

盐分差异分布下不同形态氮素对棉苗生长及 主要营养元素吸收的影响

代建龙^{1,2} 董合忠² 段留生^{1*}

(1. 中国农业大学 农学与生物技术学院, 北京 100193;

2. 山东省农业科学院 棉花研究中心, 济南 250100)

摘要 为探索氮素形态对盐碱地棉苗生长及养分吸收的影响,以鲁棉研28号为试验材料,利用嫁接建立的分根试验系统模拟盐分差异分布,研究了根区盐分差异分布和不同形态氮素(NH_4^+ 和 NO_3^-)对棉苗生长和主要营养元素吸收的影响。结果表明:根区盐分差异分布和氮素形态对棉花营养元素吸收及幼苗生长存在互作效应;根区盐分差异分布较均匀分布增强了棉株对主要营养元素(N、P、K、Ca、Mg、Fe、Mn、Cu和Zn)的吸收、降低了 Na^+ 含量、提高了叶片净光合速率(17.1%)并增加了棉株生物积累量(18.5%); NO_3^- -N较 NH_4^+ -N处理显著促进了棉苗主要营养元素(N、P、K、Mg、Fe、Mn)的吸收及生物量积累;根区盐分差异分布下,施用 NO_3^- -N较 NH_4^+ -N提高了棉苗主要营养元素的吸收及叶片光合速率(13.5%)、降低了各器官的 Na^+ 含量并促进了棉苗的生物量积累(7.2%)。研究结论是盐分差异分布下,施 NO_3^- -N较 NH_4^+ -N更有利于棉花主要营养元素的吸收及幼苗生长。

关键词 棉花; 盐分差异分布; 氮素形态; 养分吸收

中图分类号 S 562.01

文章编号 1007-4333(2012)04-0009-07

文献标志码 A

Effects of different nitrogen forms on seedling growth and main nutrient elements uptake under unequal salt distribution in cotton seedlings

DAI Jian-long^{1,2}, DONG He-zhong², DUAN Liu-sheng^{1*}

(1. College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100193, China;

2. Cotton Research Center, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Jinan 250100, China)

Abstract It is well known that salinity levels are seldom uniform in saline fields. A new split-root system established through grafting was conducted to study the effects of nitrogen forms (NH_4^+ and NO_3^-) on nutrient elements uptake and plant growth under unequal salt distribution in a greenhouse. The results indicated that a significant interaction was detected between unequal salt distribution and nitrogen forms (NH_4^+ and NO_3^-) on nutrient uptake and seedlings growth. Compared with equal salt distribution, unequal salt distribution decreased Na^+ concentration, and increased main nutrient elements (N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn) uptake, leaf photosynthesis (17.1%) and biomass accumulation (18.5%); the main nutrient elements (N, P, K, Mg, Fe, Mn) uptake and biomass in NO_3^- -N treatment were higher than that in NH_4^+ -N treatment; Under unequal salt distribution, the main nutrient elements (N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn) uptake, leaf photosynthesis (13.5%) and biomass (7.2%) in NO_3^- -N were higher than that in NH_4^+ -N treatment. It is concluded that NO_3^- -N is superior to NH_4^+ -N in improvement of main nutrient elements uptake and plant growth under unequal salt distribution.

Key words cotton; unequal salt distribution; nitrogen form; nutrient uptake

收稿日期: 2012-02-18

基金项目: 棉花产业技术体系建设专项资金(CARS-18-21); 国家自然科学基金资助项目(30971720,30871490)

