

中央农业广播学校试用教材

土壤肥料学

华 孟 主 编

段 孟 联
陆 景 陵 编 著

广 播 出 版 社

编写说明

本教材是专为中央农业广播学校农学基础班编写的。全套教材共四册，即《化学基础》、《植物及植物生理》、《土壤肥料》、《作物遗传及育种》。这一套教材着重编写具有共性的基础理论知识，以求使学员从科学道理上提高认识、分析和解决农业生产问题的能力。

通过广播系统讲授农业科学知识还是一项新的尝试，为使这套教材能够适应广播教学和农村基层干部、知识青年自学的特点，尽量做到文字通俗易懂，安排较多的插图及表格，并在每章（或节）后附有习题。配合这套教材，另发讲课提要、习题答案和自我测验作为补充。

此外，为了弥补广播教学直观性差的缺点，备有辅导用的幻灯片和讲课录音带，可以与教材配合，以增进教学的效果。

考虑到学习的对象很广泛，学员的基础和要求不完全相同，因此，我们把教材内容分为两种，一种用较大字号编排，作为教学基本内容，广播教学即以这部分为范围，另外，有一部分用较小字号编排，作为参考性的补充教材，学员可根据条件选择自学。

由于时间仓促，又缺乏广播教学的经验，这套教材可能存在不少问题和缺点，今后将在教学实践中，根据广大读者意见，进行修改和订正。

中央农业广播学校

前 言

土壤学和肥科学知识在农业生产上是极为重要的，相当多的农业生产投资和劳力是花费在肥料、灌溉、土壤耕作和管理上。然而各地的土壤千差万别，土地、气候条件以及种植制度和方式也很不相同，怎样才能有限的时间内，取得尽量多的有关知识呢？

多做先进经验介绍，以提供具体增产办法，看来是不能满足要求的，因为各地经验都是当地的自然和生产条件以及历史传统决定的，很难普遍应用。系统说明学科领域中的基本原理和内容（一般教科书的方式），也有困难。土壤学在自然科学中是比较年青的，许多论点还在发展，领域极广阔，观点纷纭，即使在大专学校国内外的教材中，也没有一本能使各方面都满意的。肥料工作则是随社会生产力的发展，在迅速变革和不断更新，在施肥的理论和技术的许多争论。所以，和其它科学（特别是技术科学）一样，土壤学和肥科学还有不少有待解决和澄清的问题，不能指望它们是无所不能的。

据此，编著者们认为，对基层广大读者和听众应当着重介绍一些科学道理和分析问题的途径，使他们能有所依据地去认识和掌握自己所处的环境（自然的和生产的），分析发生的问题和通过科学试验和研究去解决问题。这样就能在瀚海般的土壤学和肥科学的知识和文献中，选出那些最基本的、带有普遍性的问题进行说明，及其最近的发展趋势。帮助广大读者和听众掌握必要的理论武器，自己去分析和解决问题，而不在于个别实践经验或特殊情况下的土壤肥料问题的说明。不然这本不大的书就无法容纳了。

因此，本书只是一本适应广播讲解需要的入门书籍。它不是系统的、常规的土壤学和肥科学知识，也不是土壤改良或施肥手册，而只是引导读者和听众们进入土壤、肥料知识的领域，在今后的生产和工作中，知道那里去和怎样去查找有关资料 and 如何运用一些科学原理；以及如有兴趣和必要，如何进一步进修。

在编著中，我们也注意到由浅入深，由现象到理论，尽可能在分析现象中说明基本道理，使读者和听众易于掌握。涉及到有关的其它学科领域的知识或专门性的问题，也注意到介绍有关的书刊。

编著者们多年在教学、科研上和在农村工作中，深知农村青年中人材极多，都可在科技上有所作为和成就，为四个现代化做出贡献。重要的是启发引导他们去认识和理解问题，理解了才有真正的认识和自由。问题的认识和解决在于根据现有的成熟理论，反复思考、实践、观察、分析和试验，创造新的经验，丰富和发展现有的理论。不应该是简单的模仿和照搬。

编著者们怀着极大热情和希望，按照以上想法，编著了这本书，是否能达到预期的效果，有待实践来证明。历来每一本书总带有著者的偏见和局限，同时本书编著者们水平有限，加上时间短促，未能反覆推敲，谬误遗漏在所不免，因而不可能在第一版就圆满和成熟，需要经过实践，一再锤炼，才能日趋比较满意。热烈期待读者、有识之士、有关的专家学者，多提意见，指出错误，在再版时不断地修改、前进！

编著本书的指导思想和编著大纲是在主编倡议下经集体讨论和多次修改才制定的，并经几次易稿，终不十分满意。书中土壤学部分是由段孟联同志编著，肥科学部分由陆景陵同志编著，绪论和土壤管理由华孟同志编著。全书由华孟同志校审主编。

主编和编者 1982年5月

绪 论

土壤是人类生产和生活中一项重要资源。做为资源，土壤具有一定的肥沃度和生产率。肥沃度是指土壤本身固有的植物养分物质（包括这些养分物质能被植物利用的状况）和是否存在有碍或有害植物生长的因素（包括植物能否扎根立足的因素等）。生产率是指土壤在一定的管理系统下能生产某一定作物或作物系列的能力，所以土壤的生产率是可以产量衡量的。在自然界中，土壤是生物世界的一项重要环境因素，或称为是生态系统的一个重要环节。土壤有其本身的发生发展规律，是自然界中一个独立的个体——自然体。

无论在自然或人类生产条件下，土壤支持着天然植物（自然森林和草原等）和栽培作物的生产，从而繁衍了野生动植物资源和繁育了家畜家禽。这些都是自古以来，人类早就认识到的。如在我国最早的字书——东汉许慎所著的《说文解字》（公元121年前）中，对土和壤的解释分别是：“土，地之吐生万物者也”；“壤，柔土也，无块曰壤”。更早一些的《周礼》一书中则更明确指出：“以人所耕而树艺焉则曰壤”。由此可见，我国古代就早已知道了土壤是指散碎的、在自然和栽培情况下都能生产植物的物质；经人工栽培，它会变得更为细碎松软。

