

家畜生态学

滕小华◎编著

Jiachu Shengtaixue



家畜生态学

滕小华 编著

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

家畜生态学/滕小华编著. —北京: 中国农业出版社,
2007. 12

ISBN 978-7-109-12386-1

I. 家… II. 滕… III. 家畜—动物生态学—高等学校—
教材 IV. S811.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 178845 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)

(邮政编码 100125)

责任编辑 殷 华

中国农业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行
2008 年 3 月第 1 版 2008 年 3 月北京第 1 次印刷

开本: 720mm×960mm 1/16 印张: 8.75

字数: 150 千字

定价: 10.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

编 著 滕小华（东北农业大学）

主 审 包 军（东北农业大学）

前 言

家畜生态学是将生态学与畜牧学相结合，于20世纪30年代以后逐渐形成、发展起来的一门新兴学科，是研究家畜与其生存环境的关系和规律的一门应用科学。我国著名养羊学家汤逸人教授从20世纪50年代到70年代末开始倡导家畜生态学，并对我国家畜生态学的发展作出了卓越贡献。目前我国部分农业院校开设了家畜生态学课程，李震钟教授担任主编的第一部家畜生态学教材——《家畜生态学》于1985年出版，并于1997年5月由中国农业出版社再版。

本教材共分七章：第一章为绪论，简明扼要地介绍了家畜生态学的概念、发展简史、研究方法及生态学分支学科；第二章为家畜与环境相互作用的基本原理，论述了家畜的环境和生态因子作用的一般规律；第三章为家畜的适应，论述了适应的概念与规律、适应的类型、家畜对特殊环境的适应、家畜的风土驯化与引种和家畜的生物学周期；第四章为家畜的生态分布，介绍了影响家畜生态分布的主要环境因素、各畜种的分布特点、中国家畜的生态分布和世界家畜的生态分布；第五章为种群生态，介绍了种群生态的基本概念、种群增长和自然种群数量变动；第六章为群落生态，介绍了生物群落的概念和特征、种群间的相互作用和生物群落的演替；第七章为生态系统，介绍了生态系统的概念和组成成分、生态系统中的能量流动、生态系统的物质循环、生态平衡和生态系统的主要类型。

由于家畜生态学的内容极其广泛，又与多门学科相互渗透，鉴于作者的水平，不当之处乃至错误难免存在，敬希广大学者和读者批评指正。

编 者

2008年3月

目 录

前言

第一章 绪论	1
第一节 家畜生态学定义、研究对象及目的	1
一、生态学定义	1
二、家畜生态学定义	1
三、家畜生态学研究对象及目的	2
第二节 家畜生态学发展简史	2
一、生态学发展史	2
二、家畜生态学的发展	9
三、近代生态学的特点	10
第三节 生态学分支学科	11
第四节 研究家畜生态学的意义	12
第二章 家畜与环境相互作用的基本原理	14
第一节 家畜的环境	14
一、家畜的环境	14
二、家畜的自然环境	14
三、家畜的环境因子	17
第二节 生态因子作用的一般规律	17
一、最小因子定律	17
二、谢尔福德 (V. E. Shelford) 的耐受定律 (Law of Tolerance)	19
三、限制因子	21
四、生态因子的综合作用	21
五、生态因子的不可替代性和可调剂性 (或补偿性)	22
六、生态型	23
第三章 家畜的适应	24
第一节 适应的概念与规律	24
一、适应的概念	24

二、适应的基本原理·····	25
三、适应过程的调节·····	26
第二节 适应的类型·····	27
一、形态适应·····	27
二、生理适应·····	30
三、遗传适应·····	30
第三节 家畜对特殊环境的适应·····	31
一、家畜对于旱沙漠环境的适应·····	31
二、家畜对严寒和高海拔环境的适应·····	34
三、家畜对致病因子的适应·····	35
第四节 家畜的风土驯化与引种·····	36
一、风土驯化·····	36
二、引种·····	37
第五节 家畜的生物学周期·····	38
一、生物学周期·····	38
二、生物学周期假说·····	39
第四章 家畜的生态分布·····	42
第一节 影响家畜生态分布的主要环境因素·····	42
一、自然环境·····	42
二、社会环境·····	46
第二节 各畜种的分布特点·····	47
第三节 中国家畜的生态分布·····	48
一、中国气候简介·····	48
二、中国的自然区·····	49
三、中国牧业分区概况·····	49
四、中国家畜的类型和分布·····	52
第四节 世界家畜的生态分布·····	57
一、世界家畜分布的生态地理区·····	57
二、世界家畜的分布·····	58
第五章 种群生态·····	63
第一节 基本概念·····	63
一、种群的概念·····	63
二、种群的基本特征·····	63
三、同种生物集群的生物学意义·····	65

