

北京市优秀人才培养资助项目

# 环境土壤学

● 贾建丽 等编著

(第二版)

Environmental  
Soil Science



化学工业出版社

北京市优秀人才培养资助项目

# 环境土壤学

Environmental  
Soil Science

(第二版)

● 贾建丽 等编著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书结合土壤学经典内容如土壤的基本物理、化学和生物学性质,从土壤环境基本问题和污染物种类、特点及其运移出发,论述土壤环境体系中污染的产生和对其进行治理的原理;重点阐述了土壤环境污染及其修复的国内外主流技术,分析各修复技术的特点、原理、适用污染物和土壤类型,并选择国内外典型案例对各修复技术的现场适用性和应用情况进行评价。

本书具有较强的知识性、系统性和实用性,可作为高等学校环境科学与工程及相关专业的本科生、研究生教材,也可作为相关专业领域科研人员、工程技术人员和管理人员的参考资料。

#### 图书在版编目(CIP)数据

环境土壤学/贾建丽等编著. —2版. —北京:化学工业出版社, 2016.4  
ISBN 978-7-122-26412-1

I. ①环… II. ①贾… III. ①环境土壤学 IV. X144

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 041125 号

---

责任编辑:刘兴春 卢萌萌

装帧设计:韩 飞

责任校对:宋 玮

---

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷:北京永鑫印刷有限责任公司

装 订:三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 14½ 字数 334 千字 2016 年 7 月北京第 2 版第 1 次印刷

---

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

---

定 价:48.00 元

版权所有 违者必究



2014年4月,环境保护部联合国土资源部发布《全国土壤污染状况调查公报》使土壤污染及其控制进一步成为环境与生态领域的热门方向,土壤环境中物质的迁移、转化和污染土壤的修复等土壤环境研究成为热点内容。土壤-植物体系和土壤-地下水体系中污染物的迁移转化和生物毒性受到物质特性、土壤环境的微域变异性、土地资源利用方式和未来规划等多方面的影响,使其环境风险和对人体健康的危害表现出复杂性和不确定性,因此,对污染土壤体系内的物质迁移转化、污染土壤环境风险管理和污染土壤绿色可持续修复等均提出了较高的要求。

随着近年土壤环境体系理论研究与实践的快速发展,以环境学、土壤学、生态学、生物化学与地球化学等多学科交叉为特色的环境土壤学研究内容也不断丰富和外延,对于土壤环境体系中污染物的防控和环境风险的综合管理与治理提出了全新的要求。在从事与环境土壤学相关的教学和科研过程中,笔者一直关注和追踪相关学科的发展动态与前沿,根据课堂教学和各方面的建议和意见,认真总结、分析和补充完善,以本次再版为契机,在原版的基础上针对目前污染场地管理的最新研究成果和相关的法律法规新进展,对原书进行了修订和必要的扩充,以使其在我国飞速发展的土壤环境领域研究过程中更好地发挥培养研究生力军、提供污染土壤修复技术和管理模式参考、训练环境土壤学实验与实践技能等方面的作用。

本书共分基础理论和实验两部分,基础理论部分在原书系统论述环境土壤学的产生、发展和学科体系的基础上,针对目前国际尤其是近几年中国关于污染场地管理、监测、风险评价和修复技术的导则与规范快速更新的特点,结合近年污染土壤修复技术特别是现场应用技术比例和种类的改变与不同种类修复技术联用增多等发展趋势,对污染土壤修复技术体系、污染土壤管理体系、污染土壤环境风险评价与控制体系等进行补充和更新。实验部分则在原书土壤基本物理、化学与生物学性质测定,土壤有机与重金属分析实验分类基础之上,根据目前各高校和单位着重培养创新性、复合型人才的需求,归纳并补充建立起土壤环境基本性质测定、土壤污染物检测、污染土壤修复模拟等多层次、综合性环境土壤学实验体系。

本书具有较强的知识性、系统性和实用性,可供环境科学与工程及相关专业的本科生和研究生作教材使用,亦可供相关专业领域如环境管理、风险评价和土壤修复等技术和管理人员参考使用。

