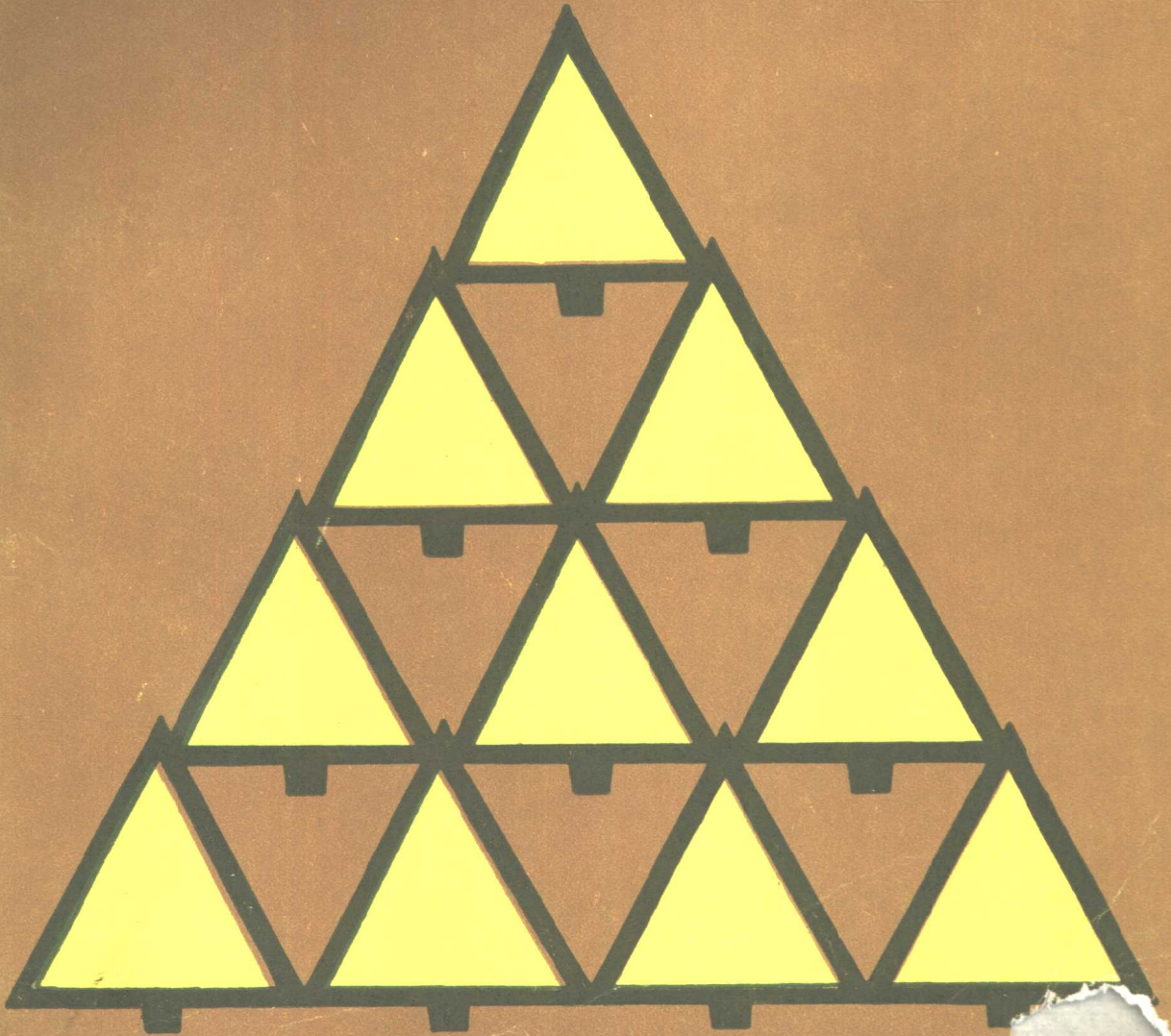


● 高等学校教学用书

环境土壤学

● 黄瑞农 主编



HUANJIANG TURANGXUE

高等教育出版社

高等学校教学用书

环境土壤学

黄瑞农 主编

彭补拙 左玉辉 陆根法 合编
李春华 赵培道

高等教育出版社

一九八七年

内 容 提 要

本书共四篇十五章,除绪论外,第一篇(一至三章)为土壤生态系统,重点阐述了土壤生态系统的结构、功能及土壤生态系统的平衡;第二篇(四至七章)为环境土壤物理,重点阐述了物质在土壤环境中的一系列物理过程;第三篇(八至十一章)为环境土壤化学,论述了化学物质,特别是污染元素在土壤环境中的迁移、转化规律;第四篇(十二至十三章)概述了土壤资源的合理开发利用与保护,以及环境土壤质量的评价和土壤污染的防治。全书特别注意理论与实际,宏观与微观的结合。叙述上注意深入浅出,循序渐进,内容尽可能反映本科学的最新成就。

