
第六章 立地和土壤	D. F. Ball (204)
第七章 气候学和环境的测定	R. B. Painter (250)
第八章 化学分析	
	S. E. Allen, H. M. Grimshaw, J. A. Parkinson, G. Quarmby 和 J. D. Roberts (279)
第九章 数据收集装置	G. R. Rafarel 和 G. P. Brunson (320)
译后记	(346)
主题索引	(347)
植物拉丁名索引	(361)



第一章	緒論	第一課
第二章	我國的地理	第二課
第三章	我國的歷史	第三課
第四章	我國的經濟	第四課
第五章	我國的政治	第五課
第六章	我國的文化	第六課
第七章	我國的科學	第七課
第八章	我國的藝術	第八課
第九章	我國的宗教	第九課
第十章	我國的社會	第十課
第十一章	我國的國際關係	第十一課
第十二章	我國的未來	第十二課

第一章 引 论

S. B. Chapman

一本以“植物生态学的方法”为名称的书籍的引论，应该从1886年生态学（Ecology）一词应用以来所发生的一些发展和变化来谈起，这样或许还是恰当的。从Haekel创用这一名词，把它解释为“研究有机体和外界环境的相互关系的学科”以来，在野外研究人员的研究途径以及他们所能应用的技术和方法的种类这两方面，都发生了许多变化。现在生态学一词正在受到各种不同形式的应用或滥用的时候，我们应能认识到这一名词可以具有的极其广泛的涵义，但是为了象这样一本书的目的，还是应该保留原来的生物学意义，即研究有机体以及它们与其环境和其他个体的关系。

仅在数年之前，听说一位著名的生态学者曾提到“生态学实在无法教，而只能自己学习”。有些人也许仍然同意这一见解。同样，重要的也许是1934年出版的一本以“生态学的野外研究”为名称的书籍，在结束时介绍了“一只生态学工具箱”，这样再加上一些其他内容就“提供了良好和可靠的工作所需的全部仪器”。这样两件独立的事实可以用来说明，近年以来生态学已经发展到这样一个阶段，方法和技术的数量、种类和复杂程度都增加了，并在许多情况下费用也增长到令人惊讶的程度。

1939年，Arther Tansley爵士在英国生态学会上发表了一次多少具有预见性的会长讲话，在这篇讲话中他谈到生态学的技术：

“显然科学的进展紧密地依靠技术，依靠现有技术的明智运用和新技术的创造。一项新技术的发明常常引起学术的迅速发展和全新领域的开拓。生物学中每一范围明确的分支，都建立起来了自己的技术，从而使初学者可以从一开始就运用这些技术，而且一旦工作人员取得经验后，他就能灵活地运用到新的对象和进而做出重要的改革或创造全新的方法。我们这一学科中有一些重要的技术是专门属于本学科的。我曾指出生态学者还必须借助和采用属于其他不同科学分支的许多技术。”

今天这些话许多仍是很正确的，不过已有更多的方法和技术可以称为生态学自己的了。从Tansley的话发表以来，生态学者从其他学科可以引用的方法和技术，在数量和种类上也都增加了，对于一个只看到表面现象的人，或许会认为生态学者只要去选择一个合用的现有方法，就能得到解决他的问题所需的资料。很多生态学者无疑地但愿真能如此；可是另外一些生态学者恐怕会惋惜失去了寻找新方法来解决还未能解决的问题的挑战。

一个粗心大意的人应用方法和技术时，会碰到许多圈套和陷阱，特别是对于这些技术和方法所依据的假设不了解，或再坏一些不愿了解的情况下更是如此。人们常听到涉及统计方法的应用的批评，生态学的其他方法也同样地易于受到滥用，应该强调，必须检验每一方法对于某一特定目的的适合性和可靠性。在第一次应用一个方法时，或者在与这一方法原来设计的不同情况时，这一点尤为重要；还有一点是重要的，为了圆满地应用一

个方法就必须理解这一方法所涉及的基本原理。

对于一个粗心大意的人来讲,还有一个危险就是对于仪器和方法研究的过分热衷的心理。这种心理造成的结果是二者必居其一,其一是有的工作者专心致志于新的方法和仪器,以致没有时间去抓住真正的问题。其次,有些人牢牢地抱住旧的和自己深信不疑的方法,而很不愿尝试和发展任何新东西,哪怕对他的工作是十分有价值的。二种情况的结果恰是一样,有了一项技术再来寻找一个问题,而不是有了一个问题再去寻找一个能够得到所需资料的合适的技术。

倘若对于弄清一个问题的性质和确定一些必需的观测项目进行事先考虑,就能选择一个合适的方法和试验途径,在这时候必须考虑,使一个方法适合自己的特殊目的所需进行的任何改革。在有些问题找不到现成的方法时,初期研究的题目最好是去摸索找出一个方法能够得到某一方面的资料或者某些形式的估计。

在许多情况下将有一些不同的方法可供选择,由于生态学问题的变异性大而在多数地点应用较简单的仪器,将比在一个或只几个地点采用更精密和昂贵的仪器,可能更为合理。常常一种能够合乎要求但准确性较低的方法,因其可以在大量地点取得数据,而能弥补其缺点而有余。另一方面,一个较简单但可多作重复的方法,可以用来提供初步数据,借以测定某些因子的变异程度,从而决定在以后的阶段中,在什么情况下,采用一种更精密的仪器去取得最大的效果。

许多生态学者采用了某种形式的自记仪,对于一个环境因素进行连续记载,而后来却发现所需要的只是一个平均的或综合的数值。持续记录的积累之迅速以及从中抽取有关的资料所需时间之长,总是出人意料的。常常发现某种形式的综合自记仪就足以提供全部所需的资料,从而可以节约很多时间。必须承认:随着数据记录的更高级的发展和电子计算机的应用,很多数据整理问题可以解决或将要解决,不过这种方法费用昂贵和超过了许多学者所能负担的程度。因此,对于所需资料的性质、所要求的准确程度、所测定参数的变异性以及为此目的而选择最合适的方法和技术,都必需充分考虑,这仍然是值得提出的一项明智的建议。

很难找到一组生态学者对于生态学的范围的意见是一致的,而且他们很不可能愿意来试图决定生态学的范围,即便他们愿意去做,可以肯定他们几乎是无法意见一致的。对某一生态学者来说,其他一人的工作或许“太生理学化”了,而他自己的工作又会被别人认为几乎不是生物学的了,尽管对别人的工作会有这些意见,我们希望不要走得太远,没有人会把别人的工作认为不是生态学的。许多生态学者对于如何决定生态学的范围感到非常困难,然而这并不能使一个打算组织这样一本讨论生态学方法的书籍的作者得到任何安慰,在这里必须决定生态学方法的范围和人为取舍章节。因此我们采用的办法是一种折衷形式,希望不要有太多的人感到不愉快,在他们发现一个喜爱的方法或领域被省略或只简短地提到的时候。

本书各个不同章节的作者的写法是由他们特殊主题的性质所决定的。某些章节中叙述的方法要比其他章节详细一些,有些情况提供详细的方法需要过多篇幅,或者这一技术在某一容易获得的文献中已作充分的介绍。有些章节只扼要地介绍现有方法,提供初步原则和主要文献,以便使用者可以为自己的特殊研究问题制订合适的计划,我们感到这样用处会更大一些。

国际生物学计划(IBP)的成果之一是出版了一些优秀的手册, 这些手册讨论生态学和相关领域的许多分支的方法。然而, 人们一直强烈地表示, 还是有出版单独一册讨论植物生态学方法的必要。本书就是产生这样一本书的尝试, 主要目的是为大学和技术学院的学生应用, 并且希望将对其他水平的学习人员有些益处。

参 考 文 献

Bracher R. (1934) *Field Studies in Ecology*. Arrowsmith, Bristol.

Tansley A. G. (1939) British ecology during the past quarter century: the plant community and the ecosystem. *J. Ecol.* 27, 513-530.

(阳含照 译)

第二章 植被的历史

K. E. Barber

1 前 言

如果要对现有植物群落的生态学得到充分的了解，就必须参考它们的历史。在澄清不同种和不同群落的地位和分布时，利用历史研究已经是人所共知的了。随着这些研究的更加深入和广泛延续，所获得的知识的价值得到了广泛的承认。

例如 Oldfield(1970 a)关于布莱哈姆沼泽的国家自然保护区、Walker(1970)关于不列颠群岛水生系列的顶极群落以及 Peterken(1969)关于斯塔维尔敦公园植被，这些研究都是近年来使用历史方法获得成功的好例子。更普遍的是，孢粉分析以及有关技术的使用已经改变了我们对全球大部分地区整个第四纪植被历史和气候历史的认识。

我们复原的精确程度依赖于大量相互关联着的因子：从统计的假设或技术本身固定的假设到所研究沉积物的碎片性质。这些问题直到最近才引起了历史生态学者的密切注意，而且，这些问题的某些成果已经出版，特别是在花粉分析方面 (Janssen,1970; Tauber 1967; Rybnickova 和 Rybnicek,1971; Birk 和 Wost,1973)。

这些研究并未推翻生态学历史的全貌，而且增添了引人入胜的细节，并为我们更精确地描述和解释那一时期的历史作出了贡献。

任何作历史生态学研究的人，必须记住两个重要之点。第一，任何这类工作不可缺少的一个先决条件就是对今天生态学的情况和过程具有扎扎实实的知识。对于绝大部分技术，一个受过良好训练的技术人员是可以掌握的，但是，要阐明结果，则需要对过去情况与近代类似物进行对比，还要对所涉及种的个体生态学的知识具有经验，特别是当它们被用作“指示”种时。其次，由于可用以解决本领域内各个问题技术的多种多样，研究者必须知道各学科的进展，其驳杂程度是从古地磁学直到航空照片。

本章把历史生态学的应用技术分为四大类：野外技术，断代技术，实验室分析技术和文献知识。这种分类主要是便于思考，而不意味着是这一学科内部业已确定的分枝。文章的长短及其详略程度也在一定程度上反映了每一种方法的相对重要性和它在各方面的用途。因此，孢粉分析就占了较长的篇幅，因为它已普及到全球各地，并且可以给出几千年的植被变化的完整序列。在很多方面，花粉是理想的化石。这种几乎由所有的植物产生的、数量达多少亿颗的微粒，绝大部分广泛散布和沉积在泥炭和湖泥之中，从那里，萃取出可以识别的花粉外壳来。从沉积物各层中大量花粉的计数，再把每一单元表示为样本总量的百分比，我们就可以复原花粉图谱(图 2.13)以表示沉积物在各个深度上的各类花粉百分比的变化。这些变化可以通过花粉本身的集合作相对的断代，然后以现代植物生态学、气候变化、土地利用史等知识来解说花粉图谱，从而复原这一区域的植被历史。

许多这一类研究,特别是近年的,已经进而伸延到现代地表层的花粉图谱。这样,在顶部的变化就可以联系到植被的现代分布。这就大大增加了这一研究对于研究现代群落的生态学者的价值和意义,West(1964)和 Proctor(1973)等人曾讨论过生态学和第四纪古植物的一般相互关联。

关于文献记录一节的篇幅就比花粉分析要短得多,这是一个例子,说明对历史生态学有用的各种技术在使用上差别很大。花粉分析可通用于全球而无需变更其一般原则,但是对于文献记录,就会碰到象翻译欧洲古老修道院的记录那样的困难。而且因为它涉及的范围较小,因此,在这种工作中仅有少数的一般“规则”可循。许多技术必须省略。这里面包括冰川的无机物沉积,陆地和海平面的升降,氧同位素分析。虽然它们对历史生态学家来说是不可缺少的,常常要利用这一类研究的成果,甚至有时本身还要从事这方面的工作,但因篇幅的限制,不得不予割爱,有关这些技术的讨论,在一些教科书如West(1968)的参考文献中可以查到。

2 野 外 技 术

2.1 沉 积 物

本节包括了可提供含化石材料遗址的选择和取样,其分析方法在3.2节中将详细描述。最重要的是时刻注意在整个野外和实验室工作中较新或较老的材料,以及二者同时混染的可能性,有一些混染是很容易辨识出来的,并且是可以容许的。较老的沉积物的微小孢子,由于侵蚀和冲刷而搬运到湖泊中(Birks,1970),或者在中一晚冰期的样品中渗入了“外来”花粉(也就是说不是本地的)。然而,有些混染一定会逃出我们的注意,并且未能发觉。一般这不会过分影响我们的解释,例如在一个“真正”的栎树花粉占全部花粉的60%的花粉谱不存在时,出现了一些不同时代的栎树花粉。但是在早冰后期的样品中发现了很少的山毛榉花粉粒,就是很成问题的了。所有能做的是需具备外科医生的小心和洁净来对待工作,同时要培养一种怀疑精神。

2.1.1 剖面位置与评价

遗址的选择,譬如说,花粉分析常常取决于历史生态学家是否工作于某一特殊问题,例如一种水生植物的个体生态学,或者工作于某一具有植物地理重要性的特殊区域。沉积物的分布和频率是随着区域的地质历史而变化。在大部分地区为了试图阐明现代植物及其最近的祖先的关系,调查者必须留心于现存的或近代干涸的泥沼和湖泊。

在大多数情况下,选择这种遗址的位置是一件简单的事情。地形图、地质图、土壤图(如果有的话)是首要的材料,虽然制图符号常常不能够把有机物沉积的不同类型表达出来。象那种溪水冲成的凹地的位置,在一英寸的封闭等值线图上是找不出来的。但细心观察1:25000或1:10560比尺的图常常可以划出来。要研究任何可以得到的航空像片,特别观察人类干扰的影象特征和沼泽抬升情况下泥炭排干后的影象特征。

官方机构和自然历史学会的调查是很有用的,它们可以指引可能有的遗址,当从现代生态学就知有意义的时候(参看 Oldfield, 1970 a),关于这些地点的历史作品就更有价值

了。合格的政府科学官员、业余自然工作者、农民和其他人员的局部的没有发表的知识曾引导了很多成功的调查工作；对于所有生态学家的格言可以这样说：“寻找到最老的居民”，并且也不要忘记地方上小客栈的公共酒吧间，正是生态资料的来源。

最后，还有一些“机会”的来源，这些常常与挖掘工作有关——道路修建时的切割和钻探，埋放下水道和煤气管线的掘沟，砂子和砾石的采掘场和建筑物的挖掘，很多著名的遗址就属于这一类；Shotton 和其他人所观察的英国米德兰遗址；青铜器时代的淤泥是在肯特 (Kent) 一条煤气管道掘沟时暴露出来的 (Godwin, 1962)；取自于特拉法尔加广场的最后间冰期的沉积物 (Franks, 1960)；可能是所有间冰期沉积的发现最意外的一次，是在希斯敦路上发现的。剑桥和德文森沉积物发现于在锡德威克大街剑桥教学区开掘的时候 (参看 Sparks 和 West, 1972 图版 41)。如果正如后者的情况那样，大量的被公认的废墟被发现出来，那么这一类遗址差不多肯定会引起科学组织的注意，但是许多情况下具有潜在价值的材料丢失了。落在每一个历史生态学家身上的责任是注意他们区域内地面上的每一穴洞，并且使他们的兴趣被建筑承包人充分了解，据作者的经验，如果将有机物层，埋藏土壤及其类似物的科学价值向他们解释清楚的话，他们是可以合作的。

在任何一个区域进行遗址的挑选时，有一些标准，可用来选择最合适的遗址。

Faegri 和 Iversen (1964, 54页) 提出一些遵循原则：

1. 湖相沉积物比泥炭好。
2. 回避太小或太大的湖泊 (理想的面积约为 5000 米²)。
3. 选择那些没有被广阔的泥炭地环绕的湖泊。
4. 从一个被保护的地方选择样品，这种地方未曾有过风或水流的作用。
5. 回避溪流流入盆地的地方——带来污染，氧化和潮流的危险。

当人们知道，对泥炭标本能够和已经进行了很多有益的工作的时候，花粉分析的最近进展导致对于第一条结论的重视的削弱。研究湖泊中沉积物的搬运和再沉积过程 (Nichols, 1967; Davis, 1968)，以及对于从泥炭中取的花粉的更正确解释 (Rybnickova 和 Rybnicek, 1971) 都导致对这样的沉积物的相对价值和沉积物地层的重要性增加了了解。在湖相沉积的某些类型中确实有重大的不足之处，例如，作为花粉连续系列的来源 (Nichols, 1967)，并且 Davis 也指出；在湖相沉积中，在沉积物成岩以前可以几次被扰动，并且几次地再沉积。

近来古生态学理论研究了关于“尺度和复杂性”问题，Oldfield (1970, b) 指出：“由于在特殊出现品种扩散方面的假设和不准确性较少，宁可选择雨生 (ombrogenous) 沼泽而不选择湖泊。”这点在 West (1971) 的图 16 中说得很清楚。在此图中表示了六条路径导致在湖相沉积中花粉最后的集中，但是仅两条路径进入抬升的沼泽。然而在同一剖面中可能由不同种形成泥炭的堆积速率要比湖相沉积物变化更大一些，并且计算泥炭沉积中的“绝对”花粉并未必是更容易一些，所以两种类型的沉积物各有其自己特殊的优点和缺点。最难于工作的沉积物可能是那些沼泽谷沉积，在那种地方最坏的情况是湖泊与雨生沼泽两者同时在一起出现。泥炭可以是木质的、粗糙的纤维或者非常脏的水，在英国南部很多沼泽谷中，在一些剖面中可找到所有这三种类型的沉积物。另外对于这样的沼泽又还有流入和流出的水流，通过侵蚀以及泥、砂和卵石 (还有花粉!) 的堆积而扰乱和使地层复杂化了。它们的基底剖面通常是不规则的，经常由古河道构成。它的夏天的水面可以下降

到远远低于每年花粉降落的氧化表面,最后它们的变化了的表面植被提供了大量的花粉。最后的因素是一个非常难于对待的问题,虽然采用了一些办法,在使用细致的大化石分析,指出应从辅助花粉图谱中排除的种类,以试图去解释区域植被的历史方面,已取得某些进展(Rybnickova 和 Rybnicek, 1971)。很多草本植物在花粉分析中是重要的“农业指示植物”,但是在中性沼泽种类的花粉就不易和旱地种类区别。

尽管存在这些问题,花粉图谱的绝大多数反映了同一区域内的植被变化是大体相似的,因此,我们能够自信我们的方法和解释不会离真实情况太远;上述的研究与其说是全部重新解释,不如说是细节的补充。对沉积物的干扰,不论是自然的还是人工的,仍是基于沉积物分析的历史生态学中最大限制因素。研究者必须警惕这一点,无论是整个野外工作和随后的分析,还是这些分析结果的解释。

2.1.2 从剖面中取样品

从露头中取样的两大优点是在沉积物中除了垂直变化以外,水平变化也容易看见,同时也可以尽量减少混染。

无论是从抬升的沼泽泥炭剖面中取样,还是从陡壁上取样,第一步是不要用小刀或铲子全部清除,尽管在文献中常常是这么说的。风化面可以包含一些有价值的材料,它们一旦被刮掉之后,几个星期也不会恢复。手剥的泥炭剖面可以显示出藻类池塘因不同的收缩而呈现的明显的界限。羊胡子草纤维和帚石南小枝从一般的表面上伸出来,并且具有“漂白的”外表,两种不同类型和腐植作用程度的泥炭的交接处有更鲜明的界线。剖面应用彩色照相并连同比例尺一齐照,以便以后测量。为了区别泥炭中褐色的各种深浅程度,需要使用不同的胶卷。颜色透明度在核对划出采样位置时是非常有用的,通过把它们以适当的比例投影到图纸上。

在剖面上钉一个米尺的方框,框中每 10 厘米以线划格,然后把层次用铅笔转绘到图纸上。沉积物分类的体系,如 Troels-Smith(1955)所划分的,在调查一种单一物质如水藓泥炭时是不太适用的,因为所用的符号彼此难以区分,虽然对于混杂的沉积物,如 Troels-Smith 体系是适用的。它以颜色、弹性、成层性和成分来描述沉积物,而不需要任何关于来源的假设。对于比较均一的沉积物,根据沉积物和工作目的可以自己制定更适合的体系。对水藓泥炭的划分采用 Walker 和 Walker(1961)方法是适合的,它主要根据腐殖化作用和能识别的植物遗体来区分的。并且也很容易加以修改以适合于特殊的情况。Gasparie(1972)成功地运用了一个相似的体系,是在他的 Bourtangier Moor 不朽的工作中建立的。在混合沉积物如粘土与菅茅泥炭、木质泥炭和水藓泥炭相连成层时,可以用有一种已有体系并结合 Munsell 体系来表示颜色。当有机物质干燥或氧化时颜色是会发生变化的,所以常常省略颜色记录。在图 2.1—2.4 中表示了这些体系的例子。

划分两种沉积物类型的界线常常是困难的。在钻孔中记录沉积物几厘米的过渡层是一件很简单的事情,但是在露头中,象这样的过渡层在图上不易清楚划出。因此必须人为地决定一个平均厚度,同时用一些简单符号,用粗线、实线和虚线来分别表示主要的和次要的或不太明显的界线。特别要注意所有明显的界线,它们可以反映出侵蚀时期,非沉积时期或人类对沉积物的干扰。

一些主要残余植物的认识,通过实践很快就可学会,但是很多野外鉴定需要用显微镜

下的特征来予以核对。植物大化石的鉴定在 4.2 节中将详细叙述。

一个剖面画下来、照像之后就要考虑采样了。剖面采样的数量和位置将根据不同调查目的而不一样。对一个区域的植被历史的调查,为了花粉分析所采的沉积物的整段标本,必须垂直贯串到可以很容易判断具有一个连续序列的沉积层,这就是说避开地层明显断裂,倾倒的接触处和干燥的氧化层。

当需要详细描述生长于泥沼中的植被生态历史时,必须采取大量的样本,并用放射性碳和花粉图谱的资料来进行时间上的相关校正,这样才可以确定相同的泥炭发育时期和植被时期。Walker 和 Walker(1961)为了对爱尔兰泥炭的许多层的初步研究采用了上述方法。近期 Gasparie(1972)和作者(未发表)在深入探讨泥炭层时也是采用了这种方法,并且可重建相关联的发展阶段。

样本一般和最合适的是用整段标本箱采取,大小为 $50 \times 10 \times 10$ 厘米,由 1.5 毫米厚的薄铝片构成。当整段标本的位置选定以后,把贴上标记的盒子轻轻地压向这一位置上,然后移开,在剖面上留下一个整段标本,用一快刀把四周切开——切割残留的纤维——盒子内,用铝箔衬里,然后带回室内压紧。

整段标本是用铲子切下来,用铝箔轻轻盖上,并密封在一个塑料袋子中,特别是酸性的高位沼泽的泥炭,样品在室温中可以保持数年,但若放在冷库中则更安全不变质。样本采下后在实验室中要迅速核对层次,以防止变色和样品收缩。在详细研究时,要核对的表面必须对着盒子的底面的一面,有了铝箔衬里,这样作是不难的。为了保存泥炭整段标本以作永久陈列之用,Hammond(1974)曾描述过一种方法。

在松散的沉积物中,如砂子,可以采用 West(1968, p 366)所描述的方法,即把剖面喷上漆,但这仅仅是用于作示范展览的标本。从土壤中取孢粉分析样品时(Dimbleby, 1961),通常是从一个洁净的剖面上间距很密地取样,从剖面的基部开始工作,以免混杂。

在对待裸露的剖面时,一定要注意能从三度空间观察地层的有利条件。把泥炭样品的表面切成薄片,一般来说切成 20 到 40 厘米不是困难的事情,并且这样作使切开的新剖面经受风化两个星期;记录、采样和再一次切回标本,最后记录采样坑的侧壁,本文作者利用 2.40 米 \times 1.40 米的泥炭标本而能反映一个冰丘和洼地复合体的发育情况。Stewart 和 Durno(1969)指出了一种类似的采样技术。

2.1.3 从钻孔中采样

许多久经试用和考验的泥炭和淤泥采样器已能从市场上买到,或者按发表在科学杂志上的详细方法在研究机关的工厂内制造。

对有机沉积物一般采用三种基本类型的工具;Hiller 型,“俄国”型,以及提供一个完整的钻式的采样器(图 2.5 和 2.6)。各种各样的其他螺旋和机械推动螺丝钻,可用于采集无机沉积物,但是这些沉积物对于比较近代的生态学历史的研究者都不大合适;为了更详细的了解,读者可以参看 West(1968)的资料,从这一资料中引用下面一个各种不同采样比较的表格(表 2.1)。

这些采样器操作的原理是非常简单的;但它们在野外的应用成功就不那么简单。作者喜欢对所有的陆相有机沉积物采用俄国型采样器,对水沉积物采用 Mackereth 空气采样器。其理由是容易掌握和不容易发生沉积物的混杂和变形。

表 2.1 一些手摇钻采样器的比较

类 型	样 品		沉积物的	沉积物的	对 沉 积 物 的 适 合 情 况	
	长	宽	变形情况	压缩情况	好	坏
Hiller 俄国型	50 厘米	3 厘米	多	一点没有	泥炭, 细的淤泥	大颗粒组成的沉积物
	50 厘米	5 厘米	一点没有	一点没有	泥炭, 淤泥	大颗粒组成的沉积物 无机的沉积物
Dachnowshi	30 厘米	5 厘米	小	小	未埋藏泥炭, 淤泥	埋藏的泥炭 粗粒沉积物
Livingstone	50 厘米	4 厘米	小	有一些	未埋藏的泥炭, 淤泥	埋藏泥炭 粗粒沉积物 无机沉积物
Punch	50 厘米	6 厘米	小	有一些	细的有机沉积物, 粘土, 粉砂, 细砂	埋藏泥炭, 粗粒沉积物
螺旋钻	25 厘米	4 厘米	少	少	细粒沉积物, 粘土 和粉砂	柔软的有机和无机的 沉积物
其他钻	10—30 厘米	5—10 厘米	多	小	细粒有机沉积物, 粘土, 粉砂, 砂, 砾石	柔软的有机和无机的 沉积物

选自 West (1968) 102 页

Jowsey (1966) 第一个用英文介绍俄国型采样器。这种采样器包括一个半圆膛, 半圆膛围绕一个有鳍的锚板旋转。这样就可取得一个几乎完整的半圆形沉积物样品。钻尖、钻膛和钻头是牢固地联在一起的, 同时锚板绕轴旋转于钻头和钻尖部位之间, 如图 2.5 所示。虽然它必须在这个轴上能自由地转动, 但又要符合要求与轴紧紧贴近。从 1966 年以来, 进行了很多改进, 但基本式样未变, 作者目前所用的采样器是一个用 5 毫米不锈钢铸的加厚的膛, 和缩短到 100 毫米的钻尖, 以保证较容易地钻到泥炭沉积物的底部 (图 2.6)。Tolonen (1966) 进行了类似的改进。在使用时只要简单地往下压, 到所需的深度, 然后用 T 形柄转 180°。

锚板通过它的面积和磨快口的腔膛而牢牢地抓住沉积物, 然后旋转而把沉积物包起来, 如图 2.5 所示。当采样时一般是取两份半圆筒的沉积物 (一分是为了野外调查, 另一分是为了实验室分析), 中间插入的鳍片分开的, 为了实验室使用取一个完整的半钻样更好些。其优点是可以避免由鳍片把沉积物搅乱 (Jowsey, 1966), 同时它可以用一种市场上卖的塑料排水管, 纵切面为 500 × 50 毫米, 可装钻样。还可以在野外仔细观察样品。通过仔细处理和包扎, 可以保存水分和软的泥炭, 同时可以从半钻样中采取微化石的副样本。这种工具非常适合在野外研究沉积物全剖面的层次, 因为塑料容器中的样品可以连接起来摆在地上, 以便向学生示范说明。

俄国型采样器的一个缺点是当开始钻入沉积物时, 它不能旋转, 这意味着穿过木质的或矿物层取样有时是很困难的。但如在英国南部的泥炭层中取样时, 这种困难已几乎总可以克服, 这是先抬起采样器数厘米, 再用二、三人合力压下去。采样器必须小心地旋转, 以免锚板和钻膛之间遇到木头或卵石的情况下, 有可能引起采样器弯曲。

Hiller 采样器被 West 称之为标准的泥炭钻到现在仍然普遍地应用, 尽管和俄国型采样器比较, 是有缺点的。它一般具有 350 或 500 毫米的钻膛, 并由两个不锈钢的管子组成, 在内部的一个内径是 30 毫米或略大些, 并在一侧的下边有 20 毫米的切口, 外面的一个管具有弯曲和磨快的凸缘以一定角度装置在相似的切口那边 (图 2.5)。大部分有一个如图所示的螺旋鼻, 但采软沉积物时, 可用圆锥头代替它, 这样就可尽量少扰乱沉积物

(Thomas, 1964)。把 Hiller 采样器下压到预计的深度,在 T 形把手上保持一些右转的压力,以维持凸缘在最近的位置,然后反时针方向扭 3—4 次。凸缘切口进入到沉积物中,切口打开,同时物质是被迫进入到钻膛中,这就不可避免的会产生弯曲,同时由于两个封闭装配的管子一起旋转,它很容易被砂子沉积物堵塞。

尽管有这些缺点, Hiller 采样器仍然经常使用,因为它能穿透一些硬的泥、粘土和木质沉积物,它具有螺旋作用是超过俄国型采样器的一个优点。Thomas(1964)修改了的钻的基本样式是增加了可移动的衬垫,使全部钻芯保留下来,就可以不需要在野外采取副样品。

对于 Livingstone 和 Dachnowski 类型的尾端填充采样器,最近的文章有广泛的介绍 (Wright 等 1965; Deevey 1965)。这些资料提供了经验,并取得的大量情报同时对野外操作

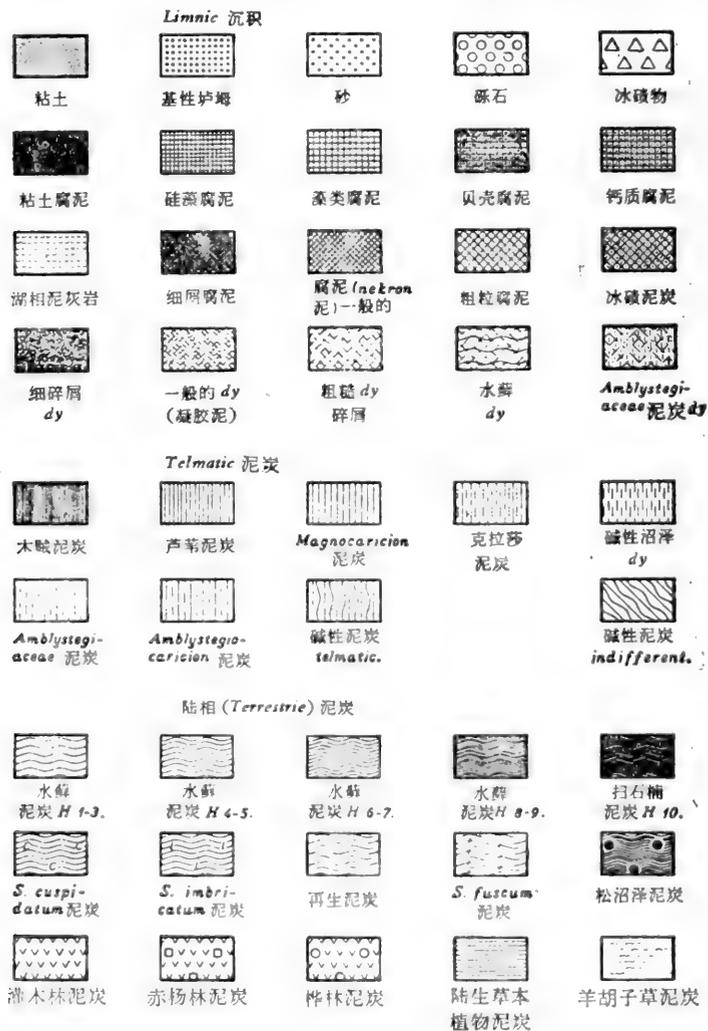
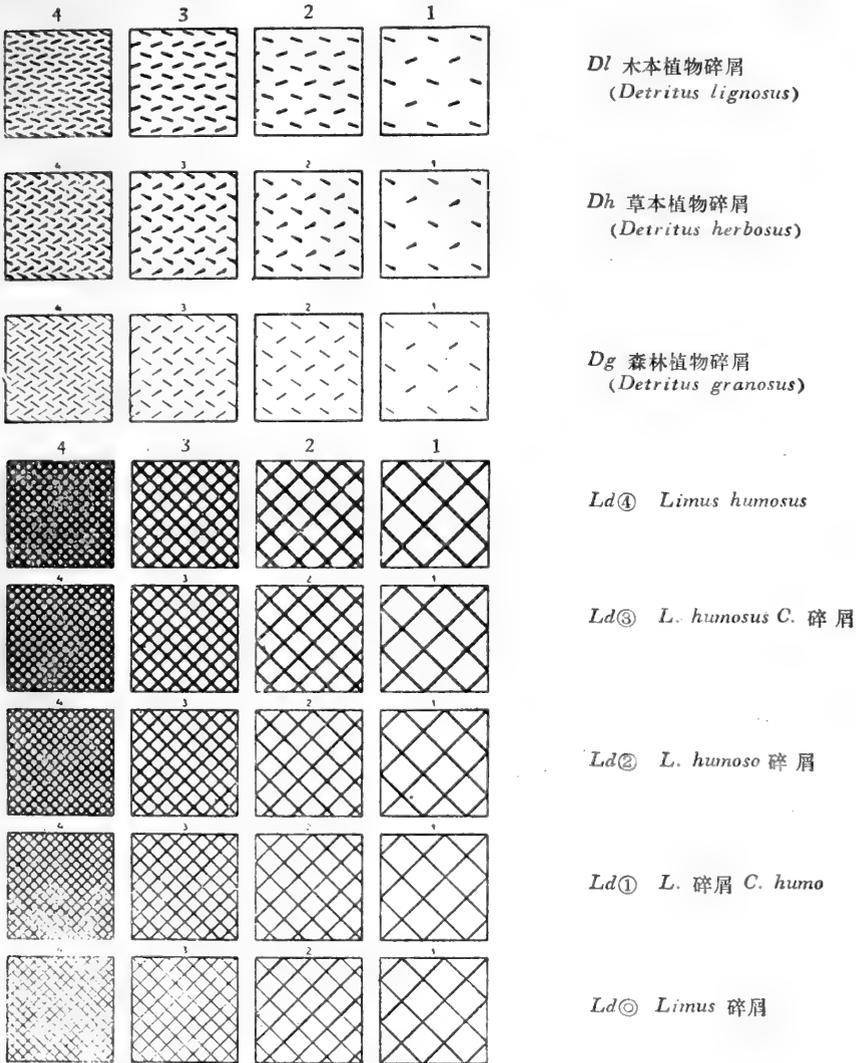


图 2.1 一般通用的沉积物符号: 是由 Faegri 和 Gams 最早提出的 (选自 Faegri 和 Iversen 1966), H 后面的数字指的是按 Von Post 分级的泥炭腐殖化程度; Davies (1944) 对此作了详细说明。H 1—3 是微腐殖化的带有可辨别的植物残体, H 8—9 几乎是没有任何结构的黑色泥炭。

有详细的描述。使用 Livingstone 采样器的原理表示在图 2.7 中。表 2.1 又表示了一般使用的尺寸以及其对各种类型沉积物的适用情况。

Mackereth 型采样器用于半水生的沉积物,也就是采用一个活塞,但其动力是由空气压缩供给的。这种极好的和机巧的设计,是由已故的 F. J. H. Mackereth 设计和制造的。它的大型的一种可以取样长达 8 米,已在 Mackereth (1958)一文中介绍,另一“微型采样器”可以取样 1 米长,包含了沉积物—水的界面,在 Mackereth (1969)另一文中介绍,上面两篇论文中有详细的机械设计说明,可以使研究所工厂能仿造。

一种大直径的简单取样器,没有活塞,是为了在很干燥的泥炭沼泽上工作的,Smith 等(1968)曾经详细地描述过。采样器是用手操作,由一个简单的链条和尼龙穿绳板协助,可以采长 1.5 米和直径 12 厘米的样品。压缩、变形和混杂都很轻微。而这种采样器是为了进行放射性碳断代的取样而设计的,值得认真推荐,它比挖一个坑采取整段标本或用较小直径的采样器重复采样要简单些。



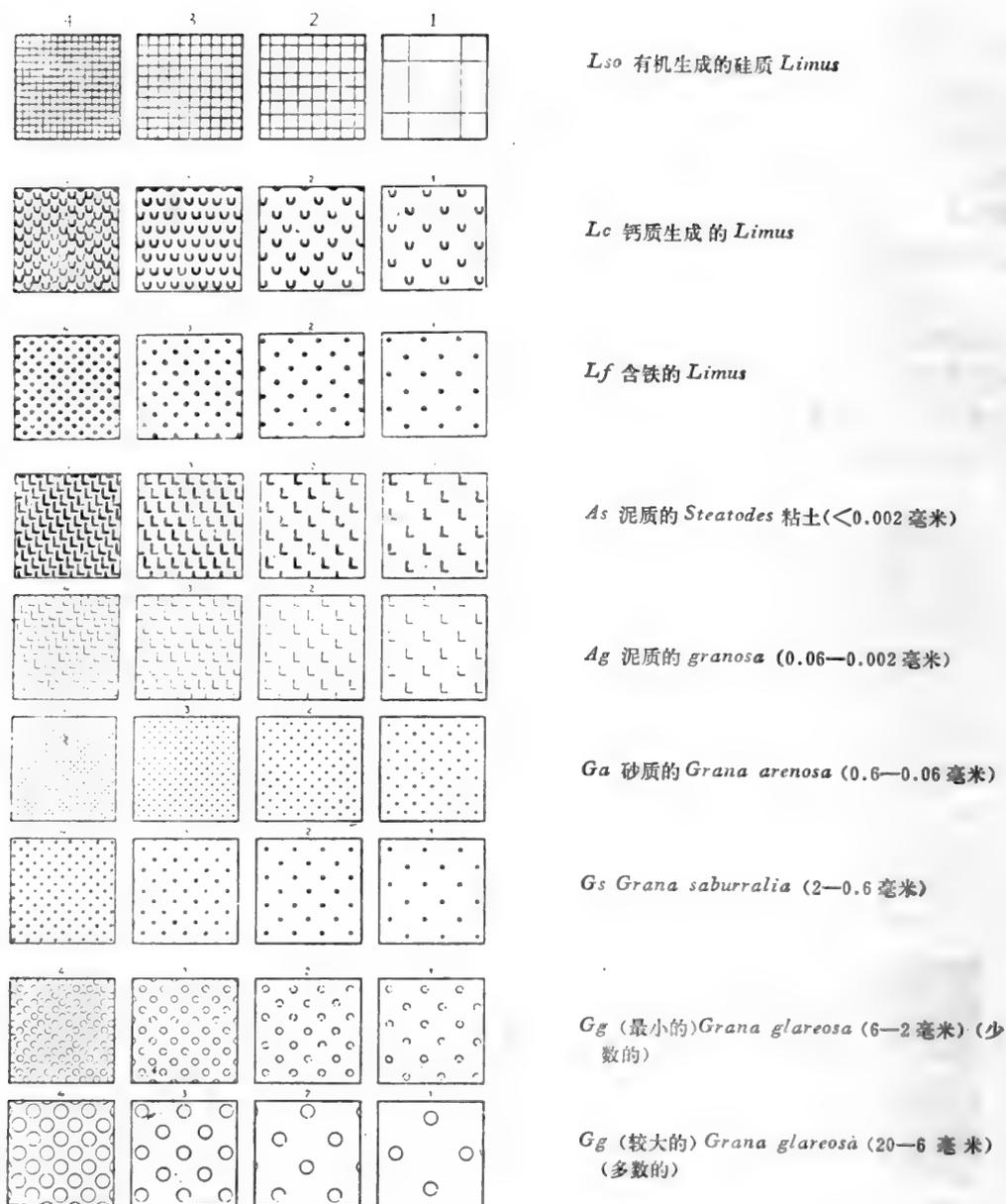


图 2.2 Troels-Smith(1955)体系的沉积物符号 (选自 Faegri 和 Iversen, 1964)

最后,应该提到在基斯沃尔沼泽 (Keyworth Marsh) 的地层考察中 Hubbard 和 Slebbings(1968)所使用的采样器。利用一个磨光的 120×5.3 厘米钢管子,可以得到 1 米长的淤泥样品。这种管子的末端略向内弯而挟住样品,并且有一个锐利的边缘,切断淤泥中的植物,而不是把它推向一边或者在管子中形成为一团。

2.1.4 样品贮藏

化石材料的样品贮存的基本原理是要保持化石的野外状态。在野外的主要条件是泥

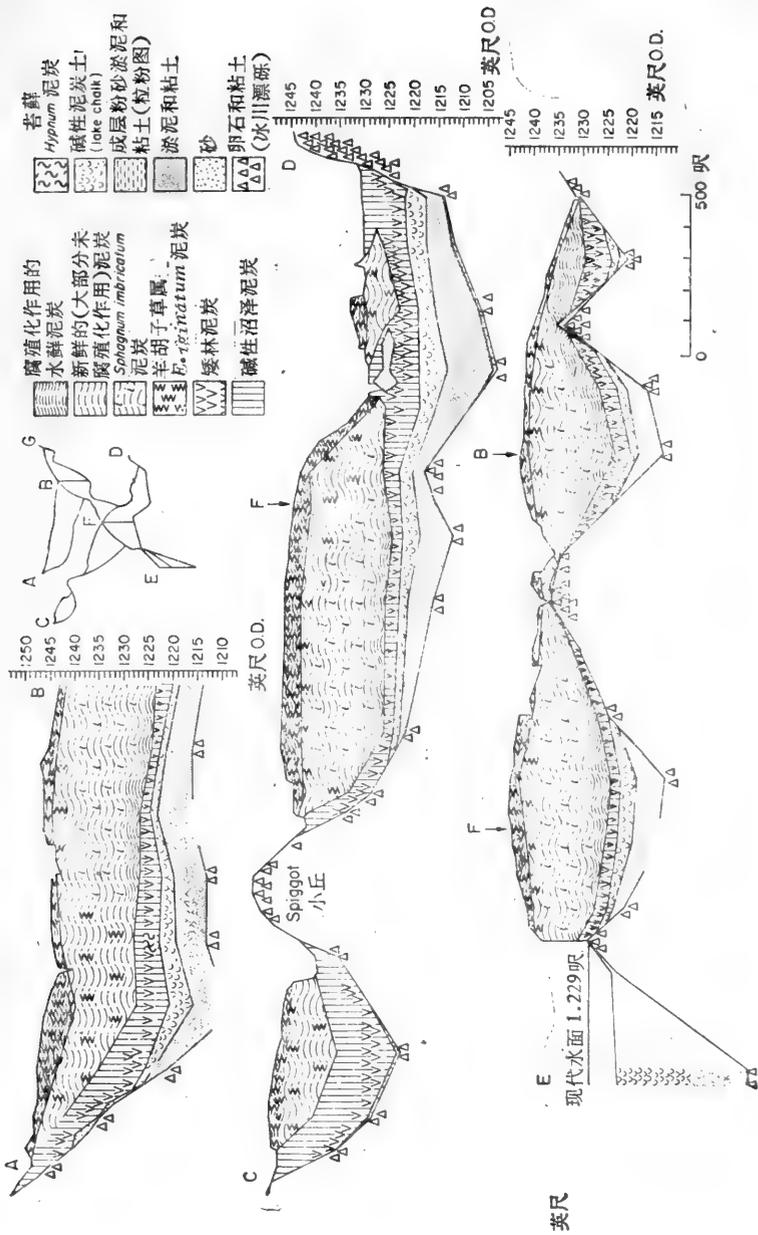


图 2.3 马勒哈姆湖(Malham Tarn) 苔藓地层, 取自钻孔记录的画好的完整剖面
(选自 Pigott 和 Pigott 1959)

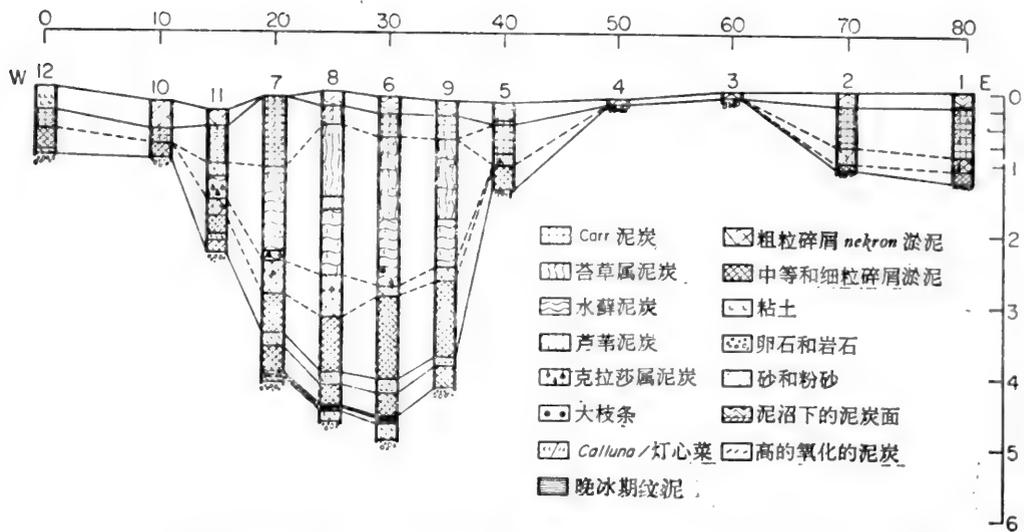


图 2.4 第三样条的地层，布莱哈姆沼泽。各个钻孔并表示其可能的相互关系（选自 Oldfield, 1970 a）

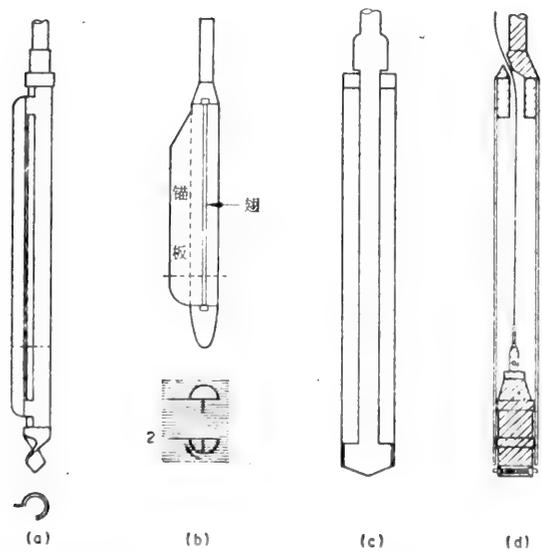


图 2.5 一般使用的泥炭采样器。(a) Hiller 型, (b) 俄国型, (c) Dachnowski 型, (d) Livingstone 型。操作的详情参看正文(选自 West 1968)

炭或湖泊沉积物中浸泡的水分，而在实验室中保持这种状态对于短暂的时期，如几个月来说，是完全容易做到的。铝罐或塑料管用铝箔盖紧，然后用塑料封住也能短期保管。因为聚乙烯是有透气性的，但它能够减少蒸发；其主要作用是保护铝箔和排除大气中的灰尘和花粉。铝箔在接触潮湿的酸性泥炭时必然被腐蚀，要每隔几个月后换新的。没有一种包裹的材料是完全理想的；铝箔的优点是价廉和容易得到，也容易用特种铅笔作记号。

为了较长时的贮存，将整段标本或钻取样品冻结起来是一种最好的方法，并且不会毁坏层次，小型样品可以放在带有软塞或塑料塞子的玻璃管中（要允许这些物质有足够的

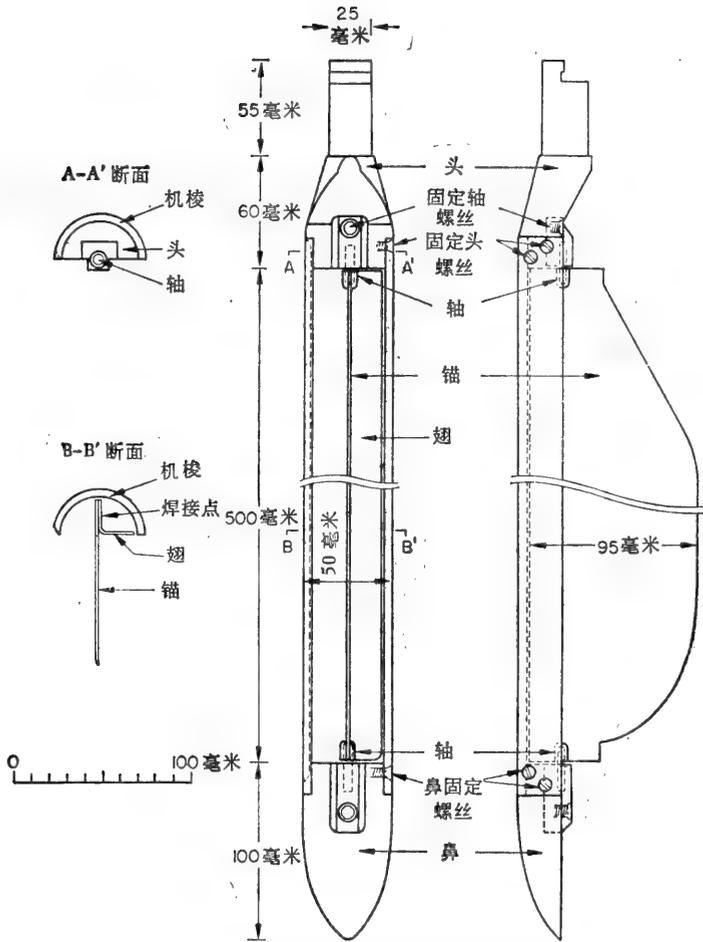


图 2.6 俄国型泥炭采样器，经过作者修改

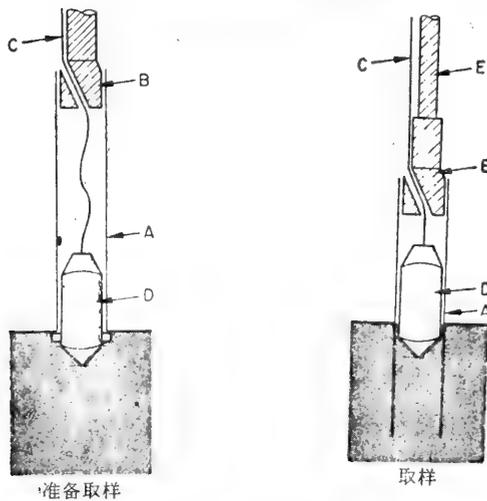


图 2.7 Livingstone 钻操作的主要原理

A. 钻管, B. 塞子, C. 线, D. 塞子, E. 延长杆(选自 Deevey(1965) 的古生物技术手册, 由 Bernhard Kummel 和 David Raup 主编, W. H. Freeman 有限公司出版, 1965 印刷)

膨胀空间),或者将试管用石蜡封住、或浸在熔蜡中。

2.2 其他野外技术

本节包括若干种技术,它们与沉积方法有所不同,因为这些技术通常不能提供从沉积物中可以取得的长序列样品。这些技术是建立在现代植被和非化石化枯枝落叶的证据的基础上的,而且主要适用于林地群落。像砂丘和灌木丛生的荒地上的那些比较短命的群落在这里不予考虑,这些群落具有空间的带状分布而且种类随时间而变化。Gimingham (1972)曾很好地描述灌木丛生荒地上短期的生态变化,其中包括帚石南群落的结构和年龄变化的讨论。

新技术及其在野外观测中的应用正在继续不断地发展中。在英国由位于艾博特·利普敦剑桥郡(Abbots Ripton Cambridgeshire)的蒙克森林(Monks Wood)实验站的生态学者们组织的历史生态学讨论小组开会讨论正在进行的研究工作。这个关心人士都可参加的非正式组织的目的是为了生态学家、历史学家、考古学家、档案学家及历史地理学家之间的交流。这个小组从1969年开始工作以来,主持了12次以上会议,其内容涉及古代林地和草地的植物区系、档案对生态学的利用以及特殊地区的历史生态学等方面。

2.2.1 林地结构

众所周知,林地显示出不同的结构,它是森林受到管理与否的历史的反映,也是森林更新能力、树种混交、土壤剖面变化等等的反映。树木年龄的确定是了解这种结构的基础,这在3.2.5节中详细介绍。林地的其他观测项目包括林龄的大致分级(幼苗、大苗木,成熟林、过熟林等)、树形、有无更新、枯枝落叶层的厚度和地床植物区系,这些在野外是可用眼睛观察到的而且给出关于林地历史的大量情报。

Tubbs(1968)在研究英国新林(New Forest)的历史中采用了A、B、C三个大体的树龄等级。这种划分相当容易地为野外观测者采用,而大有助于问题的讨论。Peterken(1969)提供斯塔维尔顿公园的14幅乔木和灌木种类和世代的图表。借以说明林地历史和由于更新失败而使冬青分布范围缩小这样的更新方式问题。树形在指示人类及家畜的干扰方面也是重要的标志。例如,新林中头状作业的古老的橡树和山毛榉,其多数树龄在1698年以前,而那以后头状作业是被禁止的,这反映了在皇家狩猎林中为了在增加养鹿的一种过去经营方式。在Peterken和Hubbrad(1972)关于邓杰内斯滩上的冬青林的研究中详细介绍了在开阔环境中自然生长的木本植物形成的相当独特的生长型。利用这些生长型,他们归纳为几个类型系列以说明森林的历史。这种根据生长型和结构来作推论的方法,虽然不太明显,但在我们说明林地历史中是经常被采用的,并且从论证的文献中可以搜集到许多这样的例子。论证的内容包括相对年龄、一种林木受其他种林木素的“保护”(例如,橡树“保护”在其下部的冬青幼苗)、林冠郁闭及以后的疏开、外来品种的侵入(例如在不列颠岛的情况)以及家畜和野生动物的放牧等。在Pigott(1969)和Merton(1970)的关于石灰岩林地的研究中以及Kassas(1951)的关于咸性沼泽林地的研究中都提供了这一方面的论证的良好例子。

始终应该注意,在缺乏绝对年龄的查定(参阅3.2.5)或缺乏某种经营记录时这样的

研究会产生错误。对于生长在贫瘠土壤上的树木，根据伐桩的年轮计算或通过生长锥取样的方法可以确定的树龄常常大得惊人。而不是简单地通过观测胸茎和高度所正确地估计出的，而生长在适宜地点的树木却是恰恰相反的情况。在不列颠诸岛那样的长期居住地区的许多森林中可以觉察出按等距离成行种植，或间伐这样一些简单经营措施的证据，虽然在经过大约一个世纪忽视管理之后，病害、风吹倒等等使树木受到损失，早期经营的证据就不很明显了。当过去的记录被保存时，历史生态学家的工作就容易得多，虽然也有例外的情况像达特穆尔地区 Wistman's Wood 那样著名的森林的描述与过去记录相比发生矛盾 (Anderson, 1954) 因而使得工作更加困难。

2.2.2 指示种

在近期被砍伐的林地内小片绵枣儿或毛地黄是生态变化最显著的标志之一，但这在自然状态中只持续短暂的时间。变化较为持久的指示种是荆豆 (*Ulex europaeus*)。Tubbs 和 Jones (1964) 报道了在新林中荆豆分布明显地受土壤被扰动因素的支配，这种扰动是由于在拿破仑战争时代人们建筑围堤或现已丢荒的耕地地埂而引起的。牧草种类丰富一般地可以说明这是过去的草场，根据上面的许多地点的考察的结果。Gulliver (私人提供资料) 发现“几种植物组成的一群，在播种后 5—15 年后都未重新入侵，因而这些种可以作为未受干扰草场的指示种。被推荐的大多数指示种是很罕见的，因而用于说明问题是受到限制的，但有些品种是相当普遍的，例如 *Conopodium majus*、欧洲合叶子 (*Filipendula ulmaria*)、蓬子菜 (*Galium verum*) 和 *Rhinanthus minor* 等”。T. Wells (私人提供资料) 曾经利用这一组中更罕见的一个种，即盔红门兰 (*Orchis morio*) 来临时定出亨廷登郡 (现在的剑桥郡) 三个牧场的年代，指出至少有 250 年未受干扰。

许多学者，如著名的 Pigott (1969)、Tittensor 和 Steele (1971)、Pollard (1973) 以及 Rose (1969) 讨论过林地的指示种。Pigott (1969) 认为在德比郡石灰岩上茂密的椴树林地的地床植物是和林地的树龄结构以及土壤特性有密切关系的。例如山青定 (*Mercurialis perennis*) 指示了比较老的同龄林，而铃兰 (*Convallaria majallis*) 比之其他植物更能指示异龄林，特别是椴树林。这些作者也指出，仅仅依赖于一种指示种是危险的，因为其他因素影响着植物的分布 (例如 Martin 关于大戟科的研究, 1968)。因此在这类研究中与其利用个别的群，不如利用几个种的组成为宜。这个问题已经由 Tittensor 和 Steele (1971) 在洛蒙德丘陵椴树林地植物区系的研究中清楚地说明了。椴树林地植物区系的研究是建立在 Tittensor (1970 a, b) 的早期森林历史研究的基础上的。他们发现包括土壤类型、放牧和牲畜践踏这样一些因子相互作用的复杂性引起地床植物层的变化，同时未经记载的人类对树木本身影响也能引起变化。Pollard (1973) 证明，Monks Wood 实验站附近某些古老的树篱是林地的遗迹，而不是人工树篱。其中象 *Mercurialis perennis*、*Endymion nonscriptus*、*Anemone nemorosa* 等草本植物明显地是古代‘林地’的特有种 (参阅 3.2.7 节)。

Rose 关于不列颠林地的附生地衣的研究指出，地衣在说明林地历史中，特别是说明人工干扰的发生，或相反地，任何一个地点林木覆盖的继续存在，它是一个很好的指标。必须注意，对于地衣分布来讲其他因子也是重要的。这些因子包括大气污染、以及矮林更新和排水等林地经营措施。Rose 考察了约 4000 个地点后指出，不列颠原始森林中每平方公里内约有 120 个地衣种，这个总计数字非常接近于今天新林中发现的全部地衣种数和

(Rose 和 James, 1974)。在不列颠比较干旱地区萌芽林中平均每平方公里有 20 至 25 个种。斯塔维尔顿公园(Peterken, 1969)有 64 个种,其中有些种是古代林地的特征种, Rose 还指出,那里的林地“……肯定是英格兰这一部份古代森林的遗迹,而且这儿一直在相当程度上,长期保持森林状况,而未经大规模的皆伐和人工造林”。显然苔藓植物区系的研究可以为生态学家提供一个估计植物群落受到干扰程度的最有力的手段,特别是文献资料与其他森林存在的证据联系起来时,其效果更好。

2.2.3 自然特性

当在人类居住的、或曾经居住过的地区考察时,应该把了解已荒废的旧耕地系统和境界以及被干扰的土壤剖面,古道、居住点等列入生态学的野外观测项目中去。即使在冻原或高山等无人居住地区,像岩石崩塌、古冰缘特征等自然特征以及过去发生的其他事件对于植物和群落的现代分布来说可能是重要的因素。这些现象是如此多样,在这里作全面介绍是不可能的,而只能介绍一些例子。

Dimbley(1962)在他的关于不列颠低地灌丛起源的重要研究中利用了史前和历史时期堤岸和遗迹下面的土壤花粉分析并利用这些结果说明灌丛生的人为起源,用肉眼调查这些被埋藏的土壤剖面常常引人注目的——被埋的护堤到处都是发育良好的灰壤,在灰壤下面为棕色森林土——但是被埋的土壤及其上面土层的花粉分析提供更多的生态学情报。因此人类造成的自然特征不仅在围堤包围的土地上或者在为了一些其他目的而利用过的土地上,而且在保持一部分古代地表的土地上也同样可能提供有价值的证据。

Hewlett(1973)充分地利用了野外和文献的证据恢复坎特(Kent)的 Otford 附近的历史景观。他在利用“树篱断代”作为一项基本的野外技术(参阅 3.2.7)同时,还利用了类似于梯田埂的“土埂”的自然特征。这些“土埂”是在树篱边缘与坡度相交处发生的。在土埂方向进行耕锄和土壤滑动作用引起土壤靠着树篱堆积,而在树篱下的土壤则滑下去。Hewlett 调查了 150 多条“土埂”,他发现了高度和年代之间的粗略关系——最大高度达 9 英尺,这种关系类似于树篱中的植物种数与树篱年龄之间的关系。这况且涉及了许多复杂因素如坡度、耕锄次数等等,但是这个方法似乎肯定在 Otford 地区是适用的而且也可能适用于其他地方。

众所周知,许多植被分布格局是源于土层厚度、微地形等等自然特征,但是对于历史生态学家感兴趣的一种自然过程就是冰缘作用,这作用在大多数地区现在已不复出现,但确实对植被产生过影响。特别在 East Anglia 地区,刚于一万年前结束的最后一次冰川作用的冰冻造成了以下一些特点,仅“白垩地区的分布格局”,砂粒覆盖于白垩土或白垩土的冰碛物形成的多边形土,以及冰丘地形等[Sparks 和 West, (1972)]。上述自然过程的一些知识对于解释现植被分布格局是很有用的——例如酸性的帚石南灌丛与盐基状禾草类优势的草地相应成带在布雷克兰德(Breckland)的坡地上出现(Watt et al., 1966)。

最后可以提一下为居民定居及变迁提供有用的野外线索(Smith 和 Yates, 1968),当然,如果保存有历史记载,就应接着作文献考证工作,同样关于耕地系统一类的研究也是如此。在 W. G. Hoskins (1955, 1967) 教授的可敬佩的工作中非常清楚地表示出,历史景观研究中野外调查和文献工作的联系。他的工作目前在荷兰由 Lambert(1971), 在澳大利亚由 Williams (1974) 继续进行着。

3 断代技术

在任何历史的研究中必须能够把事件按其正确的编年次序排列起来,还必须至少对其中某些事件要能够确定年历。在第四纪古生态学这一比较广泛的领域中,近年来关于冰期—间冰期周期的长度一直存在很多争论(Gooke, 1973)而且在岩石地层学、生物地层学和绝对年代学之间的所有关系还处于不断地变动状态之中(Royal Society, 1969),但是对于以过去几百年或者甚至几千年来计算的历史生态学来讲,那就用不着我们关心以上问题了。

断代技术既可以是“相对”的,也可以是“绝对”的。前一种方法包括把一个事件或一系列事件按已有的时间系列排列起来,因而这是地层地质学、考古发掘等等的基础。“绝对”断代或多或少地包括直接的时间测定,所以常常被称为年代的统计断代(Chronometric dating)——一个更精确的名词。时间可以根据放射性同位素的衰变或累积(build-up)来测定,在另外一些方法中也可以计算树木生长量来测定,而当有些因子使我们断代相当精确时,这些因子不会全部推翻上述的方法,而只是使我们逐步逼近真实的值。

3.1 相对断代

3.1.1 孢粉断代

用最简单的话说,这个方法就是将某一特殊孢粉图谱的一个时代去与许多孢粉图谱中广泛出现的事件对比。这种技术在放射性碳断代利用以前就已经应用了,而且直到今天仍被广泛地应用着。但是用这种方法推断得到的年代应该以放射性碳所推断的年代来校准。这一点是特别重要的,因为现在已证明,孢粉带划界的时代错误可能是很大的。Smith和Pilcher(1973)证明,冰后期的大西洋期初期英伦三岛赤杨属(*Alnus*)孢粉百分比的增大时间不少于2000年,而这个重要的植被界限按惯例定在公元前5500年左右。幸而代表亚北方时期(Sub-Boreal period)起点和新石器时代农业开始的榆属(*Ulmus*)衰退(公元前3000年),似在放射性碳判断的年代界限之内,虽然各个地点还可能有所不同,而这种差别已具有重大的考古学和古生态学的意义。非常明显,所有孢粉图谱必须有一些放射性碳的断代。但是这样做花费太大,而且也没有足够的设备来满足要求。另一个最好的办法是按界限明确的孢粉带建立一系列年代可靠的地区性标准孢粉图谱。这是West(1970)提倡的,Godwin等、Hibbert(1971)和Pennington等(1972)发表了一些实例。这样,就可以把同一区域内的其他孢粉序列同这个标准图谱作比较并按植被界限的关系确定年代。这种比较工作可以用肉眼也可以用数值方法(Gorodon和Birks, 1974)。在进行这种比较之前,必须熟悉一个地区一般植被历史和生态学是不待言的。Pennington(1974)提供了英国植被历史的一个良好的摘要,而Wright(1971)反映了北美孢粉序列的大概情况。世界上许多地区仍然缺乏这种基本的系统,但情况正在迅速地改变着。

在某些情况下没有放射性碳断代资料或者没有很可靠的资料来确定“固定”点——标本受年老的或年青的碳污染而又不能排除,或者标本的年代如此之近,以至于放射性碳断代的标准误差使得比其他方法的估计更坏,在后一种情况下(对于研究现代群落的生态学

家常有特殊的意义) 已知的史实与孢粉图谱变化之间的相关比放射性碳测定的年代更准确。Oldfield (1963, 1969) 在阐明英国湖区东南部的近代生态学历史及其断代中利用了这种办法。一些史实, 例如公元1540年左右修道院的毁灭、公元1800年左右拿破仑战争引起的农业大发展, 以及乡村庄园利用松、榆和山毛榉人工造林等事件在这一地区的许多孢粉图谱中都能清楚地看出来, 这些图谱一直反映到近代沉积物的地表层表面。本文作者在Bolton Fell Moss上部的图谱断代时也根据这个原理(图2.13), Mitchell(1965)、Moore(1968)和Turner(1970)成功地使用了相同的论据。在美国同样可以使用欧洲的移民和票据日期资料(例如McAndrews, 1966)。

人们总觉得有点靠不住的是, 放射性碳样本由于植物根系的穿越或富含碳酸盐的地下水而受到污染, 但放射性碳的断代仍是有用的。在根系穿越的情况下放射性碳的年代太近, 但至少将给出一个“最近的年代”, 而“真正”的年代则可以从同一地区未受影响的地点用内插方法来推算(Oldfield, 1963, 30页)。在超过放射性碳断代的范围, 即大于60—70000年的情况下, 按孢粉集中带的相对断代是断定有机堆积物年代的很好的, 也是唯一的方法, 而这正是描述英国各个间冰期的基础(West, 1970)。然后把这些地带在时间测定上同已知年代的海洋或火山堆积物联系起来, 虽然这是困难的而且还有大量疑难的工作(Shackleton 和 Turner, 1967)。

3.1.2 地层学断代

这个有点不太明确的标题用来包括相对年龄和在有利条件时的绝对年龄, 可以依赖于在特殊地层中出现的一个事件或者一个特殊的“标记”, 例如已知年代的火山灰沉降或湖泊沉积物中巨厚冲积层。“孢粉断代”当然属于生物地层的断代方法, 但是它有足够的特点和重要性, 值得自成一节加以讨论。

沉积地层学的某些特点长期以来被用作为年龄的指示器。从指示裸露矿质土壤或解冻泥流的成矿沉积物向湖盆有机沉积物的变化是从Late-Devensian寒冷期经过Younger Dryas向冰后期变化的良好指示器。然而这不是说, 晚冰期—冰后期的界限总是按这种连接划分的, 因为生物指示器的变化可以同岩石的变化不一致。一般说来, 生物地层学的指示器是被优先采用的(Watts, 1963)。Bradbury 和 Waddington (1973) 在断定他们在明尼苏达州的谢加沃湖(Shagawa Lake)样本中大量地利用了地层学证据来断代。钻样基部用放射性碳标记年代为公元 15 ± 125 年, 而钻样顶部33厘米用放射性碳断代年代太近, 所以用下列事件作为指示器来标记年代。如由于开采铁矿(公元1889年)产生赤铁矿的巨原冲积层, 由于净化磷块(公元1948年)剖面中磷急剧增多, 又由于改进了的污水工厂(公元1963年)而磷又下降。地层学证据和近代人类活动之间这种直接的联系在其他方面也可能是有用的。

泥炭和其他沉积物中的考古学的发现也长期被用来作断代。在计时测定技术应用前, 建立在手工制品外型基础上的相对年龄当然是整个考古学断代的基础。除放射性碳之外, 现在还采用许多技术, 其中包括裂纹迹断代、黑曜石断代、骨的氟断代和陶器的热光断代。Brothwell 和 Higgs(1969)在书中汇集了这些和其他断代技术的说明。英国的萨默塞特平原是考古学和生态学证据交织在一起的一个地区, 在这里, 在放射性碳断代被应用之前, Godwin(1948)就已广泛地利用考古学断代。象新石器时代和青铜时代的道路遗迹,

铁器时代湖上村庄的建立、使用和遗弃以及英国和罗马的窖藏等情况还有其他一些埋藏于泥炭中的较小的发现给出了年代的系列而与其后用放射性碳断代没有太大不同，并建立起公元前 3500 年至公元 400 年的考古发现和地层学之间的紧密关系 (Godwin, 1960; Dewar 和 Godwin, 1963; Goles 等, 1970)。

按地层学断代可能包含的主要误差之一是可能把某一物体或手工制品带进另一年龄的地层中。例如，生物残余物可能从较老的地层中冲洗出来而重新沉积到一个比较年轻的地层中，或者手工制品从沉积物中被掘出或被埋到深层。通常这种误差很大，可以看得出来。但是一定还有这样的情况，譬如，矛头深入沉积物达几个厘米深度，而得不到它的深度和同时代的表层深度之间的正确关系。Pewar 和 Godwin (1963) 讨论了与地层学有关的一些发现。很明显，当考虑了所有这些因子时，一般的讲，年龄关系是可以完满地确定下来的，特别是使用了放射性碳断代以后。

3.2 精确计时断代或绝对断代

3.2.1 放射性碳断代

Libby (1965)、West (1968) 和 Willis (1969) 的一些文章清楚地说明了放射性碳断代的理论和技术。对于历史生态学家来说，直接关心的是，在需要进行 G^{14} 测定时，如何收集样本以及如何论述所得的年代。

放射性碳产生于高层大气中，在那里，当宇宙线轰击氮原子时就产生碳的放射性同位素 (G^{14}) 并形成 $G^{14}O_2$ ，它以很小的比例自由地同 $G^{12}O_2$ 混合在一起并被植物和动物吸收和溶解于水中。活的动植物体内放射性碳的含量是大气中放射性碳浓度的函数，当有机体死亡时，它同大气的交换就停止而有机体内的 G^{14} 大体上相当严格地按已知的比例衰变掉。在 5730 ± 30 年——它的半衰期中 G^{14} 损失掉一半——但是比较早期的半衰期为利比 (Libby) 标准的 5568 年在放射性碳杂志报告的年龄中仍然被应用着。测定那些残余的 G^{14} 的活性并把它同现代碳标准作比较以及计算样品的年代是放射性碳实验室的工作，他们将考虑各种误差的技术原因并按“B.P 放射性碳年”报告年代 (B.P 是英文“距今”的缩写，它是以公元 1950 年为起点，1950 年后由于核爆炸把大量的放射性碳带进大气中)。

报告的年代还要加减同样“年数”的误差——譬如，“距今 1170 ± 50 放射性碳年”。这个误差实际上应该看作为“统计的不可靠性” (Statistical uncertainty) (Vogel, in Neustupny, 1970 a)，因为它是按 G^{14} 随机衰变的计算统计来计算的，并且通常把它看作为标准差。在上述例子中，样品真正的年龄介于距今 1120 和 1220 年之间的概率为 68%。如果在放射性碳试验以前所作出的样品的年龄估计 (实验室应该询问这样的估计) 在标准差之外；那末提供样品的研究者必须校正以前的观点，同时重新调查污染的可能性。

应用“放射性碳年”这个名词的原因是由于这一技术的假定之一—— G^{14} 在大气中一千多年内大体保持为常数——是错误的，这一点在六十年代变为日益明显了。过去根据巨杉 (*Sequoia gigantea*) 的年轮中 G^{14} 活性的计算只追溯到约公元 750 年 (Willis 等, 1960)，所以标准差比较小。但是当利用硬毛毡松 (*Pinus aristata*) 把树木年代学的年代与放射性碳的年代联系起来并在时间上更往前推移时，标准差就明显大起来了。在公元前后和现代之间这种偏差很小，但更往前偏差逐渐增大，一直到公元前 5000 年， G^{14} 的年代

要比硬毛毬松历(Bristlecone Pine Calendar)(图 2.8)“年青” 800 年。这个发现导致发表大量文章和许多争论，特别是在考古学方面。过去考古学的历史事件是根据一些历史文字记载来断代的，而现在按放射性碳断代的事件在时间上向前推移了。Olsson (1970) 编纂了关于放射性碳断代的这次主要变化的讨论会的会议录，Neustupny (1970 b) 从考古学观点提供了一篇有益的摘要而 Burleigh 等 (1973) 讨论了一些主要之点并附了一张有价值的文献目录。目前在作 C^{14} 试验时，仍然不采取这个修正数值，并仍然按半衰期 5568 年计算 C^{14} 的年代，等待将来有一个公认的树木年轮订正时再说——提供年代的实验室将对这一点加以说明。

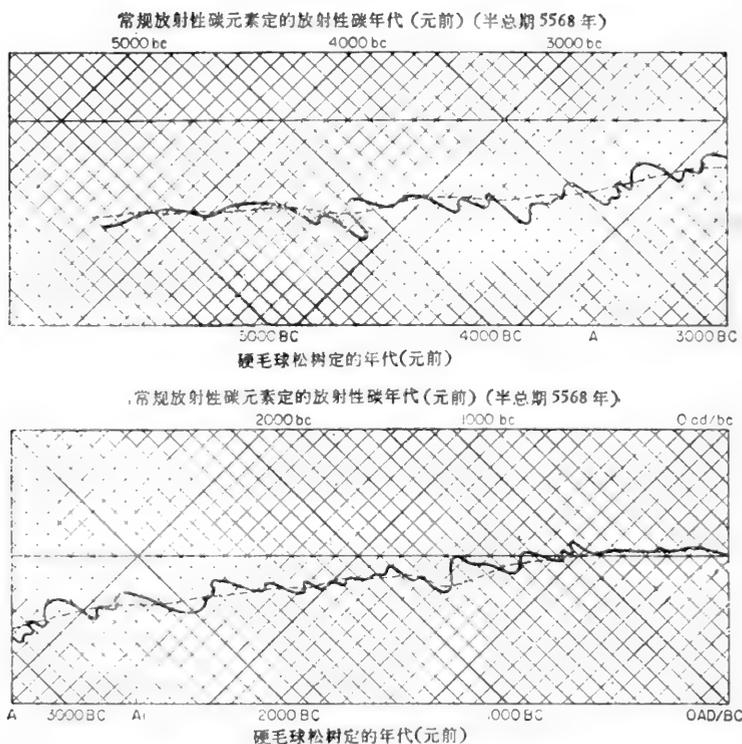


图 2.8 放射性碳年代的树木年轮测定。平滑曲线(虚线)是根据三个实验室的平均年代。实线表示这些实验室之一的放射性碳曲线(引自Burleigh 等 1973)

现在回到放射性碳断代的实际方面，对于一个研究工作者来说样品如何得到放射性碳年代的问题只有两种办法，不是找到一个正在进行研究的实验室以便付费代做，就是要有足够金钱来支付用款。前者常是大家喜用的方法，而且是大多数情况下研究人员能够得到断代资料的方法。作试验的实验室对于采样和样品数量将给予指导，采样数量随物质中含碳量而变化。通常需要碳 5 克；用泥炭、有机质泥或木材可能要干重 30 克，而利用无机的湖泊沉积物可多达 300 克。

如果对于同一地点进行了一系列的测定，那末未经察觉的任何污染都容易发现的。现代污染，也就是说用一个样品测成时代太近，是最普遍的，而对一个“无限”年龄的样品即使污染 0.1% 的现代 C^{14} ，也将给出距今 57000 年这样一个年龄，而污染 5%，将使距今 50000 年的实际年龄减少一半，变为距今 24300 年(Shotton, 1967)。在放射性碳杂志中可

以看到与此相似的一些其他的例子。Coope 等人(1971)也找出这些误差,其中一例是由于沟渠流水的渗透而产生的。测定很接近于放射性碳断代技术界限的这些古老材料,只有在专门作这种断代的最好的实验室中才能可靠地进行;一般地说,其断代界限为40,000年。对于较年青的材料,例如,真正年龄为距今600年的中世纪样品,污染1%将给出540年这样一个错误年龄,这个年龄可能正在按每个年龄测定的统计不可靠性数字(例如 600 ± 60 年)之内(Statistical uncertainty figures),因此会看不出污染。但是当污染5%现代碳时,将使样品年龄减少到为距今160年的错误年龄,而当污染10%时,将给这个样品定为是现代的错误年龄(Sparks 和 West,1952,258页)。

污染比较古老的碳给出的年龄将比实际年龄老若干年;样品中混入50%的“无限”古老的碳将给出超过一次半衰期,即5730年这样一个年龄。这样污染50%当然是非常明显的;而更可能发生的污染量,如5%或10%,则不一定引起注意,除非年龄是一系列年龄中的一部份,或者与同样品真正年龄的其他证据有矛盾。Shotton(1972)提供了一个经详细研究过的“硬水误差”的例子。他说明,木材和小枝给出的年代同孢粉证据以及其他地方的另外的年代是一致的,但是,取自同一时代层次的很可能是藻类的黑泥,因而可能是从硬水的碳酸盐中合成的组织,在一组平行的系列中它所给出的年代比木材的年代早1700年。

放射性碳断代在建立我们某些概念方面以及改变历史生态学的一些概念方面其意义是难以估量的;实际上有些人走得更远而宁愿用放射性断代的地层学来代替传统的地层年代学(Vita-Finzi,1973),而在目前知识水平来说这很可能还为时过早。

3.2.2 其他放射性测定方法

G^{14} 不是用于断代目的唯一的放射性同位素,虽然从本书和其他文献的介绍,历史生态学家会有这种想法是可以理解的。在从铀到铅的衰变系列中的较长寿命同位素基础上的铀系列断代对于历史生态学者很少直接利用,但对第四纪地层学者是有极大意义的。这些同位素一般被用来标记形成于距今0—400,000年范围的海洋沉积钻样,珊瑚和软体动物等的年代,这些年代是远远超过了放射性碳的断代范围的。上述铀系列的断代加上对火山灰的钾-氩断代为我们提供了整个第四纪时期的一个“绝对”的时间尺度。当然到目前为止还是不完善的;在方法上还有一些假设和不准确处。但这些方法正在积极研究中并很有希望为将来提供一个公认的年表。进一步的详细材料可以参阅Broecker(1965)、Shotton(1967)、West(1968)、Vita-Finzi(1973)、Brothwell 和 Higgs (1969)以及 Szabo 和 Collins(1975)。

3.2.3 古地磁断代

这是一种“间接的绝对”断代方法。在标准断面中一旦地磁的变化年代能够确定,地层中记载到的古地磁变化在断代时可以用作为“绝对的”年代。在地质史上地磁场曾发生过几次逆转,现在这已成常识并且已成为论证和断定大陆漂流年代的主要因子。磁偏角是在不断变化的,它可以从任何地形图的说明中知道、但必须以罗盘仪读数来校正。断代中应用的就是这两者的变化。

上一次主要的逆转发生于约700,000年前。这一次以及更早时期的古地磁变化一直

被用来编制整个第四纪时期粗略的年表(Gox 等 1965; Gooke, 1973)。比这个更加精确的时间尺度是 Mackereth(1971)测定的在湖泊沉积物中的磁偏角的变化。他能够证明,沉积物在沉积作用时期受到被包围的磁场方向上充分的磁化作用,并且这种残余的磁化作用是稳定的。Mackereth 利用他自己设计的空气钻取得的文德梅湖上层 1 米未受干扰的沉积物钻样,他指出,从公元 1580 年起观象台记录到的‘旋转’(‘swings’),特别是大约公元 1820 年的“最大向西的振幅”(Maximum Westerly excursion)在沉积作用中被保存下来。用这种方法分析了文德梅湖 6 米长的钻样用作如上的分析并作了放射性碳断代。从这一长钻样的“旋转”追溯到阿勒鲁德间冰段(Allerød interstadial)末期,它呈现出有 2700 年的频率,同时在这些资料基础上计算了地磁年龄,结果表明,它同放射性碳的年龄非常一致。在另一篇文章中 Mackereth 同物理学家(Greer, 1972)合作发展目的在于更广泛应用的方法和对考古遗址采用类似方法,从中我们将期待我们年代学的准确性将得到巨大的改进。这种方法已成功地应用于拉夫内亚(Lough Neagh)沉积物的初步研究中(O’sullivan 等, 1973),而且可以证明对于受古代碳污染的现代沉积物的断代是有巨大的意义并且大体上也是硬水湖沉积物断代的一种方法,而这种沉积物用放射性碳断代却有误差。不幸的是在泥炭中没有呈现任何残余磁性(Mackereth, 提供资料)。

3.2.4 季候泥断代

在适当的湖泊中有两种类型的季候泥或年纹层,这是最好的绝对断代方法之一——它们还可以用于订正树木年轮和放射性碳的年代(Shuiver, 1970)。第一类季候泥是沉积于冰川湖中,对于它,了解得比较透彻。在这类湖泊中春季和夏季融雪沉积成一个由沙子和粘土组成的粗糙的浅色层;其上为一个较细物质的薄层,它是由于秋季和冬季融雪减少或停止后细小物质沉降形成的。在普遍使用放射性碳断代方法以前,对季候泥的研究[也就是由瑞典人 Geer(1912, 1934, 1940)和芬兰人 Sauramo(1932)创始季候泥又称带状纹泥层]很早制定了冰川退缩时期的年表。这一年表由放射性碳断代而得到证实。

第二类年纹层按起源来讲是一年的,它在部分循环湖(meromictic lake)由有机质形成。在这类湖泊中温度的层积在深度上是未受扰动的,而使沉积作用不受干扰。春夏的沉积层富含硅藻,色浅;秋冬的沉积层含有有机物,色深。Turner(1970)调查了埃塞克斯县的马克斯泰地区霍克斯尼亚恩(Hoxnian)间冰期沉积物而能估计整个间冰期为 30000—50000 年(远比其他方法估计为短),同时还估计植被演替的不同带的时间长短。Craig(1972)还研究了明尼苏达州云湖(Lake of the Clouds)中的层状沉积物而且利用约 9400 个年纹层来标记全部孢粉的年代。Watts(1973)在他的关于植被随时间的变化速率及其稳定性的卓越的总结中,引用了上述两个文献。显然,这类湖泊在植物生态学的研究中是十分重要的,但不幸的是这类湖泊很少。West(1968)提供了两类年纹层的实例(图 3 和 4)并进一步讨论了季候泥的不同地点之间的相关关系以及由于风暴而形成“伪”季候泥的问题。

3.2.5 树木年代学

树木形成生长轮,并可以用来推定年龄和过去的生长情况,许多年来这已为生态学家所了解和运用,但是正象 Bannister(1969)所指出的那样,1929 年 6 月 22 日才是树木年轮

学的成立时间,这一天 Douglas 完成了把来自美国西南部考古材料的以百年为基础的浮动年表(floating chronology)与同年代树木编成的年表互相印证的工作。图 2.9 中介绍了原理,并与异常年轮特别是窄年轮的配合来延长年表使其超过现存树木的范围。在特斯科的亚利桑那大学树木年轮实验室是这项工作以及树木生态学和树木气候学有关研究的著名中心。这些研究的一篇主要总结就是 Fritts(1971)的论文, Bannister (1969)扼要地介绍了编制长期年表的全球研究工作和许多文献。Smith 及其同事还正在研究订正 G^{14} 的树木年代学标准曲线(Burleigh 等,1973)。树木年轮的长期年表对于核对和校正放射性碳断代的用处已在上边提到(3.2.1)。

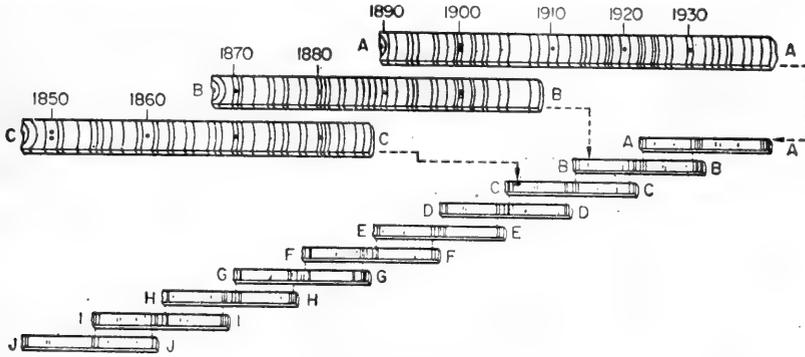


图 2.9 年表编制

A 取自活树的半径标本,1939 年生长季节结束后锯下;
B-J: 取自古代房屋和比较古老的建筑物遗址的标本年轮型互相配合和重叠追溯到史前时期(Bannister,1969,转引自 Stallings)

这些长期年表对于调查一个特定林地历史的生态学家是无关系的。最近的一些研究是依靠计算年轮来决定年龄,年轮数据用一种特殊的中空管状生长锥取得(Pigott, 1969, Merton,1970),或者从树桩上计算(Peterken和Tubbs,1965; Peterken 和 Hubbard,1972)。根据胸围或高度来估计各个树木的年龄是不可靠的,因为变化太大。Yarwood (1974)发现,在树龄 40 年的欧洲赤松(*Pinus sylvestris*)人工林中,85×85平方米地段上,直径在不到 8 厘米以延大至 28 厘米之间。在某些年份还可能缺乏生长轮或形成双轮(Kozlowski, 1971),非对称性生长增加了利用生长锥的困难。因而以用树干整个截面较为宜,但是这就要砍伐研究的树木。Merton (1970)讨论了根据锥芯得到的年龄可能引起的误差,并扼要归纳如下:“(1)漏掉不闭合的年轮;(2)年轮不易辨别;(3)心腐症;(4)钻孔钻不到树心;(5)难于估计到达 140 厘米胸高处亦即取样高度的年龄。他指出,不闭合年轮在生长缓慢的散孔材中并不罕见。但这些年轮或一年多轮(intra annual rings)现象在温带或寒冷地区的大部份树种中不一定出现(Fritts, 1971)。象美国西南部的半干旱地区或树木气候界限附近这些异常现象很普遍。Fritts 介绍了三个生理模型来说明年轮生长受阻的情况复合。不同树木的交叉定年有助于识别不闭合年轮或一年多轮现象(Stokes 和 Smiley,1968)。

在野外,心腐现象是明显的。但是这种树木的最小年龄可以这样确定:在树干上部未腐烂部分钻孔取样并估计达到取样高度所需的时间。正如 Merton (1970) 等人所指出的那样,达到取样高度时的树龄可能是产生误差的一个重要来源。在荫蔽和未被荫蔽条

件之下的这种树龄的差异可能相当大。

取锥样的实际操作细节常常在上述文章中被省略了,但这些对于一个新手来说会感到困难的。瑞典普雷斯勒生长锥(Pressler corer)是一种常用的工具(参阅第四章3.3.2节),它有7种规格。最常用的一种是第三号20厘米长的一种。它是由三部份组成,即手把,锥筒和钢弹簧的锥。后两种是在手把之内。使用时把锥筒固定在手把上,成为“T”字形,把锥筒对准树心旋转进去。当锥头已穿过树心时,迅速向相反方向扭转或猛一拉,以截断锥样(常常可以听到折断的响声),同时向相反方向扭退出来。用弹簧锥取出钻样,然后用带有杀菌剂的木塞塞进孔中。锥样是从弹簧钢的槽中取出并检查取出的锥样是否是完整的半径。

年轮曲线逆转点通常是容易看出来的。大多数树木在年青时形成相当宽的年轮,如果由于树木偏心而使钻孔打歪,丢失的年轮数目可以根据如下方法来估计:“把最内部的一些年轮弧投影成完整的圆周并用钻样中最老年轮的平均厚度除以到绘制的圆心的距离”(Merton, 1970)。如果得到的结果大于7个年轮,默顿建议重新锥孔。通常的结果是远远少于7个,而根据作者的试验,从同一棵树中取3—4个锥样证明,所丢失年轮的数目在1—2个之内。

生长锥最初是为钻取软材设计的,当然用于钻取这些树种很成功,但是用来钻取象红豆杉(*Taxus baccata*)这样的硬材会感到困难。还有一点要当心的就是所有的老树,如果是心腐的,钻孔时可能不易往外拔,因为螺旋没有什么东西可以抓牢。

计算年轮用手持放大镜不够理想;最好是把锥样包起来并标上记号,在实验室里用低倍双目显微镜或用带有测量尺的可移动的显微镜测量。锥样可以按其未经处理的形状测量年轮,但是要准确地测定年轮并作交叉相关的锥样还必须处理成小段或薄片或用砂纸打光滑后再测量。

关于取样和分析的更详细情况可以参阅Bannister (1969)、Stokes和Smiley (1968)的文章,他们阐述了处理诸如很硬的木材或考古材料等特殊问题的专门技术以及说明年轮系列如何作相关和图解。Kassas (1951)的较早的一篇文献也是在历史生态学中如能利用树木年轮的详细资料的一个很好的实例。

3.2.6 地衣测量断代

Benedict(1967、1968)、Denton和Karlen(1973)和Karlen(1973)的最近的论文提示了根据测量生长于冰碛物上的地衣叶状体的大小来确定晚全新统(世)冰碛的可靠年代的方法。其原理是,一旦冰碛物质堆积下来或岩石表面暴露出来,它将被放射状向外生长的*Rhizocarpon*覆盖,因此所发现的最大地衣直径是最老的年龄,也表示岩石表面的最小年龄。这项工作的第一步须按地区确定地衣生长曲线(Benedict, 1967),这是根据测定各种已知年代的地面——墓石、矿山废穴、由古老的地图和航空照片确定年代的冰碛和铁路路基——上面最大直径的地衣获得的,生长曲线还根据放射性碳断代得到延长。Denton和Karen(1973)充分地讨论并论证了这项工作的基础;他们的地衣生长曲线相当准确地上溯几个世纪,经过小冰期到公元1550年,还外推到距今约8000年。这无疑是可靠的和很有用的一种断代方法,或许还可以用到冰碛物以外的其他物质的表面而有助于重建一个地区的历史生态学。

3.2.7 树篱的断代(Dating hedges)

这种技术在第二章里已经讲过了,近年来已由英国历史生态学家广泛讨论。其一般原理已为创始人阐明(Hooper, 1970)。据观测,在树篱灌木行中灌木的种数不能单独地用土壤、气候或农业因子来解释,他建立了“Hooper 树篱历史假说”,树篱中移居的速率大约每世纪增加一个种。由于个人或地方的传统栽培习惯,也存在局部变化,但是在 Huntingdon 和 Northamptonshire 边区, Hooper 能够根据 30 码长度中种的数目而用公式:‘年龄 = $99 \times \text{种数} - 16$ ’来预测树篱的年龄。现在已积累了关于这一巧妙的问题的一些文献,其中有些已在 Hooper(1970)文中详细介绍。Pollard (1973)对种类很多的某些树篱灌木列提出了另一种解说,他指出,它们是从前林地人工经营过的遗迹。他用在 Monks Wood 边缘地区树篱的详细研究和在 Huntingdon 和 Peterborough 地区的其他树篱的调查来证实上述解说。在这项研究中文献证据的重要性是很清楚不过了,显然这是生态学家和地区历史学家之间协作的一个可以取得丰硕成果领域。

4 实验技术

本节讨论的是大化石和微体化石的分离及其鉴定问题,特别是花粉颗粒和孢子,它们是采用 2.1 节的方法取自于沉积物中。有许多其他的方法也或多或少地经常被采用,这些方法也有助于说明一定区域或植物群落的历史生态,这些将在下面简述。

4.1 各种技术

许多化学方法应用于沉积物的研究中,其中绝大部分是经过修改的用于非化石材料方法的(参看第 8 章)。Mattson 和 Koulter-Anderson(1954)、Chapman(1964)和 Ingram(1967)对泥炭的化学分析方法、计算结果和文献提供了很好的介绍, Mackereth (1965, 1966)关于湖相沉积的化学分析工作可自 Pennington 和 Lishman(1972)以及 Pennington 等等(1972)的参考文献中查出。这些方法对英国北部湖区盆地的植物生态历史起了巨大的作用。有些方法,如对碘的分析,似乎与过去气候状况有相关;其他如碳,表现出湖区盆地中土壤的某些情况,植物色素的退化生成物(Fogg, 1965; Swain, 1965),可以给出某些湖泊生产的情况。

硅藻和各种动物残体的分析有其专门的方法,所需要的分类知识不是很容易获得的,因为种的数量很大,常常必须收集大量现代参考标本。这也可适用于植物大化石和花粉分析,但对植物生态学者,象这样的材料可以比较容易地从标本室或野外采集得到。例如,当人们讨论不列颠近代沉积中的甲虫残骸的单体时,发现从现代的极地到地中海的种属全有,这些化石通常是全部昆虫的碎块凑在一起,这就使得这样的工作通常是集中在一个或两个专家的实验室中。从这些实验室中请来工作人员,对这样的化石提出建议,并能很好地开展重要遗址的分析工作。关于硅藻分析的问题和潜力应参考 Round(1957, 1961, 1964)、Haworth(1969)和 Crabtree(1969)等人的著作,他们也引用了许多重要的硅藻鉴定文献。在硅藻的分析工作中近来最先进的是以绝对值来计算,即每单位湿容积的数目,

这是 Battarbee(1973)发展了的工作。采用这种技术,化石和现代的形象可以进行对比。许多昆虫分析工作要感谢 Goope 的开创性工作(1961,1965),并且修改了我们从植物证据所得到的气候概念(Gooper 和 Sands, 1966; Gooper 等, 1971; Osborne, 1972)。

非海洋的软体动物和昆虫一样,可以给出气候和局部环境条件的状况,也是一个稍微特殊的古生态研究领域需要参考收集现代标本。B. W. Sparks对这些化石的应用非常注意(1961,1964),并发表了许多文章,文中软体动物与植物化石证据一并使用(Sparks 和 West, 1959; Sparks 和 Lambert, 1961; West 和 Sparks, 1960)。实际操作方面的最好叙述可在 Spaks 和 West(1972)的文章中找到,Evans(1972)提出陆生蜗牛的检索表,关于淡水和咸水蜗牛以及其种的鉴定可以参考 Macan(1969)。对于硅藻、昆虫和软体动物的分离技术在 West(1968)的附录 1 中有说明。

在湖泊沼泽沉积中,以及在土壤或凋落物中能找到其他各种动物。Frey(1954,1965)说到了可能遇到的群和种的数目;无脊椎动物学的良好基础对于任何认真的野外工作都是必需的。虽然还有原生动动物群,它们是很重要的,在沉积物中很容易分辨出来——Testate, rhizopods 这些动物的试验或它们的贝壳通常可以鉴定到种的一级,出现在泥炭中的那些曾经成功地用于表征过去沼泽表面的水分和植被特征。Frey(1964)总结了这类早期的工作,并且给出许多参考文献。此后,人们可以注意 Tolonen (1966 a, b, 1971)的整个工作,他将 rhizopod 地层和芬兰沼泽的花粉分析结合起来,而Heal(1961, 1962, 1963和1964)的工作是建立在 rhizopods 的现代生态学基础上。Paulson(1952—53)、Tolonen(1966 a和图 2.12)以及 de Graaf(1956—58)的著作总括了主要种的图幅,它们有助于鉴定。许多较细致的实验均可同时进行,如花粉统计工作(制备花粉要采用的实验要不毁坏花粉,例如二氧化硅需用氟氢酸处理),但是理想的是将 rhizopods 的制备工作和统计工作分开。Tolonen(1966 a)对此介绍了一个简单的方法。

蛋白石植物岩(Opal phytolith),在植物细胞中硅的显微粒,特别是禾草类的这类东西对历史生态学也有些用途。在花粉制备未经氢氟酸处理时偶然可以找到,而它们在适宜的情况下是大量存在的,例如埋藏的草原土壤,近来 Rovner(1971)评述了它们的潜在用途。虽然还没有足够的差别来鉴定到种,但他们似乎可以有效地指示从森林到草原的变化。这对于缺乏孢粉沉积的区域是大有裨益的。在追踪某些特殊的种或属的出现上,人们还可预见它们的用途。Rovner(1971)画了一些标准种的图形,介绍了许多参考文献和一种制备技术,同时,Dimbleby(1967)有二幅图版说明 30 种禾草类的植物岩。

4.2 植物大化石

当人们考虑到沉积物中有差别很大的不同植物的不同部分,大化石的有意义的分析鉴定和再造工作前景就不乐观了。这样可部分地解释为什么当花粉分析一旦建立时大化石的研究就“衰落”了。但是目前已开始复甦(Watts 和 Winter, 1966; H. H. Birks, 1973)。许多花粉分析研究工作对沉积物中的大化石也很注意,一般比较注意种子,如 *Menyanthes* 或 *Potamogeton* 因为一般对花粉工作来说比较剖面分析的结果是用图表来表示的。但在有些情况下,大化石可解决一场争论。在 Ballybetagh(Jessen 和 Farrington 1938)和在英国湖区中(Pennington, 1947)所发现的大化石是这类证据的最早的例子,在晚

Devensian 间冰时期侵入这些区域的是桦树,而不是矮桦(*Betula nana*) (Allerød, Zone II, of Godwin, 1956)。

花粉颗粒的大小都在同一范围——15—200 微米,大部分为 25—40 微米,而大化石的残体可从整个树干、叶片、全株苔藓植物到小于一毫米的种子。采集、制备和鉴定的程序不同,虽然有一些一般的规则还可遵循。按照对小化石同样方式来采集;混淆的可能性虽然似乎不大,但是需小心进行,宁可剖面中取样品而避免从钻中取样。这方法特别适用于那些正在研究的泥炭层——雨生泥炭地层反映了植物群落的组合情况,这种组合是在老沼泽面上发展起来的,层次是如此复杂,以致使得钻孔材料混杂和导致错误(2.12 节)。

大化石研究的一般情况已由 G. A. Dickson(1970)的文章介绍了。最近出版新书有 J. H. Dickson(1973)写的“更新世苔藓”,对于所有想搞这种研究的人来说是必读的。Dimbleby(1967)从考古的观点概括了这一领域的工作,Godwin(1956)著作仍不失为一本最适用的教科书。下面简要的技术说明大量采用了上述资料。

4.2.1 残余的木头

在挖掘泥炭时,挖出的大松树桩,如果附有树皮、松针和松果存在泥炭周围,那么鉴定出来是没有问题的,但是从泥炭样品中立刻鉴定木质碎片则需小心。不管 Godwin(1956)和 Dickson(1970)的苛求,仍然可用下法鉴定出残余木头;即沿木头的横切面、径切面和弦切面的部位切片,用显微镜鉴定这是唯一可靠的方法,而树皮的特征也常引起误差(例如桦木,榛子和桤木的树皮就很相似),有经验的观察者才能区别。

对泥炭沉积中的软的和潮湿的木头用手工剥离是一种快速和简单的方法(只要不是太柔软时,含水蜡镶嵌是最好的办法)。同时,可用树胶三氯乙醛来固定切片,次氯酸盐漂白可用来清洁切片。木炭和老的干木头是比较困难的,甚至是专家的工作。Dimbleby(1967,第8章)是讨论这一技术的最好著作,并且包括了33张优秀的木炭显微照片。参考切片的收集,一些参考书籍,象 Jane 的“木材的结构”(1956)以及 Brazier 和 Franklin(1961)的附有图和检索表的阔叶树材的显微结构都是必需的。Clifford 的木材化石检索表和 Godwin(1956)书中的活页也是经常有用的,其中专门介绍了大量可能保存下来的特点。对腐烂木头制备材料以供显微研究的详细方法,以上作者均未提及,而在 Wilcox(1964)一书中介绍。虽然主要是为研究病木的。此书也涉及一些实际操作,如旋转或滑走式切片机的用法,以及历史生态学者对木质残余物染色的各种方法,对于所有从事这项研究的人必须注意一件事,和种子、果实与大多数苔藓残体不同,木质碎片变化是很大的。它们可以是根枝或主茎的碎片,并且可能生长很慢或者生长畸形,以致不易去和“理想的”标准切片和显微照片比较。正如 Dimbleby(1967)说的:“……这一工作可不是没有经验的人能做得了的”。

4.2.2 种子和果实

这又是一门专门的研究,但是比研究木材就可靠多了,因为玻璃瓶中现代种子可以和几千年的化石种子对比,只是由于成熟程度等等情况不同而有一些形态的变化。

尽可能的话,淤泥、泥炭或粘土样品都应在筛子上或不同孔径的一套筛子上用水冲

洗。材料用手小心地搅拌或者用不同类型的喷壶头加在水龙头上也可以搅拌样品。用盐酸或硝酸,或氢氧化钠处理,适当地稀释,也许要把材料搞碎(Dickson 1970),但是为了简单起见,先加水,用氢氧化钠使植物残体变软和变黑,稀硝酸比氢氧化钠好得多,它使植物残体更清洁和更硬一些,而气泡逸出使一些种子和果实浮到容器的上部(Godwin 1956)。筛子的孔径根据分析材料可采用各种尺寸;但最细的种子也不能漏下去,125—150微米,大小的筛子可以不漏掉所有要鉴定的材料。但也有粗大的物质(如大部分的泥炭),象这样最小的筛孔将很快的被堵住,而较粗眼的筛子,如250甚至500微米孔径的可用于比150微米大量的材料,这样实验的材料将分两部分作。

用装有从放大8到80倍左右的立体显微镜(最好立体仪器后面罩有反光镜)。然后将材料放在浅槽中鉴定,已鉴定残体用黑貂毛刷取出,用剃刀将绝大部分毛发去掉。不同的类型分别放在调色盘的格子里,并且在干的、湿的,或在潮湿的滤纸上干燥的状态下鉴定(West,1968,附录1; Dickson, 1970)。

在鉴定果实和种子方面依靠的是有经验和参考标本。有过一些图幅和短文,都可在 Dickson(1970)中找到,这本书讨论了一些化石的种,指出其主要的鉴定特征。这些图中最好的是Katz等(1965)关于苏联第四纪种子和果实的,其中有约1000种插图,可惜已经绝版,而且只有俄文本。相类似的还有Beijerinck(1947)的图,是荷兰文说明和检索表, Berstech (1941)的检索表用德文写的,这些书籍对初学者来说却是并非容易的入门书。北美的工作有Martim和Barkley的种子鉴定手册(Seed Identification Manual, 1961)包括600种的824幅图,然而它只讨论了活的种子,而化石的特征在很多情况下并不一样。Berppren(1969)关于莎草科的图是一个典范说明这类图应该采取的方式,它附有属和种的检索表,详尽的说明、图幅以及模式种的索引,甚至有一幅彩色图。还准备出版以后各卷以到达2000种,一旦完成,毫无疑问将是这一方面的标准著作。使用扫描电子显微镜也可以帮助我们对于困难属的鉴定就象Huckerby等(1972)关于杜鹃科种子化石的著作一样。

4.2.3 苔藓

在这里要单独讨论苔藓残体,因为它们的历史生态学家要处理的沉积物中相当重要的成分,而且的确,在雨生泥炭中它们占大部分,最近, J. H. Dickson的“更新世苔藓(1973)”给予充分的重视。在此将提出最重要的和可以识别的泥炭藓科(Sphagnaceae); Dickson详述了其他种和属。

对泥炭藓属(*Sphagnum*)多年曾给予特别的重视,反映在许多有关泥炭生长和沉积学以及其与气候变化的关系的论文中。从Osvald的Komosse泥炭的经典研究(1923),他早期关于不列颠的工作(1949),以及Godwin和Conway(1939)关于威尔士的Tregaron沼泽的工作以来, Kulezynski(1949)、Godwin(1954)、Ralcliffe和Walker(1958)、Walker和Walker(1961)、Overbeck(1963)、Hansen(1966)以及Gasparic(1969)对这一属的历史生态学进行了推测。其中一个种*Sphagnum imbricatum*是象Dickson(1973)所说的,“……比起本书其他种来说,英国生态学家讨论最多”。从前在沼泽中是很多的,形成泥炭的大部分,但现在局限于英国北部和西部,在整个西北欧也有类似的分布。原因很多,大体可分为人类引起的消失,例如燃烧、放牧、排水(Pigott和Pigott, 1963)以及气候的或营养的(Godwin, 1956; Morrison 1959; Green, 1968)。

泥炭藓科历史生态学的调查技术是比较简单的。Walker 和 Walker (1961) 从泥炭的整段标本上切 1 厘米厚的薄片将其浸泡在 20 cc 的 2% 氢氧化钠中, 用 150 微米孔径的筛子筛选。滤液中有孢粉分析标本并找出与泥炭沉积层的相关关系。留在筛上的物质是采用 5 级分类估计, 而对于各种 *Sphagnum* 种采用深度/频率的组成图来表示。在泥炭生长和 *Sphagnum* 演替, 以及沼泽水文与气候的关系的一些问题研究中, 作者分别制备了花粉与大化石样品, 大约 10 cc 的泥炭用水通过 250 微米的筛子洗入 3 毫升的烧杯中。通过筛子进入烧杯的泥炭残余, 倒入标准体积的水, 估计出不能鉴定的有机物质的总量(5 级分类), 而在筛上的残余物, 几乎大部分是纯净的 *Sphagnum* 的茎叶倾入长方形水槽中, 估计 *Sphagnum* 的总量及其他种的枝和叶。随机选取苔藓的叶根, 用树胶三氯乙醛固定而进行鉴定种或种组并进行估算。*Inophloe* 亚属的 *Cymbifolium sphagna* 是很易识别的, 可以根据 *S. imbricatum* 的毛根等特征而鉴定种, 其他 *Litophlah* 亚系是较难鉴定的。Fearnside(1938)、Proctor(1955)、Duncan(1967)、Göster 和 Pankow (1968) 的检索表和参考资料是有帮助的。但象这样描述的特征, 如: “经常带有红色”, 在鉴定全部褐色的化石时是不能用的! 除非有保存很好的茎和枝的标本, 种的确定是不可靠的, 而只能分成亚层如 *Acutifolia*。

最后得出的图(如图 2.10)都比较详细地反映出泥炭的历史生态, 即大约在公元 1270 年在干燥的沼泽表面的 *Sphagnum imbricatum* 种突然消失。并且在公元 1445 年前后, 被贫瘠土层中的 *S. papillosum* 和 *S. cuspidatum* 代替。其后, *S. magellanicum* 增多, 其他几个剖面也表现了同一过程。

显然, 在对苔藓残余物作半定量分析时, 我们宁可采用这样的剖面; 其地层的对比可以被估计的, 这样对说明泥炭的历史生态学具有重大价值。Gasparie(1969, 1972)、Rybniček(1973)、Slewart 和 Durno(1969) 以及 Tolonen(1971) 的研究都是很好的实例。在这些研究中, 泥炭形成群落的这一特殊种类为历史生态学的研究提供最好的条件。它们不象许多其他陆生植物群落那样, 分解很快, 而且没有这样直接的材料。在湖沼学的研究也有同样的有利条件(Watts 和 Winter, 1966), 虽然掺杂了一些外源物质, 正如 Birks(1970) 的详细工作所反映出的。后一文章谈到一个苔藓层被冲入到湖泊中, 它的特征可与现代苔藓群落比较。

4.2.4 其他植物大化石

树叶、树干、芽、根茎和花芽的鳞片, 甚至植物的毛都可以鉴定到种的水平, 它们在确定某种植物种类的存在最有价值, 但是由于明显的原因在数量研究上它们不是很重要的。Dickson(1970) 提供了大量有关识别树叶的实例, 其中最著名的例子大概要算北极柳和桦以及芦苇泥炭中的芦苇 (*Phragmites*) 的枝叶了。羊胡子草 (*Eriophorum vaginatum*) 种可以很容易地通过叶基的变黑、新月形纺锤体, 在野外即可鉴定。以及芝菜 (*Scheuchzeria palustris*) 的纸状走茎一般在 Somerset 泥炭的冲积层中可以发现(plate XII, Godwin 1956)。Dickson(1970) 还提到蕨类植物的大孢子和子囊器, 以及轮藻科的卵孢子囊 (oosporangia) 毫无疑问, 还可以找到和鉴定一些种的其他器官 (例如 Stewart 和 Follet, 1966 对植物角质层类型的鉴定工作)。

栽培植物和野生植物的特殊领域各有其独特问题。例如, 谷类作物最早类型的消减,

博尔顿

沼泽苔藓
位置-HI
整段标本-9
大化石残体

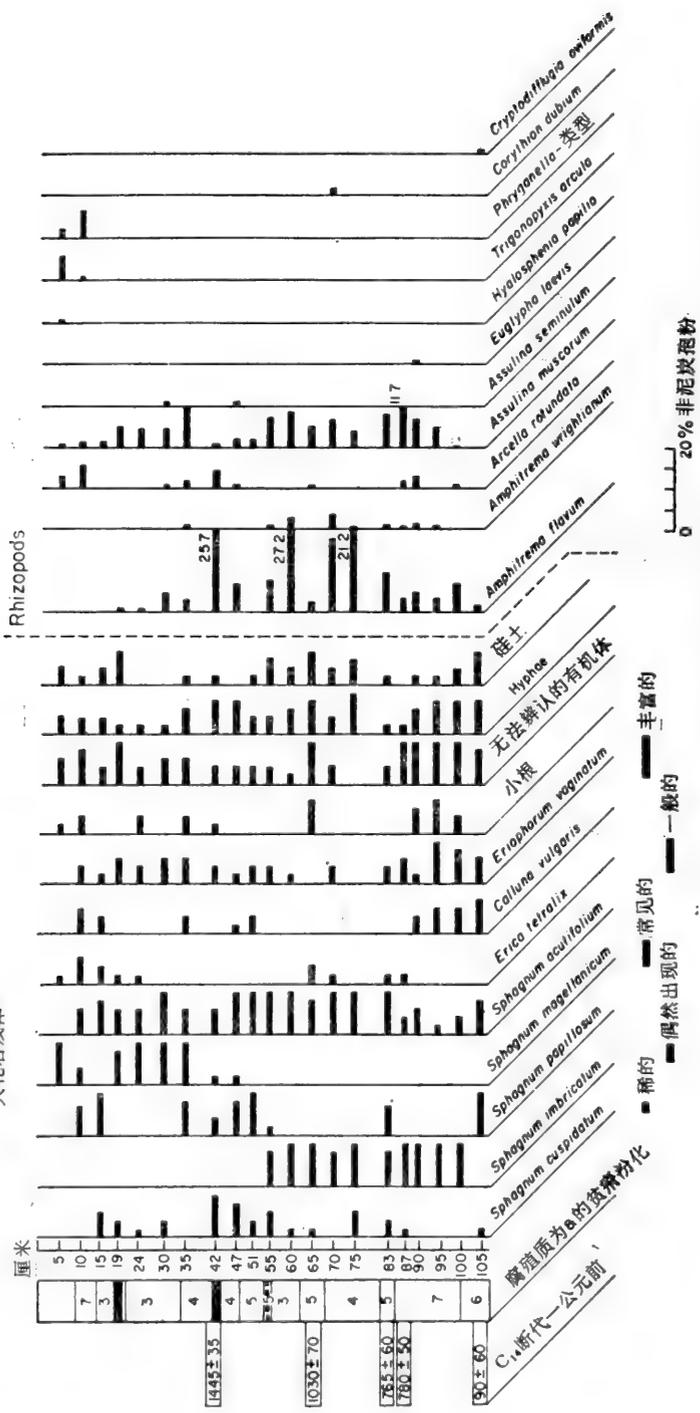


图 2.10 高位沼泽泥炭的大化石图

以及在泥墙和陶器上保存的痕迹来鉴定谷类等等。在 Brothwell 和 Higgs (1969) 一书中有两篇文章评述这一问题,其中 Helbak 的论文是欧洲这项工作的先行者, Yarnell 的论文是关于美洲的,而 Renfren 的古民族生态学 [Paleoethnobotany (1973)] 是这一问题的专著。

4.3 花粉与孢子

4.3.1 引言

在历史生态学的整个领域中,没有比花粉和孢子分析更引人注目的“学术炸弹”了。Godwin 的 1934 年的文章,“花粉分析——这一方法的问题和潜力”,以及随后 Von post 和 Erdtman 的数量工作点燃了导火线。从 1950 年以来这一技术的著作几乎以指数曲线发表。这里不打算总结这课题的基本方法——花粉的提取、分散、保存和描述等等,——有关的大量文献读者可以参考以下一些主要著作。

关于花粉分离制作和分散的实验工作,很多学者都有讨论。其中著名的有 Andersen (1967)、Davis (1963)、Faegri (1966)、O'Sullivan (1973 a)、Ritchie 和 Lichti-Federovich (1967) 和 Tauber (1965, 1967 a, b, 1970) 等。更新的材料是 1972 年在剑桥举行的两次第四纪植被生态学讨论会专门讨论花粉的分离、沉积和描述问题 (Birks 和 West 1973)。涉及到温带、热带、极地及高山地区,并引用了几乎这一方面所有的现代文献;由于它的重要性在本章的最后部分全部引入参考文献 (Janssen, Peck, Crowder 和 Guddy, Pennington, Andersen, Berglund, Fleuley, Birks 等, 1973 年论文)。

关于 Oldfield (1970) 写的一本理论性较强的著作,“花粉分析为基础的花粉生态学”的短评中提到了一些值得进一步研究的领域。这些包括花粉来源、强度和撒布距离之间的关系,以及这样的论断,在这种显著的生境和特征区,花粉分析表示典型代表的植物群落可以吻合的地区,无论现代和古代花粉的研究都特别有价值。这一方面的例子已有介绍,还可加上 O'Sullivan (1973 b) 和 Tinsley 以及 Smith (1974) 的最新的最新研究。

为了解释古代花粉谱的某些特征,将现代的和过去的花粉沉积联系起来研究是越来越普遍了。Salmi (1962) 和 Turner (1970) 是将其用于抬升沼泽地的良好范例, Birk (1970) 有关沉积花粉谱的研究是湖相沉积的突出优秀作品。O'Sullivan (1973 b) 利用地面样品来说明粗腐殖质层次的花粉图解,同时, Webb (1973) 对美国密执安州的现代的和过去沉积的花粉进行比较研究。还有前面已介绍的 Rybnickova 和 Rynicek (1971) 的“从不同沉积物的花粉谱中确定和淘汰局部成分”的著作。

4.3.2 实验室设备

花粉分析是需要一定投资的技术,甚至一般简单的实验室都必须装备有通风橱、离心机、电热板、低倍和高倍的双目显微镜,除此之外,还必须有常用的玻璃器皿,分散剂等等。多半首先需要购买的还是 Faegri 的非常流畅的并且材料丰富的“花粉分析教程”(第三版 1975; 第二版, Faegri 和 Iversen 1964) 这是一本标准的课本,包括花粉制备的各个方面,还有对于花粉类型的可靠检索表,当然也正如所有的检索表一样,不能只用一本就够了。Brown (1960) 也是一本必需的手册,其中包括了对砾岩、页岩、石油、柏油和其他一些混入

的沉积物的处理方法。Kummel 和 Raup 的“古生物技术手册”(1965),第Ⅲ部分内有14页孢粉学技术,包括如专门将花粉切成极薄片的技术。Erdtman 的“孢粉学手册”(1969)是一本有趣的纲要,当样品浸泡入试管时,是用水泡,而不是采用简单的教课书中的方法。

在花粉分析实验室中,所有的物理设备的最主要点是它必须保持洁净。通风橱必须能够排除重液的烟雾(如 toluene, acetone)和经得住有毒的化学药品如氢氟酸的腐蚀。为了制备花粉采用的试管需耐盐酸、硫酸、氟化氢和多种有机溶剂,聚丙烯(polypropylene)试管是比玻璃试管安全和耐用,但需定期更新。筛子是采用非常小孔的(也就是“Eudec-olls”),并且在每次样品制备以前对于损坏情况必须检查。

离心机不需要特别高速的,但速度必须每分钟超过 2500 转,同时能交换使用 15 毫升或 50 毫升的离心管,以便适应不同体积的需要。

显微镜是主要设备,要尽可能买最好的。基本要求是对常规计数需放大 300 倍,而最大时需放大 1000 倍——这是一种高倍的油浸镜头[孔径(n. a.)通常是 1.30]。要用尽可能好的颜色校正,平复消色差(Planapochromat)是令人满意的。载物台必须能控制薄片上下左右移动和找寻孢粉。虽然相差设备对于进一步工作是重要的,如果在开始时不能够置备,那么以后再增加相差设备和显微照像设备。

4.3.3 花粉和孢子的提取

一个孢粉学家简直没有什么事情能比通过他的显微镜看到化石花粉的非常洁净的悬浮液更为高兴。所有的植物碎屑和硅藻土可以通过各种方法,如团块分离、分散、化学溶液和密度分离等等方法使其除尽。非常细的溶于一种化学溶剂中的沉积物是能够接近这种理想的,如在氢氧化钾中的泥炭泥(dy)(凝胶状的泥)溶液,或者植物碎屑比较新鲜,可以筛出来或溶解,如一种稍腐植化的泥炭藓泥炭。显然人们使用书本中的任何技术也无法从粗的、非均质的沉积物中制备这样的材料。孢粉的差异性损坏和崩解是众人皆知的(Hafslen, 1960; Praglowski 1970)。

下面的制备程序是建立在多种来源的基础上,并且一般应用于英国的实验室,一种有效的和安全的程序。这种方法最主要是用于福兰德瑞(Flandrian)泥炭和淤泥;对于土壤可参考 Dimpleby(1957,1961),对黄土可参考 Frenzel(1964),而对于其他沉积物可参考 Gary(1965)和其他前述书籍。

实验方法的基础是首先用盐酸除去碳酸盐,用氢氧化钠或氢氧化钾取代腐殖质胶体。纤维杂质采用醋酸水解和醋酸酐和硫酸处理(通常称为醋酸水解,参见 Gray 1965, p544),对石英颗粒采用氢氟酸处理,通常不需要进行木质素的氧化处理。(泥炭藓不含木质素,而如果必须采用时要非常小心(Eaegri 和 Iversen 1964)。然后,花粉的残余物经过染色和在介质如塑胶或甘油中固定。

花粉制备程序

碳酸盐和腐植质化合物的溶液

1. 用一干净的刮刀切下一小块沉积物(约 1/2 立方厘米),放在 15 毫升的试管中,倒

入稀盐酸达 2/3。

2. 若有反应的话反应结束后放在每分钟 3000 转的离心机中 3—4 分钟,并保证试管中维持在同一的液面,在全部操作过程中均须如此。

3. 小心地轻轻倒出,也就是从试管中倒出液体,保留残渣。操作要非常平稳。

4. 加入少量 10% 的 KOH 于试管中,用旋转搅拌器混合* KOH 留在试管上面 3 厘米处,在通风橱中放入水浴锅中约 10 分钟。

5. 用少量蒸馏水冲洗残渣,通过细筛(180 微米)洗入 400 毫升的烧杯中。用蒸馏水洗净试管,同时用刚才装满的烧杯再倒入试管。注意:要特别小心谨慎保持筛子、烧杯和试管的号码。

6. 离心处理,然后轻轻倒出。

7. 加蒸馏水,离心处理并倒出。重复再做,直到褐色的锈斑从上面产生的液体中除掉。

氢氟酸处理

注意:氢氟酸的烧伤使人很痛而且治好缓慢。必须戴橡皮手套并保护脸。对于含大量有机质的样品不需要用氢氟酸处理。

a) 加少量蒸馏水到残渣中并充分混合。

b) 加大约 2 英寸厚的氢氟酸到试管中,同时放在水浴锅中约 30 分钟(时间视石英含量而定;对于大量石英样品需重复进行 a 和 b 步骤)。

c) 离心后;小心地倒入收集的容器中,或者倒入一个耐酸的皿中,放在通风橱中,在加水的时候和以后会长时间沸腾。

d) 加稀盐酸,混合,并放入水浴锅中约 3—5 分钟,HCl 不用煮开(这样会去掉二氧化硅胶体,等等)。

e) 离心并倒出。

f) 加蒸馏水并搅拌,离心并倒出,重复。

乙酰化作用(acetylation)

8. 加冰醋酸,搅拌并离心。用水流动时和以后,倒入通风橱的槽中。

9. 重复进行。

10. 制作醋酸分解混合液,要新鲜的,要在用时刚刚配好才行。用量筒混合醋酸酐和浓硫酸以 9:1 的体积比例。首先用自动吸管量出醋酸酐,然后小心地加入 1 毫升浓硫酸搅拌以防止发热。经试管中加入混合液之前要再搅拌。

11. 加入少量的醋酸酐于样品中,混合并倒入试管达 1/2 或 2/3。

12. 放入水浴锅中 1—3 分钟,(如果醋酸水解作用是比较几分钟还长的话,就需要搅拌。试管中不能放玻璃棒,因为蒸气凝结在玻璃棒上,并沿棒下流混合液,产生强烈的反

* 旋转搅拌器(Vortex mixers)比用玻璃棍搅拌为佳,同时可排除相互污染。

应。

13. 离心和倒入有水的大烧杯中,放在通风橱中。
14. 加冰醋酸,混合,离心和倒出。
15. 加蒸馏水,混合,离心和倒出。

固定—(A)—在甘油中

16. 加蒸馏水,滴 1—2 滴番红花色素,(红色)并混合。离心和倒出。
17. 从试管中小心地排掉多余的水。
18. 加 3 至 6 滴甘油并充分与残渣混合,用量取决于残渣的多少,以及花粉在残渣中量的多少。放于载玻片上——宁可用少量的甘油,而不要太多。
19. 用很小的刮刀或棒,将一滴材料放于干净的玻璃片上,再用盖玻片(18×18 毫米 № 0)盖上。
当花粉数量适当时,每个样品最多看 3—4 个薄片。
注明样本的号码,深度和位置等等。
20. 用指甲油封上盖薄片——注意不要沾上花粉材料到指甲油刷上。

固定—(B)—在硅胶中

这是一个费时较长的而且更精细的技术,最重要的优点是它不会过分改变花粉颗粒的大小。并且硅胶是很不容易挥发的。薄片不容易变干,也就不需要封住。

16. 加蒸馏水混合,离心并倒出。
17. 加 1 毫升蒸馏水,5 毫升 100% 乙醇和 1—2 滴番红花,混合,带乙醇的在最上面,离心并倒出。
18. 加 100% 乙醇,混合,离心并倒出。
19. 加大约 1 毫升二甲苯,并由试管中倒入编号的小玻璃瓶中。从试管中重复冲洗所有的花粉,剩在玻璃瓶中的小心地倒出。用聚乙·烯盖住上口。
20. 小心地用镊子将玻璃瓶放入离心机中,用大约每分钟 750 转的速度离心 10 分钟。
21. 小心地在通风橱中将玻璃管中的倒入烧杯中。
22. 加硅流体(silicone fluid)(粘滞度 Ms 200/2000 cs), 2 到 6 滴,并充分混合,否则花粉颗粒合成块地粘在一起。
23. 可使过剩的二甲苯挥发——放在通风橱中 24 小时。
24. 制作薄片,加上盖玻片,在角上加四滴指甲油——不需要封住。

加塑胶液体材料制备的玻璃并和薄片可以保持数年而不变质。这一方法比甘油,甘油冻胶和其他固定介质要优越得多,再加上花粉颗粒外形不变,这个重要优点使塑胶远比其他方法为佳(这种塑胶可以从 Hopkin 和 Williams 公司, Chadwell Heath, Essex 县购买)(Andersen, 1965)。Praglowski(1970)观察到花粉粒的变形似乎原因不在塑胶液体处理上,而是所用化石的花粉粒太小。在甘油冻胶中时间长了花粉粒总是最后膨胀,而很快

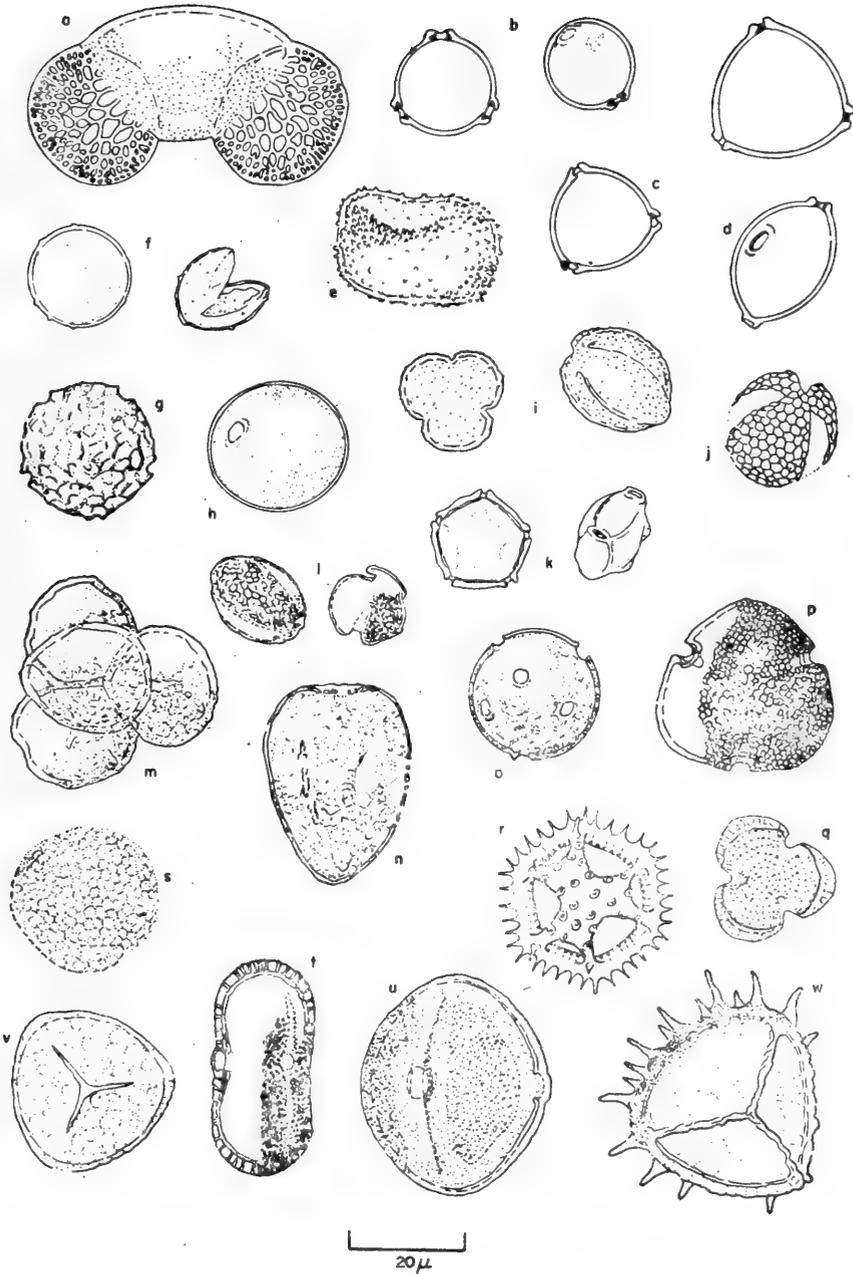


图 2.11 Malham 沉积中出现的孢子与花粉的一些特征

a. *Pinus* (松属); b. *Betula pubescens* 或 *B. verrucosa* (疣桦); c. *Betula nana* (矮北极桦) 一类型(矮桦); d. *Corylus* (榛子); e. *Taxus* (水松); f. *Juniperus* (杜松); g. *Ulmus* (榆); h. Gramineae (禾本科); i. *Quercus* (橡树); j. *Fraxinus* (柞); k. *Alnus* (赤杨); l. *Salix* (柳); m. Ericaceae (杜鹃花科, 石南属); n. Cyperaceae (莎草科, 棉花草和菅茅); o. *Plantago lanceolata* (长叶车前); p. *Tilia Cordata* (菩提树); q. *Artemisia* (艾草); r. 复合的, *Taraxacum* (蒲公英) 类型; s. *Potamogeton* (眼子菜); t. Umbelliferae (伞形科), *Heracleum* (白芷) 类型 (hogweed); u. *Helianthemum* (岩蔷薇); v. *Sphagnum* (泥炭藓) 孢子; w. *Selaginella selaginoides* (卷柏) 小孢子; (选自 Pigott 和 Pigott 1959) 注意: 矮北极桦 (*Betula nana*) 花粉的识别特征参看 Birks (1968)

地失去它的特征(Fægri 1975),所以尽管这个方法迅速而且容易,我们不推荐也没包含在本书中(West, 1968.附录 1)。关于染色,必须注意的是过度染色,将严重地妨碍鉴定;在严重的情况下,颗粒几乎成了完全不透明的。像 Brown(1960)一样,著者在试验了大量染色的方法之后,总结出显然用藏红花 O 和碱性品红(fuchsin)最妥,俾斯麦褐色素具有不过度染色的优点。有些工作者几乎完全不用染色方法;采用醋酸分解的轻微“燃烧”的效果,以及塑胶液体的良好衬托被认为是足够了。

4.3.4 绝对孢粉分析

前面孢粉材料的制备方法是为孢粉的相对统计的;即将一种分类单位中的颗粒表示为全部颗粒的百分比,在以下各节讨论中大部分是基于这种方法的。在一个不稳定的植被中,绝对花粉数量(例如在晚冰期的冻原地带树木的移入),或者种的盖覆(例如在冰后期时赤杨迁入泥沼)发生巨大变化,其他分类单位也将发生相对变化。如果沉积物的堆积速率和花粉的密集程度结合起来,那么花粉汇集的绝对量是可以计算的(颗粒 cm^{-2} 年⁻¹)。West(1971)用一个很好的图式说明这一点。

绝对和相对图式之间的差异可以在时代上很显著,正如 Daris(1967,1969)以及 Pennington 和 Bonny(1970)的早和晚冰后期的图式,所表示的,以及 Maher(1972)的更新的图式,其中把全部花粉资料都给以可靠的时代。最后,这篇文章是很好的,详细介绍了所采用的各种方法。引人注目的是,从以上各文中的相对和绝对图式的比较,可以得出结论,晚冰期是一个有最大变化的时期,一旦植被“稳定”下来,其变化是同一的规模。Simis(1973)在东英吉利的榆树衰落的研究也或多或少地得出了同一结论。考虑到样本制备和计算的工作量特别大,似乎相对花粉分析仍是常用的技术,而绝对分析仅用于特殊重要的问题和地点。

所应包括的程序,要详尽地描述起来是太长太复杂了,但是他们决定计算样品已知体积中的化石颗粒的数量,而与已知“外来”花粉的数量相比较;或者计算一定数量样品液体中的所有颗粒的数目。目前这方面已有很多论文,但是全部都已引用在 Peck(1974)的比较性研究著作中,这对于任何打算从事这一工作的人都是需要参阅的。

可能还要提一提花粉浓度的半定量分析,这是更为简单的方法。如果沉积物的体积是已知的,同量的最后残留物涂在玻片上,那么按照 Conway(1947)和 Chapman(1964)的公式,植物花粉频率(植物花粉频率 = $1000/N$ 。找到 150 粒花粉后计算的花粉数目)是可以计算的。当然,这也表达了树木花粉汇集率和积累率之间的相互关系。但是,这是一个有效的指标,并且容易达到的。

4.3.5 鉴定和统计

常见的和基本的花粉类型是容易在几个小时之内学会的,在有合适指导和参考图版,显微照片和检索表时,最重要的是有参考薄片时,工作更易进行。像一些较困难的花粉类型出现时,我们必须记住花粉颗粒的大多数鉴定是不易达到种的水平。许多花粉可以鉴定到属,而绝大多数只能到科。Andrew(1970)曾描述本门艺术的现况,他提供了一个可供鉴定的分类单位表,以及有价值的参考文献。最有价值的孢粉图册之一是 Erdtman等(1961)及其姊妹篇 Erdtman等(1963)。Godwin(1956),Dimbleby(1967)和Beug(1961,1971)报道

了有用的显微照片,Beug(1961)介绍了禾本科的花粉颗粒,其中有一部分虽然经 Andersen 和 Bertelsen(1972)用扫描电子显微镜专门研究也不能认识 Oldfield (1959) 关于欧石南科以及三篇对英国椴的专著中的花粉 (Andrew 1971; Chambers 和 Godwin, 1971; Mitter, 1971)。其中有一些扫描电子显微镜照片。

好的花粉素描图也是非常有用的;它们反映出花粉的形状和主要特征,的确有时比像片还要好。Erdtman(1943)是一个优秀的例子,尤其在学技术的最初阶段是非常有价值的,图 2.11 是 Pigott 和 Pigitt(1959)绘制的,包括了一些最真的图画。

在花粉制备中除已经谈到的伪足纲外,还有其他小化石混入,使部分学者感到困惑(图 2.12)。上述情况 Andrew(1970)已注意到一些,但是 Sarjeant(1969)和 Frey (1964)提出了更特别的见解。

花粉分类检索表包括 Faegri 和 Iversen (1964)的为大家所熟知的一种最初采用它是有困难的(或者 Erdtman 等 1963),但是作为检查方法是有一定价值的,同时最重要的是要学习一些术语,否则花粉学者互相交流是不可能的。禾本科、石竹科、车前科的检索表已包括在上述文章中,但是必须再一次强调一下,检索表图画和显微像片是不能代替实物的,真实的像按 Andrew(1970)的编排收集的花粉参考标本是正确鉴定必不可少的。

承布里斯托尔大学的 K. Crabtree 博士慷慨允许引用下列简表,这一检索表是成功地被初学者用于 Somerset Levels 地层的泥炭分析中(因此有大量的水生植物花粉型)。

用于英国冰后期物质的花粉检索表

- | | |
|------------------|--------------------------------|
| 1. 有气囊的单独颗粒 | 松(<i>Pinus</i>) |
| 单独颗粒 | 4 |
| 四合体 | 2 |
| 2. 表面光滑或不规则的形态 | 3 |
| 均匀长网状单孔花粉 | 宽叶香蒲(<i>Typha latifolia</i>) |
| 3. 四合体较小表面光滑 | 岩高兰属 (<i>Empetrum</i>) |
| 中等大小,表面粗糙不规则的四合体 | <i>Calluna</i> |
| 体大,圆形四合体。 | 欧石南(<i>Erica</i>) |
| 4. 孔不明显,豆形,呈椭圆形, | 蕨类(<i>Filicales</i>) |
| 三槽(三角形的) | 5 |
| 单孔明显的 | 6 |
| 多于 1 孔,或槽明显的 | 7 |
| 5. 壁光滑 | 蕨 (<i>Pteridium</i>) |
| 壁有细的云彩花纹 | 泥炭藓(<i>Sphagnum</i>) |
| 壁有粗糙大的花纹 | 紫萁属(<i>Osmunda</i>) |
| | 阴地蕨 (<i>Botrychium</i>) 等 |
| 6. 壁光滑,卵圆形 | 禾本科(<i>Gramineae</i>) |
| 明显粗糙,孔无规则, | 莎草科(<i>Cyperaceae</i>) |
| 呈三角形到椭圆形, | |

- 网状界线清楚:
- (a) 二层壁,规则的网状
 (b) 二层壁,网状呈长形的
 (c) 壁的界线一层不清楚规则形网状
7. 超过三个明显的孔
 超过三个明显的沟的
 明显的三孔的
 明显的三沟的
 表面形状不清楚,不论是沟或孔
 均不清楚
8. 4—6 孔有云彩的花纹
 7—12 孔有云彩的花纹类型
 4—7 孔壁光滑,孔有弧形突起
 4 孔表面光滑,大粒状
 5 孔壁呈长网状花纹
 12—24 孔、粒小,壁厚
 8—20 孔,颗粒大,有孔膜
 4—5 个长筒状孔,壁光滑
9. 6 沟,非常细的网状纹
 6 沟,细网状纹较大颗粒
10. 椭圆形具尖刺
 圆颗粒具有小的钝状突起
 壁厚具有刺和星或蜂状加厚
 带粗刺的大的和圆形的颗粒
11. 壁光滑(a)单孔
 (b)蛇头状孔
 (c)壁两层,颗粒小
 壁加厚(a)圆柱形
 (b)孔内陷加厚
 (c)颗粒极大,孔在角处加厚
 微粗糙的形态,壁稍薄
 (a)具明显的三角形沟孔
 (b)具短沟的 3—4 孔的小粒
 (c)如上,但沟较长
 (d)3—4 孔沟的较大颗粒
12. 表面粗糙类型。(尽是斑点)
 (a)一层壁
 (b)二层壁
 沟槽的类型
- 黑三棱属(*Sparganum*)
 水烛(*Typha angustifolium*)
 眼子菜属(*Potamogeton*)
 8
 9
 11
 12
 10
 车前(*Plantago* spp.)
 长叶车前(*Plantago lanceolata*)
 桤木属(*Alnus*)
 鹅耳枥属(*Carpinus*)
 榆(*Ulmus*)
 藜科(Ghenopodiaceae)
 石竹科(Garyophyllaceae)
 杨梅科(Myriophyllum)
 拉拉藤属(*Galium*)
 唇形科(Labiatae)
 睡莲(*Nuphar*)
 睡莲科(Nymphaeaceae)
 蒲公英(*Taraxacum*)
 菊科(Compositae)
 榛属(*Corylus*)
 桦(*Betula*)
 合叶子属(*Filipendula*)(蔷薇科)
 伞形科(Umbelliferae)
 椴(*Tilia*)
 柳叶菜属(*Epilobium*)
 山毛榉属(*Fagus*)
 酸模(*Rumex acetosa*)
 小酸模(*Rumex acetosella*)
 酸模(*Rumex* spp.)
 栎(*Quercus*)
 毛茛属(*Ranunculus*)

(a)重叠的	睡菜(<i>Menyanthes</i>)
(b)分离的	槭属(<i>Acer</i>)
网状类型	
(a)小的椭圆形颗粒	柳属(<i>Salix</i>)
(b)大的环状椭圆形。	椴属(<i>Fraxinus</i>)
(c)大粗沟	常春藤属(<i>Hedera</i>)
(d)圆形颗粒	十字花科(<i>Cruciferae</i>)
由细点组成的沟槽	
(e)表面突起的大圆形	冬青属(<i>Ilex</i>)
厚的三层壁 a)具刺的	雏菊属(<i>Bellis</i>)
	菊科(<i>Compositae</i>)
	b)无刺的,但内部垂直(径向的)加厚
	蒿属(<i>Artemisia</i>)
体积很大,具厚栅状组织和小刺	<i>Succisa</i>

在实际计算中,为了便于进一步工作,重要的是要有一个常规方法在纵横座标上对薄片计数,使得颗粒不会重复计算两次或漏计。所以,从薄片的同一角开始,沿着一条线上下左右移动,鉴定和计数遇见的所有颗粒同时在一专门记录表上记载。

薄片至少在 $1\frac{1}{2}$ 的直径视域中移动到下一个横断面,并继续计数,一直达到某一种花粉粒的预期总数为止。Brookes 和 Thomas(1967)指出过,必须十分注意薄片上花粉的非随机分布,它将为了只计算一薄片的边缘而严重地歪曲了花粉谱。为了克服这一缺点,薄片的花粉不要太多,以便能几乎计算整个薄片。当然,有时须统计 2—3 个或更多的薄片,尽管要注意代价问题,但有时还要统计 2—3 个,以至更多的薄片。数量低的花粉也许真实地反映花粉产量低,或快速堆积。另一方面它可以是由于花粉粒的损坏,这种损坏对各种花粉程度不同,必然产生虚假的花粉谱,或者由于薄片固定时过分稀释。(用塑胶、树胶再悬浮,离心并轻轻倒出就可得到正确固定剂用量)。

花粉总数必须根据具体问题决定,但必须能合于统计要求;在总计了 200 粒花粉之后,花粉百分比含量一般变化不大,但是为了非常见种结果一致,有时总量应多一些。图 2.13 中的花粉图谱是建立在 250 粒非泥沼花粉总数的基础上,这些花粉取自雨生泥炭样品中,所给的总数是 500 粒孢粉(也就是说包括泥沼花粉和孢子),但是有时候也会超过 1000 粒。更进一步的讨论可参看 Faegri 和 Iversen(1964)和 Grabtree (1968)的“统计误差”一章。总数到底应该是多少(这是计算百分比的基础)是一个长期争论的问题。英国的习惯是在 150 粒乔木花粉(AP)的基础计算非乔木花粉(NAP)和榛属花粉数目,这是建立在排除了榛属花粉的基础上的,正如 Faegri 和 Iversen (1964)所指出的(参看 84 和 134—135 页),这是 von Post 的不合理建议。随着 Wright 和 Patten(1963)“花粉总计”的论文以及他们的论据,对于计算的基础受到日益增加的重视和讨论。可参考 H. H. Birks (1970)、Hibbert 等(1971) 和 Maher(1972)这方面的文章。单用乔木花粉的百分比为基础的图对于非森林景观会造成假象——例如,冰后期或者亚近代花粉图(Sub-recent)(农业的)树木很少时,个别乔木花粉(AP)的百分比,可达 80%,而非乔木花粉就减少了。

4.3.6 结果的表达

当然一个人在选择图谱表达形式时是必须灵活的,而遗憾的是锯齿状图(黑色)变得这么普遍,至少在英国是这样。这种图形如果没有清楚的网格线表明各个数量,就很容易看错。另一方面,表示主要乔木花粉的符号和接触线的相互作用图,一般在欧洲大陆被采用,看起来是很困难的(例如 Faegri 和 Iversen 1964)。普遍的简单栓状图(图 2.13)较宜采用。当计数接近时,肉眼看来就几乎成为黑色一条,而条与条之间稍有距离,然后上面有一条线,就能一眼看清变化趋势,将早期黑条图与后来 F. A. Hibbert 在萨默塞特考古地点的花粉分析图加以比较,这一点就很清楚了(Coles 和 Hibbert, 1968; Coles 等 1970)。图解表示方式在很大程度上是一个个人喜好问题,十全十美的图形是不存在的,同一幅图在第二次和第三次重绘时总可以有所改进。

4.3.7 解释

在缺乏植物群落生态学和某些关键种的丰富知识时,解释花粉图谱是会导致错误的结论的。这一问题在温带这样经过大量工作的地区,比从热带地区制的图表更少出现。在这种情况下生态学知识的叙述要包含在教科书中,如同 Morrison(1968)在乌干达和 Kershaw(1971),在澳大利亚的工作。解释当然要考虑过去的情况,如同 Godwin(1940)在英国的工作,以及 Deevey 在美国东北部(Davis 1965)的工作。在 4.3.1 节中已提过的理论的和实验的研究,对于这些问题必然也是适用的。

花粉集中带(PAZ)的概念是近来才采用的,同时一系列的局部区域的带已经正式描述了;这些带已大部分替换了老的“Godwin 带”,然而它们无疑地将继续存在,以便易于参考。Gushing(1967)等发表一个北美的花粉集中带的概念,同时,这个方法的优越性很快地就体现出来,并对英国介绍,在那儿它们早已讨论过了。Turner 和 West(1968)以及 West(1970)提出时代带(chronozones)作为广泛的区划,并可以很容易地再进一步划分。当有可靠的断代资料时,花粉集中带是可以与这些年代带比较的。H. H. Birks(1970)在她的花粉图中,对苏格兰东北部的 Abernethy 森林建立了局部的花粉集中带,同时 Hibbert 等(1971)报告了“整个英国的弗兰德拉(Flandrian)地址中一系列报告中,第一次报告(有 G_{14} 断代的花粉集中带)将是在英国建立和确定主要花粉组合带的可靠基础。”近年来发现英国新林(New Forest)的一个地点,包括了整个弗兰德拉遗址,同样地会成为这一生态学重要区域的一个标准花粉图(Barber, 1975 b)。至于最近代花粉集中带的图谱用处就很有有限了;博尔顿沼泽苔藓(图 2.13)和其他人取自相同时期的花粉图谱,可以解释为农业和生态学的历史记录,常常由于当地的人类活动而表现很多变化以后,不能用来作为大面积地区的比较工具。取自考古遗址的花粉分析需要得到考古学家和其他有关学科专家的帮助进行非常谨慎的解释。Barber(1975 a)对于中古都市地区的分析资料提供了一个范例。

数值工具对解释有帮助的例子也不应忽视。Mosimann 的文章(1965)为大家熟知的“可供应用的一些统计方法”,其中一些例子对于我们这些不太熟悉数值分析的人是非常有用的。Westenberg(1947 ab, 1967)在花粉统计问题上也是一个权威。电子计算机也曾用于图的解释、比较和绘制工作(Gordon 和 Birks, 1972, 1974; Damblom 和 Schnmacker,

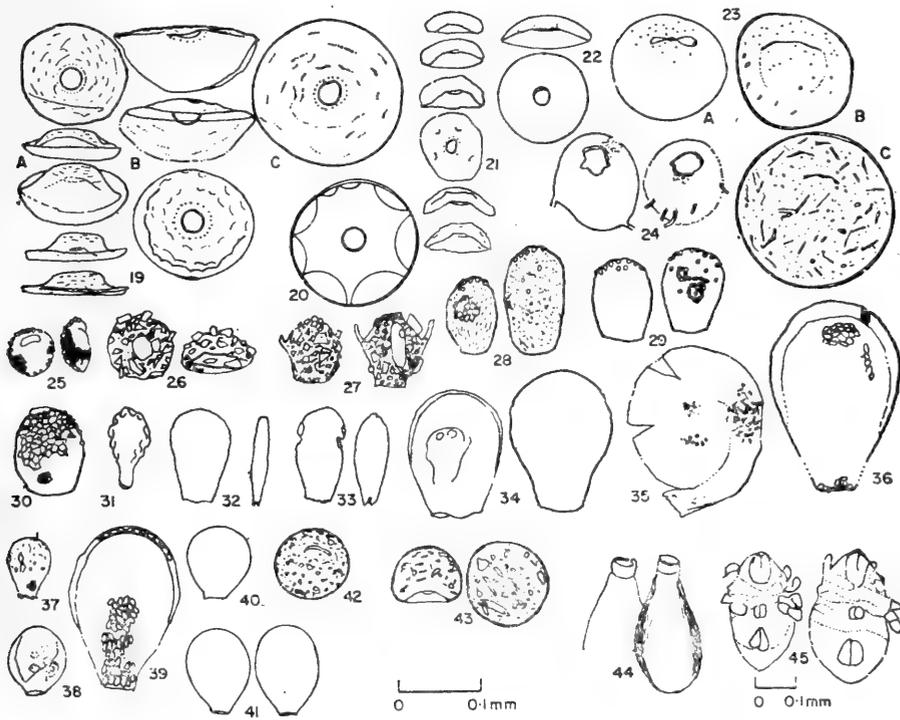
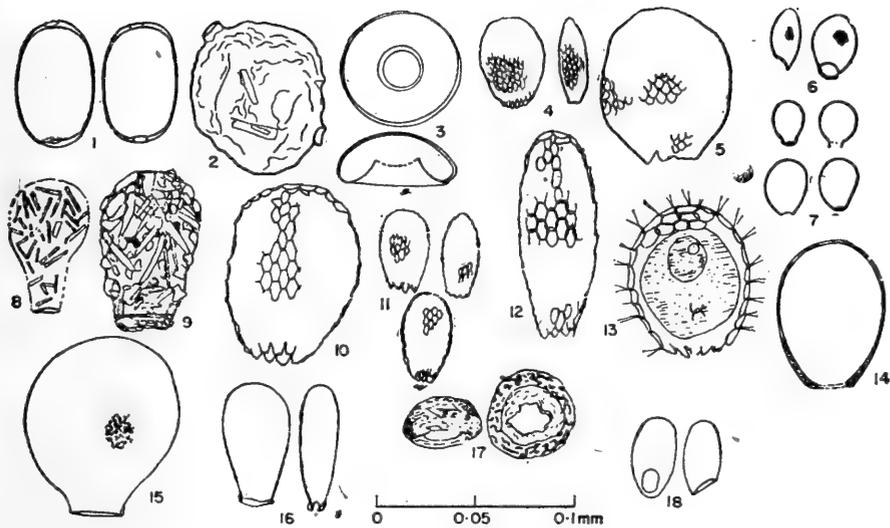


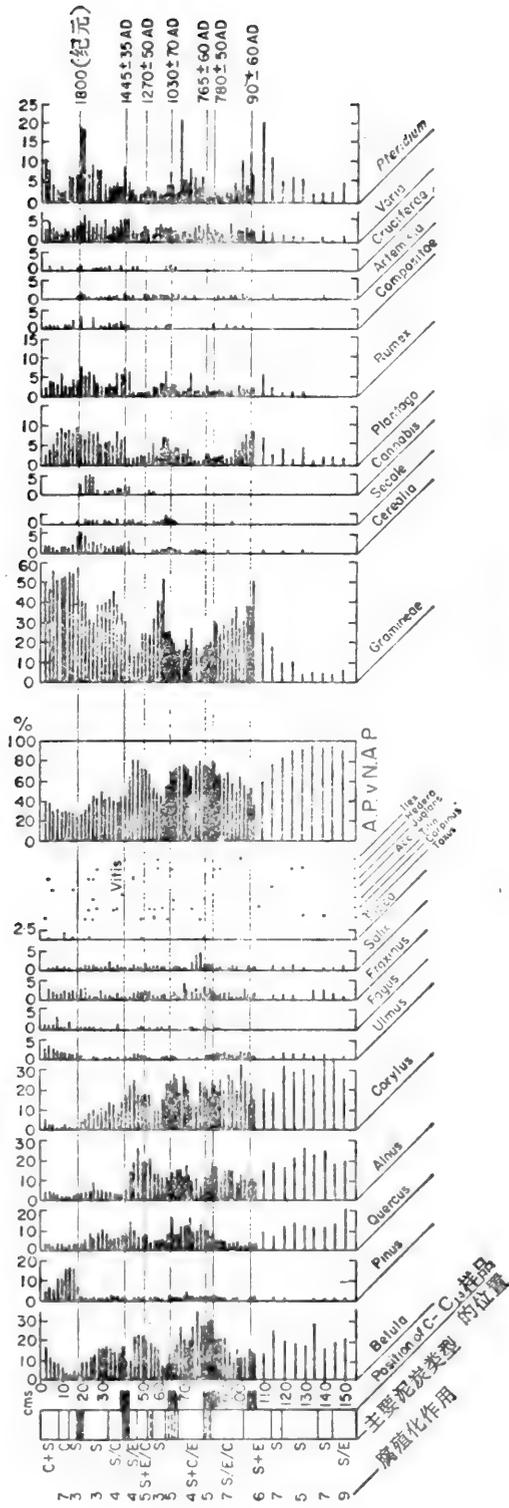
图 2.12 Varrassuo 泥炭样品中的近代和微体动物化石

1-43. 根足亚纲(Rhizopoda).有壳虫目(Testacea)

1. *Amphitrema flavum* 2. *A. Wrightianum* 3. *Arcella rotundata* var. *aplanatv* 4. *Assulina muscorum* 5. *A. Seminulum* 6. *Corythion dubium* 7. *Cryptodifflugia oviformis* 8. *Difflugia bacillifera* 9. *D. oblonga* 10. *Euglypha alveolata* 11. *E. laevis* 12. *E. sp.* 13. *E. Strigosa* 14. *Hyalosphenia subflava* 15. *Nebela parvula* 16. *N. militaris* 17. *Phryganella hemisphaerica* 18. *Trinema enchelys* 19. A-C. *Arcella* 20. *A. Canlinus* 21. *A. Cantinus* 22. *A. discoides* 23. A-D. *Bullinula indica* 24. *Centroppyxis aculeata* 25. *C. aerophila* var. *spagnicola* 26. *C. laevigata* 27. *Difflugia leidy* 28. A-B. *Heleopera petnicola* 29. *H. rosea* 30. *H. Sphagni* 31. *Hyalosphenia elegans* 32. *H. papilio* (anomal) 33. *H. ovalis* 34. *Lesquereusia spiralis* 35. *Nebela Carinata* 36. *Nebela griseola* 37. *N. tincta* 38. *N(?) tincta* 39. *N. marginata* 40. *N. parvula* 41. *N. tincta* 42. *Plagiopyxis callida* 43. A-B. *Trigonopyxis arcula* 44. *Habrolocha angusticollis* (Rotatoria: Bdelloidea) 45. Acari: Oribatei

(选自 Tolonen, 1966 a).

