

NaCl胁迫对野生与栽培大豆杂交后代株系生理指标的影响

胡卫静¹,何丽君¹,何劲莉²,王明玖³,陈丽丽³,王瑞钉¹

(1. 内蒙古农业大学 农学院, 内蒙古 呼和浩特 00019; 2. 内蒙古大学 生命科学院, 内蒙古 呼和浩特 010018; 3. 内蒙古农业大学 生态环境学院, 内蒙古 呼和浩特 010019)

摘要:为筛选耐盐性强的大豆材料,设置不同 NaCl 溶液浓度梯度(50,100,150 和 200 mmol·L⁻¹)模拟盐渍环境,对野生大豆与栽培大豆杂交后代 15 个稳定株系、父本野生大豆 YDD 和当地栽培大豆对照 KYDD 的幼苗叶片进行保护酶活性、丙二醛(MDA)含量和渗透调节物质含量进行测定。结果表明:随着 NaCl 浓度的增加,所有株系丙二醛含量明显增加,超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)活性都有不同程度的降低,可溶性蛋白(SP)受到分解且含量逐渐降低,游离脯氨酸(Pro)含量略有增加,可溶性糖(SS)含量极低且增幅不明显。在不同浓度 NaCl 胁迫下 ZS、2 号和 15-1 的保护酶活性明显高于 YDD 和 KYDD;只有 15-1 的丙二醛、游离脯氨酸和可溶性糖含量低于 YDD 和 KYDD;而 15-1 的可溶性蛋白含量高于 YDD 和 KYDD,所以 15-1 是耐盐性最强的株系。

关键词:栽培大豆;野生大豆;杂交后代;生理指标;耐盐性

中图分类号:S565.1

文献标识码:A

文章编号:1000-9841(2013)03-0349-06

Effects of NaCl Stress on Physiological Characters of Soybean Hybrids from *Glycine max* × *Glycine soja*

HU Wei-jing¹, HE Li-jun¹, HE Jin-li², WANG Ming-jiu³, CHEN Li-li³, WANG Rui-ding¹

(1. College of Agronomy, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010019, China; 2. College of Life Sciences, Inner Mongolia University, Hohhot 010018, China; 3. College of Ecology and Environmental Science, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010019, China)

Abstract: Seedlings of fifteen stable soybean lines from *Glycine max* × *Glycine soja*, as well as male parent YDD (*Glycine soja*) and local control cultivar KYDD (*Glycine max*), were exposed to 0, 50, 100, 150 and 200 mmol·L⁻¹ NaCl, and protective enzyme activity, content of Malondialdehyde (MDA) and osmotic regulation substances were determined to screen soybean materials with higher salt tolerance. With the increment of NaCl concentration, MDA content significantly increased, activities of superoxide dismutase (SOD), peroxidase (POD) and catalase (CAT) decreased with varied degree, soluble protein (SP) declined, free proline (Pro) slightly increased, soluble sugar (SS) content was lower and remained stable. Under different concentrations of NaCl, SOD, POD and CAT activities of ZS, 2 and 15-1 were obviously higher than YDD and KYDD, while MDA, Pro and SS were lower, and SP were higher than YDD and KYDD for 15-1. Hence, 15-1 had best salt tolerance from tested soybean lines.

Key words: *Glycine max*; *Glycine soja*; Hybrids; Physiological indicators; Salt tolerance

野生大豆是栽培大豆的近缘野生种。通过野生大豆和栽培大豆杂交后的遗传物质结合,创新种质,可以使栽培大豆的基因得到补充,获得高产、耐逆和高蛋白等优良性状^[1-2]。本试验对不同浓度 NaCl 处理下大豆叶片可溶性糖、可溶性蛋白、脯氨酸、丙二醛的含量及超氧化物歧化酶、过氧化物酶、过氧化氢酶的活性进行分析,旨在揭示野生大豆在盐胁迫环境条件下的生理调节机制,为进一步利用和研究野生大豆提供生理学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

选用 15 个以内蒙古通辽市科尔沁草甸草原野

大豆(YDD)为父本与当地栽培大豆品种大白眉为母本杂交产生的稳定后代株系,编号为耐阴(NY)、披针叶(PZY)、早熟(ZS)、黑豆(HD)、0004、0005、9002、S001、S002、2 号、22 号、17-1、12-4、15-1 和 10-3,以及当地对照品种开源大豆(KYDD)和父本(YDD)为试验材料。

