

土壤

肥料学

方树良 主编

 中央广播电视大学出版社

土壤肥料学

方树良 主编

中央广播电视大学出版社

北 京

内容简介

为了使读者尽快掌握农业科学基础知识和技术,本书不仅比较全面地介绍了土壤学和肥料学的基础知识,还介绍了国内外有关土壤学和肥料学较新的技术,尤其对一些成熟和实用性强的技术,如配方施肥技术等作了较为详细的叙述。本书还介绍了我国目前土壤和肥料存在的问题和解决方法,如水分利用和旱作农业、中低产田的改造等。

图书在版编目(CIP)数据

土壤肥料学 / 方树良主编. —北京:中央广播电视大学出版社, 2014.1

ISBN 978-7-304-05595-0

I. ①土… II. ①方… III. ①土壤肥力IV. ①S158

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第127121号

版权所有,翻印必究。

土壤肥料学

方树良 主编

出版·发行:中央广播电视大学出版社

电话:营销中心 010-58840200 总编室 010-68182524

网址: <http://www.crtvup.com.cn>

地址:北京市海淀区西四环中路45号

邮编:100039

经销:新华书店北京发行所

策划编辑:苏醒

印刷:北京密云胶印厂

版本:2014年1月第1版

开本:787×1092 1/16

责任编辑:谷春林

印数:0001~3000

2014年1月第2次印刷

印张:14.75 字数:350千字

书号:ISBN 978-7-304-05595-0

定价:39.00元

(如有缺页或倒装,本社负责退换)

前言

PREFACE

土壤肥料是农业生产的基本生产资料，亦是人类赖以生存的重要资源与生态条件。“土壤肥料学”为从事园艺（含果树、蔬菜、花卉）、园林、农学、植物保护、植物科学与技术、茶桑、中药资源与开发等行业人员的必修基础课程。

本书力求概念明确、文字简练、通俗易懂。在编写中，紧扣种植类相关专业对土壤肥料知识和技能的要求，强调理论的实用性和技能的可操作性，尽可能加强有利于读者能力培养、操作性强的内容，为各项种植类生产提供必需的基础理论和专业技能，并在每个项目之前设置了学习目标，每个项目之后进行了简单的总结，以利于读者自学。为了满足不同读者的要求，书中还适量增加了补充阅读材料。为了使读者尽快掌握农业科学基础知识和技术，本书不仅比较全面地介绍了土壤学和肥料学的基础知识，还介绍了国内外有关土壤学和肥料学较新的技术，尤其对一些成熟和实用性强的技术，如配方施肥技术等作了较为详细的叙述。本书还介绍了我国目前土壤和肥料存在的问题和解决方法，如水分利用和旱作农业、中低产田的改造等。

本书由方树良主编，莫治新老师参加了编写工作。项目一、项目二、项目三、项目七、项目八、项目九、项目十、项目十一、项目十二、项目十三、项目十四、项目十五由方树良编写，项目四、项目五和项目六由莫治新编写。全书最后由方树良总纂定稿。

由于本书包括土壤和肥料科学两大部分，内容庞杂而篇幅有限，所以有些章节比较简单。再者，编者水平有限，加上编写时间仓促，书中可能有不妥甚至错误之处，敬请专家和学员批评指正。

