

土壤生态学

刘志强 编著

西南农业大学印刷厂

二〇〇〇年十月



目 录

绪论	(1)
第一章 土壤生态系统	(3)
一、系统	(3)
二、生态系统	(4)
三、土壤生态系统	(5)
第二章 土壤生态系统与耗散结构	(14)
一、耗散结构的基本原理	(14)
二、土壤肥力是土壤生态系统的整体功能	(15)
三、土壤生态系统熵的概念	(19)
四、土壤肥力的系统分析	(20)
五、田块土壤肥力结构模型	(21)
第三章 土壤生态系统熵的计算和应用	(25)
一、土壤生态系统起始熵的计算	(25)
二、土壤生态系统熵变的计算	(25)
三、土壤生态系统熵变的判断和应用	(27)
四、土壤生态系统的最佳熵变值	(28)
五、土壤生态系统熵的信息量意义	(29)
第四章 土壤生态系统的保持与物理控制	(32)
一、草原土壤生态系统的保持	(32)
二、森林土壤生态系统的保持	(32)
三、作物土壤生态系统的保持	(33)
第五章 土体耕层有机质的保持	(34)
一、土壤有机质变化的数学模型	(34)
二、耕地土壤有机质的计算预测	(34)
三、耕作、气候、有机肥对土壤有机质的影响	(37)
第六章 生物能源与土壤生态系统	(39)
一、土壤是生物能源的摇篮	(39)
二、土地资源的合理利用和燃料基地的建立	(40)
三、生物能源的生态学意义	(41)
第七章 土壤生态系统中土壤养分的化学控制	(43)

125

一、土壤氮素矿化和预测模型.....	(43)
二、化学肥料与作物单产.....	(43)
三、提高化肥利用率的途径.....	(44)
第八章 生态耕作群落栽培	(46)
一、旱地粮+肥生态耕作制.....	(46)
二、旱地林——粮+肥生态耕作制.....	(51)
三、旱地林——经生态耕作制.....	(51)
四、仿自然顶极群落的混交林型人工群落栽培.....	(51)
五、粮、经地膜生态耕作制	(53)
六、垄稻沟萍鱼生态耕作制.....	(55)
主要参考文献	(56)

绪 论

土壤生态学是研究土壤生态系统的组成、结构、功能及其演变规律和最佳调控途径的科学。如研究土壤环境中,生物有机体的组成及相互关系。研究土壤生态系统的物质能量转化规律,为对土壤生态系统进行最佳调控提供理论依据。

我们知道,土壤生态系统是自然生态系统和农业生态系统的基本组分之一,是它们共有的子系统之一,是它们的物质能量转化的场地,土壤生态系统的组分、功能独特,不可代替。

土壤生态学是从生态学的发展过程中逐渐分离发展起来的。

在人类实践积累的生态学知识的基础上,1749年法国人布丰(Buffon)提出“生命律”,第一次阐述了动物与环境的关系,1803年马尔萨斯(Malthus)发表“人口论”,阐述了人口与食物的关系,1807年德国科学家洪堡德(A. Humboldt)创建植物地理学,揭示植物分布与气候相关的规律,注意到环境条件与植物形态的关系,1859年达尔文(C. Darwin)创立生物进化论,加深了生物与环境相互关系的认识,1865勒特(Reiter)将希腊字,logos(即研究)与oikos(即住所)结合构成生态学(Oikologie)一词,1866年德国科学家海克尔(H. Haeckel)定义,生态学是研究有机体与环境条件相互关系的科学,近代生态学便由此诞生了。

本世纪三十年代贝塔朗菲(L. V. Bertalanffy)提出系统论,他认为解释生命现象必需要有:一、系统观点;二、生态观点;三、等级观点。1935年英国植物学家坦斯列(A. G. Tansley)第一次提出生态系统的概念,把生物与环境的关系,看成是一个动态的整体,1939年他又提出“生态平衡”概念,他认为生物的“相对平衡地位”就是生命系统,“相对平衡地位”是由许多非常敏感的极不稳定因素复合而成,只要有一小点变化。这种地位就会发生动摇。1941年美国科学家林德曼(R. L. Lindeman)发展了生态系统生态学,论证了自然生态系统中能量与物质流动在不同全营养级之间的定量关系(即十分之一定律)是任何生态系统稳定的前提。五十年代以来,奥德姆(E. P. Odum)对遗弃农田的次生演替及生态系统内的能量、物质流进行大量研究之后,在总结各方面研究成果的基础上,1952年写成了《生态学基础》,进一步确立了生态系统生态学。总之,从本世纪三十年代以来,随着系统思想的渗入,生态学前进了,所以当代生态学是研究生命系统和环境系统之间的相互作用及其机理的科学。现代生态学概念上的一个突破,就在于任何系统,只要其中有一个组分是生物体,就可以视为生态系统。

至此,生态学已发展成为研究领域广泛的学科门类,并有若干分支。如按研究对象分为动物生态学、植物生态学、微生物生态学和人类生态学,按生物组成水平分为个体生态学、种群生态学、群落生态学,按环境特点分为淡水生态学、海洋生态学、草原生态学、森林生态学、沙漠生态学、土壤生态学,按应用分为农业生态学、城市生态学、资源生态学、环境生态学、经济生态学,按学科分为生理生态学、遗传生态学、化学生态学、物理生态学、数学生态学、理论生态学,以及生态系统生态学和理论系统生态学等。

在生态学发展的过程中,杰尼(H. Jenny)研究了表土含氮量与降水量的相关性。伏洛布耶夫研究了气候条件与土壤类型发生分布规律,1978年美国土壤学家福斯(H. D. Foth)定义:对土壤环境中生物有机体的相互关系的研究叫土壤生态学,1986年中国土壤学家林景亮陈清硕认为:土壤生态学是研究土壤中的生物及其居住条件相互关系的科学。我们认为:新的土壤生态学是研究土壤生态系统的组成、结构、功能及其演变规律和最佳调控途径的科学,即是用

