




普通高等教育农业部“十二五”规划教材
全国高等农林院校“十二五”规划教材

植物营养学实验指导

林咸永 倪吾钟 主编



 中国农业出版社

普通高等教育农业部“十二五”规划教材
全国高等农林院校“十二五”规划教材

植物营养学实验指导

林咸永 倪吾钟 主编

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

植物营养学实验指导/林咸永, 倪吾钟主编. —北京: 中国农业出版社, 2016. 8
普通高等教育农业部“十二五”规划教材 全国高等
农林院校“十二五”规划教材
ISBN 978-7-109-21990-8

I. ①植… II. ①林…②倪… III. ①植物营养—实验—高等学校—教学参考资料 IV. ①Q945.1-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 186957 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区麦子店街 18 号楼)

(邮政编码 100125)

策划编辑 李国忠

文字编辑 李 晓

北京中兴印刷有限公司印刷 新华书店北京发行所发行
2016 年 10 月第 1 版 2016 年 10 月北京第 1 次印刷

开本: 720mm×960mm 1/16 印张: 10.5

字数: 190 千字

定价: 23.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

主 编 林咸永 倪吾钟

副主编 卢玲丽 金崇伟

编 者 (以姓氏笔画为序)

丁文雅 卢玲丽 田生科

刘晓霞 孙大生 孙成亮

余 燕 林咸永 金崇伟

周伟伟 倪吾钟

前 言

植物营养学是农业资源与环境专业的核心课程。植物营养学实验是植物营养学课程教学的重要组成部分，是验证植物营养特性、探索植物营养规律的技术手段，旨在加深学生对植物营养学基础理论和实验原理的理解，培养学生掌握植物营养学创新研究的基本思路、方法和技能。早在1980年，孙羲教授——我国植物营养学科的奠基人之一，组织我校和国内有关专家率先编写了《农业化学实验》，该教材在培养学生的实验动手能力方面发挥了重要作用。随着现代生物科学技术的发展，植物营养学与其他学科相互交叉渗透，分支学科和研究领域不断扩展和深入，在教学上更加注重培养学生的实验实践和动手能力，需要不断充实实验教学内容，推进实验教材的建设。2008年，浙江大学农业资源与环境专业被教育部列入了首批国家第二类特色专业，此后又被列入了学校专业综合改革试点，植物营养学作为农业资源与环境专业的核心课程，得到了浙江省课堂教学方法改革项目的资助，为了满足国家特色专业建设和植物营养学教学改革的需要，我们在孙羲教授主编的《农业化学实验》以及前辈们数十年积累的许多成就和经验的基础上，结合现代植物营养学实验技术的进展，组织编写了这本《植物营养学实验指导》，作为浙江大学农业资源与环境特色专业系列教材之一。

本书作者在浙江大学从事植物营养学课程教学20多年，积累了较丰富的经验，在本实验教材的编写过程中充分考虑了科研创新和生产实际的新要求，结合植物营养学学科的发展、植物营养学课程内容和体系改革的需要，在第一章中介绍了植物营养学实验的目的和要求、实验报告和研究性论文写作的基本规范和要求；在第二至第七章中介绍了46个实验66个基本实验项目，不但选入了一些经典的植物营养学实验技术和方法，也吸收了一些现代植物营养学领域中出现的新实验和新技术，并在每个实验中都增设了思考题；在第七章编著了系列研究性实验，着力于培养学生的创新

思维,使教材内容既有利于学生学习植物营养学实验的基本方法和基本技能,又有利于培养学生的实践创新能力。

本书可作为农业资源与环境专业学生的实验教材,也可作为研究生及科研人员和技术工作者的参考书。

本书前言由林咸永执笔;第一章由林咸永编写;第二章由林咸永、金崇伟、卢玲丽、田生科、刘晓霞、丁文雅编写;第三章由金崇伟、卢玲丽、林咸永、丁文雅、孙成亮、余燕编写;第四章由倪吾钟、卢玲丽、林咸永、孙大生、刘晓霞编写;第五章由倪吾钟、卢玲丽、林咸永、刘晓霞、丁文雅编写;第六章由卢玲丽、林咸永、丁文雅、刘晓霞、周伟伟编写;第七章由林咸永、倪吾钟、金崇伟、卢玲丽、孙成亮编写。全书由林咸永和倪吾钟进行了审读、修改和补充。

