



场地污染土壤

CHANGDI WURAN TURANG
YUANLI YU KONGZHI JISHU

原理与控制技术

魏明宝 杜 君 主编

中原出版传媒集团
大地传媒

中原农民出版社

场地污染土壤原理与 控制技术

魏明宝 杜 君 主 编



中原农民出版社

· 郑州 ·

图书在版编目(CIP)数据

场地污染土壤原理与控制技术/魏明宝,杜君主编. —郑州:
中原农民出版社,2017.9
ISBN 978-7-5542-1779-5

I. ①场… II. ①魏…②杜… III. ①场地-土壤污染控制
IV. ①X53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 217682 号

场地污染土壤原理与控制技术

魏明宝 杜君 主编

马闯 刘楠 副主编

出版社:中原农民出版社

地址:河南省郑州市经五路 66 号

网址:<http://www.zynm.com>

发行单位:全国新华书店

承印单位:新乡市豫北印务有限公司

邮编:450002

电话:0371-65788655

传真:0371-65751257

投稿邮箱:1093999369@qq.com

交流 QQ:1093999369

邮购热线:0371-65788040

开本:710mm×1010mm 1/16

印张:20.5

字数:346 千字

版次:2017 年 9 月第 1 版

印次:2017 年 9 月第 1 次印刷

书号:ISBN 978-7-5542-1779-5

定价:68.00 元

本书如有印装质量问题,由承印厂负责调换

前言

随着我国城市化的快速发展以及环保要求的提高和产业升级的需要,近年来各地都有大量污染企业关停或外迁。2014年以来,仅浙江一个省就累计淘汰关停造纸、印染、化工企业近千家、搬迁入园200家。据不完全统计,2001~2012年,全国有10多万家位于城市内的高污染、高耗能企业逐渐搬出中心城区。有关专家在北京、深圳和重庆等城市开展的搬迁场地调查表明,大约有1/5甚至更多的搬迁场地土壤被严重污染。这些因被用于生产、储存、堆放有毒有害物质,或因突发事件等,造成土壤、地下水污染,并产生人体健康、生态风险或危害的地块被形象地称之为“毒地”。2014年4月发布的《全国土壤污染状况调查公报》显示,在调查的81块工业废弃地的775个土壤点位中,超标点位占34.9%,主要污染物为锌、汞、铅、铬、砷和多环芳烃,主要涉及化工、工业、矿业、冶金业等行业。有业内专家表示,保守估算我国潜在污染场地数量在50万块以上,场地污染土壤急需修复和治理。

本书基于目前的形势,为满足广大读者对场地污染土壤治理先进、适用、有效技术的迫切需求,并根据作者在这一领域的理论探索、国外先进经验的借鉴以及具体工程案例,从土壤的来源、产生以及特性和土壤污染的危害着手,从场地土壤污染原理、场地土壤污染控制技术出发,并借鉴国外先进的污染场地修复技术经验,形成了土壤组成、土壤理化性质、土壤污染原理、场地污染土壤修复等一整套完整的处理与处置技术。

本书特别强调技术与工程实例之间的有机结合,用大量笔墨介绍了土壤的基础理化知识,力求读者能够理解土壤的概念,便于对场地污染土壤的污染原理和修复控制技术进行更深入地理解和思考。同时,为了使读者对本书大量理论有更深入的了解,列举国内比较成功的工程案例,以便读者能够更全面和完整地了解,从而为我国环境保护、农业、管理部门以及环境工程设计等不

同领域人员,在场地污染土壤修复技术方面能够正确地应用。全书共八章,由郑州轻工业学院魏明宝副教授、河南省农业科学院杜君博士共同担任主编,郑州轻工业学院马闯博士、刘楠博士等共同完成。分工如下:第一章和第二章约 6.5 万字主要由杜君负责完成,其中新乡县农牧局文祥朋参与部分编纂工作,第三、第四、第五章和第六章第一节约 6.5 万字由马闯负责完成,第七章前六节约 11 万字由魏明宝负责完成,第六章第二、第三、第四、第五节以及第七章第七、第八、第九节和第八章约 6.5 万字由刘楠负责完成。