1.2 方法

分别选取健壮、饱满的大豆种子用 0.1% HgCl₂ 溶液中表面消毒 10 min,用蒸馏水浸泡 2 h,之后用水冲洗干净并用滤纸擦干,选用直径 10 cm、高 15 cm 塑胶杯进行播种,每盆保苗 3 株,选用学校农场肥沃土壤作为盆栽试验的培养介质。培养 10 d 后进行 NaCl 盐胁迫试验,分别用含有 50, 100,

收稿日期:2012-12-06

基金项目:内蒙古自然科学基金(2010MS0511);内蒙古应用技术与开发项目(20091402)。

第一作者简介:胡卫静(1987-),女,在读硕士,主要从事作物种质资源研究与创新研究。E-mail: weijing0418@163.com。

通讯作者:何丽君(1963-),女,副教授,硕士生导师,主要从事豆科植物种质资源研究与创新研究。E-mail: helijun111@sina.com。

王明玖(1961-),男,教授,博士生导师,主要从事草地资源管理和草地生态学研究。E-mail: wangmj_0540@163.com。

150 和 200 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl 溶液对豆苗进行浇灌,以不添加 NaCl 溶液的清水浇灌为对照,胁迫 48 h,从真叶以上第三片叶子开始取样,选用新鲜、嫩绿的叶片进行各项生理指标测定,每个处理 3 次重复。

过氧化物酶(POD)的测定采用愈创木酚显色法^[3];过氧化氢酶(CAT)的测定采用紫外吸收法^[3];超氧化物歧化酶(SOD)测定采用 NBT 光化还原法^[3];可溶性蛋白质的测定采用考马斯亮蓝法^[3];可溶性糖测定采用蒽酮比色法^[3];丙二醛(MDA)的测定采用硫代巴比妥酸比色法^[3];游离脯氨酸测定采用酸性茚三酮法^[4]。

1.3 数据分析

采用 Excel 2003 进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 NaCl 处理对大豆叶片中 SOD、CAT、POD 活性及 MDA 含量的影响

2.1.1 超氧化物歧化酶(SOD) 由表 1 所示,在不同浓度 NaCl 处理下,随着 NaCl 浓度的升高 SOD 酶活性呈逐渐下降的趋势,但不同株系的降幅不同。盐浓度为 200 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,与 CK 相比,降幅最大(58%)的株系是 22 号,说明该株系对盐处理比较敏感;降幅最小(4.07%)的株系是 S001,说明该株系的 SOD 活性受盐胁迫影响不大。在 NaCl 浓度为 200 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,对照品种 KYDD 的 SOD 活性明显高于父本 YDD,而 S001、ZS、S002、0005、HD、10-3、15-1 和 2 号的 SOD 活性高于对照品种 KYDD。

表 1 NaCl 处理对大豆叶片 SOD 活性的影响

Table 1 Effect of NaCl treatment on soybean leaf SOD activity ($\text{U} \cdot \text{g}^{-1}$)

株系 Lines	NaCl 浓度 NaCl concentration/ $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$				
	0 (CK)	50	100	150	200
PZY	16.74	12.13	9.46	9.22	8.86
NY	57.50	38.82	37.12	34.21	32.99
ZS	102.86	98.98	87.82	86.36	82.00
HD	85.64	79.49	79.09	75.45	72.05
0004	67.69	57.98	55.55	50.70	43.42
0005	120.33	110.14	109.17	98.98	85.15
9002	30.57	28.14	27.17	19.89	18.92
S001	95.34	93.16	92.19	91.94	91.46
S002	103.59	100.68	98.25	95.34	94.37
2	108.93	106.98	103.35	94.61	90.00
22	24.26	21.11	17.71	15.17	10.19
10-3	91.46	87.22	85.23	84.42	71.32
12-4	33.24	32.75	21.35	20.62	18.44
15-1	83.70	79.81	77.84	72.83	70.37
17-1	85.15	82.97	72.05	55.80	55.07
YDD	36.87	33.00	30.08	28.63	27.41
KYDD	82.48	82.00	79.09	74.00	69.38

2.1.2 过氧化物酶(POD) 如表 2 所示,随着 NaCl 浓度的升高 POD 酶活性呈逐渐下降的趋势,但不同株系的降幅不同。NaCl 浓度为 200 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,与 CK 相比,降幅最大(73.73%)

