



面向 21 世纪课程教材
Textbook Series for 21st Century
普通高等学校精品课程建设教材

(第 2 版)

作物施肥原理与技术

zuo wu shi fei yuan li yu ji shu

主 编 谭金芳
副主编 张自立 邱慧珍
 韩燕来 赵 鹏



中国农业大学出版社

ZHONGGUONONGYEDAXUE CHUBANSHE



面向 21 世纪课程教材

Textbook Series for 21st Century

普通高等学校精品课程建设教材

作物施肥原理与技术

(第 2 版)

主编 谭金芳

副主编 张自立 邱慧珍 韩燕来 赵 鹏

昆明理工大学图书馆
呈 贡 校 区
中 文 藏 书 章



03002110954

中国农业大学出版社

· 北京 · 共同负责服务三农 支撑国家粮食安全

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计划”的研究成果,是面向 21 世纪课程教材。

作物施肥原理与技术是教育部新颁布的“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 4 篇 13 章,分别阐述了施肥的基本原理;施肥的基本原则与依据;养分平衡法;土壤肥力指标法;肥料效应函数法;营养诊断法;施肥技术的组成要素;轮作制度下施肥技术;信息技术在施肥中的应用;农化服务与施肥;大田作物营养与施肥;园艺作物营养与施肥;其他作物营养与施肥。本书可作为高等农业院校农业资源与环境本科专业的教材,也可供农业资源与环境科技及管理人员使用。

图书在版编目(CIP)数据

作物施肥原理与技术/谭金芳主编. —2 版. —北京:中国农业大学出版社,2011. 6
ISBN 978-7-5655-0221-7

I. ①作… II. ①谭… III. ①作物-施肥-高等学校-教材 IV. ①S147. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 022192 号

书 名 作物施肥原理与技术(第 2 版)

作 者 谭金芳 主编

策划编辑 孙 勇

责任编辑 李秉真

封面设计 郑 川

责任校对 王晓凤 陈 莹

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 100193

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 cbsszs @ cau.edu.cn

经 销 新华书店

印 刷 北京时代华都印刷有限公司

版 次 2011 年 6 月第 2 版 2011 年 6 月第 1 次印刷

规 格 787×1 092 16 开本 24.75 印张 602 千字

定 价 42.00 元

图书如有质量问题本社发行部负责调换

《作物施肥原理与技术》编委会成员

- 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)
- 韩燕来 (河南农业大学)
- 赵 鹏 (河南农业大学)
- 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)
- 马红梅 (山西农业大学)
- 史衍玺 (青岛农业大学)
- 刘建玲 (河北农业大学)
- 孙 权 (宁夏大学)
- 何淑平 (黑龙江八一农垦大学)
- 张自立 (安徽农业大学)
- 李永胜 (仲凯农业大学)
- 邱慧珍 (甘肃农业大学)
- 罗建新 (湖南农业大学)
- 赵 鹏 (河南农业大学)
- 索全义 (内蒙古农业大学)
- 隋方功 (青岛农业大学)
- 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)

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、肥料特性和生态条件与耕作栽培措施等因素的基础上,以培肥地力、增加作物产量、改善农产品品质、提高经济效益与保护生态环境多目标相统一为目标,将肥料以适宜的用量与比例,在适宜的时间以适宜的方式方法施于土壤或植株中的一项农业技术措施。

肥料是农业生产各种物资投入中所占份额最大的农业资源,是取得作物优质高产的物质基础和实现农田可持续利用的基本保证。肥料不合理施用,不仅影响农产品产量和品质,还将造成耕地地力下降、资源浪费和环境污染等一系列问题。

我国人地矛盾极为突出。保证国家粮食安全,提高耕地产出率和农田可持续利用能力,最大限度减少施肥对环境的不良影响是国家的战略需求,而最大限度提高肥料利用效率,最大限度减少肥料损失则是农业生产对施肥技术的具体要求。科学施肥不仅要认识上述需求,而且应当清楚地了解以下三个问题。

