

系统土壤学

林景亮 陈清硕

福建科学技术出版社

1987年·福州

责任编辑：林大灶

系 统 土 壤 学

林景亮 陈清硕

福建科学技术出版社出版

（福州得贵巷27号）

福建省新华书店发行

三明市印刷厂印刷

开本787×1092毫米 1/16 印张13.375 2插页 312千字

1987年7月第1版

1987年7月第1次印刷

印数：1—3300

ISBN 7—5335—0019—9/S·4

书号：16211·137 定价：3.25元

序

我很高兴地看到系统土壤学一书的出版，因为土壤科学需要它，农业生产需要它。本书提出的问题是重要的，这就是土壤科学如何更好地为“四化”建设做出贡献的问题。

土壤科学的发展，经历了长期分化的过程。现在已经有了土壤物理学、土壤化学、土壤微生物学等学科；但我们更需要系统土壤学这样的学科。土壤和环境本来是互相联系的，农业土壤和社会也是一个整体。过去我们对这种联系研究得很不够。系统土壤学的提出，正好弥补了这一不足。我认为这个新土壤学体系的建立，是现代土壤科学革命的主要方向。因为土壤学只有在和整体科学体系的联系中，才能得到创造性的发展。我想受过传统土壤学教育的学生，认真地读一读这本书，是大有益处的，眼界会更加开阔，与生产实际更加接近。我衷心希望今后有更多的同志能从事系统土壤学的研究工作，使这门新学科不断得以发展和完善。

英国皇家学会会员 侯光炯
中国科学院学部委员

前 言

以土壤资源合理利用为中心，用系统论来探讨土壤生态系统的结构功能及其演变规律和最佳控制途径的科学，称为系统土壤学或新的土壤生态学。这也可以说，新的土壤生态学是系统科学、土壤学、生态学、农学、经济学等学科一体化的产物。众所周知，发生土壤学提供了土壤是自然历史体的认识，从而标志着土壤学作为一门独立的自然科学的诞生；而系统土壤学则是在发生土壤学的基础上，进一步把土壤看做一个控制系统和目的系统，其注意力集中在土壤学和农业生产发展的关系方面。现代人口剧烈增长，土地资源过度消耗和其他不合理的利用现象屡有发生，从而导致不少地区的土壤退化和生态失调。因此，土壤学如何更好地为农业生产服务，已成为人们日益关心的问题。

长期以来，我们都感到传统土壤学已不能满足土化系学生从事实际工作的需要。如果说科学在相当长的一段时间内是以单一运动形态为研究对象的话，那么现在科学已进入以各种运动形态相互联系相互转换为重要内容的综合研究这一崭新阶段。这与人类对客观世界的认识是从特殊到一般、从静态到动态、从单因素到多因素的认识规律是一致的。因此，在反映单一运动形态的学科相继建立、完善之后，科学的发展就进入了反映一系列互相联系和互相转化的运动形式的学科建立阶段。这就必须打破过去孤立地研究问题的立场和方法，以事物的相互联系为基本出发点，多方面、多空间、多层次综合地研究事物之间的本质联系。

本书是建立一门新的土壤学课程的尝试。上编基本理论以土壤系统耗散结构理论为框架，提出高产与低耗是土壤学研究的主要目标。下编从物理、化学、生物三个水平上讨论了土壤系统控制方法的主要方面，收集了一些国内外近期文献中报导的最新成果，以反映土壤科学研究发展的动向。我们试图将此书写成既可以作为土化系学生土壤学课程改革的补充教材，也可供土化系四年级学生选修和研究生参考之用，同时又希望它能成为在这方面有深入研究的教师做为专题报告的提纲，并能为土壤工作者在今后的研究工作中为发展农业生产做出更多的实际贡献铺平道路。