的株系为 ZS;降幅最小的株系(26.57%)为 9002。在盐浓度为 200 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,父本 YDD 的 POD 活性高于对照品种 KYDD,而高于 YDD 的株系是 NY、ZS、9002、2 号、12-4 和 15-1。

表 2 NaCl 处理对大豆叶片 POD 的影响

Table 2 Effect of NaCl treatment on soybean leaf POD activity (U·g⁻¹ FW·min⁻¹)

株系 Lines	NaCl 浓度 NaCl concentration/mmole·L ⁻¹				
	0 (CK)	50	100	150	200
PZY	2.50	1.44	1.02	0.68	0.66
NY	3.10	2.62	1.54	1.18	1.16
ZS	1.98	1.82	1.64	1.36	1.02
HD	1.62	1.04	1.02	0.80	0.52
0004	2.50	1.86	1.72	1.30	0.88
0005	1.94	1.78	1.32	1.00	0.60
9002	2.86	2.74	2.72	2.32	2.10
S001	1.28	1.14	0.90	0.86	0.56
S002	1.30	0.98	0.82	0.64	0.50
2	4.20	2.60	1.96	1.48	1.30
22	1.06	0.88	0.82	0.76	0.58
10-3	1.48	1.30	1.28	0.98	0.72
12-4	1.94	1.76	1.26	1.12	1.10
15-1	4.40	2.44	1.82	1.74	1.66
17-1	1.82	0.80	0.74	0.68	0.62
YDD	2.14	1.20	1.18	0.96	0.90
KYDD	0.84	0.84	0.68	0.64	0.46

2.1.3 过氧化氢酶(CAT) 由表 3 所示,不同株系间 CAT 活性差异明显,其中 0004 和 15-1 的 CAT 活性明显高于其他株系。在不同浓度 NaCl 处理下,随着 NaCl 浓度的升高 CAT 酶活性呈逐渐下降的趋势,且不同株系的降幅存在差异。盐浓度为 200 mmol·L⁻¹ 时,与 CK 相比,降幅最大(76.83%)的株系是 0005;降幅最小(25.81%)的株系是 PZY。在盐浓度为 200 mmol·L⁻¹ 时,父本 YDD 的 CAT 活性高于对照品种 KYDD,而高于 YDD 的株系是 ZS、0004、9002、S001、S002、12-4、17-1、2 号和 15-1。

表 3 NaCl 处理对大豆叶片中 CAT 的影响

Table 3 Effect of NaCl treatment on soybean leaf CAT activity (U·g⁻¹ FW·min⁻¹)

株系 Lines	NaCl 浓度 NaCl concentration/mmole·L ⁻¹				
	0 (CK)	50	100	150	200
PZY	1.86	1.80	1.66	1.56	1.38
NY	2.64	2.16	2.04	1.44	1.32
ZS	9.96	8.76	7.98	6.00	4.20
HD	7.56	6.66	5.46	4.02	3.18
0004	44.52	28.44	20.52	19.98	18.78
0005	4.92	3.66	1.62	1.32	1.14
9002	7.92	7.20	6.36	5.76	5.46
S001	9.96	8.76	7.98	6.00	4.20
S002	17.04	11.7	6.42	5.70	4.38
2	7.08	6.94	5.78	4.94	3.68
22	9.18	4.08	3.60	3.24	2.16
10-3	8.58	7.38	4.38	3.54	3.42
12-4	6.36	6.06	5.22	4.32	4.14
15-1	31.02	29.46	23.22	21.36	21.3
17-1	7.92	7.50	5.10	4.50	3.60
YDD	4.98	4.80	4.26	4.20	3.48
KYDD	6.48	6.24	5.70	4.86	3.12

2.1.4 丙二醛(MDA) 如表4所示,不同株系的MDA含量差异显著,在不同浓度NaCl处理下,随着NaCl浓度的升高MDA含量呈逐渐上升的趋势,且不同株系的增幅不同。在NaCl浓度为 $200\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,与CK相比,增幅最大(197.93%)的品系是ZS,

增幅最小(2.53%)的品系是9002。在NaCl浓度为 $200\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 时,父本YDD的MDA含量高于对照品种KYDD,而高于YDD株系是NY、PZY、0004、10-3、0005、S002、S001和9002。

表4 NaCl处理对大豆叶片中丙二醛的影响

Table 4 Effect of NaCl treatment on soybean leaf MDA content ($\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$)

