

何念祖 主编

肥料

制造与加工

上海科学技术出版社

肥料制造与加工

何念祖 主编

上海科学技术出版社

主 编 何念祖(浙江农业大学)
副主编 石伟勇(浙江农业大学)
林咸永(浙江农业大学)
编 委 (按姓氏笔画为序)
阮玲珑(浙江省温岭市泽国化工通用机械厂)
李 延(福建农业大学)
李元沅(湖南农业大学)
张自立(安徽农业大学)
郑 璐(安徽农业大学)
倪吾钟(浙江农业大学)
主 审 竺伟民(安徽农业大学)

肥料制造与加工

何念祖 主编

上海科学技术出版社出版、发行

(上海瑞金二路450号)

新华书店上海发行所经销 浙江农业大学印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 17.75 字数 417 000

1998年4月第1版 1998年4月第1次印刷

印数 1—2 300

ISBN 7-5323-4528-9/S·479

定价: 38.00 元

本书如有缺页、错装和坏损等严重质量问题,

请向承印厂联系调换

目 录

第一章 绪论	1
一、化学肥料在国民经济发展中的地位与作用	1
二、化学肥料的特点与分类	3
三、我国化肥工业的发展	5
四、我国肥料结构的特点与化肥需求量预测	8
第二章 植物营养生理	10
第一节 植物的组成成分和营养元素	10
一、植物的组成成分	10
二、植物的营养元素	11
第二节 植物对养分的吸收	12
一、植物根系对养分的吸收	13
二、植物的根外营养	17
第三章 氮肥制造	20
第一节 氮的农业化学	20
一、氮的植物营养生理	20
二、氮的土壤化学	24
三、常用氮肥在土壤中的转化与合理施用	27
第二节 氨的合成原理	30
一、氨的性质	31
二、合成氨的生产原料	32
三、合成氨的生产原理	33
第三节 常用铵态氮肥的制造	37
一、碳酸氢铵	37
二、氯化铵	39
三、硫酸铵	41
第四节 尿素的制造原理	43
一、尿素的理化性质	43
二、尿素制造原理	44
三、生产工艺	45
四、质量标准	47
第五节 硝酸及硝态氮肥制造原理	48

一、硝酸的制造原理	48
二、常用硝态氮肥的制造原理	51
第四章 磷肥制造	55
第一节 磷的农业化学	55
一、磷的植物营养生理	55
二、磷的土壤化学	58
三、常用磷肥在土壤中的转化与合理施用	62
第二节 磷矿资源及磷矿粉	64
一、磷矿资源	64
二、磷矿粉肥	68
第三节 过磷酸钙的制造	68
一、过磷酸钙的性质	69
二、生产过磷酸钙的原料	69
三、生产过程的化学反应原理	70
四、过磷酸钙的生产流程	72
五、生产方法	78
六、质量标准	79
七、部分酸化磷肥	79
第四节 重过磷酸钙和富过磷酸钙的制造	80
一、理化性质	81
二、制造原理	81
三、工艺流程	82
第五节 磷酸二钙(磷酸氢钙)的制造	83
一、性质和用途	83
二、制造工艺	83
三、质量标准	85
第六节 钙镁磷肥	86
一、钙镁磷肥的性质	86
二、制造方法	86
三、质量标准	90
第七节 磷肥生产中的三废治理和综合利用	90
一、磷肥生产过程中的三废排放	90
二、磷肥生产的三废治理途径	92
第五章 钾肥制造	94
第一节 钾的农业化学	94
一、钾的植物营养生理	94
二、钾的土壤化学	96
三、常用钾肥在土壤中的转化和合理施用	97
第二节 制造钾肥的原料	99

一、可溶性钾盐矿	99
二、含钾卤水	100
三、非水溶性含钾矿物	101
第三节 氯化钾的制造	102
一、理化性质	102
二、用途	102
三、生产方法	102
四、产品质量标准	105
第四节 硫酸钾的制造	105
一、产销概况	106
二、制造方法	106
三、产品质量标准	108
四、硫酸氢钾的制造	109
第五节 其他钾肥的制造	109
一、钾镁肥	109
二、水泥窑灰钾肥	109
第六章 钙、镁、硫肥的制造	110
第一节 钙、镁、硫的农业化学	110
一、钙、镁、硫的植物营养生理	110
二、钙、镁、硫的土壤化学	114
三、常用钙、镁、硫肥在土壤中的转化及合理施用	116
第二节 钙、镁、硫肥的制造	117
一、石灰石粉、生石灰和消石灰	117
二、农用石膏	119
三、硫酸镁	120
四、氢氧化镁	120
五、其他镁肥	121
六、硫黄粉	122
第七章 微量元素肥料制造	123
第一节 微量元素的农业化学	123
一、微量元素的植物营养特性	123
二、微量元素的土壤化学	128
三、微量元素肥料的种类、性质和施用	133
第二节 硼肥制造	136
一、硼矿资源	136
二、硼肥制造	136
第三节 锌肥制造	142
一、锌矿资源	142
二、锌肥制造	142

