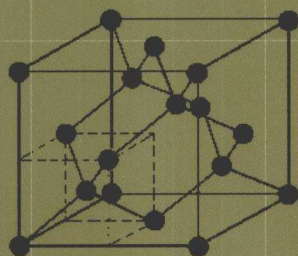


土壤基础理论学

TURANG JICHU LILUN XUE

李长宝 太史怀远 编著



中国林业出版社

土壤基础理论学

李长宝 太史怀远 编著

中国林业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

土壤基础理论学 / 李长宝, 太史怀远编著. - 北京: 中国林业出版社, 2010.3

ISBN 978-7-5038-5794-2

I. ①土… II. ①李… ②太… III. ①土壤学-研究 IV. ① S15

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 027173 号

出版: 中国林业出版社

E-mail: cfphz@public.bta.net.cn 电话: (010) 83224477-2028

社址: 北京西城区德内大街刘海胡同 7 号 邮编: 100009

发行: 新华书店北京发行所

印刷: 北京画中画印刷有限公司

开本: 170mm × 240mm

版次: 2010 年 6 月第 1 版

印次: 2010 年 6 月第 1 次

印张: 13

字数: 300 千字

定价: 49.00 元

前言

多孔介质土壤由三相物质液体水、空气和固体颗粒组成，因而广泛涉及数学、物理学、化学、水力学、空气动力学等多学科基础知识。本书作者利用多学科交叉进行研究，对组成多孔介质土壤的三相物质液体水、空气和固体颗粒的运动特征进行定量分析，确定了多个经过科学实验验证的新的结论。使许多传统土壤学中似是而非的疑难问题得到合理的解释，同时建立了自成体系的新的土壤结构数学模型。

简介如下：

1. 关于土壤颗粒分级制

本书作者根据不同大小的土壤颗粒在土壤中的运动规律；不同大小的土壤颗粒对土壤液体水流动速度的影响程度有显著差异；不同大小的土壤颗粒化学性质不同，把土壤颗粒划分为四类七级。采用这种分级制最大的优点是能够准确计算土壤渗透率，使土壤渗透率的相对误差控制在3%~5%之间。这种分级制与国内外的其他分级制比较是客观的、合理的。

2. 关于土壤结构数学模型

我们建立的土壤结构数学模型由体积不同的圆球和圆孔构成，此为球模型。土壤结构数学模型由体积不同的圆土柱和圆孔管构成，此为柱模型。柱模型中，土壤由不同直径的土柱组成，土壤孔隙由不同直径的圆管组成，相同径级的土柱相切形成孔隙，不同径级的土柱不能形成孔隙，一个土柱一个孔隙。土柱和孔隙高度相等。球模型中土壤由不同直径的球组成，土壤孔隙由不同直径的孔球组成，一个球一个孔隙。相同径级的土球相切形成孔隙，不同径级的土球不能形成孔隙。

作者的土壤结构数学模型，避开了不能进行定量分析的土壤颗粒和孔隙的形状问题，因而可以应用几何学、微积分和微分方程等数学方法，对土壤结构数学模型的结构参数进行定量分析。

3. 关于土壤渗透率公式

土壤渗透率公式是用初等函数表达的真正解析解，其数学表达式为：

$$u = \frac{\sqrt{2}A^2(A+1)mgK\%}{64\nu(A+0.5\pi)} \sum_{i=1}^n d_i^2 \lambda_i \%$$

公式的单位为 $\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

4. 关于土壤的侵蚀与淤积规律

侵蚀和淤积是土壤颗粒在水流和气流运动中的两种运动形式。具有一定能量的水流和气流，在其路径的某些部位产生冲刷或侵蚀，而在另外的某些部位产生淤积。地表发生侵蚀和淤积的部位是有规律的。本书作者应用野外调查资料和室内模拟试验数据，对侵蚀和淤积现象进行了物理成因分析，不但清楚地解释了侵蚀和淤积现象产生的根本原因，还能准确地确定侵蚀和淤积部位，对于土壤侵蚀的治理工作具有一定指导意义。

5. 关于五因素五水平二次回归根外追肥实验

在保证施用基肥的基础上，在作物的展叶期、开花期、绿果期进行根外追肥，能延长植物生长期，增加植株生物量。我们进行五因素五水平二次回归根外追肥实验在比较短的时间里，获得了大量营养元素和微量营养元素最佳的组合配方。对于农业生产提高作物产量和品质，走健康发展之路，具有一定的参考价值。

