

杜娟,申磊,孙艳香. 氨基酸对 NaCl 胁迫下棉苗生理性状及脯氨酸含量的影响[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(7): 99–102.

氨基酸对 NaCl 胁迫下棉苗生理性状及脯氨酸含量的影响

杜娟, 申磊, 孙艳香

(廊坊师范学院, 河北廊坊 065000)

摘要:为了研究不同氨基酸不同浓度对 NaCl 胁迫下棉苗生理性状和脯氨酸含量的影响, 采用温室培养处理, 将 2、4、6、8 mmol/L 氨基酸与 1 mol/L NaCl 溶液混合后浸泡处理棉籽 24 h, 同设单独盐处理及水处理, 10 d 后测定棉苗生理指标和脯氨酸含量。结果显示, 8 mmol/L 瓜氨酸处理的发芽率比 1 mol/L NaCl 处理高很多; 鸟氨酸处理的棉籽发芽势基本都高于 NaCl 处理中棉籽的发芽势, 不同种类不同浓度氨基酸浸种对 NaCl 胁迫下棉花幼苗鲜质量、干质量及含水量均有不同程度的影响; 所有氨基酸处理对 NaCl 胁迫下棉花中脯氨酸的生成均有一定的抑制作用。说明部分种类及浓度的氨基酸能缓解盐胁迫对棉籽萌发及棉花幼苗生长的抑制作用, 而对脯氨酸的生成有不同程度的抑制作用。

关键词:氨基酸; 棉花; 生理性状; NaCl 胁迫; 脯氨酸

中图分类号: S562.01 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2014)07-0099-03

NaCl 胁迫会造成植物发育迟缓, 抑制植物组织和器官的生长和分化^[1]。氨基酸能帮助植物对一些逆境作出反应, 防止叶绿体光合作用的衰减^[2-3]等多种生理过程。中国盐渍土的比例明显高于世界平均水平, 提高植物耐盐性是克服土壤盐渍化的一条重要途径^[4-5]。因此, 研究 NaCl 胁迫下氨基酸与植物耐盐性的关系具有重要意义。目前, 关于氨基酸参与植物胁迫适应的研究主要包括盐胁迫抵抗力、调节膨压渗透势和阳离子膜运输等^[6-10]; 还有文献报道氨基酸能够提高植物对盐胁迫的适应能力, 进而提高植物的耐盐能力^[11]; 近期有研究表明, NaCl 处理严重抑制了棉苗节间伸长和叶面积的扩展, 减慢了生长速率, 降低了干物质积累, NaCl 浓度越高, 胁迫症状出现得越早^[12]。本研究以棉花为材料, 研究 NaCl 胁迫下不同种类不同浓度的氨基酸对棉花幼苗生理性状的影响以及棉花幼苗中脯氨酸含量的变化, 探讨氨基酸缓解棉花在 NaCl 胁迫下的生理生化机理, 以期为扩大棉花在盐渍地中的种植面积、进一步提高棉花产量提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试陆地棉 (*Gossypium hirsutum* L.) 品种为农大棉 7 号。

1.2 研究方法

1.2.1 试材培育及测定 棉籽经硫酸脱绒, 清水冲洗干净后晾干, 精选外观饱满、大小与色泽等一致的棉籽, 浸种[本试验中设 3 种氨基酸 4 个含量水平 (分别与 1 mol/L NaCl 溶液混合后浸泡处理棉籽) 以及水处理 (水对照)、NaCl 处理 (盐对照) 共 18 个处理]至露白, 选露白一致的棉籽, 与草炭

土: 珍珠岩: 蛭石 = 1: 1: 1 混合于 90 mm × 70 mm 培养钵中, 封上塑料膜, 在光照培养室内育苗, 昼温约 25 ℃, 夜温约 20 ℃, 光强 400 μmol/(m² · s)。每天每盆浇相同量的水, 于相同条件下培养, 其他管理措施如病虫害防治等相同。

自发芽开始每天记录发芽数, 第 7 天统计发芽势, 第 10 天统计发芽率。第 10 天洗出完整植株, 快速擦干, 称得鲜质量, 并测量苗高与根长。将棉苗放入烘箱以 80 ℃ 烘干至恒重, 然后称得干质量, 记录并统计所得数据。

