



面向 21 世纪 课程 教材

Textbook Series for 21st Century

土壤肥料学

陆 欣 主编



中国农业大学出版社

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

土壤肥料学

陆 欣 主编

中国农业大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

土壤肥科学/陆欣主编. —北京:中国农业大学出版社,2002.4
面向21世纪课程教材
ISBN 7-81066-376-3/S·290

I. 土… I. 陆… III. 土壤-肥料-高等学校-教材 IV. S158

中国版本图书馆CIP数据核字(2002)第009765号

出 版 中国农业大学出版社
发 行 新华书店
经 销 新华书店
印 刷 涿州市星河印刷有限公司
版 次 2002年4月第1版
印 次 2005年2月第4次印刷
开 本 16 印张31.25 千字578
规 格 787×980
印 数 15 001~20 000
定 价 37.00元

图书如有质量问题本社负责调换

社址 北京市海淀区圆明园西路2号 邮政编码 100094
电话 010-62732633 网址 www.cau.edu.cn/caup/

主 编 陆 欣 (山西农业大学)
副主编 马国瑞 (浙江大学)
 李晓林 (中国农业大学)
参 编 李华兴 (华南农业大学)
 黄建国 申 宏 (西南农业大学)
 王益权 王林权 (西北农林科技大学)
 谢英荷 樊文华 (山西农业大学)
 王 艳 (山西农业大学)
主 审 毛达如 (中国农业大学)
参 审 王申贵 (山西农业大学)

前 言

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环境。

《土壤肥科学》作为高等农林院校种植类专业:园艺(含果树、蔬菜、花卉)、园林、农学、农艺、茶桑、经济林、植物保护等本科必修课程教材,由山西农业大学、浙江大学、中国农业大学、华南农业大学、西南农业大学、西北农林科技大学联合编写。编者均长期从事土壤肥料的教学及科研工作,并对其承担的编写内容有较强的研究,广泛收集了这一领域国内外研究成果。该书是高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革项目(04—20)成果。

本教材是在原有“土壤学”及“植物营养与肥料”两门课程的基础上,为适应 21 世纪教学改革后调整的新本科专业教学计划对人才培养规格的要求而开设的主修课——“土壤肥科学”而编写的。在编写中,紧扣种植类专业对土壤肥料知识和技能的要求,注重突现“加强基础,淡化专业,拓宽专业面,重视应用”的原则;力求体现土壤肥料科学中新知识、新技术、新动向;尽可能加强有利于学生能力培养、可操作性强的内容,为各项种植类生产提供必需的基础理论和专业技能。为此,在教材体系上作了大胆的创新改革,将土壤、肥料、植物营养有机地交互融合成一个整体,以“土”、“肥”的辩证关系为中心,建立了土壤肥科学新的课程体系;以整个种植类生产的特点和需要为出发点,设置课程内容。除土壤肥料及植物营养的基本理论外,增加了各种不同利用类型的农田土壤管理技术;各种土壤退化类型的防治与改良;现代新型肥料及各项施肥新技术;各类常规肥料的有效合理施用技术;各种植物营养缺素症的诊断及防治技术;土壤肥料资源调查、土壤质量评价指标与土壤环境的污染与防治等内容,并附有实用性较强的八个土壤肥料实验指导及附录,基本上反映了本学科的前沿动向,有较强的时代特征。具有起点高,目的明确,应用性强的特点。既可作为种植类本科各专业的教材,也可作为农林院校其他专业师生以及从事土壤肥料科研、生产、管理人员的业务参考。

