



棉花盐害的控制技术及其机理

代建龙^{1,2},董合忠^{1*},段留生^{2*}

(1. 山东省农业科学院棉花研究中心, 济南 250100;

2. 中国农业大学作物化学控制中心, 北京 100091)

摘要:棉花是耐盐作物,但土壤耕层中积累过多的盐离子会通过离子毒害、渗透胁迫和引起营养失衡等机制导致盐害。控制棉花盐害的途径主要有两条,一是提高棉花自身的耐盐性,另一方面是躲避或减轻盐胁迫。本文评述了提高棉花耐盐性和躲避或减轻盐胁迫的途径、原理和方法,提出在工程措施改良盐碱地的基础上,综合运用适宜品种、水肥运筹、种子处理及地膜覆盖和诱导根区盐分差异分布等农艺措施是现阶段控制盐碱地棉花盐害的有效途径。

关键词:棉花;盐害;控制

中图分类号:S562

文献标识码:A

文章编号:1002-7807(2010)05-0486-09

Technology and Mechanism in Control of Salt Injury in Cotton

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

(1. Cotton Research Center, Shandong Academy of Agricultural Sciences, Ji'nan 250100, China; 2. Crop Research Center for Chemical Regulation, China Agricultural University, Beijing 100091, China)

Abstract: Two effective measures can be taken for salinity injury control to cotton (*Gossypium hirsutum* L.). One is to improve salinity tolerance of cotton plants, and the other is to avoid or alleviate salt stress. The methods and principles of improving salt tolerance and of avoiding or alleviating salt stress were commented. It is suggested that, besides saline soil improvement with engineering measures, comprehensive utilization of agronomic measures such as suitable cultivars, irrigation and fertilization, seed treatment, furrow seeding with plastic mulching, and induction of unequal salt distribution in the root-zone were effective to control salt-injury in cotton.

Key words: cotton; salt injury; control

棉花的耐盐性较强,被认为是开发盐碱地的先锋作物^[1]。但棉花的耐盐能力有限,并因生育阶段而不同。当土壤含盐 $2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 以下时,棉花基本能正常出苗、成苗;当含盐 $2 \sim 3 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,只有 60%~78% 的种子可以出苗,成苗率为 45%~55%;含盐量超过 $4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,出苗率仅 40% 左右,成苗率则不足 30%^[2]。一般而言,苗龄越小、土壤盐分含量越高,形成的盐害就越重^[3-4]。然而,棉株体自身具有相对完整的保护机制,在盐胁迫时通过启动保护机制以忍耐和抗拒伤害,表现出较强的耐盐性^[5-6]。多年来,国内外众多学者围绕盐害、耐盐性的机制以及盐害控制技术开展了长期研究,取

得了一系列研究成果。总结评述这些研究成果对于深化棉花盐害机理的认识、指导盐碱地棉花育种和栽培均具有重要意义。关于棉花盐害的表现、成因与耐盐性的机制已有较多评述^[7-11],本文结合作者在该领域的研究,重点就棉花盐害控制技术和机理作简要评述。

1 棉花盐害机理

认识棉花盐害的表现和成因是控制盐害的前提。总体来说,虽然棉花盐害的外部表现因胁迫强度和时间的不同有所差异,但大都表现为种子吸胀困难,造成种子萌发慢,萌发率低^[12-14];胁

收稿日期:2010-04-02

作者简介:代建龙(1983-),男,博士研究生,daijianlong0805@126.com;* 通讯作者:董合忠,donghz@saas.ac.cn;段留生,duanlsh@cau.edu.cn

基金项目:国家棉花产业技术体系建设专项资金支持

迫较重时可导致幼苗畸形,子叶难平展,真叶叶片发软、色暗、功能期短,侧根发生少,干物质积累减少,生长缓慢,甚至死苗^[15];棉株叶面积减小,叶片厚度增加,茎秆纤细,果枝数量及长度降低,植株矮小^[16]。盐胁迫下棉株内部变化更为复杂,通常表现为淀粉大量降解,可溶性糖含量增加^[17];盐分抑制对氮的吸收,同时植株体内的蛋白质和氨基酸的合成速率降低,分解速率加快,导致蛋白质含量降低^[17],抑或是大量 Na^+ 的吸入将 Mg^{2+} 交换出核糖体库,而蛋白质合成启动需要 Mg^{2+} 参与,从而使蛋白质的合成受阻^[18];细胞内活性氧含量急剧积累,细胞膜结构受损,影响叶绿体和线粒体的结构和功能,使蛋白质功能丧失,并引起 DNA 损伤与突变,光合速率降低,最终造成棉花产量与品质的下降^[19]。

总结国内外现有研究,一般认为棉花的盐害机制主要有以下 3 个方面:

1.1 渗透胁迫

在盐胁迫下,土壤环境中过多的盐离子使土壤溶液维持较低的渗透势,棉种或棉株因得不到足够的水分而产生渗透胁迫。高盐浓度阻止棉花种子的吸水,使种子萌动减慢,发芽率和发芽势降低^[4]。根际渗透胁迫下,海岛棉根系的 PM 饱和脂肪酸含量增加,不饱和指数下降,根和下胚轴中 PMCa^{2+} -ATPase、 Mg^{2+} -ATPase 和 H^+ -ATPase 的比活力均有所降低,膜结构受到伤害,膜结合酶活力的变化影响了膜透性^[20]。长时间(16 h)和高浓度(30%)渗透胁迫会降低棉花 PS II 的原初光能转化效率(F_v/F_m),使 PS II 反应中心开放部分的比例(q_P)缩小,用于光合作用电子传递的份额(q_P)减少,从而使光合器官受到损伤,非辐射能量耗散增加,抑制棉花叶片的光合功能^[21]。另外,盐胁迫降低棉叶的渗透压,使叶片增厚,气孔减小,并且抑制叶片中部分酶的活性,影响对 CO_2 的固定,降低光合产物的积累^[16]。

1.2 离子毒害

盐碱土中的可溶性盐主要有 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等阳离子和 CO_3^{2-} 、 HCO_3^- 、 Cl^- 和 SO_4^{2-} 等阴离子组成的 12 种盐,个别地方还含有硝酸盐^[22]。虽然 Cl^- 是植物必需元素,但在盐渍土中其含量远超过植物正常生长所需,因此,盐胁迫所造成的离子毒