英国皇家学会会员、中国科学院学部委员侯光炯教授，在百忙中对本书的写作给予热情的关心和指导，谨此表示衷心感谢。书中错漏之处，欢迎广大读者批评指正。

林景亮 陈清硕

1986年10月

目 录

上编 基本理论

第一章 生态学的系统概念和研究任务	(3)
第一节 生态学的系统概念.....	(3)
第二节 生态系统中的能流.....	(5)
第三节 生态系统中依等级能量利用的递减性.....	(8)
第四节 生态系统中元素的生物地理化学循环.....	(10)
第五节 生态系统的演替和稳定性.....	(14)
第六节 农业生态系统.....	(16)
第二章 自然土壤生态系统的研究	(19)
第一节 成土因素与土壤发生性质的相关性剖析.....	(19)
第二节 土壤环境间能量交换的途径.....	(21)
第三节 生物地理群落与土壤关系的研究.....	(23)
第四节 土壤系统中营养库的物质循环.....	(24)
第五节 自然土壤生态系统的研究方法.....	(26)
第六节 自然土壤生态系统的研究趋势及其发展前景.....	(32)
第三章 系统土壤学概念	(33)
第一节 系统土壤学的研究对象.....	(33)
第二节 系统土壤学的研究内容.....	(36)
第四章 土壤个体生态学和土壤景观生态学	(48)
第一节 土壤个体的概念.....	(48)
第二节 土壤个体系统的结构层次.....	(49)
第三节 耕层的生态意义.....	(49)
第四节 土壤个体的功能.....	(51)
第五节 土壤个体土体-植物模型	(51)
第六节 土壤景观的概念.....	(52)
第七节 土壤景观的地理分类.....	(53)
第八节 系统土壤学的景观立地分类和立地相.....	(53)
第九节 土壤景观中的物质循环和能流.....	(54)
第十节 土壤景观类型多样性的生态意义.....	(55)
第五章 土壤系统的耗散结构	(57)
第一节 耗散结构理论的基本原理.....	(57)

第二节	土壤肥力是土壤系统的整体功能	(58)
第三节	土壤系统熵概念	(60)
第四节	土壤肥力的系统分析	(62)
第五节	土壤在空间上是一个耗散结构	(64)
第六节	土壤在时间上也是一个耗散结构	(67)
第七节	土壤是一个自动调节系统	(69)
第八节	土壤肥力新学说的实际意义	(70)
第六章	土壤系统熵的计算和应用	(72)
第一节	土壤熵概念的具体化	(72)
第二节	土壤系统负熵机制	(73)
第三节	土壤系统起始熵的计算	(73)
第四节	土壤系统熵值的稳定性	(74)
第五节	土壤系统熵值的可比性	(75)
第六节	土壤系统起始熵计算举例	(75)
第七节	土壤系统熵变和计算	(76)
第八节	土壤系统熵变判据和计算举例	(77)
第九节	土壤系统的最佳熵变值	(79)
第十节	土壤系统熵分析的应用	(80)
第十一节	土壤系统熵的信息量意义	(81)
第七章	农田土壤肥力分布结构模型	(83)
第一节	从Clark 定律看作物产量和土壤有机质含量的分布	(83)
第二节	土体-植物模型的分析	(86)
第三节	土壤系统熵变的空间分布	(87)
第四节	土体养分动态和系统熵变	(88)
第五节	丘陵山区土壤肥力结构模型	(88)
第六节	肥力分布结构模型的形成机制	(89)
第七节	土壤肥力分布结构理论的应用	(90)
第八章	土壤信息与土壤系统控制	(91)
第一节	土壤信息与土壤管理以及信息的约定性	(91)
第二节	土地评价信息	(93)
第三节	土壤信息的逐级变换	(94)
第四节	土壤综合性信息的传输	(94)
第五节	土壤反馈信息	(95)
第六节	现代土壤信息的研究	(95)
第七节	土壤系统控制法的分类	(96)