第一作者: 代建龙, 博士研究生, E-mail: daijianlong0805@126.com

通讯作者: 段留生, 教授, 主要从事作物化学控制研究, E-mail: duanlsh@cau.edu.cn

棉花是耐盐性较强的作物之一,但其耐盐能力是有限的,并因生育阶段不同而存在较大差异^[1]。土壤中过多的盐离子主要通过离子毒害、渗透胁迫和引起营养失衡而导致盐害,进而抑制棉株生长及产量的形成^[2]。盐胁迫可降低棉花对主要营养元素的吸收,而增加对 Na^+ 的吸收,将加剧养分失衡^[3-5]。前人研究认为^[6],在低度和中度盐胁迫条件下,适量施用氮肥可增加棉花对氮素养分的吸收,减轻盐害。硝态氮和铵态氮作为 2 种不同形态的氮素均能够被作物所吸收,但两者对作物生长的效用存在一定差异。与施用 NH_4^+-N 相比, NO_3^--N 更有利于植物根系的生长及营养元素的吸收,更能促进植株的生长^[7-9]。众所周知,盐碱地盐分在土壤耕层的分布通常是不均匀的,很容易造成棉花根系处在不同盐浓度的环境中。以前的研究发现,在根区盐分总量相等的情况下,诱导盐分差异分布较均匀分布可明显减少 Na^+ 在棉花体内的积累,而增加对 K^+ 的吸收,可明显减轻盐害的发生^[10]。但在根区盐分差异分布条件下研究不同形态氮素对棉株效用的报道较少。本研究利用本实验室建立的嫁接生根试验系统,研究根区盐分差异分布下施用不同形态氮素(NH_4^+ 和 NO_3^-)对棉花生长和主要营养元素吸收的影响。

1 材料与方法

1.1 试验材料及设计

以当前主要推广棉花 (*Gossypium hirsutum* L.) 品种鲁棉研 28 号 (SCRC28) 为材料,种子经脱

绒、消毒后,在蒸馏水中浸泡 8 h,再在经过预先高温杀菌的沙子中萌发出苗。待棉苗长至 2 片真叶时将其从沙子中挖出,用蒸馏水将根冲洗干净,选择生长一致的棉苗进行嫁接以建立分根试验系统。方法为,将一株棉苗于子叶节处切断并削成楔形,取另一株棉苗在子叶节处切一斜面切口,切口深度达棉苗茎部 2/3 处,将楔形砧木插入斜面切口中,压实,外用封口膜进行包扎,于暗室适应 24 h,后转移至 1/2-Hogland 营养液中,待嫁接苗有新叶长出时将其转移至日光温室进行培养,营养液每天更换 1 次,培养 20 d 后,挑选生长一致的健壮棉苗进行处理。

配制含不同浓度 NaCl (25、100 和 175 mmol/L) 及不同形态 N 素 (NH_4^+ 和 NO_3^- , 溶液中的 N 素全部以 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 和 KNO_3 代替,其他元素含量均相同,pH 以 NaOH 和 HCl 调节至 6.2 ± 0.1) 的营养液。通过给予两侧根系相同和不同浓度的 NaCl 溶液,形成根区盐分均匀分布 100 mmol/L:100 mmol/L (MS/MS) 和差异分布 25 mmol/L:175 mmol/L (LS/HS) 2 种盐处理;2 种盐分分布条件下两侧根系皆给予 $\text{NH}_4^+/\text{NH}_4^+$ (A/A) 或 $\text{NO}_3^-/\text{NO}_3^-$ (N/N),从而形成 4 个处理组合 (表 1)。每处理 6 次重复,即 6 株,各处理棉苗每天保持通气 8 h,处理液每隔 1 d 更换 1 次,并于每天的上午 8:00 和下午 18:00 对溶液的 pH 进行矫正。整个试验在日光温室内完成,采用自然光照,温室温度用空控制在 30/25 °C (昼/夜),湿度控制在 50%~65%。处理 20 d 后,测定棉苗叶片光合作用,并进行取样。

表 1 不同处理及氮素形态组分

Table 1 Treatment and the composition of nitrogen forms mmol

盐分分布	铵态氮			硝态氮	
	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	KCl	CaCl_2	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	KNO_3
100 mmol : 100 mmol	1.5	1.0	1.0	—	—
	—	—	—	1.0	1.0
25 mmol : 175 mmol	1.5	1.0	1.0	—	—
	—	—	—	1.0	1.0

1.2 测定指标及方法

棉株干重:将待测植株依次用自来水、蒸馏水冲洗干净,然后用滤纸吸干,分成根、茎、叶 3 部分,置于 105 °C 鼓风机干燥箱中杀青 15 min,然后在 80 °C

下烘干至恒重,每 2 株作为 1 个重复,每处理 3 次重复,称量并记录;

光合速率测定:处理 20 d 后,采用便携式光合作用系统测定仪 LI-6400 (LI-COR Lincoln, USA)

对倒二功能叶进行测定,每处理测定 6 株,即 6 次重复。CO₂ 浓度控制在(350 ± 10) μL/L,光通量密度(1 100±100) μE/(m² · s),使用开放气路系统测定。