目 录	
第一章 土壤科学发展概况·····	001
第一节 土壤在人类农业生产中的重要性·····	002
第二节 土壤及土壤科学的发展·····	010
第三节 土壤学科体系、研究内容和方法 ·····	021
第二章 土壤组成与理化性质概述·····	030
第一节 土壤组成概述及其环境生态意义·····	031
第二节 土壤性质概述·····	054
第三章 土壤发生与分类概述·····	074
第一节 土壤发生学概述·····	075
第二节 土壤分类学概述·····	080
第四章 土壤污染概述·····	089
第一节 土壤污染的概念·····	090
第二节 土壤污染来源·····	094
第三节 土壤污染的特点与现状·····	102
第四节 土壤污染治理技术研究进展·····	112
第五章 场地土壤污染类型·····	117
第一节 污染场地概述·····	118
第二节 场地土壤污染的主要类型、现状及修复措施 ·····	120
第六章 场地土壤污染原理·····	134
第一节 土壤组成与性质·····	135
第二节 场地土壤污染的发生·····	143
第三节 场地土壤中化学农药污染·····	149

第四节	土壤重金属污染	158
第五节	场地土壤污染的防治	166
第七章	场地土壤污染控制技术	169
第一节	土壤修复概述	170
第二节	场地环境评价及修复实施流程	175
第三节	污染场地土壤修复方法和原理	196
第四节	城市工业场地污染土壤修复技术	257
第五节	重金属污染场地土壤修复技术	263
第六节	石油污染场地土壤修复技术	270
第七节	持久性有机污染场地土壤淋洗法修复	272
第八节	挥发性有机物污染场地土壤修复技术	276
第九节	地下水污染场地污染的控制与修复	280
第八章	有机污染场地修复技术案例介绍	283
案例一:	美国科罗拉多州某污染场地原位热脱附(ISTD)修复	284
案例二:	新西兰马普瓦(Mapua)污染场地机械化学修复技术	286
案例三:	美国加利福尼亚州北岛海军航空基地(NASNI)溶剂 萃取修复	288
案例四:	美国纽约州燃油配送点遗留场地修复	289
案例五:	Pierce 加油站旧址场修复	290
案例六:	USG 公司遗留场地修复	291
案例七:	落基山兵工厂 18 单元污染场地修复	292
案例八:	木材加工厂遗留场地(土壤)修复	293
案例九:	勒琼营 88 号地块土壤含水层修复项目	294
案例十:	苏州东升有机污染土壤的化学淋洗法	296
案例十一:	濮阳油田有机污染土壤生物处理	298
案例十二:	武汉农药厂有机农药污染土壤的植物-微生物修复法	298
案例十三:	美国亚拉巴马州 THAN 公司超级基金场地的 微生物修复	300
案例十四:	美国阿伯丁农药企业搬迁场地植物修复	303
案例十五:	法国有限公司污染场地修复工程	305
案例十六:	多环芳烃污染农田土壤的生物协同修复	307

案例十七:西南某有机氯农药污染土壤修复	309
案例十八:PAHs 污染农田土壤修复	311
主要参考文献.....	318

第一章 土壤科学发展概况

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,是大气层、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性发展及生态环境的平衡具有十分重要的意义。



第一节 土壤在人类农业生产中的重要性

土壤不仅是人类赖以生存的物质基础和宝贵财富的源泉,又是人类最早开发利用的生产资料。在人类历史上,由于土壤质量衰退曾给人类文明和社会发展留下了惨痛的教训。但是,长期以来居住在我们这个地球上的人们,对土壤在维持地球上多种生命的生息繁衍,保持生物多样性的的重要性并不在意。直到 20 世纪中期以来,随着全球人口的增长和耕地锐减,资源耗竭,人类活动对自然系统的影响迅速扩大,人们对土壤的认识才不断加深,土壤与水、空气一样,既是生产食物、纤维及林产品不可替代的自然资源,又是保持地球系统的生命活性,维护整个人类社会和生物圈共同繁荣的基础。因此,保护土壤,特别是保护耕地土壤数量和质量,理所当然成为一个国家的重要方针。

一、土壤的生产功能

“民以食为天,食以土为本”,精辟地概括了人类-农业-土壤之间的关系。农业是人类生存的基础,而土壤是农业的基础。

(一)土壤是植物生长繁育和生物生产的基地

农业生产的基本特点是生产出有生命的生物有机体,其中最基本的任务是发展人类赖以生存的绿色植物的生产。绿色植物的生长发育的 5 个基本要素,即日光(光能)、热量(热能)、空气(氧及二氧化碳)、水分和养分。其中养分和水分通过根系从土壤中吸取。植物能立足自然界,能经受风雨的袭击,不倒伏,则是由于根系伸展在土壤中,获得土壤的机械支撑。这一切都说明,在自然界,植物的生长繁育必须以土壤为基地。一个好的土壤应该使植物能吃得饱(养料供应充分)、喝得足(水分充分供应)、住得好(空气流通、温度适宜)、站得稳(根系伸展开、机械支撑牢固)。归纳起来,土壤在植物生长繁育中有下列不可取代的特殊作用:

1. 营养库的作用

植物需要的营养元素除二氧化碳主要来自空气外,氮、磷、钾及中量、微量元素和水分则主要来自土壤。从全球氮、磷营养库的储备和分布看(表 1-1),虽然海洋的面积占去地球陆地表面的 2/3,但陆地土壤和生物系统储备的氮、磷总量要比水生生物和水体中的储量高得多,无论从数量和分配上,土壤营养库都十分重要。土壤是陆地生物所必需的营养物质的重要给源。

表 1-1 全球氮、磷营养储备及分布

环境营养储备	N(10^9 t)	P(10^6 t)
大气	3.6×10^6	—
陆地生物	12.29×10^2	2×10^3
土壤	8.99×10^2	16×10^4
水域生物	0.97	138
沉积物	4×10^6	10^6
水体	2×10^4	12×10^4
地壳	14×10^6	3×10^{16}

2. 养分转化和循环作用

土壤中存在一系列的物理、化学、生物和生物化学作用,在养分元素的转化中,既包括无机物的有机化,又包含有机物质的矿质化。既有营养元素的释放和散失,又有元素的结合、固定和归还。在地球表层系统中通过土壤养分元素的复杂转化过程,实现着营养元素与生物之间的循环和周转,保持了生物生命周期生息与繁衍。

3. 雨水涵养作用

土壤是地球陆地表面具有生物活性和多孔结构的介质,具有很强的吸水和持水能力。据统计,地球上的淡水总储量为 0.39 亿 km^3 ,其中被冰雪封存和埋藏在地壳深层的水有 0.349 亿 km^3 。可供人类生活和生产的循环淡水总储量只有 0.041 亿 km^3 ,仅占总淡水量的 10.5%。在 0.041 亿 km^3 的循环淡水中,除循环地下水(占 95.12%)和湖泊水(占 2.95%)超过土壤水(1.59%)外,土壤储水量明显大于河水(0.03%)和大气水(0.34%)的储量。土壤的雨水涵养功能与土壤的总孔度、有机质含量等土壤理化性质和植被覆盖度有密切的关系。植物枝叶对雨水的截留和对地表径流的阻滞,根系的穿插和腐殖质层形成,能大大增加雨水涵养、防止水土流失的能力。

4. 生物的支撑作用

土壤是陆地植物的基础营养库,绿色植物在土壤中生根发芽,根系在土壤中伸展和穿插,获得机械支撑,土壤能够保证绿色植物地上部分稳定地站立于大自然之中。在土壤中还拥有种类繁多、数量巨大的生物群,地下微生物群也在这里生活和繁育。

5. 稳定和缓冲环境变化的作用

土壤处于大气圈、水圈、岩圈及生物圈的交界面,是地球表面各种物理、化学和生物化学过程的反应界面,是物质与能量交换、迁移等过程最复杂、最频繁的地带。这种特殊的空间位置,使得土壤具有抗外界温度、湿度、酸碱性、氧化还原性变化的缓冲能力。对进入土壤的污染物能通过土壤生物进行代谢、降解、转化、清除或降低毒性,起着“过滤器”和“净化器”的作用,为地上部分的植物和地下部分的微生物的生长繁衍提供一个相对稳定的环境。

狭义的农业生产包括植物生产(种植业)和动物生产(养殖业)两部分(两个生产车间)。从能量和有机质来源看,植物生产是由绿色植物通过光合作用,把太阳辐射能转变为有机质化学能,是动物及人类维持其生命活动所需能量和某些营养物质的唯一来源。动物生产则是对植物生产产品的进一步加工及增值,在更大程度上满足人类的需求。因此,人们把植物生产称为初级生产(也叫一级生产、基础生产),而把动物生产称为次级生产。从食物链的关系看,次级生产中又可分为若干级,如二级生产、三级生产等。每后一级的生产都以其前一级生产的有机物质作为其食料,整个动物界就是通过食物链的繁育、衍生而来的。由此可见,土壤不仅是植物生产的基地,也是动物生产的基地。如果没有植物生产繁茂,就不可能有动物生产和整个农业生产。