株系 Lines	NaCl 浓度 NaCl concentration/ $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$				
	0 (CK)	50	100	150	200
PZY	87.61	90.97	107.87	112.39	112.52
NY	70.84	71.35	97.68	99.23	100.39
ZS	18.71	19.61	40.39	55.35	55.74
HD	13.29	16.13	17.16	18.32	29.16
0004	77.16	78.58	93.94	100.39	160.65
0005	86.45	91.48	97.93	100.77	107.74
9002	102.19	102.71	102.97	104.13	104.77
S001	93.03	98.84	102.06	102.06	102.45
S002	58.84	71.35	101.81	105.68	124.00
2	83.87	85.29	91.1	92.26	92.65
22	84.52	87.74	89.29	90.71	91.61
10-3	58.06	85.81	98.19	101.81	105.03
12-4	60.64	64.13	64.52	89.42	89.81
15-1	5.22	7.35	9.16	9.68	11.06
17-1	15.94	22.06	23.74	24.39	25.03
YDD	65.81	66.19	66.58	85.29	93.03
KYDD	47.61	52.12	52.77	63.23	73.42

表5 NaCl处理对大豆叶片中游离脯氨酸的影响

Table 5 Effect of NaCl treatment on soybean leaf proline ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)

株系 Lines	NaCl 浓度 NaCl concentration/ $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$				
	0 (CK)	50	100	150	200
PZY	0.874	0.890	0.908	0.929	0.955
NY	0.925	0.940	0.999	1.002	1.012
ZS	0.923	0.936	0.937	0.940	0.976
HD	0.899	0.914	0.918	0.921	0.984
0004	0.916	0.958	1.002	1.050	1.119
0005	0.852	0.865	0.872	0.891	0.944
9002	0.984	1.027	1.087	1.121	1.128
S001	0.872	0.914	1.050	1.092	1.069
S002	0.930	0.931	0.935	0.940	0.944
2	0.846	0.854	0.859	0.860	0.870
22	0.919	0.932	0.946	0.954	1.038
10-3	0.943	0.947	0.951	0.956	0.963
12-4	0.860	0.863	0.896	0.900	0.909
15-1	0.930	0.934	0.944	0.948	0.956
17-1	0.962	0.976	0.987	0.991	1.002
YDD	0.951	0.956	0.958	0.969	0.973
KYDD	0.987	0.995	0.999	1.000	1.013

2.2 NaCl 处理对大豆叶片中渗透调节物质含量的影响

2.2.1 游离脯氨酸 如表 5 所示,在不同浓度 NaCl 处理下,随着 NaCl 浓度的升高脯氨酸含量呈逐渐上升的趋势。当盐浓度为 200 mmol·L⁻¹ 时与 CK 相比,增幅最大的是 S001,为 25.24%,增幅最小的是 S002,为 1.44%,所有株系在不同 NaCl 胁迫下脯氨酸含量受影响程度不大。在盐浓度为 200 mmol·L⁻¹ 时,对照品种 KYDD 脯氨酸含量高于父本 YDD,而 0004、9002、S001 和 22 号的脯氨酸含量高

于 KYDD,说明这几个株系对盐胁迫比较敏感。

2.2.2 可溶性蛋白 由表 6 可以看出,在不同浓度 NaCl 处理下,随着 NaCl 浓度的升高可溶性蛋白含量呈逐渐下降的趋势。NaCl 浓度为 200 mmol·L⁻¹ 时,与 CK 比较,可溶性蛋白含量变化不明显,其中 ZS 的降幅(27.8%)最大,S002 的降幅(2.73%)最小。在 NaCl 浓度为 200 mmol·L⁻¹ 时,对照品种 KYDD 可溶性蛋白含量高于父本 YDD,PZY、22 号、15-1 和 0004 的可溶性蛋白含量都高于 KYDD。

表 6 NaCl 处理对大豆叶片中可溶性蛋白的影响
Table 6 Effect of NaCl treatment on soybean leaf soluble proteins (mg·g⁻¹)