矿质养分含量测定:称取通过 0.5 mm 筛的烘干样品 0.3 g,采用 H₂SO₄-H₂O₂ 法进行消煮,后定容至 50 mL,每处理 3 次重复。全 N 含量采用扩散法进行测定;植物全 P 含量采用钼锑抗分光光度计比色法(TU-1901,北京)进行测定;采用原子吸收分光光度计(TAS-990AFG,北京)测定 Na、K、Ca、Mg、Fe、Mn、Cu、Zn 的吸光度值,各分析参数依据 TAS-990AFG 推荐参数进行设置。根据标准曲线计算溶液中的元素含量。

1.3 数据统计及分析

数据统计分析和差异显著性检验采用 DPS 7.05 数据处理系统来完成,5%水平下检验差异显著性。

2 结果与分析

2.1 根区盐分差异分布的效应

在施氮量相同条件下,无论采用哪种形态氮素,与盐分均匀分布(MS/MS)相比,盐分差异分布(LS/HS)促进了棉株的生长(表 2)。盐分差异分布较均匀分布显著提高了棉花叶片净光合速率(17.1%)和单株生物积累量(18.5%)。此外,盐分

表 2 盐分差异分布对棉花单株生物积累量、功能叶光合速率及 Na⁺ 含量的影响

Table 2 Effects of unequal salt distribution on biomass accumulation, leaf photosynthesis and Na⁺ content in cotton seedlings

盐分处理	单株生物积累量/g	净光合速率/ (μmol/(m ² · s))	Na ⁺ 含量/(mg/g)		
			根	茎	叶
MS/MS	4.49 b	17.5 b	5.49 a	5.22 a	6.16 a
LS/HS	5.32 a	20.5 a	4.75 b	4.53 b	5.27 b

注:同一列内不同字母表示差异显著(P<0.05)。

差异分布下棉株各器官中的 Na⁺ 含量均明显低于盐分均匀分布,在叶中表现的尤为明显。

哪种形态氮素,盐分差异分布(LS/HS)增强了棉株对 N、P、K、Ca、Mg、Fe、Mn、Cu 和 Zn 等主要营养元素的吸收(表 3)。相比于 MS/MS 处理,LS/HS 显

与根区盐分均匀分布(MS/MS)相比,无论采用

表 3 根区盐分差异分布对棉苗各器官主要营养元素含量的影响

Table 3 Effects of unequal salt distribution on main nutrient elements content in different tissues of cotton seedlings

营养元素	mg/g					
	根		茎		叶	
	MS/MS	LS/HS	MS/MS	LS/HS	MS/MS	LS/HS
N	20.2 b	25.10 a	7.80 b	9.18 a	26.00 b	29.30 a
P	5.70 b	6.71 a	2.04 b	2.50 a	3.31 b	3.66 a
K	6.36 b	8.12 a	2.60 b	3.33 a	3.07 b	4.46 a
Ca	1.70 b	2.09 a	1.11 a	1.07 a	2.26 a	2.36 a
Mg	0.56 b	0.71 a	0.16 b	0.24 a	0.22 b	0.36 a
Fe	2.14 b	2.44 a	0.37 b	0.67 a	0.78 a	0.81 a
Mn	0.464 b	0.610 a	0.089 b	0.110 a	0.156 b	0.190 a
Cu	0.192 b	0.245 a	0.045 b	0.069 a	0.041 b	0.053 a
Zn	0.661 b	0.858 a	0.306 a	0.309 a	0.445 a	0.447 a

注:不同器官内,同一行字母不相同为差异显著(P<0.05)。

著增加了棉花叶片中 N(12.7%)、P(10.6%)、K(45.3%)、Mg(63.6%)、Mn(21.8%)和 Cu(29.3%)的含量,对 Ca、Fe 和 Zn 含量的影响不明显,在根和茎中的变化趋势与此相类似。

2.2 氮素形态的效应

无论根区盐分差异分布还是均匀分布,在施氮量相同条件下, NO_3^- -N 对棉株生长的促进作用要强于 NH_4^+ -N(表 4)。与 $\text{NH}_4^+/\text{NH}_4^+$ 相比, $\text{NO}_3^-/\text{NO}_3^-$

表 4 氮素形态对棉株生物积累量、主茎功能叶光合速率及 Na^+ 含量的影响

Table 4 Effects of nitrogen source on biomass accumulation, leaf photosynthesis and Na^+ content in cotton seedlings

