




普通高等教育“十一五”国家级规划教材

全国高等农林院校“十一五”规划教材

环境土壤学

吴启堂 主编



 中国农业出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
全国高等农林院校“十一五”规划教材

环境土壤学

吴启堂 主编

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

环境土壤学/吴启堂主编. —北京: 中国农业出版社, 2011.6

普通高等教育“十一五”国家级规划教材. 全国高等农林院校“十一五”规划教材

ISBN 978-7-109-16107-8

I. ①环… II. ①吴… 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 (2011) 第 194802 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)

(邮政编码 100125)

责任编辑 李国忠

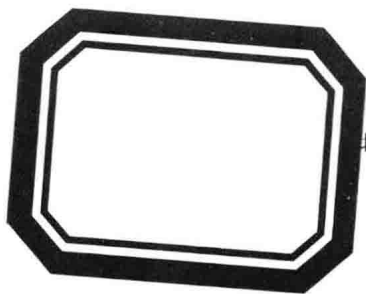
北京华正印刷有限公司印刷 新华书店北京发行所发行
2011 年 6 月第 1 版 2011 年 6 月北京第 1 次印刷

开本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 23

字数: 554 千字

定价: 37.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)



目 录

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 环境土壤学	3
一、环境土壤学的产生	3
二、环境土壤学的定义和定位	4
三、环境土壤学的研究内容	4
复习思考题	5
第二章 土壤母质与土壤的形成	6
第一节 土壤母质	6
一、土壤母质的来源	6
二、岩石的风化过程	11
三、成土母质	13
第二节 土壤的形成	15
一、土壤形成因素	15
二、土壤形成的基本规律	19
第三节 土壤剖面及形态特征	20
一、土壤剖面	20
二、土壤剖面形态特征	22
复习思考题	24
第三章 土壤固体物质组成	25
第一节 土壤颗粒组成与质地	25
一、土壤颗粒组成	25
二、土壤质地	28
第二节 土壤矿物质	32
一、土壤矿物质的矿物组成和化学组成	32
二、黏粒矿物	34
第三节 土壤有机质	39
一、土壤有机质的来源、含量及组成	39

二、土壤腐殖质	41
三、土壤有机质的转化	44
四、土壤有机质的作用及其生态环境意义	47
第四节 土壤生物	50
一、土壤动物	50
二、土壤微生物	52
复习思考题	57
第四章 土壤化学性质及其环境意义	58
第一节 土壤酸碱性	58
一、土壤酸碱度	58
二、影响土壤酸碱性的因素	62
三、土壤酸碱缓冲性	63
四、土壤酸碱性的环境意义	65
第二节 土壤氧化还原性	66
一、土壤氧化还原作用	67
二、土壤氧化还原的环境意义	71
第三节 土壤胶体与表面电荷性质	73
一、土壤胶体	73
二、土壤表面电荷	76
三、土壤胶体的双电层	79
第四节 土壤的吸附解吸性能	81
一、阳离子吸附与交换	81
二、阴离子吸附	85
三、土壤对农药的吸附作用	87
四、土壤吸附的环境意义	88
复习思考题	90
第五章 土壤物理性质及其环境意义	91
第一节 土壤结构与孔隙	91
一、土壤结构	91
二、土壤孔隙	94
第二节 土壤水分性质	97
一、土壤水分的类型和性质	97
二、土壤水分含量的表示和测定方法	99
三、土壤水分能态	102
四、土壤水运动	105
五、土壤水分状况与作物生产	110
第三节 土壤空气性质	112

一、土壤空气的组成	112
二、土壤通气性	112
三、土壤通气指标	113
四、土壤通气状况与作物生长	114
第四节 土壤热性质	115
一、土壤热量的来源与平衡	115
二、土壤热性质	116
三、土壤温度	118
四、影响土壤温度变化的因素	118
五、土壤温度与农业的关系	120
复习思考题	120
第六章 土壤分类及其与环境条件的关系	121
第一节 土壤分类	121
一、土壤分类的目的和意义	121
二、中国土壤发生分类	121
三、中国土壤系统分类	124
第二节 中国土壤分布与土壤资源特点	127
一、中国土壤的分布规律	127
二、中国土壤资源特点	129
第三节 中国主要土壤类型	130
一、森林土壤系列	130
二、草原土壤系列	144
三、荒漠土壤	152
四、盐碱土	155
五、初育土壤	157
六、水成土壤和半水成土壤	159
七、水稻土	164
第四节 土壤退化及其防治	166
一、土壤退化的概念与分类	166
二、土壤退化的主要类型及其防治	167
复习思考题	170
第七章 土壤圈元素循环与环境效应	171
第一节 土壤圈碳、氮、硫循环与环境效应	171
一、土壤圈中碳的循环与环境效应	171
二、土壤圈中氮的循环与环境效应	174
三、土壤圈中硫的循环与环境效应	178
第二节 土壤圈其他大中量元素循环与环境效应	181

