

21世纪环境科学

环境土壤学

(第二版)

Environmental Soil Science

◎陈怀满 等编著



科学出版社

www.sciencep.com

21 世纪环境科学

环境土壤学

(第二版)

陈怀满 等编著

科学出版社

北京

内 容 简 介

环境土壤学是一门新兴的综合性交叉学科,是环境科学和土壤学的重要组成部分。本书共分12章,对环境土壤学的定义、定位和研究内容等进行了较为全面而深入的讨论,书中素材的组合以及对一些观点的阐述和认识,具有探索性和前沿性,是该学科领域的重要论著和教材,兼具理论性、资料性、时代性和实用性。

本书可作为环境科学与环境工程、土壤学、地质学、生态学、生物学、农业科学、地理与资源科学等普通高校本科生和研究生的课程教材,亦可供有关专业的老师、科技工作者、工程和管理人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

环境土壤学/陈怀满等编著. —第二版. —北京:
科学出版社, 2010
21世纪环境科学
ISBN 978-7-03-029493-7

I. ①环… II. ①陈… III. ①环境土壤学-高等学校
-教材 IV. ①X144

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 220316 号

责任编辑: 谭宏宇 / 责任校对: 刘珊珊
责任印制: 刘 学 / 封面设计: 殷 靛

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>

南京展望文化发展有限公司排版

上海出版印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2005年2月第一版 开本: 787×1092 1/16

2010年11月第二版 印张: 33 1/4

2010年11月第四次印刷 字数: 650 000

印数: 7601—10900

定价: 66.00元

《环境土壤学》(第二版)编辑委员会

主 编 陈怀满

副主编 朱永官 董元华 周东美

编 委 (按姓氏笔画排序)

王 果 王慎强 司友斌 朱永官

杨 曦 吴启堂 沈振国 张乃明

张甘霖 陈同斌 陈怀满 林玉锁

林先贵 周东美 郑春荣 徐建明

董元华 蒋 新

第二版前言

环境土壤学是一门新兴的综合性交叉学科。科学出版社于2005年初出版的《环境土壤学》(第一版),对环境土壤学的定义、定位和研究内容等进行了较为全面而深入的讨论,书中素材的组合以及对一些观点的阐述和认识,具有探索性和前沿性,它既是该学科领域的论著,又是高等院校本科生和研究生的教材,在相当程度上适应了科研和教学工作的需要,获得了诸多关心、支持和鼓励,也赢得了虽然是初步的、但却十分宝贵的成长与成熟的机会。在此期间,作者一直关注、跟踪来自各方面的意见、建议、研究与教学成果,并根据自身的体会与认识及时分析与整理。为了更好地满足科研和教学工作的要求,利用此次再版机会,在原书的基础上进行了必要的修改和补充,使其更好地体现理论性、资料性、时代性和实用性。本书再版工作中,对下列问题给予了特别关注:

1. 学科内容的完整性与系统性。环境土壤学的核心问题是土壤环境质量与可持续发展,此次再版在原有基础上增加了“土壤生物污染与环境质量”一章,因而基于污染物属性的有机物污染、无机物污染、放射性物质污染和生物污染,在本书中都有了较为详细而系统的阐述。生物是自然环境的要素之一,在人类面临的诸多环境问题中,生物污染已成为整体环境质量中极为重要的一个方面。土壤生物污染是指一个或几个有害的生物种群从外界环境入侵土壤并大量繁衍,或本土有害生物在土壤中的大量聚集,改变土壤生物区系原先的稳定结构并破坏生态系统原有的动态平衡,引起现存的或潜在的土壤环境质量恶化与相应危害的现象。本章内容对于该领域的开拓与发展是一个良好的开端;然而,就总体而言,有关土壤生物污染与环境质量的研究,目前尚为环境土壤学研究中相对薄弱的一部分,是一个有待加强的领域。

2. 基本概念的科学性。对于基本概念的科學表述和确切理解,有助于对事物本质的把握,有助于强化与明晰研究目标与结果。主要涉及的内容是:

