

# 研究论文



Redwin 冬小麦; 照片来自Fort Smith Montana附近的扬花期后的试验小麦。试验田品种统一, 全田小麦叶片都出现这种症状。土壤测试表明, 试验地土壤氯含量低下。  
照片: Dr.Richard Engel友情提供, 美国Montana州立大学。

## 微评: 含氯肥料KCl的价值

Ren, L.<sup>(1)</sup>, Xu, G.<sup>(1)</sup>, and E.A.Kirkby<sup>(2)</sup>

### 摘要

氯化钾 (KCl) 是全世界范围内都在施用的最普通的钾肥, 它能给作物提供两种最基本的元素K和Cl, 这两种元素不仅是植物还是动物生存所必需的营养元素。对大多数土壤而言, 作物可以直接从土壤中获取这些元素。在耕作过程中, KCl往往和N、P元素做成复合肥, 且能提高它们的利用率。在作物植株中钾元素扮演了重要的生理学和生物化学的功能。现在这些功能很多已经被研究清楚, 当然还有相当一部分还处在研究中。钾元素能活化60多种酶, 在蛋白质合成中承担直接的功能, 影响植株的水分

关系及细胞膨压, 是细胞生长发育的必需元素。钾元素在光合作用及运输光合作用生成的糖分和氨基氮到果实和根部中发挥重要作用。近些年已日渐清楚钾元素在促进作物产量方面功不可没, 这主要是因为钾素能减缓外界生物及非生物的胁迫带来的影响, 包括盐分、冷害、霜冻、涝害、干旱以及病虫害。当然, 详细的分子和生化控制机制

<sup>(1)</sup>南京农业大学资源与环境学院, 南京, 210095, 中国  
<sup>(2)</sup>Leeds大学生物学院, Leeds LS2 9JT, 英国  
通讯作者: [eakirkby@yahoo.co.uk](mailto:eakirkby@yahoo.co.uk)

还需要进一步说明。钾素和氮素是植物生长所需数量最大的两大元素, 现有的大量研究显示氮钾元素在决定作物产量和质量方面扮演一种协同的关系。当钾素供应不充分, 例如供应作物的K/N比率太低时, 低分子量的糖和氨基酸累积量不能形成高分子量化合物如蛋白质、淀粉、多糖、纤维素, 从而不能形成高质量的产品。地壳中氯的含量大约为500 mg kg<sup>-1</sup>, 且几乎是只以氯化物的形式存在于自然界中。一般而言, 灌溉水中的氯离子的含量不会超过150 mg L<sup>-1</sup>, 假如发生淋溶的话, 对大多数植物而言这种浓度是合适的。大田生产时推荐的氯化钾肥料施用量粮食作物为75~150 kg ha<sup>-1</sup>, 而园艺作物为300~500 kg ha<sup>-1</sup>。氯化钾由于其溶解度高是唯一合适的可通过灌溉施肥来增加氯的供应方式。氯是一个不同寻常的微量营养元素, 不同植物体内氯的浓度可能相差很大。植物体内的氯离子是光合作用中水分解反应释放氧气, 电荷补偿, 整个植物的渗透调节, 以及某些植物品种调节气孔保卫细胞的运动所必需的。植株易发生氯缺乏的地区通常距离海边较远, 从空气中吸收的氯元素不能满足植株生长的需求。对于旱地小麦来说, 植物需氯量为4~8 kg ha<sup>-1</sup>, 而某些作物例如猕猴桃和棕榈树等对氯的需求却特别高。全球范围内都发生过氯中毒, 在干旱和半干旱地区普遍是作物生长的限制因素。作物对氯的敏感性明显不同, 敏感的作物包括: 胡椒、卷心菜、生菜、油菜、烟草、马铃薯和甘薯, 一些世界性的主要的种植作物对氯元素不敏感, 如: 大米、小麦、玉米、高粱、棉花、西红柿、茄子、香蕉和桃子。我们还意识到, 氯元素可以抑制不同作物上的多种植物病原体。这包括大麦铁锈病(*Puccinia hordei*)、玉米茎枯病(*Aspergillus niger*)、马铃薯褐心病(*Cephalotrichum stemonitis*)、大麦根腐烂(*Cochliobolus sativus*, *Fusarium culmorum*)、玉米茎腐病(*Fusarium spp.*)。同样, 在381个小麦条锈病发生严重的小麦品种上的试验证明: 春季根外追施NH<sub>4</sub>Cl比追施(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>可显著降低条锈病的发生程度, 这表明氯元素起到了特定的效果。由此推及人类营养学, 均衡饮食的好处提供适量的K和Cl, 而食入过多的氯化钠将会对人体带来不利的影响。

## 引言

氯化钾(KCl)作为肥料提供两种最基本的元素, 即大量元素钾, 以阳离子(K<sup>+</sup>)出现和微量元素氯, 以阴离子(Cl<sup>-</sup>)出现。世界上90%的矿物钾供应给植物生长(IFA, 2013)。在所有的矿物钾肥中, 氯化钾的含钾量最高, 超过50%。它易溶于水, 易于从土壤中获得。钾离子进入土壤溶液, 进行复杂交换, 然后容易被植物根系吸收。钾素一般跟氮磷素混合制成肥料, 很少单独施用。事实上氯化钾的施用还提供了一种重要的功能, 就是提高这些氮磷化肥的

