

高等学校教材

土壤环境学

土壤环境污染防治与土壤生态保护

李天杰 主编

李天杰 宫世国 潘根兴 肖月芳 编著



高等教育出版社

高等学校教材

土壤环境学

——土壤环境污染防治与土壤生态保护

李天杰 主编

李天杰 宫世国 潘根兴 肖月芳 编著

高等教育出版社

1995.7

7-

(京)112号

内 容 提 要

本书共分四篇,第一篇总论,着重介绍土壤环境的组成与特性、土壤背景值、土壤环境容量等;第二篇论述了土壤环境污染及其防治,着重阐述了土壤重金属污染、土壤有机污染、放射性污染及其防治;第三篇论述了土壤生态保护与防治土壤退化,重点说明了大气酸沉降与土壤酸化、污水灌溉、固体废弃物、化肥施用对土壤环境的影响;第四篇论述了土壤评价、区划、规划与管理等。

责任编辑 张月娥
责任绘图 汪 婷
责任封面设计 王 喆

图书在版编目(CIP)数据

土壤环境学:土壤污染防治与土壤生态保护/李天杰等
编著. —北京:高等教育出版社,1996

ISBN 7-04-005657-7

I.土… II.李… III.①土壤学:环境-生态学-生态防
治②土壤环境-环境污染-污染防治 IV.X21

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 17713 号

高等教育出版社出版

北京沙滩后街 55 号

邮政编码:100009 传真:4014048 电话:4054588

新华书店总店北京发行所发行

河北省香河县印刷厂印装

开本 787×1092 1/16 印张 21.5 字数 530 000

1996 年 5 月第 1 版 1996 年 5 月第 1 次印刷

印数 0001—4 211

定价 16.00 元

凡购买高等教育出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页等
质量问题者,请与当地图书销售部门联系调换。

版权所有,不得翻印

前 言

土壤环境学作为一门环境科学和土壤科学之间的边缘分支学科,是在本世纪 60 年代随着环境科学的兴起而逐步发展起来的。在它的初期发展阶段,着重于研究土壤污染的发生和防治,土壤环境质量评价等方面,反映这方面发展的论著也多是有关土壤污染防治技术与环境土壤学方面的。但随着整个环境科学向着重视生态环境研究的趋势,土壤环境学研究的内容也在不断地丰富与扩展,土壤生态环境与生态保护研究也同样愈易受到重视,并获得重要进展,例如土壤环境退化研究,包括土壤沙化、水土流失、盐渍化、酸化……,以及土地的非农业化侵占等。而随着土壤环境学的发展,同时也受到了有关环境和土壤科学部门和社会上的重视,并给予厚望,如 1994 年在墨西哥召开的 15 届国际土壤学大会上决定成立一个新的土壤环境专业委员会便是其中的一个例证,预示着土壤环境学研究将会有进一步发展的广阔前景。

本书最早脱胎于 1981 年由刘培桐先生主编的《环境科学概论》(水利出版社出版)中土壤污染及其防治一章。其后在安徽师范大学拓宽内容并做为有关土壤污染与防治的教学试用教材。但为了适应环境科学研究和教学发展新形势的需要,于 1993 年在国家教委环境科学指导委员会的支持与建议下,经与北京师范大学李天杰教授、南京农业大学潘根兴教授、山东农业大学萧月芳教授和安徽师范大学官世国副教授共同协商交换意见,决定在土壤污染与防治原教材基础上,加以充实更新、扩展和深化,使其成为溶土壤环境学基础理论、土壤污染与防治、土壤生态环境保护和土壤环境质量评价、规划和管理为一体的较为完善的土壤环境学教学体系。土壤环境学是一门研究土壤环境的形成,结构与特性,及其调控、预测和利用改造的科学。

全书共有 4 篇、15 章。第一篇总论,着重介绍土壤环境的组成与特性、土壤背景值、土壤环境容量;第二篇论述土壤环境污染及其防治,着重阐述土壤重金属、有机物和放射性污染及防治;第三篇论述了土壤生态保护与防治土壤退化,着重阐述了大气酸沉降与土壤酸化、污水灌溉、固体废物、化肥施用对土壤环境的影响,以及土壤环境与全球问题;第四篇论述了土壤环境评价、区划、规划与管理等。其中绪言、第 3、14、15 章由北京师范大学李天杰教授编写;第 1、2、9 章由山东农业大学萧月芳教授编写;第 4、5、6、7 章由安徽师范大学官世国副教授编写;第 8、10、11、12、13 章由南京农业大学潘根兴教授编写。全书由主编李天杰教授审核。

本书可作为环境、地理各专业、农业院校有关专业的教材,亦可作为有关环境科学工作者的参考书。

本书编写过程中刘培桐教授生前对其曾表示极大关怀。承蒙北京师范大学环境科学研究所王华东教授对全书进行了仔细认真地审阅,提出了很多宝贵而重要的修正建议,并热情地为本书写了序言;本书还得到本所许嘉琳教授,华东师范大学王云教授,中国科学院地理所夏增禄研究员的积极支持。周全斌同志参与了第 14、15 章的部分编写工作,曹俊忠、王红瑞、丁尧清和李金香同志等都为本书作了许多具体有益的工作。高等教育出版社张月娥编审对本书的编写和出版始终都给予了极大的支持,并对本书的编写内容提出很多宝贵意见并参与其具体修改工作,汪婷同志负责全书图表的清绘、制作工作,王喆同志负责封面设计。在此,对他们表示衷心的感谢。

