

肥料加工技术

周连仁 姜佰文 主编

徐凤花 梁桂荣 副主编



化学工业出版社

肥料加工技术



www.cip.com.cn
读科技图书 上化工社网

销售分类建议：农业工程

ISBN 978-7-122-00117-7



9 787122 001177 >

定价：48.00元

肥料加工技术

周连仁 姜佰文 主 编
徐凤花 梁桂荣 副主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书理论与实际相结合,全面介绍了主要肥种加工的基础知识、设备、肥料配方的设计和加工,具有鲜明的实用性、系统性和指导性。

本书可作为肥料加工企业、肥料工作者、农技推广服务人员以及广大农民生产和实践的指导书,也可作为高等院校农业资源与环境等专业的教材。

图书在版编目(CIP)数据

肥料加工技术/周连仁,姜佰文主编. —北京:化学工业出版社,2007.4
ISBN 978-7-122-00117-7

I. 肥… II. ①周…②姜… III. 化学肥料-生产工艺 IV. TQ440.6
中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 036665 号

责任编辑:刘兴春
责任校对:洪雅姝

文字编辑:晁景岩
装帧设计:王晓宇

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)
印 刷:大厂聚鑫印刷有限责任公司
装 订:三河市延风装订厂
787mm×1092mm 1/16 印张17 1/4 字数427千字 2007年6月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:48.00 元

版权所有 违者必究

前 言

肥料的科学加工及合理施用是保证农民提高作物产量的关键。据联合国粮农组织调查统计,肥料的平均增产效果为40%~60%。我国近年来的土壤肥力监测结果表明,肥料对农产品产量的贡献率全国平均为57.8%。

肥料的科学加工及合理施用是改善和提高农产品品质的有效手段。首先是影响与该元素有关的品质成分的含量,其次还可促进与其他营养元素有关的品质成分的形成。如适量施钾肥可明显提高蔬菜、水果中糖分和维生素的含量,抑制单施氮肥的不良效应,降低硝酸盐含量;施磷肥可促进作物体内蔗糖、淀粉和脂肪的合成;适量施用硼、锌、锰肥可以提高瓜果、蔬菜中维生素和糖分含量;施钙肥可防治瓜果的水心病、苦痘病、脐腐病,改善作物外观和品质等。

肥料的科学加工及合理施用是稳定和提高耕地质量,保证农业可持续发展最重要的前提。耕地是人类赖以生存的基础,而我国是个有着悠久历史的农业国家,几千年来,农田养分主要依靠有机肥供应。随着人口的增长和人们生活水平的提高,要求土地的产品量不断增加,若要维持系统的生产能力,则需要向系统投入一定的物质予以补偿。仅仅靠有机肥来维持内部物质循环的封闭式农业是不行的,必须从农业系统外投入物质和能量,扩大物质循环和能量转化的强度,才能保证农业生产的稳定。肥料将会在很长一段时期内,在补充和平衡土壤养分、保护耕地质量方面起到重要作用。肥料是农业可持续发展不可缺少的生产资料。

肥料的科学加工及合理施用是保护生态环境的需要。

本书理论、实际相结合,全面地介绍了主要肥种加工的基础知识、设备、肥料配方的设计和加工,具有鲜明的实用性、系统性和指导性。每章后附有思考题,可作为高等院校农业资源与环境等专业的教材,可作为肥料加工企业、肥料工作者、农技推广服务人员以及广大农民的生产和实践的指导书。

随着我国人口的增加,耕地面积的减少,肥料将继续发挥它无可替代的重要作用。随着人民生活水平的提高,人们更加注重生活质量,对农产品质量提出了更高的要求。肥料加工工作者需要在总结前人工作的基础上,取其精华,开拓创新,不断进取,为推动我国农业和生态环境的可持续发展做出新贡献。

本书第1章由周连仁编写,第2章由姜佰文、王春宏编写,第3章由姜佰文编写,第4章由徐凤花、梁桂荣、郭百雷、张文成、王忠玉和陈亚丹编写,第5章由徐凤花编写,第6章由姜佰文编写。

由于编者水平所限,不可避免地存在缺点和不足,请读者批评指正,我们将在今后的工作中不断完善。

编者

2007年2月

目 录

1 复混肥	1	3.3.4 生产	124
1.1 概论	1	3.3.5 生产注意事项	127
1.1.1 基本知识	1	思考题	128
1.1.2 基础原料	5	4 有机肥	129
1.1.3 生产方法	16	4.1 有机肥的资源	129
1.1.4 主要辅助原料	20	4.1.1 粪尿类	129
1.2 配方的设计与计算	23	4.1.2 沼气肥	136
1.2.1 配方的设计	23	4.1.3 秸秆类	137
1.2.2 选料要点	36	4.1.4 绿肥	138
1.2.3 配料计算	42	4.1.5 土杂肥	139
1.3 复混肥料的加工	59	4.1.6 饼肥	140
1.3.1 掺混法	59	4.1.7 海肥	142
1.3.2 粉料混合造粒法	65	4.1.8 泥炭	143
1.3.3 料浆造粒法	72	4.1.9 腐殖酸类	143
1.3.4 熔料造粒法	78	4.2 堆肥	144
1.3.5 包膜法	83	4.2.1 基本理论	144
思考题	88	4.2.2 堆肥工艺	149
2 叶面肥料	89	4.3 生物有机肥	157
2.1 作用机理及特点	89	4.3.1 基本理论	157
2.1.1 作用机理	89	4.3.2 生产工艺	157
2.1.2 特点	90	4.3.3 有机肥的效果	160
2.1.3 影响叶面肥料效果的因素	92	4.3.4 行业标准	160
2.2 分类及生产	94	4.4 有机-无机复混肥	161
2.2.1 主要类型	94	4.4.1 配方设计	161
2.2.2 生产	100	4.4.2 生产的关键技术	164
思考题	102	4.4.3 不同有机物料的有机-无机 复混肥生产方案	165
3 液体肥料	103	思考题	169
3.1 液体肥料的生产	103	5 微生物肥料	170
3.1.1 概述	103	5.1 概论	170
3.1.2 特点	104	5.1.1 基本知识	170
3.1.3 主要原料及生产	105	5.1.2 开发利用现状及发展趋势	175
3.2 清液复混肥料的生产	108	5.2 菌种的分离和筛选	176
3.2.1 配方的设计	109	5.2.1 土壤样本的采集	176
3.2.2 生产	111	5.2.2 菌株的分离与纯化	176
3.3 悬浮液肥料的生产	119	5.2.3 菌株培养与挑菌	177
3.3.1 原料	119	5.3 豆科根瘤菌肥料	177
3.3.2 悬浮剂	119	5.3.1 概论	177
3.3.3 配方计算	121		

