

绪 论

第一节 土壤在人类农业和自然环境中的重要性

土壤不仅是人类赖以生存的物质基础和宝贵财富的源泉，又是人类最早开发利用的生产资料。在人类历史上，由于土壤质量衰退曾给人类文明和社会发展留下了惨痛的教训。但是，长期以来居住在我们这个地球上的人们，对土壤在维持地球上多种生命的生息繁衍，保持生物多样性的重要性并不在意。直到本世纪中期以来，随着全球人口的增长和耕地锐减，资源耗竭，人类活动对自然系统的影响迅速扩大，人们对土壤的认识才不断加深，土壤与水、空气一样，既是生产食物、纤维及林产品不可替代或缺乏的自然资源，又是保持地球系统的生命活性，维护整个人类社会和生物圈共同繁荣的基础。因此，保护土壤，特别是保护耕地土壤数量和质量，理所当然成为一个国家的重要方针。

一、土壤是人类农业生产的基地

“民以食为天，食以土为本”，精辟地概括了人类—农业—土壤之间的关系。农业是人类生存的基础，而土壤是农业的基础。

（一）土壤是植物生长繁育和生物生产的基地

农业生产的基本特点是生产出具有生命的生物有机体。其中最基本的任务是发展人类赖以生存的绿色植物的生产。绿色植物生长发展所需的五个基本要素，即日光（光能）、热量（热能）、空气（氧及二氧化碳）、水分和养分，其中养分和水分通过根系从土壤中吸取。植物能立足自然界，能经受风雨的袭击，不倒伏，则是由于根系伸展在土壤中，获得土壤的机械支撑之故。这一切都说明，在自然界，植物的生长繁育必须以土壤为基地。一个好的土壤应该使植物能吃得饱（养料供应充分）、喝得足（水分充分供应）、住得好（空气流通、温度适宜）、站得稳（根系伸展开、机械支撑牢固）。归纳起来，土壤在植物生长繁育中有下列不可取代的特殊作用：

1. 营养库的作用 植物需要的营养元素除 CO_2 主要来自空气外，氮、磷、钾及中量、微量营养元素和水分则主要来自土壤。从全球氮磷营养库的贮备和分布看（表 0-1），虽然海洋的面积占去地球陆地表面的 $2/3$ ，但陆地土壤和生物系统贮备的氮磷总量要比水生生物和水体中的贮

量高得多，无论从数量和分配上，土壤营养库都十分重要。土壤是陆地生物所必需的营养物质的重要给源。

表 0-1 全球氮磷营养贮备和分布

环 境 单 位		N (10^9t)	P (10^6t)
大 气		3.8×10^6	—
陆 地	生 物	12.29×10^2	2×10^3
	土 壤		16×10^4
水 域	生 物	0.97	138
	沉积物	4×10^6	10^6
	水 体	2×10^4	12×10^4
地 壳		14×10^6	3×10^{16}

2. 养分转化和循环作用 土壤中存在一系列的物理、化学、生物和生物化学作用，在养分元素的转化中，既包括无机物的有机化，又包含有机物质的矿质化。既有营养元素的释放和散失，又有元素的结合、固定和归还。在地球表层系统中通过土壤养分元素的复杂转化过程，实现着营养元素与生物之间的循环的周转，保持了生物生命周期生息与繁衍。

3. 雨水涵养作用 土壤是地球陆地表面具有生物活性和多孔结构的介质，具有很强的吸水和持水能力。据统计，地球上的淡水总贮量约为 0.39 亿 km^3 ，其中被冰雪封存和埋藏在地壳深层的水有 0.349 亿 km^3 。可供人类生活和生产的循环淡水总贮量只有 0.041 亿 km^3 ，仅占总淡水量的 10.5% 。在 0.041 亿 km^3 的循环淡水中，除循环地下水（占 95.12% ）和湖泊水（占 2.95% ）超过土壤水（ 1.59% ）外，土壤贮水量明显大于江河水（ 0.03% ）和大气水（ 0.34% ）的贮量。土壤的雨水涵养功能与土壤的总孔度、有机质含量等土壤理化性质和植被覆盖度有密切的关系。植物枝叶对雨水的截留和对地表径流的阻滞，根系的穿插和腐殖质层形成，能大大增加雨水涵养、防止水土流失的能力。

4. 生物的支撑作用 土壤不仅是陆地植物的基础营养库，还是绿色植物在土壤中生根发芽，根系在土壤中伸展和穿插，获得土壤的机械支撑，保证绿色植物地上部分能稳定地站立于大自然之中。在土壤中还拥有种类繁多，数量巨大的生物群，地下微生物在这里生活和繁育。

5. 稳定和缓冲环境变化的作用 土壤处于大气圈、水圈、岩圈及生物圈的交界面，是地球表面各种物理、化学、生物化学过程、反应界面、物质与能量交换、迁移过程等最复杂、最频繁的地带。这种特殊的空间位置，使得土壤具有抗外界温度、湿度、酸碱性、氧化还原性变化的缓冲能力。对进入土壤的污染物能通过土壤生物、进行代谢、降解、转化、清除或降低毒性，起着“过滤器”和“净化器”的作用，为地上部分的植物和地下部分的微生物的生长繁衍提供一个相对稳定的环境。

狭义的农业生产包括植物生产（种植业）和动物生产（养殖业）两部分（两个生产车间）。从能量和有机质来源看，植物生产是由绿色植物通过光合作用，把太阳辐射能转变为有机质化学能，是动物及人类维持其生命活动所需能量和某些营养物质的唯一来源。动物生产则是对植物生产产品的进一步加工及增值，在更大程度上满足人类的需求。因此，人们把植物生产称为初级生产（也叫一级生产、基础生产），而把动物生产称为次级生产。从食物链的关系看，次级生产中

又再可分为若干级，如二级、三级等。每后一级的生产都以其前一级生产的有机物质作为其食料，整个动物界就是通过食物链的繁育、衍生而来的。由此可见，土壤不仅是植物生产的基地，也是动物生产的基地。如果没有植物生产的繁茂，就不可能有动物生产和整个农业生产。

（二）植物生产、动物生产和土壤利用管理三者的关系

农业生产既然以土壤为基地，所以要发展农业生产，就必须十分重视土壤资源的开发、利用、改良和保护，要在全面规划农、林、牧用地的基础上，把土壤资源的开发与改良、利用与保护结合起来。通过合理的耕作制度和方式，科学施肥、灌溉和一系列培肥土壤的管理措施，在保证土壤质量不下降，土壤生态环境不受破坏下，保证农业生产的持续、稳定的发展。通过“用地养地”把植物生产、动物生产和土壤管理三个环节结合起来，把植物生产的有机收获物用于动物生产所需的饲料，将植物残体和动物生产废弃物，通过微生物的利用、转化及循环培肥土壤，提高土壤肥力。

二、土壤是地球表层系统自然地理环境的重要组成部分

在地球陆地表面，人类或生物生存的环境称为自然环境。通常把地球表层系统中的大气圈、生物圈、岩石圈、水圈和土壤圈作为构成自然地理环境的五大要素。其中，土壤圈覆盖于地球陆地的表面，处于其它圈层的交接面上，成为它们连接的纽带，构成了结合无机界和有机界——即生命和非生命联系的中心环境（图 0-1）。