害也包括 Cl^- 毒害。已知大豆在盐胁迫下受到的 Cl^- 毒害甚至大于 Na^+ 毒害^[23]。棉花也不例外,其根、茎木质部汁液中 Na^+ 、 Cl^- 含量及叶片 Na^+ 含量随环境中 NaCl 含量的增大而升高^[24]。 Na^+ 、 Cl^- 大量进入细胞,破坏细胞质中的离子平衡,尤其是 Ca^{2+} 平衡破坏严重。高浓度 Na^+ 可置换质膜和细胞内膜系统所结合的 Ca^{2+} ,使膜所结合离子中 $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ 的比值增加,膜结构完整性及膜功能受到破坏。细胞质中游离 Ca^{2+} 急剧增加,导致 Ca^{2+} 介导的 Ca 调节系统和磷酸醇调节系统失调,细胞代谢紊乱,致使细胞受到伤害甚至死亡^[25]。植物细胞内的许多酶只有在很低的离子含量范围内才具有活性,处于盐碱环境时,过量的 Na^+ 、 Cl^- 和 Ca^{2+} 等会渗入细胞内,使植株的细胞原生质凝聚、蛋白质水解加速而合成受阻、叶绿素破坏,造成体内氨基酸累积,进而转化为丁二胺、戊二胺以及游离态胺等,当累积过多时细胞就会中毒死亡^[26]。

1.3 营养失衡

土壤中盐离子过多会产生竞争效应,抑制植物对另一些离子的吸收而造成养分失调。随环境中 Na^+ 和 Cl^- 浓度的增大,棉花叶片中的 K^+ 、 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 离子等含量会随之降低^[27]。在盐胁迫下, Ca^{2+} 可保护细胞的膜结构,缓解盐对棉花的胁迫作用。Cramer G R^[28]指出, NaCl 胁迫严重抑制棉花根系对 Ca^{2+} 的吸收,以及 Ca^{2+} 在棉花体内的运输和分配。 Mg^{2+} 除作为植物的必需养分外,还参与构成叶绿素的形成。因此,盐胁迫下 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 吸收量的减少会对棉花的生长发育产生极为不利的影

响。棉花是喜钾作物,钾在棉花的生长、养分分配和抗病虫害等方面发挥着重要的作用。因 K^+ 与 Na^+ 有相似的理化结构,因此,在低钾土壤中, Na^+ 可部分代替 K^+ 促进棉花的生长。但在较高盐浓度下,植物对钾离子选择性会下降,当 Na^+ 含量超过一定限度时,会竞争 K^+ 转运和结合位点,导致钾缺乏^[29]。棉花体内 K^+ 含量的降低,可显著降低叶片的叶绿素含量和光合作用强度^[30]。与此同时,吸收过多的 Cl^- 可降低植物对 NO_3^- 、 H_2PO_4^- 等营养离子的吸收。Brugnoli E 等^[16]指出,随盐浓度增大,棉花叶片中的 N 含量降低;利用 ^{15}N 标

记发现,高盐胁迫下(-1.2 MPa),棉花对 ^{15}N 的吸收会降低,在低盐浓度(-0.4 MPa ~ -0.8 MPa)下则不会产生大的影响^[31];NaCl 胁迫下,幼苗对 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 的吸收虽不受影响,但对 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 的积累量却显著下降,并且明显抑制 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 的吸收^[32]。Martinez V 等^[33]利用 ^{32}P 标记开展的研究表明,低磷条件下,盐胁迫抑制棉花幼苗对磷素的吸收,处在含 NaCl 150 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 条件下时,降低了 ^{32}P 从棉花地下根部向地上部的运输量,并且发现棉花老叶的含 P 量高于新叶。

2 棉花盐害控制

棉花的耐盐能力较盐生植物相距甚远,发展盐碱地植棉,必须采取切实措施控制或减轻盐害。既然棉花的盐害机制主要是渗透胁迫、离子毒害和营养失衡 3 个方面,那么控制三者中的任何一个,都可以缓解盐害。因此,控制棉花盐害的途径有两条,一条是提高棉花自身的耐盐性,另一条是减轻或躲避盐胁迫。前者包括通过遗传改良的方法选育具有较高耐盐性的棉花品种(系),通过化学、生物或物理方法处理种子或棉株增强耐盐性;后者则是通过工程和农艺等措施,降低棉花根区的盐分含量,为棉株生长创造适宜的土壤环境。

2.1 培育耐盐棉花品种(系)

培育耐盐棉花品种被认为是控制棉花盐害的根本途径。棉花不同基因型间的耐盐性存在一定的差异,特别是许多野生棉和陆地棉的野生和半野生种系有较强的耐盐性^[7]。耐盐棉花品种的选择最初是通过在现有棉花品种、品系以及种质资源中直接进行耐盐鉴定和筛选,但之后的大量研究和实践证明,直接鉴定的成功率很低,特别是在主推棉花品种中选择耐盐品种的可能性更小。不过,这类工作也具有重要意义,它不仅深化对品种资源耐盐情况的了解,也是寻找耐盐材料最直接和可靠的方法,是耐盐品种选育的基础性工作。这方面,刘国强等^[5]、叶武威等^[34]、沈法富等^[35-37]和郭纪坤等^[38]相继开展了大量工作,发现了一些具有较强耐盐性的材料。只是由于现有种质资源的狭窄性和耐盐机制的复杂性,迄今未见棉花耐盐品种选育方面的实质性进展。

20 世纪 80—90 年代,利用组织培养技术筛选耐盐突变体被寄予厚望,被认为是选育耐盐材料和品种的有效途径^[39-40]。但棉花耐盐变异体筛选研究多数都停留在耐盐愈伤组织阶段,没有多大突破。因为一般情况下棉花组织培养再生植株已很难,盐胁迫下愈伤组织的再生能力会减弱或丧失,胚性愈伤组织也会转化为非胚性愈伤组织,因而即使获得了耐盐细胞系,也很难获得耐盐再生植株。与此同时,外源 DNA 导入技术用于耐盐品种选育也一度受到重视^[41],沈法富等^[42]将耐盐罗布麻的 DNA 导入鲁棉 6 号后,后代抗枯萎病性和耐盐性有所提高,但未见对后代材料研究利用的深入报道。外源 DNA 导入技术虽然简便,但颇具偶然性,因为侥幸保存下来并整合到供体中的 DNA 片段并不一定含有耐盐基因,成功率甚低。