5.3.2	大豆根瘤菌剂的生产	180	6.2.2	双螺旋锥形混合机	213
5.3.3	根瘤菌肥料行业标准及质量 检验	185	6.2.3	转鼓混合机	214
5.3.4	使用方法	188	6.2.4	卧式螺旋带混合机	215
5.3.5	注意事项	188	6.2.5	槽式预中和器	216
5.4	固氮菌肥料	188	6.2.6	管式反应器	217
5.4.1	概述	189	6.3	造粒设备	220
5.4.2	生产	190	6.3.1	盘式造粒机	221
5.4.3	行业标准及质量检验	191	6.3.2	转鼓造粒机	222
5.4.4	使用方法	192	6.3.3	双轴造粒机	223
5.4.5	注意事项	192	6.3.4	喷浆造粒干燥机	224
5.5	硅酸盐细菌肥料	193	6.3.5	挤压造粒机	226
5.5.1	概述	193	6.4	干燥设备	228
5.5.2	生产	194	6.4.1	回转干燥机	228
5.5.3	行业标准	196	6.4.2	喷雾干燥塔	229
5.5.4	使用方法	197	6.5	冷却设备	231
5.5.5	注意事项	197	6.5.1	回转式冷却机	231
5.6	磷细菌肥料	197	6.5.2	沸腾冷却器	232
5.6.1	概述	197	6.6	筛分设备	233
5.6.2	磷细菌的筛选	198	6.6.1	原料的筛分处理	233
5.6.3	生产	199	6.6.2	成品的筛分分离	233
5.6.4	行业标准	200	6.6.3	筛分设备的种类	233
5.6.5	使用方法	200	6.7	尾气处理设备	236
5.6.6	注意事项	200	6.7.1	袋式除尘器	236
5.7	抗菌菌肥料	201	6.7.2	文丘里洗涤器	238
5.7.1	概述	201	6.8	产品调理设备	240
5.7.2	生产	202	6.9	计量设备	241
5.7.3	质量检验	203	6.9.1	圆盘给料机	241
5.7.4	使用方法	203	6.9.2	电脑调速秤	241
5.7.5	注意事项	203	6.10	包装设备	242
5.8	复合微生物肥料	204	6.11	输送设备	243
5.8.1	类型	204	6.11.1	皮带输送机	243
5.8.2	使用方法	204	6.11.2	斗式提升机	244
5.8.3	注意事项	204	6.11.3	螺旋输送机	244
思考题		205	6.12	流体肥料生产的主要设备	245
6	肥料生产的主要设备	206	6.12.1	混合器	246
6.1	粉碎设备	206	6.12.2	反应器	246
6.1.1	链式粉碎机	206	6.13	有机肥发酵设备	247
6.1.2	笼式破碎机	210	6.13.1	发酵设备分类	247
6.1.3	锤滚式粉碎机	210	6.13.2	高温发酵设备	248
6.1.4	双辊粉碎机	212	6.13.3	熟化设备	252
6.2	混合设备	212	思考题		253
6.2.1	螺旋式锥形混合机	213	附录		254
			参考文献		266

1 复混肥

1.1 概论

1.1.1 基本知识

(1) 复混肥料的概念

中华人民共和国国家标准《肥料和土壤调理剂 术语》(GB/T 6274—1997) 中将复混肥料 (compound fertilizer) 定义为: 氮、磷、钾三种养分中, 至少有两种养分标明量的, 由化学方法和(或) 掺混方法制成的肥料。复合肥料 (complex fertilizer) 定义为: 氮、磷、钾三种养分中, 至少有两种养分标明量的, 仅由化学方法制成的肥料。掺合肥料 (blended fertilizer) 定义为: 氮、磷、钾三种养分中, 至少有两种养分标明量的, 由干混方法制成的肥料。

按照以上规定, 仅以化学方法制成的肥料, 例如磷酸一铵、磷酸二铵、磷酸氢铵、硝酸磷肥和钙镁磷肥等属复合肥料, 是复混肥料中的一种; 以掺混方法制成的肥料属掺合肥料, 也是复混肥料中的一种。

(2) 养分标明通则

养分类别分主要养分、次要养分和微量养分。

中华人民共和国国家标准《肥料和土壤调理剂 术语》(GB/T 6274—1997) 中将主要养分 (macro-nutrient; primary nutrient) 定义为: 在某些国家对元素氮、磷、钾的通称; 次要养分 (secondary nutrient; secondary element) 定义为: 在某些国家对元素钙、镁、钠、硫的通称; 微量元素 (micro-nutrient; trace element) 定义为: 植物生长所必需的, 但相对来说是少量的元素, 例如硼、锰、铁、锌、铜、钼和钴等。

