

崔英德 编

复合肥的 生产与施用

(第二版)

K
P
N

化学工业出版社



复合 肥 的 生 产 与 施 用

(第 二 版)

崔英德 编

化 学 工 业 出 版 社

· 北 京 ·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

复合肥的生产与施用 / 崔英德编. —2 版. —北京: 化学工业出版社, 1999
ISBN 7-5025-2609-9

I. 复… II. 崔… III. ①复合肥料-生产②复合肥料-使用 IV. S143

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 34061 号

复合肥的生产与施用

(第二版)

崔英德 编

责任编辑: 孙绥中 张 荣

责任校对: 陶燕华

封面设计: 蒋艳君

*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

新华书店北京发行所经销

北京市昌平振南印刷厂印刷

三河市前程装订厂装订

*

开本 787 × 1092 毫米 1/32 印张 12 $\frac{3}{4}$ 字数 277 千字

1999 年 9 月第 2 版 1999 年 9 月北京第 1 次印刷

印 数: 1—4000

ISBN 7-5025-2609-9/TQ·1161

定 价: 25.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

再 版 说 明

《复合肥的生产与施用》一书自 1995 年出版以来，以其适用面广和可操作性强的显著特点，深受读者的青睐，使本书在生产中得以推广应用，发挥了较好的作用。

为了更好地适应我国农业现代化技术日益发展的需要，满足读者的需求，本书在原版基础上进行了补充和修改。首先，本书较第一版更为详尽地介绍了目前我国所用复合肥的生产原料、生产原理、生产工艺以及施用方法，对各种养分的作用、植物的生理机能和需肥特性也作了介绍。此外，还结合现代农业生产发展要求，介绍了各种专用肥的生产配方和施用方法，讲述了有机质复合肥，如晒盐硝皮、糠肥、腐植酸肥等有关内容，并列出了目前我国常用的植物生长调节剂，从而进一步丰富了本书内容。

本书特点是实用性强，理论联系实际，通俗易懂。可供复合肥生产企业尤其是乡镇企业的工程技术人员、农业技术人员和农民学习参考。本书在再版修订过程中，承蒙张焜博士对书中第七章和第八章等内容进行编写和修订，陈朴高工、贾振宇高工、廖列文高工、康正高工、尹国强老师等进行修订，在此深表谢意。

编者

1997 年 7 月

内 容 提 要

本书主要介绍了含氮、磷、钾两种以上营养元素的液体和固体复合肥的生产原理、工艺过程、主要设备及其施肥方法，还介绍了氮、磷、钾三元素作用与确定、相互间的协合与拮抗，并对微量元素肥料、专用复合肥、缓释复合肥和有机复合肥的生产与施用作了详尽的介绍。

本书理论结合实际，全面、具体地介绍了适合中小化肥企业直接混配的多种复合肥的生产与施用技术，实用性强。本书可供复合肥生产企业尤其是乡镇企业工程技术人员、农业技术人员和农民学习参考。

目 录

第一章 绪论	1
第一节 作物的营养元素及其作用	1
第二节 复合肥的种类	8
第三节 复合肥的施用和肥效	14
第四节 我国复合肥料生产与应用现状	16
第五节 我国复合肥料的发展趋向	21
第二章 三元复合肥	25
第一节 概述	25
第二节 复合肥生产原料	27
第三节 肥料元素的确定	44
第四节 复合肥配方的确定	48
第五节 复合肥中各元素之间的协合与拮抗	54
第六节 复合肥的组分对肥料性能的影响	57
第七节 以过磷酸钙为原料生产复合肥	61
第八节 以钙镁磷肥为原料生产复合肥	83
第九节 以碳铵为原料生产复合肥	89
第十节 散混复合肥料	95
第三章 磷酸铵盐复合肥	98
第一节 磷酸铵盐的物理化学性质	98
第二节 磷酸铵盐的生产	100
第三节 磷铵钾三元复合肥的生产	106
第四节 年产 10000t 磷铵装置设计实例	111
第四章 硝酸分解磷矿制造复合肥	115
第一节 物化原理与相图	115