本书的编写和出版得到教育部农业资源与环境特色专业建设基金、浙江省教育厅课堂教学方法改革项目、浙江大学专业综合改革项目的资助,得到中国农业出版社的大力支持,特致谢意。

由于编者的水平有限,编写时间仓促,书中难免存在不足之处,敬请读者和专家给予指正,以便再版时修订和完善。

编者

2016年5月

目 录

前言

第一章 植物营养学实验的目的与要求	1
一、植物营养学实验的主要目的	1
二、植物营养学实验的基本要求	1
三、植物营养学实验报告的撰写	2
四、植物营养学研究论文的撰写	4
第二章 植物营养生理与代谢	7
实验 1 植物的溶液培养及缺素症诊断	7
实验 2 植物根系活力的测定	11
实验 3 植物根系阳离子交换量 (CEC) 的测定	17
实验 4 植物根系对养分离子的选择性吸收	21
实验 5 植物对铵根离子吸收动力学参数的测定	23
实验 6 植物体内矿质元素微区分布特征的分析	25
实验 7 植物体内硝酸还原酶活性的测定	29
实验 8 植物体内谷氨酰胺合成酶和谷氨酸合成酶活性的测定	34
实验 9 植物根系硝酸盐转运蛋白基因表达的分析	38
第三章 植物对营养逆境的响应	43
实验 10 植物体内游离脯氨酸含量的测定	43
实验 11 植物组织中丙二醛含量的测定	45
实验 12 植物组织中活性氧的测定	46
实验 13 植物体内活性氧的组织定位	50
实验 14 植物抗氧化酶活性的测定	55
实验 15 根系分泌物中有机酸的收集与测定	60

第四章 土壤中主要养分的转化	63
实验 16 土壤中尿素水解速率的测定	63
实验 17 氮肥施入土壤后氨挥发损失的测定	65
实验 18 旱地土壤硝化速率的测定	68
实验 19 淹水土壤中硝态氮反硝化速率的测定	71
实验 20 土壤氮素矿化速率的测定	75
实验 21 土壤对磷吸附-解吸动力学参数的测定	78
实验 22 土壤钾 Q/I (容量/强度) 曲线的测定	82
实验 23 土壤氮转化相关酶活性的测定	85
实验 24 土壤磷转化相关酶活性的测定	91
第五章 肥料的物理和化学性质	97
实验 25 化学肥料含水量的测定	97
实验 26 尿素中总氮量的测定	98
实验 27 尿素中缩二脲含量的测定	101
实验 28 过磷酸钙中游离酸和有效磷含量的测定	103
实验 29 复混肥料中养分含量的测定	107
实验 30 缓控释肥料中养分释放特征参数的测定	113
实验 31 常用矿质肥料的定性鉴定	116
第六章 施肥与农产品营养品质	122
实验 32 蔬菜中抗坏血酸含量的测定	122
实验 33 植物组织中可溶性蛋白含量的测定	125
实验 34 植物组织中可溶性糖含量的测定——蒽酮比色法	127
实验 35 植物组织中多酚含量的测定	130
实验 36 植物组织中类胡萝卜素含量的测定	132
实验 37 植物组织中花青素含量的测定	134
实验 38 果蔬抗氧化活性的测定	136
第七章 研究性实验	140
实验 39 长期不同施肥模式对土壤酶活性的影响	140
实验 40 水分状况对菜地土壤氮素矿化的影响及其微生物学机制	141
实验 41 不同水稻品种对钾的吸收和利用效率的差异及其机理	143

实验 42	不同氮素形态对植物生长和氮代谢酶活性 及其基因表达的影响	144
实验 43	运用 ¹⁵ N 示踪技术研究作物对氮素的吸收和利用	145
实验 44	供氮水平对雾培生菜抗氧化营养品质的影响	147
实验 45	铝胁迫对小麦根系伸长和抗氧化酶活性的影响	149
实验 46	包膜缓释氮肥对蔬菜氮素吸收利用和营养 品质的影响	150
参考文献		152

