



普通高等教育“十三五”规划教材

土壤学与农作学

(第4版)

武汉大学 王康 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

要 则 书 内

普通高等教育“十三五”规划教材

土壤学与农作学

(第4版)

武汉大学 王康 编著



· 北京 ·

内 容 提 要

本书着重阐述与农田水利工程、农业灌溉和排水有密切关系的土壤和作物的基础知识和基本理论。全书分为7章,第1章简述了土壤学和农作学的任务和重要性,第2章介绍了土壤物理和水动力性质,第3~6章分别就影响作物生长的水、肥、气、热等关键要素在土壤中的存在形式、迁移和转化过程及其动力学描述方法进行了论述,第7章重点阐述了我国水稻、小麦、玉米和棉花4种主要作物的需水特性和合理用水。

本书是为高等学校农业水利工程专业编写的教材,也可以供从事农田水利工程、环境工程等相关专业的技术和工作人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

土壤学与农作学 / 王康编著. -- 4版. -- 北京 :
中国水利水电出版社, 2016. 11
普通高等教育“十三五”规划教材
ISBN 978-7-5170-4886-2

I. ①土… II. ①王… III. ①土壤学—高等学校—教材②耕作学—高等学校—教材 IV. ①S15②S34

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第276256号

书 名	普通高等教育“十三五”规划教材 土壤学与农作学 (第4版) TURANGXUE YU NONGZUOXUE
作 者	武汉大学 王康 编著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 11印张 261千字
版 次	1979年10月第1版第1次印刷 2016年11月第4版 2016年11月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	25.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前言

土壤学与农作学是高等学校农田水利专业的专业基础课。20 世纪 90 年代至 21 世纪,随着国民经济的发展和社会的转型,农业水资源短缺的问题日益突出,农田水利学的任务已经由传统的调节农田水利状态和地区水情状况,扩展到农业水资源高效利用、环境和生态的可持续发展等多个方面。土壤与农作学的任务也由传统通过维持土壤良好的状态以满足作物的生长需求、作物的生理和合理用水,扩展到农田水土质量保持、农业水土资源综合调控以及农业面源污染控制等多个方面。为了适应农田水利工程学科的发展和生产实践的需求,本版教材在土壤与农作学的教学目标和任务、教材体系、教学内容等方面进行了全方位的修订。土壤学部分按照影响作物生长的四大要素:“水”“肥”“热”和“气”进行了整编。作物学部分将内容集中在水稻、小麦、玉米和棉花 4 种我国主要作物的水分需求和合理用水。

土壤与农作学的教学以基本理论和基本概念的掌握为核心,以农田水利实践和应用为目的,力图精益求精,提高教材质量。我们总结第二版和第三版教材的经验,发现学生完成教学后,更多的是对理论和知识的认知和了解,而将土壤与农作学的知识应用于农田水利实践仍存在着较大的不足。考虑到工科院校特色和特点,本版教材大幅强化了数学基础理论和方法在土壤学和农作学的应用,相应的为了方便教学以及学生学习,教材中大幅度增加了例题分析的内容,以求完成教学环节后,能够大幅提升学生的基础素质和实践能力。

本书由武汉大学水利水电学院王康教授负责编写,沈荣开教授担任主审,2015 年 12 月完成初稿的编写,2016 年 5 月根据审查意见修改定稿。在编写过程中多次征求国内相关科研院所和生产单位的意见,得到了中国农业科学院

第一版前言

本书是根据一九七八年四月制订的高等学校《农田水利工程》专业教学计划及一九七八年至一九八一年高等学校水利电力类教材编审规划的有关规定进行编写的。

《土壤与农作》是《农田水利工程》专业的技术基础课。在多年的教学实践中，我们体会到对这一课程的教学，既要紧密结合专业，贯彻“少而精”的原则，又要使学生对土壤与农作有较系统和全面的了解；既要重点阐述有关的基础知识和基本理论，又要适当介绍有关的技术措施和应用知识。为此，本书共编写成六章：第一章绪论，简要论述了实现农业现代化的重大意义和学习本课程的目的要求；第二章主要介绍土壤组成和土壤的基本性状；第三章专门介绍了土壤水分；第四章介绍土壤培肥和盐碱土、红壤及冷浸田改良的基本措施；第五章介绍作物与水分的关系；第六章着重介绍水稻、小麦、玉米和棉花的需水特性和灌排经验；最后在附录里介绍了有关教学实验的内容。