系统方法研究土壤生态系统结构和功能的土壤生态学。

六十年代末七十年代初,世界出现了“五大危机”(即“人口危机”、“资源危机”、“能源危机”、“粮食危机”、“污染危机”),生态学从高楼深院走向实践,为解决社会生活中出现的生态问题,生态学知识空前普及,研究人数激增,形成“生态热”,有力地推动了生态科学的发展,1964年联合国教科文组织,开展了以生态系统定量研究为重点的“国际生物学研究计划(IBP)”,1971年它又组织了旨在研究人类活动与生物圈的关系的“人与生物圈(MAB)”长期研究计划,1972年在斯德哥尔摩召开了有113个国家参加的第一次人类环境会议,探讨了保护全球环境的战略,发表了《人类环境宣言》。

我国参加了上述研究和会议,并于1979年成立了中国生态学会,大大促进了我国生态学研究的发展。

第一章 土壤生态系统

一、系统

(一)系统的定义

系统论创始人,奥地利生物学家贝塔朗菲(L. V. Bertalanffy)认为,系统是相互联系的诸要素的综合体。我国科学家钱学森更完整准确地定义:系统是由相互作用和相互依赖的若干组成部分结合而成的具有特定功能的有机整体。也就是说,系统的构成必须具备三个条件:一、有两个以上的组分,二、组分间有联系,三、以整体方式共同体现一定的功能。

(二)系统的基本性质

1. 系统结构的有序性

(1)系统无论大小都有一定的边界,系统的边界可以是自然形成的,也可以是人为划定的,如一只猫,以皮毛构成猫的生物个体系统的自然边界,一个农场系统,则按目的人为划定边界。

(2)系统都由两个以上的组分构成,如一只猫,这个系统是由猫的呼吸器官、循环器官、运动器官等器官构成,一个农场,这个系统,一般由种植业、养殖业、经营业、基础设施等组分构成,系统的这种结构特征称为系统的水平结构特征。

(3)系统各组分又自成系统,称为子系统。自然界和人类社会系统普遍存在着这种大系统套小系统的层次现象,典型的自然层次系统如从生物大分子到细胞器、细胞、组织、器官、个体、种群、群落、生态系统。典型的社会层次系统如个人到家庭、基层组织、地方组织、国家。这类大系统套小系统的系统结构特征称为系统的垂直结构特征。

2. 系统的整体性

(1)各组分以一定的量比关系组成系统,如水分子的量比关系是氢二氧一,如果多了一个氧,量比关系变化了,这时这个分子不再是水而是双氧水了。又如一窝蜜蜂只有一支蜂王,如果出现两个蜂王时,必然产生分离。

(2)系统各组分在功能上分工合作,使系统整体能完成特定的物质、能量、信息、价值转换功能,表现出系统的“目的性”。

3. 系统功能的整合效应

系统整体功能不等于各组分功能的相加,而是既有各组分功能,又有各组分之间交互作用产生的新功能,是集体效应,它大于部分之和,称为系统的整合效应。所谓整体(功能)大于部分之和是以系统结构的有序性为基础的;可以表示为

$$W > \sum_{i=1}^n P_i \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (1.1)$$

式中 W 代表整体功能, p_i 代表第 i 组分的功能。

例如,可靠程度仅有 0.3 的电器元件,可以通过 20 个并联,构成可靠程度达 99.9% 的电路系统,即可靠程度 $R = 1 - (1 - 0.3)^{20} = 0.999$ 。又如,多肽链经过折叠能构成具有酶功能的蛋白质。

(三)系统的基本研究方法

系统的基本研究方法,通常采用黑箱方法,所谓黑箱方法,就是完全忽略系统内部结构,只通过输入和输出信息来研究系统的转化特点,反应特征的系统研究方法,这是由于当人们受技术限制难以了解系统内部情况,或只对系统的整体功能感兴趣时所采取的方法,中医通过“望、闻、问、切”诊断疾病,传统农业对动物、植物、土壤的研究,都是采用黑箱方法。事实上黑箱方法除了可以了解系统的转移功能外,还可根据转换功能对系统内部结构进行推断。

除了黑箱方法外,对系统组分构成联系了解得比较透彻时,往往采用白箱方法,所谓白箱方法,就是通过揭示系统内部结构和功能来理解系统的整体特性,生物解剖学和生理学就是以白箱方法为基础进行研究的。

在实际研究中,常常是黑箱白箱方法相兼利用。

二、生态系统

(一)生态系统的定义

英国生态学家坦斯利(A. G. Tansley),1935年最先提出生态系统的概念:“只有我们从根本上认识有机体不能与它们的环境分开,而与它们的环境形成一个自然生态系统,它们才会引起我们的重视”。苏联在植物生态学中运用的“生物地理群落”,中国土壤学家侯光炯提出的“大土壤”,可以说是生态系统的同义语。目前比较具体的定义为,生态系统是生物群落与生存环境之间,以及生物群落的生物种群之间的密切联系、相互作用、通过物质交换能量转化和信息传递,成为占据一定空间,具有一定结构,执行一定功能的动态平衡系统整体(骆世明等,1987)。

(二)生态系统的基本组分

生态系统总是由生物类、环境类组分构成,具体分述如下:

1. 环境类组分

(1)辐射,生物接受的辐射,主要来自日光(短波辐射),也有部分来自大气和各种物体的长波辐射。

(2)大气,生物生活与大气和土壤中的 O_2 、 CO_2 、 N_2 有关, CO_2 和 O_2 影响着生物的光合作用和呼吸作用, N_2 影响着生物固氮,有害气体则污染着大气、土壤,毒害着生物。

(3)水,生物生活与大气和土壤中的水分有关,生物的光合作用、蒸腾作用需要水,生物组成物质中分量最大的是水。

(4)土壤,土壤是生物的栖居之所和生长基质,是生物生活所需的气、水、养分的主要提供者,是生物生活废物和尸体是接纳者。

这些自然环境是通过它们和它们之间的物理状况(如辐射强度、温度、湿度、空气、土壤松紧)化学状况(如土壤的酸碱度,氧化还原电位,养分成分和浓度等)综合地影响着生物的生命活动,生长发育。