随着分子生物学研究手段和技术的日臻完善,比较基因组学、功能基因组学、重要作物转基因已经成为重要的研究领域^[43],带动了耐盐植物基因工程研究的尝试。棉花作为最适合盐碱地种植的大宗农作物,采用转基因技术提高耐盐性是近年来的研究热点之一。目前通过转基因技术已经得到不少耐盐性显著增强的材料和品系,有的已经进入大田试种阶段。*AtNHX1* 基因具有编码 Na^+/H^+ 逆向转运载体的作用,将克隆自拟南芥的 *AtNHX1* 基因转移到棉花,在 200 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ NaCl 胁迫下,转基因植株内的脯氨酸含量、可溶性糖含量以及叶片光合能力和碳同化率均得到提高,生物产量和皮棉产量也显著提高^[44]。同样,*TsVP* 基因在棉花体内的过量表达,使得 Na^+ 在液泡内的积累量多,棉株耐盐能力显著增强,气孔导度和光合速率提高,根系和地上部的干物质积累量也明显增加^[45]。将由大肠杆菌分离得到的 *betA* 基因转入棉花,转基因植株的甜菜碱积累量增加,耐盐性明显增强^[46]。张慧军等^[47-48]通过农杆菌介导的方法将克隆自山菠菜的 *AhCMO* 基因转入棉株体并得到表达,在 150 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ NaCl 胁迫下,棉花体内甜菜碱大量积累,提高了棉花对盐胁迫的抵抗能力。

综合以上报道可以看出,通过转基因技术提高棉花耐盐性有明显的效果,但是单基因转化的

效果仍然有限。这是因为,包括盐胁迫在内的逆境胁迫所引起的应答反应是多通路、多基因协调作用的结果。叶武威等^[49]采用抑制消减(SSH)杂交技术构建了陆地棉耐盐品种中棉所 35 在 0.4% NaCl 胁迫下的混合 SSH 文库,将所获得的 160 余条表达序列标签(EST)与其同源序列比对,发现既有在逆境胁迫反应中直接起作用的蛋白质,又有参与信号转导或基因表达调控的物质,说明棉花的盐胁迫反应是多基因参与的系统调控过程。因此,仅凭某个功能基因的导入往往很难真正地获得长期有效的抗性,而且棉花产量和品质的提高也不仅仅取决于其耐盐性。目前国内外获得的转基因耐盐棉花尚难以进入盐碱地大田生产的主要原因,一方面在于其耐盐性还达不到生产要求,另一方面这些耐盐材料和品系的农艺性状大都比较差。因此,深入开展抗性基因克隆分析、抗性基因的转化和转基因耐盐棉花新品种的培育研究,选育综合性状优良又高度耐盐的转基因

棉花品种,是今后棉花品种改良的重点内容之一。

2.2 种子处理

棉花的耐盐性是在个体发育过程中形成的,是对土壤盐渍化的适应^[50]。通过逐渐提高盐浓度的浸种法可显著提高棉花当代的耐盐能力,处理后的棉花种子在盐碱地上种植,其发芽率有所提高,并且增加了叶片中束缚水含量,降低了自由水含量,增强了棉株的耐盐能力^[51]。逐步提高盐浓度的方法实际上是对种子耐盐性的引发,通过种子引发可提高种子活力,增强耐盐渍的能力。利用沙引发^[52]、盐引发^[53-54]可显著提高棉花种子的发芽势、发芽率及出苗率,并且沙引发能显著提高棉花幼苗抗氧化系统酶活性,降低自由基对细胞膜系统的伤害,从而提高棉苗耐盐性,对转基因抗虫棉的引发效果尤为明显。

另外,适当浓度的氯化钙溶液、生长调节剂(COR、DPC、EMT 等)、微量元素和微生物制剂处理种子,都可有效提高棉花的耐盐性(表 1)。这是

表 1 通过种子处理提高棉花耐盐性的化学和生物措施

Table 1 To increase salt tolerance of cotton by chemical and biological seed treatment

措施	使用方法	效果	报道人
激动素(KT)	浸种	减轻盐胁迫对棉花种子萌发的影响	Bozcuk ^[55]
MCBuTTB(细胞分裂素类似物)	盆栽、浸种和叶面喷施	促进盐胁迫条件下棉花种子萌发、幼苗生长、开花和结铃,降低叶片渗透势、提高水势。	Stark ^[56]
硫酸钙	浓硫酸处理种子 10 min, 硫酸钙溶液浸泡 2 h。	促进盐胁迫下棉种的发芽和棉苗生长	Javid, 等 ^[57]
解盐促生细菌	菌液浸种 4 h, 棉花盆栽	促进盐胁迫下的棉种发芽和出苗	Yue, 等 ^[58] 郑元元, 等 ^[59]
氯化锰和钼酸	浸种 24 h, 发芽盒砂培	提高棉花幼苗的耐盐性	高扬帆, 等 ^[60]
盐(CaCl ₂ 、K ₂ SO ₄ 和 Na ₂ SO ₄) 或沙引发	以梯度盐溶液处理种子, 或将种子与含水 3.8% (V/W) 的沙子按 1:50 (种子:沙子) 重量比混均, 密闭置于 18℃ 黑暗条件下引发 72 h。	促进盐胁迫下的萌发和幼苗生长	蒋玉蓉, 等 ^[52] 吕有军, 等 ^[53] 林 君, 等 ^[54]
甜菜碱	400 mg·L ⁻¹ 甜菜碱浸种 15 h, 盆栽棉花	缓解盐胁迫对棉苗的伤害, 提高了棉苗的耐盐性	李玉静, 等 ^[61]
维生素 B6	播前用 10 mg·kg ⁻¹ VB6 浸种, 盆栽棉花	提高棉花出苗率、保留率, 促进盐碱地棉花幼苗的生长及干物质的积累	潘一展, 等 ^[62]
多效唑和缩节胺	50 mg·kg ⁻¹ 多效唑浸种; 1.5 mg·L ⁻¹ DPC 和 20 mmol·L ⁻¹ CaCl ₂ 浸种处理	显著降低棉花地上部 Na ⁺ 含量、增加 K ⁺ 含量, 提高 K ⁺ /Na ⁺ 。	沈法富, 等 ^[63] 孙小芳, 等 ^[64]
抗盐剂	浸种或叶面喷施	促进发芽出苗, 提高耐盐性	赵可夫, 等 ^[65]
抗盐种衣剂	种子包衣	促进发芽出苗, 提高耐盐性	董合忠, 等 ^[66]