第二节	硝酸磷肥的生产方法	134
第三节	工艺条件	137
第五章	液体复合肥	140
第一节	概述	140
第二节	湿法磷酸生产液体复合肥	143
第三节	用尿素、硝铵生产液体复合肥	145
第四节	用磷酸二铵生产液体复合肥	148
第五节	以重钙为原料生产液体复合肥	149
第六节	添加焦磷酸钾的液体肥料干料	150
第七节	磷酸二氢钾的配制	151
第八节	有机磷酸配制液体复合肥	154
第九节	用失效灭火剂生产液体复合肥料	158
第十节	硅酸钾液体肥料	159
第六章	有机复合肥	161
第一节	以晒盐硝皮为原料生产复合肥	168
第二节	糠肥	169
第三节	腐植酸复合肥	173
第四节	用糖厂废料生产复合肥	176
第五节	利用人畜禽粪便生产复合肥	179
第六节	利用污泥生产复合肥	186
第七节	利用垃圾生产复合肥	189
第八节	利用农业废渣生产复合肥	190
第九节	生物复合肥	192
第十节	利用水产品废料生产有机复合肥	194
第七章	含微量元素复合肥	196
第一节	微量元素肥料的发展	196
第二节	微量元素肥料在农业生产中的作用	199
第三节	微量元素复合肥料生产方法	212
第四节	微量元素复合肥的生产与施用	215
第八章	专用复合肥	234

第一节	专用肥料配方设计	234
第二节	甘蔗复合肥	240
第三节	蔬菜复合肥	241
第四节	柑橘复合肥	246
第五节	烟草复合肥	249
第六节	西瓜复合肥	252
第七节	药材复合肥	252
第八节	毛竹复合肥	254
第九节	海藻复合肥	256
第十节	草坪专用复合肥	258
第十一节	水稻专用复合肥	260
第十二节	花生专用复合肥	262
第十三节	小麦、玉米专用复合肥	265
第十四节	无土栽培专用复合肥	272
第九章	叶面复合肥	287
第一节	叶面复合肥的生产原理	287
第二节	叶面复合肥的配方	289
第三节	叶面肥的施用	304
第十章	缓效复合肥	312
第一节	概述	312
第二节	缓效化肥	314
第三节	缓释复合肥	321
附录		325
附录一	复混肥专业标准	325
附录二	土壤分析常用方法	342
附录三	粒状复合肥的物理性能的测定	365
附录四	氮素单位换算成含氮肥料和复合肥料单位	370
附录五	磷酸盐 (P_2O_5) 单位用量换算成含磷肥料和复合肥料 单位用量	371
附录六	钾 (K_2O) 单位用量换算成钾肥和复合肥料单位用量	371

附录七	不同作物吸收氮、磷、钾养分的大致数量	372
附录八	各种复合肥的主要性状	374
附录九	几种常用化学氮肥的成分、性质和施用要点	375
附录十	常用磷肥的成分、性质和施用技术要点	377
附录十一	常用钾肥的成分、性质和施用技术要点	378
附录十二	微量元素肥料的种类、性质和施用	379
附录十三	几种主要化学肥料的快速鉴别	381
附录十四	有机复肥企业标准	382
附录十五	常用植物激素的研制与生产单位	387
附录十六	植物激素剂型、规格、包装和用途	389
附录十七	全国主要磷肥企业	391
附录十八	全国主要钾肥企业	393
附录十九	全国主要氮肥企业	393
附录二十	硼砂生产厂家	396
附录二十一	硼酸生产厂家	396
附录二十二	七水硫酸锌生产厂家	397
附录二十三	氧化锌生产厂家	398
附录二十四	一水硫酸锌生产厂家	398
参考文献		399

