

幼苗期转 *Bt* 基因抗虫棉对盐胁迫的 反应及耐盐机理研究

张桂玲¹, 温四民¹, 董合忠²

(1 临沂大学, 山东 临沂 276005; 2 山东棉花研究中心, 山东 济南 250100)

【摘要】 **【目的】**研究转 *Bt* 基因抗虫棉对盐胁迫的反应, 旨在揭示棉花的耐盐机理。**【方法】**以转 *Bt* 基因抗虫棉“鲁棉研 16”为材料, 在棉花幼苗长到 3 片真叶时进行盐处理(NaCl 含量分别为 0(CK), 2.6, 4.2 g/kg), 测定盐胁迫下转 *Bt* 基因抗虫棉的各种生理生化指标。**【结果】**盐胁迫使转 *Bt* 基因抗虫棉幼苗叶片光合速率(P_n)呈先下降后上升再下降的趋势, 蒸腾速率(Tr)、气孔导度(G_s)均呈先上升后下降的趋势, 胞间 CO_2 浓度呈先上升后下降再上升的趋势。与对照相比, 盐胁迫处理叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素 a+b 含量升高, 叶绿素 a/b 降低。脯氨酸和可溶性糖含量在盐胁迫初期升高, 后期下降。盐胁迫处理 MDA 和类胡萝卜素含量增加, POD 活性升高。随着 NaCl 含量的增加, 不同组织中 Na^+ 含量的变化趋势不同, K^+ 含量变化趋势相同。**【结论】**盐胁迫条件下, 棉花耐盐的主要机理是通过提高 POD 活性和类胡萝卜素含量抵抗过氧化, 通过合成和积累脯氨酸、可溶性糖等有机物质抗拒脱水。在组织水平上未发现有利于提高棉花耐盐性的离子区域化分布。

【关键词】 转 *Bt* 基因抗虫棉; 光合作用; 生理生化指标; 盐胁迫; 耐盐机理

【中图分类号】 S562.034

【文献标识码】 A

【文章编号】 1671-9387(2011)06-0082-07

Response to salinity stress and the corresponding physiological mechanism in *Bt* transgenic cotton seedlings

ZHANG Gui-ling¹, WEN Si-min¹, DONG He-zhong²

(1 Linyi University, Linyi, Shandong 276005, China; 2 Shandong Cotton Research Center, Jinan, Shandong 250100, China)

Abstract: **【Objective】** The study on responses of seedling growth of *Bt* transgenic cotton plants to NaCl stress was conducted to reveal mechanism of salt tolerance with “SCRC16” as the material. **【Method】** Seedlings of 3 true leaves were watered with salt treatment (concentration of 0(CK), 2.6, 4.2 g/kg) and physiological and biochemical indicators of transgenic *Bt* cotton were measured. **【Result】** The results showed that: photosynthetic rate(P_n) had the tendency of declining first and then rising and then declining, transpiration rate(Tr) and stomatal conductance(G_s) in seedling leaves had the tendency of first rising and then declining. CO_2 contents between cells had the tendency of first rising and then declining and then rising than the control. The contents of chlorophyll a, chlorophyll b and chlorophyll a+b were all higher, but chlorophyll a/b value was lower than the control. Proline and soluble sugar contents of cotton seedling were rising under salinity stress in early period of time, but declining to the original level thereafter. POD activity and MDA and carotenoid contents were all higher than the control in salinity stress. Change tendency of Na^+ content from different tissues was different and change tendency of K^+ content was the same. **【Conclusion】** Results showed that the main mechanism of salt tolerance of cotton under salt stress are improvement of POD activity and carotenoids of cotton plants against peroxidation and synthesis

* [收稿日期] 2010-11-10

[基金项目] 山东省农业结构调整重大技术研究专项(04-07-02B)

[作者简介] 张桂玲(1975—), 女, 黑龙江哈尔滨人, 讲师, 硕士, 主要从事植物遗传育种研究。

and accumulation of proline, soluble sugar and other organic material to resist dehydration. Regional distribution of ions helping to improve salinity tolerance of cotton wasn't found at the tissue level, which was very different from previous reports.

Key words: transgenic *Bt* cotton; photosynthesis; physiological and biochemical indicators; salinity stress; mechanism of salt tolerance

棉花是我国重要的经济作物,在我国种植业中占有十分重要的地位,由于其比一般粮食作物和经济作物具有更高的耐盐水平,故有盐渍地区“先锋作物”的称号,因此在盐碱地区发展棉业更为现实。但在我国棉区有相当一部分棉田土壤含盐量过高,因此对棉花耐(抗)盐性的研究历来都备受关注。棉花品种的耐盐性直接影响着棉花产量和品质的形成,对棉区生产力有极大影响。近年来,转 *Bt* 基因棉在我国棉花中的种植比重迅猛上升,据美国农业部对外发布的报告称,1997 年中国开始大面积示范种植转 *Bt* 基因棉,种植面积逐年成倍上升,到 2009 年已达 367.2 万 hm^2 ,约占棉田总面积的 68%^[1]。在转 *Bt* 基因棉生产中,由于农药用量明显减少,故带来了巨大的经济效益和环境效益。因此,探明转 *Bt* 基因棉的耐盐机理,可为配套栽培体系的建立提供指导。

