

# NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 对不同基因型棉花幼苗 K<sup>+</sup> 吸收和利用的影响

王春霞<sup>1</sup>, 田晓莉<sup>1\*</sup>, 张志勇<sup>1,2</sup>, 何钟佩<sup>1</sup>, 段留生<sup>1</sup>, 李召虎<sup>1</sup>

(1 中国农业大学农学与生物技术学院, 北京 100094; 2 河南科技学院生命科技学院, 河南新乡 453003)

**摘要:** 在溶液培养条件下研究了 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 对棉花不同基因型幼苗干物质积累以及 K<sup>+</sup> 吸收和利用的影响。结果表明, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 在不同供钾条件下均显著降低了棉花幼苗的干重、钾吸收量和钾利用指数, 低钾条件下 (K<sup>+</sup> 0.03 mmol/L) 尤其如此。中等供钾 (K<sup>+</sup> 0.5 mmol/L) 在一定程度上缓解了 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 对棉花幼苗干物质积累以及 K<sup>+</sup> 吸收和利用的抑制; 充分供钾 (K<sup>+</sup> 2.5 mmol/L) 却未能在中等供钾的基础上进一步减轻 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 的毒害作用。鲁棉研 22 苗期的干物质积累在不同供钾条件下受 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 影响的程度均较 153018 品系大, 这主要与其体内钾利用能力受 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 影响较 153018 大有关。

**关键词:** 棉花; 幼苗; NH<sub>4</sub><sup>+</sup>; K<sup>+</sup>; 吸收和利用

中图分类号: S561.01

文献标识码: A

文章编号: 1008-505X(2008)04-0742-07

## Effects of NH<sub>4</sub><sup>+</sup> on K<sup>+</sup> uptake and utilization of different cotton genotypes at seedling stage

WANG Chun-xia<sup>1</sup>, TIAN Xiao-li<sup>1\*</sup>, ZHANG Zhi-yong<sup>1,2</sup>, HE Zhong-pe<sup>1</sup>, DUAN Liu-sheng<sup>1</sup>, LI Zhao-hu<sup>1</sup>

(1 College of Agriculture and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100094, China;

2 School of Life Science & Technology, Henan Institute of Science and Technology, Xinxiang, Henan 453003, China)

**Abstract:** In order to investigate the interaction of NH<sub>4</sub><sup>+</sup> with K<sup>+</sup> in cotton seedlings, an hydroponics experiment containing three K<sup>+</sup> concentrations (0.03, 0.5, 2.5 mmol/L) combined with four NH<sub>4</sub><sup>+</sup> concentrations (0, 0.5, 2.5, 5.0 mmol/L) was conducted to examine the responses of seedling growth, K<sup>+</sup> uptake and utilization to NH<sub>4</sub><sup>+</sup> with two cotton genotypes, Lumianyan 22 and 153018, differed in potassium efficiency in greenhouse. The results indicated that NH<sub>4</sub><sup>+</sup> significantly inhibited seedling growth, K<sup>+</sup> uptake and utilization irrespective of K<sup>+</sup> level in solution. However, K<sup>+</sup> at 0.5 and 2.5 mmol/L concentration could alleviate the impact of NH<sub>4</sub><sup>+</sup> similarly, compared to 0.03 mmol/L K<sup>+</sup>. For example, dry matter of Lumianyan 22 was reduced to only 76.5% of control by 0.5 mmol/L NH<sub>4</sub><sup>+</sup> under 0.03 mmol/L K<sup>+</sup>, and to 88.4% and 89.2% of control under 0.5 and 2.5 mmol/L K<sup>+</sup> respectively. In addition, the magnitude of the NH<sub>4</sub><sup>+</sup> effect differed among genotypes. Lumianyan 22, more sensitive to K<sup>+</sup> deficiency than 153018, was affected by NH<sub>4</sub><sup>+</sup> to a larger extent than the latter. Further analysis showed that NH<sub>4</sub><sup>+</sup> had the same effect on K<sup>+</sup> accumulation of Lumianyan 22 and 153018, but reduced Lumianyan 22 K utilization index more than the latter, which may have contributed to higher sensitivity of Lumianyan 22 to NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, compared to 153018. Nevertheless, we can not conclude that there is inevitable correlation between K<sup>+</sup> - sensitivity and NH<sub>4</sub><sup>+</sup> - sensitivity in cotton seedlings based on the results of this study.

**Key words:** cotton; seedling; NH<sub>4</sub><sup>+</sup>; K<sup>+</sup>; uptake and utilization

收稿日期: 2007-09-04 接受日期: 2007-11-26

基金项目: 国家自然科学基金项目 (30100111) 资助。

作者简介: 王春霞 (1981—), 女, 硕士研究生, 主要从事棉花钾营养生理研究。Tel: 010-62814763, E-mail: wangchunxia0304@126.com

\* 通讯作者 Tel: 010-62732567, E-mail: tian-xiaoli@163.com

本文在试验设计过程中得到中国农业大学邹春琴教授的指导, 特致谢意!

