

人与生物圈论文集

RESEARCH PAPERS OF THE MAN AND
THE BIOSPHERE PROGRAMME IN CHINA

The logo for the Man and Biosphere Programme (MAB) is a stylized black symbol. It features a vertical stem with a horizontal bar across the middle, topped by a loop. Below this stem, the letters 'MAB' are written in a bold, sans-serif font, with the 'M' and 'A' connected to the stem.

1987

中国人与生物圈国家委员会

1900

1900

1900

58.18.
144

前 言

人与生物圈计划是联合国教科文组织于1971年开始实施的一项侧重对人与环境相互关系进行研究的国际计划。我国自1978年成立中国人与生物圈国家委员会以来，在国内开展了相应的研究工作。现将部分研究成果编辑成册，以显示人与生物圈计划所涉及的内容及我们为计划所做的贡献。

中科院植物所图书馆



S0015485

目 录

长白山阔叶红松林群落结构及其经营.....	王 战等 (1)
长白山北坡针叶林和阔叶红松林的凋落物和生物循环强度.....	程伯容等 (11)
长白山北坡森林土壤微生物生态分布及其生化特性的研究.....	许光辉等 (17)
鼎湖山森林群落演替之研究.....	王伯荪等 (39)
鼎湖山自然保护区不同林型下土壤的微生物生物量.....	邓邦权等 (52)
鼎湖山针毛鼠和社鼠的种群动态.....	廖崇惠等 (59)
关于内蒙古草原合理利用的浅见	
——以内蒙锡盟中部白音锡勒地区为例.....	姜 恕 (68)
人类经济活动对东湖生态系统的影响.....	章宗涉等 (75)
在环境压迫下的东湖浮游动物.....	黄祥飞 (88)
北京城市生态系统仿真模型研究.....	秦大唐等 (101)
从生态农业的观点看京郊农村能源问题解决的途径.....	卞有生 (107)
生态学的新阶段——一支新兴的经济开发力量.....	蔡铭昆等 (114)
高浓度有机废水的PSB处理法在生态工程中的应用.....	朱章玉等 (120)

长白山阔叶红松林群落结构及其经营

王 战 徐振邦 谭征祥 代洪才
彭永山 李 昕 章依平 郭杏芬

(中国科学院林业土壤研究所)

长白山是我国东北最高的山系,海拔达2700米,2000米以上的火山锥体为高山冻原带或高山荒漠,森林植被带主要是形成于海拔2000米以下的倾斜玄武岩高原和玄武岩台地上,自上而下,随海拔下降,雨量减少,气温升高,形成明显的森林垂直分布带,通常可以划分为亚高山岳桦林、暗针叶林、阔叶红松林和阔叶林等四个垂直分布带。但从我国水平地带性植被区划中,长白山林区属温带针阔混交林带,红松为主要成林树种,并与其他针阔叶树种混交,形成本区地带性顶极——阔叶红松林,该类型分布面积最广,经济价值及防护意义最大,是当前森林经营的主要对象。

由于人类活动的干扰,特别是过去帝国主义的掠夺和森林的不合理采伐,阔叶红松林日趋缩小,出现大量次生阔叶疏林和人工落叶松纯林,致使森林发生逆向演替,病虫害猖獗,降低林分质量,影响到森林防护效益的充分发挥。因此,研究阔叶红松林结构规律,科学经营,迅速恢复其面貌,是当前长白山林区林业经营中的迫切问题。

一、阔叶红松林群落结构

阔叶红松林分布于海拔500—1100米的玄武岩台地上,地形平缓,气候温湿,降水丰富。土壤为山地棕色森林土,发育于火山灰砂砾上。林地排水良好,植物种类繁多,类型结构复杂,层次较多,很少出现单优性的红松纯林,多为混交复层异龄林,这为各种绿色森林植物充分利用生长空间,生产更多生物产量提供有利条件。原始阔叶红松林每公顷蓄积量一般可达400—500M³,多者可达600—800M³,而其他林分一般只有300—400M³,生物生产量阔叶红松林为328吨/公顷,云冷杉林为285吨/公顷,岳桦林为130吨/公顷,杨桦林为92吨/公顷。

阔叶红松林类型较多,如灌木阔叶红松林、蕨类、云冷杉红松林、陡坡红松纯林等。其中最常见而生产力较高的类型为灌木阔叶红松林,见于高阶地,岗岭中下部的坡地上,坡度平缓5—10度,海拔740M,土壤为白浆化暗棕色森林土。

阔叶红松林结构复杂,可分乔木、灌木、草本、苔藓层和藤本植物。以灌木阔叶红松林为例:乔木层以红松(*Pinus Koraiensis*)为主,常常伴生有紫椴(*Tilia amurensis*)、糠椴(*Tilia mandshurica*)、水曲柳(*Fraxinus mandshuica*)、色木(*Acer mansu*)、蒙古栎(*Quercus mongolica*)、凤桦(*Betula costata*)、云杉(*Picea koyamaivar. Koraiensis*)、臭松(*Abies nephrolepis*)、沙松(*Abies*

hoolphyila) 等构成复层异龄针阔混交林。立木层红松不论按株数或材积计算均能占3—4成。立木通常有二层或三层林冠、第I层为红松、水曲柳、椴树组成, 径级较大, 胸径一般32—40厘米, 平均树高25M, 蓄积量约400M³/公顷。第II层为红松、色木、椴树、白牛槭 (*Acer manshuricum*) 拧筋槭 (*Acer Triflorum*) 等中小径木组成, 但红松占明显优势, 株数近200株/公顷, 蓄积量55M³/公顷。第III层多为亚乔木, 以花楷槭 (*Acer ukurunduense*)、青楷槭 (*Acer tegmentosum*) 簇毛槭 (*Acer barbinerve*) 等为主, 生长多呈灌木状。该林型总蓄积量为455M³/公顷, 林木总株数560株/公顷, 郁闭度0.8, 幼苗20000余株/公顷, 但多系阔叶树二、三年生小苗, 红松幼树较少。下木盖度40%, 主要有柳叶绣线菊 (*Spiraea salicifolia*)、刺五加 (*Eleutherococcus Senticocus*)、东北山梅花 (*Philadelphus schrenkii*) 毛榛 (*Corylus manshurica*)、忍冬 (*Lonicera chrysantha*)、东北茶藨 (*Ribes manshuricum*)、己茅 (*Euonymus pauciflorus*)、暖木条子荚迷 (*Viburnum burelaeticum*) 等。藤本植物有五味子 (*Schisandra chinensis*)、山葡萄 (*Vitis amurensis*)、狗枣猕猴桃 (*Actinidia kolomikta*) 软枣猕猴桃 (*Actinidia arguta*)、雷公藤 (*Tripterygium regelii*) 和刺南蛇藤 (*Calastrus flagellaris*) 等。草本盖度40%, 主要为山茄子 (*Brachybotrys paridiformis*)、透骨草 (*Phryma leptostachya*)、苔草 (*Carex Compylorhina*)、唐松草 (*Thajitrum squarrosus*)、错草 (*Equisetum hiemale*) 酢浆草 (*Oxalis acetosella*) 等。蕨类有蹄盖蕨 (*Athyrium multidentatum*)、园齿蹄盖蕨 (*Athyrium crenatum*) 等。藓类有万年藓 (*Climacium dendroides*)、塔藓 (*Hylocomium Splendens*)、提灯藓 (*Mnium unbulatum*) 等。

二、影响阔叶红松林立木蓄积的因子

森林的生产力与林分的结构状况有很大的关系, 在森林资源的调查中经常可以遇到, 同样的立地条件, 相同的林分年龄, 森林单位面积蓄积量不等。这种波动追根溯源, 都与林木树种组成的变化、层次、林冠郁闭的程度、立木数量的多寡、径级的大小等密切相关。因此, 分析影响森林产量的群落结构因素, 找出高产林分结构, 对于发展林业生产具有极其重要意义。基于上述的认识, 对于阔叶红松林标准地调查材料, 应用数量化理论I来综合评价各个因子的作用(见表1), 找出高产林分结构条件, 为合理经营阔叶红松林提供科学依据。

从表中可看出, 各因子得分范围表示它对林分蓄积量作用的大小, 林木总平均胸径对林分蓄积量影响最大, 其次为总株数、总郁闭度、上层营养面积、立木组成和层次。从相对得分来看, 总平均胸径、总株数和总郁闭度的相对得分均在10%以上, 分别为46.073%, 22.784%和18.159%, 而上层营养面积、立木组成和层次的相对得分都在10%以下, 分别为6.28%、5.187%和1.517%, 前三个因子和后三个因子的相对得分相差比较悬殊, 很显然, 前三个因子对林分蓄积量起主导作用, 而后三个因子则处于次要地位。从其类目的得分中看出: 总平均胸径在38公斤以上、总株数在550株以上、总郁闭度在90%以

类目得分表

表1

项 目	类 目	得 分	得 分 范 围	相 对 得 分 %
总平均胸径 (cm)	<22.2 C11	42.921	412.135	46.073
	22.1—26 C12	123.986		
	26.1—30 C13	182.531		
	30.1—34 C14	288.624		
	34.1—38 C15	351.083		
	>38 C16	455.056		
总 株 数	<251 C21	21.225	203.808	22.784
	251—350 C22	59.594		
	351—450 C23	133.824		
	451—550 C24	180.105		
	>550 C25	225.033		
上层营养面积 (米) ²	<55.1 C31	5.851	56.181	6.280
	55.1—100 C32	-26.604		
	100.1—150 C33	-47.356		
	150.1—200 C34	-32.882		
	>200 C35	-50.330		
总 郁 闭 度	<51 C41	16.917	162.441	18.159
	51—60 C42	51.992		
	61—70 C43	58.076		
	71—80 C44	77.371		
	81—89 C45	107.098		
	>90 C46	179.358		
立 木 组 成	红松占优势 C51	4.832	46.398	5.187
	硬阔占优势 C52	-16.276		
	软阔占优势 C53	-41.566		
	其他树种占优势 C54	-28.619		
层 次	单 层 C61	1.413	13.568	1.517
	复 层 C62	-12.155		

上、上层营养面积小于55.1平方米、立木组成以红松占优势、单层林，满足上述条件的阔叶红松林蓄积量最高。其预测阔叶红松林林分蓄积量的综合方程式为：

$$\hat{Y} = 42.921\delta_i (11) + 123.986\delta_i (12) + 182.531\delta_i (13) + 288.624\delta_i (14) + 351.083\delta_i (15) + 455.056\delta_i (16) + 21.225\delta_i (21) + 59.594\delta_i (22) + 133.324\delta_i (23) + 180.105\delta_i (24) + 225.033\delta_i (25) + 5.851\delta_i (31) - 26.604\delta_i (32) - 47.356\delta_i (33) - 32.882\delta_i (34) - 50.333\delta_i (35) + 16.917\delta_i (41) + 51.992\delta_i (42) +$$

$$58.076\delta_i(43) + 77.371\delta_i(44) + 107.098\delta_i(45) + \\ 179.358\delta_i(46) + 4.832\delta_i(51) - 16.276\delta_i(52) - \\ 41.566\delta_i(53) - 28.619\delta_i(54) + 1.413\delta_i(61) - \\ 12.155\delta_i(62)$$

相关系数 $R = 0.92$

三、阔叶红松林的合理经营

(一) 阔叶红松林实行择伐作业的理论依据

1、复层异龄结构

阔叶红松林多为复层异龄林，树种组成较多，为开展择伐提供了方便条件，如根据吉林省白河林业局森调队在光明、和平、红石林场伐区调查材料整理，统计60公顷皆伐迹地29127株林木，中小径木占44.7%。不仅如此，红松年令结构异龄性极其明显，如对和平林场1980年皆伐迹地红松伐根调查，地径8—180厘米，年令变化幅度为20—350年，最大与最小年令相差330年，即使年令相同的红松其地径变化也很大，如120年生红松地径变化幅度为50—110厘米，而地径相同的伐根年令结构也不相同，如地径70厘米的红松伐根其年令变化为128—280年。

2、阔叶红松林伐前与伐后的材积生长

研究阔叶红松林生长是搞好合理择伐的基础，随着林分年令的增长，林木材积有明显的变化，对长白山地区阔叶红松原始林进行了解析木分析。采用常规解析木法进行外业和内业工作，并对立木材积的生长过程进行曲线拟合，原始阔叶红松林主要树种材积生长过程均符合于三次曲线形式：

$$V = a + bt + ct^2 + dt^3$$

其中 V …… 立木材积

t …… 年令

a 、 b 、 c 、 d …… 参数

$$V_{\text{红松}} = -0.11935 + 0.0066t - 0.0000705t^2 + 0.00000043t^3$$

相关系数 $R = 0.997$

$$V_{\text{水曲柳}} = 0.06995 + 0.00465t - 0.0000062t^2 + 0.00000013t^3$$

$R = 0.999$

$$V_{\text{椴树}} = 0.10315 - 0.00793t + 0.00014t^2 - 0.00000026t^3$$

$R = 0.998$

$$V_{\text{色木}} = 0.01202 - 0.0008t + 0.0000098t^2 + 0.00000037t^3$$

$R = 0.998$

$$V_{\text{柞}} = 0.02761 - 0.00154t + 0.000013t^2 + 0.000000107t^3$$

$R = 0.997$

从上述曲线公式可以得知，红松在前期材积生长比椴树、水曲柳要慢得多。在80年以前，水曲柳生长最快，椴树次之，红松第三，而柞树与色木生长最慢。但从100年以

后，椴树生长迅速增加，并超过水曲柳，而跃居首位，这时它们的生长顺序是：椴树、水曲柳、红松、柞树和色木。160年以后，红松生长速度也大幅度增加，超过椴树，水曲柳上升第一位，显然红松生长后劲很足是其他阔叶树不可比拟的。

阔叶红松林择伐后，由于森林环境的改变，其保留木生长迅速加快，如对长白山林区松江河林业局伐区调查，择伐后红松保留木的生长曲线为：

$$V_{\text{红松}} = 0.1 - 0.0094t + 0.000255t^2 - 0.00000036t^3$$

$$R = 0.89$$

$$V_{\text{椴树}} = 0.27 - 0.0127t + 0.000195t^2 - 0.00000028t^3$$

$$R = 0.81$$

择伐后的红松立木材积要比原始林内的快得多，长白山林区180年生的红松在择伐林内的单株立木材积为4.53立方米，而在原始林内的单株立木材积为1.3立方米，前者为后者的3倍多。择伐后不仅可以促进保留的红松林木加速生长，而且也促使保留的伴生阔叶树的生长。以椴树为例，180年生的椴树在择伐林内为2.67立方米，而在原始林内为1.75立方米，前者为后者的1.5倍。择伐对保留木生长的促进，是因为伐后不仅保持了森林生态环境，而且大部份保留下的中小径木均属生长旺盛的健康木，一旦改善被压状态林木迅速生长。

3、确定合理的采伐径级

择伐径级确定的合理可缩短森林培育期，为国家节省大量木材。年令与径级都可做采伐木的指标，以年令做择伐木的指标在生产实践中难以掌握，但以径级作为采伐木的指标显而易见，操作简便。年令与径级之间存在着统计相关，而且也存在一定函数关系。

阔叶红松林择伐径级

表2

树 种	保留木径级 (以下) Cm	保留木最 大径级 (Cm)	保留木材积净 生长最高径级 (Cm)	采伐木径级 (以下) Cm	绝对采伐木 径级 (Cm)	采伐重复 期 (年)
红 松	36	64	36	40	68	20
云 杉	28	40	28	32	44	"
冷 杉	20	28	20	24	32	"
椴 树	28	36	28	32	40	"
柞 桦	28	40	28	32	44	"
色 木	20	28	20	24	32	"
红 松	36	64	36	40	68	30
云 杉	28	40	28	32	44	"
冷 杉	16	28	16	20	32	"
椴 树	24	36	24	28	40	"
柞 桦	24	36	24	28	40	"
色 木	20	28	20	24	32	"

在开展择伐后保留木生长规律研究基础上，制定采伐径级。科学择伐径级的确定应考

考虑：采伐重复期，林木生长速度，自然稀疏状况和材积心腐程度等多种因子。在确定采伐重复期的情况下，林木择伐的径级应该是其材积净生长量达到最高时的径级以上。择伐林木材积净生长量等于林木材积—枯损量—心腐材积—采伐当时该立木的材积。近几年，通过对东北林区阔叶红松林择伐迹地进行了生长、心腐等调查，计算其结果见表2。从表中可以看出，红松在径级36厘米时，林木材积净生长量为最高，因此，红松应该保留在径级36厘米以下。40厘米以上的立木才是采伐的对象。在择伐作业中，许多地方把不该采伐的林木，过早地伐掉，造成不应有的损失。根据长白山白河林业局森调队皆伐区的每木检尺材料统计（见表3），可以看出阔叶红松林皆伐迹地有39.66%的红松立木尚未达到采伐径级而被采掉，全林各树种综合统计有44.78%的林木过早的伐掉，浪费了后备资源。

（二）阔叶红松林补植造林的最优条件

择伐为阔叶红松林主要的一种采伐方式，每年都有大量的择伐迹地出现，这些迹地，有部份采伐得当，可望迅速天然更新。还有一些迹地由于过伐出现较多天窗，缺乏足够的天然苗，需要及时进行人工补植。由于择伐后的阔叶红松林郁闭度，树种组成，林木株距，微地形等因素不同，所以补植的效果常常有很大的差异。如吉林省白河林业局和平林场1975年补植的红松幼树，现在10年生，高者可达130厘米，低者仅有14厘米，

阔叶红松林皆伐迹地采伐木径级分析

表3

株数 树种	项目	采伐总 株数	不该采伐 株数	不该采占 采伐总株数	可采径级 (Cm)
红松		2872	1139	39.66	≥ 40
云杉		931	400	42.96	≥ 32
冷杉		1939	644	33.21	≥ 20
榆树		1715	895	52.19	≥ 32
色木		3261	1482	45.45	≥ 24
柞树		2792	660	23.64	≥ 32
椴树		5376	1830	34.04	≥ 28
桦木		3799	1560	41.06	≥ 28
杨树		2669	2036	76.28	≥ 36
水曲柳		900	327	36.33	≥ 36
黄波罗		365	318	87.12	≥ 38
胡桃楸		401	278	69.33	≥ 30
其他		2107	1515	71.81	≥ 16
Σ		29127	13042	44.78	

二者相差9.3倍，可见研究影响择伐迹地补植因子是非常重要的。基于上述目的，运用数量化理论对和平林场阔叶红松林择伐迹地补植效果进行了计算分析（见表4）从表中得知：影响红松幼树生长最重要的因子是林分郁闭度，相对得分36.8%，其次为林木组成，幼树与立木距离，最后是微地形。

类 目 得 分 表

表4

项 目	类 目	得 分	得 分 范 围	相 对 得 分 %
幼 树 与 立 木 距 离 (m)	< 2 C11	2.4183	15.5924	21.16
	2—3 C12	1.4270		
	3—4 C13	8.8932		
	4—5 C14	7.6735		
	>5 C15	17.0194		
林 木 组 成	阔叶树混交 C21	2.5511	16.4488	22.33
	榆 树 C22	14.1500		
	红 松 C23	-1.5618		
	冷 杉 C24	6.6636		
	色 木 C25	10.7381		
	椴 树 C26	-2.2988		
	针 阔 混 交 C27	9.0407		
林 冠 郁 闭 度	1.0 C31	4.2051	27.1132	36.80
	0.9 C32	22.3146		
	0.8 C33	23.4918		
	0.7 C34	21.5197		
	0.6 C35	20.4023		
	0.5 C36	31.3183		
	0.4 C37	23.9750		
	0.3 C38	28.6187		
	<0.3 C39	30.9496		
微 地 形	凹 地 C41	2.2515	14.5186	19.71
	平 坦 C42	-1.6481		
	小高地 C43	12.0821		
	斜 地 C44	12.8687		

为了进一步分析不同树种的林木组成对红松幼树高生长的影响,分别不同林木组成和幼树与林木的距离,用数量化理论I进行处理,其结果见表5。从表中看出,得分范围最大的是属于红松这个项目,其次为冷杉,最小的是阔叶树。这说明了红松幼树的高生长受其母树影响较大,冷杉与红松具有相类似的生物学特性,如具有浓密的针叶树冠和相似生长要求,因此对红松幼树生长的影响也较明显。阔叶树种由于透光强,林冠下光照条件比较好,因此红松幼树生长较快。

为了进一步说明林冠郁闭度与林木不同距离对幼树高生长的影响,据外业实测资料统计绘成图1.2,从图中可明显看出红松幼树高生长随林冠郁闭度下降而增长的趋势,同时,也可看出幼树生长是随着离立木距离增加而加快。

综上所述,影响红松幼树生长的因素很多,其中影响最大的是林冠郁闭度,其次为林木组成和幼树与立木距离,在同样的森林类型下微地形的变化对于幼树生长的影响不大。阔叶红松林择伐迹地补植或营造红松的最优条件是在林冠郁闭度0.4以下,距离林

类目得分表

表5

项目 林木组成	类目 幼树与林木距离(米)		得 分	得 分 范 围	相对得分%
红 松	<0.5	C11	-20.4549	42.2179	39.46
	0.5-2	C12	-1.5678		
	2-4	C13	21.7630		
	>4	C14	18.2335		
冷 杉	<0.5	C21	-18.2302	37.6262	35.17
	0.5-2	C22	-4.6790		
	2-4	C23	9.4078		
	>4	C24	19.3960		
阔 叶 树	<0.5	C31	-13.1555	27.1524	25.37
	0.5-2	C32	9.8387		
	2-4	C33	13.9969		
	>4	C34	13.0591		

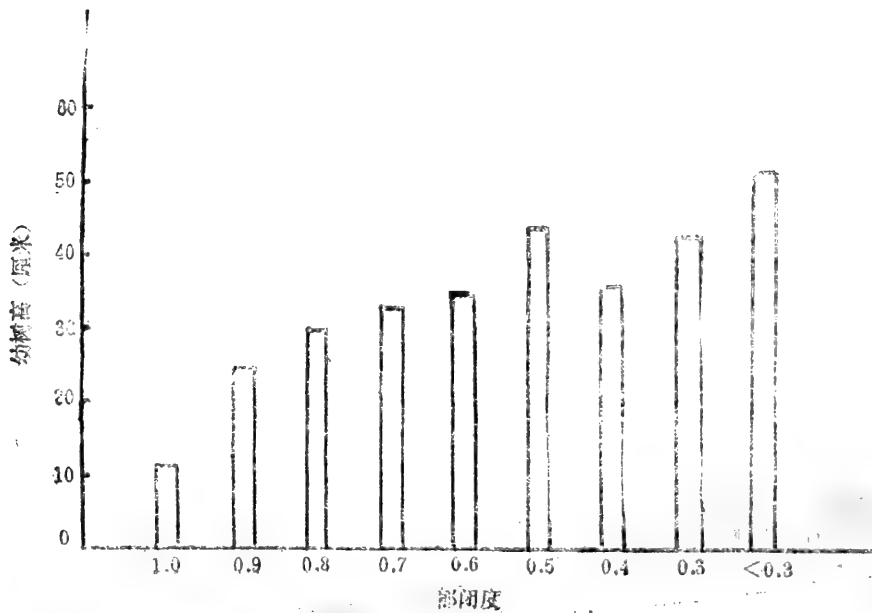


图1 不同树冠郁闭度与红松幼树高生长

木4米以外的地方。同时在阔叶树之间补植要比在针叶树之间或针阔混交的林木之间效果好。

(三) 建立人工阔叶红松林的途径

由于连年森林采伐, 采育失调, 出现许多次生阔叶疏林和大片人工针叶纯林, 迫使阔叶红松林日益减少。如何建立人工阔叶红松林, 扩大与恢复长白山主体的森林群落, 保持动植物区系的稳定, 必须遵循阔叶红松林的生长发育规律, 通过人为的定向培育, 加

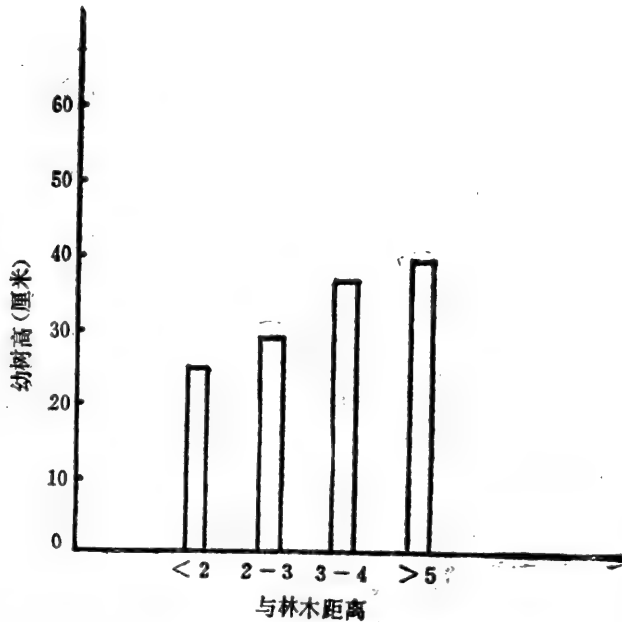


图2 与林木不同距离的红松幼树的生长高度

速阔叶红松林的恢复。基于阔叶红松林自然演替规律即皆伐后形成杨桦林，通过动物鸟类传播种子，针叶树在阔叶树下生长发育特点。对于当前阔叶疏林地和皆伐迹地恢复阔叶红松林的途径，可采用“栽针保阔”法即通过人工栽植红松、云杉等针叶树，阔叶树靠天然更新，按阔叶红松林结构定期扶育，形成人工与天然混交林。对于择伐迹地采用补植红松、云杉及珍贵阔叶树的办法，防止择伐后出现主要树种减少，林中空地增多，更新株数不够的偏向。如我们在白河林业局和平林场，结合林场采伐与造林任务，对720亩的皆伐、择伐迹地，按照阔叶红松林生态规律的基本点，布置了择伐迹地补植试验，并对皆伐迹地进行了多树种带状、块状或行间混交造林。通过不同的途径建立人工阔叶红松林群落，对当前林业生产具有重要的意义，特别是长白山自然保护区周围的几个林业局，采伐阔叶红松林，大面积营造单纯落叶松林，将会改变该地区的森林结构，干扰自然保护区动植物区系的稳定性。今后应按比例营造针阔混交林，使林分结构复杂，有助于提高生物种的多样性，形成互相制约的食物链关系，提高林分抗卸自然灾害的能力，增加地区生产力的稳定性，促进森林群落的定向演替。

参 考 文 献

- [1] 森林生态系统研究第一集1980年
- [2] 森林生态系统研究第二集1981年

摘 要

本文概述了长白山林区的森林垂直分布带，自下而上分布着阔叶红松林、云冷杉林、岳桦林。并对影响森林产量的测树因子，应用数量化理论I进行了综合评价；林分平

均胸径、株数、郁闭度对林分蓄积数影响最大，其次为上层营养面积、立木组成和层次。阔叶红松林是长白山林区的主体，长白山森林的合理经营应以森林的结构、更新、演替规律为理论基础，阔叶红松林的复层异龄结构为择伐提供了方便条件。在研究林木生长规律基础上，制定合理的采伐径级，以径级作为择伐木的指标显而易见，操作简便。根据阔叶红松林自然演替规律，提出不同采伐迹地，恢复阔叶红松林的途径。

Forest Structure and Management in Changbai Mountains

Wang Zhan, Xu Zhenbang, Tan Zhengxing Dai Hongcai,
Pang Yongshan, Li Xin, Guo Xingfen, Zhang Yiping

Abstract

Altitudinal forest distribution on Changbai Mountain is described; Factors contributing to forest stock is analyzed using quantification theory I. Aspects of forest management are discussed based on forest structure and succession. Deciduous-korean pine forest at lower elevation is the dominant forest type while spruce-fir forest and *Betula ermanii* forest occupies the middle and higher elevations, respectively. Among factors contributing to the forest stock, most part is contributed by averaged diameter, density and coverage, less part is contributed by species composition and story differentiation. Unevenly aged and multiply storied deciduous-korean pine forest provides a base for partial cutting. Trees to be cut is conveniently determined by diameter. Ways of forest regeneration on different cut sites are also discussed in relation to the natural trend of forest succession.

长白山北坡针叶林和阔叶红松林的凋落物和生物循环强度

程伯容 许广山 丁桂芳

张玉华 王 伟

(中国科学院 林业土壤研究所)

在森林地区，每年都有大量凋落物归还土壤，在气候寒冷和酸性土壤条件下，生物活动受到抑制，每年归还土壤的凋落物会大量积累。在气候温暖，潮湿和通气良好条件下，土壤生物活动旺盛，在凋落物下落的同时，分解作用迅速进行，凋落物积累很少，或没有积累。在分解作用快，养分元素循环迅速的地区，土壤养分的供应能力较高，生产量也相应增加，反之，林木生产量的增加也受到影响。于是林地凋落物和生物循环强度的测定，是森林生态系统中物流研究的重要环节，也是调控养分循环，促进林木生长的一个重要步骤。

一、长白山不同林型的凋落物量

取样和分析方法：样品在不同林型的标准地采集，每个标准地设置10个木制凋落物收集盘，每个收集盘为1×1米，边高20厘米。分析方法，N用凯氏蒸馏法，P用铜兰比色法，K用火焰光度法，Ca, Mg用等离子计法。

林木从土壤中吸收的养分，除伐木运走外，大量矿质养分归还土壤。矿质养分通常通过凋落物和雨水对树叶和枝条的淋洗，归还土壤表层，矿质养分也通过死亡的林下植被和死亡的根系进入土壤。但其中通过凋落物归还的养分含量最高，在养分循环中最为重要。

森林凋落物量，随不同气候和林型而不同。有人(Brag和Gorhan, 1964)将森林年凋落物按气候条件分为4个带，即极冷高山带，凉温带，暖温带和赤道两侧。其年凋落物量分别为900，3100，4900及7900公斤。

长白山所处纬度较高，林地海拔高度相差较大，气温差异明显，因此，不同海拔的森林凋落物量也有明显的差异。

长白山不同海拔森林凋落物量

表1

林 型	海 拔 (米)	凋落物量(公斤/年) (1980—82年平均)
岳桦云冷杉林	1990	1671
杜香落叶松林	1380	2075
红松云冷松林	1200	2436
阔叶红松林	740	3838

表1说明，长白山森林凋落物量，随海拔高度下降逐渐增加。阔叶红松林年凋落物达每公顷3.8吨，而岳桦云冷杉林只有1.7吨。前者标地海拔比后者标地低1000多米，凋落物量增加一倍多。

二、不同林型各类凋落物营养元素含量百分率

长白山不同林型各类凋落物营养元素含量百分率

表2

林 型	凋落物类型	营 养 元 素 含 量 %				
		N	P	K	Ca	Mg
岳桦云 冷杉林	阔 叶	53.4	21.4	57.7	33.5	32.3
	针 叶	20.3	19.3	—	38.7	40.8
	枝	16.6	55.1	36.5	20.9	20.3
	果实及其他	9.7	4.2	5.8	6.9	6.6
	合 计	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
杜香落 叶松林	阔 叶	23.4	20.1	42.7	18.7	18.6
	针 叶	30.2	57.6	35.2	32.1	35.0
	枝	26.4	9.2	5.7	34.3	32.0
	果实及其他	20.0	13.1	16.4	14.9	14.4
	合 计	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
红松云 冷杉林	阔 叶	8.1	6.7	18.9	6.8	5.8
	针 叶	37.0	31.0	—	59.5	43.2
	枝	30.3	15.3	19.7	22.9	34.4
	果实及其他	24.6	47.0	61.4	10.8	16.6
	合 计	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
阔叶红 松林	阔 叶	62.8	51.5	45.1	66.9	37.3
	针 叶	5.3	8.3	34.8	8.0	10.9
	枝	17.5	3.9	4.6	14.9	31.0
	果实及其他	14.4	36.3	15.5	10.2	20.8
	合 计	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

不同林型各类凋落物营养元素含量不同。表2说明，除个别P，K外，叶（阔叶和针叶）凋落物营养元素含量所占比例最高，叶凋落物营养元素含量都占全部凋落物营养元素50%以上，有的可超过70%。在阔叶红松林中，阔叶凋落物营养元素含量大于针叶；在岳桦云冷杉林阔叶养分N，P，K含量也高于针叶。

三、不同树种叶凋落物的养分含量

从表3看出，阔叶树叶凋落物的灰分和营养元素N，P，K，Ca，Mg，含量都比针叶树的为高。在各种树中：

灰分：针叶树叶凋落物含量在5%左右，阔叶树叶在7%左右。

总氮量：针叶树叶凋落物含量在0.5%左右，阔叶树叶超过1.5%。

不同树种叶凋落物的养分含量

表3

凋落物种类		灰分	N	P	K %	Ca	Mg	C	C/N
针叶林	落叶松叶	5.75	0.60	0.14	0.37	0.71	0.52	47.2	78.7
	红松叶	4.02	0.48	0.06	1.22	1.18	0.48	49.4	102.9
	云杉叶	7.10	0.49	0.08	0	1.53	1.19	46.7	95.3
	平均	5.62	0.52	0.09	0.79	1.14	0.73	47.8	
阔叶林	柞叶	6.06	1.92	0.21	1.50	2.11	1.28	51.1	26.6
	阔叶	6.85	2.20	0.07	2.49	2.90	1.76	44.7	20.3
	椴叶	9.08	1.63	0.21	2.17	4.14	2.51	40.3	24.7
	桦叶	5.84	1.64	0.12	1.27	1.67	1.02	41.2	25.1
	槭叶	8.30	1.45	0.13	0.76	2.43	1.48	44.5	30.7
	平均	7.23	1.77	0.15	1.64	1.82	1.67	44.4	

碳：针叶树叶和阔叶树叶相差不大，都在40—50%。

碳氮率：针叶树叶凋落物具有较高的碳氮率。碳氮率时常与分解速度有关。

钙：针叶树叶凋落物含量比阔叶树的为低，落叶松叶最低，只有0.71%，椴树叶最高，可超过4%。

镁：针叶树叶凋落物含量较低，其中红松叶较低，只0.48%，椴叶较高，达2.51%。

磷：各种叶凋落物含量都较低，在0.1%左右，其中椴柞叶的稍高，红松叶更低。

钾：针叶树叶凋落物含量较低。

四、不同林型森林凋落物养分含量

由于生物气候条件不同，森林总凋落物养分含量也不一样。

不同林型森林凋落物的养分含量

表4

林型	N	P	K	Ca	Mg
	(公斤/公顷)				
岳桦云冷杉林	1.86	3.32	13.3	30.2	19.1
杜香落叶松林	18.9	2.29	9.88	21.1	14.1
红松云冷杉林	22.7	5.10	3.91	43.3	18.0
阔叶红松林	66.2	5.65	26.4	107.6	32.1

在不同林型森林凋落物养分含量中，N含量大小顺序为阔叶红松林>红松云冷杉林>岳桦云冷杉林和杜香落叶松林，阔叶红松林的相当于岳桦云冷杉林或杜香落叶松林的3.5倍。

P含量大小顺序也为阔叶红松林>红松云冷杉林>岳桦云冷杉林>杜香落叶松林。阔叶红松林的为杜香落叶松林的2.5倍

K含量大小顺序为阔叶红松林>岳桦云冷杉林>杜香落叶松林>红松云冷杉林。阔

叶红松林的相当于红松云冷杉林的6.8倍。

Ca含量为阔叶红松林>红松云冷杉>岳桦云冷杉林>杜香落叶松林。阔叶红松林Ca含量约等于杜香落叶松林的5倍。

Mg含量为阔叶红松林>岳桦云冷杉林>红松云冷杉林>杜香落叶松林。阔叶红松林Mg含量约为杜香落叶松林的2.3倍。

以上凋落物养分含量说明, 温带针阔混交林(指阔叶红松林)凋落物归还的养分, 无论在N, P, K, Ca, Mg都较多, 而以针叶树为主的岳桦云冷杉林, 红松云冷杉林和杜香落叶松林等都较少, 其中杜香落叶松林的养分含量最低。

五、不同林地死地被物量及生物循环强度

森林凋落物落地后, 经过生物和化学作用, 就逐渐分解, 形成死地被物层。森林死地被物一般用来指矿物质土壤上面未分解及已分解的凋落物, 还有动植物残体。这是森林土壤最重要的特性, 也是植物和土壤生物最重要的营养元素来源。

不同林型的森林死地被物量及凋落物分解比率

表5

林型	死地被物量 [☆] (吨)	凋落物分解比率
岳桦云冷杉林	11.19	6.70
杜香落叶松林	13.52	6.53
阔叶红松林	14.68	3.82

☆1980年林土所测定

从表5看, 长白山各个林型都有一个很厚的死地被物层, 重达10—15吨, 大约为年凋落物的3—7倍。

林地死地被物量(或凋落物积累总量)与每年凋落物量有一定比例关系, 并随生物气候条件而有差别, 在北方和高山针叶林地区, 气温低, 湿度大, 微生物活动和化学分解都迟缓, 有大量粗腐殖质, 常形成深厚的死地被物层, 林地死地被物量与年凋落物量的比值偏大, 南方则相反。

一般生物循环强度, 可以简单地用林地死地被物量与年凋落物量之比, 即凋落物的分解比率来表示。

有人(Rodin和Bazilevich 1967)研究森林生态系统生物循环强度, 认为不同生物气候带的森林凋落物分解比率有着明显的差别, 其中(北方)针叶林, 阔叶林, 草原和亚热带林的凋落物分解比率分别为11—17, 3—4, 1—1.5和0.7, 即北方针叶林生物循环很迟缓, 而亚热带林生物循环快。

表5指出, 长白山岳桦云冷杉林和落叶松林的凋落物分解比率都在6以上, 具有寒温带北方针叶林生物循环强度很迟缓的特点, 而阔叶红松林凋落物分解比率在3—4间, 生物循环虽然也属迟缓, 已具有温带(或寒温带)阔叶林生物循环特点。

摘 要

1、长白山森林凋落物量，随海拔高度下降而逐渐增加，在阔叶红松林，其凋落物量达每公顷3.8吨，而岳桦云冷杉林只有1.7吨。

2、在叶，枝，果实等凋落物中，叶凋落物的营养元素含量最高，约占该林型凋落物营养元素总量的50%以上。

3、阔叶树叶凋落物养分元素都比针叶树的高，阔叶红松林凋落物总养分含量也大于其他针叶林凋落物总养分含量。

4、长白山林地有大量死地被物，每公顷重达10—15吨，约为年凋落物量的3—7倍，说明凋落物分解慢，生物循环迟缓，体现了寒温带和温带(或寒温带)的生物循环特点。

The Litterfall and Biological Cycle of Coniferous Forests and Broadleaved-korean Pine Forests in the Northern Slope of Changbai Mountain

Cheng Bo-rong, Xu Guang-shan, Ding Gui-fang,

Zhang Yu-hua, Wang Wei

(Institute of Forestry and Soil Science, Chinese Academy Of Sciences, Shenyang, China)

Abstract

1. In order to study the litterfall properties and biological cycle in major forest ecosystems of Changbai Mountain, a series of sample plots from subalpine birch-spruce forest, larch forest, korean pine-spruce forest to broadleaved korean pine forest were selected. Litterfall of different forest ecosystems was obtained by 10 wood plates per hectare, and the plate is 1 by 1 M.in size.

2. Climate exerts a predominant effect on litterfall, the weight of litterfall in major forest ecosystems therefore gradually decreases with increasing altitue. It has found that the weight of the litterfall of broadleaved-korean pine forest located on 740 M. ASL in this region is 3.8 tons/ha, the weignt of litterfall of subalpine birch-spruce forest located on 1990 M.ASL is only 1.7 tons/ha.

3. Among the litterfalls of leaf, branch, and fruit, leaflitterfall has the largest amount of nutrients, which occupies about 50% of total litterfall nutrients.

4. The nutrient elements in litterfall of broadleaved trees have more amount than that of conifers, and the nutrient contents in the litterfall of broadleaved-korean pine forest are more than that of other forest types.

5. There is a large amount of forest floor, 10-15 tons/ha in weight, and 3-7 times of annual litterfall, in the sites of Changbai Mountain, it shows that the decomposition of organic matter and the speed of the biological cycle are slow in this region.