本教材除绪论外,设土壤基础理论、肥料基础理论和土壤肥料资源的利用与

土壤肥料学

保护三篇计十九章。编写分工如下:绪论、第三章、第十九章的第一、二节、附录由陆欣教授编写;第十一章、第十二章、第十三章由马国瑞教授编写;第十章、第十六章由王艳博士与李晓林教授编写;第一章、第六章、第十七章的第二、五、六节、第十八章的第四、五节由李华兴教授编写;第九章、第十五章、第十七章的第三节由黄建国教授编写;第十四章由申宏与黄建国教授编写;第四章、第五章、第十七章的第一节、第十八章的第一、二、三节由王益权教授编写;第八章由王林权副教授编写;第二章、第十七章的第四、七节、实验指导五至七由谢英荷教授编写;第七章、第十八章的第六、七节、第十九章的第三、四节、实验指导一至四及实验指导八由樊文华教授编写。在个人编写基础上,第一篇(第一章至第七章),第三篇(第十七至第十九章),实验指导由陆欣教授统稿,第二篇(第八章至第十六章)由马国瑞教授统稿,最后由陆欣教授对全稿进行润色、修改、定稿。由于受教材篇幅所限,不得不忍痛删去了原稿中的部分内容,为此深表歉意。

在拟定大纲及完稿后,承蒙中国农业大学毛达如教授、山西农业大学王申贵教授悉心审阅,并提出了许多宝贵意见和建议。同时,本书参阅了近年来国内外同行的大量有关论著、文献,在此一并致以深切的谢意。

鉴于本教材面对全国各类种植专业,内容较广泛深入,在教学过程中,可根据各地、各校、各专业的具体情况和需要,加以选用。

由于土壤肥科学内容广泛,涉及农学、生物学、地学、生态学、化学、物理学、环境科学等多学科范畴,加之本学科发展日新月异,限于编者水平有限,编写时间短促,难免有错误和不足之处,热忱地希望读者批评指正。

编者

2001年12月

目 录

绪论	(1)
第一节 土壤肥料在农业生产及生态系统中的地位和作用	(1)
第二节 土壤与肥料的基本概念	(5)
第三节 近代土壤肥料科学发展概况	(9)
第四节 21 世纪土壤肥料科学的任务及发展前景	(13)
第五节 土壤肥料学的内容及其与相关课程的关系	(17)

第一篇 土壤基础理论

第一章 土壤矿物质土粒	(20)
第一节 形成土壤母质的矿物、岩石	(20)
第二节 矿物岩石的风化作用与土壤母质	(24)
第三节 土壤矿物质土粒的组成与特性	(29)
第二章 土壤有机质	(36)
第一节 土壤生物多样性及其功能	(36)
第二节 土壤有机质	(41)
第三节 土壤腐殖质	(48)
第四节 土壤有机质的作用及其调节	(52)
第三章 土壤的孔性、结构性与耕性	(58)
第一节 土壤孔性	(58)
第二节 土壤结构[性]	(65)
第三节 土壤物理机械性与耕性	(74)
第四章 土壤水	(82)
第一节 土壤水在农业生态系统中的重要性	(82)
第二节 土壤水的基础知识	(83)
第三节 土壤水分研究的形态学与能态学	(88)
第四节 土壤水的运动规律	(98)
第五节 土壤水分状况及水分平衡	(103)

第五章 土壤空气及热量状况	(108)
第一节 土壤空气及其更新.....	(108)
第二节 土壤的热性质及土壤热量平衡.....	(110)
第三节 土壤空气与土壤温度对植物生长的影响.....	(117)
第六章 土壤的保肥性与供肥性	(123)
第一节 土壤保肥性和供肥性与植物生长.....	(123)
第二节 土壤胶体及其基本特性.....	(124)
第三节 土壤的吸附保肥作用.....	(129)
第四节 土壤的供肥性.....	(133)
第五节 影响土壤供肥性的化学条件.....	(137)
第七章 土壤的形成、分类与分布	(148)
第一节 土壤形成因素与过程.....	(148)
第二节 我国土壤分类.....	(157)
第三节 土壤分布的规律性.....	(160)

