

盐胁迫下棉花体内 Na^+ 的积累、分配及耐盐机制研究

叶武威¹, 庞念厂, 王俊娟, 樊宝相

(中国农业科学院棉花研究所, 河南 安阳 455000)

摘要: NaCl 胁迫下, 棉花体内以阳离子 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, Na^+ 含量吸收和累积最多的部位是: 不耐盐材料的根、耐盐材料的根和叶、强耐盐的叶。不同耐盐性的材料从外界吸收的 Na^+ 总量就全植株来讲大致相同, 只是在体内各器官的分布存在差异; 低浓度 NaCl (0.2%) 下, 不耐盐、耐盐材料的全植株 Na^+ 量分别上升 1.9 倍和 2.9 倍; 高浓度 NaCl (0.4%) 下, 不耐盐、耐盐、强耐盐材料分别比对照上升 3.6 倍、5.2 倍和 5.3 倍。尽管棉花萌发阶段几乎不吸盐, 但成株期是吸盐的, 且吸盐量提高很多倍, 这说明棉花对盐分的吸收具有发育阶段性, 同时也反映出棉花耐盐的阶段性。总之认为棉花的耐盐机理与小麦、大麦等作物不同, 具特殊性。

关键词: 棉花; 盐胁迫; Na^+ ; 耐盐性; NaCl; 耐盐机制

中图分类号: S562.034 **文献标识码:** A

文章编号: 1002-7807(2006)05-0279-05

Characteristics of Absorbing, Accumulating and Distribution of Na^+ under the Salinity Stress on Cotton

YE Wu-wei, PANG Nian-chang, WANG Jun-juan, FAN Bao-xiang

(Cotton Research Institute of CAAS, Anyang, Henan 455000, China)

Abstract: Under the stress of NaCl, the main active infector is the cation(Na^+). Na^+ is absorbed and accumulated distinctively among the different organs such as root, stem, leaf within the various salinity-resisted genotypes of cotton. It is the root of salinity-sensitive genotype, the root and leaf of salinity-resisted genotype, or the leaf of the salinity-high-resisted genotype whose Na^+ is absorbed and accumulated most highly. But Na^+ absorbed by the whole frond is almost the same according to the stress environment, while there is different among the different organs. Under the stress of lower concentration of NaCl(0.2%), Na^+ absorbed in the salinity-sensitive genotype and the resisted or high-resisted genotype was 1.9 times and 2.9 times of the control, respectively; while under the stress of higher concentration of NaCl(0.4%), Na^+ absorbed in the salinity-sensitive genotype, in the resisted and in high-resisted genotype is 3.6 times, 5.2 times and 5.3 times of the control, respectively. Cotton is salinity-escaping-type in the germination period while salinity-high-absorbing-type in the later growth periods, which suggests the resisted mechanism is staggered and in phases. Overall, the salinity-resisted mechanism of cotton is different from other crops such as wheat and barley.

Key words: cotton; saline stress; Na^+ ; salinity resistance; NaCl; tolerant mechanism

棉花是盐碱地的先锋作物。我国约 1 亿 hm^2 耕地中, 盐碱地就占 666 万 hm^2 ; 另外还有近 2 亿 hm^2 盐碱荒地。盐份对棉花生长具有双重作用。

较低浓度的盐分(0.2%以下)有利于棉花出苗、生长、提高产量和品质。盐分浓度大于 0.2%时, 就会对棉花产生离子毒害和渗透胁迫等。Levitt^[1]

收稿日期: 2005-11-15 作者简介: 叶武威(1967-), 男, 副研究员, yeww@cricaas.com.cn

基金项目: 国家“十五”科技攻关项目(2004BA525B05)

