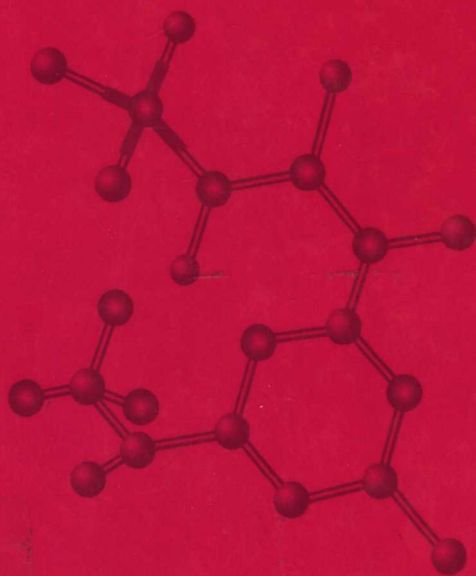


现代 化学肥料学

上海市农业科学院 奚振邦 编著



中国农业出版社

现代化学肥料学

上海市农业科学院 奚振邦 编著

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

现代化学肥料学/奚振邦编著. —北京: 中国农业出版社, 2003.6

ISBN 7-109-08299-7

I. 现... II. 奚... III. 化学肥料 IV. S143

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 026547 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)

(邮政编码 100026)

出版人: 傅玉祥

责任编辑 贺志清

中国农业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

2003 年 7 月第 1 版 2003 年 7 月北京第 1 次印刷

开本: 850mm×1168mm 1/32 印张: 17.75

字数: 450 千字 印数: 1~3 000 册

定价: 35.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

序

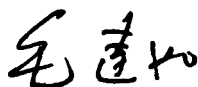
1840年德国李比希(J. V. Liebig)提出了“植物矿质营养”学说,奠定了世界化学肥料生产发展与应用的理论基础。1843年英国鲁茨和吉尔伯特(Lawes and Gilbert)首次用兽骨添加硫酸制成过磷酸钙后,取得世界第一个化肥专利,并在他们建立的世界第一个长期肥料试验站即英国洛桑试验站(Rothamsted)布置了田间磷肥肥效试验,一直延续159年之久。与此同时,李比希首次发现钾盐可作为一种化肥加以利用,1861年在德国斯塔斯富特(Stassfurt)建立了世界上第一座钾碱工厂,生产氯化钾(KCl)。随后在法国阿尔萨斯(Alsace)、美国卡尔斯巴德(Carsbad)、前苏联索里卡姆斯克(Соликамск)、加拿大萨斯喀斯温(Saskatchewan)等地先后发现巨大的钾盐矿床,推动了世界钾盐生产迅速发展。1908年哈伯(F. Haber)第一个获得专利,建立了合成氨实验室装置,1913年德国BASF公司正式建成了世界第一套年产30t氨的合成氨装置,为世界氮肥生产与发展奠定了基础。

近一个世纪以来,世界氮、磷、钾化肥在生产上的应用,推动了20世纪世界农业特别是谷物生产的发展。据FAO估计,化肥对农业生产的贡献率达40%。因此,化肥对世界农业的发展是无可置疑的事实。

1949年中华人民共和国成立后,党和政府特别重视发展化肥生产,增加谷物产量,发展农业生产,消除贫困和饥饿,取得了重大的成就。其中化肥的贡献是功不可没的。目前我国已是世界化肥生产、使用最多的国家之一。

《现代化学肥料科学》是上海农业科学院土壤肥料研究所奚振邦研究员编写的一部介绍现代农业生产中化肥生产、施用理论和技术的著作，也是他投身土壤农业化学事业 50 年，在化学肥料科学的科研、教学、生产、推广服务中长期试验和成果的总结。本书既继承了作者在 1994 年由科学出版社出版的《化学肥料学》一书中的理论与实用技术，同时又拓展了化肥与生态环境、化肥与土壤肥力、化肥与农产品质量，以及当代节水和设施农业中的喷（滴）灌溉施肥技术等内容。本书将会给读者增加了不少全新的视野。深信本书的出版为全面建设农村小康社会和推进农业现代化进程，在化学肥料科学的概念、理论、方法、技术等方面全方位、多视角地提供新的知识和新的技术服务。