6. 关于盐碱土改良和利用问题

在盐碱土成因中，除了“地势平坦，排水不畅，地下水位浅”、“年降水量少蒸发量大”、“地下水的矿化度高”、“河流和不合理灌溉提高了地下水位”之外，又提出了土壤剖面中存在不透水层内陆盐碱土形成这一根本原因。

上述结论的验证实验方法和数据是本书作者在科研工作中直接获取的。

《土壤基础理论学》是农业科学和资源环境科学的基础学科，服务于农业可持续发展、生态环境建设，土壤资源的合理利用、保护、综合治理。本书可供从事于农业科学、水土保持学、土木建筑、石油开采、水利学等多学科科技人员参考，也可以作为农业、林业、水利等大学的研究生教科书。

全书共16章：第1章，绪论；第2章，岩石的风化和成土母质；第3章，土壤结构；第4章，液体水的基本物理性质和层流运动；第5章，土壤水；第6章，土壤渗透率公式；第7章，土壤颗粒在水流运动中流动特性；第8章，地球上的水和水循环；第9章，空气运动与土壤；第10章，土壤热量状况；第11章，土壤胶体和土壤吸收性能；第12章，土壤溶液与土壤反应；第13章，土壤有机质；第14章，土壤中的大量营养元素；第15章，微量营养元素与根外追肥；第16章，土壤资源保护和治理。

本书各章由李长宝、太史怀远编著主审。

由于水平有限，书中不当之处，敬请读者批评指正。

编著过程中的参考文献列入书后，在这里向文献作者表示衷心的感谢。

部分土壤6h渗透率试验数据，由巴逢辰研究员提供。

土壤微量元素田间试验，由王福禄实施。

在这里向他们表示衷心的感谢。

编著者

2010年3月30日

目 录

前言

第1章 绪 论	1
1.1 土壤在农业和土壤生态系统中的重要性	1
1.2 土壤的概念和物质组成	3
1.3 我国土壤科学的发展	4
1.4 土壤学研究领域与研究方法	4
第2章 岩石的风化和成土母质	10
2.1 形成母质的矿物和岩石	10
2.2 岩石的风化	13
2.3 成土母质	16
2.4 土壤矿物质颗粒及分级制	17
第3章 土壤结构	21
3.1 土壤结构的概念	21
3.2 土壤结构数学模型	22
3.3 土壤结构参数及测算方法	26
第4章 液体水的基本物理性质和层流运动	33
4.1 水分子的构造与物理性质	33
4.2 水的层流运动	38
第5章 土壤水	42
5.1 土壤水的类型和主要的物理性质	42
5.2 土壤含水量	45
5.3 土壤水的能量状态	47
5.4 土壤水分特征曲线	50
第6章 土壤渗透率公式	53
6.1 土壤渗透率公式的建立	53
6.2 土壤渗透率公式的验证	57

6.3 土壤渗透率变化规律	61
6.4 土壤毛细管水运动特性的验证实验	65
6.5 土壤渗透率公式验证总结	70
第7章 土壤颗粒在水流运动中流动特性	71
7.1 土壤侵蚀与淤积	71
7.2 水系的发展和河道的演变	76
7.3 土壤颗粒在水流中的起动和推移运动	78
第8章 地球上的水和水循环	80
8.1 地球上的水	80
8.2 水流运动与地貌	84
第9章 空气运动与土壤	85
9.1 空气运动与气候形成	85
9.2 空气的水平运动及风的变化	86
9.3 风沙流运动特性	87
9.4 沙尘暴	91
9.5 土壤中的空气	93
第10章 土壤热量状况	95
10.1 土壤热量的来源	95
10.2 地球辐射与辐射平衡	101
10.3 土壤温度	103
第11章 土壤胶体和土壤吸收性能	110
11.1 土壤胶体	110
11.2 土壤胶体的吸收性能	115
11.3 土壤离子的吸附与交换	117
第12章 土壤溶液与土壤反应	119
12.1 土壤溶液	119
12.2 土壤离子交换作用	121
12.3 土壤酸碱性	124
12.4 土壤的氧化还原作用	125

