

第六章 土壤卫生与污物处理

第一节 土壤的性状与人体健康

土壤是陆地表面生长植物的疏松层，由地壳表层的岩石经过长期的风化和生物学的作用形成的。土壤是自然环境的重要组成部分，也是人类赖以生产、生活和生存的物质基础，它具有独特的发展和发生过程、组成特点和形态特征。

一、土壤的组成

(一) 土壤固相

土壤是由固相、液相和气相物质组成。土壤固相部分包括土壤颗粒、土壤有机质和土壤微生物。土壤的固体颗粒主要来源于岩石风化后形成的大小、形状不同的矿物质颗粒，也有来源于生物体(动、植物)以及有机无机相结合的颗粒。土壤颗粒含量约占土壤总土重的 80%—90%，因而固体颗粒是组成土壤的物质基础。

(二) 土壤液相

土壤水分是土壤的一个重要组成部分，它参与土壤中的物质转化过程和植物生命活动的新陈代谢作用。土壤水分主要来源于自然降水和人工灌溉水。此外，大气中水蒸气的凝结和地下水的上升也是土壤水分的来源。土粒表面所吸附的水蒸气分子，称为吸湿水；它受土粒的吸引力所吸持，失去移动能力，所以不能为植物吸收利用。土壤毛细管孔隙中由毛细管力吸持的水分，称为毛管水；它是一种自由水，能溶解土壤中的各种营养物质，能上下、左右移动，并能为植物吸收利用。土壤中的毛管孔隙被水充满后，多余的水受重力作用通过非毛管孔隙、裂缝、根孔或洞穴向下渗漏，称为重力水。下渗的重力水在下部土层遇到不透水层时，就会聚积形成地下水。重力水在下渗过程中，往往将上部土层中的可溶性物质携带下移，造成土壤中的淋溶过程。

(三) 土壤气相

土壤空气是土壤的组成部分，经常存在于土壤孔隙中。土壤中空气和水分经常处于相互消长的运动过程中。土壤空气是植物、土壤微生物生长发育必不可少的因素。土壤空气基本上是由大气而来，土壤空气与大气之间存在着气体交换，所以它的成分含有氮、氧、二氧化碳和水汽等。但是土壤空气也有一部分来自土壤中生物化学作用过程中产生的气体，在成分上和组成的相对含量上与大气有着不同程度的差异。土壤空气中的二氧化碳含量高，氧气含量低。土壤空气中的三氧化硫是由土壤中各种生物的呼吸作用和有机质分解而产生。土壤通气不良还会产生少量的还原性气体，如甲烷、硫化氢、氢等。

二、土壤的物理性质

(一) 土壤颗粒和质地

不同土壤由不同大小颗粒的配合比例组合而成。概括起来，土壤颗粒分为石砾(粒径 1~10mm)、砂粒(0.05~1mm)、粉粒(0.005~0.05mm)和粘粒(<0.001~0.005mm)四个基本粒级。而土壤质地分为砂土(颗粒组成中 0.05~1mm 的砂粒占 50%以上)、壤土(0.01~0.05mm 的粉粒占 40%左右)和粘土(<0.001 的粘粒占 30%以上)三大类。砂土含砂粒多，土质疏松，土粒间孔隙大，易于通气透水。粘土含粘粒多，土质粘重，土粒间孔隙小，不易通气透水，蓄水力强。壤土不松不紧，既能通气透水，又能蓄水。

(二) 土壤比重

土壤比重是指单位体积固体颗粒(不包括孔隙体积)的重量。决定土壤比重的主要是土壤中的矿物质,因而土壤比重常应用各种矿物质成分的平均值,即以 2.65 代表土壤的比重数值。

(三) 土壤容重

土壤容重是指保持土壤自然结构状态(即包括土壤孔隙体积)的单位体积土壤的干重。土壤孔隙体积越大,其容重越小;当土壤孔隙体积小,其容重大。土壤容重一般在 1.0~1.8 之间。

(四) 土壤孔隙度

土壤孔隙总体积占土壤总体积的百分数称为土壤总孔隙度。粘土总孔隙度为 50%~60%,壤土为 45%~50%,砂土为 30%~35%。土壤孔隙的大小和分配,关系着土壤水和气状况、土壤微生物活动和植物生长等。

三、土壤的化学性质

(一) 土壤的无机成分

土壤中的无机成分来自岩石风化的产物,即成土母质中的矿物粒子,其结合或化合的状态是多种多样的,其组成由地壳岩石的组成所决定,构成土壤的主要元素含量百分比与其在地壳中相类似(表 6—1)。