第一章 植物营养学实验的目的与要求

植物营养学是研究植物营养物质的吸收、运输、转化和利用过程以及植物与外界环境之间营养物质和能量交换规律的科学，是一门实践性很强的学科。植物营养学所涉及的营养元素的吸收利用、生理功能、代谢过程、迁移转化、肥料施用、营养性状遗传改良等方面的内容均需要通过实验验证和深入探究。植物营养学是农业资源与环境专业的核心课程，植物营养学实验则是植物营养学课程的重要组成部分。作为农业资源与环境专业的学生，不仅要深入学习植物营养学的基本概念和基本原理，还要同步学习植物营养学的基本研究方法与实践技能，只有这样才能提高自身的植物营养学的理论水平和综合技能，才能增强自身从事资源与环境或相关领域的研究和管理工作的本领。

一、植物营养学实验的主要目的

任何科学知识和理论都来源于实际观察和科学实验。植物营养学实验研究技能是从事植物营养学基础研究和应用开发人员解决农业生产中植物营养问题的一个重要基础。通过植物营养学实验，要达到以下主要目标：

①加深学生对植物营养学基本概念和基本理论的理解。

②使学生了解如何进行植物营养学实验方案的设计，并初步掌握实验研究方法和基本测试技术。

③使学生初步掌握植物营养学研究过程中数据处理及分析技术，包括如何收集实验数据，如何正确地分析和归纳实验数据，如何运用实验结果验证已有的概念和理论等。

④使学生初步掌握对实验过程和实验结果的总结方法，了解植物营养学实验报告和研究性论文写作的基本方法、要求和技能。

⑤提高学生的自主学习积极性，培养学生的综合应用能力，增强学生分析和解决生产实际中植物营养问题的能力。

二、植物营养学实验的基本要求

在进行植物营养学实验时，只有按照一定的规范和要求进行，才能达到预期的目标，获得正确的实验研究结果。

1. 课前预习 为完成好每个实验,学生在课前必须认真阅读植物营养学实验教材,清楚地了解实验目的要求、实验原理和实验内容。

2. 实验设计 实验设计是实验研究的重要环节,是获得满足要求的实验结果的基本保障。本教程还增设了研究性实验内容,旨在培养学生掌握植物营养学研究的思路、方法和技能。

3. 实验准备 在实验前准备好所需的仪器设备和药品;制作和搭建必要的实验装置;按要求配制实验所需的试剂;根据实验目的采集必需的土壤样品;根据植物生长习性培育实验所需的植物材料。

4. 实验操作 实验前应仔细检查实验设备、仪器仪表是否正常。实验时要严格按照操作规程操作,仔细观察实验现象,精心测定实验数据;详细记录实验中使用仪器的类型、编号以及试剂的规格、化学式、相对分子质量、准确浓度等,以及观察到的现象、结果和数据,以便总结实验时进行核对和作为查找成败原因的参考依据。实验结束后,要将实验设备和仪器仪表恢复原状,将周围环境整理干净。

5. 实验数据 通过实验获得的原始数据经计算和整理后,可根据实验目的和实验设计选择适用的统计学方法进行分析。统计分析结果可用图表和公式等来表达,通过进一步归纳分析后获得可靠的研究结论。

6. 实验报告 实验结束后,应及时整理数据,分析总结实验结果,按要求撰写实验报告。实验报告的写作过程是一个对实验结果分析归纳、去粗取精、去伪存真、把感性认识上升到理性认识的过程。

三、植物营养学实验报告的撰写

1. 实验报告的意义 实验教学不仅能使学生受到严格、系统的实验技能训练,掌握实验的基本知识、方法和技巧,还是培养学生创新能力、动手能力、思考能力及思维逻辑性的重要教学形式。实验报告是实验教学过程的重要环节,是对开展实验项目的总结性报告。实验报告的撰写是一项重要的基本技能训练,能够加深学生对所学理论知识的理解,使理论与实践紧密结合,培养和提高学生观察、分析实验现象和独立开展科学研究的能力,养成严谨的治学习习惯和实事求是的科学态度;初步培养和训练学生的科学归纳能力、综合分析能力和文字表达能力,为科技论文写作奠定基础;有利于学生发现实验研究过程中存在的问题和漏洞,从而提高学生的实验技能。实验报告的撰写需要遵循一些具体的规范与要求,只有这样才能保证实验报告的质量。

