



绪 论

任务一 土壤及土壤肥力的概念

土壤是一个国家最为重要的自然资源,它是农业发展的物质基础,没有土壤就没有农业。古人云“民以食为天,农以土为本”,这句话也道出了土壤对于国家及人民的重大贡献。然而,对于土壤概念的解读,不同学科的科学家人会有不同的认识:环境科学家认为土壤是重要的环境因素,是环境污染物的缓冲带和过滤器;工程学专家将土壤看作承受高强度压力的基地或作为工程材料的来源。本书是从农业科学工作者的角度讨论土壤的概念、性质及其作用。

一、土壤的概念

土壤是发育于地球陆地表面能够生长绿色植物的疏松多孔结构表层。这一概念阐述了土壤的功能、所处的位置及物理状态,同时也表明,土壤是一个独立的历史自然体,有其发育与形成的自然过程。

在自然界中,土壤以不完全连续的状态覆盖于陆地表面,处于大气圈、生物圈、岩石圈和水圈相互交接的地带,各圈层间进行着物质及能量的交换与转化。土壤是联系有机界和无机界的纽带,在生态系统中,有时将土壤带称为土壤圈。按照地质学的划分,岩石圈上部的风化残余物为风化壳,而土壤则位于风化壳的上层(图 0-1)。

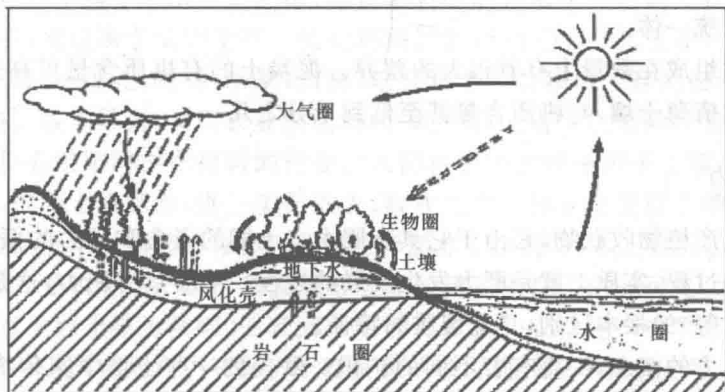


图 0-1 土壤自然界中的位置示意图

土壤以疏松的状态存在于陆地表面。这个表层的松散物质有着一定的厚度,一般称为



土体,它是土壤科学研究的对象。土体的下面是岩石风化的残积物或其他类型的堆积物,它们是形成土壤的母体物质,叫作母质,土壤和母质之间的界限,常常很难清楚地划分出来。在平原地区,土体的厚度可以达到1米至2米左右。在山区,土体较薄,常不足1米,甚至只有几十或十几厘米。有人认为,应当把高等植物主要根系分布的深度划为土体。事实上,主要根系以下的土层对植物生长仍有相当大的作用,所以应比这个深度稍微深些。

在野外观察和研究土壤时,从地面垂直向下直到母质挖一断面,这一断面叫作土壤剖面。土壤剖面一般可呈现出水平层次,这些层次称为土壤发生层,简称土层。土壤剖面的表层是有机质的积聚层,颜色较暗,在土壤学中称为A层。土壤剖面的心土层称为B层。A层和B层合称土体。土体以下逐渐过渡到轻微风化的基岩或地质堆积物层,称为母岩层或者母质层。土壤剖面中各个土层的厚度、特性和相互排列组合的情况,对于土壤的水分、养分、空气和热量状况及耕性等,都有直接的影响,对植物生长发育有着重要的作用。

土壤是由固体、液体和气体三相物质组成的疏松多孔结构。土壤固体部分通常以土粒形式存在,按容积计算一般约占50%,其中矿物质占38%(按质量计算约占95%),有机质占12%(按质量计算约占5%),其余50%的容积是固体土粒之间大小不同的孔隙,里面充满液体和气体,也就是水分和空气。水分和空气的含量,常在15%~35%的容积范围且彼此相互消长(图0-2)。在土壤孔隙中或土粒表面上,生存着许多昆虫、蠕虫、原生动物和大量的微生物。在1克土壤中,微生物的数量往往可以多到数十亿个,它们对于有机质的分解、腐殖质的形成和养分的转化,都起着非常重要的作用。组成土壤的这些物质,不是简单地、机械地混合在一起,而是相互联系、相互制约地构成一个统一体。

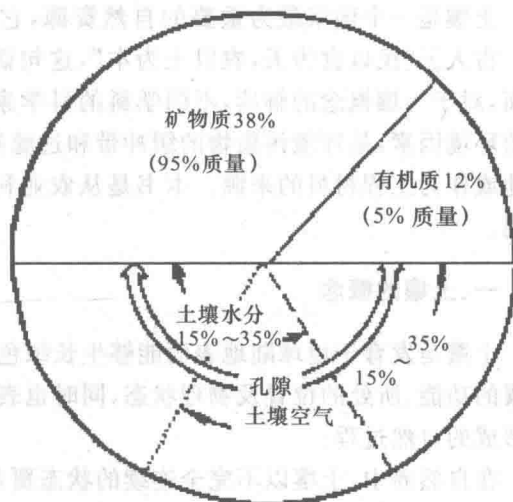


图0-2 土壤的三相组成

土壤的物质组成在数量上有着很大的差异。泥炭土的有机质含量可高达70%~80%，沙质土壤及其他瘠薄土壤,有机质含量甚至低到千分之几。

二、土壤肥力

土壤能够生产植物收获物,是由于它具有肥力。土壤的概念和肥力的概念是分不开的,土壤的发生发展过程,实质上就是肥力发生发展的过程。土壤具有肥力,这是土壤和其他物质如(岩石、母质等)的根本区别,是土壤质的特征。

关于土壤肥力的概念,一直有着不同的认识。欧美的一些土壤学家传统地把土壤供应养分的能力看作是肥力。苏联早期的土壤学家威廉斯(В. Р. Вильямс)认为,土壤肥力是在植物生活的全部期间内,土壤不断地、同时地供给植物以最大数量的水分和养分的能力。从这个定义看出,肥力包括水分和养分两个因素。



我国土壤科学工作者在总结农民群众生产经验的基础上,发展了威廉斯关于土壤肥力的概念。一般认为,土壤肥力是指在植物生长期间土壤供应和协调水分、养分、空气和热量的能力,通常简称为水、肥、气、热四大肥力因素。在四个肥力因素中,水、肥、气是物质基础,热是能量条件。四大肥力因素与土壤的物理性质、化学性质和生物学性质密切相关,因此可以说,土壤肥力是这些性质的综合反映。

土壤肥力可以分为自然肥力和人为肥力两种。自然肥力是在没有人为因素参与下,在自然成土过程中产生的,只有在未开垦的草原和林地土壤上才能存在;人为肥力是在自然肥力基础上,在人们耕作熟化过程中发展起来的。在耕种土壤中,两种肥力在生产上同时发挥着作用,但是,因受环境条件影响或土壤管理技术水平的限制,只有其中一部分能够在生产上表现出经济效果,这一部分肥力叫作有效肥力;另一部分没有直接反映出来的肥力,叫做潜在肥力。有效肥力和潜在肥力是可以相互转化的,其间没有绝对的界限。一些土壤(如某些涝洼地的草甸土、沼泽土和盐渍化土壤等)潜在肥力较高,而有效肥力不高;一些土壤(如风沙土)潜在肥力和有效肥力均不高。上述土壤均应因地制宜地进行农田基本建设、改造环境条件、改良土壤,使一部分潜在肥力转变为有效肥力,或者提高有效肥力,使之在作物生产上表现出效果。