由于土壤环境学是一门新兴的尚在发展中的学科,还存在有许多论点、内容和体系上的不成

熟地方,加上资料文献日新月异。并限于作者水平,书中难免有谬误和不当之处,欢迎读者批评指正。

李天杰

1995.6.16

目 录

前言	1	§ 1-3 土壤环境的基本特性与主要过程	21
绪言	1	一、土壤环境的物理学特性及其对污染物迁移的影响	21
§ 0-1 关于环境和环境科学	1	二、土壤环境中的胶体物质对环境的影响	22
§ 0-2 土壤环境的概念	1	三、土壤环境中化学平衡体系	25
一、土壤环境和土壤环境学	2	四、土壤环境中的络合-整合平衡体系	26
二、土壤环境学的主要研究内容	2	五、土壤环境中的氧化还原平衡体系	27
三、土壤环境学的研究方法	2	六、土壤环境中的酸碱物质体系	28
§ 0-3 土壤环境与地球表层环境系统	3	七、土壤环境中的生物体系	29
一、土壤环境是地球表层环境系统的组成要素	3	✓ 第二章 土壤环境背景值	32
二、土壤环境在该环境系统中的地位和作用	3	§ 2-1 土壤环境背景值概述	32
三、人类活动对土壤环境的影响	4	一、土壤环境背景值的概念	32
四、全球变化与土壤环境变化	4	二、土壤环境背景值研究的现状	32
§ 0-4 土壤资源利用和土壤环境	5	三、土壤环境背景值的研究方法	34
一、土壤资源的特性	5	§ 2-2 土壤环境背景值的分异	44
二、土壤资源利用中的土壤环境问题	5	一、影响土壤环境背景值分异的因素	44
§ 0-5 土壤生态系统与农业生态系统保护	6	二、土壤环境背景值的空间分异特征	51
一、土壤生态系统的组成与结构	7	§ 2-3 土壤环境背景值图的编制	52
二、土壤生态系统的功能	8	§ 2-4 土壤环境背景值的应用	53
三、土壤生态系统平衡	10	一、土壤环境背景值是制定土壤环境质量标准的基本依据	53
§ 0-6 土壤环境保护问题	10	二、土壤环境背景值在农业生产上的应用	55
一、土壤环境污染问题	10	三、土壤环境背景值与人类健康	56
二、土壤生态环境与生态保护问题	11	四、土壤环境背景值异常在找矿上的意义	57
§ 0-7 土壤环境评价、规划与管理	12	✓ 第三章 土壤环境容量	59
第一篇 土壤环境总论	15	§ 3-1 土壤环境容量的概念	59
第一章 土壤环境的组成与特性	16	一、环境容量	59
§ 1-1 土壤环境的形成特征	16	二、土壤环境容量	59
一、土壤母质决定了土壤环境的最初性状	16	§ 3-2 土壤环境容量的理论依据	61
二、大气温度和湿度是土壤物质转化、迁移的动力和条件	17	一、土壤环境的净化功能	61
三、生物是土壤环境形成中最活跃的因素	17	二、土壤环境的缓冲性能	64
四、人类活动干预了土壤环境质量	18	§ 3-3 土壤环境容量的确定及其模型	65
§ 1-2 土壤环境的物质组成与结构	18	一、确定土壤环境容量的因素	65
一、土壤环境的物质组成	18	二、土壤环境基准含量的确定	69
二、土壤结构与土壤环境结构	20	三、土壤环境容量模型的建立	69
		§ 3-4 土壤环境容量的区域分异与分区	75
		一、分区的目的意义	75

二、分区的原则	75	§ 5-4 土壤环境其他重金属污染	131
三、分区的方法	79	一、铜污染	131
§ 3-5 土壤环境容量信息系统及其应用	81	二、锌污染	133
一、信息系统的结构和功能	82	三、锰污染	133
二、土壤环境容量信息系统在总量控制中的 应用	84	四、镍污染	134
§ 3-6 土壤环境容量的应用	86	§ 5-5 土壤环境重金属污染的调控与 防治	135
一、制定土壤环境标准	86	一、土壤重金属污染调控与防治的基本原则	135
二、制定农田灌溉用水水质和水量标准	86	二、土壤重金属污染的调控与防治措施	136
三、制定污泥施用量标准	89	第六章 土壤环境化学农药污染及其 防治	139
四、区域土壤污染物预测和土壤环境质量评价	89	§ 6-1 常用化学农药种类	139
五、污染物总量控制上的应用	90	一、有机氯农药	140
第二篇 土壤环境污染及其防治	91	二、有机磷农药	140
第四章 土壤环境污染	92	三、氨基甲酸酯类农药	141
§ 4-1 土壤环境污染的概念	92	四、拟除虫菊酯类农药	142
一、土壤环境污染的过程	92	§ 6-2 化学农药使用现状和发展趋势	143
二、土壤环境的自净作用	92	一、化学农药的作用	143
§ 4-2 土壤环境污染物与污染源	95	二、化学农药的危害	143
一、土壤环境污染物	95	§ 6-3 农药在土壤环境中的迁移、降解和 残留	145
二、土壤环境污染源	96	一、土壤对农药的吸附作用	145
§ 4-3 土壤环境污染发生类型及其特征	97	二、农药在土壤环境中的迁移	148
一、土壤环境污染发生类型	97	三、农药在土壤环境中的降解过程	150
二、影响土壤环境污染的因素	98	四、农药在土壤环境中的残留	155
§ 4-4 土壤环境污染现状与发展趋势	99	§ 6-4 化学农药污染危害与防治	158
一、国外土壤环境污染现状与发展趋势	99	一、土壤环境化学农药污染危害	158
二、我国土壤环境污染现状与发展趋势	100	二、土壤环境化学农药污染的防治	160
第五章 土壤环境重金属污染及其 防治	102	第七章 其他物质对土壤环境的污染 及其防治	166
§ 5-1 土壤环境重金属污染的基本 特征	102	§ 7-1 石油及其他有机污染物对土壤 环境的污染	166
一、土壤环境中的重金属	102	一、土壤环境的石油污染	166
二、土壤环境重金属污染的特征	102	二、土壤环境的其他有机物污染	168
§ 5-2 重金属在土壤环境中的行为 特征	105	§ 7-2 土壤环境氟污染及其防治	172
一、重金属在土壤环境中的赋存形态	105	一、土壤环境中氟的污染来源	172
二、重金属在土壤环境中的迁移转化	105	二、土壤环境中氟的迁移与累积	172
§ 5-3 土壤环境有害重金属污染	112	三、土壤环境氟污染的危害及其防治	172
一、汞污染	112	§ 7-3 土壤环境放射性污染与防治	173
二、镉污染	117	一、土壤环境中放射性物质的来源	173
三、铅污染	121	二、放射性物质在土壤环境中的积累和危害	174
四、铬污染	125	三、土壤环境放射性污染的控制与防治	175
五、砷污染	128	§ 7-4 土壤环境生物污染及其防治	176

