

化工新技术知识普及丛书

复合肥料

戴元法等 编著

化学工业出版社

序

当前世界新技术和高技术发展十分迅猛，越来越多的国家都把自己的主要注意力转到发展科学技术上。赵紫阳总理在《关于第七个五年计划的报告》中要求我们“很好地利用这个时机和迎接这场挑战”。并且指出：“当前最重要的是，必须进一步普遍树立起重视科技进步的战略观点，使各个方面都有一种加快科学技术发展的紧迫感”。《中共中央关于社会主义精神文明建设指导方针的决议》更加明确指出：“我们进行现代化建设，应当更加自觉地依靠科学，发扬尊重科学、追求知识的精神，努力在全民族范围扎扎实实地组织教育科学文化的普及和提高”。我到一些地区和县调查化学工业的发展情况时，许多从事工业管理和技术工作的同志也迫切希望了解世界新技术的发展同化学工业发展的关系，以及某些化工新技术和有关学科的发展情况、有关知识，以便把化学工业的发展切实转到依靠科技进步的轨道上来，经济有效地办好化学工业。为此，请化工部科技局、出版社和情报所共同组织编写出版一套《化工新技术知识普及丛书》。

本丛书主要是供地方有关工业部门的干部阅读的。在内容上既要讲清楚基础知识和必要的生产技术，也要从经济角度作些探讨。在编写时尽量做到循序渐进，深入浅出。现在这套书的作者和组织编辑出版工作的同志对于这些要求都已给予足够注意。我谨以本丛书倡议人的身份向付出辛勤劳动的这些同志表示衷心的感谢。

我深信，这套丛书的编辑出版，必将获得有关同志的欢迎
和关注，也必将使阅读丛书的同志有所收益。

我还希望广大读者和有机会翻阅本丛书的专家、学者对书
中存在的[·]不当之处批评指正。

秦仲达

一九八六年十月

目 录

绪言	1
第一章 化肥与农业	6
一、化肥对农业的贡献	6
二、营养物质对作物生命过程的功能	8
第二章 作物-土壤-肥料之间的关系	13
一、土壤和土壤性质	13
1. 土壤的基本组成	13
2. 土壤阳离子交换能力	15
3. 土壤酸度	15
二、化肥	17
三、肥料-土壤反应	21
1. 氮肥	21
2. 磷肥	24
3. 钾肥	26
4. 中量营养元素肥料和土壤调理剂	27
5. 微量营养元素肥料	28
6. 营养元素之间的相互促进或抑制	30
7. 施肥的基本要求	30
四、作物吸收养分	31
五、肥料-水的关系	33
第三章 合理施肥	35
一、施肥的基本原理	35
1. 养分归还学说	35
2. 养分最少定律	36

3. 报酬递减定律	37
二、确定土壤养分的丰缺指标	38
1. 土壤采样	39
2. 土壤有效养分分析方法的相关研究	39
3. 土壤养分丰缺指标的确定	40
三、确定合理施肥量	41
1. 田间试验法	41
2. 养分平衡法	45
第四章 复合肥料的生产方法	53
一、配比和品位	53
二、复合肥料生产方法的分类	54
三、复合肥料生产过程中的化学反应	55
四、复合肥料配料的相配性（相合性）	57
五、颗粒复合肥料	61
1. 肥料颗粒大小对农业效果的影响	61
2. 肥料颗粒大小对贮存、装卸操作和用机具施肥的影响	63
3. 复合肥料的造粒技术	63
六、复合肥料的结块和防结块	64
1. 含湿量的影响	64
2. 颗粒大小和强度的影响	65
3. 调理剂的影响	65
4. 贮存温度的影响	66
5. 堆置压力的影响	66
第五章 复合肥料的生产工艺	68
一、干粉混合和造粒	68
1. 干粉混合	68
2. 干粉混合造粒	69
3. 挤压造粒	76
4. 添加化学反应物料的干粉混合造粒	83