12.5 土壤缓冲性	129
第13章 土壤有机质	132
13.1 土壤有机质的来源和组成	132
13.2 土壤有机质的转化	133
13.3 影响土壤有机质转化的因素	136
13.4 土壤腐殖质	138
13.5 土壤腐殖质的作用	142
第14章 土壤中的大量营养元素	144
14.1 氮素营养	144
14.2 磷素营养	147
14.3 钾素营养	150
14.4 钙素营养	153
14.5 镁素营养	154
14.6 硫素营养	155
第15章 微量营养元素与根外追肥	158
15.1 铁素营养	158
15.2 锌素营养	160
15.3 锰素营养	161
15.4 铜素营养	163
15.5 钼素营养	164
15.6 硼素营养	165
15.7 根外追肥	167
第16章 土地资源利用与治理	174
16.1 土壤退化概述	174
16.2 土壤侵蚀及其防治	176
16.3 土壤侵蚀的防治	180
16.4 盐渍土	182
16.5 盐渍土的改良和利用	184
参考文献	189

绪 论

土壤不仅是人类和植物生存的物质基础，也是人类进行各种生产活动的生产资料。土壤上生长的绿色植物和藻类从土壤中吸收养分和水分，从空气中吸收 CO_2 ，利用太阳辐射进行光合作用生产各种生物产品，直接或间接供应以生物产品为食物的食草动物和食肉动物，生存在土壤中或地面的微生物和土壤小动物，它们分解生物残体，使有机体变为无机状态，从中吸收养分和能量。以上这些构成土壤生态系统内部构造。太阳提供光和热，地球提供引力，空气和水分构成土壤生态系统的环境条件。为了维持人类社会和土壤生态系统共同繁荣，自古以来，人类对土壤生态系统的内部条件和外部条件进行了大量的研究、开发、利用和改造工作，取得了大量的科研成果，形成系列学科知识。目前，人们对土壤生态系统的一些内部条件和外部条件，在一定程度上能够进行控制，而对于太阳提供的光热、空气流动、降雨这几个条件基本上无法控制，还不能做到年年风调雨顺，可见科技工作者任重道远。

1.1 土壤在农业和土壤生态系统中的重要性

1.1.1 土壤是植物生长繁育的基地

光合作用是绿色植物通过叶绿体，利用光能，把二氧化碳和水转化成储存能量的有机物，并且释放出氧气的过程。绿色植物每时每刻都在吸入光合作用释放出氧气。我们人类每天吃的食物，也都直接或间接地来自光合作用制造的有机物。光合作用是在绿色植物细胞中的叶绿体内进行的，由光反应（光所引起的化学反应）和暗反应（有关酶所催化的化学反应）组成的过程，在光合作用的过程中，二者是紧密联系缺一不可的。光合作用为几乎所有生物的生存提供了物质来源和能量来源。因此，光合作用对于人类和整个生物界都具有非常重要的意义。

(1) 制造有机物

绿色植物通过光合作用制造有机物的数量是非常巨大的。据估计，地球上的绿

色植物每年大约制造4 000亿~5 000亿t有机物,这远远超过了地球上每年工业产品的总产量。人们把地球上的绿色植物比作庞大的“绿色工厂”。绿色植物的生存离不开自身通过光合作用制造的有机物。人类和动物的食物也都直接或间接地来自光合作用制造的有机物。

(2) 转化储存太阳能

绿色植物通过光合作用将太阳能转化成化学能,并储存在光合作用制造的有机物中。地球上几乎所有的生物,都是直接或间接利用这些能量作为生命活动的能源。持这种观点的人认为,煤炭、石油、天然气等燃料中所含有的能量,都是古代的绿色植物通过光合作用储存起来的。

(3) 保持大气中氧和二氧化碳含量相对稳定

据估计,全世界所有生物通过呼吸作用消耗的氧和燃烧各种燃料所消耗的氧,平均为10 000t/s。以这样消耗氧的速度计算,空气大气层中的氧大约只需2 000年就会用完。然而,这种情况并没有发生。这是因为绿色植物广泛地分布在地球上,不断地通过光合作用吸收二氧化碳和释放氧,从而使空气大气层中的氧和二氧化碳的含量保持着相对的平衡和稳定。

(4) 土壤对生物进化具有重要的作用

研究发现,在绿色植物出现以前,地球的空气大气层中并没有氧。只是在距今20亿~30亿年以前,绿色植物在地球上出现并逐渐占有优势以后,地球的空气大气层中才逐渐含有氧,从而使地球上其他进行有氧呼吸的生物得以发生和发展。由于空气大气层中的一部分氧转化成臭氧(O_3),臭氧在空气大气层上层形成臭氧层,能够有效地滤去太阳辐射对生物具有强烈破坏作用的紫外线,因此,使水生生物开始逐渐能够在陆地上生活。经过长期的生物进化过程,最后才出现种类多种多样的绿色植物,扎根于土壤,靠根系伸长固定在土壤中,从土壤中吸收水分和各种养分,完成生长发育全过程,所以土壤是植物生长繁育的基地,对生物的进化具有重要的作用。

