

盐胁迫对主要造林树种种子活力及幼苗生理特性的影响

Salt Coerce Effect on Major Afforestation Plants

Seeds Vigor and Tenderseedling Physiology Character

戴蒲英*

Dai Puying

(南京林业大学 江苏省南京市龙蟠路 210037)

(Nanjing Forestry University, Longpanlu, Nanjing, Jiangsu, 210037)

摘要 在水培条件下进行刺槐 (*Robinia pseudoacacia*)、马尾松 (*Pinus massoniana*)、水杉 (*Metasequoia glyptostroboides*) 种子和幼苗的耐盐性试验。盐浓度为 0.0%, 0.1%, 0.2%, 0.3%, 同时用 250×10^{-6} 多效唑 (MET) 测定预处理种子后的耐盐性。结果表明: 盐浓度越大, 种子发芽势及发芽率越低, 简化苗木活力指数 (SVIS) 越小; MET 对种子发芽势、发芽率及 SVIS 有抑制作用。但盐浓度越大, 种子发芽率、SVIS 越大; 根茎比随盐浓度的增加而降低, MET 有增加根茎比值的趋势; 幼苗体内游离脯氨酸含量随盐浓度增加而增加, MET 能提高脯氨酸的含量; 在试验盐浓度下, 刺槐、马尾松耐盐能力为 0.2% ~ 0.3%, 水杉 0.1% ~ 0.2%。在沙培条件下, 用 250×10^{-6} 硼酸, 0.3% 氯化钙和 250×10^{-6} MET 处理刺槐、湿地松 (*Pinus elliotii*)、侧柏 (*Platycladus orientalis*) 种子, 其耐盐能力增强。其中, 氯化钙处理湿地松效果较好; 硼酸处理侧柏效果好, MET 处理居中。3 种处理对刺槐的耐盐能力影响不大。

关键词 林木种子 种子活力 游离脯氨酸 Na^+ 、 K^+ 多效唑 (MET) 盐胁迫

Abstract The salt tolerance of seeds and seedlings of *Robinia pseudoacacia*, *Pinus massoniana* and *Metasequoia glyptostroboides* were tested in the water culture with the salt concentrations 0.0%, 0.1%, 0.2% and 0.3%. The salt tolerance of the pretreated seeds was tested with 250×10^{-6} Multi-effects triazole (MET). The higher the concentration of salt was, the lower the germinating energy (GE), germination rate (GR) and simplify vigor index of seeds (SVIS) were. MET could affect GE, GR and SVIS. The root-stem ratio decreased along with increase of concentration of salt, and tended to increase in the MET treatment. The content of free proline of the seedlings increased along with increase of concentration of salt. MET could raise the content of free proline. In the concentration given, the salt tolerance was 0.2% to 0.3% for *R. pseudoacacia* and *P. massoniana*, and 0.1% to 0.2% for *M. glyptostroboides*. In the sand culture, the salt tolerance of seeds treated with 250×10^{-6} boric acid, 0.3% CaCl_2 , 250×10^{-6} MET was increased in *R. pseudoacacia*, *P. elliotii* and *Platycladus orientalis*, and better effect on both *Pinus elliotii* in CaCl_2 treatment and *Platycladus orientalis* in the boric acid treatment, middle on MET, little on *R. pseudoacacia* in the three treatments.

Key words forest seeds, seeds vigor, free proline, Na^+ , K^+ , Multi-effect triazole, salt coerce
中图分类号 Q 948.113

我国位于欧亚大陆的东部, 大陆海岸线长达 18,000 km。盐渍土在我国分布面积相当大, 分布范围涉及到我国 23 个省、市、自治区。海涂面积达 2 160 000 hm^2 , 在这些海涂资源中, 已开发利用的面积为 371 000 hm^2 , 占 17%, 还有大量的海涂资源等

待开发利用^[1]。而在这些已开发或即将开发利用的海涂无林地上, 营造和培育各种功能林是海涂开发的主要途径之一。本文主要探讨我国几个主要造林树种在不同盐浓度下及相同盐浓度下不同药液处理时, 种子的发芽率、苗木简化活力指数、幼苗游离脯氨酸及 K^+ 、 Na^+ 的吸收与分配。目的是了解几个树种的耐盐性及不同处理对提高树种耐盐性的作用规律, 从中选择较能适应沿海地区的造林树种, 为当地发展林业生产选取树种资源及制订提高种苗抗盐能力的措施提

1997-05-04收稿, 1997-07-09修回。

* 工作单位: 广西林业勘测设计院 Serve in Guangxi Forestry Surveying and Planning Institute.