二、料浆或熔料造粒法生产复合肥料	91
1. 料浆造粒法	91
2. 熔料造粒法	94
3. 熔料喷淋造粒	97
三、掺混肥料	104
四、流体复合肥料	114
1. 清淤溶液复合肥料	114
2. 悬浮肥料	122
五、含有微量营养元素和农药的复合肥料生产方法	124
1. 向颗粒复合肥料中添加微量营养元素化合物	124
2. 在颗粒复合肥料中添加农药	125
3. 流体复合肥料中添加微量营养元素化合物或农药	125
第六章 发展我国复合肥料的形势和任务	128
一、形势	128
二、采取边创造条件边发展的方针	129
1. 提高现有基础肥料的质量和大力增加高浓度基础肥料 的产量	129
2. 开展有农化服务的科学施肥活动	131
3. 调整化肥的分配体制	132
4. 加强质量监督和价格监督	133
三、采用什么生产技术路线	133
四、结语	135

绪 言

为作物提供养分的物料通称为肥料。以矿物为原料，用化学方法和（或）物理方法制成的肥料称为化学肥料，简称化肥。一些天然的有机物也含有作物所需的营养物质，在农业上大量施用，称为有机肥料。

作物所需要的营养元素已确定有16种，可以分成四类：

（1）碳、氢、氧是作物需要量最大的营养元素，但作物可以直接从水和空气中取得，所以不属于肥料范围。（2）氮、磷、钾是作物需要的最主要的营养元素，被称为作物营养三要素。向农业提供氮磷钾肥料是化肥工业的主要任务。（3）钙、镁、硫是次要常量营养元素作物生长需要量不小，但土壤中比较富有，一般可不补充。如果需要，还可以直接施用含钙、镁或硫的天然矿物或废料。（4）硼、铜、锌、铁、锰、钼称为微量营养元素，作物需要量很少，但它们均参与作物生命过程，与其它营养元素一样重要。

氮磷钾三种主要营养元素中只含有任何一种可标明含量的化肥称为单元肥料或单一肥料，分别为氮肥、磷肥和钾肥，含有任何两种或三种可标明含量的化肥称为复合肥料或混合肥料。复合肥料或混合肥料亦可以含有一种或几种可标明含量的次要营养元素或（和）微量营养元素。复合肥料和混合肥料在美国没有什么区别；在欧洲一些国家，把复合肥料和混合肥料加以区别，前者在生产过程中发生明显的化学反应，后者的生产过程仅仅是简单的机械混合。本书按我国化肥界的讨论决

定，不把它们作严格的区别。

复合肥料有许多规格和品级，它们按氮磷钾的次序分别以N, P_2O_5 , K_2O 的百分含量表示，例如15-15-15表示N: P_2O_5 : K_2O 的比例为1:1:1，含15%N、15% P_2O_5 、15% K_2O 。如果是二元复合肥料，以“O”表示所缺的一种元素，例如18-46-0是氮磷二元复合肥料磷酸二铵，又例如13-0-44是氮钾二元复合肥料硝酸钾。复合肥料中含有可标明含量的次要常量营养元素或微量营养元素，则可以在 K_2O 后面的位置上表明其含量，并加括号注明该元素的符号，例如12-12-12-5(S)是含有硫的三元复合肥料，硫素的含量为5%S。又例如10-10-10-5(MgO)-1.5(Zn)是含有次要常量营养元素镁和微量营养元素锌的三元复合肥料。

化肥工业是为满足农业生产的需求而发展起来的，复合肥料的出现和发展也是如此。早在本世纪初期，美国已经把过磷酸钙、鸟粪和智利硝石等混合起来施肥，以后又把粉状的过磷酸钙、硫酸铵和氯化钾等混合起来施肥。但是从化肥工业的发展过程来看，在相当长的时期内，是以生产单元肥料为主。到了本世纪五六十年代，由于农业生产出现新的需求和化肥工业本身的可能，复合肥料开始发展起来，并成为农业施肥和化肥生产的必由之路。在六七十年代里，它们发展速度极快，现在美国、西欧和日本等国家的化肥消费结构中有35~45%的氮、80~85%的磷和85~90%的钾是由复合肥料提供的。

