

化学肥料学

奚振邦 编著

科学出版社

化 学 肥 料 学

奚振邦 编著

科 学 出 版 社

1 9 9 4

(京)新登字 092 号

内 容 简 介

本书比较全面系统地阐述每一种类化肥的生产知识,化学性质,农业化学特点及其调节,合理施用技术和方法。详尽地介绍了化肥的商品特性,理化性质,流通中的贮藏、运输与管理,化肥的产品标准与检验,化肥的销售与农化服务。对有代表性的长效肥料品种、复合肥料及其配方设计等阐述详尽而自成体系。书中还具体客观地从化肥生产与施用两个过程论述了化肥对农业生态环境的影响。

本书信息量大,知识面广,实用性强,读者面宽。

读者对象:从事化肥生产、流通与应用的化工、农资与农技推广部门的专业人员,农业院校师生以及农业科研工作者和农村专业推广人员等。

化 学 肥 料 学

奚振邦 编著

责任编辑 陈培林

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

北京市东华印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1994年11月第 一 版 开本:850×1168 1/32

1994年11月第一次印刷 印张:14 3/4 插页:2

印数:1—1 500 字数:387 000

ISBN 7-03-004286-7/S·137

定价:20.50元

前 言

《化学肥料学》一书的编著，最初（1985年在上海）得到李庆远先生的支持和鼓励；以后又承蒙周鸣铮先生和不少同仁、学友的支持，断断续续用了六年时间，才得以完成初稿，终于能在祖国改革开放、一派昌盛的大好形势下奉献给读者。

书籍通常是跟在生产实践和科学实验的发展之后撰写的。在如此浩瀚和快速增长的信息面前，以一己之条件与力量，是很难及时、全面、客观地反映化学肥料学科的最新发展的。也许本书值得一读的是书中的若干基本原理和作者的某些学术见解及实践经验。另一方面，科学的发展、学科间的交叉、新概念和新技术对传统学科的渗透，也使作者难以充分和确切地将化学肥料学科作更深刻的阐述。至于本书在内容、体例和文字上的偏颇，更在所难免。所有这些，作者只能期待本书能有机会再版，以弥补其疏漏之处。

本书引用了不少国内有关化学肥料的专著、手册和发表的文献资料，作者深为感谢；如欠妥或有对原著理解不确处，请原作者和出版单位谅解和指正，容作者能在本书再版时订正。

本书的出版，得到作者所在单位上海市农业科学院土壤肥料研究所、上海长征化工厂、青浦化工厂、冀县农化服务中心等单位的资助，得到化工部化肥司原农化处等单位的支持；上海农业科学院土壤肥料研究所计中孚、赵定国、励惠华、徐四新等同志协助抄写书稿，清绘图件。作者在此一并致以衷心感谢！并真诚期望能得到有关专家、同行和广大读者的批评与建议。

目 录

✓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、化肥的增产作用	4
三、化肥对提高农产品质量的作用	9
四、化肥能促进农业生产中物质和能量的循环	10
五、全面认识化肥的作用	14
✓第二章 作物营养元素	20
一、作物必需的营养元素	20
二、营养元素的生理作用	24
(一) 氮	24
(二) 磷	29
(三) 钾	33
(四) 硫	37
(五) 钙	38
(六) 镁	39
(七) 微量元素	40
三、作物对养分的吸收	48
(一) 作物根系对养分的吸收	48
(二) 作物的叶面营养	53
(三) 作物吸收养分特性	54
第三章 氮素化肥	58
一、概述	58
二、化学氮肥的生产	60
三、主要氮肥品种	65
(一) 液氮	66

(二) 氨水	68
(三) 氮溶液	71
(四) 硫酸铵	73
(五) 氯化铵	77
(六) 碳酸氢铵	81
(七) 硝酸铵	89
(八) 硝酸钠	94
(九) 硝酸钙	94
(十) 尿素	95
(十一) 石灰氮	100
(十二) 长效氮肥	102
四、氮肥增效助剂	110
(一) 硝化抑制剂	111
(二) 脲酶抑制剂	112
五、土壤的氮素供应	115
(一) 土壤的氮素含量	116
(二) 土壤氮素的形态	118
(三) 土壤氮素的转化	119
(四) 土壤的氮素供应	123
(五) 农田生态系统中的氮素	125
六、氮肥利用率	128
(一) 氮肥利用率及其影响因素	128
(二) 氮肥利用率的测定	131
七、氮肥的合理施用	138
(一) 氮肥的肥效	138
(二) 适量施氮	139
(三) 氮肥深施	141
(四) 氮肥配施	142
第四章 磷素化肥	145
一、化学磷肥的生产	145
二、主要磷肥品种	148
(一) 磷酸	149

