

土壤与植物营养 研究新动态

(第三卷)

张福锁 龚元石 李晓林 主编



中国农业出版社

土壤与植物营养 研究新动态

(第三卷)

张福锁 龚元石 李晓林 主编

中国农业出版社

土壤与植物营养研究新动态

(第三卷)

张福锁 龚元石 李晓林 主编

* * *

责任编辑 贺志清

中国农业出版社出版发行(北京市朝阳区农展馆北路2号)
新华书店北京发行所发行 北京市密云县印刷厂印刷

850×1168mm32开本 13印张 328千字
1995年12月第1版 1995年12月北京第1次印刷
印数 1—2000册 定价 18.00元

ISBN 7-109-04282-0/S·2649

内 容 简 介

历史上,农业生产的需要使土壤学和植物营养学应运而生并得以发展和壮大。而今,越来越受重视的环境和生态问题及农业持续发展问题,向土壤学和植物营养学提出了新的挑战,同时也为这些学科的发展提供了新的机遇。本书系统总结了土壤与植物营养有关方面的研究进展,内容包括土壤物理、土壤化学、土壤生物学、植物营养生理、生态和遗传学以及环境科学等,介绍了德国和日本等发达国家在这些方面的研究结果和设想,希望能为 21 世纪我国土壤与植物营养研究提供一些参考资料。全书内容丰富,可供土壤学、植物营养学、生态学、环境科学、植物生理生化、园艺和农学等专业有关科技人员,高等院校有关师生参考。

编者名单

- 张福锁 (北京农业大学植物营养系, 北京 100094)
李春俭 (北京农业大学植物营养系, 北京 100094)
王敬国 (北京农业大学植物营养系, 北京 100094)
张俊伶 (北京农业大学植物营养系, 北京 100094)
李晓林 (北京农业大学植物营养系, 北京 100094)
唐玉林 (北京农业大学植物营养系, 北京 100094)
邹春琴 (北京农业大学植物营养系, 北京 100094)
李志宏 (北京农业大学植物营养系, 北京 100094)
王兴仁 (北京农业大学植物营养系, 北京 100094)
龚元石 (北京农业大学土壤和水科学系, 北京 100094)
李保国 (北京农业大学土壤和水科学系, 北京 100094)
左 强 (北京农业大学土壤和水科学系, 北京 100094)
杨培岭 (北京农业大学土壤和水科学系, 北京 100094)
罗远培 (北京农业大学土壤和水科学系, 北京 100094)
黄元仿 (北京农业大学土壤和水科学系, 北京 100094)
张宝贵 (北京农业大学土壤和水科学系, 北京 100094)
赵兰坡 (吉林农业大学土化系, 长春 130118)
廖宗文 (华南农业大学国土资源与环境科学系, 广州 510642)
严小龙 (华南农业大学国土资源与环境科学系, 广州 510642)
李 隆 (甘肃省农业科学院土壤肥料研究所, 兰州 730070)
何新华 (云南师范大学生物系, 昆明 650011)
吴良欢 (浙江农业大学土化系, 杭州 310029)

- 陶勤南** (浙江农业大学土化系, 杭州 310029)
- 李国学** (北京农业大学生态与环境科学系, 北京 100094)
- 薛澄泽** (西北农业大学基础课部 杨陵 712100)
- 薛栋森** (College of Forest Resources, AR-10, University of Washington, Seattle, WA 98195, U. S. A.)
- Liu Jinchun** (GSF — Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit GmbH, Neuherberg, D — 85758 Oberschleißheim, BRD)
- Zou Xiaoming** Terrestrial Ecology Division, University of Puerto Rico, San Juan, PR 00936, U. S. A.)

前 言

如果说 19 世纪矿质营养学说、土壤发生学说和土壤微生物学说的先后创立形成了土壤与植物营养学学科框架的话,那么 20 世纪则是这些学科得以完善和发展并为人类做出较大贡献的时期。针对人类面临的环境和持续发展问题,21 世纪的土壤与植物营养科学必须走出一条怎样的新路?对此,我们组织了全国 28 名土壤和植物营养工作者编写了这本书。

本书重点讨论了土壤—植物及其环境的关系,内容从土壤水、汽、热的定量化研究到土壤—植物—大气连续体水分传输、田间水盐动态和区域水盐动态监测预报;从土壤腐殖质研究进展到全球 CO_2 浓度升高对人类的影响;从根际微生态系统到元素的生物地球化学循环;从菌根、无脊椎动物到森林生态系统的物质平衡;从植物营养遗传资源到有机废弃物的资源化涉及土壤物理、土壤化学、土壤生物学、植物营养生理生态和遗传学及环境科学等多个方面。