1.2.2 脯氨酸含量的测定

1.2.2.1 标准曲线的绘制 在分析天平上精确称取 25 mg 脯氨酸, 倒入小烧杯内, 用少量蒸馏水溶解, 然后倒入 250 mL 容量瓶中, 加蒸馏水定容至刻度, 此标准液中含脯氨酸 100 μg/mL; 取 6 个 50 mL 容量瓶, 分别盛入脯氨酸原液 0.5、1.0、1.5、2.0、2.5、3.0 mL, 用蒸馏水定容至刻度, 摇匀, 各瓶的脯氨酸含量分别为 1、2、3、4、5、6 μg/mL。取 6 支试管, 分别吸取 2 mL 系列标准含量的脯氨酸溶液及 2 mL 冰醋酸和 2 mL 酸性茚三酮溶液, 每支试管在沸水浴中加热 30 min; 冷却后, 各试管中准确加入 4 mL 甲苯, 振荡 30 s, 静置片刻, 使色素全部转至甲苯溶液; 用注射器轻轻吸取各管上层脯氨酸甲苯溶液至比色杯中, 以甲苯溶液为空白对照, 于 520 nm 波长处进行比色。先求出吸光度 (y) 依脯氨酸含量 (x) 变化而变化的回归方程, 再按回归方程式绘制标准曲线, 计算 2 mL 待测液中脯氨酸的含量。

1.2.2.2 样品的测定 (1) 脯氨酸的提取。待棉花幼苗长出 2~3 张真叶时取叶片, 并测定各处理叶片中的脯氨酸含量。准确称取不同处理的待测棉花真叶叶片各 0.5 g, 分别置于大管中, 然后向各管中分别加入 5 mL 3% 磺基水杨酸溶液, 在沸水浴中提取 10 min (提取过程中要经常摇动), 冷却后过滤于干净的试管中, 滤液即为脯氨酸的提取液。(2) 吸取 2 mL 提取液于另一干净的带玻塞试管中, 加入 2 mL 冰醋酸及 2 mL 酸性茚三酮试剂, 在沸水浴中加热 30 min, 溶液即呈红色。冷却后加入 4 mL 甲苯, 振荡 30 s, 静置片刻, 取上层液至 10 mL 离心管中, 在 3 000 r/min 下离心 5 min。(3) 用吸管轻轻吸取上层脯氨酸红色甲苯溶液于比色杯中, 以甲苯为空白

收稿日期: 2014-02-19

基金项目: 河北省教育厅项目 (编号: Z2013014); 河北省廊坊市科学技术研究与发展计划 (编号: 2013012003)。

作者简介: 杜娟 (1983—), 女, 河北冀州人, 硕士, 助理研究员, 主要从事植物保护方面的研究。E-mail: dujuan0203@163.com。

通信作者: 孙艳香, 博士, 教授, 主要从事植物转基因遗传方面的研究。Tel: (0316) 2188092; E-mail: yx_sun70@163.com。

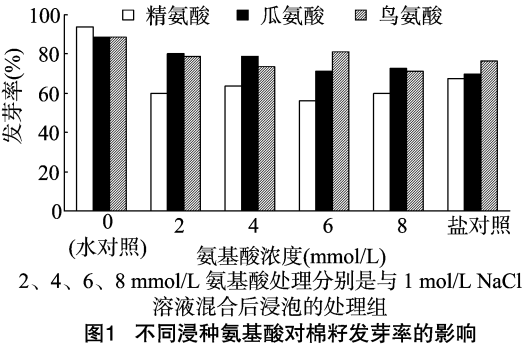
白对照,用分光光度计在 520 nm 波长处比色,求得吸光度。

1.2.2.3 结果计算 根据回归方程计算出(或从标准曲线上查出)2 mL 测定液中脯氨酸质量(x),然后计算干样品中脯氨酸含量:脯氨酸含量($\mu\text{g/g}$)= $\frac{5}{2}x$ /样品质量(g)。