良好的土壤,既要有较高的潜在肥力,能保蓄大量的养分和水分,又要有较高的有效肥力,在作物整个生长期不断供应和协调水、肥、气、热等肥力因素。威廉斯曾指出:“没有不良的土壤,只有拙劣的耕作方法。”实践表明,任何不良的自然土壤,都可以被改造成为高产农田。但是,破坏土壤资源、土地利用不合理或者“只种地不养地”,均会使土壤肥力有所降低,作物产量就会随之减退。

任务二 土壤在农业和自然环境中的重要性

一、土壤和农业生产

土壤不仅是一个独立的历史自然体,而且是农业的基本生产资料。从现代大农业(农、林、牧)角度来看,农业属于植物生产。植物利用光能同化 CO_2 并从土壤中吸收养分、水分,合成有机物质(粮食、棉花、蔬菜、水果、药材)以及其他人类赖以生存的必需品,同时为牧业提供精、粗饲料。牧业是畜、禽以农业供给的精、粗饲料或直接以牧草为食,生产肉、蛋、乳、皮、毛,同时提供有机肥料中原材料的行业。人们将有机肥料施用于土壤,保持和增加土壤的有机质含量,提高土壤肥力,进一步促进农、牧业生产。林业也是以土壤为基础的植物生产,其可为人类提供木材和燃料,此外,还能发挥涵养水源、保持水土、防风固沙、保护农田和草场的重要作用,是农业高产稳产和发展畜牧业的重要条件。由此可见,农业、林业和牧业都是直接或间接地以土壤为基础,三者间的结合可以保持农业生产中物质的合理循环和能量的高效流动。充分、合理利用和保护土壤资源的核心途径就是提高土壤肥力。

二、土壤生态系统

农业生产的主要目的是为人类提供生存所需的动植物。农业生产过程实则是生物与生



物之间、生物与环境之间的物质循环和能量交换过程,两类关系的正确处理是农业生态系统研究的核心领域。生态系统是指动物、植物及微生物结合而成的生物群落与无机环境(如气、光、热、水、土、养分等)所构成的综合体,其结构与功能是相关研究的重点内容。

从宏观来看,生物圈是一个巨大的生态系统,其包括陆地生态系统、海洋生态系统、岛屿生态系统、淡水生态系统等多种多样的、大小不一的无数个生态系统。土壤是陆地生态系统中一个具有结构的组成部分,是其中的一个亚系统,同时又是一个独立的生态系统。作为独立的土壤生态系统,其在结构上有四个组成部分:一是生产者,主要指绿色植物和藻类,它们通过光合作用固定 CO_2 ;二是消费者,是指直接或间接以生产者食草和食肉动物;三是分解者,是指生存在土壤内部或地表的腐生菌、真菌等微生物和土壤微小动物,它们分解生物残体的有机物质使之变为无机状态,并从中获取养分和能量;四是非生物物质,是指土壤矿物质、腐殖质、水分和空气等,这些都是土壤生物生命活动的物质基础,属于土壤的生物环境。从土壤生态系统的功能来看,这四种组分之间存在着彼此相互的食物链关系,相互作用、相互制约,决定着土壤中物质和能量转化过程的速度与强度,决定着土壤肥力的高低。

土壤生态系统受人为活动影响较大。人是高级的生产者,也是消费者。人类为了生产和生活的需要,不断地从环境中索取大量的自然资源,同时向环境中排出大量的废物,因而改变了土壤生态系统的平衡,导致生态的日益恶化。历史上,国内外都有这方面的惨痛教训。如 18 至 19 世纪,美国开发了大片的森林和草原作为农田,由于地面裸露,土壤侵蚀日益严重,1934 年曾发生了美国历史上最严重的一次“黑风暴”,狂风越过美国三分之二的大陆,刮走 3 亿多吨土壤,水井和溪流干涸,作物枯萎,牛羊渴死,当年的冬小麦减产 51 亿公斤。在 20 世纪 50 年代,苏联为了扩大耕地面积,开垦哈萨克斯坦的草原,也多次引起了“黑风暴”,仅 1963 年一次黑风暴就毁掉了 2000 多万公顷农田。我国西北黄土高原水土流失面积达 40 余万平方公里,如遇暴雨,表土可被冲刷掉 3~5 厘米深的肥沃土壤。截至 2000 年,我国北方沙漠化土地面积已达 38.57 万平方公里,以后则以每年 3600 平方公里的速度在扩展。这些都是历史上滥伐森林、滥垦草原和过度放牧所造成的后果。

随着工业的发展,工厂的废水、废气和废渣的排放,大量施用农药,造成了土壤的污染,使土壤理化性质和生物性质恶化,影响植物的正常发育,甚至通过食物链的传播,危害人类健康。在一些工业发达的国家,土壤被汞、镉、铅和砷等重金属以及有机氯、有机磷等制剂所造成的污染已引起广泛关注。从国内外诸多经验教训来看,要建设高产、稳产农田,需要建立一个农田、森林和草原生态系统相结合的复合生态系统,使农田生态系统具有更大的稳定性。在农田生态系统中,要制定合理的轮作、施肥和耕作制度,做到用地和养地结合,杜绝只用不养的掠夺式经营方式。

三、土壤是珍贵的自然资源

土壤资源与光、热、水、气资源一样被称为可再生资源。但土壤资源的再生速度非常缓慢,地球表面形成 1 cm 厚的土壤,需要 300 年以上的时间。尽管土壤属于可再生资源,通过人工措施和自然过程可不断充实和更新,但土壤又有不可再生的一面,因为水土流失和土壤侵蚀的趋势要比再生土壤的自然更新过程快得多,在一定时间和条件下也就成为不能再生的资源。据《2015 中国国土资源公报》显示,依据全国土地利用数据预报结果,截至 2015 年



末,全国耕地面积为 20.25 亿亩,全国因建设占用、灾毁、生态退耕、农业结构调整等原因减少耕地面积 450 万亩,通过土地整治、农业结构调整等增加耕地面积 351 万亩,年内净减少耕地面积 99 万亩;当前,因各种不合理的人类活动所引起的土壤和土地退化问题,已严重威胁世界农业发展的可持续性。据统计,全球土壤退化面积达 1965 万 km^2 。就分布地区来看,地处热带亚热带地区的亚洲、非洲土壤退化尤为突出,约 300 万 km^2 的严重退化土壤中有 120 万 km^2 分布在非洲、110 万 km^2 分布于亚洲;就土壤退化类型来看,土壤侵蚀退化占总退化面积的 84%,是造成土壤退化的最主要原因之一;就退化等级来看,土壤退化以中度、严重和极严重退化为主,轻度退化仅占总退化面积的 38%。作为最重要的土壤退化形式,全球土壤退化中水蚀影响占 56%,风蚀占 28%;至于水蚀的动因,43%是由于森林的破坏、29%是由于过度放牧、24%是由于不合理的农业管理,而风蚀的动因,60%是由于过度放牧、16%是由于不合理的农业管理、16%是由于自然植被的过度开发、8%是由于森林破坏;全球受土壤化学退化(包括土壤养分衰减、盐碱化、酸化、污染等)影响的总面积达 240 万 km^2 ,其主要原因是农业的不合理利用(56%)和森林的破坏(28%);全球物理退化的土壤总面积约 83 万 km^2 ,主要集中于温带地区,可能绝大部分与农业机械的压实有关。