(二) 土壤的有机成分

表 6—1 地壳和土壤的主要化学组成

土壤有机物包括动植物死亡以后遗留在土壤里的残体,以及经过微生物作用所形成的腐殖质。腐殖质是黑色胶体物质,其基本成分是纤维素、木质素、淀粉、糖类、油脂、蛋白质等。在这些成分里,包含有大量的碳、氢、氧、氮、硫、磷和少量的铁、镁等元素。腐殖质有很强的吸附性,是植物和微生物的营养来源。

成分	地壳组成(含量 %)	土壤组成(含量 %)
SiO ₂	61.28	64.17
Al ₂ O ₃	15.34	12.86
Fe ₂ O ₃	6.29	6.58
CaO	4.96	1.17
MgO	3.90	0.91
K ₂ O	3.06	0.95
Na ₂ O	3.44	0.58
P ₂ O ₅	0.29	0.11
TiO ₂	0.78	1.25

(三)、土壤胶体

凡直径小于 0.001mm 的土壤微细粒子均具有胶体的性质,都属于土壤胶体的范围。按照成分来源可分为三类:

1. 1. 有机胶体

主要是腐殖质,是生物生命活动的产物。

2. 2. 无机胶体

主要是极微细的粘粒,包括含水氧化铁、氧化铝、氧化硅、铝硅酸盐类的粘土矿物。

3. 3. 有机无机复合胶体

有机胶体和无机胶体一般很少单独存在,而是彼此相结合成为复合体。

土壤胶体具有巨大的表面能,带有一定的电荷,可因电解质存在而凝聚,将分散的土粒胶结成水稳性团粒。

(四) 土壤的吸收性能

土壤具有与它接触的物质吸收和保持的能力。除了植物和土壤微生物对营养

物质的吸收保蓄作用，土壤孔隙对不溶于水的物质的机械吸收作用，土粒表面对分子态物质的物理吸收等作用之外，主要表现为化学吸收作用和代换性吸收作用。化学吸收作用是土壤溶液中的溶解性物质相互作用，产生难溶性化合物而固定在土壤中的作用。代换性吸收作用是土壤胶体物质吸附的离子对土壤溶液中离子态物质进行交换，是一种物理化学过程。

土壤中的代换性吸收，由于土壤胶体多带阴电荷，能吸附许多阳离子，所以土壤的代换作用是以阳离子代换为主。阳离子代换作用具有两个特点：一是可逆反应，即反应方向可左右进行，而且能迅速地达到平衡；二是等当量代换，即代换作用进行时，离子间是以离子价为根据进行等价交换。土壤在一定 pH(通常为 7)时吸收阳离子的数量，称为阳离子代换量。通常以 100g 土壤吸附阳离子的毫克当量数(meq/100g 土)来表示。一般大于 20meq/100g 土的土壤保持力强，10~20meq/100g 土保持力中等，小于 10meq/100g 土保持力弱。阳离子代换量的大小，主要受土壤质地、腐殖质含量、土壤酸碱反应等条件的影响。质地越细，腐殖质含量越多，碱性环境，代换量也越大。

(五) 土壤溶液

土壤溶液是含有可溶性物质的土壤水分。土壤溶液的成分有各种无机盐类和有机化合物、胶体分散物质以及氧和二氧化碳等气体。土壤溶液中的无机盐类，主要是钙、镁、钾、钠、铵等的硝酸盐、亚硝酸盐、重碳酸盐、硫酸盐、磷酸盐、氯化物等，以及铁、铝、锰的化合物。有机物主要是糖类、蛋白质、氨基酸、腐殖质酸和它的盐类。胶体物质主要有硅酸、铁、铝的氢氧化物和有机胶体等。

土壤溶液中存在着极少量的氢离子和氢氧离子，它们的相对数量决定着土壤的酸碱反应。当溶液中氢离子的浓度大于氢氧离子时，土壤呈酸性反应；反之，土壤呈碱性反应；两者相等，土壤呈中性反应。

(六) 土壤的缓冲性能

土壤具有抵抗或缓和酸碱物质改变土壤反应的能力，这种能力称为土壤的缓冲性能。当土壤中酸碱物质增加时，土壤溶液的 pH 值也随之减少或增高，但 pH 值的这种变动并不完全与酸碱的增加相适应，而是经常保持在一定范围内。

土壤缓冲酸的作用，是由于土壤胶体吸附有盐基离子，因此，盐基饱和度高的土壤，对酸的缓冲能力强。土壤对碱的缓冲作用，是因胶体吸附有氢离子的缘故，所以，盐基饱和度越低，对碱的缓冲力也越强。但不论土壤对酸或碱的缓冲力，都决定土壤中胶体物质的含量和品质，它随胶体物质的增加而提高。