1.1.2 土壤是农业生态系统的重要组成

生态系统是指一定的地域空间范围内,生存的所有生物群落和环境条件相互作用,具有能量转换、物质循环和信息传递功能的统一体。生物群落可以分为三大类。一类是自养型的生产者,包括所有的绿色植物、光合细菌,是生态系统中最积极的因素。它们通过光合作用把太阳能以化学能的形式固定在碳水化合物中,进一步合成脂肪和蛋白质。这些物质一方面用来建造生产者自身,另一方面又成为地球上生物的食物来源。化学能合成细菌也能把无机物合成有机物。它们在合成有机物时不是利用太阳能,而是利用某些物质在化学变化过程中产生的能量。二类是直接或间接地依赖植物而生存的消费者,它们是生活在生态系统中的各类动物和一些腐生或寄生菌类。三类是起分解作用的还原者,主要是真菌和细菌,也包括某些原生动物和腐食性动物,它们把复杂的生物残体分解为简单化合物,最终成为无机物,归还到环境中,被生产者再利用。

能量单向流动,物质周而复始的循环是生态系统的基本功能。此外,生态系统的功能还表现在生物生产和信息传递等方面。

农业生态系统是人类为了生产和生活的需要,不断地从生物群落中选取营养价值高、产量高的品种作为栽培作物,家禽家畜利用栽培植物饲养。它们是以人为中心,在一定的气候、土壤等环境条件下,以作物、家禽家畜等生物为主要产品,组成的能量转换和物质循环系统。栽培作物从土壤里吸收养分元素和水分,从空气中吸收 CO_2 ,利用太阳能进行光合作用,产生多种生物产品,这些产品直接或间接经过人的加工处理成为人和动物的食物,成为具有其他用途的形形色色的产品。人和动物的排泄物,动植物残体,形形色色的产品,经过真菌和细菌等分解归还给土壤。显而易见,土壤是农业生态系统的重要组成部分。

1.2 土壤的概念和物质组成

1.2.1 土壤的概念

不同学科的科学家的,从不同的角度出发,对土壤的概念给予不同的解释。土壤学家和农学家从土壤在自然界的形成过程、空间分布位置、结构特性、运动规律等几个方面的特征出发,把土壤定义为:“土壤是指覆盖于地球陆地表面,能生长植物,由形状和大小不同的固体颗粒按一定规律排列组合的多孔物质层。”

土壤是生物、气候、母质、地形、时间等自然因素和人类活动综合作用下的产物。具有本身的发生、发展史,而且是一个在形态、组成、结构和功能上可以解析的物质实体,地球表面的土壤性质之所以存在千差万别,就是因为在不同的时间和空间位置上成土因素变异造成的。

1.2.2 土壤的物质组成

土壤是由固体、液体和气体三相物质组成的疏松多孔体。土壤固体通常以土粒的形式存在,按土体容积计算一般约占50%,其中矿物质约占38%,有机质约占12%,其余50%的容积为大小不同的孔隙,其中充满水分和空气。在土壤孔隙中或土粒表面上,生存许多昆虫、原生动物和大量微生物,1g土中,微生物的数量可以多达数十亿个,它们对于有机质的分解、腐殖质的形成和养分的转化都起着非常重要的作用。组成土壤的这些物质,不是简单地混合在一起,而是相互联系、相互制约构成一个统一体。

1.2.3 土壤肥力的概念

土壤肥力的概念和土壤的概念一样,迄今也尚未有完全统一的看法。西方土壤学家传统地把土壤供应养分的能力看作肥力。我国土壤科学工作者认为,“土壤肥力是土壤的基本属性和质的特征,是土壤从营养条件和环境条件方面,供应和协调

植物生长的能力。土壤肥力是土壤物理、化学和生物学性质的综合反映”。植物的正常生长发育，不仅要求水、肥、气、热四大肥力因子同时存在，而且要处于相互协调的状态。肥沃的土壤能够充足、全面、连续地供给植物所需的各种生活因子，而且能在一定程度上调节和抵抗各种不良自然条件的影响，满足植物生长的要求。

