

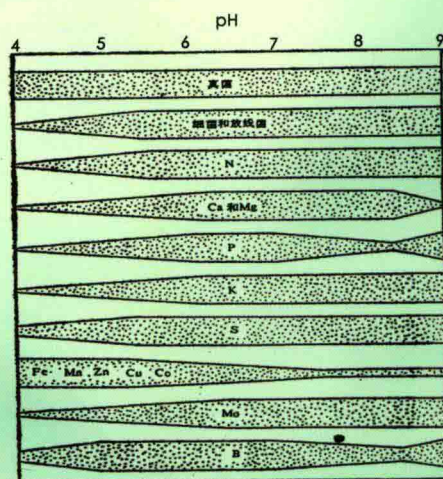
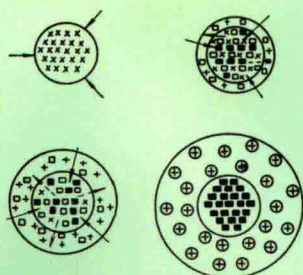
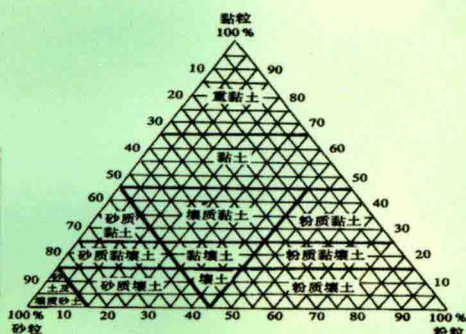


普通高等教育“十一五”国家级规划教材
全国高等农林院校“十一五”规划教材
2014年全国高等农业院校优秀教材

土壤肥料学

第二版

吴礼树 主编



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

土壤肥料学

第二版

吴礼树 主编

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

土壤肥料学/吴礼树主编. —2 版. —北京: 中国
农业出版社, 2011. 6 (2015. 6 重印)

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 978-7-109-15786-6

I. ①土… II. ①吴… III. ①土壤肥力—高等学校—
教材 IV. ①S158

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 116772 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

北京通州皇家印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

2004 年 7 月第 1 版 2011 年 8 月第 2 版

2015 年 6 月第 2 版北京第 5 次印刷

开本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 20.5

字数: 493 千字

定价: 34.50 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

第二版编写人员

主 编 吴礼树

副主编 谭启玲 周卫军

编 委 (按姓名汉语拼音顺序排列)

董 艳 (云南农业大学)

何 方 (安徽农业大学)

何腾兵 (贵州大学)

黄 云 (西南大学)

陆引罡 (贵州大学)

李絮花 (山东农业大学)

单玉华 (扬州大学)

谭启玲 (华中农业大学)

田应兵 (长江大学)

汪 强 (河南农业大学)

吴建富 (江西农业大学)

吴礼树 (华中农业大学)

周卫军 (湖南农业大学)

第一版编写人员

主 编 吴礼树

副主编 王昌全

编 委 (按姓名笔画顺序排列)

马文奇 (河北农业大学)

王昌全 (四川农业大学)

吕国安 (华中农业大学)

朱应远 (长江大学)

吴礼树 (华中农业大学)

何 方 (安徽农业大学)

胡红青 (华中农业大学)

胡承孝 (华中农业大学)

徐芳森 (华中农业大学)

隋方功 (莱阳农学院)

谭启玲 (华中农业大学)

主 审 刘武定 (华中农业大学)

第二版前言

本人主编的面向 21 世纪课程教材《土壤肥料学》，由中国农业出版社于 2004 年 7 月出版，已经多次重印。本教材被全国各地涉农院校广泛采用，受到一致好评，2005 被评为全国高等农业院校优秀教材。随着学科不断发展，为了满足新形势下农林院校本科教学改革的需要，更加适应 21 世纪本科生培养目标，培养造就一批“基础厚，能力强，素质高，适应广”的专门性人才，由中国农业出版社组织，对面向 21 世纪课程教材《土壤肥料学》进行了修订。本修订版，被教育部批准为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。

为了进一步提高教材的质量，体现教材的代表性，参加教材修订的院校由原来的华中农业大学、四川农业大学、河北农业大学、安徽农业大学、长江大学和莱阳农学院 6 所农业院校扩大为华中农业大学、西南大学、扬州大学、贵州大学、长江大学、湖南农业大学、山东农业大学、安徽农业大学、河南农业大学、云南农业大学和江西农业大学 11 所大学，修订人员在原来编写人员的基础上也作了一些调整，均为长期工作在教学第一线，有丰富教学经验的骨干教师。