(二)植物生产、动物生产和土壤利用管理三者的关系

农业生产既然以土壤为基地,所以要发展农业生产,就必须十分重视土壤资源的开发、利用、改良和保护,要在全面规划农、林、牧用地的基础上,把土壤资源的开发与改良、利用与保护结合起来。通过合理的耕作制度和方式,科学施肥、灌溉和一系列培肥土壤的管理措施,在保证土壤质量不下降、土壤生态环境不受破坏下,保证农业生产的持续、稳定的发展。通过“用地养地”把植物生产、动物生产和土壤管理3个环节结合起来,把植物生产的有机收获物用作动物生产所需的饲料,将植物残体和动物生产废弃物,通过微生物的利用、转化及循环培肥土壤,提高土壤肥力。

二、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)三项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连接大气圈、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及其在地球表层系统中的地位和作用如图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:

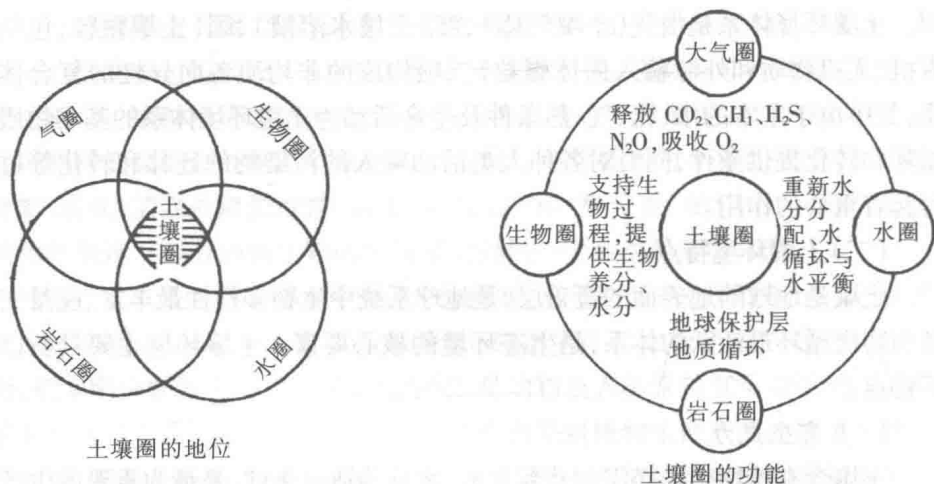


图 1-1 土壤圈与其他圈层的动态关系及其在地球表层系统中的地位和作用

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: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。

三、土壤的生态功能

生态系统包含着一个广泛的概念。任何生物群体与其所处的环境组成的统一体,都形成不同类型的生态系统。自然界的生态系统大小不一,多种多样的,小可小到一个庭院、池塘,一块草地,大可大到森林、湖泊、海洋,乃至包罗地球上一切生态系统的生物圈。陆地生态系统就是包罗整个地球陆地表层的“大系统”。

在陆地生态系统中,土壤作为最活跃的生命层,事实上,是一个相对独立的子系统。在土壤生态系统组成中,绿色植物是其生产者(Producers),通过光合作用,把太阳能转化为有机形态的储藏潜能。同时又从环境中吸收养分、水分和二氧化碳,合成并转化为有机形态的储存物质。消费者(Consumers),主要是食草或食肉动物,如土壤原生动物、蚯蚓、昆虫类、脊椎动物的啮齿类动物,如草原地区的鼯鼠、黄鼠、兔子,农田中的田鼠。它们以现有的有机质作食料,经过机械破碎,生物转化,这部分有机质除小部分的物质和能量在破碎和转化中消耗外,大部分物质和能量则仍以有机形态残留在土壤动物中。作为土壤生态系统的分解者(Decomposers),主要指生活在土壤中的微生物和低等动物,微生物有细菌、真菌、放线菌、藻类等,低等动物有鞭毛虫、纤毛虫等。它

们以绿色植物与动物的残留有机体为食料从中吸取养分和能量,并将它们分解为无机化合物或改造成土壤腐殖质。

土壤生态系统的大小同样决定于研究目标及范围,如果只考虑某个土壤层或土壤剖面内物质和能量的输入、输出以及内部的转化过程,则生态系统可以规定在单个的土壤层或土壤剖面。如果以研究养分循环和农业管理对植物营养作用时,则可以将植物群落——农田土壤系统划定为一个生态系统。或者,可以更大范围、区域、国家甚至研究全球土壤变化。