本书主要由贾建丽、于妍、张凯编著,另外,参加本书编著及材料整理的还有赵丽娜、王冰冰、史少贺、李小军、娄满君、赵桑炜、胡磊等,在此表示感谢。

鉴于时间和水平所限,本书疏漏及不足之外在所难免,敬请读者批评指正。

编著者

2016年2月



目前,世界范围的土壤环境污染等问题造成了越来越多的经济损失,同时引发一定的社会问题,受到环境工作者的广泛关注并开展了一系列的研究工作。然而,由于土壤介质的非均质各向异性等造成其物质迁移、转化特点等,与其他环境子系统如水环境和大气环境相比有很大差异,因此土壤环境问题有较强的隐蔽性与潜伏性,会造成更大的危害。鉴于土壤污染的危害及土地资源的重要性,土壤环境问题及其治理已成为环境、资源、生态等相关领域的重要研究课题,其中涉及的科学与技术问题也是方兴未艾。

环境土壤学作为环境科学的重要组成部分,其研究内容和相关规律、定律等涉及环境化学、生态学、土壤学、化工原理等相关内容,具有较强的综合性和学科交叉性。对于目前土壤环境问题的成因、危害及其防控体系进行全面、系统的研究,对于土壤环境的可持续发展具有重要的意义。

本书分为基础理论和实验两部分,基础理论部分系统论述环境土壤学的产生、发展和学科体系,土壤的基本构成与物理、化学和生物学性质,土壤污染的产生、危害与相关标准,土壤环境体系的典型污染物及其危害,污染土壤修复技术体系,并对污染场地环境管理进行论述。实验部分则包括土壤基本物理、化学与生物学性质测定,土壤有机与无机污染物分析实验。

本书主要由贾建丽、于妍和王晨编著,另外,参加本书编著及整理材料的还有赵丽娜、张岳、彭娟、王海文、房增强等。

由于时间和水平所限,本书疏漏和不足之处在所难免,敬请读者批评指正。

编著者

2012年3月



## 第一章 绪论

1

|                         |   |
|-------------------------|---|
| 第一节 土壤环境特点及其功能 .....    | 1 |
| 一、土壤环境 .....            | 1 |
| 二、土壤环境特点 .....          | 1 |
| 三、土壤圈与其他圈层的关系 .....     | 2 |
| 四、土壤环境功能 .....          | 3 |
| 第二节 土壤质量及土壤环境问题 .....   | 3 |
| 一、土壤质量 .....            | 3 |
| 二、土壤环境问题 .....          | 5 |
| 第三节 环境土壤学的发展与研究内容 ..... | 6 |
| 一、环境土壤学的产生与发展 .....     | 6 |
| 二、环境土壤学的研究内容 .....      | 7 |
| 三、环境土壤学的研究热点与趋势 .....   | 8 |
| 思考题 .....               | 8 |

## 第二章 土壤组成与基本性质

9

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 第一节 土壤生态系统的组成及其环境生态意义 ..... | 9  |
| 一、土壤矿物质 .....               | 10 |
| 二、土壤有机质 .....               | 12 |
| 三、土壤水溶液 .....               | 19 |
| 四、土壤气体 .....                | 22 |
| 五、土壤生物 .....                | 24 |
| 第二节 土壤性质 .....              | 27 |
| 一、土壤物理性质 .....              | 27 |
| 二、土壤化学性质 .....              | 34 |
| 三、土壤生物学性质 .....             | 39 |
| 第三节 土壤的形成 .....             | 42 |
| 一、形成因素 .....                | 43 |
| 二、土壤形成过程 .....              | 45 |
| 思考题 .....                   | 46 |

|                       |    |
|-----------------------|----|
| 第一节 土壤污染概述 .....      | 48 |
| 一、土壤污染定义 .....        | 48 |
| 二、土壤污染来源 .....        | 50 |
| 三、土壤污染的产生与去向 .....    | 52 |
| 第二节 土壤污染特点与危害 .....   | 53 |
| 一、土壤污染的特点 .....       | 53 |
| 二、土壤污染的危害 .....       | 54 |
| 第三节 土壤主要污染物及其特点 ..... | 56 |
| 第四节 土壤重金属污染 .....     | 57 |
| 一、土壤重金属污染来源 .....     | 58 |
| 二、土壤主要重金属种类 .....     | 60 |
| 三、土壤重金属污染特点 .....     | 61 |
| 四、土壤重金属污染危害 .....     | 62 |
| 第五节 土壤有机污染物 .....     | 63 |
| 一、农药 .....            | 64 |
| 二、多环芳烃 .....          | 68 |
| 三、石油烃 .....           | 69 |
| 四、持久性有机污染物 .....      | 72 |
| 第六节 土壤放射性污染 .....     | 74 |
| 一、土壤放射性污染来源 .....     | 74 |
| 二、土壤放射性污染特点 .....     | 75 |
| 三、土壤放射性污染危害 .....     | 76 |
| 思考题 .....             | 77 |