在本书征稿和出版过程中,承蒙北京农业大学植物营养系许多同事的鼓励和指导,也受到国内许多同行和朋友的支持,在此表示感谢。我的老同学,陕西省洛南县农业技术推广站的刘全清从审稿、改稿到打印和编排,自始至终做了大量工作,在此谨致衷心感谢。同时也感谢国家自然科学基金会的资助。由于编者水平所限,书中缺点、错误和不足之处在所难免,恳请读者指正。

张福锁

1995 年 10 月于北京

目 录

前言

土壤—植物—大气连续体水分传输研究现状与展望	1
一、土壤根区水热运移	3
二、土壤—植物根系统中的水分传输	5
三、植物—大气系统中的水分传输	8
四、土壤—植物—大气水分传输的综合模型及其应用	11
五、土壤—植物—大气连续体研究展望	12
水盐运动研究现状与展望	17
一、水盐运动机理的研究	17
二、田间水盐运动规律与应用研究	20
三、区域水盐运动规律研究	22
四、区域水盐运动监测预报研究	24
五、水盐运动研究的展望	26
表征多孔介质中水、汽、热运移规律的模型	35
一、Philip 及 de Vries(PdV)模型	35
二、“非逆转过程热动力学”(TIP)模型	39
三、PdV 模型与 TIP 模型的联系	42
四、PdV 模型的缺陷及修正	45
五、结语	48
土壤系统的定量化研究趋势	51
一、土壤形态、结构特征与定量化描述	52
二、土壤水分特征定量化研究	60
土壤—作物系统中氮素行为的定量研究及其应用前景	68
一、土壤—作物系统中氮素的主要过程	69
二、土壤—作物系统中氮素行为的模拟研究	72
三、应用前景分析	76

土壤无脊椎动物在土壤肥力中的作用	82
一、土壤动物的概念	82
二、土壤无脊椎动物与土壤结构	85
三、土壤无脊椎动物与土壤水运输	87
四、土壤无脊椎动物与土壤养分动态	89
五、农艺措施对无脊椎动物的影响	92
六、研究展望	93
根际微生物学——研究植物—土壤相互关系的新兴学科	98
一、土壤—植物—微生物系统:根际微生物系统的模型	98
二、基因对根际微生物生态系统动态过程的调控	101
三、根际动态过程与植物对营养胁迫的适应性	102
四、根际微生物系统的信息传递和调控机理	106
五、结语	110
环境、资源和持续农业——土壤科学的新兴研究领域	111
一、环境、资源问题与土壤科学	111
二、持续农业与土壤科学	115
土壤和环境污染——德国土壤学研究的新任务	121
一、森林生态系统的物质平衡	122
二、酸雨及其对土壤和植物营养的影响	124
三、关于氮素过剩的讨论	126
日本关于土壤腐殖质化学的研究进展	130
一、研究方法的确立	130
二、腐殖质组成分析及分类法——熊田法	133
三、不同类型腐殖酸的一些性质	137
联邦德国农业与环境“特殊研究项目 183”	
研究思路和进展	142
一、研究背景	142
二、课题、专题名称及其研究方向	143
三、项目设计的科学思路、目标与结构	145
四、已取得的研究成果	149
五、新的研究重点	154

六、经费投入	156
植物营养的遗传资源	159
一、植物营养遗传资源的定义	160
二、植物营养遗传资源的研究内容	160
三、植物营养遗传资源研究展望	167
植物与磷的生物地球化学循环	170
一、磷的生物地球化学循环	171
二、植物影响磷的生物地球化学循环的途径及机制	174
三、问题及展望	178
植物营养模拟模型研究的现状与展望	185
一、经验性模型	186
二、机理性模型	187
三、根—土界面营养移动与吸收	190
四、营养物质的运输与分配	196
五、营养物质对 CO_2 同化作用的影响	199
六、植物营养模型研究与应用展望	200
菌根在植物吸收微量元素营养中的作用	205
一、菌根效应研究的常用方法及其存在的问题	206
二、菌根对植物吸收微量元素营养的效应	208
三、根外菌丝对土壤养分的吸收和活化作用	209
四、养分在真菌—植物共生体之间的转运	213
五、菌根际效应	215
六、菌根真菌在微量元素缺乏和毒害时的作用	217
七、土壤中微量元素和重金属对菌根形成的影响	219
八、菌根对植物生长的作用	220
营养胁迫条件下的激素信号	227
一、激素信号的概念	227
二、发育中的激素信号的判断	228
三、营养胁迫下的激素信号	230
四、结论与展望	233
植物铁营养效率的研究进展	239

