

ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

# 生态学报

## Acta Ecologica Sinica



第33卷 第1期 Vol.33 No.1 2013

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 (SHENTAI XUEBAO)

第33卷 第1期 2013年1月 (半月刊)

## 目 次

### 前沿理论与学科综述

- 生态整合与文明发展 ..... 王如松 ( 1 )  
干旱半干旱区坡面植被格局的水土流失效应研究进展 ..... 高光耀, 傅伯杰, 吕一河, 等 ( 12 )  
城市林木树冠覆盖研究进展 ..... 贾宝全, 王成, 邱尔发, 等 ( 23 )  
环境质量评价中的生物指示与生物监测 ..... Bernd Markert, 王美娥, Simone Wünschmann, 等 ( 33 )  
水溶性有机物电子转移能力及其生态效应 ..... 毕冉, 周顺桂, 袁田, 等 ( 45 )

### 个体与基础生态

- 凋落物和增温联合作用对峨眉冷杉幼苗抗氧化特征的影响 ..... 杨阳, 杨燕, 王根绪, 等 ( 53 )  
不同浓度5-氨基乙酰丙酸(ALA)浸种对NaCl胁迫下番茄种子发芽率及芽苗生长的影响 .....  
赵艳艳, 胡晓辉, 邹志荣, 等 ( 62 )

- 缺镁胁迫对纽荷尔脐橙叶绿素荧光特性的影响 ..... 凌丽俐, 彭良志, 王男麒, 等 ( 71 )  
松嫩草地66种草本植物叶片性状特征 ..... 宋彦涛, 周道玮, 王平, 等 ( 79 )  
花蜜中酚类物质对群落中同花期植物传粉的影响 ..... 赵广印, 李建军, 高洁 ( 89 )  
桉树枝瘿姬小蜂连续世代种群生命表 ..... 朱方丽, 邱宝利, 任顺祥 ( 97 )

### 种群、群落和生态系统

- 蒙古栎地理分布的主导气候因子及其阈值 ..... 殷晓洁, 周广胜, 隋兴华, 等 ( 103 )  
河静黑叶猴果实性食物组成、选择及其对种子的扩散作用 ..... 阮海河, 白冰, 李宁, 等 ( 110 )  
2010秋季东海今生颗石藻的空间分布 ..... 莫少非, 孙军, 刘志亮 ( 120 )  
OPRK1基因SNP与梅花鹿昼间行为性状的相关性 ..... 吕慎金, 杨燕, 魏万红 ( 132 )  
鄱阳湖流域非繁殖期鸟类多样性 ..... 邵明勤, 曾宾宾, 徐贤柱, 等 ( 140 )  
人工巢箱条件下两种山雀鸟类的同域共存机制 ..... 李乐, 张雷, 殷江霞, 等 ( 150 )  
桉-桤不同混合比例凋落物分解过程中土壤动物群落动态 ..... 李艳红, 杨万勤, 罗承德, 等 ( 159 )  
三峡库区生态系统服务功能重要性评价 ..... 李月臣, 刘春霞, 闵婕, 等 ( 168 )

### 景观、区域和全球生态

- 黄土高原小流域不同地形下土壤有机碳分布特征 ..... 李林海, 鄂二虎, 梦梦, 等 ( 179 )  
海岸带地理特征对沉水植被丰度的影响 ..... 吴明丽, 李叙勇, 陈年来 ( 188 )

- 玛纳斯河流域扇缘带不同植被类型下土壤物理性质 ..... 曹国栋, 陈接华, 夏军, 等 ( 195 )

### 资源与产业生态

- 农田开垦对三江平原湿地土壤种子库影响及湿地恢复潜力 ..... 王国栋, Beth A Middleton, 吕宪国, 等 ( 205 )  
漫溢干扰过程中微地形对幼苗定居的影响 ..... 安红燕, 徐海量, 叶茂, 等 ( 214 )  
黑龙港流域夏玉米产量提升限制因素 ..... 徐丽娜, 陶洪斌, 黄收兵, 等 ( 222 )  
黑龙江省药用植物根际土壤真菌多样性 ..... 慕东艳, 吕国忠, 孙晓东, 等 ( 229 )

桑沟湾养殖生态系统健康综合评价 ..... 傅明珠,蒲新明,王宗灵,等 (238)

## 城乡与社会生态

基于“OOAO 原则”的罗源湾生态质量状况综合评价 ..... 吴海燕,吴耀建,陈克亮,等 (249)

四十里湾营养状况与浮游植物生态特征 ..... 李 斌,白艳艳,邢红艳,等 (260)

生态足迹深度和广度:构建三维模型的新指标 ..... 方 恺 (267)

中国东西部中小城市景观格局及其驱动力 ..... 齐 杨,邬建国,李建龙,等 (275)

## 研究简报

南海陆坡沉积物细菌丰度预测 ..... 李 涛,王 鹏 (286)

浑善达克沙地榆树疏林幼苗更新空间格局 ..... 刘 振,董 智,李红丽,等 (294)

光和不同打破种子休眠方法对紫茎泽兰种子萌发及幼苗状态的影响 ..... 姜 勇,李艳红,王文杰,等 (302)

## 学术争鸣

关于植物群丛划分的探讨 ..... 邢韶华,于梦凡,杨立娟,等 (310)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q \* 1981 \* m \* 16 \* 316 \* zh \* P \* ¥ 90.00 \* 1510 \* 35 \* 2013-01



**封面图说:** 外来入侵物种紫茎泽兰——紫茎泽兰约于 20 世纪 40 年代由缅甸传入中国云南南部后迅速蔓延,现已在云南、贵州、四川、广西、重庆、湖北、西藏等省区广泛分布和危害,并仍以每年大约 30 km 的速度扩散。紫茎泽兰为多年生草本或亚灌木,号称“植物界杀手”。其对环境的适应性极强,疯长蔓延,能极大耗损土壤肥力。它的植株能释放多种化感物质,排挤其他植物生长而形成单优种群,它破坏生物多样性,威胁到农作物、畜牧草甚至林木,且花粉能引起人类过敏性疾病等,目前尚无有效治理对策。

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

DOI: 10.5846/stxb20110311628

赵艳艳,胡晓辉,邹志荣,燕飞.不同浓度5-氨基乙酰丙酸(ALA)浸种对NaCl胁迫下番茄种子发芽率及芽苗生长的影响.生态学报,2013,33(1):0062-0070.

Zhao Y Y, Hu X H, Zou Z R, Yan F. Effects of seed soaking with different concentrations of 5-aminolevulinic acid on the germination of tomato (*Solanum lycopersicum*) seeds under NaCl stress. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(1): 0062-0070.

