

复混肥和功能性肥料生产新工艺
及应用技术丛书

施用技术与农化服务

徐静安 主编
林先贵 范晓晖 潘振玉 副主编

化学工业出版社

应用化学与“三农”读物出版中心

·北京·

编 写 人 员

主 编 徐静安

副主编 林先贵 范晓晖 潘振玉

第一章 鲁如坤

第二章 林先贵 吴锡军 束中立 刘才勇

第三章

第一节 钦绳武 范晓晖 汪金舫

第二节 孙秀廷 朱其清 刘崇群

第三节 董晓英 罗质超 史陶钧

第四章 张 新 施建平 王浩清 潘振玉

第五章 鲁如坤

前 言

我国是一个农业大国，也是化肥生产和使用大国。化肥工业是世界上发展速度较快的工业之一，经过四十多年辛勤耕耘，我国化肥产量约占世界总产量的 20%，施用量约占 28%，均位于世界第一。国内施用化肥从 1949 年不足肥料总投入量的 0.1% 到至今高达 85% 以上，所以化肥是我国农业及有关领域发展十分重要的条件和基础。

科学技术进步和相关学科的发展，市场需求变化和自然界生态平衡与调控，对化肥工业技术研发和进步提出了更新更高的要求。纵观我国化肥工业和化肥施用现状，在肥料复合化，深度再加工，复混肥生产规模，化肥当季利用率，氮、磷、钾比例，农化服务，科学施肥等方面与国际先进水平尚有一定差距，迫切要求加快发展化肥二次加工技术和复肥多品种的研究开发及应用。

化肥平均浓度的高低和复肥所占比重可反映出一个国家化肥工业的技术水平。复肥生产过程也是将磷肥生产和氮肥品种加工结合起来，使化肥加工过程大为简化，可比制造同等有效养分的单体肥料节省原料、降低成本、改善环境。同时经过一系列系统肥效试验和实际应用已充分证实其效果远比单组分养分肥要高。

我国复肥生产始于 20 世纪 70 年代，发展迅速。尤其是进入 90 年代，几乎每年以 100 万 t（实物量）的速度递增，而且逐步转向生产高浓度复混肥。但是至今复肥产量仅占化肥总量 10% 左右，而且主要是低浓度产品，与世界发达国家复混肥施用量已占总量 70% 以上相比较差距是很大的。为此发展高浓、多品种复肥已列为国家“十五”及今后发展的重点之一。广大行业管理者、科技人员、生产企业、化肥施用者等都十分需要有一本专业性强、技术先进、全面系统的复混肥科技书籍以资参阅。为此化学工业出版社特委托上海化工研究院、国家磷复（混）肥生产技术与装备研究推广中心和中科院南京

土壤研究所共同编著这套丛书。以丛书形式出版既能系统、全面地介绍国内最新技术和国内外信息知识，又可对不同专业人员选读所需内容提供方便。

本丛书编著作者大多是工作在实验室、工程开发、设计应用、试验基地的有关专家和科技人员及专利发明人，编写内容从理论到实际，从生产到应用，力求新颖、易于工业化、突出重点、实用性强等特点。各类生产技术中，不少是自行开发、设计、运行、考核成功的案例。以尿素为基础肥料再加工制复混肥、硫基无氯复肥等项技术更是近期开发成功的新技术，对氮肥企业调整品种结构、提高复混肥技术有其重要作用。复混肥分析测试方法内容由挂靠于上海化工研究院的国家化肥质量监督检验中心（上海）负责编写；复混肥施用技术与农化服务内容由中国科学院南京土壤研究所有关专家撰写。本丛书的出版，无疑将对推动我国复混肥工业的发展起到促进作用，也有助于提高行业水平。本丛书编写中始终得到国家石油和化学工业局领导、化学工业出版社领导和各编写单位领导的支持和帮助，原化学工业部陈冠荣院士、冯元琦教授亲自撰写有关内容，给予大力支持，特此致谢。