利用效率。在草原地区, 氯化钾是唯一的矿物钾化肥的应用方式。在干草和青贮饲料的养分循环过程中, 移除的钾素很容易通过根外追施氯化钾肥得到补充。当钾素缺乏或供应不足时几乎所有的农作物都可以通过氯化钾来补充钾素。只有极少数作物品种对氯敏感, 在这些少数的敏感作物上, 禁止追施氯化钾来补充钾素。例如烟草, 当按正常补充钾素的量来追施氯化钾, 那么其中追施的氯量就会过大, 从而破坏烟叶的质量及烟味。相比其他钾肥(硫酸钾和硝酸钾), 氯化钾的整体优势是成本相对较低, 易于被植物吸收。

钾在植物体内的基本生理功能大多数已被研究清楚。植物体吸收钾素的量比较大, 跟吸收的氮素的量差不多, 钾素在植物生理学和生物化学中起基本的作用, 尤其是在氯的新陈代谢方面起到了重要作用(Marschner, 2012; Mengel Kirkby, 2001; Roemheld Kirkby, 2010)。众所周知, 钾元素能活化60多种酶, 在蛋白质合成中承担直接的功能, 影响植株的水分关系及细胞膨压, 是细胞生长发育的必需品。钾还在光合作用中起着关键的作用, 无论是在光照还是黑暗的条件下, 反应的最终结果都是减少二氧化碳的量而形成糖。钾是一种特殊的常量营养元素, 它不会被纳入任何有机分子中, 在植物体内几乎都是以单价阳离子的方式存在, 这种存在形式是高度流动的, 是木质部和韧皮部流通中占主导地位的阳离子, 参与了无机阴离子和有机代谢产物的运输。在许多作物品种的木质部中钾的浓度范围为10~20 mmol L<sup>-1</sup>, 负责从根部到嫩芽的营养运输, 而在韧皮部中钾离子的浓度更高, 为100~200 mmol L<sup>-1</sup>。在光合作用中, 钾控制着蔗糖的加载和氨基酸的生产, 正是这些运输的运行才使水果和根茎得以生成。近年来的研究逐渐发现, 钾素作为一种最重要的矿物营养能缓解影响作物生产的非生物及生物胁迫, 这包括盐分、冷害、霜冻、涝害、干旱以及病虫害(Cakmak, 2005; Wang et al., 2013)。当然这一领域的研究仍需在生理和分子潜在的相互作用及控制机制方面做进一步的阐明, 但胁迫条件下钾离子可保护细胞免受活性氧(ROS)诱导这一点毫无疑问(Cakmak, 2005)。

氯化钾施入土壤后释放出等量的氯离子和钾离子进入土壤溶液。氯离子在土壤中易于移动, 容易被浸出, 而钾离子进入土壤溶液变得相对固定, 会进入土壤溶液和交换性钾库, 从而易于被植物根系吸收(Roemheld Kirkby, 2010)。虽然植物生长和发育所需的氯通常很少, 但是氯作为一个不寻常的微量营养元素, 一些基本功能的完成必需微量氯离子。植物吸收氯的量变化范围很大, 这依赖于可以吸收氯的量及植物品种的不同(Epstein and Bloom, 2004; Chen et al., 2010)。

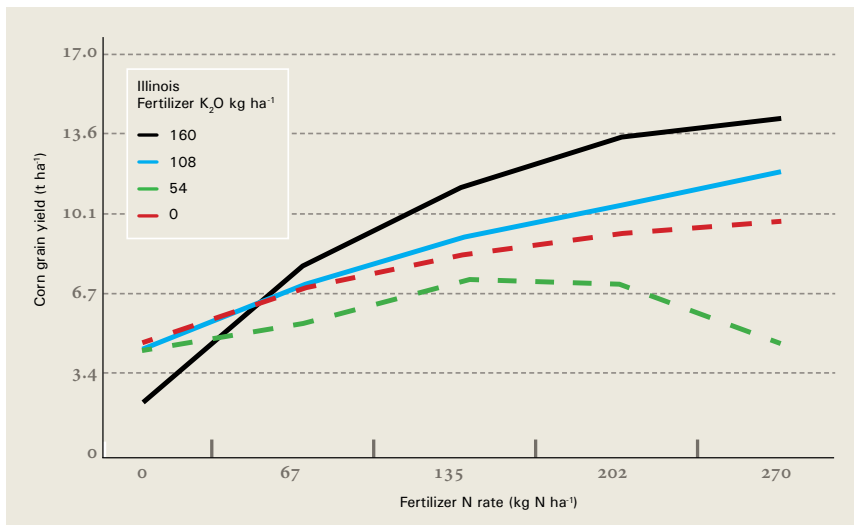


图1.随施钾量和施氮量增加对玉米 (*Zea mays* L.) 产量的影响。摘自Better Crops,1998。

这个简述的目的就是考虑氯化钾作为作物肥料尤其是联系到氮肥施用来解释这些营养物质之间的重要的相互作用,以及纠正氯元素与土壤和灌溉、缺素和毒害之间的联系,施肥对作物产量、环境、作物疾病的影响,在人类健康中氯和钾所扮演的角色。