四、种群的群体特征·····	65
第二节 种群增长·····	68
一、种群的指数增长·····	69
二、环境容纳量·····	70
三、逻辑斯谛增长·····	70
第三节 自然种群数量变动·····	72
一、自然种群数量变动·····	72
二、阿利氏规律·····	72
三、种群调节的机制·····	73
第六章 群落生态·····	76
第一节 生物群落的概念和特征·····	76
一、生物群落的概念·····	76
二、生物群落的特征·····	77
三、生态入侵·····	80
第二节 种群间的相互作用·····	81
一、互利共生关系·····	82
二、种间竞争·····	86
三、捕食与被捕食关系·····	87
四、寄生关系·····	89
第三节 生物群落的演替·····	91
一、概念·····	91
二、生物群落演替的主要原因·····	92
三、演替方向·····	92
第七章 生态系统·····	95
第一节 生态系统的概念和组成成分·····	95
一、系统的概念·····	95
二、生态系统的概念·····	96
三、生态系统的组成成分·····	97
第二节 生态系统中的能量流动·····	99
一、能量流动和转化规律·····	99
二、食物链和食物网·····	100
三、食物链的基本类型·····	101
四、营养级·····	102
五、生态金字塔·····	103
第三节 生态系统的物质循环·····	104

一、基本概念	104
二、物质循环的类型	106
第四节 生态平衡	109
一、生态平衡	110
二、生态系统的反馈	110
三、生态系统的自我调节	111
四、生态阈限	111
五、生态平衡的理解	112
六、生态平衡失调的主要原因	112
第五节 生态系统的主要类型	116
一、陆地生态系统	116
二、水域生态系统	121
三、人工生态系统	121
英文名词索引	123
参考文献	127
编后记	130

第一章 绪 论

第一节 家畜生态学定义、研究对象及目的

一、生态学定义

生态学 (ecology) 是一门年轻的学科, 它的发展史不到 200 年。Ecology 一词来源于希腊文 Oikos 和 Logos, 前者是房子、居所或住所的意思; 后者是科学研究或学问的意思。生态学这个名词最早出现在 19 世纪下半叶。1869 年, 生态学鼻祖德国动物学家海克尔 (Ernst Haeckel) 首先对生态学做了如下定义: “生态学是研究生物与有机、无机环境全部关系的科学”。每种生物都适应一定的环境。有些生物适应于特定的环境, 只有在特定的环境下, 人们才能找到它们的踪迹。例如猪蛔虫的中间宿主是猪, 猪蛔虫寄生在猪的小肠里。有些生物适应的环境非常广, 如黄牛分布很广, 无论在农区或牧区, 也无论气候寒冷或炎热, 我们都能看到它们的踪影。值得一提的是, 生态学这个词中的 eco- 与经济学的关系密切, 有人又把生态学理解为有关生物的经济管理科学。在教科书中也就有了《自然的经济学》(Economics of Nature) 和《生物经济学》(Bionomy) 这样的教材。

现在普遍接受的定义是: 生态学是研究生物与其环境之间相互关系及其作用机理的科学。“生”是指生物; “态”是指生物赖以生存的环境。

二、家畜生态学定义

家畜生态学 (livestock ecology) 是家畜生产需要的产物, 是生态学原理运用于家畜生产中而形成的一门新学科。家畜生态学这一科学术语, 最初是由原苏联动物学家 Д. Н. 卡什卡罗夫 (Д. Н. Кашкаров) 在 1933 年发表的关于中亚绵羊的论文中提出来的, 但他没有给出定义。后来, 日本学者加唐胜三在 20 世纪 30 年代、德国学者 S. 陶希齐 (S. Tassig) 在 20 世纪 40 年代相继使用了“家畜生态生理”这一术语。1954 年, 英国畜牧学家 N. C. 怀特 (N. C. Wright) 在《农畜生理学进展》(Progress in the Physiology of Farm Ani-