因为,种子经这些化学和生物制剂处理后,增强了细胞原生质胶体的稳定性和水合能力,增大了细胞渗透压,提高了保护酶系统活性,缓解了盐胁迫对幼苗的伤害,提高了棉花耐盐性^[67-71]。

2.3 施肥处理

盐渍土壤影响植物对矿质营养元素的吸收。如 Cl^- 抑制对磷的吸收,并且阻碍磷由根系向叶部的转移,影响硝酸盐还原和蛋白质合成。因此,通过增施磷肥可有效地增强作物的耐盐能力^[72]。Beringer 指出,施用 K 肥可促进植物体内盐分的排泄,促进根部有机液的积累和维持细胞中液泡的渗透压,增强植物耐盐分胁迫的能力。杨晓英等^[73]研究发现,增施有机肥可明显改善棉花在盐胁迫条件下的幼苗生长,增加棉花的产量和生物量。石河子大学等单位在盆栽条件下通过设计 4 个盐浓度(无、低、中、高)和 4 个施氮(0、135、270 和 $405 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)处理,研究了盐胁迫和施氮肥对棉花生长发育和养分吸收的影响,发现在中低浓度盐分土壤中增施 N 肥可有效缓解盐害对棉株生长的抑制,并且在适当的施 N 量范围内,棉株对 N 素的吸收与施 N 量成正比;但在高盐环境下增施 N 肥不利于 N 的吸收,过量施用还可加重盐害的胁迫程度^[74]。董合忠等^[2]通过对黄河三角洲地区滨海盐碱地的盐分和养分特征分析指出,根据不同盐度土壤的养分含量状况,采取合理的施肥量及施肥技术是实现棉花高产的保证。

2.4 其它农艺措施

采用合理的栽培技术可在一定程度上缓解盐害。棉花在种子萌发期和出苗期对盐害较为敏感,在盐碱条件下采用传统的栽培方法常遇到种子萌发率低、出苗率差和棉苗整齐度下降等难题^[8]。因此,通过改进栽培技术降低土壤中盐含量、提高地温和土壤含水量,可显著降低棉花盐害。

2.4.1 农艺技术控制盐害的理论。董合忠^[75]总结提出了农艺技术控制棉花盐害的 3 个机制,分别是诱导根区盐分差异分布的机制,增温提墒控制盐害的机制以及膜下温室层的概念及其效应。

利用分根试验,造成棉花根区盐分差异分布,使一部分根系处在高盐环境中,另一部分根系处在低盐环境中。发现差异分布能够显著减轻盐害,促进棉花成苗、棉株生长和产量品质形成。

尽管差异分布并不降低土壤表层平均盐分含量,但使低盐环境的根系增强了吸水能力,缓解了渗透胁迫;差异分布诱导盐离子在器官水平上的区隔化分布,地上部 Na^+ 显著减少,离子毒害减轻;在渗透胁迫和离子毒害皆减轻情况下,处在低盐和高盐环境中的根系皆可大量吸收无机营养,最大限度保证了营养平衡^[75]。

增温提墒缓解盐害的基本原理在于低温和盐碱对棉花成苗有显著的互作效应,低温也是发生苗病的诱因。在同等含盐量的情况下,适当提高耕层水分含量,可以减轻渗透胁迫;提高地温能够促进种子萌发出苗,减轻苗病发生,减轻盐害^[75]。

膜下温室是指在地膜覆盖栽培中,通过深开沟、浅覆土、平盖地膜,使播种沟自然形成一个膜下“温室”的部分,这便使棉田生态系统增加了膜下温室层,由通常的 3 个层次(土壤、棉苗和近地大气层)在幼苗期转变为 4 层次的结构,丰富了棉田生态系统。膜下温室内含空气、气态水和棉苗,边界清晰、系统独立,运用膜下温室层可以起到抑盐、增温、保墒和炼苗的效应。

2.4.2 控制盐害的农艺技术措施。在盐分质量分数低于 0.4% 的盐碱地选用平作覆盖,其规范是,双行覆盖,大小行种植,大行行距 100~120 cm,小行行距 50~60 cm,田间地膜覆盖度 50%~55%。以此诱导盐分在根区的差异分布(小行内根区盐分含量低,大行内根区的盐分含量高)。平作覆盖应建立膜下温室,开深沟,播种后浅覆土,平盖地膜,使播种沟与畦面留有空隙,膜下播种沟形成上宽 6~8 cm、高度 7~8 cm 的温室系统。齐苗后 5~7 d 在每播种穴上方扎拇指粗的苗眼,使棉苗在膜下与外界气温相接触,锻炼棉苗,使之逐步适应外部环境,之后放苗、壅土堵孔^[75]。

Dong 等^[76]在我国黄河三角洲地区盐分质量分数高于 0.4% 的滨海盐碱地,采用地膜覆盖沟种技术,有效控制了棉花根区盐分含量并提升了棉花生长区的土壤温度,降低了 Na^+ 在根系和叶片中的累积,提高了棉花的光合速率及干物质产量,促进了棉花早熟,与平播不覆膜相比,其成苗率和皮棉产量分别提高 98% 和 24%;在无灌溉条件的盐碱地棉田采用播前预覆膜栽培技术是缓解棉花盐害、促进棉花成苗的有效措施,与传统

播后覆膜相比,预覆膜技术明显改善了土壤微环境,增强了棉株生理机能,播前 30 d 提前覆膜,可显著提高叶片的光合速率,降低叶片的 Na^+ 含量及脂质过氧化反应强度,减少丙二醛的积累,使成苗率提高 11.4%,皮棉产量增加 7.1%^[77]。另外,在热量条件较差的盐碱地推广短季棉晚播技术,可保证出苗率和整齐度,并降低棉花组织中 Na^+ 及其 MDA 的累积,虽然与传统播种的春播相比,皮棉产量没有明显提高,但由于短季棉的生长期短,投入减少,棉花的经济效益得到显著提高^[78]。

