



面向 21 世纪 课 程 教 材
Textbook Series for 21st Century

土 壤 肥 料 学

吴礼树 主编

中 国 农 业 出 版 社

· 面向 21 世纪课程教材
Textbook Series for 21st Century

土壤肥料学

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. —北京: 中国农业出版社,
2004.7

面向 21 世纪课程教材

ISBN 7-109-08980-0

I. 土... II. 吴... III. 土壤学: 肥料学—高等学
校—教材 IV. S158

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 064643 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 100026)

出版人: 傅玉祥

责任编辑 毛志强

北京智力达印刷有限公司印刷 新华书店北京发行所发行

2004 年 7 月第 1 版 2004 年 7 月北京第 1 次印刷

开本: 787mm×960mm 1/16 印张: 22.25

字数: 393 千字

定价: 29.20 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

主 编 吴礼树

副主编 王昌全

编 委 (按姓氏笔画顺序排列)

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)

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

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	2
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	15
一、土壤有机质的特性	15
二、土壤有机质的作用	22
三、土壤有机质的管理	25
第三节 土壤生物与土壤酶	27
一、土壤生物	27
二、土壤酶	32
第四节 土壤胶体	36
一、土壤胶体的组成及其结构	36
二、土壤胶体的性质	39
第五节 土壤溶液	41
一、土壤溶液的组成和提取	41
二、土壤溶液的特性	45
三、土壤溶液在土壤-植物系统中的作用	48
四、土壤溶液的动态平衡与调节	49
第二章 土壤的形成、分类与分布	52
第一节 土壤的形成	52

一、风化作用与母质类型	52
二、土壤形成	53
第二节 土壤分类	56
一、土壤分类的原则和级别	56
二、现行的中国土壤分类系统	57
第三节 我国土壤资源分布概况	58
一、我国土壤分布的自然地理条件	58
二、我国土壤分布规律	62
三、我国部分土类的分布和主要性质	63
第三章 土壤的基本性状	68
第一节 土壤的孔性	68
一、土壤的相对密度和容重	68
二、土壤孔隙度与孔隙比	69
三、土壤孔隙类型	70
第二节 土壤的结构性	71
一、土壤结构体的形成	71
二、土壤结构体的类型	71
三、土壤结构性的评价和管理	73
第三节 土壤力学性质与耕性	75
一、土壤结持性	75
二、土壤胀缩性	77
三、土壤压实	77
四、土壤耕性	78
第四节 土壤酸碱性	80
一、土壤的酸性	81
二、土壤的碱性	82
三、土壤的缓冲性能	83
四、土壤酸碱性对土壤肥力及植物生长的影响	84
第五节 土壤电性与离子交换	86
一、土壤电性	86
二、土壤胶体对阳离子的交换性吸附	86
三、土壤胶体对阴离子的交换性吸附	90
第六节 土壤氧化还原状况	91

一、土壤中的氧化还原反应	91
二、土壤氧化还原状况与土壤肥力及植物生长的关系	93
第四章 土壤肥力	95
第一节 土壤养分	95
一、土壤氮素	95
二、土壤磷素	102
三、土壤钾素	106
四、土壤中的钙、镁、硫和微量元素	108
第二节 土壤水分	112
一、土壤水量	112
二、土壤水的能量状态	116
三、土壤水的运动	120
第三节 土壤空气	125
一、土壤空气含量和组成	125
二、土壤通气性	126
第四节 土壤热量	128
一、土壤热量平衡	128
二、土壤热学性质	130
三、土壤温度变化规律	132
四、土壤温度对植物生长的影响及土壤温度的调节	132
第五节 土壤缓冲性	133
一、土壤缓冲性的概念和意义	134
二、土壤的化学缓冲性	134
三、土壤的物理缓冲性	136
四、土壤养分的缓冲性	137
五、土壤对污染的缓冲性	137
第六节 土壤保肥性与供肥性	137
一、土壤保肥性	137
二、土壤供肥性	140
第七节 土壤肥力因素的相互关系	141
一、土壤肥力与肥力因素	141
二、土壤肥力因素的相互关系	143
三、土壤肥力因素协调及调节	144

第五章 土壤培肥与利用改良	146
第一节 土壤资源的特点与数量	146
一、我国土壤资源的特点	146
二、我国土壤资源总面积	147
三、各土纲的土壤资源比例	147
四、耕地土壤资源概况	148
第二节 土壤资源开发利用的优势与问题	150
一、土壤资源开发利用的优势	150
二、土壤资源开发利用中存在的问题	151
第三节 土壤保护与合理利用	154
一、合理利用土壤资源的方针	154
二、提高耕地资源的生产力和利用率的措施	155
第四节 耕地土壤资源的培肥与改良利用	159
一、改造中低产土壤, 提高地力等级	159
二、加强农田基本建设, 持续稳产高产	160
三、开发立体农业, 发挥耕地生产潜力	160
四、综合开发山丘, 用养结合的挖潜模式	162
第六章 植物营养概论	164
第一节 植物营养的内容与领域	164
一、植物营养的概念	164
二、植物营养学的主要领域	164
三、植物营养学的研究方法	165
第二节 植物的营养成分	167
一、植物的组成和必需营养元素的概念	167
二、必需营养元素的分组及来源	169
三、必需营养元素的一般营养功能	170
第三节 植物对营养的吸收	170
一、养分离子向根表的迁移	170
二、植物对离子态养分的吸收	171
三、影响养分吸收的因素	174
四、植物对有机态养分的吸收	175
五、叶部对养分的吸收 (根外营养)	175