(1) 土壤 “土壤”一词在世界上任何民族的语言中均可以找到,但不同学科的科学家对什么是土壤却有着各自的观点和认识。本书从环境土壤学的角度,考虑到土壤抽象的历史定位、具体的物质描述以及代表性的功能表征,给出了一个相对来说比较综合性的定义,较为充分地反映了土壤的本质和特征。

(2) 土壤质量 “土壤质量”是一个发展中的概念,本书在前人工作的基础上,根据土壤的基本功能、性质的动态性、对外界影响的阻挡与恢复能力等要素,给出了土壤质量的定义,强调了量化的重要性。

(3) 土壤污染和土壤环境质量 “土壤污染”是目前较易混淆的一个概念,本书明确了土壤污染的定义,突出了土壤污染的三要素,即有可识别的人为污染物、有可鉴别的污染物数量的增加、有现存或潜在的危害后果,三者缺一不可,从而可避免对土壤污染或污染土壤的误判。

“土壤环境质量”是土壤环境“优劣”的一种概念,它与土壤遭受外源物质的侵袭、累积或污染的程度密切相关。根据土壤环境质量的定义,可清晰地将土壤环境质量划分为背景状况、有外来物质的侵袭与累积状况(或沾污状况)以及污染状况。

(4) 土壤环境质量标准 土壤环境质量标准的建立是一个相当复杂的系统工程,它应该是系列标准或标准系列的组合。从土壤质量和土壤环境质量的本质考虑,在土壤环境质量标准的制订中应该考虑其性质的“固有”状态和“动态”变化,必须与土壤类型和利用与管理方式紧密相连;从“固有”状态考虑,应该制定以保护土壤资源自身为目的的“土壤环境质量保护限量标准”,这一标准应该有严格的要求,且具有惟一性,是保护土壤自身资源的目标值,强调了在背景状态下的可持续利用性。从“动态”角度考虑,应该制定以利用土壤资源为目的的“土壤有害物质限量标准”,这一标准具有多重性,可依据不同的应用目的制定不同的标准,强调了在特定利用条件下的可持续发展。

(5) 土壤环境工程 “土壤环境工程”是环境土壤学的重要研究内容,从技术层面上反映了环境土壤学的重要性。它主要是运用工程技术、土壤学及相关学科的原理与方法,设计并运行处理工艺,以维持和更好地改善土壤环境质量。

3. 资料的新颖性和溯源性。从该书初版到再版,前后大约6年时间,此间与土壤环境质量有关的重要会议的召开、专著的问世和国家任务的开展,为相关领域的发展提供了良好的契机。例如,2006年7月,第18届世界土壤学大会在美国费城召开,这是进入新千年后,世界土壤学界的又一次盛会,出版了《未来土壤学》(*The Future of Soil Science*)一书,提供了认识和解决科学家们所在国或全球环境问题的思路和方法。《中国土壤质量》(曹志洪,周健民等 2008)一书的出版,为中国土壤质量的研究提供了可供借鉴的科学方法和丰富资料。由国土资源部和国家环境保护部分别主持的有关全国土壤环境质量现状的调查已经完成或行将结束,在陆续发表的相关文章以及与有关科学家的有益交流和讨论中,对于我国土壤环境质量现状的认识有很好的启示。人们对温室气体和全球气候变化的关注近年来可以说达到了前所未有的高度,全球碳交易市场可能是推动增加土壤碳存储措施的重要动力之一,而土壤碳汇的拓展,也为碳交易市场提供了更大的潜力。在本书交稿前夕,第19届世界土壤学大会在澳大利亚召开(2010年8月1~6日),大会的主题为“*Soil solutions for a changing world*”,凸显了土壤科学在解决全球问题上的重要性。此次修订过程中,在注重基本原理的同时,希望能够尽量反映有关领域的进展、变化和新的成果,读者通过对相关信息的了解,通过所标注文献和所讨论的内容,可体会到本书的时代气息,体会到学科的拓展与深化;同时,在具体内容与概述方面亦十分重视溯源性,以方便读者了解相关科学领域发展和认识的阶段性。