土壤能生产植物是因为植物生活所需的各项生活因素，除阳光、热和空气（主要指空气中的二氧化碳和氧）外，其余的植物营养物质（包括植物所需的各种养分、水和空气中的氧）都是通过植物的根系取自土壤。另外，正常的植物生活还要求一定的土壤温度和没有有害的物质，如过多的盐、碱、酸……等等。但是在上述的种种植物生活所必需的因素中，只有养分、有害物质的有无和植物扎根条件是由土壤本身提供和决定的——属于土壤肥沃度的范畴。其余像水、热（土壤温度）、空气等则是由土壤所处的环境（主要是气候和土地因素）提供的，土壤只不过是具有存贮和转运它们的能力。在存贮和转运它们的期间内，被植物吸收利用了。如土壤水主要来自大气降水、地下水或灌溉水，土壤在一定时期内能保蓄全部或一部分各种来源的水，成为不停运动的土壤水。就是在这个保蓄和运动的期间内，植物根从土壤中吸得水。土壤本身并不能产生水。土壤中的热（通常表示为土壤温度）基本上来自太阳辐射，并在土壤中不断运动。土壤温度是土壤最活跃、和影响植物生长最重要的因素之一，但是土壤本身却只能决定到达土壤表面的太阳辐射热量被吸收的数量、传导的快慢、升降温度的难易，以及夜间又向大气散发多少热量。凡此种种决定着土壤温度升降的幅度。至于土壤本身所产生的热量（如化学热和发酵热等）与太阳辐射的热量相比，是微不足道的。土壤空气也是主要来自大气，并与大气不断交换，土壤的差异只是影响着交换的难易。某些情况下出现了大气与土壤空气的交换发生了困难，才会在土壤空气中积累一些有害植物的气体。由此可见，植物从土壤中所吸取的水、热、空气等生活必须的因素，并不完全是土壤决定的，而是由土壤与其环境所共同决定。所以植物的产量，或土壤的生产率，是由土壤和其环境共

同决定的。道理也很简单，因为植物的产量取决于所有各种必需的生活因素，不是单纯由植物养分等土壤肥沃度因素决定的。

说明这些道理，目的在于严格区分土壤肥沃度和土壤生产率这两个不同的概念，对土壤管理和生产有重要意义。某一土壤可以是肥沃的（如我国东北北部的黑土），但因当地的水、热资源（土壤的环境）不那么丰富，它的生产率就并不一定也高。相反，不很肥沃的土壤处在水热资源丰富环境，或由管理措施提供丰富的水、肥甚至热量等因素，其生产率反而是可以相当高的。譬如，在我国华北、西北等半干旱和干旱区，单靠土壤所储存的自然来源的水（主要是雨水），很难达到高产，必须科学地补充给水才成。由此，我们得出一项很重要的认识，不能脱离土壤的环境，单纯地研究土壤肥沃度，必须研究土壤与其环境间的（物质与能量的）相互关系。因为我们要提高的是土壤生产率，而不仅仅停留在提高土壤的肥沃度。当然，土壤肥沃度也是必须详加研究和认真去提高的，因为它也是土壤生产率的一个重要方面，或者说是土壤生产率的基础，但它毕竟不是生产率*。

肥料主要是为植物提供养分而施入到土壤中的物质，某些肥料，特别是有机肥料，还有改良土壤的作用。肥料在土壤中引起一系列土壤、肥料与植物之间的相互作用。所以合理施肥包括植物营养、土壤和肥料本身三方面的知识；它虽然只是直接提高土壤肥沃度，但在正确的耕作、排灌、栽培、田间布局等措施配合下，能显著提高土壤生产率。我国是最早使用有机肥料和绿肥的国家，有着丰富的肥料资源。解放后化学肥料制造工业也发展很快。在生产上充分发挥各种肥料的经济效益，提高其目前还不是很高的利用率，有着广阔的前景和巨大的潜力。

无论土壤学知识或肥料学知识都是很广阔的范畴，现代的发展也很迅速。正确地发挥土壤与肥料知识在我国农业现代化和科技现代化中的作用，就必须按照它们本身的客观规律，深入探讨、研究，才能充分利用，加速四化建设。另一方面，还应针对我国目前在土壤、肥料工作方面存在的重大的、较普遍性的问题，加以分析说明。因此，本书的重点在于说明有关的科学道理，介绍探讨、研究和如何解决问题的途径；不在于具体方法的介绍，因为具体方法必然只适于具体环境，有很大的局限性。

目前我国在土壤资源利用上的两个主要方面——1.提高现有耕地土壤的肥沃度和生产率，2.保护土壤资源——都存在现实问题。我国耕地土壤面积并不十分充裕，人均不过1.5—1.7亩。必须持久提高和维持高的单位面积土壤的生产率，才能满足不断增长的人民生活在粮食、饲料和工业原料上的要求。在这方面还有很大潜力，尤其是在目前尚处于中、低产地区的土壤，不需太多的投资，就能有显著增产效果。当然，针对不同地区土壤的低产原因（如盐碱、砂荒、过酸、过于瘠薄……等）要采取不同的改良措施。事实上，只要管理得宜，高产地区的土壤生产率也还有相当潜力。提高土壤生产率，发

* 目前在土壤肥料和农业文献中还流行着一个在发展中的、意义不十分固定的有关术语——“土壤肥力”。这个词在五十年代初期出现在我国文献中，当时是按苏联土壤学家威廉斯的论点，认为土壤肥力是指土壤能同时给植物提供水和养分的能力，并认为肥力才是土壤性质的特征。至六十年代初以后，一般又认为土壤肥力是指土壤能为植物提供水、肥、气、热等生活必需因素的能力，另一些专家则提出还应把土壤能使植物扎根的性质也列进肥力因素。近来往往又把所谓的土壤肥力高低做为土壤生产作物产量高低的同义语；有的专家们还定出了若干按产量高低订出的、以某些土壤组分的含量或性质为依据的“肥力指标”。似乎又包括了土壤生产率的含义。