六、养分离子间的相互作用	176
第四节 植物对养分的运输与利用	177
一、养分的短距离运输	177
二、养分的长距离运输	178
三、木质部与韧皮部之间养分的转移	179
四、养分的再利用	180
第七章 肥料的合理安全施用	181
第一节 肥料合理施用的基本原理	181
一、矿质营养学说	181
二、归还学说	181
三、最小养分律	182
四、同等重要律与不可代替律	182
五、肥料报酬递减律	183
六、因子综合作用律	183
第二节 肥料合理施用的原则	184
一、作物的营养特性与合理施肥	184
二、土壤条件与合理施肥	186
三、气候条件与合理施肥	188
四、轮作制度中肥料的合理分配	189
第三节 肥料合理施用的方法与技术	191
一、基肥的施用技术	191
二、种肥的施用技术	191
三、追肥的施用技术	192
四、叶面肥喷施技术	192
第四节 施肥与环境污染	193
一、氮素污染	194
二、磷素污染	195
三、施肥与重金属污染	195
四、施肥与温室气体	197
第八章 大量元素营养与肥料	199
第一节 氮素营养与氮肥	199
一、植物氮素营养	199

二、氮肥种类与性质	204
三、氮肥高效施用的原则	210
第二节 磷素营养与磷肥	213
一、植物磷素营养	213
二、磷肥的种类与性质及其有效施用	216
三、磷肥的施用原则	222
四、提高磷肥利用率的技术途径	224
第三节 钾素营养与钾肥	225
一、植物钾素营养	225
二、钾肥的种类与性质	228
三、钾肥的有效施用	230
四、缓解钾肥供应不足的技术途径	231
第九章 中量元素营养与肥料	233
第一节 钙素营养与钙肥	233
一、植物钙素营养	233
二、钙肥的种类、性质和施用	235
第二节 镁素营养与镁肥	237
一、植物镁素营养	237
二、镁肥的种类、性质和施用	239
第三节 硫素营养与硫肥	240
一、植物硫素营养	240
二、含硫肥料的种类、性质与施用	242
第十章 微量元素营养与肥料	246
第一节 硼营养与硼肥	247
一、植物硼素营养	247
二、土壤中的硼	252
三、硼肥及其合理施用	253
第二节 铁营养与铁肥	254
一、植物铁素营养	254
二、土壤中的铁	257
三、铁肥及其合理施用	259
第三节 锌营养与锌肥	260

一、植物锌素营养	260
二、土壤中的锌	263
三、锌肥的种类、性质和施用	264
第四节 铜营养与铜肥	266
一、植物铜素营养	266
二、土壤中的铜	268
三、铜肥的种类、性质和施用	270
第五节 钼营养与钼肥	270
一、植物钼素营养	270
二、土壤中的钼	274
三、钼肥的种类、性质和施用	275
第六节 锰营养与锰肥	276
一、植物锰素营养	276
二、土壤中的锰	279
三、锰肥的种类、性质和施用	280
第七节 氯营养与含氯肥料	281
一、植物氯素营养	281
二、土壤中的氯	284
三、含氯化肥的施用	284
第十一章 复合(复混)肥料及其他肥料	286
第一节 复合(复混)肥料	286
一、复合(复混)肥料的概念、标志、特点及发展方向	286
二、复合(复混)肥料的生产和质量指标	291
三、复合(复混)肥料种类、性质和使用	294
第二节 叶面肥料	303
一、国内外叶面肥的发展概况	303
二、叶面施肥的优越性及局限性	304
三、叶面吸收养分的机理	305
四、影响叶面施肥的因素	306
第三节 微生物制剂	307
一、微生物制剂的性质及其种类	307
二、微生物制剂的作用	310
三、我国微生物制剂的发展趋势	311

四、微生物制剂施用时应注意的问题	312
第十二章 有机肥料	313
第一节 概述	313
一、我国有机肥料资源概况	313
二、有机肥料的作用	314
三、有机肥料和无机肥料的比较	315
第二节 有机肥料的腐熟	316
一、腐熟的目的	316
二、有机肥料腐熟的条件及腐熟过程中养分的变化	316
第三节 有机肥料的主要种类	318
一、粪尿肥	318
二、堆肥及沤肥	322
三、绿肥	326
四、泥炭及腐殖酸类肥料	330
五、废弃物利用	333
六、商品有机肥料	336
主要参考文献	340