### 作物施用氯化钾对氮的吸收和同化影响

种地时施用氯化钾,钾元素能严重影响氮的吸收和新陈代谢。在生长季节大部分耕地土壤硝化细菌活跃,硝酸盐是氮吸收的主要形式。许多作物品种的根系都会迅速吸收钾离子和硝酸根离子,然后一起从根部运输到嫩芽和树叶,通常硝酸盐的还原和同化就在这些部位完成。这两种营养物质可以在根部和嫩枝之间进行循环和再循环,从而满足特定的功能。其中包括嫩枝合成的养分供给根吸收(硝酸盐和硫酸盐减少),提供额外动力使溶质在木质部和韧皮部流动,以维护阳离子/阴离子平衡,向根部传达营养需求的信号。矿物营养如钾的循环也需要覆盖顶端根区对增长的需求,和消除空间和时间上外部土壤养分供应植物生长的波

动(Marschner *et al.*, 1997)。这两种营养元素钾和氮相互合作的关系,对植物生物化学和植物生理产生巨大的影响。其中包括:细胞分裂、嫩枝扩展及根增长的感应;细胞膨压的维护;植物水关系的控制;酶的激活;光合作用;蛋白质合成(Mengel Kirkby, 2001)。此外K/N的比例能极大的影响新陈代谢。K/N比率较低,导致低分子量化合物如酰胺、氨基酸和糖类的积累;相反K/N比率高,则会导致高分子量化合物如蛋白质、淀粉、多糖、纤维素的积累(Marschner, 2012)。图1提供了在土壤交换性钾比较低的美国伊利诺斯州土壤上做的实验结果,图1说明钾素和氮素之间的密切互动的关系对作物产量产生的影响。保证玉米氮素的供应,增加钾素的施用量,可以增加玉米籽粒的产量和氮素的利用效率(Better Crops, 1998)。同样的试验结果可见图2,这表明了钾素和氮素之间的互动效应会对棕榈油产量产生有益的影响(Webb, 2009)。当然其他参考文献中还有许多类似的例子显示施用氯化钾会影响不同作物对氮素

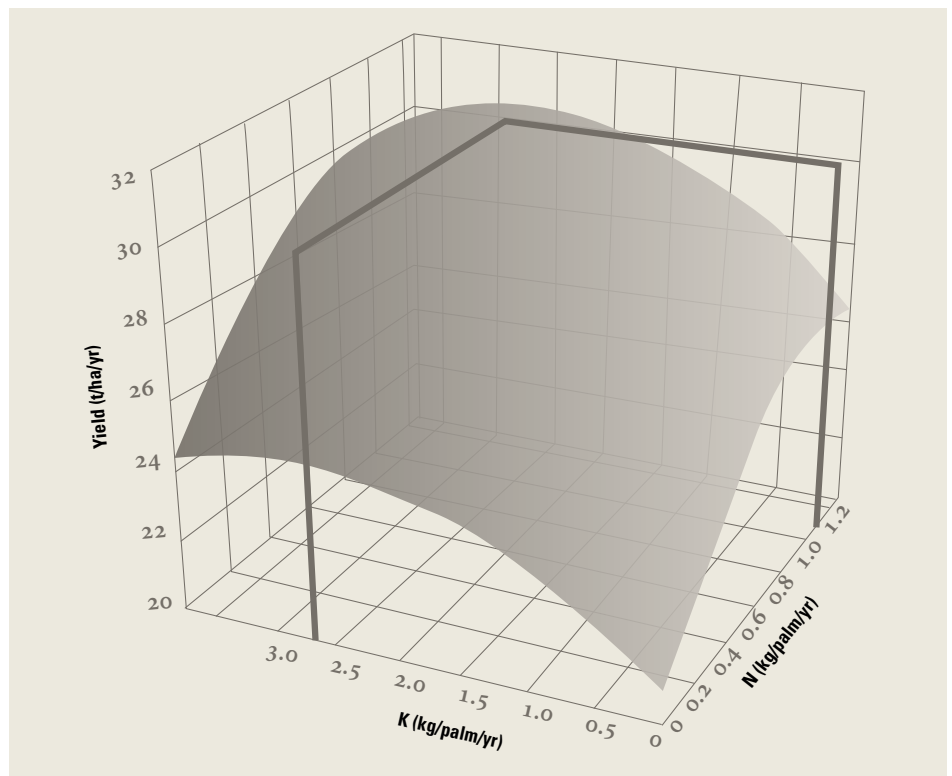


图2.随施钾量和施氮量增加对油棕榈产量的影响。摘自Webb,2009。

的吸收利用, 并会增加各作物产量和品质 (Gething, 1993; Mengel Kirkby, 2001)。钾素对氮素的影响还有利于环境, 包括限制硝酸盐的浸出和未被作物使用氮素可能的反硝化作用。