2 结果与分析

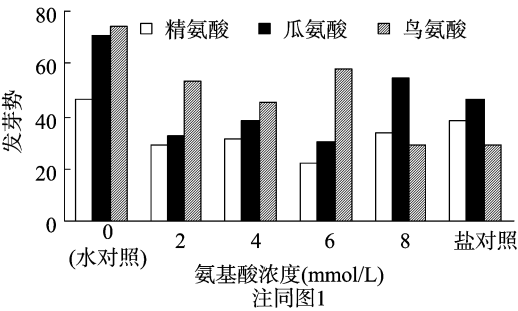
2.1 氨基酸浸种对 NaCl 胁迫下棉花幼苗生理性状的影响

2.1.1 氨基酸浸种对 NaCl 胁迫下棉籽发芽的影响 由图 1 可以看出,NaCl 处理的棉籽发芽率明显低于水处理,而不同种类、同种类不同浓度的氨基酸浸种对棉籽的发芽率也有一定的影响。用 3 种浓度氨基酸浸种后的棉籽发芽率均低于水处理,所有浓度精氨酸处理的棉籽发芽率均低于 NaCl 处理,8 mmol/L 瓜氨酸处理比 NaCl 处理略高一些,2、6 mmol/L 鸟氨酸处理的棉籽发芽率高于 NaCl 处理。由此可知,在 1 mol/L NaCl 胁迫下,用瓜氨酸和鸟氨酸浸种对棉籽具有一定的缓解作用,而精氨酸对棉籽的缓解作用较小。



由图 2 可以看出,NaCl 处理棉籽的发芽势明显低于水处理,而精氨酸处理的棉籽发芽势均比 NaCl 处理低,鸟氨酸处理的棉籽发芽势基本都高于 NaCl 处理,瓜氨酸处理的棉籽发

芽势只有在浓度为 8 mmol/L 时才高于 NaCl 处理。由此可知,用不同种类、不同浓度的氨基酸浸种对 NaCl 胁迫下的棉籽发芽势影响不同,经鸟氨酸浸种处理后的棉籽发芽势较高,而经精氨酸浸种的棉籽发芽势较 NaCl 处理低,说明精氨酸缓解盐胁迫的作用并不明显。



2.1.2 氨基酸浸种对盐胁迫下棉花幼苗生长的影响 由表 1 可知,精氨酸处理组中,水对照,2、4 mmol/L 精氨酸处理的棉花苗高与 NaCl 处理差异显著,6、8 mmol/L 精氨酸与 NaCl 处理差异不显著;瓜氨酸处理组中,水处理与 6 mmol/L 瓜氨酸处理苗高差异显著,与其他浓度处理差异不显著;鸟氨酸处理中除浓度为 4 mmol/L 的棉花外,其他处理的棉花苗均比 NaCl 处理高,与水处理和 NaCl 处理苗高差异不显著。

从表 1 还可以看出,精氨酸处理的棉花根长均比 NaCl 处理的短,均与水处理差异显著,只有 4、6 mmol/L 精氨酸处理的棉花根长与 NaCl 处理差异显著。瓜氨酸处理的根长均与水处理差异显著;只有 6 mmol/L 瓜氨酸处理的根长比 NaCl 处理短且差异显著,其他处理的根长均大于 NaCl 处理但差异不显著。鸟氨酸处理中只有浓度为 2 mmol/L 处理的棉花根长大于 NaCl 处理,与水处理和 NaCl 处理差异均不显著;其他处理均与水处理和 NaCl 处理差异显著。由此可知,经