株系 Lines	NaCl 浓度 NaCl concentration/mmole·L ⁻¹				
	0 (CK)	50	100	150	200
PZY	0.82	0.813	0.801	0.796	0.798
NY	0.815	0.814	0.804	0.797	0.789
ZS	1.008	0.962	0.801	0.730	0.727
HD	0.808	0.784	0.772	0.745	0.720
0004	0.854	0.850	0.846	0.831	0.802
0005	0.828	0.809	0.804	0.802	0.796
9002	0.881	0.867	0.822	0.797	0.794
S001	0.821	0.813	0.802	0.798	0.795
S002	0.770	0.766	0.760	0.753	0.749
2	0.819	0.798	0.783	0.756	0.703
22	0.845	0.844	0.829	0.810	0.798
10-3	0.835	0.819	0.805	0.799	0.755
12-4	0.835	0.786	0.771	0.764	0.760
15-1	0.839	0.830	0.822	0.804	0.798
17-1	0.842	0.835	0.785	0.785	0.746
YDD	0.807	0.806	0.799	0.794	0.792
KYDD	0.822	0.821	0.813	0.811	0.797

2.2.3 可溶性糖 由表 7 所示,在不同浓度 NaCl 处理下,随着 NaCl 浓度的升高可溶性糖含量呈逐渐上升的趋势,但所有株系可溶性糖含量的增幅都不高。当盐浓度为 200 mmol·L⁻¹ 时,与 CK 相比,增幅

最大(3.39%)的是 0004,增幅最小(0.56%)的是 22 号。在盐浓度为 200 mmol·L⁻¹ 时,对照品种 KYDD 可溶性糖含量高于父本 YDD,而高于 KYDD 的是 12-4、ZS、NY、17-1 和 2 号。

表 7 NaCl 处理对大豆叶片中可溶性糖的影响
Table 7 Effect of NaCl treatment on soybean leaf soluble sugar (mg·g⁻¹)

株系 Lines	NaCl 浓度 NaCl concentration/mmole·L ⁻¹				
	0 (CK)	50	100	150	200
PZY	0.160	0.161	0.161	0.162	0.163
NY	0.153	0.153	0.155	0.158	0.164
ZS	0.163	0.164	0.164	0.165	0.168
HD	0.156	0.156	0.156	0.156	0.157
0004	0.153	0.154	0.158	0.159	0.159
0005	0.159	0.160	0.160	0.16	0.160
9002	0.159	0.159	0.159	0.159	0.160
S001	0.152	0.152	0.153	0.154	0.155
S002	0.156	0.157	0.157	0.157	0.157
2	0.170	0.171	0.172	0.172	0.173
22	0.152	0.152	0.152	0.153	0.153
10-3	0.157	0.157	0.157	0.157	0.157
12-4	0.160	0.160	0.162	0.163	0.164

续表 7

株系 Lines	NaCl 浓度 NaCl concentration/ $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$				
	0 (CK)	50	100	150	200
15-1	0.158	0.158	0.159	0.160	0.162
17-1	0.164	0.165	0.165	0.166	0.166
YDD	0.157	0.157	0.158	0.158	0.159
KYDD	0.161	0.162	0.162	0.162	0.163

3 讨 论

3.1 NaCl 胁迫对大豆叶片保护酶活性和 MDA 含量的影响

相关研究表明,在盐胁迫条件下,植物体内活性氧代谢系统的平衡受到影响,使 SOD、CAT、POD 等活性氧清除剂的结构活性受到破坏,含量降低^[5-7],导致植物清除活性氧的防御能力下降,膜脂过氧化或脱脂导致膜的完整性被破坏。而 MDA 是膜脂过氧化的最终分解物,使蛋白质的合成受到阻碍,MDA 的积累也对膜和细胞造成伤害^[8-9]。本研究表明,17 个株系的 MDA 含量随着 NaCl 浓度的升高呈逐渐上升的趋势,只是各株系间 MDA 含量差异较大,在 NaCl 浓度为 $200 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时的增幅也不同;17 个株系的 SOD、POD 和 CAT 活性随着 NaCl 浓度的升高而降低,说明在盐害胁迫下大豆可以通过体内保护酶活性来维持活性氧代谢平衡,保护膜系统的稳定。与对照品种 KYDD 和父本 YDD 比较,ZS-2 号和 15-1 在 NaCl 处理下,酶活性比较稳定,说明其耐盐性较好。