K<sup>+</sup> 是植物体内含量最丰富的无机离子, 主要以一价阳离子的形式存在于液泡和原生质中, 占植株总干重的 1%~5%<sup>[1]</sup>。K<sup>+</sup> 在一些细胞组分中高而相当稳定的浓度与酶的激活、蛋白质合成的稳定进行及蛋白质上负电荷的中和有关, 而 K<sup>+</sup> 在不同组分、不同细胞或不同组织间的流动性会引起渗透势的变化, 从而调节气孔运动、器官的感光、感震运动和韧皮部的运输等生理过程<sup>[2]</sup>。棉花是喜钾作物, 钾对棉花的生长发育、抗病性有重要作用<sup>[3-5]</sup>。然而近年来随着转基因抗虫棉的迅速推广和棉花产量水平的不断提高, 关于我国棉花缺钾的报道日渐增多<sup>[6-8]</sup>。因此, 研究棉花的钾营养及其影响因素十分必要。

NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 的物理性质、水合离子半径(0.133nm)与 K<sup>+</sup>(0.143nm)非常相似。大量研究已经表明, 培养基中的 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 浓度达到一定水平时对水稻、烟草、大麦、甜椒等植物的 K<sup>+</sup> 吸收有显著的抑制作用<sup>[9-18]</sup>。由于棉花的钾营养研究比较薄弱, 至今尚无 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 影响棉花 K<sup>+</sup> 吸收的报道。另外, K<sup>+</sup> 的体内利用能力是除吸收能力外决定植物钾营养效率的另一重要因素, 但关于 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 影响 K<sup>+</sup> 利用的研究很少。

鉴于此, 本试验选用 2 个棉花基因型, 采用营养液培养法, 研究了 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 在不同供 K<sup>+</sup> 水平下对棉花幼苗物质积累、钾吸收和体内利用情况的影响。以期明确棉花苗期的 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>、K<sup>+</sup> 互作现象, 为棉花钾营养的调节乃至生产中氮、钾肥的配合施用提供一定的科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试材培养

试验在光照培养室内进行, 光照时间 14 h, 光照强度 34 200 lx, 昼夜温度 29℃/20℃。供试材料为 153018 品系(非抗虫棉, 以下简称 153018)和鲁棉研 22(转基因抗虫棉, 以下简称鲁 22), 种子分别由中国农业科学院棉花研究所和山东棉花研究中心提供。

种子用 9% 的双氧水消毒 30 min, 冲洗后浸种 24 h, 置于用去离子水冲洗过不含钾的沙子中萌发, 4 d 后一部分幼苗用于测定干物重和钾含量, 另一部分幼苗转移到营养液中培养。容器(塑料盒)长、宽、高为 16 cm × 13 cm × 16 cm, 每盒定植 4 棵幼苗, 植株用聚乙烯泡沫板固定。营养液配方为 (mmol/L): 2.5 Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, 1 MgSO<sub>4</sub>, 0.5 CaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, 2 × 10<sup>-4</sup> CuSO<sub>4</sub>, 1 × 10<sup>-3</sup> ZnSO<sub>4</sub>, 0.1 EDTAFeNa, 2 × 10<sup>-2</sup>

H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>, 5 × 10<sup>-6</sup> (NH<sub>4</sub>)<sub>6</sub>Mo<sub>7</sub>O<sub>24</sub> 和 1 × 10<sup>-3</sup> MnSO<sub>4</sub>。

试验设 3 个 K<sup>+</sup> 浓度水平 0.03、0.50、2.50 mmol/L; 4 个 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 浓度水平 0、0.5、2.5、5.0 mmol/L。2 种离子的不同浓度组合成 12 个处理, 随机区组排列, 重复 3 次。K<sup>+</sup> 和 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 浓度是在预备试验和有关报道<sup>[19]</sup>的基础上确定的, 各处理 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 浓度均为 5 mmol/L。营养液中的 K<sup>+</sup> 由 KCl 提供, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 由 NH<sub>4</sub>Cl 提供。每周更换 2 次营养液, 连续通气。幼苗培养至 4~5 叶期, 取样测定干物重和体内钾含量。

由于 NH<sub>4</sub>Cl 属于生理酸性盐, 加入较高浓度的 NH<sub>4</sub>Cl 使得根际 pH 值降低, 影响植物生长。本试验在每次更换营养液之前和之后用 pH 计(GG52-BFRL-220)对营养液的 pH 值进行了测定, 试验期间各处理的 pH 值为 4.50~5.80, 预备试验证明棉花幼苗在这一范围内可以正常生长。本试验营养液中 Cl<sup>-</sup> 含量为 178.6~266.3 mg/kg, 而介质中 Cl<sup>-</sup> 含量低于 306.7 mg/kg 时对棉花生长影响不显著<sup>[20]</sup>, 因此本试验可以忽略 Cl<sup>-</sup> 对棉花幼苗生长的毒害作用。

### 1.2 项目测定与方法

种子钾含量测定: 取供试基因型饱满种子各 10 粒, 剥壳后分为种壳和种仁两部分, 于 80℃ 下烘干 3 d 称重, 粉碎过筛, 用 1 mmol/L 的盐酸浸泡 5 h, 振荡 30 min, 过滤, 滤液用原子吸收分光光度计(SpectAA-50/55)测定钾浓度。每品种重复 3 次。