由于我国幅员辽阔，各地区土壤和作物栽培情况差异较大，为了照顾各地需要，本书编写了较多的内容。各院校采用本书进行教学时，可根据实际情况作适当的取舍。

本书由武汉水利电力学院黎庆淮、张明炷、石秀兰执笔编写，由黎庆淮主编。初稿完成后，由主审单位——江苏农学院召开了审稿会议。参加审稿的有谢昌诚（江苏农学院）、胡毓祺（中国农科院农田灌溉研究所）、蔡大同（中国科学院南京土壤研究所）、刘圭念（华东水利学院）、骆凤仪（合肥工业大学）、彭毓华（太原工学院）等同志。本书编审过程中，还得到李学垣（华中农学院）、张元禧（合肥工业大学）等同志的大力支持。在此一并表示衷心的感谢。

对于书中的缺点和错误，恳希读者批评指正。

编者

1979年4月

第二版前言

《土壤学与农作学》是“农田水利工程”专业的一门技术基础课。本版教材是根据水利电力部教育司一九八三年三月颁发的高等学校“农田水利工程”专业教学计划和《土壤学与农作学》教学大纲，以及一九八三至一九八七年高等学校水利电力类教材编审出版规划的要求，在一九七九年出版的高等学校教材《土壤与农作》的基础上进行编写的。

在编写过程中，我们对以往的教学和教材编写工作进行了总结，充分注意到必须使教材的体系和内容与专业的要求紧密结合。既加强有关基础知识和基本理论的阐述；又适当介绍有关的国内外先进技术经验；同时还贯彻了“少而精”的原则。全书除绪论外，包括三部分：第一部分是土壤，有土壤的形成与组成、土壤的基本性状、土壤水分和主要低产土壤改良等；第二部分是农作，仅论述了作物与水 and 主要农作物的合理用水；第三部分是实验，包括教学大纲中所规定的六个实验的教学指导。本版教材与一九七九年版本比较，主要是增加了土壤基础知识和基本理论，并补充了土水势和作物水势方面的材料，同时精简了某些章节中不太必要的内容。

本书的编写是面向全国。由于我国幅员辽阔，各地区自然条件和农田水利方面存在的主要问题不同，土壤和耕作栽培情况也有一定的差异。因此，各兄弟院校在进行《土壤学与农作学》的教学时，可根据当地的实际情况对本书内容作适当的取舍。

参加本书编写的有黎庆淮（绪论和第五、六章）、石秀兰（第一、二章和实验部分）和张明炷（第三、四章），黎庆淮负责主编工作。初稿完成后，由主审人谢昌诚（江苏农学院）召开了审稿会议。参加审稿会的除主审人外，还有刘圭念（华东水利学院），沈弥英（西北农学院）和林国信（合肥工业大

学)等。在编审过程中,还请茆智和李恩羊(武汉水利电力学院)分别对有关章节进行了审阅,彭毓华(太原工学院)对全书的编写也提了一些宝贵的书面意见。此外,还得到一些兄弟院校和生产单位的积极支持,在此一并表示衷心的感谢。

对于书中的缺点和错误之处,恳希读者批评指正。

编者

1984年2月

第三版前言

遵照水利部 1990~1995 年有关教材编审出版规划的安排，我们在 1986 年出版的《土壤学与农作学》第二版基础上，进行了第三版教材的编写。

在这次编写中，我们总结了七年来使用第二版教材的经验，并听取了 1990 年全国“土壤学与农作学”教学经验交流暨学术讨论会上同行们对教材所提的宝贵意见，力图精益求精，进一步提高教材的质量。新版教材大的体系依旧，内容有较多的修改。部分章节删去了许多次要的内容，补充了一些较为重要的新内容。在文字图表方面，对全书做了较仔细的修订，使之更趋精练、严谨和完善。

