

## 外源24-表油菜素内酯对盐胁迫下茄子种子萌发和幼苗生理特性的影响

吴雪霞, 查丁石\*, 朱宗文, 李贤

上海市农业科学院园艺研究所, 上海市设施园艺技术重点实验室, 上海201403

**摘要:** 研究了150 mmol·L<sup>-1</sup> NaCl胁迫下, 外源24-表油菜素内酯(EBR)对茄子种子萌发、幼苗生长和生理特性的影响。结果表明, 0.05 mg·L<sup>-1</sup>外源EBR显著缓解150 mmol·L<sup>-1</sup> NaCl的胁迫伤害, 使茄子种子发芽率提高了8.23%, 发芽势提高15.91%, 发芽指数提高了17.23%, 活力指数提高了44.29%; 幼苗株高、根长和植株鲜重分别提高了56.67%、23.83%和56.68%; 抗氧化酶(SOD、POD、CAT和APX)活性分别增加了13.75%、24.00%、28.64%和21.46%, 脯氨酸和可溶性糖含量分别提高30.96%和23.66%; MDA含量、O<sub>2</sub><sup>-</sup>产生速率分别降低了29.58%和14.80%。表明0.05 mg·L<sup>-1</sup>外源EBR能显著促进盐胁迫下茄子种子萌发和幼苗生长, 明显缓解叶片氧化损伤, 增强茄子的耐盐能力。

**关键词:** 24-表油菜素内酯; NaCl胁迫; 茄子; 种子萌发; 氧化损伤

## Effects of Exogenous 24-Epibrassinolide on Seed Germination, Physiological Characteristics of Eggplant Seedlings under NaCl Stress

WU Xue-Xia, ZHA Ding-Shi\*, ZHU Zong-Wen, LI Xian

Shanghai Key Laboratory of Protected Horticultural Technology, Horticultural Research Institute, Shanghai Academy of Agricultural Sciences, Shanghai 201403, China

**Abstract:** The objective of this study was to investigate the effects of exogenous 24-epibrassinolide (EBR) on seed germination, seedling growth, and physiological characteristics in eggplant (*Solanum melongena* L.) seedlings under 150 mmol·L<sup>-1</sup> NaCl stress. The results showed that 0.05 mg·L<sup>-1</sup> EBR significantly alleviated the damage caused by 150 mmol·L<sup>-1</sup> NaCl. Specifically, seed germination rate, germination potential, germination index and vigor index were increased by 8.23%, 15.91%, 17.23%, and 44.29%, respectively; plant height, root length and fresh weight were increased by 56.67%, 23.83% and 56.68%, respectively; the activities of SOD, POD, CAT and APX were increased by 13.75%, 24.00%, 28.64% and 21.46%, respectively; and contents of proline and soluble sugar were increased by 30.96% and 23.66%, respectively; while contents of MDA and O<sub>2</sub><sup>-</sup> producing rate were decreased by 29.58% and 14.80%, respectively. Results suggested that exogenous 0.05 mg·L<sup>-1</sup> EBR significantly stimulated seed germination and seedling growth, alleviated oxidative damage, and elevated the salt tolerance of plant.

**Key words:** 24-epibrassinolide; NaCl stress; eggplant; seed germination; oxidative damage

随着设施栽培的快速发展, 设施内土壤次生盐渍化日趋严重, 导致蔬菜作物的生长发育受到抑制, 产量和品质降低, 这种情况严重影响了蔬菜生产的可持续发展和蔬菜生产者的经济效益(郭文忠等2004; 黄毅和张玉龙2004)。因此, 探讨提高作物抗盐性的途径或措施具有重要科学意义。

油菜素内酯(brassinolide, BR)作为一种新型植物生长调节剂, 广泛参与植物各种生理过程, 尤其在植物生长发育及其对逆境的响应等方面具有重要的调节作用(Clouse和Sasse 1998; Steber和McCourt 2001)。研究表明, 24-表油菜素内酯(EBR)预处理可提高黄瓜幼苗叶片CO<sub>2</sub>同化能力和抗氧化