长白山北坡森林土壤微生物生态分布 及其生化特性的研究*

许光辉 郑洪元 张德生 卢耀波
李玉坤 张淑贤 刘增柱 吴文芳
赵振英 李凤珍 刘瑞君

(中国科学院林业土壤研究所)

长白山位于我国吉林省东南部,是我国东北地区木材生产的重要基地之一。也是我国东北最高山系,海拔达2700米。全区地貌以白头山天池为中心,包括火山锥体(海拔1800米以上)、山麓倾斜玄武岩高原(海拔1100~1800米)及山前玄武岩台地(海拔1100米以下)。火山锥体为高山冻原带或高山荒漠。森林植被带主要形成于海拔2000米以下的倾斜玄武岩高原和玄武岩台地上。自上而下,随着海拔下降,雨量减少,气温上升,形成明显的森林垂直分布带。长白山以红松(*Pinus koraiensis*)为主要成林树种,並同其它针阔叶树种,如鱼鳞云杉(*Picea jezoensis*)、臭冷杉(*Abies nephrolepis*)、沙冷杉(*Abies holophylla*)、紫椴(*Tilia amurensis*)蒙古柞(*Quercus mongolica*)、水曲柳(*Fraxinus mandshurica*)榆树(*Ulmus*)及桦树(*Betula*)等形成针阔混交林,即阔叶红松林,构成长白山森林的主体^[1]。

长白山北坡自然保护区是目前我国面积最大,自然环境和生态系统保持比较完整的自然保护区。是我国中纬度山地原始森林地区。境内地貌、气候、植被、土壤和动物等自然因素,以及整个生态环境,都具有山地特征,形成了典型垂直分布的山地生态系统。森林的垂直分布带,从上到下可分为:高山苔原带、岳桦林带、山地暗针叶林带和山地针阔叶混交林带。这是亚欧大陆东岸温带季风条件下特有的垂直带结构^[2]。

长白山北坡自然保护区的土壤,随着山地地貌、气候、植被等因素的变化,自上而下,可以明显地看到一种土壤有规律地被另一种土壤所代替。形成长白山的土壤垂直带谱:山地苔原土、山地生草森林土、山地棕色暗针叶林土及山地暗棕色森林土^[3, 4, 5]。

长白山北坡自然保护区森林茂密,树种繁多,生物种源极为丰富。土壤微生物不仅是这个山地生态系统的重要组成成分之一,而且在森林生态系统物质循环和能量转化中,占有特殊的地位。所有森林植物的枯枝落叶和各种动物植物残体,是森林土壤有机质的主要来源。由枯枝落叶形成的,某种程度上被微生物分解了的有机残体,是森林死地被物。死地被物的存在,可以作为森林土壤的特点之一。而它们的形成是森林生活的必然结果^[6, 7, 8]。

枯枝落叶把无机元素归还给土壤,不断补充土壤中有有机物质的含量。枯枝落叶给微生物、昆虫和动物提供生长所必需的能量物质。微生物在生命活动的过程中,分解枯枝落叶,把它们转变为稳定的有机物——腐殖质,和其它可以被植物所利用的无机物和有

*参加工作的还有:郑连娣、姚志红、李琦、林鹤鸣。

机物^[9, 10, 11]。

在生态系统中, 能量的流动从太阳光到植物, 然后经草食动物而达到肉食动物, 这是一种草食食物链, 是这个食物链中, 微生物的作用不是主要的。但是, 在碎屑食物链中, 微生物起着很大的作用。微生物在有机物质转化过程中, 把积贮在植物有机残体中的太阳能, 从一个生物传递到另一个生物。微生物供能、耗能和贮能的机能, 在自然界维持生态系统的平衡中, 有着十分重要的意义^[12, 13]。

在长白山北坡自然保护区天然林森林生态系统的结构与功能及其生物生产力的综合研究中, 土壤中微生物的生态分布及其生物学特性的研究, 是重要研究课题之一。它是研究微生物的分布与土壤环境的相互关系, 这是研究森林生态系统中物质循环与能量转化的基础^[14]。

在森林生态系统中, 微生物在土壤中的分布与活动, 一方面反映了土壤生物因素对微生物的分布习性, 群落组成、结构及其内部种间关系, 群落的演替变化规律, 以及其功能的影响和作用; 一方面也反映了微生物对植物的生长发育, 土壤肥力和物质循环与能量转化的影响和作用, 以及土壤发育的现状和趋向。因此, 微生物的分布和活动是森林生产环境综合评价的主要依据之一。

从1979年开始, 我们对长白山北坡自然保护区不同海拔高度、不同植被类型和不同土类中微生物的数量分布, 类群组成、生物化学特性, 以及土壤中腐殖质碳、氮含量的变化, 土壤呼吸作用强度和土壤有机质的性质等, 进行了比较系统的分析研究, 初步积累了一些资料^[15, 16, 17, 18]。本文是1979-1981年, 三年研究结果的总结。

材 料 和 方 法

一、土样的采取

供试土样采自长白山北坡自然保护区。热据不同海拔高度, 不同林型和不同土壤的垂直带分布, 在统一的综合研究标准地内, 按不同的深度采取土样, 立即带回室内进行各项测定。供试土壤的基本情况列于表1-4。

二、研究方法

测定项目和分析方法如下:

1. 微生物学分析

细菌数 肉膏蛋白胨琼脂平板表面涂抹法

芽孢细菌数 肉膏蛋白胨琼脂平板表面涂抹法。

固氮细菌数 阿西比(Ashby)无氮琼脂平板表面涂抹法。

硝化细菌数 硅胶平板法。

真菌数 马丁 (Martin) 培养基平板表面涂抹法。

放线菌数 高泽一号合成培养基平板表面涂抹法。

2. 酶活性分析

蛋白酶活性 以酪素为基质, 用比色法测定酶解释放出的酪氨酸量。

土壤样品的记载

表1

土样 编号	采 样 地 点	海 拔 (米)	植 被 (林 型)	土 类	采样深度 (厘米)
1	长白山天池 气象站东 30米处	2615	藓类、小叶杜鹃、仙女木、高山粟粟等	山地苔原土	0—13
2	风口东侧	2260	苔藓 牛皮杜鹃	山地苔原土	6—27
3	白山施业区一 分区八林班	1900	岳桦、落叶松、牛皮杜鹃越桔、笃斯 (杜鹃岳桦林)	山地生草 森林土	14—22
5	老白山站桥北	1200	红松、云杉、冷杉 (红松云冷杉暗针叶林)	山地棕色 针叶林土	4—15
6	老黄松堡	1380	落叶松、杜香、苔藓 (杜香落叶松林)	山地棕色 针叶林土	3—23
7	二道白河西岸、 保护局后山	740	红松、椴树、水曲柳、色木、春榆等 (灌木阔叶红松林)	山地暗棕色 森林土	5—11
9	白河火车站东 北	690	长白赤松、胡枝子、苔草、蕨类、蒙古 柞、白桦等 (胡枝子长白赤松林)	山地暗棕色 森林土	3—12

长白山北坡各林带的水热状况*

表2

标 准 地 号	植 被 (林带)	海 拔 高 度 (米)	热 量 状 况		水 分 状 况	
			年平均温度 (°C)	≥10°C的积温 (°C)	年降雨量 (毫米)	湿度系数
1	苔原灌丛	2400—2000	-3.8~ -5.9	704~ 945	1075.5~1238.9	5.87~7.09
2	苔原灌丛	2400—2000	-3.8~ -5.9	704~ 945	1075.5~1238.9	5.87~7.09
3	亚高山岳桦林	2000—1700	-2.3~ -3.8	945~1178	967.3~1075.5	4.95~5.87
5	暗针叶林	1700—1100	-2.3~ 0.9	1178~1833	782.4~ 967.3	3.12~4.95
6	落叶松林	1950— 500	-3.6~ 3.9	980~2850	632.8~1056.7	1.30~5.12
7	阔叶红松林	1100— 500	0.9~ 3.9	1833~2850	632.8~ 782.4	1.30~3.12
9	长白赤松林	1300— 650	-0.2~ 3.1	1582~2552	667.3~ 839.7	1.75~3.73

*引自迟振文等: 长白山北坡森林生态系统水热状况初探[19]

转化酶活性 以蔗糖为基质，用滴定法测定酶解释放出的葡萄糖量。

接触酶活性 以过氧化氢为基质，用滴定法求出相当于被分解的过氧化氢的0.1N $KMnO_4$ 量。

主要林型下枯枝落叶层的蓄积量 *

表3

标准地号	植被 (林型)	土类	海拔高度 (米)	枯枝落叶层蓄积量(吨/公顷)			A_{00}/A_0
				A_{00}	A_0	$A_{00} + A_0$	
3	牛皮杜鹃岳桦林	山地生草森林土	1990	6.72	6.52	13.24	1.03
5	苔藓岳桦云冷杉林	山地棕色针叶林土	1620	5.60	5.59	11.19	1.01
6	杜香落叶松林	山地棕色针叶林土	1380	7.79	5.73	13.52	1.36
7	灌木阔叶红松林	山地暗棕色森林土	740	5.81	8.87	14.68	0.66

* 引自许广山等：长白山北坡主要森林土壤有机质及其特性的初步研究[5]。

长白山北坡主要土壤的腐殖质组成 *

表4

土样编号	海拔高度 (米)	土层深度 (厘米)	有机质含量 (%)	腐殖质组成(占土重%)				腐殖质碳含量** (毫克/克干土)	腐殖质氮含量** (毫克/克干土)
				总碳	胡敏酸	富里酸	胡敏素		
1	2615	0—7 7—13	3.46	2.01	0.221	0.617	1.172	3.599	0.327
			2.42	1.41	0.096	0.413	0.901		
2	2260	6—14 14—27	16.78	9.73	0.991	1.179	7.550	12.060	0.706
			3.29	1.95	0.178	0.723	1.049		
3	1990	3—9 9—18	22.13	12.83	1.691	1.938	9.201	11.890	0.473
			12.48	7.24	1.203	1.447	4.590		
5	1620	4—10 10—16	12.36	7.17	0.889	1.551	4.730	10.600	0.402
			1.75	1.02	0.089	0.367	0.564		
6	1380	3—8 8—11	21.40	12.39	1.674	1.220	9.496	5.690	0.350
			3.38	1.96	0.259	0.300	1.401		
7	740	3—5 5—11	27.56	15.99	2.232	2.080	11.678	16.490	0.825
			6.66	3.86	1.194	2.107	0.559		
9	690	3—12	—	—	—	—	—	—	

* 引自许广山等：长白山北坡主要森林土壤有机质及其特性的初步研究[5]。 ** 为本组分析结果

多酚氧化酶活性 以连苯三酚为基质, 用瓦勃呼吸器测定耗氧量。

3. 土壤呼吸强度的测定

用瓦勃呼吸器进行。分别测定不添加基质的情况下(内源呼吸), 及添加基质(0.1M葡萄糖, 0.1M丙酮酸钠, 0.1M连苯三酚)的情况下, 土壤释放二氧化碳和吸收氧量。

4. 土壤腐殖质碳、氮的分析

用0.1M焦磷酸钠(pH7.0)抽出, 然后按常规分析方法测定抽出物中的碳、氮量。

5. 土壤有机质中糖的测定

土壤有机质经酸水解后, 用酚-硫酸比色法测中性糖, 用吡唑比色法测糖醛酸; 用二甲基氨基苯甲醛比色法测氨基糖。

以上方法详见《土壤微生物分析方法手册》和《土壤动态生物化学研究法》^[20, 21]。

结 果 与 讨 论

一、土壤微生物主要类群的数量分布

在1979年至1981年间, 我们连续三年对长白山北坡自然保护区不同海拔高度、不同长白山北坡自然保护区土壤微生物的数量分布(单位: 万/克干土) 表5

土样 编号	海拔 高度 (米)	植 被 类 型 (林型)	土 壤	微生物 总 数	细 菌		放 线 菌		真 菌		芽孢 细菌	固氮 细菌	硝化 细菌
					数 量	占微生物 总数 (%)	数 量	占微生物 总数 (%)	数 量	占微生物 总数 (%)			
1	2615	藓类、小叶杜鹃、 仙女木等	山地苔 原土	1665.00*	1644.20*	98.75	0.27	0.04	20.53	1.23	1.16	○	○
2	2200	苔藓, 牛皮杜鹃	山地苔 原土	550.14	535.80	97.39	0.15	0.03	14.19	2.58	0.65	○	○
3	1990	杜鹃岳 桦林	山地生草 森林土	3061.97	3044.70	99.44	0.17	0.02	17.11	0.55	4.00	○	○
5	1200	红松云 冷杉暗 针叶林	山地棕 色针叶 林土	980.46	949.10	96.80	0.72	0.08	30.64	3.12	1.05	○	○
6	1380	杜香落 叶松林	山地棕 色针叶 林土	1380.99	1359.50	98.44	0.28	0.02	21.21	1.54	3.27	○	○
7	740	灌木阔叶 红松林	山地暗棕 色森林土	5835.91	5715.40	97.93	87.39	1.50	33.12	0.57	13.65	○	○
9	690	胡枝子长 白赤松林	山地暗棕 色森林土	844.07	740.60	87.75	76.17	9.03	27.30	3.23	11.70	○	○

* 1号标准地细菌数量和微生物总数偏高。这可能与近年来旅游事业发展, 天池附近小生态环境受到一定的干扰有关。因此, 这个数据与1979年发表的结果有出入, 仅供参考。

植被类型和不同土类下的土壤微生物的主要类群的生态分布进行了调查分析。表5数据是对土壤微生物各类群数量分布三次分析的结果。三次分析时间分别为：1979年9月、1980年9月和1981年7月。表上数据是三次分析的平均值。

表5资料表明，在不同林型下土壤中微生物的总量以灌木阔叶红松林和杜鹃岳桦林下为最高，其次是杜香落叶松林。而以红松云冷杉林和胡枝子长白赤松林下为最低。细菌的数量与微生物总量相一致。在胡枝子长白赤松林下土壤中细菌的数量较少，只占微生物总量的88%。相反，在胡枝子长白赤松林下土壤中放线菌和真菌的数量很多，它们分别占微生物总量的9%和3%。这个数字尽管低于1979年分析的结果，但其趋势相似^[15]。以针叶树种为主的胡枝子长白赤松林下土壤中微生物的分布，与土壤水热条件和林型结构密切相关。真菌多，放线菌的数量更多，这与针叶含有保存性物质（如单宁物质），因此较难分解有关。一般认为，放线菌参与难分解物质的分解过程。

放线菌在其它林型下土壤中分布的数量都较少，只在灌木阔叶红松林下土壤中它们的数量较多，但它们所占的百分比很小，仅占微生物总数的1.5%。总的看来，放线菌数量分布有着自上而下增加的趋势。这与长白山北坡各林带水热状况变化密切相关（见表2）。热量是自上而下逐渐增加，水分则自上而下逐渐减少。放线菌喜热耐旱的特性，在这里也得到了一定的反映。

真菌的数量在不同林型下的分布却是又一种情况。它们在胡枝子长白赤松林下很多。而在红松云冷杉林和杜香落叶松林下的土壤中也很多。它们分别占微生物总量的3%和1.5%。在灌木阔叶红松林下，真菌的数量在七个植被下土壤中是最高的，但它们占微生物总量的百分比并不高，只占0.6%。同样，在杜鹃岳桦林下土壤中真菌的数量很少，也只占微生物总量的0.55%。这反映了在以针叶树种为主的胡枝子长白赤松林、红松云冷杉林和杜香落叶松林下，由于枯枝落叶的组成以难分解的针叶为主，真菌在植物残体分解过程中常常起着较大的作用。同时，真菌比放线菌更适应于在pH较低的土壤条件下发育。

在以阔叶树种为主的杜鹃岳桦林下土壤中，微生物数量较大。而其中细菌占绝对优势，它们占微生物总量的99.4%。显然，细菌在阔叶的分解中起着重要的作用。一般地说，在这种林型下土壤中有机残体的分解过程较为强烈，特别是在温度、湿度适宜的条件下。

在细菌中，芽孢细菌是一类具有较强氮化作用能力的菌群。它们的数量分布也以灌木阔叶红松林和杜鹃岳桦林下的土壤中较多。它们的数量，在一定程度上反映了土壤中有有机氮分解过程的强度。在胡枝子长白赤松林下芽孢杆菌数量也较多，可能表明它们参与了一些难分解有机残体中含氮物质分解的过程。

长白山北坡土壤中，三年分析的结果都没有发现典型的自生固氮菌和硝化细菌。显然，这与土壤pH偏酸有关。我们只在胡枝子长白赤松林下土壤中，用富集培养的方法分得了一株自生固氮菌，经鉴定属贝氏固氮菌（*Beijerinck sp.*），但重复分离没有成功，说明其数量极少，或系偶然带入。胡枝子长白赤松林标准地位于白河火车站附近，为人迹可达地域。pH偏酸对硝化细菌的生长发育不利。一般来说，硝化细菌生长最适pH在6.3~9.6之间，维诺格拉斯基曾指出，亚硝化细菌pH界限是6.0~9.0；硝化细菌为pH

6.3~9.4。而李斯(Lees)则认为,亚硝化细菌生长pH界限是8.6~9.6;硝化细菌最适pH是7.5^[22]。因此,pH偏低可能是森林土壤中没有找到硝化细菌的主要原因。

长白山北坡不同林型和土类下微生物的数量分布表明,以阔叶树种为主的杜鹃岳桦林下的山地生草森林土和针阔混交的灌木阔叶红松林下的山地暗棕色森林土中,微生物数量,尤其是细菌的数量比较丰富。而以针叶树种为主的红松云冷杉林和杜香落叶松林下的山地棕色暗针叶林下土中次之。以半荒漠苔原带下的土壤中微生物数量为最低(以苔藓、牛皮杜鹃下发育的山地苔原土为例)。这与不同植被下枯枝落叶的构成,枯枝落叶层的蓄积量,以及土壤中有有机质的含量等都密切相关(见表3)

二、不同林型下土壤酶活性的变化

三年分析的结果列于表6。

不同生态条件下土壤酶活性的变化*

表6

土样编号	土类	蛋白酶活性酪氨酸量(毫克/克干土/24小时)	转化酶活性葡萄糖量(毫克/克干土/48小时)	接触酶活性0.1MKMnO ₄ 消耗量(毫升/克干土)	多酚氧化酶活性氧吸收量(微升/克(干土/1小时))
1	半荒漠山地苔原土	2.796	18.57	18.36	22.65
2	山地苔原土	3.302	16.40	34.48	69.95
3	山地生草森林土	3.347	18.24	65.11	57.23
5	山地棕色针叶林土	2.303	13.12	49.57	27.85
6	山地棕色针叶林土	1.850	12.25	21.96	15.28
7	山地暗棕色森林土	3.308	16.78	72.01	62.05
9	山地暗棕色森林土	3.012	11.17	37.94	6.93

*土壤采自标准地,立即风干,然后进行测定。表中数据是三次分析的平均值。

从表6结果可以看出,长白山北坡自然保护区不同林型下土壤中酶活性的变化,在一定程度上反映了土壤带的垂直分布和植物演替的规律。

结果表明,土壤酶的活性在以阔叶树种为主的杜鹃岳桦林下的山地生草森林土和针阔混交的灌木阔叶红松林下的暗棕色森林土中为最高。其次是草木植被为主的山地苔原土。而以针叶树种为主的红松云冷杉林和杜香落叶松林下发育的山地棕色暗针叶林土中

为最低。半荒漠苔原带下土壤中，除了转化酶活性较高外，其它酶类的活性都很低。

不同土壤酶活性的差异，表明了不同土壤之间有机残体转化状况。可以利用水解酶类（蛋白酶、转化酶）活性强度来解释土壤有机残体的分解强度；利用氧化还原酶类（接触酶、多酚氧化酶）活性强度来解释土壤中腐殖质再合成的强度。

从土壤酶活性强度测定的结果来解释土壤中有机残体的分解和腐殖质的再合成过程，可以看出，处于海拔2600米以上的半荒漠苔原土（天池附近），虽然具有一定强度的水解酶活性，但氧化酶活性却很弱。因而可以认为，在这个土壤中腐殖质再合成的强度比较弱，其结果是土壤中所累积的腐殖质碳和腐殖质氮的含量也比较低（见表4）。但处于海拔2260米以下的山地苔原土，由于土壤被灌木和草本植被所复盖，积聚了较多的有机残体，土壤中水解酶类和氧化酶类的活性都比较强，因而其土壤中有机残体的分解及腐殖质的再合成也较强，积累了较多的腐殖质碳和腐殖质氮。

在以阔叶树种为主的杜鹃岳桦林下发育的山地生草森林土和针阔混交的灌木阔叶红松林下发育的山地暗棕色森林土中，无论是水解酶类的活性，或者是氧化酶类的活性都是最强的。这表明，在这两种土壤中，物质转化的过程是在强烈地进行。同时，土壤中积累的腐殖质碳和腐殖质氮的含量也最高。

与此相反，在针叶树种比重较大的暗针叶林下（红松云杉冷杉林和杜香落叶松林）发育的山地棕色针叶林土中，水解酶类和氧化酶类的活性都很弱。表明土壤中有机质转化的过程进行得较为缓慢，土壤中积累的腐殖质碳和腐殖质氮含量也较低。显然，这是由于在这些林型下，枯枝落叶组成以针叶为主，有机残体较难分解。胡枝子长白赤松林下暗棕色森林土中，腐殖质碳、氮的含量是很低的^[15]。这也从另一方面证明了，胡枝子长白赤松林由于其结构主要为长白赤松，接近于纯针叶林，因此，土壤中微生物数量较少，土壤酶的活性较低。虽然处在低海拔的生态条件下，土壤为暗棕色森林土，长白赤松的产量较高，但就其土壤条件的整体而言，生物生产力是不高的。

灌木阔叶红松林是针阔混交林。在这一林型下土壤中微生物数量非常丰富，土壤中酶的活性也较强，土壤中积累的腐殖质含量也较高。所以是一个生物生产量较高的林型结构。同时，这还可以从不同林型下枯枝落叶层的蓄积量调查的结果得到进一步证明（见表3）。枯枝落叶层的蓄积量在四个林型中以灌木阔叶红松林为最高。一般认为，枯枝落叶层的蓄积量，除了与海拔高度、水热条件有关外，更主要的是与树种的组成有关。阔叶树高于针叶树，明亮针叶林高于暗针叶林。

三、不同林型下土壤呼吸作用强度的变化

土壤呼吸主要是由土壤微生物的生命活动所引起的（当然还有土壤动物和植物根系的的活动，但不是主要的）。因此，一般认为可以把呼吸作用强度作为土壤生物活性的总指标。当添加有效含碳或含氮有机物质作为能量及营养源时，它能激发土壤呼吸作用。它可以反映土壤的潜在生物活性。在有机残体分解过程中，可以根据二氧化碳释放量来判断有机残体的分解速度和强度。所以，利用土壤呼吸强度的变化，可以阐明土壤氧化代谢的能力和方向^[23]。

表7 不同生态条件下土壤呼吸作用强度

土样 编号	内源呼吸 (微升/千克土/小时)			土壤代谢葡萄糖能力 (微升/千克土/小时)			土壤代谢丙酮酸能力 (微升/千克土/小时)			土壤代谢多酚化合物能力 (微升/千克土/小时)		
	O ₂	CO ₂	RQ	O ₂	CO ₂	RQ	O ₂	CO ₂	RQ	O ₂	CO ₂	RQ
1	17.4±9.6	25.3±11.7	1.45	48.4±6.6 (31.4)	60.0±11.7 (34.7)	1.24	29.9±2.6 (12.5)	54.6±5.1 (29.3)	1.82	109.0±16.9 (91.6)	47.5±9.7 (22.2)	0.44
2	28.8±5.8	30.6±6.3	1.06	47.2±11.2 (18.4)	53.3±11.9 (22.7)	1.13	34.5±8.6 (5.7)	56.3±15.5 (25.3)	1.63	174.1±39.2 (145.3)	57.8±45.5 (27.2)	0.33
3	62.5±13.8	65.9±12.7	1.05	109.2±13.6 (46.7)	118.2±2.2 (53.3)	1.08	103.5±25.4 (41.0)	152.9±14.9 (87.0)	1.48	290.2±39.7 (227.7)	125.3±44.8 (59.4)	0.43
5	16.3±4.9	20.6±4.1	1.26	24.8±4.2 (8.5)	29.2±5.8 (8.6)	1.18	23.0±5.9 (6.7)	52.2±1.9 (31.6)	22.6	136.7±17.2 (120.4)	70.3±6.8 (49.7)	0.41
6	27.5±17.5	32.5±26.4	1.18	32.5±25.8 (5.0)	33.7±25.6 (1.2)	1.04	40.5±38.8 (13.0)	84.1±68.6 (51.6)	2.08	141.5±10.4 (114.0)	52.4±49.8 (18.9)	0.37
7	620±5.7	72.1±5.9	1.16	88.5±3.5 (26.5)	96.0±4.3 (23.9)	1.08	74.3±7.3 (12.3)	134.3±13.5 (62.2)	1.81	255.5±35.7 (193.5)	149.3±36.4 (77.2)	0.58
9	21.2±13.6	27.1±14.8	1.27	30.0±26.2 (8.8)	35.8±32.6 (8.7)	1.15	25.8±22.6 (4.6)	54.3±32.0 (27.2)	2.10	48.2±27.2 (27.0)	34.4±14.7 (17.3)	0.71

* 三次采样分析的平均值。表中 () 内数字为减去内源呼吸所得值。

我们进行了内源呼吸，葡萄糖氧化，丙酮酸氧化和多酚类氧化四个方面的试验，结果列于表7。

从表7资料可以看出，内源呼吸变化测定的结果与土壤酶活性变化测定的结果基本相近。以阔叶树种为主的杜鹃岳桦林下的山地生草森林土和针阔混交的灌木阔叶红松林下的山地暗棕色森林土中呼吸作用为最强。而以针叶林为主的红松云冷杉林和杜香落叶松林下的山地棕色暗针叶林土中为最弱。处于天池附近的半荒漠山地苔原土和苔藓、牛皮杜鹃下的山地苔原土中内源呼吸值也较低。这种呼吸值的差异，同样表明了，针叶林下土壤总的生物活性低于阔叶林下的土壤。

添加葡萄糖后呼吸作用强度的变化与内源呼吸相一致，也是以杜鹃岳桦林下的山地生草森林土和灌木阔叶红松林下的山地暗棕色森林土中为最强，以红松云冷杉林和杜香落叶松林下的出地棕色针叶林土中为最弱。而半荒漠山地苔原土和山地苔原土的氧化葡萄糖的能力也比较低。

丙酮酸是碳、氮代谢的中间物。生物体通过丙酮酸将碳代谢与氮代谢联系起来。因此，了解土壤对丙酮酸氧化能力的强弱，有助于对整个土壤代谢能力的认识。从表7结果可以看到，不同土壤对丙酮酸氧化能力有差异。同样以杜鹃岳桦林下的山地生草森林土和灌木阔叶红松林下的山地暗棕色森林土为最强，而以红松云冷杉林和杜香落叶松林下的山地棕色针叶林土为最弱。

土壤中多酚化合物主要来源于植物残体的分解。与其它基质相比，土壤对多酚化合物的氧化是积极的。而在不同生态条件下的土壤间的差异也很明显。表7资料表明，土壤对多酚化合物氧化的能力，同样以山地生草森林土和灌木阔叶红松林下的山地暗棕色森林土为最强，而以针叶为主的林型下发育的山地棕色针叶林土为最弱。

上述结果指出，长白山北坡自然保护区的土壤，无论是内源呼吸，或者是添加基质时的呼吸作用强度，都是以阔叶树种为主的杜鹃岳桦林下发育的山地生草森林土和针阔混交的灌木阔叶红松林下发育的山地暗棕色森林土为最强。而以针叶树种为主的红松云冷杉林和杜香落叶松林下发育的山地棕色针叶林土为最弱。这说明，前两种土壤不仅总的生物活性强（见表5和表6）。而且潜在的生物活性也较强。而后一种土壤则不仅总的生物活性较弱，而且潜在的生物活性也较弱。

四、不同林型下土壤有机质中糖类的分布

糖类化合物是土壤有机质中的重要组成成分，它大约占土壤有机质的5%到10%，一般存在于土壤腐殖质中。土壤中多糖的来源，一部分是植物残体分解释放出的糖类所构成。另一部分则是由土壤微生物代谢过程中形成的代谢产物——糖类化合物所构成^[24]。长白山北坡森林土壤中糖类的含量列于表8。

从各林型下土壤中总糖量的变化来看，基本上与微生物数量的生态分布相一致。以灌木阔叶红松林下发育的山地暗棕色森林土和杜鹃岳桦林下发育的山地生草森林土为最高、而以红松云冷杉林和杜香落叶松林下发育的山地棕色暗针叶林土和半荒漠山地苔原土为最低。

不同土壤中糖含量的水平、在很大程度上取决于土壤中总的有机质的含量。因此，影响有机质输入和分解速率的各种因子、必然影响土壤中糖类的含量。

长白山北坡森林土壤中糖类含量*

表8

土样 编号	土类	采样 深度 (厘米)	有机质 含量 (%)	中 性 糖		糖 醛 酸		氨 基 糖		总 量	
				毫 / 克 /100 /克土	%	毫 / 克 /100 /克土	%	毫 / 克 /100 /克土	%	毫 / 克 /100 /克土	%
1	半荒漠山 地苔原土	0-13	2.94	145	5.15	15	0.5	40	1.4	200	7.05
2	山地苔原土	6-27	10.03	1911	17.65	100	0.8	119	1.2	2130	18.65
3	山地生草 森林土	3-18	17.31	2418	14.50	134	0.7	154	0.9	2706	16.10
5	山地棕色 针叶林土	4-15	7.05	896	10.50	35	0.4	66	0.9	997	11.80
6	山地棕色 针叶林土	3-11	12.39	1009	8.50	51	0.4	63	0.6	1123	9.50
7	山地暗棕 色森林土	3-11	17.11	2448	16.10	151	1.1	349	2.9	2948	20.10
9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

* 为一次分析结果。表内%指占土壤有机质含量的百分数。

五、不同植被下土壤中微生物种群的生态分布

结合不同林型下土壤中微生物数量分布的调查，我们按不同菌群分离出有代表性的各种菌株，重点对芽孢杆菌、放线菌中的链霉菌和真菌的主要种、属在各土类中的生态分布进行了分析。

芽孢杆菌属 (*Bacillus*) 在自然界中分布很广，是土壤中数量较多、最常见的一类细菌。芽孢杆菌参与土壤有机质的分解和腐殖质的合成。在物质转化，特别是含氮有机物质的氨化以及其它一些重要过程中，起着十分重要的作用。因此，了解它们在不同生态条件下的分布及其组成，对研究森林生态系统中物质循环和能量转化等一些基本问题有着重要的意义。

从长白山北坡不同植被下的不同土类中，我们分离出了近千株芽孢杆菌，经鉴定分属于14个种。这些芽孢杆菌的种，在不同林型下的土壤中分布的情况见图1。

从图1可见，芽孢杆菌的14个种在不同植被和土壤条件下的生态分布有其一定的谱带。最常见的是 *B.coagulans*；其次是 *B.cereus*、*B.megaterium* 和 *B.firmus*；再其次是 *B.cereus* var. *mycoides*。而 *B.subtilis* 只出现在胡枝子长白赤松林下。

图1 长白山北坡自然保护区不同植被和土类下土壤芽孢杆菌分布图

植被 (林型)	藓类小叶杜鹃、仙女木等	苔 藓 牛皮杜鹃	杜 鹃 岳桦林	红 松 云 冷 杉 林	杜 香 落 叶 松 林	灌木阔叶 红 松 林	胡 枝 子 长 白 赤 松 林
	<i>B. coagulans</i>	■	■	■	■	■	■
<i>B. cereus</i>	■	■	■	■	■	■	■
<i>B. megaterium</i>	■	■	■	■	■	■	■
<i>B. firmus</i>	■	■	■	■	■	■	■
<i>B. cereus var. mycoides</i>	■	■	■	■	■	■	■
<i>B. sphaericus</i>	■	■	■	■	■	■	■
<i>B. brevis</i>	■	■	■	■	■	■	■
<i>B. circulans</i>	■	■	■	■	■	■	■
<i>B. laterosporus</i>	■	■	■	■	■	■	■
<i>B. pumilus</i>	■	■	■	■	■	■	■
<i>B. polymyxa</i>	■	■	■	■	■	■	■
<i>B. macerans</i>	■	■	■	■	■	■	■
<i>B. alvei</i>	■	■	■	■	■	■	■
<i>B. subtilis</i>	■	■	■	■	■	■	■
土 类	半荒漠山地苔原土	山地苔原土	山地生草森林土	山地棕色暗针叶林土		山地暗棕色森林土	

同时, 在不同林型和土类下, 芽孢杆菌种的组成, 其优势种的组合有一定的差异。例如, 在半荒漠山地苔原土中, *B. circulans*占芽孢杆菌总数的35.42%, *B. coagulans*占芽孢杆菌总数的31.56%; 而在灌木阔叶红松林下的山地暗棕色森林土中, 其优势种为*B. megaterium*和*B. cereus*, 它们分别占芽孢杆菌总数的30.91%和28.54%。杜鹃岳桦林下山地生草土中芽孢杆菌优势种又是另一种情况, 它们是*B. circulans*和*B. cereus*, 分别占芽孢杆菌总数的27.79%和24.41%。这在表9中得到明显的反映。

从表9初步可以看出, *B. megaterium*虽然是最常见的芽孢杆菌之一, 但是它们在半荒漠苔原土中却没有出现。而在这一地域土壤中, 是*B. circulans*和*B. coagulans*占优势。在山地苔原土中没有发现最常见的*B. cereus*, 而在其它土类中很少见到的*B. brevis*和*B. polymyxa*在这里却占有优势。在红松云冷杉林下的山地棕色暗针叶林土中占优势的芽孢杆菌是*B. circulans*和*B. firmus*; 而在杜香落叶松林下的山地棕色暗针叶林土中, 却是*B. laterosporus*和*B. coagulans*占优势。同时, 还可以看到, 灌木阔叶红松林下的山地暗棕色森林土中, 占优势的芽孢杆菌的种是*B. megaterium*和*B. cereus*, 而处在同一土带的胡枝子长白赤松林下的土壤中, 却是*B. sphaericus*和*B. pumilus*占优势。另一方面, 还可以看到有一些特殊的种只出现在一定的植被下。例如, *B. alvei*只在红松云冷杉林下和胡枝子长白赤松林下出现; *B. macerans*只在半荒漠苔原土和山地生草森林土中出现; *B. subtilis*甚至只出现于胡枝子长白赤松林下。构成长白山北坡自然保护区土壤中芽孢杆菌各个种的上述分布特性, 显然是由各个种本身生理特性的差异和各种生态因素的综合影响决定的。它可能具有某种特定的生态条件

表9 长白山北坡土壤芽孢杆菌各个种的生态分布 (菌数单位: 千/克干土)

土样 编号	芽孢杆菌 的总菌数 (千/克 干土)	芽孢杆菌各 个种的数 及占总 数的 (%)		<i>B. circulans</i>	<i>B. cereus</i>	<i>B. megaterium</i>	<i>B. firmus</i>	<i>B. cereus</i> var. <i>mycoides</i>	<i>B. sphaericus</i>	<i>B. brevis</i>	<i>B. circulans</i>	<i>B. laterosporus</i>	<i>B. pumilus</i>	<i>B. polymyxa</i>	<i>B. macerans</i>	<i>B. alvei</i>	<i>B. subtilis</i>	Others	
		菌数	%																
1	11.66	菌数	3.68	1.99				0.69				4.13	0.76	0.13		0.28			
		%	31.56	17.07				5.91				35.42	6.51	1.12		2.41			
2	12.25	菌数	0.86		0.19	0.12					3.26				1.47				6.35
		%	7.02		1.55	0.96					26.62				12.00				51.83*
3	24.90	菌数	4.83	6.08	1.85	0.97		1.03				6.92				1.77			1.45
		%	19.39	24.41	7.42	3.88		4.14				27.79				7.11			5.85
5	25.67	菌数	0.13	2.99	2.77	4.77		0.25		0.13		7.38					0.74		4.39
		%	0.50	11.65	10.80	18.58		0.97		2.12	0.51	28.75					2.88		17.11
6	41.63	菌数	7.63	5.01	1.15	0.31			4.18				20.05	3.30					
		%	18.32	12.03	2.76	0.70		10.05					48.16	7.92					
7	153.36	菌数	10.07	43.77	47.41	12.59		4.99		13.18			1.19						3.40
		%	6.57	28.54	30.91	8.21		3.25		11.59	8.59		0.98						1.36
9	313.47	菌数	8.02	17.86	19.06	23.31		4.51		8.51		29.68		52.99	12.87		14.04	1.14	52.99
		%	2.56	5.69	6.08	7.42		1.45		21.84	2.71	9.46		16.90	4.15		4.48	0.36	16.90

*所分得菌种初步鉴定为 *Bacillus larve*。但因其为数种培养基上生长不良, 暂归入其它栏内, 因而百分数偏高。

的指示意义。例如，一般认为*B. cereus*的存在与土壤中含氮有机残体的量有关；而*B. megaterium*则可指示有机物质分解的强度。*B. subtilis*又可作为土壤中矿质化强度的指示^[25]。因此，可以认为，以阔叶树种为主的杜鹃岳桦林下和针阔混交的灌木阔叶红松林下土壤中，既含有丰富的有机物质，而这些有机物质又处在积极分解的过程。胡枝子、长白赤松林下土壤中出现*B. subtilis*，说明在这个林型下，由于水热条件都比较良好，土壤中有有机物质的矿质化过程，可能相对地比较强烈。

放线菌不仅是分布在土壤中的重要抗菌素产生菌，而且在土壤物质转化过程中起着重要的作用。它们是一类重要的氮化菌，其中绝大多数属于链霉菌属 (*streptomyces*)。长白山北坡自然保护区森林土壤中链霉菌类群的生态分布列于表10。

从表10可以看到，不同海拔高度、不同森林植被下土壤中放线菌的分布有明显的差异。总的趋势是，自下而上随着海拔的升高而减少。在灌木阔叶红松林下的土壤中放线菌数量最多，其次是胡枝子长白赤松林（见表5）。这显然是由于海拔升高，气温降低，雨量增加，导致生态环境不利于放线菌的发育（见表2）。

长白山森林土壤中链霉菌类群的生态分布

表10

土 样 编 号	放线菌各 类群的 数和占 总数的 %	黄 色 菌 群	粉 红 孢 菌 群	淡 紫 灰 群	青 色 菌 群	绿 色 菌 群	兰 色 菌 群	灰 红 紫 群	灰 褐 菌 群	金 色 菌 群	菌 株 数 合 计
1	菌株数*	3	4	7		4		1	1	9	29
	%	10.2	13.6	23.8		13.6		3.4	3.4	30.6	
2	菌株数	1	6	5				1		6	19
	%	5.3	31.8	26.5				5.3		31.8	
3	菌株数		5						6	10	21
	%		23.8						28.6	47.6	
5	菌株数	5		6			1	12	12		36
	%	13.6		16.6			2.8	33.3	33.3		
6	菌株数	6		4		1			12	22	45
	%	13.2		8.8		2.2			26.8	48.7	
7	菌株数	6	10	18				7	69	5	115
	%	5.2	8.7	15.7				6.1	60.0	4.1	
9	菌株数	1	13	27	1			8	43	6	99
	%	1.0	13.1	27.3	1.0			8.1	43.4	6.1	

* 菌株数指链霉菌的株数。表上是364株链霉菌的分群。

长白山北坡自然保护区不同生态条件下，森林土壤中链霉菌类群主要有九大类群，

即黄色类群、粉红孢群、淡紫灰群、青色类群、绿色类群、兰色类群、灰红紫群、灰褐类群和金色类群。在不同海拔和不同植被下土壤中各类群的分布,在组成上都有一定的差异。例如,在灌木阔叶红松林下的山地暗棕色森林土中,以灰褐类群占优势(占60%),其次是淡紫灰群(占15.7%)。而在胡枝子长白赤松林下的山地暗棕色森林土中,灰褐类群(占43.4%)和淡紫灰群(占27.3%)也是优势类群,但在杜香落叶松林下的山地棕色暗针叶林土壤中,却以金色类群(占48.7%)占优势,其次是灰褐类群(占26.8%)。而在红松云冷杉林下的山地棕色暗针叶林土壤中,则以灰红紫群(占33.3%)和灰褐类群(占33.3%)占优势。在杜鹃岳桦林下的山地生草森林土中,是金色类群占优势(占47.6%)。但在苔藓、牛皮杜鹃植被下的山地苔原土中,则以粉红孢群(占31.8%)和金色类群(占31.8%)占优势。以上资料表明,长白山北坡森林土壤中的放线菌分布最广,数量最多的类群是灰褐类群,其次是淡紫灰群和金色类群,而青色类群只出现于胡枝子长白赤松林下,其数量很少,兰色类群只出现于红松云冷杉林下,其数量也很少,绿色类群则只在杜香落叶松林下发现。这些类群在特定的生态条件下的出现,可能具有一定的指示意义。