中国农业大学植物营养学教授
中国植物营养与肥料学会副理事长



2003 年 3 月 25 日于北京

前 言

我国是当今世界上化肥使用量最多的国家。化肥在我国农业生产中发挥着无法替代的巨大作用。作者为有幸编写这本结合化肥生产、销售和使用的学术专著而深感欣慰。

本书的基础是1994年由科学出版社出版的《化学肥料学》。该书在农业、化工和农资系统有较广泛的影响，也是高等农业院校有关专业师生的较好参考书。10年来，随着化肥使用量的不断增长，我国在化肥科研、农化服务与平衡施肥等方面又跨进了一大步。为此，作者听从多位关注本书的师友建议，对本书内容作相应的修正扩展，增加了“化肥与水分”、“化肥与农产品质量”、“叶面肥料与灌水肥料”等章节，对化肥与生态环境、化肥与土壤肥力等人们关注的问题，也从不同角度作了较深入的阐述，并将书名改为《现代化学肥料学》。作者清醒地认识到，化肥及其边缘学科的迅速发展，信息量的迅速增大，作者个人是很难全面把握的。作者谨希望本书仍能保持其特色，以化肥的农业化学性质与合理施肥为主线，结合化肥产、销、使用的基本原理和个人的实践经验撰写，以对读者有所助益。

本书的成稿恰逢作者投身土壤农化事业50年（1952—2002年）。作者在生产、教学和科研部门的长期服务中，深切体会到化肥知识固然需要提高与创新，但更需要普及和实践。本书如能在这方面发挥一定的作用，作者将深感荣幸。

科学技术和生产方式的发展，将我们带入到一个全新的现代社会。化肥学科虽较“古老”，主要为农业服务，但同样在日新月异变化。有关化肥的无论新概念、新工艺，还是新品种和新技

术，都要求我们迅速了解、判断和应对。书籍作为传统的传媒，往往一出版即有落后之感，加之本书在内容和文字上还可能存在不少偏颇和错误，因此，作者衷心希望能得到广大读者和有关专家的批评指正。

本书的出版，得到中国农业出版社的大力支持，作者深表感谢！

作者崇敬的恩师，前中国农业大学校长，我国植物营养与肥料学科的权威学者毛达如教授为本书作序，使本书增光，作者深感荣幸并由衷感谢。

本书的编写出版还得到以下单位的资助和支持：

上海市农业科学院及其土壤肥料研究所；

上海市蔬菜领导小组办公室；

上海长征化工厂；

上海天源生物工程有限公司；

中国—阿拉伯化肥有限公司（秦皇岛市）；

芭田生态工程股份有限公司（深圳市）；

山东省沂水县烟草公司；

云南省文山县烟草公司；

贵州省湄潭县烟草公司。

本书的打印和光盘制作由许蔚文和励惠华同志完成。作者深切感谢上述有关单位和有关同志的支持。

奚振邦

2003年3月

目 录

序

前言

第一章 化肥在农业生产中的作用	1
一、化肥与现代农业的发展	2
二、全面认识化肥的作用	5
(一) 增加作物产量	5
(二) 提高土壤肥力	8
(三) 发挥良种潜力	15
(四) 补偿耕地不足	16
(五) 增加有机肥量	17
(六) 发展经济作物、森林和草原的物质基础	18
三、化肥在农业物质和能量循环中的作用	19
第二章 作物营养元素	26
一、作物必需的营养元素	26
二、营养元素的生理作用	31
(一) 氮	31
(二) 磷	39
(三) 钾	43
(四) 硫	48
(五) 钙	49
(六) 镁	49

(七) 微量营养元素	50
三、作物对养分的吸收	59
(一) 作物根系对养分的吸收	60
(二) 作物吸收养分的特性	65
第三章 氮素化肥	72
一、概述	72
二、化学氮肥的生产	74
三、主要氮肥品种	78
(一) 液氨	79
(二) 氨水	82
(三) 氨溶液	85
(四) 硫酸铵	87
(五) 氯化铵	91
(六) 碳酸氢铵	95
(七) 硝酸铵	103
(八) 硝酸钠	106
(九) 硝酸钙	107
(十) 尿素	108
(十一) 石灰氮	115
(十二) 缓释氮肥	117
四、氮肥增效助剂	128
(一) 硝化抑制剂	129
(二) 脲酶抑制剂	130
五、土壤的氮素供应	133
(一) 土壤的氮素含量	133
(二) 土壤氮素的形态	136
(三) 土壤氮素的转化	137
(四) 土壤的氮素供应	140