在早期的研究文献中, 研究者尤其注意到氯对作物吸收硝酸盐会带来负面影响, 从而影响氮的利用率。毫无疑问, 在植物吸收养分过程中, 氯与硝酸盐会产生竞争 (Xu *et al.*, 2000; see also references in Khan *et al.*, 2014), 但不要忘了, 对于大多数农作物而言, 氮的需求量远远高于氯的需求量。通常作物营养组织干物质中氮的浓度为2%~5%, 大大高于氯的浓度, 氯的浓度通常大约只有1%, 甚至更低 (Heckman, 2006)。此外, 植物不仅吸收氯, 而且还会向土壤中释放氯 (White and Broadley, 2001)。另外, 一些植物物种和栽培品种可能会排斥氯的吸收 (Abel, 1969 and Xu *et al.*, 2000)。与氮素与钾素之间发生的强烈的生理生化作用相比, 氯带来的一些影响完全可以忽略不计。

### 土壤和灌溉水中的氯离子

岩石圈中的氯含量约为500 mg kg<sup>-1</sup>, 几乎只以氯化物的形式存在。因此, 世界上的大部分水资源都包含了大量的氯。在灌溉土壤中, 表层土氯离子的浓度完全依赖于灌溉用水的数量及灌溉水的盐度 (Xu *et al.*, 2000)。该篇综述的作者也提到, 一般来说, 当灌溉用水中氯的含量少于150 Cl<sup>-</sup> mg L<sup>-1</sup>, 假设存在淋溶的话, 对于大多数作物而言, 这个含量比较合适。例如, 每个生长季节灌溉500 mm的水, 灌溉水中氯离子的浓度为100~200 mg L<sup>-1</sup>, 相当于施氯量500~1000 kg Cl ha<sup>-1</sup> (Maas *et al.*, 1982)。大田种植时氯化钾肥料的推荐施用量粮食作物为75~150 kg ha<sup>-1</sup>, 园艺作物的量为300~500 kg ha<sup>-1</sup> (Fan *et al.*, 2007; Shen *et al.*, 2011; Liu *et al.*, 2012), 该量远低于灌溉水所提供氯的数量。此外, 氯离子在土壤溶液的运动很大程度上取决于水的流动 (White and Broadley, 2001), 因此氯离子很容易通过土壤剖面淋溶。因此, 由氯化钾肥料带来的氯离子对于大多数农作物是安全的。通过灌溉或滴灌施肥系统来给作物施加钾肥, 氯化钾是唯一合适肥料, 这是因为CaSO<sub>4</sub>溶解度低, 从而K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>不合适, 硝酸钾不容易处理且价格较贵。

### 作物中的氯离子、缺素和毒害

氯是植物生长必需营养元素。光合作用的水光解反应放氧气、电荷补偿, 整个植物的渗透调节, 以及一些作物品种的气孔保卫细胞都需要氯元素 (Xu *et al.*, 2000; Chen *et al.*, 2010; Marschner, 2012)。自从Broyer *et al.* (1954)首次提出确定氯是植物生长所必需的营养元素后, 各种关于氯的缺素症的研究报道已经发表很多。Whitehead (1985)研究

发现, 水培红三叶草缺氯后会出现以下症状: 叶片枯萎、萎缩、坏死, 茎秆开裂。Heckman (2006)注意到多种作物的氯的临界浓度还没有人研究, 就先以小麦为研究对象, 提出了小麦氯的临界值约为1~1.5 mg Cl g<sup>-1</sup> DM。氯缺乏的地方可能会发生在距离海边较远的地方, 据报道在美国中西部小麦带的降雨中氯的含量不能满足作物产量需求 (Fixen, 1993)。根据上面提到的氯的临界浓度值计算, 足够的粮食产量需要约4~8 kg Cl ha<sup>-1</sup>。据Engel *et al.* (1997)报道, 小麦发生氯的缺素症时表现为叶片萎黄, 发生坏死斑, 被称为“氯缺乏叶斑综合症”, 见照片1。Mengel *et al.* (2009)报道, 在美国堪萨斯州中部基于土壤测试施用氯化物肥料, 对小麦和高粱生产会带来有利影响, 安全可靠。氯缺乏也可能发生在作物对氯的需求高时, 如猕猴桃和棕榈树 (Marschner, 2012)。



照片1. 生长在控制室内水培WB881硬质小麦的植株缺氯症状。小麦种植在无氯环境中。照片由美国Montana州立大学 Dr. Richard Engel博士友情提供。

全球范围内特别是干旱和半干旱地区氯中毒作为作物生长过程中的一个限制因素越来越普遍。根据 Marschner(2012)研究发现,当外界氯的浓度达到20 mmol L<sup>-1</sup>时,可能会导致对氯敏感作物中毒,然而对于耐氯的作物品种,即使外界氯的浓度高出该浓度的4~5倍也不会影响作物生长。在大多数耕层土壤、土壤溶液中氯离子的浓度比较低,大约为2~3 mmol L<sup>-1</sup>,这对大多数作物而言是不会产生毒害的(Xu et al., 2000)。以玉米(*Zea mays* L.; cultivar of Trojan 114)为例,当温室中氯离子的浓度为728 mg Cl<sup>-</sup> kg<sup>-1</sup>时,对玉米没有显示任何不利影响。同样的结果也出现在田间试验时,当氯离子的含量为340 kg ha<sup>-1</sup>时,不会对玉米的产量和生长带来不利影响(Parker et al., 1985)。当氯离子的浓度低于1600 mg kg<sup>-1</sup>时,棉花产量和品质都不会受到影响(Tan and Shen, 1993)。甜菜生长需要大量的氯,产量随氯离子的施用量的增加(直至氯离子量增加到1600 mg kg<sup>-1</sup>)而增加(Jing et al., 1992)。该作者还发现当黏土中氯离子的浓度高达3200 mg kg<sup>-1</sup>时,生长在此土壤中的甜菜产量也不会降低。