供依据。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

1.1.1 供试材料: 选用材料为刺槐 (*Robinia pseudoacacia*), 马尾松 (*Pinus massoniana*), 水杉 (*Metasequoia glyptostroboides*), 湿地松 (*Pinus elliotii*), 侧柏 (*Platycladus orientalis*) 的种子。

1.1.2 试验设计: 试验分两部分进行。

前一部分研究不同盐浓度下几个树种的耐性。选择刺槐、马尾松、水杉的种子进行水培试验。用四分法将 3 个树种的种子分为 2 份, 其中一部分用 MET 作预处理, 处理方法为: 刺槐种子用 80°C 的水温浸泡, 自然冷却 24 h; 然后用浓度为 250×10^{-6} 的 MET 药液浸泡 24 h; 马尾松、水杉直接用 250×10^{-6} 的 MET 液浸种 12 h。另一部分种子除刺槐用 80°C 温水浸泡外, 其余种子用室温水浸泡 24 h。盐分 NaCl 浓度为 4 个水平: A (0.1%), B (0.2%), C (0.3%) 以及 CK (0.0%)。4 个重复, 每个重复 25 粒种子, 种子在铺有湿滤纸的直立发芽箱中于 25°C 恒温中进行发芽试验。

后一部分研究相同浓度 (0.3%) 不同药液处理下 3 个树种的适应性。选择刺槐、湿地松、侧柏的种子为对象进行沙培试验。河沙过筛 (筛孔直径 3mm), 自然风干后置于种子发芽盒 (24 cm × 12 cm × 5 cm) 中, 并用 0.3% NaCl 溶液拌至湿润, 将经过处理的 3 个树种的种子随机撒播于已含盐浓度 0.3% 的沙土中, 置于 25°C 的种子发芽箱中进行发芽试验。种子预处理如下: 刺槐用 80°C 的水温浸泡自然冷却 24 h; 湿

表 1 盐浓度、MET 对种子发芽势和发芽率及 SVIS 的影响

Table 1 Salt concentration, MET effect on germinating energy, germination rate and SVIS

处理 Treatment	刺槐 <i>Robinia pseudoacacia</i>			马尾松 <i>Pinus massoniana</i>			水杉 <i>Metasequoia glyptostroboides</i>		
	发芽势 Germinating energy (%)	发芽率 Germination rate (%)	SVIS (cm)	发芽势 Germinating energy (%)	发芽率 Germination rate (%)	SVIS (cm)	发芽势 Germinating energy (%)	发芽率 Germination rate (%)	SVIS (cm)
有 MET (With MET)									
CK (0.0%)	30	32	2.96	50	54	4.44	50	68	2.47
A (0.1%)	42	45	4.20	50	55	4.48	51	69	2.21
B (0.2%)	46	53	4.82	57	62	4.73	61	70	2.27
C (0.3%)	52	59	5.33	61	63	5.15	52	71	2.37
无 MET (Without MET)									
CK (0.0%)	80	85	10.23	65	66	5.62	57	72	3.14
A (0.1%)	73	77	8.42	56	58	4.40	48	69	2.88
B (0.2%)	67	72	7.47	47	48	3.63	46	61	0.98
C (0.3%)	65	68	7.00	43	47	3.53	30	49	1.82

SVIS(简化苗木活力指数) = 平均苗长 × 发芽率, SVIS(Simplity vigor index of seedlings) = Average height of seedling × germination rate.

地松 50°C 温水处理 24 h, 自然冷却; 侧柏 25°C 室温处理 24 h 然后对已经预处理的 3 个树种的种子分别用浓度为 0.3% 的氯化钙溶液浸泡 24 h, 浓度为 250×10^{-6} MET 药液处理 24 h 及对照。每个处理为 200 粒种子。在发芽初期每天喷自来水一次至湿润。发芽后, 每 3 d 喷浇浓度为 0.3% 的 NaCl 溶液一次至湿润。

1.2 测定项目和方法

1.2.1 种子千粒重的测定: 采用百粒法测定种子千粒重。

1.2.2 种子发芽势、发芽率的测定: 按国标测定树种的发芽势和发芽率。种子发芽势是指在规定的时间内正常发芽的种子数占供试种子数的百分比。其中, 规定时间为: 刺槐 5 d, 马尾松 10 d, 水杉 9 d。