土壤在陆地生态系统中起着极重要作用。主要包括:①保持生物活性,多样性和生产性。②对水体和溶质流动起调节作用。③对有机、无机污染物具有过滤、缓冲、降解、固定和解毒作用。④具有储存并循环生物圈及地表的养分和其他元素的功能。

四、土壤的社会功能

资源是自然界能为人类利用的物质和能量基础,是可供人类开发利用并具有应用前景和价值的物质。土壤资源可以定义为具有农、林、牧业生产力的各种类型土壤的总称。在人类赖以生存的物质生活中,人类消耗的 80% 以上的热量,75% 以上的蛋白质和大部分的纤维都直接来自土壤。所以,土壤资源和水资源、大气资源一样,是维持人类生存与发展的必要条件,是社会经济发展最基本的物质基础。

土壤和土壤资源作为一个深受人类长期生产实践影响的独立的历史自然体,具有一系列的自然—经济特点。

(一) 土壤资源数量的有限性

土壤资源与光、热、水、气资源一样被称作可再生资源。但从土壤的数量来看又是不可再生的,是有限的自然资源。在这个地球上,只有一个地球,就人类社会的历史而言,土壤的数量不会增加。而在地球表面形成 1cm 厚的土壤,约需要 300 年或更长的时间。所以,土壤不是取之不竭,用之不尽的资源。我国的土壤资源由于受海陆分布、地形地势、气候、水分配和人口增加、工业化扩展的影响,耕地土壤资源短缺,后备耕地土壤资源不足,人均耕地继续下降还将进一步延伸(表 1-2)。土壤资源的有限性已成为制约经济、社会发展的重要特性,有限的土壤资源供应能力与人类对土壤(地)总需求之间的矛盾将日趋尖锐。

表 1-2 中国土壤资源的总量,人均占有量及其与世界和部分国家比较

土地类型	中国各类土地 总占有量(%)	人均占有量(hm ²)					中国人均占有量与世界 人均占有量比率(%)
		世界	中国	美国	巴西	印度	
土地陆地面积	7.1	2.77	0.91	3.92	6.28	0.43	32.9
耕地与园地面积	6.8	0.31	0.10	0.80	0.56	0.22	32.3
永久草地面积	9.0	0.66	0.27	1.01	1.22	0.02	40.9
森林和林地面积	3.2	0.84	0.13	1.11	4.15	0.09	15.5

(二)土壤资源质量的可变性

土壤质地特征是肥力。土壤肥力是由母质向土壤演化过程中,在自然成土因素,或自然因素和人为因素共同作用下形成的。在成土过程中,植物、动物和微生物生物体,可以不断地繁衍与死亡;土壤腐殖质可以不断地合成和分解;土壤养分及其元素随着土壤水的运转,可以积聚或淋洗,这些过程(生物、物理、化学的过程)都处于周而复始的动态平衡中。土壤肥力就是在这些周而复始的循环和平衡中不断获得发育和提高了的。只要科学地对土壤用养结合,不断补偿和投入,完全有可能保持土壤肥力的永续利用。随着科学技术进步,可使单位面积生物生产能力得到提高。

但从另一方面,在破坏性自然营力作用下,或人类违背自然规律,破坏生态环境,滥用土壤,高强度、无休止地向土壤索取,土壤肥力将逐渐下降和破坏,这就是土壤质量的退化。从全球范围看,存在着植被萎缩,物种减少,土壤侵蚀,肥力丧失,耕地过载的现象。在我国,由于人口的压力,因不合理开发利用造成的土壤资源的荒漠化、水土流失、土壤污染等问题严峻。从这一意义上讲,土壤资源不仅仅数量是有限的,质量也同样具有“有限性”的特性。

(三)土壤资源空间分布上的固定性

俄国著名土壤学家道库恰耶夫于 1877~1886 年在俄国平原土壤调查报告中提出土壤形成因素学说,认为土壤是母岩、生物、气候、地形和陆地年龄(时间)等 5 种自然因素综合作用的结果。由于气候、生物植被在地球表面表现出一定规律性,使土壤资源在地面空间分布表现其相应的规律性,即覆盖在地球表面各种不同类型的土壤,在地面空间位置上有相对的固定性,在不同生物气候带内分布着不同的地带性土壤,如热带雨林带分布着砖红壤,热带稀树草带分布着红棕壤,亚热带常绿阔叶林带分布着红壤和黄壤,在温带落叶阔叶林带分布着棕壤,干旱草原带分布着黑钙土和栗钙土,荒漠草原带分布着棕钙