

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

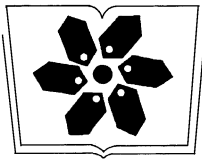
Acta Ecologica Sinica



第32卷 第12期 Vol.32 No.12 **2012**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 12 期

2012 年 6 月 (半月刊)

目 次

- 河口湿地人为干扰度时空动态及景观响应——以大洋河口为例..... 孙永光,赵冬至,吴 涛,等 (3645)
- 鄱阳湖南矶湿地优势植物群落及土壤有机质和营养元素分布特征..... 张全军,于秀波,钱建鑫,等 (3656)
- 青岛市湿地生态网络评价与构建..... 傅 强,宋 军,毛 锋,等 (3670)
- 大堤型湖滨带生态系统健康状态驱动因子——以太湖为例..... 叶 春,李春华,王秋光,等 (3681)
- 绿色屋顶径流氮磷浓度分布及赋存形态..... 王书敏,何 强,张峻华,等 (3691)
- 坡度对农田土壤动物群落结构及多样性的影响..... 何先进,吴鹏飞,崔丽巍,等 (3701)
- 枣园桃蛀果蛾寄生蜂种类及其与寄主的关系..... 姚艳霞,赵文霞,常聚普,等 (3714)
- 基于逻辑斯蒂回归模型的鹭科水鸟栖息地适宜性评价..... 邹丽丽,陈晓翔,何 莹,等 (3722)
- 温度、盐度和 pH 对马氏珠母贝稚贝清滤率的联合效应 朱晓闻,王 辉,刘 进,等 (3729)
- 鸡桑药共生模式库区土壤养分变化及流失风险..... 赵丽平,杨贵明,赵同科,等 (3737)
- 黑河中游典型土地利用方式下土壤粒径分布及与有机碳的关系 张俊华,李国栋,南忠仁 (3745)
- DEM 栅格分辨率和子流域划分对杏子河流域水文模拟的影响 邱临静,郑粉莉,Yin Runsheng (3754)
- 粒度变化对城市热岛空间格局分析的影响..... 郭冠华,陈颖彪,魏建兵,等 (3764)
- 基于景观连接度的森林景观恢复研究——以巩义市为例 陈 杰,梁国付,丁圣彦 (3773)
- 城市能源利用碳足迹分析——以厦门市为例..... 林剑艺,孟凡鑫,崔胜辉,等 (3782)
- 高寒牧区村域生态足迹——以甘南州合作市为例..... 王录仓,高 静 (3795)
- 太湖湖滨带生态系统健康评价..... 李春华,叶 春,赵晓峰,等 (3806)
- 秦岭大熊猫栖息地巴山木竹生物量..... 党坤良,陈俊娴,孙飞翔,等 (3816)
- 盐胁迫对盐生植物黄花补血草种子萌发和幼苗生长的影响..... 尤 佳,王文瑞,卢 金,等 (3825)
- 海南霸王岭山地原始林与伐后林中木质藤本对支持木的选择..... 刘晋仙,陶建平,何 泽,等 (3834)
- 闽楠幼树光合特性及生物量分配对光环境的响应..... 王振兴,朱锦懋,王 健,等 (3841)
- 基于形态及分子标记的濒危植物夏蜡梅自然居群的遗传变异研究 金则新,顾婧婧,李钧敏 (3849)
- 不同径级油松径向生长对气候的响应..... 姜庆彪,赵秀海,高露双,等 (3859)
- 珍稀濒危植物长蕊木兰种群的年龄结构与空间分布..... 袁春明,孟广涛,方向京,等 (3866)
- 巨桉与 5 种木本植物幼树的耗水特性及水分利用效率的比较..... 胡红玲,张 健,万雪琴,等 (3873)
- 银木凋落叶腐解过程对小白菜生长和抗性生理的影响..... 黄激激,胡庭兴,张念念,等 (3883)
- 基于氡示踪剂和热扩散技术的栓皮栎水分运输速率与效率研究..... 孙守家,孟 平,张劲松,等 (3892)
- 石漠化干旱环境中石生藓类水分吸收特征及其结构适应性..... 张显强,曾建军,湛金吾,等 (3902)
- 含铜有机肥对土壤酶活性和微生物群落代谢的影响..... 陈 琳,谷 洁,高 华,等 (3912)
- 钝叶枥不同性别花的花部形态与传粉特征比较..... 王 茜,邓洪平,丁 博,等 (3921)
- 我国春玉米潜在种植分布区的气候适宜性..... 何奇瑾,周广胜 (3931)
- 烯效唑干拌种对小麦氮素积累和运转及籽粒蛋白质品质的影响..... 樊高琼,杨恩年,郑 亭,等 (3940)

专论与综述

- 中国产业共生发展模式的国际比较及对策 石 磊,刘果果,郭思平 (3950)

研究简报

- 吉林省镇赉县近 10 年景观格局变化 张国坤,卢京花,宋开山,等 (3958)
- 杨树人工林生态系统通量贡献区分析..... 金 莹,张志强,方显瑞,等 (3966)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 330 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 35 * 2012-06



封面图说: 鸳鸯——在分类上属雁形目,鸭科。英文名为 Mandarin Duck(即“中国官鸭”)。鸳指雄鸟,鸯指雌鸟,故鸳鸯属合成词。常常栖息于山地河谷、溪流、湖泊、水田等处,雌雄偶居,以植物性食物为主,也食昆虫等小动物。繁殖期 4—9 月间,雌雄配对后迁至营巢区。巢往往置于树洞中,用干草和绒羽铺垫,每窝产卵 7—12 枚。江西省婺源鸳鸯湖是亚洲最大的野生鸳鸯越冬栖息地。鸳鸯是一种美丽的禽鸟,中国传统文化又赋予它很多美好的寓意,因此,在许多文学艺术作品中经常用以表达爱情。

彩图提供:陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201109181369

尤佳, 王文瑞, 卢金, 贾鹏翔, 缪建顺, 杨颖丽. 盐胁迫对盐生植物黄花补血草种子萌发和幼苗生长的影响. 生态学报, 2012, 32(12): 3825-3833.

You J, Wang W R, Lu J, Jia P X, Miao J S, Yang Y L. Effects of salinity on seed germination and seedling growth in halophyte *Limonium aureum* (L.) Hill. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(12): 3825-3833.

盐胁迫对盐生植物黄花补血草种子萌发 和幼苗生长的影响

尤 佳, 王文瑞, 卢 金, 贾鹏翔, 缪建顺, 杨颖丽*

(西北师范大学生命科学学院, 兰州 730070)

摘要: 盐生植物黄花补血草广泛分布于我国西北地区、东北西部以及华北北部, 对改良盐碱土壤具有重要的生态作用。以黄花补血草(*Limonium aureum* (L.) Hill) 为材料, 研究分析了不同浓度 NaCl 胁迫对其种子萌发和幼苗生长产生的抑制效应及作用机制。结果表明: 低浓度 NaCl (25 mmol/L 和 50 mmol/L) 处理不影响黄花补血草种子萌发和幼苗生长, 25 mmol/L NaCl 甚至促进了根生长, 而高浓度 NaCl (100 mmol/L 和 150 mmol/L) 处理明显抑制种子萌发及幼苗生长。利用荧光探针的检测结果表明, NaCl 处理的幼苗根中过氧化氢(H_2O_2) 和一氧化氮(NO) 含量明显高于对照水平。碘化丙啶(PI) 染色结合激光共聚焦显微镜观察及检测相对电导率结果显示, 高浓度 NaCl 处理抑制了幼苗根尖伸长区细胞的伸长生长, 增加了细胞膜的通透性, 对根细胞造成了明显的伤害。此外, 高浓度 NaCl 处理诱导叶片丙二醛(MDA) 含量显著升高。以上结果说明, 黄花补血草对低浓度的盐具有一定的耐盐性, 但高浓度盐降低了种子的萌发率, 使幼苗根中 H_2O_2 产生增加, 抑制根尖伸长区细胞的伸长生长, 对根、叶造成明显氧化损伤, 从而抑制黄花补血草幼苗的生长。

