

盐胁迫下 4 个鸢尾属品种部分生理特性的研究

张好好^{1,2}, 蒋昌华², 刘庆华¹, 秦俊², 黄卫昌², 胡永红²

(1. 青岛农业大学 园林园艺学院, 山东 青岛 266109; 2 上海植物园, 上海 200231)

摘要: 为了解鸢尾属品种的耐盐性差异及其在盐地的应用提供理论基础。选用 4 个鸢尾属品种盆栽苗作试验材料, 向盆中施加 NaCl 溶液, 使盆中土壤含盐量的质量分数达 0.8%, 1.0%, 1.2%, 测定盆土的日失水量、叶片的叶绿素含量、渗透调节物质含量及其 SOD 活性。随着盐处理浓度的增加, 各品种的日失水量均下降, 且浓度越高下降率越大。其他指标的变化规律大致表现为: 随着盐浓度的增加, 抗性强的品种先增后降; 抗性弱的品种则持续下降。上述 4 个品种的耐盐性强弱为: *Iris* 'Black Gamcock' 和 *Iris sibirica* 'Coronation Anthem' 的耐盐性强于 *Iris pumila* 'Orange Caper' 和 *Iris pumila* 'Petit Polka'。

关键词: 鸢尾属; 品种; 耐盐性; 生理指标

中图分类号: Q41 文献标识码: A 文章编号: 1000-7091(2009)增刊-0285-05

Physiological Trait Study of 4 Varieties of *Iris* L. under Salt Stress

ZHANG Hao—hao^{1,2}, JIANG Chang—hua², LIU Qing—hua¹, QIN Jun²,
HUANG Wei—chang², HU Yong—hong²

(1. College of Landscape and Gardening, Qingdao Agricultural University,
Qingdao 266109, China; 2. Shanghai Botanical Garden, Shanghai 200231, China)

Abstract: The study was done in order to understand the different salt resistance of the varieties in *Iris* L., and to give a theoretical basis for the application of the varieties in saline land. The plant materials of this trial involved four cultivars of *Iris* L., and they were potted. NaCl solution was added into the potted soil, so that the levels of NaCl concentration were 0.8%, 1.0%, 1.2%. Physiological indexes, such as lost water per day, chlorophyll, osmotic adjustment substances and SOD activity were measured. When the concentration of NaCl was increased, the lost water per day of all cultivars declined, and the higher the NaCl concentration, the bigger the decline ratio; the rest indexes showed; different cultivars changed differently, high salt tolerance cultivars raised first, declined then; low resistance cultivars of salinity declined all the time. Above all the cultivars, *Iris* 'Black Gamcock' and *Iris sibirica* 'Coronation Anthem' showed higher salt resistance than *Iris pumila* 'Orange Caper' and *Iris pumila* 'Petit Polka'.

Key words: *Iris* L.; Cultivar; Salt resistance; Physiological index

鸢尾属植物有生性强健、繁殖简单等特点, 是人工植被的优选材料。这类植物在城市环境中的应用既经济又有良好的生态效益。目前国内外关于鸢尾属植物的研究主要集中在种和品种的分类、繁殖栽培和育种等方面, 抗逆性的研究报道较少^[1], 其中耐盐性研究 Yongyin Wang 等^[2]研究了盐胁迫对六角鸢尾(*I. hexagona*) ABA、IAI、JA、SA 的影响。万劲^[1]将德国鸢尾 8 号(*I. germanica* 'white and blue')与蓝蝴蝶

(*I. tectorum*)进行了耐盐与耐旱能力的比较。韩玉林^[3]对 Pb、NaCl 单因子及复合胁迫下喜盐鸢尾(*Iris halophila*)的生长和生理变化进行了研究。张玉^[4]研究了 NaCl 胁迫下马蔺(*Iris lactea* var. *chinesis*)、德国鸢尾(*Iris germanica*)、黄菖蒲(*Iris pseudacorus*)、花菖蒲(*Iris ensata* var. *hortensis*)的生长和生理生化指标。鸢尾属植物在国外育出了很多品种, 关于这些品种的抗逆性研究未见报道。为了推广这些品

