

知识介绍

土壤形成的因素和过程

熊毅

(中国科学院南京土壤研究所)

“运动是物质的存在方式。无论何时何地,都没有也不可能有没有运动的物质”。在土壤科学的发展过程中,早就有两个截然不同的观点。辩证唯物主义者认为,土壤是运动、发展的,相互联系的,并且和外围环境条件密切相关的;但是,形而上学用孤立、静止的和片面的观点看待土壤,既不能透解土壤的本质,了解土壤运动、发展的规律,更不能遵循客观规律,充分发挥人的主观能动性科学地利用和改造土壤。

土壤是运动变化的物质。要真正认识土壤,就必须了解土壤形成的条件和成土过程,并要深刻认识人在土壤形成过程中的重要作用。

一、土壤形成的因素

“运动本身就是矛盾”,认识土壤就要认识土壤的矛盾性。土壤运动变化的根本原因在于土壤内部的矛盾性。土壤内部组成不仅是矿物质、有机质、水分、空气,还包括各种组成成分之间的相互作用产物。各种组成成分不仅在含量和分配上有所不同,类型和性质也各有差异,各种组成成分之间的相互作用也是千变万化的。这些差异和变化使土壤内部产生错综复杂的矛盾。复杂的土壤内部矛盾性引起土壤朝着不同的方向进行不同程度的运动和发展,并表现出各种各样的物理的、化学的和生物的特性。土壤之所以多种多样,千差万别和变化万端,原因就在于此。

土壤的差异和变化是有规律性的,是和它内部组成成分不开的。土壤含砂粒较多的是砂土,含粘粒过多的是粘土,含水过多的有沼泽土,含水过少的有沙漠土,含有机质较多的有黑土、腐泥土,含铁铝较多的有红壤和砖红壤,含盐多的是盐土,碱性大的是碱土,酸性大的是酸土。组成变化愈大,土壤性质变化愈大,组成变化愈小,土壤性质变化愈小。因此,土壤性质的变化有质变量变之分,并有过渡性的特点。土壤内在组成和性质的变化规律及其相互关系是研究土壤运动变化的基础。

但是,土壤组成和内在性质的变化不是孤立的,而是与外在环境紧密联系的。所以,研究土壤不能只谈

内因,也要研究外因,研究内部组成与外在环境的相互联系。

土壤内部的一个主要组成成分是矿物质,它受土壤母质的密切影响。土壤母质是岩石风化而成的,岩石经过物理风化只能崩解破碎,而化学风化可将岩石分解为颗粒大小不同的原生矿物和次生矿物,并释放出盐基。干旱区域的土壤母质较易于保持其固有的性质。在湿润气候下,花岗岩母质多形成酸性的粗质土,而闪长岩和基性辉长岩则多形成土层较厚的土壤。在热带气候下,斜长石和基性岩所风化的母质可含很多三水铝矿,而酸性岩石中的正长石常使母质中含较多的高岭。沉积物所发育的土壤中,静水沉积物多形成粘土,而流水沉积物多为砂土。

绿色植物对于土壤组成的影响最为显著。草原地带的土壤,表层富含腐殖质,其分布土层亦较深厚,腐殖质是微碱性或酸性的。森林地带的地表有枯枝落叶层和腐殖质层,如果是针叶树林,腐殖质呈酸性或强酸性。林下土壤所含的有机质比草地土壤少,吸附性盐基也较少,pH值较低,土壤发生酸性淋溶作用。森林落叶所含的灰分,特别是其中的钙质含量,对于土壤酸度的影响较大。每一类土壤都有它特定的微生物群,有机质的合成和分解都离不开微生物的活动。他如土壤寄生的蚯蚓、昆虫和一般虫类也可以影响土壤的形成和变化。

气候因素支配着成土过程的水分和热量条件。气候因素直接参与成土过程,但是作为生物特别是绿色植物和微生物的生活条件而间接影响成土过程的作用更为重要。一般来说,降水量增加,土壤中粘粒含量增多;土温增高,岩石及矿物的风化作用加剧。气候不同,土壤中的次生矿物也不同。干冷地区的土壤,多含水云母,只有微弱的脱钾作用。湿热地区,除脱钾作用外还有脱硅作用,多形成高岭类次生矿物;而湿热剧烈地区的土壤则因强烈的脱硅作用而含较多的铁铝氧化物。冷湿地区则出现蒙脱类次生矿物。

