

# 低浓度 NaCl 对植物有益作用的研究概况

王宝增<sup>1</sup>, 刘玉杰<sup>1</sup>, 王桂香<sup>2</sup>, 史振霞<sup>1</sup>

(1. 廊坊师范学院 生命科学学院 河北 廊坊 065000; 2. 大城县臧屯乡第一中学 河北 大城 065900)

**摘要:** 简要介绍了钠元素对植物的作用以及低浓度 NaCl 对植物生长有益的作用和机理。

**关键词:** NaCl; 植物; 有益作用

**中图分类号:** S 143.7<sup>+</sup>9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0009(2008)03-0063-03

长期以来,人们普遍认为 NaCl 是造成植物盐害的主要因素。但近年的研究证实,虽然高浓度的 NaCl 对植物有害,但植物的生长的确也需要一定量的 Na<sup>+</sup> 和 Cl<sup>-</sup><sup>[1]</sup>。低浓度的 NaCl 对植物的生长不仅没有危害,相反,还有利于植物的生长<sup>[2]</sup>。对于盐生植物来说,NaCl 是必需的,例如盐生植物中的滨藜属(*Atriplex*)植物只有在 NaCl 存在的条件下它们才能正常生长<sup>[3]</sup>。对于非盐生植物来说,NaCl 的生理功能研究的较少,但是也开始引起了人们的注意。

## 1 钠的作用

植物的钠营养问题一直以来都是一个令人感到困惑的问题。由于钠在一些 C<sub>4</sub> 植物中的特殊作用,因此被认为是这一类植物的必需元素。Subbarao 等<sup>[4]</sup> 人将钠定义为“功能元素”,因为一些植物要获得最大生物量必

第一作者简介:王宝增(1975-),男,硕士,讲师,主要从事植物逆境生理研究。

收稿日期:2007-09-24

键技术,因此极有必要进行有机果品生产关键技术的研究。有机果品生产关键技术主要包括土肥水的改良、栽培品种选育、整形修剪、病虫害防治、贮藏保鲜等。土肥水的改良,主要是为了使有机果品的生产环境得到有效改善;栽培品种的选育主要选育抗病、抗虫、抗寒、抗旱性强的品种,以减少病虫害、自然灾害等的危害;整形修剪方面主要研究高光效树形,加强树体的通风透光,以减少病虫害发生;病虫害防治方面主要研究农业防治、生物防治、物理防治、化学防治等,重在前三项,慎用化学防治;贮藏保鲜方面主要研究符合有机果品生产的保鲜材料与方法等<sup>[6]</sup>。

## 3.4 抓有机果品生产基地建设,有效推进有机果品生产的发展

有机果品生产基地建设较一般的果品基地的建设要求高,因此在初期阶段得有针对性地建立示范基地,

需有钠的存在,而且在某些方面,钠还能替代钾发挥作用。

### 1.1 钠作为矿质元素的必需性

以前,钠并不被认为是植物的必需元素,然而,1955 年美国加州大学的植物营养学家 Allen 和 Arnon<sup>[5]</sup> 发现蓝绿藻(*Anabaena cylindrica*)的正常生长至少需要 5~10 mg/kg (0.08~0.17 mM)Na,而等浓度的 Li, Rb, K, Cs 都不能替代钠的作用。后来通过对不同盐生植物和非盐生植物的进一步研究发现,具有 C<sub>4</sub> 光合途径和 CAM 途径的植物对钠的反应都表现为低钠增加植物的干重,而缺钠时,所有 C<sub>4</sub> 植物都出现生长不良,并出现可见的缺乏症状如叶片失绿和坏死,甚至不能开花。供给 100 μmol/L Na<sup>+</sup> 后不仅促进了这些植物的生长,而且上述症状都消失了。根据这些研究和后来的试验说明,至少对一些 C<sub>4</sub> 植物来说,钠是一种必需的矿质元素<sup>[6]</sup>。

### 1.2 钠在 C<sub>4</sub> 植物中的作用

Brownell<sup>[7]</sup> 从 5 个科中选出具有 C<sub>4</sub> 型的 6 个种,即禾本科的稗子、狗牙根,莎草科的水蜈蚣,苋科的三色