目前, 中国和大多数国家采用元素氮 (N)、五氧化二磷 (P_2O_5) 和氧化钾 (K_2O) 来表示主要养分的数量和相互间的比例, 次要养分和微量养分全部以元素为基础表示; 少部分国家则以元素为基础来表示所有养分。联合国粮食与农业组织 (FAO) 已经向以元素为基础来表示所有养分的方向发展。在过渡时期, 可以采用两种形式来表示磷和钾 (P 与 P_2O_5 、K 与 K_2O)。

配合式 (主要养分构成) 按 N- P_2O_5 - K_2O 顺序, 用阿拉伯数字分别表示复混肥料产品中某种养分所占质量分数的一种表示方式, 以“0”表示肥料中不含该养分, 例如 13-9-6 和 14-9-0。

植物养分配合比例 复混肥料中主要养分的比例也按 N- P_2O_5 - K_2O 顺序用一组阿拉伯数字表示, 以总氮含量为 1 定其他养分的比值。例如: 组成为 15-15-7.5 复混肥料的养分比例记作 1:1:0.5。

肥料品位 (总养分) 复混肥料的总养分是总氮、有效五氧化二磷和氧化钾含量之和, 以质量分数计。中华人民共和国复混肥料国家标准 GB/15063—2001 中规定的各种浓度复混肥料的分级指标为:

高浓度 [总养分含量 ($N+P_2O_5+K_2O$) $\geq 40\%$];

中浓度 [总养分含量 ($N+P_2O_5+K_2O$) $\geq 30\%$];

低浓度 [总养分含量 ($N+P_2O_5+K_2O$) $\geq 25\%$]。

不得把次要养分和微量养分或化合物的含量计入总养分。在复混肥料中若加入中量或微量养分,可标明以元素单质计的中量或微量养分各单养分的质量分数。中量和微量养分含量的标记可在主要养分配合式 K_2O 后标示出它们的含量,例如 15-15-15-4(S)-1(Zn) 表示该复混肥料除含 N、 P_2O_5 和 K_2O 各 15% 外,还含有 4% 的 S 和 1% 的 Zn。若加入中量或微量养分各在两种以上时,应按中量或微量养分两种类型分别标明其单养分含量。

复混肥料中的氮养分含量以总氮 (N) 的质量分数表示。氮有两种形态,无机氮和有机氮。无机氮以铵态氮 (NH_4^+-N , 如硫酸铵、氯化铵和磷酸铵等) 和硝态氮 (NO_3^--N , 如硝酸铵和硝酸钙等) 为主。有机氮以有机肥料、鱼粉和骨粉等为主。此外,还有酰胺态氮 [$CO(NH_2)_2$, 尿素] 和氰氨态氮 ($CaCN_2$, 石灰氮)。它们在某一复混肥料产品中可能有一种或一种以上。采用国标方法产品试样检测所得到的氮含量是不同形态氮养分之和。

复混肥料中的磷养分含量以有效磷 (P_2O_5) 的质量分数表示。有效磷由水溶性磷和枸溶性磷组成。水溶性磷肥主要有普通过磷酸钙、重过磷酸钙、磷酸一铵和磷酸二铵等。这类磷肥中的磷绝大部分能溶解于水,施用后容易被植物吸收利用,见效快,故又称速效磷肥。水溶性磷肥适用于中国多数土壤和作物,施用后有较好的效果。枸溶性磷肥(弱酸溶性磷肥)主要有钙镁磷肥、脱氟磷肥和钢渣磷肥等。这类磷肥中的磷不溶于水,但绝大部分能溶于柠檬酸,即枸溶性酸溶液。它在中国南方酸性土壤上表现出良好的农业增产效果;据报道,在中性土壤中使用效果也不错。水溶性磷肥在北方则表现出良好的农业增产效果。

复混肥料中的水溶性磷含量是衡量复混肥料质量的一个重要标准,选用某种磷肥作为肥料加工的基础原料时,首先要考虑速效磷养分中水溶性磷占有有效磷的质量分数,以确保加工后肥料产品中 P_2O_5 水溶率按复混肥料低、中和高浓度分别为: $\geq 40\%$ 、 $\geq 50\%$ 和 $\geq 70\%$ 。以钙镁磷肥等枸溶性磷肥为基础肥料的复混肥料产品,只需要表示有效磷含量,不再控制水溶性磷占有有效磷的百分比,但需要在产品标识中注明“枸溶性磷”的含量。

复混肥料中的钾养分含量以钾 (K_2O) 的质量分数表示,主要有硫酸钾和氯化钾,此外还有少量的硝酸钾。这类钾肥中的钾绝大部分能溶解于水,施用后容易被植物吸收利用,见效快,故又称速效钾肥。

中华人民共和国复混肥料国家标准 GB 15063—2001 中规定:氯离子 (Cl^-) 占复混肥料的比例应小于或等于 3.0%。如产品氯离子含量大于 3.0%,并在包装容器上标明“含氯”,可不检验该项目。但若包装容器上未标明“含氯”时,必须检验氯离子含量。