关于转 *Bt* 基因棉的耐盐机理已有不少研究报道,李维江等^[2]认为,NaCl 胁迫导致棉叶萎焉,叶温升高,气孔导度、蒸腾强度和光合速率降低,促进膜脂过氧化、丙二醛(MDA)积累。但棉株体通过保护酶活性的提高和协同作用,表现出较强的耐盐胁迫能力。董合忠等^[3]认为,NaCl 胁迫能抑制 CO_2 的吸收,破坏叶绿体色素的平衡,降低叶绿体色素的含量,从而导致希尔反应和光合磷酸化降低,光合作用下降。郑世英等^[4]认为,NaCl 胁迫下,气孔关闭而导致气孔下腔的水分散发不出去,从而降低了棉花的蒸腾作用。叶武威等^[5]认为,NaCl 胁迫下,棉花体内以 Na^+ 为主要毒害因子,耐盐性不同的棉花根、茎、叶内 Na^+ 积累量存在显著差异。但由于各个研究者所用的试验材料与方法不同,所以得出的结论有所差异。本试验以生产上大面积种植的品种“鲁棉研 16”为材料,研究盐胁迫对棉苗光合参数、叶绿素含量、过氧化物酶活性、盐离子区域化分布、离子平衡等的影响,旨在探明转 *Bt* 基因棉的耐盐机理,为培育转 *Bt* 基因抗盐棉花提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验材料“鲁棉研 16”(GK30)为转 *Bt* 基因抗

虫棉,其种子由山东省农科院棉花研究中心提供。

1.2 试验方法

在室温下将肥沃干土过孔径为 3 mm 的土壤筛,装入高 30 cm、内径 20 cm 的瓷盆,浇透水后每盆播“鲁棉研 16”种子 30~40 粒,覆土 1.5 cm 厚,然后放入温室,之后定期浇水以保持土壤含水量。播种 20 d 后,待幼苗长出 3 片真叶时进行盐处理,NaCl 含量分别为 0(CK),2.6,4.2 g/kg,3 d 内加到所需的盐浓度,每天补充损失的水分使其保持所要求的含水量。每处理重复 3 次。

1.3 测定项目及方法

盐处理 18 d 后,用 LI-6400 便携式光合作用测定仪(美国 LI-COR 公司生产),测定“鲁棉研 16”主茎倒 3 叶的光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、蒸腾速率(T_r)和胞间 CO_2 浓度(C_i),从上午 08:00 到下午 16:00,每隔 2 h 测定 1 次。

盐处理结束后,每 6 d 取样 1 次,取样部位为倒 3 叶,共取 5 次,测定样品的叶绿素、类胡萝卜素、脯氨酸、可溶性糖、丙二醛和钾、钠离子含量及过氧化物酶活性。叶绿素、类胡萝卜素含量的测定参照文献[6]和[7]的方法;脯氨酸含量的测定采用酸性茚三酮法^[8];可溶性糖含量的测定采用苯酚法;丙二醛(MDA)含量的测定采用硫代巴比妥酸法^[9];钾、钠离子含量的测定采用原子吸收分光光度计火焰发射法;过氧化物酶(POD)活性的测定采用愈创木酚法^[10]。

2 结果与分析

2.1 盐胁迫对转 *Bt* 基因抗虫棉幼苗叶片光合作用和叶绿素含量的影响

2.1.1 光合作用 图 1 显示,不同浓度盐胁迫下,转 *Bt* 基因抗虫棉幼苗叶片光合速率的变化趋势一致,即在上午 08:00 和下午 14:00 出现 2 个峰值,12:00 出现最低点;气孔导度、蒸腾速率在 08:00—16:00,随着时间推移皆呈现出先上升后下降的趋势;4.2 g/kg NaCl 处理的光合速率、气孔导度和蒸腾速率一直低于对照和 2.6 g/kg NaCl 处理。从光合参数来看,2 个盐处理的气孔导度、蒸腾速率与光合速率的变化基本对应,即在光合速率下降的同时,