(二) 普通过磷酸钙	151
(三) 重过磷酸钙	156
(四) 半钙和富钙	158
(五) 偏磷酸钙	159
(六) 沉淀磷酸钙	160
(七) 钙镁磷肥	161
(八) 钢渣磷肥	165
(九) 脱氟磷肥	166
(十) 骨粉	167
(十一) 磷矿粉	168
三、土壤的磷素供应	171
(一) 土壤的磷素含量	171
(二) 土壤磷素的形态	173
(三) 土壤磷素的转化	176
四、磷肥的合理施用	178
(一) 土壤肥力与磷肥施用	180
(二) 作物的需磷特性与磷肥施用	182
(三) 磷肥品种与合理施用	183
(四) 磷肥与氮肥的配合施用	184
第五章 钾素肥料	186
一、钾肥的生产	186
二、主要钾肥品种	190
(一) 氯化钾	190
(二) 硫酸钾	193
(三) 碳酸钾	194
(四) 草木灰	194
三、土壤的钾素供应	196
(一) 土壤的钾素含量	196
(二) 土壤钾素的形态	198
(三) 土壤钾素的转化	201
四、钾肥的合理施用	206
(一) 土壤的供钾能力	207

(二) 作物的需钾特性	209
(三) 钾肥施用水平	210
(四) 钾肥施用方法	211
第六章 复合肥料	213
一、复合肥料的发展	214
二、复合肥料的生产	216
三、复合肥料的商品质量	222
四、复合肥料的品种型号	224
(一) 磷酸铵	227
(二) 多磷酸铵	232
(三) 偏磷酸铵	233
(四) 正磷酸铵系复肥	233
(五) 硝酸磷肥	234
(六) 磷酸二氢钾	237
(七) 硝酸钾	238
(八) 氮磷钾三元复合肥料	240
(九) 掺合肥料	244
(十) 流体复合肥料	247
(十一) 复合叶面营养液	251
五、专用复合肥料	255
六、专用复合肥料的配方设计	257
七、复合肥料的施用技术	269
八、复合肥料的肥效	273
第七章 硫、钙、镁及微量元素肥料	278
一、硫肥	278
(一) 土壤中的硫	278
(二) 含硫肥料	280
二、钙肥	283
(一) 土壤中的钙	284
(二) 含钙肥料	286
三、镁肥	288
(一) 土壤中的镁	288

(二) 含镁肥料	289
四、微量元素肥料	290
(一) 合理应用微量元素肥料	293
(二) 微量元素肥料及其施用	302
✓第八章 化肥的表观特性与理化性质	323
一、粒度	323
二、硬度	326
三、堆密度	328
四、表观比重	328
五、分离度	329
六、结块	331
七、临界相对湿度	335
八、吸水速率	337
九、盐指数	338
十、生理酸碱性	342
✓第九章 化肥的包装、储存与调运	347
一、化肥的包装	348
(一) 塑料薄膜与编织布	348
(二) 麻袋布	351
(三) 牛皮纸	352
二、化肥商品的运输	354
三、化肥的储存	355
第十章 化肥与生态环境	358
一、化肥生产与生态环境	358
(一) 废气	359
(二) 废液	361
(三) 废渣	362
二、化肥施用与生态环境	362
(一) 化肥对大气的影晌	362
(二) 化肥对水体的影响	364
(三) 化肥对土壤的影响	368

第十一章 化肥施用技术	375
一、施肥技术概述	375
(一) 施肥量	377
(二) 施肥时期	388
(三) 施肥方法	393
(四) 施肥深度	396
二、施肥技术的发展	401
(一) 少耕或免耕下的施肥	402
(二) 灌溉条件下的施肥	403
(三) 农药肥料的施用	405
(四) 利用飞机施肥	406
第十二章 有机肥料	408
一、有机肥料概述	408
二、主要有机肥料品种	412
附录	421

