



# 土壤生态系统

## The Soil Ecosystem

杨林章 徐 琪 主 编



科学出版社

[www.sciencep.com](http://www.sciencep.com)

# 土壤生态系统

杨林章 徐 琪 主编

科学出版社  
北京

## 内 容 简 介

本书论述了土壤生态学的发展历程、土壤生态系统的结构特点与功能类型、养分循环特征、能流传递特点,土壤生态系统的演变、空间格局与生态分区等,还介绍了主要土壤生态系统类型,如湿地、草原、森林、农业与农林复合土壤生态类型及其特点,以及退化生态系统的恢复与重建、土壤生态保护与农业可持续发展等问题。

本书可为从事土壤科学、农业生态学及环境科学研究的科技工作者及大专院校的教师、研究生等提供参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

土壤生态系统 / 杨林章, 徐琪主编. —北京: 科学出版社, 2005

ISBN 7-03-015182-8

I. 土… II. ①杨…②徐… III. 土壤生态体系 IV. S154.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 021175 号

责任编辑: 彭胜潮 刘卓澄 韩 鹏 / 责任校对: 宋玲玲

责任印制: 钱玉芬 / 封面设计: 王 浩

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

源海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2005 年 10 月第 一 版 开本: 787 × 1092 1/16

2005 年 10 月第一次印刷 印张: 21 3/4

印数: 1—1 500 字数: 496 000

定价: 65.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈环伟〉)

## 《土壤生态系统》编辑委员会

主 编 杨林章 徐 琪

编 委 蔡祖聪 章家恩 董元华 颜廷梅

丁维新 夏立忠 王 辉 孙庆业

张小川

# 前 言

土壤生态系统是生态学新的学科分支,也是生态学与土壤学融合而成的综合性学科。它的发展与生态环境越来越受到人们的普遍关注是分不开的。

随着科学的发展,生态学与土壤学研究内容都在不断扩展,已有不少新的著作问世。在大型工程建设设计中,必须首先进行生态与环境评价,这已列为国家制定的法规之一。

目前在许多生态学家的著述中,土壤被称为环境因素,在其论述生态系统物质循环与能量转化中也承认所起的重要作用。但因土壤与生物间以及土壤库本身物质与能量转化的机理复杂,有些尚未探明底细,所以多以“黑箱”或“灰箱”一词一言蔽之。因此欲探查生产者、消费者与分解者之间以及同环境之间在物质与能量转化过程的内涵关系,土壤生态系统的研究就成为不可或缺的课目之一。自20世纪70年代末80年代初当生态学研究在我国科技界兴起之时,不少老一辈土壤学家就积极参与了土壤生态系统的研究行列。

从土壤科学的视角看,土壤居于营养元素循环与能量转化的核心。土壤既是绿色植物所需养分与水分的供给库,也是地球表层废弃物的消化机。如果陆地表层的土被失去功效或因土被退化而导致机能衰竭,不仅可导致绿色世界变得枯萎,而因生物代谢所产生的大量排泄物与凋落物必将大量堆积地表,进而污染并威胁人类生存的环境。

随着科学的进步,土壤生态学科的研究内容亦逐步充实与拓展。土壤生态系统著述的内容也不断增加。在本著作中首先回顾了土壤生态学的发展历程,展望学科发展趋向,分析了土壤生态系统在陆地生态系统中的地位,不论营养元素循环,还是有机物料的转化均无一脱离地球表面铺陈的土被。当然土壤生态系统也具有自身的结构特点与功能转换机制。在探讨了土壤生态系统中生物种类及其功能,特别在物质转化过程中的作用。土壤生态系统与其他生态类型一样,不仅在空间上呈现有规律的分异格局,而且还随时间推移而不断演化,这种演化过程接受自然与人类经济活动双重力量的趋动,在其进程中既有进化过程,也有退化过程,土壤生态退化已成为当代研究热点,对此也进行了论述。

我国地域辽阔土壤生态类型多种多样,在简述了原始土壤生态演化特点起始,依次论述了我国主要土壤生态系统类型,如湿地、草原、森林、农业与农林复合土壤生态类型及其特点,基于空间分异规律探索了土壤生态分区与农业可持续发展同土壤生态系统间的关系。

随着工矿业的迅猛发展与农业化学化进程加速,环境污染已成为危害人类健康的大敌,耕地锐减与废弃地增加,环境气体排放与气候变化,污染物经水、土、气等介质进入动物食物链,已是人类享受现代生活而面临的新问题,这在本著作中均设专章予以论述。