气孔导度、蒸腾速率先上升再下降,说明光合速率、蒸腾速率的变化与气孔关闭和气孔导度的降低有关;胞间 CO₂ 浓度呈现出先上升后下降再上升的变

化趋势,至 16:00 达最大,与气孔导度、蒸腾速率、光合速率的变化趋势不同,这可能是受到了酶活性的影响^[11],与气孔关闭和气孔导度的降低无关。

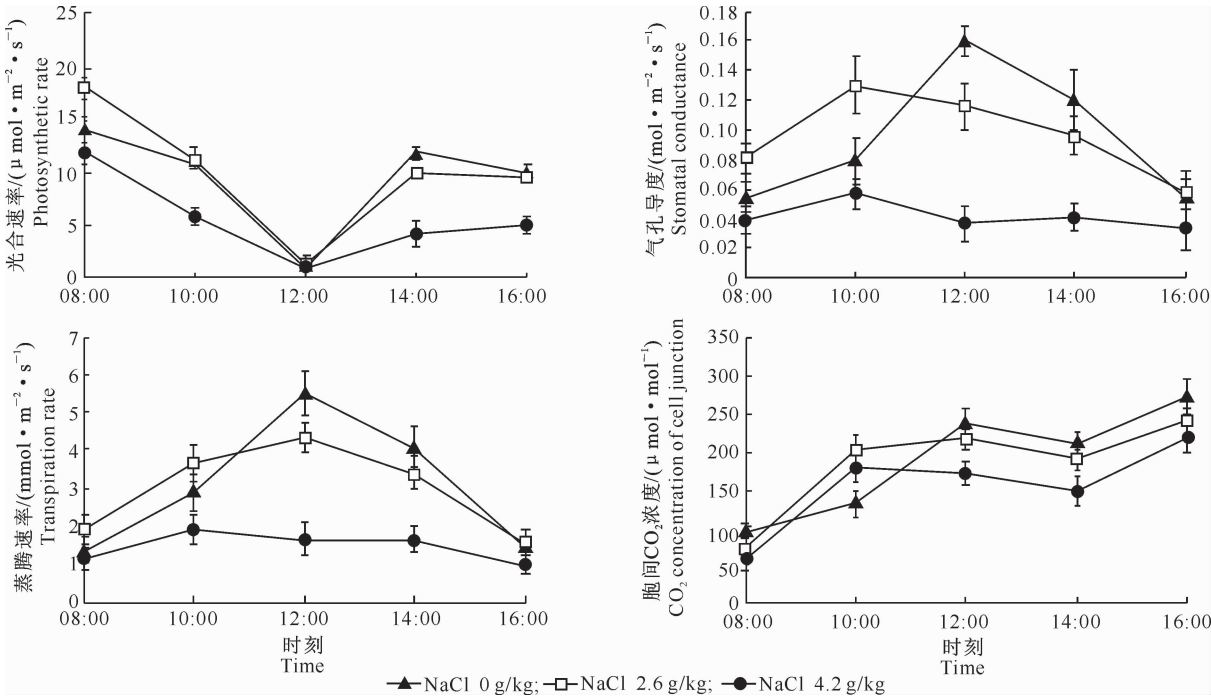


图 1 盐(NaCl)胁迫下转 *Bt* 基因抗虫棉幼苗叶片光合作用的日变化

Fig. 1 Diurnal changes of leaf photosynthetic parameters in cotton seedlings of transgenic *Bt* cotton under salinity stress

2.1.2 叶绿素含量 图 2 显示,与盐胁迫开始相比,盐胁迫 30 d 时,转 *Bt* 基因抗虫棉幼苗叶片的叶绿素含量降低,其中叶绿素 a、叶绿素 b 和叶绿素 a+b 的整体变化趋势基本相似,均呈先升高后降低的趋势,且对照的叶绿素含量均低于盐胁迫处理。在 6~30 d

中,对照的叶绿素 a/b 呈先上升后下降之后再上升的变化趋势,而 2 个盐胁迫处理叶绿素 a/b 呈先下降后上升再下降的变化趋势。表 1 显示,2 个盐胁迫处理的叶绿素 a、叶绿素 b、叶绿素 a+b 平均含量及叶绿素 a/b 与对照相比差异均达显著水平。

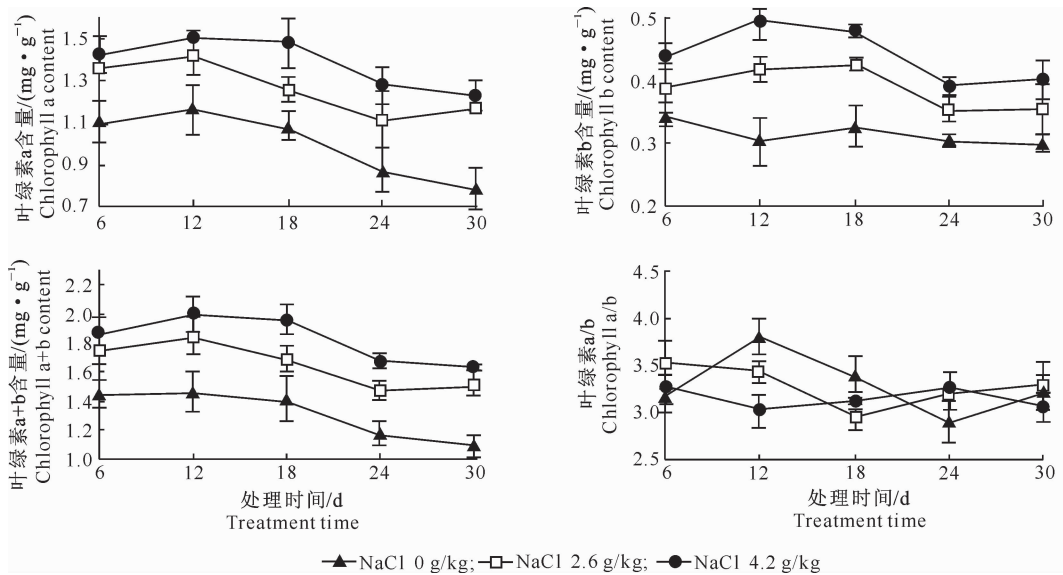


图 2 盐(NaCl)胁迫对转 *Bt* 基因抗虫棉幼苗叶片中叶绿素含量的影响

Fig. 2 Effect of salt concentrations on chlorophyll contents in cotton seedlings leaves of transgenic *Bt* cotton

