

盐分和水分胁迫对盐生植物灰绿藜种子萌发的影响

段德玉^{1,2}, 刘小京¹, 冯凤莲³, 李存桢^{1,2}

(1. 中国科学院石家庄农业现代化研究所, 河北 石家庄 050021;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100039; 3. 河北医科大学, 河北 石家庄 050017)

摘要 研究了不同浓度的 NaCl 和复合盐及等渗溶液(PEG-6000)处理下盐生植物灰绿藜(*Chenopodium glaucum* L.)种子的萌发状况。结果表明:灰绿藜种子的萌发率与处理溶液的浓度或渗透势之间有显著的负相关关系;在低浓度盐溶液(2.9 g·L⁻¹)中灰绿藜种子的萌发率高于对照(蒸馏水);NaCl 溶液对灰绿藜种子萌发的抑制作用大于复合盐溶液。渗透势为 -0.2 和 -0.5 mPa 时,PEG-6000 溶液对灰绿藜种子萌发的抑制作用小于等渗 NaCl 溶液,而在较高渗透势溶液中则正好相反。用渗透势 ≤ -1.8 mPa 的 PEG-6000 溶液及所有浓度的 NaCl 和复合盐溶液处理的种子复水后相对萌发率都达到了 90% 以上,说明一定程度的盐分和水分胁迫对灰绿藜种子萌发潜力并没有很大的影响,并且萌发恢复率随处理盐浓度或 PEG-6000 溶液渗透势(≤ -1.4 mPa)的增加而增加。

关键词: 灰绿藜; 盐胁迫; 水分胁迫; 萌发率; 萌发恢复率

中图分类号: Q945.78 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-0978(2004)01-0007-05

Effects of salt and water stress on seed germination of halophyte *Chenopodium glaucum* L. DUAN De-yu^{1,2}, LIU Xiao-jing¹, FENG Feng-lian³, LI Cun-zhen^{1,2} (1. Shijiazhuang Institute of Agricultural Modernization, the Chinese Academy of Sciences, Shijiazhuang 050021, China; 2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China; 3. Hebei Medical University, Shijiazhuang 050017, China), *J. Plant Resour. & Environ.* 2004, 13(1): 7-11

Abstract: Seeds of halophyte *Chenopodium glaucum* L. were treated with various concentration of sodium chloride, mixed salt solutions and PEG-6000 solutions iso-osmotic to sodium chloride solutions. The germination percentage and germination recovery percentage were examined. The results showed that germination percentage decreased with the increase of salinity and osmotic potential and the optimal germination was in salt solution at 2.9 g·L⁻¹. The sodium chloride solutions were more inhibitory than mixed salt solutions to seed germination and were less inhibitory than iso-osmotic PEG-6000 solutions at -0.9, -1.4, -1.8 and -2.7 mPa. When non-germinated seeds from all treatments were transferred to distilled water, the final relative rate of germination was more than 90% except that from PEG-6000 at -2.7 mPa. The results showed that a certain degree of salt stress and water stress were a reversible inhibition to seed germination. The germination recovery percentage increased with an increase of the pre-treated salt concentration and osmotic potential of PEG-6000 (≤ -1.4 mPa).

Key words: *Chenopodium glaucum* L.; salt stress; water stress; germination percentage; germination recovery percentage

灰绿藜(*Chenopodium glaucum* L.)为一年生草本经济盐生植物,生长于含轻度盐碱的湿草地、海滨和沙土地等处。灰绿藜具有很重要的经济价值和生态价值,其叶片富含蛋白质,可作为饲料添加剂和人类食品添加剂,并且盐碱地种植灰绿藜可明显改良土壤性质,具有降低土壤含盐量和增加土壤有机质的作用^[1]。

盐渍环境下的种子萌发是盐生植物生长的关键及敏感阶段^[2],尽管目前有一些对藜科盐生植物种

子萌发的研究报道^[3-5],但是对于具体的盐生植物应用栽培方面,仍然缺乏进一步的研究资料,目前还没有盐碱地区土壤浸提液(复合盐溶液)对灰绿藜种子萌发影响的研究报道。

收稿日期: 2003-08-12

基金项目: 国家科技部中巴政府间合作项目(16-413),河北省“十五”科技攻关资助项目(03220169D)和中国科学院石家庄农业现代化研究所知识创新方向性项目(220761)