有机质的积累和分解密切受生物气候条件的影响。年产草量和根量较多的草原土,有机质含量较高。

过度湿润和长期冰冻有利于有机质的积累。黑土就是因为生物量较大而气候较为冷湿,微生物受到一定限制,而土中积累较多的腐殖质。栗钙土的气候较为干燥,好气微生物比较活跃,有机质易于矿化而腐殖质含量较少。不同生物气候条件下,各土类有其特定的腐殖质及微生物群。黑土的腐殖质以胡敏酸为主,胡富比(胡敏酸与富里酸的比值,下同)约为2,胡敏酸分子量和芳构化程度较大,大部分与土壤矿质部分紧密结合,活性胡敏酸在25%以下。由黑土至栗钙土至灰钙土,胡敏酸含量逐渐降低,芳构化程度依次变小,灰钙土腐殖质的胡富比只0.6—0.8,活性胡敏酸也逐渐减少,甚至于无。由黑土往南经棕壤、黄棕壤,到红壤、砖红壤,胡敏酸含量也逐渐减少,胡敏酸分子量和芳构化程度也逐渐降低,活性胡敏酸则急剧增高。黄棕壤中腐殖质的胡富比约0.4—0.6,胡敏酸绝大部分(60—85%)以游离态或活性氧化铁铝相结合。砖红壤的腐殖质不但以富里酸为主,胡富比小于0.4,而含量很少的胡敏酸,其芳构化程度也很低,近似富里酸,并且几乎全部是游离态或与活性铁铝结合。

由于气候不同,各种土壤中微生物的数量和种类也有不同。草甸土中的微生物数量最多,黑土地带每克土壤中的微生物数量可达数千万,干旱和半干旱地区的栗钙土、棕钙土和灰钙土中微生物数量在数百万至数千万之间,湿热地区的红壤和砖红壤微生物数量较少,但某些砖红壤中微生物数量也可达二千万左右。一般来说,土壤经过耕种之后,微生物的数量都大为增加。在微生物的类型方面土壤中细菌的数量最多,每克土壤中含 10^6 — 10^7 个,放线菌次之,约 10^5 — 10^6 个,真菌最少,有 10^3 — 10^5 个。湿润地区有机质含量丰富的中性或微碱性土壤含细菌最多,干旱地区的中性和偏碱性的土壤含放线菌较多,真菌则多分布于酸性的森林土壤和红壤、砖红壤。

地形和水文地质可以改变成土过程中的水热条件,所以山地土壤与平原土壤的形成过程迥然不同。雨水降落地面,多形成径流而汇集洼地,陡坡存水甚少,成土作用缓慢,如在湿润地区,表土易受冲蚀;洼地则因水多而常产生潜育作用。微度起伏的坡地是土壤剖面发育较好的地区。由于地形不同,排水条件不同,成土作用也有不同,土壤颜色,腐殖质的含量和厚度,盐分含量,硬盘性质都有差异。干旱地区的冲积平原由于地形平坦,排水不良,土壤常产生盐碱化作用。土壤剖面中粘盘或硬盘的形成,也是过去或现在地下水位的影响。坡向不同,成土作用也有不同,南坡暖而干,温度和湿度变异较大,而北坡与此相反,西坡与东坡则介乎其间。

各成土因素对于土壤组成的影响,将随时间延长

而加深。在各种因素相同的基础上,时间长短不同,土壤发育程度和到达的阶段就不一样。土壤的发生发展将随时间的前进而不断向前发展。

除上述自然环境因素和时间因素而外,人类活动对土壤的影响是十分重大的。人类活动不仅改变自然环境条件,还可以改变土壤内在组成。例如施肥、灌水、客土和施用有机物质与石灰、石膏等,是人类直接在土壤中添加物质,而平整土地,修整梯田,灌排配套,植树造林以及其他农业技术措施,则是改变土壤的外在条件,通过内因而使土壤性质发生变化。