这本著作是在研究室诸同事多年研究成果基础上又吸收了有志于此的青年土壤学家共同撰写而成的。本书第一、二、十五、十六章由杨林章执笔,第三、八、九、十与二十一章主要由徐琪执笔,第四、十一、十二章由章家恩执笔,第五、十九章由夏立忠执笔,第六章由蔡祖聪执笔,第七章由颜廷梅、杨林章执笔,第十三章由徐琪、董元华执笔,第十四章由张小川、徐琪执笔,第十七章由孙庆业、杨林章执笔,第十八章由王辉、董元华执笔,第二十章

由丁维新、蔡祖聪执笔。

需要说明的是土壤科学的著述甚多,并不断有新的巨著问世,但土壤生态学,特别是土壤生态系统的著述在国内外虽有数本问世,但都是 20 世纪出版的。在经典生态学著作中,土壤生态系统仅作为一章论述,作为专著的撰写可以借鉴的范本不多。在这本著作撰写过程中,虽然吸收了现代生态学的一些原理,但主要是结合本身研究工作所累积的材料写成的。由于水平所限,欠缺之处在所难免,恭请有志趣于此的同行批评指正。

作者

于 2004 年岁末

# 目 录

## 前 言

|                                   |      |
|-----------------------------------|------|
| <b>第一章 土壤生态学的发展及研究展望</b> .....    | (1)  |
| 第一节 土壤学发展简史 .....                 | (1)  |
| 第二节 生态学发展简史 .....                 | (2)  |
| 第三节 土壤生态学的研究体系和领域 .....           | (3)  |
| 第四节 土壤生态学研究展望 .....               | (6)  |
| 参考文献 .....                        | (9)  |
| <b>第二章 土壤生态在陆地生态系统中的地位</b> .....  | (10) |
| 第一节 土壤生态系统是可解剖的实体 .....           | (10) |
| 第二节 土壤是陆地生物所需水分的枢纽 .....          | (12) |
| 第三节 土壤是能流的转化机 .....               | (14) |
| 第四节 土壤是生物养分库 .....                | (17) |
| 第五节 土壤是消毒净化器 .....                | (20) |
| 参考文献 .....                        | (21) |
| <b>第三章 土壤生态系统的结构特点和功能类型</b> ..... | (22) |
| 第一节 土壤生态系统的结构特点 .....             | (22) |
| 第二节 土壤生态功能系统的类型 .....             | (25) |
| 第三节 土壤生态系统养分运转与调节 .....           | (30) |
| 参考文献 .....                        | (33) |
| <b>第四章 土壤生态系统中生物及其功效</b> .....    | (34) |
| 第一节 土壤生物类型与生物多样性 .....            | (34) |
| 第二节 土壤生物生态 .....                  | (37) |
| 第三节 土壤生物功效 .....                  | (40) |
| 第四节 人类活动对土壤生物的影响 .....            | (45) |
| 第五节 土壤生物的开发利用及其保护 .....           | (46) |
| 参考文献 .....                        | (50) |
| <b>第五章 农田土壤生态系统养分循环通则</b> .....   | (52) |
| 第一节 土壤生态系统养分循环 .....              | (52) |
| 第二节 稻田土壤生态系统中养分循环特点 .....         | (53) |
| 第三节 土壤生态系统养分循环与土壤生产力 .....        | (57) |
| 参考文献 .....                        | (61) |

|                                  |       |
|----------------------------------|-------|
| <b>第六章 土壤碳库的形成与转化</b> .....      | (63)  |
| 第一节 土壤生态系统中有机物质的生成与分解累积 .....    | (63)  |
| 第二节 影响土壤库中有机质分解与积累的因素 .....      | (67)  |
| 第三节 有机质对土壤库的影响 .....             | (71)  |
| 参考文献 .....                       | (76)  |
| <b>第七章 农业生态系统中能流传递特点</b> .....   | (77)  |
| 第一节 农业生态系统投能结构 .....             | (77)  |
| 第二节 农业土壤生态系统的能量流动特点 .....        | (80)  |
| 第三节 复合农业生态系统的能量流动 .....          | (86)  |
| 参考文献 .....                       | (91)  |
| <b>第八章 土壤生态系统的演变</b> .....       | (92)  |
| 第一节 白浆土与黑土生成的生态环境演变 .....        | (92)  |
| 第二节 包浆土与砂姜黑土形成的生态环境演变 .....      | (96)  |
| 第三节 稻田白土与黄泥土的生成环境演变 .....        | (102) |
| 第四节 白浆土类形成的生态环境比较 .....          | (106) |
| 参考文献 .....                       | (109) |
| <b>第九章 土壤生态系统空间格局</b> .....      | (110) |
| 第一节 土壤生态样块的特点 .....              | (111) |
| 第二节 土壤生态地带分异特点 .....             | (115) |
| 第三节 土壤生态类型地域分异特点 .....           | (118) |
| 参考文献 .....                       | (120) |
| <b>第十章 土壤生态分区概述</b> .....        | (121) |
| 第一节 土壤生态分区的依据 .....              | (121) |
| 第二节 土壤生态分区的原则与系统及地带分异特点 .....    | (126) |
| 第三节 土壤区域分异特点——土壤生态区、片与样板例举 ..... | (129) |
| 参考文献 .....                       | (133) |
| <b>第十一章 土壤退化生态系统及其重建</b> .....   | (134) |
| 第一节 全球土壤退化状况及其研究进展 .....         | (134) |
| 第二节 土壤退化类型、成因、过程及其机制 .....       | (138) |
| 第三节 土壤退化的综合评价 .....              | (144) |
| 第四节 土壤退化的恢复与重建 .....             | (150) |
| 参考文献 .....                       | (152) |
| <b>第十二章 原始土壤生态系统的形成与演化</b> ..... | (153) |
| 第一节 高寒区原始土壤生态系统的发育特点 .....       | (153) |
| 第二节 原始土壤生态系统的演替模式 .....          | (158) |
| 参考文献 .....                       | (166) |
| <b>第十三章 湿地生态系统的特点及保护</b> .....   | (167) |
| 第一节 湿地定义与分类 .....                | (167) |

