

中国含氮化肥

毛知耘 李家康 主编
何光安 底同立

中国农业出版社

中国含氮化肥

毛知耘 李家康 主编
何光安 底同立

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

中国含氯化肥/毛知耘等主编. - 北京: 中国农业出版社, 2001.1

ISBN 7-109-06614-2

I. 中... II. 毛... III. 微量元素肥料-基本知识
IV. S143.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 48156 号

中国农业出版社出版
(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)
(邮政编码 100026)
出版人: 沈镇昭
责任编辑 毛志强 徐蒲生

北京通州区京华印刷制版厂印刷 新华书店北京发行所发行
2001 年 1 月第 1 版 2001 年 1 月北京第 1 次印刷

开本: 850mm×1168mm 1/32 印张: 10.625

字数: 264 千字 印数: 1~2 000 册

定价: 32.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

中华农业科教基金会简介

中华农业科教基金会经中国人民银行批准，民政部注册登记，于1995年12月20日成立。基金会得到国家科委、中国人民银行、民政部、农业部等部委的大力支持；得到国内外企业界以及国外知名人士的积极响应。基金会归口农业部管理，接受中国人民银行和民政部监督。

中华农业科教基金会的宗旨是：通过广泛吸收国内外和社会各方面的资金，用以支持中国农业科教事业，补充国家主渠道对农业科技的投入，以加快实施“科教兴农”战略。

中华农业科教基金会的任务是：发展农业科教事业，推动农业科技进步，提高农业劳动者素质，促进中国农业发展和农村经济繁荣。基金会资助农业基础研究、应用研究、试验示范、成果推广和农业科教前沿重大课题的研究；资助有突出贡献和有发展潜力的中青年农业科技人才；资助优秀农业科技著作的出版；奖励在中国农业科教事业中做出重要贡献的个人。

中华农业科教基金会将根据政府制订的农村经济发展规划，定期公布资助方向。资助项目的遴选实行“公开申请，专家评审，民主公正，择优资助”原则。基金会建立严格的筹资、管理和使用制度，公正、合理、规范、科学、有效地使用农业科教基金，向捐赠者公开收支帐目，接受监督。

中华农业科教基金会热忱欢迎国内外企业、社团、各界人士向本基金会捐赠资金，本基金会可根据捐赠者的意愿，设立名人基金，专项基金等。

内 容 提 要

本书内容包括五个部分：导论中介绍了国内外植物氯素营养和含氯化肥研究发展概况。植物氯素营养部分，论述植物氯素营养的基本特点，植物耐氯临界值的测试与类型划分，以及植物耐氯力强弱对作物产量品质的影响。土壤中的氯部分，论述中国土壤中氯的含量、分布及其对作物生长的影响，同时提出了作物的土壤氯容量新概念，为因地制宜施用含氯化肥提供了基础依据。含氯化肥施用原理与技术部分，从植物耐氯力类型、植物的土壤氯容量、含氯化肥（含氯复混肥）的特性，以及气候因素对肥效的影响等方面论述含氯化肥施用技术和方法。含氯化肥的生产原理和理化特性部分，从氯化铵、氯化钾的生产发展过程论述其生产原理和理化特性。总之，本书既是中国含氯化肥多年研究成果的总结和概括，又是植物氯素营养的农业化学的崭新篇章。因而本书对今后含氯化肥研究、生产、施用、外贸等具有重要的指导作用，对农业、化工科技人员和大专院校师生具有重要参考价值。

编著委员会（以姓氏笔划为序，有*号者为主编）

- 毛知耘*（西南农业大学资源环境学院）
石孝均（西南农业大学资源环境学院）
刘立新（中国农业科学院土壤肥料研究所）
刘洪斌（西南农业大学资源环境学院）
李家康*（中国农业科学院土壤肥料研究所）
何光安*（湖北省双环化工集团公司）
林葆（中国农业科学院土壤肥料研究所）
林继雄（中国农业科学院土壤肥料研究所）
底同立*（中国纯碱工业协会）
周则芳（西南农业大学资源环境学院）
聂江文（湖北省双环化工集团公司）
霍树洪（中国纯碱工业协会）