第四节 钼肥制造原理	145
一、钼矿资源	145
二、钼肥制造原理	145
第五节 锰肥制造原理	146
一、锰矿资源	146
二、锰肥制造原理	147
第六节 铜肥制造原理	149
一、铜矿资源	149
二、铜肥制造	150
第七节 铁肥制造原理	151
一、常用铁肥	151
二、铁矿资源	151
三、铁肥制造原理	151
第八节 硅肥制造原理	154
一、高效硅肥制造原理	154
二、硅钙肥的制造原理	156
三、其他硅肥	156
第九节 稀土肥料	156
一、稀土矿产资源	157
二、稀土肥料的制造原理与工艺	157
三、其他稀土肥料	159
第八章 复合肥料的制造	160
第一节 复合肥料概述	160
一、复合肥料的意义和特点	160
二、复合肥料的分类	161
三、复合肥料的理化性质指标	161
第二节 氮磷复合肥的制造	163
一、磷酸铵的制造原理	163
二、硫磷铵的制造	170
三、硝磷铵的制造	171
四、尿磷铵的制造	173
五、磷酸尿的制造	175
六、硝酸磷肥的制造	176
第三节 硝酸钾的制造	184
一、理化性质	184
二、制造原理和工艺流程	184
第四节 磷钾复合肥的制造	188
一、磷酸二氢钾	188
二、偏磷酸钾	192

第五节 磷酸钾铵的制造	193
一、理化性质	193
二、制造原理和工艺流程	194
第九章 掺混复肥的制造	195
第一节 掺混复肥的配方设计	195
一、配方设计的理论依据	195
二、中量和微量营养元素的添加	203
三、氮、磷、钾基础肥料的选择	204
四、填料和调理剂	208
五、通用型混合复肥的配方	209
六、作物专用混合复肥的配方	210
第二节 混合复肥的造粒原理	210
一、造粒的分类	211
二、团聚法造粒	211
三、挤压造粒	216
第三节 混合肥料的生产设备	217
一、造粒设备	218
二、配套设备	220
第四节 混合复肥的制造工艺	222
一、团聚法造粒流程	222
二、挤压法造粒流程	230
第五节 掺合复肥的制造	234
一、掺合复肥的特点和发展概况	234
二、掺合复肥的生产流程	235
三、我国发展掺合复肥的途径	236
第六节 液体复混肥的制造	237
一、发展概况	237
二、制造方法	238
第十章 新型肥料	240
第一节 缓效肥料	240
一、化成型缓效肥料	240
二、包膜肥料	244
三、抑制剂添加型	248
第二节 叶面肥	251
一、叶面肥的研究进展	251
二、叶面肥的主要成分	252
第三节 微生物肥料	254
一、微生物肥料的种类和作用	254
二、微生物肥料的主要品种及其使用	255

第四节 其他新型肥料	257
一、药肥	257
二、CO ₂ 肥料	258
三、磁化肥	259
四、胶粘肥料	259
第十一章 化肥的理化特性及其包装与贮运	260
第一节 化肥的表观特性和理化性质	260
一、化肥的表观特性	260
二、化肥在贮运过程中理化性质的变化	264
第二节 化肥的包装、贮存和运输	269
一、化肥的包装	269
二、化肥的运输	270
三、化肥的贮存	271
主要参考文献	273

第一章 绪 论

世界各国的农业生产实践业已证明,化学肥料是农业生产发展的主要促进因素之一,同时也是建立持续农业的重要物质基础。全面掌握植物的营养特性和化学肥料的类型、成分、性质、作用及其制造原理不仅能为合理施肥提供科学依据,而且对化肥工业的发展,如新型化肥的开发,也具有广泛的指导意义。

一、化学肥料在国民经济发展中的地位与作用

农业是一个以生物有机体为中心的“自然—生物—社会”相互交织的复杂生产部门。农业生产包括第一性生产(植物性生产)和第二性生产(动物性生产),植物性生产是最根本的,动物性生产有赖于植物性生产。人类的生存和发展在根本上也有赖于植物,尤其是栽培植物——作物。因此,作物也就成为农业的主要对象之一。然而,在自然条件下第一性生产的效率是很低的,远远不能满足人类社会发展的需求。为此,人们就通过各种农艺技术措施来提高第一性生产,施肥就是其中重要的措施之一。