收稿日期: 2009-01-20

基金项目: 上海市绿化管理局科学技术研究项目资助(G060304)

作者简介: 张好好(1982-), 女, 山西洪洞人, 在读硕士, 主要从事园林植物与观赏园艺方面的研究。

通讯作者: 胡永红(1968-), 男, 河南洛阳人, 博士, 高级工程师, 主要从事园林植物遗传研究。

种在盐地的应用, 本试验对预试验观测生长表现有差异的品种进行了盐胁迫下生理响应的研究, 同时为育出耐盐性强的鸢尾属品种提供理论指导。

1 材料和方法

1.1 材料

试验材料涉及鸢尾属的三个品种群: 有髯鸢尾类的 Miniature Dwarf Bearded Irises, 无髯鸢尾类的 Louisiana Irises 和 Siberian Irises, 分类方法参照 Claire Austin^[5]。品种列表如表 1。

1.2 试验设计本试验以盆栽植物材料于上海植物园生产温室内完成。4 月 15 号上盆, 所用盆号为 A

表 1 4 个鸢尾品种名录
Tab. 1 The list of 4 varieties of *Iris* L.

品种群 Cultivar group	品种名 Cultivar name
Louisiana Irises(LA)	<i>Iris</i> 'Black Gamecock' (B. G)
Siberian Irises(SIB)	<i>Iris sibirica</i> 'Coronation Anthem' (C. A)
Miniature Dwarf Bearded Irises(MDB)	<i>Iris pumila</i> 'Petit Polka' (P. P); <i>Iris pumila</i> 'Orange Caper' (O. C)

1.3 测定方法

1.3.1 日失水量测定 采用称重法测定。试验期间选取连续晴朗的 3 天作为 3 次重复, 用精确到 0.005 kg 的电子秤称量花盆每日加水前的重量, 即开始分别称量每一处理的重量(W0), 1 d 过后再分别称重(Wi), 期间减少的重量即为每一处理每天的水分蒸发量。

1.3.2 叶绿素含量测定 参照青岛农业大学所编《植物生理学实验指导》^[6], 剪碎混匀叶片, 称取 0.2 g, 10 mL 95%乙醇萃取 8 h 直至叶片变白, 测定提取液的 OD₆₆₅、OD₆₄₉、OD₄₇₀。

1.3.3 可溶性糖含量测定 参照张治安^[7] 蒽酮法, 剪碎混匀叶片, 称取 0.2 g 叶片, 10 mL 蒸馏水煮沸 40 min, 定容至 50 mL 容量瓶, 取 1 mL, 加 5 mL 蒽酮, 煮沸 10 min, 测定 OD₆₂₀。

1.3.4 可溶蛋白含量测定 参照张治安^[7] 考马斯亮蓝法, 剪叶片混匀, 称取 0.2 g 碎叶片, 加入 2 mL 0.05 mol/L 磷酸缓冲液(pH7.8)研磨成匀浆, 并移至 2 mL 的离心管, 10 000 r/min 离心 10 min, 取上清。取 5 mL G-250 反应液, 加 0.1 mL 提取液, 混匀后即测 OD₅₉₅。

1.3.5 SOD 酶活性测定 参照青岛农业大学所编《植物生理学实验指导》^[6]。称取剪碎混匀叶片 0.2 g, 2 mL pH7.8 的 0.05 mol/L 磷酸缓冲液研磨成匀浆, 并移至 2 mL 的离心管, 10 000 r/min 离心 10 min。取 0.1 mL 酶液, 弱光下迅速加入反应液, 置光照培养箱, 于 4 000 lx 下反应 20 min, 测 OD₅₆₀。

—200×15 g。统一浇水管理, 处理前适当控水, 测得每盆的平均土壤容积含水量为 29.89%时开始处理, 根据土壤体积和容积含水量计算出处理前的土壤绝对含水量。浇透水后的平均土壤容积含水量为 41.57%, 以此为处理后的土壤容积含水量。根据处理前后的土壤水分差额和盐分梯度确定加水量和加盐量。