mals) 中以“家畜生态学”为题写了长篇综述, 指出: “生态学是生物学的一个分支, 专门研究活的有机体与其环境之间的关系。研究家畜生态学时, 还必须将家畜与人类社会、经济, 尤其是与人类的生产力之间的关系包括在内。”我国已故养羊学家汤逸人教授, 从 20 世纪 50 年代起一直奋力倡导家畜生态学。他在 1962 年发表的《家畜生态学》一文中指出: “家畜生态学是畜牧学科的有关分支, 专门研究环境条件 (主要是自然条件和饲养管理条件, 同时亦包括人类社会、经济因素在内。) 对家畜种类及数量分布、形态及机能的影响, 以及不同种和不同品种家畜的适应性和风土驯化。”日本学者三村耕博士在 1978 年指出: “家畜生态学研究家畜——环境生态系统中家畜与环境之间的相互作用” (李震钟, 1997)。这些论述分别从不同侧面阐明了家畜生态学的定义和内涵。把这些见解汇总起来, 家畜生态学的定义就是: “家畜生态学是研究家畜与其环境之间相互关系及其作用机理的科学。”

三、家畜生态学研究的对象及目的

家畜生态学是研究家畜与其生存环境之间在不同层次上的相互关系的科学。家畜生态学的研究对象是家畜的生态现象, “即以家畜为一方, 以它们的生态环境为另一方, 二者在相互影响与不断统一的过程中所形成的状态”。研究重点是家畜, 但也包括家养的其他哺乳动物、鸟类、鱼类和昆虫。这些动物是由人类饲养的, 目的是生产动物性产品。家畜既是消费者, 又是转化者, 它们的生态现象不仅表现为一般生物现象, 而且包括许多经济指标。这就是说在家畜的环境中, 人类社会因素占据着极其重要的地位。研究家畜生态学的目的就是通过分析研究家养动物与其生存环境之间的相互关系, 找出其中的规律性, 用以指导生产, 提高畜牧业的经济效益、生态效益和社会效益。

第二节 家畜生态学发展简史

一、生态学发展史

生态学作为生物科学的一个独立分支, 是在实践的基础上产生的。生态学的发展史大致可概括为三大阶段: 生态学建立期 (生态学思想的萌芽时期)、生态学成长期和现代生态学发展期 [主要根据孙儒泳 2001 年出版的《动物生态学原理》(第三版)]。

（一）生态学建立期（生态学思想的萌芽时期）

由公元前 2 世纪到公元 16 世纪的欧洲文艺复兴时期，亦可称为生态学思想的萌芽时期。

关于生态学的知识，最原始的人类就已经有了。原始人类为了生存已经初步掌握了生态学的基本常识，如为了利用生物，渔猎生活时代的人们对各种猎物的习性和生态特征就已经有所了解。人类在与大自然的斗争中，早就注意到生物和季节以及生物和生物之间的关系。如牧民对牛、羊、马，渔民对鱼、贝、虾都有较多的了解，这里就包含了许多生态学知识。只不过这些生态学知识在当时尚未形成系统的科学而已。到目前为止，劳动人民从实践中获得的动植物生活习性方面的知识，依然是生态学知识的一个主要来源。

从文字记载上看，在我国和希腊，许多古代著作和歌谣反映了生态学思想。我国的《诗经》中就记载着一些动物之间的关系，如“鹊巢”的“维鹊有巢，维鸠居之”，说的是鸠巢的“寄生”现象。又如：北魏时期农学家贾思勰在《齐民要术》中详细论述了根据不同季节和气候条件进行农业生产的问题，他提出了“顺天时，量地利，则用力少而成功多；任情反道，劳而无获。”李时珍在《本草纲目》中对中国猪、羊的生态地理特征作了极好的概括，他写到：“猪天下畜之，而各有不同。生青兗徐淮者耳大，生燕翼者皮厚，生梁雍者足短，生辽东者头白，生豫洲者味短，生江南者耳小（谓之江猪），生岭南白而极肥”；对于羊他写道：“河西羊最佳，河东羊亦好。若驱之南方，则筋力自劳损。安能补益人？今南方羊多食野草、毒草，故江南羊少味而发疾。……北羊至南方一、二年，亦不中食，何况于南羊，盖土地使然也。”