下编 土壤系统控制

第九章 土壤生态系统的保持和物理控制	(101)
第一节 土壤保持的含义和立法的必要性.....	(101)
第二节 草地的保持.....	(102)
第三节 林地的保持.....	(103)
第四节 我国耕地发展的预测和对策.....	(104)
第五节 水蚀的治理.....	(105)
第六节 风蚀的治理.....	(107)
第七节 耕作方法.....	(107)
第八节 平整土地的意义.....	(109)
第九节 灌溉效益.....	(110)
第十节 干旱的计算与预测.....	(111)
第十一节 土壤排水.....	(112)
第十二节 集约的土壤管理.....	(114)
第十章 能源和土壤系统控制	(116)
第一节 土壤是生物能源的摇篮.....	(116)
第二节 燃料基地的建设和土地资源的合理利用.....	(118)
第三节 “第五能源”——节能对土壤系统的反馈作用.....	(120)
第十一章 土体耕层有机质的保持	(124)
第一节 土体中有机质的作用.....	(124)
第二节 土体有机质的形成和原料.....	(125)
第三节 土体有机质变化的数学模拟.....	(126)
第四节 耕地土体有机质的平衡值.....	(129)
第五节 土体有机质分解系数的动态分析.....	(129)
第六节 耕地有机质的预测计算.....	(130)
第七节 耕作制度对土体有机质含量的影响.....	(133)
第八节 气候与母质条件对土体有机质含量的影响.....	(133)
第九节 有机肥料的影响.....	(134)
第十节 有机农业问题.....	(136)
第十一节 有机无机肥料的协同作用.....	(137)
第十二章 现代绿肥耕作制的理论和实践	(139)
第一节 CMC 体制的实施方法和效果.....	(140)
第二节 CMC 体制实施时应注意的问题.....	(140)
第三节 复合群体中绿肥生长期间对作物和土壤的影响.....	(141)
第四节 绿肥压青对土壤的影响.....	(143)
第五节 CMC 体制的结构单元及其能流模型.....	(143)

第六节	CMC 体制中土壤有机质的大小周期循环·····	(145)
第七节	CMC 体制中土壤有机质的更新和向异性累积·····	(147)
第八节	CMC 体制中土壤矿质养分的带状浓缩·····	(148)
第九节	用地和养地相结合在 CMC体制中的天然表现·····	(148)
第十节	豆科和禾本科绿肥牧草混播是提高产草量的措施·····	(149)
第十一节	混栽绿肥增产机制·····	(153)
第十二节	混栽草层对土体性质的反馈效应·····	(156)
第十三节	多种 CMC体制的人工栽培群落·····	(157)
第十三章	土壤生态系统中土体养分的化学控制·····	(159)
第一节	植物-土体界面的物质交换 ·····	(159)
第二节	影响物质交换的生态因素·····	(160)
第三节	土体中氮素养分的矿化和预测模型·····	(161)
第四节	氮素在土体中的去向·····	(162)
第五节	水稻施肥指标和V 字理论·····	(162)
第六节	土体潜在地力控制·····	(163)
第七节	作物品种特性与施肥·····	(164)
第八节	土壤系统中化肥能量转换的发展规律·····	(164)
第九节	化学肥料和我国作物单产·····	(168)
第十节	化肥的结构和生产方向·····	(169)
第十一节	提高化肥利用率的途径·····	(170)
第十四章	水层覆盖(稻田)的土壤生态系统·····	(172)
第一节	水田土壤生态系统的形成·····	(172)
第二节	水田土壤生态系统的物质循环·····	(177)
第三节	高产田生态系统与土壤生产力的提高·····	(180)
第四节	稻鱼共生的土壤生态系统·····	(187)
第五节	稻萍共生的土壤生态系统·····	(187)
第六节	水田半旱式耕作的土壤生态系统·····	(187)
第七节	水田土壤生态系统的退化·····	(188)
第十五章	地膜覆盖的土壤生态系统·····	(190)
第一节	地膜栽培是一个人工创造的新的土壤生态系统·····	(190)
第二节	地膜覆盖土壤生态系统的结构组成·····	(191)
第三节	地膜覆盖土壤生态系统中的光能·····	(191)
第四节	地膜覆盖土体表面的辐射平衡·····	(192)
第五节	地膜覆盖提高土温·····	(193)
第六节	地膜覆盖对土体热性质的影响·····	(195)
第七节	地膜覆盖增加土体含水量·····	(196)
第八节	地膜覆盖对土体水势的影响·····	(198)
第九节	地膜覆盖使土体中有效养分增加·····	(199)