每品种 4 个处理, 每处理 4 盆视为 4 个重复, 每盆发芽数为 3~5 株, 采用拉丁方试验设计。以 NaCl 的质量分数为梯度, 设为 0, 0.8%, 1.0%, 1.2%, 处理时间从 7 月 7 日至 7 月 14 日。

1.3.6 脯氨酸含量测定 参照青岛农业大学所编《植物生理学试验指导》^[6]。称取剪碎混匀叶片 0.2 g, 加入 5 mL 3%的磺基水杨酸, 于沸水中煮沸 10 min, 取出冷却后吸取 2 mL, 再加 2 mL 显色液, 2 mL 冰乙酸, 30 min 沸水浴后, 冷却并加入 4 mL 甲苯, 充分振荡萃取红色物质, 测 OD₅₂₀。

以上试验均重复 3 次, 采用 Excel 2003 作图与 SPSS 11.5 软件进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 日失水量

如图 1 所示, NaCl 胁迫下的各品种的日失水量都降低了, 且随着处理浓度的增加, 各品种的日失水量降低率呈递增趋势。P. P 在各盐浓度下的降低率都为最小, O. C 则截然相反。4 个品种的日失水量在所有浓度下都保护着一样的高低次序, 即 C. A>B. G>O. C>P. P。故 4 个品种在各处理下的降低率从小到大依次均为: P. P, B. G, C. A, O. C。

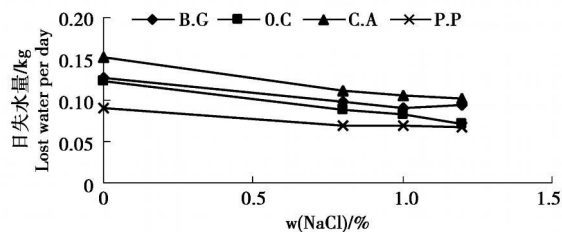


图 1 NaCl 浓度的变化对日失水量的影响
Fig. 1 Effects of the NaCl concentration on the lost water per day

方差齐性的 Levene 检验的 $P=0.053>0.05$, 接

受无效假设, 认为残差方差齐同, 选用 SNK 法做均数间两两比较, 结果显示: 对照与 NaCl 处理间的差异显著, 其余差异不显著。P.P 与 C.A 差异显著, 其余差异不显著。

2.2 叶绿素含量

2.2.1 叶绿素 a 如表 2, 随着 NaCl 浓度的升高, O.C 的叶绿素 a 含量一直呈下降趋势, 其余品种都有增有降。在 1.2% 的 NaCl 处理下, 4 个品种的下降低率分别 B.G 0.65%, O.C 55.19%, C.A 13.56%, P.P 26.03%。

方差齐性的 Levene 检验的 $P=0.072>0.05$, 认为残差方差齐同。选用 SNK 法, 结果为: 4 个盐梯度之间差异显著。4 个品种间差异显著。

2.2.2 叶绿素 b、类胡萝卜素、叶绿素总量 叶绿素 b(chlb)、类胡萝卜素(chlx.c)和叶绿素总量(chl) (以鲜质量计)的数据表明: 随着 NaCl 浓度的增加, B.G 一直都有少量增加, O.C 呈持续降低之势, C.A 和 P.P 的三项指标在 NaCl 浓度为 0.8% 时都有所增

加, P.P 的增加率大于 B.G 和 C.A。当 NaCl 浓度增加到 1.0% 和 1.2% 时, C.A 和 P.P 的三项指标都降低, 降低程度从大到小依次为 O.C, P.P, C.A。

方差齐性的 Levene 检验: $P_{chl b}=0.003$, $P_{chl x.c}=0.002$, $P_{chl}=0.031$, 三者的残差方差均不齐同。Tamhane's 法的比较结果为: 叶绿素 b 和叶绿素总量的盐梯度之间差异不显著, 品种间 B.G 与 O.C 和 P.P 差异显著, C.A 与 O.C 和 P.P 差异显著, 其余差异不显著。类胡萝卜素的盐梯度之间差异不显著, 品种间 O.C 与 P.P 差异不显著, 其余差异显著。

