

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 $300\sim 1\,000\text{mg/kg}$ ，仍属微量元素水平。然而，大多数植物含氯达 $2\,000\sim 20\,000\text{mg/kg}$ 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%，当时主要施用在甜菜、牧草及十字花科蔬菜上，因为这类作物有一定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，对氯化铵及以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

生态方面，欧美非常重视营养生理，而日本则更加重视营养生态；在解决作物对氯的适应性方面，欧美偏重化学工程措施，日本偏重生物效应。但是，国外关于含氯化肥研究始终是遵循“忌氯作物”、“喜氯作物”这种简单分类法，因而没有从植物-土壤氯含量和容量观念来定量化、模式化准确划分植物耐氯力类型，而植物、土壤、含氯化肥三种类型的准确区分和有机组合则是指导含氯化肥科学施用的基本依据。

二、中国含氯化肥发展和植物氯素营养研究概述

中国沿海省（自治区）如两广、福建、浙江等部分地区，100 多年前就有使用 NaCl 作为肥料的习惯^[12,13]，特别用在水稻、油棕、椰子等作物上，认为有促进生长的作用。有资料表明^[14]钠是某些 C_4 植物碳水化合物代谢中的必需元素；当钾不足时，作物吸收 Na^+ 后，能把衰老组织中部分 K^+ 置换出来转移到新生组织中作为作物再利用。但由于钠是否为植物营养必需的元素，至今未能确定，而氯又是植物必需的微量元素。所以，一般很少把 NaCl 作肥料应用^[13]。

中国是以施用有机肥料著称于世的国家，从钾肥来源看，到 20 世纪 70 年代有机钾肥占 95% 以上，化学钾肥施用很少。1980 年中国进口化学钾肥 50 万 t（以 K_2O 计，下同），自产 2 万 t，化学钾源供钾仅占肥料钾 8% 左右。1990 年中国进口钾肥 260 万 t 自产 4.6 万 t。化学钾源占肥料钾 20% 左右。目前中国每年进口化学钾肥 350 万 t 左右（含复合肥中的钾），自产 10 多万 t，化学钾源占肥料钾 30% 左右^[2,13]。由此可见，为了中国农业的可持续发展，今后相当长时期中仍然是以有机钾肥为基础，结合施用化学钾肥。加之中国化学钾肥资源短缺，因而要尽可能节约而有效地使用化学钾肥，以利培肥土壤、提高肥力。

中国施用的化学钾肥绝大部分是氯化钾，然而“忌氯作物”烟草专用复混肥（12-12-24）中全部使用硫酸钾。事实上就是需

钾量高的烟草，以每公顷施专用复混肥 750kg 计，含 K_2O 180kg，需用硫酸钾（以含 K_2O 50% 计）360kg；若改用氯化钾则只需 300kg。以氯化钾含氯 48% 计，则施用 300kg 氯化钾带入土壤中的氯为 144kg，相当于使土壤表层氯增加 64mg/kg，不致影响烟草产量品质^[15,16]。然而一般谷类作物施钾量比烟草低得多，每公顷施 90kg K_2O 的钾肥已足够了。假定每公顷施用含 K_2O 180、135、90kg，即施用氯化钾 300、225、150kg 为高、中、低量钾肥用量，则分别可使土壤氯增加 64、48、32mg/kg。由此看来，氯化钾含钾量高，含氯量又比氯化铵少，在土壤含氯量低（ $<50\text{mg/kg}$ ）的情况下，一般作物按其钾素营养需要施用氯化钾肥，不致由于氯过多而影响作物生长。即使是对氯敏感的“忌氯作物”，适量施用氯化钾肥也不会影响其正常生长。对此，将在第一章第三节中详细论述。