本教材仍分为 12 章，第一章由汪强编写；第二章由田应兵编写；第三章由董艳编写；第四章由何方编写；第五章由周卫军编写；第六章由单玉华编写；第七章由吴建富编写；第八章由李絮花编写；第九章由谭启玲编写；第十章由吴礼树编写；第十一章由黄云编写；第十二章由陆引昱和何腾兵编写。

初稿完成后，我们组织有关人员进行了讨论，并广泛征求意见，对书稿进行了多次修改，最后由主编及副主编进行统稿和定稿。

在教材付梓之际，对关心、帮助和指导教材编写的各位领导和同行表示衷心感谢！

吴礼树

2011 年 5 月

第一版前言

本教材是按 21 世纪本科生培养目标，为培养造就一批基础厚、能力强、素质高、适应广的专门人才要求而编写的。

本教材分别由华中农业大学、四川农业大学、河北农业大学、安徽农业大学、莱阳农学院、长江大学等院校长期工作在教学第一线，有丰富教学经验的教师编写。全书共分 12 章，第一章介绍土壤的物质组成；第二章介绍土壤的形成、分类与分布；第三章介绍土壤的基本性状；第四章介绍土壤肥力；第五章介绍土壤培肥与改良；第六章介绍植物营养元素的种类、吸收、运输与利用；第七章介绍作物的施肥依据与原理；第八章至第十章介绍植物大量、中量、微量元素营养及其肥料的成分、性质与施用；第十一章介绍复合肥料与其他新肥料品种；第十二章介绍有机肥料。