1.2.3 简化苗木活力指数 (SVIS) 的测定: 简化苗木活力指数 (SVIS) = 平均苗长 × 发芽率。

1.2.4 游离脯氨酸含量的测定: 取鲜叶按张忠殿等描述的磺基水杨酸法测定^[2]。测定时视颜色深浅加适量甲苯进行萃取。

1.2.5 K、Na 含量测定: 样品消化采用硫酸-高氯酸消煮法^[3]。采用的是 80°C 下烘 24 h 的植物样品, 测定方法采用火焰光度计法^[3]。依据待测液浓度的大小进行稀释后在火焰光度上测定。

2 结果

2.1 盐分和 MET 对种子发芽势、发芽率及 SVIS 的影响

从表 1 的结果看出: 供试种子的发芽率随着 NaCl 浓度的增加而降低, 降低程度因树种不同而异。

经 MET 处理后的种子,发芽率明显低于无 MET 处理的,说明 MET 处理对发芽率有抑制作用。但是,随着 NaCl 浓度的增加,发芽率反而增加,这又说明 MET 对 NaCl 浓度的缓解作用。MET 处理发芽率降低与对盐浓度的缓解作用又因树种不同而有所差异。在无 MET 处理时,SVIS 随 NaCl 的增加而降低,说明 NaCl 溶液抑制幼苗生长。在有 MET 处理时,SVIS 的变化规律与发芽率相似,即随着 NaCl 浓度的增加而提高。但增长率不十分明显,特别是水杉,几乎没有影响。

2.2 盐分及 MET 对植物的根茎比,游离脯氨酸含量的影响

从表 2 中可以看出:刺槐、马尾松用无 MET 处理的根茎比随 NaCl 浓度的增加有下降趋势,但趋势不明显,CK (0.0%), A (0.1%), B (0.2%) 之间几乎无差异。用 MET 处理的苗木,根茎比随 NaCl 浓度的增加而增加,刺槐表现最为明显,水杉在该项指标上表现均无一定规律。就游离脯氨酸这一指标来看:刺槐、马尾松的脯氨酸含量随 NaCl 浓度的增加而升高,升高幅度较大;用 MET 药液处理的明显高

表 2 盐浓度、MET 对植物根茎比及游离脯氨酸含量的影响

处理 Treatment		刺槐 <i>Robinia pseudoacacia</i>		马尾松 <i>Pinus massoniana</i>		水杉 <i>Metasequoia glyptostroboides</i>	
		根茎比 Root-stem ratio	Content of free proline ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}\text{FW}$)	根茎比 Root-stem ratio	Content of free proline ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}\text{FW}$)	根茎比 Root-stem ratio	Content of free proline ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}\text{FW}$)
无 MET (Without MET)	CK(0.0%)	0.12	40	0.06	64	0.03	71
	A(0.1%)	0.12	68	0.06	75	0.04	84
	B(0.2%)	0.12	72	0.05	200	0.03	183
	C(0.3%)	0.09	92	0.04	263	0.03	223
有 MET (With MET)	CK(0.0%)	0.09	89	0.05	201	0.04	192
	A(0.1%)	0.13	140	0.05	244	0.05	284
	B(0.2%)	0.15	190	0.06	253	0.04	274
	C(0.3%)	0.20	250	0.06	402	0.04	396

表 3 不同处理对种子发芽率及 SVIS 的影响

Table 3 Different treatments effect on germination rate and SVIS of seeds

处理 Treatment	刺槐 <i>Robinia pseudoacacia</i>			湿地松 <i>Pinus elliotii</i>			侧柏 <i>Platycladus orientalis</i>		
	发芽率 Germination rate (%)	平均苗长 Average height of seedlings (cm)	SVIS (cm)	发芽率 Germination rate (%)	平均苗长 Average height of seedlings (cm)	SVIS (cm)	发芽率 Germination rate (%)	平均苗长 Average height of seedlings (cm)	SVIS (cm)
CK	39.0	3.86	1.51	28.0	5.16	1.44	44.0	4.05	1.78
D	34.0	3.20	1.09	22.0	5.57	1.22	59.0	6.11	3.60
E	32.0	2.04	0.65	37.0	7.32	2.71	51.0	5.92	3.02
F	14.0	1.56	0.22	20.0	4.20	0.84	47.0	4.76	2.24