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。

我国解放后,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0.6万吨(养分,下同),发展至1983年的1 660万吨,增长2 767倍。1988年至1989年继续增长至2 000万吨左右,为1949年的3 330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,化肥达到52.9%,1983年为58%(表1-1),1985年后稳定在60%以上。与此同时,我国农作物的单产和总产稳步增长,尤其从1980年化肥养分的比重超过有机养分后,我国农业生产进入了大幅度增长的阶段。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:

表 1-1 我国农田化肥投入量的增长与养分结构的演变

(单位:万吨)

年 份	化 肥			有机肥			化肥比重(%)				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N+P ₂ O ₅ + K ₂ O	
1949	0.6	—	—	161.6	79.0	187.3	3.7	—	—	0.14	
1957	31.6	5.2	—	249.0	122.6	286.4	11.3	4.1	—	5.3	
1965	120.6	55.1	0.3	292.7	138.2	306.0	29.2	28.5	0.05	19.3	
1975	346.0	160.9	13.0	409.9	193.8	461.6	44.7	45.3	2.7	32.4	
1980	943.3	287.0	39.2	415.9	206.4	508.5	69.4	58.2	7.2	52.9	
1983	1192.5	394.5	72.8	423.3	216.7	561.9	73.8	64.5	11.5	58.0	

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产物。农业生产的不同历史阶段，有不同的主要肥源，肥源的这种发展过程，大致如图1-1所示。

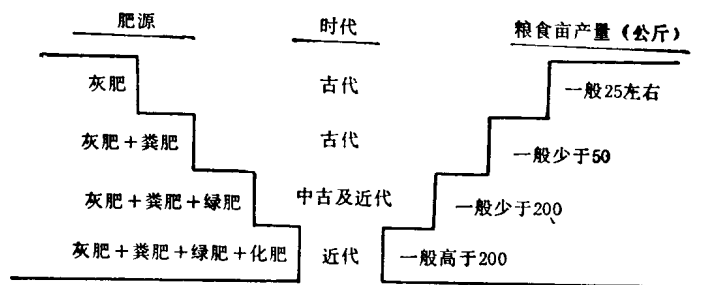


图 1-1 农业生产中肥源发展阶段

可见，肥源发展的每一个阶段都以增加一种新肥源为特征，并且都不断丰富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，也是最原始的肥源与施肥方法。随着家畜的驯养和畜牧业的发展，人们从残留粪便的土地上收到了好庄稼，由此总结了使用粪肥的经验，从而农牧业开始结合，并相互促进和发展。至今“粪”字仍然是当代大多数国家用以代表肥料的一个词。以后随着宜垦地的减少和

土地轮休制的扩大，要求更快更好地恢复地力，人们又发现了象苜蓿、红花草（紫云英）这样的豆科植物，能更好地恢复地力，使后作的产量提高。于是，豆科绿肥又成了重要的肥源。但是，灰肥、粪肥和绿肥的数量，均受到一定面积上植物产品的产量和农牧业比例的限制，因此使用这些肥源都不可能超脱出用土地自身的产物——农产品还田来恢复和维持地力，即农业物质自然循环的范畴。直到19世纪中叶以后，由于植物生理学和农业化学的发展，人们才逐渐认识到可以用无机物，即化肥来归还土壤，用以增加农产品。到了本世纪初，由于大规模合成氨方法的问世，化肥工业的发展便与日俱增，并已成为发达国家的工业基干之一。以产品的重量计，化肥是目前世界上生产量最大的化工产品之一。今天，一座年产30万吨合成氨的化工厂，一年能生产的化肥氮素，大约相当于1200万亩豆科绿肥或3000万头猪所能提供的氮素。更主要的是，化肥作为一种新肥源，突破了农产品还田和农业物质自然循环的范畴。它可以完全不依赖于土地及作物本身，不受气候条件的影响，可以采用工业生产的方法，大量提供作物所必需的养分，从而在现代农业生产中大放异彩。表1-2与表1-3是一些国家化肥施用的情况。可见，在农业现代化的发展过程中，大量使用化肥是一种必然趋势。