作者简介: 段德玉(1973-),男,江西九江人,硕士研究生,主要从事区域生态系统恢复研究。

本文研究了在 NaCl 和复合盐溶液胁迫下的灰绿藜种子萌发状况,并用与 NaCl 溶液等渗的 PEG-6000 溶液模拟干旱胁迫进行对比,旨在探索盐胁迫下离子毒害和渗透胁迫对盐生植物种子萌发抑制作用的贡献大小,为干旱盐碱地区盐生植物的栽培提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 实验材料

完全成熟的灰绿藜种子于 2001 年 10 月采自河北省海兴县的滨海盐碱地,挑选饱满、生长均匀一致的种子备用。

1.2 胁迫处理方法

实验于 2001 年 11 月在智能人工气候箱(杭州钱江, ZRX-258D)中进行,光照 $12 \text{ h} \cdot \text{d}^{-1}$,光强 $\geq 56.6 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,温度 $25^\circ\text{C}/15^\circ\text{C}$,相对湿度 $75\% \sim 80\%$ 。种子用不同浓度(2.9、5.8、11.7、17.6、23.4 和 $35.1 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$)的 NaCl 溶液和复合盐溶液处理。复合盐(MS)是用种子采集地土壤浸提液配制而成,土壤提取液母液浓度 $59.6 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$,电导率 $59.1 \text{ ds} \cdot \text{m}^{-1}$,其主要的离子组成是 Cl^- 和 Na^+/K^+ ,分别占总量的 53.4% 和 30.5%,其他离子构成为: SO_4^{2-} 12.5%、 Mg^{2+} 2.3%、 Ca^{2+} 1.2% 和 HCO_3^- 0.01%。等渗于 NaCl 的 PEG-6000 溶液的相应渗透势分别是 -0.2 、 -0.5 、 -0.9 、 -1.4 、 -1.8 和 -2.7 mPa ,溶液渗透势分别根据 PEG-6000 浓度同其渗透势的关系^[6]以及 NaCl 浓度同其渗透势的关系确定^[7]。

实验前种子先置于臭氧中消毒 30 min。种子在发芽床中进行萌发,发芽床是在培养皿(直径 10 cm)内铺 3 张滤纸(直径 9 cm)后用滴定管移入 10 mL 处理溶液制成,每一发芽床需灰绿藜种子 40 粒。发芽床用透明胶布密封以防溶液水分蒸发。每处理 4 个重复,蒸馏水作为对照。

1.3 萌发状况的观察及数据分析

观察不同处理组中种子的萌发率和萌发恢复率。种子萌发以胚芽长至种子的 1/2 为标准。每天定时打开发芽床检查种子的萌发数,并移走已经萌发的种子。萌发 9 d 后将全部未发芽的种子转至蒸馏水中复水,每天观察不同处理的种子在复水后的萌发恢复情况。

萌发率用已发芽的种子数占全部种子数的百分率来表示。萌发恢复率 $= [(a - b)/(c - b)] \times 100\%$,其中 a 是全部时间的发芽种子数, b 是盐溶液中的发芽种子数, c 是实验用的该处理的全部种子数^[8]。

实验所得数据用统计软件 SPSS 11.0 分析。

2 结果与分析

2.1 盐胁迫对灰绿藜种子萌发的影响

不同盐溶液中灰绿藜种子的萌发率见表 1。由表 1 可知,盐分对灰绿藜种子的萌发具有明显的抑制作用,不同浓度的盐溶液对灰绿藜种子有不同程度的抑制作用。与 $2.9 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 盐溶液处理相比, $23.4 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 盐处理溶液中种子的平均萌发率降低了近 70%,而 $35.1 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的盐溶液中,没有种子萌发,盐溶液的浓度与种子萌发率呈显著的负相关关系(见表 2)。灰绿藜种子的萌发对不同浓度盐溶液的抗性不同,假设当灰绿藜种子的萌发率分别为 50% 和 25% 时,所对应的盐浓度为灰绿藜种子萌发的临界值和极限值^[9,10],根据实验结果,复合盐和 NaCl 溶液中灰绿藜种子萌发的临界值和极限值分别为 10.1、20.0 和 9.3、19.3 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 。显然,灰绿藜种子对复合盐处理的耐受能力大于 NaCl 溶液。