第一章 绪 论

第一节 作物的营养元素及其作用

农作物经过一定时期的生长直至成熟，可以产出比其原来种子重数千倍的果实，必须要从土壤或周围环境吸收大量的营养，这种营养主要包括有机营养和无机营养两大类。其中需要量最多的是氮（N）、磷（P）、钾（K）。由于这三大类元素在土壤中的含量远不足植物的生长需要，通常要通过施肥来补充，以满足植物生长发育的需要，从而达到增产增收的目的。除了氮、磷、钾三大要素以外，由于长期耕种作物，土地的其他元素也逐步减少，难于满足植物生长的需要，这些元素主要有锌（Zn）、硼（B）、锰（Mn）、钼（Mo）、铁（Fe）、硫（S）、钙（Ca）、镁（Mg）、钛（Ti）、硅（Si）、氯（Cl）、铝（Al）、钠（Na）、铜（Cu）、钡（Ba）、锶（Sr）、钴（Co）、镍（Ni）、钒（V）等。以上各种元素在植物中的含量和需要量是不同的，其对植物生长的作用和形态也不尽相同。

一、氮

氮是作物需要量最多的元素，是组成作物中蛋白质、叶绿素、酶、核酸和维生素的主要成分，氮能使植物枝壮叶茂，氮在作物的干物中占 0.3% ~ 5%。氮主要以铵态氮和硝态氮的形态被植物吸收，植物也可直接吸收有机氮如尿素、氨基酸、酰胺酸。但各种不同的作物对氮的吸收形态不同。如水稻、甘

薯、马铃薯、小麦、玉米等作物均以施铵态氮肥为好，而烟草施硝态氮肥可增加燃烧性，施铵态氮可增加芳香油形成，增进烟草香味，两者同时施用为宜。

二、磷

磷元素是作物需要量仅次于氮的元素，是组成原生质、核细胞的重要元素，磷能促进作物生长发育，开花结果，籽实早熟丰满，提高粒实的产量和品质。在作物中磷占作物干重0.2%~1.1%。磷主要以 H_2PO_4^- 、 $\text{H}_2\text{PO}_4^{2-}$ 、 $\text{H}_2\text{PO}_4^{3-}$ 三种形态被植物吸收，也能吸收某些可溶性有机磷化合物，如蔗糖磷酸酯、甘油磷酸酯。由于 pH 值直接影响到它们的存在，所以 pH 值不同其各种形态存在的量也不尽相同。磷素过多对植物有不良影响，会阻碍硅的吸收，导致水稻病害的增多。由于水溶性磷可与土壤中锌、铁等元素生成难溶化合物，所以磷过多会生成植物的缺锌、缺铁等症。

三、钾

钾是作物生长发育的三要素之一，在作物中占干重的1.5%左右。钾是许多酶的催化剂，它的存在，可促进作物的光合作用，保持作物的生命活动；钾能促进作物对氮的吸收，使之较快转化成蛋白质，同时可平衡氮、磷的多量吸收；钾还能促进碳水化合物的生成，并加速同化产物向贮藏器官输送；钾还能增强作物的保水抗旱能力和抗寒能力，提高作物的抗倒和抗病能力。钾在植物体内是以 K^+ 离子的形态或可溶盐类存在，只有一小部分吸附在原生质胶粒的表面。钾在作物体内流动性较强，可随作物生长向较旺盛的部位移动。

四、钙

钙也是农作物生长需要量较大的元素之一，在作物体内占干重的 0.6%。钙是细胞壁的结构成分，钙能降低原生质胶体的分散度，使之浓缩，增加粘滞及膜的透性。并有改良土壤的作用，在农业上应用的历史悠久、效果显著。

五、镁

镁在作物体内的含量与钙差不多，约为干重的 0.04% ~ 0.5%。镁是多酶活化剂，可促进脂肪的合成和参与氨的代谢。镁以二价镁离子的形态被作物吸收，较适合于豆科和油料作物，对马铃薯、甘薯、烟草等作物也较好。

六、硫

硫也是作物必需的元素之一，其在作物体内的含量与磷相近，约占作物干重的 0.5%。作物可直接在土壤中吸收硫酸根离子，也可通过叶片从大气中吸收少量的二氧化硫气体。

农作物生长除上述元素外，还必须吸收其他元素，如：铁、硼、钼、锌、锰、铜等这些元素在农作物体内含量较低，但对于作物的正常生长发育是必不可少的，其在作物内的功能是独特而专一的，其作用也是前面所述的大量元素无法替代的。在土壤中，农作物不管是缺乏大量元素或者是微量元素，其正常生长发育都会受到干扰和破坏，表现出病态。表 1-1、表 1-2 分别列出植物必需的营养元素及其适合的浓度和一般作物必需的营养元素的主要生理作用。