酶活性, 进而减轻9种药害(Xia等2006); BR能提高烟草和水稻对病毒、细菌和真菌病害的抗性(Nakashita等2003), 增强西葫芦对黄瓜花叶病毒(CMV)的抗性(陶媛2005), 提高黄瓜对灰霉病的抗性(尚庆茂等2007); EBR能促进低氧胁迫下黄瓜根系中抗氧化酶和乙醇脱氢酶(ADH)活性的提高, 降低乳酸脱氢酶(LDH)活性及活性氧(ROS)含量, 增强抗

收稿 2011-03-18 修定 2011-04-02

资助 上海市科技兴农重点公关项目[沪农科攻字(2009)第2-1号]、上海市自然科学基金(ZR1426800)和现代农业产业技术体系建设专项资金。

\* 通讯作者(E-mail: dingshizha@yahoo.com; Tel: 021-62207992)。

低氧胁迫的能力(康云艳等2005, 2006); BR能缓解高温胁迫对番茄光合作用的抑制(Ogwen等2008); BR处理也可以降低油菜中镉的含量和芥菜中铜的含量(Janeczko等2005; Sharma和Bhardwaj 2007)。但BR处理对盐胁迫下作物抗盐性的关系研究较少。为此, 本研究以茄子为材料, 在设计多个EBR浓度找出最佳浓度的基础上, 探讨外源EBR对盐胁迫下茄子种子发芽及幼苗生理生化特性的影响, 以期明确BR诱导茄子幼苗抗盐性的效果及可能的生理机制。

## 材料与方法

### 1 材料

供试茄子(*Solanum melongena* L.)沪茄品种‘08-5’, 由上海市农业科学院园艺研究所提供。

24-表油菜素内酯(EBR)购自Sigma公司, 使用前用少量乙醇溶解, 然后用蒸馏水配成 $50 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的母液,  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 保存, 用时按设计要求的浓度进行稀释。

### 2 试验处理

本试验在上海市农业科学院园艺研究所进行。挑选籽粒饱满、色泽正常的种子, 分别浸泡在含不同物质的溶液中, 10 h后, 将浸泡的种子均匀放在长 $\times$ 宽 $\times$ 高分别为 $50 \text{ cm}\times 40 \text{ cm}\times 30 \text{ cm}$ 的发芽盒中, 每发芽盒50粒种子, 3次重复。每天更换处理液以保持浓度不变。试验分2个阶段。

第一阶段: 首先进行NaCl胁迫下外源EBR的适宜浓度筛选试验, 实验设6个处理, 处理液分别为对照(CK), 蒸馏水;  $150 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  NaCl;  $150 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  NaCl+ $0.025 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  EBR;  $150 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  NaCl+ $0.05 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  EBR;  $150 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  NaCl+ $0.1 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  EBR;  $150 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  NaCl+ $0.2 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  EBR。

20 d后调查株高、根长和鲜重。

第二阶段: 设4个处理, 处理液分别为S1, 对照(CK), 蒸馏水; S2,  $0.05 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  EBR; S3,  $150 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  NaCl浸种; S4,  $150 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  NaCl+ $0.05 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  EBR。从处理的第3天开始, 每天8:00记录每个发芽盒中萌发的种子数, 待各处理发芽种子数不再增加时(第15天), 视为发芽完全, 计算发芽率、发芽势、发芽指数。第20天从每个发芽盒中随机取20粒发芽种子, 测量株高、茎粗、根长和鲜重, 同时取样进行相关生理指标的测定。

### 3 测定指标与方法

发芽势=规定天数内发芽种子数/供试种子总数 $\times 100\%$  (第8天测定); 发芽率=全部发芽种子数/供试种子总数 $\times 100\%$  (第15天测定); 种子发芽指数(GI)= $\sum(Gt/Dt)$  (Gt为在t日的发芽种子数, Dt: 发芽天数); 种子活力指数(VI)=S $\times$ GI (S: 单株鲜重)。