关键词: 盐胁迫; 黄花补血草; 过氧化氢; 丙二醛

Effects of salinity on seed germination and seedling growth in halophyte *Limonium aureum* (L.) Hill

YOU Jia, WANG Wenrui, LU Jin, JIA Pengxiang, MIAO Jianshun, YANG Yingli*

College of Life Science, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China

Abstract: High salinity, especially in the western arid and semiarid regions of China, is a most serious environmental stress that imposes both ionic toxicity and osmotic stress, leading to the reduction of plant growth and crop production. Halophytes widely distribute in these regions, and the research in connection with salt tolerance of these plants provides a theoretical basis for resource exploitation. *Limonium aureum* (L.) Hill is a typical halophyte in the desert with the strong ability to resist salinity and alkalinity, drought, wind and dust, and it can efficiently fix moving sands and reduce the soil salinity. Additionally, this species owns potential economic values as a source of medicinal compounds. Seed germination and seedling growth are very complex physiological processes that can be regulated by stress environment. The aim of this study was to investigate the mechanism of salt negative effects on seed germination and seedling growth in *L. aureum* (L.) Hill cultured on 1/4 Hoagland's solid medium supplemented with different NaCl concentrations. After surface-sterilized with 0.1% Javel water for 10 min, the plump and excellent seeds were treated with 0, 25, 50, 100 and 150 mmol/L NaCl and germinated for 7 days. For root and shoot growth experiments, seedlings were also cultivated for 7 days. All assays were replicated at least three times to minimize experimental errors. The results showed that: 25 and 50 mmol/L NaCl had no

基金项目: 国家自然科学基金项目(31160088, 30960064); 新世纪优秀人才支持计划项目

收稿日期: 2011-09-18; **修订日期:** 2012-03-07

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yangyingli2006@sohu.com

effect on seed germination and seedling growth in *L. aureum* (L.) Hill, and even significantly elevated root growth was observed in the seedlings exposed to 25 mmol/L NaCl treatment, while 100 and 150 mmol/L NaCl inhibited these parameters. Analysis using fluorescent dye 2',7'-dichlorofluorescein diacetate (DCFH-DA) and 3-amino,4-aminomethyl-2',7'-difluorescein, diacetate (DAF-FM DA) showed significantly increased levels of hydrogen peroxide (H_2O_2) and nitric oxide (NO) in the root tissue after treatment with different NaCl concentrations. Additionally, electrolyte leakage was determined, and cell morphology was investigated by using a laser scanning confocal microscopy and a fluorescent dye propidium iodide (PI), the results indicated that higher NaCl concentrations resulted in the inhibition of straight growth of the elongation zone cell and the enhanced permeability of cell membrane associated with cell impairment in the root tips. Malondialdehyde (MDA) is a product of lipid peroxidation and a most prominent indicator of oxidative stress in plants exposed to stress conditions. In comparison with the control, MDA content had no significant change in the leaves of *L. aureum* (L.) Hill seedlings under lower salt treatment, but markedly elevation in the amount of MDA was observed in response to 100 and 150 mmol/L NaCl, suggesting that higher salt stress led to significant oxidative damage in the leaves of *L. aureum* (L.) Hill seedlings. In conclusion, these results suggested that *L. aureum* (L.) Hill had a certain tolerance to lower salt stress while high NaCl concentration inhibited seed germination and seedling growth, and the enhancements of H_2O_2 generation and membrane permeability in the root tissue cells, and the reduction of straight growth of root elongation region were responsible for the inhibition of root growth in *L. aureum* (L.) Hill seedlings exposed to higher salt treatment. Here it was also indicated that strong oxidative damage in seedling leaves might be associated with NaCl-induced negative effect on the growth of seedling shoots.

Key Words: salt stress; *Limonium aureum* (L.) Hill; hydrogen peroxide; MDA

据统计我国盐渍土面积约 $3.47 \times 10^7 \text{ hm}^2$, 严重制约着农业生产。盐渍环境下的种子萌发与出苗是盐生植物生长的关键和敏感阶段^[1]。研究证实, 盐环境抑制盐穗木^[2]、猪毛菜^[3]、异子蓬^[4]等盐生植物种子的萌发, 造成植株矮小, 根系变短^[5]。同时, 盐胁迫能诱导植物体内的活性氧积累增多, 引发膜脂过氧化^[6], 影响植物在生态环境中的状态及分布。黄花补血草(*Limonium aureum* (L.) Hill) 是白花丹科(*Plumbaginaceae*) 补血草属多年生草本植物, 耐干旱、盐碱, 主要分布于沙漠、戈壁、流动沙丘等生境, 可以防风固沙, 改善局部环境^[7-8]。近年来, 有关黄花补血草的研究主要集中在组织快繁、种子保藏以及化学成分的分析^[9-11]。早期研究初步分析了 NaCl 处理对黄花补血草种子萌发、幼苗生长等生理生态特性的影响^[12], 而有关盐胁迫的抑制作用机理仍不清楚。因此, 本试验以黄花补血草为材料, 进一步研究了不同浓度 NaCl 处理抑制其种子萌发和幼苗生长的作用机制, 为充分开发黄花补血草的生态价值提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料培养与处理

供试验的黄花补血草种子购自甘肃省民勤县沙生植物园。挑选饱满的黄花补血草种子, 用 10% 的次氯酸钠浸泡 10 min, 无菌水冲洗 3 次, 再用 75% 乙醇浸泡 30 s, 无菌水冲洗 5—7 次, 将种子转入固化的 1/4 hoagland 培养基上萌发。待幼苗生长 4 d, 选取生长一致幼苗, 转移至含 0、25、50、100 和 150 mmol/L NaCl 的 1/4 Hoagland 固体培养基上置于光照培养箱温。昼夜温度 (25 ± 2) °C, 光暗周期 14 h/10 h, 光照强度 1 500—2 000 lx, 处理 3 周, 每个处理设 3 次重复。

1.2 指标测定

1.2.1 萌发率和生长状况的测定

将黄花补血草的种子(每个培养皿放 50 粒饱满的种子, 每个浓度设 3 次重复)播种于含有 0、25、50、100 和 150 mmol/L NaCl 的 1/4 Hoagland 固体培养基, 光暗周期 14 h/10 h 下萌发培养, 每天记录萌发种子数, 统计萌发 7d 的总数, 计算种子的萌发率。第 4 天, 挑选生长一致的幼苗转移至新的含有不同浓度 NaCl 的 1/4

Hoagland 固体培养基,生长到 7 d 后,测定黄花补血草的茎叶及根的生长量。

1.2.2 根尖 H_2O_2 和 NO 含量的荧光检测

根内 H_2O_2 含量使用 2',7'-dichlorofluorescein diacetate (DCFH-DA) 作为荧光探针检测。取黄花补血草根尖置于 DCFH-DA 溶液内,暗中孵育 30 min,之后用 10 mmol/L Tris-HCl 洗涤 3 次,用激光共聚焦显微镜检测根尖 H_2O_2 荧光强度。