十分感谢诸多同行和同事在本书再版过程中付出的辛勤劳动,他们对每一章都进行了认真、仔细的修改与补充。此次负责修订或撰写工作的有:第一、十一章(陈怀满),第二章(徐建明,何艳),第三章(张乃明,王慎强),第四、七章(朱永官),第五章(郑春荣,周东美),第六章(杨曦,陈怀满),第八章(林先贵,胡君利),第九章(张甘霖),第十章(陈同斌,雷梅,仓龙,周东美),第十二章(第一节 董元华;第二节 郑春荣;第三节 司友斌;第四、五节 吴启堂)。董元华和周东美审阅和修改了部分章节,郑春荣参与了全书的审阅和修改工作,全书由陈怀满审阅、定稿。

在成书过程中,始终得到王玉军博士,仓龙博士,郝秀珍博士,博士研究生汪鹏、李连楨、王全英等同学的热情而有效的帮助,李汛博士参与了第六章初稿的校阅工作,马力博士给予了及时的技术支持;中国科学院南京土壤研究所图书馆提供了诸多方便;与农业部环境保护科研监测所刘凤枝研究员,钟山职业技术学院环境与土木工程系李兆龙老师,中国科学院南京土壤研究所蔡祖聪,骆永明,段增强,颜晓元等研究员和邓昌芬博士等提供了宝贵的资料;南京农业大学沈振国教授,国家环境保护部南京环境科学研究所林玉锁研究员,福建农林大学王果教授,中国科学院沈阳应用生态研究所李培军研究员,浙江大学何振立教授等进行了有益的交流和讨论;中国科学院南京土壤研究所党委书记林先贵研究员,综合处处长王慎强研究员,科技处高级工程师朱平老师,始终关心和支持本书的再版工作。对于来自上述的众多帮助、支持与鼓励,在此一并表示衷心的感谢。

特别感谢朱永官,董元华,周东美以及编委会全体老师,由于他们在本书修订过程中的努力与帮助,使得再版工作得以顺利进行;同时,也为今后的工作打下了良好的基础。

对于书中存在的错误和不足之处,敬请批评指正。

陈怀满

2010年8月12日于南京

第二版前言

第一章 绪论	1
第一节 土壤与土壤圈	1
一、土壤	1
二、土壤圈	2
第二节 环境污染与土壤污染	3
一、环境与环境污染	3
二、土壤环境问题和土壤污染	5
第三节 土壤质量及其评估	12
一、土壤质量的定义	12
二、土壤质量的评估	13
三、需要探索的问题	16
第四节 环境科学与环境土壤学	17
一、土壤在环境中的作用与地位	18
二、环境土壤学的产生与研究内容	27
思考题与习题	32
主要参考文献	33
建议进一步阅读的文献	36
第二章 土壤的基本组成、性质和分类	37
第一节 土壤生态系统的基本组成	37
一、土壤矿物质	37
二、土壤有机质	42
三、土壤生物	50
四、土壤水	55
五、土壤空气	60
第二节 土壤性质	63
一、土壤物理性质	63

二、土壤化学性质	74
三、土壤生物学性质	81
第三节 土壤的形成	85
一、土壤形成因素	85
二、土壤形成过程	87
三、土壤剖面分化与特征	89
第四节 土壤分类与分布	90
一、土壤分类概述	90
二、土壤发生分类(中国土壤分类系统)	90
三、土壤系统分类(中国土壤系统分类)	93
思考题与习题	95
主要参考文献	96
建议进一步阅读的文献	99
第三章 土壤中碳、氮、硫、磷与环境质量	100
第一节 土壤中的碳与环境质量	100
一、土壤有机碳库	100
二、土壤碳的形态与活性	103
三、土壤有机碳的分解与转化	104
四、土壤碳库与甲烷	107
五、全球气候变化对土壤碳循环的影响	110
六、土壤碳循环及碳的存储和交易	111
第二节 土壤氮素与环境质量	113
一、土壤中氮的含量和形态	113
二、氮在土壤中的迁移转化	115
三、土壤氮素管理与环境质量	119
第三节 土壤中硫素与环境质量	123
一、土壤中硫的含量与形态	123
二、硫在土壤中的行为	126
三、硫素循环对环境的影响	131
第四节 土壤中磷素与环境质量	134
一、土壤中磷的含量与形态	135
二、磷在土壤中的迁移转化与固定	136
三、土壤磷素与水体富营养化	139
思考题与习题	141
主要参考文献	141
建议进一步阅读的文献	145