超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)、抗坏血酸过氧化物酶(APX)活性的测定, 丙二醛(MDA)含量、超氧阴离子( $\text{O}_2^-$ )产生速率、脯氨酸含量和可溶性糖含量的测定均参照吴雪霞等(2006)的方法。

### 4 统计分析

数据采用Origin软件进行绘图, 用SPSS统计软件对平均数用Duncan’s新复极差法进行多重比较。

## 实验结果

### 1 不同浓度外源24-表油菜素内酯对盐胁迫下茄子幼苗生长的影响

如表1所示,  $150 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  NaCl单独处理时, 茄子幼苗株高、根长和植株鲜重均显著低于未经NaCl胁迫处理的(CK), 分别下降了49.79%、

表1 不同浓度外源24-表油菜素内酯对盐胁迫下茄子幼苗生长的影响

Table 1 Effects of different concentrations of exogenous EBR on the growth of eggplant seedlings under salt stress

处理	株高/cm	根长/cm	植株鲜重/g
CK	5.290 $\pm$ 0.236 <sup>a</sup>	4.560 $\pm$ 0.338 <sup>a</sup>	0.030 $\pm$ 0.002 <sup>a</sup>
$150 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ NaCl	2.656 $\pm$ 0.139 <sup>c</sup>	2.824 $\pm$ 0.237 <sup>b</sup>	0.015 $\pm$ 0.002 <sup>d</sup>
$150 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ NaCl+ $0.025 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ EBR	3.046 $\pm$ 0.294 <sup>bc</sup>	2.942 $\pm$ 0.156 <sup>b</sup>	0.018 $\pm$ 0.002 <sup>bc</sup>
$150 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ NaCl+ $0.05 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ EBR	5.040 $\pm$ 0.184 <sup>a</sup>	3.978 $\pm$ 0.222 <sup>a</sup>	0.028 $\pm$ 0.001 <sup>a</sup>
$150 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ NaCl+ $0.1 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ EBR	3.306 $\pm$ 0.236 <sup>b</sup>	2.996 $\pm$ 0.151 <sup>b</sup>	0.019 $\pm$ 0.002 <sup>b</sup>
$150 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ NaCl+ $0.2 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ EBR	2.844 $\pm$ 0.326 <sup>c</sup>	2.924 $\pm$ 0.196 <sup>b</sup>	0.017 $\pm$ 0.001 <sup>cd</sup>

同列中不同字母表示差异达5%显著水平。下同。

38.07%和50.53%。与NaCl单独处理相比, 0.025~0.2 mg·L<sup>-1</sup> EBR处理均使幼苗在盐胁迫下的生物量增加, 不同浓度EBR处理对茄子幼苗生物量积累的影响存在差异, 其中以EBR 0.05 mg·L<sup>-1</sup>处理效果最好, 株高、根长和植株鲜重均显著高于NaCl单独处理的, 分别提高了89.76%、40.86%和89.67%; EBR浓度高于0.05 mg·L<sup>-1</sup>后, 生物量积累呈下降趋势。因此本实验选用0.05 mg·L<sup>-1</sup> EBR为最佳浓度。

## 2 外源24-表油菜素内酯对盐胁迫下茄子种子萌发的影响

由表2可知, 150 mmol·L<sup>-1</sup> NaCl单独处理(S3)时, 茄子种子发芽率、发芽势、发芽指数和活力指数均显著低于对照(S1), 分别降低了10.23%、25.99%、20.88%和49.63%; 与S3相比, NaCl+EBR处理(S4)的发芽率、发芽势、发芽指数和活力指数均显著提高了8.23%、15.91%、17.23%和44.29%。EBR单独处理(S2)时对以上指标均无显著影响。