2. 生物类组分

生态系统的生物类组分,根据它们的碳素来源分为自养生物和异养生物,自养生物利用无机态碳,它们是生产者,异养生物利用有机态碳,它们是消费者。

(1)生产者,主要指绿色植物,也包括一些化能合成细菌等自养生物。它们如维管束植物在光合作用中利用光能固定 CO_2 中的碳素,藻类也进行小量光合作用固定碳素,化能合成细菌也固定小量无机碳,这些生物利用无机碳合成为有机碳,并第一次将环境中的辐射能量以化学能的形式固定到生物有机体中,所以生产者又叫初级生产者。植物的地上部分,为土气界面

以上的消费者提供食物,地下部分的根系,块茎和藻类等,为土壤中的消费者提供食物。

(2)消费者,生态系统中的消费者按其生存依赖性,凡是主要以植物地上部分为食物的动物及肉食动物等异养生物,都属大型消费者,如草食动物有马,肉食动物有虎,寄生动物有跳虱。杂食动物有猪等。植物物质转化为动物物质时,大量 CO_2 返回大气,能量以热量形式散失,相当数量的碳素,养分能量出现于排泄物中。而利用植物根系及动植物残体和排泄物为食的异养生物,都属于小型消费者(又称为分解者),主要指真菌、细菌、放线菌等微生物,它们能使其食物构成中的大部分有机成分含有的元素和贮藏的能量通过分解释放到环境中去,所以生态系统中土壤生物的主要功能,集中于促进能量,养分流通和循环。

由此可见,土壤是所有未被利用的初级生产产品及动物生活废料及残体的堆集场,土壤是大地的胃,是生态系中物质能量转换的枢纽,它履行着“从灰分到灰分,从元素到元素”的格言,如果没有消费者,分解者来解放那些已被固定的碳素,循环就会停止,大气中的 CO_2 就会耗尽,生命就要终止,生态系就会毁灭。

由于消费者总是依赖初级生产者来维持自身的生产,因此,消费者又称为次级生产者。

(三)生态系统的特征

1. 生态系在组成方面,既包括无生命的环境组分,更包括有生命的生物组分,而且生物组分是生态系统的核心。

2. 生态系统总是具有地区特点和空间结构

3. 生态系统的代谢活动,总是通过生产者,消费者,分解者参与的物质循环能量流动过程来完成。

4. 生态系统内组分之间的结构和功能具有复杂的动态平衡特征。

5. 所有生态系都是程度不同的开放系统,它不断从外界输入物质和能量,经过转换输出,以维持系统的有序状态。

三、土壤生态系统

(一)土壤生态系统的定义

根据系统论和生态系论,我们认为,土壤生态系统是由生物组分的绿色植物,土壤生物与环境组分的土壤、气候和社会组分的人组成,它们之间及它们内部之间,联系密切相互作用,进行物质交换,能量转化,信息传递,占据一定空间,具有一定结构,实现肥力功能,进行物质生产的有机整体。它是自然生态系和农业生态系的子系统,它既受自然规律的支配,又受人为活动的影响。这个定义与传统土壤生态学立场有很大分歧,传统土壤生态学认为土壤系统中的生产者仅限于藻类,而新的土壤生态学则认为还有高等绿色植物(林景亮等,1986),事实上,高等植物是个整体,当其地上部分进行自身生产的同时,其根系也在进行生产,据现在研究,根有固定植株,有吸收水养合成十几种氨基酸和植物碱有机氮,有贮藏繁殖功能,而根系又无疑地是与土壤紧密联系的绿色植物生产者的产品的一部分。根据伏洛布耶夫的研究,苏联不同土类,植物地上部分所占的比重,远远低于地下部分,更低于经过微生物作用形成的腐殖质数量,如表 1.1。

(二)土壤生态系统的组分

土壤生态系统的组分,仍然包括着生物组分和非生物组分,生物组分中高等植物、藻类、化能合成细菌等是初级生产者,土壤动物和微生物是消费者分解者,环境组分中有土体自身和土体外的日光和气候。

所以,根据道库查耶夫的学说,杰尼(H. Jenny)研究认为,土壤生态系的函数式可表示为

$$S = f(cl, o, r, p, t) \quad (1.2)$$

土壤生态系统的变化 ds

表 1.1 植物地上量、根量与腐殖质量比较(T/ha) (伏洛布耶夫)

土 壤	A 腐殖 质量	B 植物 地上量	C 植物 根系量	D 植物 总量	B/C	A/C	A/D
泥炭灰壤	80.2	-	9.5	-	-	8.4	-
淋溶黑钙土	466.2	4.4	26.9	31.3	0.17	17.3	14.9
南方黑钙土	390.0	7.0	25.0	32.0	0.28	15.6	12.2
暗栗钙土	264.7	3.5	9.9	13.4	0.35	26.7	19.7
碱化栗钙土	280.6	4.8	17.3	22.1	0.28	16.1	12.7
暗灰钙土	225.0	4.5	13.0	17.5	0.40	17.3	12.8
漠灰钙土	65.0	1.0	15.0	16.0	0.07	4.3	4.06

$$ds = \left(\frac{\partial s}{\partial cl} \right)_{o, r, p, t} dcl + \left(\frac{\partial s}{\partial o} \right)_{cl, r, p, t} do + \left(\frac{\partial s}{\partial r} \right)_{cl, o, p, t} dr + \left(\frac{\partial s}{\partial p} \right)_{cl, o, r, t} dp + \left(\frac{\partial s}{\partial t} \right)_{cl, o, r, p} dt \quad (1.3)$$