编写工作基本上同第二版的分工，由黎庆淮编写前言、绪论、第五和第六章及附录；石秀兰编写第一和第二章及实验部分；张明炷编写第三和第四章并负责全书统稿。江苏农学院水利系谢昌诚担任主审。1993 年 10~11 月根据审查意见修改定稿。

书中难免还有缺点和错误，敬请读者批评指正。

编者

1993 年 11 月

目 录

前言

第一版前言

第二版前言

第三版前言

第 1 章 绪论	1
1.1 土壤中的水分概述	1
1.2 土壤中溶质的迁移和转化	3
1.3 土壤的热状况和通气状态	5
1.4 土壤学与农作学的数学基础	6
第 2 章 土壤物理性质	12
2.1 土壤及土壤的形成	12
2.2 土壤的粒径与表面积	14
2.3 黏土的性质	19
2.4 土壤剖面	29
2.5 土壤物理常数	31
第 3 章 土壤水分状态及其运动	34
3.1 农田土壤水分状况	34
3.2 土壤水势	41
3.3 土壤水动力学性质	49
3.4 土壤中的水流运动	57
第 4 章 土壤溶质迁移与转化	65
4.1 土壤溶质势	65
4.2 土壤中的溶质迁移	66
4.3 土壤中的氮循环	75
4.4 土壤中的磷循环	79
4.5 土壤中的农药	81
4.6 土壤溶质化学反应速率方程	82

第 5 章 土壤热运动	87
5.1 土壤中能量的传播	87
5.2 土壤-植物-大气连续体 (SPAC) 中的能量平衡	88
5.3 土壤中的热传递动力学过程	91
5.4 土壤温度的调节	100
5.5 土壤中水分和热量的同步迁移	105
第 6 章 土壤中的气体运动	110
6.1 土壤中的气体	110
6.2 土壤中气体的对流与扩散	113
6.3 土壤的氧化还原作用及其影响因素	121
6.4 土壤呼吸	126
第 7 章 主要作物的合理用水	130
7.1 水稻	130
7.2 小麦的水分生理特性及合理用水	141
7.3 玉米的生长及其合理用水	150
7.4 棉花的生长特性及其合理用水	159

第 1 章 绪 论

传统的农田水利学的基本任务是通过各种工程技术措施,调节农田水分状况和地区水利条件,以促进农业生产的发展。在灌溉排水工程规划设计中,工程规模和技术参数的确定,均需要根据灌区农业生产的要求,特别是土壤特性和作物需水特性等情况来确定。灌溉制度和灌水方法的确定和实施,也必须根据土壤的水分物理特性和作物的需水规律,以保证既能够满足作物需水,又能够提高水的利用效率,并满足可持续发展的需求。近 30 年来,随着人口的急剧增加和经济的迅速发展,人均耕地面积日益减少,粮食问题越来越突出,并且随着工业的发展和人民生活水平的提升,工业和生活用水量大幅增长的趋势不可避免,可供农业用水的水量进一步减少,如何最合理、最有效地利用有限的水量成为农业生产的关键问题之一。而了解土壤、植物、大气系统中水分循环及其伴生和伴随过程的内在规律,了解土壤水肥气热状态、了解作物生长和产量与水分的关系,最大程度的发挥有限水量的效益,势在必行。

粮食生产是干物质累积的过程,其场所是土壤、植物和大气系统,土壤是水分量交换、能量交换、气体交换和养分吸收的主要场所,因而研究土壤中的水分迁移和溶解于水中的营养元素的迁移特性,土壤中的能量的传递和状态变化,植物的水分适应性,干物质的形成规律及其受水分的影响等,是土壤学与农作学的首要目标。农业面源污染已经成为环境污染的主要来源之一,过量施用的化肥和农药残留进入地表水和地下水后造成了水体污染,农业种植区 CO_2 和 CH_4 等温室气体排放,对于气候变化起到了极大的推动作用,认知土壤水分驱动条件下的溶质迁移转化过程,土壤中温度状态变化和气体的运动规律对于促进农业生产、维持农业生态环境可持续发展都具有重要的意义,也是新形势下土壤学和农作学所需要学习和掌握的内容。