子叶苗钾含量测定: 在种子萌发后 4 d 移入营养液之前进行, 此时种壳刚刚脱落, 子叶尚未展开, 且无侧根伸长。将整片子叶苗从沙子中取出, 105℃ 下杀青 0.5 h, 75℃ 下烘干 48 h, 粉碎, 测定钾浓度, 每处理重复(每重复选择 3 株)3 次。

4~5 叶苗钾含量测定: 取 3 株 4~5 叶苗, 分为根、茎、叶, 分别测定其钾浓度, 每处理重复 3 次。

钾积累量: 各部位 K<sup>+</sup> 浓度与干重的乘积, 表征棉花幼苗的吸钾能力。

钾体内利用指数: 植株体内单位钾含量(钾浓度)所形成的生物产量, 表征棉花幼苗体内的钾利用能力<sup>[21]</sup>。

文中数据为 3 次的平均值。所有数据采用 SAS 统计软件(8.0)的 SNK 多重比较法进行方差分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 种壳、种仁及子叶苗(移入营养液之前)钾积累量的基因型差异

表 1 表明,两个棉花基因型种子的种壳钾积累量没有显著差异,而鲁 22 种仁和整个种子中的钾积累量显著高于 153018,分别提高了 33.7% 和

25.5%。萌发后 4 d,移入营养液之前的子叶苗(在用去离子水冲洗过的沙子中培养)的钾积累量较种子钾积累量稍低,但鲁 22 仍然显著高于 153018。

表 1 棉花不同基因型种壳、种仁及子叶苗(移入营养液之前)的钾积累量  
Table 1  $K^+$  content in cotton seed hull, kernel and seedlings of different varieties just before being transferred to hydroponics solution

基因型 Genotype	种壳 Seed hull (mg/seed)	种仁 Kernel (mg/seed)	种子 Seed (mg/seed)	子叶苗(mg/plant) Seedling with only cotyledon
153018	0.187 a	0.409 b	0.596 b	0.549 b
鲁 22 Lumianyan 22	0.201 a	0.547 a	0.748 a	0.726 a

注( Note ): 每列不同的字母表示  $P < 0.05$  水平下差异显著 Different letters are significantly different among genotypes at the 0.05 probably level.

## 2.2 不同供钾条件下 $NH_4^+$ 对棉花不同基因型幼苗干重、钾吸收量和钾利用指数的影响

2.2.1 低供钾条件 表 2 看出,在  $K^+$  为 0.03 mmol/L 的严重缺钾条件下,不加  $NH_4^+$  时,153018 的幼苗干重显著高于鲁 22。随着  $NH_4^+$  浓度的增加,棉花幼苗的干重逐渐降低,与 153018 相比,鲁 22 干重的下降幅度较大。 $NH_4^+$  为 0.5 mmol/L 时,鲁 22 下降 23.5%,153018 下降 14.1%; $NH_4^+$  为 5.0 mmol/L 时,鲁 22 下降 43.7%,153018 下降 31.7%。而且当  $NH_4^+$  浓度为 0.5 mmol/L 时,鲁 22 的干重即显著低于不加  $NH_4^+$  的对照,而 153018 在  $NH_4^+$  浓度为 5.0 mmol/L 时才与不加  $NH_4^+$  的对照存在显著性差异。可见,鲁 22 对  $NH_4^+$  更为敏感,受  $NH_4^+$  的抑制更为明显。

钾积累量反映幼苗的钾吸收能力,钾利用指数则表征幼苗的体内钾利用能力,二者是决定钾养分效率的重要因素。低钾条件下( $K^+$  0.03 mmol/L),153018 的钾积累量和体内利用指数均显著高于鲁 22,说明 153018 的钾吸收能力和体内利用能力与鲁 22 相比具有明显优势。

营养液中加入  $NH_4^+$  有降低棉花幼苗钾吸收能力的趋势,但只有当  $NH_4^+$  增加到 5.0 mmol/L 时才产生显著性差异,两基因型表现一致。 $NH_4^+$  对棉花幼苗的钾利用指数也有降低作用,但是基因型间存在差异,其中鲁 22 的受影响程度大于 153018,如 0.5 mmol/L 的  $NH_4^+$  使鲁 22 的钾利用指数显著低于不加  $NH_4^+$  的对照,而 5.0 mmol/L 的  $NH_4^+$  也未使 153018 与对照产生显著差异。

2.2.2 中等供钾条件 在中等供钾条件下( $K^+$  0.5 mmol/L),153018 和鲁 22 的幼苗干重、钾积累量和钾

利用指数均无显著性差异,但鲁 22 对  $NH_4^+$  的敏感性仍然高于 153018(表 2)。当  $NH_4^+$  浓度达到 2.5 mmol/L 时,鲁 22 的幼苗干重即较对照下降了 17.1%,而对 153018 没有明显影响。