我们通过分类鉴定把364株链霉菌进行了优势种组成的分析。结果列于表11。

长白山北坡森林土壤中链霉菌种的组成

表11

种名	土样编号								合计
	1	2	3	5	6	7	9		
<i>S. longisporoflavus</i>	1			3	6	1			11
<i>S. alboflavus</i>	2	1				2			5
<i>S. flaveolus var. rectus</i>						3			3
<i>S. chromoflavus</i>								1	1
<i>S. roseofuscus</i>								4	
<i>S. lilacinorectus</i>								1	1
<i>S. roseofulvus</i>		6				2		6	14
<i>S. fradiae</i>			2						2
<i>S. fumanus</i>		2	2				2	2	8
<i>S. roseocastaneus</i>			1						1
<i>S. lilacinofulvus</i>							4		4
<i>S. roseosporus</i>						1			1
<i>S. lavendule</i>	3			6	4	5	20		38
<i>S. lavendularectus</i>	4	3				13	7		27
<i>S. prunicolor var. solubilis</i>		1		12		3	5		21
<i>S. violaceorectus</i>						2			2
<i>S. violaceoagglomeratus</i>						1			1
<i>S. violochromogenes</i>						1			1
<i>S. nigrogriseolus</i>					11	25	27		67
<i>S. castaneus</i>			1				1		2

(续表)

种名	土样编号								
	1	2	3	5	6	7	9	合计	
<i>S. rutgersensis</i>				12		13	2	27	
<i>S. aburaviensis</i> var. <i>tuftformis</i>					1	4		5	
<i>S. microsporus</i>						4	10	14	
<i>S. chromogenes</i>						19	3	22	
<i>S. niger</i>						2		2	
<i>S. griseoviridis</i>							1	1	
<i>S. griseoloalbus</i>		5	8		22	1	1	37	
<i>S. graminearus</i>						2		2	
<i>S. graminearus</i> var. <i>rectus</i>						2	5	7	
<i>S. aureochromogenes</i>	3	1	1					5	
<i>S. aureus</i>	3							3	
<i>S. spp</i>	13		2	3	1	2	4	25	
合 计	29	19	21	36	45	115	99	364	

注：按类群顺序排列。

表11资料表明,不同植被下土壤中链霉菌种的组成也有一定的差异。在灌木阔叶红松林下土壤中,不仅放线菌数量分布最多,而且种的组成也较多,达23个种。胡枝子长白赤松林下土壤中为15个种。杜鹃岳桦林下土壤中为8个种。杜香落叶松林下土壤中为6个种,红松云冷杉林下土壤中为5个种。同时,在不同植被下土壤中链霉菌的优势种组合也有明显的差异。例如,在灌木阔叶红松林下以黑色浅灰链霉菌(*Streptomyces nigrogriseolus*)、产色链霉菌(*S. chromogenes*)、直丝淡紫灰链霉菌(*S. lavendulae* *rectus*)和鲁特介斯链霉菌(*S. rutgersensis*)占优势。在胡枝子长白赤松林下以*S. nigrogriseolus*、淡紫灰链霉菌(*S. lavendulae*)和小孢链霉菌(*S. microsporus*)占优势。在杜香落叶松林下以浅灰白色链霉菌(*S. griseoloalbus*)和*S. nigrogriseolus*占优势。而在红松云冷杉林下,则以*S. rutgersensis*和李色链霉菌可溶变种(*S. prunicolor* var. *solubilis*)占优势。杜鹃岳桦林下则以*S. griseoloalbus*占优势。在山地苔原土中,则又以玫瑰暗黄链霉菌(*S. roseofulvus*)占优势。有些种只出现于一定的土类。如色黄链霉菌(*S. chromoflavus*),只出现于胡枝子长白赤松林下;玫瑰赭色链霉菌(*S. roseocastaneus*),只出现于杜鹃岳桦林下。紫色团孢链霉菌(*S. violaceoagglomeratus*)和紫产色链霉菌(*S. violochromogenes*),只出现于灌木阔叶红松林下土壤中。链霉菌在森林土壤中的生态分布规律,与土壤的水热条件、有机残体的组成,以及这些变化与土壤中物质转化过程的相关性等,都有待进一步研究。

真菌是参与土壤中有有机物质分解过程的主要成员之一。它们能分解纤维素、半纤维素及其它类似化合物。同时,真菌也能分解含氮的蛋白质类化合物而释放出氨。由于真

不同林型下土壤中显微真菌分布的相对密度 (%)

表12

菌名	土样编号							
	1	2	3	5	6	7	9	
总菌数(株)	62	442	109	259	277	221	230	
<i>Aspergillus niger</i> group			1.8	0.4				
<i>A. vesicular</i>	4.8	0.7	6.4	1.9	3.6	1.8	0.9	
<i>A. flavus</i>		0.2						
<i>A. ochraceous</i>	1.6		0.9					
<i>Absidia</i> sp.							3.0	
<i>Acremonium</i> sp.	6.5		4.6	0.4	0.4	1.4	0.4	
<i>Chrysosporium</i> sp.	9.7		2.8	1.5		0.9	0.9	
<i>Epicoccum</i> sp.						0.5		
<i>Aureobasidium</i> sp.		0.2	0.9	0.4	3.2	1.4		
<i>Beauveria</i> sp.	4.8	66.7	9.2					
<i>Phialocephala</i> sp.				3.5	6.5	10.0		
<i>Mortierella polycephala</i>	32.3	16.1	12.8	2.7		2.7	1.3	
<i>M. vinacea</i>	1.6	0.7	0.9	47.4	26.0	42.1	0.4	
Mucorales sp.			2.7	1.9	1.8	0.5		
<i>Oidiodendron</i> sp.	1.6		0.9	1.2	11.2	0.9		
<i>Penicillium</i> sp.		7.0	21.1	7.3	15.1	8.6	62.3	
<i>Trichoderma polysporum</i>	1.6	2.9	8.3	24.7	11.2	7.7		
<i>T. Kőningi</i>		1.1	3.7	1.2	2.9	5.9	10.4	
<i>T. viride</i>	4.8							
<i>Thielaviopsis</i> sp.					2.9		2.6	
<i>Zygothynchus</i> sp.						0.5		
<i>Phialophala</i> sp.				0.4		0.8		
<i>Peyronellaea</i> sp.		0.2		0.4				
<i>Cladosporium</i> sp.		0.5	0.9	0.4	0.7	0.5		
<i>Chaetopsia</i> sp.					1.1			
<i>Gliomastix</i> sp.						0.5		
<i>Circinella</i> sp.						0.8		
<i>Fusarium</i> sp.	21.0					0.5		
<i>Spicaria</i> sp.							0.9	
<i>Coniothyrium</i> sp.						0.5		
<i>Cylindrocarpon</i> sp.	1.6		1.8			0.9	0.4	
<i>Gliocladium</i> sp.							8.7	
<i>Monocillium</i> sp.						0.5		
<i>Phaeosaria</i> sp.						0.9		
<i>Doratomyces</i> sp.						0.5		
黑色菌丝	8.1	2.3	13.8	1.2	1.1	1.4	0.4	
白色菌丝		0.5	3.7	0.4	7.6	2.6	3.5	
其它		0.9	2.8	8.7	4.7	4.5	3.9	

注：相对密度 = $\frac{\text{每个种的分离物的总数 (株)}}{\text{该林地分得的真菌总数 (株)}} \times 100$ [26]

菌具有复杂的酶系统，分解一些植物保存性物质（如木素）的能力也特别强。因此，真菌在森林土壤物质转化中，占有重要的地位。我们从长白山北坡自然保护区，不同海拔、不同植被和不同土类中共分离出显微真菌1953株。经鉴定归属于30个属。表12是不同生态条件下土壤中显微真菌的分布。

从表12资料可以看到，由于海拔高度和植被类型的不同，在不同林型下土壤中真菌的组成和分布的相对密度有着明显的差异。从半荒漠山地苔原土中所分得的62株显微真菌，经鉴定归属9个属，*Mortierella polycephala*和*Fusarium* sp.占优势。从山地苔原土中分得的442株真菌归属8个属。占优势属为*Beauveria*，其相对密度达66.0。从山地生草森林土中分得109株真菌归属于12个属，而以*Penicillium* sp.和*Mortierella polycephala*占较大比例，相对密度分别为21.1和12.8。从红松云冷杉林下的山地棕色暗针叶林土中分得259株真菌，归属13个属。而以*Mortierella vinacea*和*Trichoderma polysporum*占优势，相对密度分别为47.4和24.7。而从杜香落叶松林下的山地棕色暗针叶林土中分得的真菌277株，归属于13个属。优势种为*M. vinacea*和*penicillium* sp.。相对密度分别为26.0和15.1。其次为*Trichoderma polysporum*和*Oidiodendron* sp.，相对密度分别为11.2和11.2。在灌木阔叶红松林下的山地暗棕色森林土中，真菌种类相当丰富。从分得的221株真菌中，经鉴定归属于22个属。其优势种为*Mortierella vinacea*，其相对密度为42.1。其次是*Phialocephala* sp.，相对密度为10.0。*Penicillium* sp.的相对密度也较高，为8.6。而在胡枝子长白赤松林下山地暗棕色森林土中分得的230株真菌归属于11个属，以*Penicillium* sp.占绝对优势，其相对密度达62.3。其次是*Trichoderma kōningi*，相对密度为10.4。

有的学者曾报导，在比较湿冷的针叶林下的土壤中，*Mortierella* sp.和*Trichoderma polysporum*占很大的比例^[27]。*Mortierella* sp.比较耐低温^[28]。在长白山北坡自然保护区不同林型下，特别是在红松云冷杉林、杜香落叶松林和灌木阔叶红松林下的土壤中，出现大量的*Mortierella vinacea*和*Trichoderma polysporum*，看来同这些林型下的土壤比较冷湿有一定的相关。但是，在长白山北坡上部，比较冷湿的杜鹃岳桦林下的山地生草森林土中，以及苔藓、牛皮杜鹃灌丛下的山地苔原土中，*Mortierella* sp.和*Trichoderma* sp.的数量较少。这表明，除了气候因素的影响以外，它们的分布还受着植被和其它条件的影响。在山地生草森林土中*Penicillium* sp.却占较大的比例。显微真菌在不同海拔、不同植被和不同土类中的分布规律，与土壤条件、植被组成，以及与土壤中有机物质转化过程的相关性，尚待进一步深入探讨。

结 论

一、长白山北坡自然保护区土壤中微生物的生态分布，有随着海拔上升而逐渐减少的趋势。但是，土壤细菌在以阔叶为主或针阔混交的林型下，数量较多，其占土壤中微生物总量的比例也较大。放线菌的数量分布，随着海拔下降自上而下有所增加。而真菌

的分布在以针叶为主或针叶比重较大的林型下,数量较多。表明了,微生物数量的分布,与海拔高度,植被类型,气候特点、土壤水热条件,以及土壤中枯枝落叶的组成和有机质的含量等生态因素,密切相关。

二、长白山北坡自然保护区不同林型下土壤中,微生物的数量、土壤酶的活性、土壤呼吸作用强度,以及土壤有机质中糖类的含量等的测定结果,表现了相似的规律。它们都是以阔叶树种为主的山地生草森林土和针阔混交的灌木阔叶红松林下的山地暗棕色森林土中为最高。其次是草本植被为主的山地苔原土。而以针叶树种为主的红松云冷杉林和杜香落叶松林下的山地棕色暗针叶林土中为最低。在山地生草森林土和山地暗棕色森林土中,水解酶类和氧化酶类的活性都较强,土壤中积累的腐殖质碳和腐殖质氮的含量也最高。而相反,在棕色暗针叶林土中,水解酶类和氧化酶类的活性都很弱,表明土壤中有机质转化的过程进行缓慢,因而,土壤中累积的腐殖质氮和腐殖质碳的含量也较低。显然,这与以针叶为主的林型下,枯枝落叶的组成不同,有机残体中含有保存性物质的量较大,因此较难分解有关。

三、长白山北坡自然保护区土壤中,芽孢杆菌、放线菌、显微真菌的生态分布及其种、属组成的分析结果表明,不同海拔、不同植被和不同土类下,土壤中各类菌的优势种、属组合有一定的差异。某些种对该土类而言,可能带有指示的特征。但是,这些种组成的变化,与土壤水热条件,有机残体的组分,以及土壤中物质转化过程的相关性,有待进一步深入研究。

主要参考文献

- [1] 王战等(1980):长白山北坡主要森林类型及其群落结构特点(之一)森林生态系统研究1980[I], 25—42。
- [2] 黄锡畴等(1959):长白长北侧的自然景观带 地理学报25(6), 435—446。
- [3] 中国科学院林业土壤研究所编著(1980):《中国东北土壤》科学出版社p.55。
- [4] 程伯容等(1981):长白山北坡自然保护区主要土壤类型及其基本特性 森林生态系统研究 1981[2], 196-204
- [5] 许广山等(1980):长白山北坡主要森林土壤有机质及其特性的初步研究 森林生态系统研究1980[I], 215-220。
- [6] 片桐成夫等(1976):森林の物质循环と地位との关系についひ (IV) 日本林学会志 58(3), 76~85。
- [7] 片桐成夫等(1978):森林の物质循环と地位との关系についひ (IV) 日本林学会志 60(6), 195~202。
- [8] 金泽晋二郎等(1977):森林土壤におせる有机物の存在状态とどの分解过程 (I)日本土壤肥科学杂志 48(5-6) 181。
- [9] 科诺诺娃M.M.(1966):《土壤有机质》 周礼恺译 科学出版社
- [10] 张宪武、许光辉等(1965):红松天然林不同林型下土壤微生物学特性的研究 土壤学报 13(1), 8-17。
- [11] 许光辉、郑洪元等(1982):森林枯枝落叶分解过程的微生物学特性 生态学报

2 (1) , 11-20.

- [12] 服部 勉 (1978) : 《微生物生态入门》东京大学出版社 101-102
- [13] Campbell, R. (1977) : 《Microbial Ecology》 Blackwell Scientific Publication, London.
- [14] 许光辉(1980): 森林生态系统研究中的微生物学问题 森林生态系统研究 1980 [I], 247-256.
- [15] 许光辉、郑洪元等 (1980) : 长白山自然保护区森林土壤微生物的垂直分布 森林生态系统研究 1980 [I], 153-160.
- [16] 郑洪元、张德生等(1980) : 不同生态条件下森林土壤的酶活性 森林生态系统研究 1980 [I], 161-166.
- [17] 郑洪元、张德生等(1981) : 长白山森林土壤蛋白酶动力学常数的研究 森林生态系统研究 1981 [2], 142-146.
- [18] 李凤珍等(1982): 长白山北坡森林土壤有机质中糖类的分布 1982年11月中国林学会、中国土壤学会在重庆召开的全国森林土壤学术讨论会上宣读。
- [19] 迟振文等 (1981): 长白山北坡森林生态系统水热状况初探 森林生态系统研究 1981 [2] , 167-178.
- [20] 中国科学院林业土壤研究所微生物研究室主编 (1960): 《土壤微生物分析方法手册》, 科学出版社。
- [21] 郑洪元、张德生 (1980) : 《土壤动态生物化学研究法》, 科学出版社。
- [22] 维诺格拉斯基C, H (1962) : 《土壤微生物学问题和方法》 科学出版社, 254, 545.
- [23] Singh, J.S. et al. (1977): Plant decomposition and soil respiration in terrestrial ecosystems, Botanical Rev. 43, 449-528.
- [24] Hepper, C.M. (1975) : Extracellular polysaccharides of soil bacteria. in "Soil Microbiology" Eds N.Walker, 93-110.
- [25] 米舒斯金 (1961) : 《土壤微生物和土壤肥力》许光辉等译, 科学出版社。
- [26] Singh, p. (1976): some fungi in the forest soil of Newfoundland. Mycologia, 68, 881-890.
- [27] Soderstrom, B. E. et al. (1978) : soil microfungi in three swedish coniferous forests. Holarctic Ecology, 1: 62-72.
- [28] Latter, P. M & Heal, O. W. (1971): A preliminary study of growth of fungi and bacteria from Temperate and Antarctic soil in relation to temperature. Soil Biol. Biochem. 3: 365-379.

Study on Ecological Distribution and Biochemical Properties of Forest Soil Microorganisms in Natural Reserve on Northern Slope of Changbai Mountain

Xu Guang-hui Zheng Hong-yuan Zhang De-sheng
Lu Yue-bo Li Yu-kun Zhang Shu-xian
Liu Zeng-zhu Wu Wen-fang Zhao Zhen-ying
Li Fen-zhen Liu Rui-jun

(Institute of Forestry and Soil Science, Academia Sinica)

Summary

Ecological distribution and biochemical properties of soil microorganisms under different types of forest in the Natural Reserve on Northern slope of the Changbai Mountain were studied. The following correspondence between the vertical distribution of soil microorganisms and the forest types is concluded.

1. The relation between the main vegetation types and ecological distribution of soil microorganisms are as follows:

(1) The abundance of soil bacteria under deciduous forests and mixed forests of broad-leaved trees and coniferous trees are higher than those under coniferous forest.

(2) The distribution of soil actinomycetes under different soil types are decreased with the increasing of altitude.

(3) The microfungi are more abundant in the soils under sub-alpine mixed coniferous forest.

2. The activities of soil enzyme (Protase, Invertase, Catalase and Polyphenolase), endogenous respiration, capability of oxidative metabolism and distribution of neutral monosaccharides, amino sugar and uronic acid in the soil organic matters under different forest types are great different. The forest soils under deciduous forest and mixed forest of coniferous and broad-leaved trees have the highest value, while the forest soil under coniferous forest have the lowest. The biochemical activities in forest soil under mixed coniferous forest increased with increasing of broad-leaved trees.

3. The ecological distribution of Genus Bacillus, actinomycetes and microfungi and its species composition at different altitude and under main vegetation and soil types are different. Distribution of dominant species of Bacillus and dominant Genus of actinomycetes and microfungi are different too. It seems that the composition of dominant species under different type of forest is closely correlated with the water-heat conditions, constituents of plant residues and decomposition processes of soil organic matters.

鼎湖山森林群落演替之研究

王伯荪

彭少麟

(中山大学生物系)

(中国科学院华南植物研究所)

摘 要

鼎湖山森林群落在自然状态下,依据一定的客观规律向着更优化的气候顶级群落演进。

本文以25年来鼎湖山森林群落演变结果分析、总结出鼎湖山森林群落演替的进程和模式,进一步应用植物群落演替系统的线性模型和非线性模型对演替进程进行定量研究,并做出相应的演替进程的数量预测。

研究表明,演替系统线性模型对鼎湖山森林群落演替进行定量研究,具有良好的可信度。演替系统的非线性模型虽具有更高的精确度,但较为繁杂些。

鼎湖山森林群落演替的定性和定量研究,不但具有理论上的重要意义,而且在实践上对荒山造林,森林的经营管理,以及对发挥生物圈保护区的教育、示范,科研和保护等功能,都具有一定的意义,

演替 (succession) 一词,最早由Laurent和Gouglas (1849, 1888) 提出。植物群落演替研究,对于认识和改造植被,尤其是探讨如何最大限度地利用植物群落,以发挥其最大的经济效益和生态效益,以及对于进一步探索自然界生态平衡规律,均具有很大意义。但是,近百年来,演替理论的研讨虽有较大进展,而在方法学上仍大多采用离散的描述性的定性研究。然而,数学生态学的发展,演替研究已日益趋向量化。

鼎湖山自然保护区,位于东经 $112^{\circ}35'$,北纬 $21^{\circ}08'$,东距广州市86公里,西距肇庆市19公里,面积约1.7万亩,是我国亚热带森林生态系统教学与科研的重要基地,1979年成为联合国“人与生物圈”森林生态系统定位研究站。国内外学者对鼎湖山森林群落进行了广泛的研究^[1-9, 12, 14-16]。有关鼎湖山森林群落演替的研究,近几年来已陆续开展,如关于森林群落25年演变^[3],关于森林群落演替过程中物种多样性、均匀度的变化^[14]、种群分布格局的变化^[15, 16],以及种间关系的变更^[5]等方面的研究。

本文试图应用定性和定量研究相结合的方法,较系统地对鼎湖山森林群落的演替进行分析研究,并做出相应的数学预测。

一、鼎湖山森林群落的演变

鼎湖山森林群落25年(1955-1980)间,在自然状态下发生了很大的变化,尤其是处于不同演替阶段的具有代表性的类群。

1. 原“黄果厚壳桂+椎树+厚壳桂+桐树群落”(简称群落1)。

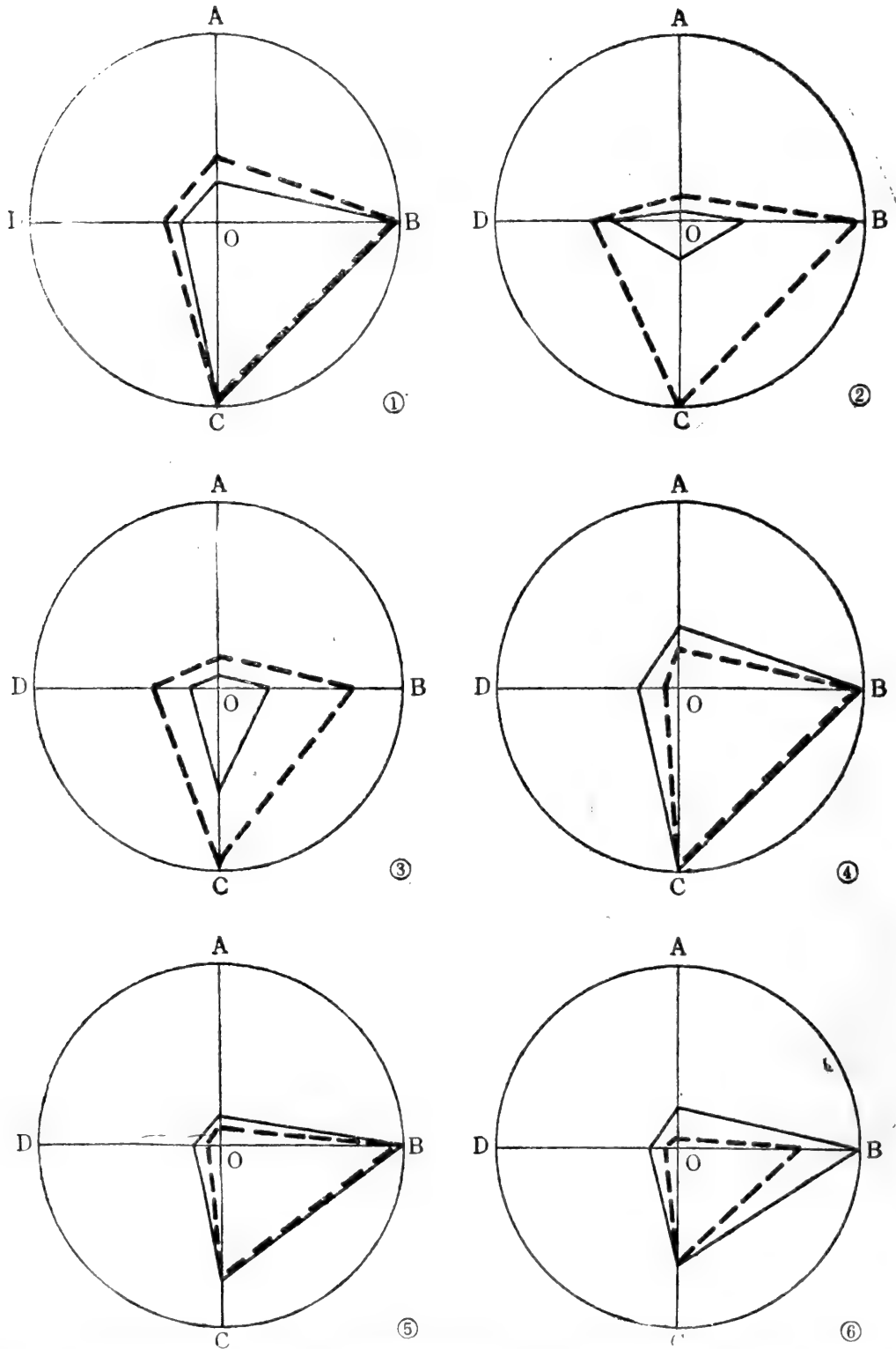


图1 原“黄果厚壳桂+椎树+厚壳桂+栲树群落”25年来优势种群变化图解(2000米²)
1955年, ——1980年, OA多度, OB频度, OC等级率, OD基面积率,
 1.黄果厚壳桂, 2.椎树, 3.栲树, 4.厚壳树, 5.红车, 6.云南银柴。

本群落是自然林中最大的群落，除谷底和山麓外，几乎占有全部自然林，是我国亚热带常绿阔叶林的代表类群^[3·7·12]。与25年前相比，仅就种类组成来看似乎变化不大，但优势种群则有明显的变化（图1,2）。尤为突出的是椎树（*Castanopsis chinensis*）桐树（*Schima superba*）更趋衰退；而厚壳桂（*Cryptocarya chinensis*）

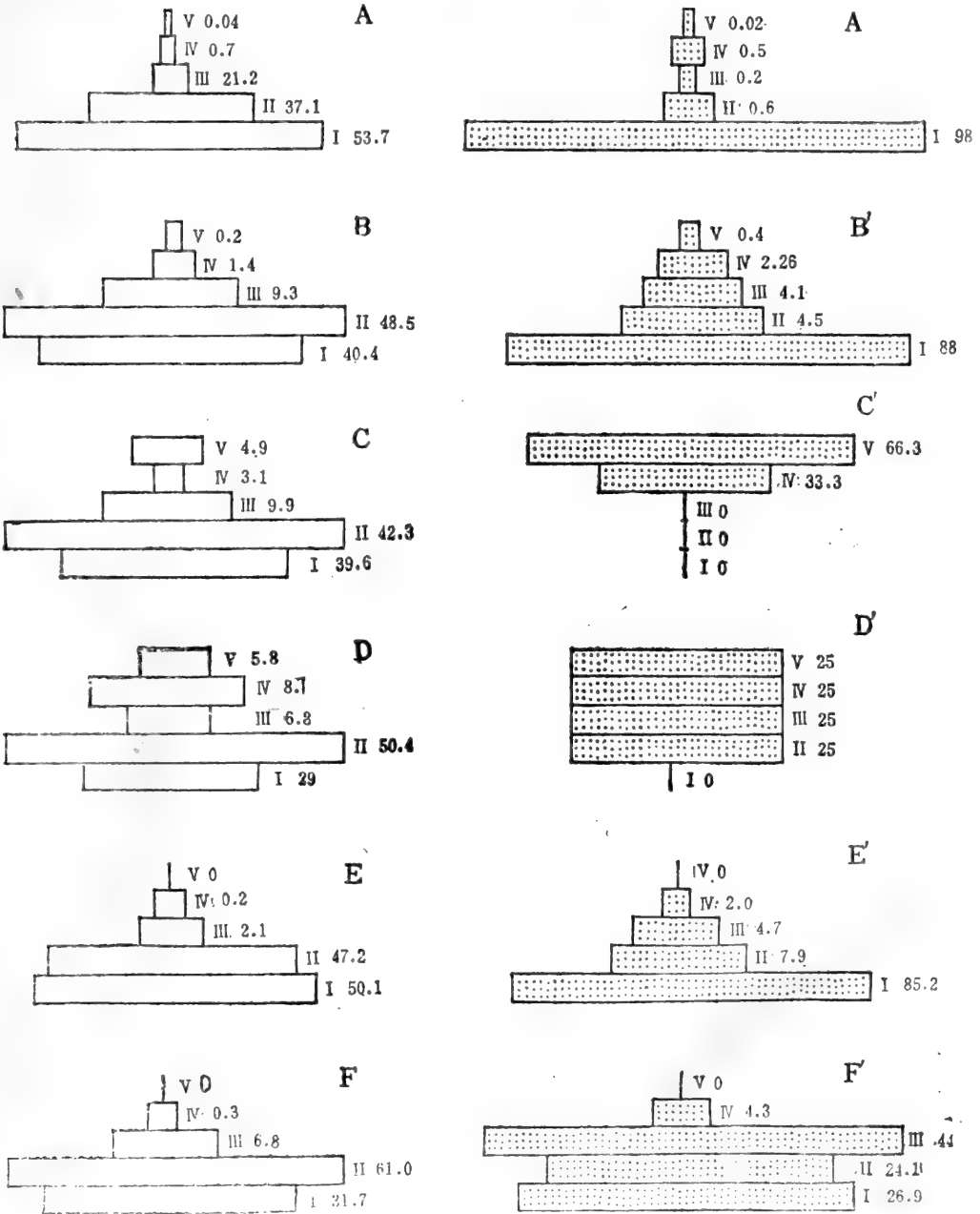


图2 原“黄果厚壳桂+椎树+厚壳桂+桐树群落”25年来立木结构(株数%)变化图解米²
 □ 1955年 ▨ 1980年
 A, A' 黄果厚壳桂, B, B' 厚壳桂, C, C' 椎树,
 D, D' 桐树, E, E' 红车, F, F' 云南银柴

is)、黄果厚壳桂 (*Cryptocarya concinna*)、云南银柴 (*Aporosa yunnane-sis*)、杖枝省藤 (*Calamus rhabdocladus*) 则更趋发展, 后两者在某些层次中已发展成为绝对优势的种群, 群落更趋向顶极。

2. 原“藜蒴群落” (简称群落2)

本群落历经25年的变迁, 已由“单纯群落”, 演化为以桐树、黄果厚壳桂等为优势的“多优群落”。众多的森林植物不仅改变了森林的区系成分, 而且也改变了森林的层次结构, 并导致林下阴湿条件的增强, 而由阳性的常绿阔叶林演变为耐阴植物也占有优势

原“藜蒴群落”种群变化 (100米²)

表1

序号	种名	年份	株数					小计
			I级	II级	III级	IV级	V级	
1	藜蒴 <i>Castanopsis fissa</i>	1955	47	19	16	5	0	87
		1980*	111	0	2	1	0	114
2	桐树 <i>Schima superba</i>	1955						
		1980	50	1	8	4	0	63
3	黄果厚壳桂 <i>Cryptocarya concinna</i>	1955	20	4	2	0	0	26
		1980	112	8	4	6	0	130
4	椎树 <i>Castanopsis chinensis</i>	1955	4	4	1	0	0	9
		1980	0	0	1	2	0	3
5	麦氏钩樟 <i>Lindera metcalfiana</i>	1955	3	11	4	1	0	19
		1980	0	2	0	1	1	4
6	红皮紫椴 <i>Craibiodendron kwangtungense</i>	1955	34	11	1	0	0	46
		1980	4	4	1	1	0	10
7	厚壳桂 <i>Cryptocarya chinensis</i>	1955						
		1980	4	3	1	1	0	9
8	鹅兜树 <i>Sarcosperma laurinum</i>	1955						
		1980	3	2	2	0	0	7
9	罗浮柿 <i>Diospyros morrisiana</i>	1955						
		1980	4	2	0	0	0	6
10	新木姜子 <i>Neolitsea pulchella</i>	1955						
		1980	6	1	0	0	0	7
	其他 16 种							

*200米²内有枯倒木11株。

的常绿阔叶林（表1）。

3. 原“马尾松+栲树+椎树”群落（简称群落3）。

25年来的演变，已使本群落由以针叶树马尾松（*Pinus massoniana*）为最优势的针阔叶常绿混交林，演变为以阳生性常绿阔叶树栲树、椎树等为优势的阔针叶常绿混交林（表二），群落结构已由单层乔木发展成较郁闭的两层乔木。

4. 原“马尾松-苏铁蕨”群落

25年前本群落为马尾松纯林，林下植物以苏铁蕨（*Brainia insignis*）占最大优势。目前本群落大都向针阔叶混交林发展，乔木层也由单层发展为较明显的两层，大大地增进了林下的阴蔽条件^[4]，致使“在形态结构上也可以适应比较干燥和阳光强的环境”^[12]的苏铁蕨，明显地衰退或呈奄奄一息的局面（表三）。

原“马尾松+栲树+椎树群落”优势种群变化（百丈岭脚，蓼沙田一带，200米²）

表2

序号	种名	年份	株数	相对多度	覆盖度%	高度（米）		
						最高	最低	一般
1	马尾松 <i>Pinus massoniana</i>	1955	26	45.6	25	10.5	5	6.9
		1980	5	18.5	17	1.2	10	10
2	栲树 <i>Schima Superba</i>	1955	17	29.8	20	7.6	0.3	4.7
		1980	9	33.3	32	13	11	11
3	椎树 <i>Castanopsis chinensis</i>	1955	4	12.2	5	7	3.2	4.2
		1980	7	14.8	25	9	6	6
4	藜蒴 <i>Castanopsis fissa</i>	1955	7	12.2	3	2	1.3	1.3
		1980	9	33.3	11	6	2	3

原“马尾松-苏铁蕨群落”优势种群变化（百丈岭、200米²）

表3

序号	种名	株数	基面积 (厘米 ²)	冠幅 (米 ²)	高度（米）		
					最高	一般	最低
1	栲树 <i>Schima superba</i>	7	2157.8	119	12	9—10	4
2	马尾松 <i>Pinus massoniana</i>	4	2700.1	25	13	12—13	
3	椎树 <i>Castanopsis chinensis</i>	3	1364.9	43	11	10—11	
4	降真香 <i>Acronychia pedunculata</i>	4	24.8	3.5	7	6—7	

实际上这四个群落是鼎湖山森林群落演替过程的四个不同阶段的典型代表，即以群落4为代表的常绿针叶林阶段，以群落3为代表的常绿针阔叶混交林阶段，以群落2为代

表的阳性树种为主的常绿阔叶林阶段，以及以群落1为代表的耐阴和中性树种为主的常绿阔叶林阶段，而后者近似或可做为南亚热带常绿阔叶林的顶极群落。通过这四个群落25年来演变分析，明显地揭示出鼎湖山森林群落的演替进程。

二、鼎湖山森林群落的演替模式

鼎湖山森林群落25年的演变，对于一个自然生态系统来说，显然是一个极其短暂的历程，但它有力地证实：在排除了人为干扰情况下，森林群落在自然状态下总是通过不同途径向着气候顶极群落类型以及森林生态系统的最优化演进^[3]。

生活力较强的马尾松或其他松属（Pinus）植物，自然散布或人工栽植于荒山草地上，能较迅速地成长而形成常绿针叶林，成林后则在一定程度上改变了群落的生境。尽管马尾松纯林结构简单，种类单纯，盖幕作用弱，林下透光率大，光强，高温，低湿，变差大，但却为椎树、桐树、藜蒴等阳性阔叶树种的侵入和正常生长发育创造了必要的条件^[4、5]。当这类阳性树种入侵和迅速成长后，则导致群落的阴蔽度增大，致使马尾松的后代因林下光弱不能生长而被排挤。但耐阴性或中生性树种厚壳桂、黄果厚壳桂，云南银柴等却因此有适宜的生存环境并得以发展，这样，群落结构进一步复杂，层次增多，阴蔽度更大，形成了弱光、低温、高湿、变差小的森林环境，导致阳性阔叶树种没法正常更新^[4、5]。这些阳性阔叶树种在群落中一方面不能正常地自然更新，另一方面它们的立木枯倒一株就少了一株，因而终于步马尾松的后尘而被排挤。群落发展成为以耐阴性或中生性树种为主的常绿阔叶林的类群，趋向成为气候顶极群落。

综上所述，鼎湖山森林群落的演替进程，可以概括为图3所示的模式。

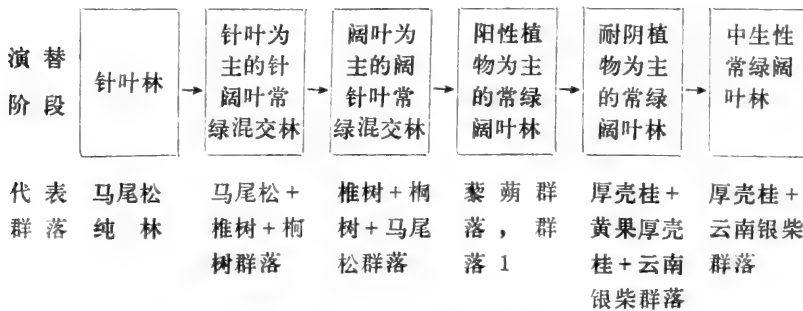


图3，鼎湖山森林群落演替模式图

三、鼎湖山森林群落演替系统的线性与非线性模型

1. 线性模型

植物群落的演替过程可以用马尔柯夫过程来解释，演替系统的线性模型是用马氏链加以描述的^[11, 13, 17]。如果将各个演替阶段看作是一个个状态或子系统，植物群落的演替过程就是一个系统。群落由一个演替阶段发展为另一个演替阶段，也就是系统中的

一个状态转移为另一个状态，各个状态或子系统所组成的系列，就构成了群落的演替系统。假定系统记为S(X)，而它又符合迭加原理，则为线性系统：

$$s[\lambda_1 x_1(t) + \lambda_2 x_2(t)] = \lambda_1 s[x_1(t)] + \lambda_2 s[x_2(t)] \dots \dots (1) \text{ 式中 } \lambda_1, \lambda_2 \text{ 为常量, } x_1, x_2 \text{ 为状态。}$$

植物群落演替的这种线性系统，一般都是必然演替过程，它的稳定特征是线性唯一的。若演替经过2个状态，转移矩阵为(P)，则其简单的线性系统行为可以图4示之。

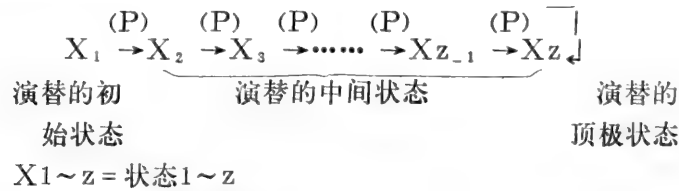


图4、线性演替系统行为图

为使演替不同阶段或不同状态的过渡时的转移矩阵(P)稳定，需要假定林木的死亡率不变。这就要求尽量排除人为因素或其他外因干扰，使群落演替的主要动力在于群落内部的矛盾运动，因而发生内因的生态演替。根据上述假设和转移矩阵(P)，在相同的时间间隔中，由前一种状态能推得后一种状态，其关系为： $X_2 = P^T X_1$ ， $X_3 = P^T X_2$ 等等，一般递推公式为

$$T_{i+1} = P^T X_i \dots \dots \dots (2)$$

式中， $i = 1, 2, 3 \dots \dots z$ ； P^T 为转移矩阵(P)的转置矩阵； X_i 为*i*时刻的状态向量

$$X_i = \begin{pmatrix} P_{1i} \\ P_{2i} \\ \vdots \\ P_{mi} \end{pmatrix}$$

其分量 $P_{1i}, P_{2i} \dots \dots P_{mi}$ 是*i*时刻群落中*m*个成份各占的百分比，亦即概率。

植物群落演替从一个阶段过渡到另一阶段，很明显可以从种群的消长表现出来，应用演替系统线性模型研究鼎湖山森林群落的演替过程，不难发现其演替过程(图3)是完全符合演替系统线性模型行为(图4)，如取群落中不同性质的各类乔木的相对多度为指标，设各种群的死亡率是不变的。以马尾松25年后，椎树，桐树等阳性阔叶树种50年后，厚壳桂、黄果厚壳桂等中生性阔叶树种100年后，均剩下20%来估算，根据统计数据，得出林木成分的更替率(表4)。

鼎湖山森林群落林木成分更替百分率，实际上给出了转移矩阵(P)：

$$(P) = \begin{pmatrix} 0.26 & 0.66 & 0.09 \\ 0.01 & 0.56 & 0.43 \\ 0.00 & 0.04 & 0.96 \end{pmatrix}$$

根据实测结果表明，马尾松在形成马尾松林后的乔木立木中约占90%，阳性阔叶树种约占10%。假设相对于常绿阔叶林来说，马尾松林为演替的初始阶段，根据(2)式和转移矩阵(P)，可测算得不同时间内的林木成份(表5)。据此，并可从时间上划分出不同的演替阶段，从而，确切地概括和预测出鼎湖山森林群落的演替进程和发展趋向。

鼎湖山森林群落演替过程林木成分更替表*

表4

现在	今后 25年	马尾松	椎树、栲树等阳性 常绿阔叶树	厚壳桂、黄果厚壳桂 等耐阴性常绿阔叶树
马尾松		20+6	66	8
椎树、栲树等阳性常绿 阔叶树		1	44+12	43
厚壳桂、黄果厚壳桂等 耐阴性常绿阔叶树		0	4	69+27

*主对角线的数据为该种群25年后成活百分率加上25年间为同类种群所更替的百分率。

鼎湖山森林群落演替过程林木成份预测 (A)