CK: 0.3% NaCl; D: $250 \times 10^{-6} \text{H}_3\text{BO}_3 + 0.3\% \text{NaCl}$; E: $0.3\% \text{CaCl}_2 + 0.3\% \text{NaCl}$; F: $250 \times 10^{-6} \text{MET} + 0.3\% \text{NaCl}$; SVIS(简化苗木活力指数) = 平均苗长 \times 发芽率, SVIS(Simplify vigor index of seedlings) = Average height of seedlings \times germination rate

于对照

2.3 相同盐浓度不同药液处理对种子发芽率及 SVIS 的影响

从表 3 可以看出:经 H_3BO_3 、 CaCl_2 处理的湿地松,侧柏种子的发芽率、平均苗长、SVIS 都大于未处理过的,但影响差异因树种不同而异, CaCl_2 处理有利于湿地松种子的萌发及苗高生长, H_3BO_3 处理则有利于侧柏种子的发芽和苗高生长。对刺槐种子,用药品处理后无论从种子的发芽率还是苗高生长均不及对照。MET 处理对 3 个树种的发芽指标有明显抑制作用。

2.4 相同盐浓度不同处理对植物根茎比及生理特性的影响

从表 4 可以看出:MET 对提高树种的根茎比有显著效果。经 MET 处理后的植株矮壮,根系发达。游离脯氨酸累积因树种不同,处理不同而有差异。刺槐的脯氨酸含量最大值出现在 H_3BO_3 处理的幼苗内,湿地松以对照的脯氨酸含量最高,而侧柏以 CaCl_2 处理的最大。植物地上部分的 Na^+ 要比地下部分的低

表 4 不同处理对植物根茎比, Na⁺, K⁺ 的吸收及游离脯氨酸含量的影响

Table 4 Different treatments effect on root-stem ratio, Na⁺, K⁺ absorption and free proline content

处理 Treat- ment	刺槐 <i>Robinia pseudacacia</i>								湿地松 <i>Pinus elliotii</i>								侧柏 <i>Platycladus orientalis</i>							
	根/茎 Root- stem ratio	Content of free proline ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ FW)	Na ⁺	K ⁺	Na ⁺ /K ⁺	Na ⁺	K ⁺	Na ⁺ /K ⁺	根/茎 Root- stem ratio	Content of free proline ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ FW)	Na ⁺	K ⁺	Na ⁺ /K ⁺	Na ⁺	K ⁺	Na ⁺ /K ⁺	根/茎 Root- stem ratio	Content of free proline ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ FW)	Na ⁺	K ⁺	Na ⁺ /K ⁺	Na ⁺	K ⁺	Na ⁺ /K ⁺
CK	0.10	141	1.09	0.80	1.36	0.52	0.09	5.78	0.06	551	0.75	0.43	1.74	1.50	0.37	4.05	0.15	335	2.67	0.24	11.13	2.94	0.62	4.74
D	0.14	522	0.84	0.88	0.95	0.30	0.20	1.50	0.07	488	0.95	0.26	3.65	1.22	0.37	3.30	0.17	336	1.28	0.43	2.98	2.10	0.59	3.56
E	0.14	411	0.65	0.80	0.81	0.47	0.22	2.14	0.09	423	1.49	0.39	3.82	1.21	0.22	5.50	0.18	392	1.29	0.29	4.45	2.53	0.66	3.83
F	0.19	393	1.00	0.84	1.19	0.44	0.17	2.59	0.10	400	0.78	0.51	1.53	1.31	0.29	4.52	0.26	315	1.92	0.46	4.21	2.88	1.10	2.62

CK: 0.3% NaCl; D 250 $\times 10^{-6}$ H₃BO₃+ 0.3% NaCl; E 0.3% CaCl₂+ 0.3% NaCl; F 250 $\times 10^{-6}$ MET+ 0.3% NaCl