(五) 农田生态系统中的氮素	142
六、氮肥利用率	146
(一) 氮肥利用率及其影响因素	146
(二) 氮肥利用率的测定	148
七、氮肥的合理施用	156
(一) 氮肥的肥效	156
(二) 适量施氮	157
(三) 氮肥深施	159
(四) 氮肥配施	160
第四章 磷素化肥	163
一、化学磷肥的生产	163
二、主要磷肥品种	165
(一) 磷酸	167
(二) 普通过磷酸钙	169
(三) 重过磷酸钙	173
(四) 半过磷酸钙和富过磷酸钙	175
(五) 偏磷酸钙	177
(六) 沉淀磷酸钙	178
(七) 钙镁磷肥	179
(八) 钢渣磷肥	182
(九) 脱氟磷肥	183
(十) 骨粉	184
(十一) 磷矿粉	185
三、土壤的磷素供应	189
(一) 土壤的磷素含量	189
(二) 土壤磷素的形态	191
(三) 土壤磷素的转化	194
四、磷肥的合理施用	196

(一) 土壤肥力与磷肥施用	198
(二) 作物的需磷特性	201
(三) 磷肥品种与合理施用	202
(四) 磷肥与氮肥的配合施用	203
第五章 钾素化肥	206
一、钾肥的生产	207
二、主要钾肥品种	210
(一) 氯化钾	210
(二) 硫酸钾	212
(三) 碳酸钾	214
(四) 其他钾肥	214
(五) 草木灰	215
三、土壤的钾素供应	216
(一) 土壤的钾素含量	216
(二) 土壤钾素的形态	218
(三) 土壤钾素的转化	221
四、钾肥的合理施用	226
(一) 土壤的供钾能力	228
(二) 作物的需钾特性	230
(三) 钾肥施用水平	231
(四) 钾素与其他养分的交互作用	232
(五) 钾肥施用方法	236
第六章 复合肥料	239
一、复合肥料的发展	240
二、复合肥料的生产	243
三、复合肥料的商品质量	249
四、复合肥料的品种型号	252

(一) 磷酸铵	255
(二) 聚磷酸铵	259
(三) 偏磷酸铵	261
(四) 正磷酸铵系复肥	261
(五) 硝酸磷肥	262
(六) 磷酸二氢钾	265
(七) 硝酸钾	267
(八) 氮磷钾三元复合肥料	268
(九) 掺合肥料	273
(十) 流体复合肥料	277
五、专用复合肥料	282
六、专用复合肥料的配方设计	285
七、复合肥料的施用技术	301
八、复合肥料的肥效	304
第七章 硫、钙、镁及微量元素肥料	311
一、硫肥	311
(一) 土壤中的硫	311
(二) 含硫肥料	315
二、钙肥	318
(一) 土壤中的钙	319
(二) 含钙肥料	321
三、镁肥	323
(一) 土壤中的镁	323
(二) 含镁肥料	324
四、微量元素肥料	326
(一) 合理应用微量元素肥料	329
(二) 微量元素肥料及其施用	337

第八章 化肥的表现特性与理化性质	358
一、粒度	358
二、硬度	361
(一) 抗压强度	361
(二) 耐磨性	362
(三) 抗冲击强度	362
三、堆密度	363
四、表观比重	364
五、分离度	364
六、结块	367
七、临界相对湿度	373
八、吸水速率	376
九、盐指数	377
十、生理酸碱性	383
第九章 叶面肥料与灌水肥料	387
一、叶面肥料	387
(一) 化肥养分类型	390
(二) 氨基酸型	393
(三) 植物生长调节剂型	394
(四) 生物提取物类	395
二、灌水肥料	397
(一) 无土基质营养液	398
(二) 土壤栽培营养液	406
第十章 化肥与水分	409
一、化肥与作物对水分的利用	411
二、化肥与土壤有效水	418

第十一章 化肥与生态环境	425
一、化肥生产与生态环境	426
(一) 废气	426
(二) 废液	429
(三) 废渣	429
二、化肥施用与生态环境	431
(一) 化肥对大气的影响	431
(二) 化肥对水体的影响	434
(三) 化肥对土壤的影响	440
三、化肥与生态环境的宏观视角	446
第十二章 化肥与农产品质量	457
一、化肥养分对农作物产量和品质的影响	461
二、绿色食品、有机食品、功能食品与化肥	471
第十三章 化肥的包装、标识与储运	482
一、化肥的包装	483
(一) 塑料薄膜与编织布	483
(二) 麻袋布	485
(三) 牛皮纸	486
二、化肥商品的运输	487
三、化肥的储存	488
四、化肥商品的标识	490
第十四章 化肥施用技术	495
一、施肥技术概述	495
(一) 施肥量	497
(二) 施肥时期	508