表 1 不同盐溶液中灰绿藜种子的萌发率¹⁾

Table 1 Germination percentage of seeds of *Chenopodium glaucum* L. under salt stress¹⁾

| 盐浓度/ $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ Salt concentration | 萌发率/% Germination percentage | |
|---|------------------------------|------------------------------|
| | NaCl | 复合盐 Mixed salt |
| 0.0 | 72.5 ^a \pm 1.2 | 72.5 ^a \pm 1.2 |
| 2.9 | 74.4 ^a \pm 2.6 | 78.8 ^a \pm 2.6 |
| 5.8 | 58.8 ^b \pm 5.6 | 68.8 ^{ab} \pm 5.1 |
| 11.7 | 44.4 ^c \pm 3.7 | 46.3 ^b \pm 3.8 |
| 17.6 | 12.5 ^d \pm 2.3 | 16.3 ^c \pm 1.6 |
| 23.4 | 2.5 ^{de} \pm 1.0 | 4.4 ^c \pm 2.1 |
| 35.1 | 0.0 ^e | 0.0 ^e |

¹⁾不同字母表示在 $P = 0.05$ 水平上有显著性差异 The different letters indicate the significant difference at $P = 0.05$ level.

表 2 灰绿藜种子萌发率与盐溶液浓度的关系

Table 2 The relationship between germination percentage of *Chenopodium glaucum* L. seeds and salt concentration

| 处理 Treatment | 回归方程 Regression equation | 相关系数 R^2 | 临界值 / $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ Critical value | 极限值 / $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ Maximum value |
|-----------------|-----------------------------|---------------|---|--|
| NaCl | $y = -2.49x + 73.1$ | 0.89 | 9.3 | 19.3 |
| 复合盐 Mixed salt | $y = -2.54x + 75.7$ | 0.90 | 10.1 | 20.0 |

在 2.9 g·L⁻¹ 盐处理溶液中, NaCl 和复合盐溶液处理的灰绿藜种子的相对萌发率分别为 102.6% 和 108.7%, 表明在低浓度盐溶液中, 盐生植物灰绿藜种子萌发状况最好, 超过了对照组(蒸馏水)中灰绿藜种子的萌发情况。

2.2 水分胁迫对灰绿藜种子萌发的影响

不同渗透势下灰绿藜种子的萌发率见表 3。由表 3 可以看出, 与等渗 NaCl 溶液类似, PEG-6000 溶液对盐生植物灰绿藜种子的萌发有着明显的抑制作用, 并且其抑制程度随 PEG-6000 溶液渗透势的增加而提高。在渗透势为 -0.2 mPa 和 -0.5 mPa 的溶液中, PEG-6000 等渗溶液处理的种子的萌发率超过了 NaCl 溶液, 而在较高渗透势溶液中种子的萌发情况正好相反。在 -1.8 mPa 和 -2.7 mPa 的 PEG-6000 溶液中, 灰绿藜种子不能萌发; 而在 -1.8 mPa 的 NaCl 溶液中, 仍有 2.5% 的种子萌发。这说明盐胁迫下灰绿藜种子萌发过程中渗透胁迫比离子毒害的抑制作用更大, 这与已有的其他盐生植物相关报道是一致的^[11]。

表 3 不同渗透势下灰绿藜种子的萌发率¹⁾
Table 3 Germination percentage of seeds of *Chenopodium glaucum* L. treated by NaCl and PEG-6000 with different osmotic potential¹⁾

| 渗透势/mPa Osmotic potential | 萌发率/% Germination percentage | |
|------------------------------|------------------------------|-------------------------|
| | NaCl | PEG-6000 |
| 0.0 | 72.5 ^a ± 1.2 | 72.5 ^a ± 1.2 |
| -0.2 | 74.4 ^a ± 2.6 | 76.9 ^a ± 2.6 |
| -0.5 | 58.8 ^b ± 5.6 | 71.9 ^a ± 3.7 |
| -0.9 | 44.4 ^c ± 3.7 | 26.9 ^b ± 3.7 |
| -1.4 | 12.5 ^d ± 2.3 | 10.0 ^c ± 1.2 |
| -1.8 | 2.5 ^{de} ± 1.0 | 0.0 ^c |
| -2.7 | 0.0 ^e | 0.0 ^c |

¹⁾不同字母表示在 P = 0.05 水平上有显著性差异 The different letters indicate the significant difference at P = 0.05 level.