一是我国的基本国情:(1)耕地资源紧缺,耕地质量低。2006年10月耕地减少为1.22亿 hm^2 (18.27亿亩),接近1.2亿 hm^2 (18亿亩)红线,人均0.09 hm^2 (1.39亩),为世界平均水平的42%,印度的62%,美国的15.7%。(2)肥料生产资源——能源和磷钾矿产资源紧缺。人均煤炭、石油、天然气资源分别为世界平均水平的60%、10%和5%,50%的石油靠进口,而世界石油资源仅可支撑40~50年。氮肥生产每年消耗能源折合6545万t标准煤,约合230亿元,可利用高品位的磷矿储量只能满足国内10年左右磷肥生产的需求,钾矿的工业储量仅为1.47亿t(以KCl计),80%以上生产所需的钾肥靠进口。(3)2007年开始的世界范围的能源和矿产资源价格暴涨冲击肥料市场,影响了肥料的正常供应和农民施肥的积极性。

二是我国施肥现状:我国以占世界9%的耕地,用去了世界32%(2005年)的化肥,单位面积施肥量是世界平均水平的3.7倍,氮肥当季回收率30%~35%,低于发达国家20个百分点;每千克养分所增产的粮食不及世界的1/2、美国的1/3,每年我国农田氮素损失高达1300万t,折合人民币约500亿元,若将氮肥利用率由30%提高到40%,可减施1/4氮肥;有机废弃物每年48.8亿t,含氮、磷、钾养分5316万t(其中N2176万t, P_2O_5 870万t, K_2O 2270万t),若将有机肥资源还田比例由34%提高到60%,相当于增施1380万t养分。

三是我国土壤现状:环境恶劣或肥力低下、难于被农林牧业利用的土壤面积占总面积的1/4,耕地土壤有机质含量低于1%的面积达26%,耕地中具有各种障碍因素的面积较大。盐碱化占4.24%,土壤侵蚀占38.7%,耕层浅薄占26.2%,渍涝占6.66%,干旱缺水占36.3%,水土流失面积367万 km^2 ,中度以上侵蚀面积占到50%以上(2002年),荒漠化面积267.4万 km^2 ,发展速度有递增趋势,酸雨面积已占国土总面积的40%以上,比20世纪80年代增加了1倍。多年复种指数平均160%左右,形成了我国特有的化肥高量投入、农田高强度利用的高度集约化生产体系,合理的轮作体系难以实行,大豆、棉花等多年连续种植引发土传病害,形成连作障碍,高经济价值作物和保护地栽培更为严重,经营规模小而分散影响科学技术的推广应用。

解决这些问题需要先进的施肥理论与技术作指导。《作物施肥原理与技术》出版后,受到

了使用者的普遍好评。河南农业大学利用该书开设的课程被评为国家精品课程。2008年12月在河南农业大学召开的本教材研讨会上,大家一致认为,最近几年,信息技术、生物技术和工程技术的发展,对施肥原理与技术产生了深刻影响,围绕作物高产、优质、高效和生态安全的作物营养新理论、施肥新技术与新方法和新型肥料品种不断涌现,这就必须尽快将这些新知识、新理论与新技术传授给学生。因此,迫切需要对原教材进行修订、补充和完善,编写《作物施肥原理与技术》(第2版)的计划由此而出。

作者力求该教材施肥理论简明扼要,施肥技术与方法先进实用,内容优化、知识连贯并注重案例分析,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,启迪创造性思维,提高学生素质的教科书。