3 问题和展望

总之,棉花盐害主要是离子毒害、渗透胁迫和引起营养失衡共同作用的结果,盐害的外部表现有抑制发芽、出苗和幼苗生长,降低生物产量和经济产量等;内部表现则主要是生理生化代谢活动的改变,而且无论内部还是外部表现,盐害均因胁迫程度和时间而不同。提高棉花自身的耐盐性,以及躲避或减轻盐胁迫是控制棉花盐害的 2 条重要途径。提高耐盐性的方法较多,但都有一定的效果和局限性。从目前来看,比较现实的途径是采取综合措施,在盐碱地工程改良的基础上,把品种培育、水肥运用、种子处理及其它农艺措施有机组装配套,组建完整的配套技术。

中国有丰富的盐碱宜棉荒地资源,发展盐碱地植棉的潜力还很大,但这一潜力的挖掘在很大程度上取决于支撑技术的进步程度和研究成果。今后一段时间内,必须注重 3 个方面的研究:一方面要将传统的育种方法与转基因技术等有机结合,培育耐盐性强的棉花品种(系);另一方面是进一步探索盐碱条件下棉花对水肥的吸收特点,摸索出适合盐碱土壤植棉的新技术和新方法;第三要运用盐碱土壤的水盐调控理论和防抑盐碱障碍定向培育理论来改良盐碱土,提高土壤质量,防范次生盐渍化的进一步扩大,提高盐渍化土壤的利用效率及生产力水平。此外,还应加大盐碱地植棉所需物化产品的研制,包括高效抗盐种衣剂、新型叶面肥、盐碱地棉花专用(缓)控释肥和新型棉花生长调节剂等。

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]. 上海:上海科学技术出版社,1983:172-174.
Cotton Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences. Cotton Farming in China[M]. Shanghai: Shanghai Press of Science and Technology, 1983: 172-174.
- [2] 董合忠,辛承松,李维江,等. 山东滨海盐渍棉田盐分和养分特征及对棉花出苗的影响[J]. 棉花学报,2009,21(4):290-295.
DONG He-zhong, Xin Cheng-song, Li Wei-jiang, et al. Characteristics of salinity and fertility in coastal saline cotton fields in Shandong and their effects on cotton emergence[J]. Cotton Science, 2009, 21(4): 290-295.
- [3] 周桃华. NaCl 胁迫对棉子萌发及幼苗生长的影响[J]. 中国棉花,1995,22(5):11-12.
ZHOU Tao-hua. Effects of NaCl on germination and seedling growth in cotton [J]. China Cotton, 1995, 22(5): 11-12.
- [4] 贾玉珍,朱僖月,唐予迪,等. 棉花出苗及苗期耐盐性指标的研究[J]. 河北农业大学学报,1987,21(1):30-41.
JIA Yu-zhen, Zhu Xi-yue, Tang Yu-di, et al. Study on emergence and salt-tolerance index of cotton seedlings[J]. Journal of Hebei Agricultural University, 1987, 21(1): 30-41.
- [5] 刘国强,鲁黎明,刘金定. 棉花品种资源耐盐性鉴定研究[J]. 作物品种资源,1993(2):21-22.
LIU Guo-qiang, Lu Li-ming, Liu Jin-ding. The identified research on salt tolerance in cotton varieties[J]. Genetic Resources for Crops, 1993(2): 21-22.
- [6] 罗 宾. 棉花生理学[M]. 上海:上海科技出版社,1983:52-58.
Robin. Cotton physiology[M]. Shanghai: Shanghai Press of Science and Technology, 1983: 52-58.
- [7] 蒋玉蓉,吕有军,祝水金. 棉花耐盐机理与盐害控制研究进展[J]. 棉花学报,2006,18(4):248-254.
JIANG Yu-rong, Lü You-jun, Zhu Shui-jin. Advance in studies of the mechanism of salt tolerance and controlling of salt damage in upland cotton [J]. Cotton Science, 2006, 18(4): 248-254.
- [8] 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):309-313.
XIN Cheng-song, Dong He-zhong, Tang Wei, et al. Physiological and molecular mechanisms of salt injury and salt tolerance in cotton [J]. Cotton Science, 2005, 17(5): 309-313.
- [9] AHMAD S N, Khan M Z, Iqbal A, et al. Salt tolerance of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) [J]. Asian Journal of Plant Science, 2002(1): 715-719.
- [10] 孙小芳,刘友良,陈 沁. 棉花耐盐性研究进展[J]. 棉花学报,1998,10(3):118-124.
SUN Xiao-fang, Liu You-liang, Chen Qin. Advance in studies of salt tolerance in cotton[J]. Cotton Science, 1998, 10(3): 118-124.
- [11] ASHRAF M. Salt tolerance of cotton: some new advances [J]. Critical Reviews in Plant Science, 2002, 21(1): 1-30.
- [12] ATEF H, Safwat A D, Mahmoud A Z. Saline water management for optimum crop production[J]. Agricultural Water Management, 1993, 24(3): 189-203.