本书适于作为高等院校地理、环境、土壤及生物类专业的教学用书,亦可供环境保护、工业、农业科技人员参考。

高等学校教学用书

环 境 土 壤 学

黄瑞农·主编

*

高等教育出版社出版

新华书店上海发行所发行

上海市中华印刷厂印装

*

开本 850×1168 1/16 印张 21 字数 474,000

1988年10月第1版 1989年2月第1次印刷

印数 0,001—1,400

ISBN 7-04-001059-3/K·78

定价 5.20 元

序

环境土壤学是已故黄瑞农教授会同彭补拙等同志，积多年教学实践，经反复提炼而完成的一部著作。

《环境土壤学》吸收和综合了国内外土壤学科、地学、地球化学、生态学和环境学科，以及近代先进技术等方面的基本理论和发展，并结合本身从事的科学研究成果精心编写而成，充分地体现了多学科的综合和相互渗透。作者已从“土壤是生长植物的疏松表层”的经典概念中解脱出来，把土壤既看做是人类借以生存和发展的一种可以再生的资源，又看做是与人类紧密相关的陆地生态系统的一种重要生境。这样，就把土壤资源、生态和环境三者有机地结合起来了。显然，这种见解和论述，具有鲜明的开拓精神，使经典土壤学有所充实、更新和发展，进而为土壤科学增添了新的生命力。

全书在写作思想上，十分重视理论与实践结合，宏观与微观结合；内容上，论点新颖，取材丰实，尽可能反映最新成就；论述方式上，着力于深入浅出，循序渐进。

总之，本著作体现了黄瑞农教授的学术思想和治学精神，它将以精神财富问世，必定会转化为巨大的物质力量。这是黄瑞农教授可以告慰于九泉的。

我们为了表达对黄瑞农教授的怀念心情谨写数语于卷首。

黄瑞采 徐盛荣

1986年6月18日

前 言

《环境土壤学》一书终将出版与读者见面了，此时此刻，我们特别怀念本书主编黄瑞农先生，她离开我们已经二年多了。

黄瑞农先生先后执教于金陵女子文理学院、四川大学和南京大学近四十年，从事土壤地理学、环境科学、资源生态学和土壤生态学等多学科的教学和科研工作。她曾多次参加全国性的综合考察和各种专业考察，足迹遍及祖国各地，累积了丰富的实践经验；她及时掌握新颖知识，具有广泛的地学理论基础。晚近以来，她提倡学科渗透，勇于培养跨学科的研究生。她善于引导和组织梯队的同志探索新领域并鼓励提出新见解，她和同志们一起通过执着的追求和不断的探索，开拓前进，初步形成了系统的学术思想，并通过一系列的著述表达出来，而《环境土壤学》一书仅仅是个开端。不幸适在此时，先生竟以耳顺之年溘然长逝！实是土壤地理学和环境科学界的一大损失。

1980年5月教育部在杭州召开综合大学地理学教材会议，确定编写《土壤学基础与土壤地理学》教学参考书，由黄瑞农先生主编，内容主要是土壤地球化学和土壤生态学等方面。鉴于学科发展的需要，将该书定为《环境土壤学》，由她拟定章节及主要内容，组织我系有关教师共同编写，她本人承担该书中绪论、土壤生态及土壤资源等重要章节的编写。后因先生患病，迟迟未能进行，1984年底，她病情加重，便委托其他同志具体负责撰写。直至临终前还在关心本书编写的进展情况。

黄瑞农先生从事教学和科研工作多年，言传身教，使我们获益良多。兹值本书将出版之际，仅赘数语，以表达对先生的怀念和哀思。

本书承蒙南京农业大学黄瑞采教授、朱克贵教授、徐盛荣教授、吴珊眉副教授、易淑荣副教授审阅，并承高等教育出版社张月娥同志大力支持，在此表示衷心的感谢！

本书由下列同志分别执笔：彭补拙——绪论、第一、二、三、十、十一、十二章；左玉辉——第四、五、六、七章；李春华——第八章；李春华、赵培道——第九章；赵培道——第十三章；陆根法——附录。全书由彭补拙同志统稿。

由于主编黄瑞农先生过早地逝世，编者未必能深刻地理解她的学术思想和观点，加之水平有限，本书错误之处在所难免，敬希批评指正。

南京大学地理系

1987年10月

目 录

绪论	1
一、环境土壤科学的兴起	1
二、环境土壤学的研究对象与任务	1
三、环境土壤学研究的主要内容	1
四、环境土壤学的研究方法	2
(一) 传统的研究方法	2
(二) 现代先进的研究方法	2

第一篇 土壤生态系统

第一章 土壤生态系统的基本概念及其研究进展	5
一、土壤生态系统的基本概念	5
(一) 土壤生态系统的概念	5
(二) 土壤生态系统的主要特性	5
二、土壤生态系统在环境系统中的地位与作用	6
三、土壤生态系统研究的发展概况	7
第二章 土壤生态系统的结构与功能	9
一、土壤生态系统的结构	9
(一) 土壤生态系统的组成成分	9
(二) 土壤生态系统的结构	12
二、土壤生态系统的功能	14
(一) 土壤生态系统中的能量流动	14
(二) 土壤生态系统中的物质循环	34
第三章 土壤生态系统的平衡	42
一、生态系统平衡及其形成机理	42
二、生态系统平衡的失调	43
(一) 自然因素	44