全书共分4篇13章,由13所高校长期从事作物施肥原理与技术教学与研究的同志编写。分工如下:前言与绪论(谭金芳),第一篇 施肥理论,第一章 施肥的基本原理(邱慧珍),第二章 施肥的基本原则与依据,第一节 施肥的基本原则(卜玉山、马红梅),第二节 施肥的基本依据(李永胜),第二篇 施肥量的确定方法,第三章 养分平衡法(史衍玺、马玉增),第四章 土壤肥力指标法(孙权),第五章 肥料效应函数法(刘建玲),第六章 营养诊断法(翟丙年),第三篇 施肥技术,第七章 施肥技术的组成要素(索全义),第八章 轮作制度下施肥技术(赵鹏),第九章 信息技术在施肥中的应用,第一节 计算机施肥专家系统的建立与应用(隋方功),第二节 3S技术在区域养分资源管理中的应用(李永胜),第十章 农化服务与施肥(张自立),第四篇 作物营养与施肥,第十一章 大田作物营养与施肥,第一节 水稻营养与施肥(罗建新),第二节 小麦营养与施肥(韩燕来),第三节 玉米营养与施肥(索全义),第四节 大豆营养与施肥(史衍玺、马玉增),第五节 薯类营养与施肥(索全义),第六节 棉花营养与施肥(韩燕来、马红梅),第七节 烟草营养与施肥(韩燕来、马红梅),第八节 麻类作物营养与施肥(赵鹏),第九节 油菜营养与施肥(罗建新),第十二章 园艺作物营养与施肥,第一节 蔬菜营养与施肥(马红梅),第二节 果树营养与施肥,一、果树营养特性(翟丙年),二、果树施肥技术(翟丙年),三、常见果树的施肥技术(李永胜),第三节 花卉营养与施肥(何淑平),第四节 食用菌营养与施肥(赵鹏),第十三章 其他作物营养与施肥,第一节 草地的需肥特性与施肥(索全义),第二节 草坪需肥特性与施肥,第三节 药用植物营养与施肥,第四节 林木营养与施肥(何淑平),第五节 茶树营养与施肥(赵鹏),附录 测土配方施肥技术规程(张自立)。教材初稿完成后,韩燕来、赵鹏分别对书稿进行了统审,在部分编写人员修改的基础上,谭金芳、韩燕来和赵鹏对全书进行了统稿。

本书的编写得到了河南农业大学牛庆义同志的帮助与大力支持,中国农业大学出版社对本书的出版付出了辛勤的劳动,对此表示深深的谢意!

为了编好这本书,编者以多年来的讲课内容为主,又收集和精编了国内外大量的最新成果,参编人员慎重取材、反复讨论,认真推敲、达成共识: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,形成了一本较为全面系统、理论联系实际、总论与各论布局合理、适应全国农业院校农业资源与环境专业的学生学习之用、值得珍藏的教科书。本书引用了大量国内外重要文献资料,限于篇幅,有些列出,有些未能列出,在此一并表示感谢!

因编者学识和占有资料有限,书中错误和不妥之处在所难免,真挚地希望同仁们能不吝赐教。

编者

2010年8月于郑州

目 录

绪论	1
一、施肥科学的发展概况	1
二、施肥的效应	4
三、施肥科学的体系、研究内容和研究方法	7
第一篇 施肥理论	
第一章 施肥的基本原理	13
第一节 养分归还学说	13
一、养分归还学说的基本内容	13
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	17
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	20
三、米氏学说的发展	20
第四节 因子综合作用律	21
一、综合因子的分类	21
二、因子综合作用律的基本内容	21
三、因子综合作用律的内涵与作用	21
思考题	23
第二章 施肥的基本原则与依据	24
第一节 施肥的基本原则	24
一、培肥地力的可持续原则	24
二、协调营养平衡原则	26
三、增加产量与改善品质相统一原则	27
四、提高肥料利用率原则	28
五、环境友好原则	29
第二节 施肥的基本依据	31
一、作物的营养特性与施肥	31
二、土壤性状与施肥	32

三、肥料性质与施肥	33
四、气候条件与施肥	34
五、耕作栽培措施与施肥	35
思考题	36

第二篇 施肥量的确定方法

第三章 养分平衡法	39
第一节 地力差减法	39
一、几个参数的确定	39
二、肥料用量的计算	45
第二节 土壤有效养分校正系数法	46
一、土壤有效养分校正系数的概念	46
二、土壤有效养分校正系数的测定步骤	47
三、土壤有效养分校正系数在养分平衡施肥中的应用实例	49
思考题	50
第四章 土壤肥力指标法	51
第一节 确定土壤有效养分测试方法的相关研究	51
一、相关研究的概念	51
二、相关研究的主要内容	51
第二节 确定土壤肥力指标的校验研究	54
一、确定土壤肥力指标的步骤	55
二、确定土壤肥力指标的实例	56
思考题	61
第五章 肥料效应函数法	62
第一节 肥料的产量效应	62
一、肥料效应的一般概念	62
二、肥料效应的函数模式及性质	64
第二节 肥料效应试验设计及方程配置	79
一、试验设计	79
二、肥料效应方程的配置	80
第三节 肥料产量效应的经济分析	86
一、肥料产量效应及其阶段性	86
二、合理施肥的经济界限	87
三、肥料养分的经济最佳配比	91
四、有限量肥料的经济最佳分配	93
第四节 经济合理施肥量的确定	95
一、经济合理施肥量的确定	96