|                          |    |
|--------------------------|----|
| 第一节 土壤环境中物质的运移 .....     | 78 |
| 一、土壤溶质运移现象 .....         | 78 |
| 二、土壤溶质运移机理 .....         | 78 |
| 三、土壤溶质运移模型 .....         | 81 |
| 第二节 土壤重金属污染物的迁移转化 .....  | 82 |
| 一、重金属在土壤中的迁移转化规律 .....   | 82 |
| 二、典型重金属在土壤中的迁移转化 .....   | 86 |
| 第三节 土壤中有机污染物的迁移转化 .....  | 89 |
| 一、有机污染物在土壤中的迁移转化 .....   | 89 |
| 二、典型有机污染物在土壤中的迁移转化 ..... | 90 |
| 思考题 .....                | 94 |

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 第一节 土壤环境法律法规体系 .....    | 95  |
| 一、国外土壤环境法律法规体系 .....    | 95  |
| 二、中国土壤环境法律法规体系 .....    | 99  |
| 第二节 土壤污染诊断 .....        | 104 |
| 一、土壤污染诊断主要方法 .....      | 104 |
| 二、土壤污染生态毒理学诊断方法 .....   | 105 |
| 三、土壤污染生态毒理学诊断研究进展 ..... | 109 |
| 第三节 污染土壤风险评估 .....      | 110 |
| 一、污染土壤风险评估概念与发展 .....   | 110 |
| 二、污染土壤风险评估类型 .....      | 112 |
| 三、土壤环境质量评估法 .....       | 113 |
| 四、人体健康风险评估法 .....       | 115 |
| 五、生态风险评估法 .....         | 124 |
| 思考题 .....               | 127 |

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| 第一节 污染土壤修复概念与分类 ..... | 128 |
| 第二节 物理修复技术 .....      | 130 |
| 一、物理分离技术 .....        | 130 |
| 二、翻土与客土技术 .....       | 131 |
| 三、土壤蒸气浸提修复技术 .....    | 131 |
| 四、固化/填埋技术 .....       | 134 |
| 五、热解吸修复技术 .....       | 136 |
| 第三节 化学修复技术 .....      | 140 |
| 一、化学改良技术 .....        | 140 |
| 二、化学氧化技术 .....        | 142 |
| 三、化学还原与还原脱氯修复技术 ..... | 144 |
| 四、化学淋洗技术 .....        | 146 |
| 五、溶剂浸提技术 .....        | 147 |
| 六、电动修复技术 .....        | 149 |
| 第四节 生物修复技术 .....      | 152 |
| 一、微生物修复技术 .....       | 153 |
| 二、植物修复技术 .....        | 164 |
| 三、动物修复技术 .....        | 169 |
| 第五节 修复技术集成 .....      | 172 |
| 一、物理-化学联合修复技术 .....   | 172 |

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| 二、植物-微生物联合修复技术 .....       | 172 |
| 三、微生物-植物-动物联合修复技术 .....    | 172 |
| 四、物化(物理-化学)-生物修复技术集成 ..... | 172 |
| 五、修复技术集成应用案例 .....         | 173 |
| 第六节 各修复技术的综合比较 .....       | 175 |
| 第七节 我国的污染土壤修复实践 .....      | 176 |
| 思考题 .....                  | 176 |

## 第七章 污染场地环境管理

177

|                                      |     |
|--------------------------------------|-----|
| 第一节 概述 .....                         | 177 |
| 第二节 污染场地环境管理及其主要流程 .....             | 178 |
| 一、污染场地筛选与登记 .....                    | 179 |
| 二、污染场地调查 .....                       | 179 |
| 三、污染场地风险评价与修复目标确定 .....              | 180 |
| 四、污染场地修复技术选择与实施 .....                | 182 |
| 五、污染场地修复效果评价 .....                   | 185 |
| 第三节 我国污染场地环境管理现状及其面临的机遇与<br>挑战 ..... | 186 |
| 一、我国污染场地管理现状 .....                   | 186 |
| 二、我国污染场地管理面临的机遇和挑战 .....             | 188 |
| 思考题 .....                            | 189 |