(二) 人为因素	45
三、恢复与保持土壤生态系统的平衡	48
(一) 保持土壤生态系统平衡的生态学原则	49
(二) 恢复和保持土壤生态系统平衡的主要途径与措施	49
参考文献	50

第二篇 环境土壤物理

第四章 土壤生态系统水分运动	53
一、水分平衡	53
(一) 水分循环	53
(二) 水分平衡方程	53
(三) 基本过程	54
二、基本原理与方程式	55
(一) 水势	55
(二) Darcy定律	59
(三) 连续性方程	60
三、土壤水分流动方程	60
(一) 土壤含水量	60
(二) 土壤水分特征曲线	61
(三) 水力传导度	61
(四) 非饱和土壤水分流动方程	62
(五) 水力扩散度	63
四、植物根系吸收水分与蒸腾作用	64
(一) 根系吸收水分与土壤水分关系	64
(二) 蒸腾作用	70
五、土壤生态系统中的水分模拟	73
(一) 针叶植物的水分模拟	73
(二) 土壤水分运动的模拟	79

第五章 土壤环境中溶质运动与物质的迁移82

一、溶质及其对流迁移82

 (一) 溶质的概念82

 (二) 溶质的对流迁移82

二、溶质扩散与水力弥散过程83

 (一) 溶液扩散过程83

 (二) 水力弥散过程84

三、可溶置换和贯流曲线及其环境意义85

四、溶质联合迁移86

五、溶质运动引起的环境问题之一——土壤盐碱化88

 (一) 土壤盐度和碱度88

 (二) 土壤盐分平衡89

 (三) 过量盐分的淋洗91

第六章 土壤环境中的空气及其对物质迁移转化的影响93

一、土壤的通气状况93

二、土壤空气的体积比率94

 (一) 土壤空气体积比率94

 (二) 土壤通气指数94

三、土壤空气的组成及其对物质迁移转化的影响95

 (一) 土壤空气的组成95

 (二) 土壤空气对物质迁移转化的影响95

四、土壤环境与大气环境间的气体交换95

 (一) 土壤空气的对流95

 (二) 土壤空气的扩散97

 (三) 土壤呼吸与通气要求100

第七章 土壤环境中的温度与热流103

一、土壤的能量平衡与热学性质103

 (一) 土壤的能量平衡103

 (二) 土壤的热学性质104

二、热和水分的同时迁移109

 (一) 迁移的原因109

 (二) 研究迁移的方法110

三、土壤环境的热状况及其在物质迁移转化中的作用111

 (一) 土壤剖面的热状态111

 (二) 土壤环境热状态的改善114

 (三) 土壤温度在物质迁移、转化中的作用117

参考文献117

第三篇 环境土壤化学

第八章 土壤环境的化学条件与物质迁移转化规律121

一、土壤环境的化学条件与化学元素的迁移121

 (一) 土壤环境中的化学条件121

 (二) 土壤的化学过程及元素迁移125

二、土壤环境中无机、有机胶体的形态、特性及其对元素迁移的影响128

 (一) 土壤环境中的胶体形态及其对元素迁移的影响128

 (二) 土壤环境中胶体的电学特性及其对元素迁移的影响131

三、土壤污染与净化136

 (一) 土壤中污染物质的来源和种类136

 (二) 土壤污染的主要发生途径136

 (三) 土壤污染与土壤净化137

四、污染物质在土壤中的迁移转化规律138

 (一) 农药、化肥等人工合成化学品在土壤环境中的行为138

 (二) 重金属在土壤中的迁移转化152

 (三) 其他污染物质在土壤中的迁移转化156

第九章 风化与成土过程在环境土壤中的作用160

一、土壤圈的地球化学组成及化学元素在风化壳、土壤中的迁移	160
(一) 土壤圈及其地球化学组成	160
(二) 风化过程中元素的迁移	161
(三) 风化壳的形成和发展	167
(四) 成土过程中元素迁移的基本特征	169
二、土壤地球化学伴生物和颞颞物	175
(一) 土壤地球化学的伴生物	175
(二) 土壤地球化学的颞颞物	178
三、土壤地球化学区划	178
四、我国境内成土风化壳的地球化学类型	180
(一) 氧化系列	180
(二) 还原系列	184
第十章 生物在环境土壤中的地球化学作用	185
一、生物圈的科学概念	185
(一) 生物圈及其结构、特点	185
(二) 生物圈中生物有机体的数量、组成和作用	186
二、生物土壤地球化学	187
(一) 生物在环境土壤中的生物地球化学作用	188
(二) 生物地球化学循环	189
(三) 植物-土壤系统元素的交换	195
第十一章 环境土壤化学的应用	205
一、环境土壤化学与地方病	205
(一) 元素与生命	205
(二) 环境土壤化学与地方病	209
二、土壤污染对人体健康	211
(一) 病原体污染对人体健康的影响	211
(二) 重金属污染对人体健康的影响	211
(三) 放射性污染对人体健康的影响	212
(四) 有机化学污染对人体健康的影响	212

三、土壤、生物地球化学在地质中的应用	213
(一) 土壤地球化学测量	213
(二) 生物地球化学测量	214
四、环境土壤化学在农牧业上的应用	214
(一) 环境土壤化学在农业生产中的应用	214
(二) 环境土壤化学在牧业上的应用	216
参考文献	217