表2 外源24-表油菜素内酯对盐胁迫下茄子种子萌发的影响

Table 2 Effects of exogenous EBR on the seed germination of eggplant under salt stress

处理	发芽率/%	发芽势/%	发芽指数	活力指数
S1	96.516±2.967 <sup>a</sup>	92.491±2.456 <sup>a</sup>	10.066±0.770 <sup>a</sup>	45.055±3.445 <sup>a</sup>
S2	97.617±1.298 <sup>a</sup>	92.730±2.142 <sup>a</sup>	10.038±0.074 <sup>a</sup>	45.532±0.337 <sup>a</sup>
S3	86.644±2.380 <sup>b</sup>	73.177±5.566 <sup>c</sup>	7.450±0.702 <sup>c</sup>	22.692±2.138 <sup>c</sup>
S4	93.777±0.994 <sup>a</sup>	85.787±2.576 <sup>b</sup>	8.635±0.124 <sup>b</sup>	32.744±0.471 <sup>b</sup>

## 3 外源24-表油菜素内酯对盐胁迫下茄子幼苗生长的影响

如表3所示, 与对照(S1)相比, 150 mmol·L<sup>-1</sup> NaCl单独处理(S3)时, 茄子幼苗株高、根长和植株鲜重均显著降低, 而茎粗显著升高; NaCl+EBR处

理(S4)的株高、根长和植株鲜重均显著高于NaCl单独处理(S3)的, 分别提高了56.67%、23.83%和56.68%, 茎粗显著降低了4.95%。EBR单独处理(S2)的对株高、根长和植株鲜重有增加作用, 但效果不显著。

表3 外源24-表油菜素内酯对盐胁迫下茄子幼苗生长的影响

Table 3 Effects of exogenous EBR on the growth of eggplant seedlings under salt stress

处理	株高/cm	茎粗/cm	根长/cm	植株鲜重/g
S1	5.070±0.216 <sup>a</sup>	0.184±0.005 <sup>c</sup>	4.476±0.281 <sup>a</sup>	0.028±0.001 <sup>a</sup>
S2	5.140±0.171 <sup>a</sup>	0.184±0.005 <sup>c</sup>	4.536±0.440 <sup>a</sup>	0.029±0.001 <sup>a</sup>
S3	2.636±0.282 <sup>c</sup>	0.202±0.004 <sup>a</sup>	3.046±0.268 <sup>b</sup>	0.015±0.002 <sup>c</sup>
S4	4.130±0.337 <sup>b</sup>	0.192±0.004 <sup>b</sup>	3.772±0.283 <sup>a</sup>	0.023±0.002 <sup>b</sup>

## 4 外源24-表油菜素内酯对盐胁迫下茄子幼苗MDA含量和O<sub>2</sub><sup>-</sup>产生速率的影响

由图1-A可以看出, 150 mmol·L<sup>-1</sup> NaCl单独处理(S3)时, MDA含量显著高于未经NaCl胁迫处理(S1)的, 增加了63.38%; 与S3相比, NaCl+EBR处理(S4)显著降低了MDA含量, 降低了29.58%。

如图2-B所示, O<sub>2</sub><sup>-</sup>产生速率的测定结果表明, 150 mmol·L<sup>-1</sup> NaCl单独处理(S3)时比未经NaCl胁迫处理(S1)显著促进O<sub>2</sub><sup>-</sup>的产生; NaCl+EBR处理(S4)的O<sub>2</sub><sup>-</sup>产生速率显著低于NaCl单独处理(S3)的, 降低了14.80%。

EBR单独处理(S2)时, MDA含量和O<sub>2</sub><sup>-</sup>产生速率变化不明显(图1)。

## 5 外源24-表油菜素内酯对盐胁迫下茄子幼苗抗氧化酶活性的影响

由图2-A、B、D所示, 与对照(S1)相比, 150 mmol·L<sup>-1</sup> NaCl单独处理(S3)时均显著促进SOD、POD和APX活性, 分别增加了23.61%、21.03%和18.42%; NaCl+EBR处理(S4)进一步提高了盐胁迫下SOD、POD和APX的活性, 分别增加了13.75%、24.00%和21.46%。