编者



目 录

CONTENTS

项目一 绪 论

项目二 土壤固体物质

任务一 土壤矿物质	4
任务二 土壤有机质	15
任务三 土壤生物	23
项目小结	25

项目三 土壤的吸附交换性能和酸碱反应

任务一 土壤的吸附交换性能	26
任务二 土壤的酸碱性反应	36
项目小结	41

项目四 土壤的孔性、结构性和耕性

任务一 土壤的孔性	43
任务二 土壤结构性	48
任务三 土壤耕性	56
任务四 土壤压板与少耕法	58
项目小结	59



项目五 土壤的水、气、热

任务一 土壤水分	60
任务二 土壤空气	74
任务三 土壤的热量	76
项目小结	79

项目六 土壤的形成、分类及分布

任务一 土壤母质	80
任务二 土壤形成	87
任务三 土壤分类及分布	93
项目小结	96

项目七 土壤利用和管理

任务一 中低产田土壤的改良及其利用	97
任务二 土壤污染及其防治	104
任务三 土壤退化及其防治	106
项目小结	108

项目八 作物营养原理

任务一 作物营养成分	110
任务二 作物对养分的吸收	112
任务三 作物营养特性	121
项目小结	122

项目九 配方施肥

任务一 施肥的基础理论	124
任务二 肥料的科学施用与管理	126
任务三 主要作物的配方施肥技术	140
项目小结	148

项目十 氮 肥

任务一 作物氮素营养	149
任务二 土壤中的氮素	152
任务三 氮肥的性质和施用	156
项目小结	163

项目十一 磷 肥

任务一 作物的磷素营养	165
任务二 土壤中的磷素	170
任务三 磷肥的性质和施用	174
项目小结	178

项目十二 钾 肥

任务一 作物钾营养	179
任务二 土壤中的钾	181
任务三 钾肥的性质和施用	183
项目小结	184

项目十三 钙、镁、硫及微量元素肥料

任务一 钙、镁、硫肥	186
任务二 微量元素肥料	192
项目小结	202

项目十四 有机肥料及有机废弃物的利用

任务一 有机肥料的特点和作用	203
任务二 有机肥料的种类及其特性	205
任务三 有机肥料的加工制造技术	208
任务四 绿 肥	212
任务五 微生物肥料	215

项目小结218

项目十五 复合肥料

任务一 概 述219

任务二 复合肥料的施用技术221

任务三 叶面肥223

项目小结226

参考文献227



项目一 绪 论

学习目标

- ◆ 了解土壤和肥料的重要性。
- ◆ 掌握土壤和肥力的概念。

情境创设

小王是土壤肥料学相关专业刚毕业的大学生，目前在一家生物科技公司从事农作物培育实验工作，那么，试问：小王作为一名合格的农作物培育员，他应该具备哪些专业知识？

理论知识

土壤的主要功能，是依据其物理性、化学性、生物性物质，使植物立足生长，并供给植物所需营养水分和氧气。土壤资源及水资源被认为是 21 世纪人类最大的资源，加强对土壤学的研究，对于保证我国农业的可持续发展，具有重要的理论指导意义。

人类从游牧狩猎生活转变为定居农耕生活，就开始利用、认识、研究和改造土壤。在我国，公元前 4 世纪的战国时期人们就对土壤进行分类，并以土壤肥力作为收税的依据。在《管子·地员篇》《汜胜之书》《齐民要术》《农桑辑要》《王祯农书》《农政全书》《授时通考》《陈曹农书》《知本提纲》等书中就有关于土壤与环境的关系的阐述并总结了如何合理利用和培肥改良土壤的耕作方法和技术。但直到 19 世纪，人类才开始从本质上认识土壤。德国化学家李比希提出植物之所以能够在土壤中生长，是由于土壤不断地向植物提供矿物质养分，为了维持土壤肥力，必须向土壤归还被植物收获时所携带走的矿物质，也就是向土壤施肥。英国人路易斯在 1842 年首次用骨粉和硫酸制造出磷肥——普通过磷酸钙，施用后使作物产量大幅度增加。从此人类才开始用现代的科学技术，深入地研究土壤及其与作物生长发育的关系。

什么是土壤？简单地说：土壤就是覆盖于地球表面的一层疏松、多孔的物质，它具有肥力，在自然和人工栽培条件下，能够生产植物，是人类赖以生存和发展的重要资源和生态条件。土壤与地球表面其他疏松、多孔的物质的重要区别在于土壤具有肥力。所谓土壤肥力是指土壤能够经常地、适时适量地供给并协调植物生产所需的水分、养分、空气、温度、扎根条件和无毒害物质的能力。水分、养分、空气、温度（简称水、肥、气、热）是土壤的四大肥力因素，它们之间相互作用，共同决定土壤肥力。土壤肥力分为自然肥力和人工肥力、有效肥力和潜在肥力。自然肥力是指土壤在各种自然因素作用下形成的肥力；人工肥力则是在前者的基础上，经过人类生产活动而形成的土壤肥力，农业土壤的肥力就



是人工肥力；有效肥力是指水、肥、气、热都能够发挥作用，满足当前作物生长发育需要的能力；而潜在肥力则是指土壤中某些肥力因子，在当前条件下没有发挥作用，一旦条件适合就会发挥作用。