第四篇 土壤资源及其利用与保护

第十二章 土壤资源及其利用与保护	220
一、我国土壤资源的特点	220
二、我国的土壤资源	221
(一) 森林土壤资源	221
(二) 草原土壤资源	221
(三) 荒漠土壤资源	223
(四) 盐成土壤资源	223
(五) 水成土壤资源	223
(六) 高山土壤资源	224
(七) 水稻土壤资源	224
三、世界土壤资源概况	224
(一) 冰沼土资源	224
(二) 灰壤与弱灰化土资源	224
(三) 灰棕色灰化土与棕色森林土资源	226
(四) 湿草原土与退化黑钙土资源	226
(五) 黑钙土与红棕色黑钙土资源	226
(六) 栗钙土、棕钙土与红棕色土资源	227
(七) 灰钙土、荒漠土与红色荒漠土资源	227
(八) 砖红土与红黄色灰化土资源	227
(九) 红黄色地中海土壤资源	227
(十) 亚热带、热带暗灰色与黑色粘土资源	228
(十一) 冲积土资源	228

(十二) 山地与山谷土壤资源	228
四、土壤资源利用中存在的问题	228
(一) 土壤侵蚀加剧	228
(二) 土壤肥力减退	229
(三) 土壤沙化加剧	230
(四) 农业用地与人口增长	230
五、土壤资源的合理利用与保护	231
(一) 土壤资源合理利用、保护与整治 的原则	231
(二) 合理利用与保护土壤资源的主 要措施	231
六、土壤资源的评价	233
(一) 土壤资源评价的类型	233
(二) 土壤资源的评价	234
第十三章 土壤环境质量评价及土 壤污染防治途径	247
一、土壤背景值	247
(一) 土壤背景值的调查方法	248
(二) 影响土壤背景值的因素	249
(三) 背景值的数据处理	254
二、土壤环境质量现状评价及其 预测	257
(一) 土壤质量现状评价	257
(二) 土壤环境容量及预测	260
三、土壤污染的防治	267
(一) 控制和消除外排污染源	267
(二) 加强土壤环境污染的防治	275
(三) 加强法制	278
参考文献	278

附录 土壤环境数据常用统计方法 和程序	280
一、数据处理	280
(一) 数据整理	280
(二) 特征值计算	280
(三) 数据处理程序与算例	282
(四) 数据频数分布直方图与算例	285
二、分布假设检验	287
(一) X^2 检验	287
(二) 偏度·丰度检验	289
(三) X^2 检验程序框图	291
(四) 偏度、丰度检验程序和算例	292
三、一元线性回归	295
(一) 算法	295
(二) 相关系数	297
(三) 一元线性回归程序和算例	297
四、一元非线性回归	299
(一) 常见的非线性关系的形式及相 应的曲线图形	299
(二) 回归曲线的直线化	299
五、多元线性回归	301
(一) 多元线性回归的数学模型	301
(二) 多元线性回归计算方法简介	302
(三) 多元线性回归的方差分析	303
(四) 程序和算例	304
六、逐步回归分析	309
(一) 逐步回归分析的基本思想	309
(二) 逐步回归计算方法简介	309
(三) 逐步回归程序与算例	312

绪 论

环境一般可分为自然环境和社会环境。地球表面各种环境要素及其相互关系的总和,称为环境系统。环境要素包括非生物的和生物的,它们彼此作用,密切联系构成一个不可分割的整体。通常把地理环境系统分为大气圈、水圈、岩石圈、土壤圈和生物圈。在这些圈层的交界面上各种物质的相互渗透、相互依赖和相互作用的关系表现得非常明显。

在自然环境中,土壤是运动着的物质、能量系统,它包括物质、能量的输入、转化、迁移和传递过程。同时,在自然环境中,土壤系统作为一个开放系统,与环境系统之间不断地进行着物质、能量的交换和转化。

土壤是覆盖在地球陆地表面的、独立的、复杂的历史自然体。它是生命的维持系统,是人类赖以生存发展所必需的生产资料,是人类劳动的对象和产物。因此,土壤是一种极为重要的自然资源。

一、环境土壤科学的兴起

随着自然资源的开发利用,城市和工农业生产的迅速发展,工业污染与农业污染已成为严重的环境问题,再加之世界人口急剧增长,森林的过度采伐,草原退化,沙漠化面积的不断扩大,水土流失加剧,土壤退化、酸化等造成的土壤环境质量日趋恶化。因此,使土壤环境问题正象其他环境问题一样,已成为当今世界上一个重要的社会、经济和技术问题。

为了保护土壤资源,要求了解、控制和消除这些有害的影响,从20世纪50年代以来,土壤与土壤地理学家从事了环境问题的研究,从土壤科学的基础和观点出发,进行了某些基础的研究。以后,特别是70年代以来,土壤环境问题日趋恶化,有关环境问题的研究也不断深入,在土壤与土壤地理科学的基础上逐渐发展成为一门新兴的环境土壤学。

