



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

植物营养学 (下册)

(第2版)

胡霭堂 主编 周立祥 副主编



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

植物营养学(下册)

(第2版)

胡霭堂 主编 周立祥 副主编

中国农业大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

植物营养学(下册)/胡霭堂主编. —2版. —北京:中国农业大学出版社, 2003. 2

ISBN 7-81066-513-8/Q · 12

I. 植… II. ①胡… ②周… III. 植物营养-高等学校-教材
IV. Q945.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 060207 号

书 名: 植物营养学(下册)第 2 版
作 者: 胡霭堂 主编 周立祥 副主编

~~~~~  
责任编辑: 郑 丽 封面设计: 郑 川

出版发行: 中国农业大学出版社

经 销: 新华书店

印 刷: 莱芜市圣龙印务书刊有限责任公司

版 次: 2003 年 2 月第 2 版 2004 年 7 月第 2 次印刷

规 格: 787×980 16 开本 17.5 印张 320 千字

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 010-62893089 出版部 010-62893440 编辑部 010-62892618

网 址: [www.cau.edu.cn](http://www.cau.edu.cn) Email: [caup@public.bta.net.cn](mailto:caup@public.bta.net.cn)

印 数: 3 051~6 050

定 价: 22.00 元  
~~~~~

图书如有质量问题本社负责调换

第 1 版编审者

主 编 胡霭堂(南京农业大学)

编 者 (以编写章节先后为序)

胡霭堂(南京农业大学)

曹翠玉(南京农业大学)

徐光壁(南京农业大学)

戈迺玢(南京农业大学)

主审人 毛达如(中国农业大学)

第1版前言

《植物营养学》原是农业部教育司下达的编写任务,它分上、下两册。上册由中国农业大学植物营养系负责编写,下册由南京农业大学资环系(原土化系)负责编写。为了协调上、下册衔接和避免不必要的重复,两校参编教师共同制定了编写大纲,且主编之间也多次审阅了大纲和交换了意见。在农业部教育司指导下,于1991年4月在福州会议上审定通过。

《植物营养学》下册于1991年底分工后,开始收集资料。从编写到定稿,参编教师曾多次互阅与讨论,发挥了集体的智慧,体现了良好的合作精神。1994年8月初步定稿后,送中国农业大学毛达如教授主审,再次做补充修改,最后由主编全面统稿、定稿。

《植物营养学》是土壤与植物营养专业或土壤农化专业的农业部指令性教材。同时可作为高等农业院校的种植类与有关类别的各专业,如农学、园艺、植保、植生以及资源与环境等专业的参考教材;对从事土壤肥料、肥料生产、农业环保等有关人员和广大农业科技工作者、业务管理干部以及有关大专院校师生也都有参考价值。下册是在学生掌握了上册植物营养的基本理论和原理的基础上,全面系统地阐述了肥料的种类、品种、性质和特点;肥料在土壤中的形态、转化与生物有效性;肥料对作物生长发育、产品品质以及生态环境的影响;各类肥料的有效施用与科学管理的原则与技术。本教材基本上反映了我国近年来肥料研究与实践工作的成就,并从全面维护农业生态环境质量的高度阐述了要充分利用有机废弃物,广辟有机肥源以及加速物质循环在高产、优质、高效农业持续发展中的必要性与作用。

教材共分十一章,内容是肥料概论、氮肥、磷肥、钾肥、微量元素肥料、钙、镁、硫、硅肥与稀土农用制品、复合肥料、绿肥、有机肥料及农业废弃物利用、城镇废弃物的农业利用和肥料的科学施用与管理。教材编写分工是:第一、五、十一章由胡霭堂教授编写;第二、三章由曹翠玉教授编写;第四、六、九章由徐光壁副教授编写;第七、八、十章由戈迺汾副教授编写。

在编写本教材的过程中,曾得到史瑞和、毛达如、陈伦寿等的关心,陆景陵教授对全稿提出了许多宝贵意见。在教材即将出版之际,对关心、帮助和指导过本教材编写的各位老师表示衷心的感谢。教材中的绿肥图幅仍采用农业化学(总论)第2版的原图,微量元素肥料施用的4幅分区图,系采用《微量元素的农业化学》书中的

原图,对此亦表示感谢。

限于教材字数,编写时间及编写者水平,书中难免有错漏和不妥之处,热忱盼望阅读本教材的同学、老师以及同行们提出宝贵意见。

编 者

1994 年 10 月

第2版修订者

主 编 胡霭堂(南京农业大学)