N 素形态	单株生物积累量/g	净光合速率/ ($\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$)	Na^+ 含量/(mg/g)		
			根	茎	叶
$\text{NH}_4^+/\text{NH}_4^+$	4.74 b	17.8 b	5.26 a	4.96 a	5.82 a
$\text{NO}_3^-/\text{NO}_3^-$	5.08 a	20.2 a	4.98 b	4.79 a	5.61 a

注:同一列内不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。下同。

处理提高了棉花主茎功能叶净光合速率(13.5%)和单株生物积累量(7.2%);但不同形态氮素对棉花各器官内的 Na^+ 含量并无显著影响。

在不考虑根区盐分差异分布与均匀分布前提下,不同形态氮素影响棉花对主要营养元素的吸收

(表 5)。相比于 $\text{NH}_4^+/\text{NH}_4^+$ 处理, $\text{NO}_3^-/\text{NO}_3^-$ 提高了棉花叶片中的 N(5.6%)、P(20.9%)、K(12.5%)、Mg(21.4%)、Fe(28.9%)和 Mn(7.2%)含量,对 Ca、Cu 和 Zn 的影响不明显。各营养元素在棉花根和茎中的变化趋势与叶中相类似。

表 5 氮素形态对棉苗各器官主要营养元素含量的影响

Table 5 Effects of nitrogen source on main nutrient elements content in different tissues of cotton seedlings

营养元素	根		茎		叶	
	NH_4^+ -N	NO_3^- -N	NH_4^+ -N	NO_3^- -N	NH_4^+ -N	NO_3^- -N
N	22.5 b	24.7 a	7.9 b	9.0 a	26.9 b	28.4 a
P	6.26 a	6.17 a	2.21 a	2.33 a	3.16 b	3.82 a
K	6.15 b	8.34 a	2.60 b	3.34 a	3.45 b	3.88 a
Ca	1.54 b	2.25 a	1.09 a	1.08 a	2.12 a	2.15 a
Mg	0.35 b	0.42 a	0.18 a	0.22 a	0.28 a	0.34 a
Fe	2.02 b	2.55 a	0.64 a	0.40 b	0.69 b	0.89 a
Mn	0.398 b	0.644 a	0.096 a	0.103 a	0.167 b	0.179 a
Cu	0.205 b	0.232 a	0.045 b	0.068 a	0.050 a	0.047 a
Zn	0.654 b	0.866 a	0.293 b	0.321 a	0.451 a	0.443 a

注:不同器官内,同一行字母不相同为差异显著($P < 0.05$)。

2.3 盐分分布与氮素形态的互作效应

根区盐分分布和氮素形态对棉花叶片光合速率和单株生物积累量的互作效应显著(表 6)。盐分均匀分布(MS/MS)条件下, NO_3^- -N 较 NH_4^+ -N 提高了棉花叶片的净光合速率(18.8%)和单株生物积累

量(5.5%),而降低了各器官中的 Na^+ 含量;盐分差异分布(LS/HS)下, NO_3^- -N 较 NH_4^+ -N 提高了棉苗叶片光合速率(10.1%)及生物积累量(8.6%),并降低了叶片中的 Na^+ 含量(6.3%);各处理下棉株各组织内的 Na^+ 含量顺序依次为 LSN/HSN <

表 6 盐分差异分布和不同形态 N 素对棉花单株生物积累量、功能叶光合速率及 Na⁺ 含量的互作效应

Table 6 Interactive effects of unequal salt distribution and nitrogen source on biomass accumulation, leaf photosynthesis and Na⁺ content in cotton seedlings

项目	指标	单株生物积累量/g	净光合速率/ ($\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$)	Na ⁺ 含量/(mg/g)		
				根	茎	叶
处理	MSA/MSA	4.37 d	16.0 c	5.58 a	5.34 a	6.21 a
	MSN/MSN	4.61 c	19.0 b	5.39 b	5.10 b	6.10 b
	LSA/HSA	5.10 b	19.9 b	4.93 c	4.57 c	5.43 c
	LSN/HSN	5.54 a	21.9 a	4.57 d	4.48 d	5.11 d
P 值	盐分分布	0.000 1	0.000 1	0.000 1	0.000 1	0.000 1
	氮素形态	0.000 1	0.000 1	0.000 1	0.000 9	0.000 1
	盐分分布×氮素形态	0.004 4	0.004 7	0.002 5	0.004 7	0.000 8