1.3 我国土壤科学的发展

我国古代劳动人民在长期的农业生产实践中，在认识土壤本质特性，改造和利用土壤过程中，积累了丰富的土壤学知识。这些知识都记录在我国古代名人论著中，对近代土壤科学的发展有重要贡献。我国现代土壤科学的研究工作始于20世纪30年代，当时主要进行了一些地区的土壤调查、制图和室内物理化学分析，对我国的土壤资源、主要土壤类型的理化性质、分布规律及土壤改良做了初步研究。自20世纪50年代起，在完成全国各地区土壤资源的开发利用，大面积中低产田改良，高产土壤培肥以及科学施肥方面，取得了很多科研成果。派出土壤物理学、土壤化学、土壤地理学、土壤矿物学、土壤生态学等多种新型学科。本书对土壤本身的一些基本理论问题进行了深入的研究和探讨，把土壤学的研究由定性描述向定量分析发展，因此，本书为“土壤基础理论学”。

1.4 土壤学研究领域与研究方法

1.4.1 土壤学分支学科及研究内容

土壤学已发展成为一门独立的学科，学科分支包括土壤基础理论学、土壤物理学、土壤化学、土壤矿物学、土壤生物学、土壤肥力和植物营养、土壤发生分类和制图、土壤技术、土壤与环境九个分支学科。

土壤基础理论学是研究土壤三相物质，土壤颗粒、液体水和土壤空气运动规律的科学，包括土壤能量的吸收和转化，植物营养物质的来源、转化和合理利用，土壤资源合理利用与管理等。

土壤物理学是研究土壤固体颗粒和液态水的运动规律，研究内容包括土壤水分、土壤结构、土壤质地、土壤力学性质等。

土壤化学研究土壤物质的化学组成、性质及土壤化学反应过程的分支学科。重点研究土壤胶体的组成、性质及土壤固体液体界面发生的系列化学反应过程。

土壤微生物学研究土壤中微生物功能和活性的土壤学分支。重点研究微生物种类、数量、形态、分布和生理代谢，以及与土壤形成、能量转换、物质循环、生物生长和环境保护的关系。

土壤地理学研究土壤发生、发展、分类、分布规律及其与地理环境之间关系的土壤学分支学科，是由土壤学与地理学交叉发展而成的边缘学科。

1.4.2 土壤学的研究方法

(1) 野外调查实验法

野外调查实验法,即在野外(田间)通过对土壤形成因素和剖面形态的观察和实验,并结合对周围自然地理环境和土壤利用情况的综合分析来掌握土壤的基本特征。这是研究土壤的形成、分类、分布、肥力特征以及进行土壤制图的最基本的传统方法之一。

(2) 实验室研究法

实验室研究,即在实验室内借助各种仪器设备和温室设施等对土壤的物理、化学、物理化学和生物学性质等进行定量或定性的测定,或对土壤肥力水平进行生物学试验(水培、砂培或土培)和模拟试验等。

(3) 定位研究法

定位研究法,即在田间选定某一土壤或某一地区,对土壤的某些特性和过程进行长期、系统的观察测定,以研究土壤性质或肥力的动态变化和发展趋势。

(4) 定量研究法

土壤是极端复杂的多孔介质,广泛涉及数学、物理学、化学、水力学等基础学科知识。根据土壤结构的实际情况,建立土壤结构数学模型。把土壤颗粒、液体水和空气的运动规律及相关因素用数学公式表达出来,揭示土壤这种复杂物质本身运动的规律性。

1.4.3 土壤基础理论学的主要内容

简介如下:

(1) 关于土壤颗粒分级制(详见第2章)

目前,土壤颗粒分级各国还没有完全统一的标准,根据本国的实际情况,有的已制定出自己的分级标准,有的则引用原苏联分级制或美国的分级制。1975年中国科学院南京土壤研究所,在总结我国群众经验的基础上,拟定出了中国土壤质地分类的暂行方案,共划分三类十一级。

本书作者根据不同大小的土壤颗粒在土壤中的运动规律;不同大小的土壤颗粒对土壤液体水流动速度的影响程度有显著差异;不同大小的土壤颗粒化学性质不同,把土壤颗粒划分为四类七级。采用这种分级制最大的优点是能够准确计算土壤渗透率,使土壤渗透率的相对误差控制在3%~5%之间。

这种分级制与国内外的其他分级制比较是客观的、合理的。

(2) 关于土壤结构数学模型(详见第3章)