式中的 S 表示土壤生态系, cl 表示气候包括太阳辐射, o 表示生物有机质, r 表地形, p 表示原始基质, t 表示时间。

从现代生态学观点看, 杰尼的理论创造性地将土壤生态系模型化, 但它缺少了人的作用这个参数。至于环境, 传统土壤学认为, 凡生物有机体以外的一切影响因素, 动力或情况都可以称为环境, 生物有机体与环境之间有明显的边界, 但在土壤生态系里, 土壤系统和环境之间的边界就难于分界了, 这是因为环境的一部分, 就是土壤系统的组成, 如气候因素和土壤系统内部的水气热条件组成是一个连续体。地形就是土壤实体存在的外形, 母质是土壤系统的骨骼, 是土壤养分的来源, 它们既是成土因素, 又是土壤的基本组成, 它们交互作用构成土壤系统本身。但为便于研究, 仍将土壤生态系的生物、环境组分分述如下:

生物组分:

1. 生产者, 土壤生态系统的生产者, 主要指高级植物, 藻类, 自养型细菌, 它们都能利用无机物合成有机物, 把环境中的能量以生物化学能的形式第一次转化到生物有机体中, 它们是生产者, 它们的躯体是初级产品。

2. 消费者, 土壤生态系统的消费者, 主要指土壤动物, 土壤动物很多如表 1.2, 线虫和蛴螬是初级消费者, 它们大部分吃植物根, 二、三级消费者包括捕食动物的螨类、蜈蚣、蜘蛛、蚁类和鼯鼠, 土壤中的食物链是由植物根、线虫, 螨类和蜈蚣组成, 大多数土壤动物吃死的或腐败废物。

环境组分

(1) 辐射, 来自太阳的辐射是绿色植物生存的能源源泉。

(2) 气体, 气体存在大气中和土壤中, 其中最重要的 CO_2 、 O_2 与生物的关系最为密切。 N_2 经生物固氮作用进入生物体, 有害气体则污染大气、土壤, 毒害生物。

(3) 水, 是生物生存的重要因素, 陆地生态系生存利用的水, 主要分布在大气中和土壤里。

(4)土壤,是生态系生物生长的场所和基质,是生物所需水、气、养分的主要提供者,是生态系统中生物与无机物连通的桥梁。所以,土壤是陆地生态系统组成的枢纽。土壤还具有可以通过微生物降解农药污染、污水污染、石油、天然气污染和处理粪污染的生态功能,一般说,凡与自然化合物结构相似的污染物都能被土壤微生物分解,最终被土粒吸附利用,但应注意,一是土壤对污染物的容量有限,超过容量引起土壤污染问题就严重了,二是凡是自然界未见过的“新”结构的污染物(如“硬”农药),微生物是不能降解消除,要尽量被免使用。

表 1.2 温带湿润地区每公顷 15cm 土壤中有有机物数量、比例、干重及活有机体的数量估计

(H.D.福斯 1978)

项 目	干 物 质		估计个体数
	%	kg/ha	
活的和死的有机物质	6	120,000	—
死的有机质	5.28	105,400	—
高等植物根系	0.5	10,000	—
微生物:细菌类	0.1	2,600	2×10^{18}
真菌类	0.1	2,000	8×10^{16}
放线菌类	0.01	220	6×10^{17}
藻类	0.0005	10	3×10^{14}
原生动物类	0.005	100	7×10^6
非节肢动物:线虫类	0.001	20	2.5×10^9
蚯蚓	0.005	160	7×10^5
节肢动物:跳虫	0.0001	2	4×10^5
螨	0.0001	2	4×10^5
马陆、蜈蚣	0.001	20	1×10^3
盲蝻	0.00005	1	2.5×10^4
蚁类	0.0002	5	5×10^6
倍足、唇足亚纲综合纲	0.0011	25	1.8×10^7
双、鞘、鳞翅目	0.0015	35	5×10^7
甲壳纲	0.0005	10	4×10^{17}
哺乳动物(鼠类等)	0.0005	10	4×10^5
鸟类	0.0005	10	100

(三)土壤生态学研究的对象内容

系统论的实质在于将研究对象看成一个系统,而系统成分本身并不是系统论研究对象,只有成分之间的相互联系和作用过程,即系统中进行的过程才是研究对象,至于研究内容,就其共同性的概述如下:

1. 研究土壤生态系统的结构与功能

土壤生态系统的各组分的空间分布就是它的结构,从土壤生态系统所占空间来说,大致可

分为地上和地下两层。地上层,绿色植物依赖地下层输入的物质,在大气、雨水、阳光作用下进行着光合作用,蒸腾作用,呼吸作用以及草食食物链的消费者和人活有机体进行的利用、分解作用,由于以无机物合成有机物质占绝对优势,所以,地上层主要是有机物合成和物质能量聚集的过程。

地下层是土体,土体又是由很多组分组成的综合体,其中有土壤动物,特别是土壤微生物在土壤水、气、热、土粒的怀抱中对植物残体和根分泌物进行着有机物质的利用、分解作用;还有土壤有机矿质复合体的形成作用。

地下生物的营养和能源来源于地上,地上光合作用的原料来源于地下,所以地上层和地下层不断地发生物质能量交换转化,有机质在地上建成地下破坏,构成了营养元素循环,维持系统上下层结构有序性的能量,都来自地上的生产者,最终来自太阳辐射。

在土壤生态系统中,地下层有机矿质复合体的形成与地上层有机物形成同样重要,有机矿质复合体是土壤实体的基本结构单元,它吸收固定和贮存了绝大多数能源、营养物质,含碳量占全部土壤的80%以上,含氮量占90%以上,含磷量占50~75%,它系由酶、微生物和矿质复合,形成有机-矿质复合体,使土壤具有物质代谢的新属性,在复合体表面能降解农药和污染物。所以,复合体具有特殊的生态学意义,它是自然界生物物质与非生物物质的结合体,因此,现代土壤生态学,把土壤看成是自然界生物和非生物物质过渡的桥梁,是整个地球陆地生态系统的中心枢纽。复合体的形成实际上是要消耗能量,各级团聚体的形成,需要消耗内能,土粒间相互作用吸引牵制消耗内能,这样就使土壤自由能降低,其定位成型所需的如根的挤压切割、干缩湿胀、冻融交替、动物活动和耕作作用等,消耗外来能量,这两种能量之合就是使无序的土粒物质定向排列成有序状态的复合体所消耗的动力。从非平衡态热力学观点来看,就是通过这种有序过程来耗损物质和能量,所以,有机无机复合体结构,本质上是一种耗散结构,不仅在土壤生态系的内部结构水平上是如此,而且在土壤生态系的整体结构水平上,也是如此,它耗散的能量来自于土粒本身和太阳辐射。