复合肥料是由于农业生产提出新的需求而兴起的，长时期传统的农业施肥是一种半经验半盲目的农业生产操作，存在着某些养分施用不足和某些养分施用过量的浪费现象。随着土壤科学和植物营养生理学的发展，丰富了土壤、肥料和作物之间关系的知识，提出了养分平衡的概念，并据此提出了科学施肥

或经济施肥的方法。农业上已经可以根据土壤养分诊断分析和大量肥效试验结果，提出针对不同土壤、不同作物、不同气候和其它不同生产条件的农业的施肥模式，农业还要求用机具施肥替代人力施肥，提高施肥操作效率，降低施肥操作费用。这就要求化肥工业能提供品种和规格繁多的颗粒化肥，才能满足不同生产条件的农业要求。以提供单元肥料为主的传统化肥工业就不能满足农业发展的这种新的要求。复合肥料的生产和施用是为适应这种新要求而发展起来的。

复合肥料的出现引起了化肥生产结构和市场结构的变化，就化肥生产本身的技术经济来说，生产装置的大型化和产品的单一化更符合客观的技术经济规律，化肥厂建在原料产地比建在农业区更加有利。这种化肥工业的生产结构显然难以满足各种不同生产条件的农业要求。这就出现了两级加工制的新的化肥工业生产结构。大型的化肥厂一般建在原料产地集中生产为数不多的化肥品种或中间产品，主要是液氨、尿素、硝酸铵、磷酸、重过磷酸钙、磷酸铵和氯化钾等，称为基础肥料或基础原料肥料。把它们运输到农业地区，按照当地农业施肥要求进行第二次加工。农业施肥的新要求促使了化肥工业生产结构的改变。

化肥工业两次加工体制改变了传统的化肥市场结构。传统的化肥市场结构是由生产厂-批发商-零售商-农户所组成，具有两次加工体制的化肥市场是由化肥生产厂-化肥二次加工厂-农户组成，化肥二次加工厂兼有化肥批发商和零售商的职能，从而简化了化肥的市场结构。

上面已经提到，复合肥料的生产和使用是为了满足农业科学施肥或经济施肥的要求，它必需有农化服务的配合，农业工作者和（或）化肥工作者根据土壤养分分析数据和肥效试验结

果，针对性地提出推荐施肥书，其内容包括肥料的规格（主要是氮磷钾比例）、单位面积施用数量、施肥时机和施肥方法等，化肥二次加工厂根据推荐施肥书，向化肥厂购买合适的基础肥料，生产出几种能满足当地农业需要的复合肥料品种，并直接向农户推销。

由上所述可知，复合肥料生产和使用的发展必须具备下列条件：（1）具有足够的基础肥料，特别是高浓度基础肥料的供应；（2）有农化服务机构的配合或指导；（3）有合理的化肥销售分配体制。

新中国成立以来，我国化肥生产在基础非常薄弱的条件下得到了迅速发展，现已成为有相当实力的工业部门。1984年全国产量达到1378.9万吨纯养分（ $N + P_2O_5 + K_2O$ ），并进口了344.9万吨。同年化肥消费量为1659.8万吨纯养分，每亩耕地平均施肥量为11.25公斤，超过了美国、苏联和世界平均施肥水平。毫无疑问，我国的化肥工业为我国的农业发展作出了很大的贡献。但是我国的化肥工业还有些不足之处。一些农业专家认为：我国农业施肥的“温饱”问题已经基本上解决，今后化肥工业的任务不再是单纯地扩大生产规模，大量新建工厂，而是要把重点放在调整氮磷钾的比例和发展复合肥料生产方面。也有人认为：我国人均耕地面积少，人均粮食占有量和化肥占有量远远落后于发达国家水平，提高施肥水平对提高农业产量还有很大潜力，特别还应该推广草地施肥和森林施肥，要继续扩大化肥工业的生产规模，新建各类化肥厂，不论是那一种认识，都是要发展化肥生产的，只不过发展重点不同。农业界和化肥工业界的大多数同志基本同意，并且认为，发展复合肥料是使化肥获得更大农业增产效果和提高化肥社会效益的重要途径。