## 实验部分

190

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| 实验一 土壤样品的采集与制备 .....  | 190 |
| 一、实验目的与意义 .....       | 190 |
| 二、所需材料 .....          | 190 |
| 三、步骤 .....            | 190 |
| 实验二 土壤粒径测定与质地分析 ..... | 192 |
| 一、实验目的与意义 .....       | 192 |
| 二、仪器设备与所需材料 .....     | 193 |
| 三、步骤 .....            | 193 |
| 实验三 土壤含水率测定 .....     | 193 |
| 一、实验目的与意义 .....       | 193 |
| 二、所需仪器与设备 .....       | 194 |
| 三、测定步骤 .....          | 194 |
| 四、计算 .....            | 194 |
| 五、记录格式 .....          | 194 |
| 六、注意事项 .....          | 195 |

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 实验四 土壤有机质的测定 .....        | 195 |
| 一、实验目的和意义 .....           | 195 |
| 二、实验原理 .....              | 195 |
| 三、主要仪器及试剂配制 .....         | 195 |
| 四、操作方法与实验步骤 .....         | 196 |
| 五、计算 .....                | 196 |
| 六、注意事项 .....              | 196 |
| 七、土壤有机质含量参考指标 .....       | 197 |
| 实验五 土壤腐殖质的测定 .....        | 197 |
| 一、实验目的与意义 .....           | 197 |
| 二、方法原理 .....              | 197 |
| 三、所需仪器与材料 .....           | 198 |
| 四、试剂 .....                | 198 |
| 五、操作步骤 .....              | 198 |
| 六、结果计算 .....              | 199 |
| 七、注意事项 .....              | 199 |
| 实验六 土壤 pH 值的测定 .....      | 199 |
| 一、实验目的与意义 .....           | 199 |
| 二、实验原理 .....              | 200 |
| 三、仪器设备与试剂配制 .....         | 200 |
| 四、实验步骤 .....              | 200 |
| 五、注意事项 .....              | 200 |
| 实验七 土壤微生物数量测定 .....       | 201 |
| 一、实验目的与意义 .....           | 201 |
| 二、实验仪器与材料 .....           | 201 |
| 三、试剂配制 .....              | 202 |
| 四、实验步骤 .....              | 202 |
| 五、计算 .....                | 202 |
| 实验八 土壤微生物 FDA 活性的测定 ..... | 203 |
| 一、实验目的与意义 .....           | 203 |
| 二、实验仪器与材料 .....           | 203 |
| 三、试剂配制 .....              | 204 |
| 四、实验步骤 .....              | 204 |
| 实验九 土壤重金属含量测定 .....       | 205 |
| 一、实验目的与意义 .....           | 205 |
| 二、实验仪器与材料 .....           | 205 |
| 三、实验步骤 .....              | 205 |
| 实验十 土壤有机污染物含量测定 .....     | 207 |
| 一、实验目的与意义 .....           | 207 |
| 二、实验仪器与材料 .....           | 207 |

|              |     |
|--------------|-----|
| 三、实验步骤 ..... | 207 |
| 四、结果计算 ..... | 208 |



# 第一章 | 绪论

土壤是地球陆地表面由矿物质、有机物质、水、空气和生物组成，具有肥力，能生长植物的未固结层，是大气圈、水圈、岩石圈及生物圈的交界带。土壤界面体系中生命部分和非生命部分互相依存、紧密结合，共同构成了人类和其他生物生存环境的重要组成部分，对社会经济的可持续发展及生态环境的平衡具有十分重要的意义。

## 第一节 土壤环境特点及其功能

### 一、土壤环境

土壤环境 (soil environment) 即地球表面能够生长植物，具有一定环境容量及动态环境过程的地表疏松层连续体构成的环境。它区别于大气、河流、海洋、森林及生物群落等其他自然生态环境，是处于其他环境要素交汇地带的中心环境要素，对人类（包括其他生物体）的生存与发展起着重要和基本的作用。土壤环境体系是由气（土壤气体）、液（土壤水溶液）、固（土壤颗粒，包括有机、无机物质和外源输入固体颗粒）三相构成的非均质各向异性的复合体系，其中由于基本的水、肥、气、热条件及生命活动为土壤环境体系的基本物质循环和转化提供条件，同时，对各种人类活动输入的污染物的迁移和转化等过程起着重要的推动作用。