- [13] QADIR M, Shams M. Some agronomic and physiological aspects of salt tolerance in cotton (*Gossypium hirsutum* L.)[J]. Journal of Agronomy & Crop Science, 1997, 179: 101-106.
- [14] VARGHESE S, Patel K V, Gohil M D, et al. Response of G-COT-11 levant cotton to salinity at germination stage[J]. Indian Journal of Agricultural Science, 1995, 65: 823-825.
- [15] GOUIA H, Ghorbal M H, Touraine B. Effects of NaCl on flows of N and mineral ions and on NO₃-reduction rate within whole plants of salt-sensitive bean and salt-tolerant cotton[J]. Plant Physiology, 1994, 105(4): 1409-1418.
- [16] 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: 335-347.
- [17] 刘金定, 朱召勇. 棉花品种在不同盐浓度胁迫下的生理表现[J]. 中国棉花, 1995, 22(9): 16-17.
LIU Jin-ding, Zhu Zhao-yong. Physical performance of cotton varieties under different salt levels stress[J]. China Cotton, 1995, 22(9): 16-17.
- [18] 张子学, 王正鹏, 凌中鑫, 等. 不同棉花品种 NaCl 胁迫的生理表现及其耐盐性筛选指标分析[J]. 中国棉花, 2004, 31(8): 8-10.
ZHANG Zi-xue, Wang Zheng-peng, Ling Zhong-xin, et al. Physiological performance and analysis in salt-tolerant selection indexes of different cotton varieties under NaCl stress[J]. China Cotton, 2004, 31(8): 8-10.
- [19] DIEGO A M, Marco A O, Carlos A M, et al. Photosynthesis and activity of superoxide dismutase, peroxidase and glutathione reductase in cotton under salt stress[J]. Environmental and Experimental Botany, 2003, 49: 69-76.
- [20] 薛刚, 高俊凤. 渗透胁迫对棉花根和下胚轴 PM 脂肪酸组分和 ATPase 的影响[J]. 西北植物学报, 1994, 14(1): 39-44.
XUE Gang, Gao Jun-feng. Effects of osmotic stress on fatty acid composition and ATPase activity of plasma membrane in cotton root and hypocotyls[J]. Acta Bot Boreal-Occident Sin, 1994, 14(1): 39-44.
- [21] 刘克贞, 李志博, 林海荣, 等. 北疆棉花叶绿素荧光猝灭特性对渗透胁迫的响应[J]. 新疆农业科学, 2007, 44(1): 42-46.
LIU Ke-zhen, Li Zhi-bo, Lin Hai-rong, et al. Response of fluorescence quenching characteristics to osmotic stress on leaves of cotton in northern Xinjiang[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2007, 44(1): 42-46.
- [22] 于海武, 李莹. 植物耐盐性研究进展[J]. 北华大学学报, 2004, 3(5): 257-263.
YU Hai-wu, Li Ying. Advances in study of salt-stress tolerance in plants[J]. Journal of Beihua University, 2004, 3(5): 257-263.
- [23] LUO Q Y, Yu B J, Liu Y L. Stress of Cl⁻ is stronger than that of Na⁺ on glycinemax seedling under NaCl stress[J]. Agric Sci China, 2002, 1: 1404-1409.
- [24] HIRAYAMA O. Characterization of membrane lipids of high plants, different in salt tolerance[J]. Agricultural and Biological Chemistry, 1987, 51(12): 3215-3321.
- [25] 刘宛, 刘友良. 大麦幼苗的 Na⁺、Cl⁻ 和叶片耐 Cl⁻ 量[J]. 南京农业大学学报, 1993, 16(3): 15-19.
LIU Wan, Liu You-liang. Tolerant capacity of Cl⁻ in leaf and Na⁺, Cl⁻ of barley seedlings [J]. Journal of Nanjing Agriculture University, 1993, 16(3): 15-19.
- [26] 曾红学, 王俊. 盐害生理与植物抗盐性[J]. 生物学通报, 2005, 40(9): 1-3.
ZENG Hong-xue, Wang Jun. Salt injury physiology and salt-resistant in plants[J]. Bulletin of Biology, 2005, 40(9): 1-3.
- [27] RATHERT G. Influence of extreme K/Na ratios and high substrate salinity on plant metabolism of crops differing in salt tolerance. Mineral distribution variability among different salt tolerant cotton varieties[J]. Journal of Plant Nutrition, 1982, 5: 183-194.
- [28] CRAMER G R. Influx of Na⁺, K⁺, Ca²⁺ into roots of salt-stressed cotton seedling [J]. Plant Physiology, 1987, 83: 510-516.
- [29] YEO A. Molecular biology of salt tolerance in the context of whole plant physiology[J]. Journal of Experimental Botany, 1998, 49: 915-929.
- [30] OOSTERHUIS D M, Bednarz C W. Physiological changes during the development of potassium deficiency in cotton[J]. Plant and Soil, 1997, 78: 347-351.
- [31] PESSARAKLI M, Tucker T C. Uptake of ¹⁵N by cotton under salt stress[J]. Journal of Soil Science Society of America, 1985, 49: 149-152.
- [32] 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]. 中国生态农业学报, 2001, 9(2): 79-81.
YANG Li-lin, Li Jin-hai. Nutrition and fertilizer effect of saline soil in China[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2001, 9(2): 79-81.
- [33] MARTINEZ V, Läuchli A. Phosphorus translocation in salt-stressed cotton [J]. Physiol Plantarum, 1991, 83: 627-632.
- [34] 叶武威, 刘金定. 棉花种质资源耐盐性鉴定技术与应用[J]. 中国棉花, 1998, 25(9): 34-38.
YE Wu-wei, Liu Jin-ding. Identification technique and application of salt-tolerant germplasm resources in cotton[J]. China Cotton, 1998, 25(9): 34-38.
- [35] 沈法富. 棉花耐盐碱生理指标研究[J]. 中国棉花, 1991, 18(4): 9-10.
SHEN Fa-fu. Studies on alkali-salt tolerance physiological indexes in cotton[J]. China cotton, 1991, 18(4): 9-10.
- [36] 沈法富, 尹承岱, 于元杰, 等. 棉花植株和花粉耐盐性的鉴定[J]. 作物学报, 1997, 23(5): 620-625.
SHEN Fa-fu, Yin Cheng-yi, Yu Yuan-jie, et al. Screening of whole plants and pollen grains of cotton for salt tolerance[J]. Acta Agronomica Sinica, 1997, 23(5): 620-625.
- [37] 沈法富, 于元杰, 毕建杰, 等. 棉花耐盐性的双列杂交分析[J]. 作物学报, 2001, 27(1): 50-54.
SHEN Fa-fu, Yu Yuan-jie, Bi Jian-jie, et al. A diallel analysis of salt tolerance in upland cotton [J]. Acta Agronomica Sinica, 2001, 27(1): 50-54.
- [38] 郭纪坤, 王沛政, 胡保民, 等. 棉花抗旱耐盐性品种筛选[J].