2.2.3 叶绿素 a/b P.P 的叶绿素 a/b 值在 0.8% 和 1.0% 处都增加, 1.2% 时才有所下降, 且降低率在 4 个品种中最小。其余品种随 NaCl 浓度的增加而降低, 浓度越大, 降低程度越大, 降低率从小到大依次为: B.G, C.A, P.P, O.C。

方差齐性的 Levene 检验的 $P=0.000<0.05$, 残差方差不齐同。选用 Tamhane's 法。盐梯度之间差异不显著。B.G 与 C.A 差异不显著, 其余差异显著。

表 2 NaCl 浓度的变化对各叶绿素含量的影响

Tab. 2 Effects of NaCl concentration on each chlorophyll content

品种 Cultivar	NaCl /%	叶绿素 a /(mg/g) Chla	叶绿素 b /(mg/g) Chlb	类胡萝卜素 /(mg/g) Cao	叶绿素总量 /(mg/g) Chl	叶绿素 a/b Chla/b
B. G	0	0.933±0.007	0.363±0.005	0.183±0.009	1.479±0.004	2.569±0.021
	0.2	0.945±0.073	0.368±0.028	0.193±0.011	1.506±0.111	2.567±0.012
	0.4	0.975±0.014	0.381±0.006	0.195±0.002	1.551±0.019	2.560±0.012
	0.6	0.927±0.072	0.372±0.033	0.204±0.011	1.503±0.112	2.492±0.040
O. C	0	0.615±0.042	0.255±0.016	0.113±0.007	0.983±0.065	2.410±0.029
	0.2	0.566±0.049	0.246±0.022	0.098±0.008	0.910±0.078	2.300±0.017
	0.4	0.419±0.044	0.188±0.014	0.083±0.001	0.689±0.058	2.232±0.071
	0.6	0.276±0.020	0.130±0.011	0.068±0.007	0.474±0.038	2.126±0.036
C. A	0	1.056±0.084	0.380±0.063	0.172±0.007	1.608±0.152	2.778±0.247
	0.2	1.130±0.041	0.412±0.013	0.185±0.016	1.726±0.064	2.742±0.014
	0.4	0.927±0.063	0.340±0.044	0.151±0.031	1.419±0.066	2.724±0.550
	0.6	0.913±0.043	0.349±0.013	0.152±0.007	1.413±0.062	2.619±0.028
P. P	0	0.529±0.079	0.217±0.030	0.095±0.015	0.840±0.124	2.441±0.034
	0.2	0.730±0.070	0.286±0.027	0.13±0.015	1.146±0.112	2.555±0.011
	0.4	0.452±0.079	0.181±0.029	0.076±0.014	0.708±0.122	2.506±0.029
	0.6	0.391±0.040	0.164±0.018	0.083±0.003	0.639±0.059	2.383±0.028

2.3 渗透调节物质

2.3.1 可溶性糖含量 如表 3, C.A 的可溶性糖含量随着 NaCl 浓度的增加, 分别增加了 21.1%, 41.6% 和 28.5%。B.G 在 NaCl 0.8% 处的可溶性糖含量增加了 10.8%, 在 NaCl 1.0% 处有 0.2% 的降低率, 到 1.2% 时回升, 增加率达 12.1%。O.C 和 P.P 的可溶性糖含量随 NaCl 浓度的升高, 降低率逐渐增加, 平均降低率分别为 33.4%, 38.6%。

方差齐性的 Levene 检验的 $P=0.025<0.05$, 残差方差不齐同。选用 Tamhane's 法。盐梯度之间差异不显著。品种间差异显著。

2.3.2 可溶性蛋白含量 表 3 中, 0.8% NaCl 处理下, B.G 和 C.A 的可溶性蛋白含量分别增加了 14.5% 和 2.7%, O.C 和 P.P 的此指标均降低。随着 NaCl 浓度的升高, 四个品种的可溶性蛋白含量都呈下降趋势, 且浓度越高下降率越大。品种间的比较显示: O.C 和 P.P 的降低幅度最大, 其次为 B.G 和 C.A。

方差齐性的 Levene 检验的 $P=0.022<0.05$, 残差方差不齐同。选用 Tamhane's 法, 盐梯度之间差异不显著。O.C 与 P.P 差异不显著, 其余差异显著。