副主编 周立祥(南京农业大学)

编 者 (以编写章节先后为序)

胡霭堂(南京农业大学)

周权锁(南京农业大学)

娄运生(南京农业大学)

杨超光(南京农业大学)

徐阳春(南京农业大学)

张春兰(南京农业大学)

周立祥(南京农业大学)

占新华(南京农业大学)

第 2 版前言

《植物营养学》原是农业部教育司下达的编写任务。上、下册分别由中国农业大学与南京农业大学教师负责编写,1995 年出版至今已有 8 年,印刷多次,在使用过程中积累了不少教学经验。随着高等农业教育、科研和生产实践的不断发展,需要进一步完善教材内容,以满足相关专业的研究生、本科生教学急需。南京农业大学应中国农业大学出版社的委托,组织成立了《植物营养学》(下册)第 2 版教材修订小组,负责在原教材的基础上修编第 2 版。修订版基本保持了原教材的结构框架,但根据当前学科的发展水平,更新了不少内容,特别是对有机废弃物农肥资源技术方面的介绍,另外在各章后面还增加了思考题,供读者学习参考。修订后本教材由原有的十一章改为十章,在修订前与第 1 版相关章节的编写者进行讨论和商量后,确定了第 2 版修订组成人员,并对修订的内容进行了多次讨论和分工。其中第一、三、十章(原十一章)由胡霭堂与周权锁修订;第二、七章由娄运生修订;第四、六章由杨超光修订;第五章由徐阳春修订;第八章由张春兰修订;第九章(原九、十章合并)由周立祥与占新华修订。全书最后由周立祥负责统稿。

本教材在修订过程中,得到南京农业大学资源与环境学院的领导大力支持,许多老师和专家提出了宝贵的意见。本教材在修订中还引用了许多文献的研究成果、某些内容和一些图表等,在此,向他们表示衷心感谢!

由于时间相当仓促,修订者水平有限,难免有错编和不妥之处,希望广大师生和各方面的读者批评指正。

编 者

2002 年 6 月

目 录

第一章 肥料概论	(1)
第一节 肥料与人类生活和生态环境的关系.....	(1)
一、肥料	(1)
二、肥料与人类的生态环境	(1)
第二节 肥料施用与发展的概况.....	(2)
一、我国古代施用肥料的简史	(2)
二、西欧化肥工业的兴建与世界化肥的生产和施用	(3)
三、中国近代肥料生产与施用的概况	(4)
第三节 我国肥料试验研究简史.....	(7)
一、肥料试验和研究	(7)
二、土壤肥力状况的调查与测定	(9)
第四节 肥料的来源、分类及基本特性	(9)
一、肥料的来源与分类	(9)
二、各类肥料的基本特性.....	(10)
思考题	(12)
第二章 氮肥	(13)
第一节 氮肥的种类、性质和施用.....	(13)
一、概述.....	(13)
二、铵态氮肥.....	(14)
三、硝态氮肥.....	(20)
四、酰胺态氮肥——尿素.....	(22)
五、缓释/控释氮肥	(24)
第二节 氮肥在土壤中的转化	(28)
一、化肥氮的生物学固定.....	(28)
二、化肥氮在土壤中的转化.....	(30)
第三节 氮肥对作物的影响	(34)
一、氮肥对作物生长发育及产量的影响.....	(34)
二、氮肥对作物品质的影响.....	(36)

第四节 氮肥的有效施用	(38)
一、测定土壤的供氮能力	(38)
二、开展推荐施氮量	(40)
三、重视平衡施肥	(41)
四、坚持合理的施氮技术	(41)
思考题	(43)
第三章 磷肥	(44)
第一节 磷肥的种类、特性和施用	(44)
一、概述	(44)
二、水溶性磷肥	(44)
三、弱酸溶性磷肥	(47)
四、难溶性磷肥	(50)
五、新型磷肥	(54)
第二节 磷肥在土壤中的转化	(54)
一、肥料磷在土壤中的固定与释放	(55)
二、肥料磷在土壤中的生物学转化	(58)
第三节 磷肥对作物的影响	(60)
一、磷肥对作物生长发育的影响	(60)
二、磷肥对作物品质的影响	(61)
第四节 磷肥的有效施用	(62)
一、土壤供磷状况与磷肥肥效	(62)
二、作物需磷特性与轮作中磷肥的分配	(63)
三、磷肥的残效和积累利用率	(64)
四、有机肥料与磷肥肥效	(66)
五、氮、磷配合施用	(66)
思考题	(67)
第四章 钾肥	(68)
第一节 钾肥的种类和特性	(69)
一、氯化钾	(69)
二、硫酸钾	(69)
三、窑灰钾肥	(70)
四、草木灰	(71)
第二节 钾肥在土壤中的转化	(72)

