

全国高等农业院校教材指导委员会审定

全国高等农业院校教材

植物营养研究方法

(第2版)

主 编 毛达如

副主编 申建波

农业资源与环境专业(本科生)

植物营养学专业(研究生)用

中国农业大学出版社

全国高等农业院校教材
全国高等农业院校教材指导委员会审定

植物营养研究方法

(第2版)

主 编 毛达如
副主编 申建波

农业资源与环境专业(本科生)
植物营养学专业(研究生)用

中国农业大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

植物营养研究方法/毛达如主编. —2 版. —北京:中国农业大学出版社,2005.7

ISBN 7-81066-878-1

(全国高等农业院校教材)

I. 植… II. 毛… III. 植物营养-研究方法 IV. Q945.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 045139 号

书 名 植物营养研究方法(第 2 版)

作 者 毛达如 主编

策划编辑 郑 丽 张秀环 张苏明

责任编辑 王艳欣

封面设计 郑 川

责任校对 王晓凤

出版发行 中国农业大学出版社

社 址 北京市海淀区圆明园西路 2 号

邮政编码 100094

电 话 发行部 010-62731190,2620

读者服务部 010-62732336

编辑部 010-62732617,2618

出 版 部 010-62733440

网 址 <http://www.cau.edu.cn/caup>

E-mail: caup @ public. bta. net. cn

经 销 新华书店

印 刷 涿州市星河印刷有限公司

版 次 2005 年 7 月第 2 版 2005 年 7 月第 1 次印刷

规 格 787×1 092 16 开本 31 印张 767 千字

印 数 1~3000

定 价 35.00 元

图书如有质量问题本社发行部负责调换

第 2 版编写人员

主 编 毛达如(中国农业大学)

副 主 编 申建波(中国农业大学)

编写人员 (按章节先后顺序)

毛达如 第 2 版前言、绪论、第一章(中国农业大学)

王兴仁 第二章(中国农业大学)

肖俊璋 田霄鸿 高亚军 第三章(西北农林科技大学)

邱忠祥 申建波 第四章(沈阳农业大学、中国农业大学)

韩晓日 第五章(沈阳农业大学)

申建波 第六章(中国农业大学)

第 2 版前言

植物营养研究方法是全国高等农业院校的教材,经全国高等农业院校教材指导委员会审定出版,已有 10 年了。本书已在全国高等农业院校的土壤与植物营养专业及农业资源与环境专业或农学、园艺、生物、林学类有关专业的本科生或研究生的教学科研中发挥了重要的作用。

近 10 年来植物营养科学及其研究方法在以下三个方面已发生了较大的变化。一是计算机及软件的普及,对复杂试验设计的数据统计和平面、曲面的图示技术提供了多视角、简便、准确、全新的方法。二是植物营养科学从宏观的定性研究走向微观的定量研究。从植物营养施肥(经验)模型,进入了植物营养模拟(机理)模型,已开始应用的模拟(机理)模型有养分(营养元素)在土壤溶液中的迁移模型(包括扩散、质流,其他方式迁移模型),植物对养分的吸收模型,养分吸收动力学模型,养分在植物体内运转分配模型,田间土壤-根系溶液中溶质运移和作物生长模型等。这些模拟(机理)模型、科学方法的建立,对深入研究“土壤-植物”环境中营养元素的行为,进而揭示植物矿质营养的实质有着重要的意义。三是植物根和根际研究方法的新进展,特别是植物“根际”、“根际环境”、“根际对话”、“根际管理”和“菌根际”等概念和方法的建立对植物根际营养的理论、应用有一个新的推动和发展。上述这些都是第 2 版修订的重点。

第 2 版修订中对第 1 版的部分章节做了如下调整:第 1 版的第四章植物营养物理化学及其他研究方法,将调入其他有关专业课程中。第五章植物营养的生物数学统计方法,调入第 2 版第四章植物营养的施肥(经验)模型方法。第七章植物营养的核技术研究方法,由于不少院校核技术实验条件的限制,以及环境保护日益加强和核实验室从分散到集中管理并严格的监控,防止核实验材料、废料的泄漏、扩散、污染,再加上今后本科大学生就业的去向主要是基层生产、农业推广、企业、行政管理等部门,不需要掌握复杂的核技术理论和方法,因此在教学大纲的修订中取消了本科大学生对核技术的选修要求。建议在有条件的个别院校中对科研课题有需要的少数博士研究生对核技术方法作一些基本训练。第 1 版的第七章仍可作为参考用书,为此第 2 版教材中全部取消了第 1 版第七章的内容和方法。

新编的第 2 版植物营养研究方法共六章。对进展、内容和课程的要求在绪论中做了概要的叙述和说明。

书稿的文字、图幅的计算机处理由项小菊同志负责完成,也得到了刘全清老师的帮助,丛枝菌根的一些研究方法由李晓林、冯固教授提供资料和方法,在此一并致谢!