中国含氯化肥研究主要是随着联碱工业发展而开展的，中国化工专家侯德榜于 1942 年在四川乐山研制成功联合制碱法，意欲打破外国对中国纯碱的垄断和封锁，但当时正值抗日战争时期，未能进行规模生产。而联合制碱法是对氨碱法（索尔维制碱法）的重大改进，每生产 1t 纯碱则并产 1t 氯化铵，使原料盐的利用率从 30% 左右提高到 90% 以上，且很少废渣废液排放，减少环境污染。而氨碱法每生产 1t 纯碱有 300kg 废渣和 10m^3 废液。同时联碱法由于双吨产品销售，工厂经济效益较好。但是联碱法并产的氯化铵如果不能作为化学氮肥在农业上广泛而持续的使用，则将阻碍联碱工业的发展。而纯碱的紧缺又将严重影响中国经济的发展。这就是说，植物氯素营养和含氯化肥科学施用研究是发展工农业生产迫切需要解决的重大课题。氯是植物必需的营养元素之一，但需要量很少，而土壤等环境中含量却较多，所以在农田中极少发现植物缺氯症状。相反，近百年来农业化学（植物营养与肥料学）教科书和文献中，国内外学者都一致公认烟草、马铃薯、豆类、葡萄、柑橘类植物等都属于“忌氯作物”。

因此，中国科技人员对于含氯化肥，特别是氯化铵和双氯化肥大量生产和施用疑虑很大，多数都持慎重态度，少数人不赞成。因此中国联碱工业发展受到一定影响，1960年产氯化铵仅0.5万t，1970年产17.6万t，1980年产61.8万t，1985年产89.0万t，1990年产167.3万t，1995年产222.6万t，1998年产265万t^[2]。为什么新中国成立之初，中国就准备发展联碱氯铵，而直到80年代之后才得以大量发展呢？原因之一就是顾虑氯对作物生长和产量品质、对土壤性质和土壤肥力产生不良影响。

事实上中国开展氯化铵及含氯化肥研究还是相当早的，中国农业科学院土壤肥料研究所（原华北农业科学研究所）陈尚谨和乔生辉在北京褐土灌溉地上进行了连续10年的定位试验（1940—1950），主要是比较氯化铵和硫酸铵的肥效，结果表明两种肥料肥效相当，连续施用氯化铵10年之后，基本上没有氯根在土壤中积累。1975年至今，刘更另在湖南祁阳红壤上进行了 NH_4Cl 和 KCl 与不含氯化肥的长期定位试验，结果表明含氯与不含氯化肥肥效相当，氯在土壤中很少积累。不过当时施用量比较低，每公顷每季施 $\text{N}60\text{kg}$ ，即施用 NH_4Cl 240kg，且有时一年只种一季作物。中国农业科学院土壤肥料研究所于1958年组织进行的全国化肥网试验，在水稻、小麦、玉米、谷子、棉花上进行了氯化铵与硫酸铵肥效对比试验，结果表明，两种肥料肥效基本相近^[17,18]。

20世纪50~60年代中国几乎没有自己的联碱工业，到1970年也只有17.6万t。当时中国使用氯化铵主要从日本进口，70年代日本年产氯化铵100万t左右，其中70%销往中国和东南亚，中国从日本年进口氯化铵量曾多达63万t。到1976年中国年产联碱氯铵33.4万t，同时中国引进的大型尿素装置相继投产，因而减少了从日本进口氯化铵数量。这时日本也减少了氯化铵的生产。但是70年代后期，中国经济发展急需纯碱，一部分人主张采用联碱法生产纯碱，同时并产氯化铵。另一部分人则认

为不解决氯化铵的出路问题，联碱工业难于发展。其实两种观点都是根据日本 50~70 年代发展联碱氯铵经验而提出的，都值得中国借鉴。天津碱厂化工研究所华工在“联合制碱发展经过及前景展望”一文中写到：“联合制碱所生产的氯化铵，在工业上用途不大，主要是用于农业做为肥料。”“氯化铵做为肥料与硫酸铵比较，优缺点各类相差不多，但与新兴的尿素肥料来比则是望尘莫及了。”“联碱的困难在于氯化铵销路不畅；氯化铵的缺点在于氯根为害。为此想发展联合制碱必须给氯化铵找出新的出路，否则联合制碱的存在也将困难了”^[11]。这些论点在 20 年后的今天看来，仍然是很有见地的。日本 100 余万 t 联碱氯铵难于销售，只得改变工艺，保持纯碱不减产的前提下减少氯化铵产量。中国 1979 年产联碱氯铵仅 51.6 万 t 尚且滞销，更何谈发展呢？如果氯化铵不能作为化学氮肥在农业上广泛而持续地利用，则联碱工业将会陷入极端的困境。当时中国关于含氯化肥的研究是不多的，袁可能（1983）编著的《植物营养元素的土壤化学》一书的前言中写道：“全书按元素分章编写，除总论外，共包括十三种营养元素。其中氯因资料不足，未写入，增加了硅的化学一章”^[19]。但是从 70 年代后期至 80 年代初，中国为了给氯化铵找出路、解决氯根为害问题，已经开始重视含氯化肥的研究。