博尔顿沼泽苔藓
部位-HI
完整标本-9
花粉



建立在花粉总数最少为 250 粒非沼澤花粉的资料基础上的图谱，仅反映了主要花粉类型。
图 2.13 花粉图谱取自图 2.10 大化石图谱的同一整段标本

1972)。在英国建立第四纪植物化石资料的穿孔卡片资料库(Deacon, 1972)有助于过去和现代植物区系的统计分析(Birks 和 Deacon, 1973),同时启示了未来的发展。

5 文献记录

5.1 范围

由于材料类型的多样化和各种各样的时间尺度,使得本节不可避免地成为一分来源庞杂的剪贴簿。但是,总有一天,我们能够把“生态”记录追溯到早期的近东文化,因为,在那个时期就已经有了农业收获的记载。材料的类型可以是形象的——绘画、照像、地图和图表——也可以是书写的,如宗教的、田地和庄园的记录,古老的植物志以及过去几十年出版的生态学著作也都变成成为历史文献。在考虑本节下文所引用的材料时,有一个突出的问题,就是它们多少是地方性的,甚至有时完全是地方性的。必须记住,在这里很少有一般规则可以遵循,每一项研究都必须单独处理。恐怕目前最重要的一个法则就只是了解资料的线索。同时新大陆和旧大陆之间也有明显的差别。在英国,伦敦的公共档案局是最丰富的情报来源之一,再加上各县档案处和历史悠久的图书馆如牛津大学的波德莱图书馆。在某些地方,可能还有很多的财产文契,它们现在还保存在私人手中,并且常常没有收入目录。在美国、新西兰等国家,有第一批欧洲来的移民所开始的记录,但是真正地系统地收集情报,要算十九世纪土地的调查了,其中大部分是直接和生态学有关的。几乎所有的资料都可以在华盛顿特区的国家档案处和新西兰的土地调查局找到。

但是,在那些人们长期定居的地方,使用不同来源的资料(其中一些并不直接与植被有关)复原过去景观的景象将遭遇很大的困难,而编写美国在移民定居之前详细的植被分布图,相对说来就容易些。

下面介绍的是文献的一个初步指南——关于景观发育的书籍、历史生态学的文章,其中引用过这种或那种文献资料,还有一些过去的生态学研究成果,今天它们本身就成为历史了。此外,还有古老的地图和照片。

5.2 关于过去植被的手写证据

5.2.1 农业和土地利用记录

在这一类里,最突出的例子是上文说过的十九世纪的土地调查。Gordon (1966) 给出了一个很好的例子,告诉我们如何使用这些资料,他提出了俄亥俄州有十种植被类型的天然植被图。Birch(1971)和 Raukin 及 Davis (1971) 也分别使用了伊利诺斯、亚拉巴马州部分的这类查勘结果。Birch 甚至还能提出 1807—1818 调查期间的树木分布和林级图,这是在任何移民定居之前的原始植被(参阅图 2.14), Potzger 等人 (1956) 对印第安纳州调查记录作了同样的工作。

如同已经说过的那样,在不列颠的情况很不相同——要困难得多,但曲折而引人入胜。某些多产的作家是很出名的,他们的书籍对于任何个例研究都是可贵的向导。H. G. Darby 的《十一世纪英格兰地理》(1952—1967 出版,共五卷,与其他作者合著)和在同一主

题下的他的其他许多著作也是很有名的 (Darby, 1973)。其主要植被资料是 1086 年英国全国普查对尚存的林地面积, 以及其后的开垦情况 (Darby, 1950, 1951,), 这些文章都是在州的范围内较细致的工作。

W. G. Hoskins, 一位优秀的英国地方史研究人员, 在《英格兰景观的形成》一书中提供了很多史料, 在此基础上又有两卷进一步的报告 (1959, 1967) 他现在是各县景观成因丛书的编者。Maurice Beresford 在《庭园的历史》(1971) 中有关英国公园一节中很有趣地说明了一些古老的公园用地 (转引自 Petenkan, 1969)。近年关于英格兰两块荒地: 埃克斯默尔原野 (Orwin 和 Sellick, 1970) 和索默塞特原野 (Williams, 1970) —— 的专著是在这一领域中任何历史生态学者的必读作品。

林地的开垦与封育材料是深入研究历史生态学的丰富宝藏。下列文章, 选自近年一种地理期刊, 阐明了这一论点。

(a) Wightman (1968) 关于皮塞林的瓦利区公元 1300 年以来的植被类型。图 2.15 是仔细编制的一个例子。说明了不同种的分布。

(b) Bramdon (1969) 在东苏塞克斯的弗尔德中世纪开垦情况, 包括公元 1500 年以来林地的范围和年表。

(c) Williams, (1970) 关于十八和十九世纪的开垦和封育著作, 特别注意于考证资料的来源及其可靠程度。

(d) Nicholls (1972) 关于内德伍德森林的发展的著作, 特别是关于森林法 (转引自 Tubbs, 1968)。

(e) Williams (1972) 关于索默塞特的封育, 是一个资料特别详细的例子。

本论题的其他著作是 Donkin (1960) 讨论西妥教团的僧侣们在皇家森林的活动, Yates (1964) 讨论苏塞克斯、内德伍德森林、达特穆尔和希罗普郡的荒地边缘的移民问题。关于林地的管理, 下列文章是已有文献中的很好范例, Roden (1968) 关于中古世纪奇尔特恩林地的管理情况, Tubbs (1964) 关于

1700 年以前新林的矮林作业。Rackham (1974a, b) 关于不列颠栎树和一片古老森林的详细历史, 都是一些优秀的例子。

作为一种断代技术, 我们已说到孢粉证据和文献的紧密配合研究 (参阅 3.1 节), 但是它的意义远不止此。从最近两篇研究论文中我们看到一种值得提倡的趋势。一位孢粉分析家和一位历史学家合作: Tallis 和 McGuire (1972) 关于兰开斯特县部分地区林地开垦

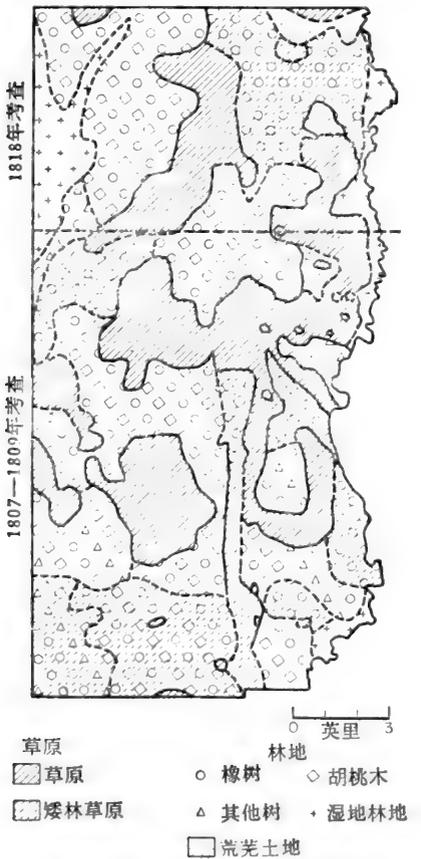


图 2.14 伊利诺斯州爱德华植被图, 十九世纪早期 (自 Birch 1971)

的文件的研究,还有 Robert 等人(1973) 关于弗尔达列土地利用的文章,令人满意地把孢粉和文献证据紧密结合在一起,在孢粉文件研究中一定要记住孢粉图谱的原则,两张图谱越接近则所证实的史事应了解越详细,但由于条件的限制,我们无法使每个历史事件都具有相应的孢粉频率的变化。在坎布里安海岸的博尔顿 Fell Moss 的孢粉图谱(图 2.13)似乎很完善地表明某些迹象具有以下的顺序:

- (a) 前罗马的大片森林景观,可追溯到大约公元 90 年。
- (b) 罗马的开垦——遗址在哈德利安的沃尔以北 5 公里。
- (c) 后罗马的衰退和森林更新,历时约 600 年左右。
- (d) 挪威入侵/中古早期的开垦——短时期。
- (e) 中古时期的衰微——边境战争和入寇。
- (f) 中古时期晚期迅速的开垦和更繁盛的农业活动。
- (g) 拿破仑战争时期,达到鼎盛的农业活动。
- (h) 再度造林,转入近代庄园管理。

这一工作的详尽报告还没见到,但从图谱中可以引出大量生态学情报,将它与另一独立来源的文件纪录相对比,结果很好,特别是在上部的 20—30 厘米(Nicholson,1777;Tate,

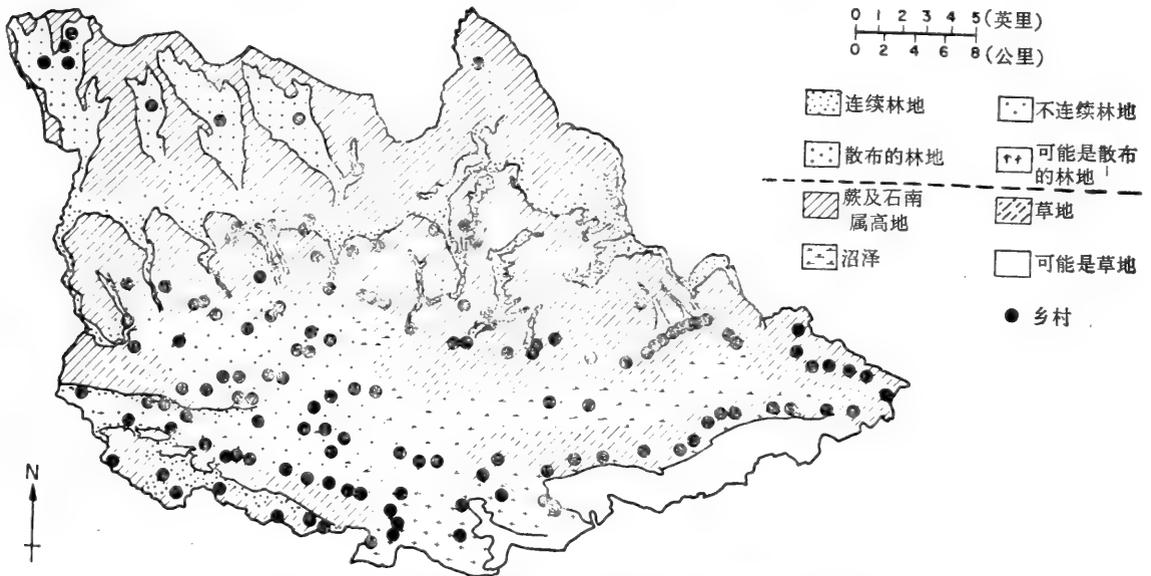


图 2.15 约公元 1300 年皮塞林瓦列的可能植被类型,图中大黑圈为中古民点,它在一定程度上指示乡村耕种对植被的影响

1943)。Oldfield(1963,1969)在南坎布里安也找到了类似的关系。我们也可以把孢粉/文件和泥炭层资料联系到气候变化(Barber,正撰写中),Brandon (1971) 给出 Sussex 天气条件与产量的关系——都启发了具有同等重要而又引人入胜的领域——来源于文献记录的近代气候变化研究(Lamb,1966;Manley,1958,1964;Ladurie,1972)。

象所有历史学研究一样,时间越近资料越多,而对于那些有志于从十八和十九世纪农业调查中寻找生态情报的人们,则自下列各篇论文可以获得史料出处。就我所知,Grigg 文章(1967)是最好的调查报告,它包括了丰富的笔记(涉及 1770—1850 期间)。Gox 和

Dittmer (1965) 讨论了十九世纪中叶什一税的文件档案 [见 Prince, 1959 什一税图, Franklin(1953)和Fussell(1964 a, b)]研究了公元 1700 年以前直到二十世纪草场的开垦。在考虑到农业的时候,我们必须记住食草动物对植物的重大影响,以及狩猎引起乡村面貌的改变。Sheal(1971)在《野兔及其历史》中表明了八千万张嘴(和牙齿)对广大面积上的植被会引起多么大的影响,Ralphe Puayne-Gallway(1886)的《野鸭圈子全书》包含了古老的诱捕场图和位置,以及荒废的日期(因此也是水生演替系列开端),但是也穿插了一些荒谬绝伦的人格化野鸭故事。

5.2.2 直接植物区系的记录

对某一特殊种类的植物的植被调查或记录都是潜在的历史文件。下节说到的 Diver 的记录与 Goode 发表和未发表的记录(Goode 1948)是同样性质的。二者都提供了 Dorset 县植物区系的详细报告,他们的手稿保存在国家研究单位——现在必然还有不少未刊行的记录一直没有得到妥善的保管,因而未能与这一情况对比。

在地方的自然历史学会刊物和旧植物志中有丰富的材料可用于追踪植物区系的变化。Wanstell(1963)介绍了不列颠地方植物志的目录。也可以用不列颠植物区系图(Perring 和 Walters 1962)和不列颠群岛植物学会的记录(或是其他国家的相应机构)来追踪某一特殊种的历史发展——Perring(1970 a,b)关于这方面研究有一个很好的介绍,后一篇文章调查了近 70 年在不列颠稀有植物的衰退。1972 年一次会议的主题是火灾在美洲西部和北部天然松林生态学中所起的作用。其中一篇(Heinselman, 1973)讨论文字记录与年轮资料,另一篇 Swain(1973)将近期历史记载与湖泊沉积联系起来,并且把记录推测至史前时期。其他一些文章所包括的资料对未来工作者都将是有用的历史情报。

不列颠群岛外来树种的记录可自 Mitchell(1974)和较老的工作 Mongredian (1870)中找到。Salisbury 的《野草及外来种》涉及了一些不列颠草本植物的历史及其分布,其中第 2 和 3 章讨论杂草的过去和现代传播,对于历史生态学者特别有用。

5.3 地图和图片记录

地图、航空照片和地面照片使得景观和植物群落的变化大为显著。古代地图和航海图的准确性已经 Carr(1962)、Harley(1972)、Harley 及 Phillips(1964)等人的评论。Devil (1969)介绍了航空照片的发展及其于考古、作物和土壤干扰等其他信息方面的应用。Harward(1973)《航空照片生态学》是近代技术的标准书籍,可以和航空判读会议会刊的论文结合起来读。

Godwin 等(1974)、Tansley(1968)和 Cyril Dives 船长回忆录(Merrett, 1971)是地面照片反映变化的三本好例子。Godwin 的照相分别拍于 1928 和 1944 年,表示了药炭鼠李(*Rhamnus frangula*)侵入 Wicken Fen 的 *Gladio-Molinietum* 群丛的过程。Tansley 以相隔 13 年的图片(原书图 123 和 124)反映大米草(*Spartina townsendii*)的迅速扩展。Piver 于二十世纪三十年代在多塞特郡南黑文半岛的工作非常详细,并且使得 1971 年可在同一地点再拍一次,它的变化,特别是树木生长的变化就清晰可见了。南黑文半岛的古地图和现代地图对比,在地文学上也有类似的变化。另一个关于不久之前美国植被状况

的好例子是 Kùchler(1964)书中的照片和地图。

标准地形图对于生态学的用途不大。林地的存在及境界的变化是很明显的情报，可是 Green 和 Pearson(1968)从 Wybunbury Moss 的“国家测绘图”查出了人类对植物群落干扰的范围。同时，正在进行中的“第二次土地利用调查”可与第一次的相比较，第一次是在二十世纪三十年代出版的，虽然也因植被图比例尺较大而受到限制。在新西兰，Johnston(1961)注意十九世纪中到末期坎特伯雷地区地图手稿中详尽的植被情况；讨论了每一项材料的正确性和数量，从而完成了一系列的 1:63360 的植被图。

为某种专门目的而准备的地图和航空照片就比一些州的机构的记录要好。Godwin 等(1974)关于维肯沼泽图和 Watt 关于 Lakeheath Warren(1962)草场中永久性围地的嵌块是这类工作的模范，剑桥大学蒐集关于 Blelham 沼泽的航空照片支持了 Oldfield(1970)关于该地区人为特征的解释。我们可以继续扩大参考文献的数量，但是观点是已经明确了：文献记录、手稿、地图和照片有助于历史生态学领域中任何研究的成就。

6 参 考 文 献

- Aitken M. J. (1970) Dating by archaeomagnetic and thermoluminescent methods. *Phil. Trans. R. Soc. A* **269**, 77—78.
- Andersen S.Th. (1960) Silicone oil as a mounting medium for pollen grains. *Danmarks geol. Unders. ser. 4*, **4**, 1. 24 pp.
- Andersen S. Th. (1965) Mounting media and mounting techniques. in B. Kummel & D. Raup (eds.), *Handbook of Paleontological Techniques*, pp. 587—598. San Francisco & London, Freeman.
- Andersen S. Th. (1967) Tree-pollen rain in a mixed deciduous forest in south Jutland (Denmark). *Rev. Palaeobotan. Palynol.* **3**, 267—275.
- Andersen S. Th. (1973) The differential pollen productivity of trees and its significance for the interpretation of a pollen diagram from a forested region. In H. J. B. Birks & R. G. West (eds.), *Quaternary Plant Ecology*, pp. 109—116. Oxford, Blackwell Scientific Publications.
- Andersen S. Th. & Bertelsen F. (1972) Scanning electron microscope studies of pollen of cereals and other grasses. *Grass.* **12**, 79—86.
- Anderson M. L. (1954) The ecological status of Wistman's Wood, Devonshire. *Trans. bot. Soc. Edin.* **36**, 195—206.
- Andrew R. (1970) The Cambridge pollen reference collection. in D. Walker & R. G. West (eds.), *Studies in the Vegetational History of the British Isles*, pp. 225—231. Cambridge University Press.
- Andrew R. (1971) Exine Pattern in the pollen of the British species of *Tilia*. *New Phytol.* **70**, 683—686.
- Bannister B. (1969) Dendrochronology. in D. Brothwell & E. Higgs (eds.), *Science in Archaeology*, 2nd edition, pp. 191—205. London, Thames & Hudson
- Barber K. E. (1975 a) Pollen Analysis: pit 101 High Street B. in C. P. S. Platt & R. Coleman-Smith (eds.), *Excavations in Medieval Southampton*. Leicester University Press.
- Barber K. E. (1975 b) Vegetational history of the New Forest: a preliminary note. *Proc. Hants. Field Club.* **30** (for 1973).
- Bartley D. D. (1966) Pollen analysis of some lake deposits near Bamburgh in Northumberland. *New Phytol.* **65**, 141—156.
- Battarbee R. W. (1973) Preliminary studies of Lough Neagh sediments II. Diatom analysis from the uppermost sediment. in H. J. B. Birks & R. G. West (eds.), *Quaternary Plant Ecology*, pp. 279—288. Oxford, Blackwell Scientific Publications
- Bell F. G. (1970) Late Pleistocene floras from Earith. Huntingdonshire. *Phil. Trans. R. Soc. B* **258**, 347—378.
- Beijerinck W. (1947) *Zadenatlas der Nederlandsche Flora*. Wageningen. Veenman
- Benedict J. B. (1967) Recent glacial history of an alpine area in the Colorado Front Range, USA 1. Establishing a lichen-growth curve. *J. Glaciol.* **6**, 817—832.
- Benedict J. B. (1968) Recent glacial history of an alpine area in the Colorado Front Range. USA

- II Dating the glacial deposits. *J. Glaciol.* **7**, 77—87.
- Beresford M. (1971) *History on the Ground*. London. Methuen
- Berggren G. (1969) *Atlas of Seeds and small fruits of Northwest-European plant species, with morphological descriptions*. Part 2: Cyperaceae. Stockholm. Swedish Natural Science Research Council.
- Berglund B. E. (1973) Pollen dispersal and deposition in an area of Southeastern Sweden—some preliminary results. In H. J. B. Birks & R. G. West (eds.), *Quaternary Plant Ecology*, pp. 117—130. Oxford. Blackwell Scientific Publications.
- Bertsch K. (1941) *Fruchte and Samen. Handbueher der praktischen vorgeschichts forschung*, 1. Stuttgart, Enke.
- Beug H.-J. (1961) *Leitfaden der Pollenbestimmung fur Mitteleuropa und angrenzende Gebiete*. LI. Stuttgart, Fisher.
- Beug H.-J. (1971) *Leitfaden der Pollenbestimmung fur Mitteleuropa und angrenzende Gebiete*. LII/III. Stuttgart, Fisher.
- Birch B. P. (1971) The environment and settlement of the prairie-woodland transition belt—case study of Edwards County, Illinois. *Southampton Research Series in Geogr.* **6**, 3—30.
- Birks H. (1970) Studies in the vegetational history of Scotland. I: A pollen diagram from Abernethy Forest, Inverness-shire. *J. Ecol.* **58**, 827—846.
- Birks H. H. (1973) Modern macrofossil assemblages in lake sediments in Minnesota. In H. J. B. Birks & R. G. West (eds.), *Quaternary Plant Ecology*, pp. 173—189. Oxford. Blackwell Scientific Publications
- Birks H. J. B. (1968) The identification of *Betula nana* pollen. *New Phytol.* **67**, 309—314.
- Birks H. J. B. (1970) Inwashed pollen spectra at Loch Fada, Isle of Skye. *New Phytol.* **69**, 807—821.
- Birks H. J. B. (1973) Modern pollen rain studies in some Arctic and Alpine environments. In H. J. B. Birks & R. G. West (eds.), *Quaternary Plant Ecology*, pp. 143—168. Oxford, Blackwell Scientific Publications.
- Birks H. J. B. & Deacon J. (1973) A numerical analysis of the past and present flora of the British Isles. *New Phytol.* **72**, 877—902.
- Birks H. J. B. & West R. G. (eds.) (1973) *Quaternary Plant Ecology*. Oxford, Blackwell Scientific Publications.
- Bonny A. P. (1972) A method for determining absolute pollen frequencies in lake sediments. *New Phytol.* **71**, 393—405.
- Bradbury J. P. & Waddington J. C. B. (1973) The impact of European settlement on Shagawa Lake, Northeastern Minnesota, USA. In H. J. B. Birks & R. G. West (eds.), *Quaternary Plant Ecology*, pp. 289—307. Oxford, Blackwell Scientific Publications.
- Brandon P. F. (1969) Medieval clearances in the East Sussex Weald. *Trans. Inst. Br. Geogr.* **48**, 135—153.
- Brandon P. F. (1971) Late-medieval weather in Sussex and its agricultural significance. *Trans Inst. Br. Geogr.* **54**, 1—18.
- Brazier J. D. & Franklin G. L. (1961) Identification of hardwoods—a microscope key. *Forest Prod. Res. Bull.* **46**, 1—96.
- British National Committee for Geology (1968) International Geological Correlation Programme: United Kingdom Contribution. London, The Royal Society.
- Broecker W. S. (1965) Isotope geochemistry and the Pleistocene climatic record. In H. E. Wright & D. G. Frey (eds.), *The Quaternary of the United States*, pp. 737—753. Princeton University Press.
- Brookes D. & Thomas K. W. (1967) The distribution of pollen grains on microscope slides. Part I: The non-randomness of the distribution. *Pollen et Spores* **9**, 621—629.
- Brothwell D. & Higgs E. (1969) *Science in Archaeology*, 2nd Edition. London, Thames & Hudson.
- Brown C. A. (1950) *Palytynological techniques*. Baton Rouge, Louis. 188 pp. Private pub.
- Burleigh R., Switsur V. R. & Renfrew C. (1973) The radiocarbon calendar calibrated too soon? *Antiquity* **47**, 309—317.
- Garr A. P. (1962) Cartographic record and historical accuracy. *Geogr. J.* **47**, 135—145.
- Casparie W. A. (1969) Bult- und Schlenkenbildung in Hochmoortort: (zur Frage des Moorbachstums-Mechanismus) *Vegetatio. Act: Geobotanica* **19**, 14—180.
- Casparie W. A. (1972) *Bog development in Southeastern Drenthe (The Netherlands)*. The Hague, Junk

- Chambers T. C. & Godwin H. (1971) Scanning electron microscopy of *Tilia* pollen. *New Phytol.* **70**, 687—692.
- Chapman S. B. (1964 a) The ecology of Coom Rigg Moss, Northumberland. I. Stratigraphy and present vegetation. *J. Ecol.* **52**, 299—313.
- Chapman S. B. (1964 b) The ecology of Coom Rigg Moss, Northumberland. II. The chemistry of peat profiles and the development of the bog system. *J. Ecol.* **52**, 315—321.
- Coles J. M. & Hibbert F. A. (1968) Prehistoric roads and tracks in Somerset, England. I. Neolithic. *Proc. prehist. Soc.* **34**, 238—253.
- Coles J. M., Hibbert F. A. & Clements C. F. (1970) Prehistoric roads and tracks in Somerset, England. II. Neolithic. *Proc. prehist. Soc.* **36**, 125—151.
- Conolly A. P. & Dahl E. (1970) Maximum summer temperature in relation to the modern and Quaternary distributions of certain Arctic-Montane species in the British Isles. In D. Walker & R. G. West (eds.), *Studies in the Vegetational History of the British Isles*, pp. 159—223. Cambridge University Press.
- Gonway V. M. (1947) Ringinglow Bog, near Sheffield. Part I. Historical. *J. Ecol.* **34**, 149—181.
- Cooke H. B. S. (1973) Pleistocene chronology: long or short? *Quaternary Research* **3**, 206—220.
- Coope G. R. (1961) On the study of glacial and interglacial insect faunas. *Proc. Linn. Soc. Lond.* **172**, 62—65.
- Coope G. R. (1965) Fossil insect faunas from Late Quaternary deposits in Britain. *Advmt Sci., Lond.* **21**, 564—575.
- Coope G. R. & Sands C. H. S. (1966) Insect faunas of the last glaciation from the Tame Valley, Warwickshire. *Proc. R. Soc. B.* **165**, 389—412.
- Coope G. R., Morgan A. & Osborne P. J. (1971) Fossil Coleoptera as indicators of climatic fluctuations during the last glaciation in Britain. *Palaeogeography, Palaeoclimatol., Palaeoecol.* **10**, 87—101.
- Coster I. & Pankow H. (1968) Illustriertes Schüssel zur Bestimmung einiger Mitteleuropäischer *Sphagnum*-Arten. *Wiss. Z. Univ. Rostock* **415**, 285—323.
- Cox A., Doell R. R. & Dalrymple G. B. (1965) Quaternary paleomagnetic stratigraphy. In H. E. Wright & D. G. Frey (eds.), *The Quaternary of the United States*, pp. 817—830. Princeton University Press.
- Cox E. A. & Dittmer B. R. (1965) The tithe files of the mid-nineteenth century. *Agric. Hist. Rev.* **13**, 1—16.
- Grabtree K. (1968) Pollen analysis. *Sci. Prog., Oxf.* **56**, 83—101.
- Grabtree K. (1969) Post Glacial diatom zonation of limnic deposits in North Wales. *Mitt. Internat. Verein. Limnol.* **17**, 165—171.
- Craig A. J. (1972) Pollen influx to laminated sediments: a pollen diagram from northeastern Minnesota. *Ecology* **53**, 46—57.
- Creer K. M., Thompson R., Molyneux L. & Mackereth F. J. H. (1972) Geomagnetic secular variation recorded in the stable magnetic remanence of recent sediments. *Earth Planet. Sci. Letters* **14**, 115—127.
- Crowder A. A. & Cuddy D. G. (1973) Pollen in a small river basin: Wilton Creek, Ontario. In H. J. B. Birks & R. G. West (eds.), *Quaternary Plant Ecology*, pp. 60—78. Oxford, Blackwell Scientific Publications.
- Cushing E. J. (1967 a) Evidence for differential pollen preservation in late Quaternary sediments in Minnesota. *Rev. Palaeobotan. Palynol.* **4**, 87—101.
- Cushing E. J. (1967 b) Late-Wisconsin pollen stratigraphy and the glacial sequence in Minnesota. In E. J. Cushing & H. E. Wright (eds.), *Quaternary Paleocology*, pp. 59—88. New Haven & London, Yale University Press.
- Cushing E. J. & Wright H. E. (eds.) (1967) *Quaternary Paleocology*. New Haven & London, Yale University Press.
- Dale M. B. & Walker D. (1970) Information analysis of pollen diagrams. I. *Pollen et Spores* **12**, 21—37.
- Damblon F. & Schumacker R. (1972) New prospects for study of palynological data: the use of computers. *Pollen et Spores* **13**, 609—614.
- Darby H. C. (1950) Domesday woodland. *Econ. Hist. Rev. Series 2*, **3**, 21—43.
- Darby H. C. (1951) The clearing of the English woodlands. *Geography* **36**, 71—83.
- Darby H. C. et al. (1952—1967) *The Domesday Geography of England*. 5 vols. Cambridge University Press.

- Darby H. C. (ed.) (1973) *A New Historical Geography of England*. Cambridge University Press.
- Davies E. G. (1944) Figyn Blauw Bregi: a Welsh upland bog. *J. Ecol.* **32**, 147—166.
- Davis M. B. (1963) On the theory of pollen analysis. *Am. Jnl Sci.* **261**, 897—912.
- Davis M. B. (1965) Phytogeography and palynology of northeastern United States. In H. E. Wright, Jr. & D. G. Frey (eds.), *The Quaternary of the United States*, pp. 377—401. Princeton University Press.
- Davis M. B. (1967) Pollen accumulation rates at Rogers Lake, Connecticut, during Late- and Postglacial-time. *Rev. Palaeobotan. Palynol.* **2**, 219—230.
- Davis M. B. (1968) Pollen grains in lake sediments. Redeposition caused by seasonal water circulation. *Science* **162**, 796—799.
- Davis M. B., Brewster L. A. & Sutherland J. (1969) Variation in pollen spectra in lakes (1). *Pollen et Spores* **11**, 557—571.
- Davis R. B., Brubaker L. A. & Beiswenger J. M. (1971) Pollen grains in lake sediments: pollen percentages in surface sediments from Southern Michigan. *Quaternary Research*, 450—467.
- Deacon J. (1972) A data bank of Quaternary plant fossil records. *New Phytol.* **71** 1227—1232.
- Deevey E. S. (1965) Sampling lake sediments by use of the Livingston sampler. In B. Kummel & D. Raup (eds.) *Handbook of Paleontological Techniques*, pp. 520—529. San Francisco, Freeman.
- De Geer G. (1912) A geochronology of the last 12,000 years. *C. r. XI int. geol. Congr. (Stockholm)* **1**, 241—258.
- De Geer G. (1934) Geology and geochronology. *Geogr. Annlr.* **16**, 1—52.
- De Geer G. (1940) Geochronologia Suecica Principes K Svenska VetenskAcad. *Handl. Ser.* **3**, 18, 6.
- Denton G. H. & Karlen W. (1973) Holocene climatic variations—their pattern and possible cause. *Quaternary Research* **3**, 155—205.
- Deuel L. (1973) *Flights into Yesterday*. London, Penguin.
- Dewar H. S. L. & Godwin H. (1963) Archaeological discoveries in the raised bogs of the Somerset levels. *Proc. prehist. Soc.* **29**, 17—49.
- Dickson C. A. (1970) The study of plant macrofossils in British Quaternary deposits. In D. Walker & R. G. West (eds.), *Studies in the Vegetational History of the British Isles*, 233—254. Cambridge University Press.
- Dickson J. H. (1967) The British moss flora of the Weichselian Glacial. *Rev. Palaeobotan. Palynol.* **2**, 245—253.
- Dickson J. H. (1973) *Bryophytes of the Pleistocene*. Cambridge University Press.
- Dimbleby G. W. (1961) Soil pollen analysis. *Jl Soil Sci.* **12**, **1**, 1—11.
- Dimbleby G. W. (1962) The Development of British Heathlands and their soils. *Oxford Forestry Memoirs* No. 23.
- Dimbleby G. W. (1965) Post-Glacial changes in soil profiles. *Proc. R. Soc. B* **161**, 355—362.
- Dimbleby G. W. (1967) *Plants & Archaeology*. London, Baker.
- Donkin R. A. (1960) The Cistercian settlement and the English Royal Forests. *Citeaux* **XI**, 1—33.
- Duncan U. K. (1962) Illustrated Key to Sphagnum mosses. *Trans. & Proc. bot. Soc. Edinb.* **39**, 290—301.
- Erdtman G. (1943) *An Introduction to Pollen analysis*. Waltham, Mass., Chronica Botanica.
- Erdtman G. (1969) *Handbook of Palynology*. Copenhagen, Munksgaard.
- Erdtman G., Berglund B. & Praglowski J. (1961) An introduction to a Scandinavian Pollen Flora. *Grana Palynologica* **2**, 3—92.
- Erdtman G., Praglowski J. & Nilsson S. (1963) *An Introduction to a Scandinavian Pollen Flora*, Vol. 11. Stockholm, Almqvist & Wiksell.
- Evans G. H. (1972) The diatom flora of the Hoxnian deposits at Marks Tey, Essex. *New Phytol* **71**, 379—386.
- Evans J. G. (1973) *Land Snails in Archaeology*. London, Seminar Press.
- Faegri K. (1966) Some problems of representivity in pollen analysis. *Palaeobotanist* **15**, 135.
- Faegri K. (1975) *Textbook of Pollen Analysis*, third edition. Copenhagen, Munksgaard.
- Faegri K. & Iversen J. (1964) *Textbook of Pollen Analysis*, second edition. Copenhagen, Munksgaard.
- Fearnside M. (1938) Graphic keys for the identification of *Sphagna*. *New Phytol.* **37**, 409—424.
- Flenley J. R. (1973) The use of modern pollen rain samples in the study of the vegetational history of tropical regions. In H. J. B. Birks & R. G. West (eds.), *Quaternary Plant Ecology*, pp. 131—142. Oxford, Blackwell Scientific Publications.

- Fogg G. E. (1965) (In discussion of Mackereth 1965). *Proc. R. Soc. B* **161**, 353—354.
- Franklin T. B. (1953) *British Grasslands from the Earliest Times to the Present Day*. London, Faber & Faber.
- Franks J. W. (1960) Interglacial deposits at Trafalgar Square, London. *New Phytol.* **59**, 145—152.
- Franks J. W. & Pennington W. (1961) The Late- and Post-glacial Deposits of the Esthwaite Basin, North Lancashire. *New Phytol.* **60**, 27—42.
- Frenzel B. (1964) Pollenanalyse von Losen. *Eiszeit. Gegenw.* **15**, 5—39.
- Frey D. G. (1964) Remains of animals in Quaternary lake and bog sediments and their interpretation. *Arch. Hydrobiol., suppl. Ergebn. Limnol.*, No 2, 1—114.
- Frey D. G. (1965) Other invertebrates—an essay in biogeography. In H. E. Wright, Jr. & D. G. Frey (eds.), *The Quaternary of the United States*, pp. 613—633. Princeton University Press.
- Fritts H. C. (1971) Dendroclimatology and Dendroecology. *Quaternary Research* **1**, 419—449.
- Fussell G. E. (1964 a) The Grasses and grassland cultivation of Britain. I. Before 1700. *J. Br. Grassld Soc.* **19**, 49—54.
- Fussell G. E. (1964 b) The Grasses and grassland cultivation of Britain. II. 1700—1900. *J. Br. Grassld Soc.* **19**, 212—217.
- Gimingham C. H. (1972) *Ecology of Heathlands*. London, Chapman & Hall.
- Godwin H. (1934) Pollen-analysis—problems and potentialities of the method. *New Phytol.* **33**, 278, 325.
- Godwin H. (1940) Pollen analysis and forest history of England and Wales. *New Phytol.* **39**, 370—400.
- Godwin H. (1948) Studies of the Post-Glacial history of British vegetation: X Correlation between climate, forest composition, prehistoric agriculture and peat stratigraphy in sub-Boreal and sub-Atlantic peats of the Somerset Levels. *Phil. Trans. R. Soc. B* **233**, 275—286.
- Godwin H. (1954) Recurrence surfaces. *Dunm. Geol. Unders. II R* **80**, 22—30.
- Godwin H. (1955) Studies of the Post-Glacial history of British vegetation. XIII. The Meare Pool region of the Somerset Levels. *Phil. Trans. R. Soc. B* **239**, 161—190.
- Godwin H. (1956) *History of the British Flora*. Cambridge University Press.
- Godwin H. (1958) Pollen-analysis in mineral-soil: an interpretation of a podzol. pollen-analysis by Dr. G. W. Dimbleby. *Flora* **146**, 321.
- Godwin H. (1960) Radiocarbon dating and Quaternary history in Britain. *Proc. R. Soc. B* **153**, 287—320.
- Godwin H. (1962) Vegetational History of the Kentish chalk downs as seen at Wingham and Frogholt. *Veroff. Geobot. Inst. Rubel, Zurich* **37**, 83—99. (Festschrift Franz Firbas)
- Godwin H., Clowes D. R. & Huntley B. (1974) Studies in the ecology of Wicken Fen V. Development of fen carr. *J. Ecol.* **62**, 197—214.
- Godwin H. & Conway V. M. (1939) The ecology of a raised bog near Tregaron, Cardiganshire. *J. Ecol.* **27**, 315—359.
- Godwin H., Walker D. & Willis E. H. (1957) Radiocarbon dating and post-glacial vegetational history: Scaleby Moss. *Proc. R. Soc. B* **147**, 352—366.
- Good R. (1948) *A Geographical Handbook of the Dorset Flora*. Dorchester, Dorset Nat. Hist. Soc.
- Gordon R. B. (1966) *Map: Natural vegetation of Ohio at the time of the earliest land surveys*. Ohio Biological Survey, Ohio State University
- Gordon A. D. & Birks H. J. B. (1972) Numerical methods in Quaternary palaeoecology I. Zonation of pollen diagrams. *New Phytol.* **71**, 961—979.
- Gordon A. D. & Birks H. J. B. (1974) Numerical methods in Quaternary palaeoecology. II. Comparison of pollen diagrams. *New Phytol.* **73**, 221—249.
- Graaf Fr. De (1956) Studies on Rotatoria and Rhizopoda from the Netherlands. I. Rotatoria and Rhizopoda from the 'Grote Huisven'. *Biol. Jaarb.* **23**, 145—217.
- Gray J. (1965 a) Palynological Techniques. In B. Kummel & D. Raup (eds.), *Handbook of Paleontological Techniques*, pp. 471—481. San Francisco, Freeman.
- Gray J. (1965 b) Extraction Techniques. In B. Kummel & D. Raup (eds.), *Handbook of Paleontological Techniques*, pp. 530—587. San Francisco, Freeman.
- Green B. H. (1968) Factors influencing the spatial and temporal distribution of *Sphagnum imbricatum* Hornsch ex Russ. in the British Isles. *J. Ecol.* **56**, 47—58.
- Green B. H. & Pearson M. C. (1968) The ecology of Wybunbury Moss, Cheshire. I. The present vegetation and some physical, chemical and historical factors controlling its nature and distribution. *J. Ecol.* **56**, 245—268.

- Grigg D. B. (1967) The changing agricultural geography of England: a commentary on the sources available for the reconstruction of the agricultural geography of England, 1770—1850. *Trans. Inst. Br. Geogr.* **41**, 73—96.
- Hafsten U. (1959) Bleaching+HF+acetolysis: a hazardous preparation process. *Pollen et Spores* **1**, 77—79.
- Hammond R. F. (1974) The preservation of peat monoliths for permanent display. *J. Soil Sci.* **25**, 63—66.
- Hansen B. (1966) The raised bog Draved Kongsmose. *Bot. Tidsskr.* **62**, 2—3, 146—185.
- Harley J. B. (1972) Maps for the local historian. A guide to the British sources. London, National Council of Social Service (for the Standing Conference for Local History).
- Harley J. B. & Phillips C. W. (1964) The historian's guide to Ordnance Survey maps. London, National Council of Social Service (for The Standing Conference for Local History).
- Harnisch O. (1949) Alterer und jungerer Sphagnumtorf. Eine Rhizopodenanalytische Studie an nordwest Europäischen Hochmooren. *Biol. Zb.* **68**, 398—412.
- Havinga A. J. (1967) Palynology and pollen preservation. *Rev. Palaeobotan. Palynol.* **2**, 81—98.
- Haworth E. W. (1969) The diatoms of a sediment core from Blea Tarn. Langdale. *J. Ecol.* **57**, 429—440.
- Heal O. W. (1961) The distribution of testate amoebae (Rhizopoda: Testacea) in some fens and bogs in northern England. *J. Linn. Soc. (Zool.)* **44**, 369—382.
- Heal O. W. (1962) The abundance and microdistribution of testate amoebae (Rhizopoda: Testacea) in *Sphagnum*. *Oikos* **13**, 35—47.
- Heal O. W. (1964) Observations on the seasonal and spatial distribution of Testacea (Protozoa: Rhizopoda) in *Sphagnum*. *J. Anim. Ecol.* **33**, 395—412.
- Heinselman M. L. (1973) Fire in the virgin forests of the Boundary Waters Canoe Area, Minnesota. *Quaternary Research* **3**, 329—382.
- Helbaek H. (1969) Palaeo-ethnobotany. In D. Brothwell & E. Higgs (eds.), *Science in Archaeology*, pp. 206—214. 2nd edition. London, Thames & Hudson.
- Hewlett G. (1973) Reconstructing a historical landscape from field and documentary evidence: Otford in Kent. *Agric. Hist. Rev.* **21**, 94—110.
- Hibbert F. A., Switsur V. R. & West R. G. (1971) Radiocarbon dating of Flandrian pollen zones at Red Moss, Lancashire. *Proc. R. Soc. B* **177**, 161—176.
- Hooper M. (1970) Dating hedges. *Area* **4**: 63—65.
- Hoskins W. G. (1955) *The Making of the English Landscape*. London, Hodder & Stoughton. (Published with revisions, Penguin 1970).
- Hoskins W. G. (1959) *Local History in England*. London, Longmans. (Second edition, 1972.)
- Hoskins W. G. (1967) *Fieldwork in Local History*. London, Faber & Faber.
- Howard J. A. (1971) *Aerial Photo-Ecology*. London, Faber & Faber.
- Hubbard J. C. E. & Stebbings R. E. (1968) *Spartina* marshes in southern England. VII. Stratigraphy of the Keyworth Marsh, Poole Harbour. *J. Ecol.* **56**, 707—722.
- Huckerby E., Marchant R. & Oldfield F. (1972) Identification of fossil seeds of *Erica* and *Calluna* by scanning electron microscopy. *New Phytol.* **71**, 387—392.
- Hustedt F. (1930) *Die Susswasser-flora Mitteleuropas* 10. *Bacillariophyta (Diatomeae)*. Ed. A. Pascher.
- Ingram H. A. P. (1967) Problems of hydrology and plant distribution in mires. *J. Ecol.* **55**, 711—725.
- International Society for Photogrammetry (eds.) (1962) Transactions of the Symposium on Photo Interpretation. *Int. Arch. Photogramm.* **14**. Delft, Waltman.
- Iversen J. (1964) Retrogressive vegetational succession in the post-glacial. *J. Ecol.* **52**, (Suppl.) 59—70.
- Iversen J. (1969) Retrogressive development of a forest ecosystem demonstrated by pollen diagrams from fossil mor. *Oikos* **12**, 35—49.
- Jane F. W. (1956) *The Structure of Wood*. London, Black.
- Janssen C. R. (1959) *Alnus* as a disturbing factor in pollen diagrams. *Acta Bot. Neerl.* **8**, 55—58.
- Janssen C. R. (1966) Recent pollen spectra from the deciduous and coniferous-deciduous forests of Northeastern Minnesota: a study in pollen dispersal. *Ecology* **47**, 804—25.
- Janssen C. R. (1970) Problems in the recognition of plant communities in pollen diagrams. *Veg. etatio, Acta Geobotan.* **XX** 187—198.
- Janssen C. R. (1973) Local and regional pollen deposition. In H. J. B. Birks & R. G. West (eds.),

- Quaternary Plant Ecology*, pp. 31—42. Oxford, Blackwell Scientific Publications
- Jessen K. & Farrington A. (1938) The bogs at Ballybetagh, near Dublin with remarks on late-glacial conditions in Ireland. *Proc. R. Ir. Acad.* **44B**, 205—260.
- Johnston W. B. (1961) Locating the vegetation of early Canterbury: a map and the sources. *Trans. R. Soc. New Zealand. (Botany)* **1**, 5—15.
- Jowsey P. C. (1966) An improved peat sampler. *New Phytol.* **65**, 245—248.
- Karlen W. (1973) Holocene glacier and climatic variations, Kebnekaise Mountains, Swedish Lapland. *Geogr. Ann.* **55 A**, 29—63.
- Kassas M. (1951) Studies in the ecology of Chippenham Fen II. Recent history of the fen, from evidence of historical records, vegetational analysis and tree-ring analysis. *J. Ecol.* **39**, 9—33.
- Katz N. J., Katz S. V. & Kipiani M. G. (1965) *Atlas and Keys of Fruits and Seeds Occurring in the Quaternary Deposits of the USSR* (In Russian). Moscow, Nauka.
- Kershaw A. P. (1971) A pollen diagram from Quincan Crater, North-east Queensland, Australia. *New Phytol.* **70**, 669—681.
- Kozłowski T. T. (1971) Growth and development of trees. Vol. 2: Cambial growth, root growth and reproductive growth. New York, Academic Press
- Kuchler A. W. (1964) Potential natural vegetation of the conterminous United States. (Manual to accompany map). *Am. Geogr. Soc. Spec. Pub.* **36**, 39 pp. 116 plates.
- Kulczyński S. (1949) Peat bogs of Polesie. *Mem. de l'Acad. Polon. des Sciences et des Lettres, Serie B*, 1—356.
- Kummel B. & Raup O. (eds.) (1965) *Handbook of Paleontological Techniques*. San Francisco. Freeman
- Ladurie E. Le Roy (1972) *Times of Feast, Times of Famine. A History of Climates Since the Year 1,000*. London, Allen & Unwin
- Lamb H. H. (1966) *The Changing Climate*. London, Methuen
- Lambert A. M. (1971) *The Making of the Dutch Landscape*. London, Academic Press
- Libby W. F. (1955) *Radiocarbon Dating*. Chicago University Press. 2nd ed.
- Macan T. T. (1969) *A Key to the British Fresh-and Brackish-water Gastropods*. Freshwater Biological Association Sci. Pub. №13. 3rd Ed.
- McAndrews J. H. (1966) Postglacial history of prairie, savanna and forest in Northwestern Minnesota. *Torrey Bot. Club Mem.* **22**, 72 pp.
- McCracken E. (1971) *The Irish Woods since Tudor Times. Distribution and Exploitation*. Newton Abbot, David & Charles.
- Mackereth F. J. H. (1958) A portable core sampler for lake deposits. *Limnol. Oceanogr.* **3**, 181—191.
- Mackereth F. J. H. (1965) Chemical investigation of lake sediments and their interpretation. *Proc. R. Soc. B* **161**, 295—309.
- Mackereth F. J. H. (1966) Some chemical observations on post-glacial lake sediments. *Proc. R. Soc. B* **250**, 165—213.
- Mackereth F. J. H. (1969) A short-core sampler for subaqueous deposits. *Limnol. Oceanogr.* **14**, 145—151.
- Mackereth F. J. H. (1971) On the variation in direction of the horizontal component of remanent magnetisation in lake sediments. *Earth Planet. Sci. Letters* **12**, 332—338.
- Maher L. J. (1972) Absolute pollen diagram of Redrock Lake, Boulder County, Colorado. *Quaternary Research* **2**, 531—553.
- Manley G. (1959) Temperature trends in England 1698—1957. *Archiv für Meteorologie, Geophysik und Biologie, Serie B* **9**, 413—433.
- Manley G. (1964) The evolution of the climatic environment. In J. B. Sissons & J. W. Watson (eds.), *The British Isles: A Systematic Geography*, pp. 152—176. London, Nelson.
- Martin A. C. & Barkley W. D. (1961) *Seed Identification Manual*. Berkeley, University of California Press.
- Martin M. H. (1968) Conditions affecting the distribution of *Mercurialis perennis* L. in certain Cambridgeshire woodlands. *J. Ecol.* **56**, 777—793.
- Mattson E. & Koulter-Andersson E. (1954) Geochemistry of a raised bog. *Kongl. Lantbrukshögskolans Ann.* **21**, 321—366.
- Mercer J. H. (1972) Chilean glacial chronology 20,000—11,000 carbon-14 years ago: some global comparisons. *Science* **176**, 1118—1120.
- Merrett P. (ed.) (1971) *Captain Cyril Diver (1892—1969): A memoir*. Furzebrook Research Station,

Natural Environment Research Council.

- Merton L. F. H. (1970) The history and status of woodlands of the Derbyshire limestone. *J. Ecol.* **58**, 723—744.
- Mitchell A. (1974) *A Field Guide to the Trees of Britain and Northern Europe*. London, Collins.
- Mitchell G. F. (1965) Littleton Bog, Tipperary: an Irish agricultural record. *J. Roy Soc Antiquaries of Ireland* **95**, 121—132.
- Mitchell G. F., Penny L. F., Shotton F. W. & West R. G. (eds.) (1973) A correlation of Quaternary deposits in the British Isles. *Geol. Soc. Lond.*, Special Report No. 4, 99 pp.
- Mittre V. (1971) Fossil pollen of *Tilia* from the East Anglian Fenland. *New Phytol.* **70**, 693—697.
- Mongredien A. (1870) *Trees and Shrubs for English Plantations*. London, Murray.
- Moore P. D. & Chater E. H. (1969) The changing vegetation of west-central Wales in the light of human history. *J. Ecol.* **57**, 361—379.
- Morrison M. E. S. (1959) The ecology of a raised bog in Co. Tyrone, Northern Ireland. *Proc. R. Ir. Acad.* **60 B**, 291—308.
- Morrison M. E. S. (1966) Low-latitude vegetation history with special reference to Africa. In *World Climate 8000—0 B. C.*: Royal Met. Soc. pp. 142—148.
- Morrison M. E. S. (1968) Vegetation and climate in the uplands of south-western Uganda during the later Pleistocene period: I Muchoya Swamp, Kigezi district. *J. Ecol.* **56**, 363—385.
- Mosimann J. E. (1965) Statistical methods for the pollen analyst: multinomial and negative multinomial techniques. In B. Kummel & D. Raup (eds.), *Handbook of Paleontological Techniques*. pp. 636—673. San Francisco & London, Freeman.
- Neustupny E. (1970 a) A new epoch in Radiocarbon Dating. *Antiquity* XLIV 38—45.
- Neustupny E. (1970 b) The Accuracy of Radiocarbon Dating. In I. U. Olsson (ed.) *Radiocarbon Variations and Absolute Chronology*. New York/Stockholm, Wiley.
- Nicholls P. H. (1972) On the evolution of a forest landscape. *Trans. Inst. Br. Geogr.* **56**, 57—76.
- Nichols H. (1967) The suitability of certain categories of lake sediments for pollen analyses. *Pollen et Spores* **9**, 615—620.
- Oldfield F. (1959) Pollen morphology of some of the Western European Ericales. *Pollen et Spores* **1**, 19—48.
- Oldfield F. (1963) Pollen analysis and man's role in the Ecological History of the South-East Lake District. *Geogr. Ann.* **45**, 23—40.
- Oldfield F. (1969) Pollen analysis and the history of land-use. *Advm. Sci., Lond.* **25**, 298—311.
- Oldfield F. (1970 a) The ecological history of Blelham Bog National Nature Reserve. In D. Walker & R. G. West (eds.), *Studies in the Vegetation and History of the British Isles*, pp. 141—157. Cambridge University Press.
- Oldfield F. (1970 b) Some aspects of scale and complexity in pollen-analytically based palaeoecology. *Pollen et Spores* **12**, 163—171.
- Olsson I. U. (ed.) (1970) *Radiocarbon Variations and Absolute Chronology*. (Proc. 12th Nobel Symposium: Uppsala 1969). New York/Stockholm, Wiley.
- Orwin C. S. & Sellick R. J. (1970) *The Reclamation of Exmoor Forest*. 2nd Edition. Newton Abbot. David & Charles.
- Osborne P. J. (1972) Insect faunas of late Devensian and Flandrian age from Church Stretton, Shropshire. *Phil. Trans. R. Soc. B* **263**, 327—367.
- O'Sullivan P. E. (1973 a) Contemporary pollen studies in a native Scots Pine ecosystem. *Oikos* **24**, 143—150.
- O'Sullivan P. E. (1973 b) Pollen analysis of Mor humus layers from a native Scots pine ecosystem, interpreted with surface samples. *Oikos* **24**, 259—272.
- O'Sullivan P. E., Oldfield F. & Battarbee R. W. (1973) Preliminary studies of Lough Neagh sediments I. Stratigraphy, chronology and pollen analysis. In H. J. B. Birks & R. G. West (eds.), *Quaternary Plant Ecology* pp. 267—278. Oxford, Blackwell Scientific Publications.
- Overbeck F. (1963) Aufgaben botanisch-geologischer Moorforschung in Nordwestdeutschland. *Ber. Deutsch. bot. Gesell.* **76**, 2—12.
- Osvald H. (1923) Die Vegetation des Hochmoores Komosse. *Svensk. Virtsoc. Sallsk. Handl.* **1**.
- Osvald H. (1949) Notes on the vegetation of British and Irish Mosses. *Acta Phytogeog. Suecica*, **26**, 7—62.
- Paulson B. (1952) Some rhizopod associations in a Swedish mire. *Oikos* **4**, 151—165.
- Payne-Gallwaye R. (1886) *The Book of Duck Decoys*. London, John van Voorst.
- Peck R. M. (1972) Efficiency tests on the Tauber trap used as a pollen sampler in turbulent

- water flow. *New Phytol.* **71**, 187—198.
- Peck R. M. (1973) Pollen budget studies in a small Yorkshire catchment. In H. J. B. Birks & R. G. West (eds.), *Quaternary Plant Ecology*, pp. 43—60. Oxford, Blackwell Scientific Publications.
- Peck R. M. (1974) A comparison of four absolute pollen preparation techniques. *New Phytol.* **73**, 567—587.
- Pennington W. (1947) Lake sediments: pollen diagrams from the bottom deposits of the north basin of Windermere. *Phil. Trans. R. Soc.* **B233**, 137—175.
- Pennington W. (1969) The usefulness of pollen analysis in interpretation of stratigraphic horizons, both Late-glacial and Post-glacial. *Mitt. Internat. Verein. Limnol.* **17**, 154—164.
- Pennington W. (1970) Vegetation history in the north-west of England: a regional synthesis. In D. Walker & R. G. West (eds.), *Studies in the Vegetational History of the British Isles*, pp. 41—80. Cambridge University Press.
- Pennington W. (1973) Absolute pollen frequencies in the sediments of lakes of different morphometries. In H. J. B. Birks & R. G. West (eds.) *Quaternary Plant Ecology*, pp. 79—104. Oxford, Blackwell Scientific Publications.
- Pennington W. (1974) *The History of British Vegetation*. Second edition. London, English University Press.
- Pennington W. & Bonny A. P. (1970) An absolute pollen diagram from the British lateglacial. *Nature. Lond.* **226**, 871—873.
- Pennington W., & Lishman J. P. (1971) Iodine in lake sediments in Northern England and Scotland. *Biol. Rev.* **46**, 279—313.
- Pennington W., Haworth E. Y., Bonny A. P. & Lishman J. P. (1972) Lake sediments in Northern Scotland. *Phil. Trans. R. Soc.* **264 B**, 193—294.
- Perring F. H. (ed.) (1968) *Critical Supplement to the Atlas of the British Flora*. London, Nelson.
- Perring F. H. (ed.) (1970 a) The flora of a changing Britain. *Bot. Soc. Br. Isles. Conference Report* №11.
- Perring F. H. (1970 b) The last seventy years. In *The flora of a changing Britain*. pp. 129—135. *Bot. Soc. Br. Isles. Conference Report* №11.
- Perring F. H. & Walters S. M. (ed.) (1962) *Atlas of the British Flora*. London, Nelson.
- Perry P. J. (1969) H. C. Darby and historical geography: a survey and review. *Geogr. Zeitschr.* **57**, 161—177.
- Peterken G. F. (1969) Development of Vegetation in Staverton Park, Suffolk. *Field Studies* **3**(1), 1—39.
- Peterken G. F. & Hubbard J. C. E. (1972) The shingle vegetation of southern England: the holly wood on Holmstone Beach, Dungeness. *J. Ecol.* **60**, 547—572.
- Peterken G. F. & Tubbs C. R. (1965) Woodland regeneration in the New Forest, Hampshire, since 1650. *J. appl. Ecol.* **2**, 159—170.
- Phillips L. (1972) An application of fluorescence microscopy to the problem of derived pollen in British Pleistocene deposits. *New Phytol.* **71**, 744—762.
- Pigott C. D. (1969) The status of *Tilia cordata* and *T. platyphyllos* on the Derbyshire limestone. *J. Ecol.* **57**, 491—504.
- Pigott C. D. & Pigott M. E. (1959) Stratigraphy and pollen analysis of Malham Tarn and Tarn Moss. *Field Studies* **1**, 1—18.
- Pigott C. D. & Pigott M. E. (1963) Late-glacial and Post-glacial deposits at Malham, Yorkshire. *New Phytol.* **62**, 317—324.
- Pilcher J. R. (1973) Pollen analysis and radiocarbon dating of a peat on Slieve Gallion, Co. Tyrone, N. Ireland. *New Phytol.* **72**, 681—689.
- Pollard E. (1973) Hedges VII: Woodland relic hedges in Huntingdon and Peterborough. *J. Ecol.* **61**, 343—352.
- Potzger J. E., Potzger M. E. & McCormick J. (1956) The forest primeval of Indiana as recorded in the original US land surveys and an evaluation of previous interpretations of Indiana vegetation. *Butler Univ. bot. studies* **13**, 95—111.
- Praglowksi J. (1970) The effects of pre-treatment and the embedding media on the shape of pollen grains. *Rev. Palaeobotan. Palynol.* **10**, 203—208.
- Prince H. C. (1959) The Tithe Surveys of the mid-19th C. *Agric. Hist. Rev.* **7**, 14—26.
- Proctor M. C. F. (1955) Key to the British species of *Sphagnum*. *Trans. Brit. Bryol. Soc.* **2**, 552—560.
- Proctor M. C. F. (1973) Summing up: an ecologists's viewpoint. In H. J. B. Birks & R. G. West (eds.), *Quaternary Plant Ecology*, pp. 313—314. Oxford, Blackwell Scientific Publications.

- Rackham O. (1974 a) *Hayley Wood: Its History and Ecology*. Cambridgeshire & Isle of Ely Naturalists' Trust Ltd.
- Rackham O. (1974 b) The oak tree in historic times. In M. G. Morris & F. H. Perring (eds.), *The British Oak: its History and Natural History*. Bot. Soc. Br. Isles: Conference Report No. 13.
- Rankin H. T. & Davis D. E. (1971) Woody vegetation in the Black Belt Prairie of Montgomery County, Alabama, in 1845-46. *Ecology* **52**, 716-719.
- Rankine W. F., Rankine W. M. & Dimbleby G. W. (1960) Further excavations at a Mesolithic site at Oakhanger, Selborne, Hants. *Proc. prehist. Soc.* **26**, 246-262.
- Ratcliffe D. A. & Walker D. (1958) The Silver Flowe, Galloway, Scotland. *J. Ecol.* **46**, 407-445.
- Renfrew J. M. (1973) *Palaeoethnobotany*. London, Methuen.
- Ritchie J. C. & Lichti-Federovich S. (1967) Pollen dispersal phenomena in Arctic-Subarctic Canada. *Rev. Palaeobotan. Palynol.* **3**, 255-266.
- Roberts B. K., Turner J. & Ward P. F. (1973) Recent forest history and land use in Weardale, Northern England. In H. J. B. Birks & R. G. West (eds.), *Quaternary Plant Ecology*, pp. 207-221. Oxford, Blackwell Scientific Publications.
- Roden D. (1968) Woodland and its management in the medieval Chilterns. *Forestry* **41**, 59-71.
- Rose F. & James P. W. (1974) Regional studies on the British lichen flora. I: the corticolous and lignicolous species of the New Forest, Hampshire. *The Lichenologist* **6**, 1-72.
- Round F. E. (1957) The Late-glacial and Post-glacial diatom succession in the Kentmere Valley deposit. *New Phytol.* **56**, 98-126.
- Round F. E. (1961) The diatoms of a core from Esthwaite Water. *New Phytol.* **60**, 43-59.
- Round F. E. (1964) Diatom sequences in lake deposits: some problems of interpretation. *Verh. int. Verein. theor. angew. Limnol.* **15**, 1012-20.
- Rovner I. (1971) Potential of Opal Phytoliths for use in palaeoecological reconstruction. *Quaternary Research* **1**, **3**, 343-359.
- Rowley T. (1972) *The Shropshire Landscape*. London, Hodder & Stoughton.
- Royal Society (1969) International Geological Correlation Programme: United Kingdom contribution. London.
- Rybniček K. (1974) A comparison of the present and past mire communities of Central Europe. In H. J. B. Birks & R. G. West (eds.), *Quaternary Plant Ecology*, pp. 237-261. Oxford, Blackwell Scientific Publications.
- Rybnickova E. & Rybniček K. (1971) The determination and elimination of local elements in pollen spectra from different sediments. *Rev. Palaeobot. Palynol.* **11**, 165-176.
- Salisbury E. (1964) *Weeds and Aliens*. 2nd Edition. London, Collins.
- Salmi M. (1962) Investigations on the distribution of pollens in an extensive raised bog. *Bull. Comm. geol. Finl.* **204**, 160-193.
- Sarjeant W. A. S. (1969) Microfossils other than pollen and spores in palynological preparations. In Erdtman, G. *Handbook of Palynology*, pp. 165-208. Copenhagen, Munksgaard.
- Sauramo M. (1932) Studies on the Quaternary varve sediments in southern Finland. *Comm. geol. Finl. Bull.* **60**.
- Shackleton N. J. & Turner C. (1967) Correlation between marine and terrestrial Pleistocene successions. *Nature, Lond.* **216**, 1079-1082.
- Sheail J. (1971) *Rabbits and their History*. Newton Abbot, David & Charles.
- Shotton F. W. (1967) The problems and contributions of methods of absolute dating within the Pleistocene period. *Q. J. geol. Soc., Lond.* **122**, 357-384.
- Shotton F. W. (1972) An example of hard-water error in radiocarbon dating of vegetable matter. *Nature, Lond.* **240**, 460-461.
- Sims R. E. (1973) The anthropogenic factor in East Anglian vegetational history: an approach using A. P. F. techniques. In H. J. B. Birks & R. G. West (eds.), *Quaternary Plant Ecology*, pp. 223-236. Oxford, Blackwell Scientific Publications.
- Smith A. G., Pilcher J. R. & Singh G. (1968) A large capacity hand-operated peat sampler. *New Phytol.* **67**, 119-124.
- Smith A. G. & Pilcher J. R. (1973) Radiocarbon dating and vegetational history of the British Isles. *New Phytol.* **72**, 903-914.
- Smith J. T. & Yates E. M. (1968) On the dating of English Houses from external evidence. *Field Studies* **2**, **5**, 537-577.
- Sparks B. W. (1961) The ecological interpretation of Quaternary non-marine mollusca. *Proc. Limn. Soc. Lond.* **172**, 71-80.

- Sparks B. W. (1964) Non-marine Mollusca and Quaternary ecology. *J. Ecol.* **52** (suppl.) 87—98.
- Sparks B. W. & Lambert C. A. (1961) The Post-glacial deposits at Aethorpe, Northamptonshire. *Proc. malac. Soc. Lond.* **34**, 302—315.
- Sparks B. W. & West R. G. (1959) The palaeoecology of the inter-glacial deposits at Histon Road, Cambridge. *Eiszeitalter Gegenw.* **10**, 123—143.
- Sparks B. W. & West R. G. (1972) *The Ice Age in Britain*. London, Methuen.
- Spring D. (1955) A great agricultural estate: Netherby under Sir James Graham, 1820—1845. *Agric. History XXIX*, **2**, 73—81.
- Steere W. C. (1965) The Boreal bryophyte flora as affected by Quaternary glaciation. In H. E. Wright & D. G. Frey (eds.), *The Quaternary of the United States*, pp. 485—495. Princeton University Press.
- Stewart J. M. & Durno S. E. (1969) Structural variations in peat. *New Phytol.* **68**, 167—182.
- Stewart J. M. & Follet E. A. G. (1966) The electron microscopy of leaf surfaces preserved in peat. *Canad Jbot.* **44**, 421—427.5 plates.
- Stokes M. A. & Smiley T. L. (1968) *An Introduction to Tree-ring Dating*. Chicago University Press.
- Stuiver M. (1970) Tree ring, varve and carbon-14 chronologies. *Nature, Lond.* **228**, 454—455.
- Suess H. E. (1970) The three causes of the secular C 14 fluctuations, their amplitudes and time constants. In I. U. Olsson (ed.) *Radiocarbon Variations and Absolute Chronology*. New York/Stockholm, Wiley.
- Swain A. M. (1973) A history of fire and vegetation in northeastern Minnesota as recorded in lake sediments. *Quaternary Research* **3**, 383—396.
- Swain F. M. (1965) Geochemistry of some Quaternary lake sediments of North America. In H. E. Wright Jr. & D. G. Frey (eds.), *The Quaternary of the United States*, pp. 765—781. Princeton University Press.
- Szabo B. J. & Collins D. (1975) Ages of fossil bones from British interglacial sites. *Nature, Lond.* **254**, 680—682.
- Tallis J. H. & Mcguire J. (1972) Central Rossendale: the evolution of an upland vegetation. I. The clearance of woodland. *J. Ecol.* **60**, 721—738.
- Tansley A. G. (1968) *Britain's Green Mantle*. 2nd Edition, revised by M. C. F. Proctor. London, Allen & Unwin.
- Tate W. E. (1943) A handlist of English Enclosure Acts and Awards. *Trans. Cumb. Westmor. Antiq. Arch. Soc.* NS **43**, 175—198.
- Tauber H. (1965) Differential pollen dispersal and the interpretation of pollen diagrams. With a contribution to the interpretation of the elm fall. *Dinm. geol. Unders. (Ser. II)* **89**, 7—64.
- Tauber H. (1967) Differential pollen dispersion and filtration. In E. J. Cushing & H. E. Wright (eds.), *Quaternary Paleocology*, pp. 131—141. Yale University Press
- Tauber H. (1967) Investigations of the mode of pollen transfer in forested areas. *Rev. Palaeobotan. Palynol.* **3**, 277—286.
- Thomas K. W. (1964) A new design for a peat sampler. *New Phytol.* **63**, 422—425.
- Tinsley H. M. & Smith R. T. (1974) Surface pollen studies across a woodland/heath transition and their application to the interpretation of pollen diagrams. *New Phytol.* **73**, 547—565.
- Tittensor R. M. (1970 a) History of the Loch Lomond oakwoods. I. Ecological history. *Scott. For.* **24**, 100—110.
- Tittensor R. M. (1970 b) History of the Loch Lomond oakwoods. II. Period of intensive management. *Scott. For.* **24**, 110—118.
- Tittensor R. M. & Steele R. C. (1971) Plant communities of the Loch Lomond oakwoods. *J. Ecol.* **59**, 561—582.
- Tolonen K. (1966 a) Stratigraphic and rhizopod analyses on an old raised bog. Varrasuo in HOLLA, South Finland. *Ann. Bot. Fenn.* **3**, 147—166.
- Tolonen K. (1966 b) Soiden Kehityshistorian Tutkimusmenetelmista. *Eripainos Suo-lehdestä* n:o 6.
- Tolonen K. (1971) On the regeneration of North European bogs. I. Klaukkalan Isosuo in S. Finland. *Acta Agraria Fennica* **123**, 143—166.
- Troels-Smith J. (1955) Characterization of unconsolidated sediments. *Danm. geol. Unders.* 4R **3**, 10.
- Troels-Smith J. (1960) Ivy, Mistletoe and Elm. Climatic Indicators-Fodder Plants. *Dinm Geol. Unders* 4R **4**, 4.
- Tubbs C. R. (1964) Early encroachments in the New Forest. *Forestry* **37**, 95—105.

- Tubbs C. R. (1968) *The New Forest: An Ecological History*. David & Charles, Newton Abbot. 248 pp. illus.
- Tubbs C. R. & Jones E. L. (1964) The distribution of gorse (*Ulex europaeus* L.) in the New Forest in relation to former land-use. *Proc. Hants. Field Club* **23**, 1—10.
- Turner C. (1970) The Middle Pleistocene deposits at Marks Tey, Essex. *Phil. Trans. R. Soc. B* **257**, 373—435.
- Turner C. & West R. G. (1968) The subdivision and zonation of inter-glacial periods. *Eiszeit. Gegenw.* **19**, 93—101.
- Turner J. (1964) Surface sample analyses from Ayrshire, Scotland. *Pollen et Spores* **6**, 583.
- Turner I. (1970) Post-Neolithic disturbance of British vegetation. In D. Walker & R. G. West (eds.), *Studies in the Vegetational History of the British Isles*. pp. 97—116. Cambridge University Press.
- Van der Hammen T., Wijnstra T. A. & Zagwijn W. K. (1971) The floral record of the late Cenozoic of Europe. In K. Turekian (ed.), *Late Cenozoic Glacial Ages*, pp. 391—424. Yale University Press.
- Vita-Finzi C. (1973) *Recent Earth History*. London, Macmillan.
- Walker D. (1966) The Late Quaternary history of the Cumberland Lowland. *Phil. Trans. R. Soc. B* **251**, 1—210.
- Walker D. (1970) Direction and rate in some British Post-glacial hydroseres. In D. Walker & R. G. West (eds.) *Studies in the Vegetational History of the British Isles*. Cambridge University Press.
- Walker D. (1972) Vegetation of the lake ipsea region. New Guinea Highlands II. Kayamanda Swamp. *J. Ecol.* **60**, 479—504.
- Walker D. & Walker P. M. (1961) Stratigraphic evidence of regeneration in some Irish bogs. *J. Ecol.* **49**, 169—185.
- Wanstall P. J. (ed.) (1963) *Local Floras*. Bot. Soc. Br. Isles, Conference Report No. 7.
- Watt A. S. (1962) The effect of excluding rabbits from Grassland A (Xerobrometum) in Breckland, 1936—60. *J. Ecol.* **50**, 181—198.
- Watt A. S., Perrin R. M. S. & West R. G. (1966) Patterned ground in Breckland: structure and composition. *J. Ecol.* **54**, 239—258.
- Watts W. A. (1963) Late-glacial pollen zones in Ireland. *Ir. Geogr.* **4**, 367—376.
- Watts W. A. (1973) Rates of change and stability in vegetation in the perspective of long periods of time. In H. J. B. Birks & R. G. West (eds.), *Quaternary Plant Ecology*. pp. 195—206. Oxford, Blackwell Scientific Publications.
- Watts W. A. & Winter T. C. (1966) Plant macrofossils from Kirchner Marsh, Minnesota—a paleoecological study. *Bull. geol. soc. Am.* **77**, 1339—1360.
- Webb T. (1973) A comparison of modern and presettlement pollen from southern Michigan (USA) *Rev. Palaeobotan. Palynol.* **16**, 137—157.
- Webb T. & Bryson R. A. (1972) Late and Postglacial climatic change in the northern Midwest, USA: Quantitative estimates derived from fossil pollen spectra by multivariate statistical analysis. *Quaternary Research* **2**, 70—115.
- West R. G. (1964) Inter-relations of ecology and Quaternary palaeobotany. *J. Ecol.* **52**, (Suppl.), 47—57.
- West R. G. (1968) *Pleistocene Geology and Biology*. London, Longmans.
- West R. G. (1970) Pollen zones in the Pleistocene of Great Britain and their correlation. *New Phytol.* **69**, 1179—1183.
- West R. G. (1971) *Studying the Past by Pollen Analysis*. Oxford Biology Reader No. 10. Oxford University Press.
- West R. G. & Sparks B. W. (1960) Coastal interglacial deposits of the English Channel. *Phil. Trans. R. Soc. B* **243**, 95—133.
- Westenberg J. (1947 a) Mathematics of pollen diagrams. I. *Proc. K. ned. Akad. Wet.* **50**, 509—520.
- Westenberg J. (1947 b) Mathematics of pollen diagrams. II. *Proc. K. ned. Akad. Wet.* **50**, 640—648.
- Westenberg J. (1967) Testing significance of difference in a pair of relative frequencies in pollen analysis. *Rev. Palaeobotan. Palynol.* **3**, 359—369.
- Wightman W. R. (1968) The pattern of vegetation in the Vale of Pickering circa 1300 A. D. *Trans. Inst. Br. Geogr.* **45**, 125—142.
- Wilcox W. W. (1964) Preparation of decayed wood for microscopic examination. US Forest Service Research Note FPL-056.

- Williams M. (1970) *The Draining of the Somerset Levels*. Cambridge University Press.
- Williams M. (1970) The enclosure and reclamation of waste in England and Wales in the eighteenth and nineteenth centuries. *Trans. Inst. Br. Geogr.* 51, 55—70.
- Williams M. (1972) The enclosure of waste land in Somerset, 1700—1900. *Trans. Inst. Br. Geogr.* 57, 99—123.
- Williams M. (1974) *The Making of the South Australian Landscape*. London, Academic Press.
- Willis E. H. (1969) Radiocarbon Dating. In D. Brothwell & E. Higgs (eds.), *Science in Archaeology*, pp. 46—57. London, Thames & Hudson.
- Willis E. H., Tauber H. & Munnich K. O. (1960) Variations in the atmospheric radiocarbon concentration over the past 1300 years. *Radiocarbon* 2, 1—4.
- Wright H. E. (1971) Late Quaternary vegetational history of North America. In K. Turekian (ed.) *Late Cenozoic Glacial Ages*, pp. 423—464. New Haven, Yale University Press.
- Wright H. E., Cushing E. J. & Livingstone D. A. (1965) Coring devices for lake sediments. In B. Kummel & D. Raup (eds.), *Handbook of Paleontological Techniques*, pp. 494—520. San Francisco & London, Freeman.
- Wright H. E. & Patten H. L. (1963) The pollen sum. *Pollen et Spores* 5, 445—450.
- Yarnell R. A. (1969) Palaeo-ethnobotany in America. In D. Brothwell & E. Higgs (eds.), *Science in Archaeology*, pp. 215—229. 2nd Edition, London, Thames & Hudson.
- Yarwood S. M. (1974) Spatial aspects of growth and competition in a forest plantation. Unpub. B. Sc. Thesis, University of Southampton.
- Yates E. M. (1965) Dark Age and Medieval settlement on the edge of wastes and forests. *Field Studies* 2, 113—153.

(张丕远 谢又予 龚高法译, 阳含熙校)

第三章 植被的描述与分析

F. B. Goldsmith 和 C. M. Harrison

1 引 言

许多生态学家认为植被是生态系统的一个组成部分,它以明显和易于量度的形式表现出其他环境条件和历史因素的作用。所以植被的细心分析可做为揭示生态系统中其他成分的有用信息的手段。因此,研究人员的工作通常从野外的植被描述做起,随后在实验室内对这些记载进行分析。研究工作的这两个方面反映出植被的两种基本不同的概念。描述指的是“现实的”植被,而分析则涉及植被的“抽象”或“概括类型”的形成,这种抽象和概括类型是复杂的“现实”世界的简化形式。所以,研究人员在工作一开始就必须判定最适合其目的的描述和分析方法。这种选择是一件困难的事,因为研究方法的确定受到研究目的、调查规模、工作人员的植物学知识和植被本身变异性质的影响(Webb, 1954)。

具有植物学素养并研究植物学问题的生态学家通常喜欢采用以区系成分为基础的研究方法。这需要植物区系方面的知识,还需要很多的时间和专业知识或者二者之一,特别在一个不熟悉的地区工作时更是如此。他们采用的方法还取决于所研究的问题是个体生态学(单个种)的抑或是群体生态学(群落)的,以及针对生产量的研究或因果关系的探索。个体生态学家通常需要测定一个易于得到的物种的多度和习性,而研究群落的群体生态学家却常为与植被变异性质相联系的问题所困扰。Willis(1973)已写成一本植物生态学导论教科书。生产量的生态学家需要有关干物重和热量的资料,而这些在收集时很费时间,并且是破坏性的。他们还经常涉及所需样品的数目以及这些样品最合理的空间分布。

另一方面,把植被做为动物栖居和取食场所而感兴趣的动物生态学家,通常更注意植被的结构(一般是分层的程度)和生境的多样性(Elton 和 Miller, 1954; Elton, 1966)。

在许多资源调查工作中,特别在森林资源清查和草场载畜量的估算中,植被描述是一个不可缺少的部分。土壤学家,在较小程度上还有地理学家和气候学家,都把植被做为他们研究因子的一个指示者。他们的研究较之生态学的研究来说,常常是在更为广大的规模上进行,并需要产生制图单位的分类(Birse 和 Robertson, 1967)。

森林学家常利用植物种属组成来指示森林立地潜力并帮助选择栽培树种。实际上常常包括了指示种的确定,这些指示种可鉴定森林立地的主要特征(*Juncus*, *Sphagnum*, *Pteridium*, 等),并且,描述植被的客观方法常常限于在研究工作中应用(van Groenewoud, 1965)。

这一章的目的是评论对生态学家适用的研究方法的范围,并且讨论每个方法所涉及的理论和实践问题,以及指出这些方法适用于那些场合。在易于得到的书刊上能够提供理论背景和某方法应用的实例时,我们就不再详尽叙述了。

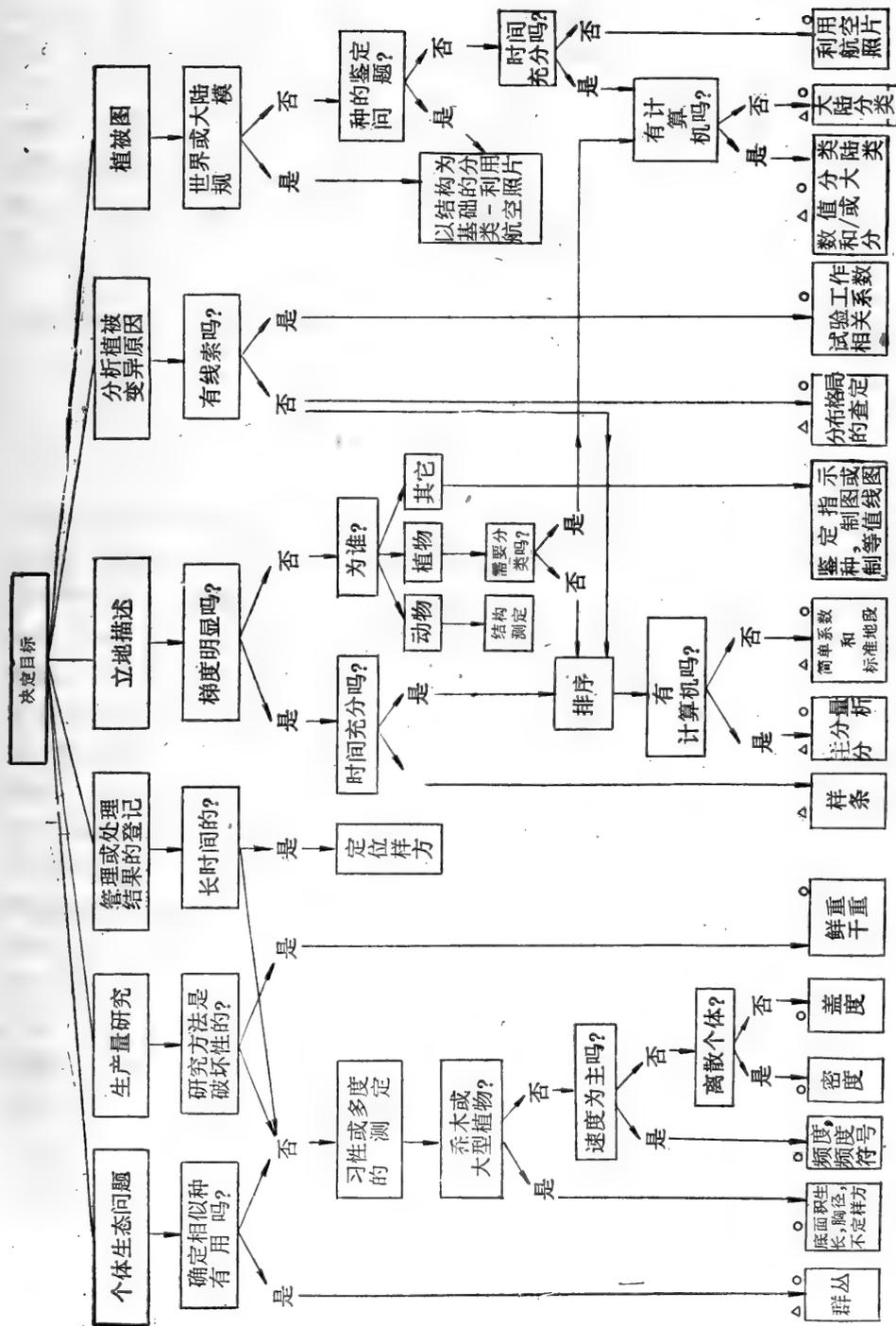


图 3.1 选择适当的植被描述和分析方法的一些商榷原则

△ 考虑测定多度

○ 考虑取样

选择一个方法的主要目标是这种方法提供信息的能力,但还没有一个生态学家成功地建立了一种客观检验方法,以对比各种技术取得的信息的多寡。选择研究方法的其它标准有:适合于计划目标,快速,准确,客观(可重复),和不具破坏性(Moore等,1970)。实际上,研究人员常常采用折衷方案,因为最客观的方法可能并不是最迅速的,或者,最准确的方法可能要破坏植被等等。不管怎样,假如在取样和分析植被之前就考虑到这些标准,最终的结果将相应地更有成效。

首要的抉择是确定研究目的,它决定了随后必须做出的一系列抉择,虽然这一点看起来似乎是不言而喻的。图3.1摘要列出了研究人员应当采用的各种决策过程。但必须强调指出,这仅仅是引导性质的。实际上,每个问题都是独特的,一个方法的选择应该以详细考虑问题的特点为基础。但是希望图3.1能够提供应该提出的各种问题的线索以及可能做出的各种决策的线索。

四本教科书与本章有普遍关系,可供参考(Greig-Smith, 1964; Kershaw, 1973; Kuchler, 1967; Shimwell, 1971)。

1.1 植被的动态

植被的一个复杂特征是它的动态特性;即植被组成部分在时间上所发生的分布和结构上的改变。例如,植被的季节变化就是普遍存在的,它至少直接地影响到生产量生态学家和个体生态学家。此外,植被的任何描述方法都受季节性的影响(Hope-Simpson, 1940),并且为了这种原因,一定要把野外描述日期在描述结果的记录上注明。季节变化在空间上的表现可能容易为野外生态学家所识别,但是由时间变化所产生的其它空间植被格局,就不可能这样迅速地鉴别。例如,有些作者指出,个别种的分布格局受竞争的影响(Harper, 1967),并指出在石楠灌丛群落中分布格局与一个种的竞争能力及其年龄有关(Watt, 1947; 1964)。Watt为蕨类(*Pteridium*)和*Calluna*分出了四种生长相(时期),即先锋相,发展相,成熟相和衰退相,他还阐明了这两个种的相对分布及其有关生长相的变化。在生长的先锋相和衰退相,植物个体的竞争能力最小,但在发展相和成熟相最富有竞争力。这种循环性的发展相明显地影响了种的分布,而且也影响到它们所属的植物群落的结构和生产力(Barclay-Estrup和Gimingham, 1969)。由于这样的植被分布格局类型取决于植物个体的生活史,所以在短命植物种占优势的群落中,分布格局的变化将是最迅速的,例如*Calluna*占优势的石楠灌丛是35年,而落叶木本群落则为200—300年。在未受干扰的情况下,这种周期性过程的单纯结果是建立一种可以察觉的植被镶嵌体,这种镶嵌体可长时期保持不变。许多群落都表现出这种周期性的生长格局,如石楠灌丛、草地、森林(Watt, 1947)、冻原(Billings和Mooney, 1959)和沼泽(Oswald, 1923),这主要与个别优势种的生活史有关,但同时有些例子似乎与火、风、霜冻、地下水位升降等环境因素相关,这些因素加强了发展周期中的某些特定的相(Ratcliffe和Walker, 1958; Burges, 1960; Anderson, 1967; Boatman和Armstrong, 1968)。

因此,植被的分布格局可能是植物本身内在变化的结果,也可能是外部环境因素所引起,或者是二者结合的产物。对群落生态学家来讲,这种周期性发展过程的含义是,在特定环境条件下空间变异主要是时间变异的结果,而不是由生境条件的原来差异所引起。

在一个较长的时间范围内，一个地区植被的分布格局可以超出如上述保持现状的周期性变化的范围而出现定向的变化。这种长时期的变化称为植物的演替。在植物演替过程中，一种群落被种类成分和结构都不相同的另一种群落所更替，所以，在一个长期间内，几个群落可以相继发生。尽管为了方便可以描述个别阶段，但这个过程是连续的。这种演替系列群落终于要被稳定的顶极群落所代替，在顶极群落范围内，不再进一步发生定向变异。按其原意，顶极群落是为一个区域的气候所控制的群落，也就是气候顶极(Clements, 1916)，后来，Tansley(1935)修订了这一概念，把在景观中达到相对稳定的所有群落都包括在内。在这些稳定的群落中，周期性的更新变化将是主要的。另一方面，它们本身虽不产生相继群落的更替，但会被新的植物种所侵入，这里，植被的空间分布格局、与其说是周期性变化过程引起，还不如说是竞争的结果。

植被的动态是一个复杂的课题，并已为 Margalef(1968)和 Odum(1969)所总结，他们通过增加“信息”内容来说明演替。但是，在植被的描述和分析中研究人员最感兴趣的、无疑是空间分布格局和时间变化这两种尺度之间的相互关系。所以，逐日的和季节的这种短期变化，最适于帮助了解大比例尺的植被分布格局，这种格局在个体生态研究中是遇到的；Watt(1947)所描述的那种周期性变化则与群落内部变异的研究关系最大；而演替变化很可能对群落之间的变异进行小比例尺的研究最有帮助(Harrison 和 Warren, 1970)。这些空间尺度和时间尺度是相关的，但无论如何不是绝对的，因为周期性过程也可能与个体生态研究相关，而演替研究则可能和大比例尺群落变异连在一起。这也就是任何生态学家都要考虑他所研究的植被动态关系的原因。

2 植被的描述

在特定地段上生长在一起的植物的集群叫做植被，其特征或者用它们的种类组成或者用其结构与功能特征的组合来表述，后者常表示出植被外貌的特征。这是一个重要的差别，它由现有许多描述植被的方法的范围所反映。结构或外貌方法不要求种的鉴定，常对小比例尺(大范围)的研究以及对其他学科工作人员的生境描述更有意义。例如，动物学家需要的植被描述是用来说明动物的生态位(niche)，动物生境和食物来源。以种类组成或区系成分为基础的研究方法更适用于植物学的或较为详细的大比例尺(小面积)研究。然而，欧洲大陆的植物社会学派也把这种方法用于大范围的植被分类与制图。重要的是，这些研究工作非常详细，并且耗费时间。尽管综合几十年的工作包括了大的面积，但这些方法从性质上看，可以认为是大比例尺(小面积)的。看来，分类方法最初是为大比例尺(小面积)研究制定的，随后才用到日益粗放的研究工作中。大陆方法和像群聚分析(见群聚分析)一类的定量方法都发生了这样的趋势。

2.1 以外貌为基础的方法

外貌用来表述植物集群的特征，但这种描述却充满了争论，而且文献中对外貌的用法也是不精确的。通常外貌指的是植被的外观；它的高度、颜色和繁茂程度；以及叶子的大小和形状。尽管这些特征似乎是显而易见的，但它们是功能和结构特征结合的产物(Fos-

berg, 1967)。功能特征在现在与过去的环境中是生存适应的产物,如常绿的或落叶的习性。结构特征则是植被组成部分的水平与垂直排列,如植物个体之间的距离以及个体的垂直分层。与这两个特征之一或两者都有联系的纯外貌特征是很难找到的。例如,叶子的大小可看做是对特定气候条件的机能适应,或者可看做是个体年龄的产物,或者当植物处于群落下层时,又可看做是遮荫的结果。无论如何,外貌特征对描述植被是有用的,其中包括生活型(一是按 Du Rietz 的理解,基本上是描述的;一是按 Raunkiaer 的理解,基本上是机能的),周期性和成层性。

2.1.1 生活型

Du Rietz(1931)给予生活型的定义和讨论恐怕是有关生活型的最全面的论述了,凡是把生活型做为一个描述特征的大多数其他作者,都以 Du Rietz 的分类系统做为自己的生活型分类的基础。Du Rietz 的分类系统列入表 3.1,这一系统以及在其基础上可以识别的植被类型都是一目了然的,如森林,木本群落,灌丛和草地。但是这些类型是极为表面和非常概括的,仅能做到对于大面积植被的粗放描述。

Raunkiaer(1934)提出的生活型分类方案可认为是应用最广的描述植被机能特征的标准。他以更新芽即下一个季节由此萌发新苗的芽距离地面的位置做为分类的依据。分成了 5 个广泛的主要生活型级,它们是:高位芽植物,地上芽植物,地面芽植物,隐芽植

表 3.1 Du Rietz 的生活型系统(1931)

A. 高等植物	
I. 木本植物(Ligniden)	
(a)	大木本植物(Magnoligniden)——高 2 米以上的乔木
1.	落叶乔木(md)
2.	长绿针叶乔木(ma)
3.	长绿阔叶乔木(ml)
(b)	小木本植物(Parvoligniden)——高 0.8 米到 2 米的灌木
4.	落叶灌木(Pd)
5.	长绿针叶灌木(pa)
6.	长绿阔叶灌木(pl)
(c)	矮木本植物(Nanoligniden)——高度低于 0.8 米
(d)	藤本植物(Lianen)——攀缘植物
II. 草本植物(Herbiden)	
(a)	陆生草本植物(Terriherbiden)
9.	真草本植物(Euherbiden)
10.	禾草(Graminiden)
(b)	水生植物(Aquiherbiden)
11.	睡莲型(ny),具根和飘浮叶(<i>Nymphaea</i>)
12.	黑藻型(e),具根,无飘浮叶(<i>Elodea</i>)
13.	水韭型(i),具根,水底丛生(<i>Isoetes</i>)
14.	浮萍型(le),无根,自由飘浮(<i>Lemna</i>)
B. 苔藓植物	
15.	真苔藓植物(Eubryiden):除 <i>Sphagnum</i> 之外的所有藓和苔
16.	泥炭藓(Sphagniden)—— <i>Sphagnum</i> spp.
C. 地衣	17. 地衣
D. 藻类	18. 藻类
E. 真菌	19. 真菌

物和一年生植物,见图 3.2。高位芽植物其更新芽位于距地面至少 25 厘米以上的各种高度的空中。它们大部分是木本植物,乔木和灌木,并可按高度进一步分为:

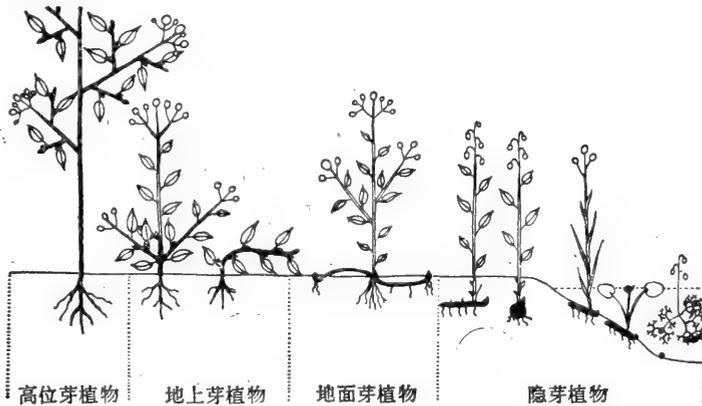
大高位芽植物	高于 30 米
中高位芽植物	8—30 米
小高位芽植物	2—8 米
矮高位芽植物	25 厘米到 2 米

还可根据是否有芽鳞或是否落叶再进一步划分。

地上芽植物也是木本植物或半木本植物,它们的更新芽接近地表,与地面的距离小于 25 厘米。又可进一步分为:

- 半灌木性地上芽植物
- 被动地上芽植物
- 自动匍匐地上芽植物
- 垫状植物

地面芽植物的更新芽位于地表。这是一个大而庞杂的类群,包括许多禾草型的和草本的种。



植物在不利季节的枯死部分未染色,具更新芽的多年生部分染黑色。

图 3.2 Raunkiaer 生活型图解(据 Raunkiaer, 1934)

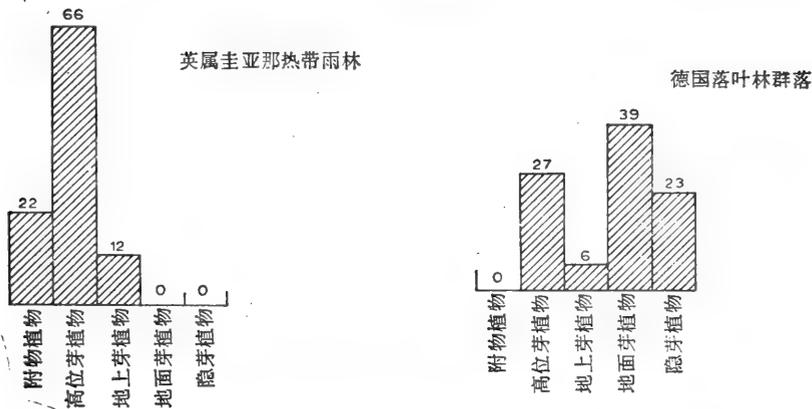


图 3.3 英属圭亚那热带雨林和德国落叶林群落的生活型谱

隐芽植物的更新芽在土壤表面下或水中。

一年生植物以种子中的胚度过一年中的不利季节。

一个地区内每类生活型的种数对该地区植物总种数的比称做生活型谱，可用图解表示(见图 3.3)。生活型谱的定量表示法给予区域之间植物区系类型以较客观的比较。Raunkiaer 也认为，由于更新芽的位置是对气候条件的机能性适应，因此不同生活型的相对多度可用做各种气候类型的指示者。他根据特有的生活型谱划分了植物气候区域，同时，尽管象 Koppén(1928)和 Thornthwaite(1948) 等人的气候分类都提到了植被型，植被界线和气候之间的相互关系毕竟是极其微弱的。这里无休止争论的危险是，这种分类的价值甚至在全球范围内上也是有问题的。但这并不能否定 Raunkiaer 的生活型分类在其他范围内做为描述植被的一种尺度的用处。它被工作人员广泛地用于许多不同的环境中。例如在热带，植物种类丰富，结构复杂，很少有现代的植物志，这使得即使是对植被做初步描述也是很困难的，Raunkiaer 的系统对这些问题却给了一个实用的答案。Richards (1952)曾论证这个系统做为热带条件下进行研究的基础是有用的，Webb 等人(1970)也是这种看法。它的价值对不太复杂的植被类型也是被肯定的，象 Tansley 在《英伦三岛及其植被》(1939)中的描述就是一个例子。的确，该系统的应用在这样一些地区比较容易，在那里的植物志中包括了生活型的资料[如 Clapham, Tutin 和 Warburg(1962)]。

2.1.2 周期性

周期性是经常用来补充生活型描述的第二位的功能特征。这里周期性指的是植被或个别植物种的各种生长相，它是在季节性气候条件下描述植被的具有明显吸引力的一种手段。在植被的初步描述中常常做出常绿或落叶特征的记载。但 Salisbury (1916) 描述温带落叶林群落中草本植物生长和开花时期的方法时，采用了一个更为动态的要素。他分出三个主要的生长期：早春的，春季的和夏季的，并对所遇到的主要植物种编制了物候图。另一些研究利用这种方法描述了 Raunkiaer 生活型的生长期(Preis, 1939)。在野外进行周期性记载可能是单调乏味的，需要长期的野外观察，但是它能够为比较详细的研究工作提供有用的基础。

2.1.3 成层性

周期性常常和植被的垂直结构与水平结构有关，特别是和植被组成部分的垂直层次有关。以高度的差异做基础的植被多少形成连续层的认识是一种分层描述植被的手段，并且是大多数生活型分类中所具有的。在比较局部的范围内，分层方法可用来简化并描述复杂植被类型的结构。根据高度进行每个层的描述，并在大多数情况下记载种类组成以补充这种初步的描述。Davies 和 Richards (1933) 在热带开辟了一种研究技巧，即在一个剖面图(见图 3.4)中包含了完整的植物群落结构的直观描绘。这些作者小心地测量了一条通过热带雨林的路线而砍倒的主要树种。贯穿各层的分层结构法在种类丰富、生长繁茂、整个植被都很复杂的环境中，提供了一个有用的手段，以补充对生活型的描述。但是，这种方法要破坏植被，并且要花费很多时间和精力。Tansley (1939) 在描述温带落叶林时采用了这种方法，但是在这里是估算就地看得见的各层的高度。Elton 和 Miller (1954)原为野外动物学家设计的生境分类也采用了贯穿以不同高度为特征的各个层的分

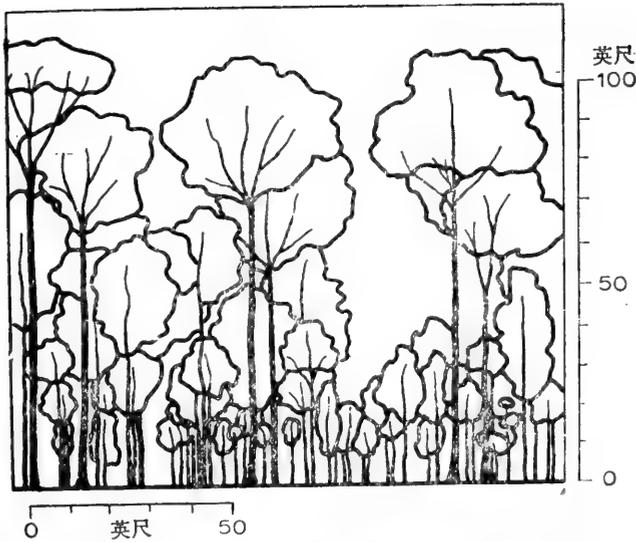


图 3.4 森林剖面图(据 Davies 和 Richards, 1933)

层结构法。

分层结构法像用于地上部分那样,也可用于植被的根系组成。在这种情况下,穿过土壤挖掘壕沟以暴露出根系,然后用水喷头把根系喷洗干净。Weaver 和 Glements (1938) 以及 Coupland 和 Johnson (1965) 提供了北美草原植物根系成层的许多例子,另一些作者则研究了石楠灌丛植物之间 (Rutter, 1955) 以及钙土植物与嫌钙植物之间 (Grubb 等, 1969) 的相互关系。贯穿各层的这一方法本身并不是终结,但它可提供植物与环境相互关系的有益的初步线索,有利于而后的调查,而且它还提供了对结构复杂的群落清晰的概括。

概要地讲,所有以外貌特征为基础的植被描述在本质上都是概括性的,但它们提供了一种能说明问题的描述手段,这种描述常常是基于植被的易于相当迅速地量度的特性。这些特征甚至对未经充分训练的观察者也可以单独应用(参看 Webb 等, 1970),特别是因为这一点,外貌描述在许多不同使用者中间进行概查时保持了它的大众性,并用于广阔的范围。

2.2 以区系成分为基础的测定

详细的研究通常要求调查一个地区的种类组成。这种调查可以附有一个地段内每个种的总数或多度的报道。区分多度与丰富度是有益的,后者指一个特定地段上种的数目。

2.2.1 毁坏性的测定

生态学家理想的是需要有关不同植物种的相对重量或相对体积的资料,但是收集这些资料时需要破坏样地。假使有下列情况,这将是令人不满意的:(1) 进一步还需要样地(例如将观察一年的或长期的变化);(2) 样地所在处是显著的自然风景区或生物学上特别感兴趣的地段;(3) 某一个种是稀有的。

最普通的是鲜重与干重的测定，二者都是不言而喻的。鲜重的缺点是随植物含水量的不同而变异；干重是在 100°C 下干燥 24 小时后测定的。当考虑总体植被而不考虑个别植物种时，这种测定常常称之为生物量，假如用单位面积和单位时间或二者之一做基础来表示时，这种测定称之为产量（参考第四章）。

2.2.2 非破坏性测定

这种测定的优点是具有可重复性，并且对植被的损害最小。有若干方法，其中的一些可以进一步划分，但是在其效能方面没有那一个是理想的（Brown, 1954; Greig-Smith, 1964; Kershaw, 1973）。各种方法都需利用取样单位，至于所要求取样单位的大小及数目将在本节的后面讨论。

密度 密度是每一单位面积上一个特定种的个体数目。通常用若干样方进行计算，样方中计数乘以所研究的面积，并除以取样面积，即得出研究地段的密度。这种测定和取样单位的大小无关，可以说是“绝对的”。在确定个体时很少遇到困难，动物学家很喜用密度测定，但在许多植被类型中是做不到的。确定乔木、灌木、丛生禾草或丛生苔草、田间杂草以及像兰科等个体显著的草本植物的密度是简单的，但对扩散生长的一些种，如禾草和三叶草，用这种方法几乎是不可能的。在一块永久牧场上确定禾草植物的个体是做不到的，并且，如果不是特别小的样方，分蘖的统计也是不可能的。

盖度 盖度是所研究的各种植物个体的地上部分垂直投影所占地面的比率（Greig-Smith, 1964），通常用百分数表示。由于不同种的重叠覆盖，一个地段的总盖度可以超过 100%，在层次很多的森林中可以达到百分之几百。这也是一种绝对的量度，可用下列方法记载：（1）目测估计；（2）用简易盖度测针（常叫做点样方）；（3）用测针架或十字框。

盖度的主观测定仅仅是目测估计。得到的百分数可以用一个代表它的出现的范围的数字来表示。这样的数值常常称做 Domin 值，并且多为欧洲大陆植物社会学家所应用（Bannister, 1966）。Domin 等级最初的用法包括了盖度和多度，但在力求客观性的生态学家之间，综合等级是不受欢迎的，而一般喜欢用单纯的盖度级。

虽然已提出若干个盖度级（Shimwell, 1971），通常使用的是 Domin 和 Braun-Blanquet 的两种（表 3.2）。

这种测定可能以它们是“假数量的”并且与频度相比几乎增加不了内容为理由而受到批评（Tansley 和 Adamson, 1913），但是它们在野外应用时是容易和快速的。

简易盖度测针可用于象草地这样的低矮植被，可迅速、容易而准确地给出多度的测定。由于测针直径的增加，出现了夸大误差，如图 3.5 所示，故测针的横断面积应为零。叶子细小的种要比叶子宽阔的种误差大一些。自行车辐条常被用做盖度测针，并且通常与植被保持垂直，虽然有些作者提倡使针倾斜（Warren Wilson, 1960）。测针可以装在架子上，并能通过两个平行横板上一系列的洞而上下移动，一个横板垂直地固定于另一个横板的上方（图 3.6）。使用金属十字线的架子除了孔比较大或管孔中嵌入金属丝外，在结构上是相似的（图 3.6），用时从上面观察（Winkworth 和 Goodall, 1962）。

一般记载每个测针从植冠到地面所触及的各个种，虽然某些作者还注明每个种被触及的次数。这就是通常所说的覆盖度，并且很可能对于产量有更大的相关，不利的是记载

表 3.2 通常使用的盖度级

等 级	Domin	Braun-Blanquet	Hult-Sernander	Lagerberg-Raunkiaer
+	唯一的个体	小于 1 %	—	—
1	1—2 个个体	1—5	0—6.25	0—10
2	盖度小于 1 %	6—25	6.5—12.5	11—30
3	1—4	26—50	13—25	31—50
4	4—10	51—75	26—50	51—100
5	11—25	76—100	51—100	—
6	26—33	—	—	—
7	34—50	—	—	—
8	51—75	—	—	—
9	76—90	—	—	—
10	91—100	—	—	—

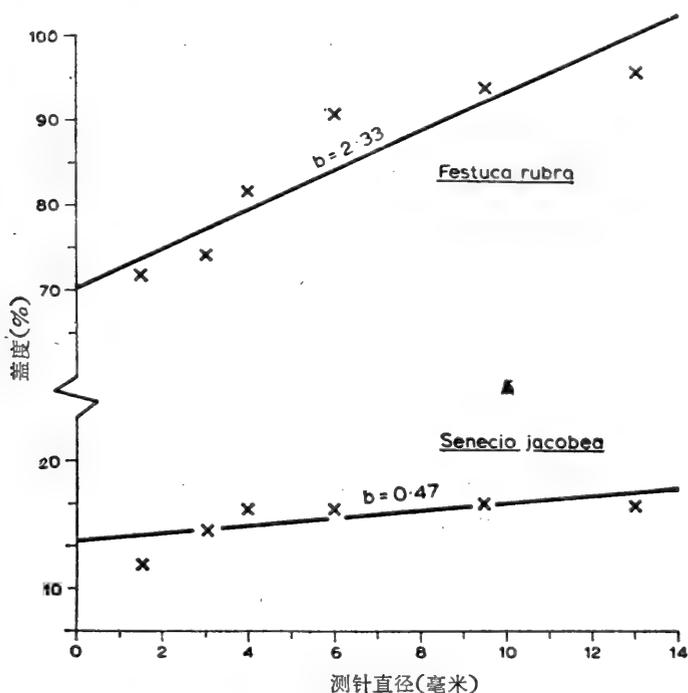


图 3.5 增加测针直径对两个种盖度值夸大的比较(据 Horner 和 Allan)

起来很困难。仅仅记载每个测针所触的第一个种,亦即最上层的种,看来是无意义的。

盖度的应用大半限于象草地那样的低矮植被以及林地的草本层。在高的石楠荒原和密灌丛中,测针和测针框的使用是困难的。盖度已被证明在反映植被由于管理或生物数量波动而发生的变化方面是十分敏感的。例如,Thomas(1960)用这种方法成功地记录了英国白垩草地的变化,这种变化是随了野兔种群数目因粘液瘤病(myxomatosis)引起下降而发生的。

频度

频度是指一个种在一定地区内的特定样方中出现的次数。它是用样方法调查并且用

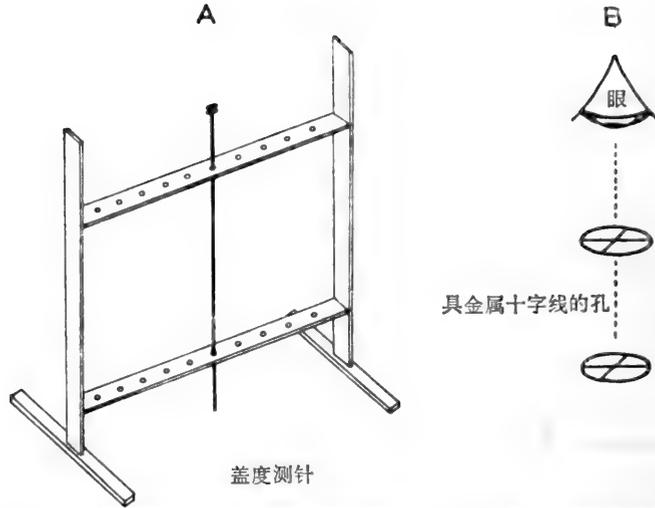


图 3.6 (A) 固定记载盖度百分数的测针所使用的架子, (B) 金属十字线的用法示例

一个种所出现的样方数目对样方总数的比或更常用百分数来表示。频度的记载极其迅速而容易,因而为生态学家普遍采用。但是,这些好处必须面对两个重要的缺点而衡量:

1. 频度取决于样方大小,由于这种原因,测定被认为是非绝对的 (Greig-Smith, 1964)。必须经常注意选择最适宜的样方大小(见下面),而且任何时候记录频度值,必须说明样方大小。样方大小的选择取决于所涉及的种的形状和大小,植被的不同层次采用不同大小的样方 (Gain, 1932)。

2. 得到的频度值反映了个体的分布格局及其密度。换言之,它表达了有关分布格局和多度两者的情况,并且因而混淆了植被的两个基本的和重要的特性。表 3.7 展示了三个地段,每个地段都有相同数目的个体。但是,因为个体的分布格局不同,它们产生出不同的频度值。

当记载频度时分别出根频度与枝条频度是有益的 (Greig-Smith, 1964),也就是当记载频度时是以固着于样方面积内的种的个体为基础,还是以记载出现的任何地上部分,甚至它们是固着于样方之外的植株部分为基础。通常采用的是根频度。

有些工作者使用的样方用线绳或铁丝再进一步区分 (Archibald, 1949)。常常把 50×50 厘米的样方再分成 25 个小样方。而后,频度可用每一个这样的方框表示,这样每个小面积都有一个数值的做法有其用处。为了排序或数量分类而收集数据就是这种情况。

基面积、围长与直径

这是对丛生草、灌木和乔木等大个体的种通用的量度指标。在有关密度能预测木材产量的资料中它们已被森林学家广泛地应用。正象它们的名称所表示的那样,这里包括植物不同高度的直径、围长与面积的测定。从地表测定基面积是不常用的,因为许多个体由于板状根、支柱根等使其基部轮廓呈扭旋状。因而,普通采用的是一个适宜的高度 (4 英尺 3 英寸,或 1.3 米,称做胸高)。

测定乔木的围长常用专门的测尺(四分围长测尺),这种测尺对于重要用材乔木种来

样方大小

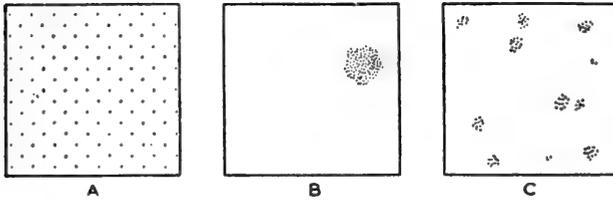


图 3.7 取决于个体分布格局的频率百分数。每一组存在的个体数目以及使用的样方大小均相同,但从这三个群落中将获得差别很大的频率值(引自 Kershaw, 1973)

说,可直接从表上估算木材产量。

无样地法

在森林和灌丛中使用时样方和盖度测针或划定样方面积都很困难,导致使用无样地法去估算密度(见 Greig-Smith, 1964; Shimwell, 1971)。这种取样方法也可以用来收集有关物种竞争、生长和环境因子的资料。已提出四种不同的方法(Gottam, 1947; Gottam 和 Curtis, 1949, 1955, 1956),都是以一些随机点做为基础(图 3.8)。

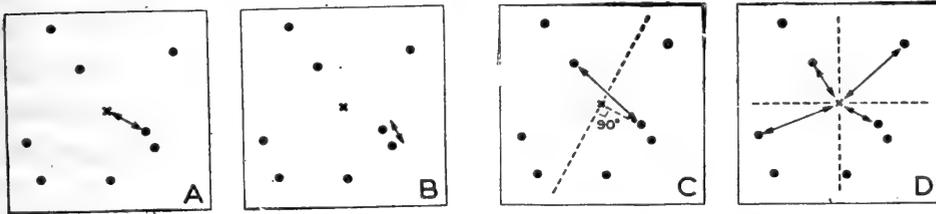


图 3.8 无样地取样法: (A) 最近个体法; (B) 近邻法; (C) 随机成对法; (D) 中心点四分法。

1. 最近个体法: 测定距每一随机点最近的个体。
2. 近邻法: 测定随机一株和其最近的邻株。
3. 随机成对法: 测定取样点两边两个相对的个体。
4. 中心点四分法: 测定从取样点到每一象限内最近个体的距离。

从每一个这种测定的平均值可以计算平均面积并从而计算种的密度:

$$\text{密度} = \frac{\sqrt{\text{平均面积}}}{2}$$

Pielou(1959, 1962)提出在某些情况下分母的校正系数应该是经验的计算,并讨论了在分布格局和竞争的研究中这种方法的用途。Yarranton(1966)曾用鱼网的交叉点做为点样方去测定种间组合,并将这种方法称做植被取样的无样地法。

习性 (performance)

生态学家使用过各种测定生活力或习性的方法,这些方法由 Chapman 在第四章中描

述。

2.2.3 取样

以上所述非破坏性的和破坏性的两种测定方法,均需使用某种取样单位,一般为样方。正如我们已经知道的,方法的选择可能是一个大问题,甚至在这个问题已经圆满地解决之后,仍然还存在取样的数目、大小和排列等困难。取样方法的选择还取决于问题的性质,种的形态,种的分布格局,以及调查时间的长短。这里只能介绍可采用的主要方法及其理论上和实践上的优缺点的梗概。研究工作者在他的专门问题范围内总是要做出最后的抉择。

有六种主要的取样方法可供选择,这些方法通用的程度不同,但它们之中的每一种都更适合于某些条件。

1. 代表性样地(主观的或选择的)

样方是主观布置的,包括了有代表性的面积或具有某些特点的面积,就象被研究的一个种那样。在某些情况下,从实际出发这是唯一可能的安排,例如悬崖一类不易接近或危险的地方。这种取样方式所取得的资料不能用于统计学分析,包括象 t -检验, F -检验, 群聚, 相关或回归等显著性测定的方法,但是却适用于象排序等某些多变量技术。

2. 随机取样

一般认为随机取样是“理想的”取样方法。按定义讲,每一样品必须有同等的被选择机会,并且在互相垂直的两个轴上利用的成对随机数字作距离来确定样品的位置。这类方法的一个变体就是通常所说的随机步程法,包括沿着一个罗盘方位以随机步数行进,取样,改变方位并重复这一程序。随机数字可取自诸如 Fisher 和 Yates(1963)的统计表,或取自 Bingo 盘,电话簿,游戏纸牌等。从一个人的左肩上方或任何其他花样投掷样方,无论如何也达不到样品的随机分布。

全部统计检验都假定样品单位是从随机取得的,假如研究工作者有什么疑义的话,这种方法是必须采用的。

3. 规则取样或系统取样

随机取样的一个问题即样品点在面积上的分布是不规则的,某些面积样品过少,而另一些面积上样品过多。然而,采用方格取样能达到规则排列,随后做出的评价较为准确。但它们的准确程度是不能评定的,而且数据也不能进行统计分析。假如不要求统计分析,该方法是有优点的,即比起随机取样来说,需要较少的样品。

在所研究的区域内,假设具有规律化分布格局时,必须小心使用。通常引用的典型例子是广大面积具有沟和垄的永久牧场。在这种场合如果采取规则取样,取样的规律又和植被中分布格局的规律一致,则将导致非常歪曲的结果。沙丘和丘间低地以及北极植被的多边形分布格局,也会出现类似的问题。

4. 限定随机(部分随机)取样

这是介于系统取样和随机取样之间的折衷方法,并结合了二者的若干优点。所研究的地段进行再划分,每个分地段用随机取样法。使用这种方法,研究地段内每个点都有成为样品的更大机会,而且数据适于统计分析。但是,无论和那一方的“母”方法比较都更费时间,因为面积必须用网格划出而且需要决定随机点的位置。

5. 样条

样条是系统取样的一种形式,在样条上,样地呈直线排列,而且一般是连续的。这在研究中是很常用的,但它实际上仅仅适合于梯度变化的研究,那时样条的排列应该和带垂直。例如,在盐土沼泽,潮间带,沙丘演替,水生系列,海拔梯度,从干到湿的石楠灌丛,以及放牧践踏强度等。森林中常用一套大小样地重叠的技术取样(图 3.9)。

样条取得数据总是用种和有关环境因素的频度直方图来表示。然而 Davies 和 Richards(1933,参阅前面)的“剖面图”也常用来描述森林的分层现象。

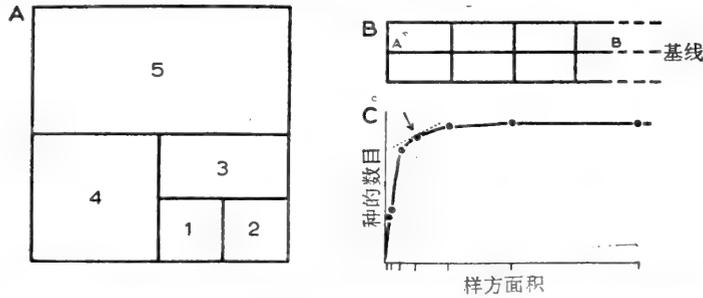


图 3.9 按 A 或 B 所示方式适当的排列样方,做出种-面积曲线(C),该曲线可用来确定植物群落的最小面积(引自 Shimwell, 1971)

6. 分层取样

这一取样方法在其他学科中比在生态学中使用更为广泛。它包括把研究地段进一步划分为相对地同质的部分,然后在每一部分内按其面积或其他参数取样。例如,草地和灌丛的镶嵌体,应该将这两种成分划分开,然后分别取样;又如具有清楚地分带标志的成带现象,也适于用这种取样方式。因此可以认为,不同群落的识别是分层取样的一种方式。可能,群落边界不精确的特性,妨碍了这一取样方法在生态学中的使用,但是它表现的优点是不容忽视的,特别在大范围的小比例尺考察中更是如此。

样方的数目

研究人员在考虑取样单位的数目时,应采用的一般法则是“越多越好”。但是,与记载所有事物的方法相反,取样的目的是减少所花费的劳动和时间。因此,实际采用的数目是介乎很大的理想数目和花费很少时间去收集的很小数目之间的折衷数。尽管选择是比较人为的,但从一个简单的实验可以获得应采用的最小数目的准则,绘制滑动平均值或方差对样方数目的相关曲线(图 3.10)就是这样的简单实验。摆动趋于平缓的一点的样方数目,就是最小数目。

这一数目还可以从百分数的基础上得出。假如取样单位的最适面积已经确定(参阅下面),事先决定要选择研究面积的 5%, 10%, 或 20% 为样品,就可作出样方最适数目的选择。某些统计检验要求至少有 30 个数值,在没有其他标准的情况下,这可以看成是一个有益的指标。另一个有用的标准是,一个样品面积内的方差应小于样品面积之间的方差。假如数据相当一致,比值变化很大时要求较少的样品。但是,不可能提出绝对数值,因为在野外所遇到的不异性范围(range of heterogeneity)是十分宽广,并且研究计划所要求的精度是不同的。

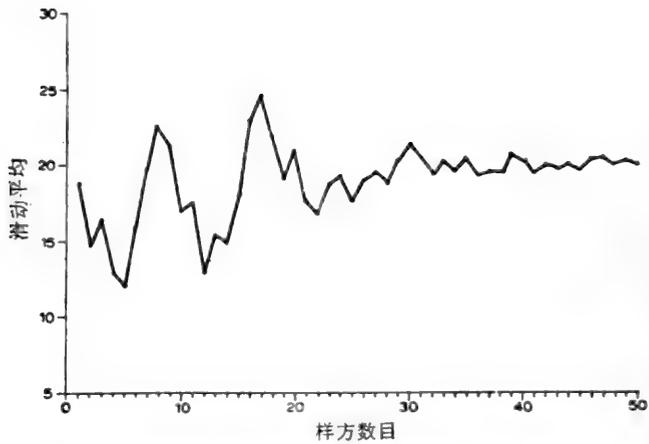


图 3.10 估算所需样方最小数目的一个简单试验。滑动平均方差对样方数目的相关曲线

样方的大小

在选择样方大小时,首先要考虑取样的植被中植物种的形态以及植被的均匀性。小样方适宜研究小植物,例如,10×10 厘米或 25×25 厘米的样方可适用于白垩土草地、田间杂草和固定沙丘草地,而大样方则适用于灌丛和木本植被。收集植被分类或排序的数据的取样单位应该考虑到植被的均匀性,并且要比该植被的“最小面积”[按 Poore,(1955),的定义,参考下面]稍大一些。

样方的形状

样方照传统是方形的。但边际影响是误差的原因之一,假设边长对面积的比例缩小,则边际影响也稍为减少,而且通过使用圆形样方这是可以做到的。然而,Chapham(1932)却提倡使用长方形样方,而使方向和植被中主要变异梯度平行。可是,长与宽之比越大,边际影响也越大。使用不同形状的样方所引起的差异是非常小的,并且没有什么太大的重要性。

永久样方,照像记录

最好用永久样方或永久样条去研究植被的长期变化。例如,Watt(1962)用永久样方研究了消除野兔吃草之后草地的长期变化,Thomas(1960)为了同样目的而使用了样条。对大比例尺(小面积)研究,使用皮尺从两个基准钉之间绘制相当精确的个体图也是可能的。较小比例尺的研究,如果精密度不是最重要的话,则需要用平板仪技术,或者用经纬仪导线测量。对最小比例尺(最大面积)则推荐使用航空照片或一系列已有的图。Moor(1962)用后一种方法研究了 Dorset 县石楠灌丛的变化。

在野外用 35 毫米手持照相机直接照像记载植被,可以节约时间,但是随后确定种的多度比较困难。另一修正方法是使用气球把照相机固着于地面上几英尺处(Duffield和 Forsythe, 1972)。Chapman(私人通讯)发展了这种方法,他使用一个两脚架固定照相机

并产生成对的立体照片,可称做“亚航空照相”。和电子计算机数据整理结合在一起的自动显相记录是航空照像记录的发展,并在理论上是可行的,但尚待试验。

通常用桩、钉、彩色标签等方法来标记试验地段。但是,Wadsworth(1970)介绍了一个方法,即 Vandal 试验(Vandal-proof),利用磁性标记,并用磁力仪重新找出其位置。

最小面积

这是一种概念又是一种测度方法或一系列测度方法,它的目标是反映植被的固有特性,以及植被在不同尺度上的相对均匀性。有时,最小面积做为一个表述植被的概念是有用的,但是更多情况下是引起混乱。Shimwell(1971, p. 15)把最小面积规定为这样的最小地段,在这个地段内对一个特定群落类型能提供足够的环境空间(环境的和生境的特性),或者能保证展现出该群落类型的种类组成和结构的真实特征。这里至少有三种正在应用的定义,如下述。

1. 以种类组成为基础的方法

可以用种的数目对样方面积的关系(图 3.9),绘制种-面积关系曲线。开始应使用小样方,随后用一组逐渐扩大的方法把样方面积加倍。

种-面积曲线最初陡峭上升,而后呈水平延伸,并且有时再上升,就象进入植被的另一发展阶段时所表现的那样。曲线开始平伸的一点即群落的最小面积。象欧洲大陆多数植物社会学家所做的那样,这个点从图形上用肉眼识别出来,但也可以事先决定一个曲线坡度(Hopkins, 1955)。象所介绍的这种方法简单而有效,但是一般最好不要把它解释成具有任何种的特殊生态意义,可是在小比例尺植被调查中,它可以用做样方大小的初步标准(Poore, 1955)。

2. 以种的频度为基础的方法

假设用不断扩大的样方面积来估算频度,那么,频度超过 90% 的种的数目就是样方中恒有种的数目。然后可以按上述方式绘制恒有种的数目对样方大小的曲线,恒有种全部出现时的样方面积即最小面积。

Archibald(1949)把最小面积规定为至少有一个种的频度值达 95% 的样方大小。这是一个相当人为的定义,通常并不采用。

3. 以均匀度为基础的方法

Goodall(1954)把最小面积规定为这样的最小样地面积,在该面积内,各个取样单位之间种类组成的预期差异和它们各自的距离无关。换句话说,在该面积内不形成分布格局(参考下面,81页)。这种方法在学术上是有意义的,但在实践中一般不使用。

2.2.4 多样性指数

多样性(diversity)是被不同作者以不同方式解释过的一个概念,这主要决定于他们的研究尺度。(1) Williams(1964)描述了一些以不同种群内个体数目为基础的方法。(2) MacArthur(1965)、McBintosh(1967 a)和Whittaker(1965,1970)讨论了以丰富度(richness)亦即单位面积内种的数目为基础的方法,虽然这类方法可以和优势度的测定结合起来。(3)多样性一词用来表述生境的数目,特别是在自然保护的管理方面。

Williams 所谈到的大多数方法是以 Simpson(1949)和其他人的工作为基础的,和

物学家有关,而较少用来做植被特征的描述。植被的种的多样性与纬度、海拔有很高的相关,而动物种的多样性则与植被的分层性有高度相关。尽管多样性的含义有些混乱,它却是一个重要的概念,主要因为有些作者提出高度多样性与稳定性是有联系的 (Leuven, 1966; Ratcliffe, 1971; Maarel, 1971; Whittaker, 1969)。有时,这种讨论包括了信息论和相关理论的研究,确认二者是有关系的。但是,最简单的种的多样性的测定似乎是丰富度,而生境的多样性是列举按照某些系统所确定的生境数目 (Elton 和 Miller, 1954; Elton, 1966; 自然保护区促进学会, 1969; 等等)。

3 植被的分析

以上讨论的方法所涉及的是地面上植被的描述。我们现在考虑的适用于生态学家的方法有: (1) 地区的比较, (2) 植被变化和环境因子的关系, (3) 控制因子的鉴别。在涉及植被的任何研究或经营问题中,都将参考本章的这两个部分; 前一半是选择多度 (abundance) 的量度方法,而后面这一半是选择适当的分析方法以及图解方法 (图 3.1)。

3.1 群聚和相关

群聚和相关之间的差别,这里是指统计意义上的不同。群聚涉及的是二种属性,通常指物种,即存在或不存在,这是定性的数据; 而相关涉及的是两个变量,它们是定量的关系。

3.1.1 群聚

在生态学中,群聚既可以在抽象意义上做为种的特征性的聚合体,可与群落相比,表现为植被的一个单位; 也可以在具体意义上做为两个种出现的相似性的一种尺度。前者将在后面讨论 (见 85 页)。在具体意义上,群聚是用诸如 χ^2 那样的统计量来量度的。种的存在度应在随机设置的样方中记载,并将数据以列联表的形式排列,如 2×2 列联表:

		种 A		
		+	-	
种 B	+	a	b	a+b
	-	c	d	c+d
		a+c	b+d	n

这里 a 是包含两个种的样方数, b 和 c 为仅出现一个种的样方数, d 是两个种都不出现的样方数。公式如下:

$$\chi^2 = \sum \frac{(\text{obs} - \text{exp})^2}{\text{exp}}$$

或

$$\chi^2 = \frac{(ad - bc)^2 n}{(a+b)(b+d)(c+d)(a+c)}$$

这里使用了列联表的四个方格中每一格的观测值和预期值,而 n 为样方总数。

可以通过查 χ^2 表而测定显著度。对于 2×2 列联表自由度等于 1。结果可以指示出正群聚或负群聚,取决于共同出现的观测值比预期值大还是小。结果还取决于样方大小,因为数据是频度一类的,所以必须小心地作解释。有这种可能,即同一面积上的同一对植物种,其 χ^2 值在一种尺度上是负的,而在另一种尺度上是正的。如果得到的 χ^2 值多数是正的,也许是样方面积太大了。

当样方数目这样少,以致预期值小于 5 时,则宜于使用 Yates 的改正系数,它通过 0.5 的校正使观测值接近预期值。使用下列公式也可以达到同样的结果:

$$\chi^2 = \frac{n \left\{ (|ad-bc|)^2 - \frac{1}{2}n \right\}^2}{(a+b)(c+d)(a+c)(b+d)}$$

两个形成正群聚的种在一起出现比凭机会预期的出现要经常得多。这件事未必表明,一个种的存在是另一个种出现的原因,而更可能的是这两个种都适应于环境因子的相似组合。这种资料本身是有用的,但是它的真正价值只能在某地段所有种的 χ^2 值都排列在半矩阵中(图 3.11)表示出来,因为这时它能够构成星象图(图 3.12)。Agnew(1961)

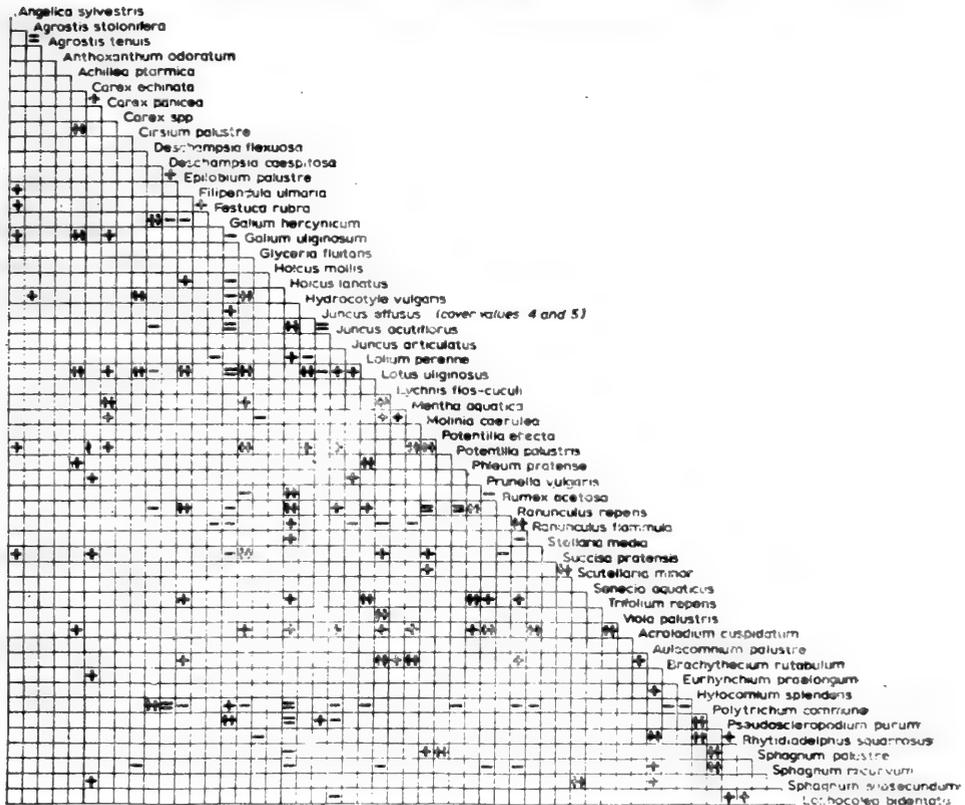


图 3.11 含有 *Juncus effusus* 的 99 个样地完全的 χ^2 矩阵,表示种间出现的正与负的关系(引自 Agnew, 1961)

在北威尔斯用这种方法研究了灯心草(*Juncus effusus*),并发现它做为表述种间相互关系的方法是有效的。 χ^2 值的半矩阵也是形成以群丛分析著称的数量分类技术的基础,这种

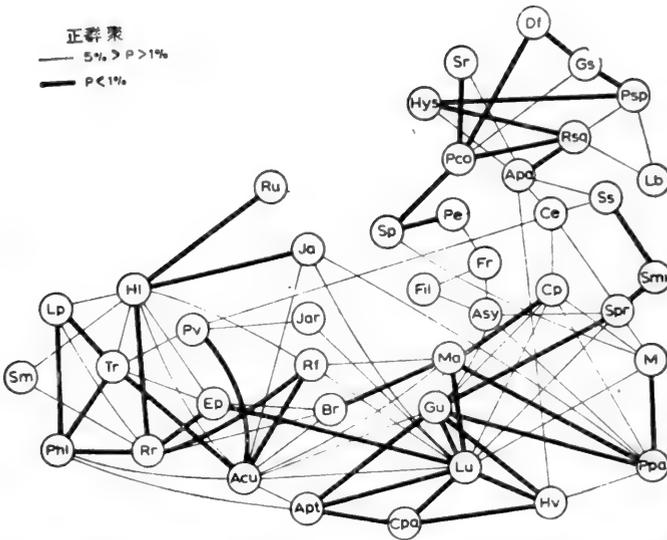


图 3.12 种的相互关系的星象图,据 99 个包含灯心草 (*Juncus effusus*) 的样地的正 χ^2 值绘制 (引自 Agnew, 1961)

技术将在后面(91页)进一步叙述。

3.1.2 相关

相关系数可用来表述一个种多度的定量值对另一个种或某一环境因子定量值的关系。假使两个种同时出现在多数样方中,应用前一方法是有效的。在大量零值经常出现的情况下,则促使去使用其他系数,如 Sorenson 系数(见100页)或样地间距(interstand distance)(见102页)。但是,种的习性和某一环境因子多级指标之间的相互关系,则可用相关系数来检查。所用公式为:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y - \bar{y})^2}}$$

这里 r 为相关系数, x 与 y 是种和环境因子的值, \bar{x} 与 \bar{y} 是它们的平均值, n 为样方数。 r 的显著度可以应用 $n-1$ 自由度而从表中得出。

一个种和某一环境因子的相关可用来指示可能的原因,但是当说明结果时应当小心,因为被检验的环境因子本身可能与这一原因相关。因此,一个极显著的相关并不能证明是因果关系。

3.1.3 回归

回归技术在所有统计学教科书上都有描述,并推荐读者去参考 Bishop (1966) 的非常简要的入门性的说明。

回归做为一种技术一般用来在图上以一条线去拟合一系列的座标值,同时也做为评价二或多个变量相关程度的手段。理想的做法,把一个视为因变量或 y 变量,而另一个则

做为自变量或 x 变量。这种方法可与相关系数的计算相比,不同的是,迴归系数仅仅考虑因变量的方差。通常象研究氮素水平对种的的多度的效果那样,自变量和因变量是容易确定的。然而,有时候为什么把一个变量算为因变量而另一个算做自变量并没有先验的理由,例如绘制一个种对另一个种的迴归曲线。可是,还有不很重要的一点,必须知道 x 对 y 的迴归系数将不同于 y 对 x 的迴归系数。

迴归分析适合于这种情况,即一个连续变量如种的多度,对另一变量如氮肥浓度的一系列水平的关系。这一方法的应用常起因于实验的设计,对此在这里不做讨论(见 Fisher, 1960)。然而,在野外植被分析中则有适合于使用迴归的情况。从一个或多个环境变量(x)的一系列值去估算木材产量(y 变量)就是这样的一个例子。如果具有多个自变量,那么多重迴归则是适宜的方法(Searle, 1966)。这种方法的一个例子已用做简单预测模型的公式的基础(见 Yarranton, 1969, 1971)。

3.2 非随机测定

植被中的非随机分布常被称做分布格局(pattern)。它可表现为个体聚合(aggregation)的形式,即通常所说的集中分布群(contagion),以及称做为规则分布的均匀分布状况。前者比后者或比个体的随机分布是更普遍的。生态学家对于随机性的偏离是感兴趣的,因为它是表述植被或特定种的特征的一种方法。还因为它必须有一个原由,以及它提供了确定一个种分布的控制因子的好机会。

这种原因或者是内在的,即植物的特性,或者是外在的环境因子,或二者都有。和外因造成的分布格局比较,前者趋向于以较小规模表现出来,并且是生态学家较少关心的。内因造成的分布格局可能是种子散布距离不远的结果,涉及生殖方式或种的营养体形态。

分布格局可通过它们的出现、规模、强度、和种间群聚的程度来检验。在确定个别种的需求方面,分布格局的外部表现是不太重要的,因为这里很可能是几个种和几种生态因子互相关联着。仅仅在外表看起来是均匀的,植被中环境许多因子的相关不存在,而只是单一的控制因子在起主要作用。

3.2.1 分布格局的探测

分布格局可以通过检验观察值对波阿松分布的偏离发现出来,波阿松分布假定个体分布是随机的。然而,波阿松分布仅仅适合于这种情况,在可能出现的全部机率中,只有很少数是真正出现的,即每一个样方中个体平均数是低的。

假设数据符合这种条件,即个体为随机分布(图 3.13),那末按定义,方差(V)等于平均值(\bar{x}),或 $V/\bar{x}=1$ 。

如果趋向于丛生或集中分布,则 $V/\bar{x}>1$,而若趋向于规则分布,则 $V/\bar{x}<1$ 。方差:平均值的比率可以直接计算:

$$\text{方差} = \frac{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}}{n-1}$$

$$\text{平均值} = \frac{\sum x}{n}$$

对预期值的偏离可用 t -检验来检查:

$$t = \frac{\text{观测值} - \text{预期值}}{\text{标准误差}}$$

这里, 方差/平均比率的标准误差 = $\sqrt{2/(n-1)}$.