在西方，公元前 450 年，希腊的安比杜列斯（Empedocles）就注意到植物营养与环境的关系。亚里士多德（Aristotle）不仅描述了动物不同类型的栖息地，还按动物生活环境的类型，把动物分为水栖和陆栖，又按食性分为肉食、草食、杂食及特殊食四类。亚里士多德的学生提奥弗拉斯图斯（Theophrastus）也注意到动植物与自然环境的关系，其中包括气候及植物生长的不同位置对植物生长的影响，并注意到动物皮肤颜色的变化是对环境的适应。因此，他曾被认为是史以来的第一个生态学家。在希腊和罗马人之后，西方生态科学停滞了 1 000 年左右。

（二）生态学的成长期

从公元 17 世纪到 20 世纪 40 年代，是生态学的成长期。

曾被推许为第一个现代化学家的鲍尔（Boyle），在 1670 年发表了低气压

对动物的效应试验,标志着动物生理生态学的开端。1735年,法国的雷莫尔(Reaumur)在其六大卷著名的昆虫学著作中,记述了许多昆虫生态学资料,他也是研究积温与昆虫发育生理的先驱者。法国博物学家布丰(Buffon, 1749)强调生物种的可变性以及生物的数量动态概念,他的“生物变异基于环境的影响”原理,对近代动态生物学发展具有重要的影响。18世纪末,1798年马尔萨斯(Malthus)发表了著名的《人口论》,科学地阐述了人口增长与粮食生产的关系,引导人们把人口问题与环境承受能力联系起来进行研究。他的学说对达尔文进化论有重要的影响。1807年,汉堡德(Humbolt)创造性地结合气候与地理因子的影响,描述了物种的分布规律。1859年,法国的圣希莱尔(Saint Hilaire)首创“ethology”一词,以表示有机体与其环境之间的关系,但后来一般将此词作为动物行为学的名词。随后格罗杰(Gloger, 1833)、白格曼(Bergmann, 1841)、利比希(Justus Von Liebig, 1843)、威尔逊(Wilson, 1854)、达尔文(Darwin)等人接连发表了许多文章,论述生物与外界环境的关系。1869年,海克尔提出了生态学(Ecology)这一术语,并且下了定义,自此生态学初步形成。1877年,德国的摩比乌斯(Mobius)创立生物群落(biocoenosis)这一概念。1890年,麦利安姆(Merriam)首创生物带(life zone)概念。1896年,德国的斯洛德(Schroter)始创个体生态学(autoecology)和群体生态学(synecology)这两个生态学概念。

20世纪初,生态学已成为一门学科。在第一个10年中,生态学的发展主要表现在以下几个方面:①动物行为学。如英国詹宁斯(Jennings, 1906)的《无脊椎动物的行为》;美国伯尔(Pearl)的《涡虫的行为》(1903),《蚂蚁的社会性行为》(1910)。②发育和耐受性生理学。如德国的巴赫米恰夫(Bachmetjew, 1907)对光和温度在昆虫各发育时期及地理分布作用的研究;美国白葛德(Packard, 1905)发表低氧张力与某些海洋鱼类和海洋无脊椎动物的生存关系,以及有机体暴露在外界因素各种不同程度耐受性极限的论文。③水生生物学。如德国福勒尔(Forel, 1901)的《普通湖沼学》,人们认为他是这门学科的奠基者;英国约翰斯敦(Johnstone, 1908)的《海洋的生活条件》。④一般群落生态学。如美国达文波特(Davenport, 1903)的动物群落生态学;福比斯(Forbes, 1909)的玉蜀黍及其害虫的生态学等。⑤生态演替。如美国谢尔福德(Shelford, 1907)的虎斑瓢虫(*Cicindela*)的分布与植物演替的关系,以及他在1911—1912年有关其他许多生态演替的研究;美国阿当斯(Adams, 1909)的鸟类生态演替。此外,伯莱克门(Blackman, 1905)还分析了环境因子,提出了最适度和限制因子的见解。

在20世纪第二个10年中,有关生态学文献资料所涉及的范围和内容更加

广泛。同时在这段时间内,由于物理、化学、生理、气象学及统计学等领域科学技术的发展,促进了生态学研究方法和测定技术的改进。在这一时期中有不少生态学方面的著作。如亚当斯的《动物生态学的研究指南》(1913),可以说是第一本动物生态学教科书;谢尔福德的《温带美洲的动物群落》(1913);尼德汉姆(Needham, 1916)的《内陆水域的生物》;华尔得(Ward)和威伯尔(Whipple)的《淡水生物学》(1918);约丹(Jordan)和凯洛(kellogg)的《动物的生活与进化》(1915)等。此外,还有不少有关研究生态演替和群落生态方面的文章。

