中国农业科技导报，2018，20(5):9-15
Journal of Agricultural Science and Technology

盐胁迫对不同基因型棉花苗期光合特性和养分吸收的影响

王庆惠[1]， 杨嘉鹏[2]， 向光荣[3]， 罗 佳[3]， 侯银莹[3]， 韩 伟[3]， 陈波浪[3*]

（1.新疆农业科学院农业机械化研究所，乌鲁木齐 830091；2.新疆工程学院电气与信息工程系，乌鲁木齐 830023；3.新疆农业大学草业与环境科学学院，乌鲁木齐 830052）

摘 要：为探讨盐胁迫对苗期不同棉花品种光合作用和养分吸收的影响，以盐敏感型中棉所 45 和耐盐品种中棉所 35 为材料，通过盆栽试验研究盐胁迫对棉花光合特性与养分吸收的影响。结果表明，盐分胁迫显著降低了棉花根、茎、叶和整株的干物质质量积累以及光合特性，与 CK 相比，棉花整株的干物质质量、净光合速率、气孔导度和蒸腾速率分别下降了 39.1%~40.1%、33.9%~41.1%、34.3%~36.6%和 27.7%~28.8%，耐盐品种降低幅度较盐敏感品种小。盐分胁迫也显著抑制棉花对 N、P、K 养分的吸收积累，降低棉花叶中叶绿素含量。盐胁迫下，棉花苗期光合速率下降的原因是由非气孔限制引起，光合参数和养分吸收与基因型抗性密切相关。上述结果为棉花栽培管理、耐盐机制及盐碱地改良提供了理论依据。

关键词：棉花；盐分胁迫；根系形态；生理特性

doi：10.13304/j.nykjdb.2017.0349

中图分类号：S562.01　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1008-0864(2018)05-0009-07

Effects of Salt Stress on Root Morphology and Physiological Characteristics of Potted Cotton at Seedling Stage

WANG Qinghui[1], YANG Jiapeng[2], XIANG Guangrong[3], LUO Jia[3], HOU Yinying[3], HAN Wei[3], CHEN Bolang[3*]

(1.Agricultural Mechanization Institute, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi 830091; 2.Department of Electrical and Information Engineering, Xinjiang Institute of Engineering, Urumqi 830023; 3.College of Pratacultural and Environmental Sciences, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

Abstract: In order to discuss the impact of salt stress on photosynthesis and nutrient uptake of different cotton varieties at seedling stage and providing a theoretical basis for cotton cultivation management, salt tolerance mechanism and saline land improvement, this paper took salt sensitive cultivar (CCRI45) and salt tolerant cultivar (CCRI35) as materials, and conducted pot experiments to investigate the effect of salt stress on cotton photosynthesis character and nutrient adsorption. Results showed that salt stress significantly decreased the dry matter accumulation of cotton root, stem, leaf, whole plant and photosynthesis characteristic. Compared with the CK, the dry matter weight of whole cotton plant, net photosynthetic rate, stomatal conductance and transpiration rate decreased by 39.1% ~40.1%, 33.9%~41.1%, 34.3%~36.6% and 27.7%~28.8%, respectively. The decreasing range of salt tolerant varieties was smaller than that of the salt sensitive varieties. The salt stress also significantly inhibited the adsorption and accumulation of N, K and P nutrients, and reduced the content of chlorophyll SPAD in cotton leaves. The decrease of net photosynthetic rate under salt stress was caused by no-stomatal restriction. Photosynthetic parameters and nutrient uptake were closely correlated with the resistance of genotype.

Key words: cotton; salt stress; root morphology; physiological property

收稿日期：2017-05-27；**接受日期**：2017-06-23

基金项目：新疆维吾尔自治区重点研发任务专项(2016B01001-2-3)；国家自然科学基金项目(31260499)；新疆维吾尔自治区自治区科技人才培养项目(qn2015yx011)；国家级大学生创新创业训练计划项目(201410758013)资助。

作者简介：王庆惠，副研究员，博士，主要从事水肥一体化技术及装备研究。E-mail：wangqh1201@126.com。*通信作者：陈波浪，教授，博士，主要从事养分资源高效利用和土壤与植物互作研究。E-mail：chenwang200910@sina.com