一、土壤圈中磷的循环与环境效应	181
二、土壤圈中钾的循环与环境效应	184
三、土壤圈中钙的循环与环境效应	186
四、土壤圈中镁的循环与环境效应	188
五、土壤圈中铝的循环与环境效应	190
第三节 土壤圈微量元素循环与环境效应	192
一、土壤圈中铁的循环与环境效应	192
二、土壤圈中锰的循环与环境效应	194
三、土壤圈中铜的循环与环境效应	195
四、土壤圈中锌的循环与环境效应	197
五、土壤圈中硼的循环与环境效应	199
六、土壤圈中钼的循环与环境效应	201
七、土壤圈中氯的循环与环境效应	202
八、土壤圈中氟的循环与环境效应	203
九、土壤圈中碘的循环与环境效应	205
十、土壤圈中稀土元素的循环与环境效应	206
第四节 土壤圈重金属和放射性元素循环与环境效应	208
一、土壤圈中镉的循环与环境效应	208
二、土壤圈中铅的循环与环境效应	210
三、土壤圈中汞的循环与环境效应	211
四、土壤圈中铬的循环与环境效应	213
五、土壤圈中砷的循环与环境效应	215
六、土壤圈中放射性元素循环与环境效应	216
复习思考题	218
第八章 土壤污染及污染源	219
第一节 土壤污染及其危害	219
一、土壤环境背景值	219
二、土壤的自净作用	225
三、土壤污染的危害	227
第二节 土壤污染源	230
一、土壤污染物的来源及污染类型	230
二、污染物在土壤中的迁移转化	234
第三节 土壤污染预防	237
一、土壤污染源和污染途径的监控	237
二、土壤污染与防治的立法	241
复习思考题	242

第九章 土壤环境监测	243
第一节 土壤采样与制备	243
一、土壤样品的采集	243
二、土壤样品的制备与管理	245
三、土壤污染监测项目及样品的预处理	246
第二节 土壤重金属监测方法	249
一、样品分析质量控制	249
二、土壤中铅和镉的监测方法	249
三、土壤中铜和锌的监测方法	251
四、土壤中总铬的监测方法	252
五、土壤中镍的监测方法	254
六、土壤中总汞的监测方法	255
七、土壤中总砷的监测方法	258
第三节 土壤有机污染监测方法	261
一、土壤有机氯类污染物的监测方法	261
二、多氯联苯的气相色谱分析	264
三、除草剂丁草胺的测定方法	265
四、有机磷农药久效磷的测定	267
五、苯并(a)芘的测定方法	268
复习思考题	268
第十章 土壤环境质量评价	269
第一节 土壤环境容量与环境质量标准	269
一、土壤环境容量	269
二、土壤环境质量标准	271
第二节 土壤环境质量现状评价	275
一、评价因子和评价标准的选择	275
二、土壤环境质量现状的评价方法	277
第三节 土壤环境影响评价	278
一、环境影响的识别与监测调查	278
二、土壤环境影响评价	283
第四节 土壤污染毒理学评价	286
一、污染土壤的毒理学效应	286
二、污染土壤的毒理学评价测定方法	288
复习思考题	294
第十一章 重金属污染土壤的修复和利用	296
第一节 重金属污染土壤的物理化学修复	296

