

知识介绍

土壤的组成成分及其相互作用

熊 毅

(中国科学院土壤研究所)

“外因是变化的条件，内因是变化的根据，外因通过内因而起作用”。土壤的发生发展是土壤内部的必然的自己的运动。要弄清土壤变化的内因，必须了解土壤是什么组成的及这些组成成分的相互关系。

一、土壤的组成

土壤中含有四种主要组成部分，即无机体(矿物质)，有机体(有机质和有生命的生物)，液体(土壤水分)和气体(土壤空气)。它们紧密地相互混合，要把它们真正地分开来是十分困难的。

土壤和土壤母质的组成是不同的，土壤中含有上述四种组成成分，而土壤母质只有无机体、液体、气体三种。岩石碎屑和砂丘以无机体为主，泥炭、褐煤以有机体为主，地面水和地下水主要是水分，干旱地区土壤中的大孔隙以空气为主。无机体加气体只能在荒漠中找到，没有水分也没有生命；有机体加气体只见于盖覆植被的表层土壤；含有许多微生物的池塘是有机体加水分；消过毒的水泡砂和粘土是无机体加水分。无机体加液体加气体可以盐渍淤泥为例，没有生命，没有水分的干旱地区留存或移栖有机体，可以海鸟粪沉积为

例，是无机体加有机体加气体；森林下的枯枝落叶是有机体加液体加气体；沼泽和淤泥是无机体加液体加有机体。四种组成成分都有的是土壤。

土壤中的四个组成成分，质和量都是不同的。这四种组成成分的容积百分数加起来应当是 100 (图 1)。按容积来说，适于植物生长的土壤约含 50% 的孔隙(气和水)，固体部分有 38% 的矿物质和 12% 的有机质。大寨海绵土的容重约 1.1，孔隙度 55%；而新疆白板土容重可高达 1.5，孔隙度只 44—46%，龟裂碱土的孔隙度只 30—37%。当土壤水分含量适于植物生长时，50% 孔隙中有 25% 是水分，有 25% 是空气。在自然条件下，空

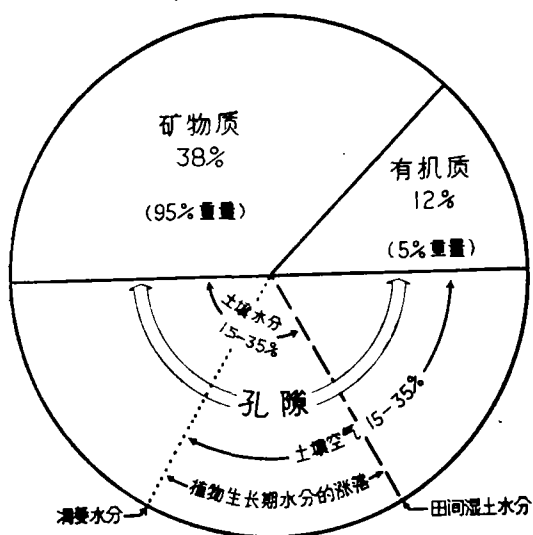


图 1 土壤组成成分(容积百分数)

气和水分的比例是经常变动的。

生土和熟土的土壤组成也有所不同。熟土的四个组成成分主要是紧密融合的，各组成成分之间有许多简单和复杂的相互作用，并形成适于植物生长的良好环境。生土的组成与熟土不同，有机质含量较低，土壤较为紧实，细孔隙较多，生土中含矿物质和水分较多，有机质和空气较少。初步反映土壤肥瘦之间土壤组成的差异。

(一)无机体

土壤矿物质即土壤中的无机体，不仅有大小的不同，组成也有差异。土壤矿物质包括岩石碎屑和各种矿物。岩石碎屑是土壤母质中所残留的，一般较为粗大，而矿物则大小不等，有些可以和小岩石碎屑一样大，有些很小如粘粒只能借助电子显微镜才能看见。