考“土壤肥力”一词原译自西方文字。按德、英等文的原意都是指肥沃度。故本书中尽量避免使用“肥力”，以免误解。

挥土壤的生产潜力，要严格按照科学原理，注意经济效益，不能不计成本，还必须维持土壤肥沃度不断升高，最少不能使之降低。

在保护土壤资源上，目前我国水土流失极为严重，尤其是在黄河、长江、西江、黑龙江等大河流的中、上游地区，由于过度砍伐森林、无计划地开垦山地、改牧归农、破坏天然草场、草原等，每逢雨季到来，土壤容纳不了降水，招致严重的水土流失，顺大小河道、沟谷流入大河，汇集入海。据粗略估计，以黄河为例，洪水期间其河水含砂量最高可达60%，最低也有30%，土壤流失量极大。长江等大河的含砂量也都在明显增长。不少有识之士和科学家们正在忧虑长江是否将成为第二条黄河。其后果不但损失了大量肥沃表土，而且流失了大量的雨水，对原已不很丰富的北方水资源，也是重大损失。有人喻此为中华民族土地上的大动脉出血，言简意赅！事关子孙后代，必须立即大规模和持久地开展全国性水土保持工作，保护水土资源。如有必要，应制定相应的法规，用法律来解决。总之，任何自然资源，包括土壤在内，在开发上都有其科学的限度，违反科学规律（在水土流失上主要是土壤和气候、土地以及自然与栽培植物群落的相互关系，亦即，从生态学角度研究土壤与其环境的相互关系，而不单纯地就土壤谈土壤），必然会受到自然的惩罚，要深刻吸取这方面的经验教训。

在肥料事业上，除了广辟肥源，要在肥料施用上讲科学道理，也就是在不同地区、不同土壤和不同的种植制度下，有机、无机肥料怎样配合，氮、磷、钾肥料和微量元素肥料怎样配合，特别是在氮磷比率（全国性的）、氮磷钾比率（华南）上问题尚多。处理好这样的一些问题，前面已提到了必须具备各种养分对植物所起的作用、各种肥料的性质和相互作用、施用后在土壤中如何转化和如何被植物吸收等方面的原理了解。从根本上说，如何在各代表性地区的土壤上，建立定点肥料试验场（站），用田间栽培作物的实验结果，确定在各种土壤上对各种作物的合理施肥方案范围，并以此来校订各种化验土壤和植株的结果，订出具体条件下参考的施肥尺度，极为重要。当然，必须讲究田间肥料试验技术和试验资料的统计和整理。简单地以快速化学测试方法的结果，做为施肥的唯一依据是不符合科学原则和实际的。因为快速化验只是在某一短暂时间、某一成分的情况。世界各国早就对此有了明确的结论，国内最近的研究，也表明同样结论。

为此，在本书的土壤学部分中将首先说明土壤本身的特征（包括土壤的组成、存在状态、土体构造和各种理化性质）；然后分析土壤与其环境（主要是气候、土地和植被等因素）的相互关系在时间上的历程，也就是土壤的水、热、空气的动态状况（日、季和年变化）。再在此基础上探讨土壤中各种主要植物养分的转化规律和过程（土壤养分状况）。在肥料学部分首先阐明各种养分对植物的作用和各种植物的养分要求，然后着重说明土壤、植物和肥料之间的养分关系（呼应土壤养分状况）。在此基础上，再分别说明各种化学肥料和有机肥料的性质、作用、在土壤中的转化情况和施用的技术原则。对我国肥料资源也将做简略介绍。最后，综合土壤与肥料的知识，讨论合理施肥、土壤培肥（即提高土壤肥沃度）的原则途径。

叙述中以说清道理为主，不在于具体方法的介绍。有些具体情况只是做为说明某项原理的佐证，或如何运用科学原理。所以，这是一本基础原理介绍的书。读者学习了一些原则原理后，结合自己的具体情况和问题，创造性地运用，才能解决问题。

我国近数十年来，在土壤学和肥料学知识的传播上，某些书刊往往偏于某一家或一

派的观点，甚至有时竟以观点、学说代替实际。以致目前尚有一部分引伸过度的说法广泛流行。为正确贯彻双百方针，本书旨在说清道理，不限于某一家之言。也希望读者们了解和判断有关土壤肥料的理论和知识，以实践为标准，不为某些过去的说法和观点所限制。尽管某些观点曾经是很流行的。

目 录

前 言

绪 论..... (1)

第一章 土粒——土壤的固体部分 (1)

第一节 矿质土粒..... (1)

一、矿质土粒的矿物学组成 (2) 二、矿质土粒的化学成分 (5) 三、矿质土粒的性质 (5) 四、矿质土粒的分级 (7) 五、土壤质地 (8) 六、土壤质地的田间简测 (9)

第二节 土壤有机质..... (10)

一、土壤有机质的来源及存在形态 (10) 二、土壤中的动物和微生物群 (11) 三、土壤有机质在提高土壤肥沃度上的作用 (13) 四、增加土壤有机质的方法 (14)

第二章 土质、土体和土类..... (15)

第一节 土质..... (15)

一、土壤中的孔隙 (15) 二、影响土壤孔径分布的因素 (16)

第二节 土体和土类..... (22)

一、土层 (23) 二、土体构造和土类 (25) 三、土体构造的评价 (28) 四、土体的野外研究方法 (29)

第三章 土壤的化学性质和过程 (33)

第一节 土壤对离子的吸附..... (33)