表 1-2 世界上不同国家的化肥消费状况

国家类型	人口耕地比例(%)		化肥消费比例(%)		化肥消费水平(公斤/公顷)	
	人口	耕地	1950年	1975年	1967年	1983年
发达国家	25	40	95	75	71.6	121.6
发展中国家	75	60	5	25	11.7	54.1

注：1. 化肥指养分量。2. 资料来源：国际钾肥研究所报告（1980）。

表 1-3 若干国家的化肥使用和农牧业生产水平

国别	施肥量 (公斤/亩)	粮食单产 (公斤/亩)	人均粮食占有量 (公斤)	平均每人畜产品(公斤)		
				肉	乳	蛋
荷兰	41.8	286.0	113.2	108.0	631.9	20.9
日本	25.6	328.3	144.0	13.0	47.0	18.0
美国	5.15	208.9	1140.6	115.8	460.0	10.4
缅甸	2.50	—	312.6	4.7	12.9	2.3
印度	0.70	—	216.3	1.4	39.0	0.15

注：1. 施肥量指养分量，1967—1968年度，单产为1970—1971年度。日本因以水稻为主，因此单产较高。

2. 生产1公斤畜产品，约需2—7公斤粮食。

二、化肥的增产作用

从一个地区、一个国家或全世界范围看，在化肥产量不断增长的农业发展阶段和在化肥使用量的中低水平区间内，农作物产量随化肥使用量的增加而增加。例如，上海郊区1950—1980年间，粮食、棉花、油菜三种主要作物的单产与化肥年使用量密切相关（表1-4）。

表 1-4 上海郊区化肥使用量与作物单产的相关

作物	作物单产范围 (公斤/亩)	化肥使用量范围 (公斤/(亩·年))	作物单产与化肥使用量的相关	
			相关系数(r)	相关式 $\hat{y} = a + bx$
粮食	248—817	0.6—200	0.9526**	$\hat{y} = 642.45 + 2.524x$
棉花	14.0—39.5	0.6—200	0.7621**	$\hat{y} = 57.89 + 0.2266x$
油菜	34.5—142.5	0.6—200	0.8394**	$\hat{y} = 99.3 + 0.5161x$

注：1. 作物单产按年亩产计。

2. 化肥使用量指实物量，按平均含养分20%计，约折合养分0.12—40公斤/亩·年。

根据统计结果，我国从1949年至1980年，粮食产量和化肥使用量也呈现很好的相关。即使化肥使用量达到较高水平后（如

1978—1984年)，仍然呈现相同趋势。化肥使用量平均年增长约13%，同期粮食平均年增产约6.5%（表1-5）。

表 1-5 我国化肥使用量与粮食产量的关系
(1978—1984年)

年份	化 肥			粮 食		
	总使用量 (百万吨)	与上年相比 (%)	与1978年相比 (%)	总产量 (千万吨)	与上年相 比(%)	与1978年 相比(%)
1978	8.29	—	100	30.48	—	100
1979	10.86	131	131	33.22	109	109
1980	12.60	117	153	32.06	97	105
1981	13.35	105	161	32.50	102	107
1982	15.13	113	183	35.45	109	116
1983	16.60	120	200	38.73	109	127
1984	16.81	101	201	40.71	105	134

前苏联学者普良尼斯尼柯夫 (Д.Н.Прянишников) 根据对本世纪30年代一些欧美国家的农业发展统计结果认为，粮食产量主要与这些国家的化学化指数 ($N + P_2O_5 + K_2O$ 施用量) 呈现密切相关。人口密度越高的国家，化学化发展越快，化学化指数越高（见表1-6）。

表 1-6 若干国家粮食单产与化学化、机械化发展程度的关系

国别	粮食单产 (公担/公顷)	化学化指数 $N + P_2O_5 + K_2O$ (公斤/公顷)	机械化指数 (拖拉机台数/千公 顷)	人口密度 (人/平方公里)
荷兰	30	109	<1	217
比利时	27.5	89	<1	257
日本	27	75	<1	157
德国	22	67	<1	138
法国	15	22	<1	95
美国	9	12	10	13
乌兹别克	17	106	8	—