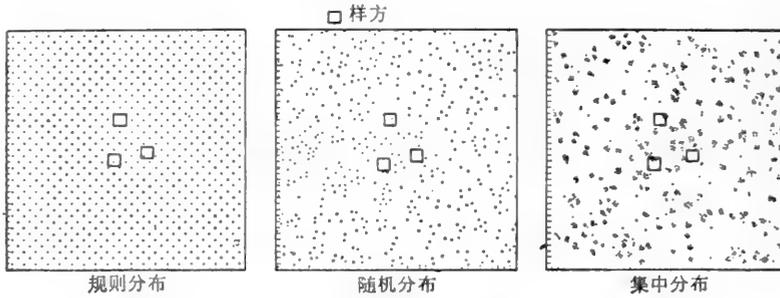


图 3.13 个体分布的例子

分布格局也可以通过检验密度数据对随机(波阿松)分布的偏离来确定。当每一样方的个体平均数非常小时, 这种检验才是可以应用的。首先计算包含了 0, 1, 2, 3, 4 等个体的样方的观测数目, 然后算出每一样方中个体平均数(m)才有可能计算波阿松级数的预期值:

每一样方的个体数	0	1	2	3	4
每一等级的样方预期值	e^{-m}	me^{-m}	$\frac{m^2}{2!}e^{-m}$	$\frac{m^3}{3!}e^{-m}$	$\frac{m^4}{4!}e^{-m}$

这里, $\frac{m^4}{4!}e^{-m}$ = 具有 4 个个体的样方预期值。

4! = 因数 4, 即 $4 \times 3 \times 2 \times 1$

e = 自然对数的底 = 2.7183

但 e^{-m} = 可以直接从 Greig-Smith (1964) 书中 p. 227 查得。

由于统计原因, 所有预期值都应该大于 5。为了满足这样的条件, 而必须将某些个体数目较多的样方的预期值加在一起。

观测值对预期值的偏离可用 χ^2 检验:

$$\text{这里 } \chi^2 = \frac{(\text{观测值} - \text{预期值})^2}{\text{预期值}}$$

式中自由度 = 组数 - 2。

假设一个种的分布表现了违反随机性, 它可能证明是对环境异质性或种的某种生物学特性的反应。前者可以提供确定种对其起反应的环境因子的一种方法, 而后者可提供出植物散布距离不远或植物无性繁殖能力的一种测定方法。

3.2.2 分布格局的规模

植被中以各种规模存在的分布格局,从反映地球上不同的气候带到反映局部环境因子,都只能用统计方法来确定。后者是这一节将要讨论的。

用上面所叙述的两种方法的任一种以不同大小的样方去检验分布格局的规模是可能的。但是,被 Greig-Smith 和 Kershaw (Greig-Smith, 1952, 1961; Kershaw, 1957, 1958, 1959) 发展的通常所说的“分布格局分析”方法是更为有效的。数据的收集可通过棋盘样方的方格,或者更经常地通过连续取样单位的样条,任何测定多度的方法都可应用(但参考 Kershaw 1957 书中的讨论)。这种用以分析每一个种所表现的分布格局的计算法,是一种修正了的方差分析。计算数据平方的总和(方差)的总值,并按不同的大小分组(区组大小)。

表 3.3 是这种方法的最好说明,这里左边的一列是从野外收集的数据。样条长度可以是任意的,但它是 2 的乘方,如 32, 64, 128 或 256 取样单位。原始数据作为第一号区组,分布格局规模的不断增加则可通过将相邻样方成对地加在一起而得到。区组不断扩大直到最后只算一个为止。这样,对于一个有 32 个基本单位的样条,就有 1, 2, 4, 8, 16 和 32 个区组。

对每一区组大小的值进行平方,然后总计其和,得 $\sum x_1^2, \sum x_2^2, \sum x_4^2, \sum x_8^2, \sum x_{16}^2$ 和 $\sum x_{32}^2$ 。每一个这样的总值被相应的区组大小去除,并且总计每一区组面积的平方:

$$\frac{\sum x_1^2}{1} - \frac{\sum x_2^2}{2}; \frac{\sum x_2^2}{2} - \frac{\sum x_4^2}{4}; \frac{\sum x_4^2}{4} - \frac{\sum x_8^2}{8}; \frac{\sum x_8^2}{8} - \frac{\sum x_{16}^2}{16}.$$

均方可通过平方和除以相应的自由度获得(观测数减去 1 并减去已经计算的自由度)。

于是,做为方差的一种尺度的均方,与相应的区组大小可以绘制分布格局的分析图(图 3.14)。这种图解指出所研究种的分布格局的强度和规模。这里包含了峰的意义的评价值(参考 Thompson, 1958),通常最好从几组数据绘制几个图来检验峰的位置的稳定性。当可能评价其意义,置信限随区组面积的增加而增加,那么,小的区组上的一个小峰将比大的区组上的一个较高峰可能更有意义。

通过不同种和不同环境因子的分布格局分析图的对比,可以获得有益的资料。假设一个种和一个环境因子在同一区组面积上出现一致的峰,它可能指示存在着因果关系,而进一步对其进行实验研究。

同一样条内两个种的分布格局之间的相互关系,可通过它们协方差和相关的计算进一步阐明。

这种方法首先是在不同区组面积上分别计算两个种的均方(V_A 和 V_B)。然后将二个种的数据混计一起而计算其相应的均方(V_{A+B})。

则:
$$2V_{A+B} = V_A + V_B + 2C_{AB}$$

式中 C_{AB} 是两个种之间的协方差。它可以直接解释或转换成相关系数 r :

这里,
$$r = \frac{C_{AB}}{\sqrt{V_A V_B}}$$

然后为二个种的相关系数与区组大小绘制曲线。它可能在一种区组面积上是正的,而在

表 3.3 在分布格局分析的计算中原始数据的排列与区组的合并

		区组的规模					
		1	2	4	8	16	32
32个基本采样单位的样条							
	“方块总数”	$\frac{Sx_1^2}{1}$	$\frac{Sx_2^2}{2}$	$\frac{Sx_4^2}{4}$	$\frac{Sx_8^2}{8}$	$\frac{Sx_{16}^2}{16}$	$\frac{Sx_{32}^2}{32}$
		$\frac{Sx_1^2}{1} - \frac{Sx_2^2}{2}$	$\frac{Sx_2^2}{2} - \frac{Sx_4^2}{4}$	$\frac{Sx_4^2}{4} - \frac{Sx_8^2}{8}$	$\frac{Sx_8^2}{8} - \frac{Sx_{16}^2}{16}$	$\frac{Sx_{16}^2}{16} - \frac{Sx_{32}^2}{32}$	—
	d. of f. =	16 (32-1-15)	8 (16-1-7)	4 (8-1-3)	2 (4-1-1)	1 (2-1)	0
	“平均方块” = $\frac{SS}{16}$		$\frac{SS}{8}$	$\frac{SS}{4}$	$\frac{SS}{2}$	$\frac{SS}{1}$	
		f的总计d = 31(32-1)					

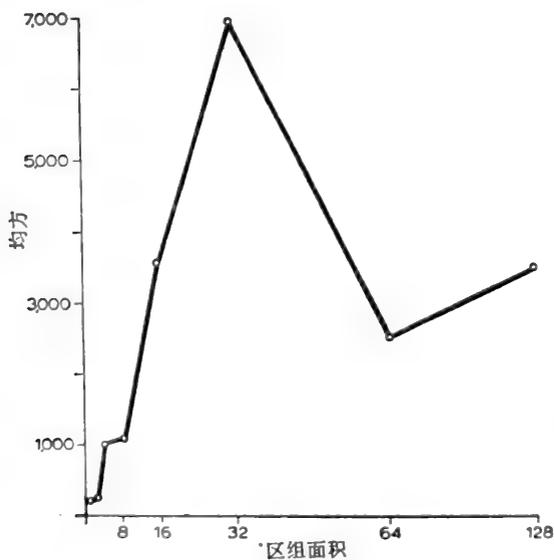


图 3.14 分布格局分析图一例。在均方/区组面积图上,区组面积 1, 4, 32 时三个峰表示白三叶草 (*Trifolium repens*) 分布格局的三种规模(引自 Kershaw, 1973)

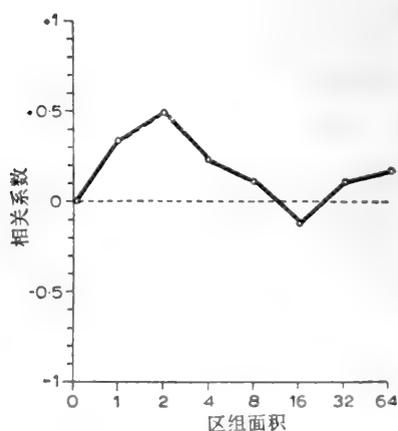


图 3.15 在不同区组大小时二个种的相关图解。注意在区组 2 时相关系数是正的, 而区组 16 时是负的(引自 A. J. Morton 的资料)

另一种区组面积上是负的(图 3.15),这就说明两个种在某一尺度上反应相似,而在另一尺度上则反应不同。

分布格局分析给生态学家提供了描述种的空间分布变化的技术以及研究控制种分布的环境因子的手段。这种方法一般用于具理论性质的生态学研究,由于必需重复设置包含了若干样品单位的样条,资料的收集是很费时间的。环境资料的收集通常甚至比植被资料更花时间。分布格局分析适用于看起来均匀一致的植被,而与梯度分析不同,在梯度分析时,对于看起来均匀一致的地段内,“结构”变异是不太重视的。当分布格局分析用来确定原因时,要谨慎对待必须做出的假设,也就是说,一个假设的建立并不能证明因果关系。这一方法特别是协方差分析用于种间竞争研究的可能性是很大的,尽管这方面的应用实例很少。

分布格局分析的应用例子是很多的,建议读者去参考 Phillips (1954) 关于阐明窄叶草 (*Eriophorum angustifolium*) 根茎系统形态学的工作; Andeson (1961) 关于欧洲蕨 (*Pteridium aquilinum*)、帚石南 (*Calluna vulgaris*) 和欧洲越桔 (*Vaccinium myrtillus*) 的多度与土壤中氧气扩散速率关系的介绍,以及 Agnew (1961) 对灯心草 (*Juncus effusus*) 形态的研究; Greig-Smith (1961) 对沙丘植物的研究; Kershaw (1958) 关于细弱翦股颖 (*Agrostis tenuis*) 的工作,及其 (1959) 关于鸭茅 (*Dactylis glomerata*)、黑麦草 (*Lolium perenne*) 和白三叶草 (*Trifolium repens*) 的工作, Kershaw (1962) 关于各种冰岛植物的工作; Austin (1968a) 和 Hall (1971) 关于白垩草地植物的工作。最近一些未发表的研究阐明了热带雨林的垂直结构,第一性生产力和分解作用的分布格局,以及植物生物量和土壤养分的分布格局之间相互关系。

3.3 分类和制图

分类是一种整理程序,它把相似的具有某些特定属性的客观对象划分为一些类群或等级。有些植被分类是以利用群落外貌、结构和植物区系等标准,人为地规定一些等级为基础的。这些标准在小比例尺(即涉及大面积时)研究中不容易进行统计学处理。另一些分类建立了内部差异最小的,即达到很大程度的客观性等级,以致分类对象及其特征达到了更严格的、统计学上基本的标准。这种分类是以植物种类成分的资料为基础的并包括了 Williams 与 Lambert (1959, 1960) 的群聚分析 (Association-analysis) 和称之为集团分析 (Cluster analysis) 的一组方法 (Sokal 与 Sneath, 1963)。这种方法主要是应用于特定群落类型中所出现的植被差异的大比例尺(小面积)研究。

3.3.1 小比例尺(大面积)分类

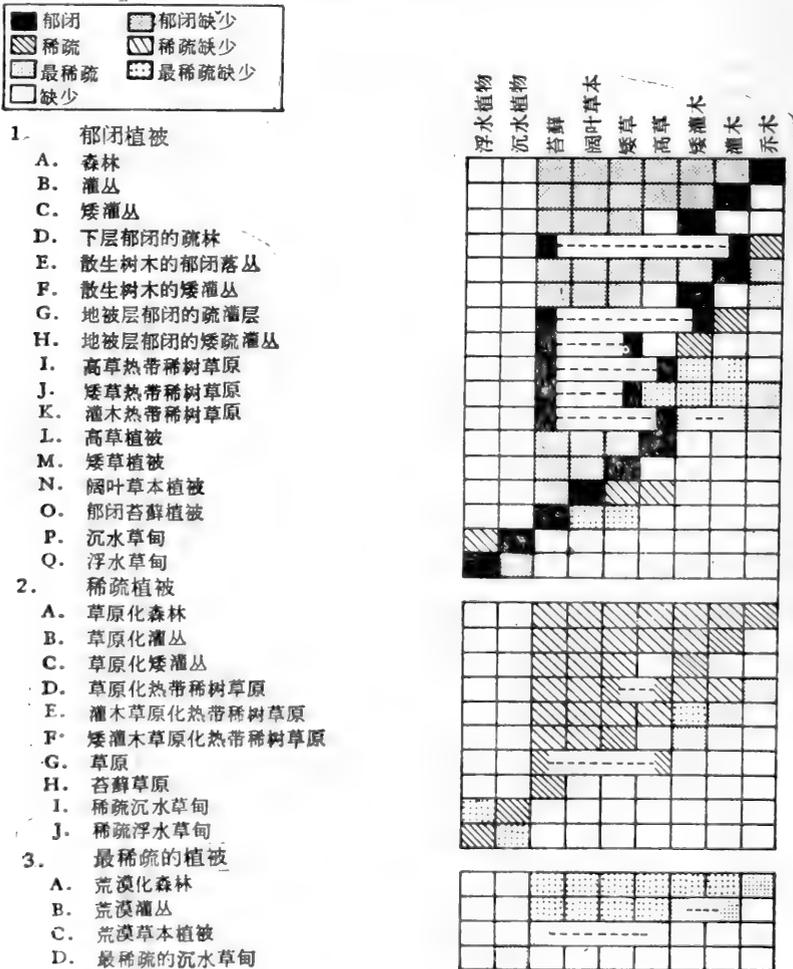
有两种基本方法适用于这种比例尺。第一种方法,把广泛和内涵丰富的等级划分为大量较小的区别明显的类群;例如 Fosberg (1967) 和 Ellenberg 与 Mueller-Dombois (1967) 以及更早的为 Drude (1913) 所建议的方法。第二种是一种归并的方法,从确认许多小的区别明显的单位开始,然后将这些小单位集合起来组成为大的集合的类群;例如由 Braun-Blanquet (1932) 随后是 Tuxen (1937) 以及 Poore (1955) 在较小程度上所倡导的方法。无论哪一种情况下,其分类的中心目标都是在单一的统一的系统中,描述大地区范围

内的植被。

细分的方法(Divisive methods)

首先确定大的主要植被等级并随后将它们依次划分为较小的等级的方法通常或者是使用生活型标准作为划分的特征,例如 Rubel(1930)、Du Rietz (1930,1931)和 Ellenberg (1956)的分类,或者以结构标准作为划分特征,例如 Fosberg(1961)和 Drude (1913)的分类。两种情况下,主要的分类等级与世界植被的主要群系,例如:森林、林地、草地等等是相符合的。进一步的划分则可用各种不同的标准,例如:群落外貌、结构、周期性、功能、生境和植物区系。例如,Fosberg(1961,1967)认为群落外貌不精确、植物区系组成需要专门知识,而生境因素又是在争论不休中,而推荐并采用了一个以结构和功能为基础的系统。他首先是以一株距(稀疏的、郁闭的和最稀疏的)为依据分为几种结构类群,其次是按垂直成层性划分出一些群系纲(森林、灌丛、草本植被)(表3.4)。每一群系纲内的两个群系组以功能为基础,划分为常绿或落叶的,而群系也同样是功能(直叶、硬叶、小叶、中叶、大叶)为根据。理论上,这一系统具有合乎逻辑的基础,并为描述国际生物学计划 (IBP)

表 3.4 Fosberg 查索表 (引自 Fosberg, 1967)



的调查表格提供了合用的基础。Peterken(1967)和 Kuchler(1967)对这一方法已有介绍。

和 Fosberg 的系统不相同的另一个系统,是由联合国教科文组织 (UNESCO) 一个工作组(Ellenberg and Mueller-Dombois, 1967)提供的,这个系统是以植物生活型或群落外貌为基础但包括了生态学指标(生境)。有七个主要群系纲(表 3.5)。每一群系纲进一

表 3.5 Ellenberg 等人的七个群系纲

i	郁闭森林
ii	有林地
iii	灌丛
iv	矮灌丛及其有关群落
v	陆地草本群落
vi	荒漠及其它极稀疏的植被
vii	水生植物群系

步细分为群系亚纲、群系组、群系和亚群系。这个方法不如 Fosberg 系统应用的广泛、可能是因为它包含了生态学的指标。假如这一分类以后用来表示植被等级和环境因素的相互关系,就有二者是互为因果的而不宜采用。然而,实际应用表明,将野外植被划归到某一类别之中是和一些群落外貌系统中一样方便(Goldsmith,1974)。其他工作者,如Richards、Tansley 与 Watt(1940)曾指出:“植被应以其本身的特征而不是生境来表示,虽然为了了解它的特点和分布状况,生境研究也是不可缺少的”。他们主张结构和种类成分应做为描述植物群落的基础。如前所述,大多数早期的分类中确实多以群落外貌特征为依据(参看第 65 页)。像 Rubel(1930)、Beard(1944)、Gain 及 Gastro(1959)、Dansereau(1961)和 Kuchler(1967)等人的工作中都包含了这种按群落外貌分类的实例。此外一些小比例尺(大区域)分类都是以特定问题着眼而设计的,例如,Warming 的分类(1923)强调了植物和水分的关系,这对水生植被的分类是有意义的,Runkiaer 的生活型分类(1934)强调了植物生长和严酷气候条件之间的关系。在用这些分类方法和早期基于群落外貌的分类法相比较时,Fosberg 和 Ellenberg 及 Mueller-Dombois 的最新分类法是最好称为综合外貌方法,该法将其它更为专门化分类法中的许多有用特征汇集到一个系统中。因此,它们更灵活一些,可能更易于满足小比例尺(大区域)的需要。

归并的方法

小比例尺植被描述的第二种方法是一种综合方法,它是同 Braun-Blanquet 领导下的法瑞学派联系在一起。这一系统是 Braun-Blanquet 于 1928 (1932) 年提出的,在欧洲大陆的生态学者之中已被广泛采纳,但是英国和美国的工作者应用不多。它的最初目标是对世界植被提出一个分类系统。实际上,它已卓有成效地用于区域和国家范围的研究。它是一种以植被样地上植物种类组成的详细调查为基础的野外工作方法,所以群落外貌的分类常常可以部分或全部地利用航空照片,而在 Braun-Blanquet 的系统却不能。这一分类试图建立一套等级单位体系,从最简单的单位——群丛,到最复杂的单位,群落环。其间单位依次是属、目和纲。虽然所有的单位都是以植物种类成分为依据,但是高级单位(目与纲)趋向于也用群落外貌标准来组合,并在某种程度上与外貌分类的群系相似。每一群丛是在调查了大量样方的植物区系组成后概括起来的,它代表一种“理想的典型”,这

表 3.6 Braun-Blanquet 分类系统的分类单位

等 级	语 尾	实 例
纲	etea	Festuco-Brometea
目	etalia	Brometalia erecti
属	ion	Mesobromion
群丛	etum	Cirsio-Brometum
亚群丛	etosum	Cirsio-Brometum caricetosum
(群丛)变型	—	

种典型在调查新的地段后经常被修正。选择样方的野外工作程序已由 Ellenberg (1956) 及 Moore (1962) 详细介绍。通常只有那些公认为区系成分均匀的地段才被选来研究。尽管一个群丛的“最小面积”常作为选择的基础(见前 77 页), 这种选择往往是主观的。缺乏统计学基础的取样设计, 植被的整体外貌就往往决定了调查者进行样地选择的标准, 而外貌又受到野外优势种以及调查者经验的影响。选样是想在一个地区规模上工作的研究者所面临的最难处理的问题之一, 缺乏对于所调查的植被分布和特征的一定知识时, 即使系统取样或随机取样也都是困难的。目前, 欧洲大陆的植物社会学者们赞成主观选取各种大小的样方, 以得到有关植被的一个有代表性的名录, 因此对于草本植被的取样认为 1—25 平方米的小区是适合的, 在小灌木林中可选用 25—100 平方米的小区, 在森林中, 对乔木层常用 200—500 平方米的小区, 而对林下灌木和草本层采用适当大小的面积。

对每个样地内植物区系的记载包括对每一个种用五个等级估计盖度-多度(见前), 并根据五个(或十个)等级确定每一个种的群聚度的指标(参看表 3.7)。每一个种的上述

表 3.7 群聚度和盖度-多度的等级

群 聚 度	
	1. 在一个地块内只出现一次, 单株
	2. 成群的或丛生的
	3. 在成群、小团块或坐垫状
	4. 呈小集群、大团块或地毯状
	5. 大群聚或单一种群

两个数值以及和生境有关的各种环境因子的资料均记入野外手册中。在研究室内用这些植物种类的调查资料编成一个大的数据表称为原始表(见表 3.8), 在此表内列入由类似植被类型汇集的植物名录。根据区系成分, 通过一种分拣过程和不断的精练, 把相似的地段归并在一起。分拣过程主要依赖于区别种的确定。这些种可以是在表内相互排斥的种, 或者是在一个生境范围内共同出现的种。在这些种的基础上制定出几个表现部分秩序的表。一个最后排成的表(参看表 3.9)中将地段分为许多组, 它以某些相互排斥的种的存在或不存在作为特征, 这些种叫做区别种(表 3.9 下面划线的)。在这个阶段, 工作者再回到野外去验证室内所建立的这些类别的真实性。这种室内的工作程序已由 Becking (1957)、Kuchler (1967)、Shimwell (1971)、Moore (1962) 和 Szafer (1966) 作过很好的书面介绍。随后辨识由特征种确定的明确群丛只有在从广大地理区域内记载了大量的样地之后才能做到。特征种最初认为只限于在某一群丛中出现, 是在分拣记载表

时用的区别种的一种特殊情况。为了选定一个特定群丛的特征种,必须理解恒有度和确限度的概念。这里,恒有度指的是一个种在一定分布区域内的样地中出现的百分率,按照五级制确定,而确限度是指一个种对某群落的选择、喜好的程度。在有关植物种全部分布范围以及所出现的群落都研究之后,二者才能确定。恒有度和确限度都高的植物种才能作为特征种,这些种能用于群丛、群丛组、群丛目的不同水平。虽然恒有度和确限度是有关联的,但情况并不总是如此,因此现在采用了一种更为灵活的方法来确定特征种。Becking(1957)、Shimwell(1971)和 Szafer(1966)举例说明了特征种的概念,目前包括(1)绝对的和相对的特征种以及(2)区域的和局部的特征种。尽管如此还要指出,这些概念仍需要对一个区域内植被变异的十分完整的知识。在西欧、中欧和斯堪的纳维亚,用 Braun-Blanquet 的方法,已积累了这方面的详细知识,可以在群丛组和群丛两个等级上选定绝对特征种。这些特征种,在欧洲大陆的刊物中是有明确记载的。其中特别重要的是在刊于《Vegetatio》杂志上的论文以及 Oberdorfer(1957)和 Braun-Blanquet(1964)的书籍中。在世界其它地方,这些资料是缺乏的,其特征种的确定需要等待植被的描述有更大进展时才行。

英国学者对 Braun-Blanquet 方法的评论有 Pearsall(1924,关于最小面积)及 Tansley 和 Adamson(1926)的论文。Poore(1955)重新评定和修改这一方法是一种积极尝试使英国传统的在野外用优势种的方法能和更准确地记载并比较种类成份的需要相一致起来。Moore(1962)也同样重复了Boore的意见,认为Braun-Blanquet方法是很值得认真注意的调查方法。Poore的修改建议可能引起混乱而并非澄清,但他建议用优势种和恒有种来表示植被最低单位[他称之为“群集”(noda)]的特征。他解释优势种是Domin盖度-多度等级最高的种(见前);恒有种是在类似样地中出现率80%以上的种。在一个群集内,恒有度第V级(在植物名录中占80%以上)的物种数且大于恒有度第IV级(在植物名录中占60—80%)时的样地单位就提高到群丛的地位。Poore利用Sorensen的群落相似系数(参看以前的叙述)做为对比相似群集的较客观的手段。Poore的方法十分近似于Dahl(1956)描述挪威Rondane山地植被所用的方法,以及McVean和Ratcliffe(1962)和Burnett(1964)描述苏格兰植被的方法及Edgell(1969)调查威尔斯山地植被的方法。所有这些方法基本上都是企图提供一个现实的参考系统,在这个系统里较大区域内的植被能得到适当的描述。因此,Poore认为两个群集在它们的分布范围中可以部分重叠,他提出在相似的区域描述的任何新的植被地段都可以包括在群集的变异模式内。

这种植被分类方法的优点是多方面的。它首先是概查的方法,特别对从局部到区域调查都可应用。这种方法在野外容易应用,并可快速完成。可用电子计算机计算的统一规格分类的出现将免除在比较千百张调查表格时所引起的麻烦和错乱。由于电子计算工具的广泛应用,而能处理很大的样地,因此即使采用系统取样和随机取样,所得到的巨大数目的样方也能被处理。这时,无论是利用细分的或者是利用归并的调查方法,主观选择就是最明显的缺点。但是,在需要迅速进行调查的情况下,Braun-Blanquet的方法就比许多耗费时间的客观方法更为有利。无视欧洲在植被分类方面做过的大量工作无疑是一个极端孤立主义者,可解这一方法将会更好地促进生态学家之间的国际交流。从较高的学术水平来讲,有一个参考系统可以将较局部的植被研究归纳起来也是有利的。除非一个工作者的群落样方没有代表性或独立性,从他的研究中得出的结论将是非常局限的。

看来没有必要花费大量的努力去详细分析某些植被单位,例如详细的生产量研究,除非这些成果在其它地方有更广泛的应用。Fosberg, Ellenberg 和 Braun-Blanquet 的植被描述方法都企图提供这种参考的系统。

尽管在群落外貌或结构基础上进行植被分类的大多数系统是简便的,但是它们许多合乎逻辑的方法(例如 Fosberg 的方法)仍然存在着取样问题。生态学者必须决定用什么方法选取他们的样地,并且规定样地的大小和数量。尽管关于样方取样设计是适合于这里的(参阅上文),大范围使用这些方法都碰到一些特殊问题。一般认为这些技术是主观的,许多作者建议应该描述“有代表性”面积。但谁去决定什么是有代表性呢?在什么比例尺上选择呢?如果制图是最终目标的话,则可以认为只有面积足够大到在选定的比例尺上可被绘出才能被接受(Kuchler,1967)。但如果自然保护是主要目标的话,即使存在非常小的面积,如垂直的悬崖面,乡土种或罕见种局限于生长在这种地方,那末就应包括对它们的描述。有人建议研究面积应在取样前作广泛的初步勘察,以便生态学家熟悉某些植被的分布范围。航摄照片的应用可以加快这一步骤,但广阔的地面直接观测仍是必需的。应当注意主要植被类型的分布幅度,估算每一类型的大体范围,并按照每一类型面积比例确定每一类型。

在每一植被类型内,调查地段的排列应接近于随机排列,每一样地的大小也必须以它的最小面积为基础来选取(参看上文)。因此,合乎理想的是,在研究区域内对每一种植被类型可绘制几个最小面积的曲线。但是如果时间受到限制,而且又是工作人员所熟悉的植被,目测也可满足要求。

在最后的分析中,如同欧洲大陆的植物社会学家所报道的那样,在小比例尺(大区域)上的取样必须紧紧依赖于研究人员对于研究方法和研究地区的熟悉程度。

3.3.2 大比例尺(小区域)分类

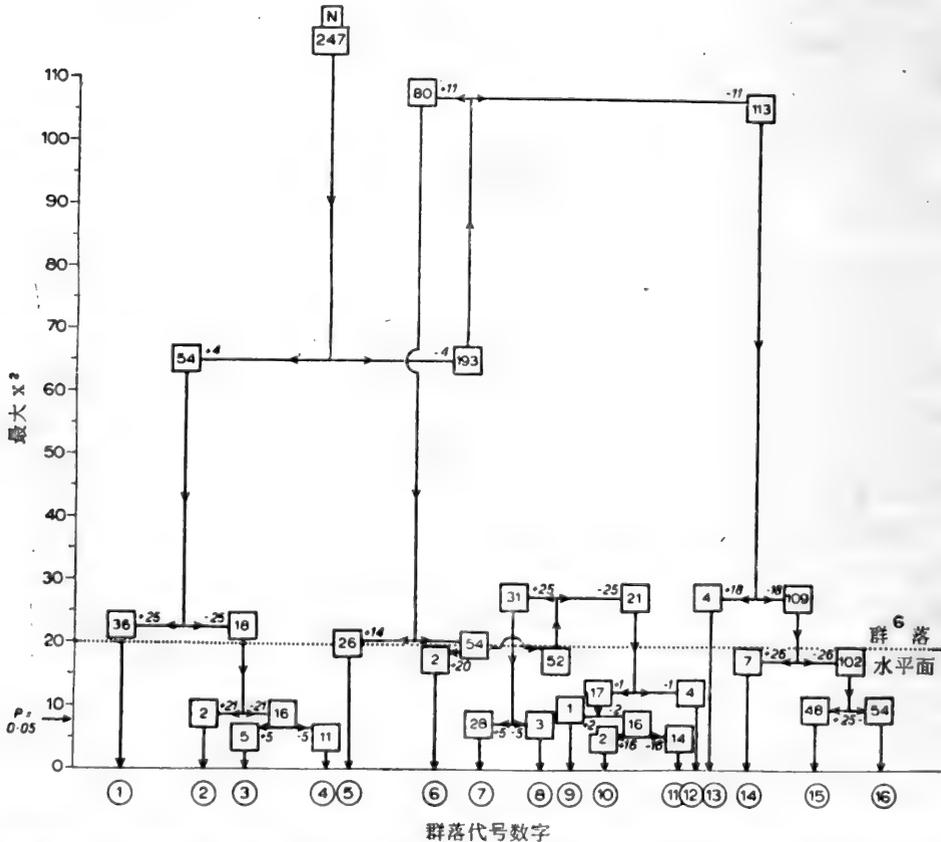
Braun-Blanquet 的方法已被一些研究人员用来做为详细研究植被与环境相互关系的基础,但是经常表明按小比例尺分类所建立的植被单位是相当主观的和一般化的,以致它们不能提供有用的参考基础。这种批评是由于日益认识到植被变异的复杂性而引起的。但是,即使在大比例尺研究中,仍然需要某些简化这种复杂性的方法,而且这种简化不能抛掉了资料。群落外貌和结构的差异,不足以反映出大比例尺植被变化的复杂性,而对于物种的数量和质量两方面的测定就比较适当,因为它们多半能更密切地反映出环境变化梯度的局部差异来。由于这种原因,大比例尺的研究就要对种的出现进行某种数量处理(见下文)以及对类群进行数值分类,这些类群是以植物种类之间的差异或者相似为基础的。这些数值分类可以象 Goodall(1953)和 Lambert 及 Williams(1966)的从上而下进行的细分方法,也可以从下向上进行归併如群集分析的一些归併方法。从根本上说,两种不同方法达到的目的是相同的。

细分方法

在只有定性的(存在和不存在)资料时,可用二格表及有关克方测验来测定成对物种之间的群聚(见前)。Goodall(1953)用这种方法进一步区分一组数据直到所有种与种之间的群聚不存在为止,所形成的组群可被认为是均匀的。实际上,均匀度可由一对种的任

何一者或者两者是否出现来计算,但在试验了所有这些可能方法之后, Goodall 建议采用一个或两个种作为特征的最后类群。在这种情况下,只考虑正群聚。他的方法的进行是用最常见种与其它种的群聚将数据分成含有植物种(A)的样方及缺乏它的样方(a)两类。随后再从 A 组去选出表现群聚的最常见的种,而以这一个种的出现确定 B 组。同样地, b 组就由它的不出现在确定。剩下的样方(a+b+...+n)合起来并重复上述程序直到所有的群聚现象都不存在为止。Williams 和 Lambert (1959)后来修改了这个方法,包括了正的和负的群聚两个方面,他们提出,对于一个不均匀的大区域来说,数据的主要划分很可能被同样强烈的负群聚所决定,因而可以加强这种分析。Williams和Lambert 还采用过几个群聚指数,它们不同于Goodall 所选用的指数,但是这些指数都是以 χ^2 的某种度量作基础,其中 $\sqrt{\chi^2/N}$ 指数是最常用的一个,式中的 N 代表样方数目。实际上,这是数据不均匀性的一个度量,通过标出每一次细分时指数数值下降就可以找到每一水平的相对不均匀性。这种导致最终类群出现的途径是一个二分等级系统,而每一类群由特定种的存在与否来确定。Williams 和 Lambert 把这种方法叫做群聚分析法,现在它广泛地用作为电子计算机库程序。这个方法的进行要求建立一个二向矩阵,以各种可能方式配对找出种的

一个石楠灌丛群落的正分析。



细分标志: 1. *Calluna vulgaris* 2. *Pteridium aquilinum* 4. *Deschampsia flexuosa* 5. *Ulex minor*
11. *Molinia caerulea* 14. *Juncus squarrosus* 16. *Drosera rotundifolia* 18. *Carex
pallulifera* 20. *Juncus acutiflorus* 21. *Luzula multiflora* 26. *Erica cinerea*

图 3.16 一个正的群聚分析等级系统的实例(根据 Harrison, 1970)

相关。产生最高 $\sum \sqrt{x^2/N}$ 值的种可用来将总体进一步分为两个类群，正的和负的群聚，在分析的全过程中受到同等考虑，并不管其正或负而将绝对值合计。第一次划分产生的两个类群用上述方法，再继续计算相继的群聚。在大部分的程序中采用了5% ($P=0.05$) 的显著度，低于它时是由于所有群聚都是不确定的或者它们不显著就不再进一步划分了。一个标准的群聚分析等级系统的例子如图 3.16 所示。

这种方法在许多不同群落类型的分类中有广泛的应用，由热带稀树草原 (Kershaw, 1968) 和热带雨林 (Austin 及 Greig-Smith, 1968) 到温带的草地 (Gittins, 1965) 以及石楠灌丛 (Harrison, 1970; 1971)。虽然 Procter (1967) 在全国调查基础上收集的资料去分析地钱在大不列颠的分布，但绝大多数的分析是从局部地段或小地区所搜集的资料来进行的。对于植被的初步分析和概查来说它被认为是最有用的分类程序之一，同时最后的类群可以制图 (见图 3.17)。尽管有某些困难，特别是在样方大小的选择及分布格局的影响上 (Kershaw, 1961) (小样方会引起很多负群聚，见前 83 页)，但这种数据是易于收集的。Kershaw 也指出某些常见种会支配分析，为此大多数程序确定，那些在样方中出现超过 98% 或低于 2% 的种类都不计算。此外，即使在标准化之后的数据中样方之间多度的差别仍然存在，而这些差别也会影响到等级系统。但是这种形式的群聚分析已为生态学者广泛应用，而且证明是有用的和特别是在初步踏查的阶段和作为一个摘要程序两个方面。

群聚分析也有一种逆转形式 (inverse) (Williams 及 Lambert, 1961) 和结点 (nodal) 形式 (Lambert 及 Williams, 1962)。在逆分析中，样地之间相互关系是倒置数据矩阵，因此种成为个体，而它们所出现的样方即其标志。所产生的最终类群反映了同样特性的种。例如在图 3.18 中类群 A 表征一个混交石楠灌丛群落，类群 B 代表一个密集灌丛群落，以及最后类群 E 是一个低湿地的特殊群落。其余的类群表示一些不同的禾草石楠灌丛单位。

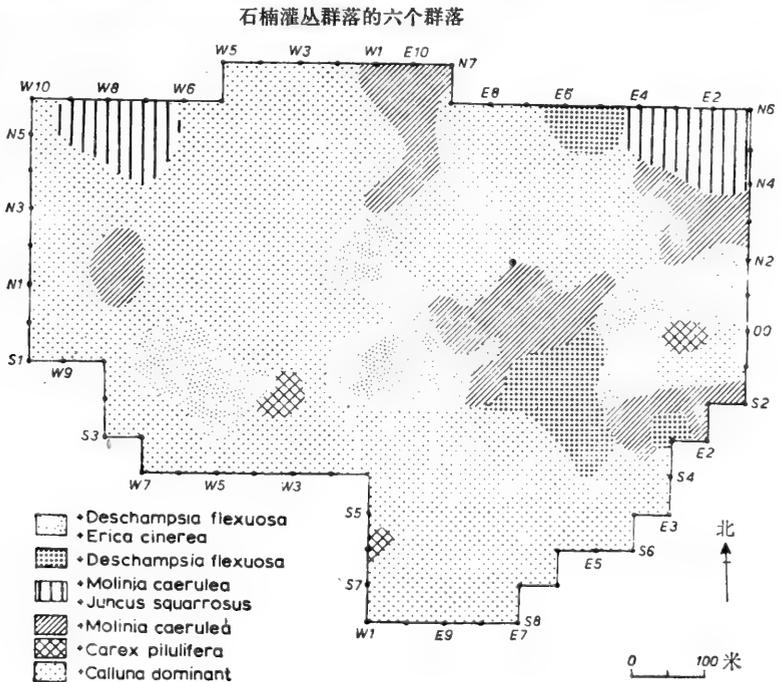


图 3.17 正群聚分析的最后类群分布图

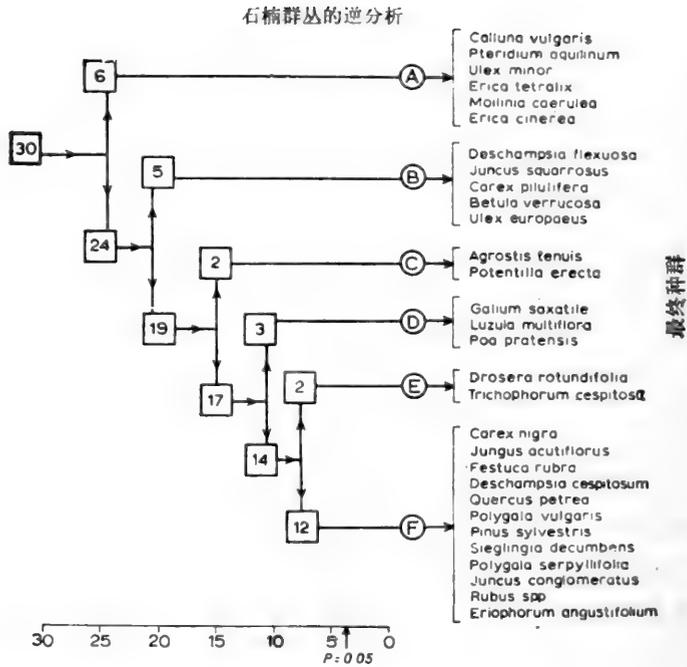
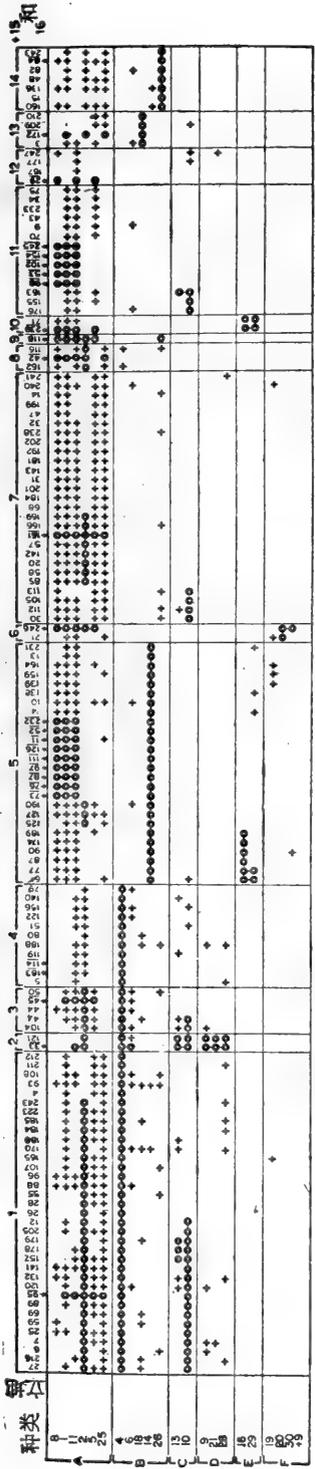


图 3.18 逆群丛分析系统的例子(Harrison, 1970)

交点分析将正分析和逆分析二者结果合在一起为一个单一的两向表，表内标准分析的最后类群是水平排列的，逆分析的最终类群是垂直排列的。矩阵的每一个小格属于标准分析和逆分析的一个近似分析。每一小格中所划入的生境和种叫做重合(coincidence)参数。由两个重合参数从二个方向决定的小格为结点(图 3.19)。而只是在一个方向上确定的小格，则称为半结点(subnodum)(Lambert与Williams,1962)。以这种方式决定的代表一定立地类型的种组，反之也可决定这些种的立地。进行中的技术困难，植物种的丰富度和多度问题以及其他具有类似优点的方法的出现(Lambert 和 Williams, 1966)，使得逆分析和交点分析在生态学研究中的应用不多。应该指出，这些数值方法的基本目标和原理和许多传统的植物社会学研究方法具有很多共同之处。例如Ivimey-Gook 及 Proctor(1966)指出：“群聚分析在验证植物社会学的证据和结论的一致性方面以及找出传统研究方法中常忽略掉的变异的方向方面是有价值的，而且它为找出特征种和区别种提供了一种有效的工具”。

归併的方法

当认为种的多度的数据合适时，研究者可以采用许多归併的分类方法。数值归併法通常称为集团分析或相似分析(Similarity Analysis)，首先仔细研究全套数据以及考察所有可能的个体对 $\left[\frac{1}{2}n(n-1)\right]$ 之间的关系。随后，许多个体由于其相似性大于某一人为水平而合成一些类群。相似性的计算方法很多(Sokal 与 Sneath, 1963)，包括了相关系数、欧几里德距离平方、标准化欧几里德距离平方以及 Gzekanowski 的非度量系数(见下)和 Gurtis (1959) 采用的系数(见下)和信息统计。Williams 等人(1966)用实例检查了这些系数。这种等级系统具体进行的分选方法也很不同。例如在某些阶段有 r 个群



- | | | | |
|------|-----------------------------|-------|---------------------------------|
| 8 | <i>Erica tetralix</i> | 13 | <i>Agrostis tenuis</i> |
| 1 | <i>Calluna vulgaris</i> | C 10 | <i>POTENTILLA ERECTA</i> |
| 11 | <i>Molinia caerulea</i> | 9 | <i>Galium saxatile</i> |
| 2 | <i>PTERIDIUM AQUILINUM</i> | 21 | <i>Luzula multiflora</i> |
| 5 | <i>Ulex minor</i> | D 28 | <i>POA PRATENSIS</i> |
| A 25 | <i>Erica cinerea</i> | 16 | <i>DROSER A ROTUNDIFOLIA</i> |
| 4 | <i>DESCHAMPSIA FLEXUOSA</i> | E 29 | <i>Trichophorum cespitosum</i> |
| 6 | <i>Betula verrucosa</i> | 19 | <i>Carex nigra</i> |
| 18 | <i>Carex pilulifera</i> | 20 | <i>JUNCUS ACUTIFLORUS</i> |
| 14 | <i>Juncus squarrosus</i> | 30 | <i>Eriophorum angustifolium</i> |
| B 26 | <i>ULEX EUROPAEUS</i> | F + 9 | <i>Others</i> |

图 3.19 石楠群丛
两种途径表(节点分析)

(引自 Harrison, 1970)

集,则有 $\frac{1}{2}r(r-1)$ 相互距离为最小时的两个群集连接起来,并计算所得到的群集和其它

($r-2$)群集的距离。计算需要一个公式 D_{k-ij} ,它是 K 群集到 I 和 J 联合群集之间距离的一个度量。正在应用的这种距离函数包括了最近邻株,最远邻株,平均类群,矩心拣出最小方差群集。Pritchard及Anderson(1971)及Williams及Dale(1965)讨论过所有这些分类方法。许多不同种类的综合方法对生态学家是有用的,而新的方法还经常在出现。特别是那些分类研究中所发展的方法常常对于寻找一个数值分类方法的生态学者是有用的。在复杂的生态环境中已证明有效的一个归并方法就是信息分析(Information analysis)(Williams等人1966)。所使用的统计量(I)来源于熵的概念,可以被认为是无秩序的一个度量。当类群的所有成员都相等时,信息就降到0,因此用这种统计量建立一个系统的最有效的途径是将两个个体或类群联合,在联合中它们的信息的增加最小(I -增加或 $\wedge I$)。这种统计量优于相似性指数,如最近邻株指数,因为在一次分析过程中它是可加性的。因此,如果在一个等级系统中 $\wedge I$ 值相加,就得到一个信息增量值(非均匀性),它可以真正反映所确定的类群。这就容许将等级系统中连续组群沿 y 轴作图来反映它们的全部非均匀性。这样,观察者就能够选择出对其目的可能是有最大用途的单位。这种方法特别是在复杂的生态条件下可以得到明确的等级系统(Lambert及Williams,1966)。

与群聚分析相比较,这些归并方法在研究者所能处理的数据以及使用的指数大约都更灵活一些,但做起来可能更费时间因而成本也高。这是因为在分析开始的时候要大量的计算,而对研究者来讲提供的信息较少。相反地,正群聚分析在分析过程中任何水平上都能够停止,同时早在一些意义很小的最后类群计算之前就能停止。在群聚分析中确实出现连锁反应,分析的初期阶段一个或一些个体(样方)分裂出来,剩下的样方随后也逐渐地分成为较小的类群。由此而得到的庞杂等级分类系统不易解释。在集团方法中也发生同样困难,当一已知类群,由于一些个体增加而扩大,而不是与可以比较的其他类型合併起来。

总之,最好的办法,是把这些数字分类视为互相补充的,因为它们有相似的目标。群聚分析可能导致分类错误和过于简单化,因为它过分依赖于以定性(存在和不存在)资料为基础的取样设计的变化,同时也由于用单元程序(即只用一种属性来划分)所建立起来的类群,它是由单一的种的存在或不存在来确定。多元归并方法(即用数个属性来併合)使用的是数量资料并经常注意类群整体的全部特征,因而是一个较好的方法。另一方面群聚分析可能有助于解决不同的归并方法所引起的含混。总之,只有采取灵活的途径才能找到一种“最好”的方法(Pritchard及Anderson,1971,Moore等人,1970,Frenkel及Harrison,1974)。

选择植被分析的分类方法,并不意味着对于植被变异的基本性质作出任何假设。所有的分类方法,当然都是现实的近似反映,但它们确实提供了一个简化的方法来描述复杂的植被分布格局。因此在大面积的不均匀的地区进行概查时以及更详细的调查开始之前通常证明,分类方法是有用的。例如在研究一个热带岛屿的植被时,Austin及Greig-Smith在采用排序法详细考察植物与环境之间的相互关系之前,先使用了一种分类方法。在大比例调查时数值分类方法也是对植物与环境关系建立假说的一个基础。例如,群聚分析的最后类群就是调查地区存在着相当均匀的生境条件的一个反映。随后可以对于这

些类群进行详细研究。分类方法的第三种用途是在完成详细调查以后作为一种总结的手段。一般说来,说明类群的特征比在座标上讨论系列点的位置象排序法那样要容易一些(见后)。尽管如此,类群提供的资料将因调查的比例尺而不同,小比例尺分类的类群只能提供一般情况,而大比例尺分类的类群反映更局部的情况。

3.3.3 植被制图

植被分类的许多方法,是非常适宜于植被制图的,而为此目的还专门设计了一些其他的方法。Kuchler(1967)对这些方法以及在制图过程中所须采取步骤提供了一个有价值的简要说明。例如首先要考虑的是地图设计的目的;其次是决定图的比例尺;第三点考虑的制图单位的表示方法,这就是在外貌与结构单位以及区系单位之间进行选择。1:1000000到1:100000之间小比例尺图,只能表现植被的一般特点;而大比例尺图,在1:10000和1:50000之间,就能表现更多的细节。如果不参考第四个因素——制图地区的特点也不能对于前面三点做出决定。例如广大平坦地区的均匀植被和同一面积的复杂山地就须作不同的考虑。因此,地图的设计必须结合以上四个方面的考虑。

Kuchler(1967)和 Danserau(1957)拟定了两种可用于小比例尺的植被制图方法。两种制图方法的目的是强调符号的应用,并不打算提供普遍适用的分类单位。Kuchler的方法依赖于野外工作开始之前在航空照片方面完成准备工作(参考下文),大多数小比例尺植被分类的方法,如同 Fosberg 和 Ellenberg 的方法(参阅上文)都同样需要在制图之前能有航空照片或地面调查图。这些照片和地图为了能在野外使用,需要尽量大的比例尺,虽然最后的一张图可以是按照小比例尺制作的。热带和地球上较偏僻地区可能缺乏上述基本资料,在这种情况下植被图仅仅可能在地面调查工作同时进行或者进行特殊飞行概查(Poore 及 Robertson, 1964)。在那些需要植物区系资料来制作 1:5000 至 1:50000 之间比例尺图的地方, Braun-Blanquet 的方法或许是合适的。在这种情况下研究方法是以前野外作出详细植物名录为基础,而航空照片只是为了方便野外调查或提供一个基本图,在此图的基础上使野外制图得以进行。在室内分析所选样地(见前文)并产生植被制图的单位的过程中,是用地籍图或地形图来进行的,大多数欧洲国家都有相对大比例尺范围的这样两种地图。室内建立的植物群落单位常用来作成检索,并且在野外检验它们的“实际”价值,而将区域内的植被纳入这些单位。这种分类系统制成的图已用各种不同的比例尺出版,其中不少色彩美丽。Kuchler 的目录中提供了这些古典地图的全部目录。这个分类系统的群落单位,最初设计时涉及世界植被,但目前欧洲植物社会学者的实践做法不那么强调普遍适用性,而使每一张图能适当表示每一特定研究地区的植被区系成分(Ellenberg, 1954)。

大比例尺(小面积)制图对生态学者来说问题较多,因为,大比例尺的地籍图或地形图缺乏或陈旧。在这种情况下,研究人员就需要利用航空照片或用经纬仪、导线测量及平面测量等地面测量方法来自己制备底图。Gurtin 及 Lane(1955)和 Gain 及 Gastro(1959)的手册中有的测绘大比例尺图的方法。所有的图,为了明确易懂和随机取样或规则取样时确定位置,都必须有比例尺和方格网。准备制图前,列出前文所述的数值分类法得出的最终类群,这种方法显然是有用的。开阔地区和森林地区作图,都存在着各自的困难。Taylor(1969)提出一种在开阔地区较大比例尺的快速踏查制图方法,但是,在森

林地制图时,最好按照上述详细的地面测量方法进行。两种情况下均需在手费时和精确的调查之前参考所有的材料,如地形图、地产图和航空照片。

利用等值线在图上表示群落组成的局部差异和在野外应用样带来反映植被变异是相似的一种方法(Ashby 及 Pidgeon,1942)。野外用网格确定样方位置,收集有关种及环境因素的资料然后在室内用图表示。随后将种的多度相同的点划成同值线,这样就得出系列图。但是这种简易的方法只有在梯度变化很明显,并且研究面积小时才能应用。

3.3.4 航空照片的应用

在生态学中,特别是在植被图的编制中,航空照片的应用可能追溯到几十年前(例如 Stamp,1925),并在海外的资源考察工作中得到广泛应用(Bawden,1967)。目前通用的方法包括各种遥感类型,即红外映像,多光谱照相,雷达映像等以及狭义的照相,而方法的选择取决于它的目的。

重叠、垂直的全色相片通常是成对观察,以产生立体映像。相片的单纯镶嵌拼接使便于初步描绘,而且在一个倾斜于地面的角度上进行照相可用于特殊的目的,如鉴定考古学上的特点。摄影测量地图的编制本身是一个主题,而且常常需要做初步的地面调查来矫正飞行路线上垂直的和水平的偏差。然而,把生态学资料转到这种图上,可由受到一些入门训练的生态学工作者来完成。虽然植被图的编制是最普遍的应用,但在文献中还是有种种专门用途,它们包括了找出火灾的范围、作物病害的发生(Golwell,1956)、动物的计数(Perkins,1971)、特有树种的记载(Howard,1970 第 235 页)以及坡向制图(Goldsmith,1973 a)。在理论上,生态学者需要选择像片类型,比例尺及飞行季节,并应参考航空照像方面的标准教科书(Howard, 1970)。但在实际上,如果经费有限,则像片的特征可由已有内容类型来确定,而他的工作主要是解释问题。

使用航空照片的优越性是:可以迅速完成大面积调查,可以立体成相,并可准确地确定植被的界线,这些优点随了研究面积的比例尺缩减和调查地点的难以达到程度的增加而变得日益重要了。

植被制图采用这种技术的主要缺点是:特征的描绘必须以外貌为主要根据,以及必须有一个初步分类。实际上,最初可以进行地面调查,而后用照片上色调、纹理及格局(间距)的差异来表示尽可能多的植被类型特点。

英国自然保护委员会使用航空照片的实例已由 Goodier(1971)介绍。这包括一些描述达特穆尔地区的生态学调查论文,其中有根据航空照片编制出的植被图及牲畜分布图两项内容。

四种类型的多光谱像片(红外色、红外全色、真色、全色)的对比试验近来已在进行,其中一些(Goldsmith,1972)表明,多种类型照片的组合所提供的生态资料要比任何单独一种为多。

3.4 植被梯度和环境梯度

有关植被梯度的起因、意义及最适用的研究方法已引起了相当多的争论。植被梯度通常反映环境梯度,它可以是静态的,也可以是动态的。静态梯度的一个极端情况是成带

现象。如果动态梯度已得到证明并且它们以定向方式在变动着,则它们就是一个演替序列中的一部分(Clements,1916)。那些强调植被的均匀性,贬低梯度的重要性并认为分类是描述植被变异最好方法的人(Poore,1955,Moore,1962),以及那些认为植被变异基本上是连续的人之间存在着主要的意见分歧。连续带(Continuum)概念(McIntosh,1967 b)的赞同者喜欢用不同方法来描述植被的变异,例如梯度分析和排序法。但是,植被变异的本质介于这两种极端观点之间(Webb,1954)。而且植被的周期性变化使这一情况进一步复杂化了(见前)。

在实践中,重要的是研究工作者要熟悉不同的植被概念、可以参阅上面提到的主要论文而得到,然后他必需根据研究的对象而选择自己的方法。如果他需要分类,就应当选择一种分类的方法,如果他需要得到梯度分析或排序形式的结果就该相应地选择有关的方法。植被的类别也仍然是可以排序的。

一般可以区分直接的梯度分析(植被样方根据观测到的环境梯度排列)和间接的梯度分析(植被样方沿着植被数据的轴排列)(Shimwell,1971;Whittaker,1967),前者包括了连续带方法(Gurtis 与 McIntosh,1951)和梯度分析(Whittaker,1956),后者包括各种类型的排序方法(Goodall,1954,Geig-Smith,1964)。

3.4.1 梯度分析

梯度分析方法是 Whittaker(1956)首先提出的,这种方法提供了以非常简单的方式表现连续带的手段。但是,当一或两个环境梯度全面控制了植被变异时,这些方法给予最满意的结果。植被样地或植物种沿着这些起控制作用的环境因子的轴而排列(图 3.20)。

Loucks (1962) 通过建立综合等级的轴改进并发展了这一方法。这些轴以二维图解形式将两个或多个环境因子的综合来确定立地的位置。然而,因子的选择和数的建立是非常主观的,当主要的控制因子明显时,多半是成功的。本书将在另一处介绍以比较客观的方法为基础的排序方法(参考下面)。

梯度分析也可通过建立极座标图(Polar diagram)而叙述植被外貌的变异。这种方法曾被 Perring(1959)成功地用来表示白垩草地的变化,以及 Goldsmith (1967) 用来阐明海崖上盐水浪花沉积的格局(图 3.21)。

3.4.2 排序

排序是样本的一种空间排列,使其位置反映出它们的相似程度。做为一种体系它用来比较种和环境因子,以做为建立有关因果关系假说的基础。排序有两种基本类型:

1. 环境排序,这里轴是由环境数据构成的。
2. 植物群落排序,这里轴是由植被数据构成的。

梯度分析方法在广义上可以看做是环境排序的类型,但通常这一术语是指全数据组的所有变量都被应用的技术。植物群落排序是比较灵活的,因为所有植被变量都是直接显露出来并且是能够利用的。个别的一些环境因子一旦取得时随后能够加以比较。

早期的比较简单的排序用标准样地来表示被描述的植被样地内的两个极端变异。较新的技术,通常是因子分析的变体,从数据直接导出变异的主轴。一般所采用的早期技

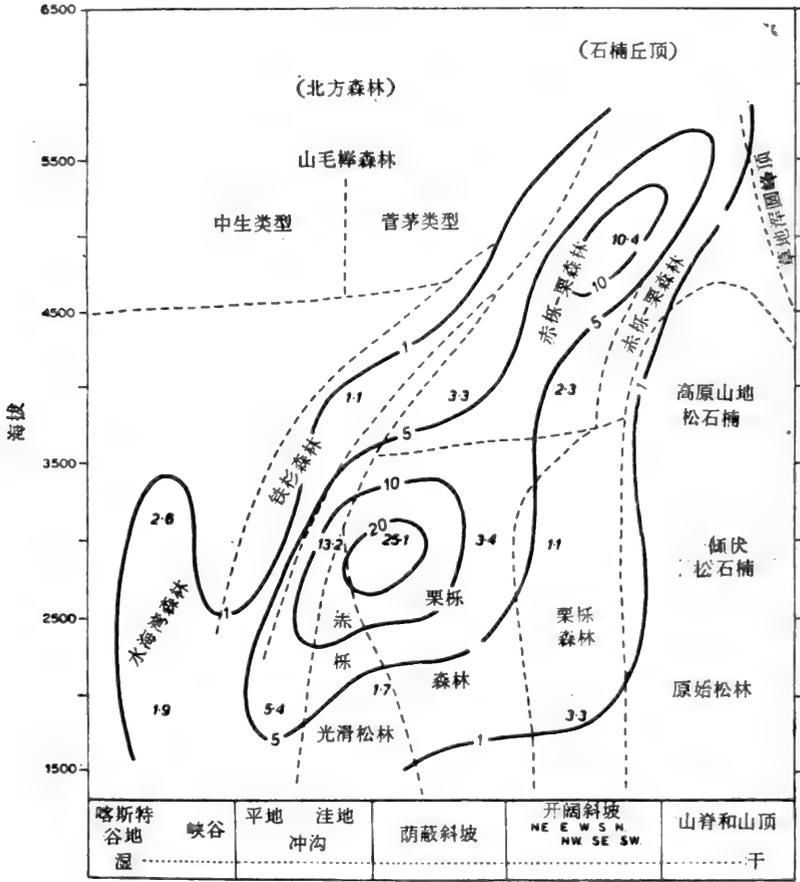


图 3.20 梯度分析的一个例子(引自 Whittaker, 1956)

术是在电子计算机之前发展起来的，并且现时对于不便使用计算机的小型研究项目以及为了教学目的，仍然是有用的。

连续带分析程序是 Curtis 和 McIntosh 在 1951 年首先倡导的。每个种的多度或重要值(I. V.)乘以“顶极适应值”(C. A. N)。而后每个种的钟形曲线可与环境因子进行对比(图 3.22)。这一方法是很主观的，并且基本上已被 Bray 和 Curtis(1957)提出的方法所取代。这些作者以相似系数代替连续带指数，用于样地之间的比较。系数采用的是 Sorenson(1948)或可能是 Czekanowski(1913)提出的：

$$C = \frac{2W}{A+B}$$

这里 A 和 B 表示进行对比的两个地段中每一地段所出现的种的总数， W 是两地段共有种的较低值的总和。

动物生态学家使用了另外的指数，其中最著名的大概是 Mountford(1962)指数了。这种方法在 Southwood(1966)的著作中讨论过。把相似系数倒转(100-C 或最大系数值 -C)，产生间距系数(distance coefficient)，随后将其放置在一个半矩阵中，并选择两个最不相似的样地做为第一个轴的两端。所有其他样地都是由两个弧相交而决定在轴上位

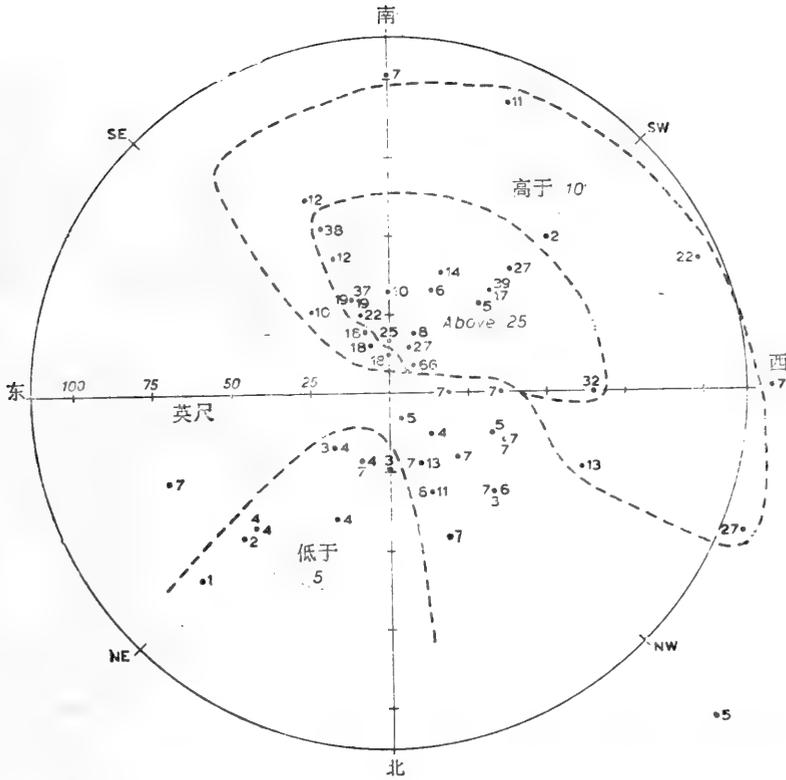


图 3.21 极梯度分析的一个例子。海崖样地按半径上的海拔高度和圆周上的方位排列。做出了土壤导电率对样地位置的曲线，以指示盐水浪花在海崖上的分布

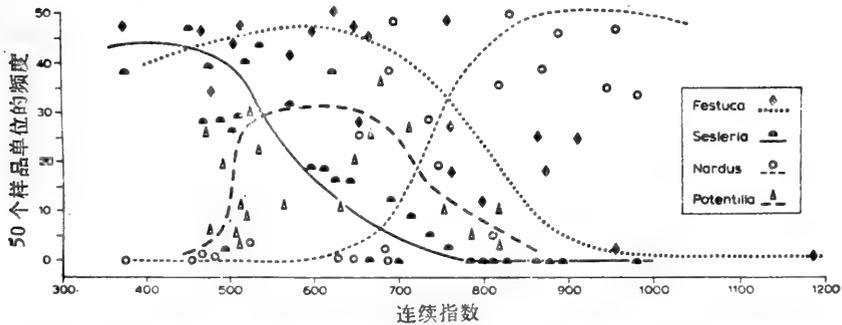


图 3.22 连续指数在沿轴排列植被样地时的应用。绘制了多度最大的四个种的重要值对连续指数的对应曲线，表示它沿着一个从石灰岩草地到酸性浅滩的梯度的相对多度

置。弧的长度是所需排列的样地对两端的参考样地之间的距离。第二个轴可与第一个轴成直角，它是最靠近第一个轴中点但在半矩阵中最大样地间距的一对样地(作为参考样地)而建立的。在二元空间中排列样地，种的习性和选定的环境因子指标可以绘制成图(图 3.23)。通过种与环境相互关系的目测观察比较，可以建立起关于因果关系的假设。同样的方法可用来建立第三个轴，尽管在第三个轴之后，如何说明通常变得困难了。

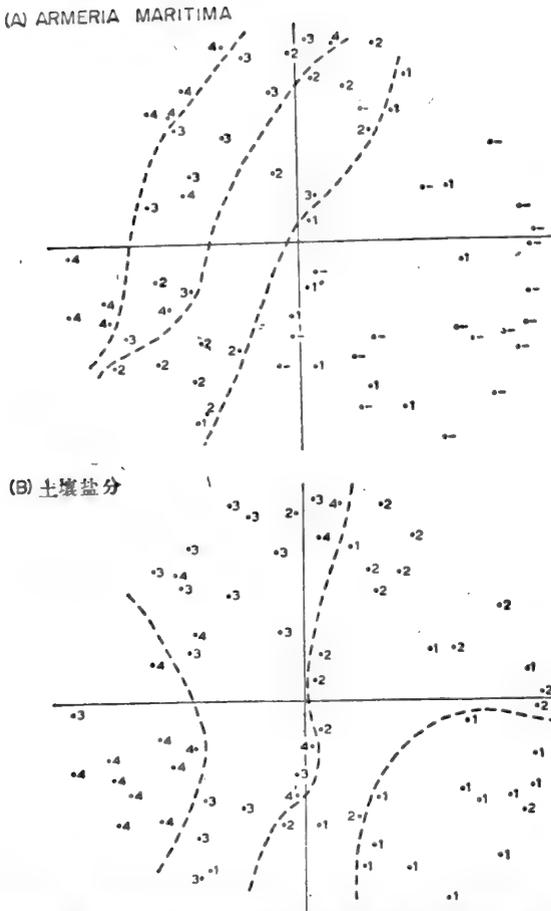


图 3.23 使用加权相似系数和主分量分析,从海崖频度资料中得出的排序图的实例。(A)说明 *Armeria maritima* (以四分位数的多度表示) (B)说明土壤盐分(以四分位数表示)的分布(引自 Goldsmith, 1973 b)

这种基本方法已做过各种各样的改进。例如, Beals (1960) 对于沿每个轴排列样地提出了一个公式, 从而可以进行电子计算机运算 (Orloci, 1966)。又如, 还提出了在理论上较好的样地间距系数 (Sokal, 1961), 并且比起 Sorensen 提出的原来系数, 现在更加广泛地使用:

$$D_{j-h} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_{ij} - x_{ih})^2}$$

这里 j 和 h 是要对比的样地, i 是被研究的种, x 是记载值。

这项公式在几何学上更可以接受, 因为它是 Pythagoras 定理在多度空间的推广。它克服了 Sørensen 系数的某些缺点, 例如有 3 个植被样地 A 、 B 和 C 、 AC 的距离有时大于 $AB + BC$ 之类。Bannister (1968) 讨论了种的多度的不同测定方法数据, 他得出结论——存在或不存在的资料也能和某些较详细的数量测定一样有用, 而数量测定在野外做起来更费时间。然而, 这种方法由于采用参考植被样地而有严重局限性, 这只有应用因子分析才能克服。

Orloci (1966) 推荐使用加权相似系数:

$$W.S.C. = \sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_i)(x_{ih} - \bar{x}_i)$$

式中 j 和 h 是两个进行比较的植被样地, i 是所研究的植物种; 它和主分量分析一起已被广泛地试验过 (Austin 及 Orloci, 1966; Austin 1968 b; Bunce, 1968; Allen, 1971), 并表明非常有效。最近, 提出了主分量分析的一个修改方法 (称为倒数平均法), 它把植被样地和植物种二者同时加以排序 (Hill, 1973)。

排序不限于所用植物种来排列植被样地, 但原始资料矩阵可所用植被样地转换成植物种的座标 (图 3.24)。一个环境因子矩阵可以用来将环境因子排序, 但也可以用来对植被样地排序。这样, 种、植被样地、环境因子之间的关系可以充分探明。

排序法现已成为分析植被变异的最通用方法。但对文献的研究表明, 它通常是用作两种目的 (有时二者是互相补充的): (1) 建立一个描述植被变异的体系, (2) 探索主导

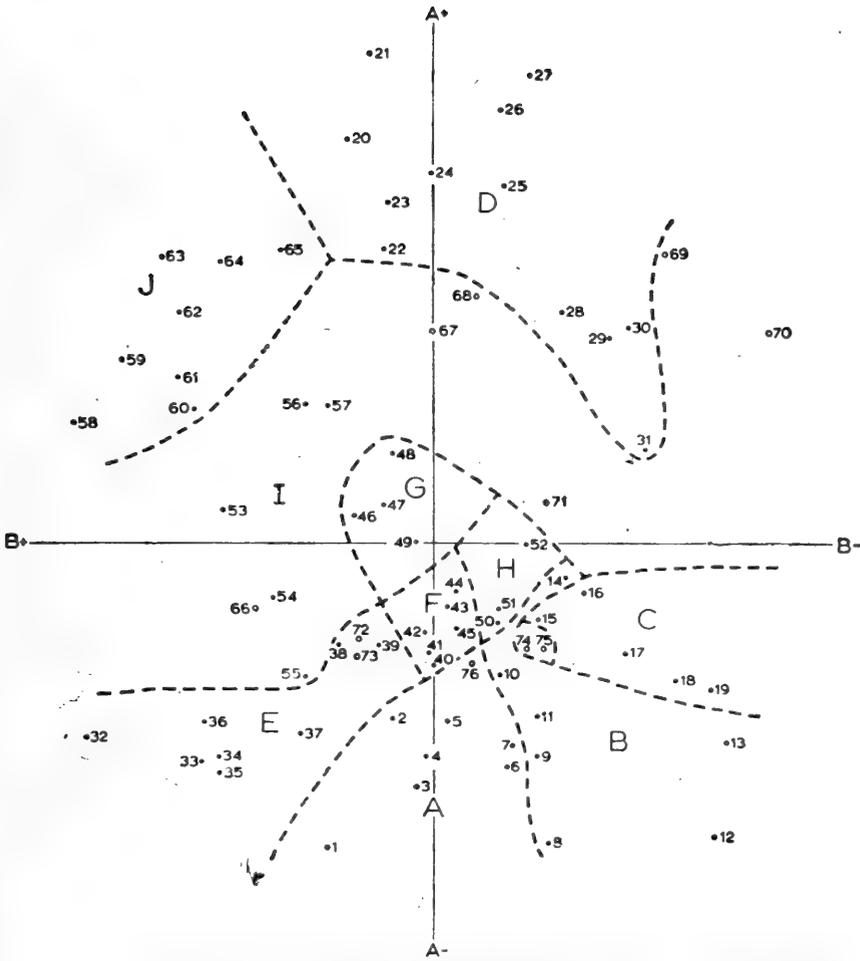


图 3.24 根据频度数据用加权相似系数和主分量分析进行的海崖植被 76 个植物种的排序 (引自 Goldsmith, 1973 b)

因子。在这两种应用中原始资料都是植物种类,且通常是数量的。尽管如此,为什么不当使用存在或不存在的资料,并无任何先验的理由,并且某些生态学家建议采用这种资料 (Bannister, 1966; Greig-Smith, 1969)。

排序法适用于各种比例尺的研究,已发表的报道中有 Gittins (1965) 和 Austin (1968) 对钙土草地的小比例尺研究, Ashton (1964) 在布隆内的龙脑香森林中以及 Greig-Smith、Austin 及 Whitmore (1967) 在所罗门岛屿上的大面积的研究。在理论上,排序法适用于植被变异连续的地区,实践上它被用来作为分类的一种替代方法。从两种主要方法中进行选择是一个经验问题,取决于生态学家要求植被分类单位还是排序图 (Anderson, 1965)。然而,重要的是要认识到,在探索因果关系时排序法只是用来建立假说,如同在任何相关方法一样,这些假说必须由其它资料或借助于试验来检验,其例子见 Goldsmith (1973 b 及 c)。

3.4.3 趋势面分析(Trend-surface analysis)

地理学家常常在他们的观测中通过多项表面点绘制了数量变量的趋向图(Chorley及Haggett,1965)。许多生态学变量,例如种的多度,环境因子的各种指标,同样地也可绘图。Gittins(1968)曾把趋势面分析法用到他的Anglesey是石灰岩草地资料及Goodall(1954)的澳大利亚桉树灌丛的资料中,他断定此法对于植被制图以及将数学上排算出的成分与野外对比是一个有用的工具。但是许多生态学家认为此法是对现实的进一步抽象化,只是在某些环境中才适用(Norcliffe,1969)。

4 方法的选择

本章已概述了一些最常用的描述和分析植被的方法。有些情况下,方法的选择是很容易的,但是生态学者更经常地是面对着从多至半打以上的方法中进行选择,这些方法有着相应的优点和缺点。在这种情况下,需要根据各个问题的特点去做最后决定。图3.1就是为了帮助研究工作者选择他的方法而设计的。但是,它不是在选择一个合适的方法或技术上的最后定论,而且,只能在阅读本章后经过慎重的思考来参照使用。它涉及的只是一部分关于植被的研究课题,对于动物区系和土壤的研究,也将同样地要求决定工作方法。

第一阶段必需决定研究的目的。把它写成文字,并随时与其他生态学者一起讨论,这往往是很有帮助的。生态学家们都认为六大类课题是经常遇到的。每一个读者都会想到还有其他的课题,大多数人认识到某些研究工作将包含图3.1中的两项或更多的项目。如果是这样的情况,则每个项目应加详细研究,同时应考虑的方法也不止一种。每一个大的课题项目后面都有一系列的问题以及是或否的回答。应当探索它们直到确定出所推荐的方法为止。例如一个动物学家,如果想要描述他所研究的生境中的植被,他就会从“生境描述”项目上开始。他需要自问:该生境中,地形、土壤或植被的变化是否具有一个明显的梯度?如果答案是否定的,他就自问这种描述是动物学的、植物学的抑或其他类型的研究?最后他能得到的结果是建议他采用以植被结构为基础的研究方法。并需参考本文所评述的多种研究方法,例如:Du Rietz(1931),Raunkiaer(1934)和Elton及Miller(1954)的那些方法。但是做出决定之前,要建议他查阅有关该方法的参考书以获得对方法的完满的描述及其应用的实例。做出决定是一个缓慢的过程,但是在这个阶段花一定时间去仔细考虑计划就可能在比较冗长的搜集资料的过程中节省出许多天或数星期不必要努力的时间。

5 参 考 文 献

- Agnew A. D. Q. (1961) The ecology of *Juncus effusus* L in North Wales. *J. Ecol.* **49**, 83—102.
Allen T. F. H. (1971) Multivariate approaches to the ecology of algae on terrestrial rock surfaces in North Wales. *J. Ecol.* **59**, 803—826.
Anderson D. J. (1961) The structure of some upland plant communities in Caernarvonshire. I. The pattern shown by *Pteridium aquilinum*. *J. Ecol.* **49**, 369—376. II. The pattern shown by *Vaccinium myrtillus* and *Calluna vulgaris*. *J. Ecol.* **49**, 731—738.
Anderson D. J. (1965) Classification and ordination in vegetation science: Controversy over a

- non-existent problem, *J. Ecol.* **53**, 521—526.
- Anderson D. J. (1967) Studies on structure in plant communities. III. Data on pattern in colonizing species. *J. Ecol.* **55**, 397—404.
- Archibald E. E. A. (1949) The specific character of plant communities. I. Herbaceous communities. *J. Ecol.* **37**, 260—273.
- Ashby E. & Pidgeon T. M. (1942) A new quantitative method of analysis of plant communities. *Aust. J. Sci.* **5**, 19.
- Ashton P. S. (1964) Ecological studies in the mixed Dipterocarp forests of Brunei State. *Oxford Forestry Memoirs N. 25*. Oxford, Clarendon Press.
- Austin M. P. (1968 a) Pattern in a *Zerna erecta* dominated community. *J. Ecol.* **56**, 197—218.
- Austin M. P. (1968 b) An ordination of a chalk grassland community. *J. Ecol.* **56**, 739—758.
- Austin M. P. & Greig-Smith P. (1968) The application of quantitative methods to vegetation survey. II. Some methodological problems of data from rain forest. *J. Ecol.* **56**, 827—844.
- Austin M. P. & Orloci L. (1966) Geometric models in ecology. II. An evaluation of some ordination techniques. *J. Ecol.* **54**, 217—229.
- Bannister P. (1966) The use of subjective estimates of cover-abundance as the basis for ordination. *J. Ecol.* **54**, 665—674.
- Bannister P. (1968) An evaluation of some procedures used in simple ordinations. *J. Ecol.* **56**, 27—34.
- Barclay-Estrup P. & Gimingham C. H. (1969) The description and interpretation of cyclical processes in a heath community. I. Vegetational change in relation to the *Calluna cycle*. *J. Ecol.* **57**, 737—758.
- Bawden M. G. (1967) Applications of aerial photography in land system mapping. *Photogrammetric Record, V 30*, 461—464.
- Beals E. (1960) Forest bird communities in the Apostle Islands of Wisconsin. *The Wilson Journal* **72**, 156—181.
- Beard J. S. (1944) Climax vegetation in tropical America. *Ecology* **25**, 127—158.
- Becking R. W. (1957) The Zurich-Montpellier school of phytosociology. *Bot. Rev.* **23**, 411—488.
- Billings W. D. & Mooney H. A. (1959) An apparent frost hummock-sorted polygon cycle in the alpine tundra of Wyoming. *Ecology* **40**, 16—20.
- Birse E. L. & Robertson J. S. (1967) Chapter 5 in *The Soils of the Country Around Haddington and Eyemarth* (ed. J. M. Ragg and D. W. Futty). Mem. Soil Survey. Gt. Br.
- Bishop O. N. (1966) *Statistics for Biology*. London, Longmans.
- Boaler S. B. & Hodge C. A. H. (1962) Vegetation stripes in Somaliland. *J. Ecol.* **50**, 465—474.
- Boatman D. J. & Armstrong W. A. (1968) A bog type in north-west Sutherland. *J. Ecol.* **56**, 129—141.
- Braun-Blanquet J. (1932) *Plant Sociology: The Study of Plant Communities*. New York, McGraw-Hill.
- Braun-Blanquet J. (1964) *Pflanzensoziologie*, 3rd edn, Wien, Springer-Verlag.
- Bray J. R. & Curtis J. T. (1957) An ordination of the upland forest communities of southern Wisconsin. *Ecol. Monogr.* **27**, 325—349.
- Brown D. (1954) Methods of surveying and measuring vegetation. *Comm. Bur. Pastures and Field Crops. Bull.* **42**, Comm. Agric. Bureau.
- Bunce R. G. H. (1968) An ecological study of Ysgolion Duon, a mountain cliff in Snowdonia. *J. Ecol.* **56**, 59—76.
- Burges A. (1960) Time and size as factors in ecology. *J. Ecol.* **48**, 273—285.
- Burnett J. H. (Ed.) (1964) *The Vegetation of Scotland*. Edinburgh, Oliver and Boyd.
- Cain S. A. (1932) Concerning certain phytosociological concepts. *Ecol. Monogr.* **2**, 475—508.
- Cain S. A. & Castro G. M. (1959) *Manual of Vegetation Analysis*. New York, Harper and Bros.
- Chorley R. J. & Haggett P. (1965) Trend-surface mapping in geographical research. *Trans. Inst. Br. Geogr.* **37**, 47—67.
- Clapham A. R. (1932) The form of the observational unit in quantitative ecology. *J. Ecol.* **20**, 192—197.
- Clapham A. R., Tutin T. G. & Warburg E. F. (1962) *Flora of the British Isles* (2nd edition). Cambridge University Press.
- Clements F. E. (1916) Plant succession: an analysis of the development of vegetation. *Carnegie Inst. Washington Publ.* **242**, 1—512.
- Colwell R. N. (1956) Determining the prevalence of certain cereal crop diseases by means of

- aerial photography. *Hilgardia* **26**, (5), 223—286.
- Cottam G. (1947) A point method for making rapid surveys of woodlands. *Bull. Ecol. Soc. Amer.* **28**, 60.
- Cottam G. & Curtis J. T. (1949) A method for making rapid surveys of woodlands by means of pairs of randomly selected trees. *Ecology* **30**, 101—104.
- Cottam G. & Curtis J. T. (1955) Correction for various exclusion angles in the random pairs method. *Ecology* **36**, 767.
- Cottam G. & Curtis J. T. (1956) The use of distance measures in phytosociological sampling. *Ecology* **37**, 451—460.
- Coupland R. T. & Johnson R. E. (1965) Rooting characteristics of native grassland species in Saskatchewan. *J. Ecol.* **53**, 475—508.
- Curtin W. & Lane R. F. (1955) *Concise Practical Surveying* London, English Universities Press.
- Curtis J. T. (1959) *The Vegetation of Wisconsin: an Ordination of Plant Communities*. Madison, Wisconsin University Press.
- Curtis J. T. & McIntosh R. P. (1951) An upland forest continuum in the prairie-forest border region of Wisconsin. *Ecology* **32**, 476—496.
- Czekanowski J. (1913) *Zarys Metod Statystycznych*. Warsaw.
- Dahl E. (1956) Rondane: Mountain vegetation in south Norway and its relation to the environment. *Skr. norske Vidensk.-Akad. Mat. Naturv. Kl.* **3**, 374.
- Dansereau P. (1957) *Biogeography: An Ecological Perspective*. New York, Ronald.
- Dansereau P. (1961) Essai de représentation cartographique des éléments structuraux de la végétation, in Gaussen, H. (ed.) *Méthodes de la Cartographie de la Végétation*. 233—255. Paris.
- Davies T. A. W. & Richards P. W. (1933) The vegetation of Moraballi Creek, British Guiana: an ecological study of a limited area of tropical rain forest. Part I. *J. Ecol.* **21**, 350—372.
- Drude O. (1913) *Die Ökologie der Pflanzen* Braunschweig, Vieweg, (Publ.).
- Du Rietz G. E. (1930) Classification and nomenclature of vegetation. *Svensk. Bot. Tidskr.* **24**, 489—503.
- Du Rietz G. E. (1931) Life-forms of terrestrial flowering plants. *Acta Phytogeographica Suecica* **3**, 1—95.
- Duffield B. S. & Forsythe J. F. (1972) Assessing the impacts of recreation use on coastal sites in East Lothian in *The Use of Aerial Photography in Countryside Research*. Countryside Commission, London.
- Edgell M. C. R. (1969) Vegetation of an upland ecosystem: Cader Idris, Merionethshire. *J. Ecol.* **57**, 335—359.
- Ellenberg H. (1954) Zur Entwicklung der Vegetationssystematik in Mitteleuropa *Angew. PflSoziol* (Wien) Festschr. Aichinger. **1**, 134—143.
- Ellenberg H. (1956) Aufgaben und Methoden der Vegetationskunde, in H. Walter *Einführung in die Phytologie* Vol. IV, pt I. Stuttgart.
- Ellenberg H. & Mueller-Dombois D. (1967) Tentative physiognomic-ecological classification of plant formations of the Earth. *Ber. geobot. inst. Stiftg. Rubel* **37**, 21—46.
- Elton C. S. (1966) *The Pattern of Animal Communities*. London, Methuen.
- Elton C. S. & Miller R. S. (1954) The ecological survey of animal communities with a practical system of classifying habitats by structural characters. *J. Ecol.* **42**, 460—496.
- Fisher R. A. (1960) *The Design of Experiments*. Edinburgh, Oliver & Boyd.
- Fisher R. A. & Yates F. (1963) *Statistical Tables for Biological, Agricultural and Medical Research*. London, Oliver & Boyd.
- Fosberg F. R. (1961) A classification of vegetation for general purposes. *Trop. Ecol.* **2**, 1—28.
- Fosberg F. R. (1967) A classification of vegetation for general purposes, in G. F. Peterken (ed.) *Guide to the Checklist for I. B. P. Areas*. I. B. P. Handbook 4, Oxford, Blackwell.
- Frenkel R. E. & Harrison C. M. (1974) An assessment of the usefulness of phytosociological and numerical classificatory methods for the community biogeographer. *Journal of Biogeography*, **1**, 27—56.
- Gittins R. (1965) Multivariate approaches to a limestone grassland community. I. A stand ordination. II. A direct species ordination. III. A comparative study of ordination and association analysis. *J. Ecol.* **53**, 385—425.
- Gittins R. (1968) Trend-surface analysis of ecological data. *J. Ecol.* **56**, 845—869.
- Goldsmith F. B. (1967) *Some Aspects of the Vegetation of sea-cliffs* Ph. D. thesis, University of Wales.

- Goldsmith F. B. (1972) Vegetation mapping in upland areas and the development of conservation management plans, in: *The Use of Aerial Photography in Countryside Research*. Countryside Commission, London.
- Goldsmith F. B. (1973 a) The ecologist's role in development for tourism: a case study in the Caribbean, *Biol. Linn. Soc.* **5**, 265—287.
- Goldsmith F. B. (1973 b) The vegetation of exposed sea cliffs at South Stack, Anglesey, I. The multivariate approach, *J. Ecol.* **61**, 787—818.
- Goldsmith F. B. (1973 c) The vegetation of exposed sea cliffs at South Stack, Anglesey, II. Experimental Studies, *J. Ecol.* **61**, 819—830.
- Goldsmith F. B. (1974) An assessment of the Fosberg and Ellenberg methods of classifying vegetation for conservation purposes, *Biol. Cons.* **6**, 3—6.
- Goodall D. W. (1953) Objective methods for the classification of vegetation. I. The use of positive interspecific correlation. *Aust. J. Bot.* **1**, 39—63.
- Goodall D. W. (1954) Vegetational classification and vegetational continua. *Angew. PflSoziol.* **1**, 168—182.
- Goodier R. (1971) *The Application of Aerial Photography to the Work of the Nature Conservancy*. Nature Conservancy, Edinburgh.
- Greig-Smith P. (1952) Ecological observations on degraded and secondary forest in Trinidad, British West Indies. I. General features of the vegetation. *J. Ecol.* **40**, 283—315. II. Structure of the communities. *Ibid.* 316—330.
- Greig-Smith P. (1961) Data on pattern within plant communities. I. The analysis of pattern. *J. Ecol.* **49**, 695—708.
- Greig-Smith P. (1964) *Quantitative Plant Ecology*, 2nd edition. London, Butterworths.
- Greig-Smith P. (1969) Analysis of vegetation data: the user viewpoint. *Proceedings of the International Symposium on Statistical Ecology*. Newhaven.
- Greig-Smith P., Austin M. P. & Whitmore T. C. (1967) The application of quantitative methods to vegetation survey. I. Association-analysis and principal component ordination of rain forest. *J. Ecol.* **55**, 483—503.
- Groenewoud H. van (1965) Ordination and classification of Swiss and Canadian forests by various biometric and other methods. *Ber. Geobot. Inst. E. T. A., Stiftg. Rubel* **35**, 28—102.
- Grubb P. J. *et al.* (1969) The ecology of chalk heath: its relevance to the calcicole-calcifuge and soil acidification problems. *J. Ecol.* **57**, 175—212.
- Hall J. B. (1971) Pattern in a chalk grassland community. *J. Ecol.* **59**, 749—762.
- Harper J. L. (1967) A Darwinian approach to plant ecology. *J. Ecol.* **55**, 247—270.
- Harrison C. M. (1970) The phytosociology of certain English heathland communities. *J. Ecol.* **58**, 573—589.
- Harrison C. M. (1971) Recent advances in the description and analysis of vegetation. *Trans. Inst. Br. Geogr.* **52**, 113—127.
- Harrison C. M. & Warren A. (1970) Conservation, stability and management. *Area* **2**, 26—32.
- Hill M. O. (1973) Reciprocal averaging: an eigenvector method of ordination. *J. Ecol.* **61**, 237—250.
- Hope-Simpson J. F. (1940) On the errors in the ordinary use of subjective frequency estimations in grassland. *J. Ecol.* **28**, 193—209.
- Hopkins B. (1955) The species area relations of plant communities. *J. Ecol.* **43**, 409—426.
- Howard J. A. (1970) *Aerial Photo-Ecology*. London, Faber & Faber.
- Ivimey-Cook R. B. & Proctor M. C. F. (1966) The application of association-analysis to phytosociology. *J. Ecol.* **54**, 179—192.
- Kershaw K. A. (1957) The use of cover and frequency in the detection of pattern in plant communities. *Ecology* **38**, 291—299.
- Kershaw K. A. (1958, 1959) An investigation of the structure of a grassland community. I. The pattern of *Agrostis tenuis*. *J. Ecol.* **46**, 571—592. II. The pattern of *Dactylis glomerata*, *Lolium perenne* and *Trifolium repens*. *Ibid.* **47**, 31—43. III. Discussion and conclusions. *Ibid.* **47**, 44—53.
- Kershaw K. A. (1961) Association and co-variance analysis of plant communities. *J. Ecol.* **49**, 643—654.
- Kershaw K. A. (1962) Quantitative ecological studies from Landmannahellir, Iceland. I. *Eriophorum angustifolium*, and II. The rhizome behaviour of *Carex bigelowii* and *Calamagrostis neglecta*. *J. Ecol.* **50**, 163—179.
- Kershaw K. A. (1968) Classification and ordination of Nigerian savanna vegetation. *J. Ecol.* **56**,

- Kershaw K. A. (1973) *Quantitative and Dynamic Ecology*, 2nd edition. London, Edward Arnold.
- Koppen W. (1928) *Klimakarte der Erde*. Gotha, Perthes.
- Kuchler A. W. (1967) *Vegetation Mapping*. New York, Ronald Press.
- Lambert J. M. & Williams W. T. (1962) Multivariate methods in plant ecology. *V*. Nodal analysis. *J. Ecol.* **50**, 775—802.
- Lambert J. M. & Williams W. T. (1966) Multivariate methods in plant ecology. *VI*. Comparison of information-analysis and association-analysis. *J. Ecol.* **54**, 635—664.
- Leeuwen C. G. van (1966) A relation theoretical approach to pattern and process in vegetation. *Wentia* **15**, 25—46.
- Loucks O. L. (1962) Ordinating forest communities by means of environmental scalars and phytosociological indices. *Ecol. Monogr.* **32**, 137—166.
- Maarel E. van der (1971) Plant species diversity in relation to management. In Duffey and Watt (eds.), *The Scientific Management of Animal and Plant Communities for Nature Conservation*. Oxford, Blackwell.
- Macarthur R. H. (1965) Patterns of species diversity. *Biol. Rev.* **40**, 510—533.
- Margalef R. (1968) *Perspectives in Ecological Theory*. Chicago, University Press.
- McIntosh R. P. (1967 a) An index of diversity and the relation of certain concepts to diversity. *Ecology* **48**, 392—404.
- McIntosh R. P. (1967 b) The continuum concept of vegetation. *Bot. Rev.* **33**, 130—187.
- McVean D. N. & Ratcliffe D. A. (1962) *Plant Communities of the Scottish Highlands*. Monographs of the Nature Conservancy, No. 1. London, H. M. S. O.
- Moore J. J. (1962) The Braun-Blanquet system: A reassessment. *J. Ecol.* **50**, 761—769.
- Moore J. J., Fitzsimons P., Lambe E. & White J. (1970) A comparison and evaluation of some phytosociological techniques. *Vegetatio* **20**, 1—20.
- Moore N. W. (1962) The heaths of Dorset and their conservation. *J. Ecol.* **50**, 369—391.
- Mountford M. D. (1962) An index of similarity and its application to classificatory problems. In P. W. Murphy (ed.), *Progress in Soil Zoology*, 43—50. London, Butterworth.
- Norcliffe G. B. (1969) On the use and limitations of trend surface models. *Canadian Geographer* **8**, 338—348.
- Oberdorfer E. (1957) *Suddeutsche Pflanzengesellschaften*. Jena, Fisher.
- Odum E. P. (1969) The strategy of ecosystem development. *Science* **164**, 262—270.
- Orloci L. (1966) Geometric models in ecology. I The theory and application of some ordination methods. *J. Ecol.* **54**, 193—216.
- Osvald H. (1923) Die vegetation des Hochmoores Komosse. *Akad. Abh. Uppsala*.
- Pearsall W. H. (1924) The statistical analysis of vegetation: a criticism of the concepts and methods of the Uppsala school. *J. Ecol.* **12**, 135—139.
- Perkins D. F. (1971) Counting sheep, cattle and ponies on Dartmoor by aerial photography. In Goodier (ed.) *The Application of Aerial Photography to the work of the Nature Conservancy*. The Nature Conservancy.
- Perring F. (1959) Topographical gradients of chalk grassland. *J. Ecol.* **47**, 447—481.
- Peterken G. F. (1967) *Guide to the check sheet for I. B. P. Areas*. International Biological Programme, Handbook 4. Oxford, Blackwell.
- Phillips M. E. (1954) Studies in the quantitative morphology and ecology of *Eriophorum angustifolium* Roth. Part III. *New Phytol.* **53**, 312—342.
- Pielou E. C. (1959) The use of point-to-plant distances in the study of the pattern of plant populations. *J. Ecol.* **47**, 607—613.
- Pielou E. C. (1962) The use of plant-to-neighbour distances for the detection of competition. *J. Ecol.* **50**, 357—367.
- Poore M. E. D. (1955) The use of phytosociological methods in ecological investigations. I. The Braun-Blanquet System. *J. Ecol.* **43**, 226—244. II. Practical issues involved in an attempt to apply the Braun-Blanquet system. *J. Ecol.* **43**, 245—269.
- Poore M. E. D. & Robertson V. C. (1964) *An approach to rapid description and mapping of biological habitats based on a survey of the Hashemite Kingdom of Jordan*. Sub-commission on Conservation of Terrestrial Biological Communities. I. B. P.
- Pritchard N. M. & Anderson A. J. B. (1971) Observations on the use of cluster analysis in botany with an ecological example. *J. Ecol.* **59**, 727—748.
- Preis K. (1939) Die *Festuca vallesiaca-Erysimum crepidifolium* Assoziation aux Basalt, Glimmersch-

- iefer und Granitgneis. *Beih Bot. Cbl.* **59B**, 478—530.
- Proctor M. C. F. (1967) The distribution of British liverworts: a statistical analysis. *J. Ecol.* **55**, 119—136.
- Ratcliffe D. A. (1971) Criteria for the selection of nature reserves. *Adv. of Sci.* **27**, 294—296.
- Ratcliffe D. A. & Walker D. (1958) The Silver Flowe, Galloway, Scotland. *J. Ecol.* **46**, 407—445.
- Raunkiaer C. (1934) *The Life-Forms of Plants and Statistical Plant Geography*. Oxford, Clarendon Press.
- Richards P. W. (1952) *The Tropical Rain Forest*. Cambridge University Press.
- Richards P. W., Tansley A. G. & Watt A. S. (1940) The recording of structure, life-forms and flora of tropical forest communities as a basis for their classification. *J. Ecol.* **28**, 224—239.
- Rubel E. (1930) *Die Pflanzengesellschaften der Erde*. Bern, Huber Verlag.
- Rutter A. J. (1955) The composition of wet-heath vegetation in relation to the water-table. *J. Ecol.* **43**, 507—543.
- Salisbury E. J. (1916) The Oak-hornbeam woods of Hertfordshire. Parts I and II. *J. Ecol.* **4**, 83—120.
- Searle S. R. (1966) *Matrix Algebra for the Biological Sciences*. New York, Wiley.
- Shimwell D. W. (1971) *The Description and Classification of Vegetation*. London, Sidgwick & Jackson.
- Simpson E. H. (1949) Measurement of diversity. *Nature* **163**, 688.
- Society for the Promotion of Nature Reserves (1969) *Biological Sites Recording Scheme*. S. P. N. R. Conservation Liaison Committee Technical Publication, 1.
- Sokal R. R. (1961) Distance as a measure of taxonomic similarity. *Syst. Zoology*. **10**, 70—79.
- Sokal R. R. & Sneath P. H. A. (1963) *Principles of Numerical Taxonomy*. San Francisco, Freeman.
- Sorenson T. (1948) A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species content. *Kong. Dan Vidensk. Selsk. Biol. Skr.* **5**, 1—34.
- Southwood T. R. E. (1966) *Ecological Methods*. London, Methuen.
- Stamp L. D. (1925) The aerial survey of the Irrawaddy Delta forests (Burma). *J. Ecol.* **13**, 262—276.
- Szafer W. (1966) *The Vegetation of Poland*. International Series of Monographs in Pure and Applied Biology **9**. Oxford, Pergamon.
- Tansley A. G. (1935) The use and abuse of vegetational concepts and terms. *Ecology* **16**, 284—307.
- Tansley A. G. (1939) *The British Islands and their Vegetation*. Cambridge University Press.
- Tansley A. G. & Adamson R. S. (1913) Reconnaissance in the Cotteswolds and the Forest of Dean. *J. Ecol.* **1**, 81—89.
- Tansley A. G. & Adamson R. S. (1926) A preliminary survey of the chalk grasslands of the Sussex Downs. *J. Ecol.* **14**, 1—32.
- Taylor J. A. (1969) Reconnaissance surveys and maps in *Geography at Aberystwyth*. (ed.) E. G. Bowen, H. Carter and J. A. Taylor. University of Wales Press.
- Thomas A. S. (1960) Changes in vegetation since the advent of myxomatosis. *J. Ecol.* **48**, 287—306.
- Thompson H. R. (1958) The statistical study of plant distribution patterns using a grid of quadrats. *Aust. J. Bot.* **6**, 322—342.
- Thorntwaite C. W. (1948) An approach towards a rational classification of climate. *Geog. Rev.* **38**, 55—94.
- Tüxen R. (1937) Die Pflanzengesellschaften nordwest-Deutschlands. *Mitt. Flor.-soz. Arbeitsg. in Niedersachsen*, **3**, 1—170.
- Wadsworth R. M. (1970) An invisible marker for experimental plots. *J. Ecol.* **58**, 555—557.
- Warming E. (1923) Okologiens Grundformer, Udkast til en systematisk Ordning. *K. Danske Vidensk. Selsk. Naturv. Math. Afd. Skr.* **8**, R 4, 119—187.
- Warren Wilson J. (1960) Inclined point quadrats. *New Phytol.* **59**, 1—8.
- Watt A. S. (1947) Pattern and Process in the plant community. *J. Ecol.* **35**, 1—22.
- Watt A. S. (1962) The effect of excluding rabbits from Grassland A (*Xerobrometum*) in Breckland, 1936—60. *J. Ecol.* **50**, 181—198.
- Watt A. S. (1964) The community and the individual. *J. Ecol.* (Suppl.) **52**, 203—212.
- Weaver J. E. & Clements F. E. (1938) *Plant Ecology*. London, McGraw-Hill.
- Webb D. A. (1954) Is the classification of plant communities either possible or desirable? *Bot. Tidssk.* **51**, 362—370.
- Webb L. J., Tracey J. G., Williams W. T. & Lance G. N. (1970) Studies in the numerical analysis of complex rain-forest communities. V. A comparison of the properties of floristic and phys-

- lognomic-structural data. *J. Ecol.* **58**, 203—232.
- Whittaker R. H. (1956) Vegetation of the Great Smoky Mountains. *Ecol. Monogr.* **26**, 1—80.
- Whittaker R. H. (1965) Dominance and diversity in land plant communities. *Science* **147**, 250—260.
- Whittaker R. H. (1967) Gradient analysis of vegetation. *Biol. Rev.* **49**, 207—264.
- Whittaker R. H. (1969) Evolution of diversity in plant communities. In *Diversity and Stability in Ecological Systems. Brookhaven Symp. Biol.* **22**, 178—196.
- Whittaker R. H. (1970) *Communities and Ecosystems*. London, Macmillan.
- Williams C. B. (1964) *Patterns in the Balance of Nature and Related Problems in Quantitative Ecology*. London, Academic Press.
- Williams W. T. & Dale M. B. (1965) Fundamental problems in numerical taxonomy. *Adv. Bot. Res.* **2**, 35—68. (ed.) R. D. Preston. New York, Academic Press.
- Williams W. T. & Lambert J. M. (1959) Multivariate methods in plant ecology. I. Association analysis in plant communities. *J. Ecol.* **47**, 83—101.
- Williams W. T. & Lambert J. M. (1960) II. The use of an electronic digital computer for association analysis. *J. Ecol.* **48**, 689—710.
- Williams W. T. & Lambert J. M. (1961) III. Inverse association-analysis. *J. Ecol.* **49**, 717—729.
- Williams W. T., Lambert J. M. & Lance G. N. (1966) Multivariate methods in plant ecology. V. Similarity analyses and information-analysis. *J. Ecol.* **54**, 2; 427—445.
- Willis A. J. (1973) *Introduction to Plant Ecology*. London, Allen & Unwin.
- Winkworth R. E. & Goodall D. W. (1962) A crosswise sighting tube for point quadrat analysis. *Ecology* **43**, 342—343.
- Yarranton G. A. (1966) A plotless method of sampling vegetation. *J. Ecol.* **54**, 229—238.
- Yarranton G. A. (1969) Plant ecology: a unifying model. *J. Ecol.* **57**, 245—250.
- Yarranton G. A. (1971) Mathematical representations and models in plant ecology: response to a note by R. Mead. *J. Ecol.* **59**, 221—224.

(李博 刘钟龄 孙鸿良 译, 阳含熙 校)

第四章 产量生态学和养分预算

S. B. Chapman

导 言

一个生态学家会发觉自己为着一个或若干个理由不得不涉及生物产量和养分预算的研究。他可能希望为了比较一定类型生态系统内的不同立地而运用第一性产量的测定,或者用来作为比较不同类型生态系统的基础(Westlake,1963)。第一性产量、养分预算和能量流通的研究在试图搞清天然群落的功能方面是重要的,但应记住,它只是解决课题的一个特定途径,而生态学的其它观点,对帮助取得更完整的分析和理解生态系统和生态过程也许是同样重要的。

产量生态学的一个重要特点是在若干不同学科背景之间提供一个有力的统一连结的手段。在此领域中不同类型生态学家的区别就不存在了。一位从事产量研究的人很难把自己说成只是一个植物学家、动物学家或土壤学家。

本章主要分三节。第一节介绍一些与产量生态学有关的较重要的定义和概念;第二节叙述测定第一性产量和有关过程的一些方法;第三节讨论有关养分预算研究的方法。

2 生态系统

2.1 生态系统概念

Arthur Tansley 爵士 1935 年发表的论文讨论了一些当时生态学家的术语和概念。他摒弃诸如“复杂有机体”和“生物群落”等当代术语,以下述词句介绍了术语“生态系统”:

“虽则有机体能够吸引我们的主要兴趣,但当我们试图从根本上去考虑的时候,我们不能把它们和与它们一起形成一个自然系统的特定环境割裂开来”。

自此,许多作者把生态系统下定义为:一定面积上包括生物成分(包括人类在内的有机体)和非生物成分(环境方面物理-化学的)在内的功能单位。然而,在普遍认识到生态系统包括生物和非生物因子的相互关系时,却常常忘掉定义中包含了“一定面积”。Tansley 谈到“生态系统有各种类型和大小,它们形成宇宙一系列等级的各种各样的自然系统,其范围从整个宇宙到原子”。不幸,许多人现在应用生态系统术语时,一般不去明确系统所属的界限。无论何时,生态系统术语用于生态学研究时应当弄清楚系统的物理的和生物学的界限。应当记住,生态系统是相互关联的功能单位,任何区分都是为简化和研究目的的人为划分。Major(1969)详细介绍过生态系统概念的历史发展。

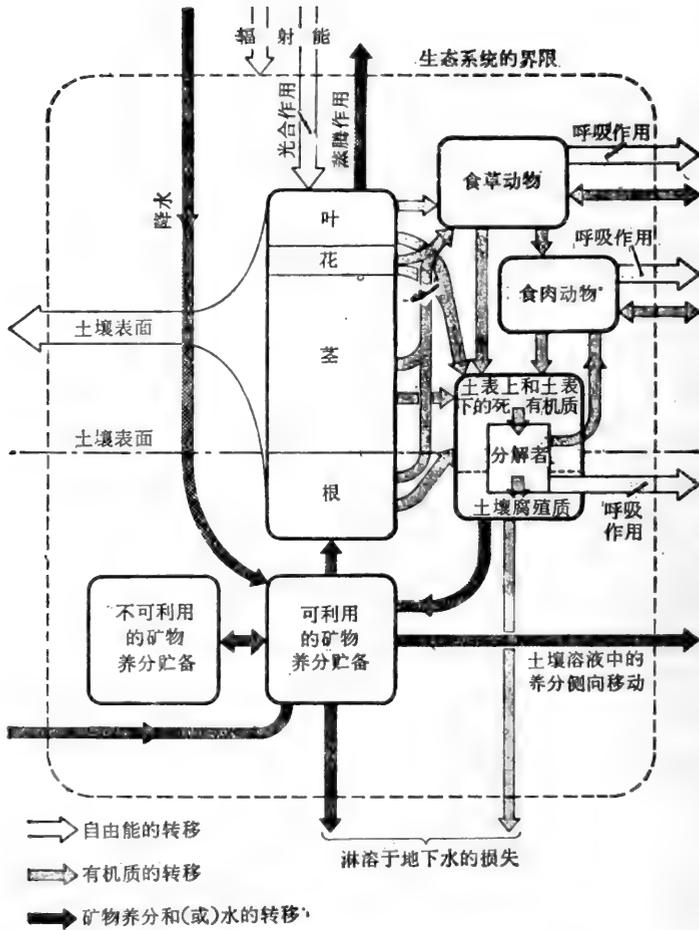


图 4.1 一个生态系统的一般表现图式

2.2 生态系统的模造

近年来,许多生态学家变得对“生态系统模造”和“系统分析”等术语熟悉起来,即使他们并不明确其整个涵义。一个模型不过是概括性的抽象用来描述和模造某些过程或情况的全部或局部。模型可采用若干种形式,数学模型、文字模型、方框模型和流程图。可以肯定,模造、系统途径和具有处理大量复杂数据的电子计算机能力在将来对生态学会有许多贡献。应当强调系统分析不是研究生态系统的唯一方法,该途径最重要的特点在于它强调需要弄明白系统的基本成分和加以数量化。

不可能在此详细说明系统分析和模造,但 Smith(1970)、Patten(1971)、Jeffers(1972)和 Reichle 等(1973)提出的文献对需要初步了解该课题的任何人都会感兴趣。

3 产量,分解和积累

3.1 定义、概念和单位

为了成功地测定产量和有关的分解与积累过程,需要明确一些基本术语和清楚地了解它们间的相互关系。

3.1.1 产量

产量是一个有机体或群落在一定时期内积累的重量或生物量。

第一性产量是光合作用产生的有机质产量,第二性产量是由异养有机体以后转化的那些有机质。

第一性产量可用两种方式表示:

- (a) 总第一性产量,即一定时期内产生的有机质总量(包括呼吸作用损失的); GPP
- (b) 净第一性产量,即一定时期内一株植物或一定面积植被的有机质量(总第一性产量减去呼吸作用的损失)。

净第一性产量一般为植物生态学家所关心,并且常常进一步根据植物或植被的特定部分(地上部分的,根的或种子的产量等)而加以说明。

生物量或现存量是一定时期内存在于生态系统某些特定成分中单位面积的有机质重量。生物量一般以干重表示,有时以术语“不含灰分的干重”表示(见4.4.1节)。

国际生物学规划出版的手册(Newbould, 1967; Milner 和 Hughes, 1968)以标准形式提出生物量、时间和产量之间的相互关系。

B_1 = 在 t_1 时间一个植物群落的生物量,

B_2 = 在 t_2 时间(= $t_1 + \Delta t$) 一个植物群落的生物量,

ΔB = $t_1 - t_2$ 期间生物量的变化,

L = $t_1 - t_2$ 期间由死亡和脱落而损失的植物,

G = $t_1 - t_2$ 期间因放牧等损失的植物,

P_N = $t_1 - t_2$ 期间群落的净产量。

由公式表示:

$$P_N = \Delta B + L + G$$

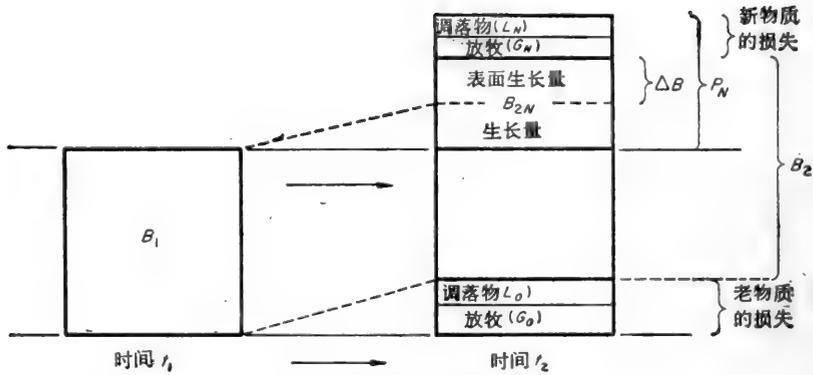
由此,如果能很好地测定 ΔB , L 和 G , 则可算出 P_N 。根据上述关系,至少两次测定生物量,前后间隔一般至少一年。

另一个方法(Newbould, 1967)是,如果在生长季末可以得到各个成分的产量的话,一次调查也可以得出产量的估算。

$$P_N = P_{\text{花}} + P_{\text{绿色部分}} + P_{\text{木质部分}} + P_{\text{根}}$$

在生长季末,全年产量的某些部分可能由于放牧或死亡及枯枝落叶而损失。因此,表面生长量将估计偏低。

表面生长量补充以整个放牧和凋落物的损失,将会由于部分损失来自于去年的产量而使净产量估计偏高。



$$P_N = B_{2N} + L_N + G_N$$

$$\text{或 } P_N = \Delta B + (L_0 + L_N) + (G_0 + G_N)$$

$$= \Delta B + L + G$$

图 4.2 产量、表面生长量和生物量变化的相互关系(据 Newbould, 1967)

3.1.2 分解

分解是有机质自然凋落和转化为简单化学物质,导致产生二氧化碳、水分和释放能量的过程。

分解反映能量和物质自生态系统的损失,以及系统内有机质的转化和移动。有机质的分解对植物摄取从凋落物和土壤有机质中释放的养分和进一步生长有极重要的意义。

3.1.3 积累

积累是生态系统的一些部分因生产和分解在重量上的变化速率。

Jenny 等(1949)和 Olson (1963)曾以简单数学模型为背景介绍和检验凋落物的积累。

假设 B = 有机质的生物量或重量,

B_{SS} = 稳定状况下有机质的生物量或重量,

P = 产量(系统的输入量),

k = 瞬时的部分损失率。

在一些连续的间隔期(t)内,如一天或一年,生态系统内生物量的变化速率可表示为:

$$\frac{\Delta B}{\Delta t} = \text{输入量} - \text{损失量(此间隔期中的)}$$

如果系统的输入量保持恒定,瞬时的重量变化速率(当 ΔB 和 Δt 的极限接近 0 时的速率)为,

$$\frac{dB}{dt} = P - kB$$

在稳定状况下生态系统输入量必须与损失相等,

$$P = kB_{SS}$$

因此,如果这些假设正确,和该两参数是可测定的,第三个参数即可算出。可能的话,产量

和分解率应当分别测定。

如假设生产率和分解率恒定(该模型的一些缺点见 3.5.2 节),一些进一步的相关性可推导出来。系统的输入量来源被改变的地方,如在凋落物袋试验(3.5.2 节)或休闲条件的土壤有机质情况下,可表示为:

$$B = B_0 e^{-kt}$$

式中, B = 在时间 t 后留下的有机质量,

B_0 = 在时间 t_0 时的有机质最初重量。

这个用于指数分解的公式相同于计算一定时间后残剩的放射性同位素量的公式。

如假设系统的输入量(产量)保持在某一值(P)而非零值,可导出一个测定任何时间后积累的有机质重量的公式:

$$B = B_{SS}(1 - e^{-kt})$$

或

$$B = \frac{P}{k}(1 - e^{-kt})$$

这个经常称为单分子(Mono-molecular)生长曲线的积累曲线表明在恒定产量和分解情况下积累的有机质重量随时间而增加到一个稳定状况的值(B_{SS})。可以计算出对产量和分解率任何组合条件下达到稳定状况所需要的时间。

$$\frac{0.6931}{k} = \text{达到生物量 50\% 稳定状况所需时间。}$$

$$\frac{3}{k} = \text{达到生物量 95\% 稳定状况所需时间。}$$

在这些公式中常数 k 是瞬时的部分损失率,但许多生态学研究测定或估算的是整个一定时期如一月或一年内的部分损失率(k')。当损失以部分有机体重量表示时,两个损失率的关系是:

$$k' = 1 - e^{-kt}$$

$$k = -\log_e(1 - k')$$

当间隔期短(如每天的损失)或分解慢的地方, k 和 k' 值的差异很小,但当计算整个一年的凋落物分解,两个分解率的差可能很大。

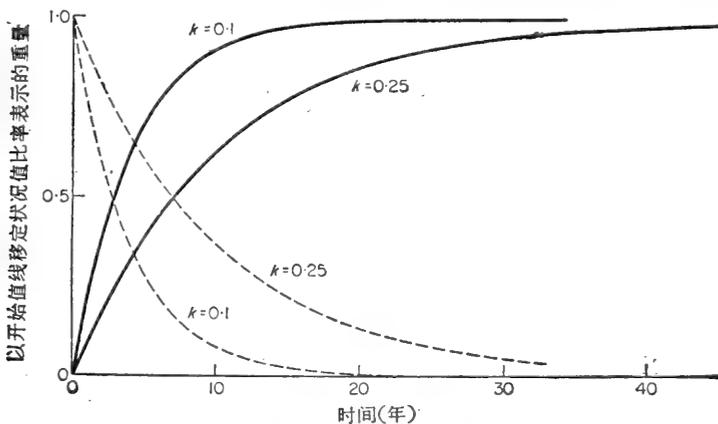


图 4.3 不同 k 值的分解和积累单分子曲线

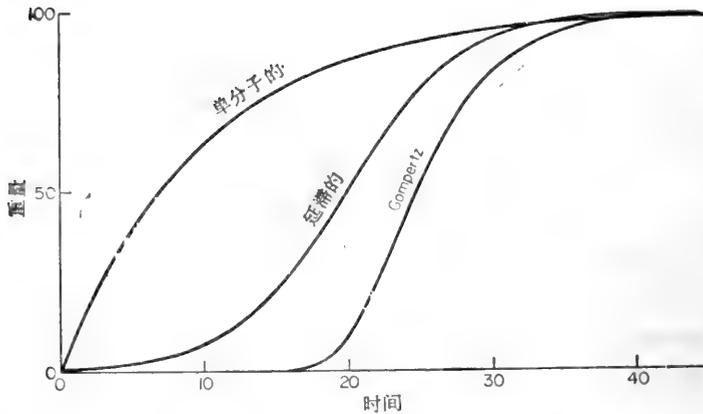


图 4.4 单分子的、延滞的和 Gompertz 的生长曲线

讨论中曾假设产量随时间保持恒定,很多情况下显然并非如此。Jenny 等和 Olson 的文章讨论了用于森林条件的这些公式,那里凋落物产量是季节性的。尽管简单指数模型是假设性的,它对于许多生态课题还是很有用处,和可以用来论证产量、分解以及积累的基本相互关系。

单分子生长曲线正是用以描述生物学生长或积累的一系列曲线之一。由于只代表第一次(first-order)化学反应被称为的单分子曲线假设任何时刻的生长率将与生物量(B)和在恒定状况下出现或积累的最大重量(B_{SS})间的差成正比。

$$\frac{dB}{dt} = k(B_{SS} - B)$$

在延滞(Logistic)生长曲线中,假设任何一定时刻的生长率与该时的重量成正比,同样与将出现的最大重量相关的该重量的函数成正比。

$$\frac{dB}{dt} = KB \left(\frac{B_{SS} - B}{B_{SS}} \right)$$

由此可导出:

$$B = \frac{B_{SS}}{1 + e^{a - kt}}$$

式中, a = 常数

由分析人类死亡率的保险统计师所发展的 GOMPERTZ 生长曲线, 其公式为,

$$B = B_{SS} e^{(-e^{-a-kt})}$$

由下式得出生长率:

$$\frac{dB}{dt} = kB \log e \left(\frac{B_{SS}}{B} \right)$$

这类生长曲线与生态数据相符合时,就可用来比较和叙述。但重要的是,不要过分强调这些常数的生物学意义。

要使曲线符合一组数据,必须求得对三个变数(B_{SS} , a 和 k)的“最佳拟合”(best fit)。虽然这在应用电子计算机的条件下几乎没有困难,但更方便的是用其它方法得到近似的拟合。很多情况下,最终重量(B_{SS})的合理估计可从原始数据的作图而得到。然后,重量(B)可以作为最终重量的比例(W)表示:

$$W = \frac{B}{B_{SS}}$$

由此法得出重量时,生长曲线的公式可由两个变数(a 和 b)和适合于线形作图的公式写出:

单分子	延滞	Gompertz
两变数的公式 $W = 1 - e^{-a-kt}$	$W = \frac{1}{1 + e^{-a-kt}}$	$W = e^{-e^{-a-kt}}$

以线形式表示 $\log_e(1-W) = a-kt$ $\log_e\left(\frac{1-W}{W}\right) = a-kt$ $\log_e\left[\log_e\left(\frac{1}{W}\right)\right] = a-kt$

如数据可用延滞曲线来表述,则 $\log_e\left(\frac{1-W}{W}\right)$ 函数以时间的变化作图时,其结果将近似一条直线。生长常数(k)的估测可由线的斜度得出,常数(a)则可由直线与 y 轴的交点算出。Ricklefs(1967)介绍过求生长曲线近似拟合的一个类似方法。他指出,如果一组数据以线形绘出,较低的重量近似于直线时,则实际选择的生长曲线可能合适。如较高重量的图形为曲线,则需要对 B_{SS} 的估值略加修正后重新作图。 B_{SS} 的最佳选择将是得出最近似于直线的值。除非数据“非常好”,否则不可能得到大于约为 0.9 最终值的最佳拟合。图 4.5 表示一例拟合于石楠灌丛植被生长的 Gompertz 曲线。

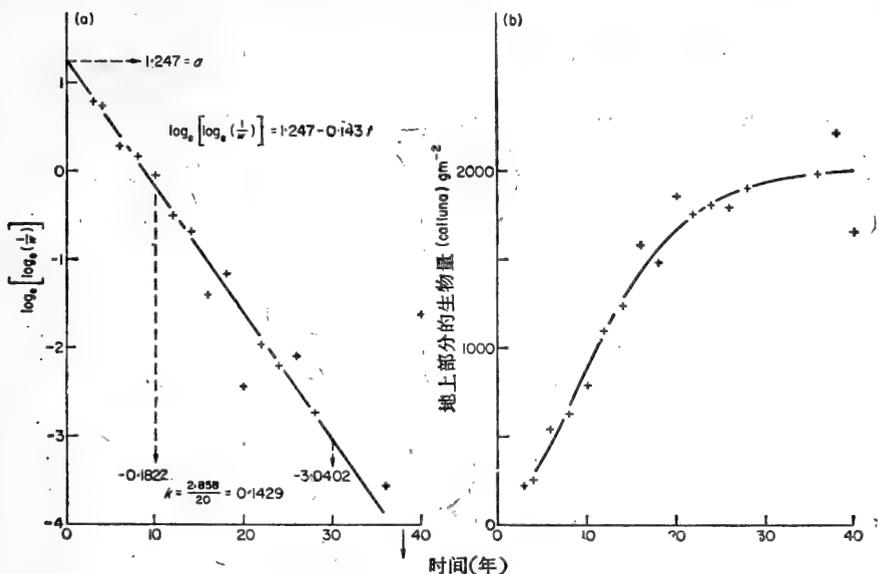


图 4.5 拟合于不同年龄石楠灌丛 *Calluna* 的地上部分现存量的 Gompertz 生长曲线 (a) 以直线作图的转换数据。(b) 以原始数据作图的生长曲线(材料引自 Chapman 等, 1975 a)

3.1.4 单位

干物质产量和有关过程的量值曾经或正在用各种不同组合的公制单位来表示。虽然出现有标准化的倾向和采用每平方米克(gm^{-2})作为研究第一性产量的基本单位,但在选择出一组表示实际计算结果的单位之前,还是有几点值得考虑的。当有机质重量大时,用每公顷公斤($kg ha^{-1}$)或每公顷吨($tonne ha^{-1}$)为单位都很方便。

$$1\text{gm}^{-2}=10\text{kgha}^{-1}=0.01\text{tonnes ha}^{-1}$$

还有,许多研究人员显然并不看重进行实际研究所用的尺度。举例来说,如果考虑较小面积的石楠灌丛的演替变化(Barclay-Estrup, 1970),用每平方米克(即 gm^{-2})为基本单位,可能适合。但如果考虑的是石楠灌丛的全部面积(Chapman, 1967),用每公顷公斤(即 kgh^{-1})作为基本单位可能更合适。即使不采用这些常例,或发现其不合实际,但在对比来自不同调查的结果时,把调查的尺度搞清楚以免紊乱,还是很重要的。

其它项目和单位,如干重、卡、焦耳,在本章以下各节中讨论。

3.2 总第一性产量

如果以总第一性产量的基本估测为基础,进行其它产量的估测,或以它作为对照来进行比较,是最理想不过的。这样,有些课题如根产量可能就不那么难办了。遗憾的是,估测总产量涉及到应用难度大和花费大的仪器,以致不容易适合一般生态学研究所需要的重复次数,而且这类技术常需要在实验室附近进行。情况好在对生态系统的某些成分而言,只有净第一性产量是重要的。对某些食草动物讲,有用的可能只是净第一性产量的某一部分。在不少生态学文献中,第一性产量被视为净产量的同义语。这里不想详细讨论总第一性产量的估测方法,而只提供一个简短的说明。希望今后的发展有可能更广泛地应用其中的某些方法。

计算总产量的最直接途径,是估测由植物或植被同化的二氧化碳。这曾由不少不同的方法得到过,曾用过吸收计法(absorptiometric method)(Stocker及Vieweg,1960),但近年

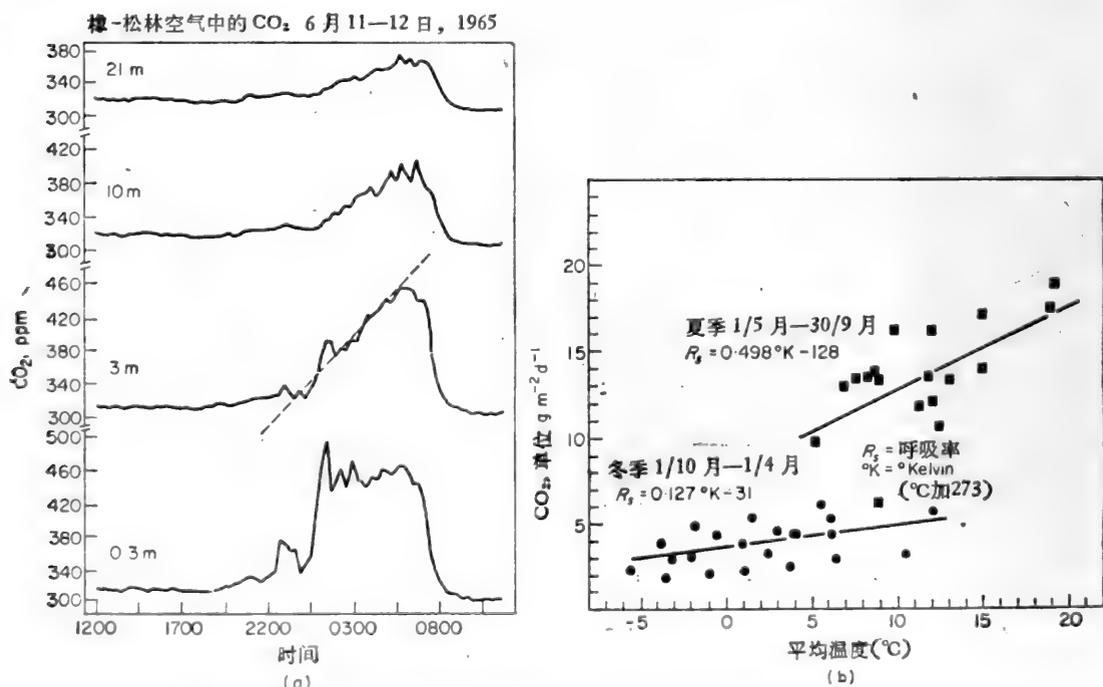


图 4.6 美国布鲁克黑文森林不同高度在(a) 温度逆转时和(b)对照平均温度标绘的 CO_2 浓度

来应用红外气体分析仪记录(如 Bliss和Hadley,1964; Bourdeaur 和 Woodwell,1965; Billings 等,1966; Botkin 等,1970; Lange 和 Schulze,1971)。必须把一片叶子或植被的某些部分密闭在透明箱而记录通过气流的二氧化碳浓度变化(见第5章2.2.2节)。叶箱发热的问题可采用 Peltier 片或增加通气来适当冷却。

Montieth(1962,1963),Montieth 等(1964)用过另外一个方法,植被不同层次的二氧化碳被解释为因为二氧化碳的交换而产生。Woodwell 和 Dykeman(1966)介绍过一个有意义的事例,在美国橡-松林地带气温逆转的条件下,他们得出了生态系统的全部二氧化碳产量的估测(图4.6),该方法只能用于经常气温逆转和植被在大面积内均匀的地区。

个体植物或植被同化的二氧化碳可用放射性二氧化碳($^{14}\text{CO}_2$)来估测。Peterken 和 Newbould(1966)用此法在田间条件测定枸骨叶冬青(*Ilex aquifolium*)的光合作用和产量。Nasyrov等(1962)把此法用于草地生态系统。在密闭的叶箱内释放有标记的二氧化碳,经过适当时期后,对植物或植被取样和干燥,然后由标准方法从放射性的计算中算出二氧化碳同化速率。必须注意,所有这些方法都有因光呼吸作用产生的误差的可能性。

3.3 地上部分的现存量测定

希望国际生物学规划的成就之一,就是能够在一定程度上完成生态学研究应用技术的统一化。毫不为奇,当考虑和比较不同生态系统,如森林、草地、沼泽、冻原时,需要采取不同的方法。统一一些定义和概念,以便能够比较来自不同研究的结果。这里提出一个最重要的建议,就是希望研究人员根据3.1节所讲的定义来考虑自己的研究课题。两本IBP手册(Newbould,1967; Milner 和 Hughes,1968)介绍和评论适用于森林和草地生态系统的方法,许多研究报告提出关于其它特定类型植被的详尽方法。

3.3.1 直接收割法

1. 个体植物法

本法最适用于密度不大,植物分散生长和在取样面积内只有少数种类的地方。估测每株植物的生物量,并结合估测种的密度(见第三章2.2.2节),以求出现存量的全部数据。

2. 收割样方法

在诸如草地或常绿灌丛植被内,不可能区分开植株,植被必须用随机样方来取样。本书第三章2.2.1节讨论过一定精度所需要的样方位置和数目。Milner 和 Hughes 曾建议,均值10%的标准误差是国际生物规划的精度标准。

第三章讨论过样方的大小和形状,但是测定现存量一个重要的事是计算一定大小样方将提供的植物物质。Chapman(1967)发现年龄不大的常绿灌丛50×50cm的样方可以提供满意的样品,然而在较老的林分,由于分析时处理样品可能引起的实际困难,这种样方不够理想。

任何用于取样上述地上部分现存量的技术,必须提供精确和能重复的结果,最好调查者人力物力花费又能最少。可能的话,应当不因实际调查人员的更换而使所得的结果也不同。这在取样计划延长而一些不同的人员参加工作的情况下尤为重要。

一定的研究决定选用一定方式的收割工具,可以用手剪,修枝剪,铗剪或其它一些机

械。在植被样品需要按各个种分类的地方,也许在收割时进行最方便。虽然这会延长在田间的时间,但却经常能节约时间,特别是在禾草类地方。Milner 和 Hughes 提出用点样方(Warren Wilson,1960;1963)测定植被不同种的相对比例,并提出把其结果与收割法取得的结果划成标准曲线。这种方法还可应用于其它收获物。Heady 和 Van Dyne(1964)发展了一种实验室点样方技术,把砍下来的植被放在平盘上用双目显微镜测定出现的种类比例。这些方法都不提供化学分析用的个体植物样品,它只能用直接分类的办法进行。任何死的现存物质也必须加以分类,并从收获物中分出来。

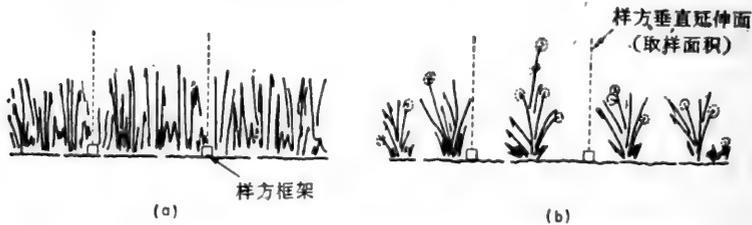


图 4.7 表示现存量和着生于样方内植被之间相互关系的图解
(a) 着生样方内植被可能接近于单位面积的现存量。(b) 着生样方内植被不相等于单位面积内的现存量

当用一个现存量取样的样方围圈植被时,重要的是减小边际效应,和只收集在样方边界垂直面以内的植被。现存量重量不一定与着生于样方内植被重量相等(图 4.7),尽管在某些情况下可能几乎相等。

Satoo(1970)列举了可用于灌丛和森林条件的三种不同收割技术。

1. 皆伐,一般用来标定其它方法。一定面积上现存量(W)的估测为:

$$W = \Sigma w \quad (1)$$

式中, w =每一树木的重量

2. 伐取直径大小相等于平均断面积的树木,将这些树木测定的平均值(\bar{w})乘以单位面积内的树木株数(N),或者样木测定数值之总和(Σw)乘以单位面积内所有树木底面积(G)与样木断面积总和(g)之比。

$$W = N \bar{w} \quad (2)$$

$$\text{或 } W = \Sigma w \left(\frac{G}{\Sigma g} \right) \quad (3)$$

Satoo 指出,经常很难得到足够数目的“平均木”,可能替代的方法是把取样面积内的树木划为不同大小级的层。

3. 上法的另一个变式是以随机方式取不同大小的样木,并用(3)式计算总现存量。

多数情况下,测定现存量的变化时,观测期的整个过程都能够确定和采用相同的境界线,如土表的界线。但有些情况下,除非采用特殊的办法,就不易做到这点。观测期间土表砂粒会有增有减的流动砂丘就是一例。相似的情况还出现于发展中的泥炭表层(Forrest,1971),特别是测定沼泽表面上泥炭藓(*Sphagnum*)的生长问题尤其如此。Glymo(1970)评论和试验过一些适合于测定泥炭藓生长和产量的方法。泥炭藓的生长以顶端为主,确定一些据此能测定现存量增长的基点是困难的。

Glymo 把可应用的方法分为四组:

1. 采用天生的时间标志。这些时间标志包括分枝排列的周期变化和应用 ^{14}C 判定沼泽剖面的年代。

2. 采用植物本身外的参考标志。这些标志包括放在泥炭藓毡上的金属线(“弯曲的金属线法”)以便最少干扰地重新安放和测定样品,以及用棉线系在茎的周围。

3. 在已知高度切除植物。当观测期间物质有可能从茎部损失时,以长度增长为基础可能比直接以重量增长为基础更可靠。

4. 直接测定重量的变化。Glymo发展了在生长期始末水下称重植物的方法。在第二次水下称重后将植物风干,在大气中再称重,由此可计算出比重(d)。

$$d = \frac{D_h}{D_h - W_h}$$

式中, D_h = 收获时的干重,

W_h = 收获时水下重。

如比重保持恒定,以及测定证明这是合理的假设,则

$$D_s = \frac{W_s d}{(d-1)}$$

$$G = D_h - D_s,$$

$$= D_h(1 - W_s/W_h)$$

式中, D_s = 在开始的干重,

W_s = 在开始的水下重,

G = 生长量(重量的增长)。

在撤除植物时尽量小心地除掉气泡,以及对空气-水的界面平衡的表面张力效应进行校正,那末可以达到 2 mg 的增重精度。

3.3.2 间接估测现存量

在诸如森林或灌木条件的多数情况下,一系列取样面积或单个面积的皆伐是不可能的。这种情况,需要有一个估测地上部分现存量的替代方法。假如某些现成测定的参数,如直径或树高,能与收割样品的生物量找到相关系数,就可用来估算其它相似植被地段上的现存量。这类相关性已被广泛地应用于灌木丛和森林的研究,并由 Newbould (1967) 和 Satoo (1970) 评述过。对估测现存量有用的统计学相关性,或者假设与植物的大小或形状为基础,或者与重量的直接相关为基础。

最简单的假设是原木或茎为圆柱体,平均断面积可以根据中央断面积或上下两头的断面积计算求得。Newbould (1967) 建议采用两头直径 (D_1 和 D_2) 的平方根均值 (D_m):

$$D_m = \sqrt{\frac{D_1^2 + D_2^2}{2}}$$

假设树干的体积近似于轮转的圆柱体,其体积可由下得出,

$$V_p = \frac{\pi r^2 h}{2}$$

式中, r = 胸高半径,

h = 树高。

Whittaker 和 Woodwell(1968)发现圆柱体体积(V_p)对灌木经常是高估于实际体积(于此,半径是量于基部的),而小乔木情况下由于胸高半径比实际的基部半径小而往往低估。对于大乔木,他们发现体积的估测非常接近于实际值。

利用树干圆盘或以普雷斯勒(Pressler)生长锥(见第二章 3.2.5 节)取生长量木芯,可以测量木材的径向生长量。应当从每 5—10 年生长量,并自树干圆周的不同点的一系列测量中,测定平均年生长量。

径向生长量的测量可与基部面积的测定相结合,求出基面积的生长量(A_i)

$$A_i = \pi[r^2 - (r-i)^2]$$

式中, r = 基部半径,

i = 平均年生长量。

年平均生长量(V_i)的估测,可以由基部生长量的一半乘以树高得出,

$$V_i = 0.5(A_i h)$$

依 Newbould 之见,此估测经常偏低,实际值常常在测定值的 1.0 和 1.5 倍之间。

Whittaker 和 Woodwell 在研究中发现估测的材积生长量与木材生长有紧密相关。

材积生长率的估测,以假设的直线生长或指数生长为基础。

$$\Delta V = \frac{(v-v')}{n} \quad \text{直线生长}$$

$$\Delta V = V(1-e^{-r}) \quad \text{指数生长}$$

式中 V = 伐倒时的材积,

$V' = n$ 年前的材积。

$$r = \frac{1}{n} \log_e(V/V')$$

把体积换算为重量,必须确定比重。这可由破坏性取样所得样品做到,但在很多情况下,必须用生长锥木芯来办到。进行时必须小心避免压缩的误差(Stage, 1963; Walters 和 Bruckmann, 1964)。

为预测目的选择适当的回归模型,应当以已知的或合理假设的相关性为根据,曾被广泛应用的模型是以相对生长律(Law of Allometric growth)为依据的:

$$\log_e Y = a + b \log_e X$$

式中, Y = 现存量重量,或者是现存量或产量的某些成分,

X = 现存量的某些容易测定的参数, a 和 b 为常数。

此类公式曾用来与诸如基部直径或胸高直径(DBH)换算为重量、体积或产量的测定相关(Kittredge, 1944; Ovington 和 Madgwick, 1959; Whittaker 和 Woodwell, 1968; Satoo, 1970; Anderson 1970,及其他)。

有些情况可以用包括直径和高两者的回归计算,得出更加满意的估测:

$$\log_e Y = a + b \log_e(d^2 h)$$

一系列适当的相关性一旦被确定后,就可能从样地面积中个体的有关量度计算现存量重量。如果总现存量(W)的估测在相对生长回归中利用个体的预测数值的反对数而算出,它将是偏倚的和低估于实际值。Mountford 和 Bunce(1972)为纠正此偏倚,提出乘以因子 $e^{s^2/2}$;

$$W = e^{s^2/2} \sum_{i=1}^n e^{a+b \times i}$$

式中, s^2 = 回归线上的估算方差。

Mountford 和 Bunce 也讨论了由相对生长推算的估值的置信区间的计算。Beauchamp 和 Olson(1973)还讨论过校正对数转换后的回归估值的偏倚。

对数回归不能用于缺少某些成分如缺少果实或死材的权重的情况下。Whittaker 和 Woodwell(1968)建议这种情况采用下类回归:

$$W_d = a + bD^3$$

式中, W_d = 死材或果实的重量,

D = 枝的基部直径。

回归方法对非林地的植被类型也有用。叶长度或叶丛直径可能与草地现存量有关(Scott, 1961; Mark, 1965), 和用来得出两次收获间的现存量的估测。Bliss(1966)研究美国一个高山生态系统时用一种回归和剪割相结合的方法。

3.3.3 现存量测定计

电容是电容板表面积, 它们的排列和它们之间导体物质特性的函数。假如一个适当的仪器放在地面, 在电极之间的植被所作用的电容将取决于现存量的重量和湿度。这种仪器一旦标定后, 能迅速而非破坏性地估测现存量重量。该方法首次由 Fletcher 和 Robinson(1956)应用, 其他研究人员发展了该方法(Alcock, 1964; Hyde 和 Lawrence, 1964; John 等, 1965)。Alcock 和 Lovett(1967)介绍过这类仪器在草地上的应用。实际上必须做植被的亚样品来校正湿度常数。如果用于极湿地方, 困难会增多。某些情况下所得的结果可能缺乏精确性, 证明仪器的应用并非适当。另一个非破坏性估测现存量的方法是应用 β 射线衰减(Mott 等, 1965)。

3.3.4 取样频度

产量研究所需的取样频度, 很大程度决定于具体情况。一块林地现存量的估测要进行整整 3—10 年, 以便计算变化速率。当现存量变化速率的估测与凋落物产量和放牧损失结合进行时, 将提供一个地上部分的净产量的估值。

在低洼灌丛地, 其现存量重量随年龄而异。取样设计必须包括植被龄级的整个范围, 而且必须有适当的间隔, 以构成现存量的生长曲线(图 4.5)。进行这项工作必须确定植被的年龄, 这可以从伐桩年轮、生长锥木芯, 或从历史记载来确定(见第二章)。所有情况下, 都应当尽可能从许多不同来源得到一组年龄的估值。在某些调查中, 生长季末的一次简单收割将是不够的, 例如在森林中林地植物和乔木就需要大不相同的取样程序。当设计取样程序时, 还必须考虑到植物的物候学(Lieth, 1970)。

3.3.5 样品处理

所有原始产量数据用干重表示, 因此, 收割样品必须在温度大约 80°C 和 105°C 之间的炉内干燥。温度的选择取决于环境, 但重要的是使物体迅速干燥, 使有机质重量因分解

的损失减到最小限度。可以利用迅速达到某一温度并保持整个炉内温度稳定的动力牵引炉(草地研究所,1961)。当由于某些理由植物不在 105°C 干燥时,建议一定要将一部分样品在此温度干燥,然后采用一个系数将所得重量换算为 105°C 时的重量。

样品干燥、称重后必须磨碎或碾碎,以用于随后的分析(见第 8 章,3.4 节)。

3.4 凋落物产量

地上植被凋落物产量是净第一性产量的一个主要组成,它们的测定无论关系到第一性产量或生态系统内的其它相互关系,都是重要的。Bray 和 Gorham (1964) 曾测定森林系统内凋落物产量,他们的综评应当为任何关心凋落物产量的人所参考。凋落物层植物养分的矿物化和释放是一个土壤动物区系起着重要作用的过程,容易发现土壤动物学家和产量植物学家有着许多共同的课题。产量、分解和积累是互相联系的(3.1.3 节),但为了方便起见,凋落物产量的估测方法将于本节讨论,凋落物分解和积累于 3.5 节讨论。

凋落物产量可下定义为,在一定时间内达到土壤单位面积上的死物质(包括植物和动物器官)的重量。所有死物质并不立即落到地面。在草地和其它丛生植物群落等一些植被类型,凋落物层只包含很小比例的死物质。为了区别死有机质之间在生态系统中的不同位置,采用了术语“现存死物质量”(Standing dead)(Odum, 1960; Gore 和 Olson, 1967; Forrest, 1971)。

3.4.1 凋落物产量的直接估测

文献中描述过不同类型的凋落物收集器,但如前所述,一个研究计划的仪器设计,必须取决于课题的专门需要。不论什么立地条件,凋落物收集器必须满足一些基本要求:

1. 采集器必须在凋落物达到地表前,在尽少的空气动力扰动下截取它。
2. 一旦截取物质后必须能保存它。
3. 应设计或放置得使已在土表的凋落物不进入其内。
4. 必须让水从收集器内排出而不减损凋落物(特别是纤细的凋落物质)。
5. 收集器的大小和数目必须提供所需要精度的估测。

图 4.8 表示了所选择的一组凋落物收集器。

在应用凋落物收集器时,特别是在开敞的或裸露立地上,产生的困难是不能截取到凋落物,或者被截取物质后来从收集器内损失掉。Chapman 等(1975 a)发现在较成熟和较稠密的帚石南灌丛,凋落物收集器内帚石南(*Calluna*)种荚数目与灌丛单位面积上产生的种荚数目有明显的相关性。但在较年幼和较开敞立地上,进入收集器的种荚数目明显低于植被所产生的数目。在可能情况下应当对凋落物收集器的效率做一些类似的核对。

某些情况下,计算每年增添至土壤表面的凋落物,应包括“吹入”和“吹走”的成分,而且必须考虑到生态系统内物质的这种横向移动很可能是重要的。S. R. J. Woodwell(私人通讯)曾采用适当的收集器(图 4.8 f)研究 Oxfordshire 老山毛榉林窄带上凋落物的移动,并得以测定由于风作用而吹入和吹跑的凋落物量。

倒空收集器的间隔期应当尽可能地短。理想的是每周收集一次,特别是在潮湿地区或在两次收集之间凋落物破碎和溶解相当可观的地方。在决定倒空收集器的实际时间和频

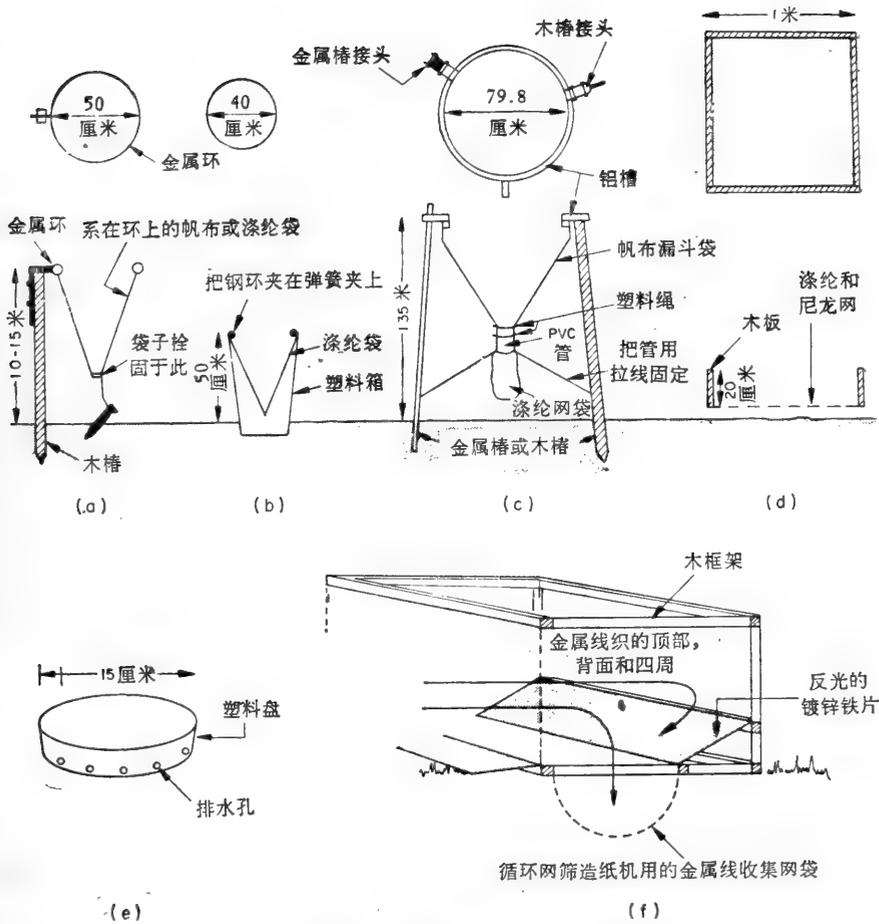


图 4.8 一组适用于不同类型植被的凋落物收集器

度时，植物种的物候学是重要的。建议凋落物产量的估测应当至少进行为期三年以上的观测。Sykes 和 Bunce(1970)曾证实三年期间落叶林地凋落物的波动性。Medwecka-Kornias (1971) 提出估测凋落物产量的适宜精度为 95% 置信区间上均值的 5%。采集器的数目是变化的，最好在最初的取样期找出所需数目。多数情况下，每一样地 20 个是合适的。

某些植被类型可能需要用不同的方法估测凋落物的成分，并综合起来得到凋落物总量。在林地生态系统，枝条或甚至整株枯死树木等的凋落物组成不能由收集器测定，而有必要记载适当大小样地内的这些大型凋落物(Healey 和 Swift, 1971)。当发现这些东西后，必须移开，或加标记，以便日后能识别。

当要做凋落物化学分析时，必须防止化学污染和被鸟类弄脏(见 4.2.1 节)，如果收集器不是由适当的耐久材料制成，则框架或支架必须用沥青或一些其它适合的油漆刷过。

3.4.2 凋落物产量的间接估测

某些植被类型中凋落物的收取显然是困难的，或几乎是不可能的。一些情况下，凋落物收集器得出的结果非常不可信。年幼石楠灌丛经常被视为一例。在此情况下，必须以

若干间接方法来得到凋落物产量的估值。

当叶片枯亡时,在凋落以前相当数量的物质被转移到植物的其它部分。因此,如果叶片的现存量的估测被用来预测潜在的凋落物产量的话,估算物质的转移量是极重要的。估测叶片凋落前损失的物质重量可以由活的和死的叶片的干重/表面积 的比率得到。这种比率假设不发生叶面积的变化,但此假设可用一系列叶片的测定来验证。某些情况下,以干重/叶长度的比率来测得因重新吸收而损失的重量可能是更可靠的办法。

当产生于一个季节内的绿色物质在下一个生长季节以前不全部脱落的情况下,必须考虑绿色物质的寿命而在估算凋落物时计算在内。估测帚石南灌丛地凋落物产量可用这样一个间接方法来核对(Chapman等,1975a)。帚石南产生的许多绿色物质是侧生短枝,这些短枝或在生长期末作为凋落物脱落,或留下在下一个生长期内生长和增加其长度。生长量是可识别的,因此能够确定一个单独的枝的年龄,以及从一年内绿色短枝的重量与保留到下一年末的“老短枝”重量之间的差得到潜在凋落物产量的部分估算。这个差数必须用转移损失(大约20%)的重量和凋落物产量中花和木质成分重量的增加来校正。Bray和Gorhan(1964)以及Burrows(1972)报告多种植物在凋落前叶片的干重损失也大约为20%。如果可以假设年复一年的绿色物质产量是常数,则绿色物质每年的减少可以从绿色枝的总量与保存在生长期末的老绿枝重量之间的差来估测。如果做过由放牧动物消费的枝条重量的估测,也应加到凋落物产量的计算中去。

3.5 凋落物的分解和积累

土表凋落物的积累率是由凋落物产量与凋落物消失率之间相互作用的结果。凋落物自生态系统的消失,是由于分解、矿物化、溶解、动物消费、风的转移和某些情况下由于人的收割的综合损失的结果(Medwecka-Kornás,1971; Anderson,1973b)。一些情况下,凋落物的消失可视同于分解,但并不一定如此,可能必须对消失率乘上一个校正系数来得到凋落物分解率的估值。由于积累的凋落物是一系列的年输入量减去凋落物不断分解的结果,它可依分解或腐殖化程度而划为若干层。

3.5.1 估测凋落物分解的样方法

Wiegert和Evans(1964)在他们的Michigan撩荒地生态系统研究中曾应用估测凋落物消失的直接方法。他们制定了一系列“成对小样方”技术,假定各个成对小样方凋落物重量和分解是相同的。在试验起始(t_0)移去一个小样方上的所有死植被,并称重(W_0)。为了阻止任何更多的死物质在观察期进入这些小样方,从两个小样方中除掉所有绿色物质。在适当时期后(t_1),取样第二个小样方的凋落物并称重(W_1)。凋落物的消失率(r)假定以一个指数率计算出:

$$r = \frac{\log_e(W_0/W_1)}{t_1 - t_0}$$

Lomnicki等(1968)曾把这基本方法加以改变,他们避免了这一假设,即从样方中将活植被移开后凋落物的分解是恒定的。在试验起始(t_0)他们从一个小样方中取样死物质(W_0),但不移去任何活植被。在观察期末(t_1)他们从两个小样方中都取样死物质。他们

把收集自以前取过样的小样方的死物质重量称为(h_1),把取自未取样小样方的称为(g),从而:

$$g = W_0 + h - (W_0 - W_1)$$

以及

$$W_1 = g - h$$

修改了的 Wiegert 和 Evans 方法假设观察期($t_1 - t_0$)产生的凋落物不受小样方死物质移开的影响。Lomnieki 及其同事把他们的方法与原来方法比较,发现两个方法结果很一致,但认为修改了的方法更便于应用。根据观察期内凋落物重量的参数(h)与现存量的变化(b)相结合,可以用下式计算地上部分的净产量(P_n):

$$P_n = h + (b_1 - b_0)$$

为了计算地上部分净产量,必须每隔适当短时期对(h)进行测定,并加以总计而得出一年的估量。该法可用于各种植被类型,特别是现存死物质质量是生态系统的重要组成部分的那些类型。

3.5.2 测定永久性凋落物样品的消失

无论新产生的或是从凋落物层收集的凋落物样品,如果以某些方法装起来,使之可能在今后一个时期归还它们,则凋落物消失率可以直接测定。Bocock 和 Gilber (1957), Bocock 等(1960),以及 Bocock (1964)曾把商品尼龙发网用于此目的。由跳舞服饰做的尼龙网袋被 Shanks 和 Olson(1967)利用来证实地表落叶的重量减少率是由植物种类、其化学成分以及主要气候因素决定的。

Edwards 和 Heath(1963)曾证明尼龙袋的网眼大小是重要的,因为它控制能进入袋内和参与分解过程的生物类型。在实验中,他们以一定时期后叶圆片面积(直径 2.5 厘米)的减少情况来估计分解速度。Bocock 和 Anderson(1973 b)也报告过网眼大小对凋落物袋试验中损失率影响的结果。

在研究中为凋落物袋试验选择网眼大小,必须考虑到凋落物的类型。Chapman(1967)在一个 Galluna 凋落物损失试验中发现,不宜采用大于 2 毫米的网眼,因为它不能收集比较小的帚石楠枝,但发现这种大小的网眼可能不防碍土壤动物区系的任何重要成分的进入。

当研究课题是研究同龄的或“新鲜凋落物”的损失时,则可利用当年枝叶来填充凋落物袋。当样品是由不同年龄有机质组成时,一个取代的办法是收集土壤表面积累的凋落物来填满袋子。其结果将提供整个凋落物层有机质损失率的综合估值。但正如所述,该估值只表示凋落物的消失,和大于从生态系统中作为二氧化碳的碳的等价损失。

一些情况下,具有重要意义的动物物质的重量可能进入凋落物袋。除非移除开,否则将影响所得结果。事实上,尼龙凋落物袋被不少研究人员用来研究土壤有机体分解植物凋落物(Grossley 和 Hoglund, 1962)。

网袋中凋落物的消失率是根据整个试验过程中定期随机取样,并在烘箱内干燥而估测的。必须确实保证,在试验开始期所有袋子装有干重相等的凋落物,并且由于凋落物袋必须在整个试验中被若干次取样,这就是说必须在试验开始时设置相当多数目的袋子。Glymo(1970)在生长试验中所用估测泥炭藓地上部分的初始干重的方法(见 3.3.1 节)也

许能用来估测凋落物袋的初始干重。

3.5.3 由标记的或加标签的样品进行凋落物消失的测定

一个取代应用凋落物袋的方法是对凋落物的碎片或部分加标记或标签，以便可在以后再找到它们。Frankland(1966)的研究即为一例，她用塑料标签标记各个叶柄来研究蕨(*Pteridium aquilinum*)的腐烂。Latter和Gragg(1967)在一个也采用凋落物袋的分解研究中在*Juncus squarrosus*的200个叶片上用油漆加了标记。Hayes(1965, a, b)把针叶凋落物系在一段尼龙线上以便重新找出每片叶子的位置，并把它与凋落物袋所得结果相比。他发现凋落物袋内较低的消失率是由于片断物不那么容易自试验系统中损失掉。

Murphy(1967)用含有放射同位素¹⁸²钼的油漆来标记树上叶片，在凋落后长达12个月还能重新找到每个叶片。他直接从损失的重量来估测分解作用。

Olson和Grossley(1963)在研究森林凋落物分解中把应用尼龙凋落物袋与放射性同位素结合起来。他们把放射性示踪剂注入树干，产生带放射性的叶片和随后的放射性凋落物。凋落物被放入10平方厘米的尼龙网袋内，随后放在四周有孔、底上有玻璃纤维网眼的塑料夹层盒内。盒子放在林地上，并计算袋子的放射性，而确定放射物质被转移至林地的数量。

3.5.4 呼吸测定(respiremetry)和凋落物分解

已经表明凋落物袋或凋落物层本身的重量损失不一定等于碳以二氧化碳形式从生态系统中矿化和损失的数量。看来解决这课题的明显途径也许是用呼吸计测定氧的吸收和二氧化碳的释放。Parkison和Goups(1963)测定过放在专门设计的呼吸计三角瓶中的土壤和凋落物的呼吸。Howard(1967)描述过一个“试验管”(图4.9)，它可以直立地放在

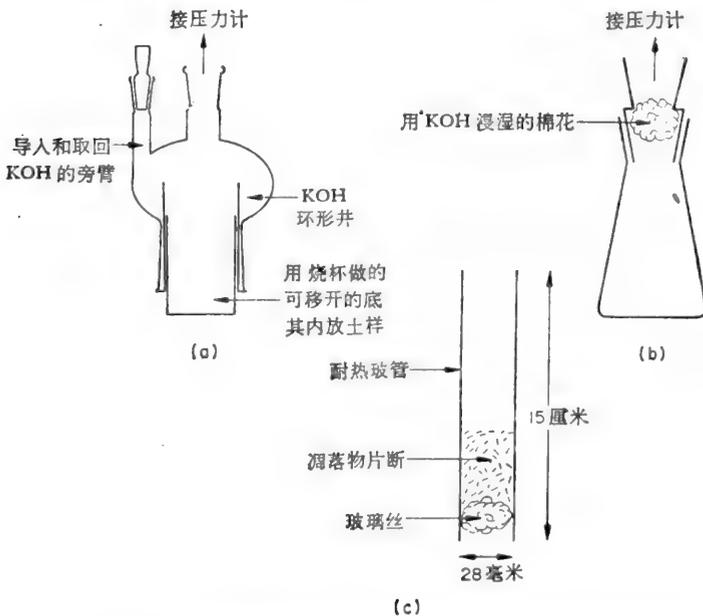


图 4.9 把凋落物样品放入呼吸计内测定呼吸用的三角瓶和容器

地上的盒子里,并使之不受雨打,但必要时可加蒸馏水保持湿润(大约每两周 5 毫升)。这些管子可定期带回实验室在一个所述类型的三角瓶中连接于 Gilson 呼吸计,在试验结束时管子内容物可以干燥、称重、烧灰,并计算出试验期有机质重量的损失。

如果注意保持试验样品的湿度和通气 (Ros 和 Boyd, 1970), 看来作为研究凋落物分解方法的呼吸计主要缺点是扰动和把凋落物与天然凋落物层分割开来。如果认识了这些限制性,呼吸计可提供凋落物层的碳的有用的估值。可以由其它方法对土壤和凋落物层放出的二氧化碳进行直接估测,这些方法在 3.6.7 节介绍。

3.5.5 凋落物分解的比较研究

很多情况下,分解研究的目的是调查特定立地类型下的凋落物分解,但由于分解率既取决于有机质的类型,也取决于立地的其它因子,另一途径是调查若干不同立地一种标准基质的分解。Golley(1960)埋下装在铝框内的薄纤维纸(5 厘米×5 厘米),每月测定薄纸剩下的面积。Lather, Cragg 和 Heal(1967)在土内埋植纤维薄膜和未漂白的布条来研究分解,还有 Went(1959)用玻璃纸于同一目的。作标准基质用的其他基质还有滤纸、羊毛或亚麻带(鞋带)和木浆纤维。

Benefield(1971)曾建议一个不同的方法来比较研究土壤及凋落物内分解情况,即依靠比较不同立地土壤内纤维活力。其方法是在土壤样品内加入一定量的标准纤维粉,然后以比色法测定因酵素水解而形成的葡萄糖。

3.5.6 凋落物积累的测定

土壤表面积累的有机质重量在不同植被类型下变化很大。分解迅速的地方积累最小,而另一极端,泥炭地的有机质可发育数米深。泥炭地立地条件下已有测定年代的技术(第二章),从而可以调查有机质随时间积累的速率(Durno, 1961; Glymo, 1965)。

当土壤与凋落物层无明确界限时,直接估测积累的凋落物重量可能困难,但大多数情况,可以确定实际界限来进行重复的取样。把凋落物层取样与现存量取样结合起来,特别是在凋落物用样方取样的地方常常更方便。

土表凋落物层的积累也可用锥或管形采样器取样。Gapstick(1962)采用具有不同断面积(1.0; 2.63; 8.5 和 4.1 cm²)的采样器在森林生态系统内对凋落物层取样,发现 1.0 cm²的采样器容易切穿凋落物层,而对实验地破坏小。这样大小采样器的结果变异最小,并且和较大的样品估值相符合。当他用来试图了解凋落物落下后的重量变化时,发现有不一致处,但用较大采样器时也一样。Frankland 等(1963)曾用断面积为 81 cm²的土钻对英国湖区的灌林地凋落物层取样,发现难以证明取样位置间有任何有意义的差别。用钻取样凋落物层前,重要的是搞一个试行取样方案以确定所需要的样品大小和数目,或这样一种方法是否适合要做的研究工作。