2.3.3 脯氨酸含量 与对照相比, 各 NaCl 浓度处

理下 B.G 和 C.A 的脯氨酸含量一直增加。C.A 的增加率最大。O.C 和 P.P 则表现出先降后增的变化规律, 两者的增加点有所不同, O.C 在 NaCl 浓度为 1.0% 时开始增加, 增加率达 32.9%, 而 P.P 仍处于降低状态, 降低率达 20.0%。到 NaCl 浓度 1.2% 时, O.C 的脯氨酸含量增加约 3.7 倍, P.P 仅有 79%

表 3 NaCl 浓度对渗透调节物质的影响

Tab. 3 Effects of NaCl concentration on osmotic adjustment substances

品种 Cultivar	NaCl /%	可溶性糖含量占鲜重比例/% Soluble sugar content	可溶性蛋白含量/(mg/g) Soluble protein content	脯氨酸含量/(μg/g) Proline content
B. G	0	8.05±0.34	20.68±0.92	49.94±3.77
	0.2	8.91±0.63	23.68±0.85	70.47±4.79
	0.4	8.03±0.41	19.98±1.34	71.68±4.56
	0.6	9.02±0.22	17.34±1.8	269.14±9.98
O. C	0	2.40±0.13	11.63±1.56	31.22±1.05
	0.2	2.24±0.15	11.27±0.95	30.625±3.14
	0.4	1.81±0.03	7.89±0.27	41.49±3.14
	0.6	1.28±0.13	6.09±0.39	147.16±10.46
C. A	0	5.94±0.15	13.87±1.01	100.66±6.86
	0.2	7.19±0.67	14.24±1.28	147.77±2.77
	0.4	8.40±0.45	12.71±1.08	710.57±46.16
	0.6	7.63±0.55	12.58±0.17	574.09±12.68
P. P	0	6.25±0.65	12.41±0.81	48.13±7.32
	0.2	4.20±0.23	11.68±1.06	43.3±1.81
	0.4	3.90±0.22	8.14±0.24	38.47±2.09
	0.6	3.41±0.32	7.2±0.88	86.17±5.82

2.4 SOD 活性

如图 2 所示, 就 3 个处理下的平均变化率而言, B.G 和 C.A 的 SOD 酶活性(以鲜质量计)都增加了, B.G 的增加率大于 C.A, 分别为 5.29%, 1.31%。O.C 和 P.P 的 SOD 酶活性都降低了, 降低率分别为 1.45%, 0.25%。

方差齐性的 Levene 检验的 $P=0.001<0.05$, 残差方差不齐同。Tamhane's 法多重比较的结果得出: 盐梯度之间差异不显著。品种间差异显著。

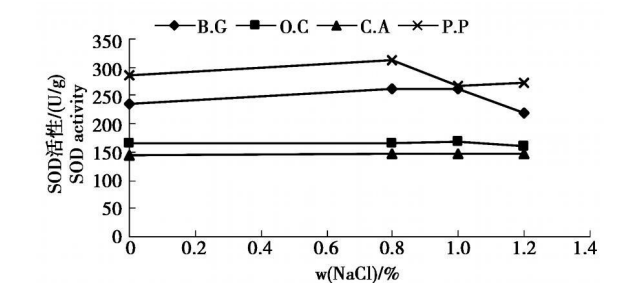


图 2 NaCl 浓度对 SOD 酶活性的影响

Fig. 2 Effects of NaCl concentration on SOD activity

3 讨论与结论

盐处理下的土壤含水量的蒸散量会降低, 一是土壤溶液浓度增大, 质地粘稠, 不利于水分的脱离^[8], 二是因为植物的气孔导度随盐浓度的增加变小, 并伴随着蒸腾速率的下降^[9]。植物日失水量的

的涨幅。

方差齐性的 Levene 检验的 $P=0.000<0.05$, 残差方差不齐同。Tamhane's 法的比较结果为: 1.2% 与 0.0%, 0.8% 盐梯度之间差异显著, 其余不显著。C.A 与其余品种间差异显著, 其余差异不显著。