一、土壤的阳离子吸附量 (34) 二、吸附态离子的组成 (34) 三、吸附态阳离子组成对土壤性质的影响 (36)

第二节 土壤的酸碱性..... (37)

一、土壤酸碱性的产生 (37) 二、土壤酸碱性的表示方法 (39) 三、土壤酸碱性对作物、土壤性质和过程的影响 (40) 四、酸性土和碱性土的分布 (41)

第三节 土壤的氧化还原条件..... (41)

一、Eh值 (41) 二、土壤的氧扩散率 (42)

第四节 土壤的化学和生物化学过程..... (42)

一、土壤矿物质的分解 (42) 二、土壤有机质的分解 (43)

第四章 土壤的物理性质和过程 (45)

第一节 土壤水的保持和能态 (45)

一、土壤水的数量(45) 二、土壤水的保持(47) 三、土水势(48) 四、土水势和土壤含水量的关系(51)

第二节 土壤水的运动 (52)

一、液态水的运动(52) 二、气态水的运动(55) 三、水向土壤的入渗和土壤水的再分布(56) 四、土壤—植物—大气间的水分关系及土壤水的有效性(58)

第三节 土壤的通气性 (60)

一、土壤空气组成的特点(60) 二、土壤空气与大气的交换(61) 三、土壤的通气性(61)

第四节 土壤的热性质 (61)

一、热容量(62) 二、导热率(62) 三、热扩散率(63)

第五节 土壤的结持性和适耕期 (64)

一、土壤的结持性(64) 二、土壤的适耕期(66)

第五章 土壤的水、气、热状况 (66)

第一节 土壤水状况 (66)

一、土壤水平衡(66) 二、土壤水状况(67) 三、土壤的空气状况(70)

第二节 土壤的热状况 (70)

一、土壤的热量平衡(70) 二、土壤的温度状况(71)

第三节 土壤水热状况的调节 (73)

一、秋耕、冬灌、春耕(73) 二、中耕、蹲苗、灌水(74) 三、其它抗旱保墒措施(74) 四、土壤水和灌溉水合理利用原则(74) 五、稻田土壤水状况管理原则(72)

第六章 植物需要的土壤养分 (76)

第一节 植物生活和营养条件 (76)

一、植物生长所必需的营养元素(76) 二、肥料三要素(78)

第二节 各种必需营养元素的生理作用 (78)

一、碳、氢、氧(78) 二、氮(78) 三、磷(81) 四、钾(84) 五、钙(86) 六、镁(87) 七、硫(88) 八、微量元素(88)

第三节 各种营养元素之间的相互关系 (91)

一、同等重要和不可代替律(91) 二、养分平衡(92)

第七章 植物对养分的吸收 (93)

第一节 养分的吸收 (93)

一、根的结构和对养分的吸收 (93)	二、根可吸收的养分形态 (94)	三、土壤中养分的迁移 (95)	四、养分怎样进入植物体 (96)	五、影响根系吸收养分的主要因素 (99)	六、根外营养 (101)
第二节	作物吸收养分的关键时期				(102)
一、作物的营养期 (102)	二、作物营养临界期 (104)	三、作物营养最大效率期 (105)			
第八章	土壤的养分状况				(106)
第一节	土壤中植物养分的来源和形态				(106)
一、土壤养分的来源 (106)	二、土壤中养分的形态 (107)				
第二节	土壤中的各种主要养分				(109)
一、土壤中氮的含量、形态和转化 (109)	二、土壤中磷的含量、形态和转化 (114)	三、土壤中钾的含量、形态和转化 (117)	四、土壤中微量元素的含量、形态和转化 (119)		
第三节	土壤的养分状况				(122)
第九章	化学肥料的性质及施用				(124)
第一节	肥料的发展和分类				(124)
一、肥料发展史简述 (124)	二、肥料的分类 (125)				
第二节	氮肥				(125)
一、国内外氮肥生产的一般概况 (125)	二、氮肥制造方法的简述 (126)	三、各类氮肥的性质和施用 (126)			
(一) 铵态氮肥: 液体氨、氨水、碳化氨水、硫酸铵、氯化铵、碳酸氢铵 (126)	(二) 硝态氮肥: 硝酸钠、硝酸钙、硝酸铵 (133)	(三) 酰胺态氮肥: 尿素 (136)	四、新型氮肥——长效肥料 (138)		
(一) 合成有机长效氮肥: 尿素甲醛、脲异丁醛 (139)	(三) 包膜肥料: 硫尿尿素、沥青石蜡包被碳酸氢铵、钙镁磷肥包被碳酸氢铵 (140)	五、氮肥的合理施用 (141)			
第三节	磷肥				(143)
一、我国的磷矿资源和磷肥生产的概况 (143)	二、磷肥的性质、转化和施用 (144)				
(一) 水溶性磷肥: 过磷酸钙、重过磷酸钙 (144)	(二) 弱酸溶性磷肥: 沉淀磷肥、钙镁磷肥、脱氮磷肥、钢渣磷肥 (147)	(三) 难溶性磷肥: 磷矿粉、骨粉 (149)	三、磷肥的合理施用 (152)		
第四节	钾肥				(153)
一、我国的钾矿资源和钾肥生产概况 (153)	二、钾肥的性质和施用。氯化钾、硫酸钾、容灰钾肥、草木灰 (153)	三、钾肥有效施用的条件 (156)			
第五节	微量元素肥料				(157)
一、微量元素的特点和出现缺乏的条件 (157)	二、微量元素肥料的种类和性质 (159)	三、微量元素肥料的一般施用技术 (159)	四、施用微量元素肥料应注意		

意的问题(159)

- 第六节 复合肥料.....(160)
- 一、复合肥料的定义和表示方法(160) 二、复合肥料发展的概况(160) 三、复合肥料的优点(161)
- 四、复合肥料的品种简介: 氮化过磷酸钙、硝酸磷肥、磷酸铵、磷酸二氢钾、硝酸钾、硝酸钾肥(162) 五、施用复合肥料应注意的问题(163)