谨以本书献给 2005 年中国农业大学诞辰 100 周年及 15 届国际植物营养科学大会首次在中国北京召开!

主编 毛达如

2004 年 12 月 25 日

目 录

绪 论	(1)
一、近代植物营养研究方法的进展	(1)
二、植物营养研究方法和课程要求	(3)
第一章 植物营养的培养研究方法	(6)
第一节 培养研究的特点、种类及发展概况	(6)
一、盆钵培养研究方法	(6)
二、植物短期培养研究方法	(7)
三、控制培养条件的其他生物研究方法	(7)
第二节 土壤培养研究方法	(8)
一、土培试验的任务	(8)
二、土培试验的技术	(8)
第三节 溶液培养研究方法	(13)
一、溶液培养研究的特点与任务	(13)
二、配制营养混合液的原则与依据	(13)
三、常用营养液的种类	(15)
四、营养液的配制	(22)
五、溶液培养的准备、播种与管理	(24)
第四节 砂砾培养研究方法	(25)
一、砂砾培养的特点与任务	(25)
二、砂砾培养的准备工作的	(26)
三、装盆和播种	(27)
四、试验期间的管理	(28)
第五节 控制培养条件下的生物研究方法	(29)
一、隔离培养试验	(29)
二、流动培养及更换培养试验	(33)
三、灭菌培养试验	(35)
四、渗滤水研究方法	(36)
五、幼苗法	(37)
第六节 植物营养培养室的建立	(40)
一、培养室的结构材料	(40)
二、培养室的组成、设计要求与类型	(40)
三、植物营养培养室的使用与管理	(42)
思考题	(43)

参考文献	(43)
第二章 植物营养的田间研究方法	(45)
第一节 植物营养田间研究方法的概述	(45)
一、田间研究方法的特点	(45)
二、田间研究方法的类型	(45)
三、田间研究方法的进展	(47)
第二节 植物营养田间研究的方案设计	(48)
一、一些基本概念	(49)
二、试验方案设计的原则	(49)
三、几种常用试验方案的设计	(51)
四、试验方案的评价	(59)
第三节 植物营养田间研究的方法设计	(60)
一、试验方法设计的原则	(60)
二、设计内容	(62)
三、几种常用的试验方法设计	(64)
四、试验方法设计的选择和应用	(68)
第四节 植物营养田间研究的实施	(69)
一、试验地的选择和准备	(69)
二、试验的布置	(70)
三、田间管理与观察记录	(73)
四、收获和考种	(73)
五、分析样本的采取	(74)
第五节 植物营养田间研究资料的整理和总结	(75)
一、析因试验资料的整理	(75)
二、回归分析试验资料的整理	(76)
三、多点分散试验资料的整理	(77)
四、肥料长期定位试验资料的整理	(77)
五、试验异常数据的判别和处理	(79)
第六节 植物营养田间研究成果的示范推广	(81)
一、大田示范试验的意义和特点	(81)
二、大田示范试验技术	(81)
三、数据分析	(82)
四、成果推广	(84)
思考题	(85)
参考文献	(85)
第三章 植物营养研究的生物统计方法	(86)
第一节 误差	(86)

