

## 外源24-表油菜素内酯对高温胁迫下茄子幼苗生长和抗氧化系统的影响

吴雪霞, 查丁石\*, 朱宗文, 许爽

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201106

**摘要:** 本文研究了高温胁迫下外源24-表油菜素内酯(EBR)对茄子幼苗生长和抗氧化系统的影响。结果表明, 外源EBR处理显著促进了高温胁迫下茄子幼苗生长, 提高了SOD、POD、CAT和APX活性, AsA和GSH含量及可溶性蛋白和脯氨酸含量, 降低了MDA、 $O_2^-$ 及 $H_2O_2$ 含量。表明, 外源EBR处理通过促进高温胁迫下茄子幼苗抗氧化酶活性、抗氧化剂含量及渗透调节物质的提高, 降低ROS水平, 缓解高温胁迫对茄子幼苗生长的抑制作用, 增强植株抗高温胁迫的能力。

**关键词:** 24-表油菜素内酯; 高温胁迫; 茄子; 抗氧化酶系统; 膜脂过氧化

## Effects of Exogenous 24-Epibrassinolide on Plant Growth and Antioxidant System in Eggplant Seedlings under High Temperature Stress

WU Xue-Xia, ZHA Ding-Shi\*, ZHU Zong-Wen, XU Shuang

Horticultural Research Institute, Shanghai Academy of Agricultural Sciences, Shanghai Key Laboratory of Protected Horticultural Technology, Shanghai 201106, China

**Abstract:** The objective of this study was to investigate the effects of exogenous 24-epibrassinolide (EBR) on the seedling growth, and antioxidant system in eggplant (*Solanum melongena*) seedlings under high temperature stress. The results showed that EBR significantly promoted the plant growth, increased the activities of SOD, POD, CAT and APX, the contents of AsA, GSH, soluble protein and proline in eggplant seedlings under high temperature stress, while significantly decreased MDA content,  $O_2^-$  producing rate and  $H_2O_2$  content. The results showed that EBR could increase antioxidant enzymatic activities, contents of osmotic adjustment substances and antioxidants. Thus, EBR played an important role in enhancing the resistance to high temperature stress of eggplant seedlings and elevated the tolerance of plants through keeping low ROS contents.

**Key words:** 24-epibrassinolide; high temperature stress; eggplant (*Solanum melongena*); antioxidant system; lipid peroxidation

茄子是茄科重要蔬菜作物, 在我国南北各地广泛种植。茄子属喜温作物, 其生长发育的最适宜温度在22~30 °C之间, 当温度超过35 °C, 茄子的授粉和果实生长发育都会受到影响, 导致产量和品质降低(张雅等2009)。因此, 提高茄子耐高温性是生产中一个急需解决的问题。

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(Bajguz和Hayat 2009; Vriet等2012)。人工合成的高活性油菜素内酯类似物为表油菜素内酯(24-epibrassinolide, EBR)在生产上已广泛应用(张永平等2011)。康云艳等(2008)研究表明EBR能促进低氧胁迫下黄瓜根系中抗氧化酶活性和AsA、GSH含量, 降低ROS含量, 增强抗低氧胁迫的能力。屈淑平等(2008)研究显示, EBR处理

南瓜幼苗后降低了疫病病情指数, 最高降幅达29%。吴雪霞等(2011)报道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。张永平等(2012)认为EBR有利于甜瓜幼苗在高温胁迫下抗氧化酶活性的提高和对光能的捕获与转换, 促进了甜瓜幼苗的生长, 降低高温胁迫对甜瓜幼苗的抑制作用。Ogwen等(2008)报道EBR能缓解高温胁迫对番茄光合作用的抑制。本试验以茄子为材料, 研究外施EBR对高温胁迫下茄子幼苗生长及抗氧化系统的影响, 探讨EBR在茄子幼苗高温胁迫下的生理调节

收稿 2013-04-24 修定 2013-06-20

资助 上海市科技成果转化项目(123919N0200)和现代农业产业技术体系建设专项资金(CARS-25)。

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

作用,为EBR缓解高温胁迫对茄子幼苗产生的危害提供理论依据。

## 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

试验在上海市农业科学院园艺研究所GSW-7430连栋塑料温室内进行。茄子种子经 $0.12\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ GA浸种催芽后播于直径10 cm、高10 cm的塑料营养钵中,以蛭石作基质。真叶展开后每2 d浇1次1/4浓度日本园试营养液,配方见吴雪霞等(2007)文献,每株浇50 mL,长出3片真叶后每株浇80 mL。