西南农业大学毛知耘（1980）发表了“试论氯化铵氮肥的发展前景”^[20]一文，根据国内外资料，针对中国国情，主要思路认为发展中国联碱氯铵是可行的，氯根为害是可以解决的。当然这必须通过较长时期、深入细致地进行试验研究，才有可能解决这一难题。该文论点的主要依据是：（1）中国土地辽阔，作物种类多，农业上利用含氯化肥容量大。以 1977 年为例，中国耕地面积为 1 亿 hm^2 ，为日本的 23 倍^[21]。按复种指数 1.5 计，耕地播种面积为 1.5 亿 hm^2 ，可见中国耕地容量之大。（2）中国氯化铵氮肥占化学氮肥总氮比例很小，仍以 1977 年为例，中国氯化铵氮仅占总氮的 1.2%；而同年日本氯化铵氮占总氮的 9.4%。即

使到了 1990 年，中国氯化铵产量达 167.3 万 t 时，氯化铵氮也仅占总氮的 2.8%，所占比例仍远比日本低。(3) 除了西北、华北部分干旱、盐渍土地地区之外，中国大部分地区雨量充沛，易将含氯化肥带入土壤中的氯淋失。中国年产 300 万 t 氯化铵（其中西南 50 万~60 万 t），土壤-植物体系是可以容纳的，氯化铵可以获得与其它氮肥同样的增产效果。

1980—1985 年，西南农业大学资源环境学院（原西南农学院土壤农化系）与四川省自贡鸿鹤化工总厂合作开展了“氯化铵科学施用技术研究”，提出了粮、棉、油、菜等多种作物施用氯化铵的原则和方法，明确了氯在作物中的含量和分布特点，布置了长期定位试验，以探索氯在土壤中的移动积累及其对土壤性质的影响等。该项研究获 1986 年四川省科技进步奖^[1]。1986 年毛知耘在 13 届国际土壤学会（德国汉堡）上发表了“土壤-植物系统中的氯与含氯化肥合理施用”，一文^[22]，受到国内外专家重视。由于 20 世纪 80 年代前期西南农业大学等单位关于氯化铵的研究，推动了中国含氯化肥研究。大连化工厂、天津碱厂、湖北省化工厂（现湖北省双环化工集团公司）先后与当地农业科技部门和大专院校合作进行含氯化肥科学施用的试验研究，取得了相应的成果，推动了当地联碱工业的发展^[22~27]。联碱氯铵产量由 1980 年的 61.2 万 t 增加到 1986 年的 95.6 万 t。

上述情况表明，在 1986 年前中国氯化铵肥的试验研究，其总体目标是围绕解决氯化铵出路、氯根为害问题。这阶段研究的主要特点：第一，是针对氯化铵与其它形态氮肥进行肥效比较试验，提出氯化铵的用量、用期、用法等施用原则和技术。田间试验示范用肥量低，每公顷氯化铵用量一般 300~450kg，即施氮量为 75~102.5kg 范围。但盆栽试验已开始采用不同氯浓度对作物产量、品质影响试验。第二，多数试验都是一季作物短期试验，虽然提出了氯在土壤中移动积累特点和氯对土壤性质影响的一些试验数据，可供因地制宜施用含氯化肥参考。然而这些短期