凋落物层常常包含相当的矿物土壤,把凋落物积累的估测与得自凋落物产量和地上部分现存量的估测相比较时,应确定凋落物样品的烧失量,并将结果用不含灰分或标准灰分(也即 5%)的重量为基础表示。

当试图估测若干地点积累的凋落物重量时,凋落物层内根的生长可能成为一个课题。Chapman 等(1975 b)发现,处理帚石楠灌丛老立地的凋落物层时,它是一个重要因素。在

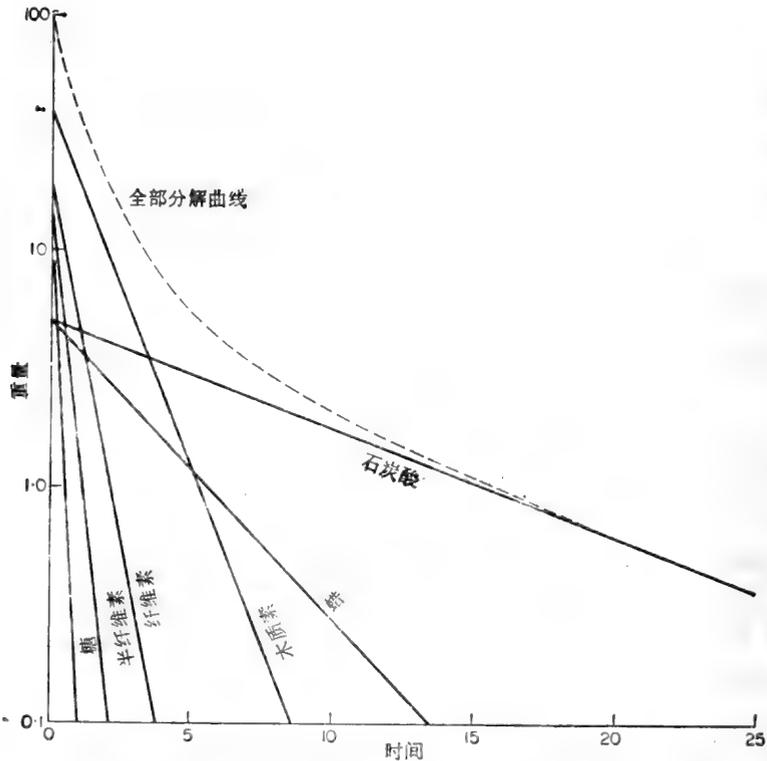


图 4.10 全部有机质分解曲线与各成分的指数分解曲线间的相互关系。(以 Minderman 1968 材料为基础)

此情况下,必须进行凋落物层内根含量和其参与凋落物积累的一些估测。

Jenny 等(1949)和 Olson(1963)通过简单指数模型,介绍和讨论过森林生态系统的凋落物积累(见 3.1.3 节)。虽然模型中的假设使得计算容易,而且在某些情况下可能是合理的。但分解和积累过程不可能总是由这样简单的模型来描述。Minderman (1968)说过:“给出一个这种现象的定量的重量图景是困难的”,并表示如果凋落物的不同化学组成的分解是指数,但速率不同,则全部凋落物的分解曲线在半对数基础上作图是一根曲线(图 4.10)。在分解迅速时,简单指数模型的预测误差最大,但是这也和凋落物化学组成特性有关。当用简单指数模型进行预报时,所作假定的影响将联系根和土壤的有机质于 3.6.6 节中讨论。

3.6 根系和土壤有机质

毋需强调根系产物的重要性。不同生态系统的相对生产力的比较或它们完全基于地上部分数据的养分预算的研究是如此的不完整,以致很可以怀疑许多由它们导出的结论的可靠性。

除了实际问题大得多以外,应用于根产量测定的原理与应用于地上部分产量的估测一样。直接估测根产量所需的资料是根重量变化和在一定时期内死掉的根量。当地上现存量的一些部分死去,一般作为凋落物落到土表,或成为现存死物质量,两种的任一情况

都是可测定的。当部分根系死去,留下来,经常难于或几乎不可能与活根区分开。这一因素,连同根系取样的困难,有助于说明可利用的根产量资料的相对缺乏。Olson 在 1964 年声称:“地下部分的产量和损失速率的动力学将仍是未来半个世纪最为挑战的生态学 and 农业的课题”。尽管这半个世纪的五分之一已经过去,几乎如同在 1964 年一样,它仍是个正确的说法。

Newbould(1967)、Milner 和 Hughes (1968)、Ghilarov 等(1968),以及 Head(1971)叙述过关于估测根产量的问题。Bray (1963)评论过根产量与净产量间的相互关系。Kononova(1961)在他题为土壤有机质的书中,谈及土壤有机质的许多方面。由于估测根产量的课题如此紧密地联系到土壤有机质问题,因此在本节内结合起来加以考虑。

3.6.1 根生物量的估测和根系调查

根生物量的估测完全依赖从土壤样品或土壤剖面中取样和取出根的,两者都由 Schuurman 和 Goedewaagen(1971)以及 Lieth(1968)评述过。取样方法分为三个主要等级,暴露的土壤剖面,用土钻和取土块,挖掘或暴露在原位的根系。

用土坑相当费力费工,只用于那些只要很少重复或有充分人力的地方。暴露的土壤剖面可用专门制作的容器采取整段标本(第六章),或应用做成的抓板(pinbord)(Schuurman 和 Goedewaagen, 1971; Ashby, 1962; Schuster, 1964; Sheikh 和 Rutter, 1969)。抓板是一面带有密集间距的铁丝或钉子的适当大小的底板。板紧压土面,因此钉子就钉入土内,并在土粒洗掉时就地抓住根系。如果需要,可以用千斤顶把底板压在土上。有时也许可用水龙管或机动泵的水在田间直接冲洗暴露出一块植被或一个植物的根系。

在多数调查中会发现有些类型的土钻是取土壤或根系样品的最方便方法。文献介绍过各种各样的土钻。情况经常是这样,当某一技术存在有一系列多样性的话,就说明没有哪一种土钻能适用于所有情况。土钻由相当简单的管状设计到复杂的动力钻而各异(Schuurman 和 Goedewaagen, 1971; Kelly 等, 1948; Welbank 和 Williams, 1968)。为一定课题选择的一定类型土钻取决于土壤类型和需要的土样直径和深度。

曾用土坑面上的观察窗装置研究过根的生长(Ovington 和 Murray, 1968; Rogers 和 Head, 1968)。定期观察或照相能研究根系定期生长和连续研究个体根系生活史。即使大量资料已经或能够由此方法得到的话,要通过根产量来表达结果还是极困难的。

也可在原地用制作土壤薄切面和一些为准备土壤剖面曾讲过的方法(见 6 节)研究根系。只有少数讲过的方法是打算和曾经为研究根系用过,但 Sheikh 和 Rutter (1969)曾用土壤切面联系土壤中的孔隙面积来研究根的分布。Haarlov 和 Weis-Fogh(1953)、Minderman(1965)的方法,以及 Anderson 和 Healey(1970)的方法都很值得用来研究根系。这些方法采用明胶或洋菜(琼脂)来固定,可以清晰地看清根和土壤动物。如同用树脂浸透时那样,土壤就不需要干燥。如果多少存在矿物颗粒的话,切制明胶浸制的土壤切面可能遇到一些困难。但该问题已由 Minderman 克服,他在嵌置和切制土壤样品的步骤间,采用氟氢酸溶解掉砂粒。

可以从已准备的取出的根的照片或投影图测量较大根的长度。测量可用转轮式测量器进行。Newman(1966)介绍过细根长度的测量法。根放在一个透明平底盘内,再放在一个有一系列随机直线的基面上。不管什么样的根,其长度可由下式测定:

$$R = \frac{\pi N A}{2 H}$$

式中, R = 根样品的总长度,
 N = 根与直线之间的相交数,
 A = 在其内画线的长方形面积,
 H = 直线的总长度。

3.6.2 自土样内取根

一旦收集完土样, 还需分离和取出根。把抓板样品浸泡在水中, 水面恰好保持在样品表面下, 用手或机械手段喷水, 以冲掉土壤物质, 在钉子之间留下根。由土钻取来的样品一般分为不同深度或土层的亚样品。取根的难易, 很大程度取决于土壤类型。预先把样品浸于液态焦磷酸钠(每公升 270 克) 或 1% 六偏磷酸钠内, 有助于分散某些土壤。Dahlman 和 Kucera (1965) 用 0.8% 次氯酸钠帮助从根上分开粘土和腐殖质。假如根样品随后需作任何化学分析的话, 应当考虑这些处理以及浸于水中或在水中冲洗的效果。可用两种主要方法自土壤剩余物中分离根。可把样品置于一套不同大小孔眼的筛上冲洗, 或用某种游离或淘洗技术。第一种情况下, 当根经过一组不同大小筛而被收集时, 较粗的土壤物质将留下, 必须用手拣出。用游离法时, 土壤有机质、根和较细矿物被分离, 而将较大和重的矿物部分沉淀下。

小样品可浸泡于一个 1 升的烧杯或有刻度的量筒内。经搅拌和分散, 根、有机质和细土可倾出分开。即可在一组筛子上冲洗分出根。图 4.11 表示一件用此法分离根的简单仪器。

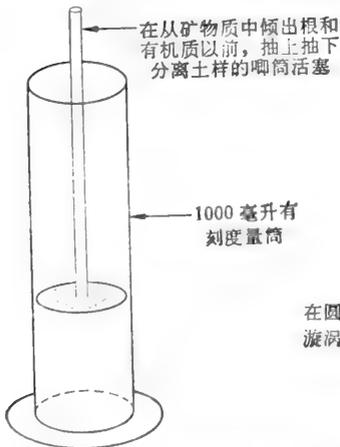


图 4.11 分离土壤和根系样品的简单仪器

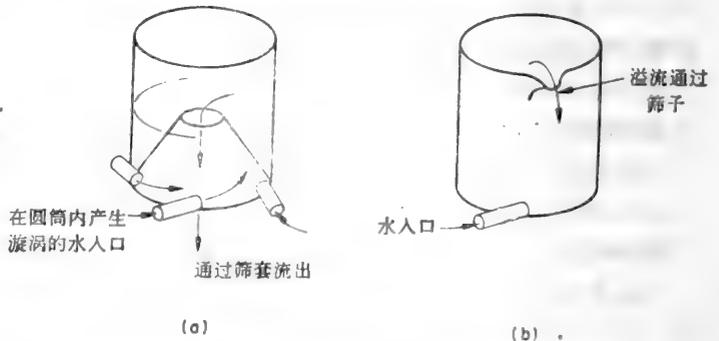


图 4.12 用游离法自土样内提取根系的仪器
 (根据(a)Cahoon 和 Morton, 1961; 和(b)Mckell 等, 1961)

分离根的游离法可以机械化, 以适用于大量样品, 并且由于对样品处理更为一致, 使结果更容易重复。Mckell 等 (1961) 以及 Cahoon 和 Morton (1961) 描述过的仪器如图 4.12 所示。水射进仪器的底部, 造成一个漩涡, 把根、有机质和密度小的部分带向上方, 并筛出而进入筛内。Chapman (1970) 建议可以用清洁器来“清洁”收集在筛子上的根。

诸如 Salt 和 Hollick (1944) 描述过的提取土壤动物区系的游离法, 有时可用来提取根物质。游离是在浓硫酸镁溶液(比重 $c. 12$), 氯化钠, 溴化钾或氯化镆溶液中进行的(见 Southwood, 1966), 当空气自容器(Ladell 罐) 底部吹泡通过溶液, 剩余液体和有机物质越

过嘴并经过绸子,动物即可在二甲苯或苯中不同的吸湿性而从其它有机物质中分离出。

考古学研究用泡沫游离法从土壤中提取半化石种子(Charles, 1972)。选择一种适宜的化学药品(收集剂)能够优先吸附在被提取物质的表面。当空气通过混合固体的悬浮物,那些具有好气性表面的颗粒被吸附到稳定的泡沫中,由此就被分开。在半化石种子情况下,用甲酚和煤油为收集剂,用松脂为泡沫剂。用任何一种方法分离出根以后,它们可分为不同大小的级,干燥并称重。不管如何小心地冲洗根,仍然保留下一一定量的矿质土壤。有必要把干根样品烧灼,其结果用不含灰分的干重表示,或把它们在标准灰分重量基础上进行校正(即5%, Newbould, 1967)。

3.6.3 活根和死根的分离

由根生物量数据计算根产量最大问题之一是将死根和活根区别开。Jacques 和 Schwass (1956),以及 Aimi 和 Fujimaki(1958)曾尝试用四氮唑盐分开活根,但这种方法的成功决定于个体根系的特性和麻烦费时,对于非常纤细的根尤其如此。不少研究人员曾用肉眼把活根与死根分开,但这很难,特别对于细根。Konova (1961)描述过分离根的游离法(由 Pankova 提出),主张用快速淘洗从死根中分出活根。Sator 和 Bommer(1971)尝试用化学方法和酶方法自死根中分出活根,但成效不大。他们相信放射标记技术最有希望。

3.6.4 放射性同位素与根的研究

在根的研究中用放射性同位素标记活根,估测分解率、周转时间,和了解物质从植物的一部分向另一部分的转移。

可对叶面施用如尿素(Yanaguchi 和 Crafts, 1958; Nielson, 1964)或光合同化 $^{14}\text{CO}_2$ (Ueno 等, 1967; Dahlman 和 Kucera, 1968; Ellern 等, 1970)使 ^{14}C 进入植物,标记根系。在封闭覆盖下的植被或叶片进行同化作用,适当时期后,根可以取样,其放射性用计数或自记辐射仪测量。

另一方法是把同位素注入一定紧度的土壤内,而根据地上植被的放射性来确定根的活动方式。Boggie 等人(1958)以 ^{32}P 为示踪剂,用这方法调查生长在泥炭层上植物的生根深度。他们在以后的一篇文章中叙述过在不同深度放置示踪剂的改进技术(Boggie 和 Knight, 1962)。

曾以碘-131 为示踪剂研究过林木的根分布范围(Hough 等,1965; Ferrill 及 Woods, 1966)和林下植物根的生长方式。曾报告过,在用碘标记时,以甲基溴在施用点上预先消毒,以增加同位素的吸收率(Woods 等,1962)。

把磷-32 和钙-45 注入树桩里(Woods 和 Brock, 1964; Wood, 1970)以指示标记物在生态系统内由一树种的根向另一树种的根转移。已断定,根分泌物或共有的真菌,与根的嫁合相比,可能是转移中更重要的因素。

根分泌物及其在总净第一性产量的作用已得到普遍承认,但大部分情况下易被忽视。其理由是还有实际困难未能解决。应用放射示踪无疑是解决问题的关键措施。到目前为止,许多关于根分泌物的研究看来限于实验室经过灭菌处理的研究,重要的一步是把研究扩展到野外去。

Dahlmann 和 Kucera(1968)用 $^{14}\text{CO}_2$ 标记草地植被根系,他们根据大约两年的根的放射性减少,测出根系的周转期正好为四年多一点。Caldwell 和 Camp (1974) 曾稀释根系碳结构的 $\text{C}^{14}/\text{C}^{12}$ 比率来估测周转期和根产量。

以放射性示踪剂研究某些类型植被的根系比其它类型更有用。它们并不是对所有根产量课题的万灵药。还必须记住,放射性物质只能按地方规定应用。

3.6.5 根生物量与产量的关系

植被地上部分生物量与产量的关系也适用于根系,但用起来较困难些。

$$P = \Delta B + L + G$$

运用过或提议过另一些根产量与生物量关系的公式,如

$$\text{根产量} = \frac{\text{最大根生物量}}{\text{周转期}}$$

周转期是分解一定重量有机质(相当于根生物量)所需要的时间(分解率 K 的倒数),公式为:

$$L = kx_s$$

式中条件假定为稳定状态。

Remezov 等(1963)曾提出一个稍加修正的公式,计算根的年损失量。

$$R = W_a + \frac{W - W_a}{n}$$

式中, R = 根的年损失量,

W_a = 一年生植物的根重量,

W = 根的总重量,

n = 多年生植物根的平均寿命。

Newbould(1967)建议:

$$\frac{\text{地上产量}}{\text{地上生物量}} = K \times \frac{\text{地下产量}}{\text{地下生物量}}$$

但指出,由于根产量的数据很少,估算 K 值是困难的。他建议不妨进一步假定 K 相等于 1,直到有较好的估值可利用时为止。

Dahlman 和 Kucera (1965) 采用一年内根生物量最大与最小值的差来测定高草原 (Prairie) 植被的根系年生长量。最大差的时期,在 A_1 层是自 4—7 月, A_2 层是 7 月到正月, B_2 层是 7—10 月。他们假设这些生长量可能相等于根产量,计算出近 25% 的根系将在每年更替。由于增长和分解是同时进行的过程,因此,他们对根产量的估测必定是最小值。在另一些生态系统,如帚石南 (*Calluna*) 灌丛 (Chapman, 未出版), 并不证明根产量会有明显的季节性变动。差值与平均值的变量相比是小的,或者生产与分解的速率接近,以致净根生物量保持相对恒定。

3.6.6 演替系列立地上有机质的积累

对生态学家来说,假定生态系统是在稳定状态最为方便,但许多情况下,显然不真实。由于生态系统随时间而变化,使研究工作复杂化,但对于研究生态系统的某些方面可能是有利的。

演替具有明显和定期的阶段,如 Crocker 和 Major(1955),Crocker 和 Dickson (1957)研究的冰碛石,或由 Salisbury(1922,1925), Burges 和 Drover(1935), Olson(1958)以及 Wilson(1960)所描述的砂丘系统,应当可能测量某些参数的速率而得出输入量与损失量的比率。可行的方法之一应当是 Olson(1963)描述的累积曲线形式,但由此方法得到的估值只是近似值而且以假设输入量和分解量的恒定比率为条件。3.5.6 节讨论过反对恒定分解率假设的意见,而且一条单分子恒定累积曲线符合于 Minderman(1968)所提出的虚拟数据的话,会得出一个对真实输入量的过低估量。

3.6.7 田间条件下土壤呼吸和二氧化碳的测量

根及凋落物产量是参加土壤有机质输入量的主要来源。Macfadyen (1971)评论过土壤的总的代谢作用,一些学者建议把二氧化碳的释放作为测定总代谢作用的一种指标。测定时,一般发现二氧化碳产量超过凋落物的产量和有机质分解的总量(如 Wanner, 1970)。

土壤二氧化碳释放的来源如图 4.13 所示,来自分解过程和活根的呼吸作用。分解物循环的碳来源主要是凋落物和根产量。如果假设土壤生态系统为近似稳定状态,二氧化碳年产量将与凋落物和根产量成正比,再加上根的呼吸。在这样的论证中,重要的是以年基础来计算土壤呼吸,就可使有机质向根内和向根外转移的差额大部分对消了。如有可能从土壤二氧化碳年总产量中扣除根呼吸产生的二氧化碳量,就可提出一些估算有机质对土壤输入量的公式。用切除根测定根呼吸(Grapo 和 Goleman, 1972)具有明显的缺点,但在最初情况下可以采用这种计算。Kucera 和 Kirkham(1971)建议另一个办法,如果可以从一系列包含不同重量比例的根和有机质的土壤得出土壤总呼吸的测定,就有可能把二氧化碳总量分摊给它的各个不同来源。

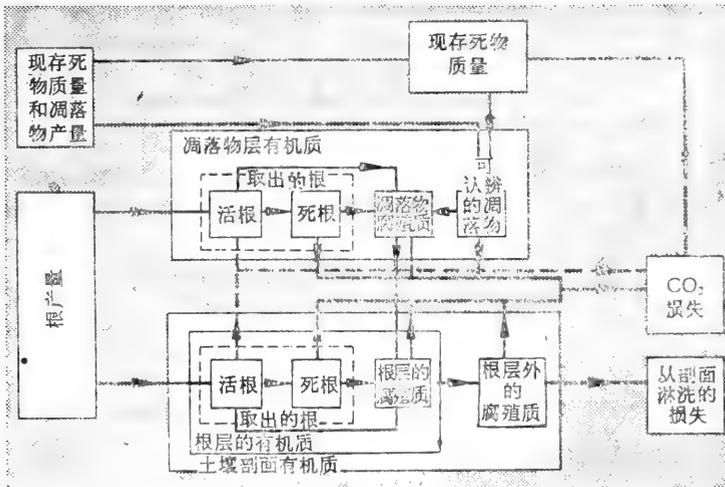


图 4.13 土壤有机质输入和土壤释放 CO₂ 的来源的流程图

有不少方法用来测定田间条件下的土壤呼吸(Witkamp, 1966; Witkamp 和 Frank, 1969; Howard, 1966; Kosonen, 1968; Brown 和 Macfadyen, 1969; Wanner, 1970; Kucera 和 Kirkham, 1971; Chapman, 1971 及其他)。

可按照收集气体样品和测定所产生的二氧化碳的方法把实际应用的方法进行分类 (Bowman, 1968)。多数情况下,把若干形式的容器(“开口盒”, Witkamp, 1966)放在土面上收集二氧化碳,最好在测定时预先埋好在土内,然后把盒子或圆筒留在原地一些时候,使干扰的影响最小。在真正进行实际测定时,盖上一个密闭的盖子。

释放的二氧化碳以红外气相分析仪 (Witkamp, 1966; Witkamp 和 Frank, 1969; Reiners, 1968)、吸入苏打石灰内 (Howard, 1966)、吸入氢氧化钡 (Witkamp, 1969) 或吸入氢氧化钾或氢氧化钠 (Witkamp, 1966; Brown 和 Macfadyen, 1969; Chapman, 1971) 等方法测定。一般,二氧化碳通过扩散而吸入氢氧化钾 (Gonway, 1950),再用滴定法测定。

对释出二氧化碳用滴定法的缺点,是观测期末仅提供一个测数,并由此单一读数计算比率。Chapman (1971) 介绍一种同样原理的土壤呼吸器,但所吸收的二氧化碳可在整个试验期中从定期取得的电解质电导率的许多读数来测定。

这个电导仪法的修正法,是在注射器内建立一个电极系统 (图 4.14), 因此,电解质可放在简单的容器中。假如用买来的塑料筒的盖来盖呼吸器圆筒,就可以在任何时刻大量采用。电解质连于注射器内,在试验期末测定元件电阻和溶液温度。

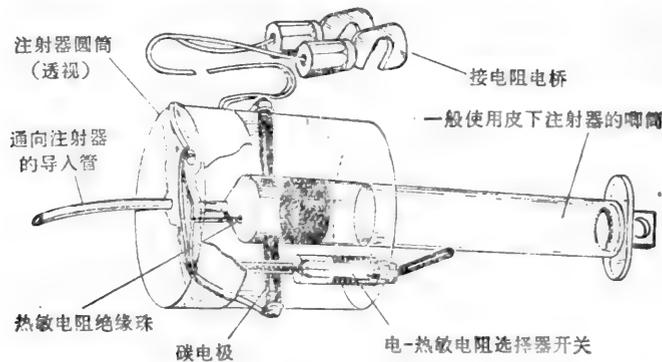


图 4.14 连同简单土壤呼吸器应用的注射器电导率

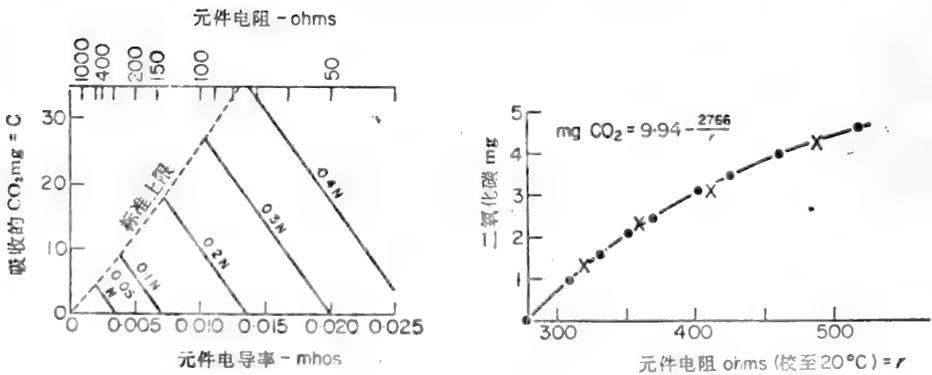


图 4.15 电导土壤呼吸器表示吸收的 CO_2 , 电导率和 KOH 强度之间相互关系的标准曲线

上述情况之外, 还有其它一些情况需要生态学家在田间测定二氧化碳。下面介绍一些可供选择的方法, 但将由每一研究工作者根据自己的目的进行选择。

在一篇介绍田间技术的文章中, Macfadyen (1970) 曾叙述一个基于 Köpf (1953) 法的电解质注射器。图 4.16 说明此仪器的详细构造。当直流电从一个银阳极向铂阴极通过氯化钠溶液, 将产生氢氧化钠。

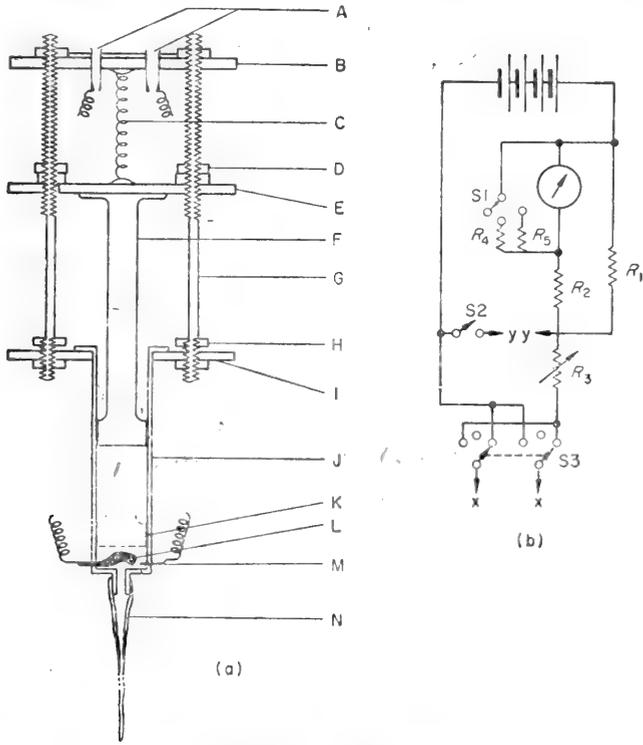
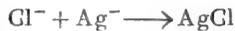
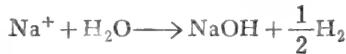
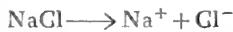


图 4.16 二氧化碳的电解质分析器 (Macfadyen, 1970)

(a) 注射器由 10 ml 塑料注射器做成。A. 不可逆的连接器插座; B. 栓于铜棒上的上塑料板; C. 弹簧或橡皮筋; D. 使停在开放位置的固定螺母; E. 固定在注射器脚上的中塑料板, 可沿铜棒上下滑动; F. 注射器脚; G. 铜棒, 刻螺纹于两头; H. 使停止在关闭位置的螺母; I. 固着在注射器筒和铜棒上的下塑料板; J. 注射器筒; K. 唧推到最低位置; L. 穿过注射器筒壁的固定银阳极; M. 穿过筒壁固定的铂阴极; N. 由硬聚乙烯管做的注射口。(b) 供电系统。6 V 干电池通过 1 mA F. S. D. 毫安计和控制电阻 R_2 ($1\text{K}\Omega$) 和 R_3 ($10\text{K}\Omega$) 和换向开关 S 3 正常供给注射器电流 (在 XX)。一个独立的插头用来迅速通过电阻 R_1 (100Ω) 移去氯化银。分路 (R_4 和 R_5) 需要时用来扩大表的读数。



如气体样品被摇动溶于注射器内, 则可产生相应数量的氢氧化钠。当电解质内的酚酞变粉红色, 就指示达到终点。产生的氢氧化钠可从通过的电流和时间的积计算出。

$$1\text{ mA/分钟} \equiv \text{在 } 10^\circ\text{C 的 } 0.01445\text{ ml CO}_2$$

假如与稀释的四溴萤光素制成的标准液对照时终点已过, 反应会逆转, 其时间从反应进行时间中减去。需要一个较高的逆向电流周期通过仪器去除氯化银沉淀, 以便保持恒定的电流。1 分钟通过 1 mA 的电流相当于 5 毫升空气样品中 0.3% 的 CO_2 。当终点以大约 1.5 秒精度计时, 预期精度将不大于约为 0.01% 的 CO_2 , 但此误差不决定于浓度。

Macfadyen 应用此注射器, 连同一些埋在土内的小而薄的塑料袋 (容积 15 mm × 120mm)。这些袋子装有通向土表的密闭管子, 以便收回气体样品, 供适当定期分析。Rutter 和 Webster(1962), Martin 和 Pigott(1965) 介绍过估测土壤内二氧化碳浓度的其它方法。Rutter 和 Webster 采用连同一个充满蒸馏水的陶瓷杯的探针, 蒸馏水是用来平衡土壤溶液的。问题是找出需要达到平衡的时间。他们使用四个探针, 测量 pH 变化速率, 并用它指示平衡。Martin 和 Pigott 把盖有聚四氟乙烯膜小窗的消毒的硬玻璃管插进土内。管内含有 0.01 M 的碳酸氢钠, 十天测定溶液的 pH (精度 0.05 pH 单位), 并从 pH 的相关性测定二氧化碳浓度 (表 4.1)

表 4.1 不同 CO₂ 浓度下 0.01 M 碳酸氢钠溶液的 pH (引自 Martin 和 Pigott, 1965)

%CO ₂	pH
0	9.53
0.03	9.31
0.25	8.65
1.00	8.05
4.00	7.45
100.0	6.05

这个测定土壤二氧化碳浓度的电导仪法曾由 Lee 及 Woolhouse(1966) 进一步试验, 他们强调标定每一试验程序的必要性。他们也指出, 为找出土壤内 CO₂ 浓度范围所必需的长的平衡时间是方法的一个缺点。一些情况下, 平衡时间甚至在三个星期以上。

3.6.8 温度与土壤呼吸

土壤呼吸强度与土壤温度紧密相关, 表现有年的和昼夜的周期 (Witkamp, 1966b, 1969; Witkamp 和 Frank, 1969)。为了进行比较, 把观测到的呼吸读数换算为标准温度下的相应值。为此, 和为应用土温记录以测得土壤二氧化碳年释放量, 必须找出在一定的生态系统下土壤呼吸和土壤温度的相关性。

最常用的温度与呼吸的相关性是

$$\log R = a + bT$$

式中, R = 呼吸率,
 T = 温度 (°C),
 a = 常数,
 b = 温度系数。

温度系数是一定温度下呼吸率与降低 10°C 的第二个温度时的呼吸率的比率。用符号 Q_{10} 表示该系数。

$$Q_{10} = \text{反对数}(10 \cdot b)$$

实际得出以 2.0 为单位的温度系数。在大变幅温度下应用此式是有缺点的, 但在土壤的温度幅度内适用 (Witkamp, 1969; Wiant, 1967 b; Reiners, 1968; Anderson, 1973 a)。温度与呼吸的其它相关公式也被提出过, 一些学者用双对数回归得出了较好的相关性 (Kucera 和 Kirkham, 1971)。

土壤呼吸也是土壤湿度的函数 (Wiant, 1967a; Macfadyen, 1971; Froment, 1972; Anderson, 1973 a), 也是其它如土壤空气的二氧化碳浓度等因素的函数 (Macfadyen, 1971)。

由于土壤释放二氧化碳是昼夜周期, 最好在 24 小时的基础上进行日呼吸的测定。

3.7 放 牧

一个地区的第一性产量的研究必须考虑到放牧的重要性。可以看到 3.1.1 节内第一性产量的基本公式中包括有“因放牧的植物损失”一词。Milner 和 Hughes(1968)指出,草地的大食草动物的放牧和净第一性产量的测定是两个相互联系和相互干扰的问题。放牧范围的重要性通常不像草地那么明确,许多植物生态学家也很乐意接受牛、鹿、小马或羊的缺如作为未放牧生态系统的证据。希望今天教授生态学时不再出现这种态度,一个更为平衡和综合的途径将会出现。在 Southwood(1966), Petrosewicz 和 Macfadyen(1970)等人的著作中可以找到第二性产量研究的详细方法和有关问题。与净第一性产量研究特别有关的一些放牧研究技术将在本节介绍。

3.7.1 放牧的排除样地(exclosure)

估测放牧动物消费的现存最直接的方法就是把它们排除于生态系统外,并测量其差别。排除放牧压力可能在第一性产量上具有相当效果。Vickery(1972)指出,一块草地的产量在不同的放牧压力下变化很大,每公顷有 20 头羊的第一性产量可以比 10 头的或 30 头的都高。Pearson(1965)发现,在美洲放牧沙漠的第一性产量比未放牧的至少高出 12%。如果把不放牧的时间只限于主要植物的生活史中很短的一段时间的话,排除的效果就最小(Green, 1949)。

文献中介绍过许多不同类型的围笼和排除样地,它们的大小、形状变化极大。Lock(1972)介绍一种周围有宽 2.4 米的沟以阻拦河马放牧于草地上的 30 平方米的排除样方。Welch 和 Rawes(1965)研究 Pennine 草地的产量,采用大小为 1.5×1 米的小围笼,每四到五星期移动其位置。Shaw(1968)描述过一系列野外条件下研究橡实的损失与发芽用的围笼。这些围笼由树脂包着的电线网构成以避免 Harrn(1946)所说到的锌对植物的毒害。设计专门用的围笼必须适合地方性需要,网眼大小必须适合要排除于实验地外的动物的大小。在有打穴动物的地方,围笼或排除样地的墙必须埋进适当深的土内。

3.7.2 消费的直接估测

某些情况下,可以直接估测被消费的植物数量。Bray(1961, 1964)收集新落下的和着生树上的叶片,在图纸上画出叶片轮廓图。图形包括叶片上的孔洞和昆虫蛀食后剩下的面积。必要时还估计一下并画出原来叶片边缘。叶片消费的百分率从 *Acer rubrum* 的 3.2%到 *Prunus virginiana* 的 15.0%,而全部种的平均值为 8.3%(Bray, 1961)。Bray 估计,这些值是在总第一性产量的 0.5 到 1.4%间。Petrusewicz 和 Macfadyen(1970)指出,可能有必要搞个对照孔洞以校正昆虫蛀成孔洞后的孔洞的“生长”。

草食性昆虫对植被的作用,不仅消耗叶片,而且还能以多种方式减少叶片的光合作用能力和净第一性产量。Rafes(1970)评述过草食性昆虫对森林生态系统产量的影响分为四项:叶片消费、树液消费、木质组织的消费与损害,以及对生殖器官的损伤。可以肯定,无脊椎动物食饲的整个影响明显大于实际消费的植物量。

曾用放射性同位素来测定无脊椎动物对植物的消费(Grossley, 1966; Paris 和 Sikora,

1967)。

3.7.3 粪便分析

也许有必要确定哪些植物种被一定地区内的动物选为食物。在某些植被类型中,直接的观察可以提出资料,而在另一些类型中可能难以精确地肯定哪一种是被取食的。

粪便分析技术依赖于植物角质层具有可供鉴定的充分特征,许多情况下可以鉴定到种。角质层由外表皮分泌的蜡质构成,不渗水而且耐多种化学处理,因此可从食用动物的粪便中收回碎片加以鉴定。已经有了从各种不同动物粪便提取角质层和制备对照材料的技术(Baumgartner 和 Martin, 1939; Martin, 1955; Groker, 1959; Brunsven 和 Mulkern, 1960; Storr, 1961; Stewart, 1967; Williams, 1969; Zyznar 和 Urness, 1969)。这些方法在细节上不同,但可以提要如下:

对照材料

从叶片边缘切割一小片对照材料,以便容易地将角质层分离开,浸于 10% 硝酸(必要时浓度可大些),并在水中冲洗。随即把样品移至 70% 酒精中,用番红素、酸性品红或龙胆紫染色,然后在优卜内酸中固定于载玻片上。

粪便样品的制备和观察

粪便样品收集和贮备于福尔马林-醋酸-酒精混合液中。Croker 介绍过制备观察用样品的最简单方法。他在水中分散粪便,取出一些样品,然后在显微镜下计算角质层碎片。Williams 发展的方法是在 70% 酒精中分散粪便,提取和除掉叶绿素后,置于 500 毫升沸水中。然后把样品放过夜,再重复水处理,在 3—4 小时后加 10—15 毫升 5% 次氯化钠,样品再通过 70% 酒精,于番红素中染色,固定于优卜内酸。Zynar 和 Urness 建议把一些动物粪便小球浸在 10% 氢氧化钠中以除掉可能干扰分离和分散样品的粘液覆被物。

当粪便材料准备和染色、固定就绪,把载玻片放在显微镜下观察,至少从每个样品中鉴定 200 个角质层碎片。

4 养分及能量的预算

养分循环,增加养分的来源,以及它们损失的通道,对于分析和了解一个生态系统的活动是至为重要的。有机物产量和能量循环是重要过程,但受到养分和水分供给的影响。养分预算(养分输入量和损失量)的相对重要性,各种生态系统是不同的。在养分来源限于降雨的地方,如潮湿泥炭地,其整个养分预算显然是重要的。在养分较丰富的情况下,养分预算就比某元素的内部循环的重要性要差一些。但是,这些因子是紧密联系的,试图排列这些因子的重要性可能极不明智。

当估计任何生态系统的养分或能量预算时,必须有一个有机物产量和周转的可靠基础。计算生态系统不同成分的养分或能量是以生物量与其组成或能量的估测为基础的。

由于不难明确区别养分预算和养分循环,预算的研究碰到的实际困难经常不多,可以作为任何这种研究的起始途径。研究者能够和必须在调查研究中确定生态系统的界限范围,也能够把整个系统划出较小单位,这些亚系统的重新组合就产生整个生态系统的能量或养分循环的全部情况。这在图 4.17 中加以阐述,整个系统(x)由虚线闭合,并区分为成

分系统 A、B、C 和 D。这些亚系统物质的输入和输出由编号 1—10 的箭头表示。可以看到各亚系统的预算是：

$$1 = 2 + 3 + 9 \pm \Delta A$$

$$3 = 4 + 7 + 8 \pm \Delta B$$

$$4 = 6 + 5 \pm \Delta C$$

$$9 + 8 + 6 = 10 \pm \Delta D$$

而整个系统

$$1 = 2 + 5 + 7 + 10 \pm \Delta X$$

其中 ΔA 等 = 系统的某成分的重量或生物量的变化。

当测定一个生态系统的一些输入时，问题将经常上升为，它们是代表总的或实际的输入，抑或只是在生态系统范围内某种程度上的重新循环。可以举出降雨产生的养分输入为例。

如果过滤雨水样品，将发现含有矿物质颗粒、花粉粒和其它有机物碎屑。这些物质有的起源于生态系统中，因此不应当包括在养分输入预算内，这是一个非常现实的实际问题。

在养分和能量的循环专门章节内提出有关参考文献，但提供有价值背景材料的一般参考文献包括有 Rodin 和 Bazilovich(1967)的著作和 Young (1968)及 Reichle (1970)的文章。

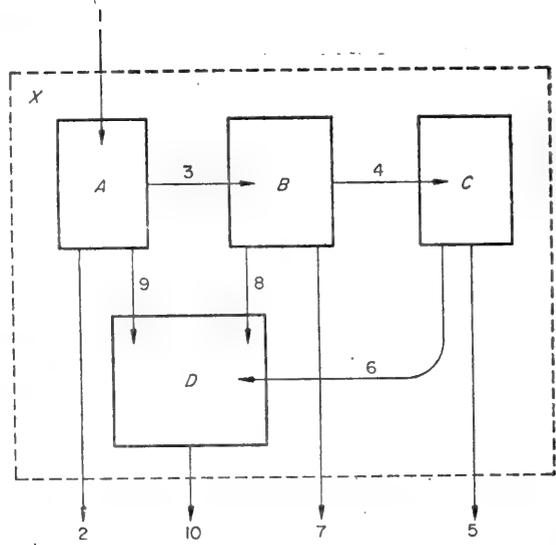


图 4.17 阐明一个虚拟的简单生态系统用以说明系统各个成分预算的关系，以及各个系统中的转移和流通

4.1 养分和热量的估测

当重量和化学组成(或热量)的分别估测合在一起计算生态系统一些特定成分的养分(或热量)时，均值和均值的标准离差(标准误差)的关系是：

$$\bar{N} = \bar{k} \cdot \bar{w}$$

式中 \bar{N} = 养分或热量的均值，

\bar{k} = 热值的平均组成，

\bar{w} = 平均重量或生物量。

$$S^2_{\bar{N}} = \bar{k}^2 S^2_{\bar{w}} + \bar{w}^2 S^2_{\bar{k}} + S^2_{\bar{w}} S^2_{\bar{k}}$$

式中 $S^2_{\bar{N}}$ = 平均养分含量(\bar{N})的方差，

$S^2_{\bar{k}}$ = 平均组成部分(\bar{k})的方差，

$S^2_{\bar{w}}$ = 平均生物量(\bar{w})的方差。

当 x = 单次观测，

n = 观测次数。

则

$$S^2_{\bar{x}} = \frac{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}}{n(n-1)}$$

所有合在一起的估值的均值和方差之间关系已由 Golquhoun (1971)推导和证明,并由 Rawes、Welch(1969)和 Gyllenberg(1969)应用。

为得出土壤养分含量的估值,必须结合测定组成(如%N)、容重和土壤体积。第6章介绍过测定土壤密度的方法。Jeffrey (1970)曾说明各种土壤的密度和烧失量的相关性(见表4.2)。在缺少土壤密度实际测定的情况下,此相关性可用来估测土壤层次的养分含量。从烧失量数据(x)预测土壤容重(y)的方程式是:

$$y = 1.482 - 0.6786 \log_{10} x$$

表 4.2 从烧失量测定土壤容重的预测表, 利用烧失量对数与土壤容重回归(引自 Jeffrey, 1970)

烧 失 重 (%)	土 壤 容 重 (g/ml)	置 信 区 期	
		± 0.01	± 0.05
1.0	1.4823	0.1365	0.1029
2.5	1.2123	0.1018	0.0767
5.0	1.0080	0.0781	0.0588
7.5	0.8885	0.0665	0.0501
10.0	0.8037	0.0597	0.0450
15.0	0.6842	0.0537	0.0404
20.0	0.5994	0.0527	0.0397
25.0	0.5337	0.0535	0.0403
30.0	0.4800	0.0555	0.0418
35.0	0.4345	0.0581	0.0438
40.0	0.3952	0.0607	0.0457
45.0	0.3605	0.0632	0.0476
50.0	0.3294	0.0658	0.0496
55.0	0.3013	0.0685	0.0516
60.0	0.2757	0.0708	0.0533
65.0	0.2521	0.0731	0.0551
70.0	0.2242	0.0760	0.0573
75.0	0.2097	0.0774	0.0583
80.0	0.1909	0.0794	0.0598
85.0	0.1731	0.0813	0.0613
90.0	0.1564	0.0832	0.0627
95.0	0.1413	0.0851	0.0641
100.0	0.1251	0.0868	0.0654

4.2 养 分 输 入

一个生态系统的养分输入有若干不同来源,包括降雨和大气降落物,来自邻近地区的、通过土壤的养分侧向移动,氮的固定,动物移居,土壤矿物质的风化,以及某些情况下的施肥(见图4.1)。

4.2.1 降水与大气降落物

Egner 等进行过西北欧降水化学含量的观测(1955—1960)。Gorham (1958)在英国

湖区的研究中曾将每日雨水的化学成分与降水量、风向、风速和温度联系起来。

在打算收集化学分析用雨水样品的地方,建议用标准雨量计(参阅第七章)测定降雨量,用聚乙烯或其他一些化学惰性材料做成的雨量计收集分析样品。塑料漏斗应当备有过滤纱布阻挡昆虫或其它碎屑的污染,收集瓶放在一个黑容器内以防止藻类的生长。微生物的生长可以因养分的吸取和积累而影响样品的成分,但这可由收集瓶的壁吸附碘来减少(Heron, 1962)。这可在瓶内放少许碘结晶,把塞好的瓶子放于温水箱(60°C)内几小时来办到。雨量计被鸟类弄污是经常遇到的问题,有时可把雨量计装一个有钉子的圆顶冠来减轻(Egner 等, 1956),或用一圆环围着漏斗起“引诱栖木”的作用。有些人发现这些预防法很有效,也有人说效果很小(Allen 等, 1968)。雨量计应当尽可能经常倒空,把样品贮于冷藏中直到进行分析时为止。

发现穿过树冠或沿树干流下(参阅第七章)后收集的样品比原来雨水含有较高浓度的可溶性养分(Madgwick、Ovington, 1959; Carlisle 等, 1966)。这种富集作用部分是由于淋溶了植物组织的物质,部分是由于植被截取空气传播的颗粒(空气溶胶粒, aerosols)。这些颗粒成分来自烟、大气中气体的反应,海雾和矿物碎尘。

White 和 Turner (1970) 研究过林地树冠截取空气传播的颗粒。他们的取样工具安装在乔木树冠内或上面的塔上,但提出的结果高估于空中传播颗粒形式的养分输入,特别是在一年中的多风月份。

Nihlgard(1970)在试图评价空中传播颗粒使降水通过树冠而富集化的重要性时用过不同的方法。他在森林采伐迹地排列层层相叠的 10 层塑料网,在其下放有雨量计。发现在网下收集的水的养分浓度高于直接收集于雨量计的雨水样品。

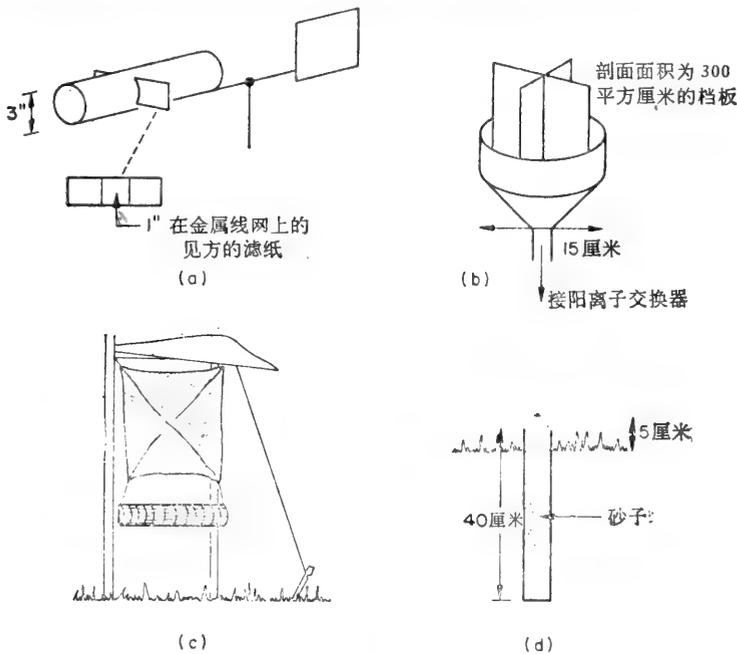


图 4.18 测量沿海生境盐沉积的一些仪器
 (a) Edwards 和 Claxton (1964); (b) Etherington (1967); (c) Randall (1970);
 (d) Malloch (1972)。

4.2.2 盐雾

在海岸环境工作时,必须考虑到海雾对植被的直接影响,以及同时作为植物养分来源的重要性。

Edwards 和 Glaxton (1964) 设计一种仪器装有垂直于风向的方形滤纸。Etherington (1967) 在一个砂丘石楠生态系统的钾循环和产量的研究中,在漏斗上安装一组塑料挡片截取盐雾。漏斗的排水经过一个阳离子交换器吸收钠和钾。Randall (1970) 用一块 30 cm 见方的毛巾收集盐雾,毛巾的下部悬垂,而上部挂有塑料篷遮荫。把毛巾放在 300 ml 水中浸出盐分,然后用电导仪测定。Malloch (1970) 在 Cornwall 的 Lizard 半岛用垂直埋入土内、装满砂子的管子测定盐分的扩散。在 500 ml 去离子水中提取盐分,在二到三个月后用火焰光谱仪测定钠。仪器方便之处在于它们能避开旅游者的损害,对任何必须放在公众来往地方的仪器,这是值得考虑的一点。

4.2.3. 固氮

生物固氮曾用 Kjeldahl 分析、质谱仪的¹⁵N-富集分析以及尽管有 10 秒半衰期缺点的^{N¹³}放射同位素等一些不同方法研究过。这些方法远非理想,各有精度不够、费时或需要复杂仪器,如质谱仪等等不同的缺点。

随着 Dilooth (1966), Schöllhorn 及 Burris (1967) 发现乙炔还原技术,这些缺点已大为克服,这方法具有敏感,能用于野外和比较便宜的好处。这一技术依靠氮醇素具有把乙炔转化为乙烯的能力,而利用乙炔的还原率作为固氮的指标。

Stewart 等 (1967) 和 Hardy 等 (1968) 介绍过这种方法的野外应用技术。Waugham (1971) 介绍一种改进技术,可简化野外操作,和应用野外运输方便的仪器。他采用装有橡皮盖的 28 ml 血清瓶的培养箱。可以用注射器通过橡皮盖注入和抽回气体样品。气体混合物(4:1 氩-氧混合物)装在有活门的足球胆内,乙炔装在有开关和血清杯的另一个足球胆内。装有样品的培养瓶通入氩-氧混合物,然后注入乙炔以得到最终为 70% 氩、20% 氧、10% 乙炔的混合气体。其他研究人员报告过采用在三种气体外加上 CO₂ 的混合气体。

气相样品经培养后,用置换和用注射器转移至血清瓶,所得气体样品带回实验室供气相色谱法分析用。

在培养期末,转移气体样品是一种办法,可以用来代替新陈代谢毒素如三氯醋酸(T、C、A)固定样品。证明在橡皮血清杯上由 T、C、A 作用,几小时内可以产生乙烯。同时,除非样品在非常短的时间内加以分析,否则就建议采用气体收回技术(Thake 和 Rawle, 1972)。

虽然乙炔还原技术已经提供了野外试验固氮的适宜方法。在能够评价许多生态系统固氮的重要性以前,仍需要做大量的工作。

4.3 养分损失

一个生态系统养分的主要损失是通过淋溶、土壤溶液中养分的侧向移动、放牧、收获植物的转移、动物体养分的转移,以及如火、土壤侵蚀和泥流等其它过程。可以看到,从一

定地段的这些养分损失表现为另一些邻近地段或生态系统的输入。

4.3.1 土壤溶液的养分损失

测定淋溶的养分损失的方法，包括有土壤溶液的直接取样，应用渗漏测定计和集水区的排水分析。这些方法部分依靠第七章、第八章介绍过的水文学和分析化学的综合应用。

水分在土中超过田间持水量，就会通过土壤自由排出，从生态系统损失掉。这种情况下，土壤溶液可用截取或抽取法取样。Parizek 和 Lane (1970) 评述过一些这类技术，介绍过沟形渗漏测定计 (图 4.19)，排水由每隔一定距离嵌在土壤剖面下的金属盘截取。这种渗漏测定计是结合灌溉试验用的，在缺少这种实验性处理情况下，分析水样只能以小量和稀的间隔期得到。他们考虑到结构问题，认为其他处置更可取些，特别是需要在一些不同生境取样的地方。他们在同一文

章中介绍应用 Wagner (1962)。早先用过的真空或抽吸渗漏测定计。这些取样器由接在塑料管末端的不上釉瓷杯组成 (图 4.20) 管子接在可造成真空的管子上，收集土壤溶液，并抽出供化学分析。这类取样器将只抽取土壤中张力小于可用真空泵抽吸的土壤水分，得到的水样量取决于含水量和土壤的“供水能力”。对抽吸渗漏测定计样品进行化学分析的结果，必须结合测定土壤水分，以得到通过土壤剖面的养分循环的估值 (见第六章)。

Grover 和 Lamborn (1970) 发现某些类型的陶杯用来取样土壤溶液时，增加了钙、钠、钾，而且从土壤溶液中吸去相当数量的磷。他们找出用 1 N HCl 淋洗陶杯，可以减少除钙外的其它元素的污染，并减少磷的损失至可容许的程度。

Crisp (1966) 在调查 Pennine 灌丛地区的水和矿物质时提供了一个从溪流测定而估计一个生态系统养分损失的事例。确定养分浓度和径流率的相互关系，以便从集水区中流失的水量来估算溶液中养分损失量。重要的是可以直接测定溪流引起的养分浓度的变化，或者另一个方法是用某种仪器收集在容量上与径流率成正比的水样。如采用这种成正比的水样，那末就定期收集水样，而估算溶液中养分的损失。Eggink 和 DuVigneau (1963) 介绍一种简便的比例取样器它由放在堰上游的一个取样箱构成，其形状使其在任何时间含有的水量与水头的函数成正比，因而也与通过堰的水流速率成正比。每隔一段时间打开底部的阀门，取样箱满到由通过堰的水头所支配的水平。水样用压缩空气移至

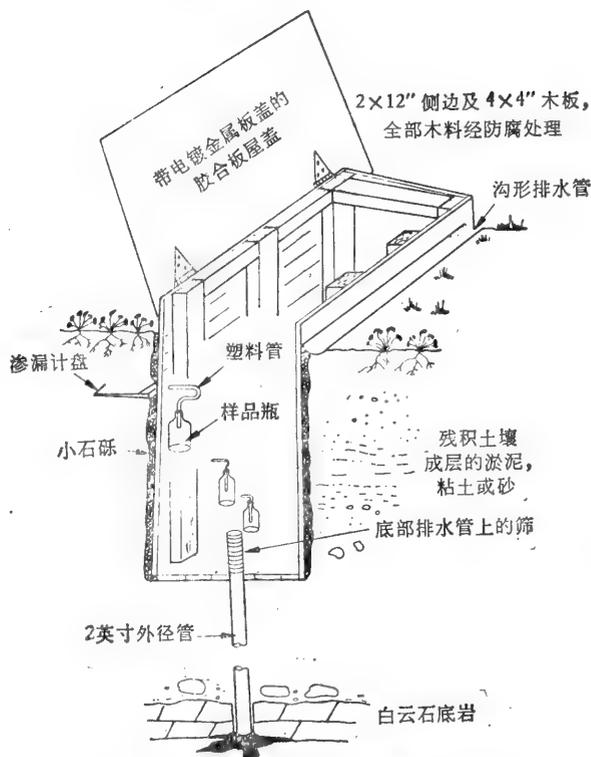


图 4.19 收集土壤水样的沟形渗漏测定计 (引自 Parizek 和 Lane, 1970)

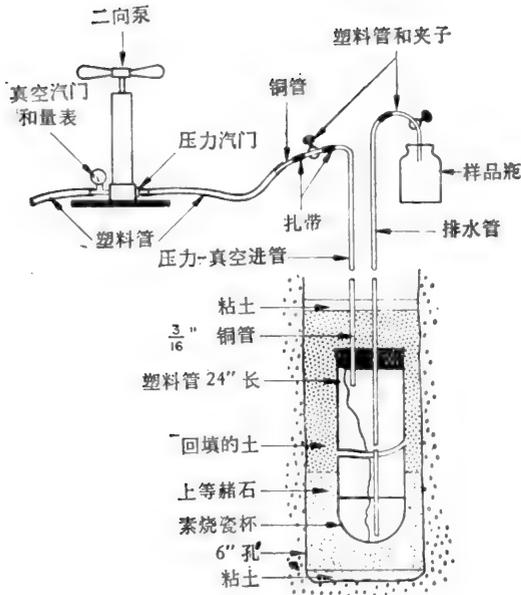


图 4.20 典型真空-压力渗漏测定计纵剖面, 附有连接的压力泵, 此仪器供收回土壤水样用(引自 Parizek 和 Lane, 1970)

收集箱, 造成一个混合水样, 其组成反映取样期留在地区面积内径流总量。

除溶液的养分损失外, 悬浮固体物的移动可能是重要的。Grisp 用连有自净滤器的虹吸取样系统得到集水区泥炭损失量的估测。采取滤液的定期样品以校正通过滤器的细微物质的损失。以虹吸的水流速率与溪中整个水流的相互关系来计算悬浮固体物质的损失重量。

Perrin(1965)在威尔斯中部调查, 应用排水分析研究土壤发育, 特别是白垩土的发育, 以及页岩上浅棕壤发生的可能性。

4.3.2 由于火的养分损失

在一些生境, 如热带稀树干草原和灌丛荒原, 地上植被过一段时间就被烧掉一次。这类火对于许多方面, 如保存特定类型的植被, 刺激潜在的饲料植物的萌发, 或植物养分的矿化和归还土壤等, 都是重要的。火灾后, 土表将覆盖一层养分丰富的灰分, 但地上植被和凋落物层的大量养分将从生态系统中丧失掉。当一个生态系统面积广泛的话, 一定面积上的许多养分的损失将分布给周围的同类植被地区。但当生态系统较小或为片断时, 如英国平地石楠灌丛(Moore, 1962), 养分可能由于火烧而从生态系统中完全损失掉。

曾采用钢刀割下植被, 燃烧并收集灰烬来测定石楠灌丛的这种损失数量 (Chapman, 1967; Evans 和 Allen, 1964; Evans 和 Allen, 1967)。为了控制试验条件, 使得比刚才说的野外情况更好一些, 可在实验室内燃烧植物样品 (Allen, 1964; Evans 和 Allen, 1967)。田间条件下养分的实际损失很大程度取决于燃烧时的局部条件, 如风、现存量的重量与结构, 以及火烧的温度。曾用不同熔点化学物 (Beadle, 1940)、热敏涂漆 (油漆) (Whittaker, 1961) 和热电偶 (Kenworthy, 1963) 等方法测定天然火灾的温度。Allen 等 (1969) 和 Hansen (1969) 测定过火灾后石楠灌丛土壤养分含量的破坏和变化。

4.4 热值的测定

4.4.1 热值和热量测定法

在建立养分预算时, 化学分析结果结合生物量数据而得到养分含量的估值, 同样, 在建立能量预算时, 热值和重量相结合以提供热量的估值。

总热值 (Gross calorific value) 是单位重量的物质在氧中燃烧时放出的热量单位, 剩

余物是氧、二氧化碳、二氧化硫、氮、水和灰分。

能量的基本单位是焦耳(j),但过去经常用来表示生物物质的能量单位是卡(c)或千卡(K),计算结果以每克干重的千卡表示。许多情况下,以不含灰分的干重来计算和表示更有意义。生态学家经常忽视有不少定义不同的卡(15°卡,蒸汽卡,国际表卡),各有其稍微不同的值,目前普遍采用的国际标准单位,焦耳(4.1840焦耳=1热化学卡)应用来表示生态能量学研究的所有结果(Phillipson,1971;Leith,1968)。根据对碳、氮和有时对硫的含量的换算因子而不同的湿烧技术(Ivlev,1934)曾用来得到生物物质的热值测定。这些方法不如应用热量测定法那么理想和方便。

在弹式热量测定法中,物质样品在可达30个大气压下含氧的厚壁不锈钢容器(弹)中引火燃烧,测定因样品燃烧而引起弹温的上升,和一种标准物质燃烧的结果相比较,计算出样品的热值。标准物质经常采用具有每克26447焦耳热值的安息香酸。

4.4.2 样品的制备

收集和制备测定热值的样品,可能比估测现存量的重量取样更要谨慎小心。样品一旦收集后,必须用挥发性成分的损失保持最少的办法加以干燥。一些作者建议冻干和用真空炉。干燥后材料必须磨碎,拌匀和压成小丸。Leith(1968)介绍把样品材料熔于蜡内或包在胶囊中来代替小丸的办法。某些情况下,把定量的安息香酸加入样品以增加燃烧(Malone和Swartout,1969),或使小量材料得以测定热值(Richman,1958)。

4.4.3 热量测定计校正

弹式热量测定计有绝热和非绝热两种主要型式。绝热型热量计,其弹室围绕有控制温度并保持恒温的水外套。这表明没有热自弹室移进或移出。样品热值(V)可由下式计算:

$$V = \frac{W \cdot \Delta t - \Sigma c}{G}$$

式中, W = 水浴(和弹室)温度升高摄氏一度所需的焦耳数,

Δt = 水浴升高的温度,

Σc = 必须校正的总数,

G = 样品干重。

Phillipson(1964)介绍的微型弹式热量计是非绝热热量计的一例,适用于小样品(5—100毫克干重)和商业出售。该热量计的热量将随其温度与周围温度的关系而流进流出。这表示所得结果必须适当校正。最方便的冷却校正(C)是用Dickinson公式:

$$C = r_1(T_a - T_0) + r_2(T_n - T_a)$$

式中, r_1 = 烧前温度变化速率,如果温度是上升的, r 是负数,

r_2 = 烧后冷却速率,

T_0 = 在温度 t_0 时的时间,

T_n = 在温度 t_n 时的时间,

T_a = 在温度 $t_0 - 0.60(t_n - t_0)$ 的时间。

在有图形记录器记录热量计内部温度变化时,冷却校正可用在图纸上的直接的图解

法(图 4.21)。

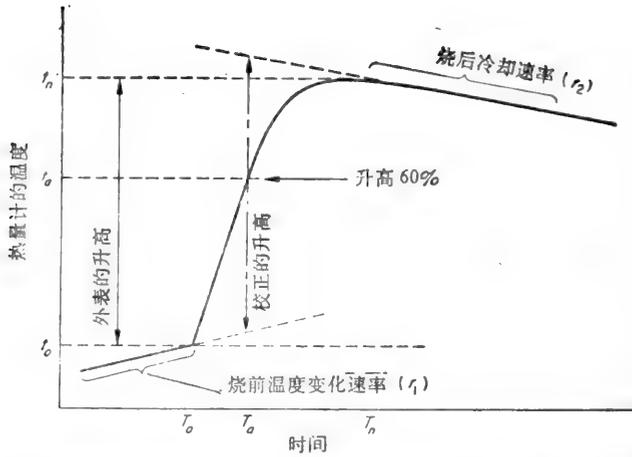


图 4.21 非绝热弹式热量计的 Dickinson 冷却校正的图解法(详细说明见本文)

非绝热热量计的另一类型是弹道式热量计,可燃烧较大量样品材料。由于弹室达到最高温的时间短促(45—65 秒),所以热量交换时间缩短而不必要冷却校正。本类热量计能很快得出结果,便于需要大量测定和不缺乏样品材料的情况。

除前述的冷却校正外,还有一些补充校正可能对计算热值是必需的。用电发火样品时有一个能量的输入,可用空白测定法测定,并从热值实际测定中扣除。如果在燃烧过程中,任何发火的金属线被燃烧,热量将被释放,但用铂丝时,其重量很小,校正也很小(418 J/g^{-1} 铂, 1.402 J/g^{-1} 镍)。热值的定义中假定燃烧的产物包含有氮和硫。实际上这些元素被氧化为硝酸和硫酸,导致额外热的产生。可以滴定弹室的洗出物,以测定所形成酸的量,并作必要的校正。对于生物材料,这些校正是微小的,一般小于 0.1%(Leith, 1968),经常在生态学研究略去。

5 摘 要

本章试图为调查陆地生态系统的第一性产量和养分循环所需要的方法和概念提供一个初步知识。显而易见,任何希望找到一套可用于所有生态系统环境的方法的人将会失望。找到取得有关资料的方法,是一个必须解决的最困难的问题,这是,或者说应当是,研究工作的一项引人入胜之处。

因为不可能详细讨论所介绍的方法得到的许多结果,本书的参考文献可对任何有兴趣于将自己的试验结果在更广泛的背景下进行比较的人提供起点。

国际生物学规划鼓舞和推动世界各地对整个生态系统的研究,这些研究的结果在今后几年中出版,将大大增加我们关于自然群落产量、能量和养分循环的知识。这些研究也将突出测定产量的某些参数的许多困难,和强调许多仍待解决的实际困难。

希望本章已经谈到对这些课题,并将鼓励植物学家和动物学家在研究自然群落中的合作和联系。

6 参 考 文 献

- Aimi R. & Fujimaki K. (1958) Cell-physiological studies on the function of root. 1. Chemical and enzymatic constitution associated with the structural differentiation of root in rice plant. *Proc. Crop Sci. Soc Japan* **27**, 21—24.
- Alcock M. B. (1964) An improved electronic instrument for estimation of pasture yield. *Nature, Lond.* **203**, 1309.
- Alcock M. B. & Lovett J. V. (1967) The electronic measurement of the yield of growing pasture. 1. A statistical assessment. *J. agric. Sci., Camb.* **68**, 27—38.
- Allen S. E. (1964) Chemical aspects of heather burning. *J. appl. Ecol.* **1**, 347—368.
- Allen S. E., Carlisle A., White E. J. & Evans C. C. (1968) The plant nutrient content of rainwater. *J. Ecol.* **56**, 497—504.
- Allen S. E., Evans C. C. & Grimshaw H. M. (1969) The distribution of mineral nutrients in soil after heather burning. *Oikos* **20**, 16—25.
- Anderson J. M. (1973 a) Carbon dioxide evolution from two temperate, deciduous woodland soils. *J. appl. Ecol.* **10**, 361—378.
- Anderson J. M. (1973 b) The breakdown and decomposition of Sweet Chestnut (*Castanea sativa* Mill.) and Beech (*Fagus sylvatica* L.) leaf litter in two deciduous woodland soils. 1. Breakdown, leaching and decomposition. *Oecologia* **12**, 251—274.
- Anderson J. M. & Healey I. N. (1970) Improvements in the gelatine embedding technique for woodland soil and litter samples. *Pedobiologia* **10**, 108—120.
- Andersson F. (1970) Ecological studies in a Scanian woodland and meadow area, Southern Sweden. II. Plant biomass, primary production and turnover of organic matter. *Bot. Notiser* **123**, 8—51.
- Ashby W. C. (1962) Root growth in American Basswood. *Ecology* **43**, 336—339.
- Barclay-Estrup P. (1970) The description and interpretation of cyclical processes in a heath community. II. Changes in biomass and shoot production during the *Calluna cycle*. *J. Ecol.* **58**, 243—249.
- Baumgartner L. L. & Martin A. C. (1939) Plant histology as an aid in squirrel food-habitat studies. *J. Wildl. Mgmt* **3**, 266—268.
- Bazilevich N. I. & Rodin L. E. (1966) The biological cycle of nitrogen and ash elements in plant communities of the tropical and sub-tropical zones. *For. Abstr.* **27**, 357—368.
- Beadle N. C. W. (1940) Soil temperatures and their effect on the survival of vegetation. *J. Ecol.* **28**, 180—192.
- Beauchamp J. J. & Olson J. S. (1973) Corrections for bias in regression estimates after logarithmic transformation. *Ecology* **54**, 1403—1407.
- Benefield C. B. (1971) A rapid method for measuring cellulase activity in soils. *Soil Biol. Biochem.* **3**, 325—329.
- Billings W. D., Clebsch E. E. C. & Mooney H. A. (1966) Photosynthesis and respiration rates of Rocky Mountain alpine plants under field conditions. *Am. Midl. Nat.* **75**, 34—44.
- Bliss L. C. (1966) Plant productivity in alpine micro-environments on Mt. Washington, New Hampshire. *Ecol. Monogr.* **36**, 125—155.
- Bliss L. C. & Hadley E. B. (1964) Photosynthesis and respiration of alpine lichens. *Am. J. Bot.* **51**, 870—874.
- Bocock K. L. (1964) Changes in the amounts of dry matter, nitrogen, carbon and energy in decomposing woodland leaf litter in relation to the activities of the soil fauna. *J. Ecol.* **52**, 273—284.
- Bocock K. L. & Gilbert O. J. B. (1957) The disappearance of leaf litter under different woodland conditions. *Pl. Soil* **9**, 179—185.
- Bocock K. L., Gilbert O. J. B., Capstick C. K., Twinn D. C., Waid J. S. & Woodman M. J. (1960) Changes in leaf litter when placed on the surface of soils with contrasting humus types. *J. Soil Sci.* **11**, 1—9.
- Boggie R., Hunter R. F. & Knight A. H. (1958) Studies of the root development of plants in the field using radioactive tracers. *J. Ecol.* **46**, 621—640.
- Boggie R. & Knight A. H. (1962) An improved method for the placement of radioactive isotopes in the study of root systems of plants growing in deep peat. *J. Ecol.* **50**, 461—464.
- Botkin D. B., Woodwell G. M. & Tempel N. (1970) Forest productivity estimated from carbon dioxide uptake. *Ecology* **51**, 1057—1060.

- Bourdeau P. F. & Woodwell G. M. (1965) Measurements of plant carbon dioxide exchange by infra-red absorption under controlled conditions and in the field. In *Methodology of Plant Eco-physiology-Proceedings of the Montpellier Symposium*, pp. 283-290.
- Bowman G. E. (1968) The measurement of carbon dioxide concentration in the atmosphere. In R. M. Wadsworth (ed.) *The Measurement of Environmental Factors in Terrestrial Ecology*, British Ecol. Soc. Symp. **8**, pp. 131-139.
- Bray J. R. (1961) Measurement of leaf utilization as an index of minimum level of primary consumption. *Oikos* **12**, 70-74.
- Bray J. R. (1963) Root production and the estimation of net productivity. *Can. J. Bot.* **41**, 65-72.
- Bray J. R. (1964) Primary consumption in three forest canopies. *Ecology* **45**, 165-167.
- Bray J. R. & Gorham E. (1964) Litter production in forests of the world *Adv. Ecol. Res.* **2**, 101-157.
- Brown A. & Macfadyen A. (1969) Soil carbon dioxide output and small-scale vegetation pattern in a *Calluna* heath. *Oikos* **20**, 8-15.
- Brunsven M. A. & Mulkern G. B. (1960) The use of epidermal characteristics for the identification of plants recovered in fragmentary condition from the crops of grasshoppers. *N. Dak. Agr. Exp. Sta. Res. Rep.* **3**, 11.
- Burges A. & Drover D. P. (1953) The rate of podsol development in the sands of Woy Woy district. *Aust. J. Bot.* **1**, 83-94.
- Burrows W. H. (1972) Productivity of an arid zone shrub (*Eremophila gilesii*) community in south-western Queensland. *Aust. J. Bot.*, **20**, 317-329.
- Cahoon G. A. & Morton E. S. (1961) An apparatus for the quantitative separation of plant roots from soil. *Proc. Am. Soc. horz. Sci.* **78**, 593-596.
- Caldwell M. M. & Camp L. B. (1974) Below ground productivity of two cool desert communities. *Oecologia* **17**, 123-130.
- Capstick C. K. (1962) The use of small cylindrical samplers for estimating the weight of forest litter. In P. W. Murphy (ed.) *Progress in Soil Zoology*, pp. 353-356. London, Butterworths.
- Carlisle A., Brown A. H. F. & White E. J. (1966) The organic matter and nutrient elements in the precipitation beneath a sessile oak (*Quercus petraea*) canopy. *J. Ecol.* **54**, 87-98.
- Chapman S. B. (1967) Nutrient budgets for a dry heath ecosystem in the south of England. *J. Ecol.* **55**, 677-689.
- Chapman S. B. (1970) The nutrient content of the soil and root system of a dry heath ecosystem. *J. Ecol.* **58**, 445-452.
- Chapman S. B. (1971) A simple conductimetric soil respirometer for field use. *Oikos* **22**, 348-353.
- Chapman S. B., Hibble J. & Rafarel C. R. (1975 a) Net aerial production by *Calluna vulgaris* on lowland heath in Britain. *J. Ecol.* **63**, 233-258.
- Chapman S. B., Hibble J. & Rafarel C. R. (1975 b) Litter accumulation under *Calluna vulgaris* on a lowland heathland in Britain. *J. Ecol.* **63**, 259-271.
- Charles J. A. (1972) Physical science and archaeology. *Antiquity* **46**, 134-138.
- Clymo R. S. (1965) Experiments on breakdown of *Sphagnum* in two bogs. *J. Ecol.* **53**, 747-758.
- Clymo R. S. (1970) The growth of *Sphagnum*: methods of measurement. *J. Ecol.* **58**, 13-49.
- Colquhoun D. (1971) *Lectures on Biostatistics*. Oxford.
- Conway E. J. (1950) *Microdiffusion Analysis and Volumetric Error*, 3rd edition. London, Crosby Lockwood.
- Cormack E. & Gimingham C. H. (1964) Litter production by *Calluna vulgaris* (L.) Hull. *J. Ecol.* **52**, 285-298.
- Crapo N. L. & Coleman D. C. (1972) Root distribution and respiration in a Carolina old field. *Oikos* **23**, 137-139.
- Crisp D. T. (1966) Input and output of minerals for an area of Pennine moorland: the importance of precipitation, drainage, peat erosion and animals. *J. appl. Ecol.* **3**, 327-348.
- Crocker R. L. & Dickson B. A. (1957) Soil development on the recessional moraines of the Herbert and Mendenhall glaciers, south-eastern Alaska. *J. Ecol.* **45**, 169-185.
- Crocker R. L. & Major J. (1955) Soil development in relation to vegetation and surface age at Glacier Bay, Alaska. *J. Ecol.* **43**, 427-448.
- Crocker B. H. (1959) A method of estimating the botanical composition of the diet of sheep. *N. Z. J. agric. Res.* **2**, 72-85.
- Crossley D. A. Jr. (1966) Radioisotope measurement of food consumption by a leaf beetle species.

- Chrysomela knabi* Brown. *Ecology* 47, 1—9.
- Crossley D. A. Jr. & Hoglund M. P. (1962) A litter bag method for the study of microarthropods inhabiting leaf litter. *Ecology* 43, 571—573.
- Dahlman R. C. (1968) Root production and turnover of carbon in the root-soil matrix of a grassland ecosystem. In *Methods of Productivity Studies in Root Systems and Rhizosphere Organisms*. Leningrad, USSR Acad. Sciences.
- Dahlman R. C. & Kucera C. L. (1965) Root productivity and turnover in native prairie. *Ecology* 46, 84—89.
- Dahlman R. C. & Kucera C. L. (1968) Tagging native grassland with carbon-14. *Ecology* 49, 1199—1203.
- Dilworth M. J. (1966) Acetylene reduction by nitrogen fixing preparations from *Clostridium pasteurianum*. *Biochim. biophys. Acta* 127, 285—294.
- Durno S. E. (1961) Evidence regarding the rate of peat growth. *J. Ecol.* 49, 347—351.
- Edwards C. A. & Heath G. W. (1963) The role of soil organisms in breakdown of leafy material. In J. Doeksen & J. van der Drift (eds.) *Soil Organisms*, pp. 76—84. Amsterdam, North Holland Publishing Co.
- Edwards R. S. & Claxton S. M. (1964) The distribution of air-borne salt of marine origin in the Aberystwyth area. *J. appl. Ecol* 1, 253—263.
- Eggink H. J. & Duvigneau H. (1963) Bemonstering van afvalwater naar hoeveelheid (sampling proportional to rate of sewage flow). *Water* 47, 69—71.
- Egnér H., Brodin G. & Johansson O. (1956) Sampling technique and chemical examination of air and precipitation. *K. Lantbr Högsk Annlr.* 22, 369—382.
- Egnér H., Eriksson E. & Brodin G. (1955—60) Current data on the composition of air and precipitation. *Tellus* 7—12.
- Ellern S. J., Harper J. L. & Sagar G. R. (1970) A comparative study of the distribution of the roots of *Avena fatua* and *A. strigosa* in mixed stands using a carbon-14 labelling technique. *J. Ecol.* 58, 865—868.
- Etherington J. R. (1967) Studies of nutrient cycling and productivity in oligotrophic ecosystems. 1. Soil potassium and wind blown sea-spray in a south Wales dune grassland. *J. Ecol.* 55, 743—752.
- Evans C. C. & Allen S. E. (1971) Nutrient losses in smoke produced during heather burning. *Oikos* 22, 149—154.
- Ferrill M. D. & Woods F. W. (1966) Root extension in a long-leaf pine plantation. *Ecology* 47, 97—102.
- Fletcher J. E. & Robinson M. E. (1956) A capacitance meter for estimating forage weight. *J. Range Mgmt.* 9, 96—97.
- Ford E. D. & Newbould P. J. (1970) Stand structure and dry weight production through the Sweet Chestnut (*Castanea sativa* Mill.) coppice cycle. *J. Ecol.* 58, 275—296.
- Forrest G. I. (1971) Structure and production of north Pennine blanket bog vegetation. *J. Ecol.* 59, 453—479.
- Frankland J. G. (1966) Succession of fungi on decaying petioles of *Pteridium aquilinum*. *J. Ecol.* 54, 41—63.
- Frankland J. C., Ovington J. D. & Macrae C. (1963) Spatial and seasonal variations in soil litter and ground vegetation in some Lake District woodlands. *J. Ecol.* 51, 97—112.
- Froment A. (1972) Soil respiration in a mixed Oak forest. *Oikos* 23, 273—277.
- Ghilarov M. S., Korda V. A., Novichkova-Ivanova L. N., Rodin L. E. & Sveshnikova V. M. (Eds.) (1968) *Methods of Productivity Studies in Root Systems and Rhizosphere Organisms*. USSR. Acad. Sciences, Leningrad.
- Gilbert O. J. B. & Bocock K. L. (1962) Some methods of studying the disappearing and decomposition of leaf litter. in P. W. Murphy (ed.) *Progress in Soil Zoology*, pp. 348—352. London. Butterworths.
- Golley F. B. (1960) An index to the rate of cellulose decomposition in the soil. *Ecology* 41, 551—552.
- Golley F. B. & Gentry J. B. (1965) A comparison of variety and standing crop of vegetation on a one-year and a twelve-year abandoned field. *Oikos* 15, 185—199.
- Gore A. J. P. & Olson J. S. (1967) Preliminary models for accumulation of organic matter in an *Eriophorum/Calluna* ecosystem. *Aquilo Ser. Botanica* 6, 297—313.
- Gorham E. (1958) The influence and importance of daily weather conditions in the supply of

- chloride, sulphate and other ions to freshwaters from atmospheric precipitation *Phil. Trans. R. Soc. Ser. B.* **241**, 147—178.
- Grassland Research Institute Staff (1961) *Research Techniques in use at the Grassland Research Institute, Hurley*. Bulletin 45. Commonwealth Bureau of Pastures and Field Crops, Hurley, Berks., England.
- Green J. O. (1949) Herbage sampling errors and grazing trials. *J. Br. Grassld. Soc.* **4**, 11—16.
- Grover B. L. & Lamborn R. E. (1970) Preparation of porous ceramic cups to be used for extraction of soil water having low solute concentrations. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.* **34**, 706—708.
- Gyllenberg G. (1969) The energy flow through a *Chorthippus parallelus* (Zett.) (Orthoptera) population on a meadow in Tvärminne, Finland. *Acta Zool. fenn.* **123**, 1—74.
- Haarlov M. & Weis-Fogh T. (1953) A microscopical technique studying the undisturbed texture of soils. *Oikos* **4**, 44—57.
- Hansen K. (1969) Edaphic conditions of Danish heath vegetation and the response to burningoff. *Bot. Tidssk.* **64**, 121—140.
- Hardy R. W. F., Holstein R. D., Jackson E. K. & Burns R. C. (1968) The acetylene ethylene assay for N₂ fixation. Laboratory and field evaluation. *Plant Physiol.* **43**, 1185—1207.
- Harris T. M. (1946) Zinc poisoning of wild plants from wire netting. *New Phytol.* **45**, 50—55.
- Hayes A. J. (1965 a) Studies on the decomposition of coniferous leaf litter. 1. Physical and chemical changes. *J. Soil Sci.* **16**, 121—140.
- Hayes A. J. (1965 b) Studies on the decomposition of coniferous leaf litter. 2. Changes in external features and succession of micro fungi. *J. Soil Sci.* **16**, 242—257.
- Head G. C. (1971) Plant roots. In J. Phillipson (ed.) *Methods of Study in Quantitative Soil Ecology: Population, Production and Energy Flow*, IBP Handbook No. 18. pp. 14—23. Oxford, Blackwell.
- Heady H. F. & Van Dyne G. M. (1965) Prediction of weight composition from point samples of clipped herbage. *J. Range Mgmt.* **18**, 144—148.
- Healey I. N. & Swift M. J. (1971) Aspects of the accumulation and decomposition of wood in the litter layer of a coppiced beech-oak woodland. In *VI Colloquium pedobiologiae*, pp. 417—430. Dijon 1970. Paris. Inst. National de la Recherche Agronomique.
- Heron J. (1962) Determination of PO₄ in water after storage in polyethylene. *Limnol. Oceanogr.* **7**, 316—321.
- Hough W. A., Woods F. W. & McCormack M. L. (1965) Root extension of individual trees in surface soils of a natural Longleaf Pine-Turkey Oak stand. *For. Sci.* **11**, 223—242.
- Howard P. J. A. (1966) A method for the estimation of carbon dioxide evolved from the surface of soil in the field. *Oikos* **17**, 267—271.
- Howard P. J. A. (1967) A method for studying the respiration and decomposition of litter. In O Graff & J. E. Satchell (eds.) *Progress in Soil Biology*, pp. 464—472. Braunschweig, Vieweg.
- Hyde F. J. & Lawrence J. T. (1964) Electronic assessment of pasture growth. *Electron. Engng* **36**, 666—670.
- Ivlev V. G. (1934) Eine mikromethode zur bestimmung des kaloriengehalts von nahrungsmitteln. *Biochem. Z.* **275**, 49—55.
- Jacques W. H. & Schwass R. H. (1956) Root development in some common New Zealand pasture plants. *N. Z. J. Sci. Technol.* **37**, 569—583.
- Jeffers J. N. R. (1972) *Mathematical Models in Ecology*. British Ecol. Soc. Symp. 12. Oxford. Blackwell.
- Jeffrey D. W. (1970) A note on the use of ignition loss as a means for the approximate estimation of soil bulk density. *J. Ecol.* **58**, 297—299.
- Jenny H., Gessel S. P. & Bingham F. T. (1949) Comparative study of decomposition rates of organic matter in temperate and tropical regions. *Soil Sci.* **68**, 419—432.
- Johns G. G., Nicol G. R. & Watkin B. R. (1965) A modified capacitance probe for estimating pasture yield. *J. Br. Grassld. Soc.* **20**, 212—217.
- Kelly O. J., Hardman J. A. & Jennings D. S. (1948) A soil sampling machine for obtaining two-, three-, and four-inch diameter cores of undisturbed soil to a depth of six feet. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.* **12**, 85—87.
- Kenworthy J. B. (1963) Temperatures in heather burning. *Nature, Lond.* **200**, 1226.
- Kittredge J. (1944) Estimation of the amount of foliage of trees and stands. *J. For.* **42**, 905—912.
- Kononova M. M. (1961) *Soil Organic Matter—its Nature, its Role in Soil Formation and in Soil Fertility*. Oxford, Pergamon

- Köpf H. (1952) Laufende Messungen der Bodenatmung im Freiland. *Landw. Forsch.* 4, 186—194.
- Kosonen M. (1968) The relation between the carbon dioxide production in the soil and the vegetation of a dry meadow. *Oikos* 19, 242—249.
- Kosonen M. (1969) Carbon dioxide production in relation to plant mass. *Oikos* 20, 335—343.
- Krogh A. (1914) The quantitative relation between temperature and standard metabolism in animals. *Int. Z. phys.-chem. Biol.* 1, 491—508.
- Kucera C. L. & Kirkham D. R. (1971) Soil respiration studies in tallgrass prairie in Missouri. *Ecology* 52, 912—915.
- Lange O. L. & Schulze E. D. (1971) Measurement of CO₂ gas-exchange and transpiration in the Beech (*Fagus sylvaticus* L.) In H. Ellenberg (ed.) *Integrated Experimental Ecology*, pp. 16—28. Berlin, Springer-Verlag.
- Latter P. M. & Cragg J. B. (1967) The decomposition of *Juncus squarrosus* leaves and microbiological changes in the profile of *Juncus* moor. *J. Ecol.* 55, 465—482.
- Latter P. M., Cragg J. B. & Heal O. W. (1967) Comparative studies on the microbiology of four moorland soils in the northern Pennines. *J. Ecol.* 55, 445—464.
- Lee J. A. & Woolhouse H. W. (1966) A reappraisal of the electrometric method for the determination of the concentration of carbon dioxide in soil atmospheres. *New Phytol.* 65, 325—330.
- Lieth H. (1968) The measurement of calorific values of biological material and the determination of ecological efficiency. In F. E. Eckardt (ed.) *Functioning of Terrestrial Ecosystems at the Primary Production Level*, pp. 233—242. Proc. Copenhagen Symposium, UNESCO.
- Lieth H. (1968) Methods for the determination of the productivity of the underground organs. *Ibid.*
- Lieth H. (1970) Phenology in productivity studies. In D. E. Reichle (ed.) *Analysis of Temperate Forest Ecosystems*, pp. 29—46. Berlin, Springer-Verlag.
- Lock J. M. (1972) The effects of hippopotamus grazing on grasslands. *J. Ecol.* 60, 445—467.
- Lomnicki A., Bandola E. & Jankowska K. (1968) Modification of the Wiegert-Evans method for estimation of net primary production. *Ecology* 49, 147—149.
- Macfadyen A. (1970) Simple methods for measuring and maintaining the proportion of carbon dioxide in air, for use in ecological studies of soil respiration. *Soil Biol. Biochem.* 2, 9—18.
- Macfadyen A. (1971) The soil and its total metabolism. In J. Phillipson (ed.) *Methods of Study in Quantitative Soil Ecology*, pp. 1—13. IBP Handbook № 18. Oxford, Blackwell.
- Madgwick H. A. I. & Ovington J. D. (1959) The chemical composition of precipitation in adjacent forest and open plots. *Forestry* 32, 14—22.
- Major J. (1969) Historical development of the ecosystem concept. In G. M. Van Dyne (ed.) *The Ecosystem Concept in Natural Resource Management*, pp. 9—22. New York, Academic Press.
- Malloch A. J. C. (1972) Salt-spray deposition on the maritime cliffs of the Lizard peninsula. *J. Ecol.* 60, 103—112.
- Malone C. R. & Swartout M. B. (1969) Size, mass and caloric content of particulate organic matter in old-field and forest soils. *Ecology* 50, 395—399.
- Mark A. F. (1965) The environment and growth rate of narrow-leaved snow tussock, *Chionochloa rigida*, in Otago. *N. Z. J. Bot.* 3, 73—103.
- Martin D. J. (1955) Features of plant cuticle: an aid to the analysis of the natural diet of grazing animals, with special reference to Scottish hill sheep. *Trans. Proc. bot. Soc. Edinb.* 36, 278—288.
- Martin M. H. & Pigott C. D. (1965) A simple method for measuring carbon dioxide in soils. *J. Ecol.* 53, 153—155.
- Mckell C. M., Wilson A. M. & Jones B. M. (1961) A flotation method for easy separation of roots from soil samples. *Agron. J.* 53, 56—57.
- Medwecka-Kornas A. (1971) Plant litter. In J. Phillipson (ed.) *Methods of Study in Quantitative Soil Ecology*, pp. 24—33. IBP Handbook № 18. Oxford, Blackwell.
- Milner C. & Hughes R. E. (1968) *Methods for the measurement of the primary production of grassland*. IBP Handbook № 6. Oxford, Blackwell.
- Minderman G. (1956) The preparation of microtome section of unaltered soil for the study of soil organisms *in situ*. *Pl. Soil.* 8, 42—48.
- Minderman G. (1968) Addition, decomposition and accumulation of organic matter in forests. *J. Ecol.* 56, 355—363.
- Mott G. O., Barnes R. F. & Rhykerd C. L. (1965) Estimating pasture yield *in situ* by beta-ray attenuation techniques. *Agron. J.* 57, 512—513.

- Mountford M. D. & Bunce R. G. H. (1973) Regression sampling with allometrically related variables, with particular reference to production studies. *Forestry* **46**, 203—212.
- Monteith J. L. (1962) Measurement and interpretation of CO₂ fluxes in the field. *J. Agron. Sci.* **10**, 334—346.
- Monteith J. L. (1963) Gas exchange in plant communities. In L. T. Evans (ed.) *Environmental Control of Plant Growth*, pp. 95—112. New York. Academic Press.
- Monteith J. L., Szeicz G. & Yabuki K. (1964) Crop photosynthesis and the flux of carbon dioxide below the canopy. *J. appl. Ecol.* **1**, 321—337.
- Moore N. W. (1962) The heaths of Dorset and their conservation. *J. Ecol.* **50**, 369—391.
- Murphy P. W. (1962) A radioisotope method for determination of rate of disappearance of leaf litter in woodland. In P. W. Murphy (ed.) *Progress in Soil Zoology*, pp. 357—363. London. Butterworths.
- Nasyrov J. S., Gillier J. E., Loginov M. A. & Lebedev V. N. (1962) The use of ¹⁴C for studying the photosynthetic balance of plant communities. *Bot. Zh. S. S. S. R.* **47**, 96—99.
- Newbould P. J. (1967) *Methods for Estimating the Primary Production of Forests*. IBP Handbook № 2. Oxford. Blackwell.
- Newman E. I. (1966) A method of estimating the total length of root in a sample. *J. appl. Ecol.* **3**, 139—146.
- Newton J. D. (1963) Measurement of carbon dioxide evolved from the roots of various crop plants. *Scient. Agric.* **4**, 268—274.
- Nielson J. A. Jr. (1964) Autoradiography for studying individual root systems in mixed herbaceous stands. *Ecology* **45**, 644—646.
- Nihlgård B. (1970) Precipitation, its chemical composition and effect on soil water in a beech and a spruce forest in south Sweden. *Oikos* **21**, 208—217.
- Nimlos T. J., Van Meter W. P. & Daniels L. A. (1968) Rooting patterns of forest understory species as determined by radioiodine absorption. *Ecology* **49**, 1146—1151.
- Odum E. P. (1960) Organic production and turnover in old-field succession. *Ecology* **41**, 34—49.
- Olson J. S. (1958) Rates of succession and soil changes on southern Lake Michigan sand dunes. *Bot. Gaz.* **119**, 125—170.
- Olson J. S. (1963) Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. *Ecology* **44**, 322—331.
- Olson J. S. (1964) Gross and net production of terrestrial vegetation. *J. Ecol.* **52** (Suppl.), 99—118.
- Olson J. S. & Crossley D. A. Jr. (1963) Tracer studies of the breakdown of forest litter. In V. Schultz & A. W. Klements (eds.) *Radioecology*, pp. 411—416. New York. Reinhold.
- Ovington J. D. & Madgwick H. A. I. (1959) The growth and composition of natural stands of birch. 1. Dry matter production. *Pl. Soil.* **10**, 271—283.
- Ovington J. D. & Murray G. (1968) Seasonal periodicity of root growth of Birch trees. In M. S. Ghilarov *et al.* (eds.) *Methods of Productivity studies in Root Systems and Rhizosphere Organisms*, pp. 146—161. Leningrad, USSR Acad. Sciences.
- Parizek R. P. & Lane B. E. (1970) Soil-water sampling using pan and deep pressure-vacuum lysimeters. *J. Hydrol.* **11**, 1—21.
- Paris O. H. & Sikora A. (1967) Radiotracer analysis of the trophic dynamics of natural isopod populations. In K. Petrusiewicz (ed.) *Secondary Productivity of Terrestrial Ecosystems (Principles and Methods)*, pp. 741—771. Warszawa-Kraków. Institute of Ecology, Polish Academy of Sciences.
- Parkinson D. & Coups E. (1963) Microbial activity in a podzol. In J. Doeksen & J. van der Drift (eds.) *Soil Organisms*, pp. 167—175. Amsterdam, North Holland Publishing Co.
- Patten B. C. (ed.) (1971) *Systems Analysis and Simulation in Ecology*. Vol. 1. New York, Academic Press.
- Pearson L. C. (1965) Primary production in grazed and ungrazed desert communities of eastern Idaho. *Ecology* **46**, 278—285.
- Perrin R. M. S. (1965) The use of drainage water analyses in soil studies. In E. G. Hallsworth & D. V. Crawford (eds.) *Experimental Pedology*, pp. 73—96. London. Butterworths.
- Peterken G. F. & Newbould P. J. (1966) Dry matter production by *Ilex aquifolium* L. in the New Forest. *J. Ecol.* **54**, 143—150.
- Petrusewicz K. & Macfadyen A. (1970) *Productivity of Terrestrial Animals: Principles and Methods*. IBP Handbook № 13. Oxford. Blackwell.
- Phillipson J. (1964) A miniature bomb calorimeter for small biological samples. *Oikos* **15**, 130—

- Phillipson J. (1971) Other Arthropods. In J. Phillipson (ed.) *Methods of Study in Quantitative Soil Ecology*, pp. 26—287. IBP Handbook No 18. Oxford, Blackwell.
- Rafes P. M. (1970) Estimation of the effect of phytophagous insects on forest production. In D. E. Reichle (ed.) *Analysis of Temperate Forest Ecosystems*, pp. 100—106. Berlin, Springer-Verlag.
- Randall R. E. (1970) Salt measurement on the coasts of Barbados, West Indies. *Oikos* 21, 65—70.
- Rawes M. & Welch D. (1969) Upland productivity of vegetation and sheep at Moor House National Nature Reserve, Westmorland, England. *Oikos Suppl.* 11, 7—72.
- Reichle D. E. (ed.) (1970) *Analysis of Temperate Forest Ecosystems*. Berlin, Springer-Verlag.
- Reichle D. E., O'Neill R. V., Kaye K. V., Sollins P. & Booth R. S. (1973) Systems analysis as applied to modeling ecological processes. *Oikos* 24, 337—343.
- Reiners W. A. (1968) Carbon dioxide evolution from the floor of three Minnesota forests. *Ecology* 49, 471—483.
- Remezov H. P., Rodin L. E. & Bazilevich N. I. (1963) Instructions on methods of studying the biological cycle of ash elements and nitrogen in the above ground parts of plants in the main natural zones of the temperate belt [Russian]. *Bot. Zh. S. S. S. R.* 48, 869—877.
- Richman S. (1968) The transformation of energy by *Daphnia pulex*. *Ecol. Monogr.* 28, 273—291.
- Ricklefs R. E. (1967) A graphical method of fitting equations to growth curves. *Ecology* 48, 978—983.
- Rodin L. E. & Bazilevich N. I. (1967) *Production and Mineral Cycling in Terrestrial Vegetation*. Edinburgh, Oliver & Boyd.
- Rogers W. S. & Head G. C. (1968) Studies of roots of fruit plants by observation panels and time-lapse photography. In M. S. Ghilarov et al. (eds.) *Methods of Productivity Studies in Root Systems and Rhizosphere Organisms*, pp. 176—185. Leningrad, USSR Acad. Sciences.
- Ross D. J. & Boyd I. W. (1970) Influence of moisture and aeration on oxygen uptakes in Warburg respiratory experiments with litter and soil. *Pl. Soil* 33, 251—256.
- Rutter A. J. & Webster J. R. (1962) Probes for sampling ground water for gas analysis. *J. Ecol.* 50, 615—618.
- Salisbury E. J. (1922) The soils of Blakeney Point: A study of soil reaction and succession in relation to plant covering. *Ann. Bot.* 36, 391—431.
- Salisbury E. J. (1925) Note on the edaphic succession in some sand dune soils with special reference to the time factor. *J. Ecol.* 13, 322—328.
- Salt G. & Hollick F. S. J. (1944) Studies of wireworm populations. 1. A census of wireworms in pasture. *Ann. appl. Biol.* 31, 52—64.
- Satoo T. (1970) A synthesis of studies by the harvest method: primary production relations in the temperate deciduous forests of Japan. In D. E. Reichle (ed.) *Analysis of Temperate Forest Ecosystems*, pp. 55—72. Berlin, Springer-Verlag.
- Sator Ch. & Bommer D. (1971) Methodological studies to distinguish functional from nonfunctional roots of grassland plants. In H. Ellenberg (ed.) *Integrated Experimental Ecology*, pp. 72—78. Berlin, Springer-Verlag.
- Schöllhorn R. & Burris R. H. (1967) Acetylene as a competitive inhibitor of nitrogen fixation. *Proc. natn. Acad. Sci. U. S. A.* 58, 213—216.
- Schuster J. L. (1964) Root development of native plants under three grazing intensities. *Ecology* 45, 63—70.
- Schuurman J. J. & Goedewaagen M. A. J. (1971) *Methods for the Examination of Root Systems and Roots* (2nd edition). Wageningen, Centre for Agricultural Publications and Documentation.
- Scott D. (1961) Methods of measuring growth in short tussocks. *N. Z. J. agric. Res.* 4, 282—285.
- Shanks R. E. & Olson J. S. (1961) First year breakdown of leaf litter in southern Appalachian forests. *Science, N. Y.* 134, 194—195.
- Shaw M. W. (1968) Factor affecting the natural regeneration of Sessile Oak (*Quercus petraea*) in north Wales. 2. Acorn losses and germination under field conditions. *J. Ecol.* 56, 647—660.
- Sheikh K. H. & Rutter A. J. (1969) The responses of *Molinia caerulea* and *Erica tetralix* to soil aeration and related factors. 1. Root distribution in relation to soil porosity. *J. Ecol.* 57, 713—726.
- Smith F. E. (1970) Analysis of ecosystems. In D. E. Reichle (ed.) *Analysis of Temperate Forest Ecosystems*, pp. 7—18. Berlin, Springer-Verlag.
- Southwood T. R. E. (1966) *Ecological Methods: with particular reference to the study of insect pop-*

ulations. London, Methuen

- Stage A. R. (1963) Specific gravity and tree weight of single-tree samples of Grand Fir. *US For. Serv. Res. Pap. Intermt. For. Range Exp. Stn. No. INT-4*, pp. 11.
- Stewart D. R. M. (1967). Analysis of plant epidermis in faeces: a technique for studying the food preferences of grazing herbivores. *J. appl. Ecol.* **4**, 83—111.
- Stewart W. D. P., Fitzgerald G. P. & Burris R. H. (1967) *In situ* studies on N₂ fixation using the acetylene reduction technique. *Proc. Acad. Sci. USA* **58**, 2071—2078.
- Stocker O. & Vieweg F. H. (1960) Die Darmstädter apparatur zur momentanmessung der photosynthese unter ökologischen bedingungen. *Ber. dt. bot. Ges.* **73**, 198—208.
- Storr G. M. (1961) Microscopic analysis of faeces. a technique for ascertaining the diet of herbivorous mammals. *Aust. J. biol. Sci.* **14**, 157—164.
- Sykes J. M. & Bunce R. G. H. (1970) Fluctuations in litter fall in a mixed deciduous woodland over a three-year period 1966—68. *Oikos* **21**, 326—329.
- Tansley A. G. (1935) The use and abuse of vegetational concepts and terms. *Ecology* **16**, 284—307.
- Thake B. & Rawle P. R. (1972) Non-biological production of ethylene in the acetylene reduction assay for Nitrogenase. *Arch. Mikrobiol.* **85**, 39—43.
- Ueno M., Yashihara K. & Okada T. (1967) Living root system distinguished by the use of Carbon-14. *Nature, Lond.* **213**, 530—532.
- Van Dyne G. M. (1966) The use of a vacuum clipper for harvesting herbage *Ecology*. **47**, 624—623.
- Vickery P. J. (1972) Grazing and net primary production of a temperate grassland. *J. appl. Ecol.* **9**, 307—314.
- Wagner G. H. (1962) Use of porous ceramic pots to sample soil water within the profile. *Soil Sci.* **94**, 379—386.
- Walters C. S. & Bruckmann G. (1964) A comparison of methods for determining volume of increment cores. *J. For.* **62**, 172—177.
- Wanner H. (1970) Soil respiration, litter fall and productivity of tropical rain forest. *J. Ecol.* **58**, 543—547.
- Warren Wilson J. (1960) Inclined point quadrats. *New Phytol.* **59**, 1—8.
- Warren Wilson J. (1963) Estimation of foliage denseness and foliage angle by inclined point quadrats. *Aust. J. Bot.* **11**, 95—105.
- Waugham G. J. (1971) Field use of the acetylene reduction assay for nitrogen fixation. *Oikos* **22**, 111—113.
- Waugham G. J. (1972) Acetylene reduction assay for nitrogen fixation in sand dunes. *Oikos* **23**, 206—212.
- Welbank P. J. & Williams E. D. (1968) Root growth of a Barley crop estimated by sampling with portable powered soil-coring equipment. *J. appl. Ecol.* **5**, 477—482.
- Welch D. & Rawes M. (1965) The herbage production of some Pennine grasslands. *Oikos* **16**, 39—47.
- Went J. C. (1959) Cellophane as a medium to study cellulose decomposition in forest soils. *Acta bot. neerl.* **8**, 490—491.
- Westlake D. F. (1963) Comparisons of plant productivity. *Biol. Rev.* **38**, 385—425.
- White E. J. & Turner F. (1970) A method of estimating income of nutrients in a catch of airborne particles by a woodland canopy. *J. appl. Ecol.* **7**, 441—461.
- Whittaker E. (1961) Temperatures in heath fires. *J. Ecol.* **49**, 709—716.
- Whittaker R. H. & Woodwell G. M. (1968) Dimension and production relations of trees and shrubs in the Brookhaven Forest, New York. *J. Ecol.* **56**, 1—25.
- Wiant H. V. (1967 a) Influence of moisture content on soil respiration. *J. For.* **65**, 902—903.
- Wiant H. V. (1967 b) Influence of temperature on the rate of soil respiration. *J. For.* **65**, 489—490.
- Wiegert R. G. & Evans F. C. (1964) Primary production and the disappearance of dead vegetation on an old field. *Ecology* **45**, 49—63.
- Williams O. B. (1969) An improved technique for identification of plant fragments in herbivore faeces. *J. Range Mgmt.* **22**, 51—52.
- Wilson K. (1960) The time factor in the development of dune soils at South Haven peninsula, Dorset. *J. Ecol.* **48**, 341—360.
- Witkamp M. (1966) Rates of carbon dioxide evolution from the forest floor. *Ecology* **47**, 492—494.
- Witkamp M. (1969) Cycles of temperature and carbon dioxide evolution from litter and soil.

- Ecology* 50, 922—924.
- Witkamp M. & Frank M. L. (1969) Evolution of carbon dioxide from litter, humus and subsoil of a Pine stand. *Pedobiologia* 9, 358—366.
- Witkamp M. & Olson J. S. (1963) Breakdown of confined and non-confined Oak litter. *Oikos* 14, 138—147.
- Wood S. F. W. (1970) Interspecific transfer of inorganic materials by root systems of woody plants. *J. appl. Ecol.* 7, 481—486.
- Woods F. W. & Brock K. (1964) Interspecific transfer of Ca-45 and P-32 by root systems. *Ecology* 45, 886—889.
- Woods F. W., Ferrill M. D. & McCormack M. L. (1962) Methyl bromide for increasing Iodine-131 uptake by Pine trees. *Radiat. Bot.* 2, 273—277.
- Woodwell G. M. & Dykeman W. R. (1966) Respiration of a forest measured by carbon dioxide accumulation during temperature inversions. *Science, N. Y.* 154, 1031—1034.
- Yamaguchi S. & Crafts A. S. (1958) Autoradiographic method for studying absorption and translocation of herbicides using Carbon-14 labelled compounds. *Hilgardia* 28, 161—191.
- Young H. E. (ed.) (1968) *Symposium on Primary Production and Mineral Cycling in Natural Ecosystems*. University of Maine Press.
- Zyznar E. & Urness P. J. (1969) Qualitative identification of forage remnants in deer faeces. *J. Wildl. Mgmt.* 33, 506—510.

(蒋有绪 译, 阳含熙 校)

第五章 生理生态学和植物营养

P. Bannister

1 序 言

给“生理的植物生态学”下一个可能的定义作为这一章的开头是适宜的。生理学研究生物的功能；生态学则研究生物与它们的环境的关系；因此生理的植物生态学可以下定义为研究生物体的功能与其环境关系的学科。虽然生理的植物生态学也可以在细胞水平上和生物化学水平上进行探讨，但这一章主要是研究“整株植物的生理学”与生态学的关系（例如 Crawford, 1966; Woolhouse, 1969）。

生理学的手段用之于植物生态学可以说和植物生态学本身一样的早。古典的生态学论著如 Warming (1895, 1909) 和 Schimper (1898, 1903) 就曾很好地注意到生理学研究的联系。晚近，两次英国生态学会的会长讲话 (Glapham, 1956; Harper, 1967) 都鼓励在英语世界将生理学方法用之于植物生态学的发展。

野外工作作为生理学的研究提供了原材料，因为它将种的多度与环境变异加以相关研究。因果关系可以从野外观察中推论出来，但只能通过严格的试验加以验证；这便是生理学的手段发挥其作用了。

然而，试验研究并不是没有它们自己的问题的。生长，通常用于物质产量表示，其测定常常被用来作下列推测，即植物生长最好也就表现了最适的生态反应。Rorison (1969) 曾讨论在生理试验中干重增加的解释问题。一个主要问题是最大的生长是否一定是最好的生长？在极端的生境中，生长缓慢的物种可能是最成功的。部分的解答是将不同的物种放到具有一定变化范围的条件中去比较它们的反应。在一种极端的情况下，一生长缓慢的物种可能真的比一生长迅速的物种生长得更好些。某些相对反应的测定可能是有用的，一物种以其最适速度的 90% 进行生长，可能比一物种以其最适速度的 50% 进行生长表明对一境况适应得更好；尽管后者甚至表现出大的生长量。如果所有的物种对环境因子表现同一的反应，则植物生理生态学家的领域就与植物生理学家的领域相同了。物种的反应不同，因之在研究生态时对植物生理方法提供了包括对各物种反应的比较。

种的各种属性决定了它们在野外的成功或失败。任何种均有一定范围的绝对需要（如可以存活的最和最低温度）。植物生理生态学者可对不同的物种测定这些限度。在绝对需要中有一个忍耐的范围，这在物种之间可能是不同的。一物种在野外的忍耐范围（生态幅度）与在实验室试验中看到的（生理幅度）是不同的（图 5.1）。宽的幅度既可来自一非常可塑的（表现型的）反应，也可来自特殊的遗传小种的进化（基因型的反应）。生理学的研究必须研究可塑性反应的机制，并将一些生态小种（生态型）的表现相比较。

在生理幅度与生态幅度之间的某些可能的关系已列于图 5.1；欧石南灌丛植物就很

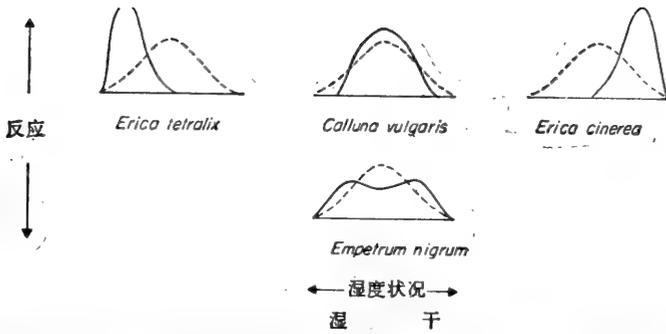


图 5.1 四种欧石南灌丛矮生灌木与土壤湿度关系的生态幅度(——)和生理幅度(----)的比较图式(参阅 Ellenberg(1958)和 Rorison(1969))

好地说明这些关系。在实验室条件下,多数的矮小灌木在中生条件下生长得最好,而不是在湿的或干的状况下(Bannister,1964 b),但生态反应却常是不同的。只有帚石南(*Calluna vulgaris*)在实验室和野外的表现相似,而轮生叶欧石南(*Erica tetralix*)在野外是典型的

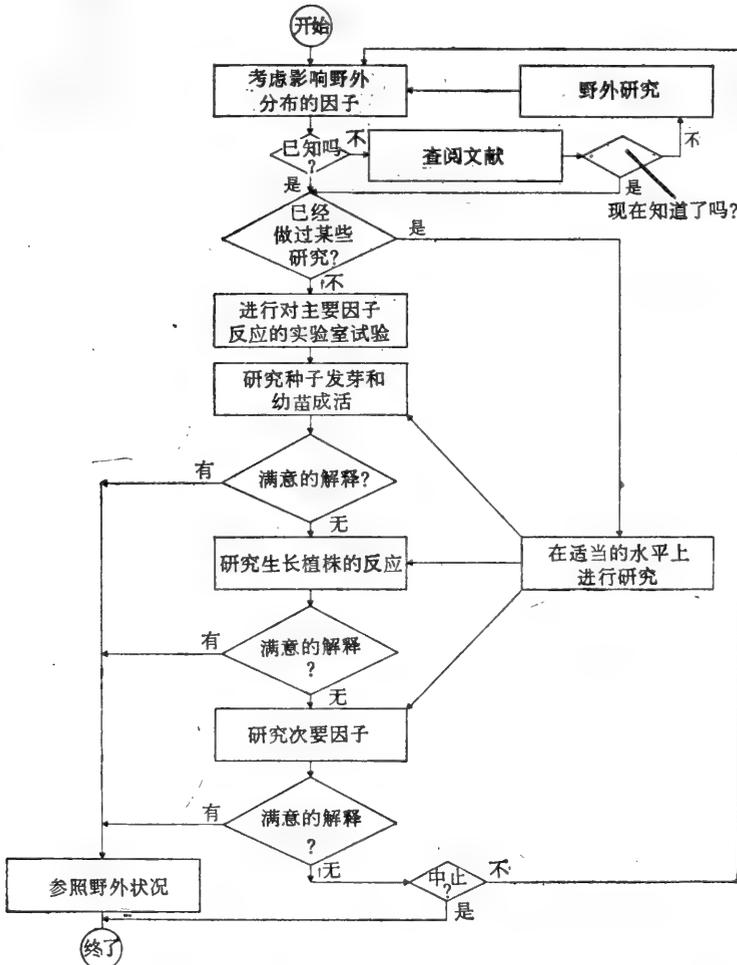


图 5.2 研究一个物种或一种群的植物生理生态学的简单的策略方案

湿生境况,灰色欧石南(*E. cinerea*)则是旱生境况,黑果岩高兰 (*Empetrum nigrum*) 则湿生和旱生均可(Gimingham,1972)。生态反应和生理反应的差别是由竞争引起的。强有力的竞争者可能具有相似的生理幅度和生态幅度,而弱的竞争者只局限于它们的忍耐力范围的一个局部地区,在该地区它们在竞争上是有利的。轮生叶欧石南(*Erica tetralix*)对水分停滞更能忍耐,而灰色欧石南(*E. cinerea*)的抗旱性比帚石南(*Calluna*)更强些(Bannister, 1964 d), 从而它们能分别地在湿的和干的立地进行成功的竞争(图 5.1)。Empetrum 的反应很可能是由于不同的生态型(Gimingham,1972)。

竞争可以解释在实验室和在野外的反应的差别,并且还能从相对生长速度和生长型的测定中得出推断。其影响只能用适当的试验来确定;这些试验是比较稀少的。

生活周期的阶段也是重要的。一项研究须从对种子发芽和苗木成活的必需条件的考虑开始。如果在这些需要上是关键的,则研究成熟植株的生理就较次要了。在幼苗成活上失败原因的研究将包括生理学的研究,系在本章的以后部分将涉及的一些问题。研究的可行的策略列于图 5.2;这里强调实验室的和生理学的方法,但承认田野工作的需要,靠这两方面开始并解释试验。

生理学试验的某些方法和问题将在三个主要题目中讨论,植物对空中环境的反应,水分关系以及最后矿物质营养。讨论必然是肤浅的,但必须提供不仅是用于植物生态学的生理学方法的技术、可能性和困难的某些说明,还应提出更为专门读物的适当参考文献。

2 光合作用和呼吸作用

2.1 植物对辐射能的反应

大多数植物生态学家通常把辐射能分成光和热,但是,由于二者相互作用(图 5.3),这两个成分的影响最好合起来考虑。可以考察各种植物反应并做出生态学的解释(图 5.3)。这些反应中的某些方面如气孔、蒸腾作用和组织水分平衡在后面各节(4.1—4.6)讨论。

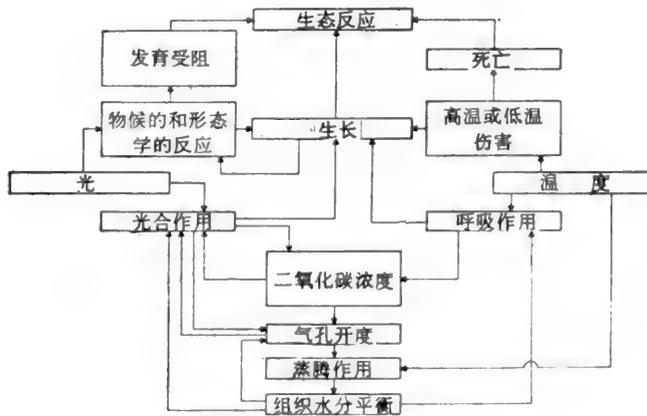


图 5.3 植物对光和温度的反应

植物生长是各种各样的生理过程的集体,同时是容易与生态反应相联系的(参看序

言)。生长的各个方面可借生长分析加以定量(2.1.1)，并与辐射能对植物反应的影响的研究相关联。光合作用和呼吸作用的直接测定通常可以用来建立生长和产量的模型(2.2, 2.3, 例如 Grace 和 Woolhouse, 1970)，或表示物种的反应特性。光对生长和发育还有一个光周期效应。如果需要得不到满足，则植物将不能发育，或者生长或发育发生某些变化，而引起植物反应的改变并对物种的生态学发生影响。极端的温度(3.2)会引起植物的死亡，或改变生长的方式或数量。

2.1.1 作为对辐射能的一种反应的生长

生长是各种反应的综合表现，但不是光合作用速度的良好的度量。当一植物在生长，该植物生出较多的光合组织，从而能进行更多的光合作用。这导致按指数的增长，纵然指数随时间和环境两者而变化，用于度量生长的实验结果(例如高度、干重)，因此须用对数单位进行分析而不用算术单位。

生长的更为精确的测定已发展成为“生长分析”(growth analysis)的科学，它是在分析农作物中而发展起来的(Watson, 1952)。近来这方面的工作有一本很全面的著作(Evans, 1972)，这里企图对全部内容进行报道将是不可能的，也是不必要的。

生长分析的精确化首先是用一系列连续的收获量来进行分析生长。每次采样的总重量可进一步划分成各种成分的重量(如根、叶、茎、花、果实)。这可用一简单的图式(图 5.4)来为可能的生态学反应(Harper, 1967, “生育的战略”)提供许多材料。

通常使用“相对生长速率”。测定每单位干重的瞬时干重的速率变化。不可能用一次测量来测定相对生长速率，而是用一系列的干重的对数表示相对生长速率随时间的变化(Rorison, 1969), Hughes 和 Freeman(1967)以及 Hunt 和 Parsons(1974)已介绍了适用于电子计算机分析的方法，这种方法通常使用多次采集少量植物样品。

多数工作者只用两次采样计算近似的相对生长速率。对于栽培作物一周或二周的时间间隔较为合适，然而对于野生植物的间隔时间更长些为好。如果干重(W_1, W_2)是在时间间隔 t_1 和 t_2 得到的，则平均相对生长速率(\bar{R})则从公式得出：

$$\bar{R} = \frac{\ln(W_2) - \ln(W_1)}{t_2 - t_1}$$

瞬时的相对生长速率(R)可从下式得出：

$$R = \frac{1}{W} \cdot \frac{dw}{dt} \text{ (这里 } W \text{ 为干重)}$$

植物干重的增长是叶面积的函数。叶面积的估计量(A_2, A_1)可用之计算单位叶面积的平均速率 \bar{E} (Evans, 1972)，也就是净同化率(NAR)。

$$\bar{E} = \frac{W_2 - W_1}{t_2 - t_1} \cdot \frac{\ln(A_2) - \ln(A_1)}{A_2 - A_1}$$

或者瞬时的：

$$E = \frac{dW}{dt} \cdot \frac{1}{A}$$

重量和叶面积的测定必须是直线的关系，这只对短的时间间隔是真实的。 E 不是个别叶片光合作用的度量，因其包括整株的呼吸损耗在内。因此当叶面积对总干重的比值降低时，如叶片脱落或非叶片部分的增加，即使叶子的光合作用速度或呼吸作用速度没有

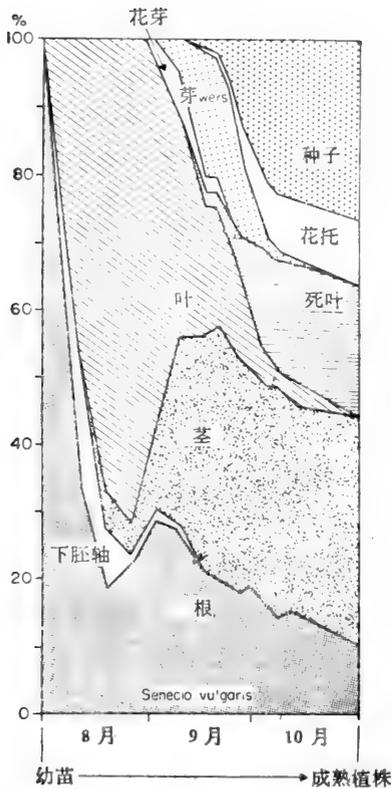


图 5.4 在 *Senecio vulgaris* 生活史中不同器官干重的分布。(Harper 和 Ogden, 1970)

这样,在一短时间内

$$R = E \times LAR = E \times LWR \times SLA$$

亦即:

$$\frac{1}{W} \cdot \frac{dw}{dt} = \frac{dw}{dt} \cdot \frac{1}{A} \times \frac{W_L}{W} \times \frac{A}{W_L}$$

$$R \qquad E \qquad \underbrace{LWR \quad SLA}_{LAR}$$

生长分析的结果在解释上要小心。相对生长速度随时间的变化(图 5.5),和在生长的一个阶段测出的速率并不能代表在其它时间植物的反应。而且高的相对生长速率不见得一定是生态学上成功的先决条件(参阅 Bradshaw, 1969)。

2.2 光合作用的测定

光合作用的过程是利用二氧化碳、水和辐射能生产碳水化合物、水和氧。从理论上说任何一个成分均能用之于测定光合作用的强度,但由于实际上有些成分不能使用而必须除掉。光合作用既消费水又生产水,但光合作用的水会与存在于植物中的其它的大量的水相混淆而成为不可测定的。同样,辐射流在测定上的很小的误差足以引起光合作用测定上的估计错误,因为光合作用利用的只是总能量的很小的一部分。这一方法(例如

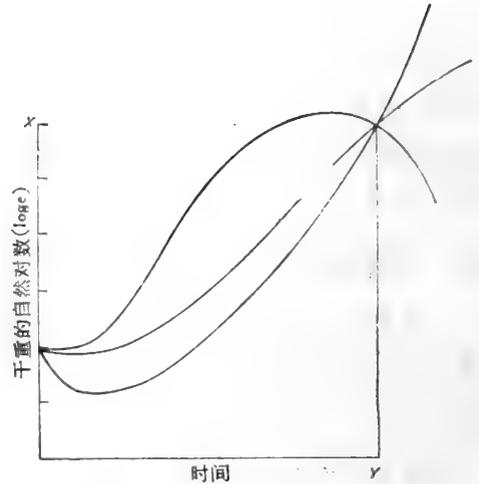


图 5.5 一个各种生长格式的范围的图解,在时间 X 中可以得到同样的产量 Y。在任何瞬时的相对生长速率由图形的斜率给出。(据 Rorison, 1969)

任何变化, E 值也会降低的。叶面积比(LAR)是叶面积与总干重的比,并且是总叶干重(W_L)与植株干重比(叶重比, LWR)和叶面积与叶重比(单位叶面积比 SLA)的乘积。

Montieth, 1968)适用于测定大面积的均匀的植物群体的光合作用。

碳水化合物的生产、氧的释放和二氧化碳的利用均受呼吸作用的影响,呼吸作用是利用碳水化合物和氧并产生二氧化碳的。表观的(净的)光合作用是总的(真的)光合作用和呼吸作用之间的差值。黑暗呼吸常用来作为呼吸作用的一种估计量,但在光照下的呼吸作用(光呼吸)却可能高于在黑暗中的(Heath, 1969)。

Heath(1969)和 Šesták 及其同事(1971)介绍了关于测定光合作用方法的详细讨论。

2.2.1 碳水化合物生产

碳水化合物分析虽能显示定性的变化,但不能测量光合作用的绝对速率。然而,较长期的分析(例如经过一个生长季)碳水化合物含量的变化却可用来考察和比较个体对环境的反应(例如 Stewart 和 Bannister, 1973)。有许多分析碳水化合物的方法,蕙酮法(参看 Yemm 和 Willis, 1954)是非常方便的并且以乙醇可溶的和过氯酸可溶的部分测定碳水化合物(即糖和淀粉)。

光合作用生成的碳水化合物会迅速地被运走和迅速地转变成其他的化合物(如氨基酸、蛋白质和有机酸),但只有通过呼吸作用才失掉。因此,整个植株干重的增加提供了净光合作用的一种测量。

萨克斯的半叶法是多数测定干重方法的基础,是快速测定法并适于野外使用。在开始测定时从一系列已知面积的叶片每片取下半片叶子。另一办法是叶子的一侧切取已知面积的小圆片。叶子的另一半是在结束时采下。自叶片的运输和叶面积的变化是误差的来源。挺展的叶片是展开的,单位面积的干重较低,而萎缩的叶子可因失水和叶面积收缩而使干重表观增加。运输作用相当于从叶片的净损失,可用覆热蜡于叶柄杀死韧皮部的办法加以阻止,但光合作用产物的积累又会影响光合作用的速度。运输作用可借测定置于黑暗中的叶子测出,不过运输作用和呼吸作用速率在光照下可能均较高,因之在暗中测出的值可能偏低。叶面积变化若在开始时和最后摘取时均进行测量,则可计算出来(Pontsmouth, 1949)。

假定照光的叶子和黑暗中的叶子其运输作用和呼吸作用是相同的,则总光合作用可从下式算出:

$$P = W_2 - W_1 + r + t$$

式中 P 是由于光合作用而增加的干重, W_2 和 W_1 为终了时和开始时叶样品的重量, r 和 t 是由呼吸作用和运输作用的损耗。

如在黑暗中重量的变化(W'_1, W'_2)只是归因于呼吸作用和运输作用,

$$W'_1 - W'_2 = r + t$$

则

$$P = W_2 - W_1 + W'_1 - W'_2$$

采样适当时

$$W_1 = W'_1$$

所以

$$P = W_2 - W'_2$$

2.2.2 二氧化碳(CO₂)的吸收

光合作用使大气中 CO₂ 的浓度(0.03%)减低到较低的水平,在测定光合作用时这是肯定可以测到的。光合作用和气孔开度两者均受 CO₂ 浓度变化的影响。在一同化小室中

降低 CO₂ 浓度,能限制光合作用速度,引起气孔开度增大 (Heath 和 Williams,1948) 和增加蒸腾作用;导致水蒸气压力的增高和保留较多的热(图 5.6)。小室的材料会改变短波辐射的平衡,使光合作用速度减低或甚至增加(Jarvis, 1970)。阻留长波辐射会导致严重升温。小室的气候问题比在野外条件下更为尖锐。Lange 及其同事(1969)曾使用一设备优良的(造价昂贵的)小室,能再现外界环境的条件。该小室能提供试验的环境,但仍是有争论的,因为不能再现叶片的环境(Jarvis,1969)。另一种办法是仅短时间地使用小室(Lange, 1962)。在实验室测定中,许多因子与光合作用速率有关,这个问题可借观测小室的微环境的成分加以部分地解决。但把实验室的表现同野外的表现联系起来仍有困难,因为盆栽植物的生长是不同的,并且脱离了自然条件下存在的竞争和遮阴。

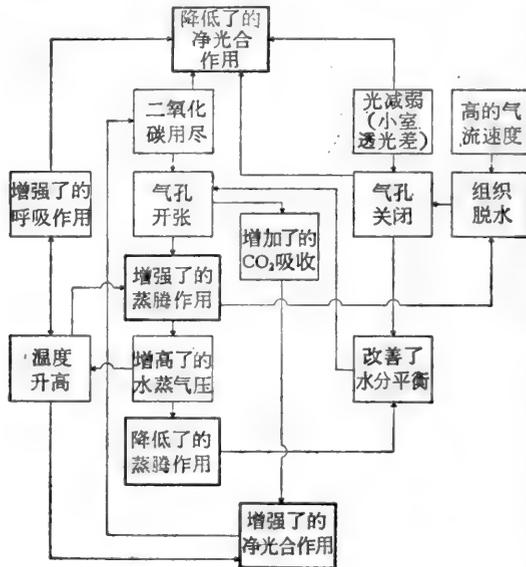


图 5.6 将植株的一部分封闭在小室中进行光合作用或蒸腾作用的测定可能出现的一些结果

借 CO₂ 的吸收测定光合作用的方法需要一个对少许变化敏感的仪器和一个充满气体的系统。该系统包括在开放或封闭系统中使用植物的一部分的小室。

(a) 封闭系统

如一植株封闭于一已知体积的小室中,并在其进行光合作用时测定二氧化碳浓度的变化,则可测出光合作用强度。然而,多数的分析方法需将小室排空。空气必须适当地混合均匀以减低二氧化碳的浓度梯度,这样才能进行直接测定。由于二氧化碳的耗尽和小室的气候问题,封闭时间要短。封闭系统有时与某种连续流的方法相结合。在一体积大的系统中二氧化碳浓度的变化是小的,必须准确地测量。而当空气体积小小时,二氧化碳迅速地被用尽,从而会影响光合作用(图 5.6)。

植物产生的挥发性物质在封闭系统中能累积起来并抑制光合作用,或甚至记录在测定系统上。因之封闭系统须具备一高度灵敏的测定系统和一个大体积的环流空气。

单位时间的吸收速率(U)见下式:

$$U = \frac{v(c_1 - c_2)}{t_2 - t_1}$$

式中 v 为系统的容积, c_1, c_2 为开始时和终了时的浓度, t_1, t_2 为开始和终了的时间。

二氧化碳可以非常低的速率注于封闭系统中;当达到稳定状态时注入的速率与光合作用速率相等(Meidner, 1967)。

(b) 开放系统

在开放系统中通常有一从外源来的气流,是借使用一大型贮气钢瓶来调整外源的 CO_2 浓度的。通过植物之前和以后的二氧化碳浓度均须测量。气体流速也必须测量。由下式求出吸收量。

$$U = f(c_1 - c_2)$$

式中 f 为流速,其余符号如上。

流速缓慢可得出大的浓度变化,而易于测量,但确定经过叶片的浓度则变得困难(Heath, 1969),并且慢的速度会发生干扰(图 5.6)。高的气流速度需要更为灵敏的测定方法。气流速度过高会导致脱水、气孔关闭和降低光合作用。

Ungerson 和 Scherдин(1968)曾介绍过一个野外使用的方法,其中通过植株的二氧化碳用一相似的不带植株的样品加以吸收和比较。

(c) 联合系统

在半封闭环流中,已知 CO_2 浓度(c)的空气缓慢地加入到一具有较快流速的连续空气环流中。令空气以其进入的同一速度逸出。当恒稳状态的光合作用出现时,在此系统密闭部分中的浓度是恒定的。这样达到零点使方法灵敏。

进入小室中的 CO_2 的量是进入的量(f_1c_1)与在系统中环流的量(f_2c_2)的和。逸出的数量是环流的量(f_2c_2)与逸出系统量(f_1c_2)的和。因之

$$U = (f_1c_1 + f_2c_2) - (f_2c_2 + f_1c_2) = f_1(c_1 - c_2)$$

围绕系统封闭部分(f_2c_2)的流速在计算同化作用速度时是不需要的。

(d) CO_2 的测量

红外线气体分析仪可能是适于测量 CO_2 浓度的最为灵敏的仪器(Browman, 1968)。仪器的原理是借二氧化碳吸收红外线。水蒸气也吸收同一光谱范围的辐射,因此在测定前气流须经干燥,或用滤光片(干扰滤光片或用水蒸气充满的过滤器)消除水蒸气的影响。仪器也可以用于测定水蒸气(Decker 和 Wien, 1960)。在新式的示差仪器中,红外光源进入一含有已知标准(空气和 CO_2 的混合气体或不含 CO_2 的空气)的样品杯中,和另一个含有未知样品的杯中。不被小杯吸收的红外线进入一充以 CO_2 的测定装置的两个小室中。不同的样品产生不同的热,从而推动测定装置内的隔膜。任何移动均转变成电信号。示差仪器可用于以进入空气作为标准的开放环流系统。灵敏度增高了,但计算须非常小心(参看 Ludlow 和 Jarvis, 1971)。

2.2.3 氧的释放

多数方法使用溶液,故对水生植物更为适宜。萨克斯的气泡计数法,尽管经 Wilmott (1921)和 Audus(1953)做过改进,仍是不适于定量测定的,除非测定氧的浓度。氧的浓度可用化学方法测定。Winkler 滴定法被广泛使用(如 Garritt 和 Carpenter, 1966),Heath (1969)曾推荐使用经 Miller(1914)改进的 Linossier 法。化学方法曾被用来与流动系统相联接(参看 James, 1928),但进行连续测定却没有比红外线气体分析仪那样灵敏的仪器。然而,具适宜电极(氧电极)的极谱法可以测定氧饱和度的变化(参看 Šesták 及其同事,1971)。由于二氧化碳在水中的扩散比在空气中缓慢得多,在测定水生植物的光合作用时常加入氢碳酸盐缓冲液(提供瞬时的 CO_2 供应)。缓冲液产生较高的 pH 值。瓦尔布格法可用于测定水生植物的光合作用(如 Spence 和 Chrystal, 1970)。由于氧和二氧化碳在液体介质中的溶解度不同而产生压力的变化。但是必须假定在同一瓶中二者的关系是已知的,或使用容积不同的一系列平行的瓶子,或为保持恒定的二氧化碳浓度而使用缓冲液(Heath, 1969)。

2.2.4 野外光合作用的测定

在野外测定光合作用时的主要问题是在测定过程中保持“自然的”条件(尤其是在使用同化小室时)。这已在别处讨论过了(2.2.2)。

对小室气候问题的一个解决办法是将植物的部分只密闭很短的时间(参看 Lange, 1962; Ungerson 和 Scherdin, 1968),另一个办法是不用一个小室并分析总的能量流和 CO_2 流。这需要精密测定,并且,如果计算要准确的话,还需要理想化的均匀植物群落(Mou-tieth, 1968)。

半叶法的价值在于植物的环境相对的不被破坏,但切下半个叶子会引起某些生理学的变动。

在野外最常用的方法是使用同化小室。红外线气体分析仪和电导测定两者均曾被成功地用来测定 CO_2 含量。为了野外使用,需要一个适宜的电源;这样包括一移动的实验室(参看 Eckardt, 1968),但由 Ungerson 和 Scherdin (1968)改进的电导法则便于携带的。在野外,外界的气候是不能控制的,在温带气候条件下,湿空气被吸引通过沿着冷的在地面上拖着的管子,而在管子中和测量仪器中冷凝。

短时间测定水生植物的光合作用可用极谱法(参看 Šesták 及其同事,1971)。放射性二氧化碳(在一密闭的同化小室中来自一氢碳酸盐给源)曾被用来测定在淡水中游离生活的藻类的光合作用速度(参看 Campbell, 1972; Vosnesenskii 和 Zalenskii, 1971)。(使用标记的二氧化碳($^{14}\text{CO}_2$)测定总生产量已在第四章讨论过了。)用藻类的种群测定放出氧的总量或甚至生物量的变化提供了一更为容易应用的技术。

光合作用的野外测定可能与实验室的测定不同。实验室的植物通常生长得很好并且供给了近乎最适量的所有必要的生长条件。因之,甚至当处在不利的条件下,它们也将因其有利的前期生长而产生影响。与此相反,田野的植物则处在对光、空间、营养的竞争当中,并且通常是处在水分紧张的条件下的。所以某些工作者(如 Hesketh 和 Baker, 1967)曾将光合作用区分为生理的最适和生态的最适(图 5.7)。

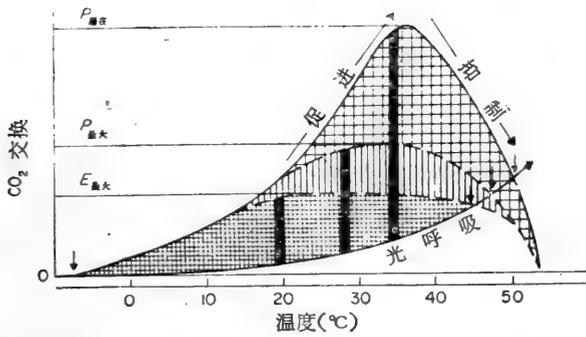


图 5.7 一种植物光合作用、呼吸作用、温度与生理的和生态的反应之间的关系。P 潜在，总光合作用的潜在的生理学最大值(所有需要，包括 CO_2 均在最适水平)。P 最大，生理学最大值(CO_2 起限制作用)。E 最大，生态学最大值(多数因子起限制作用)。垂直粗黑线代表净光合作用的最适点。垂直箭头表示温度补偿点。(引自 Hesketh 和 Baker, 1967; 和 Harcher, 1969.)