同样, 低渗透势的 (-0.2 mPa) PEG-6000 溶液中种子的萌发率超过了对照(蒸馏水)中种子的萌发率, 相对萌发率达到了 106.1%。根据实验结果进一步分析可知, PEG-6000 溶液中种子萌发的临界值和极限值都低于等渗 NaCl 溶液(见表 4), 表明 PEG-6000 溶液对灰绿藜种子萌发的抑制程度大于 NaCl 溶液(见图 1)。

2.3 复水后灰绿藜种子萌发的恢复状况

9 d 后, 未萌发的灰绿藜种子全部移入蒸馏水中继续萌发。复水开始 2 d 内, 未萌发的种子即迅速而大量地萌发, 并基本达到其最终萌发数量。到复

水后第 6 天, 所有盐溶液处理下的灰绿藜种子的相对萌发率都达到了 90% 以上; 而渗透势 ≤ -1.8 mPa 的 PEG-6000 溶液中, 种子相对萌发率也都达到了 90% 以上; 而在渗透势为 -2.7 mPa 的 PEG-6000 溶液中种子的相对萌发率也达到了 71%。在一定的盐浓度和渗透势范围内, 复水后种子的萌发恢复率基本呈现随原处理溶液的浓度或渗透势增加而增加的趋势(见图 2 和图 3)。在 23.4 g·L⁻¹ 的盐溶液中和 -1.4 mPa 的 PEG-6000 溶液中, 种子的萌发恢复率最高, 当溶液盐浓度或渗透势继续增加时, 种子的

表 4 灰绿藜种子萌发率与溶液渗透势的关系
Table 4 The relationship between germination percentage of *Chenopodium glaucum* L. seeds and osmotic potential

| 处理 Treatment | 回归方程 Regression equation | 相关系数 R ² | 临界值/mPa Critical value | 极限值/mPa Maximum value |
|-----------------|-----------------------------|------------------------|---------------------------|--------------------------|
| NaCl | y = -32.5x + 7.5 | 0.89 | -0.73 | -1.49 |
| PEG-6000 | y = -33.9x + 74.1 | 0.84 | -0.71 | -1.45 |

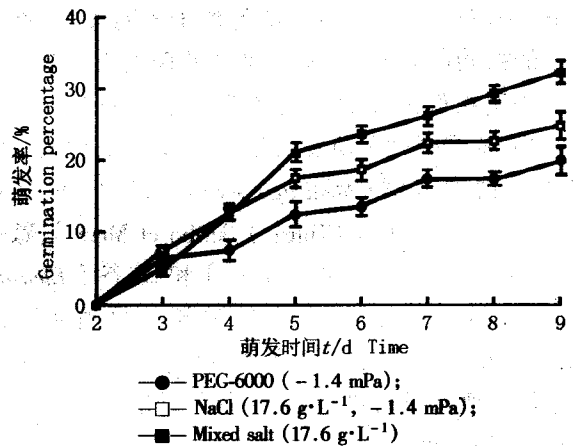


图 1 盐、混合盐和 PEG-6000 溶液胁迫下灰绿藜种子的萌发率
Fig. 1 Germination percentage of seeds of *Chenopodium glaucum* L. treated by salt, mixed salt and PEG-6000 solutions

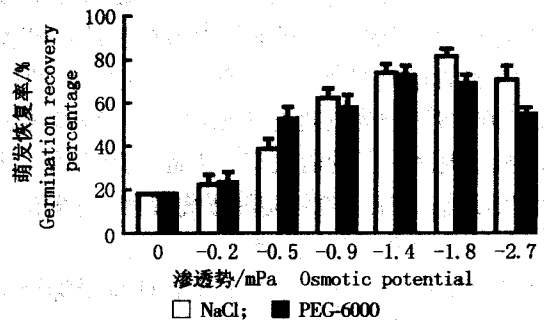


图 2 NaCl 和 PEG-6000 处理下灰绿藜种子的萌发恢复率
Fig. 2 Germination recovery percentage of seeds of *Chenopodium glaucum* L. treated by NaCl and PEG-6000 solutions

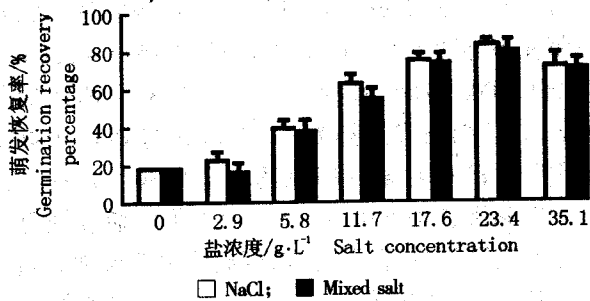


图3 NaCl和混合盐处理下灰绿藜种子的萌发恢复率
Fig. 3 Germination recovery percentage of seeds of *Chenopodium glaucum* L. treated by NaCl and mixed salt solutions