我们建立的土壤结构数学模型由体积不同的圆球和圆孔构成,此为球模型。土壤结构数学模型由体积不同的圆土柱和圆孔管构成,此为柱模型。柱模型中,土壤由不同直径的土柱组成,土壤孔隙由不同直径的圆管组成,相同径级的土柱相切形

成孔隙，不同径级的土柱不能形成孔隙，一个土柱一个孔隙。土柱和孔隙高度相等。球模型中土壤由不同直径的球组成，土壤孔隙由不同直径的孔球组成，一个球一个孔隙。相同径级的土球相切形成孔隙，不同径级的土球不能形成孔隙。

根据水力学液体一元流动的连续性方程阐明的道理，不可压缩液体的恒定总流中，任意两个过水断面，其平均流速与过水断面面积成反比。液体一元流动的连续性方程是水力学中的一个基本方程，它是质量守恒原理在水力学中的具体体现。其数学表达式为：

$$Q=u_1\omega_1=u_2\omega_2=\text{常数}$$

这就是液体总流的连续性方程，它说明不可压缩液体的恒定总流中总流量等于平均流速 $\bar{u}$ 与过水断面面积 ω 之积，而与过水断面形状无关。因此，我们可以把土壤中形状不规则的孔管当作圆管。也可以这么说，孔隙的形状只是孔隙本质特性的表面现象，人们不能被表面现象迷惑。连续性方程是个不涉及任何作用力的运动学方程，所以，它无论对于理想液体或实际液体都适用。连续性方程不仅适用于恒定流条件下，而且在边界固定的管流中仍然适用。作者的土壤结构数学模型，避开了不能进行定量分析的土壤颗粒和孔隙的形状问题，因而可以应用几何学、微积分和微分方程等数学方法，对土壤结构数学模型的结构参数进行定量分析。

① 土壤结构数学模型中3个、4个… M 个土柱相切时，有效孔隙半径 R 与土粒半径 r 的关系。

应用几何学原理确定了土壤结构数学模型中3个、4个… M 个土柱相切时，有效孔隙半径 R 与土粒半径 r 的关系，土壤孔隙度 $K\%$ 与土柱数 M 的关系：

$$R=r\left(\csc \frac{\pi}{M}-1\right)$$

$$K_i\%=\frac{2M\left(\operatorname{ctg} \frac{\pi}{M}-M\pi+2\pi\right)}{2M\left(\operatorname{ctg} \frac{\pi}{M}-M\pi+4\pi\right)} \times 100\%$$

② 应用土壤结构数学模型确定了土壤中有有效孔隙半径 R 与土粒半径 r 的关系。

$$R=Ar$$

$$A=0.4142\left(\varepsilon \%+\delta \% \gamma \%\right)+0.7013 \delta \% \beta \%$$

$\varepsilon \%$ 、 $\delta \%$ 、 $\gamma \%$ 、 $\beta \%$ 这几个数据可以根据实测土壤孔隙度查土壤结构理论值表获取。土壤有效孔隙半径 R 与土粒半径 r 之间数量关系的确定，为土壤渗透率公式的建立和应用于真实土壤渗透率的计算排除了一个障碍。

③ 土壤结构数学模型解决了液体水在土壤中流动时，水流路程 L 与水流距离 l 之间数量关系。

$$L=l \frac{A+0.5 \pi}{A+1}$$

水流路程 L 与水流距离 l 之间数量关系也是一个与有效孔隙半径 R 与土粒半径 r 关系系数 A 有关的数学表达式,这个问题的解决为土壤渗透率公式的建立和应用于真实土壤渗透率的计算排除了另一个障碍。

④ 土壤结构数学模型解决了大土粒形成的孔隙被小土粒填实的数量问题。

研究表明,较大土粒形成的孔隙自然状态下被小土粒填实而不透水,因而不能按这些孔隙的大小计算渗透量,透水土粒数量的确定是研究土壤渗透规律的关键。研究表明土壤孔隙度最大值 $K_{\max}$ 与实测土壤孔隙度 $K\%$ 之差就是大土粒形成的大孔隙被小土粒填实的大土粒数量。用 $\lambda_{ij}\%$ 代表透水土粒数量占全部土粒的百分数,则:

$$\lambda_{ij}\% = \frac{K}{K_{\max}} 100\%$$

式中: $K_{\max}$ ——百分之百的团粒结构孔隙度最大值,可以从土壤结构理论值表获取;