2. 实验报告的内容 实验报告是实验过程总结以及对所获实验结果分析

讨论而写成的书面材料。植物营养学实验报告撰写的基本内容与格式如图 1-1 所示。其中,⑥~⑫是实验报告的核心内容,需重点把握。

(1) 实验名称 实验名称应该简洁、鲜明、准确,直接反映所研究的对象、范围、方向和问题。

(2) 实验目的 阐述进行此项实验的主要理由,要短小精悍,简明扼要,阐明进行该实验的实际意义。

(3) 实验原理 实验原理是进行实验研究的理论依据。必须遵循实验的科学性原则,把所涉及的实验设计、方法依据等阐述清楚,不必长篇大论,力求简明扼要。

(4) 实验条件 应列出实验材料的名称(包括拉丁学名等)、来源及培养条件(如植物培养的光照、温度、湿度等),生化试剂的名称、产地、纯度级别及溶液的配制方法,所用的设备和仪器,特殊的实验装置要有合适的图解,说明化学试剂时要避免用未被普遍接受的商品名或俗名。

(5) 实验步骤 要根据实验的实际操作过程,写出主要操作步骤,需简明扼要,详略得当,不要照抄实验指导。同时,要求画出实验流程图(实验装置的结构示意图等),再配以相应的文字说明,这样既可节省许多文字说明,又能使实验报告图文并茂,清楚了。

(6) 实验结果 实验数据可根据实验目的和数据类型选择以表格和插图形式来表达。数据的处理和分析要符合统计学原理和要求,引用的数据必须真实可靠,图表要符合规范要求。实验结果要采用专业术语来描写,要客观、真实和准确,重点突出。

(7) 讨论 讨论部分是一篇实验报告的核心内容之一,应从实验观察到的结果出发,根据相关的理论知识和前人的研究结果,对自己所得到的实验结果进行解释和分析,并得出科学的结论。如果所得到的实验结果与预期结果一致,要阐述它验证什么理论,实验结果有什么意义,说明了什么问题;如果所得到的实验结果与预期结果不一致,要查找和分析原因可能的原因,并对实验误差来源、实验方法及装置提出改进建议。

(8) 结论 结论是对实验结果综合分析之后,经过高度概括与抽象而获得的具有普遍性意义或规律的科学知识。



图 1-1 植物营养学实验报告撰写的内容与格式

四、植物营养学研究论文的撰写

植物营养学研究包括方案设计、采样测定、数据分析、论文撰写等过程。撰写和发表科技论文是研究工作必须完成的最后一道工序。所谓科技论文就是按一定的方式撰写和公开发表的、描述最新研究结果的书面报告，又称学术论文、科学论文或研究论文。科技论文要体现创新性、科学性、再现性、逻辑性、规范性、简洁性、可读性，便于发表后与他人工作进行比较与交流。因此，科技论文写作是进行科学技术研究的重要手段，也是研究者科学素养和科研能力的综合体现。

科技论文一般包括题目、摘要、关键词、引言、材料与方法、结果与分析、讨论和参考文献等内容，其中关键部分的撰写要求如表 1-1 所示。

表 1-1 科技论文组成的关键部分重点撰写内容

摘要	引言	结果	讨论	结论
简述研究目的，详述研究过程和方法	介绍研究背景、意义、现状及存在的问题	介绍研究结果，常辅以图表等形式表述研究发现和实验数据	概述研究目的或假设，预期是否实现；简述重要结果，结果的评价，本研究的特色及其创新性	研究的主要发现、结果及其内涵
研究的结果	文献回顾和综述，并加以评价，突出要研究的主题或问题	对重要结果进行提炼和描述	对研究结果进行解释；如果不符合期望或与前人不同，说明原因是什么	概述研究成果可能的应用前景及局限性
主要结论和推论	介绍研究的目的是内容	对重要结果进行评论、说明、解释，并与其他人结果进行比较等	重要研究结果的意义、推论、研究展望	建议需要进一步研究的课题或方向