肥料是农业生产中主要的投入物质,是指任何有机的或无机的、天然的或合成的,施用于土壤中或作物地上部为作物提供一种或多种必需营养元素的物质。人类无意识地提高土壤肥力的实践活动可以追溯到五千年至一万年以前,而有意识地施用某些有机或无机物质,以提高土壤的肥力,促进作物的生长,则相对要晚些,距今约三千年。古代文明发达的地区,如尼罗河流域,两河(幼发拉底河和底格里斯河)流域,南美、印度和中国等地,当时可能已经开始应用下列天然物质作为肥料:厩肥和堆肥,植物和动物废弃物(包括茎秆、畜血等),人和动物的排泄物,鸟粪堆积物(鸟粪磷矿),江河湖沼的淤泥,森林的枯枝、落叶和表土层,海草和海生动物的废弃物,绿肥,含盐表土,灰烬(包括草木灰、血灰、骨灰、焦泥灰等),石灰,石膏和泥灰岩风化物等。1840年,德国科学家李比希在总结前人研究成果的基础上撰写出版了《化学在农业和植物生理学上的应用》一书,提出了植物的矿质营养学说,为化肥工业的兴起和化学肥料的施用奠定了理论基础。1843年,第一种人造肥料——过磷酸钙在英国投产,在此后的约一个半世纪中,全世界已生产和施用了数十种含有单一的植物必需营养元素的化肥和含有两种或两种以上植物必需营养元素的复合肥料,尤其是第一次世界大战以后,化肥的生产量和施用量猛增,作物的产量也大幅度上升。

随着世界人口的迅猛增长,全球性的粮食危机不断加剧。据联合国基金组织估算,2050年世界人口将达到102亿,对粮食的需求将继续增加。近几年我国人口每年净增1500万左右,1996年我国人口已超过12亿,发展农业生产,尤其是粮食生产,解决吃饭问题,是国民经济持续稳定发展的最根本的生长点。而大量的研究表明,化肥虽不是农业增产的唯一贡献者,但它是领先的贡献者。据估计,化肥对农业增产的贡献平均为20%~25%,高的可

达 50% ~ 70%。由此可见,化学肥料的施用已成为提高农业生产力的最有成效的手段和措施,化肥对国民经济的发展起着重要的作用。

(一) 供给作物营养,促进作物增产

虽然早在 100 多年前人们就已发现植物需要矿质营养,但是,直到 19 世纪末该项知识才被实际运用。本世纪初,全世界只有不到百分之一的耕地施用商品肥料,而且主要集中在发达国家。当时,供应的氮肥是硫酸铵和智利硝石,供应的磷肥是过磷酸钙和托玛斯炉渣,供应的钾肥是开采出来的天然钾盐矿。

肥料是植物营养的源泉,是农业增产的首要物质投入。第二次世界大战以后,化肥工业的发展实现了新的飞跃,世界化肥消费量和谷物产量持续增长,化肥消费量($N + P_2O_5 + K_2O$)由 1950 年的 $1\,490 \times 10^4 t$ 增至 1990 年的 $13\,800 \times 10^4 t$;谷物产量则由 1950 年的 $7\,750 \times 10^6 t$ 增至 1990 年的 $19\,522 \times 10^6 t$ 。40 年间,前者增加了近 10 倍,后者也增加了 2.5 倍多。

(二) 提高土壤肥力,维护生态平衡

土壤是植物生长的基质,但是,几乎所有的农业土壤都不能完全满足作物生长发育对营养物质的需求。同时,在大多数情况下,由于种植作物、收获农产品带走大量的营养物质,以及土壤侵蚀、渗漏和挥发造成营养物质的损失,土壤很快就变得贫瘠。如果不通过施肥予以补充,土壤养分的亏缺就会日趋严重,最后成为不毛之地,农田生态系统也遭到破坏。施肥是促进农田生态系统中物质循环和营养物质平衡最有效的措施。肥料(尤其是化学肥料)的施用能对土壤起综合作用,它不仅能补充土壤中的营养物质,而且还能改良土壤的化学和物理性状,提高土壤的生物学活性,促使土壤中原有营养物质的有效利用。世界上十几个国家 50 ~ 100 年以上的长期肥料试验结果表明:长期合理施用化肥(不施有机肥)对土壤肥力无害。中华人民共和国成立以来,我国比较发达的地区,化肥施用量虽成倍增加,但因注意了科学施肥,土壤并没有发生板结,土壤物理性质还有所改良。这是因为增施化肥促进了作物生长,单位面积上的生物量增加,返回到土壤中的枯枝、落叶和根茬量也相应地增加,提高了土壤有机质含量和土壤的基础肥力。农业生产实践也证明,在某些生物环境条件下,施用化肥是必须的。如作物的硼等微量元素缺乏症,只施用当地的有机肥料不能解决问题,因为这些有机肥料本身含硼量很低,其补充硼的作用十分有限,只有通过施用化学硼肥,由外界向农田生态系统输入硼营养,才能予以纠正,从而改善系统内营养物质的平衡状况,促使系统在具有更高的物质转化效率的状态下达到新的动态平衡。