二、环境土壤学的研究对象与任务

环境土壤学主要研究人类社会活动中所产生或释放的各种物质在土壤系统中的一系列物理、化学、生物过程,进行能量的交换、转化和物质的迁移转化规律及其相互作用的科学;研究它们所引起的土壤环境质量的变化,以及这种变化对生态系统结构、功能、生产力和人群健康的影响;通过调节、控制及利用各种途径和方法,以改善土壤环境质量,达到合理利用与保护土壤资源,维护并改善土壤环境的生态平衡。环境土壤学是环境科学与土壤科学之间的边缘科学,既是环境地学的重要分支,也是土壤科学的重要组成部分。

三、环境土壤学研究的主要内容

环境土壤学研究的内容主要包括以下几方面:

1. 研究物质在土壤环境中的一系列物理过程,着重研究土壤中水、气、热状况及其运动规律;运用定量的研究方法研究土壤环境中水、气、热之间的相互关系;研究这种运动规律和相互关系对物质迁移转化的影响。

2. 研究物质在土壤环境中的化学过程,土壤环境的化学性质与化学元素,特别是污染元素的迁移、转化和分布规律及其相互关系,弄清它们的来源和归宿。研究土壤-生物系统(主要是土壤-植物系统)中化学元素的交换、转化和分布规律;研究土壤-植物(系统)间化学物质的生态效应和对人类健康的影响。

3. 土壤生态系统是生物圈的基本结构单元。研究土壤生态系统在环境系统中的地位与作用;土壤生态系统的结构、功能和生产力;研究土壤生态系统平衡及其形成机理,不合理地开发自然资源与污染物对土壤生态系统的影响,以便采取必要的措施保持土壤生态系统的平衡。

4. 研究土壤环境污染的现状、土壤背景值及土壤环境质量,进行土壤质量综合评价,并根据国民经济发展的需要以及可能采取的环境保护措施,进行土壤环境质量的预断评价;在环境土壤学的基础上,研究和制定土壤环境污染物质的标准。

5. 运用土壤系统工程的原理和方法,建立土壤生态系统中化学物质的迁移、转化规律的生物、物理、化学行为的数学模式;运用土壤环境统计和计算机语言程序,为解决土壤环境问题提供若干可选择的方法。

环境土壤学研究的主要目的是保护土壤资源,提高土壤生态系统的生产力,重点是研究土壤污染及其防治。

四、环境土壤学的研究方法

(一) 传统的研究方法

环境土壤学的传统的研究方法仍是一种比较成熟的好方法,需要继续采用和不断提高。其中包括:土壤及土壤资源的野外调查研究;区域土壤污染调查的野外布点和采样;土壤及土壤生态系统的定位观测和定点试验研究;室内土壤样品的一般理化分析及各种图表、照片等资料的绘制和整理等。(这些方法至今仍是环境土壤学研究中的重要研究方法之一)。对这方面的研究,科学地确定采样地点最为重要。采样点必须具有典型性和有一定要求的数量。为了查明化学物质在土壤环境中的迁移、转化特点,通常采用共轭布点法,这样就能够获得环境土壤化学的系统资料,从而了解所研究的化学物质在土壤环境中的迁移转化规律及土壤污染的状况。

(二) 现代先进的研究方法

除了传统的研究方法以外,现代先进的科学技术是研究环境土壤学的重要手段,其研究方法有:

1. 遥感技术的应用:航空摄影和遥感图象对土壤资源的调查、土壤污染的研究等都具有很重要的用途。同时,也是土壤资源管理和环境土壤监测的重要工具。广泛采用遥感的手段,可取得大量的资料信息和分析数据,可用数理统计方法去掌握土壤资源和土壤生态系统的特

征及动态变化规律；研究污染物在土壤中分布、迁移的时空规律，计算土壤环境对某些污染的容量等。利用这种技术来进行调查、制图及土壤环境的监测，不仅时间快，精度高，而且十分经济。

2. 新测试技术的运用：近来，对土壤、植物中大量元素、微量元素、超微量元素以及具有复杂分子结构的有机物进行分析测定，应用了原子吸收及等离子光谱等测试技术，从而提高了分析结果的灵敏度（某些元素可达 ppb 或 ppt 数量级）和精密度（可达 3% 左右）。红外光谱、顺磁共振光谱、核磁共振光谱的应用，促进了土壤有机质的功能团组成分、土壤有机-无机复合体的结合状态以及土壤有机质的结构等研究的进展。

X-衍射线已经普遍地应用于土壤矿物的检定。现在土壤胶体化学的研究更多地注意于表面化学、膜电极的应用，从而促进了土壤吸附性离子研究的进展。70 年代中期电子探针方法的应用，进一步测定了“土-根”界面微区的养分状况，结合放射性自显影和冰冻切片方法的改进，使土壤-植物根际营养的研究方法有了很大的进展。

3. 系统分析的方法：在环境土壤学的研究中，土壤生态系统是一个极其复杂、多成分、多变量的综合系统。虽然这方面的研究早已为人们所注意，并且亦付出了很大的力量来从事其研究，但单单用传统的简单工具，进行文字、图表的定性描述方法，不仅冗长，而且大家的理解不一。自从系统分析法引入环境土壤学以后，已成为解决这些复杂问题的有效方法之一。