2.3 呼吸作用

在 2.2 节中讲到的方法大多数可用于呼吸作用的测定。黑暗的容器可以阻止光合作用，但必须估计到其内部条件与透明小室的内部条件有很大的不同。 CO_2 的释放是易于测定的，亦可借干重的减少来测定呼吸作用(如 Grime, 1966)，或用氧的消耗来测定。在多数生态学研究应用中应用暗呼吸，对于测定光呼吸尚无简单的和可靠的方法，而光呼吸与暗呼吸是不同的(Jackson 和 Volk, 1970)。

测定呼吸释放 CO_2 的其它方法在第四章(第 3.2 节)中与分解和土壤呼吸问题一起讨论过了。

2.4 补偿点和光合作用最适点

植物生理生态学者通常希望比较不同的物种以便作出生态学的判断。经常需要在一个相对短的时间里对很多物种加以比较。光合作用与温度之间的关系(图 5.7)和光合作用与光的关系为测定各种的重要数值提供了基础(图 5.8)。光和温度是两个主要的环境的变量，虽然 CO_2 浓度会限制光合作用，但空气中的 CO_2 浓度是相当恒定的。

光合作用与温度的关系使得由于温度过高或过低使表现的光合作用停止的温度(高温补偿点和低温补偿点)和对最适光合作用的温度或温度范围可以估测。在测定之前须考虑影响于这些补偿点的植物的前一段历史和有一使其稳定的阶段。短时的测定与长时间测定相比会得出较高的最适温度(Jost, 1906; Larcher, 1969 b)。在一持久的测定期间植物将发生生理的、解剖的和形态学的变化，从而改变其与光合作用环境之间的关系(Mooney 和 Shropshire, 1968)。

与光的关系有两个重要的值(图 5.8)。表现的光合作用停止的低光强度(光补偿点)，和一旦超过但光合作用不再增加的光强度(光饱和点)。这些值受植物前期的历史的影响，如在比较阳生植物和阴生植物时所看到的(参看 Larcher, 1969 a)。吸收 CO_2 的阻

力可能决定光饱和点,因此当植物气孔关闭时发生在光饱和点的突然遮断,但当扩散阻力低时则可能是逐渐的(参看 Heath, 1969)。当对绘制曲线只有很少数值可用时,光饱和点也是难于测定的。

光和温度对光合作用的影响存在着互相作用。在光强度大时最适点移向较高的温度方向,并且,光合作用的温度低限和高限也将扩展(例如 Pisek 及其同事,1969)。

必须准确地测定 CO_2 同化作用才能测定光合作用的最适速度和在饱和点时的光强度。然而,补偿点—— CO_2 浓度及有净变化的点——是容易测定的,因为只需测定光合作用的存在与否。

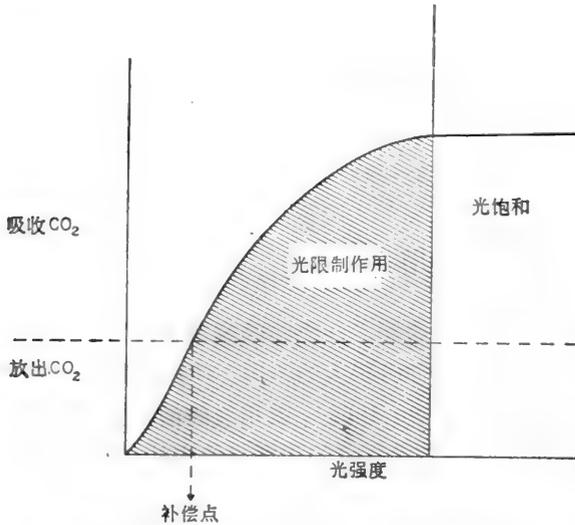


图 5.8 CO_2 交换与光强度之间关系的图解表示

2.4.1 光和温度补偿点

在一点上净光合作用恰好停止,干重是恒定的(因没有光合作用之得和呼吸作用之失)并且也没有 CO_2 浓度表现的变化。所有这些现象简化为补偿点的测定。

曾用在一系列光强度下漂浮在水上的叶小圆片的干重与未经处理的对照样品相比较来测定光补偿点(Grime, 1966)。叶小圆片的淹水和下沉以及从切口边缘的溢泌与扩散是产生误差的来源。由于水温易于控制此方法可用于高的温度补偿点的测定,但不适用于低的温

度补偿点,因为多数无害的溶液会冻结。

氢碳酸盐指示剂(Lieth, 1960)是由氢碳酸盐溶液与一合适的指示剂配制成的,并与正常的空气相平衡,这种氢碳酸盐指示剂是对 CO_2 浓度变化敏感的。Martin 和 Piggott (1965)曾使用一种氢碳酸盐指示剂测定土壤中 CO_2 浓度,并且已被改进作教学使用(参看 Nuffield Biology, 1966)。在 Lieth 的指示剂中, CO_2 浓度的增加因酚红指示剂吸收 CO_2 而使颜色由红变黄。如 CO_2 因光合作用而消耗,此混合液释放 CO_2 同时颜色保持不变和加深。颜色恰好发生变化之点可用来测定补偿点(参看 Pisek 及其同事,1967)。如果使用一系列重复样品,则引起50%样品变色的条件可作为适当的补偿点的最好的测定。

此法可用于测定光补偿点以及高温与低温两种补偿点的测定。

所有的补偿点均由光补偿点和温度补偿点之间的关系综合形成的。当温度增高时光补偿点发生在较高的光强度下。这种关系(参看 Meidner, 1970)预示植物的一部分在一定的光和温度下将进行光合作用或是呼吸作用,并且在种间的比较上和甚至在植物群体生产的简单模型上有用处。

2.4.2 二氧化碳“补偿点”

这个值在生态学研究中极少应用。这是一个补偿点,即没有表观的 CO_2 流入和流出。但它对呼吸作用和光合作用的关系并不是直接的,同时有些工作者(如 Heath, 1969)提出使用中性的符号 Γ 。二氧化碳补偿点可用红外线气体分析仪测定,在一密闭系统中空气环流经过照光的叶片直至二氧化碳浓度保持恒定。也可以用一叶片在一密封容器中达到平衡,并借适宜的方法(例如滴定)测定 CO_2 而得到。

由于二氧化碳补偿点是光合作用能发生的最低浓度,故曾用来测定叶绿体的 CO_2 浓度。此浓度对植物群体和植株的光合作用模型是需要的(例如 Ludlow 和 Jarvis, 1971)。

具有另外的光合作用 (C_4) 途径包括黑暗的羧化作用在内的植物(Hatch 及其同事, 1967)可使二氧化碳补偿点降至零(Meidner, 1967)。当光、温度或水不成为限制因子时,可保持 CO_2 浓度有一陡的梯度,并使二氧化碳同化作用加强。因之, CO_2 补偿点的研究将能帮助鉴别出具有潜在的高同化作用和生长速度的物种。

3 温度关系

3.1 植物温度的测定

空气温度和植物温度很少是一致的。因此需要直接测定植物的温度。这对大的器官是简单的,但对那些具有小的热容量的器官,如叶片,则是困难的。

短波光为叶片以各种各样的情形所反射和透射,余下的是被吸收的可变数量,而长波光则几乎全部被吸收。叶片因再辐射而损失一些能量,但多数是通过蒸腾时水的蒸发或通过关闭气孔的对流。在白天,能量净增导致叶片的温度超过空气温度,而在夜间,净辐射损失则使叶片温度低于空气温度。大形叶片,暗绿色的叶片和蒸腾强度低的叶片均能引起高的叶片温度,而小形的,颜色浅的和蒸腾强度高的叶片则较容易散失热量(参看 Lange 和 Lange, 1963)。

温度计务必不使待测器官的温度发生变化。水银温度计插入树干中可能不致影响树干的温度,但同一温度计却会对叶片的温度产生很大的影响。温度计可因传导、遮阴,蒸发和蒸腾,或机械干扰而影响叶片的温度。虽然如此,研究工作者仍是将叶片包在水银温度计的水银球上来测量叶片温度的(参看 von Guttenberg, 1927)。更满意的方法是使用热电偶和热敏电阻(参看第七章)。小型热电感受器的热容量比植物组织要小得多,但要想得出正确的温度测定,在器官和感受器之间的接触一定要良好。通常使用夹子(图 5.9),使夹子一定不能扰乱器官的温度状况;一个大的夹子带一个小的感受器将同一大的感受器一样有害。

大型肉质叶片的温度可用插入带有热电偶(Lange, 1953)或热敏电阻(Lange, 1965, a)的针来测量。

每一感受器和甚至全部测量系统均须事先绘制标准曲线(Perrier, 1971),因为它们与温度并没有绝对的关系。

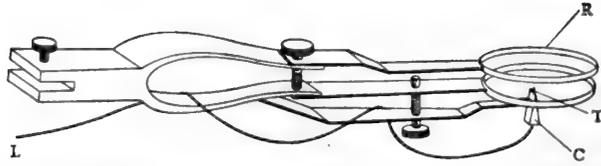


图 5.9 在叶子的背面安置热电偶的夹子。T, 热电偶; C, 软木片; R, 夹环; L, 导线

价格昂贵的辐射仪用于测量叶片温度较为理想, 因其不需与叶片接触。然而叶片很少有静止的, 甚至遥感辐射仪也会引起叶片辐射背景的改变。Perrier(1971)曾对各种类型的遥感感受器作过讨论。

3.2 植物对极端温度的忍耐力

3.2.1 高温

在日照下叶片温度通常高于气温。在酷热气候下存在着热害的实际可能性, 45—55°C 的温度通常引起植物器官的死亡。Lange 和 Lange(1963)曾记载金银花的叶片温度为 47.7°C(比气温高 18.4°C)。在寒冷气候下植物器官会使温度增高, 以比较适合于代谢活动。一种在寒带分布的悬钩子(*Rubus chamaemorus*)的叶片, 在自然条件下曾被描述为“触热”, 并且从理论上曾报测约为 40°C(Idle, 1970)。

植物器官抗热性的测定可找出在超过时便可能发生伤害的温度, 但也可用于研究不同物种对温度状况的适应。高的抗热性可从低海拔的植物在酷热的夏天和达到很高温度的叶片中找到(Lange, 1961); 高海拔的植物抗热性较低, 低温(Lange, 和 Lange, 1962)和凉爽夏季(Bannister, 1970)的叶片的抗热性也较低。高的抗热性与高的抗寒性和抗旱性常相伴随(参看 Kappen, 1964), 并且可能都是与一个共同的生理机制有关。

3.2.2 低温

在中纬度地带、极地和高山地区, 植物遭受冬季严寒而可能引起植物组织的伤害。秋季和冬季温度的突然变化会杀死敏感的物种, 或引起足以改变它们竞争能力的伤害。在自然条件下多数植物对一般温度是能很好适应的, 但很可能在特殊寒冷的年份被杀死。Polwart(1970)已证明在阿盖尔海岸的笃斯越桔(*Vaccinium uliginosum*)可抵抗低于 -30°C 的冬季温度, 但在该地区两年研究期间记录的最低温度均不低于 -10°C。

很可能在秋季和春季发生组织伤害, 那时是刚获得抗性或失去抗性的时候。低温的最大抗性常常是由地理来源决定的, 来自较冷气候下的植物与那些来自温暖气候下的植物相比, 表现了较强的抗寒性, 甚至当它们生长在同一地点下也是如此(参看 Till, 1956; Flint, 1972)。

极端的温度不仅引起物理的伤害, 也会产生生理的紊乱。置于并不引起明显伤害的低温之下, 会使光合作用强度降低达数天之久(Pisek 和 Kemnitzer, 1968)。生态学家有忽视研究这种影响的倾向。

3.2.3 对极端温度忍耐力的测定

用放置植物或植物的一部分于相应温度下经过一定的时间的办法来测量抗性。使用整株植物较为理想，但也受植物大小的限制。该方法显然不适用于对成长的树木的研究，尽管在异常的酷热或严寒期间从植物死亡的研究中可以得到有价值的资料。不巧的是那样的期间是不常见的，并且受影响的物种也太少(Bannister, 1973)。

如果大量植株可以置于极端温度之下，则 50% 的植株死亡的温度，便为比较的目的提供一个标准。此方法将不适用于抗热性的测量，因为干旱的影响和热的影响难于区分，除非将植物置于非常湿润的空气下。

在多数情况下可以测定植物离体部分的温度抗性，因为它们与对整株植物测定没有很大差别(Lange, 1965 b)。测量植物或植物一部分的抗热性的最简单方法，是把它们浸在适当温度的水中经过 30 分钟(Lange, 1961)。样品可以直接浸入水中或封闭于一合适的容器中，如用聚乙烯膜做的密封的信封。被放置的组织的生理状态是重要的，最好使用充分膨胀的组织，因为水分亏缺存在时通常会导致抗性的增强 (Kappen, 1966; Bannister, 1970)。

冷却和融化的速率曾被发现在抗寒性的测定上是很有影响的 (Levitt, 1966)。通常采取措施使结冰和融化的速度常与自然条件下的情况类似。使用的冷却装置可从在 Dewar 瓶中的冰盐冷剂 (Ulmer, 1937) 到冷冻器 (Irving 和 Lanphear, 1967)、酒精蒸发器 (Till, 1956) 或用水加酒精(或水加乙二醇)的冷冻池 (Polwart, 1970)。温差电冷却是可能的，但为达到足够低的温度所需的容量，将是相当大的。

在测定抗霜性和抗热性上的主要问题不是如何处置样品而是怎样对引起伤害的判断。最简单的方法是把样品放在湿润的空气中(或将它们的断口浸于水中放置在一密封的容器内)并检查伤害征状的表现。这些征状包括变褐或变黑、外表光滑或透明，而且在腐解之前有一种特殊的甜味或臭味。在征状出现之后，对样品可进行检查并以半数样品致死的温度作为标准。如果使用个别的叶片或茎地上部，则计算叶面积或地上部面积的 50% 受伤害时温度(Lange, 1961)。伤害的出现常需要几天的时间，偶尔需几周或甚至几个月。较快的方法包括：用原生质环流停止作为组织伤害的指标 (Alexandrov, 1964)、测量样品淋洗物的电导度、或使用活体染色技术。组织的伤害导致半透性的丧失并释放电解质于周围溶液中，因此淋洗物的电导度越高伤害就越重。活体染色(常用一种四氮茂盐)的数量随组织伤害的增加而减少(参看 Steponkus 和 Lanphear, 1967)。四氮茂盐类试验以在中性 pH 值和黑暗中进行最好：它们对测定由于热或毒物致死是无效的，同时要小心把由于微生物存在的染色区分开 (Mackay, 1972)。无论使用二者之中哪一种方法均需要样品标准化和确定伤害的上限和下限。健康的组织可能释放出一些电解质，彻底伤害了的材料也会发生某些活体染色，因此加进去未处理的对照和完全杀死的对照是必要的。表示结果的最简单办法是计算处理样品的伤害(C)与未伤害的对照(C_0)与完全杀死的样品(C_d)的差值的比例，亦即：

$$I = \frac{C - C_0}{C_d - C_0}$$

Flint 及其同事(1967)提出了一个把样品大小的差别考虑进去的一个较为复杂的指

数。如果完全伤害了的样品与用热杀死的对照产生不同的电导度，则这个指数便不适用了(Banrister, 1970)。

图 5.10 是将直接观测的和比电导度测定的抗热性比较。在 50% 伤害发生时的温度是非常一致的，尽管在指数的其它水平上温度的差别可能大些。

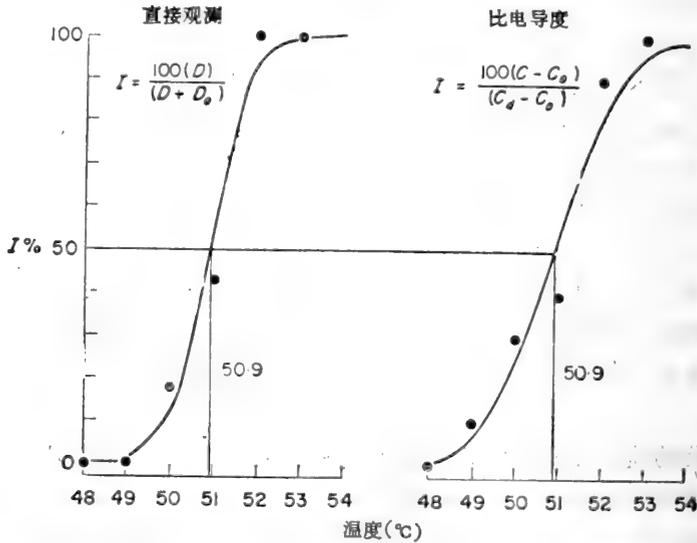


图 5.10 帚石南(*Calluna vulgaris*)的抗热性，1968年1月。引起50%伤害的温度的两种不同测定方法的比较。 D ，受伤害的数量， D_0 未受伤害的数量(肉眼测定)。 C, C_d, C_0 ，分别代表伤害的样品、完全伤害的样品和未伤害样品的电导度。曲线是根据概率单位分析绘成的。

4 水分关系

4.1 引言

本节重点是讨论水分平衡，失水的控制，和对脱水的抗性，所有这些在植物的水分关系与其生态幅度的关联方面都是重要的。对吸水未作考虑，虽然在过去曾对来自不同生境的植物进行过比较(参看 Huber, 1928; Haines, 1928)。

蒸腾控制的研究比蒸腾速度的不精确的测量对生态学家似乎更为重要(参看 Maximov, 1929, 1932)，同时叶片对水蒸气和二氧化碳扩散阻力的考虑引导到建立许多数学模型，这些模型可以预测生理学的和生态学的反应(参看 Lewis, 1972)。

植物的水分关系不能孤立地考虑，因为水分平衡的变化影响其它生理过程如气孔关闭，从而影响到光合作用速率。其它环境因子、水分平衡和其它生理过程之间的相互关系，在前面的章节中(2.1 和 2.2)已讨论过了。

4.2 植物组织的水分状况

4.2.1 含水量

植物组织的含水量(W_d)通常是从样品的鲜重或田间重量(f)和其干重(d)计算出

来,并按下式表示:

$$W_d = \frac{f-d}{d}$$

或以百分数表示:

$$W_d = \frac{100(f-d)}{d}$$

这种表示受干重成分变动的强烈影响。在充分饱和时含水量与干重之比(亦即 s/d)并不是恒定的,在种群、物种、单一物种之器官、甚至同一植株的不同叶片之间是有变化的。木本植物或木质的组织的 s/d 比肉质的植物或组织要低。 W_d 的使用对同一植物的一系列测定是可以接受的,但干重可表现相当的年份变动和季节变动(Weatherley, 1950)。经常用来测定水分平衡的叶片,表现明显的年变化,这与碳水化合物的生产、利用和运输有关。这些变化会引起 W_d 的变动,甚至当组织的绝对含水量保持恒定时也是如此。

幼嫩的组织有高的 s/d 比,因此 W_d 在生长季节的早期高,在休眠季节则降至最低(图 5.11)。

相对含水量(W_r)是 Weatherley(1950)的相对紧张度在考虑 Walter(1963)的批评后加以改变的名称,至少在理论上是不依赖于干重的。它是对 Stocker(1929)的水分亏缺(W_s)的补充。两者通常以百分数表示:

$$W_r = \frac{100(f-d)}{(s-d)} \quad W_s = \frac{100(s-f)}{(s-d)}$$

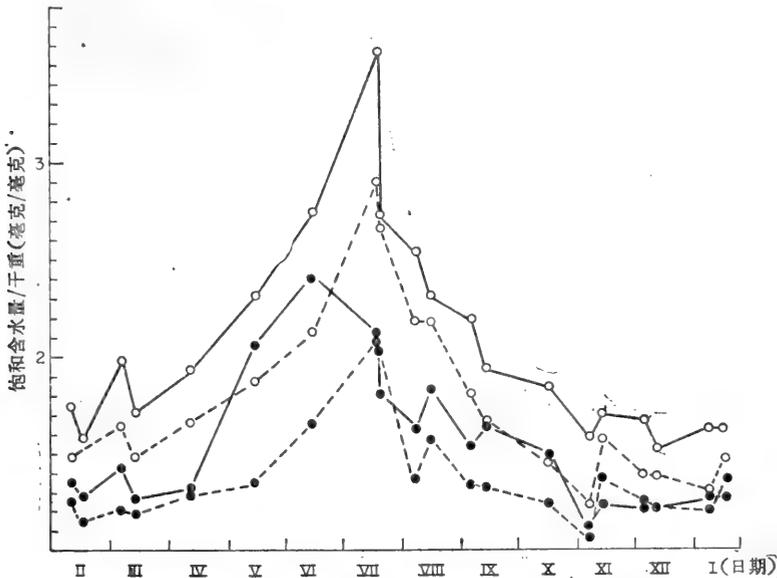


图 5.11 在四种石南荒原灌木中饱和含水量/干重的年进程。—○—*Calluna vulgaris*;
---○---*Erica cinerea*; —●—*Vaccinium myrtillus*; ---●---*Erica tetralix*.
(据Bannister, 1970, 重绘的)。

4.2.2 相对含水量的测定

通常在实验室测定含水量比在野外企图进行直接测定要方便得多。一个主要问题是

运输过程中的失水，这在使用切断的茎秆时并不那么严重，但当使用离体叶片或切下的叶小圆片时则严重得多。茎秆可于采样后立即置于加塞的容器中，同时称重，令其吸水达饱和，再称重，然后烘干再称重(图 5.12)。运输时失去的水分保留在容器内，并计算在野外含水量中。如果在采样和置于水中期间吸水减少则可引起误差。有些物种在短期贮存后发生这种情况(Glausen 和 Kozlowski, 1965)，而另一些物种则无此表现(Bannister, 1964 c, Glausen 和 Kozlowski, 1965)。在进行任何研究之前必须研究贮放的这种影响。

使用叶小圆片须更加注意，由于短时间失水非常快，贮放使切口边缘变干和封闭，叶小圆片重量或增或减，或甚至在测量期间进行生长。在细胞之间水的注入叶小圆片会造成水分饱和。失水和贮存的问题可借快速采样置于容器中，随即称重并迅速置于水中来加以解决。野外携带适当的器皿或测定靠近实验室生长的植物是可以做到这一点的。

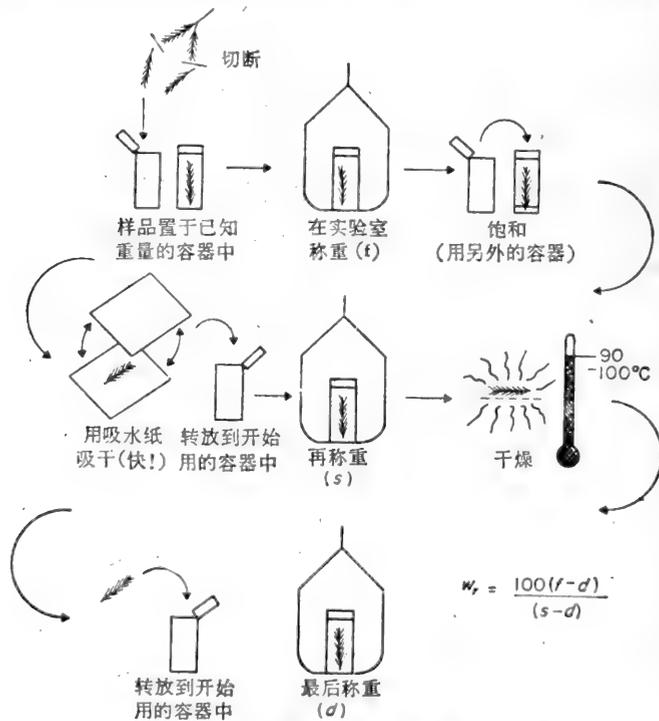


图 5.12 测定相对含水量的程序

由于呼吸作用和光合作用引起的重量变化必须减至最小，办法是在光强度等于或近于补偿点下使叶小圆片再饱和(Stalyer, 1967)，不过用缩短吸水时间的办法可以得到最佳的控制(参看 Jarvis 和 Jarvis, 1963 b)。

叶小圆片或切下的叶小片吸水量常比完整叶片要大(Hewlett 和 Kramer, 1963; Glausen 和 Kozlowski, 1965)，而叶小圆片的大小也会影响水的吸收(Barrs 和 Weatherley, 1962)。Čatský(1960)曾使用一种方法，将叶小圆片放入在饱和的泡沫塑料上打的洞中，漂浮的叶圆片常表现不定期的吸水，被认为是生长的缘故。

4.2.3 水势

粗放的含水量测定不能提供在一植物组织中水分张力的情况。水势(ψ)提供一较为

适当的水分张力的热力学度量, 并同在系统中某些点上的水的化学势 (μ_w), 与在同一温度下纯的自由水的化学势 ($\mu^{\circ}w$) 的差值有关。在习惯上测量植物水势用压力单位 (亦即用大气压, 或后来用巴), 这是由化学势的能量单位用水的偏克分子体积 (V_w) 除而得来的 (表 5.1)。

表 5.1 水势的各种表示换算表

大气压 (STP)	巴	Nm ⁻²	Jg ⁻¹	水柱高 (m)
1	1.013	1.013 × 10 ⁵	0.1013	10.33
0.987	1	10 ⁵	0.1	10.17
9.87 × 10 ⁻⁶	10 ⁻⁵	1	10 ⁻⁶	1.017 × 10 ⁻⁴
9.87	10	10 ⁶	1	101.7
9.70 × 10 ⁻²	9.833 × 10 ⁻²	9.833	9.833 × 10 ⁻³	1

在换算中假定 1 厘米³的水重量为 1 克。

$$\psi = \mu_w - \mu^{\circ}w = RT \ln \left(\frac{e}{e_0} \right)$$

式中, e, e_0 是在系统中水的蒸气压和在同一温度 (T) 下纯水的蒸气压, R 为气体常数, T 为绝对温度 (°K)。

植物细胞和组织的水势通常小于零 (亦即为负值), 因为纯的、自由水的化学势是零。在多数植物系统中水是处在某些限制的形式下, 从而使其化学势降低。从前关于水分张力的测定, 如 Ursprung 和 Blum (1916) 的吸水力 (“Saugkraft”), 和 Meyer (1945) 的扩散压亏缺 (DPD), 均使用正的压力单位, 并与水势的概念相似。某些工作者 (如 Tinklin 和 Weatherley, 1968) 曾使用水势亏缺, $\Delta\psi$, 也用的是正值。

植物生理学家通常认为细胞的水势是两个力的合力: 在细胞液中溶质引起的水势降低 (ψ_s) 和一种称为胀压 (ψ_p) 的一种分压力。

因此:

$$\psi_{\text{细胞}} = \psi_s + \psi_p$$

式中 ψ_p 常为正值, ψ_s 为负值。在叙述上则常用 DPD 这样的专门名词, 如

$$\text{DPD} = \text{OP} - \text{TP}$$

胀压的直接测定 (参看 Arens, 1939) 通常不为植物生态学家所利用, 同时胀压通常从 $\psi_{\text{细胞}}$ 和 ψ_s 之差求出。 ψ_s 经常比 $\psi_{\text{细胞}}$ 为低 (亦即更负些), 并且这被用来作为在细胞和组织内部负压出现的证据 (参看 Grieve, 1961)。公式中所给出的关系是一个简化的, 并且 ψ_p 和 ψ_s 以外的力也对细胞的水势有影响, 同时负胀压虽然从理论上说是可能的, 但却是不存在的 (Slatyer, 1967)。

(a) 在水势测定上组织特性的应用

适当的组织样品在已知渗透势的溶液中或溶液上达到平衡时, 在重量、长度和体积上的变化常被用来测定水势。

在采样和达到平衡期间, 组织的任何水分丢失均将导致水势测定的误差, 在节 4.2.1

中提出的注意事项是有用的。

组织须在恒定温度下在具有不同浓度范围的溶液中或其上达到平衡(因水势受温度的影响)。溶质一定不要被平衡中的组织大量吸收(参看 Slatyer, 1967),蔗糖和甘露醇的溶液虽不理想却常被使用(Barrs, 1968)。聚乙二醇(碳蜡)曾被用来调整培养溶液的渗透势,也可用于组织平衡(Jarvis 和 Jarvis, 1963 c)。从组织向外的溢泌也能引起误差,特别是当使用的平衡液量少时为甚(Gaff 和 Garr, 1964)。

对于浸泡在溶液中的组织,比较短的平衡时间(大约两个小时)就足够了。重量或组织的其它特征必须在平衡之前和以后均作测定,同时当用吸水纸吸掉多余的溶液时要特别小心,因为不适当地吸水会使重量发生变化,而粗放的操作是会引起损伤的。

借从组织对浸泡溶液的变化曲线中找出与组织的水势相一致的溶液(图 5.13)。溶质平衡是不适于测定引起质壁分离的水势的(Slatyer, 1958),由于在质壁分离的细胞内保持有外界溶液,并且细胞壁的紧张度阻碍质壁分离的组织的重量和大小的进一步变化(图 5.13)。这些缺点可借使用在已知水势的蒸气中平衡的办法,或借测定溶液特征的办法加以克服,而不用组织的特征。

在蒸气压平衡中,组织并不与溶液接触,因此可以使用各种溶质,例如氯化钠(Owen, 1952; Kreeb, 1960)。植物材料置于一网上放入用泡沫塑料做的小室中(图 5.14)。精密的温度控制是必需的,因为蒸气的水势因温度的少许改变而发生巨大的变化。为此,有些作者已设计并已使用了一种容器,他们声称其中可控制到 $\pm 0.001^{\circ}\text{C}$ (Owen, 1952)。如此精确的控制对于可重复的结果似乎并非必需的(Kreeb, 1960; Bannister, 1971),但在温度方面的较大变动能够引起在小室内的冷凝现象。对于蒸气压法的平衡时间要长些,通常在 24 小时以上,这比溶液平衡法时间长得多;因此,由于呼吸作用会使重量有显著的损失(Kreeb 和 Önal, 1961)。找到不引起组织变化的溶液来测定水势。

蒸气压重量分析技术是在实验室中测定水势的最为简单而有效的方法。

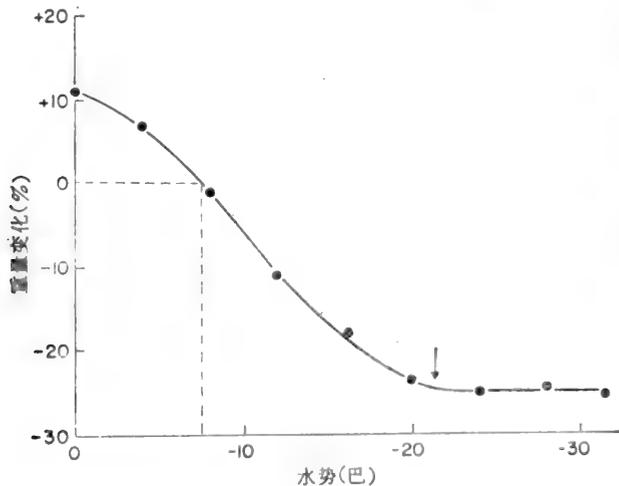


图 5.13 用溶液平衡法测定组织的水势。一个假定的例子。虚线表示不发生变化之点,用以测定组织的水势。垂直的箭头指示在该点上由于质壁分离,此方法变为无效(可用来测定细胞液的渗透势)

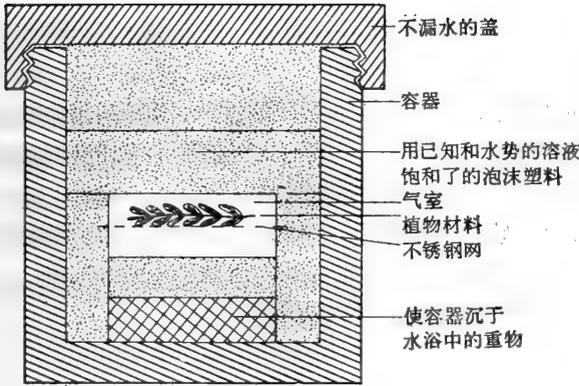


图 5.14 用蒸气平衡法测定植物组织水势的小室

质,因使用溶液量很少而变得重要了(Gaff 和 Carr, 1964; Hellmuth 和 Grieve, 1969)。试验材料可以在平衡溶液中冲洗,并将溶液弃掉,而转放于相同浓度的新鲜溶液中,溢泌和吸收可借选择切口对表面比例适当的样品加以控制。

已被使用过的溶液特性包括溶液的折射率,如蔗糖溶液(参看 Gaff 和 Carr, 1964),和溶液密度的变化。后面这种特性是 Shardakov 所提出的技术的基础(虽然 Barrs(1968)把它追溯得更早),在这种方法中,组织与少量的溶液相平衡,溶液是预先用无毒的染料(如刚果红、溴麝香蓝)着色的。将一滴有色的溶液在原来浓度的无色对照溶液的表面之下缓慢的滴出;从组织吸出水的小滴上升,组织吸入水的小滴下沉。组织的水势从滴入小滴的位置无升降的浓度中测出。对照溶液和测定溶液必须在同一温度之下,因为温度对其密度是有影响的。此法引用于野外测定曾由 Hellmuth 和 Grieve(1969)作过严格的评价。

(c) 测定蒸气或气体特性的技术

与植物组织相平衡的水蒸气的饱和度通常在 95% 以上。在近乎饱和的空气中测定蒸气压的少许变化并不是容易的,而必须使用精确的技术。

Spanner (1951) 的热电法是靠插入于盛有植物材料的小室中的热电偶的冷却的 Peltier 效应(参阅第六章,第 6.3.5 节)。在小室的湿润空气中,在冷却的热电偶联接点上形成水珠。这个小滴的蒸发产生一微弱的电流,这个电流与湿球温度的降低成比例。Richards 和 Ogata (1958) 法是基于湿的和干的热电偶之间的温度差,并在恒定的温度降低之下测定稳定的蒸发速度。

Macklon 和 Weatherley (1965 a) 提出了一种简单的方法,是基于从一微量移液管挤出的小滴的蒸发速度。所有这些器具均用于已知特性的

(b) 溶液特性测定的技术

在与外部溶液相平衡时组织中水的吸收和排出是相等的,因此溶液的特征将是恒定的,并可用来测定组织的水势。

但是,平衡中的组织所吸收的和排出的水量通常是很小的,以致对外部溶液性质的影响很小,因此必须使用最少量的溶液。从尘埃中和切割表面的溢泌得到少量的溶质,或因吸收和吸附而损失少量溶质

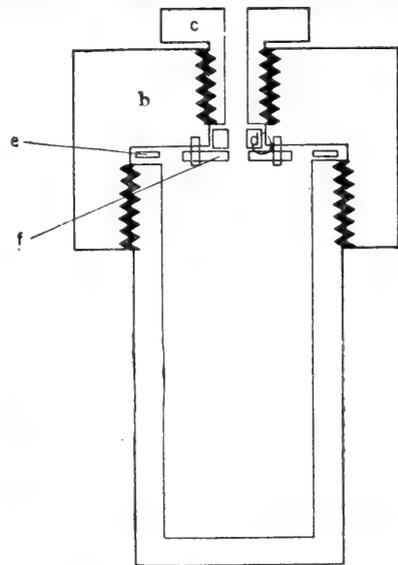


图 5.15 “压力罐”(未表示出活嘴和压力表)。
a. 压力主体; b. 旋在主体上的盖; c. 空心螺钉,不同大小的; d. 软橡皮垫; e. 橡皮垫圈; f. 具孔的圆片,不同大小的(Rainford, 1972)

溶液与蒸气的水势作标准曲线。

有些工作者要求温度的控制非常精确(如 Slatyer, 1958), 而另一些人(如 Macklon 和 Weatherley, 1965 a) 则认为并不是必需的。

Scholander 及其同事(1965)的“压力罐”则是一种根本不同的技术, 因其利用空气压力, 故也被包括在这里。一离体的叶片或枝条, 以其切口一端插入“罐”中, 用软塑料或橡胶将插口封严。向“罐”中增加气压直至从切口处有一滴细胞液流出。此压力用作为水势的直接度量。此法适用于坚硬的组织, 因为软组织很难避免伤害。电导度的测定曾被用于确定终点, 因为从细胞中挤出来的水含有许多溶质, 从而与含低溶质的水有所区别, 后者电导度很低。Richter 和 Rottenburg(1971)曾介绍过适当精制的电极。

4.2.4 渗透势的测定

细胞液的渗透势是水分应力的一项指标。Walter (1931, 1963) 主张原生质的水合作用比水平衡对植物更为重要, 并且他的“水度”(hydrature) 的概念是一种“原生质的相对湿度”, 这与渗透势直接有关。Slatyer(1967)曾批判水度的概念, 而 Walter(1963)则对水势提出批评。

为了测定渗透势必须提取细胞液, 而提取又会影响其成分。用压榨提取会因来自细胞壁的水而冲淡细胞液, 冷冻法会提取出细胞外的溶质, 而煮沸法又会水解细胞内含物和细胞外物质两者。提取出的细胞液除非冷藏起来, 否则能因微生物的变质而使渗透势改变。

植物生理学家和动物生理学家通常均用冰点降低法测定少量样品的渗透势(例如 Walter, 1931, 1963; Ramsay 和 Brown, 1955)。具有渗透势 22.4 大气压的理想克分子溶液降低冰点 1.86°C 。存在着一个正比关系, 即:

$$\frac{\text{未知渗透势 (OP)}}{-22.4} = \frac{\text{未知冰点降低度}}{1.86}$$

可简化为:

$$\text{未知渗透势} = -12.04 \times \text{未知冰点降低度}$$

式中渗透势以大气压表示。易于换算成其它单位(参看表 5.1)。

溶液通常是过冷的并突然结冰, 接着是温度迅速上升到真正的冰点。Harris 和 Gortner(1914)提出对过冷的校正。折射计法(Gaff 和 Carr, 1964)和热电偶及其它方法(参看 Weatherley, 1960)曾在 4.2.3 中介绍过, 可用来测定渗透势。Kreeb(1963)和 Shimshu 和 Livne(1967)曾对使用折射和电导的野外仪器作过介绍。

在“临界质壁分离法”中, 一小条组织被置于已知渗透势的适宜溶液(4.2.3 a)中, 并观察质壁分离。引起 50% 细胞质壁分离的溶液, 用来代表水势, 在此点上原生质恰好离开细胞壁, 胀压刚好为零(亦即 $\psi_p = 0$)

因之, 在平衡时,

$$\psi_{\text{外部溶液}} = \psi_{\text{细胞}} = \psi_s + \psi_p, \psi_p = 0$$

所以

$$\psi_{\text{外部溶液}} = \psi_{\text{细胞}} = \psi_s$$

此法最好用含有有色成分的细胞的组成, 但也可用无色的组织, 尽管有些无色组织是不适用的。Grafts 及其同事(1949)认为此方法的缺点并不是严重到不能使用。

渗透势可以用个别细胞的原生质或液胞的体积 (V_1V_2) 变化来测量, 在恒定的温度下, 渗透势与细胞的体积成反比, 并且在平衡时, 质壁分离了的细胞的渗透势与外部溶液相等 ($\pi_2 = \pi_{\text{外部}}$)。

因为,

$$\pi_1 V_1 = \pi_2 V_2$$

所以,

$$\pi_1 = \pi_2 \frac{V_2}{V_1} = \pi_{\text{外部}} \frac{V_2}{V_1}$$

这是 Hofler(1917)原生质测量法的要点。

4.2.5 水势和相对含水量之间的关系

在植物组织的含水量和水势之间并没有独特的关系。这与土壤的情况相似, 土壤的水分关系常用土壤水分张力来测定土壤含水量(第 6 章)。

Weatherley 和 Slatyer (1957) 对西红柿和水蜡树的水势和含水量之间找到了一种相似的关系。这些, 和后来的大多数曲线是“解吸”(desorption)曲线, 这时挺胀的组织与已知水势的周围达到平衡, 在平衡时的含水量用来作标准曲线, 所以有这样的优点, 即在转移之前的水分丢失的问题似乎不那么重要(参看 4.2.3 a)。对于一特定的物种, 这个关系被认为是恒定的并各具特点的(Slatyer, 1960), 但同一种的不同植株却可因试验情况而改变

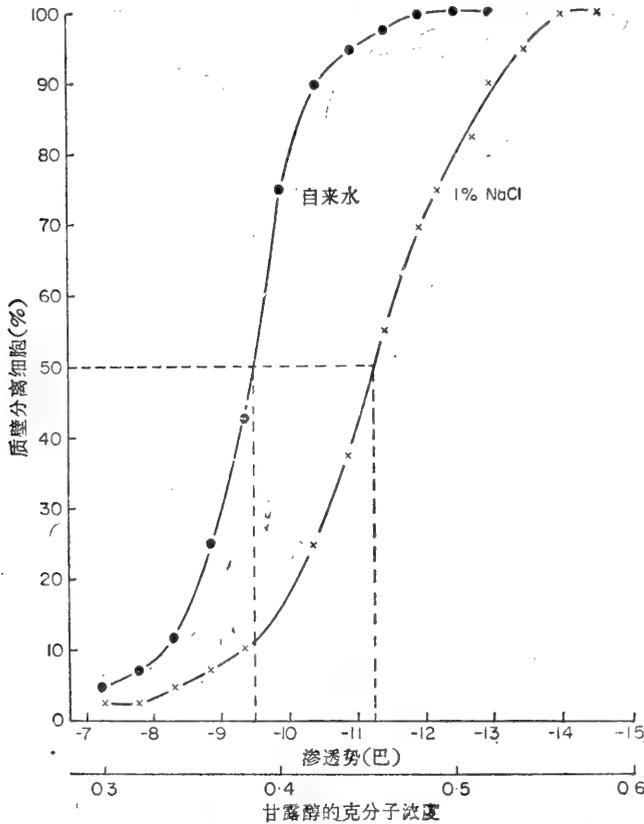


图 5.16 临界质壁分离法。Saxifraga sarmentosa 小片表皮的细胞液渗透势的测量, 预先用自来水或 1% NaCl 处理。虚线表示甘露醇溶液引起 50% 质壁分离, 亦即细胞液渗透势的测量(H. Meidner 的数据)

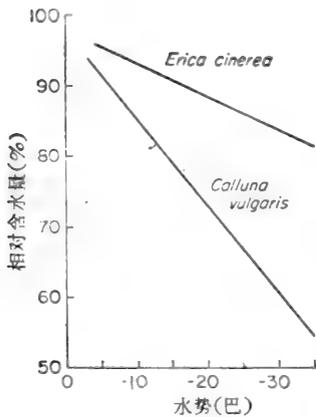


图 5.17 生态幅度不同而生长在同一生态的两个物种,在相对含水量和水势之间的关系。灰色欧石南 (*Erica cinerea*)比帚石南 (*Calluna*) 生长于更明显干旱的生态。(根据 Bannister 数据加以简化)

(Jarvis 和 Jarvis, 1963 b,c), 并随生境 (Bannister, 1971) 和季节 (Kipling, 1967) 而不同。

旱生植物在水势差别大时, 其含水量相对地不大, 而呈现平缓曲线 (图 5.17)。当气孔关闭时, 脱水伤害与含水量的关系通常比与水势的关系更为密切 (Jarvis 和 Jarvis, 1963 c), 这些植物即使在水分张力大的环境中气孔保持开张和有利的水平衡。中生植物显示急速变化的关系, 更可能关闭气孔, 从而限制了失水和二氧化碳的吸收。

4.3 植物水分的丢失

生理生态学家探讨个别植株及其水分经济与其分布的关系。早期的工作者 (参看 Seybold, 1929) 研究了广泛的植物种类以期在失水 (蒸腾) 和生境之间建立一般的关系, 但他们发现很少有一致的趋势 (例如 Schratz, 1932)。Maximov (1929, 1932) 认识到失水的控制比蒸腾的速度更为重要。因此, 植物生理生态学家应该把他的关注引向组织的水分平衡和蒸腾的控制, 纵使对生态系统的水分关系有兴趣的生理生态学者亦需测定并综合各个植株的水分丢失。

蒸腾使叶子降温 (Lange 和 Lange, 1963), 同时蒸腾速率的变动能指示出气孔控制的程度和二氧化碳同化作用的情况。然而, 这些是间接的应用, 最好是直接测量叶子温度、气孔开度和同化速率。

因之, 植物生理生态学家必须细心地考虑在任何特定的环境下测定蒸腾作用的理由。

4.3.1 蒸腾作用的测量

蒸腾作用根据重量上的变化能容易地测出。对于盆栽植物, 盆子和土壤表面必须密封起来以防止水分损失, 为此目的常使用聚乙烯袋子或纸。自动称重和记录的装置 (例如 Macklon 和 Weatherley, 1965 b) 可用为蒸腾的连续记录。切下的枝条或叶片从植株上离开后要尽快地称重。然后把它们再放回群落中, 在短暂的间隔后再称重。蒸腾作用可从短时的失重测出, 或者从同一枝条得到的较长时间的一系列读数并外推到零 (例如 Willis 和 Jefferies, 1963)。切下的枝条的蒸腾作用可能增加 (Weinemann 和 Le Roux, 1946) 或降低 (Decker 和 Wien, 1960), 或两者都有 (Balasubramaniam 和 Willis, 1969)。

Meidner (1965) 发现在离体的蚕豆叶片中气孔运动的方式, 可用来说明蒸腾作用的增加或降低。切断时蒸腾作用的突然变化在挺胀的植物中最易于发生, 而当水分亏缺时很少发生 (Balasubramaniam 和 Willis, 1969)。多数植物在自然状况下即便充分供水也常出现水分紧张, 所以切断的影响不太严重。Stocker (1956) 和 Eckardt (1960) 对各种不同的方法进行了评论, 并总结出切枝的方法同任何其它方法一样可靠, 并可肯定地得出相对的 (如果不是绝对的话) 蒸腾作用数量的指标 (图 5.18)。

测量蒸腾作用的其它方法通常需将植物的部分置于一小室或小盒中。这样常会引起小室内微气候的迅速改变(参看 2.2.2 节, 图 5.6)。在密闭系统中水蒸气会聚积, 引起叶片和空气之间蒸气压陡度的减低, 并从而减低蒸腾速度。在开放系统中蒸腾速度将受气流速度的影响, 并受因水蒸气和 CO_2 含量变化而引起的气孔开度变化的影响。因此很难说明一旦植物的一部分被封闭在一小室中对蒸腾速度将要发生什么影响(图 5.6)。

有许多可能的途径去测量通过一适当地被封闭的植物的空气中的含水量。进入空气的含水量必须调节, 因为完全干燥的空气通过植物会影响水分平衡。用五氧化二磷(Gregory 及其同事, 1950)、氯化钙(Freeman, 1908) 或过氯酸镁吸收水分的重量测定法曾被使用, 而 Huber 和 Miller(1954) 则测定当水被硫酸吸收时温度的增加。各种湿度计如大小合适的测量干湿球温度的湿度计(Glover, 1941), Anderson 及其同事(1954) 的电晕湿度计, Eckardt(1957) 的双金属湿度计, Falk(1966) 的微波湿度计或红外线吸收的应用(Decker 和 Wien, 1960) 均曾用于测量蒸腾作用。

氯化钴纸或硫氰酸钴纸曾被用于测定蒸腾作用。将干纸条附在适当的植物部分, 纸条变成标准颜色的时间与失水的速度成反比。很干的纸和遮盖的部分排除了光和空气的移动造成了不正常的条件, 因此 Bailey 及其同事(1952) 不能证明在氯化钴纸法和重量测定法之间有任何一致的关系。如果是快速测定, 则该法可能提供关于气孔阻力和开度的一个较好的指标而不是蒸腾的速度。Sivadjan(1952) 的水分照像法也是如此。

蒸腾作用可用蒸腾计测量, 此法系将切下的枝条密封于一盛满水的容器中, 容器与一细管和一贮水器相联。管中气泡的移动速度作为蒸腾速度的测量, 或更确切地说是切断枝条的吸水速度。将切下的枝条置于水中使得吸水无阻碍而引起含水量的不正常, 不正常的气孔开张或高的蒸腾作用。在蒸腾计中可以使用整株植株, 但自由水的存在意味着在根/土壤界面上没有阻力(Tinklin 和 Weatherley, 1966), 并且根系处于通气不良的条件下。蒸腾计在生理学研究中已证明是有用的(Gregory 及其同事, 1950), 但所提供的并不是整株植物的蒸腾作用的度量。

蒸腾作用以经过一定时间的失水量表示, 但为比较不同大小的样品则必须使之标准化。通常使用鲜重或干重基础作标准, 但以面积基础表示更为可取, 因为蒸腾是发生在表面的现象。叶面积可简单地借在绘图纸上描述测出, 或从“天光”印像纸所制的轮廓中测出, 当然, 精密的仪器如光电求积仪也是有的。如果对少量样品作精确的测定并与某些容易测量的指标诸如干重或体积联系起来的话, 小型叶子的面积也是可测出的。

所有的比较必须小心地进行解释, 因为蒸腾表面的形态和解剖与叶面积可有完全不同的关系, 甚至在同一物种内也是如此(Decker, 1955)。

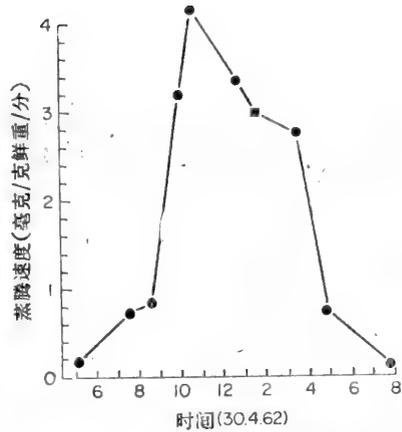


图 5.18 *Calluna vulgaris* 蒸腾作用的日进程, 用快速称重法测出 (Bannister, 1964 c 的数据)

4.4 气孔开度

有许多方法适用于测量气孔开度(参看 Meidner 和 Mansfield, 1968), 但并没有适合于所有植物的方法; 那些具有绒毛的叶子(例如 *Verbascum*)和气孔分布在永久内卷的表皮上的叶子(例如 *Erica*)就没有一种直接测量的办法。

4.4.1 直接观察

有时可能要对完整植物的气孔进行观察, 但观察者通常必须使用显微镜观察切片材料。Stalfelt (1932)用撕下的叶子的一部分浸在液体石蜡中, 而用油镜头进行直接观察。Lloyd(1908)将表皮固定在水酒精中; 但 Heath (1969)认为这种破坏严重的方法只能显示出粗的定性的趋势。

无毒硅橡胶的出现(Sampson, 1961)使得包括制做叶面印迹 (Buscaloni 和 Pollacci, 1901)在内的技术复苏了。反的印迹用指甲油(醋酸纤维)涂敷, 将其揭下而得到正的复制品。指甲油可直接用于叶片, 但组织立即受到伤害。

直接观察以叶片为限, 其中气孔的最窄部分是可见的。使用的涂料可以改变气孔的反应, 并且当整个叶片表面上气孔的动作不均一时, 则需进行为数众多的测量。

4.4.2 间接的方法

气孔开度可用低表面张力液体的渗入来测定。这个方法常适用于那些不便于用其它方法测量的叶子。浸入的区域呈暗色或透明(取决于观看的角度), 可取浸入的时间或渗入的面积作为气孔开度的度量。

Heath (1950)使用龙胆紫的无水酒精溶液, 能生成一种颜色甚至在叶子干了以后仍然存在, Michael (1969)描述了一种类似的方法用于松柏科的针叶。二甲苯和苯的溶液也曾被使用(Molisch, 1912)。不同粘度的液体可以使用(Alvim 和 Havis, 1954), 一种溶液恰好渗入时可看到一个点, 而其它的则停留在叶面上。加压注入法曾被使用于松柏科的针叶(Fry 和 Walker, 1967; Lopushinsky, 1969 a), 注入所需的压力是气孔开度的函数。

氯化钴纸法(Stahl, 1894)和水分照像法(Sivadjan, 1952)可用做气孔开度的间接测量。从饱和的叶肉细胞向干燥的滤纸失水是与气孔扩散阻力有关的, 但需要长的平衡时间, 并且遮光会引起气孔关闭。

这些定性的方法有时可以定量, 办法是用更为精确的气孔开度测量制成曲线加以校准。

4.4.3 气孔计

在气孔计法中叶片与一测量装置的小杯或小室相联接。粘液流气孔计通过叶子吸引空气, 而扩散气孔计则是测量自封闭表面气体的扩散。

气孔计杯一定不要长时间固定, 因为降低了二氧化碳浓度能引起气孔开张 (Heath 和 Williams, 1948)。理想的气孔计杯应是不漏气的, 并易于在每次读数后取出。密封先前

是用蜂蜡(Darwin 和 Pertz, 1911),后来使用明胶垫圈和各种软的塑料。

(a) 粘滞流气孔计

粘滞流气孔计的缺点是必须将空气从叶片中吸引出来,这意味着测出的不仅是气孔阻力,还有叶肉的阻力和小杯封盖区域以外的别的气孔的阻力。关闭的气孔使气体流通产生阻力,用粘滞流气孔计测量时这个阻力常是过大的,甚至水可以从叶表面丢失。

有几种仪器适于野外测定,这些仪器中最简单而有效的一个是 Meidner (1965) (图 5.19)手持气孔计。将夹子夹在叶子上,抽气球与仪器相联。抽气球重新膨胀起来的时间

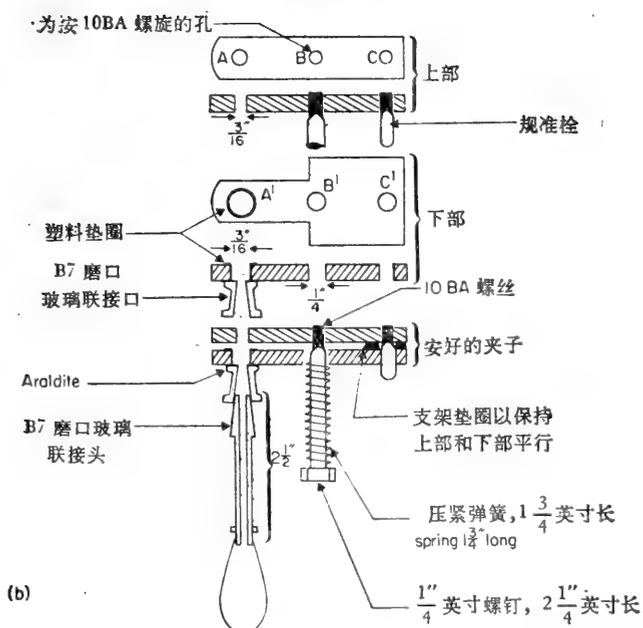
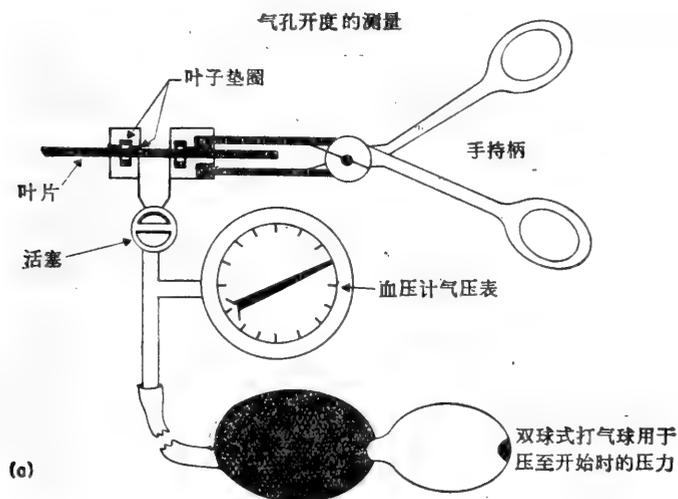


图 5.19 (a) Alvin 田间气孔计的图解。(b)简单手持气孔计的图解

作为对气流阻力的度量。在 Alvim (1965) 的野外气孔计中(图 5.19)和在 Bierhuizen 及其同事的气孔计中,施加的压力降低到预先确定的水平所需的时间,作为阻力的度量。Weatherley (1966)曾设计了 Knight 的气孔计(Knight, 1917)的微型化的仿制品。

阻力气孔计是更为精确的仪器并能计算成绝对单位(Heath, 1939)。Gregory 和 Pearse 气孔计(1934)曾被 Spanner 和 Heath (1952) 和 Heath 和 Mansfield (1962) 所改进,用两只气压计对叶片的阻力和一固定的毛管的阻力进行比较,在 Heath 和 Russell (1951) 的惠司登电桥气孔计中,叶子的阻力借一灵敏的气孔计与绘制成标准曲线的毛管阻力相平衡。

(b) 扩散流气孔计

多数扩散流气孔计是复杂的,并测量通过叶子的外来的气体如氢气(Gregory 和 Armstrong, 1936)或一氧化氮(Slatyer 和 Jarvis, 1966)。一种较简单的扩散气孔计适于

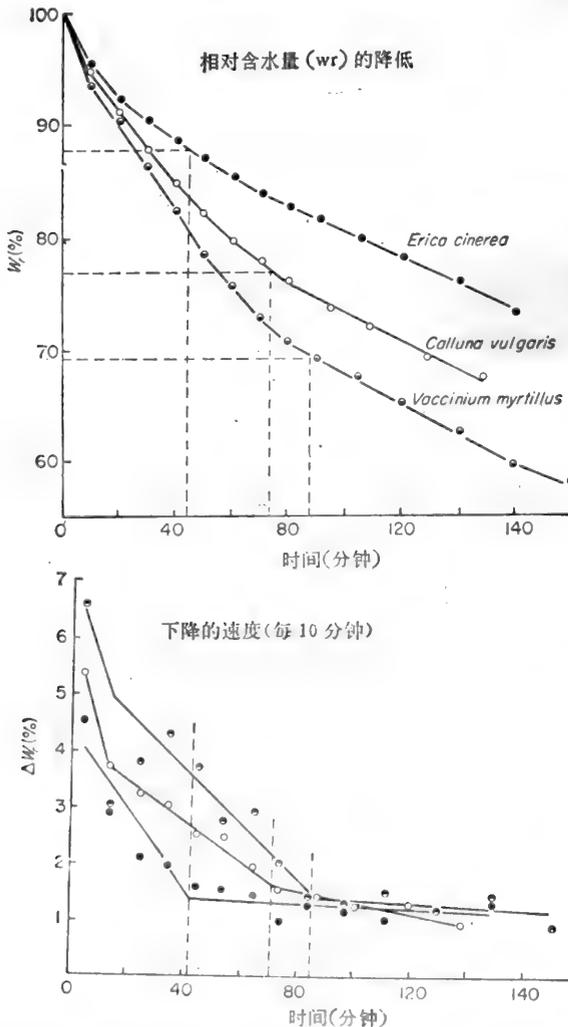


图 5.20 在气孔关闭时的相对含水量,从切离的枝条的失水测得的。点线代表测出的关闭点

野外使用 (van Bavel 及其同事, 1965), 曾被 Meidner 和 Mansfield (1968) 加以改进和介绍。在这个仪器中,一湿敏电阻被置于距叶片的一个标准距离外,电阻的变化与发生的扩散有关。这样的仪器依据扩散流制成标准曲线来校准录粘滞流气孔计的读数 (Meidner 和 Mansfield, 1968)。

4.4.4 气孔关闭和水分亏缺之间的关系

水分丢失的控制和植物的水分平衡之间的关系在比较研究上是有用的,并可借对切离下来的枝条的重量减低进行测定,枝条一开始是充分饱和的,并处在正常的光照之下。在那样的条件下气孔是充分张开的,这个假定并非总是真实的,如可能的话,可用对气孔器的直接观察来进行校正,或借查看下降曲线的形式来校正。含水量的降低,可借失水速度(图 5.20),在绘图时区分成一迅速的(气孔的)阶段和一缓慢的(角质层的)阶段,气孔关闭的有效点已被证明是与两个失水速度的相交点相重合 (Bannister,

1964 a)。此法可用于测量某些植物(如石楠属)气孔关闭之点,这是用其它办法不能测出的。Hygen(1953)对于很多不同的物种的含水量下降作了追踪观测,但并没有对气孔关闭之点进行测定。在气孔关闭时的相对含水量,在物种之间(Jarvis 和 Jarvis, 1963 b; Bannister, 1964 a; Lupushinsky, 1969 b)和物种的内部(Bannister, 1964 a; Hutchinson, 1970 a)是均有差异的,这常与个别植株的分布和野外习性有关。

在标准情况下气孔关闭开始的时间是很重要的, Bannister (1971)发现,在空旷生境下的植物和在遮阴生境下的植物,在气孔关闭时表现有相似的含水量,不过遮阴下的植物气孔关闭得更快些。

4.5 叶片的扩散阻力

叶片对水蒸气和二氧化碳扩散的阻力的测定,在植物对环境因子反应的理论上是有用的。

对扩散的阻力可以区分为界层阻力(r_a),气孔阻力(r_s),角质层阻力(r_c)和叶肉阻力(r_m),用电阻相类比,这些阻力通常部分地串联的和部分地并联的(图 5.21)。对水蒸气转移的各种阻力的计算,其基本关系是:

$$E = \frac{e_1 - e_a}{R}$$

式中 E = 蒸发速度($\text{gm}^{-2}\text{s}^{-1}$)

e_1 = 在叶片水蒸发表面(gm^{-2})的水蒸气浓度

e_a = 空气的水蒸气浓度(gm^{-2})

R = 对扩散的总阻力(sm^{-1})。

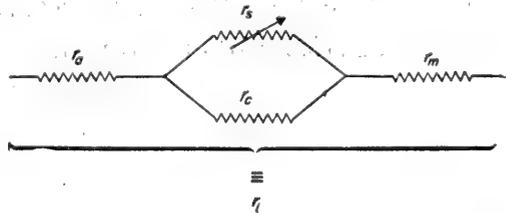


图 5.21 对在叶中气体扩散的各种阻力的图解表示。
 r_t ,总的叶片阻力; r_a ,叶片/空气阻力; r_s ,气孔阻力(可变的); r_c ,角质层阻力; r_m ,叶肉阻力

边界层阻力可用为水所饱和的吸水纸所做的叶子模型测出(Gowan 和 Miltorpe, 1968; Thom, 1968),虽然更严格的模型,尤其是对不规则的叶形,可以用石膏粉制做。对其它成份的阻力可以从在特定环境下蒸腾强度的测量得到(Holmgren 及其同事, 1965)。叶肉的阻力是难于测量的,通常用叶片厚度的函数来代表,诸如内部表面积对外部表面积之比,在测量叶内对二氧化碳的扩散阻力时,常常使用二氧化碳补偿点(2.4.2)。

有的工作者如 Heath (1969),采用纯解剖学的特点,并导出如下的公式:

$$R = \frac{1}{D} \left[l_i + \frac{\pi d_1}{8} + \frac{a_1}{na_s} \left(l_s + \frac{\pi d_s}{4} \right) \right]$$

式中 D = 扩散系数,

l_i = 内部径路的长度,

$\pi d_1/8$ = 在静止的空气中边界层的厚度,

a_1 = 叶面积,

n = 气孔密度,

a_s = 气孔面积,

$l_s + \frac{\pi d_s}{4}$ = 深度为 l_s 和直径为 d_s 的单个气孔的扩散径路的长度。

对流动的空气此关系可加以校正(Penman 和 Schofield, 1951; Miltorpe, 1961),并

用于计算热传导,蒸气传导和二氧化碳的扩散(如 Thom, 1968; Cowan 和 Milthorpe, 1968)。各种反应可用数学模型求出,数学模型可以用于研究和比较叶片的习性(Gates, 1965, 1968 a, b; Idle, 1970; Lewis, 1972)。

4.6 抗旱力

整个植株的抗旱力可从测定它们对缺水的反应进行研究。生长的测量能对某些抗性作出评价,但如果测量了植物和土壤两者的水分状况则可得出更为准确的解释(例如 Jarvis 和 Jarvis, 1963 b)。使用整株植物并不总是可能的(3.2.3),从离体的植物部分的脱水可以得到重要的资料。

将吸水膨胀的地上部分经过不同时间的失水(例如 Bannister, 1970)或在同一时间内令它们脱水到不同程度(例如 Jarvis 和 Jarvis, 1963 b),可以测出一系列的含水量。可以用各种盐类的饱和溶液(Nuffield Biology, 1966)或硫酸/水混合液(Sutcliffe, 1968)创造不同的蒸发条件。

在脱水后样品的水分状况可以代表它们躲避旱害的潜在能力,而耐旱的潜在能力可借观察它们的恢复进行测量。对组织的伤害可直接进行观察,或从电导度测定得出,或用活体染色法进行测定(3.2.3),另外还有一些方法用于脱水的组织。Michael (1968)曾使用氢碳酸盐指示剂对受伤害样品的不正常呼吸进行测量;同时,脱水的组织重新饱和的能力也常被使用(例如 Bornkamm, 1958; Rychnovská-Soudková, 1963; Bannister, 1970, 1971)。

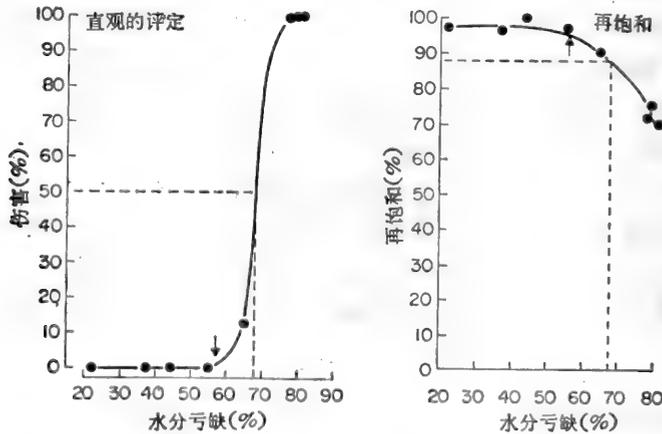


图 5.22 灰色欧石南 (*Erica cinerea*) 的抗旱力, 1968 年 1 月。虚线指明引起 50% 伤害之点(水分亏缺=68%)。箭头指示 95% 再饱和之点(水分亏缺=57%)

未受伤害的组织也达不到完全的(100%)再饱和,但表现 95% 再饱和的材料通常是未受伤害的(Bannister, 1970; 图 5.22),而 85% 的再饱和则表明受到某种程度的伤害(Polwart, 1970)。偶尔地,受伤害的材料会表现完全的再饱和或甚至超饱和(Rychnovská, 1965),那样的话最好在使用后者作为恢复的度量之前先对伤害和再饱和之间的关系进行研究。

5 植物的矿物质营养

5.1 引言

植物生理学家研究了植物对矿物元素的基本需要，并懂得很多在植物生理上它们的吸收和功能。对物种或生态型进行比较仍是需要的，因为它们对同一土壤的反应可能不同，这种差别是吸收的不同或对矿物质元素需要不同的结果。在极端的土壤中，某某矿物的缺乏或毒性可决定植物的反应，而有抗性的物种便能生存下去。种间竞争将加剧它们的差别，高产物种通常能生存，但偶而也会被低产物种竞争而淘汰[‘蒙氏 (Montgomery) 效应’, Montgomery, 1912]。

对于矿物质营养的生理-生态学的研究包括下列几个方面(图 5.23)：

- (1) 物种对于营养状况的生长反应。
- (2) 养分缺乏以及养分与其它离子过量的忍耐力。
- (3) 其他物种和个体对植物矿物质营养的竞争效应(共生和其它微生物学效应也包括在内)。

严格的实验必须在小心控制的条件下进行，在培养箱中的实验室试验是必需的 (Rorison, 1969)，但初步的研究却能在田间进行。实验室试验的结果，必须与野外条件联系起来，也会对生态学者有实践应用价值。

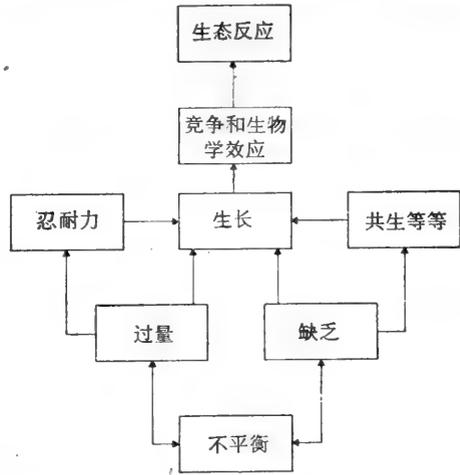


图 5.23 矿物营养和生态反应

5.2 野外试验

土壤增施养分比把它们从土壤中除去容易一些，而且养分的施用在植被中总会产生某些反应，如它可消除养分的缺乏，缓和毒性，改变 pH 和养分的可利用性，或引起不平衡、过量和毒害。在加入养分前后对土壤和植物两者进行分析，有助于说明这些反应。

天然植物通常是很适应于它所着生的土壤的，植物个体虽不表现毒害或缺乏养分的症状，但在加入养分后对它们会发生反应。农作物缺乏元素的直观征状已有文献(Wallace, 1961)，潜在的缺乏和毒性可借在特定的土壤上栽种适宜的农作物来进行研究，例如，Proctor(1971 a) 使用燕麦对蛇纹石土壤进行过生物测定(图 5.24)。农作物对土壤养分的需要比许多的野生植物为大，有许多工作者使用野生植物以便得到对生态学更有意义的资料。一个例子是 Atkinson(1973)用酸模 (*Rumex acetosa*) 研究砂丘土壤上植物的磷的营养。缺乏元素的直观病征很容易与各种毒害混淆，甚至包括大气污染物的影响(例如 Treshow, 1970)。

土壤分析(第 8 章)，虽然是有用的，但不能说明物种的生理学差异和扎根的情况，以

及可给性和需要的季节变异。植物材料的分析可提供矿物质养分缺乏或过剩的某些指标,但只有在“正常”养分含量为已知的前提下才能如此,因而生态学家在其研究工作中,必须先对物种的“正常”含量进行测定。植物的矿物含量有显著的季节性变化,这也许反映了真实情况,或者其与生长的关系类似于和含水量的季节性变异的关系(Guha和Mitchell, 1966)。

因此,土壤和植物材料的化学分析是不能代替设计得很好的试验的,虽然它能提供重要的资料。

田间试验的设计需要更多的农业经验,并且一项长期研究,如在英国鹿桑斯特(Rothamsted)的牧草试验(Thurston, 1969),在这方面提供了一个引人注目的例子。

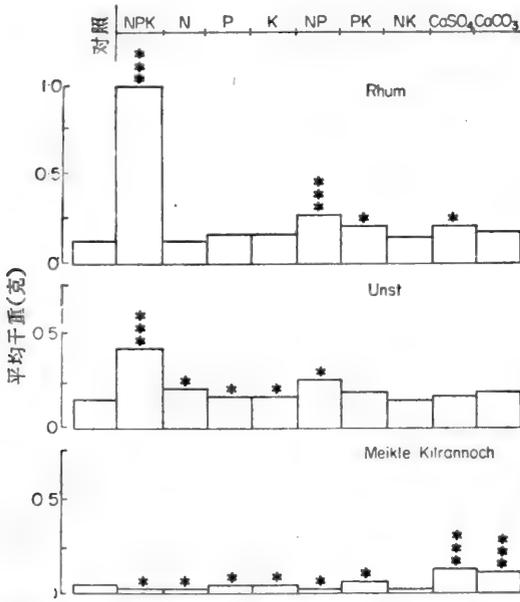


图 5.24 燕麦对三种蛇纹石土壤施加不同养分的反应。
 * 在 $P=0.05$ 时与不施肥土壤相比的显著度, *** 在 0.001 时(Proctor, 1971a)的显著度

从细心计划的试验中可以得出最大数量的资料。析因设计(factorial design)(Bailey, 1959)将主要养分氮、磷、钾(N、P、K)单独地和以不同的比例组合加入土中以增加试验的价值,在这样的试验中,限制因子是未知的。可能的处理组合包括:不施肥, N、P、K、NP、NK、PK、NPK。

这些处理是在一定面积的植被(一个区组‘Block’)中的小区内随机排列的。在试验区域内的不同地点设置重复的区组,以使环境变异的影响能从试验处理的影响分开。统计分析提供区组之间与对主要养分之间的反应的显著性的变异资料,或对各种养分之间相互作用的变异资料。植物的化学分析,给出的是关于养分的可给性和限制的资料,随着元素浓度的增高,与之相应地生长增加,则该元素可认为起了限制作用。

在田间试验中施加养分的实例,已有 Willis(1963)和 Atkinson (1973)在贫乏的砂丘土壤,和 Ferreira 和 Wormell(1971)在贫瘠而又具毒性的蛇纹石土壤上的试验。

上述原则并不限于主要养分的试验;它们也适用于包括微量元素如爱尔兰泥炭缺铜(Mulqueen 及其同事, 1961)或蛇纹石土壤上的石灰施用效果(Proctor, 1971a)等问题。

5.3 实验室试验

实验室试验类似田间试验,在实验室试验中使用田间的土壤,分成加入和不加入养分两种,而对单作或混作的反应进行观测(例如 Proctor, 1971 a)。人工控制研究的优点是群体的数目与混作可以人为确定,并且除了土壤养分状况外,其他因子是可以控制在相对不变的条件之下的。在试验设计中的一项困难是不同的土壤具有不同的离子代换特性。因

而是土壤而不是试验者在最终控制着对植物养分的供应。通常,更为妥善的办法是使植物生长在完全人工的培养基质上。可以使用培养液,或者向几乎不具养分的人工基质中加入培养液(例如用酸洗过的石英砂)。一般喜用培养液法,因为砂培很难保证养分的均匀供应,并且砂子提供了对从稀的溶液中吸附离子的巨大的表面。Knop(1860)和Hoagland(1920)的培养液是现代培养液的先驱(表 5.2)。Hewitt(1966)曾对培养液和有关的技术作过详细的讨论。

表 5.2 Knop 氏溶液和 Hoagland 氏溶液的比较
(所有浓度均为每升之克数)

化 合 物	Knop	Hoagland(I)	Hoagland(II)
Ca(NO ₃) ₂ ·4 H ₂ O	0.8	1.18	0.95
KNO ₃	0.2	0.51	0.61
KH ₂ PO ₄	0.2	0.14	—
NH ₄ H ₂ PO ₄	—	—	0.12
MgSO ₄ ·7 H ₂ O	0.2	0.49	0.49
FePO ₄	微量	—	—
酒石酸铁	—	0.005	0.005

溶液中加入微量的 B, Mn, Zn, Cu, Mo, 使最后浓度在 0.02 到 0.2 ppm 之间

培养液必须通气良好,体积相对地比植物大得多,广口器皿使液面对空气有较大的接触,经常更换溶液,以及强力通气或用气泵混合(Glymo, 1962)。

由于养分的吸收而使存在的离子浓度降低,而不同的吸收可以导致可给性和 pH 的改变,在极端的情况下可以引起毒害。这些都是需要经常更换溶液的理由。培养基的组成可决定变化的方向。当以 NH₄⁺的形式供给氮时,吸收将导致酸度的增高,因为 NH₄⁺可能与 H⁺交换;反之,使用 NO₃⁻能使 pH 增高。这意味着为了比较不同的氮源,在试验设计中必须不断调整 pH(例如 Gigon 和 Rorison, 1972)。在培养液中离子的代替常导致离子在可给性上的差异而限于所研究的某种离子。在研究硝酸离子吸收时,用 GaSO₄ 代替 Ca(NO₃)₂, 钙的可给性保持恒定,但硫酸离子和硝酸离子的可给性却发生了变化。Hewitt(1966)对代替问题作过介绍。

培养液的浓度常是更适于农作物而不适于野生植物,并且标准溶液的正常浓度可能抑制某些物种的生长(如 Sheikh, 1969)。大多数植物可以忍受非常稀的培养液而在表现上并无减退,只要整个离子平衡得以保持的话(Wallace 及其同事,1967)。

在极端稀释情况下,由于培养容器表面对离子的吸附而使浓度改变,以及由尘埃和微生物引起污染都是重要的问题,不过靠大体积液体的不断流入可以部分地解决这个问题(Asher 及其同事,1965,1966)。所使用的试剂的纯净度和在试验中所用的种子、幼苗或切条中所含的矿物,当研究某一离子低浓度的效果时对这些都必须加以考虑。植物的矿物质含量足以使任何可观测到的反应延迟几个星期(Rorison, 1969)。

5.4 养 分 缺 乏

植物对其生境的矿物状况的适应(Bradshaw, 1969)意味着养分缺乏并不是常有表现

的。症候可以包括生长受阻、变色和植被盖度低,但通常只有在施加养分之后才表现缺乏症状。草地的特征种对施加养分会有反应,但更经常的是其它物种变成优势种从而改变群落的特征和组成。

野生植物的生产,如同农作物一样,是受养分缺乏限制的,但某些野生物种的存在可能是由于其他植物不存在的缘故。在英国的土壤中通常磷的供应较少,并且在某些酸性土中几乎没有磷,而在盐基性土壤中则可能只以不能利用的不溶性磷的状态存在。砂丘群落的缺磷曾经 Willis(1963)和 Atkinson(1973)所证明,但 Teesdale 罕见种之一的 *Kobresia simpliciuscula* 的存在,则已证明是磷的缺乏而限制了其他竞争种类的生存的缘故。(Jeffrey 和 Pigott, 1973)。

某些物种对施加养分产生反应,另外一些物种由于某一养分缺乏才能出现,这些知识是有用和重要的,但问题的中心是个别种的“策略”。Rorison(1970)讨论了养分间歇的而不是连续的供应的影响。Atkinson 和 Davison (1971)证明 *Epilobium montanum* 对一个磷的可给阶段和继之以一个缺磷阶段的反应,与它对一个缺磷阶段和继之以一个磷能适量供应阶段的反应不同。这类研究开辟了研究工作的有希望的方向,因为在田间条件下养分供应并不是恒定的。

不同物种的比较通常包括它们对养分状况的范围的反应的观测(如 Clarkson, 1967, Rorison, 1968)。某些生长快的物种如异株荨麻(*Urtica dioica*),其最大的生长需要大量的磷,而其它的如曲芒发草(*Deschampsia flexuosa*) (Rorison, 1968) 和 *Agrostis setacea* (Clarkson, 1967)在低的磷浓度下的生长缓慢,但很正常。如果低的生长速度通常是与对低水平的养分的忍耐力相伴随的,便可以解释在向缺乏养分的土壤上的植物群落施加养分后特征种消失的原因。然而,在能够证实这样的一个一般性结论之前,还需研究更多的物种。植物在其根部累积磷的能力 (Jeffery, 1964; 1969; Nessery, 1970)或在菌根中累积磷的能力(Harley, 1969),提供了在外部来源缺乏的情况下尚能保证适当地供应的机制。很少研究证明贮存的养分在什么时候和怎样情况下对植物的其它部分变成有效的,这可借测定能累积养分的植物的根和地上部的浓度,并与不能累积养分的植物进行比较(如 Nassery, 1970; Bannister 和 Norton, 1974),或者应用放射性示踪原子进行研究(如 Pearson, 1971)。

放射性同位素在研究植物营养中具有很大的价值,但某些养分则有缺点,它们的吸收效率不高,半衰期太短或太长,或者它们易于形成多种化合物并经由组织散播开来。放射性同位素尤其对短时间的研究有用,如关于不同的根系吸收养分方式的研究 (Boggie 及其同事, 1958), 菌根吸收养分(Harley, 1969)和养分从真菌转运给宿主(Smith, 1966),或从根向地上部的转运(Pearson, 1971)。³²P 的可给性及其易于处理,为有关磷营养研究大量工作提供了有利条件。

其它限制养分,如氮,迄今为生态学的研究所忽视(Bradshaw, 1969),但可对研究工作提供许多的机会。豆类作物在补充氮的供应上的价值是人们熟知的,但具有根瘤或食虫习性的植物的生态学作用或食虫习性却很少研究。Stewart 和 Pearson (1967)证实酸刺(*Hippophae rhamnoides*)的固氮效应对砂丘的氮供应上的作用, Oudman (1936)证明缺氮的毛毡苔从捕食昆虫得到好处,但豆类植物在石南灌丛群落营养上的作用,或者食虫植物对贫脊沼泽土氮供应的作用则从未被重视。

共生固氮的研究因缺乏合适的技术而一度停顿。 ^{15}N 的使用及其用质谱仪的分离(如 Stewart 和 Pearson, 1967)大多数生态学实验室缺乏这种技术,但新近的乙炔还原技术(Dilworth, 1966; Hardy 及其同事 1968)为氮固定的研究克服了许多障碍(见第四章,第 4,2,3 节)。

微量元素的缺乏可能只有当农作物生长在缺乏它们的土壤上才有所表现,但生态学家可以研究天然分布的物种能适应微量元素的缺乏而农作物则易受害。

养分缺乏的存在和影响可借田间施加养分来确定,继之用控制的养分供应进行实验室试验,并进一步研究在植物体内的吸收、贮存和运转的方法。然后生态学家必须把这些试验结果与田间条件联系起来,并与群落中个别植物联系起来。

5.5 养分和其它离子的过量

过量可以是大量养分元素也可以是微量养分元素,钙质土壤具有过量的钙,蛇纹石土壤有过量的镁,鸟群栖居的土壤有过量的氮,含金属岩石风化的土壤有过剩的金属离子,正常情况下需量甚微(如铜和锌),或在正常情况下植物是不需要的,如铅。酸性的土壤可能有过量的铝,盐土有过量的钠和氯,而外来的元素如氟,由于各种工业过程的结果,可以累积起来达到过量的程度。

过量的问题是一种不平衡和毒害,一种元素非正常的大量存在,能改变土壤条件和吸收的程式,从而其它元素变得缺乏。在钙质土壤中可能会缺铁,而含镁丰富的土壤中又可能缺钙。过量和缺乏之间的相互作用可从与钙过量和缺铁有关的石灰性缺绿病的研究中得到很好的说明(Grime 和 Hodgson, 1969; Hutchinson, 1967)。

过量养分的试验常包括在有问题的和正常的土壤上物种或生态型的生长的比较(图 5.25),或在相反的土壤类型如酸性土壤和石灰性土壤上的比较。施加养分和钙盐能帮助纠正过量、不平衡和毒性(Proctor, 1971 a)。

植物也可种植在人工培养基上,并供给以养分溶液,但是某一离子过量增加而不完全改变培养溶液的性质却不易做到。然而植物可以在只含有所研究的离子的溶液和完全培养液轮流生长(图 5.26)。

“耐力试验”研究在水培液中所研究的离子对根伸长速度的影响。硝酸钙是常向溶液中加入的,它能降低所有毒害作用和为害离子能以较高的浓度存在(如 Gregory 和 Bradshaw, 1965)。忍耐力通常是以在测试溶液中和在不含为害离子的对照溶液中根生长之比例来表示。为耐力试验所使用的浓度要靠经验,并可从一系列浓度中根的生长研究中推算出来(图 5.27)。忍耐力也可用引起根生长降低的临界(如 50%)溶液浓度来表示(Sparling, 1967)。

耐力指数应处于零(在测试溶液中没有生长),和在对照溶液中与测试液的生长量相等,但有时根在测试溶液中比在对照溶液中长得要好(Proctor, 1971 b),这可用极端的耐力来解释,即对该离子有需要,或者为对照溶液所抑制。当做了许多比较后,进行解释是比较容易的,因为物种最后要参照指数而排列,不管它们是表现促进作用还是抑制作用。

借耐力测定出的生理耐力的程度,通常与在植物生长的土壤中的有关离子的浓度有关(见 Gregory 和 Bradshaw, 1965),但生态耐力则有所不同,特别是在土壤中,某一元

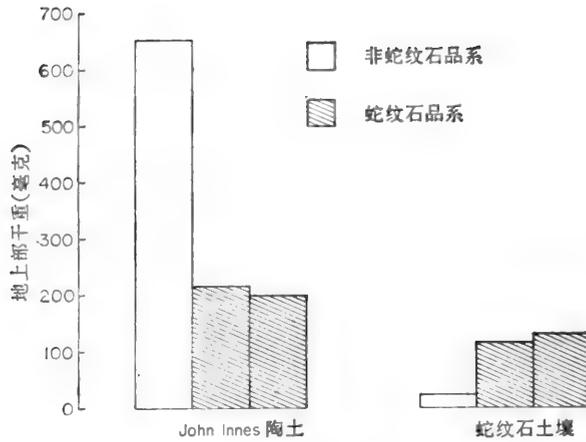


图 5.25 酸模 (*Rumex acetosa*) 的蛇纹石品系和非蛇纹石品系在正常土壤上和蛇纹石土壤上生长的比较。(根据 Proctor, 1971a 的数据绘测)

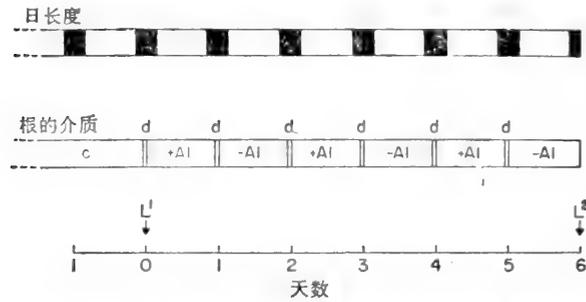


图 5.26 研究缺铁根系对铝处理的反应的试验方案和所用溶液的图解表示。日长度: 黑色的区域代表黑暗阶段。根的介质: -Al 溶液, 为 Rorison 设计的一种完全培养液 (1958)。pH 调整到 4.0。铁以硫酸亚铁的形式, 浓度为 2 ppm [对鸽状山萝卜 (*Scabiosa columbaria*) 为 0.5 ppm]。在使用前直接溶解在培养液中, 并于 24 小时后将溶液弃掉。+Al 溶液, 硫酸铝溶液调整至 pH=4.0。c 溶液, 如 -Al 并以 Fe-EDTA 为铁源。d 溶液, 蒸馏水, 在 +Al 和 -Al 转换时洗涤之用。L¹, 发芽约一星期后的幼苗开始测量的根总长度。L², 终止时测定的根总长度。(Grime 和 Hodgson, 1969)

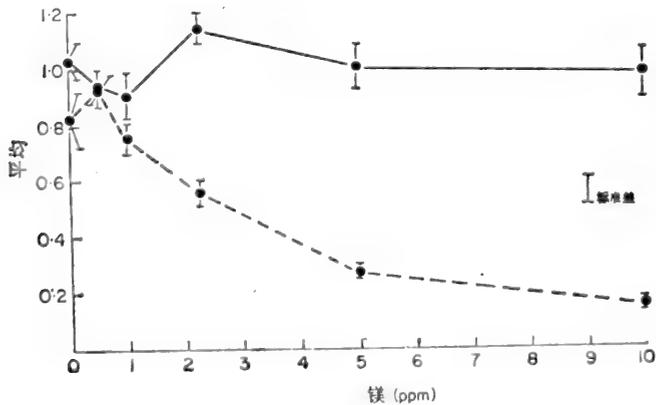


图 5.27 生长在镁溶液中的和生长在蒸馏水中的最长不定根的生长长度平均比值。实线, 絨毛翦股颖 (*Agrostis canina*) 得自 Meikle Kilrannoch。虚线, 匍茎翦股颖 (*A. stolonifera*) 得自靠近牛津的一种非蛇纹石土。(Proctor, 1971b)

素是在复杂状态,并对植物相对来说是无效的。一种元素的非正常的大量存在于土壤中,并不一定就表明植物在遭受过量的影响。

当对一种离子的耐力与对其他离子的耐力相同时,就是具有共同耐力(co-tolerance),这是少有的例外情况(Turner, 1969)。共同耐力可借测定一物种或一生态型对一系列元素的耐力而进行研究,在不同离子的数量和物理化学性质相似时,就是共同耐力的存在。复合耐力(multiple tolerance)可在各种元素存在于同一土壤中看到,并且不像共同耐力那样少见。例如,Protor(1971 b)的一次对匍荩股颖(*Agrostis stolonifera*)的各种种群的观测数据,显示出在对镁和对镍的耐力之间有显著的相伴随的关系,这两种元素是在蛇纹石土壤中共同存在的。复合耐力的出现不一定指明包括相同的机制,然而共同耐力的出现在这方面更可能是如此。

对一种离子的耐力可能与对其它离子的敏感性相伴随。盐沼生态型的 *Festuca rubra* 对 NaCl 是有高度耐力的,但对铝盐则无耐力,而酸性草地的生态型则与此相反(Hunter, 1971)。耐力的这种组合可以用来解释为什么在一个特定的立地存在的特定的生态型,但在相反立地是不存在的。

植物对养分和其它离子过量的耐力的进一步研究可以包括对其机制的研究。当在细胞内发现离子的非正常数量时,这种过量也许是真正的忍耐,当元素被排除,在根表面沉淀或结合在细胞壁中,这就是躲避。这个机制可以这样来研究:在分析之前把组织分成几个部分,并比较各部份的化学组成。养分过量(或缺乏)并不一定是在田间失败的直接原因。Hutchinson (1970 a,b)曾证明,表现石灰性缺绿病的物种,对其水分丢失是不能控制的,这对它们在田间条件下的失败可能是最主要的原因。

5.6 竞争和矿物质营养

矿物质营养的许多试验均归结为在物种之间竞争能力上的差别,但有关竞争本身的试验研究,相对说来是很少的。de Wit (1960)的置换序列通常用于两个竞争物种相互关系的研究,比较它们在单独培养中和混合培养中的生长。如在一项有物种 A 和 B 的试验中,使用标准密度(m),则一简单设计可包括下列三个处理:

$$m(A), m(B), \frac{1}{2}m(A) + \frac{1}{2}m(B).$$

这类试验的例子是 Shontz 和 Shontz (1972) 对 *Galinsoga ciliata* 的两个生态型的比较研究。在混合培养中,和在中等的养分状况下,高养分生态型当与较低养分生态型相比时,前者生长受到抑制,然而在单独培养中(图 5.28)两者表现出近似的生长。更为复杂的试验设计也是可能的, van dan Bergh (1969) 曾做过竞争与矿物质营养关系的有说服力的分析。他证明在亚最适条件下,低产的 *Agrostis tenuis* 和 *Alopecurus pratensis* 分别取代了高产的 *Dactylis glomerata* 和 *Lolium perenne*。这是“蒙氏(Montgomery)效应”的一个例子。

当矿物质营养对一物种在竞争条件下有利时,其作用通常是经由生长形而表现的,这使它更能利用自然环境的某些其它方面得以发展(参看 van den Bergh, 1969),良好的根系生长使得对水分和养分具有更强的吸收竞争力,而改进了以地上部生长使得对光线能

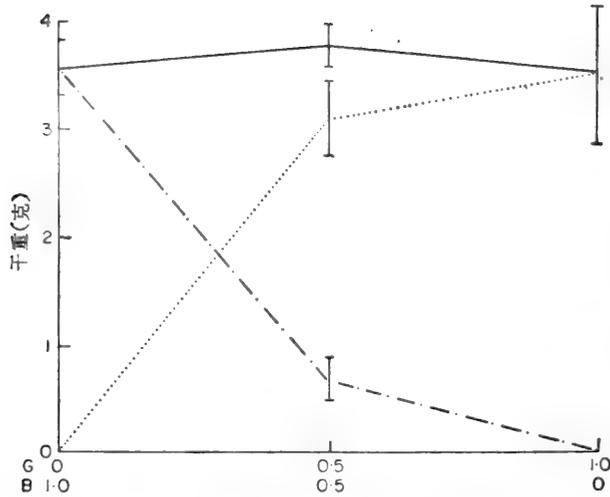


图 5.28 *Galinsoga ciliata* 的生态型之间的竞争。在单独的和混合的培养中植物经过 8 周的生长, 这期间供应 4 浓度的可溶性肥料。点线代表温室的植物(G)。点横断线代表空地中的植物(B)。连续的线代表各盆生长的总和。每一点代表每盆的平均重量, 具三个重复, 在每个点上列出了标准差。(Shontz 和 Shontz, 1972)

更好地进行竞争。在这两种情况下, 在光线和水分状况方面的改变所产生的显著的影响, 恰如养分状况变化的影响一样, 必需设计适宜的析因试验以便把各种环境因子的影响区分开来。

把矿物质营养的影响与生物学因子尤其是在根际和在共生的结合中微生物的影响(如 Barber, 1969)分别开来是十分困难的, 把竞争的植物之间与它们所结合的微生物之间的化学颉颃区别开来同样也十分困难。吃草的动物会选择更具营养的植物 (Gimingham, 1972), 它们的粪便会改变牧地的养分供应。云杉在石南荒原的生长停滞, 提供了关于这些相互作用复杂性的一个很好的例子, 并且可作各式各样的解释, 如植物之间的竞争, 菌根之间的竞争, 或植物对植物菌根的生长的化学抑制作用 (Gimingham, 1972)。

生活的或已死的植物的提取液或者土壤和枯枝落叶的提取液具有对植物生长的抑制作用, 在实验室中很易证明(如 Went, 1970; Lange 和 Kanzow, 1965; Jarvis, 1964)但却难于证明在自然界中有任何重要性。一个可能的方法是把测试物种的根系限制在容器中, 从而阻止了根系穿过, 但能使抑制溶液透过(参看 Steenson, 1972; 比较 Grümmer 和 Bayer, 1959)。

矿物质营养、竞争和生物学因子之间的许多相互作用, 是一个重要的但被忽视的研究领域。

6 参 考 文 献

- Alexandrov V. Y. (1964) Cytophysiological and cytoecological investigations of heat resistance of plant cells towards the action of high and low temperatures. *Q. Rev. Biol.* **39**, 35—77.
- Alvim P. de T. (1965) A new type of porometer for measuring stomatal opening and its use in irrigation studies. *Arid Zone Res.* **25**, 325—329.
- Alvim P. de T. & Havis J. R. (1954) An improved infiltration series for studying stomatal opening as illustrated with coffee. *Pl. Physiol. Lancaster* **29**, 97—98.

- Andersson N. E., Hertz C. H. & Rufelt H. (1954) A new fast recording hygrometer for plant transpiration measurements. *Physiol. Pl.* **7**, 753—767.
- Arens K. (1939) Bestimmung des Turgordruckes an einer Einzelzelle mit dem Manometer. *Planta*. **30**, 113—117.
- Asher C. J., Ozanne P. G. & Loneragan J. F. (1965) A method for controlling the ionic environment of plant roots. *Soil Sci.* **100**, 149—156.
- Asher C. J. & Ozanne P. G. (1966) Growth and potassium content of plants in solution cultures maintained at constant potassium concentrations. *Soil Sci.* **103**, 155—161.
- Atkinson D. (1973) Observations on the phosphorus nutrition of two sand dune communities at Ross Links. *J. Ecol.* **61**, 117—133.
- Atkinson D. & Davison A. W. (1971) Effect of phosphorus deficiency on growth of *Epilobium montanum* L. *New Phytol.* **70**, 789—797.
- Audus L. J. (1953) A simplified version of an apparatus for the measurement of oxygen evolution in the photosynthesis of *Elodea*. *School Sci. Rev.* **25**, 120.
- Bailey L. F., Rothacher J. S. & Cummings W. H. (1952) A critical study of the cobalt chloride method of measuring transpiration. *Pl. Physiol., Lancaster*, **27**, 563—574.
- Bailey N. T. J. (1959) *Statistical Methods in Biology*. London, English Universities Press.
- Balasubramaniam S. & Willis A. J. (1969) Stomatal movement and rates of gaseous exchange in excised leaves of *Vicia faba*. *New Phytol.* **68**, 663—674.
- Bannister P. (1964 a) Stomatal responses of heath plants to water deficits. *J. Ecol.* **52**, 151—158.
- Bannister P. (1964 b) The water relations of certain heath plants with reference to their ecological amplitude. I. Introduction: germination and establishment. *J. Ecol.* **52**, 423—432.
- Bannister P. (1964 c) The water relations of certain heath plants with reference to their ecological amplitude. II. Field studies. *J. Ecol.* **52**, 481—497.
- Bannister P. (1964 d) The water relations of certain heath plants with reference to their ecological amplitude. III. Experimental studies: general conclusions. *J. Ecol.* **52**, 499—509.
- Bannister P. (1970) The annual course of drought and heat resistance in heath plants from an oceanic environment. *Flora, Jena*. **159**, 105—123.
- Bannister P. (1971) The water relations of heath plants from open and shaded habitats. *J. Ecol.* **59**, 51—64.
- Bannister P. (1973) A note on some observation on frost damage in the field, with particular reference to various ferns. *Trans. Bot. Soc. Edinb.* **42**, 111—113.
- Bannister P. & Norton W. M. (1974) The response of mycorrhizal and non-mycorrhizal rooted cuttings of heather (*Calluna vulgaris* (L.) Hull) to variations in nutrient and water regime. *New Phytol.* **73**, 81—90.
- Barber D. A. (1969) The influence of the microflora on the accumulation of ions by plants. In I. H. Rorison (ed.) *Ecological Aspects of the Mineral Nutrition of Plants*, pp. 191—200. Oxford, Blackwell.
- Barrs H. D. (1965 a) Heat of respiration as a possible cause of error in the estimation by psychometric methods of water potential in plant tissues. *Nature, London* **203**, 1136—1137.
- Barrs H. D. (1965 b) Comparison of water potentials in leaves as measured by two types of thermocouple psychrometer. *Aust. J. biol. Sci.* **18**, 36—52.
- Barrs H. D. (1968) The determination of water deficits in plant tissues. In T. T. Kozłowski (ed.) *Water Deficits and Plant Growth*, Vol. 1, pp. 235—368. New York, Academic Press.
- Barrs H. D. & Weatherley P. E. (1962) A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. *Aust. J. biol. Sci.* **15**, 413—428.
- Bavel C. H. M. van, Nakayama F. S. & Ehrlar W. L. (1965) Measuring transpiration resistance in leaves. *Pl. Physiol., Lancaster* **40**, 535—540.
- Bergh J. P. van den (1969) Distribution of pasture plants in relation to chemical properties of the soil. In I. H. Rorison (ed.) *Ecological Aspects of Mineral Nutrition of Plants*, pp. 11—23. Oxford, Blackwell.
- Bierhuizen J. F., Slatyer R. O. & Rose C. W. (1965) A porometer for laboratory and field operation. *J. exp. Bot.* **16**, 182—191.
- Boggie R., Hunter R. F. & Knight A. H. (1958) Studies of root development in the field using radioactive tracers. *J. Ecol.* **46**, 621—639.
- Bornkamm R. (1958) Standortbedingungen und Wasserhaushalt von Trespen-Halptrockenrasen (Mesobromion) in oberem Leinegebiet. *Flora, Jena*. **146**, 23—67.
- Bowman G. E. (1968) The measurement of carbon dioxide concentration in the atmosphere. In

- R. M. Wadsworth (ed.) *The Measurement of Environmental Factors in Terrestrial Ecology*, pp. 131—140. Oxford, Blackwell.
- Bradshaw A. D. (1969) The ecologist's view point In I. H. Rorison (ed.) *Ecological Aspects of the Mineral Nutrition of Plants*, pp. 415—427. Oxford, Blackwell.
- Buscaloni L. & Pollacci G. (1901) L'applicazione delle pellicole di collodio allo studio di alcuni processi fisiologici delle piante ad in particolar modo pella traspirazione. *Atti. Ist. bot. eco. Pavia*, **2**, 44—49.
- Campbell R. M. (1972) *Studies on the distribution and productivity of freshwater macrophytes*. Ph. D. Thesis, University of St. Andrews.
- Carritt D. E. & Carpenter J. H. (1966) Recommended procedure for Winkler analysis of sea water for dissolved oxygen. *J. Mar. Res.*, **24**, 286—318.
- Čatský J. (1960) Determination of water deficit in disks cut out from leaf blades. *Biologia Pl.* **2**, 201—215.
- Clapham A. R. (1956) Autoecological studies and the 'Biological flora of the British Isles'. *J. Ecol.* **44**, 1—11.
- Clarkson D. T. (1967) Phosphorus supply and growth rates in species of *Agrostis* L. *J. Ecol.* **55**, 707—731.
- Clausen J. J. & Kozłowski T. T. (1965) Use of the relative turgidity technique for measurement of water stresses in gymnosperm leaves. *Can. J. Bot.* **43**, 305—316.
- Clymo R. S. (1962) An experimental approach to part of the calcicole problem. *J. Ecol.* **50**, 707—731.
- Goombe D. E. (1966) The seasonal light climate and plant growth in a Cambridgeshire wood. In R. Bainbridge, G. C. Evans & O. Rackham (eds.) *Light as an Ecological Factor*, pp. 148—166. Oxford, Blackwell.
- Cowan I. R. & Milthorpe F. L. (1968) Plant factors influencing the water status of plant tissues. In T. T. Kozłowski (ed.) *Water Deficits and Plant Growth*, Vol. 1, pp. 137—193. New York, Academic Press.
- Crafts A. S., Currier H. B. & Stocking C. R. (1949) *Water in the Physiology of Plants*. Waltham, Mass., Chronica Botanica Co.
- Crawford R. M. M. (1966) The control of anaerobic respiration as a determining factor in the distribution of the genus *Senecio*. *J. Ecol.* **54**, 403—413.
- Darwin F. & Pertz D. F. M. (1911). On a new method of estimating the aperture of stomata. *Proc. R. Soc. B* **84**, 136—154.
- Decker J. P. (1955) The uncommon denominator in photosynthesis as related to tolerance. *Forest Sci.* **1**, 88—89.
- Decker J. P. & Wien J. D. (1960) Transpiration surges in Tamarix and Eucalyptus as measured with an infra-red gas analyser. *Pl. Physiol., Lancaster* **35**, 340—343.
- Dilworth M. J. (1966) Acetylene reduction by nitrogen-fixing preparations from *Clostridium pasteurianum*. *Biochim biophys. Acta* **127**, 285—294.
- Eckardt F. E. (1957) *Biol. Rep.* (1956—1957). Pasadena, Calif. Inst. Tech.
- Eckardt F. E. (1960) Ecophysiological measuring techniques applied to research on the water relations of plants. UNESCO, *Arid Zone Res.* **15**, 139—154
- Eckardt F. E. (1968) Techniques de mesure la photosynthese sur le terrain basees sur l'emploi d'enceintes climatisees. UNESCO *Nat. Res. Res.* **5**, 289—320.
- Ellenberg H. (1958) Mineralstoffe für die pflanzliche Besiedlung des Bodens. A. Bodenreaktion (einschliesslich Kalkfrage). *Handb. Pfl. Physiol.* **IV**, 638—709.
- Evans G. C. (1972) *The Quantitative Analysis of Plant Growth*. Oxford, Blackwell.
- Falk F. O. (1966) A microwave hygrometer for measuring plant transpiration. *Z. Pfl. Physiol.* **55**, 31—57.
- Ferreira R. E. C. & Wormell P. (1971) Fertiliser response of vegetation on ultrabasic terraces on Rhum. *Trans. Bot. Soc. Edinb.* **41**, 149—154.
- Flint H. L. (1972) Cold hardiness of twigs of *Quercus rubra* L. as a function of geographic origin. *Ecology*, **53**, 1163—1170.
- Flint H. L., Boyce B. R. & Beattie D. J. (1967) Index of injury-useful expression of freezing injury to plant tissues as determined by the electrolytic method. *Can. J. Pl. Sci.* **47**, 229—230.
- Freeman G. F. (1908) A method for the quantitative determination of transpiration in plants. *Bot. Gaz.* **46**, 118—129.
- Fry K. E. & Walker R. B. (1967) A pressure infiltration method for estimating stomatal opening

- in conifers. *Ecology* **48**, 155—157.
- Gaff D. F. & Carr D. J. (1964) An examination of the refractometric method for determining the water potential of plant tissues. *Ann. Bot., Lond.* **28**, 352—368.
- Gates D. M. (1962) *Energy Exchange in the Biosphere*. New York, Harper & Row.
- Gates D. M. (1965) Energy, plants and ecology. *Ecology* **46**, 1—13.
- Gates D. M. (1968 a) Transpiration and leaf temperature. *Ann. rev. Pl. Physiol.* **19**, 211—238.
- Gates D. M. (1968 b) Energy exchange in the biosphere. UNESCO, *Nat. Res. Res.* **5**, 33—43.
- Gigon A. & Rorison I. H. (1972) The response of some ecologically distinct plant species to nitrate and ammonium nitrogen. *J. Ecol.* **60**, 93—102.
- Gimingham C. H. (1972) *The Ecology of Heathlands*. London, Chapman & Hall.
- Glover J. (1941) A method for the continuous measurement of transpiration of single leaves under natural conditions. *Ann. Bot.* **5**, 25—34.
- Grace J. & Woolhouse H. W. (1970) A physiological and mathematical study of the growth and productivity of a *Calluna-Sphagnum* community. I. Net photosynthesis of *Calluna vulgaris* (L) Hull. *J. appl. Ecol.* **7**, 363—381.
- Gregory F. G. & Armstrong J. I. (1936) The diffusion porometer. *Proc. R. Soc. B* **121**, 27—42.
- Gregory F. G. & Pearse H. L. (1934) The resistance porometer and its application to the study of stomatal movement. *Proc. R. Soc., B* **114**, 477—493.
- Gregory F.G., Miltorpe F. L., Pearse H. L. & Spencer H. L. (1950). Experimental studies of the factors controlling transpiration. I. Apparatus and experimental technique. *J. exp. Bot.* **1**, 1—14.
- Gregory R. P. G. & Bradshaw A. D. (1965) Heavy metal tolerance in populations of *Agrostis tenuis* Sibth. and other grasses. *New Phytol.* **64**, 131—143.
- Grieve B. J. (1961) Negative turgor pressure in sclerophyllous plants. *Aust. J. Sci.* **23**, 376—377.
- Grime J. P. (1966) Shade avoidance and shade tolerance in flowering plants. In R. Bainbridge, G. C. Evans & O. Rackham (eds.) *Light as an Ecological Factor*, pp. 187—207. Oxford, Blackwell.
- Grime J. P. & Hodgson J. G. (1969) An investigation of the ecological significance of lime chlorosis by the means of large-scale comparative experiments. In I. H. Rorison (ed.) *Ecological Aspects of Mineral Nutrition of Plants*, pp. 67—99. Oxford, Blackwell.
- Grummer G. & Beyer H. (1959) The influence exerted by species of *Camelina* on flax by means of toxic substances. In J. L. Harper (ed.) *The Biology of Weeds*. Oxford, Blackwell.
- Guha M. M. & Mitchell R. L. (1966) The trace and major element composition of the leaves of some deciduous trees. *Pl. Soil* **24**, 90—112.
- Guttenberg H. von (1927) Studien über das Verhalten des immergrünen Laubblattes der Mediterranflora zu verschiedenen Jahreszeiten. *Planta* **4**, 726—779.
- Haines F. M. (1928) A method of investigating and evaluating drought resistivity and the effect of drought conditions upon water economy. *Ann. Bot.* **42**, 667—705.
- Handley W. R. C. (1963) Mycorrhizal associations and *Calluna* heathland afforestation. *Bull. For. Comm., Lond.* **36**, 1—70.
- Hardy R. W. F., Holsten R. D., Jackson E. K. & Burns R. C. (1968) The acetylene-ethylene assay for N₂ fixation. Laboratory and field evaluation. *Pl. Physiol., Lancaster* **43**, 1185—1207.
- Harley J. L. (1969) *The Biology of Mycorrhiza* (2nd edn). London, Leonard Hill.
- Harper J. L. (1967) A Darwinian approach to plant ecology. *J. Ecol.* **55**, 247—271.
- Harper J. L. & Ogden J. (1970) The reproductive strategy of higher plants. I. The concept of strategy with special reference to *Senecio vulgaris* L. *J. Ecol.* **58**, 681—698.
- Harris J. A. & Gortner R. A. (1914) Notes on the calculation of the osmotic pressure of expressed vegetable saps from the depression of the freezing point, with a table for the values of P for $\Delta=0.001^{\circ}\text{C}$ to $\Delta=2.999^{\circ}\text{C}$. *Am. J. Bot.* **1**, 75—78.
- Hatch M. D., Slack C. R. & Johnson H. S. (1967) Further studies on a new pathway of photosynthetic carbon dioxide fixation in sugar-cane and its occurrence in other plant species. *Biochem. J.* **102**, 417—422.
- Heath O. V. S. (1939) Experimental studies of the relation between carbon assimilation and stomatal movement. *Ann. Bot.* **3**, 469—495.
- Heath O. V. S. (1950) Studies in stomatal behaviour. V. The role of carbon dioxide in the light response of stomata. *J. Exp. Bot.* **1**, 29—62.
- Heath O. V. S. (1969) *The Physiological Aspects of Photosynthesis*. London, Heinemann.
- Heath O. V. S. & Mansfield T. A. (1962) A recording porometer with detachable cups operating

- on four separate leaves. *Proc. R. Soc., B* **156**, 1—13.
- Heath O. V. S. & Russell J. (1951) The Wheatstone bridge porometer. *J. exp. Bot.* **2**, 111—116.
- Heath O. V. S. & Williams W. T. (1948) Studies in stomatal action. *Nature, Lond.* **161**, 178—179.
- Hellmuth E. O. & Grieve B. J. (1969) Measurement of water potential of leaves with particular reference to the Schardakow method. *Flora, Jena* **159**, 147—167.
- Hesketh J. D. & Baker D. (1967) Light and carbon assimilation by plant communities. *Crop Sci.* **7**, 285—293.
- Hewitt E. J. (1966) Sand and water culture methods used in the study of plant nutrition. *Conn. Ag. Bur. Commn. Bur. Hort.* **22**.
- Hewlett J. D. & Kramer P. J. (1963) The measurement of water deficits in broadleaf plants. *Protoplasma* **57**, 381—391.
- Hoagland D. R. (1920) Optimum nutrient solutions for plants. *Science* **52**, 562—564.
- Hofler K. (1917) Die plasmolytisch-volumetrische Methode und ihre Anwendbarkeit zur Messung des osmotischen Wertes lebender Pflanzenzellen. *Ber. bot. Ges.* **35**, 706—726.
- Holmgren P., Jarvis P. G. & Jarvis M. S. (1965) Resistances to carbon dioxide and water vapour transfer in leaves of different plant species. *Physiol. Pl.* **18**, 557—573.
- Huber B. (1928) Weitere quantitative Untersuchungen über das Wasserleitungssystem der Pflanzen. *Jb. wiss. Bot.* **67**, 877—959.
- Huber B. & Miller R. (1954) Methoden zur Wasserdampf- und Transpirations- H_2SO_4 -registrierung im laufenden Luftstrom. *Ber. dt. Bot. Ges.* **67**, 223—233.
- Hughes A. P. & Freeman P. R. (1967) Growth analysis using frequent small harvests. *J. appl. Ecol.* **4**, 553—560.
- Hunt R. & Parson I. T. (1974) A computer program for deriving growth functions in plant growth analysis. *J. appl. Ecol.* **11**, 297—307.
- Hunter A. C. F. (1971) Salt tolerance in *Festuca rubra* Hons. Thesis, University of Stirling.
- Hutchinson T. C. (1967) Lime chlorosis as a factor in seedling establishment on calcareous soil. I. A comparative study of species from acidic and calcareous soils in their susceptibility to lime chlorosis. *New Phytol.* **66**, 697—705.
- Hutchinson T. C. (1970 a) Lime chlorosis as a factor in seedling establishment on calcareous soils. II. The development of leaf water deficits in plants showing lime chlorosis. *New Phytol.* **69**, 143—157.
- Hutchinson T. C. (1970 b) Lime chlorosis as a factor in seedling establishment on calcareous soils. III. The ability of green and chlorotic plants fully to reverse large water deficits. *New Phytol.* **69**, 261—268.
- Hygen G. (1953) On the transpiration decline of excised plant samples. *Norske Vid. Akad. Skr. 1 math. nat. Kl.* **1**, 1—84.
- Idle D. B. (1970) The calculation of transpiration rate and diffusion resistance of a single leaf from micro-meteorological information subject to errors of measurement. *Ann. Bot.* **34**, 159—176.
- Irving R. M. & Lanphear F. O. (1967) Environmental control of cold hardiness in woody plants. *Pl. Physiol., Lancaster* **42**, 1191—1196.
- Jackson W. A. & Volk R. J. (1970) Photorespiration. *Ann. Rev. Pl. Physiol.* **21**, 385—432.
- James W. O. (1928) Experimental researches on vegetable assimilation and respiration. XIX. The effect of variations of carbon dioxide supply upon the rate of assimilation of submerged water plants. *Proc. R. Soc. B* **103**, 1—42.
- Jarvis P. G. (1964) Interference by *Deschampsia flexuosa* (L.) Trin. *Oikos* **15**, 56—78.
- Jarvis P. G. (1970) Characteristic of the photosynthetic apparatus derived from its response to natural complexes of environmental factors. In *Prediction and Measurement of Photosynthetic Productivity*. Wageningen, Pudoc.
- Jarvis P. G. & Jarvis M. S. (1963 a) The water relations of tree seedlings. I. Growth and water use in relation to soil water potential. *Physiol. Pl.* **16**, 215—235.
- Jarvis P. G. & Jarvis M. S. (1963 b) The water relations of tree seedlings. IV. Some aspects of the tissue water relations and drought resistance. *Physiol. Pl.* **16**, 501—516.
- Jarvis P. G. & Jarvis M. S. (1963 c). Effects of several osmotic substrates on the growth of *Lupinus albus* seedlings. *Physiol. Pl.* **16**, 485—500.
- Jeffery D. W. (1964) The formation of polyphosphates in *Banksia ornata* an Australian heath plant. *Aust. J. biol. Sci.* **17**, 845—854.
- Jeffery D. W. (1969) Phosphate nutrition of five Australian heath plants. II. The function of

- polyphosphates in five heath species. *Aust. J. Bot.* **16**, 603—613
- Jeffery D. W. & Pigott C. D. (1973) The response of grasslands on sugar limestone to applications of phosphorus and nitrogen. *J. Ecol.* **61**, 85—92.
- Jost L. (1906) Über die Reaktionsgeschwindigkeit im Organismus. *Biol. Zbl.* **26**, 225—244.
- Kappen L. (1964) Untersuchungen über den Jahreslauf der Frost-, Hitze und Austrocknungsresistenz von Sporophyten einheimischer Polypodiaceen (*Filicinae*). *Flora, Jena* **155**, 123—166.
- Kappen L. (1966) Der Einfluss des Wassergehaltes auf die Widerstandsfähigkeit von Pflanzen gegenüber hohen und tiefen Temperaturen, untersucht an Blättern einiger Farne und von *Ramonda myconi*. *Flora, Jena* 427—445.
- Knight R. C. (1917) The interrelations of stomatal aperture, leaf water content and transpiration rate. *Ann. Bot.* **31**, 221—240.
- Knipling E. B. (1967) Effects of ageing on water deficit-water potential relationships of dogwood leaves growing in two environments. *Physiol.* (1860), **20**, 65—72.
- Knop W. (1860) Über die Ernährung der Pflanzen durch wässrige Lösungen bei Ausschluss des Bodens. *Landw. Vers. Stat.* **2**, 65.
- Kreeb K. (1960) Über die gravimetrische Methode zur Bestimmung der Saugspannung und das Problem des negativen Turgors. I. Mitteilung. *Planta* **55**, 274—282.
- Kreeb K. (1963) Hydrature and plant production. In A. J. Rutter & F. H. Whitehead (eds.) *The Water Relations of Plants*, pp. 272—288. Oxford, Blackwell.
- Kreeb K. & Önal M. (1961) Über die gravimetrische Methode zur Bestimmung der Saugspannung und das Problem des negativen Turgors. II. Mitteilung Die Berücksichtigung von Atmungsverlusten während der Messung. *Planta* **56**, 409—415.
- Lange O. L. (1953) Hitze und Trockenresistenz der Flechten in Beziehung zu ihrer Verbreitung. *Flora, Jena* **140**, 39—97.
- Lange O. L. (1961) Die Hitzeresistenz einheimischer immer- und wintergrüner Pflanzen im Jahreslauf. *Planta* **56**, 666—683.
- Lange O. L. (1962) Eine 'Klapp-Küvette' zur CO₂-Gaswechselregistrierung an Blättern von Freilandpflanzen mit dem URAS. *Ber. dt. bot. Ges.* **75**, 41—50.
- Lange O. L. (1965 a) Leaf temperatures and methods of measurement. *Arid Zone Res.* **25**, 203—209.
- Lange O. L. (1965 b) The heat resistance of plants, its determination and variability. *Ibid.* 399—405.
- Lange O. L. & Lange R. (1962) Die Hitzeresistenz einiger mediterraner Pflanzen in Abhängigkeit von der Höhenlage ihrer Standorte. *Flora, Jena* **152**, 707—710.
- Lange O. L. & Lange R. (1963) Untersuchungen über Blattemperaturen, Transpiration und Hitzeresistenz an Pflanzen mediterraner Standorte (Costa Brava, Spanien). *Flora, Jena* **153**, 387—425.
- Lange O. L. & Kanzow H. (1965) Wachstumshemmung an höheren Pflanzen durch abgetötete Blätter und Zwiebeln von *Allium ursinum*. *Flora, Jena* **B 156**, 94—101.
- Lange O. L., Koch W. & Schulze E. D. (1969) CO₂-gas exchanges and water relationships of plants in the Negev Desert at the end of the dry period. *Ber. dt. bot. Ges.* **82**, 39—61.
- Larcher W. (1969 a) The effect of environmental and physiological variables on the carbon dioxide gas exchange of trees. *Photosynthetica*, **3**, 167—198.
- Larcher W. (1969 b) Die Bedeutung des Faktors 'Zeit' für die photosynthetische Stoffproduktion. *Ber. dt. bot. Ges.* **82**, 71—80.
- Lewis M. G. (1972) The physiological significance of variation in leaf structure. *Sci. Prog.* **60**, 25—51.
- Levitt J. (1966) Winter hardiness in plants. In H. T. Meryman (ed.) *Cryobiology*, pp. 495—563. New York, Academic Press.
- Lieth H. (1960) Über den Lichtkompensationspunkt der Landpflanzen. *Planta* **54**, 530—576.
- Lloyd F. C. (1908) The physiology of stomata. *Publ. Carnegie Inst. Wash.* **82**, 1—142.
- Lopushinsky W. (1969 a) A portable apparatus for estimating stomatal aperture in conifers. *Pacif. N. W. For. & Range exptl. Stn.* (US Dep. Agric., For. Serv.) 1—7.
- Lopushinsky W. (1969 b) Stomatal closure in conifer seedlings in response to leaf moisture stress. *Bot. Gaz.* **130**, 258—263.
- Ludlow M. M. & Jarvis P. G. (1971) Photosynthesis in sitka spruce (*Picea sitchensis* (Bong.) Carr). I. General characteristics. *J. appl. Ecol.* **8**, 925—953.
- Mackay D. B. (1972) The measurement of viability. In E. H. Roberts (ed.) *The Viability of*

- Seeds*, pp. 172—208. London, Chapman & Hall.
- Macklon A. E. S. & Weatherley P. E. (1965 a) A vapour pressure instrument for the measurement of leaf and soil water potential. *J. exp. Bot.* **16**, 261—270.
- Macklon A. E. S. & Weatherley P. E. (1965 b) Controlled environment studies of the nature and origins of water deficits in plants. *New Phytol.* **64**, 414—427.
- Martin M. H. & Piggott C. D. (1965) A simple method for measuring carbon dioxide in soils. *J. Ecol.* **53**, 153—156.
- Maximov N. A. (1929) *The Plant in Relation to Water*. London, Allen & Unwin.
- Maximov N. A. (1932) The physiological significance of the xeromorphic structure of plants. *J. Ecol.* **19**, 273—282.
- Meidner H. (1965) A simple porometer for measuring the resistance to air flow offered by stomata. *School Sci. Rev.* **47**, 149—151.
- Meidner H. (1965 a) Stomatal control of transpirational water loss. In *The State of Water in Living Organisms*. Symp. Soc. Exptl. Biol. **19**, 185—204.
- Meidner H. (1967) Further observations on the minimum intercellular space carbon dioxide concentration (γ) of maize leaves and the postulated role of 'photorespiration' and glycolate metabolism. *J. exp. Bot.* **18**, 177—185.
- Meidner H. (1970) Light compensation points and photorespiration. *Nature, London* **228**, 1349.
- Meidner H. & Mansfield T. A. (1968) *Physiology of Stomata*. London, Mc Graw-Hill.
- Meyer B. S. (1945) A critical evaluation of the terminology of diffusion phenomena. *Pl. Physiol., Lancaster* **20**, 142—164.
- Michael G. (1968) Prüfung der Lebensfähigkeit geschädigter Pflanzen mit Hilfe der kolorimetrischen Methode nach Kauko/Alvik. In *Vorträge und Disk. i. Internat. Baumphysiol.-Symp.* 108—111.
- Michael G. (1969) Eine Methode zur Bestimmung der Spaltöffnungsweite von Koniferen. *Flora, A.* **159**, 559—561.
- Miller J. (1914) A field method for determining dissolved oxygen in water. *J. Soc. Chem. Ind., Lond.* **33**, 185—186.
- Milthorpe F. L. (1961) Plant factors involved in transpiration. *Arid Zone Res.* **16**, 107—115.
- Molisch H. (1912) Das Offen- und Geschlossensein der Spaltöffnungen. veranschaulicht durch eine neue Methode (Infiltrationsmethode). *Z. Bot.* **4**, 106—122.
- Monteith J. L. (1918) Analysis of the photosynthesis and respiration of field crops from vertical fluxes of CO₂. *UNESCO, Nat. Res. Res.* **5**, 349—358.
- Montgomery E. G. (1912) Competition in Cereals. *Bull. Nebr. Agric. Exp. Sta.* **26**, art. V, 1—22.
- Mooney H. A. & Shropshire F. (1968) Population variability in temperature related photosynthetic acclimation. *Oecol. Plant.* **2**, 1—13.
- Mulqueen J., Walshe M. J. & Fleming G. A. (1961) Copper deficiency on Irish blanket peats. *Scient. Proc. R. Dubl. Soc., B* **1**, 25—35.
- Nassery H. (1970) Phosphate absorption by plants from habitats of different phosphate status. II. Absorption and incorporation of phosphate by intact plants. *New Phytol.* **69**, 197—203.
- Nuffield Biology (1966) *Teacher guide III. The maintenance of life.*
- Oudman J. (1936) Über Aufnahme und Transport N haltiger Verbindungen durch die Blätter von *Drosera capensis*. *Ext. Rec. Trav. Bot., Neerl.* **33**, 351—433.
- Owen P. C. (1952) The relation of germination of wheat to water potential. *J. exp. Bot.* **3**, 188—203.
- Pearson V. (1971) *The biology of the mycorrhiza in Ericaceae*. Ph. D. Thesis, University of Sheffield.
- Penman H. L. & Schofield R. K. (1951) Some physical aspects of assimilation and transpiration. *Symp. Soc. exptl. Biol.* **4**, 115—129.
- Perrier A. (1971) Leaf temperature and measurement. In Z. Sesták, J. Čatský & P. G. Jarvis (eds.) *Plant Photosynthetic Production, Manual of Methods*. The Hague, Dr. W. Junk, N. V.
- Pisek A. (1960) The nature of the temperature optimum and minimum of photosynthesis. *Bull. Res. Coun. Israel, D.* **285—289**.
- Pisek A. & Kemnitzer R. (1968) Der Einfluss von Frost auf die Photosynthese der Weisstanne (*Abies alba Mill*) *Flora, Jena* **B**, 314—376.
- Pisek A., Larcher W. & Unterholzner R. (1967) Kardinale Temperaturbereiche der Photosynthese und Grenztemperaturen des Lebens der Blätter verschiedener Spermatophyten. I. Temperaturminimum der Nettoassimilation, Gefrier- und Frostschadensbereiche der Blätter. *Flora, Jena*

- 157, 239—264.
- Pisek A., Larcher W., Moser W. & Pack I. (1969) Kardinale temperaturbereiche und Grenztemperaturen des Lebens der Blätter verschiedener Spermatophyten. III. Temperatureabhängigkeit und optimaler Temperaturbereich der Netto-Photosynthese. *Flora, Jena* **158**, 608—630.
- Polwart A. (1970) *Ecological aspects of the resistance of plants to environmental factors*. Ph. D. Thesis, University of Glasgow.
- Portsmouth G. B. (1949) The effect of manganese on carbon assimilation in the potato plant as determined by a modified half-leaf method. *Ann. Bot.* **13**, 113—133.
- Proctor J. (1971 a) The plant ecology of serpentine. II. Plant response to serpentine soils. *J. Ecol.* **59**, 397—410.
- Proctor J. (1971 b) The plant ecology of serpentine. III. The influence of a high magnesium/calcium ratio and high nickel and chromium levels in some British and Swedish serpentine soils. *J. Ecol.* **59**, 827—842.
- Rainford A. E. D. (1972) Guttation and recovery from wilting in cucumber plants, *Cucumis sativus* L. Honours Thesis, University of Stirling.
- Ramsay J. A. & Brown R. H. J. (1955) Simplified apparatus and procedure for freezing point determination upon small volumes of fluid. *J. Sci. Instr.* **32**, 372—375.
- Richards L. A. & Ogata G. (1958) Thermocouple for vapour pressure measurements in biological and soil systems at high humidity. *Science, N. Y.* **128**, 1089—1090.
- Richter H. & Rottenburg W. (1971) Leitfähigkeitmessung zur Endpunktanzeige bei der Saugspannungsbestimmung nach Scholander. *Flora, Jena* **160**, 440—443.
- Robinson R. K. (1972) The production by roots of *Calluna vulgaris* of a factor inhibitory to growth of some mycorrhizal fungi. *J. Ecol.* **60**, 219—224.
- Rorison I. H. (1968) The response to phosphorus of some ecologically distinct species. I. Growth rate and phosphorus absorption. *New Phytol.* **67**, 913—923.
- Rorison I. H. (1969) Ecological inferences from laboratory experiments in mineral nutrition. In I. H. Rorison (ed.) *Ecological Aspects of the Mineral Nutrition of Plants*, pp. 155—175. Oxford, Blackwell.
- Rychnovská-Soudková M. (1963) Study of the reversibility of the water saturation deficit as one of the methods of casual phytogeography. *Biologia Pl.* **5**, 175—180.
- Rychnovská M. (1965) Water relations of some steppe plants investigated by means of the reversibility of the water saturation deficit. In B. Slavik (ed.) *Water Stress in Plants*, pp. 108—116. Prague, Czech. Acad. Sci.
- Sampson I. (1961) A method of replicating dry or moist surfaces for examination by light microscopy. *Nature, Lond.* **191**, 932.
- Schimper A. F. W. (1898) *Pflanzengeographie auf Physiologische Grundlage*. Jena, Fischer.
- Schimper A. F. W. (1903) *Plantgeography on a Physiological Basis*. Oxford, Clarendon Press.
- Scholander P.F., Hammel H. T., Bradstreet E. D. & Hemmingen E. A. (1965) Sap pressure in vascular plants. *Science, N. Y.* **148**, 339—346.
- Schratz E. (1932) Untersuchungen über die Beziehung zwischen Transpiration und Blattstruktur. *Planta* **16**, 17—69.
- Šesták Z., Čatský J. & Jarvis P. G. (1971) *Plant Photosynthetic Production, Manual of methods*. The Hague, Dr. W. Junk, N. V.
- Seybold A. (1929) *Die Physikalische Komponente der Pflanzlichen Transpiration*. Berlin, Julius Springer.
- Shardakov V. S. (1948) A new field method for the determination of the suction pressure of plants [in Russian]. *Dokl. Akad. Nauk. SSSR* **60**, 169—172.
- Sheikh K. H. (1969) The effects of competition and nutrition on the water-relations of some wetheath plants. *J. Ecol.* **57**, 87—99.
- Shimshe D. & Livne A. (1967) The estimation of the osmotic potential of plant sap by refractometry and conductivity: A field method. *Ann. Bot.* **31**, 506—511.
- Shontz N. N. & Shontz J. P. (1972) Competition for nutrients between ecotypes of *Galinsoga ciliata*. *J. Ecol.* **60**, 89—72.
- Sivadjian J. (1952) Recherches sur la transpiration des plantes par la méthode hygrophotographique. *J. Bull. Soc. Bot. Fr.* **99**, 138—141.
- Slatyer R. O. (1958) The measurement of DPD in plants by a method of vapour equilibration. *Aust. J. Biol. Sci.* **11**, 349—365.
- Slatyer R. O. (1960) Internal water balance of *Acacia aneura* F. Muell in relation to environ-

- mental conditions. *Arid Zone Res.* **16**, 137—146
- Slatyer R. O. (1967) *Plant Water Relationships*. New York, Academic Press.
- Slatyer R. O. & Jarvis P. G. (1966) Gaseous diffusion porometer for continuous measurement of diffusive resistance of leaves. *Science, N. Y.* **151**, 574—576.
- Smith S. E. (1966) Physiology and ecology of *Orchis* mycorrhizal fungi with reference to seedling nutrition. *New Phytol.* **65**, 488—499.
- Spanner D. C. (1951) The Peltier effect and its use in the measurement of suction pressure. *J. exp. Bot.* **2**, 145—168.
- Spanner D. G. & Heath O. V. S. (1952) Experimental studies of the relation between carbon assimilation and stomatal movement. II. The use of the resistance porometer in estimating stomatal aperture and diffusive resistance. *Ann. Bot.* **5**, 319—331.
- Sparling J. H. (1967) The occurrence of *Schoenus nigricans* L. in blanket bogs. II. Experiments on the growth of *Schoenus nigricans* L. under controlled conditions. *J. Ecol.* **55**, 15—31.
- Spence D. H. N. & Chrystal J. (1970) Photosynthesis and zonation of freshwater macrophytes. I. Depth distribution and shade tolerance. *New Phytol.* **69**, 205—215.
- Stahl E. (1894) Einige Versuche über Transpiration und Assimilation. *Bot. Ztg.* **52**, 117.
- Stalfelt M. G. (1932) Die stomatäre Regulation in der pflanzlichen Transpiration. *Planta* **17**, 22—32.
- Steponkus P. L. & Lanphear F. O. (1967) Refinement of the triphenyl tetrazolium chloride method of determining cold injury. *Pl. Physiol., Lancaster* **42**, 1423—1426.
- Stevenson A. G. (1972) Interference by *Mercurialis perennis* on other species. Hons. Thesis, University of Stirling.
- Stewart W. D. P. & Pearson M. C. (1967) Nodulation and nitrogen fixation by *Hippophaë rhamnoides* in the field. *Pl. Soil* **26**, 348—360.
- Stewart W. S. & Bannister P. (1973) Seasonal changes in carbohydrate content of three *Vaccinium* spp. with particular reference to *V. uliginosum* L. and its distribution in the British Isles. *Flora, Jena* **162**, 134—155.
- Stocker O. (1929) Das Wasserdefizit von Gefäßpflanzen in verschiedenen Klimazonen. *Planta* **7**, 382—387.
- Stocker O. (1956) Messmethoden der Transpiration. *Hand. Pfl. Physiol.* **III**, 293—311.
- Sutcliffe J. (1968) *Plants and Water*. London, Arnold.
- Thom A. S. (1968) The exchange of momentum, mass and heat between an artificial leaf and the air flow in a wind tunnel. *Q. J. Roy. met. Soc.* **94**, 44—55.
- Thurston J. M. (1969) The effect of liming and fertilisers on the botanical composition of permanent grassland and on the yield of hay. In I. H. Rorison (ed.) *Ecological Aspects of the Mineral Nutrition of Plants*, pp. 3—10. London, Blackwell.
- Till O. (1956) Über die Frosthärte von Pflanzen sommer-grüner Laubwälder. *Flora, Jena* **143**, 498—542.
- Tinklin R. & Weatherley P. E. (1966) The role of root resistance in the control of leaf water potential. *New Phytol.* **65**, 509—517.
- Tinklin R. & Weatherley P. E. (1968) The effect of transpiration rate on the leaf water potential of sand and soil rooted plants. *New Phytol.* **67**, 605—615.
- Treshow M. (1970) *Environment and Plant Response*. New York, Mc Graw-Hill.
- Turner R. G. (1969) Heavy metal tolerance in plants. In I. H. Rorison (ed.) *Ecological Aspects of Mineral Nutrition of Plants*, pp. 399—410. Oxford, Blackwell.
- Ulmer W. (1937) Über den Jahresgang der Frosthärte einiger immergrüner Arten der alpinen Stufe, sowie der Zirbe und Fichte. *Jb. wiss. Bot.* **84**, 553—592.
- Ungerson J. & Scherdin G. (1968) Jahresgang von Photosynthese und Atmung unter natürlichen Bedingungen bei *Pinus sylvestris* L. an ihrer Nordgrenze in der Subarktis. *Flora, Jena* **157**, 391—434.
- Ursprung A. & Blum G. (1916) Zur Kenntnis der Saugkraft. *Ber. drsch. bot. Ges.* **34**, 525—539.
- Voznesenskii V. L., Zalenskii O. V. & Austin R. P. (1971) Methods of measuring rates of photosynthesis using carbon-14 dioxide. In Z. Šesták, J. Čatský & P. G. Jarvis (eds.) *Plant Photosynthetic Production. Manual of Methods*. The Hague, Dr. W. Junk, N. V.
- Wallace A., Frohlich E. & Lunt O. R. (1967) Calcium requirements of higher plants. *Nature, Lond.* **209**, 634.
- Wallace T. (1961) The diagnosis of mineral deficiencies in plants by visual symptoms. London, HMSO.

- Walter H. (1931) *Die Hydratur der Pflanzen*. Jena, Fischer
- Walter H. (1963) Zur Klärung des spezifischen Wasserzustandes im Plasma. II. Methodisches. *Ber. dt. bot., Ges.* **76**, 54—71.
- Warming E. (1895) *Plantensamfund*. Copenhagen.
- Warming E. (1909) *Ecology of Plants*. Oxford, Clarendon Press.
- Watson D. J. (1952) The physiological basis of variation in yield. *Adv. Argon.* **4**, 101—145.
- Weatherley P. E. (1950) Studies in the water relations of the cotton plant. I. The field measurement of water deficits in leaves. *New Phytol.* **48**, 81—97.
- Weatherley P. E. (1960) A new micro-osmometer. *J. exp. Bot.* **11**, 250—260.
- Weatherley P. E. (1966) A porometer for use in the field. *New Phytol.* **65**, 376—387.
- Weatherley P. E. & Slatyer R. O. (1957) Relationship between relative turgidity and diffusion pressure deficit in leaves. *Nature, Lond.* **179**, 1085—1086.
- Weinemann H. & Le Roux M. (1946) A critical study of the torsion balance of measuring transpiration. *S. Afr. J. Sci.* **42**, 147—163.
- Went F. W. (1970) Plants and the chemical environment. In E. Sondheimer & J. B. Simeone (eds.) *Chemical Ecology*, pp. 71—82. New York, Academic Press.
- Willis A. J. (1963) Braunton Burrows: the effects on the vegetation of the addition of mineral nutrients to the dune soils. *J. Ecol.* **51**, 353—374.
- Willis A. J. & Jefferies E. L. (1963) Investigations on the water relations of sand dune plants under natural conditions. In A. J. Rutter & F. H. Whitehead (eds.) *Water Relations of Plants*, pp. 168—189. Oxford, Blackwell.
- Wilmott A. J. (1921) Experimental researches on vegetable assimilation and respiration. XIV. Assimilation by submerged plants in dilute solutions of bicarbonate and of acids; an improved bubble counting technique. *Proc. R. Soc. B* **92**, 304—327.
- Wit C. T. de (1960) On competition. *Versl. landbouwk Onderz. Ned.* **66**(8), 1—82.
- Woolhouse H. W. (1969) Differences in the properties of the acid phosphatases of plant roots and their significance in the evolution of edaphic ecotypes. In I. H. Rorison (ed.) *Ecological Aspects of the Mineral Nutrition of Plants*, pp. 357—380. Oxford, Blackwell.
- Yemm E. W. & Willis A. J. (1954) The estimation of carbohydrates in plants by anthrone. *Biochem. J.* **57**, 508—514.

(张陆德 译, 阳含熙 校)

第六章 立地和土壤

D. F. Ball

1 引 论

本章根据地学对植物生态学者的需要而安排内容和分量。对立地的地貌和地质特点概要地理解就能满足生态学者的需要，对土壤学的要求则需详加考虑。因为土壤是直接支持绝大多数植物并提供营养，并且是直接控制植物的分布和表现的因素之一。

本章不可能包括土壤科学的全部内容。主要考虑的是野外生态研究所必需的部分。我们是将土壤作为自然体，经过长期演化形成的，而且正在不断地反映着其周围环境的物理和生物作用而进行演化的。我们将土壤作为三维空间动态的连续体 (three-dimensional dynamic continuum) 覆盖在地球大部份表面上的薄薄一层。重点是放在认识土壤形态指标上，以便应用于土壤特征的野外鉴定和土壤分类。我们还将谈及土壤分析技术的各个方面，从数量上确定土壤性质。

不准备在本章中讨论土壤中的微生物和它们对于土壤形成过程的影响，以及它们对养分和能量循环的影响。这方面的书籍有下列诸种：Kuhnelt(1961)、Garret(1963)、Mclaren 与 Peterson(1967)、Burgess 和 Raw(1967)、Wallwork(1970)、Russell(1971)、Phillipson(1971)和 Parkinson 等(1971)。同样，本章不深入讨论土壤作为复合体或单粒的物理——化学性质，虽然了解这些对于从事深入的室内工作，或者野外研究空气、水、养分等在土壤矿物、有机质、土壤动植物和植物根系之间的转移是极为重要的。以土壤肥力为重点的教科书有 Russel(1974)、Cooke(1967)和 Buckman 与 Brady (1969)等著作。以土壤形成与分布为重点的有 Bunting (1967)、Bridges (1970)、Fitzpatrick (1971)、Gruikshank(1972)和 Buol(1973)等著作。

2 立地的自然特点

2.1 位 置

采样或观察点的位置，总是根据被研究性质所控制的精度大小而明确规定的，并且还依赖于以后是否需要进一步观察。如果该立地需要继续观察，最有效的办法是用木椿标记，记载着这一地点对邻近自然景观中固定物体的距离或关系。对植被调查固定样方法的使用在第三章内已讨论。对于一般位置的选定，图上网格法是合用的，如果无合适的地图，也可以用国际生物调查计划中(Peterken, 1967)为自然保护地点记载而使用的速写图。速写图将地面上观察到的或航空照片上显示的，着重表示自然和人为的相互关系

的地物绘在图上，航空照片是用来代替或补充地图的。在丘陵区，相邻地形的高差使得航空照片在水平比尺上引起误差，而使之不能直接用于半定量制图(Firth, 1973),但在沿海或平坦地区，航空照片可以制成大体正确的地图，而不需特殊照相技术。(如最近英国自然环境研究委员会的陆地生态研究所的沿海生态研究站的未发表的资料)。

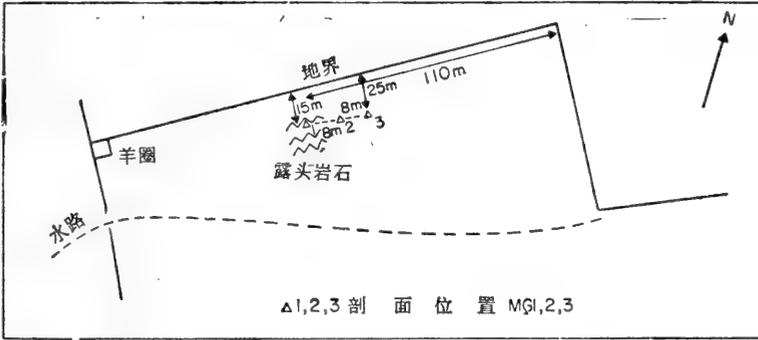


图 6.1a 一个速写图有助于地物记录的例证

立地位置的确定必须根据土壤重要变化的幅度。在 1 米之内可以发生主要二种变化，而在形态上相似的土壤在 10 厘米距离外采取土样可能有巨大的化学差异。变异性、取样和立地确定这些问题对于生态学者来讲却是经常要碰到的，而土壤工作中这些问题就更复杂，因为对某种土壤剖面的观察或取样，就引起它的改变或破坏，而不能在同一地点作第二次观察。

2.2 地 文

Clarke(1971, 5 版)将海拔高度、坡度、坡向、方位、地形和微地形等作为描述土壤的关键地貌因素，生态学者通常也记载这些项目，Curtis 等(1965)也讨论过土壤研究中的这类地貌描述问题。

2.2.1 高度、坡度、方位和坡向

立地的高度可从地图上找到，也可以直接用高度计测出，但要按当地海岸水准点校正。

坡度应是数量的而不应是质量的，因为在平原上所谓的“中等”坡，在山地可能描述为“平缓”或“近水平”的。最简单的测量坡度的仪器是“Dr. Dollar”的坡度计(伦敦 Gutrock 工程公司)，它是一个钢球轴承，滚动于夹在两薄板望远镜的有刻度的半圆凹槽内的。当坡度计的一端放置在一平面上时，这个钢球的位置就指出坡度的大小。Pitty (1968)的测坡计比较大些，但仍是一人能使用的仪器，它能量出坡的角度和长度，因而能使人绘出坡的断面。Armitage 在北威尔士(1973)就用此仪器作野外生态和土地利用的研究。

加拿大(Sneddon 等, 1972)有个九级坡度分类的系统。英国地貌研究组(英国地理工作者协会)用五级坡度分类，绘制英国坡度图。它以 $>11.3^\circ$ 为最高坡度，这显然不适用

于坡度大的地方。Pitty(1969)对山坡分析作过一般介绍。而 Leopold 和 Dunne (1971) 讨论过这种坡地的描述。

倾斜立地的方位(aspect)是从最大坡向平行或向外方向的读数, 可以记录为罗盘读数或方位(如北、北东、东)。

坡向(exposure)是高度、坡度和方位各种地形因素, 再加上局部气候等的综合结果, 是难以作出数量描述的。Lines和 Howell(1963)认为坡向可以用标准的“破布旗”(tatter-flags)为风吹坏的程度, 除以时间的长短而直接测定, 或者说立地的相对坡向可以以气候因素来估计(第七章), 如盛行的主要风向与平均和最大的风速; 雨量的分配和强度, 再加上地势等因素。在森林学上, 有单以地势因素为根据的坡向指标(Pyatt 等, 1969)。立地的“topex”(地形坡向——topographic exposure)值是得自罗盘上八个主点测出所有地平上倾斜角的总合。地形坡向指标值越低, 相对的立地坡向越高。特别是在一地区之内, 相邻的地点相互比较, 这是一个有用的方法。但如将地区间作数量对比时, 必需包括气候因素。Thomas(1973)因为直接估计坡向有许多困难, 所以他根据对植物(树的生长型)的受害情况, 将立地的坡向分级。

2.2.2 地形

地貌专家对地形的描述和制图是复杂的。在某些专题研究中, 生态学者也需采取类似的观点。King(1966)曾讨论过较适合的方法, 而 Beckett 和 Webster (1965) 与 Beckett (1972)曾系统地按“地形单元”论述过地形。在大部分生态学工作中, “地形”一词被解释为围绕样本立地所在地的一般特征: 如山脊; 河谷冲积平地; 或起伏丘陵等。

Glarke(1971)将“微地形”(解释为立地中一米之内的高差)作为一个重要的立地因子, 其实更重要的是“中域地形”, 或围绕立地 10 米直径的地面形状。名词如: 匀一坡度, 露头陡崖; 或圆丘地形中的小洼地, 可用于补充地形描述, 虽然这些描述名词基本上是不能令人满意的, 但与高度、坡度及方位的数量值结合起来, 它们一般还是够用的。通常可在数据记录卡片上还作地形剖面速写图, 如图 6.1 b 的型式。

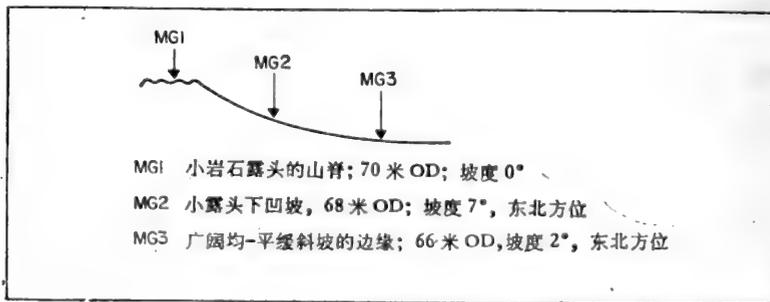


图 6.1 b 地形速写(地势)和性质描述有助于野外记录的例子

2.3 地 质

植物生态学者应从三个方面考虑立地的地质:

1. 埋藏岩石的地层年龄。

2. 它们的出现方式。

3. 它们的岩性。

有关地质学的基础知识可以阅读 Read 和 Watson(1962) 及 Holmes(1965)。

2.3.1 地层

最大多数地质图皆以地层年代为制图单位,而不是用岩石性状,尽管后者对土壤学者和植物生态学者更有直接联系,如矿物学、化学和颗粒的大小。两种在地层年龄上相隔很远的砂岩,作为成土母质,可能比同一地层中的石灰岩与砂岩更有共同的性质。因为地层年龄是地质图的明显标记,而且有时类似岩性的岩石的年龄差异与重要化学的或“风化的性能”相关,所以任何立地描述都应包括地层年代的描述。

2.3.2 产状方式

表 6.1 提供了岩石产状的一个简单分类。再进一步的划分,象冰川地区的冰碛石分类有时是必要的,表中级别是最基本的。值得提醒的是,凡是运积的物质在一立地直接处于土壤之下时,就应尽可能记录这层运积物和其下面的岩层。

表 6.1 下层岩石产状方式的简单分类

岩石的产状方式	原 地 岩 石
块状岩石 散碎岩石	没有风化或散碎的迹象;大块岩层与上部土壤明显地分开。 风化或松碎的岩石,但仍具有原始岩石组织,并常逐渐过渡到下部大块岩石。如果很薄(<10 厘米),这一层系受土壤风化过程的影响,而其下部岩层划为大块岩石。
冰 碛 物	运积岩石物质 包括冰川沉积,如泥砾,冰川砾石和前期冰川沉积,如源头和山麓碎石。如可能时,这两个范畴和它们的亚类应加区别。
冲 积 物 风 积 物	除了河流冰碛砂砾外包括所有流水沉积物体。 包括所有风吹的物体,如砂丘或黄土。

2.3.3 岩石学

岩石学是对某类岩石的组织、矿物、化学和颗粒大小的分析和描述。一个地点的岩石类型和岩性可见于地质图或说明书中,但植物生态学者对岩石类型常需要作些简单的鉴定。

表 6.2 提供了极为简化的岩石分类。在火成岩及变质岩范围内是根据矿物和化学与颗粒粗细而细分的。表的第(ii)部分水成岩是按颗粒粗细与硬度细分的,并将富含铁与钙质的另行分组。这样的简化不可避免地引起很多困难问题。象包括在泥质沉积岩石中的板岩,严格说是一轻度变质页岩,而有些可以属于两种类型,例如钙质岩(calcarenites)。表中提出的岩石名称仅是样例,而不是都能放入各级分类中的全部岩石类型。

表 6.2 中岩石分为 14 个单元。将岩性、岩层和出现方式加在一起,典型的描述应为:坚硬泥质沉积(页岩);志留纪;原地散碎岩石;松软钙质沉积(白垩);白垩纪;原地块状岩石;或酸性粗粒侵入体火成岩(花岗岩);搬运冰碛物(河流-冰川砾石)。

表 6.2 岩石分类大纲

(i) 火成岩与变质岩：火成岩是由岩浆结晶形成的。变质岩是由火成岩或沉积岩受高压或高温重新结晶而形成的

粗放的化学/ 矿物学类别	酸性-中性岩石(多石英 少量铁镁矿物)		中性-基性岩石(多镁铁 矿物, 少量石英)		重基性岩石 (主要为镁 铁矿物)	硅 氧 岩	钙/镁岩石
颗粒大小/ 起源	喷发粗粒 火成岩和粗 粒变质岩	喷发细粒 火成岩和细 粒变质岩	喷发粗粒 火成岩和粗 粒变质岩	喷发细粒 火成岩和细 粒变质岩	喷发火成岩 和变质岩石, 含大量镁铁成 分	石英组成 的变质岩	碳酸钙组 成的变质岩
岩石类型 中的级别范 例	花岗岩 石英片麻 岩 (ii)	流纹岩、 流纹岩灰岩 石 英 片 岩、云母片 岩 (i-ii)	辉长岩, 粗玄武岩 角闪片麻 岩 (i-iii)	玄武岩, 浮石、凝灰 岩 绿帘石片 岩、钙质片 岩 (i-iv)	橄 榄 岩 蛇纹岩 (i-v)	石英岩 (i-vi)	大理石 (i-vii)

(ii) 沉积岩：这些岩石是在地表温度或压力下，由现存在的岩石风化后受流水和风力搬运堆积而形成的

粗放的化学和 矿物学的类别	砂 质 沉 积		泥 质 沉 积		铁 质 沉 积	钙 质 沉 积	
组织	坚硬和或 凝 结	松软和或 松 散	坚硬和或 凝 结	松软和或 松 散	—	坚硬	松软和或 松 散
岩石类型 中的级别范 例	砾岩, 粗 砂岩硬砂岩 (ii-i)	松软砂 岩, 砾岩, 砂 (ii-ii)	板岩*, 页岩 (ii-iii)	松软页 岩, 粘土, 粉砂粒 (ii-iv)	氧化铁 (ii-v)	石灰岩 (ii-vi)	白垩, 泥 灰岩 (ii-vii)

* 板岩系-轻度变质岩，但就其岩性论，放在这一级的分类中更为适宜。

2.4 气 候

第七章讨论气候因素的测定。其中有许多因素对土壤发育是很重要的。因为气候记录站不多,许多生态研究是在缺乏过去当地长期大量气候因子的记录情况下进行的,而且这些气候记录今后也不能得到。因此在描述土壤的记录上,大都是关于立地年平均雨量的大概数值。这对不同立地需用气候因子来对比时非常不够。年度和季节的降雨和气温、风速与风向、辐射、霜害等,都是一些主要气候因素。尽管短期近期的气候对植物有直接的显著的影响,某些因素象一年中的霜期和全年雨量分布可能对土壤的影响是直接的,但立地土壤剖面的一般特性是数千百年气候影响的结果。现在某一立地的精确的气候记录并不是以解释土壤的差异,因为今天立地的气候与过去影响土壤发育的气候并不一样。

3 土壤的野外描述

3.1 准 备 工 作

土壤描述及制图的程序可参考美国农部(1951),Clarke(1936—1971各版)和Taylor

及 Pohlen(1962)等书籍。英国的土壤调查正归纳成一本田间手册,其第一部分关于土壤描述及制图刚出版(Hodgson, 1974)。

土壤描述和分类的基础是土壤剖面(3.2)即由地表到未受土壤形成作用的母质的垂直剖面。所谓“未经土壤形成作用”的明确定义是很难简单说清的,但根据常识来判断未受变动的母质或基岩的开始是常常可能的。有时基岩并非土壤母质,象从某一来源的冰碛物覆盖在另一种岩石上,或象土壤是全部或部分由一薄层的风积物发育形成的。土壤剖面研究可以在某些自然露头上进行,而且我们也可以从中得到有用的材料背景,但一个长期非自然的露头经常存在着特殊的水分、化学和生物学方面的状况,因而不适于作为描述及取样的代表。近期的挖掘(如田间排水、埋管道及公路工程等)可以提供一个三维空间的土壤剖面良好情况,但在正常情况下,必须挖掘土壤剖面坑(图 6.2)。这种土坑的大小要根据人力物力和这一地区的性质。在无石而松软的土壤上,一个手持土钻孔可获得一个不受压挤的剖面而无需挖坑。对更多土壤来说,可以用一动力土钻例如安装在车上的钻机(Wells, 1959)取得一定未受压挤的剖面。有时也用机械钻,但大多数情况下土坑是用铁锹挖的。

在英国剖面坑经常以约 1 米为最大限度,如果母质或基岩浅就小于一米。在有些情况和其它地区,这种深度是不够的。为了露出一米深的土壤剖面,一个土坑最小的面积需要一米乘 60 厘米,但在英国 60 平方厘米就行了。为了减少立地受践踏,挖表土和植被时,应尽可能使它们在以后可再移回原地,挖掘出来的土壤应堆在土坑的一边放在一块坚固的塑料布上。选择最向光的方向为土壤观察面,并避免在它上面践踏。挖好之后,待研究的土壤面应再以泥刀或电工刀精细地刻掉数厘米深,以提供一自然干净的面,这样利于观察、计量和采样。这样干净的土壤面可即时使用,或稍待其干燥,以便使土壤结构单位更明显。如果摄影则应有一合适作比尺的物体与剖面对比。

3.2 土壤剖面和记载项目

土壤曾以地质名词如“花岗岩”土或“白垩土”来描述,也有以其表土腐殖质的性质来描述,如“粗腐殖质土”或“熟腐殖质土”。它们也曾按地形地位被称为“谷底土”或“陡坡土”;或以简单的形态分为“棕色砂质土”或“重粘土”;或以化学级别称为“低盐基土”或钙质土。这些描述至今还在用,但是不够确切了。

第四节讨论了关于推广一个能普遍应用的土壤分类的困难性。这里提出的土壤分类,是以土壤作为一个自然体的观点为依据,认为土壤在形态上发育成为显明的剖面类型,是物理的,化学的和生物学的过程相互影响于母质的结果,所谓母质,经常是矿物质,有时也为有机质。土壤剖面包括一系列一个或多个层位,(图 6.2)大体上为清晰的平行层位,以颜色、质地和结构等特性而彼此区别。

在讨论经常用以确定层位的资料前,首先应考虑如何最好地记录它们。图 6.3 是一种合适的表格在采用了文字记载的项目,这土壤调查时常用的表格而略加修改的。表的上部记载立地的资料和一般土壤剖面特性,下部包括层位记录。

另外一种的形式是将级别或观察到的土壤性质,用格子打记号。这种形式在英国土壤调查中发展为两种,主要看立地的要求粗细程度,另外的一种,如图 6.4,现为英国大陆

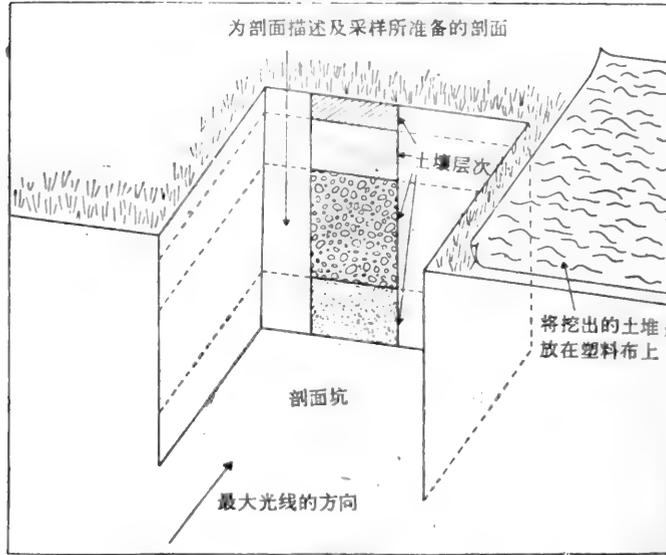


图 6.2 土壤剖面坑速写

剖面名称 立地位置		地图符号			采样日期		地图备注				
高 度 坡 度 方 位	地 形	立地排水		基 质		立地降水					
主要土类 (或亚类)	土系相种		剖面排水		土壤母质		植 被				
层次深度、 分类和层 次边界清 晰 度	颜 色	田 间 结 构	石砾数 量 和 类 型	土 壤 结 构	孔 隙 度	结构力	目测有 机 质	根系 分 布	田间 湿 度	蚯 蚓	层次名称 和 记 载

图 6.3 用文字记录立地和层次资料的土壤剖面描述表

生态研究所试用。其他的办法，有将剖面记录以数值号码来记录(见Muir 和 Hardie,1962, Barkham 和 Norris,1970 John 等,1972)。Rudelforth 和 Webster(1973) 介绍在小规模上用穿孔卡来储存并可随时部分地更正土壤剖面记录。

对于比较小规模或局部的研究,文字描述最为适合。它可直接以惯用的文字描述出版。那种记号方法可以直接将数据转为电子计算机的储存和分析资料,它特别对大量数据搜集有利。这一方法的优点是加强对任何土壤特性作出判断,因为记载项目是属于是

立地编号 1	立地名称 CHAODESLEY WOODS	观测点 P.A. STEVENS	日 186	年 1973	剖面编号 I
东公里 391	剖面结构 S	主要植物种 1484 1619 687			
北公里 273	母质 5S 3S				
高度 (m) 128	基岩 SZX	植被类型 1D14A	F层厚度 (cm) 2		
坡度 12	地点排水 1	L层厚度 (cm) .3	F层性质 MATTED		
方位 280	剖面排水 1.5	L层成分 1484	F层成分 1484		
降水 (mm) 762	土类或亚类 5.51				

N 层次编号 5

样品代号	CW 1/1	CW 1/2	CW 1/3	CW 1/4	CW 1/5
层次符号	A	A/B	B1	B2	C
层次深度(开始)	5	1.6	2.5	5.2	8.0
层次深度(终止)	1.6	2.5	5.2	8.0	9.8+
低边界清晰度 ss	1.5	3.6	3.6	3.6	
Munsell颜色(底)	7.5YR 3/2	5YR 4/4	5YR 4/8	5YR 4/6	5YR 5/6
Munsell颜色(固体表面)					

斑状

A 数量	1	1	1	1	1
缺乏	<input checked="" type="checkbox"/>				
少	<input type="checkbox"/>				
中	<input type="checkbox"/>				
丰富	<input type="checkbox"/>				
B 大小	1	1	1	1	1
很少	<input type="checkbox"/>				
少	<input type="checkbox"/>				
中	<input type="checkbox"/>				
大量	<input type="checkbox"/>				
C 显著度	1	1	1	1	1
弱	<input type="checkbox"/>				
清楚	<input type="checkbox"/>				
显著	<input type="checkbox"/>				
D 颜色					

图 6.4 土壤剖面描述表的第一部分(用记号或数值填写)

或否的方式,但相反地说,文字的描述则表示土壤过渡特性的细微差异。不过选用记录的方法都不能明显地增加对土壤描述的准确性,因到目前为止,对土壤许多特性的描述还不易从客观上和数量上确定。

3.2.1 在土壤剖面描述中应观察和记录的特征

为了方便,必须记载的土壤特征是按次序列在图 6.3 的表格中,命名法是有代表性或大家能接受的,但不能算为一成不变的,因为后者还不存在。

剖面要注以索引号码,它的位置以文字说明和方格引证或草图。当土壤描述作为调查的一个组成部分,制图符号要确定。采样日期要记载,高度、坡度和方向要有数量的记

录、而地形则以文字和断面草图表示。

立地排水是对地面和近地面流水的吸收与流失量二者平衡的估价。它分为：

正常——流入流失两者大约平衡。

流失——流失远大于流入。

吸收——吸入的地表水可能大于流失水(a)有流失但微细(b)无流失。

基岩是以野外观察或地质图上资料而记载，母质要注明其相同于或有别于基岩。

在这一章内有时指出某些生态学者对土壤资料的记录有局限性，因为那种对气候和植被方面的习惯性的土壤描述不够重视，也充分反映在土壤学者身上。典型的例子，是生态学者在估价年降水量和植被的范畴中，只能希望他们找出“白垩草地”，矮赤杨林地或水藓沼泽等。

主要土类、土系、土相、土种可以在田间确定，但通常是后来根据选择的分类系统作再确定(4.2)。

剖面排水是主观的分类，是根据观察水分情况、水的流动和土壤的颜色、质地和结构。它们的等级有如下所列。

过分——当持水量很低的土壤出现在松散和通透性极强的母质上和覆于基岩之上的浅土层时，即成排水过分。在某种程度上，这类情况也包括低水分含量的薄层土覆于硬化的底土上。这些，都是旱季排水过分，在湿季又呈滞水的现象，主要是由于底土渗透性低弱，因而它们应按一种复杂排水的特殊类型处理。

自由——具有中等至良好持水量的土壤，但土壤孔隙中无滞水情况。因此在从表层至母质，或最少到75厘米没有灰或锈色的基质上的斑纹。自然，单一的灰色可能出现在某一排水无阻的特殊土层内，同时持久的灰色可能是从母质遗留下来的。

欠良——这些土壤在相似的母质上，其表层以排水良好的基质颜色为主，但根孔内具有锈斑，并通向下部愈呈浓灰色斑纹层。一般规定，在长期滞水的情况下，30厘米是开始出现强斑纹的深度。

不良——排水不良的土壤具有占优势的灰色，这是由于滞水达到或近地表，在还原的条件下形成低氧化铁，典型的情况出现在带有重锈色斑纹的暗灰色薄表层下。(在某些特别红的母质上，尽管排水极端不良，灰的颜色仅能发展为中等的)。

极端不良——这一级别的排水，只用于大致为长期水分饱和达到表面的土壤(虽然不是淹没)。这些土壤经常是全部泥炭性质的，或者是表面几层为泥炭土覆盖在淡灰色的长期浸水的矿质土上。

表格下部关于土层各种特征的记载，是根据Clarke(1936至1971年版本)和美国农业部(1951)。土壤描述规范(FAO,1968)为不同层次参数提出了大小分级的方案，有些于下面加以采用。联合国粮农组织认为最宜于描述土壤的术语，是那些为土壤野外工作人员广泛接受的术语，这本规范正确地以美国农业部手册为基础，并说：“这些术语确比其它系统受到更广泛的使用与接受”。本书也遵循这样的观点，广泛接受和使用的术语，比之那些为了追求更准确而并未多用的未经考验的新术语，目前更为可取。

土层深度 分类和边界。土层深度经常从地表向下记载(如0—5, 5—18, 18—24厘米)，而不是用存在有机质表土层时，从有机质层底部向上和向下量度的系统。在野外和在室内分析后，土层是以符号分类(3.2.2)。土层边界的鲜明程度规定如次：鲜明：在

不到 2 厘米内出现变化;尚鲜明:变化出现在 2 至 5 厘米间;过渡:清晰的变化出现时大于 5 厘米。至于边界是水平的或起伏的也要注明。

颜色 颜色可在野外或在室内鉴定田间的湿润的样本,最好是参照 Munsell 系统典型颜色作对比(Munsell Soil Color Charts, Munsell Color Co., Baltimore)。颜色图表的剪片是用色彩(hue)、明暗程度(value)和色艳(Chroma)区分的,因此 2.5 Y·R 5/4, 红棕色的例子,即为一种颜色名称。没有此书时,则用人为的描述名称,但根据颜色标准图表则能保证较大的一致性。日本译制的 Munsell 的书比较价廉,而且有很多的不同颜色剪片相配合,但它不耐用,且没有提供国际上使用的 Munsell 名词。基色上其它色的斑纹可以记为微弱或强烈。按大小分为小(<5 毫米直径)、中(直径 5—15 毫米)和大;以及偶有(占面积<5%)、经常(占面积 5—25%)或大量(例如微弱、偶有,小斑纹 10YR 5/6, 黄棕色)。

田间质地 是通过眼看和手摸对土壤大小颗粒比率的一种估计,实验室内的分析在量上决定大小颗粒的比率(6.3.1),田间质地是按室内分析数据而决定的。标准的质地等级要挑出石砾(>2 厘米)后,分析到土壤的细土部分(即直径相当于 2 毫米部分)。颗粒的级别包括:砂粒(2.0—0.05 毫米),再分为粗砂粒(2.0—0.2 毫米),它用手指摸时有强烈的磨手感。还有细砂(0.2—0.05 毫米),它的单体颗粒能被识出并有砂的感觉;粉粒(0.05—0.002 毫米),单体颗粒不易识别,但给人以一种平滑和似肥皂的感觉,只是不太粘着;粘粒(<0.002 毫米),有粘着感,并易在指间碾出可塑粘条(如果干燥,加定量的水分及人工可使其恢复其可塑性)。这个 0.05 毫米的界限是美国划分砂粒与粉粒普遍使用的。老的 0.02 毫米国际界限仍常使用,近来 Avery(1973)按照工程作业提议以 0.06 毫米为界限。

质地分组边界来自一三角图表(例如美国农业部 1951:图 6.8),表的三个角尖代表 100%的砂粒、粉粒和粘粒。在此范围内,将野外观察到性质联系起来就是质地名称,而任何土壤以它的室内粒级的分析可从三角图上找到应得的质地名称。田间质地的估计,依借感觉,加以对已知土壤颗粒分级的经验,能达到与室内分析的质地不相上下。田间的质地受到石砾成分,特别是细石砾和有机质的影响,因此,质地名称前面常加上石砾的,有机质的等状词。在三角图上的质地组别是用手摸出来的。砂粒:干时松散,湿时毫不粘贴。壤质砂土:湿时只显微弱的粘合作用和可塑性。砂壤土:砂粒成分明显,但易成型,在充分水湿时亦无粘着性。壤土:湿时易成型,并略粘手指,但砂粒成分明显。粉砂壤土:中等可塑性,但无粘着性;粉粒的平滑和肥皂感觉明显。砂质粘壤土:充足的粘粒,湿润时使之粘着,但砂粒成分是其明显特点。粘壤土:湿润时粘着,但砂粒仍可摸到。粉砂粘壤土:不像粉砂粘土或粘壤土粘着,有少量砂粒,因粉粒成分的存在具肥皂感。砂质粘土:湿润后显可塑性和粘着性,但砂粒部分明显,不显粉粒的影响。粘土:湿润时极粘,干燥后时极硬。粉砂粘土:极低的砂粒成分,但粉粒的平滑感减少了粘粒的粘着性。粉粒:主要为粉粒的平滑肥皂感觉所占据。有机质:高的有机质含量,不能归之于上述各级。