尤其应在条件较好的地方先建,较集中地投入人力、物力,以成功示范有机果品生产关键技术,此外,也容易出宣传效果。有机果品生产基地的建设,可以起到以点带面的作用,有效促进有机果品生产的发展。

## 参考文献

[1] 于维军,周志华.中国专家解析突破“绿色壁垒”发展有机食品问题[N].中国商报,2002-09-21.  
[2] 杜湘革,王慧敏.有机农业概论[M].北京:中国农业大学出版社,2001.  
[3] 李丽萍,张海英,韩涛.构筑北京郊区有机农业体系为奥运服务[J].北京农学院学报,2004,19(3):76-80.  
[4] 北京市林业局.北京市果树产业发展规划[M].北京市林业局,2004.  
[5] 中国食品产业网[EB/OL].www.foodqs.com/news/gnspzsl/200751483541818.htm.  
[6] 北京市财政局和北京市林业局.北京市有机果品生产技术准则[M].2004.

苋、藜科的地肤、马齿苋科的半枝莲, 试验它们对钠的反应。结果发现, 缺钠时这些植物都出现缺绿或坏死的异常症状, 发育显著不良, 在其培养液中加入  $2.3 \text{ mg/kg}$  的  $\text{NaCl}$ , 则生育表现正常, 证明钠是一种必需微量元素; 而同时选作对照的  $\text{C}_3$  型植物草地早熟禾, 则对钠的有无都没有反应。以上事实说明植物对钠的需要和  $\text{C}_4$  型光合途径有关。  $\text{C}_4$  植物光合途径的特征是代谢物在叶肉细胞和维管束鞘细胞中之间穿梭, 并使  $\text{CO}_2$  浓度在维管束鞘细胞中增加, 使卡尔文循环达到最佳状态。在环境中  $\text{CO}_2$  浓度低时,  $\text{C}_4$  植物比  $\text{C}_3$  植物的这种优势在供钠时更加明显, 例如三色苋 (*Amaranthus tricolor*), 只要地上部含钠量达到干重的  $0.02\%$  时就能高效利用环境中很低浓度的  $\text{CO}_2$ 。

### 1.3 缺钠对 $\text{C}_4$ 植物的影响

缺钠对  $\text{C}_4$  植物光合作用的直观影响是造成植物干重的下降, 与此同时, 叶绿素含量明显下降<sup>[8]</sup>, 而尤其明显的是  $\text{chl}a$  含量的下降明显大于  $\text{chl}b$  含量的下降。缺钠植物具有较小的  $\text{chl}a/\text{chl}b$ , 加入少量钠之后, 植物缺绿症状消失,  $\text{chl}a/\text{chl}b$  比值恢复到正常水平。根据对类囊体结构的分析, 参与光合作用的光系统II和光系统I是由聚光色素系统和反应中心色素系统组成的。在反应中心色素系统中,  $\text{chl}a/\text{chl}b$  的比值大于聚光色素系统, 因此缺钠时  $\text{C}_4$  植物  $\text{chl}a/\text{chl}b$  的比值降低可能意味着中心系统对聚光系统比例的减小<sup>[9]</sup>。此外, Johnson 等发现地肤 (*Kochia childsi*)、三色苋 (*Amaranthus tricolor*) 植株在缺钠时 PS II 活性下降, 与此同时叶绿素荧光  $F_v/F_o$  比值下降, 这表明缺钠可以引起光系统的损伤, 并因此可导致光能向化学能转化的减少, 限制光合作用的进行。缺钠会造成  $\text{chl}a/\text{chl}b$  和叶绿素荧光的下降同光反应的失控或破坏是一致的, 因为缺钠可能导致叶肉细胞或维管束鞘细胞超微结构的改变。Grof 等<sup>[10]</sup> 发现缺钠  $\text{C}_4$  植物地肤、三色苋的叶肉细胞叶绿体基粒类囊体的垛叠显著减少, Gunning 和 Steer<sup>[11]</sup> 认为基粒的垛叠为能量在 PSI 和 PS II 之间的运输提供了一个良好的环境, 同时 Kaplan 和 Artzen<sup>[12]</sup> 也提出基粒的垛叠有利于光能的收集和光化学反应的进行, 因此, 垛叠的减少可能会影响能量的转运。