1.1 土壤中的水分概述

根系区的土壤水量平衡如图 1.1.1 所示。根区水均衡要素包括发生在土壤表面的蒸发,根系从土壤中吸收水分后传输到植物叶片后发生的蒸腾,由于地下水通过上升毛管水形成的补给,土壤水分超过了毛管持水能力后以重力水形式渗漏到根系层以下深度的深层渗漏,通过降雨和灌溉方式入渗进入到田间的水分,通过地表径流流失的水分,和从侧向进入和流出土壤中的水分。

一个时段内土壤根系层的水量平衡方程可表示为

$$P+I+L_l+K=ET+R_0-D_{ep}+D_r+L_o \quad (1.1.1)$$

式中: P 为以雨雪形式的降水量; I 为灌水量; L_l 为从侧向进入土壤根系层的水量; K 为地下水补给土壤水量; ET 为包括土壤蒸发和作物蒸腾的腾发量; R_0 为地表径流量

(从地表流入和流出的水量)； D_{ep} 为土壤储存水分的变化量； D_r 为包括地表排水和深层排水的排水量； L_o 为侧向流出的水量。

式 (1.1.1) 的左边为进入土壤的水量，而方程的右边则为流出土壤的水量。通常情况下，在一个水文年中，各种水文要素之间达到一个均衡，土壤的来水和消耗平衡。然而在不同的地区，水均衡要素之间的变化则表现出显著的差异，表 1.1.1 为美国不同地区的水均衡表：在湿润的东南部，土壤来水中的 78% 以 ET 的形式损耗，22% 以 R_o 的形式损耗，在平原区， ET 的损耗高达 94%， R_o 和 D_r 所占的损耗为 6%。在山区的旱地 90% 的来水以 ET 损耗， R_o 和 D_r 所占的损耗为 10%，而在山间的灌溉地， ET 的损耗下降至 78%， R_o 和 D_r 所占的比例则上升为 22%。山区的旱地中，来水量的 57% 用于蒸发，仅 33% 用于作物生长所需要的蒸腾量，而在山间的灌溉地，则来水中的 50% 用于蒸腾量，28% 用于蒸发量，灌溉土壤中水分的利用效率显著提升。