1. 题目 题目是论文内容的高度概括，要突出主题、精确、精炼、鲜明和新颖。一般使用充分反映论文主题内容的短语，不使用具有主、谓、宾结构的完整语句，不用标点。中文文题通常不超过 20 个汉字，一般不设副标题。文题用词应有助于选定关键词和编制题录、索引，不使用非公知公认的缩略语、字符、代号等。

2. 摘要 摘要是论文的高度概括和浓缩，使读者快速了解全文的主要内容和创新之处。摘要应概述研究的目的、方法、结果和结论，应具有独立性和自含性，即不阅读全文就能获得必要的信息。一般为 150~300 字，独立成文，需突出中心思想，语句精炼，结构紧凑，论点清晰，具有逻辑性。

3. 关键词 关键词的作用一是便于主题索引，二是便于读者了解论文的主题。一般要求 3~6 个关键词，能反映全文最主要的内容，并使用规范科学的名词术语，中英文关键词要一致，均不用缩写。

4. 引言 引言是论文正文最前面的一段纲领性、序幕性及引导性的文字，是论文写作的难点部分之一。引言部分通常从大家感兴趣的问题或论点引到本文所要研究的主题上，其内容信息从大到小、从宽泛到具体，即从综述研究领域的概况、背景开始，逐步发展到具体的研究问题，即在简要回顾和分析国内外研究历史、现状及存在的问题，尤其是近 2~3 年研究成果（需要引用参考文献）的基础上，提出本研究将要解决的关键问题。最后交代本项研究的重要意义和必要性，简介本试验的目的和研究内容，并与前面的论述相呼应。

5. 材料与方法 材料与方法是研究工作可重复性的基本依据，要详尽准确，撰写时必须注明设备型号和厂商，试剂或药品的纯度，以及是否经过预先处理等。除了文字描述外，对自行设计的设备装置或工艺路线，还要补充示意图或流程图配合说明。涉及生物物种名称的必须提供拉丁学名。采用的方法若是前人所报道的提供文献即可，有改进处需要指明，若是新方法则需详细叙述。最后还应说明统计分析方法及其选择依据。

6. 结果 结果是支持结论与观点的基础，也是论文的核心部分。论文的结果部分就是将研究过程中所得的各种资料和数据经过必要的统计学处理后，进行分析、归纳和总结，然后以文字和图表的形式加以表述，为进一步判断、推理和论证提供依据。因此，结果的叙述要客观、真实和准确，简洁明了，重点突出，层次分明，尽量减少不必要的细节描述，并避免与讨论内容混淆重复。

7. 讨论 讨论是论文的精华部分，是作者对实验结果的深入思考、理论分析和科学推论，它阐明事物间的内在联系与发展规律，揭示研究结果在理论与实践中的意义，是作者的理论思维、学术素养、知识深度和广度、专业写作技巧的综合体现。讨论是论文的重点和难点，对提升论文水平和价值具有画龙点睛的作用，也有人将它视为是论文的卖点。讨论一般开始部分范围比较窄，然后逐渐变得比较宽泛，通常首先简要回顾研究目的和重要结果，阐明本研究的进步与特色，然后再讨论具体结果蕴含的科学意义或贡献。

8. 结论 从某种意义上说，结论与引言是遥相呼应的，因为引言中介绍了本试验的研究目的，那么结论要告诉读者这些目的是否达到，在研究中做了哪些工作，取得了什么结果，这些结果说明了什么问题，有何价值和意义，研究过程中存在或发现了哪些问题，原因是什么，建议如何解决等。结论要有严密的逻辑性，措词要精确、严谨，文字要简明扼要。

9. 参考文献 参考文献是为了标明论文中的某些论点、数据与方法的出处，增强论文的科学性，尊重他人的研究成果，并向读者提供相关信息。参考文献要精选，一般仅限于作者亲自阅读过的、最必要的、最新的、发表于正式刊物上的原始文献。不同刊物的参考文献格式有所差异，应按要求采用规范化的参考文献著录格式列出。