第三篇 土壤生态保护与防治土壤退化

..... 179

第八章 大气酸沉降与土壤酸化 180

§ 8-1 大气酸沉降现象 180

一、大气酸沉降的基本认识 180

二、大气酸沉降的形成及其原因 184

§ 8-2 大气酸沉降对土壤环境的影响

——土壤酸化过程 188

一、土壤酸度 189

二、土壤酸化过程 189

三、土壤酸化过程对生态系统的效应 196

§ 8-3 土壤对大气酸沉降的敏感性

分析 199

一、土壤对 H^+ 的缓冲体系 199

二、土壤对大气酸沉降的敏感性参数 200

三、土壤对酸雨的敏感性分区 201

四、土壤酸化过程的控制与生态恢复 202

第九章 污水灌溉与污水土地处理系

统对土壤环境的影响 203

§ 9-1 污水灌溉对土壤环境影响的研究

概况 203

一、国外的研究状况 203

二、我国的研究概况 204

§ 9-2 灌溉污水中的污染物及其生态

效应 205

一、灌溉污水的种类及其特征 205

二、灌溉污水中离子态物质的环境效应 210

三、灌溉污水中重金属的环境效应 211

四、灌溉污水中有机污染物的环境效应 213

五、灌溉污水的增产效应 215

§ 9-3 污水土地处理系统及其效应 217

一、污水土地处理系统概论 217

二、污水土地处理系统规划与设计 221

第十章 固体废弃物对土壤环境的

影响 225

§ 10-1 固体废弃物概论 225

一、固体废弃物的概念 225

二、固体废弃物的分类 225

三、固体废弃物的排放与处理 226

§ 10-2 污泥及其对土壤环境的影响 228

一、污泥的种类及性质 228

二、污泥土壤处置对土壤环境的影响 231

三、污泥对土壤环境污染的控制 234

§ 10-3 生活垃圾对土壤环境的影响 236

一、生活垃圾的类型及性质 236

二、生活垃圾堆放对土壤环境的影响 239

三、生活垃圾的处理与处置 242

§ 10-4 粉煤灰对土壤环境的影响 244

一、粉煤灰的成分及性质 244

二、粉煤灰对土壤环境的效应 246

三、粉煤灰的综合利用 247

第十一章 化肥施用对土壤环境的

影响 248

§ 11-1 农业中的化肥 248

一、我国化肥施用的发展 248

二、化肥的用量与利用率 249

§ 11-2 化肥施用对土壤环境的效应 250

一、化肥的重金属元素污染 250

二、化肥中有机副成分污染 252

三、化肥的放射性污染 252

四、化肥对土壤和环境的影响 255

§ 11-3 化肥土壤环境问题的控制 260

一、调整肥料结构 260

二、调整肥料投向 260

第十二章 工程建设对土壤环境的

影响 261

§ 12-1 大型水利枢纽工程对土壤环境的

影响 261

一、水利工程对土壤环境的一般影响 261

二、调控和防治水利工程对土壤环境的影响 263

§ 12-2 资源开发工程对土壤环境的

影响 263

一、资源开采业对土壤环境的影响 263

二、煤矿开采对土壤环境的影响 265

三、金属矿床开采对土壤环境的影响 267

四、矿山的土地复垦与生态保护 269

第十三章 全球变化与土壤环境变化 272

§ 13-1 全球环境变化概述 272

一、全球环境变化的概念 272

二、晚第四纪以来的全球气候变化 274

三、工业革命以来的全球环境变化现象 275

§ 13-2 全球土壤变化 278

一、基本概念 278

二、全球环境变化下的土壤变化 278

三、土壤在全球环境变化中的作用.....	280	三、评价方法.....	304
§ 13-3 人类开发利用中的土壤退化及其防治.....	284	§ 14-3 土壤环境影响评价.....	308
一、土壤退化的基本概念.....	284	一、环境影响评价.....	308
二、我国土壤退化的基本态势.....	285	二、土壤环境影响评价的概念和主要研究内容.....	309
三、土壤退化及其防治.....	286	三、土壤环境污染预测与评价.....	310
第四篇 土壤环境评价、区划、规划与管理	297	四、土壤退化预测.....	312
第十四章 土壤环境评价	298	五、土壤环境风险评价.....	314
§ 14-1 土壤环境评价的概念、内容和研究方法.....	298	第十五章 土壤环境区划、规划与管理	318
一、土壤环境评价的概念.....	298	§ 15-1 土壤环境区划与规划.....	318
二、土壤环境质量的研究内容和方法.....	298	一、土壤环境区划.....	318
三、土壤环境质量综合评价的框架和指标体系的建立.....	299	二、土壤环境规划.....	319
§ 14-2 土壤环境质量现状评价.....	301	§ 15-2 土壤环境管理.....	322
一、评价参数的选取.....	301	一、环境管理.....	322
二、评价标准的确定.....	303	二、土壤环境管理.....	323
		附录 1 农田灌溉水质标准	327
		附录 2 农用污泥中污染物控制标准	330