第二篇 肥料基础理论

第八章 植物营养与施肥原理	(166)
第一节 植物的营养成分及其养分吸收.....	(166)
第二节 影响植物吸收养分的环境条件.....	(174)
第三节 植物的营养特性.....	(177)
第四节 合理施肥的基本原理.....	(182)
第九章 植物的氮素营养与氮肥施用	(188)
第一节 植物的氮素营养.....	(188)
第二节 土壤中的氮素及其转化.....	(193)
第三节 化学氮肥的种类、性质及其施用方法	(199)
第四节 氮肥的合理施用.....	(203)
第十章 植物的磷素营养与磷肥施用	(208)
第一节 植物的磷素营养.....	(208)
第二节 土壤中的磷素及其转化.....	(213)
第三节 磷肥的种类、性质及其施用技术	(216)
第四节 磷肥的合理使用与肥效的提高.....	(224)

第十一章	植物的钾素营养与钾肥施用	(228)
第一节	植物的钾素营养.....	(228)
第二节	土壤中的钾素及其转化.....	(236)
第三节	钾肥的种类、性质及施用.....	(239)
第四节	钾肥的合理施用.....	(242)
第十二章	植物的钙、镁、硫、硅营养及钙、镁、硫、硅肥施用	(247)
第一节	植物的钙、镁、硫、硅营养.....	(247)
第二节	钙、镁、硫、硅肥种类及其施用技术.....	(256)
第十三章	植物的微量元素营养与微量元素肥料的施用	(261)
第一节	植物的微量元素营养.....	(261)
第二节	微量元素肥料的种类、性质与合理施用.....	(276)
第十四章	有机肥料	(284)
第一节	有机肥料概述.....	(284)
第二节	粪尿肥和厩肥.....	(286)
第三节	秸秆还田与堆肥.....	(292)
第四节	绿肥.....	(297)
第五节	泥炭与腐殖酸类肥料.....	(302)
第十五章	复混肥料	(307)
第一节	复混肥料及其发展方向.....	(307)
第二节	复合肥料主要品种和性质.....	(308)
第三节	掺合肥料的剂型、品种和性质.....	(314)
第四节	复混肥料的肥效与施用.....	(317)
第十六章	新型肥料与施肥新技术	(321)
第一节	新型肥料的类型、特点、使用现状和发展前景.....	(321)
第二节	新型肥料的种类、性质及其施用技术.....	(324)
第三节	施肥新技术.....	(332)

第三篇 土壤肥料资源的利用与保护

第十七章	农田土壤管理	(342)
第一节	旱地土壤管理.....	(342)
第二节	水田土壤管理.....	(349)

第三节	茶园土壤管理	(353)
第四节	果园土壤管理	(358)
第五节	花卉、苗圃(园林)土壤管理	(365)
第六节	菜园土管理	(368)
第七节	保护地土壤管理	(373)
第十八章	土壤退化与土壤资源保护	(380)
第一节	土壤退化的基本概念	(380)
第二节	土壤侵蚀与防治	(385)
第三节	土壤沙化与生态重建	(390)
第四节	土壤潜育化与治理	(394)
第五节	土壤酸化及其控制	(397)
第六节	土壤盐碱化与利用改良	(402)
第七节	土壤环境污染与防治	(407)
第十九章	土壤肥料资源的开发利用	(413)
第一节	我国土壤资源概况	(413)
第二节	我国肥料资源的利用	(419)
第三节	土壤资源的调查与质量评价	(427)
第四节	土壤资源的利用规划	(430)
实验一	土壤样本的采集、处理及土壤含水量的测定	(436)
实验二	土壤颗粒分析及质地分类	(442)
实验三	土壤容重的测定及孔隙度、三相比的计算	(445)
实验四	土壤有机质及碱解氮的测定	(448)
实验五	化学肥料的定性鉴定	(453)
实验六	有机肥料样品的采集、制备及全氮量的测定	(457)
实验七	植物缺素症状的观察	(461)
实验八	土壤与作物营养的田间诊断	(462)
附录一	土壤肥料常用法定计量单位	(478)
附录二	常用化学肥料三要素质量分数	(479)
附录三	常见有机肥的养分含量及当季利用率	(480)
附录四	常用微量元素肥料含量	(481)
附录五	各种肥料的肥效发挥速度表	(481)
附录六	土壤养分分级指标	(482)