|                                     |              |
|-------------------------------------|--------------|
| 第二节 湿地形成特点 .....                    | (169)        |
| 第三节 湿地生态系统的演变与环境 .....              | (174)        |
| 第四节 湿地的利用与保护 .....                  | (177)        |
| 参考文献 .....                          | (179)        |
| <b>第十四章 草原土壤生态系统的特点及其保育 .....</b>   | <b>(180)</b> |
| 第一节 草原土壤生态系统的特点 .....               | (180)        |
| 第二节 草原土壤营养元素循环 .....                | (185)        |
| 第三节 草原土壤生态系统的退化及其保育 .....           | (199)        |
| 参考文献 .....                          | (202)        |
| <b>第十五章 森林土壤生态系统及其保护 .....</b>      | <b>(204)</b> |
| 第一节 森林生态系统的生产力 .....                | (204)        |
| 第二节 森林与土壤的相互作用 .....                | (212)        |
| 第三节 森林土壤生态系统的养分循环 .....             | (218)        |
| 第四节 森林生态系统的可持续发展 .....              | (226)        |
| 参考文献 .....                          | (229)        |
| <b>第十六章 复合农林生态系统建设 .....</b>        | <b>(231)</b> |
| 第一节 复合农林生态研究的内容与现状 .....            | (231)        |
| 第二节 复合农林生态系统的基本特征 .....             | (236)        |
| 第三节 复合农林系统的模型 .....                 | (244)        |
| 第四节 复合农林系统的设计 .....                 | (250)        |
| 参考文献 .....                          | (253)        |
| <b>第十七章 矿业废弃地土壤生态系统重建 .....</b>     | <b>(254)</b> |
| 第一节 矿业废弃地物理性质与营养状况 .....            | (255)        |
| 第二节 废弃地不良的化学性质 .....                | (260)        |
| 第三节 矿业废弃地的生态重建 .....                | (262)        |
| 参考文献 .....                          | (270)        |
| <b>第十八章 污染物在湿地生态系统食物链中的轨迹 .....</b> | <b>(271)</b> |
| 第一节 湿地生态系统中的污染物及其迁移与转化 .....        | (271)        |
| 第二节 湿地生态系统污染物的生物富集 .....            | (276)        |
| 第三节 鹭鸟作为湿地生态系统污染的生物指示 .....         | (278)        |
| 参考文献 .....                          | (285)        |
| <b>第十九章 土壤生态系统保护与农业可持续发展 .....</b>  | <b>(287)</b> |
| 第一节 农业的发展与土壤生态系统的演替 .....           | (287)        |
| 第二节 土壤生态系统的特性与农业可持续发展 .....         | (290)        |
| 第三节 可持续农业土壤研究现状及存在问题 .....          | (295)        |
| 参考文献 .....                          | (295)        |
| <b>第二十章 土壤生态系统与全球气候变化 .....</b>     | <b>(297)</b> |
| 第一节 土壤生态系统中环境气体的特点、产生机理和转移途径 .....  | (297)        |

|                                  |              |
|----------------------------------|--------------|
| 第二节 影响环境气体排放的因素 .....            | (308)        |
| 第三节 土壤生态系统环境气体排放的调控 .....        | (319)        |
| 参考文献 .....                       | (321)        |
| <b>第二十一章 大型工程建设与生态环境评价 .....</b> | <b>(325)</b> |
| 第一节 长江流域的生态与环境概况 .....           | (325)        |
| 第二节 大型水利工程环境评价系统 .....           | (326)        |
| 第三节 受工程影响的生态环境评价 .....           | (328)        |
| 参考文献 .....                       | (335)        |