萌发恢复率反而降低。以上结果说明处理溶液的盐浓度或渗透势增加到一定的程度时,灰绿藜种子的萌发潜力会受到一定程度的影响。

3 讨 论

盐胁迫和水分胁迫对盐生植物种子的萌发具有明显的抑制作用。表现在降低种子的萌发率,推迟种子的初始萌发时间、延长种子的萌发时间等^[12]。实验表明在低浓度盐溶液或低渗透势的 PEG-6000 溶液中,灰绿藜种子萌发状况最佳,这与其他的一些耐盐植物如苜蓿 (*Medicago sativa* L.)^[13]、星星草 [*Puccinellia tenuiflora* (Turcz.) Scribn et Merr.]、碱茅 [*Puccinellia distans* (L.) Parl.] 和碱谷 [*Eleusine coracana* (L.) Gaertn.]^[14,15] 等的相关报道是一致的。这种现象可能是因为低浓度的盐溶液或低渗透势溶液刺激种子打破休眠,导致种子的最终萌发率有轻微的增加^[16]。

一定程度的盐分或水分胁迫对灰绿藜种子的萌发潜力并没有很大影响,种子复水后即大量萌发,最终相对萌发率可达 90% 以上。在一定浓度及渗透势范围内,萌发恢复率基本呈现随溶液浓度和渗透势的增加而增加的趋势,表明用一定浓度的盐或 PEG-6000 溶液预先处理盐生植物种子,解除胁迫后可以明显提高种子的萌发率。因此生产栽培实践中用低浓度盐或 PEG-6000 溶液预先浸种,完全有可能提高种子的萌发率和成活率。

盐碱地区盐胁迫下植物的生长萌发受抑制与渗透胁迫和离子毒害 2 种效应有关,并且盐生植物中起主要抑制作用的是渗透胁迫而不是离子毒害^[12,17-19]。低渗透势 NaCl 溶液 (≤ -0.5 mPa) 中,

灰绿藜种子的萌发率低于等渗 PEG-6000 溶液处理下的种子,而高渗透势 NaCl 溶液中正好相反,这可能是因为盐溶液中,植物种子可以通过吸收溶液中的无机离子来增加细胞溶液的浓度,从而有效地进行渗透调节以抵抗外界环境的盐胁迫,并且盐生植物的这种渗透调节能力随外界盐浓度的增加而提高^[20]。但是对于这 2 种效应在盐胁迫中所起贡献的大小,目前还不是很清楚,有待于进一步的研究调查。

不同的植物对盐害的响应也有差别^[11]。不同种类的盐对盐生植物产生的毒害作用的大小也不一致,有报道表明^[21],对于盐生植物 *Puccinellia festucaeformis* Parl., 其种子萌发的离子毒害性最高为 CaCl₂ 和 MgCl₂, 其次为 NaCl、KCl、NaNO₃ 和 KCl, 第三为 MgSO₄。本实验结果表明,单盐溶液对植物种子萌发的离子毒害程度大于复合盐溶液,用耐盐草坪品种进行的萌发实验也得出了类似的结论^[22],这可能是因为复合盐溶液胁迫下,种子可以多渠道地进行渗透调节来抵抗盐胁迫。

参考文献:

- [1] 赵可夫, 李法曾. 中国盐生植物[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- [2] Khan M A, Sheith K H. Effects of different levels of salinity on seed germination and growth of *Capsicum annum* [J]. *Biologia J*, 1996, 22:15-16.
- [3] Mohammed B, Kinet J M, Lutts S. Osmotic and ionic effects of NaCl on germination, early seedling growth and ion content of *Atriplex halimus* (Cheropodiaceae) [J]. *Canadian Journal of Botany*, 2002, 80 (3): 297-304.
- [4] Ungar I A, Khan M A. Effect of bracteoles on seed germination and dispersal of two species of *Atriplex* [J]. *Annals of Botany*, 2001, 87 (2):233-239.
- [5] 张万钧, 王斗天, 范海, 等. 盐生植物种子萌发的特点及其生理基础[J]. *应用与环境生物学报*, 2001, 7(2):117-121.
- [6] Burlyn E M, Kaufmann M R. The osmotic potential of polyethylene glycol 6000 [J]. *Plant Physiol*, 1973, 51: 914-916.
- [7] Robinson S. Electrolyte solutions, 450-500, Butterworths scientific publication of drought and its effects on germination of five pasture species [J]. *Agron J*, 1995, 85:982-987.
- [8] Khan M A, Ungar I A. Germination of salt tolerant shrub *Suaeda frutescens* from Pakistan: salinity and temperature response [J]. *Seed Sciences and Technology*, 1998, 26(3): 657-667.
- [9] 陈国雄, 李定淑, 张志谦, 等. 盐胁迫对西葫芦和黄瓜种子萌发影响的对比研究[J]. *中国沙漠*, 1996, 16(3): 307-310.
- [10] 王庆亚, 刘敏, 张守栋, 等. 盐胁迫对盐角草种子与幼苗生长效应的研究[J]. *江苏农业科学*, 2002(2):69-71.