第十章 有机肥料(165)

- 第一节 概述.....(165)
- 一、有机肥料的分类(165) 二、有机肥料在农业生产中的作用(166) 三、有机肥料与化学肥料的特点比较(167)
- 第二节 有机肥料的腐熟和管理.....(167)
- 一、腐熟的目的是促进(167) 二、腐熟过程中养分的变化(168)
- 第三节 粪尿肥.....(170)
- 一、人粪尿(170) 二、家畜粪尿与厩肥(173)
- 第四节 堆肥和沤肥.....(176)
- 一、堆肥(177) 二、沤肥(179) 三、沼气发酵肥料(180) 四、秸秆直接还田(180)
- 第五节 绿肥.....(181)
- 一、绿肥在农业生产中的作用(181) 二、绿肥的翻压技术要点(182)

第十一章 施肥原理与土壤管理原则(185)

- 第一节 施肥原则.....(185)
- 一、养分归还学说(185) 二、最小养分律(186) 三、报酬递减律与米采利希学说(187) 四、各因素的综合作用(189) 五、肥料效应的经济分析(189)
- 第二节 土壤管理原则.....(192)
- 一、土壤有机物质平衡(193) 二、土壤养分平衡(195) 三、充分利用水资源,保持水土和抗旱(195) 四、防止砂化,保护土壤资源(197) 五、充分利用热资源(198)

第一章 土粒——土壤的固体部分

土壤是一个疏松散碎和多孔的物体，已如前述。它是由固体、液体和气体三相物质组成的。固体部分主要包括矿物质土粒和有机物质，还包括土内活的动物和微生物。液体和气体则分别指土壤水和土壤空气。固体部分构成土壤的骨架，土粒间充满大大小小的孔隙，土壤水和土壤空气就存于这些孔隙中。土壤水和土壤空气二者在数量上相互消长，水多就空气少，水少则空气多。固、液、气三相物质在土壤中的比率，因不同土壤和情况而异。一般情况下，大体上是固体部分占土壤总容积的一半，水和空气共占另一半。

土壤固体部分的矿物和有机质组成、化学成分、性质以及不同粒径土粒相互配合的比率，对土壤的理化和生物学性质，都有明显的影响。本章将对固体部分本身的问题加以介绍。至于它对土壤性质的影响，在以后各有关章节中讨论。

把从田间取回的土壤，放在磁盘中，加水湿润，用橡皮棒反复研磨多次，然后，把水和土一起转移到玻杯中，加水至大半杯，堵住杯口上下倒置数次。将玻杯放在桌上静置数分钟，就可看到，①土壤分散成很多颗粒，②沉降到杯底的颗粒呈层状排列，粒径大的或比重大的在下，小的在上，极细小的悬浮在水中，使杯中的水呈现浑浊。这种现象清楚表明，土壤的固体部分是由大大小小的颗粒组成的，这些颗粒就叫做土粒。

土粒的成分十分复杂，一般可分为两大部分。一部分是有机土粒，其物质来源于地上或土中植物和动物的残体，包括新鲜的有机物质、半分解的有机物质以及腐植质，还包括数目庞大的活的微生物群。这些来源于生命的物质，总称为有机质。有机质在土壤中的数量不多，主要在表土。绝大部分耕地土壤中的有机质约占土粒总重量的1—2%，很少有超过5%的。它的数量虽少，但它是肥料以外土壤中氮素的唯一给源，也是磷、硫等养分的重要来源。同时还是改良土壤物理性质和化学性质的重要物质。因此，在一般农田土壤，有机质的多少往往可以做为判断土壤肥沃程度的一项指标，但不是唯一的指标（关于有机质的作用见第二节）。土粒的另一部分是矿质土粒，它们是各种矿物的颗粒，来自岩石的风化，约占土粒总重量的95—98%以上，总称为矿物质。表层以下的土壤，几乎全部都由矿质土粒组成的（埋藏的表土层除外）。由于矿质土粒的数量在土壤固体部分中占绝对优势，所以先行介绍。

第一节 矿质土粒

露出地表的岩石，在地表上各种自然因素（如温度变化、水、风、冰、重力、氧和二氧化碳等）的作用下，逐渐地由大块散碎成小块，化学成分也发生改变，所有这一切变化总称为岩石的风化。岩石由大块机械地崩解成小块（化学成分未变）的作用，叫做物理风化。促使岩石化学成分发生一系列变化的作用，叫做化学风化。岩石经过风化所形成的松散物质（即岩石风化产物），有的停留在原地，有的则经水、风、冰川以及重

力等外力的作用，被搬运到其它的地方再沉积下来。这些未经搬运或经过搬运的岩石风化产物，在土壤学上就叫做成土母质或母质。在成土母质上参加了许多生物（特别是高等绿色植物和微生物）或人的种植作业等作用，母质就逐渐变成土壤，母质中的矿物颗粒，也就成为矿质土粒了。

一、矿质土粒的矿物学组成

矿物学组成是指构成土粒的矿物种类。矿质土粒大小不同，其矿物学组成（也简称矿物组成）亦异。粗略可以分为粗土粒与细土粒两部分来说明。

（一）粗土粒。是指粒径大于0.001毫米的土粒。其中大于3毫米的土粒，多出现在山区或近山区的土壤中，称为砾或石碴。它们大多是岩石的碎屑，其矿物组成和化学成分与原来岩石相同。绝大多数土壤的粗土粒是小于3毫米的，它们的矿物组成主要有石英（ SiO_2 ）、长石（包括各种长石如钾长石 KAlSi_3O_8 、钠长石 $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ 、钙长石 $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ 等）、云母（包括含铁、镁、钾等的黑云母、含钾的白云母等）以及少量的角闪石和辉石（它们都是一些含铁、镁、钙、锰等的硅酸盐类矿物）。（有关矿物和岩石的知识，请参阅普通地质学和岩石矿物学书籍）。