大部分复混肥料产品中选用了含氯的化合物如氯化钾、氯化铵等作为基础原料,主要是考虑了成本问题。含氯复混肥料在水稻中的有效性已为大家所熟悉,它对其他农作物例如小麦、大麦、甘蔗、玉米、纤维植物和高粱等也成功地进行过试验和施用,尤其是用于棕榈类作物。有研究表明,氯含量与获得椰子肉的数量紧密相关,干椰子肉的产率几乎比没有施氯的椰子树所得产率高 70%。这表明,氯含量在一定的条件下是有益的。但对于一些对氯敏感的作物来说氯是有害的。忌氯作物如柑橘、葡萄、烟草、蓖麻、荞麦、马铃薯和茶叶等,施用含氯复混肥料会影响这些作物的品质。因此,生产该类专用肥应该考虑这个问题。

(3) 复混肥料的种类

复混肥料按照不同的分类方法,大致可以分为以下 6 种类别。

① 按物理形态不同划分为固态和液态两种 固态复混肥主要以颗粒状的较多，少数为粉状的，也有块状和棒状的。液体复混肥是含有植物生长所需营养元素的溶液。液体复混肥分配均匀，施肥过程机械化程度高，易为作物吸收，设备投资少，工艺流程简单。液体复混肥料又可分为溶液复混肥料和悬浮液复混肥料。溶液复混肥料是在液体中的所有组成成分均是溶液状的。悬浮液复混肥料则是一种含有固体成分的液体混合肥料，在悬浮液中，由于加入了一种胶状物质，使这些固体成分悬浮在悬浮液中，这种胶状物质增加了悬浮液的黏性，并减缓了悬浮液沉淀的速度。

② 按主要养分的种类划分为氮磷复混、氮钾复混、磷钾复混和氮磷钾复混肥料。

③ 按主要养分总养分含量高低划分为（颗粒复混肥料）高浓度（ $\geq 40\%$ ）、中浓度（ $\geq 30\%$ 到 $<40\%$ ）和低浓度复混肥料（ $\geq 25\%$ 到 $<30\%$ ）。

④ 按施用范围及功能划分为通用型和专用型复混肥料 通用型复混肥料如 $N-P_2O_5-K_2O$ (16-16-16 或 12-12-12)，适用的地域及作物的范围比较广，但其中某一种或两种有效养分可能富裕过剩，造成浪费，而另外的有效养分又可能不足，成为作物产量提高的限制因素。专用型复混肥料仅适用于某一区域的某种作物，比如麦类、稻类、黍类、豆类、瓜类、菜类、果类和烟叶类等。在类与类之间有一定的专用性，在同类之间又有一定的通用性。专用型肥料的配料所使用的养分配比（包括所需的中量及微量养分）针对性强，养分能充分利用。

⑤ 按制造工艺划分为化成复混肥、配合复混肥和混成复混肥 化成复混肥是在一定的工艺条件下，用化学合成的方法，或者用化学分离的过程制得的，具有固定化学组成，含很少副成分的复合肥料，如偏磷酸铵 $[(NH_4)_2HPO_4 + NH_4H_2PO_4]$ 、硝酸钾 (KNO_3) 和偏磷酸钾等。这类复合肥料养分含量高，可单独施用，也可作为原料用于生产复混肥。由于这类肥料的生产一般对磷矿的原料要求较高，投资规模也较大，所以目前我国这类厂家并不多。

配合复混肥是根据用户的要求，使高浓度的肥料如尿素、氯化钾或磷酸铵等按照一定比例，经混合制造成粒的一类肥料，二元复合肥、三元复合肥均属此类。这类肥料的养分含量和比例可按不同的要求进行配制，一般由于在加工过程中要加入一定的助剂和填料，所以这类复混肥多数含有副成分，如硫酸和高岭土等。但这类复混肥所含的化学组分均匀，除了含氮、磷、钾和镁等主要元素外，还可添加锌、硼和锰等微量元素。

混成复混肥（掺混肥）是以单元肥料或化成复混肥料如硫酸铵、磷酸铵和硫酸钾等为原科，按照一定的比例，通过简单的机械混合而制成的肥料产品。在混合过程中无明显的化学反应发生，只是把几种肥料掺混，便于测土施肥并提高肥力。由于这种肥料无固定规格的颗粒，可以就近配施，也可以散装运输，十分方便，因此混成复混肥在世界上发展很快。据有关资料报道，美国约有 8000 个工厂生产这种掺混肥料，所生产的掺混肥料占总肥料的 45% 左右，但这种肥料的养分含量和比例范围较宽，针对性强，常含副成分，一般应随配随用，不宜长期存放。

⑥ 按生产工艺划分为粒状复混、粉状复混、包被复混和流体复混肥料。

(4) 复混肥料的特点

① 养分齐全、科学配伍 复混肥料最显著的特点是根据某一地区、某一类土壤和某一种作物的需要配制而成含有多种养分（包括主要、次要和微量养分）、养分配比经济合理、针对性强的多种复混肥料品种。例如，复混肥料中配加钙、镁和硫，除了作为营养元素（如镁可改善水稻和玉米的品质，提高甜菜糖分）加以补充外，还作为土壤调理剂，以维持适宜的土壤 pH 值，提高营养元素的有效性，增强作物的抗病虫害能力。按照土壤条件和作物需

要配加微量养分，如配加钼在大豆上，配加硼在油菜、小麦和棉花上，以及配加锌在玉米、水稻上均取得了良好的效果。稻谷和甘蔗地施加有益元素硅也取得了显著的增产效果。

由于复混肥料，尤其是专用型复混肥料的组成，是作物生长中缺什么养分就配入什么营养元素，缺多少量就配多少量，喜欢什么形态的养分就配入什么形态的，因而养分利用率高、效果好。