二、区域性经济合理施肥量的确定	101
思考题	103
第六章 营养诊断法	104
第一节 营养诊断的依据	104
一、土壤营养诊断的依据	104
二、植株营养诊断的依据	105
第二节 营养诊断的方法	110
一、土壤营养诊断的方法	110
二、植株营养诊断的方法	113
第三节 营养诊断指标的建立	119
一、土壤营养诊断指标的建立	119
二、植物营养诊断指标的建立	121
思考题	126
第三篇 施肥技术	
第七章 施肥技术的组成要素	129
第一节 施肥量和施肥时期	129
一、施肥量	129
二、施肥时期	129
第二节 施肥方式	133
一、土壤施肥	133
二、植株施肥	135
第三节 新型施肥方式	138
一、灌溉施肥	138
二、免耕施肥	140
三、机械化施肥与自动化施肥	140
四、飞机施肥	142
五、精准施肥	143
思考题	143
第八章 轮作制度下施肥技术	144
第一节 作物轮作类型及其肥力特性	144
一、一般轮作类型	144
二、不同轮作制下土壤理化性状变化	144
三、轮作制下茬口土壤肥力特性	146
四、轮作制下养分归还特性	147
第二节 轮作制度下肥料的分配原则	147
一、一般分配原则	147

101	二、不同轮作制度下的肥料分配原则	149
80	第三节 轮作制度下施肥计划的制订	149
101	一、调查、收集有关资料,分析研究	149
101	二、估算轮作周期内作物对养分需要总量	150
101	三、估算轮作周期内土壤供给的养分总量	150
801	四、估算轮作周期中养分平衡时养分补给量	151
011	五、轮作周期内各作物施肥技术方案	151
011	六、轮作制度下施肥技术的效果评价	151
811	思考题	151
	第九章 信息技术在施肥中的应用	152
01	第一节 计算机施肥专家系统的建立与应用	152
181	一、专家系统的概念及设计原则	152
881	二、施肥专家系统的建立及应用	157
	第二节 3S 技术在区域养分资源管理中的应用	159
	一、养分资源管理的概念和含义	159
051	二、3S 技术在区域养分资源管理中的应用	160
951	三、基于 GIS 技术的区域养分资源管理的步骤	164
051	思考题	165
	第十章 农化服务与施肥	166
88	第一节 农化服务体系的建立	166
881	一、农化服务的形成与发展	166
781	二、农化服务的组织形式	166
88	第二节 农化服务机构的运作	167
881	一、土壤和植株分析是农化服务的基础	167
091	二、肥料配方是农化服务的关键	167
041	三、复混肥是农化服务的物质载体	168
181	四、农民是农化服务的对象	169
38	第三节 农化服务体系的结构模式	170
841	一、常见的农化服务模式	170
941	二、土壤测试实验室的农化服务模式	170
141	思考题	173
	第四篇 作物营养与施肥	
	第十一章 大田作物营养与施肥	177
1	第一节 水稻营养与施肥	177
1M	一、水稻需肥特性	178
1M	二、水稻施肥技术	179

思考题	182
第二节 小麦营养与施肥	182
一、小麦的营养特性	183
二、小麦施肥技术	187
思考题	189
第三节 玉米营养与施肥	190
一、玉米需肥特性	190
二、玉米施肥技术	193
思考题	198
第四节 大豆营养与施肥	198
一、大豆需肥特性	198
二、大豆施肥技术	200
思考题	201
第五节 薯类营养与施肥	201
一、马铃薯营养与施肥	201
二、甘薯营养与施肥	206
思考题	210
第六节 棉花营养与施肥	210
一、棉花的营养特性	211
二、棉花的施肥技术	213
思考题	217
第七节 烟草营养与施肥	217
一、烟草的营养特性	217
二、烟草的施肥技术	221
思考题	222
第八节 麻类作物营养与施肥	223
一、苧麻的营养与施肥	223
二、黄麻营养特性与施肥	229
三、红麻营养特性与施肥	231
四、亚麻营养特性与施肥	233
思考题	236
第九节 油菜营养与施肥	236
一、油菜的需肥特性	237
二、油菜营养与生长发育和产量的关系	238
三、油菜施肥技术	239
思考题	241