前 言

含氯化肥主要是指氯化铵、氯化钾以及含有氯化铵和氯化钾的复混合肥料。从世界范围看，中国含氯化肥的生产、施用、研究都独具特色。氯化铵的生产应用是随着兴办联碱工业而发展起来的，中国化工专家侯德榜博士于1941年在四川五通桥研制成功联合制碱法，又称侯氏制碱法（Hou's Process）。这种碱、肥结合的办法，原料利用充分，废渣废液很少，生产成本降低，对工、农业发展有利，堪称“绿色化肥工程”。1964年联合制碱法在大化公司建成年产16万t的生产规模，以后不断改进、完善工艺，扩大规模，至20世纪90年代，全国已建成大、小联碱厂30余个，年生产纯碱、氯化铵各270万t左右，成为世界上生产施用氯化铵最多的国家。同时随着农业生产的发展，经济作物比重增大，对钾肥需求量日益增多，除青海年产10万t钾肥外，每年约需进口钾肥350万t，其中90%以上是氯化钾。

到20世纪70年代后期，由于含氯化肥大量施用，带入土壤—植物体系中的 Cl^- 大大增多。尽管T.C.Broyer 1954年业已确证，氯是植物必需的微量营养元素，但是如果连续大量施用含氯化肥，过多的氯是否会对作物产量、品质和土壤肥力产生不良影响，工、农、商各方面都十分关注。加之，多年来农业化学教科书中和国内外学者几乎一致公认，烤烟、薯类、果树等不少作物都是“忌氯作物”，因而对发展联碱—氯铵疑虑重重。为此，1980—1985年四川省自贡鸿鹤化工总厂与西南农业大学资源环

境学院合作开展了“氯化铵科学施用技术研究”，继而大连、天津、湖北等碱厂分别与当地农科院所、大专院校联合开展氯化铵科学施用研究。1988年，原化工部与国家科委商定，组成“含氯化肥科学施肥和机理的研究”国家重点课题协作组，由中国农业科学院土壤肥料研究所、西南农业大学资源环境学院主持，全国27个科研院所、大专院校、联碱厂参加，历时8年（1988—1995）完成，取得了突出成果，总体看来达到了国际先进水平。

半个多世纪以来，特别是近20年来中国含氯化肥的突出成果和创新之点主要在以下四个方面：（1）联碱—氯铵生产工艺日趋完善，氯化铵质量不断提高，这是含氯化肥科学施用基本前提；（2）更新了植物氯素营养概念，将作物“忌氯”、“喜氯”的定性概念更新为“作物耐氯力强、中、弱类型”定量概念，为作物定量化、模式化、预报化施肥提供了科学依据；（3）提出了“作物的土壤氯容量”新概念，为含氯化肥因地制宜施用提供了基础依据；（4）通过长期定位试验，明确了不同地域氯在土壤中的移动积累特点，在同一地区不同年份氯在土壤中的残留率主要受降雨等气候因素影响，年度之间波动幅度较大，但多年平均氯残留率是一个常数，而不是累加效应，这就为长期施用含氯化肥提出了可靠依据。

含氯化肥的突出成果体现了有中国特色的行业发展，也体现了经济建设必须依靠科学技术，而科学技术必须为经济建设服务的辩证发展观。这些成果的取得凝聚了化工、农业两个部门科技人员多年辛勤试验研究的结晶，使侯德榜博士开创并为之奋斗半个多世纪的联碱—氯铵事业在本世纪末有了完满的结果，这些成果必将推动21世纪中国含氯化肥更好地发展。本书的编写正是含氯化肥多年研究成果的总结和概括，也是植物氯素营养的农业化学的崭新篇章。