一、被土壤胶体吸附,转化为交换性钾	(72)
二、被土壤中黏土矿物所固定,转化为非交换性钾	(73)
三、钾的流失	(74)
第三节 钾肥对作物的影响	(75)
一、钾肥对作物及其根系生长的影响	(75)
二、钾肥对产量的影响	(75)
三、钾肥对产品品质的影响	(75)
四、钾肥对作物抗逆性能的影响	(77)
第四节 钾肥的有效施用	(79)
一、有效施用钾肥应考虑的因素	(79)
二、钾肥的合理施用技术	(84)
思考题	(85)
第五章 微量元素肥料	(86)
第一节 微量元素肥料的种类与特性	(86)
一、微肥的资源与生产原理简述	(86)
二、微肥的种类与性质	(90)
第二节 微量元素肥料在土壤中的转化	(93)
一、农田生态系统中微量元素的循环	(93)
二、土壤中微量元素转化的类型及基本概念	(94)
三、土壤中微量元素赋存的化学形态	(100)
第三节 微量元素肥料对作物生长、发育及产量与品质的影响	(102)
一、微肥对作物生长发育及产量的效应	(102)
二、微肥对作物产品品质的影响	(108)
第四节 微量元素肥料的有效施用	(109)
一、微肥的有效施用	(109)
二、微肥的施用方法	(115)
三、常用微肥的合理施用	(116)
思考题	(135)
第六章 钙、镁、硫、硅肥及稀土农用制品	(136)
第一节 钙肥	(136)
一、钙肥对作物生长发育的影响	(136)
二、含钙肥料(石灰)的间接作用	(137)
三、石灰肥料(含钙肥料)的种类和性质	(139)

四、石灰肥料的施用	(140)
第二节 镁肥	(141)
一、镁肥对作物生长发育的影响	(141)
二、镁肥的种类和性质	(142)
三、镁肥的施用	(143)
第三节 硫肥	(144)
一、硫肥对作物生长发育的影响	(144)
二、硫肥的作用	(145)
三、硫肥的种类和性质	(146)
四、硫肥的施用	(147)
第四节 硅肥	(151)
一、硅肥对作物生长发育的影响	(151)
二、硅肥的种类和性质	(152)
三、硅肥的施用	(153)
第五节 稀土农用制品	(155)
一、稀土元素的肥效与作用机理	(155)
二、稀土农用制品的种类和施用	(155)
思考题	(158)
第七章 复混肥料	(159)
第一节 复混肥料概述	(159)
一、基本概念	(159)
二、国家标准	(160)
三、复混肥料的优点和不足	(161)
第二节 复混肥料的种类和性质	(161)
一、复合肥料	(161)
二、混合肥料	(165)
第三节 复混肥料的肥效和施用	(170)
一、复混肥料的肥效	(170)
二、复混肥料的合理施用	(170)
思考题	(171)
第八章 绿肥	(172)
第一节 绿肥在持续农业中的作用	(172)
一、提供多种养分及优质有机肥	(172)

二、培肥土壤,改良低产土壤,扩大耕地资源	(174)
三、防止水土流失,修复荒坡废地,净化生态环境	(175)
四、农牧结合,发展多种经营	(175)
第二节 绿肥作物的栽培	(177)
一、绿肥作物分类	(177)
二、绿肥作物的种植方式	(178)
三、绿肥作物的栽培技术	(179)
四、主要绿肥作物的高产栽培	(183)
第三节 绿肥的有效利用	(192)
一、绿肥翻埋	(192)
二、绿肥作物的刈割和茬地的利用	(197)
三、绿肥作物荒坡废地修复技术	(199)
思考题	(201)
第九章 有机肥料及城乡有机废弃物的农业利用	(202)
第一节 有机废弃物农肥化的意义与作用	(202)
一、提高土壤有机质,改良土壤物理化学性质	(202)
二、提供养分和活性物质	(203)
三、活化土壤养分,提高养分利用率	(203)
四、提高作物品质,增强作物抗逆性	(204)
五、作为无土栽培的优良基质,替代不可再生的泥炭等资源	(204)
六、减少污染,化“害”为利	(205)
第二节 有机肥料及可农用的有机废弃物种类与性质	(205)
一、秸秆类	(205)
二、粪尿类和厩肥	(208)
三、饼肥、菇渣或糠醛渣类	(214)
四、泥土肥类	(216)
五、泥炭类和腐殖酸类肥料	(217)
六、海肥类	(219)
七、粉煤灰类	(221)
八、市政有机废弃物	(222)
第三节 有机废弃物农肥法技术	(229)
一、简易农肥法技术	(229)
二、规模化高温好氧堆肥技术	(235)