而在我国,水土流失状况相当严重,在部分地区有进一步加重的趋势。其次,从土壤肥力状况来看,中国耕地的有机质含量一般较低,水田土壤大多在 1%~3%,而旱地土壤有机质含量较水田低。中国大部分耕地土壤全氮都在 0.2% 以下,其中山东、河北、河南、山西、新疆等 5 省(区)严重缺氮面积占其耕地总面积的一半以上;缺磷土壤面积为 67.3 万 km^2 ,其中有 20 多个省(区)有一半以上耕地严重缺磷;缺钾土壤面积比例相对较小,约有 18.5 万 km^2 ,但在南方缺钾现象较为普遍,其中海南、广东、广西、江西等省(区)有 75% 以上的耕地缺钾。近年来,全国各地农田养分考察工作中,钾素均呈亏缺状态,因而,无论在南方还是北方,农田土壤速效钾含量均有降低的趋势;缺乏中量元素的耕地占 63.3%。此外,其他形式的土壤退化问题也十分突出,以南方红壤区为例,约 20 万 km^2 的土壤由于酸化问题而影响其生产潜力的发挥;化肥、农药施用量逐年上升,地下水污染不断加剧,在部分沿海地区其地下水硝态氮含量已远远高于 WHO 建议的最高允许浓度 $10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$;同时,在一些矿区附近和复垦地及沿海地区土壤重金属污染也相当严重。

任务三 土壤科学的发展

一、近代土壤科学的主要观点

土壤学的兴起和发展与近代自然科学,尤其是化学和生物学的发展息息相关。16 世纪以前,人们对土壤的认识仅是以土壤的某些直观性质和农业生产经验为依据。如中国战国时期《尚书·禹贡》中根据土壤颜色、土粒粗细和水文状况等进行的土壤分类,其后许多农学家有关多粪肥田和深耕细耨可以提高土壤肥力的论述,以及古罗马的加图所描述的罗马境内的土壤类型等,都反映了当时人们对土壤的认知水平。

16~18 世纪,近代土壤学随着自然科学的发展逐步开始形成。在西欧,许多学者为论



证土壤与植物的关系,提出了各种假说。17 世纪中叶,荷兰医生范·海耳蒙特根据其长达 51 年的柳枝土培试验结果,认为土壤除了供给植物水分以外,仅仅起到支撑的作用。17 世纪末,英国的伍德沃德(1665—1728)将植物分别置于雨水、河水、污水及污水加腐殖土四种介质中生长,发现后两种介质中的植物生长较好,因而他认为细土是植物生长的“要素”,从而否定了海耳蒙特的观点。18 世纪末,德国的泰伊尔提出“植物腐殖质营养”学说,认为除了水分以外,腐殖质是土壤中唯一能作为植物营养的物质,这一学说在西欧曾风行一时。这些假说,虽未能全面正确地指出土壤的本质及其与植物生长的关系,但对于启发后人从不同的侧面认识土壤仍有裨益。18 世纪以后,随着自然科学的进一步发展,土壤学在发展进程中先后出现了三大学派,即农业化学土壤学派、农业地质土壤学派和土壤发生学派。

1. 农业化学土壤学派

1840 年,德国化学家李比希(J. F. Liebig, 1803—1873)的《化学在农业和植物生理上的应用》一书问世,书中提及“植物矿质营养学说”。该学说认为,矿质元素是植物主要的营养物质,而土壤则是这些营养物质的主要来源,腐殖质分解时可以源源不断地供应 CO_2 。李比希在批驳腐殖质营养学说后,又强调了矿物质的营养作用,同时指出,土壤中矿物质是一切绿色植物的养料,厩肥及其他有机肥料对于植物生长所起的作用并不是其本身所含的有机质,而是有机质在分解过程中所释放的矿质元素。这一学说为植物营养和施肥奠定了理论基础,促进了化学肥料的制造与使用。

李比希指出,土壤中矿质养分的含量是有限的,其必将随着耕种时间推移而日益减少,因此必须增施矿质肥料予以补充,否则土壤肥力将日趋衰竭,作物产量也渐趋下降。这一主张就是著名的“养分归还学说”,其正确地指出了土壤对植物营养的重要作用,从而促进了田间肥效试验、温室培养试验和农业化学分析的兴起以及化肥工业的发展,为土壤学及肥料学的发展做出了划时代的贡献。

2. 农业地质土壤学派

19 世纪后半叶,西欧的、主要是德国的一些土壤学家用地质学的观点来观察土壤,将土壤看作是岩石风化的堆积物。德国的费斯克曾这样写道:“土壤在过去某个时期曾是岩石,而现在正在重新形成岩石。从岩石学的观点来看,可以把土壤看作是一种独立的、土质结构的岩石。”德国地质学家法鲁(F. A. Fellow, 1794—1877)曾说:“土壤是一个死亡的无机物,其本身不能生长植物,大气才是促使其生长的主要因素……土壤仅仅为植物贮藏营养物质,是一个满足植物生活需要的商店或粮仓。”拉曼(Ramann)写道:“……土壤学仅局限于研究风化的表层和有机残余物的混合物。”总之,他们不承认土壤是一个独立自然体,忽视了生物对土壤形成的作用。按照他们的观点,土壤形成过程是单纯的岩石风化和淋溶过程,并且随着土壤发育程度的加深,风化和淋溶程度也不断加强,土壤中养分不断地释放出来而被雨水淋溶损失,结果致使土壤肥力呈递减曲线下降。显然,这不符合现代农业发展过程中对“土壤肥力持续提高、单位面积产量逐步增加”的实际情况。然而,农业地质学观点在土壤学发展史上同样起到了积极作用,该学派观点开辟了从矿物学研究土壤的新领域。

3. 土壤发生学派

19 世纪末期,俄国土壤学家道库恰耶夫(B. B. 道库恰耶夫, 1846—1903)以发生学观点来研究和认识土壤,形成了土壤发生学派。他认为土壤是一个独立的历史自然体,土壤形成



过程是由岩石风化过程和成土过程所推动的,影响土壤形成发育的因素可概括为母质、气候、生物、地形和时间五个方面,简称为五大成土因素;土壤的外部形态和内在性质都直接或间接与五大成土因素有关。

苏联早期的土壤学家威廉斯继承和发展了土壤发生学派观点,进一步强调了生物在土壤形成过程中的主导作用,并据此创立了土壤统一形成学说。他指出:物质的地质大循环和生物小循环的对立统一是土壤形成过程的基础。他还阐明了土壤团粒结构是土壤肥力的基础,并制订了草田农作制。

4. 现代土壤学的发展趋势

土壤作为人类赖以生存的重要自然资源,由于持续的集约利用,正在不断地发生变化,这种变化不仅对土地承载力产生重要作用,而且对全球气候状况也会产生直接或间接影响。因此,当今土壤学已由原来仅研究土壤本身向土壤圈及其他圈层之间的关系扩展。