初稿完成后，多方征求意见，编者进行了多次修改，并由主编进行统稿和定稿，并约请华中农业大学刘武定教授对教材进行审定。

在教材出版之际，对关心、帮助和指导教材编写的各位同仁表示衷心感谢。

吴礼树

2004 年 4 月

目 录

第二版前言

第一版前言

第一章 土壤的物质组成 1

第一节 土壤矿物质 1

一、土壤矿物质的来源 1

二、土壤矿物质的组成与性质 4

三、土壤的颗粒组成 6

四、土壤质地及其利用改良 8

第二节 土壤有机质 14

一、土壤有机质的特性 14

二、土壤有机质的作用 21

三、土壤有机质的管理 23

第三节 土壤生物与土壤酶 25

一、土壤生物 25

二、土壤酶 29

第四节 土壤胶体 32

一、土壤胶体的组成及结构 33

二、土壤胶体的性质 34

第五节 土壤溶液 36

一、土壤溶液的组成和提取 37

二、土壤溶液的特性 39

三、土壤溶液在土壤-植物系统中的
作用 42

四、土壤溶液的动态平衡及其调节 43

复习思考题 45

主要参考文献 45

第二章 土壤的形成、分类与 分布 46

第一节 土壤的形成 46

一、土壤形成因素 46

二、土壤形成过程 52

三、土壤剖面 56

第二节 土壤分类 56

一、我国现行土壤分类系统 56

二、中国土壤系统分类 60

第三节 我国土壤资源分布概况 62

一、我国土壤分布的自然地理条件 62

二、我国土壤分布规律 65

三、我国部分土类的分布和主要性质 67

复习思考题 70

主要参考文献 70

第三章 土壤的基本性状 71

第一节 土壤的孔隙性 71

一、土壤的相对密度和容重 71

二、土壤孔隙度与孔隙比 72

三、土壤孔隙类型 73

四、土壤松紧和孔隙状况与作物生长 74

第二节 土壤的结构性 75

一、土壤结构体的类型 75

二、团粒结构与土壤肥力 76

三、土壤结构体的形成 77

四、土壤结构性评价和管理 77

第三节 土壤耕性 79

一、土壤物理机械性 79

二、土壤耕性 81

第四节 土壤酸碱性 83

一、土壤酸度 83

二、土壤碱度 85

三、土壤的缓冲性能 85

四、土壤酸碱性对土壤肥力及植物
生长的影响 87

第五节 土壤电性与离子交换 89

一、土壤电性 89

二、土壤胶体对阳离子的交换性吸附	90	一、土壤肥力与肥力因素	135
三、土壤胶体对阳离子的非交换性吸附	93	二、土壤肥力因素的相互关系	136
四、土壤胶体对阴离子的交换吸附	93	三、土壤肥力因素协调及调节	137
第六节 土壤氧化还原状况	94	复习思考题	138
一、土壤氧化还原反应	94	主要参考文献	138
二、土壤氧化还原状况与土壤肥力及 植物生长的关系	95		
复习思考题	96		
主要参考文献	97		
第四章 土壤肥力	98	第五章 土壤培肥与利用改良	139
第一节 土壤养分	98	第一节 土壤资源的特点与数量	139
一、土壤氮素	98	一、我国土壤资源的特点	139
二、土壤磷素	103	二、我国土壤资源总面积	140
三、土壤钾素	106	三、各土纲的土壤资源比例	140
四、土壤中的钙、镁、硫和微量元素	108	四、不同地区的土壤资源	141
第二节 土壤水分	112	五、耕地土壤资源概况	141
一、土壤水量	112	第二节 土壤资源开发利用的优势 与问题	143
二、土壤水的能量状态	115	一、土壤资源开发利用的优势	143
三、土壤水运动	118	二、土壤资源开发利用的问题	144
第三节 土壤空气	122	第三节 土壤保护与合理利用	147
一、土壤空气含量和组成	122	第四节 耕地土壤资源的培肥与 改良利用	150
二、土壤通气性	123	一、土壤培肥	150
第四节 土壤热量	124	二、土壤的改良利用	153
一、土壤热量平衡	125	复习思考题	157
二、土壤热学性质	126	主要参考文献	157
三、土壤温度变化规律	127		
四、土壤温度对植物生长的影响 及其调节	128	第六章 植物营养与施肥的 基础理论	158
第五节 土壤缓冲性	129	第一节 植物营养的内容与领域	158
一、土壤缓冲性的概念和意义	129	一、植物营养的概念	158
二、土壤的化学缓冲性	130	二、植物营养学的主要领域	158
三、土壤的物理缓冲性	131	三、植物营养学研究方法	159
四、土壤养分的缓冲性	132	第二节 植物的营养元素	160
五、土壤对污染的缓冲性	132	一、植物的组成和必需营养元素的 概念	160
第六节 土壤保肥性与供肥性	132	二、必需营养元素的分组及来源	162
一、土壤保肥性	132	三、必需营养元素的一般营养功能	163
二、土壤供肥性	134	第三节 植物对营养的吸收	164
第七节 土壤肥力因素相互关系	135	一、养分离子向根表的迁移	164
		二、植物对离子态养分的吸收	164

三、影响养分吸收的因素	167	二、钙肥的种类、性质和施用	215
四、植物对有机态养分的吸收	168	第二节 镁素营养与镁肥	218
五、叶部对养分的吸收	168	一、植物镁素营养	218
六、养分离子间的相互作用	169	二、镁肥的种类、性质和施用	219
第四节 植物对养分的运输与利用 ...	169	第三节 硫素营养与硫肥	220
一、养分的短距离运输	170	一、植物硫素营养	220
二、养分的长距离运输	170	二、含硫肥料的种类、性质与施用	222
三、木质部与韧皮部之间养分的转移 ...	171	复习思考题	224
四、养分的再利用	172	主要参考文献	224
第五节 合理施肥的基本原理 与技术	173	第九章 微量元素营养与肥料	226
一、矿质营养学说与养分归还学说	173	第一节 硼营养与硼肥	227
二、最小养分律	173	一、植物硼素营养	227
三、施肥中的报酬递减现象	174	二、土壤中的硼	230
四、作物的阶段营养与施肥	175	三、硼肥的种类、性质和施用	231
复习思考题	176	第二节 铁营养与铁肥	233
主要参考文献	177	一、植物铁素营养	233
第七章 大量元素营养与肥料	178	二、土壤中的铁	235
第一节 氮素营养与氮肥	178	三、铁肥及其合理施用	237
一、植物氮素营养	178	第三节 锌营养与锌肥	237
二、氮肥种类与性质	183	一、植物锌素营养	237
三、氮肥高效施用的原则	190	二、土壤中的锌	240
第二节 磷素营养与磷肥	193	三、锌肥的种类、性质和施用	241
一、植物磷素营养	193	第四节 铜营养与铜肥	242
二、磷肥的种类与性质及其有效施用 ...	197	一、植物铜素营养	242
三、磷肥的施用原则	202	二、土壤中的铜	244
四、提高磷肥利用率的技术途径	204	三、铜肥的种类、性质和施用	245
第三节 钾素营养与钾肥	205	第五节 钼营养与钼肥	246
一、植物钾素营养	205	一、植物钼素营养	246
二、钾肥种类与性质	208	二、土壤中的钼	249
三、钾肥的有效施用	210	三、钼肥的种类、性质和施用	250
四、缓解钾肥供应不足的途径	211	第六节 锰营养与锰肥	251
复习思考题	211	一、植物锰素营养	251
主要参考文献	212	二、土壤中的锰	253
第八章 中量元素营养与肥料	213	三、锰肥的种类、性质和施用	254
第一节 钙素营养与钙肥	213	第七节 氯营养与含氯肥料	255
一、植物的钙素营养	213	一、植物氯素营养	255
		二、土壤中的氯	257
		三、含氯化肥的施用	257