土壤中的矿物质可分为两大类，一类是原生矿物、它是岩石中原来就有的，它的组成与原来母岩中的矿物一样，很少变化。土壤中的原生矿物，以石英、长石、云母最多，其中石英最不容易分解。另一类是次生矿物，包括各种粘土矿物和氧化物，是由矿物风化和土壤形成过程中形成的。一般土壤中的粗大部分是原生矿物，而次生矿物多很细小，主要存于粘粒部分。矿物颗粒的大小对土壤的性质影响很大。各种大小颗粒的含量和排列不同，土壤疏松度和保肥保水能力也不一样，土壤颗粒愈细，次生矿物含量越多，保肥保水能力越大(表1)。

表1 矿质颗粒的大小和性质

大 小			名 称	观 察	主 要 成 分
很粗	粗	大	碎石、石砾	肉眼	岩石碎屑
		大	砂粒	肉眼	原生矿物
	细		粉粒	显微镜	原生矿物和次生矿物
很		细	粘粒	电子显微镜	次生矿物

(二)有机体

土壤中的有机体以有机质为主，但也包括有生命的动物和植物。从最大的啮齿类动物、蚯蚓、昆虫到最细的细菌都有，数量和含量都有很大的不同，一克细菌的数目可由十万个到几十亿个，肥沃土壤中一亩地可有一百多斤活的微生物。在任何情况下，具有生命的有机体都可以影响土壤的理化性质，昆虫和蚯蚓可以崩解植物残体，细菌、真菌、放线菌可全部分解植物残体。

土壤有机质是动植物残体的腐烂分解物质和合成物质。这些物质继续被土壤微生物所破坏，只是土壤中的过渡成分，所以必须经常加入植物残体以更新。土壤中有机质含量很少，按重量计，一般表层土壤只有3—5%。有机质可以影响土壤性质，从而影响植物生长。土壤中有机质越多，影响越大。有机质还是矿质土粒的“团聚剂”，可使土壤变为疏松易耕的好土。有机质是氮的唯一来源，也是磷、硫两种矿质元素的主要土壤来源。有机质可以改善土壤物理性质，增加土壤的持水量和提高植物生长的有效水量。另外，有机质还是土壤微生物的主要能源，没有有机质，土壤微生物的活性实际上是停止的。

土壤有机质包涵两个部分，一种是原来动植物组织和部分分解的组织，一种是腐殖质。原来的动植物组织包括高等植物未分解的根部和地上部分。无论是植物的或者是动物的组织，都要受土壤微生物的侵袭，微生物用它们作为能源和构成组织的物质。腐殖质

是微生物合成和植物组织转变成的产物。这种产物是较难分解的凝胶,呈黑色或棕色,保水保肥的能力都超过粘粒。所以,少量的有机质就可以提高土壤的生产能力。

(三)液体

土壤液体即土壤水分,主要来自降雨、降雪和灌水,如地下水位较高,也可上升补给土壤水分,空气中的水蒸气遇冷也会凝结为土壤水。土壤水分是运动变化的溶液,土壤水分在植物生长中的意义有两方面。一方面是不同水量用不同的粘着力吸持在土壤孔隙之中,另一方面是水和溶性盐类一起构成土壤溶液作为向植物供给养分的媒介。

土壤固体吸持水分的能力多取决于土壤中的水分移动和植物利用。在土壤含水量适于植物生长时,植物易于吸收的水分大部藏存在中等大小的孔隙中。如土壤中的大部分水分被生长的植物移去,则留存的水分只存于细孔中,并围绕着土粒成薄膜。土壤固体吸持水分的能力很大,可以和高等植物相竞争,不是土壤吸持的所有水分都完全能为植物利用,植物只能利用部分水分,植物因水分缺少而凋萎死亡后,土壤中还留下不少水分。

土壤溶液含有少量溶性盐类,其中很多是对植物生长极其有用的。土壤固体与土壤溶液之间和土壤溶液与植物之间的营养物质将发生交换作用。营养物质的交换作用密切受溶液中盐类浓度的影响,而溶液中盐类的浓度又取决于土壤中盐类和水分的含量。所以带有溶质的水分是运动变化的,并对植物生活产生重要的作用。