## 不同浓度5-氨基乙酰丙酸(ALA)浸种对NaCl胁迫下番茄种子发芽率及芽苗生长的影响

赵艳艳,胡晓辉,邹志荣\*,燕飞

(西北农林科技大学园艺学院/旱区作物逆境生物学国家重点实验室,杨凌 712100)

**摘要:**为探讨外源5-氨基乙酰丙酸(ALA)对NaCl胁迫下番茄种子发芽率及芽苗生长的影响,以‘中杂九号’番茄种子为试材,不同浓度ALA(0、0.1、0.5、1.0、5.0、10.0mg/L)浸种24h后,在0、25、50、100mmol/L NaCl胁迫下,28℃,黑暗培养7d,研究ALA对番茄种子发芽参数(发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数、芽苗总鲜重)及胚芽和胚根中的抗氧化酶(超氧化物歧化酶SOD、过氧化物酶POD、过氧化氢酶CAT)活性和丙二醛(MDA)含量的影响。结果表明:非盐胁迫下,ALA浸种使番茄种子的发芽势、发芽指数、活力指数、芽苗总鲜重增加,胚根中SOD、POD活性降低,MDA含量减少;25mmol/L NaCl胁迫能够提高发芽率、活力指数、芽苗总鲜重,而50—100mmol/L NaCl胁迫极显著的降低发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数、芽苗总鲜重和抗氧化酶活性,降低MDA含量,而高浓度ALA(10.0mg/L)浸种导致发芽率、发芽指数、活力指数降低。总之,ALA浸种能够促进番茄种子萌发和芽苗生长,浸种浓度不宜超过5.0mg/L,NaCl胁迫下以0.1mg/LALA浸种处理效果最佳。

**关键词:**5-氨基乙酰丙酸(ALA);番茄;NaCl胁迫;种子萌发;抗氧化酶

### Effects of seed soaking with different concentrations of 5-aminolevulinic acid on the germination of tomato (*Solanum lycopersicum*) seeds under NaCl stress

ZHAO Yanyan, HU Xiaohui, ZOU Zhirong\*, YAN Fei

(College of Horticulture, Northwest A&F University/State Key Laboratory of Crop Stress Biology for Arid Areas, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** In order to explore the effects of exogenous 5-aminolevulinic acid (ALA) on seeds germination and seedlings growth under NaCl stress, this experiment was conducted by presoaking the tomato seeds (*Solanum lycopersicum* cv. Zhongza9) with different concentrations of ALA (0, 0.1, 0.5, 1.0, 5.0, 10.0mg/L) for 24 hours, and training under 0, 25, 50, and 100 mmol/L NaCl stress in growth cabinet at 28℃ for 7 days in darkness. The germination rate (GR), germination energy (GE), germination index (GI), vigor index (VI), shoot fresh weight (SFW), root fresh weight (RFW) and antioxidant enzymes (SOD, POD, CAT) activity and malondialdehyde (MDA) content in shoots and roots were emphatically analyzed in this paper. The results showed that: GE, GI, VI, FW of tomato seeds germinated with distilled water are significantly increased in ALA soaking treatment than that in non-ALA treatment, while SOD and POD activity in roots are largely reduced and MDA content decreased. Low concentration of NaCl (25mmol/L) treatment can improve GR, VI and FW, promote tomato seeds germination; high concentration of NaCl (50—100mmol/L) treatment reduce GR, GE, GI and VI, extremely inhibit seed germination; appropriate concentration of ALA(0.1—0.5mg/L) presoaking seeds can

基金项目:国家“十一五”科技支撑计划(2008BAD96B08-3);国家“十二五”科技支撑计划(2011BAD12B03-03)

收稿日期:2011-10-31; 修订日期:2012-10-23

\*通讯作者 Corresponding author. E-mail: zouzirong2005@163.com

improve the GR, GI, VI, FW and antioxidant enzymes activity of tomato seeds, make MDA content decreased, have promoted effects on tomato seeds germination and after germination growth under NaCl stress; high concentration of ALA (10mg/L) presoaking seeds make GR, GI, VI reduced, inhibit seed germination. In conclusion, presoaking seeds with ALA can promote germination and after germination growth of tomato seeds, soaking concentration should not exceed 5.0mg/L, 0.1mg/L ALA soaking treatment have the best effects on tomato seeds germination and after germination growth under NaCl stress.

**Key Words:** 5-Aminolevulinic acid (ALA); tomato; NaCl stress; Seed germination; Antioxidant enzymes

5-氨基乙酰丙酸(5-aminolevulinic acid, ALA),又名  $\delta$ -氨基酮戊酸,是一种广泛存在于植物、动物、真菌、细菌等生物机体活细胞中的非蛋白氨基酸,是叶绿素等四吡咯环色素形成的第一个直接前体<sup>[1]</sup>,作为植物叶绿素合成研究的一部分,很早就受到重视。近年来众多研究表明 ALA 不仅仅是叶绿素生物合成途径的中间产物,而且能够促进作物的光合作用<sup>[1-6]</sup>、增加产量<sup>[7]</sup>、提高甜瓜、西瓜、黄瓜及辣椒的抗冷性<sup>[2,4,8-9]</sup>、增强西瓜幼苗耐弱光能力<sup>[4,10]</sup>等,具有类似于植物激素的调控效应<sup>[11]</sup>,但在 ALA 对盐胁迫下种子萌发的影响方面研究甚少。有人利用 ALA 浸种,发现其能够促进盐胁迫下西瓜种子的萌发,不同浓度 ALA 处理能有效地提高紫苏种子和幼苗的抗盐能力,并认为 ALA 促进 NaCl 胁迫下种子萌发的主要原因是其浸种诱导芽苗中抗氧化酶活性增加<sup>[12-13]</sup>,然而对于最适浸种浓度不同物种间存在较大差异。

为了确定 ALA 浸种对 NaCl 胁迫下种子萌发的促进效应及其最佳适用浓度,本试验以番茄 (*Solanum lycopersicum*)为试材,研究了不同浓度 ALA 浸种对 NaCl 胁迫下番茄种子发芽参数和芽苗抗氧化酶活性的影响,旨在探讨 ALA 提高作物抗逆性的作用机理及其浓度效应,为科学合理的应用 ALA 提高其综合效益提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设计

试验于 2010 年 4—6 月在 RXZ-3800 智能型人工气候箱内进行,根据前人研究的经验将 NaCl 浓度设为 0、25、50、100 mmol/L。每个处理挑选 50 粒饱满的“中杂九号”番茄种子均匀摆放在铺有 2 层滤纸的玻璃培养皿(内径 9.0cm)内,分别加入 20ml 不同浓度 ALA 溶液(0、0.1、0.5、1.0、5.0、10.0mg/L),对照处理加入等量蒸馏水,每个处理重复 3 次,于人工气候箱内 28℃ 黑暗浸种 24h。浸种结束后,以蒸馏水清洗种子及培养皿,并重新摆放在铺有 2 层滤纸的玻璃培养皿,分别加入 10mL 不同浓度 NaCl 溶液,对照处理加入等量蒸馏水,于人工气候箱内 28℃ 黑暗培养,以后定时定量补充相应浓度 NaCl 溶液或蒸馏水保持滤纸湿润。以胚根长 2mm 作为萌芽标志,处理第 4 天到第 7 天统计种子发芽数。第 7 天结束发芽试验。

### 1.2 测定项目及方法

#### 1.2.1 种子发芽参数测定

发芽期统计有关发芽指标<sup>[14]</sup>,并在每个重复中选 25 株芽苗测定胚芽鲜重(SFW)、胚根鲜重(RFW)<sup>[15]</sup>,计算芽苗总鲜重(FW),胚根鲜重/胚芽鲜重(RFW/SFW)。

$$\text{发芽率(GR)(\%)} = \frac{\text{第7天发芽种子数}}{\text{供试种子数}} \times 100\%$$

$$\text{发芽势(GE)(\%)} = \frac{\text{4d内发芽种子数}}{\text{供试种子数}} \times 100\%$$

$$\text{发芽指数(GI)} = \sum G_t/D_t \quad (G_t \text{指时间 } t \text{ 的发芽数}, D_t \text{ 指相应的发芽天数})$$

$$\text{活力指数(VI)} = S \times \sum G_t/D_t \quad (S \text{ 指芽苗的鲜重})$$

#### 1.2.2 抗氧化酶活性和丙二醛含量测定

第 7 天发芽结束后,每个处理选 25 株芽苗分为地上部和根分别进行测定。超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)活性按照李璟等<sup>[16]</sup>的方法测定,酶活性以 U/mg 鲜重表示。丙二醛(MDA)