缺钠时, 三色苋中的代谢产物 PEP、苹果酸及天冬氨酸含量下降, 而  $\text{C}_3$  代谢产物丙酮酸和丙氨酸积累。相反, 在  $\text{C}_3$  植物番茄中这些代谢产物不受钠水平的影响, 说明缺钠损害了  $\text{C}_4$  植物叶肉细胞叶绿体的功能。与此相一致的是, 缺钠时, 三色苋和藜科的地肤叶肉细胞叶绿体的 PS II 活性降低, 超微结构明显改变, 而维管束鞘叶绿体没有发生变化<sup>[13-14]</sup>。重新供钠 3 d 后, PS II 活性得到恢复并且代谢产物水平发生改变。关于钠如何影响  $\text{C}_4$  植物叶肉细胞叶绿体的代谢和功能, 现在仍然不清

楚, 可能是钠有助于保护叶绿体免受光损伤<sup>[13]</sup>。在  $\text{C}_4$  植物中,  $\text{CO}_2$  的同化系统和硝酸盐的同化系统都存在于叶肉细胞中。缺钠  $\text{C}_4$  植物, 如三色苋的叶片中硝酸还原酶活性很低, 重新供钠 2 d 内又可恢复到正常水平, 而且钠还能显著提高根对硝酸盐的吸收及其在叶片中的同化<sup>[15-16]</sup>。

### 1.4 钠替代钾的作用

有些植物如甜菜、萝卜不仅大量钾被钠替代后, 对生长没有影响, 而且进一步的生长刺激作用是增加植物含钾量所不能达到的; 还有一些植物如小麦、棉花, 钠对它们的生长有特殊作用, 但效果不太明显, 少部分钾被钠替代后生长不下降。通常情况下, 喜钠植物和厌钠植物的生长效应不同, 这与植株对钠的吸收尤其是钠向地上部运输的差异有关。在糖用甜菜中, 钠易于向地上部运输, 并代替大部分的钾, 植株的干重超过了大量供钾植株的干重。在盐渍条件下, 大量的  $\text{Na}^+$  在植物的地上部积累, 并在叶细胞的液泡中起渗透调节作用。值得一提的是即使是喜钠植物, 在地上部, 钠替代钾也是有限的。在不同器官以及细胞分室之间的替代程度都不一样, 在液泡中替代作用很大, 而在细胞质中则非常有限<sup>[17]</sup>。

### 1.5 钠对生长的刺激作用

除了钠对钾的替代作用外, 钠对生长的刺激作用也有很大的实践意义和科学意义, 它为利用廉价的含高钠的低品位钾肥提供了可能。钠对植物细胞伸展和水分平衡的效应是导致钠对生长刺激作用的主要因素。钠不但能在液泡中代替钾产生溶质势, 从而引起膨压的产生和细胞的伸展, 而且在这方面钠可能超过钾的作用, 因为它优先在液泡中积累<sup>[18]</sup>。甜菜叶片切段体外伸展及整株甜菜的伸展都能证实钠的这种优越性<sup>[19]</sup>, 当大部分钾被钠替代时, 叶片的叶面积、厚度和肉质化都明显增加<sup>[20]</sup>, 叶片肉质化意味着叶片变厚和贮存更多的水分。

当水分供应有限时, 钠通过对气孔的调节改善植株的水分平衡状况。当介质中水的有效性突然降低时, 供给钠的植株与只供给钾的植株相比, 气孔关闭的更快, 因此, 当介质中有效水含量低时, 供钠植株叶片的相对含水量仍保持在一个较高水平<sup>[21]</sup>。在田间条件下, 施用钠肥的糖用甜菜其产量往往高于只施钾肥的产量, 也是由于钠对细胞伸展和植株水分平衡的作用。此外, 施用钠肥还能提高作物生长阶段早期的叶面积指数, 相应地增强光能截获能力<sup>[22]</sup>。