NaCl单独处理(S3)时, CAT活性增加不显著;

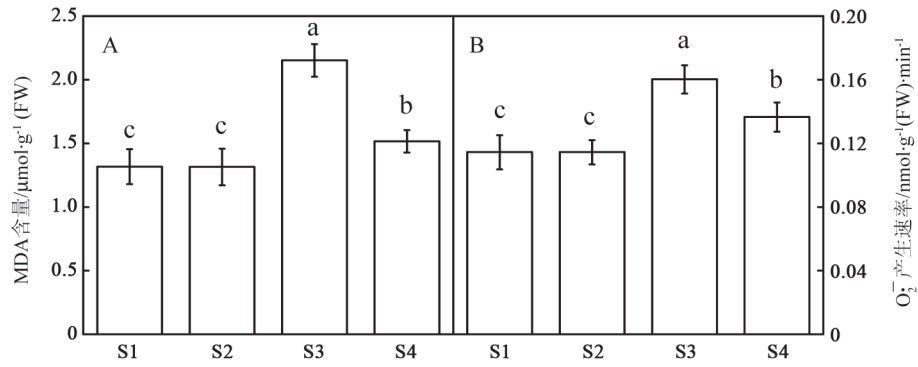


图1 外源EBR对NaCl胁迫下茄子幼苗叶片MDA (A)含量和O<sub>2</sub><sup>-</sup> (B)产生速率的影响

Fig.1 Effects of exogenous EBR on the MDA (A) contents and O<sub>2</sub><sup>-</sup> (B) producing rate in eggplant seedlings under NaCl stress

图中不同小写字母表示差异达5%显著水平。下同。

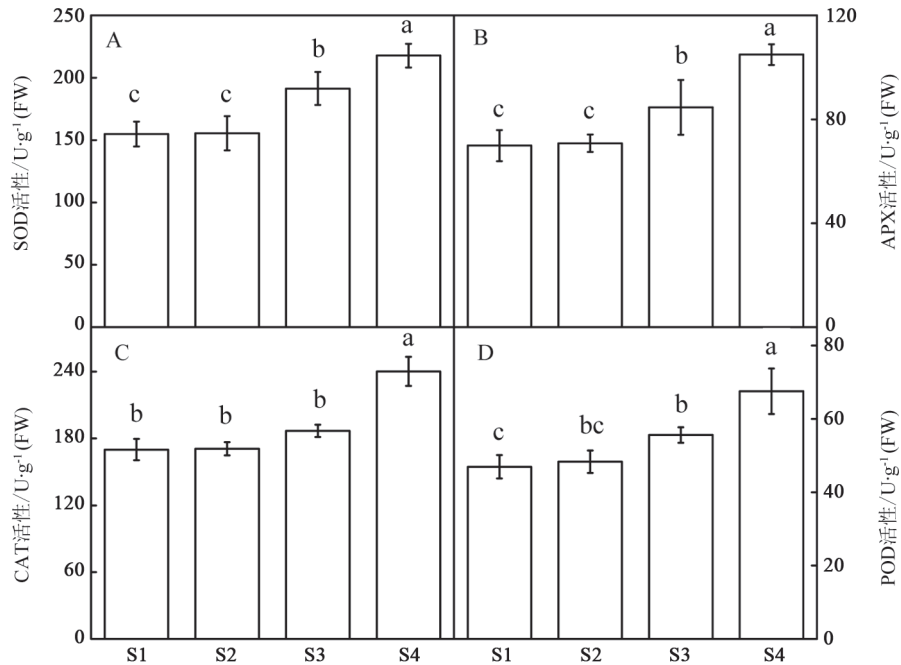


图2 外源EBR对NaCl胁迫下茄子幼苗叶片SOD (A)、POD (B)、CAT (C)和APX (D)活性的影响

Fig.2 Effects of exogenous EBR on the SOD (A), POD (B), CAT (C) and APX (D) activities in eggplant seedlings under NaCl stress