复习思考题	258	四、饼肥	290
主要参考文献	258	五、泥炭及腐殖酸类肥料	291
第十章 复合(复混)肥料及其他新型肥料	259	六、泥土肥	293
第一节 复合(复混)肥料	259	第三节 商品性有机肥料	294
一、复合(复混)肥料的概念、标志和特 点	259	一、商品性有机肥料的现状及前景	295
二、复合(复混)肥料的生产和质量指 标	261	二、商品性有机肥料的类型	297
三、复合(复混)肥料的种类、性质和 使用	262	三、商品性有机肥料的生产工艺	297
第二节 叶面肥料	269	复习思考题	298
一、国内外叶面肥的发展概况	269	主要参考文献	298
二、叶面施肥的优越性及局限性	270	第十二章 配方施肥及施肥与 环境	300
三、叶面吸收养分的机理	271	第一节 配方施肥的基本方法	300
四、影响叶面施肥的因素	272	一、配方施肥的意义	300
第三节 微生物制剂	272	二、配方施肥的基本方法	301
一、微生物制剂的性质及种类	273	第二节 配方施肥技术环节	307
二、微生物制剂的作用	275	一、野外调查	307
三、我国微生物制剂的发展趋势	276	二、田间试验	308
四、微生物制剂施用的注意事项	276	三、土壤测试	308
复习思考题	277	四、配方设计	308
主要参考文献	277	五、校正试验	308
第十一章 有机肥料	278	六、配方加工	308
第一节 有机肥料在农业生产中的 作用及与化肥配合的效果	278	七、示范推广	308
一、有机肥料的作用	278	八、宣传培训	310
二、有机肥料与化肥配合	280	九、效果评价	310
第二节 有机肥料的类型	282	十、技术创新	310
一、粪尿肥	282	十一、测土配方施肥数据库建设	311
二、堆沤肥	286	第三节 施肥与环境污染	311
三、绿肥	288	一、氮素污染	311
		二、磷素污染	312
		三、重金属污染	313
		四、施肥与温室气体	314
		复习思考题	315
		主要参考文献	315

第一章 土壤的物质组成

土壤是由裸露在地表的岩石矿物经过自然和人为因素作用，发生一系列的物理、化学及生物变化而形成的产物。自然界的土壤是由矿物质与有机质（土壤固相）、土壤空气（土壤气相）和土壤水（土壤液相）三相组成的。其中，土壤水含有可溶性有机物和无机物，故又称为土壤溶液。在物质组成上，这4种组成成分相互混合构成极其复杂的单个土体。这4种组成成分之间相对的比例变化对土壤的行为和生产力会产生极其重要的影响。然而，它们的容积比例关系比较简单。对于结构良好、适合植物生长的土体，一般土体容积的一半是由固体成分（矿物质和有机质）组成，另一半则是由颗粒间孔隙组成（内充满土壤溶液和土壤空气）。

第一节 土壤矿物质

土壤矿物质（soil mineral matter）指存在于土壤中的各种原生矿物和次生矿物。它是构成土壤的主体物质，是土壤的“骨骼”，一般占土壤固相部分质量的95%~98%。土壤矿物质的组成、结构和性质，对土壤物理性质（结构性、水分性质、通气性、热学性质、力学性质和耕性）、化学性质（吸附性能、表面活性、酸碱性、氧化还原电位和缓冲作用等）以及生物与生物化学性质（土壤微生物、生物多样性和酶活性等）均有深刻的影响。由坚硬的岩石矿物演化成具有生物活性和疏松多孔的土壤，要经过漫长的、极其复杂的风化、成土过程。因此，研究土壤矿物组成也是认识土壤形成过程和鉴定土壤类型的基础。

土壤矿物以粗细不一、形状各异的颗粒形式存在，即是通常所说的土壤颗粒（简称土粒）。土粒大小与土壤矿物成分及土壤化学成分有密切的关系，也影响土壤一系列的物理、化学及物理化学性质。土壤中土粒大小和数量的构成状况称为土壤颗粒组成（机械组成），它是判断土壤质地的基础。土壤质地是土壤的一项重要组成特征，对土壤肥力有深刻的影响。