目前,全世界盐渍土壤面积约有 8.31 亿 hm^2,其中次生盐渍化的面积大约为 0.77 亿 hm^2[1]。中国盐渍土约有 0.33 亿 hm^2,耕地中盐渍化面积达到 920.9 万 hm^2[2]。新疆是典型的内陆盐渍化分布区,据统计,新疆盐渍化面积达 2 181.4万 hm^2,盐渍化严重地限制了新疆农业开发和持续发展,其高效和可持续利用备受关注[3]。棉花具有较强的耐盐性,是开发利用盐碱地的先锋作物,也是新疆重要的经济作物。探讨棉花适应盐胁迫的光合生理和养分吸收特征,将有利于丰富棉花的耐盐机制和拓展盐碱地改良的途径。

光合作用是作物稳产和高产的生理基础,其强弱受植物种类和环境的影响。盐胁迫显著降低了植物的光合作用,随盐分浓度和胁迫时间的增加,其抑制作用更明显[4~6]。盐胁迫对光合作用的影响较为复杂,引起植物净光合速率(net photosynthetic rate,*Pn*)下降的主要原因仍存在着不同的观点,一些研究认为 *Pn* 下降的原因是对 CO_2同化的气孔性限制[7],还有一些研究认为是非气孔性限制致使 *Pn* 下降[8,9],这些观点已在小麦、玉米等作物上进行了深入研究。棉花苗期是耐盐能力较弱的时期,也是进行耐盐性筛选的关键时期,盐胁迫对棉花幼苗生长、光合生理乃至生存均有诸多负面影响[10~12],尤其是光合生理。Brugnoli 等[13,14]认为,盐胁迫致使苗期棉株缺水,从而引起气孔关闭、叶绿体受损和净光合速率(*Pn*)下降。Ashraf[15]报道,在 NaCl 的胁迫下,苗期棉叶光期 CO_2固定量和 CO_2净同化量显著降低。杨淑萍等[16]以海岛棉为研究对象,发现低浓度盐分(NaCl≤50 mmol/L)能促进苗期海岛棉光合生理,而盐分浓度增加(NaCl>50 mmol/L)明显抑制棉花光合生理。赵可夫[17]报道,NaCl 胁迫显著抑制幼苗期棉叶的蒸腾作用,但随着处理时间的延长,抑制效应会有所降低,棉花会表现出一定的适应性。养分吸收积累是作物高产优质的基础,盐胁迫对作物主要伤害之一就是营养失衡,Munns 等[18]认为盐胁迫刺激引发渗透胁迫,致使养分吸收受阻和紊乱。闵伟等[19]研究表明,盐分浓度增加降低了棉花氮素的积累,但能促进氮素往地上部转移。这些结果均为不同 NaCl 浓度下作物光合特性和养分吸收特征的报道[20~22],而缺乏多盐分离子存在的自然盐碱土对作物光合作用和养分吸收的影响,为此本研究选取不同耐盐性棉花品种,用更能反映真实情况和贴近生产实践的自然条件下内陆盐碱土进行盆栽试验,研究盐分胁迫对棉花苗期(耐盐性筛选的关键时期)光合作用和养分吸收的影响,探讨棉花应对盐分胁迫的响应机制,为棉花耐盐机制扩展和盐碱地资源可持续利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料和培养条件

试验于 2014 年 5 月在新疆农业大学草业与环境科学学院的温室中进行。采用土培试验,供试棉花品种为中棉所 45(CCRI45,盐敏感品种)和中棉所 35(CCRI35,耐盐品种),由新疆农业科学院经济作物研究所提供,耐盐性鉴定参见杨淑萍等[23]方法。首先进行种子清洗和消毒,然后选择饱满的种子放在 18~22℃ 培养室中,5~7 d 后选择发育正常的萌发种子移入盆栽土壤中进行培养。供试土壤采自新疆北部典型盐渍化区域——玛纳斯县灌耕灰漠土,依据《新疆土壤》[24]盐渍化分级标准将含盐量为 4.8 g/kg 的作为对照土(CK),含盐量为 11.3 g/kg 的作为盐胁迫土(salt stress,SS)。土壤盐渍化以氯化物和硫酸盐为主,两者的本底养分差异不明显,对照棉田土壤的基本理化性质分别为 pH 8.5,有机质含量 15.1 g/kg,碱解氮 54.6 mg/kg,速效磷 6.7 mg/kg,速效钾 208 mg/kg;盐胁迫棉田土壤分别为 pH 8.5,有机质含量 14.3 g/kg,碱解氮 61.6 mg/kg,速效磷 7.8 mg/kg,速效钾 195 mg/kg。培养盆钵选择避光塑料盆(直径 20 cm,高 24 cm),每盆装干土 10 kg,移栽 2 株,待棉苗长到 3 片真叶时定苗,选留长势均匀的棉花 1 株,每品种每个处理各栽 12 盆。肥料品种为尿素(N46%)、重过磷酸钙(P_2O_5 46%)和硫酸钾(K_2O 50%),磷肥和钾肥作为基肥一次性施入,氮肥 60%基施,尿素、重过磷酸钙和硫酸钾每盆的具体用量分别为 1.74 g、1.45 g 和 0.67 g,灌水采用称重法,保持土壤水分在田间持水量的 50%~80%。