认为,棉花萌发和生长的极限耐盐度分别为0.4%和0.6%;S K Sharm^[2]认为降低棉花产量的起始盐度(即耐盐阈值)为7.7 ds·m⁻¹(1ds·m⁻¹=0.064% NaCl),每超过耐盐阈值1 ds·m⁻¹,产量降低5.2%;Robin^[3]认为棉花能够经受含盐量1%以下的土壤环境;叶武威等^[4]报导部份材料棉子在较高NaCl浓度下(1.5%)仍能发芽。高浓度NaCl主要影响种子吸水膨胀,造成萌发慢,萌发率低,盐浓度越大,这种渗透胁迫越严重。种子在萌发出苗过程中,体内储存的有机物质进行分解、转化和新的有机物合成代谢^[5-6]。NaCl胁迫会影响这些代谢过程中的酶活性,特别是脂肪分解过程中的一些酶,如脂肪酶^[7]等。棉花对NaCl的盐害非常敏感,但究竟是Na⁺离子起作用还是Cl⁻离子起作用或是两种离子都起作用? Robin^[3]认为棉花在NaCl胁迫下,体内同样主要以阳离子Na⁺为主要毒害因子;Fortmeier^[8]通过研究NaCl和Na₂SO₄对棉花等生长的影响证明,在盐害中真正起作用的是Na⁺离子而不是Cl⁻离子,也不是两种离子的共同作用,这个结论同时也得到许多其它作物^[8]中的证实。

1 材料和方法

供试品种为中棉所23、中棉所35、阿肯色971,经0.4%盐量胁迫法鉴定,其耐盐性高低为:中棉所35(较耐盐)>中棉所23(稍耐盐)>阿肯色971(不耐盐),四级鉴定标准分别是:高抗盐、抗盐、耐盐、不耐盐。

表1 NaCl胁迫下的棉花体内各组织的Na⁺含量

Table 1 Na⁺ concentration in the specific organs

		under the NaCl stress			%
材料	取样组织	NaCl 浓度/%			
		0(CK)	0.20	0.40	
阿肯色971 (不耐盐)	根	0.139	0.370**	0.801**	
	茎	0.139	0.178**	0.297**	
	叶	0.136	0.195**	0.294**	
	全株	0.141	0.271**	0.504**	
中棉所23 (稍耐盐)	根	0.101	0.278**	0.561**	
	茎	0.097	0.190**	0.278**	
	叶	0.099	0.279**	0.554**	
	全株	0.094	0.268**	0.486**	
中棉所35 (较耐盐)	根	0.090	0.271**	0.306**	
	茎	0.092	0.213**	0.311**	
	叶	0.094	0.281**	0.761**	
	全株	0.092	0.270**	0.491**	

注: **表示差异极显著(P<0.01)

试验于2001-2003年中棉所盐池鉴定圃进行,采用相同容积的大花盆(底部不漏),取无菌、无盐土育苗(花盆中土的重量相等),保证每个花盆中成苗4株,每处理3个花盆,3个重复。除施盐量不同外,其它操作均相同。在盛花期施盐,根据花盆中土壤重量、容重,按0%、0.2%、0.4% NaCl(土壤重量百分比)的比例均匀施NaCl,每个花盆用水量相等,盐分完全溶解,对照浇等量清水。施盐后3d,测定盆中盐分含量。施盐后第7d,取根、茎、叶及全植株测定。被测的根为子叶节以下部分,茎为子叶节以上5~15cm茎秆部分,叶片为生长顶点倒数第三片叶(含叶柄),植株测定包括根、茎、叶所有生物体。干物质中Na⁺含量测定采用火焰光度计法,波长为589nm。