当植株具有6~7片真叶时,对茄子幼苗进行4种试验处理:(1)对照,常温喷施自来水;(2)常温喷施 $0.05\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ EBR;(3)高温处理,喷施自来水;(4)高温处理,喷施 $0.05\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ EBR,分别用对照、对照+EBR、高温和高温+EBR表示。常温为昼( $27\pm 1$ ) $^{\circ}\text{C}$ /夜( $22\pm 1$ ) $^{\circ}\text{C}$ ,高温处理为昼( $43\pm 1$ ) $^{\circ}\text{C}$ /夜( $38\pm 1$ ) $^{\circ}\text{C}$ ,相对湿度均为80%左右(用培养箱匹配的加湿器控制)。高温处理与对照培养箱除温度不同外,光照和湿度状况均一致。每种处理8株,3次重复,在温室内随机排列。处理第3和6天分别进行各项指标的测定。

### 3 测 定 指 标 与 方 法

叶绿素含量的测定参照Knudson等(1977)的方法。超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)、过氧化物酶(peroxidase, POD)、过氧化氢酶(catalase, CAT)、抗坏血酸过氧化物酶(ascorbate peroxidase, APX)的活性测定,丙二醛(malondialdehyde, MDA)

含量、超氧阴离子(superoxide radical,  $\text{O}_2^-$ )产生速率,脯氨酸和可溶性糖含量的测定均参照吴雪霞等(2006)的方法。 $\text{H}_2\text{O}_2$ 含量的测定参照康云艳等(2008)的方法。抗坏血酸(ascorbic acid, AsA)和谷胱甘肽(glutathione, GSH)含量测定参照朱为民等(2005)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 外源24-表油菜素内酯对高温胁迫下茄子幼苗生长和叶绿素含量的影响

由表1可知,与对照相比,对照+EBR处理显著提高了茄子幼苗的株高、地上部鲜重和根系鲜重,对茎粗无显著影响。高温胁迫时,茄子幼苗的株高、茎粗、地上部鲜重和根系鲜重均显著低于对照,分别降低了27.05%、35.22%、61.96%和58.12%;与高温处理相比,高温+EBR处理使茄子幼苗的株高、茎粗、地上部鲜重和根系鲜重均显著提高,分别增加了21.86%、32.04%、54.91%和40.13%。说明外源EBR能够有效缓解高温胁迫对茄子幼苗生长的抑制,促进幼苗生长。

与对照相比,对照+EBR处理显著提高茄子幼苗叶片的叶绿素a、叶绿素b和叶绿素含量(表1)。高温胁迫下,茄子幼苗叶片的叶绿素a、叶绿素b和叶绿素含量与对照相比均显著下降,分别降低了19.54%、42.50%和25.69%。而高温+EBR处理显著提高茄子幼苗叶片的叶绿素a、叶绿素b和叶绿素含量,分别增加了18.47%、37.47%和22.40%。

### 2 外源24-表油菜素内酯对高温胁迫下茄子幼苗叶片MDA含量、 $\text{O}_2^-$ 产生速率和 $\text{H}_2\text{O}_2$ 含量的影响

由图1可知,高温和高温+EBR处理的茄子幼苗

表1 外源24-表油菜素内酯对高温胁迫下茄子幼苗生长和叶绿素含量的影响

Table 1 Effects of EBR on the plant growth and chlorophyll contents of eggplant seedlings under high temperature stress