第四节 有机无机复混肥的生产技术·····	(243)
一、有机复肥的优点·····	(243)
二、有机复肥生产中原料的配比·····	(244)
三、有机复肥的生产工艺·····	(246)
四、有机复肥的质量标准·····	(248)
五、有机复肥的施用·····	(249)
思考题·····	(250)
第十章 肥料的科学施用与管理·····	(251)
第一节 肥料的科学施用·····	(251)
一、科学用肥·····	(251)
二、农业化学服务·····	(251)
三、科学用肥的基本环节·····	(252)
第二节 肥料的科学管理·····	(254)
一、化肥运输—贮存系统中的管理·····	(254)
二、肥料的混配技术与注意事项·····	(257)
思考题·····	(261)
参考文献·····	(262)

第一章 肥料概论

施肥是增产的重要措施,只有满足作物对营养的需求才能获得作物的优质、丰收。施用肥料不仅是高产量的保证,同时在一定程度上决定着产品品质的优劣及生态环境质量。为此,科学合理地施用肥料仍是当前我国高产、优质、高效无污染持续农业中必不可少的生产措施。

第一节 肥料与人类生活和生态环境的关系

一、肥料

肥料是人们用以调节植物营养与培肥改土的一类物质。有“植物的粮食”之称。自人类定居并从事农业生产以来,人们通过自己的实践,不断地认识到,施用肥料是获得高产、优质作物必不可少的技术措施,对人类的生存有重大的意义。

二、肥料与人类的生态环境

人类栖居于地球表壳的生物圈——其范畴占据了全部的水圈(深达 12 km),大气圈的下层(高达 15 km),岩石圈部分(深入地层达 5 km),是地球上的巨大生态系统,其中还生存有大量的植物、动物与微生物。这里,地壳最表层——土壤圈,处于上述各圈的交界面,是各圈中物质与能量交换的“中转站”;与土壤上生长的植物共同构成的植物-土壤系统,又和人的生活与生存紧密相关。人们施肥入土以营养植物,与此同时必然会对植物-土壤系统产生影响,甚至会波及到整个生物圈。按化学组分看,肥料是生物界可同化的物质,使用得科学、正确,就能对植物生长发育产生积极作用,造福于人类。但若利用不当,就有可能给人类带来灾难。

根据近代知识的理解,使用肥料的积极作用在于:

- (1)能促进和改善土壤-植物-动物系统中营养元素的平衡、交换与循环。
- (2)提高土壤肥力,即提高单位面积土地的农、牧产品的数量与质量,使土壤这

一非再生资源获得永续使用,以满足世界人口不断增长所需要的各种产品与数量。从某种含义上来讲,有人认为没有化肥,就不会有任何文明社会的存在。

(3)使作物生长茂盛,提高地面覆盖率,减缓或防止土壤侵蚀,维护了地表水域、水体的洁净不受污染。

(4)改善农副产品的品质,保护人体健康。然而大量研究结果与生产实践却已证实,肥料使用或处置不当,会污染生态环境,导致人体健康受到威胁。通常有下列几种情况。

1. 氮素肥料可能引起的环境污染

(1)氨的挥发和反硝化脱氮对大气环境的污染。

(2)氮素的淋失对地表水和地下水环境的污染。

(3)氮素引起农产品,尤其是食品中硝酸盐的富集。

2. 磷素肥料可能引起的环境污染

(1)磷素随地表径流造成地表水体的富营养化。

(2)磷素生产过程中引起的大气氟污染,而施用可能带来重金属镉等的污染及放射性核素的污染。

3. 肥料施用不当,致使减产和产品品质恶化 肥料施用不当,降低了农作物的抗逆能力,包括抗病虫、抗倒伏、抗寒、抗旱等,致使减产和产品品质恶化。

4. 肥料施用不当,导致肥力下降 肥料施用不当恶化了土壤的物理、化学及生物学性状,破坏了土壤中营养元素的正常比例,导致土壤肥力下降与作物减产。

5. 农业、工业废弃物的不合理处置引起环境,尤其是水域的污染 不少的农业、工业废弃物含有植物所需的营养元素,应当合理收集,作为肥料使用。若任意排放抛弃,势必对环境产生压力,如畜、禽粪便引起氮素污染,食品加工业的有机废水,城镇的生活污水、污泥引起的有机成分与氮、磷污染,工矿产生的三废引起的重金属、酸碱盐等污染。

总之,肥料是人类生产实践与科学技术发展的产物,是宝贵的资源,人们应自觉、合理地利用,充分发挥其为人类生存创造最佳生活条件的作用,防止其可能产生的不利影响。

第二节 肥料施用与发展的概况

一、我国古代施用肥料的简史

在我国的历史中,很长时期处于古老农业大国的地位,农业劳动人民用自己的

智慧与实践经验获得了用肥养地的知识,逐步形成了用地与养地相结合的耕种传统,使我国几千年的土壤肥力与粮食生产得到相对的稳定。早在二千年以前的奴隶社会中就有了锄草肥田、茂苗的文字记载。随后在漫长的封建社会时期,编写了不少有关农事的书籍,如战国时期的《礼记》、汉代的《汜胜之书》、晋朝郭义恭的《广志》、唐朝韩鄂撰的《四时纂要》、宋朝陈敷的《农书》、元朝王桢的《农书》、明朝徐光启的《农政全书》以及清朝杨鼎的著作等。随着时代的发展和农业实践的深化,书中越来越详尽地论述了肥料的种类、作用、积造与施用的技术等。然而,所提及的主要是有机肥料。用现代科学观点来认识,可以说,在悠久的中国农业生产历史中孕育着如何充分地利用人类生产、生活所产生的废弃物,促其重新回归大自然,加速自然界的物质循环,以达到宏观调控农业生态系统的平衡以及保护人类生态环境质量的先进思想萌芽。这种带有盲目性,但基本上符合客观实际的思想与劳动行为,使我国农业土壤的自然肥力得到了有效的然而却是较低水平的调节。上千年来文明古国得以生存下来,这一点在国际上至今还享有很高的声誉。

二、西欧化肥工业的兴建与世界化肥的生产和施用

欧洲的文艺复兴为其科学的发展创造了有利的条件。人们对自然界的现象开始进行科学探索。经过几个世纪数代科学家的努力,植物矿质营养理论得到了公认。以德国化学家李比希为主要代表,在他的矿质营养学说与归还学说等理论的基础上,欧洲逐步建立起巨大的化学工业。在 19 世纪中、后期,磷肥与钾肥生产先后建立并得到发展,到 20 世纪初合成氨的生产得到奠定。此后,化肥生产在全世界不论是产量、种类或是品种上都有明显的发展。在近 160 年过程中,使用化肥对包括欧洲在内的世界粮食等农、副产品的增产,确实起到了极大的推动作用。

据 1981 年联合国粮农组织(FAO)提供的数字表明,世界化肥的施用量 1921—1951 年的 30 年间由 3.8 增长为 14.99(100 万 t),1981 年增长到 116.1(100 万 t)。可见,前 30 年间增长近 3 倍,后 30 年间增长近 7 倍。综合大量报道材料表明,在农业产量的增加份额中,有 40%~60%是靠施用化肥,其余则归功于引进良种、科学的栽培管理等措施。

随着化肥工业的完善与大型化,尤其是萃取磷酸工业的发展和氮、磷生产工艺的相互结合,生产高浓度、多成分的复、配、混肥料具备了条件,并且显然更有利于资源的合理利用,经济效益的提高与产品质量的优化,加之现代农业生产的规模化、机械化、专业化和科学化水平的不断提高,促进了化肥销售必须和农业化学服务(即根据土壤作物营养诊断,推荐如何施肥等科学技术)密切结合。在 20 世纪 80 年代初,全世界复混肥消费量已占到化肥总消耗量约 50%,发达国家平均在 70%