表 1 盐(NaCl)胁迫对转 *Bt* 基因抗虫棉幼苗叶片中叶绿素含量的影响

Table 1 Effect of salt concentrations on chlorophyll contents in cotton seedlings leaves of transgenic <i>Bt</i> cotton				
NaCl 含量/(g · kg ⁻¹) NaCl concentration	叶绿素 a/ (mg · g ⁻¹) Chlorophyll a	叶绿素 b/ (mg · g ⁻¹) Chlorophyll b	叶绿素 a+b/ (mg · g ⁻¹) Chlorophyll a+b	叶绿素 a/b Chlorophyll a/b
0(CK)	1.09±0.12 c	0.33±0.01 c	1.42±0.05 c	3.40±0.11 c
2.6	1.26±0.05 b	0.43±0.01 b	1.69±0.06 b	3.04±0.15 b
4.2	1.49±0.07 a	0.48±0.03 a	1.96±0.08 a	3.12±0.22 a

注:表中数据为 5 次取样的平均值;同列数据后标不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。
Note:Data in the table are the average of five samples;Different lowercases in a row mean significant difference at 0.05 level($P<0.05$).

2.2 盐胁迫对转 *Bt* 基因抗虫棉幼苗叶片中脯氨酸和可溶性糖含量的影响

图 3 表明,在处理时间相同时,转 *Bt* 基因抗虫棉幼苗叶片中的脯氨酸含量随着盐胁迫程度的加剧而明显提高,3 个处理的脯氨酸含量均在盐胁迫 18 d 时达到最大值,之后下降。处理 18 d 时,2.6 和 4.2 g/kg NaCl 处理的脯氨酸含量分别是对照的 3.19 和 4.13 倍。这表明在盐胁迫初期,棉花通过体内脯氨酸的大量积累来提高对外界盐胁迫的抵抗能力,随着胁迫时间的延长,其逐渐适应了盐胁迫,脯氨酸含量又逐渐减少,并恢复到了盐胁迫前的水平。

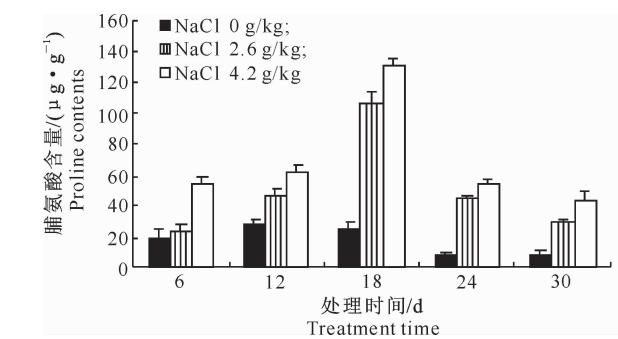


图 3 盐(NaCl)胁迫对转 *Bt* 基因抗虫棉幼苗叶片中脯氨酸含量的影响
Fig. 3 Effect of salt concentrations on proline contents in cotton seedlings leaves of transgenic *Bt* cotton

2.3 盐胁迫对转 *Bt* 基因抗虫棉幼苗不同组织中离子平衡的影响

图 5 显示,随着时间的推移,3 个处理根和茎(对照茎除外)中的 Na⁺ 含量均呈下降趋势,且盐浓度越大,Na⁺ 含量的降幅越大;而叶中的 Na⁺ 含量呈上升趋势,且盐浓度越大,Na⁺ 含量的升幅越大,这说明 Na⁺ 由地下部向地上部转运,在叶中大量积累。图 6 显示,随着时间的推移,2.6 g/kg NaCl 处理茎中的 K⁺ 含量呈先上升后下降的趋势,而根和叶中的 K⁺ 含量均呈下降趋势,4.2 g/kg NaCl 处理的根、茎和叶中的 K⁺ 含量均呈下降趋势,这说明盐胁迫抑制了棉花幼苗对 K⁺ 的吸收,且盐胁迫程度越强,对 K⁺ 吸收的抑制作用越大。

图 4 表明,随着胁迫时间的延长,不同处理转 *Bt* 基因抗虫棉幼苗叶片中的可溶性糖含量均呈先上升后下降的变化趋势,其中 2 个盐胁迫处理在 18 d 时出现最大值,且 4.2 g/kg NaCl 处理的可溶性糖含量略低于 2.6 g/kg NaCl 处理。表明棉花幼苗在受到盐胁迫时,可以通过增加可溶性糖含量缓解渗透胁迫,以保证能量的供给,但当胁迫增强时,叶片的光合作用能力受到抑制,相应地抑制了可溶性糖的积累,这可能是 4.2 g/kg NaCl 处理可溶性糖含量在 12~24 d 较 2.6 g/kg NaCl 处理低的原因。