- 新疆农业科学, 2008, 45(1): 162-166.
- GUO Ji-kun, Wang Pei-zheng, Hu Bao-min, et al. Screening of drought and salt resistant variety of cotton[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2008, 45(1): 162-166.
- [39] 王哲之. 棉花体外耐盐反应及筛选初报[J]. 中国棉花, 1991, 18(1): 16-18.
- WANG Zhe-zhi. Primitively reporting the salt-resistant reaction and selection of cotton *in vitro*[J]. China Cotton, 1991, 18(1): 16-18.
- [40] 张宝红, 李秀兰, 李凤莲. 棉花耐盐胚性细胞系筛选及其植株再生[J]. 中国农业科学, 1995, 28(4): 28-34.
- ZHANG Bao-hong, Li Xiu-lan, Li Feng-lian. Selection of NaCl tolerant embryogenic cell line and plant regeneration of cotton *in vitro*[J]. Scientia Agricultura Sinica, 1995, 28(4): 28-34.
- [41] 陈翠霞, 于元杰, 王洪刚, 等. 棉花耐盐变异体的分析及抗盐生理研究[J]. 作物学报, 1999, 25: 643-646.
- CHEN Cui-xia, Yu Yuan-jie, Wang Hong-gang, et al. Analysis of salt-tolerant variants and salt-resistant physiology research [J]. Acta Agronomica Sinica, 1999, 25: 643-646.
- [42] 沈法富, 于元杰, 尹承岱. 抗盐罗布麻 DNA 导入棉花的研究 [J]. 棉花学报, 1995, 7(1): 18-21.
- SHEN Fa-fu, Yu Yuan-jie, Yin Chen-yi. Research on transferring salt-resistanr dogbane DNA into cotton[J]. Cotton Science, 1995, 7(1): 18-21.
- [43] 张天真, 郭旺珍. 棉花分子育种的现状、问题与展望[J]. 中国农业科技导报, 2007, 9(2): 19-25.
- ZHANG Tian-zhen, Guo Wang-zhen. Molecular breeding in upland cotton: present status, problem and prospect[J]. Review of China Agricultural Science and Technology, 2007, 9 (2): 19-25.
- [44] HE C X, Shen G, Pasapula V, et al. Ectopic expression of *AtNHX1* in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) increase proline content and enhances photosynthesis under salt stress conditions [J]. Journal of Cotton Science, 2007, 11: 266-274.
- [45] LV S L, Zhang K W, Gao Q, et al. Overexpression of an H^+ -PPase gene from *Thellungiella halophila* in cotton enhances salt tolerance and improves growth and photosynthetic performance[J]. Plant Cell Physiology, 2008, 49: 1-15.
- [46] LV S L, Yin X Y, Zhang K W, et al. Agrobacterium-mediated transformation of shoot apex of cotton and production of transgenic plants carrying Bt gene[J]. High Technology Letters, 2004, 14: 20-25.
- [47] ZHANG H J, Dong H Z, Li W J, et al. Increased glycine betaine synthesis and salinity tolerance in *AhCMO* transgenic cotton lines [J]. Molecular Breeding, 2009, 23: 289-298.
- [48] 张慧军, 董合忠, 石跃进, 等. 山菠菜胆碱单加氧酶基因对棉花的遗传转化和耐盐性表达[J]. 作物学报, 2007, 33(7): 1073-1078.
- ZHANG Hui-jun, Dong He-zhong, Shi Yue-jin, et al. Transformation of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) with *AhCMO* gene and the expression of salinity tolerance[J]. Acta Agronomica Sinica, 2007, 33(7): 1073-1078.
- [49] 叶武威, 赵云雷, 王俊娟, 等. 盐胁迫下陆地棉耐盐品种根系的抑制消减文库构建[J]. 棉花学报, 2009, 21(5): 339-345.
- YE Wu-wei, Zhao Yun-lei, Wang Jun-juan, et al. Construction of SSH library on root system of salinity-tolerance variety (*Gossypium hirsutum* L.) under the stress of salinity[J]. Cotton Science, 2009, 21(5): 339-345.
- [50] 李淑云. 棉花的抗盐性及提高抗盐性的途径[J]. 生物学通报, 2001, 36(1): 18-19.
- LI Shu-yun. Salt-tolerance and enhanceing salt-tolerance ways in cotton[J]. Bulletin of Biology, 2001, 36(1): 18-19.
- [51] 赵可夫, 王韶唐. 作物抗性生理[M]. 北京: 农业出版社, 1990: 300-304.
- ZHAO Ke-fu, Wang Shao-tang. Hardiness physiology of crops [M]. Beijing: Agriculture Press, 1990: 300-304.
- [52] 蒋玉蓉, 孙玉强, 童旭宏, 等. 种子沙引发对转基因抗虫棉耐盐性的影响[J]. 棉花学报, 2008, 20(3): 212-216.
- JIANG Yu-rong, Sun Yu-qiang, Tong Xu-hong, et al. Effect of sand priming on the NaCl tolerance of seed of transgenic insect resistant cotton (*Gossypium hirsutum* L.) [J]. Cotton Science, 2008, 20 (3): 212-216.
- [53] 吕有军, 叶武威, 祝水金. 陆地棉种子萌发过程中盐处理对 NaCl 胁迫的缓解作用[J]. 棉花学报, 2005, 17(4): 256.
- LÜ You-jun, Ye Wu-wei, Zhu Shui-jin. Effect of additional salinity treatment on germination of upland cotton stressed by NaCl[J]. Cotton Science, 2005, 17(4): 256.
- [54] 林君, 孙玉强, 吕有军, 等. 种子盐引发对转基因抗虫棉耐盐性的影响[J]. 棉花学报, 2006, 18(6): 338-341.
- LIN Jun, Sun Yu-qiang, Lü You-jun, et al. Studies on the effects of the salinity priming on the NaCl tolerance of transgenic insect resistant cotton (*Gossypium hirsutum* L.) [J]. Cotton Science, 2006, 18(6): 338-341.
- [55] BOZCUK S. Effects of kinetin and salinity on germination of tomato, barley and cotton seeds[J]. Annals of Botany, 1981, 48: 81-84.
- [56] STARK C. Osmotic adjustment and growth of salt-stressed cotton as improved by a bioregulator[J]. Journal of Agronomy of Crop Science, 1991, 167: 326-334.
- [57] JAVID A, Yasin M, Nabi G. Effect of seed pre-treatments on germination and growth of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) under saline conditions[J]. Pakistan Journal of Biological Sciences, 2001, 4(9): 1108-1110.
- [58] YUE H T, Mo W P, Li C, et al. The salt stress relief and growth promotion effect of Rs-5 on cotton[J]. Plant and Soil, 2007, 297: 139-145.
- [59] 郑元元, 岳海涛, 石在强, 等. 盐胁迫下解盐促生细菌 Rs-5 和 Rs-198 促进棉花种子发芽的机理探讨[J]. 中国农业科学, 2008, 41(5): 1326-1332.
- ZHENG Yuan-yuan, Yue Hai-tao, Shi Zai-qiang, et al. Physiochemical characters and ability to promote cotton germination of bacteria strains Rs-5 and Rs-198 under salt stress[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2008, 41(5): 1326-1332.
- [60] 高扬帆, 王建华, 崔乘幸. 氯化锰和钼酸对盐渍地棉花幼苗生长耐盐性影响的研究[J]. 河北农业大学学报, 2006, 29(4):