土 壤：覆盖于地球陆地表面的一层疏松多孔的物质，它具有肥力，在自然和人工栽培条件下，能够生产植物，是人类赖以生存和发展的重要资源和生态条件。

土壤肥力：土壤经常地、适时适量地供给并协调植物生长发育所需要的水分、养分、空气、温度、扎根条件和无毒害物质的能力。

从组成来看，土壤的基本物质包括矿物质、有机物质、生命体（包括植物、微生物和动物）、水分和空气。其中矿物质、有机物质和生命体是固体，水分在大多数情况下是液体，空气是气体。可见土壤中的物质有固、液、气 3 种形态或 3 相，其组成比例见图 1 - 1。

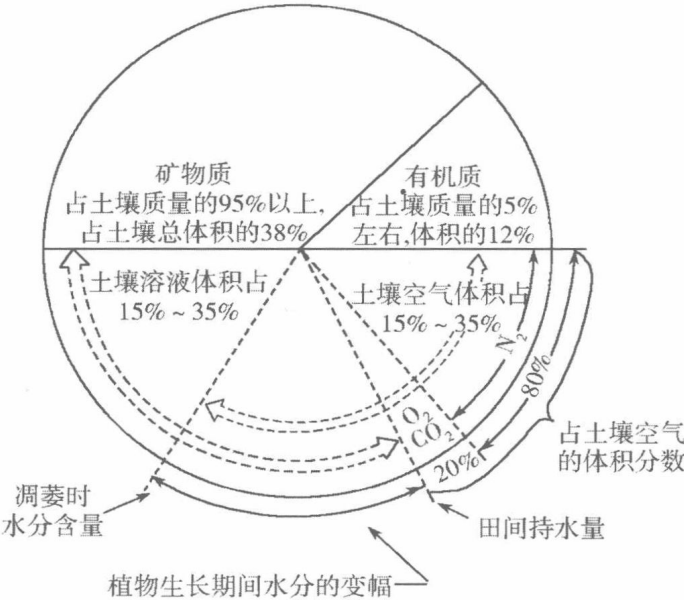


图 1 - 1 土壤 3 相物质的体积和质量组成

（熊顺贵：《基础土壤学》，6 页，北京，中国农业大学出版社，1996）

土壤作为农业生产的基本生产资料，具有再生利用、改良、培肥的特点，合理地利用，不仅可以维持土壤肥力，而且能够提高土壤肥力。但是，不合理地或过度地利用土壤，将会导致土壤肥力下降。土壤侵蚀、土壤盐碱化、土壤沙化、土壤污染都是不合理地利用土壤的结果。目前世界上每年由此损失大量肥沃的土地。我国人多地少，现有耕地面积约 1 亿公顷，中低产田占 70%，人均耕地面积还不到世界平均值的 1 / 4。由于工业和经济的发展，必要和不必要的占用耕地每年都在增加，人口增加与耕地面积缩小的矛盾越来越尖锐。严格保护现有耕地，提高现有良田单位面积的产量，同时开发利用中低产田，是解决我国下个世纪粮食生产供给危机的唯一道路。

所谓肥料是指施用于土壤和植物地上部，能够改善植物营养条件的一切有机和无机物



质。自从路易斯首先制造并施用矿物肥料以来，不论是肥料的生产量，还是肥料的形态和种类都发生了根本的变化，取得了巨大的进步，肥料的研究、生产和施用已融入当代最先进的科学技术。施肥已成为提高土壤肥力和作物产量不可缺少的手段，无论是中国等发展中国家，还是美国等发达国家，农作物产量增加的一半归功于化学肥料的施用。但是，不合理地施用化肥，不仅不会提高作物产量，反而会降低作物产量和品质；还会破坏土壤，降低土壤肥力；养分的流失还会引起河流湖泊的水质富营养化，直接危害人们的身体健康。

学习土壤和肥料学：

一方面必须掌握其基本的概念，认识土壤和土壤肥力的本质，了解土壤水、肥、气、热四大肥力因子之间的相互关系及其调节措施，进一步掌握合理利用、改良、培肥土壤的原理和方法。