总之,要认真地认识土壤,必须了解土壤的内在性质,同时还必须了解具有这样性质的土壤的外在条件,并弄清土壤内在性质的变化规律及其与外在条件的关系。

二、土壤形成过程

认识土壤必须认识土壤的运动形式。土壤运动形式就是土壤形成过程,各种土壤的形成过程有其共同点,也有特殊点。认识土壤的基础在于注意它的特殊点,注意它和其它形成过程的质的区别。只有注意到这一点,才能把多种多样的土壤区别开来。任何一种成土过程,其内部都含着本身特殊的矛盾,而这种特殊矛盾就构成这种土壤区别于其他土壤的特殊的本质。不研究土壤的特殊矛盾,就无从发现土壤形成过程的特殊原因或特殊依据,也就无从辨别土壤,认识土壤。只有从特殊到一般,又由一般到特殊这样循环往复地进行,才能对土壤的认识逐步提高,不断深化。

研究土壤形成过程必须以土壤剖面为对象,由表层至心土以至于底层。因为土壤组成的变化,不仅限于某一土层,上下土层都有联系。土壤有着不同的组成,又密切受外在环境的影响。外因是条件,内因是根据,外因通过内因而使土壤内部不断地发生变化,进行各自的成土过程,并反映出不同的土壤剖面。我国自然条件复杂,土地又经过长期耕种,所以土壤性状变化很大,类型繁多,而每一种土壤都有它特有的成土过程。任何一种土壤的形成不能单纯地看作是某一成土作用的产物,而是多种成土作用的综合结果。在分析各种成土作用对某一特定土壤类型的影响时,经常可以发现这些成土作用的强弱有所不同,有的起着主导作用,有的只起次要作用。这些强弱不同的作用的综合结果,形成了土壤外形和内性的种种差异。为弄清各种土壤的形成过程,又必须分别研究各种成土作用和风化作用。

土壤是由岩石变来的。岩石通过风化作用和成土作用而变成土壤。原始土壤的形成首先是在岩面出现“岩漆”状物质(岩漆状岩生植物主要是蓝藻,也有绿

藻、甲藻、硅藻等),以后发展为岩面地衣类植物的繁生,再一步是苔藓植物着生,最后是高等植物的繁生以及一般常见土壤的发育,而原始土壤形成过程告终。

盐碱土多形成于气候干旱而地势相对低平的地区,土壤中累积过多的溶性盐分,产生盐化作用而形成盐土和盐化土壤。如土壤胶体中交换性盐基逐步为钠所交换,则产生碱化作用而形成碱土或碱化土壤。但是盐土和碱土的形成,除盐化作用和碱化作用而外,还有有机质累积和分解的作用,否则只是盐渍泥而不是盐碱土。

钙层土是指土壤剖面中具有碳酸钙聚积层的土壤,其形成条件主要是年蒸发量超过年降雨量,与半干旱的草原环境相一致。半干旱草原包括半湿润森林草原,半干旱草原和较干旱的荒漠草原三个生物气候带。典型的钙层土有黑钙土、栗钙土、棕钙土,其次为灰钙土,森林下的褐土也有钙积层存在。钙层土的形成过程包括两种作用,即碳酸钙淀积作用和腐殖质累积作用。在半干旱草原气候下,土壤水分状况属于非淋溶型,多发生碳酸钙淀积作用。极易溶解的盐类大部分被淋洗,而难溶解的硅、铁、铝氧化物不发生移动,土壤溶液和胶体表面以及地下水则多为钙(镁)所饱和,并以碳酸钙的形式淀积于剖面中的不同深度。钙层土的腐殖质主要来自旱生的草本植物,生物积累量较森林为低,但草原植被的地下部分相当发育,可超过地上部5—20倍,并主要分布在50厘米以上。由于生物气候条件的不同,各种钙层土的腐殖质含量和腐殖质层厚度都有差异。这类土壤的腐殖质组成以胡敏酸为主,富里酸次之,碳氮比在5—15之间。

粘化土的形成过程以粘化作用为主。粘化作用是原生矿物逐渐分解为硅铝酸盐粘粒,并在剖面中迁移和淀积。粘化作用多发生于暖温带,湿润和半湿润地区的棕壤和褐土,年降水量较高,受东南季风影响,四季干湿变化明显,土壤中碳酸盐已淋洗到剖面下部,粘粒有迁移和淀积的现象。