目前，系统分析方法中通常采用定性流程的方框图模型和定量的数学模型。前者可反映土壤生态系统中各组成部分的定性关系，可据以判断土壤环境污染现象或土壤资源（破坏程度）演变的发展趋向；后者是用定量的方法来表示这个系统。数学模型的建立，首先根据研究的任务和预定的目标，把研究的实体进行系统分析，了解其成分、结构及其相互关系，设计方框图。根据方框图对该系统各变量的影响进行实验分析，求出其参数，建立数学模型以表达各构成成分之间能量流动、物质迁移转化等的定量关系。这种复杂的数学模型需要借助于电子计算机的语言程序，以便预测土壤生态系统中某些参数的变化趋势，为制定资源和环境保护政策及优化技术方案提供科学依据，以达到土壤资源实现经营管理工作的科学化和合理化。

第一篇 土壤生态系统

生态系统是由生物群落及其生存环境共同组成的动态平衡系统。生物群落由存在于自然界一定范围或区域内并互相依存的一定种类动物、植物、微生物组成。生物群落内不同生物种群的生存环境——包括非生物环境和生物环境。生物群落同其生存环境之间，以及生物群落内不同种群生物之间不断进行着物质交换和能量流动，并处于互相作用和互相影响的动态平衡之中，这样构成的动态平衡系统称为生态系统。

土壤是披覆于地球陆地表面的疏松层，它是在土壤与环境系统之间的物质和能量运动的基础上、在土壤形成因素的长期综合作用下，而形成具有独立的内在性质和外形特征的自然体。土壤是无数种植物、动物、微生物生长和生活的重要场所，在那里既进行着生物与环境间的物质、能量的交换和转换，又存在着明显的食物链和生存斗争，它们共同构成一个生态系统，并作为陆地生态系统中的一个亚系统而独立存在，同时也具有其他生态系统所没有的一系列特点。

第一章 土壤生态系统的基本概念及其研究进展

一、土壤生态系统的基本概念

生态系统的概念是英国植物群落学家 A.G. 坦斯利(Tansley)在 30 年代首先提出来, 到 50 年代得到较为广泛的传播, 以后逐渐成为生态学的研究中心。生态系统一词引入土壤学, 并把土壤作为一个生态系统来进行研究还是近 20 年的事。

(一) 土壤生态系统的概念

土壤生态系统是土壤生物与环境之间相互作用的综合体。土壤生物主要是指土壤中的植物、动物和微生物, 以及地上部分的动植物, 它们以最紧密的方式和各种生物的生命活动联系在一起。土壤生物生存的环境包括非生物环境和生物环境。前者又可称为无机环境(物理环境), 如各种化学物质、水、光及热等因素; 生物环境又称有机环境。土壤生态系统是一个开放系统, 土壤生物同其生存环境之间, 以及不同种群的生物之间不断地进行着物质交换和能量流动, 并处于相互作用和互相影响的动态平衡之中。因此, 可以把土壤生态系统定义为: 自然界中一定空间的土壤和生长在其中的生物之间相互作用、相互制约、不断演变, 并逐步趋向动态平衡和相对稳定的统一整体的总称。它是具有一定结构和不断进行物质和能量交换等功能的基本单位。

(二) 土壤生态系统的主要特性

土壤生态系统具有一系列特殊的性质与其他系统不同的特点。

1. 土壤是一种连续介质: 土壤生态系统是一个可解剖的样块或实体, 有些实体是均质的; 但另外一些, 如土壤剖面和单个土体却是非均质的和多维性的, 因为在垂直方向上的异质性, 使它具有明显的层次结构。

2. 土壤生态系统是复杂的系统: 土壤生态系统是一个组成复杂的系统, 具有种类繁多、数量很多的生物群体及独特的物理和化学的无机环境。

3. 土壤生态系统是一个开放系统: 土壤生态系统是以生物为中心, 并与活跃的能量流动和物质转换相联系, 形成一个特殊的循环模式, 这一模式可作如下图解(图 1-1)

关于上述特征, 在以后的章节中我们还将深入地介绍。

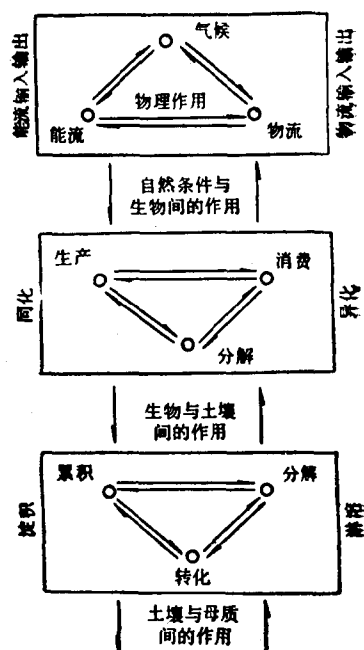


图 1-1 土壤生态系统中物质循环与能量流动的图式

二、土壤生态系统在环境系统中的地位与作用

生态系统按其环境性质和形态特征,一般可分为陆地生态系统、淡水生态系统和海洋生态系统等几大类型。土壤是独立的、复杂的、特殊的生物发展的地球外壳,它覆盖着永久冰雪以外的大陆、海洋和湖泊浅水区的陆地,是生态系统中生物有机体,特别是进行光合作用的第一性生产者植物的主要生长场所。正如海洋和淡水区域是生物有机体的主要生存场所,而各自成为一种生态系统一样,土壤生态系统也可以成为一个独立的生态系统,它是陆地生态系统中的一个亚系统,或称为陆地土壤生态系统。