另一方面掌握作物营养的原理，结合土壤供应养分的特点和能力，利用现代配方施肥技术，合理施用各种肥料，使施肥达到培肥地力、提高作物产量、改善作物产品品质的目的。

本教材包括两部分：土壤学和肥料学。

项目一到项目七介绍土壤基础知识，包括：

- ① 组成土壤的基本物质——矿物质和有机物质的组成成分、性质和功能。
- ② 土壤吸附和交换性能及其与土壤肥力的关系。
- ③ 矿物质与有机物质相互作用的团聚体，或土壤结构体的性质和功能。
- ④ 土壤水、气、热肥力因子的特点、变化及其调节措施。
- ⑤ 土壤形成的原因、形成过程和土壤分布的规律。
- ⑥ 我国主要中低产土壤的特点及其改良技术。

项目八介绍作物吸收养分的特点和规律。项目九介绍配方施肥的原理和技术。项目十至项目十三比较系统地介绍：① 作物必需营养元素的功能，② 作物缺乏这些营养元素的症状，③ 土壤供应这些营养元素的能力和特点，④ 各种肥料的特点和施用技术。项目十四介绍有机肥料的特点及其利用技术。项目十五介绍复合肥料的特点及其施用技术。



项目二 土壤固体物质

学习目标

- ◆ 掌握本项目涉及的概念。
- ◆ 重点掌握矿物质土粒的成分和性质，以及土壤中次生矿物的类型、组成及特性。
- ◆ 掌握土壤质地与肥力的关系。
- ◆ 掌握土壤有机质的转化过程及条件。
- ◆ 了解土壤腐殖质的组成和性质。
- ◆ 了解微生物在土壤中的作用。

情境创设

小王是土壤肥料学相关专业刚毕业的大学生，在一家生物科技公司从事农作物培育实验工作，目前他正在研究土壤生物活动的外界环境条件。土壤有机物质的转化过程，无论是矿质化过程还是腐殖质化过程，主要是由微生物控制的。因此，影响土壤生物活动的外界环境条件，以及土壤有机物质本身的性状决定土壤有机物质的转化快慢和方向，请问：影响土壤有机物质转化的条件有哪些？

理论知识

土壤是由固体物质和固体物质之内或之间的空隙所组成的体系。固体物质主要是矿物质，还有有机物质和有生命的物体（如根系、动物及微生物），固体物质之间的空隙被水和空气充满。固体物质一般都呈颗粒形状（简称土粒），其大小、成分和性质差异很大，一般都划分为不同的级别或等级，不同等级土粒的组合就构成了土壤质地。矿物质有原生的和次生的两大类。矿物质的组成、成分、性质以及它们存在的状态，都会对土壤产生很大的影响。有机质和根系、动物及微生物一般附着在土壤颗粒上，它们虽然只占土壤很少一部分，但对土壤肥力的发挥起决定性的作用。

任务一 土壤矿物质

由于矿物质是土壤颗粒主要的组成部分，所以土壤颗粒或土粒也称矿物质颗粒或矿物质土粒。土壤中的矿物质种类很多，有的直接从岩石继承下来，大多数是岩石中的矿物经过各种风化作用重新形成的。



一、矿物质土粒

(一) 矿物质土粒的分级

矿物质土粒的大小差异很大，形状多种多样，很难直接测出单个土粒的大小。一般将其视为理想的球体，并且根据其粒径的大小和性质上的差异，将大小、成分及性质基本相近的矿物质土粒划分为一组，这就是矿物质土粒的分级。每组就是一个粒级，一般分为石砾、砂粒、粉粒和黏粒四大基本粒级，再进行细分，详细分级方法见表 2 - 1。

表 2 - 1 矿物质土粒的分级

粒径/mm	粒级	
>1	石砾	
0.2~1.0	粗砂粒	砂粒
0.05~0.2	细砂粒	
0.01~0.05	粗粉粒	粉粒
0.005~0.01	细粉粒	
0.0005~0.005	泥粒	黏粒
<0.000 5	胶粒	

粒级：大小、成分和性质基本相近的矿质土粒。

(二) 矿物质土粒的化学组成及性质

矿物质土粒的化学组成极其复杂，主要有氧、硅、铝、铁、钙、镁、钾、钠、磷、硫、锰、锌、硼、钼、铜等。其中氧、硅、铝、铁 4 种元素一般占土壤矿物质质量的 75%以上，它们大多数以氧化物的形式存在，如二氧化硅（SiO₂）、氧化铝（Al₂O₃）、氧化铁（Fe₂O₃）。表 2 - 2 显示：矿物质土粒愈粗，含二氧化硅愈多，铝、铁、钙、镁、钾、钠、磷等元素含量则愈少。