# 第一章 土壤生态学的发展及研究展望

土壤生态学是生态学的一个学科分支。要了解土壤生态学的发展情况,有必要回顾土壤学和生态学的发展历史。同时,为了正确而迅速地发展这门学科,应当充分认识土壤生态系统研究的重要意义和今后的发展趋向。

## 第一节 土壤学发展简史

中国是一个文明古国,文字记载的土壤篇章也比世界其他国家为早。远在春秋战国时期《尚书》(禹贡篇)就记载了距今四千多年前(公元前 21 世纪)大禹根据土色、土粒粗细和水文状况,将九州土壤分为白壤、黑坟、赤埴、涂泥、青黎、黄壤和滨海广斥等,并根据肥力高低划分为三等九级,而且把土壤类型、土壤特性和地形、植物及土壤利用联系起来。在罗马古籍中也有对土壤的记载,例如伽图(Cato 公元前 234 ~ 149)在其《农业》一书中,也描述了罗马境内的土壤类型,并分为红色黏土、柔性黑土、白色黏土和黏质土等。我国劳动人民在长期生产实践中对改土培肥也积累了很多经验,例如先秦简况总结“多粪肥田”的经验(《简子·富田篇》),东汉时期的王充曾指出:“深耕细锄,厚加粪壤,勉致人工,以助地力”(《论衡·率性》),宋代(12 世纪)的陈旉农书中还提到“地力常新”的论点。古罗马人总结劳动人民的生产经验,也有不少的正确论断。

从 16 世纪至 19 世纪初,是现代土壤科学孕育和萌芽时期。这一时期欧洲已有大量关于土壤研究的文献记载。许多学者提出了不少学说和假说,论证土壤和植物的关系以及土壤在植物生活中的作用。当时有人认为,植物生长只需要水分,土壤只不过是植物生长的支撑基地;有人认为土壤供给植物以无机盐类;有人认为植物生长只需要腐殖质等等。

由于化学更多地渗入土壤科学,植物灰分组成和土壤化学组成方面已积累了一定的资料。1840 年德国学者李比西(Liebig, 1803 ~ 1873)出版了《化学在农业和植物生理中的应用》一书,书中提出了植物通过根系从土壤中摄取矿质养料,创立了矿质营养学说。他还指出土壤中矿质营养物质的含量是有限的,并随着植物种植和收获而逐渐损耗,必须通过矿质肥料的施用来补偿,这就是李比西的归还学说。植物矿质营养理论和归还学说是现代施肥理论的基础,是土壤学发展史上的一个重要阶段。

19 世纪后期,德国的一些土壤学家运用地质学的方法来研究土壤,由于他们把土壤仅看成一种地质淋溶的产物,因而不可能对土壤和土壤学作出正确的论断。但在当时的情况下他们的研究对土壤改良和耕作施肥起了一定的作用,同时也推动了土壤学的发展。

19 世纪末 20 世纪初,俄国道库恰耶夫(1846 ~ 1993)认为土壤是一个独立的历史自

然体,并提出土壤起源和土壤形成因素学说,自然地带和土壤地带学说,创立了发生土壤学。这一学说得到全世界的公认与发展。珍尼的成土因素理论与柯夫达以生物地球化学观点来阐明土被起源和进化,都是在道库恰耶夫的土壤发生学说基础上的发展。

土壤既是一种重要的自然资源,又是人类生存不可缺少的环境条件。所以,综观土壤科学的发展史,一方面是从自然资源的角度出发,了解土壤的形成演变,从生产资料出发,探索土壤的理化生物特性,分析土壤肥力的现状及其影响因子,以期提高土壤生产力;另一方面研究土壤理化性质与生物特性以加速有毒物质的降解与消化。土壤科学在这两方面均有长足的进展。目前土壤学科在这两个方向不断深入研究的同时,又把土壤作为生态学的一个分支,以整体系统地进行研究,研究领域不断扩展。

1982年,Kanwar在第十二届国际土壤学代表大会上的主席致词中讲到:“土壤地理学家研究单一土体的时间已经够久了!让我们把这些知识应用于土壤管理技术方面吧。”土壤肥力学家要开阔眼界。“土壤化学家和土壤微生物学家要合作共事,而不是各自单干”<sup>[1]</sup>。土壤是一个整体,受环境条件的影响并同人和植物产生密不可分的互相作用。所以土壤生态系统的研究已受世人注目。