② 物理性能好、适合于机械化施肥 施肥机械化是现代化农业生产的必然趋势，复混肥料的生产和发展适应了机械化施肥的要求。世界各国所生产的固体复混肥料绝大多数是颗粒肥料，在物理性能等方面具有下列优点：(a) 比表面积小，大大减少了结块的可能性；(b) 具有良好的流动性，适用于机械化装卸和施肥；(c) 堆密度小，相应地降低了包装、贮存或运输费用；(d) 在装卸和施肥操作中产生的粉尘量少，改善了环境，减少了肥料损失；(e) 粒径一般是 1~5mm，是机械化施肥最适合的粒径；(f) 在土壤中的养分溶出速率比较慢，减轻或消除了对根部的伤害，同时也减少了氮养分的淋溶损失。制成颗粒的水溶性复混肥料比表面小，从而减轻了被土壤中铁、铝离子“固定”的机会，其肥效较粉状的高。

③ 简化施肥、节省农业劳动力 随着农村经济的多元化，农业劳动力逐渐减少。习惯上由农户自己使用几种基础肥料，手工混拌这些既有粉状态又有粒状的物料，这种掺混方式既花费劳动力又浪费时间，还很难混匀，所配制的混拌肥料也不便于各种施肥方法，如配制的肥料不能适合作物生长要求，往往需要多次追施。当选用了有较强针对性的复混肥料时，既可节省劳动力，又可简化施肥程序。复混肥料一般在播种前或在种植时，将它作为基肥施用。作物生长全程所需的全部或大部分磷和钾，以及一部分氮由复混肥料供给，氮的其余部分则可以“表施”或“侧施”形式追施补给。例如欧洲和日本等国 80%~85% 的磷养分、85%~90% 的钾养分和 35%~45% 的氮养分均制成复混肥料提供给农业。

④ 效用与功能多 与农业科研和实践相结合，复混肥料的效用在不断发展。如硝化及尿酶抑制剂的配入以及包膜技术的应用，提高了氮养分的利用率；配加稀土元素的复混肥料比不配加的在棉花种植中起增产作用。缓释型复混肥料在美国和欧洲已主要用于非农业市场，如高尔夫球场等。由大庆谷丰复混肥有限责任公司生产的控释掺混肥已经大量应用于玉米和水稻施肥。

(5) 复混肥料的发展

我国复混肥料的生产和使用起步于 20 世纪 70 年代末。到 80 年代，我国各级农业部门已陆续开展测土施肥和配方施肥，并根据土壤和作物的需要，研究和生产各种专用复混肥料。2003 年全国复合肥的实际产量已达 1000 万吨，为当年全国化肥生产总量的 25%。目前，全国已生产用于粮棉油、林果、蔬菜和花木等作物 5 大类 50 多个系列与品种的专用复混肥。为了发展复混肥生产和推广应用，“高浓度复合肥料品种、应用技术和二次加工技术研究”被列为“六五”和“七五”国家科技攻关项目，配方施肥技术列为“八五”期间重点推广的农业技术之一。由于大规模、多层次和多部门的协作研究，使化肥使用效率提高 3% 以上，进一步肯定了我国发展复混肥料是促进农业科技进步、发展高产优质高效农业的重要措施。

复混肥的发展引起了化肥生产结构和化肥市场结构的变化。化肥厂从单一生产化肥到建立原料基地并建立两级加工制，即大型的化肥厂建在原料产地，集中生产为数不多的化肥品种或中间产品，如液氨、尿素、硝酸铵、过磷酸钙和氯化钾等，称为基础肥料；然后再将它们运输到农业地区，按照当地农业施肥要求进行二次加工，由此改变了传统的化肥市场结构。传统的化肥市场结构一般是由化肥生产厂-批发商（即化肥销售中心）-零售商-农户四部

分组成，具有化肥两次加工体制的化肥市场是由化肥生产厂-化肥二次加工厂兼零售商-农户三方组成，从而简化了市场途径。

目前，我国复混肥料的发展主要集中在如下几方面。

① 发展高浓度复混肥 生产和施用复混肥料主要意义在于：可以节省贮、运、施的费用；使科学技术的投入与物质的投入相结合，做到肥料合理配方，保证稳产增产。因此，从某种意义上说，浓度愈高，其社会效益愈大。从国外复混肥料的发展历程看，也证实了这一点。例如：美国化肥的有效养分含量，1950 年为 22%，1966 年为 31%，1976 年提高到 43%。高浓度复混肥料的平均有效养分含量在 40% 左右。高浓度复混肥料在化肥总产量中的比重，欧美和日本等国家和地区高达 70% 左右。这一情况与我国目前化肥存在的浓度低、复混肥料少、氮磷钾肥比例不协调等问题形成了鲜明的对比。为此，从长远利益考虑，应该发展高浓度复混肥，逐步建立我国独立的高浓度复混肥生产体系。发展高浓度复混肥关键在于拥有高浓度基础肥料，否则就是“无米之炊”。为此，必须积极探明磷、钾资源，大力发展我国高浓度磷、钾肥料工业。

② 发展专用型复混肥 近二三十年来，随着化肥生产技术水平的逐步提高，农化服务技术的不断发展以及销售系统的日趋完善，一些国家在发展多品种、多规格复混肥和通用型复混肥的基础上，针对各种作物和各地区的土壤情况发展专用型复混肥，收到了良好的效果。