(三) 改善农产品质量,提高人类健康水平

农产品是人类主要的食物来源,其质量对人类的健康影响很大。据统计,人类疾病的一半左右直接地或间接地是由不适当的营养引起的,如地方性甲状腺肿病是缺碘和牙髓病是缺氟而引起;痛风病是钼过量和贝克氏病是镉过量而引起;动脉粥样硬化症,一般认为是血液中锰含量较高,镍和铜含量较低;患心脏局部贫血病时,血清中锌含量较低;患高血压内刺激症时,血清中铜含量过高,而钴和锌含量不足;糖尿病常伴有血液中锰浓度下降等。

农产品的质量主要是由作物基因控制的,但是,温度、水分、空气湿度、光照强度和光质、土壤特性、管理措施(如施肥、灌溉和施用生长调节物质)等许多环境因子都会影响农产品的质量。因此,栽培条件不同,农产品的质量会有很大的变化。大量的田间试验证实,施肥是影响农产品质量的最主要的栽培措施。

植物的代谢活动与其体内的营养状况密切相关。在作物的不同生育阶段,增加某种营

养物质的供给,可以有目的地改变作物体内代谢活动的方向,从而促进作物体内蛋白质、淀粉、蔗糖、脂肪、生物碱及其他有用物质组分的积累,达到改善农产品质量的目的。施肥与农产品质量的关系,可分为下列四种情况:①当作物缺乏某种营养时,供给该种营养物质至适宜的程度,通常能提高农产品的质量。②在作物适宜的养分浓度范围内,增加养分的供给,能进一步改善农产品的质量或没有效果。③当营养物质的供给由适量增至过量时,会降低农产品的质量,但也可能没有影响。④当营养物质的供给增至毒害程度时,农产品的质量显著下降。

适当增施氮肥,可提高农产品的蛋白质含量和氨基酸含量;增施钾肥,可提高农产品的淀粉含量和糖度等;在作物上施用含碘、硒、锌等的化学肥料,也可以提高农产品中这些元素的含量,有助于提高人类的健康水平。

二、化学肥料的特点与分类

(一) 化学肥料的特点

化学肥料简称化肥,是指含有一定数量的一种或多种植物必需营养元素的工业产品。其生产过程通常伴有化学反应,但也可通过提纯或物理性加工天然原料的方法来制造。化肥与有机肥料相比,具有下列优点:

(1) 养分含量高。如尿素的含氮量为 46%,硝酸铵的含氮量为 34%,过磷酸钙的含磷(P_2O_5)量为 14%~18%,硫酸钾的含钾(K_2O)量为 50%。1kg 硫酸铵相当于 30~40kg 人粪尿;1kg 过磷酸钙相当于 60~80kg 厩肥;1kg 硫酸钾相当于 10kg 左右的草木灰。因此,化肥的单位面积施用量远少于有机肥料,便于运输和施用。

(2) 肥效快。化肥大多是水溶性或弱酸溶性的,施入土壤后能迅速被作物吸收利用,肥效快而显著。

(3) 原料丰富。生产化肥都是用天然的矿物为原料,如石油、天然气、煤炭、磷矿石及钾矿石等,这些原料相对来说是比较丰富的,可以大量开采。

(4) 产量大且成本低。由于生产化肥的原料丰富,可采用大规模的工业化生产,且不受季节的限制,因此产量大,成本低。

(5) 节省运输费用和劳动力。化肥养分含量高,用量少。因此,运输费用和施用时所需支付的劳动力费用都比较节省。

(6) 容易贮存。化肥的理化性状一般比较稳定,容易贮存,同时也不易变质。

(7) 多种功效。有些化肥不仅能提供作物养分,而且还具有提高作物抗逆性和防病治虫的作用。如石灰氮能杀灭钉螺,防治吸血虫病,还可作为棉花的脱叶剂;氨水可杀除蝼蛄等害虫。

