

土壤科学(一)

吴文英 主编

目 录

土壤形成	1
成土因素学说的建立和发展	1
气候因素的成土作用分析	6
生物因素的成土作用分析	11
母质因素的成土作用分析	14
地形因素的成土作用分析	18
时间因素在成土过程中的作用	20
内动力地质作用对土壤发生的影响	24
人类活动对土壤发生发展的影响	25
成土因素与土壤分类的关系	27
基本成土过程	30
土壤发生层	38
成土过程与土壤分类的关系	45
土壤分类的逻辑与原则	47
分类学中的基本概念	47
土壤分异特性的原则	58
应用分异特性的原则	61
土壤分类的基本原则	67
分类单元的命名法	70
分类概念与分类对象的关系	72
前苏联土壤分类体系	76
前苏联土壤发生学分类的指导思想	77
土壤地理发生学分类	78
成土过程发生学分类	81
土壤历史发生学分类	83
前苏联土壤发生学分类体系中的低阶层分类	87
前苏联土壤发生学分类述评	93

美国的土壤分类	98
美国土壤系统分类的发展历史	98
美国土壤系统分类的命名系统	107
高级分类所使用的诊断层与诊断特性	115

土壤形成

成土因素学说的建立和发展

早在土壤学发迹时期，人们就认识到土壤与它的环境条件有关系。但直到 19 世纪 B.B.道库恰耶夫创立五大成土因素学说，将土壤作为一个独立的自然体看待之前，人们对土壤的认识都限于把它孤立地与某一环境因素联系起来。如西欧 19 世纪中期，F.A.法鲁（Fallou，1862）将土壤和母岩联系起来，简单地认为土壤只是和母岩成分有关，并由此划分出了“石灰岩上的土壤”、“长石岩上的土壤”、“粘土岩上的土壤”等等。

一、成土因素学说的建立

B.B.道库恰耶夫是成土因素学说的创始人。19 世纪 80 年代，B.B.道库恰耶夫在俄罗斯大平原上做土壤调查工作。在这个大平原上，相当一致的黄土状母质绵延近千公里。在此区域内，从北到南存在着一个递增的温度梯度，从东到西存在着一个递增的温度和年降水量的梯度；与此相关的是主要植被类型的差别，特别是从森林植被到草原植被的变化；气候与植被的规律性变化，在相对一致的母质上留下了它们的影响，产生了明显的土壤差别；这就是土壤地带性理论形成的基础。B.B.道库恰耶夫第一个理解了这些土壤差别的意义，建立了土壤发生学。1883 年，他发表了他的著名的专题论文“俄国的黑钙土”，把土壤看作由一系列成土因素作用于母质而

形成土层的独立自然体。这以后，他又发表了一系列土壤发生和分类的文章，为成土因素学说奠定了基础。

B.B.道库恰耶夫认为，土壤有它自己的起源，是母质、生物、气候、地形和年龄综合作用的结果。他用下列方程表示土壤与成土因素间的函数关系：

$$\Pi = f(K, O, \Gamma, P) T$$

式中， Π 代表土壤； K 代表气候； O 代表生物； Γ 代表岩石； P 代表地形； T 代表时间。B.B.道库恰耶夫认为所有成土因素始终是同时和不可分割地影响着土壤的发生和发展，它们同等重要和不可相互代替地参加了土壤形成过程。同时，他还指出，各个因素同等重要的含义，并不是说每个因素时时处处都同等地影响着成土过程；而是在所有因素的综合作用下，每一个因素在土壤中所表现的特点或个别因素的相对作用，又都有本质上的差别。B.B.道库恰耶夫也指出了成土因素有地理分布规律和规律性变化；显然，这是俄罗斯广阔大平原上的生物气候带的变化对他的启发。

B.B.道库恰耶夫确立了土壤是个历史自然体；提出了土壤与环境辩证统一的概念；创立了用综合性的观点和方法研究土壤的科学方法。这些是他对土壤学划时代的贡献。与此同时，美国土壤学家 E.W.海洛格(Hilgard)在他关于密西西比土壤的文章中，也将土壤作为一个自然体看待，指出了土壤性质与气候、植被、母质等因素的发生学关系。可见，成土因素学说是科学发展的时代产物。