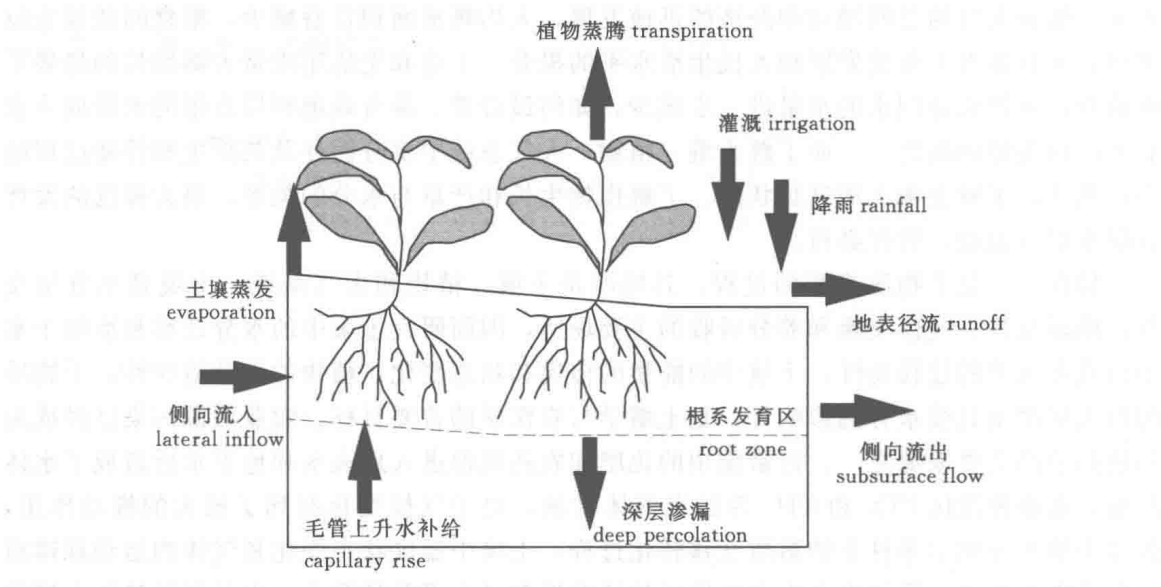


图 1.1.1 植物根区水量平衡

表 1.1.1	水文要素中分项组成的变化				单位: mm
水文要素	东南部	平原区	山间的旱地	山间的灌溉地	
降雨量	1270	500	300	300	
灌溉量	0	0	0	500	
腾发量	990	470	270	620	
蒸腾量	—	170	100	400	
蒸发量	—	300	170	220	
排水量	—	5	5	130	
径流量	280	25	25	50	

注 资源来源于美国的不同地区的监测资料。

大部分水均衡要素进入土壤，在土壤中停留一部分时间后，以 ET 的形式返回大气，或者以深层排水的形式通过土壤层进入地下水，土壤的性质影响了这些过程，即使不进入土壤层的水均衡要素，例如地表径流，同样也在很大程度上受到了土壤性质的影响。

土壤类似一个巨大的水库，具有储水能力，而且土壤这个水库中提取水分的方式有很多种。水在相当长的时间内被储存在土壤中以供植物吸收。土壤这种储水能力在很大程度上影响了许多重要的水文过程。表 1.1.2 为在玉米生育期不同灌水量情况下的水均衡（美国 Davis CA、Ft. Collins CO 和 Logan UT 3 个地区，1971 年、1972 年数据）以及玉米的产量。数据显示，在 Davis CA 地区，没有灌溉和降雨的情况下，ET 消耗了 409mm 的水量，这些水分的消耗主要来源于土壤所蓄存的水分。在其他两个地点，尽管降雨和灌水量有明显的增加，然而对于缺水处理，土壤中水分储量仍然有显著的消耗，并且土壤中水分储量的变化与土壤的质地、根系深度和气象等条件都有着密切的关系。

表 1.1.2 玉米生育期不同灌水量情况下的水均衡及产量

地点	处理	灌水量 /mm	降雨量 /mm	腾发量 /mm	储水变化量 /mm	排水量 /mm	产量 /hm ²
Davis CA	缺水	3	4	409	-402	0	15.4
	充分灌水	406	4	611	-243	42	22.0
Ft. Collins CO	缺水	11	186	365	-233	65	10.7
	充分灌水	346	186	526	-104	110	15.8
Logan UT	缺水	64	81	366	-222	1	8.8
	充分灌水	334	81	543	-142	14	15.6

表 1.1.3 是没有种植作物的裸地和种植了不同作物的田块水量平衡的比较，在 6 月 11 日至 8 月 2 日期间，没有作物生长的裸地，腾发量（ET）仅为 33mm，在有植物生长的情况下，ET 达到了 143~193mm。这一结果显示，没有作物生长的情况下的蒸发量与有作物生长条件下腾发量的差异显著。种植玉米、小麦、燕麦和大麦的田块，在 6 月 11 日，土壤储水量为 240~290mm，到 8 月 2 日，植物吸收了其中的 120~160mm。土壤具有很强的水分保持能力，蒸发仅能够消耗很小的一部分水量，而保持的水分能够在很长的时间内被作物持续的吸收和利用。

水分是植物生长的第一要素，而土壤学和农作学中，土壤的水分状态、土壤中的水分运动、植物的水分生理特性等内容都是土壤学与农作学所需要重点掌握的内容。

表 1.1.3 1m 土壤深度内不同种植情况下的土壤含水率的变化

作物	土壤储水量/mm		降雨量/mm	腾发量/mm
	6 月 11 日	8 月 2 日		
无种植裸地	260	230	3	33
玉米	260	120	3	143
小麦	240	80	3	163
燕麦	280	90	3	193
大麦	290	100	3	193

