



面向 21 世纪 课程 教材

Textbook Series for 21st Century

作物施肥原理与技术

谭金芳 主编

张自立 邱慧珍 副主编

中国农业大学出版社

责任编辑:郑 丽

封面设计:郑 川

ISBN 7-81066-515-4



9 787810 665155 >

定价:24.00 元

面向 21 世纪课程教材
Textbook Series for 21st Century

作物施肥原理与技术

谭金芳 主编
张自立 邱慧珍 副主编

中国农业大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

作物施肥原理与技术/谭金芳主编. —北京:中国农业大学出版社,2003.2
ISBN 7-81066-515-4/S·371

I. 作… II. 谭… III. 作物-施肥原理-技术-高等学校-教材 IV. S147.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 058047 号

出 版 中国农业大学出版社
发 行
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1版
印 次 2003年2月第1次印刷
开 本 16 印张 19.25 千字 352
规 格 787×980
印 数 1~4 050
定 价 24.00 元

图书如有质量问题本社负责调换

社址 北京市海淀区圆明园西路2号 邮政编码 100094

电话 010-62892633 网址 www.cau.edu.cn/caup/

主 编 谭金芳(河南农业大学)
副主编 张自立(安徽农业大学)
邱慧珍(甘肃农业大学)
编 委 (按姓氏笔画为序)
卜玉山(山西农业大学)
马玉增(山东农业大学)
史衍玺(山东农业大学)
刘建玲(河北农业大学)
张自立(安徽农业大学)
邱慧珍(甘肃农业大学)
索全义(内蒙古农业大学)
隋方功(山东莱阳农学院)
韩燕来(河南农业大学)
翟丙年(西北农林科技大学)
谭金芳(河南农业大学)

内 容 简 介

《作物施肥原理与技术》系教育部“高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革项目(04-20)”的研究成果,是面向 21 世纪课程教材。

本书是教育部新颁布的“农业资源与环境”本科专业的主干课程之一。全书讲述了施肥的基本知识、基本理论与基本技术,共分四篇十四章。分别阐述了施肥的基本原理、施肥的基本原则、养分平衡施肥法、营养诊断施肥法、肥料效应函数法、施肥技术、轮作施肥技术、保护地施肥技术、计算机施肥专家系统的建立与应用、农化服务与施肥、大田作物营养与施肥、蔬菜营养与施肥、果树营养与施肥、草地与草坪施肥技术。本书也可作为高等农业院校非农业资源与环境本科专业的教材,及可供农业资源与环境科技及管理人员使用。

前 言

合理施肥(science fertilization)是在综合考虑土壤供肥能力、作物需肥特点、肥料特性、气候条件和栽培措施等因素的基础上,以实现培肥地力、增加产量、改善品质、提高效益与保护环境相统一为目的,将肥料施于土壤或作物以调节作物营养平衡的一项重要农业技术措施。

据联合国粮食组织估计,二次大战后,发展中国家粮食的增产作用有 55% 以上来自化肥的贡献,其中氮肥起着最重要的作用。目前,氮素化肥是全世界,也是我国应用最多的化学肥料。据统计,1949—1998 年的 50 年内,我国农业中化肥氮(N)用量总额为 3.8×10^8 t;1998 年施用量达到 2.47×10^7 t(N),为同期世界农业氮(N)肥用量 8.33×10^7 t 的 29.7%。按 1.3×10^8 hm² 耕地和 2.03×10^8 hm² 的播种面积(复种指数 156%)计算,1998 年我国化肥施用量平均分别达到了 314.3 kg·hm⁻² 和 201.4 kg·hm⁻²,已超过世界施肥平均水平。化肥的应用,大大促进了我国农业发展。相应地,近 50 年来,粮食总产由 1949 年的 1.13×10^8 t,增加到 1998 年的 5.12×10^8 t,单产由 1.0 t·hm⁻² 提高到了 4.5 t·hm⁻²;1998 年人均粮食和肉蛋生产量均超过了世界平均水平。化肥工业的发展之快、化学肥料的施用量及作用之大,使得合理施肥问题的研究成为近代与当代农业科学研究的重要组成部分。在不同的历史阶段,合理施肥研究与与时俱进,并以自身当时发展所达到的技术水平影响着各时期的农业生产的发展。