3 讨论

在盐胁迫条件下,刺槐、马尾松、湿地松、侧柏的种子发芽率,幼苗高生长明显受到抑制,原因可能是由于外界盐浓度影响培养液或土壤的渗透势,造成植物吸水困难,使得种子不能萌发或延迟萌发,影响幼苗的高生长。用 H₃BO₃、CaCl₂等药液处理后的种子,在相同盐胁迫条件下,表现出对种子发芽率,幼苗高生长的适当促进作用,这可能是由于 B⁻, Ca²⁺ 的增加对 Na⁺ 产生拮抗,衰弱 NaCl 浓度有关。用 MET 处理后的种子,在发芽率、高生长方面表现出一定的抑制性,这可能是 MET 是一种植物生长延缓剂,具有抑制多种植物纵向生长的作用^[4]。同时也表明 MET 能增强植物的抗盐能力,分析表 1-3 的数据还可发现,上述规律似乎对某些树种并不适应,刺槐在相同浓度,不同处理时种子发芽率、平均苗高,以对照最高,这是否与刺槐本身的耐盐能力或外界阳离子对刺槐中 Na⁺ 的取代有关,需进一步探讨。

在盐渍条件下,植物的根茎比随着 NaCl 的增加而降低。其原因是由于 Na⁺ 浓度大,影响植物吸水,而当外界水分降低时,根系不发达,地上部分生长相对缓慢。经 MET 处理后的幼苗生长较矮壮,根系发达,根茎比大(表 2 表 4),有利于增加根系的吸水能力。经 H₃BO₃、CaCl₂ 处理的植株根茎比相对比相同浓度下的根茎比大,可能是与 H₃BO₃、CaCl₂ 缓解盐毒害有关。

当植物遭受盐浓度逆境时,植物体内积累脯氨酸^[2,5,6]。Stewart(1974年)的分析,大米草地上部分脯氨酸的含量达氨基酸库的 45%,在无盐条件下,脯氨酸含量低,而当盐浓度增加时脯氨酸含量升高,认为脯氨酸的积累能力与耐盐性有关^[7]。本次试验中,在前一部分,随着盐浓度的增加,脯氨酸含量增多,且表现趋势明显。马尾松在 C(0.3%)处理时,积累含量达 263 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ FW,

而 CK(0.0%)时仅有 64 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ FW。而经 MET 处理的,在相同盐条件下,游离脯氨酸含量要比无 MET 处理的高得多,且随着 NaCl 浓度的增加而增加。在 H₃BO₃、CaCl₂ 处理的幼苗中,体内游离脯氨酸的积累并没有规律,但对刺槐、侧柏,经以上两种药液处理的脯氨酸含量增加。如果说因为脯氨酸含量的增加,维持膨压,同时保护酶和膜系统免受毒害,增加植物的抗盐性^[8],那么 H₃BO₃、CaCl₂ 处理能提高植株的抗盐性还有据可查,但是对湿地松而言,表现出来的结果恰恰相反,这是否与 Hanson(1977年)提出的:只有水势下降到一定程度,植物体内才积累脯氨酸这一论点有关,还有待进一步研究。

盐胁迫对植物生理生化的影响,其中一方面原因就是离子毒害。离子毒害作用包括过量的有毒 Na⁺、Cl⁻ 对细胞膜系统的伤害,导致细胞膜透性增大,电解质外渗,引起细胞代谢失调。本次试验采用 B⁻、Ca²⁺ 来抵抗 Na⁺,缓解盐毒害。从结果来看,效果不错。同时,在相对高浓度的 Na⁺、Cl⁻ 离子存在下,干扰了植物对营养元素 K⁺、Ca²⁺、Na⁺ 的吸收,造成植物体内营养元素的缺乏,影响生长发育^[9]。从表 4 可以看出:地下部分对 Na⁺ 的吸收要比地上部分多,这主要是由于苗木根系主动吸收 Na⁺、K⁺ 的结果,根系 Na⁺/K⁺ 值明显高于地上部分。对刺槐、侧柏而言,CK 的 Na⁺ 浓度与 Na⁺、K⁺ 值高于其它处理,这似乎与 H₃BO₃、CaCl₂、MET 缓解 Na⁺ 浓度有关,但对湿地松, CaCl₂ 处理的 Na⁺ 与 Na⁺、K⁺ 值最高,这是否与高盐浓度下,吸收的选择性与细胞膜的 K⁺-Na⁺ 交换与 Ca²⁺ 存在有关^[8,9]。溶液中的 Na⁺ 会取代植物细胞膜上的 Ca²⁺^[6],造成 Na⁺ 浓度显著升高,从而抑制 K⁺ 的吸收。