本书由中国纯碱工业协会、湖北省双环化工集团公司、中国农业科学院土壤肥料研究所、西南农业大学资源环境学院共12

人组成编辑委员会。1998年初获得中国农业出版社、“中华农业科教基金会”资助。5月在北京召开第一次编委会，确定了编写大纲和编写分工：“导论”由毛知耘编写；第一章“植物氮素营养”由毛知耘、石孝均编写；第二章“土壤中的氮”由林继雄、刘洪斌编写；第三章“含氮化肥施用原理与技术”由刘立新、周则芳编写；第四章“含氮化肥生产原理与理化特性”由霍树洪、聂江文编写。1999年5月和6月分别在北京和重庆召开了第二、第三次编委会，对各章的初稿和二稿进行集体审阅修改。之后由各主编分别审阅修改，然后由毛知耘汇总进行统稿和通审定稿。

在本书的编写过程中，得到各编写单位的大力支持和帮助，特别是中国纯碱工业协会原理事长傅孟嘉总工审阅了初稿，提出了宝贵的修改意见。中国农业出版社也多次派人对本书的编写予以指导和帮助，使本书在国庆50周年之际得以完稿。对此编委会向上述单位表示衷心的感谢。

尽管编者力求本书内容丰富翔实，观念新颖别致，文字深入浅出；然而，编者的思想水平和业务水平有限，疏漏和不妥之处在所难免，切望读者批评指正，以便今后修订。

毛知耘

于重庆市北碚西南农业大学

1999年10月

目 录

前 言

导 论

一、国外植物氯素营养和含氯化肥发展概况	2
二、中国含氯化肥发展和植物氯素营养研究概述	6
主要参考文献	14

第一章 植物氯素营养

第一节 植物氯素营养的基本特点	18
一、植物对氯的吸收	18
二、氯对作物吸收及其它养分离子的影响	19
三、氯的营养功能	24
第二节 植物体内氯的含量分布和丰缺症状	31
一、植物体内氯的含量和分布	31
二、植物氯素营养丰缺症状	49
第三节 氯对作物产量品质的影响	57
一、氯对谷类作物产量品质的影响	59
二、氯对纤维作物产量品质的影响	70
三、氯对油料作物产量品质的影响	74

四、氯对豆类作物产量品质的影响	79
五、氯对糖料作物产量品质的影响	83
六、氯对薯类作物产量品质的影响	87
七、氯对烤烟作物产量品质的影响	90
八、氯对蔬菜作物产量品质的影响	93
九、氯对果树花卉产量品质的影响	101
主要参考文献	105

第二章 土壤中的氯

第一节 土壤中氯的形态、含量与分布特点	110
一、土壤中氯的形态与来源	110
二、中国不同地域土壤中氯含量	120
三、氯在土体中垂直分布特点	124
第二节 土壤氯的移动和积累	128
一、土壤对氯的吸附	128
二、氯在土壤中的移动	130
三、土壤中氯的积累	134
第三节 氯对土壤性质和养分转化的影响	149
一、氯对土壤养分转化的影响	150
二、氯对土壤性质的影响	158
主要参考文献	162

第三章 含氯化肥施用原理与技术

第一节 含氯化肥施用原理	168
一、含氯化肥应优先用于耐氯力强的作物	168
二、含氯化肥应优先用于含氯量低的土壤	172
三、针对含氯化肥自身特性合理施用含氯化肥	178

四、气候条件是影响含氯化肥肥效的重要因素	188
第二节 含氯化肥施用技术和方法	191
一、水田施用含氯化肥技术和方法	192
二、水浇地施用含氯化肥技术和方法	193
三、旱地施用含氯化肥技术和方法	194
第三节 含氯复混肥的配制与施用	203
一、国内外复混肥发展概述	203
二、复混合肥料的种类与品质指标	207
三、中国含氯复混肥代表品种的配制与施用	227
主要参考文献	245