一、土壤矿物质的来源

土壤中的矿物质来自岩石的风化产物。岩石（rock）是构成地壳（岩石圈）的基本物质。地壳的化学成分极其复杂，几乎包括绝大多数已知元素，其中以氧、硅、铝和铁4种元素为主。而作为植物所需的营养元素不仅含量少，而且大部分以难溶化合物形式被封闭在坚硬的岩石中，所以地壳表层岩石必须先经过风化破碎、外力搬运及沉积下来形成母质（parent material），母质经成土作用形成土壤，植物营养元素才可能释放出来，土壤才有肥力，植物才能正常生长。因此，研究土壤及其肥力特征必须从主要的成土岩石、矿物和母质入手。

（一）主要的成土岩石

岩石是一种或数种矿物的集合体。据其成因岩石可分为岩浆岩、沉积岩和变质岩三大类。

1. 岩浆岩 岩浆岩是由地球内部熔融岩浆侵入地壳或喷出地面冷凝结晶而形成的岩石。前者称为侵入岩，后者称为喷出岩。侵入岩冷却慢、结晶粗，如花岗岩、正长岩、闪长岩、辉长岩和橄榄岩等；喷出岩冷却快，结晶细，呈多孔斑状结构，如玄武岩、流纹岩和安山岩等。岩浆岩的共同特征是没有层次结构和化石。

2. 沉积岩 由各种先成的岩石（岩浆岩、变质岩和原有沉积岩）经风化、搬运、沉积、重新固结而成或由生物遗体堆积固结而成的岩石称为沉积岩，如砾岩、砂岩、页岩和石灰岩等。沉积岩有层次性，常含有生物化石。沉积岩覆盖了地壳表面积的 75%，是形成土壤母质的主要岩石。

3. 变质岩 各种先成岩石（岩浆岩、变质岩和原有变质岩）由于地壳运动或受到岩浆活动的影响处于高温高压条件下，岩石内部发生剧烈变化，其中的矿物发生重新结晶或结晶定向排列，甚至化学成分发生剧烈的变化而形成新的岩石，这种岩石称为变质岩。变质岩在构造上具有定向排列性，因而致密坚硬，呈片状结构，不易风化，如片麻岩、石英岩、大理岩和板岩等。

成土岩石和矿物与土壤的化学组成和物理性质有密切关系，对土壤质地影响尤为显著。花岗岩、石英岩、片麻岩、砾岩地区的土壤含石英较多，形成很多砂粒，质地粗，通透性好，保水保肥能力差；玄武岩、页岩地区的土壤，岩石中含有较多的黑云母、角闪石、辉石、橄榄石等易风化的深色矿物，形成较多黏粒，通透性差，保水保肥能力强。成土岩石还影响土壤养分含量。母质中含正长石和云母较多时，土壤含钾素较多；母质中含磷灰石较多时土壤含磷量高；含辉石、角闪石、橄榄石和褐铁矿多的土壤，则含有较多的钙、镁和铁等养分。此外，成土岩石对土壤酸碱度也有影响，石灰岩地区形成的土壤一般偏碱性；南方花岗岩地区的土壤一般偏酸性。

（二）岩石的风化

风化是指岩石、矿物在空气、水、温度和生物活动的影响下，发生机械破碎和化学变化的过程。按风化作用因素和特点，可将其分为物理风化、化学风化和生物风化 3 种类型。

1. 物理风化 物理风化指岩石、矿物在外力作用下崩解破碎，但不改变其化学成分和结构的过程。外力作用主要包括：温度、结冰、水流和大风的磨蚀作用等。物理风化使岩石破碎成较疏松的堆积物，增大了表面积，产生了通气性和透水性，但由于形成的颗粒一般大于 0.01mm，毛管作用不强，保水能力较差。岩石经过物理风化后，大大增加了空气和水分的接触面积，为进一步的风化特别是化学风化创造了有利条件。

2. 化学风化 化学风化指岩石、矿物在氧气、水、二氧化碳等大气因素作用下，其组成矿物的化学成分发生分解或改变，直至形成在地表环境中稳定的新矿物。化学风化一般包括溶解、水化、水解和氧化等作用。这些作用很少单独进行，常是两种以上同时发生。经过化学风化，岩石进一步分解，彻底改变了原来岩石内部矿物的组成和性质，并产生一批新的次生黏土矿物。这些次生黏土矿物的颗粒很细，一般小于 0.01mm，呈胶体分散状态，由此