第十二章 园艺作物营养与施肥	242
第一节 蔬菜营养与施肥	242
一、蔬菜的营养特性	242
二、蔬菜的施肥技术	245
三、无公害蔬菜施肥技术	253
四、保护地蔬菜的营养与施肥	260
五、主要蔬菜的需肥特性和施肥技术	268
思考题.....	277
第二节 果树营养与施肥	277
一、果树营养特性	277
二、果树施肥技术	282
三、常见果树的施肥技术	285
思考题.....	288
第三节 花卉营养与施肥	288
一、营养元素在花卉中的作用	289
二、花卉的营养特点	292
三、花卉常规施肥技术	293
四、木本类花卉施肥技术	296
五、草本花卉施肥技术	300
六、水生类花卉施肥技术	302
思考题.....	303
第四节 食用菌的营养与施肥	303
一、食用菌的营养需要	303
二、氮素的利用及其代谢	304
三、平菇对营养的要求及培养料配制	305
四、蘑菇对营养的要求及培养料配制	305
五、金针菇的营养及培养料配方	308
六、香菇的营养及培养料配方	309
思考题.....	309
第十三章 其他作物营养与施肥	310
第一节 草地的需肥特性与施肥	310
一、草地的需肥特性	310
二、草地施肥技术	313
第二节 草坪需肥特性与施肥	314
一、草坪需肥特性及施肥特点	314
二、草坪施肥效应	316
三、草坪施肥技术	317

思考题·····	321
第三节 药用植物营养与施肥·····	321
一、药用植物营养特性·····	321
二、药用植物施肥技术·····	323
三、根茎类药用植物的施肥技术·····	324
四、花类药用植物营养特点与施肥技术·····	330
五、果实、种子类药用植物营养特点与施肥技术·····	332
六、全草类药用植物营养特点与施肥技术·····	333
七、皮类药用植物营养特点与施肥技术(以杜仲为例)·····	334
思考题·····	335
第四节 林木营养与施肥·····	335
一、林木营养特性·····	335
二、林木施肥技术·····	338
三、常见林木的施肥技术·····	340
思考题·····	348
第五节 茶树营养与施肥·····	348
一、茶树的营养·····	348
二、茶树施肥技术·····	357
附录 测土配方施肥技术规范(节选)·····	362
参考文献·····	375

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

我国施肥历史最为久远,古代称肥料为粪,施肥则称为粪田。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宝贵经验,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,汉代已发展到用蚕矢和人类做肥料,魏晋以后开始了绿肥的种植,厩肥的积制与施用,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。关于使用基肥和种肥的作用在唐朝的《四时纂要》一书中已有记载。

唐宋以后,随着长江流域水稻的发展,肥料施用经验更加丰富,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”,说用粪尤如用药,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,时至今日仍然是科学施肥的基本原则。

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,粮食产量几千年来逐步提高。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具有独特的创造,为施肥科学理论的形成奠定了基础。

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. von 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《化学在农业及生理上的应用》一书中创立了“植物矿质营养学说”(theory of plant mineral nutrition),阐明了氮、磷、钾、硫、钙、镁等为植物生长必需的矿质营养元素,强调了植物矿质营养的作用,揭示了植物营养的本质,这一学说成为植物营养与肥料学的理论基础;紧接着李比希提出了“养分归还学说”(theory of nutrition returns),其核心内容是作物生产从土壤中移走的养分必须归还,否则会造成地力逐渐下降,为了增加产量就应该向土壤施用肥料,使土壤的养分损耗和归还之间保持一定的平衡。这一学说成为养分循环和地方培育的理论基础。上述两个学说的问世促进了巨大的化肥工业的兴起,开辟了全世界农田开始施用化肥的历史。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,作物产量受土壤中相对含量最小的营养元素所限制,只有准确地补给最小养分,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)、“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的科学理论。

2. 我国施肥科学的发展

(1)新中国成立前化肥施用简况 我国于1901年开始施用化肥,迄今已有百年历史,新中国成立前施肥历史大致可分为3个阶段。第一阶段1901—1910年属于引进阶段。1901年,中国台湾省首先由日本进口化肥,施于甘蔗作物;1905年西欧化肥开始向我国大陆进口,但多用于沿海各省的水稻、蔬菜和柑橘;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1910—1936年属于肥效探讨阶段。北京农事试验场设计了8个处理(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1936—1949年属于肥效与施肥技术研究阶段。张乃凤在1936—1940年进行了第一次全国性化肥肥效试验。在1940—1949年,我国进行了第一个氯化铵长期定位试验,最后由陈尚谨和乔生辉完成,提出了有效的土壤、作物及相应的施肥方法与技术。