绪 言

§ 0-1 关于环境和环境科学

所谓环境是相对于某项中心事物而言的，若中心事物是人类，则环境就是指人类的生存环境整体，它是人类赖以生存和发展的基础。而人类对环境、资源的利用、开发和建设活动则是人类维持生存，争取发展的基本手段。因此，利用、开发和建设活动就成为人类影响环境的最重要而且经常的形式，环境问题产生的根源。特别随着近代产业革命的兴起，现代工业和农业的发展，人类开发建设活动对环境的影响日益加深，环境问题随之也愈益突出。为了研究日益产生的环境问题，寻求解决问题的对策与措施，于本世纪 60 年代酝酿产生了一门新兴的综合学科——环境科学。

环境科学就是以人与环境这对矛盾的对立统一关系为研究对象，研究其发生、发展、预测、调控、管理及其改造利用的科学。人与环境构成的人类-环境系统是对立统一体。一方面，人类生存和发展所依赖的环境和资源，按照其固有的自然规律发生与发展，这些固有的规律及其属性必然在制约着人类活动；另一方面，人类为了维持其生存与发展，不仅利用环境资源，而且将之做为改造的对象，从而使环境转变为更适合于人类的生存场所。而这些开发建设活动与环境的客观过程和属性之间，不可避免地存在着矛盾。也正是因为人类的改造活动随着人类社会的发展日益深刻，不再有单纯的自然环境存在，而是在自然环境背景上，经过人类改造和加工的所谓“深深打上人类活动印记”的环境环绕于人类周围，它凝结着自然因素和社会因素的交互作用，体现着人类利用和改造自然环境的性质和水平，影响着人类的生产和生活，关系着人类的生存和健康。总之，环境是一个系统，因为组成环境的各个要素与部分之间有着有机的关系，并存在着物质、能量与信息交流。以人类为中心的生存环境更是一个包括自然环境系统与社会环境系统在内的高级的多层次复杂大系统。

§ 0-2 土壤环境的概念

土壤作为独立的历史自然体，被定义为位于地球陆地具有肥力、能够生长植物的疏松表层。因而人类最早就将其做为农业的主要生产资料，农业劳动的改造对象，土壤也就成为人类赖以生存的重要自然资源。以土壤的主要客观属性肥力为中心，不断研究、探索有关土壤的发生、发展、分类、性质和地理分布规律，从而建立并发展了现代的土壤科学。

但是，从环境科学角度看，土壤不仅是一种资源，还是人类生存环境的重要组成要素。即作为环境的组成要素。由于土壤环境的特殊物质组成、结构、空间位置，除了肥力外，尚具有另外一些重要的客观属性——土壤环境的缓冲性、同化和净化性能。这些性能使土壤在稳定和保护环境生存环境中起着极为重要的作用，在某种程度上这种重要性并不亚于土壤肥力对于人类生存发展的意义。此外，我们还必须认识土壤的这些性能——肥力特性及生产性能与缓冲、同化和净化性能之间存在着内在联系，这会使我们更加深刻认识到合理利用土壤资源和保护土壤环境

的内涵及其深远的意义。然而迄今,对于土壤环境的环境功能和环境保护的意义,人类尚未有足够的认识和重视,也缺乏系统而深入的研究。现在,环境问题正日趋严重,日益困扰和威胁人类的生活,增强和提高全人类的环保意识成了时代的需要,此时,加强对土壤环境的研究和认识,就不仅仅是土壤环境保护的需要,而是保护全球环境的需要,也是使人类社会经济与环境协同、持久而永续发展的需要。

一、土壤环境和土壤环境学

所谓土壤环境实际上指连续覆被于地球陆地地表的土壤圈层。土壤环境学则是以人类和土壤环境的特殊矛盾为研究对象,应用土壤学、环境学以及其他相关学科——地理学、生态学和环境地球化学等的基本理论和知识,研究土壤环境的发生和发展,特别是人类活动对土壤环境的组成、结构、性质和环境质量的影响,为预测、调控、管理、改造利用及保护土壤环境服务的科学。因而从学科性质上讲,土壤环境学与环境土壤学同属于土壤学和环境学之间的交叉学科或边缘学科,其区别之处在于前者侧重于环境学角度,以土壤环境为研究范畴,属于环境科学的一个分支学科;后者则侧重于土壤学的角度,研究土壤的环境问题,仍属于土壤学的一个分支。

二、土壤环境学的主要研究内容

(一) 从环境学角度研究土壤环境的物质组成、环境结构和土壤环境中的物理、化学和生物过程。

(二) 从系统论和环境地球化学观点来研究土壤环境内部各子系统间、地球表层环境系统中土壤环境与其他子环境系统之间物质与能量交换、迁移和转化过程。

(三) 从生态系统观点研究土壤生态系统中污染物质的迁移转化对生物的生态效应和环境效应。

(四) 人类活动和全球变化对土壤环境的影响,土壤环境对人类活动和全球变化的响应和反馈作用。

(五) 土壤环境的评价、区划、规划和管理的原则和方法,土壤环境的预测与调控,土壤环境保护的方法,对策与措施研究。

三、土壤环境学的研究方法

土壤环境学带有多学科和跨学科的特点,因而从方法论到研究方法它都具有综合研究的显著特色。依据土壤环境学研究对象的特点和研究目的,其主要研究方法有:

(一) 宏观调查和微观分析相结合的研究方法

土壤环境学既要通过现场实况调查,取得大量观测数据,以掌握诸如土壤环境污染源、环境背景值、区域环境容量、环境质量、各环境要素间的物质与能量交换、迁移转化等宏观的地质上的时空变化规律;同时还要进行土壤环境中物质赋存状态、物质与能量迁移转化过程微观机理方面的研究,并从两者的结合上探索土壤环境研究的新途径。

(二) 室内分析测试法

土壤环境学研究对分析测试技术的现代化、自动化和精度要求较高,如土壤环境的物质成分既包括大量元素、中量、微量和超微量元素,也包括无机物和有机物,不同价态、不同赋存形态的物质,因而在对土壤环境进行系统分析时,要求分析测试仪器和分析方法既要有较大的灵敏度范围,也要有不同的精度,对某些超微量元素的最低检出限达到 10^{-9} 或 10^{-12} 数量级。为适应土壤环境动态变化监测的需要,解决土壤环境研究样品分析数量过大的问题,还要研制新的分析测试

仪器,制订新的研究方法,实现测试的自动化和连续测试。

(三) 模拟试验研究方法

这是应用生态系统观点,采用盆栽试验和其他模拟实验技术手段,研究土壤-植物耦合开放系统中污染物质的赋存形态、迁移转化过程及其生态效应和环境效应,确定土壤环境容量,制定土壤环境标准,并建立土壤环境容量的数学模型,做为土壤环境预测、调控、规划和管理的重要依据。事实证明模拟试验是土壤环境研究行之有效的研究方法。近来模拟试验技术手段上还采用了土壤-植物系统开放式渗漏计(open lysimeter)和抽吸式渗漏计(suction lysimeter)以及环境污染模拟试验系统。

(四) 数理统计分析法

对土壤环境研究取得的大量观测和分析数据,进行数理统计分析,建立在微机上可操作运行的数据库、数据检索系统、数据分析和各种数学模型,以至土壤环境信息系统,对土壤环境变化进行预测、调控、评价、规划和管理,以及制定土壤环境保护的技术经济方案,进行优选和决策等,是土壤环境研究的重要发展方向与途径。

§ 0-3 土壤环境与地球表层环境系统

一、土壤环境是地球表层环境系统的组成要素

所谓地球表层环境系统是指地球表面由大气圈、水圈、生物圈、土壤圈和岩石圈所共同组成的环境系统。它是地球上与人类最为息息相关的生存环境。地球表层环境系统中各个圈层可以看作该系统的子系统,各子系统内部可继续划分亚子系统。对于地球表层环境系统中子系统和亚子系统而言,它们既是相对独立的,又都不是孤立的,而是相互作用、相互联系的有机整体,是在全方位上开放的系统。也就是说该系统的子系统和亚子系统之间,不断通过物质与能量的交换、迁移与富集过程而相互影响和相互制约,这是认识、分析、研究土壤环境做为地球表层环境系统的一个子系统的发生发展因果关系的根本出发点和依据。

二、土壤环境在该环境系统中的地位和作用

土壤环境系指位于地球陆地表面的疏松土壤圈,其上界面直接与大气和生物圈相接,下界面则主要与岩石圈及地下水相连,生物圈的主要组成部分植物则植根于土壤环境中。可见土壤环境在整个地球表层环境系统中占据着特殊的空间地位——处于大气圈、水圈、岩石圈及生物圈的交接地带,是联结无机环境和有机环境的纽带,因为作为环境系统分析,它与大气、水体和生物都密切不可分。它是地表环境系统中各种自然的、物理的、化学的以及生物过程、界面反应、物质与能量交换、迁移转化过程最为复杂、最为频繁的地带,也是环境变化信息较为敏感和丰富的子环境系统。正是由于土壤环境的这种特殊位置,促使它在该环境系统中起着重要的稳定与缓冲作用。美国著名土壤学家叶尼(H. Jenny)曾指出,由于土壤环境对于大气降水和气温的调节和缓冲作用,才使得气候从赤道向两极的变化不致那样急骤而和缓许多。土壤对于全球气候变化的影响,实际上绝不限于此,如当今为全世界人类所关注的全球变化热点之一——因大气环境中痕量温室气体浓度增加而产生的温室效应,其中有多种痕量温室气体是由于土壤环境向大气释放与扩散的,如 CH_4 (30%)、 N_2O (20%)、 SO_2 (?)和 H_2O 等。同时,土壤环境也是大气环境中这些气体浓度变化的调节平衡机制之一。土壤环境有较强的净化能力、较大的环境容量,因而它在地球表层环境系统的污染净化过程中起着极为重要的作用。如人类很早就意识到土壤环境的这一

功能,把它当作动物粪便、有机废物、垃圾的处理场所。现代发展起来的污水灌溉、污泥施田、垃圾处理,特别是近十多年来国内外发展起来的土地处理系统,更是人类有意识、有目的地在利用土壤的环境功能和环境容量。为使“三废”物质资源化,变废为宝,创造人工的特质小循环,既可使营养元素得以循环利用,同时也改善和保护了人类生存环境;使经济与环境能够协同发展,物质能够得到持久而永续的利用。因此,土壤作为一个环境要素,其稳定协调与缓冲环境发生与发展的环境功能,正在受到人们的重视和重新认识。但土壤环境的这种稳定和缓冲作用是有限的,若输入土壤环境的污染物质的数量和速度超过了土壤的自净能力,或超过了土壤环境的容纳能力,不但会使土壤环境遭受污染或招致土壤生态系统平衡的破坏,而且可通过各种迁移途径,使大气、水和生物环境发生“次生污染”。