### 二、土壤环境特点

土壤是地球陆地表面的覆盖层，是地球系统中生物多样性最丰富、能量交换和物质循环最活跃的体系，是生态环境的核心要素。土壤环境主要具备以下特点。

#### 1. 具有生产力

土壤含有植物生长必需的营养元素、水分等适宜条件，是最为重要的生产力要素之一，对社会的稳定与发展起着至关重要的作用。同时，土壤亦可作为建筑物的基础和工程材料，为多用途的生产力要素。

#### 2. 具有生命力

土壤圈是地球各大圈层中生物多样性最高的部分，由于生命活动的存在，在土壤环境

中不停地发生着快速的物质循环和能量交换。

3. 具有环境净化能力

土壤是由气、液、固三相组成的非均质各向异性的复杂体系，对污染物具有一定的缓冲和净化能力，是具有吸附、分散、中和、降解环境污染物功能的复合体系。

4. 为中心环境要素

由气、液、固三相组成的土壤环境体系是联结大气圈、水圈、岩石圈和生物圈的纽带，是自然环境的中心要素和环节，是一个开放的、具有生命力，对地球其他圈层起到深刻影响和作用的圈层。

三、土壤圈与其他圈层的关系

从圈层的观点出发，土壤圈作为与生态、水、气系统之间物质和能量交换的重要构成单元和核心环境子系统，与地球其他圈层共同作用、相互依存，对人类和其他生物的生存环境及其全球变化有着深远的影响。土壤所具有的表生生态环境维持、水分输送、耗氧输酸、物质储存与输移、物化-生物作用等功能是维持体系稳定性的重要保障。土壤圈与其他圈层的动态关系如图 1.1 所示。考虑土壤圈与其他圈层的动态作用，其主要功能体现在以下几个方面。

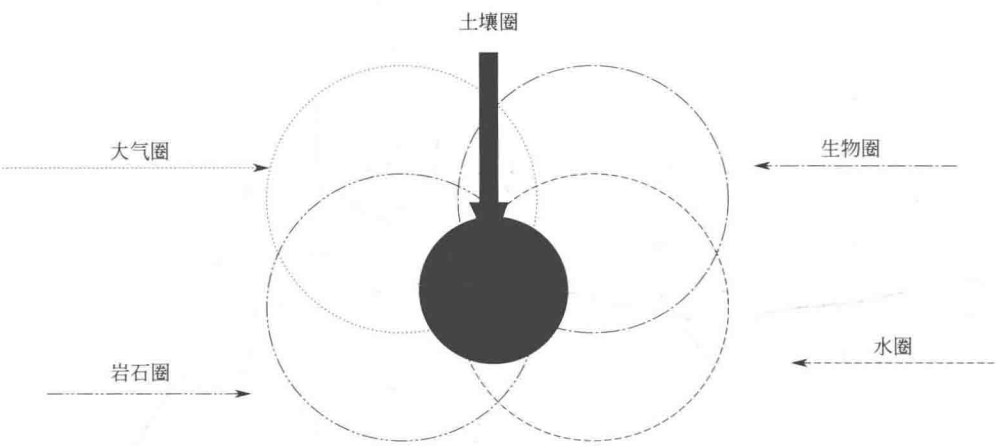


图 1.1 土壤圈与其他圈层的动态关系

1. 对大气圈的作用

土壤作为复杂庞大的多孔介质体系，与大气环境间普遍存在着频繁的水、气、热的交换，复合土壤环境中微生物、植物根系等生命活动的影响，使其在不同程度上影响着大气圈的化学组成、水分与热量平衡，对全球大气变化有明显的影响。土壤从大气中吸收  $O_2$ ，通过生物、化学等作用过程释放  $CO_2$ 、 $CH_4$  和  $N_2O$  等温室气体，已成为影响全球气候变化和全球变暖的重点关注对象之一。

2. 对水圈的作用

土壤环境的高度非均质性会影响降水在陆地环境和水体环境的重新分配，影响元素的生物地球化学行为以及水圈的水循环与水平衡，进而影响和改变地球各圈层的生物分布。

### 3. 对岩石圈的作用

岩石作为土壤的母质来源,覆盖其上的土壤圈作为地球的“皮肤”,对岩石圈具有一定的保护作用,可减少各种外营力对其影响和作用。

### 4. 对生物圈的作用

土壤是各种动植物、微生物以及人类生存的最基本的环境和重要的栖息场所。土壤环境含有生物生长所必需的各种的营养成分、水分与适宜的物理条件,支持和调节生物过程,形成适应各种土壤类型的植被与生物群落,对地球生态系统的分布与稳定具有重要的作用。