发展通用型复混肥与发展专用型复混肥是相辅相成的。从宏观角度看，由于工厂大型化，生产不同养分配比（或添加某种微量元素）的通用型复混肥供农民针对土壤和作物特点加以选用，并用单元肥料（如氮肥）作追肥，对养分配比加以调节，可以满足施肥的需要，这类复混肥是大量生产的主要肥料。但从局部地区来看，针对该地区土壤的类型和某些作物如蔬菜、水果或桑树等的特殊营养要求，由小型厂集中生产一些专用型复混肥，如 BB 肥、叶面肥等，就地销售和施用，是非常必要的。

③ 发展复混肥与“三化”建设相结合 产业化、信息化和网络化是平衡施肥的发展趋势，是当今发达国家普遍采用的一种平衡施肥技术体系。该体系根据土壤化学性质和植物生长原理，针对不同的地区、不同的气候条件和不同土壤及作物，测定土壤养分，由专家通过计算机确定施肥配方。根据配方企业定点生产专用配方复混肥，再直销给农民，农民将相应作物生长信息反馈给专家，专家再进一步调整配方反馈给农民，从而构成了平衡施肥的产业化、信息化和网络化，指导农民科学、经济、合理施肥，达到高产、优质和高效的目的。这种模式充分利用了日益普及的因特网、信息网络化技术和智能优化算法，利用专家的知识 and 先进的技术，在施肥地区为肥料使用者构造出一个优化配方施肥的操作平台，研制出配方优化决策软件，并以此为中心建立专家咨询机构，肥料生产企业组织生产专用肥，计算机网络系统和农民构成了平衡施肥信息网络系统和商业化运营的网络服务系统。该网络的建成可降低肥料总的施用量，灵活地调整配方，大幅度地降低成本。

另外，要加快推广控释 BB 肥的应用，控释 BB 肥是平衡施肥最好的物化产品。大庆谷丰复混肥有限责任公司引进了目前具有国际先进水平的山东农业大学研制的大田作物系列控释 BB 肥，大大提高了肥料的利用率，应该加紧推广这种环境友好型肥料。

1.1.2 基础原料

(1) 主要养分

氮、磷、钾养分是复混肥料的主要养分，分述如下。

① 硫酸铵 硫酸铵 $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]$ ，含 N 20%~21%] 简称硫铵，俗称肥田粉，是我国

使用和生产最早的一个氮肥品种。硫酸铵产品一般为白色结晶，副产品或混有杂质时呈微黄或灰色，物理性质稳定，分解温度高（≥280℃），不易吸湿，临界吸湿点为相对湿度 81%（20℃），易溶于水。硫酸铵质量标准见表 1-1。

表 1-1 硫酸铵质量标准（GB 535—1995）

项 目	指 标/%		
	优等品	一等品	合格品
外 观	白色结晶,无可见机械杂质		
氮(N)含量(以干基计)	≥ 21.0	21.0	20.5
水分(H ₂ O)	≤ 0.2	0.3	1.0
游离酸(H ₂ SO ₄)含量	≤ 0.03	0.05	0.20
铁(Fe)含量	≤ 0.007	—	—
砷(As)含量	≤ 0.00005	—	—
重金属(以 Pb 计)含量	≤ 0.005	—	—
水不溶物含量	≤ 0.01	—	—

注：硫酸铵作农业用时可不检验铁、砷、重金属和水不溶物含量等指标。

② 尿素 尿素[CO(NH₂)₂，含 N 46%]，学名碳酰二胺，是人工合成的第一个有机物（德国 Whler，1928）。尿素产品有两种剂型，结晶尿素呈白色针状或棱柱状晶形，吸湿性强。粒状尿素一般分两种，由造粒塔生产的称小粒尿素，为粒径 1~2mm 的半透明粒子，外观光洁，吸湿性有明显改善；由成粒器（转盘、转鼓等）生产的尿素，粒径为 2~10mm，其中 2~4mm 的大颗粒尿素最适合于用作散装掺合肥料的基础肥料，大于 4mm 的颗粒尿素主要用于森林等木本作物。尿素在 20℃ 时临界吸湿点为相对湿度 80%。尿素易溶于水和液氨中，也能溶于醇类，稍溶于乙醚及酯。尿素能与酸或盐相互作用，生成盐和络合物。尿素与硫酸铵、磷酸铵、氯化钾和硫酸钾有良好的混配性能；与过磷酸钙混配会引起加成反应，产生游离水，因此只能进行有限配混；尿素与过磷酸钙更不应在同一掺合肥料中使用。尿素或含有尿素的复合肥料与硝酸铵或含有硝酸铵的复合肥料是绝对不能掺混的，因为这样得到的固体掺合料极易潮湿。尿素硝酸铵溶液在液体复混肥料中的使用很普遍。尿素质量标准见表 1-2。

表 1-2 尿素质量标准（GB 2440—2001）

项 目		工业用/%			农业用/%		
		优等品	一等品	合格品	优等品	一等品	合格品
总氮(N,以干基计)	≥	46.5	46.3	46.3	46.4	46.2	46.0
缩二脲	≤	0.5	0.9	1.0	0.9	1.0	1.5
水(H ₂ O)分	≤	0.3	0.5	0.7	0.4	0.5	1.0
铁(以 Fe 计)	≤	0.0005	0.0005	0.0010			
碱度(以 NH ₃ 计)	≤	0.01	0.02	0.03			
硫酸盐(以 SO ₄ ²⁻ 计)	≤	0.005	0.010	0.020			
水不溶物	≤	0.005	0.010	0.040			
亚甲基二脲(以 HCHO 计)	≤				0.6	0.6	0.6
粒 度	d 0.85~2.80mm	≥					
	d 1.18~3.35mm	≥					
	d 2.00~4.75mm	≥	90	90	93	90	90
	d 4.00~8.00mm	≥					