土壤生态系统的功能是指土壤生态系统中能量和物质的转化,不同的土壤生态系统有不同的结构,在不同的结构中,能量流动和物质物质的途程自然不同,因而转化效率也不同,所谓结构是功能的载体,功能是结构活力的表现,以土体为中心的土壤生态系统,生产者的绿色植物(植物、藻类)与分解者,消费者的动物和人之间,不断进行着的能量转换和物质循环如图1-1

物质能量的输入(合成)和输出(分解)是维持生态系统活力最本质的东西,由于有机-矿质复合体结构中矿质变动为常数,所以,决定结构内能大小的东西,自然就是差土壤贮存有机质的多少。

所以,土壤生态系统的最基本的输入、输出对比关系,可用土壤中储能物质——土壤有机质的变化来表示:

$$\frac{dQ_s}{dt} = A - rQ_s \quad (1.4)$$

式中 Q_s 表示土壤有机质, t 表示时间, A 表示输入量, rQ_s 表示输出量, r 表示分解系统。

当其考虑到人工施肥等和新产出作物残茬的影响时,式(1.4)可以写成

$$\frac{dQ_s}{dt} = -K_1(t)Q_s + K_2B + K_3(t)y(t) \quad (1.5)$$

式中 $K_1(t)$ 表示分解系数是时间的函数, B 表示施入的有机肥量, K_2 表示施入有机质的分解系

数, $K_3(t)$ 表示作物产物分解系数是时间的函数, 且因作物不同而异, $y(t)$ 表示作物生物学产量是时间的函数, $K_3(t)y(t)$ 表示因作物生物学产量而变化的向土壤输入的残茬数量。

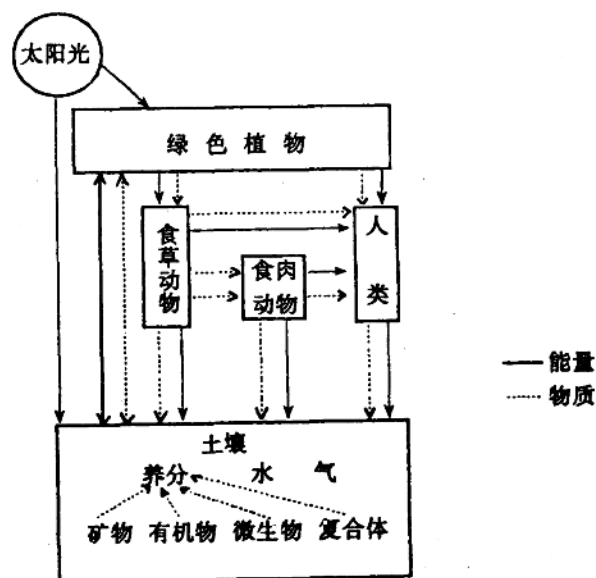


图 1-1 土壤生态系统的能量转换物质循环图示

2. 研究土壤生态系统的稳定性

自然生态系统是由复杂的食物链, 把生物与生物, 生物与环境成分联结成网络结构, 网络上的每个环节都彼此相互连接相互制约, 维持着生态系统的相对稳定, 即“生态平衡”, 如果网络上任何一个环节发生机能障碍, 可以通过网络结构的其它部分来调节补偿。土壤生态系统也是这样, 如细菌的繁殖是几何级数增长曲线, 但实际上增长潜力并不会无限的增长下去, 到一定的时候, 即到食物、空间、天敌, 代谢产物的毒害等的限制, 环境质量下降时, 增长就会停止, 尽管早期增长较快, 到了中期增长就会变慢, 最终达到不增不减的稳定状态。这实质上就是生态系统的负反馈控制机理, 负反馈机理至少有三种作用, 第一个体群的自动调节, 即个体增长率随个体群密度的增加而减少, 第二由于饲料的增加, 捕食者随之增加, 而捕食者增加, 反过来造成饲料减少, 以至捕食者数量回降, 第三无机养料总是靠生产者制造的有机物质分解形成, 但分解速度并不因生产者增长所需而加快, 结果无机养料数量下降, 会导致生产者增长速度下降, 被迫恢复原态。这种平衡, 表现为整个系统(群落)的物质和能量在吸收和释放上的收支平衡, 对自然土壤生态系统来说, 可以依据有机质变化模型, 式(1.4), 求出 $A = rQ_s$, 即输入与输出相等, 自然土壤生态系统达到稳定状态。其求解过程如下

$$\text{引式(1.4)} \quad \frac{dQ_s}{dt} = A - rN$$

$$\frac{dQ_s}{A - rQ_s} = dt, \text{积分得} \frac{1}{r} \int_{Q_0}^Q \frac{d(A - rQ_s)}{A - rQ_s} = \int_0^t dt - \frac{1}{r} \ln |A - rN| \Big|_{Q_0}^Q = t \Big|_0^t = t - [\ln |A - rQ_0| - \ln |A - rQ_s|]$$

$$rQ_s [-\ln |A - rQ_0|] = rt \ln \frac{A - rQ_s}{A - rQ_0} = -rt, \therefore e^{-rt} = \frac{A - rQ_s}{A - rQ_0}, Q_s = \frac{A}{r} - \frac{Ae^{-rt}}{r} + Q_0e^{-rt}$$

$$\text{当其经过长时期后, 即设 } t \rightarrow \infty, \text{ 则函数 } e^{-rt} \rightarrow 0, \text{ 这时 } A = rQ_s \quad (1.5)$$