第四章 含氯化肥生产原理和理化特性

第一节 国外含氯化肥的生产	248
一、国外氯化铵的生产及发展概况	248
二、国外氯化钾生产概述	251
第二节 中国氯化铵的生产	259
一、中国氯化铵的生产发展	259
二、氯化铵生产原理	264
三、氯化铵理化特性	301
第三节 中国氯化钾生产	303
一、中国氯化钾生产概述	303
二、氯化钾生产原理	305
三、氯化钾的理化特性	320
主要参考文献	324

导 论

含氯化肥是指含有氯离子 (Cl^-) 的化肥, 如 NH_4Cl 、 KCl 、 NaCl 、 CaCl_2 、 MgCl_2 等。用 NaCl 作肥料的尽管很少, 但 NH_4Cl 、 KCl 中约含有百分之几的 NaCl , 因而施用含氯氮、钾肥时已带有一定量 NaCl 。还有以 NH_4Cl 、 KCl 作为氮、钾源加工配制而成的含氯复混肥如氯磷铵、氯磷铵钾、尿素磷铵氯钾等, 也属含氯化肥。

就化肥种类和品种看, 目前世界上使用的化学钾肥中, 氯化钾占 90% 以上。但一些“忌氯作物”如马铃薯、烟草、葡萄等则施用硫酸钾。至于氯化铵, 在欧美国家生产施用很少。日本是生产施用氯化铵较多的国家, 20 世纪 50 年代中期之后年产氯化铵 100 多万 t, 除日本国内使用外, 相当数量氯化铵运销东南亚各国。中国江浙沿海一带以往也从日本进口一些氯化铵施用, 80 年代之后, 随着中国联碱工业的发展, 氯化铵产量迅速增加, 到 90 年代, 年产达 250 多万 t, 成为生产施用氯化铵最多的国家^[1], 加之, 中国每年进口氯化钾 350 万 t 左右^[2]。含氯化肥的广泛施用, 将大量 Cl^- 带入农业的物质循环体系中。初步测算中国年施用氯化铵 (以含氯 66.7% 计) 带入土壤中的氯 170 万 t, 施用氯化钾 (以含氯 48% 计) 带入土壤中的氯约 170 万 t, 二者共计每年带入土壤-植物体系中的氯达 340 万 t。

尽管 T.C. Broyer (1954)^[3] 用番茄所作水培试验业已确证, 氯是植物第十六个必需的营养元素, 但需量甚微。加之, 土壤、

水、空气中都有相当量的氯存在。因此，从植物营养角度看，氯对植物是少则有益，多了有害。人们普遍担心过量的氯对作物产量品质产生不良影响，长期施用含氯化肥是否导致土壤酸化、盐渍化、肥力下降等。所以，植物氯素营养与含氯化肥科学施用的深入研究，对农业生产的发展至关重要，也是含氯化肥生产供应的基本前提。本书对中国含氯化肥的生产、施用、研究诸方面进行论述，主要是近 20 年来的研究总结。这里先就国内外植物氯素营养和含氯化肥生产施用的历史发展进行概述作为本书的导论。

一、国外植物氯素营养和含氯化肥发展概况

尽管早在 2000 多年前的农业生产中，人们已经知道向土壤中施用有机和矿质肥料，如天然绿肥的利用、施用草木灰和石灰等。然而直到 19 世纪中叶，以 1840 年 J.V.Liebig 发表“化学在农业和植物生理学上应用”为标志，才奠定了植物矿质营养学的雏型。之后欧洲各国经过半个多世纪试验研究，陆续确定碳、氢、氧、氮、磷、钾、硫、钙、镁、铁 10 种植物必需的营养元素。随着化学试剂的提纯和分析方法的改进，20 世纪 20 年代后陆续确定了硼、锰、锌、铜、钼、氯 6 种植物必需的微量营养元素（表导-1）。

表导-1 高等植物必需的微量营养元素和发现时间^[4]