K ——实测土壤孔隙度百分数。

这个问题的解决为土壤渗透率公式的建立和应用于真实土壤渗透率的计算排除了第三个障碍。

⑤ 根据自然界的土壤都是由单粒和团粒组成的,土壤孔隙度绝大多数在20%~70%之间,我们用4式孔、45式孔和55式孔所占体积的百分数进行组合排列,制定了土壤结构理论值表,这个理论值表反映了每一种土壤结构的各种参数,为土壤渗透率公式的建立和应用于真实土壤渗透率的计算排除了第四个障碍。

(3) 关于土壤渗透率公式(详见第6章)

土壤渗透率的研究,从1856年达西(Darcy)定律发表以来,已有150年的历史。土壤渗透率公式是否存在,争论不休,成为世界之谜。美国学者认为:土壤是一种极其复杂的多孔介质,不但化学成分种类繁多,几乎包括地球上所有化学元素,颗粒和孔隙的形状大小不同,物质的形态有固态、液态和汽态,还有植物根系、动物和微生物等。总之是非常复杂的,因而不可能存在数理公式。前苏联学者认为物质和运动不可分,任何物质的运动都有规律,土壤渗透公式是客观存在的。直到目前为止,至今还没有搞出真正的数理公式。本书作者建立了反应土壤结构特性的数学模型,应用数学手段,推导出土壤渗透率公式。经不同土壤剖面土壤渗透率实验值和理论计算值对照实验验证;大直径土壤颗粒形成的空隙被小直径土壤颗粒填实实验验证;毛细管水上升高度实验验证;土壤渗透率变化规律实验验证等。上述一系列的实验验证,理论计算结果与实验数据相吻合。土壤渗透公式解决了土壤物理学关于液体水在多孔介质土壤中的一系列运动规律问题,使土壤学的许多问题可以进行定量分析。

① 土壤渗透率公式是用初等函数表达的真正的解析解。

土壤渗透率公式反映了液体水在真实土壤中流动的客观规律。通过达西(Darcy)定律和普氏(Poiseuill)定理,人们明确了渗透率与外力大小成正比,与圆管半径是一种二次抛物线关系,与水的黏滞度系数成反比。土壤渗透率公式在这几个相关因素的研究结果与前人的结论是一致的。同时,土壤渗透率公式进一步

阐述了渗透率与有效土粒质量百分含量、土粒密度成正比，与土壤容重成反比，与土粒孔隙之间的比例系数 A 、有效土粒粒径 d_i 是典型的二次抛物线关系，土壤渗透率与土壤结构参数土粒密度、土壤容重、颗粒组成密切相关。

$$u = \frac{\sqrt{2A^2(A+1)mgK\%}}{64\nu(A+0.5\pi)} \sum_{i=1}^n d_i^2 \lambda_i \%$$

这就是土壤渗透率公式，公式的单位为 $\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

② 土壤的稳渗渗透率是由土壤剖面中最小渗透率土层的渗透率决定的。

在土壤渗透率理论值与实验值的验证实验工作中，用实验数据验证了土壤的稳渗渗透率是由土壤剖面中最小渗透率土层的渗透率决定的，这可以从土壤渗透率的实验值和理论值对比中看到，土壤的稳渗渗透率与土层的最小渗透率吻合。

③ 土壤渗透率在整个土壤剖面的分布形式有两种。

一种是土壤的表层渗透率最小，土壤液体水始终按这个表层渗透率下渗，土壤渗透率 6h 下渗曲线基本上是一条直线，虽然 6h 后渗透率略有下降，但变化很小，这种现象可以从土壤渗透率的实验值和理论值对比中得到验证。另一种是土壤的表层土壤渗透率比较大，随着深度的增加各个土层的土壤渗透率的变化趋势是逐渐减少的(当然不排除土层间有大于表层渗透率土层的存在)，土壤 6h 渗透率的变化是逐渐减少的，土壤渗透率下渗曲线也是随时间的延长而变小的曲线，这种现象也可以从土壤渗透率的实验值和理论值对比中得到验证。