1.2 样品采集与测定

在棉花出苗后 35 d 取样,各处理分别采集代表性棉株 6 株,将根、茎、叶各器官分开,清洗后于 105℃ 杀青 30 min,80℃ 烘干称重,以进行各器官

中养分的分析。另外在采样之前对苗期每品种每处理棉花功能叶(倒四叶)用日本柯尼卡美能达 SPAD502 叶绿素仪进行叶绿素 SPAD(soil and plant analyzer development)值测定,用 LI-6400 便携式光合仪(美国)测定光合参数,其测定条件为光强1 000 μmol/(m^2·s),叶室温度 25℃,测定参数主要包括净光合速率(*Pn*)、气孔导度(stomatal conductance,*Gs*)、胞间 CO_2浓度(intercellular CO_2 concentration,*Ci*)、蒸腾速率(transpiration rate,*Tr*)。植物养分采用 H_2SO_4-H_2O_2进行消解,奈氏比色法测 N,钒钼黄比色法测 P 和火焰光度计法测 K[25]。

1.3　数据处理

所获数据通过 Excel 进行数据整理分析和图表制作,用 SPSS 15.0 软件进行单因素和双因素的统计分析。

2　结果与分析

2.1　盐分胁迫对棉花各器官干物质质量积累和根冠比的影响

由表 1 可知,盐分胁迫(SS)显著降低了棉花根、茎、叶和整株的干物质质量积累,较 CK 处理分别下降了 40.9%、41.1%、38.5%和 39.7%。从表 2 中品种之间的差异,根、叶、整株的 *F* 值分别为 7.084、21.038 和 22.193,都达到了显著或极显著水平,茎为 1.672,差异不显著。CK 和 SS 水平下,CCRI35 整株干物质质量分别比 CCRI45 提高了 34.4%和 32.4%(表 1)。棉花各器官和整株干物质质量无明显的盐分×品种交互作用($P>0.05$)。棉花根冠比在不同盐分水平和品种间均无明显差异($P>0.05$),而交互作用达极显著水平($P<0.01$)(表 2)。

2.2　盐分胁迫对棉花叶中 SPAD 值的影响

图 1 显示,盐分胁迫显著降低了棉花功能叶中 SPAD 值,SS 处理下,CCRI45 和 CCRI35 功能叶中 SPAD 值较 CK 处理分别下降了 20.5%和 12.1%。两棉花品种在 CK 处理中无明显差异,而在 SS 处理下,CCRI35 功能叶中 SPAD 值显著高于 CCRI45。

2.3　盐分胁迫对棉花光合作用气体交换参数的影响

盐分胁迫显著抑制了棉花的净光合速率(*Pn*)(图 2A)、气孔导度(*Gs*)(图 2B)和蒸腾速率(*Tr*)(图 2C),与 CK 相比,分别下降了 33.9%~41.1%、34.3%~36.6%和 27.7%~28.8%,而显著提高了胞间 CO_2浓度(*Ci*)(图 2D),较 CK 增加了 17.5%~32.6%。两棉花品种无论在 CK 处理还是 SS 处理下,CCRI35 净光合速率、气孔导度和蒸腾速率均显著高于 CCRI45,而在盐胁迫下 CCRI35 胞间 CO_2浓度显著低于 CCRI45。

表 1　不同盐分水平下棉花的干物质分布和根冠比

Table **1**　Dry weight and root shoot ratio of cotton cultivars at different salt concentration.

处理 Treatment	根(g) Root(g)		茎(g) Stem(g)		叶(g) Leaf(g)		整株(g) Whole plant(g)		根冠比 Root shoot ratio	
	CK	SS	CK	SS	CK	SS	CK	SS	CK	SS
CCRI45	0.816	0.332	0.801	0.574	1.715	1.120	3.331	2.027	0.32	0.20
CCRI35	0.843	0.647	1.088	0.538	2.547	1.499	4.477	2.684	0.24	0.32
平均值 Mean	0.829	0.490	0.944	0.556	2.131	1.310	3.904	2.355	0.28	0.26

表 2　显著性检验(*F* 值)

Table **2**　*F*-value for analysis of variance.