元 素	年 份	发 现 者
铁	1860	J. Sachs
锰	1922	J. S. Me Hague
硼	1923	K. Warington
锌	1926	A. L. Sommer 和 C. B. Lipman
铜	1931	C. B. Lipman 和 G. Mackinney
钼	1938	D. I. Arnon 和 P. R. Stout
氯	1954	T. C. Broyer 等

由此看来，现已确认的 16 种植物必需营养元素中，氯是最晚确定的。之所以如此有以下三方面原因，一是长时期来氯在植

物营养生理中的直接作用不很清楚。尽管 1954 年 T.C.Broyer 用番茄进行的精确水培试验确定氯是植物营养的必需元素，然而大多数的试验都表明，氯在植物中主要以移动性很强的无机阴离子形态 (Cl^-) 在电荷补偿和渗透调节的一些过程中起作用，至今没有弄清是否是植物必需的有机化合物组合^[4,5]。二是从植物营养需要看，氯是微量元素，一般植物含氯 100mg/kg (以干物重计，下同) 即可满足其正常生长需要；植物最适生长所需氯浓度约为 300~1 000mg/kg，仍属微量元素水平。然而，大多数植物含氯达 2 000~20 000mg/kg 范围，已达大量元素水平，仍然生长正常。看来这是与氯的奢侈吸收阶段幅度较宽有关。三是植物对氯的吸收大多是与代谢有关的主动吸收过程；但是由于土壤、水、空气等环境中氯的大量存在，植物吸收的氯是否有一部分由于被动吸收而进入的。总之，植物体中含有大量的氯可能是植物在演化进程中长期适应环境的结果，特别是在盐渍化土壤中能正常生长的植物更是如此。当然，植物氯素营养生理和生态之间的运转，必然影响到 Cl^- 与 NO_3^- 、 H_2PO_4^- 、 K^+ 、 Na^+ 、 NH_4^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等阴阳离子的相互作用，从而影响到植物-土壤营养整体运转进程。这也许就是世界上非常重视植物氯素营养与含氯化肥研究的重要原因^[4,5]。

从 19 世纪后半期起就有了磷、钾等矿质肥料的施用，欧洲各国及前苏联当时施用的化学钾肥就是含氯钾肥——钾石盐，是一种天然钾石盐磨粉而成，其主要成分是 $\text{NaCl}\cdot\text{KCl}$ ，钾石盐由于含钾量低，含 K_2O 15% 左右，还含有大量 NaCl ，其中含氯达 53%，当时主要施用甜菜、牧草及十字花科蔬菜上，因为这类作物有一定量的钠可以促进其生长。但是对大多数作物来说，大量 Na^+ 、 Cl^- 不仅不需要，反而很可能对作物生长和产量品质产生不利影响。因而后来即以钾石盐为制造 KCl 肥的原料，采用物理化学方法将 NaCl 分离，得到含 KCl 95% 以上，含 K_2O 60% 的高浓度化学钾肥。至今 KCl 仍然是欧美等国主要化学钾肥^[6]。

虽然分离了 NaCl 之后的 KCl 肥含钠量大大减少，但 KCl 肥含氯仍达 48%。由于氯对传统的、公认的“忌氯作物”——马铃薯、烟草、亚麻、浆果植物、柑橘类植物等的生长和产量品质有不良影响，这几类作物一般是不施用 KCl 肥的。然而恰恰这几类作物又是需钾量较高的作物。为了解决“忌氯作物”的钾素供应问题，欧美各国又将 KCl 加工制成 K_2SO_4 ，沿用至今。这些国家工业发达，资源也比较丰富，尽管等钾量的 K_2SO_4 比 KCl 价格高出 1 倍左右，他们还是在“忌氯作物”上施用 K_2SO_4 。50~80 年代，美国在多种作物上进行了施用 KCl 和 K_2SO_4 肥效比较试验，其中也包括马铃薯、烟草、柑橘类植物等，结果认为：在非盐渍化、含氯量低的土壤上，这几类“忌氯作物”也可以适量施用 KCl^[4,7]。美国是把施用 KCl 和 K_2SO_4 对作物产量品质影响和产品的经济效益联系起来研究的，同时也是把氯和氮、磷、钾、钠等元素之间的营养平衡结合起来进行研究的，这些都值得我们借鉴。美国关于氯化钾的研究在 R. D. Munson 主编的中国科学院南京土壤研究所范桢钦等翻译出版的《农业中的钾》^[8]一书中有一较为详细的报道。