土壤圈概念自1938年由英国土壤学家 S. Matson 提出后,特别是1990年,Arnold 对土壤圈的定义、结构、功能及其在地球生态系统中的地位做了全面阐述和展望,为土壤科学参与解决全球环境问题奠定了基础。

土壤圈是指岩石圈最外面一层疏松的部分,其表面或内里有生物栖息。土壤圈处于地球上大气圈、水圈、生物圈及岩石圈的交界面上,是四个圈层的中心,是地球各圈层物质循环与能量交换的枢纽,也是地球各圈层间相互作用的产物。由于土壤圈处于四个圈层的中心,因而其具有永恒的物质与能量交换、最活跃与最富生命力的圈层、记忆块的功能、时空限制特征、仅部分为可再生资源等特性,并且具有支持和调节生物过程与养分循环(生物圈),影响大气组成、水平衡与释放温室气体(大气圈),影响降水分配与平衡(水圈),影响土壤发生与地质循环(岩石圈)等功能,其作用在于通过土壤圈与其他圈层的物质交换影响全球变化,通过人为活动对土壤圈的强烈作用,对人类生存及环境产生重大影响。

因此,从土壤学发展来看,今后的研究可凝练为两大方向:第一、研究土壤圈与地球其他圈层的关系;第二、研究土壤圈物质迁移与能量平衡对人类生存环境的影响。根据上述研究方向可概括为四项基本任务,即:土壤圈物质循环与全球土壤变化;水土资源时空变化、开发利用与恢复重建;土壤肥力演变规律、发展趋向与调控对策;农业可持续发展、区域治理与生存、生态环境建设,其中通过土壤圈物质与养分循环,研究与解决农业可持续发展与生态环境建设是关键。

二、我国土壤学的发展

1. 中国古代对土壤的认识

中华民族的祖先在6000多年前的仰韶文化时期,在黄河流域就有原始粗放农业的发展。在几千年的农业生产实践中,我国劳动人民在认土、用土、养土和改土等方面积累了丰富的经验,并为一些古代科学家总结、记载在许多古籍中。早在4100多年前,夏代《禹贡》就是以土壤肥力为主,并依据土壤颜色、质地、植被和土壤水文状况作为鉴别土壤的标准,把九州的土壤分为三等九级,根据土壤肥力等级,安排农业生产,制定适当的田赋。这种土壤分类,是我国古代土壤科学史上的创举,也是世界上有关土壤分类和等级评定最早的记载。2600多年前春秋战国时代的《管子·地员》指出:“凡草土之道,各有谷造,或高或下,各有草



土。”所谓凡草土之道，各有谷造，就阐明了土壤形成、土壤分布与植被的自然规律。把土壤、植被和种植谷物紧密结合起来，说明了土壤与植被极其适宜的栽培作物之间存在着一定的规律性，在不同的地形部位上分布着不同的植被和土壤；指出了认识草就可以认识土壤，认识土壤，就可以“因地制宜”地来利用土壤，种植作物。春秋战国时代的《吕氏春秋·任地篇》从土壤耕作出发，记载了用土、改土与养土的技术措施，提出“力者欲柔，柔者欲力。息者欲劳，劳者欲息。棘者欲肥，肥者欲棘。急者欲缓，缓者欲急。湿者欲燥，燥者欲湿。”辩证地论述了土壤的疏松和紧实、栽培和休闲、肥沃和瘠薄、供肥性强和弱、湿和干等肥力因素。

我国南北朝时期(公元 420—581 年)，杰出的农业科学家贾思勰编撰的《齐民要术》就有旱田耕作经验的记载。书中总结出了“秋耕欲深，春耕欲浅”“凡耕高田，不问春秋，必须燥湿得所为佳，若水旱不调，宁燥勿湿”的经验。关于利用绿肥肥田则指出：“凡美田之法，绿豆为上，小豆、胡麻次之。”可见，当时已能根据土壤墒情掌握适耕期，对绿肥轮作也有相当的经验。

到了宋、元、明、清时代，一些重要的农业书籍先后问世，如宋代的《陈甫农书》，元代的三大农书《农桑辑要》《王祯农书》和《农桑衣食撮要》，明代的《农政全书》和清代的《授时通考》等，都记载了一些耕作和培肥土壤之法。

2. 我国土壤科学的发展

我国古代劳动人民在长期农业生产实践中对土壤本质的认识与总结，对近代土壤科学的发展有重要贡献。然而，近百年来，我国外受帝国主义侵略，内遭反动封建统治压迫，经济凋零，科学技术不发达，土壤科学的发展也滞后于发达国家。我国现代土壤科学的研究工作始于 20 世纪 30 年代，当时主要进行了一些土壤调查、制图和一般的农化分析试验，此外，对我国土壤资源、土壤类型及其分布规律、理化性质以及土壤改良也做出了初步研究。

新中国成立以后，土壤科学事业有了较大发展。中国科学院和农业部相继成立了专门的研究机构，高等农业院校设立了土壤和农业化学等相关专业。1950 年以来，随着垦垦和农业的发展，土壤地理、土壤改良及土壤肥力等分支学科陆续形成。1958 年和 1979 年先后两次进行了全国性的土壤普查，奠定了我国土壤资源的系统总结和土壤分类的基础，20 世纪 90 年代中期建立了我国特色的土壤系统分类。随着农业生产水平的提高，全球环境恶化的问题以及对全球变化的关注，土壤学正在为农业可持续发展及农业环境管理而开展深入研究，土壤资源、土壤环境及土壤管理等学科日益活跃。

当前，我国拥有一支庞大的土壤科学研究专业队伍，一些研究工作在同类研究中有很高威望，如土壤的电化学性质、土壤分类、土壤中营养元素的再循环、盐碱土改良与利用等。中国以占世界 9% 的耕地养活占世界 21% 的中国人口，这一成就无疑是我国土壤科学技术的发展、中国土壤科学工作者所做出的卓越贡献。

任务四 土壤学研究领域与研究方法

一、分支学科与研究内容

土壤学已发展成为一门独立的科学。根据国际土壤科学联合会的划分，较为成熟的学



科分支包括土壤物理、土壤化学、土壤矿物学、土壤生物学、土壤肥力和植物营养、土壤发生分类与制图、土壤技术以及土壤与环境等 8 个分支学科,另外还设有盐渍化、微生物、土壤动物、水土保持、森林土壤、土地评价、土壤治理等专业委员会。中国土壤学会的分支学科几乎覆盖了国际土壤科学联合会的全部基础分支学科。

土壤物理学是研究土壤中物理现象和过程的土壤学分支。主要研究土壤物理性质和水、气、热运动及其调控原理,研究内容包括土壤水分、土壤质地、土壤结构、土壤力学性质、土壤溶质运移以及土壤—植物—大气连续体(SPAC)中的水分运动和能量转移等。

土壤化学是研究土壤物质的化学组成、性质及其土壤化学反应过程的分支学科,重点研究土壤胶体的组成、性质及土壤固液界面发生的系列化学反应。

土壤微生物是研究土壤中微生物生物区系、多样性及其功能和活性的土壤学分支,包括微生物的种类、数量、形态、分布和生理代谢特征以及与土壤形成、物质循环、植物生长和环境保护的关系。