第十节 地膜覆盖使土体变松..... (201)

第十一节 地膜覆盖防止土体返盐..... (201)

第十二节 地膜的土壤“公害”和克服..... (202)

主要参考文献..... (203)

上 编

基 本 理 论

生态学的系统概念和研究任务

自然土壤生态系统的研究

系统土壤学概念

土壤个体生态学和土壤景观生态学

土壤系统的耗散结构

土壤系统熵的计算和应用

农田土壤肥力分布结构模型

土壤信息与土壤系统控制

第一章 生态学的系统概念和研究任务

系统论和系统工程,以及其他系统理论和系统方法构成的系统科学的建立,是20世纪科学发展史上的伟大创举。它彻底改变了世界的科学图景和当代科学家的思维方式。系统论的创始人奥地利生物学家贝塔朗菲(1911—1972),最初把自己的学说称为“普通系统论”。这一理论来源于他在本世纪20年代提出的机体论。贝塔朗菲认为生物学中的机械论错误有三:(1)简单相加观点;(2)机器观点;(3)被动反应观点。他总结了机体论的成就,认为解释生命现象必需有:(1)系统观点;(2)动态观点;(3)等级观点。后来他又进一步把普通系统论发展成为包括系统论、控制论、信息论、管理理论、集合论、图论、网络理论等多门学科的理论和方法,并统称为“系统论”(Systems Approach)。其任务在于确立适用于各种系统的一般原则,因此具有广泛的含义,不仅涉及一切与系统有关的学科和理论,而且还研究系统技术和系统哲学。

什么叫系统?英国《牛津词典》的定义是“由互相连接或相互依存的组成事物或集聚事物所形成的复杂的统一体,根据学科方案或计划,有秩序地安排各个部分而形成的一个总体”。《韦氏大词典》的定义是“一个有规律地互相作用和相互依存的组成事物形成的统一体”。系统论则是一门研究自然界、社会和人的思维中的各种系统、系统联系和系统规律的“边缘学科”。它是自然科学、社会科学和技术科学相结合、相渗透的产物,因此也称为“中介学科”或“横断学科”。系统论与其他具体科学不同,不是以客观世界的某种物质结构及其运动形式为对象,而是以自然界及社会中所有事物的共同属性(系统性)及普遍联系的某一特定的共同方面(系统联系)作为研究对象。其科学方法,原则上适用于一切科学领域,具有跨学科性质,是一般科学方法论。

土壤学从系统论得到了启发,并从生态学和经济学吸收了营养,逐步进入了为生产服务的轨道。另一方面,系统论也向生态学渗透,形成了生态系统生态学(Ecosystem ecology)和系统生态学(System ecology)等专门学科。系统土壤学正是在这些学科的基础上产生的,因此,也可称为新的土壤生态学,以区别于旧的土壤生态学。要了解生态学的发展对土壤学的影响,或新的土壤生态学产生的历史背景,首先应了解生态学的基本概念及其研究任务。

第一节 生态学的系统概念

自Haeckle 1866年提出“生态学”这一名词以来,生态学在广度和深度方面都有很大的发展。Ecology和Economics两词的含义有共同之处,所以生态学可理解为有关生物的经济管理的科学,或称为生物经济学(Bionomics),Bionomics也可以译为生态学。

Haeckle最初把生态学定义为研究有机体与无机环境之间相互关系的科学。随着系统思

想的渗入，概念上也发生了变化。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。

这里引用的“系统”一词，系指若干相互作用的部分所构成的网络结构。网络是整体，构成网络的各部分之间具有相互调节和制约的作用；网络所表现的功能，是网络的集体效应。每个网络都有中心和边缘之分，组成网络的网结，随时间变化，亦有重要和次要之别，或敏感性强弱的差异。因此在机制作用方面，构成网络的网结，有同等的终极性（Equality），而整个网络则有整体的中心作用（Centralization）。