在随后的10年中,生态学继续发展并成熟起来。在这一时期,生态学的发展已不像过去那样只停留在现象的描述上,而是着重于解释这些现象。与此同时,对种群研究的兴趣得到迅速发展。例如,伯尔利用数学方法分析种群生长;洛特卡(Lotka, 1926)提出数学模型,描述两个种群间的交互作用。在此时期内有关生态学的著作主要有:美国伯斯(Pearse, 1926)以及英国埃尔顿(Elton, 1927)分别著述的《动物生态学》,它们是当时一般大学生态学工作者采用的两部教科书;谢尔福德1929年发表的《实验室及野外生态学》;德国赫赛(Hesse, 1924)所著的以生态学为基础的《动物地理学》,是当时的重要著作之一;德国田尼曼(Thienemann, 1926)发表了《湖沼学》一书,在此以前,田尼曼曾以生产者和消费者的名称提出了营养级的概念。

到了20世纪30年代,生态学已较成熟,出现了大量的生态学研究成果和著作。在一般生态学方面,主要有美国查普曼(Chapman, 1931)以昆虫为重点的《动物生态学》;威尔希(Welch, 1935)的《湖沼生物学》;英国比尤斯(Bews, 1935)的《人类生态学》;博登海默(Bodenheimer, 1938)的《动物生态学问题》。我国著名鱼类学家费鸿年(1937)的《动物生态学纲要》也是在此期间出版的,这是我国第一部动物生态学著作。还有谢尔福德(Shelford, 1939)的《生物生态学》等。另外,在种群生态学方面,有阿利(Alee, 1931)的《动物集群》,罗利麦(Lorimer, 1934)的《种群动态》等。此外,英国坦斯利(Tansley, 1935)首创生态系统这一概念。

在20世纪40年代,美国的湖沼生物学者伯奇(Birge)和朱岱(Juday)通过对湖泊能量收支的测定,发展了初级生产的概念。从他们的研究中,产生了生态学的营养动态的概念。1942年林德曼(Lindemann)提出了有关生态系统内部能量流动规律的“十分之一定律”,标志着生态系统能流研究的开端。1945年,前苏联卡什卡洛夫(Кашкаров)的《动物生态学基础》问世。在此期间,美国的阿利(Allee)和伊麦生(Emerson)等人写了一部内容极为广泛的《动物生态学原理》(1949),此书被公认为是当时最完整的一本动物生态学

教材，它标志着动物生态学已进入了成熟期。

(三) 现代生态学的发展期

20 世纪 50 年代以来，生态学的发展更为迅速，主要表现在：

1. 种群生态学的进一步发展，尤其是关于种群调节和种群数学模型的研究 50 年代的冷泉港会议是种群调节问题的大论战。从尼科尔森 (Nicholson) 的《动物种群的平衡》开始，到英国的拉克 (Lack, 1954) 发表的《动物数量的自然调节》，澳大利亚安德列沃斯 (Andrewartha, 1954) 的《动物的分布与多度》，前苏联的纳乌莫夫 (Наумов, 1955) 也著有内容较为丰富的、有价值的《动物生态学》(1963 年再版)。在种群调节学说中，还发展了自动调节学说，如美国的克里斯琴 (Christian, 1950) 的内分泌调节学说，温·爱德华 (Wynne-Edwards, 1952) 的行为调节学说和奇蒂 (Chitty, 1955) 等的遗传调节学说。在 70 年代 Hutchinson (1977), Dempster (1975), Varley (1974), Caughley (1977), Snyder (1976), MacArthur 等 (1966), Solomon (1976) 和 Williamson (1972) 等分别出版了种群生态学专著。加拿大的克雷布斯 (Krebs, 1972, 1978, 1985, 1994, 2001) 的生态学教科书强调了对自然种群的实验分析，他的书自 1972 年以来已出了五版，并被各国生态学工作者公认为是一本好的教科书。另一方面，梅 (May, 1974, 1981) 等应用数学模型方法从理论上进行种群研究，获得颇有成效的进展，并发展了理论生态学。哈帕尔 (Harper, 1977) 突破了研究植物种群的困难，发展了植物种群生态学，如 Silvertown (1982) 的《植物种群生态学引论》，并使动、植物种群生态学融为一体，如 Begon 等 (1981) 的《种群生态学：动植物研究的统一》和以后的许多普通生态学教材。特别值得一提的是 Begon、Harper 和 Townsend (1986, 1990, 1996) 合著的《生态学：个体种群和生物群落》一书，很有代表性。60 年代后，种群遗传学与种群生态学交叉结合，形成了统一的种群生物学和生态遗传学，如 Ford (1964) 的《生态遗传学》，Sorbrig 等 (1979) 的《种群生物学引论和进化论》，Roughgarden (1979) 的《进化遗传学理论与进化生态学》，Merrell (1981) 的《生态遗传学》(有中译本，1991)。