(2)新中国成立后施肥科学的发展 新中国成立后,化肥工业得到迅猛发展,化肥的增产效果也得到了充分的发挥,在投肥结构上大体经过了3个阶段,即20世纪60年代以前的有机肥与氮肥配合施用阶段,70~80年代有机肥与氮、磷肥配合施用阶段和80年代后有机肥与氮、磷、钾、微量元素肥料配合施用阶段。据估计,20世纪50年代到21世纪初,每隔10年化肥用量分别占肥料投入量的10%,20%,30%,40%,60%。也就是说,20世纪80年代后,化肥作为当家肥的局面基本形成,有机肥料的施用基本上每隔10年约下降10%。

在施肥技术与方法上,20世纪50年代主要研究氮肥的有效施用方法与技术。提出了不同氮肥品种的适宜土壤条件,主要农作物的需氮规律、适宜的施肥时期和施肥量,尤其是结合当时生产中使用较多的易挥发性碳酸氢铵、氨水等提出的深施覆土,球肥深施、压粒施肥技术,有效地减少了氨的挥发损失,提高肥效达20%~30%。此后,又进一步提出尿素深施技术等提高肥效的措施,并在实践中迅速得到推广和应用。

20世纪60年代,主要研究磷肥的有效施用方法和技术。明确了磷肥有效施用条件及土壤缺磷的诊断方法与指标,为施磷改良低产田,促进生物固氮等提供了科学依据与应用前景。同时,还针对各种磷肥的不同特点和土壤类型,提出了豆科绿肥“以磷增氮”,磷肥集中施用等

一套合理施用磷肥的技术措施。

20世纪70年代初,主要研究钾肥的有效施用方法与技术。开始了钾肥肥效试验,提出了钾肥有效的施用条件,为明确钾肥在增产、提高品质、增强作物抗病、抗逆能力等方面的作用提供了有力的试验依据。此外,有关微量元素肥料的肥效与有效施用条件等方面的研究也都先后得到可靠的试验数据。

20世纪80~90年代,主要研究与推广配方施肥。针对20世纪70年代末施肥中出现的“三重三轻”(即重化肥,轻有机肥;重氮肥,轻磷、钾、微肥;重追肥,轻基肥)现象,带来了氮肥农学效率(单位面积施氮量而获得的增产量)下降,农作物生理病害日益严重等问题,根据斯坦福(Stanford)定肥公式,结合国内情况,提出了“测报施肥”、“诊断施肥”、“氮、磷、钾合理配比”等技术,1983年农业部将各地采用的平衡施肥方法统一定名为“配方施肥”(prescription fertilization),该项技术被国家列为“九五”农业增产的十大措施之一,为我国复混肥的生产与推广提供了科学依据。

21世纪初,主要研究与推广测土配方施肥。2005年农业部开展了测土配方施肥秋季行动,首先在全国200个试点县,国家财政转移支付2亿元,其中每县100万元。测土施肥的主要内容是田间试验—土壤测试—配方设计—校正试验—配方加工—示范推广—宣传培训—效果评价—技术创新,至2009年已覆盖全国所有的县,取得了显著成效。

在化肥肥效研究上,我国自施用化肥以来,曾进行过3次有组织的、全国规模的化肥肥效试验。

第一次(1936—1940年)由前中央农业实验所组织,在14个省68个点上对7种土壤9种作物(小麦、水稻、油菜、棉花、玉米、谷子、甘薯、大麦和桑)进行了156个试验,1941年由张乃凤先生以《地力之测定》一文加以总结,基本查清了供试土壤需氮程度为80%,磷约为40%,钾仅为10%,得出了“无论在哪一省,氮素养分一般都极为缺乏;磷素养分仅在长江流域和长江以南表现缺乏;钾素在土壤中俱丰富”的科学论断。