土壤生物化学是研究土壤中的有机质组成、结构及其生物化学过程的土壤学分支学科。

土壤地理学是研究土壤发生、演变、分类、分布规律及其与地理环境之间关系的土壤学分支学科,是由土壤学与自然地理学交叉发展而形成的边缘学科。

二、土壤学的研究方法

土壤学研究方法归纳起来有宏观与微观研究方法、综合与交叉研究方法、野外调查与实验室研究结合方法以及新技术应用。

在宏观研究方法中,研究土壤的全球变化是站在“土壤圈”的高度上。研究区域土壤则要考虑一个区域的自然地理,区域的地形、水分、气候和地质特征对成土的影响。在微观研究方面,注重土壤物质的化学组成、结构,物质相界面的性质、结合方式以及物理、化学和生物化学反应,这些都要应用现代化仪器设备来研究。

土壤学的研究手段随着其他学科新技术的发展也有较大更新,遥感技术、数字化技术、地理信息系统(GIS)技术已被成功地应用于土壤信息技术、土壤数据库和精准农业中。一些现代化的分析技术、生物技术和方法已被土壤相关分支学科所采用。

项目一 土壤组成的认知技能

任务一 土壤矿物质

土壤矿物质是土壤的主要组成部分,其由成土母质继承和演变而来。按成因类型可将土壤矿物质分为原生矿物和次生矿物,一般占土壤质量的 95% 以上,其组成、结构和性质对土壤物理、化学及生物学性质都有深刻影响。

一、土壤矿物质的化学组成

土壤矿物质是由地壳中的岩石、矿物经过各种风化作用演变而来的。为此,讨论土壤矿物质的化学组成,必须知道地壳的化学组成。土壤矿物质的元素组成很复杂,元素周期表中几乎所有元素都能从土壤中发现,但主要的约有 20 余种,包括氧、硅、铝、铁、钙、镁、钛、钾、钠、磷、硫以及一些微量元素,如锰、锌、铜、钼等。表 1-1 列出了地壳和土壤的平均化学组成。从该表可见:(1)氧(O)和硅(Si)是地壳中含量最多的两种元素,分别占 47% 和 29%,两者合计占地壳质量的 76%;铁(Fe)、铝(Al)次之,四者(O、Si、Fe 和 Al)相加共占地壳质量的 88.7%。也就是说,其余 90 多种元素合在一起,也不过占地壳质量的 11.3%。所以,在组成地壳的化合物中,绝大多数是含氧化合物,其中以硅酸盐为最多;(2)在地壳中,植物生长必需的营养元素含量很低,磷、硫均不到 0.1%,氮只有 0.01%,而且分布极不平衡。由此可见,地壳所含的营养元素远不能满足植物和微生物营养的需求;(3)土壤矿物质的化学组成,一方面继承了地壳化学组成的遗传特点,另一方面有的化学元素是在成土过程中增加了如氧、硅、碳、氮等,钙、镁、钾、钠等元素含量有所亏损。这也反映了成土过程中元素的分散、富集特性以及生物的积聚作用。

表 1-1 地壳和土壤平均化学组成(质量%)(维诺格拉多夫,1950,1962)

元素	地壳中	土壤中	元素	地壳中	土壤中
O	47.0	49.0	Mn	0.10	0.085
Si	29.0	33.0	P	0.093	0.08
Al	8.05	7.13	S	0.09	0.085
Fe	4.65	3.80	C	0.023	2.0
Ca	2.96	1.37	N	0.01	0.1



元素	地壳中	土壤中	元素	地壳中	土壤中
Na	2.50	1.67	Cu	0.01	0.002
K	2.50	1.36	Zn	0.005	0.005
Mg	1.37	0.60	Co	0.003	0.0008
Ti	0.45	0.40	B	0.003	0.001
H	(0.15)	?	Mo	0.003	0.0003

二、土壤中的原生矿物

土壤中的原生矿物主要存在于粗粒组分中,其作用主要有两个方面:一是构成土壤的“骨架”;二是风化后释放出营养元素。不同种类的原生矿物,由于其构造特点及元素组成不同,抗风化作用及提供养分的能力也不同。

(一)土壤中原生矿物的构造类型

不同种类的原生矿物,由于其构造特点及元素组成不同,抗风化能力及提供养分的能力也不同。上述土壤中存在的几种主要原生矿物均属于硅酸盐矿物。在构造上既有联系,又有区别,其共性是基本构造单位相同,即都以硅氧四面体(tetrahedral)为基本组成单位。硅氧四面体由一个硅离子和四个氧离子构成(图 1-1)。硅离子位于四个氧所围成的正四面体中心的空穴内,称为中心离子。由于硅离子为+4 价,氧离子为-2 价,所以每个氧离子只需用 1 个价电子与硅离子结合,另一个价电子是自由的。硅氧四面体可以表示为 $[\text{SiO}_4]^{4-}$,四面体的 4 个氧各带 1 个负电荷,它既可以与阳离子以离子键结合,也可以与相邻硅氧四面体共用氧而结合。这样一来,就形成了不同种类和不同性质的原生矿物。通常由简至繁可将硅酸盐矿物的构造分为以下五种类型(图 1-2)。

1. 由独立四面体构成的矿物

独立四面体的 4 个氧离子均未被共用,其分子式为 $(\text{SiO}_4)^{4-}$,剩余的 4 个负价被 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 Fe^{2+} 、 Al^{3+} 等离子中和,橄榄石类矿物即为此种构造。根据中和负价的阳离子种类不同,橄榄石可分为镁橄榄石($\text{Mg}_2(\text{SiO}_4)$)、铁橄榄石($\text{Fe}_2(\text{SiO}_4)$),橄榄石类矿物构造简单,极易风化。

2. 四面体单链矿物

四面体与四面体之间形成单链,每个四面体的两个氧原子分别与其相邻的四面体共用,故其分子式为 $(\text{Si}_2\text{O}_6)^{4-}$,其负价被 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Fe^{2+} 等中和。辉石类矿物即为此种构造。根据中和负价的阳离子种类不同,辉石有镁辉石($\text{Mg}_2(\text{Si}_2\text{O}_6)$)、铁辉石($\text{Fe}_2(\text{Si}_2\text{O}_6)$)及钙辉石($\text{Ca}_2(\text{Si}_2\text{O}_6)$)等。辉石类矿物的构造也较为简单,易风化,发育程度较深的在土壤中亦不多见,风化后可释放出铁、镁、钙等营养元素。

3. 四面体双链矿物

由上述两个单链并行而成,每个四面体的两个或三个氧原子相互与其相邻的四面体共用,故其分子式为 $(\text{Si}_4\text{O}_{11})^{6-}$,角闪石类矿物即属此种构造,例如透闪石 $\text{Ca}_2\text{Mg}_5(\text{Si}_4\text{O}_{11})_2(\text{OH})_2$ 和阳起石 $\text{Ca}_2\text{Fe}_5(\text{Si}_4\text{O}_{11})_2(\text{OH})_2$ 。角闪石类构造虽然较前述的矿物复杂些,但与后述的石英、长石相比,也属易风化矿物,发育程度较深的在土壤中亦不多见,风化后可释放出