## 第二节 生态学发展简史

生态学是一门科学。1869年德国科学家海克尔(Haeckel)创立“生态学”一词。这个名词源出希腊文字根“oikos”,乃住所之意。自19世纪后期至20世纪初期,生态学一直是研究生物与其环境之间的相互关系的科学。20年代中期,生态学的涵义有了发展,从集中研究某一物种的个体生态学(Autecology)发展为研究生活在同一环境中的物种的群体生态学(Synecology)。1935年,英国坦斯勒(Tansley)首次提出“生态系统”这个名词,并认为它是一定空间内生物组成和非生物组成所构成的自然功能单位。1940年,原苏联的苏卡乔夫提出“生物地理群落”的概念,即植物生态系统概念的另一提法。1942年,林德曼(Lindeman)提出“食物链”、“金字塔营养基”等概念,并探索生态系统中一切生物和非生物的能量流通和物质循环问题。到了1950年,科学家们肯定地把生态系统作为生态学研究的基本单位,并认为它是在空间和时间上精确规定的实体。生态系统的研究内容不仅是这个实体中所存在的生物,也包括气候和土壤等自然条件,并研究不同生物之间以及生物与自然条件之间的一切相互作用。生态学的涵义逐步明确。

20世纪60年代以后,由于工业高速发展,自然资源在开发利用过程中遭到破坏和污染,影响了生产和人民生活,从而引起人们对生态学的重视。60年代末期,美国曾兴起“生态运动”,提出防止公害,如减轻噪音、解决洪水、改善居住环境等。因此,生态学研究得到很大的发展,特别是系统工程的渗透,生态学研究在方法论上已有了重大的突破。

到了70年代,生态学发展到区域生态阶段,主要研究不同生态系统相互交接所组成的区域生态系统。最近生态学更进一步地发展为人与生物圈阶段,人在生物圈内起着十分重要的支配作用,生态学研究必须考虑人类活动和社会经济因素,这就是人工生态系统。

生态系统可分为自然生态系统和人工生态系统。如森林生态系统、草原生态系统等属自然生态系统,设施农业则属人工生态系统。人工生态系统是由自然生态系统脱胎而

来的。随着社会、经济和科学文化的发展,人类干预生态系统的作用越来越大。目前,自然生态系统在很大范围内已被改造为人工生态系统,这样,是不是就不需把人工生态系统和自然生态系统区分开来?当然,自然生态系统中的一系列法则仍适用于人工生态系统,但人工生态系统有它自己的特点,与自然生态系统有一些原则上的区别,如不注意这一点,就会引起研究中的混乱。

人类不仅是人工生态系统的重要组成部分,而且是人工生态系统的核心。凡以人类活动为核心的生态系统都可称为人工生态系统。系统论强调人的主导作用,系统功能的高低主要决定于人的智慧及其发挥的程度。人工生态系统是在人类频繁干预下所形成的,它密切受社会经济条件的影响。随着社会的发展和科学技术水平的不断提高,人类开发利用自然资源的要求和能力越来越大,因而自然资源利用和破坏的矛盾以及工矿业发展和三废污染的矛盾日益加剧,如不严密注意,必将破坏生态平衡,引起生态系统退化。

土壤类型和利用情况不同,人类干预的程度也不一样。森林地区和草原地区的土壤受人类干预的影响轻,土壤性态很少变化。但在农田中土壤长期经过农民的精心耕作和培肥,土壤性态或多或少地产生了变化,特别是长期种植水稻的土壤,明显地打上了人为影响的深刻烙印。在人类的干预下,土壤性态产生频繁的变化,物质和能量的输入、输出逐年增加,并随着社会和发展,越来越多的能源和物质将输入和输出,如能合理经营管理,用地养地相结合,土壤可以越种越肥,土壤生态系统不断进化;反之,如不善于经营管理,进行掠夺式的土地利用,剥削土壤地力,则土壤将越种越瘦,土壤生态系统趋向退化。所以,人工调控是建设土壤生态系统的中心任务。

### 第三节 土壤生态学的研究体系和领域

基于上述认识,从研究体系与领域看,土壤生态学可分为理论土壤生态学和应用土壤生态学两大部分。前者研究土壤生态系统中各类生态现象和过程所遵循的总体规律,探讨土壤生态学的一般问题和基本原理,包括其哲学内涵及研究的方法论。后者是根据生态学的概念、理论、原则和方法,研究和解决地域实体的具体问题、提供可行的手段和途径,为生产实践服务。

土壤生态学若按其研究对象的组织水平分,则可划为三个层次:①土壤生物个体生态学;②土壤生物群体和群落生态学;③土壤生态系统生态学。其中土壤生态系统生态学是土壤生态学的最高层次和主流(图 1-1)。