第四章 土壤-植物系统中的硒、氟和碘及其环境行为	146
第一节 土壤-植物系统中的硒	146
一、土壤中的硒	146
二、植物中硒的含量	150
三、土壤-植物系统中硒的迁移	155
四、硒的健康效应及其调节	157
第二节 土壤-植物系统中的氟	158
一、土壤中氟的含量与来源	159
二、土壤中氟的形态	160
三、土-水系统中氟的化学平衡	162
四、土壤氟的生物效应	164
五、土壤-水-植物系统中的氟与地氟病	166
第三节 土壤-植物系统中的碘	168
一、土壤中碘的含量与来源	169
二、影响土壤碘行为的因素	171
三、植物对碘的吸收	173
四、碘缺乏病防治	177
思考题与习题	179
主要参考文献	179
建议进一步阅读的文献	183
第五章 土壤重金属元素与环境质量	185
第一节 土壤中的重金属	185
一、土壤重金属污染及其来源	185
二、土壤中重金属的形态	187
三、控制土壤中重金属溶解度的主要反应	193
第二节 土壤元素背景值和土壤负载容量	203
一、土壤元素背景值	203
二、土壤负载容量	208
第三节 重金属污染对环境质量的影晌	211
一、重金属对土壤肥力的影响	211
二、重金属的植物效应及其影响因素	212
三、重金属对土壤微生物和酶活性的影响	214
四、重金属对人类健康的影响	216
第四节 稀土元素在土壤中的行为与环境质量	217
一、土壤中稀土元素的来源和含量	217
二、土壤中稀土元素的形态	219
三、稀土元素在土壤中的吸附与解吸	220

四、稀土元素的环境效应	221
第五节 土壤中化学物质的交互作用	223
一、土壤、植物系统中的 Pb - Cd 交互作用对植物 吸收 Cd 的影响	223
二、交互作用对模式参数的重要性	224
三、重金属复合影响的土壤环境质量现状评价	225
四、土壤中重金属与有机化合物的交互作用	226
思考题与习题	230
主要参考文献	230
建议进一步阅读的文献	235
第六章 土壤中有机污染物与环境质量	236
第一节 土壤中有有机污染物概述	236
一、农药	237
二、多环芳烃类	239
三、多氯联苯	240
四、二噁英	241
五、石油类	242
六、药物与个人护理品	243
七、其他重要的有机污染物	243
第二节 有机污染物的土壤环境行为	246
一、有机污染物在土壤中的吸附与迁移	246
二、有机污染物在土壤中的转化	251
三、土壤中农药的结合残留	259
第三节 土壤中有有机污染物的生态效应与环境质量	261
一、有机污染物对生物的影响	261
二、农药污染与农产品质量安全	265
第四节 土壤中有有机污染物的研究展望	267
思考题与习题	270
主要参考文献	270
建议进一步阅读的文献	273
第七章 土壤中的放射性物质与环境	275
第一节 土壤中的放射性物质	275
一、放射性和放射性污染	275
二、土壤中放射性物质的来源	277
三、放射性污染物的危害	280
四、放射性核素在土壤中的行为	282

第二节 土壤中放射性核素的植物效应	286
一、植物吸收的途径	286
二、影响植物根系吸收放射性核素的因素	289
三、植物吸收放射性污染物的调控	293
第三节 放射性核素在土壤侵蚀研究中的应用	296
一、放射性核素示踪土壤侵蚀的基本原理	296
二、侵蚀示踪技术的基本方法	297
三、侵蚀示踪研究的基本现状和前景	298
思考题与习题	298
主要参考文献	299
建议进一步阅读的文献	302
第八章 土壤生物污染与环境质量	303
第一节 土壤生物污染概述	303
一、土壤生物污染的定义	303
二、土壤生物污染的来源	306
三、土壤生物污染的危害	311
第二节 土壤生物污染物的环境行为	315
一、土壤生物污染物的生存条件	315
二、土壤生物污染物的迁移	317
第三节 土壤生物污染的预防与控制	320
一、无害化堆肥技术	321
二、生物防治技术	323
第四节 土壤生物污染的研究展望	326
思考题与习题	328
主要参考文献	328
建议进一步阅读的文献	332
第九章 土壤退化过程与环境质量	333
第一节 土壤的自然演变与退化	333
一、土壤变化与环境条件的关系	333
二、人为导致的土壤退化	335
第二节 土壤侵蚀与环境质量	336
一、土壤水蚀及其影响因子	336
二、土壤水蚀的估计和预测	337
三、土壤水蚀对环境质量的影响	339
第三节 荒漠化过程中的土壤和环境质量变化	344
一、荒漠化及其影响	344

