

## 6-BA和硝酸银对三裂叶野葛毛状根生长及异黄酮含量的影响

何含杰<sup>1,2</sup>, 施和平<sup>2,\*</sup>, 王震<sup>3</sup>

<sup>1</sup>中南林业科技大学林业生物技术湖南省重点实验室/生物发育工程及新产品研发协同创新中心, 长沙410004; <sup>2</sup>华南师范大学生命科学院, 广东省植物发育生物工程重点实验室, 广州510631; <sup>3</sup>上海现代哈森(商丘)药业有限公司, 河南商丘476000

**摘要:** 本文研究了6-苄氨基腺嘌呤(6-BA)和硝酸银(AgNO<sub>3</sub>)组合对固体培养了三裂叶野葛毛状根生长、异黄酮化合物含量及抗氧化酶活性的影响。结果表明, 不同浓度的6-BA和30 μmol·L<sup>-1</sup> AgNO<sub>3</sub>组合抑制三裂叶野葛毛状根的生长, 促进毛状根中异黄酮化合物的合成与积累, 但降低总异黄酮化合物和可溶性蛋白含量、超氧化物歧化酶和过氧化物酶活性水平, 促进细胞程序性死亡的发生。这说明6-BA和AgNO<sub>3</sub>组合对三裂叶野葛毛状根的生长和异黄酮化合物的积累具有重要的调控作用。

**关键词:** 三裂叶野葛; 毛状根; 6-BA; AgNO<sub>3</sub>; 异黄酮化合物; 抗氧化酶活性; 细胞程序性死亡

## Effects of 6-Benzylaminopurine and Silver Nitrate on the Growth and Isoflavone Contents in Culture of *Pueraria phaseoloides* Hairy Roots

HE Han-Jie<sup>1,2</sup>, SHI He-Ping<sup>2,\*</sup>, WANG Zhen<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Hunan Provincial Key Laboratory of Forestry Biotechnology/Cooperative Innovation Center of Engineering and New Products for Developmental Biology, Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410004, China; <sup>2</sup>Guangdong Key Laboratory of Biotechnology for Plant Development, College of Life Sciences, South China Normal University, Guangzhou 510631, China; <sup>3</sup>Shanghai Hasen-Modern (Shangqiu) Pharmaceutical Company Limited, Shangqiu, Henan 476000, China

**Abstract:** Using hairy roots of *Pueraria phaseoloides* cultured on solid media as an experiment material in this paper, the effects of 6-benzylaminopurine (6-BA) in combination with silver nitrate (AgNO<sub>3</sub>) on its growth, isoflavone compound contents, and antioxidase activities were studied. The results showed that the growth of *P. phaseoloides* hairy roots, treated by different concentrations of 6-BA in combination with 30 μmol·L<sup>-1</sup> AgNO<sub>3</sub>, was inhibited, and the synthesis and accumulation of isoflavone compounds in hairy roots per gram was enhanced compared with control. Meanwhile, the contents of total isoflavone compounds and soluble protein, and the activities of superoxide dismutase (SOD) and peroxidase (POD) in hairy roots were decreased, and the occurrence of programmed cell death was accelerated after treatment with different concentrations of 6-BA in combination with AgNO<sub>3</sub>. These results indicated that 6-BA in combination with AgNO<sub>3</sub> had important regulation on growth and accumulation of isoflavone compounds in *P. phaseoloides* hairy roots.

**Key words:** *Pueraria phaseoloides*; hairy roots; 6-BA; AgNO<sub>3</sub>; isoflavone compounds; antioxidase activities; programmed cell death

三裂叶野葛系多年生、豆科藤本植物, 其根含有葛根素、大豆苷等异黄酮化合物, 具有改善心脑血管循环、增强免疫力等功能, 此外还具有类似雌性激素的功效, 广泛用于治疗高血压、心绞痛等病症(吴德邻等1994; 杨秋娅等2013)。但由于其野生资源的匮乏而无法满足医药工业的巨大需求, 为此, 我们利用遗传转化三裂叶野葛外植体的方法, 获得了自主、快速生长且高葛根素含量的毛状根(施和平等2003)。已有的研究表明, 植物毛状根的生长和次生代谢物质的合成与积累易受植物激素、硝酸银(AgNO<sub>3</sub>)等因素的影响(杨睿等2005; 张真等2008)。细胞分裂素和AgNO<sub>3</sub>作为重

要的调节物质, 参与了植物器官的发育与衰老、药用植物的生长和次生代谢等过程(何含杰和施和平2014; 王思瑶等2014; 杨东清等2013; 袁玉辉等2013)。但迄今为止还未见有关细胞分裂素和AgNO<sub>3</sub>对三裂叶野葛毛状根生长和次生代谢影响的报道。为此, 我们研究了6-BA和AgNO<sub>3</sub>对三裂叶野葛毛状根生长和次生代谢的影响, 以期今后利

收稿 2015-04-01 修定 2015-06-17

资助 湖南省自然科学基金项目(2015JJ3178)、长沙市科技攻关资金专项项目(K1406011-21)和中南林业科技大学青年基金项目(QJ2013003A)。