附录七 土壤有效态微量元素的分级及临界值·····	(482)
附录八 部分作物吸收氮、磷、钾的数量·····	(483)
参考文献·····	(484)

绪 论

土壤、肥料广泛存在于自然界中。但人们从不同的利用角度、用不同的方法来研究它,就会产生不同的认识。对于生态系统中能量与物质循环的起始点、农业生产链环中的基础环节——种植业(植物生产)来说,只有全面理解土壤肥料在农业生产和生态系统中的重要性;正确掌握土壤和肥料的概念与土壤的基本物质组成;了解近代土壤肥料发展概况以及土壤肥料科学的主要内容及其与相关课程的关系;深刻领会 21 世纪土壤肥料科学的任务及发展前景,才能正确认识土壤肥料并掌握其变化规律,使之更好地服务于种植业生产的发展,更好地为农业的持续发展作贡献。

第一节 土壤肥料在农业生产及生态系统中的地位 and 作用

一、土壤是农业生产的基本生产资料和农业生产链环中物质与能量循环的枢纽

(一)土壤是农业生产的基本生产资料

农业生产的基本特点是生产出具有生命的生物有机体。从广义上来说,农业生产包括饲养业与种植业两大部分。其中最基本的任务是首先发展人类赖以生存的绿色植物的生产,而绿色植物所必需的生活条件即:日光(光能)、热量(热能)、空气(O_2 及 CO_2)、水分和养分。其中,除光能来自于宇宙太阳辐射外,其余皆与土壤有关;水分、养分主要通过根部自土壤中吸收,而土壤热量和空气则主要依靠人类通过土壤管理来直接控制和调节。此外,土壤还为植物提供了根系伸展的空间和机械支撑作用。这些都充分表明了:土壤为植物生长繁育提供了吃(养分供应)、喝(水分供应)、住(空气流通、温度适宜)、站(根系伸展、机械支撑)等必需生活条件,因此植物生产必须以土壤为其基地。

对于动物生产来说,主要依赖于种植业为其提供能量和有机物质,没有植物

生产,动物为维持生命活动所需要的能量和营养物质也就没有了来源。

因此,土壤不仅作为植物生产的基地,而且也是动物生产的基础。两者都必须以土壤作为基本生产资料。

(二)土壤是农业生产链环中物质和能量循环的枢纽

农业生产的实质是绿色植物通过光合作用从土壤中吸收多种物质转变为有机物质来贮藏和利用日光能的。从物质和能量的循环、周转和平衡的关系来看,农业生产可以分为植物生产(种植业)—动物生产(饲养业)—土壤管理(施肥、灌溉、耕作)三个不可分割的环节。其中,在第一、二环节中未能被人类直接利用而剩余的植物残体(根茬、秸秆)及动物残体(畜禽粪便、蹄、毛)等,皆需通过土壤管理这一环节送回土壤,并经由土壤微生物的分解转化,使之成为植物生产所必需的养分和改良土性的改良剂——腐殖质,从而培肥土壤,提高土壤肥力,进一步促进第一、二环节的生产。使物质和能量通过土壤得以周而复始的循环利用。充分体现了土壤在农业生产链环中物质和能量循环的枢纽的地位。