一、总体与样本·····	(86)
二、真值与平均值·····	(86)
三、误差的概念、种类及产生原因·····	(87)
四、集中性与变异性的度量·····	(88)
五、随机误差的分布·····	(92)
六、置信限与置信概率·····	(99)
第二节 统计假设检验·····	(100)
一、统计假设检验的基本方法·····	(100)
二、 t 检验·····	(103)
三、百分数的假设检验·····	(109)
四、卡平方(χ^2)检验·····	(113)
第三节 方差分析·····	(119)
一、方差分析的基本原理·····	(119)
二、常用试验设计的方差分析·····	(136)
第四节 回归分析·····	(163)
一、回归分析的概念·····	(163)
二、直线回归·····	(164)
三、多元线性回归·····	(177)
四、多项式回归·····	(189)
第五节 相关分析·····	(204)
一、直线相关·····	(204)
二、多元相关与偏相关·····	(206)
三、通径系数与通径分析·····	(209)
第六节 协方差分析·····	(214)
一、协方差分析的意义·····	(214)
二、协方差分析的基本原理和方法·····	(215)
思考题·····	(225)
参考文献·····	(226)
 第四章 植物营养的施肥(经验)模型研究方法·····	 (227)
第一节 概念与进展·····	(227)
第二节 施肥(经验)模型的类型·····	(228)
一、线性模型·····	(228)
二、非线性模型·····	(230)
三、施肥及影响因素的综合模型·····	(237)
第三节 施肥模型的研究·····	(239)
一、应用于施肥模型研究的近代回归设计·····	(239)
二、施肥模型的选建与检验·····	(275)
第四节 正交趋势模型·····	(283)

一、正交趋势模型的原理	(283)
二、正交趋势模型的应用	(287)
第五节 肥料多点试验的聚类研究	(293)
一、按土地基础生产力水平归类	(293)
二、动态聚类法	(295)
第六节 土壤肥力的模糊评判	(298)
一、综合评判的数学模型	(298)
二、模糊评判步骤	(298)
三、土壤肥力综合评判实例	(298)
第七节 施肥决策的田间校验研究	(301)
一、校验研究的试验方案	(302)
二、校验系数 A 的计算	(302)
三、校验实例	(302)
思考题	(303)
参考文献	(303)
第五章 植物营养模拟(机理)模型研究方法	(305)
第一节 植物营养机理模型的概念及理论基础	(305)
一、模型的种类、定义与建模基础	(305)
二、建立机理模型的基本理论	(308)
第二节 植物养分吸收模型	(313)
一、土壤中植物根系的养分吸收模型	(313)
二、没有竞争的简化根系吸收模型	(323)
三、有竞争的单根根系吸收模型	(323)
四、有竞争的简化根系吸收模型	(328)
五、全株植物生长和吸收模型	(332)
第三节 养分吸收动力学与吸收模型	(335)
一、Michaelis-Menten 方程	(335)
二、其他吸收动力学模型	(336)
三、主要营养元素养分吸收动力学模型	(338)
第四节 田间土壤溶质运移和作物生长模型	(363)
一、大田作物对水分和养分的吸收与作物生长模型的发展	(364)
二、单一栽培作物模型(模拟单种作物模型)	(367)
三、混作植被的养分吸收模型	(375)
思考题	(381)
参考文献	(381)
第六章 根和根际的植物营养研究方法	(384)
第一节 根系的研究方法	(384)

一、引言	(384)
二、研究概况	(389)
三、几种常用的根系研究方法	(390)
第二节 根分泌物的研究方法	(404)
一、根分泌物的概念、组成和作用	(404)
二、根分泌物的研究概况	(405)
三、根分泌物的收集和提取方法	(407)
四、根分泌物的分离与测定	(409)
五、几种典型的根分泌物研究方法	(410)
第三节 根际的研究方法	(419)
一、根际的定义	(419)
二、根际环境的研究概况	(420)
三、根际的研究方法	(423)
第四节 丛枝菌根真菌的研究方法	(442)
一、引言	(442)
二、丛枝菌根的研究方法	(444)
思考题	(451)
参考文献	(452)

附录

附录 1 一些常用的曲线方程及其图形	(457)
附录 2 一些常用的数据表	(460)