一、物理修复	296
二、化学修复	298
三、物理化学修复技术小结	302
第二节 重金属污染土壤的植物修复	303
一、植物修复技术概述	303
二、超积累植物与植物提取	307
三、植物固定	319
四、植物挥发	319
第三节 重金属污染土壤的农业合理利用	320
一、改变耕作制度	320
二、选择合适形态的化肥和管理土壤水分	320
三、选择抗污染低累积农作物品种	321
复习思考题	321
第十二章 有机污染土壤的修复	322
第一节 有机污染土壤的物理化学修复	322
一、土壤蒸气浸提技术	322
二、热处理技术	324
三、溶剂浸提技术	326
四、原位化学氧化修复技术	328
五、原位化学还原与还原脱氯修复技术	332
第二节 有机污染土壤的生物修复	332
一、生物修复技术概述	332
二、生物修复的基本原理	334
三、生物修复的影响因素	338
四、生物修复的优点和局限性	341
五、生物修复技术的类型	341
第三节 有机污染土壤的植物修复	346
一、植物降解技术	346
二、植物刺激技术	348
三、植物挥发技术	350
复习思考题	351
主要参考文献	352

第一章

.....
□□□□□□□□□□

绪 论

第一节 土壤与土壤圈

一、土 壤

(一) 土壤的定义

中文字典上通常把土(壤)定义为“地面上沙、泥等的混合物”。英语字典通常把土壤(soil)定义为“地球表面能够生长植物的覆盖层(the top covering of the earth in which plants grow)”。这说明不同的人群对土壤具有类似但不完全一致的认识。

实际上,不同的学科对土壤的认识也不同。土木与水利工程专家把土壤看做建筑物的基础和工程材料的来源,农业专家常把土壤作为农业生产的基本生产资料,生态学家更常把土壤作为能量和物质交换的介质。传统的土壤学把土壤通常定义为“地球表面能够生长和收获植物的疏松表层”,或者“地球陆地表面能生长绿色植物的疏松表层,具有不断地、同时地为植物生长提供并协调营养条件和环境条件的能力”。这些定义打上了农业的烙印,因为过去研究土壤主要是为农林业服务,可以称为农林业土壤学。上述定义中前者比较简洁,后者比较复杂,而且可能需要在学习了植物营养学以后才能真正理解。

本书倾向于采用比较简洁的土壤定义,即土壤是地球表面能够持续生长植物的疏松表层。

这里讲的生长,不是短时间的生长,而是要完成生命周期,植物能够自然繁衍下去,也就是前面提到的“生长和收获”或者“具有不断地、同时地为植物生长提供并协调营养条件和环境条件的能力”。纯粹的沙子或碎石在浇水的情况下能够使植物生长几天甚至几十天,但植物会由于长期没有营养供给而最终死亡,在自然界往往只是沙漠或沙滩,因此单单沙子不能称为土壤。然而,在干旱的沙漠地区,由于缺水,即使有土壤,植物也不能生长,因而要排除由于气候因素造成的植物不能生长。也就是说,只要把这些物质移到另一个良好气候区能够持续生长植物的疏松表层,都是土壤。湖泊、河流、浅海沉积物,在许多自然情况下已经生长水生植物,假如被捞到地面,也能用来种植植物,应当认为是土壤的一种类型。因此,在自然界,长期生长有绿色植物的地方,一般有土壤,但没有植物的地方,也可能有土壤,要看当地的环境条件。

(二) 土壤的特性

如上所述,生长植物是土壤的基本特性。土壤满足植物生长的营养条件和环境条件的能力,称为土壤肥力,即土壤满足植物生长所需的水、肥、气、热条件的能力。土壤的特性可以概括为下述几个方面。

(1) 具有生产力 土壤具有植物生长所必需的营养元素和保持水分以供植物吸收的能力，能够生产植物产品。它也是一种材料，可以支撑建筑物和作为建筑材料，为人类生产生活服务。

(2) 具有生命力 土壤具有丰富的生物多样性，除了植物以外，还有种类繁多的微生物和土壤动物，是一个活着的地球表皮 (earth's living skin) (IUGS, 2005)。

(3) 具有净化力 土壤具有吸附、储存、分散、中和及降解环境污染物的能力，是一个天然的生物化学反应器和储存库。

(4) 具有交换力 土壤是地球表面物质和能量交换最活跃的区域之一，是一个开放体系，是重要的环境介质，它不仅吸收环境中的营养物和污染物，而且也会作为源向其他介质（水和大气）和生物输出这些物质。

二、土壤圈

(一) 土壤圈的概念

从地球圈层来说，除了地球中心的熔融岩浆外，有刚性岩石组成的岩石圈，有土壤组成的土壤圈，有地表水（包括海水）、地下水和水汽组成的水圈，有各种气体组成的大气圈，还有生长在岩石圈、土壤圈、水圈和大气圈中的各种大小生物组成的生物圈。