目前,农业可持续发展迫切需要有适合新条件需要的施肥理论与技术做支撑。这是因为:近年来,化肥尤其是氮肥的大量施用,在满足作物高产需求的同时,带来的肥料效应、肥料利用率的下降、环境污染加剧等负效应已不容忽视,面对新的经济形势,并随着种植业结构的调整,施肥对象及施肥环境有了重大的改变。同时,当代相关科学领域的发展也带动了施肥科学的发展,特别在近 10 年来,人们根据生产实践需要又研究出了许多施肥新方法、新技术。编写《作物施肥原理与技术》的计划就是在上述背景下提出的,在 2001 年 4 月 9~11 日于北京召开的“全国农业资源与环境本科专业教学计划与教材建设讨论会”上正式确定,并于 2001 年 8 月 21~23 日在郑州召开了教材编写会议,拟定了编写大纲,进行了具体分工。

编写本书的目的是为“农业资源与环境”本科专业的学生了解并掌握施肥的基本原理与技术提供一本较为系统的教科书。该书力求阐述施肥理论简明扼要,介绍

施肥技术与方法注重先进实用,对章节的组织体现内容优化、结构合理和知识连贯,从而构建作物施肥原理与技术的科学体系,使之成为一本让学生既能掌握施肥科学的基本理论、基本知识和基本技术,又能活跃思想,启迪创造思维,提高学生素质的教科书。

全书共分四篇十四章。第一篇施肥原理,由第一、二章组成,重点介绍了施肥的基本原理和原则;第二篇施肥方法,由第三、四、五章组成,主要介绍了养分平衡法、营养诊断法和肥料效应函数法;第三篇施肥技术,由第六、七、八、九、十章组成,详细介绍了常规施肥技术、轮作施肥技术、保护地施肥技术、计算机施肥专家系统的建立与应用和农化服务与施肥;第四篇作物营养与施肥,由第十一、十二、十三、十四章组成,简要介绍了大田作物营养与施肥、蔬菜营养与施肥、果树营养与施肥和草地与草坪施肥技术。

全书由9所农业大学长期从事作物施肥原理与技术教学和研究的同志们编写,以多年来对学生讲课的内容为主,又收集和精编了国内外大量的最近成果而形成的。编写分工是:绪论、第七章、第十一章的第二、五和六节由谭金芳、韩燕来编写;第一章和第八章由邱慧珍编写;第二章和第十二章由卜玉山编写;第三章、第十一章的第七、九节由史衍玺和马玉增编写;第四章和第十三章由翟丙年编写;第五章由刘建玲编写;第六章、第十四章和第十一章的第三、四节由索全义编写;第九章由隋方功编写;第十章、第十一章的第一、八节由张自立编写。教材初稿完成后,于2002年5月3~5日在安徽农业大学召开了第二次全体编写人员会议,进行统审,谭金芳和韩燕来对全书进行了统稿。本书的编写得到了河南农业大学牛庆义、户小英、化全县同志,崔党群教授和安徽农业大学教务处及农学院资环系的领导和老师们的帮助与大力支持,对此一并表示深深的谢意。

为了编好这本书,参编人员查阅了大量国内外相关文献,反复讨论,形成共识:在继承已有知识的基础上,精心遴选最新研究成果、优化内容,尽可能地形成一本较为系统的、理论联系实际、值得珍藏的教科书。因此,本书引用了大量国内外重要文献资料,限于篇幅,有些未能列出,在此一并表示感谢。

由于编者学识有限,书中错误在所难免,真挚地希望同仁们不吝赐教。

编者

2002.6

目 录

绪论	(1)
一、施肥科学的发展概况	(1)
二、施肥的效应	(5)
三、施肥的科学体系、研究内容和研究方法	(8)

第一篇 施肥原理

第一章 施肥的基本原理	(12)
第一节 养分归还学说	(12)
一、养分归还学说的基本内容	(12)
二、养分归还学说的发展	(14)
第二节 最小养分律	(15)
一、最小养分律的基本内容	(15)
二、最小养分律的发展	(18)
第三节 报酬递减律与米氏学说	(19)
一、报酬递减律与米氏学说的基本内容	(19)
二、米氏学说的作用	(21)
三、米氏学说的发展	(21)
第四节 因子综合作用律	(22)
一、综合因子的分类	(22)
二、因子综合作用律的基本内容	(23)
三、因子综合作用律的内涵与作用	(23)
思考题	(24)
第二章 施肥的基本原则	(26)
第一节 培肥地力的可持续原则	(26)
一、培肥地力是农业可持续发展的根本	(26)
二、施肥是培肥地力的有效途径	(27)
第二节 协调营养平衡原则	(29)
一、施肥是调控作物营养平衡的有效措施	(29)