试验数据很难说明氯在土壤中的移动积累规律，难以消除人们普遍担心的长期、大量、连续施用含氯化肥，氯会在土壤中积累，从而导致作物减产、肥力下降的后顾之忧。紫色土试点虽然开展了氯化铵长期定位试验，但仅 3~4 年（1983—1986），也难于说明问题。因为一般长期定位试验是以 10~20 年为基本单元的。第三，在试验、示范、推广氯化铵的进程中，科技人员深深感到，保证氯化铵的品质规格是合理施用的基本前提。然而当时相当部分氯化铵质量不高，主要是水分过多，易吸潮结块等，给试验、示范、推广带来很大困难，农民施用很不方便，难于接受。

尽管如此，1986 年前科技人员对氯化铵的施用技术还是取得了一定成果。但是，仍然囿于相当部分作物都是“忌氯作物”的传统观念，从植物氯素营养生理和生态全面来看，试验研究的广度和深度都很不够，没有取得突破性进展，难以消除人们对长期施用氯化铵会造成氯根为害的疑虑。

1986 年 11 月原化工部在湖北省化工厂召开了“氯化铵对策研讨会”，各联碱厂、农科院所、大专院校与到会代表交流了各地对氯化铵试验、示范、推广方面的经验，取得了以下三方面共识，也是原化工部化肥司总工程师傅孟嘉在研讨会总结发言中概括的三点^[24]：（1）改善“自身”（氯化铵）形象，即保证氯化铵质量是合理施用的基本前提。主要是控制水分 $<1\%$ ，成粒、加防潮结块剂等，以保证氯化铵有良好的理化性质，便于施用。且氯化铵的价格，按等氮量计算要比尿素价格适当低一些为宜。（2）重视氯化铵大田试验，同大学、科研院所密切结合，在理论上能总结出几条实际规律，彻底解除氯根为害的后顾之忧。为此要组成全国“含氯化肥科学施肥和机理研究”专题协作组。（3）抓好以氯化铵为氮源的复混肥试制、示范试点。总之，多途径地为氯化铵寻找出路。

经原化工部与国家科委商定，1988 年组成“含氯化肥科学施肥和机理研究”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 12 个科研院所、大学参加，历时 8 年（1988—1995）完成，取得了突出成果。1997 年专家组鉴定，“该项成果总体水平居同类研究国际领先水平”。同年该项成果获化工部科技进步一等奖，1998 年获国家科技进步二等奖。

近 20 年来，中国含氯化肥研究的突出和创新主要在以下三个方面。

（一）深化和更新了植物氯素营养概念

早在 1986—1989 年，周则芳等就测定了 18 种作物的耐氯临界值^[25~27]，以后北京、天津、辽宁、湖北、广西等地先后对谷类、纤维、油料、豆类、糖料、薯类、烤烟、蔬菜、果树花卉等 9 类 30 余种作物耐氯临界值进行了测定。然后根据不同作物耐氯临界值高低，科学地界定了作物耐氯力类型——耐氯力强、中、弱类型，为含氯化肥合理施用提供了科学依据^[26~30]。国外虽有作物耐氯力提法，主要是基于“忌氯作物”与“喜氯作物”，作物对氯敏感或不敏感这种简单分类法，因而难于量化、模式化指导含氯化肥科学施用。国内也有人提出用“抗氯”强弱来区别作物类型^[28]，看来也不确切。因为氯仍是必需的一种微量营养元素，少则有益，多了有害。尽管从营养生理角度看，作物需氯量很少，然而由于土壤、水、空气中氯的广泛存在，大部分作物中氯的含量很高，相当于大量营养元素水平（详见第一章第一节）。这表明作物对氯的奢侈吸收阶段幅度较宽，即作物中氯浓度相当高时也并未影响其产量品质，这就是说作物耐氯临界值也有一定幅度。显然，作物耐氯临界值越高，其耐氯力越强；反之，作物耐氯临界值越低，其耐氯力也越低。由此可以看出，按作物耐氯临界值高低来划分作物耐氯力类型是有充分科学依据的，因而也是一个崭新的概念。

（二）提出了“作物的土壤氯容量”新观点

即以作物耐氯临界值减去土壤含氯量之差值作为氯容量。显

然，作物氯容量越大，则施用含氯化肥可能性和用量越大；反之，作物氯容量越小，则施用含氯化肥可能性和用量越小。这就为定量化、模式化、预报化指导含氯化肥施用提供了理论依据（详见第一章第三节）。