第一章 土壤的物质组成

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，土壤水含有可溶性有机物和无机物，又称土壤溶液。在物质组成上，这四种组成成分相互混合构成极其复杂的单个土体。四种组成成分之间相对的比例变化对土壤的行为和生产力产生极其重要的影响。然而，它们在容积上的组成比例关系极其简单。对于结构良好、适合植物生长的土体，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

土壤矿物质是构成土壤的主体物质，它是土壤的“骨骼”，一般占土壤固相部分质量的 95%~98%。它是由土壤母质经风化成土作用形成的。土壤矿物质实际上就是存在于土壤中的各种原生矿物和次生矿物。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、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、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、形状多样的颗粒形式存在，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、土壤化学成分有密切的关系，也影响到土壤一系列的物理、化学性质。土壤中土粒大小和数量的构成状况称土壤颗粒组成（机械组成），即土壤质地，它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

地壳中的矿物质来自岩石的风化物，岩石是构成地壳（岩石圈）的基本物质。地壳的成分极其复杂，包括绝大多数已知元素，其中以氧、硅、铝、铁四种元素为主。而作为植物所需的营养元素不仅含量少，而且大多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破碎风化及外力搬运形成母质，母质经成土作用形成土壤，植物营养元素才可能被释放，土壤才有肥力，植物才能正常生长。因此，研究土壤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，据其成因可分为岩浆岩、沉积岩和变质岩三类。

1. 岩浆岩 由岩浆冷凝而成。岩浆岩的共同特征是没有层次和化石。岩浆侵入地壳深处逐渐冷凝而成的岩石叫侵入岩，侵入岩冷却慢、结晶粗，如花岗岩、正长岩、闪长岩、辉长岩、橄榄岩等；岩浆喷出地面冷凝形成的岩石叫喷出岩，喷出岩冷却快、结晶细，呈多孔斑状结构，如玄武岩、流纹岩、安山岩等。

2. 沉积岩 由各种先成的岩石经风化、搬运、沉积、重新固积而成或由生物遗体堆积而成的岩石称为沉积岩。沉积岩有层次性，常含有生物化石，如砾岩、砂岩、页岩、石灰岩等。

3. 变质岩 在高温高压下岩石中的矿物发生重新结晶或结晶定向排列而形成的岩石称为变质岩。变质岩致密坚硬，不易风化，呈片状组织，如片麻岩、石英岩、大理岩、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，对土壤质地影响大。花岗岩、石英岩、片麻岩、砾岩地区的土壤含石英较多，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、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、铁等养分。此外，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、矿物在外界因素和内部因素的共同作用下，逐渐发生崩解

和分解的过程。按其作用因素和风化特点，岩石的风化可分为物理风化、化学风化和生物风化。

1. 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。

2. 化学风化 指岩石、矿物在氧、水、二氧化碳等因素作用下，发生化学变化而产生新物质的过程。这种风化过程包括：溶解、水化、水解和氧化还原等。

3. 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。

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、相互促进的，只是在不同条件下各种因素作用强度不同而已。岩石、矿物经过风化破碎成疏松的堆积物，形成成土母质。

(三) 成土母质的类型及分布规律

岩石、矿物风化物形成的成土母质，有的残留在原地堆积，有的受风、水、重力和冰川等外力作用搬运到别的地方重新沉积下来，形成各种沉积物。按其搬动力与沉积特点不同可分为以下几种类型：

1. 残积物 指岩石经过风化后残留在原地未经搬运的风化物，多分布在山地和丘陵上部。其特点是层次薄，理化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 指风化物在重力或流水的作用下，被搬运到山坡的中、下部而堆积起来。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，与下部落岩无过渡关系。

3. 洪积物 指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。它的分布范围广，面积大，在所有江河的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、珠江三角洲平原、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。

5. 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。

6. 海积物 是海边的海相沉积物。由于海岸上升、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 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，但尚未得到一致看法。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 又称第四纪红色黏土，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铝硅酸盐类如长石类、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的原生矿物，鉴别出这些特殊的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 原生矿物经风化作用，使其组成和性质发生变化而形成的新矿物，叫次生矿物。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、氯化物等；也有成分复杂的各种次生铝硅酸盐如高岭石、蒙脱石、伊利石、蛭石等；还有各种晶质和非晶质的含水的硅、铁、铝的氧化物如三水铝石、针铁矿、褐铁矿等。各种次生铝硅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、化学及生物学特性有着深刻的影响。

土壤中粗大的矿物质颗粒（如石砾、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铝硅酸盐类矿物组成。极细小的颗粒中小部分为石英，绝大部分是由次生矿物组成。总之，矿物质颗粒愈粗