第二章 植物营养生理与代谢

实验 1 植物的溶液培养及缺素症诊断

植物的生长发育除了需要光照和水分外，还需要充足的营养，否则植物就不能正常地生长发育甚至导致死亡。虽然在植物体内含有 70 余种元素，但这些元素并非都是植物生长发育所必需的营养元素。要研究某种元素是否为植物所必需，通常根据植物缺乏该元素的反应来确定。由于天然土壤成分复杂，其中的元素成分无法控制，故用土培方法无法确定植物必需哪些矿质元素。直到 1859 年，德国著名科学家 Sachs 和 Knop 建立了溶液培养法（solution culture 或 hydroponics）后才解决了这个技术上的困难。此后，溶液培养法不仅用于研究植物对矿质元素的必需性，而且广泛应用于植物营养的生理功能、代谢过程及分子生物学等方面的研究。此外，由于这种以溶液培养法为基础的无土栽培技术可满足作物生长对矿质营养、水分的需要，可摆脱传统农业生产对土壤、空间和气候条件的依赖，在蔬菜、花卉的工厂化生产中已逐步规模化应用。

借助于溶液培养法，迄今发现了碳、氢、氧、氮、磷、钾、钙、镁、硫、硼、锰、锌、钼、铜、铁、氯和镍 17 种植物必需营养元素。当植物缺乏某种必需元素时，与其相关的代谢过程因受到干扰而紊乱，生育进程不正常，就会出现植株矮小、生长停滞、失绿黄花、叶片畸形等异常的外部形态症状，即为缺素症。因此，可以根据作物外表形态的异常来判断营养丰缺状况。通过本实验掌握确定植物营养元素必需性的溶液培养研究方法，了解溶液培养方法栽培植物的营养液管理技术，加深对营养元素生理功能的理解，了解植物缺乏氮、磷、钾等元素的典型症状及其形态诊断方法和技巧。

一、实验原理

植物需要各种矿质元素来维持正常的生理活动，以组成植物本身或用以调节其生理功能。溶液培养法是研究哪些元素为植物生命活动所必需的，以及这些元素的生理功能和相互关系的基本方法。通常采用溶液培养法，在人工配制的完全营养液中除去某一元素，观察植物的生长发育、生理生化变化以及是否

出现特殊的症状，用来确定矿质元素的植物必需性。在植物生长发育正常的培养液中除去某一元素，如果导致植物生长发育不良并出现特有的病症，但当补加该元素后症状消失，说明该元素为植物的必需元素。反之，减去某一元素对植物生长发育无不良影响，即表示该元素为植物非必需元素。由于植物缺乏某一必需营养元素时出现的症状均与其在体内的生理功能有内在的有机联系，因此，根据植物营养元素供应不足导致的专一性缺素症，可确定某元素在植物生长发育中的生理功能。

二、器材与试剂

- 1. 器材** 分析天平、塑料桶、通气泵、量筒、烧杯、移液管、烘箱等。
- 2. 试剂** 完全溶液培养的储备液的配制：按表 2-1 所列各化合物的用量 (g)，分别配制储备液 1 L，所用药品均需分析纯。
- 3. 试材** 番茄、小麦或玉米种子。

表 2-1 1 L 完全营养液储备液所需的药品名称及用量

大量元素		微量元素	
药品名称	用量 (g/L)	药品名称	用量 (g/L)
Ca (NO ₃) ₂	82.07	H ₃ BO ₃	2.860
KNO ₃	50.56	MnSO ₄	1.015
MgSO ₄ · 7H ₂ O	61.62	CuSO ₄ · 5H ₂ O	0.079
KH ₂ PO ₄	27.22	ZnSO ₄ · 7H ₂ O	0.220
NaNO ₃	42.45	H ₂ MoO ₄	0.090
MgCl ₂	23.81	MnCl ₂ · 4H ₂ O	1.324
Na ₂ SO ₄	35.51	CuCl ₂ · 2H ₂ O	0.054
CaCl ₂	55.50	ZnCl ₂	0.104
KCl	37.28		
Fe-EDTA			
Na ₂ -EDTA	7.45		
FeSO ₄ · 7H ₂ O	5.57		

三、实验步骤

1. 材料准备 番茄、小麦或玉米等均可作为材料。粒小的种子，种子带来的营养元素少，容易培养出缺素症；粒大的种子可在缺素培养前，先将胚乳或子叶去除，这样可以加快缺素症的产生。种子用 0.1% HgCl₂ 溶液进行表面