## 四、土壤环境功能

土壤的功能主要体现在其对人类和环境的作用,重要的土壤功能包括以下几个方面(李发生,等,2009):①作为生态系统的组成部分,控制物质循环和能量的流动;②动植物和人类生命的基础;③基因储存库;④农产品繁育的基础;⑤建筑物稳定的基础;⑥聚积大气和水污染物的载体;⑦接收沉降物质和承载孔隙水的载体;⑧防止水、污染物或其他因子进入地下水的缓冲器;⑨堆放废弃物,如城市生活垃圾、工业固体废物、疏浚物质等的载体;⑩历史遗留物和古生态遗物的储藏库。

此外,近年来,由于持续受到人类生产、生活等活动的影响,显著改变了土壤与外部环境的物质和能量交换过程与强度,引起土壤特征要素的改变,使土壤环境的物质组成、结构、性质和功能等体系要素在与外部环境的物质和能量交换过程中发生变化,产生各种土壤环境问题,进而对其他环境子系统产生巨大作用与影响。因此,土壤环境的自净能力和其维持表生生态环境稳定的功能愈发重要,而其受到的冲击、影响及其恢复也是广大环境工作者普遍关心的科学与技术问题。

## 第二节 土壤质量及土壤环境问题

改革开放30多年以来,我国经济的快速发展,带来了社会的繁荣和进步,但同时由于经济发展的模式仍基本上遵循传统的工业化道路,资源耗损量大、生态破坏严重、污染物排放量大面广,从而导致生态、土壤和水环境形势日益严峻,区域或局部污染严重,土壤质量下降,成为制约社会经济可持续发展的重大资源与环境问题。

### 一、土壤质量

土壤质量(soil quality)是与土壤利用和土壤功能有关的土壤内在属性,是衡量和反映土壤资源与环境特性、功能和变化状态的综合标志,它包含了土壤维持生产力、环境净化能力、对人类和动植物健康的保障能力,是指在由土壤所构成的天然或人为控制的生态系统中,土壤所具有的维持生态系统生产力和人与动植物健康而自身不发生退化及其他生态与环境问题的能力,是土壤特定或整体功能的总和(周健民,2003;李发生,等,2009)。土壤质量概念的内涵不仅包括作物生产力、土壤环境保护,还包括食品安全及人

类和动、植物健康。土壤质量概念类似于环境评价中的环境质量综合指标,从整个生态系统中考察土壤的综合质量。这一概念超越了土壤肥力的概念,超越了通常的土壤环境质量概念,它不只是把食品安全作为土壤质量的最高标准,还关系到生态系统的稳定性,地球表层生态系统的可持续性,是与土壤形成因素及其动态变化有关的一种固有的土壤属性。许多环境与土壤领域的专家与学者普遍认同,土壤科学的研究除了应继续重视土壤肥力质量的研究外,还必须向土壤环境质量和土壤健康质量方面转移。

综上,土壤质量包括土壤肥力质量、土壤健康质量和土壤环境质量等多个方面,这几个方面相互影响、相互依存,共同决定了土壤质量。在环境土壤学相关研究领域中,更倾向于土壤环境质量的追踪、评估与控制。土壤环境质量是指在一定的时间和空间范围内,土壤自身性状对其持续利用以及对其他环境要素,特别是对人类或其他生物的生存、繁衍以及社会经济发展的“适宜性”,是土壤“优劣”的一种概念,是特定需要的“环境条件”的度量。它与土壤的健康或清洁状态,以及遭受污染的程度密切相关。一旦土壤环境质量遭到污染和破坏,我们必须对其进行适当的修复,以减少对其自身以及对大气、水和生物等其他环境子系统的污染和危害,即必须保持土壤环境适当的清洁和健康以维持合适的土壤环境质量水平。

土壤质量的研究是近年土壤学科与环境学科的重要研究领域,其评价和评估则成为研究土壤质量的重要依据和标准。理想的土壤质量评价指标体系应秉承下列原则:①公正、灵敏、有预测能力、有参考阈值;②其信息可转化、综合,并易于收集与交流。