二、成土因素学说的发展

B.B.道库恰耶夫之后，许多土壤学家对成土因素学说的发展作出了贡献，从不同的侧面深化了成土因素学

说的内容。

H.M.西比尔采夫(1895年),根据土壤地理的分布特点,把土壤划为三个土纲:

1.显域土纲:分布于广阔的平原上,具有明显的地带性特征。如砖红壤、黑钙土、灰色森林土、生草灰化土、冰沼土等土类即属于此。

2.隐域土纲:在特殊地形和母质的影响下,以斑点状分布,如沼泽土、盐土和碱土等。

3.泛域土纲:不表现地带性特征,分布于任何地带内都保持自己的特征,如河流泛滥地的土壤和石质土等。以后西比尔采夫又指出,泛域土实际并不存在,任何土壤多少仍受所在地带的影响而存在某些地带性的特征。

H.M.西比尔采夫将B.B.道库恰耶夫所发现的成土因素地理分布规律深化为土壤地带性概念,将一定的土壤种类与一定的气候植被或地理区域相联系。他的土壤地带性概念对以后的土壤学研究起到了广泛的影响。如美国农业部1938年颁布的土壤分类中即直接引用了显域土(Zonal)、隐域土(Introzonal)、泛域土(Azonal)的概念。这个概念以后由J.梭伦带到我国,对我国30年代的土壤分类产生了影响。至今,地带性概念或理论仍是许多分类体系的思想基础。如前苏联现行的全苏土壤分类体系,我国自50年代以来,一直到第二次全国土壤普查所使用的分类体系,均源于土壤地带性学说。

土壤地带性概念的提出,促进了人们深入研究和认识气候、生物等地带性土壤发生因素在土壤形成中的作用,但也带来了后来出现的“唯地带性论”的趋向和某些消极作用,如在土壤发生分类中忽视了对母质作用的研究。K.Л.格林卡(1914)将他的第一篇著作“土壤形

成类型、分类和地理分布”介绍给了西方，使土壤地带性概念更为广泛地传播，造成了很大影响。

B.P.威廉斯提出了土壤统一形成过程学说。在这个学说中，强调了土壤形成中生物因素的主导作用和人类生产活动对土壤产生的重大影响。在土壤统一形成过程学说中，B.P.威廉斯将“进化论”的观点引入土壤发生学，提出了土壤年龄和土壤个体发育与演替的概念。威廉斯认为，土壤形成过程的发展密切地联系着土壤形成全部条件的发展，特别是作为土壤形成主导因子的植被的发展。形成条件的发展变化引起土壤性质的变化，使土壤不断进化，并可能产生“质”的突变。同时，土壤的发展对植被的发展起反作用。B.P.威廉斯的观点对于理解“生物小循环”，对于土壤发生，特别是对于土壤有机质生成和矿质元素的富集方面的积极作用是明显的。但他的学说也存在很大的片面性。因为一个土壤个体可以在比较短的时间内发育形成；也可以受到各种不同的影响而改变；甚至由于侵蚀或其他作用而被消灭，并不仅仅与植被的进化相关。

B.B.道库恰耶夫之后 60 年，著名的美国土壤学家 H.詹尼 (1948) 在他的《成土因素》一书中，引用了与道库恰耶夫同样的数学式来表示土壤和最主要的成土因素之间的关系：

$$S = f(CI, O, R, P, T, \dots)$$

式中，S, CI, O, R, P, T 分别代表土壤、气候、生物、岩石、地形和时间，...号代表其他成土因素。H.詹尼对 B.P.威廉斯的土壤形成过程中的生物因素起主导作用的学说也作了补充修正。他认为，生物主导作用并不是到处都一样的，不同地区、不同类型的土壤往往