注：1. 若尿素生产工艺中不加甲醛，可不作亚甲基二脲含量的测定。

2. 指标中粒度项只需符合四档中任一档即可，包装标识中应标明。

③ 液氨 液氨 (NH₃, 含 N 82%) 是氨的液化产品, 也称无水氨, 含水仅 0.2%~0.5%, 还含有微量油 (<5mg/kg), 是含氮量最高的氮肥品种。液氨的质量标准见表 1-3。

表 1-3 液体无水氨质量标准 (GB 536—88)

项 目		指 标		
		优等品	一等品	合格品
氨含量/%	≥	99.9	99.8	99.6
水分/%	≤	0.1	—	—
残留物含量/%	≤	0.1(重量法)	0.2	0.4
油含量/(mg/kg)	≤	5(重量法)	—	—
铁含量/(mg/kg)	≤	2(红外光谱法)	—	—
		1	—	—

④ 硝酸铵 硝酸铵 (NH₄NO₃, 含 N 33%~35%) 简称硝铵, 是一个重要的氮肥品种。硝酸铵纯品为白色斜方晶体, 极易溶于水, 20℃时溶解度为 65.2%。硝酸铵易吸湿, 贮运中存在燃爆危险。硝酸铵的临界吸湿点为 63.3%(20℃), 明显低于其他氮肥。肥料级硝酸铵一般为淡黄色粒状, 密封包装, 贮存时避免与易燃物、氧化剂等接触, 运输中作危险品处理, 使用前如遇结块, 不能撞击, 而宜将其溶解。结晶状硝酸铵质量标准见表 1-4, 颗粒状硝酸铵质量标准见表 1-5。

表 1-4 结晶状硝酸铵质量标准 (GB 2945—89)

项 目		指 标/%				
		工 业		农 业		
		优等品	一等品	优等品	一等品	合格品
硝酸铵含量(以干基计)	≥	99.5		—		
总氮含量(以干基计)	≥	—		34.6		
游离水含量	≤	0.3	0.5	0.3	0.5	0.7
酸度		甲基橙指示剂不显红色				
燃烧残渣	≤	0.05		—		

注: 游离水含量以出厂检验为准, 下同。

表 1-5 颗粒状硝酸铵质量标准 (GB 2945—89)

项 目		指 标/%					
		工 业			农 业		
		优等品	一等品	合格品	优等品	一等品	合格品
外 观		无肉眼可见的杂质					
硝酸铵含量(以干基计)	≥	99.5			—		
总氮含量(以干基计)	≥	—			34.4	34.0	
游离水含量	≤	0.6	1.0	1.2	0.6	1.0	1.5
10%硝酸铵水溶液 pH 值	≥	5.0	4.0		5.0	4.0	
10%硝酸中不溶物含量	≤	0.2			—		
防结块添加物(以氧化钙计的硝酸镁和硝酸钙的含量)		—			0.2~0.5	—	
颗粒平均抗压强度/(N/颗粒)	≥	5			5		
粒度(1.0~2.8mm 颗粒)	≥	85			85		
松散度	≥	—			80	50	—

注: 允许加入新的防结块添加物, 但该添加物必须经全国肥料及土壤调理剂标准化技术委员会认可。

⑤ 碳酸氢铵 碳酸氢铵 (NH₄HCO₃, 含 N 17%) 简称碳铵, 是一种无色或浅色化合物, 呈粒状、板状或柱状细结晶, 密度 1.57g/cm³, 容重 0.75g/cm³, 易溶于水。碳酸氢铵

是酸式碳酸盐。由重碳酸根与氨结合的碳酸氢铵分子极不稳定，即使在常温（20℃）下也很容易分解。碳酸氢铵除易分解挥发外，其含氮量低，只及尿素的 37%和硫酸铵的 81%，增加贮运量 0.2~1.7 倍，且因怕“热”而难以作为二次加工生产复混肥的主要氮源。农业用碳酸氢铵的质量标准见表 1-6。

表 1-6 农业用碳酸氢铵的质量标准（GB 3559—2001）

项 目	碳酸氢铵/%			干碳酸氢铵/%
	优等品	一等品	合格品	
氮(N) ≥	17.2	17.1	16.8	17.5
水分(H ₂ O) ≤	3.0	3.5	5.0	0.5

注：优等品和一等品必须含添加剂。

⑥ 氯化铵 氯化铵（NH₄Cl，含 N 24%~26%）简称氯铵，是一种重要的铵态氮肥，纯品含 N 26.19%，肥料级产品含 N 24%~26%。由溶液结晶形成的氯化铵产品，呈白色或略带浅黄色，细结晶状，易溶于水，溶解时能吸热致冷，溶解度随温度升高而增大，100℃时可达 77.3%。氯化铵临界吸湿点较高，20℃时为相对湿度 79.3%，接近硫酸铵，但肥料级产品由于混有食盐、游离碳酸氢铵和硫酸盐等杂质而有氨味，易吸湿潮解，故贮运时必须注意密封。生产上有时将其精制并粒状化，成为 1~3mm 颗粒，可明显降低其吸湿性和提高品质。农业用氯化铵质量标准见表 1-7。

表 1-7 农业用氯化铵质量标准（GB 2946—92）

项 目	优等品	一等品	合格品
氮(N)含量(以干基计) ≥	25.4	25.0	25.0
水分 ≤	0.5	0.7	1.0
钠盐含量(以 Na 计) ≤	0.8	1.0	1.4
粒度(1.0~4.0mm 颗粒) ≥	75	—	—
松散度(孔径 5.0mm) ≥	75	—	—