由于编写和出版时间较仓促，加上我们水平有限，书中的缺点、错误和不足之处在所难免，欢迎广大读者批评指正。

徐静安

潘振玉

2000年7月

内 容 提 要

本丛书共分三册：生产工艺技术、分析测试方法及施用技术与农化服务。

本书全面系统地介绍了科学施肥的重要性和农田养分平衡的系统理论及知识。重点叙述复混肥用于我国水稻等五种农业主要作物、茄果类蔬菜、叶菜、油、糖、烟类主要经济作物、果树类作物以及花卉、中草药等作物的施肥技术。分别从需肥特性、吸收养分特性、生育特性及施肥效果等方面详细叙述和论证。为适应农业科技进步和促进科学施肥需要本书还编写了农化服务章节，较为系统的介绍了国内外先进理论和技术。

本书编著者均为长期从事该专业的专家和学科带头人，编写内容力求理论联系实际、深入浅出，便于不同层次的广大读者阅读，具有较高的指导性和可操作性，也可作为复混肥制造者、科研人员、大专院校有关专业的补充教材，有较高参考价值。

目 录

第一章 概论	1
第一节 复混肥在我国的发展和特点	1
第二节 复混肥的生产和施用现状	3
一、复合肥	3
二、混合肥	5
第三节 复混肥的类型和混合肥的配方问题	6
一、复混肥类型	6
二、复合肥的配方问题	9
第二章 复混肥的合理施用条件	12
第一节 施肥的目的和效应	12
一、施肥对于农业的重要性	12
二、施肥对作物产量和质量的效应	15
（一）施肥的增产效果	15
（二）氮磷钾养分的各自增产效果	17
（三）施肥对农产品的质量效应	18
（四）氮肥对作物品质的影响	18
（五）磷肥对作物品质的影响	20
（六）钾肥对作物品质的影响	20
（七）中量和微量元素肥料对作物品质的影响	21
三、长期施肥对土壤性质的影响	21
（一）长期施用无机氮肥对土壤氮素的影响	21
（二）土壤磷素在施肥过程中的变化	22
（三）土壤钾素在施肥过程中的变化	23
（四）长期施用化肥对土壤物理性质的影响	23
（五）长期施用化学氮肥对土壤的酸化作用	23
（六）施用有机肥对土壤性质的影响	24
（七）长期施用微量元素肥料的影响	24

四、复合肥料的其他作用	24
(一) 培肥土壤	24
(二) 发挥良种的增产潜力	25
(三) 补偿耕地不足	26
(四) 增加有机肥量	26
(五) 发展经济作物、森林和草原的物质基础	27
五、施用化肥不当产生的影响和危害	28
(一) 农田氮磷与水体富营养化	28
(二) 农田氮素向水体迁移与饮用水质量和人体健康	30
(三) 农田氮素向大气迁移对大气环境的影响	31
(四) 解决化肥施用不当对环境和人类负影响的对策	31
第二节 土壤养分平衡与调控	32
一、土壤条件对肥效的影响	33
二、农田养分的支出	37
(一) 作物养分消耗	37
(二) 农田养分淋失	38
三、化肥氮的损失	39
四、农田养分的收入	40
(一) 有机肥养分收入	40
(二) 雨水和灌溉水中的养分收入	41
(三) 共生固氮	42
(四) 种子带入的养分	42
五、我国农田生态系统养分平衡的历史现状	43
六、我国农田养分平衡演变的三个阶段	43
七、我国农田养分平衡的基本特征	44
(一) 我国农田的氮素平衡	44
(二) 我国农田的磷素平衡	44
(三) 我国农田的钾素平衡	45
八、土壤养分平衡的评价方法和原则	46
(一) 评价方法	46
(二) 评价举例	48
(三) 农田养分平衡的评价原则	49
九、我国农田生态系统的养分再循环	50