含量测定参照 Velikova 等<sup>[17]</sup>的硫代巴比妥酸(TBA)检测法,以  $\mu\text{mol/g}$  鲜重表示。

### 1.3 数据处理与分析

采用 Microsoft Office Excel 2010 和 SAS 8.1 进行制图和方差分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同浓度 ALA 浸种对 NaCl 胁迫下番茄种子发芽指标的影响

#### 2.1.1 对发芽率(GR)和发芽势(GE)的影响

从图 1 可以看出,在非盐胁迫下(蒸馏水催芽),0.1—10 mg/L ALA 浸种处理均可促进番茄种子萌发,使发芽率(GR)提高了 4.03%—8.87%,其中 0.1 mg/L ALA 作用效果最好,但未达到差异显著性( $P < 0.05$ )。0.1 mg/L 和 10 mg/L ALA 处理显著提高种子发芽势(GE),与空白对照相比分别提高了 23.33% 和 35.00%。

随着 NaCl 浓度的增加,番茄种子 GR 和 GE 逐渐减低。催芽第 7 天时,蒸馏水处理的番茄种子 GR 为 82.67%,25、50 和 100 mmol/L NaCl 处理的种子 GR 分别为 84.67%、59.33% 和 28.67%;GE 的统计数据显示,25、50、100 mmol/L NaCl 处理的种子 GE 比蒸馏水处理的种子分别降低了 11.67%、63.33% 和 93.33%,可见低浓度 NaCl(25 mmol/L) 处理的并不会影响种子萌发,但会降低发芽势;而 50—100 mmol/L NaCl 处理则显著降低发芽率和发芽势,抑制种子萌发。

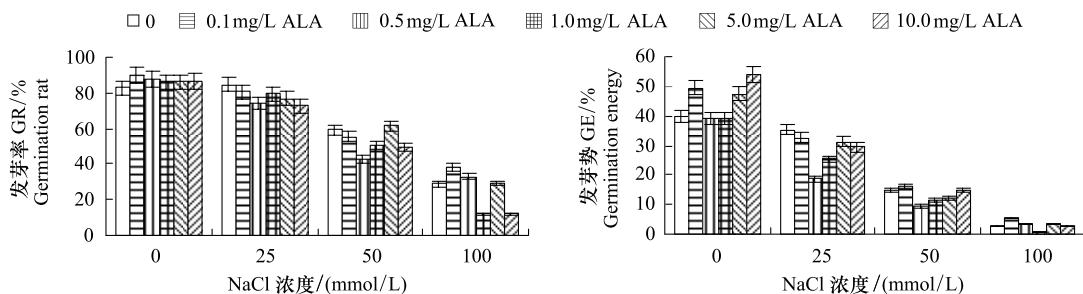


图 1 ALA 对 NaCl 胁迫下番茄种子发芽率(GR)和发芽势(GE)的影响

Fig. 1 Effects of ALA on the germination rat (GR) and germination energy (GE) of tomato seeds under NaCl stress

图 1 显示,ALA 浸种处理降低了低浓度 NaCl 处理的 GR 和 GE。随着 ALA 浸种浓度的增加,高浓度 NaCl (50—100 mmol/L) 处理的 GR 和 GE 出现上升下降又上升的波动趋势,处理间差异显著。在 100 mmol/L NaCl 胁迫下,0.1 mg/L ALA 浸种处理使 GR 和 GE 分别提高了 32.56% 和 100.00%,而 1.0 mg/L ALA 使 GR 和 GE 分别降低了 58.14% 和 75.00%,5.0 mg/L ALA 处理的 GR 和 GE 又显著上升。在 50 mmol/L NaCl 胁迫下,0.1 和 5.0 mg/L ALA 处理分别使 GE 和 GR 提高了 9.09% 和 3.37%,而 0.5 mg/L ALA 使 GR 和 GE 分别降低了 28.09% 和 36.36%。

#### 2.1.2 对芽苗鲜重的影响

胚芽鲜重(SFW)和胚根鲜重(RFW)是衡量 NaCl 胁迫对芽苗生长影响的指标,其比值 RFW/SFW 反映的是盐胁迫对地上部和地下部营养分配的影响。表 1 的数据显示,非盐胁迫下,ALA 浸种可以提高番茄芽苗的 SFW、RFW、FW 和 RFW/SFW 比值,并且随着 ALA 浓度增加而持续升高,10.0 mg/L ALA 浸种的 SFW、RFW、FW 和 RFW/SFW 分别比蒸馏水浸种的提高了 30.07%、48.88%、34.19% 和 14.47%,表明 ALA 浸种可以促进番茄芽苗生长,并且促进营养物质优先向根部运转,有利于根系生长(RFW)。

25—100 mmol/L NaCl 胁迫下,番茄芽苗的 SFW、RFW 和 FW 与蒸馏水对照相比均有所增加,盐浓度越低增加量越多,对 SFW/RFW 比值没有显著影响。0.1—10.0 mg/L ALA 浸种处理对盐胁迫下 RFW 和 SFW/RFW 比值均没有显著影响,对 SFW 和 FW 的影响较显著;0.5—1.0 mg/L ALA 浸种不同程度的降低了盐胁迫下的 SFW 和 FW;而 5.0 mg/L ALA 浸种使 25 mmol/L NaCl 处理的 SFW 和 FW 分别提高了 8.47% 和 6.08%,10.0 mg/L ALA 浸种使 50 和 100 mmol/L NaCl 处理的 SFW、FW 分别提高了 22.17%、19.59% 和 2.17%、2.50%。

### 2.1.3 对发芽指数(GI)和活力指数(VI)的影响

图 2 显示,ALA 浸种处理可以提高非盐胁迫下(蒸馏水催芽)番茄种子的发芽指数(GI)和活力指数(VI),其促进效应与 ALA 浓度增加正相关,与蒸馏水对照相比 10mg/L ALA 处理使 GI 和 VI 分别提高了 12.73% 和 51.28%,可见 ALA 浸种可以显著促进番茄种子萌发和芽苗生长。与蒸馏水对照相比,25mmol/L NaCl 处理的 GI 下降,而 VI 提高了 35.82%,50—100mmol/L NaCl 胁迫下番茄种子 GI 和 VI 均显著下降。

表 1 ALA 对 NaCl 胁迫下番茄芽苗鲜重的影响

Table 1 Effects of ALA on the seedling fresh weight of tomato under NaCl stress

ALA 浓度 ALA concentration (mg/L)	NaCl 浓度 NaCl concentration / mmol/L															
	胚芽鲜重 SFW				胚根鲜重 RFW				芽苗总鲜重 FW				RFW/SFW			
	Shoot fresh weight/g · 25 株 <sup>-1</sup>	Root fresh weight/g · 25 株 <sup>-1</sup>	Fresh weight/g · 25 株 <sup>-1</sup>	RFW/SFW	0	25	50	100	0	25	50	100	0	25	50	100
0	0.479c	0.687bc	0.535c	0.538ab	0.134b	0.191a	0.177a	0.145a	0.614c	0.878ab	0.712bc	0.683ab	0.281b	0.278a	0.330a	0.269a
0.1	0.515bc	0.737ab	0.598b	0.490bc	0.148ab	0.196a	0.186a	0.140a	0.663bc	0.933a	0.784ab	0.630abc	0.288b	0.265a	0.312a	0.286a
0.5	0.530bc	0.605d	0.473d	0.543ab	0.170ab	0.161a	0.147a	0.147a	0.699bc	0.766c	0.620c	0.690ab	0.320ab	0.267a	0.311a	0.270a
1.0	0.560b	0.683bc	0.510cd	0.445c	0.186ab	0.195a	0.163a	0.122a	0.745ab	0.878ab	0.673c	0.567c	0.332ab	0.285a	0.321a	0.275a
5.0	0.550b	0.745a	0.597b	0.480c	0.192ab	0.187a	0.182a	0.122a	0.742ab	0.932a	0.779ab	0.602bc	0.348a	0.250a	0.305a	0.254a
10.0	0.623a	0.638cd	0.654a	0.550a	0.200a	0.189a	0.197a	0.150a	0.824a	0.827bc	0.851a	0.700a	0.321ab	0.296a	0.302a	0.273a