随着农村生产结构的改革，农业商品生产的发展，过去认为农村劳动力过剩，劳动力便宜等的说法已经开始过时。农民迫切希望买到效果好和施用方便的复合肥料，即使要多花一些费用，他们也愿意。发展复合肥料生产的客观时机已经来到。

全国土壤普查工作即将完成，在大量肥效试验结果基础上编制的全国化肥区域规划即将出版，这为开展有农化服务的科学施肥或经济施肥工作打下了基础。最近1~2年内，由农业工作者和化肥工作者结合起来开发的专用肥料（专用复合肥料）已成为热门。化肥生产厂和科研单位在开发复合肥料的生产技术方面已经进行了大量的工作。总之，发展我国复合肥料生产和使用的时机和主客观条件已初步具备。

《复合肥料》这本小册子将介绍国内外复合肥料生产技术的通俗知识，并收集了“化肥与农业”的有关材料，以便于读者了解复合肥料的生产和使用问题。

第一章 化肥与农业

一、化肥对农业的贡献

古代“刀耕火种”的农业生产中，农作物生长需要的全部养分由土壤供给（土壤养分将在第二章中介绍）。当农民发现某块土地农业收获不高时，就把它废弃，另换一块土地耕作。随着人口增长对粮食需求的增加，同时通过农业生产自身的长期实践产生了施肥的概念。施用天然有机肥料和采用粮食作物与绿肥作物轮作制，开始从外界向土壤投放作物营养物质，这种在低水平下的养分平衡的农业生产，在农业生产史上持续了很长一段时期。随着农业产量的提高，土壤养分长期被消耗和流失，到了上世纪末和本世纪初，土壤肥力普遍出现下降趋势。由于土壤—肥料科学的发展和工业革命提供了手段，从十九世纪中期开始出现了用化学或物理方法加工天然矿物生产化肥，并逐步形成了一个工业部门。从此，农业生产中作物生长所需要的养分来源不再全部依靠自然肥料，而且在高水平的农业生产条件下，可以施用化肥来维持土壤养分的平衡。有人估计，不施用化肥的农业生产，其年增长率一般不超过1%；施用化肥后，增产率可达到2~4%。所以化肥是农业增产的重要手段之一。是人类战胜饥饿和提高生活水平的重要措施之一。

化肥对农业的贡献主要表现在下列方面：

1. 提高农作物产量 有不少人研究讨论过化肥对农业产量的贡献，但由于农业生产条件和施肥水平不同，估算化肥对

农业生产增产数据的差异较大。美国人克利斯廷逊(Christensen)估算1940~1950年间美国谷物增产量中的约55%是施用化肥的结果。美国议会农业科技小组则估计该时期美国谷物产量三分之一是化肥的作用。美国肥料发展中心(TVA)估计近年来美国农业收获中的约37%归功于化肥。我国农科单位估计,化肥对农业产量的贡献约为30~35%。

1983年,我国消费化肥1,659.8万吨($N + P_2O_5 + K_2O$),如果其中85%(1,410.8万吨)用于粮食作物,以每公斤有效养分增产8~10公斤粮食估算,总增产量为1,128~1,410亿公斤,约占全年粮食总产量的28~35%。农业在化肥上的投入每年估算为169.3亿元(以每吨 N 、 P_2O_5 、 K_2O 平均1200元估算),产出为338.4~423亿元,化肥的投入产出比为1:2.0~2.5。

当然,施用化肥所取得的农业增产效果和经济效益必须有其它农业生产条件的配合,不能孤立地只为化肥功,但是化肥在国计民生中的重要性,人们是不应低估的。

2. 提高农产品的质量 施用化肥能够提高粮食中矿物质和蛋白质等的含量,有利于提高人民的健康水平。化肥对提高水果、蔬菜、甘蔗、烟草、棉花和麻等经济作物的质量则更加明显。