表5

林 龄	0	25	50	75	100	125	150	175	200	.....	∞
马尾松	90	24	7	2	0	0	0	0	0	.....	0
椎树、栲树等	10	65	53	36	23	15	11	9	8	.....	6
厚壳桂、黄果 厚壳桂等	0	11	40	62	77	86	89	91	92	.....	94

鼎湖山森林群落不同演替阶段的时间划分

表6

林 龄	0	<25	25—<50	50—<75	75—150	150—∞
演 替 阶 段	马尾松 针叶林	以针叶乔木为 优势的针阔叶 常绿混交林	以椎树、栲树等 阳性阔叶常绿树 为优势的阔针叶 常绿混交林	以椎、栲等阳 性树为优势的 常绿阔叶林	以厚壳桂、黄 果厚壳桂等耐 阴植物为优势 的常绿阔叶林	中生性常 绿阔叶林

2. 非线性模型

演替系统的线性模型是典型化、抽象化的系统。因此具有较为严格的假设，假定林木的死亡率在整个演替过程是固定不变的，但实际情况很难与此相符，因在不同演替阶段中，群落的种间关系和生境均不断地发生变化^[5, 6, 14-16]，再加上不可避免的人为干扰，因而，同一种群在不同演替阶段中的死亡率应是有所差异，实际上在自然状态下也不可能存在着严格的演替线性系统，或只能有近似的线性系统，而非线性演替系统却是普遍的。

植物群落演替的非线性系统的研究，相对地是较困难。但是，尽管整个演替系统可能是非线性的，而其局部的某一个演替阶段却会是线性的或较近似线性的。因此，可以将整个演替系统的各个演替阶段进行分割，形成局部线性化。这样，各个演替阶段可以

根据 $X_2 = P_1^T X_1$, $X_3 = P_2^T X_2$, $X_4 = P_3^T X_3 \dots$ 来计算, 则:

$$X_{i+1} = P_i^T X_i \dots \dots \dots (3)$$

鼎湖山森林群落的演替系统, 也是个近似的线性演替系统, 将其演替过程分割为三个阶段, 即1. 马尾松纯林 \rightarrow 针阔叶常绿混交林阶段; 2. 针阔叶常绿混交林 \rightarrow 以阳性树种为优势的常绿阔叶林阶段; 3. 以阳性树种为优势的常绿阔叶林 \rightarrow 中生性常绿阔叶林阶段。根据统计数据, 得到这三个演替阶段的转移矩阵 (P), 分别为:

$$(P_1) = \begin{pmatrix} 0.30 & 0.63 & 0.07 \\ 0.04 & 0.54 & 0.42 \\ 0.00 & 0.08 & 0.92 \end{pmatrix}$$

$$(P_2) = \begin{pmatrix} 0.22 & 0.69 & 0.09 \\ 0.02 & 0.58 & 0.40 \\ 0.00 & 0.06 & 0.94 \end{pmatrix}$$

$$(P_3) = \begin{pmatrix} 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.48 & 0.52 \\ 0.00 & 0.02 & 0.98 \end{pmatrix}$$

根据转移矩阵 (P₁), (P₂), (P₃) 以及式 (3), 测算得到不同时间里林木成份 (表7), 据此对演替各个阶段进行时间的划分, 获得与线性模式相同的结果 (表6), 从而概括和预测出鼎湖山森林群落的演替过程和发展趋向。

鼎湖山森林群落演替过程林木成份预测 (B)

表7

林 龄	0	25	50	75	100	125	150	175	200	∞
马 尾 松	90	27	7	3	1	0	0	0	0	.....	0
椎树、栲树等	10	62	55	39	28	15	10	7	5	.....	4
厚壳桂、黄果厚壳桂等	0	11	38	58	71	85	90	93	95	.....	96

3. 讨论

1.) 鼎湖山森林群落演替的线性与非线性系统研究结果, 揭示出当阳性常绿阔叶树种入侵马尾松纯林后发展很快, 25年后就可以取代马尾松而成为最优势种群, 马尾松退为次优势种群。马尾松在针阔叶混交林形成的100年左右将会消退。但中生性常绿阔叶树种在混交林的中期就已得到发展, 至此已成为中生性阔叶树种为优势的常绿阔叶林。大约150年以后, 阳性常绿阔叶乔木在群落中的成份已少于10% (多度), 基本上可以认为是中生性常绿阔叶林了, 但是, 阳性常绿阔叶树将会以略少于10%的比例, 在群落内残存相当长的一段时间。事实上, 这一方面是由于这些成材的树木是具有很长的寿命, 另一方面由于群落结构的不均匀, 致使少数阳性阔叶树得以更新的缘故。

2.) 鼎湖山森林群落演替线性与非线性系统研究的预测结果, 一般可以通过与实际观测的结果相比较来检验。通过对比几个群落25年种群变化的观察与预测结果 (表8), 可以看出预测结果与实际观测结果极为近似。因此, 线性与非线性系统所预测的结果均具有较高的可信度。

3.) 线性与非线性的演替系统比较起来,非线性演替系统模型较具更高的精确度(表8),以及广泛的适应性,包括较严重但较有规律的人为或自然因素对群落演替的干扰,诸如放牧和火灾等,均能应用以进行定量分析^[11, 13]。但是,对非线性演替系统进行局部线性化后,虽然研究起来在方法上已大为简化,然而植物群落演替的转移矩阵(P)的获取,则需要化费大量的野外调查工作和数据统计工作。因此,演替系统的线性模型的应用,就显然较为简便得多。

4.) 鼎湖山森林群落演替的线性与非线性系统研究结果较为近似(表5.7.),也就是

森林群落25年演替的观测与预测结果比较*

表8

群落名称	林木成分**	25年前(1955)	25年来(1955—1980)的演变		
			观测结果	线性模型预测	非线性模型预测
群落 2	A	0	0	0	0
	B	90	56	50	53
	C	10	44	50	47
群落 3	A	45	18	12	16
	B	55	82	88	84
	C				
群落 4	A	91	21	24	28
	B	9	76	65	62
	C	0	3	11	10

- * 表中数据表示林木成份的百分数
- ** A、表示马尾松
- B、表示椎树、栲树等阳性常绿阔叶树
- C、表示厚壳桂、黄果厚壳桂等中生性常绿阔叶树

说将鼎湖山森林群落的演替系统当作线性系统或非线性系统来研究,其效果相近似。这是因为鼎湖山森林的形成与发展得到良好的保护,虽有部分的人为干扰,但主要的自然林发展过程,外因作用没有超过植物演替的抗性,没有超越它的负荷能力的范围,群落的动态发展是以种群间的竞争为动力的。这样,森林群落演替能以趋向气候顶极类型发展,成为必然演替模式而与线性模型的行为相符,预测结果的可信度也就较高。这说明对保护良好或甚少受到干扰的自然植物群落的演替过程,可以用演替系统的线性模型来进行研究。但必须明确,自然条件下是不存在有严格的线性演替系统的,有的只是近似的线性演替系统,可以用线性模型研究也只是近似的,至于何者不能应用线性模型则并没有严格的标准。在这个意义上,演替的线性与非线性系统似乎并没有严格的界限。

四、启 示

鼎湖山厚壳桂群落是南亚热带常绿阔叶林的典型代表^[1, 3, 7, 12], 是较为接近该地区的气候顶极群落类型的。该群落的种类组成和层次结构复杂, 能有效地利用光能, 总体光含量大, 并具很高的生态效益, 对维护生态平衡具有重要意义。

鼎湖山森林群落演变的实地观测以及演替的线性与非线性模型研究表明(表5.6.7), 阳性阔叶树种入侵马尾松林后, 能以迅速地趋向阳性常绿阔叶林发展, 25年后阳性阔叶树种已能取代马尾松而在群落中占有优势, 并将进一步演变为中生性常绿阔叶林, 而人为的林分改造必定会加速这一演变的过程, 这实际上也是一个具有实践意义的营林途径。无疑地, 在华南优异的气候条件下, 完全可能加速森林植被的恢复与发展, 以维护与促进自然界的生态平衡。

华南地区广大农村能源缺乏, 而桐树、紫荆等阳性阔叶树种具有萌生速生等特性, 是良好的薪材。这类树种在群落演替过程(表5.6.7), 取代马尾松而成为优势种群时, 中生性常绿阔叶树种也紧接着入侵, 并将会较快地排挤阳性阔叶树种。如果, 在这个演替阶段合理地开发利用, 达到人为控制其群落组成与结构的目的, 使群落相对稳定于这个演替阶段, 保持阳性常绿阔叶树种的优势地位, 成为良好的薪材林, 以解决广大农村的能源, 在发挥其生态效益的基础上取得一定的经济效益。

鼎湖山作为生物圈保护区, 教育和示范是它的功能之一。根据鼎湖山森林群落演替模式(图5), 在一定地段内保持各个演替阶段的代表群落类型, 将会为教育、示范、科研提供方便。

生物圈保护区的主要功能是保护, 然而保护应该是积极的保护, 而不应是消极的保护。让群落在自然状态下, 按一定的客观规律演替是保护自然植物群落的有效措施, 但在特殊情况下, 人为控制演替的进程也是保护的可行途径。例如对第三纪孑遗植物苏铁蕨的保护, 就必需人为控制群落向阔叶林演替的进程, 保持原有马尾松疏林状态, 以免苏铁蕨这个孑遗植物绝迹于鼎湖山。

参考文献

- [1] 广东省植物研究所, 1978, 广东植被, 科学出版社。
- [2] 中国植被编委会, 1980, 中国植被, 科学出版社。
- [3] 王伯荪、马曼杰, 1982, 鼎湖山自然保护区森林群落的演变, 热带亚热带森林生态系统研究, 第一集、142-156。
- [4] 王伯荪, 黄庆昌, 1965, 广东鼎湖山森林小气候的生态效应, 中山大学学报(自然科学版)第4期 517-524。
- [5] 王伯荪, 彭少麟, 1983, 鼎湖山森林群落分析, II. 物种联结性, 中山大学学报(自然科学版), 第4期 27-35。
- [9] 王伯荪、彭少麟, 1985, 鼎湖山森林群落分析, IV. 群落比较与聚类分析, 中山大学学报(自然科学版), 第1期。

- [7] 王铸豪, 何道泉等, 1982, 鼎湖山自然保护区的植被, 热带亚热带森林生态系统研究, 第1集, 77-141。
- [8] 吴厚水等, 1982, 鼎湖山自然地理特征及其动态, 热带亚热带森林生态系统研究, 第1集, 1-10。
- [9] 费多罗夫, A.H.A., 1963, 中国热带雨林, 植物生态学与地植物学资料丛刊 第4辑 1-22。
- [10] 复旦大学数学系, 1980, 概率论与数理统计, 上海科技出版社。
- [11] 赵松岭等, 1981, 植理群落演替的线性与非线性系统及数学预测, 生态学报, 第1卷, 第3期, 235-240。
- [12] 张宏达, 王伯荪等, 1955, 高要鼎湖山植物群落之研究, 中山大学学报(自然科学版), 第3期, 160-167。
- [13] 梅, R.M. (孙儒泳等译) 1982, 理论生态学, 科学出版社, 188-204。
- [14] 彭少麟、王伯荪, 1984, 鼎湖山森林群落分析, III. 种群分布格局, 热带亚热带森林生态系统, 第2集。
- [15] 彭少麟, 1984, 森林群落植物种群分布格局变因探讨, 生态科学, 第1期, 10-15。
- [16] West, D.C., Shugart, H.H., and Botkin, D.B., 1981, Forest Succession.
- [17] Whittaker, R.H., 1975, Communities and Ecosystem, 2nd ed.

THE STUDIES ON THE SUCCESSION OF THE FOREST COMMUNITIES ON DINGHUSHAN

Wang Bosun

(Zhongshan University)

Peng Shaolin

(South China Institute of Botany, Academia Sinica)

Abstract

The succession of the forest communities on Dinghushan is to better climatic climax following the objective law under the natural condition. This paper analyses the succession results of the forest communities on Dinghushan from 1955 to 1980, and summarizes the succession process and obtains the model, and then proceed to made the quantitative research with the patter of linear and unlinear system. The relevant numerical expectations

of the succession process are calculated. The results show that it has higher reliability to use the patten of linear and unlinear system for researching the forest communities on Dinghushan.

It is showed by the researched examples in this paper that the studies on the succession are useful to afforestation in the practice, the management and the use of foresr communities, as well as giving full play to the functions of the education and the science research and the demonstration and the preservation of the Biosphere Reserve.

鼎湖山自然保护区不同林型下 土壤的微生物生物量^{*}

邓邦权 王德琼 潘超美
(广东省土壤研究所 土壤微生物研究室)

土壤是农业以至整个陆地上各种生态系统结构的基础。也是整个陆生生物界赖以生存和活动的重要基地,一切物质能量代谢转化的重要场所。

栖居在土壤中的微生物是物质能量转化的积极参与者,它们不仅在土壤肥力形成、植物营养供应上起着重要的作用,而且在生态系统的物质、能量循环中扮演了重要角色。一切有机化合物的最终无机化过程,都是通过微生物来完成的,而这一过程,正是生态系统中实现元素再循环的关键性步骤。所以,土壤中微生物生物量的差异和变化,对整个生态系统物质能量的“库存”、“流失”状况及它们间的平衡关系有着决定性作用。^[1]

人类经济活动的成败,生存环境的优劣,有赖于各种生态系统物、能转化的动态平衡。随着系统生态学研究的日益深化,近十年来,有关学者极其关注并致力于土壤微生物生物量的检测和不同生态条件下生物量的差异和变化的研究。因为这对从微观或宏观上了解物、能转化规律都有着重要意义。就土壤生物量的检测方法来说,从早期的显微直接计数法到后来的胞内特种物质(ATP、三磷酸腺苷、DNA、RNA-核酸、胞壁酸等)特别是ATP定量检定法,以至较晚近的熏杀分解法和底物诱导呼吸法等等,都已做了大量的研究, Jenkinson和Ladd (1981)^[2]已做了系统的总结和评价。人们通过土壤生物量的检测研究,使土壤系统中物能的库流平衡作出定量评价成为可能;以至于对土壤和作物之间的营养元素转移、循环真实行为的了解,对土壤中微生物在物能贮存、供应、消耗功能的认识都已提高到一个新的水平。

本文研究我省鼎湖山自然保护区不同林型下,土壤微生物生物量的差异和变化。现将初步研究结果简述于下,以供参考。

(一) 供试土壤和方法

供试土壤采自鼎湖山自然保护区三种不同林型下的赤红壤,它们的植被类型和土壤的种属^[2, 3]及各自的基本性质见表1。

土壤生物量的测定选用Jenkinson (1976)^[4]提出的氯仿熏杀分解法,利用熏杀致死的活生物尸体作为外加能源、测出其矿化分解时CO₂的增加量来计算原来土壤中生物活体的总碳(生物碳)量(包括各种菌和微生物在内)。计算按下式

^{*}本工作承陆发熹、何金海先生指导。

供试土壤的基本性质 (春季采样)

表1

采样地点	植 被	土 壤	序号	层次 (cm)	pH (水提)	有机质 (%)	总N (%)	总P (%)	代换量 (mc/ 100克)	
庆 云 寺	[1]号 样地 锥栗、荷木、厚 壳桂阔叶林	厚腐殖质、厚层 水化赤红壤	I	1	0—15	3.9	5.97	0.281	0.030	21.61
				2	20—28	4.4	2.02	0.081	0.024	12.76
旱 坑	[2]号 样地 马尾松、荷木、锥 栗、针阔混交林	厚腐殖质薄层 赤 红 壤	I	3	0—6	4.3	3.59	0.166	0.023	12.10
				4	10—20	4.4	1.26	0.074	0.022	9.92
迪 坑	[3]号 样地 马尾松、桃金 娘、芒箕针叶林	薄腐殖质、 薄层赤红壤	II	5	0—5	4.5	4.04	0.170	0.024	14.45
				6	10—25	4.8	1.23	0.060	0.024	11.66

* 样地号系指中国科学院鼎湖山森林生态系统定位研究站设定的土壤样地编号。

$$Bc = F/Kc = (F_1 - F_2) / 0.41$$

Bc是存在于土壤活生物体中的生物-C

F是矿化过程释出的生物-C

F₁是经熏杀土样矿化过程释出的CO₂-C

F₂是未经熏杀土样矿化过程释出的CO₂-C

Kc是矿化过程释出生物-C占土壤中总生物-C的百分率。(此值原Jenkinson测得是0.5, Anderson^[5]测得0.41, 据Jenkinson后来^[8]意见采取0.41)。

方法运用中还有以下改动: (1)以100克过2mm筛的鲜土代替250克原状土。(2)分解培养的温度用30°C左右而不是25°C。(3)释出CO₂碱吸收后的定量由原来的碳酸酐酶催化电位滴定法改为铃木等^[4]的加BaCl₂滴定法。其它土壤的性质和生化活性按常规测定。

(二) 结果与讨论

1、土壤微生物生物量与土壤物能贮量的关系

相应于表1的土壤微生物生物量的测算结果(见表2), 不同林型下I、II、III号土壤表层生物量大小依次为I>III>II; 表层生物量显著高于心土, 而心土生物量的大小顺次为II>III>I。生物碳占土壤总碳的比例也不是固定的, 一般在1.0%~1.5%之间。参照表1有关分析结果可以看出: 土壤微生物生物量的高低, 与土壤中碳氮等物质能量的存贮情况是一致的, 它们之间存在正相关关系。表明微生物生物量是计算土壤物能贮量, 评价土壤肥力的一个有效指标。

2、土壤微生物生物量的变化

检测结果表明, 由春季到夏季, 气温由低变高, 降雨由少增多, 土壤生物量也由小变大, 表层生物量III>I>II, 而心土则I>II>III。生物碳占总有机碳的百分数也相应增大至1.5%~2.0%(表3)。不同深度土层生物量增大幅度各有不同, 表层依次是III>II>I, 而心土则I>II>III。如果考虑土壤I两次采样深度不同, 单从II、III号土壤

不同生态条件土壤生物量测算结果

表2

林型及土壤		序号	生物-C (mg/100克土)	总有机-C (%)	生物碳占 总有机碳 (%)	活生物体数量*		
						重量 (%)	体积 (%)	表层5公分 (斤/亩)
阔叶林下	表层	I 1	44.66	3.46	1.29	0.380	1.087	285.09
	心土	2	12.40	1.17	1.06	0.105	0.300	/
混交林下	表层	II 3	22.75	2.08	1.09	0.193	0.552	145.18
	心土	4	17.02	0.78	2.18	0.145	0.415	/
针叶林下	表层	III 5	32.82	2.34	1.40	0.279	0.798	213.77
	心土	6	16.56	0.71	2.33	0.141	0.403	/

* 生物体干物质含量以25%计；干物质含碳按47%计；鲜生物体比重按1.1克/cm³计〔8〕，土壤比重按2.6克/cm³计。

不同土壤微生物生物量不同季节的变化

表3

林型及土壤		生物-C (mg/100克土)			总有机碳 (%)			生物碳占总有机碳 (%)		
		春	夏	增加%	春	夏	增加%	春	夏	增加%
阔叶林下	I 1	44.66	59.32*	32.83	3.46	3.92	13.29	1.29	1.51	17.05
	2	12.46	29.10	133.55	/	/	/	/	/	/
混交林下	II 3	22.75	35.37	55.47	2.08	2.31	11.06	1.09	1.53	40.36
	4	17.07	28.58	67.43	/	/	/	/	/	/
针叶林下	III 5	32.82	63.58	93.72	2.34	3.17	35.47	1.40	2.01	43.57
	6	16.56	23.62	42.63	/	/	/	/	/	7

* I号土与表1 (春季) 采样深度不同表土0—5cm, 心土10—25cm。

分析, 表层和心土增加幅度的变化也是相反的, 其原因还有待探讨。生物碳、总碳量及生物碳占有有机碳百分比的增长, 表明由春到夏土壤物质能量处于一个逐步累积过程。

3、土壤生物量与土壤生化活性的关系

几种土壤生物量与相应的生化活性测定结果列于表4, 从表中可以看出: 土壤呼吸强度及几种代谢酶的活性高低与土壤生物量的大小也基本上是一致的, 因而生物量的大小, 同时也反映着生物活性的高低和对物质能量转化能力的强弱。

4、土壤微生物生物量与有机残落物的分解转化

就测得资料来看, 混交林下土壤中 C.N.P 等能源营养物质含量较之其他两种林型下的土壤都低 (表1), 而实地观察到这种土壤覆盖的死地被物垫层却最厚, 一般厚10—15cm, 其他只有5—10cm (I)、3—6cm (II), 这种情况看来与其中作为分

不同土壤微生物生物量与相应的生化活性的关系(夏季采样) 表4

林型及土壤		序 号	生物-C (mg/100克 土)	呼吸强度 (CO ₂ mg/ 100克土)	过氧化氢酶 (O ₂ ml/克 土/分)	蛋白酶 NH ₂ -N mg/克/天	尿素酶 NH ₄ -N (mg/克/天)	转化酶 (葡萄糖 mg/克/天)
阔叶林	表土	I 1	59.32	15.88	2.24	0.58	0.47	13.62
	心土	2	29.10	—	0.62	0.31	0.18	1.53
混交林	表土	I 3	35.37	7.41	1.14	0.47	0.31	4.42
	心土	4	28.58	—	0.37	0.50	0.31	5.00
针叶林	表土	II 5	63.58	15.79	1.63	0.55	0.55	14.74
	心土	6	23.63	—	0.57	0.17	0.11	4.47

解者的微生物生物量相对较少,生化活性较低(表2、3),从而分解矿化过程较弱,向土壤补给相应物质的数量也就较少有关。虽然生物量和生化活性不是直接测自上覆垫层,但它们之间的差异一般是相应的。至于土壤Ⅱ微生物生物量为何较少,其它林下这种关系具体如何?还要联系凋落物的组成性质及其他土壤理化状况等另作探讨。

5、土壤酸度影响问题

研究报导指出^[7]:土样研磨过筛会影响测定结果。使用了较高的培养温度也会带来影响,这是很清楚的。土壤酸性没有碳酸盐干扰,本来是使用熏杀法的有利条件,但Anderson和Jenkinson试验研究^[6、9]都已指明:低pH值(小于4.5)对熏杀法测算中Rc值的影响是明显的,对于过酸的土壤应取较小的Kc值。我们测定的土壤都是较酸的,取用Kc=0.41,测得上述结果,若与Jenkinson测得^[6]或列举出^[8]其他地区测定值(Kc=0.45)相比较,则近似于尼日利亚的次生雨林地的54mg/100克土,明显低于英国洛桑的石灰性落叶林地的100—120mg/100克土,但却大大的超过了英国的酸性落叶林地的5.0mg/100克土的生物-C。上述除了说明酸度对熏杀法测定结果有显著影响外,某种程度上也反映出酸度能使土壤实际生物量降低。我们将pH4.5的土壤Ⅲ中和至pH6.5再与原来土壤对照测得的呼吸代谢过程(图1)表明。消除了强酸的影响后,土壤微生物的代谢活力可以成倍地增高。强酸性对这里土壤微生物实际生物量的抑制是很明显的。

土壤过酸对熏杀法得到的生物量测定值和土壤生物量的实际值都有影响,它们各受影响的程度如何,还有待进一步工作来评判。从以上测得结果与相应土壤条件的关系来分析,这一方法用于与土壤微生物有关的比较研究还是可取的。

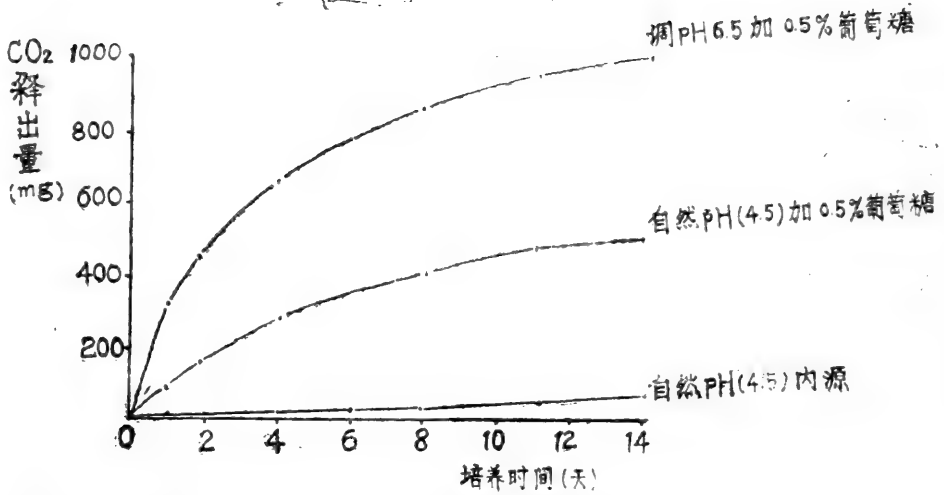


图1 不同条件下(pH,能源)土壤呼吸代谢过程比较

参考文献

- [1] 许光辉 森林生态系统研究中的微生物学问题 生态系统研究 1980 (1)
- [2] 何金海等 鼎湖山自然保护区之土壤 热带亚热带森林生态系统研究 1982 1PP25 中国科学院鼎湖山森林生态系统定位研究站编
- [3] 王铸豪等 鼎湖山自然保护区的植被热 热带亚热带森林生态系统研究 1982 1PP77 中国科学院鼎湖山森林生态系统定位研究站编
- [4] 铃木达彦云 土壤微生物生态研究法 共立出版株式会社(1979) PP11
- [5] Anderson J. P. E. et al. Mineralization of Bacteria and Fungi in chloroform fumigated Soil, Soil Biol. Biochem. Vol. 10 (1978) pp. 201-213
- [6] Jenkinson D.S. et al. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil-V. A method for measuring soil biomass. Soil Biol. Biochem. Vol. 8(1976) pp. 209-213
- [7] Jenkinson D. S. et al. Measurement of microbial biomass in intact soil cores and in sieved soil. Soil Biol. Biochem. Vol. 12 (1980) pp 570
- [8] Jenkinson D. S. Ladd J.N. Microbial Biomass In soil. Measurement and Turnover. In "Soil Biochemistry Vol.5" (Edited by E. A. Paul & L. N. Ladd) 1981 pp. 415--471

摘 要

鼎湖山自然保护区在广东省中部,是联合国人与生物圈研究工作网的一部分。所研究的土壤是保护区中森林覆盖下的砖红壤性红壤, pH4~4.5。三种不同林型下土壤微

生物的生物量的差异和变化用熏杀法进行了测定。初步研究结果表明：阔叶林、混交林和针叶林下表层土壤的生物-C含量，在旱季分别为44.66，22.75及32.82mg/100克土，在湿季分别提高到59.32，35.33及63.58mg/100克土。同一时期内，生物-C占总有机-C的百分比由1.0—1.5%增至1.5—2.0%。土壤微生物生物量的大小，决定着土壤生化活性和物质能量的存贮情况。混交林下土壤微生物生物量最小，生化代谢活性和C、N、P的含量也最低，而表面残留的枯枝落叶的数量也最大。较强的酸性不仅影响着熏杀法对生物量的测定值，而且对土壤微生物的实际生物量也有强烈抑制。虽然，这种影响的程度多大还有待进一步研究，但所得到的数据还能说明土壤微生物与它们的环境之间的关系。

THE MICROBIAL BIOMASS IN SOIL UNDER FOREST OF DING HU SHAN BIOSPHERE RESERVE

Deng Bang-quan Wang De-qiong Pan Chao-mei
(Institute of Soil Science of Guangdong Province)

Abstract

Ding Hu Shan Biosphere Reserve situated in the central section of Guangdong province is a part of the Network of World's Biosphere Reserve Organized by MAB UNESCO. The investigated soil under forest in the Biosphere Reserve is lateritic red earth, pH4-4.5. The difference and the variety of microbial biomass in soil under three forest types was measured by fumigation method. The results of tentative investigation showed that the biomass-C of topsoil under broadleaf, pine-broadleaf mixed and pine forest contained 44.66, 22.75 and 32.28 mg.100g⁻¹ respectively in dry season and raised to 59.32, 35.33 and 63.58 mg.100g⁻¹ respectively in wet season. The biomass-c in total organic-C increase from 1.0-1.5% to 1.5-2.0% in same period. It appears that both the soil biochemical activity and storing of energy and nutritive material depended on the size of the microbial biomass. The microbial biomass in soil under pine-broadleaf mixed forest was minimum, the metabolic activity and containing of C, N and P of this soil displayed to be lowest, and the litter residued on surface became to be maximum. The stronger acidity of the soil not only effect the value of biomass made by fumigation method, but also respress the sustantial

biomass vigorously. What extent of acidity influence on the measurement of these soil requires further research. However, the data obtained of these soils by fumigation method can be explained the relationship between soil microorganism and their environment well yet.

鼎湖山针毛鼠和社鼠的种群动态

廖崇惠 陈茂乾

(广东省昆虫研究所)

鼎湖山处于季风亚热带气候区的南缘,分布有中国亚热带所特有的季风常绿阔叶林(下简称阔叶林),在它的周围是针阔叶混交林(简称混交林),再外围是马尾松林(简称松林)。这三种林成为鼎湖山的森林植被的代表类型。由于多年来的自然保护,鼎湖山的植被在不断地演替发展。在原季风常绿阔叶林外围的以马尾松为主的针阔叶混交林已演替成以阔叶树为主的混交林,再外围的原马尾松林则部分变成为以针叶树为主的针阔叶混交林^[2]。由于植被的演变也必须导致在其下栖息的动物组成及其种群的相应变化。过去很长一段时间对鼎湖山的植物注意了保护,动物则任由滥杀滥捕,至使许多经济价值高的种类锐减,而于人们无利用价值的啮齿动物则有所增加^[4]。因此,鼠类变成为鼎湖山哺乳动物的重要组成部分。为此,于1981年开始,针对鼎湖山三种主要植被类型,对林下主要啮齿动物种群进行定点调查,为研究这类动物与植被之间的相应变化关系累积资料。

在鼎湖山的鼠类中,有山地种类、农田种类和家栖种类。后两种仅分布在面积很小的山沟间的农田和房屋附近,而山地鼠种分布在广阔的山地上,是鼎湖山的真正代表鼠种。在山地鼠类中以针毛鼠(*Rattus huang Bonhote*)和社鼠(*R. niviventer Hodyson*)为优势种。这两个种在形态和生态方面都很相似,在华南山地林区中,多占优势,栖息地区也相互相混杂^[1, 7, 9]。过去对这两个种的地区分布研究和报导较多,对生境分布仅有一般的简单描述^[1, 5, 9, 11]。在寿振黄主编的《中国经济动物志(兽类)》(1962)和郑智民、詹绍琛(1978)的观察报告中提供了一些生态学和生物学资料,此外,有关报导甚少。

一 调查方法

从三条固定路线,按季度进行捕鼠。三条路线代表三个相连的不同生境。第一条主要经季风常绿阔叶林,下部小部分经沟谷雨林,高度在海拔125—250米之间。第二条在针阔叶混交林,高度在50至150米之间。第三条在马尾松林,高度在80—200米之间。三处调查路线每次各布放100个踏板式铁鼠铗,每个铗的距离7—8米,将稻谷撒在鼠铗的踏板上作诱饵。鼠铗布放时间在下午4—5时进行,到第二天早上7—8时收铗。每年只捕4次,即在1月(或12月)4月、7月(或8月)、10月各进行一次,代表冬、春、夏、秋各季资料。每次将所得捕获物进行剖检,记录生殖器官的状况。从1981年8月到1984年4月共进行了三个季节周期的调查。在1984年7—9月,又进行了山坡和沟谷两种不同地形条件的鼠种分布补

充调查，再布设900铁夜。

二、结果与分析

1. 种群的季节变化

从三年的捕鼠调查结果（表1、图1）可以看出鼎湖山的山地鼠类，在捕获量方面有明显的季节变化，可以认为这也是种群数量的大体反映。从总的鼠类捕获量看，每年夏季（7月或8月）都获得6.0%的同样捕获率，每年冬季（1月或12月）所得的捕获率也十分相近，它们分别是2.0%、1.7%和2.0%。这些每年几乎一致的变化幅度，显示出鼎湖山森林生态系统中鼠类数量总体变化具有相当高的稳定性。因鼠种组成中以针毛鼠和社鼠为主，全体鼠类的捕获量变化规律，实质上就是针毛鼠和社鼠的变化规律。从图1可以看出针毛鼠在种群数量高的1981和1982年夏季（8月和7月）出现明显的捕捉高峰期，

鼎湖山不同鼠种捕获率的季节变化

表1

	铁 数	针 毛 鼠	社 鼠	白腹巨鼠	合 计	捕获率(%)
1981 夏	300	18	0	0	18	6.0
	300	15	1	0	16	5.3
	300	5	1	0	6	2.0
1982 春	300	9	1	0	10	3.3
	300	13	5	0	18	6.0
	300	6	0	2	8	2.7
1983 冬	300	3	2	0	5	1.7
	300	4	6	0	10	3.3
	300	3	14	1	18	6.0
1984 秋	300	6	5	1	11	3.7
	300	0	6	0	6	2.0
1984 冬	300	1	2	0	3	1.0
合 计	3600	82	43	4	129	

社鼠在种群数量多的1982和1983年的夏季（7月）也有明显的高峰。高峰期的最高捕获率，针毛鼠为6%（1981年），社鼠为4.7%（1983年）；冬季最低捕获率，针毛鼠为1%以下，社鼠在0.3以下。从一系列的捕鼠数量变化，可以看出这两个种有大体相同的季节变化规律。

2. 种群的生境比较

不同植被类型的鼠类密度 以总捕获率作为总密度指数，以每次调查作为一次抽样来统计。结果（表2）、阔叶林平均捕获率为4.92%；混交林为2.83%；松林为2.09%。经t测验，阔叶林和混交林，阔叶林和松林的均数相差t值分别为4.205(df = 11)和3.467(df = 11)三者均P < 0.01，两对均数相差都十分显著。混交林和松林的均数相差t值为0.343(df = 11) P > 0.05，相差不显著。故可以认为不同植被类型林地的鼠类密度差异为：

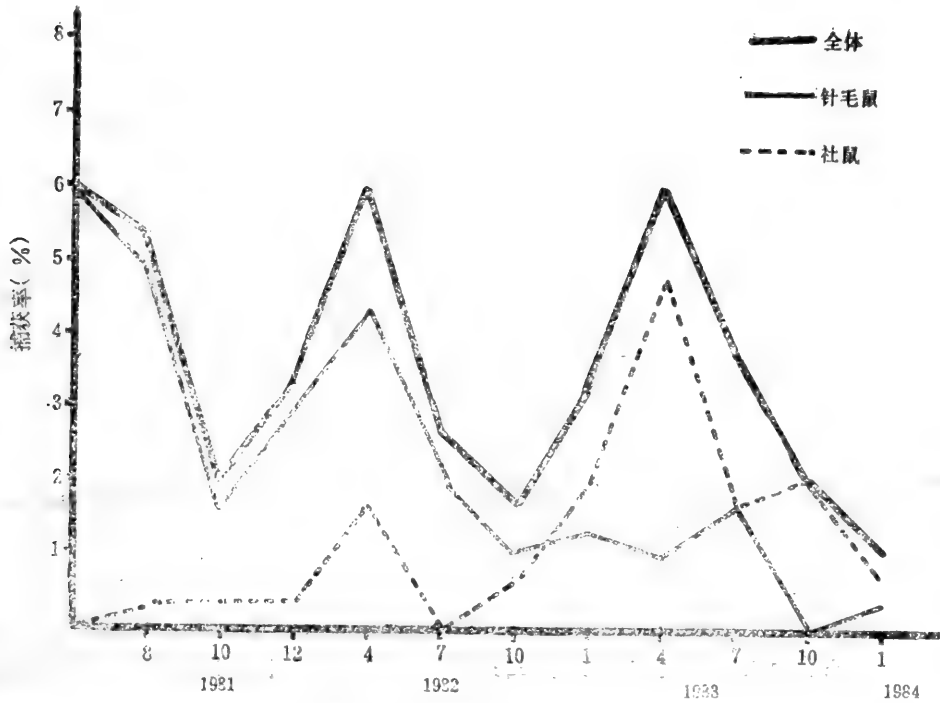


图1 鼎湖山鼠类捕获率的季节变化

阔叶林 > 混交林 ≈ 松林

不同植被类型鼠类数量的稳定性 表2把全部调查资料分成三个季节周期。结果，阔叶林每个季节周期的总捕鼠数均在20—19只之间，混交林为12—11只之间，两者水平不同，但年变化都不大。松林则从18只下降到8只，显出强烈的年变化。故这三个生境中鼠类数量稳定性的排列为：

阔叶林 ≈ 混交林 > 松林

不同植被类型鼠种组成的稳定性 将不同林地针毛鼠和社鼠的比例（见表2）作成图2。图中清楚地表明在阔叶林中两种鼠的密度比值在三个季节周期期间的变化幅度明显地小于混交林和松林。因此可以得出这三个生境中两种鼠比值的稳定性排列为：

阔叶林 > 混交林 ≈ 松林

3. 针毛鼠和社鼠种群数量的相互关系

两个种群变化的负相关 每年高峰季节，即7、8月份，总的捕鼠量均一样，但针毛鼠和社鼠所占比例每年不同：针毛鼠多的年份社鼠即少，针毛鼠少的年份社鼠即多（表1）。这种情况，无论在阔叶林、混交林或松林都同样存在。这样两个种的种群数量呈负的相关关系（ $r = -0.739$, $df = 7$ ）。若按季节周期捕鼠量计，自1981年，针毛鼠在各林中数量逐年下降，而社鼠逐年上升。它们明显地沿着负的直线回归而变化（表2）。所有这些均说明这两个种之间存在着激烈的种间矛盾。

在不同林地的种间矛盾 图3所示，阔叶林各观察点全部在两种鼠数量总变化的回

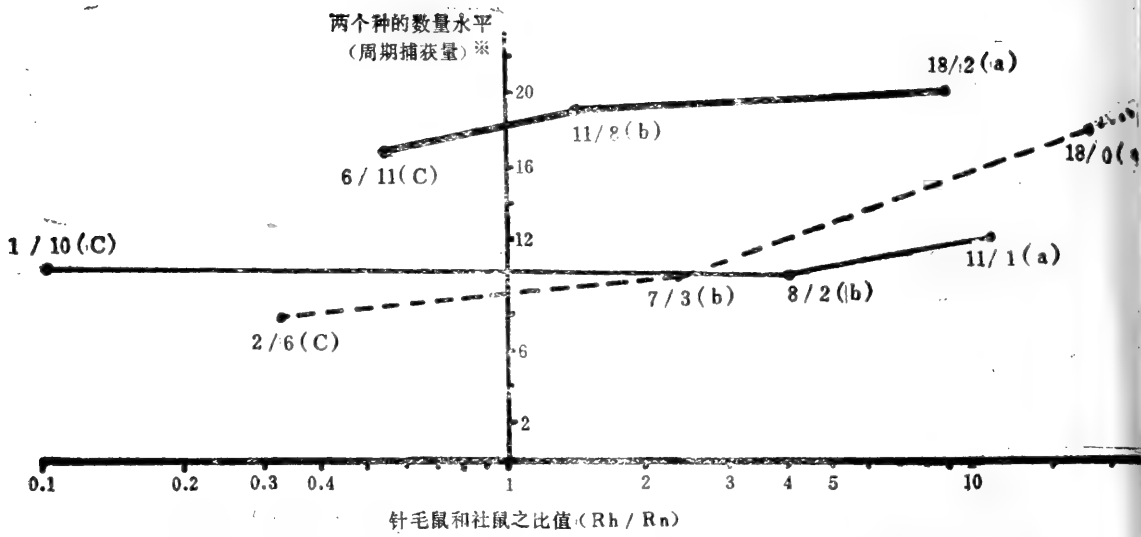


图2、鼎湖山不同植被类型林地上针毛鼠和社鼠比值变化幅度。图中数字为两个种捕获数之比，英文字母为季节周期。‘者为四个季度各100缺夜的捕获数总和。

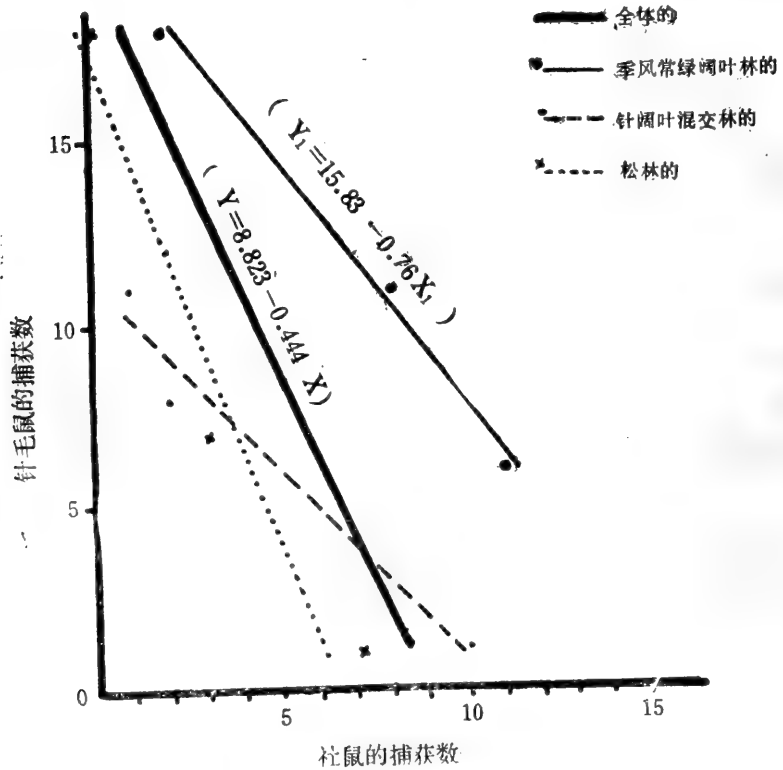


图3、针毛鼠和社鼠数量的直线回归

不同植被类型林地鼠类捕获率的比较

表2

	I. 季风常绿阔叶林	II. 针、阔叶混交林	III. 松 林
总 捕 获 鼠 数	59	34	36
a. 1981夏-1982春	20(18:2:0)	12(11:1:0)	18(18:0:0)
b. 1982夏-1983春	20(11:8:2)	11(8:2:1)	10(7:3:0)
c. 1983夏-1984春	19(6:11:2)	11(1:10:0)	8(2:6:0)
总 捕 捉 次 数	12	12	12
平 均 捕 获 率	4.92	2.83	2.09
针毛鼠(Y) 和社鼠(X) 直线回归及其显著性测验	$y_1 = 15.83 - 0.76x_1$ df = 1, tb = 37.438 p < 0.05 显著	$y_2 = 10.62 - 0.94x_2$ df = 1, tb = 4.776 p > 0.1 不显著	$y_3 = 6.75 - 0.39x_3$ df = 1, tb = 3.305 p > 0.1 不显著
	$y = 8.823 - 0.444x$ df = 7, tb = 2.387 p < 0.05 显著		
捕获率的显著性测验	I - I t = 4.205; df = 11; p < 0.01 显著		
	I - II t = 3.467; df = 11; p < 0.01 显著		
	I - III t = 0.343; df = 11; p > 0.05 不显著		