第三节 作物的需肥特性	51
一、植物必需营养元素及其一般生理功能	51
(一) 必需的营养元素	51
(二) 各种必需元素和有益元素的主要生理功能	53
(三) 营养元素的同等重要律和不可代替律以及它们之间的平衡 原则	56
二、作物对养分的吸收功能	57
(一) 根部养分的吸收	57
(二) 叶部养分的吸收	59
三、作物的需肥特性和合理施肥原则	60
(一) 作物的需肥特性	60
(二) 施肥的最佳时期	62
第四节 复混肥料的理化特性与适用性	65
一、复混肥料的理化特性	65
(一) 硝酸磷肥	65
(二) 硝酸钾	65
(三) 磷酸铵	66
(四) 磷酸二氢钾	66
(五) 铵磷钾肥	67
(六) 硝磷钾肥	67
(七) 液体混合肥料	68
(八) 中、低浓度的复混肥料	68
二、复混肥料的通用性与专用性、多功能性	70
(一) 复混肥料的多功能性	72
(二) 复混肥料的缓释(长效)性	74
第三章 复混肥施肥技术	77
第一节 五种主要作物的施肥技术	77
一、水稻施肥	77
(一) 水稻需肥特性	77
(二) 水稻土的养分水平	85
(三) 水稻配方施肥	86
(四) 水稻施肥原则	88
二、小麦施肥	92

(一) 小麦需肥生理特性	92
(二) 小麦施肥量	93
(三) 小麦的施肥技术	96
三、玉米施肥	98
(一) 玉米的需肥生理特性	98
(二) 玉米施肥量	99
(三) 玉米的施肥技术	102
四、棉花施肥	104
(一) 棉花的生育特点	104
(二) 棉花的需肥特性	105
(三) 棉花的施肥技术	106
五、大豆施肥	107
(一) 大豆的生育特点	107
(二) 大豆的需肥特性	108
(三) 大豆的施肥技术	109
第二节 主要经济作物施肥技术	109
一、茄果类蔬菜需肥特性及其专用肥的研制	110
(一) 茄果类蔬菜吸附养分的特性	110
(二) 茄果类蔬菜专用肥配方的拟定和验证	111
(三) 专用肥对茄果类蔬菜的增产效应	115
(四) 茄果类蔬菜施用专用肥的经济效益分析	116
(五) 专用肥对蔬菜品质的影响	118
二、叶菜吸收养分的特性及其专用肥的配制	118
(一) 大白菜的需肥特性	118
(二) 大白菜专用肥的增产效果	119
(三) 大白菜专用肥的经济效益分析	120
(四) 大白菜专用肥配方的验证	120
三、油、糖、烟类的施肥技术	122
(一) 花生施肥	122
(二) 油菜施肥	127
(三) 甜菜施肥	133
(四) 烟草施肥	137
四、果树的施肥技术	142

(一) 苹果施肥	142
(二) 梨树施肥	144
(三) 柑橘施肥	145
(四) 龙眼施肥	146
(五) 荔枝	147
(六) 香蕉	148
第三节 特种作物施肥技术	150
一、花卉植物施肥技术	150
(一) 花卉植物的营养特点	150
(二) 花卉的需肥特性	153
(三) 花卉植物施肥技术要点	154
(四) 一、二年生花卉的施肥技术	156
(五) 宿根类花卉	159
(六) 球根类花卉	163
(七) 木本花卉	165
(八) 多肉植物	168
(九) 观叶花卉施肥技术	169
(十) 草坪植物	169
二、中草药施肥	170
(一) 药用植物的营养特性	170
(二) 药用植物施肥要点	172
(三) 常见药用植物的施肥技术	173
第四章 农化服务	182
第一节 国外农化服务概况和经验借鉴	182
一、欧美国家的农化服务体系	183
二、澳大利亚的农化服务体系	185
第二节 发展中国家的农化服务体系	190
第三节 建立适合中国国情的农化服务体系	192
第四节 计算机推荐施肥方法和应用	195
一、推荐施肥的主要方法和模型	195
二、试验统计模型: 产量-肥料效应方程法	198
三、植物养分含量水平诊断	202
四、基于养分循环的机理模型	203

五、计算机技术在推荐施肥中的应用	205
第五章 展望	214
第一节 关于混合肥料厂的布局问题	214
第二节 关于混合肥料的平均浓度	214
第三节 关于混合肥料的质量保证	215
第四节 建立农化服务体系	216

第一章 概 论

第一节 复混肥在我国的发展和特点

复混肥在我国起步较晚，但近年来有了长足的发展。这是因为它的发展有一定的必然性，这也是它的特点所决定的。

随着农业的发展和农村经济水平的提高，农民特别是发达地区的农民，不再愿意花很多时间和劳力去一种肥料、一种肥料的分开施用。但是对单个农户来说又很难具备把肥料混合的设备和知识，加上混合肥料必然涉及到配方的问题，这些都需要专门的知识，农民通常也不具备，因此农民迫切希望供应混合肥料。这是复混肥产生的社会基础。