处理	株高/cm	茎粗/cm	地上部鲜重/g	根系鲜重/g	叶绿素a含量/ $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ (FW)	叶绿素b含量/ $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ (FW)	叶绿素(a+b)含量/ $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$ (FW)
对照	14.420 $\pm$ 0.449 <sup>b</sup>	0.318 $\pm$ 0.011 <sup>a</sup>	2.832 $\pm$ 0.042 <sup>b</sup>	1.001 $\pm$ 0.029 <sup>b</sup>	0.110 $\pm$ 0.003 <sup>b</sup>	0.040 $\pm$ 0.002 <sup>b</sup>	0.150 $\pm$ 0.001 <sup>b</sup>
对照+EBR	15.080 $\pm$ 0.455 <sup>a</sup>	0.330 $\pm$ 0.006 <sup>a</sup>	3.131 $\pm$ 0.023 <sup>a</sup>	1.280 $\pm$ 0.019 <sup>a</sup>	0.117 $\pm$ 0.001 <sup>a</sup>	0.052 $\pm$ 0.001 <sup>a</sup>	0.169 $\pm$ 0.002 <sup>a</sup>
高温	10.520 $\pm$ 0.356 <sup>d</sup>	0.206 $\pm$ 0.005 <sup>c</sup>	1.077 $\pm$ 0.013 <sup>d</sup>	0.419 $\pm$ 0.003 <sup>d</sup>	0.089 $\pm$ 0.002 <sup>d</sup>	0.023 $\pm$ 0.001 <sup>d</sup>	0.112 $\pm$ 0.003 <sup>d</sup>
高温+EBR	12.820 $\pm$ 0.217 <sup>c</sup>	0.272 $\pm$ 0.016 <sup>b</sup>	1.668 $\pm$ 0.037 <sup>c</sup>	0.588 $\pm$ 0.013 <sup>c</sup>	0.105 $\pm$ 0.001 <sup>c</sup>	0.032 $\pm$ 0.002 <sup>c</sup>	0.137 $\pm$ 0.003 <sup>c</sup>

同一列中不同小写字母表示差异达5%显著水平。

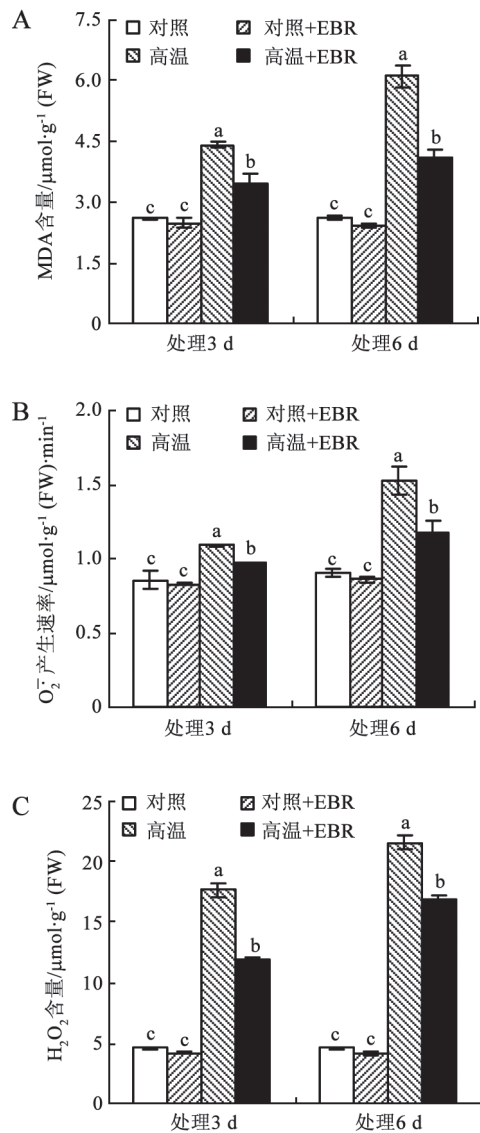


图1 EBR对高温胁迫下茄子幼苗叶片MDA含量、 $\text{O}_2^-$ 产生速率和 $\text{H}_2\text{O}_2$ 含量的影响

Fig.1 Effects of EBR on MDA content,  $\text{O}_2^-$  producing rate and  $\text{H}_2\text{O}_2$  content in eggplant seedling leaves under high temperature stress

不同小写字母表示处理间差异显著( $P < 0.05$ )。下图同此。

叶片MDA含量、 $\text{O}_2^-$ 产生速率和 $\text{H}_2\text{O}_2$ 含量随胁迫时间的延长均呈上升的趋势, 对照和对照+EBR处理的则变化不大。高温胁迫下, 茄子幼苗叶片MDA含量、 $\text{O}_2^-$ 产生速率和 $\text{H}_2\text{O}_2$ 含量与对照相比均显著升高, 处理3 d和6 d时, 分别增加了70.13%和135.28%、26.97%和69.26%、287.08%和371.50%; 与高温处理相比, 高温+EBR处理使茄子幼苗叶片MDA含量分别降低了21.24%和32.71%,  $\text{O}_2^-$ 产生速率降低了