绪 论

一、近代植物营养研究方法的进展

历史证明,近代植物营养科学的发展与植物营养研究方法的进展密切相关。植物营养学是研究植物体与环境之间营养物质和能量的交换过程,即营养物质的吸收、运输、代谢和能量的转化过程的科学。植物营养的研究从农业生产中施用草木灰、石灰、厩肥等开始,已有 2000 余年历史,但是人们并不知道植物的正常生长发育需要哪些必需的营养物质(或营养元素)。1840 年,德国农业化学家李比希(Justus von Liebig)应用化学的方法研究了植物体与环境之间营养物质和能量的交换过程,首次提出了植物的矿质营养学说。李比希认为,氮(N)、磷(P)、钾(K)、钙(Ca)、镁(Mg)、硅(Si)、钠(Na)、铁(Fe)等元素是植物营养的必需元素,开创了近代植物营养科学的新纪元。尽管李比希的矿质营养学说是从植物分析和生物学观察中推测出来的,但当时还缺乏可靠的科学试验数据支持。李比希矿质营养学说提出以后,在 19 世纪末和 20 世纪初,世界各国的植物生理学家和植物营养学家,应用近代的砂培和溶液培养等生物模拟研究方法进一步确定了 16 种矿质元素的存在和它们在植物生长和代谢中的作用,从而确定了这 16 种矿质元素是植物营养的必需元素。这是从严格的科学试验证实了李比希矿质营养学说的正确性与科学性。至今我们仍把李比希矿质营养学说的创立,作为近代植物营养科学的起点。由此可见,近代植物营养科学的创建,与近代植物营养研究方法的进展是分不开的。

在李比希的同时代即 19 世纪中叶,法国植物营养学家布森高(Boussingault),在人工控制条件下,进行了 7 年的植物营养田间研究、砂培模拟试验和化学分析。1841 年布森高明确指出了豆科植物能固定空气中的氮,从而增加土壤中的氮素含量,而非豆科的植物只能吸收土壤中的氮,布森高的研究开创了田间—温室模拟—化学分析相结合的近代植物营养研究方法。劳斯(Lawes)从 1843 年开始,在英国洛桑试验站(Rothamsted experiment station)Broadbalk 试验地里首次开展古典肥料长期定位试验,至今已延续了 160 余年。在 Lawes 的创导下,近百年来世界各国为了植物营养与施肥科学的建立,继英国之后,美国、芬兰、挪威、丹麦、德国、法国、波兰、捷克、荷兰、奥地利、比利时、俄罗斯、日本等 50 个国家,均布置长达半世纪以上的田间肥料试验,国际称之为非常长期肥料试验(very long-term fertilizer experiment),这是近代植物营养田间研究的开端。近代数理统计方法的应用又使植物营养的田间研究进入现代科学方法的新阶段。在这方面影响较大的有 20 世纪 20 年代的费休(R. Fisher)的方差分析和随机区组设计,叶茨(Yates)的混杂设计和复因素试验,以及 20 世纪五六十年代的回归正交设计、回归旋转设计、回归最优设计、配方试验设计等等,这些现代化研究方法的渗透和应用,使植物营养的研究又进入了计算机研究的新阶段。

近代植物营养科学的进展表明,只有植物营养的田间研究,还难以揭示植物营养的本质,必须在人为控制的模拟条件下,通过各种模拟试验才能进一步揭示植物营养的实质。近代植物营养模拟研究包括各种培养试验、短期幼苗试验、框栽试验等等。1629 年万·海利门

特(Von Hellement)的柳条试验,尽管结论是错误的,但人们还公认他开创了植物营养土壤培养研究方法的先河,以后 1699 年乌特渥尔特(Woodward),1804 年索秀尔(Saussure),1857 年萨克斯(Sacks)和克诺普(Knop),以及格里利格尔(Hellerigel),瓦格涅尔(Wagner)等,均为近代植物营养模拟试验——各种砂培和溶液培养研究方法奠定了基础。现代的植物营养模拟试验,都是由电子计算机控制的自动化装置,不仅可提供研究过程的自动化,而且具有管理工效高、准确、精度高的特点,例如日本的无影温室、德国 BASF 公司农业试验站的全自动化温室和美国 TVA 的全自动化渗漏池(Lysimeter)等。

随着科学的发展,测试手段的改进,植物必需的微量元素也一一被发现。自动化测试仪器与电子计算机联机应用,为微量元素、痕量元素的研究提供了先进的测试手段,例如原子吸收分光光度计(AAS)和等离子体原子发射光谱仪(IPC)等等。借助这些近代植物营养研究方法的改进,我们不仅了解了植物必需的大量元素的功能和代谢机理,而且还了解了植物必需的微量元素及其功能,以及它们与酶反应的关系,或进行原子价的改变、电子的传递,或作为基质与酶的桥梁,改变酶-基质复合物的分子结构。这些研究结论,大多数是用较高的无机离子溶液,在实验室试管中,从离体组织试验获得。但在整体植物组织细胞中,特别是在进行酶反应的质膜上,离子浓度没有这么高,能否达到活化酶的要求,值得怀疑。因此在近 30 年,植物营养领域的研究方法,已从离体组织转向整株植物的研究。