第二次(1958—1962年)由农业部组织全国化肥试验网,由张乃凤先生负责设计和组织实施。全国化肥试验网有25个省、市、自治区的有关农业单位参加,在157个试验点上完成351个田间试验,作物从粮食扩大到油料、烟草、果树、蔬菜,研究并明确了农家肥的肥效,氮、磷、钾肥的增产幅度与增产地区,指出我国土壤普遍缺氮,仍然为作物生产的第一限制因素;磷肥增产效果在南方稻区已经十分明显,在北方也已经开始显效;而多数情况下钾肥增产不显著。

第三次(1981—1983年)由农业部作为化肥区划的研究任务下达,中国农业科学院土肥所主持,全国29个省、市、自治区的农业科学院土肥所参加,在18种作物上进行了5334个田间试验。结果发现,与20年前相比,氮肥效果在不同作物上有所下降,磷肥效果在南方水稻上有所下降,而在北方玉米和小麦上有所上升,钾肥效果在南方已趋于明显,在北方局部地区开始显效。明确了我国土壤对氮、磷、钾肥的需要程度和肥效,总结出了合理施肥技术,提出了提高氮、磷、钾化肥增产效益的措施,制定了我国化肥区划。

为了进一步弄清肥效,学习国外经验,国家发改委、农业部和科技部在全国不同的土壤类型上设置了土壤肥力演变与肥效野外观测站,国际植物营养研究所(IPNI)自1982年开始在我国开展土壤肥力与施肥的合作研究,到1999年,形成了全国性的土壤肥料协作网络,开展了主要作物氮、磷、钾肥效试验。农业部也从1980年开始,先后在全国23个省、市、自治区设置

了101个肥料长期定位试验。研究内容包括:有机肥与无机肥配合,氮、磷、钾配合以及种植制度中磷、钾肥的分配与后效等,并研究了施肥与土壤肥力、产品品质和不同施肥制度与养分平衡、循环等问题。

这些研究成果为分析我国化肥肥效的演变与发展,以及制订全国化肥的生产与分配计划,提供了极为有用的大量资料与科学依据。

3. 施肥科学研究与发展的方向

有限的耕地和沉重的人口压力,决定了今后相当长的时期内,仍然需要通过增加肥料用量来提高单位面积产量,实现总产量的增长,以满足人类对生存质量的需求。但化肥施用中仍存在很多问题,诸如,化肥投入数量仍然不足;地区分配不均衡;氮、磷、钾比例不协调和品种结构不够合理;肥料利用率下降;引起环境污染等。提高肥料利用率、协调高产与优质、施肥与环境关系的研究是未来施肥科学研究的中心内容。具体地讲,需要加强以下几方面研究:①经济作物、林木、草地及水产合理施肥的研究;②提高主要农作物产品品质、降低环境污染的化肥适宜用量及其配比的研究;③提高肥料利用率的方法与技术研究,如施肥与灌水等其他条件的耦合技术、3S(RS, GIS, GPS)技术在施肥中的应用、机械化与智能化施肥技术、新型肥料的开发与利用技术研究等;④植物营养遗传特性与育种技术相结合的研究,如利用不同植物对土壤养分的吸收利用特性的差异,筛选耐养分胁迫的植物品种,通过遗传工程实现对土壤养分高效利用的品种选育,从而节省肥料和减少环境污染。

二、施肥的效应

(一)合理施肥产生的良好效应

1. 施肥的增产效应

国内外无数个试验和生产实践证明,合理施用肥料能提高作物的产量,特别在中、低产田,增产效果十分明显。而随着单位面积施肥量的增加,增产效应有下降趋势。

据1958—1962年进行的第二次全国化肥肥效试验,每千克氮、磷、钾养分增产的粮食和棉花相对较高(表绪论-1)。

表绪论-1 氮、磷、钾化肥的肥效(1958—1962年)

作物	每千克养分增产千克数		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
水稻	15~20	8~12	2~4
小麦	10~15	5~10	多数试验不增产
玉米	20~30	5~10	2~4
棉花(子棉)	8~10	—	—
油菜子	5~6	5~8	—
薯类(薯块)	40~60	—	—

引自:中国农业科学院土肥所,土壤肥料科学研究,资料汇编第二号,1963。

1981—1983年第三次全国化肥试验网进行的化肥肥效研究,每千克氮、磷、钾养分增产粮食和棉花等相对较少(表绪论-2)。