混合肥料在国外出现的很早，最早的混合肥料仅仅是用低浓度的肥料作简单的混合，这些肥料有过磷酸钙、硫酸铵、氯化钾以及一些有机废弃物，有时也加一些石灰以中和酸性。

随着高浓度肥料的发展，如重过磷酸钙（简称重钙）、尿素等的出现，使混合肥料的养分含量显著提高。新肥料的出现也带来了混合时的结块问题，这时“混合”不再是一个简单的操作过程，而变成一个可产生复杂变化的化学工业过程了，它不得不走向一定规模的工业化生产。

另外，随着化肥生产技术的提高，也必然向复合和高浓度方向发展，这样复混肥就应运而生了。

复混肥有哪些特点呢？复混肥包括复合肥和混合肥两大类，先谈复合肥。

从世界范围看，19世纪40年代开始发展单质肥料，70年代开始发展钾肥工业，而氮肥到20世纪才开始工业生产，开始是从生产硝酸再生产硝酸钙（硝酸和石灰石作用）等氮肥，所有这些都是生产单

质肥料（NPK 中只含有一种养分的肥料）。

磷铵的生产迟到 20 世纪 20 年代才开始形成小规模，而硝酸磷肥则在 20 世纪 30 年代在德国有了商业生产。

复合肥最大的特点是复合和高浓度，它比一般的单质肥料至少多含一个养分元素，它的养分含量通常比最初发展起来的过磷酸钙和硫酸铵要高。这些特点使复合肥料在施用、运输和存储上都带来巨大的经济和社会效益。

复合肥料的发展也和土壤养分水平的变化有关。比如在我国，在农业生产水平不高的情况下，主要需要氮素化肥（50 年代），随着农业的发展，农业上才开始需要磷肥（60 年代），直到 70 年代又开始在大面积土地上需要钾肥，这才为生产 NP 复合肥、NPK 混合肥料创造了前提，由于施肥量的大幅度增加，就必须考虑运输成本、施肥成本以及存储成本，所以，不仅是高浓度的复合肥成为发展的重点，就是高浓度的单质肥料（尿素以及某些条件下的重钙）也成为发展的重点。因此，复合肥的特点（复合和高浓度）正适合这一社会需要。

混合肥料最大的特点是可以根据不同土壤、不同作物、甚至作物的生长阶段来配制适宜的养分比例，一次完成施肥（基肥）操作，节约劳力。因此，混合肥料的关键是配方制定，一个不好的配方会造成肥料的大量浪费以及引起某些有害作用包括对环境的危害。但是在一个具体地区，配方也不能多，以致使农民无所适从。配方的制定主要根据土壤分析，但在不大的区域可以根据农技人员的经验。

混合肥的发展，出现了两个值得重视的品种：一是专用肥，二是散装粒状混合肥，也称掺合肥或 BB 肥，它主要是适应于机械化施肥的需要。

我国不少地方大量发展“专用肥”，它是以某种作物对象的混合肥，它的发展这使得配方更紧密地符合某种作物的需要，但是必须明确，专用肥必须考虑地域性，不能把南方的某种作物的专用肥盲目地搬到北方去用。

在一些国家，掺合肥料单指各种粒状基质肥料（原料肥料）的混合，所以，前提是这些基质肥料的颗粒必须有相近的直径和密度，这

样才能避免在运输、施用、存储中颗粒的分异。

颗粒均匀是掺合肥料的重要质量要求，必须避免颗粒不匀造成颗粒分异，否则，由于颗粒分异，造成肥料不同部位的成分、养分含量和比例不同，就会为合理施肥带来很大的危害，我国个别进口设备无法正常生产，这就是原因之一。

第二节 复混肥的生产和施用现状

一、复合肥

从国外资料看，复合肥的生产和消费近年来都有较大的增长。表 1-1 是 1996/1997 年度几个主要国家复合肥的产量和消费量。

表 1-1 几个国家 1996/1997 年磷肥和磷复肥生产和消费量/万 t (以 P_2O_5 计)