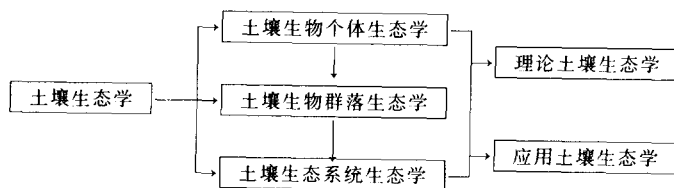


图 1-1 土壤生态学的理论体系与层次

## 1. 土壤生态学的一般问题

土壤生态学的一般问题包括土壤生态学的研究对象、研究范围、土壤生态系统概念以及一些基本理论和方法论,这些内容都是学科发展必须首先回答的问题。

与植物和动物不同,土壤是一个非生命体,因而“土壤生态”是一个易让人费解的概念。这主要是因不了解土壤生态学的研究对象所致。众所周知,土壤不仅是陆地上动植物的立地条件,而且也是地下生物生存的场所,同时,土壤也是周围环境的物质和能量的转换机与调节器。因此,其研究对象应该包括:①土壤与生物的关系;②土壤与环境的关系;③土壤与人类的关系。土壤生态学的研究领域很多,它的主要方面见图 1-2。

有关“土壤生态系统”概念也很多,许多学者作过探讨<sup>[2-6]</sup>。归纳起来,不外乎以下几点:①土壤生态系统是陆地生态系统的一个亚系统;②土壤生态系统是以土壤为研究核心的生态系统;③土壤生态系统是由土壤、生物及环境要素(如水、光、热等)三个部分组成的具有其结构和功能的一个开放系统和能量转换器;④土壤生态系统是一个可解剖的具三维空间的样块或实体。在垂直方向上土壤生态系统可分为近地面大气带、地表与地下生物带和岩石风化带三个层次;在水平方向上其尺度可小可大;⑤土壤生态系统是受人类活动影响的生态系统,因而其功能和结构会发生相应的分化与变异。

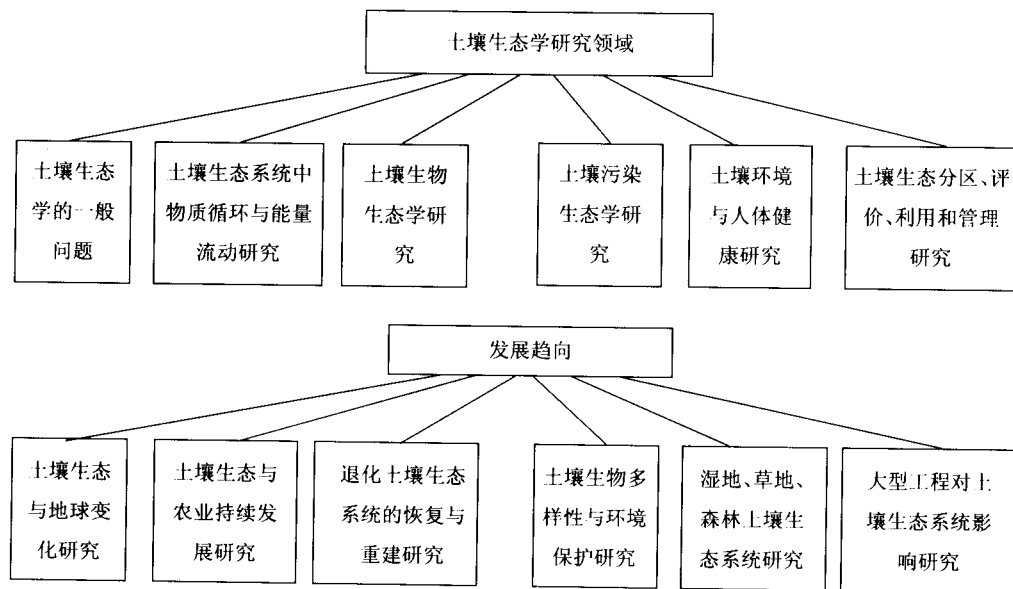


图 1-2 土壤生态学的研究领域及发展趋势

## 2. 土壤生态系统的物质循环与能量流动研究

物质循环和能量流动研究是土壤生态学的基本内容,也是土壤生态系统结构与功能、控制和优化的基础。物质循环研究主要包括物质在土壤-植物-大气系统各分室的输入、运移、传输、转化和输出的途径及其机理,养分的转化效率及其生态效应等。能量流动研