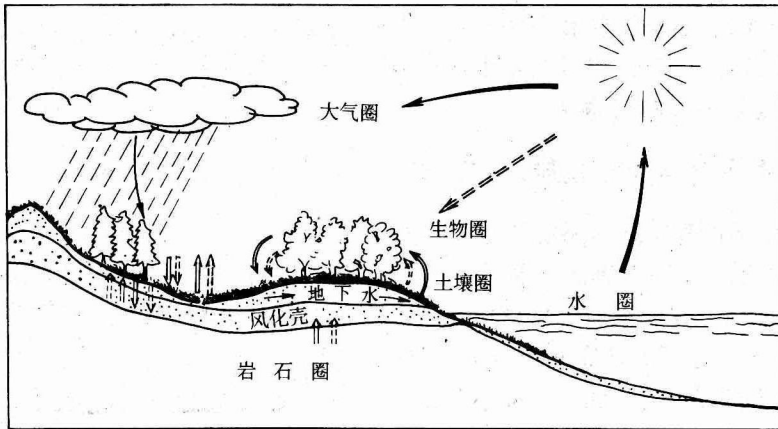


图 0-1 土壤环境在地球表层环境系统中的地位

三、人类活动对土壤环境的影响

人类作为“人类-环境”系统的组成部分,从一出现,就与环境构成了对立统一体,就在对立统一的过程中发展。人与土壤环境正是这一关系的具体表现。人类在利用和改造土壤环境的过程中,人类活动对其影响性质和程度是不同的。例如人类最初只是采食土壤上生长的植物产品,仅对土壤生态造成一定影响,对土壤环境的影响甚微;在开垦利用土壤作为种植业基地的最初阶段,也仅是破坏了土壤的自然植被和土壤肥力的自然平衡,还可以通过撂荒手段使植被自然恢复或施有机肥来恢复土壤肥力,但当人类利用土壤过度,超过了土壤的自然恢复能力,依靠上述手段不再能恢复其生态平衡时,便产生了土壤侵蚀、沙化、盐渍化、沼泽化和肥力下降等土壤退化现象。随着社会经济的发展和科学技术的进步,人口的增长,人类活动对土壤环境的影响深度和强度不断增强,人类不但在利用而且在改造土壤环境,甚至影响产生新的土壤环境,如新的人工土壤类型(水稻土、瘠土、厚熟土、灌淤土和堆垫土)和农田生态系统。另外,也由于过度利用土壤环境,使土壤退化面积不断扩展和加深,土壤生态环境恶化;同时由于“三废”物质的积累,输入土壤环境的绝对数量在不断增加,逐渐超过土壤环境的承载能力,结果使土壤环境严重污染,质量下降,从而出现更深刻的土壤环境危机。由此可见,人类活动对土壤环境的影响是多方面的,是土壤环境问题发生的主要根源。

四、全球变化与土壤环境变化

土壤环境是自然环境诸要素长期、综合作用下的产物,因此,土壤环境的形成和发展、物质组成、结构与功能都与地球表层自然环境的时空变化密切联系着。俄国著名土壤学家道库恰耶夫曾譬喻土壤是反映环境的一面镜子,可见两者之间密不可分的相互关系。全球变化最重要的是全球性气候变化,如全球性气候变暖趋势可导致全球自然地带的各种变化,由于气温升高而引起的海平面上升,也必然会使全球土壤环境发生相应的变化与响应。有的区域可能向有利的方向(如温度和湿度的增加)转变;而另一些地区可能向不利的(干旱)方向变化,或者遭受海水淹没,或使咸水通过地下向大陆浸润。臭氧层变薄可能影响到生物圈和土壤生态系统的改变。总之,土壤环境的发生发展仍在受着自然环境系统所固有的自然规律的制约。因此,我们需要辩证地分析“人类-环境系统”中人类和自然环境的相互作用,一方面是自然环境对人类活动的影响和制约;另一方面是人类对于环境的影响。如果不顾及环境问题的这两个方面,都将是不完备的。所以人与土壤环境的相互作用将是土壤环境研究的中心课题。

§ 0-4 土壤资源利用和土壤环境

一、土壤资源的特性

土壤具有肥力是人类最早认识和利用的基本土壤特性,也是人类在利用土壤过程中最先产生的经常性土壤环境问题的缘由。

土壤肥力包括自然肥力和经济肥力。自然肥力是土壤自然形成过程中的产物;而经济肥力主要是在人类活动综合作用下才具有的,它实际包括着自然肥力和人工肥力。因此,土壤肥力水平的高低是可以随着人类对土壤的利用和改造过程而改变的,在此意义上土壤属可更新或再生性自然资源范畴。

但地球上土壤资源的面积一般说来在理论上是不变的、有限的,因而在此意义上它又是不可更新的资源。再说土壤肥力虽然在理论上讲是可以不断提高的,但在一定的社会经济和技术水平下,提高也是有限的,因而单位面积土壤对人口(或动物)的承载力,或者说环境容量是有一定限度的。这样,全球人口的不断增长与可资利用的土壤资源的有限性就形成了难以克服的供需矛盾,这种矛盾是土壤环境问题产生的另一个重要缘由。

二、土壤资源利用中的土壤环境问题

(一) 土地利用类型变化

人类对土壤资源利用的直接后果,是土地利用类型比例的变化,它影响着土壤生态平衡、经济发展与环境的协调性。

(二) 土壤退化

如上所述,世界土壤资源面积和承载力的有限性与人口增加而不断增长的需求之间的矛盾日益增大,其结果是对土壤资源的压力增大,因而不但土壤的经济肥力不会提高,而且对土壤自然肥力的掠夺式利用会增加,土壤的生态平衡迅速恶化,加速了土壤的退化,土壤退化则进一步使土壤肥力和农产品产量下降,最终导致土壤资源与人口增长之间的矛盾激化,生态平衡陷入恶性循环。