2. 生态学、行为学和进化论相结合，形成了很有发展前景的进化生态学 进化生态学的提出者是 Orians (1962)，并且在 20 世纪 70 年代取得较显著的进展，一时出现多本专著，如 Pianka (1974)、Emlen (1973)、Shorrocks (1984) 和前苏联学者所著并译成英文的 Shvarts (1977) 都以《进化生态学》和类似书名出版，Futuyma (1983) 则编著了《协同进化》一书。

3. 行为生态学的发展 德国的罗伦兹 (Lorenz, 1950) 和丁伯根 (Tinbergen, 1951, 1953) 发展了行为生态学, 他们二人均是诺贝尔奖金获得者。他们的工作把行为研究提高到一个新阶段。Wilson (1975) 的《社会生物学: 新的综合》是一部名著, 随后 Krebs J. 等 (1981, 1987, 1993) 编写了第一本《行为生态学引论》专著, 并先后出了三版。从进化论角度研究行为的有 Alock (1975) 的《动物的行为: 进化研究》和 Barnard (1983) 的《动物的行为: 生态学和进化论》, Krebs 等 (1978, 1984, 1991, 1997) 的《行为生态学》。

4. 化学生态学的形成 种间和种内相互作用, 都会依赖于化学物质, 它又是群落和生态系统的基础, 但生态学考虑信息的作用时间不长。第一本是 Sondheimer 等 (1969) 的《化学生态学》, 以后有 Barbier (1979) 的《化学生态学引论》(1976 法文版译出), 并由此发展形成了生物化学生态学, 如 Harborne (1988) 的《生态生物化学引论》。

5. 群落生态学的发展 20 世纪 70 年代以后群落生态学有明显发展, 并标志着由描述群落结构, 经定量分析, 包括排序和数量分类, 进而探讨群落结构形成的机理。如 Strong 等 (1984) 的《生态群落》, Gee 等 (1987) 的《群落的组织》(Organization of Communities) 和 Mastings (1988) 的《群落生态学》文集。Tilman (1982, 1988) 则从植物对资源竞争模型研究开始发展了群落结构理论, 如《资源竞争与植物群落》和《植物对策与植物群落的结构和动态》。Schoener (1986) 则明确提出《群落生态的机理性研究: 一种新还原论?》。

6. 生态系统生态学的发展 生态系统生态学研究可以说是 70 年代以后生态学发展的主流, 这是从 E·奥德姆 (E. Odum) 开始的。他的《生态学基础》一书出了三版 (1953, 1959, 1971), 对生态学教学和研究的产生产生了重大影响。他的弟弟 H·奥德姆 (H·Odum, 1957) 和哈奇森 (Hutchinson, 1970) 分别从营养动态概念着手, 进一步开拓了生态系统能流和能量收支研究。英国奥维英顿 (Ovington, 1957) 和前苏联罗丁 (Rodin) 和瓦西列维克 (Bazilevic, 1967) 相继研究了营养物质循环。E·奥德姆和马格列夫 (Margalef, 1967) 进一步研究了生态系统中结构和功能之间的调节和相互作用, 到 Polunin (1986) 的《生态系统理论和应用》文集。生态系统的分解作用在 Odum 以后进一步受到重视, 如 Swift 等 (1979) 的《陆地生态系统的分解过程》。另一方面, 在食物网的理论研究上也有明显进展, 特别是一些统计规律和预测模型 (如级联模型 cascade model), 主要成果有 Cohen (1978) 的《食物网和生态位空间》, 1990 年的《群落食物网: 资料 and 理论》及 Pimm