二、荒漠化过程的特点和影响因素	345
三、荒漠化评价的土壤和环境指标	346
第四节 土壤酸化与环境质量	347
一、土壤酸化过程的形成和实质	348
二、土壤酸化的主要成因	351
三、土壤酸化的环境效应	354
第五节 土壤盐渍化	356
一、土壤盐渍化过程及其影响因素	357
二、盐渍化土壤的管理	360
第六节 土壤压实	362
一、土壤压实的主要过程和特征	363
二、土壤压实的影响	363
三、土壤压实的评价	366
思考题与习题	369
主要参考文献	369
建议进一步阅读的文献	376
第十章 污染土壤的修复	378
第一节 污染土壤的物理修复	378
一、翻土和客土	379
二、高温热解	379
三、蒸气抽提	380
四、固化与填埋	380
第二节 污染土壤的化学修复	381
一、化学钝化剂及改良剂	381
二、淋洗与萃取	382
三、电动修复	385
第三节 污染土壤的微生物修复	388
一、有机物污染土壤的微生物修复	388
二、重金属污染土壤的微生物修复	390
三、微生物修复技术的优缺点	390
四、原位和异位微生物修复	391
第四节 污染土壤的植物修复	394
一、植物修复技术的概念与分类	394
二、植物修复技术的优点与局限性	395
三、重金属污染土壤的植物修复	396
四、有机物污染土壤的植物修复	402
五、放射性核素污染土壤的植物修复	404

第五节 污染土壤修复的发展趋势	406
思考题与习题	407
主要参考文献	408
建议进一步阅读的文献	414
第十一章 土壤环境工程	415
第一节 地下管道的腐蚀与保护	415
一、金属腐蚀的定义和分类	415
二、土壤中金属的腐蚀原理	416
三、金属在土壤中的腐蚀过程	420
四、影响土壤中金属管道腐蚀的因素	423
五、土壤腐蚀性表征	424
六、地下管道的腐蚀防护	425
第二节 污水土地处理	428
一、污水慢速渗滤处理系统	429
二、其他土地处理系统	433
第三节 固体废弃物的土地处置	436
一、处置过程中固体废物的反应和环境问题	437
二、固体废弃物的土地填埋	441
三、填埋场终场覆盖系统的构成和稳定化后的土地利用	449
思考题与习题	451
主要参考文献	451
建议进一步阅读的文献	454
第十二章 环境土壤学研究法	455
第一节 环境土壤样品的采集与制备	455
一、采样方案的拟订	455
二、样品采集与处理	459
三、采样质量保证与控制(QA/QC)	462
第二节 土壤中典型无机污染物的分析方法示例	466
一、样品的制备与分析质量控制	466
二、土壤中砷的测定	466
三、土壤中镉的测定	469
四、土壤中铬的测定	471
五、土壤中铜的测定	472
六、土壤中汞的测定	473
七、土壤中镍的测定	474
八、土壤中铅的测定	475