镁、钙及铁等多种营养元素。

4. 由四面体片层构成的矿物

四面体平面延展,形成六边形的片状结构,每个四面体中的三个底层氧离子均分别与其相邻的四面体共用,故其分子式为 $[\text{Si}_4\text{O}_{10}]^{4-}$ 。云母、滑石及各种黏粒矿物中的硅片均属此种构造,每个四面体中剩余的一个氧原子与其相重叠的铝氧八面体共用而中和了负电荷。云母类矿物中,常见的有白云母 $(\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2)$ 和黑云母 $(\text{K}(\text{Mg},\text{Fe})_3[\text{Al}(\text{Si}_3\text{O}_{10})(\text{OH},\text{F})_2])$,前者抗风化能力较强,故呈细小的片状颗粒存在于土壤中,后者则易受化学风化而分解,风化后脱钾可形成伊利石或其他黏粒矿物。富含云母类矿物的土壤一般钾素营养较为丰富。

5. 四面体架状构造矿物

由四面体构成立体框架(架状构造),每个四面体中的一个氧均与其相邻的四面体共用,其分子式为 $[\text{SiO}_2]^0$,无剩余负电荷,故不需其他中和负价的阳离子。石英及方英石属此种构造。如果石英中一部分四面体中的 Si^{4+} 被 Al^{3+} 代替时,则产生负价,可被 Ca 、 Na 、 K 等阳离子中和,这就形成了长石类矿物。长石类矿物的种类很多,如钠长石 $(\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8])$ 、钙长石 $(\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8])$ 、钾长石 $(\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_8])$ 等。石英、长石是岩石中分布最为广泛的矿物,它们的结构稳定,抗风化能力强。因此,土壤中残留量很多,即使风化,能提供植物所需的养分也很少。

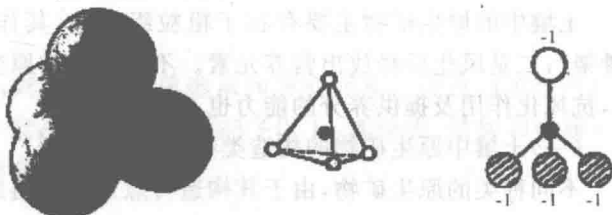


图 1-1 硅氧四面体的基本构造

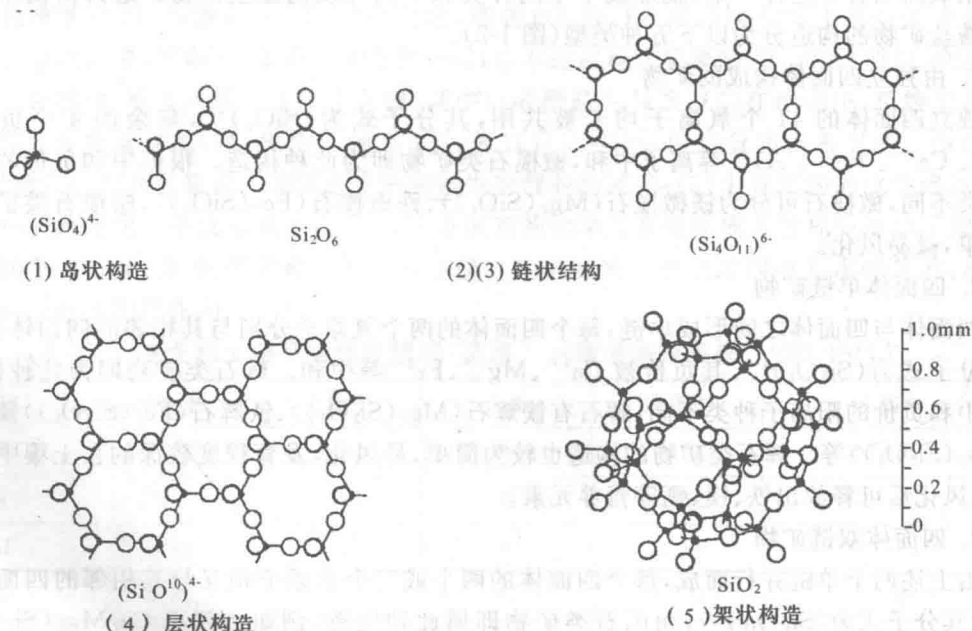


图 1-2 硅氧四面体的基本构造和硅酸盐矿物的构造类型



(二) 土壤原生矿物的种类及其性质

原生矿物具有坚实而稳定的晶格,基本上不吸水、不膨胀,不具有物理化学的吸收性能。但是,原生矿物在土壤中多以沙粒和粉沙粒存在,使土壤具有良好的通气、透水性。在风化和成土过程中,随着原生矿物的分解,可逐渐释放出钾、钙、镁、磷、硫等多种元素,这也是原生矿物对土壤肥力的促进作用。土壤中含有的原生矿物,其种类可达数百种,而常见的矿物只有几十种,土壤中主要的原生矿物及其对土壤肥力的作用可简述如下。

长石类:长石类属于钾、钠、钙、镁的无水铝硅酸盐矿物,是土壤中广泛存在的较为稳定的矿物。长石类矿物颗粒主要集中在土壤的沙粒和粉沙粒部分。土壤中常见的长石有钾长石 $K[AlSi_3O_8]$ 和钙长石 $Ca[Al_2Si_2O_8]$ 。钾长石含 K_2O 10%~13%、 $CaO+Na_2O$ 3%~5%。土壤中钙长石约含 CaO 9%~12%、 K_2O 1%~2%。钾长石与钙长石中的 K 和 Ca 对植物来说属于无效养分,只有颗粒表面上结合的 K 和 Ca 才是植物可利用的。因此,矿物颗粒越细,有效性 K 和 Ca 越多。随着风化过程的进行,会有更多的 K 和 Ca 释放出来。

云母类:云母类属于钾、铁、镁的铝硅酸盐矿物。土壤中常见的有白云母 $KAl_2[AlSi_3O_{10}](OH)_2$ 和黑云母 $K(Mg,Fe)_3[AlSi_3O_{10}](OH,F)_2$ 。白云母中 K_2O 约占 10%,含 $FeO+Fe_2O_3$ 2%~3%,含 MgO 0%~3%;黑云母中 K_2O 约占 6%~9%, Fe_2O_3+FeO 约含 23%, MgO 约含 9%。黑云母和白云母均不易风化,而两者相比,前者更易风化,故云母碎片易在土壤细沙粒中看到。云母类矿物在风化过程中可释放较多的 K、Fe、Mg 等营养元素。

辉石类和角闪石类:这两类矿物统称为铁镁矿物,它们是钙、镁、铁的铝硅酸盐,多为黑色或暗绿色。土壤中辉石 $Ca(Mg,Fe,Al)[(Si,Al)_2O_6]$ 和角闪石 $Ca_2Na(Mg,Fe)_4(Al,Fe^{3+})[(Si,Al)_4O_{11}](OH)_2$ 含量非常丰富。辉石类矿物含 Fe_2O_3 2%、 FeO 5%~10%、 CaO 16%~26%、 MgO 12%~18%;土壤中角闪石含 Fe_2O_3 5%、 FeO 10%、 CaO 10%~12%、 MgO 12%~14%。这两类矿物中,Fe、Mg、Ca 的含量都很高,风化时能释放较多的矿物养料。

橄榄石类:其分子式为 $(Mg,Fe)_2[SiO_4]$,是铁、镁的硅酸盐,呈橄榄绿色。橄榄石约含 Fe_2O_3 0%~3%、 FeO 5%~34%、 MgO 27%~51%。由于橄榄石属于独立四面体构成的矿物,极易风化,故土壤中少见,风化后可释放出镁、铁等养分元素。