3.2 NaCl 胁迫对大豆叶片中渗透调节物质含量的影响

土壤盐分过多会对植物造成伤害。可溶性糖、可溶性蛋白、游离脯氨酸都是野生大豆对盐胁迫的重要调节物质,在盐胁迫下野生大豆通过增加它们的含量以降低细胞渗透势,增强其吸水能力,但它们的积累进程却不同。盐分主要是通过盐离子本身的毒害作用和盐离子所导致的渗透效应和营养效应来起作用的。盐分胁迫会伤害细胞质膜,引起植物细胞原生质膜的透性增加,使细胞内部离子浓度与种类的比例改变,进而使蛋白质的合成降低,还会干扰植物各种代谢过程^[10-12]。本研究表明,随着 NaCl 浓度的增加,脯氨酸和可溶性糖含量逐渐增加,而可溶性蛋白含量缓慢降低。与对照品种 KYDD 和父本 YDD 比较,15-1 在 NaCl 处理下代谢平衡比较稳定,说明其耐盐性较好。

参考文献

- [1] 武维. 植物生理学[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 449-451. (Wu W. Plant physiology[M]. Beijing: Science Press, 2003: 449-451.)
- [2] 孔祥生, 易现峰. 植物生理学实验技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 2008: 160-161. (Kong X S, Yi X F. Experimental technology of plant physiology[M]. Beijing: China Agricultural Press, 2008: 160-161.)
- [3] 王学奎. 植物生理生化试验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 167, 169-170. (Wang X K. Principle and technology of plant physiological and biochemical experiment[M]. Beijing: Higher Education Press, 2006: 167, 169-170.)
- [4] 张立军, 梁宗锁. 植物生理学[M]. 北京: 科学出版社, 2007: 400-402. (Zhang L J, Liang Z S. Plant physiology[M]. Beijing: Science Press, 2007: 400-402.)
- [5] 王丽燕. NaCl 处理对野大豆生理生化特性的影响[J]. 大豆科学, 2008, 27(6): 1067-1071. (Wang L Y. Effects of NaCl stress on physiological and biochemical characters of *Glycine soja* [J]. Soybean Science, 2008, 27(6): 1067-1071.)
- [6] 王霞, 侯平, 伊林克, 等. 水分胁迫对怪柳植物可溶性物质的影响[J]. 干旱区研究, 1999, 16(2): 1-10. (Wang X, Hou P, Yi L K, et al. Effect of soluble substance of *Tamarix* under soil water stress slowly[J]. Arid Zone Research, 1999, 16(2): 1-10.)
- [7] 刘正鲁, 朱月林, 胡春梅, 等. 氯化钠胁迫对嫁接茄子生长、抗氧化酶活性和活性氧代谢的影响[J]. 应用生态学报, 2007, 18(3): 537-541. (Liu Z L, Zhu Y L, Hu C M, et al. Effects of NaCl stress on the growth, antioxidant enzyme activities and reactive oxygen metabolism of grafted eggplant[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2007, 18(3): 537-541.)
- [8] 马光, 郭继平, 魏淑珍, 等. 干旱胁迫下野生大豆和栽培大豆生理特性比较[J]. 大豆科学, 2011, 30(6): 1057-1059. (Ma G, Guo J P, Wei S Z, et al. Comparison on physiological characteristics of *Glycine soja* and *Glycine max* under drought stress[J]. Soybean Science, 2011, 30(6): 1057-1059.)
- [9] 张美云, 钱吉, 钟扬, 等. 野生大豆若干耐盐生理指标的研究[J]. 复旦学报(自然科学版), 2002, 41(6): 669-672. (Zhang M Y, Qian J, Zhong Y, et al. Studies on some physiological characteristics of salt-tolerance in wild soybeans (*Glycine soja*) [J]. Journal of Fudan University (Natural Science), 2002, 41(6): 669-672.)
- [10] 贺莉, 徐晓腾, 刘菲, 等. NaCl 胁迫下野生大豆生理生态反应的研究[J]. 大豆科学, 2011, 30(2): 243-245. (He L, Xu X T, Liu F, et al. Effects of NaCl stress on physiological and ecological response of *Glycine soja* [J]. Soybean Science, 2011, 30(2): 243-245.)
- [11] Phang T H, Shao G, Lam H M. Salt tolerance in soybean[J]. Journal of Integrative Plant Biology, 2008, 50(10): 1196-1212.
- [12] 杜莉莉, 於丙军. 栽培大豆和滩涂野大豆及其杂交后代耐盐性、农艺性状与籽粒品质分析[J]. 中国油料作物学报, 2010, 32(1): 77-82. (Du L L, Yu B J. Analysis of salt tolerance, agronomic traits and seed quality of *Glycine max*, salt-born *Glycine soja* and their hybrids[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2010, 32(1): 77-82.)