(七) 土壤的氧化还原反应

土壤中有许多氧化剂和还原剂，所以氧化还原反应在土壤中经常进行。土壤中的氧化作用，是由游离态氧、NO₂ 及高价铁、锰等金属离子引起的。它们是土壤中的氧化剂，其中主要是氧的作用。土壤中的还原作用，是由有机质分解、厌氧性微生物的生命活动及低价铁、锰等引起的。它们是土壤中的还原剂，其中以有机质最重要。土壤中的氧化还原反应，绝大多数是在土壤微生物的参与下发生，例如在需氧条件下含氮、磷、硫的有机物被氧化并形成硝酸盐、磷酸盐、硫酸盐；在厌氧性条件下进行的反硝化作用、反硫化作用以及高价金属离子被还原为低价金属化合物等，都与土壤微生物的生命活动有着密切的关系。

在土壤中存在可逆的氧化还原系统，如果其中氧化力超过还原力，则放出电子的趋势就大于获得电子的趋势，这样就产生了一个可测量的电位，叫做氧化还原电位。土壤中的氧化还原状况，用氧化还原电位(Eh)的毫伏(mv)数表示。土壤中氧化还原电位的毫伏值高，说明土壤的氧化过程强，有机质分解迅速、彻底，

元素多呈氧化态。反之，土壤氧化还原电位的毫伏值低，说明土壤中还原过程强，容易造成还原性物质的积累。一般土壤的 Eh 值在 200~700mv 之间。大于 700mv 时，氧化过程过强；低于 200mv 时，还原过程强烈。

四、土壤的微生物性状

土壤微生物是土壤中最原始的活有机体。大多数的土壤微生物，是靠分解有机质以取得生命活动所需要的能量和营养物质的。由于这些土壤微生物的生命活动，有机质被分解，养分也被释放出来，并产生一种新的有机物质——腐殖质，这对土壤结构的形成、土壤理化性质的改善等关系极为重要。有些土壤微生物还可固定空气中的氮素，增加土壤的氮素含量，提高植物的营养成分。

土壤微生物在土壤中的分布很广，但以表层为最多。1g 土壤中微生物的数目可达数千万至数百亿个，土壤越肥沃，微生物的数量也越多。

(一) 细菌

细菌是土壤微生物中种类最多，数量最大，分布最广的一类。根据细菌的营养方式又可分为自养型和异养型。自养型细菌能利用氧化无机物产生的化学能或太阳能，由空气中摄取的CO₂合成碳水化合物，作为自身的营养物质。异养型细菌靠分解有机物获得能量和养料，土壤中的绝大部分细菌都是异养型的。根据它们对空气条件的要求，又可分为需氧性和厌氧性两类。需氧性细菌可以利用空气中的氧去氧化有机质，厌氧性细菌可以从含氧化合物中夺取氧以进行体内的氧化作用。土壤中多数细菌属兼氧性细菌，在氧气充足或缺氧的条件均能生活。

(二) 真菌

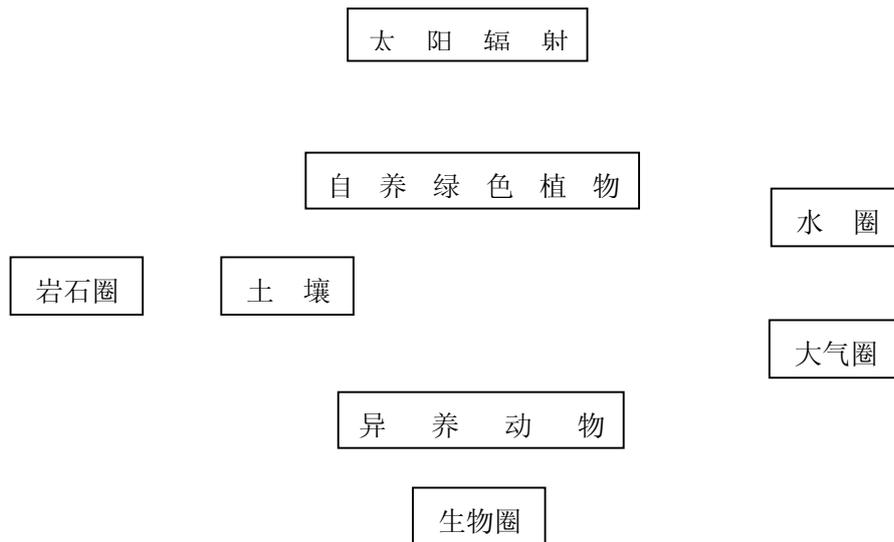
真菌基本上是需氧性的，因而常聚集在土壤的表层活动。由于它具有复杂的酶系统，分解有机质的能力也特别强，是木本植物残体的主要分解者。