至于氯化铵，欧美和前苏联生产施用不多，研究自然也较少。而日本自 20 世纪 50 年代起以联碱法大量生产氯化铵，很快达到年产 100 万 t 以上。在日本国内年施用氯化铵 30 万 t 左右，70% 氯化铵销往中国和东南亚各国。为了提高氯化铵肥效和向国外推销氯化铵，50~70 年代日本进行了大量试验研究。日本氯化铵肥料协会编写出版了《氯铵》（1958），《氯铵的肥效》（1962）两本小册子^[9]，1969 年出版的《日本氯化铵和纯碱联合制造法》一书，其中第三章也是《氯铵的肥效》，1976 年又出版了《日本生产的氯化铵肥料》一书，这是在 1969 年那本书的基础上进行修订补充而成^[10]。日本关于氯化铵肥效的这些研究，概括起来有以下特点：（1）认为氯化铵的肥效优于硫酸铵、尿素、硝酸铵等其它氮肥品种，特别是在水稻、油棕、椰子等作物上更是

如此。试验作物包括谷类、薯类、纤维类、油料、蔬菜、果树、牧草饲料等。然而施肥水平是较低的，一般谷类作物每公顷施 $N_{60\sim 90}kg$ ，相当于施 NH_4Cl $240\sim 360kg$ ，因而带入土壤-植物体系中的氯也是较少的，仅为 $158\sim 240kg$ ，即使土壤表层氯量增加 $70\sim 105mg/kg$ ，因而一般没有出现因氯过多而影响作物产量品质的情况。由于氯化铵比硫酸铵价格低，因而其增产效益也比较高。(2) 强调氯化铵肥料特别适宜于热带地区，并在东南亚各国和印度等地进行示范试验。由于热带（含亚热带）地区降水量大，土壤含氯量低，氯化铵带入土壤中的氯易于随水淋失，不在土壤中积累。同时，日本试验表明，氯化铵对土壤酸化程度的影响与硫酸铵是等同的。(3) 试制和应用了以氯化铵为基础的高品位复合肥料。

A. 含氯氮、磷复肥：氯化铵与磷酸铵配制而成的 $N-P_2O_5$ $18-22$ 、 $16-20$ 复肥。

B. 含氯氮、钾复肥（双氯二元复肥）、氯化铵与氯化钾配制而成的 $N-K_2O$ $18-16$ 、 $17-17$ 、 $16-20$ 复肥。

C. 含氯氮、磷、钾复肥（双氯三元复肥）由氯化铵、磷酸铵、氯化钾配制而成的 $N-P_2O_5-K_2O$ $14-14-14$ 、 $12-18-14$ 复肥。

上述情况表明，日本对氯化铵的试验研究是相当广泛的，对氯化铵及其为原料的含氯复合肥生产和施用都起了推动作用，也值得中国借鉴。然而日本关于氯化铵的试验几乎完全是田间施用技术，很少涉及植物氯素营养的实质进行深入研究，这与欧洲各国研究形成鲜明对比，欧洲非常重视植物氯素营养生理研究，而日本则注重含氯化肥田间施用技术试验。

20 世纪 70 年代之后，随着中国联碱氯铵的发展和大型尿素厂的建成投产，大幅减少从日本进口氯铵。以后日本也减少了氯化铵的生产，但仍有年产数十万吨规模^[11]。综上所述，欧美和日本关于含氯化肥的研究各有侧重，在含氯化肥种类和品种方面，欧美侧重氯化钾，日本侧重氯化铵；在植物氯素营养生理和