（三）开展了含氯化肥长期定位试验

紫色土试点已达 15 年，长期试验获得了氯在土壤中移动积累特点、氯对土壤性质和肥力影响等方面的宝贵资料，为含氯化肥生产布局与科学施用提供了基础依据（详见第二章）。

从中国实际情况看，除了北方一部分盐渍土和干旱地区之外，中国大部分（70%以上）土壤地区、大多数作物（按耐氯力强和中等的作物播种面积测算约占总播种面积 70%以上的作物）上都可以持续施用含氯化肥。即使年产联碱氯铵 400 万 ~ 500 万 t 只要用法得当、用量适度，也不致于影响作物产量品质和土壤肥力。至此，氯化铵的出路已经基本解决，它不是影响联碱工业发展的主要障碍。

尽管氯化铵出路问题已经基本解决，然而含氯化肥研究还远不够完善，不少问题有待进一步深入研究。例如：（1）从植物氯素营养方面看，某些果树、蔬菜的耐氯临界值还缺乏准确的测试资料，过量氯对作物器官、组织的影响机理，氯在作物体中与其它元素营养平衡对产量品质影响等都还很不清。 （2）长期施用含氯化肥对土壤盐渍化影响，对酸性土中铁、铝等元素及土性的影响，以及对作物根际营养的影响等方面没有系统测试资料。

（3）含氯化肥本身的质量标准必须坚持合格，以利于单施或与其它化肥配施。如氯化钾含量低于 90%，则氯化钠含量可能大于 10%。尽管钠可能是某些 C_4 植物的营养元素，在某些作物上钠还可以部分代替钾的作用，但钠毕竟不是植物必需的营养元素，除了甜菜等少量的“喜钠”作物之外，一般作物不宜以氯化钠作肥料施用。所以，氯化铵、氯化钾中的氯化钠含量必须控制在规定的品质指标的范围之内，否则会大大影响肥效。还有，以氯化

铵、氯化钾为原料的双氯复混肥（16-5-4），浓度低，加工费用高，配比不合理，适用面窄，急待切实改进提高，否则难以为继。日本 20 世纪 70 年代以氯化铵为氮源生产的复混肥，总养分含量也在 35%~40% 以上。中国应适当添加尿素等高浓度氮肥，使总养分达到 35% 以上，这样还可减少复混中含氯量，适用面自然会宽些，效果自然会好一些。

综上所述，中国近 20 年来的含氯化肥研究取得了突出成果，本书的编写正是这些成果的总结和概括。书中提出的植物氯素营养和含氯化肥科学施用的新论点、新原理、新技术，必将掀开中国植物氯素营养的农业化学的新篇章，必将载入中国联碱化肥工业的史册，从而推动 21 世纪初叶中国联碱和含氯化肥工业更好地发展。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结果，是工、农合作研究的结果。这充分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，即经济和科技辩证的、协调的发展观。

主要参考文献

- [1] 中国纯碱工业协会编．中国纯碱工业大事记（1917—1996）．北京：中国纯碱工业协会，1997
- [2] 化学工业部科学技术情报研究所，南京化学工业（集团）公司编．中国化肥手册——生产、流通、施用．北京：化工部科学技术情报研究所，1992
- [3] Broyer T C etc. 1954. Chlorine A micronutrient element for higher plants. Plant physiol 1954 (29): 526~532
- [4] A. Lauchli (美)，R. L. Bielecki (新西兰)，张礼忠、毛知耘主译．植物的无机营养．北京：农业出版社，1992
- [5] Marcschner H. (德)著．曹一平，陆景陵等译．高等植物的矿质营养．北京：北京农业大学出版社，1991
- [6] X K Асапов．北京农业大学译．农业化学讲义．北京：高等教育出版