2 结果与分析

2.1 不耐盐棉花体内Na⁺的分配

3个材料中,阿肯色971的耐盐能力最差,对NaCl敏感,在盛花期施以0.2%NaCl后,其死苗率为11.1%,施以0.4%NaCl时死苗率上升到62.9%。如图1所示,在正常土壤中,植株的根、茎、叶内Na⁺的含量大致相当,都在0.14%左右;而在NaCl的胁迫下,阿肯色971的根、茎、叶三个器官内Na⁺含量都随土壤中NaCl含量的增加而升高。根内Na⁺的含量随土壤中NaCl浓度提高快速上升,在0.2%NaCl的土壤中,其含量上升到0.370%;在0.4%土壤中猛升到0.801%(接近于正常土壤中含量的6倍)。阿肯色971的茎、叶内Na⁺的含量随土壤NaCl浓度的变化比较小,而且两条曲线大致重叠,随外界土壤NaCl浓度的变化比较接近,在0.4%NaCl土壤中,茎、叶内Na⁺含量大致上升到对照的2倍多(表1)。可见对于不耐盐棉花,被吸收的Na⁺主要积累并

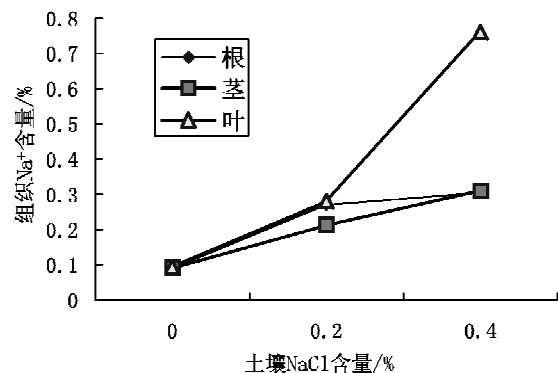


图1 阿肯色971根、茎、叶中Na⁺分配曲线

Fig. 1 Distribution of Na⁺ in the specific organs of Akansa 971

分布于根系部位,而后向植株茎、叶少量运输。

2.2 稍耐盐棉花体内 Na^+ 的分配

在 3 个材料中,中棉所 23 的耐盐能力居中,属于耐的水平,在盛花期施盐后,0.2%NaCl 处理中死苗率为 0,0.4% 的处理中死苗率上升到 38.7%。在正常土壤中,植株的根、茎、叶内 Na^+ 的含量大致处于同一个低的水平(0.1%左右);而在 NaCl 胁迫下,中棉所 23 的根、茎、叶内 Na^+ 含量都随土壤中 NaCl 含量的增加而升高。与不耐盐的阿肯色 971 不同,中棉所 23 的根和叶内 Na^+ 的含量随土壤中 NaCl 浓度的提高而快速上升,上升速度比茎内含量都快,且反应曲线非常一致,近乎重叠,在 0.2%NaCl 的土壤中, Na^+ 含量上升到 0.278%;在 0.4% 的土壤中,上升到 0.56% 左右,接近正常土壤中含量的 5.7 倍。中棉所 23 茎内 Na^+ 的含量随土壤 NaCl 浓度的变化较小,在 0.4%NaCl 土壤中,茎内 Na^+ 含量大致上升到对照的 3 倍(图 2)。研究表明:对于稍耐盐棉花,被吸收的 Na^+ 主要积累并分布于根系和叶片,且在相应的外部盐浓度下,根和叶片内的含量相同,茎内次之。说明耐盐性稍好的棉花从外部吸收 Na^+ ,迅速向叶片中运输,在这个过程中,茎内积累量低而有限,这可能和耐盐棉花材料的细胞耐盐性稍强有关。