是某一成土因素占优势，如果这个因素所起的作用超过其他因素的综合作用，那么就得出以某一因素占优势的函数式。他将上述基本函数式稍作修改，将优势因素放在函数式右侧括弧内的首位，因而产生了：

$$S = f(Cl, O, R, P, T, \dots)$$

$$S = f(O, Cl, R, P, T, \dots)$$

$$S = f(R, Cl, O, P, T, \dots)$$

$$S = f(P, Cl, O, R, T, \dots)$$

$$S = f(T, Cl, O, R, P, \dots)$$

$$S = f(\dots, Cl, O, R, P, T)$$

应当指出，道库恰耶夫和詹尼的土壤形成方程式只是对土壤形成概念的一种概括，并不能用现代数学（微积分）方法逐个解答公式的每一个成分。因为每一个成土因素都是极其复杂的动态系统，它们不仅是独立的、可变的，而且彼此之间又是紧密联系着错综复杂地作用于土壤。

三、成土因素学说的现状

在承袭成土因素学说的基本理论的基础上，近年来国内外一些学者，根据最新的研究成果提出了土壤形成的深部因素的新见解，并强调人为作用对土壤发生发展的重要影响。土壤形成的深部因素是指内发性的地质现象，如火山喷发、地震、新构造运动等。他们认为，深部因素虽然不是经常普遍地对所有土壤形成起作用，但有时却起着不同于地表因素的特殊作用。如火山喷发产生特殊的土壤类型；新构造运动对于土壤侵蚀与堆积过程的加速作用；人类生产活动促使土壤熟化、退化，甚至产生质的改变。

土壤形成因素学说就是研究各种外在环境因素在土

壤形成过程中所起作用的学说；也就是研究土壤与外在环境条件之间发生学关系的学说。它的形成有一定的历史背景条件。因此，随着时代的发展；随着人们对土壤研究工作的深入和新研究结果的不断涌现，土壤形成因素学说还会不断地发展。

气候因素的成土作用分析

影响土壤发生的重要气候因素是降水和温度。在土壤与气候关系的研究中，水热条件常常被看作为一般的气候指标。土壤和大气之间经常进行着水分和热量的交换，气候直接影响着土壤的水热状况。对于气候与土壤水热状况的关系，本书不准备叙述，而主要分析气候对土壤的有机质、粘土矿物类型、盐基饱和度等土壤性质的影响。气候条件和植被类型有着直接的关系，因而气候也通过植被的影响而间接地影响土壤形成。总的来说，土壤形成的外在推动力归根结蒂都来自于气候因素，气候是直接和间接地影响土壤形成过程的方向和强度的基本因素。

一、气候影响土壤有机质的含量

由于各气候带的水热条件不同，对土壤中有机质的合成与分解产生了不同的影响，造成土壤有机质含量的不同。研究结果表明：

1. 降水量和其他条件保持不变时，温带地区土壤的有机质含量随着温度的增加而减少。如我国温带地区，自北而南，从漂灰土—暗棕壤—褐土，土壤有机质含量逐渐减少。美洲大陆的土壤也符合这种关系（图 1.1）。但不能把这个规律随意外推到赤道地区，许多湿润热带

的土壤含有较高的有机质。这种随着温度升高有机质含量减少的趋势，草原土壤比森林土壤更显著（图 1.1）。

2. 另一方面，当温度保持不变，其他条件类似的情况下，随着降水量的增加，有机质含量增加。如我国中温带地区自西而东，由栗钙土—黑钙土—黑土，有机质含量增加。美国中部也有这种关系（图 1.2）。同样，这种变化趋势在草原土壤中比森林土壤中更显著（图 1.2）。

想象起来，我国华南地区土壤的有机质含量应高于东北地区。因为在华南，高降水量结合长生长季导致植物茂盛生长，产生大量有机物质。然而实际上，东北地区土壤的有机质含量一般高于华南地区。其原因是，在华南，温暖季节长，有利于有机质的分解；而东北地区，漫长寒冷的冬季抑制了微生物对土壤有机质的分解。土壤有机质含量取决于有机质合成与分解这对过程的动态平衡，这个平衡受控于水热条件的共同作用。上述有关土壤有机质含量与降水、气温的关系是有一定针对性的，切不能绝对化。同时，推测一个土壤的有机质含量时，除考虑土壤所在地理区域外，还要考虑植被类型、土壤所处地形部位、土壤质地和耕作措施等因素的影响，不能挂一漏万。