## 2 $\text{NaCl}$ 对植物生长的促进作用

### 2.1 $\text{NaCl}$ 对盐生植物生长的促进作用及其机理

有实验表明, 将碱蓬种植在含有不同浓度  $\text{NaCl}$  的培养基中, 然后测定植株的鲜重、干重和有机干重, 结果

表明在 200 mM NaCl 以下, 植株的鲜重、干重以及有机干重均随外界盐浓度升高而增大<sup>[3]</sup>。

NaCl 能够促进盐生植物生长, 其原因主要包括以下几个方面: 首先, NaCl 能够增大植物细胞的渗透势。盐生植物中的稀盐植物, 如碱蓬、海蓬子等, 在盐渍生境中可以吸收大量的钠盐, 并运到地上部分, 增加植物各器官组织的盐浓度, 以适应外界的高渗环境, 从而可以从盐渍环境中获得必需的水分。其次, NaCl 可以提高原生质的亲水性。盐生植物从外界环境中摄取大量钠盐以后, 细胞内电解质增加, 组成原生质体的胶体即发生膨胀, 从而提高原生质体与水的亲和力, 提高了细胞的保水潜力, 降低植物的蒸腾作用, 使植物能更好地适应盐渍环境的生理干旱。第三, 由于植物可以充分吸水, 使细胞体积增大。在此过程中, 细胞膨压也随之增大, 从而促进细胞分裂, 使细胞数量增加。细胞体积增大和细胞数量增多, 导致叶面积增大, 而叶面积增大的结果, 则保证了足够的光合面积, 因而可以提供较多的碳水化合物, 使植物生长得更快、发育得更好<sup>[3]</sup>。

## 2.2 NaCl 对非盐生植物生长的促进作用及其机理

郭鹏程等报道指出, 低浓度 NaCl 能促进多种作物的生长, 认为低盐促进植物生长可能与光合作用的提高和叶气孔水分渗透调节有关<sup>[2]</sup>; Rawat<sup>[23]</sup> 研究证实低盐促进了印度黄檀(*Dalbergia sissoo*) 的生长和光合作用; 贾洪涛<sup>[24]</sup> 认为低浓度的 NaCl 对玉米的生长有促进作用, 并指出低浓度 NaCl 处理使玉米叶绿素的含量增加。还有研究表明低浓度 NaCl 能够促进玉米的光合作用, 降低其膜脂过氧化作用, 并能促进玉米的氮素同化<sup>[25]</sup>。

总之, 不论是盐生植物还是非盐生植物, 低浓度的 NaCl 都可以促进其生长。但是, 应当明确指出的是不同类型的植物所需的低盐浓度的程度是不同的, 因此, 低浓度这一概念是相对于不同植物而言的。例如, 盐生植物所需的最适 NaCl 浓度比较高, 这可能与盐生植物对盐渍环境长期适应有关; 而非盐生植物所需的盐浓度往往很低, 只有几个毫摩尔甚至更低。

## 参考文献

- [1] 邹邦基. 植物的营养[M]. 北京: 农业出版社, 1985: 264-296.
- [2] 郭鹏程. 长期施用含氯化肥对土壤性质和作物产量品质的影响[M]// 国际学术讨论会论文集. 成都: 成都科技大学出版社, 1993: 494-499.
- [3] 赵可夫. 植物抗盐生理[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1993: 91-131.
- [4] Subbarao G V, Ito O, Berry W L, et al. Sodium-A functional plant nutrient[J]. Critical reviews in Plant sciences, 2003, 22(5): 391-416.
- [5] Allen M B, Arnon D I. Studies on nitrogen-fixing blue-green algae. II. The sodium requirement of *Anabaena cylindrica*[J]. Physiol. Plant, 1955, 8: 653-660.