表 1-3 列出了作物营养元素缺乏和过剩的一般症状。

表 1-1 植物必需的营养元素及其适合的浓度

营养元素		有效形态	在干组织中的含量	
			百分率, %	mg/kg
大量元素	碳(C)	CO ₂	45	450000
	氧(O)	O ₂ , H ₂ O	45	450000
	氢(H)	H ₂ O	6	60000
	氮(N)	NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺	1.5	15000
	钾(K)	K ⁺	1.0	15000
	钙(Ca)	Ca ²⁺	0.5	10000
	镁(Mg)	Mg ²⁺	0.2	5000
	磷(P)	H ₂ PO ₄ ⁻ , HPO ₄ ²⁻	0.2	2000
	硫(S)	SO ₄ ²⁻	0.1	1000
微量元素	氯(Cl)	Cl ⁻	0.01	100
	铁(Fe)	Fe ²⁺	0.01	100
	锰(Mn)	Mn ²⁺	0.005	50
	硼(B)	BO ₃ ⁻	0.002	20
	锌(Zn)	Zn ²⁺	0.002	20
	铜(Cu)	Cu ²⁺ , Cu ⁺	0.0006	6
	钼(Mo)	MoO ₄ ²⁻	0.00001	0.1

表 1-2 一般作物必需的营养元素的主要生理作用

营养元素	主要生理作用概述
碳、氢、氧 (C、H、O)	作物在光能的参与下进行光合作用时用碳氢氧制造碳水化合物——糖类。糖进一步形成复杂的淀粉、纤维以及转化为蛋白质、脂肪等重要化合物。氧和氢在作物体内生物氧化还原过程中也起着很重要的作用
氮(N)	氮是构成蛋白质的主要元素, 而蛋白质又是细胞原生质组成中的基本物质。氮也是叶绿素、酶(生物催化剂)以及核酸、维生素、生物碱等的主要成分
磷(P)	磷是核酸及核苷酸的组成部分, 是组成原生质和细胞核的主要成分。核苷酸及其衍生物是作物体内有机物质转变与能量转变的参与者。作物体内很多磷酸酯类化合物(磷的一种贮藏形态)和许多酶分子都含有磷, 它对作物的代谢过程有重要的影响
钾(K)	钾能调节原生质的胶体状态和提高光合作用的强度, 与作物体内糖类的形成和运输有密切关系, 对作物的氮代谢也有良好的影响。钾还能增强作物的抗逆力, 减轻病害, 防止倒伏

续表

营养元素	主要生理作用概述
钙 (Ca)	钙对于作物体内碳水化合物和含氮物质代谢作用有一定的影响,能消除一些离子(如铵、氢、铝、钠)对作物的毒害作用,钙主要以果胶酸钙的形态存在于细胞壁的中层,能增强作物对病虫害的抵抗力
镁 (Mg)	镁是叶绿素和植酸盐(磷酸的贮藏形态)的成分,能促进磷酸酶和葡萄糖转化酶的活化,有利于单糖的转化,因而在碳水化合物代谢过程中起着很重要的作用
硫 (S)	硫是构成蛋白质和酶的主要成分。维生素 B ₁ 分子中的硫对促进植物根系的生长有良好的作用。硫还参与植物体内的氧化还原作用
铁 (Fe)	铁是叶绿素形成不可缺少的条件,直接或间接地参与叶绿体蛋白质的形成。作物体内许多呼吸酶都含有铁,铁能促进作物呼吸,加速生理的氧化
硼 (B)	硼对根、茎等器官的生长、幼小的分生组织的发育以及作物的开花结实均有一定的作用。硼能加速作物体内碳水化合物的运输,促进作物体内氮素的代谢。硼能增强作物的光合作用,改善作物体内有机物的供应和分配。硼能增强豆科作物根瘤菌的活动,提高其固氮能力,还能增强作物的抗病能力
锰 (Mn)	锰是酶的活化剂,对作物的光合、呼吸以及硝酸还原作用都有密切的关系。锰与叶绿素的形成也有一定的关系
铜 (Cu)	铜是作物体内各种氧化酶活化基的核心元素,在催化作物体内氧化还原反应方面起着重要作用,铜能促进叶绿素的形成。含铜酶与蛋白质的合成有关
锌 (Zn)	锌是作物体内碳酸酐酶的成分,能促进碳酸分解过程,与作物光合、呼吸以及碳水化合物的合成、运转等过程有关。锌能保持作物体内正常的氧化还原势,对于作物体内某些酶具有一定的活化作用。作物体内生长素的形成与锌有关
钼 (Mo)	钼是作物体内硝酸还原酶的成分,参与硝酸态氮还原过程。钼还能提高根瘤菌和固氮菌的固氮能力
氯 (Cl)	氯在叶绿体内光合反应中起着不可缺少的辅助酶的作用。在细胞遭破坏、正常的叶绿素光合作用受到影响时,它能使叶绿体的光合作用反应活化
钴 (Co)	钴与种子中某些水解酶和作物体内某些酶的活化有关。钴能防止吡啶乙酸的破坏,与促进细胞生长有关。钴对有效能源 ARP 合成反应的某一阶段有促进作用,对花粉的发芽、生长和呼吸有显著的促进作用,对豆科作物的固氮起一定的作用