二、气候对土壤化学性质和粘土矿物类型的影响

所有其他条件相同的情况下，温度增加伴之而来的是土壤风化速度的增加。风化速度也与降水量有关，因为水分的存在加快风化速度。总之，高温高湿的气候条件促进迅速的风化及物质迁移转化。而导致最低程度风化的环境条件是温暖但干旱或冷且干旱的气候地区。

1. 气候与土壤粘土矿物类型的关系

我国温带湿润半湿润地区，土壤粘土矿物一般以伊利石、蒙脱石、绿泥石和蛭石等 2:1 型铝硅酸盐粘土矿物为主。亚热带的湿润地区，土壤粘土矿物以高岭石或其他 1:1 型铝硅酸盐粘土矿物为主。而在我国高温高湿的热带地区，土壤中的粘土矿物主要是三氧化二铁。这是从宏观地理气候的角度看问题。实际工作中，还要注意母质条件对土壤粘土矿物类型的影响。

2. 降水与土壤阳离子交换量的关系

随着降水量的增加，土壤阳离子交换量呈增加的趋势（图 1.3）。这是因为土壤阳离子交换量直接与有机质含量和粘粒含量有关，而降水量的增加一般关系到有机质含量和粘粒含量的增加。但这种规律只是发生在温带地区，不能外推到热带。热带地区由于粘土矿物是以三氧化二铁为主，土壤阳离子交换量并不高。同时，在同一气候条件下，土壤阳离子交换量和成土母质有关。

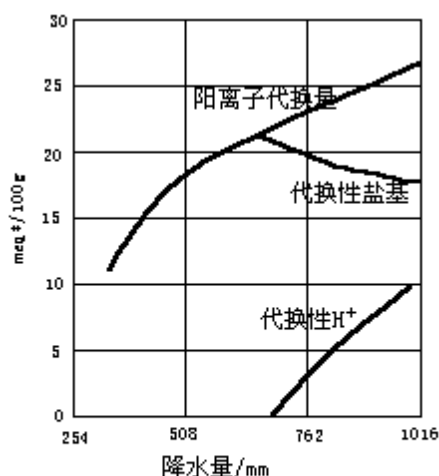


图1.3 年降水量与阳离子交换量、代换性盐基、代换性H⁺的关系

3. 降水与盐基饱和度、土壤酸碱度的关系

在年降水量少而蒸发迅速的地区，通过土壤的下行

水量很少，不足以洗掉土壤胶体上的代换性盐基，土壤盐基饱和度大多是饱和的，土壤呈中性或偏碱性，这是我国中部和北部地区的一般情况。在较湿润的地区，土壤中下行水量较大，淋洗掉了土壤胶体上的部分代换性盐基，其位置被 H^+ 所代换，导致盐基饱和度的降低和土壤酸度的增加，这是我国东南地区土壤的一般情况。年降水量与土壤阳离子交换量、土壤盐基饱和度和代换性酸度之间的关系见图 1.3。同时，在考虑这些关系时也不要忽视母质类型的影响。

4. 降水对土壤中盐分积累与淋洗的影响

降水量的变化也影响土壤中易溶盐类的多少。在西北荒漠和荒漠草原地带，降水稀少，土壤中的易溶盐大量累积，只有极易溶解的盐类，如 $NaCl$ 、 K_2SO_4 有轻微淋洗，出现大量 $CaSO_4$ 结晶，甚至出现石膏层，而 $CaCO_3$ 、 $MgCO_3$ 则根本未发生淋溶。在内蒙古及华北草原、森林草原带，土壤中的一价盐类大部分淋失，两价盐类在土壤中有明显分异，大部分土壤都有明显的钙积层。在华东、华中、华南地区，两价碳酸盐也都淋失掉，进而出现了硅酸盐的移动。

三、气候变化和土壤形成

不仅目前大陆上由于气候带的不同发生不同的土壤类型，而且在整个地质历史时期，随着气候的改变，土壤的形成方向和速度以及形成的土壤类型也不断发生着变化。特别是第四纪以来冰期和间冰期的变化，使土壤发生了很大变化。在北京山丘区，发现了与现今气候条件下广泛分布的“褐土”性状不同的残存红色土，就是上新世湿热古气候条件的产物。在黄土高原黄土剖面中发现的多层埋藏古土壤也反映了气候条件的变迁。有些

