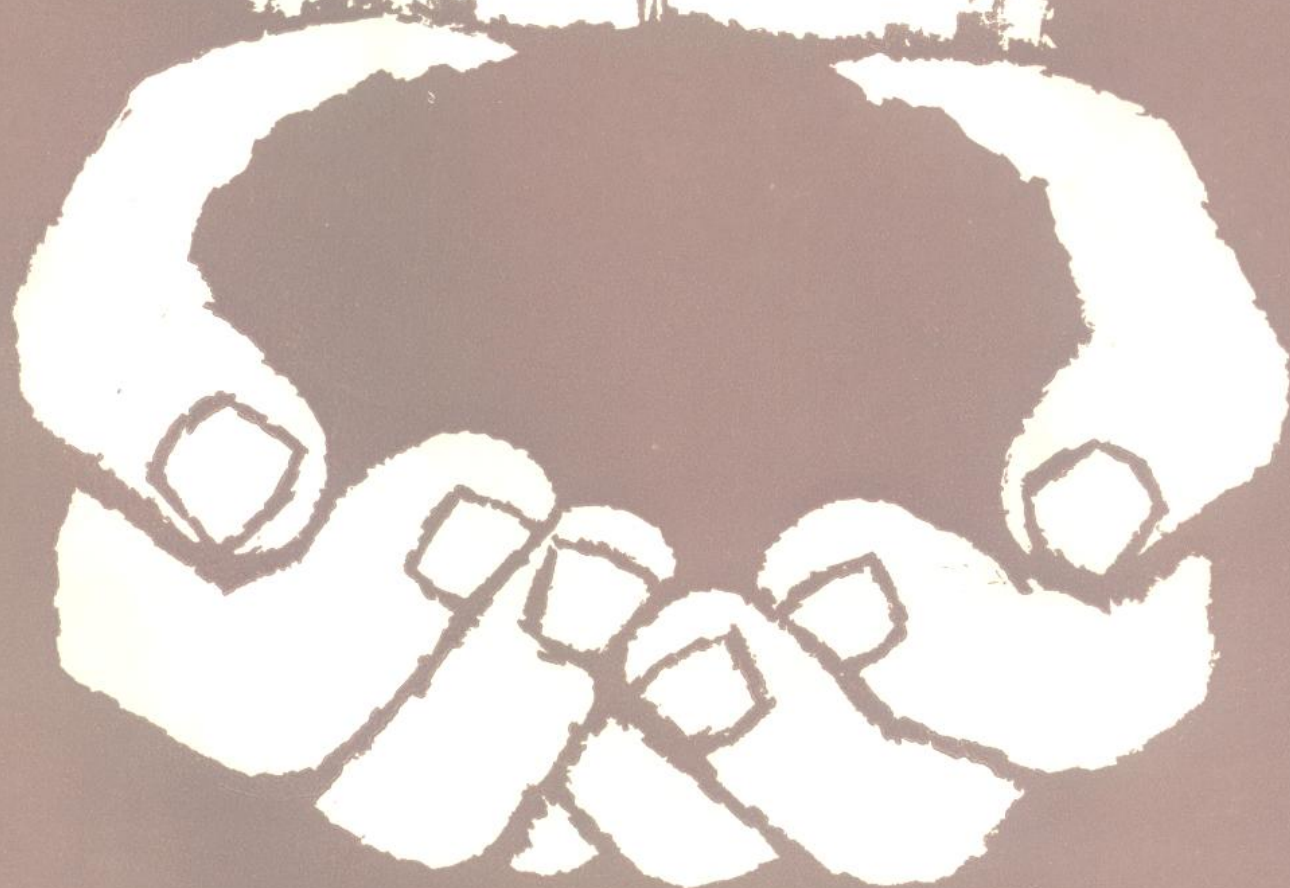


土壤科学原理

〔美〕 H. D. 福斯著



农业出版社

土壤科学原理

〔美〕H.D.福 斯 著

唐耀先 谭世文 张伯泉 胡童坤 译
劳家桢 须湘成 陈小萱

唐耀先 谭世文 胡童坤 校

农业出版社

Fundamentals of Soil Science
Sixth Edition (1978)
Henry D. Foth

土 壤 科 学 原 理

〔美〕H. D. 福 斯 著
唐耀先 谭世文 张伯泉 胡童坤 译
劳家桢 须湘成 陈小萱
唐耀先 谭世文 胡童坤 校

农业出版社出版 (北京朝内大街130号)
新华书店北京发行所发行 农业出版社印刷厂印刷

787×1092毫米 16开本 22.75印张 3插页 393千字
1984年10月第1版 1984年10月北京第1次印刷
印数 1—6,100册

统一书号 16144·2707 定价 3.70元

内 容 提 要

本书根据1978年在纽约出版的《土壤科学原理》第六版译出。该书是一本土壤学大学教科书,在美国采用甚广。全书共分十六章,附有350余幅图表资料。在内容上,除比较全面而系统地介绍了土壤的物理、化学、生物、生态、发生分类、土壤地理、植物矿质营养与肥料等基本原理外,对近年来国际上大家所关心的一些与土壤科学密切有关的重要课题,诸如土壤资源保护、土地利用、环境质量、土壤与动物健康,以及土壤资源与人口问题等也辟出专章进行论述。本书内容充实新颖,文字简洁扼要,尤其是理论结合实际比较突出,充分反映了近年来土壤科学的新发展与新成就。本书可供高、中等农业院校有关专业师生和从事农、林、畜牧、地理、经济等的科技工作者阅读和参考。