(四)气体

土壤气体即土壤空气,基本上来自大气,但和大气不一样,有一部分气体是土壤中进行着的生物化学过程产生的。土壤空气有三个特点:第一,土壤空气存贮于土壤孔隙中,互不相连,而各个孔隙中的空气成分是不相同的。在局部的孔隙中,发生气体的反应,将影响土壤空气的成分。第二,土壤空气中的水分含量远较大气为高,土壤水分适中,土壤(比)湿度接近100%。第三,土壤空气中的二氧化碳含量比大气高,而氧的含量比大气低,大气中的二氧化碳只0.03%,而土壤空气中二氧化碳的浓度比大气要高出几百倍。大气中的氧一般是20%,而土壤空气中只有10—12%。

土壤空气的含量和成分取决于土壤与水分的关系。混有其他气体的土壤空气在未被水分所占据的孔隙中流动。降雨之后,大孔隙先装上水,接着中等大小的孔隙也进入水分,由于蒸发和植物利用,土壤水分将被移去。土壤干后,土壤空气占据大孔隙和中等孔隙。土壤中细孔隙多,透气很差。在这种土壤中,水和气的含量和成分都对植物生长不利。但是土壤空气含量和成分是迅速变化的,这不仅影响经济植物的生长,也可影响土壤微生物和动植物。

气体只占土壤容积15—35%,其中80%是氮,其他20%是氧和二氧化碳。排水良好的土壤含二氧化碳小于0.1%,而在通气不良的情况下,二氧化碳可增至5%或10%,土层冻结下,二氧化碳可增至20%并置换所有的氧。

二、土壤组成成分之间的相互作用

土壤不仅是上述四种组成成分的总和,还包括四种组成成分相互作用的产物,如水解、中和、氧化、还原、合成和分解的产物。四种组成成分之间,不是简单地机械地混合在一起,而是相互联系,相互制约,构成一个统一体,因而使土壤千变万化,形成复杂的肥力特性。土壤中四个组成的相互作用可示如下图2

(一)无机体与液体之间的相互作用

各种岩石矿物的组成及其风化的难易都各有不同。硅酸盐风化后可以释放出一定的盐基和形成粘土矿物和氧化物。土壤中的矿物质每克含氧化物不低于 2.69 毫克分子或 5.38 毫克当量的盐基,而每克矿物质只含 0.218 毫克当量的氟、氯、硫、磷等酸性组成成分。硅酸盐是弱酸盐类,水化以后将产生碱性反应,但因粘土矿物可吸持大量的盐基,所以土壤溶液中的酸碱度(pH)不太高。另外,雨水

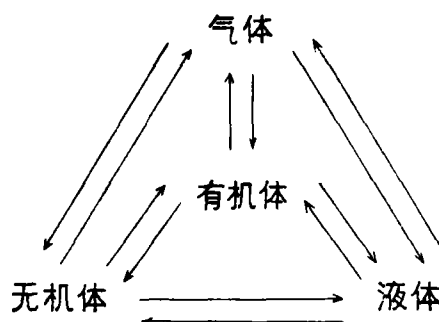


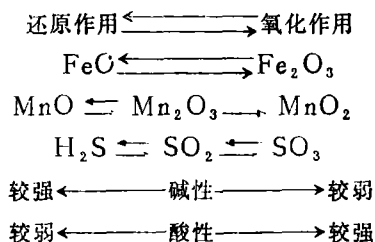
图2 土壤组成成分的相互关系

中含有许多二氧化碳,可将游离的盐基变为碳酸盐类。土壤中含有碳酸盐时,风化物多属盐基饱和态,盐基过度饱和可形成盐土。碳酸盐土壤如继续风化,碳酸盐将被淋失,土壤中的氧化物也逐渐遭受淋失,各元素的淋失次序是钠>钙>镁>钾>硅。如白云母中失去钾而在晶格中进入水分子,则将产生水云母或伊利石。在冷湿条件下,如钾继续被移去而晶层中的铝被镁替换,则将产生蒙脱类粘土矿物。在湿热条件下的风化作用,则因脱硅作用而产生高岭类粘土矿物和铁、铝氧化物。在森林下的土壤则因灰化作用而将铁、铝氧化物淋溶到下层,并产生淀积,而淋溶层留下氧化硅等物质。