### 氯离子对作物产量及环境的影响

氯对作物产量和质量会产生有益作用, Parker et al. (1985)设计的钾肥对照试验中,曾得出施用氯化钾比施用等量的硫酸钾更能促进玉米(*Zea mays* L.)的产量的结论。Heckman(1995)也得出相似的研究结果(氯对作物产生有益影响),即田间试验表明,氯肥比硫酸盐肥更能提高玉米产量。在砂壤土上,连续三年时间内氯的施用累积量为400 kg ha<sup>-1</sup>,可获得500~1500 kg ha<sup>-1</sup>的谷物产量。产量与穗叶中氯浓度的增加呈正相关。因此可以得出结论,增强氯的营养水平对玉米产量产生有利影响的原因,包括强化了植物组织的水分保持、延长了籽粒灌浆时间、更多光合作用的产物进入籽粒。

Wen(2006)田间试验发现,施用包含氯离子的肥料时,应该结合种植的不同作物品种仔细计算管理。对氯离子不敏感的作物有水稻、小麦、玉米、高粱、棉花、番茄、茄子、香蕉和桃子,每季可以接受氯离子肥料的浓度1350~1800 kg ha<sup>-1</sup>。对氯离子要求中等的作物有大豆、豌豆、草莓、花生、苹果、甘蔗,要减少氯离子的施用量,每季可以接受氯离子肥料的浓度675~1350 kg ha<sup>-1</sup>。对氯离子敏感作物如胡椒、卷心菜、生菜、油菜、烟草、马铃薯和甘薯,每季施用氯离子肥料的浓度不应超过675 kg ha<sup>-1</sup>。

在中国湖南省的水稻土上做过一个长达34年的长期定位试验,研究连续施用含氯离子的化肥对环境的影响,发现含氯化肥的处理比对照处理(含有硫酸根化肥的处理)更能提高生物多样性,杂草种类变多,水面和水下杂

草生物量更高(Shen et al., 2011)。与施用包含硫酸根化学肥料处理相比,作者发现施用含有氯离子肥料处理的晚稻和早稻杂草生物量分别增加了24.2%和17.6%,这表明氯离子对植物的生长或发育没有伤害。

### 施用含有氯离子的肥料对作物病害的影响

曾有报道肥料中的氯离子可以控制不同作物品种的疾病(Fixen, 1993)。据Elmer(2007)研究施用的氯离子可以抑制12个作物品种中的23个病原菌。这包括大麦的锈病(*Puccinia hordei*),玉米茎枯病(*Aspergillus niger*),马铃薯褐心病(*Cephalotrichum stemonitis*) (Mao and Li, 1999; Zhang et al., 2010)。通过施用氯化钾肥料可以抑制大麦根腐烂(*Cochliobolus sativus*, *Fusarium culmorum*) (Timm et al., 1986)。Heckman (1998)的大田试验还显示了施用含有氯离子的肥料对玉米茎腐病(*Fusarium spp*)产生有益作用。通过增施的氯离子量(施用氯化钾肥料)来增加穗叶中氯离子的浓度,茎腐病的发病率(*Gibberella zeae*)对比施用硫酸钾肥能在更大程度上被抑制(Huber, slide 27 on [http://brasil.ipni.net/ipniweb/region/brasil.nsf/e0f085ed5f091b1b852579000057902e/98de35edd4f507f483257afe005d60e6/\\$FILE/Palestra%20Don%20Huber.pdf](http://brasil.ipni.net/ipniweb/region/brasil.nsf/e0f085ed5f091b1b852579000057902e/98de35edd4f507f483257afe005d60e6/$FILE/Palestra%20Don%20Huber.pdf))。同样,在小麦的381品种上试验结果表明,春季根外追NH<sub>4</sub>Cl能比追施(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>显著降低小麦条锈病发生的严重程度(*Puccinia striiformis* f. sp. *tritici*),这又表明了氯离子的特殊效应(Christensen et al., 1982)。

世界各地小麦和大麦上发生的全蚀病(*Gaeumannomyces graminis*)严重制约粮食生产(Huber et al., 2012)。Taylor et al. (1983)发现这种真菌病原体喜中性环境,即土壤pH为7时适宜其生长发育,但对低的pH值很敏感。施用NH<sub>4</sub>Cl和(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>都会降低土壤的pH,然而施用NH<sub>4</sub>Cl额外增加的氯似乎对抑制病原体的活动更有效。Christensen et al. (1981)发现在发生全蚀病的冬小麦田,施用NH<sub>4</sub>Cl的处理(额外增加氯离子量大约为350 kg ha<sup>-1</sup>)比施用等量(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>的处理产量提高11%~40%(参

**Table 1.** Effect of chloride as KCl on the "Incidence of Take-All in Winter Wheat" in a field experiment supplied with NH<sub>4</sub>N.