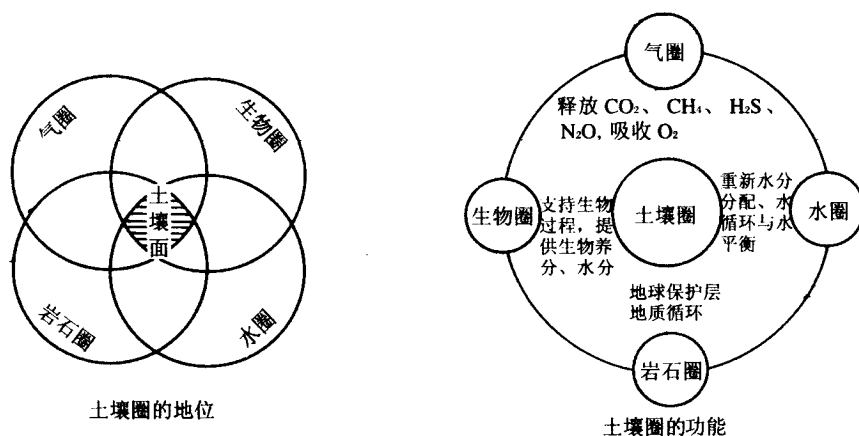


图 0-1 土壤圈在地球表层系统中的地位和作用

在地球表面系统中，土壤圈与各圈层间存在着错综复杂而又十分密切的联系制约关系。早在 1938 年，S. Matson 根据物质循环的观点，提出土壤是岩石圈、水圈、生物圈及气圈相互作用的产物。并对土壤圈（Pedosphere）的涵义作了概括。反过来，土壤又是这些圈层的支撑者，对它们的形成、演化有深刻的影响。

1. 土壤与大气圈的关系 土壤与大气间在近地球表层进行着频繁的水、热、气的交换和平衡。土壤庞大复杂的多孔系统，能接收大气降水以供生物生命需要。并能向大气释放 CO_2 和某些痕量气体，如 CH_4 、 NO_2 和 NO_x 等。因为这些气体被认为温室效应气体，是导致全球范围内

气候变暖的重要原因。温室气体释放与人类的耕作、施肥、灌溉等土壤管理活动有密切的关系。土壤是这些气体的库，清楚地了解其源和库的关系，最大限度地减少人为农业活动中温室气体的释放，已成为当今全球共同关心的环境保护问题。

2. 土壤与生物圈的关系 地球上所有的生物群落组成了生物圈。而地球表面的土壤，不仅是高等动植物乃至人类生存的基底，也是地下部分微生物的栖息场所。土壤为绿色植物生长提供养分、水分和物理化学条件。由于土壤肥力的特殊功能，使陆地生物与人类协调共存，生生不息。不同类型土壤养育着不同类型的生物群落，形成了生物的多样性，为人类提供各种可开发利用的资源。

3. 土壤与水圈的关系 水是地球系统中连结各圈层物质迁移的介质，也是地球表层一切生命生存的源泉。由于土壤的高度非均质性，影响降雨在地球陆地和水体的重新分配，影响元素的表生地球化学行为及水圈的化学成分。植物一大气连续系统中，植物生长所需的水分及其有效性，在很大程度上取决于土壤的理化和生物学过程。虽然水是地球上最丰富的化学物质，但全球的淡水资源不足，我国可利用淡水资源更少，已成为限制工农业生产发展的主要障碍因子。除湖、江、河外，土壤是能保持淡水的最大贮库。

4. 土壤与岩石圈的关系 土壤是岩石经过风化过程和成土作用的产物。从地球的圈层位置看，土壤位于岩圈和生物圈之间，属于风化壳的一部分。虽然土壤的厚度只有 1~2m 左右，但它作为地球“保护层”，对岩石圈起着一定的保护作用，以减少其遭受各种外营力的破坏。

在地球表层系统中，土壤圈具有特殊的地位和功能。它对各圈层的能量、物质流动及信息传递起着维持和调节作用。在土壤圈内各种土壤类型、特征和性质都是过去和现在大气圈、生物圈、岩石圈和水圈的纪录和反映。它的任何变化都会影响各圈层的演化和发展，乃至对全球变化产生冲击作用。所以土壤圈被视为地球表层系统中最活跃，最富有生命力的圈层。

三、土壤是地球陆地生态系统的基础

生态系统包含着一个广泛的概念。任何生物群体与其所处的环境组成的统一体，都形成不同类型的生态系统。自然界的生态系统大小不一，多种多样的，小可小到一个庭院、池塘、一块草地，大可大到森林、湖泊、海洋，乃至包罗地球上一切生态系统的生物圈。陆地生态系统就是包罗整个地球陆地表层的“大系统”。

在陆地生态系统中，土壤作为最活跃的生命层，事实上，是一个相对独立的子系统，在土壤生态系统组成中，绿色植物是其主要生产者（Producers），它通过光合作用，把太阳能转化为有机形态的贮藏潜能。同时又从环境中吸收养分、水分和二氧化碳，合成并转化为有机形态的贮存物质。消费者（Consumers），主要是食草或食肉动物，如土壤原生动物、蚯蚓、昆虫类、脊椎动物的啮齿类动物，如草原地区的鼯鼠、黄鼠、兔子，农田中的田鼠。它们有现有的有机质作食料，经过机械破碎，生物转化，这部分有机质除小部分的物质和能量在破碎和转化中消耗外，大部分物质和能量则仍以有机形态残留在土壤动物中。作为土壤生态系统的分解者（Decomposers），主要指生活在土壤中的微生物和低等动物，微生物有细菌、真菌、放线菌、藻类等，低等动物有鞭毛虫，纤毛虫等。它们以绿色植物与动物的残留有机体为食料从中吸取养分和能量，并将它们分解为无机化合物或改造成土壤腐殖质。

土壤生态系统的大小同样决定于研究目标及范围，如果只考虑某个土壤层或土壤剖面内物质和能量的输入、输出以及内部的转化过程，则生态系统可以划定在单个的土壤层或土壤剖面。如果以研究养分循环和农业管理对植物营养作用时，则可以将植物群落——农田土壤系统划定为一个生态系统。或者，可以更大范围、区域、国家甚至研究全球土壤变化。

土壤在陆地生态系统中起着极重要作用。主要包括：保持生物活性，多样性和生产性；对水体和溶质流动起调节作用；对有机、无机污染物具有过滤、缓冲、降解、固定和解毒作用；具有贮存并循环生物圈及地表的养分和其它元素的功能。

四、土壤是最珍贵的自然资源

资源是自然界能为人类利用的物质和能量基础，是可供人类开发利用并具有应用前景和价值的物质。土壤资源可以定义为具有农、林、牧业生产力的各种类型土壤的总称。在人类赖以生存的物质生活中，人类消耗的约 80% 以上的热量，75% 以上的蛋白质和大部分的纤维都直接来自土壤。所以土壤资源和水资源、大气资源一样，是维持人类生存与发展的必要条件，是社会经济最基础物质基础。