二、施肥是修复土壤营养平衡失调的基本手段·····	(29)
第三节 增加产量与改善品质相统一的原则·····	(30)
一、施肥与作物产量·····	(30)
二、施肥与作物品质·····	(30)
三、施肥与产量和品质的关系·····	(32)
第四节 提高肥料利用率原则·····	(32)
一、提高肥料利用率是施肥的长期任务·····	(32)
二、施肥与肥料利用率的关系·····	(33)
第五节 减少生态环境污染原则·····	(33)
一、不合理施肥导致土壤质量下降·····	(33)
二、不合理施肥导致生态环境污染·····	(34)
思考题·····	(35)

第二篇 施肥方法

第三章 养分平衡法·····	(40)
第一节 地力差减法·····	(40)
一、几个参数的确定·····	(41)
二、肥料用量的计算·····	(48)
第二节 土壤有效养分校正系数法·····	(49)
一、土壤有效养分校正系数法的概念·····	(49)
二、土壤有效养分校正系数的测定步骤·····	(50)
三、土壤有效养分校正系数法在养分平衡施肥中的应用实例·····	(51)
思考题·····	(53)
第四章 营养诊断法·····	(54)
第一节 营养诊断的依据·····	(55)
一、土壤营养诊断的依据·····	(55)
二、植株营养诊断的依据·····	(56)
第二节 营养诊断的方法·····	(61)
一、土壤营养诊断的方法·····	(61)
二、植株营养诊断的方法·····	(65)
三、其他诊断方法·····	(79)
思考题·····	(82)
第五章 肥料效应函数法·····	(85)
第一节 肥料的产量效应·····	(85)

一、肥料效应的一般概念·····	(85)
二、肥料效应的函数模式及性质·····	(89)
第二节 肥料产量效应的经济分析·····	(111)
一、肥料产量效应的阶段性·····	(111)
二、合理施肥的经济界限·····	(113)
三、肥料养分的经济最佳配比·····	(118)
四、有限量肥料的经济最佳分配·····	(122)
第三节 经济合理施肥量的确定·····	(125)
一、单元肥料效应经济合理施肥量的确定·····	(126)
二、多元肥料效应经济合理施肥量的确定·····	(129)
思考题·····	(132)

第三篇 施肥技术

第六章 常规施肥技术·····	(136)
第一节 施肥量·····	(136)
第二节 施肥时期·····	(136)
一、基肥·····	(137)
二、种肥·····	(137)
三、追肥·····	(138)
第三节 施肥方式·····	(139)
一、土壤施肥·····	(139)
二、植株施肥·····	(141)
第四节 其他施肥方式·····	(143)
一、灌溉施肥·····	(143)
二、免耕施肥·····	(143)
三、机械化施肥与自动化施肥·····	(144)
四、飞机施肥·····	(144)
五、精准施肥·····	(145)
思考题·····	(146)
第七章 轮作施肥技术·····	(148)
第一节 作物轮作类型及肥力特性·····	(148)
一、一般轮作类型·····	(148)
二、不同轮作类型下土壤理化性状变化·····	(148)

三、轮作制下茬口土壤肥力特性	(150)
四、轮作制下作物养分归还特性	(151)
第二节 轮作制度下肥料的分配原则	(152)
一、一般分配原则	(152)
二、不同轮作制度下的肥料分配原则	(154)
第三节 轮作制度下施肥计划的制定	(154)
一、调查研究,收集有关资料	(155)
二、估算轮作周期内作物对养分需要总量	(155)
三、估算轮作周期内土壤供给的养分总量	(156)
四、估算轮作周期中实现养分平衡时补给养分量	(156)
五、轮作周期内各作物施肥技术制订	(156)
六、轮作制度下施肥技术的效果评价	(157)
思考题	(157)
第八章 保护地施肥技术	(159)
第一节 保护地类型及施肥概况	(159)
一、保护地主要类型	(159)
二、保护地施肥概况	(160)
第二节 保护地的土壤肥力和生态环境特性	(160)
一、土壤养分含量高	(160)
二、具有良好的土壤结构	(161)
三、土壤微生物变化较大	(162)
四、土壤温度、湿度比较稳定	(163)
五、土壤气体异常	(163)
六、土壤障碍因子危害严重	(164)
第三节 保护地施肥技术	(165)
一、保护地作物的需肥特点	(165)
二、保护地蔬菜养分吸收量	(166)
三、保护地施肥技术	(167)
思考题	(170)
第九章 计算机施肥专家系统的建立与应用	(172)
第一节 专家系统的概念及设计原则	(172)
一、农业专家系统与施肥专家系统的概念	(172)
二、专家系统的特点及类型	(173)