二、土壤是自然界中具有再生作用的自然资源

土壤作为一种自然资源和永恒的生产资料,是人类从事农业生产以达到自身生存、繁衍和社会发展的重要物质基础。马克思曾经说过:“土壤是世代相传的、人类所不能出让的生存条件和再生产条件”。表明了:土壤不同于其他资源(如矿产),只要“治之得宜”,则可“地力常新壮”(《王禎农书》),就可以世代相传永续利用而不受时间的限制。即:它是具有再生作用,是可以再利用(重复利用)的资源。但是,与之相应,土壤资源还具有数量有限性与质量可变性的特点。由于它是数量有限的资源,随着社会经济的发展,土壤资源有限供应的能力与人类对土壤总需求的矛盾必然日趋尖锐。同时,人类在开发利用土壤的过程中,如若治之不宜,即会导致土壤在质量上发生变化——地力下降和破坏,从而对人类生存带来严重的威胁。

在人类历史上,土壤资源遭到严重破坏的例子是不乏胜举的。从当前世界范围来看,由于人类违背自然规律,对土壤资源利用不当而引起土壤再生作用的破坏,主要表现在:土壤侵蚀、土壤沙化、土壤盐碱化、土壤的变质退化以及土壤污染等方面。而我国在这些方面亦都有不同程度的反映。地球表面形成的土壤,经历了漫长的历史时期,而破坏土壤却只需历史的一瞬间。

因此,欲使肥沃土壤能传之万代、造福子孙而不毁于一旦,我们必须深刻理解土壤作为有可再生作用资源的这一特殊意义。要十分珍惜这一特殊性,注意发

挥这一特殊作用,并应充分意识到我们在开发利用土壤资源中的责任。要把土壤作为全人类的财富,它不仅属于国家,属于全体劳动人民,而且也属于子孙万代。任何人只有合理利用它、保养它和不断提高它的肥力的义务和发挥其再生作用的责任,而没有任意破坏和污染它的权利。

三、土壤是农业生态系统的重要组成部分

农业生态系统是以人类农业生产活动为中心,在一定条件下,以农作物、家畜、家禽为主体,包括林、草、昆虫、微生物等农业生物为基础,与气候、土壤、水等环境因素相结合的非闭合的能量、物质转化循环的人工生态系统。

作为重要环境因素之一的土壤,它还是生物与非生物环境的分界面,亦是生物与非生物体进行物质、能量移动和转化的重要介质与枢纽。人类在利用土壤资源中所采取的干预正确与否,将直接对农业生态系统良性循环的维持与发展起着举足轻重的作用,如科学灌溉,合理施肥、耕作,栽培良种,发展生态农业等,皆可促进农业生态系统良性循环、发展。但若毁林开荒,陡坡种植,盲目施肥,大水漫灌……亦会带来水土流失、土壤沙化,土壤盐渍化,土壤污染等不良后果,使农业生态平衡遭到破坏,给人类带来巨大损失和灾难。

因此,对土壤资源的利用,不仅要根据国民经济和农业生产发展的要求,结合土壤本身的性质、特点来考虑,而且还应从整个自然环境生态平衡和农业生态系统的良性循环的角度来考虑土壤的利用、规划,决不能以牺牲环境生态来进行开发利用。

四、土壤肥料是农业生产各项技术措施的基础

农业生产的高产优质高效是取决于多因素的优化综合。而在农业生产中,各项技术措施的选择和应用,都必须在充分研究土壤性质的基础上才能进行,否则都将会事倍功半或徒劳无益的。

目前,在种植业的各项栽培技术中,至少应考虑8个基本因素,即土(肥力、性质)、肥(施肥)、水(灌溉)、种(品种)、密(密度)、保(植物保护)、工(农用机具)、管(耕、锄、耙等田间管理)。其中,“土”是基础,因为在考虑其他7个方面的问题时,都有一个“因土制宜”的问题。诸如“因土施肥”、“因土种植”、“因土灌溉”、“因土管理”……都应根据土壤的理化生物学性状来采取符合植物生长发育需要的其他相应措施,或者根据植物生长发育的需要来采取对土壤性状进行相应的调节措施,或结合土壤原来的性质,来考虑这些措施对土壤可能产生的影响等。