表 2 - 2 不同粒级土壤颗粒的化学组成质量分数

土壤	粒级名称	粒径/mm	SiO ₂	R ₂ O ₃ ^①	CaO	MgO	P ₂ O ₅	K ₂ O+Na ₂ O
非 石 灰 性 土 壤	粗中砂粒	0.2%~1.0%	93.9%	2.2%	0.4%	0.5%	0.05%	0.8%
	细砂粒	0.04%~0. 2%	94.0%	3.2%	0.5%	0.1%	0.1%	1.5%
	粗砂粒	0.01%~0.04%	89.4%	6.6%	0.8%	0.3%	0.1%	2.3%
	细粉粒	0.002%~0.01%	74.2%	18.3%	1.6%	0.3%	0.2%	4.2%
	黏粒	<0.002%	53.2%	34.7%	1.6%	1.0%	0.4%	4.9%
石 灰 性 土 壤	细砂粒	0.05%~0.25%	84.3%	8.3%	3.2%	0.6%	未测	未测
	粗砂粒	0.01%~0.05%	73.7%	10.3%	3.3%	0.6%	未测	未测
	中粉粒	0.005%~0.01%	62.2%	17.3%	7.6%	2.0%	0.2%	5.0%
	细粉粒	0.001%~0.005%	42.7%	24.6%	12.7%	3.1%	未测	未测
	黏粒	<0.001%	39.0%	29.9%	14.1%	5.1%	0.3%	6.0%

① 指 Fe₂O₃ 和 Al₂O₃。

（熊顺贵：《基础土壤学》，46 页，北京，中国农业大学出版社，1996）



目前矿质土的分级各国还没有统一的标准，广泛采用的有美国、前苏联和国际分级制（见表 2 - 3）。

表 2 - 3 几种矿质土壤分级标准

粒径/mm	国际制		苏联制 (威廉斯卡庆斯基)	美国制
>10	石块		石砾	石块
3~10	石砾			石砾
2~3				
1~2				
0.5~1	粗砂粒			极粗砂粒
0.25~0.5		物理性	粗砂粒	粗砂粒
0.2~0.25		砂粒	中砂粒	中砂粒
0.1~0.2				细砂粒
0.05~0.1	细砂粒		细砂粒	
0.02~0.05				极细砂粒
0.01~0.02			粗粉粒	
0.005~0.01	粉粒		中粉粒	
0.002~0.005			细粉粒	粉粒
0.001~0.002		物理性		
0.0005~0.001	黏粒	黏粒	粗黏粒	
0.000 1~0.0005			细黏粒	黏粒
<0.000 1			胶粒	

（熊顺贵：《基础土壤学》，38 页，北京，中国农业大学出版社，1996）

不同大小的土粒，不仅化学组成差异很大，而且物理性质上也表现出明显的差异。粒径大于 1 mm 的土粒（石砾），几乎不表现出黏结性、黏着性、可塑性和胀缩性，吸附水分子和气体分子等物质的能力很低；粒径为 0.01~1 mm 的土粒（砂粒），开始表现出一定的黏结性、黏着性、可塑性和胀缩性，吸附物质的能力略有增强，但仍然很弱；当土粒粒径小于 0.01 mm 时，这些性质发生急剧变化，黏结性、黏着性、可塑性和胀缩性都很强。所以有人将粒径大于 0.01 mm 的土粒称为物理性砂粒，而将粒径小于 0.01 mm 的土粒视为物理性黏粒。

物理性砂粒：粒径大于 0.01 mm 的土粒。

物理性黏粒：粒径小于 0.01 mm 的土粒。

（三）土壤矿物质

土壤中的矿物质根据其来源可分为：原生矿物和次生矿物。原生矿物是指那些在风化过程中未改变化学组成的原始成岩矿物，次生矿物是指那些在风化过程中新形成的矿物。这些矿物有的有稳定的组成成分和一定的形状，形成晶体；有的组成成分不稳定，形状也经常变化，形成无定型的胶膜等物体。一般土壤中的原生矿物很少，主要是次生矿物。