与低钾条件下相比,中等供钾条件下  $NH_4^+$  对棉花幼苗干重的影响减小。如低钾条件下 0.5 mmol/L 的  $NH_4^+$  即导致鲁 22 的幼苗干重显著下降,而中等供钾条件下鲁 22 幼苗干重与对照产生显著性差异的  $NH_4^+$  浓度为 2.5 mmol/L。另外,同样加入 2.5 mmol/L 的  $NH_4^+$ ,低钾条件下鲁 22 干重的降低幅度为 24.3%,中等供钾条件下的降低幅度为 17.1%。就 153018 而言,虽然在低钾和中等供钾条件下使其干重显著降低的  $NH_4^+$  浓度均为 5.0 mmol/L,但低钾条件下  $NH_4^+$  浓度为 0.5、2.5、5.0 mmol/L 时,153018 的干重分别下降 14.1%、22.3%和 31.7%,而在中等供钾条件下各浓度  $NH_4^+$  引起 153018 干重下降的幅度依次只有 8.1%、6.3%和 27.3%。

中等供钾条件下幼苗的钾积累量也只有当  $NH_4^+$  增加到 5.0 mmol/L 时才受到显著影响,此时鲁 22 和 153018 的下降幅度分别为 24.6%和 22.5%,受影响的程度基本相当。而且  $NH_4^+$  对鲁 22 钾利用指数的影响仍然大于 153018,如 0.5 mmol/L 的  $NH_4^+$  即使鲁 22 的钾利用指数显著下降 11.3%,而  $NH_4^+$  浓度增加到 5.0 mmol/L 时,153018 的钾利用指数方显著下降(表 2)。

2.2.3 充分供钾条件 表 2 还看出, $K^+$  供应充分(2.5 mmol/L)时,两个基因型的干重基本相同,0.5 mmol/L 的  $NH_4^+$  对二者的影响均不显著。但  $NH_4^+$  浓度增加到 2.5 mmol/L 时,鲁 22 幼苗干重较对照(不加  $NH_4^+$ )显著下降了 17.3%,153018 则仍与对照

表 2 不同供钾条件下 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 对棉花不同基因型幼苗干重、钾吸收量和钾利用指数的影响  
Table 2 Effects of NH<sub>4</sub><sup>+</sup> on dry weight, K<sup>+</sup> uptake and utilization of different cotton genotypes at seedlings stage under different potassium condition

K <sup>+</sup> 浓度 K <sup>+</sup> concentr. (mmol/L)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> 浓度 NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> concentr. (mmol/L)	鲁 22 Lumianyan 22			153018 品系 153018 line		
		干物重 Dry matter (mg/plant)	钾积累量 K content (mg/plant)	钾利用指数 K utilization index (g <sup>2</sup> /mg, K <sup>+</sup> )	干物重 Dry matter (mg/plant)	钾积累量 K content (mg/plant)	钾利用指数 K utilization index (g <sup>2</sup> /mg, K <sup>+</sup> )
0.03	0	212.7 (a b)	1.5 (a b)	0.266 (a b)	313.3 (a a)	2.8 (a a)	0.356 (a a)
	0.5	162.7 (b)	1.2 (a (b))	0.215 (b)	269.2 (a (a))	2.3 (a (a))	0.313 (a (a))
	2.5	161.0 (b)	1.3 (a (b))	0.201 (b)	243.9 (a (a))	2.2 (a (a))	0.265 (a (a))
	5.0	119.8 (b)	1.1 (b)	0.154 (b)	214.0 (a)	2.1 (a)	0.252 (a)
0.5	0	507.7 (a a)	25.6 (a a)	0.097 (a a)	539.8 (a a)	29.1 (a a)	0.099 (a a)
	0.5	448.6 (a (a))	22.6 (a (a))	0.086 (a)	496.2 (a a)	28.1 (a a)	0.092 (a a)
	2.5	421.1 (a)	22.0 (a (a))	0.081 (a)	505.6 (a a)	27.2 (a a)	0.094 (a a)
	5.0	387.2 (a)	19.3 (a)	0.078 (a)	392.3 (a)	22.6 (a)	0.077 (a)
2.5	0	574.1 (a a)	37.5 (a a)	0.088 (a a)	565.5 (a a)	36.6 (a (a))	0.087 (a a)
	0.5	512.3 (a a)	35.9 (a a)	0.073 (a)	506.2 (a (a))	34.6 (a (a))	0.075 (b (a))
	2.5	474.6 (b)	31.8 (a (b))	0.071 (a)	564.8 (a a)	40.0 (a a)	0.080 (a)
	5.0	469.8 (a)	27.5 (a)	0.069 (a)	459.9 (b (a))	31.2 (b (a))	0.069 (d a)

注：每列不同的字母表示按处理之间在  $P < 0.05$  水平下差异显著，每列括号中不同的字母表示相同处理品种间的差异显著，下同。

Note: Different letters are significantly different among NH<sub>4</sub><sup>+</sup> treatments at the 0.05 probably level and different letters within bracket are significantly different among genotypes within the same treatment at the 0.05 probably level. The same below.