至于农业土壤生态系统, 由于系统中大量的有机质被搬走, 要维持它的稳定性, 必须投入

能量,即要施肥、耕耘、灌溉、排水、灭茬等,如果不消耗能量来补偿,系统将发生崩溃,只有投入能量总和大于搬走的有机质含能量,系统才能稳定和发展。

3. 研究土壤生态系统控制

所谓反馈调节,就是利用已经施行的调节措施的效果作为信息来决定和修改下一步调节的依据,以达到重新组织自己以适应外界环境变化之目的。控制论的特点在于,它不仅从能量和物质方面,而是着重从信息反馈方面去调控系统的功能和改善系统特性。系统论强调人是土壤生态系统最主要的组成因素,系统功能的高低,在极限范围内,主要取决于人的智慧和作用的发挥程度。土壤生态系统的调控就是使系统最优化,就是要在最低的辅助能量输入下,经过调节、修正,达到预定的输出指标,这就要掌握系统的动态特征,考虑系统和环境的联系,如首先通过对系统调查,取得数据、现象,继而进行分析提炼,提出假设,设计模型,然后进行模型试验(如田间、盆栽试验),将试验结果与调查分析提炼结论对比,如发现差异,提出新的试验设计再行试验,如果试验结果与预期效果相符,即可付诸实施,实现土壤生态系统控制的目的。

4. 研究土壤生态系统中的能量流动与养分循环

(1)农业土壤生态系统的能量流。除遵守食物链规律外,还必须有助能的投入。因此除与自然生态系一样,以绿色植物为能量来源,经过残渣食物链草食食物链、肉食食物链流入土壤外,还必须有人工辅助能量(包括肥料、农药、机电、人、畜力所折合的能量)流入土壤,例如,绿色植物残体及草食动物、肉食动物的排泄物和尸体等的有机物质,首先经过土壤动物的分解破碎,进而由真菌放线菌分解为比较简单的有机物,最后由细菌彻底分解为无机养分,再供给绿色植物吸收,在这个过程中辅助能量人为地投入并参与其过程。从而形成如下能流途径,简化如图 1.2。

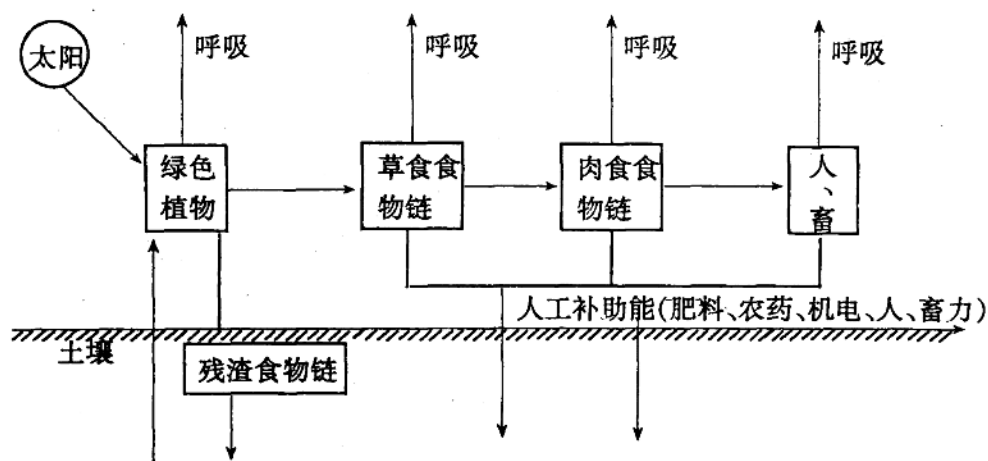


图 1.2 农业土壤生态系统能量流示意图

据研究水稻所固定的能量在各器官中的蓄积量。如图 1.3(骆晓明,1987)。

水稻固定太阳辐射量的 1.2%,如果叶、根、茎都进入土壤,作业残渣食物链的物料,则只有 0.56% 的太阳辐射能进入土壤,所以,对土壤生态系统来说,最重要的是残渣分解速度,分解得快,土壤养分丰富,携带到绿色植物去的能量就多,土壤生产力就高。致于能量转化效率,是指某一营养级固定的能量(潜能)与前一营养级所贮有能量之比,自然生态系统中,一般能量转化率是比较低的,根据美国生态学家林德曼(Lindeman)1942 年的研究,营养级之间能量转化,大致有十分之一的能量从前一级转至后一级的身体上,组成新的生物量,而十分之九的都

被消耗掉。这就是著名的十分之一定律。中国的绿肥翻压试验,也证明了十分之一定律,据西北五省 24 个翻压绿肥试验的结果,平均翻压鲜草 15990kg/ha,则增产粮食为 1485kg/ha,华北 109 处翻压绿肥,每翻压 7500kg/ha,鲜草可增产稻谷 450~750kg/ha,苏、皖试验也如此。食物来源和群体数量之间存在着的这种定量关系,能量流动顺着营养级序向后逐级递减的这个 1/10 定律,支配着生态系统金字塔。它们都以初级生产为基础。

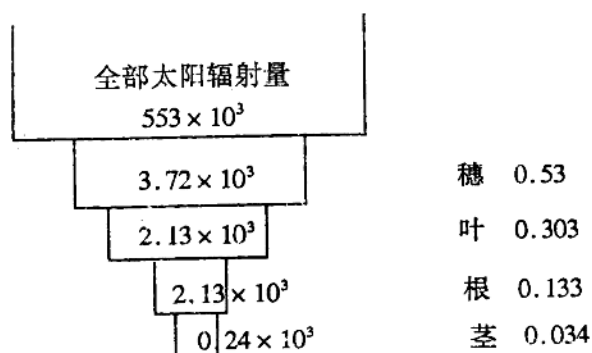


图 1.3 水稻固定能量在各器官中蓄积量(kcal/m²)