红壤的风化和成土作用以富铝化作用为主。在水热丰沛的热带和亚热带,土壤矿物的分解与元素的迁移和富集十分明显。钙、镁、钾、钠和硅都被大量淋失,粘土矿物则因脱钾、脱硅作用而演变为高岭或铁铝氧化物,使土壤粘粒中铝和铁的成分增加,这就是富铝化作用。由于热带和亚热带之间,生物气候和水热状况存有差异,成土作用对土壤组成的影响也有很大的差别。红壤粘粒以高岭为主,而砖红壤粘粒中的铁铝氧化物含量较高。红壤地区的风化淋溶作用较强,但生物累积也很剧烈。红壤的积温较高,砖红壤区一般全年无霜冻,既有利于土壤微生物的分解活动,更有利于生物量的形成,所以砖红壤中的有机质容易分解,也容易积

累,未受侵蚀的红壤和砖红壤的表层,一般含有机质都较高。砖红壤的腐殖质,不但以富里酸为主(腐殖质的胡富比小于0.4),即少量胡敏酸的芳构化程度也很低,与富里酸很接近,并几乎全部以游离态或活性铁铝结合态存在。

森林植被对森林土的形成有着巨大的影响。森林所造成的郁闭环境,森林凋落物和枯枝落叶层的形成及其分解物对土壤的影响都十分显著。森林的枯枝落叶多进行弱酸性分解,而使土壤形成一个较厚的腐殖质层。一般腐殖质层仍保持弱酸性,有较多的水溶性和交换性钙镁以及较高的盐基饱和度,因而土壤不致灰化。半湿润和半干旱地区的森林土壤一般没有灰化作用。湿润地区的大多数森林土壤,亚热带常绿阔叶林和热带雨林下的森林土壤也没有灰化作用或很不明显。只有西南高山冷杉林和寒温带针叶林下部分森林土可能有灰化作用。灰化作用是酸性络合淋溶的表现,铁铝和腐殖质被酸淋洗而淀积于下层,形成浅色的灰化层和锈棕色的淀积层。灰化层的酸度较高,铁铝较少而氧化硅相对较多,胡富比约为0.4或更低。

草甸土的形式过程主要是地下水浸润下和草甸植被的影响下土壤干湿交替的氧化还原作用和腐殖质积累作用。这种土壤多分布于河湖泛滥地和低阶地,地下水埋藏较浅;在降雨季节地下水位升高,受地下水浸润的底层土壤,氧化还原电位低,处于嫌气状态,三价氧化物还原成二价氧化物;在干旱季节,地下水位下降,二价氧化物又氧化为三价氧化物。在这样湿干交替的情况下,土壤中有些铁和锰化合物发生移动和淀积,而在土壤剖面中形成锈色胶膜和铁铝结核。草甸土中腐殖质的积累是和植被分不开的,一般草本植物,根系分布致密,千重比较大,最有利于土壤腐殖质的积累。腐殖质组成以胡敏酸为主,富里酸含量很少,胡敏酸分子结构也比较复杂。

沼泽土的形成过程包括土层上部的泥炭化或腐殖化作用和土层下部的潜育作用。沼泽土多形成于气候湿润或比较湿润的低洼地区,地表经常积水。由于夏季高温多雨,促进莎草科为主的沼泽植物繁茂生长,而在土中积累大量的有机质。再因冬季严寒而持续时间又长,有机质得不到充分分解而以泥炭或腐殖质形式在土壤中积累,发生泥炭化和腐殖化作用。土层下部则因长期积水和有机质还原物质的影响,经常处于还原状况而发生潜育作用。

人类活动影响下的土壤形成过程是在上述成土过程中发生的。由于人类措施及其影响程度的不同,土壤变化也不一样,对于原有土壤的属性及成土过程的改变,也有程度上的不同。有些土壤虽经人类活动,仍显示原有成土作用的烙印,有些土壤则因变化较大,脱