1. 土壤中的原生矿物

土壤中的原生矿物主要包括原生硅酸盐类（如长石类、云母类等）、氧化物（如石英、赤铁矿）、磷化物（如磷灰石）、硫化物（如黄铁矿）。石英和白云母等是土壤中最常见的原生矿物。石砾和砂粒主要是由石英所组成，粉粒也主要是由山石英和其他原生硅酸盐矿物组成。可见，矿质土粒愈粗，含石英及原生硅酸盐矿物愈多；矿物质土粒愈细，石英和原生硅酸盐矿物含量愈少，而次生矿物的含量则逐渐增多。

2. 土壤中的次生矿物

土壤中的次生矿物主要有以下几类：

- (1) 简单的盐类，如碳酸盐、硫酸盐和氯化物等。
- (2) 含水的铁、铝和硅等氧化物类。
- (3) 层状硅酸盐类，如高岭石、蒙脱石和水化云母类等。

大多数土壤中的次生矿物主要是层状硅酸盐矿物或称为层状铝硅酸盐矿物。

原生矿物：指那些在风化过程中未改变化学组成的原始成岩矿物。

次生矿物：指那些在风化过程中新形成的矿物。

土壤中的黏粒要由黏土矿物组成，所谓黏土矿物是指那些粒径小于 0.001 mm 的矿物质土粒。黏土矿物的种类很多，一般分为两大类：层状硅酸盐类和含水氧化物类。

黏土矿物：指那些颗粒粒径小于 0.001 mm 的矿物质土粒，也称次生矿物。

3. 层状硅酸盐类黏土矿物

层状硅酸盐黏土矿物都是由两个基本单位构成的，即硅氧片和铝氧片。硅氧片是由硅氧四面体相互连接而成，一个硅氧四面体由 4 个氧原子和 1 个硅原子构成具有 4 个面的立方体，许多个四面体通过共用底层的氧原子形成蜂窝状的结构，即为硅氧片或硅氧层（图 2-1）。

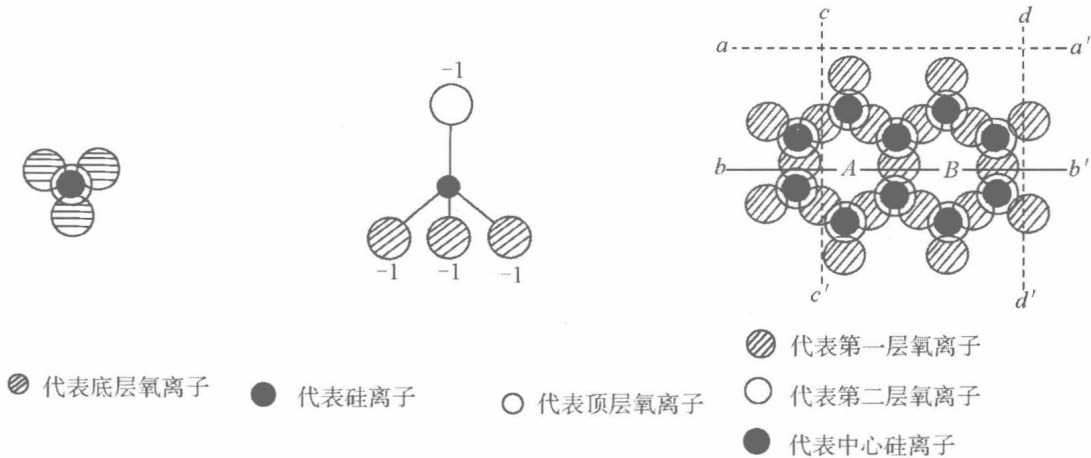


图 2-1 硅氧四面体和硅氧片的构造示意图

（朱祖祥：《土壤学》，上册，26~27 页，北京，中国农业出版社，1991）



铝氧片由铝氧八面体相互连接而成，铝氧八面体由 6 个氧原子围绕 1 个铝原子构成具有 8 个面的立方体，许多个铝氧八面体相互连接形成铝氧片或铝氧层（图 2 - 2）。