与S3相比, NaCl+EBR处理(S4)显著提高了CAT活性,增加了28.64% (图2-C)。EBR单独处理(S2)时, SOD、POD、CAT和APX活性均比对照略有增加,但差异不明显(图2)。

## 6 外源24-表油菜素内酯对盐胁迫下茄子幼苗渗透调节物质的影响

由图3可知, 150 mmol·L<sup>-1</sup> NaCl单独处理(S3)时, 脯氨酸和可溶性糖含量均显著高于对照, 分别增加了27.47%和75.23%; 与S3相比, NaCl+EBR处理(S4)均显著提高了脯氨酸和可溶性糖含量, 分别

提高了30.96%和23.66%。EBR单独处理(S2)时, 两者没有显著变化。

## 讨论

盐胁迫对植物的最终伤害主要体现在生长受到抑制, 生物量积累下降。本试验结果表明, 不同浓度外源EBR均提高了NaCl胁迫下茄子幼苗株高、根长和植株鲜重, 且呈现明显的浓度效应, 其中0.05 mg·L<sup>-1</sup> EBR对茄子幼苗的缓解作用效果最好。尚庆茂等(2006)报道外源EBR可以有效诱导



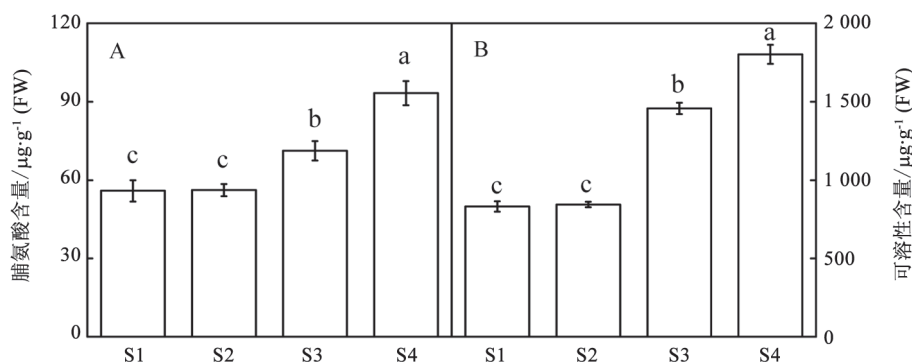


图3 外源EBR对NaCl胁迫下茄子幼苗叶片脯氨酸(A)和可溶性糖(B)含量的影响

Fig.3 Effects of 24-epibrassinolid (EBR) on the praline (A) and soluble sugar (B) contents in eggplant seedlings under NaCl stress

黄瓜幼苗的抗盐性, 并且最佳浓度范围是0.01~0.05 mg·L<sup>-1</sup>, 本实验结果与其基本一致。

种子的发芽率、发芽势和发芽指数反映了种子的发芽速率和整齐程度, 而种子活力是指种子在较广的范围能否迅速发芽和生长的整齐度(孙涌栋等2008)。本试验结果表明, NaCl处理显著降低了茄子种子发芽率、发芽势、发芽指数和活力指数, 外源EBR显著地提高了以上各项指标, 对种子的萌发表现出明显的促进作用。

细胞内MDA含量的高低反映细胞氧化损伤的程度。ROS水平提高可诱发脂质过氧化链式反应, 导致细胞膜的完整性遭到破坏(Hernandez和Almansa 2002)。Ershova和Khrpach (1996)在梨、康云艳等(2006)在黄瓜中研究发现, 低氧条件下, EBR处理均降低MDA含量, 缓解低氧胁迫对植株的伤害。陈善娜等(1997)和Özdemir等(2004)均报道EBR预处理显著降低了盐胁迫下水稻植株MDA含量。本实验结果表明, 盐胁迫下MDA含量和O<sub>2</sub><sup>-</sup>产生速率急剧增加; 外源EBR显著降低了MDA含量和O<sub>2</sub><sup>-</sup>产生速率, 说明外源EBR可以抑制膜脂过氧化, 防止离子渗漏, 使细胞膜维持正常的结构, 保证植物体各种代谢循环的正常进行。