处理 Treatment	根 Root	茎 Stem	叶 Leaf	整株 Whole plant	根冠比 Root shoot ratio
盐分水平 Salt-level	27.922**	15.991**	38.694**	65.535**	0.569
品种 Cultivar	7.084*	1.672	21.038**	22.193**	0.273
盐分水平×品种 Salt-level×cultivar	5.002	2.780	2.953	1.632	12.529**

注:* 代表 $P<0.05$ 水平差异显著, ** 代表 $P<0.01$ 水平差异显著。

Note: * indicates significant difference at $P<0.05$ level, ** indicates significant difference at $P<0.01$ level.

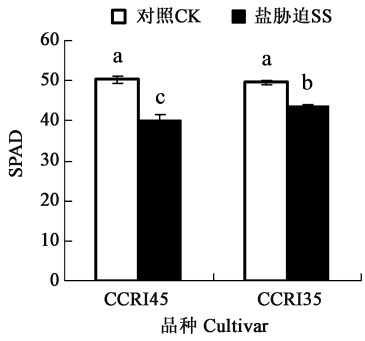

图1 盐分对棉花叶中SPAD值的影响

Fig.1 Effect of salt on SPAD in leaf among cotton cultivars.

注:不同小写字母表示不同处理间差异显著(P<0.05)。

Note: Different small letters mean significant difference among treatments at P<0.05 level.

2.4 盐分胁迫对棉花养分吸收的影响

由图3可知,盐分胁迫显著降低了棉花根、茎、叶中N和P的含量。CK处理下,CCRI45根和茎中K的含量显著高于SS处理,而CCRI35无明显差异,CCRI45和CCRI35叶中K的含量SS处理显著高于CK处理,这可能与土壤盐分中存在大量水溶性K有关。两棉花品种比较,CK处理下,CCRI45叶中N和K均显著低于CCRI35,SS处理下,CCRI45根和叶中N含量以及根、茎、叶中K含量均显著低于CCRI35,说明耐盐性棉花品种(CCRI35)在受盐分胁迫时可通过改善养分来调控与适应。

盐分胁迫显著降低棉花根、茎、叶和整株对N、P、K养分的吸收积累(图4)。SS处理下,两棉花品种整株N、P、K养分吸收积累量分别较CK处理下降了47.2%、59.2%和39.8%。不同品种之间也有差异,CK处理下,CCRI35叶和整株中N、P、K养分吸收积累量显著高于CCRI45(P<0.05);SS处理下,CCRI35根、叶和整株中N、P、K养分吸收积累量均显著高于CCRI45(P<0.05)。

3 讨论

盐分胁迫显著抑制植物光合作用,如通过增强叶绿素酶的活性,降解叶绿素,破坏叶绿体结构,致使叶绿素含量降低和地上部生物量减少,从

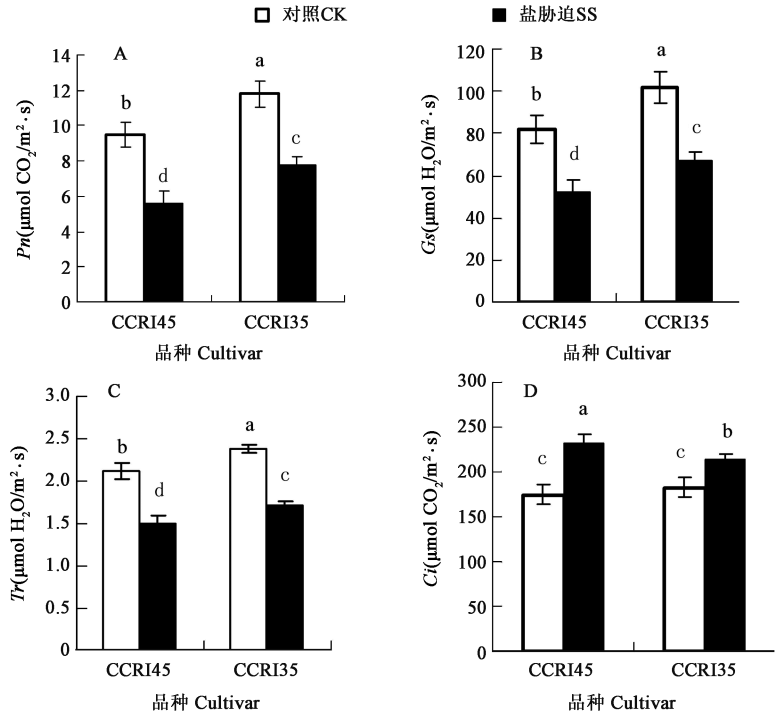

图2 盐分对棉花净光合速率(A)、气孔导度(B)、蒸腾速率(C)和胞间CO_2浓度(D)的影响

Fig.2 Effect of salt on Pn(A), Gs(B), Tr(C) and Ci(D) of cotton.