土壤和土壤资源作为一个深受人类长期生产实践影响的独立的历史自然体，它具有一系列的自然—经济特点。

(一) 土壤资源数量的有限性

土壤资源与光、热、水、气资源一样被称之为可再生资源。但从土壤的数量来看又是不可再生的，是有限的自然资源。在这个地球上，只有一个地球，就人类社会的历史而言，它的数量不会增加。而在地球表面形成 1cm 厚的土壤，约需要 300 年或更长的时间，所以，它不是取之不竭，用之不尽的资源。我国的土壤资源由于受海陆分布、地形地势、气候、水分配和人口增加、工业化扩展的影响，耕地土壤资源短缺，后备耕地土壤资源不足，人均耕地继续下降还将进一步延伸（表 0-2）。土壤资源的有限性已成为制约经济、社会发展的重要特性，有限的土壤资源供应能力与人类对土壤（地）总需求之间的矛盾将日趋尖锐。

表 0-2 中国土壤资源的总量，人均占有量及其与世界和部分国家比较

土地类型	中国的总占有量 (%)	人均占有量					中国人均占有量与世界人均占有量比率 (%)
		世界	中国	美国	巴西	印度	
土地总面积 (hm ²)		2.77	0.91	3.92	6.28	0.43	32.9
耕地与园地面积 (hm ²)	6.8	0.31	0.1	0.8	0.56	0.22	32.3
永久草地面积 (hm ²)	9.0	0.66	0.27	1.01	1.22	0.02	40.9
森林和林地面积 (hm ²)		0.84	0.13	1.11	4.15	0.09	15.5

(二) 土壤资源质量的可变性

土壤质的特征是肥力。土壤肥力是由母质向土壤演化过程中，在自然成土因素，或自然因素和人为因素共同作用下形成的。在成土过程中，植物、动物和微生物生物体，可以不断地繁衍与死亡；土壤腐殖质可以不断的合成和分解；土壤养分及其元素随着土壤水的运转，可以积聚或淋洗，这些过程（生物、物理、化学的过程）都处于周而复始的动态平衡中。土壤肥力就是在这些

周而复始的循环和平衡中不断获得发育和提高。只要科学的对土壤用养结合，不断补偿和投入，完全有可能保持土壤肥力的永续利用。随着科学技术进步，可使单位面积生物生产能力得到提高。从这一意义讲，土壤资源与不可再生的矿藏资源不同，越用越小，以至耗尽，而与大气、水、生物一样被称为可再生资源。

但从另一方面，在破坏性自然营力作用下，或人类违背自然规律，破坏生态环境，滥用土壤，高强度、无休止的向土壤索取，土壤肥力将逐渐下降和破坏，这就是土壤质量的退化。从全球范围看，存在着植被萎缩，物种减少，土壤侵蚀，肥力丧失，耕地过载的现象。在我国，由于出于人口的压力，因不合理开发利用造成的土壤资源的荒漠化、水土流失、土壤污染等问题严峻。从这一意义上讲，土壤资源不仅仅数量是有限的，质量同样持“有限性”的特性。

（三）土壤资源空间分布上的固定性

俄国著名土壤学家道库恰夫（В.В. Докучаев）于 1877—1886 年对俄罗斯平原土壤调查中，提出土壤形成因素学说，认为土壤是母岩、生物、气候、地形和陆地年龄（时间）等 5 种自然因素综合作用的结果。由于气候、生物植被在地球表面表现出一定规律性，使土壤资源在地面空间分布表现其相应的规律性，即覆盖在地球表面各种不同类型的土壤，在地面空间位置上有相对的固定性，在不同生物气候带内分布着不同的地带性土壤，如热带雨林带分布着砖红壤，热带稀树草带分布着红棕壤，亚热带常绿阔叶林带分布着红壤和黄壤，在温带落叶阔叶林带分布着棕壤，干旱草原带分布着黑钙土和栗钙土，荒漠草原带分布着棕钙土、灰钙土，亚寒带针叶林带分布着灰化土，苔原带分布着冰沼土等。土壤的这种地带性分布表现为水平地带性（纬度和经度地带性）和垂直地带性。土壤资源的分布与生物气候带相适应，随生物气候地带性规律而更替。

土壤资源的空间位置分布除地带性分布规律外，还受区域性地形、母质、水文、地质等条件的影响，例如地形影响水热条件的再分配，山地不同坡向的水热条件不同，因而在阴坡、阳坡的不同空间位置上，就可能分布着不同类型的土壤。

人类的耕作活动改变了土壤的性状，也影响土壤的空间分布，如黄土高原长期使用土粪形成的塋土，干旱与半干旱地区长期灌溉发育的淤土，各地长期水耕农田发育的水稻土，都是人为耕作活动的结果。

土壤资源空间分布上具有的这种特定的地带、地域分布规律，使得人们对地表土壤可按土壤资源类型的相似性划分为若干土壤区域。将相似土壤划在同一区，与其它土壤分开，并按照划出的单位来探讨土壤组合的特征及其发生和分布规律性，因地制宜地合理配置农、林、牧业，充分利用土壤资源、发挥土壤生产潜力，进行土壤资源区划和土壤资源评价。

第二节 土壤及土壤科学的发展

土壤学（Soil Science）是广义的土壤科学。从土壤学研究的对象和任务，可分为发生土壤学（Pedology）和农业土壤学（Edaphology）两个方面。发生土壤学认为，土壤是地壳表层岩石、矿物的风化产物（母质），在气候、生物、地形等环境条件和时间因素综合作用下形成的一种特殊的自然体。主要研究土壤自然体发生、组成、形态、特征、演化、分类和分布规律。农业土壤学则主要研究土壤的物质组成、性质及其与植物生长的关系，通过耕作施肥管理来提高土壤肥力和

生产力等内容。随着土壤科学的不断发展，学科范围的日益扩大，土壤科学在全球环境保护、持续农业生产，人类健康等方面发挥越来越大的作用，又衍生出了环境土壤学（Enviromantail soil scienceis），它是土壤学和环境科学的交叉、边缘学科，重点研究提高土壤持续生产能力、减少土壤污染和保护土壤品质等土壤环境问题。至于土壤圈（Pedosphere），是从与大气圈、水圈、岩石圈和生物圈的关系来研究土壤。

一、土壤的概念

什么是土壤？虽然土壤对每一个人都并不陌生，但回答这个问题，不同学科的科学家常有不同的认识：生态学家从生物地球化学观点出发，认为土壤是地球表层系统中，生物多样性最丰富，生物地球化学的能量交换、物质循环（转化）最活跃的生命层。环境科学家认为，土壤是重要的环境因素，环境污染物的缓冲带和过滤器。工程专家则把土壤看作承受高强度压力的基地或作为工程材料的来源。对于农业科学工作者和广大农民，土壤是植物生长的介质，更关心影响植物生长的土壤条件，土壤肥力供给、培肥及持续性。

由于不同学科对土壤的概念存在着种种不同认识，要想给土壤一个严格的定义几乎是困难的。土壤学家和农学家传统地把土壤定义为：“发育于地球陆地表面能生长绿色植物的疏松多孔结构表层”。在这一概念中重点阐述了土壤主要功能是能生长绿色植物，具有生物多样性，所处的位置在地球陆地的表面层，它的物理状态是由矿物质、有机质、水和空气组成的，具有孔隙结构的介质。了解下面几点，对于加深土壤概念的理解是必要的。