环境系统是一个不可分割的统一整体,但通常把地球环境系统分为大气圈、水圈、土壤圈、岩石圈和生物圈。土壤生态系统是环境系统的重要组成部分,它处于生态系统内和生态系统之间物质、能量运动的中心环节(图 1-2),对环境系统中的生态平衡起着重要的作用。

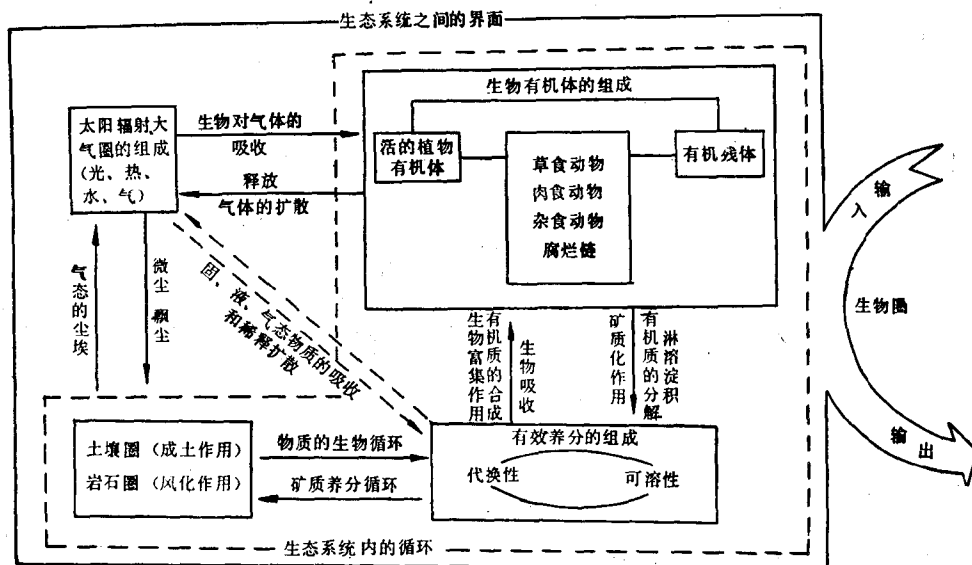


图 1-2 土壤生态系统中的物质、能量运动模式

土壤生态系统中的植物通过光合作用构成新的有机物质,每年约能累积能量 0.5×10^{15} 千瓦每小时。地球上每年以燃料、食物和饲料的形式消耗这种能量约为 7.0×10^{12} 千瓦每小时。人类燃烧由过去地质年代的植物转化成的矿物燃料所利用的能量约为 16.2×10^{12} 千瓦每小时,而其他形式的能量,如水能、风能、核能等,至今利用不多。可见,在今后相当长的一段时期内,土壤生态系统在环境系统中仍然是太阳能的累积和主要传递者之一。

每年陆地上由高等植物合成约 $n \times 10^{10}$ 吨植物干物质,同时,约有5%的植物体完全矿质化。平均每200—300—500年使每年产生的植物体矿化完成一个循环。合成的植物体每年约 3.6×10^8 吨为人类所食用,占总量的百分之几。因此,在生物圈范围内的土壤生态系统(主要是植物)中进行着全球性的能量和物质的循环交换,包括吸收碳、氮、氧、氢、磷、硫、钙、钾、硅、铁、镁等化合物和将其转化为有机质的组成部分,然后又进行矿质化作用。假如认为灰分物质

和氮素约占植物体的5%，那么整个环境系统内，陆地每年参加到生物循环中的植物营养元素就达 $n \times 10^8$ 吨，而其中大部分由于每年植物体的分解仍归还到土壤生态系统中。

地球环境系统中的大气圈，其现代成分受土壤生态系统的影响很大。地球大气中的主要成分——氧、二氧化碳、氮、氢和水汽必然参加到土壤生态系统中，其中氧、氮、碳、氢以各种形态和各种比例参加植物有机物质的合成。这些化合物在土壤动物和微生物的作用下，经历了复杂的转化。

土壤中的空气和大气中的空气不断进行交换和相互作用，释放出二氧化碳、氨、氧化氮、元素氮、硫化氢、甲烷、水汽等，土壤生态系统中的生物又不断吸收大气中的气体，尤其是氧气。大气中的氧通常是生态系统中植物光合作用的结果。氮积极参与蛋白质的合成作用。因此大气中氮的活动过程常与土壤生态系统密切相关。可以认为大气环境中的化学成分在很大程度上取决于地球上的土壤生态系统。

三、土壤生态系统研究的发展概况

1935年英国植物群落学家坦斯利首先提出了生态系统的理论，他强调了有机体与环境不可分割的观点，提出了生态系统的概念，他认为“生态系统的基本概念是物理学上使用的系统整体，这个系统包括有机复合体和形成环境的整个物理因子的复合体……。我们不能把生物从其特定的，形成物理系统的环境中分隔开来……。这种系统是地球表面上自然界的基本单位……。这些生态系统有各种各样的大小和种类”。