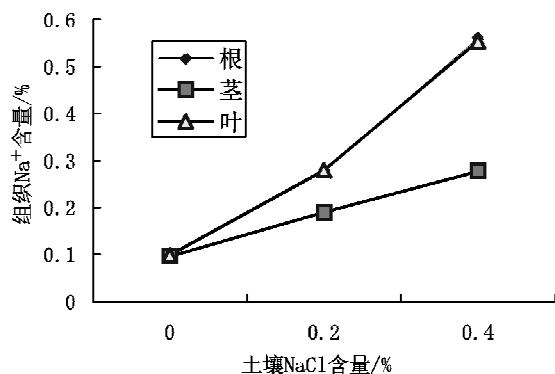


图 2 中棉所 23 根、茎、叶中 Na^+ 的分配曲线

Fig. 2 Distribution of Na^+ in the specific organs of CCR1 23

2.3 较耐盐棉花体内 Na^+ 的分配

三个材料中,中棉所 35 的耐盐能力最高,对 NaCl 不太敏感,在盛花期施盐后,0.2%NaCl 处理的死苗率为 0,0.4% 处理的死苗率仅为 9.1%。如图 3 所示,在正常土壤中,植株的根、茎、叶内 Na^+ 的含量大致相当(0.09%左右);而在 NaCl 胁迫下,中棉所 35 的根、茎、叶内 Na^+ 含量均随土壤中 NaCl 含量的增加而升高。与阿肯色 971 和中棉所 23 都不同的是,中棉所 35 叶内 Na^+ 的

含量随土壤中 NaCl 浓度的提高快速上升,尤其是叶片中 Na^+ 含量上升速度最快。在 0.2%NaCl 土壤中,含量上升到 0.281%;在 0.4% 土壤中,上升到 0.761%,接近于正常土壤中叶片含量的 8 倍。中棉所 35 的根、茎内 Na^+ 的含量随土壤 NaCl 浓度的变化不及叶片大,且两条曲线大致重叠,在 0.4%NaCl 土壤中,根、茎内 Na^+ 含量上升到 0.31%,是对照根、茎的 3 倍多。对于三个材料中耐盐性最好的材料来说,被吸收的 Na^+ 主要积累并分布于叶片,而且在相应的外部盐浓度下,根和茎内的含量几乎相等。说明耐盐性较好的棉花从外部吸收 Na^+ ,迅速向叶片运输,在此过程中,根、茎内积累量低而有限,这可能与耐盐棉花材料细胞耐盐性较强和对 Na^+ 运输能力较强有关。

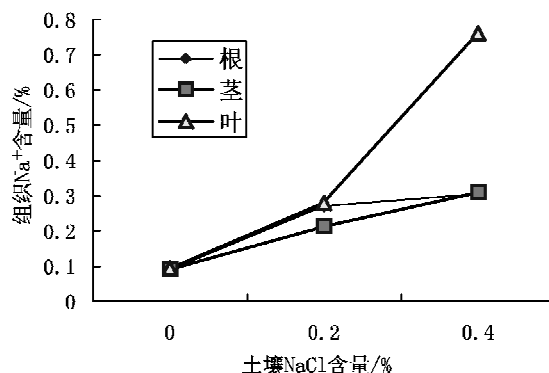


图 3 中棉所 35 根、茎、叶中 Na^+ 的分配曲线

Fig. 3 Distribution of Na^+ in the specific organs of CCR1 35

2.4 全植株内 Na^+ 积累量

在 NaCl 胁迫下,耐盐性不同的棉花根、茎、叶内 Na^+ 积累量差异明显,但耐盐性不同的材料植株的盐份积累量相等。耐盐性不同的 3 个品种,在对照中,全植株内的 Na^+ 含量大致在一个水平,只有不耐盐的阿肯色 971 的 Na^+ 含量略高;但在 0.2%和 0.4%NaCl 的胁迫下,3 个品种全株的 Na^+ 含量非常一致。如 0.2%NaCl 处理中,3 个品种的 Na^+ 含量全为 0.27%左右,0.4% 处理中,3 个品种的 Na^+ 含量全为 0.5%左右(图 4)。说明尽管棉花耐盐性能不同,但其从外界吸收 Na^+ 总量基本相等,全植株的吸盐量与棉花耐盐性无关。

3 结论与讨论

棉花对 NaCl 的盐害非常敏感,但究竟是 Na^+ 离子起作用还是 Cl^- 离子起作用或是两种离子都起作用? 刘东华等^[6]认为,对洋葱等作物起

毒害作用的是阳离子(如重金属阳离子);Fortmeier^[5]通过研究 NaCl 和 Na₂SO₄ 对玉米、小麦等生长的影响证明,在作物盐害中真正起作用的是 Na⁺ 离子而不是 Cl⁻ 离子,也不是两种离子的共同作用。这个结论同时也得到许多研究的证实。Robin^[3]认为棉花在 NaCl 胁迫下,体内同样主要以阳离子 Na⁺ 为主要毒害因子。