（一）独立的历史自然体

土壤是生物、气候、母质、地形、时间等自然因素和人类活动综合作用下的产物。它不仅具有自己的发生发展的历史，而且是一个形态、组成、结构和功能上可以剖析的物质实体。地球表面土壤所以存在着性质的变异，就是因为在不同时间和空间位置上，上述成土因子的变异所造成的。例如土壤的厚度，可从几厘米到几米的差异，这取决于风化强度和成土时间的长短，取决于沉积、侵蚀过程强度，也与自然景观的演化过程有密切的关系。

（二）土壤剖面

由成土作用形成的层次称为土层（土壤发生层），而完整的垂直土层序列称之为土壤剖面。土壤剖面的形成具体反映在土壤的成土过程，从而与地球表面其它形成物质的区别。道库恰耶夫（В.В. Докучаев）把土壤剖面划为3个基本层：A层，地表最上端，腐殖质在这一层聚积。紧接其下B层，其特征是粘粒在这里淀积，称淀积层或过渡层。B层之下是C层，该层以不同程度风化物构成，可以相对未风化体，或深度风化物，常常是A，B层发育的母质（图0-2）。后来有的研究者把土层划分得更细，但

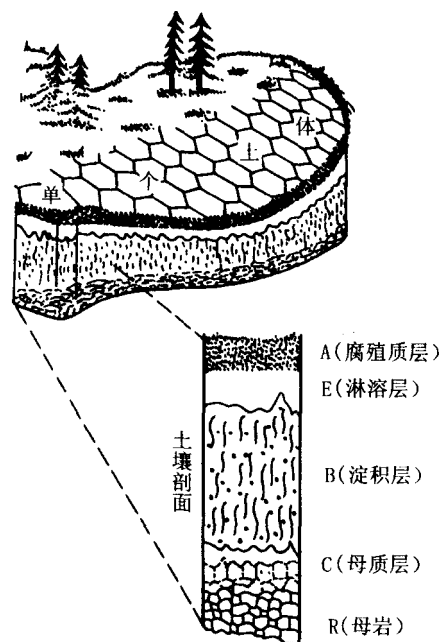


图 0-2 土壤剖面的基本土层

总的来说仍未脱离 ABC 三层。

（三）土壤物质组成

自然界土壤由矿物质、有机质（土壤固相）、土壤水分（液相）和土壤空气（气相）三相物质组成的，这决定了土壤具有孔隙结构特性。土壤水含有可溶性有机物和无机物，又称土壤溶液。土壤空气主要由氮气（ N_2 ）和氧气（ O_2 ）组成，并含有比大气中高得多的二氧化碳（ CO_2 ）和某些微量气体。土壤三相之间是相互联系，相互制约，相互作用的有机整体，矿质土壤中固相容积与液相和气相容积一般各占一半，由于液相和气相经常处于彼此消长状态，即当液相容积增大时，气相占容积就减少，反之亦然，两者之间的消长幅度在 15% ~ 35% 之间（图 0-3）。按重量计，矿物质可占固相部分的 95% 以上，有机质占 5% 左右。

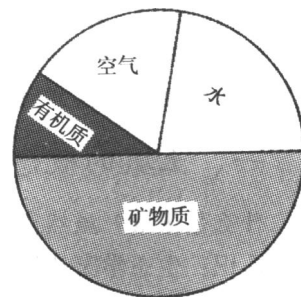


图 0-3 土壤三相组成
（容积比）

二、土壤肥力的概念

（一）肥力的一般概念

土壤肥力概念和土壤的概念一样，迄今也尚未有完全统一的看法。西方土壤学家传统地把土壤供应养分的能力看作肥力。美国土壤学会 1989 年出版的《土壤科学名词汇编》上把肥力定义为：“土壤供应植物生长所必需养料的能力。”苏联土壤学家对土壤肥力的定义是：“土壤在植物生活的全过程中，同时不断地供给植物以最大数量的有效养料和水分的能力”。我国土壤科学工作者，在《中国土壤学》第二版中（1987），对肥力作了以下的阐述：“肥力是土壤的基本属性和质的特征，是土壤从营养条件和环境条件方面，供应和协调植物生长的能力。土壤肥力是土壤物理、化学和生物学性质的综合反映。”在这个定义中，所说的营养条件指水分和养分，为作物必需的营养因素；所说的环境条件指温度和空气，虽然温度和空气不属于植物的营养因素，但对植物生产有直接或间接的影响，称之环境因素或环境条件。定义中所说的“协调”解释为土壤中四大肥力因素，水、肥、气、热不是孤立的，而是相互联系和相互制约的。植物的正常生长发育，不仅要求水、肥、气、热四大肥力因素同时存在，而且要处于相互协调的状态。

对土壤肥力这样一个复杂问题，在概念的叙述上有一元论（养分）、二元论（养分和水分）、四元论（水、肥、气、热）之别是完全可以理解的。也不能简单地认为“一元论”或“二元论”是不完整的，一元论抓住“养分”这个主要因素，并没有减少对水、气、热的注意。

（二）自然肥力和人为肥力

土壤肥力有自然肥力和人为肥力的区别。前者是指土壤在自然因子即五大成土因素（气候、生物、母质、地形和年龄）的综合作用下发育而来的肥力，它是自然成土过程的产物。后者是耕作熟化过程发育而来的肥力，是在耕作、施肥、灌溉及其它技术措施等人为因素影响作用下所产生的结果。可见，只有从来不受人类影响的自然土壤才仅具有自然肥力。

自从人类从事农耕活动以来，自然植被为农作物所代替，森林或草原生态系统为农田生态系统所代替。随着人口膨胀、人均耕地减少，人类对土地利用强度的不断扩展，“人为因子”对土壤的演化起着越来越重要的作用，并成为决定土壤肥力发展方向的基本动力之一。“人为因子”

对土壤肥力的影响集中反映在人类用地和养地两个方面，只用不养或不合理的耕作、施肥、排灌，必然会导致土壤肥力的递减，用养结合，可以培肥土壤，保持土壤肥力的永续性。

（三）潜在肥力与有效肥力

从理论上讲，肥力在生产上都可以发挥出来而产生经济效果，但事实上在农业实践中，由于土壤性质、环境条件和技术水平的限制，只有其中的一部分在当季生产中能表现出来，产生经济效益，这一部分肥力叫“有效肥力”，而没有直接反映出来的叫做“潜在肥力”。有效肥力和潜在肥力是可以相互转化的，两者之间没有截然的界限。例如大部分低洼积水的烂水田，虽然有机质含量较高，氮磷钾等养分元素的全量丰富，但其有效供应能力较低，对于这种土壤就应采取适当的改土措施，搞好农田基本建设，创造良好的土壤环境条件，以促进土壤潜在肥力转化为有效肥力。