* 注:MSA/MSA、MSN/MSN、LSA/HSA 和 LSN/HSN 分别代表 100 mmol NaCl+NH₄⁺-N/100 mmol NaCl+NH₄⁺-N、100 mmol NaCl+NO₃⁻-N/100 mmol NaCl+NO₃⁻-N、25 mmol NaCl+NH₄⁺-N/175 mmol NaCl+NH₄⁺-N、25 mmol NaCl+NO₃⁻-N/175 mmol NaCl+NO₃⁻-N。

LSA/HSA < MSN/MSN < MSA/MSA, 而生物量的顺序则依次为 LSN/HSN > LSA/HSA > MSN/MSN > MSA/MSA。

从表 7 可以看出,盐分均匀分布(MS/MS)条件下,MSN/MSN 较 MSA/MSA 提高了叶片中的 N、P、K、Ca、Fe、Mn、Cu 的含量,对 Mg 和 Zn 的影响不

明显,茎和根中的变化趋势与此相类似;盐分差异(LS/HS)分布下,LSN/HSN 较 LSA/HAS 提高了叶片中的 N(7.1%)、P(20.1%)、K(4.8%)、Ca(20.1%)、Fe(28.2%)、Mn(3.2%)、Cu(14.3%)和 Zn(7.9%)的含量,对 Mg 则无影响,根和茎中的变化与此相一致。此外,与相同形态氮素的盐分均匀

表 7 盐分差异分布和不同形态 N 素对棉苗各器官主要营养元素含量的互作效应

Table 7 Interactive effects of unequal salt distribution and nitrogen source on main nutrient elements content in different tissues of cotton seedlings

样品	盐分处理	N 素形态	mg/g								
			N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn
根	MS/MS	NH ₄ ⁺ /NH ₄ ⁺	20.1 c	5.84 b	5.01 d	1.36 d	0.26 d	1.81 c	0.337 d	0.168 c	0.483 c
		NO ₃ ⁻ /NO ₃ ⁻	20.2 c	5.76 b	7.73 b	2.04 b	0.86 b	2.46 b	0.591 b	0.216 b	0.839 b
	LS/HS	NH ₄ ⁺ /NH ₄ ⁺	24.9 b	6.68 a	7.29 c	1.72 c	0.44 c	2.23 c	0.460 c	0.242 a	0.824 b
		NO ₃ ⁻ /NO ₃ ⁻	26.1 a	6.75 a	8.94 a	2.47 a	0.97 a	2.64 a	0.759 a	0.248 a	0.892 a
茎	MS/MS	NH ₄ ⁺ /NH ₄ ⁺	7.4 d	1.94 c	2.30 c	1.14 a	0.13 d	0.43 c	0.078 c	0.032 c	0.293 b
		NO ₃ ⁻ /NO ₃ ⁻	8.1 c	2.13 b	2.91 b	1.09 a	0.19 c	0.31 d	0.099 b	0.057 b	0.318 a
	LS/HS	NH ₄ ⁺ /NH ₄ ⁺	8.4 b	2.48 a	2.90 b	1.06 a	0.23 b	0.85 a	0.113 a	0.058 b	0.293 b
		NO ₃ ⁻ /NO ₃ ⁻	9.9 a	2.52 a	3.76 a	1.08 a	0.26 a	0.49 b	0.107 a	0.079 a	0.324 a
叶	MS/MS	NH ₄ ⁺ /NH ₄ ⁺	25.5 d	2.99 d	2.96 d	2.10 c	0.21 b	0.67 d	0.147 d	0.037 d	0.458 a
		NO ₃ ⁻ /NO ₃ ⁻	26.5 c	3.64 b	3.18 c	2.42 b	0.22 b	0.88 b	0.165 c	0.044 c	0.431 b
	LS/HS	NH ₄ ⁺ /NH ₄ ⁺	28.3 b	3.33 c	4.37 b	2.14 c	0.35 a	0.71 c	0.187 b	0.049 b	0.430 b
		NO ₃ ⁻ /NO ₃ ⁻	30.3 a	4.00 a	4.58 a	2.57 a	0.37 a	0.91 a	0.193 a	0.056 a	0.464 a