生态系统这个术语的产生，主要在于强调一定地域中各种生物相互之间，它们与无机环境各组成成分之间不是孤立存在、静止不动的，而是互相联系、相互制约的有规律的组合。由于它具有丰富的科学思想，从而获得了广泛的发展，并成为生态学的研究中心。

土壤生态系统的研究已有几十年的历史，虽然已有不少专著问世，但作为一门学科而言，尚处于初期阶段。苏联土壤学家B.B. 道库恰耶夫和美国土壤学家E.W. 赫格德最先认识到土壤形成受母质、生物、气候、时间等因素的影响。道库恰耶夫从土壤发生学的观点，提出了土壤形成因素学说，曾创立土壤生成因子公式，即 $S = f(Cl, O, P)t$ 。式中 S 指土壤， Cl 指气候， O 指生物， P 指母质。因他的工作以俄罗斯平原为主，从而忽视了地形在土壤形成中的作用，他认为地形只对“泛域土”有重要意义而未放入公式内。以后的土壤学家也提出了相似的公式，即 $S = f(Cl, O, r, P, t \dots)$ ，从而使B.B. 道库恰耶夫的原始公式从一般的概念发展为研究土壤发生过程中各种内在联系的有效工具。H. 詹尼(Jenny)(1941)明确指出，成土因子本身并不是土壤构成者，而只是一些变量或状态因子限定土壤系统(soil system)的状态。1961年詹尼将道库恰耶夫的土壤形成因子公式扩大到一个较为广泛的生态系统学基础，而采用生态系统的状态因子公式，即

$$I, S, V, A = f(L_0, P_r, t) \quad (1-1)$$

式中 生态系统状态 I 、土壤性状 S 、植被性状 V 以及动物状态 A 是三个状态因子的函数。这三个状态因子是生态系统原始状态 L_0 ，外界流动量位势 P_r 和生态系统的发展时间 t_0 。这是“状态因子”公式最概括的形式，三个因子阐明了生态系统的状态。

式(1-1)中 I 是指整个生态系统的性状, S, V, A 是指三个相互作用的亚系统的性状。三个亚系统各自受外界流通量位势的影响, 同时三者又是互相影响的。

L_0 与 P_x 这两大组变量可续分为亚组如下:

L_0 亚组包括生态系统中土壤部分的原始的无机和有机基质, 它的矿物质的、化学的和物理的成分称为母质, 以 P 表示之; 还包括生态系统的外表形态——地形状况, 特别是坡度和坡向, 以 r 表示之。

外界流动量位势 P_x 属于环境的性状, P_x 的亚组包括生态系统界面以上的气候, 特别是指降水和温度, 以 Cl 表示之; 还包括生物因子, 以 O 表示之。除 Cl 和 O 有普通意义外, 还有许多 P_x 因子, 如尘暴, 洪水或逐年施加的肥料等, 暂不给以符号。

因此, 用亚组的符号代入公式(1-1), 即得展开的状态因子公式:

$$I, S, V, A = f(Cl, O, r, P, t \dots) \quad (1-2)$$

式中 点号指 L_0 组与 P_x 组中其他特殊因子; Cl 和 O 可以是或不是 t 的函数, 而 r 和 P 则认为是不随时间改变的。

道库恰耶夫的继承者 $H. M.$ 西比尔泽夫 ($H. M.$ Сибирчев) 和 $B. P.$ 威廉斯 ($B. P.$ Вильямс) 等人发展了他的学说, 特别是威廉斯强调土壤发生过程中生物因子起着主导作用, 诚然, 这在黑钙土地带是非常明显的, 但这不是千篇一律的现象。不同地区不同类型的土壤往往有某一个状况因子占优势。尽管他的学说具有一定的局限性, 但这对于研究生物有机体在土壤生态系统中的作用, 仍具有积极意义。

1964年 $B. P.$ 伏洛布耶夫 ($B. P.$ Волобуев) 的《土壤与气候》一书出版。这是他长期从事气候因素对土壤发生性质影响研究的成果, 在此基础上又发展成为土壤生态学。作者在该书中广泛论述了成土因素与土壤类型的变化规律, 并试图探究成土过程中的能量转化问题, 这对于土壤生态系统的研究起了一定的作用。

苏联学者 $B. H.$ 苏卡切夫 ($B. H.$ Сукачѳв) (1940、1942、1945、1947、1957) 提出了生物地理群落的概念, 这是指在一定地表范围内的自然现象(大气、岩石、植物、动物、微生物、土壤、水文条件)的总和, 这与坦斯利的生态系统基本概念显然是相同的。因此, 1965年在丹麦哥本哈根的国际生态学会议上正式决定, 生态系统与生物地理群落被视为同义语, 可以相互通用。生物地理群落的研究方法已渗透到森林、草原与农田土壤生态系统研究的各个方面。

近20多年来, 由于当代世界上若干重大社会问题的出现, 尤其是环境土壤污染, 以及土壤资源开发利用不合理所引起的生态平衡破坏等问题日益加剧, 促进了土壤生态系统研究的迅速发展, 使土壤生态系统的研究进入了一个新的时期。