1. 生命系统 通常把生命系统分为七个水平，即细胞、器官、个体、群体、群落、生态系统、复合系统。生态学主要研究个体水平以上的等级，涉及个体生态、种群生态、群落生态，直到宏观的生态系统的研究。个体生态学着眼于环境分析；种群生态学主要研究种群大小在时间和空间上的变动，即数量、分布、动态、特征；群落生态学研究生物群落和环境的关系。群落及其环境组成自然界的基本功能单位，即生态系统。生态系统通过能量流动和物质循环形成一个整体。因此，生态系统和群落生态可在同一水平上来研究。

2. 环境系统 生物生存的空间，存在着若干结构和运动形态不同的物质。它们相生、相克，分解、组合，任何一个成分的存在状态，都在不同程度上受其他成分的影响。生命系统和环境系统两个系统在特定空间的结合，即构成“生态系统”。

经典生态学指出，生态系统必须由生产者、消费者、分解者等组成，近代生态学在概念上的一个突破是，任何一个系统，只要其中有一个组成部分是生物体，就可以视为生态系统。那么，生态系统和一般系统有什么区别呢？（1）在结构方面，它是有生命的物质，或是由有生命物质与无生命物质相结合而成。（2）通常与特定的空间相联系，因而反映一定的地区特征，以及与此相联系的空间结构（包括水平、层次、结构）。（3）具有发育、繁殖、生长和衰亡的特征，可分为幼年期、成长期和成熟期等阶段，从而产生了系统的“演替”。（4）代谢作用是通过复杂的能流及物质转化过程完成的。因此生态系统的生物成分通常可分成生产、消费、分解三个不同营养水平及功能水平。但单一的生物类群和环境一起也可理解为生态系统。（5）具有复杂的动态“平衡”，其复杂性不仅表现为种内、种间以及生物与环境之间的功能协调，而且在整体出现“平衡态”时，可能在子系统的某个作用过程中，存在着正负反馈的瞬间不平衡。（6）不论自然生态系或人工生态系，都不断从外界输入物质与能量，通过变换而输出，在结构复杂的复合系统中，包含着性质与格局完全不同的成分或子系统。

生态系统作为构成生物圈的一个功能单元，是一个具有复杂回路和因果关系的组织。系统内生物和非生物成分在因果关系紧密的结构中相互联结，每一局部都与另一局部互为因果。系统中的很多反馈线路存在于有机体与无机环境间，如同无数的生理过程存在于有机体内。我们通常所说的“生态平衡”，应该理解为一种符合经济利益的“生态稳态”，而不是指物质、能量输入输出在数量上的均衡。因为只有输入超过输出，生命才能存在。

生态系统的破坏，基本上可归纳为两种原因：一是功能破坏，如有毒物质侵入，环境严重污染，水分大量损失，水热平衡失调等；另一是结构破坏，如森林、草原等植被破坏以及食物链的中断等，能否恢复要看该系统的性能和破坏的程度。

第二节 生态系统中的能流

在生态系统中，几乎所有做功的能源都是来自太阳。地球自大气圈外接受的太阳辐射能大约是 $8.37\text{焦/厘米}^2/\text{分}$ ，称为太阳常数。但并不是所有的这些能量都能达到地面（Woodwell, 1970），事实上，到达地面的能量各处差异很大。大部分的太阳能被大气层中的尘埃和云层反射回空中，有的被大气层吸收而转变成化学能和热能，或以电磁波的形式重新辐射。完全穿过大气层到达地表的太阳能就被土壤、水分反射或吸收，或再辐射到空中。因而，只有一小部分的太阳能对于维持生命是有效的（见图1-1）。高级的生物群落大约能把总辐照量的3%转变成生物化学能，而大部分的生物群落只能转化总辐射的1%（Woodwell, 1970）。