人类就生活在这一个地表环境中，简单地说，住在土壤（岩石）圈之上，呼吸着大气圈中的空气，吃的是生物圈产生的食物，喝的是水圈中的水（吴启堂等，1996）。而具有光合固碳能力的绿色植物生长是生物圈中的第一生产力，动物和微生物的生长依赖绿色植物光合作用形成的有机物。

上述的圈层形状各异，且在不断变化之中，很难用固定的层次观点来形容，甚至你中有我，我中有你。如土壤中有水，水中有土壤；土壤和水中可以有生物，生物中有水甚至有土壤；诸如此类。以开放体系的观点、与外界相互联系的观点来看整体土壤，就得到了“土壤圈”。

土壤圈 (pedosphere) 由马特森 (S. Matson) 于 1938 年提出，它是岩石圈、水圈、大气圈和生物圈在地球表面相互作用的产物。20 世纪 80 年代以来，现代土壤学注重了与生态环境科学的交叉和联系，加深了对土壤在人类生存、地表生态环境可持续发展中的重要性的认识，对土壤圈的观点也更加重视。陈怀满等 (2005) 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，既是它们长期共同作用的产物，又是对这些圈层的支撑。”这种相互关系可以用图 1-1 来表达。

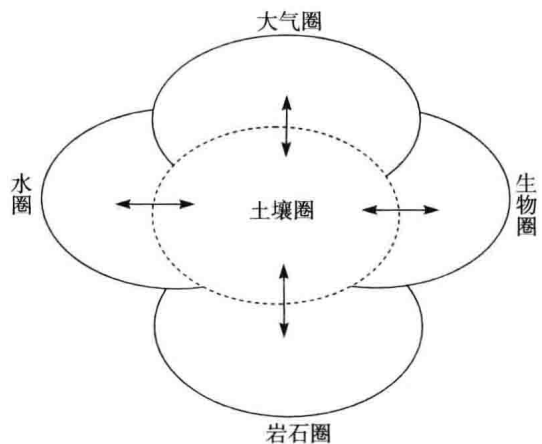


图 1-1 地表环境的组成及与土壤圈的关系

(二) 土壤圈的功能

土壤圈的功能具有以下几个方面。

1. **支持和调节生命过程** 土壤圈提供植物生长的养分、水分以及物理条件, 确定自然植被的分布与演替, 为土壤微生物和小型动物提供生活和庇护场所。但是, 不良土壤也会限制生物的生长。

2. **影响大气圈的化学组成、水分与热量平衡** 土壤通常吸收 O_2 , 释放 CO_2 、 CH_4 、 N_2O 、 H_2S 等, 影响全球大气变化。

3. **影响水的溶质组成及其在陆地、水体和大气的分配** 土壤不同, 对降雨的截留量不同, 从而影响它在水体和大气中的分配; 土壤不同, 其附近水体的化学成分也不相同。

4. **对岩石起保护作用** 土壤圈作为地球的“皮肤”, 减少岩石受到的物理和化学风化作用。

通过上述讨论, 可以知道土壤和土壤圈密不可分, 但又有明显差别。前者指的是自然界具体的物质; 后者指的是以土壤为载体的、包含抽象观念的生态环境体系。在学习和研究土壤时, 应当具有土壤圈的学术思想, 注意它的整体性、开放性、变异性、资源性和有限性。

第二节 环境土壤学

一、环境土壤学的产生

在人类和自然环境长期发展过程中, 随着社会生产力的发展、生产方式的演变和工艺技术的提高, 人们的物质生活水平越来越高, 但垃圾越来越多, 河流越来越黑, 空气越来越浊, 食品污染层出不穷。这些现象说明, 人类在利用和改造自然环境的过程中, 对环境也造成了许多不利的影响。近几十年来, 世界上出现了困扰人类的重大社会问题, 如人口剧增、资源破坏、能源紧张、环境污染等, 成为全球性的危机。第二次世界大战以后, 工农业发展迅速, 人类的环境问题愈来愈严重, 如 20 世纪 70 年代以前世界八大公害事件, 以及表 1-1 所列的 20 世纪 70 年代以后严重环境污染事件。然而, 人们对自然现象和规律的认识也日益深化。在解决困扰当时社会环境问题的需要的推动下, 环境科学遂即经过 20 世纪 50~60 年代的酝酿, 到 70 年代初期便成为一门独立的、内容丰富、领域广泛的新兴科学。环境土壤学也在 20 世纪 70 年代开始萌芽, 国外不少、国内也有少量土壤研究涉及环境问题。