由于土壤质量是土壤物理、化学和生物学等性质的综合,体系复杂,目前尚无统一的评估标准或指标体系。土壤质量评价指标体系应该从土壤系统组分、状态、结构、理化及生物学性质、功能以及时空等方面,加以综合考虑。土壤质量评价指标体系大致可分为两大类,一类是描述性指标,即定性指标;另一类是分析性定量指标,选择土壤的各种属性,进行定量分析,获取分析数据,然后确定数据指标的阈值和最适值。根据分析指标的性质,土壤质量的评价指标分为土壤物理指标、土壤化学指标和土壤生物学指标3个方面。

(1) 土壤质量物理指标 土壤物理状况对植物生长和环境质量有直接或间接的影响。土壤物理指标包括土壤质地及粒径分布、土层厚度与根系深度、土壤容重和紧实度、孔隙度及孔隙分布、土壤结构、土壤含水量、田间持水量、土壤持水特性、渗透率和导水率、土壤排水性、土壤通气、土壤温度、障碍层次深度、土壤侵蚀状况、氧扩散率、土壤耕性等。

(2) 土壤质量化学指标 土壤中各种养分和土壤污染物质等的存在形态和浓度,直接影响植物生长和动物及人类健康。土壤质量的化学指标包括土壤有机碳和全氮、矿化氮、磷和钾的全量和有效量、CEC(土壤阳离子交换量)、土壤pH值、电导率(全盐量)、盐基饱和度、碱化度、各种污染物存在形态和浓度等。

(3) 土壤质量生物学指标 土壤生物是土壤生态系统具有生命力的部分,是各种生物体的总称,包括土壤微生物、土壤动物和高等植物根系,是评价土壤质量和健康状况的重要指标之一。目前,许多生态与环境领域的研究均利用土壤微生物群落、土壤植物和蚯蚓等对土壤受污染或退化后的质量进行评估。但需要注意的是,土壤中许多生物可以改善土壤质量状况,也有一些生物如线虫、病原菌等会降低土壤质量。

## 二、土壤环境问题

土壤作为重要的生产资料和环境要素，在人类活动广泛影响的情况下，其功能和各种物理、化学及生物学过程产生了不同程度的改变，致使土壤肥力质量、健康质量及环境质量下降，引发各种土壤质量问题。

土壤环境质量下降即土壤环境问题广义上包括土壤荒漠化、盐渍化、土壤侵蚀等土壤质量退化和土壤污染问题。其中，土壤污染及其修复等相关问题是其中关注较多、危害较大的土壤环境问题，也是目前广泛研究的领域和方向。本书后续的土壤环境问题、特点、危害及其修复、治理等相关的研究内容亦是从土壤污染的角度开展的。

### 1. 土壤荒漠化

土壤荒漠化 (soil desertification) 是指由于人为和自然因素的综合作用使土壤环境本身的自然循环状态受到影响和破坏，使得干旱、半干旱甚至半湿润地区自然环境退化 (包括盐渍化、草场退化、水土流失、土壤沙化、狭义沙漠化、植被荒漠化、历史时期沙丘前移入侵等以某一环境因素为标志的具体的自然环境退化) 的总过程。土壤荒漠化已成为世界范围的区域性土壤环境问题，由此引发了干旱、沙尘暴、河流断流、地下水位下降等一系列生态环境问题。有资料表明，过去一万年中 15% 的土地被人为诱发的土壤退化掠夺。

### 2. 土壤盐渍化

土壤盐渍化 (soil salinization) 是指土壤底层或地下水的盐分随毛管水上升到地表，水分蒸发后，使盐分积累在表层土壤中的过程，也指易溶性盐分在土壤表层积累的现象或过程，也称盐碱化。由于漫灌和只灌不排，导致地下水位上升，土壤底层或地下水的盐分随毛管水上升到地表，水分蒸发后，使盐分积累在表层土壤中，当使土壤含盐量太高 (超过 0.3%) 时，即形成盐碱灾害。我国盐渍土或盐碱土的分布范围广、面积大、类型多，总面积约 1 亿公顷，主要发生在干旱、半干旱和半湿润地区。

另外，现代农业中化肥的大量使用致使土壤板结，理化性质改变，甚至进一步演变成盐渍化，造成严重的土壤质量退化。

### 3. 土壤侵蚀

土壤侵蚀 (soil erosion) 的本质是使土壤肥力下降，理化性质变劣，土壤利用率降低，生态环境恶化。除自然侵蚀之外，在人类改造利用自然、发展经济过程中，移动了大量土体，而不注意水土保持，直接或间接地加剧了侵蚀，增加了河流的输砂量。如矿山开采、毁坏树林、过度放牧、地下水过度开采、农用化学品过度施用等造成土壤质量下降，引发土壤侵蚀、水土流失等。我国是世界上土壤侵蚀最为严重的国家之一，研究土壤侵蚀机理，有效对其进行监控和治理已经成为全球关注的焦点。