持平，直至 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 浓度增加到 5.0 mmol/L 时，153018 才与对照产生显著差异。这一结果一方面说明鲁 22 在钾充分供应的条件下对 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 的敏感性仍然高于 153018，另一方面说明充分供钾未能在中等供钾的基础上进一步减轻 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 对棉花幼苗生长的影响。

与低钾和中等供钾条件下的表现一致，充分供钾条件下 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 浓度增加到 5.0 mmol/L 时才显著降低棉苗的钾积累量，鲁 22 的钾利用指数也同样在 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 浓度为 0.5 mmol/L 时显著降低。与低钾和中等供钾条件下不同的是，显著影响 153018 钾利用指数的 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 浓度由 5.0 mmol/L 降低到了 0.5 mmol/L。

### 3 讨论

#### 3.1 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 的毒害作用

NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 和 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 是作物吸收利用氮素的两种主要形态，然而 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 对植物的毒害作用很普遍，一般情况下外界 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 浓度超过 0.1~0.5 mmol/L 即产生毒害作用<sup>[22]</sup>。目前关于 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 毒害的作用机制尚不完全清楚，Britto 和 Kronzucker<sup>[22]</sup> 将其总结为改变细胞内的 pH 值，引起离子不平衡（K、Ca、Mg 减少等）改变碳同化的生化过程等。近年有研究表明，

NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 引起细胞膨压的降低可能也是其抑制植物生长的主要原因之一<sup>—[23]</sup>。本研究结果看出，营养液中 0.5 mmol/L 的 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>（此时总 N 量 5.5 mmol/L，NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 占总 N 量的 9.1%）即引起棉苗生长的下降，并且在严重缺钾条件下（K<sup>+</sup> 0.03 mmol/L）达到显著水平。有报道指出，虽然大多数旱地作物在 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 营养下比在 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 营养下生长良好，但作物在增铵营养下比在任何单一氮营养下都有更高的干物质积累和经济产量<sup>[24]</sup>。董海荣等<sup>[25]</sup> 也认为，营养液中 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 占总 N 量（5 mmol/L）的 25% 对棉花苗期的生长较为有利，本试验结果与文献不同，这可能是由试验条件的差异所致。Zornoza 等<sup>[12]</sup> 在甜椒上的研究表明，NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 只在高光强下抑制 K<sup>+</sup> 的吸收，在低光强下则无效。本试验的光照强度为 34200 lx，在室内培养条件下处于较高水平，光照时间为 14 h，而董海荣等<sup>[25]</sup> 未说明所采用的光强，光照时间则仅为 8 h。因此，本试验较强的光照和较长的光照时间可能是造成低浓度 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 对棉苗产生毒害的原因。

#### 3.2 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 对 K<sup>+</sup> 吸收和利用的影响及其基因型差异

关于 NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 对植物钾营养的影响，以往报道多数集中在对 K<sup>+</sup> 吸收的抑制及其机制方面。早在 20

世纪80年代就已明确,  $K^+$ 吸收机制包括对  $NH_4^+$ 敏感和不敏感两种组分<sup>[26-28]</sup>, 其中高亲和系统的  $K^+$ 吸收(通过  $K^+$ 运输载体进行, 在外界  $K^+$ 浓度低于1 mmol/L时起主要作用)对  $NH_4^+$ 的敏感性较强<sup>[10-11, 16, 28-31]</sup>; Hirsch等<sup>[30]</sup>和 Spalding等<sup>[31]</sup>进一步指出,  $NH_4^+$ 特异抑制拟南芥  $K^+$ 运输载体的非AKT1组分, 而低亲和系统的  $K^+$ 吸收(通过  $K^+$ 通道进行, 在外界  $K^+$ 浓度高于1 mmol/L时起主要作用)对  $NH_4^+$ 相对不敏感, 这是由于在高钾条件下  $NH_4^+$ 的毒害作用得到部分缓解的缘故<sup>[16, 22, 32]</sup>。但也有报道指出,  $NH_4^+$ 在不缺钾的情况下同样会抑制水稻低亲和系统  $K^+$ 的吸收<sup>[15]</sup>。本试验结果表明, 0.5和2.5 mmol/L的  $NH_4^+$ 有减少棉苗  $K^+$ 吸收的趋势, 当  $NH_4^+$ 浓度增加至5.0 mmol/L时  $K^+$ 的吸收量显著降低, 两个基因型表现一致。作者曾测定了不同供  $K^+$ 条件下  $NH_4^+$ 对棉苗  $K^+$ 吸收动力学参数的影响, 发现在低钾条件下(0.1 mmol/L)的影响大于充分供钾条件(2.5 mmol/L)(数据未列出), 说明  $NH_4^+$ 对棉花幼苗  $K^+$ 高亲和系统的抑制作用大于低亲和系统, 这与文献报道一致。

与  $NH_4^+$ 影响  $K^+$ 吸收相比, 有关  $NH_4^+$ 影响  $K^+$ 利用的报道很少。但最近 Szczerba等<sup>[33]</sup>的研究表明, 植物细胞质中的  $K^+$ 浓度会受到氮形态的影响, 暗示  $NH_4^+$ 同样会影响  $K^+$ 的利用。本试验中,  $NH_4^+$ 确实降低了棉苗的  $K^+$ 体内利用能力, 但基因型间受影响的程度不同。在低钾和中等供钾条件下, 0.5 mmol/L的  $NH_4^+$ 即可以使鲁22的  $K^+$ 利用指数显著下降19.2%和11.3%, 而153018的  $K^+$ 利用指数在  $NH_4^+$ 浓度增加到5.0 mmol/L时才受到显著影响。可见, 鲁22的  $K^+$ 体内利用能力与153018相比更易受到  $NH_4^+$ 的影响。除了抑制  $K^+$ 的吸收和利用, 近年研究还表明  $NH_4^+$ 明显影响  $K^+$ 在烟草体内的流动和分配<sup>[18]</sup>。