注：本表引自普良尼施尼柯夫著（王天铎译），在植物生活和农业中的氮素，科学出版社，1956。

剖析农业现代化国家的发展经验，可以明显地看出，那些耕

地潜力有限的国家，如西欧各国和日本，农业现代化都从增施化肥起步。即在一个时期内，主要以化肥形式对农业增加投入，以提高单产为主要目标，进而实现机械化。而像美国这样拥有大量耕地，工业化早，工业基础雄厚又劳动力昂贵的国家，则以发展机械化和扩大耕地面积为农业现代化的起点，主要目标是保持总产的稳定增长并将解脱的农业劳动力投向工业。进而机械化和化学化并举，促进作物单产和总产的更快增长。例如，1937—1938年度，全世界消费化肥920万吨（养分，下同），其中西欧消费470万吨，占一半以上，使其粮食单产普遍达到175—200公斤/亩，而当时的美国，尽管在30年代已完成农业机械化，1940年拥有拖拉机154.4万台，但每亩使用化肥少于0.5公斤，主要作物玉米的单产只有109.3公斤/亩，与1910—1914年的玉米平均单产108.8公斤/亩相似。而到1970年，美国化肥使用量增至平均5.9公斤/亩，对玉米的使用量达17—20公斤/亩，加上品种改良等措施，玉米平均单产达到375公斤/亩左右。

据联合国粮农组织（FAO）统计，在1950—1970年的20年中，世界粮食增产近1倍，其中因谷物播种面积增加10600万公顷，所增加的产量占22%；由于单位面积产量增加46.65公斤/亩，所增加的产量占78%。而在各项增产因素中，西方及日本科学家一致认为，增施化肥要起30—65%的作用（一般可按40%估算）。

如何从统计学角度计算化肥在增产粮食等农产品中的作用？目前尚无统一的标准方法。一般采用的方法可分步举例如下：

首先，求取平均肥效。由一个地区对同一作物的多点肥效试验结果。可获得单位化肥养分的平均肥效（增产数）。如每公斤氮（N）、磷（ P_2O_5 ）、钾（ K_2O ）可分别增产10、8、4公斤粮食。

其次，统计一个地区化肥的实际投入量（使用量）。如上例中该地区当年对粮食作物共投入氮（N）2万吨、磷（ P_2O_5 ）1万吨、钾（ K_2O ）0.5万吨。

然后统计一个地区的粮食增产量。如上例中该地区粮食增产为70万吨。根据以上数据即可计算化肥的增产作用。

化肥投入量×化肥平均肥效：

$$N\ 2\text{万吨} \times 10 = 20\text{万吨}$$

$$P_2O_5\ 1\text{万吨} \times 6 = 6\text{万吨}$$

$$K_2O\ 0.5\text{万吨} \times 4 = 2\text{万吨}$$

当年由化肥养分的投入而增产粮食，合计28万吨。则化肥的作用：

$$\frac{28\text{万吨}}{70\text{万吨}} \times 100\% = 40\%$$

西方和日本的科学家大体上是采用这种统计方法求得化肥的增产作用的。

根据中国农业科学院土壤肥料研究所统计，1983年在我国粮食总产量中，化肥的作用平均为33.9%。而在主要作物水稻、小麦、玉米和棉花的单产增长中，化肥的作用分别为40%、56.6%、46.1%和48.6%。

另一种简易的方法是：由一个地区化肥养分被作物的平均利用率，测算对当季作物的增产作用。养分利用率是所施肥料中养分被当季作物直接吸入体内的部分占施入量的比例。故可由此求取一个地区全部化肥投入对作物总产量的贡献。如某个地区化肥氮素被水稻吸收的平均利用率为30%，而每生产1吨稻谷，谷粒与植株体内所含的氮为20公斤（2%），如果这一地区共对水稻施用化肥氮素2000吨，稻谷产量为9万吨，则化肥氮素所起的作用为：

$$\frac{2\ 000 \times 30\%}{90\ 000 \times 2\%} \times 100\% = \frac{600}{1\ 800} \times 100\% = 33.3\%$$

J.W. Cousfon 统计了世界上不同发展程度的40个国家5年（1972—1976年）的化肥使用量与粮食产量的关系，结果也表明其间有密切的相关（图1-2）。

图上置信限以上的几个国家有下列特点：①土壤极其肥沃（美国，阿根廷）；②工农业产品价格比例有利于肥料投入（日本，南斯拉夫）；③太阳辐射或灌溉等环境条件十分有利（埃及）。