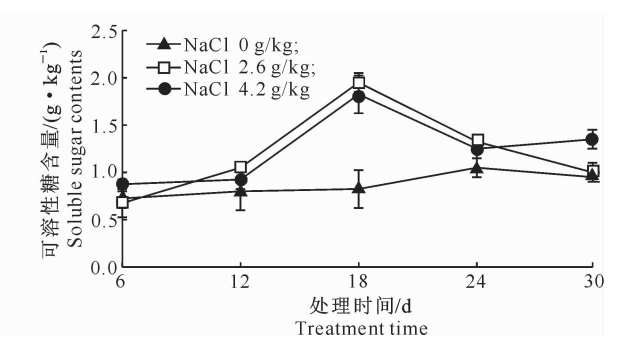


图 4 盐(NaCl)胁迫对转 *Bt* 基因抗虫棉幼苗叶片中可溶性糖含量的影响
Fig. 4 Effect of salt concentrations on soluble sugar contents in cotton seedlings leaves of transgenic *Bt* cotton

2.4 盐胁迫对转 *Bt* 基因抗虫棉幼苗叶片中 MDA 含量和 POD 活性的影响

从图 7 可以看出,盐胁迫下转 *Bt* 基因抗虫棉幼苗叶片中的 MDA 含量逐渐升高,在胁迫 12 d 时达到最大值,之后下降,但始终高于对照,且 4.2 g/kg NaCl 处理的 MDA 含量始终低于 2.6 g/kg NaCl 处理(6 d 除外)。图 8 显示,盐胁迫使转基因 *Bt* 抗虫棉幼苗叶片的 POD 活性升高。在同一胁迫时间下,4.2 g/kg NaCl 处理的 POD 活性较 2.6 g/kg NaCl 处理低,且在 6 和 12 d 时还低于对照,这说明 4.2 g/kg NaCl 处理可能已经超出了棉花幼苗对 NaCl 胁迫的承受范围,导致蛋白质合成受到抑制或分解加速,故 POD 活性降低。

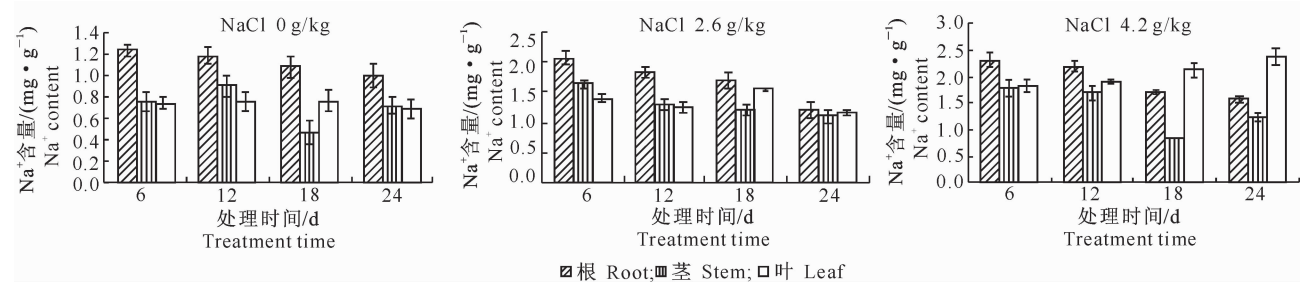


图 5 盐(NaCl)胁迫对转 *Bt* 基因抗虫棉幼苗组织中 Na^+ 含量的影响

Fig. 5 Effect of salt concentrations on Na^+ contents in different tissue of cotton seedlings of transgenic *Bt* cotton

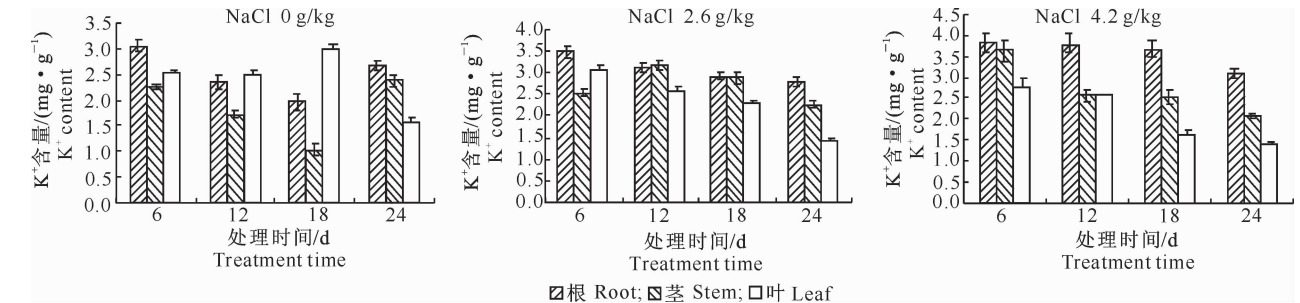


图 6 盐(NaCl)胁迫对转 *Bt* 基因抗虫棉幼苗组织中 K^+ 含量的影响

Fig. 6 Effect of salt concentrations on K^+ contents in different tissue of cotton seedlings of transgenic *Bt* cotton