使用 3-amino,4-aminomethyl-2',7'-difluorescein, diacetate (DAF-FM DA 购自碧云天生物技术研究) 作为 NO 荧光探针,对黄花补血草根尖 NO 含量进行荧光检测。按照 1 : 1 000 比例稀释 DAF-FM DA 至终浓度为 10 $\mu\text{mol/L}$ 。将黄花补血草根尖放入已稀释的 DAF-FM DA 溶液内,在 37 $^{\circ}\text{C}$ 暗中孵育 20 min,之后用 PBS (pH 值 7.4) 洗涤 3 次,充分洗去根尖表面的 DAF-FM DA,用莱卡荧光倒置显微镜对根尖细胞中 NO 荧光强度进行观察。

1.2.3 细胞形态测定

取黄花补血草根尖置于浓度为 10 $\mu\text{g/mL}$ 碘化丙啶 (PI) 溶液中染色 8—10 min,确保细胞壁被充分染色,取出根尖用 PBS (pH 值 7.4) 洗涤 3 次,然后用激光共聚焦扫描显微镜观察根尖细胞形态。

1.2.4 质膜透性测定

质膜透性参照 Sairam 和 Srivastava^[13] 的相对电导率法测定。将黄花补血草幼苗的根用去离子水清洗 3—5 次后,置于去离子水中室温下浸泡 2 h,测定溶液的电导率 (C_1),之后沸水浴 30 min,再次测定电导率 (C_2)。质膜透性用 $((C_1/C_2) \times 100)$ 表示。

1.2.5 MDA 含量测定

MDA 含量测定参照张志良^[14] 的方法,略有改动。取 0.5 g 黄花补血草幼苗叶片,加入 10% 三氯乙酸 (TCA) 5 mL 充分研磨,4 000 $\times g$ 离心 10 min,取 1 mL 上清加 3 mL 0.6% 硫代巴比妥酸(用 10% TCA 配置),沸水浴 15 min,迅速冷却后离心,测定 450、532 nm 和 600 nm 处吸光值,单位以 $\mu\text{mol/g}$ 鲜重表示。

1.3 数据分析

数据采 SPSS 17.0 进行统计分析,用 Duncan 比较,进行单因素方差分析 ($P < 0.05$),Originpro 8.0 软件作图。

2 结果与分析

2.1 盐胁迫对补血草种子萌发和幼苗生长的影响

如表 1 所示,在 NaCl 处理下,黄花补血草的种子萌发和幼苗生长均受不同程度的影响。25 mmol/L 和 50 mmol/L NaCl 处理,种子萌发率与对照比差异不显著,100 mmol/L 和 150 mmol/L NaCl 处理使萌发率显著降低,与对照比分别下降约 57% 和 53%。25 mmol/L 和 50 mmol/L NaCl 处理,黄花补血草根长与对照比分别增加约 45% 和 6%,但只有 25 mmol/L NaCl 处理的根长与对照比有显著性差异;100 mmol/L 和 150 mmol/L NaCl 处理后根长分别下降为对照的 77% 和 25%。与根相比,茎叶的生长对盐处理敏感性较弱,25、50 mmol/L 和 100 mmol/L NaCl 处理不影响黄花补血草地上部分的生长,而 NaCl 处理浓度达到 150 mmol/L 时,明显抑

表 1 不同浓度的 NaCl 处理对补血草种子萌发和幼苗生长的影响

Table 1 Effects of different NaCl concentrations on seed germination and seedling growth of *Limonium aureum* (L.) Hill

NaCl 浓度/(mmol/L) NaCl concentration	种子萌发率/% Frequency of seed germ	根长/cm Root length	茎长/cm Stem length
0	0.58 $\pm$ 0.01a	1.60 $\pm$ 0.07a	0.75 $\pm$ 0.01a
25	0.53 $\pm$ 0.02a	2.32 $\pm$ 0.17b	0.75 $\pm$ 0.03a
50	0.51 $\pm$ 0.04a	1.70 $\pm$ 0.10a	0.73 $\pm$ 0.02ab
100	0.25 $\pm$ 0.02b	1.25 $\pm$ 0.08c	0.72 $\pm$ 0.02ab
150	0.27 $\pm$ 0.02b	0.40 $\pm$ 0.04d	0.68 $\pm$ 0.02b

表中数据分别为 3 次重复平均值 $\pm$ 标准差,同列数据后相同的字母表示在 $P < 0.05$ 水平上无显著差异

制黄花补血草地上部分的生长长度。以上结果表明,低浓度的 NaCl 促进黄花补血草根的生长,高浓度的盐抑制种子萌发和幼苗生长,且对根生长的抑制效应明显强于对茎叶的抑制。

2.2 盐胁迫对黄花补血草根尖 H_2O_2 和 NO 水平的影响

利用荧光探针和激光共聚焦显微镜技术,对不同浓度 NaCl 处理下黄花补血草幼苗根部 H_2O_2 水平进行了分析。如图 1A 显示,在未处理的幼苗根中检测到的荧光信号较弱,而经 NaCl 处理后,根中产生不断增强的荧光信号(图 1B,C,D)。分析相对荧光强度的结果显示:50 mmol/L NaCl 处理后,根中 H_2O_2 荧光强度与对照比增加约 814%,而 100 mmol/L 和 150 mmol/L NaCl 处理, H_2O_2 荧光强度分别增加为对照的 15 倍和 24 倍(图 1E)。以上结果说明,盐胁迫诱导黄花补血草根中 H_2O_2 含量的升高,此效应具有浓度依赖性。

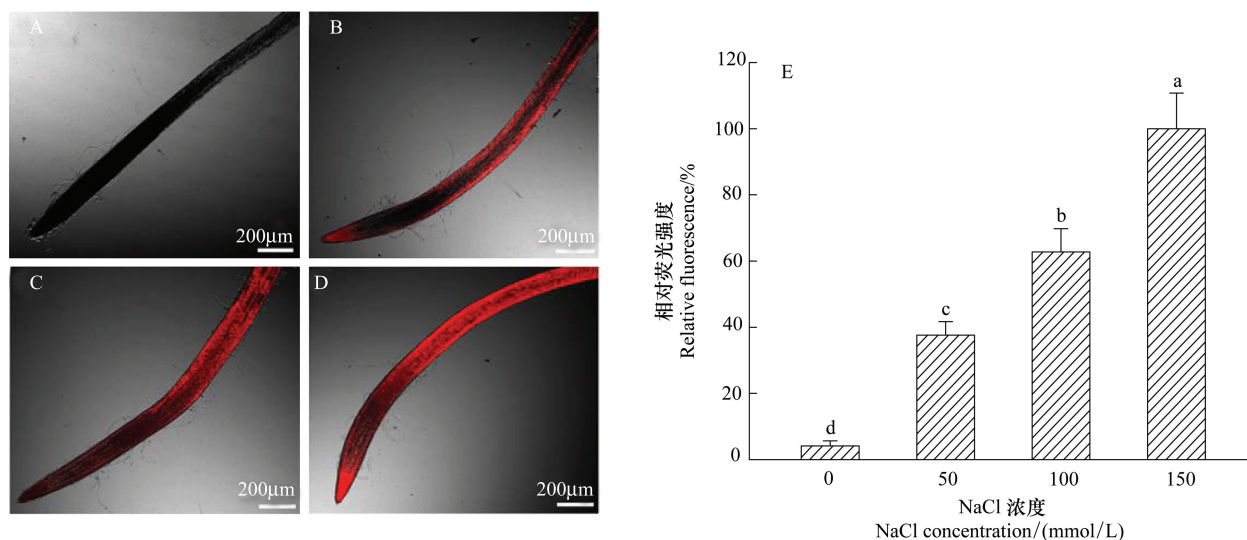


图 1 不同浓度 NaCl 对黄花补血草幼苗根部 H_2O_2 水平的影响

Fig. 1 Effects of different NaCl concentrations on H_2O_2 level in the root of *Limonium aureum* (L.) Hill seedlings