注:不同小写字母表示不同处理间差异显著(P<0.05)。

Note: Different small letters mean significant difference among treatments at P<0.05 level.

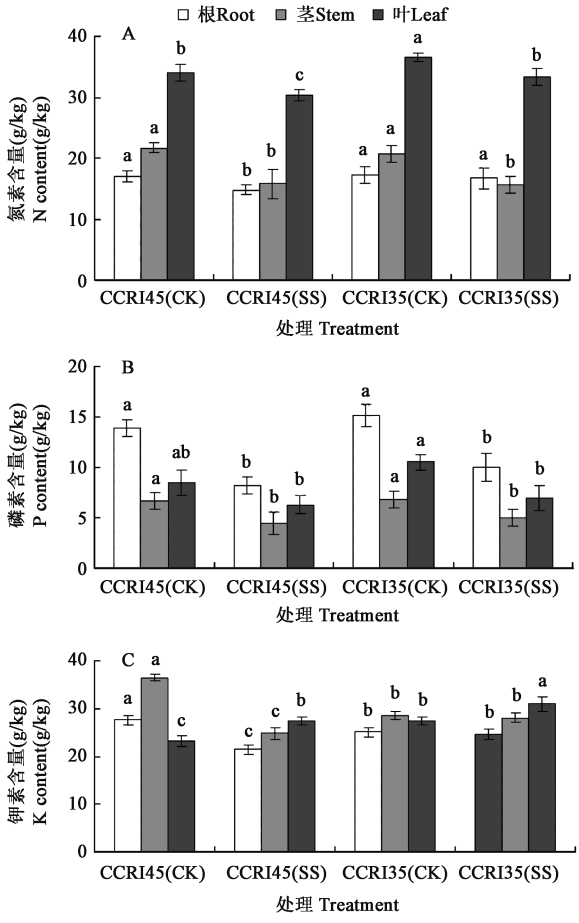

图 3　盐分对棉花各器官氮素(A)、磷素(B)和钾素(C)含量的影响

Fig.3　Effect of salt on the content of N(A), P(B) and K(C) in different organs among cotton cultivars.

注:不同小写字母代表同一器官在不同处理间差异显著($P<0.05$)。

Note: Different small letters mean significant difference at $P<0.05$ level between the same organs under different treatments.

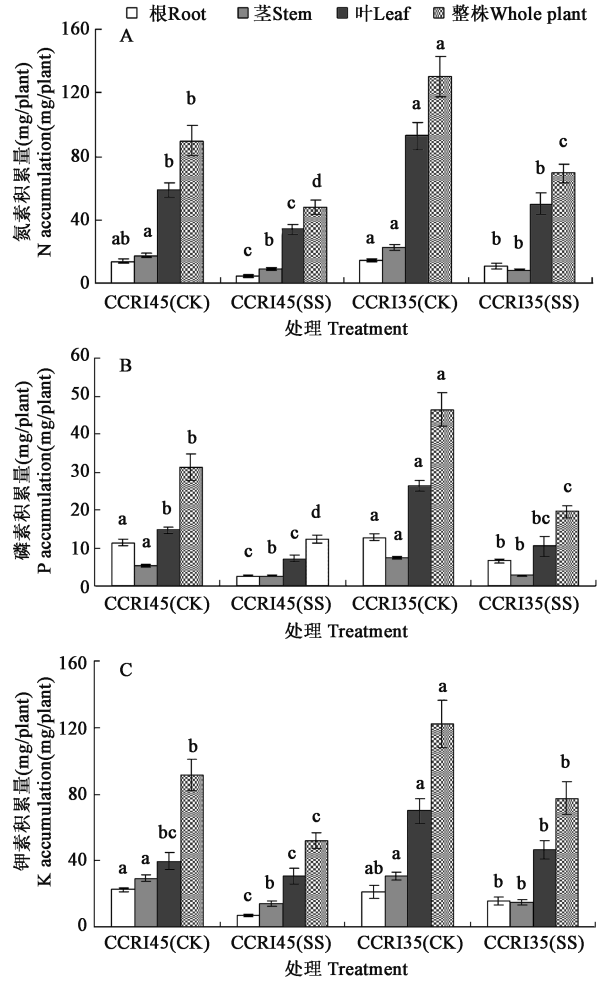

图 4　盐分对棉花各器官氮(A)、磷(B)和钾(C)养分吸收积累的影响

Fig.4　Effect of salt on N(A), P(B) and K(C) accumulation in different organs among cotton cultivars.