注: 括号内为针毛鼠、社鼠和白腹巨鼠的捕获量

归线的上方, 而混交林和松林的, 几乎全部在下方。其中阔叶林各点亦显示出显著的直线回归关系(见表2)。图示: 1) 阔叶林中针毛鼠和社鼠的数量水平高于混交林和松林的; 2) 阔叶林的回归系数接近于-1 ($b = -0.76$), 表明这个阔叶林为针毛鼠和社鼠互相争夺排斥的重要栖息地。在混交林中的直线回归虽然不够显著, 但从生境条件来看, 与阔叶林较相似, 水份和食物条件都比松林好得多, 因此很可能其回归系数也是较接近-1的, 种间矛盾可能也是比较激烈的。松林中各观察点全部在总回归线下方, 负回归系数的绝对值最小, 表明针毛鼠种群大量减少后, 社鼠种群无大量增加, 两个在此栖息地中的种间矛盾并不十分激烈。从松林比较干燥和食物供应不稳定的生境条件看, 这种可能性是大的, 虽然回归系数亦未具显著性。

三、讨 论

1. 关于两个种群的怀孕率和数量高峰问题

在鼎湖山, 针毛鼠四季的怀孕比例分别为 $3/4$ (四月)、 $6/13$ (七月或八月)、 $4/9$ (十月)、 $0/6$ (一月) (即怀孕个体数/捕获雌鼠数)。这些数字是全部调查中同一季节资料的总计。按怀孕率看, 当以春季(四月)为高, 但种群繁殖的高峰不在春季, 由于调查缺夜数完全相同(包括调查次数和每次缺数), 所以上面所列数字中的分子——怀孕个体数即为种群中参加繁殖的雌鼠的相对数量。这些数字表明, 夏季种群中参加繁殖的雌鼠个体数最多, 冬季最少。在平均胎仔数方面, 各季度亦有差异, 它们分别为2.7、3.5、4.0、和0, 即秋季平均胎仔数最高。如果以胎仔数 \times 孕鼠数作为种群繁殖强度指数。那末各季度分别为: 8.1、21、16、0。这样, 仍然表现出夏季有最大的种群繁殖强度。寿振黄等(1962)在《中国经济动物志(兽类)》中记载, 针毛鼠只有一个7月怀孕率高峰(50%)。如果当时也是针毛鼠种群数量最多, 那么这个7月份也是针毛鼠种群繁殖强度最大的月份。郑智民等(1978)所发表的资料与这些很不相同。据报导, 针毛鼠有4-5月和8-9-10月两个妊娠率高峰(1962年福建省南平资料)。我们认为之所以有如此大的差异, 主要是由于栖息环境之不同。前者的资料来源于远离农田的山林中, 而后者是靠近于农田的山麓。后者系受到农田作物影响的, 正如大多数南方农田鼠类都具有春季繁殖小高峰和秋季繁殖大高峰一样。

数量高峰主要受种群繁殖高峰的影响。如果鼎湖山针毛鼠的种群繁殖高峰是在7月或8月份, 那末, 其种群数量高峰应在9月或10月。除繁殖因素之外, 看来还有一些别的影响因素。郑智民(1978)发表的资料中, 针毛鼠的捕获高峰不在妊娠高峰8-9-10月之后。按理11月份捕获率应有明显的升高(即使不是最高峰), 而资料上却仍然处于最低水平。这种情况可以解释为种群的迁移。在那里, 针毛鼠大量繁殖也是在农田鼠种黄毛鼠等种群最大地增殖的时候。由于种间的矛盾, 迫使原来适应于山地生活的针毛鼠退回到离农田较远的山坡上去, 因此在近农田的山麓捕获率很低。针毛鼠能适应山地环境条件, 也能在农田等较优的生境中捕到(郑智民等1978)说明该种在条件许可(竞争对手较弱, 或种间矛盾较缓和)时, 会迁移到条件较好的生境中栖息。这种迁移影响到各生境中该种的数量变化。在鼎湖山, 我们还没有对所有生境都进行调查, 因此不可能对繁殖因素之外的数量变化因素, 如生境迁移等, 作出有根据的解释。

关于社鼠, 据寿振黄等(1962)记载, 怀孕率在3月份最高, 比针毛鼠提早一个月。按一般规律, 社鼠的数量高峰应在8月份。按鲍毅新和诸葛阳(1984)发表的资料, 浙江省社鼠在8月份出现幼鼠的高峰, 也就是说8月份可能就是社鼠的数量高峰。在鼎湖山, 1983年社鼠数量升高年份, 7月份的孕鼠加哺乳鼠数为最高, 那末, 净孕鼠数应以6月份为高。这样和上面所提的资料亦似一致, 故估计种群数量高峰在8-9月间, 比针毛鼠早一个月。

2. 生境分布与种间关系

一些作者认为针毛鼠的生境分布高度比社鼠高^[1, 11], 而且是喜欢干燥的岩栖动物

[3, 10]。为此, 我们于1984年7-9月在鼎湖山作了专门的调查。捕鼠结果见表3, 针毛鼠仅仅在有流水的沟谷才能捕到, 不仅在海拔高度300米左右, 而且在低到25—50米处都有, 但未在干燥的岩石山坡上捕到过。相反, 在这些干燥环境中捕到的全是社鼠, 它们亦分布于有流水的沟谷下。从这些资料看不出这两个种在分布高度上有什么差别。但这是在社鼠占优势的年份的生境分布或生境隔离情况。在1981—82年, 以针毛鼠为优势年份, 情况并非如此, 山坡上捕到的全部或主要是针毛鼠。因此, 我们认为关于这两个种的生

在山坡和山沟中两个种的捕获数 (1984年7—9月资料)

表3

海拔高度 (m)	山坡			山沟		
	铁数	社鼠	针毛鼠	铁数	社鼠	针毛鼠
300—400	50	0	0			
275—350				50	1	3
250—350	50	0	0			
150—300	50	2	0			
100—250	50	4	0			
100—250	50	1	0			
100—250	50	2	0			
100—250	50	1	0			
100—200	50	1	0			
100—200	50	3	0			
100—150				50	0	0
50—75				50	1	4
50—75				50	1	1
50—75				50	3	0
25—50				50	2	4
25—50				50	0	0
合计	450	14	0	350	8	12
捕获率 %		3.1	0		2.3	3.4

境分布差异问题, 到现在还不能给以定论。这是问题的一个分歧点。其次, 据周宇垣、秦耀亮等 (1981) 在1962年的调查中, 鼎湖山的庆云寺一带自然林中常见的啮齿动物有针毛鼠、而没有提到社鼠。可见当时那里针毛鼠多于社鼠。相反, 我们1984年在同一带, 海拔150—350米高度, 仅仅在有流水的沟谷才捕到针毛鼠, 而在以外广宽的林中只有社鼠。为什么会有这些很不相同的调查结果? 这两个生态近似种的种间矛盾较大, 种群数量年变化存在着负的相关关系可能是这一问题的唯一解释。事实上我们在同一生境中, 当针毛鼠占优势时少捕到或捕不到社鼠, 而当社鼠占优势时则相反。也就是说在

不同时期调查,会有不同的结果是合乎自然的。这两个互相竞争着的种的生境分布,是在各自的最适生境要求、对环境的适应能力和对种外竞争能力等内部因素,在气候造成的环境变化及由此而引起的种间矛盾激化状况的改变等外部因素共同作用下形成的,因而分布的差异是随时间而变化的。因此在未曾了解这些关系时就去描述生境分布,就不免含糊、片面。

参 考 文 献

- [1] 广东省昆虫研究所动物室、中山大学生物系, 1983: 《海南岛的鸟兽》, 科学出版社, 379—382。
- [2] 王伯荪、马曼杰, 1982: 鼎湖山自然保护区森林群落的演变, 《热带亚热带森林生态系统研究》第一集: 142—156。
- [3] 刘铭泉、梁治垣、莫冠英、黄宽、杨华源, 1974: 粤西山区野生鼠类生态的初步观察。动物学杂志, 74 (2): 18—19。
- [4] 刘振河, 1982: 鼎湖山兽类调查。《热带亚热带森林生态系统研究》第一集: 201—208。
- [5] 汪松、郑昌琳, 1981: 中国社鼠亚种小志。《动物学集刊》第一集: 1—8。
- [6] 杨务一、刘振华, 1964: 广东省雷北农作区鼠类分布。动物学杂志, 8 (4): 158—160。
- [7] 寿振黄等, 1962: 《中国经济动物志(兽类)》。科学出版社: 256—263。
- [8] 辛景禧、黄荣春、莫乘风, 1984: 九龙半岛的鼠类及其寄生螨。中山大学学报(自然科学版), 1984 (1): 24—32。
- [9] 周宇垣、秦耀亮等, 1981: 鼎湖山地区的陆栖脊椎动物, 《广东省动物学论文集》: 48—58。
- [10] 郑智民、詹绍琛, 1978: 针毛鼠的生物学观察。动物学杂志, 1978(1): 13—15。
- [11] 洪朝长, 福建啮齿动物的地理分布和地理区划, 动物学报, 28 (1): 87—98。

ON THE POPULATION DYNAMIC OF RATTUS HUANG AND R. NIVIVENTER IN DING HU SHAN

Liao Chonghui Chen Maogian
(Guangdong Institute of Entomology)

R. huang and *R. niviventer* are the main species of rodent in Ding Hu Shan Biosphere Reserve. The populations these two species of in the monsoon evergreen broad-leaf forest, the pine and broad-leaf mixed forest and the pine forest have been inv-

estimated for three years.

The maximum captured number of each species appeared in summer and the minimum captured number appeared in winter. In these three years, the total captured number was the same every summer and the total was almost the same every winter. It showed the variation of population quantity in this ecosystem had high stability.

In the monsoon evergreen broad-leaf forest the variation of all rodent number and the ratio of these two species were more stable than those in the other forest types. The density of rodent in the monsoon evergreen broad-leaf forest was higher too.

In 1981, the population quantity of *R. huang* was larger than *R. niviventer*. On the contrary, from 1983 the *R. huang* was less than another. It showed the negative relationship of two species. The regression coefficient of two species was 0.76, tending to 1. It showed this forest was contended for settlement by these two species.

Because intraspecific competition affects the variation of these two populations, the difference of habitat distribution that was tried to describe by some authors have become complicity.

关于内蒙古草原合理利用的浅见

以内蒙锡盟中部白音锡勒地区为例

姜 恕

(中国科学院植物研究所)

(中国科学院内蒙古草原生态系统定位站)

一、问题的提出

白音锡勒牧场位于内蒙锡林郭勒草原中部，面积3730平方公里，历史上曾是水草丰美的牧区。解放后，50年代建立了种牧场，并开始有了农业种植活动。60年代初期和后期，人口和耕地猛增，现在已成为12,000人，耕地20余万亩的农牧结合地区，生产规模也有了显著发展（表1）。

然而，这里的农牧业和草原利用仍然存在一些问题。这主要是广种薄收全无施肥的

草場生产力和估算载畜量

表1

项 目	参 数 来 源					备 注
		1	2	3	4	
草场总面积 (万亩)		538.5				
可利用面积 (万亩)		406.9				
草场生产力 (干重公斤/亩)		95.1	90.5	135.8	57.2	
羊日食量 (干重、公斤)		2.0	2.0	2.0	2.0	
1只羊所需草场面积 (亩)		10.9	8.0	7.8	18.5	
1只羊实际占有草场面积 (亩)		102.1 (1958年)	15.0 (1966)	32.6 (1978年)	14.4 (1975)	牧草可利用率 约为70%
估算载畜量 (羊单位万只)		37	33	52	22	
实际羊只数 (万只)		最高28 (1975年)	最低	12.4 (1978)	3.9 (1958)	

数据来源：1) 1966年、现代草原畜牧综合试验研究中心，科学研究资料汇编，第一集，第177页。

2) 1974年，中国科学院内蒙宁夏综合考察队：内蒙古自治区及其东西部毗邻地区天然草场资源

3) 80—83年中国科学院内蒙古草原生态系统定位站围栏样地的实测数据

4) 过牧草场的实测数据

此外，实际羊只数由白音锡勒牧场提供

• 文中引用的一些资料，如气象、农牧业生产基本情况等主要来自白音锡勒牧场。张应奇、齐伯益、韩福君等同志对草原合理利用提出了宝贵意见，在此谨致谢忱。

草原农业，产量低（70—80斤/亩）而不稳，土壤肥力普遍降低，甚至在一些地段已引起了砂化和盐渍化。不仅如此，被开垦的草原通常是水草丰美、地形平坦的冬场——牲畜赖以熬过严冬的“宝地”。开垦后，以生产口粮为主的农业难以给牧业以相应的反馈，致使牧业发展受到严重影响，形成了尖锐的农牧矛盾。以放牧为主的牧业由于缺乏足够的冬饲草，往往在冬季自然灾害面前反映出脆弱的弹性和周期性的起落。虽然夏场面积较大，生产力也较高，就目前草牧关系来讲甚至是富裕的，但由于部分草场的缺水，放牧活动不得不集中在饮水方便的河滩地和井泉附近，使这些草场因过牧而退化。

因之，如何制止并扭转这种草场的退化和劣变，使它成为高产稳产的，以畜牧业为中心的綜合经营系统，是当前草原合理利用中带根本性的问题之一。

二、草场的生产力与草畜平衡

从草场生产力和牲畜数量的整体平衡来看，本区牧业尚有较大发展潜力。

本区土地面积3730平方公里（559.5万亩）。其中农地21万亩，占3.75%；草场538.5万亩，占96.2%（其中实际可利用面积为409.6万亩，占73%）。根据不同参数估算的载畜量分别为22、37、33和52万羊单位（表1）。即使以载畜量最低的退化草场为准，也大致相当于1966年以来的平均牲畜头数。而其他估算载畜量都较实际牲畜头数为高。这说明本区尚有明显的增产潜力。

其次，每羊单位实际占有的草场面积平均为24.2亩（表2），变动于14.4至32.6亩之间。其中50年代牲畜很少，故草场非常富裕为102.1亩。随着牲畜的增多，每羊单位占有的面积逐渐减少，如1967年和1975年牲畜高峰时减为14.7和14.4亩。如以此高峰期的每羊单位所占面积与按退化草场估算的面积（18.5亩，见表1）相比，则草场偏小，已无潜力可言。当然这只是供分析用的一种极端的情况，如就历年羊占有草场面积的平均值来讲，显然是远远大于估算所需面积（7.9—18.5亩）。这也足以印证在现阶段草场还是绰绰有余的。

然而，草场的实际利用和草畜平衡状况并不完全如此。首先是草场利用在空间和时间上的不均衡性。在占全区草场面积11%的玄武岩台地缺水草场上，夏秋季几乎没有利用，仅在冬春有雪复盖时有轻度放牧。而在河谷和饮水点附近地区却处于过牧状态。牧民普遍反映“十多年前草高齐着马蹬，现在矮多了”。实测结果，如表1所示，退化草场的产草量与60年代路线式调查以集的同期数据相比，降低了39.9%。

再次是有草而无储备仍难免受灾减产。本区有面积近半（46%）的优质羊草割草场，但割储不力，大部分仍然是放牧利用，一遇雪灾，有草用不上，优势变为劣势。表2揭示了1966到1978年牲畜头数的两次较明显的起落，降落的幅度在12万到28万之间，达48%。这是冬场问题的又一个侧面。

再从牲畜的生长发育状况来看，同全国其他牧区一样，也没有摆脱“夏壮秋肥冬瘦春贫”的困境。问题的实质依然在于冬季缺乏相应的干草储备和足够的放牧草场。

综上所述，对本区草场资源的利用现状和草原生态系统的草畜平衡关系，可以得出如下认识：即使把旱年产草量的波动考虑在内，从全局来讲还不是草不够用，而是未尽其用，未善其用。牲畜头数的周期性起落并不能确切反映草畜平衡中畜群的消长规律，

白音锡勒牧场历年牧畜头数

表2

牲畜头数 年度	年末混合 头只数	折算羊单 位(只)	其中羊(只)	羊只数占混 合头数的%	每羊单位占 有的草场面 积(亩)	备 注
1950	1,019					可利用草场 面积为406.9 万亩 一起
58	24,952	39,832	21,976	88.0	102.1	
66	157,063	270,388	134,668	85.7	15.0	
67	153,950	276,565	130,215	84.5	14.7	
68	109,621	201,741	91,197	83.0	20.1	
69	118,393	225,778	96,916	81.8	18.0	
1970	95,953	199,298	75,287	78.4	20.4	一落
71	106,373	218,737	83,901	78.8	18.6	
72	120,758	251,763	94,917	78.6	16.1	二起
73	129,211	276,409	100,375	77.6	14.8	
74	128,515	273,595	98,899	76.9	14.7	
75	134,536	281,611	104,299	77.5	14.4	二落
76	124,988	269,519	95,747	76.6	15.0	
77	113,654	241,795	87,715	77.0	16.8	
78	63,759	124,585	51,331	80.0	32.6	
79	81,368	143,245	68,731	84.0	28.4	
1980	84,219	150,201	70,625	83.8	27.0	
81	79,131	170,758	82,144	84.5	23.8	
82	102,858	175,288	88,120	85.6	23.2	
平均	107,294	210,617	87,614	81.2	24.2	

而是草场利用在空间和时间上的不均衡性和不合理性、特别是缺乏冬草储备的必然结果。如能针对这些问题加以改进，则生产潜力的发挥是可以期待的。

三、合理利用草场资源的几点意见

为了使这一问题的分析不局限于本区，更多一些普遍性，拟着眼于草原生态系统的结构和功能，特别是能流、物流过程的调控，加以探讨。

为了获得更多的草原生产、特别是家畜生产，可以从调整草畜之间关系着眼，采取开源节流，提高草原生态系统输出效益的策略。

开源，首先要提高第一性生产，为畜牧业发展提供坚实基础。这包括：缺水天然草原的开发、人工和半人工草地饲料地的建立以至作物种植这样一些农业手段。此外，广义地讲如草原防护林分、灌丛带、围栏和草圈圈的建立等都是行之有效的措施。而草原的合理利用、野生动植物资源的保护与管理、家畜品种改良和快速饲养提高饲料转换效率等则是节流和提高输出效益的关键。

1、人工种草、种饲料可以显著提高牧草的产量和质量。这在农牧结合、综合发展和环境保护上是有战略意义的重要措施。

在我国温带草原，年降水量300—400毫米，植物生长期100—150天的地区，人工种草卓有成效者已是事实。中国科学院内蒙草原生态系统定位站在白音锡勒建立的600亩羊草人工草地在干旱之年（1983年）取得了199.8公斤干草/亩的产量，较周围天然羊草草原增产1.76倍。

据白音锡勒牧场齐伯益同志的记录，该场贮冬草每只牲畜平均200斤、饲料20斤，在1977年大雪灾之年保畜率达59%。其中有农牧综合经营条件的鸟逊吐儒分场、每只有草500斤，料50斤，保畜率90%以上。而邻近的阿巴哈那尔旗由于没有冬草贮备完全依靠天然草场放牧，损失牧畜达90%。这是多么鲜明的对比！该场建场30年来，冬春季节曾受过9次大灾，损失累计1,100万只牲畜（羊），每只30元，折合3亿3千万元。这主要与冬草储运不力有关系。如果把这笔钱折合成草料（1元买100斤草，或10斤半料），可供5,000万只牲畜过冬之用。由此可见有没有冬草储备，搞不搞农牧结合与牧业发展是多么休戚相关，影响全局的问题！

但是，应当指出，在草原地区建立人工草地必须讲求因地制宜，绝不是到处都可以种植。即使在典型草原区，也要选择宽谷、碟形浅洼地、水肥条件较好的地段。至于降水量200毫米左右的荒漠草原区就更必须严格地选择一些低洼积水、有淤灌条件的河漫滩或者坡麓有径流汇集地段为宜。考虑到荒漠草原区干旱多风的特点，近年来有半人工草地的经验¹⁾。简言之就是不耕翻土地、犁破草皮补播旱生优质牧草的天然草地。成功的关键在于是否选择有淤灌条件和集聚径流的隐域性地段。1975年以来四子王旗推广半人工草地近20万亩，每年贮备干草3000多万斤，基本上保证了100万头只牲畜的冬草补饲。

2.既然能种草，为什么不能种饲料粮食作物使草原农业向更“高级”发展？这似乎是理所当然的发问，可能也是草原农区日益扩展的“依据”。

首先，应该把多年生牧草的种植同一年生作物（包括饲料）为对象的农垦活动严格加以区别。因为多年生牧草的生态学特性更近于天然草原植物，有些植物（如羊草）本来就是天然草原的优势种。一旦建成草地无需年年耕翻，有较强的抗风和抗旱害能力；是较为稳定的生态系统。一年生作物则不然，它们多系中生植物，在草原生境下，通常受干旱，风沙和盐碱的威胁，是一种产量低而不稳非常脆弱的生态系统。这里要提请注意的就是这类农田生态系统。

以本区春小麦生产为例，据牧场70—81年的资料，平均田产92斤，变动于52.9到127.5斤之间。而在局部地区甚至有过颗粒无收的记录。产量的摆动与降水状况有密切关系。这里年降水量350毫米左右，70%集中于6—8月降落。但降水的年、季节变幅很大、春旱和伏旱的影响尤其严重。如79年多雨达500毫米，丰年148斤/亩。而80年仅177.7毫米，小麦生育期4—8月的降水只有119.2毫米，分别相当于常年的50.7%和44.9%。形成歉年，64.7斤/亩。

1) 李济尚内蒙乌盟四子王旗草原工作站，1983；试谈半人工草地的经济效益（油印本）。

其次，是春季大风的危害。4—5月正是小麦播种期和苗期。此时多大风。 ≥ 17 米/秒的大风日数分别为6.2和4.9天，占全年的23%和18.2%。大风和春旱再加上与迅速的气温回升相重合，严重地威胁着小麦的出苗、着苗和生长；轻则缺苗断垅，重则需要重播。不仅如此，此时被翻耕的麦田土壤几乎处于裸露状态，风蚀是严重的。表层的细土粒易于被风吹走，与底层相比，减少5—20%，相对地粗砂粒增加了7—13%。表层30厘米土层的有机质含量降低到1.35—2.29%，比开垦前草原暗栗钙土的平均有机质含量（3.14%）下降了57%~27%。全氮含量也下降了30—60%¹⁾。这不仅反映着土壤肥力的降低，更严重的则是沙漠化的扩展，威胁着草原生态平衡的大事。因为，在这里试提出“草原农业”这样一个概念。借以强调它是在同上述环境胁迫作斗争中发展起来的。不重视这些胁迫、不克服这些胁迫，或者套用湿润地区的农作制度和技术都将导致失败，甚至给整个草原环境和资源带来危害。

因此草原作物种植农业应当有自己的策略，即通过农田作物结构和农田环境条件的调整与改善，提高对于旱、风暴和盐碱等胁迫的抗性，达到稳产高产的目的。为此首先要选择避风聚水的地形、诸如四周环山或丘陵的盆地或谷地、较粘重肥厚的土壤。避免开阔、倾斜、当风的地形和砂性较重土层浅薄的土壤。事实证明如果不这样作，开垦种植作物3—5年后就要沙化。第二，是从作物本身、特别是农田结构与布局的调整，达到增进地力、增强对风蚀和干旱的抗性以至高产稳产的目的。

近年来采用条田草田轮作压青和留高茬的防风蚀措施，起了一定的作用。如白音锡勒的乌逊吐鲁分场和锡盟兰旗黑城子牧场等地都有一些经验。但轮歇期仅一年，而且必须在夏秋季提前翻压入土。生物量有限、肥效不大固不待言，更值得注意的是春季大风时节，土壤表面依然处于无植被复盖的状态，实际上防风蚀的作用是难以期待的。

为此，白音锡勒场有进一步的试验。即用二年生牧草（草木樨 *Melilotus suaveolens*）同春小麦条状间作。先按一定行距全面地条播草木樨，再分出一半田块，在已播草木樨的行间播下春麦。当年形成麦与草木樨的间作地。另外半块则形成一片草木樨地。秋季收麦，割草后放牧。第二年在草木樨地块上播小麦，另一半地任凭草木樨萌长成草地。秋收、割草后放一季牧。如此二年一轮，既能增进地力又能终年有植物复盖地面以抗风蚀而且可获豆科牧草和放牧之利；可谓一举三得。在种植一年生饲料和粮食作物时，千方百计地把两年生或多年生豆科牧草加进去抗风蚀的策略看来是值得推荐的。

3. 草原林业

草原区的乔木和林分通带是分布在隐域地境上的，如沙地、河岸、谷地和山地阴坡等。在地形平坦、排水良好的显域地境上，乔木根系向下伸展到一定深度，即可能遇到较厚的钙积层（这是与生物气候密切相关的草原土壤特性）或者盐碱，或者地上部受强烈的日晒和过多的蒸腾耗水，往往不能成活。即使在人工帮助下可以成林，也难以持久。所以，林带、林网的提法建议考虑改为林块或林片，而且湿润森林地区的一套技术和概念应结合草原干旱半干旱区的生态特点加以修正。明确是在草原区进行造林，甚至不妨树立“草原林业”的概念，对指导生产实践可能是有益的。国外，如澳大利亚和法

1) 蔡维琪，1981：草原生态系统中的土壤问题。草原生态系统研究第一期，170—176页。

国都有一些地中海气候的干旱、半干旱草原地区。这里的稀疏分布的树木和较多的灌木被看作有益于防止水土流失、有益于放牧牲畜的健康并通过放牧促进整个草原生态系统营养循环的不可缺少的重要环节。我国草原基本上无林，即使有，也只见于砂地和山地阴坡这样一些隐域地段，因此问题是如何造林、造灌丛。但我们还是可以得到一些借鉴。譬如说有树而不密，甚至不必成林，这正是草原“森林”的特点。但也足以发挥其护草护牧的效益。

4. 农牧结合

“双包”^{*}以来，牧区生产、草原利用发生了显著变化，正朝着有利方向发展，但根本的出路仍在于农牧结合。

83年推行牲畜包产时、草场并没同步包下去。因此，人们担心随着牲畜的增加，本来已经退化的草场是否会更加严重。但很快地草场也包了下去，牧民正以前所未有的积极性在致力于围草圈和人工半人工草地的建设，可以预期：牧业即将得到较大发展。

然而如果不从较大的地区范围和较宽广的草原土地、资源利用角度加以综合规划与调整，仅凭较单一的资源利用和局部生产潜力的发挥，深恐增产势头难以持久而且增产幅度也属有限。原因很清楚，即有条件进行围栏育草或种草的地块并非比比皆是、而是为数有限。这就需要重新考虑，如何更集约地利用这有限的资源，如何提高其单产改善其质量以及如何在不同地区之间建立综合经营体系的问题，或者换言之，如何走农牧结合的道路，如何改建草原农区的问题。

以锡盟中部典型草原地区为例，北部、中部分别受低温、砂地条件的限制，可以种草、但作物产量低，不到100斤/亩，而且不稳，是以牧为主。南部气候较为温和，成为农区和农牧交错区。作物产量较高（200斤以上）而且较为稳定。此类草原农区的生产潜力最大，但目前的单一粮食作物种植经营，远远不能发挥其潜力。因之，它是农牧综合经营的基础，是应予以重视和改造的对象。

草原区种植业的根本问题在于如何战胜风蚀、干旱和缺肥的威胁。除选育良种、调整农田作物结构布局外，最重要的就是增施有机肥、提高土壤的保墒能力和肥力。这必须依靠来自畜牧业的厩肥和粪肥。有了肥，就可以提高作物单产，就可以避免广种薄收、肥力降低的恶性循环。退耕一部分农田，改种牧草和饲料，促进牧业的发展，换回更多的肥料，从整体上变为良性循环。

从畜牧，或者动物饲养来讲，有了饲草和饲料，就可以从纯放牧到放牧加补饲以至舍饲加放牧。从粗放的毛皮肉经营到以乳肉为主的集约经营。从单一的家畜扩展到家禽、经济动物（兔、貂等）蚯蚓和食用菌类的饲养和栽培。通过食物链关系建立结构复杂的系统。这是提高能量转换利用效率、保持营养循环平衡的途径；一条缩短生产周期多种经营提高经济效益的途径。愈来愈多的人认为：这就是大农业综合发展，或者更具体地叫做“生态工程”。例如广东的桑基鱼塘、四川的稻田养鱼养蛙、山东的果园种饲料养鸡，鸡粪养蚯蚓、上海和北京郊区的以粪沼气池为中心环节的新能源、肥源的开辟与农牧业的综合经营，等等皆是结构多样收到实效的生态工程。那么，在草原农业的基础

* 双包即将牲畜和草场同时由牧民承包的制度。

上，建立具有草原特色的生态工程系统不也是完全必要与可能的吗！

因此，草原农业的改造、草原生态工程的开发是草原合理利用与保护上带根本性的策略。

人类经济活动对东湖生态系统的影响^{*}

章宗涉 刘建康

(中国科学院水生生物研究所)

武汉东湖是长江中游的一个中型浅水湖泊，位于湖北省武汉市武昌区的东北部。
(图1)

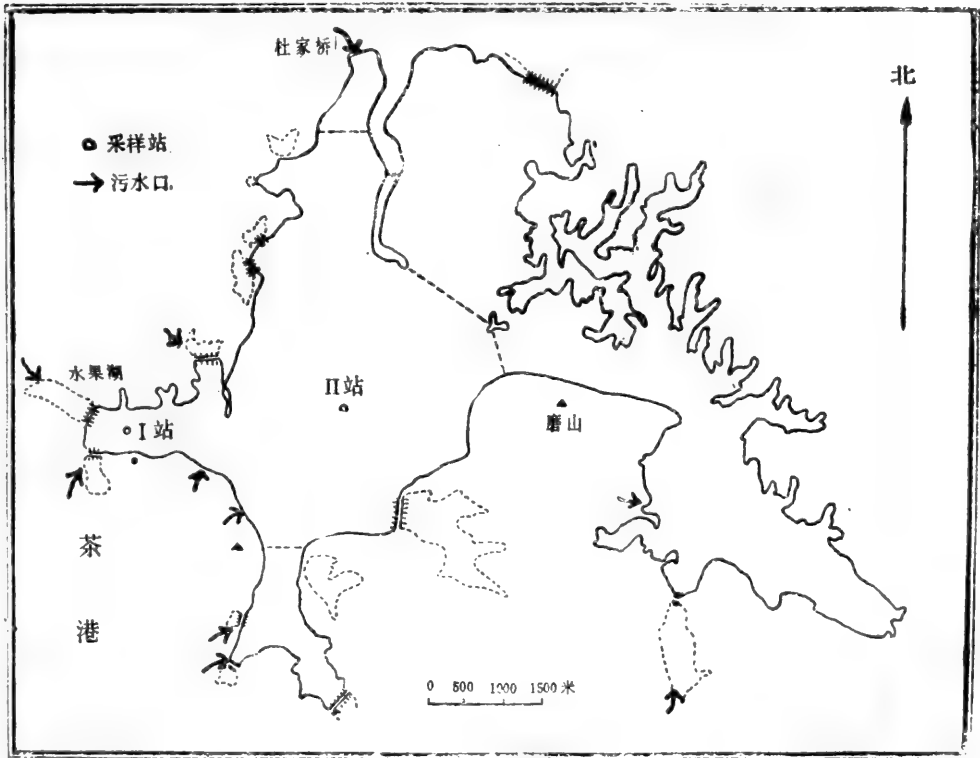


图1 武汉东湖简图

表1列出了东湖主要自然地理和形态特征。

湖的东半部被人工路堤与主湖区分隔，许多湖湾也被拦作养鱼用，但都仍可与主湖区相通。

东湖是一个具有多种功能的城市湖泊，其主要功能为：

^{*}列为联合国教科文组织人与生物圈计划的879项：“人类经济活动对湖泊生态系统的影响”。

东湖主要自然地理和形态特征

表1

1.地理座标: 东经114°23, 北纬30°33。 /	6.湖面积: 27.9km ² (水位高程为20.5 m 时)。
2.气温: 年平均16.7°C。最高月平均29.3° / (7月); 最低月平均3.8°C (1月)。	7.容积: 69×10 ⁶ m ³ 。
3.降雨量: 多年平均1163.3mm, 春夏占75%; 最高190mm (7月)。	8.水深: 平均2.21m, 最大4.75m。
4.年蒸发量: 1148mm。	9.集水区面积: 187km ² 。
5.年太阳辐射量: 106883KCDI/M ² 。	10.水循环: 多循环型。
	11.水滞留时间: 0.44年。

1.生活和工业用水水源。沿湖共有8个水厂, 供水量约30-35万吨/日。

2.渔业。利用天然食料进行人工放养鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*)、鳙(*Aristichthys nobilis*)等, 产量逐年上升, 目前年总渔获量在500-800吨左右。

3.游览和疗养。东湖为全国著名旅游风景区, 建有公园、游泳场、水上运动场和疗养院等。

4.农业灌溉水源。有农用泵站几十个, 年取水量约为1500-2500万吨。

主湖区周围的土地利用情况。城镇居民区和工业区集中于湖的西部和西南部, 面积约26.8Km², 占总面积的27.6%; 农田面积为34.2Km², 占35.3%; 山岗和果园为36Km², 占37.1%。

对东湖的水生生物学研究, 从50年代就已开始进行, 许多结果均已陆续发表。刘建康对东湖的湖泊学和渔业作了较全面的报导^[2, 14]。近年来, 对东湖在人类活动影响下发生的加速富营养化过程, 日益受到重视。从浮游植物^[1, 2], 浮游动物^[9], 氮、磷物质^[7, 11]等各个方面也已有较完整的论述。

一. 生物群落生态变化

自养型生物——浮游植物的大量繁殖是水体富营养化的主要标志。东湖浮游植物的数量在近几十年中增长了好多倍(图2), 种群结构由以甲藻和硅藻占主要比例演变为以蓝藻和绿藻为主(图3)。从春末直到秋末, 经常出现蓝藻“水华”, 在某些湖区形成“膜片”, 在岸边厚层堆积, 腐败发臭。形成“水华”的主要种类是水华微囊藻(*Microcystis flos-aquae*)、铜锈微囊藻(*M. auroginosa*)、螺旋鱼腥藻(*Anabaena spiroides*)、水华束丝藻(*Aphanizomenon flos-aouae*)和泥生颤藻(*Oscillatoria limosa*)等。

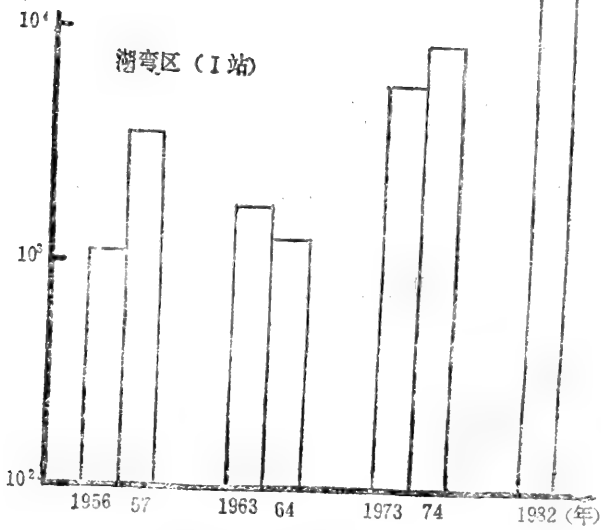
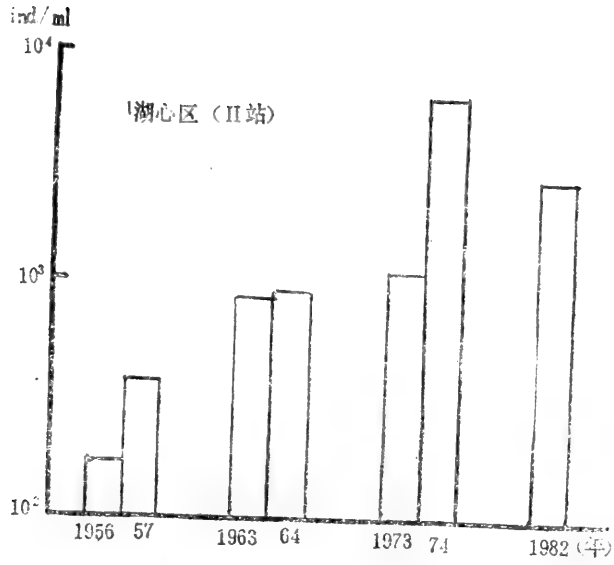


图2、东湖浮游植物现存量 (年平均值)