前 言

这本教科书的主要目的有二。首先，它是供专攻土壤学的大学生用的教科书。所讨论的问题都是我们普遍关心的。在这一版本中，引用了许多新近的图表资料。由于大家对土壤学日益发生兴趣，土壤学知识不断在增长，所以本书收集了比较多的与当代大学生各种基础知识有关的例子。

其次，这本教科书是最新增订本，内容包括最有用的土壤学知识。读者读了本书后，对于与人口及国际关系有关的诸如土壤资源保护、土地利用、环境质量，以及粮食生产等国内和国际问题将会作出更正确的评价。

著者对从各方面给予本书以各种帮助的许多人士深致谢意（以下从略——译者）。

Henry D. Foth

目 录

第一章 土壤的概念	1
土壤的普通定义	1
土壤是物质的混合物	2
土壤是有机体	4
土壤是一种自然资源	9
土壤是我们生活所在的界面	11
第二章 土壤是植物生长的介质	13
植物生长的因素	13
植物对土壤的利用	16
土壤生产力的概念	18
第三章 土壤的物理性质	21
土壤质地	21
土壤结构	29
土壤结持性	33
重量、孔隙和空气的关系	34
耕作和来往活动对土壤和植物生长的影响	39
土壤颜色	45
土壤温度	46
第四章 土壤水分	51
土壤水的能量概念	51
植物—土壤水之间的关系	58
土壤水分状况	66
第五章 土壤水分管理	71
水分保持	71
土壤排水	77
灌溉	84
第六章 土壤生态学	98
生态系	98
微生物作为分解者的重要性	100
作为消费者和分解者的土壤动物	104
养分循环	107
土壤生物与高等植物的关系	112
土壤生物与环境质量	116
土壤用于动物性粪污处理	118
土壤动物的运土活动	119
第七章 土壤有机质	124
腐殖质的形成及其特性	124

土壤中有机质的数量和分布	126
关于有机质管理的一些根据	131
第八章 土壤的化学、矿物学性质	138
地壳的化学成分和矿物组成	138
风化作用与土壤的矿物组成	139
粘土矿物的来源、构造和性质	144
土壤中的阳离子和阴离子交换作用	151
第九章 土壤pH的起因、意义及改变	158
土壤pH的定义及起因	158
土壤pH的意义	162
土壤pH的改变	165
盐土和碱土的性质和管理	172
第十章 土壤发生与土壤调查	176
层次的分化和土壤发生	176
土壤发育与时间的关系	179
土壤发育与气候的关系	181
土壤发育与有机体的关系	184
土壤发育与母质的关系	185
土壤发育与地形的关系	193
作为成土因素的人类活动	195
土壤调查	196
第十一章 土壤分类与世界土壤地理	200
土壤分类	200
土纲——特性、分布与利用	209
亚纲以下的分类等级	229
第十二章 土壤与植物矿物营养	232
必要的元素	232
营养元素缺乏症状	234
(植物) 从土壤摄取营养元素	235
氮	238
磷	245
钾	249
钙和镁	253
硫	254
微量元素	254
第十三章 肥料的组成、制造和使用	258
肥料物质	258
混合肥料	264
肥料需要的估算	267
肥料的施用	270
肥料的施用与环境的品质	275
作为肥料的厩肥	278

第十四章 土壤、植物组成与动物健康	283
影响植物组成的因子	283
土壤、肥料和动物的健康	287
土壤与动物健康的其他问题	293
第十五章 土壤侵蚀及其控制	296
土壤侵蚀的定义	296
应用水蚀防治措施的理由	298
农用地水蚀的预测预报	300
土壤流失方程式的应用	304
风蚀	306
第十六章 土壤资源与人口	310
美国的现耕地和可耕地面积	310
可耕地面积和土地需要量	312
世界粮食和人口问题	314
附录一 英制和公制计量单位换算表	319
附录二 公制-中国市制-英制计量单位换算表	320
词汇	322
索引	342

第一章 土壤的概念

除了土壤外，有谁能想到还有别的什么东西能对人类更有意义呢？关于古文化与土壤的紧密关系，圣经创世纪的作者是这样说的：“上帝用泥土捏了一个人，就是这个泥人变成了活人”。过去和现在，土壤都受到人们的崇敬。我们对土壤可以持有一种更科学的见解，但是世界上的大多数人都是土壤的耕种者，认真地说，土壤就是他们的命根子。

Soil（土壤）这个英文字是经由古法语从拉丁文 *Solum* 一字衍生的。*Solum* 的原义是指土地。由于世界上的土壤多种多样，因此要给它下个比较简明的定义是困难的。本书的目的不在于给“土壤”一词下个精心推敲的定义，或者给某些具体问题作出明确的回答，而是在使读者获得明智地思考有关土壤问题时所必需的基础。本章专门讨论在全书各章中都将加以引伸的一些重要概念。