离原有的形成过程而形成新的土壤类型。

土壤运动变化不仅有它自己的特殊成土过程,而且还有不同的发展阶段。土壤形成过程的根本矛盾和本质非到过程完结之日是不会消灭的,但是土壤形成过程中的各个发展阶段,情形又往往是相互区别的。在某一形成过程中,它的根本矛盾性质和过程的本质虽然没有变,但生长过程中却有着不同的发展阶段。在只有量变而未到发生质变的时期,土壤好象处于静止状态,但当量变发展到质变,土壤则呈显著变化的状态。根据土壤的形成过程及其发展阶段,并按土壤特殊性质的量变和质变,就可进行系统的土壤分类,加深对土壤的认识。

三、耕种土壤是人类生产劳动的产物

人对自然的认识也存在着两种世界观的斗争。唯心论形而上学者认为,人对自然是无能为力的,只能消极利用和适应迁就;而辩证唯物主义者则认为,人是自然的主人,不仅能认识自然,而且能利用自然和改造自然。毛主席指出“世间一切事物中,人是第一可宝贵的。在共产党领导下,只要有了人,什么人间奇迹也可以造出来”。过去人们只把人类在土壤上的活动当作农业技术措施或土壤管理,没有充分注意人类活动所引起的土壤组成和性质的变化,也没有把人类活动当作土壤形成因素来看。大家都知道,人为作用以前,土壤形成过程完全受自然环境的影响,但自人类生产活动开始以后,这种情况有了根本变化。随着社会生产力的发展和科学技术的进步,人为因素对土壤的影响愈来愈广泛,愈来愈深刻。所以,土壤不仅是历史的自然体,更是劳动的产物。但在资本主义制度下,由于对土壤进行掠夺式经营,土壤肥力下降,土壤朝着不利于农业生产的方向发展。只有在社会主义制度下,群众组织起来了,亿万人民发扬战天斗地的精神改土培肥,才能使土壤肥力不断提高,土壤朝着有利于农业生产的方向发展。

事实证明,我国广大的土地经过历代劳动人民辛勤地耕种,土壤已发生巨大的改变。特别是水稻的种植遍及全国,在长期水耕熟化作用下,已形成四亿亩左右的多种多样的水稻土。他如旱耕熟化的瘠土、海绵土、潮土,淤灌旱耕熟化的绿州土,以及多肥勤灌的菜园土,都显示人类耕种对土壤形成过程的影响。

水稻土是人类活动下的一种耕种土壤。水稻土的形成过程主要包括淹水灌溉条件下的氧化还原交替作用和因施用大量有机肥料而产生的有机质积累和分解作用。总称之为水耕熟化过程。水稻土的氧化还原作用各有不同。淹水田(地表水型水稻土)春夏季节灌水,耕层呈还原状态而下层仍为氧化状态;秋季稻田落水,

到冬季落干后,全剖面均处于氧化状态。潜水田(地下水型水稻土)全年都处于还原状态,尤以夏季为甚。爽水田(良水型水稻土)的变化比较明显,冬春处于氧化状态,而夏秋处于还原状态。另外,在同一水稻土中还有氧化还原电位的剖面分异。水稻土灌水以后,耕层及犁底层上部处于水分饱和或过饱和状态,耕层与大气之间为水层所分隔而使有机质进行嫌气分解并导致土壤发生还原作用,除表面棕色层外,整个耕层处于还原状态。但犁底层有滞水作用,耕层中的水分只能徐缓下渗,所以在水稻生长期,心土层水分仍处于不饱和状态,而有一定比例的土壤孔隙处于氧化状态。这种氧化还原的剖面分异,为铁锰的还原淋溶和氧化淀积创造条件,并给水稻土带来一系列的生物和化学的变化。

由于频繁的施肥和收获,水稻土中物质循环的速度极快。渍水有利于有机质的积累,而排水有利于有机质的分解,渍水和排水的交替,也就是氧化还原的交替,有利于有机质的不断更新。所以,爽水田是肥力较高的水稻土。水稻土中的有机质含量往往比同一地区相应的旱地土壤为多。水稻土中腐殖质的特征仍有地带性土壤的烙印,但水稻土中腐殖质的胡富比均较相应的地带性土壤和旱地土壤为高。总的来说,胡敏酸含量较高,而胡敏酸的分子量和芳构化程度却较低。渍水时间愈长,胡敏酸的芳构化程度愈低,而胡敏酸含量有略增的趋势。渍水有利于胡敏酸的形成,而不利于分子复杂化。