- [6] Brownell P F. Sodium as an essential micronutrient element for plants and its possible role in metabolism[J]. Adv. Bot. Res. 1979, 7: 117-224.
- [7] Brownell P F, Crossland C J. The requirement for sodium as a micronutrient by species having the C<sub>4</sub> dicarboxylic photosynthetic pathway[J]. Plant Physiol, 1972, 49: 794-797.
- [8] Boag T S, Brownell P F. C<sub>4</sub> photosynthesis in sodium-deficient plants. Aust. J. Plant Physiol, 1979(6): 431-434.
- [9] Johnson M, Grof C P L, Brownell P F. Effect of sodium nutrition on chlorophyll a/b ratios in C<sub>4</sub> plants[J]. Aust. J. Plant Physiol, 1984(11): 325-332.
- [10] Grof C P L, Johnson M, Brownell P F. In vivo chlorophyll a fluorescence in sodium-deficient plants[J]. Aust. J. Plant Physiol, 1986, 13: 589-595.
- [11] Gunning B E S, Steer M, W. Ultrastructure and the biology of plant cells[M]. Edward Arnold, London, 1975.
- [12] Kaplan S, Arntzen C J. Photosynthetic membrane structure and function[M]// Govinjee ed. Photosynthesis Vol. 1. Energy Conversion by Plants and Bacteria. Academic Press, New York, 1982: 65-151.
- [13] Grof C P L, Johnson M, Brownell P F. Effect of sodium nutrition on the ultrastructure of chloroplasts of C<sub>4</sub> plants[J]. Plant Physiol, 1989, 89: 539-543.
- [14] Johnston M, Grof C P L, Brownell P F. Chlorophyll a/b ratios and photosystem activity of mesophyll and bundle sheath fractions from sodium-deficient C<sub>4</sub> plants[J]. Aust. J. Plant Physiol, 1989, 16: 449-457.
- [15] Ohta D, Matoh T, Takahashi E. Early responses of sodium-deficient *Amaranthus tricolor* L. plants to sodium application[J]. Plant Physiol, 1987, 84: 112-117.
- [16] Ohta D, Yasuoka S, Matoh T, et al. Sodium stimulates growth of *Amaranthus tricolor* L. plants through enhanced nitrate assimilation[J]. Plant Physiol, 1989, 89: 1102-1105.
- [17] Leigh R A, Chater M, Storey R, et al. Accumulation and subcellular distribution of cations in relation to the growth of potassium-deficient barley[J]. Plant Cell Environ, 1986(9): 595-604.
- [18] Jeschke W D. K<sup>+</sup>-Na<sup>+</sup>-exchange and selectivity in barley root cells: effect of Na<sup>+</sup> on the Na<sup>+</sup> fluxes[J]. J. Exp. Bot, 1977, 28: 1289-1305.
- [19] Marschner H, Possingham J V. Effect of K<sup>+</sup> and Na<sup>+</sup> on growth of leaf discs of sugar beet and spinach[J]. Z. Pflanzenphysiol, 1975, 75: 6-16.
- [20] Milford G F J, Comack W F, Durrant M J. Effects of sodium chloride on water status and growth of sugar beet[J]. J. Exp. Bot, 1977, 28: 1380-1388.
- [21] Raghavendra A A, Rao J M, Das V S R. Replace ability of potassium by sodium for stomatal opening in epidermal strips of *Commelina benghalensis* [J]. Z. Pflanzenphysiol, 1976, 80: 36-42.
- [22] Durrant M J, Draycott A P, Milford G F J. Effect of sodium fertilizer on water status and yield of sugar beet[J]. Ann. Appl. Biol, 1978, 88: 321-328.
- [23] Rawat J S, Banerjee S P. The influence of salinity on growth, biomass production and photosynthesis of *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. And *Dalbergia sissoo* Roxb[J]. Seedlings. Plant and Soil, 1998, 205: 163-169.
- [24] 贾洪涛. Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup> 和 Cl 对玉米营养和毒性的比较研究[J]. 安徽农业科学, 2003, 31(4): 676-677.
- [25] 王宝增, 赵可夫. 低浓度 NaCl 对玉米生长的效应[J]. 植物生理学通讯, 2006, 42(4): 628-632.