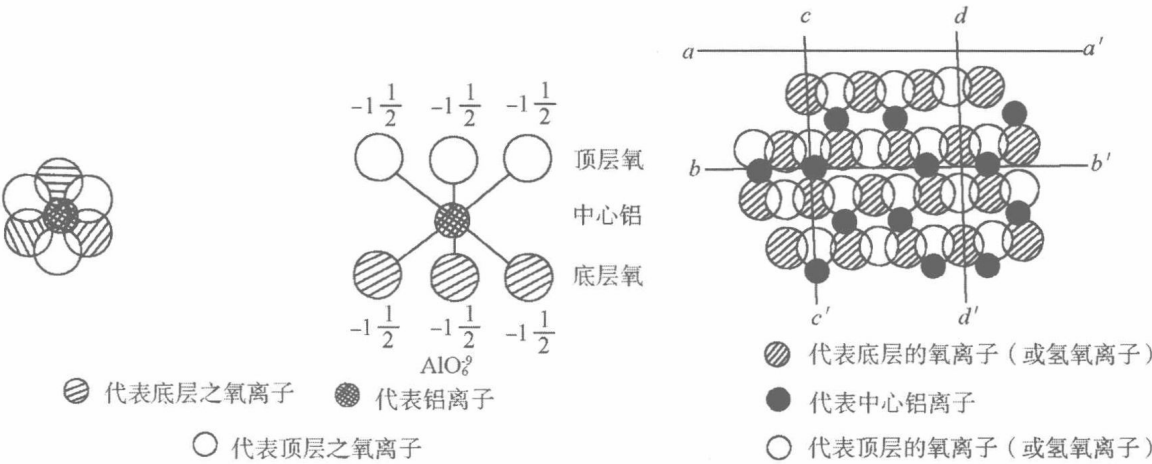


图 2 - 2 铝氧八面体和铝氧片的构造示意图

（朱祖祥：《土壤学》，上册，26~28 页，北京，中国农业出版社，1991）

在铝氧片和硅氧片中都存在带有一个负电荷的活性氧原子，它们共用活性氧原子形成层状硅酸盐黏土矿物的基本结构单元，这个基本结构单元通过各种力的作用，相互重叠形成各种黏土矿物，主要有 1 : 1，2 : 1 和 2 : 2 型 3 种重叠结合方式。

硅氧片：许多个硅氧四面体通过共用底层的氧原子形成蜂窝状的结构，又称硅氧层。

铝氧片：许多个铝氧八面体相互连接形成的结构，又称铝氧层或水铝片。

在黏土矿物的形成过程中，硅氧片和铝氧片中的硅和铝等离子常常被大小和性质相近的离子替代，造成电荷不平衡，从而使黏土矿物带有电荷。由于一般都是低价阳离子（ Al^{3+} ， Mg^{2+} ， Fe^{2+} ）代换较高价的硅离子（ Si^{4+} ）和铝离子（ Al^{3+} ），所以黏土矿物一般带有负电荷。由于这种代换并不影响矿物的晶体结构，所以这种代换称为同晶替代或同晶代换。

同晶替代：在黏土矿物的形成过程中，硅氧片和铝氧片中的硅和铝等离子常常被大小、性质相近的离子替代，导致电荷不平衡，但其晶体结构并不改变。

4. 1 : 1 型层状硅酸盐矿物

1 : 1 层状硅酸盐矿物由一层硅氧片和一层水铝片通过共用氧原子结合在一起，形成片状的结构体，片与片之间主要通过氢键作用紧密地重叠在一起（图 2 - 3），此类黏土矿物包括迪凯石、埃洛石和高岭石等。典型高岭石的硅铁铝率 $[SiO_2 / (Al_2O_3 + Fe_2O_3)]$ 物质的量比为 2，同晶很少发生，所以带负电荷少，阳离子代换量一般只有 30~150 mmol/kg，故吸附阳离子能力小，保肥性较弱；不易膨胀（其膨胀度一般小于 5%），颗粒一般较粗（直径为 0.1~5 μm ），比表面小，因而其黏结力、黏着力和可塑性较弱。高岭石类次生矿物在我国南方热带和亚热带气候土壤中普遍存在，而在华北、东北、西北和青藏高原的土壤中含量很少。