10.99%和22.72%,  $\text{H}_2\text{O}_2$ 含量降低了32.36%和22.08%。

### 3 外源24-表油菜素内酯对高温胁迫下茄子幼苗叶片抗氧化酶活性、AsA和GSH含量、可溶性蛋白和脯氨酸含量的影响

随着时间延长, 高温和高温+EBR处理的茄子幼苗叶片中SOD、POD、CAT和APX活性、AsA和GSH含量、可溶性蛋白和脯氨酸含量均呈上升的趋势。对照和对照+EBR处理的变化不明显。

如图2所示, 与对照相比, 对照+EBR处理显著提高叶片的SOD和POD活性, 而对CAT和APX活性均没有显著影响。高温处理时, 茄子幼苗叶片SOD、POD、CAT和APX活性显著高于对照, 处理3和6 d时分别比对照提高32.52%和43.01%、43.24%和39.77%、24.41%和54.53%、14.71%和15.77%。与高温处理相比, 高温+EBR处理均显著提高了4种酶活性, 分别增加了20.67%和22.56%、15.09%和19.61%、12.17%和18.99%、4.36%和5.45%。

由图3可知, 与对照相比, 对照+EBR处理显著提高叶片的AsA含量, 对GSH含量无显著影响。高温胁迫时, 茄子幼苗叶片AsA和GSH含量与对照相比均显著升高, 在处理3和6 d分别比对照增加了44.28%和54.27%、28.82%和30.57%。与高温胁迫相比, 高温+EBR处理均显著提高了AsA和GSH含量, 分别增加了17.63%和20.08%、11.41%和15.91%。

如图4所示, 高温处理下的可溶性蛋白和脯氨酸含量在处理3和6 d时, 分别为对照的1.05和1.12倍、4.26和4.96倍。与高温处理相比, 高温+EBR均显著提高以上2个指标, 可溶性蛋白含量在处理3和6 d时分别增加了5.67%和8.07%, 脯氨酸含量增加了25.52%和47.71%。

## 讨 论

有研究表明, 高温胁迫下, 植物生长受到抑制, 生物量积累下降(张永平等2012)。El-Bassiony等(2012)报道外源EBR可以缓解高温胁迫下植株生长并提高作物产量。本试验表明, 高温胁迫后茄子幼苗株高、茎粗、地上部鲜重和根系鲜重均显著低于对照, 外源EBR可以有效缓解高温胁迫对茄子幼苗生长的抑制作用(表1), 这与张永平等(2012)在甜瓜, 万正林等(2009)在番茄上的报道结果一致。

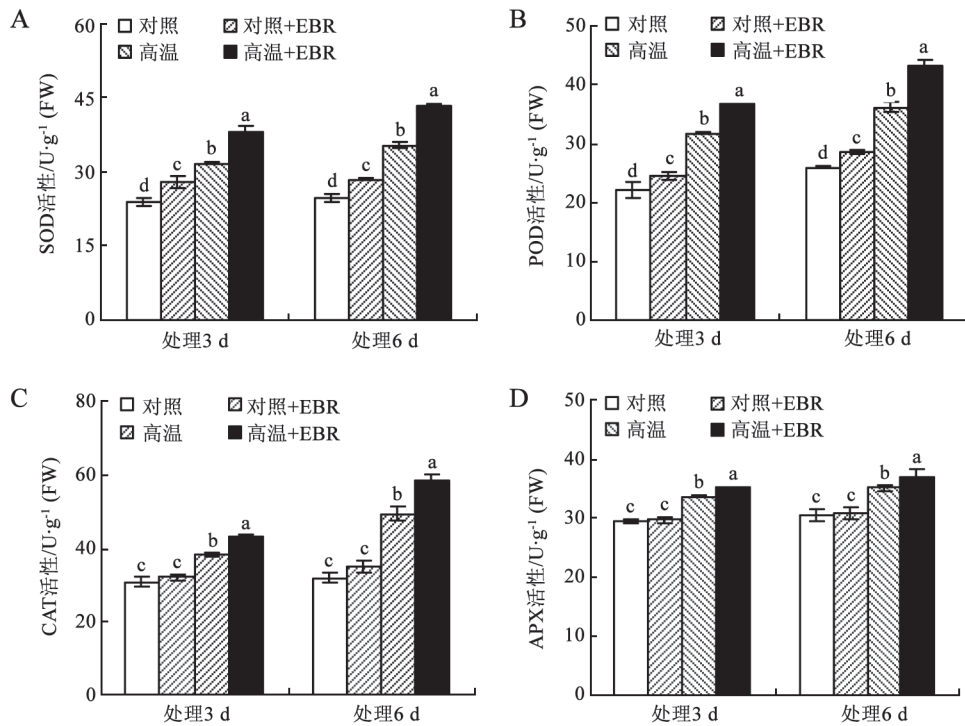


图2 EBR对高温胁迫下茄子幼苗叶片SOD、POD、CAT和APX活性的影响

Fig.2 Effects of EBR on the activities of SOD, POD, CAT and APX in eggplant seedling leaves under high temperature stress