1.2 土壤中溶质的迁移和转化

土壤溶液由水、溶解物质以及胶体物质组成。土壤溶质是指溶解于土壤水溶液中的化

学物质。土壤中的溶质主要包括：硝酸盐 (NO_3^-)、铵氮 (NH_4^+)、正磷酸根 (PO_4^{3-})、钾离子 (K^+) 等能够被植物吸收和利用的营养元素, Cl^- 、 CO_3^{2-} 、 SO_4^{2-} 、 Br^- 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 等盐分成分。此外, 镭 (Ra)、铍 (Be)、氦 (He) 等天然放射性物质, 汞 (Hg)、铅 (Pb)、铜 (Cu) 等重金属也都在土壤中以各种形式微量存在。近年来, 由于人类活动的影响, 镉 (Cd^{2+}) 等重金属在土壤中发生了富积。

土壤中溶质来源主要包括: 空气中的 CO_2 和 O_2 , 来源于工业的硫和氮的氧化物, 以及空气中悬浮颗粒所含的盐分, 溶解于雨水中, 随降雨进入土壤; 土壤中矿物和有机质的溶解, 增加了水溶液的溶质浓度, 例如在干旱地区, 化石盐是土壤中盐分含量增加的主要来源, 而在沿海地区, 海水入侵导致沿海地区土壤和地下水盐化; 农业产生的化肥、除草剂 (或杀虫剂) 向土壤中的施用也在很大程度上增加了土壤中溶质的含量。

溶质在土壤中的运移过程非常复杂, 受到了各种物理、化学以及生物等因素的影响。溶质随着土壤水分的运动而运移, 在布朗运动作用下, 溶质也会在有效浓度 (或活度) 梯度的作用下由高浓度向低浓度运移。此外, 一些溶质也会吸附在土壤中的可移动的物质 (如土壤胶体), 随着可移动物质的运动而发生迁移。溶质运动还受到吸附-解吸、作物吸收、沉淀-溶解、离子交换等过程的影响。土壤质地、土壤结构和孔隙度影响土壤孔隙的大小、多少、形状和连通状况, 从而影响溶质在土壤中的运动速率。

各种物质在土壤中表现出复杂的物理、生物和化学特性, 以近年来的土壤镉污染为例: 水稻根系可以从土壤里吸收镉并迁移累积到稻米中, 长期食用受镉污染的稻米会给人体健康带来严重的危害。镉在土壤中的化学形态是二价镉离子 (Cd^{2+}), 主要吸附在有机

质、无机质和胶体成分上, 能溶解到土壤溶液中的 Cd^{2+} 数量很小, 并且这些溶解的 Cd^{2+} 还可以与溶解的有机酸和无机配位体发生络合反应并形成络合物。土壤吸附的镉可以分为 5 种形态: 可交换的, 吸附在碳酸盐上的, 吸附在铁-锰氧化物上的, 吸附在有机质上的和残余部分; 可交换的和吸附在碳酸盐上的镉可以被植物吸收, 属于非稳定的镉, 而后面 3 种在土壤中相对很难被植物吸收, 属于稳定的镉。而溶解在水中和吸附在土壤胶体中的镉能够发生迁移, 进入地下水。

土壤中的营养物质对于植物的生长发育具有重要的作用。植物根系在土壤中吸收水分和养分。图 1.2.1 为土壤根系系统中营养物质从土壤向根系运动的示意图, 包括了: ①土壤中植物根系从土壤中吸收水和营养物质; ②营养物质从土壤中以对流和扩散的形式向植物根区运动; ③土壤固体颗粒中的离子与土壤溶液中的离子发生交换; ④从根系渗出的物质溶解了