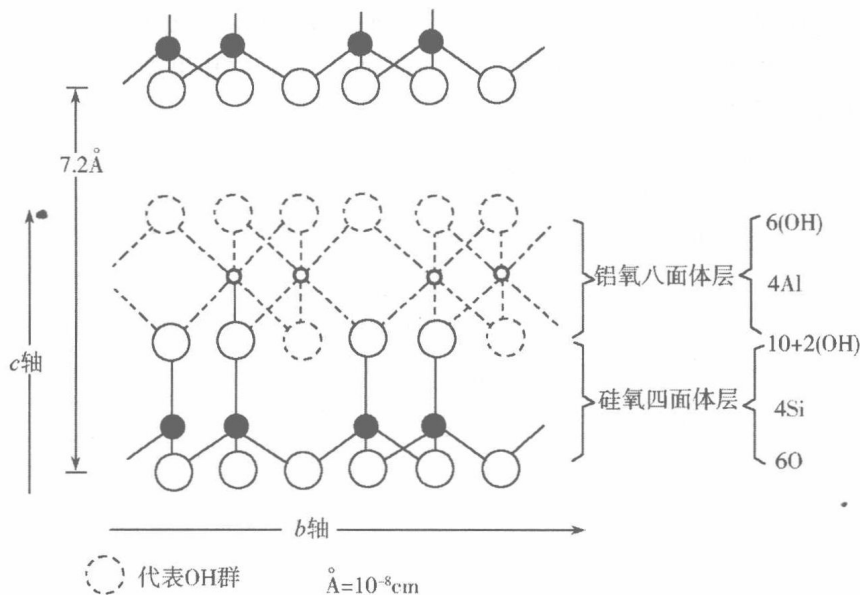


图 2 - 3 1 : 1 型层状硅酸盐矿物高岭石的结构示意图

(朱祖祥:《土壤学》,上册,28 页,北京,中国农业出版社,1991)

5. 2 : 1 型层状硅酸盐矿物

这种矿物由两层硅氧片和一层水铝片通过共用硅氧片中的氧相互结合形成片状结构,片与片之间由较弱的分子引力等力的作用而重叠在一起(图 2 - 4)。此类黏土矿物包括蒙脱石、绿泥石、拜莱石、蛭石和水化云母或伊利石等。其共同特点是硅铁铝率为 4,同晶代换

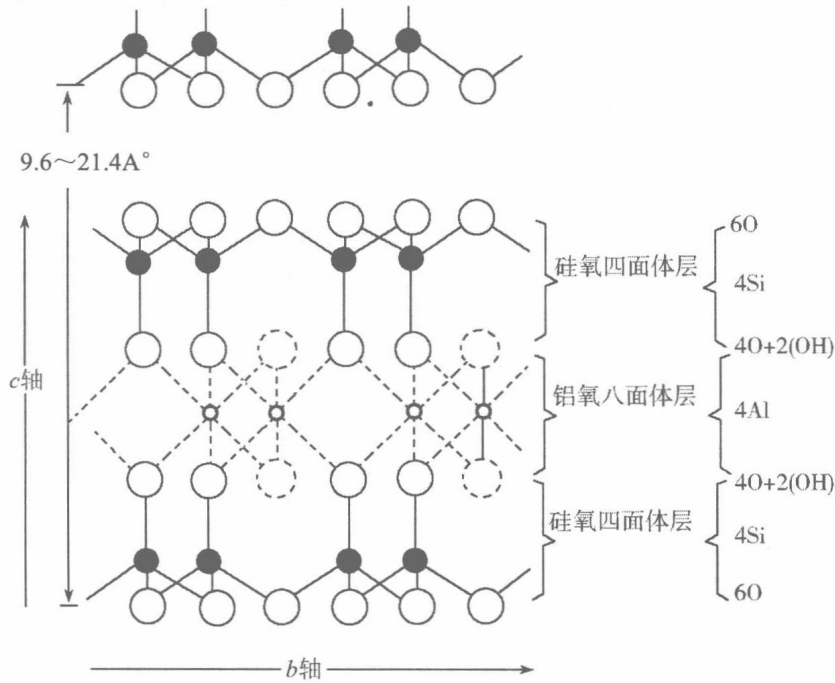


图 2 - 4 2 : 1 型层状硅酸盐矿物蒙脱石的结构示意图

(朱祖祥:《土壤学》,上册,29 页,北京,中国农业出版社,1991)