同列不同字母表示处理间差异显著( $P<0.05$ )

NaCl 胁迫下,ALA 浸种处理的 GI 和 VI 的变化趋势与 GR 和 GE 相似,随着 ALA 浓度的增加呈现出先上升再下降后又上升的波动趋势。0.1mg/L ALA 浸种预处理使 25、50、100mmol/L NaCl 胁迫下种子的 GI 分别提高了 0.01%、3.87%、60.28%,VI 分别提高了 5.77%、14.45%、47.86%;而 0.5mg/L ALA 浸种预处理显著地降低了 25 和 50mmol/L NaCl 胁迫下种子的 GI 和 VI,1.0mg/L ALA 浸种预处理则极显著地降低了 100mmol/L NaCl 胁迫下的 GI 和 VI,与相应盐处理对照相比,GI 分别降低了 26.53%、30.94% 和 56.43%,VI 分别降低了 35.94%、39.84% 和 63.84%;然而随着 ALA 浓度继续升高(至 5.0mg/L)GI 和 VI 均有所上升,但仍低于单纯盐处理(图 2)。

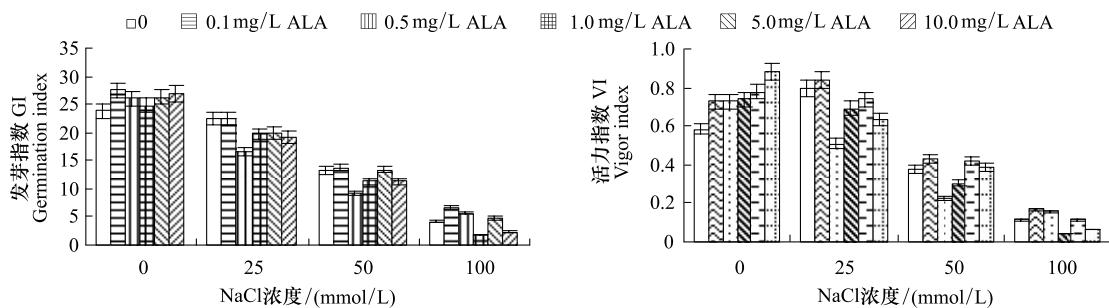


图 2 ALA 对 NaCl 胁迫下番茄种子发芽指数(GI)和活力指数(VI)的影响

Fig. 2 Effects of ALA on the germination index (GI), vigor index (VI) of tomato seeds under NaCl stress

### 2.2 不同浓度 ALA 浸种对 NaCl 胁迫下番茄芽苗抗氧化酶活性的影响

#### 2.2.1 对超氧化物歧化酶(SOD)活性的影响

由图 3 可以看出,非盐胁迫下,0.5—1.0 mg/L ALA 浸种使番茄芽苗胚芽中的 SOD 活性显著降低,0.1—10.0mg/L ALA 极显著的降低了胚根中的 SOD 活性。25—100mmol/L NaCl 胁迫使胚芽中 SOD 活性升高,胚根中 SOD 活性降低。

NaCl 胁迫下,0.1—10.0mg/L ALA 浸种处理不同程度的提高了胚芽中的 SOD 活性,同时显著降低了胚根中的 SOD 活性,且 ALA 浓度越高 SOD 活性越低。0.5mg/L ALA 浸种处理使 25 和 50mmol/L NaCl 胁迫下胚芽中 SOD 活性分别提高了 38.11% 和 28.02%,1.0mg/L ALA 浸种使 100mmol/L NaCl 胁迫下胚芽中 SOD

活性提高了 25.29%。10.0mg/L ALA 浸种使 25—100mmol/L NaCl 胁迫下胚根中 SOD 活性分别降低了, 25.41%、40.48% 和 98.29%。100mmol/L NaCl 胁迫下, 0.1—10.0mg/L ALA 处理使胚根中 SOD 活性极显著的降低, 可见过高浓度盐胁迫导致植物细胞产生不可修复的伤害, ALA 浸种处理加剧了这一伤害, 酶活性显著降低, 且胚根受到的伤害更严重。

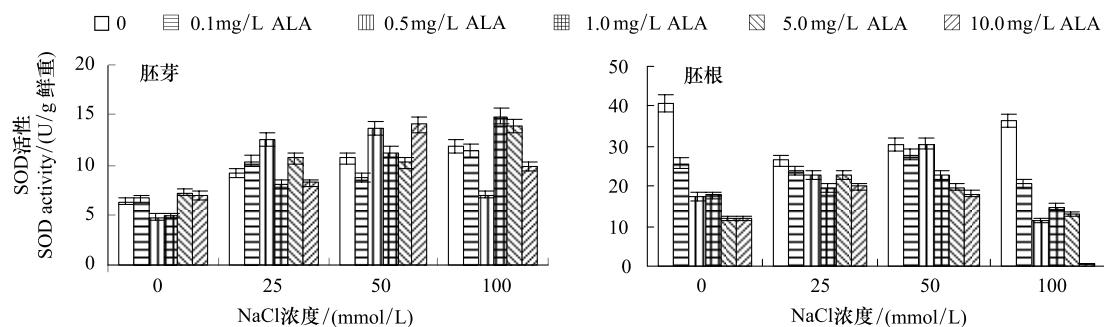


图 3 ALA 对 NaCl 胁迫下番茄种子胚芽和胚根中 SOD 活性的影响

Fig. 3 Effects of ALA on the SOD activity of tomato plantule and radicle under NaCl stress

#### 2.2.2 对过氧化氢酶(CAT)活性的影响

ALA 浸种对番茄芽苗中 CAT 活性的影响(图 4)结果显示, 非盐胁迫下, 0.1—10.0mg/L ALA 浸种对胚芽中 CAT 活性没有显著影响, 使胚根中 CAT 活性降低, 0.5 和 10.0mg/L ALA 处理分别使其显著降低( $P < 0.05$ ) , 分别降低了 58.36% 和 37.15% , 其余处理间的差异没有达到显著性。25—50mmol/L NaCl 处理使胚芽和胚根中 CAT 活性降低, 100mmol/L NaCl 处理使胚芽 CAT 活性降低, 胚根中 CAT 活性升高。

ALA 浸种处理能够显著提高 NaCl 胁迫下胚芽和胚根中 CAT 活性, 其中以 0.5—1.0 mg/L ALA 作用效果最好: 与同浓度盐对照相比, 0.5mg/L ALA 处理使 25 和 50 mmol/L NaCl 胁迫下胚芽中 CAT 活性分别提高了 51.52% 和 100.11% , 胚根中 CAT 活性分别提高了 101.66% 和 89.26%; 1.0 mg/L ALA 处理使 100 mmol/L NaCl 胁迫下胚芽和胚根中 CAT 活性分别提高了 223.87% 和 89.76%。