A. 太阳能的利用与初级生产力。应当指出,绿色植物同化光能是有限的,表现在初级生产力一定,即总生产量 P_g 和净生产量 P_n 一定,据 R. H. 怀梯克(1970)和 R. W. 怀梯克(1975)计算,地球上初级生产量每年 172×10^9 吨的有机物质,其中农田为 9.1×10^9 吨,温带草原为 5.4×10^9 吨,热带稀树草原为 10.5×10^9 吨,森林为 84.2×10^9 吨,海洋为 55×10^9 吨,其它(河、湖、沼、苔、漠、高山等)为 7.47×10^9 吨。

从单位面积的年净生产量 P_n 来看,荒漠、苔原、大洋的植物为 < 200 (g/m², y.), 温带草原、谷地、湖、河地区的植物及北部森林为 $200 \sim 800$ (g/m², y.) 杂交玉米和集约化栽培的作物为 1000 (g/m², y.), 沼泽热带作物为 > 3000 (g/m², y.), 光能利用率平均为 0.11%, 陆地为 0.25%, 海洋为 0.05%, 一般农田为 1~2%, 集约化栽培 2~3%。

就作物来看,据村田吉男收集研究世界各地高产记录看其平均生产率(CGR)

$$CGR = \frac{\text{平均每 } m^2 \text{ 净生产量}(g)}{\text{全生育期天数}(天)} \quad (g/m^2, d.) \quad (1.6)$$

多年生牧草的 CGR 为 $26 \sim 28$ (g/m², d.), 甘蔗、玉米、高粱为 20 (g/m², d.) 水稻、甜菜为 14 (g/m², d.), 甘薯、大豆、大麦为 8 (g/m², d.)。

而我国已报导的高产记录,如表 1.3。

$$\text{光能利用率} = \frac{H \cdot \Delta W}{\sum S} \times 100\% \quad (1.7)$$

式中 H 为物质燃烧热(Cal/g), ΔW 为干物质重(g/cm²), $\sum S$ 为生育期内总辐射量(Cal/cm²)。

B. 人工辅助能的利用与初级生产力。人工辅助能的投入,可以使生态系统的机能改善,提高光能利用率,提高生产能力。原始社会生产力极低。就是由于没有人工辅助能的投入,到传统农业时代,人们精耕细作、施肥、灌溉、轮作换茬,投入了辅助能,生产能力提高 10 倍以上,战后的现代化农业,由于工业辅助能的投入量增加,农业生产能力又提高了四倍。中国在解放

后,随着生产的发展,我国农田的辅助能投入水平不断提高,1965年比1952年提26.37%,1979年又比1965年提高68.9%,不同生产水平地区,辅助能的投入量不同,产投比(即效率)也不同,而且随着辅助能投入的增加,其中工业辅助能所占比重都有提高,到一定水平之后,产投比(即效率)却下降,如表1.4。

表 1.3 我国几种作物高产田的 CGR 值 (骆世明等,1987)

作物	地点	收获量 (kg/ha)	生物量 (kg/ha)	CGR (g/m ² , d.)	光能利用率 (%)	经济系数	备 注
一季稻	江苏邳县	12832.5	25162.5	16.22	1.42	0.51	$\sum S = 66650$
早 稻	武 昌	7665	17250	14.37	1.4	0.48	$\sum S = 46800$
冬小麦	江苏	8253	21187.5	9.85	1.08	0.39	$\sum S = 64500$
春小麦	青海晋日德	15195.8	30391.5	21.7	1.2	0.5	$\sum S = 84000$
玉 米	吉 林	16695	41737.5	29.8	2.32	0.4	$\sum S = 63000$
高 粱	河 北	12826.5	36646.5	27.1	1.9	0.35	$\sum S = 67500$
甘 薯	山 东	69500	21715	12.0	0.94	0.8	$\sum S = 81000$

表 1.4 不同辅助能投入水平及效率 (刘巽浩,1982)

地 区	总产出能 (10 ⁶ Cal/ha)	投入总辅助能 (10 ⁶ Cal/ha)	投入工业辅助能 (10 ⁶ Cal/ha)	产出能/总投能	产出能/投工能
上海市	88686.5	37045.5	14626.5	2.34	5.92
宁波地区	72428.4	29205	6022.5	2.48	12.02

注:①折能系数,谷物籽粒3.8KCal/g,秸秆3.2KCal/g,大豆5KCal/g, N肥(纯)22×10⁶Cal/kg,磷(纯)3.2×10⁶Cal/kg,钾(纯)2.2×10⁶Cal/kg,有机肥(粪)3.2×10⁶Cal/kg,农药(纯)24.4×10⁶Cal/kg,劳力836×10⁶Cal/人·y.,畜力5000×10⁶Cal/头·y.,种子3.8×10⁶Cal/kg,农机具50×10⁶Cal/kg,柴油11×10⁶Cal/kg,农用电3×10⁶Cal/度。

②工业辅助能包括化肥、农药、燃油、电、农机具等。

(2)土壤生态系统中的养分循环,是指生物组分与环境组分之间的物质元素交换,它包括同化固定作用和矿化分解过程,前者由绿色植物担任,后者由微生物完成,从而使物质元素保持着反复循环利用。

养分循环的过程,如图1.4。

进入土壤的有机质,包括脂肪、糖类、蛋白质、本质素等化合物。当其微生物分解这些物质时,微生物利用部分碳素,能量及养分建造自身组织及小部分作暂时无效成分外,大部分均矿化分解成水,CO₂及无机盐进入循环,据研究,每年从土壤吸收的四种主要养分,有70~86%在植物体中重新循环。如表1.5。