注:不同小写字母代表同一器官在不同处理间差异显著($P<0.05$)。

Note: Different small letters mean significant difference at $P<0.05$ level between the same organs under different treatments.

而阻碍光合作用的正常进行[26]。本研究结果表明,盐分胁迫显著降低了棉花功能叶的 SPAD 值和根、茎、叶以及整株的干物质质量积累,其中耐盐品种 CCRI35 的下降幅度明显小于盐敏感品种 CCRI45,这一结果与前人[16,27,28]在其他作物上的的研究结果一致。盐分胁迫显著调控着棉花光合作用的气体交换参数,盐分胁迫显著降低了棉花 *Pn*、*Gs* 和 *Tr*,其原因可能是盐分胁迫伤害棉花根系的细胞质膜,引起渗透胁迫,致使水分和养分吸收受阻、气孔关闭、CO_2进入叶肉细胞速率下降,从而导致光合作用减弱,该结果与杨淑萍等[16]研究相一致。盐胁迫处理下,棉花 *Ci* 明显增加,这可能是盐离子在体内积累、叶绿体结构遭到破坏、叶肉细胞光合活性下降有关,也说明苗期棉花光合速率降低受非气孔限制,这一结果在高粱[16]和海岛棉[27]受高盐胁迫下(150 ~ 200 mmol/L NaCl)的结果一致。整体上耐盐品种 CCRI35 的光合参数受盐胁迫影响明显小于盐敏感品种 CCRI45,表现出良好的耐盐性。

作物稳定协同的养分吸收和代谢是其生长发育和高产优质的前提。已有的研究表明,盐分胁迫下,盐分离子通过竞争显著降低植物体对营养元素的吸收和再利用,从而致使营养元素和物质

代谢紊乱,张纪涛等[28]发现盐胁迫降低了番茄对氮和钾的吸收且存在基因型差异,耐盐番茄氮、钾含量较盐敏感番茄高。Azevedo 等[29]认为玉米体内氮、磷、钾吸收效率随盐分浓度增加而下降,其中耐盐玉米的氮、磷、钾吸收效率较盐敏感玉米高。Zhang 等[30]和夏阳等[31]提出植物受盐胁迫后的一个重要表现是体内养分离子失衡。本研究结果表明,盐分胁迫显著降低了棉花苗期根、茎、叶中氮和磷的含量,但增加了叶中钾的含量,原因可能是棉花对 NO_3^-、$H_2PO_4^-$的吸收受到盐渍化土壤中高含量的 Cl^-竞争所致,叶中钾含量增加可能与试验中盐胁迫采用田间原位土壤中钾含量高有关。在盐胁迫条件下,耐盐品种 CCRI35 的根部氮、钾含量和茎中钾含量下降不明显,原因可能是棉花为了应对根际盐分胁迫,释放信号诱导地上部合成的可溶性蛋白质运输到根部,扩大根系构建,这也是耐盐棉花适应盐胁迫的一种机制。总之,耐盐棉花(CCRI35)N、P、K 养分的含量和吸收积累均高于盐敏感品种(CCRI45),这与张纪涛等[28]和 Azevedo 等[29]在番茄和玉米上的研究结果一致。

综上所述,盐分胁迫显著抑制棉花苗期的生长、养分吸收和生物量积累,同时降低了棉花叶片的 SPAD 值、净光合速率、气孔导度和蒸腾速率,但增加了胞间 CO_2浓度,导致盐胁迫下棉花苗期光合速率下降的原因主要是非气孔限制的影响。盐分胁迫下耐盐品种(CCRI35)的光合系统具有较强防卫能力。营养特性和光合作用可以作为苗期棉花品种耐盐性的重要指标。

参 考 文 献

[1] Munns R. Genes and salt tolerance: Bringing them together [J]. New Phytol., 2005, 167 (3): 645-663.