3.1 棉花体内 Na⁺ 的流动

前人研究^[9-11]认为,耐盐较强的棉花叶片中 Na⁺ 浓度和 NaCl 积累量(占溶液部分的干物重的百分比)显著高于根部。赵可夫^[12]认为,棉花根茎木质部汁液中 Na⁺ 浓度及叶片 Na⁺ 含量随外界 NaCl 浓度增大而迅速上升。Plant Z^[13]发现经锻炼后具适应性的棉苗,叶片 Na⁺ 含量均随 NaCl 胁迫增强而迅速增加。

本试验中,低浓度 NaCl (0.2%)胁迫下,棉花根、茎、叶内 Na⁺ 含量都随 NaCl 含量的提高而升高,耐盐性越高,则根、茎、叶内 Na⁺ 含量上升越快,不耐盐材料三器官上升 1.3~2.7 倍,稍耐盐材料上升 2.1~2.9 倍,较耐盐材料上升 2.3~3.0 倍,就全株而言,不耐盐、稍耐盐、较耐盐材料分别上升约 1.9 倍、2.9 倍和 2.9 倍。含量上升最快并累积最多的部位是:不耐盐材料的根、耐盐材料的根和叶。

高浓度 NaCl (0.4%)胁迫下,棉花根、茎、叶内 Na⁺ 含量都随土壤 NaCl 浓度含量的增加而快速升高,耐盐性越高则三器官内 Na⁺ 含量上升越快,不耐盐材料三器官上升 2.1~5.8 倍,稍耐盐材料上升 2.9~5.6 倍,较耐盐材料上升 3.4~8.1 倍,就全植株来讲,不耐盐、稍耐盐、较耐盐材料分别上升约 3.6 倍、5.2 倍、5.3 倍。含量上升最快或累积最多的部位是:不耐盐材料的根、稍耐盐材料的根和叶、较耐盐材料的叶。

研究表明,棉花的耐盐机理与其它作物不同。盐胁迫下大麦^[14]、小麦^[15]根系的地下部向地上部输送的 Na⁺ 较少,留存于根部较多;Lauchli A^[16]认为,大豆的地上部有拒盐能力,主要积存于根部;玉米、高粱等作物通过“脉内再循环”(recirculation),将地上部的大部分 Na⁺ 由韧皮部或木质部“再循环”到根部,被薄壁细胞吸收,以此种方式,维持地上部较少的 Na⁺ 浓度来实现耐盐性。棉花则不同,本试验表明高盐浓度下,不耐盐材料 Na⁺ 主要集中在根,稍耐盐材料集中在根和叶,强耐盐材料集中在叶。

3.2 棉花根茎叶中 Na⁺ 的分布规律

在盐胁迫下,从棉花根茎叶中 Na⁺ 的分布,可以看出:对于不耐盐的棉花材料来讲,无论是在低盐浓度下还是在高盐浓度下,所吸收的 Na⁺ 主要聚集在根部,向上部位(茎、叶)转移较少;随着材料耐盐水平的提高,Na⁺ 聚集部位相应上升,耐盐水平越高,则 Na⁺ 主要聚集部位越高(表 2)。

表 2 NaCl 胁迫下棉花根、茎、叶中 Na⁺ 的分布规律

Table 2 Distribution of Na⁺ in the specific organs

耐盐性	低浓度(0.20% NaCl)	高浓度(0.40% NaCl)
不耐盐	根>茎、叶	根>茎、叶
稍耐盐	根、叶>茎	根、叶>茎
较耐盐	根、叶>茎	叶>根、茎