（四）土壤生产力

土壤生产力和土壤肥力之间是两个既有联系又有区别的两个概念。土壤的生产力是由土壤本身的肥力属性和发挥肥力作用的外界条件所决定的，从这个意义上来看，肥力只是生产力的基础，而不是生产力的全部。所谓发挥肥力作用的外界条件指的就是土壤所处的环境，包括气候日照状况、地形及其相关连的排水和供水条件，有无毒质或污染物质的侵入等等，也包括人为耕作、栽培等土壤管理措施。例如，寒温阴湿的环境常常是冷浸迟发之地，处在这种环境条件下，即使土壤本身肥力的营养因素很为优越，土壤生产力也必然不高。实际的调查也证明，肥力因素基本相同的土壤，如果处在不同的环境条件下，其表现出来的生产力彼此可能相差很大。土壤肥力因素的各种性质和土壤的自然、人为环境条件构成了土壤生力。根据土壤生产力的概念，为了实现农业生产的高产、高效、优质，就必须十分强调农田基本建设，以改造土壤环境，其中包括平整地块，保证水源，修建渠道，开沟排水，筑堤防洪等等农业工程项目和营造防护林等生物工程。

三、近代土壤科学的发展及主要观点

人类自开始农耕以来就开始接触和认识土壤。现有的考古资料初步确认，大约 18000 年以前，人类就开始种植农作物。在古希腊和罗马时代，人们对土壤的认识只是一些纯朴而简单的经验总结。我国夏代《尚书》的禹贡篇，距今约有 4100 多年的历史，其中所概述的九州土壤的一些特征，地理分布及肥力等级是世界上最早的土壤专门论著，也是世界古代土壤科学发展上的伟大创举。然而，土壤学作为一门独立学科的形成、发展，那是晚近，及到 18 世纪以来，逐步产生形成了几个比较有影响的代表学派或观点。

（一）农业化学土壤学派

从 17 世纪以来，随着西方工业化和科学技术的进程，物理、化学等基础学科的发展对土壤学发展产生了巨大的影响。在西欧出现了农业化学土壤学观点，创始人是著名德国化学家李比希(J.F.Liebi. 1803—1873)。他在 1840 年出版了名为《化学在农业和植物生理上应用》专著，提出大田产量随施入土壤的矿质养料数量的多少而相应的变化。土壤是植物养料的储藏库，植物靠吸收土壤和肥料中的矿质养料而滋养，植物长期吸收消耗土壤中的矿质养料，会使土壤库的矿质养料储藏量越来越少，为了弥补土壤库储量减少，可以通过施用化学肥料和轮栽等方式如数归还

土壤，以保持土壤肥力永续不衰。这一观点把土壤看作提供植物生长所必需的水分、养分和起物理支撑作用的介质，被称之为土壤“营养库”概念。土壤学界把李比希的这一学说称之为矿质营养学说。

农业化学土壤学观点开辟了用化学理论、方法来研究土壤并解决农业生产问题的新领域，并进一步发展了土壤分析化学、土壤化学和农业化学等分枝学科，大大促进了土壤科学的发展，并对植物生理学以及整个生物科学和农业科学产生了极为重要的影响。同时，矿质营养学说还迅速推动化工、化肥工业的发展，在化工化肥发展史上具有划时代的重要意义。直至今日，该学说仍被作为化肥工业和化肥应用的最重要的理论依据。

但是，由于时代的局限性，农业化学土壤学观点也有许多不足之处。该观点过分地应用纯化学理论来看待复杂的土壤肥力问题，简单、机械地把土壤作为植物的“养料库”。因为土壤除含矿物质外，还有有机质、微生物和土居动物等活性物质，正是这些活性物质对提高土壤肥力起着积极作用，如固氮微生物对土壤氮素供应就有举足轻重的贡献。植物本身也不只是单向的从土壤中吸收、消耗矿质养料，植物与土壤间的复杂的能量交换和物质转化关系，也为土壤提供有机物料。所以今天来看农业化学土壤学的观点，难免有一定局限性、片面性，甚至带某种形而上学的色彩。但这决不会动摇到该观点在土壤科学发展史上的地位及对整个农业科学的重要贡献。

（二）农业地质土壤学观点

农业化学土壤学观点侧重研究土壤供应植物养料的能力，把土壤看作发生化学和生物化学反应的介质，他们很少了解土壤是地理景观的一部分，因而，提出某些片面结论在所难免。农业化学土壤学观点的弱点暴露后，到 19 世纪后半叶，德国地质学家法鲁（F.A.Fallow）李希霍芬（F.V.Richtshofen）、拉曼（E.Ramann）等用地质学观点来研究土壤，形成了农业地质土壤学观点。他们把土壤形成过程看作岩石的风化过程，认为土壤是岩石经过风化而形成的地表疏松层，即岩石风化的产物。土壤类型决定于岩石的风化类型，土壤是变化、破碎中的岩石。

农业地质土壤学观点揭示了风化作用在土壤形成过程中的重要性。但他们只强调了土壤与岩石、母质之间的相互联系的一方面，却混淆了土壤与岩石、母质的本质区别方面，把风化过程当做成土过程，把风化产物看作土壤。按照这一观点，必然得出风化进程中的矿物质，不可避免地受到淋溶作用而逐渐减少的片面结论。但农业地质土壤学观点在土壤学发展史上，同样起到了积极作用，开辟了从矿物学研究土壤的新领域，加深了对土壤的基本“骨架”矿物质的研究。

（三）土壤发生学派

19 世纪 70~80 年代，俄罗斯学者道库恰耶夫（В.В.Докучаев，1846—1902）创立了土壤发生学观点。该观点认为，土壤形成过程是岩石风化过程和成土过程所推动的。道氏在 1883 年出版的著名的《俄罗斯黑钙土》一书中，认为土壤有它自己的发生和发育历史，是独立的历史自然体。影响土壤发生和发育因素可概括为母质、气候、生物、地形及陆地年龄等 5 个，提出了五大成土因素学说。还提出地球上土壤的分布具有地带性规律，创立土壤地带性学说。同时它对土壤分类提出了创造性的见解，拟订了土壤调查和编制土壤图的方法。

道库恰耶夫的土壤发生学理论，从俄罗斯转至西欧，再由西欧传到美国，对国际土壤学的发

展产生深刻的影响。他的继承者威廉斯（В.Р.Вильямс）在其学说基础上，创立土壤的统一形成学说。指出土壤是以生物为主导的各种成土因子长期、综合作用的产物。物质的地质大循环和生物小循环矛盾的统一是土壤形成的实质。土壤本质特点是具有肥力，并提出团粒结构是土壤肥力的基础，制定了草田轮作制，这种观点被称为土壤生物发生学派。

土壤发生学理论对美国的土壤学科发展也产生过很深刻的影响。美国土壤科学的奠基者马伯特（C.F.Marbut）提出的第一个土壤分类系统体现了发生学的基本学术观点。直到本世纪 40 年代，H. 詹尼（Jenny Hans）出版了《土壤成土因素》一书，试图用函数定量对土壤和环境因子之间的联系进行相关分析，提出的土壤形成与 5 种成土因子的函数关系为： $s=f(cl, o, r, p, t)$ 式中 s 表示土壤， cl, o, r, p, t 分别表示气候、生物、地形、母质和时间。函数中的成土因子都是独立变数，任何一个地区，其中某一个因子可能变化很大，而其它因子可能变化很小，从这个意义上说，可以定量地对土壤与环境之间的发生学联系进行多相相关分析。以后他进一步将土壤成土因子公式，扩大和提升到现代生态系统基础上，1983 年他在《土壤资源、起源与性状》专著中，把成土因素看作状态因子，构建了状态因子函数式。