20 世纪 80~90 年代, 国外大量土壤研究为环境保护目标服务, 在 20 世纪 90 年代以后占主导地位 (Blum, 2002)。国内的土壤与环境的研究也有许多报道, 环境土壤学这一学科概念也于 1983 年提出 (高拯民, 1983)。在 20 世纪 90 年代以后我国的土壤污染问题日益显现, 由化肥、农药引起的农业面源污染对水体的富营养化问题也备受关注, 而这一问题的产生与解决与土壤密切相关, 这些有力地推动了环境土壤学的研究和应用。

进入 21 世纪, 我国城市空气污染依然严重, 空气质量达到国家二级标准的城市仅占 1/3; 地表水污染普遍, 特别是流经城市的河段有机污染较重; 湖泊富营养化问题突出; 地下水受到点状或面状污染, 水位下降; 生态破坏加剧的趋势尚未得到有效控制。环境保护工作成为我国社会经济发展和人民生活改善的当务之急。土壤学的研究也从以解决农林业生产问题为主, 逐步转为关注环境问题为主, 正如沈阳应用生态研究所的孙铁珩院士指出: “土

壤学已从农林土壤学时代转入了环境土壤学时代。”

表 1-1 1970 年以后国外六大环境污染公害事件

时 间	地 点	事 故	后 果
1976 年 7 月 10 日	意大利塞维索化学厂	工厂爆炸，化学物二噁英扩散	发生后几年当地居民畸形儿出生率增加
1979 年 3 月 28 日	美国三里岛核电站	核电站泄漏	周围 80 km (50 mile) 200 多万人处于不安状态
1984 年 11 月 19 日	墨西哥城液化气罐站	城中 54 座液化气罐站全部爆炸	1 000 多人死亡，4 000 多人受伤，1 400 多所房屋损坏，3 万多人无家可归
1984 年 12 月 3 日	印度博帕尔市农药厂	化学品泄漏，毒物主要为甲基异氰酸酯	受害面积 40 km ² ，10 万~20 万人被害，其中死亡 0.6 万~2 万人，2 万人失明
1986 年 4 月 26 日	苏联切尔诺贝利核电站	核电站泄漏	疏散 13 万人，抢修 150d 才得以控制，受害人群癌症高发
1986 年 11 月 1 日	瑞士巴塞桑多斯化学公司	公司火灾，消防灭火后，化学品流入莱茵河	莱茵河再次受到污染，有关河段将“死亡”10~20 年

二、环境土壤学的定义和定位

环境土壤学是环境问题出现以后土壤学与环境科学交叉形成的，是一门综合性交叉学科，既属于土壤学的一个分支，也属于环境科学的一个分支（图 1-2）。

环境土壤学起源于土壤环境保护的理论与实践的研究（陈怀满，1991），近年来随着研究工作的深化和发展，对土壤学的认识也逐渐拓展和清晰起来。“环境土壤学是研究自然因素和人为条件下土壤环境质量变化、影响及其调控的一门学科”（陈怀满，2005）。也可以认为，环境土壤学是研究土壤与环境相互关系及其调控的一门学科。主要包括三大方面，一是环境因素包括人为因素对土壤环境质量的影响；二是土壤对生态环境和人体健康的影响；三是土壤-环境-人相互关系的协调机理和措施。

由于“万物土中生”、“一方水土养一方人”，土壤环境对人类生存和发展的影响不言而喻，因此环境土壤学不仅在土壤学研究中已占主导地位，在环境科学中的位置也越来越重要。

环境土壤学是一门新兴的学科，主要采用化学、生物学、土壤学、环境科学、环境工程学的方法和手段研究和解决与土壤有关的环境问题。环境土壤学可以认为是地球科学的一个学科，同时具有两大交叉特征，其一，它是地学与化学与物理学的交叉；其二，它兼具非生命科学与生命科学的双重内涵。