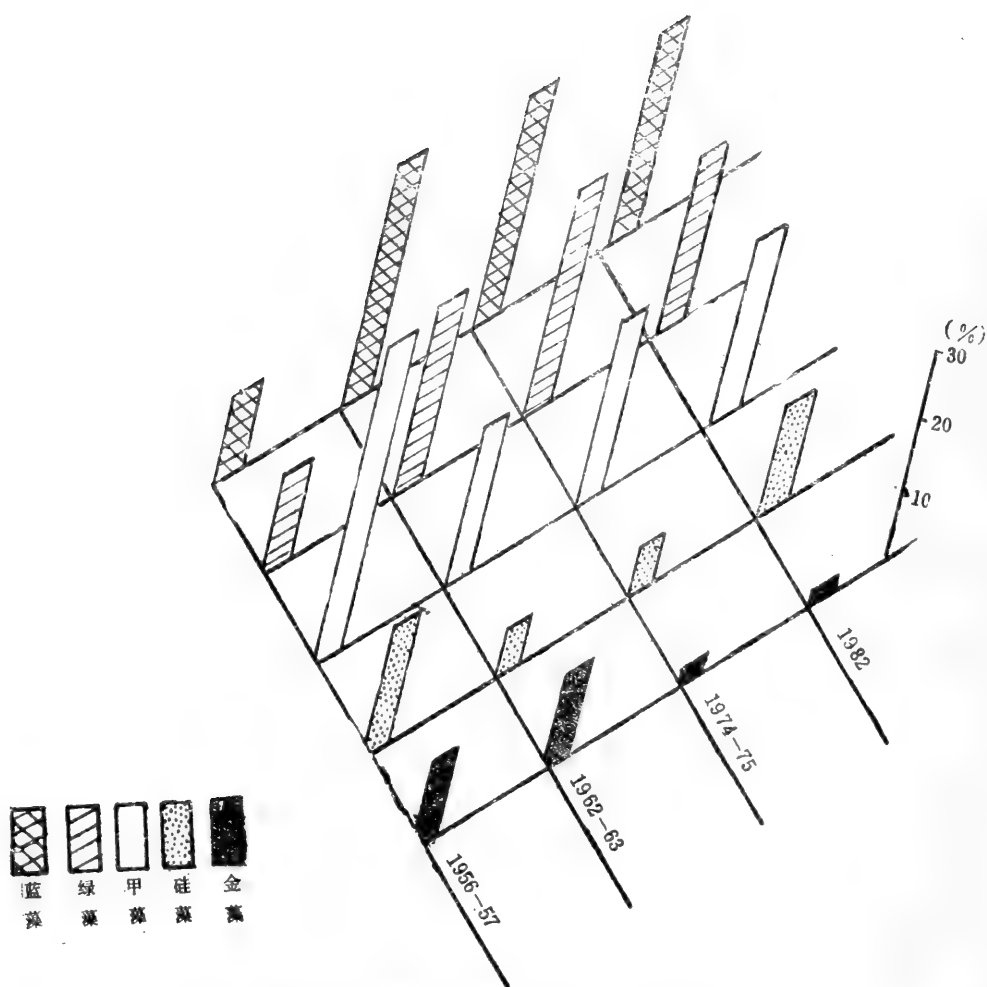


图3 湖心区浮游植物种类组成 (%) 的变化

浮游植物的初级生产量 (黑白瓶测氧法测定) 极高。(表2)

东湖浮游植物初级生产量 (毛生产量, PG)

表2

		1963—1964	1973—1975	1983
最高水柱日产量 (gO_2/m^2)	湖心区 I I 站	6.3	8.7	8.8
	湖湾区 I 站	7.0	10.8	13.6
水柱年产量 (gC/m^2)	湖心区 I I 站	202—234	263—351	492
	湖湾区 I 站	237—251	254—484	700

与此同时，水生高等植物却急剧减少。据陈洪达等^[4, 5]资料，1962-63年时，水生高等植物在全湖广泛分布，植被面积在主湖区中占40%，1965年后已几乎绝迹。从两个断面上生物量的变化，可明显地看出这一点（表3）。优势种群也发生变化，原来为黄水草（*Potamogeton maackianus*），现已被大茨藻（*Najas major*）所替代。

水生高等植物生物量（湿重，g/m²）

表3

断面 \ 年份	1962	1963	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978
I	717.8	--	0	0	0	0	0	35.4	0
XIII	-	1680.8	0	22	28.1	0.2	0	274.4	24

因此，这两类初级生产者的相对作用也发生了变化。（图4）

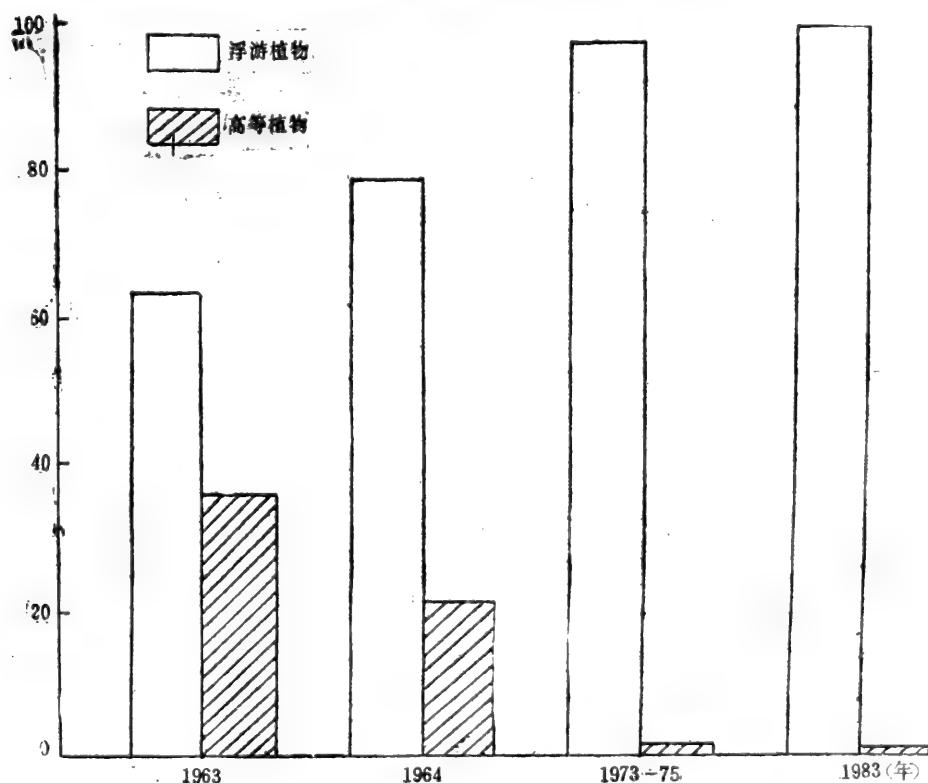


图4. 东湖浮游植物和高等植物初级生产量的相对值（占总初级生产量的%）

浮游动物的变化也是明显的。^[8, 9]首先是数量增加，主要是轮虫和原生动动物（表4）。其次，群落结构趋于简单化，种类减少或发生改变。龚循矩^[8]计算了原生动物的种类多

东湖湖心区浮游动物数量 (ind/L)

表 4

年 份	1962	1974	1975	1979	1980
总 数	4705	8128	4877	6981	10804
其中原生动物	4329	7050	4138	5325	10183
轮 虫	332	1028	676	1583	510

样性指数 ($\frac{S}{\sqrt{N}}$)，60年代为1.10，80年代为0.89。优势种原为大弹跳虫 (*Halteria grandinella*)和似钟虫 (*Vorticella similis*)，1981年时则为侠盗虫 (*Strobilidium humile*)和筒壳虫 (*Tintinnidium fluvistile*)，肉足虫类的半球法帽虫 (*Phryganella hemisphaerie*)也大量出现。黄祥飞^[9]计算湖心区的轮虫多样性指数 ($\frac{S-1}{\log e N}$)由1962年的5.16降为1982年的3.54。原优势种螺形尾甲轮虫 (*Keraella cochlearis*)为针簇多肢轮虫 (*Polyarthra trigla*)、前额犀轮虫 (*Rhinoglena frontalis*)、裂尾尾纹轮虫 (*Anuraeopsis fissa*)和角突臂尾轮虫 (*Brachionus anguleis*)等所取代。枝角类和桡足类动物也有种类上的变化。

陈云霞等^[9]和申权 (未发表资料)曾先后用平板培养法测定了湖水中异养细菌的数量，从表5可见增加的趋势明显，湖心II站近20年中增加了百倍以上，I站则更多 (表5)。

东湖湖水异养菌数量 (千/毫克)

表 5

	1962.7- 63.6	1973.7- 74.6	1975.1- 75.12	1981.6- 81.11	1982.1- 82.12	1983.1- 83.12
I I 站	232	447	972	8947	41548	28244
I 站	691	1564	6996	13495	40058	159415

透明度值决定于湖水中无机和有机悬浮物。浮游生物的量，是水质的一个重要指标。东湖湖水7-10月生长季节的平均和最高透明度值都下降明显，而且湖心区和湖湾区的差别也越来越小，表明水质恶化在不断扩大 (图5)。

地表径流源

表 6

	水 量 (万吨/年)	输入量 (吨/年)		相对值 (%)	
		N	P	N	P
农 田	2805	96.8	11.4	53.0	53.8
山岗果园	2953	53.7	2.9	29.4	13.7
城镇居民	2198	32.1	6.9	17.6	32.5

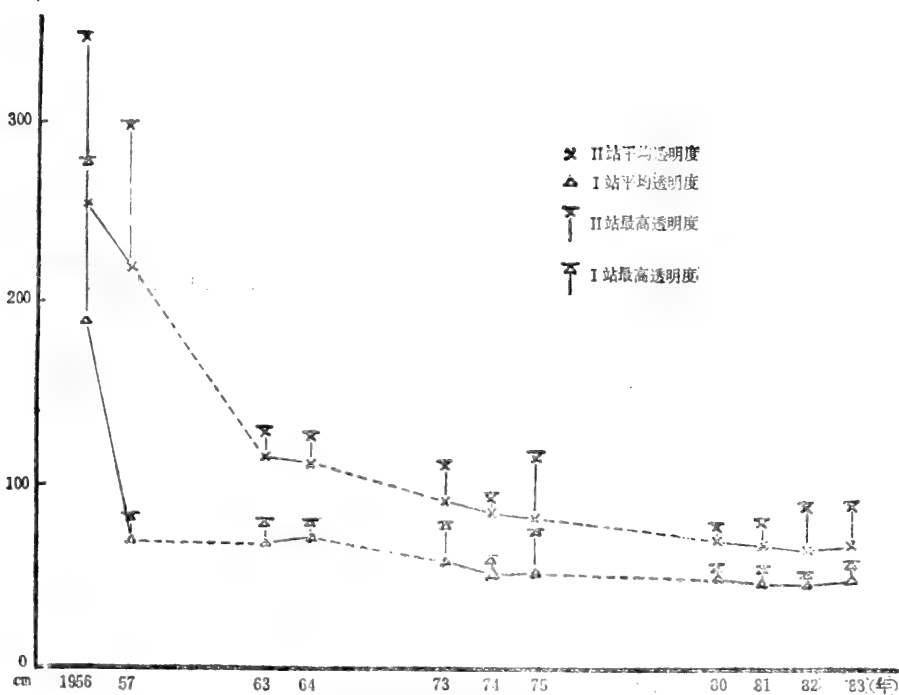


表5 东湖湖水透明度 (7-10月)

二. 氮、磷的收支及分布

上述生物群落的生态变化都反映了东湖的加速富营养化进程,而氮、磷等营养物质的增加是促进水体富营养化的主要原因。由于东湖周围地区城镇和工农业的发展,输入的氮、磷也随之增加。据测算,目前城镇生活污水和工业废水的管道排放——点源输入约占氮总输入量的50%,磷总输入量的73%。其中的三个主要污水排放口(水果湖、茶港和杜家桥)的污水量占总污水量的80%。(参见图1)。非点源的氮、磷来源也都与人类活动有关。来自三种不同类型的土地利用类型的地表径流中带来的氮、磷量占总输入中的第二位(表6)。其他还有湖湾养鱼时施加肥料、湖面降水等。^{[7][11]}生物固氮量在整个负荷量中占的比例虽不大,但它在藻类生长季节提供了易被利用的补充氮源,对“水华”的形成,浮游植物的种类演替应起着特殊的作用^[10]。

根据上述数值计算,东湖的氮、磷年负荷量分别为19.2和3.2克/米²·年。

东湖的氮、磷输出也主要决定于人类的活动——生活和工农业的用水和渔业捕捞。氮的输出以前者为主,而磷的输出则两者各半。

图6是东湖的氮、磷输入和输出平衡图。通过收支计算,进入东湖的氮、磷中的大

分别是滞留在湖中的，分别占总输入量的62%和79%。

根据粗略计算，积累在湖中的氮、磷在生态系统中各个组分中的分配情况大致如图7所示。

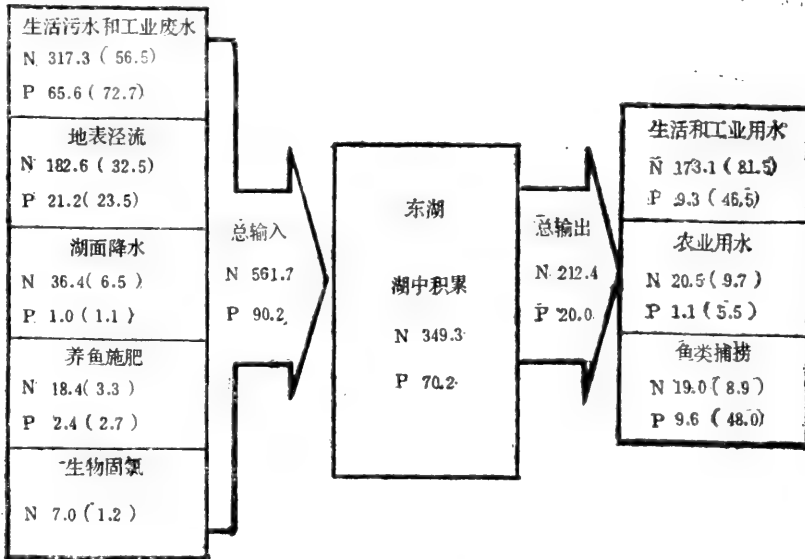


图6. 东湖的氮、磷收支 (吨/年; 括号内为占总量的%值)
氮——总氮 (N)
磷——总磷 (PO_4 —P)

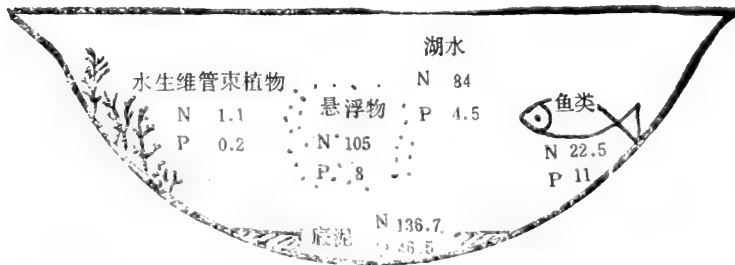


图7. 氮、磷在东湖内各组分中的分配情况 (吨/年)

下沉到沉积物中的氮、磷量最多，分别占湖中总积累量的40%和60%。它们可能不再参加湖中的物质循环，也可能通过再悬浮、分解、泥水交换等过程释放到湖水中，这部分工作正在进行中。

各种生物通过其生命活动在氮、磷循环中起着重要作用。悬浮物中包括了各种浮游

生物、细菌和有机碎屑，它们在东湖物质循环中的作用是不容忽视的。

因此，必须从动态角度来研究营养物质的周转过程，这是今后需要着重研究的问题。

三、东湖富营养化状况的评价和危害

对富营养化的评价，国内外已提出各种指标、方法和标准。表7就几个主要指标作了综合和比较，表明东湖的湖心区的富营养化程度已很严重；湖湾地区则更为严重，已

东湖富营养化程度的主要指标

表7

指 标		东 湖 (湖心区)	国 外 参 考 标 准
营 养 物 质	深 度 (mg/l)	N	1.46[13] 1.47[11]
		P	0.035[13] 0.125[11]
	负 荷 (g/m ² yr)	N	19.2
		P	3.2
浮 游 植 物	现 存 量 (ind/ml)		500[19]
	最 高 日 产 量 (gO ₂ /m ²)		2.5-7.5[20]
	年 产 量 (gC/m ²)		70-200[20] 75-350[15]
透 明 度	年 平 均 (Cm)		200[19]
	7-10 月 平 均 (Cm)		100

进入高度富营养化状态；在污水大量流入的水果湖地区，已开始转变为异常的有机污染类型。

富营养化已造成多方面的危害。自来水管的出水效率和水质大为降低，处理费用增加。湖边的几个天然游泳池已因水质恶化而被封闭。湖泊的游览价值下降。鱼产品因腥臭味而质量下降，在水果湖地区因“水华”大量腐败分解，已出现死鱼现象。“水华”的堆积腐败发出恶臭，影响了人民的卫生环境。至于蓝藻“水华”的生活分泌物和分解产物，以及水厂制水中采用加氯处理后出水中含有的潜在有害物质对人体健康的危害，

必须进一步弄清。

四、东湖富营养化防治对策

1.富营养化作为一种污染类型具有其特殊性。营养物质的增加,生物生产力的提高,对人类从事渔业生产、取得更多产品来说,是有利的,但从另外的角度来看,又造成危害。因此必需根据湖泊的具体情况,确定功能的主从位置,兼顾各方面的利益,最合理地利用资源。根据东湖目前利用和今后发展的要求,东湖的功能和防治要求应按饮用水源,旅游,渔业的排列次序,全面规划,合理利用。

2.通过研究,点源污染是主要的污染源,因此采取污水截流改道、降低外部负荷的工程措施是必要的。目前政府已批准实施的第一期工程将截走水果湖、茶叶港等主要污水,估计将可降低年氮负荷量180吨,磷年负荷量40吨,这无疑将可大大改善东湖的富营养化进程。

但目前方案将污水输入污水处理场进行二级处理,并不能解决氮、磷的去除问题。出水排入沙湖后,将加重沙湖的负荷,并可通沙湖通向杜家桥污水口流入东湖。因此,必需研究进一步的措施,解决沙湖的治理与杜家桥污水口对东湖的污染问题。

同时,为了进一步减少外源负荷,必需禁止渔业施肥,并通过环境管理措施,降低地表径流中的营养物来源。

3.富营养化的表现和危害,其根本原因是生态系统结构和功能的改变的反映。因此,防治对策也必需建立在生态学的基础上。目前我国的财力和物力也不允许完全依靠工程措施来解决富营养化问题。因此在防治中必须考虑综合措施,特别重视生态学方法的应用。近几年来,在发达国家中,也已有不少学者强调生物学措施的采用^[17]。

东湖虽然富营养化程度加重,但水生高等植物却大为减少,其原因是人为的。首先是草鱼放养量过大。从1973-1975年计,三年内收获草鱼100吨。每公斤草鱼的生产要消耗120公斤水生高等植物,相当于共消费水草12000吨。这样,对于水生高等植物,特别是那些植株再生能力不强、根系不发达、种子量不多,而草鱼又喜食的种类(如黄丝草)的生长产生极不利的影 响。其次,水位的人为提高、打捞水草作肥料等也有一定的影响。

水生高等植物和浮游藻类在营养物质和光能利用上是竞争者,它们的生长往往是相互拮抗的(参见前节,表2和表3,图4)。恢复水生高等植物群落,将可抑制浮游藻类的生长,从而起到提高透明度、改善水质的作用。因此,目前应首先恢复水生高等植物,今后则通过养鱼和收割使之控制在一定的生物量水平上,作为一项生物学防治措施。

蓝藻“水华”是造成富营养化危害的主要原因,但如能加以直接利用,将是一项生物资源。据测定^[3],东湖水厂在制水过程中用浮选法产生大量浓藻浆,7-10月间,干重总量达到60吨,含氮平均4.4%,含磷平均0.47%,这是目前可首先考虑利用的一笔现成资源,都未加利用,又排回东湖,造成二次污染。湖水中藻量更多,收集上有一定困难。但可考虑利用沿岸“水华”的集中区,捞取较容易。经在三个“水华”集中区初步测算,7-9月间的平均现存量为5吨干重,其碳、氮、磷平均含量分别为40.1%,8.7%和

0.8%。其生产量，如按日P/B系数为0.2估算，可达到近百吨。如能利用这些蓝藻资源作为能源（沼气）、肥源（农田肥料）或饵料源（鱼或家畜、家禽的人工配合饲料），则将化“害”为利，而且也有助于改善湖水的感官性状和环境状况，降低氮、磷负荷^[3]。

4. 鱼类放养与水体富营养化的关系是一个值得探讨的问题。利用养鱼来防治富营养化的想法早就提出，一些试验证明可以降低蓝藻的数量，提高透明度，并得到鱼产品。但不少报导持相反态度，认为鱼类的选择性摄食，通过食物链结构的改变，反而使蓝藻增加；吞食和排泄、游动等活动，加速了氮、磷的循环。因而鱼类养殖会加速富营养化的发展。这是一个复杂的生态学问题。我们应该结合我国的水体利用和渔业养殖的特点，进行研究和试验。

（申权、黄祥飞、沈国华、王建等同志提供部分资料，郑英同志复墨部分插图，作者谨表谢意。）

参 考 文 献

- [1] 王骥，沈国华，1981。武汉东湖浮游植物的初级生产力及其与若干生态因素的关系。水生生物学集刊，7（3）：295-311。
- [2] 刘建康，1980。东湖渔业增产试验综述。海洋与湖沼，11（2）：185-188。
- [3] 沈国华，章宗涉，1983。武汉东湖蓝藻“水华”及其利用探讨。全国海洋湖沼生态学术讨论会论文摘要汇编，PP.184-185。
- [4] 陈洪达，何楚华，1975。武汉东湖水生维管束植物的生物量及其在渔业上的合理利用问题。水生生物学集刊，5（3）：410-420。
- [5] 陈洪达，1980。武汉东湖水生维管束植物群落的结构和动态。海洋与湖沼，11（3）：275-284。
- [6] 陈云霞等，1980。武昌东湖水生微生物的初步研究。环境生物学文集（三），PP22-310
- [7] 张水元等，1984。武汉东湖营养物质氮、磷的主要来源。海洋与湖沼，15（3）：203-213。
- [8] 龚循矩，1983。从原生动物二十年变迁看武汉东湖富营养化的发展。中国原生动物学学会第二次学术讨论会论文摘要汇编，PP.111-115。
- [9] 黄祥飞，1984。在环境压迫下的东湖浮游动物。（本文集）
- [10] 章宗涉，戎克义，1984。武汉东湖浮游蓝藻的固氮作用（摘要）。中国海洋湖沼学会第四届全国会员代表大会暨学术年会论文摘要汇编，P.574。
- [11] 湖北省环保所，1983。武汉东湖水体氮、磷动态平衡、分布及磷预测的富营养化研究。环境科学与技术，1983年增刊，PP.1-29。
- [12] 饶钦止、章宗涉，1980。武汉东湖浮游植物的演变（1956-1975年）和富营养化问题。水生生物学集刊，7（1）：1-17。
- [13] Data book of world lakes. LBRA & NIRA, 1984, Otsu.
- [14] Jiankang K. Liu, 1984. Lakes of the middle and lower ba-

- sins of the Chang Jiang, China. In: D. Goodall (ed.), "Ecosystems of the world", Elsevier Sci. publ. Co.
- [15] Rodhe W., 1969. Crystallization of eutrophication concepts in Northern Europe. "Eutrophication: causes, consequences and corrective", pp.50-64. Washington, D.C., National Acad. of Sci.
- [16] Sakamoto M., 1966. Primary production by phytoplankton community in some Japanese Lakes and its dependence on lake depth. Arch. Hydrobiol., 62, 1, 1-28
- [17] Shapiro J. et al., 1975. Biomanipulation: An ecosystem approach to lake restoration. Proc. on water quality management through biological control, Univ. Florida.
- [18] Vollenweider R.A., 1968. Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters, with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors in eutrophication. Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris.
- [19] Wetzel R.G., 1983. Limnology. Saunders College publ.
- [20] Вичберг, Г.Г., 1961. Современное состояние и задачи изучения первичной продукции водоемов. "Первичная продукция морей и внутренних вод." Минск, стр. 11-13.

Effects of Human Activities on Lake Donghu Ecosystem

Zhang Zongshe Liu Jiankang
(Institute of Hydrobiology, Academia Sinica)

Abstract

Under the effects of human activities the lake Donghu has become heavily eutrophic.

The number of phytoplankton per ml is more than 1000; blue-green and green algae became dominant. The maximum primary production per cm^2 per day is over 8 g O_2 at pelagic station and over 10 g O_2 at bay station. At the same time macrophytes have diminished.

Annual loading of nitrogen and phosphorus is 19.2 and 3.2 g per m^2 per year respectively. 50% of nitrogen and 73% of pho-

sphorus are coming from point source of municipal and industrial wastes, from which 62%(N) and 79%(P) are accumulated in the lake in sediments, seston, lake water, etc.

For control of eutrophication process the recovery of macrophytes, direct utilization of algal "water bloom" and role of fishery have been discussed.

在环境压迫下的东湖浮游动物*

黄 祥 飞

(中国科学院水生生物研究所)

东湖位于武汉市东郊,是一个中型浅水湖泊,有关它的湖沼学以及渔业增产综合经验,刘建康等早已作了许多论述^[3, 4, 5]。

由于人为的影响,东湖富营养化日益严重,已成为亟待解决的问题。饶钦止、章宗涉^[4](1980)总结了过去二十年内东湖两个代表性采样站上浮游植物群落生态学的主要变化。浮游植物年平均总数在二十年内由每毫升几百个增为几千个。由甲藻和硅藻占优势逐步转变为以绿藻和蓝藻占优势,蓝藻中大型种类明显增加。年数量变动曲线由春秋两个高峰,已变为夏秋的一个蓝藻高峰。

浮游植物演变如此明显,作为与它密切相关的浮游动物,在环境的压迫下有何变化值得追究。本文通过1974—1975, 1979—1982二个时期对浮游动物种类和数量的调查并与1962—1963年他人^[5]研究结果对比,对人类经济活动影响下的东湖浮游动物群落结构与功能作一探讨。

设站、采样及计数方法与60年代相同^[5];浮游动物生物量、生产量的计算方法与1984年一致^[11, 12]。

一、浮游动物群落结构的演替

据沈韫芬等(1965)^[5]报道,1962年4月至1963年5月,在东湖第I、第II两个采样站上共发现浮游动物203种,其中原生动物84种,轮虫82种,枝角类23种,桡足类14种。1981年3月至1982年4月,龚循矩通过对II站调查发现60年代的优势种与80年代相比有较大的变化。多样性指数由60年代的1.10下降至80年代的0.89^[9]。

作者发现1982年的轮虫种类与1962—1963年相比显著地减少,尤其是酸性种类,如单趾轮虫、腔轮虫属的种类减少;而硷水性轮虫,如臂尾轮虫属的种类却有增加。显然,这是由于水体富营养化,特别是夏秋季的蓝藻“水华”,pH达8.5以上,致使硷水性轮虫在合适的条件下有所发展。

60年代, I、II站共有轮虫82种, II站共有种类为42种,共有种占轮虫总种数的51.2%^[11]。80年代, I、II站共有轮虫57种,两站共有种类为36种,后者占前者63%。

*参加工作的还有陈雪梅、伍焯田、胡春英同志;章宗涉副研究员阅读全文并提出许多宝贵意见,谨此致谢。

I站特有种类从60年代的14种至80年代降至8种；II站从26种降至13种。因此，轮虫不但种类在减少，I、II站轮虫组成上的差别也正在缩小。

根据Margalef (1951) 多样性指数计算公式：

$$d = \frac{S-1}{\log_e N}$$

S：轮虫属数

N：轮虫个体总数（个/升）

结果表明轮虫多样性指数I站由1962年的4.9至1982年降为2.94；II站由5.16降为3.54。

同时，轮虫的优势种亦有较大变化。60年代，I、II站均以螺形龟轮虫(*Keratella cochlearis*)占绝对优势；1982年已为针簇多肢轮虫(*Polyarthra trigla*)所取代。一些以碎屑作为主要食物的轮虫，如裂痕龟纹轮虫(*Anuraeopsis fissa*)沟痕泡轮虫(*Pompholyx sulcata*)，得到了发展。

前额犀轮虫(*Rhinoglena frontalis*)是武汉市城郊一些污水湖塘中冬春季的常见种，1962年在东湖样品中未见它的踪迹。1974、1975在个别月分出现，但数量很少。1979年3月的定量样品中，竟达525个/升；1980年1、2、3月的数量平均为135个/升，已成为当时的优势种群。这种轮虫不但数量增加，而且由I站逐渐扩布到II站。1980年12月II站的样品中，这种轮虫的数量达240个/升。裂痕龟纹轮虫也是污水湖塘中的常见轮虫，60年代，虽有它的存在，但为数甚微，而1979—1982年已成为东湖主要轮虫种群。据四年平均I站为197个/升，II站为56个/升。角突臂尾轮虫(*Brachionus angularis*)它虽能在各种水体中生活，但它最适于生活在富营养型水体中，有时可达到很高的密度。60年代，它虽是I站主要轮虫之一，但年平均数量只有15个/升，在夏季高峰的峰值也仅为48个/升。在II站数量则更少。1979年6月15日角突臂尾轮虫在I站的峰值达2940个/升。1979—1982四年平均I站为227个/升，II站为19个/升。

60年代，枝角类中的透明蚤(*Daphnia kyalina*)和隆绒蚤一亚种(*D. carinata* ssp.)称霸东湖，它们分别在冬、春季和夏、秋季出现，其他枝角类的数量处于次要的地位^[7]。70年代、80年代，在人类经济活动的影响下，大量污水排入东湖，使水体中细菌、藻类大量繁殖，促使透明蚤的冬、春季的高峰更为突出，种群得到大量发展仍为第一优势种；可是在夏秋季，由于环境的多变，隆绒蚤一亚种的数量在各年中变动频繁，有下降的趋势，甚至有时为秀体蚤和裸股蚤所取代，退居第三、第四优势种。

短尾秀体蚤(*Diaphanosoma brachyurum*)和微型裸腹蚤(*Moina micrura*)的数量正在逐年增加。I站在1979年7、8、9三个月中，这二种枝角类占当时枝角类总数的70%以上。小型甲壳动物，如角突网纹蚤(*Ceriodaphnia cornuta*)，某种大尾蚤(*Leydigia* sp.)有时数量也相当可观。

在此值得一提的是大型肉食性枝角类——透明薄皮蚤(*Leptodora Kindti*)，在80年代发展很快。据Cummings et al. (1969)^[15]报道，这种枝角类幼体以细菌、碎屑和藻类为食；成体却吸吮各种浮游动物的体液。在东湖，这种枝角类最大体长可达12毫米。它在60年代、70年代出现频率低，数量少；80年代数量增加很快，每年5月左右便出现，8—10月为它的高峰期，种群密度最高可达1.5个/升，12月分仍有它的踪迹。

在夏秋季其他大型甲壳动物均有减少，如何惟独透明薄皮蚤这种特大枝角类得到发展？可能这是因为富营养型水体中有丰富的细菌、碎屑和藻类，这就为幼体提供了足够的食物；成体由于身体透明，行动敏捷不易为鱼类捕食，所以它的数量在夏秋季仍能得到发展。

桡足类中剑水蚤的数量在夏秋季有增加的趋势，这在Ⅱ站尤为明显（图1）。

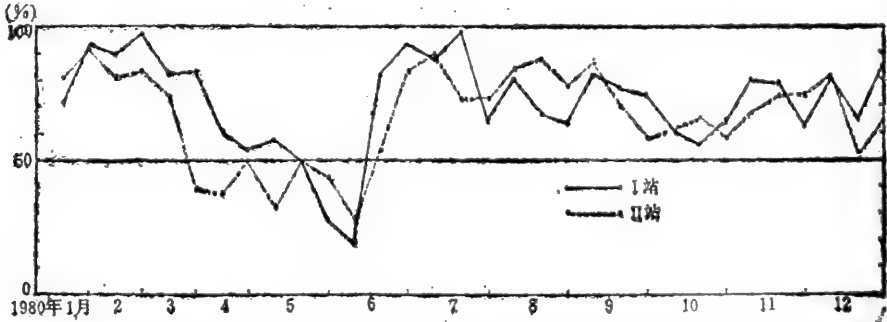


图1 东湖桡足类总数中剑水蚤所占的百分比

60年代，剑水蚤和哲水蚤的比例在两站上有明显的差别。Ⅰ站终年以剑水蚤为主；而Ⅱ站12月至4月以哲水蚤为主^[6]。80年代，Ⅰ站剑水蚤与哲水蚤的比例略有提高，而Ⅱ站只有在3月29日—6月5日以哲水蚤占优势。Ⅰ、Ⅱ站间的差别在缩小。1975、1979、1980Ⅰ站广布中剑水蚤 (*Mesocyclops leuckarti*) 大量出现形成秋季高峰突出于春季。这种桡足类是一种杂食性种类，Ⅰ站夏、秋季严重“水华”，不但使水质变臭，而且也抑制了微型藻类的发展。因此，使一些植食性种类减少，而给杂食和肉食性种类发展提供了食物基础。

显然，在人类经济活动的影响下，浮游动物群落结构及优势种群产生了演变。酸性种类大量减少，硷水性种类有所增加。Ⅰ、Ⅱ间种类组成的差别正在缩小。总的趋势是种类减少，多样性指数下降。

二、浮游动物数量增加，季节变动逆转

图2、3描绘了1962—1963、1974—1975、1979—1980五个周年，东湖Ⅰ、Ⅱ站浮游动物数量的季节变动曲线。以较为典型的Ⅱ站来说，年数量变动曲线一般有夏季和秋季两个高峰，秋季高峰比夏季高峰更为突出。浮游动物总数的季节变动完全受原生动物所支配，总数虽在个别年分（如1975年）出现下降，但增长的趋势却十分明显。Ⅰ站由60年代的6213个/升到80年代增为19756个/升；Ⅱ站由4705个/升增为10804个/升。Ⅰ站增加的幅度大于Ⅱ站。小型浮游动物的增长尤为迅速。Ⅰ站原生动物有60年代的5458个/升到80年代为18371个/升；Ⅱ站由4329个/升增为10183个/升。

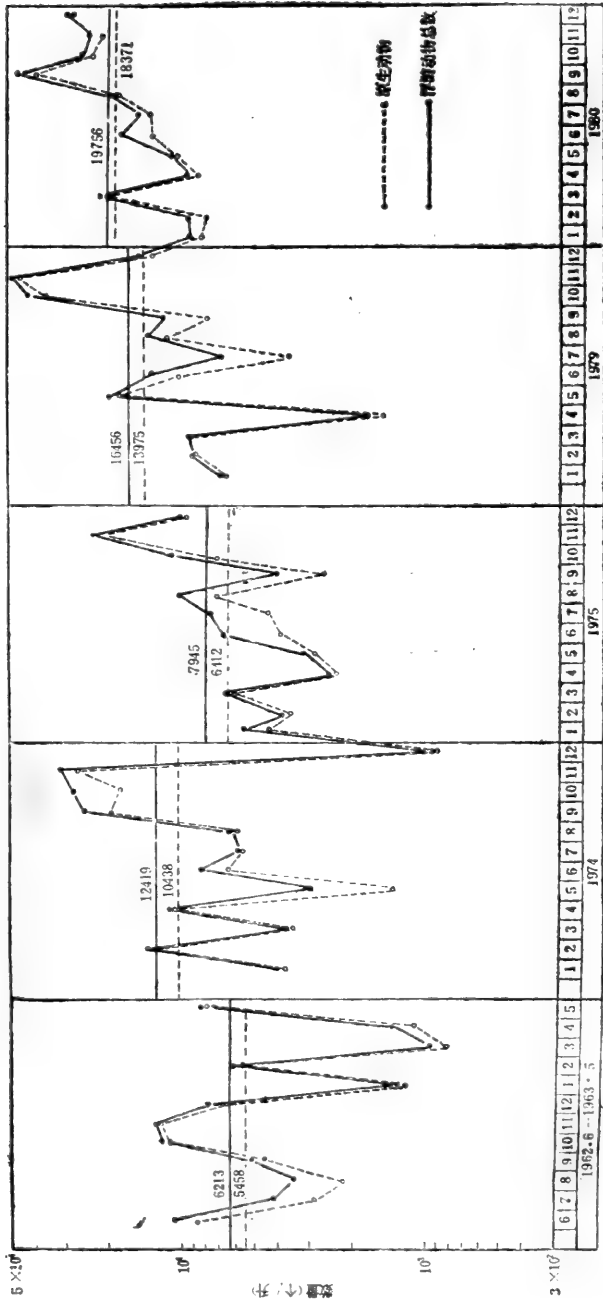


图2 东湖 I 站浮游动物总数及原生动物数的逐年变动

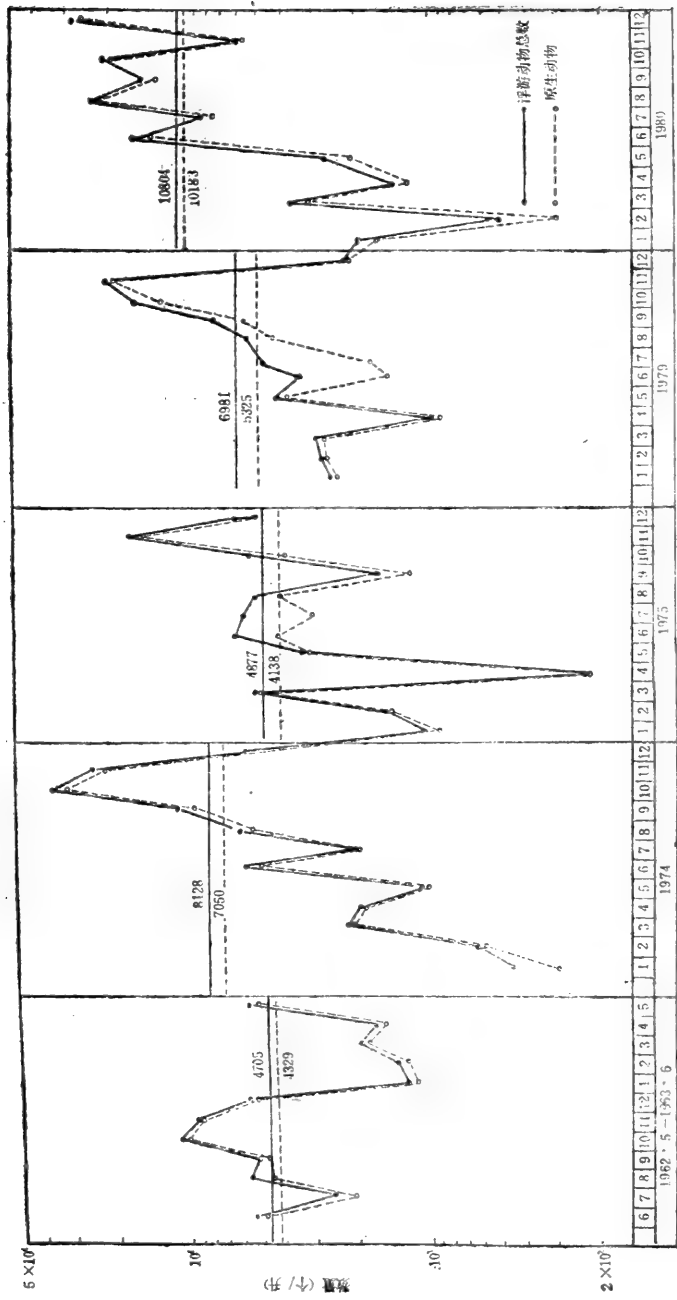


图3 东湖 II 站浮游动物总数及原生动物数的逐年变动

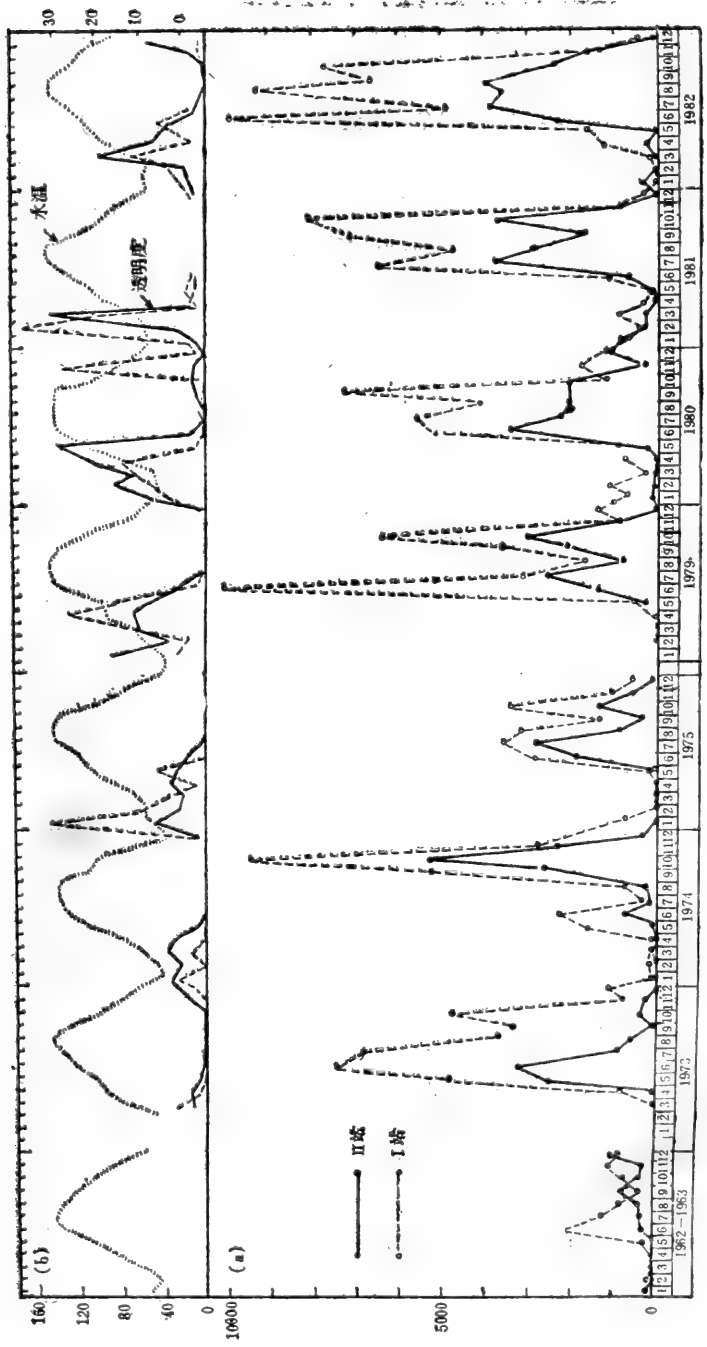


图4 东湖轮虫总数(a)透明度和水温(b)的季节变动

图4则描绘了1962—1963、1973—1975、1979—1982八个周年轮虫总数的季节变动,可见轮虫的增长极为迅速。若取上述三个时期的平均值,并设1962—1963年的比值为1,则I站轮虫总数的增长比值为1:3.03:3.90;II站为1:2.43:3.72。若以季节分布来说,I站夏秋季轮虫占全年总数的86.66%;II站为90.33%。冬春季的轮虫数量很少