土壤的普通定义

一般地说，土壤指的是地球和月球的疏松表层，以区别于坚固的岩石。每当提起土壤一词时，许多人都会认为它是滋养和支撑植物生长的物质。这意义就更笼统了，因为它不但包括通常所指的土壤，而且也包括岩石、水、雪以至空气——所有这些都能维持植物的生命。诚然，农民对土壤有着更实际的概念，他们把土壤视为作物生长的介质。土木工程师则有另一种看法，他们认为土壤是支撑建筑物和道路的物质。简言之，土壤一词的含意很多，在本书各处将从各方面加以应用。

土壤是人们脚下的土地

原始人一定已经意识到，土壤就是支撑他们活动和居住的土地。土壤影响到道路和居住地的位置。当然，早期的人类，对于不同地区，在生产植物和动物的能力上有所不同是有所认识的，但是，他们未必已把这些生产能力上的差异与土壤的差异联系起来。认识到土壤是植物生长的介质，则是很久以后的事。

土壤是植物生长的介质

大约早在 10000 年前，人类开始从事农业生产时起，人们就把土壤当作植物生长的介质了。到了公元前 3000 年，在欧洲北面远至斯堪的纳维亚半岛出现了农村。这些初期的农学家们认识了土壤的差异，并且特别喜爱粉砂质的土壤（由黄土即风积粉砂发育形成的土壤）。

据信，最古老的土壤分类是中国在 4000—5000 年前制定的。这个土壤分类是以土壤的作物生产能力为基础，并用以定税额。希腊人和罗马人也意识到土壤的农业差异，并创造了许多至今仍在应用的土壤管理措施。在所有的土壤概念中，对于大多数人来说，最重要的概念是把土壤视为植物生长的介质。随着世界人口的不断增长，这个概念更日益变得重要起来了。

土壤是风化岩石的覆盖层

地质学家把土壤看作风化的产物。在美国，土壤的早期科学研究工作是由地质学家领导的，他们把土壤分为冲积土、残积土、石灰土、硅质土、砂质土、粘质土等等。虽然承认风化层的上部有有机质的加入，但是，仍然把土壤看作风化覆盖层即疏松物质层（*regolith*）的同义语。既然疏松物质层因受侵蚀最终被搬运到海洋，所以，人们就把土壤视为“在去海洋途中的岩石”。然而，在途中，土壤就起着植物生长介质的作用。

土壤是物质的混合物

大约在公元前 400 年，人们把土或土壤与火、水、空气一道看作万物的四个基本成分。随着土壤知识的增长，人们逐渐知道了构成土壤的成分。土壤是物质的混合物这样一个概念，在把土壤作为工程物料、作为三相体系和作为工业制品来讨论时是很有用的。

土壤在工程上的概念

作为工程物料的土壤，就是由各自独立的固体颗粒组成的，在各颗粒之间的孔隙中又有液体和气体存在的疏松物质。地质学家和工程师持类似的态度观察土壤。工程师关心的是土壤抗压缩和在原地固定的能力。公路沿线的滑坡和山崩是山区普遍的工程问题（图 1—1）。腐泥土易于下沉，不适于作为道路和建筑物的地基物料。