A: 0 mmol/L NaCl 处理; B: 50 mmol/L NaCl 处理; C: 100 mmol/L NaCl 处理; D: 150 mmol/L NaCl

一氧化氮(nitric oxide, NO)作为重要的信号分子,调控植物的种子萌发、根形态建成和花器官发生等许多生长发育过程,并参与气孔运动的调节以及植物对多种非生物胁迫和病原体侵染的应答过程^[15]。如图 2 显示,随着 NaCl 处理浓度的升高,黄花补血草根中 NO 的荧光强度呈逐渐升高趋势。与对照相比,50 mmol/L NaCl 处理下根中 NO 荧光强度升高不明显(图 2B),当用 100 mmol/L 和 150 mmol/L NaCl 处理时,NO 荧光强度显著高于对照(图 2C,D)。结果表明,较高浓度 NaCl 处理可诱导黄花补血草根中 NO 含量的升高。

2.3 盐胁迫对黄花补血草根尖细胞形态的影响

荧光染料 PI 可以与细胞壁和 DNA 结合,经激光激发后发出荧光。如图 3 所示,用 PI 染色后经激光共聚焦显微镜观察发现,25 mmol/L 和 50 mmol/L NaCl 处理对根尖邻近分生区的伸长区细胞(如箭头所示)的伸长生长影响不明显(图 3B,C),而 100 mmol/L 和 150 mmol/L NaCl 处理后,伸长区细胞的伸长生长与对照相比受到明显的抑制,并且由于细胞膜透性改变,PI 进入细胞使细胞核着色(图 3D,E)。以上结果说明,盐胁迫抑制伸长区细胞的伸长生长,增加细胞膜通透性,使根

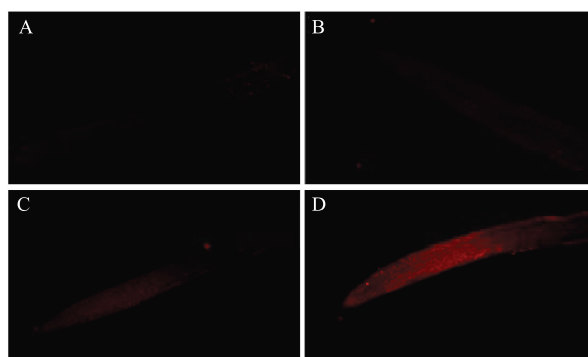


图 2 不同浓度 NaCl 对黄花补血草幼苗根部 NO 水平的影响

Fig. 2 Effects of different NaCl concentrations on NO level in the root of *Limonium aureum* (L.) Hill seedlings

A: 0 mmol/L NaCl 处理; B: 50 mmol/L NaCl 处理; C: 100 mmol/L NaCl 处理; D: 150 mmol/L NaCl

尖细胞受到损伤而抑制黄花补血草根的生长。

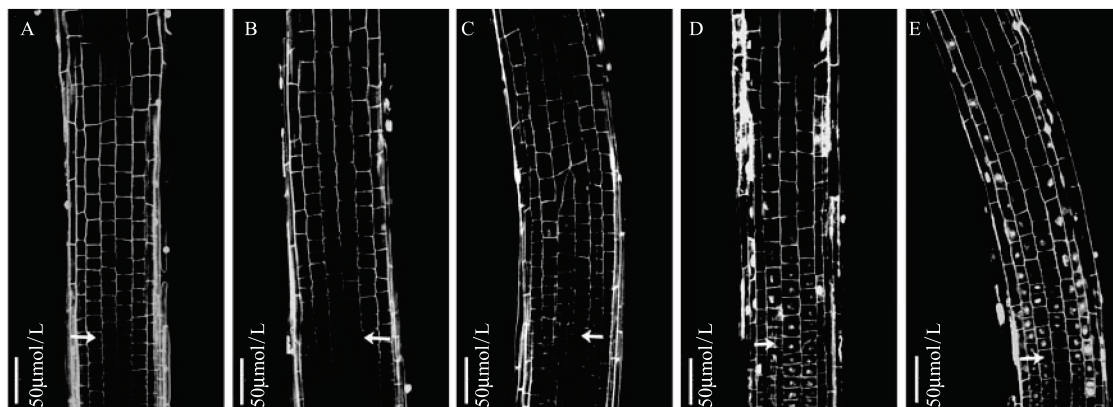


图3 不同浓度 NaCl 对黄花补血草幼苗根尖细胞形态的影响

Fig. 3 Effects of different NaCl concentrations on cell shape of *Limonium aureum* (L.) Hill seedlings root

A: 0 mmol/L NaCl 处理; B: 25 mmol/L NaCl 处理; C: 50 mmol/L NaCl 处理; D: 100 mmol/L NaCl 处理; E: 150 mmol/L NaCl 处理

2.4 盐胁迫对黄花补血草幼苗根相对电导率的影响

质膜透性的变化与胁迫诱导的细胞损伤程度有关。由图4看出,不同浓度 NaCl 处理后,黄花补血草幼苗根的质膜透性升高,且这一影响具有浓度依赖性。25 mmol/L NaCl 处理不影响根的相对电导率,而在 50, 100 mmol/L 和 150 mmol/L NaCl 处理下,黄花补血草幼苗根的相对电导率与对照性比显著升高约 50%、128% 和 177%。表明盐处理诱导了黄花补血草幼苗根细胞膜通透性的增大,此效应具有浓度依赖性。

2.5 盐胁迫对黄花补血草幼苗 MDA 含量的影响

MDA 在细胞中的积累一定程度上反映了植物体内自由基的动态和细胞的受损程度,现已被广泛用于衡量膜脂过氧化作用的程度及植物对逆境条件反应的强弱^[6, 16]。由图5可以看出,黄花补血草幼苗叶片中 MDA 含量随着 NaCl 浓度升高呈增加的变化趋势。MDA 含量在 25 mmol/L 和 50 mmol/L NaCl 处理时略有增加,而 100 mmol/L 和 150 mmol/L NaCl 处理使黄花补血草幼苗叶片 MDA 含量显著增加为对照的 121% 和 132%。表明高浓度盐胁迫下黄花补血草幼苗叶片产生了氧化胁迫,细胞膜脂质过氧化作用加剧。