本试验所用的鲁22和153018是在预备试验的基础上确定的。在低钾条件下( $K^+$  0.03 mmol/L), 鲁22的干物质积累量较153018显著减少32.1%, 但在中等( $K^+$  0.5 mmol/L)和充分供钾( $K^+$  2.5 mmol/L)条件下与153018相当, 而且这一基因型差异与种子钾积累量无关。与153018相比, 鲁22幼苗生长对  $NH_4^+$ 均比较敏感, 即使在中等和充分供钾条件下也如此。低钾和中等供钾条件下, 鲁22的

$K^+$ 体内利用能力更易受  $NH_4^+$ 的影响, 可以为其对  $NH_4^+$ 的敏感性较高提供解释。充分供钾条件, 2.5 mmol/L的  $NH_4^+$ 显著抑制鲁22的生长, 但不影响153018, 这种差异可能既与  $K^+$ 吸收有关(鲁22的  $K^+$ 吸收量与不加  $NH_4^+$ 对照相比虽然差异未达到显著水平, 但减少了15.2%; 153018则与对照持平), 又与  $K^+$ 利用能力有关(鲁22的  $K^+$ 利用指数显著降低19.3%, 153018的  $K^+$ 利用指数虽也显著降低, 但降幅仅为8.6%)。

### 3.3 $K^+$ 对 $NH_4^+$ 毒害作用的缓解

无论在营养液培养还是在田间条件下,  $K^+$ 的供应可以减轻  $NH_4^+$ 的毒害作用<sup>[22]</sup>。如3~12 mmol/L的  $NH_4^+$ 在没有  $K^+$ 的条件下严重抑制拟南芥根系的生长, 但0.02~0.1 mmol/L低水平的  $K^+$ 就可以逆转这种作用<sup>[34]</sup>。另外, 高水平的  $K^+$ (2 mmol/L)可以缓解2 mmol/L  $NH_4^+$ 对玉米根系伸长和茎组织中氮同化的抑制作用<sup>[35]</sup>。本试验中,  $K^+$ 的供应水平从  $K^+$  0.03提高到  $K^+$  0.5 mmol/L,  $NH_4^+$ 对棉苗生长的抑制作用明显减轻, 但其机制尚不明确。需要注意的是,  $K^+$ 浓度进一步提高到2.5 mmol/L, 却未能在0.5 mmol/L的基础上进一步减轻  $NH_4^+$ 的毒害作用。Lu等<sup>[18]</sup>也曾指出,  $K^+$ 浓度从2.5增加到5.0 mmol/L对缓解单一  $NH_4^+$ -N抑制烟草  $K^+$ 吸收的作用并不大。这可能是因为  $NH_4^+$ 所引起的离子不平衡只是其毒害作用的机制之一, 因此仅靠提高  $K^+$ 的供应水平不能完全抵消  $NH_4^+$ 的毒害作用。

## 4 结语

本研究证明了  $NH_4^+$ 对棉花幼苗的生长与其他植物一样具有抑制作用, 而且既影响  $K^+$ 的吸收, 又影响  $K^+$ 的利用。不同的基因型受  $NH_4^+$ 影响的程度不同, 但本试验结果不能确定棉花幼苗对钾的敏感性与对  $NH_4^+$ 的敏感性之间具有必然的联系。增加介质中的  $K^+$ 浓度可以在一定程度上缓解  $NH_4^+$ 对棉苗生长的不利影响, 但  $K^+$ 浓度超过某一阈值后其缓解作用不再继续增强。本试验是在营养液培养条件下进行的, 其结果不能简单推及到土培或田间条件下, 因为土培或田间条件下得出的  $NH_4^+$ 、 $K^+$ 相互作用会受到土壤性质(土壤层间钾的数量和释放特征)及施肥方法( $NH_4^+$ 、 $K^+$ 施入时间顺序)的影响<sup>[14]</sup>。