当然,化肥也有一些缺点,如养分不齐全,大多数化肥不含有机碳。对土壤和作物有一定的选择性,施用技术要求较高。此外,盲目地施用化肥,不仅造成能源的浪费,而且还会给环境带来危害及破坏土壤肥力等。

(二) 化学肥料的分类

化学肥料种类繁多,性质各异。为了便于经营、管理和施用,对化学肥料进行适当的分类是十分必要的。下面介绍几种常见的化学肥料分类。

1. 按所含养分分类

(1) 氮素化肥。简称氮肥,含有氮素。如硫酸铵、硝酸铵、尿素、碳酸氢铵、氯化铵、氨水、液氨、石灰氮等。

(2) 磷素化肥。简称磷肥,含有磷素。如过磷酸钙、重过磷酸钙、脱氟磷肥、钢渣磷肥、钙镁磷肥等。

(3) 钾素化肥。简称钾肥,含有钾素。如硫酸钾和氯化钾等。

(4) 微量元素肥料。简称微肥,一般是指含有硼、铜、锌、锰、钼、铁等微量营养元素的化肥。常用的微肥是这些微量营养元素的硫酸盐及其氧化物或酸根。如硫酸铜、硫酸锌、硫酸锰、氧化铁、硼酸、钼酸铵等。

2. 按肥效快慢分类

(1) 速效肥料。多为水溶性肥料。该类化肥施入土壤后,随即溶解于土壤溶液中而被作物吸收,见效快。大部分的氮肥,磷肥中的普通过磷酸钙,钾肥中的硫酸钾、氯化钾等都是速效化肥。速效化肥一般用作追肥,也可用作基肥。

(2) 缓效肥料。也称长效肥料。该类化肥施入土壤后,要经过一定时间的转化,才能溶解而被作物吸收,但肥效比较持久。如钙镁磷肥、钢渣磷肥、磷矿粉等,一些有机化合物如脲醛、脲乙醛、脲异丁醛等。还有一些含添加剂或加包裹剂的肥料,如含苯腈酸二胺、硫化磷酸酰三胺、氢醌尿素和硫衣尿素等,都为缓效肥料。缓效化肥因其肥效较长,通常用作基肥。

3. 按化学反应分类

(1) 酸性化学肥料。酸性化学肥料可分为两类:一类是化学酸性肥料,它们的水溶液呈酸性反应,如过磷酸钙等;另一类是生理酸性肥料,如氯化铵、硫酸铵、硫酸钾等。

(2) 碱性化学肥料。碱性化学肥料也可分为两类:一类是化学碱性肥料,它们的水溶液呈碱性反应,如液氨、氨水、钙镁磷肥等;另一类是生理碱性肥料,如硝酸钠、硝酸钙等。

(3) 中性化学肥料。该类化肥的水溶液呈中性,施入土壤后也不会引起土壤 pH 的变化,如尿素等。因此,适用于任何土壤。

4. 按所含主要养分种类的多少分类

(1) 单元化学肥料。是指只含有氮、磷、钾三要素之一的化学肥料,也称单质化肥。如只含氮的碳酸氢铵,只含磷的过磷酸钙,只含钾的氯化钾等。

(2) 多元化学肥料。是指含有氮、磷、钾三要素中的两种或两种以上主要营养元素的化学肥料。如含有氮和磷的磷酸铵,含有氮和钾的硝酸钾等。

(3) 完全化学肥料。是指含有作物生长发育所必需的多种营养元素的化学肥料,一般用于营养液栽培。

5. 按形态分类

(1) 固体化学肥料。是指在工厂中制成结晶状、颗粒状或粉末状等固体形态的化学肥料。

(2) 液体化学肥料。在工厂中制成液体形态的化学肥料,如液氨、氨水、溶液肥料以及胶状肥料等。液体化肥的生产成本较低,但需要相应的贮存和施用机具,适用于机械化作业。