土壤矿物质与水的相互作用不仅产生粘土矿物和氧化物,还释放出许多营养元素。由于各类岩石矿物的化学成分不同,释放出来的养分也有差异。云母类是含钾丰富的矿物,磷灰石、橄榄石等是磷、硫、镁的来源。页岩含这些矿物较多,所形成的土壤含矿质养分较多,而砂岩形成的土壤含矿质养分较少。北方地区风化作用较弱,土壤中贮藏的矿质养分较多,南方风化作用较强,土壤中矿质养分含量较少。

(二)无机体与气体之间的相互作用

无机体与气体之间的主要相互作用是氧化作用。这个作用可引起土壤酸化而降低土壤中的碱性。铁可由强碱性的氧化亚铁氧化为弱碱性的氧化铁;锰可由氧化锰氧化为酸性的二氧化锰;硫可由微酸性的硫化氢氧化为硫酸。



还原作用在渍水土壤(沼泽土、水稻土)中最为显著。土壤渍水后,土壤气体与大气之间的交换大为减弱,再因有机质的嫌气分解,更使土壤中的还原作用加强,产生一系列的还原物质,可能引起植物的毒害。例如硫化氢可阻碍细胞色素氧化酶的活动,使根部腐烂,影响植物吸收养分和水分,尤其是对钾和硅酸的吸收影响更大。亚铁可阻碍植物吸收磷和钾,氮的吸收也有影响,还易使根老化,抑制根的生长。

氧化还原过程的相互交替,有助于水稻土肥力的提高,可使耕作层在还原条件下土色较黑,而在排干后出现“红筋”、“锈血”等锈纹斑。我国劳动人民为水稻土创造良好的氧化

还原条件有很丰富的经验。例如氧化作用较盛的水稻土可灌水和施有机肥以促进还原条件，还原作用较盛的水稻土则挖沟排水以创造氧化条件。对一般水稻土则先灌水和施用有机肥料使还原条件适当发展，然后根据水稻生长状况和土壤性质采用排水、烤田等措施，以调节土壤氧化还原状况，提高土壤肥力。

(三)液体和气体之间的相互作用

液体和气体之间的相互作用主要是空气在水中的溶解度。在 760 毫米的压力下，每升水中空气的溶解度及三种温度下空气组成成分在雨水中的溶解度（容积百分数）示如表 2。

表 2 空气的溶解度及空气组成成分在雨水中的溶解度

温 度	0 °C	10 °C	20 °C
空气在水中的溶解度 (毫/升)	29.18	22.84	18.68
空气氮在雨水中的溶解度 (N ₂ %)	63.20	63.49	63.96
空气氧在雨水中的溶解度 (O ₂ %)	33.88	34.05	34.17
空气二氧化碳在雨水中的溶解度 (CO ₂ %)	2.92	2.46	2.14

一般空气中只有 21%（容积）的氧，0.03%（容积）的二氧化碳。空气中最重要 的这三种气体在水中的溶解度是二氧化碳>氧>氮。在土壤空气和土壤溶液中，由于呼吸作用消费氧而相对地增加二氧化碳。渍水土壤中，缺少土壤空气，在还原条件下，可以完全没有氧，土壤中铁、锰、硫将被还原而增加土壤的碱性。

(四)微生物与有机质的关系

动植物残体通过微生物可产生矿质化作用和腐殖化作用。矿质化作用是复杂的有机物分解为简单无机物的过程，最后放出二氧化碳。矿质化的结果，释放出养分，供作物吸收利用。腐殖化作用是动植物残体分解后再重新合成的新物质。腐殖化的结果使土壤中累积了腐殖质，在一定条件下，腐殖质又会缓慢分解，释放出养分。这两种作用所需的条件不同，如土壤温度高，水分适当，通气良好，则好气微生物活动旺盛，以矿质化过程为主；相反，如土壤积水，温度低，通气不良，则嫌气微生物活动旺盛，而以腐殖化过程为主。

动植物残体腐烂分解后，可产生有机酸和酸胶体，所以一般呈酸性反应。腐殖质的酸碱度(pH)约3.56，而电析后只2.93，含氮有机物可以氧化为硝酸，氨基化合物亦可变为强酸。有机质的氧化作用与矿物质不同，它有一个氧化过渡产物(有机酸及酸胶体)，比最后产物还要酸(二氧化碳和水)。