究主要包括成土过程中能量的消耗、农田水热收支平衡以及生物种群间能量动态的研究等。例如 Volobuyev 等人推导出在土壤形成过程中的耗消公式,即  $Q = Re^{-1/mk_n}$ , 其中  $Q$  为成土过程中消耗的能量,  $R$  为太阳辐射平衡;  $K$  为年平均相对湿度,  $m$  为生物地群落的生物活性,  $e$  为自然对数<sup>[5,7]</sup>。近些年来,生态系统的研究越来越多,基本上涉及诸如森林生态系统、草原生态系统、农田生态系统以及复合农业生态系统等;研究的元素包括 C、N、S、P 及其他矿质元素(如 Ca, Mg, K, Na, Fe, Mn, Si 等)与一些微量元素<sup>[5,8]</sup>,在研究方法上达到了生态建模和动态模拟的水平。今后的研究重点应在宏观、微观研究的基础上,加强土壤生态系统的物质和能量转化效率与提高作物生产力的关系、养分平衡与土壤肥力可持续性、养分丰缺及其诊断、预报、调控和管理等方面的研究。

### 3. 土壤生物生态学研究

该领域的研究与土壤动物学、土壤微生物学紧密联系,但各有侧重。土壤生物生态学主要研究土壤生物与土壤环境之间的关系,包括土壤生物种群及区系组成、生物间相互作用与食物链网状结构;土壤生物对成土过程、土壤性质、土壤肥力及土壤生态系统营养元素平衡的影响,以及土壤条件变化对土壤生物的作用等。近年来,有益微生物的农业应用、微生物净化环境以及根际环境与根际微生物的微域生态系统研究越来越受到重视。

### 4. 土壤污染生态学研究

土壤污染是现代工农业生产过程中带来的次生环境问题。土壤污染对土壤结构、组成和性质、土壤肥力、土壤生物、作物生长以及土壤环境可产生明显影响。近期的研究内容包括污染物质在土壤-植物系统中的迁移、转化与滞留行为;不同地域土壤-植物系统的结构、功能及其对不同类型污染物的承载能力;土壤污染对食物链影响的生态风险评价;土壤-植物系统的净化功能以及土壤生态系统的污染综合治理和评价等。目前,我国已完成了土壤环境背景值的调查,并出版了专著与图集。对矿区土壤污染生态、工业“三废”污染以及农用化学品污染对生态系统影响等已有不少研究。形成污染与恢复生态学科分支<sup>[9]</sup>今后应加强土壤污染生态系统的动态监测、预报及综合治理等方面的研究与探索。

### 5. 土壤环境与人体健康研究

土壤环境与人体健康是土壤生态学中研究土壤与人类关系的一个重要领域。土壤中的化学元素可通过食物链进入人体,影响人体健康。其研究内容包括:①土壤元素的丰缺与健康;②土壤微量元素的效应;③土壤污染与健康。关于土壤元素的丰缺与地方病的关系研究起步较早,对地方病防治已提出对策。土壤污染生态对人体健康影响的研究正在不断开展。长寿与环境关系令人关注。土壤中某些元素特别是微量元素的营养价值与医用研究将成为今后的一个重要方向。

### 6. 土壤生态分区、评价、利用和管理研究

土壤生态分区和评价是土地资源合理开发利用和管理的重要依据。目前这方面的研究还处于探索阶段。关于土壤生态分区,我们在长江流域作了一些尝试,采用了土壤生态

样块、土壤生态片、土壤生态区、土壤生态带四级分区单位<sup>[10]</sup>。土壤生态系统评价的内容很多,如土壤肥力评价、土壤生产力评价、作物适宜性评价、作物适宜性评价、结构与功能评价,同时也探索了土壤退化生态系统的评判指标体系等<sup>[11]</sup>,目前面临的问题是,如何拟定通用合理的指标体系、评价原则与评价方法,还有待进一步探索。

土壤生态分区、评价、利用和管理研究是综合性较强但难度较大的领域,也是研究的重点内容。如能同土壤景观生态结合起来,研究领域更加开拓,因生态景观学的研究已引起国内外的注意,并成立了相应的国际组织。

## 第四节 土壤生态学研究展望

上述的研究工作无疑对土壤生态学科的发展起到了奠定基础的作用。未来土壤生态学研究应主要包括理论与方法研究、微观研究和宏观研究。

### 一、新理论、新方法的研究

一个学科的发展在于不断引进其他学科的理论,同时创立本学科的新理论,建立新的研究方法。近年来人们把耗散结构理论、生态界面理论、生态环境脆弱带(ECOTONE)概念引入了生态系统的研究,但目前仍停留在理论探索阶段,开始运用于生态系统的实际工作中去。生态环境脆弱带与生态界面理论定义相仿,主要是研究物质或能量在界面中的行为及去向。如对林茶间作系统生态界面层中的光、温、水、风的空间分布,环境因子与植物的空间分布和生理活性相关性,与物质循环及能量吸收关系。这些理论在实际工作中的论证及应用,以及用实际研究成果来完善新的理论等方面是今后的研究方向<sup>[12-13]</sup>。