(3) 悬浮化学肥料。是指含有固体悬浮物的液体状(流质状)化学肥料,其中的固体物可以是过饱和溶液状态下的水溶性固体,也可以是不溶性固体,或者是两者兼而有之。

6. 按营养作用分类

(1) 直接化学肥料。是指直接作为作物养分来源的化学肥料,如氮肥、磷肥、钾肥及微肥等。

(2) 间接化学肥料。是指以改善土壤理化性状和生物学活性为主要目的的化学肥料,如石膏和石灰等。

(3) 激素化学肥料。是指对作物生长发育过程具有特殊调节作用的化学肥料,如腐植酸类肥料。

7. 按施用时间分类

(1) 基肥。是指为了满足作物在整个生育期内对养分的需求,在播种前或定植前施入土壤的肥料。又称底肥。

(2) 追肥。是指为了满足作物不同生育期对养分的特殊需要,弥补基肥的不足而施用的肥料。

(3) 种肥。是指为了满足作物苗期对养分的需求,在播种时与种子同时施入的肥料。在定植时采用沾根的方式而随幼苗施入的肥料也称种肥。

此外,有按作物的生育期可分为苗肥、返青肥、分蘖肥、拔节肥、穗肥;按施用部位分为根部肥和叶部肥等。

8. 按需要量及施用量分类

(1) 主要养分化肥。指氮肥、磷肥和钾肥。

(2) 次要养分化肥。指含有钙、镁、硫等营养元素的肥料。

(3) 微量养分化肥。指硼肥、锌肥、铜肥、锰肥、铁肥和钼肥等。

(4) 稀土元素肥料。指含有稀土元素的硝酸盐类肥料。

由于不同作物对氯的敏感性存在较大的差异,因此,还有含氯化肥和无氯化肥之分。无氯化肥是指其含氯量低于规定值的化学肥料,其含氯量的最大允许值为 1.0% ~ 2.5%。

三、我国化肥工业的发展

1949 年,我国仅有大连化学厂和南京永利垭厂两个化肥厂,当时前者已停产,后者濒临倒闭。当年的化肥产量仅有 6 000t(以纯养分计,下同),产品只有硫酸铵一种。

中华人民共和国成立后,党和政府十分重视化肥工业的发展。40 多年来,用于化肥工业的投资已达 400 亿元,占化学工业总投资的一半以上。化肥产量迅速增加,1990 年已达 $1\,880 \times 10^4$ t,跃居世界第三位,仅次于前苏联和美国(表 1-1)。

表 1-1 我国历年的化肥产量

年 份	产 量(10^4 t)	N:P ₂ O ₅ :K ₂ O
1949	0.6	1:0.00:0.00
1950 ~ 1959	100.2	1:0.21:0.015
1960 ~ 1969	1 145.6	1:0.62:0.004
1970 ~ 1979	5 502.0	1:0.33:0.003
1980 ~ 1989	14 494.6	1:0.23:0.003
1990	1 879.9	1:0.28:0.003
1991	1 975.2	1:0.30:0.006
1992	1 980.0	1:0.29:0.009
1993	1 862.2	1:0.23:0.006

目前,我国生产基础化肥的工厂共有 1 620 家,其中氮肥厂 1 080 家,磷肥厂 530 家,钾肥厂只有几家。基础化肥的品种主要有尿素、硝酸铵、碳酸氢铵、氨水、液氨、氯化铵、硫酸铵、石灰氮、石灰硝酸铵、过磷酸钙、重过磷酸钙、钙镁磷肥、磷酸一铵、磷酸二铵、硝酸磷肥、磷酸二氢钾、氯化钾、硫酸钾等。我国还拥有相当数量的化肥二次加工厂(或车间)。

(一) 氮肥工业的发展

氮肥工业的发展一直就是我国化肥工业发展的龙头。在中华人民共和国成立后的几年内,我国的氮肥工业就得到了恢复。1953 年,我国氮肥(纯 N)的产量就达到了 $5 \times 10^4 \text{t}$,超过了 1949 年前的历史最高年产量(1941 年国产硫酸铵 $22.7 \times 10^4 \text{t}$,折合纯 N $4.77 \times 10^4 \text{t}$)。在第一、第二个五年计划及国民经济调整时期,我国兴建了一批年产 $5 \times 10^4 \text{t}$ 至 $7.5 \times 10^4 \text{t}$ 合成氨的中型氮肥厂,并扩建了一些老厂。1965 年全国氮肥年产量达到 $103.7 \times 10^4 \text{t}$,比 1953 年增长了近 20 倍。1960~1978 年,我国的大、中、小型氮肥厂建设同步并进,是我国氮肥工业的迅猛发展时期。仅 1969~1978 年的 10 年间投产的年产合成氨 3 000t~5 000t 的小氮肥厂就有 1 225 家,平均每年增加 120 多家。1972 年,国务院决定从国外引进 13 套年产 $30 \times 10^4 \text{t}$ 合成氨和年生产尿素能力为 $50 \times 10^4 \text{t}$ 的设备,到 1979 年全部建成投产。同期还建成了我国自行设计和装备的年产 $30 \times 10^4 \text{t}$ 合成氨的大型化肥厂——上海吴泾化肥厂,从而大大增强了我国氮肥工业的生产能力。1978 年,全国氮肥产量增长到 $764 \times 10^4 \text{t}$,比 1965 年增长了 6.37 倍。1990 年的氮肥总产量已达到 $1 464 \times 10^4 \text{t}$,仅次于前苏联而位居世界第二(表 1-2)。1993~1994 年度达到 $1 553 \times 10^4 \text{t}$,位居世界第一。