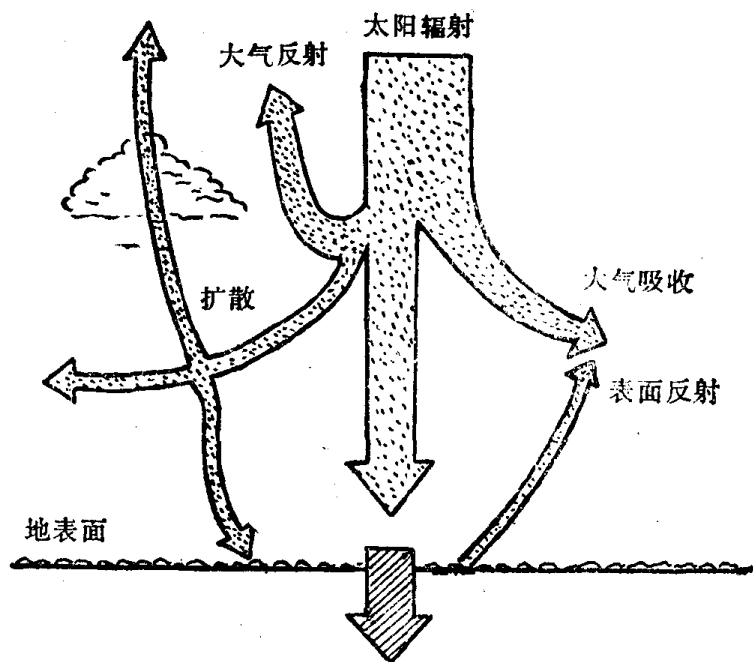


图1-1 太阳辐射进入地表大气层，只有1—3%的辐射被植物光合作用所利用

生物或者利用光辐射能，或者利用由有机分子固定的能量。

绿色植物（自养型）的光合作用把太阳能转变成化学能。光合作用的过程也就是在含有叶绿素的植物细胞内把二氧化碳和水分转变为糖。这种转变成化学能的太阳能总量称为初级生产（primary production）或基础生产。组成这一初级生产的一些糖用于植物细胞呼吸作用。呼吸作用后留下的化学能（净初级生产）能够以淀粉或以植物组织中其它化合物贮存起来。光合作用的产物也会转变成更为复杂的物质，如蛋白质和脂肪类，进而结合成新的植物组织。这种净初级产物形成了生态系统中非光合作用的生物质，从而有效地利用转化太阳能。

生态系统的净初级生产的水平，取决于各种因素，包括太阳辐射总量、温度、降雨和氮、磷、钾等主要养分的有效性。总的说来，在湿润气候带的生态系统的生产力比干燥地区强，而温暖地区又比寒冷地区强。因此，具有水分、养分和化学能等物质输入的生态系统的生产力比输入少的系统高。例如，热带雨林的净初级生产是温带沙漠的80倍，而温带针叶林则是冻原的100多倍（Deevey, 1971）。有关温度、湿度、土壤植被类型和几种初级生产力关系的资料（Rodin等, 1975）示于表1-1。

绿色植物组织中所含的化学能，是生态系统中其他生物体所需能量的最初来源。在较复杂的生态系统中，能量不是沿着一种简单的链流动。能流的途径在称为食物网的网状结构中盘绕交错。

上述营养关系称为草食物链或网，这是最常见的生态系统样式。绿色植物形成了营养结

表1-1 世界几种主要土壤-植物型式的温湿特征与年初级生产力之间的关系

气候带	水热特性	土壤-植物型式	年初级生产 (吨/公顷)
极 地	潮 湿	极地沙漠	1.0
	潮 湿	冰沼带的冰沼土	2.5
北 方 带	潮 湿	灰壤太加针叶林	7.0
	潮 湿	灰壤上南太加的针叶林	7.5
半北方带	潮 湿	灰色森林上的阔叶林	8.0
	潮 湿	棕色森林土的阔叶林	13.0
	干 旱	灰棕沙漠土的沙漠半灌林	1.5
亚 热 带	潮 湿	红黄壤的阔叶林	20.0
	干 旱	亚热带漠土	1.0
热 带	潮 湿	铁质红壤的潮湿热带林	30.0
	干 旱	热带漠土	1.0