土壤是三相体系

土壤可以看作含有固体、液体和气体的三相体系。在大多数土壤中，固相物质就是矿

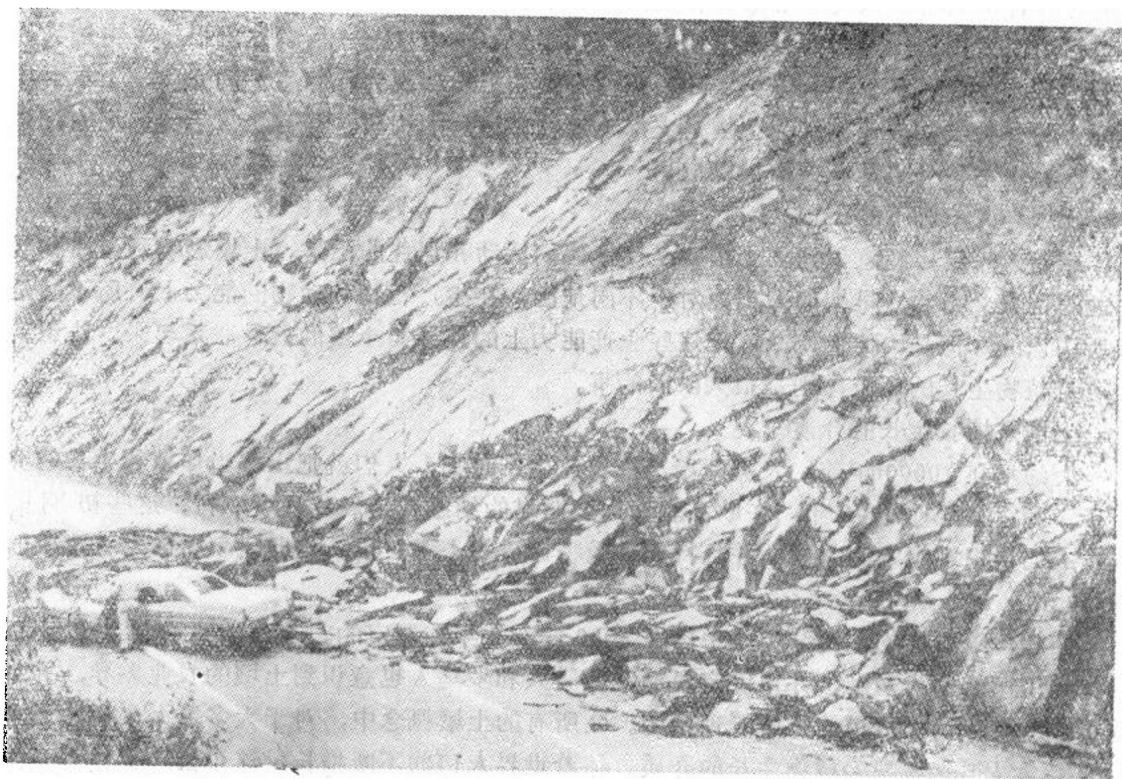


图 1—1 大烟山脉国家公园中的山崩滑坡

物颗粒,是土壤的骨骼,在它上面吸附有腐殖质或有机颗粒。固相的颗粒间有孔隙。这些孔隙接连地充满着液相和气相。液相主要是来自降水的水,它以薄膜状存在于固相颗粒的周围,也存在于较小的孔隙中。如果土壤不为水分饱和的话,较大的孔隙则充满着气体。在土壤和大气之间进行着气体交换。生物学活动,如根的呼吸和有机质的分解都消耗氧而产生二氧化碳。因此,氧不断地由大气扩散到土壤里去,而二氧化碳则由土壤向大气扩散。

土壤中各相物质所占据的容积,随时随地都在变化(图1—2)。空气容积和水容积是一种直接相互消长的关系。随着水分由于排水、蒸发或植物生长而消失时,水所占据的孔隙就再次充满空气。心土最普遍的特征是,有机质比表土少得多。有机土,如腐泥或泥炭,有机质所占的容积比矿物质所占的容积大。

在“理想的”草地、园子或大田土壤中,各种成分的容积大体上是:矿物质占45%,有机质占5%,水占25%,空气占25%。大约有一半的土壤容积是孔隙(图1—2)。

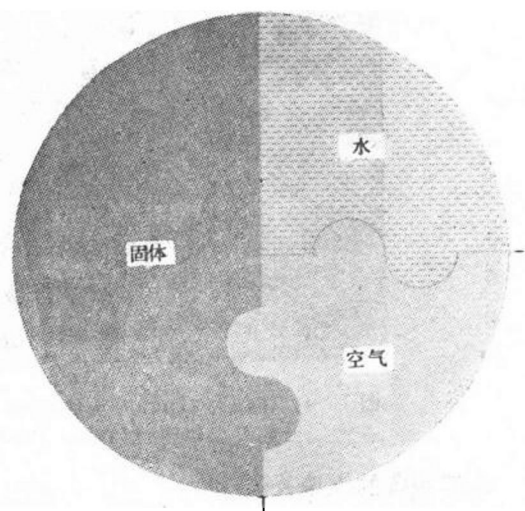


图1—2 固体、水和空气在土壤中占据的容积是在变化的



图1—3 将等量的表土、泥炭和珍珠岩(与砂子相似的物质)混合在一起,以制备栽培温室植物用的土壤

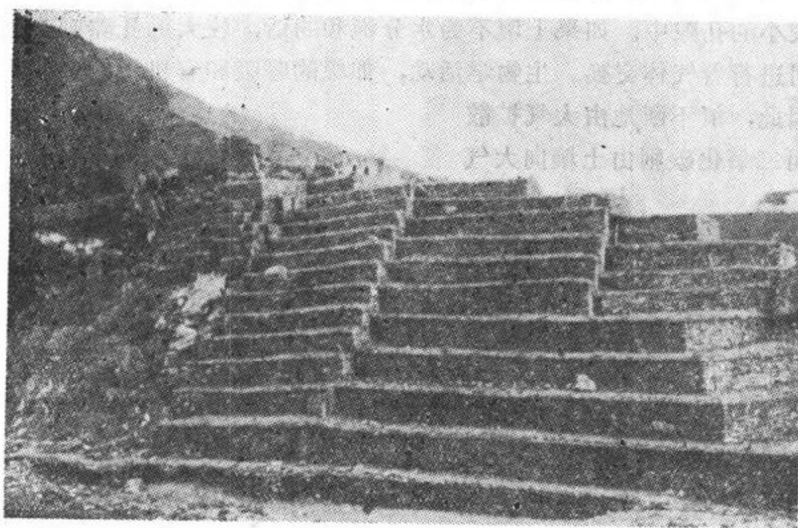


图 1—4 印加人 (Incas) 从谷地运土上来创造了这些梯田, 用以在秘鲁的马屈毕屈 (Machu Picchu) 山顶要塞上生产粮食

人工制备的土壤

在温室中所使用的土壤, 是用表土、砂子和有机质混合而成, 以获得四个成分的适宜比例 (图 1—3)。从这方面来说, 它是属于人工制备的。

大田中的一般土壤, 不适于用作打高尔夫球的草坪。当土壤表面潮湿时, 人来人往会把土壤踩实, 从而难于保持合宜的空气和水的关系。在建造高尔夫球场时, 要把终打地区所在地的土壤起出来, 填入一层含有大量砂子砾石的物料为底, 其上一般覆以一层约12英寸 (30厘米) 厚的砂子、表土和有机质 (泥炭) 的混合物。