(三) 土壤环境污染

随着现代农业的发展,为提高土壤单位面积产量而不断增加的化肥和农药的投入量;为了缓和并解决水资源紧缺而采用的污水灌溉和土地处理系统;为提高土壤有机质含量而施用的污泥

和生活垃圾等等,这些过程和措施都使土壤环境中污染物质的累积量逐渐增加,最终招致土壤环境的污染。1968年日本富山县神通川流域,由于农民用含镉的污水灌溉而生产出“镉米”,导致当地居民们食后得了“痛痛病”,这不过是土壤环境污染造成恶果的突出一例而已。

(四)土壤被侵占——非农业用地面积比例增加 141 4/1

土壤被侵占主要是指城市化、工矿业和其他建设项目等的非农业用地所占的面积比例在惊人地增长。它不但加剧了土壤资源和人口膨胀之间的矛盾,而且使土壤环境污染的面积急剧扩张和污染情况加重。

据有关资料统计和预测,本世纪末世界人口将接近 65 亿,到下个世纪,地球的人口将达到 80—140 亿。据估计地球上所能承载的人口极限为 80 亿,逾越这个极限对经济发展将造成不可估量的压力。现世界可耕地面积约 29.55 亿公顷,世界人均可耕地在逐年锐减,据推算,到 2000 年仅为 0.13 公顷;目前全世界森林每年减少 1 800—2 000 万公顷;自 1950 年以来,全世界森林已损失 1/2。世界水土流失面积达 2 000 万 km²,已达总面积的 16.8%,占总耕地面积的 27%;全球沙漠化面积已达 40 多亿公顷,每年以 600 万公顷的速度在使沃土良田沙漠化;约有 12 万公顷土地次生盐渍化;占总面积的 10%的土地沼泽化;近 2 亿公顷的土地被侵占。伴随着经济的高速增长,环境污染物的排放量猛增,使土壤污染面积也在随之增加。据 1992 年统计资料,我国遭受污染的耕地约 600 万公顷,农药污染面积 13 003 公顷;遭受酸雨危害的耕地已达 260 万公顷;全国占用耕地面积呈增长趋势,建设用地已达 29.7 万公顷,超过计划的 7.4%;工业固体废物堆存量 59.2 亿 t,占地 5.45 万公顷。据上述极不完整的资料统计,已足见全球和我国土壤资源的数量与质量变化所面临的严峻形势。

§ 0-5 土壤生态系统与农业生态系统保护

从生态学角度讲,土壤也是一个生态系统。生态系统的概念是由英国植物群落学家 A.G. 坦斯利(Tansley)在 20 世纪 30 年代首先提出的,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……。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。”生态系统主要强调了一定地域中各种生物因素之间,它们与无机环境之间是相互联系、相互制约的有规律的组合。俄国土壤学家道库恰耶夫的土壤发生学观点实际上包含着生态系统的内涵,但是直到 60 年代初,H. 叶尼(Jenny)才明确提出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上,而采用生态系统的状态因子公式,即:

$$I, S, V, A = f(L_0, P_x, t) \quad (0-1)$$

式中,生态系统状态 I 、土壤性状 S 、植被性状 V ,以及动物性状 A 是三个状态因子的函数,这三个状态因子是——生态系原始状态 L_0 ,外界流动量位势 P_x 和生态系统的发展时间 t 。若将状态因子 L_0 和 P_x 续分为亚组, L_0 组包括属于土壤原始部分的母质 P 、生态系统的外表形态地形 r ;以及属 P_x 亚组的环境形状的气候因子 Cl 和生物因子 o ,用亚组符号代入上式(0-1),即得进一步展开的状态因子公式:

$$I, S, V, A = f(CL, o, r, P, t \dots) \quad (0-2)$$

据上述生态系统概念和土壤形成状态因子公式,可知所谓土壤生态系统实际上是以土壤生物(包括土壤中生物和地表动植物)和土壤为主体的部分或土壤-植物系统与环境之间相互作用的系

统总体。可定义为：地球地表自然界中一定空间的土壤生物与土壤及其他环境之间相互作用、相互制约而不断发展演变，并逐步趋向平衡而相对稳定的系统整体，是具有一定组成、结构和功能的基本单位。

土壤生态系统是全球陆地生态系统的重要组成部分之一。研究土壤生态系统是土壤生态保护及其对策的重要理论基础和依据。

一、土壤生态系统的组成与结构

(一)土壤生态系统的组成成分

土壤生态系统与其他自然生态系统的组成一样，主要分为：生命有机体部分，即植物和土壤微生物等；非生命无机环境部分，即太阳光、能、大气、母岩与母质，地表形态及土壤矿物质、水分和空气等。土壤生态系统的生物部分，根据在系统中物质与能量迁移转化中的作用，又可分为三个机能群：

1. 第一性生产者：主要指含有叶绿素能利用太阳辐射能和光能合成有机体的植物。它们构成了土壤生态系统的基石，同时也是农业生态系统的基础。因为没有有机体第一性生产者，任何生态系统都不会有物质流和能量流组成食物链。对于农业生态系统也就不可能有农、林、牧、副、渔的全面发展。

2. 消费者：即以生物有机体为食的异养性生物，包括土壤动物在内的所有草食动物和肉食动物。据其在食物链中所处的位置，又可以分为：一级消费者(草食动物)、二级消费者(以草食动物为食的肉食动物)和三级消费者(以二级消费者为食的肉食动物)。