构的基础，我们说它们是初级生产者。植物组织供养各种称为初级消费者的草食类动物，这样由植物制造的一些化合物，由草食类动物的吃食而转变成动物组织。草食类动物又被肉食类动物取食，许多肉食类动物又被更高级的肉食类动物所吃。因此能归于一个营养水平的每个种类和这一生态系统中其它种类都有联系，就象一个连接的链条一样（见图1-2），但这种食物链的概念太简单，只能用于很少几种生态系统。在大多数生态系统中，每一营养水平

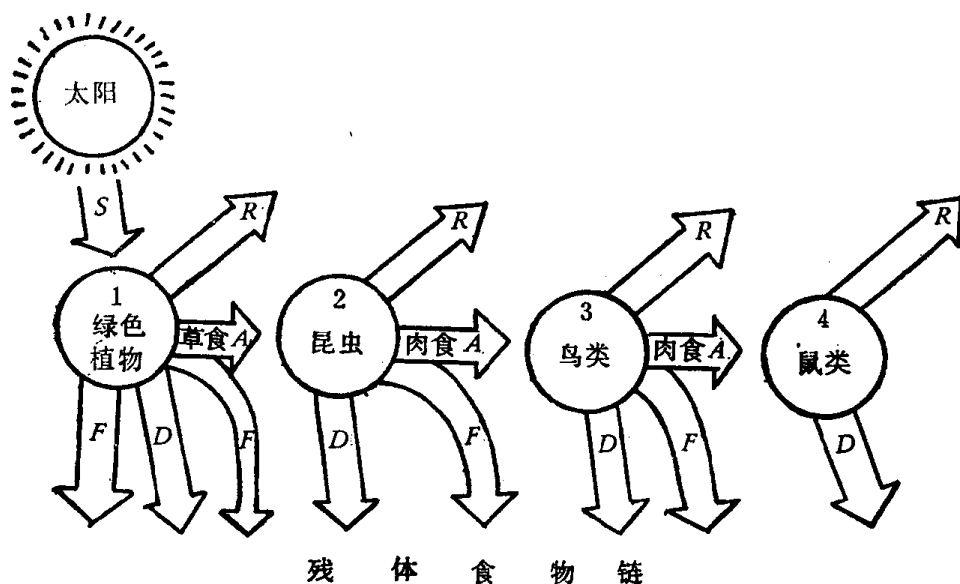


图1-2 典型的草食链表示通过生态系统的能流

S ——进入系统的太阳能 A ——被连接的养分水平组成所同化的有效能量 D ——搞碎和分解的损失能量 F ——排泄物和其他废弃物形态的损失能量 R ——通过呼吸作用的损失能量

上都有许多种类。有些草食类是专化的,而有些则由许多种植物供养。同理,因食物习惯过于专化而归于单一营养水平的肉食性动物也不多,许多肉食类动物是兼食的,有时由草食供养,其余的由肉食供养。因此,构成草食食物链的所有生物体生产的废物也同样是如此。这些废物和未腐烂的动植物尸体占有的能量约为生态系统能流的一半或更多一些。消耗或分解这些物质的生物体构成了残体食物链或网。这些很少能看到的有机体混合物和复杂的草食食物链的种类很少具有相同的特性,因为分解者不能被指定在专门的营养水平上。

草食食物链和残体食物链不是孤立作用的系统,能流的两条途径是密切相互作用,首先由残体食物链提供材料,其次是组成草食食物链,而后能量再返回到残体食物链。对残体分解起作用的大量腐食动物最终成为许多肉食类动物的食物,例如,食虫鸟消费蚯蚓和残体喂饲的虫类,也能消费食叶性昆虫类。此外,残体能成为许多昆虫幼虫期及靠草食食物链而成为动植物供养的成虫的主要食物来源。因而除了通过残体食物链的能流外,这残体食物链供给绿色植物逐渐分解的物质及维持生命所必须的养分再循环,这就是各种肉食类常有的能量短循环(见图1-3)。