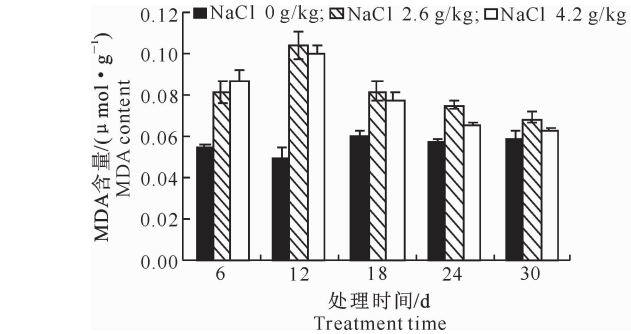


图 7 盐(NaCl)胁迫对转 *Bt* 基因抗虫棉幼苗叶片中 MDA 含量的影响

Fig. 7 Effect of salt concentrations on MDA contents in cotton seedlings leaves of transgenic *Bt* cotton

2.5 盐胁迫对转 *Bt* 基因抗虫棉幼苗叶片中类胡萝卜素含量的影响

类胡萝卜素是活性氧清除系统中非活性的小分子物质。由图 9 可知,随着盐胁迫程度的加剧,类胡萝卜素含量逐渐升高,且始终保持较高的水平。

3 结论与讨论

3.1 盐胁迫对转 *Bt* 基因抗虫棉幼苗光合作用和叶绿素含量的影响

对盐胁迫降低棉叶光合作用的生理机制目前还不十分清楚,一些研究报道认为是受到了气孔因子和非气孔因子的共同影响。戴高兴等^[1]研究认为,

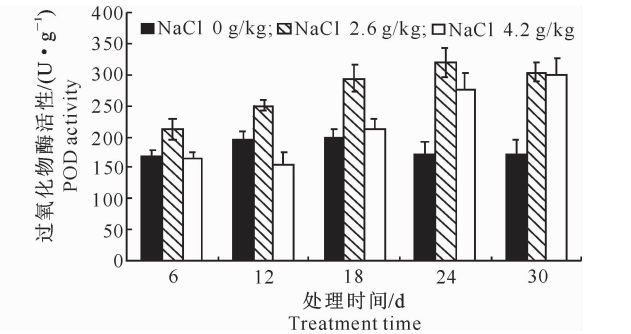


图 8 盐(NaCl)胁迫对转 *Bt* 基因抗虫棉幼苗叶片中 POD 活性的影响

Fig. 8 Effect of salt concentrations on POD activity in cotton seedlings leaves of transgenic *Bt* cotton

光合速率和气孔导度持续降低时,根据胞间 CO_2 浓度的变化方向,可以判断光合速率的降低是受气孔限制还是受非气孔限制,即当光合速率、气孔导度和胞间 CO_2 浓度均呈下降趋势时,光合速率降低可归结为受气孔限制,相反则是受非气孔限制,可能是受酶活性的影响。钠盐对棉花蒸腾作用的抑制主要是通过引起气孔关闭,进而导致孔下腔的水分不能散发出去,从而降低棉花的蒸腾作用。在盐胁迫下,叶片气孔导度和蒸腾速率的降低是棉花作物常见的生理表现^[12]。本试验结果表明,盐胁迫引起了光合速率、蒸腾速率和气孔导度的下降及胞间 CO_2 浓度的升高。根据光合速率、蒸腾速率、气孔导度的变化规

律,判断光合速率的降低是由气孔关闭引起的,这与 Meloni 等^[13]对转 *Bt* 基因抗虫棉苗期耐盐性差异的研究结果一致;但根据胞间 CO_2 浓度的变化规律,判断也有非气孔因素的参与,这在前人的研究中还未见到。

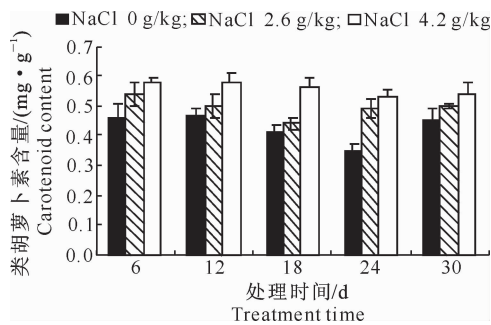


图 9 盐(NaCl)胁迫对转 *Bt* 基因抗虫棉幼苗叶片中类胡萝卜素含量的影响

Fig. 9 Effect of salt concentrations on carotenoid contents in cotton seedlings leaves of transgenic *Bt* cotton

张其德等^[14]研究认为,盐胁迫下植物叶片中叶绿素含量下降,其主要原因是 NaCl 能促进叶绿素酶活性,促使叶绿素分解,从而使其含量下降,而本试验研究结果与之相反,但与在胡杨^[15]、大豆^[16]、水稻^[17]中的报道一致。前苏联植物生理学家 Stroganov^[18]认为,在盐胁迫下,植物叶片细胞中叶绿素与叶绿体蛋白间的结合变松弛,使叶绿素易被提取,导致其含量升高,具体原因还有待于进一步研究。

3.2 盐胁迫对转 *Bt* 基因抗虫棉幼苗叶片中脯氨酸和可溶性糖含量的影响

逆境胁迫下,植物细胞通过主动积累溶质,降低渗透势,从而从外界的介质中继续吸水,保持一定的膨压,维持相应的代谢活动。植物降低细胞的渗透势主要是通过积累无机离子与小分子有机物质而实现的^[19]。脯氨酸、可溶性糖和氨基酸等小分子有机物质均有很高的水溶性,它们能通过调节细胞的水势来减缓逆境带来的伤害,另外,它们被排斥在水化膜的外层还可起到保护多级结构的作用。它们可以由盐诱导大量合成,以维持细胞渗透势,保护细胞酶活性^[20]。