3. 分解者：主要指土壤中数以亿万计的依靠分解有机质维持生命的土壤微生物群。有机体分解者是使土壤生态系统以至全球表层环境系统中 C、H、O、N、P、S，以及 K、Na、Ca、Mg 和诸多微量元素得以周而复始地循环利用。因而在土壤生态系统和农业生态系统永续发展中起着不容忽视的重要作用。

(二)土壤生态系统结构

达到稳定的土壤生态系统具有一定的结构特征。首先依据土壤生态系统中地表和土壤环境条件的差异，以及与此相关联的生物群体的种类、数量和它们在生态系统中所起的作用，可以划分出土壤生态系统的垂直结构和水平结构。垂直结构一般由以下三个主要层次构成：

1. 地上生物群体层：主要为绿色植物(乔木、灌木、草本植物等)组成的生物群体，是进行光合作用的主要场所，所占空间的高度范围依植物种类而异。

2. 土被生物群落层：包括地面(枯枝落叶层)及植物根系所及的土被层的生物群体。本层是土壤生物群体(土壤动物、微生物、藻类等)的主要聚积层，是有机质生物累积、分解、转化；矿物质风化、淋溶、淀积、迁移转化；水分淋溶、蒸发蒸腾，以及能量输入输出、交换的最为复杂和活跃的

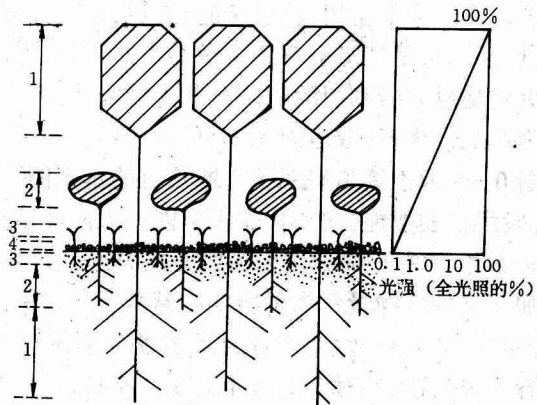


图 0-2 土壤生态系统垂直结构的一般图式

(引自黄瑞农主编，《环境土壤学》，1988)

场所。

3. 土被底层与风化壳生物群体层:生物群体剧减,生物有机体少,是土壤生态系统矿质元素的主要补给基地。

其垂直结构有的很复杂,如森林土壤生态系统,不论其地上生物群体(植物和动物)还是土被生物群体层,层状分布都异常明显;而有的土壤,如荒漠土壤或原始土壤生态系统都较为简单。

其次,土壤生态系统不仅具有垂直结构,由于土壤环境条件的空间分异,土壤生物群落组合也可产生水平差异,而且具有一定的水平结构或空间格局。

二、土壤生态系统的功能

土壤生态系统的功能主要表现在系统的能量流、物质流(生物产量与物质循环)和信息传递等方面。

(一)土壤生态系统的能流

土壤生态系统能否继续存在和发展的条件,是需要有经常不断的能量输入。因为一个系统会自发地以热的形式失去能量,若没有新的能量补充则该系统的物质将退化到其最简单的状态。

土壤生态系统的能量流包括物理过程——辐射收入支出平衡过程、潜热形式(降水和蒸发蒸腾)转化过程,以及伴随着物质的化学迁移转化的能量流,但其主导过程为生物过程。能量流是从自养性生物开始的,自养性生物将光能输入系统,以生物量的化能形式贮存的能量输出到消费性的有机体;另部分未被利用的能释放到周围环境中;第三部分是在将光能转化为化学能的过程中通过呼吸作用以热能形式损失掉。自养性生物所贮存的化学能皆被食物链中位置较高的异养性生物所利用。异养生物吸收化学能并将其转化为有用形式的过程称为同化作用。同化作用过程首先是通过降解作用,将复杂的有机物进行分解,产生贮存能量较低的简单产物,实际上是释放能量;第二步是把降解产物用做有机体内建造新的有机物的材料和用做能源。可见,异养性生物产生生物量时所利用的能是自养生物所贮存的化学能,没有新的能加入到生态系统中来,只能称之为第二性生产(或净同化率更为恰当)。

图0-3为土壤生态系统中能量流的示意图。图中能量流根据其类型来区分,点线代表太阳光能,段线代表热能,实线代表化学能。太阳能以光能形式进入土壤生态系统并被第一性生产者(P)所吸收,其中一部分作为辐射而损失掉。如果总生产超过呼吸作用;则第一性生产者的生物量增加。这种生物量作为食物链中营养级较高的食草动物(H)和食肉动物(C_1 , C_2)的能量输入来维持其生活,第一性生产者的生物量直接被较高级的有机体所消费。(图0-3a)是大多数陆地生态系统的模式,对于土壤生态系统来说,第一性生产者死亡的个体和个体部分,其有机物质及被吞食但未被同化的以排泄物形式都加入到腐烂有机物(或称有机碎屑物)中去,它们由细菌(B)作用,食碎屑的动物(D)吞食碎屑,主要靠消化食高能细菌来获取能量。它们转而为肉食动物(C_1)的食物(图0-3b)。碎屑食物链在维持生态系统的能流和物流中起着重大作用。

能量一旦输入生态系统都要经过一系列转化过程,从一种形式的化学能转化成另一种形式的化学能,每一次转化都有一些能量变成热,并辐射,最后消失于周围环境中。因而随着每一次的转化能量总在减少,直到全部转化为废热丧失为止,能量流是通过生态系统的单向流。在食物链中向上前进每个阶梯都有能量损失。一般来说,一个特定营养级所贮存的能可以在链中向上输送10%—15%,图0-4表示生态系统中能量流,食物链营养级能量每向上升一级减少到大约为原来的1/10,这一事实具有重要含义:首先,生态系统营养级的数目有限,一般为四级或五级;其次,