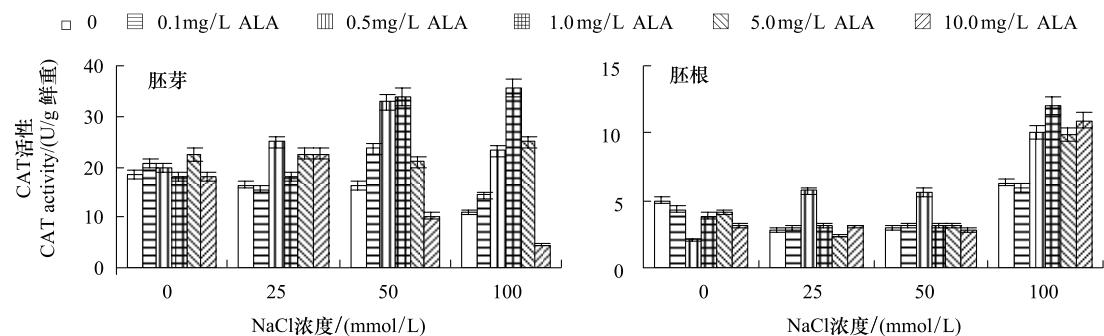


图 4 ALA 对 NaCl 胁迫下番茄种子胚芽和胚根中 CAT 活性的影响

Fig 4 Effects of ALA on the CAT activity of tomato plantule and radicle under NaCl stress

#### 2.2.3 对过氧化氢酶(POD)活性的影响

从图 5 可以看出, 非盐胁迫下, 1.0—10.0mg/L ALA 浸种可以显著提高番茄种子胚芽中 POD 活性( $P < 0.05$ ), 同时极显著的降低胚根中 POD 活性( $P < 0.01$ )。25—100mmol/L NaCl 胁迫下, 胚芽中 POD 活性有所增加但未达到显著性, 胚根中 POD 活性极显著的降低; ALA 浸种能够提高其胚芽和胚根中的 POD 活性。0.5—1.0mg/L ALA 浸种促使 50 和 100mmol/L NaCl 胁迫下胚芽中 POD 活性分别提高了 66.26%—75.41% 和 64.19%—78.45%; 0.5mg/L ALA 浸种使 25 和 50mmol/L NaCl 胁迫下胚根中 POD 活性分别提高了 44.05% 和 143.12% , 而对 100mmol/L NaCl 胁迫的没有影响。

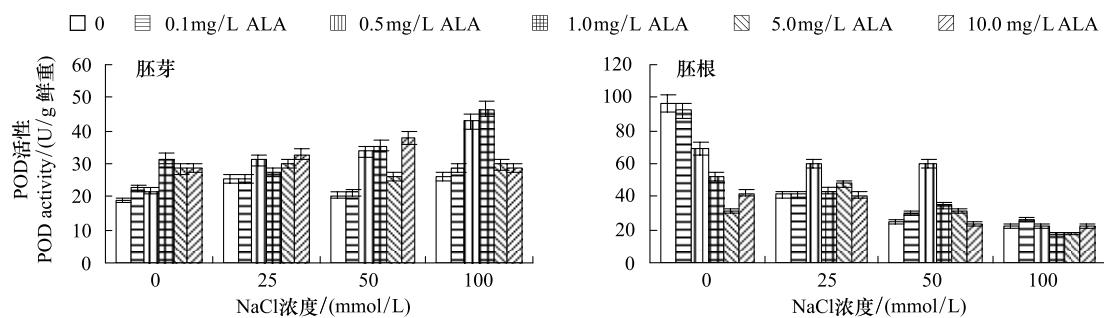


图 5 ALA 对 NaCl 胁迫下番茄种子胚芽和胚根中 POD 活性的影响

Fig. 5 Effects of ALA on the POD activity of tomato plantule and radicle under NaCl stress

#### 2.2.4 对丙二醛(MDA)含量的影响

由图 6 可知,非盐胁迫下,ALA 浸种可以降低番茄种子胚芽和胚根中 MDA 含量,5.0 mg/L ALA 浸种的 MDA 含量最低,胚芽和胚根分别比对照降低了 81.14% 和 58.17%,浸种浓度超过 5.0 mg/L 芽苗中 MDA 含量开始增加。NaCl 胁迫的胚芽和胚根中 MDA 含量减少,仅 25 mmol/L NaCl 胁迫下胚芽中 MDA 含量增加了 16.48%,但未达到显著性( $P < 0.05$ )。0.1—10.0 mg/L ALA 浸种降低了盐胁迫下胚根中的 MDA 含量,25 和 50 mmol/L NaCl 胁迫下,0.5 mg/L ALA 浸种使其含量分别降低了 36.14%、52.10%;100 mmol/L NaCl 胁迫下,0.1 mg/L ALA 浸种使其含量降低了 38.24%。对胚芽的影响显示,ALA 浸种显著的降低了 25 mmol/L NaCl 胁迫下其 MDA 含量,却使 50 和 100 mmol/L NaCl 胁迫下胚芽中 MDA 含量显著增加,峰值出现在 5.0 mg/L,分别比相应盐对照增加了 128.95% 和 315.02%。

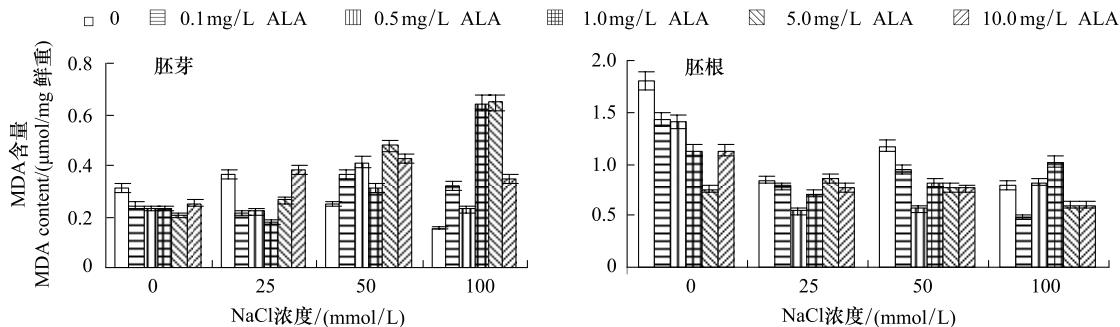


图 6 ALA 对 NaCl 胁迫下番茄种子胚芽和胚根中 MDA 含量的影响

Fig. 6 Effects of ALA on the MDA contents of tomato plantule and radicle under NaCl stress

### 3 讨论

发芽率(GR)反映了种子发芽的多少,发芽势(GE)反映了种子发芽的快慢和整齐度,发芽指数(GI)能够反映种子在整个发芽期的综合活力,活力指数(VI)既能反映种子发芽率、发芽速度,又能反映生长势及生长活力。这些指标能够从不同角度反映出番茄芽苗期耐盐性的强弱。试验中低浓度 NaCl(25 mmol/L)处理显著提高了番茄种子芽苗鲜重,与蒸馏水处理相比芽苗总鲜重提高 30.13%,发芽率也有所提高,但未达显著性,可见适宜低浓度 NaCl 处理有利于种子萌发和芽苗生长;高浓度 NaCl(50—100 mmol/L)处理显著降低 GR、GE、GI、VI,抑制种子萌发。图 1 和图 2 的结果显示,0.1 mg/L ALA 浸种能够提高 50 和 100 mmol/L NaCl 胁迫下的 GR、GE、GI、VI,增强番茄种子耐盐性促进其萌发和生长。但是 NaCl 胁迫下,0.1—10.0 mg/L ALA 浸种对番茄种子 GR、GE、GI 和 VI 的作用结果出现谷值。25 和 50 mmol/L NaCl 胁迫下,谷值出现在 0.5 mg/L ALA 处理;100 mmol/L NaCl 胁迫下,谷值出现在 1.0 mg/L ALA 处理。SFW、RFW、FW 和 RFW/SFW 比值呈现与 GR、GE、GI 和 VI 同步的波动变化趋势,这是一个十分值得深入研究的现象,其特殊的浓度效应可能有利于