除上述矿物外，在粗土粒中还存在有少量的其它矿物，在植物生长和鉴别土壤上重要的有磷灰石 $[\text{Ca}_5(\text{F}, \text{Cl})(\text{PO}_4)_3]$ 、赤铁矿 $[\text{Fe}_2\text{O}_3]$ 、褐铁矿 $[\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}]$ 、磁铁矿 $[\text{Fe}_3\text{O}_4 \cdot \text{FeO}]$ 以及碳酸钙 $[\text{CaCO}_3]$ 、石膏 $[\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}]$ 等。其中最普遍存在的是赤铁矿和褐铁矿，尤其是在我国华南的土壤中，它们常以细粒或胶膜的形式粘附在粗土粒的表面，使其带上红或黄的颜色。碳酸钙普遍存在于我国北方的土壤中，存在数量多时可形成白色的碳酸钙聚积层或砂姜层。而石膏则出现在更干旱的西北地区，特别是荒漠土壤中，那里甚至在土体的下部形成有石膏层。

在粗土粒的范围内，土粒大小不同，其矿物组成还有差异。一般说来，在平原地区由河流沉积物母质形成的土壤中，土粒愈粗，石英含量愈高，长石次之；相反，土粒愈小，石英含量减少，而云母的含量有所增加。这是因为石英最难风化之故。各种矿物风化由难到易的次序大体如下：石英 > 长石（特别是正长石） > 白云母 > 黑云母、角闪石、辉石。因此，石英和正长石多出现在较粗的土粒中。但是，对山区由岩石直接演变而成的土壤并不一定如此，那里土壤中粗土粒的矿物组成，主要决定于当地岩石矿物的种类及其风化的程度。

（二）细土粒。指粒径小于0.001毫米的土粒。它们的比表面积（单位容积或单位重量土粒的表面积）明显增大。至<0.001毫米的土粒具有明显的胶体性质，是矿质土粒中理化性质最活跃的部分，对土壤的各种性质都有重要影响。在土壤工作中，把粒径小于0.001毫米的土粒叫做粘粒。

构成粘粒的矿物，主要是各种粘粒矿物，它们是一类新生成的矿物，并不是地球表面原来就有的。

粘粒矿物大体上可分为两大类，一类是铝硅酸盐类粘粒矿物，另一类是水化氧化物和三氧化物类粘粒矿物。

1. 铝硅酸盐类粘粒矿物。半个世纪以来，利用X光衍射和电子显微镜技术，对这一类粘粒矿物研究的结果表明，它们都是微小的层状结晶矿物。每一层称为一个结晶单元（或晶片），是由不同数目的硅氧片和水铝片组成的。两个结晶单元之间的距离叫做晶格。

暴露在外面的表面称为外表面，而层间的表面称为内表面（图 1—1）。根据结晶构造的特点，可把铝硅酸盐类粘粒矿物分为若干组。主要的有高岭石组、蒙脱石组和水化云母组，每一组中都有若干种类。三组粘粒矿物的结晶特点和性质，扼要说明如下。



图 1—1 层状粘粒矿物的内表面示意图

(1) 高岭石组：包括高岭石埃洛石、富硅高岭石和迪凯石等粘粒矿物。在土壤中以高岭石为最多，广泛分布在热带和亚热带的土壤中，如在我国华南的红、黄壤中。高岭石的每个结晶单元是由一个硅氧片和一个水铝片组成，所以又叫做 1 : 1 型粘粒矿物。

高岭石的形状是六角形的，边缘清晰，颗粒直径可由 0.1 微米至 5 微米，但在大多数情况下是在 0.2~2 微米之间。

高岭石的可塑性、粘结性、粘着性和胀缩性（见后）与其它组粘粒矿物相比都是低的。吸附阳离子的数量也少。

(2) 蒙脱石组：包括蒙脱石、拜来石、绿脱石、皂石等粘粒矿物，以蒙脱石为代表。蒙脱石的结晶单元与高岭石不同，它是由两个硅氧片中间夹一个水铝片组成的，所以又称为 2 : 1 型的粘粒矿物。蒙脱石结晶颗粒的直径常在 0.1 至 1.0 微米之间，远远小于高岭石颗粒的粒径。

蒙脱石的层间结合不像高岭石那样牢固，水和阳离子可自由进出，因此，蒙脱石不仅外表面能吸附阳离子，而且内表面也能吸附阳离子。其吸附阳离子总量比高岭石大得多（约大 10 到 15 倍）。此外，蒙脱石的可塑性、粘结性、粘着性都很强。蒙脱石含量高的土壤，很难维持较好的耕性。

(3) 水化云母组：伊利石是主要的代表。伊利石的结晶构造与蒙脱石相似，也是属于 2 : 1 型的粘粒矿物。晶层间常有固定的钾离子，所以，伊利石遇水膨胀的性质比蒙脱石小。此外，水化、阳离子吸附量、可塑性、粘结性、粘着性以及分散的难易程度都比蒙脱石小，但高于高岭石。伊利石结晶颗粒的大小介于蒙脱石和高岭石之间。

表 1—1 三类粘粒矿物性质的比较

性 质	蒙脱石	伊利石	高岭石
粒 径 (微米)	0.01—1.0	0.1—2.0	0.1—5.0
形 状	不规则薄片	不规则薄片	六角形晶体
外 表 面	大	中	低
内 表 面	大	中	低
粘 结 性、粘 着 性、 可 塑 性、胀 缩 性	高	中	低
阳 离 子 吸 附 量 (毫克当量/100克)	80—100	15—40	8—15

(据 Brady, 1974)