Chloride treatment		Infected roots	Grain yield
-----kg ha <sup>-1</sup> -----		-----%-----	-----t ha <sup>-1</sup> -----
Autumn	Spring		
0	0	45	5.3
56	0	34	5.7
56	185	11	6.5

Source: Christensen, N.J. et al. 1981. *Agron. J.* 73:1053-1058.

见Christensen *et al.*, 1993), 发生这种有益的影响似乎是与氯离子有关, 而与肥料中相应的阳离子无关。该作者还发现氯离子的相似优点, 即当氯离子以氯化钾的形式配合施用 $\text{NH}_4\text{-N}$ 氮肥能增加冬小麦产量, 并能抑制小麦全蚀病的发生(表1)。在秋天和春天都施用氯化钾是最有效的防治方式。

Elmer(2007)对氯和植物病害之间的关系做出了最详细和发人深思的描述, 他认为施氯肥对植物病害主要的影响是, 氯似乎减少细胞渗透势(增加膨压), 增加锰的吸收, 通过根分泌物的改变增强有益微生物的吸收。(Huber and Wilhelm (1988)发现, 锰通过诱导木质的防御栅栏的沉积增加宿主抵抗力。渗透压的增加可以归因于氯吸收的结果, 既有化学又有微生物的手段实现氯调节锰吸收, 当然在这里会受到土壤pH的影响。在酸性土壤(pH低于6.6)锰元素充足、氯离子抑制硝化作用和化学还原产生 $\text{Mn}^{2+}$ , 而在中性和碱性土壤, 氯通过改变根渗出液的营养成分可提高锰, 进而有利于微生物能够诱导减少锰。施用硝化抑制剂抑制全蚀病的发病率的带来的好处可见Huber (slide 25 at [http://brasil.ipni.net/ipniweb/region/brasil.nsf/e0f085ed5f091b1b852579000057902e/25dd770a7fa6689c83257b090060759d/\\$FILE/Palestra%20Don%20Huber.pdf](http://brasil.ipni.net/ipniweb/region/brasil.nsf/e0f085ed5f091b1b852579000057902e/25dd770a7fa6689c83257b090060759d/$FILE/Palestra%20Don%20Huber.pdf))。这也可能是氯离子提高了植物相关抗性酶的活性。例如施用氯离子可以抑制黄瓜霜霉病(*Pseudoperonospora cubensis*), 这是因为氯离子增加了 $\beta$ -1, 3-葡聚糖酶的活性(Jia *et al.*, 2004)。Heckman (2006)和 Huber *et al.* (2012)详细叙述了氯离子限制各种植物病害的有益作用。

### 氯离子和钾离子对人体健康的影响

对人类(或动物)而言, 氯是一种重要的矿物营养, 类似于植物对氯离子的摄取。平均每个成年人人体氯的含量约为115 g, 大约占体重总数的0.15%。氯离子约占人体血液内阴离子总量的70% (Meletis, 2014)。人类迄今为止对氯的摄入量最大的来自餐桌的食盐(氯化钠)。2012年世界卫生组织建议每个成人每天消费食盐(氯化钠)的量应该控制在5 g以内。这代表了3035 mg氯离子被摄入, 该数值为由植物原料提供的氯离子量的5倍, 在这里先假设的日常饮食中摄入30 g干的植物原料(相当于约300克新鲜植物原料), 干的植物原料中氯离子的浓度范围为2~20 mg  $\text{g}^{-1}$  (Xu *et al.*, 2000)。在美国, 人们每天摄入5g氯化钠就已经超标了, 所以, 从植物原料中获取的氯的数量可能比上面所提到的数值更低。摄取过多的氯化钠对健康极其有害, 它会引发高血压及心血管等疾病。事实上目前人类饮食的主要问题是摄入钾的量低, 而钠的摄入量高(Roemheld Kirkby, 2010), 因此在人类饮食上要多吃水果和蔬菜以提高钾的摄入。钾在人类营养中的蛋白质合成、碳水化合物

的代谢、心脏的电活动、酸碱平衡起重要作用, 还参与了动植物体的抗氧化剂功能。从作物获得的氯不会危害人类健康, 农作物施用氯化钾对人类氯的摄入没有影响, 反而会提供钾素的吸收。

Khan *et al.* (2014)表明作物施用氯化钾可造成作物质量差, 对人类健康有害, 但对人类饮食产生的直接效应缺乏令人信服的证据。可以肯定的是, 在世界范围内, 氯化钾几乎是所有的商业生产营养作物所施钾肥的主要形式, 已经充分证明, 氯化钾供应充分的作物产量和品质远比供应不足的作物的质量和品质好(Kafkafi *et al.*, 2001)。所谓的施用氯化钾肥有害的一个例子, Khan和他的同事们引用有关马铃薯生产文献, 争议在于施用氯化钾肥会降低马铃薯中淀粉浓度从而降低比重“对健康产生不利的影 响, 如肥胖和心血管疾病, 在加工产品过程如薯片和薯条中, 导致保留的油更大”。在这里作者似乎忽视了引起肥胖和心血管疾病增加的主要原因, 不过现在已确定为:越来越多地由糖和低纤维的垃圾食品为主的高热量的不良饮食, 钠摄入量过多, 作为常规每日摄入量的主要部分缺乏大量元素、微量元素、维生素。谈及吃薯条的危险, 在120℃以上加热这些食品会产生潜在的致癌物质丙烯酰胺。有的马铃薯品种的块茎中还原糖和天冬酰胺浓度高, 就特别易于丙烯酰胺的形成(Amrein *et al.*, 2003)。在这方面, Gerandas *et al.*, 2007提供了明确的证据, 在块茎增长时提高肥料处理中K/N比率, 会减少还原糖, 天冬酰胺的积累以及加工块茎时的薯条丙烯酰胺的含量下降。