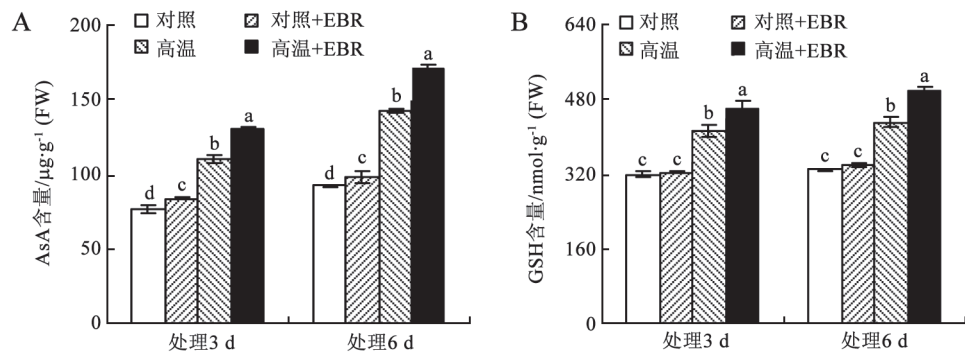


图3 EBR对高温胁迫下茄子幼苗叶片AsA和GSH含量的影响

Fig.3 Effects of EBR on contents of AsA and GSH in eggplant seedling leaves under high temperature stress

叶绿素是植物的光合色素,其含量的高低与光合作用密切相关。有研究表明,高温胁迫能加剧叶绿体的降解和抑制其合成,从而引起叶绿素含量减少(Suleman等2013)。本文研究表明,高温胁迫条件下,茄子幼苗叶片的叶绿素a、叶绿素b、叶绿素含量与对照相比均显著下降。罗少波等(1996)和马德华等(1998)对大白菜和黄瓜的研究表明,叶绿素含量变化没有一定的规律性,其与作物对温度逆境的抗性无明显的相关性。这可能与作物不同有关,有待进一步研究。同时本文研究发

现外源EBR可以可提高高温处理下植株叶片的叶绿素含量。而万正林等(2009)报道高温胁迫下,各浓度EBR处理后番茄幼苗叶片中叶绿素含量的变化没有一定的规律性。据此得出叶绿素含量变化率不能作为表油菜素内酯诱导番茄幼苗耐热性的生理鉴定指标的结论。

细胞中MDA是膜脂过氧化作用的主要产物,其含量的多少可表示植物细胞膜受伤害程度的大小。活性氧(ROS)水平的提高可以诱发脂质过氧化链式反应,从而导致细胞膜的完整性遭受破

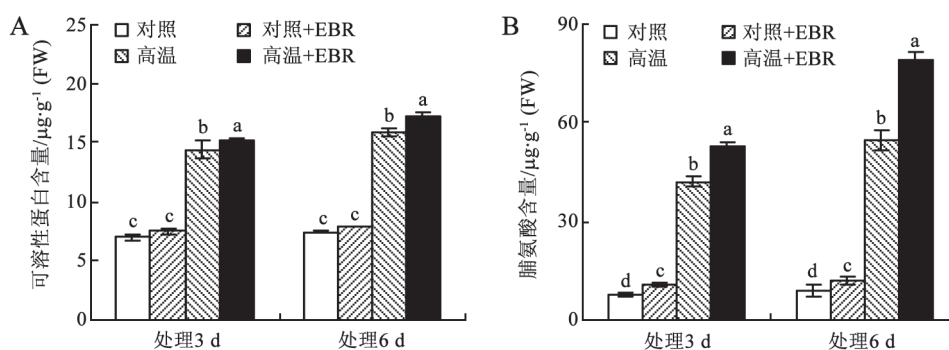


图4 EBR对高温胁迫下茄子幼苗叶片可溶性蛋白和脯氨酸含量的影响

Fig.4 Effects of EBR on contents of soluble protein and proline in eggplant seedling leaves under high temperature stress