降低是其受到渗透胁迫的宏观表现。根据该指标的大小可以判断品种对此种逆境的适应性大小, 日失水量较大, 适应性越好。4 个品种中, C.A 的日失水量始终最大, P.P 始终最小, 且二者的差异显著, 其余品种间差异不显著, 故得出: C.A 的耐盐性强于 P.P。

叶绿素 a 和叶绿素 b 是植物进行光合作用的主要色素; 类胡萝卜素除了吸收剩余光能, 还是内源抗氧化剂, 有防止膜脂过氧化^[10] 和保护光合机能^[11] 的作用。韩志平等^[12] 认为: 低浓度的 NaCl 处理能促进西瓜幼苗叶绿素含量的增加, 高浓度的 NaCl 处理则会严重影响叶绿素的合成。无论盐胁迫导致叶绿素含量怎样的变化, 从叶绿素的功能来说: 含量的升高, 有利于增加植物的适应性, 反之使植物的抗性降低。叶绿素 a 的分析结果显示: 4 个差异显著的品种, 耐盐性排序为: B.G>C.A>P.P>O.C。叶绿素 b 和叶绿素总量的结果得出: B.G=C.A>P.P=O.C。类胡萝卜素的数据显示: B.G>C.A>P.P=O.C。

叶绿素 a/b 值的降低反映类囊体膜的垛叠程度降低, 也意味着植物对光量子的有效吸收、传递和利用受到阻碍, 使光能转化为生物化学能的效率降低^[13]。叶绿素 a/b 值数据显示 4 个品种的耐盐性: B.G=C.A>P.P>O.C。

UREL 指出, 当植物遭受干旱或盐胁迫时, 可溶性糖会增加, 降低植物体内水势, 提高保水力^[14]。姚睿^[15]对芸豆的研究认为: 随着盐浓度的增加, 叶子的可溶糖含量会先增加后降低。本研究认为对于相同的处理浓度, 耐盐性强的品种, 叶子的可溶糖含量会增加, 增加率越大抗性越强; 耐盐性弱的品种则会降低, 降低率越大, 抗性越弱。方差分析结果显示: 4 个品种的差异显著。故 4 个品种在该指标下的耐盐性由强到弱排列为: C. A, B. G, O. C, P. P。

植物叶子在盐胁迫下, 蛋白质的合成被破坏, 植物体内积累了大量含氮的代谢中间产物, 包括游离的氨基酸与氨、脯氨酸等物质, 导致可溶蛋白含量的增加。周兴元^[16]所用植物材料的可溶性蛋白含量随盐浓度的增加而先增后降。本研究中, 随着 NaCl 浓度的增加, B. G 和 C. A 的可溶蛋白含量先增后降, O. C 和 P. P 一直降低。结合方差分析, 四个品种在该指标下的耐盐性顺序为: B. G > C. A > O. C = P. P。

脯氨酸是一种重要渗透调节物质, 它的增加能够降低细胞水势, 稳定蛋白质结构, 防止酶变性失活和保持氮含量平衡等作用^[17]。已有大量的研究证明脯氨酸累积与植物耐渗透胁迫之间存在着明显正相关^[18]。Handa 等^[19]曾报道过在渗透胁迫下马铃薯培养细胞能迅速积累脯氨酸, 且对渗透胁迫表现出较强的适应能力。脯氨酸的数据结果显示: C. A 的增加率最大, 且与其余品种的差异显著。4 个品种在该指标下的耐盐性顺序为: C. A > B. G = O. C = P. P。

已有研究表明, “SOD 在植物抵抗盐害的过程中起防止、中断膜脂过氧化、保护细胞膜系统不受损伤的作用”^[20]。桂枝和高建明^[21]研究的苜蓿品种, 其 SOD 活性的变化规律为: 先随盐胁迫浓度的增加迅速增高, 在中等浓度下达到最大值, 之后, 随盐浓度的增大又开始下降。本研究认为: 处理相同, 抗性强的品种 SOD 活性会增加, 增加率越大抗性越强。抗性弱的品种则相反。4 个品种在该指标下的耐盐性顺序为: B. G > C. A > P. P > O. C。

综合 4 个品种在各指标下的生理表现, 得出: B. G 和 C. A 的耐盐性强于 P. P 和 O. C。同一品种群的 2 个品种在盐胁迫下的生理响应基本相同; 不同品种群的品种有不同的耐盐性生理机制。

参考文献:

[1] 万 劲. 两个鳶尾品种抗逆生理特性的研究[D]. 南京

农业大学硕士学位论文, 2004.