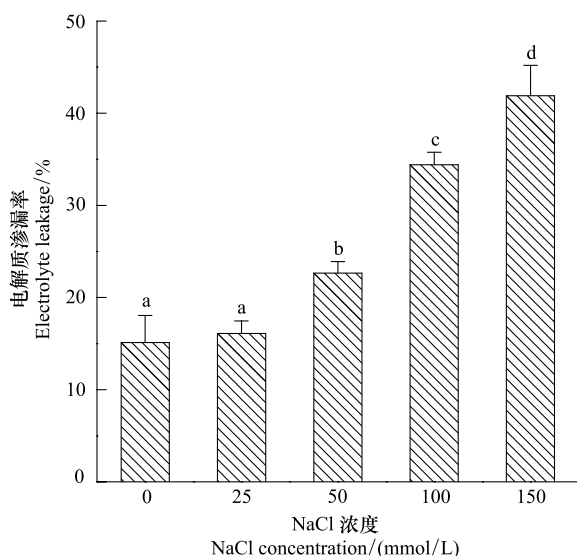


图4 不同浓度 NaCl 对黄花补血草幼苗根电解质渗漏率的影响

Fig. 4 Effects of different NaCl concentrations on electrolyte leakage of *Limonium aureum* (L.) Hill seedlings root

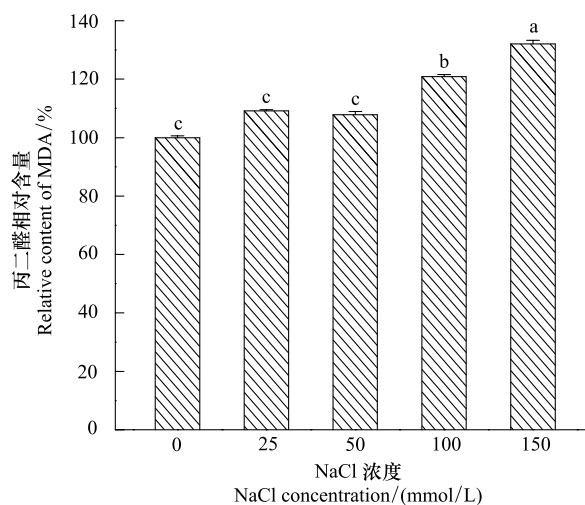


图5 不同浓度 NaCl 对黄花补血草幼苗丙二醛含量的影响

Fig. 5 Effects of different NaCl concentrations on MDA contents of *Limonium aureum* (L.) Hill seedlings

3 讨论

大多数植物的种子萌发和幼苗初期生长阶段对环境胁迫最为敏感,所以常用这些指标来评价植物的抗逆性^[17]。有较多研究证实,盐胁迫造成盐生植物和非盐生植物种子发芽率下降,发芽时间推迟和延长^[18]。但也有研究发现,低浓度 NaCl 处理对盐穗木、盐爪爪^[19]的种子萌发有促进作用,这可能与低盐促进细胞膜的渗透调节,降低种子渗透势,加速种子吸水有关,也可能是微量 Na^+ 对呼吸酶有刺激作用,从而加速种子萌发^[20]。黄花补血草种子的萌发率与盐浓度的升高呈现负相关性,25 mmol/L 和 50 mmol/L NaCl 处理只是轻微但不显著地降低种子的萌发率,而 100 mmol/L 和 150 mmol/L NaCl 处理后萌发率显著降低。该研究结果与黄振英^[21]等人关于光照、温度和盐分影响梭梭种子萌发的研究结果一致。由此可见,不同植物种子对盐胁迫的敏感性不同。据文献报道,盐分过多造成的渗透效应引起土壤溶液渗透势降低而阻碍种子吸水,和/或通过盐离子效应造成离子毒害抑制种子萌发^[22]。NaCl 处理抑制黄花补血草种子萌发的具体原因还有待进一步的研究。与种子萌发阶段相比,盐生植物在幼苗生长阶段的抗盐性相对较弱^[23]。本实验中,25 mmol/L NaCl 促进了黄花补血草根的伸长,说明适当浓度的 NaCl 有利于植物根生长,这可能与黄花补血草在低盐碱环境能很好生长相一致。在其他研究中也发现,低浓度的 NaCl 可以促进根的生长,以增加根系吸收水的面积,来抵抗盐引起的渗透胁迫^[24]。但当 NaCl 处理浓度达到 100 mmol/L 和 150 mmol/L 显著抑制黄花补血草根的生长。这与大多数植物生长对逆境胁迫的响应一致,因为根是植物体直接接触胁迫因子的部位。

植物在逆境胁迫条件下, H_2O_2 是细胞光合电子传递链不可避免的产物^[25]。利用荧光探针 DCFH-DA 检测结果显示,未处理黄花补血草根尖有较弱的 H_2O_2 荧光信号,而 NaCl 处理的根尖荧光信号明显增强,且此效应具有浓度依赖性(图 2)。已证实适量 H_2O_2 可诱导植物逆境响应信号转导系统从而使植物避免逆境伤害,如外源 H_2O_2 预处理小麦种子可以缓解盐胁迫诱导的小麦叶片膜脂过氧化,从而提高耐盐性^[26-27]。薛林贵等^[28]也发现,外源 H_2O_2 对绿豆幼苗不定根形成和发育有一定的促进作用。但过量的活性氧与细胞内的成分具有很强的反应能力,能够直接造成 DNA 损伤,直接或间接启动膜脂的过氧化作用,导致膜的损伤和破坏^[29],引起细胞死亡。荧光染料 PI 在正常情况下无法通过细胞膜进入胞质,当植物受到胁迫伤害时,膜透性发生改变,PI 进入胞质与 DNA 结合,因此细胞核 PI 着色可在一定程度上反映细胞受到的损伤程度^[30]。黄花补血草根尖的 PI 染色结果显示,较高浓度 NaCl 处理使根尖伸长区细胞的伸长生长受到抑制,质膜的透性增加,PI 染料进入细胞使细胞核着色。膜系统,尤其是细胞质膜是盐胁迫对植物伤害的最敏感部位和原初位点^[31]。在逆境条件下,电解质渗漏率是反映植物受到逆境伤害时细胞膜稳定性的一个重要生理指标^[32]。有研究发现,NaCl 破坏了瓜多竹的膜结构,导致质膜透性增大和电解质外渗^[33]。测定黄花补血草根的电解质渗漏率发现,NaCl 处理后,细胞内离子大量外渗,细胞膜的电解质渗漏率增加,此效应具有浓度依赖性。以上结果表明,高盐胁迫诱导根尖积累了较多的 H_2O_2 等活性氧,对膜系统造成较强的伤害,使得根尖细胞受到较大程度的损伤。与此相似,张司南等人发现 H_2O_2 介导了镉胁迫造成的植物根尖分生细胞分裂活力下降、细胞伸长异常以及随后的根生长迟滞^[34]。由此可以推测,黄花补血草幼苗根生长的抑制作用可能与盐诱导的 H_2O_2 产生增多有关。

NO 是植物体内一种重要的信号分子,参与植物种子萌发、侧根和根毛发育及植物对非生物胁迫的应答等许多重要的生理过程^[15]。有文献报道,NO 可以减少非生物胁迫下植物体内 ROS 的积累,缓解各种胁迫造成的氧化损伤,从而增强植物的适应能力^[35]。另据报道,外源 NO 的使用能缓解盐胁迫的伤害,促进盐处理拟南芥或玉米幼苗的生长^[36]。NaCl 处理下黄花补血草根中 NO 含量升高,且高浓度处理的根与对照相比 NO 荧光强度升高尤为显著,但 NO 的猝发不如 H_2O_2 强烈。与本实验结果相似,侯丽霞等认为,根尖是 NO 的主要合成部分,内源 NO 参与植物对盐胁迫的应答反应^[37]。但黄花补血草根中 NO 的产生是否作为保护机制抑制 H_2O_2 含量的过度升高或是否参与缓解盐胁迫对幼苗根造成的过度伤害,还有待进一步的研究。