[2] 杨劲松. 中国盐渍土研究的发展历程与展望 [J]. 土壤学报, 2008, 45(5): 837-845.
Yang J S. Development and prospect of the research on salt affected soils in China [J]. Acta Pedol. Sin., 2008, 45(5): 837-845.

[3] 罗廷彬, 任 崴, 谢春虹. 新疆盐碱地生物改良的必要性与可行性 [J]. 干旱区研究, 2001, 18 (1): 46-48.
Luo T B, Ren W, Xie C H. Necessity and feasibility of biotic improving the saline and alkaline land in Xinjiang [J]. Arid Zone Res., 2001, 18 (1): 46-48.

[4] Zhu X Q, Tang M, Zhang H Q. Arbuscular mycorrhizal fungi enhanced the growth, photosynthesis, and calorific value of black locust under salt stress [J]. Photosynthetica, 2017, 55 (2): 378-385.

[5] Habibi G. Selenium ameliorates salinity stress in *Petroselinum crispum*, by modulation of photosynthesis and by reducing shoot Na accumulation [J]. Russian J. Plant Physiol., 2017, 64 (3): 368-374.

[6] Ma X, Zheng J, Zhang X, *et al*.. Salicylic acid alleviates the adverse effects of salt stress on *Dianthus superbus* (Caryophyllaceae) by activating photosynthesis protecting morphological structure and enhancing the antioxidant system [J]. Front. Plant Sci., 2017, 59(2): 45-56.

[7] Razzaque S, Haque T, Elias S M, *et al*.. Reproductive stage physiological and transcriptional responses to salinity stress in reciprocal populations derived from tolerant (Horkuch) and susceptible (IR29) rice [J]. Sci. Rep., 2017, 32(3): 146-158.

[8] Ashraf M, Harris P J C. Photosynthesis under stressful environments: An overview [J]. Photosynthetica, 2013, 51 (2): 163-190.

[9] Shagufta S, Sobia N, Muhammad A, *et al*.. Salt stress affects water relations, photosynthesis and oxidative defense mechanisms in *Solanum melongena* L [J]. J. Plant Interact., 2013, 8(1): 85-96.

[10] Liu J, Shi D C. Photosynthesis, chlorophyll fluorescence, inorganic ion and organic acid accumulations of sunflower in responses to salt and salt-alkaline mixed stress [J]. Photosynthetica, 2010, 48(1): 127-134.

[11] 杨晓英, 杨劲松, 李冬顺. 盐胁迫条件下不同栽培措施对棉花生长的调控作用研究 [J]. 土壤, 2005, 37(1): 65-68.
Yang X Y, Yang J S, Li D S, *et al*.. Effects of cultivation practices on growth of cotton under salt stress [J]. Soils, 2005, 37(1): 65-68.

[12] 汤菊香, 韩 静, 卫秀英, 等. 不同棉花品种幼苗生长耐盐性比较 [J]. 吉林农业科学, 2007, 32(4): 6-8.
Tang J X, Han J, Wei X Y, *et al*.. Studies on the salt tolerance of seedling growth of different cotton varieties [J]. J. Jilin Agric. Sci., 2007, 32(4): 6-8.

[13] Brugnoli E, Lauteri M. Effects of salinity on stomatal conductance, photosynthetic capacity, and carbon isotope discrimination of salt-tolerant (*Gossypium hirsutum* L.) and salt-sensitive (*Phaseolus vulgaris* L.) C_3 non-halophytes [J]. Plant Physiol., 1991, 95(2): 628-635.

[14] Brugnoli E, Bjorkman O. Growth of cotton under continuous salinity stress: Influence on allocation pattern, stomatal and non-stomatal components of photosynthesis and dissipation of excess light energy [J]. Planta, 1992, 187(3): 335-347.

[15] Ashraf M. Salt tolerance of cotton: Some new advances [J]. Crit. Rev. Plant Sci., 2002, 21(1): 1-30.

[16] 杨淑萍, 危常州, 梁永超. 盐胁迫对不同基因型海岛棉光合作用及荧光特性的影响 [J]. 中国农业科学, 2010, 42 (8): 1585-1593.
Yang S P, Wei C Z, Liang Y C. Effects of NaCl stress on the characteristics of photosynthesis and chlorophyll fluorescence at seedlings stage in different sea island cotton genotypes [J]. Sci. Agric. Sin., 2010, 42 (8): 1585-1593.