花坛土壤和悬挂式栽培器皿的土壤, 通常都是用大量的有机质制作的, 这样, 土壤轻, 易于调理和搬运。

在世界上, 人工土壤的事例是很多的。在中国, 把河泥还给耕地。在许多国家中, 把侵蚀淤积的好土从田地低处搬到高处。在莱因河沿岸, 对葡萄来说, 朝南方向是很珍贵的。为此, 人们建造巨大的挡土墙再回填土壤。这种措施也可以创造比较易于管理的平缓坡地。印加人 (Incas) 用石壁梯田栽培粮食建造了山顶要塞 (图1—4)。梯田上的土就是由谷地搬运上去的。

土壤是有机体

在19世纪中迅速积累起来的土壤知识, 要求创立一个符合于事实的新的土壤概念。1870年左右, 俄罗斯的Dokuchaev发展了考察土壤的革命路线。在他四处旅行时, 他观察到许多不同种类的土壤, 并且发现, 一定的土壤常可以在一定的位置上反复出现。Dokuchaev发现, 每种土壤都具有一个独特的形态, 它是由气候、生物 (植物和动物)、土状母质、地形和陆地年龄的独特结合而形成的。土壤是进化的产物, 它随时间而变化。

土壤进化的本质

地球表面上的土壤是不停地变化着的。对土壤进行的临时研究，察觉不到这种变化。以地质时期来说，每种土壤都有其生活史。下面的土壤定义就体现了这种动态的和进化的本质：

土壤是地球表面的疏松矿物质在经受发生因素和环境因素，即母质、气候（包括温度和湿度作用）、大生物和微生物、地形以及时间的长期作用后的产物。它在许多物理学、化学、生物学和形态学上的性质和特性都不同于其所由生的原来物质。^①

基岩风化所产生的疏松碎屑，就是土壤发育的母质。土壤最终反映着气候、生物、地形和时间的综合作用。母质暴露于大气环境中，在适宜的条件下，就导致光合植物在其上定居。这些植物的生长，又导致有机残体的积聚。动物、细菌和真菌也都是这个生物群社的成员，并依赖这些有机残体为生。有机残体的分解，释放出其中所含的养分，供其他植物生长周期应用。赖有机残屑为生的微生物和动物是整个有机质复合体的一部分。当土壤的表层达到相当的厚度、并由于有机质的聚积而呈现暗黑色时，A层就形成了。图1—5所示的土壤只有两个层次。土壤层次大体上是与地面平行的土层，是进化的产物，具有与邻接层次不同的性质。

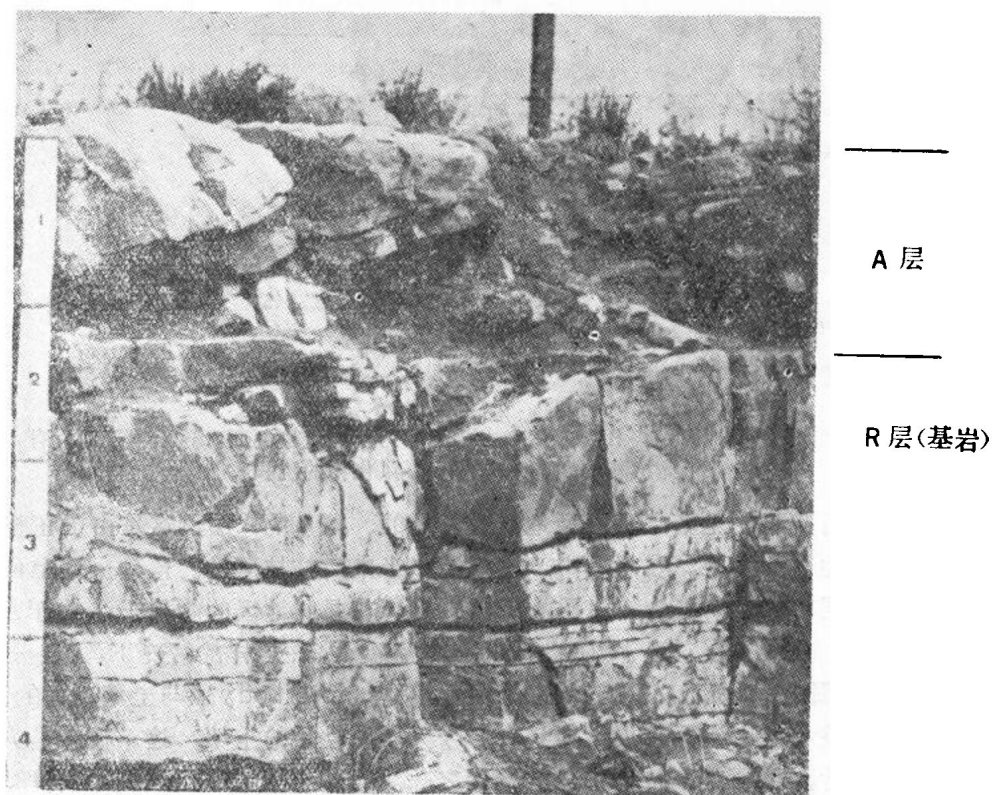


图 1--5 一个 A/R 土壤。A 层厚约 1 英尺 (30 厘米)，系由科罗拉多州洛基山的山麓小丘中的砂岩直接风化形成的。像这样的土壤可以在 100 年内形成，也可以在长达 100,000 年或更长的时间内形成，视岩石的坚硬程度和环境条件而定