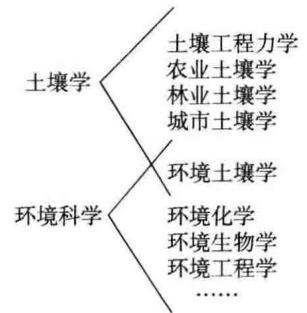


图 1-2 环境土壤学与其他学科的关系

三、环境土壤学的研究内容

前面已经列出了环境土壤学研究的三大方面，更具体地说，又可以细分为以下几个主要

内容。

①土壤环境现状及其评价方法，包括土壤污染调查、分析测试、评价方法和处理利用规划建议，等等。

②土壤环境容量与环境标准，即不同土壤类型对各种污染物的承受能力、自净能力，不同区域土壤环境标准的建立，等等。

③土壤环境质量变化规律，包括不同区域土壤环境质量的变化情况、影响因素和预测模式。

④人类活动、“三废”排放以及大气和水环境污染对土壤质量的影响。

⑤污染物和营养物在土壤中的迁移转化规律，包括各种有害物质和氮、磷等营养物在土壤中的化学变化、物理迁移和生物吸收特征、输出和输入数量等。

⑥土壤污染对食品质量、人体健康、动植物和微生物生长的影响。

⑦土壤污染和养分盈余对水体、大气的影响。

⑧预防土壤污染的措施和提高土壤环境容量的技术途径。

⑨污染土壤的处理技术和修复工程。

⑩利用土壤来处理“三废”的技术原理和方法。

◇复习思考题

1. 什么是土壤？其有哪些特征？
2. 什么是土壤圈？
3. 什么是环境土壤学？环境土壤学主要研究内容是什么？

第二章

土壤母质与土壤的形成

第一节 土壤母质

地壳表层的岩石矿物经过风化作用形成的风化产物就称为土壤母质，或者称为成土母质，它是形成土壤的物质基础。地壳是地球内部结构的最外层，由各种岩石矿物构成，构成地壳的岩石一旦暴露，就会遭受太阳辐射、风、流水等外力的作用而产生风化，风化作用形成的风化产物再经过各种地质作用，形成各种沉积体，也就形成了土壤母质。

一、土壤母质的来源

土壤母质来源于各种岩石矿物的风化产物，而各种岩石矿物的性质不同，风化后形成的各种母质在性质上是有区别的，在这些不同的母质上形成的土壤，它们的物理性质和化学性质也会有所不同。而母质是形成土壤的基本物质，是构成土壤的“骨架”，它既区别于土壤，又对土壤的形成和肥力发展有深刻的影响，母质的很多性状都遗传给土壤。可见土壤的特性会受到各种岩石和矿物等因素的影响，因此矿物岩石的特性是土壤学重要的基础内容。在学习土壤之前，有必要对土壤母质的来源、形成、类型以及分布规律做一简要的介绍。

（一）主要的造岩矿物

1. 矿物的概念与类型

（1）矿物的概念 形成岩石的矿物称为造岩矿物。矿物是土壤矿物质的主要来源。矿物是一类产生于地壳中具有一定化学组成、物理性质和内部构造的单质或化合物。矿物的化学成分和内部构造都是比较均一的，因而具有一定的物理性质和化学性质，并以各种形态（固态、液态、气态）存在于自然界中。自然界中的矿物绝大多数是固体的。因此，可以利用矿物相对稳定的物理性质和化学性质进行矿物的识别。

（2）矿物的类型 矿物依其成因可分为原生矿物、次生矿物和变质矿物三大类。

①原生矿物：原生矿物也叫做内生矿物，是指由地下深处呈熔融状态的岩浆沿着地壳裂缝上升过程中冷却、凝固结晶而成的矿物，如长石、石英和云母等。

②次生矿物：次生矿物也叫做外生矿物，是由暴露在地表的原有矿物，在地表常温常压条件下，受到各种外力作用（如风化作用、沉积作用）所形成的一类矿物。

③变质矿物：变质矿物是经过变质作用形成的，是原有的矿物重新处于高温高压的条件下，发生形态、性质和成分的变化而形成的新矿物。

地壳中矿物的种类很多，目前已经发现的有 3 300 多种，但与土壤矿物质组成密切相关的矿物叫做成土矿物，这种矿物不过数十种。

2. 主要的成土矿物

(1) 石英 石英化学成分为 SiO_2 ，属硅酸盐架状构造的矿物，晶体为柱状，集合体有块状、粒状和致密状等，无色透明或各种浅色，晶面呈玻璃光泽，断口为脂肪光泽，硬度为 7，无解理，断口呈贝壳状。石英在自然界的分布极为广泛，是最主要的造岩矿物。石英的抗风化能力强，在外力的作用下一般常发生物理崩解而呈碎屑状残留下来，成为土壤中砂、砾的重要组成。