### 参考文献

- Abel, G.H. 1969. Inheritance of the Capacity for Chloride Inclusion and Chloride Exclusion by Soybeans. *Crop Sci.* 9:697-698.
- Amrein, T.M., S. Bachmann, A. Noti, M.Biedermann, M.F. Barbosa, S. Biedermann-Brem, K. Grob, A. Keiser, P. Realini, F. Escher, and R. Amado. 2003. Potential of Acrylamide Formation, Sugars, and Free Asparagine in Potatoes: A Comparison of Cultivars and Farming Systems. *J. Agric. Food Chem.* 51(18):5556-5560.
- Better Crops, 1998. Potassium for Agriculture. 82(3). Potash and Phosphate Institute (PPI). ISSN:0006-0089.
- Broyer, T.C., A.B. Carlton, A.M. Johnson, and P.R. Stout. 1954. Chlorine - A Micronutrient Element for Higher Plants. *Plant Physiol.* 19:925-936.
- Chen, Wenrong, He, Zhenli L., Yang, Xiao E., Mishra, Suren and Stoffella Peter J. 2010. Chlorine Nutrition of Higher Plants: Principles and Perspectives, *J. Plant Nutr.* 33(7):943-952.
- Cakmak, I. 2005. The Role of Potassium in Alleviating Detrimental Abiotic Stresses in Plants. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 168:521-530.

- Christensen, N.J., R.G. Taylor, T.L. Jackson, and B.L. Mitchell. 1981. Chloride Effects of Water Potentials and Yield of Winter Wheat Infected with Take All Root Rot. *Agron. J.* 73:1053-1058.
- Christensen, N.W., Christensen, N.W., T. L. Jackson, and R. L. Powelson. 1982. Suppression of take-all root rot and stripe rust diseases of wheat with chloride fertilizer. *In: Plant Nutrition 1982. Proceedings of 9<sup>th</sup> International Plant Nutrition Colloquium, Warwick, England.* A. Scaife, A. (ed.), p. 111-116. Slough, England: Commonwealth Agricultural Bureau.
- Christensen, N.W., R.G. Taylor, and P.E. Fixen. 1993. Crop Responses to Chloride. *Adv. Agron.* 50:107-150.
- Elmer, W.H. 2007. Chlorine and Plant Disease. *In: Mineral Nutrition and Plant Disease.* Datnoff, L.E., W.H. Elmer, and D.M. Huber (eds.). American Phytopathological Society Press. p. 189-202.
- Engel, R.E., P.L. Bruckner, D.E. Mathre, and S.K.Z. Brumfield. 1997. A Chloride-Deficient Leaf Spot Syndrome of Wheat. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61:176-184.
- Epstein, E., and A.J. Bloom. 2004. *Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives*, second edition. Sinauer Associates.
- Fan, G.G., L. Zhang, T.S. Li, and T.S. Wang. 2007. Effects of Application of N, P, K Fertilizer on Corn Yield and Efficiency. *Guizhou Agricultural Sciences.* 35(4):79-80. (In Chinese).
- Fixen, P.E. 1993. Crop Responses to Chloride. *Adv. Agron.* 50:107-150.
- Gething, P.A. 1993. Improving Returns from Nitrogen Fertilizer: The Potassium Nitrogen Partnership. IPI Research Topic No. 13 (2<sup>nd</sup> revised edition). 53 p.
- Gerandas, J., F. Heuser, and B. Sattlemacher. 2007. Influence of Nitrogen and Potassium Supply on Contents of Acylamide Precursors in Potato Tubers and on Acrylamide Accumulation in French Fries. *J. Plant Nutr.* 30:1499-1516.
- Heckman, J.R. 1995. Corn Responses to Chloride in Maximum Yield Research. *Agron. J.* 87(3):415-419.
- Heckman, J.R. 1998. Corn Stalk Rot Suppression and Grain Yield Response to Chloride. *J. Plant Nutr.* 21(1):149-155.
- Heckman, J.R. 2006. Chlorine. *In: Handbook of Plant Nutrition* Barker, A.V., and D.J. Pilbeam (eds.) CRC Taylor and Francis. p. 279-291.
- Huber, D., V. Roemheld, and M. Weinmann. 2012. Relationship between Nutrition, Plant Diseases and Pests. *In: Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*, third edition. Marschner, P. (ed.). p. 283-298.
- Huber, D., and N.S. Wilhelm. 1988. The Role of Manganese in Resistance to Plant Disease. *In: Manganese in Soils and Plants.* Graham, R.D., R.J. Hannam, and N.C. Uren (eds.) Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, The Netherlands. p. 155-173.
- IFA, 2013. *Fertilizer Indicators.* 3<sup>rd</sup> Edition Paris France.
- Jia, J.Y., X.F. Yun, and G.L. Ma. 2004. Cell Wall Degrading Enzyme Activity Induced by Copolymer of Chloride and Potassium Ions in Cucumber Leaf. *Journal of Inner Mongolia Agricultural University.* 25(3):52-56.
- Jing, A.S., B.C. Guo, and X.Y. Zhang. 1992. Chloride Tolerance and its Effects on Yield and Quality of Crops. *Chin. J. Soil Sci.* 33(6):257-259.
- Kafkafi, U. G. Xu, P. Imas, H. Magen, and J. Tarchitsky. 2001. Potassium and Chloride in Crops and Soils: The Role of Potassium Chloride Fertilizer in Crop Nutrition. IPI Research Topic No. 22. 220 p.
- Khan, S.A., R.L. Mulvaney, and T.R. Ellsworth. 2014. The Potassium Paradox: Implications for Soil Fertility, Crop Production and Human Health. *Renewable Agriculture and Food Systems* 29:(1)3-27.
- Liu, K.H., X.O. Tan, W.J. Zhang, and K.H. Xie. 2012. The Quantity of Potassium Chloride Fertilizer on Tobacco. *Ningxia Journal of Agriculture and Fones Science and Technology.* 53(2):35-37. (In Chinese).
- Maas, E.V., S.R. Grattan, and G. Ogata. 1982. Foliage Salt Accumulation and Injury in Crops Sprinkled with Saline Water. *Irrig. Sci.* 3:157-168.
- Mao, Z.Y., and J.K. Li. 1999. *Containing Chloride Fertilizer in China.* Beijing: China Agriculture Publishing House. p. 49-50.
- Marschner, P. 2012. *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*, third edition. Elsevier. p. 651.
- Marschner, H., E.A. Kirkby, and C. Engels. 1997. Importance of Cycling and Recycling of Mineral Nutrients within Plants for Growth and Development. *Bot. Acta* 110:265-273.
- Melatis, C. 2014. Chloride the Forgotten Essential Mineral. DrMeletis.com. Website.
- Mengel, D., R. Lamond, V. Martin, S. Duncan, D. Whitney, and B. Gordon. 2009. Chloride Fertilization and Soil Testing-Update for Major Crops in Kansas. *Better Crops* 93(4):20-22 .
- Mengel, K., and E.A. Kirkby. 2001. *Principles of Plant Nutrition* 5<sup>th</sup> edition. Springer.
- Parker, M.B., T.P. Gaines, and G.J. Gascho. 1985. Chloride Effects on Corn. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 16(12):1319-1333.
- Roemheld, V., and E.A. Kirkby. 2010. Research on Potassium in Agriculture: Needs and Prospects. *Plant Soil* 335:155-180.
- Shen, P., J.S. Gao, M.G. Xu, D.C. Li, D.K. Niu, and D.Z. Qin. 2011. Effects of Long-Term Applying Sulfur- and Chloride-Containing Chemical Fertilizers on Weed Growth in Paddy Field. *Chinese Journal of Applied Ecology.* 22(4):992-998.
- Tan, N.X., and J.X. Shen. 1993. A study on the Effect of Cl on the Growth and Development of Cotton. *Soil Fertilizer* 2:1-3. (In Chinese).
- Taylor, R.G., T.L. Jackson, R.L. Powelson, and N.W. Christensen. 1981. Chloride, Nitrogen Form, Lime, and Planting Date Effects on Takeall Root Rot of Winter Wheat. *Plant Disease.* 67:1116-1120.