系统论及系统分析方法的运用也是今后发展的方向。土壤-植被系统的结构非常复杂,中间环节较多,要对系统的物质循环与能量转换进行剖析,必须借助于系统分析的方法,建立动态模型,实施预测,通过控制生态因子达到提高系统生产力的目的。

生态模型包括物质循环、能量转换的数学模型、农业系统结构最优化模型等。在实际工作中应根据不同的研究目的及对象,选择不同的模型。如 Van Heemst 为了模拟作物的生长速率,提出了干物质积累模型;Lars Kamp-Nielsen 建立了沉积物-水体间物质交换的数学模型,包括静态及动态模型,并进行了实例分析。此外还有土壤与根系间营养元素交换模型,村级农田生态系统氮素流通的动态模型,农田土壤中农药降解的动力学模型等。今后,应着重研究建立模型的方法及模型的实际应用,并能在宏观上指导合理施肥、资源利用及建立合理的农林牧结构,等等。

### 二、微观研究

#### 1. 物质循环与能量转换过程及机理的研究

物质循环主要受物理、化学、生物及人为等因素的影响,物质输入、输出系统的过程及

机理是物质循环研究的重要方面<sup>[14,15]</sup>。如微生物、微动物对养分活化、迁移的影响,养分通过界面迁移的动力学;养分进入各级食物链的过程及数量特征;不同耕作制度,不同施肥条件下物质循环强度及与作物产量的关系等将成为今后研究的重点。

能量转换、提高能量的利用率是土壤生态学研究根本问题。包括如何通过合理施肥,改进耕作制度与作物布局,提高复种指数等来提高光能的利用率与系统生产力的研究等。其中主要是提高农田生态系统、草原生态系统的第一性生产力,以及能量通过食物链的传输过程及定量化研究。此外,复合农业生态系统中能量传输过程及辅助能的投入、能量折算标准等也将是能量研究的重要方面。

## 2. 土壤生物多样性保护

生物多样性保护已成为全球生存环境保护的重要研究领域。相关研究如湿地生物多样性保护、陆地生物多样性保护、水域生物多样性保护均已先后开展。作为生物生存的土壤,也是生物的重要栖息地。土壤生物包括有土壤微生物、土壤动物、土壤藻类等,其生物的数量和种类也非常多,其生态功能有的还不十分清楚,甚至还很少有人研究,很难说清其对生态系统的作用如何。但由于农业生产水平的提高,特别是农用化学品的大量施用,引起土壤环境的变化,部分土壤生物受到影响。因此,土壤生物多样性的保护与整个生态系统生物多样性的保护一样,应引起足够的重视,尤其是对提高土壤养分利用率、促进养分活化的土壤微生物应开展研究,以便更好地保护土壤生物多样性。

# 三、宏观研究

## 1. 土壤生态系统演替的研究

无论是自然土壤生态系统还是农业土壤生态系统,都处于不断的发展变化之中,是一个历史的演替过程。在演替过程中,系统的结构、功能及生产力均发生一系列的变化。演替有两种情况:一种是自然演替,如湖泊→沼泽→草甸→森林土壤生态系统的演替过程;另一种是受人为因素影响的演替如沼泽→圩田→平田演替过程<sup>[10]</sup>。实际上人类面临的许多土地问题都是演替的结果。如土地退化就是在人为干扰条件下土壤生态系统的演替过程。由于人类掠夺式的经营,土壤发生侵蚀,遭受污染,土壤肥力下降,出现严重的限制因子,土壤向恶性循环方向演替等,其结果是系统结构趋简,功能下降,抵御自然灾害的能力下降,最终综合表现为系统生产力下降。又如农业的改制,实质是快速改变系统的生物组成、系统的结构、物质循环强度等,其目的是通过调整作物布局,充分利用光、热、水等自然资源,提高系统的生产力。因此,研究土壤生态系统演替的生态环境条件、机理、过程,及演替过程中物质循环与能量转化的特征,对控制系统的发展具有科学价值,对防止土地退化、实施重大的农业技术革新具有实际的指导意义。

## 2. 建立土壤生态系统研究网络

我国幅员辽阔,土壤生态系统类型多。不同地区由于自然条件不同,社会、经济发展不平衡,土壤生态系统的结构、功能各有特点,尤其是物质的投入、产出的数量及系统的效