轻、中、重形容词,一般适用于砂质、壤质和粘质的土壤。

石砾的量与相 石砾(>2.0 毫米)含量多寡可以定为无、偶然(按体积<5%),经常(5—25%)或多。如果在田间或室内筛选,即可从重量或体积直接测定出石砾的含量,但一般都不那样作。石砾的体积是以小、中、大(或称砾石、石块和巨砾)形容,这些都在平均 1 至 10 厘米直径之内划分。石砾的形状可能是圆形、近角形或多角形。岩性,如枚岩、石

灰岩等等应像岩石一样注明(2.3.3)。

土壤结构 指的是土体颗粒所结合的自然团聚体。对土壤结构分类提出过许多方案,而且团聚体的形状、体积和结持力等皆可以在实验室内在数量上测定(6.3.4),但下列名词一般足够用了。单粒,无结构:无团聚作用,如砂粒。团块:近圆形、松软,多孔的团聚体,可再依大小分为小团块(<3毫米)、中团块(3—6毫米)和大团块(>6毫米)。这些皆属于中等质地的排水通畅的土壤。团粒:单体皆团块状,但比较坚固和透水性微弱。温带地带的土壤,很少有上述情况,它们属于钙质土的黑色石灰土的典型结构。块状:(有时称坷垃)近四方形平面体,多角的团聚体(可自行分裂为团块结构),并分为小(<12毫米)中(12—25毫米)和大(>25毫米)。这类结构多出现在排水欠良的中至重质地的土壤中,也常见于排水畅通、有机质含量低的为机械耕种压实的土壤。稜柱状:竖直面比其它面大的多角的多面体。出现于季节性滞水层位的粘重土壤,由于湿时膨胀,干时收缩的结果。薄层状:属水平伸长片状结构单位,出现于冲积土壤中,特别是粉粒质地,也有来自受冰冻影响的冰碛物的前身。整块,无结构:属一明显单纯的粘结土层,没有结构单体。

结持力可分如下列:弱:只可见于剖面的表面,易为手动破坏。中:未翻动的土壤不明显,但单体能经受轻微触动而保持完好。强:未翻动的土壤单体明显,除施以相当大的压力外形状都不变。

孔隙度 是对一个土体内体积和孔隙数量与分布的估计。这种质量是与质地和结构相联系的,并且提供对水分运动难异的估算。确应对它作数量上的判断,但人为的评定能有效地增补其它被记录的特点。常用的分级为:贫乏:极端稠密的组织,仅有少量中或大的互相联系的孔或裂隙。中等:少量中或大孔隙,但组织较稠密。良好:土体组织具有一系列的坚固而互相联系的中和大的孔隙,有时成为一个广泛而持久的裂隙系统。过度:土体疏松,具有丰富的互相联结的大孔隙。

结持度(handling consistency) 是另一种受有机质含量、质地、石砾和构造的影响而与质地密切相关的一种补充的特性。级别分为:松散:单体结构,毫无结合力或粘着性。松软:极疏松,柔软而近似松散——但土粒是团聚的经常是小团块结构并含有高量的有机质。疏松:易分裂为团块或小团聚体,但不粘手。粘结:粘手和工具。紧密:整块和坚固,不显粘性或易分裂为小团聚体。固结:用手不易破碎,开始亦不易挖掘,但挖进后土体较易分裂。纤维的——只用于高有机质层:团聚体富含并基本上为植物根纤维或植物碎体所拢住。油滑:软滑物质不具明显的团聚体。

有机质估计 是一项对各土层有机质含量和性质的概括指示。数量上的估算是以极高、高、中或低,基本根据土壤颜色,较暗色的土壤含较高的腐殖质成分(分为30, 15, 和5%的重量计的有机质)而估计。

表土有机质的性质可描述为:粗腐殖质层:单纯有机质层几无矿物质掺合。进一步划分经常用(见表6.3)L层(新鲜枯枝落叶),F层(半分解的,原体尚可见),H层(完全分解的有机质)。酸性腐泥:是介于粗腐殖质与细腐殖质之间的,以较高量的分解有机质为主,但含有大量矿物混合物,后者可以是极小团块单体,表面暗色过渡到核心为淡色(细腐殖质状——酸性腐泥),或像漂白的砂粒。细腐殖质:主要为矿质,其中有机质完全改变了其原来组织,并且全部和紧密地与矿质结合,只有一种较暗的颜色使之与其下部含有机

质少的土层有区别。对泥炭物质(O层,见3.2.2),一种质量上的细分为:纤维性的:由可以辨识的植物遗体所组成,在处理时保持其个体形状。假纤维性的:植物遗体仍可具原形,但以半分解,处理时不保存原样。无定形:缺乏原植物遗骸。

根系分布 土壤工作者很少计算植物根的数量或重量,一般只作总量的估计,以稀少,少量,多见,丰富等词来描述。根系的类型,如纤维性的,肉质的,木质的,和它们的分布与土壤剖面特点的关系也有记载。第四章指出这种有限制性的方法的弱点和应在土壤描述这一方面加以改进的问题。

田间水分 水分状况可以影响土壤颜色或结构的估计,人们往往主观地描述为干燥、湿润或潮湿。

蚯蚓 缺乏生态学专长的一般野外土壤工作者,也受到这方面限制,在习惯性土壤描述中,对土壤动物的观察只是把蚯蚓作为一族,而仅提出蚯蚓的有无。经常对蚯蚓数目的粗略数量用少许、常见或很多来描述。在一些土层中蚯蚓孔洞形成显见的特征,虽然没看到蚯蚓,但土层记录下他们存在过。

表 6.3 土 层 符 号 系 统

主要土层符号	
O	此层虽有矿物质掺杂,但基本为有机质成分(烧灼量>30%)。
A	此层在或近于表面,矿物质与有机质紧密结合,因之不能称为有机质层(烧灼量<30%)。
E	此层在O和A层之下,三氧化物(Fe、Al)和/或粘土颗粒从此层向下移动。
B	此层为矿质土的亚表层,受物理、化学和生物化学的改变,而具结构、颜色或质地有别于其上、下层。
C	此层只受到潜育化(滞水情况)和次生盐类的累积(特别是钙和钠)的矿质层,其它则未受到成土过程的改变。
R	此系未变化的岩石,即使在潮湿情况下,用锹也铲不动。
主要土层的过渡层,可用A/B、B/C等符号表示。只有下列字母尾适用于所有这些过渡性土层的。	
用数字的字首和字尾表示	
阿拉伯数字的字首(2-,3-,等等)用于埋藏剖面或土层,即是说层次的迭复,在二次或更多次土壤形成造成的土层重迭。惯例是:1免去使用,因此,例如,砂丘断面可有A、C、2A、2C、3A、5C。这就可以指出一种AC土壤的迭复顺序,发育在不同的时间。	
罗马数字的字首(II-III-等)。用来指示在一土壤剖面一次形成过程中原始地质(而非土壤的)的不连续。例如风积沙复于漂砾之上,可能产生A、E、B、II C土壤剖面层次。这些数字型符号在文字中是明显区别的,但必须在文字表示中说清楚。	
阿拉伯数字字尾(-1,-2等),使用在主层再分时不用文字作字尾的指示的情况中。这一般是用在一个土层的分析或为其它原因取样时采用的方法,例如一个剖面A ₁ ,A ₂ ,B ₁ ,B ₂ ,B ₃ ,C ₁ 。这种用法可能与现在应用的别的符号发生混乱(例如Ea等于其他用法的A ₂)。因此要仔细地从前文中去与本索引的命名相比较。这些用法,凡是划分土层为重要的地方,都要在出版物中加以说明。	
次要的土层的符号	
可附任何主要土层的字尾	
g	此层显示在结构上和颜色上受中等滞水时期的影响。
gg	此层显示主要在结构和颜色上受长期滞水的影响。
c	此层含残余的碳酸钙。
k	此层含次生磷酸钙的沉积。
n	此层在交换性阳离子中含过多的钠离子,或游离的氯化钠。
x	此层因固结作用而具有巨大的结持性。
可用于O层的字尾	
o	此层烧灼失量>60%。
l	此层植物遗体未分解。(纤维状)
f	此层具有肉眼看得出来的半破坏和分解的植物遗体(假纤维状)。
h	此层为不能辨识的分解的腐殖化的植物遗体组成(无定形)。

- p 此层为耕种或犁翻土层。
可用于A层的字尾
- h 此层因富含有机质成分而显暗色,但不足称为有机质层。
- hc 此层像 h 层,但也包含淋溶的沙粒或碎石块。
- p 正如 O 层时解释。
- an 此层受人为影响,变得深厚或增加了有机质。
可用于F层的字尾(淋溶层)
- a 此层中的二、三氧化物向剖面下部迁移。
- b 此层中的粘粒向剖面下部移动。
可用于 B 层的字尾(淀积层)
- h 此层含腐殖化有机质的水平比其上、下层皆高。
- s 此层含铁、铝的水平比其上、下层皆高。
- t 此层含粘粒的水平比其上、下两层皆高。
- fe 铁盘。
可用于 C 层的字尾
- r 此层主要为由其基岩成散碎风化物所组成(R 层)。

土层号码和记录。这一项中土壤层次要标号以为后来的参考,因此,例如剖面 ME 78 中连续土层应标以 ME 78/1,/2,/3。留在此处的小空白,可用来填补其他未能包括的特性。如果那些特性经常需要考虑(例如在干旱区域盐渍土中次生化学物质),可另立一项插在描述表格中。

3.2.2 土壤层次符号

土壤是按剖面层次顺序加以描述的。为帮助土壤对比、联系和分类,单个层次应以符号。具有近似土层顺序的土壤可归在一起,而不管层次的厚度和其形态上的细节。表 6.3 中介绍了土层符号。没有一个单一国际上采用的系统,这里是根据 Kubierna(1953)和国际土壤学会(1967)所拟定的,是有广泛应用性的。

第一步分为六个主要土层,用大写字母表示,然后用语尾的小写字母和数值以及语首数值来进一步细分。

4 土壤分类

4.1 土壤分类的一般原则

土壤分类的中心问题是将三度空间的变异体,用简单而严格的级别来区别,土壤的变化是逐渐而非明显区别的,它们经常不是同时并行的。因为它们对不同的环境因素有不同的反应。理论与实践上对土壤分类进行了广泛的讨论(例如 Kubierna, 1953; Muir, 1962; USDA, 1938, 1960; Smith, 1965; Webster, 1968; Fitzpatrick, 1971; Buol 等, 1973)。在此,我们不准将土壤分类历史性发展中的一切观点加以回顾。土壤学家选择一个分类系统所碰到的许多问题,生态学家在进行植被分类时也都碰到了(见第三章)。

我们假定土壤分类对生态学者是有实用价值的,并且它的最广泛应用的体系需是以剖面形态为基础的,剖面形态在定义上就包含了许多广泛的化学、物理学和生物学参数。对某些问题,已有的知识也许提出以单一的参数为分类依据,例如表土的质地或有机质含量,但这样的分类,一般说来用途不大,除非作为一个广泛的分类系统的补充。

Fitzpatrick(1971) 提出了使人信服的理由来反对等级分类系统, 这些系统承认土壤类型和与环境有关的成土过程之间具有明显的或不明显的相关。这些理由着重在这类系统不能有效地概括一种不只是演化的而且是连续的物体, 必须生硬地将一些中间型或过渡型土壤归纳在一个严格的等级体系之中。而且每一土壤级别名称不足以表达土壤的全部情况。尽管这些反对意见是正确的, 但在某种程度上, 局部或区域性的“自然”发生学系统仍有足够的理由和价值被采用, 如 Kubiena(1953) 为欧洲制定的土壤分类系统。

各种土壤分类的途径是:

(i) 美国农部所制定的第七次草案的扩大的等级分类系统, 它引进用数量区别田间和室内分析参数的独创性术语以决定土层和土壤级别。

(ii) Fitzpatrick 的方案(1971)。是根据另外一种对土层定义和其厚度新命名法。它采用字母符号和附加数字来反映各层土壤的特性, 而对每一土壤个体用一个公式表示。根据土层顺序的相似性, 将土壤剖面归为级别, 而无须认为这些级别之间有发生学或环境上的关系。这些级别是为特定目的选用的。

(iii) 土壤分类的数值方法(Bidwell 和 Hole, 1964; Rayner, 1966, 1969; Campbell 等 1970; Guanalo和Webster, 1970; Norris和Loveday, 1971; Norris, 1972; Moore 等, 1972)。用电子计算机的数据处理来进行群的分类。尽管原始数据还带主观性, 这些方法在数据处理上却具有更大的表面上的客观性。但至今还未建立一个比通过形态学和发生学途径的土壤分类更明确和更适用的土壤分类系统。

4.2 土壤分类系统

4.2.1 国际土壤分类

美国农部的分类系统(1960, 1967 和参阅 Smith, 1965), 对世界土壤分类, 作了最全面的尝试。它还未能充分显示它的优越性, 而赢得除美国以外的普遍承认, 而且对一般的应用来说是比较复杂的, 但当生态学者想用国际通用的方法详细确定土壤时, 他们还得考虑美国的分类系统。Mitchell(1973) 讨论过在坦桑尼亚和苏丹共和国实际应用美国分类作土壤调查。Buol 等(1973) 对这个系统的十个土纲作了最详细讨论, Bridges(1970) 和 Cruikshank(1972) 也作了其他总结。Ragg 和 Clayden(1973) 近来考虑了这个系统对英国土壤的应用。

另一 Fitzpatrick(1971) 的国际土壤分类系统确有其优点, 但未能得到广泛的接受。

Ball 广泛研究可以使用简单的系统, 就象 Ball(1967) 在 Peterken 介绍的那个系统(Aubert & Du Ghaufour, 1956; Aubert, 1965 和 Duchaufour, 1956, 1970)。生态学者应用这种系统对全球水土保持地区的土壤作了分类。使用过的学者评论后得出稍加修改的系统如表 6.4, 这是对原先出版稍加补充后的。这个系统有六个土壤等级, 并包括以土层顺序为基础的十四个亚级, 还有一个关于要点的 6.5 表, 它能帮助从部份的化学和形态的记录中选择合适的亚级。但对许多目的来说, 这个系统是过于简化了。

表 6.4 世界土壤分类大纲
土壤等级

土壤等级	亚级	(土层顺序)主要剖面型	每级中土壤亚类例子	亚级代号
盐渍土壤 (S)	—	AngC AnBnG	盐土 碱土	S ₁ S ₂
三氧化物(铁质)土壤 (Fe)	—	ABC	红色石灰土, 红壤 砖红壤 铁质棕壤	F ₀
有机土壤 O	—	O	泥炭, 中性沼泽土, 沼泽土	O
排水良好, 非盐渍非铁质土	具石灰性表土层或亚表土层	AcC	黑色石灰土, 黑钙土 栗钙土 褐土	F ₁
具有良好剖面发育 (F)	全剖面无石灰性	ABcG	棕色钙质土 棕色石灰土	F ₂
		AC	棕色薄层土, 棕壤	F ₃
		ABC	棕壤 酸性棕壤土带潜育层棕壤	F ₄
		ABsC:OEaBh 和/或 BsC; Eb Bt, G	灰壤、泥炭灰壤、棕色灰化土、假灰化土	F ₅
排水不良, 非盐渍化, 非铁质化, 具有良好剖面发育土壤 (P)	具石灰质表土层或亚表土层土壤	AgBggcC	钙质潜育土, 中性沼泽白垩	P ₁
	全剖面不具石灰质	AgBggC	非石灰质潜育土	P ₂
具微弱剖面发育的土壤 (I)	气候因素控制缺乏剖面发育 受时间因素的限制缺乏剖面发育	AC	灰钙土、棕钙土 漠钙土	I ₁
		AC	未固结的母质, 近代冲积粗淤积土, 灰色污积土, 岩成土	I ₂
		AC, OC	巨块母质, 岩石土和粗漂砾聚积层的石质土	I ₃

对某一土壤应放置在那一个级别可以使用下一个检索表 (当一个土壤不能置于一个级别之内, 必须将它放在两个或更多级别之中; 例如一个山地浅层 AC 剖面, 很可能定为 F₁ 或 F₂ 和 I₃ 之间。

表 6.5 对于表 6.4 中土壤级别用的检索表

1. 含高度盐碱的土壤	2
不含高度盐碱的土壤	3
2. 在上部土层含水溶性盐类的盐渍潜育土	S ₁
底部土层含水溶性盐, 表土含高度交换性钠的盐渍土	S ₂
3. 含高度氧化铁的土壤	F ₀
含正常浓度氧化铁的土壤	4
4. 至少 50 厘米厚以有机质为主的表土的土壤。如全部剖面少于 50 厘米时, 有机质表土层直接复于未风化的岩石上面	O
具有或不具有有机质表土层的土壤, 覆盖于 < 50 厘米矿质表土层的土壤	5
5. 排水良好 (即在 40 厘米厚土层内, 不具有明显积水滞水现象)	6
排水不良 (即靠近 40 厘米土层内, 具有斑纹颜色或滞水滞水现象)	7
6. 未成熟剖面, 即仅具微弱发育和浅薄土壤形成, 可能很少生物活动	8
发育优良的土层顺序, 具有中度至强度的生物活动	8
7. 由于气候因素导致未成熟, 如降水量极低和/或温度亦极低	I ₁
由于土壤形成时间不够:	
(a) 在细质地物质, 如较新的冲积物上, 沙丘和质地粘重的冰碛的侵蚀面	I ₂
(b) 在极粗糙质地的物质上, 如漂砾堆积, 或巨块岩石	I ₃
8. 一或几层土为石灰质的	9

- 全剖面是非石灰质的
- 9. 浅或仅具简单的A层, 覆盖于母质之上 F₁
ABC剖面 F₂
 - 10. 浅或仅具简单的A层, 覆盖于母质之上 F₃
ABC剖面 F₄
剖面包括 B₁, B₂ 或 B₃ 层, 显示移动的腐殖质, 铁质三氧化物或粘土 F₅
 - 11. 一个或几个土层内为石灰质的 P₁
全剖面不具石灰质 P₂

表 6.6 英国土壤分类

矿 质 土 壤	主 要 土 类
(1) 粗矿质土壤:	除 C _g 层外, 缺乏连续横向发育的任何主要土层
(2) 薄层土壤:	具有 O 或 A 层及 C 层的非石灰质土壤, 但无 B 层, 有些变异相, 具有初期 E 层
(3) 石灰质土壤:	具有 A _c 和 C _c 层或具有 A, B _c 和 C _c 层的土壤。
(4) 棕 壤:	矿质土壤, 一般为 A, B ₁ (而非 B ₂ 或 B ₃) 和 C 层, B 层是非石灰性的, 但具有包括 E _b 的变异层
(5) 潜育土:	在表土或接近表土具有 g _g 型层的土壤
(6) 灰化土:	具有 B ₂ 和/或 B ₃ 层的土壤, 但经常而非一定在下部有 E 层
(7) 有机土壤:	除深度 < 50 厘米的 O 层不具主要土层的土壤。

亚 类

(表中土壤系列是引为举例, 未包括全部亚类)

土 壤 亚 类	剖 面 层 次
1. 粗矿质土壤	
1.1 非潜育化矿质土壤	C
1.2 潜育化矿质土壤	C _{gg}
2. 薄层土	
2.1 泥炭薄层土	O, C 或 C _r
2.2 腐殖质薄层土	A _h , C 或 C _r
2.3 棕壤薄层土	A, C 或 C _r
2.4 灰壤薄层土	A, E _a , C 或 C _r , O, E _a , C 或 C _r
2.5 潜育薄层土	A 或 A _g , C _g
3. 石灰质土壤	
3.1 腐殖质黑色石灰土	A _{hc} , C _c 或 C _{cr}
3.2 黑色石灰土	A _c , C _c 或 C _{cr}
3.3 腐殖质棕色石灰土	A _h , B _c , C _c 或 C _{cr}
3.4 棕色石灰土	A, B _c , C _c 或 C _{cr}
3.5 潜育棕色石灰土	A, B _{cg} , C _{cg} 或 C _{cr}
4. 棕 壤	
4.1 肥沃棕壤	A, B, C 或 C _r
4.2 酸性棕壤	A, B, C 或 C _r
4.3 腐殖质棕壤	A _h , B, C 或 C _r
4.4 潜育化棕壤	A, B _g , C _g 或 C _r
4.5 淋溶棕壤	A, E _b , B _t , C 或 C _r
4.6 潜育淋溶棕壤	A, E _{bg} , B _{tg} , C _g 或 C _r

土 壤 亚 类	剖 面 层 次
(肥沃和酸性棕壤之间的区别是人为的, 是根据 A 层的 pH 水平 > 或 < 6.0, 也可用此标准划分潜育棕壤为两个亚类)	
5. 潜育土 5.1 非石灰质土壤 5.2 石灰质潜育土 5.3 腐殖质潜育土 5.4 泥炭潜育土	A_g, B_{gg}, C_{gg} 或 C_r 如上所述但是带有 B_{ggc} 和/或 C_{ggc} 上述亚类的变形带有 A_h 层 上述亚类的变形带有 O 或 O_0 亚表层
(潜育土可因受水的情况不同, 而分为高地下水位(地下水潜育土)和全剖面地表水受滞的潜育土(地表水潜育土)两种, 但两种情况常发生于一种土壤上, 因而两类名称的区别不宜通用)	
6. 灰化土 6.1 棕色灰化土 6.2 铁质灰壤 6.3 腐殖质灰壤 6.4 腐殖质-铁质灰壤 6.5 泥炭质潜育灰壤 7. 有机质土 7.1 肥沃泥炭质土壤 7.2 酸性泥炭质土壤 7.3 沼泽泥炭 7.4 酸性泥炭	A 或 A_h, B, C 或 C_r O 或 A, E_h, B, C 或 C_r O 或 A, E_h, B_h, C O 或 A, E_h, B_h, B_r, C O, E_{ag}, B_{to}, B, C 或 C_g O O O_0 O_0

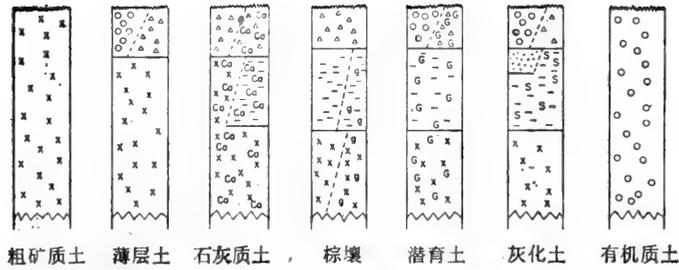
在有机土壤的类型中, $-II_c, II_G, II_{C_{gg}}$ 或 II_R 层, 可能在 50—100 厘米出现。这些应加以重视和再分类, 为不同形式的土地利用或预备土地利用使用。至于肥沃和酸性土壤, 仍是在人为基础上划分的, 以 pH 值 > 或 < 6.0 而定。

4.2.2 各国的土壤分类

对大多数生态研究, 一个区域或国家的土壤分类系统是需要。Kubierna(1953)为全欧洲制定了一个系统。D'Hoore 在 Moss(1968)和Ahn(1970)的文献上考虑了非洲的土壤分类系统。在国际土壤学会出版的《土壤分类和土壤肥力》(1962)一书中第278—551页曾刊载了许多国家土壤分类的评论。大多数国家都发展了一个以上的分类系统。例如英国(Avery, 1973), 德国(Muckenhausen, 1962, 1965), 法国(Duchaufour 1956, 1970), 澳大利亚(Northcote, 1965), 加拿大(国家土壤调查委员会, 1968); 至于美国在新的(1960, 1967)分类系统之前, 有 Baldwin 等(在 U.S.D.A. 1938, 第 979—1001 页)和 Thorpe 及 Smith(1949)的分类系统。

土壤分类系统和其专用术语在方向和重点的变化上较之土壤发育本身更为剧烈。所以给处理土壤复域问题增加了困难, 例如英国的土纲术语在一本土壤区域专刊中就与其下一期专刊所使用的有细节上的差异。

表 6.6 的英国土壤分类系统, 是根据 Kubierna 按英国过去实践习惯建议的, 它是对植物生态学工作者一个有用的细分的土壤分类范例。表中有七个主要土类, 分为三十二个



层次符号



Ca 含有残留碳酸钙
g 中度潜育层(滞水)
G 强度潜育(滞水)层

S-Fe/Al 相对高

图 6.5 英国土类主要土层顺序示意图

亚类，并皆以受到广泛理解的术语而命名的。这里和以后常用分类单元的定义是：**主要土类**——这一级是以特有的主要土层的有无而确定；**亚类**——这一级在重要土类之下是以特有的层位顺序而确定；**土系**——这一级在亚类之下是以形成于一特定母质而确定；**土型**——这一级在土系之下是以表土层或全剖面的质地而确定；**土相**——这一级在土系之下是以一个立地或土壤因素的相关来确定的。这一因素，例如坡度或石块含量对于土壤性质有影响，但又是造成较高级土类的变化。图 6.5 将七个主要土类的主要土层序列用图说明。

最近的英国土壤分类是从土壤调查经验中得出的(Avery,1973)，有 10 个主要土类，43 个土类和 117 个亚类。因 117 个级别比原来 32 个更多，故对“亚类”的规定要求更准确。级别越多越给级别鉴定增加困难。在每次考察中，生态工作者必须在搜集土壤数据和分类方面以及为了正确掌握情报而对土壤定义的精确性方面权衡轻重。在严格确定土壤界限所需大量情报之间掌握一个平衡。

表 6.6 分类系统中与 Avery 分类系统中最高的单元的对比如次：粗矿质土=陆成原始土和水成原始土；薄层土和钙质土(部分)=石质土。棕壤和钙质土(部分)=Pelosols 和棕钙土。灰化土=灰壤。潜育土=地面水潜育土和地下水潜育土。有机质土=泥炭(有机质的)土。Avery 的系统中增加了人为土壤一类。

总之，生态学者应使用一种国家或区域性的分类系统，其中不能有过多的细分等级，尽管用人们通常了解的术语。不同文种中级别的相应名称[例如棕壤、酸性棕壤和棕壤；棕色灰化土和灰化棕壤](brown earth, sol brun acide 和 Braunerde 以及 brown podzolic soil, sol brun podzo-lique)。在细节上可能有争议之点。但它们大体涵义基本一致，可以使这些分类系统普遍应用。McVean, 和 Ratcliffe(1962) 研究苏格兰高原植被时，有成效地应用了公认的国家或区域的系统中关于生态系统研究的土类和亚类的术语。同样地，Anderson 和 Talbot(1965)对 Serengeti 的草地类型与土壤的对比，Wali 和 Krajina(1973)在哥伦比亚对云杉生态系统与环境关系的研究，也同样使用了。

4.2.3 地方的土壤分类

以 1/63, 360 或再大点比尺所作的土壤调查,大都以土系为基础(见 3·2·2 章)。土系通常是以土壤第一次被描述时的地方名称来命名,在研究地区或者气候和地质类似区域具有官方调查报告时,这些土系的名称就为交换情报提供一明确的手段。例如说,出现在北威尔士的 Denbigh 系是发育在起源于志留纪坚硬泥质沉积岩(页岩)的冰碛物的,在本书分类系统上为酸性棕壤。最初都是全文描述,现在建议植物生态学者在报告中尽可能利用土系名称。土系名称可使土壤鉴定更简明,并且可推广到其他调查地区,前者可以方便那些找不到原始文献调查的地区。Poore(1968)对马来亚森林立地的研究使用的就是这类方法。

如果没有可利用的官方土壤调查报告,那么生态学者可使用符号或名称为土壤制图与以土系为等级的分类单位,但如果最后有希望作出官方土壤图时,地名应避免使用。如因环境复杂弄不清单一的土系的地理关系,应使用包括多种土系的复区(见 5.1)。作为制图单位较广阔的区域可用亚类或土壤组合的制图单位。后者在大量使用中(见苏格兰土壤调查出版物)是置于一个地理名字下(例如,苏格兰东北部的 Countesswells 土壤组合)指明所有在这个组合内的亚类和土系,皆发育在一个特有的母质上。有人用“组合”来包括那些与特有地形相联系的土壤类别。这些能发育于一种以上的母质。为深入研究土系中的土相,以土壤深度、石质性或立地坡度,或其化学的倾向等特性为基础,可能是需要的制图单位。

5 土壤制图

5.1 土壤调查程序的一般考虑

为生态学者制土壤图或解释土壤图,美国农部(1951)、Maignien(1790)和 Glarke(1971)的著作中详述了调查程序。

前已论及土壤的三维空间变异(three-dimensional variability of soil)所引起的土壤分类问题,制图单元的划分和定界更为困难。对植被来说(第三章),它的种类成分在地表上都能确定,但即使最详细的土壤调查也只能观察到全部土壤的一很小部分。作为分类单元的同—土壤等级也是主要的制图单元,但二者在实践中的用法不同。分类单元经常是选自轮廓清楚的具有典型土层的理想剖面。Buol 等(1973)指出,这样就使土壤学家对每一土壤级别,都是选最大土层发育的范例作为代表剖面。这样作,能从野外观察到的土壤特性的范围中,选择其极端的不是平均状态的剖面。最近,在常规的土壤制图单位中,进行了对土壤特性范围比较客观的采样研究。像 Courtney(1973)所作的就是对分类单元的适合性和制图进行质量检验,而能对真正的模式剖面和其变异范围作出更好的区分。

在实践中,土壤调查人员经常发现土壤剖面特性介于两种或多种分类单元的模式剖面之间。根据土壤调查时间的长短和其研究的性质,这些土壤只能靠经验加以主观的分类,或较客观地根据观测土壤特性为基础进行数量分类。任何制图单元都有一定范围的内部变异性,尽可能从模式剖面的特性明确规定。变异范围不能太大,否则制图单元内部

就会像各组单元间一样不同。除非特大比尺的制图,在最有利的情况下,也不能期望在一制图单元中有多于 75% 的随机样品会密切符合图例。

局部的情况决定了对任何比尺制图,是否可用单独的土系来区划地面,还是对土壤有错综分布的地方必须使用一个土系的复区来作制图单元。特别是在地势突出的高地更是如此。在北威尔士的莱茵诺山地(Mew 和 Ball, 1972)的研究就说明在这种地区土壤野外分类和制图的特点。土壤剖面是单独用航空照片上的网格法(5.2.1)来检查的,或结合以主观选择横贯地质和地势边界的横线为基础的“自由”调查的复合制图单元来比较研究的。在以网格法确定调查的 80 个剖面中,有 25% 不能明白无误地归在像表 6.6 一样的简单的亚类分类系统中。出版的调查报告一般总着重于调查人员的最后决定,而不是制图与分类的问题,所描述的土壤总是尽可能与最后采取的分类系统适合的。因而只熟悉文献的科学家,当涉及到野外调查问题时,就面临一种非常不同的情况。

这些评论是支持认为土壤分布的制图是不得要领的观点,充其量不过指出在一个区域内这些土壤级别出现的比例,除大体情况外,不能反映土壤的真正分布而是硬把土壤的自然存在的变异性,压缩为有限的人为级别。这是一种极端的观点,在问题和保留的意见理解的基础上,土壤图通过显示广泛综合主要环境因素的相互影响,确实常常能提供可供利用和有价值的资料,反映了内容相当统一的单元的分布情况,这些单元广泛综合了主要环境因素的相互作用。资料的准确程度,则因当地土壤分布情况,制图的比尺和可能投入的工作力量而不同的。

制图的“质量”,就是土壤图标示区界的效率,在境界之内的土壤性状变异,比区界之间的小得多,这是一个最近研究得很多的问题(Burrough 等, 1971, Bie 和 Beckett, 1971, Beckett 和 Burrough, 1971 a, b; Legros, 1973)。这些研究考虑到在可能投入的力量条件下为了达到最高质量制图所需的采样强度,表 6.7 中总结了所得的一些数据。

表 6.7 不同比尺土壤调查的采样强度的建议

比 尺	采 样 强 度 (每公顷剖面数目)	国 家	文 献 来 源
1:100000	500—1200	法 国	Legros (1973)
1:63360	5—10	英 国 (Berks)	Burrough 等 (1971)
1:25000	20—50	法 国	Legros (1973)
1:25000	2	英 国 (Glos)	Cope (1973)
1:25000	1	英 国 (Berks)	Burrough 等 (1971)
1:5000	2—5	法 国	Legros (1973)

显然,尽管这类概括性数字,可为每一调查所需的力量作出大致的计划,但由于它们复杂的环境条件和土壤界线与地形界线互相依从情况的强弱,不同区域之间有很大的差异。Ball 等在北威尔士的斯诺登的调查说明,在极短距离之内可能出现的土壤类型剖面的变异程度。在十字形交叉的样条上,每隔 3 米取 1 点,全部 20 个点,他们调查许多复合制图单位中每个点的土壤的亚类。在某些制图单位中,有 80% 以上的剖面是可分为一个亚类的,但在大部分的制图单位中,则有 10% 或更多些的土壤是属于四个或更多的亚类的。在这种情况下,唯一实际的解决办法,是将土壤划为复合制图单位,这些单位是和母质或地形尽可能符合的。

生态工作者必须极为谨慎,避免草率地接受出版的土壤图和其自认为的调查质量。简略的文献总结或土壤调查,都不可能很恰当地描述土壤,而更坏的是在报告写就之前,把立地因素和土壤条件的描述用仓促的回忆来完成。

5.2 调查技术

本节将对把调查前工作和调查方法的一些实际要点进行简短的讨论:

有关调查之前搜集资料 and 解释,皆已扼要地见于Glarke(1971)、Gruikshank(1972)等的著作,而U.S.D.A.(1951)的著作更为详尽。对气候、地貌和地质资料的需要如2.2.1节所述。航空照片可有助于地形单位的初步划分(Ball等,1971),而且如用“自由”调查(5.2.1)法时也有助于调查样带的初步设计(Mew和Ball,1972)。在这类研究中以及在Goosen(1967)、Vink(1968)、Jarvis, R.(1962)、Jarvis, M.(1969)、Webster(1969)和Evans(1972)等人的著作中都强调航空照片很难直接提供土壤资料。它们往往对排水格局或泥炭土与矿质土的边界表示得极清楚。但它们最大的优点是在设计阶段提高速度和效率和在野外代替地图。有关航空照片在土壤调查中的使用,最近Garroll(1973)曾有评论。

土壤调查的实际技术不需多论说。土壤的挖掘和土坑中对土壤剖面的观察记载都已讨论过,这些是关键性事项,并根据它们决定要增加用内插法决定的观察数目。在“自由”调查中,土钻就是在土坑之间土壤检查的主要工具。

手操的土钻,用在石砾不多的土壤中,可以得到大体完整的土样。还有稍加改变而适用于研究草炭的土钻。短的金属管子,接上活动提手,可以用于钻取表层土壤(6.1.1),但麻花钻是常用的工具。它们的螺旋齿一般长20厘米,直径约2.5—3.0厘米,钻全长约90厘米,上加T形提手,用于在土壤中推进或拔出。这样的土钻市面有出售,但用把木钻钢头焊接在1.2厘米直径的钢棍上,安上一金属或木制提手一般比大多数的商品坚实耐久。用时,对把手稍加压力,螺齿即进入土中。每钻15厘米即平稳地用力拔出一次,保留在螺齿上的土壤可供检查。要清除螺齿上的余土时,将两指夹在螺齿内旋转土即脱尽。这类土钻的缺点是,不易从太粘或干的土壤中钻取土样;它常夹着薄的土层互滑不清;而且也不允许全面检查不受扰动的土壤结构。然而,它很快,对立地破坏性最小。这类T式手提钻不宜在泥炭土使用,因稍许加力即把土钻推进全部泥炭土层中。

5.2.1 “自由”调查

所谓“自由”调查(例如Burrough等,1971总结过的)指的是习惯或因袭已久的调查制图程序,它不是按事前所定的点,而是在工作进程中主观选定的地方去作。在主要野外调查开始之前,要搜集关于立地的地形、地质、地貌等资料和航空照片,根据立地的情况,作或不作路线调查,以便首先把土地单位或等级规定出来。从此,根据从类似地形得到的知识,即能为研究地区可能出现的土壤提出一暂时检索表。样带要安排能通过一系列地形或土地利用单位与不同的地质构造。在此阶段,应当估计对某一特定的调查应付出力量的多寡,并应比没作准备的可能经济些。

调查人员根据选择的横断线为基础,但不作刻板的规定来选择土壤观察点。至于观察点的密度和钻土次数与土壤剖面坑的比率,要以调查过程中所得资料为根据来决定。暂

定的土壤图例和暂定的立地-土壤相关说明,也要在调查过程中增订。

5.2.2 “网格”法调查

在“网格”法调查中,土壤观察点是从地图或航空照片以及地物,按照比尺的距离而决定的。这种调查与自由调查一样,也是将观察点的土壤纳入习惯分类系统中的级别,这种方法将在本节内着重讨论。网格调查法也能利用数字编码的定性或测定的参数(4.1),通过数量技术来对土壤分类,或将土壤的单一特性分布作图。关于单一特性或复合指数分布的趋势面分析及其他网格法数据解释皆可用电子计算机来作(Norris, 1972)。通常认为网格法比自由法的优点是客观性强,同时对调查员的判断与经验的要求程度低。一般应用规则的采样点比随机分布的点要方便得多。图上网格线的交叉点,通常作为观察点,或者给一合适的网格复在地图和航空照片上。

在彭布罗克希尔(南威尔士)部分地区的区域调查中(Rudeforth, 1969; Rudeforth 和 Bradley, 1972),土壤剖面是在一公里间距的方格交叉点上确定的(100公顷一个观察点)。划定了七个土壤亚类,但未在制图单位之间划分境界。调查的解释是根据调查区域内不同亚类出现的比例以及在同一取样点上这些亚类分布对地层、地形单元和土地利用的关系。

在北威尔士的莱茵诺山地, Mew 和 Ball(1972)曾用网格法调查,作为高原地区绘制土壤图的基础,以一约 300 米间距(9 公顷一个观察点),包括约 12 平方公里的网格。在比尺为 1:10,000 的航空照片上作记号定点,以后将观察点在地面找出,以供植被制图的详尽调查之用(Goodier 和 Grimes, 1970)。在这些点上进行了土壤剖面的观察,同一地区也使用了自由调查方法。用自由调查法所得的土壤制图单位与网格的观察比较,只有一半在自由调查中断定为重要的出现在网格法的调查图上,而且网格法的 40% 的土壤单位,在自由调查法中面积都很小。对这些调查结果可以有不同的解释,但初步的结论认为“主观”的自由调查法,对认识这一地区的土壤和它们的分布,较网格法为佳。

网格调查法似乎宜于不需制图的广泛区域研究,或者是对试验地区作集约抽样,特别是在与生态调查配合进行的地区,而不适用于中比尺的详细调查。如果网格间距缩小,使其包含面积增大,那么它需要的工作量太大,只能在小面积中使用。一种按照局部土壤和地形而定点距的分层网格法(stratified grid),也有与自由法相似的主观判断问题,而无改进之处。

在英格兰南部三个地区, Beckett 和 Burrough (1971 a,b)用网格法(主要用 100 米和少数用 300 米的间距)与自由调查法作了土壤制图质量对比的研究(比尺为 1:20000—1:100000)。他们发现一地区的土系的比例,在网格调查上得到较正确的估价,而且这在复杂的土壤-立地相互关系中使土壤制图单位有较大的纯洁性,尽管自由调查法在那些制图单位的边界与立地的地貌特点紧密适合的情况下是更可取的。比尺的大小影响两种方法画图的相对质量。用大的比尺,两种调查法几乎相近,但自由调查用于小比尺较优(小于 1:50,000)。Norris(1972)在研究南部英格兰一处林地土地变异中,使用极密的 50 米间距的网格(每公顷 4 个观察点)。这样的调查强度,一般说更适于分析土壤单一性状的变异,而不适于土壤制图。

每项包括土壤制图的生态研究,都要求对调查方法和最宜的比尺作个别的考虑,而且

没有单一的调查设计或标准采样强度的标准方案能普遍使用的。

6 土壤分析

6.1 采样

6.1.1 采样技术

如何挖土壤剖面坑,已在3.1节中叙述。采取土层样品,应从正面移植泥刀,从整个层的横断面全深度上刮下薄片,而不应是集中在层的中央一点取样。最快的方法是从下向上采,以避免每次取样都要清洁下部土层。为某些分析所需要在不受干扰的状态下取样问题留待以后讨论。

沥青化棕色纸制成的封底的口袋最通用,比塑料的好,它既易作记号也耐磨,在土壤未分析前若经长途的运输或长时间贮藏就要特别小心(见8章2.1节)。少量土壤样品不到50克风干细土(<2毫米),即可满足常规化学分析,如果还作粒级分析,则需150—200克。除非运输困难,通常标准样品要比这多得多,用体积为 $20 \times 15 \times 7.5$ 厘米袋,大致未风干和过筛前为1500毫升容积和2000克。较大的土壤样品具有减少变异性的“平稳”作用,其剩余量可留作其它研究使用。大的和中等的石砾可用手检出,以减轻重量。如果需石砾含量的定量记录,就需要大样品,这种测定最好在野外进行(6.3.1)。

平面有刻度的移植泥刀,对采取靠近地表样品最有用,它最适于采取到断面和深度一定的土样。厚度较大而且均匀一致的土层,螺旋钻也可采集为分析用的土样,但这种样品由于带上的杂物太多,只宜于观察用。

采取表层带有石砾的土壤,最容易的是用空心筒。最简单的就是20厘米长,壁厚(16号约1.7毫米)铜管(直径约为2.5—5厘米),一头作槽面,另一头对面钻两孔,以便插入横棍,使之起推进或抽出的杠杆作用。空心管的外面刻度以便控制取样的深度或容积(例如5,10,15厘米或100,200毫升)。插入提手下的一端可以很容易安上比管子稍细的活塞,土样取入后,可推入盛土样的口袋中。空心管对采取表土的下层样品集成大的样品作分析最有用(6.1.2)。同样地也可用来采取固定容积的样品以及为某些物理测定用的作不受干扰的样品。现场测定,有时可用存留于管内的样品,但一般不这样作,因为在抽取土样时,很难避免不挤压。内部装上可分开盛土器的复杂型的取土管,可提供野外状态的样品。

为测定容积比重(6.3.2),或制备薄片(6.4.1),需要受到最小挤压的样品,这样的样品需取自剖面坑,以一取土盒插入土层的垂直面上或横向切入的土层表面。两面带有活动盖的取土盒,可用镀锌的钢或铝板做成。标准体积为 $8 \times 5 \times 5$ 立方厘米。将盒的两盖取下,将空盒推入(或轻轻用锤打入或切入)土面,直到充满了土壤。将外面的盒盖扣上,再小心地用小刀清除盒周围的土壤和取出土盒。盒子上下方向要标记在盒壁上(不宜在盖上)。清除在另一端的土壤后,也扣上盖子。这种取样方法虽然简便,但在实践中并不总是顺利的,特别是石质土壤,没有更容易的办法。取固结的土壤,只能是用锤或凿取下碎块装叠在盒内。较大的这样型式的盒子,可以采取为展览用的土壤剖面,不过取样的问

题也就更大了。用适当的树脂可以将各段胶结为坚固的整段剖面(例如Wright,1971)。

土壤采样指与分析介绍和养分预算有关的一个方面(参阅第四章,4.1节),是指那些以容积为基础的作分析的采集,即可以直接以毫升计量,或以公斤/公顷计量(参阅例如Mehlich,1972、1973)。绝大部分的土壤分析是以重量为基础,即用风干土通过2毫米筛孔。但把量过的土壤直接取样,因而得到每一样品容重换算因子是可能的。以重量为基础的结果可以用容积测定换算成容积基础,这在6.3.2节中讨论。

6.1.2 采样计划

第四和第八两章讨论了供分析的植被采样,那里提出的许多一般原则,也适用于土壤采样。虽然土壤的理想取样是以土层为基础采取足够的剖面保证包括了全部立地,但一般在实际上和经济上都做不到。因为,即使在土系水平上是均一的土壤,在一个植物群落中,即使短到以10厘米间距采的土样,土壤的化学变异也是相当巨大的(参阅例如Ball & Williams,1968)。这种小空间的变异性包括出现于一个单独的土壤-植物群落中千百米内全部变异性的绝大部分。在土壤物理性状方面,如容积比重和水分参数的变异性,在一个土系内也有明显的变异(Nielsen等,1973)。正因为如此,多采样品分析,才能获得所需精确度。

土壤化学与植物种类或群落分布的相关性,常可从表土标准深度样品分析中得到,这比采取剖面样品要简单,迅速并且少破坏性。因此,我们建议许多野外的植物-生态研究,应以剖面分析为基础、用来解释大量取样的表土层的化学特性。标准深度应为0—5,0—10,或0—15厘米,后一深度一般最有用。从农业观点说,往往考虑20厘米深度内的养分,这大体是现代耕作层的深度,即一公顷2000000立方分米的容积(Mehlich,1972)。

标准深度采样,在三种情况下特别有意义:一是表土层都比标准层为深;二是土层的变化全部超过标准深度范围;三是植物群落在取样层内有较高比例的活动根系。标准深度最不通用的情况,如土层薄,在发育和组成上变化迅速,或活动根系扎的太深。即使在上述情况下,按标准深度采样的计划仍有可取之处。特别是当研究的问题与植被对表土性状的影响远比与整个土壤对植被的影响大的时候。

Peterson和Calvin(见Black,1965)、Ball等(1971)、Beckett和Webster(1971)都对土壤的化学变异性进行过一般讨论。判断和解释土壤化学数据空间变异的重要性,已在原则上得到承认,但在实践中,土壤学者和生态学者不少都忽视这一问题。

空间变异性有时与植被类型相联系。Grubb等(1969)指出,在白垩土上群落中,样条上发展的金雀花(*Ulex europaeus*)、帚石南(*Calluna vulgaris*)和灰色欧石南(*Erica cinerea*)的植物个体,表现了土壤质的系统变异。新西兰报道,植物种类与土壤剖面形态和化学特性明显相关,指出“蛋杯”灰壤(egg-cup podzol)似乎一定是在贝壳杉(*Agathis australis*)立木下,由非灰化红黄壤土局部形成的(Gibbs,1968)。

更为普遍的例子是,即使在形态一致,而且是在同一植物群落生长的土壤上,土壤化学参数也表现出表面上随机的空间变异性。Ball和Williams(1968)曾经测定过高原草地未耕种酸性棕壤0—15厘米样品的变异性。随后,Ball等(1971)又研究了酸性泥炭土同一深度土层的化学变异性。表6.8的总结表明,在两个对比的土类中,化学变异性表现了同样的趋势。而且可与其它情况下进行水平比较[例如Skene(1960)、Leo(1963)、Gallagher

和 Herlihy、Frankland 等(1963)]。图 6.6 以直方图形式表示了“均匀”植被、“均匀”土壤下,很短距离内的 pH、有机质和交换性钾的典型变化。这种变化范围在两种不同的土壤上是相似的,一是具有正常排水的矿质土壤(酸性棕壤),一是位于泻水立地上的有机质土壤(酸性泥炭)。这种变异性不是取样分析结果的“误差”。这可以从同样是酸性泥炭的数据范围比较中看出,这种数据是由这种土壤的单一混合样品测得。

从这些数据看,在估计的真实平均值一定范围,确定一个平均值,对 pH 到 $\pm 2\%$, 灼失量到 $\pm 5\%$ 来讲,所需样品数量大约是 15 个,对交换性阳离子到 $\pm 10\%$ 来讲,所需样品 20—40 个(变异的钠,数量可少)。对可提取的 P_2O_5 到 $\pm 10\%$ 来讲,样品数要高到 50—70 个。因此,在少量样品分析的基础上,把相当小的化学差异认为显著,即使对从土壤类型来看很均匀的立地进行比较,也是不正确的。

表 6.8 形态均一的未耕种土壤的化学变异性

数 量	变 异 系 数 (%)	
	酸性棕壤—高原草地 ¹	酸性泥炭—高原沼泽 ²
pH (风干土)	3	5
灼失	9	4
交换性阳离子	K	42
	Na	11
	Ca	20
	Mg	11
	Mn	35

在三个不同地点,以 0—15 厘米深度样品作的 22 个分析平均值。1——北威尔士,发育于一个地区的火山灰崩积层未耕种的土壤。2——北威尔士,三个不同深度的泥炭土。

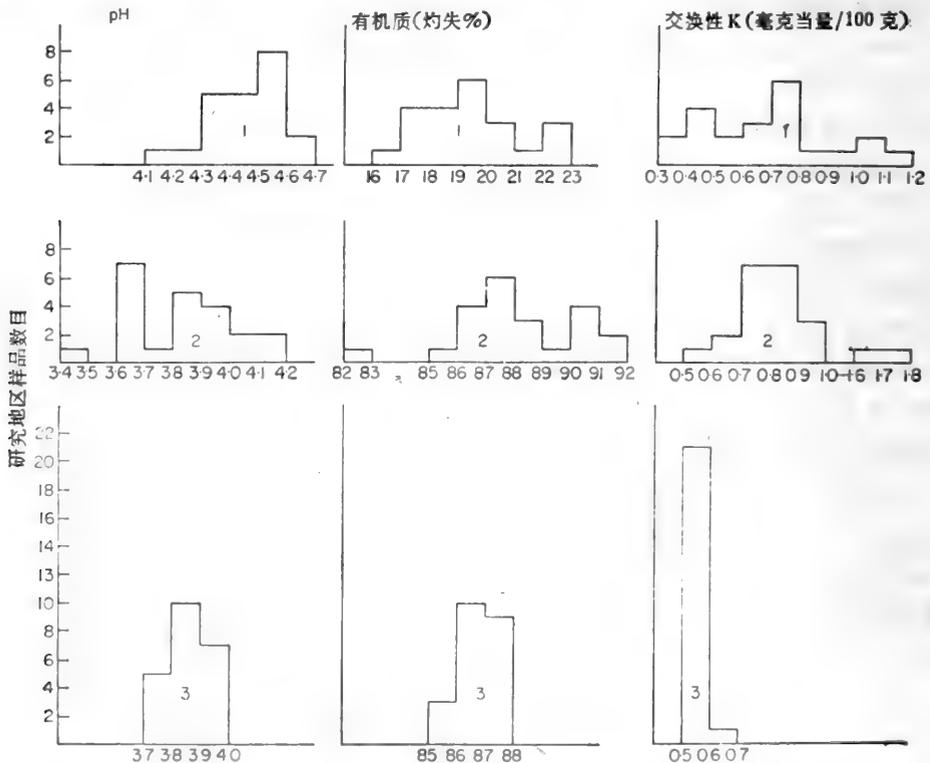


图 6.6 未经耕种的“均匀”的土壤一些分析数量范围,取样深度 0—15 厘米: 1——未耕种排水正常的高原酸性棕壤,22 个样品,采自 1 米直径的周围; 2——未耕种排水通畅的高原酸性泥炭,采样方法如 1; 3——土壤与 2 同,取自单一混合样品的 22 个提取液分析。

典型剖面的分析,提供土壤一般化学成分的资料,并且可为同一剖面中土层之间进行比较。混合样品的分析,提高了对真实平均值估计的准确性,但只有在大量样品单独分析的基础上,平均值、范围和置信区间才可估计。标准统计学书籍,对此有详尽讨论。但土壤学者和生态学者,在使用土壤数据时常常忽视这点。

很清楚,在一个地区进行深入的生态研究,可能为了精确的确定土壤化学因素,必须进行大规模的土壤取样。但是如果包括许多地点,那就有必要要在投入的力量和要求的准确性之间妥善予以权衡。

Ball 和 Williams(1971)曾经比较一种酸性棕壤的研究计划,而以一个大区内分划成相连小区的试验地中 256 个样品测定结果作为“最优”数值,其中每个样品都是 10 个从 0—15 厘米土层内取样的混合样品。最省事的计划是只用六个小区来测定平均值和范围。投入工作量的差异是从 11 天的野外工作加上 55 天的分析时间到 0.2 天野外工作和 1.2 天的分析时间,得出 50:1 的工作量的比率,但这两个极端取得的资料的“质量”,大致是 2:1。最省事采样计划所得的结果反映了饱和采样所得的全部变异性的 50%多。根据这一研究,对于包括砂丘和白垩土在内的不同立地,在 100 米长的样带上,每隔 20 米,设立了 6 个面积为 6 米²的山区,每一个小区内采 10 个样品混合成一个样品,这种取样数量和排列的办法,无可非议。在许多立地的采样、分析工作量与数据准确性的权衡问题,可用类似的办法得到平衡而加以解决(见 Falck, 1973)。

有时一个在形态上均一的土类内,也如同在一个土壤复合体内一样,它的化学特性的变异性表现出相似的大小次序。剖面类型的变异,包括如土层深度和排水等因素,不一定就表现为常规分析中所测定的化学特性具有更大的变异性。标准土壤分析所未研究的土壤特性可能具有决定性的生态意义。植物群落的分布有时与土壤亚类或土系的相关性更大于分析的化学数值。这就说明土壤剖面分类的概念中包括着大量的变量。象在上述情况下,有时没有测定的,或到现在为止还无法测定的一个或多个化学因素比正规化学项目重要得多。

6.2 土壤化学

第八章讨论土壤化学分析方法,故此处仅提出几项一般原则。图 7 表示野外采集的土壤样品,加以处理,达到大部分常规分析可以进行分析的标准,所应采取的步骤。

前一节可给人们一种印象,即化学分析对生态学者并无特殊价值,这样就未免过份了。实际上,现代分析技术,如在第八章所讨论的,如应用于均一样品的分析,都是可以重复的。如 Ball 和 Williams(1968)所证实,“混合”样品的变异性较低。但生态学者和土壤学者们应该理解这些数据尽管是可以重复的,但是把它用来推断野外大面积的土壤还是有局限性的。这些限制包括土壤固有的化学复杂性和这些标准的土壤分析数据在多大程度上反映所研究的植物的生长状况。Oertli(1973)考虑使用“化学势”(chemical potential)作为对植物的营养有效性的估价。其结论是选择一个适用的营养化学潜力有许多困难,所以“对作物的营养有效性的实用的和严格科学性的标准,很快推广到土壤管理上似乎是不可能的。”

在美国农学会出版的两卷重要的有关全部土壤分析方法的纲要(Black, 1965)和联合

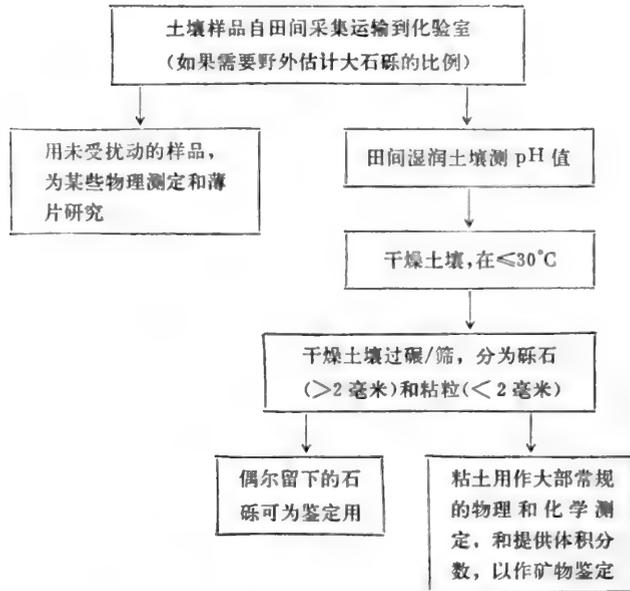


图 6.7 土壤分析样品处理程序纲要表

国粮农组织 Dewis 和 Freitas(1970)写的手册等书之后, Hesse(1971)写了一本有用的书, 讨论了土壤化学分析的理论基础, 并对每个化学分析项目介绍了一个实际方法和其应用意义。Hesse 在书的前言中说:“土壤分析可以解决农民的问题,这是一句神话”,而且“一再提醒读者,田间试验是最根本的。”这种警告对植物生态工作者比对农民更实际。对几种作物进行长期而深入的研究, 仅仅开始提供土壤化学参数与植物生长及生产力之间相互关系的一些数据。对大多数植物种来说, 它们与单作的作物不同, 经常生活在复杂的竞争中, 现在还没有这种资料, 而只知道一些泛泛的一般相关原则。Grime 和 Lloyd (1973) 在英格兰中部 Sheffield 地区草地植物生态图集中, 虽然对某些植物种涉及到其它一些土壤因素, 但对于全部植物只限于 pH 值这样一种土壤因素。

Epstein(1972)强调指出, 在不同土类的基础上, 营养生态研究或者土壤-植物生态研究是理想的生态研究场地。同时, 生态学的这一方面, 现“正进入一个发展阶段”, 但迄今还未得到应有的重视。

6.3 物 理 分 析

化学参数, 紧跟着水分的测定, 是植物生态工作者经常考虑的土壤因素, 但越来越明显, 还有其它生态方面重要的土壤因素, 包括固体—液体—气体三相的相互关系和机械特性。本节不可能也不需要全面详细讨论, 只能对最有用的技术作一概述。

Baver 等(1972)在 Baver(1956)旧作之后, 强调土壤物理学原理, 而 Ghilds 全面地讨论了土壤水分状况和运动的理论。Rose(1966)的教科书是在土壤物理学的农业方面一本最有用、简明和数学公式较少的书。Black(1965)第一卷中有数章广泛介绍了大部有关土壤物理测定的方法与原理。最近有关方法和概念的发展可从《土壤与肥料》这一文摘刊物中查找。

6.3.1 颗粒大小的分布

土壤质地在前面已论及，是指在野外估计土体中不同大小颗粒的比例。颗粒大小的测定一般不太准确地泛称为“机械分析”（参阅 Black, 1965 的书中 Day 的意见），但为质地分类提供更重复的结果。

一般说来，颗粒大小的分析，与其它正规的土壤分析一样，是以全部土壤中的细土成分，即相当于 < 2 毫米球体直径的颗粒。土壤的田间性状是受较大颗粒（石砾）的体积和数量的影响。在比较干燥、多石而且松散的样品中，需要定量的较大石砾，很易在野外称重。土壤通过 10 毫米孔径的尼龙筛，放入塑料袋中，悬挂于合金制的手提三角架的弹簧秤上即得重量。小的石砾要进一步在实验室与细土分离，因为新鲜土壤通过细筛，在野外常不便于进行。

在实验室内，风干或 30°C 恒温下烘干的土壤样品，先通过 2 毫米孔筛或经过一个能轻轻破坏团粒作用并附筛子碾磨。烘干的细土成分一般包含有结构的团聚体和原来颗粒。在颗粒分析之前，通常必须置水中加以分散。为达到颗粒在悬液中有效地分析，事前可能需经化学处理，去掉那些起胶结媒介作用的有机质或铁或其它氧化物和氢氧化物 (Kunze,

表 6.9 土壤颗粒大小分类

粒 径 大 小	英 国 标 准 筛 孔 数 目*	筛 孔 (微米 = 0.001 毫米)	颗 粒 假 定 直 径, 刚 好 过 筛 (毫米)	颗 粒 直 径 的 log 10 (微米)	“Phi” 值** (颗粒直径的 log ²) 毫米	
大 砾 石 > 100 mm		100,000 (10 cm)	100	5.0	-6.6	
中 砾 石 100—10 mm		10,000 (1 cm)	10	4.0	-3.3	
小 砾 石 10—2 mm	8	2,057	2	3.3	-1.0	
粗 砂 2—0.2 mm	16	1,003	1	3.0	0	
	30	500	0.5	2.7	1.0	
	60	251	0.25	2.4	2.0	
	二者择一	72	211	0.21	2.3	2.3
	85	178	0.18***	2.3	2.5	
细 砂 0.2—0.05 mm	120	124	0.12	2.1	3.1	
	150	106	0.1	2.0	3.3	
	细筛渐弱, 高价 而不适用					
	240	63	0.07	1.8	3.8	
	300	53	0.05	1.7	4.3	
粉粒(美国) 0.05—0.002 mm		(50)	0.05	1.7	4.3	
粉粒(国际) 0.02—0.002 mm		(20)	0.02	1.3	5.6	
颗粒 < 0.002 mm		(2)	0.002	0.3	9.0	

* 文中引用英国标准筛 (Endecotts 公司出品) 与其他系统 (如 A.S.T.M. 1972) 同一孔数, 有着不同孔径。

** “Phi” 值对于在一般纸上 (非对数纸) 绘制颗粒大小累积曲线是方便的 (参阅 Krumbein 和 Pettijohn, 1938)。

*** 一般常使用, 代替 0.2 毫米筛。

见于 Black, 1965 的书中)。尽可能不采取这种前处理。事前处理是将 50 或 100 克气干细土置于瓶中,加上 400 毫升和 25 毫升 5% 的“卡拉岗”(Galgon)(六水合偏磷酸钠盐),在 pH 9 的情况下作为分散剂。然后机械摇动悬浮液数小时,或使用超声波(Watson, 1971; Pritchard, 1974)。其目的是保证在悬液中全部原始颗粒都分散,但要避免剧烈处理,因为那样会使颗粒的原始形体变小。因此,在处理含有岩石碎石和矿物的土壤时应加小心。

对有机质土壤进行矿物成分的颗粒分析,需首先破坏有机质。大部土壤有机质的处理,是按一定时间间隔,小心地在湿土中加入 30% H_2O_2 ,使有机质与 H_2O_2 反应。反复数次直到有机质全部消化后,在 90°C 热盘上烘烤,以完成最后的消化手续。 H_2O_2 只在酸性介质中起作用。如果土壤有碳酸盐存在,就得先用酸溶液去掉碳酸盐,然后再消化有机质。当有机质和碳酸盐含量都高时,对少量无碳酸的矿物成分的颗粒大小分析,就太脱离实际情况了,它基本上不能反映田间土壤的性质。这种分析只能对矿物成分来源有参考价值,而对生态学意义不大。因此,有人建议,土壤质地分析要求在数量上比野外鉴定更精确,只有在这时,样品最少受到预备处理时,才对生态工作者有用。

土壤颗粒分散后,将悬液注于 1000 毫升的量筒内,彻底混匀。最简易方法是用 Bouyoucos 比重计插入悬液中。美国质地分类的粉粒加粘粒以 46 秒为沉降间隔,国际质地分类的粉粒加粘粒以 4 分 48 秒为沉降间隔,并以 5 小时为粘粒沉降间隔,而数值是从比重计刻度在 1000 毫升量筒中直接读下的。如果用 50 克土壤,就以 2 乘数值而以 % 表示重量。如果悬浮液不是 18°C,并且加有 Galgon,则沉淀的时间应加以校正。比重计测定数值有适当的重复性,并能满足各种要求所许可的准确度。必须看到整个比重法有许多假设和不确实知道的东西,因此,对于过分要求准确和校正是不合理的。很多文献中有关于不同颗粒沉降时间和悬液温度的列线图。其中包括 Tanner 和 Jackson(1948)和英国标准研究所(1967)。Kaddah(1974)将比重法与吸管法作过对比。

表 6.9 为颗粒分析提供土壤颗粒的分级。习惯上,仅三个部分:全砂量、粉粒和粘粒。为了更细的工作,砂粒通过筛而分为许多级别。累积 % 曲线是用土粒大小对应于全部较小土粒的 % 而绘成曲线,这用来直观地表现土粒大小的分布。实际的颗粒大小数值绘在对数纸上或更方便些在普通纸上用对数体积尺度,如表 6.9 中的“Phi”值。

颗粒大小范围的命名存在矛盾,给土壤工作带来麻烦。这个表强调美国农业部(1951)的粉粒-砂粒的界限,但旧的国际规范把粉粒上限定为 0.02 毫米,而 Avery(1973)则提议为 0.06 毫米。按常规方法,量度数值上的 0.06 和 0.05 的差异,在绝大多数土壤中无足轻重。但应记住,颗粒分析中悬液的沉降速度的计算,是根据颗粒是均一的球形,比重也是均一的假设而来的。同样,在筛选中容积较大的长条形的与容积较小的球形的一样过筛。据此,一切颗粒大小界限都是“相应的圆形直径”。

砂粒、粉粒和粘粒的部分,它们作为细土的百分数,可以标示在一三角图上,从而得出质地级别名称。美国农部的系统(1951),表示于 6.8 图中。Hodgson(1974)的新系统在级别定名和界线上稍有不同。有经验的观察者,作野外质地级别估计与实验室的十分接近。存在差异是,有机质可能给人以近于壤性质地的印象,而小石砾过多时给人以较轻质地的印象。在土壤性质方面,野外质地鉴定迅速,易于作土壤的描述和分类,但是颗粒大小分析是可重复的而且较少依赖技巧与经验。

颗粒大小的分布,为对比一种土壤基础特性提供了标准方法。这种特性是与一些主

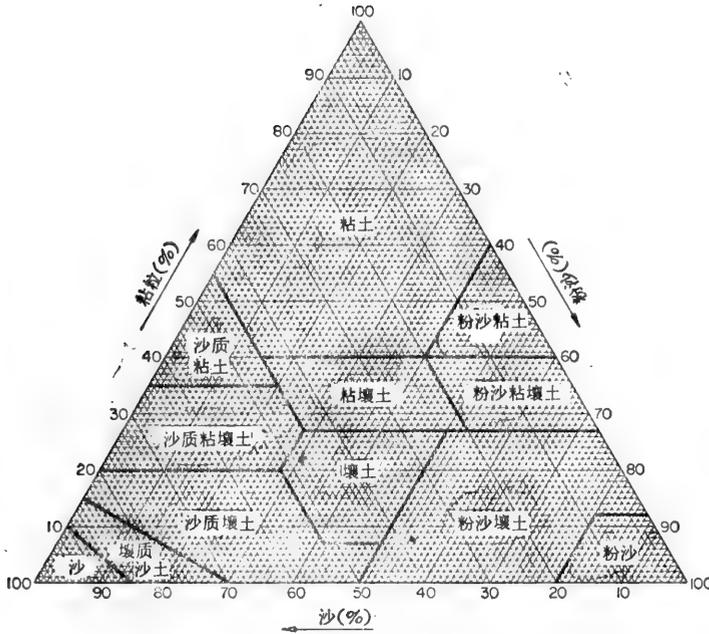


图 6.8 土壤质地级别名称根据砂粒、粉粒和粘粒部分的比例(摘自美国农部 1951)

要土壤特性,如渗透性有关的。早已查知,有效水容量的合理估计(土壤中可供植物吸收的总贮水量),可从颗粒分布与有机质含量中计算出来(Salter等,1966)。也可以从野外质地测定中计算出来(Salter 和 Williams, 1967)。

6.3.2 容重(Bulk density 或 volume weight)

容重(例如 Black 在 1965)是在野外条件下,土样的干重与其整个容积的比(土壤水分容积)。它可间接用于估计土壤结构和孔隙度在自然或人为影响下的差异。容积和孔隙度的测定常与根的穿透性(例如 Mirreh & Ketchson, 1972)或种子在表土结壳上发芽的适合性有关。近来已证实容重与有效水分、含水量和空气量的关系密切(Reeve 等, 1973)。

容重是从已知野外土壤容积的风干土的重量求得的。容积可直接从有一定容量的钻取得(6.1.1)。另一个方法是將一定量土壤移掉,然后以已知容积的砂土填充而计算砂土的容积(英国标准研究所, 1967)。也可用不透水橡胶或塑料薄膜紧贴土壤坑壁(Shipp 和 Matciski, 1964),而以定量的水注满坑洞。这些填注的方法,对石砾多不易用钻取土壤特别有用,但需要有砂土及水源及搬运的便利,还得有容量器。容重测量原地不动的仪器有放射线法(Blake, 1965; A.R.G 1971)。

一个直接对小块土样测量容重的实验室方法,就是从采回的大土块上切下任何形状的小块,或从大的结构单位,把它用不透明的树脂封闭,然后连续浸入一系列已知比重的液体中,直到它刚能浮起为止,这个液体的比重即为容重(Gampbell, 1973)。小的土壤颗粒容重,很易从一已知重量的土壤与一已知容积细粉末掺合,计算其容积变化中求得(Bisal 和 Hinman, 1972)。

容重测定常用来将以重量为基础的分析结果换算成用土壤容积为基础来表示。已知重量的土壤所占的容积和该土全部石砾对细土的比例,二者可以用来将每百克细土为基础的计算方法换算为以田间容积为基础的方法。不作每个土样的测定,也可得到一系列大小的校正因素以供普遍应用,容重与有机质含量密切相关。用风干松散的细土的重量与其容积之比来代替全部土壤的实测田间容积。Ball等(1969)曾建议换算因素范围从 $\times 1.0$ (0—5%有机质),通过 $\times 0.7$ (21—30%有机质)到 $\times 0.3$ (91—100%有机质),可将以重量为基础的数字换算为以容积为基础。Adams(1973)和Jeffrey(1970)对有机质和真比重与容重的相关性提供了更准确的办法(见4.1)。

6.3.3 孔隙大小的分配

在Black(1965)一书内Vomocil写的一章里,对这个题目作了全面评论。总孔隙度是土体内不为固体所占的容积%,它从未受扰动的土壤容积减去固体容积求得,或如

$$100[(a-b)/a]$$

a = 土粒平均比重; b = 土壤容重。土粒平均比重和土壤固体容积,可以从已称重的不作团粒的干燥土壤样品所排出液体容积计算而得。

孔隙大小分配,对于水分关系极为重要。总孔隙度可以具有很不相同的水分保持和释放的形式,而这取决于是少数大孔隙还是许多小孔隙。不同大小的孔隙比例是通过在一定吸力下土壤排出的水分而测定的。以一种毛细管模型代表土壤孔隙。从饱和土壤中在一定吸力下抽出的水是受到总孔隙中较大直径孔隙的比例所控制,而不是受能抽水的最小毛细管控制。

水分运动与孔隙大小的关系问题是复杂的,除Black(1965)的著作外,读者可参考Rose(1966), Ghilds(1969)和Black(1968)等人著作。

Gary和Hayden(1973)等建议根据吸力增加与土壤水分的变化而制定孔隙大小分配的指标。这种方法要求在实验室内用三种水平的吸力测定土壤水分,它以一个数值代表孔隙大小比例,因而也就间接地代表了土壤水分状况,从而为植物活动与土壤孔隙之间关系,提供了有用的根据。

6.3.4 结构测定

某些土壤的原始颗粒可以形成一堆松散的单粒,也可以形成凝固的巨块。二者都称为无结构状态(3.2.1)。大部分土壤的原始颗粒都组成团粒,团粒的大小和形状,就是土壤结构主观分类的基础(3.2.1)。为了更精确起见,团粒的大小比例(Kemper和Ghepil,见Black, 1965)和稳固性就需要定量测定。De Boodt(1967)对结构解释得更广泛一些,而且包括了描述和土壤采样,还加上了测定土粒大小比例、孔隙度和土壤水分,以及狭义的土壤结构测定的许多方法。

为了测定结构团聚体大小的范围,最好是在稍高的状态下小心采集土样,运回实验室,完全烘干,然后在振荡机上用一系列的筛子过筛。De Boodt(1967)的方法V-41中,用80, 40, 20, 10, 5和2毫米孔径的筛子。留在不同筛上的结构单位的重量,也象前述土粒大小比例一样(6.3.1),绘成累积曲线。或者是分别记录各级数值(Kemper和Ghepil,见Black, 1965)。团聚体的大小对孔隙度和土壤通气性很重要。团粒较大并具稳定,

对水和风的侵蚀就能有较强的抗力。

团粒稳定性的测定,一般是经标准化水湿程序后,测定分选在各层筛内不同大小部分的比例。Kemper注意到只对某一大小部分(如1—2毫米)的稳定性测定也和几种大小级别的测定效果相同。常用于水湿土壤团聚体的方法,可以按照测定稳定性的要求而不同。浸入水中法可与表面灌溉相比拟。受这样浸湿的团聚体的稳定性与表土的情况相似。而在张力或真空下缓慢吸收水分则更接近于土内吸水情况。这类方法经Williams等讨论过(1966),而Low(1954)重见于Boodt(1967),曾用模拟“雨滴”技术测定团粒的稳定性。Emerson(1954)曾讨论过常用方法的种种局限性,他建议将土壤在浓NaCl液中饱和,再用逐步减少浓度的NaCl溶液淋洗,直至团块破散。对含粘粒多的土壤,Harris(1971)曾建议测定团聚体稳定性的一种方法,是用化学物和分散剂处理前后粘粒比例计算所得的指数来表示。Chepil(1958, 1962)用干燥团聚体在转筛上达到破坏状态所需时间来测定干燥团聚体抗风蚀的能力。Bryan(1971)等详细研究各种团聚体稳定性的指数,反映土壤差异的精确程度。

总之,要将各个研究机关关于结构单位的测定结果,加以标准化是困难的,即便使用同一方法的结果时也是如此。可以遵循的内部统一的原则之一就是利用合理的重复水平。并且认为大小级别和稳定性的重大差别才算显著的。

6.3.5 土壤水分

对生态工作者来说,土壤水分状况是土壤分析中重要的一环。对这一问题的一般讨论可见于Black(1968)、Marshall(1959)和Rose(1966)的著作关于水分一章。Black(1965)进行了更详细的论述。土壤水分问题包括四个主要方面:水分在土壤中移动和渗透的速度;土壤水分数量;水分吸持的力量;对植物学者来说,除上述以外,还有土壤水分对植物的有效性。第五章(第四段)从生理学观点,讨论植物和水分的关系。

(1) 水在土壤中的渗透性和运动

Bertrand[参阅Black(1965)书中]强调指出各种渗透性研究的方法都是从其特定目的的发展起来的,因而不能广泛应用。Childs(1969)指出,虽然实验室方法可以力求精密和易于控制,适用原理的研究。而为了野外应用,则以野外测定为宜。

对田间水分已经饱和的土壤和用人工方法达到水分饱和的土壤,在测定上必须有所区别。Boersman(在Black,1965)等介绍了这两种情况的测定方法。饱和土壤的渗透率是能够测量出来的。一是抽水降低水位而从已知抽水速度观察水位降低的情况,或者在抽水停止后,观察水位恢复的速度。对于未全部饱和的土壤,最简便的方法是测量人工浸灌表土的渗透速度。用一个具有较大直径的金属圆筒,一部分插入土中,一部分留于地表之上。初次饱和后,渗透到土壤中的速度是这样获得的,即测定在已知面积内倒入已知容积的水量向下渗透的时间(见Hills,1970)。这个程序可以在不同深度或在剖面中不同的土层中重复进行。Knapp(1973)谈到用全副仪器测定土层中水分流动速度的复杂性。

几位作者(如Bourgeois和Lavkulich,1972 a, 1972 b,并参看4.3.1段)叙述了在淋溶液的研究中用渗漏测量计量取水分通过土壤的速度。Reynolds(1966)论述用荧光染料来证明和测定降雨透过土壤的情况。

如果要测地下水位的深度或变动,可以用几套管子装在不同深度的土壤中。这样的装置和在研究地下水位时使用的事例,Fourt(1961)、Thomasson 和 Robson(1967)和 Thomassan(1971)都有介绍。Rutter(1955)沿着样带,每隔一定距离,在不同深度中装置五个带有电池的管子,用来研究考察湿草甸植被与地下水位的关系。每个管内的地下水位高度用电探针量出,以高出于标准水位的高度来表示。高度的差异代表水的静电压力的不同并沿样带剖面绘出等值线(见图 6.9)。水运动趋势是向较低的电位方向,与等值线垂直,用箭头表示。如果渗透速度能够正确测出,则估计的流速也可算出。当地下水位高度需要测定时,则全部管子或土坑一定不能过深,以免土坑中水位比周围土壤高,而测出了较高的静电位。理想的办法是,地下水位应从插入不同深度的管子中量得,而以含有自由水的最浅的管子水位为准。自然,在许多立地都可作这种监测,但往往不可能,因而必须认识到用管测法测定某些土壤中水位时,可能会出现误差(如 Visvalingam, 1964)。

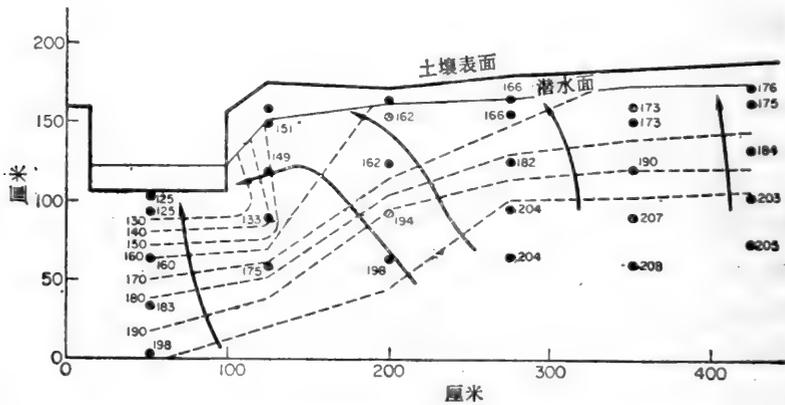


图 6.9 在渠道附近,测得的流水静电势,等电位线和地下水流动的情况

(2) 含水量和土壤水分状态的测定

乍看水分含量的测定比水分在土内运行的测定较为容易,但事实远非如此简单的。水分含量测定的大量文献,土壤水分的物理条件和其中的能量;土壤水分容量和其有效性;Gardner、Richards、Klute 和 Peters 等人都有论述(全部见于 Black 1965)。自然,本节只能提供某些方面的梗概。

土壤水分含量一般解释为在 105°C 的温度下从土壤样品中烘出来的水量。它可以用土壤干重或容积表示。虽然,是在干土重的基础上测定时取样不需过于仔细,但以土壤容积作为测定水分含量的基础更有意义。为了在容积基础上(参阅土壤养分)表示土壤水分,就有必要对土样已知的容积或容重进行测定(见 6.3.2 和 4.1)。

重量法

重量法的取样和分析是测量土壤水分最简易的方法,而且能为校正其它方法提供标准参数。如果一个可能知道田间容积的土样,迅速称重,在烘箱内 105°C 下干燥后称重。此法的优点是花费少,简单,也无需校正,缺点是由于土壤本身的复杂性,各土样之间的物理性状有差异,如果一块试验地需要经常测定,采样就会毁坏场地和改变立地的物理状态。Reynolds(1970)讨论过重力法测定水分的方法问题。

中子散射

中子散射测量土壤水分(Visvalingam 和 Tandy,1972; Bell,1973)的技术,是根据高能中子射入土壤时,它能与各种原子核反复冲撞而失散动能。最大动能的失散发生于中子冲撞在质量相似的颗粒时。氢核子的质量最近似于中子,而快速中子转变为缓慢(热的)中子的速度与土壤中氢含量成正比。虽然氢出现在有机质、粘粒的结构水和氢氧化矿物中,但除了泥炭土壤,大部分土壤的氢包含在水里,因此,计算所得缓慢中子的速率是与土壤水分含量成正比的。以重力法测定的土壤水分为标准,对每一土壤和每一土层,用此法测定的结果加以校正。校正后,一个快速中子源与缓慢中子探索器,安装在相连的管子装置中,以进行迅速和可以重复的水分含量的测定。如果电探针的影响面积在湿土中大致达到 120 毫米,在干土中 200 毫米时,这种方法只提供近似的数值。这种仪器虽为手提式的,但太昂贵,而且由于它的性质,使用时必须小心,并要遵守安全规定。

其它测定土壤水分的方法

除了上述各种方法,还有很多的测量水分的方法(见 Shaw 和 Arble,1959 的评论)。这些包括土壤电容量(Plater,1955; Thomas,1966),土壤导热性(如 Gornish 等 1973),土壤对渗透的阻力和许多化学反应。

(3) 土壤水分的有效性

水分对植物的有效性,不只是土壤中水量的问题,也要看土壤基质(soil matrix)结持水分的能量。水分在张力下结持于土壤孔隙中,只有压力(或吸抽作用)比张力强才能将水分抽出来。从土壤孔隙去掉水分所需要的能量,孔隙越小需要能量越大,因此,两种具有大小不同孔隙比例的土壤,在同一水分含量时,对植物的有效性各不同。而且,当一个土体干燥后,连续抽去等量的水分,所需能量不断增加,因为剩下的水分保留在较细的毛管孔隙中,和在土粒面上形成水膜。因此在考虑水分关系时,不仅要测定绝对含水量,也要考虑保持水分的力。Schofield (1935)采用了类似 pH 值的名词,即以常用对数为底的 pF 值(以厘米计水的抽力),“抽力”即水分从土壤中去掉所需的力。 pF 曲线是水分含量对抽力作用的图解,它表示土壤在有效水分范围内释放水分的特点。抽力的范围,在土壤水分饱和时是 ≤ 0 ($pF=0$),烘干的土壤则达到抽力均为 10^7 厘米 ($pF=7.0$)。每一土壤或土层均有不同的 pF 曲线。

水分对植物的有效范围在两个人为确定的界限之间。在土壤表面加水,这些水渗透土壤徐徐进入孔隙间。当土壤表面不再加水时,水就迅速地从大孔隙里排掉,以致重力排水速度突然下降而趋向于零,这个阶段称为土壤“田间持水量”,约相当于 $1/3$ 的大气压力 (pF 约 2.0)。植物能从一定的范围内吸取水分,直到达到凋萎点,即张力达到 15 个大气压时 (pF 约 4.0)。在这范围内的水分量叫作有效水量。凋萎点因植物的品种和土壤的不饱和的传导度而有所不同。在土壤水分张力和用重力表示的土壤水分含量之间并无固定关系。这种关系依赖于土壤以及土壤在湿或干的状态。在两种情况下,都需绘制校正曲线,将张力换算为水分含量。

在实验室内计量 pF (或张力)曲线,需要一系列的方法包括土壤水分张力的整个范围。水分含量在几乎达到一个大气压 (pF 3) 的张力时,可以用抽吸盘量得,土样紧置于一个细烧结盘中,从已知张力的水中建立水分平衡。在每一平衡阶段时,土壤水分含量都用

重量法测定。压力膜仪器可在更高得多的张力下用于测定水分含量。这种仪器真正的范围依赖于某种牌号,但它的原理对在张力达到凋萎点(15 大气压)的范围内最为有用。在一不锈钢压力箱内,土样安放在以铜盘托着的纤维膜上。从瓦斯缸加压入压力箱使之越过纤维膜产生压力差。其后,使土样与在纤维膜下大气压力的水分达到平衡。在张力超过凋萎点时,水分含量的测定可在真空干燥器内进行(Gronney 等,1962)。这时要使土样在已知的相对湿度下与大气平衡。

田间土壤水分张力的测定,取决于可能遇到的张力范围。张力计的基本类型,包括一个埋在土里的多孔陶罐,盛满不含空气的水并接在一流体压力计或真空表上。张力计的水柱与土壤保持着直接的连系,土壤水分张力即直接被压力计测量出来。张力计可提供 0 到 0.8 大气压(pF 0—3 左右)范围的准确记录,但更高的张力下,空气通过多孔罐进入仪器中,整个系统就被破坏了。许多商品压力计都可以用,但大多数是为农用设计的。关于张力计实际应用的详细情况可参阅许多报告(如 Richards,1965;Gronney 等 1952),Webster (1966) 叙述了一种张力计可从购置的零件直接装配起来。Rogers (1974) 描述在短距离内短时期应用的一种小型张力计,人工读数张力计价廉而且操作容易,但也可装上可调节的变压器,使其自动化。不过这类装置的实用价值有限,因张力计要求经常检查保养去掉气泡,才能量出准确的结果。

可在田间或实验室用热电偶干湿表来测定水蒸汽压力(Richards,1965,在 Black 书中。Globus,1972),以便确定广阔范围的土壤水分张力。Spanner(1951)用这种方法量测植物体中的水势。其他工作者介绍了经过改进的方法以及在植物-土壤比较研究中的应用(如 Rawlins 等 1968;Lang,1967;Brown 和 Havern,1972;Easter 和 Sosebee,1974)。

一种与土壤水分张力有关的半定量的价格低廉的仪器是用埋在土内的电阻块(Bouyoucos,1953,1954)。这些电阻块是由多孔物质做成并包括一对电极。埋在土中电阻块的水分含量依赖于土壤内的水进入多孔的电阻介质情况,而水分进入又依赖于水分含量和土壤水分张力。电阻块的水分含量是用以电极之间电阻来表示,并用电阻和水分作成曲线来算出。石膏块对干燥土壤最佳(张力大于一个大气压),但尼龙或有机玻璃块对较低的张力具有较好的性能(Bouyoucos 和 Mick,1948;Bouyoucos,1972)。电阻块精确的校准存在一系列问题。它们可能作为土壤水分状况的一般指示者是最合适的,而不宜用来测定土壤绝对水分含量。误差的原因是由于电阻块与土壤之间接触不良,其次还有时间反应的迟缓、滞后作用的影响以及如果用尼龙块,那么在土壤含盐度上也有差异。Hinson 和 Kitching(1964)介绍一种简单的 AG 桥,适用于田间电阻块的测定。Rutter 和 Sands(1958)修改了 Davis 和 Slater(1942)的方法,他们在研究欧洲赤松水分平衡时测定土壤水分。楔形石膏块垫以滤纸,放在埋于土中管子的底部。楔形体的水分含量与土壤的平衡,要用称重法测定(Al-Khafaf 和 Hanks,1974)。有一种修改过的方法,是用滤纸与土壤直接接触。

土壤水分对植物有效性的田间测定

是指在田间持水量与凋萎点之间的水分含量,可以间接的从土壤颗粒大小的分配和有机质含量加以估计的(Salter 和 Williams, 1965 a, b; Salter 等 1966, Salter 和 Williams,1967)。

6.3.6 土壤堆积与侵蚀

土壤表面的不稳固性是由于沉积物的累积或现有土壤的侵蚀,这些可能引起生态工作者的兴趣,其研究方法是地貌学的技术(见 King,1966)在这里就不详述了。Garson 和 Kirkby (1972)详细考虑了土体的不稳定性和坡地的面蚀,强调土机械工程师对土壤工作的重要意义,包括理论和方法。当侵蚀是一种自然灾害时,许多控制土壤侵蚀的技术(见 Hudson,1971),在许多地区对土壤利用的措施。对生态工作者也是很重要的。

通过沉积作用,颇为迅速的土壤增加会引起土壤堆积。如在盐碱沼泽地或风吹作用而形成的砂丘。土壤增加的速度可以相对的或间接地通过检查埋藏土层和质地变化来决定。直接地则以沉积物的收集,标志物的移动以及定期检查安装在一定水平的地面或土内的标尺来测定。研究侵蚀度的实验室方法,是将不同植被和不同的土地利用方式的土壤进行比较(如 Selby,1970)。

从一种地形单元面上的物质侵蚀,时常引起在另一处的堆积,这可能起源于整体运动,如塌方、坡地土面滑动(Young,1960)和季节性的土地融冻而引起大量流动;由于水蚀物质造成的坡积物(Bryan,1968,1968-69,1970);由于风吹,以及由于霜冻引起上下左右的不同鼓起而发生的颗粒分选。强烈风蚀和霜冻引起的侵蚀,单体和集体的物质运动,能以分散或联合的形式造成各种形式的有植物的和光秃的土地。Washburn (1973)写了一本有关全球霜冻形成不同地貌形式的论文。Ball 和 Goodier(1970)(1974)介绍了在 Snowdonia 和 Shetland 的霜冻地貌特征。这种特征就是一种生态因素,土壤和微地形的相互作用,引起了植物规律性的分布。霜冻及风蚀影响的土地,也有类似的情况,可以参阅 Watt 和 Jones(1948)、Metcalf(1950)和 Burges(1951)著作。还有那些受物质整体运动和生物影响引起的山域上的微地貌形式,如羊径[Garson 和 Kirkby(1972)]。

古代不同气候时期进行的分离和移动而造成土壤变异,对于现代植被分布有着深刻的影响。象英格兰东部布雷克兰德草地的石南荒原,帚石南出现在泥石流形成的砂质冰碛物上,而喜钙植物种盖满了白垩冰碛物上[Watt 等(1966)]。

6.3.7 机械强度

测量土壤机械强度主要是工程师所关心的事,他们考虑土壤物体承受机械载荷的能力(如英国标准研究所,1967;A.S.T.M 1970),但这也有生态学方面的应用。

工程师注意紧实性[Black(1965)书中用 Felt],通过控制土壤孔隙度和凝聚,以达到最大的强度和稳定性。具有生态学影响的地区,土壤板结可由牲畜和人类活动而产生。在这样的地区,可以应用紧实性的测定方法。

应力和剪力的测定(Barber 和 Sallberg,在 Black,1965 书中),在上述移动具有生态学上的重要性的地方,如不同植被类型之下的在不稳固的坡地。应力和剪力的测定,是有意义的。

对土壤和生态工作者在土壤强度上最有用途的计量,可能是土壤对穿透作用的抗性。一根标杆或手杖可推进土堆中作为粗糙的穿透计,来量取霜冻鼓起的非粘结或松散结构的土壤,或矿质土壤上部的泥炭层的深度。从数量上来说,所以有精确程度高低不同的多种穿透计,测定穿透一定深度所需要的力量(Davidson,在 Black 1965 书中。Reynolds,

1971; Sanglerat, 1972; Soane, 1973)。虽然这种测定明显地与其他参数,如孔隙度、容积比重等有关,但它们是供检查践踏和机械造成影响的迅速方法。

6.4 矿物学和组织分析

在实验室里,用薄片技术对土壤矿物学、对土粒、团聚体与孔隙的相互关系可以进行微型的研究,这对土壤专家来说是很有用的。薄片研究可对土壤生态学家提供一些直接应用的资料,但一般来说,植物生态学家仅仅需要了解这一技术可以利用的范围。

6.4.1 薄片技术

利用偏光显微镜,进行岩石的矿物学和组织的研究,是岩石学家的古典实验室技术。对单粒或岩石薄片组成矿物的矿物鉴定,决定于形成岩石的矿物的光学性质(Kerr, 1959)。薄片可直接从大块岩石制备,但易脆的岩石需要先用树脂化合物浸制,使岩石在磨制薄片过程中具有足够的机械强度。

在制作土壤薄片前,浸制是尤为关键的, Kubiena(1938)第一个广泛地讨论了用显微镜研究土壤。他以后(1953, 1970)又利用这一方法获得的结果解释土壤形成过程并借助于这一结果进行土壤分类。Brewer(1964)的工作体现了土壤组织研究方面的最综合的现代观点。Barratt(1965)用薄片方法研究了土壤系列的发育、风化、淋溶和植被类型的关系。虽然薄片技术提供了一种直接方法,来详细研究土体的不同成分在未受干扰状态下,它们内部之间的相互关系。但还没有足够的资料证明薄片技术在土壤学方面,如在对岩石薄片研究那样广泛。

薄片技术可以直接观察土壤的生物成分和物理成分之间的细微关系。Heppele和Burgess(1956)最早描述了这样的例子,即真菌菌丝穿过土壤孔隙连接两个外包腐殖质的石英砂粒。Barratt(1964, 1968—69)论述了从土壤腐殖质的微组织来进行土壤腐殖质的形态分类,也描述了几种新西兰土壤从微形态研究而分类的腐殖质形成与不同土地利用方式的相关。Anderson和Bonma(1973)还找出了土层间水的导电率与薄片测定的关系。薄片技术结合电探针微分析,就有可能研究微型的化学差异(Gescas等1968; Jenkins, 1970)第四章3.6.1节进一步讨论了土壤薄片技术的应用。

6.4.2 砂粒矿物学

土壤砂粒部分矿物种类的定性和定量鉴定主要是为了确定土壤母质的特性,研究土壤剖面的风化效果和比较来源于同一母质的各种剖面(Gady在Black, 1965)。把土壤团聚体分散成原生颗粒,从而鉴定颗粒大小分布(6.3.1),这是最初矿物学研究的基本方法。不同大小的各个部分,是通过吸管或倾洗的方法分开,然后进行离心。较粗部分是通过在筛子上冲洗而得到的。如有必要,还需除去其中的有机质、碳酸盐或氢氧化铁等胶结物(Kunze在Black, 1965)。

把分离出来的砂粒部分放在比重大的液体,一般是溴仿中再进行浮选,从而把它进一步分成“轻”和“重”的矿物。轻的部分主要是石英,数量大,但很难确定母质来源,虽然有时颗粒的形状和表面的特点有助于鉴定。较重的部分一般包含较宽范围的矿物,其中

有些矿物可用于鉴定母质。Milner(1962)全面地讨论了砂粒物质的研究。Marshall(1964)在一章中,综述了土壤的砂和粉粒部分中主要矿物的矿物学和化学。

6.4.3 粉粒和粘粒矿物学

砂粒矿物学的显微镜技术也可应用于粉粒部分,但粉粒更小,因而也困难一些。另外还在研究用非光学方法,鉴定土壤粘粒部分的最小颗粒。粘粒矿物不仅比砂粒部分中那些矿物的颗粒小,而且还有一层片状结构的铝硅酸盐(Deer等 Vol. III 1962)。粘粒中有一些结晶氧化物及氢氧化物,还有一些无定形矿物,它们在局部地区有重要地位,但粘粒主要还是小片状结构的矿物。粉粒部份在组成和大小方面是居中的,它含有砂粒部分中的小颗粒矿物,也含有粘土矿物的“大”结晶。

Grim(1962,1968)详细讨论了粘粒矿物,它们的性质及其对土壤性质的影响。Weaver和Pollard(1973)综述了粘粒矿物的化学特性。Rich和Kunze(1964)主编了一次讨论会上关于粘粒的论文。粘粒矿物在土壤中起的作用比砂粒大,因为它和有机质一样,具有离子交换的性质,能保持养分离子,使对淋溶的抗性较强,但易于参加土壤-植物的营养循环的固相-液相-根内部相互变化。土壤粘粒矿物主要类型的鉴定以用X射线衍射的方法(Brown, 1961)为主,而辅之以差热分析(Mackenzie, 1957)。在混合集体中(土壤粘粒在一般情况下都是如此)不同粘粒比例的定量分析依赖于主观的方法,而且是比较相对的。粘粒矿物鉴定和粘粒性质的研究,有助于认识土壤中的营养状况和一些其它重要的土壤性质,如“膨胀”的粘土在潮湿和干燥条件下所发生的膨胀和收缩。然而,每一土壤中粘粒矿物类型和一晶架层次类型的特性,对植物生态学家来说,往往还无直接应用价值。

7. 结 论

土壤及它的生物学和非生物学特性肯定是一个整体,正如Russell(1971)所描述的。当然这个整体不是一个封闭系统,因为它的性质决定于并相互作用于外部环境的各种物理条件,以及生活在土壤上面和生活在土壤中的植物动物区系。对植物生态学家来说,土壤主要是植物的物理和化学的支持系统。它不是一个简单的系统,而是一个复杂的、模糊的,很难定量的介质,这对研究工作者想得到一些定量指标来说是比较伤脑筋的。

现在有两个主要途径:一条是通过孤立分离土壤,研究各个组分,从而简化土壤世界,以便下一步进行综合研究。另一条是现在先不追求详细研究和更高的目标,而是抓住直观明显的原则和关系,待新概念、新技术出现后,再全面深入地研究。对植物生态学家来说,前一途径包括在较简单和实验的培养条件下研究植物,这可能有助于解释植物在现实土壤中的状况。后一途径使我们比用专门的土壤定量资料更有根据地找出植物分布和特性与土壤亚类及或土系水平之间的相关性。这是因为土壤分类的概念包含我们能测定的因素,我们知道其重要性而无法测定的因素,以及现在还没有抓住的各种内部相互关系。对于研究土壤及其与植物分布、生长的关系,这样广博、复杂而仅在边缘上探索过的领域的植物生态学家和土壤学家来说,这两条途径都是必需的。

8 参 考 文 献

- Adams W. A. (1973) The effect of organic matter on the bulk and true densities of some uncultivated podzolic soils. *J. Soil Sci.* **24**, 10—17.
- Ahn P. M. (1970) *West African Soils (West African Agriculture Vol. 1)* Oxford Univ. Press.
- Al-Khafaf S. & Hanks R. J. (1974) Evaluation of the filter paper method for estimating soil water potential. *Soil Sci.* **117**, 194—199.
- Anderson G. D. & Talbot L. M. (1965) Soil factors affecting the distribution of the grassland types and their utilization by wild animals on the Serengeti Plains, Tanganyika. *J. Ecol.* **53**, 33—56.
- Anderson J. L. & Bouma J. (1973) Relationships between saturated hydraulic conductivity and morphometric data of an argillic horizon. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* **37**, 408—413.
- A. R. C. (1971) *Annual report of the Agricultural Research Council, 1970—71*. London, H. M. S. O.
- Armitage P. L. (1973) *Aber Mountain: A land and land-use study*. M. Sc. thesis. University College, London.
- A. S. T. M. (1970) *Special Procedures for Testing Soil and Rock for Engineering Purposes*. American Society for Testing and Materials. Philadelphia.
- A. S. T. M. (1972) *Manual on Test Sieving Methods*. American Society for Testing and Materials Philadelphia.
- Aubert G. & Duchaufour Ph. (1956) Projet de classification des sols. *6th International Congress of Soil Science*, Paris. Vol. E, pp. 597—604.
- Aubert G. (1965) Classification des sols. *Pédologie-Cahiers ORSTOM* III, **3**, 269—288.
- Avery B. W. (1973) Soil classification in the Soil Survey of England and Wales. *J. Soil Sci.* **24**, 324—338.
- Ball D. F. & Goodier R. (1970) Morphology and distribution of features resulting from frost-action in Snowdonia. *Fld. Stud.* **3**, 193—218.
- Ball D. F. & Goodier R. (1974) Ronas Hill: a preliminary account of its ground pattern features resulting from the action of frost and wind. In R. Goodier (ed.) *The Natural Environment of Shetland* pp. 89—106. Edinburgh, Nature Conservancy Council.
- Ball D. F. & Williams W. M. (1968) Variability of soil chemical properties in two uncultivated Brown Earths. *J. Soil Sci.* **19**, 379—391.
- Ball D. F. & Williams W. M. (1971) Further studies on variability of soil chemical properties. Efficiency of sampling programmes on an uncultivated Brown Earth. *J. Soil Sci.* **22**, 60—68.
- Ball D. F., Hornung M. & Mew G. (1971) The use of aerial photography in the study of geomorphology and soils of upland areas. In R. Goodier (ed.) *The Application of Aerial Photography to the Work of the Nature Conservancy* pp. 66—77. Edinburgh, Nature Conservancy Council.
- Ball D. F., Mew G. & Macphee W. S. G. (1969) Soils of Snowdon. *Fld. Stud.* **3**, 69—107.
- Ball D. F., Williams W. M. & Hornung M. (1971) Variability of chemical properties in uniform soils. *Welsh Soils Discussion Group, Report No. 11*, 31—40.
- Barkham J. P. & Norris J. M. (1970) Multivariate procedures in an investigation of vegetation and soil relations of two beech woodlands, Gotswood Hills, England. *Ecology* **51**, 630—639.
- Barratt B. C. (1964) A classification of humus forms and microfabrics of temperate grasslands. *J. Soil Sci.* **15**, 342—356.
- Barratt B. C. (1965) Micro-morphology of some yellow-brown earths and podzols of New Zealand. *N. Z. J. agric. Res.* **8**, 997—1042.
- Barratt B. C. (1968) Micromorphological observations on the effects of land-use differences on some New Zealand soils. *N. Z. J. agric. Res.* **11**, 101—130.
- Barratt B. C. (1968/69) A revised classification and nomenclature of microscopic soil materials with particular reference to organic components. *Geoderma* **2**, 257—271.
- Baver L. D. (1956) *Soil Physics* (3rd edition). Wiley.
- Baver L. D., Gardner W. H. & Gardner W. L. (1972) *Soil Physics* (4th edition). Wiley.
- Beckett P. H. T. & Burrough P. A. (1971 a) The relation between cost and utility in soil survey. IV. Comparisons of the utilities of soil maps produced by different soil survey procedures and to different scales. *J. Soil Sci.* **22**, 466—480.
- Beckett P. H. T. & Burrough P. A. (1971 b) The relation between cost and utility in soil survey. V. The cost-effectiveness of different soil survey procedures. *J. Soil Sci.* **22**, 481—489.
- Beckett P. H. T. & Webster R. (1965) *A classification system for terrain*. MEXE Report No. 872,

Christchurch, Hampshire, M. I. Eng. Exp. Est.

- Beckett P. H. T. & Webster R. (1971) Soil variability: A review. *Soils Fertil., Harpenden* **24**, 1-15.
- Beckett P. H. T., McNeil G. M. & Mitchell C. W. (1972) Terrain evaluation by means of a data bank. *Geogr. J.* **138**, 430-456.
- Bell J. P. (1969) A new design principle for neutron soil moisture gauges: The 'Wallingford' neutron probe. *Soil Sci.* **108**, 160-164.
- Bell J. P. (1973) Neutron Probe Practice, *Inst. Hydrol., Rep. No. 19*, Wallingford, England.
- Bidwell O. W. & Hole F. D. (1964) An experiment in the numerical classification of some Kansas Soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* **28**, 263-268.
- Bie S. W. & Beckett P. H. T. (1971) Quality control in soil survey. I. The choice of mapping unit. *J. Soil. Sci.* **22**, 32-49.
- Bisal F. & Hinman W. C. (1972) A method for estimating the apparent density of soil aggregates. *Can. J. Soil Sci.* **52**, 513-514.
- Black G. A. (editor-in-chief) (1965) *Methods of Soil Analysis*. Amer. Soc. Agron.
- Black G. A. (1968) *Soil-Plant Relationships*. Wiley.
- Bourgeois W. W. & Lavkulich L. M. (1972 a) A study of forest soils and leachates on sloping topography using a tension lysimeter. *Can. J. Soil Sci.* **52**, 375-391.
- Bourgeois W. W. & Lavkulich L. M. (1972 b) Application of acrylic plastic tension lysimeters to sloping land. *Can. J. Soil Sci.* **52**, 288-290.
- Bouyoucos G. J. (1953) More durable plaster of paris moisture blocks. *J. Soil Sci.* **76**, 447-451.
- Bouyoucos G. J. (1954) New type electrode for plaster of paris moisture blocks. *J. Soil Sci.* **78**, 339-342.
- Bouyoucos G. (1972) A new electrical soil-moisture measuring unit. *J. Soil Sci.* **114**, 493.
- Bouyoucos G. J. & Mick A. H. (1948) Fabric absorption unit for continuous measurement of soil moisture in the field. *J. Soil Sci.* **66**, 217-232.
- Brewer R. (1964) *Fabric and Mineral Analysis of Soils*. Wiley
- Bridges E. M. (1970) *World Soils*. Cambridge University Press.
- British Standards Institution (1967) *Methods of Testing Soils for Engineering Purposes*. British Standard 1377, London.
- Brown G. (1961) *The X-ray Identification and Crystal Structure of Clay Minerals*. London. Miner. Soc.
- Brown R. W. & Van Haveren B. P. (editors) (1972) *Psychrometry in Water Relations Research*. Utah State University.
- Bryan R. B. (1968) Development of laboratory instrumentation for the study of soil erodibility. *Earth Sci. J.* **2**, 38-50.
- Bryan R. B. (1968/69) The development, use and efficiency of indices of soil erodibility. *Geoderma* **2**, 5-26.
- Bryan R. B. (1970) An improved rainfall simulator for use in erosion research. *Can. J. Earth Sci.* **7**, 1552-1561.
- Bryan R. B. (1971) The efficiency of aggregation indices in the comparison of some English and Canadian soils. *J. Soil Sci.* **22**, 166-178.
- Buckman H. O. & Brady N. C. (1969) *The Nature and Properties of Soils*. Macmillan.
- Bunting B. T. (1967) *The Geography of Soil*. London, Hutchinson.
- Burges A. (1951) The ecology of the Cairngorms. III. The *Empetrum-Vaccinium* zone. *J. Ecol.* **39**, 271-284.
- Burges A. & Raw F. (1967) *Soil Biology*. Academic Press.
- Buol S. W., Hole F. D. & McCracken R. J. (1973) *Soil Genesis and Classification*. Iowa State University Press.
- Burrough P. A., Beckett P. H. T. & Jarvis M. G. (1971) The relation between cost and utility in soil survey (I-III). *J. Soil Sci.* **22**, 359-394.
- Campbell D. J. (1973) A flotation method for the rapid measurement of the wet bulk density of soil clods. *J. Soil Sci.* **24**, 239-243.
- Campbell N. A., Mulcahy M. J. & McArthur W. M. (1970) Numerical classification of soil profiles on the basis of field morphological properties. *Aust. J. Agric. Res.* **8**, 43-58.
- Carroll D. M. (1973) Remote sensing techniques and their application to soil science. Pt. I. The photographic sensors. *Soils Fertil., Harpenden* **36**, 259-266.
- Carson M. A. & Kirkby M. J. (1972) *Hillslope Form and Process*. Oxford University Press.

- Cary J. W. & Hayden C. W. (1973) An index for soil pore size distribution. *Geoderma* 9, 249—251.
- Cescas M. P., Tyner E. H. & Gray L. J. (1968) The electron microprobe X-ray analyzer and its use in soil investigations. *Advan. Agron.* 20, 153—198.
- Chepil W. S. (1958) *Soil Conditions that Influence Wind Erosion*. Tech. Bull. 1185, Washington. United States Dept. of Agric.
- Chepil W. S. (1962) A compact rotary sieve and the importance of dry sieving in physical soil analysis. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 26, 4—6.
- Childs E. C. (1969) *An Introduction to the Physical Basis of Soil Water Phenomena*. Wiley.
- Clarke G. R. (1971) *The Study of Soil in the Field* (5th edition, assisted by P. Beckett). Oxford. Clarendon Press.
- Cooke G. W. (1967) *The Control of Soil Fertility*. Crosby Lockwood.
- Cope D. W. (1973) *Soils in Gloucestershire* 1. *Soil Survey Record No. 13*. Harpenden. Soil Survey of England and Wales.
- Cornish P. M., Laryea K. B. & Bridge B. J. (1973) A non-destructive method of following moisture content and temperature changes in soils using thermistors. *Soil Sci.* 115, 309—314.
- Courtney F. M. (1973) A taxonomic study of the Sherborne soil mapping unit. *Trans. Inst. Brit. Geog.* 58, 113—124.
- Croney D., Coleman J. D. & Bridge P. M. (1952) The suction of moisture held in soil and other porous materials. *D. S. I. R. Road Res. Tech. paper 24*. H. M. S. O.
- Cruikshank J. G. (1972) *Soil Geography*. David & Charles.
- Cuanalo de la C, H. E. & Webster R. (1970) A comparative study of numerical classification and ordination of soil profiles in a locality near Oxford. Pt. 1. Analysis of 85 sites. *J. Soil Sci.* 21, 340—352.
- Curtis L. F., Doornkamp J. C. & Gregory K. J. (1965) The description of relief in field studies of soils. *J. Soil Sci.* 16, 16—30.
- Davis W. E. & Slater C. S. (1942) A direct weighing method for subsequent measurements of soil moisture under field conditions. *J. Amer. Soc. Agron.* 34, 285.
- De Boedt M. (Secretary-general, editing committee) (1967) *West-European Methods for Soil Structure Determination*. Gent, Belgium.
- Deer W. A., Howie R. A. & Zussman J. (1962) *Rock-forming Minerals* (5 vols.) Longmans.
- Dewis J. & Freitas F. (1970) *Physical and Chemical Methods of Soil and Water Analysis*. Rome. F. A. O.
- Duchaufour Ph. (1956) *Pédologie: Applications Forestières et Agricoles*. Nancy. Ecole Nat. des Eaux et Forêts.
- Duchaufour Ph. (1970) *Précis de Pédologie* (3rd edition). Nancy. Ecole Nat. des Eaux et Forêts.
- Easter S. J. & Sosebee R. E. (1974) Use of thermocouple psychrometry in field studies of soil-plant-water relationships. *Plant and Soil* 40, 707—712.
- Emerson W. W. (1954) The determination of the stability of soil crumbs. *J. Soil. Sci.* 5, 233—250.
- Epstein E. (1972) *Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives*. Wiley.*
- Evans R. (1972) Air photographs for soil survey in lowland England: Soil patterns. *Photogrammetric Rec.* 7, 302—322.
- Falck J. (1973) A sampling method for quantitative determination of plant nutrient content of the forest floor. [Swedish with English summary.] *Research Notes No. 1*. Stockholm, Royal College of Forestry.
- F. A. O. (1968) *Guidelines for Soil Description*. Rome.
- Firth J. G. (1973) The aerial photograph—not a map yet more than a map. *Scott. For.* 27, 336—344.
- Fitzpatrick E. A. (1971) *Pedology. A Systematic Approach to Soil Science*. Edinburgh. Oliver & Boyd.
- Fourt D. F. (1961) The drainage of a heavy clay site. *Forestry Commission. Report on Forest Research for the year ended March, 1960*. pp. 137—150. London. H. M. S. O.
- Frankland J. C., Ovington J. D. & Macrae C. (1963) Spatial and seasonal variations in soil, litter and ground vegetation in some Lake District woodlands. *J. Ecol.* 51, 97—112.
- Gallagher P. A. & Herlihy M. (1963) An evaluation of errors associated with soil testing. *Irish J. agric. Res.* 2, 149—167.
- Garret S. D. (1963) *Soil Fungi and Soil Fertility*. Pergamon.
- Gibbs H. S., Cowie J. D. & Pullar W. A. (1968) *Soils of New Zealand*. Pt. 1. Soil Bureau Bulletin

26, New Zealand Dept. of Sci. and Indust. Res., Auckland.

- Globus A. M. (1972) Design, operation and temperature sensitivity of a thermocouple psychrometric moisture potentiometer based on the Peltier effect. *Soviet Soil Sci.* **4**, 745—752.
- Goodier R. & Grimes B. H. (1970) The interpretation and mapping of vegetation and other ground surface features from air photographs of mountainous areas in North Wales. *Photogramm. Rec.* **6**, 553—566.
- Goosen D. (1967) Aerial photo interpretation in soil survey. *Soils Bull.* No. 6. Rome, F. A. O.
- Gray T. R. G. & Williams S. T. (1971) *Soil Micro-organisms*. Oliver & Boyd.
- Grim R. E. (1962) *Applied Clay Mineralogy*. McGraw-Hill.
- Grim R. E. (1968) *Clay Mineralogy (2nd Edition)*. McGraw-Hill.
- Grime J. P. & Lloyd P. S. (1973) *An Ecological Atlas of Grassland Plants*. Arnold.
- Grubb P. J., Green H. E. & Merrifield R. C. J. (1969) The ecology of chalk heath: its relevance to the calcicole-calcifuge and soil acidification problems. *J. Ecol.* **57**, 175—212.
- Harris S. (1971) Index of structure: evaluation of a modified method of determining aggregate stability. *Geoderma* **6**, 155—162.
- Heppele S. & Burges A. (1956) Sectioning of soil. *Nature, Lond.* **177**, 1186.
- Hesse P. R. (1971) *A Textbook of Soil Chemical Analysis*. John Murray.
- Hills R. C. (1970) The determination of the infiltration capacity of field soils using the cylinder infiltrometer. *Technical Bulletin 3*. British Geomorphological Research Group, Univ. East Anglia, Norwich.
- Hinson W. H. & Kitching R. A. (1964) A readily constructed transistorised instrument for electrical resistance measurement in biological research. *J. appl. ecol.* **1**, 301—305.
- Hodgson J. M. (editor) (1974) *Soil Survey Field Handbook. Technical Monograph 5*. Harpenden, Soil Survey of England and Wales.
- Holmes A. (1965) *Principles of Physical Geology*. Nelson.
- Hudson N. (1971) *Soil Conservation*. Batsford.
- International Society of Soil Science (1962) *Transactions of Commissions IV and V joint meeting*, New Zealand.
- International Society of Soil Science (1967) Proposal for a uniform system of soil horizon designations. *Bull. Int. Soc. Soil Sci.* No. 31, 4—7.
- Jarvis M. G. (1969) Terrain and soil in North Berkshire. *Geogr. J.* **135**, 398—403.
- Jarvis R. A. (1962) The use of photo-interpretation for detailed soil mapping. *Symp. Photo Interpretation, Delft, Working Group 31*, 177—182.
- Jeffrey D. W. (1970) A note on the use of ignition loss as a means for the approximate estimation of bulk density. *J. Ecol.* **58**, 297—299.
- Jenkins D. A. (1970) Micromorphological heterogeneity of soil. *Welsh Soils Discussion Group, Report 11*, 1—11.
- John M. K., Lavkulich L. M. & Zoost M. A. (1972) Representation of soil data for the computerized filing system used in British Columbia. *Can. J. Soil Sci.* **52**, 293—300.
- Kaddah M. T. (1974) The hydrometer method for detailed particle size analysis. I Graphical interpretation of hydrometer readings and test of method. *Soil Sci.* **118**, 102—108.
- Kerr P. F. (1959) *Optical Mineralogy*. McGraw-Hill.
- King C. A. M. (1966) *Techniques in Geomorphology*. Arnold.
- Knapp B. J. (1973) A system for the field measurement of soil water movement. *Technical Bulletin 9*. British Geomorphological Research Group, Univ. East Anglia, Norwich.
- Krumbein W. C. & Pettijohn F. J. (1938) *Manual of Sedimentary Petrography*. New York, Appleton-Century Crofts.
- Kubiena W. L. (1938) *Micropedology*. Ames, Iowa, Collegiate Press.
- Kubiena W. L. (1953) *Soils of Europe*. Murby.
- Kubiena W. L. (1970) *Micromorphological Features of Soil Geography*. New Jersey, Rutgers Univ. Press.
- Kühnelt W. (trans. N. Walker) (1961) *Soil Biology*. Faber & Faber.
- Lang A. R. G. (1967) Psychrometric measurement of soil water potential *in situ* under cotton plants. *Soil Sci.* **106**, 460—464.
- Legros J.-P. (1973) Précision des cartes pédologiques: La notion de finesse de caractérisation. *Sci. Sol.* **2**, 115—128.
- Leo M. W. M. (1963) Heterogeneity of soil of agricultural land in relation to soil sampling. *J. agric. Ed. Chem.* **11**, 432—435.

- Leopold L. B. & Dunne T. (1971) Field method for hillslope description. *Technical Bulletin 7*. British Geomorphological Research Group, Univ. East Anglia, Norwich.
- Lines R. & Howell R. S. (1963) The use of flags to estimate the relative exposure of trial plantations. *Forestry Commission Forest Record 51*, London, H. M. S. O.
- Low A. J. (1954) The study of soil structure in the field and in the laboratory. *J. Soil Sci.* **5**, 57—74.
- Mackenzie R. C. (1957) *The Differential Thermal Investigation of Clays*. London, Miner. Soc.
- Maignien R. (1970) *Manuel de Prospection Pédologique*. Paris, O. R. S. T. O. M.
- Marshall C. E. (1964) *The Physical Chemistry and Mineralogy of Soils. Vol. 1. Soil Materials*. Wiley.
- Marshall T. J. (1959) Relations between water and soil. *Commonwealth Agric. Bur. Tech. Comm.* **50**, Harpenden.
- McLaren A. D. & Peterson G. H. (editors) (1967) *Soil Biochemistry*. Vol. 1. Arnold.
- McVean D. N. & Ratcliffe D. A. (1962) *Plant communities of the Scottish Highlands. Monograph No. 1, The Nature Conservancy*. London, H. M. S. O.
- Mehlich A. (1972) Uniformity of expressing soil test results. A case for calculating results on a volume basis. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* **3**, 417—424.
- Mehlich A. (1973) Uniformity of soil test results as influenced by volume weight. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* **4**, 475—486.
- Metcalf G. (1950) The ecology of the Cairngorms. II. The Mountain Callunetum. *J. Ecol.* **38**, 46—74.
- Mew G. & Ball D. F. (1972) Grid sampling and air photography in upland soil mapping. An investigation in the Rhinog mountains of North Wales. *Geogr. J.* **138**, 8—14.
- Milner H. B. (1962) *Sedimentary Petrography*. Allen & Unwin.
- Mirreh H. F. & Ketcheson J. W. (1972) Influence of soil bulk density and matric pressure on soil resistance to penetration. *Can. J. Soil Sci.* **52**, 477—483.
- Mitchell C. W. (1973) Soil classification with particular reference to the Seventh Approximation. *J. Soil Sci.* **24**, 411—420.
- Moore A. W., Russell J. S. & Ward W. T. (1972) Numerical analysis of soils: a comparison of three soil profile models with field classifications. *J. Soil Sci.* **23**, 193—209.
- Moss R. P. (editor) (1968) *The Soil Resources of Tropical Africa*. Cambridge University Press.
- Mückenhausen E. (1962) *Entstehung, Eigenschaften und Systematik der Böden der Bundesrepublik Deutschland*. Frankfurt, D. L. G.
- Mückenhausen E. (1965) The soil classification system of the Federal Republic of Germany. *Pédologie, Gent: Special № 3*, 57—89.
- Muir J. W. (1962) The general principles of classification with reference to soils. *J. Soil Sci.* **13**, 22—30.
- Muir J. W. & Hardie H. G. M. (1962) A punched-card system for soil profiles. *J. Soil Sci.* **13**, 249—253.
- National Soil Survey Committee of Canada (1968) *Proceedings of the 7th Meeting of N. S. S. C. Canada*. University of Alberta.
- Nielsen D. R., Biggar J. W. & Corey J. C. (1972) Application of flow theory to field situations. *Soil Sci.* **113**, 254—264.
- Norris J. M. (1971) The application of multivariate analysis to soil studies. I. Grouping of soils using different properties. *J. Soil Sci.* **22**, 69—80.
- Norris J. M. (1972) The application of multivariate analysis to soil studies. III. Soil variation. *J. Soil Sci.* **23**, 62—75.
- Norris J. M. & Loveday J. (1971) The application of multivariate analysis to soil studies. II. The allocation of soil profiles to established groups: A comparison of soil survey and computer methods. *J. Soil Sci.* **22**, 395—400.
- Northcote K. H. (1965) *A Factual Key for the Recognition of Australian Soils*. Divisional Report 2/65, Adelaide, C. S. I. R. O.
- Oertli J. J. (1973) The use of chemical potentials to express nutrient availabilities. *Geoderma* **9**, 81—95.
- Parkinson D., Gray T. R. G. & Williams S. T. *Methods for Studying the Ecology of Soil Microorganisms*. I. B. P. Handbook № 19. Blackwell Scientific Publications.
- Peterken G. F. (1967) *Guide to the Check Sheet for I. B. P. Areas*. I. B. P. Handbook № 4. Blackwell Scientific Publications.

- Phillipson J. (editor) (1971) *Methods of Study in Quantitative Soil Ecology*. I. B. P. Handbook № 18. Blackwell Scientific Publications.
- Pitty A. F. (1968) A simple device for the field measurement of hillslopes. *J. Geol.* **76**, 717—720.
- Pitty A. F. (1969) A scheme for hillslope analysis. *Occ. Papers in Geog.* **9**, University of Hull.
- De Plater C. V. (1955) A portable capacitance-type soil moisture meter. *Soil Sci.* **80**, 391—395.
- Poore M. E. D. (1968) Studies in Malaysian rain forest. I. The forest on Triassic sediments in Jengka Forest Reserve. *J. Ecol.* **56**, 143—196.
- Pritchard D. T. (1974) A method for soil particle-size analysis using ultrasonic disaggregation. *J. Soil Sci.* **25**, 34—40.
- Pyatt D. G., Harrison D. & Ford A. S. (1969) *Guide to site types in forests of North and Mid-Wales*. Forest Record No. 69. Forestry Commission. London, H. M. S. O.
- Ragg J. M. & Clayden B. (1973) *The classification of some British soils according to the comprehensive system of the United States*. Technical Monograph 3. Harpenden, Soil Survey of England and Wales.
- Rawlins S. L. (1966) Theory for thermocouple psychrometers used to measure water potential in soil and plant samples. *Agric. Met.* **3**, 293—310.
- Rawlins S. L., Gardner W. R. & Dalton F. N. (1968) *In situ* measurement of soil and plant leaf water potential. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* **32**, 468—470.
- Rayner J. H. (1966) Classification of soils by numerical methods. *J. Soil Sci.* **17**, 79—92.
- Rayner J. H. (1969) The numerical approach to soil systematics. In J. G. Sheals (ed.) *The Soil Ecosystem*. London, The Systematics Association.
- Read H. H. & Watson J. (1962) *Introduction to Geology. I. Principles*. Macmillan.
- Reeve M. J., Smith P. D. & Thomasson A. J. (1973) The effect of density on water retention properties of field soils. *J. Soil Sci.* **24**, 355—367.
- Reynolds E. R. C. (1966) The percolation of rainwater through soil demonstrated by fluorescent dyes. *J. Soil Sci.* **17**, 127—132.
- Reynolds S. G. (1970) The gravimetric method of soil moisture determination. Pt. I. A study of equipment and methodological problems. *J. Hydrol.* **11**, 258—273.
- Reynolds S. G. (1971) The Alafua penetrometer for measuring soil crust strength. *Trop. Agric., Trin.* **48**, 365—366.
- Rich C. I. & Kunze G. W. (editors) (1964) *Soil Clay Mineralogy. A Symposium*. Univ. Nth. Carolina Press.
- Richards L. A. (1949) Methods of measuring soil moisture tension. *Soil Sci.* **68**, 95—112.
- Rogers J. S. (1974) Small laboratory tensiometers for field and laboratory studies. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* **38**, 690—691.
- Rose G. W. (1966) *Agricultural Physics*. Pergamon.
- Rudelforth C. C. (1969) Quantitative soil surveying. *Welsh Soils Discussion Group. Report 10*, 42—48.
- Rudelforth C. C. & Bradley R. I. (1972) *Soils, classification and land use of West and Central Pembrokeshire*. Special Survey No. 6. Harpenden, Soil Survey of England and Wales.
- Rudelforth C. C. & Webster R. (1973) Indexing and display of soil survey data by means of feature cards and Boolean maps. *Geoderma* **9**, 229—248.
- Russell Sir E. J. (1971) *The World of the Soil*. Collins.
- Russell E. W. (1974) *Soil Conditions and Plant Growth (10th edition)*. Longmans.
- Rutter A. J. (1955) The composition of wet heath vegetation in relation to the water table. *J. Ecol.* **43**, 507—543.
- Rutter A. J. & Sands K. (1958) The relation of leaf water deficit to soil moisture tension in *Pinus sylvestris* L. I. The effect of soil moisture on diurnal changes in water balance. *New Phytol.* **57**, 50—65.
- Salter P. J., Berry G. & Williams J. B. (1966) The influence of texture on the moisture characteristics of soils. III. Quantitative relationships between particle size composition and available-water capacity. *J. Soil Sci.* **17**, 93—98.
- Salter P. J. & Williams J. B. (1965a) The influence of texture on the moisture characteristics of soils. I. A critical comparison of techniques for determining the available-water capacity and moisture characteristic curve of a soil. *J. Soil Sci.* **16**, 1—15.
- Salter P. J. & Williams J. B. (1965b) The influence of texture on the moisture characteristics of soils. II. Available-water capacity and moisture release characteristics. *J. Soil Sci.* **16**, 310—317.

- Salter P. J. & Williams J. B. (1967) The influence of texture on the moisture characteristics of soils. *J. Soil Sci.* **18**, 174—181.
- Sanglerat G. (1972) *The Penetrometer and Soil Exploration*. Elsevier.
- Schofield R. K. (1935) The pF of water in soil. *Trans. 3rd Int. Cong. Soil Sci.* **2**, 37—48.
- Selby M. J. (1970) A flume for studying the relative erodibility of soils and sediments *Earth Sci. J.* **4**, 32—35.
- Shaw M. D. & Arble W. C. (1959) Bibliography on methods for determining soil moisture. *Engng Res. Bull.* **13—78**, Pennsylvania State Univ.
- Shipp R. F. & Matelski R. P. (1964) Bulk density and coarse fragment determinations on some Pennsylvania soils. *Soil Sci.* **90**, 392—397.
- Skene J. K. M. (1960) Sampling errors in the evaluation of soil potassium and pH. *J. Aust Inst Agric. Sci.* **26**, 353—354.
- Smith G. D. (1965) Lectures on soil classification. *Pédologie, Gent*, special number 4.
- Sneddon J. I., Cukor N. & Farshad L. (1972) A technique for rapidly determining topographic class from topographic maps. *Can. J. Soil Sci.* **52**, 518—519.
- Soane B. D. (1973) Techniques for measuring changes in the packing state and core resistance of soil after the passage of wheels and tracks. *J. Soil Sci.* **24**, 311—323.
- Spanner D. C. (1951) The Peltier effect and its use in measurement of suction pressure. *J. exp Bot.* **2**, 145—168.
- Tanner C. B. & Jackson M. L. (1948) Nomographs of sedimentation times for soil particles under gravity or centrifugal acceleration. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* **12**, 60—65
- Taylor N. H. & Pohlen I. J. (1962) *Soil Survey method*. Soil Bur. Bull. 25. Dept. of Sci. Ind. Res., New Zealand.
- Thomas A. M. (1966) *In situ* measurement of moisture in soil and similar substances by 'fringe' capacitance. *J. scient. Instrum.* **43**, 21—27.
- Thomas T. M. (1973) Tree deformation by wind in Wales. *Weather* **28**, 46—58.
- Thomasson A. J. (1971) Soil water regimes. *Welsh Soils Discussion Group. Report* **12**. 96—105.
- Thomasson A. J. & Robson J. D. (1967) The moisture regimes of soils developed on Keuper Marl. *J. Soil Sci.* **18**, 329—340.
- Thorpe J. & Smith G. D. (1949) Higher categories of soil classification: Order, Sub-order, and Great Soil Groups. *Soil Sci.* **67**, 117—126.
- U. S. D. A. (1938) *Soils and men. Yearbook of Agriculture*. Washington. United States Dept. of Agric.
- U. S. D. A. (1951) *Soil survey manual. Agric. Handbook No. 18*. Washington. United States Dept. of Agric.
- U. S. D. A. (1960) *Soil Classification: A Comprehensive System. 7th Approximation*. Washington. United States Dept. of Agric.
- U. S. D. A. (1967) *Supplement to 7th Approximation*. Washington. United States Dept. of Agric. Soil Conservation Service.
- Vink A. P. A. (1968) Aerial photographs and the soil sciences. In *Aerial Surveys and Integrated Studies*. Paris, U. N. E. S. C. O.
- Visvalingam M. & Tandy J. D. (1972) The neutron method for measuring soil moisture content—a review. *J. Soil Sci.* **23**, 499—511.
- Visvalingham M. (1974) Well-point techniques and the shallow water-table in boulder clay. *J. Soil Sci.* **25**, 505—516.
- Wali M. K. & Krajina V. J. (1973) Vegetation-environment relationships of some sub-boreal spruce zone ecosystems in British Columbia. *Vegetatio* **26**, 237—381.
- Wallwork J. A. (1970) *The Ecology of Soil Animals*. McGraw-Hill.
- Washburn A. L. (1973) *Periglacial Processes and Environments*. Edward Arnold.
- Watson J. R. (1971) Ultrasonic vibration as a method of soil dispersion. *Soils Fertil., Harpenden* **34**, 127—134.
- Watt A. S. & Jones E. W. (1948) The ecology of the Cairngorms. I. The environment and the altitudinal zonation of the vegetation. *J. Ecol.* **36**, 283—304.
- Watt A. S., Perrin R. M. S. & West R. G. (1966) Patterned ground in Breckland: structure and composition. *J. Ecol.* **54**, 239—258.
- Weaver C. E. & Pollard L. D. (1973) *The Chemistry of Clay Minerals*. Elsevier.
- Webster R. (1966) The measurement of soil water tension in the field. *New Phytol.* **65**, 249—258.
- Webster R. (1968) Fundamental objections to the 7th Approximation. *J. Soil Sci.* **19**, 354—366.

- Webster R. (1969) Aerial photography in soil and land survey. *Welsh Soils Discussion Group, Report 10*, 49—55.
- Wells C. B. (1959) Core samplers for soil profiles. *J. agric. Engng Res.* **4**, 260—266.
- Williams B. G., Greenland D. J., Lindstrom G. R. & Quirk J. P. (1966) Techniques for the determination of soil aggregates. *Soil Sci.* **101**, 157—163.
- Wright M. J. (1971) The preparation of soil monoliths for the 9th International Congress of Soil Science, Adelaide, Australia. *Geoderma* **5**, 151—159.
- Young A. (1960) Soil movement by denudational processes on slopes. *Nature, Lond.* **188**, 120—122.