揭示ALA调控植物生长发育的作用机理。

刘晖等认为<sup>[12]</sup>,15—30 mg/L ALA能够促进盐胁迫下西瓜种子萌发。张春平等<sup>[4]</sup>发现50 mg/L ALA处理能有效地提高紫苏种子和幼苗的抗盐能力。研究表明,ALA浸种浓度不宜超过5.0 mg/L;25—100 mmol/L NaCl作用下,10.0 mg/L ALA浸种的番茄种子GR、GE、GI、VI降低,丙二醛(MDA)含量增加,可见不同作物间ALA作用浓度存在较大差异,ALA浸种浓度过高不利于种子萌发和芽苗生长。

超氧化物歧化酶(SOD)可催化超氧化物阴离子自由基(O<sub>2</sub><sup>-</sup>)发生歧化反应,生成O<sub>2</sub>和H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>;过氧化氢酶(CAT)可将代谢中产生的H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>分解为O<sub>2</sub>和H<sub>2</sub>O;过氧化物酶(POD)能够催化以H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>为氧化剂的氧化还原反应,将H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>还原为H<sub>2</sub>O。这3种酶普遍存在于植物体内,其活性能够反映植物抵抗逆境的能力,是重要的抗氧化酶。在逆境胁迫下植物遭受伤害,活性氧积累诱发膜脂过氧化,丙二醛(MDA)是膜脂过氧化最重要的产物之一,测定其含量可以间接反映膜系统受损程度及植物的抗逆性<sup>[18-19]</sup>。

盐胁迫下,胚芽中SOD、POD活性增加,CAT活性降低;胚根中抗氧化酶活性显著降低,仅100 mmol/L NaCl处理的胚根中CAT活性显著增加。0.5 mg/L ALA浸种使25、50 mmol/L NaCl处理的胚芽中SOD、CAT、POD活性显著提高,使胚根中CAT、POD活性极显著提高,MDA含量显著降低。这与刘晖等<sup>[12]</sup>提出的盐胁迫降低西瓜幼苗新生组织SOD和POD活性,ALA处理能提高其活性的结论完全一致。

ALA是亚铁血红素(Heme)的合成前体,而Heme作为辅基普遍存在于POD和CAT中,因此有研究者推测,ALA可能通过转化为Heme进而提高抗氧化酶活性,并认为这是ALA促进NaCl胁迫下种子萌发的主要原因<sup>[12-13]</sup>。本试验中,非盐胁迫下,ALA处理增加胚芽中POD、CAT活性,降低胚根中POD、CAT活性;NaCl胁迫下,0.5 mg/L ALA处理使胚芽和胚根中POD、CAT活性均显著增加;可见,ALA对POD和CAT活性的影响在不同组织(胚芽和胚根)中存在很大差异,但二者的变化规律一致,可能与都含有Heme辅基有关。

在甜瓜<sup>[2]</sup>、紫苏<sup>[4]</sup>、草莓<sup>[5]</sup>、黄瓜<sup>[3,8]</sup>、辣椒<sup>[9]</sup>、油菜<sup>[20]</sup>等多种作物上观察到,ALA提高抗逆性总是伴随着抗氧化酶活性的增加,因此研究者认为ALA诱导SOD、POD、CAT等抗氧化酶活性上升是其增强植物抗逆性的主要原因。分析本试验中NaCl胁迫下ALA对番茄芽苗生长影响的结果表明,0.5 mg/L ALA处理的种子抗氧化酶活性显著升高,GR、GE、GI、VI和芽苗鲜重显著降低;非盐胁迫下,随着ALA浓度的增加胚根中的抗氧化酶活性和MDA含量逐渐降低,GR、GE、GI、VI升高,芽苗鲜重增加。显然,ALA促进种子萌芽及生长与其提高芽苗中抗氧化酶活性呈现负相关,本试验的结果与西瓜<sup>[16]</sup>和小白菜<sup>[13]</sup>上的不同,或许ALA在幼苗期处理<sup>[2-5,8-9,20]</sup>与种子期处理的作用机制不同,导致现象不同,但两个时期的处理结果均表明ALA处理能够提高作物耐盐性。

另外本试验结果暗示ALA主要作用于根部,可以缓解胚根生长中受到的氧化胁迫降低MDA含量,从而使其细胞中抗氧化酶活性降低,生长加快,RFW/SFW比值增加。高浓度NaCl(50—100 mmol/L)胁迫下,GR、GE、GI、VI大大降低而芽苗鲜重没有减少,可能与液泡中NaCl大量积累有关。同时高浓度盐胁迫极显著的抑制了新生组织生长,下胚轴和胚根缩短变粗,细胞增大细胞壁加厚,芽苗生长基本停滞,使得O<sub>2</sub><sup>-</sup>生成速率降低,脂质过氧化产物MDA含量也减少(图7),胚根中抗氧化酶活性降低可能也与此有关。低盐胁迫(25 mmol/L)下,适当浓度ALA处理可以降低胚芽和胚根中MDA含量;高盐胁迫下,ALA处理使胚芽中MDA含量增加,胚根中MDA含量降低,其具体原因有待后续研究。

在过量合成ALA的转基因拟南芥上的研究表明,一个Hem基因转入能够诱导20多种与脱落酸(ABA)合成、代谢和响应有关的基因表达上调。许多研究显示,ABA能够调节种子萌发和芽苗生长<sup>[21]</sup>,也能提高植物对盐胁迫的抗性<sup>[22]</sup>。ALA处理对NaCl胁迫下番茄种子萌发和生长的影响,可能与其影响ABA合成及代谢有关,总之存在复杂的调控机制,其作用机理值得深入研究。

#### References:

- [1] Porra R J. Recent progress in porphyrin and chlorophyll biosynthesis. *Photochemistry and Photobiology*, 1997, 65: 492-516.