注:不同组织内,同一列字母不相同为差异显著(P < 0.05)。

分布 MSA/MSA 和 MSN/MSN 相比,LSA/HSA 和 LSN/HSN 均增强了棉花对 N、P、K、Ca、Mg、Fe、Mn、Cu 和 Zn 等主要营养元素的吸收。

3 讨论

棉花的耐盐能力是有限的,当土壤含盐量超过 0.3% 时,棉株体的生长发育会受到明显抑制;当土壤含盐量超过 0.65% 时,常会导致棉株体死亡^[1,4,11]。土壤中过多的盐离子会产生竞争效应,抑制植物对 N、P、K、Ca 等营养元素的吸收,增加对 Na⁺ 的吸收,从而加剧养分失衡,加重盐害的发生^[12-13]。辛承松等^[14]对黄河三角洲滨海盐渍土高、中、低产田的养分吸收、光合速率和干物质积累特点的研究指出,中、低产田棉花的养分吸收量和光合速率均低于高产田,进而导致棉花的生物产量和经济产量也显著的低于高产田;赵学良等^[15]研究指出,NaCl 胁迫显著降低棉苗对 Fe、Cu、Zn 等微量元素的吸收,并最终抑制棉苗的生长。作物的光合作用受根系吸收养分的影响,养分高效利用的结果最终表现在作物产量上,而产量的形成与光合作用强度密切相关^[16-17]。本试验利用嫁接建立的分根实验系统来模拟盐碱地盐分的不均匀分布,发现在施氮量相同的条件下,无论 NH₄⁺/NH₄⁺ 还是 NO₃⁻/NO₃⁻ 处理,与总盐量相同的根区盐分均匀分布相比,盐分差异分布显著增强了棉株对 N、P、K、Mg、Mn 和 Cu 等营养元素的吸收,降低了 Na⁺ 的含量,维持了叶片较高的光合速率,促进了棉株生物量的积累。说明盐分差异分布较均匀分布缓解了盐害引起的养分失衡,促进了棉苗的生长,这与前人的研究结果相一致^[10,18]。

氮素作为植物生长必需的营养元素之一,在维持棉株生长及产量形成方面起着举足轻重的作用。盐胁迫下,通过外施氮肥可有效缓解盐害对棉株生长的抑制,并且在适当的施氮量范围内,棉株对氮素的吸收与施氮量成正比^[6]。氮素形态因其自身的特性不同,对植物光合作用及生长状况的影响亦存在差异。盐胁迫下,施用硝态氮较铵态氮可以显著提高叶片的气孔导度及光合速率,进而促进植株的生长^[7]。此外,盐胁迫下,植物对不同形态氮素的吸收也存在一定的差异。杨莉琳等^[3]研究发现,NaCl 胁迫下,幼苗对 NO₃⁻-N 的吸收虽不受影响,但对

NO₃⁻-N 的积累量却显著下降,并且明显抑制 NH₄⁺-N 的吸收。Mahmood 等^[19]曾报道,在 NaCl(EC=10 ds/m)胁迫下,NO₃⁻-N 营养较 NH₄⁺-N 更容易被植物所吸收,同时施用 NO₃⁻-N 还可增加植物对 K⁺、Ca²⁺、Mg²⁺ 等营养元素的吸收。本研究通过施用不同形态氮素发现,NO₃⁻-N 较 NH₄⁺-N 增强了棉花对主要营养元素的吸收,提高了叶片的光合速率,促进了棉苗生物量的积累,此结果与 Lewis 等^[20]的研究相吻合。但 Elgharably 等^[21]指出,盐胁迫条件下,当施氮量相同时,NH₄⁺-N 有利于小麦的生长,而 NO₃⁻-N 则产生抑制作用。这可能与棉花较小麦能忍受较高的盐碱胁迫有关,在植物吸收 NO₃⁻-N 时会交换出 OH⁻ 和 HCO₃⁻,提高了根际周围 pH,从而对小麦根系造成毒害所致。此外,本研究还发现,盐分分布和氮素形态对主要营养元素吸收及棉株生长存在互作效应。无论盐分均匀分布还是差异分布,NO₃⁻-N 处理较 NH₄⁺-N 显著增强了棉苗对主要营养元素的吸收,而降低了 Na⁺ 积累,减轻了因盐害造成的离子毒害和养分失衡对棉株体的伤害,使叶片维持高的净光合速率,并最终促进生物量的积累。针对盐碱地盐分不均匀分布的特点,盐碱棉田在进行氮素形态选择时,应注重对 NO₃⁻-N 肥的施用。