动植物残体所产生的酸可与土壤中的盐基相中和，变为溶性盐而被淋去。腐殖质的酸胶体则因未被盐基饱和而增加其酸度，并影响土壤胶体中的碱胶体酸化而产生灰化作用。但植物可由底层吸收盐基而转运至上层，以抑制酸性淋洗作用，如植物含有高量的盐基则可阻止或抑制土壤脱饱和及灰化作用。酸性土壤产生酸性植被，而酸性植被又产生酸性土壤。

另外，微生物还可以分解有机氮和固定空气中的氮，以供植物生长之用。土壤中的含

氮有机化合物可以通过氨化细菌等微生物的作用而变为铵化合物。在通气良好的情况下,铵离子可被亚硝化和硝化细菌氧化为亚硝酸盐和硝酸盐。在通气不良时,硝酸盐又可受反硝化细菌的作用,还原为氮和氧化二氮而损失。在能源物质充足时,无机氮亦可被生物在繁殖过程中利用,并组成其躯体而转变为有机氮。条件合适时,土壤中的固氮菌和根瘤菌还可以把土壤空气中的游离氮素固定为有机氮,而作为它躯体的一部分。微生物死亡和腐烂后,部分氮素可供给植物利用。

(五)矿物质与有机质的相互作用

矿物质与有机质之间,有一个最重要的相互作用,是有机无机复合作用,即土壤胶体的形成。土壤胶体中有两种不同型式的胶体,即无机胶体和有机胶体,这两种胶体是经常紧密相结合的,无机胶体即粘粒,包括各种粘土矿物和氧化物,有机胶体以腐殖质为主,也包括多醣类和蛋白质。

粘粒和腐殖质都是土壤中最细小的部分,呈胶体状态,每个颗粒都非常细小,表面积较大(单位重量),并具有表面电荷,可以吸持离子和水分。土壤理化性质多受粘粒和腐殖质这两种胶体的影响。土壤胶体是土壤活性的基地。粘粒和腐殖质是活性的中心,围绕这个中心产生化学反应和养分交换。另外,粘粒和腐殖质还在其表面吸持离子以免养分的淋失,而缓慢放出以供植物利用。粘粒和腐殖质都具有表面电荷,可作为较大颗粒间的“接触桥”,有助于水稳性团粒的形成,从而获得多孔易耕的土壤。从重量来说,腐殖质吸持养分和水分的量比粘粒多得多,但是土壤中一般都含有大量的粘粒,所以它对土壤理化性质的影响常与腐殖质相等。最好的农业土壤,粘粒和腐殖质是融合在一起的,其性质是相平衡的。

土壤中的粘粒和腐殖质很少单独存在,绝大部分是紧密结合成为有机无机复合体。粘粒和有机质的相互作用对土壤理化生物特性的影响很大,粘粒吸附有机质后,将改变其表面及其与水和电解质的相互作用。粒间键则可影响团聚体的膨胀性质和团聚强度。由于土壤中粘粒和有机质在质和量上的差异都很大,有机质与粘粒的相互作用又复杂万端,所以,土壤胶体的性质很不一致,有机无机复合作用对土壤性质的影响也各不相同。为了真实地了解土壤情况,解决生产问题,不能只单纯地提出无机胶体或有机胶体来研究,而必须把有机无机复合胶体当为一个整体来研究。所以,我们说,土壤有机无机复合体即土壤胶体,是土壤肥力的重要物质基础,是土壤肥力研究中不可缺少的环节。

总之,在研究土壤组成时,必须强调土壤胶体和微生物这两个重要物质。土壤中的活性是和粘粒、腐殖质分不开的,没有土壤胶体,土壤不会有这样巨大的活性;另外,没有大量的生物特别是微生物群落,就不可能影响有机质及腐殖质的变化,并调节几种养分的供应。土壤组成是运动变化的,并且是可以经过人为措施而改变的。例如,客土可以改变土壤的矿物质,施用有机肥料可以改变土壤中的有机质,灌水可以改变土壤水分,排水、烤田可以改善土壤空气。土壤组成是土壤产生千变万化的内因,也是土壤肥力的物质基础。所以,从肥力出发来研究土壤的生产问题,必须具有胶体和生物的观点,发挥人的主观能动性,改变土壤的组成,特别是胶体和微生物的状况,使它符合作物高产稳产的要求。