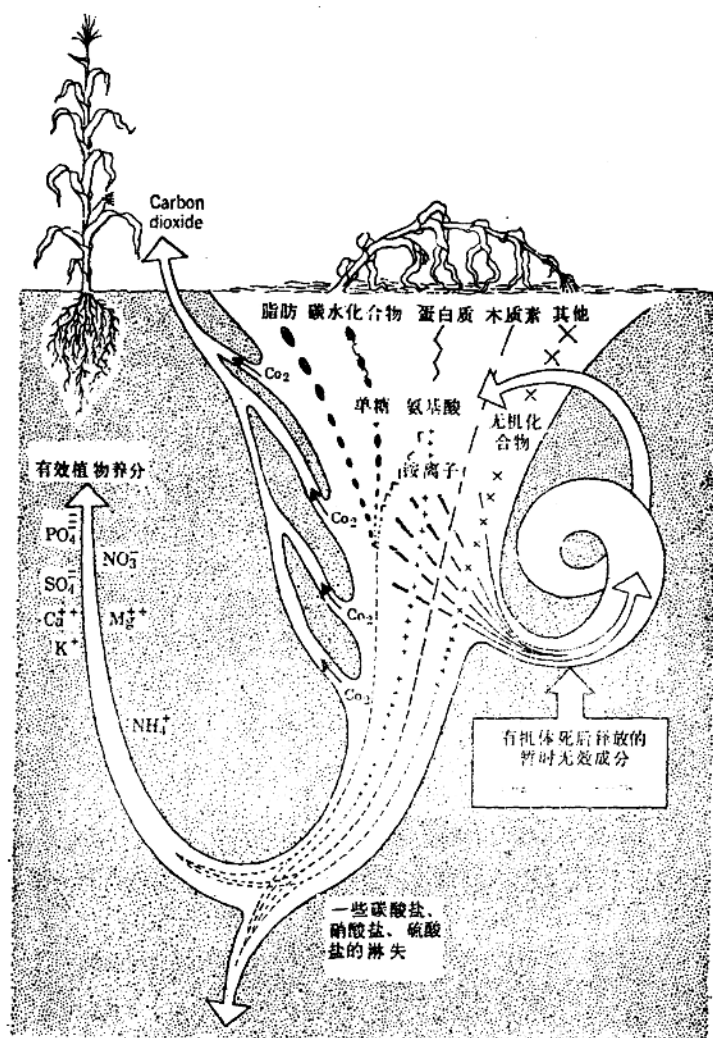


图 1.4 有机质分解作用与养分循环图解

(H.D. 福斯, 1978)

表 1.5 山毛榉林每年摄取, 保持归还的土壤养分 (H.D. 福斯, 1978)

	养分 kg/ha			
	N	P	K	Ca
自土壤摄取	50	12	14	96
贮于木材中(或从土中损失)	10	2	4	13
以残落物归还土壤	40	10	10	83
再循环百分数(%)	80	82	70	86

而被木材带走的部分靠大循环获得。至于农作物, 其带走的那部分养分, 通常由施肥来补偿, 所以, 土壤生态系统中的养分循环, 一般是按土壤——植物——动物——土壤的模式进行。

第二章 土壤生态系统与耗散结构

系统中能量和物质流之形成,在于位势差的存在,如象水从高处向低处流一样,如果势差消失,系统趋向平衡状态,就不再继续演化发展。如果外界不断补充能量和物质流,保持势差存在,演变发展就会继续,所以,土壤生态系统是一个非平衡态开放系统,因此,得引入非平衡态理论来研究土壤生态系统的结构和功能。

一、耗散结构的基本原理

(一)耗散结构的意义

耗散结构理论是比利时科学家普里高津(prigogine)为解决非平衡系统问题所创立的,他从平衡系统热力学理论出发,具体分析了非平衡系统的特质,引入负熵概念,具有划时代意义。

热力学中熵(S)是系统无序程度的量度,熵(S)和混乱度(Ω)的对数成正比。

$$S = K \ln \Omega \quad (2.1)$$

式中K是波尔兹曼常数。

所以,系统的熵(S)越大,混乱度(Ω)也越大,系统就越无序,相反,如果系统的熵越小,混乱度就越小,系统就越有序。因此要使系统保持有序,只有使系统熵(S)减小,这种情况,在平衡系统中,是靠降低系统的温度来实现熵(S)减小,但在开放的非平衡系统中,不能靠降低系统温度来实现熵(S)的减小,而是要靠外界供给足够的负熵(-S)流来实现,这时非平衡态的熵由两部分组成,一部分是系统自身引起的熵增加(dis),另一部分是与外界交换物质(分子)、能量所引起的熵流(des),des可正可负。整个系统的熵变为:

$$ds = dis + des \quad (2.2)$$

如果des为负值且绝对值 $>dis$ 时

则 $ds = (dis + des) < 0$

这样系统的熵变减小,使系统从无序趋向有序,当系统与外界物质能量交换达到某一阈值时,系统就不能再靠老的(原先的)无序来耗散外界传递进来的物质能量,而是系统被迫改变自己的结构状态来耗散输入的物质能量,这种被迫改变所形成的新的结构就叫“耗散结构”,这种改变自己结构的现象又称为自组织现象,所以,凡是具有自组织现象的系统结构,都称“耗散结构”。

如果,系统与外界隔绝,没有物质能量的输入和耗散,没有新陈代谢时,即

$$des = 0$$

则

$$ds = dis > 0$$

这意味着系统熵(S)的不断增大。系统必然从有序变为混乱,系统趋向平衡、崩溃、死亡。

(二)耗散结构理论的例举

非平衡态耗散结构的例子很多,其中最典型的如 Benard 花样。即液体在激烈沸腾中,从表面看出它总是形成六边形结构,它通过中心的液体向上流,边缘的液体向下流耗散火炉给予它的能量,使系统处于非平衡有序状态,这时的液体结构称为“耗散结构”。而不是靠降低液体系统的温度的热传导来耗散能量。烧开水在水激烈沸腾时就是例子。同样,系统如与外界隔绝,没有火炉输给能量,即 $des=0$,这时 $ds=dis>0$,系统出现平衡,液体沸腾系统就不复存在。

又例如激光,当外界泵浦输送的能量没有达到一定阈值(即临界值)时,光场处于无序状