基于盐分差异分布下 NO₃⁻-N 和 NH₄⁺-N 对棉花生长效应的不同,有必要在今后的研究中进一步深入探讨根区盐分差异分布下在根系两侧施用不同形态氮素(NO₃⁻-N 和 NH₄⁺-N)对棉株生长及对氮素及其他营养元素吸收利用的效应。

参 考 文 献

- [1] 中国农业科学院棉花研究所. 中国棉花栽培学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1983
- [2] Ahmad S, Khan N, Iqbal M Z, et al. Salt tolerance of cotton (*Gossypium hirsutum* L.)[J]. Asian Journal of Plant Science, 2002, 1(6): 715-719
- [3] 杨莉琳, 李金海. 我国盐渍化土壤的营养与施肥效应研究进展[J]. 中国农业生态学报, 2001, 9(2): 79-81
- [4] 董合忠. 盐碱地棉花栽培学[M]. 北京: 科技出版社, 2010
- [5] Cramer G R. Influx of Na⁺, K⁺, Ca²⁺ into roots of salt-stressed cotton seedling[J]. Plant Physiology, 1987, 83: 510-516
- [6] Chen W P, Hou Z N, Wu L S, et al. Effect of salinity and nitrogen on cotton growth in arid environment[J]. Plant and

- Soil, 2010, 326: 61-73
- [7] Frechilla S, Lase B, Ibarretxe L, et al. Pea response to saline stress is affected by the source of nitrogen nutrition (ammonium or nitrate) [J]. *Plant Growth Regulation*, 2001, 35: 171-179
- [8] Lu Y L, Xu Y C, Shen Q R, et al. Effect of different nitrogen forms on the growth and cytokinin content in xylem sap of tomato seedlings [J]. *Plant and Soil*, 2009, 315: 67-77
- [9] Lee E J, Paek K Y. Effect of nitrogen source on biomass and bioactive compound production in submerged cultures of *Eleutherococcus Koreanum* nakia adventitious roots [J]. *Biotechnology Progress*, 2012, 28(2): 508-514
- [10] Dong H Z, Kong X Q, Luo Z, et al. Unequal salt distribution in the root zone increases growth and yield of cotton [J]. *European Journal of Agronomy*, 2010, 33: 285-292
- [11] Chinnusamy V, Jagendorf A, Zhu J K. Understanding and improving salt tolerance in plants [J]. *Crop Science*, 2005, 45(2): 437-448
- [12] 吴雪霞, 陈建林, 查丁石, 等. 植物耐盐性研究进展 [J]. *江西农业学报*, 2008, 20(2): 11-13
- [13] 代建龙, 董合忠, 段留生. 棉花盐害的控制技术及其机理 [J]. *棉花学报*, 2010, 22(5): 486-494
- [14] 辛承松, 董合忠, 唐薇, 等. 滨海盐渍土抗虫棉养分吸收和干物质积累特点 [J]. *作物学报*, 2008, 34(11): 2033-2040
- [15] 赵学良, 张彦才. NaCl 胁迫对棉花苗期营养元素吸收和含量的影响 [J]. *河北农业大学学报*, 1992, 15(2): 41-44
- [16] Ashraf M. Salt tolerance of cotton: Some new advances [J]. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 2002, 21: 1-30
- [17] Munns R. Comparative physiology of salt and water stress [J]. *Plant Cell and Environment*, 2002, 25: 239-250
- [18] Sonneveld C, Voogt W. Response of tomatoes (*Lycopersicon esculentum*) to an unequal distribution of nutrients in the root environment [J]. *Plant and Soil*, 1990, 124: 251-256
- [19] Mahmood T, Kaiser W M. Growth and solute composition of the salt-tolerant kallar grass [*Leptochloa fusca* (L.) Kunth] as affected by nitrogen source [J]. *Plant and Soil*, 2003, 252: 359-366
- [20] Lewis O A M, Leidi E O, Lips S H. Effect of nitrogen source on growth response to salinity stress in maize and wheat [J]. *New Phytologist*, 1989, 111: 155-160
- [21] Elgharably A, Marschner P, Rengasamy P. Wheat growth in a saline sandy loam soil as affected by N form and application rate [J]. *Plant and Soil*, 2010, 328(1): 303-312

责任编辑: 袁文业