三组粘粒矿物的性质可归纳于表 1—1。其结晶特点见图 1—2。

2. 水化氧化物和三氧化物类粘粒矿物。这一类物质的颗粒构造极不规则，无一定形状，常是非结晶的，所以又叫做无定形粘粒矿物。但经过一系列变化后，也可转变为结晶型的。

水化氧化物中，最常见的是二氧化硅的水化物 ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$)。它是由铝硅酸盐类矿物在化学风化中所产生的硅酸形成的。最初是成硅酸的分子溶液存在，然后变成溶胶和凝胶，凝胶进一步脱水，就逐渐变成细小的结晶颗粒——次生石英。在粘粒中普遍存在的是成溶胶状态的。二氧化锰水化物 ($\text{MnO}_2 \cdot n\text{M}_2\text{O}$) 的形成情况也与此相似，但在

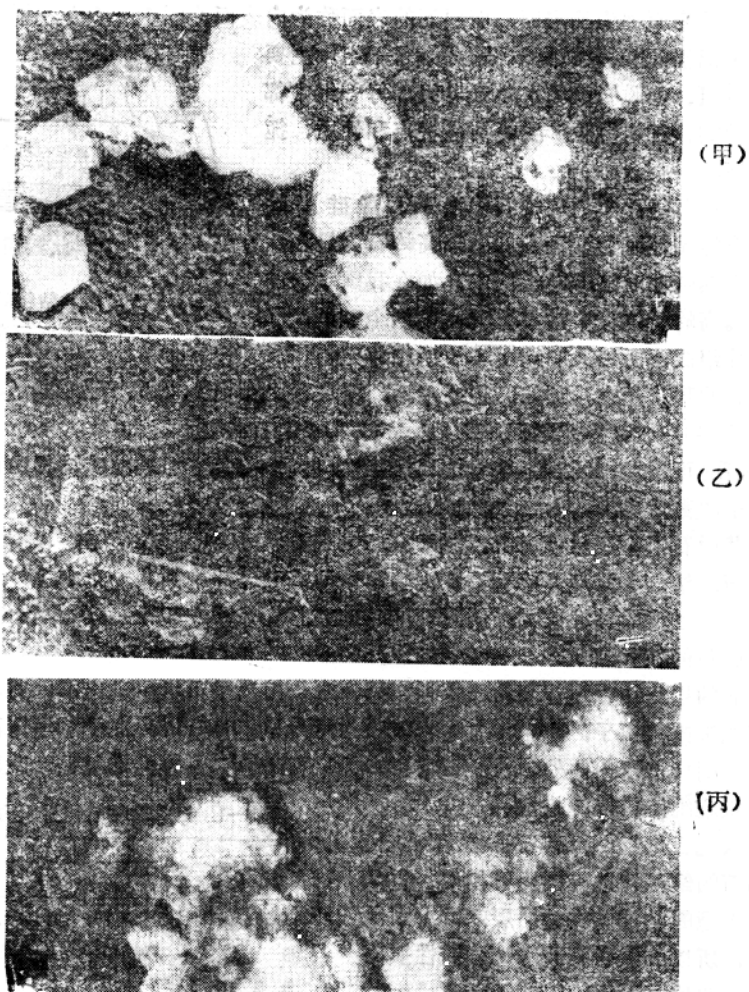


图 1-2 土壤中三种主要粘粒矿物的结晶特征。
(甲)高岭石(乙)蒙脱石(丙)含水云母

数量上要比二氧化硅水化物少得多。

三氧化物的水化物,主要是指铁、铝的水氧化物、氢氧化物和氧化物。其中以水氧化铁最为明显,常包被在土粒的表面上,因水化程度不同而使土粒染上黄、棕、红等颜色。如水赤铁矿 $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 为深红色,褐铁矿 $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 为黄色,针铁矿 $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 为棕色。在热带和亚热带地区,它们有时还会以铁盘或铁结核的形式出现在土壤中。这些铁、铝水化物和氢氧化物胶体的电性(指所带电荷的正负)与铝硅酸盐类粘粒矿物不同,后者为负电性胶体,而它们所带的电荷可正可负,依介质的反应而定,所以也称为两性胶体。

各种粘粒矿物生成的条件不同。因此,不同地区的土壤中,粘粒矿物的种类也不相同。例如在我国南方,高温多雨,原生矿物受到强烈化学风化的红壤和黄壤中,以高岭石和

铁铝的水化物为主。在我国北方，矿物的化学风化不如南方强烈，土壤中的粘粒矿物则以水化云母和蒙脱石为主。（我国各地土壤中的粘粒矿物种类，请参阅“中国土壤”一书的有关部分）。

在矿质土粒中常混有一些简单的盐类，它们在组成和构造上与铝硅酸盐类粘粒矿物相比，要简单得多。性质上也相差很远。概括起来可将其分为可溶性盐（如 NaCl 、 Na_2SO_4 、 NaHCO_3 、 Na_2CO_3 等）、微溶性盐（如 CaSO_4 、 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ）和不溶性盐（如 CaCO_3 ）等。盐类不同，对土壤性质的影响也不相同。例如碳酸钙是我国北方土壤中普遍存在的一种简单盐类，量少时能保证土壤有适宜的酸碱度、对植物有足够的钙质养分供应，还能促进微结构的形成；量多时，如超过 5—10%，则易使土壤板结，出现硬层和砂姜（石灰结核）层，不利于根系伸扎。石膏的大量结晶只在我国西北的荒漠草原土中才有，一般土壤中含量不多。它是土壤中硫的来源之一。可溶性盐存在于土壤溶液或地下水，含量高时可使土壤发生盐化，成为有害植物生长的盐土。