与根相比,黄花补血草地上部分受 NaCl 影响较小,只有当 NaCl 浓度达到 150 mmol/L 时茎叶长度与对照相比显著降低。已证实,盐胁迫同样能造成植物叶片中活性氧水平升高,导致质膜过氧化加剧^[38]。膜脂过氧

化的终产物 MDA 能与蛋白质、核酸、氨基酸等物质交联,形成不溶性化合物,从而干扰细胞正常的生命活动,影响植物的生长发育^[16]。进一步研究发现,25 mmol/L 和 50 mmol/L NaCl 处理使 MDA 含量与对照比略有升高,但并未达到显著水平;当 NaCl 处理浓度达到 100 mmol/L 和 150 mmol/L 时,幼苗内 MDA 的含量显著升高,说明高浓度 NaCl 处理诱导黄花补血草幼苗膜系统发生膜脂过氧化作用,这可能也与黄花补血草幼苗生长受到抑制有关。

4 结论

盐胁迫使黄花补血草种子萌发率下降,根中 H_2O_2 积累增多,根细胞膜通透性增大,细胞伸长生长受到了抑制,叶的氧化损伤加剧,从而影响了黄花补血草幼苗的生长。但低浓度盐胁迫促进黄花补血草根生长,说明黄花补血草对低浓度盐环境具有一定的耐受性。

References:

- [1] Khan M A, Sheith K H. Effects of different levels of salinity on seed germination and growth of *Capsicum annum*. *Biologia*, 1996, 22: 15-16.
- [2] Song J, Feng G, Zhang F S. Salinity and temperature effects on germination for three salt-resistant euhalophytes, *Halostachys caspica*, *Kalidium foliatum* and *Halocnemum strobilaceum*. *Plant and Soil*, 2006, 279(1/2): 201-207.
- [3] Liu P, Tian C Y. Study on the Effects of salinity and temperature on the seed germination of *Salsola foliosa* (L.) Schrad. and *Salsola nitraria* Pall. *Arid Zone Research*, 2007, 24(4): 504-509.
- [4] Wang L, Huang Z Y, Baskin C C, Baskin J M, Dong M. Germination of dimorphic seeds of the desert annual halophyte *Suaeda aralocaspica* (Chenopodiaceae), a C_4 plant without Kranz Anatomy. *Annals of Botany*, 2008, 102(5): 757-769.
- [5] Fan M H, Shi G, Ma Y X, Huang G L, Yu J. Effects of soaking with salicylic acid on the growth and physiological characteristics of mung bean seedling under salt stress. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2009, 29(3): 528-534.
- [6] Xu X, Mao G L, Li S H, Zhang Y, Xu Z Z. Effect of salt stress and abscisic acid on membrane-lipid peroxidation and resistant-oxidation enzyme activities of *Lycium barbarum* callus. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2003, 23(5): 745-749.
- [7] Li Z H. The structure, function and salt-secreted mechanism of salt glands. *Journal of Hengshui Normal College*, 2003, 5(1): 40-42.
- [8] Wang L Y. The general stitution of salt-secreting structure and mechanism of the recretohalophytes. *Journal of Dezhou University*, 2003, 19(4): 73-75.
- [9] Fan X F, Yang Y L, Liu J M, Wang L, Li K W. Callus induction and plant regeneration of *Limonium aureum*. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2007, 27(2): 257-261.
- [10] Li Y, Qu J J, An L Z. Effects of ultra-dry treatment and storage temperature on *Limonium aureum* seeds. *Journal of Desert Research*, 2009, 29(2): 293-297.
- [11] Liu Y, Zhang Y P, Zhang H X, Yang Y S, Su C. Study on the chemical composition of essential oil from *Limonium aureum* (L.) Hill. *Natural Product Research and Development*, 2007, 19(6): 1001-1004.
- [12] Yang Y L, Zhang C Q, Li K W, Wang L, Fan X F, Sun K. Comparison of seed germination and resistance in two *Limonium* seedlings under NaCl treatment. *Bullet in of Botanical Research*, 2008, 28(1): 73-78.
- [13] Sairam R K, Srivastava G C. Changes in antioxidant activity in sub-cellular fractions of tolerant and susceptible wheat genotypes in response to long term salt stress. *Plant Science*, 2002, 162(6): 897-904.
- [14] Zhang Z L, Qu W J. The Guidance of Plant Physiology Experiments. Beijing: Higher Education Press, 2004: 154-156.
- [15] Wang P C, Du Y Y, Song C P. Research progress on nitric oxide signaling in plant cells. *Chinese Bulletin of Botany*, 2009, 44(5): 517-525.
- [16] Huang Y X, Liao B H, Xiao L T, Liu S C, Wang Z K. Effects of Cd^{2+} on seedling growth and phytohormone contents of glycine max. *Chinese Journal of Environmental Science*, 2006, 27(7): 1398-1401.
- [17] Uniyal R C, Nautiyal A R. Seed germination and seedling extension growth in *Ougeinia dalbergioides* Benth under water and salinity stress. *New Forests*, 1998, 16(3): 265-272.
- [18] Shen Y Y, Wang S M, Chen Y M. The effect of saline condition on the germination and its recovery of pasture species. *Acta Pratacultural Science*, 1999, 8(3): 54-60.
- [19] Zeng Y L, Cai Z Z, Ma J, Zhang F C, Wang B. Effects of salt and water stress on seed germination of halophytes *Kalidium foliatum* and *Halostachys caspica*. *Chinese Journal of Ecology*, 2006, 25(9): 1014-1018.
- [20] Guo Y, Yang H S, Zhao J B. Effects of complex saline-alkaloid stress on the seed germination of soybean. *Seed*, 2008, 27(12): 92-94.
- [21] Huang Z Y, Zhang X S, Gutterman Y, Zheng G H. Influence of light, temperature and salinity on the seed germination of *Haloxylon*