桡足类的数量I站由60年代的38个/升至1980年为81.72个/升;II站由20个/升增为62.28个/升。枝角类的数量I站亦有30个/升至1980年增为41.03个/升;II站由24个/升增为49.03个/升。

经典的湖沼学指出:湖泊浮游动物总数一般以春季为最高。白国栋(1962)在五里湖湖泊调查的浮游动物论文中提出了该湖的浮游动物数量以春季为最多,冬季次之,夏季又次,秋季最少的分布规律^[2]。东湖以较为典型的II站来说,一般以秋季为最多,夏季次之,冬季又次,春季最少的分布格局(表1)

武汉东湖和江苏五里湖浮游动物总数季节百分数比较

表1:

	春 (3,4,5)	夏 (6,7,8)	秋 (9,10,11)	冬 (12,1,2)	资料来源
东湖I站(1974)年平均数8128个/升	5.47	14.17	73.66	6.71	本研究
东湖I站(1975)年平均数4877个/升	14.88	29.24	41.02	14.86	
东湖I站(1979)年平均数6981个/升	9.56	25.75	52.54	12.15	
东湖I站(1980)年平均数10804个/升	5.70	36.49	32.25	25.56	
东湖I站(1963)年平均数4705个/升	15.89	23.91	45.41	14.78	沈韞芬等 (1965)
五里湖II站(1951)年平均数5309个/升	49.58	14.33	10.49	25.60	白国栋 (1962)

江苏五里湖与武汉东湖均系长江中下游的中型浅水湖泊,水温的季节变动完全一致,何以形成迥然不同的分布格局?这是由东湖生态系统特殊性所决定的。1951年的五里湖受人类经济活动影响较少,是一个非放养的湖泊,以凶猛鱼类为主。而东湖二十多年来,尤其是近十年内,由于汇水区域人口不断密集,大量工业废水和生活污水及农田和地表径流给东湖带来了丰富的营养物质,导致蓝绿藻大量繁殖形成“水华”,水质混浊发臭。东湖又是一个放养湖泊,鱼产量由1972年的36万斤至1979年上升为150万斤上下,是全国闻名的高产稳产湖泊。鳊、鲢鱼的产量占总产的80%以上,其中鳊鱼的比例逐年增加(表2)。1973年,鳊鱼与鲢鱼之比为0.97:1.0至1978年为1.70:1.0,历年平均为1.51:1.0。鳊鱼的产量从1973年的24.3万斤至1978年增为84.5万斤。

鲢鱼、鳊鱼终身均以浮游生物为主要食物,但由于滤食器官——鳃耙结构上的不同,形成功能上的差异。在鳊鱼的食物中浮游动物的比例要大于鲢鱼。可是,Kajak et al.^[16](1977)通过对鲢鱼摄食的试验性研究,结果表明,当水体中存在蓝藻“水华”时,即使藻类十分丰富,鲢鱼也只选择浮游动物为食。因此,鲢鱼对浮游动物的压力似乎要大于浮游植物。

东湖1973—1978鱼产量(万斤)和鳊、鲮比例

表2:

	总产量	鳊	占总产%	鲮	占总产%	鳊: 鲮
1973	64.28	27.34	42.53	28.16	43.80	0.97:1
1974	70.97	43.51	61.30	19.76	27.84	2.2 :1
1975	73.73	43.02	58.34	24.47	33.18	1.76:1
1976	115.57	58.93	50.99	40.55	35.08	1.45:1
1977	132.06	61.32	46.43	62.13	47.04	0.99:1
1978	160.31	84.46	52.68	49.75	31.03	1.70:1

刘伏泉等(1981)“对武昌东湖鲮鳊鱼种放湖后的生长、回捕情况及放养规格的研究”指出,东湖一、二龄鱼种从3月底还停滞阶段,4月开始新的一年的增长,8月分是高峰期。它的绝对增重以4.0—4.9寸鳊鱼种为例,平均每天达11克之多,9月为4.3克,10月以后生长速度明显下降^[8]。

毫无疑问,东湖大量放养鲮鳊鱼,在夏秋季节,特别在7.8月生长旺盛时期,对浮游动物产生巨大的压迫,大型甲壳动物首当其冲(Brooks & Dodson, 1965)。据作者观察,透明蚤是一种行动缓慢的枝角类,是鱼类摄食的主要对象。根据Anderson et al. (1978)^[13], Brooks and Dodson (1965)^[14]的研究,吃浮游生物的鱼有调节浮游动物种群演替和数量变动的能力。当鱼的摄食作用很弱或缺乏时,大型甲壳动物(如蚤)占优势;而当鱼摄食作用强烈时,小型浮游动物(如小型甲壳动物、轮虫、原生动物)占优势。Brooks & Dodson的“假设”还指出,植食性浮游动物的滤食效率与滤食器的表面积和体长呈正比。所以,在大型浮游动物(如透明蚤)大量繁殖之际(如夏季),由于“争食”的缘故,必然抑制、排斥小型浮游动物。表2列出了1957—1980年3月东湖II站枝角类(主要是透明蚤)和轮虫、原生动物、浮游植物的

东湖II站历年3月枝角类、轮虫、原生动物及浮游植物的数量比较(个/升)表3:

	枝角类	轮虫	原生动物	浮游植物
1957	11			
1958	13			
1963	25	16.5	1955	344,200
1973	17	15	750	678,000
1974	39	90	2100	2,058,000
1975	22	0	5100	850,500
1979	57	0	2700	4,504,500
1980	73	80	3150	

数量比较，它清楚地说明了它们之间的相反关系。这也就形成了东湖浮游动物数量低峰和生物量高峰有时同时出现在春季的矛盾现象。

Anderson (1978) 指出，以浮游生物和底栖生物为食的鱼类，不仅影响被食动物的生物量，而且也影响基础营养级以及营养物质的更新及其浓度。从渔获物分析结果表明，东湖的底层鱼类产量有所提高，这也有可能使浮游动物数量增加和促进水体富营养化^[13]。

在鱼类生长的季节，特别是7、8月，大型枝角类数量锐减，由于减少了食物竞争为小型浮游动物的发展提供了食物基础。据林婉莲等(1984)研究，蓝藻“水华”在细菌的作用下，很快形成碎屑^[10]，因此以碎屑作为主要食物的轮虫（如裂痕龟纹轮虫、沟痕泡轮虫）和以藻类、碎屑作为主要食物的种类（如螺形龟甲轮虫、角实臂尾轮虫），在夏秋季由于有丰富的食物而得到大量发展。原生动物也由于大量的细菌、碎屑形成高峰。由此而形成浮游动物数量的秋季高峰。

当然，大型枝角类在夏秋季数量锐减的原因是错综复杂的，严重的蓝藻“水华”，改变了水域中的化学环境而不适于大型甲壳动物生存。但是，东湖浮游动物数量季节分布的逆转与环境的压迫是分不开的。

三、能量转化效率降低

廿年来，东湖的浮游植物由甲藻和硅藻占优势转变为以绿藻和蓝藻占优势，蓝藻中大型藻类明显增加并形成夏秋季的“水华”，而这些藻类不但不能为浮游动物直接利用；而且它们之中某些微囊藻有毒害作用。因此，初级生产与次级生产之间能量转化效率降低。

隆线蚤一亚种是东湖夏、秋季的优势枝角类，它怀卵个体的多少和平均怀卵量的高低可衡量水体中食物的优劣。表4统计了1980年6—10月这种蚤成体数、怀卵个体数、平均怀卵量的月平均值。一般来说，不论I站或II站，隆线蚤一亚种的每胎平均怀卵量不足5枚。这说明虽然当时藻类生物量很高（叶绿素a的浓度平均为20微克/升以上）、生产量亦较高，但无食物意义。

东湖隆线蚤一亚种的种群参数（1980年6月—10月）

表4

	I 站					I 站				
	6月	7月	8月	9月	10月	6月	7月	8月	9月	10月
成体数(个/升)	0	2.20	1.42	0.32	0.11	3.96	5.87	4.93	2.61	2.65
怀卵个体数(个/升)	0	0.13	0.33	0	0.07	0.84	0.36	0.54	0.19	0.73
平均怀卵量(个)	0	2.50	2.13	0	0	3.15	2.36	2.53	1.61	1.95

在20、25、30、35°C的培养温度下，给予足够的优质食物（小球藻），隆线蚤一亚种成龄平均每胎产卵量依次为：29.75、12.22、13.71、7.09个。虽然，在天然水体

中，这种枝角类没有充分发挥它的生殖潜力。

为了进一步证明东湖“水华”严重季节，浮游动物食物之低劣，用25号浮游生物网（孔径为64微米）过滤的湖水作为培养液，模拟水体中隆线蚤一亚种的种群密度，不添加任何食物进行实验室培养，结果表明这种蚤幼蚤生长极为缓慢，幼龄期特长，有的个体不能进入成龄，已是成龄的蚤类，脱皮频率变慢，卵育囊之卵呈分解状态，发育不正常。

Vijverberg (1976) 以透明蚤作为材料，用富营养型的Tjeukemeer湖的湖水作为培养液，不添加任何食物，在 $20 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 温度下培养，虽平均产卵数要低于添加藻类的食物组，但平均生活 (6.1 ± 1.28) 个星期^[17]。这说明东湖“水华”严重时期，甲壳动物之食物比Tjeukemeer湖更为低劣。

1981年，东湖透明蚤和隆线蚤一亚种的生产量以II站来说，冬春季为5.456毫克干重/升，夏秋季为3.092毫克干重/升，后者为前者的57%。据王建测定，冬春季叶绿素a的平均浓度为10.22微克/升，以甲藻、硅藻、绿藻为主；夏秋季为24.78微克/升以蓝藻为主，后者为前者的2.43倍。

显然，在蓝藻“水华”严重季节，初级生产量在转化过程中有些被浪费了，浮游植物与浮游动物间能量转化效率降低。

四、东湖浮游动物的发展趋势

近几年来，东湖蓝藻“水华”已从夏秋季延续到冬初；就渔业而言，虽不继续采取增产措施，但近期内以鲢、鳙鱼为主的放养比例不会改变。因此环境对浮游动物进一步产生影响。根据上述分析，对东湖浮游动物发展趋势作一预测：

(1)、群落结构趋向简单：正如上述，原生动物的多样性指数均有下降，甲壳动物的种类也大幅度减少。这是因为群落对污染压迫的反应首先是降低群落结构的复合性。在轮虫中，臂尾轮属的种类的比值将有所增加，而异尾轮属的种类有所减少。

$Q (= \frac{\text{臂尾轮属种类}}{\text{异尾轮属种类}})$ 将由目前1—2之间上升

到大于2。

甲壳动物的种群组成将向池塘型发展。大型甲壳动物，如蚤属、哲水蚤的种类可能进一步减少。

(2)、小型浮游动物数量进一步增加：在蓝藻“水华”和鱼类摄食的压迫下，夏秋季大型甲壳动物的数量要进一步递减。这就为小型浮游动物的大量繁殖提供了食物基础。由于群落结构趋于简单，使少数适于高度富营养化水体中的种类，如以有机碎屑土细菌为食的小型浮游动物以及杂食性种类，因有丰富的食物而高度发展。1982年之前，东湖轮虫数量的峰值为10290个/升；1983年8月30日I站轮虫的数量已达25720个/升，其中一种污前翼轮虫(*Proales sordida*)的种群密度达14490个/升。

桡足类中剑水蚤的数量要增加。值得一提的是，剑水蚤数量的增加只是在1979—1980

年才变得明显。在1962—1974年的十多年中，桡足类的数量变动较小，I站不但没有增加，反而从1963年的38个/升减少到1974年的33.5个/升；II站由20个/升增为29.9个/升。桡足类数量的增加主要是剑水蚤得到了发展的缘故。据分析，剑水蚤中有些种类，如广布中剑水蚤 (*Mesocyclops leuckarti*) 因它既是杂食性种类，又因行动迅速，不易被鱼类和透明薄皮蚤捕食而得到发展。

枝角类中裸腹蚤和秀体蚤可能取代隆线蚤一亚种成为夏秋季的优势种群。

因此，浮游动物数量季节分布的逆转现象继续存在。

浮游动物，特别小型浮游动物数量的增加为渔业增产提供了物质基础；但由于鲢、鳙鱼对大型浮游动物的压力要大于小型浮游动物，因此，这就有可能加速富营养化进程。所以，从水体环境保护角度出发要减少鲢鳙放养比例。

参考文献

- [1] 王家楫、伍焯田、戈敏生，1965。武昌东湖轮虫种类与数量变动的初步观察。水生生物学集刊，5(2)：183—201。
- [2] 白国栋，1962。五里湖1951年湖泊调查四。浮游动物。水生生物学集刊，1962(1)：93—108。
- [3] 刘建康，1980。东湖渔业增产试验综述。海洋与湖沼11(2)：185—188。
- [4] 饶钦止、章宗涉，1980。武汉东湖浮游植物的演变(1956—1975)和富营养化问题。水生生物学集刊，7(1)：1—17。
- [5] 沈韞芬、陈受忠，1965。武昌东湖浮游动物数量季节变动的初步观察。水生生物学集刊，5(2)：133—144。
- [6] 陈受忠，1965。武昌东湖桡足类数量的周年资料。水生生物学集刊，5(2)：202—219。
- [7] 蒋燮治，1965。武昌东湖枝角类种类组成与数量的观察。水生生物学集刊，5(2)：220—238。
- [8] 刘伙泉、谢洪高、黄尚务、黄根田、邓宝玲，1982。略论武昌东湖鲢鳙鱼种的年轮形成及湖泊放养的规格问题。水产学报，6(2)：129—138。
- [9] 龚循矩，1983。从原生动物廿年变迁看武汉东湖富营养化发展。中国原生动物学会第二次学术讨论会论文摘要汇编P.114—114。
- [10] 林婉莲、刘鑫洲、刘健康，1984。四种浮游生物碎屑形成过程。水生生物学集刊，8(2)：
- [11] 黄祥飞、陈雪梅、伍焯田、胡春英，1984。武汉东湖浮游动物数量和生物量季节变动的研究。水生生物学集刊，8(3)：
- [12] 黄祥飞、胡春英，1984。武汉东湖透明蚤和隆线蚤一亚种的种群变动和生产力。水生生物学集刊，8(4)：
- [13] Anderson, J.L., Berggren, G., Cronberg & C. Gelin, 1978. Effect of planktivorous and benthivorous fish on organisms and water chemistry in eutrophic lake. *Hydrobiologia*, 59(1)；

- [14] Brooks, J. L., & Dodson, S. I., 1965. Predation, body-size, and composition of plankton. *science*, 150: 28-35.
- [15] cummins, K. N., Costa, R. R., Rowe, R. R., Moshiri, G. A., scanlon, R. M., and Zajdel, R.K., 1969. Ecological energetics of a natural population of the predaceous zooplankter *Leptodora kindtii* Focke (Cladocera). *Oikos*, 20, 189-223.
- [16] Kajak, Z., Spodniewska, I., and Wisniewski, R. J., 1977. Studies on food selectivity of silvercarp, *Hypophthalmichthys molitrix* (VAL.). *Ekol.Pol.*, 25(2): 227-239.
- [17] Vijverberg, J., 1976. The effect of food quantity and quality on the growth, Birth-rate and longevity of *Daphnia hyalina* Leydig *Hydrobiologia*, 51(3):99-108.

ZOOPLANKTON UNDER STRESS OF ENVIRONMENT IN LAKE DONGHU

Huang Xiangfei

(Institute of Hydrobiology, Academia Sinica)

Abstract

Summarizing the data of zooplankton surveys made in 1974-1975, 1979-1982 and comparing with the results of Shen et al., the author analyses the zooplankton abundance and community succession for the past two decades at two sampling stations which are representative of two different regions, i. e., the pelagial zone and a bay region.

1. Diversity indices of rotifera decreased from 4.9 in the 1960s to 2.94 in the 1980s for station I, from 5.16 to 3.54 for station II. Species numbers of cladocera and copepoda reduced, too.

Under the impact of human economic activities, the structure of zooplankton community and the dominant species have changed. The acid water species decreases markedly while the alkaline water species increase. The difference of zooplankton community between station I and station II diminished. The

total trend of development was the decrease in species number and diversity indices.

2. In general, the standing crop of zooplankton, especially small zooplankton, increased markedly. The total number of zooplankton increased from 621 ind./1 in the 1960s to 19756 ind./1 in the 1980s for station I, from 4705 ind./1 to 10804 ind./1 for station II. In the pattern of seasonal fluctuation of zooplankton abundance, the peak are in autumn and summer, with the former peak far exceeding the latter, while the minimum was found in spring, which is different from lake Wulihu with a spring maximum.

3. *Daphnia carinata* ssp. is considered as a dominant population from June to October in lake Donghu. The mean number of eggs per carrying female in natural condition is relatively low as compared with result of laboratory culture. Total production of *Daphnia hyalina* and *D. carinata* ssp. was 5.456 mg dw/1 in winter and spring, but 3.092 mg dw/1 in summer and autumn for station II. on the contrast, chlorophyll-a concentration is higher (24.78mg/1) in summer and autumn than in spring and winter (10.22mg/1). Therefore, the energy transfer efficiency between the primary and secondary trophic levels decreases with increasing eutrophication.

4. From the angle of eutrophication and pressure of big and siver carp on zooplankton, the author analyses the trend of development of zooplankton in the lake.

北京城市生态系统仿真模型研究

秦大唐 赵彤润

北京市环境保护科学研究所

一、问题的指示

城市生态系统问题研究是目前许多国家较为重视的研究课题之一。“城市化”现象的加剧是城市生态系统的研究得以迅速发展的重要原因。近200年来随着工业的发展,人口的增加,“城市化”发展愈益迅速,城市规模越来越大,城市人口所占比例也越来越高。现在世界人口中城市人口占40%,联合国预测2000年时将要达到70%。由于城市化现象的加剧,引起了许多问题,主要有以下几点:

1. 城市污染严重,环境质量下降。
2. 不少城市供应居民的基本物质——水,食物,能源等相当紧张,一旦供应中断,城市系统就会陷于混乱。
3. 城市中运输量大而集中,这又加重了城市环境的恶化。
4. 由于人口集中,住房紧张,交通拥挤,服务设施不足,社会问题也会随之增加。
5. 城市生态系统中的自然环境受到严重的干扰。

因此,城市生态系统的研究被提到日程上来,从其提出到现在,虽只有10多年的历史,然而其发展却是很迅速的。现在,联合国教科文组织“人与生物圈计划”已将其列为重点研究课题之一,许多国家都投入了大量的人力和物力对其进行研究,从1975年—1984年已召开了七次国际会议来讨论城市生态系统的研究。

二、城市生态系统的仿真模型

与其它生态系统相比,城市生态系统具有特殊的生态特点和系统特点,其研究的内容和方法也较多。其中用系统动力学方法建立起来的城市生态系统仿真模型是研究城市生态系统的重要方法之一。西德法兰克福的研究就是采用这种方法的。

系统动力学(System Dynamic 缩写 S、D)是一种连续系统仿真的方法。是研究反馈系统动态行为的方法论。系统动力学认为系统都具有一种规则的,并且是可识别的结构,它决定系统行为的特点。系统动力学则提示寻求和表示这种结构的方法。这种方法具有三个特点:(1)动态;(2)反馈,主要强调信息的返回;(3)整体性。现在系统动力学已广泛地用于解决环境、生态、经济,企业管理等各种问题。

因此，系统动力学已成为研究城市生态系统的一种重要手段，特别是在研究城市生态系统的发展变化的动态趋势方面，具有其它方法无可比拟的优点。因为城市生态系统是一个多变量、多输出，多干扰，多目标的系统，因素众多、关系复杂，具有多重反馈系统，这使得传统的数字模型由于高维高阶而无法求解，其它方法也只能研究这个系统的一个侧面，而无法全面认识这个系统。城市生态系统仿真模型恰恰在这方面显示其优势，该模型并不研究某一具体的微观细节，而是着眼于城市生态系统的全貌。

该研究的主要思路是：把城市生态系统中的主要因素及其复杂的相互关系，用系统动力学方法，转变为模拟模型，并在计算机上进行仿真模拟实验，还可以把各种不同的策略方案加在模型上进行分析，用以选择较好的方案，避免重大的决策失误。故有人称系统动力学为战略和策略的实验室。

三、工作步骤

在分析和总结国外研究成果的基础上，从北京的实际情况出发，确定了北京城市生态系统的结构、模拟动态行为的仿真研究的方法与步骤，在实际工作中做了一些新的尝试。

研究工作的主要流程如下：

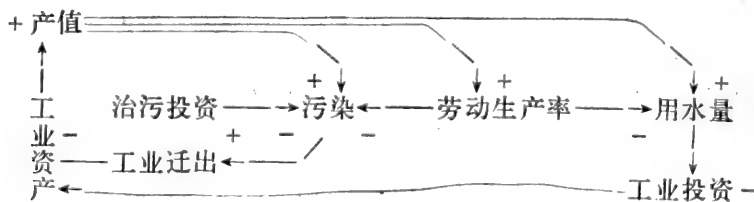
1. 选择变量

选择变量是建模的第一步，也是重要的一步。有的专家估计，一个洲际火箭的可变参数为100万个，而城市问题的可变参数却高达1亿个。显然这上亿个变量不能都包含在模型之中，需选出主要变量。首先依据系统现状的描述，对历史状况的分析，以及人们对这些情况的认识，来初步确定系统的变量集。但其中难免会掺有建模者个人的偏见，为了克服这种情况，于是采用专家调查法来进行修正。一般认为，集中多数专家智慧所提供的信息是较为全面可靠的。专家调查法有时也称Delphi（特尔菲法）。北京城市生态系统模型选择了包括环境、生态、城建、规划等专业的49位专家，经过两轮的调查之后，确定了模型的变量集，概括了北京城市生态系统的主要内容，分为六个部分：人口、污染、城市用地，工业，城市服务业、政府机关科学文化事业。

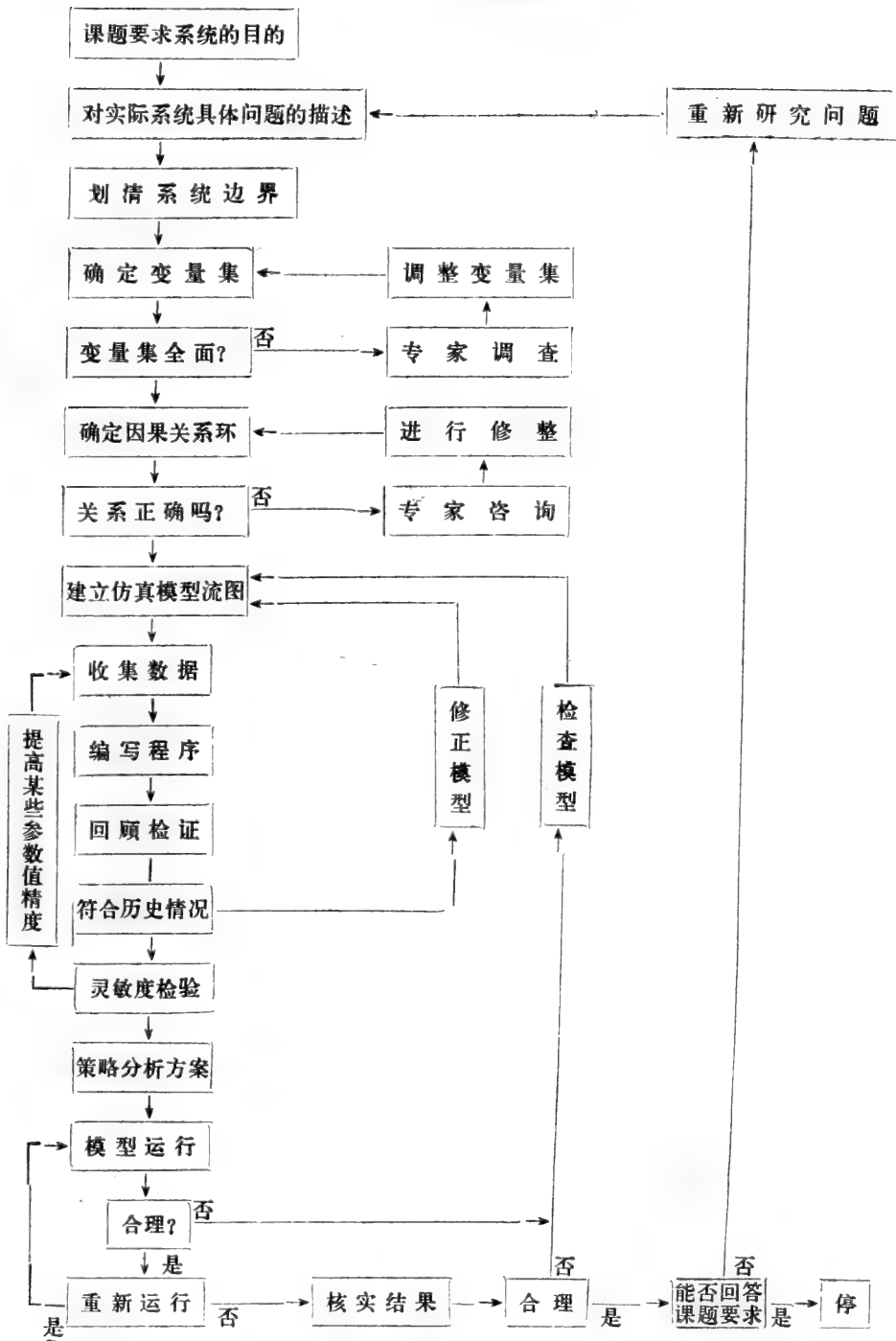
2. 因果关系

从该变量集出发，绘制了模型的因果关系图，其中共有50个反馈环，包括26个负环和24个正环。

例如污染与工业经济的反馈关系：



工作程序图



当工业固定资产增多，使工业产值产量不断提高，资源消耗增多，造成了污染加剧，用水需求量的增多；污染的加剧，迫使迁出的工业增多；而水资源需求量的增长，对工业投资的增长成为一种限制，最终对工业的发展起制约作用。

另一方面，由于工业生产的发展，工业产值的增加，治理污染的资产也会随之增多，同时也会促使工厂企业有可能进一步采用新技术。加强技术改造，使劳动生产率不断提高，其结果使污染程度有所减缓，需水量减少，为工业的继续发展创造了条件。这一部分共有五个反馈环，其中两个正环，三个负环。

3. 模型结构 流图

依据系统的变量集和因果关系图。可建立仿真模型的流图。并且要收集大量数据，编写程序，在计算机上反复调试。这是建立城市生态系统模型的关键一步。北京城市生态系统模型共有163个变量，其中包含13个流位变量，27个流率变量，4个延迟函数，87个辅导变量，32个参数。实际上模型的建立、调试和修改是认识的不断深化的过程。一方面是对实际系统的认识不断深化，而另一方面是对所用方法的认识的不断提高。实际上在模型的调试过程中这二者是相互交织在一起的。有的专家认为模型应充分简单，以至其行为的原因能够被理解，并能被抽象出来做为处理实际情况的一般应用原理。

4. 回顾验证

实践是检查真理的唯一标准，模型是否合理，需要进行验证，以检验该模型是否能够代表实际系统的情况。对北京1950—1980年的情况，用本模型进行了回顾验证，并与历史的统计数据相对照。计算结果与历史状况的发展变化的趋势基本一致，增强了该模型的可信度。

5. 灵敏度分析

为了利用模型进行实验，掌握对系统的动态行为，找出该模型的敏感性因子是必要的，在北京城市生态系统模型研究中，是采用两个阶段确定敏感因子的。第一阶段，利用改变系统的主动变量，寻找反应最大的被动变量及对系统行为影响最大的主动变量；第二阶段，对这些主要因素采用正交设计和方差分析等方法，找出敏感性因素。本模型的敏感因素有五个：工业迁出、工业折旧、工业投资、工业投资与工业迁出的交互作用和工业迁出与城市服务业占地的交互作用。这说明大多数因素对该系统是不敏感的，对敏感性因素在策略分析时需要着重考虑。

6. 策略分析

所谓策略分析就是改变系统的现行规律，利用模型跟踪系统的动态变化。当然策略最好由决策者和规划者提供。这里新介绍的策略分析，是我们根据北京市的具体情况，参照北京总体规划，设计的七个策略分析中的两个。

①原始运行

在原始运行中，如按现状继续发展下去，2000年时城区人口将达到500万，城市占地450平方公里，同时也会造成严重污染的情况。2000年后人口仍会维持在430万—500万之间，城市用地需求量最高可达460平方公里，被抚养人口将超过200万。2000年时绿色空间仅占28.3%。带来一系列问题，其结果是不符合中央和总体规划要求的。

②策略1

策略1是按总体规划中提示的设想进行模拟。由于对人口的严格控制，人口高峰时仅达465万人左右。在1993年出现，之后开始下降，2000年时城区达455万人，城市用地可达420—430平方公里，绿色空间达32%，污染程度稍有降低，工业产值会大幅度增

长，整个情况优于原始运行的结果。在2000年后，人口与污染程度都会大幅度下降，2050年时，人口将近300万，污染程度要低于1980年。

以上是对两个策略的简单分析，可以看出，这些决策方案虽非决策者所提供，但有其依据，仍有一定的参考价值。

北京城市生态系统模型的计算机程序用系统动力学专用语言DYNAMO编写，在ACOS—500计算机上进行计算。

四、模型的应用

城市生态系统仿真模型之目的是为了模拟北京城市生态系统的结构，描述北京城市生态系统的动态行为。把这个模拟模型与实际工作结合在一起，才能充分体现出该模型的真正价值。该模型是一个宏观模型，主要用于趋势性和战略性预测，而不必拘泥于精细的数字。它的应用主要有两个方面：

1、在城市生态系统的仿真模型的研制中，应尽可能地与规划者和决策者相结合，特别是在策略分析部分更应如此，这样在各种策略实施之前，就可预先看到其后果，从而选择较好的策略，以避免较大的决策失误。特别是对于城市生态系统问题的决策，一旦有误就会造成畸形发展，而且很难恢复。

2、模型计算结束，并不意味着工作已经完成，还必须对计算机所输出的结果，进行大量细致的分析，从中提取有用的信息，提示参考性的建议，从而反过来指导实际工作。搞城市生态系统的长远规划，不能仅仅看到所规划的时间的终点上，而要看得更远一些，才能更切合实际。

而城市生态系统仿真模型所能提供的信息正好具有这样的特点。北京城市生态系统仿真模型的模拟分析说明了在城市生态系统的研究中，采用系统动力学方法建立城市生态系统模拟模型的可行性，它是研究城市生态的一个有力工具，是一个重要的手段。而城市生态系统的研究，又为系统动力学提供了一个广阔的应用领域。

参 考 文 献

- [1] The wrfan ecosystem
Forest stearns, Tom montag 1974
- [2] 吴峙山、赵彤润，1982。城市生态系统研究的原理与方法探讨
- [3] 聂桂生、赵彤润、吕斌，1982。解释结构模型法在城市生态系统中的应用。
- [4] 陈昌笃，1982。生态学杂志，1982 №1。生态学讲义
- [5] 董雅文。城市生态研究的某些进展
- [6] 王华东、张义生，1983。城市生态研究概述
- [7] UNESCO—MAB Progamma No. 5 No. 10, 1981
- [8] S. Bogden S. Millar K. Neweombe B. O'Neill, The ecology of a city and it' s people—The case of Hong kong 1981
- [9] F.vester A.v.Hesler, 1980. The sensitivity model

- [10] G·Garden, 1978. System simulation
- [11] 王洪斌, 1982. 系统动态学
- [12] 胡玉奎, 1982. 系统动力学
- [13] J·Fossester, 1961. Industry dynamics
- [14] J·Fossester, 1968. Principle of system
- [15] J·Fossester, 1969. Urban dynamics
- [16] J·Fossester, 1971. World dynamics
- [17] D·L·meadows, 1972. The limit to growth
- [18] 陈玉详, 专家调查法预测 1982 NO.1
- [19] 中科院数学所, 1979. 常用数理统计方法
- [20] 马世骏、王如松, 生态学报 Vo14 No1, 1984. 社会——经济——自然复合生态系统

从生态农业的观点看京郊农村能源 问题解决的途径

卞有生

(北京市环境保护科学研究所)

一、引言

能源是农业发展的根本问题，能源问题不能解决，农业生产的发展将十分困难。国外的一项十年研究表明，农产品每增加1%，农用能源消耗即要增加2.5%。这充分反映了农业发展与能源的关系。从能源的利用角度看，就是植物通过光合作用把太阳能变为化学能储存在食物中，为了创造有利于光合作用的条件，以增加植物体内的有机质的积累，就必须向农业提供矿物燃料，以及由矿物燃料转化而来的机器、化肥、农药等。发达国家现代农业的一个基本思想，就是最大限度地投入能量，以获取最高农业产量。例如英国农业的能量投入与产出之比为六比一，在美国更为惊人，其比例为十比一。这种能量高输入的结果，一方面刺激了农业的迅猛发展，另一方面又引起了一系列的问题，例如资源利用问题，环境污染与生态平衡破坏问题，土地衰退，肥力降低问题以及其它社会、经济、政治乃至道德问题等等。这些问题的出现，迫使人们不得不去考虑这种所谓“石油农业”的正确性。

近几年来，我国农业也受到石油农业的影响，不少地区和单位大量采用机械化操作，增加化肥和农药的使用量，试图以能量来换取产量。但实践证明，并没有得到预期的经济效果，也并没有真正减轻农民的劳动程度，相反却在资源利用，环境污染，生态平衡的破坏等方面带来了不少问题。

当前北京郊区农业生产的基本特点是地少人多，劳力资源丰富，和全国农村相比，机械化程度较高，化肥和农药的施用量很大，科学种田有一定的基础，农业生产比较发达。在能源问题上的现状是，一方面能源严重不足，对能源的需求量很大，另一方面又大量浪费，节能的潜力很大。因此，如何确实地解决能源问题，以保证农业生产的进一步发展，已成为迫切需要研究解决的现实问题。本文仅就此问题做一粗浅的讨论。

二、北京郊区农村能源消费的现状与问题*

1. 能源消费的构成现状

北京郊区的能源总消费每年约400万吨标准煤，约占全市能源总消费量的19%。其

* 本节资料引自北京市规划参考资料第325期。

中煤占50%。其次为作物秸秆，47.7亿斤，折标准煤119.3万吨；占30%，化肥使用60.5万吨，折煤26万吨，占6.4%；农村用电6.3亿度，折煤22.1万吨，占5.3%；柴、煤、汽油11.0万吨，折煤15.7万吨，占4%；薪柴6亿斤，折煤17.1万吨，占4.2%；农药6130吨，折煤1.5万吨；用于大温室的燃料油1860吨，折煤0.27万吨。

生产和生活是消费的两个方面，以1979年计，生产消费占44.7%，生活能源消费占55.3%。若除去在农村的机关、学校、企事业单位，纯用于农民的能源，占农村总耗能的41.3%。

2. 耗能特点

北京地区农村耗能有以下几个特点：

(1) 与全国农村相比较，耗能密集。以1979年计算，京郊农村平均每人耗能1.07吨煤，每亩耕地耗能0.63吨煤，均为全国农村平均数的2.5倍。

(2) 矿物能的消耗比重大，京郊消耗矿物能与生物能之比为1:1.5。而全国农村平均数为1:3.5。

(3) 生产耗能迅速增加，京郊农村生产耗能与生活耗能之比约为1:1，而全国农村平均为0.2:1。

(4) 工付业，社队企业耗能增长较快，占整个生产耗能的48%，而全国农村社队企业的耗能只占生产耗能的20%。

这些都反映了大城市郊区农村耗能量大，矿物燃料增加较快的客观规律。

3. 存在问题

能源供应的严重不足和能源使用的不合理，是当前京郊农村在能源问题上的两个突出问题。具体表现在：

(1) 农民生活燃料奇缺。京郊93万农户，严重缺柴（三个月以上）户有52万，一般缺柴（三个月以下）21万户，占总农户的79.3%。

(2) 农村用电不足，电压不稳。

(3) 排、灌用电严重浪费。

(4) 由于燃料不足，每年要烧掉秸秆28.3亿斤，其热量的利用率仅10%左右，同时带来了环境污染与有机质不能返田等一系列问题。

(5) 化肥使用极不合理，我国几种主需作物吸收氮、磷、钾的比例为3:2:1，而实际生产和使用的化肥之比为3:0.6:微量。由于磷肥使用过少，使得总肥效只有10%左右，并且磷肥的生产要比氮肥省能得多，平均每吨磷肥要比每吨氮肥少耗能60%左右。

(6) 农业机械及运输机具由于管理不善，造成很大浪费，例如拖拉机每马力每年平均供油100公斤，比全国高一倍，但空行率高，耗油多，生产效率低。

三、从生态农业的观点看农业能源问题解决的途径

现代农业的高能量输入引起的一系列问题，最根本的是造成了自然生态系统能量产生循环的破坏。这一状况迫使人们不得不去寻找新的农业发展道路。在大力开展节能和积极开辟新能源的同时，努力研究怎样以尽可能少的能量投入，获得尽可能多的农产品

输出。

近十多年来，通过对“有机农业”、“生物动力学农业”和“生态农业”进行研究比较以后，认为只有生态农业才是解决农业能源问题，保证农业持续发展的正确道路。

所谓生态农业，就是以生态学理论为依据，在某一特定区域内组织和进行农业生产。其理论基础是不断提高太阳能转化为生物能的效率和氮气资源转化为高蛋白的效率，加速能流和物流在生态系统中的再循环过程，使其达到最理想的指标。它以保持并改善该系统的生态平衡为总体规划的主导思想，因地制宜地安排农业生产布局和产品结构，以尽可能少的能源输入，努力提高太阳能的利用率和生物能的转化率，促进物质在系统内部多次重复利用和循环利用，以求得尽可能多的农产品及其加工品的输出。从而获得生产发展，能量的再生和利用，生态和环境保护，经济效益四者统一的综合性效果。生态农业的中心任务就是有效地发展宏观的农业生产生态系统工程和微观的遗传工程相结合的作用，扩大和提高能流物流在生态系统中的数量、质量及其速度水平，把取之不尽，用之不竭的太阳能更多地转化为生物能，把无机物更多地转化为有机物，在生态系统的运转中，加强转化，输送，储存和还原过程中具有最大利用功效的性能，从而达到节省能源、高效生产的目的。

我们知道，能量在整个生态系统和某一特定的农业生态系统范围内，都是由太阳能向消费者单向流失的过程，但在流失的主导过程中还有一部分被还原物质（主要是细菌）再生循环利用，这一作用在生态农业保持较高的能源自给率方面具有重要意义。因此，在尽量从太阳能获取并固定能量的同时，发展生物能的再生利用，使能量在系统中维持一个高水平的输入，输出及内部循环的动态稳定。

由此，从生态农业的角度看，解决农业能源的二个重要方面，一是努力提高太阳能的固定率和转化率，二是提高生物的利用率。

1. 提高太阳能的固定率和转化率

根据测定，太阳辐射到地球上的能量为 0.2 卡/厘米²·分钟，而现有的野生植物光能利用率只有 0.5% ，粮食作物一般平均只有 $0.5-1\%$ ，高产作物也只有 $1.5-2\%$ 的水平。应逐步努力使之提高到 $2-3-5\%$ 的水平。这样就可以使初级生产者的生产效率成倍地增长，大大丰富生态系统内的全部运转过程，创造出前所未有的物质基础。同时要充分利用系统内的全部地表面积吸取太阳能，如在塘边植树以利养蚕，田边植树以防风砂，保持水土；在水面放养藻类和水浮莲等以供牲畜饲料；乔灌木结合种植以取木材和绿肥改土等等。以及全年利用太阳能，特别是纬度较高的地区，冬季提高太阳能的利用率，如蔬菜温室；住宅太阳能取暖和用水加热；饲养场太阳能保温等等。