二、矿质土粒的化学成分

土粒大小不同，其矿物组成不同，自然在化学成分上也有差异。土粒化学成分是指其所含各种化学元素（常以氧化物表示）的比。表 1—2 的材料可做为一般情况参考。

表 1—2 各级土粒的化学成分（%，105°C）

氧 化 物	苏 格 兰 土 壤 各 级 土 粒， mm.					
	8~1	1~0.2	0.2~0.04	0.04~0.01	0.01~0.002	<0.002
SiO_2	84.96	83.92	73.87	70.15	67.21	44.08
Al_2O_3	8.56	9.34	13.47	14.04	18.91	27.64
Fe_2O_3	1.10	1.12	4.21	5.86	7.85	21.81
CaO	0.88	1.79	3.05	2.15	1.45	0.51
MgO	0.36	0.38	1.05	1.06	1.63	1.61
K_2O	1.49	1.78	1.73	1.48	2.51	1.10
Na_2O	1.58	1.21	1.53	3.87	2.27	0.96
P_2O_5	0.07	0.08	0.12	0.21	0.29	0.36

（据汉密利克斯和奥格）

表 1—2 的材料表明，土粒愈粗， SiO_2 含量愈高，随着土粒变小， SiO_2 含量逐渐减少，但在粗土粒范围内，仍占一半以上（这与粗土粒的矿物组成是吻合的）。只有当土粒小到细土粒范围（ $<0.001\text{mm}$ ）时， SiO_2 含量才降到一半以下。含量次多的是铁、铝和钙、镁、钾、钠、磷（均以氧化物表示）等。它们的含量随土粒变小而增多。所以，一般说来，土粒愈细，矿质养分（氮素以外的植物养分）的含量也愈多。但是，在土粒中的这些养分大都是以复杂状态存在，一般必须经过化学风化，转变成可溶于水的离子态后，才能被植物吸收利用。各种矿物易分解的次序是：辉石、角闪石、黑云母 $>$ 白云母 $>$ 长石（特别是正长石） $>$ 石英。与抗风化能力大小的次序正好相反。

三、矿质土粒的性质

土粒粒径大小不同，在性质上也有差异，主要表现在粘结性、粘着性、可塑性、胀缩性、吸附性以及多种胶体性质上。粘结性是指土粒间相互粘结成块的性质；粘着性指土粒粘附于外物的性质；可塑性是指土粒在一定含水量范围内，在外力作用下可以任意

塑形，外力移去后仍能保持其所塑形状的性质；胀缩性是指土粒吸水体积增大和失水体积缩小的性质；吸附性则是指土粒把分子态和离子态物质吸附在其表面上的性质（详后）。

总的说来，随着土粒由大变小，这些性质都是从显著到显著，从弱到强。例如>1毫米的土粒，几乎没有这些性质。1~0.01毫米的土粒，可塑性、粘结性、粘着性、胀缩性以及吸附水分子和气体分子的能力表现微弱。0.01~0.001毫米的土粒表现可塑性、粘结性、粘着性、胀缩性以及吸附气态物质等性质都十分明显，并微弱表现对离子的吸附。在<0.001毫米的土粒，这些性质就都很明显了。

土粒粒径由大变小，上述性质表现愈来愈强的原因，乃是由于随着粒径变小，它们的比表面积不断加大的缘故。假设土粒是球体或立方体形，其比表面积随粒径变小而加大的情况如表1—3。

表1—3 土粒粗细和比表面积〔注〕

土粒直径或边长，厘米	比表面积，厘米 ²
1	6
0.1	60
0.01	600
0.001	6000
0.0001	60000

〔注〕表中数字的计算方法如下：

一个直径为 d ，半径为 r 的球体，其表面积为 $4\pi r^2$ ，即 πd^2 。其体积为 $\frac{4}{3}\pi r^3$ ，即 $\frac{1}{6}\pi d^3$ 。这个球体的表面对体积的比(a_v)是

$$a_v = \pi d^2 / \pi d^3 / 6 = \frac{6}{d}$$

一个边长为 L 的正方体，其表面积为 $6L^2$ ，其体积为 L^3 ，于是它的 a_v 是

$$a_v = 6L^2 / L^3 = \frac{6}{L}$$

但是，土粒的形状并不是球体和立方体，而是不规则状的。所以表1—3的数值不能直接应用于土粒。特别是对呈薄片状的粘粒矿物，对它们需用下式另行计算，若假定粘粒矿物是方形的薄片，则：

$$\text{比表面积(厘米}^2\text{/毫升)} = \frac{2L^2 + 4Ll}{L^3}$$

L 为边长， l 为厚度。当然，粘粒矿物不可能都是方形薄片，所以，用这个公式计算出来的数值也不能完全代表真实的情况。所有这些计算只是定性表明：土粒的粒径愈小，其比表面积愈大。

测定物质比表面积的精确方法是用吸附气体（如氮气）的方法（见有关测定法书籍）。根据某些材料报道，分散良好的钠蒙脱石，其比表面积为700~800平方米/克；云母类粘粒矿物为100~300平方米/克；而高岭石型粘粒矿物为5~100平方米/克，颗粒更细小的氢氧化铁、氢氧化铝和硅酸的凝胶，其比表面积约为100~500平方米/克。可见粘粒矿物比表面积之大。

土粒比表面积上的差异，必然带来表面能〔注〕的差异。比表面积愈大，表面能愈显著。但是，表面积和表面能的增加，并不是简单的量变，而是当土粒小到一定程度时，发生飞跃式的变化。如当土粒小到细土粒范围，也就是小到粘粒以下时，不仅明显吸附分子态物质，而且还明显吸附离子态物质。

〔注〕任何物质表面的分子都与内部分子所处的状态不同。内部分子由于与相邻的相同分子相互吸引而处于平衡状态。处在表面的分子则不同，朝向内部的那一部分，为相邻的相同分子所吸引，而朝外（如朝向空气或其它物质）的那一部分由于没有相同分子相互吸引，以致没有达到平衡。因此，在物质的表面就具有一些多余的自由能，也就是表面能（或表面自由能）。

除比表面积外，粘粒矿物的种类对各种性质也有明显的影响。如蒙脱石的粘结性、粘着性以及吸附分子和离子的能力都高于水化云母，更高于高岭石。