一、铁的供应状况与铁营养效率·····	240
二、铁的运输及其利用效率·····	240
三、植物基因型差异与铁营养效率·····	241
四、氮素形态与铁营养效率及其机理·····	242
五、重碳酸盐(HCO_3^-)与铁的利用效率及其机理·····	245
六、叶片衰老与铁营养效率·····	246
七、研究展望·····	248
植株氮营养诊断与推荐施肥·····	257
建立 C_3 和 C_4 植物的比较营养学及其展望·····	270
一、 C_3 和 C_4 植物营养元素利用比较研究概述·····	274
二、 C_3 和 C_4 植物比较营养学的基本概念·····	275
面向大气 CO_2 浓度升高的 21 世纪植物营养科学·····	284
一、大气 CO_2 浓度升高趋势下的植物营养科学研究进展概述·····	285
二、面向 21 世纪大气 CO_2 浓度升高趋势下的植物营养科学 研究展望·····	294
植物营养研究中无菌培养技术应用概况与展望·····	301
一、无菌培养试验技术概况·····	301
二、无菌培养试验灭菌方法·····	302
三、无菌培养装置及无菌培养室·····	306
四、展望·····	314
有机固体废弃物堆肥与利用研究进展·····	319
一、有机固体废弃物的来源、种类和环境污染特性·····	319
二、有机固体废弃物无害化堆肥处理与利用的研究现状和进展·····	324
三、堆肥研究的展望·····	343
生物固体的资源化·····	350
一、概述·····	350
二、污泥·····	352
三、污泥的堆肥化·····	359
四、生物固体的土地利用·····	372
五、生物固体土地利用的几个领域·····	381
六、生物固体资源利用展望·····	395

土壤—植物—大气连续体水分 传输研究现状与展望

龚元石

(北京农业大学土壤和水科学系, 北京 100094)

人口增加、粮食短缺、干旱、土地退化、水资源不足和灌溉用水不合理, 已经成为一个相互关联的全球性问题。我国也不例外, 其中, 水资源的不足已成为制约国民经济发展的一个重要因素。由于大陆性季风气候的影响, 使我国的降水时空分布不均, 对水资源的利用、调控与管理难度较大。水资源量的不足及降雨的时空差异也加剧了水资源的欠缺状况及农业对水的依赖程度。例如, 在西北干旱地区、黄土高原半干旱区和华北平原的半湿润地区, 一方面水资源紧缺, 工业用水与农业用水矛盾日趋紧张; 另一方面, 大水漫灌, 盲目增加灌溉次数等现象比较普遍, 不仅严重浪费了水资源, 而且可能造成土壤盐渍化、根区土壤养分淋失等土壤退化现象。无灌溉条件地区, 不合理的种植制度与耕作措施, 造成了水分大量损失、土壤沙化并加剧了作物旱情。所有这些是对作物需水特征缺乏了解, 没有按作物需水规律进行科学管理造成的。

农田灌溉用水占我国水资源总消耗量的 84%, 而作物吸水量的 95% 消耗于蒸腾。因此, 提高作物的水分利用率是解决水资源供需平衡的一个十分重要的环节。由于影响作物需水的因素十分复杂, 单方面或单一因素的研究都不能全面反映和解决田间作物的需水问题。直到 1966 年, Philip 提出了土壤—植物—大气连续

体 (Soil—Plant—Atmosphere—Continuum, 简称 SPAC) 的概念, 人们才有意识地在 SPAC 中定量而深入地研究田间水分的迁移、转换及能量转换规律, 以期解决科技工作者普遍关注且亟待解决的问题。

由 Philip 提出的较完整的 SPAC 概念认为, 尽管系统中各部分的介质不同、界面不一, 但在物理上可以看作一个连续的统一体系, 水分在该系统中运动的各种过程就象链环一样(图 1)互相衔接, 其水流通量取决于水势梯度和水流阻力。这一概念的提出极大地推动了土壤—植物—大气系统中水分关系等研究工作。