① 引自 “Glossary of Soil Science Terms,” published by the Soil Science Society of America, February 1975, Madison, Wis.

如果土壤的侵蚀流失速率低于岩石风化速率，图1—5的土壤最后可以变成好几英尺厚的土壤。然而，侵蚀是地球表面的主要过程，所以大多数土壤都是在沉积物（侵蚀产物）上发育起来的，而不是由基岩直接风化形成的。在沉积物上进行的土壤发育过程，其土层发育比直接由坚固基岩上发育者为快。沉积物有孔隙，有利于植物深扎根，也使可溶性化合物易于随渗漏水移失。悬浮态的胶体颗粒（定义见词汇）虽随渗漏水迁移，但是，这些悬浮态的胶粒只能移动几英尺就沉淀下来了。结果是在A层之下形成一层胶粒聚积层。这个土层称为B层。在B层中聚积的最常见的胶体，有粘粒、有机质以及铁和铝的氧化物。图1—6所示为具有B层的土壤。这种土壤层次的垂直切面即土壤剖面。

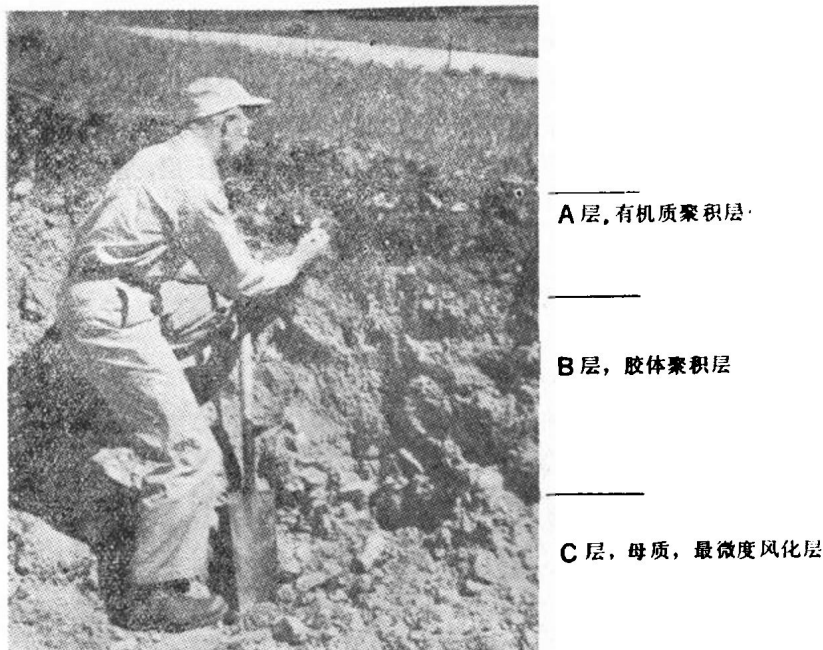


图 1—6 具有 A、B、C 三个主要土层的草地土壤剖面。这土壤剖面发育在于此沉积的别的地方的基岩风化物的沉积物上

在草地下发育起来的土壤，都典型地具有深厚的、暗色的A层，这是由于在整个A层中有植物根茂密生长的结果。在森林中，有机质多半来自枯枝落叶。落到土壤上面的枯枝落叶就形成一薄层暗黑色的富含有机质的有机质层。在湿润地区的森林土，由于A层中的物质被淋洗出来，使A层的下部“漂白”，亦即使颜色变浅。在这样的情况下，A层分化成A₁层和A₂层，有如图1—7所示。图1—7也指出土壤体（soil body）与土壤剖面的关系。

现代的土壤在将来必定会发展成为具有与今天不同性质的土壤。这个概念是大家充分公认的，也是当今土壤科学中最有价值的概念之一。有些土壤似乎已达到了其发育的终极点，很难想像还能有什么更进一步的重大变化。从理论上讲，如果土壤不受干扰地长期处在湿润的环境中，土壤最后就会发育到不能维持供养植物的状态。从矿物风化释放出养分以及养分的被水淋失，可能已将近完全彻底。图1—8中所示的土壤，尼珀（Nipe）粘土，就是本质上“风化彻底”的土壤的代表。作为成土母质的原始岩石含有6%的氧化镁，而该土壤仅含有痕量氧化镁。原来的岩石只含有小量的铁，而该土壤含氧化铁则为60%左右。