(李连捷 陆怀南 陈佐忠译, 阳含照校)

第七章 气候学 and 环境的测定

R. B. Painter

1 绪 言

在决定植物的发生和生长中,气候是一个重要因素。多年以来,在定性观察的基础上就这样被人们默认着,后来才通过测定而被证实。另一方面,植物也显著地改变小气候。

大气候和植物分布的关系为 Perring 和 Walters(1962)所阐述;植物的分布和温度的极限、湿度、降水的过多和缺乏之间存在着密切关系。许多研究者,包括 Hawksworth 和 Rose(1971)、Gilbert(1970)曾经指出地衣的分布与大气污染这一人为的气候变化有密切关系。植物生态学许多研究领域,如营养和能量平衡都需要对环境变化进行测定,其他如防护林带的研究说明了植物和气候的相互作用。植物生态学者对环境定量测定的日益增长的需要已总结出一些有关的著作,而 Wadsworth(1968) 和 Monteith(1972)的著作尤其值得注意。

Gates(1962)一段话的重要性,他指出“测定某一特定的气候因素,首先,必须认识,必须有一定的理由,而不仅仅是因为手头有了某一仪器,或者某人想不出什么别的可作之

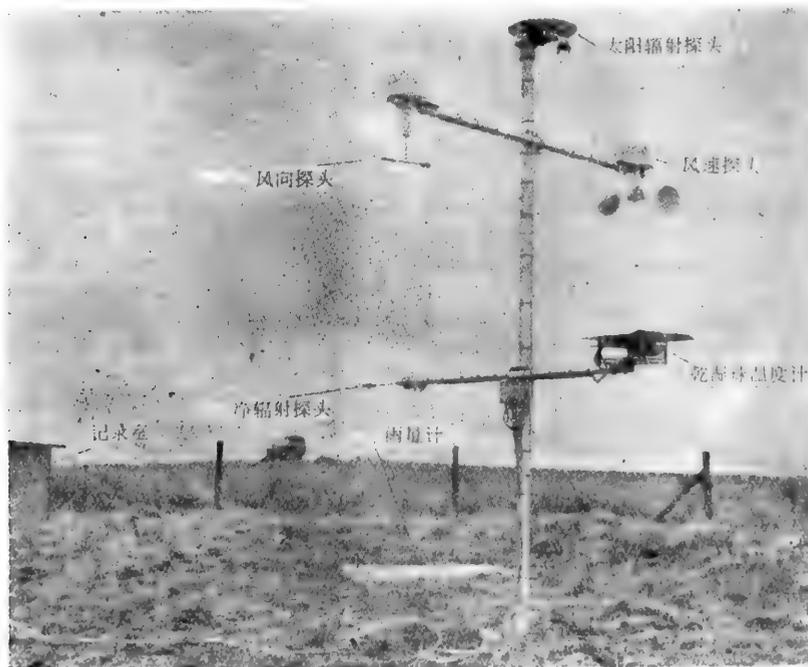


图 7.1 水文研究所研制的自动气候站

事”。在这个准则做到了之后,同样重要的是必须牢记,任何野外装置,不论是简单的自制的类型或者购买的商品都必须是在野外条件下进行操作的。这个看来似乎是幼稚的说法是很重要的,因为许多仪器在温暖、干燥而清洁的实验室内部能够满意地操作,而在冷、湿、脏的环境中就不能使用了。水文研究所研制的自动气候站(图 7.1)是一个设计卓越的样板,可以供以 5 分钟的间隔通过磁带测定 7 种气象变数之用。记录装置(Loggers)可供在实验室内操作,从来不暴露在室外,以防避免灰尘和潮湿。虽然这些标准在所有仪器配置中可能是作不到的,但它所包含的原则是应当遵循的。此外,当设计任何装置的时候,都应该尽可能地同有经验的野外工作者一起讨论一些可能遇到的问题;因为这样的建议可以争取时间而且节约用款。

2 太 阳 能

太阳作为一个黑体发射出的辐射大约为 6000°K 左右,结果形成了从 0.3 到 3.0 微米的太阳光谱,而在 5.5 微米处有一锐峰。相对的,地球在长波范围内,作为黑体的特性,发射出 250°K 的辐射,而它的光谱约为 3—100 微米。这样,太阳和地球辐射可以按它们的波段幅度进行划分,表示如图 7.2。

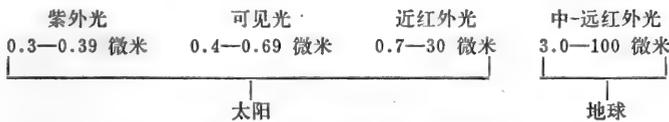


图 7.2 太阳和地球辐射的分布

在地球表面,太阳能包含着来自太阳的直接成分和被空气和水滴遮蔽向下扩散的成分。在大气的外层,太阳能的强度为 $1400 \text{ 焦耳米}^{-2}\text{秒}^{-1}$ (这叫做太阳常数)。在热带,地球表面的这个数字减少了大约 25%。在英国盛夏期间,太阳的强度约为 $875 \text{ 焦耳米}^{-2}\text{秒}^{-1}$,尽管如此,由于白云的反射,短暂时刻可以增加最高 20%。日总辐射量为日照强度和日照时数的函数。在英国夏季为 $25 \times 10^6 \text{ 焦耳米}^{-2}$,在冬季为 $4.2 \times 10^6 \text{ 焦耳米}^{-2}$ 的水平。这种射入辐射有一些会被反射掉,反射量对射入量的比率叫做反射率(albedo)。它代表不能为植物所吸收的太阳能。

地球表面长波辐射的交换有两个成分:一是大气发射出的向下射的成分,其数值取决于气温和蒸气压,另一个是地球表面发射出的向上的成分,其数值取决于地面温度。虽然这两种成分的日总和是巨大的,约为 $(21-25) \times 10^6 \text{ 焦耳米}^{-2}$,但它们的差异却只有 $4 \times 10^6 \text{ 焦耳米}^{-2}$ 。

地球表面获得的长波和短波辐射,与反射和长波发射的损耗之间的差数叫做净辐射,净辐射是重要的,它是土壤和空气二者蒸热和加热的能量。

辐射的测定可分为 4 组:

- (a) 太阳或短波;
- (b) 紫外和红外;
- (c) 可见光;
- (d) 净辐射。

在生态学上进行这些测定是由于两个主要的原因：气候能量平衡的研究和光合与生物能量平衡的研究(参考第四与第五章)。在植物冠层的上面和下面都需要进行这些测定，所使用的装置在大小和形状上应当有所不同。冠层上面的辐射是非常均一的，一个小的感应元件就够用了，而且有轻巧便于携带的优点。在冠层内部，由于叶的运动和太阳位置的变化，辐射是很不稳定的。在这种情况下，采样的面积必须大些，以获得空间上的完整而且为此目的研制较大的感应元件。

2.1 太阳辐射

最常用的测定太阳辐射的探头无非是利用热电原理或者双金属长片的变形。

热电装置是以热电堆为基础，它是安装成系列的一群热电偶，以便使两套相对立的热电偶呈不同的温度。热的热电偶涂以黑色曝晒于辐射下，而相对的一组热电偶或者象Kipp装置(图7.3)那样，装得和机体保持着良好的温度接触，或者象美国Eppley装置那样，装在一个白色的反射面的下面。这样一种精密设计的仪器，它的最终温度偏差以及由此产生的电动势输出是辐射强度的线性函数。仪器的探头用玻璃罩保护，可以防风防雨，并将辐射限制在0.3—3微米范围内。

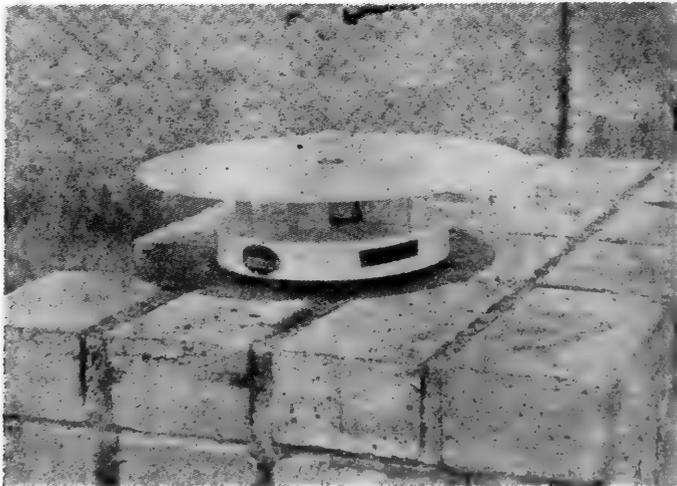


图 7.3 Kipp 辐射计

这些仪器都具有良好的方向性反应，备有厚度均一的玻璃罩，而且可以转向地面，以便测定反射的短波辐射。Kipp装置是坚固而可靠的，但它的重量常常妨碍它用于高的冠层之上或者冠层的内部。Eppley装置虽然小巧一些，但不坚固。在需要测定不稳定辐射的积算值时，可以使用管状日射总量表。Szeicz等(1964)提出了一个在玻璃管内装有宽25毫米长900毫米的一个热电堆的仪器。它保证辐射测定是在平均为225厘米²的面积上进行的。后来Szeicz(1965)为草本植被和禾草群落中的应用设计了一种微型的运算仪器。

以双金属片的变形为原理的最常用的仪器是图7.4所揭示的日射计。此仪器的工作原理是靠记录三种金属片在扩张上的差异，其中有一个是涂黑了的，曝晒于辐射，固定在

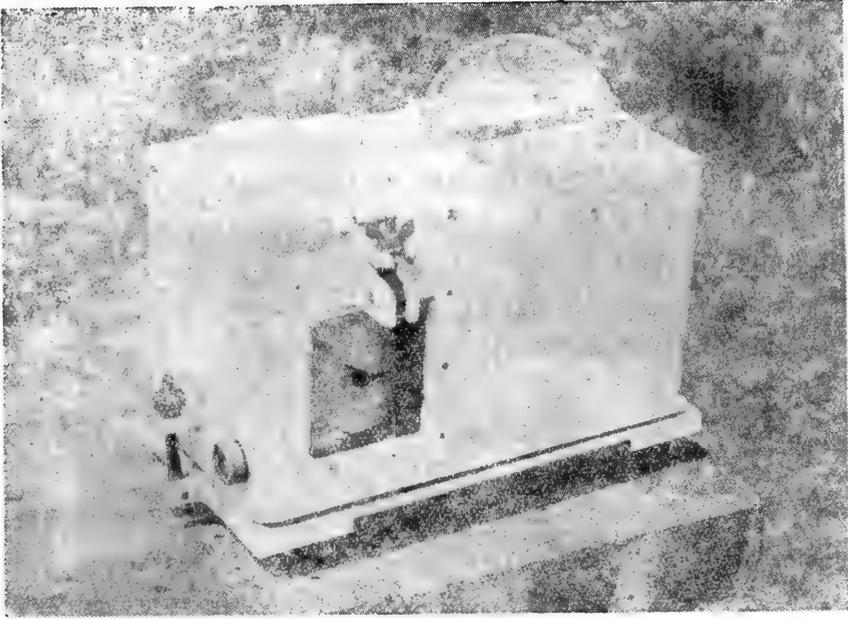


图 7.4 双金属日射计

一个框上,以补偿气温所引起的变化;其他两片是遮着的。曝晒的金属片的弯曲被记录在一张图纸上,但是这个仪器对辐射变化的反应是有一个明显的滞后(lag)。如果经常进行校正,双金属日射计可以令人满意地测出一周的和一天的总量;然而对于精密的研究,其价值是有限的。

其他测定太阳辐射的方法还有光电装置,对于这些装置准备在可见辐射的部分加以说明。在热带,通常是用蒸馏法。此法是借装在带刻度的玻璃管内的涂黑的铜球所蒸馏的液体总量来测定辐射能。光化学法对于紫外线的测定是更有效的,这将在第 2.2 节加以讨论。

2.2 紫外和红外

少数研究需要测定属于紫外范围(0.3—0.4 微米)和近红外范围

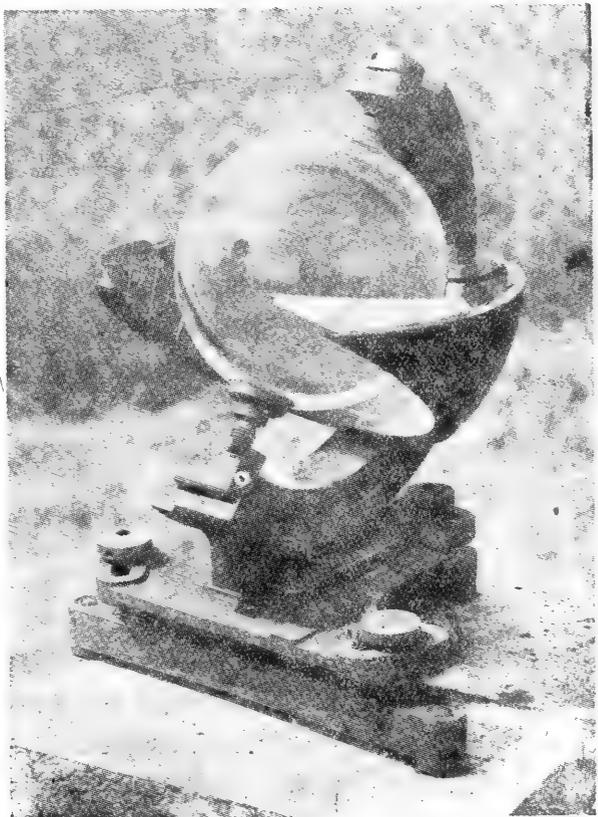


图 7.5 坎倍尔-斯道克思(Campbell-Stokes)日射记录计

(0.7—3.0 微米)的辐射能。如 Platt 和 Griffith 所述,紫外辐射已经从三个主要途径被检测即:生物学、物理学和化学三个方面。生物学的方法得到的是非线性的结果,而且难以重复。物理的方法不论是光电的、荧光的和辐射仪的,都不适于绝对的测定和精确的工作。化学的方法,它是用化学物品,譬如丙酮的标准液进行紫外作用的对比,可以得到精确的和可以重复的结果。但是这种方法只适用于长期的估算。为了更加准确,可使用只对紫外线敏感而研制的日射总量计。近红外范围的辐射的检测,直接在日射计上加上净滤光片和 Schott RG8 滤光片就可以了。Szeicz(1966)认为 Rothamsted bandpass 日射计非常适于检测近红外辐射。这种仪器可以在白天太阳位置变化着的条件下进行测定;大多数意见认为这种仪器的较大类型可以用于冠层内部的测定。

2.3 可 见 辐 射

可见光谱的辐射通常是用转变为热和光电效应的辐射能来测定的。这类仪器一般可分为日照记录计和光电池两类。日照计用于测定亮日照 (bright sunshine) 的期间,其中 Campbell-Stokes 装置(图 7.5)是最常用的。这个仪器是借太阳在纸片上的烧痕来确定亮日照的期间。其结构是有一球形的容器部分,里面正中央有一同心玻璃球,日照通过此球射到纸片上,而这张纸片按一年之中太阳的位置相应地从直的变为弯曲的。仪器必须按装在具准确方位的坚固的台上,而且对于光照必须是毫无遮拦的。

在美国,通常使用 Marvin 日照记录计。它是一组不同的空气温度计,一个是具有涂黑了的球,一个是没有涂黑的洁净的球。

由于不同的受热,使球内的水银柱升高并且导致电接触,记录在纸上。Marvin 记录计也可以测定散射辐射,所以最好是作为一个昼光照记录计(daylight recorder)。

光电学原理的仪器是利用光电池的,但在辐射研究中也有用射电和电阻仪的。硒光电池(Powell 和 Heath, 1964)由于成本较低,使用较为普遍,但限于灵敏度较低和易于疲劳已逐渐让位于硅太阳电池(Biggs 等,1971)。硒光电池具有一个氧化层,在光的作用下,从那里释放电子。这些电子流过并蓄积在电池表头上的导体金属膜内。只要用一个低电阻的电流表把金属膜和金属基部相联结,就会发生出一个与光强成正比的电流。这种电池对 0.3—0.7 微米的光是敏感的,而且具有坚固、反应迅速和不需要外接电源等优点。但不理想的是,象所有的光电池那样,有一个不一致的光谱反应,因此它的使用只限于所测辐射的光谱平衡保持一定的条件下。

2.4 净 辐 射

由于净辐射是两个巨大的、有时是类似的全波长内相反的通量之间的差异,其精确测定比一个单纯的辐射通量更为困难。一般说来是通过排列的一些热电堆、借其头部和暴露在辐射中的涂黑了的盘子底面之间的温度差来进行测定的。此仪器必须排除空气流动的影响,因为风的对流可以使单位净辐射的热电堆输出发生相当大的变化。这个问题可以通过用薄的聚乙烯半球罩住顶部和底部表面的方法得到克服。并在微压下通以干燥空气或氮气以防聚乙烯罩下塌,使气流丧失,进而阻止对流,而且使凝结成为最小。由于玻

璃罩只能限于 0.3—3 微米光谱的测定,所以不能使用。

Funk(1959)提出了一个最有用的野外仪器(图 7.6)叫做 Funk 净辐射仪。它可以安装在树顶上用来进行高于树冠的测定。Monteith 和 Szeicz(1962)报道了一个不加遮罩和不通气的装置,不需要电源和氮的供应就可以得到足够精度的输出,提供每星期的净辐射总量。在冠层内部需要一些点和管的测定,以保持充分的代表性。

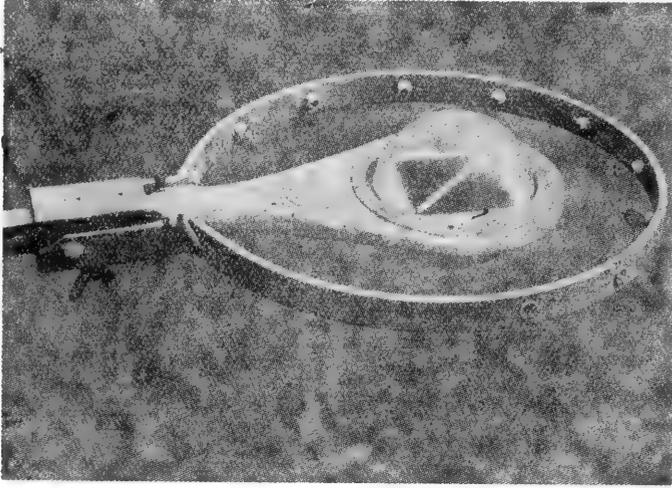


图 7.6 Funk 净辐射仪

3 温 度

对许多生态研究来讲,温度的测定是基本的。这些研究包括植被和大气之间的能量交换方式、营养生长对其环境反应的测定。第 8 节将叙述温度测定在蒸发率测定上的用途。

生态研究中温度的测定已经有六种基本类型的温度计:

- (a) 玻璃容器盛以液体;
- (b) 变形;
- (c) 电阻金属线;
- (d) 热敏电阻;
- (e) 热电堆;
- (f) 蔗糖转化(参照第九章)。

液体玻璃温度计可以作出瞬间测定,而且是非记录的,其余的温度计可以提供连续的温度记录。无论使用哪种温度计,它所反映的温度是同吹过温度计的气流相交换的对流热以及同其他表面,如地面、天空和太阳进行辐射热交换的总和。只有在温度计和空气处于热力学的平衡状态下才能测出真实的气温。直接辐射所引起的温度误差可以通过把探头装在百叶箱内、探头和百叶箱都罩上涂以白漆的方法使之成为最小。可以使用微小的探头来减少辐射交换并增加对流交换,但是温度计的反应迅速时必须综合考虑。

3.1 液体玻璃温度计

在所有的标准气象台都使用液体玻璃温度计测定日最高和最低温度，并且安装在温度计上测定湿度（参照 6.1 节）。最常见的最高温度计是把水银装在玻璃里，在最低刻度之下的洞里有一个栓(plug)或者压缩物，当温度下降时，水银柱不穿过拖回这个压缩物，使温度计保持水平，横置在 10° 以内。摇动温度计使水银返回穿过压缩物并重新放置。

最低温度计通常是使用一个盛有无色有机液体、而在紧贴着液表面之下有一小标记物的玻璃温度计进行测定的。当温度降低时，此标记物随着液面张力的作用被拖回来；当温度升高时，液体流过此标记物，把它留在原处。于是标记物的上端就把最低温度记录下来。在放置仪器时要先把温度计倾斜过来，直到使标记物和液面相接触为止。

最高和最低温度计通常被罩在百叶箱中，以防直接辐射并保持足够的通气，当然，这使得它们不适用于微气候的测定。

3.2 变形的温度计

环境研究中使用两个类型的变形的温度计，即双金属片和巴塘管(Bourdon tube)。

双金属片温度计是根据这样一个事实，即两片窄的不同的金属沿着它们的平面结合在一起，它们的不同膨胀使这个元件发生弯曲。把金属片作成螺旋体，其弯曲被放大，细微的温度变化就可以通过一个接触到螺旋体一端的指针记录下来。双金属片一般是用不胀钢和黄铜薄片制成的。它的膨胀系数为 1:20。许多种自记温度计(图 7.7)都用双金属片作探测元件，但是由于它的巨大的盒罩及其与周围环境之间的辐射交换，此类温度计不适用于微气候的测定。此外，这些仪器有一个较长的反应时间，而且在非常湿润的条件下会变得迟钝。



图 7.7 自记温度计

巴塘管是一个横断面为椭圆形、封闭的弯曲管，盛满了有机液体。温度变化引起液体

胀缩使管的曲度半径发生变化，这种运动被放大并用杠杆和安装的笔记录下来。巴塘管使借在仪器之外持续记录温度成为可能。

3.3 电 阻 丝

金属丝电阻温度计的原理是：一些金属的电阻当温度升高时有所增加。在 25—50°C 范围内，镍或白金是最常用的，两者都表现了小于 0.2% 的线性距平，因之对于许多环境研究所造成的误差是可以忽略不计的。它们的高度的稳定性使得金属丝探头对于绝对测定是最理想的。白金探头只要几厘米长而且稳定在 $\pm 0.01^\circ\text{C}$ ，所以对微气候研究非常理想。如果特别细心的话，它们还可以用导程补偿(lead compensation)来测定温度的差异。因为它们是线性的，几个金属丝探头可以联结成一个系列，以测定一个空间上的温度的平均。

3.4 热 敏 电 阻

热敏电阻是一些固态的半导体，能够显示温度所引起的巨大的非线性电阻变化。这些热敏电阻是由非常纯的金属氧化物、例如镍和铜烧结成的球、细棒或碟状物所构成。所以使用这些氧化物，是由于它们的电阻随着温度的细微变化、即每°C的 3—6% 而变化，有些商品说明指出它有一个在 -25°C 到 $+50^\circ\text{C}$ 范围内呈近对数应答的负的温度系数。

球体直径小于 1 毫米，对温度变化的反应迅速，如果有必要，可以把这些球体密封在一个合适的容器里面，以增加它们的热容量。由于热敏电阻具有高的温度系数，要求低的电流，便能够适用借袖珍电池运转的威斯顿电桥的电路(图 7.8)。

但也有许多电阻记录器在设计上是使用正的温度系数探头，而且当温度升高时从左向右偏转。为了掌握这种偏转，必须把热敏电阻放置在电桥电路的对臂使其达到正常，记录器的零点也要进行调整。

热敏电阻由于长时期的不稳定性，严格说来不适用于连续记录，现在已有可以令人满意地在野外运转数个月的商品，此外，作为热敏电阻的优点是小形，能够作成点测器，接触到叶面，测定植物的体温(Idle, 1968)。

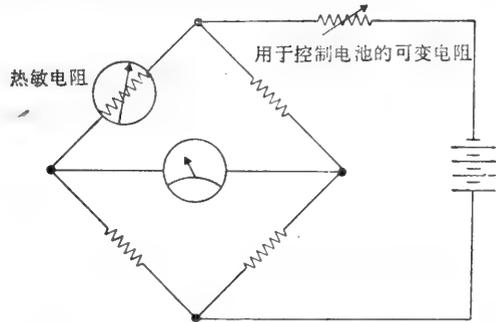


图 7.8 旨在同热敏电阻联用的单威斯顿电桥线路

3.5 热 电 偶

用热电偶测定环境温度时，一个热电偶保持在已知的恒温对照条件下，则环境温度将是这个对照温度和这两个热电偶之间的温差的总和。使放在保温瓶内蒸馏水中的冰缓慢融化，以保持恒定的对照温度，用于野外工作，但这只能是短时间的。热电偶的应答几乎

是线性的,但输出微小,需要进行放大才能驱动记录器。

由于必须保持定常的对照温度而且要遮蔽长的导线,所以热电偶对于环境温度的测定来讲,并不是一个好的挑选对象。但是它非常适用于温差的测定,容易制造而且价廉。只要使用优质金属丝而且小形、热容量小,就非常适于测定叶和空气之间的温差(Warren Wilson, 1959)。将几套热电偶丝装配成系列,可以测出叶和空气温差的空间上的平均。

4 降 水

来自大气的降水有雨、雪、雹、冻雨(雨夹雪)、露、雾淞或轻雾的阻止作用。所有的生命都依靠水的存在,所以在许多生态研究上,降水的测定非常重要。降水是水分平衡计算的一个主要组成部分,这通常用于营养循环的研究和不同植被耗水量的研究。由于测定目的的不同,可以把降水分为3组:降雨,冰雹、冻雨、雪和露。测定降雨、冰雹和冻雨时,通常是就为数有限的点进行观测,借以获得地区的平均;但是雪往往表现出大而频繁的空间变化,所以少数测点是不适宜的(Blyth 和 Painter, 1974)。露和雾淞的阻止作用只占总降水量的很小部分,但在干旱地区,对于植被类型却可以起临界的作用。

4.1 雨 量 计

雨量计是一个具有漏斗的罐,漏斗把承受的雨引到一个贮藏容器(不带记录的)或者一个测定装置之中(可记录的)。雨量计的边缘,决定着所测量的截获降雨的面积,它必须是一个尖锐的棱而且用耐久的不锈钢制成。降雨深度即等于截获面积的刻度所表示的量。不带记录的雨量计,它的漏斗把降雨引入一个细颈瓶内贮存起来,把雨水全部倒入带刻度的量筒中即可测出截获量。雨量计设置在地面以上标准的高度上。这个高度在各国有所不同,在英国为305毫米。

带记录的雨量计一般是依靠一个倾斜的虹吸装置或者是可倾倒的小桶。图7.9表示达因(Dines)倾斜虹吸雨量计,它是英国常用的一种雨量计。雨水通过漏斗引入贮存器,使浮标升起,驱动着钢笔划在卷在滚动圆筒上的记录纸上。当贮存的雨水达到设定的水平时(通常等于5毫米的降雨量)浮标驱动着一个跳闸的装置,使贮水容器接触到虹吸器,把贮存的雨水吸走。当吸空时,容器又翻回到原来的位置,圆筒又开始转动。正在进行虹吸时的降雨是记录不下来的,在寒冷气候条件下,贮水容器应有适当的保温设备,用电池供给电热,以防冰冻。

林考(Rimco)雨量计(图7.10)显示出许多倒桶雨量计的优点。降雨沿着漏斗进入平放着的桶内,水满后,它的重量使这些桶之间失去平衡而翻倒。这就使簧开关(reed switch)发生颤动,在它的电动记数器或者记录器上记录一个脉冲。适用的标准桶的大小相当于0.25到0.5毫米的降水量。像倾斜虹吸雨量计一样,许多倒桶式雨量计由于在翻倒运动中有雨水的损失,所以难免有一些误差。而Rimco雨量计借使用虹吸管尽量限制对桶的最大输入率,就可以防止过多的雨水损失,这种控制可以保证即使在非常强烈的降雨条件下,也能把全部的倾出量记录下来。所有的雨量计都必须附有一个贮存用的量器

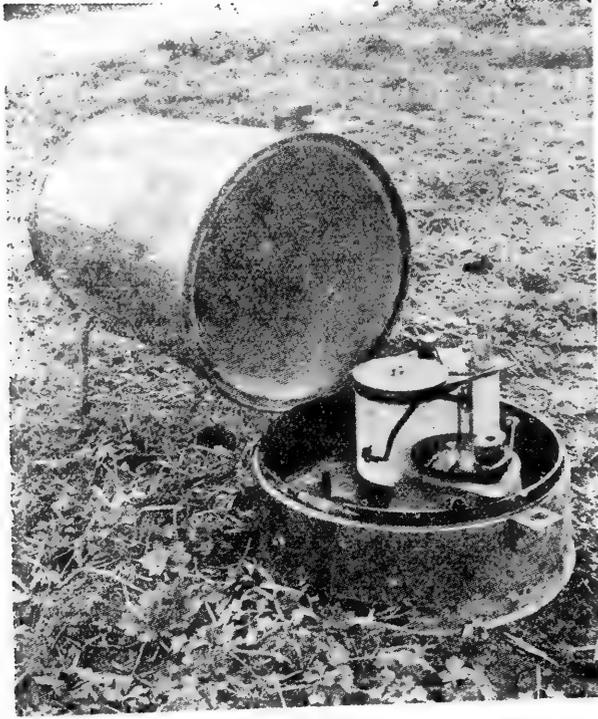


图 7.9 装有自由尺度的达因自记雨量计

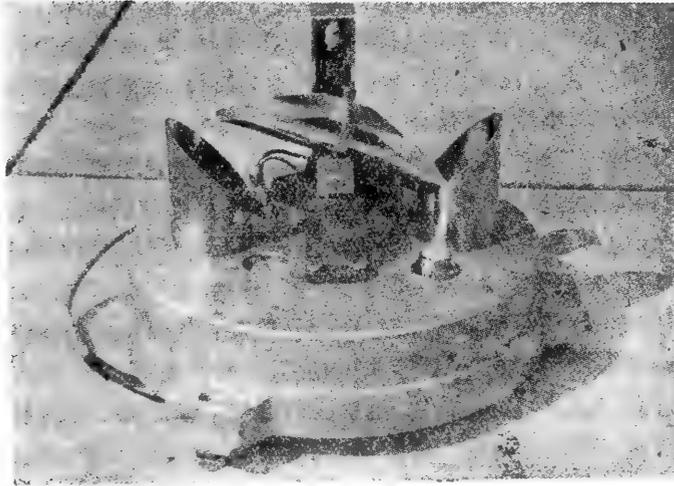


图 7.10 倒桶式林考雨量计的机理

以便对降雨总量进行检查,并且当记录器失灵时保证记录的持续性。

4.1.1 降雨测定中的误差

用任何雨量计进行的点的测定,都有种种误差的来源,通常有一种臆断,认为截获雨水愈多的雨量计愈好,这是没有正确根据的,因为雨滴的向内溅落是可能发生的。Kurt-

yka(1953)列举了六种发生误差的原因及其接近的大小,结论认为开旷程度是最主要的。任何雨量计对于气流都是一种阻碍物,它引起的局部促进结果使雨滴横过开口,落不进雨量计内。为了测定实际的损失,曾经把安置在标准高度的雨量计的截获量同雨量计上缘紧贴着地面安置而且周围环绕着不溅散的表面时的截获量进行过对比(图 7.11)。结果,后一种雨量计大大地免于风的影响并且获得较为精确的点的降雨测定,在非常开旷的地段,例如高沼地就更是如此。

有些误差的原因是负的,这使得雨量计记录不出来。在使用浅漏斗的雨量计和降雨强度较大的地方,从雨量计的溅出可能是一个相当重要的问题。雨量计的漏斗应该是光滑的,以尽量减少雨滴的粘着和贮雨容器的蒸发,尤其在炎热气候下应该尽量使之减少。

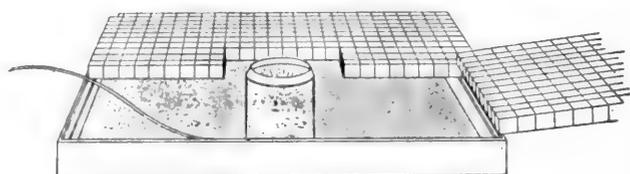


图 7.11 贴地面的雨量计

4.1.2 平均地区降雨

任何地点的降雨总量取决于它的地理位置和一些地形因素,如海拔高度方位和开旷的程度等。降雨必然有空间上的变异,所以需要有一个雨量观测站网,以便测定平均的地区总量。

观测站网使用的雨量计可以随机设置,考虑到它们分布不均的情况,它们的总数同某种方法进行“加权”(weighted),或者可以按畴理论(domain theory)作出的观测站设计来说明这些作用。接管区学说,在设置雨量计时,应考虑到海拔、坡向和坡度的作用。

如果采用随机的分布,则地区性降雨可以通过算术平均和 Thiessen 法(雨量站重要性的多角形分析法,又名散森法),或者用设置等雨量线标志雨量相等的方法而求得。根据算术平均求出的地区降雨的导数,只在雨量计均匀分布、地形起伏较小、降雨分布较为均匀的情况下,才是合适的。散森多角形分析方法能校正雨量计分布的不均匀性,而且能利用相邻地区的资料。按照这个方法通过离开多角形中心的每一个雨量计和相邻雨量计之间的直线画成倾斜的样线。每个雨量计的总降雨量乘以它周围的多角形所表示的总面积的百分比,再根据这些乘积的总和得出平均降雨量。在地形较高地区,Thiessen 多角形分析方法是大大不精确的。在这样情况下,等雨量线的图解可以提供一个好的解决办法。但是,当根据总的雨量计作出降雨量图解时,它的成功取决于制图者对地形、坡向和风暴活动的方向给予注意的能力。

管区学说在设置测站网上的应用可以排除这种主观性;平均的地区降雨也就是用该管区所代表的总面积的百分率进行相乘的雨量计总数的总计。

4.2 雪

生态学研究几乎不需要把降水分成降雨和降雪,但在降雪占降水相当比率的地区,

降雪的水分平衡的精确测定则是需要的。习惯上,水分平衡的了解是在降雪时雨量计所截获的量,或者在降雪达到地面经再分布之后,用手工测定其深度和密度,以掌握降雪。这两个方法都有较大的误差,前者由于雪花被吹过量器,量器可能呈偏低的记录,而手工测定由于降雪深度常常有较大的变化,为了取样需要付出很大劳力。量器的安装如图 7.12 所示,通常使用一个尼夫防护罩并且需要一个稳定的加热元件。手工测定是沿着一些叫做雪导线的直线进行的,用一个雪钻沿每条导线,在 8—10 个点上测定深度和密度。

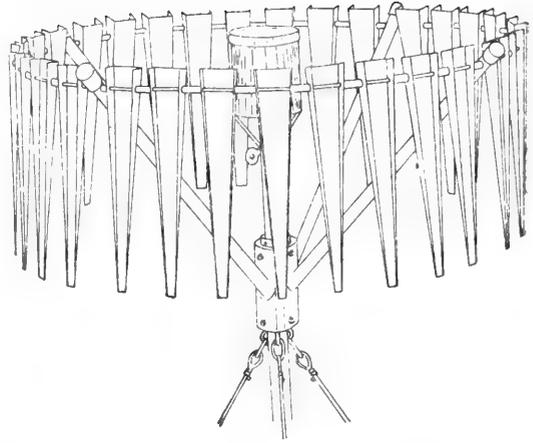


图 7.12 尼夫防护罩

近年来,雪的测定有新的发展,包括雪枕 (snow pillow)、地面的土壤放射测定和立体摄影。雪枕,如 Tollan(1970)所说,是一个盛有防冻水的大袋;这些水为落在水上的雪的重量所排逐,排出的水驱动一个浮标和称重器,使它把墨水记在纸上。当雪堆部分地融化或者再结冰时会引起误差,因为再结的冰会从雪枕上滑下来。Bissell 和 Peck(1973)曾观测到由于雪堆引起的地面天然放射活动的减弱,而现在,这个引人注目方法只能应用于深的雪堆,并且注意采样问题。Smith 等(1967)报道过使用飞机拍摄降雪前后地面的立体照片,在英国为了求每天的测值,需要使用地面摄影。

4.3 露

露发生在比周围大气的露点温度还低的表面上。在干燥地区,露对于植物生长是一个重要因素。它的数量虽小,但它出现在最小蒸发时,因而增加了它的相对有效性。露的持续是引起植物病害(如苹果痂病和马铃薯花叶病)的一个重要原因(世界气象学组织 1963)。

Hiltner 的露天秤是许多测定结霜仪器中的一个典型的装置。探头的表面是一个圆形的尼龙膜片,它被固定在天秤臂上;重量的全部变化机械地传送到一个记录筒上。为了减少风引起的探头表面的震动,天秤内装有油减震系统,此外,也可以在探头表面周围设置风障。

5 阻止作用损失

降雨时,一部分雨水留存在植被上,随后蒸发到大气中。这个数量叫做“阻止作用损失”。它是落在植被上面的降雨(总降雨)与通过茎流和直接穿透到达地面的雨水之间的差值;这两部分数量的总和叫做净降雨量。穿透降雨 (through fall) 按 Hamilton 和 Rowe (1949)的定义,指穿过冠层的空隙或者作为茎叶的水滴直接到达地面的那一部分降雨,而

茎流则定义为沿着茎向下流到地面的部分。

作为阻止作用的结果,使植被的暴露面变成被一些水滴或一层水膜所覆盖,而在这种条件下不会发生蒸腾作用。因之,在降雨量高的地区,被阻止的水分蒸发,在整个蒸发成分中占相当大的比率。在干燥地区借茎流把降雨再分配到树干基部周围,对于树的生存是有益的,Johnston(1964)指出一些植物能够直接把湿气吸进自己的叶子,当土壤湿度不足时,这是一个特别有用的特性。

Rutter(1968)总结的许多研究曾谈到某些特定的植物种在某种气候下所阻止的降雨量。这些研究的大多数是就乔木和灌木进行的,而草本和低矮植被的阻止特性也已经逐渐地受到注意(Leyton等1968)。如果可以把任何研究结果从一个气候转用于另一个气候,那就可以弄清阻止作用的过程并且建立一个物理的基本模式。

通常是就冠层上的降雨、穿透降雨、茎流和湿叶的期间进行测定,但也进行特定的直接的测定,譬如在降雨前后叶重的称量(Rutter,1963)。在禾草和草本群落的研究中,实际上难以分别测定它的穿透降雨和茎流,所以要测定净降雨量。

5.1 总降雨量

低矮植被上面的总降雨量应按照第4.1节所开列的准则进行测定。森林总降雨量是用架在冠层上面的或者空旷地的雨量计来进行测定。在空旷地测定中,为了减少干扰,雨量计的安装至少离树冠要有树高的两倍。

冠层上面的雨量计必须考虑到尽量减少风速增大和湍流对雨量计受雨的影响。一般说来这是可以作到的,或者把雨量计遮起来,或者使其形状流线型化。Reynolds(1964)曾叙述过这些遮蔽的、无遮蔽的和流线型雨量计所测结果的比较。

5.2 净降雨量

对于禾草和草本植被来讲,净降雨量的测定比它的组成、穿透降雨和茎流更为重要。通常是把一定面积的地面用塑胶薄膜密封起来,降水量作为表面茎流即可以测出来,测定时,用一个可以倾倒的桶的装置或者用一个浮标和计算重量的系统驱动图纸记录器。

有些研究者用一张塑胶薄膜在树冠下张开,尤其在营养循环研究上,对茎流和穿透降雨进行分别测定,看来是更有用的(第四章4.2.1节)。

5.3 穿透降雨

在一些植被下面的穿透降雨有三种立体变异:(a)个体植物下面的系统变异,(b)在(a)的一般格局以内、由于冠层大小、高度、挡风情况的不同所引起的变异,(c)通过冠层中的空隙直接降落到地面的降雨。

选样时必须考虑到这三种变异的起因以及立地的地形变异。通过增加所使用雨量计的台数,可以使地区的穿透降雨计算精度只有一定程度的改进。当达到既定的降雨量之后,只要移动半数的雨量计,就可以改进用一定数量的雨量计所获得的计算。相对地讲,

使用较大的雨量计将能提高精确度，但是如果只有标准雨量计是可用的，那么根据回归分析这些雨量计的截获量可能与它们在树冠下的位置有关系。并且所得公式可以适用于整个地区。

增加雨量计的大小可能是最为实际的解决办法。这可以把大的环状雨量计安装在树干的周围，或者使用狭长的水槽。随机设置的水槽对测定穿透降雨可能是最有效的，但需要经常注意防止为凋落的植物所堵塞。此外，当把水槽的内容倒入一个能够盛足够容量的水的测定容器之前，要先把此容器泡湿。

5.4 茎 流

通常是在近树干基部用一个聚乙烯或者金属导管捆在剥伤了树干上，用沥青粉粘牢，以截取沿树干流下的水分(图 7.13)。茎流样品的收集，对于生态系统营养成分运动的研究是重要的，这在第四章(4.2.1)中已作过说明。如果树的大小有显著差异，就应当在随机取样之前，把树分成数级。当仅仅采取随机取样的时候，所研究地区的平均茎流的标准误差看来似乎是高的，但这往往是不关紧要的，因为茎流与穿透降雨的关系通常是微小的。在低矮植被条件下，茎流很少被测定过，但 Beard(1962)指出在禾草下面，有 50%的净降雨量是来自茎流。



图 7.13 茎流量计和倒桶秤量计

5.5 湿润期

把阻止过程同气候联系起来,就必须在植被湿润的期间进行测定,因为这可以测定在每个雨季开始时的有效的阻止作用的贮量。Hirst (1957)报道了一个常用的装置,假设一个微微弯曲的塑料表面的浸湿和干燥的反应表现和天然植物的表面的相似的。塑料表面的任何浸湿必然引起重量的变化,这种变化被传送到一个记录笔上。有一个油阻系统用来减少风所引起的摆动,但在开阔的地区,仍然是不够的。这种摆动和庞大的装置,使它在冠层下的使用受到限制,而且在冠层上部全不能使用,而这里经常发生干湿条件之间的变化。

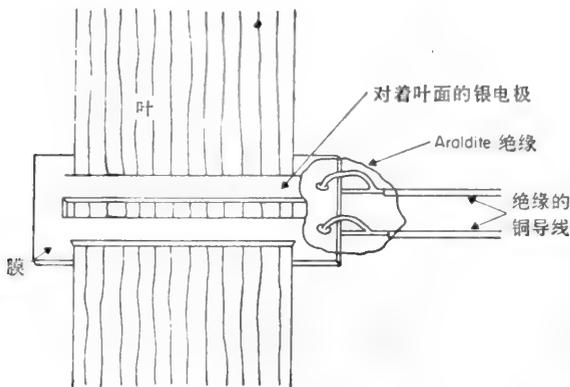


图 7.14 叶湿度探头

在植被冠层中安装一片‘Vero-board’元件发出无定和有定大的电阻变化,以反映植被的湿度。在干时,不形成回路,电阻是无定大时,发生零电流;在湿季,在一段铜strip之间形成一个回路,于是一个特定的电流被记录下来。这个方法适于瞬间的测定,当要求进行连续测定时,必须排除极性效应。根据应用于叶面的电极间的湿度变化,曾提出过一些方法用来测定实际的植物表面的湿度变化。由于叶组织往往受伤,所以要求常常移动测定装置,为了解决这个问题,Leyton等(1968)提出了一个方法,就是把贴在一个塑料薄膜上的银电极紧贴着叶片固定住的方法(图7.14)。

这个装置并不是对所有的叶片都那么理想,但它的使用可以避免损伤并且把对叶片周围微气候的干扰减少到最小。

6 湿度

整个表面空气都含有水分,其数量常随温度而增加。通常所说的“湿度”这个名词是关系到这种水分含量,而这是可以予以不同定义的。最常用的是相对湿度,即空气的实际蒸气压(e)对于同一温度下的饱和蒸气压(e_s)之比,用%数来表示。另一个可用的定义是露点,露点是指这样一种温度,在一个表面或者核心上,当稍低于此温度时便可以导致露的形成。

空气中湿度的高低影响着植物的蒸腾率(见第8节),并且可以部分地制约着它们的生长率。此外,对许多作物具毁灭性的热带昆虫,在十分湿润的条件下,繁殖得非常迅速(Flitters 1965)。

最常用的测定湿度的方法有三个:

(a) 热力学的方法——干湿表,有一支温度计的球部保持着湿润,由于湿气向自由大

气的蒸发而引起冷却；

(b) 吸湿的方法——利用一个能够从空气中吸湿的元件，引起长度上的变化、化学变化或者电的变化；

(c) 凝结法——冷却一个表面，直至发生凝结，此时即可测得露点温度。

6.1 测 湿 学

在说明各种有效的干湿表之前，有必要指出湿球温度计理论的要点。设温度为 T ，压力 p ，蒸气压 e 的空气吹过一个为湿薄纱布包着的温度计的球部，则水分将被蒸发进入空气，直至达到平衡。为了说明这种平衡状态，根据热量交换的道理得出下式：

$$e = e' - a \cdot p(T' - T)$$

这里的 T' 和 e' 分别为离开球部的空气的温度和蒸气压， a 是湿度计的常数。 a 值随风速高至 2.5 米/秒而发生变化，那时的值为 0.364；因此，为了精密的工作，湿球需要适当地加以通风。与 T 和 T' 有关的表和曲线、干湿球的温度都是有用的，而海拔高度不相同，需要对压力进行校正。

人工判读的湿度计通常是用水银玻璃温度计，或者放在百叶箱内或者装在旋转式湿度计内，或者是阿斯曼型的。当需要记录时，就要用热电偶(Monteith 1954)或电阻湿度计了(Penman 和 Long 1949)。



图 7.15 手送风式湿度计

百叶箱型只是简单地把两支普通的玻璃水银温度计悬挂在百叶箱内，湿球是用薄纱布紧紧地包着，从这里有一个芯线通到相距数英寸的水源中。在野外单点的测定中。常常使用手送风式湿度计(图 7.15)。这种仪器中的温度计套着一个管子，借手动风扇把空气沿着管子吸进来。由于它是以 0.25 米的距离吸进空气的，所以不能用来测定近地面的湿度和温度的梯度。

所有的玻璃水银温度计都苦于有一些引起误差的根源，使湿度的测值过高。从柄部向下传导的热，是难以避免的，但是用濡湿了的薄纱布把柄部包上一长段，就可以减少这

种热传导。必须使用上等纱布而且经常更换,以防变脏;同样地,球部也不要为污垢所包被。最后必须强调指出在静风条件下不可能获得精确的湿球降低,为此需要保证适当的通风。

Monteith(1954)说明了热电偶在测湿学上的应用。除上述一些问题外,如果湿球发出的湿冷空气影响了干热电偶的测值,就会引起误差。此外为了充分补给湿球的水分减少,湿的包被物在缝合部两侧至少要伸长 10 毫米。

Jehn(1948)讨论了热敏电阻在测湿学上的应用。他指出在读数之前,用一个沾上蒸馏水的热敏电阻可以获得令人满意的结果;在此之后,一些热敏电阻的发展在测湿学上特别引人注目。把电阻温度计当作湿度计的元件,应该是有生命力的,工业上带不锈钢套的电阻温度计在 Wallingford 自动气候站已经被证明是成功的(Strangeways,1972)。

6.2 吸 湿 元 件

最常用的吸湿元件是人的头发,它遇水蒸气而膨胀,因吸湿而变其长度。另一些元件接触到湿气后就改变颜色或重量,或者在电学特性上发生变化,也是可以采用的。

人的头发是最理想的元件,在零到 100% 的湿度变化中,它的长度发生 2.5% 的变化。这种变化是非线性的,它使标尺的先端发生撬动,再用一个圆筒来抵消这种撬动,以驱动标准湿度计上的笔臂。由于温度系数小,所以温度引起的误差,在许多环境研究中,可以忽略不计。标准湿度计(图 7.16)具有一束水平装置的头发,但也有有的厂家提出了一些垂直地支撑毛发或并且直接联结到笔臂上的型号。尽管这可以减少摩擦,但它所带来的标尺的非线性结果则是不利的。不论使用哪种毛发湿度计,每周应当用蒸馏水洗涤发束,而且每隔一段时间常常对此仪器进行标定。

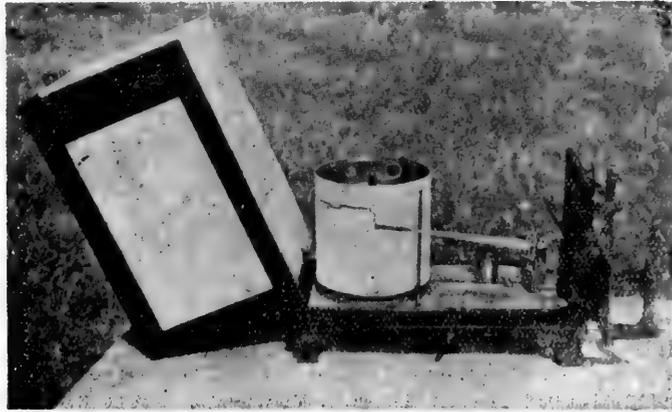


图 7.16 标准湿度计

Shaw 湿度计,是作为商品出售的湿度计,可以测出瞬间的数值,在相对湿度 0—99% 范围内,其精确性为全标尺偏差的 3%。测湿的探头有一个 10 微米厚的绝缘层,它的容量因浸水而变化。这种仪器防尘性能良好,而且非常坚固;但探头不能过湿,因为那将使仪器的刻度发生变化。

Solomon(1945)提出过一种非常简单的野外用湿度计,其基本原理是钴盐遇到湿气

时即引起变色。氯化钴试纸在低湿度时为蓝色,高湿度时为粉红色,其间有一个浅紫丁香色的系列。用氯化钴试纸暴露在一定的湿度条件下,制备成一套标准系列,然后把它们用流体蜡固定在毛玻璃和透明玻璃的中间。在田间至少要曝露 30 分钟,在高湿度条件下要曝露 2 小时。细心观察,在 40—70% 的限定范围内,可以测出 2% 以内的相对湿度,超过此限定范围则为 5%。

6.3 凝 结 法

关于凝结法,就是要使空气冷却,并测定水蒸气开始凝结时的温度。因为这个方法是测定露点的,所以被看作露点测湿的(当涉及更低的温度时,或者改为冰点)。

此法在理论上虽然较为简单,但在获得具代表性空气样品方面存在着一些问题。通常是在一个借乙醚蒸发而冷却的银制表面或者在金属镜上进行凝结的;这个表面的温度是用一个接触在表面的内侧的热电偶进行测定。凝结,一般是用光电池来测定,它可以得出重复的和客观的结果。简单的野外测定用人眼即可进行,此时的露点温度则是指露的形成和消失之间的平均温度。不论使用哪种露点湿度计,重要的是要保证在整个凝结面上不要有温度梯度。

7 气 流

运动着的空气具有密度、粘度和比热,并且是瞬间湍流移动、热、水蒸气、各种气体、污染物、花粉、孢子和种子的媒介。在生态学上,许多过程都部分地取决于这些因素;其中风的运行(run of wind)在利用 Penman 方程(参考 8.4 节)计算蒸发时是需要的,而防护带的研究(Gaborn, 1965)则同时要求风速和风向两个方面的测定。

气流测定的类型、精度和期间,因用途而异。就风速来讲,其内容从一天的风的运行到连续的记录,必要时甚至包括昼间变化的研究。与此相似的是用罗盘点(compass point)可以轻易地获得要研究的风向及其分布的累计测定,但是连续的记录却只有用较精密的装置才能做得出来。

7.1 风 速

风速用风速仪来测定,风速仪有三个主要类型:

- (a) 机械的,它依靠杯或螺旋桨的转动或者依靠一个适当安装的平面上的风压;
- (b) 压力管,气流经压力管通过测定装置,借空气的静止压和动力压之间的关系来判断风速;
- (c) 热力学和热电的装置,原理为空气的冷却能量。

杯风速仪通常用于大气候的测定,而小气候研究通常用热力或热电的测定装置。杯风速仪(图 7.17)由三个安装在一个转轴上的圆锥形或半球形的具圆珠形边缘的杯子所构成。杯子上注明的杯的大小和杯的直径与其转圈直径的比率,因商品型号而不同。大多数测定装置的反应速度在 0.1—1.3 米/秒范围内,在低速条件下,多数的风速仪变得测

值偏低,甚至停而不转,而在急风时,往往有转动过快的现象。转翼轴心的过急转动引起迟钝,对于多数的环境测定仪器来讲,必须在灵敏性和坚固性之间作到兼顾。杯的旋转率和风速之间存在着近乎线性的关系,为了有所改进,可以进行机械的计算或者在设定风速增加之后,便产生脉冲,或者用交流电流,它受到矫正并产生一个电流表的读数。



图 7.17 杯风速仪

在野外,有时还使用另一些机械的系统,有风向标风速仪和压力平板。在急动的风中,风向标风速仪(vane anemometer)的误差在 15%以上,而在冠层下较稳静条件下,此仪器是令人满意的。压力平板虽然更较精确,但它的体积过大,使它不能供野外使用。

热力的和热电的装置,其冷却率与风速有关系,在生态学研究是具有广泛用途的另外一组测定探头。在植株冠层之下风速较低,可使用简单的测定装置,如冷却温度计(Hill 等, 1916),在这种情况下同时也可以测定空气温度。热线风速仪日益增多地用于环境的研究,而且特别是适于在作物种群中的低风速的工作。Tanner(1963)提出了这方面的学说,摘要如下。当一个纯金属线(通常为白金、镍、钨或白金-铱)为电流所加热,然后暴露于空气时,金属线或者被保持在定常温度下然后改变其电流以保持定常电阻,或者让它自然地冷却。在前一种情况下,造成的电流即风速的测定,而后一种情况,在金属线电阻上的变异与风速有关的。

由于商品仪器装置价格较为昂贵,许多型号都是为了单项研究而制造的。Gabron(1957)报道了一个用于一定面积的装置,Long(1957)制造了一个“热球”温度计,它是坚固的,测值相当可靠,与热线系统相比,它用的是一个较小的加热电流。由于冷却的影响,热力系统在雨天不能使用,而且重要之点是,它们的温度相当高,以致使周围的温度发生变化。

7.2 风 向

风向的测定通常使用风向标,它可以得出点记录,或者联结到一个机械的或电气记录系统。机械系统,难以把记录笔安装在风向标附近,以获得时间的记录。Platt 和 Griffith

(1965)报道了一个可以克服这些问题的测定装置。这里的插图是一个固定在风向标的旋转轴上的被风吹转的圆筒,记录笔联结在一个环上,此环在钟表传动的细杆上作垂直的运动。必须注意不要使圆筒和钟的容器为空气流动所干扰。把记录笔安装在钟表传动上,即可避免记录笔到达纸的末端时引起在标尺任何一端的中途停顿。

电记录器的原理一般是利用电阻的变化,或者有时利用自动同步传送电动机。在第一个系统中,指示器按一个与风向相联系的电气线路在整个电阻线上移动着。如果电压保持一定,则记录下来的电流将是电阻和风向的函数。只有在要求对风向进行近似测定的地方,才不需要整个 360° 的连续记录。风向标可以带动一个装在反映风向罗盘的接触点圆环内的刷子;于是特定接触点的结果就被记录在纸带或者一个记录器上(logger)。通过含有多数辐射状排列的簧开关的环状印刷电路盘,就能有选择地感测风向。通过联结到风向标机轴上的磁铁使这些簧开关起作用,并且联结到一个固定电阻的电线网中,有一个定常的电压通过这些电阻;这样测得的电流就指示着风向。水文研究所和自动气候站使用的就是这个系统,该系统表示如图7.18。

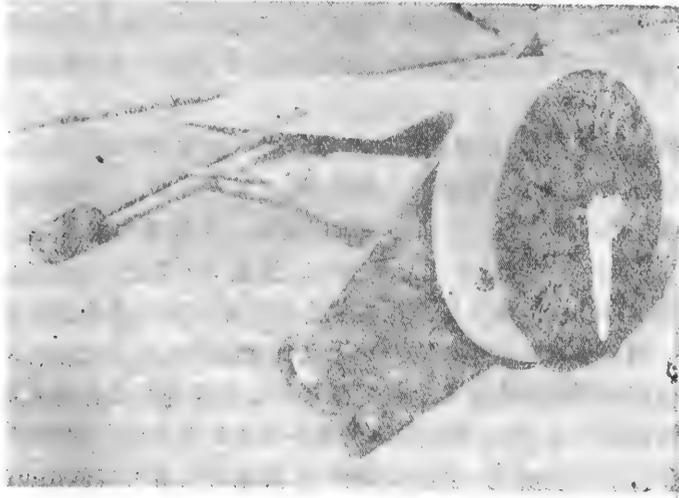


图 7.18 风向探头

8 蒸 发

蒸发的定义是从自然表面以蒸气形态进行的水分运动,不论水气是来源于土壤或者植物。土壤和植物可以看作相互交换的途径,借这条途径,水分从土壤水分贮藏库流到蒸发表面上,从那里扩散到空气中。就植物的蒸发来讲,这一基本格局,由于作用面的多样性和对于内流抵抗的生物学控制的变异性而有所变化。第五章(4.3)非常详细地讨论了植物所引起的水分损失。

有三个主要因素制约着蒸发比率:能量的有效性,蒸发表面和空气水分之间的蒸气压力梯度以及对来自活的表面水蒸气运动的抵抗。在蒸发面上应该存在着足够的能量,以适合潜热的需要。能量是通过太阳、天空和云的辐射以及邻近的空气、土壤传来的显热进行补给的。在稳定的条件下,这三个因素结合起来产生一个特定的蒸发率。任何一个因素的变化对于蒸发未必产生相应的变化,只在另一些因素相伴随起变化时,才可以形成一

一个新的蒸发率。

测定自然表面的蒸发有三个基本方法：

- (a) 根据水分平衡的差异；
- (b) 根据能量平衡中的潜热测定；
- (c) 根据近地面空气层中水蒸气的净上升流。

此外,通过(b)和(c)的结合又发展为另外一些方法,并且推导出一些经验公式,把蒸发量和一些易于测定的气象变量联系起来。

8.1 水分平衡的研究

复杂的水分平衡可以简化成一个算式：

$$P - R - E - \Delta M = 0 \quad (\text{算式 } 8.1)$$

式中 P 为降雨量 R 迳流 E 蒸发量 ΔM 为一定期间后土壤湿度的变化
这个算式适用于整个集水区(流域)或者试验小区;通常除 E 以外所有其他成分都进行测定,根据差值得出蒸发量。但是,根系活动层以下的地下水蓄积的变化可以引起显著的误差。

对于小区的水分平衡,通常是用渗漏测定计进行测定(Pelton 1961, Harrold 1966)。此装置是一个盛以土壤并栽有植物的大容器,把它放在地面以下的洞中,洞要合适,但不要接触,容器的上面齐着周围的地面。在洞底安装一个称重的机器,把容器放在它的上面,这样就可以把重量所引起的变化记录下来。放置下去经过一段时间之后,根据降雨的输入和底部的排水以及渗漏测定计重量变化之间的差异即可求得蒸发量。

渗漏测定计的大小可以从小型实验单元大到直径数米的巨大容器。为了很好地操纵渗漏测定计必须减少测定计本身所引起的干扰并且要保证它放置的位置,使取样对一般情况是有代表性的。为此,当在充分灌水的均一植被的地段进行取样,几乎不利用那些植物种类混杂和分布不均的地段。在良好条件下,渗漏测定计可以测出 0.25 毫米的蒸发量的差异。为了反映一天的变化,这样的差异是足够的。

在植被均一的地段能够单独地根据气候干旱期间的土壤水分测定得出蒸发量的估算。在这些条件下,算式 8.1 中的 P 项和 R 项就消失了,但垂直排水的未知数量依然可能存在。如果有可能调节来自和流出到底土的净增益,那么蒸发量就等于在选定期间内根系层土壤水分含量所减少的量。用这个方法不可能指望使精确性超过 0.25 毫米,因之不能测出一天的变化。

水分平衡算式也可以应用于一个集水流域,式中的 R 为溪流(参阅第 10 节)。只有按第 9 节所说的观测网来监测土壤含水量,而且当土壤湿度的细微变化小到不起作用时,或者在整个期间内一直持续着相似的土壤湿度条件时,才能够在一年的基础上应用算式 8.1(Rutter, 1964)。

8.2 能 量 平 衡

植物和土壤表面通过能量转换吸收的净辐射,作为显热和潜热被消耗,并被用于代谢

过程。这些过程可表示如方程式 8.2.1

$$R_n - H - l \cdot E - G - a \cdot A = 0 \quad (\text{方程式 8.2.1})$$

- 式中 R_n 为净辐射
 H 同大气的显热交换
 l 水分蒸发的潜热
 E 蒸发
 G 同植物和土壤的显热交换
 a 化学能贮存系数
 A 净光合率

在以日计算的期间, R_n 、 H 和 $l \cdot E$ 是重要的成分; G 的净交换是逐日变化微小的, $a \cdot A$ 的总量很少超过 R_n 的 2%。现在设想以小时为期间, 也需要对 G 进行测定, 因为在最大垂直热流的期间内, 同裸露土壤的热交换在净辐射中占相当的比例。只有 R_n 、 G , 必要时还有 A (第五章) 是能够测定的, 那么才可以通过 $H/l \cdot E$ 的测定算出 $l \cdot E$ 的数值。

显热和潜热的垂直交换主要是由于在低层大气中的湍流漩涡运动所引起的。每个通量取决于垂直的温度梯度、比湿的梯度和漩涡运动所联系的系数。兹表示如下:

$$\frac{H}{l \cdot E} = \frac{C_p(\Delta T)}{l(\Delta q)} \quad (\text{方程式 8.2.2})$$

式中的 C_p 为一定压力下空气的比热, $\frac{(\Delta T)}{(\Delta q)}$ 是已知高度间隔的温度差和比湿差的比率。

严格地讲, 应当按高度所引起的气压变化对温度进行校正, 但在数米的地方进行这种研究时, 就可以忽略这种校正。显热对潜热之比叫做包文比率 (Bowen ratio) (方程式 8.2.2)。这个方程式说明蒸发率应当以净辐射率 R_n 、土壤热通量 G 以及植被之上的同一高度间隔的温度差和湿度差的测定为基础。关于净辐射和湿度的测定, 已分别在第 2、第 6 节作了说明。土壤热通量可以用结构与净辐射计元件相似的小极板直接进行测定 (Philip, 1961)。这些小极板平放着埋在地下近地表处, 通过这些极板表面的温差可以测出对这些极板的垂直方向的热流。或者在已知土壤热容量的条件下, 根据土壤剖面的温度变化测得土壤的热通量。

能量平衡的研究用于结构均一的植被, 可以获得良好的结果, 在这些条件下, 可以作出 10% 以内的蒸发量的估算。这使得短期的, 譬如说一个小时的蒸发量的测定成为可能, 但这需要有精密的记录装置, 以保证进行单线计算 (on-line computation)。图 7.19 表示塞特福德 (Thetford) 森林内水文研究所试验地上的一套装置, 在研究高大植被的蒸发过程时需要这种装置。

8.3 水汽输送法

根据研究地区水汽垂直通量的测定, 可以直接得出蒸发量的估算。在自然条件下, 这种估算是根据在一个点上的垂直气流和水汽含量的平均值的瞬间偏差之积进行积分而求得的。这两个变数的迅速而相当大的变化必然需要非常精密的装置, 虽然它的理论已为

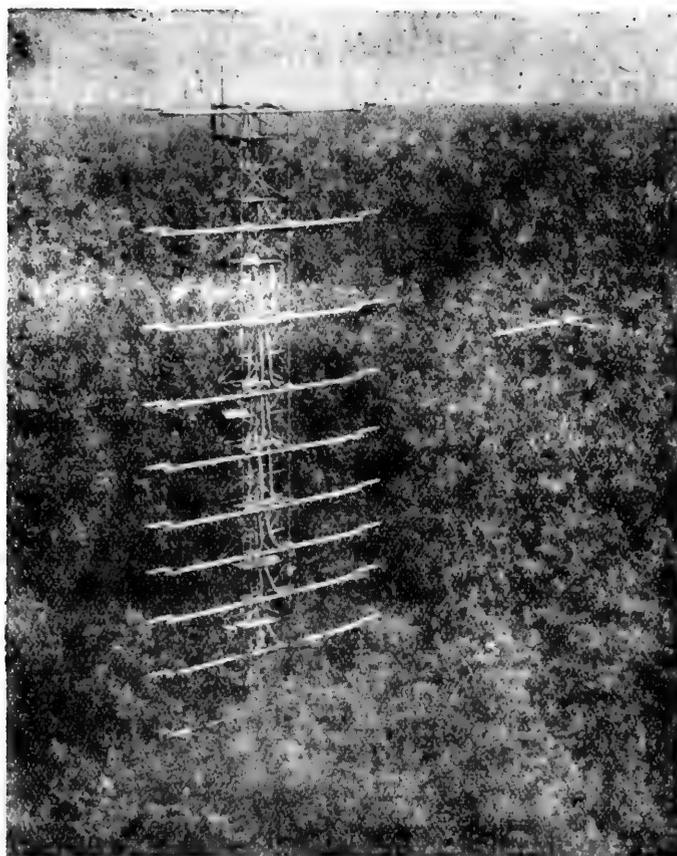


图 7.19 Thetford 森林试验地

Swinbank(1951)所阐述,但这种测定常常被限定在为期 1 小时的水平上。利用经验的或者根据湍流理论得出的输送系数进行垂直的湿度测定,就可以间接地估算出垂直的水汽通量。

8.4 预报方程式

已有一些较好地供估算开放水面蒸发的经验方法,这些方法使用着标准的气象学测定数据,例如气温、湿度和风速等。有些方法其后不断被修改,用以处理、估算植被和裸露土壤的蒸发;最有名的基本方程式是 Penman 所提出的(1948)。

Penman 方程式把能量平衡法和空气动力学理论结合起来,虽然比此类其他算式为复杂,但它只使用标准气象资料就可以得到解答。起初是用于自由水分的蒸发,即:

$$E = \frac{(\Delta R_n + \gamma E_a)}{\Delta + \gamma} \quad (\text{方程式 8.4.1})$$

式中的 Δ 为斜度,表示为每 $^{\circ}\text{C}$ 的水银柱毫米数,在容积空气温度 T_a 条件下饱和蒸气压曲线的斜度, R_n 为净辐射, γ 是湿度计常数

$$E_a = f(u) \cdot (e^{\circ}(T_a) - e_a)$$

$e^{\circ}(T_a)$ 是饱和蒸气压, e_a 是在气温 T_a 下的实际蒸气压。

$$f(\mu)\text{的原形是 } f(u) = 0.35 \left(1 + \frac{u}{100} \right)$$

$$\text{以后又变形为 } f(u) = 0.35 \left(0.5 + \frac{u}{100} \right)$$

式中的 u 是每天的风吹行的英里数。

Penman 根据大面积灌溉良好、生理机能旺盛的矮短绿色作物, 把自由水蒸发 (E_w) 和可能蒸发率 (potential evaporation) 联系起来, 指出

$$E_f = f \cdot E_w \quad (\text{方程式 8.4.2})$$

式中 f 的范围为 0.6—0.8, 取决于季节的和天的长度。

此后, 根据作物的抵抗特性, 提出了比方程式 8.4.2 更为实用的函数。虽然作物表面和土壤水分参数的引用, 对测定实际的蒸发量提供了一个非常有效的方法, 但这两种特性必须根据实际数据经验地加以推导, 或者对每一种作物和土壤的组合进行测定。最常用的对 Penman 方程的修改是 Monteith (1965) 提出的, 它要求进行有效能量、气温和已知高度的蒸气压的测定, 最好是按小时的间隔, 结合进行空气动力抵抗的估算和气孔抵抗的测定或估算。这些抵抗往往是经验地得来的; 气孔抵抗可以用一个放在叶片上的多孔磁气孔计 (porometer) 来测定, 但很难以把片叶的数值平均成为作物的数值。空气动力学的抵抗也可以用界面层学说为根据。

9 土 壤 水 分

土壤水分的测定在植物生态学的许多分枝中是重要的, 当阐明特定地区或地点的水分关系时尤其重要。在第 6 章中讨论了有效的测定方法和关于土壤水分的另一些方面 (第 6.3.5 节)。

10 迳 流

迳流可以简单地定义为或快或慢地流入一个河溪或水渠的那一部分降水; 通常按迳流所采取的途径分为三组: 表面迳流、亚表面迳流和地下流。表面迳流指的是地表面的水流, 而亚表面流则是降雨垂直渗透穿过土壤-空气界面 (interface) 之后遇到一个不透水层时横向流动而形成的。地下水流是由于潜水面而形成的。这个潜水面一遇到冰砖物或者坚固的岩层就成为它的表面。这三条途径之间, 一般地说不能画出一条明确的界线。因为迳流可能从一个途径开始, 然后通过另一条进入河流。同样地, 在每一组内, 迳流的特性由于它流动穿过或经过的物质组成的性质不同而有相当大的差异。

鉴于一个地区的生态学研究的界线和特定的水文学的界线是一致的, 而且这个地区有一个地表水渠, 则迳流的测定可以用较为简易的测定结构和速度面积法 (velocity area method) 或者化学的稀释技术。但是许多生态学研究是以缺乏表面水渠和易于确定其水文学界线的实验地为基础的, 在这样的地方, 全部的迳流实际上是发生在地下。在这些情况下, 常常用水分平衡方程所得出的差值来估算迳流。

横向的亚表面流可以通过在斜坡位置的较低一端垂直切割截流的方法进行测定。

迳流测定是营养循环研究的基础(参照第四章 4.3.1 节),迳流对于一个地点的营养成分的搬运来讲,是一个主要的媒介。

10.1 水分平衡

用水分平衡方程式测定蒸发量的方法已在第 8.1 节作了说明,反过来迳流的估算是根据未测定的集水区、降水量和土壤中水分蓄积的变化得到测定,而蒸发量则根据一个 Penman 类型的方程式进行估算。在较短期间内,蒸发估算的误差大约为 20% 的水平。这使得迳流估算也产生相似的误差。在营养成分的研究中,需要求出每星期的总迳流量,此时,这些误差应当减少到 10% 左右。这样水平的误差一般是 可以容许的,但是这需要有一个相当大的仪器装置,甚至可能包括高贵的中子测定仪。

10.2 横向的亚表层流

在研究点的斜坡上迳流的大部分沿着土壤不透水层的上面呈横向而发生。根据这种水流的直接测定可以得出总迳流的合理估算。Whipkey(1965)报道了一个为此目的使用的装置,其概况如图 7.20 所示。当水分达到一个设定的深度时,凹坑即接着进行排水,或者间歇地泵出来。由于常常是以水膜或通过毛细管微孔而流动,所以收集槽是用带槽的塑料作成的,它和土壤紧密相接触而且具有沟槽。沟槽流出的水被汲入一个油罐,油罐里有浮标和称重系统,联结到图纸记录器上。另一方面,如图 7.13 所示,可以把沟槽接引到一个大形的可以倾倒的桶的装置上,由此引起的脉冲加在一个电机计算器或者磁带上。

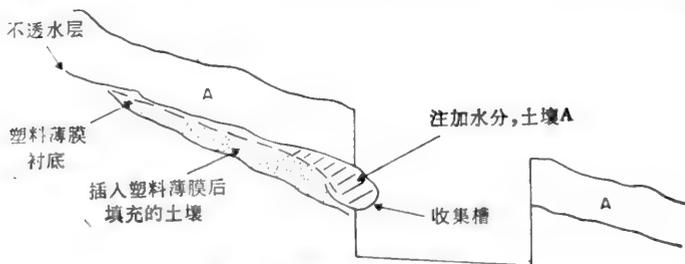


图 7.20 横向亚表面流的测定

10.3 流量测定

在河流测定流量需要分别进行两项工作,第一是测定有关一定数据的水面高度,第二是这个高度与河流流速流量的关系。

河流水位可以连续地或定期地进行测定,其选择取决于集水的性质和资料的用途。假定以年平均迳流为基础,则每天的连续测定对于流量流速变化较迟缓的巨大渗透集水可能是适宜的;对于非透水性土壤的小量集水,为了同样目的,可能需要每小时或者每 3 小时的测定。

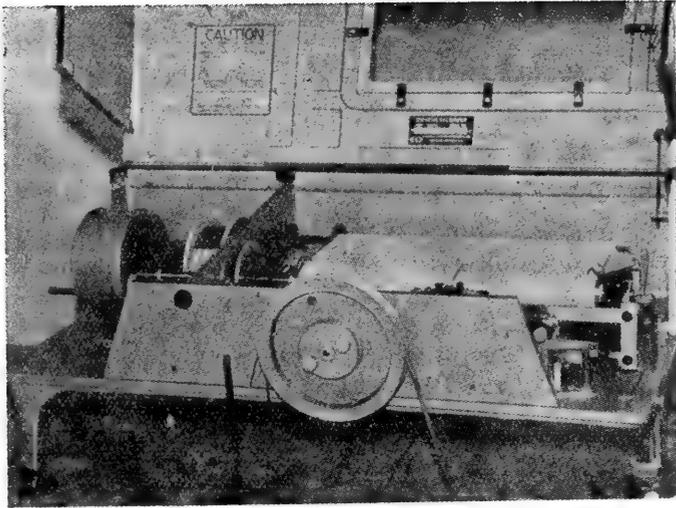


图 7.21 河流水位记录器

定期的水位测定就是用肉眼对设置在水中刻着尺度的测量标尺进行判读。连续记录通常是用一个安装在河流之中或者用一个插入的管子联结起来的静水井中的浮标和平衡锤(法码)系统来完成的。浮标和平衡锤系统通常是联结到一个记录器(图 7.21)或者打孔纸带的输出上。“静水井”顾名思义可以减少水位的变异,当使用时,插入的管子必须有足够的直径,以便使井水水位能迅速地随河水水位而涨落,但是为了避免在河流中水面的波动,又要尽量地小一些。可以根据三个方法把河流水位转换成流动:测量的结构;流速面积法和化学的稀释测定法。这些方法在水工程研究所(1969)有详细的讨论。因此,这里要说明的将限于对这些方法进行简易的探讨——V形坝,用浮标测定流速和“饮水”稀释测量。

10.3.1 V形坝

V形坝具有一个锐缘的三角形坝,通常呈 90° 地切到一个垂直的金属板里,截拦河道设置一个不透水的结构(图 7.22)

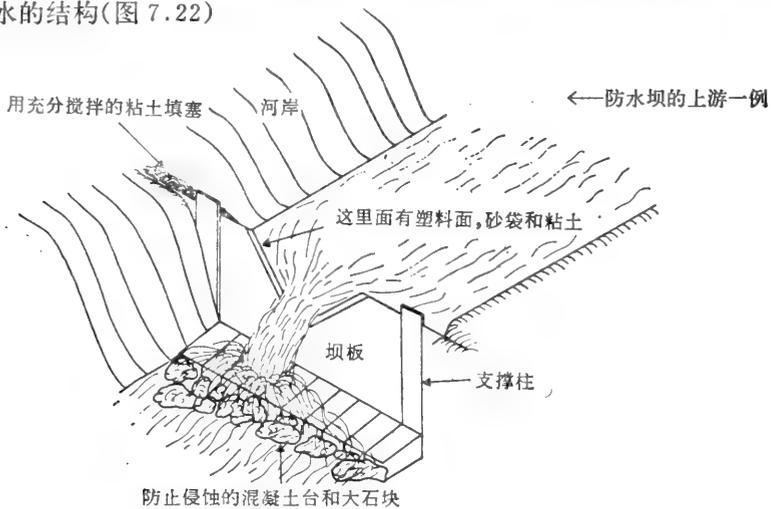


图 7.22 V形坝(根据 Gregory 和 Walling 1971)

船用折叠板(marine ply)是常常使用的。它具有一个尖锐的金属边缘,可以把它单个地设置在河流中,用砂袋和塑料面作成不透水的基底。放水量(Q)和坝顶以上的水深(h)有关系,表示如下式:

$$Q = 0.015 h^{2.48} \text{ 升/秒} \quad h \text{ 的单位为厘米}$$

上游带来的堆在坝前的沉堆物必须按规定清除。由于下游水位的淹没,用这个方法虽然不能测定非常高的放水,但是在水资源有限的情况下,V形坝可以获得一个有用的解答。

10.3.2 流速-面积法

流速-面积法需要在河流的选定地点进行河流平均流速和面积的测定。在水流条件没有大湍流的情况下,水文学研究是用流速表测定流速,但是使用浮标仔细操作也可以得到10%以内的平均流速,亦即把一个着色的木块投入河中,测定它流经一段设定路程所费的时间。这样得出的表面流速被系数1.2除,即可算出该点的平均流速;它和该河道断面面积相乘的积即所求的放水量。

10.3.3 添水稀释的测定

在添水稀释测定中,用一定量的普通食盐或其他廉价无毒的化学物品溶解于水中,然后倒入水流中。在下游的一个水中溶有化学物品的点上,在约15到30分钟内每隔15秒钟取样。在实验室内进行水样分析,查明加进去的化学物品的离子含量,并按下列方程式求出河流流量

$$Q = \frac{M}{\int c \cdot dt}$$

式中 M 是注加的示踪物的数量(如 Na^+ 或 Cl^-)

c 是在时间 t 、下游取样点上高于自然水平的浓度。

化学物品和河水的充分混合是很重要的,因此,这个技术对湍流是最适用。河流的长度取决于完成充分混合的需要,通常是用这样的方法来判断,即投少量的萤光体于河中,在下游选一取样点,直到那里的水在整个河宽范围内都被均匀地染色为准。只要混合是充分的,则用此方法可以获得2—3%的精确性。

11 参 考 文 献

- Beard J. S. (1962) Rainfall interception by grass. *J. S. Afr. For. Ass.* 42, 12—15.
Biggs W. et. al. (1971) Photosynthesis light sensor and meter. *Ecol.* 52, 125—131.
Bissell V. C. & Peck F. L. (1973) An aerial measurement of snow water equivalent by terrestrial gamma radiation survey. *Bull. Int. Ass. Hydrol. Sci.* XVIII, 47—62.
Blyth K. & Painter R. B. (1974) Analysis of snow distribution using terrestrial photogrammetry. *Proc. U. S./IHD Symp. on Advanced Concepts & Techniques in the Study of Snow and Ice Resources*, Monterey, California.
Caborn J. M. (1957) Shelterbelts and microclimate. *Bull. For. Comm., London*, No. 29.
Caborn J. M. (1965) *Shelterbelts and Windbreaks*, 288. London. Faber & Faber.
Flitters N. F. (1965) Programming relative humidity in combination with fluctuating temperatures: the influence of relative humidity on development of tropical fruit flies and other insects. Section 1, No. 8, 65—72. In E. J. Amdur (ed.) *Humidity and Moisture*, Vol. 2. Applic-

- ations. New York, Reinhold Publ. Corpn.
- Funk J. R. (1959) Improved polythene shielded net radiometer. *J. Sci. Instrum.* **36**, 267—270.
- Gates D. M. (1962) *Energy Exchange in the Biosphere*. New York, Harper & Row.
- Gilbert O. L. (1970) Further studies in the effect of SO₂ on lichens and bryophytes. *New Phytol.* **69**, 605—727.
- Gregory K. S. & Walling D. E. (1971) Field measurements in the drainage basin. *Geography*, *lvi* **4**, 277—292.
- Hamilton E. L. & Rowe P. B. (1949) Rainfall interception by Chaparral in California. *Calif. For. Range Exp. Sta.* 1—46.
- Harrold L. L. (1966) Measuring evapotranspiration by lysimetry. In *Evaporation and its Role in Water Resources Management*. Michigan, Amer. Soc. Agr. Engrs.
- Hawksworth D. L. & Rose F. (1970) Quantitative scale for estimating sulphur dioxide air pollution in England and Wales using Epiphytic Lichens. *Nature* **227**, 145.
- Hill L., Griffiths O. W. & Flack M. (1916) Kata thermometers. *Phil. Trans. Roy. Soc. B* **207**, 186.
- Hirst J. M. (1957) A simplified surface wetness recorder. *Pl. Path.* **6**, 57—61.
- Idle D. B. (1968) The measurement of apparent surface temperature. In R. M. Wadsworth (ed) *The Measurement of Environmental Factors in Terrestrial Ecology*, pp. 47—58. Oxford. Blackwell Scientific Publications.
- Institution of Water Engineers (1969) *Proc. Symp. River Flow Measurement*, 187. Loughborough.
- Jehn K. H. (1948) *Texas Univ. Elec. Res. Lab. No. 082, 055, Rpt. No. 20*.
- Johnston R. D. (1964) Water relations of *Pinus Radiata* under plantation conditions. *Aust. J. Bot.* **12**, 111—124.
- Kurtyka J. C. (1953) *Precipitation Measurements Study, Rpt. of Invest. 20*, State Water Survey Div., Urbana, 111.
- Leyton L., Reynolds E. R. C. & Thompson F. B. (1968) Interception of rainfall by trees and moorland vegetation. In R. M. Wadsworth (ed.) *The Measurement of Environmental Factors in Terrestrial Ecology*, pp. 97—108. Oxford. Blackwell Scientific Publications.
- Long I. F. (1957) Instruments for micrometeorology. *Quart. J. Roy. Met. Soc.* **83**, 202—214.
- Monteith J. L. (1954) Error and accuracy in thermocouple psychrometry. *Proc. Phys. Soc., London* **67**, 217.
- Monteith J. L. (1965) Evaporation and environment. *Symp. Soc. Exptal. Biol.* **29**, 205—234.
- Monteith J. L. & Szeicz G. (1962) Simple devices for radiation measurements and integration. *Arch. Met. Geophys. Bioklim*, *B* **11**, 491—500.
- Monteith J. L. (1972) *Surveys of Instruments for Micrometeorology*. I. B. P. Handbook No. 22, pp. 263. Oxford. Blackwell Scientific Publications.
- Pelton W. L. (1961) The use of lysimetric methods to measure evapotranspiration. *Proc. Hydrol. Symp.* **2**, 106—134. Ottawa.
- Penman H. L. (1948) Natural evaporation from open water, bare soil, and grass. *Proc. Roy. Soc., London A* **193**, 120.
- Penman H. L. & Long I. F. (1949) A portable thermistor bridge for micrometeorology among growing crops. *J. Sci. Instrum.* **26**, 77—80.
- Perring F. H. & Walters S. M. (1962) Interpretation of maps. *Atlas of British Flor.* XX-XXIII.
- Philip J. R. (1961) The theory of heat flux meters. *J. Geophys. Res.* **66**, 571—579.
- Platt R. B. & Griffiths J. G. (1965) *Environmental Measurement and Interpretation*, p. 235. New York, Reinhold Publ. Corpn.
- Powell M. C. & Heath O. V. S. (1964) A simple and inexpensive integrating photometer. *J. exp. Bot.* **15**, 187—191.
- Reynolds E. R. C. (1964) The accuracy of raingauges. *Met. Mag., London* **93**, 65—70.
- Rutter A. J. (1963) Studies in the water relations of *Pinus sylvestris* in plantation conditions. I. Measurements of rainfall and interception. *J. Ecol.* **51**, 191—203.
- Rutter A. J. (1964) Studies in the water relation of *Pinus sylvestris* in canopy conditions. II. The annual cycle of soil moisture change and derived estimates of evaporation. *J. Appl. Ecol.* **1**, 29—44.
- Rutter A. J. (1968) The water consumption of forests. In T. T. Kozlowski (ed.) *Water Deficits and Plant Growth*. Academic Press.
- Smith F. M., Cooper C. F. & Chapman E. G. (1967) Measuring snow depths by aerial photogrammetry. *Proc. 35th Western Snow Conf., Boise*. 66—72.
- Solomon M. E. (1945) The use of cobalt salts as indicators of humidity and moisture. *Ann. Appl.*

Biol. **32**, 75.

- Strangeways I. G. (1972) Automatic weather stations for network use. *Weather*. Oct. 403—408.
- Swinbank W. C. (1951) The measurement of vertical transfer of heat and water vapour by eddies in the lower atmosphere. *J. Meteorol.* **8**, 135—145.
- Szeicz G. (1965) A miniature tube solarimeter. *J. Appl. Ecol.* **2**, 145—147.
- Szeicz G. (1966) Field measurements of energy in the 0.4—0.7 micron range. In R. Bainbridge, G. C. Evans & O. Rackham (eds.) *Light as an Ecological Factor*, pp. 41—51. Oxford. Blackwell Scientific Publications.
- Szeicz G., Monteith J. L. & Dos Santos J. M. (1964) Tube solarimeter to measure radiation among plants. *J. Appl. Ecol.* **1**, 169—174.
- Tanner C. B. (1963) Basic instrumentation and measurements for plant environment and micro-meteorology. *Soils Bull.*, No. 6, Coll. Agric. Univ., Winconsin, U. S. A.
- Tollan A. (1970) Experience with snow pillows in Norway. *Bull. Int. Ass. Sci. Hydrol.* **XV**, 2, 66—72.
- Wadsworth R. M. (ed.) (1968) *The Measurement of Environmental Factors in Terrestrial Ecology*. British Ecological Society Symposium 8. Oxford, Blackwell Scientific Publications.
- Warren Wilson J. (1957) Observations on the temperatures of Arctic plants and their environment. *J. Ecol.* **45**, 499—531.
- Whipkey R. Z. (1965) Subsurface stormflow from forested slopes. *Bull. Int. Ass. Sci. Hydrol.* **X**, 2, 74—85.
- World Meteorological Organisation (1963) The influence of weather conditions on the occurrence of apple scab. *Tech. Note 65*, Geneva.

(姜 恕 译, 阳含熙 校)

第八章 化学分析

S. E. Allen, H. M. Grimshaw, J. A. Parkinson,
C. Quarmby 和 J. D. Roberts

1 引 论

本章主要是讨论土壤、植物材料和水化学分析问题,这些对生态学家都是至关重要的。许多方法在稍为改变之后也适用于动物材料。这些资料对于打算自己进行分析的非化学家是足够的,并在适当的地方也提供了其它资料来源的文献。

实验程序基本上是涉及主要的无机营养元素,有机成分因不属于本书的范围而略去。某些物理分析在这本手册的另外章节讨论。

在进行任何化学分析之前,必须注意下列的一般要点。

1. 在多数方法中,在操作中至少做两个空白测定以消除由化学试剂、滤纸等等所引起的任何背景污染。这些数值的均值应从样品结果中减掉。

2. 在样品分析进程中包括一已知化学成分的参照样品是实践中的好办法。这样可以校正任何大的误差,尤其是可能存在的偏见。

3. 在可能时尽量使用分析纯的试剂和化学药品。许多盐类当用来配制标准溶液时,用前须在 105°C 下干燥 3 小时。

4. 始终要使用玻璃器蒸馏水或去离子水。去离子水的电导度须 $<0.2 \mu\text{S cm}^{-1}$ 。

5. 在操作中使用的玻璃器皿和塑料器皿必须细心地洗净以避免污染。在多数情况下用去污剂(最好是不含磷的)洗涤,然后用蒸馏水或去离子水冲洗几次即可。更强烈的洗涤剂有铬酸和氢氧化钾的酒精溶液。可能时尽量使用硼硅酸盐玻璃。

6. 必须找出并消除污染的来源,较为常见的例子包括:

- (a) 来自研磨和过筛时的金属尘埃;
- (b) 来自一般净洗操作时的尘土;
- (c) 来自包装和配件的粉末和锈;
- (d) 肥皂、洗涤剂类和化妆品;
- (e) 来自其它试验的实验室试剂。

1.1 结果的表示

1. 必须始终使用国际标准单位。皇家学会(1971)曾对这个系统作过叙述。在本书中使用升来代替立方分米(dm^3)。其它主要的改变是电导度单位,现在使用 Siemen(S),它与从前用的欧姆(mho)相同。

2. 土壤和植物样品的全组份须用百分数(%)或每克之微克数($\mu\text{g g}^{-1}$)表示,水用每升之毫克数(mg l^{-1})表示。

3. 在引证结果时要避免使用百万分数(ppm),如果使用了则须限制在实验室内部。

4. 土壤提取物数据通常以每 100 克之毫克数($\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$)表示,但也可用当量数表示,即每 100 克之毫克当量数(m.e. 100 g^{-1})*,这是以该元素的当量重除 $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$ 得到的。

1.2 分析的准确度和精确度

准确度是指结果与“真实的”或“绝对”值的接近程度。在一方法中,任何的偏倚均将减低其准确度。精确度是指在一起进行的一组重复测定的结果之间的幅度。可重复性是经过几天或几个星期期间进行的一组重复测定的结果之间的幅度。

精密度和可重复性两者均受随机误差所制约并可用统计方法计算出来。关于试验工作的这个方面或其它方面的统计学问题,Grimshaw 和 Lindley(1971)已作过进一步的介绍。同时参看下面 2.1 节。在本书中所列出的关于个别方法的精确度数值,是基于最适的实验条件的。

已注意到一些引起不准确或欠精确的因子,但因不同的方法而异。许多是与元素间的干扰有关的,对此种影响有时需要进行分别测定来检验。向样品溶液中加入已知量的不同元素的办法是为了克服在实验条件下发生误差的有效的校正方法。

2 土 壤

土壤是一极端复杂的基质,并且其变异性能在分析上和解释分析结果时引起许多问题。Ball 在第六章中讨论了这方面的一些问题。土壤分析的参考书其中有 Piper (1950)、Metson (1956)、Jackson(1958)、Black(1965)、Hesse(1971)和 Alleu 等(1974)。

化学分析对土壤样品的处理没有一般性的技术,但是现在应用的各种操作程序共有一些基本的原则,在以下每一篇中将视需要而加以介绍。

2.1 样 品 采 集

通常土壤采样方法取决于测定的目的。在试验研究中,采样必须是随机的以减少偏倚,并使结果的显著性判断易行。在多数情况下两个或三个重复样品便足够了,但在某些试验设计中可能需要五个或甚至十个。这将导致需要分析大量样品。样品数目可借混合取样法减少,但这将导致失去一部分关于变异性的数据。在调查工作中,用系统采样法而不用随机采样法,在整个选定的面积上用一个网格或一系列的样条,但对每个样点保留适当的重复则是重要的。

研究的目的是在某种程度上也决定着采样的深度。通常根系的深度(10 到 15 厘米)便

* 原文中为每 100 克之毫升数($\text{ml } 100 \text{ g}^{-1}$)显然错了。

足够了,但有时则须至较深的层次采集剖面样品。这包括在特定的深度采样或依据土层采样。

2.2 采 样 工 具

欲得到以重量为基础的结果,一柄手铲或类似的工具即已足够。以容积为基础的分析使用土壤环刀或取土钻,但并非总是适用的。在测定土壤容重时不能使用土钻,方法已在第六章讲述过了。必须小心勿使土层之间相混,对砂性土壤尤须注意。这个问题在使用土钻或环刀时特别重要。

采集土壤样品通常用聚乙烯袋。虽然短期保存合用,但存在着一种培育微生物的危险,特别是当封札后置于温暖的大气中时。在没有塑料袋前,过去广泛采用具防水衬里的纸袋。塑料盒或铝盒有时选用,但必须注意污染的可能性,尤其是来自金属的混染。

2.3 运 输 和 贮 存

运输时间要短并且在路程中样品须放冷处以减低可能的变质。冰冻的“冷包装”,把样品放在绝热的容器中能有效地保持低温。在实验室内新鲜土壤样品要尽可能避免长期贮藏。如有必要的则须使样品保持在稍高于结冰的温度下,因为一土壤之代换性可因冰冻贮存而受影响(Allen 和 Grimshaw,1962)。不稳定的成分如无机氮和不稳定的数值如 pH 值应在收到时立即测定,而其它许多测定可用风干样品来做。

2.4 干 燥

在实践上并没有理想的干燥条件。风干的最好办法是把样品摊成薄层置于 40°C 通气的干燥箱中过夜。在实验室的工作台上真正风干是麻烦的和费时间的,为达到平衡所需要的时间内将由于细菌的和酶活动而引起显著的变化。在需要分析可提取成分时必须使用鲜样品或风干样品,并且要避免高温(105°C 干燥箱干燥),因为这会起土壤矿物晶格构造的不可逆的变化。关于干燥方法的选择已列于表 8.1 中。

表 8.1 土壤的初步处理的程序

分 析 项 目	推 荐 的 处 理
氧化还原电位, pH	田间测定
NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺ , pH 泥炭提取	在 +1°C 短期贮藏, 然后测定新鲜样品
矿质元素和 P 的提取, 阳离子代换量	在低于 40°C 下风干, 然后轻轻磨碎, 通过 2 毫米筛
烧失量全 N, P, C	在 105°C 下干燥, 然后研细

2.5 过 筛 和 研 磨

新鲜样品在收到时即行处理,在进行处理之前,应挑出大的石块和根。风干土壤

须通过 2 毫米筛孔的筛子,团聚体要轻轻弄碎,因为某些矿物是很软的。为使此项操作标准化可使用器械。市售的适用器械(由剑桥的 Britanna 工厂的 D. Mackay 制造的)是在一个钻了许多 2 毫米孔的筒形外壳内有许多不锈钢条,当圆筒转动时便磨碎土壤。推荐用不锈钢的筛子是为了减少混染。要避免使用黄铜的筛子,特别是测定铜和锌时。

过筛后土壤须很好地混合,同时土壤容积会有些减少。不断混合均匀,堆成堆,用对角线法弃去对应的两个四分之一,这就是为此目的的标准方法。此外还有一些适用于样品分份的机械工具法。

通过 2 毫米筛的土壤可用于测定可提取的养分,但为测其他项目则须进一步研细,尤其是在只称取 1 克的一部分的样品时。在这种情况下,一部分代表性的样品须研磨并通过 100 或甚至 200 筛孔的筛子(Kleemen,1967),使用研钵和杵、球磨或转磨或样品粉碎机。研磨器具须用玛瑙、硬质钢或碳化钨制的。

2.6 分析溶液的制备

矿质元素在土壤中的总浓度对土壤学家比对生态学家常有更大的意义,故这里不讨论这类方法。这并不适用于碳、氮和磷,因为它们的大部分来自生命过程而结合在有机物中,因此总的(有机质)含量对生态学研究常是需要的。

各种矿质营养阳离子的一小部分存在于真溶液中或以离子形态通过带负电的有机的或无机的吸附作用而存在于胶体复合体中。这是最易为植物吸收的部分,对其测定在营养研究时比对总量测定更为重要。吸附的阳离子是可以被加入的过量化学提取剂的其它阳离子所置换的。置换出的阳离子然后在滤过的提取液中测定。

这是土壤提取方法的基础,并提供通常称为“代换性阳离子”的数值。然而,实际上某一提取液的作用在某种程度上是人为的,并且不可避免地要从无机盐类和(或)有机物质中释放出一些不可给态的元素,这取决于提取条件尤其是提取液的 pH 值(参看 2.6.1 节)。由于这个原因似乎最好使用“可提取阳离子”一词,并指明所用的提取液,然而,在确定总的可置换阳离子时,“阳离子代换量”一词仍保留着,并在 2.6.4 节中进一步讨论。

浸提剂在农业研究中已广泛地被使用,尤其在判明肥料的需要时,这种用法是正确的,因为在各种土壤类型中从特定的提取剂得到的数值已经证明与作物吸收是相关的。生态学家一般都缺乏对当地植物的这些资料,同时可提取元素的数据只应视为是天然立地中的营养状况的一个初步指标。

通常可提取的阴离子只有磷酸阴离子和硝酸阴离子。可给态的部分主要是在溶液中,并且在许多天然土壤中其数量是很低的。对磷酸态的磷来说,无机固定是一个重要的干扰,并且通常为提取这种养分使用特定的提取剂(参看 2.6.5 节)。

2.6.1 提取剂的选择(为提取矿质阳离子)

两种广泛使用的提取剂是 1 M 醋酸铵(pH 7)和 Morgan 试剂(在美国),这是 10% 的醋酸钠在 3% 的醋酸中。这些是分别靠铵(NH_4^+)和钠(Na^+)离子从土壤代换复合体中置换养分的阳离子。另一常使用的提取液是 2.5% 醋酸。

虽然离子置换是所有这些提取剂作用的原理,但须注意 2.5% 醋酸具有增溶作用。

正是由于这种性质更加决定着提取剂的选择。

一种好的提取剂应对无机盐和有机物两者溶解得最少。前者靠高 pH 值的提取剂可以很好地做到,后者用低 pH 提取剂可以做到。因此,中性的提取剂如在 pH 7 时的醋酸铵是所有提取剂中最好的。钙质土壤总需要具有高 pH 值的提取剂以减低对碳酸钙的溶解。可用 pH 9 的醋酸铵:有机土壤如泥炭用 pH 7 的醋酸铵可以很好地进行提取,并注意提取条件是最适的(参看下文)。

在实践上两种醋酸铵提取剂对多种非盐渍化土壤类型可以使用,但 2.5% 醋酸须限于非钙质土、非盐渍化矿质土壤,虽然这在配制上比较方便,不像醋酸铵那样麻烦,而且适于对磷的提取(参看 2.6.5 节)。三种提取剂均在下面讨论,唯略去 Morgan 试剂。这种提取剂对 pH 7 的醋酸铵是一有用的替换物,并且也可以用于磷的提取,但其高的含盐量对某些火焰装置来讲是有缺点的。

2.6.2 提取的条件

提取新鲜样品虽是可取的但却非必须的,风干过筛的土样在处理上比较便利且更为均匀,因此常常被使用。泥炭则总是要提取新鲜的。烘干(105°C)样品是不适用的。

提取剂对土壤的比例很重要。如果土壤占的比例过大,则已释放出的养分的再吸收就变得显著。这对粘土尤其如此。如果提取剂的比例过大,对合理的测定来说则提取物的数量过低。对风干土以 25:1 为宜,对鲜土 10:1 为宜。提取时使提取剂通过土柱较为理想,但在实践上则建议使用振荡器。提取泥炭采用淋洗办法更为方便,淋洗在铺滤纸的漏斗上进行,如果振荡产生浓的胶体悬液过滤便困难了。

提取达到平衡必须有足够的时间,但在达到这阶段后岩石矿物的缓慢溶解作用将继续进行。通常提取时间为半小时到一个小时。

为了样品的结果进行比较,保持所有条件的恒定是十分重要的。

2.6.3 普通养分阳离子的提取

操作

1. 称 10 克筛过的风干土壤置于 500 毫升聚乙烯瓶中。
2. 加 250 毫升提取液并在旋转的往复式振荡器上振荡一小时。
3. 用 44 号滤纸过滤,弃去开始几毫升的滤液。
4. 按同一操作准备空白试验的溶液。
5. 用在 7 中提供的方法测定滤液中的阳离子。

试剂

1. 1 M 醋酸铵(pH 7)——加 575 毫升冰醋酸和 600 毫升氨液(0.880)于约 2 升水中,混合并稀释至 10 升。要求 pH 值为 7.0 ± 0.1 。必要时可用醋酸或氨液调整。
2. 2.5%(体积/体积)醋酸——用水稀释 250 毫升冰醋酸至 10 升。
3. 1 M 醋酸铵(pH 9)——像上面 pH 7 的提取剂一样准备,但用 740 毫升氨液(0.880)。

附注

2.5%醋酸的浸出液也可用于可提取磷的测定(参看 2.6.5 节)。

2.6.4 阳离子代换量

从土壤复合体可置换出的阳离子总量称为阳离子代换量 (GEG)。pH 7 的 *M* 醋酸铵液通常用于第一步的置换,而过量的铵离子可被洗净。吸附的铵然后再被其它淋洗液的阳离子置换出来,并测定其铵态氮。虽然这个操作像其它方法一样有局限性,但 GEG 值却是土壤营养状况的经常有用的一个指标。

操作

1. 如前述用 1 *M* 醋酸铵(pH 7)提取土壤并过滤。

2. 用 60% 工业酒精每份 50 毫升重复洗涤滤纸上的残渣直到多余的醋酸铵全被洗掉。加入 10 毫升 10%(重量/体积) NH_4Cl 溶液于第一份工业酒精中。检查滤液中的氯离子(用 AgNO_3)。当氯离子去净时则多余的醋酸铵便已被除净。

3. 用约 30 毫升 1% KCl 溶液洗涤残渣。继之以 5% 的 KCl 溶液几次洗涤,收集淋出液于一刻度为 250 毫升的瓶中(新鲜样品用 500 毫升瓶)。在加入下一份之前要等上一份全部通过之后。收集淋出液至刻度。

4. 按同样操作准备空白试验的淋出液。

5. 用在 7.8.3 中所列的方法,蒸馏并用 $M/140\text{HCl}$ 滴定适量的淋出液中的 NH_4^+-N 。

试剂

1. 1 *M* 醋酸铵(pH 7)——按前述方法制备。

2. 工业酒精,60%(体积/体积)。

3. 氯化钾,5%(重量/体积)。

其它试剂列于 7.8.3 中。

计算

如 1 毫升 $M/140\text{HCl}$ = 0.1 毫克 NH_4^+-N

则 GEG

$$\text{GEG}(\text{m.e. } 100 \text{ g}^{-1}) = \frac{\text{滴定用 HCl}(\text{毫升}) \times \text{淋出液体积}(\text{毫升})}{1.4 \times \text{测定用淋出液}(\text{毫升}) \times \text{样品重}(\text{克})}$$

需要时可校正为干重

代换性盐基总量和代换性氢

测定代换性盐基总量(TEB)有时是有用的。这里“盐基”显然不包括氢。TEB 可借各个金属离子的相加得到。或直接灼烧醋酸铵浸出液,用过量的标准酸溶解并用标准碱液反滴定(Bray 和 Willhite,1929)。如 TEB 用 GEG 的百分数表示,即为盐基饱和度(%)。

有时测定代换性氢,虽然在土壤过程中还难于用一术语确定。它在土壤酸度中的作用部分地与铝有关。最好简单地以 GEG 减 TEB 来计算。直接的方法似乎价值不大,且通常

是基于对土壤过滤液进行滴定,滴回到初始的pH(7.0)或使用滤液的pH值(Brown,1943)

2.6.5 关于其它元素提取操作的附注。

(1) 铝

使用的提取方法取决于研究目的对结果的需要情况。为了剖面研究,根据 Ball 和 Beaumont(1972)使用 3%草酸;为了养分研究,则 1 M 醋酸铵(pH 4.8)更为合适。

(2) 铁

为研究剖面发育可用 3%草酸作提取液。研究土壤养分时将铁的提取包括在内是很少有的。

(3) 氮

为提取 $\text{NO}_3\text{-N}$ 通常用水,为提取 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 使用 6%的氯化钠。如需在一个样品中测定两种离子,使用 6%氯化钠对两者均宜。 $\text{NO}_2\text{-N}$ 的提取方法与 $\text{NO}_3\text{-N}$ 相同。在任何情况下均须提取鲜土。称 25 克,加入 180 毫升提取液并搅拌 10 分钟。离心至上部液体澄清。

(4) 磷

有几种提取液用于磷的提取,其中有些是所谓提取“可利用磷”的,但实际上都释出一些固定的磷。提取磷酸态磷常用的有三种提取液:

(1) Truog 试剂(Truog,1930)。

0.001 M H_2SO_4 用 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 缓冲至 pH 3。适用于中性和酸性土壤。用风干样品和一提取液:土壤比为 200:1。须 30 分钟的摇荡时间。不适用于钙质土壤。

(2) 醋酸,2.5% V/V(如在 2.6.3 节)。不适用于钙质土壤。

(3) Olsen 试剂(Olsen 等, 1954)。

0.5 M NaHCO_3 用 NaOH 调至 pH 8.5。这只适用于钙质土壤。提取液与土壤比为 20:1,提取用风干土。建议摇荡 30 分钟。一些有机磷可能因这种高 pH 提取液而被提取出来,但在 7.9 节中提供的比色法只测磷酸态磷。

适于测定土壤有机磷的方法参看 7.9.1 节。

3 植物材料

这一节讨论植物和凋落物的初步处理以及为后来测定个别元素而制备溶液。某些有机土壤如泥炭可以采用同一方式。关于植物材料分析的教科书包括 Piper(1950)、Chapman 和 Pratt(1961)、AOAC(1970)和 Allen 等(1974)。这些操作基本上可用于动物组织,但有某些例外,将在 4 节中讨论。

3.1 样品采集

植物群落采样的一些方面已于第四章 3.3 节中讨论过。下列几点必须注意:

(1) 分析成分的选择——通常,绿色的光合作用部分能提供关于植物营养状况的最真实情况。

(2) 植株或部分器管的年龄——对多数的目的来说当年的生长部分适用。

(3) 采样时间——成分随季节而变化，但许多元素在7月末和8月初这一期间达到相对恒定的水平。

(4) 地点方位和遮阴程度影响不大。

(5) 统计学方面包括随机和重复。

(6) 由于土壤或由于动物和鸟的粪便的混染。

采样的方法与森林和农业所使用的相似。高枝剪适于树叶。剪子或修枝剪适于草地和相似的草本，尽管“手摘”样品也能适于某些目的。在“手摘”时须带聚乙烯手套以免出汗的污染。

3.2 运输和贮存

运输和贮存问题与讨论土壤时考虑的那些基本相似。全量养分的测定一般不需分析新鲜材料，故样品以尽快干燥为宜。如必须长时间贮存新鲜材料则应在 -10°C 以下冰冻贮存。

泥土飞溅、空中尘土和动物材料而使植物污染是很麻烦的事。使用离子振荡器在水中轻轻冲洗以除去污物的方法有时采用，但这样处理会引起一些养分的损失。故通常以用非常稀的去污剂的水溶液擦拭材料为宜。但须注意使去污剂本身不会引起污染。Steyn (1959)曾报道过在清洗时元素丢失的程度。

3.3 干燥

除了测定不稳定的成分外，对于植物来说通常使用烘干样品即可。可选用短时间高温干燥或长时间较低温度的干燥。用高温干燥有挥发损失的可能，用低温干燥在初始阶段可能增加微生物的活动。在测定全部养分元素时，建议使用的办法是将植物材料在 40°C 下干燥数小时直到样品脆得适于研磨为止。恰在分析之前，将少量粉碎样品在 105°C 下干燥三个小时，或者测定风干样品的含水量以便对分析数值同干重基础进行校正。

3.4 研磨和过筛

分析须用有代表性的样品，故样品需研磨成充分均匀的材料。不像土壤那样，植物材料过筛没有标准筛孔规定，对多数分析要求来说，孔径为0.4至0.7毫米即可。

适用的研磨工具的种类有：

(1) 交叉撞击磨——最适于木质和大量的样品，但能引起不均的尘粉损失。

(2) 盘状研磨——对叶子非常适用但易引起过热。

(3) 交叉磨——只限于少量叶样品使用，但重复性很高。

(4) 球磨——重复性很高但需较长的磨碎时间。

所有研磨器均能使样品混染，这取决于研磨器内所使用的材料。新鲜样品最好用匀浆机处理，即用组织匀浆机或一简单的 Petter-Elverheim 组织匀浆机处理。

3.5 分析用溶液的制备

分析植物材料营养元素的全量须将所有有机质全部破坏或氧化。两种基本方法是干灰化法和酸降解法。

3.5.1 干灰化法

虽不十分方便但此方法具有两项优点：

- (1) 称量时可用相对大量的样品。
- (2) 灼烧残渣溶于盐酸中，盐酸是一种很好的溶剂，并非常适于相继的分析。

主要不利之点是在不损失某些挥发性矿质元素的条件下很难把所有的碳除净，特别是在非钙质样品中的磷。这可借加入碱性盐如醋酸钙或醋酸镁加以防止，但对这些元素本身必须进行测定。重金属或微量元素也因保留在硅中而有少量损失 (Likens 和 Bormann, 1970)。

通常灰化的温度是 450°C 到 500°C，从在 500°C 热 1 小时到在 450°C 数小时均可。马福炉不应预热，在置入样品后从冷却状态开始。这样可以防止突然的暴燃作用，在溶解阶段加入硝酸以促进亚铁盐的氧化。

操作

适于测定钠、钾、钙、镁、铁和锰，但不适于磷，如材料含钙质时也适用于磷。

1. 称 0.5 克干燥的粉碎样品于一用酸洗过的干燥瓷坩埚中。
2. 在 500°C 下灼烧 1 小时。注意空气能通入马福炉，和打开排烟孔。
3. 令其冷却，加入 5 毫升 HCl(1+1) 并加热以溶解残渣。
4. 加入 0.5 毫升浓 HNO₃ 并在沸水浴上蒸干。(如需测定硅则继续加热 1 小时以使残渣脱水。)
5. 加 2 毫升 HCl(1+1)，轻旋、缓热以溶解残渣并稀释之。
6. 通过规定的滤纸过滤到 100 毫升容量瓶中，洗涤残渣并稀释滤液至刻度。此溶液含 1% HCl(V/V)。
7. 按同一操作制备空白溶液。

3.5.2 酸消煮法

有机质的酸降解是一系列氧化过程，并便于在最后的溶液中与其它养分一起测定磷甚至氮。通常酸降解操作优于干灰化法。一些注意之点列于下面。

(1) 在某些情况下为氧化有机质而使用过氯酸，因某些过氯酸盐具爆炸性而发生危险。分析化学学会(1959, 1960)和 Gawen(1956)曾提出使用过氯酸的建议。书中提出的操作方法是把硫酸加入消煮混合液中以减低变干的可能性。在相继的分析中，任何干扰可借在标准溶液中包含硫酸而排除。

(2) 强氧化剂如硝酸和过氯酸能迅速地完成氧化过程，但会赶走氮，这是一般性规律。不强的氧化剂如在硫酸中的过氧化氢，氧化进行较慢且需一催化剂，但在反应中氮能

保存下来。

(3) 样品重量大时在操作上是不方便的，因此对于微量元素的测定不如干灰化法合适。

(4) 脂肪性材料如某些种籽，氧化起来比较困难。建议用硝酸进行预先消煮。如按下述操作进行，则因形成不溶性盐如过氯酸盐和硫酸钙而使养分损失可以避免，甚至用养分丰富的样品也是一样。以硫酸铁形式的铁的损失是可能的，但将冷却的消煮液稍加稀释并使溶液煮沸将使沉淀重新溶解。锰以氧化物的形式损失只在富含锰的样品中发生，并且这可借稀释和加数滴硫酸使之减少。

两个酸降解系统已证明是适用于多种植物和凋落物样品的，现列于下面：

硝酸——过氯酸——硫酸

(适于钠、钾、钙、镁、铁、锰和磷的测定，但不适于氮。)

操作

1. 称 0.2 克研磨过的干样品置于—50 毫升克氏烧瓶中。
2. 加入 1 毫升 60% HClO_4
5 毫升浓 HNO_3
1 毫升浓 H_2SO_4
3. 在稳火上消煮直到冒出白烟。
4. 猛热数分钟以赶走大部分的过氯酸并令其冷却。酸消煮液此时须无色或偶具粉红色(由于锰)。如为黄色或棕色须加数滴过氯酸重新加热。
5. 将溶液稀释，如需测定铁则煮沸数分钟。用 Whatman 44 号滤纸过滤并稀释至预定体积。(稀释至 100 毫升将得到 1% 硫酸溶液，这是便于相继的分析使用的。)
6. 按同一操作制备空白溶液。

过氧化氢——硫酸

(适于氮和前一系统所列的各种金属。加硒作催化剂并加锂盐以提高沸点。)

操作

1. 制备消煮混合液：加 0.42 克 Se 和 14 克 $\text{Li}_2\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 于 350 毫升 100 vol 的 H_2O_2 中。充分混合并小心地加 420 毫升浓硫酸。在加酸时要使此混合液冷却。
2. 称 0.4 克干的研磨过的样品于一合适的克氏烧瓶中。
3. 加 4.4 毫升消煮混合液。
4. 在稳火上消煮直到初期反应结束。
5. 继续消煮直至得到一澄清并几乎无色的溶液。
6. 将溶液稀释，如欲测定铁还要将溶液煮沸。
7. 通过适宜的滤纸过滤并稀释至所需体积。(稀释至 50 毫升得到的是 5% 硫酸溶液，如多数分析需 1% 溶液时，则须再稀释 5 倍。)
8. 按同一操作制备空白溶液。

在两种系统中从滤纸上的残渣中回收硅(灼烧)便得到硅的近似的测定。

如采用系统(a)，氮必须同另外的降解法进行测定。7.8 中所述之克氏法是适用于土

壤和植物样品的。

如采用系统(b),氮与其它元素便一起测定。但此法最好不用于测定土壤氮,因为为了破坏土壤有机质硒作为催化剂的作用远不如氧化汞。

4 动物组织

用于分析植物的多数方法也适用于动物组织和粪便材料。但这类样品的初步处理上有些问题。例如脂肪组织、骨和毛的糊化用以制备分析均质样品是十分困难的,并且在这些情况下,以个别器官或成分的测定为宜。小的无脊椎动物的样品一般较易于制备但必须有足够的材料。

在这样性质的一本书中只能突出一些主要的困难和提出可试用的一般处理方法。动物材料分析的详细资料应向专门研究动物保健和营养的研究机构索取。

4.1 采集和贮存

一个动物种群的有代表性的样品采集需要专门的技术,但这不属于本章的范围。从统计学上考虑采集有代表性的种群样品是比较困难的。须考虑的因子有:

- (1) 个体和种群的年龄。
- (2) 个体和种群的健康状况。
- (3) 种群的大小。
- (4) 种群的分布。
- (5) 季节的影响。

在采集到样品后必须尽快地进行干燥和分析。如不得不拖延时,建议进行低温冰冻贮藏。

4.2 干燥和研磨

动物组织用冰冻干燥法比用烘干法更为安全,因冰冻干燥可使挥发性成分的损失降低。冰冻干燥的材料可以弄得很碎和成糊。脂肪含量高的动物组织难于用研磨植物材料的磨加以研磨。如果样品先用液态氮使在很低温冷冻度下,动物组织在处理上便会比较方便。小量的鲜样品可用组织匀浆机或搅肉机制备匀浆。只有小的哺乳动物可用整只作匀浆。对于较大的动物通常选用特定的器官或组织进行分析。

4.3 样品溶液的制备

干灰化和酸降解两者都可用,但须注意某些限制。用干灰化法时有丢失磷的危险,而用两个系统的酸降解时,许多组织中的钙将以硫酸钙的形式沉淀,除非处理小重量的样品。脂肪性材料在消煮上也比较困难,尽管预先用硝酸处理是有帮助的。对氮的消煮需用克氏技术。某些动物产物如粪便或内脏,通常可用与处理植物材料的相同办法。但这

些材料含有分解产物,处于极不稳定的状态,因此应尽量减少处理,尤其是烘干法(Greenhill,1960)。

5 水

陆地生态学有关的水包括雨水、径流的水、叶层淋洗液和茎干流动的水。这里叙述的分析技术也可用于测定开放的淡水水域中总盐量或溶解盐量,但研究湖泊和池塘中的化学平衡乃是湖沼学的问题而不是陆地生态学的问题。海洋生态学虽不属于本书的范围,但许多分析技术在做某些改动之后也是可用的。

关于水质分析的进一步的参考材料可从《水质测定标准方法》(Standard Methods for the Examination of Waters)(1971)中得到和从《环境总局》(Department of the Environment)(1972)得到。专供湖沼学家需用的书籍有 Mackereth(1963)和 Golterman(1969)的著作。Giaccio(1971)讨论了水样的采集。在 Allen 等(1974)的著作中也考虑了水质测定的问题。

5.1 采集和贮存

为提供养分报告的分析,水样的采集并非总时那么容易的。在第5节开始所列的水域类型均须特殊的技术,只有河水要将一聚乙烯瓶子浸入三分之一深度即可。

雨水的采集特别困难,必须考虑以下几点:

(1) 场所的选择。这对丘陵地区、林地和建筑群的地方尤须严格。须参看气象台的标准。

(2) 在场所上计量器的随机分布是必需的,这样可以得到克服偏倚的结果。

(3) 为得到变异性的估计和消除任何由鸟粪引起的显著污染,重复必须是充分的。

(4) 雨量计的上口至少比地面高出1米以避免土壤溅污。

(5) 漏斗和集水桶必须是玻璃的或聚乙烯的。(不应用标准气象台的雨量计。)

(6) 收集必须每天进行。

即使采取这些预防措施,但仍可能得到错误的分析数值,因此,在解释结果时要特别小心(Gore 1968)。

对水样进行防腐处理是需要的,除非可以立即进行分析或在采样后几小时内进行分析。贮存在恰在冰点之上的温度下是短时期的一种安全处理。冰冻贮存对多数矿质元素和磷是适宜的,但对铁、铝和硅的测定则不大理想。化学防腐剂,如氯化汞能抑制微生物活动,但使用之后会对相继进行的分析发生干扰。这些防腐剂有许多对人也是有剧毒的,使用时要特别谨慎。Heron(1962)提出向聚乙烯贮瓶注入碘以防止细菌的生长和吸收磷。加几滴盐酸或硫酸于样品中使pH降到大约为1能有效地抑制细菌生长。这种处理也对铵态氮的稳定有用,并可防止铁和其它重金属沉淀。此外,溶解的和胶体的有机质在低pH下会沉淀出来,并且吸收养分离子,否则这些离子会留在溶液中。氯仿或甲苯作杀菌剂虽被广泛使用,但并非总是充分有效的。

5.2 预备性试验

有一些有用的预备性试验,特别是对于水,可以在采样后尽快地进行,并且用未经过滤的样品在作任何处理之前完成。

5.2.1 总悬浮固体

干燥和称量一玻璃纤维滤纸。在一漏斗上使一已知体积的样品通过滤纸,干燥和称量此滤纸。计算总悬浮固体的百分数。

5.2.2 总溶解性固体

称一干燥的蒸发皿。取测定过总悬浮固体的滤液一定量进行蒸发干燥。再称蒸发皿的重量并计算总溶解性固体的百分数。

5.2.3 总有机质

称一预先灼烧过的瓷蒸发皿,加入已知容积的未过滤的水并蒸发至干燥。重称此蒸发皿。在 500°C 下灼烧残渣1小时。重称之。蒸发皿加干燥残渣与蒸发皿加灼烧过的残渣之间的差即为有机物的度量。

5.2.4 pH

最好使用pH计(见6.4节)。比色法是不太合适的,特别是对有色的样品,试纸是很不适用的。

5.2.5 电导度

比电导,或一水样的电导度是总的离子浓度的一个度量。比电导,比电阻的倒数,是用一低伏交流惠斯通电桥于一电导池中进行测定。许多种市售的仪器均可用。在测定之前样品不过滤也不须处理。

多数鲜水的电导度很低,因此用 $\mu\text{S cm}^{-1}$ 表示而不用较老的 mho/cm 。电导池用适宜的氯化钾溶液($0.01\text{ MKCl}=1412\ \mu\text{S cm}^{-1}$ 或 $0.001\text{ MKCl}=147\ \mu\text{S cm}^{-1}$ 两者均在 25°C)校准。电导池常数(C)可从测定标准溶液以欧姆表示的电阻(R_{KCl})和该溶液在 25°C 下的比电导(R_{KCl})而算出。

$$C = R_{\text{KCl}} \times K_{\text{KCl}}$$

电导度随温度而变化,因此结果必须用一标准温度来(通常为 20°C 或 25°C)表示。这可用将样品置于标准温度下,或借一在电导仪中的补偿线路来完成,或用计算办法:

$$K_{20} = \frac{C}{R_t} \cdot f$$

式中 K_{20} = 在 20°C 时的比电导,

R_t = 在 $t^{\circ}\text{C}$ 时测出的电阻,

$$f = 1.02^{20-t}$$

在酸性水中氢离子可占总电导度的主要部分，减去由于氢离子产生的电导度而剩下一校正过的电导度(K_{CORR})，这在生态学上常是很有意义的，校正过的电导度更能代表在溶液中的植物养分。

$$K_{CORR} = K_{20} - (K_H^+)^{20}$$

这方面曾经 Sjörs(1950)叙述过，并为其他工作者作为一种在田间条件下研究泥炭生态系的基本状况和全部营养关系的简便方法。

5.2.6 碱性和酸性

碱性在多数的碱性水中，主要是碳酸离子和重碳酸离子，和氢氧化离子的度量。磷酸盐和硅酸盐也参与，但数量常少。碱性和酸性两者均可用标准酸或标准碱滴定 100 毫升水按如下办法测出：

水的 pH	滴定液	指示剂	结果
<4.5	0.01 M NaOH	甲基橙	“酸度”
4.5—8.3		甲基橙	“总碱度”
>8.3	0.01 M HCl	酚酞	“OH ⁻ 碱度”

结果用 $\text{mg l}^{-1}\text{CaCO}_3$ 来计算和表示。通常酚酞和甲基橙滴定两者可以在同一样品中很好的完成，因此总碱度的近似组成可以推测出来。进一步详细的可参看《水质研究的标准方法》[Standard Method for Examination of Water,(1971)]和环境总局[Department of the Environment(1972)]。

5.2.7 溶解的氧

由于在样品采集和随后的操作中难于与空气隔绝，最好直接在田间测定。为此目的可使用几种仪器；Mackereth (1964) 设计的电极因其便于携带和简单故使用起来尤为方便。它已由一些厂家生产。经典的 Winkler 滴定法（在环境总局(1972)中作过详细介绍）仍是经常使用的，并且不需要任何专门的仪器。

5.2.8 溶解的二氧化碳

最适宜的测定方法是列线图解法(水质研究的标准方法,1971)，二氧化碳数值由总固体含量、重碳酸盐碱度、pH 和温度的测定导出。

5.3 为进一步分析制备溶液

5.3.1 溶解性成分

最好阴离子和阳离子存在于真溶液中，每种元素在过滤去掉悬浮物后均可直接测定。然而有色的或混浊的滤液如用比色法测定时会出问题。样品可借絮聚法澄清，但此项操作会因吸附而使离子损失。用蒸发和氧化来消除颜色则测定的将不是可溶性成分而是总量。

在溶液中某些金属离子的浓度可能非常低，以致难于简便地进行测定。在这种情况下在与 APDC(吡咯烷氨羧酸铵, ammonium pyrrolidine dithiocarbamate) 混合后，提取到一小容积的有机溶剂中，是一个合适的浓缩步骤。(Brooks 等, 1967, Christian 和 Feldman,

1970)。

使样品蒸发浓缩是不合适的，因为这将使粘度和颜色增加。阴离子的总量是有一定意义的，对于弱酸盐可估算为碱度，或对强酸盐用离子交换法进行估算(Mackereth, 1963)。

5.3.2 总成分

总浓度的测定在蒸发和有机质氧化后进行。方法通常是用于金属和磷。不适用于水中的氮，而分别测定有机的和无机的成分中的氮通常是有很大意义的。

有机质破坏的方法

1. 量取适量的未经过滤的水置于一小底的锥形瓶(Taylor 的样式)中或圆底瓶中。
2. 加 0.5 毫升浓硫酸。
3. 煮沸直到白烟出现，但不要使其变干。
4. 加 1 毫升 60% HClO_4 和 2 毫升浓 HNO_3 。
5. 消煮到发白烟，并只继续几分钟。小心不要煮干。
6. 稀释，通过 Whatman 44 号滤纸过滤，并稀释至需要的体积。(稀释至 50 毫升将得到 1% 的硫酸溶液，这对相继的分析是方便的。)
7. 按同一方法制备空白溶液(参看注解)。

注解：空白测定不须用蒸发去离子水或蒸馏水代替水样，因为这会增加新的因子。空白测定从消化阶段开始为好。

6 非专性测定

下面讨论和叙述的测定主要适用于土壤和植物材料。仅适用于水的测定已于 5 中讨论过了。

6.1 含水量

由于在可挥发成分不丢失或有机质不受到某种破坏的情况下不可能去掉所有的水，因此干燥状态是很难确定的。甚至在 40°C 时可挥发物即可发生损失，而在较高的干燥温度下与有机物质结合的某些结构水和在土壤矿物晶格中的水都可保留住(Mitchell, 1951)。为了实际的目的这些误差在测定鲜物含水量上影响不大，只是在含水量非常低时才显得重要。因试验材料的净干重多少受些影响，故须避免在 105°C 下长时干燥。

操作：

1. 在 105°C 下干燥一个带盖的合适的容器历数分钟。在干燥器中冷却。
2. 称空的容器的重量，然后称此盛有适量新鲜样品的容器。样品量必须有足够代表性，但不要将容器压得太紧。
3. 去下盖子在鼓风干燥箱中，在 105°C 下干燥 3 小时。在干燥器中冷却并再次称重。
4. 重复干燥 1 小时直到达到恒重。

要求水分作为一项分析结果则计算为水分的百分数，如为了以干重作基础用于其它结果的换算，则计算为干物质的百分数。测定风干材料含水量的步骤是同样的，只是这种

数据主要用于校正的。

6.2 灼失量和粗灰分

在可挥发的无机成分不受损失的情况下赶走最后的微量的碳是很难做到的，因此这里存在一个与在含水量(6.1)中所讨论过的相似的基本问题，亦即确定残留的矿物质状态的问题。不过通常所产生的误差是比较小的，除非灼失量(土壤)或粗灰分(植物材料)的数值十分的小。如果用灼失量代表近似的有机质测定时，这个问题却不可勿视(7.4节)

操作

1. 称一瓷坩埚，加入 1 克筛过的干土样或研磨过的干植物样品并再称重。
2. 在马福炉中在 500°C 下灼烧。土样约需 4 小时，而植物、粪便和泥炭只需约 1 小时。使其中放入样品的马福炉从室温开始逐渐达到所需的温度以避免燃烧。保证空气流通。
3. 取出坩埚，在干燥器中冷却并称重。
4. 得到土样的净失重或植物样品的净灰重。两者均按干重百分数进行计算。

在多数情况下，灼失量或粗灰分须与含水量测定顺序进行，程序是先称鲜样品或风干样品重量，在干燥箱中干燥，再称重，然后灼烧并再称重。这样可以免称量烘干样品，而称烘干样品是容易发生误差的。

6.3 去硅(植物材料)

操作

1. 如上所述(6.2)灼烧一已知重量的干样品。
2. 称量冷却的残余物的重量并得出灰的净重。
3. 加 3 毫升 HCl (1+1) 于残余物中并加热使之溶解。如准备分析滤液则加入 0.5 毫升 HNO₃。在蒸汽浴上蒸发干燥并加热 1 小时以使硅脱水。
4. 加 2 毫升 HCl (1+1)，加热，稀释，将溶液过滤并在滤纸上收集硅。
5. 在一预先称过重量的坩埚中灼烧滤纸，然后重称坩埚和残渣的重量。
6. 得到硅之净重并计算在原来样品中硅的近似百分数。

$$\text{无硅的灰分 \%} = \text{粗灰分 \%} - \text{硅的 \%}。$$

6.4 pH (土壤, 水)

水和土壤的水提取液的 pH 值是容易测定的(尤其是使用 pH 计)，但解释起来却不容易。铝对土壤 pH 值的影响尤其不能忽视(Coulter, 1969)。

操作

1. 按仪器说明开动 pH 计，使用玻璃电极和甘汞电极和温度补偿钮(如果有的话)。玻璃电极-甘汞复合电极则更为坚固并宜于在田间使用。
2. 用两种缓冲液校准仪器。

3. 使用的水土比约为 2:1。
4. 搅拌使土壤与水混合并静置约 20 分钟。测定上部清液之 pH。
5. 务使缓冲液的温度与样品溶液的温度一致,并将温度补偿钮旋至相应的温度。这里没有给出详细的操作说明,读者可参阅 Bohn(1971)和 Hesse(1971)的著作。

6.5 氧化还原电位 (土壤)

在土壤中具有某些重要的氧化还原系统,它们控制着例如铵态氮和硝态氮之间的平衡或铁和锰的移动性。氧化还原电位,通常作为检查土壤可能的还原状况而测定,用一个具有毫伏刻度并用白金电极代替玻璃电极的 pH 计是容易测定的。其它的专门仪器和电极也可用。这里没有详细的说明,读者可参阅 Bohn(1971)和 Hesse(1971)的著作。

7 个别元素的测定

7.1 一般注意事项

7.1.1 仪器的技术

在这一节中为多数元素的测定所使用的两种分析技术是原子吸收法(及火焰发射法)和比色法。这两种方法以其快速和技术上的简便而被推荐使用,而且分析结果是很准确的,并在多数情况下可以免除干扰。某些重量法和容量法也作了介绍。Snell 和 Snell (1959)曾对广泛范围的元素的比色法作过叙述,Sandell (1959)介绍过测定金属元素的方法。Edisbury(1966)提出了关于吸收光谱的某些实践要点。

Christian 和 Feldman(1970)、Ramirez Munoz(1968)、Elwell 和 Gidley(1966)、Price(1972)对原子吸收光谱的原理和应用曾做过充分的讨论。L'vov (1970)和 Dagnall 与 Kirkbright (1970)曾对特殊的应用和后来的发展做过讨论。后面将对各元素进一步详细介绍,但在这里作一概述是方便一些的。

开动所有的仪器要根据工厂说明,这一点是很重要的。对火焰仪器尤其如此,如其中关于气流、火焰点燃操作等的详细说明,是针对特定的型号的。必须根据使用的气体而选用适合的灯具。某些方法为抽吸土壤提取液还有特殊的灯头如象醋酸铵便会很快的以碳将一般的灯具堵塞。在火焰工作中误差的各种原因有:

- i. 喷雾系统的堵塞。
- ii. 空气和燃料气比例的变化。
- iii. 单色器的移动。
- iv. 燃料供应压力低。
- v. 空阴极灯的运动。
- vi. 火焰和化学的干扰。

这些误差来源在上面提出的参考书中已有讨论,但为控制更重要的干扰的细节,尤其对钙和镁,将在本节的下文中适宜的地方提出。

7.1.2 样品溶液和标准液

溶液须按 2.6、3.5、4.3 或 5.3 节中给出的方法制备。消煮液稀释至刻度须使酸的浓度为 1% 或 5% (V/V), 但只有 1% 的溶液是供提出的方法进行分析用的。酸含量高可使火焰设备的喷雾装置和灯具很快受腐蚀, 并在某些比色法中引出不必要的 pH 控制问题。

标准液的配制按每一元素给出的方法进行。在火焰法和比色法两者当中, 标准液必须与样品同时测定, 并需要含有相等水平的基础成分(酸、土壤提取剂等等)。在火焰工作中含有两个或更多元素的标准液是允许的, 但并不是全都适用的, 因为在其制备期间彼此污染是难以避免的。

在火焰方法中任何为特殊目的必须稀释至 1%(V/V) 以下的样品溶液, 须含有足够的基础成分以便恢复到原来的水平。这可以省去增加一组标准液的配制。用原子吸收光谱法测定钙和镁必须制备特殊的稀释液(参看 7.3.1 节和 7.6.1 节)。这些溶液和它们的标准液必须包括铜以控制干扰, 以及必须的基础成分。这些稀释液的细节概括在表 8.2 中。

7.1.3 校准曲线

在比色法中描述的校准曲线中, 在引用的范围内为一直线, 但在火焰系统中, 曲线只是在较低范围内为直线, 而在较高浓度时便不是直线了。

7.1.4 计算

为了避免重复, 在每个方法中并没有列出计算步骤。大多数操作包括火焰发射、原子吸收或比色和典型计算可以给出标准的形式作为指导。下列诸点对每种计算却须考虑:

- i. 必须从曲线中读出空白值, 并在最后计算之前将其减去。
- ii. 需要时对稀释和浓缩的因子必须包括进去。在用原子吸收测定钙和镁时必须有一稀释因子, 因为须引入铜。
- iii. 需要时最后数值须校正为干重基础。
- iv. 结果须按 1.1 节中所示的来表示。

计算如下:

1. 火焰发射和原子吸收

如从校准曲线中得到 $C = \text{mg l}^{-1}$ 元素, 则

植物材料:

$$\text{总元素}(\%) = \frac{C(\text{mg l}^{-1}) \times \text{溶液体积}(\text{ml})}{10^4 \times \text{样品重}(\text{g})}$$

土壤:

可提取元素($\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$) = 如上 $\times 10^3$

水:

$$\text{溶解元素}(\text{mg l}^{-1}) = C(\text{mg l}^{-1})$$

2 比色法

如 C = 由校准曲线查出测定用样品液中元素的毫克数, 则植物材料:

$$\text{全量元素(\%)} = \frac{C(\text{mg}) \times \text{溶液体积}(\text{ml})}{10 \times \text{测定用样品溶液}(\text{ml}) \times \text{样品重}(\text{g})}$$

土壤:

可提取元素($\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$) = 上式 $\times 10^3$

水:

$$\text{溶解的元素}(\text{mg l}^{-1}) = \frac{C(\text{mg}) \times 10^3}{\text{测定用样品溶液}(\text{ml})}$$

3 滴定

多数滴定法的计算如在比色法中所述, 除了 $C(\text{mg})$ 为滴定值 ($\text{ml}) \times A$ 所代替, 这里 $A = \text{mg 元素/ml 滴定液}$ 。GEG 计算(2.6.4)以 $\text{me } 100 \text{ g}^{-1}$ (每 100 g 之毫克当量数)表示, 计算方法也作了介绍。5.2 和 7.4 节包括的以克分子为基础的计算和全部计算方法。

7.2 在土壤中和在植物材料中典型的养分水平

在生态学材料中发现的养分水平的某些典型范围列于表 8.3, 但 越出这些范围限度的结果也是有的。Allen 等(1974)对生态学材料的化学组成有更进一步的报道。

7.3 钙

7.3.1 原子吸收法

原子吸收是测定钙的快速而灵敏的方法。来自铝、磷和铁的干扰可加入作为释放剂的镧的而加以控制。火焰发射因其欠灵敏而不大适用, 除非使用非常强的火焰。

操作

1. 按照 2.6, 3.5, 4.3 或 5.3 节所述方法准备样品溶液, 并稀释至适当体积(参看注意事项)。
2. 稀释并在稀释液中包含足够的镧, 以使在植物溶液和水中有 400 mg l^{-1} 的 La, 在土壤提取液中有 800 mg l^{-1} 的 La。必要时(包括所有土壤提取液)加足够的 10% 硫酸以保证最后的酸浓度为 1%(V/V)。
3. 旋开仪器电钮, 并使空心阴极灯有足够的时间达到稳定。
4. 选择在 422.7 nm 的吸收线, 并按仪器使用说明调整仪器装置、气体和空气流等。空气-乙炔火焰对钙是适合的。
5. 定好零标准液的原点后, 将最高标准液的读数调到适当的数值。
6. 检查零标准液和最高标准液读度的稳定性。抽吸此范围内各标准液绘制校准曲线。

表 8.2 灰化、消化或浸提所制备的样品溶液的稀释

溶液制备	分析项目	所需试剂	分析用溶液组成	参考本书章节
干灰化	阳离子 (除 Ca、Mg 外) Ca+Mg 用原子吸收	10% HCl 10 HCl 5000 mg l ⁻¹ La	1% HCl 1% HCl + 400 mg l ⁻¹ La	La 溶液制备见 7.3
HNO ₃ /HClO ₄ / H ₂ SO ₄	阳离子+P (除 Ca、Mg 外) Ca+Mg 用原子吸收	10% H ₂ SO ₄ 5000 mg l ⁻¹ La	1% H ₂ SO ₄ + 400 mg l ⁻¹ La(植物) 或 800 mg l ⁻¹ La(土壤)	La 溶液制备见 7.3
H ₂ SO ₄ /H ₂ O ₂ 消煮	阳离子 P+N (除 Ca、Mg 外) Ca+Mg 用原子吸收	5% 消煮空白 (见注 1) 5% 消煮空白 (见注 1) 5000 mg l ⁻¹ La	1% H ₂ SO ₄ + Se+Li ₂ SO ₄ 1% H ₂ SO ₄ +Se+ Li ₂ SO ₄ +400 mg l ⁻¹ La	La 溶液制备见 7.3
2.5% HOAc 土壤提取	阳离子+P (除 Ca、Mg 外) Ca+Mg 用原子吸收	10% HOAc 10% HOAc 10% H ₂ SO ₄ 5000 mg l ⁻¹ La	2.5% HOAc 2.5% HOAc 1% H ₂ SO ₄ 800 mg l ⁻¹ La	La 溶液制备见 7.3
M NH ₄ OAc	阳离子 (除 Ca、Mg 外) Ca+Mg 用原子吸收	4 M NH ₄ OAc 4 M NH ₄ OAc 10% H ₂ SO ₄ 5000 mg l ⁻¹ La	M NH ₄ OAc M NH ₄ OAc + 1% H ₂ SO ₄ + 800 mg l ⁻¹ La	在 4 倍浓度下制备 4 M 溶液见 2, 6.3 La 溶液制备见 7.3
克氏消煮	仅为 N	—	5% H ₂ SO ₄	见注 2

注: 1. 用稀释到最后体积的 1/5 消煮空白。消煮须回流至少 30 分钟以防止硒在稀释时沉淀。

2. 克氏消煮由于制备大量的消煮空白的困难, 通常不稀释。如果样品在正常的标准范围之外, 最好用减量的样品重新消煮。

3. 所有的酸都按容积基础制备。

表 8.3 主要营养元素在土壤中和在植物中的典型浓度(干重基础)

元 素	植 物 材 料 ¹ % 元素	土 壤 (可提取元素 mg 100 g ⁻¹)	
		低	高
K	0.5—4	10	30
Ca	0.2—5	10	200 ²
Mg	0.1—0.5	5	30
Mn	0.01—0.2	0.1	2
NH ₄ -N	—	0.5	2
NO ₃ -N	—	0.2	1
PO ₄ -P	—	0.2	2
		% 元素	
全 N	0.8—3	0.1—0.5 ³	
全 P	0.1—0.3	0.02—0.2	

注: 1. 只是光合组织。不包括肥料材料和农作物样品。

2. 在钙质土中可能更高。

3. 在有机的土壤中稍高。

7. 抽吸样品。不时用最高标准液和零标准液检查其稳定性。
8. 经常用水冲洗,并在每一批样品之后至少用水冲洗 1 分钟。
9. 作标准曲线图,读出样品浓度,用空白读数校正,并算出原样品的浓度(见 7.1.4 a)。

试剂和标准液

1. 初级标准溶液($1000 \text{ mg l}^{-1} \text{ Ga}$)。

2. 4.973 克干燥的 CaCO_3 溶于含有 5 毫升浓 HCl 的 200 毫升水中,煮沸以驱掉 CO_2 , 冷却,并用水稀释至 1 升。

2. 二级标准溶液。

将初级标准液适当地稀释成代表一定范围的标准液。最大的标准液不要超过 100 mg l^{-1} 。在每个标准液中均含有足够的 $\text{LaCl}_3 \cdot 7 \text{ H}_2\text{O}$ 溶液,对植物样品溶液的最后浓度为 $400 \text{ mg l}^{-1} \text{ La}$,土壤提取液为 $800 \text{ mg l}^{-1} \text{ La}$ 。向每个标准液中加入 10% H_2SO_4 以使酸的最后浓度为 1%。必要时也包括土壤浸提液在内(7.1.2)。

3. 氯化镧溶液($5,000 \text{ mg l}^{-1} \text{ La}$)。

溶解 6.6837 克 $\text{LaCl}_3 \cdot 7 \text{ H}_2\text{O}$ 于水中。加 1 毫升 2 $M \text{ HCl}$ 并稀释至 500 毫升。

4. 硫酸,10% V/V 。

注:钙和镁必须用特定的稀释的含镧溶液进行测定以控制干扰。这种稀释液对其它元素的测定是不适用的。

7.3.2 EDTA 滴定法

此方法包括使用 EDTA(乙二胺四乙酸二钠盐),它能与许多元素在特定 pH 值下形成稳定的络合物。在钙的测定中可用各种指示剂,但在许多情况下终点不明显,故指示剂最好与光电滴定装置联合使用。

对多数的有机样品来自重金属的干扰并不严重,但对土壤则干扰显著,并能使终点难于判断。在方法中建议采用高稀释液以减低终点干扰,但如果钙的水平低时此法价值受到限制。

可测出约 10 微克的钙,但对生态学样品在正常的含钙水平下的可重复性未必优于 $\pm 5\%$ 。

操作

1. 按在 2.6、3.5、4.3 或 5.3 节中所述制备样品溶液并稀释至适合的体积。

2. 5 毫升 M 氢氧化钠与指示剂(0.1 克红紫酸铵 murexide, 5 滴茜素蓝黑(Galcon)或 5 滴乙二醛)混合并用水稀释至约 100 毫升。这提供一浅蓝色的参照终点。

3. 按下述标定 EDTA: 吸取 10 毫升标准钙溶液于一滴定瓶中,加水、氢氧化钠和上述指示剂。用 EDTA 滴定直到颜色与参照终点相一致。

4. 吸取适量的(直到 5 毫升)样品溶液于一滴定瓶中,加水、氢氧化钠和指示剂,如上用 EDTA 滴定。

5. 按同一操作进行空白测定,并从样品数值中减掉。计算原样品之含钙量(见

7.1.4 c)。

试剂和标准液

1. 钙标准液($100 \text{ mg l}^{-1} \text{ Ca}$)。

溶解 0.2497 克干燥的 CaCO_3 于含约 1 毫升浓 HCl 的水中。

煮沸以驱掉 CO_2 , 冷却并稀释至 1 升。

2. EDTA 溶液(1 毫升 = 0.1 毫克 Ca)。

溶解 0.931 克 EDTA 二钠盐于 1 升水中, 并用标准钙溶液(见上述)标定此溶液。

3. 氢氧化钠 $M(40.01 \text{ g l}^{-1})$ 。

4. 指示剂

(1) 红紫酸铵(murexide): 将 0.1 克红紫酸铵与 50 克 NaCl 于一研钵中一起研磨, 贮于一暗色瓶中。

(2) 茜素蓝黑(Galcon): 溶解 20 毫克茜素蓝黑于 50 毫升甲醇中。每周制备一次新鲜的。

(3) 乙二醛: 溶解 0.20 克 glyoxal-bis-(2-hydroxyanil)于 50 毫升甲醇中。

7.4 碳

7.4.1 有机碳

适于测定在土壤和植物材料中的有机碳的方法可以分成两个主要类别, 绝对法和“快速”法。两个绝对法操作为干式燃烧法和湿式氧化法。

干式燃烧法包括在小心控制的条件下燃烧样品并测定释放出的 CO_2 。虽然在实验室中可以按装燃烧装置, 而通常使用的是商品器具, 其中有的是部分自动化的, 有的是全自动化的。Ingram(1948, 1956)对原理作过充分的讨论。

湿式氧化法用强酸和氧化剂去破坏有机质并使 CO_2 游离出来。快速法也是基于一酸化系统, 但只是部分地氧化有机质, 故须作某种形式的校正。

如欲得到有机碳的近似估计, 可从灼失百分数中得到, 这是有机质的一种粗略测定。一个经常使用的因子是基于假定土壤有机质含碳 58%, 但 Ball(1964)和 Howard(1966)对这个假定的真实性提出了疑问。

(1) 湿氧化法

Glark 和 Ogg(1942)叙述的酸化法, 已与二氧化碳的重量分析测定结合起来(Shaw, 1959 和 Allison 1960)。

此方法对土壤和植物样品是适用的, 并在碳的正常水平下准确度可达 $\pm 1\%$ 。

操作

装置的图解如下(图 8.1)。

1. 前吸收管用 4 到 10 目的苏打石灰装满。

2. 在开始测定前使空气通过装置约 30 分钟。

3. 在此 30 分钟期间, 用 10—16 目的苏打石灰和过氯酸镁填装 U 形吸收管并塞好

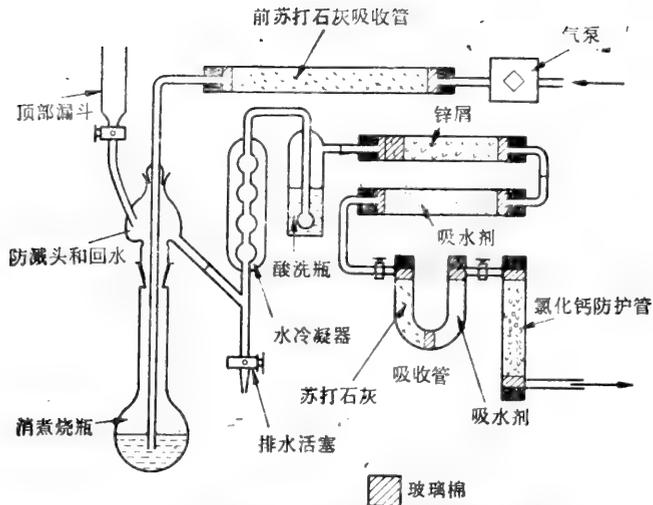


图 8.1 适用于土壤和植物样品中碳测定的酸氧化装置

塞子(使用变色苏打石灰可以指出当 U 形管中的苏打石灰何时必须更换)。

4. 称 U 形管的重量。
5. 称放入消煮瓶中的样品重量(植物样品为 0.10 克于 50 毫升瓶中, 绝大多数土壤为 0.5—1.0 克于 100 毫升瓶中, 在所有情况下均宜用烘干材料)。
6. 加入 3 克 $K_2Cr_2O_7$ 和 3 毫升水混合。
7. 将烧瓶与 V 形管联接到装置上, 并使空气以约每分钟 30 到 35 毫升通过。(每秒钟约 2 个气泡, 使用硫酸瓶作为气流速度的指示器。)
8. 量取 25 毫升消煮混合液放到分液漏斗中, 缓慢地放入消煮瓶中, 恰在最后几滴滴下之前关闭活塞以隔绝空气。
9. 用一小喷灯连续加热烧瓶约 15 分钟。
10. 保持气流, 并在加热 15 分钟后继续使气流通过装置历 20 分钟。
11. 停止气流, 关闭所有塞子, 折下 U 形管并再称重。

计算

$$C(\%) = \frac{U \text{ 形管增加的重量}(g) \times 27.29}{\text{样品重量}(g)}$$

减去空白, 如需要时校正为干重。

试剂

1. 苏打石灰, 4—10 目, 自指示颗粒。
2. 苏打石灰, 10—16 目, 自指示颗粒(吸收管用)。
3. 无水过氧酸镁(‘吸水剂’)。
4. 重铬酸钾, 粉末。
5. 锌丝。
6. 消煮混合液。
混合 3 份浓 H_2SO_4 与 2 份浓 H_3PO_4 (比重 1.75)。

注：湿氧化法因土壤中有碳酸盐而产生误差。碳酸盐可借预先用稀盐酸处理而去掉或以碳酸盐碳测出(见下面 7.4.2)并从湿氧化值中减去。

(2) 快速滴定法

Tinsley 法(1950)曾经 Bremner 和 Jenkinson (1960) 介绍用作对植物材料的定量测定,但对其它天然有机质和土壤,除某些例外,结果偏低。15 个土壤样品的准确度从 87 到 106% 平均为 96.3%,这种变异并不稳定到可以得出一个校正因数。因此对每种类型土壤的滴定数值均须在可能时与绝对法的数值相比较并计算一个校正因数。在正常水平下重复性不优于 $\pm 3\%$ 。

操作

1. 称 50 克样品于一 250 毫升锥形瓶中,瓶口联接一冷的指形冷凝器。
2. 加 25 毫升铬酸混合液并缓缓煮沸 1 小时。
3. 令其冷却后加 100 毫升水。
4. 加 5 毫升指示剂溶液,并用硫酸亚铁铵溶液滴定剩余的重铬酸根。当发生第一次颜色变化时再加 2.5 毫升铬酸混合液,并小心地一滴一滴完成滴定。

计算

如在滴定中使用 T 毫升的 0.4 M 硫酸亚铁铵,则:

$$\text{碳}(\%) = \frac{(27.5 - T) \times 0.12}{\text{样品重量}(g)}$$

减去空白,必要时可校正为干重。

试剂

1. 铬酸混合液, 0.0677 M。
加 19.68 克 $K_2Cr_2O_7$ 和 200 毫升 H_3PO_4 (比重 1.75)于 400 毫升浓硫酸中,稀释至 1 升。
2. 硫酸亚铁铵, 0.4 M。
溶解 156.68 克硫酸亚铁铵($(NH_4)_2SO_4 \cdot FeSO_4 \cdot 6H_2O$)于水中,加 20 毫升浓硫酸并稀释至 1 升。每天配制新鲜溶液。
3. 指示剂溶液。
溶解 5 克 $BaCl_2 \cdot 2H_2O$ 和 0.3 克二苯胺磺酸钡于 100 毫升水中。

7.4.2 碳酸盐-碳

无机碳通常是以钙或镁的碳酸盐的形式存在。许多方法可以使用,包括 Allison (1960)的重量分析法和 Bascomb(1961)叙述的方法,此方法中用稀释盐酸,与土壤中碳酸盐相作用,用碳酸计测出放的二氧化碳。对碳酸盐含量低的土壤,Pitwell(1968)描述的简单装置即完全适用。下面给出的方法是用标准稀盐酸处理土壤,用氢氧化钠溶液滴定法测定剩余的酸。当盐酸与其它土壤成分反应时所得结果偏高。在正常水平下重复性可能不优于 $\pm 5\%$ 。

操作

1. 称量大约 5 克研得很细的样品置于 200 毫升锥形烧杯中。
2. 加 10 毫升 0.5 M 盐酸(=A)。
3. 用表玻璃盖住瓶口,在蒸汽浴上慢慢煮沸约 10 分钟。放冷。
4. 用适宜的滤纸过滤并洗涤残渣。
5. 用 0.1 M 氢氧化钠(=B)滴定过剩的酸,用酚酞溶液作指示剂。(如残余的盐酸很少,开始用酸的体积应加大。)

计算

$$\text{CO}_3^{2-}-\text{C}(\%) = \frac{(5A-B)(\text{ml}) \times 0.06}{\text{样品重量}(\text{g})}$$

减去空白,必要时可换算成干重。

试剂

1. 盐酸,0.5 M。
2. 氢氧化钠,0.1 M。
3. 酚酞,1%W/V。

溶解 0.5 克酚酞于 50 毫升工业酒精中。

7.5 铁

7.5.1 原子吸收法

Allan(1959,1961)和 David(1962)发现原子吸收法适合于测定生物材料中的铁。消煮液中硫酸的存在会减低吸收读数(Curtis,1969),但这可借向标准溶液中加入硫酸而补偿。对于土壤提取液,因硫酸盐的干扰故须对各种土壤类型均作检验,必要时标准溶液须作相应的补偿。本方法灵敏度大约每毫升中有 0.01 微克的铁即可测出,重复性在正常水平下约为 $\pm 3\%$ 。

操作

1. 按在 2.6、3.5、4.3 或 5.3 节中讲的制备样品溶液,并根据需要进行稀释(见注)。
2. 按 7.3.1 节所列操作(从第 3 步骤开始)进行。
3. 测定铁时的波长为 248.3 nm(注意,靠近这个谱线的有两个不灵敏的谱线)。

试剂和标准液

1. 初级标准溶液(100 毫克/升 Fe)。

溶解 0.1 克干净的无锈铁丝于约 10 毫升 10% 的热硫酸中。冷却后稀释至 1 升。

2. 二级标准溶液。

将初级标准液稀释成从 0 到 5 毫克/升的系列。在稀释至刻度前如在 7.1.2 和 2.6.5

中所述加入酸或土壤提取液。

注：消煮液含有硫酸作为最后的酸，故须加 10 至 15 毫升的水并须煮沸然后过滤并稀释至所需体积。这是因为硫酸高铁在无水硫酸中是不溶的，并在消煮的最后阶段从溶液中沉淀出来。

7.5.2 比色法

下述的方法使用 bathophenanthroline 的一种磺酸化的形态，是由 Quarmby 和 Grimshaw (1967) 根据 Riley 和 Williams (1959) 的方法发展的。

此法对多数样品无须修改即可使用，并能测出 2 微克的铁。在正常水平下重复性为 $\pm 2\%$ 。

操作

1. 按 2.6、3.5、4.3 或 5.3 节中所述制备样品溶液，并稀释至适当的体积(见注 2)。
2. 吸取适量的样品溶液，但不要超过 20 毫升，于 50 毫升容量瓶中。
3. 吸取从 0 到 30 毫升的二级标准溶液于 50 毫升容量瓶中，以配制出范围从 0 到 0.03 毫克的标准铁。
4. 向标准液中加入与样品分取液中相当的酸或加土壤提取液。据此处理标准溶液和样品按同样操作。
5. 加 16 毫升混合试剂并稀释至刻度(见注 1)。
6. 用 536 nm 波长或用黄色滤光镜，用水作参比测其光密度。
7. 用标准溶液的光密度作标准曲线图，并从中查出在样品分取液中含 Fe 的毫克数。减去空白。计算在原始材料中铁的浓度(见 7.1.4 b)。

试剂和标准溶液

1. 初级标准溶液(100 毫克/升 Fe)。
按 7.5.1 讲的配制。
2. 二级标准溶液(1 毫克/升)。
用水将初级标准溶液稀释 100 倍。
按常例定期配制新鲜溶液。
3. 磺酸化的二苯二氮菲试剂。
加 4 毫升发烟硫酸(含 20%SO₃)于 0.4 克二苯二氮菲(4:7-二苯-1:10 二氮菲)中。
搅拌直至溶解，静置 30 分钟。倒入 400 毫升水中。
用 NH₄OH 中和到 pH 4 至 5 之间，最后稀释至 1 升。
4. 水合醋酸钠 33%W/V, 330 g CH₃COONa·3H₂O 溶于水，稀释至 1 升。
5. 盐酸化羟(hydroxyl hydrochloride)2.5%W/V。
6. 混合试剂。
以 4:3:1 的比例混合 33%醋酸钠溶液、磺酸化的二苯二氮菲试剂、2.5%盐酸羟胺。
注：1. 醋酸钠缓冲液足以控制相当于 20 毫升 1%(V/V)H₂SO₄ 的酸度。
2. 参照 7.5.1 下面的注解中关于样品消煮液处理部分。

7.6 镁

对这种元素原子吸收法优于任何其它方法。EDTA 法是用差值来测定镁的,其灵敏度较差,且有干扰。比色法不大适用,标准的重量分析法其中包括以磷酸镁铵形式的沉淀,在常规分析时太麻烦。

7.6.1 原子吸收法

用一适当装置可测出 0.005 微克/毫升的镁,在正常含量水平下重复性能达到 $\pm 1\%$ 的等级。在所有溶液中均含有镧,作为消除干扰特别是来自磷的干扰的释放剂。

操作

1. 按 2.6、3.5、4.3 或 5.3 节讲的制备标准溶液,并配成适宜的体积(见注)。
2. 从这步起按 7.3.1 操作进行(从第 2 步骤开始)。
3. 测定镁用的波长为 285.2 nm。

试剂和标准溶液

1. 初级标准溶液(100 毫克/升镁)。

溶解 1.0136 克 $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 于含有约 1 毫升 H_2SO_4 的水中。稀释至 1 升。

2. 二级标准溶液。

稀释初级标准溶液以获得范围在 0 和 3 毫克/升镁之间的标准溶液。要含有足够的 $\text{LaCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 溶液,以使植物消煮液最后浓度为 400 毫克/升 La,对土壤浸提液为 800 毫克/升 La。向各标准溶液中加入 10% H_2SO_4 以使最后浓度为 1%(V/V)。必要时也包括土壤提取液(7.1.2)。

3. 氯化镧溶液(5,000 毫克/升 La)。

溶解 6.6837 克 $\text{LaCl}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 于含有 1 毫升 2 M HCl 的水中,稀释至 500 毫升。

4. 硫酸,10% V/V。

注:钙和镁必须用专门稀释的含有镧的溶液进行测定以控制干扰。这些溶液不适于测定其它元素。

7.6.2 EDTA 滴定法

这个测定镁的方法包括钙和镁两者在一起的测定和钙的单独测定(7.3.2节)。然后从差数中测出镁。由于干扰问题,对许多土壤和植物材料不宜对镁直接滴定。

镁的含量低至 30 微克亦可测出,但由于终点判断上有困难,甚至在正常的含量水平下,精确度高于 $\pm 5\%$ 也是难于达到的。

操作

1. 按 2.6、3.5、4.3 或 5.3 节所述配制样品溶液,并稀释至适宜的体积。
2. 按下述标定 EDTA 溶液。吸取 10 毫升镁的标准液置于一滴定瓶中,并用水稀释

至约 100 毫升。加 15 毫升缓冲溶液, 2 毫升三羟基乙胺和 10 滴指示剂溶液。用 EDTA 溶液滴定从红色到清晰的蓝色。

3. 吸取整数的(最多 5 毫升)样品溶液置于一滴定瓶中。稀释并加入缓冲溶液、三乙醇胺和指示剂溶液, 并如上用 EDTA 溶液滴定。

4. 用同法作空白测定并从样品读数中减去空白值。计算在原始材料中钙+镁的含量(见 7.1.4c)。

5. 按 7.3.2 节所列的方法测定钙。

6. 从钙+镁的数值中减去钙的数值即得出镁的数值。

试剂和标准溶液

1. 初级标准溶液(100 毫克/升 Mg)。

2. EDTA 溶液(1 毫升=0.1 毫克Mg)。

溶液配制与 7.3.2 测定钙的相同。用镁的标准溶液标定同上。对钙和镁的共同滴定, 需用含有两种元素的标准溶液进行标定。

3. 指示剂溶液。

溶解 0.25 克羊毛铬黑 T(eriochrome black T)于 50 毫升工业酒精中——每星期新配一次。

4. 三乙醇胺(triethanolamine)。

5. 缓冲溶液。

溶解 67.5 克 NH_4Cl 于水中, 加 570 毫升 0.88 NH_3 溶液, 稀释至 1 升。

7.7 锰

7.7.1 原子吸收法

这种方法既灵敏且方便, 并较能免除干扰, 唯要求标准溶液和样品溶液中所含的锰在同价状态。在酸消煮中经过氧化价数是很一致的, 但在土壤浸提液中则有变化。

测定锰使用原子吸收法 Christian 和 Feldman(1970)曾作过讨论。多数仪器可测出 0.05 微克/毫升或更低的锰, 在通常浓度下重复性约为 $\pm 2\%$ 。

操作

1. 按 2.6、3.5、4.3 或 5.3 节所述配制样品溶液, 并稀释至适宜的体积。

2. 从这步开始按 7.3.1 节所列方法操作(从第 3 步骤开始)。

3. 测定锰用波长 279.5 nm。

试剂和标准溶液

1. 锰标准溶液。

初级标准溶液(100 毫克/升锰)。

溶解 0.4060 克 $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 于含有 1 毫升浓 H_2SO_4 的水中并稀释至 1 升。

2. 二级标准溶液。

用初级标准溶液适当地稀释配成范围从 0 到 2 毫克/升 Mn 的标准溶液。在调至所需体积之前须包括酸或土壤提取液(参看 7.1.2 节)。

7.7.2 比色法

在碱性溶液中锰与甲醛肟反应形成一棕色络合物。铁和铜因与甲醛肟络合而发生干扰,但这些络合物可借加热溶液而破坏掉。加入过氯酸以防止颜色的过早消退。加 N-羟乙基乙二胺三乙酸(N-hydroxyethyl-ethylene-diamine-triacetic acid 即 HEEDTA)以防止在过量磷的存在下形成沉淀(Bradfield, 1957)。

此方法将能测出溶液中锰低到 5 微克。对多数材料是适用的,唯对水则必须浓缩。在正常水平下重复性约为 $\pm 2\%$ 。

操作

1. 按 2.6、3.5、4.3 或 5.3 节法制备样品溶液并稀释至适当的体积。
2. 吸取适量的样品溶液(通常在 10 和 25 毫升之间)置于 50 毫升锥形瓶中。
3. 吸取 0 至 6 毫升二级标准溶液置于几个容量瓶中以得出范围从 0 到 0.03 毫克的标准溶液。
4. 根据所取样品溶液量向标准液上加酸或提取剂。
从此处开始标准液和样品按相同办法处理。
5. 加 5 毫升过氯酸和 5 毫升 HEEDTA 并充分混合。
6. 用 10% 氢氧化钠调整 pH 在 8 和 10 之间。
7. 加 1.5 毫升甲醛肟,立即再加 2 毫升 10% 氢氧化钠。
8. 稀释至容量瓶颈的基部(不要至刻度)。混合并在 65°C 水浴中放置 2 小时。
9. 冷却,稀释至刻度,充分混匀,测定在 450 nm 处的光密度,以水作参比。
10. 据标准溶液测定值给出标准曲线,从中找出样品溶液中锰的毫克数。减掉空白值。计算在原始材料中锰的浓度(见 7.1.4b)。

试剂和标准溶液

1. 初级标准溶液(100 毫克升/锰)。

按 7.7.1 节讲的配制。

2. 二级标准溶液(5 毫克升/锰)。

用水将初级标准溶液稀释 20 倍。

3. 甲醛肟试剂。

溶解多聚甲醛 20 克和硫酸羟胺 $(\text{NH}_2\text{OH})_2\text{H}_2\text{SO}_4$ 55 克于沸水中,冷却后稀释至 100 毫升。

在使用前随时用水稀释 10 倍。

4. 氢氧化钠,10%W/V。

5. 过氯酸,10%V/V。

用前随时配制。

6. N-羟乙基乙二胺三乙酸的钠盐(HEEDTA),10%W/V。

7.8 氮

7.8.1 全有机氮

生物材料中的有机氮可借凯氏消煮法使之转化成铵态氮。在消煮中，在催化剂的存在下样品与硫酸共热直到有机质被破坏。消煮混合物中含有硫酸钠或硫酸钾以提高适合反应需要的温度。此项消煮操作常与相继的蒸馏阶段相联接以回收铵态氮。下面提供的是此项技术的半微量法说明。

3.5.2 中讨论过的硫酸-过氧化氢系统是一种可选用的只适于植物材料的氮的消煮法，这个方法的优点是在同一溶液中可以测定其它元素。

可测出低至 10 微克的氮，细心操作下其重复性约为 $\pm 1\%$ 。

操作

I. 消煮阶段

1. 称量一适宜数量的干的研磨过的样品置于一 50 毫升圆底凯氏烧瓶中。

适宜的数量为：

0.100 克——植物材料，泥炭和凋落物；

0.250 克——富含有机质土壤；

0.500 克——有机质含量低的土壤。

2. 加 2 克硫酸钾-氧化汞混合物，同时加 3 毫升浓硫酸。使酸沿瓶颈缓慢流下同时旋转瓶子。

3. 在一消煮架上使瓶的球状部位缓缓加热直到冒泡阶段。使用煤气灯或电热器均可。

4. 当冒泡已停止时增加热度；此时硫酸须沿瓶颈迴流下来。

5. 继续加热直到溶液变成无色或淡黄色、淡绿色，继续加热 15 分钟(植物材料)、30 分钟(泥炭、凋落物和动物组织)或 1 小时(土壤)。

6. 从加热器上取下，将烧瓶放冷并用水稀释。除用全部溶液蒸馏外，稀释至 50 毫升。

7. 按同样操作制备空白溶液。

II. 蒸馏阶段

8. 如图 8.2 b 装好蒸气蒸馏装置。使用一盛有无氨的水的蒸气发生器(见注)。

9. 向装置内通蒸气约 30 分钟。收集 20 到 30 毫升馏出液用 $M/140$ HCl 滴定以检验蒸气空白。蒸气空白需酸量不能超过 0.1 毫升。

10. 将全部溶液或适量的溶液转入反应瓶中，加 12 毫升碱混合液。

11. 立即开始蒸馏并收集 25 毫升馏出物于一适合的含有 5 毫升硼酸(指示剂溶液)的接受瓶中。

12. 使用干净的微量滴定点，用 $M/140$ 盐酸滴定馏出液至淡灰色(中性)终点，恰在终点前颜色经过一个短暂的蓝色的转变阶段。

13. 有时可借吸取适量的标准氯化铵溶液以检查回收率。

14. 必要时从样品滴定值减去空白值。计算在原始材料中氮的含量百分数(见7.1.4c)。

试剂和标准溶液

1. 标准氯化铵(100毫克/升 NH_4^+-N)。

溶解 0.1910 克干燥的 NH_4Cl 于水中, 稀释至 500 毫升。

加 1 至 2 毫升氯仿作防腐剂。

2. 盐酸, M/140。(1 毫升 = 0.1 毫克 NH_4^+-N)。

配制 0.1 M HCl 并用 0.05 M Na_2CO_3 溶液标定, 用 0.1% 溴酚蓝(B.P.B.) 作指示剂。当标定过后稀释至恰为 M/140。

3. 硫酸钾-氧化汞混合物。

混合 K_2SO_4 和 HgO (无 NH_3 的等级), 比例为 20:1。(这种混合物的片剂是适用的, 在上述试验方法中使用 2 克的片剂。)

4. 浓硫酸(无 NH_3 等级)。

5. 氢氧化钠-硫代硫酸钠混合液。

小心地溶解 500 克氢氧化钠和 25 克硫代硫酸钠于水中, 放冷并稀释至 1 升。

6. 硼酸指示剂溶液。

溶解 0.350 克溴甲酚绿(B.G.G.)于 10 毫升工业酒精中。

加 1 毫升 0.5 M NaOH 并用水稀释至约 200 毫升。加 750 毫克 4-硝基酚(溶于数毫升工业酒精中的)和 22 毫升 1% DYRETO¹⁾。配成 250 毫升并充分混合。此贮备用指示剂溶液是稳定的。

(以甲基红(M.R.)为基础的其它指示剂溶液在滴定中也可使用, 但上述指示剂溶液便于判断终点。)溶解 20 克硼酸于水中, 加 15 毫升指示剂贮备溶液, 稀释至 1 升。

注: 去离子水比蒸馏水好, 因蒸馏水常给出高的空白值。铵离子可以从蒸馏水中去掉, 办法是与一强的阳离子交换树脂(Zerolit 225 或 Amberlite 1R 120)一起振荡。另一可能性是使用自来水, 因某些地区自来水中铵态氮含量很低。

7.8.2 水中的有机氮

此法包括使用德瓦达(Devarda)氏合金和氧化镁将亚硝酸和硝酸还原成氨, 在消煮保留下来的有机氮之前将其赶掉。此法适用于多数水样, 并可测出含量低到 10 微克。重复性在正常水平下大约在 $\pm 2\%$ 范围内。

操作

1. 量取适合体积的水样置于一 500 毫升锥形瓶(Taylor 氏型的)中或圆底烧瓶中。视氮的浓度可取多至 250 毫升。

2. 加 0.05 克氧化镁和 0.1 克 Devarda 氏合金粉。

3. 煮沸浓缩至几毫升但不要煮干。

1) 这种颜料以 Vanguard Manufacturing Company, Maidenhead, Berkshire 生产者适用。

4. 加 3 毫升浓硫酸和 0.04 克氧化汞。
5. 消煮至冒白烟,但不要使之煮干。
6. 按同一操作制备空白溶液(见 5.3.2 的注)。
7. 按 7.8.1 操作的步骤 8 加 12 毫升碱混合液进行蒸馏。

试剂和标准溶液

1. 标准氯化铵溶液(100 毫克/升 $\text{NH}_4^+\text{-N}$)。
 2. 标准盐酸溶液, $M/140$ 。
 3. 硼酸-指示剂溶液
 4. 氢氧化钠-硫代硫酸钠混合液。
 5. Devarda 氏合金粉。
- } 按 7.8.1 制备。

市售之 Devarda 氏合金粉在使用前须研磨得很细。其中含有 50% Cu, 45% Al 和 5% Zn。

6. 氧化镁, 粉末。
7. 氧化汞。
8. 浓硫酸。

7.8.3 铵态氮

介绍两个方法: 半微量蒸馏法和使用奈氏 Nessler 试剂的比色法。

(a) 蒸馏法

操作

1. 如图 8.2 a 装好蒸馏装置,并按 7.8.1 节进行蒸气空白测定。
 2. 移入适量的土壤浸提液或水样于蒸馏瓶中,加 0.2 克氧化汞。
 3. 立即将蒸馏瓶与装置联接并开始蒸馏。
 4. 收集 50 毫升馏出物于一含有 5 毫升硼酸指示剂溶液的接受瓶中。
 5. 使用微量滴定管,用 $M/140$ HCl 滴定馏出液至淡灰色(中性)终点。恰在终点之前颜色经过一短暂的蓝色阶段。
 6. 必要时用适量的标准氯化铵溶液代替样品检验回收是否完全。
 7. 按同法进行空白测定,必要时减去空白值(见 5.3.2 的注)。
- 计算在原始样品中铵态氮的含量(见 7.1.4c)。

试剂和标准溶液

1. 标准氯化铵(100 毫克/升 $\text{NH}_4^+\text{-N}$)。
 2. 标准盐酸, $M/140$ 。
 3. 硼酸-指示剂溶液。
 4. 氧化镁粉。
- } 照 7.8.1 节配制。

(b) 比色法

操作

1. 如在前述方法中讲的蒸馏消煮液或浸提液或水样,并收集馏出物于一100毫升容量瓶中。

2. 吸取从0到50毫升整数的二级标准液置于几个100毫升容量瓶中。配出每瓶范围从0到0.1毫克 NH_4^+-N 。

3. 以下处理标准液和样品用相同办法。

4. 加2毫升酒石酸钠并用水稀释至约90毫升。

5. 加2毫升Nessler试剂,迅速混合,稀释至刻度并再混合。

6. 静置25分钟然后在410 nm处测定光密度,用水作参比。

7. 据标准溶液的光密度绘制标准曲线,并从中查出样品中氮的毫克数。必要时减去空白值。计算在原始样品中 NH_4^+-N 的含量。

试剂和标准溶液

1. 标准氯化铵溶液(100毫克/升 NH_4^+-N):按7.8.1所列制备。

2. 二级标准溶液(2毫克/升 NH_4^+-N):用水将初级标准液稀释50倍。

3. Nessler试剂。

溶解98克无水 HgI_2 和70克 KI 于少量水中。

溶解160克 NaOH 于约200毫升水中。

将这两溶液混合,要小心,稀释至1升。

静置至少一天最好是几天。

倾出澄清液备用。

4. 酒石酸钠,10%W/V。

7.8.4 硝态氮

这里介绍的方法一个是与测定铵态氮相似的蒸馏操作,另一是用酚二磺酸的比色法。

(a) 蒸馏法

重复性和检出限度与其它蒸馏法测定氮化合物的相似。

操作

1. 按照图8.2a安装蒸馏装置,并按7.8.1的方法进行蒸气空白测定。

2. 向蒸馏瓶移入适量的土壤浸出液或水样,加0.2克氧化镁。

适量为:

土壤浸出液 20至50毫升;

河水和湖水 50至100毫升;

雨水 200毫升。

3. 使瓶与装置联接并开始蒸馏。

4. 收集约100毫升馏出物并弃掉(见下面注)。

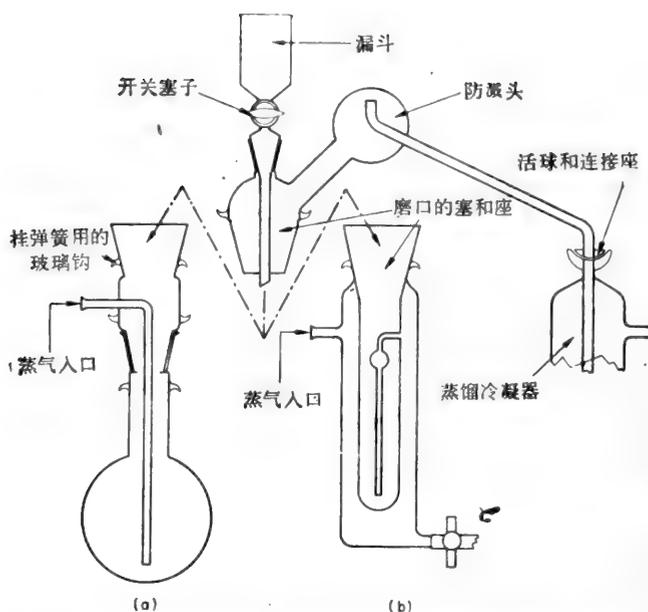


图 8.2 适于蒸馏含有铵态氮的溶液的大量(a)或半微量(b)装置

5. 取下蒸馏瓶,加 0.4 克 Devarda 氏合金粉并立即再联接好。
6. 再通蒸气并收集馏出物于一含有硼酸指示剂溶液的合适的接受瓶中。
7. 按照 7.8.2 所示用 M/140 HCl 滴定。
8. 进行空白测定,必要时将空白值减去。计算在原始材料中 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 的浓度 (见 7.1.4c)。

试剂和标准溶液

1. 标准氯化铵溶液(100 毫克/升 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$)。
 2. 标准盐酸, M/140。
 3. 硼酸-指示剂溶液。
 4. 氧化镁粉。
 5. Devarda 氏合金,磨细的粉末。
- } 按照 7.8.2 准备。

注: 全无机氮可借同时加氧化镁和 Devarda 氏合金粉并收集全部馏出物而得到。如在第 4 步骤收集馏出物于 5 毫升硼酸-指示剂溶液中则铵态氮可分别测定出。此项滴定按 7.8.2 所述进行。

(b) 比色法

此方法可测出约 2 微克的硝态氮而无干扰。重复性是 $\pm 5\%$ 。

操作

1. 吸取一定量的土壤浸出液或水样置于一适宜的蒸发皿中。
2. 向几个硼硅玻璃蒸发皿中移入 0 至 5 毫升整数的二级标准溶液,使其范围为 0 至 0.05 毫克 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ (如土壤是用 6% NaCl 提取的,要向各标准液中加入适量的 NaCl)。

3. 以下按同一方法处理标准溶液和样品。
4. 在蒸气浴上蒸发至干,但不能烘烤。
5. 冷却后加 2 毫升酚二磺酸并迅速旋转。
6. 静置 10 分钟然后加 20 毫升水。
7. 小心地加氢氧化铵直至 pH 达 10 至 11 之间,然后通过 9 厘米 Whatman No.541 滤纸过滤,收集滤液于 50 毫升容量瓶中。
8. 将溶液稀释至刻度并混匀。
9. 在 410 nm 处测量光密度,用水作参比。
10. 用标准溶液测值绘制分度曲线,从曲线中查出在样品整数中 NO_3^- -N 的毫克数。减去空白值。计算在原始材料中 NO_3^- -N 的含量(见 7.1.4b)。

试剂和标准溶液

1. 初级标准溶液(100 毫克 NO_3^- -N/升)。

溶解 0.72 克干燥的 KNO_3 于水中,稀释至 1 升。

2. 二级标准溶液(10 毫克 NO_3^- -N/升)——用水将初级标准液稀释 10 倍。

3. 酚二磺酸

溶解 25 克苯酚于 150 毫升浓 H_2SO_4 中。

加 75 毫升含有 15% 游离 SO_3 的发烟 H_2SO_4 并充分搅拌。

在沸水浴上加热 2 小时,在瓶的颈口要加一玻璃球。

贮放于暗色瓶中。

4. 氢氧化铵(1+1)。

(c) 选择离子电极法

在水中和土壤浸出液中硝态氮有时可使用选择离子电极测定。但其使用限于硝态氮浓度在 0.5 毫克/升以上的样品,如果离子的浓度足够高的话,这项技术尤其适于田间使用。

仪器的使用见厂家的使用说明,其它参考 Andelman (1968)、Carlson 和 Keeney (1971)、Summerfeldt 等(1971)和 Moody 和 Thomas(1971)的著作。

7.9 磷

7.9.1 比色法

测定磷最普通的方法是基于生成钼蓝。反应是测定正磷酸盐的,在混合酸或过氧化氢消煮之后,所有的磷即成为这种状态,但土壤全磷的相当大的部分是以有机的形态存在的。有许多方法适用于测定土壤中的有机磷,Black 和 Goring(1953)和 Williams 等(1970)曾对此作过评述。

钼蓝法可测出低到约 1 微克的磷酸盐态磷,细心的话在正常水平下重复性可达 $\pm 1\%$ 。

操作

1. 按 2.6.5、3.5、4.3 或 5.3 节所述制备样品溶液，并稀释至适宜的体积。
2. 吸取一适宜整数的样品溶液置于一 50 毫升容量瓶中（通常植物材料的溶液最多 10 毫升）（见注 1 和 2）。
3. 吸取从 0 到 15 毫升分取液的二级标准溶液分别置于 50 毫升容量瓶中。这样得出范围从 0 到 0.03 毫克磷的标准溶液。在每个容量瓶中含有的消煮酸或土壤提取液要与样品分取液相称。

以下按同一方法处理标准液和样品。

4. 向每个容量瓶中加水至约三分之二满。
5. 加 2 毫升钼酸铵试剂并混匀。
6. 加 2 毫升氯化亚锡试剂，混匀并稀释至刻度。
7. 从这时计时，并在 30 分钟后在 700 nm 处测定光密度，用水作参比。
8. 用标准溶液测定值作标准曲线并从中查找在样品分取液中磷的毫克数。必要时减去空白值。计算在原始材料中磷的含量（见 7.1.4b）。

试剂和标准溶液

1. 初级标准溶液（100 毫克/升 P）。溶解 0.4393 克干燥的 KH_2PO_4 于水中，稀释至 1 升。

2. 二级标准溶液（2 毫克/升 P）。

用水将初级标准溶液稀释 50 倍。定期重新配制。

3. 钼酸铵-硫酸试剂。

将 25 克钼酸铵 $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 溶于盛有 200 毫升水的烧杯中。可能须稍加热始能溶解。

小心地加 280 毫升浓硫酸于约 400 毫升水中，混合并冷却。

将钼酸盐溶液过滤到酸液中，混匀、放冷。

最后稀释至 1 升并将此溶液贮于暗处。

4. 氯化亚锡试剂。

溶解 0.5 克 $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 于 250 毫升 2% HCl (V/V) 中。在使用前临时配制。

注：1. 如果使用 Olsen 氏提取液（见 2.6.5），则样品整量须用稀 H_2SO_4 中和至对 0.1% P-硝基酚指示剂恰呈黄色。棕色的样品溶液最好用加入预先确定好的数量的稀硫酸于每一容量瓶中进行中和。

2. 对含磷量非常低的样品（例如天然的水），上述操作可以改变，即在操作中增加一提取步骤，磷钼酸盐络合物被提取到正丁醇中，在有机相中显色（参看 Allen 等，1974）。

7.10 钾

7.10.1 火焰发射法

操作

1. 按 2.6, 3.5, 4.3 或 5.3 节所述制备样品溶液, 并稀释至所需的体积。
2. 选择发射线在 766 nm 处或用一钾滤光镜, 并按仪器使用说明调节仪器装置和气体压力。
3. 用 0 标准溶液定好原点, 用最大标准溶液调整其读数至一适合的数值。
4. 测定 0 标准液和最大标准溶液读度的稳定性。抽吸具有一个范围的标准溶液以绘制标准曲线。
5. 抽吸样品溶液。多次重复读最大和 0 的标准液读度检查稳定性。
6. 经常用水冲洗, 在每组样品之后至少用水冲洗 1 分钟。
7. 绘制分度曲线, 查出样品浓度, 用空白读度校正, 计算在原始样品中钾的浓度。

试剂和标准溶液

1. 初级标准溶液(1000 毫克/升钾)。

溶解 1.9068 克 KCl 于去离子水中并配成 1 升。

检查 Na 含量(见下面的注)。

2. 二级标准溶液。

用初级标准液适当稀释成具有一定范围的标准溶液。在稀释至所需体积之前要按 7.1.2 所述加入酸或土壤提取剂。

注: 1. 某些市售可用的火焰光度计是两管仪器, 可以同时测定钾和钠。标准溶液因之必须含有两种元素, 而在钾的初级标准液中钠的水平不能超过 1 毫克/升, 否则在钠的分析上将出现显著误差。

2. 从生态学材料制备的多数样品溶液, 下列三个范围是合适的: 0 到 10 毫克/升, 0 到 25 毫克/升或 0 到 100 毫克/升。常规分析的重复性约为 $\pm 2\%$ 。

7.11 硅

7.11.1 比色法

适用的方法包括测定近似的硅值的简单的重量分析法, 和基于形成杂蓝色的比色法。近似法早在 6.3 中已提过。这里介绍的近似法取自 Morrison 和 Wilson (1963)。此法适用于植物材料、土壤和水, 并可测出水平约为 0.05 微克的硅。在正常浓度下重复性可达 $\pm 2\%$ 。

操作

I. 样品溶液的制备

1. 称 0.6 克碳酸钠和 0.05 克过氧化钠置于一白金坩埚中。

2. 加 0.10 克研磨过的样品,再用 0.3 克碳酸钠将样品覆盖住。
3. 在马福炉中在 950°C 下融熔 15 分钟。趁热取出坩埚并旋转之以将边上附着物洗下。
4. 冷却,并将坩埚浸于盛有水的聚丙烯烧杯中。
5. 加 3 毫升盐酸并在一蒸气浴上加热半个小时。
6. 冷却,将烧杯内含物转移至一容量瓶中,洗涤坩埚并稀释至刻度。混匀并立即转移至一聚乙烯瓶中。

7. 与测定样品平行操作进行空白融熔。

II. 比色操作

8. 吸取适量的样品溶液置于一 50 毫升瓶中。
9. 加几滴 M 氢氧化钠将溶液中和,用酚酞作指示剂。
10. 吸取 0 至 6 毫升二级标准液置于几个容量瓶中,配制出范围从 0 到 0.3 毫克硅的标准溶液。
11. 用 1% 盐酸中和这些标准溶液。
12. 以下按同一方法处理标准溶液和样品。
13. 加 1.25 毫升酸性钼酸盐试剂。混匀并放置 10 分钟。
14. 加 1.25 毫升酒石酸。混匀并放置 5 分钟。
15. 加 1.0 毫升还原溶液。混匀并用蒸馏水稀释至刻度(蒸馏水比去离子水好,去离子水中经常含有硅)。
16. 令容量瓶放置 15 分钟以保证最大的显色。
17. 测定各溶液在 810 nm 处的光密度,用水作参比。
18. 根据标准溶液的范围绘制分度曲线,并从中查出样品溶液中硅的毫克数。用空白值校正。计算原始材料中硅的含量(见 7.1.4b)。

试剂和标准溶液

1. 初级标准溶液(100 毫克硅/升)。

在 950°C 下融熔 0.2139 克干燥的 SiO_2 粉末与 1 克无水 Na_2CO_3 于一白金坩埚中直至明显地融化。放冷,并将整个坩埚浸入盛有水的聚丙烯烧杯中。加热使溶解,放冷并稀释至 1 升,要细心地洗涤坩埚。贮于聚乙烯瓶中。

2. 二级标准溶液(5 毫克硅/升)。

将初级标准溶液稀释 20 倍。贮于聚乙烯瓶中。

3. 钼酸铵-硫酸试剂。

溶解 89 克钼酸铵 $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 于约 800 毫升水中。小心地将 62 毫升浓 H_2SO_4 加到约 150 毫升水中进行稀释。令其冷却,将酸加到钼酸盐溶液中。稀释至 1 升。

4. 酒石酸, 28%W/V。

5. 还原溶液。

溶解 2.4 克 $\text{Na}_2\text{SO}_3\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 和 0.2 克 1-氨基-2-萘酚-4-磺酸于约 70 毫升水中。加 14 克 $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$, 振荡使之溶解并稀释至 100 毫升。每周重配一次。

6. 盐酸, 1%V/V。

7.12 钠

7.12.1 火焰发射法

操作

按测定钾(7.10.1)的步骤进行,只是发射线为 599 nm 或使用测定钠用的滤光镜。

试剂和标准溶液

1. 初级标准溶液(1,000 毫克 Na/升)。

溶解 2.5420 克干燥的 NaCl 于去离子水中,配成 1 升。

2. 二级标准溶液。

将初级标准溶液适当的稀释配制成一个范围的标准溶液。在稀释至刻度之前要将酸或土壤提取液包括进去(7.1.2)。将标准溶液贮放于硼硅酸盐玻璃瓶中或塑料瓶中。

注: 1. 某些市售的适用的火焰光度计是双管道仪器,从而允许对钾和钠同时测定。因此标准溶液必须含有两种元素,并且在钾的初级标准溶液中钠的水平不能高于 1 毫克/升,否则在分析钠时将产生显著误差。

2. 对本章叙述过的所有实验类型,三个标准溶液范围是合适的,即 0 到 5 毫克/升,0 到 25 毫克/升,和 0 到 100 毫克/升。在这些水平下,对使用标准的市场标准仪器的常规分析来说,重复性约在 $\pm 1\%$ 。

3. 由于钠在实验室中和在实验室以外的许多产物中使用非常广泛,故空白值常比其他元素为高,要格外小心保证它们有代表性和能够重复。

8 参 考 文 献

- Allan J. E. (1959) Determination of iron and manganese by atomic absorption. *Spectrochim. Acta.* **10**, 800—806.
- Allen J. E. (1961) The determination of copper by atomic absorption spectrophotometry. *Spectrochim. Acta.* **17**, 459—466.
- Allen S. E. (ed.) (1974) *Chemical Analysis of Ecological Materials*. Oxford, Blackwell.
- Allen S. E. & Grimshaw H. M. (1962) Effect of low-temperature storage on the extractable nutrient ions in soils. *J. Sci. Fd Agric.* **13**, 525—529.
- Allison L. E. (1960) Wet-combustion apparatus and procedure for organic and inorganic carbon in soil. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.* **24**, 36—40.
- Andelman J. E. (1968) Ion-selective electrodes: theory and applications in water analysis. *J. Wat. Pollut. Control Fed.* **40**, 1844—1860.
- Assoc. of Offic. Analytical Chemists (1970) *Official Methods of Analysis*. Washington.
- Ball D. F. (1964) Loss-on-ignition as an estimate of organic matter and organic carbon in non-calcareous soils. *J. Soil Sci.* **15**, 84—92.
- Ball D. F. & Beaumont P. (1972) Vertical distribution of extractable iron and aluminium in soil profiles from a brown earth-peaty podzol association. *J. Soil Sci.* **23**, 298—308.
- Bascomb C. L. (1961) A calcimeter for routine use on soil samples. *Chem. Ind.* **45**, 1826—1827.
- Bates R. G. (1964) *Determination of pH: Theory and Practice*. New York, John Wiley & Sons.
- Black C. A. (ed.) (1965) *Methods of Soil Analysis*. Vol. 2, Amer. Soc. of Agronomy.
- Black C. A. & Goring C. A. I. (1953) Organic phosphorus in soils. In W. H. Pierre & A. G. Norman (eds.) *Soil and Fertilizer Phosphate in Crop Nutrition*. New York & London, Academic Press.
- Bohn H. L. (1971) Redox potentials. *Soil Sci.* **112**, 39—45.