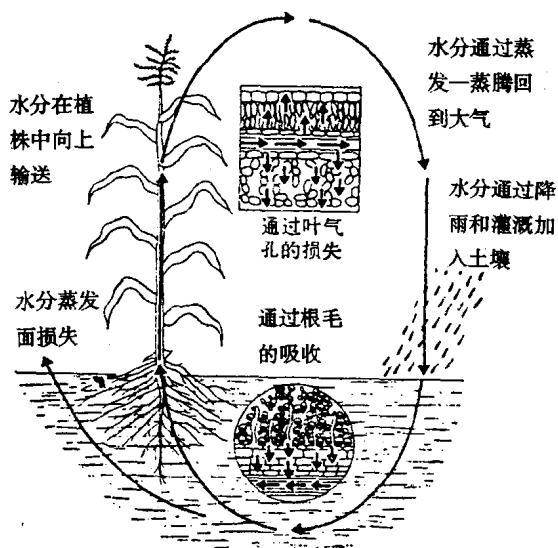


图 1 土壤—植物—大气连续体

当代研究田间土壤水分循环和平衡、土壤—植物水分关系以及四水(地下水、土壤水、地表水和大气水)转化都是以 SPAC 为基础的。在 SPAC' 中, 由于统一了能量关系, 为分析和研究水分运输、

能量转化的动态过程提供了方便。

一、土壤根区水热运移

自然界中,地表状况随季节交替而变化。土壤中的水分有汽、液、固三态并相互转化,因此,土壤的水热状况千变万化,土壤水热运移规律的研究也非常活跃。1856年法国工程师 Darcy 通过实验得到了达西饱和土壤水流运动方程,开创了土壤水分运动定量研究的新局面。

1936年 Richards 在前人工作的基础上,又得出了 Darcy—Richards 非饱和土壤水流运动方程,该模型的提出标志着土壤水流运动模型研究进入了一个新阶段。然而, Darcy—Richards 方程只囿于对恒温 and 均质土壤的研究,而对温度变化较大和非均质土壤明显不适用。该方程忽略了土壤中汽态水的运动,而非饱和带中汽态水的运动在土壤缺水时占水流量的很大一部分,且随着土壤含水量的减少,所占比例逐渐增大。因此,在这种情况下不考虑非饱和带中汽态水的运动使总水流量的计算结果产生了明显的误差。1957年,Philip 结合前人的理论和实验成果,考虑了非饱和带中汽态水的运动,首次提出了非恒温条件下的土壤液态和汽态水流运动方程,成为土壤水流模型发展的又一个里程碑。

Philip 方程虽然考虑了非饱和带中汽态水的运动,但仍未考虑土壤的滞后效应,因此只适合单一的土壤水分变化过程。在非饱和带中,另一个与土壤水流运动有关的因素是土壤中一些较大的、多少相互联系的孔隙造成的影响。在这种土壤中,土壤的水流运动发生了较大变化。Philip 方程也没有考虑土壤的空间变异性。de Vries(1958)对 Philip 方程进行了扩充,引进了吸附水中的热平流和湿润热概念,在此基础上, Milly(1982)得出了考虑滞后效应的非均质土壤水热联合运动模型。关于土壤的空间变异,目前仍没有比较理想的模型。在通常情况下水平方向水流运动与垂直方向

水流运动相比可忽略不计,因此研究田间土壤水分运动时一般采用一维水流运动方程。

土壤中的水分运移与热量传输是两个相互作用的过程,即所谓水热耦合过程。关于土壤水热耦合过程,有两种独立的分析方法,一是 Philip 和 de Vries(1957)基于多孔介质中液态水粘性流动和水汽扩散理论及热量平衡原理,提出的水热耦合下土壤水分运移与热量传输基本方程,即所谓机理法;二是基于不可逆过程热力学原理提出的描述土壤水热通量的方程式,即所谓热力学法。虽然这两种方法出自于不同的观点,但它们互为关联,可融于一个等价模型。相比之下,由于机理法概念更为明确、清晰,在土壤水动力学领域,多用该法描述土壤的水热运移。

研究土壤水热运移,采用最多的是数值计算方法。这种方法能考虑土壤水热的相互作用,对土壤表面温度状况无需人为地假设和规定。蒸散受土壤、植物、大气等因素制约,而蒸散又会影响土壤的水热状况及田间小气候环境。蒸散与土壤热状况及环境因子之间呈现互为负反馈的关系。因此,研究土壤水热状况与研究蒸散关系紧密。

对于裸地蒸发, Van Bavel 和 Hillel(1976)应用微气象学方法,综合考虑土壤水热状况及大气因子作用进行了研究,为蒸发研究与土壤水热运移研究结合在一起提供了一个很好的范例。