本试验中,转 *Bt* 基因抗虫棉花幼苗叶片中的脯氨酸、可溶性糖含量随盐胁迫时间的延长逐渐升高,并在 18 d 时达到最大值,之后又逐渐下降到胁迫前水平,说明棉花幼苗适应了盐胁迫之后产生了耐盐性。脯氨酸含量随盐胁迫的加剧呈现上升趋势;而可溶性糖含量虽然也升高,但 4.2 g/kg NaCl 处理比 2.6 g/kg NaCl 处理低,表明棉花幼苗在受到较

强的盐胁迫时,可以通过增加糖的降解以提供足够的能量;此外可溶性糖的积累受到一定的抑制,也是可溶性糖含量下降的重要原因之一。

3.3 盐胁迫对转 *Bt* 基因抗虫棉幼苗不同组织中 Na^+ 和 K^+ 含量的影响

在盐胁迫下,盐离子在植物体内的有效分布和积累是许多盐生植物和非盐生植物忍耐高盐胁迫的重要机理。有研究表明,棉株体内 Na^+ 累积绝对量表现为叶>茎>根,且随着外界 NaCl 浓度的加大,这种变化趋势更显著^[21]。根系、茎(叶柄)对 Na^+ 有一定的滞留作用,耐盐品种植株体内 Na^+ 在茎中的滞留时间较长,因此茎对 Na^+ 的滞留作用更明显^[22-23]。

本试验中,随着盐胁迫时间的延长,4.2 g/kg NaCl 处理棉花根、茎中的 Na^+ 含量逐渐减少,说明根、茎对 Na^+ 的滞留作用不大,而叶中的 Na^+ 含量逐渐增加,说明棉花叶片是 Na^+ 区域化分布的主要部位。根、茎、叶的 K^+ 含量则表现为逐渐下降,由于 Na^+ 主要积累在叶片中, Na^+ 阻碍了棉花对 K^+ 的吸收。由此可见,离子平衡和区域化似乎不是棉花耐盐性强的原因。但本试验只是在植物不同组织中进行的研究,在细胞和细胞器水平上是否存在离子的区域化及其与耐盐性的关系还需要深入试验。

3.4 盐胁迫对转 *Bt* 基因抗虫棉幼苗叶片中 POD 活性及 MDA 和类胡萝卜素含量的影响

本试验中盐胁迫使 POD 活性、MDA 含量升高,且 4.2 g/kg NaCl 处理较 2.6 g/kg NaCl 处理低,但仍高于对照。这可能是由于 4.2 g/kg NaCl 超出了棉花的承受范围,在盐胁迫下虽然保护酶活性加强,但其调节能力有限,故 POD 活性反而降低^[24]。陈德明等^[25]通过植株的快速生长和增加地上部肉质根的方式,将吸收到体内的盐分稀释到不发生毒害的水平,盐浓度越大,棉株稀释盐分的作用越强,自然也会降低 MDA 含量和 POD 活性。另外,MDA 含量的高低代表膜质受伤害的程度,但在本研究中,4.2 g/kg NaCl 处理棉花幼苗叶片中 MDA 含量反而低于 2.6 g/kg NaCl 处理,说明转 *Bt* 基因抗虫棉在受到高盐胁迫时抑制了膜脂的过氧化作用,在别的植物上还未见有这方面的报道;同时说明棉花叶片的 POD 活性与 MDA 含量在盐胁迫时可能有内在的联系。有研究认为,类胡萝卜素的降低,会减少对活性氧的淬灭,导致细胞内氧自由基的积累,使叶绿体膜结构被破坏,叶绿素加速分解,相反,则能抑制叶绿素分解^[26]。本研究发现,

盐胁迫使类胡萝卜素含量增加,且盐胁迫程度越大其含量越高,并且随盐胁迫时间的延长,类胡萝卜素含量始终保持较高的水平,说明非酶促保护系统小分子化合物中的类胡萝卜素在棉株受到盐胁迫时,有清除活性氧的功能,从而提高了棉花的耐盐性。

[参考文献]