- [ 2 ] Wang L J, Jiang W B, Huang B J. Promotion of Photosynthesis by 5-Aminolevulinic Acid (ALA) during and after Chilling Stress in Melon Seedlings Grown under Low Light Condition. *Acta Horticulturae Sinica*, 2004, 31(3):321-326.
- [ 3 ] Liu C X, Luo Q X, Li Y J, Liu X J, Liang G Y, Yang H. Effect of Exogenous ALA on Cucumber Growth Indices and Antioxidant Enzymes Activity under Suboptimal Light. *China Vegetables*, 2011(16):72-78.
- [ 4 ] Zhang CH P, He P, Wei P X, Du D D, Yu Z L. Effect of exogenous 5-aminolevulinic acid on seed germination and antioxidant activities of *Perilla frutescens* seedlings under NaCl stress. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 2011, 42(6):1194-1200.
- [ 5 ] Liu W Q, Kang L, Wang L J. Effects on Strawberry Photosynthesis and Relations to Anti-oxidant Enzymes of ALA. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2006, 23(2):209-213.
- [ 6 ] Wang L J, Shi W, Liu H, Liu W Q, Jiang W B, Hou X L. Effects of exogenous 5-aminolevulinic acid treatment on leaf photosynthesis of pakchoi. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2004, 27(2):34-38.
- [ 7 ] Yao S M, Wang W J. Effects of 5-Aminolevulinic acid on grain filling and yield of the two-line Japonica hybrid rice. *Huazhong Agricultural University*, 2004, 23(5): 495-499.
- [ 8 ] Yi L L, Yu X CH, Wang Y H, Xu ZH H, Li K, Han D J. Effect of 5-aminolevulinic Acid on Chilling-tolerance in Cucumber Seedlings. *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica*, 2007, 16 (4):166-169.
- [ 9 ] Liu T, Guo SH R, Xu G, Gao W R, Li D C, Wang H. Mitigative Effect of 5-aminolevulinic Acid in Pepper under Low Temperature Stress. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2010, 30(10): 2047-2053.
- [ 10 ] Sun Y P, Wang L J. Effects of 5-Aminolevulinic Acid (ALA) on Chlorophyll Fluorescence Dynamics of Watermelon Seedlings under Shade Condition. *Acta Horticulturae Sinica*, 2007, 34(4):901-908.
- [ 11 ] Roy C, Bindu, M. Vivekanandan. Hormonal activities of 5-aminolevulinic acid in callus induction and micro propagation. *Plant Growth Regulation*, 1998, 26: 15-18.
- [ 12 ] Liu H, Kang L, Wang L J. Promotion of 5-aminolevulinic acid on seed germination of wa 抗氧化 termelon (*Citrullus lanatus*) under salt stress. *Journal of Fruit Science*, 2006, 23(6):854-859.
- [ 13 ] Wang L J, Jiang W B, Liu H, Liu W Q, Kang L, Hou X L. Promotion of 5-aminolevulinic acid (ALA) on germination of pakchoi (*Brassica chinensis*) seeds under salt stress. *Integrative Plant Biol*, 2005, 47(9):1084-1091.
- [ 14 ] Wang X J, Li R S, Li S J, Tong Ai L, Chen L P, Guo H Y. Studies on Salinity-Resistant Selection of Cucumber During Germination. *Journal of Shandong Agricultural University (Natural Science)*, 2000, 31(1): 71-73.
- [ 15 ] Dong ZH G, Cheng ZH H. Salt tolerance and assessment of salt tolerance indices of tomato varieties in sprout stage and seedling stage. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(3): 1348-1355.
- [ 16 ] Li J, Hu X H, Guo S R, Wang S P, Wang M H. Effect of exogenous spermidine on polyamine content and antioxidant enzyme activities in roots of cucumber seedlings under root-zone hypoxia stress. *Journal of Plant Ecology (Formerly Acta Phytoecologica Sinica)*, 2006, 30(1): 118-123.
- [ 17 ] Velikova V, Yordanov I, Edreva A. Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain-treated bean plants protective role of exogenous polyamines. *Plant Sci*, 2000, 151(2):59-66.
- [ 18 ] Hu X H, Du L J, Zou Z R. Protective effects of pre-soaked seeds with Spd on tomato seedlings under NaCl stress. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29 (9):5152-5157.
- [ 19 ] Su T, Wei X H, Ding X ZH, Li Y. Protective effects of NO and sucrose on oxidative damage in tomato seedling leaves under NaCl stress. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(4):1558-1564.
- [ 20 ] Zhang W F, Zhang F, Jin Z L, Huang CH P, Tang G X, Ye Q F, Zhou W J. ALA improving *Brassica Napus* seedling tolerance to herbicide stress. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2008, 22(4):488-494.
- [ 21 ] Zhu G H, Xu W Y, Wu D, Zhang Q Y. Effect of Abscisic Acid Biosynthesis Gene NCED6 in Glucose Induced Delay of *Arabidopsis thaliana* Seed Germination. *Plant Physiology Communications*, 2010, 46(2):139-142.
- [ 22 ] Wu Y R, Xie Q. ABA and Plant Stress Response. *Chinese Bulletin of Botany*, 2006, 23(5):511-518.

## 参考文献:

- [ 2 ] 汪良驹,姜卫兵,黄保健.5-氨基乙酰丙酸对弱光下甜瓜幼苗光合作用和抗冷性的促进效应.园艺学报,2004,31(3):321-326.
- [ 3 ] 柳翠霞,罗庆熙,李跃建,刘小俊,梁根云,杨宏.外源5-氨基乙酰丙酸(ALA)对弱光下黄瓜生长指标及抗氧化酶活性的影响.中国蔬菜,2011(16):72-78.

- [4] 张春平,何平,韦品祥,杜丹丹,喻泽莉.外源5-氨基乙酰丙酸对盐胁迫下紫苏种子萌发及幼苗抗氧化酶活性的影响.中草药,2011,42(6):1194-1200.
- [5] 刘卫琴,康琅,汪良驹.ALA对草莓光合作用的影响及其与抗氧化酶的关系.西北植物学报,2006,23(2):209-213.
- [6] 汪良驹,石伟,刘晖,刘卫琴,姜卫兵,侯喜林.外源5-氨基乙酰丙酸处理对小白菜叶片的光合作用效应.南京农业大学学报,2004,27(2):34-38.
- [7] 姚素梅,王维金.ALA对两系杂交粳稻子粒灌浆和产量的影响.华中农业大学学报,2004,23(5):495-499.
- [10] 孙永平,汪良驹.ALA处理对遮荫下西瓜幼苗叶绿素荧光参数的影响.园艺学报,2007,34(4):901-908.
- [8] 尹璐璐,于贤昌,王英华,许贞杭,李坤,韩道杰.5-氨基乙酰丙酸对黄瓜幼苗抗冷性的影响.西北农业学报,2007,16(4):166-169.
- [10] 刘涛,郭世荣,徐刚,高文瑞,李德翠,王虹.5-氨基乙酰丙酸对辣椒植株低温胁迫伤害的缓解效应.西北植物学报,2010,30(10):2047-2053.
- [12] 刘晖,康琅,汪良驹.ALA对盐胁迫下西瓜种子萌发的促进效应.果树学报,2006,23(6):854-859.
- [14] 王学军,李仁所,李式军,全爱玲,陈丽平,郭红芸.黄瓜抗盐选择研究.山东农业大学学报(自然科学版),2000,31(1):71-73.
- [15] 董志刚,程智慧.番茄品种资源芽苗期和幼苗期的耐盐性及耐盐指标评价.生态学报,2009,29(3):1348-1355.
- [16] 李璟,胡晓辉,郭世荣,王素平,王鸣华.外源亚精胺对根际低氧胁迫下黄瓜幼苗根系多胺含量和抗氧化酶活性的影响.植物生态学报,2006,30(1):118-123.
- [17] 胡晓辉,杜灵娟,邹志荣.Spd浸种对盐胁迫下番茄幼苗的保护效应.生态学报,2009,29(9):5152-5157.
- [19] 苏桐,魏小红,丁学智,李源.外源NO与蔗糖对盐胁迫下番茄幼苗氧化损伤的保护效应.生态学报,2008,28(4):1558-1564.
- [20] 张文芳,张帆,金宗来,黄冲平,唐桂香,叶庆富,周伟军.ALA提高丙酯草酰胁迫下油菜幼苗耐性研究.核农学报,2008,22(4):488-494.
- [21] 朱国辉,徐慰盈,吴丹,张乾毅.拟南芥ABA生物合成基因NCED6对葡萄糖诱导其种子萌发延迟的作用.植物生理学通讯,2010,46(2):139-142.
- [22] 吴耀荣,谢旗.ABA与植物胁迫抗性.植物学通报,2006,23(5):511-518.

**ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33 ,No. 1 January ,2013( Semimonthly)**  
**CONTENTS**

**Frontiers and Comprehensive Review**

- Integrating ecological civilization into social-economic development ..... WANG Rusong ( 1 )  
The effect of land cover pattern on hillslope soil and water loss in the arid and semi-arid region: a review ..... GAO Guangyao, FU Bojie, LÜ Yihe, et al ( 12 )  
The status and trend on the urban tree canopy research ..... JIA Baoquan, WANG Cheng, QIU Erfa, et al ( 23 )  
Bioindicators and Biomonitoring in Environmental Quality Assessment ..... Bernd Markert, WANG Mei'e, Simone Wünschmann, et al ( 33 )  
Electron transfer capacities of dissolved organic matter and its ecological effects ..... BI Ran, ZHOU Shungui, YUAN Tian, et al ( 45 )

**Autecology & Fundamentals**

- Antioxidative responses of *Abies fabri* seedlings to litter addition and temperature elevation ..... YANG Yang, YANG Yan, WANG Genxu, et al ( 53 )  
Effects of seed soaking with different concentrations of 5-aminolevulinic acid on the germination of tomato (*Solanum lycopersicum*) seeds under NaCl stress ..... ZHAO Yanyan, HU Xiaohui, ZOU Zhirong, et al ( 62 )  
Influence of magnesium deficiency on chlorophyll fluorescence characteristic in leaves of Newhall navel orange ..... LING Lili, PENG Liangzhi, WANG Nanqi, et al ( 71 )  
Leaf traits of 66 herbaceous species in Songnen grassland in Northeast China ..... SONG Yantao, ZHOU Daowei, WANG Ping, et al ( 79 )  
Effects of nectar secondary compounds on pollination of co-flowering species in a natural community ..... ZHAO Guangyin, LI Jianjun, GAO Jie ( 89 )  
The continuous life-table of *Leptocybe invasa* ..... ZHU Fangli, QIU Baoli, REN Shunxiang ( 97 )

**Population, Community and Ecosystem**

- Dominant climatic factors of *Quercus mongolica* geographical distribution and their thresholds ..... YIN Xiaojie, ZHOU Guangsheng, SUI Xinghua, et al ( 103 )  
Fruit diet, Selectivity and Seed dispersal of Hatinh langur (*Trachypithecus francoisi hatinhensis*) ..... Nguyen Haiha, BAI Bing, LI Ning, et al ( 110 )  
The distribution of living coccolithophore in East China Sea in autumn, 2010 ..... JIN Shaofei, SUN Jun, LIU Zhiliang ( 120 )  
The association of OPRK1 gene SNP with sika deer (*Cervus nippon*) diurnal behavior traits ..... LÜ Shenjin, YANG Yan, WEI Wanrong ( 132 )  
Preliminary study on bird composition and diversity in Poyang Lake watershed during non-breeding period ..... SHAO Mingqin, ZENG Binbin, XU Xianzhu, et al ( 140 )  
Coexistence mechanism of two species passerines in man-made nest boxes ..... LI Le, ZHANG Lei, YIN Jiangxia, et al ( 150 )  
Dynamics on soil faunal community during the decomposition of mixed eucalypt and alder litters ..... LI Yanhong, YANG Wanqin, LUO Chengde, et al ( 159 )  
RS/GIS-based integrated evaluation of the ecosystem services of the Three Gorges Reservoir area ( Chongqing section ) ..... LI Yuechen, LIU Chunxia, MIN Jie, et al ( 168 )

**Landscape, Regional and Global Ecology**

- The distribution of soil organic carbon as affected by landforms in a small watershed of gully region of the Loess Plateau ..... LI Linhai, GAO Erhu, MENG Meng, et al ( 179 )  
Effects of coastal geographical characteristics on the abundance of submerged aquatic vegetation ..... WU Mingli, LI Xuyong, CHEN Nianlai ( 188 )  
Analysis of soil physical properties under different vegetation types in the alluvial fan area of Manas River watershed ..... CAO Guodong, CHEN Jiehua, XIA Jun, et al ( 195 )

**Resource and Industrial Ecology**

- Effects of farming on wetland soil seed banks in the Sanjing Plain and wetland restoration potential ..... WANG Guodong, Beth A Middleton, LÜ Xianguo, et al ( 205 )

---

Effects of the microhabitats on the seedling emergence during the flooding disturbance .....	AN Hongyan, XU Hailiang, YE Mao, et al (214)
Analysis on the limiting factors to further improve yield of summer maize in Heilonggang River Valley .....	XU Lina, TAO Hongbin, HUANG Shoubing, et al (222)
Fungal diversity in rhizosphere soil of medicinal plants in Heilongjiang Province .....	MU Dongyan, LÜ Guozhong, SUN Xiaodong, et al (229)
Integrated assessment of mariculture ecosystem health in Sanggou Bay ..... FU Mingzhu, PU Xinming, WANG Zongling, et al (238)	
<b>Urban, Rural and Social Ecology</b>	
The integrative assessment on ecological quality status of Luoyuan Bay based on ‘OOAO principle’ .....	WU Haiyan, WU Yaojian, CHEN Keliang, et al (249)
Trophic state of seawater and ecological characteristics of phytoplankton in Sishili Bay .....	LI Bin, BAI Yanyan, XING Hongyan, et al (260)
Ecological footprint depth and size: new indicators for a 3D model .....	FANG Kai (267)
Landscape dynamics of medium- and small-sized cities in eastern and western China: a comparative study of pattern and driving forces .....	QI Yang, WU Jianguo, LI Jianlong, et al (275)
<b>Research Notes</b>	
Prediction of bacterial species richness in the South China Sea slope sediments .....	LI Tao, WANG Peng (286)
Spatial pattern of seedling regeneration of <i>Ulmus pumila</i> woodland in the Otindag Sandland .....	LIU Zhen, DONG Zhi, LI Hongli, et al (294)
Impacts on seed germination features of <i>Eupatorium adenophorum</i> from variable light stimulation and traditional dormancy-broken methods .....	JIANG Yong, LI Yanhong, WANG Wenjie, et al (302)
<b>Opinions</b>	
Discus for classification of plant association .....	XING Shaohua, YU Mengfan, YANG Lijuan, et al (310)

# 《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的生态学专业性高级学术期刊,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,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 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

(SHENTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 33 卷 第 1 期 (2013 年 1 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 1 (January, 2013)

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 王如松  
主 管 中国科学技术协会  
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

Editor-in-chief WANG Rusong  
Supervised by China Association for Science and Technology  
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:100717

Published by Science Press  
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,  
Beijing 100717, China

印 刷 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

Printed by Beijing Bei Lin Printing House,  
Beijing 100083, China

订 购 国 外 发 行  
全国各 地邮局  
中国国际图书贸易总公司  
地址:北京 399 信箱  
邮政编码:100044

Distributed by Science Press  
Add: 16 Donghuangchenggen North  
Street, Beijing 100717, China  
Tel: (010) 64034563  
E-mail: journal@cspg.net

广 告 经 营 许 可 证  
京海工商广字第 8013 号

Domestic All Local Post Offices in China  
Foreign China International Book Trading  
Corporation  
Add: P. O. Box 399 Beijing 100044, China