坏。本实验结果表明, 高温胁迫下茄子幼苗叶片MDA含量、 $O_2^-$ 产生速率和 $H_2O_2$ 含量均明显提高(图1), 说明高温胁迫会造成茄子植株体内ROS过剩, 植物细胞受到破坏。与Parida和Jha (2010)的研究结果一致。EBR处理显著降低了高温胁迫下茄子幼苗叶片MDA含量、 $O_2^-$ 产生速率和 $H_2O_2$ 含量, 抑制膜脂过氧化, 缓解高温胁迫对植株的伤害。康云艳等(2006)研究也报道EBR处理显著降低了低氧胁迫下黄瓜植株体内的ROS含量, 减轻植株伤害。

逆境胁迫会使植物体内活性氧产生增加, 同时刺激了植物体内SOD、POD、CAT和APX等抗氧化酶活性增加(Suleman等2013)。本实验结果表明, 高温胁迫下, 茄子幼苗叶片中SOD、POD、CAT和APX活性均比对照显著增加(图2), 说明茄子幼苗可通过自身的调节机制, 提高抗氧化酶活性, 以适应环境胁迫。尚庆茂等(2006)研究表明, BR处理的黄瓜在盐胁迫下可保持较高的SOD、POD和CAT活性, 从而提高植株耐性。耶兴元等(2011)研究发现, EBR可增强高温胁迫下猕猴桃苗SOD、POD、CAT和APX活性, 提高抗逆性。本试验发现外源EBR处理后SOD、POD、CAT和APX的活性明显进一步提高, 说明在高温胁迫下, EBR处理可以通过提高植株体内抗氧化酶活性而增强植株的抗高温能力。Anuradha和Rao (2001)报道BR之所以具有提高植物抵抗逆境的能力可能是因为可以激活植物中的抗氧化酶保护系统, 从而尽快消除植物体内由于逆境而产生的过多有害自由基。

AsA和GSH是植物体内存在的抗氧化剂, 是自由基清除系统的重要组成部分, 可还原、清除 $\cdot OH$ 及歧化 $H_2O_2$  (Lin等2004)。本文结果表明, 高温胁迫处理茄子幼苗叶片AsA和GSH含量显著高于对照, EBR处理后进一步提高了AsA和GSH含量(图3)。表明高温胁迫下, EBR处理可以通过提高茄子幼苗叶片中AsA和GSH含量而提高茄子幼苗对高温胁迫的耐性, 但是EBR与高温胁迫下植株体内活性氧代谢的直接关系和调节机理有待于深入研究。

高温胁迫条件下, 植物会主动积累可溶性蛋白和脯氨酸含量, 抵抗热胁迫的伤害(何晓明等2002; 吴桂容和严重玲2006)。本实验研究表明, 高温胁迫提高了可溶性蛋白和脯氨酸含量, 外源EBR对高温胁迫下促进可溶性蛋白和脯氨酸含量的积累起着显著的作用(图4)。以上结果说明了EBR处理通过增加渗透调节物质的积累来提高茄子植株的渗透调节能力, 从而有利于提高机体对高温伤害的抵抗能力。可溶性蛋白含量的提高可以增加细胞的渗透势和功能蛋白(如热激蛋白)的数量, 有助于维持细胞正常的代谢, 提高植物的抗逆性。脯氨酸含量的增加有助于细胞或组织持水, 增强了植物对不良环境的抵抗力。

综上所述, 高温胁迫下, 外源EBR处理显著促进了茄子幼苗的生长, 提高了抗氧化酶SOD、POD、CAT和APX活性以及抗氧化剂AsA和GSH含量, 降低了MDA、 $O_2^-$ 及 $H_2O_2$ 含量, 从而增强植株抗高温胁迫的能力。然而, 这些研究只是停留在对生理方面浅层的研究, 关于EBR诱导植物抗逆

性的作用途径和分子机制,需要用生化、分子生物学手段进一步证明BRs如何参与植物的代谢生理、如何调控植物增强对逆境的抵抗力等问题。相信随着研究的不断深入, BRs必将具有更为广泛的应用前景。