- [1] 张敏,王校常,严蔚东,等.盐胁迫下转 *Bt* 基因棉的 K^+ 、 Na^+ 转运及 SOD 活性的变化 [J]. 土壤学报,2005,42(3):460-467.
Zhang M, Wang X C, Yan W D, et al. K^+ and Na^+ uptake and transport and SOD activity in *Bt* transgenic cotton seedlings under salt stress [J]. Acta Pedologica Sinica, 2005, 42(3): 460-467. (in Chinese)
- [2] 李维江,张冬梅,唐薇,等.转 *Bt* 基因抗虫棉和有色棉苗期耐盐性差异研究 [J]. 棉花学报,2001,13(4):234-237.
Li W J, Zhang D M, Tang W, et al. A comparative study on salt tolerance between *Bt* transgenic cotton and naturally coloured cotton during seedling stage [J]. Cotton Science, 2001, 13(4): 234-237. (in Chinese)
- [3] 董合忠,郭庆正,李维江,等.棉花抗逆栽培 [M]. 山东济南:山东科技出版社,1997:24-29.
Dong H Z, Guo Q Z, Li W J, et al. Cotton cultivation of resilience [M]. Jinan, Shandong: Shandong Science and Technology Press, 1997: 24-29. (in Chinese)
- [4] 郑世英,王丽燕.提高棉花抗盐的途径 [J]. 德州学院学报,2001,17(2):72-73.
Zheng S Y, Wang L Y. The way to improve salt-resistant of cotton [J]. Journal of Dezhou University, 2001, 17(2): 72-73. (in Chinese)
- [5] 叶武威,庞念厂,王俊娟,等.盐胁迫下棉花体内 Na^+ 的积累、分配及耐盐机制研究 [J]. 棉花学报,2006,18(5):279-283.
Ye W W, Pang N C, Wang J J, et al. Characteristics of absorbing, accumulating and distribution of Na^+ under the salinity stress on cotton [J]. Cotton Science, 2006, 18(5): 279-283. (in Chinese)
- [6] 张宪政.作物生理研究法 [M]. 北京:农业出版社,1990:142-147.
Zhang X Z. Crop physiology research methods [M]. Beijing: Agriculture Press, 1990: 142-147. (in Chinese)
- [7] 波钦诺克 X H. 植物生物化学分析方法 [M]. 荆家海,译,北京:北京科技出版社,1981:67-81.
Bo X H. Biochemical analysis of plant [M]. Jing J H, translated. Beijing: Beijing Science and Technology Press, 1981: 67-81. (in Chinese)
- [8] 邹琦.植物生理学实验指导 [M]. 北京:中国农业出版社,2000:47-53.
Zou Q. Plant physiology guidance [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2000: 47-53. (in Chinese)
- [9] 李合生.植物生理学实验技术指导 [M]. 北京:高等教育出版社,2001:160-161.
Li H S. Technical guidance of plant physiology experiments [M]. Beijing: Higher Education Press, 2001: 160-161. (in Chinese)
- [10] 张福锁.环境胁迫和植物营养 [M]. 北京:北京大学出版社,1992:51-54.
Zhang F S. Environmental stress and plant nutrition [M]. Beijing: Beijing University Press, 1992: 51-54. (in Chinese)
- [11] 戴高兴,彭克勒,皮灿辉.钙对植物耐盐性的影响 [J]. 中国农学通报,2003,19(3):97-101.
Dai G X, Peng K L, Pi C H. The effect of calcium on salt-tolerance in plant [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2003, 19(3): 97-101. (in Chinese)
- [12] 廖岩,彭友贵,陈桂珠.植物耐盐性机理研究进展 [J]. 生态学报,2007,27(5):2077-2088.
Liao Y, Peng Y G, Chen G Z. Research advances in plant salt tolerance mechanism [J]. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(5): 2077-2088. (in Chinese)
- [13] Meloni D A, Oliva M A, Martinez C A, et al. Photosynthesis and activity of superoxide dismutase, peroxidase and glutathione reductase in cotton under salts tress [J]. Environ Exp Bot, 2003(49):69-76.
- [14] 张其德,温晓刚,卢从明,等.盐胁迫下 CO_2 加倍对春小麦一些光合功能的影响 [J]. 植物生态学报,2002,24(3):308-311.
Zhang Q D, Wen X G, Lu C M, et al. Effect of CO_2 doubling on some photosynthetic functions of spring wheat under salt stress [J]. Acta Phytoecologica Sinica, 2002, 24(3): 308-311. (in Chinese)
- [15] 马焕成,王沙生.胡杨膜系统的盐稳定性及盐胁迫下的代谢调节 [J]. 西南林学院学报,1998,18(1):15-23.
Ma H C, Wang S S. The stability of the membrane and metabolic response of peuphratica under salt stress [J]. Journal of Southwest Forestry College, 1998, 18(1): 15-23. (in Chinese)
- [16] 於丙军,李锁卿,刘友良.大豆苗期盐害离子效应的比较 [J]. 南京农业大学报,2002,25(1):5-9.
Yu B J, Li S N, Liu Y L. Comparison of ion effects of salt injury in soybean seedlings [J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2002, 25(1): 5-9. (in Chinese)
- [17] 王仁雷,华春,刘友良.盐胁迫对水稻光合特性的影响 [J]. 南京农业大学报,2002,25(4):11-14.
Wang R L, Hua C, Liu Y L. Effect of salt stress on photosynthetic characteristics in rice [J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2002, 25(4): 11-14. (in Chinese)
- [18] Strogonov B P. Physiological bases of salt tolerance in plants [M]. Moskva: Akademia Nouk SSSP, 1962.
- [19] Bemstein N, Silk W K, Lauchli A. Growth and development of sorghum leaves under conditions of NaCl stress [J]. Planta, 1993, 191: 433-439.
- [20] 高永生,王锁明,张承烈.植物盐适应性调节机制的研究进展 [J]. 草业学报,2003,12(2):1-6.
Gao Y S, Wang S M, Zhang C L. Plant adaptive and regulatory mechanism under salt stress [J]. Acta Prataculturae Sinica, 2003, 12(2): 1-6. (in Chinese)