也产生一定的黏结性、可塑性和毛管现象,使水分、养分在一定程度上得以保蓄。同时,化学风化也使岩石释放出一些植物矿质营养物质,如 K^+ 、 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 等,它们是植物养料的最初来源。

3. 生物风化 生物风化指岩石、矿物在生物及其分泌物或有机质分解产物的作用下进行的机械破碎和化学分解过程。生物风化使风化产物中的植物营养元素在土壤母质表层集中,同时积累有机质,发展土壤肥力,因而也就意味着土壤成土过程的开始。

自然界的物理风化、化学风化和生物风化作用绝不是单独进行的,而是相互联系、相互促进。只是在不同条件下各种因素作用强度不同而已。岩石、矿物经过风化形成疏松的堆积物——成土母质。

(三) 成土母质的类型及分布规律

岩石、矿物风化后形成的成土母质,有的残留在原地堆积,有的受风、水、重力或冰川等外力作用搬运到其他地方重新沉积下来,形成各种沉积物。按其搬运动力与沉积特点不同可分为以下几种类型。

1. 残积物 残积物指岩石经过风化后未经搬运而残留在原地的风化物,多分布在山地和丘陵上部。其特点是颗粒大小不均匀,层次薄,质地疏松,通气性好。其母质的矿物组成和化学性质与母岩几乎一致,表层质地较细,往下渐粗,逐渐过渡到岩石层,母岩对其特性影响很大。

2. 坡积物 坡积物指风化物在重力和流水的作用下,被搬运到山坡的中部和下部而形成的堆积物。其特点是层次稍厚,无分选性。坡积物的性质决定于山坡上部的岩性,与下部母岩无过渡关系。

3. 洪积物 洪积物指被山洪搬运的碎屑物在山前平原形成的沉积物,形如扇状。其特点是扇顶沉积物分选差,往往是石砾、黏粒与砂粒混存;在扇缘其沉积物多为黏粒及粉砂粒,水分条件好,养分也较丰富。

4. 冲积物 河水中夹带的泥沙,在中下游两岸或入海口沉积而成冲积物。它的分布范围广,面积大,所有的江河,在其中下游两岸都有这种母质分布,在我国华北平原、东北平原、长江中下游平原、珠江三角洲、四川成都平原及陕西渭河平原都有大面积的分布。其特点是具有明显的成层性和条带性,组成物质复杂,多形成肥沃的土壤。

5. 湖积物 湖积物由湖泊的静水沉积而成。其特点是一般质地偏黏,夹杂有大量的生物遗体。湖积物中的铁质在嫌气条件下与磷酸结合形成蓝铁矿,有的还形成菱铁矿,致使湖泥呈现青灰色。这种母质养分丰富,有机质含量较高,往往形成肥沃的土壤。

6. 海积物 海积物是海边的海相沉积物,由海岸上升、海退或江河入海的回流淤积物露出水面而形成。其特点是各处粗细不一,有的全为砂粒,有的全为黏粒,质地细的养分含量较高,粗的则养分少,而且都含有盐分,形成滨海盐土。

7. 风积物 风积物是由风力将其他成因的堆积物搬运沉积而成,其特点是质地粗,砂性大,形成的土壤肥力低。

8. 黄土 黄土为第四纪沉积物。其成因有的认为是风力搬运堆积而成,也有的认为是水流搬运堆积而成,尚未得到一致看法。黄土可分为马兰黄土、离石黄土和午城黄土几种。另外,在长江中下游还分布着一种质地黏重,性质与黄土相似的下蜀黄土。

9. 红土 红土又称为第四纪红色黏土，分布在我国南方，多呈红色、红棕色，质地黏重，养分少。

二、土壤矿物质的组成与性质

(一) 土壤矿物质的矿物组成

土壤矿物质包括原生矿物和由原生矿物经过风化作用重新形成的次生矿物，它们的成分和性质对土壤的形成过程和理化性质均有极大的影响。

1. 原生矿物 在岩石的风化过程中没有改变化学组成而遗留在土壤中的一类矿物称为原生矿物。原生矿物多起源于岩浆岩和变质岩，土壤中的原生矿物主要是石英和原生硅铝酸盐类（如长石类、云母类以及角闪石、辉石等）。由于原始母岩中矿物组成的特殊性，其形成的土壤也可能含有一些特殊原生矿物，鉴别这些特殊原生矿物往往可作为研究土壤的来源、形成土壤母质的母岩的依据。土壤原生矿物对土壤肥力的作用主要有两方面，一方面构成土壤的“骨骼”；另一方面通过风化而释放各种养分，但这个过程是极缓慢的。