尽管植物营养元素的必需性在 19 世纪末已被人们所认识,但半个世纪来,植物营养的研究进展不大,直到 20 世纪 50 年代借助于植物营养核技术研究方法的应用,植物营养的研究才有了较大的进展,这些研究方法有放射性核素示踪技术、稳定性核素示踪技术、活化分析技术及核辐射技术等。特别是放射性核素示踪技术的应用,促进了离子吸收和运输机理的研究,同时应用酶动力学理论和载体概念,还阐明了离子吸收的选择性。20 世纪 60 年代美国植物营养学家巴波(Barber)等人应用此方法,阐明了土壤中离子向根表移动的机理,大大推动了植物根际微区养分动态的研究。20 世纪 70 年代以来,电子探针、微电极、电子显微镜等新技术的应用,使植物根际微区养分动态的研究向更加微观方向深入,研究范围也更加扩大了。

植物营养的土壤物理化学方法的研究进展,对土壤养分的供应,促使人们用热力学平衡方法来研究土壤固相离子的吸附和解吸,固定和释放。土壤养分位如石灰位、磷位、钾位等研究,又使人们用能量的概念来论述土壤养分的有效性。众所周知,土壤中不同形态养分总是处在动态的平衡之中,因此,近年来更多的植物营养学家,从动力学的观点来研究土壤养分的有效性,并将土壤养分的释放量和释放速率作为研究土壤养分有效性的重要参数。

近代的研究表明,受植物种类、品种的影响,植物矿质营养的过程,即植物对矿质营养元素吸收利用也是不一样的,这种差异主要来自不同的植物营养基因型的控制。因此,可以应用植物生理生物化学的方法,来研究植物矿质营养基因型差异的机理,提供耐低土壤营养,即在少量矿质肥料条件下获得高效能的种质资源,为农作物高产优质高效育种服务,以便在中低产土壤上获得高产、优质的新品种。

综上所述,植物营养科学是多学科交叉的科学,它需要应用土壤学、植物生理学、作物科学、环境科学和生物的、化学的、物理的、数学的各种研究方法进行综合研究。从一定意义上讲,近代植物营养科学的发展历史,也是近代植物营养学研究方法的发展历史,二者是密切

联系,相互促进、相互发展的。

二、植物营养研究方法和课程要求

先进而严密、科学的研究方法能推动科学技术的不断发展。只有掌握了相应的研究方法才能保证在最短的时间内,以最高的精确度和可靠性来实现预期的研究任务。植物营养科学的研究方法有生物、化学、物理、数学的研究方法,这些方法相互配合、相辅相成,才使得研究工作不断深入,本书介绍了植物营养学研究方法最基本的6种。

(一)植物营养的培养研究方法 它是在人工控制水分、光照、温度等条件下,采用特殊容器,给予特定营养环境进行植物营养科学的研究。根据模拟的植物生长载体的条件,又可分为土壤模拟培养、砂砾模拟培养、溶液模拟培养以及其他各种特殊条件的模拟培养,总称为模拟培养试验或培养试验。培养试验的任务是进一步揭示植物营养的实质和机理,确定植物对肥料的反应和肥料中营养元素的作用方向,它是植物营养研究的基本方法和田间研究的必需补充。

(二)植物营养的田间研究方法 它是在田间自然的土壤气候条件下进行的生物试验。它的任务是在田间条件下研究植物营养的过程,阐明各种肥料的效应,农作物对肥料的反应,肥料的相互配合,“土壤—植物—肥料”之间的相互作用,不同农作物经济有效的施肥技术,为不同土壤、气候、农业技术条件下选择最佳的科学施肥方案,为合理施肥提供科学依据。植物营养的田间研究以田间试验为主,包括对作物、土壤、气候等试验因素的调查、观察、测试。植物营养科学研究的成果在应用于生产以前,均必须通过田间研究的校验,所以它也是植物营养研究的基本方法。

(三)植物营养研究的生物统计方法 这是植物营养研究中不可缺少的基本方法之一。我们应用误差理论来研究和判别植物营养研究中获得的各种数据,应用方差分析方法来判断植物营养研究中两个数据之间差异的可靠性。方差分析方法可以帮助我们去伪存真,揭示肥料效应的实质。相关分析和回归分析方法是研究两个变数所必备的基本研究方法,它可以帮助我们从定性进入定量的研究,进一步揭示营养元素之间、肥料与产量之间相互变化的数量关系和实质,为植物营养研究和施肥决策提供科学依据。