### 参考文献

- 何晓明, 林毓娥, 陈清华, 邓江明(2002). 高温对黄瓜幼苗生长、脯氨酸含量及SOD酶活性的影响. 上海交通大学学报(农业科学版), 20 (1): 30~33
- 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
- 康云艳, 郭世荣, 李娟, 段九菊(2008). 24-表油菜素内酯对低氧胁迫下黄瓜幼苗根系抗氧化系统的影响. 中国农业科学, 41 (1): 153~161
- 罗少波, 李智军, 周微波, 飞弹健一, 中岛武彦(1996). 大白菜品种耐热性的鉴定方法. 中国蔬菜, (2): 16~18
- 马德华, 庞金安, 李淑菊, 霍振荣(1998). 温度逆境锻炼对高温下黄瓜幼苗生理的影响. 园艺学报, 25 (4): 350~355
- 屈淑平, 王力莉, 崔崇士(2008). 表油菜素内酯诱导南瓜幼苗抗疫病研究. 中国蔬菜, (5): 13~16
- 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
- 万正林, 罗庆熙, 李立志(2009). 表油菜素内酯诱导番茄幼苗抗高温机理的研究. 广西农业科学, 40 (9): 1203~1208
- 吴桂容, 严重玲(2006). 镉对桐花树幼苗生长及渗透调节的影响. 生态环境, 15 (5): 1003~1008
- 吴雪霞, 查丁石, 朱宗文, 李贤(2011). 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. 植物生理学报, 47 (6): 607~612
- 吴雪霞, 朱月林, 朱为民, 陈建林(2007). 外源一氧化氮对NaCl胁迫下番茄幼苗光合作用和离子含量的影响. 植物营养与肥料学报, 13 (4): 658~663
- 吴雪霞, 朱月林, 朱为民, 陈建林, 刘正鲁(2006). 外源一氧化氮对NaCl胁迫下番茄幼苗叶片氧化损伤的保护效应. 江苏农业学报, 22 (3): 276~280
- 耶兴元, 全胜利, 张燕 (2011). 油菜素内酯对高温胁迫下猕猴桃苗耐热性相关生理指标的影响. 西北农业学报, 20 (9): 113~116
- 张雅, 何勇, 朱祝军(2009). 不同茄子品种幼苗耐热性研究. 中国蔬菜, (24): 30~35
- 张永平, 陈幼源, 杨少军(2012). 高温胁迫下2,4-表油菜素内酯对甜瓜幼苗生理及光合特性的影响. 植物生理学报, 48 (7): 683~688
- 张永平, 杨少军, 陈幼源(2011). 2,4-表油菜素内酯对高温胁迫下甜瓜幼苗抗氧化酶活性和光合作用的影响. 西北植物学报, 31 (7): 1347~1354
- 朱为民, 丁海东, 齐乃敏, 杨晓峰(2005). Cd<sup>2+</sup>胁迫对番茄幼苗抗坏血酸-谷胱甘肽循环代谢的影响. 华北农学报, 20 (3): 50~53
- Anuradha S, Rao S (2001). Effect of brassinosteroids on the salinity stress induced inhibition of germination and seedling growth of rice (*Oryza sativa* L.). Plant Growth Regul, 33: 151~153
- Bajguz A, Hayat S (2009). Effects of brassinosteroids on the plant responses to environmental stresses. Plant Physiol Biochem, 47: 1~8
- El-Bassiony AM, Ghoname AAA, El-Awadi ME, Fawzy ZF, Gruda N (2012). Ameliorative effects of brassinosteroids on growth and productivity of snap beans grown under high temperature. Gesunde Pflanzen, 64: 175~182
- Knudson LL, Tibbitts TW, Edwards GE (1977). Measurement of ozone injury by determination of leaf chlorophyll concentration. Plant Physiol, 60: 606~608
- Lin KHR, Weng CC, Lo HF, Chen JT (2004). Study of the root antioxidative system of tomatoes and eggplants under waterlogged conditions. Plant Sci, 167: 355~365
- Ogwen JO, Song XS, Shi K, Hu WH, Mao WH, Zhou YH, Yu JQ, Nogue 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
- Parida AK, Jha B (2010). Antioxidative defence potential to salinity in the euhalophyte *Salicornia brachiata*. J Plant Growth Regul, 29: 137~148
- Suleman P, Redha A, Afzal M, Al-Hasan R (2013). Temperature-induced changes of malondialdehyde, heat-shock proteins in relation to chlorophyll fluorescence and photosynthesis in *Conocarpus lancifolius*. Acta Physiol Plant, 28: 1~9
- Vriet C, Russinova E, Reuzeau C (2012). Boosting crop yields with plant steroids. Plant Cell, 24: 842~857