当植物受到逆境胁迫时, 其体内会产生大量的氧自由基, 于是体内清除过剩自由基的保护酶系统SOD、POD、CAT和APX会启动, 酶活性提高。本试验结果表明, 盐胁迫下, 茄子幼苗叶片SOD、POD、CAT和APX活性增加, 说明茄子幼苗可通过自身的调节机制, 提高SOD、POD、CAT和APX的活性, 以适应环境胁迫。施用外源EBR后SOD、POD、CAT和APX的活性明显提高, 进一步说明外源EBR以增强抗氧化酶的活性, 减少活性氧

的产生, 进而增强植株的耐盐性。水稻遭受盐害胁迫时, BR处理可以显著提高CAT、SOD和谷胱甘肽还原酶(GR)的活性, APX的活性也略有提高(Nunez等2003)。这种现象在抗盐和盐敏感的水稻种亦有报道(Özdemir等2004)。尚庆茂等(2006)报道, EBR处理的黄瓜植株在盐胁迫下可保持较高的SOD、POD和CAT活性, 从而提高植株耐盐性, 本实验结果与其一致。

任何逆境都会引起渗透胁迫, 所以渗透调节是植物减少伤害的一个重要特征(Gegg等2003)。一般认为, 脯氨酸和可溶性糖是植物体内主要渗透调节物质(郁继华等2007)。本试验结果表明, 盐胁迫提高了脯氨酸和可溶性糖含量, 外源EBR进一步提高盐胁迫下脯氨酸和可溶性糖含量的产生, 表现出较强的渗透调节能力, 可以更好地调节细胞内的渗透势, 维持水分平衡, 从而较好地缓解了盐胁迫对植株造成的伤害。

综上所述, 盐胁迫下外源EBR可以增加茄子幼苗生物量的积累, 提高各种保护酶的活性, 抑制茄子体内活性氧的产生, 从而减轻盐胁迫对植株的伤害。然而, 这些研究只是停留在对某些方面、浅层的研究, 关于EBR诱导植物抗逆性的作用途径和机制, 有待进一步研究。

### 参考文献

- 陈善娜, 刘继梅, 游惠灵, 朱红俊, 秦志宝, 洪国民, 沈云光(1997). 抗寒剂和高油菜素内酯对高原水稻抗冷性的影响. 云南植物研究, 19 (2): 184~190
- 郭文忠, 刘声锋, 李丁仁, 赵顺山(2004). 设施蔬菜土壤次生盐渍化发生机理的研究现状与展望. 土壤, 36 (1): 25~29
- 黄毅, 张玉龙(2004). 保护地生产条件下的土壤退化问题及其防治对策. 土壤通报, 35 (2): 212~216
- 康云艳, 郭世荣, 段九菊(2005). 外源24-表油菜素内酯对低氧胁迫