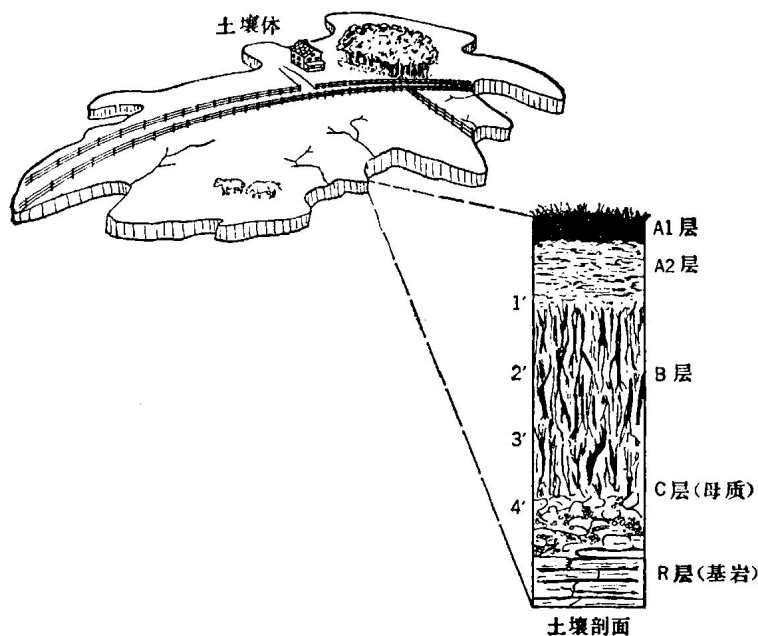


图 1—7 在森林植被下发育形成的土壤，其典型剖面具有 A₁、A₂、B 和 C 层。图中也显示了土层和土壤体的关系

这是随着原始岩石中比较可溶的化合物的移失，铁则转变为很难溶的氧化铁化合物而遗留下来所致。大面积的像尼珀 (Nipe) 那样的土壤，在地球表面上是不常见的，因为侵蚀作用、沉积作用、火山作用以及其他地质力量的活动很频繁。

单个土体和聚合土体

土壤体 (Soil body) 是广泛的，为了作为科学研究的对象却需要一种较小的土壤单元。单个土体 (*pedon*) 就是这种单元。土壤的单个土体，具有可以称之为“土壤”的最小的容积，它在形状上大体是多边形。其下部界限即土壤与非土壤之间的界线总是有点分不清的，或者大约为植物扎根的深度。横向宽度要大得足以代表任何土层。单个土体的面积，视土壤的变异性，可以从 1 平方米到 10 平方米。单个土体对于土壤体的关系就像一棵橡树对于一个橡树林的关系。土壤体是由许多单个土体组成的 (图 1—9)；因此，土壤体就被称为聚合土体 (*polypedon*)。