2. 次生矿物 原生矿物在风化和成土过程中，通过化学作用或生物作用而新生成的矿物，叫做次生矿物。次生矿物多由沉积岩转化而来。次生矿物种类很多，有成分简单的盐类，包括各种碳酸盐、重碳酸盐、硫酸盐和氯化物等；也有成分复杂的各种次生硅铝酸盐，如高岭石、蒙脱石、伊利石和蛭石等；还有各种晶质和非晶质的含水硅、铁、铝的氧化物，如三水铝石、针铁矿和褐铁矿等。各种次生硅铝酸盐和氧化物称为次生黏土矿物，是土壤黏粒的主要组成部分。黏土矿物与土壤腐殖质一起，构成土壤的最活跃部分——土壤胶体，它对土壤的物理特性、化学特性及生物学特性有深刻的影响。

土壤中粗大的矿物质颗粒（如石砾和砂粒）几乎全部由原生矿物组成，多以石英为主；粉粒也绝大部分是由石英和原生硅铝酸盐类矿物组成。极细小的颗粒中少部分为石英，绝大部分是由次生矿物组成。总之，矿物质颗粒愈粗大，含石英及原生硅铝酸盐类矿物愈多；反之，矿物颗粒愈细小，石英和原生硅铝酸盐类矿物含量愈少，而次生矿物的含量愈多（图 1-1）。

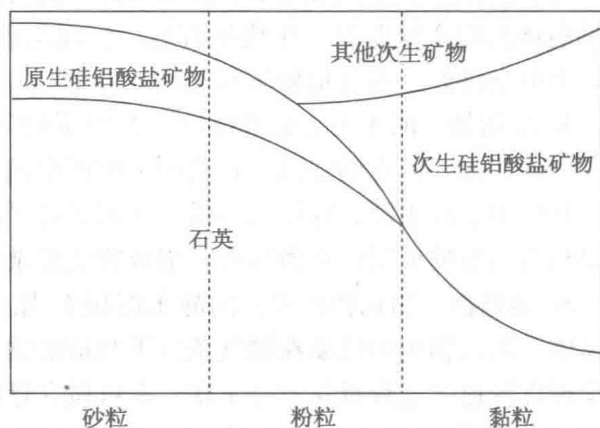


图 1-1 不同粒级土壤颗粒与组成矿物类型

(二) 土壤矿物质的化学组成

成土矿物的化学组成很复杂，几乎包括地壳中所有的元素。其中氧、硅、铝、铁、钙、镁、钠、钾、钛和碳这 10 种元素占土壤矿物质总质量的 99% 以上，这些元素中，以氧、硅、铝和铁 4 种元素含量最多。如以氧化物的形态来表示， SiO_2 、 Al_2O_3 和 Fe_2O_3 三者之和通常占土壤矿物质部分总质量的 75% 以上，因此，它们是土壤的主要成分。在三者之中又以 SiO_2 所占比例最大，其次为 Al_2O_3 及 Fe_2O_3 ，这种情况与地壳的岩石矿物的化学组成大体相似。

土壤中主要的原生矿物所含的化学成分有一定的规律（表 1-1）。石英、长石、白云母这些矿物中 SiO_2 及 K_2O 、 Na_2O 含量高。含 SiO_2 多的矿物颜色浅，抗风化能力强。黑云母、辉石和橄榄石等矿物 SiO_2 含量少，而铁、钙和镁含量高，颜色深，易于被风化分解。

表 1-1 土壤中主要矿物质的近似化学组成（%）

矿 物	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	TiO_2
石英	100	—	—	—	—	—	—	—
正长石	62~66	18~20	—	0~3	—	9~15	4~9	—
钠长石	61~70	19~26	—	0~9	—	0~4	6~11	—
原生矿物 钙长石	40~45	28~37	—	10~20	—	0~2	0~5	—
白云母	44~46	34~37	0~2	—	0~3	8~11	0~2	—
黑云母	33~36	13~30	3~11	0~2	2~20	6~9	—	—
辉石	45~55	3~10	0~6	16~26	6~20	—	—	—
橄榄石	35~43	—	0~3	—	27~51	—	—	—
磁铁矿	—	—	69	—	—	—	—	—
伊利石	50~56	18~31	2~5	0~2	1~4	4~7	0~1	0~0.8
蒙脱石	42~45	0~28	0~30	0~3	0~25	0~5	0~3	0~0.5
次生矿物 高岭石	45~48	38~40	—	—	—	—	—	—
绿泥石	31~33	18~20	—	—	35~38	—	—	—
褐铁矿	—	—	7~90	—	—	—	—	—
水铝石	—	85	—	—	—	—	—	—
三水铝石	—	65	—	—	—	—	—	—