(三) 施肥方法	513
(四) 施肥深度	516
二、施肥技术的发展	521
(一) 少耕或免耕下的施肥	522
(二) 灌溉条件下的施肥	523
(三) 农药肥料的施用	525
(四) 利用飞机施肥	526
三、精准农业与精确施肥	527
第十五章 有机肥料	531
一、有机肥料概述	531
二、主要有机肥料品种	535
三、有机肥的矿质化和腐殖化	543
四、有机肥的资源化和产业化	545

第一章 化肥在农业生产中的作用

世界农业生产发展的实践证明，充分和合理使用化学肥料，是促进作物增产，加速农业发展的一条行之有效的途径。

新中国成立以后，随着化学工业和农业生产的发展，化肥施用量与日俱增。从1949年的约0.6万t（养分，下同），发展至1983年的1660万t，增长2767倍。1996年继续增长至3829万t，占世界同期化肥消费量1.309亿t的29.3%，为1949年的6382倍。20世纪末，进一步增长至4146万t，为1949年的6900倍。化肥在我国农田养分总投入中的比重，从1949年的0.14%，逐步增加至1975年的19.3%。1980年超过有机养分，达到51.0%，1985年为55.2%，1990年后稳定在60%以上，2000年达到70%（表1-1）。与此同时，我国农作物的单产和

表 1-1 我国农田肥料投入量与结构演变
(1949—2000)

年份	化肥 (万 t)				有机肥 (万 t)				肥料结构		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	合计	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	合计	肥料 合计	化肥 (%)	有机肥 (%)
1949	0.6	—	—	0.6	163.7	82.8	196.7	443.2	443.8	0.1	99.9
1957	31.6	5.2	—	36.8	253.3	130.2	305.5	689.0	725.8	5.1	94.9
1965	120.6	55.1	0.3	176.0	301.2	153.3	343.9	789.4	974.4	18.1	81.9
1975	364.0	160.9	23.0	537.9	424.6	220.0	527.3	1171.9	1709.8	31.5	68.5
1980	943.3	287.0	39.2	1269.5	428.0	227.9	562.3	1218.2	2487.7	51.0	49.0
1985	1258.8	407.9	109.1	1775.8	511.8	271.4	659.2	1442.4	3218.2	55.2	44.8
1990	1740.9	646.8	202.6	2590.3	531.6	289.1	716.1	1536.8	4127.1	62.8	37.2
1995	2224.0	994.0	376.9	3594.0	611.0	330.0	760.0	1701.0	5295.0	66.9	33.1
2000	2574.0	966.0	606.0	4146.0	651.9	344.6	831.5	1828.0	5974.0	69.4	30.6

总产稳步增长, 尤其 1980 年化肥急剧增加, 化肥养分的比重超过有机肥养分后, 我国农业生产进入了大幅度增长阶段。在化肥数量增长的同时, 化肥品种也日益增多, 施肥方法不断改进, 丰富了科学种田的内容。现将化肥在现代农业生产中的作用分述如下:

一、化肥与现代农业的发展

现代农业的主要特点是农业劳动生产率的极大提高, 一个农业劳动力生产的农产品, 可以满足几十个人的需求。人们通常认为, 这都是使用了农业机械的结果。其实, 大量使用化肥也发挥了重要作用。使用农业机械, 固然使每个人能耕种更多的土地, 大大提高劳动生产率, 但要在单位面积耕地上收获更多的农产品, 最迅捷的办法就是增加化肥施用量。机械和化肥是工业支援农业的两大支柱, 只有把两者结合起来, 才能极大地提高劳动生产率。

生产和使用化肥, 是农业生产和科学实践发展到一定阶段的必然产物。不同历史阶段的农业生产, 有不同的主要肥源, 不同历史阶段肥源的这种发展过程, 大致如图 1-1 所示。

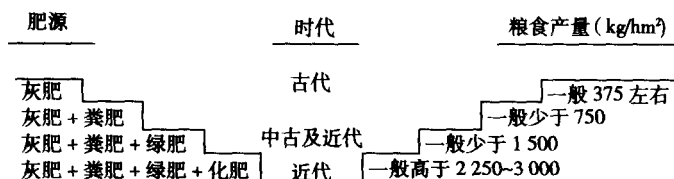


图 1-1 农业生产中肥源发展阶段

可见, 肥源发展的每一个阶段都以增加一种新肥源为特征, 并且不断丰富了施肥内容和促进了农业生产。刀耕火种时代, 人们把要播种的土地上的植物烧成灰肥, 这是最早的, 也是最原始的肥