④ 土壤颗粒的运动规律。

与土壤液体水一样，土壤中的土壤颗粒也有其本身的运动和运动规律。在自然情况下，大土粒形成的孔隙会被小土粒填实；在压力的作用下，由于几何尺寸和摩擦力的原因，随着压力的增加，大孔隙被小土粒填实只能是从大孔隙开始逐级向小孔隙填实的有序过程，这就是土壤中土壤颗粒的运动规律。这个结论是在研究土壤渗透率变化规律的实验中得到验证的。实验中，供试土样随外加压力的增加，土样的容重增加，土样的土壤渗透率下降了几十倍至几万倍。由于土壤液体水的运动速度 u 与土壤颗粒直径 d^2 成正比，只有土壤的大孔隙被小土粒填实而不透水，才能发生土壤渗透率的巨大变化。

(4) 关于土壤的侵蚀与淤积规律（详见第 7~9 章）

侵蚀和淤积是土壤颗粒在水流和气流运动中的两种运动形式。具有一定能量的水流和气流，在其路径的某些部位产生冲刷或侵蚀，而在另外的某些部位产生淤积。地表发生侵蚀和淤积的部位是有规律的。本书作者应用野外调查资料和室内模拟试验数据，对侵蚀和淤积现象进行了物理成因分析，不但清楚地解释了侵蚀和淤积现象产生的根本原因，还能准确地确定侵蚀和淤积部位，对于土壤侵蚀的治理工作具有一定指导意义。

① 地表径流流速方程。

利用最简单的水流层流运动来探讨地表径流流速 u 与相关因子的函数关系如下：

$$u = X \frac{1}{2\nu} \rho g H^2 \sin \alpha$$

分析上述公式中的 ν 、 ρ 、 g 为常数，变量为 α 和 H 。

对 α 和 H 取偏导数得：

$$a_\alpha = \frac{\partial u}{\partial \alpha} = \frac{1}{2\nu} k \rho g H^2 \cos \alpha \quad (7.4)$$

$$a_H = \frac{\partial u}{\partial H} = \frac{1}{\nu} k \rho g H \sin \alpha \quad (7.5)$$

当 α 和 H 增加时， a_α 和 a_H 的变化即加速度为正值与速度方向一致，流速增大产生冲刷，而当 α 和 H 减少时，加速度为负值与流速方向相反，水流流速降低产生淤积。所以地面坡度 α 和径流深 H 是引起地表径流流速变化的关键因子。土壤颗粒在气流中的运动与水流有类似的情况。

② 侵蚀部位和淤积部位。

径流中挟带的泥沙在进入河流的某一断面以前，将会发生沿程的冲刷和淤积，水流作用的性质取决于坡度和径流深度变化的情况。因而我们可以根据地形变化特性及其水流流过时作用的性质，确定地面上的侵蚀部位和淤积部位。气流中的土粒，随着气流的流速变化，也会发生沿程的侵蚀和淤积现象，也可以确定地面上的侵蚀部位和淤积部位。

(5) 关于五因素五水平二次回归根外追肥实验（详见第15章）

在保证施用基肥的基础上，在作物的展叶期、开花期、绿果期进行根外追肥，能延长植物生长期，增加植株生物量。根外追肥还能提高植物产品的营养价值，改善植物产品的品质。叶面喷肥是人工施肥的一种形式，也叫根外施肥，具有用肥少，肥效高、肥效快、利用率高的优点，尤其在植株生长后期，根系吸收力减弱时，施用此技术增加产量、改善产品品质的效果最明显。我们进行五因素五水平二次回归根外追肥实验在比较短的时间里，获得了大量营养元素和微量营养元素最佳的组合配方。对于农业生产提高作物产量和品质，走健康发展之路，具有一定的参考价值。

(6) 关于盐碱土改良和利用问题（详见第16章）

在盐碱土成因中，除了“地势平坦，排水不畅，地下水位浅”、“年降水量少蒸发量大”、“地下水的矿化度高”、“河流和不合理灌溉提高了地下水位”之外，又提出了土壤剖面中存在不透水层内陆盐碱土形成这一根本原因。

在盐碱土改良和利用措施中，提出了改良和利用盐渍土应统一规划，综合治理，以排灌结合的水利措施为基础，以改土培肥的农业措施为中心，不断提高土壤肥力，加强田间管理，巩固洗排盐效果防止返盐。改良和利用盐渍土既有经济效益又有生态效益，要求农林牧全面发展，防止采取单一措施，单一经营，分散治理。尤其提到了彻底解决不透水层问题是内陆盐碱土改良的根本措施之一。把地下水位控制在临界深度以下，并彻底解决不透水层问题，可以一劳永逸的改良盐碱土，使之变成良田。

上述结论的验证实验方法和数据是本书作者在科研工作中直接获取的。