对于有植被地表,即 SPAC 系统,地表以上的水分损耗和土壤中的水热运移比无植被条件下要复杂得多。Horton 等(1989)研究了宽行种植的作物下土壤的二维水热运移规律。Choudhury 和 Monteith(1988)提出的冠层蒸散模式,为将蒸散与土壤水热状况结合在一起的研究奠定了坚实的理论基础。虽然 Choudhury 等还进一步对土壤的蒸发机制进行了研究,但研究仍然是初步的,有待不断发展和深入。因此,从综合研究 SPAC 中水分运移和热量传输的角度看,对土壤中的水热运移规律及土壤水热状况与植物群体蒸散之间互为制约的关系仍缺乏应有的研究。康绍忠等(1992)

在已知根系吸水及土壤棵间蒸发模式的基础上研究了田间土壤的水热运移。

在土壤水热运移模型中,土壤水分特征曲线和非饱和导水率是两个非常重要的参数。特别是土壤水分特征曲线,许多土壤水分和土壤溶质运移参数都可由此得出。近年来土壤物理学界对这两个参数进行了大量研究,已提出了一些比较成熟且实用的模型(Nielsen et al., 1986; Saxton et al., 1986)。

寻找能利用简单的土壤物理参数计算非饱和导水率的数学模型,历来就是土壤物理学家不倦探索的一个难题,长期以来人们已在这方面做了大量的工作。Jackson(1972)进一步改进和完善了 Millington 和 Quirk(1959)提出的以水分特征曲线为基础的模型,得出了 Jackson 方程。Jackson 方程是目前最精确的非饱和导水率计算模型,但它需要土壤水分特征曲线的实测值作参数。研究 SPAC 系统水热运移,还涉及植物根系吸水过程。由于根系生长不易观测,根系吸水过程的准确描述可能比蒸散还要复杂,因此,仍有大量工作要做。

二、土壤—植物根系统中的水分传输

(一) 根系吸收土壤水分和根系内水分运动的过程

SPAC 中一个重要的子系统是土—根系统。土—根系统中的水分动力学包括两个重要过程,即根系吸水和根系内水分运动的过程。

根系吸收水分是沿土壤与根木质部间水势梯度下降的方向进行的。植株蒸腾强弱的差异能形成不同的水势梯度,因而造成了两种水分吸收机制,即主动吸水与被动吸水(Kramer, 1983)。主动吸水主要发生在弱蒸腾条件下,即由于溶质在根内的不断积累,使根组织的渗透势低于其周围土壤水分的渗透势造成的水分向根内扩散。充分供水的田间,植物发生的吐水现象就是这一机制所致。但

在实际中,植物生长更多的是被动吸水过程。根—土间的水势梯度即使在很干旱的条件下也能维持,以保证根系连续吸水。

蒸腾的水分主要通过叶面气孔扩散到大气中去。蒸腾强度决定于叶片与空气间的蒸气压差和这一通道上的阻力。当土壤水分减少,根系吸水不能满足蒸腾需要时,会造成气孔的部分关闭,更严重的水分胁迫,可能导致叶片气孔的完全关闭。关于气孔关闭的机制目前还无满意的解释。一种较新的观点认为(Blackman and Davies, 1985),根系感受到水分胁迫时能产生某种信号并传递至叶片,使之进行气孔调节,以适应土壤水分状况的变化。

对土壤—植物系统中水分运移的定量描述,关键在于植物根系对土壤水吸收过程的描述,这一问题的解决,对于研究土壤—植物系统乃至整个SPAC中的水分传输机制及能量转换途径都极为重要。Gardner(1960)和Cowan(1965)等人最早用数学物理法开创了根系吸水的定量研究。

定量描述根系吸水过程的数学模型有两种,即微观模型和宏观模型。微观模型又称单根径向流模型。该模型研究流入典型单根的径向流,假定的单根为无限长、半径均匀并具有均匀吸水特性的圆柱体。应用该模型时把整体的根系用一系列这样的单根来描述。由于微观模型受限制较多(邵明安, 1986),目前大多使用宏观模型。

宏观模型又叫根系统模型。它把整个植物根系看作是每一深度的土壤中分布均匀而整个根区土壤中分布密度随深度变化的吸水器,整个根系以随时空而变的速率从不同深度的土壤中吸收水分。该模型是在Darcy—Richards方程右边加上一个吸收项而得到的。提出和改进模型的实质在于用不同的吸水函数来描述根系吸水过程,自Gardner(1960)提出第一个吸水函数以来,很多研究者围绕这一问题做了大量的工作,特别是Molz(1981)提出的吸水函数具有广泛的代表性和较重要的参考价值。Molz在这个函数中用有效根密度描述根系吸水过程。这个函数虽能较好地预报土—