表 1-2 我国历年的氮肥和合成氨产量

年份	氮肥 (10^4t , 纯 N)	合成氨(10^4t , NH_3)			
		大型厂	中型厂	小型厂	合 计
1960	19.6	—	43.7	0.3	44.0
1970	152.3	—	144.5	100.3	244.5
1980	1 000.2	312.7	365.5	819.0	1 492.2
1985	1 143.9	444.6	366.1	830.3	1 641.0
1988	1 360.8	414.3	437.9	1 127.1	1 979.3
1989	1 423.9	464.3	443.3	1 161.1	2 069.1
1990	1 463.6				

中华人民共和国成立以来,国产氮肥的品种也不断增加。50 年代初及中期只有硫酸铵和硝酸铵。1958 年和 1960 年分别开始生产碳酸氢铵和氯化铵。1964 年开始生产尿素,1976 年尿素的产量迅速增长,1989 年达到了 $463 \times 10^4 \text{t}$ (纯 N),占氮肥总产量的 32.5%,成为仅次于碳酸氢铵的第二大氮肥品种。复合肥料的工业化生产始于 80 年代中期,但目前所占氮肥的比例仍然很小(表 1-3)。

我国氮肥工业虽然已取得了很大的发展,但尚存在一些亟待解决的问题。首先是数量不足,不能完全满足农业全面发展的需要,近年来每年需进口氮肥 $300 \times 10^4 \sim 400 \times 10^4 \text{t}$ (纯 N)。其次是氮肥品种以低浓单质为主。1990 年我国生产氮肥 $1 464 \times 10^4 \text{t}$ (纯 N),其中碳酸氢铵 $848 \times 10^4 \text{t}$,占氮肥生产总量的 57.9%,这一状况在近期内尚难有较大的改观。

表 1-3 1989 年我国的氮肥品种结构

品 种	产量(10^4 t, 纯 N)	比例(%)
硫酸铵	9.9	0.7
硝酸铵	57.4	4.0
尿 素	463.1	32.5
氯化铵	35.1	2.5
碳酸氢铵	840.1	59.0
氨 水	9.1	0.6
复肥及其他	9.2	0.7
合 计	1 423.9	100.0

(二) 磷肥工业的发展

中华人民共和国成立初期,我国没有磷肥工业。从 1953 年起,我国开始兴建小型磷肥厂,生产过磷酸钙。1956 年过磷酸钙的总产量为 1.4×10^4 t(P_2O_5)。同期,还开始兴建南京和太原两个大型磷肥厂。由于我国磷矿资源不足,杂质含量高,品位低,磷肥工业一开始就采用了酸法和热法并举的工艺生产线。经过一段时间的摸索,60 年代初,钙镁磷肥的生产技术和经济指标均得以过关,为我国磷肥工业的发展开辟了新途径。1983 年,我国的磷肥总产量(P_2O_5)达到了 267×10^4 t,仅次于美国和苏联而居世界第三位。80 年代中后期,我国的磷肥工业开始逐步向高浓度和复合的方向发展(表 1-4)。产量进一步增加,1993~1994 年度达到了 417×10^4 t。

表 1-4 我国磷肥产量(10^4 t, P_2O_5)及品种结构

年 份	合 计	过磷酸钙	钙镁磷肥	磷 铵	其 他
1970	90.7	—	—	—	—
1980	230.6	168.0	60.6	—	2.0
1983	266.6	192.0	71.5	0.8	2.3
1986	234.5	173.3	55.8	1.3	4.0
1987	323.9	233.4	83.5	2.3	4.6
1988	360.7	253.5	98.0	4.8	4.3
1989	366.3	263.1	89.9	5.8	7.5
1990	374.6				

我国磷肥工业的发展较氮肥工业的发展要缓慢得多。一方面是我国大陆的磷矿资源贮量虽然较大,但富矿较少,大部分磷矿是含钙、镁、硅和碳酸盐较多的矿床,选矿十分困难。1990 年我国磷矿石的总产量为 $1 980 \times 10^4$ t,其 P_2O_5 含量平均只有 27.5%,符合磷酸生产要求的仅有 140×10^4 t,只占总产量的 7%。另一方面则是因为少量的富矿又主要集中分布在云南和贵州两省,交通不便,运输困难。由此可见,我国发展高浓度磷复肥的难度是相当大的。