（三）黏土矿物

土壤中的黏土矿物主要由层状硅酸盐黏土矿物组成，其次是非硅酸盐黏土矿物。前者可分为高岭石组、蒙脱石组、水化云母组和绿泥石组。它们主要通过同晶替代使土壤产生永久电荷，而且有吸附能力；后者是一些结构比较简单、水化程度不等的铁、锰、铝或硅的氧化物及其水合物和水铝英石。它们通过质子化和表面羟基上 H^+ 的离解，既可带负电荷，也可带正电荷，决定因素是土壤溶液中 H^+ 浓度的高低。下面介绍常见层状硅酸盐黏土矿物的一般特性。

1. 高岭石组 高岭石组黏土矿物又叫做 1:1 型黏土矿物，包括高岭石、珍珠陶土、迪恺石和埃洛石等。其晶层结构为 1:1 型，具有非膨胀性、电荷数量少、胶体特性弱以及可塑性、黏结性、黏着性弱等特点。1:1 型黏土矿物广泛存在于南方热带和亚热带土壤中，在华北、西北、东北及青藏高原土壤中含量很少。

2. 蒙脱石组 蒙脱石组黏土矿物又叫做 2:1 型膨胀性黏土矿物，包括蒙脱石、绿泥石、拜来石和蛭石等。其晶格构造为 2:1 型，具有膨胀性大、电荷数量多、胶体特性强及可塑性、黏结性、黏着性和吸湿性都特别强的特点。蒙脱石广泛分布于东北、华北和西北地区的土壤中。蛭石存在于各大土类中，但以风化程度不太强的温带和亚热带排水不良的土壤

中最多。

3. 水化云母组 水化云母组黏土矿物又叫做 2 : 1 型非膨胀性黏土矿物或伊利组矿物, 包括伊利石、海绿石和迪垠石, 以伊利石为代表。其晶层结构为 2 : 1 型, 具有非膨胀性、电荷数量较大的特点, 其胶体特性、可塑性、黏结性、黏着性和吸湿性都介于高岭石和蒙脱石之间。伊利石广泛分布于我国多种土壤中, 尤其是西北和华北干旱地区的土壤中含量较高, 而南方土壤中含量很低。

4. 绿泥石组 这类矿物以绿泥石为代表。绿泥石是富含镁、铁及少量铬的硅酸盐黏土矿物。其具有 2 : 1 : 1 型晶层结构, 同晶替换较普遍, 具有颗粒较小、可塑性、黏结性、黏着性和吸湿性居中的特点。绿泥石大部分由母质遗留下来, 但也可能由层状硅酸盐矿物转变而来。

三、土壤的颗粒组成

(一) 土壤粒级分类

土粒分级, 一般是根据土粒当量粒径分为石砾、砂粒、粉砂粒和黏粒 4 级, 每级的具体标准各国不尽相同, 但却大同小异。我国在新中国成立前多采用国际制; 在新中国成立后, 国际制和前苏联制并用, 而以后者为主。另外还提出了我国的土粒分级。现将 4 种标准分列于表 1-2。

表 1-2 常见的粒级分类制

当量粒径 (mm)	国际制 (1930)	美国农业部制 (1951)	卡庆斯基制 (1957)		中国制 (1987)
3~2	石 砾	石 砾	石 砾		石 砾
2~1	粗砂粒	极粗砂粒			
1~0.5		粗砂粒	物理性砂粒	粗砂粒	粗砂粒
0.5~0.25		中砂粒		中砂粒	
0.25~0.20		细砂粒		细砂粒	细砂粒
0.20~0.10	极细砂粒				
0.10~0.05	粉 粒			粉 粒	粗粉粒
0.05~0.02		物理性黏粒			中粉粒
0.02~0.01	细粉粒		● 细粉粒		
0.01~0.005	黏 粒		黏 粒	粗黏粒	粗黏粒
0.005~0.002				细黏粒	细黏粒
0.002~0.001		胶质黏粒			
0.001~0.000 5					
0.000 5~0.000 1					
<0.000 1					

1. 国际制土粒分级 国际制是 1930 年第二届国际土壤学会提出的, 其特点是十进位