- Timm, C.A., R.J. Goos, B.E. Johnson, F.J. Siobolik, and R.W. Stack. 1986. Effect of Potassium Fertilizers on Malting Barley Infected with Common Root Rot. *Agron. J.* 78:197-200.
- Wang, M., Q. Zheng, Q. Shen, and S. Guo. 2013 The Critical Role of Potassium in Plant Stress Response *Int. J. Mol. Sci.* 14:7370-7390.
- Webb, M.J. 2009. A Conceptual Framework for Determining Economically Optimal Fertiliser Use in Oil Palm Plantations with Factorial Fertiliser Trials. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 83:163-178.
- Wen, N. 2006. Effect of Cl<sup>-</sup> in Fertilizer on Crops. *Xinjiang Chemical Industry* 1:47-52. (In Chinese).
- White, P.J., and M.R. Broadley. 2001. Chloride in Soils and its Uptake and Movement within the Plant: A review. *Ann. Bot.* 88:967-988.
- Whitehead, D.C. 1985. Chlorine Deficiency in Red Clover Grown in Solution Culture. *J. Plant Nutr.* 8:193-198.
- World Health Organization. 2012. *Guideline: Sodium Intake for Adults and Children*. ISBN: 978 92 4 150483 6. Geneva, Switzerland.
- Xu, G.H., H. Magen, J. Tarchitzky, and U. Kafkafi. 2000. Advances in Chloride Nutrition of Plants. *Advances in Agronomy* 68:92-150.
- Zhang, Z.H., L.P. Wang, and L.Y. Chen. 2010. Research Progress of Chlorine on the Vegetable Crops. *North Horticulture* 8:225-229. (In Chinese).

研究论文“微评：含氯肥料KCl的价值”可以在国际钾肥研究所官方网站浏览下载：

[\*\*IPI K Centre/Basic Facts about Chloride\*\*](#)