[17] 赵可夫. NaCl 抑制棉花幼苗生长的机理——盐离子效应[J]. 植物生理学报, 1989, 15 (2): 173-178.
Zhao K F. Mechanism of inhibitory effect of NaCl on the growth of cotton seedlings——Effect of salt ions [J]. Acta Phytophysiol. Sin., 1989, 15 (2): 173-178.

[18] Munns R, Tester M. Mechanisms of salinity tolerance [J]. Ann. Rev. Plant Biol., 2008, 59(1): 651-681.

[19] 闵 伟, 侯振安, 冶 军, 等. 灌溉水盐度和施氮量对棉花产量和水氮利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19 (4): 858-867.
Min W, Hou Z A, Ye J, *et al*.. Effects of water salinity and nitrogen rate on yield, WUE and NUE of cotton under drip irrigation with saline water conditions [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2013, 19(4): 858-867.

[20] Desai N, Gaikwad D K, Chavan P D. Physiological responses of two morinda specicies under saline conditions [J]. Am. J. Plant Physiol., 2011, 6(3): 157-166.

[21] 陈淑芳, 朱月林, 刘友良, 等. NaCl 胁迫对番茄嫁接苗保护酶活性、渗透调节物质含量及光合特性的影响[J]. 园艺学报, 2005, 32 (4): 609-613.
Chen S F, Zhu Y L, Liu Y L, *et al*.. Effects of NaCl stress on activities of protective enzymes, contents of osmotic adjustment substances and photosynthetic characteristics in grafted tomato seedlings [J]. Acta Hortic. Sin., 2005, 32 (4): 609-613.

[22] Sivanadanam V, Neelamegam R, Chellappan P. Salinity effects on nitrogen, phosphorus and potassium (NPK) uptake in *Rhizophora apiculata* Blume and *Acanthus ilicifolius* linn seedlings [J]. Plant Arch., 2011, 11: 141-146.

[23] 杨淑萍, 危常州, 梁永超. 新疆主要棉花品种耐盐性筛选与鉴定[J]. 干旱区研究, 2013, 30 (6): 1129-1135.
Yang S P, Wei C Z, Liang Y C. Identification and screening of salt tolerance of main cotton varieties in Xinjiang [J]. Arid Zone Res., 2013, 30 (6): 1129-1135.

[24] 崔文采. 新疆土壤 [M]. 北京:科学出版社,1996.

[25] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社, 2000.

[26] 薛忠财, 高辉远, 柳 洁. 野生大豆和栽培大豆光合机构对 NaCl 胁迫的不同响应 [J]. 生态学报, 2011, 31 (11): 3101-3109.
Xue Z C, Gao H Y, Liu J. Different response of photosynthetic apparatus between wild soybean (*Glycine soja*) and cultivated soybean (*Glycine max*) to NaCl stress [J]. Acta Ecol. Sin., 2011, 31 (11): 3101-3109.

[27] 孙 璐, 周宇飞, 李丰先, 等. 盐胁迫对高粱幼苗光合作用和荧光特性的影响 [J]. 中国农业科学, 2012, 45 (16): 3265-3272.
Sun L, Zhou Y F, Li F X, *et al*.. Impacts of salt stress on characteristics of photosynthesis and chlorophyll fluorescence of sorghum seedlings [J]. Sci. Agric. Sin., 2012, 45 (16): 3265-3272.

[28] 张纪涛, 徐 猛, 韩 坤, 等. 盐胁迫对番茄幼苗的营养及生理效应 [J]. 西北农业学报, 2011, 20 (2): 128-133.
Zhang J T, Xu M, Han K, *et al*.. Effect of salt stress on plant nutrition and physiology of tomato seedlings [J]. Acta Agric. Boreali-occidentalis Sin., 2011, 20 (2): 128-133.

[29] Azevedo A D, Tabosa J N. Nutritional efficiency for N, P, K on corn seedlings under salt stress [J]. J. Ecossistema, 2000, (25): 194-198.

[30] Zhang L, Ma H, Chen T, *et al*.. Morphological and physiological responses of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) plants to salinity [J]. PLoS ONE, 2014, 9(11): 112-118.

[31] 夏 阳, 林 杉, 陶洪斌, 等. 不同基因型小麦对 NaCl 胁迫的反应 [J]. 植物营养与肥料学报, 2000, 16 (4): 417-423.
Xia Y, Lin S, Tao H B, *et al*.. Research on genotype difference of growth and mineral nutrition balance of wheat under NaCl stress [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2000, 16 (4): 417-423.

(责任编辑:李艳华)