- [11] 赵可夫,冯立田,范海. 盐生植物种子休眠、休眠解除和萌发的特点[J]. 植物学通报, 1999, 16(6):677-685.
- [12] 沈禹颖,王锁民,陈亚明. 盐胁迫对牧草种子的萌发及其恢复的影响[J]. 草业学报, 1999, 8(3):54-60.
- [13] 梁云媚;李燕,多立安. 不同盐分胁迫对苜蓿种子萌发的影响[J]. 草业科学, 1998, 15(6):21-25.
- [14] 阎秀峰,孙国荣,那守海,等. 盐分对星星草种子萌发的胁迫作用[J]. 草业科学, 1994, 11(3):58-60.
- [15] 沈禹颖. 盐分浓度对碱茅草种子萌发的影响[J]. 草业科学, 1991, 8(3):68-71.
- [16] Ungar I A. Influence of salinity on seed germination in succulent halophytes[J]. Ecology, 1973, 43(4):761-763.
- [17] 李海云,赵可夫,王秀峰. 盐对盐生植物种子萌发的抑制[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2002, 33(2):170-173.
- [18] 侯旭光,赵可夫. 非盐生植物棉花和盐生植物灰绿藜的盐害机理[J]. 山东大学学报(自然科学版), 1999, 34(2):230-235.
- [19] Wang B, Luttge U, Ratajczak R. Effects of salt treatment and osmotic stress on V-ATPase and V-PPase in leaves of the halophyte *Suaeda salsa* [J]. Journal of Experiment Botany, 2001, 52(365): 2355-2365.
- [20] 张海燕,赵可夫. 盐分和水分胁迫地碱蓬幼苗渗透调节效应的研究[J]. 植物学报, 1998, 40(1):56-61.
- [21] Ungar I A. Ecophysiology of Vascular Halophytes[M]. London: CBC Press, 1996. 20-23.
- [22] 卢静君,李强,多立安. 盐胁迫对金牌美达丽和猎狗种子萌发的影响[J]. 植物研究, 2002, 22(3):328-332.

欢迎订阅 2004 年《植物资源与环境学报》

“中国期刊方阵”双效期刊 “江苏期刊方阵”优秀期刊
 季刊, 单价 6 元, 邮发代号: 28-213, 统一刊号: CN32-1339/S

《植物资源与环境学报》系江苏省植物研究所、江苏省植物学会及中国科学院植物园保护分会联合主办的学术刊物, 国内外公开发行人。本刊为 BA、CA、CAB、中国生物学文摘、中国林业文摘、中国环境科学文摘、中国科学引文数据库、万方数据——数字化期刊群、中国学术期刊(光盘版)和中文科技期刊数据库等国内外著名刊库收摘。本刊围绕植物资源与环境两个关系国计民生的中心命题, 报道我国植物资源的考察、开发利用和植物物种多样性保护, 自然保护区与植物园的建设和管理, 植物在保护和美化环境中的作用, 环境对植物的影响以及与植物资源和植物环境有关学科领域的原始研究论文、研究简报和综述等。凡从事植物

学、生态学、自然地理学以及农、林、园艺、医药、食品、轻化工和环境保护等领域的科研、教学、技术人员及决策者, 可以从本刊获得相关学科领域的研究进展和信息。

本刊于 1992 年创刊, 全国各地邮局发行, 若错过征订时间或需补齐 1992~2003 年各期者, 请直接与编辑部联系邮购, 订价 1992~1993 年每年 8 元, 1994~2000 年每年 16 元, 2001~2004 年每年 24 元(均含邮资)。编辑部地址: 南京中山门外江苏省植物研究所内, 邮编: 210014, 电话: 025-84347016; Fax: 025-84432074; Email: nbjgxx@jlonline.com 或 zwzy@mail.cnbg.net。