(四)植物营养的施肥(经验)模型的研究方法 科学的施肥是调节植物与环境之间营养物质和能量交换过程的重要手段,也是提高农作物产量、改进品质、保持生态平衡的重要措施。据文献记载,西汉是我国古代施肥技术发展的全盛时期。古代的施肥都是经验施肥,它只强调供给农作物生长和培肥土壤的充足肥料即“粪大水勤”的传统概念,没有认识到施肥的数量化概念和施肥的经济效益。显然古代经验施肥的概念和方法在今天已不再适用了。

近代的科学施肥以高产、优质、环保、低成本为目标,应用数学方法建立施肥模型才能实现上述目标,从而确定获得最大利润的施肥量和不同营养元素的比例。因此,近代施肥是产量、品质、环境和经济效益相结合的数量化施肥方法。

植物营养的近代施肥技术从1909年德国土壤学家米切里希(E. A. Mitscherlich)提出的以米氏方程建立的施肥模型开始,1927年尼克莱(Nikla),米勒(Miller)应用一元二次肥料效应函数,通过农作物对肥料的反应建立二次施肥模型来确定最优的施肥量,从而达到高产、优质、环保、低成本的最大经济效益与社会效益。这些研究都给近代施肥技术提供了科学的理论和方法技术。20世纪70年代英国植物营养学家库克(G. W. Cooke)首次提出了近代施

肥的4种施肥模型:(a)直线施肥模型;(b)指数递增型施肥模型;(c)一元二次抛物线施肥模型;(d)二元二次反应曲面施肥模型。

植物营养的施肥(经验)模型从20世纪60年代开始已经向实际应用发展,并与计算机技术相结合,建立了适合于不同土壤、气候和生态条件的农作物施肥系统。由于这些施肥系统都是在一定的土壤、气候、生态条件下经过多年的生物试验所建立的生物统计模型,故统称为施肥模型,为了区别以后发展的理论模型或机理模型,又叫经验模型。20世纪90年代以来世界一些国家发展的精确(或精准)农业的施肥系统,都是以生物统计模型为主的施肥(经验)模型,因此学习掌握科学施肥常用的几种模型和建模的理论、方法是本学科中植物营养研究方法的重要内容,也是本专业大学生和研究生必须选读的内容之一。

(五)植物营养模拟(机理)模型的研究方法 模拟(simulation)研究是应用数学方法对自然界各种规律进行模仿与拟合的动态数量化的研究,由于自然过程的复杂性,早期的模拟研究一直停留在简单的动态过程。德国农业化学家李比希(Liebig)是植物营养科学中应用一元回归方程 $Y = b_0 + b_1x$ 来模拟氮肥(x)与农作物产量(y)之间动态过程的开创者。长期以来植物营养施肥的模拟研究一直停留在实验室基础上,美国普度大学的 Barber 建立的养分吸收模型,Michaelis-Menten 的养分吸收动力学模型,Epstein 离子运输的动力学模型等,已成功地改进了植物营养科学的理论研究和进展。遗憾的是,这些研究没有与现代计算机技术相结合。近30年以来,随着植物营养科学与现代计算机技术的发展,植物营养模拟研究有了较快的发展,其代表性成果为:McChon M. 和 Tanji K.K. 的氮素在土壤中转化的计算机模拟,Harter R.D. 和 Foster B.B. 的土壤中磷移动的计算机模拟,Scaif M.A. 的作物营养与计算机模拟及作物的吸收及其生长的计算机模拟,荷兰瓦格宁根大学(Wageningen)大学 Kenten H. 和 van Wolf J. 编著的一本计算机模拟研究的重要参考书《农业生产模型—气候—土壤和作物》。它系统地介绍了植物营养与施肥技术计算机模拟研究的理论与应用,20世纪90年代初国际上的模拟研究尚刚刚开始。

本书第五章的重点是介绍养分(营养元素)在土壤中的迁移(包括扩散、质流……)模型,植物根系生长与养分吸收模型,养分吸收动力学和主要养分元素(N, P, K, Ca, Mg, Zn, Mn 等)吸收动力学与吸收模型,养分在植物体内运输与分配模型,田间土壤溶质运移与作物生长模型等。对这些模型的研究,使植物营养的研究从形态、定性的研究深入到数量化模拟(机理)模型研究的新阶段。