2. 提高生物能的利用率

每年地球上被植物光合作用而固定的碳素量为 2×10^{11} 吨，约为 7.2×10^{20} 千卡的能量，相当于全世界能量消耗总数的 10 倍，粮食生产能量消耗的 200 倍。而人类真正利用的仅是极小的一部分。面对这一现实，全世界对生物能的利用研究成为解决能源短缺的一个重要途径。在生物能利用的众多途径中，最主要也是最现实的是向植物要转化能。也就是向大量野生植物资源及农作物废弃物（包括森林、牧草及一部分野果）要能源。如何实现这种能量的转换，当前主要有五种办法。

(1) 酒精发酵。例如日本主要利用发酵农业废弃物和垃圾生产酒精,1980年的产量已占全国酒精总产量的60%。既可用做工厂也可用做农村的动力和燃料。

(2) 制造甲醇。所有生物能资源均可用于制造甲醇,搞得比较好的典型如菲律宾的马亚农场。

(3) 沼气发酵。这是生物能利用最为广泛而成熟的方法,平均1公斤有机物的纯沼气产量为200~300立升,发热量为1800~2700千卡。当前国内外沼气发酵有三种类型:传统的常规厌氧法,厌氧活性污泥法和厌氧过滤法。

(4) 热分解。是将有机物在无氧或缺氧条件下进行高温加热,分解产生可燃烧碳氢化合物和木炭。

(6) 提取碳化氢。常用的方法有溶媒提取法和蒸气蒸馏法。

但是从当前看生物能的利用主要集中在两个方面:沼气的利用和酒精的利用,其中又以沼气的利用更为成熟和广泛,特别是发展中国家,对于解决农村能源问题,已成为一个重要手段。国内外均有不少好的典型。例如菲律宾的马亚农场,从一个面粉厂开始,为了利用其加工的废料,已逐步发展成一个占地36公顷,既有农业、林业;又有猪、牛、鸭、鱼饲养业;还有各种食品加工业的农——工综合性农场。在它的发展初期,特别是1973年后期开始的石油禁运,由于能源的严重短缺,给农场的发展带来了巨大的困难。为了解决能源问题,同时也为了处理牲畜粪便带来的环境污染,马亚农场选择和确定了应用厌氧发酵,生产沼气的方法,试验以气代油。马亚农场先后建立了四种不同类型的家庭用小沼气池,以及三种商业规模的大型沼气池。试验成功以后,又进一步开始了提高沼气产量和降低生产成本的研究。到1975年,由5,000头猪的粪便所产生的沼气已比农场——牲畜场——鱼场所需能量的总和还多出两倍。能源的解决,促进了农场的进一步发展。同时对沼气生产和应用研究的科学试验室也相继建立起来。当前马亚农场的主要能源为沼气,其次才是电力,发生炉煤气和乙醇。1981年当猪的存栏数为25,000头时,农场所需的能源(包括场员的家用能源)已完全由沼气供应,只有肉食加工厂和罐头厂除沼气供应65%的能源以外,尚需政府供电35%。计划到1983年底,猪的存栏数为40,000头时,就完全不用政府供电。并且农场所用的辅助燃料也完全由农场自己生产。例如发生炉煤气是由自己种植的椰子树烧制的木炭而生产的,酒精是由农场的木薯生产的。

马亚农场的成功经验之一就是生物能——沼气的生产和利用为纽带,带动和促进了农场的发展,形成了一个符合生态原则的封闭性循环系统。结果农场不但增加了粮食产量,同时奶、肉、鱼制品大大增加,有机质还田又减少了对化肥的需要,其结果不但大大提高了经济效益,防止了环境污染,同时还保护和改善了生态,使整个农业生产处于良性循环。1980年联合国在马亚农场召开了国际会议,对该农场以高度的评价,认为这是当今世界各国尤其是发展中国家,充分合理利用自然资源,发展农业,保护环境,维持生态平衡应遵循的方向。

又如以色列这个人口不多,能源、水资源缺乏的小国,近十多年来,按照生态学原则,合理组织农业生产,以充分利用太阳能和水为宗旨,努力追求低蛋白生产,结果从1970年到1979年,农场总产值每年递增15%以上,即在十年内翻了两番。农产品的输出,从1973年到1978年五年内增加了两倍,而从事农业的人数在同一时期则减少了20%,

当前以色列的农业产值仍以每年15%的比例增长。

我国自古以农立国，农业生产相当发达，具有有机农业的优良传统。这就为我国充分利用生物能奠定了良好的基础。例如我国年生产秸秆4.576亿吨，人畜粪便1.53亿吨，若能加以充分利用，生产沼气，则全年可产生沼气1,300亿米³，其一半即可解决我国农村的燃料需要。

近几年来，我国农村在生物能的利用方面有了较快的发展，特别是农村沼气技术发展很快，目前全国已有沼气池七百多个，利用人畜粪便和农业废弃物生产沼气，对解决农村能源问题起了很大作用。其中也涌现出不少好的典型。例如江苏省武进县陈港大队以生产稻麦为主，每年可生产稻草80到100万斤。但过去社员严重缺少燃料，平均每年少则二、三个月，多则半年，经常为了烧草四下奔走。1975年，大队兴办了沼气，同时结合发展了养牛业。过去一户社员，光烧草每年至少四、五千斤，办沼气后，人畜粪便、杂草、瓜藤、垃圾都成了燃料来源。再也不用为燃料发愁，同时还产生了大量的优质有机肥。目前大队270户人家，家家有沼气池，利用率在90%以上，社员的生活燃料全靠沼气。

又如广东省顺德县新阜大队，地少人多，又以经济作物为主，因而能源缺乏，燃料严重不足。1976年试办沼气以后，现已有沼气池235个，对解决农民燃料需要起了很大作用。实践证明，一个家用4~6立米小沼气池，一年可节省燃料17担。全大队兴办沼气后，平均每年节约燃料(柴、煤)40万斤。从此解决了家家户户向外地购煤买柴的问题。同时生产队还以沼气发电，节省油料，解决农村电力不足。1979年新阜三队兴建一座十二千瓦沼气电站(沼气池七个，总体积221立米)，从1980年2月至1981年底，机组运行1235小时，发电11,815度，应用于照明、粉碎饲料和抽水等。另外利用余热进行烘蚕茧，每晚发电三小时，可烘茧90箱，去水量达25—30%，抽丝质量比正常煤炭烘干还好。而若用柴油发电，则需柴油10,397斤。

所以国内外的经验均表明，按照生态农业的原则，把生物资源进行综合利用和多次利用，即既把它作为食物和饲料，又把它作为燃料和肥料，是完全做得到的。特别是对解决农村的燃料问题具有重要意义。而发展沼气就是这种充分利用能源和资源的有效途径之一。

四、关于北京郊区农村能源问题解决的几点看法

上面简单分析了北京市郊区农村当前能源消费的现状与问题，简要介绍了生态农业对解决农村能源问题的意义与作用，现就解决北京郊区农村能源问题谈几点看法。

1. 按照生态农业的原则，大力开展生物能的利用

北京市郊区生物能的利用有一定基础，特别是近几年，沼气建设有很大发展，现有成品池近3万个，沼气化大队(70%的社员户有沼气池)150多个。但实际使用中存在不少问题：

- (1) 使用率低，一般只有60%左右(指做二顿饭，全年使用六个月)；
- (2) 产气率低，夏季日产气率也仅有0.15左右；

(3) 热利用率低, 好的达60%, 差的仅30%。

北京郊区每年生产秸秆47.7亿斤, 其中28.3亿斤直接用作燃料, 热利用率仅10%左右, 若通过沼气制取再作燃料, 热效率即可提高5倍左右, 仅此一项即可基本解决农民的烧柴问题, 若再加上人畜粪便, 垃圾, 生活污水所生产的沼气, 解决农民燃料问题是绰绰有余的。而且伴随着沼气生产生物能的利用, 必将产生大量优质的有机肥料, 而使化肥的用量大大降低, 这无疑对能源又是一种节省。但由于北京地区平均气温低, 特别是沼气池的过冬问题, 需要研究解决, 此外还有投料的配比、搅拌、发酵工艺的改进, 管理等方面的问题。目前北京市环境保护研究所和市沼气办公室配合, 在大兴县留民营大队进行有关生态农业的研究和建设试验, 其中生物能的利用是重要内容之一, 通过研究与试验将对京郊生物能的应用起一定推动和促进作用。

2. 合理利用能源, 节约能源

北京市郊区农村在能源问题上的矛盾现象是, 一方面能源不足, 一方面又大量浪费。例如农村用电, 常常供电不足, 电压不稳, 但浪费又十分惊人。目前郊区每亩地的用电量高达90度以上, 远远超过了西德(52度), 英国(34.5度), 美国(29.3度)和日本(22.6度)。又例如种子的使用不精, 不优, 也造成了能源的浪费。例如大兴县每亩玉米地种子的使用量是美国的四倍, 相应能量的投入也就多了四倍。农业机具不配套, 质次价高, 大批锈蚀。因此, 京郊三十年来, 每个农业劳动力负担的耕地在不断减少的情况下, 而农业机具总动力增加了85.8倍, 用电量增加了15倍, 而这期间每亩粮食产量只增加了1.5倍。这也充分说明, 我市农业节能的潜力是很大的。

3. 合理使用化肥

当前我国农业的一个普遍倾向是化肥用量越来越大, 北京地区每亩耕地化肥用量三十年来增加了6.8倍。大兴留民营大队每亩耕地化肥用量达到300斤左右, 这不仅提高了农业成本, 而且对能源也是一个巨大的耗费。研究表明, 农业耗能的主要在造肥而不在农业机具。发达国家用于制造肥料的能量占农业总耗能的35%, 而发展中国家则占到94%, 例如美国生产化肥占矿物燃料消耗的34%, 而我市大兴县却占72%。由此可见, 化肥消耗了农业能源中很大一部分。而且化肥使用极不合理, 氮多磷少, 结果不但耗能多, 而且肥效也仅有10%左右。并且使用时常常用水浸灌, 不少流失。这实际上是对能源的极大浪费。因此, 科学、合理地使用化肥, 是北京郊区农村节约能源的一个很重要方面。

4. 正确对待农业机械化的问题

农业机械化是农业增产, 解放劳动力的一个重要措施。但近十多年来, 不少地区片面追求机械化, 一些大队购置的大型农业机具, 一年只使用十多天, 有的则使用几天, 几乎长年闲置、锈蚀。这实际上也是一种对能源的极大浪费。当前国外在农业领域的节能措施方面, 很重要的一条就是合理使用农业机具。美国、英国、法国、瑞典等对少耕法、免耕法进行了深入的研究, 结果表明可以节能60~80%。而北京地区人多地少, 如何充分利用现有劳动力, 努力提高单产, 适当而合理地添置使用农业机具, 是节能的一个重要方面。

5. 开展科学研究, 积极发展新能源

太阳能的利用，京郊农村有一定的基础，如太阳能热水器，冬季的太阳能取暖，但使用尚不普遍，特别是冬季光照时间短，气温低，如何充分利用太阳能以及和沼气的配合使用，尚需进行一定的研究，此外合适地区薪炭林的发展，风力的利用，也必然含在解决京郊农村能源问题的过程中，发挥应有的作用。

五、结 束 语

农村能源是关系到农业发展的根本问题。根据北京市郊区农村能源一方面严重不足，一方面又大量浪费的现实情况，方针是“开源节流”。在开展生态农业的研究，生物能的利用的同时，充分、合理地利用现有能源，杜绝能源浪费，因地制宜地开展新能源。深入开展农村能源调查研究，尽可能建立农村能源系统数据库，确定农村能源模型系统框图，为农村充分、合理使用能源奠定科学基础。北京郊区农村能源问题是一定能够解决的。

生态学的新阶段

——一支新兴的经济开发力量

蔡铭昆 赵锦琪

(辽宁省环境保护科学研究所)

一、生态工程将成为开发新一代经济的新兴力量

历史上每一种社会形态之所以比先前的社会形态达到更高的生产力发展水平，归根到底是因为在生产中应用了更进一步的生产工具。

例如英国瓦特发明的蒸气机，美国爱迪生发明的电力工程都属于划时代的生产工具，蒸气机产生了蒸气机大工业时代，电力工程产生了电气化时代。

由于蒸气机的出现，使英国在十八世纪末期发生了产业革命，这个产业革命不但旋风式地摧毁了封建的生产关系和意识形态，使资产阶级取得了政权，建立了新的资本主义社会，推动生产力突飞猛进地发展，而且它还开拓了世界市场，使一切国家的生产和消费成为世界性。使人类在不到一个世纪的时期内创造出比过去一切时代总和还要多的物质财富。

英国产业革命时期是面对着技术落后，效率低的工场手工业，但是美国超过英国的时候却是一个原始落后的大国超过一个工业先进的国家。

由于美国是在更加新的电力工程基础上进行了产业革命，所以在不长的时期内迅速赶上了先进的工业化英国整整一百年。

所以能否创造和掌握划时代的生产工具和技术是落后国家迅速赶上先进国家起决定作用的物质力量。

在战后，利用了以原子能技术，电子计算机和空间技术发展为主要标志的第三次科学技术革命的成果，引起了生产工具的大变革和劳动生产率的大增长，推动着生产力迅速发展。在六十年代以来的二十年中这些国家所创造的社会生产力，超过了过去的全部时代。

现在已明显的看到生物工程（包括生态工程）将是新一代经济的重要支柱之一，它的发展将对一些国家赶上另一些国家起着重要的作用。生态学将成为一支重要的经济开发力量而兴盛起来。

生态学从创立到现在已经历了以下各阶段：（1）记叙性博物学，（2）单物种生活环境的研究，（3）生态系统的研究，（4）各种生态系统之间的相互作用的研究，（5）生物圈的研究以及对生物圈中的人的研究。这就是说生态学已发展到了把人类看成是生态系统和生物圈的组成部分，人类起着支配作用。人类要对生物圈起支配作用就必须

具有改造生物圈的强大能力。为了形成和发展这种能力就必然要使现代生态学工程化。

由于生态学在前一阶段，是处于侧重描述自然界，说明自然界，以提供规划和行动的依据阶段，它还没有起着推动社会经济发展，大力改善环境和提高人类的生活状况直接的强有力的显著作用。

因此，在过去几十年里局部性的科学(分子生物学、生物化学、生物物理)比生态学占有优先的地位，这在研究经费，教学地位和发展计划安排方面均有这种倾向。

十分重要的是要使生态学不仅是一门消极的科学，如只是停留在强调不许污染，不许滥伐森林(当然这些都是必要的)，不许发展工业，不许搞集约农业等，而生态学的真正力量在于它能够解决当前或下一个经济时代的重大经济，环境和改善人类生活水平的问题。

当前生态学已经发展到了一个重要的转折阶段，即生态工程大力兴起的时期。

当前生态工程已成为新的世界技术革命的重要组成部分，它将建立起一大批新兴产业，大力推动新一代经济的发展，大力改善人类的生活环境和提高人民的生活水平，使生态学进入重要的发展阶段。

二、八十年代生物工程的主要研究内容及生态工程的兴起

生物工程在六十年代和七十年代时主要是遗传工程和细胞工程进行了研究。到了八十年代除了这二项外，把从植物和水生植物等的生物量中制出能量或化学原料的研究列为主要项目，如一九八二年六月在法国举行的工业发达国家的最高级会议上提出的由主要先进国家共同研究的生物工艺学的主题是：(一)为从植物和水生植物等生物量中制出能源或化学原料的技术开发。(二)遗传基因重组，细胞融合，为发展细胞大量培养等技术的基础研究。

把生物量中提取化学原料的技术，特别是生物化学的原料列为当前生物工程最重要研究主题之一是具有重要意义的。

当前生物化学资源的开发中占有重要地位，需要量大的就是维生素和氨基酸添加剂，这对改善人类的食物构成和发展现代化农业畜牧业有着十分重要的作用。

目前已发现光合效率高，数天就可成倍的增殖起来，每亩产量为三千斤一伍千斤干物质的一些水生植物，其所含蛋白质、维生素、粗脂肪，以及动物所需要的金属元素均比世界上的“牧草之王”苜蓿要高，它的胡萝卜素含量要比我国出口的苜蓿粉高10倍以上。现在我们的农作物及牧草每亩只是几百斤到千斤干物质，如果我们能养殖营养更为丰富、经济价值更高的的产品，亩产提高到3千斤到4千斤左右的干物质这将对第二次绿色革命做出重要贡献。这也将作为第二次绿色革命的重要组成部分和突破点。这个突破点的解决对开拓下一代经济有着重要的意义。

正因为如此，在八十年代把生物量的开发技术提出来作为生物工程研究的主要项目。而这个项目正是生物工程发挥大规模的经济开发作用的突破点和生态工程兴起的出发点。

现在，一些科学技术发达的国家正在互相竞争加强研究力量，进行突破。

由于这类具有优良特点的水生植物含水量很高，达96%，故要对其浓缩，用快速烘干法脱水，需要大量能源，成本高，故目前国外还不能大规模生产，但是如果在技术上能突破，实行产业化，建立新兴工业。那么其经济意义和环境意义是深远的。

有的同志认为，从植被和水生植物等的生物量中制出能源或化学原料的技术开发不是生物工程研究对象，是由于不了解近年的世界上生物工程的发展变化，还只停留在七十年代的水平。

如果不了解在八十年代把生态工程中的生物量的开发技术列入生物工程的头等重要的地位，我们就很难赶上世界的先进行列。

由于生态工程的兴起，使生物工程的微观研究扩大到宏观研究，把微观和宏观的研究结合起来，这种结合除了对这门科学的发展有重要意义外，更重要的是使生物工程具有更全面更强大的经济开发能力。

三、生态工程为什么能成为划时代的生产技术

下面分别从几个方面来说明为什么生物和生态工程有可能成为划时代的生产技术之一。

1. 创立高产量高效率的新兴工业

(1) 蛋白和维生素饲料产量的成倍增长。

我们已经对一些高产水生植物进行分析，发现其中有的产量比“牧草之王”苜蓿要高三倍（干物质）以上。它们的氨基酸含量比苜蓿高，动物非常需要的维生素B要比苜蓿高1/4，用此可加工制成优质维生素饲料和蛋白饲料。现在国际市场和国内市场均很缺少。如建立这种新兴的饲料工业，就可以成几倍地提高每亩地的产量和产品经济价值，增加农民的收入和积累，推动一系列农业和工业的发展。

(2) 开辟一条新的高产的人类食物和饲料途径

单细胞蛋白经过二十多年的研究和争论，现在已大规模生产，有的地方已经把生产成本降低到大豆、鱼粉成本以下，一座大规模的单细胞蛋白工厂可以生产相当于五百英亩牧场所生产的蛋白质，一头一千磅的牛每天只能生产一磅蛋白质，而微生物生产蛋白质的效率要比牛高出几十倍。

常用的单细胞蛋白是酵母菌，其含蛋白量较高，为百分之五十几，而光合细菌的含蛋白量国外测定为百分之六十左右，比酵母菌高还多，但由于其收集方法用离心机和凝聚剂，由于其它杂质同时沉淀，所以纯度不高，因此有可能影响分析蛋白含量造成较大的误差。辽宁环保所光合细菌组用另外一种新的方法收集，由于所取得光合细菌的纯度高，光合菌的蛋白含量可达69.2%，即将近70%，除了蛋白含量远高于酵母菌外，还有丰富的胡萝卜素是很好的蛋白饲料和药材。

由于光合菌是古老的菌种之一，与其同代的大部分菌种在生存竞争中均已被淘汰，但是由于其多功能和适应性强，所以在长期的自然选择中生存下来了，这种菌种比其它许多菌种来说具有良好的稳定性和适应性，所以只要保持一定的条件，即可进行稳定的生产。

经初步小型试验，每亩地的蛋白产量有可能数倍于大豆的产量。这将成为新型的单细胞蛋白生产工厂，并成为生态工程的重要组成部分。

当高温脱水红萍成为饲用维生素添加剂时，光合菌在不久的将来将成为氨基酸添加剂，这二者将组成联合企业。

这二者的结合不但在产品使用上可组合，而且在消除光合菌生产工厂的污水和红萍生产增加肥源上也是生态系统的合理组合。

(3) 生物能源农场和工程的兴起和发展

我国有丰富的生物资源，这些生物资源除了提供饲料和食物以外还可以提供能源。

人类可以通过微生物把一些有机物转化成能源。例如现在推广的沼气。但在国际上更重视的是酒精。酒精是一种“清洁”能源，基本上不污染环境，这是代替汽油的很有发展前途的能源，有的国家现在已经开始大规模进行这项工作，巴西已投资十几亿美元建立一千万公顷的大规模的能源农场和数量众多的酒精工厂，美国正在研究把燃料植物制成气体、液体、固体各种燃料，现在美国、巴西等国已大大降低酒精生产成本，实现了用酒精代替汽油，并正在进一步推广。

目前世界上的植物资源被利用的只占百分之几，如果大量开发出来利用生物工程和生态工程创造饲料、粮食和能源，这将成为一个巨大的新兴工业体系。

2. 形成新的社会生产体系

通过生态工程可以创立建立在生态规律基础上的资源、能源都能合理利用和循环的新型社会生产体系。

如畜牧业的粪肥可以导入生产饲料的农场作为肥料，而食品加工的污水可用来生产光合细菌和绿藻作为优质饲料，而食品厂的污水成份被光合细菌吸收去转化为蛋白质维生素饲料污水就被净化，解决了环境污染的问题。而被饲料喂大的家禽家畜又被作为原料进入食品加工厂，这样的循环体系包括污水在内的资源均被充分利用。可以形成一个资源利用效率高，成本低，没有污染的新的生产体系。

特别是如果在每亩地面积上生产出植物原料通过数种生物工程联结起的生态工程即可以生产能源又能把其废渣和废水作资源生产出单细胞蛋白和饲料，如果其蛋白质产量能接近于一亩地大豆的蛋白质产量，那么对于地少人多，经济落后的中国农村来讲其意义的重大是可想而知的。

3. 对于振兴我国经济的战略意义

这一系列新兴工业与农村的大规模粮食生产相辅相成，互相促进，它的战略意义不但在于它们的发展而引起的一系列工农业生产部门的大力发展，而且更重要的是可以迅速地从本身积累资金加速农业现代化和新型工业的发展，就必然能从八亿人口中开拓出一个巨大物质力量，从战略上推动我国经济的振兴。

4. 推动新的社会主义生产关系的产生和发展

许多迹象已经表明：由于生物工程的发展，工业，农业和能源的生产系统正在进行重大改组，一部分原来由农业生产的蛋白质正在转化为工业生产，而原来一部分由工业生产的如能源正在转化为农业生产，工业和农业正在进行重大渗透和结合。

这场技术革命可以把相当一部分的粮食（和饲料），能源和环境问题结合起来解决，

大量地把广大农村发展为工农业相结合的现代化的，有良好的生态平衡的工农业相结合的城市，进一步缩小城乡差别、工农差别。这样不仅可以为经济振兴打开新的局面，而且在建立和发展社会主义新的生产关系方面也将打开新的局面。

5. 国际上研究的重要动向

目前在科学和生产上出现了一些不寻常的动向，国际上一些大的工业公司，不约而同地越过自己的业务和研究范围，大力发展生物工程、遗传工程的研究，为建立以生物工程为基础的新型工业而展开激烈竞争。一些国家已拨出大批经费去建立能源农场和大力开展生物能源的研究。

现在不但许多大公司在采取行动，而且最近技术先进国家的领导人也在这方面亲自出面采取行动。

如《日本经济新闻》报告说：“政府方面十月三十一日透露，法国政府向日、美和英国等主要先进国提出了在生物学工艺领域设立国际研究所进行共同研究的建议”。“于六月间举行的凡尔赛最高级会议上据东道国密特朗总统的建议。一致同意推进尖端技术研究开发的国际协作”。“我国同法国方面达成了生物工艺学领域协作的协议，通产省一九八二年度把生物工艺作为新的产业为其振兴采取措施”。

从上述五个方面可以看到把生物工程（和生态工程）产业化可以在战略上使八亿人口的农村生产力水平和经济力量发展到一个新的历史阶段，而且可以缩小工农城乡差别，

世界各国均已认为它将引起一系列产业部门的历史性的革命，而且最近被提到国家最高级会议上作为尖端技术研究开发问题讨论，这也可证明其意义的重要性。由于它对开发有八亿农民农村的巨大潜在经济力量有着十分重要的作用，所以在中国发展包括生态工程在内的生物工程比起发达国家就具有更特殊的重要意义。

因此，我们说生物工程特别是作为生物工程有机组成的生态工程完全有可能发展成为迅速振兴我国经济的划时代生产工具之一。

四、为什么我国研究划时代生产工具要从生物工程上突破？

划时代的生产工具对社会发展起最终决定作用。它决定一个国家能否从一个经济时代进入到新的高一级的经济时代，能否在较短的时间内迅速赶上技术先进国家几十年，所以，对于怎样在本国具体实际情况下，开拓划时代生产工具的战略策略和步骤就成为发展一个国家经济的关键问题。

划时代的生产工具原来都是较为单一的，如英国产业革命的蒸气机，美国的电力工程，但到了现代已是多样化，变成原子能，电子计算机和空间技术。而下一代也是多样化，分布在生物工程、化学工程和物理工程等领域。如热核能等都可成为下一代划时代生产技术。

那么，从我国实际情况看，突破点应放在哪里呢？

现在看来，如热核能等等虽很重要，但因为需资金多周期长，当前还较难突破，从生物生态工程来看，可作为我国第一步突破的划时代生产工具，因为：

(1) 其中相当一部分近期内可以突破，而基本不用国家资金，利用农村现有资金

就可以逐步大规模发展起来，而且周转快，资金积累快，至少第一步可以推动我国八亿人口的农村经济在现有基础上加速运转起来，发展成为一个巨大的经济力量。

(2) 新的生产工具的发展必然推动新的适合生产力的生产关系和产业组织形式的现代化。通过生态工程的发展，这种生产工具必然要求把几个生产过程联合在一起，成为一个合理的生产效率高的生产体系，生产力的这种社会化必然要求生产关系社会化的联合企业形式，即保证了专业户的优点又兼有现代化大企业的优点，这样新的高一级的生产关系必然反过来推动农村生产力的大力发展。

(3) 从国家的全球战略来说，都是政治，军事与经济技术文化相结合组成的，特别是政治和经济的结合更为重要。生物工程不但对中国而且对东南亚、拉丁美洲，非洲等第三世界国家是强有力的经济开发手段，特别是对热带和亚热带国家其经济效益比我国更为明显，在国际斗争的格局中，我们可以与发达国家的其他技术经济手段抗衡。

(4) 生态工程研究的费用不高而且回收快，如其他的划时代新一代生产工具往往需投资数亿，数十亿而在短时间内不能得到结果，而生态工程投资不大，短时间内就可周转回来，并可相当快的积累资金。

高浓度有机废水的PSB处理法在生态工程中的应用

朱章玉 周国平 俞吉安 李堃宝 张承康

(上海交通大学 生物技术研究室)

模拟生态系统原理而建成的生产工艺体系,即生态工程,已在环境、能源及饲料工业等领域获得应用,其中无污染工艺及生物净化为重要目标之一。

水中的污染物质,除了其中一部分是无机物外,大部分则是能腐化的有机物。采取人工模拟,以促进有机物在自然循环中被消耗而减少的过程,就是废水生物处理的实质。

目前,包括活性污泥法和生物膜法等实用废水处理系统,所需的机械化程度高,维护管理复杂,占地面积大,而且处理过的剩余污泥难以利用,又需一笔投资和运转费用来处理它们。我们采用的光合细菌(PSB)处理法,则是一种以单一菌株为中心,管理简便,高效率的废水生物处理系统。光合细菌能利用自然日光为能源,通过新陈代谢对有机废水进行处理。光合细菌有鞭毛,能运动,对废水中的有机物摄取速度快。用它可处理高浓度有机废水,并且废水处理前不需作稀释等预处理。这样,PSB处理法所需的机电设备比其它污水处理法简单得多,大大节约了能源,节省了资源(水)及基建和运转费用。

1967年以来,许多实验^[1-4]有力地证实了光合细菌能降低有机污水中的BOD(生化耗氧量)值和COD(化学耗氧量)值。1978年,小林正泰初步介绍了光合细菌处理有机废水并加以利用的工艺及设想^[5]。在此基础上,本文介绍了从豆制品厂污水流经的底泥中分离到的PSB“1”号菌株来处理高浓度有机废水的工艺,并从理论上讨论了工艺的合理性。试验的初步结果表明,经过PSB和氧化槽的多级处理后,不仅净化了水质,而且回收到富含蛋白质和维生素的菌体,为光合细菌在生态工程中的综合利用开辟了广阔的前景。

一、资料的方法

(一)、菌株

从上海余山豆制品厂污水流经的底泥中分离到PSB“1”号菌株。

(二)、培养基:

富集培养用Van Niel培养基^[7]和YP培养基^[8]。单菌落分离用澳大利亚培养基^[9]、矢木修身培养基^[10]和YP培养基。菌种保藏用RCVBN培养基^[11]。

(三)、培养条件

菌液 (pH值为7) 倒入具塞三角烧瓶中, 盛满后加塞使液体外溢, 以便与空气隔绝^[6]。采用人工照明, 光强为1000瓦, 温度为28°C。菌液呈红褐色。

(四) PSB “1” 号菌株的特征

经鉴定, PSB “1” 号菌株系沼泽红假单胞菌 (*Rhodospseudo-monas Palustris*)。细胞为杆状或卵圆状; 宽0.6~0.8 μm , 长1.2~2.0 μm ; 有极生或亚极生鞭毛。该菌是一种兼性细菌, 可在厌氧光照或好氧黑暗条件下迅速增殖。

(五)、PSB处理法中种菌的培养

把经过可溶化处理的白地霉废水加到人工培养的光合细菌培养液中。每隔48小时加入最终菌液量的10%, 持续5次, 得到的最终量作为种菌。

(六)、总挥发酸 (TVA) 的测定

用经过改进的水蒸汽蒸馏法测定总挥发酸^[11]。在测定前, 废水样品先经加碱, 加热浓缩才行。

(七)、化学耗氧量 (COD) 的测定

用HH-I化学耗氧量测定仪 (属重铬酸钾法) 测定废水及处理后水的COD值。

(八)、生化耗氧量 (BOD) 的测定

在20°C, 用五天生化需氧量表示。

(九)、废水来源及其性质

上海卢湾豆制品厂的黄泔水, 经过白地霉培养的废液。其BOD₅为4485ppm, CO Dk₂cr₂o₇为7300~7400ppm。pH值6~6.5。

二、用PSB法处理废水

(一)、PSB “1” 号菌处理废水的机理

在白地霉和其它异养微生物所分泌的胞外酶作用下, 废水中不溶于水的蛋白质, 淀粉、脂类等大分子物质水解成小分子可溶性物质 (如有机酸、氨基酸、氨等), 然后再被PSB “1” 号菌吸收利用。通过菌体的新陈代谢, 有机物质被氧化成简单无机物, 从而使废水的BOD和COD值下降, 达到净化污水之目的。

(二)、废水处理的工艺及流程

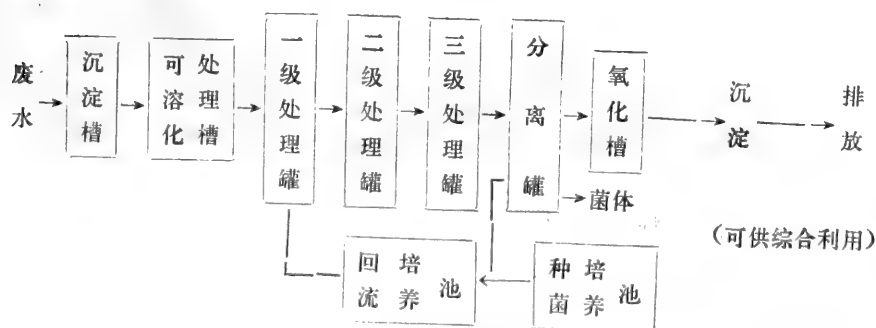


图1 光合细菌处理废水工艺流程图

如图1所示, 废水首先进入沉淀槽, 再流入可溶化处理罐。经 16 小时可溶化处理后, 废水依次缓慢通过盛有PSB “1” 号菌液的一, 二, 三级处理罐, 使三级处理罐中出来的占污水处理量为20%的菌液输入到回流培养池, 同时将占每日污水处理量为1/5的种菌从种菌培养池中罐入到回流培养池。然后每天将回流培养池中的上述菌液送入一级处理罐中。从三级处理罐中流出的其余80%菌液用高分子凝聚剂造粒混凝沉淀, 回收菌体可供综合利用, 剩下的液体在氧化槽中, 使水的COD和BOD进一步降低。一至三级处理罐、菌种培养池、回流培养池均用透明材料制成。在可溶化处理罐、光合细菌处理罐及氧化池中设有曝气装置。

(三)、试验结果

按上述工艺流程, 每天处理的废水量为处理罐中菌液量的五分之一。表1为用PSB法处理前后水质情况。

表1、用PSB法处理前后的生物耗氧量、化学耗氧量、挥发酸及pH值的变化情况。

水源采样	BOD (ppm)	COD (ppm)	TVA (ppm)	pH
废水进入沉淀槽前	4424~4485	7300~7405	245	6.0~6.5
在沉淀槽静置24小时后	3970~4048	6550~6680	373	6.0~6.2
16小时可溶化处理后	3462~3636	5712~6000	1,218	5.7~6.0
从PSB三级处理槽出水	333~363	550~600	94	7.2~7.5
氧化池	20~32	33~57	—	7

由此可见, 经氧化槽处理的废水所含的菌体明显减少。

三、讨论

(一)、关于可溶化处理

由于在白地霉废水中含蛋白质、淀粉等大分子物质, 如不进行可溶化处理, 光合细菌难以将它们利用, 这样势必给处理罐中的菌液造成了污染, 降低废水处理效果。可溶化处理可通过对废水微量曝气(曝气量为5升/小时·升)来实现。即促进废水中的好气异养菌的增殖和活动将大分子有机物降解为小分子可溶性物质。从表1可看出, 经可溶化处理后, 废水的挥发酸明显升高, 表明了废水中的异养菌已增殖, 许多大分子有机物发生降解, 故废水的BOD和COD也有所下降, 但仍属高浓度的有机废水。

(二)、关于好气性处理

根据PSB “1” 号菌的兼性特点, 既可用于厌氧处理, 又可用于好气处理。但若用厌氧处理, 需要较充足的光能。随着PSB处理罐中菌体的增殖, 菌液就逐日变深^[13], 光合作用的效果就越来越差, 以致远离容器壁部和液面的菌液得不到足够的光能, 于是在暗处的菌体不断死亡, 从而影响污水处理的质量。因此我们采用好气性处理, 使菌体在好氧微光的条件下通过呼吸作用获得能量。实践证明, 采用5升/小时·升的微量曝气

(这相当于DOT = 1.0%左右的溶解氧压)较为适当。若曝气量过大,产生较多的原生动物将吃掉光合细菌^[14]。Sawada 等人^[9]的工作也证明了,只有在微量曝气情况下,光合细菌对低级脂肪酸的同化能力最大。

(三)、关于TVA变化的情况

从表1可看出,废水经长时间静置后,挥发酸会有所升高;经可溶化处理后,由于异养菌的作用,有明显升高,再经PSB处理后,挥发酸显著下降。这说明光合细菌能将大部分挥发酸消耗掉,从而自身得到增殖。但另一方面,从挥发酸没有被完全消耗掉这一事实说明在PSB处理罐这样一个开放性的(相当于混合培养环境)的系统在一定程度上限制了光合细菌的生长^[9],因此必须经常向PSB处理罐中补充菌种和回流的菌液。

(四)、关于PSB处理罐进出口的位置

经过大量测试,发现处理罐上层的菌液COD比下层的低25%。这是因为废水从处理罐的中部注入,经自然下沉并与菌液混合。这样在下层分布的菌体及代谢产物比上层多。所以我们将出水口设在处理罐的上端。

(五)、关于PSB处理法与养殖鱼类和水生植物相结合

表1表明了用PSB处理法使废水的BOD降解率达到92%左右,但要使BOD进一步降低到数十毫克/升时,就很困难。并且处理后悬浮的菌体不易自然沉降、分离,收获有一定难度。因此,可在氧化槽中放养鱼类或水生植物,一方面光合细菌是高级饲料,有利于它们的生长与繁殖;另一方面,又有利于水质的进一步净化。如果将回收到的菌体制成饲料添加剂或作为富含维生素和氨基酸的药物的原料,而将排放出的菌液灌溉农田,这将对畜牧业、农业和医药业的生产带来巨大经济效益,这正是生态工程的具体应用。

参考文献

- [1] pfenning, N.: Ann. Rev. Microbiol. 21, 285 (1967)
- [2] Crofts, A, r: proc. Roy. Soc. Ser. B, 179, 209 (1971)
- [3] Thanii, N.c, Simard, R.O: J. Water Polut. Contr. Fed., 45, 674 (1973)
- [4] Shipman, R.h., Kao, I.c., Fan, L.T: Biotechnol. Bioeng, 17, 1561 (1975)
- [5] 小林正泰: 《发酵上工业》, V01.36, №9, P.753-766 (1978)
- [6] Kobavashi, M, . chan, Y.T.: Water Res, 7, 1219 (1973)
- [7] Kohgramьba, E.H. «фотосинтезирующие бактерии», ИАН, СССР, Москва, Стр25—37 (1963)
- [8] 吴永强等: 微生物学通报, 11 (1) 17-21, (1984)
- [9] H. Sawada and P.L. Rogers: J. Ferment. Technol, Vol 55, No. 4, P. 297-310 (1977)
- [10] 矢木修男: 用水上废水, 19 (8) : 949-951 (1977)
- [11] Neaver. P. F. etal: Arch. Microbiol, 105, 20& - 216 (1975)



- [12] 中山大学生物系生化微生物学教研室编《生化技术导论》，人民教育出版社，20页，1978年第一版。
- [13] 泽田晴男：发酵上工业，Vol.36.No.9, P.744-752, (1978)
- [14] 郑元景等编著《生物膜法处理污水》，中国建筑工业出版社，第一版，1983年，P114~115。

上海卢湾豆制品厂张慕贤、沙开文同志参加了部分实验；中国科学院上海植物生理研究所宋鸿遇、吴永强、郁宝麟等同志对本文提供了宝贵意见，谨致谢意。

APPLICATIONS OF PSB TREATMENT OF HIGHLY CONCENTRATED ORGANIC WASTE WATER IN BIO-NOMICAL ENGINEERING

Zhu Zhang-yu Zhou Guo-ping Yu Gie-an Li Kong-bao
Zhang Cheng-kang

(Laboratory of Biological Technology, Shanghai Jiaotong University)

ABSTRACT

Using different isolation methods under anaerobic and aerobic conditions, a strain No.1 of photosynthetic bacteria has been obtained from the sludge sample at Sheshan Soybean processing Factory, Shanghai, China. This strain No.1 has been identified as *Rhodospseudomonas palustris*. The cells are rod-shaped to ovoid, 0.6-0.8 μ m wide and 1.2-2.0 μ m long, motile by means of polar or subpolar flagella. Reproduction is by budding. They are facultative bacteria, growing either anaerobically in the light or aerobically in the dark.

Based on above knowledge, the technological process of the waste water treatment by the photosynthetic bacteria is devised, and the test results are given. The waste water and PSB strain solution are aerated (5l/hr. 1 or a DOT=1% air saturation), respectively. Thus, the autolysis of the heterotrophic bacteria in the waste water actively promoted the uptake of volatile acids by PSB"1". After the waste water is treated by the photosynthetic bacteria, its BOD and COD are significantly reduced.

The photosynthetic bacteria can not only be used to treat efficiently organic waste water of high concentration, but also can be widely applied in other fields of bionomical engineering.

收到期	1987.11
来源	赠送
书价	200元
单据号	
开票日期	

24473		58.18
		144
书 名 人与生物圈论文集		
1987		
借者姓名	借出日期	还书日期
张心	87.12.23	

58.18
144

注 意

24473

- 1 借书到期请即送还。
- 2 请勿在书上批改圈点，折角。
- 3 借去图书如有污损遗失等情形须照章赔偿。

京卡0701