## 参考文献:

- [1] 谢建昌. 钾与中国农业[M]. 南京: 河海大学出版社, 2000.  
Xie J C. Potassium and china agriculture [M]. Nanjing: Haihe University Press, 2000.
- [2] Marschner H. Mineral nutrition of higher plants [M]. London: Academic Press, 1995.
- [3] 马宗斌, 李伶俐, 谢德意, 等. 盛铃期施钾对棉花光合特性及产量的影响[J]. 河南农业大学学报, 2006, 40(1): 22-27.  
Ma Z B, Li L L, Xie D Y *et al.* Effects of applying potassium fertilizer at peak bolling stage on cotton photosynthesis characteristic and yield [J]. J. Henan Agric. Univ., 2006, 40(1): 22-27.
- [4] 董合忠, 唐薇, 李振怀, 等. 棉花缺钾引起的形态和生理异常[J]. 西北植物学报, 2005, 25(3): 615-624.  
Dong H Z, Tang W, Li Z H *et al.* Morphological and physiological disorders of cotton resulting from potassium deficiency [J]. Acta Bot. Boreali-Occid. Sin., 2005, 25(3): 615-624.
- [5] Ramasaami R, Shanmugam N. Effect of nutrients on the incidence of rhizoctonia seedling disease of cotton [J]. Ind. Phytopathol., 1976 (29): 465-466.
- [6] 王刚卫, 李博, 谢湘毅, 等. 土壤缺钾对棉花钾运转和分配的影响[J]. 棉花学报, 2007, 19(3): 173-178.  
Wang G W, Li B, Xie X Y *et al.* Effects of potassium deficiency on the transport and partitioning of potassium in cotton plant [J]. Cotton Sci., 2007, 19(3): 173-178.
- [7] 刘全喜, 马连运, 王有增. 衡水市耕层土壤钾素状况及施钾效果分析[J]. 河北农业科学, 2007, 11(1): 64-65, 71.  
Liu Q X, Ma L Y, Wang Y Z. The potassium status of the arable soil layer in Hengshui city and analysis of the effect of K-fertilizer application [J]. J. Hebei Agric. Sci., 2007, 11(1): 64-65, 71.
- [8] 徐万里, 付明鑫, 毛端明, 等. 新疆高产棉区棉田土壤有效钾的吸附特征和钾肥有效性的研究[J]. 新疆农业科学, 2001, 38(4): 189-192.  
Xu W L, Fu M X, Mao D M *et al.* Research on characteristic of available potassium adsorption in soil and K fertilizer efficiency in Xinjiang cotton area with high yield [J]. Xinjiang Agric. Sci., 2001, 38(4): 189-192.
- [9] 倪晋山, 安林昇. 三系杂交稻幼苗  $\text{NH}_4^+$ 、 $\text{K}^+$  吸收的动力学分析[J]. 植物生理学报, 1984, 10(4): 381-390.  
Ni J S, An L S. Kinetic analysis of  $\text{NH}_4^+$  and  $\text{K}^+$  uptake in seedlings of hybrid rice [J]. Acta Photophysiol. Sin., 1984, 10(4): 381-390.
- [10] Morgan M A, Jackson W A. Reciprocal ammonium transport into and out of plant roots: modifications by plant nitrogen status and elevated root ammonium concentration [J]. J. Exp. Bot., 1984, 40: 207-214.
- [11] Scherer H W, Mackown C T, Leggett J E. Potassium-ammonium uptake interactions in tobacco seedlings [J]. J. Exp. Bot., 1984, 35: 1060-1070.
- [12] Zornoza P, Caselles J, Carpena O. Influence of light and  $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$  ratio on nutrient uptake by pepper plants in sand culture [J]. Soilless Cult., 1988(4): 65-75.
- [13] Marti H R, Mills H A. Nutrient uptake and yield of sweet pepper as affected by stage of development and N form [J]. J. Plant Nutr., 1991, 14: 1165-1175.
- [14] 钱晓晴, 封克, 汤炎, 等. 作物  $\text{NH}_4^+$  和  $\text{K}^+$  营养关系的土壤及矿物因素研究[J]. 土壤, 1996, (1): 24-29.  
Qian X Q, Feng K, Tang Y *et al.* Study on the relationship of ammonium and potassium for the soil and mineral [J]. Soils, 1996, (1): 24-29.
- [15] Wang M Y, Siddiqi M Y, Glass A D M. Interaction between  $\text{K}^+$  and  $\text{NH}_4^+$ : effects on ion uptake by rice roots [J]. Plant Cell Environ., 1996, 19, 1037-1046.
- [16] Santia-Maria G E, Danna C H, Czibener C. High-affinity potassium transport in barley roots. Ammonium-sensitive and -insensitive pathway [J]. Plant Physiol., 2000, 123: 297-306.
- [17] Xu G H, Wolf S, Kafkafi U. Ammonium on potassium interaction in sweet pepper [J]. J. Plant Nutr., 2002, 25(4): 719-734.
- [18] Lu Y X, Li C J, Zhang F S. Transpiration, potassium uptake and flow in tobacco as affected by nitrogen forms and nutrient levels [J]. Ann. Bot., 2005, 95: 991-998.
- [19] Reddy K R, Hodges H F, Varco J. Potassium nutrition of cotton [C]. USA: Bulletin-Mississippi Agric. & For. Exp. Station, Mississippi State Univ. Mississippi State, 2000.
- [20] 梁首鹏, 杨和平. 伴生卤水对棉花生长的影响[J]. 汽油田环境保护, 2000, 10(1): 41-42.  
Liang S P, Yang H P. The impact of the companion halogen solution on the cotton [J]. Environ. Prot. Gasoline Field, 2000, 10(1): 41-42.
- [21] Siddiqi M Y, Glass A D M. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants [J]. J. Plant Nutr., 1981 (4): 289-302.
- [22] Britto D T, Kronzucker H J.  $\text{NH}_4^+$  toxicity in higher plants: a critical review [J]. J. Plant Physiol., 2002, 159: 567-584.
- [23] 邹春琴, 王晓凤, 张福锁. 铵态氮抑制向日葵生长的作用机制初步探讨[J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(1): 82-85.  
Zou C Q, Wang X F, Zhang F S. Preliminary study on the mechanism of ammonium nitrogen inhibiting the growth of sunflower [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2004, 10(1): 82-85.
- [24] 戴廷波, 曹卫星, 李存东. 作物增铵营养的生理效应[J]. 植物生理学通讯, 1998, 34(6): 488-493.  
Dai T B, Cao W X, Li C D. Physiological influence of enhanced ammonium nutrition on crop growth [J]. Plant Physiol. Commun., 1998, 34(6): 488-493.
- [25] 董海荣, 李存东, 李金才. 不同形态氮素比例对棉花苗期生长及物质积累的影响[J]. 河北农业大学学报, 2003, 26(1): 9-12.  
Dong H R, Li C D, Li J C. Effect of different  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$  ratios on young cotton growth and material accumulation [J]. J. Agric. Univ. Hebei, 2003, 26(1): 9-12.
- [26] Rufty T W, Jackson W A, Raper C D. Inhibition of nitrate assimilation in roots in the presence of ammonium: the moderating influence of potassium [J]. J. Exp. Bot., 1982, 33: 1122-1137.
- [27] Van Beusichem M L, Kirkby E A, Baas R. Influence of nitrate and ammonium nutrition on the uptake, assimilation, and distribution of