现今暴露在地表情况下的古土壤，不但接受了现代气候条件的影响与作用，而且也继承了古气候影响下所给予它的一些性状。了解气候变迁，对我们考察认识今天地球表面上各种各样的土壤有着积极意义。

四、“土壤地带性规律”分析

大陆上广阔平原土壤在形成历史基本相同和成土母质相似的情况下，成土因素中的气候因素的作用就特别明显地表现出来。这种情况下，明显的土壤类型更替和气候带的更替同时出现，这种规律被 B.B.道库恰耶夫和 H.M.西比尔采夫称为“土壤地带性规律”。应该指出，他们发现这个规律是有一定的背景条件的，那就是广阔的俄罗斯大平原的成土母质是相对均一的冰后期黄土状物质，且成土时间条件也基本一致。而未受大陆冰川影响的地区，这种地带性往往被地形、母质和成土时间等因素的不同所打破。这时，土被和气候之间的关系，因其他成土因素的参与而变得复杂起来。如我国广东与广西两省同处于亚热带，广东省因其成土母质多为花岗岩类，而造成大多数土壤是贫瘠和酸性的；而在广西，由于广泛分布石灰岩，发育了中性或偏酸性盐基饱和度较高的石灰岩土。在北京地区，石灰性母质发育的土壤与非石灰性母质发育的土壤相比，在有无石灰反应、土壤剖面分异程度（有无粘化层）等方面，存在着明显的差别。我们认识土壤地带性规律，主要应从全球范围土壤分布的宏观角度、从土壤的水热状况是与气候条件有直接关系的角度来理解。

在山区，气候与植被存在着垂直变化，在某种情况下，伴之而发生的是土壤类型的垂直规律性变化，称为土壤分布的垂直地带性规律。但这种规律性变化也会被

母质、地表年龄等的影响所打破。如北京西部山区，从基带海拔 200 米向上到 1200 米，虽然降水量增加；植被类型由灌草丛变化到森林，覆盖度增加；土壤淋溶条件变强，但在 1200 米高度处石灰岩发育的土壤仍有石灰性反应者，而在海拔 200 米处花岗岩类母质发育的土壤却有呈微酸性反应者。我们认识土壤垂直地带性分布规律，主要还是从土壤水热条件、有机质含量和腐殖质组成等性状的垂直变化的角度来理解。

总之，在土壤地带性理论的问题上，我们应从土壤形成的多因子综合作用的观点去看问题，有地带性论，但不唯地带性论。

生物因素的成土作用分析

成土作用中的生物因素包括植物、动物和微生物。动物的作用表现在它们对土壤物质的机械混合，对土壤有机质的消耗、分解以及它们将代谢产物归还到土壤中去。微生物在土壤中分解有机质，合成腐殖质，然后再分解腐殖质，构成了土壤中生物小循环的一个不可缺少的环节。动物、微生物是成土作用的重要参加者，但在这里不作详细介绍，我们将重点分析植被对土壤发生的影响。

自然植被可以被非常粗略地分为两大类型，即森林和草原。支持它们生长的土壤分别叫做森林土壤和草原土壤。每一种植被对支持它的土壤的影响不同，因而不同植被下发育的土壤也具有不同的特性。应指出，这里讨论的是自然植被下的土壤与植被的关系。

一、植被类型影响土壤中有机质的数量和分布

一般来说，草原土壤与森林土壤相比较：

1. 草原土壤的有机质含量约为森林土壤的两倍。

2. 有机质在土壤中的分布状况是：森林土壤的有机质集中于地表，并且随深度锐减；而草原土壤的有机质含量则随深度增加逐渐减少。图 1.4 表明了这种差别关系。这种差别是由于植物生长方式和植物残体结合进土壤中去的方式不同。草本植物的根系是短命的，每年死亡的根系都要给土壤追加大量的有机质；草本植物的有机产物的 90% 以上是在地下部分，而且根系数量随着深度增加而逐渐减少。与草本植物相反，树木的根系是长命的，而且根系占整个树木有机产物总量的比例较低，因此，土壤有机质的来源主要是掉落在地表的枯枝落叶。至多这些枯枝落叶被土壤动物搬运混合到距地表不深的层次，造成有机质含量随深度增加锐减。虽然在森林与草原这两个生态系统中有有机产物总量相近，但由于它们各自在地上与地下部分有机质含量的比例不同，以及拓荒时清除有机产物的方式不同，造成开垦后森林土壤与草原土壤有机质含量的差异。