三、专家系统的基本要求与设计原则	(174)
四、专家系统的结构	(175)
五、施肥专家系统的知识表达	(177)
六、智能推理与决策推理	(177)
七、决策流程分析	(177)
第二节 施肥专家系统的建立及应用	(179)
一、作物养分平衡施肥决策系统	(179)
二、专家系统的开发	(181)
思考题	(181)
第十章 农化服务与施肥	(183)
第一节 农化服务体系的建立	(183)
一、农化服务的形成与发展	(183)
二、农化服务的组织形式	(183)
第二节 农化服务机构的运作	(184)
一、土壤和植株分析是农化服务的基础	(184)
二、研究肥料配方是农化服务的关键	(185)
三、复混肥是农化服务的物质载体	(185)
四、农民是农化服务的对象	(187)
第三节 农化服务体系的模式	(188)
一、常见的农化服务模式	(188)
二、土壤测试实验室的农化服务模式	(189)
思考题	(191)

第四篇 作物营养与施肥

第十一章 大田作物营养与施肥	(194)
第一节 水稻营养与施肥	(194)
一、水稻需肥特性	(194)
二、水稻施肥技术	(196)
第二节 冬小麦营养与施肥	(199)
一、冬小麦的营养特性	(199)
二、冬小麦施肥技术	(205)
第三节 玉米营养与施肥	(209)
一、玉米需肥特性	(209)

二、玉米施肥技术	(212)
第四节 薯类营养与施肥	(214)
一、马铃薯营养与施肥	(214)
二、甘薯营养与施肥	(217)
第五节 棉花营养与施肥	(221)
一、棉花的需肥特性	(221)
二、棉花的施肥技术	(224)
第六节 烟草营养与施肥	(229)
一、烟草的营养特性	(229)
二、烟草的施肥技术	(233)
第七节 花生营养与施肥	(235)
一、花生的需肥特性	(235)
二、花生施肥技术	(239)
第八节 油菜营养与施肥	(240)
一、油菜的需肥特性	(240)
二、油菜施肥技术	(241)
第九节 大豆营养与施肥	(243)
一、大豆的需肥特性	(243)
二、大豆施肥技术	(245)
思考题	(246)
第十二章 蔬菜营养与施肥	(253)
第一节 蔬菜的营养特性	(253)
一、蔬菜作物根系吸收养分能力强	(253)
二、蔬菜作物需肥量大	(254)
三、蔬菜作物喜硝态氮	(255)
四、蔬菜作物需钙、硼、钼较多	(255)
第二节 蔬菜的施肥技术	(256)
一、蔬菜常规施肥技术	(256)
二、无公害蔬菜的施肥技术	(259)
三、各类大田蔬菜施肥技术	(260)
思考题	(267)
第十三章 果树营养与施肥	(269)
第一节 果树营养特性	(269)
一、营养元素在果树中的作用	(269)

二、果树的营养特点	(274)
第二节 果树施肥技术	(275)
一、施肥量的确定	(275)
二、施肥期的确定	(277)
三、现代果园施肥新技术	(278)
四、常见果树的施肥技术	(279)
思考题	(282)
第十四章 草地与草坪施肥技术	(284)
第一节 草地的需肥特性与施肥	(284)
一、草地的需肥特性	(284)
二、草地施肥技术	(286)
第二节 草坪需肥特性与施肥	(287)
一、草坪需肥特性	(287)
二、草坪施肥技术	(288)
思考题	(289)

绪 论

作物生产是生态系统中的第一性生产，肥料是作物的粮食，因此肥料的施用合理与否不仅关系作物产量与品质能否得到提高与改善，也关系到生态系统中物质循环和能量流动能否正常进行，最终影响生态平衡。

施肥(fertilization)作为农业增产措施之一已有数千年的历史。然而，施肥科学理论体系的形成，以及在这一理论体系指导下的科学实践仅有 160 多年的历史。

一、施肥科学的发展概况

(一)古代施肥实践

施肥的历史最早要数中国了。中国古代称肥料为粪，施肥则称为粪田，早在春秋战国时期就已经重视并强调大量施用肥料，用粪来给土壤施肥，并形成了土壤培肥的观点。在漫长的施肥实践中，人们在肥料的积制、施肥技术等方面积累了诸多极其宝贵的经验，形成了一些朴素的认识，对古代农业发展起到了重要的作用。