（四）土壤学发展的新观点

近代土壤学大约已经历了一个半世纪，在这一进程中，“什么是土壤？”这样一个看起来既简单，又复杂的问题，一直激励着土壤学科工作者为之而去探索和奋斗。当今土壤学面临的问题已发生新的变化，具体表现在应用范围日益扩大，复杂性日益增加。例如对面临的农业现代化，我们就不能只顾满足追求作物的“高产”，而要求达到高产、高效、优质即“二高一优”的目标。就是说今天的土壤利用既要充分地增加土壤生产力，又要最大限度地减少土壤污染，必须在经济效益、环境污染、持续农业的多种矛盾中作出抉择。在这些新出现的复杂矛盾和问题推动下，土壤学的创新研究出现了一些新观点。

1. 土壤圈概念 土壤圈的概念，早在 1938 年英国著名土壤学家 S. Matson 根据物质循环的观点，对它的涵义作了概括。近 10 年来获得了很快的发展，特别是 1990 年，Arnold 对土壤圈的定义、结构、功能及其地球表面系统中的地位作了阐述和发展。土壤圈是地球表层系统中处于四大圈（气、水、生物、岩石）交界面上最富有生命活力的土壤连续体或覆盖层。这一概念拓展了土壤学的研究领域，过去土壤学侧重于土壤本身（固相、液相、气相）的组成与性质，而土壤圈概念则从圈层角度来研究全球土壤结构，成因和演化规律，从以土体内的能量交换和物质流动为主的研究，扩展到探索土壤与生物、大气、水、岩石圈之间的物质能量循环，研究土壤系统内部及其界面上产生的各种过程和机理。从而使土壤学能真正介入地球系统科学，参予全球变化和生态环境建设。

2. 土壤生态系统概念 道库恰耶夫的土壤发生学，实际上已包含着生态系统的内涵。但直到 20 世纪 60 年代后，土壤生态系统的概念才被确立，土壤生态系统是以土壤为研究核心的生态系统，可分为研究土壤生物的生态系统和研究土壤性状与环境关系的土壤生态系统两类（系统的结构、功能本章第一节）。土壤生态系统随陆地生态的发展而演变，土壤的变化又影响陆地生态系统，甚至海洋湖泊生态的演变和发展。全面认识土壤生态系统重要性，才能全面认识土壤各因素之间的关系。只有把土壤作为一个独立的生态系统来研究，才能弄清其结构与功能内在联系及发生发育演变的趋势，为土壤的合理利用和土壤资源质量再生提供依据。

（五）我国土壤学的发展概况

我国农业的历史悠久，劳动人民在长期的生产实践中，对土壤的知识有丰富的经验积累。世界上土壤分类和肥力评价的最早记载是，我国夏代《尚书》的禹贡篇，书中根据土壤性质分土壤为“壤”、“黄壤”、“白壤”、“赤植垆”、“白坟”、“黑坟”、“坟垆”、“涂泥”、“清黎”等九类，并依其肥力高低，划分为三等九级。约在公元前三世纪在《周礼》中，阐述了“万物自生焉则曰土”，分析了土壤与植物的关系，又说明了“土”和“壤的本身意义”，指出“土者是地之吐生物者也，壤则以人所耕而树艺焉则曰壤”，这种把土与壤联系起来的观点是最早对土壤概念的一种朴的解释。此后，《管子》地贡篇、《吕氏春秋》任地篇、《白虎通》、《汜胜之书》、《齐民要术》、《民桑辑要》、《农政全书》、《王祯农书》等著作中，对土壤知识有更广泛全面的论述。

但我国近代土壤科学研究起步较晚，20世纪20年代开始，一些留学归国人员陆续到大学从事土壤教学和研究工作。1930年才开始在中央地质调查所设立土壤研究室。此后在某些高校相继建立土壤研究所（室）并设置土壤专业，培养土壤专业技术人才。1930—1949年期间，我国土壤科学受欧美土壤学派影响较大，结合土壤调查和肥料试验，对土壤分类系统和土壤性质方面开展了研究，出版了土壤专报、土壤季刊、编译《中国土壤概要》等专著，1941年拟定了中国最早的土壤分类系统。1950年后，我国土壤科学研究紧紧围绕国家的经济建设，结合农、林、牧规划和发展，广泛开展土壤资源综合考察、农业区划、流域治理、低产田改良、水土保持及改土培肥。于1958年，1978年先后开展两次全国性的土壤普查，对摸清我国的土壤资源，特别耕地土壤作了较详细的调查，编写了各地区以至全国的土壤志，绘制了土壤图。

于此同时，在基础研究方面，已形成了一支拥有10多个学科分支的专业队伍，其中一些研究工作在国际的同类研究中很有特色，如营养元素的再循环、土壤电化学性质、人为土壤分类、水稻土肥力等，目前在国际上还处于领先地位。70年代后，我国还出版了一些颇有影响的专著如《中国土壤》（1978第一版）、《水稻土电化学》（1984）、《农业百科全书》（土壤卷，1996）和（农化卷，1994）等。但我国的土壤学因研究的起步较晚，及受多种因子的限制，总体来看，在解决国民经济建设的重大问题和学科理论的创新发展上，与发达国家比较仍有较大差距。当今的土壤学除研究土壤自身性质和形成规律外必须考虑经济，特别是社会可持续发展对土壤的需要。中国的土壤科学工作者，面对全球具有挑战性难题，为解决12亿人口的吃饭问题，无疑作出了卓越的贡献。但我们要清醒地认识到，我们面对的不仅是人多地少的这样一个不可逾越的国情，更艰难的是要在这最有限的土壤资源上，高速发展经济，既要最大限度的提高土壤生产力，又要保护环境不受污染，生态不受破坏。随着这些难题的解决，必将大大推动我国土壤科学的发展。

第三节 土壤学科体系、研究内容和方法

土壤学在学科体系中的归宿，过去有两种划法，由于土壤学在农业中的特殊重要地位，长期致力于服务农业的研究，并在满足人类需求的粮食、纤维、油料、饲料等方面的巨大成功，把土壤学归属于农业科学。另一方面，土壤作为地球表层系统中自然成土因素和人为因素综合作用的产物，是一个独立的历史自然体，而把它划入地球科学。这两种划分都有各自的依据，所以我国

的学位制规定土壤学科的研究生可以授予农学博士，又可授予理学博士学位。

在自然科学中，土壤学已发展成为一门独立的学科，它的研究对象是一个具有生命活力的、动态变化的复杂自然系统，具有高度的非线性和变动性。它在自身发展中已形成了许多分支学科，并在研究方法和技术上已形成自己的特色。

一、分支学科及研究内容

科学分支或分支学科代表一个学科的发展水平和研究领域。国际上土壤学科的分支，根据历届国际土壤学会，较成熟的学科分支包括土壤物理、土壤化学、土壤生物学、土壤矿物学、土壤肥力和植物营养、土壤发生分类和制图及土壤技术等 7 个分支学科。另外还设有盐渍土、土壤微形态学、水土保持，土壤与环境等专业委员会。我国土壤科学的分支学科受国际土壤学科的影响较大，几乎覆盖了国际土壤科学的全部基础分支学科。现将土壤学的主要基础分支学科介绍如下：