注：1. 水分指出厂检验结果。结晶状产品必须加防结块剂。

2. 结晶状产品不控制粒度和松散度两项指标。

3. 松散度为监督抽验项目。每 7 天测定 1 次，均以出厂检验结果为准，但生产厂必须保证每批出厂产品合格。

⑦ 氰氨化钙 氰氨化钙（CaCN₂，含 N 20%~22%）又称石灰氮，也是一种有机氮肥。高温下生成的石灰氮产品是一种黑色粉末，带有电石气味，易飞扬，对人体黏膜有刺激性，施用不便，故常加入 2%~4% 矿物油将其制成细粒状。石灰氮不溶于水，吸湿性较好，但一旦在潮湿气候下吸湿，会使其结块硬化，体积增大，引起变质，故石灰氮也要注意防潮防水。氰氨化钙质量标准见表 1-8。

表 1-8 氰氨化钙质量标准（HG 2427—93）

项 目	指 标/%		
	优等品	一等品	合格品
总氮(N)含量 ≥	20.0	19.0	17.0
电石(CaC ₂)含量 ≤	0.2	0.5	1.0
筛余物(850μm 筛) ≤	3	3	3

⑧ 过磷酸钙 过磷酸钙[Ca(H₂PO₄)₂·H₂O+CaSO₄，含 P₂O₅ 12%~20%] 是酸法磷肥的代表品种，俗称普钙，泛指用硫酸、磷酸或两者混合酸分解磷矿粉所制得的商品磷肥。普钙的主要成分是水溶性磷酸一钙，约占总量的 30%~50%，难溶的硫酸钙约占总量的 40%~50%，还含有少量游离的磷酸和硫酸。普钙外观粉末状，呈灰白、浅黄或烟灰色，水

溶液呈酸性反应。产品经造粒可制成粒径 2~4mm 的粒状普钙。普钙在当季作物中的利用率低，一般小于 10%~20%。过磷酸钙质量标准见表 1-9。

表 1-9 过磷酸钙质量标准 (HG 2740—95)

项 目		指 标/%			
		优等品	一等品	合格品	
				I	II
有效五氧化二磷(P_2O_5)含量	$\geq$	18.0	16.0	14.0	12.0
游离酸(以 P_2O_5 计)含量	$\leq$	5.0	5.5	5.5	5.5
水分	$\leq$	12.0	14.0	14.0	15.0

⑨ 重过磷酸钙 重过磷酸钙(重钙) [$Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$, 含 P_2O_5 40%~50%], 因其含 P_2O_5 量约为普钙的 3 倍, 也称三料(三重)过磷酸钙, 俗称“三料”, 是一种高浓度的磷肥。重钙属水溶性磷肥, 显深灰色的颗粒或粉状, 为弱酸性, 不含石膏, 易结块, 腐蚀性和吸湿性也较强。重钙不含硫酸铁和硫酸铝, 不会发生磷酸盐的退化。其浓度高, 多为粒状, 物理性状好, 便于运输和贮存。粒状重过磷酸钙质量标准见表 1-10。

表 1-10 粒状重过磷酸钙质量标准 (HG 2219—91)

项 目		指 标		
		优等品	一等品	合格品
总磷(P_2O_5)含量/%	$\geq$	47.0	44.0	40.0
有效磷(P_2O_5)含量/%	$\geq$	46.0	42.0	38.0
游离酸(以 P_2O_5 计)含量/%	$\leq$	4.5	5.0	5.0
游离水分/%	$\leq$	3.5	4.0	5.0
粒度(1.0~4.0mm)/%	$\geq$	90	90	85
颗粒平均抗压强度/N	$\geq$	12	10	8

⑩ 硝酸钙 硝酸钙 [$Ca(NO_3)_2$, 含 N 13%~15%] 常用碳酸钙与硝酸反应生成。在溶液状态下生成的硝酸钙是其水合物 $Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ (含 N 11%), 加热至 42.7℃, 放出 2 分子 H_2O , 至 150℃ 成 $Ca(NO_3)_2 \cdot 2H_2O$ (含 N 13%), 进一步升温至 172℃, 则完全脱水成 $Ca(NO_3)_2$, 含 N 16%。为便于造粒, 可在硝酸钙料浆浓缩至 87% 时, 加 5% NH_4NO_3 作添加剂, 生产出含 N 15.5%~16.0% 的产品。肥料级硝酸钙是一种灰色或淡黄色颗粒。硝酸钙极易吸湿, 20℃ 时吸湿点为相对湿度 54.8%, 很易在空气中潮解自溶, 贮运中应注意密封。硝酸钙易溶于水, 溶解度 128.8%, 水溶液呈酸性。硝酸钙对热稳定, 只在高温(561℃)下分解。硝酸钙在与土壤作用及被作物吸收过程中, 表现弱的生理碱性, 但由于含有充足的 Ca^{2+} 而不致引起副作用。氨化硝酸钙质量标准见表 1-11。

表 1-11 氨化硝酸钙质量标准 (HG/T 3733—2004)

项 目	指标/%	项 目	指标/%
总氮(N)的质量分数	$\geq$ 14.5	游离水(H_2O)的质量分数	$\leq$ 3.5
水溶性钙(Ca)的质量分数	$\geq$ 18.0	粒度(1.00~4.75mm)	$\geq$ 80

⑪ 钙镁磷钾肥 磷矿石、钾长石(或含钾矿石)与含镁、硅的矿石, 在高温炉或电炉中经高温熔融、水淬、干燥和磨细所制得的肥料。钙镁磷钾肥呈灰白色、灰绿色或灰黑色粉末, 质量标准见表 1-12。