在肥料的种类上经历了几次重要的发展，据文字记载，春秋战国时期人们最早是利用腐烂的杂草肥田，汉代已发展到用蚕屎和人粪作肥料，魏晋以后开始了绿肥的种植和厩肥的施用，并发展了饼肥发酵方法、火粪的烧制方法等，表明生产中应用的肥料种类进一步增加。至元朝，使用的粪肥已扩大到大粪、踏粪、火粪、泥粪、苗粪、草粪等多种。

按作物不同生育期施肥，施肥环节区分为基肥和追肥的在《汜胜之书》中已有记载，不论哪种作物都强调施足基肥，然后再看情况补施追肥，关于基肥和种肥的作用早在唐朝的《四时纂要》已有记载。

唐宋以后，随着长江流域水稻的发展，肥料施用方面的经验更加丰富，并逐渐形成了施肥理论。南宋陈敷的《农书》中把施肥比作“粪药”，说用粪犹如用药，强调施肥的重要性。元朝王祜还提出了土壤不是越种越瘠，而是可以常新壮的原则，形成了“地力常新壮”的土壤培肥理论，揭示了肥料的作用与效果。在应变施肥方面，清朝杨岫还提出“时宜”、“土宜”和“物宜”的“三宜”原则，就是因时制宜、因地制宜、因物制宜，做到天尽其时、地尽其利、物尽其用，以获得最佳的生产效益。

需要强调的是：中国古代农业生产所用的肥料主要是有机肥料，施肥的特点是用地与养地相结合，从而保证了农业生态系统的平衡，粮食产量几千年来不断提

高。不难看出,我国在施肥方面积累了丰富的经验,在施肥的理论和实践上都具有独特的创造,为施肥科学理论体系的形成奠定了基础。

在欧洲,直到 11 世纪,法国和德国才开始施肥,英国到 13 世纪农田施肥还很不普遍。所以就这门科学发展历史来看,当时我国劳动人民创造最多、贡献最大、处于领先地位。

(二)近代施肥科学的发展

1. 施肥科学理论的形成与发展 19 世纪中叶,以德国化学家李比希(J. V. Liebig, 1803—1873 年)为代表的农业化学学派,从化学的观点来研究土壤和植物营养,在前人研究成果的基础上,结合自己的研究,于 1840 年在《化学在农业和植物生理学上应用》中创立了“植物矿质营养学说”(theory of plant mineral nutrition),强调了植物中矿质营养的作用,揭示了植物营养的本质;紧接着提出了“养分归还学说”(theory of nutrition returns),其核心内容是栽培作物要施肥,使土壤的养分损耗和归还之间保持一定的平衡。上述两个学说的问世促进了巨大的化肥工业兴起,开辟了全世界农田施用化肥的历史。在西方大量施用化肥后,出现施肥增产幅度降低的现象,对此李比希又提出了“最小养分律”(law of the minimum nutrition)。这一学说告诫我们栽培作物不仅要施肥,而且要注意及时分析限制产量的最小养分,只有准确的补给最小养分,产量才能继续提高。以上 3 个学说的建立,在发展植物营养与指导施肥中起到了十分积极的作用,奠定了施肥科学的理论基础。后人在应用上述学说的基础上不断探索,“报酬递减律”(law of diminishing returns)、“米氏学说”(Mitscherlich's law)和“因子综合作用律”(integrated factor law)等原理的形成进一步丰富和发展了施肥科学理论。

2. 我国施肥科学的发展

(1)解放前化肥施用简况。我国于 1901 年开始施用化肥,迄今已有近百年历史,解放前施肥历史大致可分为 3 个阶段。

第一阶段从 1901—1910 年属于引进阶段。1901 年,台湾省首先由日本进口化肥,施于甘蔗上;1905 年我国大陆开始从西欧进口化肥,主要应用于沿海诸省的水稻、蔬菜和柑橘上;1910 年,保定直隶农事试验场开始了肥效试验,其结论是氮肥有效,而磷、钾肥无效。

第二阶段从 1909—1936 年属于肥效探索阶段。北京农事试验场曾设计了 8 个施肥处理(无肥、无氮、无磷、无钾、施氮、施磷、施钾和施氮磷钾)的肥效试验,同时吉林公主岭农事试验场,广东、上海、苏州、杭州等地也都在多种作物上开展了肥效、施用量和对土壤影响试验。

第三阶段从 1936—1949 年属于肥效及技术研究阶段。张乃凤在 1936—1940