(六)根和根际的植物营养研究方法 这是植物营养科学研究的重要领域,它的重要性在于,植物的营养物质和能量交换过程主要通过根系和根表的界面进行,因此植物营养的过程,实质上就是植物的根际营养过程。尽管近代的科学研究已揭示了植物根外营养的可能性,特别是叶部也可吸收营养元素,但叶部的吸收量明显少于根部的吸收量。在近代植物根际营养研究中,VA 菌根(即内生菌根)的研究是一个十分活跃的领域,借助于微区冰冻切片法、微电极法、电子探针法和电子显微镜法等各种先进的测试技术,已进一步揭示了 VA 菌根与植物的共生理,VA 菌根的菌丝对土壤中磷、锌等养分的吸收与运输,VA 菌根可提高植物的抗旱性等等。应用放射性同位素自显影法,可以研究植物根际养分的亏缺,借助于化学分析方法,可以研究植物根表的自由空间,这些均是近代关于根和根际研究的基本方法,也是本课程的重要内容。

尽管植物营养研究方法很多,但本课程只要求大学生掌握近代植物营养科学研究的一

些基本方法,即第一章、第二章、第三章的全部方法以及第四章、第五章、第六章的部分方法。其他方法也可作为大学生、硕士、博士研究生和科研工作者的参考或选修。对大学生也可拓宽视野,了解新的近代研究方法,有利于掌握和促进植物营养科学的发展。本课程是一门科学的方法论,是一门操作技术很严格、规范化很强的技术性课程,因此要求学习本课程时,既要弄通理论,更要掌握操作、运算,达到具备熟练的动手能力。为了实现这个目标,要求每个大学生、研究生能通过课程设计、实验、实习、习题等教学辅助环节,树立辩证唯物主义方法论和理论联系实际的学风,树立实事求是的科学态度和献身科学的良好风尚,为振兴农业、发展植物营养科学而努力奋斗。

第一章 植物营养的培养研究方法

第一节 培养研究的特点、种类及发展概况

培养研究又叫培养试验或盆栽(钵)试验,它是在人为控制的条件下,用特制的容器(如盆钵、玻璃缸、塑料桶、水泥池等)栽培农作物,并进行各种科学试验的方法。因此,培养试验是泛指采用人工模拟、人工控制所进行的各类农作物的栽培试验。培养试验可以严格地控制各种环境条件,如土壤、肥料、光照、水分、温度等,有利于开展各种析因试验,进而弄清植物营养与施肥中各个因子的作用。如果说田间试验是在大田条件下,估计作物对肥料的反应,那么,培养试验即在于进一步揭示肥料对作物反应的实质和阐明各个因子的意义。培养试验是在特别修建的培养室或人工气候室中进行,这样可以根据试验的目的与农作物的要求,创造对农作物生长最适宜的环境条件,来研究各种因素对农作物生长发育的影响。培养试验实质上是一个模拟试验,这与肥料的田间试验方法显然有较大的区别。因此,培养试验有以下特点:

第一,培养试验的土壤一般只取自土壤的耕作层,农作物只能从耕作层的土壤中吸收养分。但在田间条件下,农作物不仅可以从耕作层吸收养分,而且还可以从底层土壤中吸收养分,二者是有明显的区别的。

第二,由于培养试验人为地控制了盆钵中土壤的水分和温度,所以土壤中养分的释放过程和农作物对养分的吸收情况,均与田间条件有所不同。

第三,培养试验所用的土壤,经过人工翻挖、过筛、混合,土壤的耕层构造与自然结构状况受到破坏,盆钵中土壤的透水性、通气性,均与自然情况有所不同。

第四,培养试验的施肥量大于田间一倍至数倍。培养试验若以每千克土壤施氮 $0.15 \sim 0.3$ g,折成大田施肥量,相当每亩施硫酸铵 $112.5 \sim 225$ kg。