“土”是8个基本因素的核心,而“肥”则是与“土”关系最为密切的技术措施。农业生产中有言道:“土肥不分家”、“土肥相融”,就是最为形象的概括。因为“土”中有“肥”,所以才“有土斯有粮”。而在进行合理施肥时,也首先应考虑栽培土壤的各种性质和肥力水平,才能制定正确的施肥制度;确定合适的肥料品种和用量;选择相应的施肥方法(技术)等,才能充分地发挥肥料的社会效益、经济效益及环境效益。

总之,要实行“科学种田”,就必须在全面了解土壤基本性状,切实掌握科学施肥的基础上,才能充分发挥其他各项农业栽培技术措施的增产潜力。同时,土壤肥料也是推行各项先进农业栽培技术措施实施的基本保证。

五、肥料是农业优质高产的保证

肥料是植物的粮食。充分认识肥料,是思考农业可持续发展战略及对策的重要基础。

尽管农业生产的发展依赖于诸多自然与社会因素,但几千年的农业发展史表明,投入农业的肥料种类和数量是影响农作物产量品质的最基本因素。有史以来,肥源的发展过程大致经历了以下过程:①刀耕火种时期(将植物烧成灰肥),产量 $300 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$;②饲养畜禽以利用其粪便(灰肥+粪肥),产量小于 $375 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$;③种植豆科绿肥(灰肥+粪肥+绿肥),产量小于 $750 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$;④生产化肥(灰肥+粪肥+绿肥+化肥),产量大于 $3000 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。由此可见,每一种新肥源的开发和施用量的增加,都能使农业跃上一个新的台阶。特别是化肥,是当前我国农民生产投资中约占其全部生产性支出50%的一项最大物质投资,更不可忽视。据统计,我国1949—1995年的近50年中,粮食总量与施肥量几乎呈直线相关,相关系数($r=0.9431$)达极显著水平。中国农业科学院1981—1990年在全国各地的试验则进一步表明,10年间我国化肥消费量平均每年递增7%,而肥料对产量的贡献率由37%左右上升至50%左右。可以认为,在其他条件一致的前提下,施用肥料(包括无机和有机肥)是决定产量高低的关键因子。此外,大量试验表明,正确合理的施肥,还能提高谷物中蛋白质质量分数;改善烟、茶、瓜、果、蔬菜等经济作物的性状;充分发挥良种的增产潜力;维持和提高土壤肥力是不断提高土壤质量,保证可永续利用的关键措施之一,亦是发展经济作物、森林草原的物质基础。

第二节 土壤与肥料的基本概念

一、土壤的概念及其基本组成概况

(一)土壤的概念

人类对土壤最初的认识,是将它作为人类活动和居住的土地。英文“*Soil*”(土壤)这一词就是古法语从拉丁文 *Solum*(土地)衍生而来的。大约 1 万年前,当人类开始了农业生产时,才将土壤作为植物生长的介质。随着社会科学技术、农业生产的逐渐发展,人类对土壤的认识也逐步深化。在现代农业生产中,土壤是植物生长的基地。之所以能生长植物,则是由于其具有肥力。而土壤肥力水平的发挥则取决于:①土壤本身的内在因素(物质组成和各种理化生物学性质);②外界条件(自然条件、土地基本建设标准和耕作栽培管理等措施的质量);③社会生产关系和经济政策等。因此,从农业生产的角度出发,土壤和土地的概念应是统一的。从这一点出发,土壤可以泛指是具有特殊结构、形态、性质和功能的自然体。它的特殊形态是地球陆地表面;它的特殊结构是疏松层;具有肥力是它的特殊性质;能够生长绿色植物是其特殊功能。由此可以将土壤定义为:“土壤是指覆盖于地球陆地表面,具有肥力特征的,能够生长绿色植物的疏松物质层”。