(2) 长石类 长石类可分为正长石和斜长石，前者化学成分为 KAlSi_3O_8 ，后者为 $(100-n)\text{NaAlSi}_3\text{O}_8 \cdot n\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ 。

①正长石：正长石多为肉红色，硬度为 6，广泛存在于浅色岩浆岩中，如花岗岩、正长岩和正长斑岩等。正长石抗风化能力较斜长石强，易崩解成碎块和碎粒，在湿热条件下化学风化较易发生，形成次生的黏土矿物高岭石等，并释放出植物需要的钾素，是土壤中钾的重要来源。

②斜长石：斜长石多为灰色或白色，硬度为 6.0~6.5，主要分布在中性及基性岩浆岩中，如闪长岩和辉长岩等。斜长石是较稳定的原生矿物，易受物理风化，易崩解成碎块和碎粒，风化后形成次生矿物：高岭石、蒙脱石、埃洛石、水云母和二氧化硅等，并释放出大量钙等离子。

(3) 云母类 云母类主要有白云母 $[\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2]$ 和黑云母 $[\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe})_3(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2]$ ，是片状硅酸盐矿物，具有极完全解理现象。

①白云母：白云母颜色为浅色或无色，呈透明或半透明的薄片状，抵抗风化能力强，在地表难于风化，常以细小的鳞片状存在，经强烈风化后可形成水云母及高岭石等次生黏土矿物，同时释放出钾素，是土壤中钾素的重要补充。

②黑云母：黑云母其性状与白云母相似，只是颜色呈黑色，不透明或半透明。黑云母易风化，风化后形成黏土矿物，并释放出镁等离子。

(4) 角闪石和辉石 辉石 $[\text{Ca}(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Al})(\text{Si}, \text{Al})_2\text{O}_6]$ 是基性岩、超基性岩和变质岩的主要造岩矿物，一般呈绿黑色。角闪石 $[\text{Ca}_2\text{Na}(\text{Mg}, \text{Fe})_2(\text{Al}, \text{Fe}^{3+})(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{11}(\text{OH})_2]$ 是中性岩的主要造岩矿物，一般呈褐色或黑色。角闪石和辉石都是钙镁铁的硅酸盐矿物，二者性质相近，色深暗，含盐基丰富，化学稳定性低，易发生风化而被彻底分解，转化成绿帘石和绿泥石、褐铁矿、二氧化硅和黏土矿物，同时释放出钙、镁等离子。

(5) 橄榄石 橄榄石 $[(\text{Mg}, \text{Fe})_2\text{SiO}_4]$ 是基性岩和超基性岩的造岩矿物，属岛状构造的硅酸盐矿物，常为粒状的集合体。橄榄石类矿物因含铁量不同颜色可由浅黄绿色变化至深绿色，硬度为 6.5~7，具贝壳状断口。在土壤中极易被风化而成蛇纹石、褐铁矿和胶体二氧化硅。

(6) 高岭石 高岭石为次生黏土矿物，单位晶胞的分子式可写成 $\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ ，晶层由一层的硅片和一层的铝片通过共用氧组成，也称为 1:1 型黏土矿物（黏土矿物将在下一章介绍）。晶层和晶层之间的联系是通过两个晶层的层面间产生的氢键联系在一起的，相邻晶层间的联系力较强，晶层的距离不变，不易膨胀，膨胀系数一般小于 5%，层间的间距为 0.72 nm。高岭石中的 Al 被 Ca、Mg 等替代（同晶替代）量少，其负电荷的来源一是晶体外面的断键，二是晶体边面羟基在碱性及中性条件下的解离，因此吸附阳离子的能力（用阳离子交换量）只有 3~15 cmol (+) / kg。由于高岭石的比表面积较小，其可塑性、黏结性、黏着性和吸湿性都较弱。主要分布在我国南方热带和亚热带地区的土壤中。