### 4. 土壤污染

土壤污染 (soil pollution) 是人类生产和生活造成的土壤严重的环境问题，随着现代人类社会的生产和生活节奏的加快，现代农业农药、化肥施用及污灌造成农业环境污染严重，约 1/5 的耕地受到污染；另一方面，城市交通、现代工业排放、生活源等各种类型和途径污染物的大量排放，致使土壤环境的污染加剧，已成为不可忽视的生态与环境问题。

### 第三节 环境土壤学的发展与研究内容

#### 一、环境土壤学的产生与发展

环境科学是环境问题产生后发展起来的一门新兴的综合性交叉学科，其涉及地学、生物学、化学、物理学、医学、工程学、数学以及社会科学、经济学、法学等多种学科知识。而现代土壤科学的快速发展，尤其是 20 世纪 80 年代以来，现代土壤学的研究重点已从增产粮食为主转向以提高粮食品质、保护环境和可持续发展及促进人畜健康为主要目标的阶段，从而快速促进了环境科学与土壤学的相互渗透，体现了土壤学在环境科学中日益重要的特点，孕育了环境土壤学的创建与发展。

环境土壤学是环境问题出现和发展后在土壤学和环境科学中发展起来的一门综合交叉性学科，是环境科学和土壤学的重要组成部分，它起源于土壤环境保护的理论与实践。环境土壤学这一学科概念虽在 20 世纪 80 年代就已提出，但对其缺乏深入的研讨。近年来，随着研究工作的深化与发展，对环境土壤学的认识无论在理论上还是实践上都有所深入和拓展。环境土壤学是研究自然因素和人为条件下土壤环境质量的变化，影响及其调控的一门学科，它涉及土壤质量与生物品质，土壤与水和大气质量的关系，土壤元素丰缺与人类健康的关系，土壤与其他环境要素的交互作用，土壤质量的保护与改善等土壤环境科学的相关研究与土壤应用等。总体来说环境土壤学的产生和发展经历了以下几个阶段。

(1) 起步阶段（20 世纪 50~60 年代末） 此阶段为环境土壤学萌生初期，主要引用传统土壤学的研究方法对出现的土壤环境问题寻求解决办法，如城市污水的农田灌溉、工业废渣的农业利用（研制钢渣磷肥、施用粉煤灰）、土壤污染物分析测试方法探索及局部土壤污染的治理等，这时的环境土壤学尚未形成完整而独立的科学体系。

(2) 发展阶段（20 世纪 70~80 年代末） 进入 20 世纪 70 年代环境土壤学研究内容日趋丰富，从土壤环境背景值研究起步，分析元素由最初的几种主要有毒重金属元素，扩展到 60 多种化学元素，研究区域从若干重点城市，到主要农业区，“七五”期间发展到全国除台湾省以外的 30 个省市自治区，并注意了背景获取和实际应用相结合，同时开展对土壤环境容量、污染承载负荷、污水土地处理系统研究、土壤环境质量评价、土壤污染发生机制、各种污染物在土壤中的迁移转化行为与危害、控制土壤污染的工程技术与方法等方面的研究。

(3) 逐渐完善阶段（20 世纪 90 年代以后） 环境土壤学研究的深度和广度都有大的扩展，以土壤重金属污染研究为例，宏观上扩展到大范围、洲际的分布、迁移规律和动态变化，微观上研究重金属对生物的毒害机理从个体水平、组织水平、细胞水平发展到分子水平。在继续研究污染物在土壤—植物系统迁移转化和累积规律的同时，开始关注污染物累积所引起土壤环境质量的变化以及这一变化对生态系统结构、功能和人体健康的影响，多种元素多种污染物的交互作用和复合污染开始涉及，土壤环境与温室气体排放的关系研究取得进展，在污染物迁移化方面开始重视土壤胶体的影响和作用，包括土壤背景值的影响，对土壤负载容量的影响，对酸雨危害的影响，对污染物化学行为的影响等。

近年，随着基于人体健康风险和生态风险评估与控制基本模式的污染土壤环境管理快