表 1 不同氨基酸处理棉花幼苗生理指标的影响

氨基酸	浓度 (mmol/L)	平均苗高 (cm)	平均根长 (cm)	单株鲜质量 (g)	单株干质量 (g)	含水量 (%)
精氨酸	0 (水对照)	8.29 ± 0.13a	10.69 ± 0.36a	0.750 ± 0.02a	0.090 ± 0.01a	0.879 4 ± 0.04a
	2	6.77 ± 0.52b	9.65 ± 0.16b	0.680 ± 0.02a	0.110 ± 0.05a	0.849 4 ± 0.09a
	4	6.98 ± 0.16b	8.36 ± 0.25c	0.690 ± 0.01a	0.110 ± 0.04a	0.847 9 ± 0.01a
	6	6.31 ± 0.21c	7.84 ± 0.17c	0.660 ± 0.02a	0.110 ± 0.05a	0.837 2 ± 0.04a
	8	6.48 ± 0.13c	9.22 ± 0.13b	0.660 ± 0.03a	0.120 ± 0.06a	0.8410 ± 0.09a
	1 mol/L NaCl (盐对照)	6.27 ± 0.14c	9.99 ± 0.19ab	0.660 ± 0.02a	0.100 ± 0.04a	0.840 5 ± 0.16a
瓜氨酸	0 (水对照)	8.78 ± 0.25a	12.14 ± 0.09a	0.750 ± 0.04a	0.082 ± 0.02a	0.890 5 ± 0.02a
	2	8.19 ± 0.24ab	10.50 ± 0.36b	0.739 ± 0.03a	0.088 ± 0.08a	0.8804 ± 0.10a
	4	8.12 ± 0.49ab	10.31 ± 0.15b	0.714 ± 0.07a	0.088 ± 0.09a	0.8756 ± 0.08a
	6	7.83 ± 0.30b	9.18 ± 0.57c	0.694 ± 0.04a	0.085 ± 0.10a	0.8771 ± 0.09a
	8	8.06 ± 0.16ab	10.54 ± 0.08b	0.743 ± 0.04a	0.092 ± 0.03a	0.8778 ± 0.06a
	1 mol/L NaCl (盐对照)	7.97 ± 0.21ab	10.19 ± 0.35b	0.710 ± 0.09a	0.093 ± 0.05a	0.8699 ± 0.07a
鸟氨酸	0 (水对照)	8.05 ± 0.72a	10.28 ± 0.49a	0.680 ± 0.03a	0.078 ± 0.06a	0.8839 ± 0.06a
	2	8.09 ± 0.53a	10.90 ± 0.20a	0.700 ± 0.10a	0.089 ± 0.04a	0.8742 ± 0.03a
	4	7.37 ± 0.25a	9.18 ± 0.38b	0.620 ± 0.08a	0.085 ± 0.11a	0.8620 ± 0.11a
	6	7.65 ± 0.16a	9.24 ± 0.19b	0.670 ± 0.06a	0.085 ± 0.10a	0.8739 ± 0.12a
	8	7.73 ± 0.28a	9.25 ± 0.06b	0.670 ± 0.03a	0.085 ± 0.09a	0.8730 ± 0.08a
	1 mol/L NaCl (盐对照)	7.50 ± 0.64a	10.19 ± 0.10a	0.710 ± 0.01a	0.092 ± 0.04a	0.8697 ± 0.09a

注同图 1。

2 mmol/L 鸟氨酸,2、4、8 mmol/L 瓜氨酸处理的棉花根长比 NaCl 处理长,这 4 个处理对棉花所受的 NaCl 胁迫的缓解作用更明显。精氨酸处理的棉花干质量均大于 NaCl 处理,瓜氨酸处理与鸟氨酸处理的棉花干质量均小于 NaCl 处理,且差异均不显著,说明经精氨酸浸种能获得更多的棉花幼苗干物质。

2.2 氨基酸浸种对 NaCl 胁迫下棉花幼苗脯氨酸含量的影响

由表 2 可以看出,经氨基酸浸种的棉花真叶中脯氨酸含量均低于 NaCl 处理,且差异显著。精氨酸处理和鸟氨酸处理

的脯氨酸含量均高于水处理,其中 4 个浓度精氨酸处理的脯氨酸含量之间差异不显著,但均与水处理和 NaCl 处理差异显著;瓜氨酸的几个浓度处理中只有 2 mmol/L 处理与水处理差异显著,其他几个浓度处理与水处理差异不显著;鸟氨酸的几个浓度处理中只有 2 mmol/L 处理与水处理差异显著,其他几个浓度处理与水处理差异不显著。由此可知,所有用氨基酸浸种的处理对 NaCl 胁迫下棉花中脯氨酸的生成均有一定的抑制作用。