- 15-18.
- GAO Yang-fan, Wang Jian-hua, Cui Cheng-xing. Study on the effect of $MnCl_2 \cdot 4H_2O$ and $H_2MoO_4 \cdot H_2O$ on the salt tolerance of cotton seedlings[J]. Journal of Hebei Agricultural University, 2006, 29(4): 15-18.
- [61] 李玉静, 宋宪亮, 杨兴洪, 等. 甜菜碱浸种对棉苗耐盐性的影响[J]. 作物学报, 2008, 34(2): 305-310.
- LI Yu-jing, Song Xian-liang, Yang Xing-hong, et al. Effects of seed soaking with glycinebetaine on the salt tolerance of cotton seedlings[J]. Acta Agronomica Sinica, 2008, 34(2): 305-310.
- [62] 潘一展, 刘万玲. VB6 浸种对棉花抗盐性的影响[J]. 河南农业科学, 2006(7): 47-49.
- PAN Yi-zhan, Liu Wan-ling. Influence of soaking seed with Vitamin-B6 on cotton anti-salinity[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2006(7): 47-49.
- [63] 沈法富, 尹承岱, 高凤珍, 等. 多效唑浸种提高棉花幼苗的耐盐性效应[J]. 中国棉花, 1996, 23(5): 9-11.
- SHEN Fa-fu, Yin Cheng-dai, Gao Feng-zhen, et al. Effect of soaking seed with EMT on cotton anti-salinity[J]. China Cotton, 1996, 23(5): 9-11.
- [64] 孙小芳, 郑青松, 刘友良. 缩节胺和氯化钙浸种对种子萌发出苗期棉株耐盐性的调节[J]. 江苏农业科学, 2000, 15(4): 204-207.
- SUN Xiao-fang, Zheng Qing-song, Liu You-liang. Regulation of soaking seed with mepiquat chloride and $CaCl_2$ on seed germination and emergence of cotton seedlings[J]. Journal of Jiangsu Agricultural Sciences, 2000, 15(4): 204-207.
- [65] 赵可夫, 曹子谊, 宋杰, 等. 植物抗盐抗旱剂及其使用方法; 中国, CN1290483[P]. 2001-04-11.
- ZHAO Ke-fu, Cao Zi-yi, Song Jie, et al. Plant anti-salt and anti-drought medicament and application methods: China, CN1290483[P]. 2001-04-11.
- [66] 董合忠, 李维江, 张晓洁, 等. 一种促进盐碱地棉花成苗的种衣剂及其制备方法; 中国, CN101336574[P]. 2009-01-07.
- DONG He-zhong, Li Wei-jiang, Zhang Xiao-jie, et al. A promotive cotton seedling establishment seed-coating and preparation methods: China, CN101336574[P]. 2009-01-07.
- [67] 谢志霞. 冠菌素对棉花苗期耐盐性的调控效应及机理[D]. 北京: 中国农业大学, 2007.
- XIE Zhi-xia. Effects and physiological mechanism of coronatine on the salinity tolerance of cotton seedlings [D]. Beijing: China Agricultural University, 2007.
- [68] 郑青松, 刘友良. DPC 浸种提高棉苗耐盐性的作用和机理[J]. 棉花学报, 2001, 13(5): 278-282.
- ZHENG Qing-song, Liu You-liang. Effects of soaking seeds in DPC increasing the salinity tolerance in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) seedlings and its mechanism [J]. Cotton Science, 2001, 13(5): 278-282.
- [69] 辛承松, 唐薇, 王洪征, 等. 鲁棉 14 幼苗生长对氯化钠胁迫的反应及微量元素、激素处理的效应[J]. 棉花学报, 2002, 14(2): 108-112.
- XIN Cheng-song, Tang Wei, Wang Hong-zheng, et al. Responses of seedling growth of Lumian 14 to NaCl stress and effects of treatments with microelement and hormone[J]. Cotton Science, 2002, 14(2): 108-112.
- [70] 陈秀兰. 提高棉花耐盐性的途径[J]. 棉花学报, 1998, 10(2): 64-67.
- CHEN Xiu-lan. Methods of improving salt-resistance of cotton [J]. Cotton Science, 1998, 10(2): 64-67.
- [71] XIE Z X, Duan L S, Tian X L, et al. Coronatine alleviates salinity stress in cotton by improving the antioxidative defense system and radical-scavenging activity[J]. Journal of Plant physiology, 2008, 165: 375-384.
- [72] 万惠娥, 辛业全. 宁南山区盐碱施磷对春小麦生理及产量的影响[J]. 宁夏农林科技, 1991(2): 8-11.
- WAN Hui-e, Xin Ye-quan. Effect of applying phosphate in saline-alkali soil on physiology and yield of spring wheat in Ningnan area[J]. Ningxia Journal of Agriculture and Forestry Science and Technology, 1991(2): 8-11.
- [73] 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 Xiao-ying, Yang Jin-song, Li Dong-shun. Effects of cultivation practices on growth of cotton under salt stress[J]. Soil, 2005, 37(1): 65-68.
- [74] CHEN W P, Hou Z N, Wu L S, et al. Effects of salinity and nitrogen on cotton growth in arid environment[J]. Plant and Soil, 2009, 326: 61-73.
- [75] 董合忠. 盐碱地棉花栽培学[M]. 北京: 科学出版社, 2010: 151-195.
- DONG He-zhong. Cotton farming in saline soil[M]. Beijing: Science Press, 2010: 151-195.
- [76] DONG H Z, Li W J, Tang W, et al. Furrow seeding with plastic mulching increases stand establishment and lint yield of cotton in a saline field[J]. Agronomy Journal, 2008, 100(6): 1640-1646.
- [77] DONG H Z, Li W J, Tang W, et al. Early plastic mulching increases stand establishment and lint yield of cotton in saline fields[J]. Field Crops Research, 2009, 111: 269-275.
- [78] DONG H Z, Li W J, Xin C S, et al. Late planting of short-season cotton in saline fields of the Yellow River Delta[J]. Crop Science, 2010, 50: 292-300. ●