(7) 蒙脱石和蛭石 蒙脱石和蛭石单位晶胞的分子式是 $\text{Al}_4\text{Si}_8\text{O}_{20}(\text{OH})_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, 单位晶层是由两层的硅片, 中间夹一层铝片, 它们之间通过共用氧离子联系而成, 都为 2:1 型膨胀型黏土矿物。两个晶层相互重叠时, 晶层相互间只能形成很小的分子引力。晶层间的结合力弱, 水分子易进入晶层而扩张, 失水而收缩, 具很大的胀缩性, 晶层间距的变化在 0.96~2.14nm 之间。蛭石的膨胀性比蒙脱石小, 其晶层间间距变化在 0.96~1.45nm 之间。蒙脱石的同晶替代作用主要发生在铝片, 是 Mg^{2+} 代 Al^{3+} , 且这种现象比较普遍; 蛭石主要发生在硅片, 替代的结果使它们带上大量的负电荷。蒙脱石的阳离子交换量可高达 80~100 $\text{cmol}(+)/\text{kg}$, 而蛭石可高达 150 $\text{cmol}(+)/\text{kg}$ 。蒙脱石的颗粒小, 有效直径为 0.01~1 μm , 比表面积大, 且 80% 是内表面, 其可塑性、黏结性、黏着性和吸湿性都特别显著, 对耕作不利。蛭石的颗粒比蒙脱石大, 其比表面积也小。蒙脱石主要分布在东北、华北和西北地区的土壤中; 蛭石广泛分布于各类土壤中, 但以风化不太强的温带和亚热带排水良好的土壤中最多。

(8) 伊利石 伊利石晶层结构与蒙脱石相似, 是两层的硅片中间夹一层铝片构成, 是 2:1 型非膨胀型黏土矿物。伊利石晶层之间的联系是由半陷在相邻两个晶层 6 个氧离子所构成的晶穴的钾离子受到相邻两晶层的负电荷的吸附, 产生较强的离子键而键连的, 连接力较强, 使晶层不易膨胀。伊利石晶层间距介于高岭石与蒙脱石之间, 为 1.0nm。伊利石的颗粒较大, 直径大多在 0.2~2 μm , 其可塑性、黏结性、黏着性、吸湿性都介于高岭石和蒙脱石之间。伊利石表面积以外表面为主, 同晶替换主要发生在硅片中, 以 Al^{3+} 代 Si^{4+} , 少量发生在铝片中, 是以 Mg^{2+} 、 Fe^{3+} 代 Al^{3+} 。伊利石同晶替换量大, 所带电荷量大, 但部分电荷被钾离子所中和, 阳离子交换量为 10~40 $\text{cmol}(+)/\text{kg}$, 介于高岭石与蒙脱石之间。伊利石广泛分布在我国多种土壤中, 尤其是干旱半干旱地区的土壤中。

(二) 主要的成土岩石

岩石圈中的各种矿物很少单独存在, 而是以一定的规律结合在一起。

岩石即指由各种地质作用下形成的, 由一种或多种矿物组成的集合体。有些岩石只含有一种矿物称为单矿物岩石, 如大理岩。大多数矿物都是由两种以上的矿物组成, 称为复矿物岩石, 如花岗岩, 是由石英、正长石和云母的集合体构成的。

岩石的种类很多, 根据其生成方式的不同, 可分为三大类: 岩浆岩、沉积岩和变质岩。这三类岩石在地表的分布面积以沉积岩为最广, 占 75% 以上, 是构成土壤母质的主要岩石之一。若以地表以下 16km 厚度的地壳的重量计算, 那么岩浆岩和由岩浆岩变质的变质岩要占地壳重量的 95%, 沉积岩和由沉积岩变质的变质岩只占 5%。

土壤是由岩石经风化作用和成土作用而形成的, 母岩及其矿物成分、结构、构造和风华特点都与土壤的理化性质等有直接的关系。因此, 必须对各类岩石进行学习研究。

1. 岩浆岩

(1) 岩浆岩和岩浆 岩浆岩由地壳内部呈熔融状态的岩浆喷出地表, 或者上升到接近地表的深度的地壳中, 冷却、固化后形成的岩石。

一般认为, 上地幔的软流层是岩浆的来源。岩浆是一种富含挥发性物质的复杂的硅酸盐、金属硫化物和氧化物的熔融体, 具有很高的温度和压力。岩浆中含有地壳中的各种元素, 岩浆的化学成分很复杂且变化很大。

(2) 岩浆岩的分类 岩浆岩据其二氧化硅的重量百分组成为酸性岩、中性岩、基性岩