表 2 氨基酸处理对棉花中脯氨酸含量的影响

氨基酸	浓度 (mmol/L)	吸光度	脯氨酸质量 (μg)	脯氨酸含量 (μg/g)
精氨酸	0(水对照)	0.23 ± 0.000 2c	1.890 ± 0.000 1c	9.44 ± 1.010 0c
	2	0.22 ± 0.000 3c	2.450 ± 0.003 0b	12.25 ± 1.001 0b
	4	0.33 ± 0.000 4b	2.610 ± 0.008 0b	13.05 ± 2.250 0b
	6	0.20 ± 0.000 4c	2.380 ± 0.005 0b	11.90 ± 0.990 0b
	8	0.32 ± 0.000 4b	2.520 ± 0.010 0b	12.60 ± 0.490 0b
	1 mol/L NaCl(盐对照)	0.46 ± 0.000 2a	3.695 ± 0.0001a	18.48 ± 0.778 0a
瓜氨酸	0(水对照)	0.23 ± 0.0002b	1.888 ± 0.0800cd	9.44 ± 1.001 0cd
	2	0.31 ± 0.010 0b	2.490 ± 0.080 0b	12.45 ± 1.010 0b
	4	0.22 ± 0.004 9b	1.770 ± 0.020 0cd	8.34 ± 0.330 0d
	6	0.21 ± 0.001 6b	1.650 ± 0.080 0d	8.24 ± 0.990 0d
	8	0.27 ± 0.003 6b	2.130 ± 0.020 0c	10.65 ± 0.250 0c
	1 mol/L NaCl(盐对照)	0.46 ± 0.000 2a	3.695 ± 0.180 0a	18.48 ± 2.250 0a
鸟氨酸	0(水对照)	0.32 ± 0.240 0ab	1.888 ± 0.040 0b	9.44 ± 1.001 0c
	2	0.41 ± 0.042 0ab	2.289 ± 0.010 0b	11.45 ± 0.250 0b
	4	0.28 ± 0.000 9ab	2.230 ± 0.040 0b	11.15 ± 0.998 0bc
	6	0.26 ± 0.001 6ab	2.080 ± 0.360 0b	10.40 ± 0.249 0bc
	8	0.25 ± 0.000 4ab	1.980 ± 0.160 0b	9.90 ± 0.443 0bc
	1 mol/L NaCl(盐对照)	0.05 ± 0.000 2a	3.695 ± 0.090 0a	18.48 ± 2.250 0a

注同图 1。

3 结论与讨论

一般认为,棉花耐盐能力在萌发出苗阶段最弱,随着生育进程的进行不断增强。在沿海滩涂地区,成苗难是棉花生产上尚未解决而亟待解决的问题。由于棉花幼苗对盐分比较敏感,因此根系发育的好坏影响根系对水分和养分的吸收,对棉苗的耐盐性尤其重要^[13-14]。有研究认为,盐胁迫可以增加根系分泌物中氨基酸的种类和含量。随着盐胁迫浓度的增大和黄瓜生长时间的延长,各处理用气相色谱-质谱联用仪(GC-MS)检出的化合物种类和总含量呈减少的趋势^[15]。

本研究结果表明,在相同浓度 NaCl 胁迫下,有几个浓度的氨基酸浸种处理后使棉花幼苗根长略大于 NaCl 处理,但其他几个浓度处理的根长甚至有远小于 NaCl 处理棉花根长的现象。由此推测,棉花根部存在一个耐 NaCl 阈值,当土壤中 NaCl 浓度在阈值范围内时,棉花根长与土壤 NaCl 浓度呈正比关系;当超出阈值时,棉花根部会因受 NaCl 胁迫而受到影响,从而根长减小,而不同种类、不同浓度的氨基酸处理可以不同程度提高耐盐阈值。这个推测是否成立,尚待论证。