3.3 棉花吸盐量的发育阶段性

尽管棉花萌发阶段几乎是不吸盐的^[17],棉花成株期是吸盐的^[18,19],且吸盐量很高,说明棉花对盐分的吸收具有发育阶段性,也反映了棉花耐盐性的阶段性,不同的发育阶段,其耐盐机制可能不同。而且,棉花全植株的吸盐量和材料的耐盐性无关。在 NaCl 胁迫下,耐盐性不同的棉花根、茎、叶内 Na⁺ 积累量差异明显,但同一浓度下,耐盐性不同的材料间全株含量没有差异,全株的盐分累积量基本相同。0.2% NaCl 处理中,吸收 Na⁺ 0.27%,0.4% 时吸收 Na⁺ 0.51%,吸收的盐分几乎与外界盐浓度同比例增长。这表明,尽管棉花耐盐性不同,但其从外界吸收的 Na⁺ 的总量是一样的,只是在体内的分布不同而已。

参考文献:

- [1] LEVITT J. Responses of Plants to Environmental Stress (2ed.) [M]. New York: Academic Press, 1980.
- [2] SHARM S K. Saline Environment and Plant Growth. ABP Agro-Botanical Publisher (India) [M]. Old Ginnami BIKAEER, 1986; 376-378.
- [3] ROBIN B A. 棉花生理学 [M]. 陈恺元,译,上海科技出版社,1983.
- [4] 叶武威,刘金定. 氯化钠和食用盐对棉花种子萌发的影响 [J]. 中国棉花, 1994, 21(3): 14-15.
- [5] 叶武威. 棉花对 NaCl 的抗性及其机理 [D]. 中国农科院棉花研究所, 2001.
- [6] YE W W, LIU J D. Effects of Na⁺ on root growth and cell division of *G. hirsutum* L. [J]. Progress in seed research, Cornell University Press, 1997; 343-348.

- [7] DOLTON R G. 耐盐和盐敏感棉花品种对 NaCl 胁迫抗氧化剂的反应[M]. 沈法富,译,江西棉花, 1995, (2):47-49.
- [8] 庞士铨. 植物逆境生理学基础[M]. 东北林业大学出版社, 1985. 39-70.
- [9] KASUMOV N A, Abbasova Z I, Gunduz G. Effects of salt stress of the respiratory components of some plants[J]. Turkish Journal of Botany. 1998,22(6): 389-396.
- [10] EPHRATH J E. Effects of moisture stress on stomata resistance and photosynthetic rate in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) [J]. Field crops Res, 1990,23(2):117-131.
- [11] LEIDIE O R, Nogales S H. Effects of salinity on cotton plants grown under nitrate or ammonium nutrition at different calcium levels[J]. Field Crops Research, 1991;35-34.
- [12] 赵可夫. NaCl 抑制棉花幼苗生长的机理—离子效应[J]. 植物生理学报, 1989,15(2):173-178.
- [13] PLANT Z. Acclimation of CO_2 assimilation in cotton leaves to water stress and salinity [J]. Plant Physiol, 1991,97:515-522.
- [14] 毛才良. 盐胁迫大麦苗体内 Na、K 分配和叶片耐盐量[J]. 南京农业大学学报, 1990, 13(3):32-36.
- [15] 李长润,刘友良. 盐胁迫小麦幼苗离子吸收运输的选择性与叶片耐盐量[J]. 南京农业大学学报, 1993, 16 (1):16-20.
- [16] LAUCHLI A. Salt exclusion; an adaptation of legumes for crops and pastures under saline conditions [M]. Salinity Tolerance in Plants. 1984.
- [17] 辛承松,董合忠,唐 薇,等. 棉花盐害与耐盐性的生理和分子机理研究进展[J]. 棉花学报, 2005, 17 (5):309-314.
- [18] 叶武威. 棉花种质资源耐盐性鉴定技术与应用[J]. 中国棉花, 1998,25(12):41.
- [19] 刘金定,叶武威,刘国强. 棉花抗逆性及其抗病虫鉴定技术[M]. 北京:中国农业科技出版社 1996:1-20.
-