一个生态系统能流的效率取决于它的生物组成和物理环境的状况。在草食食物链内,光和热取决于光合作用和动物的活动;但目前对物理环境之于残体食物链作用的重要性了解得很少。残体分解的速率很大程度上决定于温度、湿度和可利用的氧。当空气温暖、潮湿和通气良好时,残体的分解迅速。因为生物体分解者的呼吸作用旺盛,如蚯蚓以及一些节足动物的活动不断扰动土壤,从而增加了氧的有效性。当温度降低时,呼吸作用和分解作

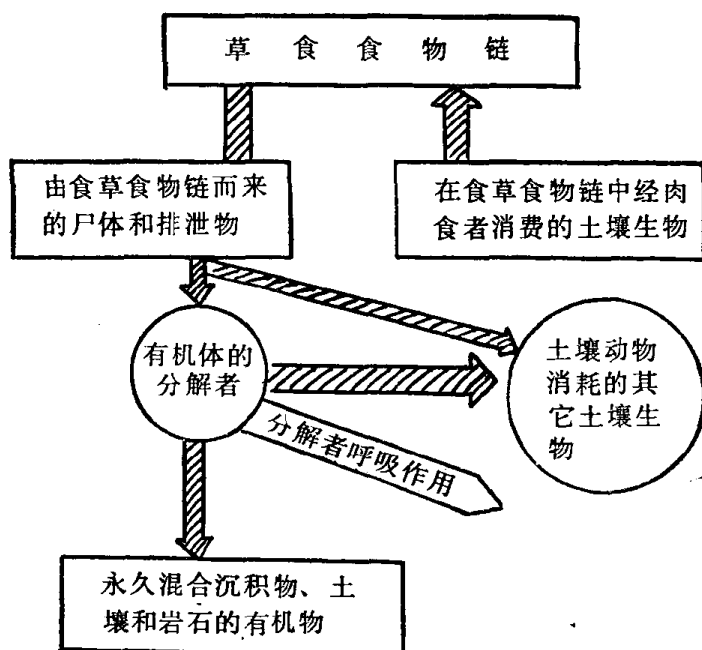


图1-3 残体食物链和草食食物链之间的能量转移及其能量消失的主要途径

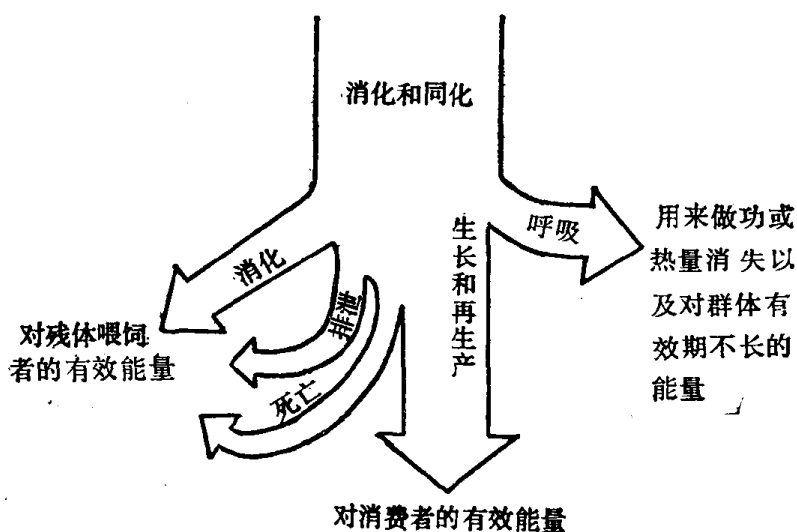


图1-4 食草食物链的内部联结的能量位置