同时,在对本研究所得各组棉花叶片的脯氨酸含量进行分析以及与预期结果进行对比后发现,氨基酸浸种并未很大程度地提升 NaCl 胁迫下棉花幼苗中的脯氨酸含量,甚至经氨基酸浸种后棉花叶片中脯氨酸含量少于 NaCl 处理。有大

量研究表明,脯氨酸的大量积累是高等植物受 NaCl 胁迫等渗透胁迫时的正常生理生化现象,因为在渗透胁迫下,脯氨酸既作为渗透调节剂维持低水势,又保护生物大分子不受 NaCl 离子的毒害^[16]。本研究中脯氨酸在经氨基酸浸种后的生成会受到抑制,是因为脯氨酸的生成主要有 2 个途径:谷氨酸途径和鸟氨酸途径,而鸟氨酸又可与精氨酸、瓜氨酸形成一个循环途径^[17]。由此可知,当棉花受到盐胁迫时,其体内会生成大量脯氨酸以保证自己的正常生长发育,然而当对其以精氨酸、鸟氨酸或瓜氨酸进行处理后,合成脯氨酸的重要途径——鸟氨酸途径会受到抑制,从而使脯氨酸的合成受到抑制,最终使其脯氨酸含量小于 NaCl 胁迫下未经氨基酸处理的棉花。

本试验从棉籽萌发、棉花幼苗生长及棉花叶片中脯氨酸的含量几个方面比较了经氨基酸浸种与未经氨基酸浸种的棉花受 NaCl 胁迫时的差异,从而发现不同浓度的瓜氨酸、鸟氨酸、精氨酸对缓解棉花 NaCl 胁迫的作用不同。总的来说,部分种类、部分浓度的氨基酸能缓解 NaCl 胁迫对棉籽萌发及棉花幼苗生长的抑制作用,精氨酸、瓜氨酸、鸟氨酸浸种对棉花植株中脯氨酸的生成有不同程度的抑制作用。

参考文献:

[1]杨少辉,季 静,王 罡,等. 盐胁迫对植物影响的研究进展[J]. 分子植物育种,2006,4(增刊):139-142.

杨步琴,季仁达,赵晓斌. 雷力海藻肥在小麦生产上的应用效果[J]. 江苏农业科学,2014,42(7):102-103.

雷力海藻肥在小麦生产上的应用效果

杨步琴¹, 季仁达², 赵晓斌¹

(1. 江苏省洪泽县农业技术推广站, 江苏洪泽 223100; 2. 江苏省洪泽县高良涧镇农技服务站, 江苏洪泽 223100)

摘要:选用雷力海藻生物肥和当地常用的化学肥料进行了比较试验。试验结果,雷力海藻肥对稳定小麦成穗数、控制春发无效分蘖、提高小麦成穗率、促进灌浆结实有显著作用,表明雷力海藻肥对小麦生产具有较好的作用。

关键词:雷力海藻肥;化学肥料;小麦生产;应用

中图分类号: S512.106 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2014)07-0102-02

雷力海藻肥是北京雷力(集团)公司应用新型天然海洋巨藻研制加工的生物肥料,集营养成分、抗生物质、植物生长调节剂等多功能于一体^[1]。为验证雷力海藻肥在小麦作物上的节肥、增产、生态等综合效果,探寻促进粮食生产健康可持续发展的新途径,于2012年11月至2013年6月在江苏“现代农业(稻麦)科技综合示范推广(洪泽)”基地进行了雷力海藻肥在小麦生产上应用效果试验与示范。

1 材料与方法

1.1 基本情况

收稿日期:2013-10-02

基金项目:国家小麦产业技术体系苏中试验站专项(编号:CARS-3-2-13);江苏省农业三新工程(编号: SXGC[2012]206);国家科技支撑计划(编号:2012BAD04B08)。

作者简介:杨步琴(1974—),女,江苏洪泽人,农艺师,主要从事稻麦高产优质高效栽培技术集成研究与示范推广。Tel:(0517)87239382;Email:chybq@126.com。

[2]柯玉琴,潘廷国. NaCl胁迫对甘薯叶片叶绿体超微结构及一些酶活性的影响[J]. 植物生理学报,1999,25(3):229-233,315-316.