3. 保持或提高土壤肥力 除了氮素以外,其他作物营养物质可以在土壤中贮存起来,提高了土壤肥力水平。此外,化肥在提高农作物产量的同时也增加了其秸秆和根系残留物的数量,秸秆和根系残留物留用或返田,是土壤有机质主要来源,并返回了一部分营养物质,它也是保持土壤肥力的最重要因素之一。

4. 控制土壤侵蚀 在未耕作的土地上适当施用化肥,补充土壤中被流失的养分,可促进草的生长,是控制土地侵蚀的

良好措施。

5. 节省土地 施用化肥提高了单位面积土地上的作物产量，在满足了人们的需求之后，可以不必过多地开拓农田，把节省下来的土地植树植草，发展林业和畜牧业，并保护环境。

化肥是否对人类有害？应从两个方面来回答：在化肥生产中向环境排放一些有害物质，如硫的氧化物、氮的氧化物、氟化物、氨及铵盐、硝酸及硝酸盐、氰酸和粉尘等，它们对人类是直接或间接有害的，这已引起了化肥工业界的重视，并在技术上采取措施把污染控制到最低程度。另一方面是施化肥会不会污染环境？从土壤中流失硝酸盐会不会污染水源？关于这个问题已经争论了很长时间，现在比较一致的意见是施用化肥对环境的污染并不显著。

二、营养物质对作物生命过程的功能

1. 氮磷钾主要营养元素

(1) 氮。氮素是氨基酸的组分，是蛋白质分子的核心，而蛋白质又是一切生命的核心。没有蛋白质就没有生命。氮和镁是叶绿素分子中唯有从土壤中取得的两种元素。缺少这两种元素中的任何一种，将导致作物缺叶绿素病。氮素在作物体内的主要功能是促进细胞的分殖而使作物生长。作物短缺氮素，其细胞分殖将减慢或停止，叶子的生长将减慢或停止，光合作用减少，导致农作物减产。

氮肥施用量超过了作物生长的需要量，将在作物体内积累过多的非蛋白性氮，导致硝态氮对作物的毒害。这种情况容易在下列情况下发生：①苗期；②干旱条件；③土壤短缺磷钾。

(2) 磷。磷素是细胞原生质的组分。活的作物细胞中有适量的磷素时才能进行分殖。磷素大量积存在老组织中，并可

以不断向生长着的嫩组织中输送。磷素还参与光合作用，对醣和淀粉的利用和能量传递过程起重要作用。

施用磷肥可以提高作物质量和提前成熟。作物幼苗很快地吸收磷素后，其根系迅速生长。作物生长到其躯体干物质的约25%时，已经吸收了其生长全过程所需磷素的约78%。这是为什么要强调磷肥作底肥施用，并须含有部分水溶性速效磷的原因。这对于生长期短的作物更加重要。

在气温比较低的农业地区施用磷肥的效果更好，这是因为土壤温度低时，降低了作物吸收土壤中磷的能力。土壤中其他营养元素的存在，甚至它们存在的形式，能够影响作物对磷的吸收。例如，底肥中的铵态氮能够强化某些作物对磷素的吸取，从而加速它们根系的生长。这对于北方寒冷地区提前播种小麦非常重要。

作物缺磷症状不像缺氮或缺钾那样明显，某些禾本作物生长到中期时叶茎出现紫红色，是一种缺磷征兆，但要十分小心，因为其它因素也可能出现相同的症状，例如土壤气温太低或虫害等。所以判断是否缺磷，最好进行土壤养分分析。