以土壤形成过程来看,通常将未经人工开垦的土壤称为自然土壤;经过开垦、耕种以后,其原有性质发生了变化,称为农业土壤或耕作土壤。

(二)土壤的基本组成

存在于自然界中的土壤有多种多样。但从形态学的观点来研究土壤,无论哪种土壤其基本物质组成都是由:矿物质、有机质、土壤生物(土壤固相)、土壤水分(液相)及土壤空气(气相)三相五种物质组成的多相多孔分散体系。其具体组成概况见图 1 所示。

上述为一般土壤组成的构成概况。对于不同类型的土壤,其三相物质的比率差异较大。如泥炭土,其有机质质量分数可高达 70%~80%;而沙质荒漠土,有机质质量分数却可低至 0.5% 以下。至于水与空气的变化,则更为频繁,通常变幅可达 15%~30%。它们存在于粒间空隙之中呈互为消长的关系(图 2),进而影响到土壤温度状况,因此固、液、气三相之间是相互联系、相互转化、相互制约不可分割的有机整体,是构成土壤肥力的物质基础。不同土壤物质组成的比率不同,则体现不同的肥力水平,从而为植物生长提供不同的生活条件。

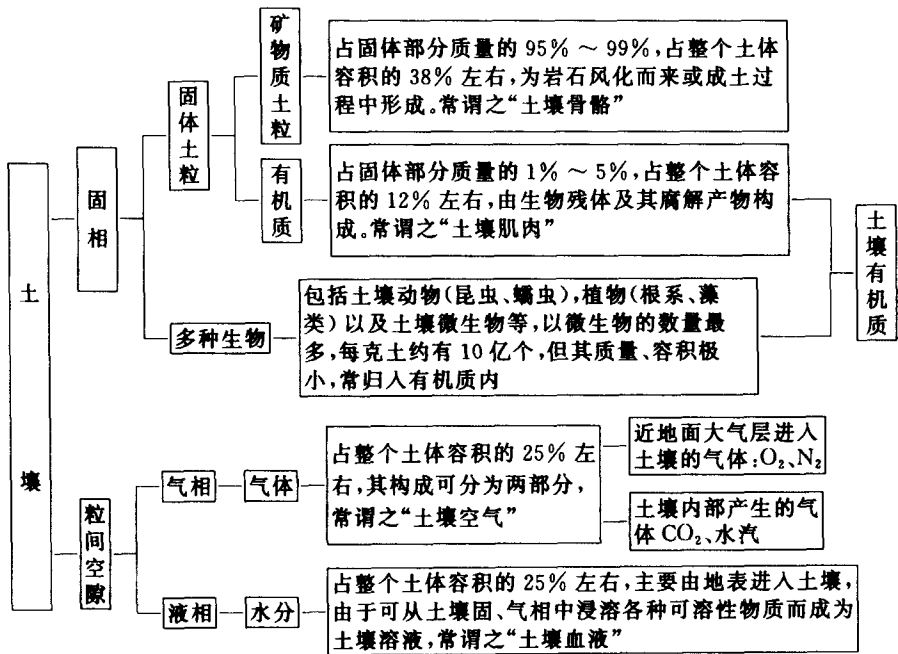


图 1 土壤的基本组成概况

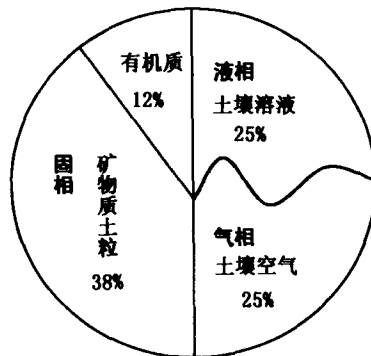


图 2 土壤三相物质组成示意图

二、土壤肥力的概念及其发生、发展

(一) 土壤肥力的概念

作为土壤最本质的特性和基本属性——土壤肥力, 目前各国有很不相同的