国 家	磷 肥		磷 复 肥 ^①			
	产量	消费量	产量	消费量	占产量/%	占消费量/%
美 国	1090	414.5	795.2	220.5	73	53.2
英 国	9	39.0	—	—	—	—
法 国	68.2	105.2	60.8	88.4	89.2	84.4
日 本	27.9	61.0	14.8	43.9	53	72
印 度	259.6	297.9	206.8	249.3	79.7	83.7
世 界	3413.1	3110.6	—	—	—	—

①美国为磷铵，其他国家还包括其他复合肥。

从表中可以看出磷复肥（主要是磷铵）不论在生产和消费中都占有重要比重，如在生产中占 53%~89%，在消费中占 53%~84%。

我国复合肥起步较晚，直到 1966 年才在南化公司磷肥厂建成了我国第一个年产 3 万 t 的磷铵装置，后来，20 世纪 70 年代末陆续建成了小规模磷铵工厂。到 80 年代以后才开始了大型磷铵厂的建设，如江西贵溪年产 24 万 t 磷酸二铵厂，秦皇岛和山东的厂年产都高达 48 万 t 磷酸二铵。表 1-2 是我国复合肥的发展情况。

从表 1-2 可以看出，我国高浓度复合肥的发展是比较快的，以 1989 年的产量为 100%，则到本世纪 1997 年的 8 年中增加了 10 倍。这是不容易的。

表 1-2 我国含磷复合肥的发展/万 t, 实物

年份	NP ^①	MAP	DAP	KH ₂ PO ₄	其他	合计	相对/%
1989	18.16	5.72	6.17	0.78	1.13	31.97	100
1991	34.76	52.25	20.01	1.14	6.39	87.53	275
1993	445.0	27.16	25.51	0.85	0.10	98.62	308
1995	55.70	69.69	50.30	1.33	41.38	218.4	683
1997	71.91	120.66	78.37	0.72	56.89	328.55	1028

①主要是硝酸磷肥。

1997 年我国化肥产量为 2744 万 t, 其中氮为 2074 万 t, 磷 (P_2O_5) 为 641 万 t, 钾 (K_2O) 为 54.2 万 t。在磷肥中高浓度和磷复肥产量 (P_2O_5) 为 139.9 万 t, 占磷肥产量的 20.5%, 其中磷铵 88.6 万 t (MAP 54.2 万 t, DAP 34.4 万 t), 硝酸磷肥 7.9 万 t, 重钙 13.8 万 t, NPK 复混肥中 P_2O_5 10.1 万 t。

在我国复合肥 (包括重钙, NPK 复混肥) 发展中大中型厂占有重要的地位, 比如, 我国 15 个大中型厂其中重钙三个, 硝磷两个 (山西和开封), MAP、DAP、NPK 复混肥等共十个。这 15 个大中型厂 1997 年实物生产量为 236 万 t, 占全国复合肥等 (470.7 万 t) 实物产量的 50.1%, 但只发挥设计能力的 54%。

我国有小型复合肥 (包括重钙) 厂 84 个, 设计实物生产能力为 285 万 t (磷铵 267 万 t, 重钙 18 万 t), 近来经过改造设计实物生产能力已提高到 420 万 t (磷铵 270 万 t, 重钙 20 万 t, NPK 复混肥 130 万 t), 折纯 (P_2O_5) 155 万 t。

我国目前大中小型高浓度磷复肥厂共 99 个, 实物生产能力为 850 万 t (其中重钙 136 万 t, 磷铵 408 万 t, 硝酸磷肥 106 万 t, NPK 140 万 t), 折纯 (P_2O_5) 约 300 万 t, 而实际生产仅为 130.9 万 t。据估计我国大中小型高浓度磷复肥厂平均开工率大约为 55% 左右, 这是一项巨大的潜力。

在我国的化肥消费统计中有复合肥一项, 但这里的复合肥并不是符合国家标准定义的复合肥, 可能也包括一部分混合肥, 特别是由于“复合肥”一项并未注明其 NPK 构成, 这为应用这一统计数字带来

了巨大困难，这种情况也许有一天会改变。虽然这项统计的不确定含义，我们还是在表 1-3 中应用了这一统计结果，来说明近年来复合肥（实际上是复混肥）在我国化肥消费中所占比重。