表 1-3 作物营养元素缺乏和过剩的一般症状

元素	缺乏症状	过剩症状
氮(N)	1. 植株全体绿色显著减退成淡黄色 2. 植物生长变矮, 分裂减少 3. 根的发育细长, 瘦弱 4. 籽实减少, 品质变坏	1. 叶呈深绿色, 多汁而柔软, 对病虫害的抵抗能力减弱 2. 茎伸长, 分裂增加, 抗倒伏性降低 3. 根的伸长虽然旺盛, 但细胞少 4. 籽实成熟推迟, 果实着色不良
磷(P)	1. 缺乏症一般发生在下位叶, 而后扩展到上位叶 2. 叶变窄, 色暗绿, 缘红、赤绿、青绿或紫色 3. 着色数减少, 开花结实延迟 4. 根毛粗大而发育不良, 分裂明显减少或不分裂	1. 一般不出现过剩症 2. 营养生长停止, 过分早熟, 导致低产 3. 大量施用磷肥, 将诱发锌、铁、镁的缺乏症
钾(K)	1. 因钾易于移动, 缺乏症首先发生在老叶 2. 新叶和老叶的中心部呈暗绿色, 叶的尖端和叶的缘部分黄化、坏死, 与健全部分的界限明显, 类似胡麻斑病 3. 叶片褶皱弯曲 4. 只在主根附近形成根, 侧向生长受到限制	1. 虽然和氧一样可以过量吸收, 但难以出现过剩症 2. 土壤中钾过剩时, 抑制了镁、钙的吸收, 促使出现镁、钙的缺乏症
钙(Ca)	1. 因为在体内难以移动, 缺乏症出现在生长点 2. 因为生长组织发育不健全, 芽的先端枯死, 细根少而短粗 3. 籽实不饱满, 妨碍成熟 4. 缺钙使番茄出现脐腐病, 芹菜、白菜出现心腐病	1. 不出现钙过剩症。 2. 大量施用石灰则抑制镁、钾和磷的吸收 3. pH值高时, 锰、硼、铁等的溶解性降低, 助长这些元素缺乏症发生
硫(S)	1. 在我国北方天然供给量高, 加之施用硫酸根肥料, 很难出现缺硫症, 南方某些土壤可见缺乏症状 2. 幼叶落黄, 窄小, 植株矮小, 茎韧性低, 结实率低	1. 没有看到植物自身的过剩症 2. 大量施用硫酸根肥料导致土壤酸化 3. 老朽化水田是由于发生 H_2S 污染 4. 近年来作为烟害的一个因素, 出现了亚硫酸气体的毒害