社, 1959

- [7] E H Halstead, J D Beaton, J C W Keng and Miaoyuan Wang. 氯——重要的植物营养元素研究的最新进展. 见: 硫、镁和微量元素在作物营养平衡中的作用国际学术讨论会论文集, 成都: 成都科技大学出版社, 1993. 483~493
- [8] R D Munson. 范钦桢、郑文钦等译. 农业中的钾. 北京: 科学出版社, 1995
- [9] 侯德榜, 何熙曾. 氯铵的肥效. 北京: 科学出版社, 1964
- [10] 氯化铵肥料协会(日)编, 王正华, 吴纪安摘译. 日本对氯化铵肥效的研究. 纯碱工业. 1980 (5)
- [11] 华工. 联合制碱发展经过及前景展望. 纯碱工业. 1979 (5)
- [12] 浙江农业大学. 农业化学. 上海: 上海科学技术出版社, 1980
- [13] 毛知耘. 肥料学. 北京: 中国农业出版社, 1997
- [14] Jennings D H. The effects of sodium chloride on higher plants. Biol. Rev. 1976 (51): 453~486
- [15] 刘洪斌, 毛知耘. 氯和钾营养对烤烟产量和品质的影响. 植物营养与肥料学报. 1995 (1)
- [16] 毛知耘. 论植物的氯素营养与含氯化肥施用. 化肥工业. 1998 (3)
- [17] 中国农业科学院土壤肥料研究所. 中国肥料. 上海: 上海科学技术出版社, 1994
- [18] 全国土壤普查办公室. 中国土壤. 北京: 中国农业出版社, 1983
- [19] 袁可能. 植物营养元素的土壤化学. 北京: 科学技术出版社, 1983
- [20] 毛知耘. 试论氯化铵氮肥的发展前景. 纯碱工业. 1980 (5)
- [21] 张塞. 国际统计年鉴. 北京: 中国统计出版社, 1996
- [22] Mao Zhi-yun and Zhou Zhe-fan. Study on Chlorine in Soil-plant System and the Application of Chloride-containing Fertilizers. Proceedings of the 13th International Conference of Soil Science. 1986
- [23] Zhou Zhefang and Mao Zhiyun. Fertilizing for High Quality and Yield of Wheat in Purple Soil. Proceedings of the International Conference on Dry-land Farming. Amarillo, Bushland. Texas, U.S.A. 1988
- [24] 王寿延, 傅孟嘉. 我国氯化铵的现状与发展趋势. 纯碱工业. 1987 (4)

- [25] 周则芳, 植物-土壤氯浓度临界值的研究—— (一) 水稻耐氯临界值研究, 纯碱工业, 1988 (5)
- [26] 周则芳, 紫色土区作物耐氯临界值类型研究, 西南农业大学学报, 1990 (6)
- [27] 毛知耘, 石孝均, 作物耐氯力类型研究, 见: 现代农业中的植物营养与施肥—— 94 全国植物营养与肥料学术年会论文选集, 北京: 中国农业科技出版社, 1995
- [28] 尹名济, 氯化铵肥效剖析, 纯碱工业, 1987 (4)

第一章 植物氯素营养

氯是植物必需的营养元素之一，从植物营养需要性看它属于微量元素范畴，但从植物体内含量看它达到了大、中量营养元素水平。过去一直认为，植物吸收氯受代谢控制，属主动吸收；然而植物吸收氯的速度和数量很大程度上取决于环境中氯浓度，植物吸氯量随环境中含氯量的增加而提高，是否存在被动吸收？有待进一步研究。氯在植物体内主要以离子形态行使其营养功能，在参与光合作用、抑制植物病害、调节气孔开闭、维护细胞渗透压、保持体内电荷平衡中有着重要的生理作用。但是关于氯的直接营养机理尚不完全清楚，关于植物氯素营养的研究无论从广度和深度上都不够。由于氯在自然界中广泛存在和易于被植物吸收，大田生产中很少出现缺氯，人们普遍担心的是氯过多影响植物产量和品质和导致土壤肥力下降。20世纪70年代以来，中国含氯化肥的生产和施用急剧增加，由含氯化肥带入到土壤—植物体系中的氯对植物营养、产量和品质是否会产生不良影响？为此对这一问题作了大量研究。本章的主要内容就是论述植物氯素营养的基本特点、植物对氯的吸收及对其它养分的影响，植物含氯量及其分布和丰缺症状，氯对作物产量品质的影响和作物耐氯力类型等。