- Bradfield E. G. (1957) An improved formaldoxime method for the determination of manganese in plant material. *Analyst. Lond.* **82**, 254—257.
- Bray R. H. & Willhite F. M. (1929) Determination of total replaceable bases in soils. *Ind. Engng Chem. Analyt. Edn.* **1**, 144.
- Bremner J. M. & Jenkinson D. S. (1960) Determination of organic carbon in soil. II. Effect of carbonized materials. *J. Soil Sci.* **11**, 403—408.
- Brooks R. R., Presley B. J. & Kaplan I. R. (1967) Ammonium tetramethylenedithio carbamate-isobutyl methyl ketone extraction system for the determination of trace elements (cobalt, copper, iron, nickel, lead and zinc) in saline waters by atomic-absorption spectrophotometry. *Talanta* **14**, 809—816.
- Brown I. C. (1943) A rapid method of determining exchangeable hydrogen and total exchangeable bases of soils. *Soil Sci.* **56**, 353—57.
- Carlson R. M. & Keezey D. R. (1971) In L. M. Walsh (ed.) *Instrumental Methods for Analysis of Soils and Plant Tissue*. Madison, Wisconsin, Soil Sci. Soc. Amer. Inc.
- Chapman H. D. & Pratt P. F. (1961) *Methods of Analysis for Soils, Plants and Waters*. University of California.
- Christian G. D. & Feldman F. J. (1970) *Atomic Absorption Spectroscopy: Applications in Agriculture, Biology and Medicine*. Interscience.
- Ciaccio L. L. (ed.) (1971) *Water and Water Pollution Handbook*. Dekker.
- Clark N. A. & Ogg C. L. (1942) A wet combustion method for determining total carbon in soils. *Soil Sci.* **53**, 27—35.
- Coulter B. S. (1969) The chemistry of hydrogen and aluminium ions in soils, clay minerals and resins. *Soils Fertil.* **32**, 215—223.
- Curtis K. E. (1969) Interferences in the determination of iron by atomic-absorption spectrophotometry in an air-acetylene flame. *Analyst. Lond.* **94**, 1068—1071.
- Dagnall R. M. & Kirkbright G. F. (eds.) (1970) *Atomic Absorption Spectroscopy*. Plenary lectures presented at International Atomic Absorption Spectroscopy Conference, Sheffield, UK, July 1969.
- David D. J. (1962) *Atomic Absorption Newsletter*. December, 1962.
- Department of the Environment (1972) *Analysis of Raw, Potable and Waste Waters*. H. M. S. O.
- Edisbury J. R. (1966) *Practical Hints on Absorption Spectrometry*. Hilger & Watts.
- Elwell W. T. & Gidley J. A. F. (1966) *Atomic Absorption Spectrophotometry*. Pergamon Press.
- Gawen D. (1965) Handling of perchloric acid in laboratories and fume cupboards. *Lab. Pract.* **14**, 1397—1398, 1409.
- Golterman H. (1969) *Methods for the Chemical Analysis of Freshwaters*. I. B. P. Handbook No. 8. Oxford, Blackwell Scientific Publications.
- Gore A. J. P. (1968) The supply of six elements by rain to an upland peat area. *J. Ecol.* **56**, 483—495.
- Greenhill W. L. (1960) Determination of the dry weight of herbage by drying methods. *J. Br. Grassland Soc.* **15**, 48—54.
- Grimshaw H. M. & Lindley D. K. (1974) S. E. Allen (ed.) *Chemical Analysis of Ecological Materials*. Oxford, Blackwell.
- Heron J. (1962) Determination of phosphate in water after storage in polyethylene. *Limnol. and Oceanogr.* **7**, 316—321.
- Hesse P. R. (1971) *A Textbook of Soil Chemical Analysis*. Murray.
- Howard P. J. A. (1966) The carbon-organic matter factor in various soil types. *Oikos*. **15**, 229—236.
- Ingram G. (1948) A critical examination of the empty tube combustion method. *Analyst.* **73**, 548—551.
- Ingram G. (1956) The rapid micro-combustion procedure. *Chemistry Ind.* 103—107.
- Jackson M. L. (1958) *Soil Chemical Analysis*. Prentice-Hall.
- Kleeman A. W. (1967) Sampling error in the chemical analysis of rocks. *J. Geol. Soc. Aust.* **14**, 43—48.
- Lickens G. E. & Bormann F. H. (1970) Chemical analyses of plant tissues from the Hubbard Brook ecosystem in New Hampshire. *Bull. Yale Univer. Sch. For.* No. 79, 25 pp.
- L'Vov B. V. (1970) *Atomic Absorption Spectrochemical Analysis*, Hilger.
- Mackereth F. J. H. (1963) Water analysis for limnologists. *Freshwater Biological Ass. Scientific Publication No.* 21.

- Mackereth F. J. H. (1964) Improved galvanic cell for determination of oxygen concentration in fluids. *J. Scient. Instrum.* **41**, 38—41.
- Metson A. J. (1956) Methods of chemical analysis for soil survey samples. *NZ, Dept. Sci. and Ind. Res. Soil Biol. Bull.* **12**.
- Mitchell J. (Jnr.) (1951) Karl Fischer reagent titration. *Analyt. Chem.* **23**, 1069—1075.
- Moody G. J. & Thomas J. R. (1971) *Selective Ion Sensitive Electrodes*. Merrow Publishing Co.
- Morrison I. R. & Wilson A. L. (1963) The absorptiometric determination of silicon in water. Part II. Method for determining 'reactive' silicon in power-station waters. *Analyt. Lond.* **88**, 100—104.
- Olsen S. R., Cole C. V., Watanabe F. S. & Dean L. A. (1954) Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. *U. S. Dept. of Agric. Circular* 939.
- Piper C. S. (1950) *Soil and Plant Analysis*. University of Adelaide.
- Pittwell L. R. (1968) Apparatus for the analysis of small quantities of carbonates. *Mikrochimica Acta.* 903—904.
- Price W. J. (1972) *Analytical Atomic Absorption Spectrometry*. Heydon & Son.
- Quarmby C. & Grimshaw H. M. (1967) A rapid method for the determination of iron in plant material with application of automatic analysis to the colorimetric procedure. *Analyt. Lond.* **92**, 305—310.
- Ramirez-Munoz J. (1968) *Atomic Absorption Spectroscopy*. Elsevier.
- Riley J. P. & Williams H. P. (1959) Micro-analysis of silicate and carbonate minerals. III. Determination of silica, phosphoric acid and metal oxides. *Mikrochim. Acta.* 804—824.
- Royal Society Symbols Committee (1971) *Quantities, Units, and Symbols*. The Royal Society.
- Sandell E. D. (1959) *Colorimetric Determinations of Traces of Metals*. Interscience.
- Shaw K. (1959) Determination of organic carbon in soil and plant material. *J. Soil Sci.* **10**, 316—326.
- Sjors H. (1950) On the relation between vegetation and electrolytes in north Swedish mire waters. *Oikos* **2**, 241—258.
- Small J. (1954) *Modern Aspect of pH*. Bailliere, Tindall & Cos.
- Snell F. D. & Snell C. T. (1959) *Colorimetric Methods of Analysis*. Vol. IIA. Van Nostrand.
- Society for Analytical Chemistry (1959) *Notes on Perchloric Acid and its Handling in Analytical Work*. Analytical Methods Committee. *Analyt. Lond.* **84**, 214—216.
- Society for Analytical Chemistry (1960) Methods for the destruction of organic matter. Analytical Methods Committee. *Analyt. Lond.* **85**, 643—656.
- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (1971) American Public Health Association.
- Steyn W. J. A. (1959) A statistical study of the errors involved in the sampling and chemical analysis of soils and plants with particular reference to citrus and pineapples. Ph. D. Thesis, Rhodes University, South Africa.
- Summerfeldt T. G., Milne R. A. & Kozub G. C. (1971) Use of the nitrate-specific ion electrode for the determination of nitrate-nitrogen in surface and ground water. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* **2**, 414—420.
- Tinsley J. (1950) The determination of organic carbon in soils by dichromate mixtures. *Trans. 4th Int. Cong. Soil Sci.* **1**, 161—164.
- Truog E. (1930) The determinations of the readily available phosphorus of soils. *J. Am. Soc. Agron.* **22**, 874.
- Williams J. D. H., Syers J. K., Walker T. W. & Rex R. W. (1970) A comparison of methods for the determination of soil organic phosphorus. *Soil Sci.* **110**, 13—18.

(张陆德 译, 阳含熙 校)

第九章 数据收集装置

C. R. Rafarel 和 G. P. Brunson

1 序 言

为了对某个特殊试验方法进行事后评价或自动控制,无论是野外的或实验室的试验方案,常常需要观测大量的科学变数。由于所研究的数据来源量大,而且测定所必需花费的时间多,所以有一种数据记录系统往往是很要紧的。记录系统是很化钱的,所以在工作人员最终被最先进的复杂设备替代之前,必须首先要估计到经济问题。除非对数据的翻译和处理有周密的计划,否则即使从一种小型记录系统得出的数据总量也是可观的,而且在研究成果的实验分析中,还可能化费不必要的宝贵时间。凡大量数据必须在短时间内收集起来,或者通过较长时期,还很可能从某些偏远地区得来的数据必须加以汇总的情况下,自动数据记录系统则是最有用的了。

生态学家要求的自动数据记录设备可以分两类:第一类是能多信道使用的长期可靠的装置,并具有从若干不同类型的转换器中接受信号和记录信号的能力;第二类是需要一种不太复杂、价格便宜的记录装置。采用低价的设备往往在要求高度复制的地方是重要的,但必须记住,它要求大量的人力管理而且操作受到严格限制。多数情况下,低价设备可在实验车间中制造。同时复制从若干地点或大面积上收来的数据能力可以弥补降低了的原装置的精确度和可靠性。在这样的装置中,由于每一条线路的化费低廉,因此在正常记录程序中,应用一条线路来记录标准的输入信号常常是可能的,由此从记录信号产生的任何偏差,就可以作为校正数据误差的依据。

2 记 录 方 法

从传感器或转换器中输出的信号可以按时自动记录的方法有三:第一种是图表记录器一类的仪器,信号可以连续地记录下来,或许它最合用于有必需决定一个变数的最大值或最小值,或者是变化速度的情况。在要求平均值的情况下,这个方法不宜使用,因为从图表记录中解析和转换数据比较困难而且费时。利用积分器总计通过一定时期记录的来自传感器的输出信号,这种方法在要求平均值的情况特别有用。积分法的优点是连续的数据处理可以简化,但缺点是难以用电学方法准确地综合超过一小时的模拟信号。这个困难对于在记录前用数字方法贮存数据的事件综合的情况来讲是不存在的。可以用于记录数据的第三种方法是每一定间断后询问传感器,同时记录其输出。这或许是最常用的一种方法,而且用于商业数据记录系统中。重要的是询问的速度要和变数的变化速度相关联,否则解释所记录的结果可能就困难。

2.1 积 分 法

2.1.1 电积分仪

一些小型电化学瞬时指示器在过去几年中已在市场上可以买到 (Mercron和Curtis测定计等),因而提供了一种便宜而可靠的按时综合小电流的方法。虽然这些仪表主要考虑用于定流信号源测定一瞬的时间,但如果遵守某种电路设计的防护措施,它们也可用于变化幅度大的积分电流。在 Federer 和 Tanner (1965)描述的积分空热器中以及 Brown 在 1973 年的“为测定水分、土壤、空气平均温度的装置”一文中,可以找到这些应用的例子,后者在本文 3.3.1 节中有进一步讨论。

这些装置是依据水银库仑计的原理设计的,即由一根精密的玻璃毛细管内被液态电解质所分隔的两根水银丝构成。当电流通过该装置时,水银导电从阳极穿过间隔到阴极,造成间隔向正极的运动。水银转移的速度即间隔运动的速度与流过容器的电流成正比。通过某一段时期,间隔的总移动是与电流积分时间成正比。事实上,这种情况不是经常发生的,特别是当经过电流强弱幅度比较大的情况时,装置的内阻随电流和周围的温度而变化。已测定过的个别积分仪在内阻中的变化大约从 150 微安时的 700 欧姆到 15 微安的 2000 欧姆。在低电流下摄氏每度的温度系数大约 40 欧姆,这种电阻的变化,大部分可以通过高电阻电源来的电给装置充电来加以克服。与积分仪串联的约 10000 欧姆的电阻在内阻中将缓冲变化,但为了保持电流则要求较高的推动电压。

这些装置应当操作谨慎,因为电解质间隔可能受到机械摇动而分离,由此造成电的性质上发生明显的变化。电解质不许一直推到毛细管末端,否则这个部件将报废。Mercron (X型)的全刻度时间的电流积分是 6 微安时,而 Curtis 的是 5 微安时。通过的电流不应当超过厂方的规定, Mercron 出产的是 150 微安。电解质间隔移动的距离如 Tanner 等(1963)证明的那样,可以在低倍显微镜下用阶段游标来测定。焊接到显微镜上的保险丝座,为测定时安装 Mercron 型装置起了合适的支架作用。把装置倒放在记录器上或是用一个单独的电调整装置可以使气泡重新调整。

2.1.2 化学积分仪

光强和温度对化学反应速度的作用可以用作为对这两个变数的综合尺度。照相术或许就是光的化学综合的最著名例子。Pearsall 和 Hewitt(1933)用光照对溴化物的作用来测定文德梅(Windermere)湖的透光度; Atkins 和 Poole(1930)利用草酸双氧铀(uranyl oxalate)、Dore(1958)利用蒽靠光化学方法获得光的综合测定。

蔗糖溶液水解(逆)为葡萄糖和果糖的速度取决于温度和溶液的 pH 值。Pallman 等人(1940)在他们用已知时间内测得平均温度的方法(蔗糖转化)中介绍了这个原理,后来这个方法又被 Berthet(1960)和 Lee(1969)详细地叙述过。本法很大的优点在于容易通过极谱分析来测定转化度。

把一份大约 10 到 15 毫升酸化的缓冲蔗糖溶液样品,封闭在试管中并暴露在测定地点,蔗糖转化度即可借助实验室的极谱仪看旋光度的变化而测得。此法的灵敏度可以借调节溶液 pH 值而为特定的应用加以控制。Lee(1969)把有效的平均温度与 pH 值和旋

光度的关系定为下列等式:

$$T_e = \frac{a}{pH + b - \log t + \log[\log(R_0 - R_\infty) - \log(R_t - R_\infty)]}$$

式中 T_e = 在 t 时间内有效平均温度($^{\circ}\text{K}$)

pH = 蔗糖溶液的pH值

t = 暴露时间(天数)

R_0 = 开始时溶液旋光度

R_∞ = 无限期的溶液旋光度

(即再测定时不会发生变化)

R_t = 在 t 时间内溶液的旋光度

a 和 b 是常数

Lee 虽定了 a 值和 b 值, 但有人认为还应该把不同的溶液在一系列恒温下作标记并用解联立方程来求出常数(Chapman 私人通讯)。

化学应对温度的反应不是线性的而是指数的; 所以用这种方法测定的温度是一种对数均数而不是一种算术均数, 两者之差不大, 除非温差大时。如果需要的话, Lee(1969) 提出一种校正系数能使其结果接近于算术均数。Lee 引证这种方法的精确度, 在两周时间内为 $\pm 0.02^{\circ}\text{C}$, 准确度在 0.4 和 1.0°C 之间, 这取决非线性效果和周围的温度。

2.2 图表记录器和事件计数器

2.2.1 图表记录器

有两种主要类型的图表记录器: 电位记录器和可动线圈点线记录器。电位记录器是通过记录笔的位置所产生的信号与输入信号相比较而工作的, 伺服系统于是移动记录笔直到两种信号相等为止。这类记录器往往比较贵而且要求供电力大。点线记录器因为它坚固而需要的电力较经济, 一般适合于野外应用。它是由一个输入信号馈电给可移动的线圈装置和一个适用于一定直流电压范围的图表电动机所组成。指针携带了一根记录笔, 它位于压力感光纸和斩波杆(Chopper bar)之间, 这个杆对着纸“摆动”记录笔留下了指针位置的标志。摆动的速度与图纸移动速度相联系, 倘然摆动率快于图纸移动速度, 就产生一条连续的痕迹, 这样信号变化不会太快。

由于斩波杆打击从一个中心固定点上旋转的指针, 所以点线记录器的特点是图解两端间标度是非线性的。用这些记录器提供的图表是作了校正的, 因此人工翻译数据就不成问题了, 但如果用的是线性图解读出器, 那末就必须采用相应的校正系数(见 5.1)。两种可以买到的点线记录器是 Smiths、Industries、Miniscript 和 Rustrak 记录器。它们有各种灵敏度和图纸速度以供不同目的应用, 这类记录器的预期准确性大约是全刻度轮转的 2%。

2.2.2 事件计数器

邮局型计数器和其它脉冲计数器是由一个电磁铁和电枢所组成。每开动一次数字计数器, 磁石就通了电。这类计算器的用处事实上限于在一段时间内计算事件, 因为它不可

能像用照相方法那样自动记录输出。简单的邮局型计数器的发展就是 Unidec 计算器(英国计数器械有限公司)。设计成模块的一位的十进计算器可以排列成组来计数任意多位的数字。Unidec 计算器给出一种可见指示的读数,还有一个内部的接触系统可以提供一个对应于这个读数的电输出以馈电子记录器。Unidec 计数器也可以装上印字轮,再增加一个完整的印字模块就可以印出计数值。

分档开关和邮局型旋转式选择器可以用作计数事件,被记录事件的信号用来使开关中的圆筒形线管通电并对每个事件拨前一个位置。这些开关没有一个目视读出,但他们能容易地接通而产生电读出,每次接触通过电阻器使下个开关通电,于是通过这样形成的电阻链就有了恒压,然后扫接触点分接到与它位置相应的电压上。利用自动倾水槽原理的自动雨量计可以用于这种系统,从用于对询问开关的图表记录器供电的分档开关来的输出,每天报一次。分档开关的缺点,特别在野外应用时,是尘埃和湿度对其性能的不利影响,所以必须非常细心地保持其组件密封好并要定期清机。

事件计数器是记录某些事件发生次数的廉价工具,应用它们的实例可以在 Bayfield 和 Pickrell(1971)所叙述过的用一条人行道上统计人数的一种仪器。

2.3 磁带数据记录器

通常磁带数据记录器分为两类:大型电源发动、结构复杂的实验记录器 and 小型电池开动的野外数据记录器。在实验室中,高清晰度、高精度度和相当高的控制制度是必不可少的,这样的记录器一般地都具有能处理大量的输入信道的能力。输入信息的形式可以是模拟的或数字的,也可能有为两种输出装置同时起作用的一种设备。这些装置的电源要求和费用是比较高的,而且必须要良好的操作环境条件。如果必须要野外建立一个大型试验系统来应用这样的设备,这就必须安置在一个温暖而干燥的有篷车辆内。如果没有适当的电源可用,就必须要有良好的负载调节和频率稳定的柴油机发电设备。这类记录装置的整个工作期间,操作人员必须始终看着。

近来,简单的野外数据记录器受到很大欢迎,因为它可以长时期不要人值班而能定期间歇地收集到数据。由于这种记录器必须从其本身电池中供电,所以电力消耗必须要低。为了满足这种要求,已经研制了一种只有少量输入信道的、体积小、紧凑和增量的磁带记录器。遗憾的是早期研制的这类记录器不大可靠,而可靠性取决于设计的简单和元件的仔细选择。

现在流行的数据记录器,其可靠性的改进取决于为数据记录装置的设计所提供基本逻辑系统的集成电路元件。这些记录器包装的规格和容限在制造过程中是严格控制的。如仪器体积改小而增加组件的密度使包装简化,则它们的用法就大大降低了复杂性。数字技术的应用大大地有助于解决抗扰性,因为步进电动机(Stepping motor)在可靠性上不仅对野外用磁带的记录,而且对穿孔纸带机器都有显著的优点。小型的资料盒价格便宜、体积小,在野外记录器工作中使用简单。由于现代的数字电压表转化成数字所需要的时间很迅速,所以在测定期间就不必须保持转换器的信号。这种“扫描结束”(End of scan)信号是由扫描驱动电路中的最后一个波道产生的并保留在系统控制中,因此记录器可以关掉,直到要求下一组读数为止。

3 总体设计和构造

基本数据记录系统由一台转换器、接口电路和记录器组成。与此相辅的就是计时、扫描、控制和电源电路。转换器或传感器把一种物理的或外界的变量转变成可以馈给接口电路的电信号。接口加工信号指出了要求的测距和线性化并产生与所用的记录方法相符的输出。

对生态学家感兴趣的许多变量因变化得相当慢，故不要求连续的读数。因此读数可以在定时电路中用一个钟来开始，在选定的时间间隔去取。为节省电源起见，每时或每天的记录就足够了。当必须要多信道记录而记录器又基本上是一个单信道装置时，那末多路转接器或开关转接装置就设在转换器和记录器之间。扫描电路依次扫描每个转换器的输出，并显示出转换器的数据输出。控制器控制了记录期间断断续续开关电源而且控制一系列事件进程的该系统的全部作用。最后，要有足够稳定的电源去开动该仪器，而该设备必须安装在不受野外进行试验的气候条件影响。

3.1 电 源

3.1.1 电源

大多数数据记录系统都要求电源，少数情况下可能有电源供电，那末使用电池开动时所产生的问题就不会出现。这些问题是由于电池的容量有限以及对温度敏感而产生的，电池的容量决定了需要更换或再次充电之前可用的电力。制造厂公布的本厂电池的放电曲线，对不同的放电率来讲表明了输出电压随时间所起的变化。电压的下降是由于电池内阻变化所致，而这个内阻决定了在不引起严重的电压下降的情况下，所能流出的电流的极限。工作时的温度影响电池系统的容量和输出压，所以在设计可以用于野外的设备上必

表 9.1 电 池 特 性

	每个电池的伏特数	适用的负载范围	放电性质	有效温度范围	在20°C时电荷保持特性	能否再充电	附 注
水 银	1.35	75—2400 mAh	直到将近放电为止，电压几乎处于恒定	电池可用到70°C下	直至2½年	否	高能负荷系数好的温度稳定性
碱-镁	1.5 (额定的)	125 mAh—10 Ah	和水银电池不同，但比普通干电池好	-20—+70°C	直至2½年	否	可以在各种大小的标准干电池可以供给大量电流
镍-镉 (密封型)	1.25 (额定的)	0.45 Ah—500 Ah	放电曲线在80%范围内电压稳定	-40—+60°C	一个月以后降低30%	可	密封部分不需要维修。可以用于任何位置。适用于大量连续电流漏[投]。适用各种大小的标准干电池。
铅-酸 (Car型)	2.0 (额定的)	主要在1—60 Ah范围	在放电曲线范围内电压不稳定	在-10°C时负载量缩小	3个月后降低50%	可	易于漏失需要有规律地维修
铅-酸 (密封型)*	2.0 (额定的)	0.9—36 Ah	在多数放电曲线范围内电压稳定	-30—+50°C	经16个月降低50%	可	密封单位不需要维修可以用于任何位置上

* Sonnenschein Dry Fit.

须考虑到这点。

有几种类型的电池适合野外操作设备(Smith, 1973),被选择的特殊类型和对附加稳定性的要求将取决于特殊的装备和应用。各种电池类型的特性和细节在表 9.1 中说明。

3.1.2 稳定

野外装备的电源常要求稳定,所以不管电池的状况和周围的温度如何,都能提供恒定的输出压。如果只需要低电流设备,不要求稳定性,那末有时可以用水银槽。但是好的办法是使它们缓冲到不至于达到温度的极端。在水银槽的条件下,最简单的方法是把它们放在防水的器具内并埋在土壤下 15—20 厘米处。电压稳定的范围是从一种简单的稳压二极管电路到一种复杂的串联调压器。往往当电池将放完电,仪器在周围低温下引起最高电流时,特殊电路的设计应当能适应最坏的条件。为了节约,流过稳定器电路的电流应当尽可能的低。从一个未经调整的电源来起动记录系统的某些部件常常是可能的。继电器、分档开关或电动机,一切都对电源造成大而波动的负载。而且如果它们可以从一个未经调整的电源来启动工作的话,对其余设备的电压稳定问题就容易解决了。有一些积分电路调制器如果配上一些附加组件成为优良的稳定器,则在野外装备时只需化相当低的代价可以适用。Hnatek(1973)、Mammano(1971)和 Ross(1973)对一些典型电路有过详述。

3.2 计时和控制

3.2.1 钟

这个部件有两种形式:或者是电动的机械钟,或是更复杂的系统,即晶体控制的数字钟。前者通常用于根本不需要用电源的小型野外数据记录器上,因为它的装置简单方便。然而,后一种钟具有相当好的精确度,在有电力的条件下则是理想的东西。集成电路技术中采用最新‘COSMOS’系列电路的近代进展,已经有可能利用具有合适的频率范围的晶体,以极低的功耗提供准确的时间。这种类型差不多可以肯定会在将来替代目前用在野外记录器中的机械钟上的卡子,这种类型组件的基本要求是命令记录器在预定的时间区间工作,而且在大型记录系统中还能提供在输出数据中必要的实际时间。预先确定的时间区段靠开关决定或由一种金属小针系统来决定。为方便起见,计时的数字显示在凡有操作人员存在而且电池供应又不困难的地方都有。

Smith Industries “Sectronic”钟是一个廉价电池开动的、带有机械卡子的钟的例子。装有一组 GII 型干电池的钟可以运转一年而不需更换电池,开动一个带有一块小磁铁的簧片开关,该磁铁装在一根细杆上,并靠指针转动轴心而在其中旋转,即在需要的时间内得到一种电信号。塑料杆的另一端应当附有起平衡作用的一个重量,以抵销磁石的作用,利用不同数量的簧片开关和磁石,并靠选用时针或分针带动心轴,这样就可以任选范围从每刻钟至每12小时一次的各种周期。

3.2.2 控制和扫描

扫描机件的作用是依次拨动每个转换器到测定单位。扫描装置必须考虑到许多设计

要求：如转动速度、可靠性、转动期限、串音、电干扰和工作环境条件。首先是通常称之为分档开关的电机机械类型，这种零件是由一个旋转开关和排在定子周围的 100 个薄片触点组成。中心的转换弧帚在各极板间转动并由一个直流步进电机所带动。厚的镀金用于这些触点以便改进在低能级下的电键并降低噪音。然而这些零件的使用期有限，而且工作速度相当低，如若细致地设计，则旋转开关的合理速度是可以得到的，但因为结构过分精细，所以代价往往相当大。

乾舌簧、水银沾湿的和起继电作用的膜片是适合于大多数扫描设计的，并已证明在许多装置中是通用的，它们用在速度在每秒达 100 步(Steps) 的比较高速装置中。薄的如舌簧接触板的舌簧开关密封地隐藏在玻璃壳内，玻璃壳的两端有接头，所以整个开关在任何不良条件中工作良好。开关的传动装置还要靠以舌簧开关为中心绕成螺旋管的磁性圈来达到。当线圈通电时，磁场就关闭接点，五毫秒闭合时间是可能的。但跳动和接触噪声大，这种缺点若用膜片启动的舌簧可以减少，而如用水银沾湿的继电器则能完全消除。虽然这类继电器的寿命估计是长的，但沾水银的继电器却是应用中最好的一种。

由于在这些开关结构中用了铁，所以在任何扫描系统中凡有铜丝连接到这些装置时，就产生热电的电动势，而且在某些情况下还可能很高($35 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$)，这对于在靠近这些接头的地方，避免热梯度来说是很要紧的问题。可通过用转换器电缆的馈电通路和返回通路中的两个舌簧的办法来解决。这是相当重要的，因为用现代数字伏特计(D、V、Ms) 来测定，达到一微伏之内的分辨力是可能的。

最后，半导体型扫描开关应具备像高速运转和可靠性等(仅举几例)许多可能性。然而本领域内的技术只是现在才开始发展为相当简单的装置，这些称之为金属-氧化物-半导体-晶体管装置(MOST)，这种装置分别有高的和低的‘接通’‘断开’特征，它们在今后几年内会普遍起来。关于它们的用途和特征，Litus 等人(1972)和 Thomas(1973) 已作了叙述。

在记录装置中需要一种产生脉冲的方法以便计时，并为控制和扫描电路而提供电源。在比较复杂的记录器中，可能需要千分之一秒时间的脉冲，而在图表记录器中用的扫描电路内，则需几秒钟长的脉冲。为了短时间得到重复的矩形波脉冲，可以在图 9.1 所示的装置中用上一个不稳定的晶体管多谐振荡器。脉冲速度受到 C 值和 R 值的支配， $f = 1.4/RG$ 适用于对称矩形波。Malmstadt 和 Enke(1969)指明，为提供矩形波脉冲，集成电路逻辑门如何能接通的道理，见图 9.2。

数据记录系统中扫描的主振器通常由 Johnson 型计数器组成。后者从作用上看是一种移位寄存器类型，用简单的译码先填写出‘1’，然后是‘0’之后才能启动各个输出装置。这类计数器的优点是每个扫描装置只需要半数计算级，所以是种经济的设计。计数器总处在控制模件的控制下，所以像空指令信道和预调的高、低信道之间的扫描等一些设备就可经常受到调整。计数器位置常常要适用于为信道识别目的的输出装置。

Pamplin(1967)曾叙述过连成一个松懈振荡器的单接头晶体管(UJT) 如何能提供具有从多少微秒到好几秒钟速度反复出现的短脉冲。对激励扫描电路与图解记录系统联系来说，较长期的迟滞是有用的。图 9.3 表明一架简单松懈振荡器和步进开关利用一个闸流管的激励电路的情况。振荡器的周期假定约为 $0.8 C_1 R_3$ ，对于准确的温度稳定性来说， R_2 应随所用的特定的单接头晶体管而异，这可从下列公式求得：

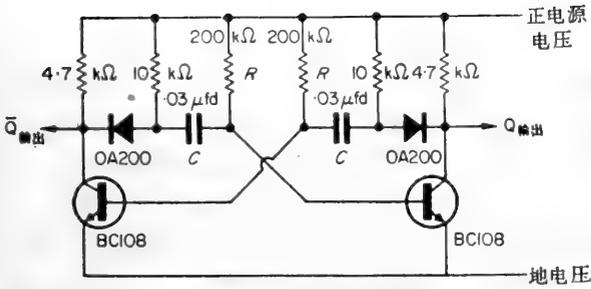


图 9.1 4 毫秒脉冲宽度的多谐振荡器电路

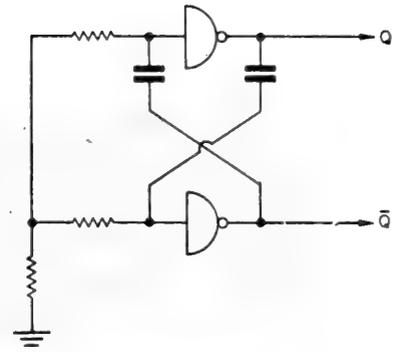


图 9.2 有逻辑门结构的多谐振荡器

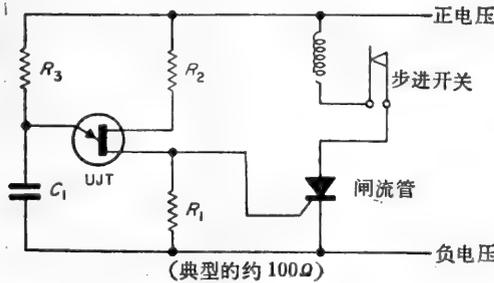


图 9.3 UJT 振荡器和步进开关驱动电路

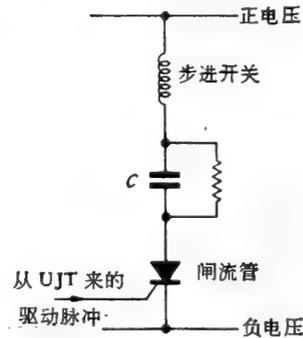


图 9.4 电容器耦合步进开关驱动电路

$$R_2 \approx \frac{0.4 \cdot R_{bbo}}{n \cdot V_1} + \frac{(1-n) \cdot R_1}{n}$$

式中 V_1 是电源电压

$n = \text{UJT 的固有远离率}$

$R_{bbo} = \text{UJT 基底间的电阻}$

在激励脉冲断开闸流管之后，闸流管的阳极必须暂时减小到零。凡有可能，最好是开关通电时用开放的步进开关中的内接点。接点是与一连串阳极负载相连接，在没有接点的地方，可以利用图 9.4 的电容器。穿过电容器的电阻必须足够的高，以保证开关在激励脉冲间不固定住，同时又要有足够的低使得激励脉冲间使 C 充电。

集成电路程(序)控(制)定时器/计数器用来在范围从几微秒到几天为周期内产生计时信号。它们由一台时基振荡器、程(序)计数器和控制电路所组成。时延是由一外部的 GR 网络来定的，并通过给计数器编程序，在程序编好后发出一个输出信号。

控制部件控制了记录器的全部运算系统，并且保证在下一道工序开始之前，某一特定的部分要完成它的工作。在这里，较快的装置必须等候较慢的一台装置，开始工作的普通脉冲由时钟元件中收来，而停止工作的脉冲是由扫描脉冲的停止所产生。假使记录器不是在连续运算的条件下，控制元件保证所需要的输出的外围设备接通。所以象一套步级指令这样的设备被合并，因而记录能在人为控制下逐个信道地推进。当需要建立技术条件时，这就要用单个的传感器。

3.3 界 面

界面是作为两个装置间连接器的元件,例如传感器与数字伏特计或数字伏特计与输出外围之间,或者是转换器与计算机之间。它们提供了必要的放大、转换、储藏译码、匹配线性化,以及允许两个元件间正常运转的桥[式线]路。输入界面连接传感器和数字伏特计,其结构随所用的转移器类型而异。例如我们取一个单一铂丝电阻温度计接入数字伏特计,这就需要一个惠斯通电桥。为了供电给这种电桥,必须有个稳定的激励电压,由此造成的低电平输出信号在它到达此元件前可能需要放大,所有这些要求都是由界面本身提供的。同样,译码器和计算机之间的界面设备需要电路,以接受从译码器来的一连串数据,因为译码器转换成并行的型式,所以能够直接接受计算机的输入信息通路。在这里,计时是重要的,还有合适的匹配电路、双稳定的插销以及贮存装置,所有这些都构成了界面元件的组成部分。热敏电阻[器]现已普遍用于温度测定中,因为它具有灵敏度较大的优点并具有短时间反应。然而这些零件现在一般在桥接电路中使用,由于它们的对数特征,故必须连接线性电路。这就是界面元件的组成部分。

3.3.1 桥[接]电路

桥[接]电路,特别是惠斯通电桥[接]类型常用在界面电路中。它们的应用包括造成人为零点的补偿电路、热敏电阻特性的线性化、温度上不同的测定和应变计量工作。

使一个电桥能够起作用有两种基本方法:可以人为地或借助伺服系统的方法,调节桥接电路值产生零值输出而得到平衡。以这种方式从电桥中获得的读数是与电桥的电源电压无关的。这种工作方法的例子在许多测量仪表中可以看到。参见第6章6.3.5节的土壤温度电阻部件和第八章5.2.5节的传导测定。另一种起作用的方法是从依赖于出现不平衡量的电桥所产生的一种输出信号,电桥对于某一个特定的电阻值来说,是永久平衡的,而且对这个值的任何偏离就会造成一种输出。这种方法虽通常用在界面电路中,但它的缺点是其输出依赖于电桥电源电压,特别是在离开了平衡点时更为显著。为了克服这种困难,应当采用稳定的电桥电源电压。Clayton(1971)曾叙述过当电输入到仪器的起动放大器中时,桥路及其反应的直线性问题。

热敏电阻(Hyde, 1971)常在生态学上用作温度的测定。主要缺点是它的非线性电阻的温度特性的关系,这可按下列公式求得:

$$R_T = A e^{B/T}$$

公式中 T = 热敏电阻的温度 $^{\circ}\text{K}$

B = 特征温度 $^{\circ}\text{K}$

A = 常数

要在有限温差范围内,获得十分近似线性反应的一种简单方法,可以用与在工作温度变化中点的热敏电阻相等的固定电阻,来分流热敏电阻而达到。一个近似线性电阻/联系温度反应可以在 30°C 范围内达到。详情见STC数据表(1960)。

在精确度要求较高并可在某些预定温度给于零输出的装备中,应当采用桥接电路。Beakley(1951)、Bowman(1970)、Hole(1971)和Stanković(1973)等人曾经叙述过线性桥

接电路及其价值,在 30°C 范围内用这些电路来获得 0.1°C 的准确度是可能的。

生态学家常要求在指定期间内测得平均温度。Brown (1973) 曾经叙述过,在一个线性的惠斯通电桥电路中利用热敏电阻的一种比较简单的方法。这种电路是带动 Curtis 型的小型水银库伦计的。另外一些工作者采用的某些早期的方法,没有考虑到库伦计的内阻随温度和电流而异的变化,甚至没有考虑到热敏电阻的非线性特征而造成不准确性,尤其当温度差异幅度大的时候更为如此。

在 Brown 描述的方法中,内阻的变化是把与库伦计串联的高值电阻 R_3 计算在内而得以缓冲。

由于这种串联电阻[器]必须应用一种较高的电桥电源电压,来获得通过库伦计所需要的电流,所以必须注意在热敏电阻中不产生自热效应。从所用的热敏电阻的消耗常数中,可以求得消耗每毫瓦功率的温度升高数。为达到最大的精确度,这种升高不得大于所要求的热敏电阻分辨力的一半。

在 Brown(图 9.5) 设计的电路中,允许穿过热敏电阻的最高电压为:

$$E^2 = PR$$

式中 P = 允许的最大功耗

$R = R_T$ = 热敏电阻的中波段电阻

最高电源电压由 $R_3 = R_T$ 时 $2E$ 求得

桥[接]电路其它值的求得:

1. 电阻器 R_1 等于温度表中的最小值时的热敏电阻,故电桥在此点处于平衡。
2. 电桥输出的线性化是在温度变化的中点使 $R_2 = R_3 =$ 热敏电阻而求得。
3. 串联电阻[器] R_3 应当大于 10 千欧姆并通常调整电流因而也调整了库伦计的记录周期。

3.3.2 运算放大器电路

运算放大器在模拟计算机领域中常常是执行各种数学运算的,并且在使用仪器系统中提供了转化的放大阻抗和均衡检波作用。一个运算放大器就是一种高增益直流电放大器,要求的灵敏度是利用其输出和输入端之间的负反馈来获得的。运算放大器可以买到,以模块型式由分立元件所组成,或者更常见的是用双极单片电路技术即集成电路来制成。也有在同一组件内使用了两种方法的混合装置,例如在一些功率放大器中,激励级利用集成电路而输出级利用分立元件。

当应用运算放大器时,通常不需要知道或懂得该装置的内部电路,可以把它看作是一个“暗箱”,应当考虑的是外部连接部分的全部性质和机能。最普通的运算放大器是微分的输入、单端的输出型,这是由于要求在许多应用中可以摆动任何一个零端的输出电压,而且也提供了带有高共态抑制的未接地的输入(与地分离)。当放大器具有高的共态抑制时,输出电压只取决于通过微分输入放大器的两个输入的输入信号,而不取决于输入线和地面之间的任何普通电压。

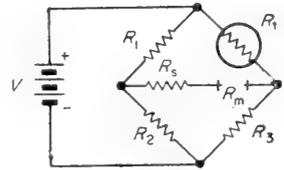


图 9.5 积分温度计电路
 V 是电池 R_1, R_2, R_3, R_4 是固定电阻 R_1 是热敏电阻的电阻 R_m 是库伦计的电阻

一般最常用的运算放大器是 709 型或较新的 741 型。709 型缺乏内频补偿, 必须把制造商说明的那些外部元件增添到电路上, 才能获得理想的频度反应并阻止在高增益上的不稳定性。当用任何高增益放大器时, 应当注意到电路设计和电源去耦以免不稳定性, 特别在两个或更多的放大器靠得很近的地方更要小心。在电源和尽可能接近地面的放大器之间必须连接至少 1 微法拉的去耦电容器。

应用运算放大器时, 为防止损坏应当采取一些防护措施。大多数放大器的输出都装有防护设备以避免短路接地或者电源混乱。对大多数放大器来说, 输入也可以采用近于电源的电压。如一个电压超过电源电压偶然被用到输入或输出, 则必造成损坏。应当记住, 当电源已断开但在输入中仍有电压或者后来再用到输入则可能造成损坏。低阻抗的输入尤其如此, 用在交流放大器中大的耦合电容就是一个例子。电源极性的偶而颠倒也会损坏放大器, 因为会通过大功率的内部电流。在这样的突然事件容易发生的地点, 灵敏的防护措施是在输入电路和输出电路中放置限制电阻, 如有可能, 可把与电源串联的高压二极管连接到放大器上。它是一个与地电势对称的, 有适当的电压范围的稳定的直流电源。运算放大器通常要求一个成对的电源或双极性电源。即大多数放大器的工作电压是在 $\pm 5\text{ V} \rightarrow \pm 15\text{ V}$ 范围内。某些交流电路可以接自单电源, 就像某些单输入直流放大器一样, 因为后者不需要共态抑制。

新近介绍到运算放大器领域的是由 R. G. A. Silicon General 和其他工厂制造的小功率放大器。这些装置能传送毫安输出电路, 它与一般通用的几百毫瓦的 Avery (1973) 类型相比, 只消耗预备电源的数微瓦。电源供给的节约使得这些装置很宜于野外工作, 特别因为它们也能用于低电源电压来开动。

还有一类新近推荐的是 F.E.T. 输入运算放大器, 这类场效应晶体管具有很高的输入阻抗 ($10^{10}\Omega - 10^{14}\Omega$) 以及低的输入偏压电流和偏移 (10^{-11} A 级)。两个分离的 F.E.T. 用于一个运算放大器的输入级上, 就成了一台具有 F.E.T. 型输入特性的混合装置。这些装置在要求高输入阻抗和低偏移应用中是有用的, 例如在用作离子选择试样中集成电路和放大器的那些装置。

有些放大器是为特定应用制造的, 热偶斩波放大器就是其中一例。输入信号是靠输入级‘斩入’短形波然后再利用直流电放大。这就使得一个高输入阻抗能具有相对于要达到的温度与时间来说是十分低的补偿电压偏移。凡从热电偶来的低电平信号, 必须经过长时间的放大和测定的情况这点了是个基本要求。

直流放大器

微分输入运算放大器可以用在三种基本的电路配置中, 每种都各有其用途, 也有使用的反馈网络所产生的局限性。假定放大器有理想的特征, 则就可以单用反馈网络值来简要地说明其闭环增益。在最普通的应用中, 所要求的闭环增益比开放环路增益少得多的地方, 说明足以设计一个电路。然而, 当设计低偏移直流放大器时, 往往很需要考虑运算放大器输入补偿电压、电流特性和温度系数。表 9.2 是表示三种基本电路配置的特性和应用的略图。至于充分讨论运算放大器的理论、考虑它们的实际性质, 以及为特殊应用的这些基本配置中各种变化的叙述等, 应当参考很多关于这方面的专著, 其中如 Clayton (1971)、Hnatek (1973)、Toby 等 (1971)。

交流放大器

运算放大器可以用来放大交流信号，附加的优点是如果接通直流电的反应不需要电容器而可用联接器，这就消除了一些与输入补偿和偏移相联系的问题。

电压比较器

假使用一个运算放大器时没有负反馈，也就是开放环路，输出就饱和并摆动到最高的正或负的输出电压。正极性的一个很小的输入压会使输出摆动到相反的最高电压，因此使放大器能作开关之用。由于用了总接头并把基准电压用于其上，只有当输入压超过基准压时，放大器才能成为转换器。为比较器利用所特别设计的运算放大器是买得到的。

表 9.2 基本的放大器配置

类型	电路	关闭环路增益	应用和特性
反相		$A_{cl} = -\frac{e_o}{e_i} = -\frac{R_2}{R_1}$	用相倒置产生增益 应用加法器
非反相		$A_{cl} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$	不用相倒置产生增益 高的输入阻抗 缓冲放大器
微分		$A_{cl} = \frac{R_2}{R_1} = \frac{R_1}{R_3}$ $R_1 = R_3$ $R_2 = R_4$	不接触地的放大信号 放大桥接电路信号 应用减法器 具有高的共态抑制

非线性反馈

用于运算放大器上的反馈网络不必是纯电阻的。非线性反馈可以用来改装放大器满足对特定目的的要求。带有对数反应的放大器，可以利用在回授电路中的二极管或晶体管的对数反应设计出来，要细心选择元件可以花费数十年时间。低电平交流信号的精确检波也可以靠在回授电路中使用二极管来达到 (Glayton, 1971)。越过二极管的前向的电压降在电流的低电平上是非线性的。由于低电平压使得常用的检波电路不正确，在回授电路中二极管的含有物降低了在输出的二极管电压降的作用。

积分器

电子积分器可以用于凡要记录的测定像在日射计一样易于起大而迅速变化的这种数据记录中。连续记录这样的测定会产生大量不必要的数据以及由此而来的处理问题，偶

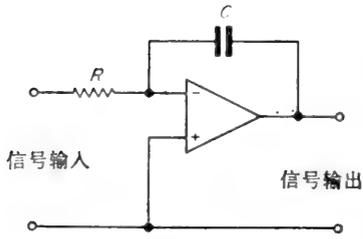


图 9.6 基本的集成电路

而短期间取样的测定可能得出错误，而如果采用的是通过取样期间积分测定的方法，那末这个平均数可以在取样的时间记录下来。集成电路确实必须在所有时间中一直运转，但消耗功率比起如使用连续记录技术要少。

图 9.6 展示了用在运算放大器的基本集成电路，负反馈是由电容器来提供的，同时也展示了完整的放大器(Glayton, 1971)。

$$e_0 = -\frac{1}{GR} \int_0^t e_i dt$$

输出压是与输入压的压力时间积分成正比。GR 是积分仪时间常数，而 $1/GR$ 可以每伏特输入的伏特/秒输出来表示。

事实上，放大器会受到输入偏差电流和偏差电压误差的影响，造成输出在无输入信号时的偏移。输出正好或是正向或是负向饱和，这取决于输入偏差电压的极性，所以这种偏移是电路设计中的限止因子。放大器的挑选很要紧，特别当在利用长的时间常数时，应当选择具有低输入偏压电流的放大器。F.E.T. 输入放大器和斩波稳定放大器对于中期和长期积累，直到小心用时的一小时积累来讲都是最好的。双向输入放大器只应当用在极短期积累中。输出中的偏移也因在反馈电容器 C 中漏泄而造成，偏移的量与 C 值成正比，并随不同类型的电容器而变化。低漏泄的多[聚]碳酸盐型或聚苯乙烯型特别应当在长时间常数的积分器中应用。为了平衡输入偏压电流，非倒置输入应当串连一个与倒置输入电阻器 R 相等的电阻器。起始输入补偿电压应当用一个推荐电路来平衡，使输出中产生最小偏移。如果精心设计，使偏移的主要来源减少到只由输入补偿电压和偏压电流的温度系数才能引起。

实用集成电路需有一种在积分期之前调整起始输出到零的一种方法，在这时期末，输出才记录下来，然后恢复到零。图 9.7 就表明了提供复位和集成装置的电路。由记录系统开动的舌簧继电器，在积分期之前用来释放反馈电容器 C 的。图 9.7 电路表明了通常用来积分在 $\frac{1}{4}$ 小时内从热电堆型圆顶日射计的输出。

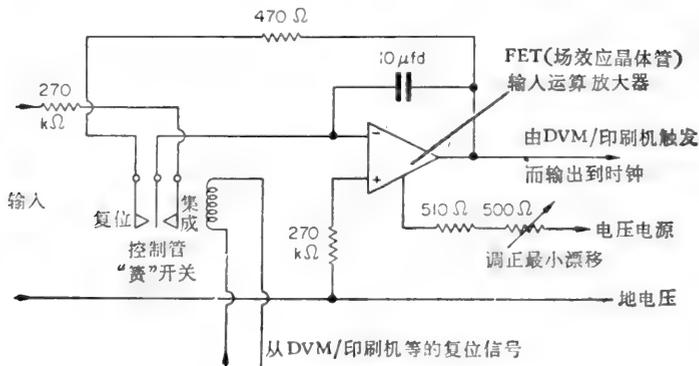


图 9.7 实用集成电路

3.3.3 模数转换器

标准记录伏特计缺点是准确度低,而且小于仪器全刻度 0.5% 就读不出。为了克服这些困难,就发展了数字伏特计。现在是与大多数数据收集装置联用,成为一种标准的测定仪器。数据的读出有极好的分辨力,故使得这个仪器很能适宜记录装置。除了它有达到 0.01% 这样高的精确度外,现在 10 M Ω 和 1000 M Ω 之间的高输入阻抗也可能了,后者在记录系统中特别有用,因为在许多情况下传感器和界面之间需要长的导线。导线电阻与电源阻抗一起也仅仅占总输入阻抗的很小一部分,所以不至于影响到它所能达到的高准确度。

自动测距是新式数字伏特计的另一个有用的特性,这就允许高、低电平混合的信号,直接从换能器馈给仪器而不要靠界面的帮助,但这种发展的最好优点之一,可能还在于它能自动选择距离的高低,于是即可对最合适的条件给以最高的灵敏度。

在数据伏特计的发展中,已经应用了三个著名的原理。第一称之为连续接近法,即把未知的直流输入电压与从仪器本身来的稳定源产生的电压次序相比较。这个运算过程可以参考图 9.8 来解释。给微分放大器(比较器)以输入电压。环形计数器是靠一个内部时钟电路开动的,推进到第一位的双稳态开关,允许产生最高 V 值的基准电路内的电阻 R 为最低值。如果这个值大于输入电压则从比较器来的输出就把这双稳态电路断开,由此推进晶体管环形计数器,经由下一个双稳态电路将下一个电阻 $2R$ 插入电路。由于电阻的负荷,这就有效地将 V 值缩减到半数,于是比较器再次将电压输入与基准电压相比较。如果现在 V_{in} 大于 V , 那末为保持这种双稳态电路,比较器输出进行排列,于是环形计数器又推进一次。电阻 $4R$ 现在就接入能提供 $\frac{3}{4}V$ 基准电压的比较器电路。比较器再来判定 V_{in} 大于 V 或小于 V , 于是就如前一样采取适当的动作。倘然 V 小于 V_{in} 就允许双稳态电路 3 保留, 如果 V 大于 V_{in} 就发生断路。当比较器中确定了零输出, 那末未知值就等于电压基准值。现在电路中的拨动数, 可以用等于输入电压的数字量来表示, 所以这些电阻器是加数二进制的(8421), 并排列成四组——每一组代表了一个十进位数。在这种仪器中的所有电阻器都是标准类型, 所以必须用十分稳定的基准电压, 然而用这类仪器也可以达到十分高的运转速度。

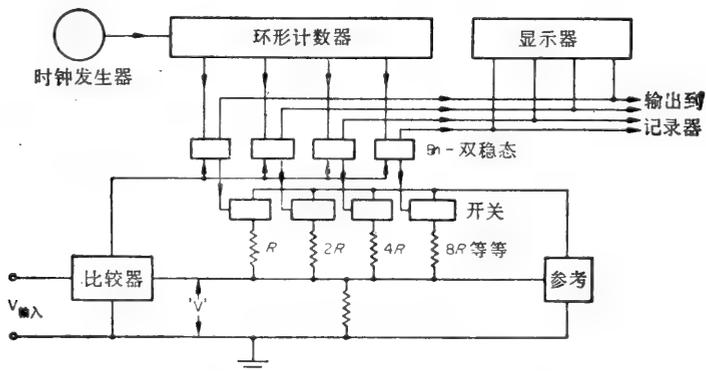


图 9.8 数字伏特计连续近似法的方框图

第二类系统利用了对应时间倾斜原理的技术，即按下列方法将模拟量转换成数字。首先产生一种接线端钮电压波型，它的放大直接与时间成正比。直流电输入信号输入比较器，起始脉冲首先使计数器和斜面电压调整到零位，并且打开闸门电路，使脉冲从一个稳定的振荡器被送到一组十进位的计数器。计算连续进行，直到接线端钮波型等于未知信号波型为止。比较器检测这种情况，并提供关闭闸门电路的中止脉冲，所以在计数器内所计之数代表了输入信号。接线端钮波型是依靠从恒定电源充电给电容器产生的。有时两台比较器同时使用，外部一台检测一位零基准点，并允许一个计数闸门打开。在利用这种方法的比较高的分辨系统中，振荡器属于具有 1 MHz 频率的晶体型。图 9.9 即表示这类仪器的方框图。

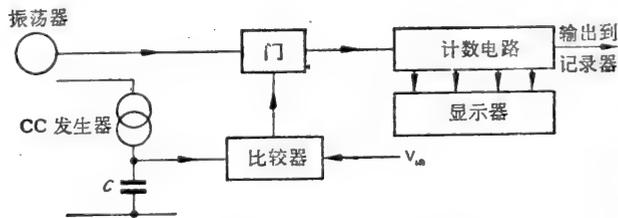


图 9.9 接线端钮 D.V.M 的方框图

第三类数字伏特计属于积分器类型或者也可看作是电压对频率转换器。输入信号最初得到放大，并通过一连串电阻到能产生接线端钮波型的积分器输入，这种接线端钮波型的斜度随输入放大而异。当接线端钮电压输出通过预定的触发器电平时，已知宽度和放大的精确脉冲反馈给积分器的输入，并使它回复到开始的水平。接线端钮电压经过填充后再次允许升高，由积分器产生的波型频率输出现在是输入电压的一个函数。这里用到的是两台计数器，一合作计时用，另一合作显示用。频率通过一个正确计时闸门馈电给显示计数器。这类仪器的主要优点之一，它能够排除电流的交流声，这是因为结式数是经过固定时期求出的平均值。如果计算时期调整到电源频率时期的话（即 20 毫秒为 50 Hz），那末交流声的能级如同在这种频率的任何和声一样将可估算出来。由于这种积分技术的应用，就达到对噪声的灵敏度低。图 9.10 是表示这种技术原理的方框图。

目前市场上有多种廉价的数字伏特计，适合于用作变模拟信息为数字信息的转换器。这些一般是单输入幅度的数字配电板仪型(D.P.M.s)。它能用 B.C.D. 输出来获得，并为连接到外部记录设备而控制逻辑线路。这种便宜的数字伏特计产生的 $\frac{1}{2}$ 数字读出 (0—

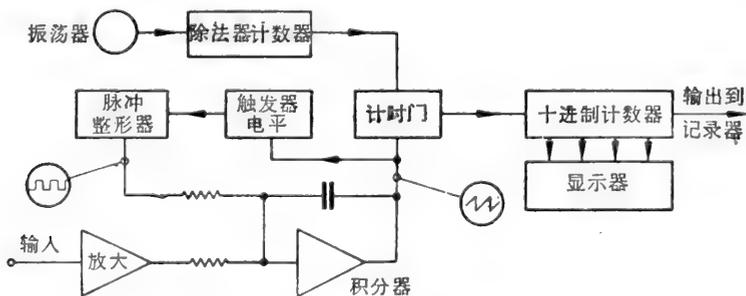


图 9.10 积分数字伏特计的方框图

199)适用于多种目的,再贵一点的 $3\frac{1}{2}$ 数字 D.P.M.s (0—1999) 中正在得到越来越高的正确性。

3.4 传感器(变换器)

这些装置是用于在电表系统中的,它们把要测得的物理量或现象换成电压或电流输出,而后适合于数据记录器的应用。传感器大致分为两类:一类是产生象计量变数的函数那样的模拟信号;而另一类是产生频率信号或事件系列。第一种类型通常馈电给数字伏特计输入,后一类却馈电给频率计算器或计数器。

模拟型又能分为低能级和高能级两类,后一种不需要放大,就是传感器的电位计类型,它们主要用于作模拟线性的或角位移的大量测定中。低能级型就象电阻温度计、热敏电阻、张力计、热偶合器或伏特计以及凡在输入测定可以归属于模拟信息变数字信息的转换器之前,均需要放大处理。

数字信号由脉冲率或一连串编码事件所组成,在这里信号通常大到足以直接表现在所用的测定装置中,这就成了一种频率计或计数计。由于信号早已成数字形式,就不需要再换算。有时需要一种缓冲储存,特别是如果事件正在连续地计算,所得结果立即被储存起来而计算机为下一步计算作了复位。然后,记录器才能以本身的速度接受早已储存的数据。数字信号有个很大的优点,它们只提供“开”或“关”两种情况,所以如在噪声环境中应用仍易被回收。

4 实用磁带系统

4.1 基本数据记录系统

图 9.11 是说明一种典型数据记录系统的方框图。每个传感器首先发送一个电信号,这是经过对其放大或限止的各个界面的,所以用记录器中一般的测定装置即可测定。装上扫描元件以使每个信号可以一个个有次序地出现在记录器的测定装置中。这种测定装置通常是一台数字伏特计或模拟信息变数字信息的转换器,它们将直流电信号转换成数字的输出。在许多记录系统中,还可能结合第二次装置,这种装置可能是一台频率计算机,或定期的计数器。这是一种有用的东西,如果从某种正被监检的变换器中来的信号已经是象脉冲系列、事件或频率等数字形式,这两种测定元件都把它们数字形式的输出数据

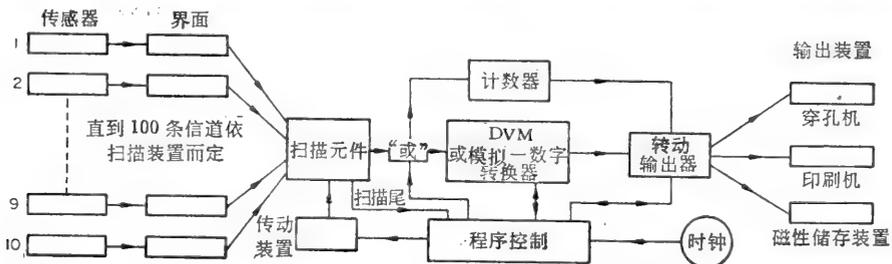


图 9.11 标准数据记录器的方框图

转为输出驱动力。这种特殊元件起到一个在测定元件和输出外围之间的界面作用，按系统控制指挥，把从测定装置中来的输出数据，转换成选择过的输出机的输入。这种机器印刷、穿孔，或者记录输入数据，提供一个指令脉冲指示其备用的系统控制来记录更多的数据。系统控制元件对数据记录器的运算起了程序机构的作用，并为了正确的运算而使事件系列关联起来。它接受从一个钟的元件中开始记录的指令，因此就能使扫描驱动器把扫描单位推进一步，这样第一个传感器输出就可与其相应的数字伏特计或与计数器相连接，然后一个指令送到特定的测定单元，将输入信号数字化。在完成这一进程后，倘然这个装置准备接受数据的话，它通知给控制元件，然后指令输出装置把数据转换到输出外围。已经完成其工作的数字伏特计现在准备从另一个传感器中接受输入，于是控制器指令扫描驱动元件又推进一步，将把下一个传感器连接到数字伏特计上。开关的速度决定于仪器中最慢的装置，一般说它往往是输出外围之一。

现在由于近代化的数字伏特计化费时间很短，所以在测定期中维持传感器的信号是不重要了。扫描的末尾信号是从扫描驱动电路的最后信道中发出来的，并发送到操纵装置，所以记录器可以关闭，直到要求下一组读数为止。一般在记录器内设置的输出数据格式在记录器扫描开始就显示出真实的时间，接着是信道识别和在每一特定读数前的记号。这些要求编进系统控制的程序，并在适当时间提供给输出装置。输出装置将从记录器转出编码数据，并把它转换成印刷记录，或者是编码穿孔纸带，后者更适合作进一步的计算机分析。速度是重要的，这样可以在比较短的时间内处理数据。为此，已经制造出高速穿孔纸带机，并已得到广泛应用。然而为更直接的读数记录，还是用印刷机。

印刷机可以有几种类型：电动打字机、窄条印刷机、磁鼓印刷机或电传打字机。它们根据不同要求而提供不同速度的印刷品。首先，电传打字机和电动打字机具有较大的灵活性，如有必要，可带有打出小标题的附加设备，但这种装置的缺点是进行工作的速度比较慢，这可能是由于信息以连续形式出现，并且每一次只提供给装置一个符号这个事实所造成。该系统的优点是已经形成连续形式的数据，如有必要，就可以容易地作为数据传送目的。窄条印刷机或磁鼓印刷机是另一种类似的装置，操作一次就把它所有的信息都印出，这就大大地增加了印刷输出能力。磁鼓印刷机是窄条印刷机的发展，它能提高速度。该装置由一组印刷符号所组成，这些符号排列在以同步速度转动的外围磁鼓四周。然而，当要求的符号在印刷页之下时，一个小印刷锤起动一下就印出了要求的符号。这个装置按一定时间反复成项移动，于是，磁鼓每转一下就印出一项符号。

纸带穿孔机也用于一般用作每秒约 110 个符号这样高速的输出装置。这些部件在一英寸纸带上打出一系列编码孔，纸带的横向最多可达 8 个孔，每个孔代表一个符号。这些部件靠同步电机来带动，而穿孔的动作通常由机电的设计的。一系列比较小的馈线孔也是在数据孔之间穿孔的。

4.2 常用装置

有两类记录装置：一种是野外实验室用的自动装置；另一种是通常有工作人员管理的实验室，或控制试验条件下比较复杂的类型。现将这两种装置详细介绍如下。

4.2.1 野外装置

大多数的野外数据记录装置采用磁带作记录。两种记录方法是(a)模拟的和(b)数字的。后者在数据收集中使用最为普通,模拟记录有时用于需要控制装置的地方,但目前即使这种应用也正在不断地被较精确的数字技术所替代。

野外记录装置的设计原则要求一种结实的、可靠的、自备电源的、容易操作的记录器。这种记录器通常小而结实并安装在防水的箱子里,易于为人所携带。自动的野外记录器在野外可以安装在地下的玻璃纤维盒中,或者用木制海军用的胶合板箱安装在地上四英尺高的杆上。既然盒子结构本身应当适合任何野外环境,当然没有必要把这种装置设以外壳。然而,安装这种记录器在玻璃纤维盒内优点是保护这些装置免除不测的损坏者和好奇的人。如果安置点在湿地或泛滥地,就建议把盒子安置在杆上面,为了野外能理想地操作,应密封整个记录器。采用磁带记录器的重要规则是记录器在野外任何时间决不当打开。

野外记录装置是以一个单独的钟作为基础来工作的,即由其自身的机械种在预定的间隔起动。照片(图 9.12)显示典型的野外数据记录装置,这是目前水文研究所应用的。它由两个分离模片浇铸的铝盒所组成,一个盒子安装了为放大或调节从转换器接受来的信号所必需的界面卡,并且排列得为数据记录器可以接受;第二个盒子装数据记录器本身,还有能看得到的、装在盖内可再充电的电池。这两个盖子用‘O’型环密封好,当盖子和盒子夹紧时,这两个单元用干空气加压到 5 磅/英寸²,这样湿空气就不可能进入。记录器用一个合适的联结电缆连接到界面上,这就允许在野外条件下对换整个记录器而避免把磁带机构暴露到周围环境中。因为不替换界面,所以这个装置的校正是不受影响的,磁带的替换和电池的再充电就可以在干燥环境中进行,而不会使机械受到野外条件不测事件的威胁。为了记录器的妥善交换,可安置一种浮动系统以为备用的大量记录器服务。

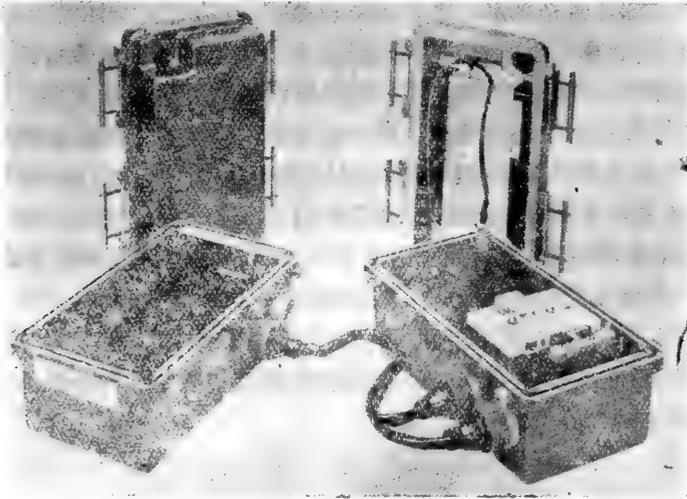


图 9.12 野外用数据记录装置

这种设备是一种 12 波道记录器,每一波道上带有跳跃设备。第一波道常常记录一个正确的基准电压,它也作为一个度外数目,其理由有二:首先是基准电压用来测量在特定

扫描范围内的其它记录；第二，它校对第一波道，因此可以在经常出现的间隙性误差事故中保持数据的同步性。

记录器以连续的形式在用普通 C.60 盒子装的磁带上记录一组 8 个二进制码。磁带输送机构只用一个增步电动机一位一位地推进存储密度为每英寸 200 个二进制数码的磁带。在本装置中没有加上读数设备，翻译机器本身已考虑到这些要求。

在这种记录器中，模拟信息变数字信息的转换器是以可变延迟原理进行工作的一种便宜的模件。所利用的振荡器也是一种简单便宜的单接头型。温度的偏移在这样的电路中自然会发生，但是通过记录一种非常稳定的基准电压，并在翻译期间由计算机软件设备来校正可以得到补救。这个方法既保证了数据的正确，又需要的只是一个代价不太大的装置。

这些记录器利用了带有电上弦的机械型钟。记录器由一个装在钟盘附近的舌簧开关来开动，12 根针把圆周等分，每个针带动小磁棒，这个小磁棒又带动舌簧开关，于是就开动了记录器。这些针的间隔为 5 分，但如果需要，不同间隔可以显示其它的周期组合。它们的电源要求将大大超过盒子的完全使用率。例如对一个用五分间隔呼叫的 8 个信道装置来讲，它的总开动时间约近三周。磁带的总容量接近 64000 个字，这种系统每 24 小时平均功率消耗 0.06 瓦。

4.2.2 实验室装置

这类数据探测系统由较复杂的大的类型所组成，通常适合于实验室内进行操作。然而，如果细心把设备安装在一个合适的有篷车辆内，野外操作也是可以进行的。在这类车辆上安装这种设置时，应当考虑热装置和通风设备，因为这些装备，特别是外围设备必须有干燥通气的环境才能功能正常。装置的设计是重要的，要考虑特别在拖动时负载的分配。在安装这些设备时，还必须考虑到热量和光照，而且为保持热量最好建议用储热器。供给设备的电源通常是规定的电源，这可以由一个合适的柴油发生装置提供。当考虑电源需要时，应当计算出热和光的负荷，这些负荷要有助于稳定设备的不同负荷，因而发电机常常提供至少为最高输出的 2/3。如果使用柴油机这点很重要，不然燃料在有光负荷下进行工作时喷射管变得堵塞。不中断电源供给能防止如缺乏燃料所致的发动机损坏，而且不至于在实验的重要阶段因数据损失而烦恼。本系统从储藏电池中供给全部电源，而电源电压和频率系设备所要求，晶体管倒相器充分供给这些需要。电池始终从柴油发动机中充了电而浮动着，所以如果出现损坏，在电池中就有足够的储藏电源将在短期内使设备运转。备用光也可以从电池中得到供给。

这种装置型式比较复杂，是由模件式样构成，通常安装在标准的 19 英寸齿条系统内，而整个装置又是放在一个金属箱子内的。这种模件互相联结成一个个部件，而这些又有下列东西来构成的：

1. 界面

这些是插入式的模件，选为特定的传感器所用，并放大或调节所要求的信号，因此它可推荐用到通过多路传输电路的测定元件上。每个模件代表了一个变换器，而且可为特定的信道所用而换成任何特定类型的变换器。这些就是装在 1 个齿带元件中的所有插入

式装置,还有个模件供应放大需要的电源电压,安放在所有在用的机器部件的最右侧。

2. 数字电压表

这是种适用于齿条架的标准商业型仪表,它在记录器系统中位于界面部件之下。数字的展现是由这个部件和必要的波段控制相联的前仪表板上,滤波器和校正控制 (calibration controls)也架在前仪表板上。大多数这类仪表也给要测定的信号以极性显示。

3. 控制单位

这基本上就是记录器的本体,它由上面提到过的各种电路结合在一起而构成。在前配电板上以数字式显示的是真正的时间,即由记录器本身的钟计算出来的,因为这钟具有正确校正时间的开关。这种记录器的操纵装置是很少的,而且主要由起动预调、渐动 (inch) 和输出装置所组成。记录器下部的部件安置了全部电源,真正的分量也就在记录器箱的下面部分。有时装有通风设备,但对新式记录器来讲这就过时了。

输出的外围设备,例如电传打字机或穿孔纸带机是装在自己箱子里的独立部件,由电缆连接到记录器设备上,它们安装自己控制的全部设备,通常自己提供电源,这些是起动电源,由不同的插座来馈电。

4.2.3 商业用的设备

大部分应用的数据记录设备是市场上供应的。特定的装置可以特意为现有设备来设计。数据记录系统应当设计成能适应很容易在市场配得到零件的要求。这样可以大大节约时间,在经济上有利。

许多制造商专门制造特殊用的设备,例如数字电压表、计算器、数据记录器以及印刷机、穿孔机和记录器等的输出装置。它们各在专门的领域内提供了大量的专业技术,从而在他们的产品中提供了最新的技术。仪器系统的设计者只需要为某种特殊应用而把这些特殊装置用来制造一种合适的仪器即可。线路的调节、放大和积分,靠插入几个分立元件就很容易由开动的放大器来达到目的。模件现已普遍地应用在大多数记录系统中,并具有容易改换测定和维修的优点。如果交换的部件容易得到,这就把“停机时间”缩减到最小。信道的扩充是容易靠插入模件来调节的,这样能增加记录器容量到 50 或 100 个信道,后配电板的接线工作一开始就做,所以对校正来说,只需要化最少的工作。

在数据记录领域内,最近的进展包括计算机控制的应用,它提供了大量数据的压缩装置,这就是计算机得以充分发挥处理大量数据的作用之所在。计算机控制的实验可以由预定的计算机方案来处理。目前有的最新式的小型计算机将引入数据记录系统中去,这就提供给科学家一种完善的工具来改进和控制未来的实验。

4.3 实际应用

数据记录器用于需要作大量测定的地方,不管是在实验室或者是在野外进行试验。当然,记录器的选择是重要的,但对一特殊的试验所必需的复杂程度应该加以考虑。在决定了需要的类型后,无论是野外或实验室用,都必须确实安装好整个装置。下面几节举例

说明为特殊试验目的而安装的记录器装置，并且指出一些在用这样一类装置时必须考虑的实际问题。

4.3.1 气候站

这些气候站是用来在较短的间隔中测定气候变数，所以蒸发估计值可以得到。这些记录器显然将在野外条件和无人照应下工作，因此这里只需选如图 9.2 所示的低功耗的小型磁带记录器。这种记录器是专为这些任务特别设计的。为作下列这些测定，界面卡是容易得到的，例如太阳辐射、纯辐射、温度、低压、风流动、风向和降水等，还有些测定如：土壤热通量、压力、反射率和河流水位也都成功地用这种记录器记载过。其实对于可以被这类记录器记录的各种可能型号的转换器来讲是没有限制的，因而这显然适合无人操作的野外条件。

野外工作的所有数据记录器有时需要换磁带或安装新的、或再次充电的电源。在不利的气候条件下，打开这些记录器暴露出磁带传送机而带上泥、雨水、水汽、势必将损害这类装备。水分研究所采取的防护措施是利用一种“浮动系统”的记录器以便整个记录器可在野外进行更换，而被替换的记录器再还给有关部门去换磁带和充电。在实验室的良好条件下，这些工作容易而安全，记录器也就为下一步工作作了准备。从界面断开记录器只需要拿掉两个插销，由于界面不被弄乱，所以气候站的定标也不会弄乱。

4.3.2 蒸发试验

另一个数据记录应用的例子，是由水分研究所指导的研究森林内蒸发作用因子的一个实验方案。选作本研究的合适的地点是在 Thetford Chase，那是一片大平原森林所在地。

这里要求作大量的气象测定，从这样一个方案中得到的大量数据要化很大气力去分析，因此决定采用计算机和记录机共同组成一个完整的数据收集系统，它具有压缩大量数据并在需要时很方便地用计算机控制实验的优点。计算机的输出卡绘出在穿孔纸册上或如很多例中那样由绘图仪画出剖面图。

图 9.13 是一套完整装置的照片，照片前景最左边的是电传打字机，它是对计算机作输入指令用的并且打印册小时的平均记录。主机架的左顶角安装了计算机主体及其全部控制器和输入用读数机。中心架的顶部放置石英温度计，紧挨在它下面的是记录系统的数字伏特计。这两种装置的扫描器分别位于挨近右侧机架顶部的测定仪器。石英扫描器能够处理成 10 的倍数的 60 个温度信道，在下面的交叉棒扫描器处理 200 个有保护的二极管模拟输入信道或 600 个单独的信道。在这个装置底下是能处理 16 个风速表输入的风速表界面元件，这种配电板架的其余部分专为电源和监视线路用的装置。中心框架的下半部可以看到两个大的穿孔纸带输出装置。这些装置在森林中工作，所以必须安装在一个合适的恒温的车箱内，动力由柴油发生设备提供，剩余的功能用作储藏热源，为在车内舒适地工作提供必要的温暖、干燥的条件。

4.3.3 穿孔记录

为了测定土壤钻孔的温度剖面以及导热性和地下水位，要求一种相类似的数据记录

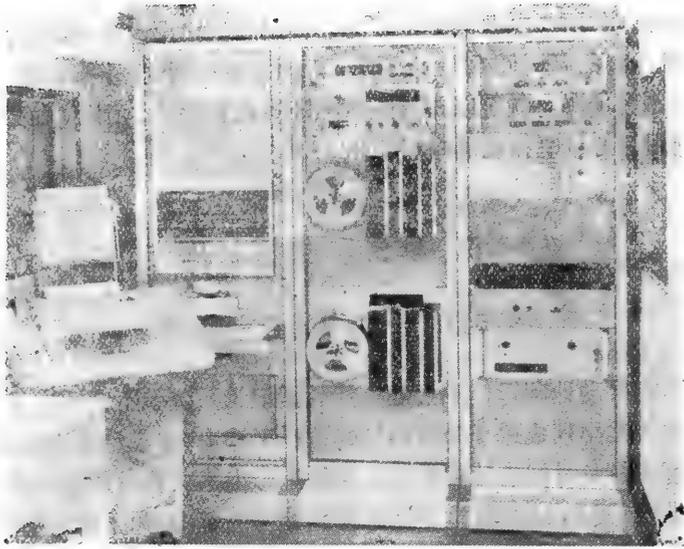


图 9.13 在 Thetford Chase 有篷车辆上安装的计算机和记录设备

方案。在二平方公里的范围内,要监测多达 10 个孔。这种方案如 Thetford 试验所述的,表明了达到类似记录要求的另一个不同的途径。由于它们的实际大小和灵敏度,所选择的温度传感器是热敏电阻,有七个正在每个钻孔中被用着。利用一般的电池测得三种传导系数,使用一种环形调制器电路技术的计算放大器以防止极化。第十种测定是使用浮体和电位计的常用技术来监察水位。所有这十个模拟信号为了传递到中心记录器必须转换成一种以数字为代表的信号。这些电路是必须受中心记录器控制的一个分站的各部分。记录器的能力要处理代表 100 个测定信道的十个这样的分站。由于分站可能远离中心记录器 1 公里,而且为了易于传输起见,测定的信号都以数字形式发送,这就对经过长距离的弱信号的恢复大大有利。这类系统的不同在于记录器有数字扫描器形式,而不具有常规的模拟类型,所以当要发测量指令时,控制编码信号必须被送到每个分站。然而这种系统尽管比较复杂,但用来记录远距离测定是比较可靠的。除了将非断路电源系统使用到记录器外,有篷车辆的装置与前面的系统相似。它的优点是,如果在实验的关键阶段电源发生故障,则在短期内仍可获得实验结果。剩余电源又被用来对有篷车辆所在地提供光照和热量。为克服野外使用问题,上述系统在一特定的记录器设计图上反映出两个主要的变化,这在考虑最初的设计时,都是很重要的问题。

4.3.4 气象站的数据收集

最后要介绍的一类数据记录器是,用来监察从研究所所址来的气象学数据。这种数据主要用于校正。在 4.2.1 的章节中已提到过的野外数据记录器。这里,用的是市场上可买得到的标准记录器,安装在大约离研究所 100 米的实验室一角。多向电缆把传感器连接到记录器界面上,由于信号一般是低电平的,考虑到损耗、屏蔽和串话,因此对这种电缆进行选择很为重要。在传感器和记录器之间必须结合合适的界面。这些就是装有自己电源的框架,每个框架带有为与记录器有合适联系所必要的计算放大器。由于每个放大器有一个约为 $10\text{ M}\Omega$ 数量级的极高的输入抗阻,因此由电缆电阻引起的损耗就比较小。电

力要求在此不成问题,因为电源电力是容易办得到的。输出或者可以直接到穿孔纸带,或者到电传打字机,这样,哪个装置发生故障,都允许另一个机器来接替。由于通过一条 G. P. O. 线和调制解调器,就可以与远距离的计算机相联络,所以,如果要求在稍晚几天得到数据,就利用对打字电报机的串行输出。

5 翻译和数据处理

5.1 图表中的数据翻译

由于数据不能自动地翻译,不太复杂的数据记录系统就不大适宜了。很多时间都花费在抽出数据并将其排列成适于分析的形式这类工作上,在应用图表记录器的地方,他们的图解记录不管化多长时间也特别难以正确地翻译出来。将图解记录换装成数字形式的一种半自动读出器(图 9.14),使这个问题得到容易的解决。为了测定图表读数的位置,采用了由电子机械有限公司生产的线性可变微分变压器(L.V.D.T.)。L.V.D.T. 有无限的分辨能力,它的输出在变压器范围内是与可动核心的位移成比例。如用在图解读出器中,指针连接转动 L.V.D.T. 内核心的棒,当指针在图上移过一个点, L.V.D.T. 就提供一个电输出,这个电输出是与沿着对应 X 轴上特定点的 Y 轴上的图表读数成比例。

L.V.D.T. 可以用一个主控振荡器、相位敏感的解调器,以及安装在同一元件上的滤波器来得到,所以运算所要求的就只差稳定的 24 伏特的直流电源了。然后把从 L.V.D.T. 来的输出电压馈电给提供零位和换算设备的电路。图 9.15 表示的是和一台 L.V.D.T. (E.M.L. 型 2000 d.c.) 联用的,并适宜于翻译 6 厘米宽的图表的这样一种电路。这种电路设计来为线性的作业把正确电阻负载给 L.V.D.T. 并且在图表宽度的范围内提供从 0 到 10 伏特的输出。零位和换算是依靠 R_{V1} 和 R_{V2} 分别地置位的。应当注意,当利用这种电路时,无论是 L.V.D.T. 电源或者是数字伏特计(D.V.M.)输入,都应完全脱离地面,否则输出将短路。

从电路来的输出馈电给数字电压计,依靠选择一个合宜的幅度,就得到从 0—99 的读出,它的分辨力较高,因为斩波杆通常只能准确到大约 2% 范围以内,所以在图表读数上安置指针时会出现小的读差。虽然从 D.V.M. 中来的读出可以人工记录,但是假使有 B.C.D. 输出的话,更有效的方法是利用 D.V.M. 去驱动打孔纸带元件的印刷机。

非线性的斩波杆,例如 Rustrak 型号的需要对 L.V.D.T. 图表读数器得到的线性读数作校正。

适当的校正是:

$$y = x - a \sin(b \cdot x)$$

$$y = \text{校正读数}$$

$$x = \text{非校正读数}$$

a 和 b 是常数,它以所用的记录器而定

在用 Rustrak 记录器时, $a = 1.4$, $b = 3.6$ 。关于数字化以及从不同类型图表记录器产生的线性输出的进一步细节见 Goncz(1974)的原著。

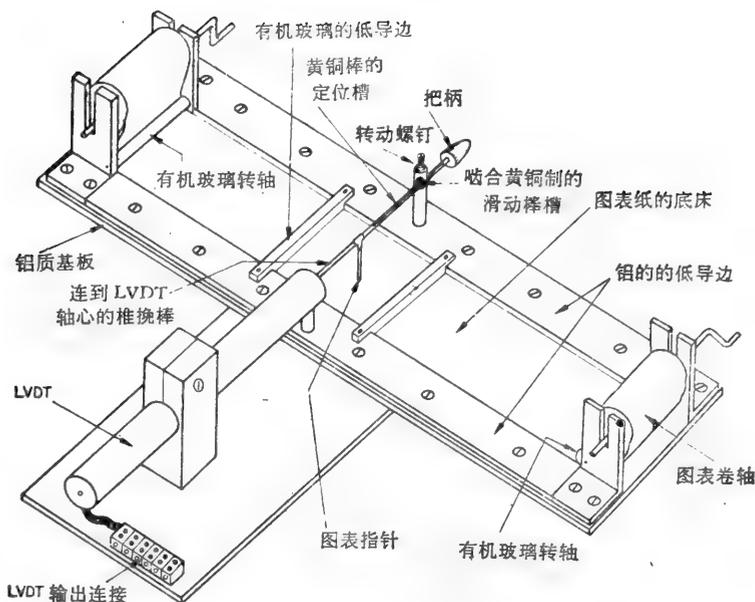


图 9.14 半自动图表阅读器

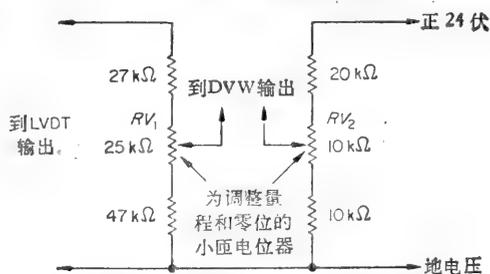


图 9.15 图表阅读器计数器电路

5.2 从磁带记录器来的数据翻译

对数据记录系统中得到的数据进行翻译是必要的。这样，编成代码的结果才可以转换成正确的等价的十进制数，而且换算成正确的物理单位。在把最后数据按照所要求的格式制成表格中，必须在适当的地方采用正确的比例因子。从数据记录系统中得到的数据总是不完整的，小误差或间歇错误可能经常发生，这些可能是由于带的缺欠引起的，所以一定要采取某种形式的奇偶校验才行。所有这些数据最好在计算机翻译期间进行处理，因为可以纠正误差并按要求调节温度偏差。

把野外数据记录器的数据进行翻译首先要求利用这样的仪器，即用它来阅读已经记录在磁带上的数据，并要以适合于直接并行输入到计算机或穿孔纸带机这样的方式，将数据重新排列。数据先在纸带上打孔，然后就可以用计算机进行分析；或用电传打字机“脱机”印刷和编目。

图 9.16 所展示的这类仪器是一台阅读机，它翻译图 9.12 的野外记录器所用的磁带。

小型磁带盒先放在机器上并重绕到开始位置。使读头与磁带接触，而这些与主动轮之间起钩住磁带的压轮就使磁带推过读[出]头。磁带向前通过读[出]头在磁通量通过小磁头间隔时使感应电压进入磁头线圈，其极化程度取决于所记录的存储单位。然后，信号放大到为逻辑操作的合适水平。从每个存储单位的元件中也发生了时钟脉冲，结果就可以得到同步。

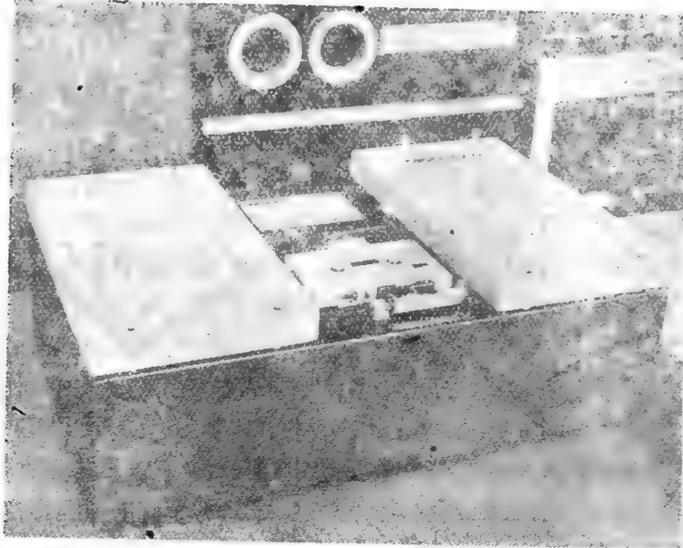


图 9.16 读带机

数据记录器所记录的数据排列成串行的 8 位二进制字母，在每个字的开端首先出现由 0.0.0.1 构成的一个识别词。翻译机(译码机)的职务是认出由记录器所产生的编码，并且以代表一种二进制编码的 8 位字母的类似方式排列下一个 8 位的信息。计算机或穿孔驱动器现在就准备好接受这些数据，由此这种交换就开始。在这工作期间，新的数据早被联结成提供下一字母的类似形式，准备好的信号通知外围以便接受新的数据。这种排列是受译码器的逻辑线路所控制，所以速度就受到最慢的装置，在这里也就是指译码器本身所控制。

由读数机产生的数据，可以经由一个合适的控制界面直接馈给计算机信息通路。这种方法的明显优点是不必考虑编码穿孔纸带级，它可以包括大量的纸带。然而，如果不能直接利用计算机，利用一种穿孔而驱动的元素就可以得到穿孔纸带。

从许多记录器来的数据输出，经过打字电报机而被记录下来，后者可以是一串行的输入机器。这方法的优点是使合适的数据调制解调器通电经过双向导线到远方的计算机。如果需要的话，公用电话网或电极线路可以用来为这一系统服务。

如前所述，从数据记录器中得到的数据，首先必须校正误差和温度偏差，而后必须作换算因子等的转换。这最好用计算机来处理，所以必须写出必要的方案以获得需要的最后输出。数据记录器，特别是那些野外记录器所用的纸带，在必要时，要准备校正记录。这在计算机本身内部就是组织得最好了，利用其自己的储存装置即可达到这个目的。

9 参 考 文 献

- Atkins W. R. G. & Poole H. H. (1930) Methods for the photo-electric and photo-chemical measurements of daylight. *Biol. Rev.* **5**, 91—113.
- Avery L. R. (1973) Recent advances in the design of micropower operational amplifiers. *Electronic Components* **14**, 326—330, 373—376.
- Bayfield N. G. & Pickrell B. G. (1971) The construction and use of a photoflux people counter. *Recreational news supplement, No. 5*, 9—12.
- Beakley W. R. (1951) The design of thermistor thermometers with linear calibration. *J. Phys. E. Sci. Instrum.* **28**, 176—179.
- Berthet P. (1960) La mesure écologique de la température par détermination de la vitesse d'inversion du saccharose. *Vegetatio* **9**, 197—207.
- Bowman M. J. (1970) On the linearity of a thermistor thermometer. *Radio and Electronic Engineer* **39**, 204—214.
- Brown J. M. (1973) A device for measuring the average temperature of water, soil or air. *Ecology* **54**, 1397—1399.
- Clayton G. B. (1971) *Operational Amplifiers*. London, Butterworth.
- Dore W. G. (1958) A simple chemical light meter. *Ecology* **39**, 151—152.
- Federer C. A. & Tanner C. B. (1965) A simple pyranometer for measuring daily solar radiation. *J. Geophys. Res.* **70**, 2301—2306.
- Goncz J. H. (1974) Computer aided digitization of chart records. *J. Phys. E. Sci. Instrum.* **7**, 20—22.
- Hole V. H. R. (1971) Thermistor temperature measuring bridge circuits. *Electronic components.* **12**, 1167—1169, and **13**, 26—31.
- Hyde F. J. (1971) *Thermistors*. London, Iliffe Books, Butterworth.
- Hnatek E. R. (1973) *A Users Handbook of Integrated Circuits*. New York, John Wiley & Sons
- Lee R. (1969) Chemical temperature integration. *J. app. met.* **8**, 423—430.
- Litus J., Niemiec S. & Paradise J. (1972) Transmission and multiplexing of analog or digital signals utilizing the CD 4016 A quad bilateral switch. *R. C. A. application note ICAN-6601*. R. C. A. Ltd., Sunbury-on-Thames, Middlesex, England.
- Malmstadt H. V. & Enke C. G. (1969) *Digital Electronics for Scientists*. New York, W. A. Benjamin.
- Mammano R. A. (1971) Using a dual polarity tracking voltage regulator. *Silicon General Application Bulletin No. 1*, Westminster, California, USA, Silicon General Inc.
- Pallman H., Eichenberger E. & Hasler A. (1940) Eine neue methode der temperaturmessung bei ökologischen und bodenkundlichen untersuchungen. *Ber. Schweiz. bot. Ges.* **50**, 337—362.
- Pamplin B. F. (1967) Unijunction transistors—how to use them. *Electronic Components* **8**, 59—63.
- Pearsall W. H. & Hewitt T. (1933) Light penetration in fresh water. II. Light penetration and changes in vegetation limits in Windermere. *J. Exp. Biol.* **10**, 306—312.
- Ross P. J. (1973) A low power voltage regulator for field instrumentation. *J. Phys. E. Sci. Instrum.* **6**, 969—970.
- Smith K. (1973) Latest trends in portable battery systems. *Electron* **19**, 17—24.
- Stanković D. K. (1973) Note on thermistor thermometer non-linearity. *J. Phys. E. Sci. Instrum.* **6**, 1237—1238.
- S. T. C. Information Note Th/Gen (1960) Thermistors, general information. Standard Telephone and Cables Limited, Components Group, Footscray, Sidcup, Kent.
- Tanner C. B., Thurtell G. T. & Swann J. B. (1963) Integration systems using a commercial coulometer. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* **27**, 478—481.
- Thomas R. (1973) Multiplexing with TTL compatible F. E. T. s. *Electron* **39**, 38—40.
- Toby G. E., Graeme J. G. & Huelsman L. T. (1971) *Operational Amplifiers, Design and Applications*. McGraw-Hill.

(鲍显诚 译, 阳含熙 李会元 校)

译 后 记

这是十四个英国植物生态学者集体编写的一本介绍研究方法的书籍，他们多数是英国陆地生态学研究所的研究人员。写作目的主要是为指导高等院校学生实习之用，可是内容远远超过了通常实习要求。此书的主要优点是内容新颖，比较全面，从植被历史到数据处理都谈到了，每篇文章对于所讨论的主题，取材广博，各种方法的优缺点、来龙去脉都有介绍，这对指导教学实习人员和科研人员来讲都是很有用处的，可以按照本书线索，参照引用文献，而制订自己需要的方法。无论如何，同样性质的书籍在英文文献中新出版的还只有此书，如果说它是英国植物生态学方法书的“第三代”，怕不能算错了。

此书也有一些缺点，有些缺点是它不能克服的，因为植物生态学发展到现阶段，倘需比较全面介绍方法，就应出版一套丛书。国际生物学计划(IBP)出版的一套方法小丛书，更早一些时候，六十年代苏联出版的野外地植物学(已有中译本)共有四大本，都是一些前例。

抛开这一点不谈，本书各章体例写的不很一致，水平也不一样，例如“植被的分析和描述”一章，最新方法介绍太少，而且旧的方法写得又不如 Greig-Smith (1964) 著作那样严谨。“立地和土壤”一章内容太一般化，其中还有不应有的错误，如介绍已废弃了的 pF 概念，而未提到水势(Water Potential)。第五章“生理生态学和植物营养”主要评述研究成果，而未涉及具体方法，实验生态学的方法和技术，以及人工气候室等也未谈到。古植物学方面(第二章)写得太长，通常植物生态学研究很少包括这类工作的。

英国植物学方法论书籍的“第二代”，应是 R. G. McLean 和 Iving-Cook 的实用野外生态学(Practical Field Ecology, 1964, 在 1968 年有第二版，但内容基本上未改动)，这本书也是为高等院校野外实习用的，作者是一代名师，篇幅虽小，但内容精炼，用过的人都有同感。可是在国外的影响还不及一本专为研究草场生态学用的“植被调查和测定方法”(Dorothy, Brown: Methods of Surveying and Measuring Vegetation, 1954, 已有俄译本)。

英国植物生态学方法书籍的“第一代”毫无疑问是 A. G. Tansley 的著作[1922 年出版的实用植物生态学(Practical Plant Ecology), 1926 年改写成“植被研究的目的和方法”(Aims and methods in the study of vegetation)]。这在当时是一本影响极大的书籍，书中介绍的方法影响英国和英联邦各国的一代工作人员。英国公认为里程碑式的权威著作——英伦三岛及其植被(The British Islands and their Vegetation, 1939)就是用此书介绍的方法所进行研究成果的全面总结；在美国的影响也是很大的。解放之前中国生态学著作主要也参考这本书的方法。三个时代的同一性质的著作影响大不一样，著者水平是一个原因，而科学发展的时代水平恐怕是更主要的原因。

我们是集体翻译此书的，译文和专业名词未能完全一致，限于水平，错误之处更希望大家指正。我们希望在不久的将来，会有一套中国自己编写的植物生态学方法书籍。

阳含熙 1979.10.

主题索引

一 画

一年生植物 67
乙炔还原 144, 191

二 画

二氧化碳 118, 119, 163, 168
缓冲液 166
补偿点 168
浓度 118, 119, 137
扩散 166
溶解于水 292
释放 128, 135, 167
通量 167
自土壤丢失 129
测定 165, 300
放射性 119, 133
扩散压亏缺 185
电解质测定 137
二格表(列联表) 78, 91
二氧化硅 28, 32, 34
人行道, 统计人数 323
人造土 221
人类的干扰 20, 42

三 画

大气降落物 142
大西洋期 19
大化石 7, 8, 27, 28, 31, 32
大陆飘流 23
大量养分元素 188, 191
大型叶 87
小型叶 121
个体生态学 4, 62
干灰化法 286
干重测定 282, 289, 294
山毛榉林 124
习性 73
土地调查 45
土壤 20, 27, 204
外加作用(accretion) 239
酸度 285
团聚体和结构单位 234
分析 187, 226
样品准备 230, 231, 282
采样 226

变异性 227, 228
动物 127, 132, 215
组合 222
土钻 129, 131, 209, 224, 226
容重 142, 227
与坚实度 239
与烧失量 142
分类检索表 218
化学势 229
分类 216
颜色 213
坚实度 239
深度 18
分布 204
扰动 17, 48
沙丘 187, 188
侵蚀 144, 239
野外描述 209
层 132, 209, 210, 211
边界 212
埋藏 239
化学比较 229
淀积 216
分析取样 226, 230
符号 215, 216
腐殖质分类 240
主要类群 212, 221
调查与制图 208, 222
机械强度 239
代谢作用 135
矿物 239
湿度 159, 273
有效性 236, 237, 238
含量 236
测定 145, 235
田间估测 215
运动 230, 234, 235
与孔隙大小分布 234, 237
电阻块 238
与土壤呼吸 138
张力 230, 234, 237
变化 227
与水平平衡 270
整段标本 131, 227
养分 85, 141, 146
有效性 229

含量 141, 234
有机质 115, 130, 135, 214
氧扩散速率 85
母质 209
颗粒大小 231
格局 239
磷 190
植物化石 28
孢粉分析 18
孔隙 131, 234
孔隙度 214, 233, 237, 239
剖面 18, 121, 147, 209
 分类 209, 217
 描述 209
 排水 212
 性状 210
 模型 222
 坑 209, 210, 226
呼吸作用 136
盐化 191
盐渍度 192
土系 212, 222, 225, 229, 241
溶液 145
结构 214, 234
亚类 221, 223, 225, 241
 温度 340
水的有效性 236, 237
水容量 236
质地 213, 233
薄切面 131, 240
风化 142, 240
三氧化物(Fe 和 Al) 215

四 画

水准点 205
水度 178
水成原始土 221
水文学 31, 145
水文传导 241
水文现象 181, 182
水生系列 4, 48
水蒸气 165, 185, 271
水
 平衡 258, 270, 274
 化学分析 290
 亏缺 186
 植物失水 180
 水势 175
 水分亏缺势 175, 184

与植物的关系 172
植物组织水状况 172
土壤水分状况 186, 236, 238
水位 236
水培液 189, 191
化学生长物质 194
化学分析 120, 125, 132, 279
 准确度与精确度 280
 动物组织 289
 结果计算 296
 样品的采集与贮藏 226, 280, 285, 289, 290
 样品的干燥与研磨 286, 289
 要点 279
 仪器技术 295
 植物材料 285
 准备样品溶液 282, 287, 289, 292, 297
 与历史生态学的关系 27
土壤 187, 280
 提取 282, 292
 预处理 281
 变异性 227, 228, 229
标准溶液和标准曲线 296
水 290
 碱性和酸性 292
 导电度 291
 溶解的二氧化碳 292
 溶解性成分 292
 溶解的氧 292
 溶解性团体 291
 pH 291
 悬浮固体 291
 总有机物质 291
化学组成 141
 凋落物的 130
 植物 187, 285
 降水 142, 287
 土壤 182, 188, 280
化学分析中的灰化法 287
分类
 气候 65
 生境 68
 岩石 207
 土壤 216
 植被 76, 85
 归并法 87, 90, 94
 Braun-Blanquet 系统 87, 88
 细分法 86, 90, 91
 Ellenberg 和 Mueller Dombois 系统 87, 90
 Fosberg 系统 87

生态外貌系统 87

分解者 112

分解 31, 113, 114, 115, 124, 126, 130

定义 114

指数的 115, 130

根的 134

分布 81

回归 81

随机 81

规则 81

气候站(见天气站) 250, 266, 280, 340

气候学 250

气候 250

变化 31, 47

与植物分布 68, 250

分类 65

与土壤发育 208

气孔器 181, 183, 273

气孔开度法 182

气流 267

风 64, 143, 267

风向 268

石楠灌丛火灾 146

侵蚀 239

运行 267, 273

风速 267

风积物 207

风速仪 268

火焰发射光谱 295

钾 315

钠 317

盐雾的测定 144

火山沉积物 23

火灾 48, 64, 98

养分损失 144, 146

温度 146

历史生态学 4

断代技术 19

直接的植物区系记录 48

讨论小组 16

文献证据 27, 45, 123

野外技术 5

实验室技术 27

地图与图片记录 48

立地的选择与位置 5

历史

景观 18

土地利用 4

植被 19

切片机 29

切枝法 180

木质素 34

木炭 29

木材亚化石残余 29

木材径向生长量 122

中子射散 273

中型叶 87

公共档案局 45

丰富度 69

太阳常数 251

太阳辐射 251

方差 123, 142

分析 83

方位 205

什一税图 48

无样地取样 79

日射率 252, 258

日照计 254, 255

反射率 251

比例尺

分类的 120, 129

调查 118

空间格局 65

时间变化 65

比导电 291

比导电度 291

比重 121, 122

比色分析 295

铵 311

铁 304

锰 306

硝态氮 311

磷 313

硅 315

五 画

石英片岩 208

石英片麻岩 208

石英岩 208

石头(石砾) 213, 226, 231

石灰岩 16, 101, 104, 208

石质土 207, 218, 221

石灰性的

潜育土 218, 220

灰钙土 13

草地 102

土壤 191, 219, 222

石楠荒原 119

- 石楠灌丛 71, 75, 119, 127, 158
 - 群聚分析 92
 - 火灾 146
 - 根系 89, 134
 - 养分循环 144
 - 氮经济 101
 - 节点分析 95
 - 平地 18, 146
 - 凋落物生产 126
 - 生长曲线 117
 - 生长期 64
- 古道 18, 20
- 古生态学 33
- 古地磁 4, 23
- 生长锥 122, 123
- 生长的抑制 194
- 生活型 66, 86
 - 类型 66
 - 谱 67, 68
- 生态系统模型 112
 - 数学 112, 114, 186
 - 光合作用 167
 - 预测 81, 122
 - 指数的 130
- 生境, 为动物的分类 69
- 生理学幅度 159
- 生理生态学 158, 159
- 生产力 27
- 生产(产量) 111
 - 碳水化合物 163
 - 定义 113
 - 生态学 62
- 生态型 160, 187
 - 之间的竞争 194
 - 不同土壤上的 258
- 生物量(见现存量)
- 生态系统 62, 140, 148
 - 概念 111, 113
 - 定义 113
 - 图示 112
 - 模造 112
 - 固氮 144
- 生态学
 - 定义 1
 - 范围 2
- 生态学幅度 158, 172
- 生长分析 161
 - 培养箱 187
 - 生长曲线 26, 115, 135
 - 生长型 205
 - 线性生长 122
 - 生长期 68
 - 速率 116, 161
 - 年轮 16, 19, 21, 123
 - 对辐射能的反应 161
 - 指数的 122, 161
- 生物地层学 20
- 叶面积 139, 161
 - 叶面积比 162
 - 单位叶面积 162
- 叶室 133, 163
 - 冷却 119
 - 对植物的影响 164
 - 蒸腾作用的测定 180
- 叶
 - 小圆片 163, 168, 174
 - 温度 169
 - 重量比 163
- 叶失水 262, 264
- 片岩 208
- 片麻岩 208
- 四氮唑盐 133, 170
- 四分围长测尺 72
- 永冻土 18
- 立地 204
 - 选择 6
 - 描述 210
 - 排水 212
 - 位置 5
 - 物理特性 204
- 兰德罐 132
- 尼夫防护罩 261, 281
- 节点分析 93, 95
- 外貌 65, 85
- 外来植物种 48, 76
- 头木作业 16
- 田间持水量 237, 238
 - 数据记录装置 337
 - 实验 187
 - 系统 18
- 发芽 159
- 区别种 88, 94
- 电子积分器 331
- 电子计算器 274
- 电化学积分仪 321
- 电力的应用 324
- 电导率(度) 101, 136, 178, 291
 - 组织危害的测定 172, 186

电池类型与特性 324
卡 146
布氏(Braun-Blanquet)盖度级 71
边界层阻力 185, 273
玄武岩 208
代换性盐基总量 284
 阳离子 282
 氢 285

六 画

农业 7, 26, 47
 大发展 20
农业和土地利用记录 45
灰分 294
 粗灰分 294
 去硅 294
 重量(见烧失重) 142
灰壤 218, 219, 220
灰钙土 218
灰化 215
灰化土 220, 221
地形单元 206
地下水流 273
 潜育 221
地质学 20, 23
地貌学 206
地形, 坡向 226
地表水潜育 221
地层学 207
地层带 42
地貌 205
地文学 48, 158, 224, 225
地面芽植物 66
地形 205, 206
 单位 225, 239
地衣 17, 18, 26
 大气污染 17, 250
 林地的历史 17
地钱, 在大不列颠的分布 93
地方历史 27
红外线吸收 181
 气体分析 119, 136, 165, 169
 辐射 254
红壤 218
红外辐射 251
 长波 251
 净 251, 254, 271, 272
 自植物中失去 169
 短波 169, 251

 太阳的 251
 紫外的 251, 253
 可见的 251, 254
冰丘和洼地复合体 8
冰期 6, 20, 24
冰碛石 26, 135
冰后期 19, 20, 38
冰川 18, 207
 沉积 207
 间冰期 20
 冰积物 26, 135
 退缩期 24
 冰碛(见泥砾)
冲积物 207, 218
多度 69, 72, 80, 85, 88
多样性 77
 指示种 77
光电池 254
光化学 252, 321
光呼吸 119, 163
光合作用 160
 田间测定 166
 测定 162
 净光合率 271
光
 补偿点 168
 饱和点 168
 与二氧化碳的关系 168
 光化学积分仪 321
光照记录计 254
年生长量 122
自记辐射仪 133
自然保护 91, 98, 204, 217
自计温度计 256
有效水分量 237, 238
有机土壤(Organic soil) 218, 221
有机物 32, 113
 水中总量的变化 227, 228
吉耳逊呼吸器 128
 土壤 136
 瓦尔布格 166
肉食动物 112
肉食植物 190
羊 139
成层性 68
西妥教团 46
导电仪的
 盐分含量测定 144
 土壤呼吸器 136

导电率(见电导率)
考古 19, 22, 24, 25, 33, 42, 98
机械分析 231
协方差 83, 85
扩散阻力 185
早 Dryas 期(Younger Dryas Period) 20
优势种 90
阴离子提取 282
阳性植物 167, 185
阳离子提取 282
 提取剂的选择 282
 在土壤中的变异 229
因子分析 99
再造林(Reafforestation) 20
第四纪 5, 19, 24, 303
污染 17, 187
动力供应 324, 337, 338
记录器 320, 322
压力弹装置 177, 178
压力膜装置 238
产量 70
共生 187, 194
吸水力 175
亚北方时期 19
亚表层流 273, 274, 275
死现存量 120, 124, 130, 135
回归、开度量的 123
 分析 81, 116, 263
 对数的 123
 乘的 81
色谱法 144
同位素¹⁸²钽 128

七 画

含水量 293
形态学 85
 根茎 85
 蒸腾表面 180
韧皮部杀死 163
极谱仪 166
花粉和孢子 28, 33, 141
 分析 4, 18, 19, 27, 33
 鉴定 37, 38
 带 19, 42
花岗岩 208
还原条件 121, 295
折射率 177
更新 16
沙 6, 8, 13, 14

定义 213, 241
沙丘 120, 135, 239
沙培 187
沙土 214
沙丘石楠养分循环 144
沉积干扰 7
 具薄片的 31
 符号 70, 12
近似法 315
应力和剪力 239
系统分析 112
运输 126, 163, 173, 191
冻原 18, 119
冷冻干燥 147
旱生植物 180
扰动 17
抗旱力 180, 186
技术选择 1
 气候 250
 资料处理 320
 植被分析 62, 63, 104
阿勒鲁德间冰段(Allerod interstadial) 24, 29
谷类 31
 颗粒 38, 39
克方(X^2) 78, 82, 92
补偿点 167, 174, 185
连续分析 100, 101
县档案处 45
作物痕迹 48
作物现存量 123
库伦计 321, 329
圈子池塘(Decoy ponds) 48
环境梯度 98
 测定 250
赤铁矿 20
角闪片麻岩 208
角质层碎片 140
克诺卜(Knop)溶液 189
沙粒的岩石学 240
狄金逊(Dickinson)冷却校正 147, 148
采样 8
 化学分析 281, 285, 289, 290
 恒定体积 226
 植被的描述和分析 73, 89, 91
 频度 123, 124
 强度 223, 224
 样条 75
 数目 73, 75, 119, 124, 125, 127, 129, 228
 土壤调查 223, 224

钻孔取样 8
泥炭剖面 7
无样地法 73
随机取样 74, 225
记录位置 204
规则或系统取样 74
代表性 74
限定随机取样 74
盐雾 144
分层取样 75, 226
土壤溶液 145
样条 75

八 画

泥灰岩 208
 草地 70, 76, 85, 99
 土壤 227
泥砾 13
泥炭钻(Dachnowski peat borer) 9, 10
泥沼 8
 谷地 6, 9
 生长 30
 氮经济 191
泥炭 6
 积累 6, 30, 129
 动物残体 27, 28
 钻 8, 14
 化学和植被历史 27
 考古学技巧 21
 切片 29
 流 5
 花粉与孢子(见花粉分析)
 植物大化石 30, 32
 剖面和地层学 7, 13, 14
 沉积物符号 7, 10, 12
 土壤 218, 219, 220, 222
 雨成的 29, 41, 140
 整段标本 8, 4, 31
泥质岩 207, 208
泥流 144
岩石分类 207, 208
岩成土 218
岩石学 207
沼泽 7, 28, 29, 119
 水文学 31
 雨成的 6, 29
 高位 5, 6, 32, 33
 土壤 218, 238
 低 6

沼泽(Fen) 10, 16, 47
 泥灰岩 218
沼泽地 145
林地 17
 开垦 46, 47
 历史 16
 现存量 120, 121
 结构 14
林氏(Linossier)法 116
林冠阻止作用 361, 362
放大器 331
 A. C. (直流)放大器 331
 D. C. (交流)放大器 330
 运算 329
放牧 13, 30, 139
 消耗的估测 139
 排除样地 139
 火灾 146
 养分损失 144
 与植物组成的关系 194
 与产量的关系 126, 133, 139
放射性碳断代 8, 11, 20, 21, 24, 26
 日期 32
 年代 21
放射性二氧化碳 166
 同位素和示踪元素 23, 128, 133
 昆虫的消费 139
 半衰期 22, 190
 固氮 144, 191
 植物营养 190
 根的研究 133
 磷 190
制图 46
 地质学的 5
 个体植物的 76
 土地利用的 49
 永久样方 76
 土壤的 222
 地形的 49, 97
 植被 49, 85
表观生长量 113
表皮 182
表现型反应 158
表面流 262, 263
板岩 208
板结 239
波文比 271
波氏(Bouyoueos)比重计 232
波阿松分布 81

彼特(Peltier)效应 119, 171, 177
坡向 205, 206
坡度计 205
英国生态学会 1, 158
 地貌研究组 205
 度量衡研究所 233, 239
岛米(Domin)等级 70, 90
孟氏(Mount ford)指数 100
青铜时代 6
 道路 20
孤立岩石 14
苔藓 10, 13, 29, 30, 31, 32
帚石南 227, 239
图表阅读器 343
图表记录器 274, 320, 322
现存量 115
 现存量计 123
 定义 115
 测定 119
顶极群落 65
恒有度 90
肥沃的棕壤 219
 泥炭 220
胀压 175, 178
兔子 48
空热器(Pyranometer) 312
国际生物学计划 119, 148
 手册 3, 119
凯氏分析 144, 308
延滞生长曲线 115, 116
限制养分 188
直叶 16
直接收割法 119
细胞液 178
细土部分 213, 226, 231
细腐殖质 214
软体动物 23, 28
净同化率 161
线性可变微分变压器 342
非石灰质土壤 220
非潜育化矿质土壤 219
非线性反馈 331
迳流 273
 化学分析 290
 水分平衡 270
氢碳酸盐指示者 138, 168, 186
茎流 262, 263
单位叶面积 161
单分子测定 115, 135

物候学 68, 123, 125, 160
季候泥断代 24
周转期 134
质谱仪 144, 191
雨量器 258, 259
 记录 259, 322
 位置 290
组织伤害 171, 172, 186
转换器 320, 324, 325, 335
材积表 73

九 画

砂砾 6, 14, 207, 208
草地 171, 139
 放牧 71, 139
 历史面貌 16, 17, 28, 48
 变化格局 48
 产量 123
 植被分析 93, 104
草食动物 112
俄国型泥炭取样器 8, 9, 10, 14, 15
钙土植物 69
钙 145
 原子吸收法 297
 含镁土壤中缺钙 191
 EDTA 滴定法 299
 土壤中过量的钙 191
 放射性同位素(⁴⁵Ca) 133
氟 20, 21
 氟断代 21
 在土壤中氟过剩 191
活体染色法 171, 186
星象图 79, 80
剑桥大学航空照片的收集 49
相关 78, 80, 83
 系数 80, 83, 84, 94
相对生长 122
 回归法 123
相对生长速率 161
 温度 264
 紧张度 173
 含水量 172, 185
相似性 78
毒害 187, 188, 191
显微照片 30, 39
钠 144, 145
 火焰发射法 317
 盐土上的钠过剩 191
种子与果实 29

从泥炭和土壤中提取 7
鉴定 30
种——面积曲线 75, 77
施肥 142
封育 17, 40
指数的
 分解 115, 130
 生长 161
修道院的破坏 20
树木生态学 25
树木年代学 21, 24, 25
树木气候学 21, 24, 25
树篱 17, 27
树龄等级 16
 环 21, 25
 干围/年龄比 25
选择离子电极 313
穿透计 239
临界质壁分离 178, 179
前期冰川沉积 207
 性质 18, 239
指示种 4, 7, 17
结果表达 42, 113, 129, 133
 热量测定计 147
 化学方法 279
 土壤分析 226
 温度 236
 养分 141
 组织伤害 171, 172
 蒸腾 181
降水量 262, 263
 总降水量与净降水量 262, 263
 测定 258
 养分来源 148
 空间变异 258
 水分平衡方程 269
降水
 一般分布 260
 营养输入 141
 分析采样 143, 290
 重金属 287
美国的财产文契 45

十 画

盐渍土壤 191, 218
盐碱沼泽地 75, 89, 239
 雾 99, 144
 养分来源 144
盐基百分数 284

盐土 218 根

活动性 133
生物量 133, 134
提取 131, 132
频度 71
长度 131
形态学 83
根瘤 190
格局 133, 188
穿透 223
产量 118, 130, 134, 135
呼吸 135, 136
成层性 68
吸收 190
 观察凹陷处 131
根际 191
根际分析 172
样地间距 80, 102
样品份份 282
样方法
 凋落物积累的 129
 凋落物损失的 126
 现存量 119
 样条 76
 数目 72, 75, 119
 永久的 49, 76
 点 70, 71, 72, 119
 随机 74
 形状 76, 119
 大小 72, 76, 88, 119
样品贮藏, 动物组织 289
 泥炭 8, 14
 材料 422
 土壤 280
 水 290
样条 75, 76
高派兹(Gompertz)生长曲线 116, 117
高位芽植物 66
热 170
 忍耐力 170
 显和潜 270
 热电偶 146
 传导 186
 热量、热含量 140, 146
 热值 146
 热量测定法 146
 热电堆 332
 热电偶 146, 169, 252

- 信号的放大 330
- 热敏电阻 169
 - 直线性反应 329
- 积分 2, 320, 329
- 积分器 321, 331, 332
- 积累 113, 114, 124
 - 曲线 115, 116, 136
 - 定义 114
 - 立地系列 134
- 资料分析 94
- 资料收集 27, 29, 31, 38, 140
- 资源调查 62
- 特征种 88
- 能量单位 147
 - 生态产量 112, 117
 - 水势 174
- 能量平衡 270
 - 预算 111, 131, 140
 - 太阳的 112, 251
 - 能量单位 147
- 海洋沉积钻 23
- 海拔 205, 206
- 海崖 91, 99, 102, 103
- 海平面的升降 5
- 剖面 33
 - 土壤剖面 131, 240
 - 花粉粒 33
- 铁质棕壤 218
- 铁 21
 - 原子吸收法 303
 - 比色法 304
 - 在钙质土壤中铁的缺乏 191
 - 石头 208
 - 采矿 20
- 铅 23
- 铀系列断代 23
- 钾 145
 - 循环 144
 - 断代 23
 - 施肥实验 188
 - 火焰发射法 315
- 流水静电势 236
- 真空干燥 238
 - 烤箱 147
- 倒数平均法 102
- 倒桶秤量计 263, 274
- 粉粒 6, 13, 14, 208, 241
 - 粉粒矿物学 241
 - 土壤 213
- 栎林 17
- 氮氮比色法 310, 312
 - 蒸馏法 310, 311
 - 选择离子电极 313
- 离子交换 144, 293, 241
- 离子交换能力(C.E.C) 282, 284
- 离子交换器 143
- 氧 128, 147
 - 土壤中的扩散 85
 - 电极 166, 292
 - 释放 166
 - Winkler 滴定法 166, 292
 - Linnosier 法 166
- 氧化还原电位 295
- 拿破仑战争 20, 47
- 烧失重和土壤容量的回归 142
 - 测定 181, 294
 - 凋落物样品 129
 - 土层 215
- 容畜量 62
- 档案学家 16
- 修道院记录 5, 45
- 格局 72, 73, 81
 - 分析 83, 84, 85
 - 原因 81
 - 集中分布群 81
 - 探测 81
 - 规则分布 81
 - 规模 83
 - 土壤 239
- 胸高直径 72, 122
- 胸高测定器 72, 122
- 桥电路 328
- 埋藏土壤剖面 18
- 消费 139
- 得温逊(Devensian)时间 20, 29
- 栽培植物 31
- 部分损失率 114
- 竞争 64, 65, 160
 - 生态型之间 193
 - 与生态幅度 160
 - 与矿物质营养 187, 190, 193, 230
 - 与生理反应 167
 - 与土壤中磷 190
- 缺乏养分 187, 189, 190
- 缺乏微量元素 188
- 缺绿病 191
- 凋落物 113
 - 积累 116, 120, 129

袋 116, 127
钻 129
分解 115, 126
产量 116, 124, 135
收集器 124
凋萎点 237, 238
莫干(Morgan)试剂 282
紧张度 173, 186
爱克司光(X-ray)衍射 241
特鲁(Troug)试剂 285
 β -射线的 123
聂斯尔(Nessler)试剂 310, 311
预算 140, 141
 能量 146
 养分 111, 130, 140, 227
铅
 在酸性土壤中 191, 285
 土壤中过量 285

十一画

基部面积 73, 122
 生长 122
基因型反应 158
基面积测定器 122
弹式热量测定法 147
 校正 147
粘粒 231
 定义 231
 土壤含量 231
 矿物质 241
盖度 70
 多度 70, 88
 覆盖度 70
 级 70, 88
盖度级
 Hult-Sernander 的 69
 Lagerberg-Raunkiaer 的 71
渗润
 土壤水 235
 气孔开度法 182
渗漏计 145, 235, 270
 沟 145
 真空 146
 重力 270
渗透性 233
渗透势 175, 178
淋溶 112, 135, 143, 144, 145, 240
淋溶棕壤 216
黄土 34

蚯蚓 215
游离法(Elutriation) 132
添水稀释测定 276
粗腐殖质层 214
 腐殖质 33
粗矿质土壤 219, 221
粗灰分(见烧失重) 142
梯度分析 99
隐芽植物(地下芽植物) 66
培养液 176, 189, 191
密度
 土壤的 142, 227
 溶液 177
 植被 70, 73
脱水 186
硅藻 27
排水 17, 30
 描述 211
 渠道 236
 水分分析 145
排序 76, 99, 102, 103
菌根 133, 190, 194
鹿桑公园牧草试验 188
随机分布 81, 260
 数目 74
 样品 127, 225
 样方 74, 79
萨克斯(Sach)的半叶法 163
硒光电池 254
淤积土 281
假灰化土 281
雪 260
晚 Devensian 寒冷期 20, 28
晚冰期 14, 20, 38
断代 4, 18
 绝对 19, 21, 23, 24
 精确计时 19, 21
 树木年轮学的 24
 误差 21
 树篱断代 18, 27
 地衣测量 26
 古地磁 23
 孢粉 19, 33
 放射性碳 21
 放射性的 23
 相对 19
 地层学的 20
 季候泥 24
氮, 土壤中过量 191

十二画

- 植物区系 48, 68
 植被演替 24
 植被分析 78, 98
 方法的选择 78, 104
 动物生境 62, 65
 循环相 64, 99
 描述(见植被的描述)
 动态 64
 历史的(见生态学历史) 4
 制图 85, 97, 225
 格局 18, 64, 72
 剖面图 69, 75
 季节 64, 68
 结构 68, 85
 测量 46
 类型 68
 植物岩(Phytoliths) 28
 植物社会学 87, 91, 94, 99
 植物
 群落 29
 伤害和暴露 206
 泥岩中的大化石 31
 矿质营养 187
 色素 27
 抗旱力 186
 极端温度 171
 辐射能的反应 160
 水分关系 172
 植物形态 167
 植被的稳定性 78
 植物温度的关系 169
 植物中养分的积累 190
 颉颃 194
 变异性 188
 预算 111, 130, 140, 227
 输入 141, 142
 土壤含量 141, 234, 298
 循环 140, 258
 养分亏缺 189
 养分含量测定 141
 养分过量 19
 土壤中平衡失调 191
 植物与土壤中的水平 297
 限制 188
 丢失 144
 因火灾 146
 在土壤溶液中 145
 养分再循环 141
 惠斯通电桥、电导度 291, 328
 气孔器 184
 土壤温度的测定 238
 温度测定 257, 328
 在采运系统中 327
 栗粘土 218
 营养颉颃 194
 棕壤 218, 219, 221, 222
 棕色钙质土 218, 219
 铁质土 218
 灰壤 218, 220, 221
 薄层土 218, 219
 棕色石灰土 218
 集团分析 85, 94
 集中分布群 81
 氯化钴和硫氰酸试纸 181, 267
 锌过量 191
 铜缺乏 188
 铜毒害 191
 斯氏(Czekanowski)系数 100
 温度 255, 271
 系数 138
 补偿点 168
 土壤呼吸 138
 梯度 271
 逆转 118, 119
 平均 118
 植物器官 169, 191
 雨水化学成分 144
 电阻 170
 植被火灾 141
 温度计、变形 256
 积分 329
 Kata 268
 玻璃容器中的液体 169, 255
 电阻 255, 257
 蔗糖转化 327
 热敏电阻 169, 255, 257, 328
 热电偶 169, 255, 257
 湿球 265
 温度计常数 265, 273
 湿度 264, 271
 湿度计 266
 湿度表 181, 266
 氯化钴 267
 露点 267
 毛发 266

Skaw 266
辉长岩 12
森林 75, 88, 119
 龙脑香林 103
 火灾 48
 凋落物积累 116
 凋落物分解 128
 雨林 67, 68, 69, 85, 93
 土壤 17
裂纹迹断代 20
粪便分析 140
确限度 90
提取技术
 养分 282
 花粉 28
 根系 69, 131, 132
散森多角形分析法 260
践踏 75, 240
趋势表面分析 104, 225
紫外辐射 254
等雨量线 260
焦耳 147, 251
湖 5, 27
 泥 6, 48
最小面积 75, 76, 88, 91
氮 147, 148
 铵 310
 土壤中过量 190
 固氮 142, 144, 190
 水培液的 189
 施肥试剂 188
 水中的 309
 凯氏法 308
 限制性养分 191
筛 29, 31, 34, 132, 281
 土壤分析 232, 235, 281
硫酸 148
滑动平均 76
黑色石灰土 214, 218, 219
普列里 46, 69, 134
普雷斯勒生长锥 26, 122

十三画

碘 27
 样品瓶吸附 143
 放射性同位素 133
 锰, 原子吸收法 306
 比色法 307
照像术 29, 38

照片 45, 48
照像
 气球 76
 泥炭与土壤剖面 7
 永久样方 76
 亚航空 77
 成对 77
 植被 76
 时间误差 131
群聚分析 79, 85, 91, 96
 土壤 222
 统计的 78
 植被 85, 91, 96
群丛属 87
群落 90, 148, 190
 系列 65
 顶极群落 65
 群体生态学 62
 群聚度级 88
蒸发 185, 267, 269
 能量平衡 270
 能 252
 潜热 271
 记录装置 336, 341
 开阔水面 272
 势 273
 预报方程 272
 水分平衡与 270
 水汽输送法 271
蒸腾计 181
蒸汽压 176, 185, 264, 272
蒸腾 160, 169, 180, 262, 264
 萘酮法 163
 溴仿分离 240
 暗羧化作用 199
 裘里耶生活型系统 65, 67
 解析曲线 179
 溶解的
 二氧化碳 292
 氧 292
 固体 291
 雅梯(Yate)系数 79
 微量元素 188, 191, 287
 频度 71
 新石器时代 19, 20
 鉴定
 泥炭中动物残体 28
 花粉与孢子 33, 39
 种子与果实 29

泥炭藓 31
演替 65, 99, 135
碱土 218
辐射能 162
 植物反应 160
辐射仪 170
溪流 145
 分析与土壤发展 145
 测定 274
 养分损失 145
 样品 146
镁, 原子吸收法 305
 E.D.T.A 滴定法 305
 土壤 91
数据处理
 基本方程图 335
 商业用装置 339
 野外装置 337
 实验室装置 338
数据记录 320
 一般设计和作图 323
 积分法 321
 界面 328
 磁带记录器 323
 电源 324
 实际应用 339
 实际作业系统 336
 图表记录器和计数器 322
蒙氏(Montgomery)效应 187, 193

十四画

磁力永久标记样方 76
磁带 274
磁力, 湖沉积中残迹 24
碳水化合物 163
碳 21, 128, 129, 135
 测定 299
 自土壤丢失 129
 有机的 300
 快速滴定法 302
 湿氧化法 300
碳酸盐 23
稳定状态 114, 134
模型
 生态系统 112
 数学 112, 114, 188
 光合作用 167

 生产 22, 81
腐泥 10
腐殖化 7, 10, 32, 126
腐殖土 219
腐殖质(见有机质)
酸性腐殖层 214
颗粒大小的分析 226
 岩石 2, 7
 土壤 230, 238
模拟转换器 333
管区学说(Domain theory) 260

十五画

颜色记录 7, 213
蔗糖转化法 321
褐土 218
橄榄石 208

十六画

凝结 208
凝胶污泥 10, 34
整段标本 8, 9
 土壤 131
薄层 219, 221

十七画

霜冻 64
 侵蚀 239
 抗霜性 171
繁殖战略 161

十八至二十二画

磷, 在植物体内积累 190
 在试验中施加 188
 土壤中的变异性 189
 比色法 313
 与竞争 190
 分析提取 285
 营养, 沙丘 187
 有机的 291
 放射性 190
灌溉 145
壤土 213
露 258, 261
 平衡 261
 测定 267
 点 261

植物拉丁名索引

- Acer* 41
rubrum 139
Achillea ptarmica 79
Acrocladium cuspidatum 79
Agathis australis 227
Agrostis canina 190,192
setacea 190
stolonifera 79,190,192
tenuis 79,85,94,95,193
Alnus 10,19,29,37,40
Alopecurus pratensis 193
Amphitrema flavum 32,43
wrightianum 32,43
Anemone nemorosa 17
Angelica sylvestris 79
Anthoxanthemum odoratum 79
Arcella artocrea 43
cantinus 43
discoides 43
rotundata 32,43
Armeria maritima 102
Artemisia 37,40
Assulina muscorum 32,43
seminulum 32,43
Aster tripolium 89
Aulocomnium palustre 79
Avena sativa 187,188
Bellis perennis 41
Betula 10,29,37,40
nana 29,37
pubescens 37
verrucosa 37,94,95
Bostrychia scorpioides 89
Botrychium 39
Brachythecium rutabulum 79
Bullinula indica 43
Calluna vulgaris 7, 10, 14, 16, 18, 32,39, 64,
 85,92,93,94,124,126,127,129,134,159,172,
 173,180,181,184,227,239
Cannabis sativa 44
Carex 14,79
echinata 79
nigra 93,94,95
panicea 79
pilulifera 92,93,94,95
Carpinus betulus 39,41
 Caryophyllaceae 39,40
Centropaxis aculeata 43
aerophila 43
laevigata 43
 Characeae 31
Cirsium palustre 79
 Chenopodiaceae 40
Cladium mariscus 10,14,48
 Compositae 37,41,44
Conopodium majus 17
Convollaria majalis 17
Corylus avellana 29,37,40,41,44
Corythion dubium 32,43
 Cruciferae 41,44
Cryptodiffugia oviformis 32,43
 Cyperaceae 37,49
Dactylis glomerata 85,193
Deschampsia flexuosa 79,92,190
caespitosa 79,94
Diffugia bacillifera 43
leidyi 43
oblonga 43
 Drosera 190
rotundifolia 92
Empetrum 39
nigrum 159
Endymion non-scriptus 17
Enteromorpha 89
intestinalis 89
Epilobium montanum 190
palustre 79
Equisetum 10
Erica 39,180,184
cinerea 93,94,95,180,184,227
tetralix 32,94,95,173
 Ericaceae 29,37,47
Eriophorum 7
angustifolium 85,94,95
vaginatum 85,94,95
Euglypha alveolata 43
laevis 43
strigosa 43
Eurhynchium praelongum 79
Fagus sylvatica 16,18,40,44
Festuca 101

- rubra* 79,94,193
Filipendula 40
 ulmaria 17,79
Fraxinus excelsior 37,40
Fucus volubilis 89
Galinsoga ciliata 193
Galium 40
 hercynicum 79
 saxatile 94
 uliginosum 79
 verum 17
Glyceria fluitans 79
Habrotrocha angusticollis 43
Halimione portulacoides 73
Hedera helix 41,44
Heleopera petricola 43
 rosea 43
 sphagni 43
Helianthemum 37
Heracleum 37
Hippophae rhamnoides 190
Holcus lanatus 79
 mollis 79
Hyalosphenia elegans 43
 ovalis 43
 papilio 32,43
 subflava 43
Hylocomium splendens 79
Hydrocotyle vulgaris 79
Hypnum 13
Ilex aquifolium 32,44,119
Juglans regia 32
Juncus 14,62
 acutiflorus 79,92,95
 articulatus 79,94
 conglomeratus 94
 effusus 79,80,85
 squarrosus 92,128
Juniperus communis 37
Kobresia simpliciuscula 190
Limonium humile 89
 vulgare 89
Lolium perenne 79,85
Lonicera 170
Lophocolea bidentata 79
Lotus uliginosus 79
Luzula multiflora 92,94,95
Lychnis flor-cuculi 79
Menyanthes trifoliata 28,40
Mentha aquatica 79
Mercurialis perennis 17
Molinea caerulea 79,93,94,95
Myriophyllum 40
Nardus stricta 101
Nebela carinata 43
 griseola 43
 marginata 43
 militaris 43
 parvula 43
 tincta 43
Nuphar 40
Orchis morio 17
Osmunda regalis 39
Pelvetia canaliculata 89
Phleum pratense 79
Phragmites communis 10,14,31
Phryganella 32
 hemisphaerica 37
Picea 44
Pinus 10,37,39,44
 aristata 21,22
 sylvestris 25,37,94
Plagiopyxis callida 37
Poa pratensis 94,95
Polygala vulgaris 94
 serpyllifolia 94
Polytrichum commune 79
Potamogeton 28,37,40
Potentilla 101
 erecta 79,94,95
 palustris 79
Pseudoscleropodium purum 79
Pteridium aquilinum 37,44,47,62,64,85,92,
 94,95,128
Puccinellia maritima 96
Quercus 5,16,37,40,44,46
 petrea 94
Ranunculus 40
 flammula 79
 repens 79
Rhamnus frangula 48
Rhinanthus minor agg 17
Rhizocarpon 26
Rhytidiadelphus squarrosus 79
Rubus 94
 chamaemorus 170
Rumex 40,44
 acetosa 40,79,187,192

- acetosella* 40
Salicornia herbacea 89
perennis 89
Salix 37,40,44
Saxifraga sarmentosa 179
Scabiosa columbaria 192
Scheuchzeria palustris 31
Scutellaria minor 79
Selaginella selaginoides 37
Senecio aquaticus 79
vulgaris 162
Sesleria caerulea 102
Sequoia gigantea 21
Sieglingia decumbens 94
Sparganium 40
Spartina anglica 89
lowensdii 48
Sphagnum acutifolium 31
cuspidatum 19,31
fuscum 10
imbricatum 10,30,31
magellanicum 31
palustre 79
papillosum 31
recurvum 79
Stellaria media 79
Suaeda maritima 89
Tilia 17,39,40,44
cordata 37
Trichophorum cespitosum 94,95
Trifolium repens 79,84,85
Triglochin maritima 89
Trigonopyxis arcuata 32,43
Trinema enchelys 43
Typha latifolia 40
angustifolia 40
Ulex europaeus 17,94,95,227
minor 94,95
Ulmus 19,37,40,44
Urtica dioica 190
Vaccinium myrtillus 85,173,184
uliginosum 170
Verbascum 182
Viola palustris 79



S0020226

收到期	80年8月25日
来源	(89年)
书价	115.76元
单据号	427290
开票日期	80.8.22.

010989

(10)

58.851

218
318

010989

植物生态学的方法

借者单位	借者姓名	借出日期	还书日期
	葛颖		

58.851

218 299

010989



统一书号：13031·11

定 价： 3.50

本社书号：1668·13-8

科技新书目，150-8