综合苗木的生长和体内的 Na⁺ 来分析,可以看出,两者之间存在着明显的相关。NaCl 明显抑制着几个树种的种子发芽率和生长,且随着浓度的增加而抑

(下转第 70 页 Continue on page 70)

关系不大, 银杏由于老化而抑制了病原菌对它的侵染, 其抑病机制及利用其抑病因子防治病害, 是值得进一步研究的重要课题。室内药剂毒力测定表明, 甲霜灵和甲霜灵锰锌对银杏疫霉有很强的抑制作用, 建议生产上利用这两种化学药剂于病害可能出现时期或病害开始出现时喷施保护, 可望有效控制该病害的发展。

有关银杏疫霉种的鉴定正在进行, 对病原菌种的生物学特性及病害的发生发展规律如病害的初侵染来源、病原菌的传播途径、病原菌的寄主范围等, 有待进一步研究。疫霉能危害裸子植物, 说明疫霉有很强的寄生能力和更宽的寄主范围, 进一步研究疫霉的致病特性对于有效防治由该菌引起的作物病害有重

要的指导意义。

致谢

广西植物研究所梁惠凌同志提供气象资料及协助田间调查, 特此致谢!

参考文献

- 1 梁立兴等编著, 中国银杏. 济南: 山东科学技术出版社, 1988.
- 2 周志权等. 银杏病害种类的调查研究初报. 广西科学院学报, 1996, 12 (3, 4): 66-71.
- 3 张中义等编著. 植物病原真菌学. 成都: 四川科学技术出版社, 1988.
- 4 魏景超. 真菌鉴定手册. 上海: 上海科技出版社, 1982.

(责任编辑: 蒋汉明)

(上接第 65页 Continue from page 65)

制显著。盐胁迫抑制生长的原因, Robinson^[9]指出, 这是由于组织内部积累较多的 NaCl 所致。盐胁迫抑制生长与组织内 Na⁺ 含量和 Na⁺ /K⁺ 比值升高有关^[9]。本次试验结果表明: 在高 NaCl 溶液中, 植物体内积累大量的 Na⁺, Na⁺ /K⁺ 比值提高。因此, 可以认为: 盐境抑制树木的幼苗生长的可能原因是由于盐境中幼苗积累过多的 Na⁺, 降低水势, 在高浓度 NaCl 浓度溶液中, 根吸收大量的 Na⁺, 影响对其他元素的吸收, 造成细胞内离子不平衡, 同时在高浓度 NaCl 液中, Na⁺ 取代质膜上的 Ca²⁺, 破坏了质膜的选择透性, 影响细胞正常生理功能, 从而抑制幼苗生长。而用 H₂BO₃、CaCl₂ 处理种子有良好的抗盐效果。

致谢

论文在完成过程中得到方升佐副教授的悉心指导与大力帮助, 实验工作得到种子中心李淑娴老师和造林组张往祥老师及其他老师的关心与支持。在此一并深表谢忱。

参考文献

- 1 蔡清泉. 我国海涂资源开发利用的现状和展望. 国土与自然资源研究, 1990, (2): 33-37.
- 2 张殿忠, 汪沛洪, 赵会贤. 测定小麦叶片游离脯氨酸含量的方法. 植物生理通讯, 1990, (4): 62-65.
- 3 劳家桢主编. 土壤农化分析手册. 北京: 农业出版社, 1988, 641-648.
- 4 沈惠娟等. 多效唑浸种提高刺槐幼苗耐盐性研究. 植物学报, 1993, 35 (8): 606-610.
- 5 吕芝香, 仲崇信. NaCl 对大米草幼苗游离氨基酸成分和脯氨酸含量的影响. 植物生理学报, 1982, (8): 390-398.
- 6 吕芝香, 乙引. NaCl 对小麦叶片脯氨酸氧化酶活性和游离脯氨酸累积的影响. 植物生理学报, 1992, 18 (4): 376-382.
- 7 汤章城. 逆境条件下脯氨酸的累积及其可能的意义. 植物生理学通讯, 1984, (1): 15-21.
- 8 刘友良, 毛才良, 汪良驹. 植物耐盐性研究进展. 植物生理学通讯, 1987, (4): 1-7.
- 9 张臻等. NaCl 对碱谷幼苗无机离子含量和生长的影响. 植物资源与环境, 1996, 5 (2): 19-22.

(责任编辑: 邓大玉 蒋汉明)