- [2] Yongyin. Wang, Susan Mopper, Karlh. *et al.* Hasenstein. Effects of Salinity on Endogenous ABA, IAA, JA, and SA in Iris hexagona[J]. Journal of Chemical Ecology, 2001, 27(2): 327—342.
- [3] 韩玉林. 铅与盐胁迫对喜盐鳶尾生长及生理抗性的影响[J]. 西北植物学报, 2008, 28(8): 1649—1653
- [4] 张 玉. 鳶尾属(Iris L.) 4 种植物耐 NaCl 胁迫能力的研究[D]. 南京林业大学硕士学位论文, 2008.
- [5] Claire Austin. Inises; A Gardener's ncyclopedia[M]. Portland; Timber Press, 2005.
- [6] 青岛农业大学生命科学学院植物生理学教研室. 植物生理学实验指导[M]. 2006.
- [7] 张治安. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2004.
- [8] 李新举, 张志国, 刘勋岭. 土壤含盐量对土壤水分蒸发影响的初步研究[J], 山东农业大学学报: 自然科学版, 2000, 31(2): 209—210.
- [9] 高 芸, 程智慧, 孟焕文. NaCl 处理对番茄幼苗光合作用和叶绿素荧光的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2008, 26(1): 194—199.
- [10] Willekens H, Vancamp W, Inze D. Ozone, sulfur dioxide and ozone ultraviolet—B have similar effect on mRNA accumulation of antioxidant genes in *Nicotianaphum baginifolia* L. [J]. Plant Physiol, 1994, 106: 1007—1014.
- [11] Burton G W, Ingold K U. β —carotene: an unusual type of lipid antioxidant[J]. Science, 1984, 224: 569—573.
- [12] 韩志平, 郭世荣, 冯吉庆, 等. 盐胁迫对西瓜幼苗生长、叶片光合色素和脯氨酸含量的影响[J]. 南京农业大学学报, 2008, 31(2): 32—36.
- [13] 刘志华, 时丽冉, 白丽荣, 等. 盐胁迫对獐毛叶绿素和有机溶质含量的影响[J]. 植物生理与分子生物学学报, 2007, 33(2): 165—172.
- [14] Durel. Plant responses to cellular dehydration during environment Stress [J]. Plant Physiology, 1993, 103(10): 91—93.
- [15] 李姚睿. 盐胁迫对芸豆体内可溶性糖含量的影响[J]. 青海师范大学学报, 自然科学版, 2003, 2: 65—66 84.
- [16] 周兴元. 几种暖季型草平草耐盐及耐碱性研究[D]. 南京林业大学, 2004.
- [17] Santa—Cruz A, Acosta M, Rus A, *et al.* Short—term salt tolerance mechanisms in differentially salt tolerant tomato species[J]. Plant Physiol Biochem, 1999, 37(1): 65—71.
- [18] 韩晓玲. 小冠花抗 L—羟基脯氨酸(Hyp)变异系离体筛选及其耐盐性研究[D]. 西安: 西北大学生命科学学院, 2006.
- [19] Handa S, Bressan R A, Handa A K, *et al.* Solutes contributing to osmotic adjustment in cultured plant cells adapted to water stress[J]. Plant Physiol, 1983, 73: 834—843.
- [20] 王建华, 刘鸿先, 徐 同. 超氧化物歧化酶(SOD)在植物逆境和衰老生理中的作用[J]. 植物生理学通讯, 1989(1): 1—7.
- [21] 桂 枝, 高建明. 盐胁迫对 6 个苜蓿品种脯氨酸含量和超氧化物歧化酶活性的影响[J]. 天津农学院学报, 2007, 14(4): 18—21.