第五,为了保持盆钵中土壤的湿度,几乎每天都应灌水一次或几次,每次盆钵中加水速度,比田间降水速度快 100 倍之多,这样大的降水在自然条件下,几乎是少见的。

第六,培养试验中几乎没有氮肥的淋失,因此,在盆栽条件下对氮肥形态与肥料利用率的评价,显然与田间是有差异的。

基于以上特点,培养试验也有一定的局限性。它必须与田间试验相互配合,才能做出正确的结论。

培养试验的种类,由于盆钵、环境、材料和研究目的不同而各有不同,一般可以分成以下三类。

一、盆钵培养研究方法

它是利用各种特制的盆钵进行农作物的栽培试验,由于农作物在盆钵中生长的介质不同,又可分成土培试验、砂培试验、溶液培养试验和从以上 3 种培养试验演变而成的隔离培养试验、流动培养试验、更换培养试验、灭菌培养试验等。

二、植物短期培养研究方法

植物短期模拟培养试验又叫幼苗试验。它根据农作物生长发育初期(通常只生长几片叶)对土壤中养分形态的反应和利用情况做出评价。由于指示作物的不同,幼苗试验又可分为黑麦幼苗试验、番茄幼苗试验和油菜幼苗试验等几种。幼苗试验是介于实验室与盆栽试验之间的研究方法。

三、控制培养条件的其他生物研究方法

本法的特点是利用特制的木框、水泥池、塑料板框为容器控制植物生长的土壤、水分、养分等进行的农作物栽培试验,也称框栽试验。

一般框的面积均小于 1 m^2 。框栽试验可以固定在培养室的网室中进行,20 世纪 30 年代发展起来的渗滤水研究,所采用的排水采集装置(Lysimeter)也是框栽试验的一种。框栽试验是介于盆栽试验与大田试验之间的研究方法。

培养试验是在植物营养科学发展过程中逐步形成与完善的。早期(19 世纪前)对植物营养与施肥问题的研究,大都借助于培养试验与实验室的化学分析方法,它比田间试验的历史更为悠久。西欧早在 300 多年以前已开始应用盆栽方法对植物营养的机理进行探索研究,通常认为第一个土壤培养试验是比利时的万·海利门特(Von Hellement)1629 年进行的柳条试验。他在装满土壤的盆钵中,插上柳树枝条,只供给水分,经过 5 年之后,柳树得到茂盛生长,生长量几乎增大 34 倍。因此他认为植物营养最重要的因素是水,柳条只靠水就能生长。显然这个结论是错误的,但他开创了植物营养的盆栽研究方法。1699 年乌特渥尔特(Woodward)用溶液培养试验方法证实了海利门特试验的错误,他是溶液培养试验方法的奠基人。以后,1804 年索秀尔(Saussure)、1857 年萨克斯(Sachs)和克诺普(Knop)将溶液培养试验应用于植物营养研究。1837 年法国布森高(J. Boussingault)第一个应用砂培试验进行植物吸收氮素的研究。虽然海利门特、乌特渥尔特、索秀尔、萨克斯、克诺普、布森高都应用了培养试验方法来研究植物营养问题,但当时的培养技术是简单的,培养室的设备也是不完善的,试验的精度仍是较低的。

近代的培养试验方法与技术是在 19 世纪中叶后期,由萨克斯、克诺普、格里利格尔(Hellerigel)、瓦格涅尔(Wagner)奠定的基础。1859 年、1865 年萨克斯、克诺普拟定了溶液培养营养混合液,并共同制定了溶液培养试验方法。19 世纪 60 年代格里利格尔系统地完善了砂培试验方法,并提出了适用于砂培研究用的营养混合液,他应用这个方法成功地进行了灭菌培养,并证实了根瘤菌的固氮作用。

近代的土培试验在 19 世纪 70 年代开始应用,当时采用框栽试验,用无底的水泥框栽培农作物,由于底土的差异和干扰,对农作物的产量有一定影响。瓦格涅尔是采用隔离底土进行土培试验的第一个人,1880 年他设计了 $25\text{ cm} \times 30\text{ cm}$ 的盆钵进行土培试验,通常人们称之为瓦格涅尔盆,它已广泛应用于植物营养研究。

现代的培养试验采用电子计算机控制的自动化装置,培养室可以自动移动,盆钵的灌水全部自动化,不仅管理工效高,而且准确、精确度高。例如日本的无影温室,德国 BASF 公司林伯格霍夫(Limberghof)农业试验站的全自动化温室,美国 TVA 的全自动化渗滤池(Lysimeter),均是 20 世纪 70 年代以来建立的现代化模拟培养试验室。

我国应用培养试验方法研究植物营养问题,开始于 20 世纪 30 年代上海植物生理研究