- ammodendron. *Acta Phytophysiological Sinica*, 2001, 27(3): 275-280.
- [22] Yan L H, Chen M, Wang B S. Osmotic and ionic effect on the seed germination of two phenotypes of *Suaeda salsa* L. under NaCl stress. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2008, 28(4): 718-723.
- [23] Liu J P, Gao B, Li X, Song J, Fan H, Wang B S, Zhao K F. The effects of salinity and drought interaction on seed germination and seedling growth of *Suaeda salsa* L. from different habitats. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(20): 5485-5490.
- [24] Song X L, Hou X L, Hu C M, Meng J J, He Q W, Li X G. Seed germination and seedling growth of sweet pepper under NaCl stress. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2011, 31(3): 569-575.
- [25] Song X G, She X P. The generation and the role of hydrogen peroxide in plant. *Journal of Lianyungang Teachers College*, 2010, 27(4): 99-103.
- [26] Wahid A, Perveen M, Gelani S, Basra S M A. Pretreatment of seed with H₂O₂ improves salt tolerance of wheat seedlings by alleviation of oxidative damage and expression of stress proteins. *Journal of Plant Physiology*, 2007, 164(3): 283-294.
- [27] de Azevedo Neto A D, Prisco J T, Enéas-Filho J, Rolim Medeiros J V, Gomes-Filho E. Hydrogen peroxide pre-treatment induces salt-stress acclimation in maize plants. *Journal of Plant Physiology*, 2005, 162(10): 1114-1122.
- [28] Li S W, Xue L G, Xu S J, Feng H Y, An L Z. Hydrogen peroxide acts as a signal molecule in the adventitious root formation of mung bean seedlings. *Environmental and Experimental Botany*, 2009, 65(1): 63-71.
- [29] Li M, Wang G X. Effect of drought stress on activities of cell defense enzymes and lipid peroxidation in *Glycyrrhiza uralensis* seedlings. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(4): 503-507.
- [30] Amenós M, Corrales I, Poschenrieder C, Illés P, Baluska F, Barceló J. Different Effects of aluminum on the actin cytoskeleton and brefeldin A-sensitive vesicle recycling in root apex cells of two maize varieties differing in root elongation rate and aluminum tolerance. *Plant and Cell Physiology*, 2009, 50(3): 528-540.
- [31] Liu K L, Han H R, Xu Y J, Ling T F, Liu Z B, Sun Y G, Hua R, Shen W B. Exogenous nitric oxide alleviates salt stress-induced membrane lipid peroxidation in rice seedling roots. *Chinese Journal of Rice Science*, 2005, 19(4): 333-337.
- [32] Ma L T, Chen S L. Physiological responses of *Guadua amplexifolia* to NaCl stress. *Chinese Journal of Ecology*, 2008, 27(9): 1487-1491.
- [33] Zhang N H, Gao H Y, Zou Q. Effect of calcium on alleviation of decreased photosynthetic ability in salt-stressed maize leaves. *Acta Phytocologica Sinica*, 2005, 29(2): 324-330.
- [34] Zhang S N, Gao P Y, Xie Q E, Zhao X H, Li X. Cadmium-induced root growth inhibition is mediated by hydrogen peroxide production in root tip of *Arabidopsis*. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2010, 18(1): 136-140.
- [35] Zhang X C, Shangguan Z P, Gao S M. Regulation mechanism of nitric oxide to plant growth and development. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2005, 25(4): 812-818.
- [36] Wu J, Yang H Y, Yang M Z, Li X, Xia S L. Effects of SNP and cPTIO on physiology of *Arabidopsis* seedling under NaCl stress. *Guihaia*, 2010, 30(5): 666-671.
- [37] Hou L X, Che Y M, Zhao F G, Tang J, Liu X. NO involved in the response of maize seedlings to salt stress. *Plant Physiology Communications*, 2010, 46(6): 549-554.
- [38] Zhu H J, Wang R G, Chen S L, Zhang Y X, Li N Y, Shao J. Genotypic differences between *Populus euphratica* and *P. popularis* in antioxidative ability and salt tolerance under NaCl stress. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(10): 4113-4121.

参考文献:

- [3] 刘鹏, 田长彦. 盐分、温度对猪毛菜种子萌发的影响. *干旱区研究*, 2007, 24(4): 504-509.
- [5] 范美华, 石戈, 马玉心, 黄国来, 俞军. NaCl 胁迫下 SA 浸种绿豆幼苗的生长及生理特征. *西北植物学报*, 2009, 29(3): 528-534.
- [6] 许兴, 毛桂莲, 李树华, 张渊, 徐兆桢. NaCl 胁迫和外源 ABA 对枸杞愈伤组织膜脂过氧化及抗氧化酶活性的影响. *西北植物学报*, 2003, 23(5): 745-749.
- [7] 刘志华. 植物盐腺的结构、功能与泌盐机理. *衡水师专学报*, 2003, 5(1): 40-42.
- [8] 王丽燕. 泌盐盐生植物的盐腺及泌盐机理研究概况. *德州学院学报*, 2003, 19(4): 73-75.
- [9] 范小峰, 杨颖丽, 刘军梅, 王莱, 李科文. 黄花补血草愈伤组织的诱导和植株再生. *西北植物学报*, 2007, 27(2): 257-261.
- [10] 李毅, 屈建军, 安黎哲. 超干处理与保存温度对黄花补血草种子的影响. *中国沙漠*, 2009, 29(2): 293-297.
- [11] 刘宇, 张应鹏, 张海霞, 杨云裳, 苏策. 黄花补血草挥发性化学成分研究. *天然产物研究与开发*, 2007, 19(6): 1001-1004.
- [12] 杨颖丽, 张超强, 李科文, 王莱, 范小峰, 孙坤. NaCl 处理下两种补血草种子萌发和幼苗抗性的比较. *植物研究*, 2008, 28(1): 73-78.
- [14] 张志良, 瞿伟菁. *植物生理学实验指导*. 北京: 高等教育出版社, 2004: 154-156.
- [15] 王鹏程, 杜艳艳, 宋纯鹏. 植物细胞一氧化氮信号转导研究进展. *植物学报*, 2009, 44(5): 517-525.
- [16] 黄运湘, 廖柏寒, 肖浪涛, 刘素纯, 王志坤. 镉处理对大豆幼苗生长及激素含量的影响. *环境科学*, 2006, 27(7): 1398-1401.

- [19] 曾幼玲, 蔡忠贞, 马纪, 张富春, 王波. 盐分和水分胁迫对两种盐生植物盐爪爪和盐穗木种子萌发的影响. 生态学杂志, 2006, 25(9): 1014-1018.
- [20] 郭彦, 杨洪双, 赵家斌. 混合盐碱对大豆种子萌发的影响. 种子, 2008, 27(12): 92-94.
- [21] 黄振英, 张新时, Gutterman Y, 郑光华. 光照、温度和盐分对梭梭种子萌发的影响. 植物生理学报, 2011, 27(3): 275-280.
- [22] 闫留华, 陈敏, 王宝山. NaCl 胁迫对 2 种表型盐地碱蓬种子萌发的渗透效应和离子效应研究. 西北植物学报, 2008, 28(4): 718-723.
- [23] 刘金萍, 高奔, 李欣, 宋杰, 范海, 王宝山, 赵可夫. 盐旱互作对不同生境盐地碱蓬种子萌发和幼苗生长的影响. 生态学报, 2010, 30(20): 5485-5490.
- [24] 宋旭丽, 侯喜林, 胡春梅, 孟静静, 何启伟, 李新国. NaCl 胁迫对超大甜椒种子萌发及幼苗生长的影响. 西北植物学报, 2011, 31(3): 569-575.
- [25] 宋喜贵, 余小平. 植物体内过氧化氢的产生及其生理作用. 连云港师范高等专科学校学报, 2010, 27(4): 99-103.
- [29] 李明, 王根轩. 干旱胁迫对甘草幼苗保护酶活性及脂质过氧化作用的影响. 生态学报, 2002, 22(4): 503-507.
- [31] 刘开力, 韩航如, 徐颖洁, 凌腾芳, 刘志兵, 孙永刚, 花榕, 沈文飏. 外源一氧化氮对盐胁迫下水稻根部脂质过氧化的缓解作用. 中国水稻科学, 2005, 19(4): 333-337.
- [32] 马兰涛, 陈双林. 瓜多竹 (*Guadua amplexifolia*) 对 NaCl 胁迫的生理响应. 生态学杂志, 2008, 27(9): 1487-1491.
- [33] 张乃华, 高辉远, 邹琦. Ca^{2+} 缓解 NaCl 胁迫引起的玉米光合能力下降的作用. 植物生态学报, 2005, 29(2): 324-330.
- [34] 张司南, 高培尧, 谢庆恩, 赵旭华, 李霞. 镉诱导拟南芥根尖过氧化氢积累导致植物根生长抑制. 中国生态农业学报, 2010, 18(1): 136-140.
- [35] 张绪成, 上官周平, 高世铭. NO 对植物生长发育的调控机制. 西北植物学报, 2005, 25(4): 812-818.
- [36] 吴嘉, 杨红玉, 杨明攀, 李湘, 夏绍嫒. SNP 和 ePTIO 对 NaCl 胁迫下拟南芥的生理影响. 广西植物, 2010, 30(5): 666-671.
- [37] 侯丽霞, 车永梅, 赵方贵, 唐静, 刘新. NO 参与玉米幼苗对盐胁迫的应答. 植物生理学通讯, 2010, 46(6): 549-554.
- [38] 朱会娟, 王瑞刚, 陈少良, 张云霞, 李妮亚, 邵杰. NaCl 胁迫下胡杨 (*Populus euphratica*) 和群众杨 (*P. popularis*) 抗氧化能力及耐盐性. 生态学报, 2007, 27(10): 4113-4121.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 12 June, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