九、土壤中砷的测定	477
十、土壤中锌的测定	478
十一、土壤中氟的测定	479
第三节 土壤中典型有机污染物分析方法示例	481
一、土壤中多氯联苯的气相色谱分析	481
二、气相色谱-质谱联用测定土壤样品中的多环芳烃	484
三、高效液相色谱法测定土壤中的磺胺类抗生素	485
四、高效液相色谱-质谱法测定土壤中的磺酰脲类 除草剂残留	486
五、水稻土中除草剂丁草胺的测定	488
第四节 土壤环境质量评价方法示例	490
一、土壤环境质量现状评价	490
二、土壤环境质量预测评价	494
第五节 污染土壤生态毒理学评价	495
一、污染土壤生物毒性评价	495
二、土壤污染物迁移能力评价	499
思考题与习题	511
主要参考文献	511
建议进一步阅读的文献	514
附表 1 中国土壤元素背景值(A层)	515
附表 2 中国土壤(A层)和世界土壤化学组成的中值	516

而不均匀的聚积层,它是一个开放系统,是自然环境要素的中心环节。作为生态系统的组成部分,可调控物质和能量循环。

基于上述认识,考虑到土壤抽象的历史定位(历史自然体)、具体的物质描述(疏松而不均匀的聚积层)以及代表性的功能表征(生产力、生命力、环境净化力),可将土壤作如下定义,即“土壤是历史自然体,是位于地球陆地表面和浅水域底部具有生命力、生产力的疏松而不均匀的聚积层,是地球系统的组成部分和调控环境质量的中心要素”。这是一个相对来说比较综合性的定义,较为充分地反映了土壤的本质和特征。

二、土壤圈

(一) 概念

人们对地球表面的水圈、大气圈、生物圈和岩石圈早已熟悉,而对土壤圈的讨论则是近年来才予以关注。所谓水圈是指地球表面和接近地球表面的各种形态的水的总称,它包括海洋、河流、湖泊、沼泽、地下水、岩浆水、聚合水、生物圈中的体液、细胞内液和生物聚合水化物等,在水循环的作用下,各个特征不同的水体相联系而形成了水圈。

大气圈是指包围地球的空气层或大气层的总体。大气是以氮气、氧气为主的多成分均匀混合气体,按其在各个高度的特征可分为若干层次,常用的分层法有:①按温度垂直变化特点分为对流层、平流层、中层和热层;②按大气成分结构分为均质层和非均质层;③按压力特性分为气压层和外大气层(逸散层);④按电离状态分为中性层、电离层和磁层;此外,还可按大气化学成分分出臭氧层。

岩石圈是指地球的刚性外壳层,是由一些能够相互独立运动的离散板块构成的。固体地球内部最基本的构造层为地壳、地幔和地核,岩石圈是由地壳和地幔最上部组成的固体地球最外部的圈层,具有较高的刚性和弹性,与土壤圈密切相连,为大气圈和水圈所覆盖,大陆岩石圈的厚度约在 100~400 km 之间。

生物圈是指地球上所有生命与其生存环境的整体,它在地球表面上至平流层,下到十几公里的地壳,形成一个有生物存在的包层。实际上,绝大多数生物生活在陆地之上和海洋表面以下各约 100 m 厚的范围内,在地球上之所以能够形成生物圈,是因为在这样一个层面里同时具备了生命存在的四个条件:阳光、水、适宜的温度和营养成分。

土壤圈(pedosphere)于 1938 年由马特森(S. Matson)提出,它是岩石圈、水圈、生物圈及大气圈在地表或地表附近相互作用的产物。现代土壤学、环境科学和生态学的研究进展加深了对土壤圈本质的理解。可以认为,土壤圈是“覆盖于地球陆地表面和浅水域底部的一种疏松而不均匀的覆盖层及其相关的生态与环境体系;它是地球系统的重要组成部分,处于大气圈、水圈、生物圈和岩石圈的界面和中心位置,既是它们所长期共同作用的产物,又是对这些圈层的支撑”,它可以表示为

$$S_q = f(L, H, B, A, i) \quad (1-1)$$

式中, S_q 代表土壤圈; L 代表岩石圈; H 代表水圈; B 代表生物圈; A 代表大气圈; i 表示岩石圈、水圈、生物圈和大气圈之间的交互作用。土壤圈是最活跃与最富生命力的圈层,它与其他圈层间进行着永恒的能量与物质交换;土壤圈具有记忆块的功能,有助于识别过去和现在土壤和环境的变化,并有一定的预测性;土壤圈具有时空特征,在空间上具有垂直和水平分