(3) 钾。钾在作物体内呈一种自由体，不像氮和磷那样以化合物的形式存在。它在作物生命过程中扮演重要角色：加速光合作用、加速结果结实和增强抗寒抗病能力等。

钾素在作物体内对醣和其它物质的转移起关键作用。氨基酸和蛋白质形成的许多酶化反应中也需要钾素，作物细胞内必须有足够的钾素才能保持其内压和防止枯萎。

许多作物，如禾本作物、大豆和紫苜蓿中至少含有2%的钾（干基）。稻草和茎秆中的含钾量比籽粒中的高。当稻草和茎秆中的含钾量低时，作物会倒伏。作物茎秆软弱的现象经常发生在土壤缺钾和过施氮肥。

2. 中量营养元素——钙、镁、硫

(1) 钙。土壤中含钙 0.1~25%·pH 值特别低的土壤含钙量最低，pH 值高的钙质土壤含钙量高。缺钙的情况相对地说的不多的，花生空壳是一种缺钙症状，可以施用石膏或有机钙化物防治。禾本作物出现叶子不展，是可能缺钙症状，如果在酸性土壤上出现这种现象，可以施用石灰质物料。

钙在土壤中所起的其他间接的作用比其营养意义更为重要。它能降低土壤的酸度，有利于作物根系生长、提高土壤微生物的活力、提高钼素的有效性和促进作物对其他营养元素的吸收。施用石灰物料，降低土壤酸度，可以降低锰、铜和钼等在土壤中的溶解度，从而减少它们对作物的毒害。

(2) 镁。土壤中镁的含量比钙低，因为它比钙容易淋溶损失。镁是叶绿素分子的组分，作物如果缺镁，就发生缺绿症，表现为叶子的脉络间出现黄色。棉花叶片脉络呈现黄色是缺镁的症状。雨水量高的酸性沙质土壤上的作物，常常出现缺镁。

(3) 硫。硫也是作物蛋白质和其他重要化合物的组分、作物缺硫症状与缺氮症状相似，叶片发黄。作物需要的硫素是以硫酸根 ($\text{SO}_4^{=}$) 形式从土壤中吸取的。在干燥气候的土壤中含有大量硫酸钙，在潮湿地区的土壤中硫酸钙含量较少。大气中的氧化硫由雨水带入土壤，在工业区周围的地区，每公顷土地每年由雨水带入 7~12 公斤硫。大量施用过磷酸钙和硫酸铵等，同时向土壤施入了硫。一些发达国家，随着环境控制工作的进展和过磷酸钙及硫酸铵等低浓度肥料的施用量大大减小，土壤缺硫现象有所增加。例如美国目前施硫肥比较普遍。

3. 微量营养元素——硼、铜、铁、锰、钼、锌

(1) 硼。作物细胞的分殖、花粉的生存、结果结实、碳

水化合物和水的新陈代谢、蛋白质合成等都有硼素在起作用。缺硼将导致作物减产。几种作物的缺硼症状列于表 1。

表 1 几种作物的缺硼症状

作物名称	缺 硼 症 状
紫云英	生长阻碍, 叶端淡黄和籽粒减少
苹果	内外软木化, 皮起皱
桃子	嫩枝枯死, 叶片边卷曲, 芽枯死
柑桔、柠檬	厚皮, 嫩叶发黄
棉花	花芽花铃壳过多
芹菜	茎开裂
花生	果实变型, 果实上有黑斑点

过施硼肥会引起作物中毒, 特别是豆类、谷类和棉花等对硼很敏感, 硼肥施用量一般限制在每亩 0.007~0.25 公斤(以元素硼计)。

(2) 铜。作物叶绿素的生成和几种酶化过程需有铜素参加。作物缺铜症状无明显特征, 举例列于表 2。

表 2 几种作物的缺铜症状

作物名称	缺 铜 症 状
柑桔、柠檬	嫩枝枯死、叶片发黄
小米	叶片扭曲、叶尖枯萎
玉米	叶片发黄
蔬菜	叶片枯死

(3) 铁。作物缺铁引起叶绿素减少, 削弱呼吸过程。柑桔、豆类、高粱、坚果树和观赏植物经常出现缺铁, 典型症状是叶片发黄。

(4) 锰。作物叶绿素的产生、碳水化合物和氮的新陈代