磷灰石:磷灰石的主要成分是磷和钙,包括氟磷灰石 $[Ca_5(PO_4)_3F]$ 、羟基磷灰石 $[Ca_5(PO_4)_3OH]$ 和氯磷灰石 $[Ca_5(PO_4)_3Cl]$ 等。土壤中含磷灰石很少,但风化时能逐渐释放出植物所必需的磷素。

石英:石英(SiO_2)属于氧化物类矿物,在土壤中分布很广。在沙粒和粉沙粒中,石英含量可高达 70%~90%。石英是极稳定的矿物,有很强的抗风化能力。石英的化学成分 SiO_2 含量接近 100%,基本上不含有其他养分元素。土壤中石英含量占绝对优势时,肥力很低。在一般土壤中,石英沙粒仅可增强土壤的通气、透水性。

土壤中还有铁、铝和钛的氧化物类原生矿物,如赤铁矿(Fe_2O_3)、金红石(TiO_2)、蓝晶石(Al_2SiO_5)等,它们都比较稳定,不易风化。

三、土壤中的次生矿物

土壤中的次生矿物是在岩石风化和成土过程中,由原生矿物经化学蚀变或由其分解产



物重新合成的新生矿物。通过电子显微镜对其外部形态进行观察可以清楚地看出,次生矿物可呈板状、小球状或短栅状等各种形状,但从其内部构造及成分看,它们大都为层状硅酸盐,故有时也称为次生层状硅酸盐矿物。由于次生矿物的颗粒较细,主要存在于土壤的黏粒组分中,是黏粒的主要成分,故也称为次生黏粒矿物,或直接称黏粒矿物。

(一)次生层状硅酸盐矿物的构造特征

1. 基本构造单位

(1)四面体 前面已经介绍了硅氧四面体的构造,其分子式可以写成 $(\text{SiO}_4)^{4-}$ 。在层状硅酸盐中,四面体底部的三个氧各与相邻的四面体底层氧共用,形成四面体片。剩余的一个氧(即四面体顶部的氧)与八面体共用,这样每个四面体的负价全部被中和。四面体片呈六角形网状构造,六个氧围成六角形空穴的半径约为 0.15 nm,整个四面体片的厚度约为两个氧的厚度 0.52 nm(图 1-3(a))。

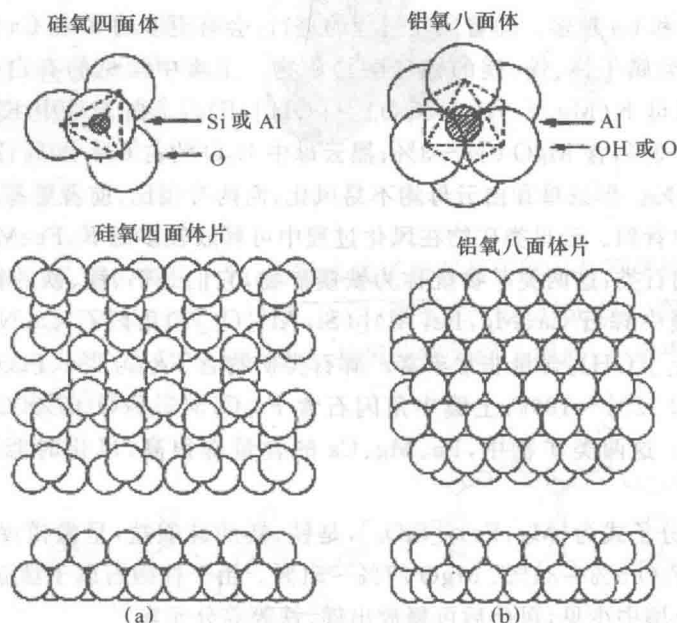


图 1-3 硅氧四面体和铝氧八面体的基本构造(a)

及四面体片和八面体片的平面图、侧面图(b)

(2)八面体 八面体是由一个铝(或铁、镁)离子为中心离子,其周围等距连接六个氧离子(或氢氧离子)所构成。六个氧离子(或氢氧离子)排成两层,每层都由三个氧(或氢氧)排成三角形,上层三个氧和下层三个氧互相交错排列,铝(或铁、镁)离子位于两层中心的孔穴内,这样的结构从外表看有八个面,每个面均由三个氧(或氢氧)离子构成,故称八面体。若八面体的中心离子为铝时,则称为铝氧八面体,其分子式为 $(\text{AlO}_6)^{9-}$ (图 1-3(b))。

在层状硅酸盐中,八面体之间也是通过共用相邻氧原子(或氢氧原子)先聚合成八面体片,然后由八面体片和四面体片相互重叠形成层状硅酸盐。重叠时,八面体片中 2/3 的氧原子和四面体片顶部的氧原子共用,余下的 1/3 氧被氢中和而形成氢氧离子。

在八面体片中,中心离子可以是三价铝离子,也可以是二价镁离子,前者构成的八面体片称为水铝片,后者称为水镁片。在水铝片中,所有八面体中心空穴数的 2/3 被铝离子占



据,这样的八面体片称为二(位)八面体片。在水镁片中,所有八面体中心的空穴(3/3个)均被镁离子占据,这样的八面体片称为三(位)八面体片。

2. 同晶代换

黏粒矿物结晶形成时,晶架内四面体或八面体中心阳离子常被另一种大小相似的阳离子所代替,其结果是改变了晶架的化学组成,而晶体的构造不受破坏,这种现象称为同晶代换(也称同晶替代)。同晶代换现象可发生在四面体片中,常以 Al^{3+} 代换 Si^{4+} ,也可发生在八面体片中,常以 Mg^{2+} 、 Fe^{3+} 或 Fe^{2+} 代换 Al^{3+} 。

同晶代换发生后,如果互换的两个阳离子是等价的,晶架内则保持电中性,如果互换的离子价数不等,则晶体内正负电荷就会出现不平衡现象,从而使晶体带电。若以低价代高价,例如以 Al^{3+} 代换四面体中的 Si^{4+} 或以 Mg^{2+} 及 Fe^{2+} 代换八面体中的 Al^{3+} 时,晶体可带上一个负电荷;反之,若以高价代低价,例如以 Al^{3+} 代三八面体中的 Mg^{2+} 时,晶体可带上一个正电荷。黏粒矿物的同晶代换现象,多以低价代高价为主,故矿物晶体表面以带负电荷为主。

当两对同晶代换分别产生一正一负的电荷,而两者发生位置相邻时,则可互相抵消,这种现象称为内在中和。当两者发生的位置间相距较远时,则在同一晶体的两个点上兼具两种电荷。晶体所带的负电荷,除发生内在中和外,大部分被晶体外的阳离子(如 K^{+} 、 Ca^{2+} 等)所中和,这种现象称为外在中和。

3. 层间距和底面间距

晶体结构最明显的特征是其原子或离子在三维空间做周期性重复排列。晶体的最小结构单元称为单晶。晶体实际上可以看成是无数单晶的紧密堆砌。在黏土矿物学中,原子或离子的二维平面组合称为面;由面组成的最小单元称为片,片的组合称为层;两个相重叠的层与层间的距离称为层间距;一个重叠层底面到其相邻的另一重叠层底面的距离称为底面间距,或称为基距。图 1-4 是以 2:1 型层状硅酸盐矿物为例说明了黏粒矿物的一般构造及其各部位名称。