(一) 土壤物理

土壤物理是研究土壤中物理现象和过程的土壤学分支。主要研究土壤水、气、热运动及其调控的原理，其研究内容包括土壤水分、土壤质地、土壤结构、土壤力学性质、土壤溶质移动及土壤—植物—大气连续体（SPAC）中的水分运行和能量转移等，它的研究领域如（图 0-4）。

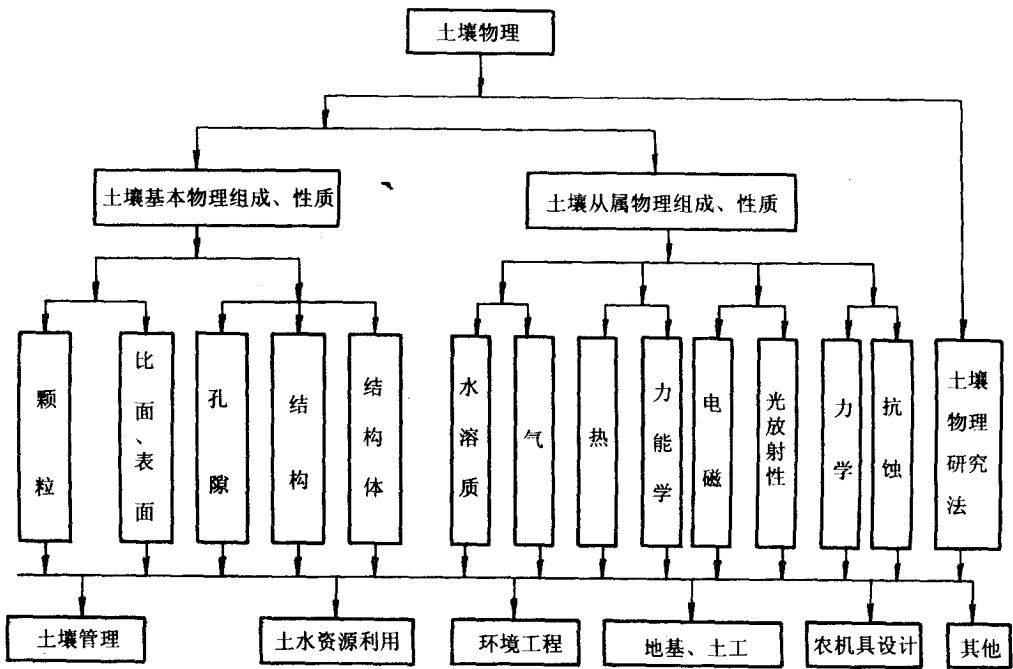


图 0-4 土壤物理体系和主要研究内容

(二) 土壤化学

土壤化学是研究土壤化学组成、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。为开展土壤培肥、土壤管理、土壤环境保

护提供理论依据，它的研究领域如（图 0-5）。

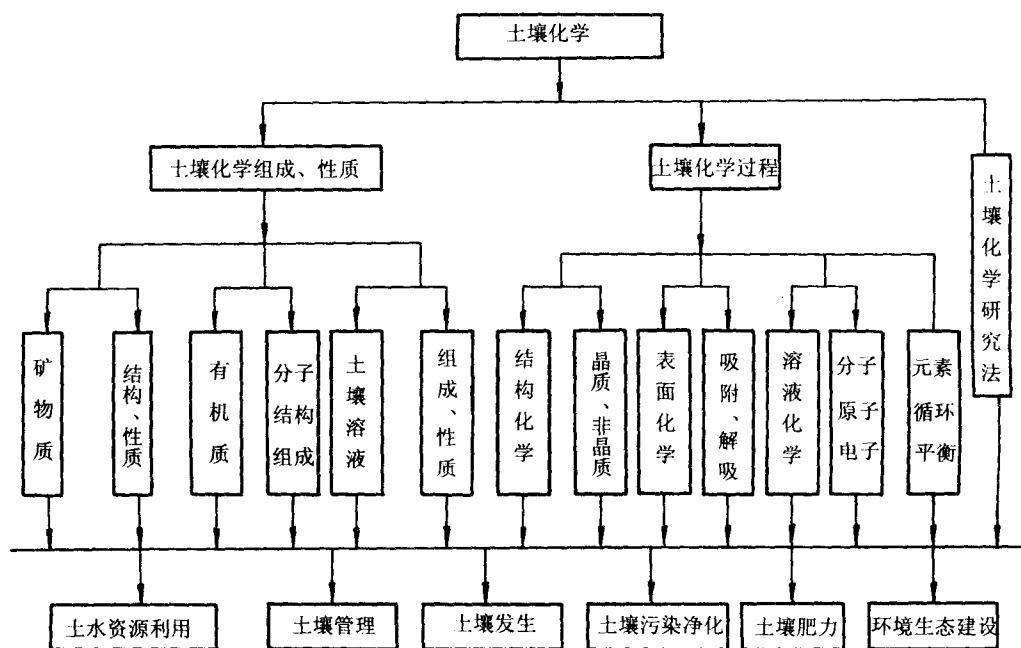


图 0-5 土壤化学体系和主要研究内容

(三) 土壤微生物

土壤微生物是研究土壤中微生物区系、多样性及其功能和活性的土壤学分支。包括它们的种类、数量、形态、分类、分布规律和生理代谢特征，以及与土壤形成、物质循环、植物生长和环境保护的关系。研究内容一般覆盖以下 8 个方面：即：土壤微生物生态；土壤微生物与土壤物质循环（陆地 N, P, S, C 素循环）；土壤酶活性；土壤微生物与土壤固氮作用；根际微生物与菌根；⑥土壤微生物之间的相互作用；⑦农业措施对微生物的影响；⑧土壤微生物与土壤的污染防治；⑨有益微生物的农业应用。

(四) 土壤生物化学

土壤生物化学是研究土壤中的有机质组成、结构及生物化学转化过程的土壤学分支学科，主要的研究内容包括：土壤腐殖质形成、特性，及其对土壤肥力的影响；土壤碳、氮、磷、硫的生物转化（有机碳、氮矿化作用和腐殖化作用）；土壤酶活性；有机生物制剂包括有机农药、杀虫剂、除草剂的生物降解及其对环境污染的影响等。

(五)土壤地理

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科学，是由土壤学与自然地理学交叉发展而成的边缘学科。土壤地理的研究内容十分广泛，主要研究内容包括：①土壤发生和分类：土壤发生学是土壤地理的核心，重点研究土壤形成与自然成土因子和人为活动的复杂关系，回答地球表层系统多样性土壤的形成特点和机理，并在此基础上，根据土壤的发生发育过程、土壤诊断学属性进行土壤分类。②土壤分布规律：土壤是一个时

间上处于动态、空间上具有垂直和水平方向上分异性的三维连续体，搞清土壤和土被结构在地面空间上的分布规律，可以为因地制宜合理利用和保护土壤资源，搞好农业区划及生产布局，改善生态环境提供科学依据。 土壤调查制图和土壤质量评价：主要研究内容是应用现代新技术，如遥感技术、地理信息系统、全球定位技术等，建立土壤数据库和土壤信息系统；研究土壤质量评价标准、指标体系和退化土壤的恢复重建技术与措施。

除了上述基础土壤学分支学科外，国内外在盐渍土、森林土壤、土壤侵蚀和水土保持、土壤微形态、土壤环境污染与防治、土壤肥力与生态、土壤遥感与信息技术等领域的研究也很活跃，并设立了专业委员会。