二、植被类型对植物营养循环的影响

植物从土壤中吸收养分建造植物体。植物死亡后，其残体经过分解又释放养分到土壤中去。森林与草原对比，存在着有机残体的生物量和组成不同。而且，不同树种的森林或不同草种的草原之间，也存在着有机残体的生物量和组成不同。有机残体分解释放盐基到土壤中时，由于归还盐基离子的种类和数量不同，从而对土壤酸化的进程以及与酸化相伴发生的其他过程起到不同的影响。

一般说，草原植被的残体与森林植被的残体比较，

前者含碱金属和碱土金属比后者高；因此，草原土壤的盐基饱和度高于森林土壤的盐基饱和度，前者的 pH 值也较后者高。

阔叶林与针叶林相比较，前者灰分中的 Ca、K 含量较后者高，后者灰分中 Si 占优势。因此，针叶林下的土壤酸度比阔叶林下的土壤酸度高。当然，这个比较是在其他条件相同的前提下进行的。

三、植被类型影响土壤淋溶与淋洗的速度

相同的气候条件下，如果相邻生长的森林和草原具有类似的地面坡度和母质，森林土壤则显示了较大的淋溶与淋洗强度。造成这样的差别有三个原因：

1. 森林土壤每年归还到土壤表面的碱金属与碱土金属盐基离子较少。

2. 森林的水分消耗主要是蒸腾，降水进入土壤中的比例较大，水的淋洗效率较高。

3. 由于第一条的原因，加上枯枝落叶层中产生的有机酸较多，使森林植被下土壤中的下行水是比较酸的，溶液中的 H^+ 代换并进一步淋洗掉较多的代换性盐基，伴之而来的是胶体分散、粘粒下移。甚至酸性溶液加速土壤原生矿物的分解，产生更大强度的淋溶或淋洗。

由于盐基的淋失，粘粒从 A 层迁移到 B 层，以及腐殖酸成分对土壤结构的影响，森林土壤心土层的渗透性比草原土壤的小，由此引起两者的物理、水分等性状的不同。

总之，生物因素是影响土壤发生发展的最活跃因素。土壤动物、微生物和植被构成了土壤生态系统并共同参与了成土过程。它们构成的生物小循环是成土过程中的积极因素。在这三者之中，植物起着积极主导作用。特

别是绿色高等植物，它们选择性吸收分散于母质、水圈和大气圈中的营养元素，利用太阳辐射能制造有机质，创造了土壤中的有机组成部分；并使植物生长所必需的元素在土壤中富集起来，使土壤与母质有了性质上的差别。由于不同植物类型的生长方式不同，所形成的土壤有机质在性质、数量和积累方式上也不同，这造成了土壤性质的差别。

母质因素的成土作用分析

母质是形成土壤的物质基础。年轻土壤的一些性质主要是继承母质的，如我国分类中的潮土。即使最古老的土壤，也残留着母质的影响。

一、母质的概念

读过土壤学的人，都知道“A、B、C”。土壤学中，称A和B为“土层”，它们构成土壤剖面的“土体”部分，是成土过程的产物。C叫做母质，它是风化过程的产物。有各种各样的C层，它们的成因不同，性质不一。确定一个土壤的母质是一件困难的工作。

对于一个未经扰动的原地岩石风化物上发育的土壤，可以通过母质C层与土体（A+B）在性质上的差别进行比较，判断土壤发生了什么变化。但在剖面中母质C层起始于何处，土体又止于何处呢？C层是风化作用的产物，土体是成土过程的产物，理论上如是说，但风化与成土过程是看不见摸不着的，又怎能截然把它们分开呢？所以，土体与母质的界线是不好确定的。有人提议，有植物根系活动的区域就是土体，这是从土壤具有肥力的概念引伸出来的。但有时植物的根系能扎几米深，那