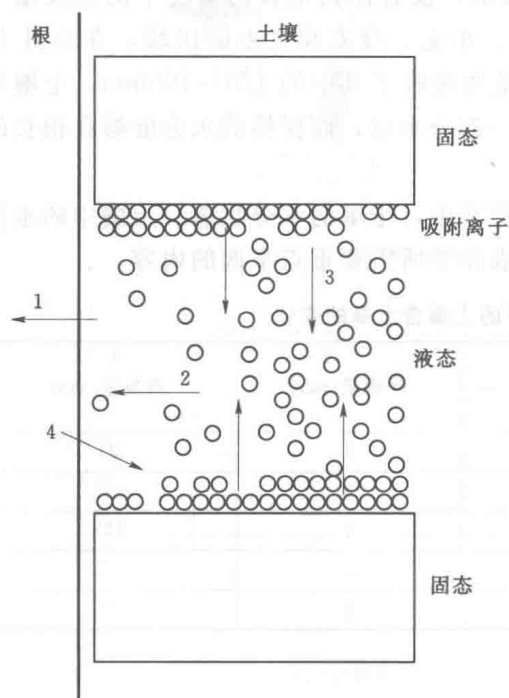


图 1.2.1 土壤中根系从土壤中吸收营养物质的过程

土壤中的养分等多个环节。在土壤学与农作学中，营养元素（氮和磷）的迁移转化特性及其动力学描述，溶质迁移的对流弥散描述方法等内容都是需要重点掌握的内容。

1.3 土壤的热状况和通气状态

从赤道到两极，土壤类型呈现有规律的变化，主要原因就是由于温度的不同造成的。在土壤分类中，土壤的热状况是一个重要的依据，放在高级分类单元。

土壤温度势是土壤肥力的重要影响因素之一。土壤温度状况影响养分的有效性，影响土壤中各种物理过程和化学反应速率，并且影响微生物的活动特性。土壤中温度也影响水的能量状况、黏滞度，在一些环境下（如冻土），也对水分的运动和有效性有一定的影响。此外土壤温度还影响土壤空气的交换和更新，以及植物的生命活动。

土壤中热量主要来源于太阳的辐射能、生物热和地热 3 个方面。太阳的辐射能是地球上最重要的能量源泉，也是土壤热量的最主要来源。当地球与太阳为日地平均距离时，在大气上部边界测得的太阳辐射强度为 $7.95\text{J}/(\text{cm}^2 \cdot \text{min})$ 。但是，实际上到达地面的太阳辐射远远小于这个数量。因为太阳光线通过大气层时，一部分被大气和云层吸收，一部分被云层和大气散射。到达地表面的热量，还有一部分被辐射和反射回大气，真正被土壤吸收的只是其中的一部分。

微生物在分解有机质的生命活动中，产生一些热量，其中一部分被微生物作为同化作用的能源，大部分则用来提高土温。据估算，含有机质 4% 的土壤，每亩耕层有机质的潜能为 $1.03 \times 10^9 \sim 1.55 \times 10^9 \text{kJ}$ ，相当于 $3.3 \sim 8.2\text{t}$ 无烟煤的热量。在局部范围内，利用生物热来提高地温还是很有效的。如早春温度偏低，用各种有机物料作成温床培育幼苗，可以延长生育期，使蔬菜提早上市，有一定的经济效益。

地球内部也可以缓慢地向地表土壤传递热量，只因为地壳导热能力很差，地面全年从地球内部获得的热量只有 $226.0\text{J}/\text{cm}^2$ ，相当于 0.5h 的太阳辐射。

土壤空气存在于无水的土壤孔隙中，其含量取决于土壤孔隙度和土壤含水率，土壤空气与大气的组成相似，但是在含量上存在一些差异。土壤中的 CO_2 浓度比大气高十几倍甚至几百倍。主要是因为土壤中有有机质分解释放出大量的 CO_2 ；根系和微生物的呼吸作用释放出 CO_2 ；土壤中碳酸盐溶解会释放出 CO_2 。土壤中的氧浓度比大气低，主要是因为根系和微生物的呼吸作用需要消耗 O_2 ，有机质的分解也会消耗掉 O_2 。土壤中的相对湿度比大气高。除表层干燥土壤外，土壤空气湿度一般都在 99% 以上，处于水汽饱和状态，而大气只有在多雨季节才接近饱和。

土壤空气中含有较多的还原性气体。当土壤通气不良时，土壤含氧量下降，土壤中的有机质在微生物作用下进行厌氧分解，产生大量的还原性气体比如 CH_4 、 H_2 等，而大气中一般还原性气体很少。