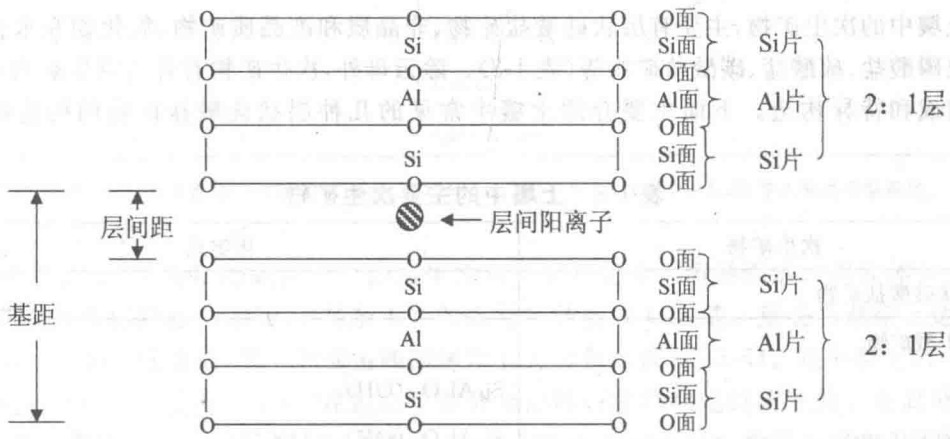


图 1-4 层状硅酸盐矿物的构造模式图(2:1型)

4. 各种层状硅酸盐矿物构造的不同点及分类

层状硅酸盐矿物的种类很多,但各种矿物的基本构造单位均为四面体和八面体,其不同



点主要有：(1)四面体片和八面体片的数目、重叠次序及方式；(2)同晶代换的多少，互换离子种类及其发生位置；(3)单位化学式的电荷数大小；(4)晶层间结合力的性质及层间阳离子的种类；(5)八面体片的类型(即二八面体片或三八面体片)。根据这些不同点，黏土矿物学中，通常将层状硅酸盐矿物按表 1-2 进行分类。

表 1-2 层状硅酸盐矿物的分类

晶层类型	单位化学式电荷数(X) ⁺	族	亚族	种
1 : 1	0	高岭—蛇纹石	高岭石 蛇纹石	高岭石、埃洛石、迪开石 纤蛇纹石、叶蛇纹石
		叶蜡石—滑石	叶蜡石 滑石	叶蜡石 滑石
	0.2~0.6	蒙皂石	蒙脱石 皂石	蒙脱石、贝得石、绿脱石 皂石、锂皂石、斯皂石
2 : 1	0.2~0.9	蛭石	二八面体 三八面体	黏粒蛭石 蛭石
	0.2~1	水云母	二八面体 三八面体	伊利石、海绿石 三八面体伊利石
			白云母 黑云母	白云母、钠云母 金云母、黑云母
	1	云母	珍珠云母 脆云母	珍珠云母 绿脆云母
	2	脆云母		
2 : 2	不定	绿泥石	二八面体 过渡型 三八面体	顿绿泥石 须藤石 斜绿泥石、叶绿泥石
2 : 1 层链状	不定	纤维棒石	坡缕石 海泡石	坡缕石、凹凸棒石 海泡石

(二)土壤中的主要次生矿物

土壤中的次生矿物，主要有层状硅酸盐矿物、非晶质和准晶质矿物、氧化物和水合氧化物以及磷酸盐、硫酸盐、碳酸盐矿物等(表 1-3)。除云母外，次生矿物有着与原生矿物不同的化学组成和特异构造。下面主要介绍土壤中常见的几种层状硅酸盐矿物的构造特征和性质。

表 1-3 土壤中的主要次生矿物

次生矿物	化学式
1. 层状硅酸盐矿物	
a. 1 : 1 型矿物	
高岭石	$\text{Si}_4\text{Al}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$
埃洛石(1.0 nm)	$\text{Si}_4\text{Al}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8 \cdot \text{OH}_2\text{O}$
埃洛石(0.7 nm)	$\text{Si}_4\text{Al}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$
b. 2 : 1 型矿物	



蒙脱石($0.2 < x < 0.6$) ¹⁾	$M_{0.67}Si_8(Al_{3.33}Mg_{0.67})O_{20}(OH)_4 \cdot nH_2O$ ²⁾
蒙脱石	
绿脱石	$M_{0.67}Fe_4(Si_{7.33}Al_{0.67})O_{20}(OH)_4 \cdot nH_2O$
贝得石	$M_{0.67}Al_4(Si_{7.33}Al_{0.67})O_{20}(OH)_4 \cdot nH_2O$
蛭石($0.6 < x < 0.9$)	$M_{1.2}(Si_{6.8}Al_{1.2})(Mg, Fe, Al)_{4\sim6}O_{20}(OH)_4 \cdot nH_2O$
伊利石(细粒云母, $x \sim 1$)	$K(Si_7Al)(Mg, Fe, Al)_{4\sim6}O_{20}(OH)_4$
c. 2 : 1 : 1 型矿物	
绿泥石(二八面体型)	$(Mg, Al)_{9.2\sim10}(Si, Al)_8O_{20}(OH)_{16}$
绿泥石(三八面体型)	$(Mg_{10}Al_2)(Si_6Al_2)_8O_{20}(OH)_{16}$
d. 非晶质、准晶质矿物	
水铝英石	$(1\sim2)SiO_2 \cdot Al_2O_3 \cdot (2.5\sim3)H_2O$
伊毛缟石	$(OH)_6Al_4O_6Si_2(OH)_2$
2. 氧化物、水合氧化物	
蛋白石	$SiO_2 \cdot nH_2O \gamma$
水铝石	$\gamma-nH)5\sim3_3Al$
赤铁矿	Fe_2O_3
针铁矿	$\alpha-eH)5\sim Fe_e$
纤铁矿	$\gamma-eH)5\sim Fe_e$
水铁矿	$5Fe_2O_3 \cdot 9H_2O$ ³⁾
3. 磷酸盐、硫酸盐、碳酸盐矿物	
磷灰石	$Ca_5(PO_4)_3(OH, F, Cl)$
石膏	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$
方解石	$CaCO_3$
白云石	$CaCO_3mgcl_3$

注: 1) 电荷密度; 2) M: 交换性一价阳离子; 3) $Fe_5(OH)_8 \cdot 4H_2O$ 或 $Fe_5O_7(OH) \cdot H_2O$ 等化学式曾被提出。

1. 1 : 1 型矿物

在构造上, 1 : 1 型矿物是由一个四面体片和一个八面体片重叠而成。四面体片中, 其顶部的氧与八面体片并用, 该面上其余 1/3 的氧与氢结合成 OH 基。重叠后晶架上边的面由八面体片上的 OH 组成, 底下的面由四面体片上的 O 所组成(图 1-5)。在分类上, 1 : 1 型矿物只包括高岭—蛇纹石一个族, 在族之下续分为高岭石亚族和蛇纹石亚族。在高岭石亚族中, 主要有高岭石、埃洛石、珍珠石及迪开石, 其中前两者在土壤中数量较多, 后两者在土壤中很难发现。由于高岭石亚族中的矿物几乎不发生同晶代换, 所以这一亚族中的矿物在化学组成、基本构造及性质上有很多共性。

(1) 高岭石亚族的结构式或分子式相似 例如高岭石的结构式为 $Si_4Al_4O_{10}(OH)_8$, 分