表 1-3 复合肥在我国化肥消费中的比重

年度	化肥消费总量/ $\times 10^4$ t	复合肥量/ $\times 10^4$ t	复合肥所占比重/%	年度	化肥消费总量/ $\times 10^4$ t	复合肥量/ $\times 10^4$ t	复合肥所占比重/%
1974	476.6	50.4	10.6	1986	1930.6	180.8	9.4
1978	829.0	86.3	10.4	1990	2590.3	341.6	13.2
1982	1513.4	68.5	4.5	1994	3318	600.9	18.1

二、复合肥

对于复合肥没有较完整的统计数据，从世界范围看其中掺合肥（BB 肥），1996 年世界产量为 3950 万 t，占肥料总产量的 30%。从各种文献来源中可以得出以下基本概念：即在基肥中磷钾肥的复混肥比例在不少发达国家均占 80% 以上，但氮肥比例略低，大约占 50% 左右，这是因为必须有一定量的单质氮肥用于追肥。

在美国，掺合肥在肥料的消费中约占 70%。西欧复混肥在化肥消费中的比重见表 1-4。在我国，远在“六五”期间已将掺合肥料列入

表 1-4 西欧复混肥在化肥消费中的比重

年 度	肥 料	消费总量/ $\times 10^4$ t	复混肥/ $\times 10^4$ t	复混肥所占比重/%
1961/1962	N	338.5	71.8	21.2
	P	381.3	167.7	44
1973/1974	N	765.2	278.8	36.4
	P	597.3	465.9	78.0
1986/1987	N	1075.9	314.9	29.3
	P	492.8	403.8	81.9
1989/1990	N	1023.2	312.2	30.5
	P	470.1	394.3	83.9

重点科技攻关项目，但由于种种原因，未能在全国推广，20 世纪 80 年代初曾引进一套掺合肥料装置，安装在广州，产品受到欢迎，但由于掺合肥要求原料肥料的粒度及密度匹配，而国产尿素粒度较小，所

以目前我国掺合肥料的生产并不普及，而大量的的是小型的机械混合装置，生产虽然简陋，养分浓度也不高，但比较适合我国的国情，所以有快速的发展。据估计，目前我国混合肥料厂在 1700 家左右，生产规模较小，小的年产量只有几千吨，大的在 10~20 万 t。总生产能力在 2000 万 t 左右，但生产能力并没有得到充分发挥，在一段时间甚至有相当部分陷于停产状态，如果按生产能力 60%~80% 开工生产，产品平均养分含量 20% 计算，大约年纯养分产量为 240~320 万 t 之间，这大约占我国化肥消费量氮磷钾的 8%~10%，加上复合肥所占比重 18% 左右，则总共复合肥占我国化肥消费的 30% 左右。由于统计不完全或难以统计，实际上的数字可能比这更高一些。

第三节 复混肥的类型和混合肥的配方问题

一、复混肥类型

大体上说，复混肥有 4 种类型。

1. 固体复合肥料

按原料性质又分以黄磷 (P_2O_5) 为基础生产的聚磷酸盐，以磷酸和聚磷酸为基础生产的双质 (NP 或 PK) 和三质 (NPK) 复合肥，著名的如磷铵以及用硝酸处理磷矿生产的硝酸磷肥等。

2. 固体复合混合肥料

是在固体复合肥氮磷钾基础上经混合 (掺合) 而成。

3. 固体混合肥料

其原料不是复合肥而是单质肥料。

其中 2、3 两种按生产工艺和原料肥料又可分为以下几种。

①粉状复混肥：由于不适于机械化施肥，在一些发达国家已很少生产，但在我国生产较多。

②颗粒复混肥料：是按需要将各种粒肥机械混合成氮磷钾二元或三元肥料，工艺比较简单，设备和加工费用均不大。这种混合肥料氮磷钾一个基本要求是基础 (原料) 肥料氮磷钾粒径应尽可能一致，平均粒径相差不应大于 10%。我国各种基础肥料粒经常差异较大，比如磷铵粒径多为 1~4mm，尿素 1~2mm，氯化钾为 0.8mm，采用