(三) 钾肥和微量元素肥料的生产状况

由于受资源条件的客观限制,我国钾肥工业一直未能发展起来。1983 年,全国的钾肥产量仅有 2.9×10^4 t(K_2O)。“八五”期间投资兴建的青海硫酸钾厂已基本建成,目前已进入

试产阶段,对我国钾肥工业的发展起到了一定的促进作用。1993~1994年度我国的钾肥总产量已增至 $11.7 \times 10^4 \text{t}$ 。

由于作物微量元素缺乏的面积呈现逐年扩大的趋势,目前,我国每年生产和施用的钼、锌、硼、铁、铜等各种微量元素肥料已超过 $5 \times 10^4 \text{t}$ 。1988年,全国施用微量元素肥料的面积已达 $633 \times 10^4 \text{hm}^2$ 。

四、我国肥料结构的特点与化肥需求量预测

(一) 我国肥料施用情况与结构特点

本世纪以前,我国还没有施用化学肥料的记载,农业完全依靠有机肥料,使经过千百年大面积连续耕种的土壤能够保持其肥力,并使作物产量还有所提高,这一历史事实被誉为世界农业史上的奇迹。中华人民共和国成立后,政府各级部门也都十分重视有机肥料的研究工作,大力提倡增施有机肥料。随着我国农业和畜牧业的持续发展,有机肥料的数量不断有所增加,1990年我国有机肥料的施用总量(以纯养分计)已达到 $1499 \times 10^4 \text{t}$,比1949年的 $428 \times 10^4 \text{t}$ 增长了约2.5倍(表1-5)。有机肥料的构成中,仍以猪粪尿为最多,其有效成分占有机肥料养分总量的30.8%,其他依次为大牲畜粪尿占27.2%,秸秆占17.7%,草木灰占10.7%,人粪尿占7.5%,羊粪尿占4.4%,绿肥占1.7%。

表1-5 我国的肥料施用量及其结构

年份	肥料施用量(10^4t)			有机肥料所占比例(%)				化肥所占比例(%)			
	有机肥	化肥	合计	总量	N	P_2O_5	K_2O	总量	N	P_2O_5	K_2O
1949	427.9	0.6	428.5	99.9	99.6	100	100	0.1	0.4	0	0
1957	658.0	36.8	694.8	91.0	88.7	96.0	100	9.0	11.3	4.0	0
1965	736.9	176.0	912.9	80.7	70.8	71.5	99.9	19.3	29.2	28.5	0.1
1975	1065.3	537.9	1603.2	66.4	53.0	54.6	97.3	33.6	47.0	45.4	2.7
1980	1130.8	1269.5	2400.3	47.1	30.6	41.8	92.8	52.9	69.4	58.2	7.2
1985	1380.7	1775.8	3156.5	43.7	28.6	38.6	85.1	56.3	71.4	61.4	14.9
1990	1499.1	2590.3	4089.4	36.7	23.2	29.2	80.1	63.3	76.8	70.8	19.9

1901年,台湾省首先从日本输入化学氮肥,施用于甘蔗上。1905年以后,外商又陆续向中国大陆沿海地区销售化肥。至1949年前,我国还只有沿海的广东、福建、浙江、江苏和山东及台湾等省施用少量的国产和进口的氮肥(硫酸铵),每年的总施用量不超过 $10 \times 10^4 \text{t}$ 。

中华人民共和国成立后,我国化肥工业迅速发展,化肥产量持续增长,化肥的进口量也有所增加。70年代,每年的进口量在 $100 \times 10^4 \text{t}$ 以上。80年代前期,每年的进口量增至 $200 \times 10^4 \text{t}$ 以上。1987~1992年,每年的进口量达到 $500 \times 10^4 \text{t}$ 至 $900 \times 10^4 \text{t}$,从而使我国的化肥施用量有了明显的提高。1993年我国化肥施用量为 $3152 \times 10^4 \text{t}$,已居世界第一位。而实际上,由于我国耕地利用强度大,复种指数高达150%以上,按播种面积计算,每 666.7m^2 (亩)还不足15kg。如果按人均消费量计算,1993年我国人均化肥消费水平为26.3kg,只有美国的36.4%,前苏联的30.8%,荷兰的63.9%,英国的62.1%,法国的24.4%,加拿大的31.5%,比世界平均水平还低2.2kg。

中华人民共和国成立以来,我国的肥料施用状况大致经历了三个阶段:即50年代的有