(三) 放线菌

放线菌在土壤中数量大，占土壤微生物总数的 20%~30%。放线菌是需氧性微生物，依靠分解有机物为生，对分解纤维素和含氮有机物以及转化各种盐类的的能力较大。放线菌的代谢产物中有许多抗生素和激素物质，有利于植物抗病害感染和促进植物生长。

(四) 藻类和原生动物

土壤藻类具有叶绿素，可以进行光合作用，能自营生活和积累有机质。土壤中的原生动物主要是鞭毛虫、变形虫和纤毛虫等。它们大多是利用有机质并吸收土壤中的无机盐，参与有机质的分解。



四、土壤环境的机能

图 6—1 土壤在生物圈中的地位

(一) 土壤是联系有机界和无机界的中心环节

在自然界生物圈中，土壤处于岩石圈与生物界之间的过渡地带(图 6—1)，是联系有机界和无机界的中心环节。土壤在自然界物质循环中起着蓄积、转化和转移的作用。生物(尤其是植物)与环境之间的物质交换主要通过土壤来实现的。

在土壤综合体中，由绿色植物生产者；土壤动物消费者和土壤微生物分解者组成一个生气勃勃的土壤生态系统，它是自然界物质循环周期的基础。动植物遗体还原于土地，经土壤微生物分解成简单的无机养料，随同岩石风化所释放出

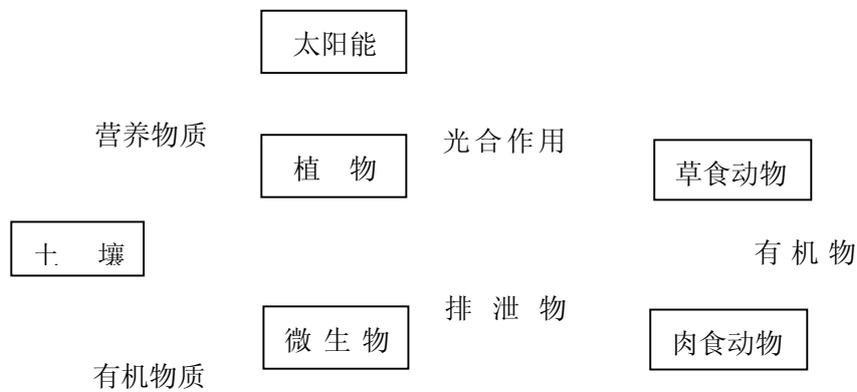


图 6—2 自然界的生态平衡关系

来的可溶性矿质养料，再被植物根系吸收和积累，构成植物自身的有机体。

(二)、土壤是生产生命能源的基地

土壤是运动着的物质、能量体系，

人类

肉食动物

微生物

土壤

草食动物

人类

它作为一个开放系统，与环境介质之间不断地进行着物质、能量的交换和转化，构成生产生命能源的基地(图6—2)。所有的生态系统都要从外界获取能量和物质。在任何生态系统中都有能量和物质的输入和输出。地球上一切生物所需的能量来源于太阳，能量通过绿色植物的光合作用转化为化学能贮存起来，当某些动物用植物作为食物时，部分能量用于生命活动，另一部分以另一种形式的化学能贮存起来。最终 所有被利用的能量都转变为热量，

图6—3

通过辐射散失到空间。

土壤是陆地生态系统的核心，生态系统中的物质通常是循环的，是反复得到利用的，从植物到动物，又从动物回到植物。绿色植物是生态系统中的生产者，以土壤为基地实现能量流动和物质循环的起点。

(三) 土壤是陆地生态系统的核心及其食物链的首端

地面上有生命的生物都与土壤有关，此外，相互之间还构成了复杂的因果关系，形成了以土壤为核心的陆地生态系统(图6—3)。

生物要不断地同周围环境进行物质和能量的交换，食物链是这种交换的重要途径。在自然界，存在着各种食物链，几乎所有的动物都有自己的食物链。与人类有关的主要食物链之一是陆生生物食物链，即由土壤—农作物—禽畜—人。由此可见，如果陆生生物食物链首端的土壤受到某种污染，其组分或某些物质的含量发生了变动，那么这种变化均有可能沿食物链逐级传递，最终影响到居于食物链顶端的人类。

六、土壤在生态平衡中的变化

土壤组成物质包括矿物质、有机质、水分和空气。在土壤与环境之间的物质、能量的交换和转化过程中，发生着原生矿物的分解和次生矿物的形成，土壤有机质的分解和合成，土壤胶体的分散和絮凝，土壤水分的保蓄和渗漏，土壤空气的输入和输出，土壤热量的增加和减少，土壤中化学元素在环境中迁移转化，以及土壤生物群落与自然环境之间相互作用。这些过程对环境系统中的生态平衡起着重要作用。