据初步研究,水稻土熟化以后,土壤中基本微团聚体(又称粉团,0.25—0.01毫米)有增高的趋势,土壤有机无机复合体中碳、氮和腐殖质的含量都较高,土壤保肥供肥性能和透水透气性能都有所提高。江苏句容的水稻白土经过多年熟化后,有机无机复合体中的腐殖质含量增加,粘度、交换量、吸铵量和吸水量也增加,而电动电位和磷酸固定量则减少。

旱耕熟化过程是旱作土壤的形成过程,主要包括农田基本建设和土壤培肥两种作用。农田基本建设如平整土地和兴修梯田等,可以改变土壤的地形,也改变土壤的水热状况,有些地区引水上山,变旱地为水浇地,大改土壤水分状况,促进土壤的熟化。在农田基本建设的基础上,施肥、客土等培肥措施,可以改变土壤内在组成,对土壤熟化作用的影响更为剧烈。但是,旱作土壤的性质变化因耕种熟化程度不同而有明显的差异。在重施有机肥料和改善灌溉排水条件的情况下,土壤性质变化更为明显。例如漠境土壤淤灌后,土壤中腐殖质积累作用加强,而矿化作用减弱。褐土长期不断地施加土粪而变为瘠土。沼泽土排水后可由沅田变为旱地。

以有机肥料为主的施肥制度是我国农业生产的重要

要特点，也是早耕熟化的重要因素。早耕熟化过程是在高度氧化和好气微生物占优势的条件下进行的。土壤有机质的矿化作用比水田强，但如大量而连续地施用有机肥料，亦可增加土壤中的腐殖质。在耕种条件下，植被类型发生很大的变化，土壤水热条件也因耕种而产生不同程度的变化。但总的来说，早耕土壤水热条件的改变比水田小，地带性土壤的烙印也较明显。所以早耕土壤的腐殖质性态既反映耕种的影响，又带有地带性土壤的烙印。早耕土壤腐殖质中，胡敏酸的含量、芳构化程度以及活性胡敏酸含量的变异趋势，都和地带性土壤基本相同。但同一类型的土壤相比较，早耕土壤的腐殖质中，胡敏酸含量较高，芳构化程度较大，活性胡敏酸含量较低。

旱地土壤熟化以后，土壤中基本微团聚体的含量增加，蓄水保墒和保肥供肥性能都提高。大寨海绵土与瘠薄黄土相比，有机无机复合体中腐殖质和胡敏酸的含量都较高，粘度和铵的吸附加大，而电动电位和磷酸固定则较小。新疆达板城天山公社东沟大队在潮土上连续施用风化煤十年后，风化煤中的腐殖质已和土壤粘粒相复合，复合体中腐殖质含量显著增加，复合体的极限pH和电动电位稍有降低，而缓冲性能显著加强，

粘度、交换量和吸水量也都有所增加。

在农业学大寨的群众运动中，亿万群众坚持人定胜天的思想，发扬愚公移山的精神，进行了规模空前，气壮山河的改造大自然的战斗，移山造田，平整土地，兴修水利，灌溉农田，坡地改梯田，旱地改水田，沙漠变绿洲，洼田变旱地，瘠土变肥土，盐碱变良田，充分说明，人为作用可以迅速地改变土壤的形成过程，使土壤朝着有利于农业生产的方向发展。

人为成土因素不能看成是生物成土因素，不能纳入五大成土因素之中，更不能与自然成土因素并列而成为第六个成土因素。人为成土因素是一个独特的因素，是由社会经济条件所决定并可改变土壤形成内因和外因的一个重要成土因素。土壤熟化过程与其它成土过程存在着经纬关系。我国土壤的耕种历史悠久，土壤受人类活动的影响很大。在文化大革命前，群众性土壤普查已引起土壤科学工作者对耕种土壤的重视。但十几年来，耕种土壤的研究仍不甚多，也不够深入。为了弄清人类活动对土壤形成的影响和发挥人的主观能动性做好改土培肥的工作，耕种土壤的性态及其形成特点的研究，无疑是当前刻不容缓的重要科学任务。