[3]陈洁,林栖凤. 植物耐盐生理及耐盐机理研究进展[J]. 海南大学学报:自然科学版,2003,21(2):177-182.

[4]魏国强,朱祝军,方学智,等. NaCl胁迫对不同品种黄瓜幼苗生长、叶绿素荧光特性和活性氧代谢的影响[J]. 中国农业科学,2004,37(11):1754-1759.

[5]郭文忠,刘声锋,李丁仁,等. 设施蔬菜土壤次生盐渍化发生机理的研究现状与展望[J]. 土壤,2004,36(1):25-29.

[6]Sharma S S, Dietz K J. The significance of amino acids and amino acid-derived molecules in plant responses and adaptation to heavy metal stress[J]. Journal of Experimental Botany, 2006, 57(4): 711-726.

[7]Rai V K. Role of amino acids in plant responses to stresses[J]. Biologia Plantarum, 2002, 45(4): 481-487.

[8]Szabados L, Savouré A. Proline: a multifunctional amino acid[J]. Trends in Plant Science, 2010, 15(2): 89-97.

[9]El S A, Shaddad M A K, Barakat N. Improvement of plants salt tolerance by exogenous application of amino acids[J]. Plants Resour, 2011, 5(24): 5692-5699.

[10]Szekely G, Abrahám E, Cséplő A, et al. Duplicated P5CS genes of

试验在洪泽县岔河镇施汤村进行,土壤类型为灰黏黄土,有机质含量 27.6 g/kg,全氮 2.09 g/kg,碱解氮 130.3 mg/kg。速效磷 26.3 mg/kg,速效钾 223 mg/kg。

1.2 试验设计

试验设3个处理,分别为处理1(空白对照):全程不施底肥和追肥;处理2(当地常规肥料):底肥施常规复合肥(含N、P₂O₅、K₂O各15%)289.5 kg/hm²、尿素189 kg/hm²、过磷酸钙(含P₂O₅ 11.5%)757.5 kg/hm²、3月18日拔节期,追施常规复合肥150 kg/hm²、尿素147 kg/hm²,全生育期纯氮总用量220.5 kg/hm²。处理3(雷力海藻肥):底肥施雷力复混肥(含N15%、P₂O₅15%、K₂O 5%)870 kg/hm²,3月18日拔节期,追施雷力复混肥(含N 23%、P₂O₅ 6%、K₂O 6%)390 kg/hm²,全生育期与处理2等量施用纯氮总量220.5 kg/hm²。

1.3 试验实施

试验重复3次,随机区组排列,共9个小区,每小区面积40 m²,小区之间设0.5 m隔离带,试验区四周设1 m以上隔离保护行。供试品种为郑麦9023,11月1日播种,播量

Arabidopsis play distinct roles in stress regulation and developmental control of proline biosynthesis[J]. The Plant Journal: for Cell and Molecular Biology, 2008, 53(1): 11-28.

[11]Khedr A H, Abbas M A, Wahid A A, et al. Proline induces the expression of salt-stress-responsive proteins and may improve the adaptation of *Panacratium maritimum* L. to salt-stress[J]. Journal of Experimental Botany, 2003, 54(392): 2553-2562.

[12]李翠芳,刘连涛,孙红春,等. 外源NO对NaCl胁迫下棉苗主要形态和相关生理性状的影响[J]. 中国农业科学,2012,45(9): 1864-1872.

[13]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.

[14]王俊娟,叶武威,周大云,等. 盐胁迫下不同耐盐类型棉花的萌发特性[J]. 棉花学报,2007,19(4): 315-317.

[15]吴凤芝,周新刚,包静. NaCl胁迫对不同耐盐黄瓜品种根系分泌物主要成分的影响[J]. 中国农业科学,2012,45(21): 4415-4427.

[16]许祥明,叶和春,李国风. 脯氨酸代谢与植物抗渗透胁迫的研究进展[J]. 植物学通报,2000,17(6): 536-542.

[17]谢虹,杨兰,李忠光. 脯氨酸在植物非生物胁迫耐性形成中的作用[J]. 生物技术通报,2011(2): 23-27,60.