作为景观单元的聚合土体

作为一个整体来说，景观可以视为系由许多土壤体即聚合土体组成的，每个土壤体

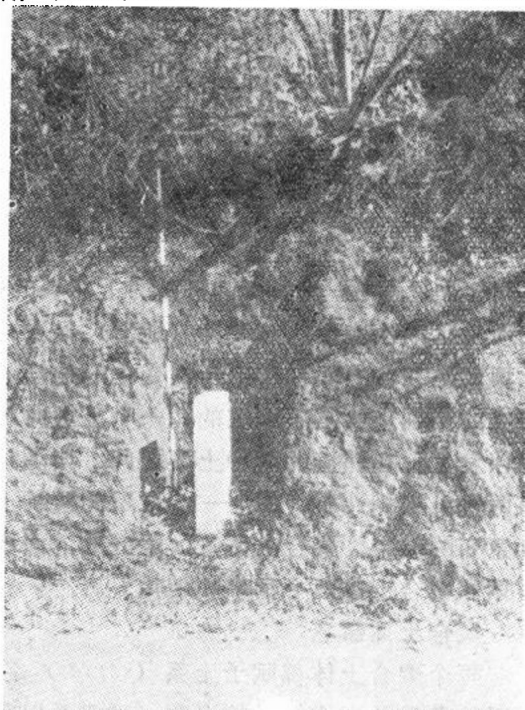


图 1—8 一个很古老的土壤，波多黎各的尼珀 (Nipe) 粘土。该土壤聚积有大量的氧化铁

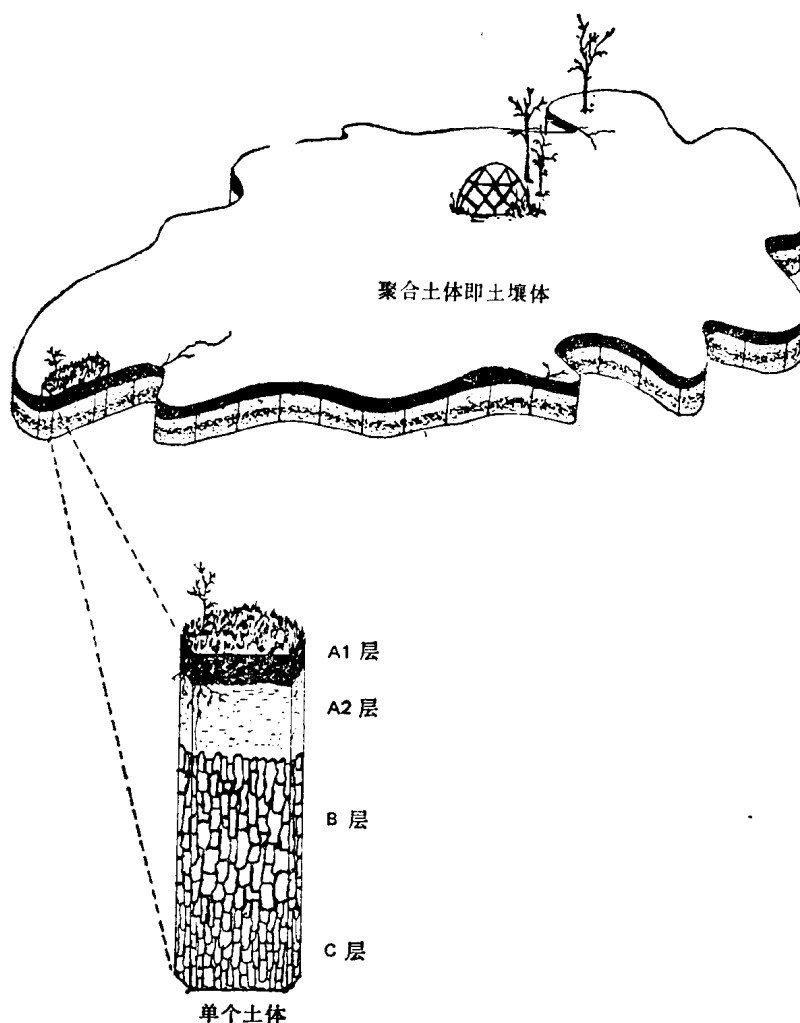


图 1—9 单个土体与聚合土体的关系

之对于整个景观,犹如交错搭接的七巧板的每一块板之对于整个的拼板图式。土壤性质随距离而发生渐次变化,与坡度(地形)、母质、植被、气候和地面年龄的变化是一致的。每个土壤就是在各方面性质上渐次变化的连续链条中的一环。可与个别的植物和动物相比拟的孤立的个别土壤是不存在的。一个土壤向另一个土壤发生的横向变化,一般都与坡度变化相伴发生。在邻接的两种土壤之间,典型地存在着过渡地带,在这个过渡地带中可以看到该两种土壤的性质。图 1—10 所示的两种土壤,其间的界线比通常的鲜明些,这是由于坡度急变的结果。聚合土体是大范围的,面积大小由 1 英亩到 10 英亩以上。所以,可以把土壤体和聚合土体两个词串换使用。

聚合土体命名

每个聚合土体都赋予土系 (series) 名称。在美国,已确认的土系大约有 10,500 个。土系的名称是一个概括的名称,通常系以该土系最先发现和记述的地点附近的城镇名称或景观特征来命名。同一土系的土壤,都具有相同的土层排列,各该土层几乎具有相同的性质。



图 1—10 在这南密执安田野两个聚合土体之间具有鲜明的界线。
图前是有机土，坡地上是矿质土

作为土系的例子，如华盛顿州的瓦拉瓦拉（Walla Walla）系，夏威夷州的莫洛凯（Molokai）系和佛罗里达州的奥基乔比（Okeechobee）系。瓦拉瓦拉系土壤，是由风积粉砂（黄土）和某些火山灰发育形成的深厚的棕色粉砂质土壤。莫洛凯系土壤，是红色的强度风化的土壤，像波多黎各的尼珀（Nipe）土壤一样。奥基乔比系土壤，是在佛罗里达州发现的含有大量有机质的土壤。

土型是土系的续分，是根据A层质地上的差别（第三章讨论）来划分的。迈阿密（Miami）土系，在伊利诺斯州和印第安那州有迈阿密壤土、迈阿密砂质壤土和迈阿密粉砂壤土。迈阿密系土壤是以俄亥俄州的迈阿密河命名的。

土壤是一种自然资源

土壤利用的方式方法和利用强度的变化，是文明史的一部分。对这些变化作点简短的回顾，将有助于说明无论目前和将来大家都应关心我们社会的土壤利用的重要性。

游猎社会（Food-Gathering Society）的土地利用

在游猎社会中，土地养育着作为吃、穿、住用的植物和动物。这往往导致游牧生活，因为人们追随动物而迁徙，即随季节迁徙以取得充足的食物。像这样的利用土地，生产力一般是低的，只能养活少量人口。据估计，在游牧社会中，需要 518 公顷或 1280 英亩自然状态的肥沃土地才能养活一口人。据此，地球只能供养一千万人口。现在，地球上的人口却超过此数的 400 倍。

农业社会的土地利用

大约 10000 年前，在西南亚围绕着肥沃的新月形地带的丘陵地区中，人们驯化了植物和动物，导致了农业革命。由游猎变为粮食生产，开始时只提供了更可靠的食物来源，而不是获得更丰富的食物供应。到了大约公元前 4000 年，在南美索不达米亚的泛滥平原上，灌溉大事发展时，土壤的生产力才大得足以促使城市的出现。

农业革命向北和向西逐渐蔓延到欧洲。欧洲的大多数土壤是在湿润环境的森林下发育