- nutrients in *Ricinus communis* [ J ]. *Plant Physiol.* , 1988 , 86 : 914–921 .
- [ 28 ] Vale F R , Volk G J , Jackson W A . Simultaneous influx of ammonium and potassium onto maize roots : kinetics and interactions [ J ]. *Planta* , 1988 , 173 : 424–431 .
- [ 29 ] Vale F R , Jackson W A , Volk G J . Potassium influx into maize root systems : influence of root potassium concentration and ambient ammonium [ J ]. *Plant Physiol.* , 1987 , 84 : 1416–1420 .
- [ 30 ] Hirsch R E , Lewis B D , Spalding E P , Sussman M R . A role for the AKT1 potassium channel in plant nutrition [ J ]. *Science* , 1998 , 280 : 918–921 .
- [ 31 ] Spalding E P , Hirsch R E , Lewis D R *et al.* Potassium uptake supporting plant growth in the absence of AKT1 channel activity [ J ]. *J. Gen. Physiol.* , 1999 , 113 : 909–918 .
- [ 32 ] Kronzucker H J , Szczerba M W , Britto D T . Cytosolic potassium homeostasis revisited :  $^{42}\text{K}$  – tracer analysis in *Hordeum vulgare* L. reveals set-point variations in  $\text{K}^+$  [ J ]. *Planta* , 2003 , 217 : 540–546 .
- [ 33 ] Szczerba M W , Britto D T , Kronzucker H J . Rapid , futile  $\text{K}^+$  cycling and pool-size dynamics define low-affinity potassium transport in barley [ J ]. *Plant Physiol.* , 2006 , 141( 4 ) : 1494–1507 .
- [ 34 ] Cao Y , Glass A D M , Crawford N M . Ammonium inhibition of *Arabidopsis thaliana* root growth can be reversed by potassium and by auxin resistance mutations *aux1* , *aux1* , and *aux2* [ J ]. *Plant Physiol.* , 1993 , 102 : 983–989 .
- [ 35 ] Xu Q F , Tsai C L , Tsai C Y . Interaction of potassium with the form and amount of nitrogen nutrition on growth and nitrogen uptake of maize [ J ]. *J. Plant Nutr.* , 1992 , 15 : 23–33 .

## • 新书推荐 •

# 《植物激素 :合成、信号转导和作用》

由国家重大出版工程项目资助《植物激素 :合成、信号转导和作用》近日由中国农业大学出版社出版。该书为美国康奈尔大学 Peter J. Davies 教授主编的《Plant Hormones :Biosynthesis ,Signal Transduction ,Action》第 3 版的中文版 ,由中国农业大学作物化学控制研究中心段留生教授主译。该书原著为来自世界各地的 50 多位从事植物激素相关研究的知名专家编写 ,得到学术界高度评价 ,是目前国际上植物激素方面最权威的著作。全书共 31 章 ,系统地阐明了植物激素的合成、代谢、信号转导 ,对植物生长发育、防御反应的调控作用 ,以及激素的检测技术 ,重点反映了在植物激素领域应用分子生物学、生物信息学等新学科、新技术的最新研究成果。可用做分子生物学、植物学、生物化学、园艺学、农学和林业等植物科学领域的研究生和高年级本科生植物激素相关课程的教材 ,也可供相关领域教学、科研和技术人员参考使用。全书 97 万字 ,540 页 ,大 16 开 ,定价 99 元。

购书可联系中国农业大学西区作物化学控制研究中心 奚晴(地址 :北京市圆明园西路 2 号 邮编 :100193 电话 :010-62731145 )或中国农业大学出版社发行部(地址 :北京市圆明园西路 2 号 邮编 :100193 电话 :010-62731190 )。汇款购书 ,请在定价基础上增加 15 元邮费。