二、土壤学与相邻学科的关系

近代土壤科学的发展史告诉我们，土壤科学作为一门独立的自然科学，最早是在化学与植物矿质营养的基础上建立起来的。其后随着成土因素学说的创立，将土壤作为地球表面的“实体”，即一个独立的历史自然体。进而发展为“连续体”、“土链”、“土被”、“三锥连续体”。可以认为土壤科学从开始创建，就涉及到地学、生物学、生态学、化学、物理学等多学科领域，是一门与多学科互相渗透、交叉的综合性很强的学科。

土壤学与地质学、水文学、生物学、气象学有着密切的关系。这是由土壤在地理环境中的位置和功能所决定的。土壤作为地球表层系统的重要组成部分，它的形成、发育与地质、水文、生物和近地表大气息息相关。

土壤学与农学、农业生态学有着不可分割的关系。因为土壤是绿色植物生长的基地，农学中的栽培学、耕作学、肥料学、灌溉排水等，都以土壤学为基础的，土壤学是农业基础学科的一部分。

土壤学与环境科学联系密切。因为环境的核心是地球表层系统中的“圈层”，而土壤是地球上多种生命的繁衍、生息的场所。从环境科学的角度看，土壤不仅是一种资源，还是人类生存环境的重要组成部分。土壤除具有肥力、能生产绿色植物外，还具有对环境污染物质的缓冲性、同化和净化性能等客观属性，土壤的这些性能在稳定和保护人类生存环境中起着极重要的作用。所以，土壤学与环境科学的交叉结合就形成了一门新的土壤分支学科——环境土壤学。

现代土壤科学，无论从自身的学科基础理论的创新，还是解决实际问题，其复杂性日益增加，应用范围在不断扩大。在基础土壤的研究方面，必须与地学、生物学、数学、化学、物理学等基础学科结合，来发展土壤物理、土壤化学、土壤地理、土壤生物学基础分支学科。在应用土壤研究方面，现代土壤科学在持续农业生产、环境保护、区域治理、全球变化等方面正发挥越来越重要的作用，这就需要土壤学与农学、环境学、生态学、气象学、区域自然地理以及社会经济等多科学之间的合作。

三、土壤学的研究方法

基于土壤学的本身学科性质及研究领域的拓展，土壤学研究方法具有以下特点：

（一）宏观研究和微观研究

自然科学发展到现在，有的向宏观方面发展，有的则向更微观方面发展。在宏观方面，土壤

作为地球表层系统中一个独立的自然体，研究土壤全球变化则站在“土壤圈”的高度上。而研究区域土壤则要研究一个区域的自然地理，区域的地形、水分、气候、地质特征，对成土过程有着相应的地区影响。研究某个单一土体时，则要研究土壤剖面，土壤剖面包括若干土层，每个土层又是由不同粒径颗粒组成的团聚体构成的，团聚体决定了土壤的通气性、持水性和排水状况。以上这些都是肉眼看得见的宏观研究。在微观方面，一种土壤是由原生矿物和次生矿物以及有机质，以复杂的方式组合而成的，并含有多种多样的微生物。而矿物质和有机质都是由分子、原子、电子构成的。土壤中所有的化学反应，都发生于土壤细颗粒与溶液之间的界面或与之相邻的溶液中，这些只能用现代化仪器去研究。

对不同尺度的研究对象，划分为若干研究层次，采用不同的技术（图 0-6）。把宏观和微观研究结合起来。

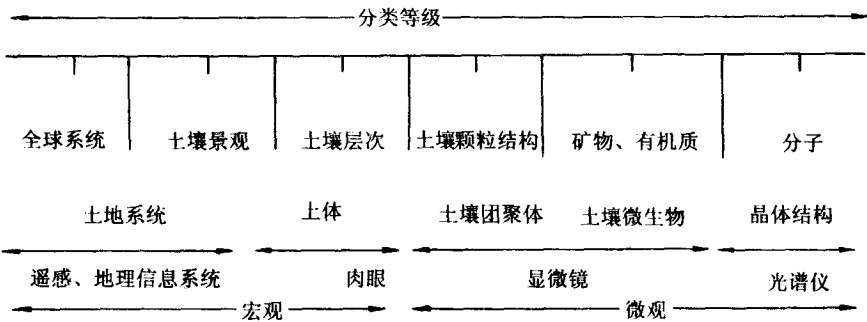


图 0-6 不同尺度宏观和微观研究方法

（二）综合、交叉研究

土壤科学在研究方法上还必须综合交叉。因为人类社会对土壤的需求增加，土壤学面临的矛盾是一些直接关系到社会发展的重大问题。农业可持续发展、粮食安全问题、环境保护、区域治理和全球变化等，都直接与土壤学有密切的联系。例如研究农业的可持续性问题，首先必须考虑土壤肥力的永续性问题，因而就需要土壤学（包括土壤物理、化学、生物、矿物、分类、制图等）与农业科学、环境科学、生态学、社会经济学进行综合交叉、相互渗透。多学科的合作是今后土壤学研究方法上更新思路的一个趋势。

（三）野外调查与实验室研究结合

自然土壤具有时空变化特点，是一个时间上处于动态，空间上具有异向性的三维连续体。因而土壤学有实验科学和野外科学的双重特点。野外调查有传统的调查制图；还有应用遥感技术，即用航片、卫片进行土壤解释判读，转绘出土壤分布图；定位半定位田间试验观察等。实验室研究有室内的理化定量分析，实验室模拟研究等，以及如何把野外、实验室和模型研究结果应用到自然土壤中去，这是富有极重要意义的。

（四）新技术的应用

从土壤学各分支学科应用的研究技术看，土壤学的研究手段也有较大的更新。遥感技术、数字化技术、地理信息系统（GIS）技术已较成功地被应用于建立土壤信息技术、土壤数据库等。一些现代生物技术和方法已被土壤相关分支学科所采用或正在开发。而一些理化分析的新仪器、

新设备如各种光谱仪、电子显微镜等现代仪器，已开始更普遍地在土壤实验室中应用。

主要参考文献

- [1] 中国土壤学会，土壤科学与农业持续发展，北京：中国科学技术出版社，1994
- [2] 朱祖祥，土壤学，北京：农业出版社，1983
- [3] 朱祖祥，农业百科全书·土壤卷，北京：中国农业出版社，1996
- [4] 李天杰，土壤环境学，北京：高等教育出版社，1995
- [5] 赵其国，自然科学调查报告·土壤学，国家自然科学基金会，北京：科学出版社，1996
- [6] 黄鼎成，人与自然关系导论，武汉：湖北科学技术出版社，1997
- [7] Brady, N.C. 1996. The Nature and Properties of Soils. Prentice-Hall, Inc. upper Saddle River. New Jersey 07458
- [8] Jenny. H. 1983. The Soil Resource. Origin and Behavior. Springer-Verlag
- [9] Sposito. G. 1992. Opportunities in Basic Soil Science Research. Soil Science Society of America. Inc, Madison, Wasconsin, USA.
- [10] White. R.E. 1987. Introduction to the Principles and Practice of Soil Science 2nd ed. Blackwell Scientific Publications