- 下黄瓜幼苗抗氧化系统及蛋白含量的影响. 农业工程学报, 21 (S): 82~86
- 康云艳, 郭世荣, 段九菊, 胡晓辉(2006). 24-表油菜素内酯对低氧胁迫下黄瓜根系抗氧化系统及无氧呼吸酶活性的影响. 植物生理与分子生物学学报, 32 (5): 535~542
- 尚庆茂, 宋士清, 张志刚, 郭世荣(2006). 外源BR 诱导黄瓜(*Cucumis sativus* L.)幼苗的抗盐性. 中国农业科学, 39 (9): 1872~1877
- 尚庆茂, 张志刚, 董涛, 宋士清, 李晓芬(2007). 油菜素内酯诱导黄瓜幼苗抗灰霉病研究. 应用与环境生物学报, 13 (5): 630~634
- 孙涌栋, 罗未蓉, 李新峥, 刘遵春(2008).  $Ca^{2+}$ 对黄瓜种子萌发及幼苗生理特性的影响. 西南农业学报, 21 (3): 629~632
- 陶媛(2005). 表油菜素内酯提高西葫芦病毒病抗性的生理机制研究 [硕士论文]. 杭州: 浙江大学
- 吴雪霞, 朱月林, 朱为民, 陈建林, 刘正鲁(2006). 外源一氧化氮对NaCl胁迫下番茄幼苗生理影响. 中国农业科学, 39 (3): 575~581
- 郁继华, 雍山玉, 张洁宝, 徐晓昀, 闫晓花, 王玉洁(2007). 外源NO对NaCl胁迫下辣椒幼苗氧化损伤的保护效应. 西北植物学报, 27 (9): 1801~1806
- Clouse SD, Sasse JM (1998). Brassinosteroids: essential regulators of plant growth and development. *Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol*, 49: 427~451
- Ershova AN, Khrpach VA (1996). Effect of epibrassinolide on lipid peroxidation in *Pisum sativum* at normal aeration and under oxygen deficiency. *Russ J Plant Physiol*, 43: 750~752
- Gegg ME, Beltran B, Salas-Pino S, Bolanos JP, Clark JB, Moncada S, Heales SJ (2003). Differential effect of nitric oxide on glutathione metabolism and mitochondrial function in astrocytes and neurons: implications for neuroprotection/neurodegeneration? *J Neurochem*, 86: 228~237
- Hernandez JA, Almansa MS (2002). Short-term effects of salt stress on antioxidant systems and leaf water relations of pea leaves. *Physiol Plant*, 115: 251~257
- Janeczko A, Koscielniak J, Pilipowicz M, Szarek-Lukaszewska G, Skoczowski A (2005). Protection of winter rape photosystem 2 by 24-epibrassinolide under cadmium stress. *Photosynthetica*, 43: 293~298
- Nakashita H, Yasuda M, Nitta T, Asami T, Fujioka S, Arai Y, Sekimata K, Takatsuto S, Yamaguchi I, Yoshida S (2003). Brassinosteroid functions in a broad range of disease resistance in tobacco and rice. *Plant J*, 33: 887~898
- Nunez M, Mazzafera P, Mazorra LM, Siqueira WJ, Zullo MA T (2003). Influence of a brassinosteroid analogue on antioxidant enzymes in rice grown in culture medium with NaCl. *Biol Plant*, 47: 67~70
- Ogweno JO, Song XS, Shi K, Hu WH, Mao WH, Zhou YH, Yu JQ, Nogues S (2008). Brassinosteroids alleviate heat-induced inhibition of photosynthesis by increasing carboxylation efficiency and enhancing antioxidant systems in *Lycopersicon esculentum*. *J Plant Growth Regul*, 27: 49~57
- Özdemir F, Bor M, Demiral T, Turkan I (2004). Effects of 24-epibrassinolide on seed germination, seedling growth, lipid peroxidation, proline content and antioxidative system of rice (*Oryza sativa* L.) under salinity stress. *Plant Growth Regul*, 42: 203~211
- Sharma P, Bhardwaj R (2007). Effects of 24-epibrassinolide on growth and metal uptake in *Brassica juncea* L. under copper metal stress. *Acta Physiol Plant*, 29: 259~263
- Steber CM, McCourt P (2001). A role for brassinosteroids in germination in *Arabidopsis*. *Plant Physiol*, 125: 763~769
- Xia XJ, Huang YY, Wang L, Huang LF, Yu YL, Zhou YH, Yu JQ (2006). Pesticides-induced depression of photosynthesis was alleviated by 24-epibrassinolide pretreatment in *Cucumis sativus* L. *Pestic Biochem Physiol*, 86: 42~48