续表

元 素	缺 乏 症 状	过 剩 症 状
钼(Mo)	1. 叶的中脉残存呈鞭状 2. 叶脉间黄化 3. 叶片上产生大的黄斑 4. 叶卷曲成环状 5. 因植物体矮生化而呈各种形态	1. 植物一般不发生钼过剩症 2. 叶片出现失绿 3. 马铃薯的株呈赤黄色, 番茄呈金黄色
铜(Cu)	1. 麦类叶片黄白化, 变褐, 穗部因萎缩不能从剑叶里完全抽出, 结实不好(新开地病) 2. 缺铜使果树枝条枯萎, 嫩枝上发生水肿状的斑点, 叶片上出现黄斑	1. 主根的生长受阻, 分枝根短小 2. 铜过剩引起缺铁 3. 生育不良, 叶片失绿
氯(Cl)	1. 叶尖枯萎, 叶片失绿, 进而发展成青铜色的坏死 2. 大田极少看到氯的缺乏症状	盐害不是由于吸收了过量的氯, 而是盐分浓度障碍
铁(Fe)	1. 阻碍叶绿素的形成, 叶片发生黄化或白化, 但不发生褐色坏死 2. 缺乏症发生在上部叶片 3. 喷施硫酸亚铁则迅速恢复 4. 磷、锰、铜的过量吸收助长铁的缺乏	1. 据说水稻的还原障碍是由于吸收了 Fe^{2+} 2. 大量施入含铁物质, 则增大了磷酸的固定, 从而降低了磷的肥效
锰(Mn)	1. 禾本科植物呈条状黄化, 进而发展到坏死, 阔叶植物则发生斑状黄化和坏死 2. pH 值高的土壤和有机质过多的土壤易发生缺锰	1. 根变褐, 叶片出现褐斑, 或叶缘都发生白色化、紫色等 2. 据说树的异常落叶, 腐植质土壤垦为水田后发生的赤枯症, 是由于锰的过剩 3. 锰过剩则促进缺铁
硼(B)	1. 植株矮小, 茎叶肥厚弯曲, 叶呈紫色 2. 茎的生长点发育停止, 变褐 3. 发生大量侧枝, 严重缺乏时, 常出现花而不实(不孕症)	1. 叶绿黄化, 变褐 2. 属施用的容许范围窄的微量元素, 易发生过剩症
锌(Zn)	1. 叶片小(小叶病), 变形, 而且叶脉间发生黄色斑点(斑叶病) 2. 细根的发育不全	新叶发生黄化, 叶、叶柄产生赤褐色斑点

因此，要做到增产增收，需根据土壤缺元素的情况进行适宜的补充，这主要是采用施肥的方法，缺什么养分补什么养分，缺多少补多少。另外，要根据不同的作物进行计量施肥和配方施肥，合理生产和施用复合肥，便可达到此目的。

第二节 复合肥的种类

复合肥料是指含有两种或三种主要植物营养元素——N、P 或 N、P、K 的肥料的总称。复合肥料中含 N、P 或 N、K 两种主要营养元素的称为二元复合肥，含 N、P、K 三种元素的称为三元复合肥料。有的复合肥料除含 N、P、K 主要营养元素外，还含有多种微量元素。这些含多种营养元素的复合肥料称为多元复合肥料。有的复合肥料除了含作物的营养元素之外，还添加一些助剂，如杀虫剂、保水剂、抗旱剂等，使复合肥除具有供给作物养分的功能外，还具有其他作用，这种复合肥称为多效或多功能复合肥。无论是哪一种复合肥料，通常都含有氮、磷、钾三要素。通常，三元复合肥料的品位是以含 $(N-P_2O_5-K_2O)\%$ 的总量来表示，但其每种养分最低不少于 4%，一般总含量在 25% ~ 60% 范围内。总含量在 25% ~ 30% 的为低浓度复合肥，30% ~ 40% 的为中浓度复合肥，大于 40% 的为高浓度复合肥。

复合肥通常有固态和液态两种。固态复合肥主要以颗粒状的较多，少数为粉状的，也有块状的和棒状的，液体复合肥是含有植物生长所需营养元素的溶液。液体复合肥分配均匀，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。液体通常是作为叶面肥施用，还有的做成树脂型、多孔型、仿土型等。

复合肥由于制造工艺的不同，可以分为下面几种复合肥。