Temporal and spatial dynamic changes and landscape pattern response of Hemeroby in Dayang estuary of Liaoning Province, China	SUN Yongguang, ZHAO Dongzhi, WU Tao, et al (3645)
Distribution characteristics of plant communities and soil organic matter and main nutrients in the Poyang Lake Nanji Wetland	ZHANG Qianjun, YU Xiubo, QIAN Jianxin, et al (3656)
Evaluation and construction of wetland ecological network in Qingdao City	FU Qiang, SONG Jun, MAO Feng, et al (3670)
Driving forces analysis for ecosystem health status of littoral zone with dikes: a case study of Lake Taihu	YE Chun, LI Chunhua, WANG Qiuguang, et al (3681)
The concentrations distribution and composition of nitrogen and phosphorus in stormwater runoff from green roofs	WANG Shumin, HE Qiang, ZHANG Junhua, et al (3691)
Effects of slope gradient on the community structures and diversities of soil fauna	HE Xianjin, WU Pengfei, CUI Liwei, et al (3701)
Investigation of populations of parasitic wasps parasitizing <i>Carposina sasakii</i> Matsumura (Lepidoptera: Carposinidae) in jujube orchards in China, with respect to the wasp-host relationship	YAO Yanxia, ZHAO Wenxia, CHANG Jupu, et al (3714)
Assessment of ardeidae waterfowl habitat suitability based on a binary logistic regression model	ZOU Lili, CHEN Xiaoxiang, HE Ying, et al (3722)
Combined effects of temperature, salinity and pH on the clearance rate of juveniles of <i>Pinctada martensii</i> (Dunker)	ZHU Xiaowen, WANG Hui, LIU Jin, et al (3729)
Soil nutrient dynamics and loss risks in a chicken-forage mulberry-medicinal plant intercropping system	ZHAO Liping, YANG Guiming, ZHAO Tongke, et al (3737)
Soil particle size distribution and its relationship with soil organic carbons under different land uses in the middle of Heihe river	ZHANG Junhua, LI Guodong, NAN Zhongren (3745)
Effects of DEM resolution and watershed subdivision on hydrological simulation in the Xingzihe watershed	QIU Linjing, ZHENG Fenli, YIN Runsheng (3754)
Impacts of grid sizes on urban heat island pattern analysis	GUO Guanhua, CHEN Yingbiao, WEI Jianbing, et al (3764)
Landscape connectivity analysis for the forest landscape restoration: a case study of Gongyi City	CHEN Jie, LIANG Guofu, DING Shengyan (3773)
Carbon footprint analysis on urban energy use: a case study of Xiamen, China	LIN Jianyi, MENG Fanxin, CUI Shenghui, et al (3782)
The ecological footprint of alpine pastures at the village-level: a case study of Hezuo in Gannan Autonomous Prefecture, China	WANG Lucang, GAO Jing (3795)
The ecosystem health assessment of the littoral zone of Lake Taihu	LI Chunhua, YE Chun, ZHAO Xiaofeng, et al (3806)
The biomass of <i>Bashania fargesii</i> in giant pandas habitat in Qinling Mountains	DANG Kunliang, CHEN Junxian, SUN Feixiang, et al (3816)
Effects of salinity on seed germination and seedling growth in halophyte <i>Limonium aureum</i> (L.) Hill	YOU Jia, WANG Wenrui, LU Jin, et al (3825)
Liana-host tree associations in the tropical montane primary forest and post-harvest forest of Bawangling, Hainan Island, China	LIU Jinxian, TAO Jianping, HE Zeet al (3834)
The response of photosynthetic characters and biomass allocation of <i>P. bournei</i> young trees to different light regimes	WANG Zhenxing, ZHU Jinmao, WANG Jian, et al (3841)
Genetic variation among populations of the endangered <i>Sinocalycanthus chinensis</i> based on morphological traits and ISSR profiles	JIN Zexin, GU Jingjing, LI Junmin (3849)
Growth response to climate in Chinese pine as a function of tree diameter	JIANG Qingbiao, ZHAO Xiuhai, GAO Lushuang, et al (3859)
Age structure and spatial distribution of the rare and endangered plant <i>Alcimandra cathartii</i>	YUAN Chunming, MENG Guangtao, FANG Xiangjing, et al (3866)
The water consumption and water use efficiency of the seedlings of <i>Eucalyptus grandis</i> and other five tree species in Sichuan Province	HU Hongling, ZHANG Jian, WAN Xueqin, et al (3873)
Effects of leaf litter of <i>Cinnamomum septentrionale</i> on growth and resistance physiology of <i>Brassica rapa</i> in the decomposition process of litter	HUANG Weiwei, HU Tingxing, ZHANG Niannian, et al (3883)
Water transport velocity and efficiency in <i>Quercus variabilis</i> detected with deuterium tracer and thermal dissipation technique	SUN Shoujia, MENG Ping, ZHANG Jinsong, et al (3892)
The saxicolous moss's features of absorbing water and its structural adaptability in the heterogeneous environment with rock desertification	ZHANG Xianqiang, ZENG Jianjun, CHEN Jinwu, et al (3902)
Effects of organic materials containing copper on soil enzyme activity and microbial community	CHEN Lin, GU Jie, GAO Hua, et al (3912)
Comparison of floral morphology and pollination characteristics between the sexes in <i>Eurya obtusifolia</i>	WANG Qian, DENG Hongping, DING Bo, et al (3921)
Climatic suitability of potential spring maize cultivation distribution in China	HE Qijin, ZHOU Guangsheng (3931)
Effects of uniconazole dry seed dressing on nitrogen accumulation and translocation and kernel protein quality in wheat	FAN Gaoqiong, YANG Ennian, ZHENG Ting, et al (3940)
Review and Monograph	
International comparison and policy recommendation on the development model of industrial symbiosis in China	SHI Lei, LIU Guoguo, GUO Siping (3950)
Scientific Note	
The Change of landscape pattern in Zhenlai Xian, Jilin Province in recent ten years	ZHANG Guokun, LU Jinghua, SONG Kaishan, et al (3958)
Footprint analysis of turbulent flux over a poplar plantation in Northern China	JIN Ying, ZHANG Zhiqiang, FANG Xianrui, et al (3966)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 元。

国内邮发代号:82-7 国外邮发代号:M670 标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 32 卷 第 12 期 (2012 年 6 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 12 (June, 2012)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel: (010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100071	Published by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail: journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add: P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元