土壤呼吸是土壤空气与大气间通过气体扩散作用不断地进行着气体交换，使土壤空气得到更新的过程。大多数作物在通气良好的土壤中根系长、颜色浅、根毛多，缺氧土壤中的根系则短而粗，颜色暗，根毛大量减少。根系生长需要氧：氧浓度小于 9%~10%，生长受阻；<5% 时，发育停止。通气不良时，根系呼吸作用减弱，吸收养分和水分的功能

降低,特别是抑制对K的吸收,依次为Ca、Mg、N、P等。

土壤空气的数量和O₂的含量对微生物活动也有显著的影响。间接影响到了有机质的分解速度和养分的转化。土壤空气中CO₂的增多,使土壤溶液中CO₃²⁻和HCO₃⁻的浓度增加,这虽有利于土壤矿物质中的Ca、Mg、P、K等养分的释放,但过多的CO₂往往会使O₂的供应不足,抑制根系对这些养分的吸收。

土壤通气不良,土壤中产生的还原性气体(如H₂S)能抑制细菌含铁酶(细胞色素氧化酶、过氧化酶等)的活性。缺氧还会使土壤酸度增大,适于致病霉菌发育,使作物生长不良,抗病力下降。

1.4 土壤学与农作学的数学基础

数学方法在土壤学和农作学,特别是在土壤物理学中占了特别重要的地位,土壤水分运动、溶质迁移和转化、土壤热运动和土壤中气体运动中都采用了偏微分方程进行描述。了解偏微分方程以及偏微分方程的求解对于土壤学和农作学是十分重要的。

1.4.1 偏微分方程

如果一个微分方程中出现的未知函数只含一个自变量,这个方程叫做常微分方程,也简称微分方程。如果一个微分方程中出现多元函数的偏导数,或者说如果未知函数和几个变量有关,而且方程中出现未知函数对几个变量的导数,那么这种微分方程就是偏微分方程。偏微分方程本身是表达同一类物理现象的共性,是作为解决问题的依据;定解条件却反映出具体的个性,提出了问题的具体情况。偏微分方程理论研究一个方程(组)是否有满足某些补充条件的解(解的存在性),有多少个解(解的唯一性或自由度),解的各种性质以及求解方法等等,并且还要尽可能地用偏微分方程来解释和预见自然现象以及将其应用于各门科学和工程技术。

客观世界的物理量一般是随时间和空间位置而变化的,因而可以表达为时间坐标 t 和空间坐标 (x_1, x_2, x_3) 的函数 $u(x_1, x_2, x_3)$,这种物理量的变化规律往往表现为时间和空间坐标的各阶变化率之间的关系式,即函数 u 关于 t 与 (x_1, x_2, x_3) 的各阶偏导数之间的等式。

例如在一个均匀的传热物体中,温度 T 就满足下面的等式:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a^2 \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial x_2^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial x_3^2} \right) \quad (1.4.1)$$

这样一类的包含未知函数及其偏导数的等式称为偏微分方程。一般说来,如果 (x_1, x_2, x_3) 是自变量,以 u 为未知函数的偏微分方程的一般形式为

$$F\left(x_1, x_2, x_3, t, u, \frac{\partial u}{\partial x_1}, \frac{\partial u}{\partial x_2}, \frac{\partial u}{\partial x_3}, \frac{\partial u}{\partial t}, \dots, \frac{\partial^a u}{\partial x_1^a}, \frac{\partial^a u}{\partial x_2^a}, \frac{\partial^a u}{\partial x_3^a}, \frac{\partial^a u}{\partial t^a}\right) = 0 \quad (1.4.2)$$

所包含的偏导数的最高阶数称为偏微分方程的阶数。由若干个偏微分方程所构成的等式组就称为偏微分方程组,如果一个偏微分方程(组)关于所有的未知函数及其导数都是线性的,则称为线性偏微分方程(组)。否则,称为非线性偏微分方程(组)。在非线性的偏微分方程(组)中,如果对未知函数的最高阶导数来说是线性的,那么就称为拟线性偏微