\* 通讯作者(E-mail: shihp@scnu.edu.cn; Tel: 020-85214793)。

用三裂叶野葛毛状根进行异黄酮物质的生产提供技术参考。

## 材料与方法

### 1 植物材料

采用实验室继代培养保留下来的三裂叶野葛 [*Pueraria phaseoloides* (Roxb.) Benth.] 毛状根, 参考施和平等(2003)的方法进行继代培养。

### 2 培养基及培养条件

采用添加不同浓度(0.1、0.5、1.0、3.0、5.0 mg·L<sup>-1</sup>) 6-BA和30 μmol·L<sup>-1</sup> AgNO<sub>3</sub>的MS固体培养基, 蔗糖浓度为3%, 琼脂为18 g·L<sup>-1</sup>, pH 5.8~6.0; 以MS培养基为对照。接种后, 将三裂叶野葛毛状根置于培养架上, 于(25±2)℃、黑暗条件下静止培养。

### 3 毛状根的培养及其生长的测定

选取生长旺盛的三裂叶野葛毛状根, 剪切成4~5 cm长的根尖段, 然后接入含有不同浓度6-BA和30 μmol·L<sup>-1</sup> AgNO<sub>3</sub>的MS固体培养基上进行培养(每瓶约0.5 g)。在培养过程中, 每隔5 d随机抽取3瓶, 同时用天平称量毛状根的干重。

### 4 异黄酮化合物含量的测定

三裂叶野葛毛状根中异黄酮化合物含量的测定参考施和平等(2003)的方法。

### 5 可溶性蛋白含量和抗氧化酶活性的测定

三裂叶野葛毛状根培养物中可溶性蛋白含量的测定参照Bradford (1976)的方法。超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)活性的测定参照Beauchamp和Fridovich (1971)的方法。过氧化物酶(peroxidase, POD)活性的测定参照施和平等(2010)的方法。

### 6 DNA提取及琼脂糖凝胶电泳检测

参照施和平等(2003)的方法提取三裂叶野葛毛状根基因组DNA。1%琼脂糖凝胶电泳检测条件为: 50 V, 1.5 h。

## 实验结果

### 1 6-BA和AgNO<sub>3</sub>组合对毛状根生长的影响

由图1可见, MS培养基上培养的三裂叶野葛上培养的毛状根生长较快, 培养5~25 d, 毛状根的干重逐渐增加, 培养至25 d时达到最大值, 每个培养瓶中毛状根的干重约为0.37 g, 是培养初期的2.88倍; 随着营养物质的消耗及毛状根的逐渐褐

化, 生物量逐渐下降, 培养至40 d时达到最低值。与对照相比较, 在添加不同浓度6-BA和30 μmol·L<sup>-1</sup> AgNO<sub>3</sub>的培养基上, 毛状根生长缓慢, 生长峰值出现的时间推迟5~10 d (图1-A)。另外, 随着6-BA浓度升高, 毛状根生长的抑制程度也越大。当AgNO<sub>3</sub>浓度恒定为30 μmol·L<sup>-1</sup>, 添加6-BA 0.5 mg·L<sup>-1</sup>时, 则三裂叶野葛毛状根的产生部分被抑制, 且老根逐渐褐化和衰老(图1-C); 当6-BA浓度为5.0 mg·L<sup>-1</sup>时, 则毛状根的生长完全被抑制, 老根逐渐变成黑色或逐渐膨大且似愈伤化(图1-D)。表明6-BA和AgNO<sub>3</sub>组合抑制三裂叶野葛毛状根的生长, 降低毛状根的生物量。

### 2 6-BA和AgNO<sub>3</sub>组合对毛状根中异黄酮化合物含量的影响

由图2-A可见, MS培养基上培养的三裂叶野葛毛状根中异黄酮化合物含量呈先上升后下降的变化趋势, 培养至10 d时, 达到最大值, 约为35.83 mg·g<sup>-1</sup> (DW), 提高了32.24%, 随后开始逐渐下降。与对照相比, 在MS+6-BA 0.1 mg·L<sup>-1</sup>+AgNO<sub>3</sub> 30 μmol·L<sup>-1</sup>上培养的三裂叶野葛毛状根中异黄酮化合物含量呈逐渐下降的变化趋势, 培养至30 d时, 含量下降了25.10%; 而在培养基中添加0.5~5.0 mg·L<sup>-1</sup> 6-BA和30 μmol·L<sup>-1</sup> AgNO<sub>3</sub>则可以促进每克三裂叶野葛毛状根中异黄酮化合物的积累, 在培养末期, 异黄酮化合物含量均高于对照中的含量。然而, 不同浓度6-BA和30 μmol·L<sup>-1</sup> AgNO<sub>3</sub>组合降低了每个培养瓶中三裂叶野葛毛状根的总异黄酮化合物含量。培养至30 d时, 培养瓶中总异黄酮化合物的含量是同期对照的17.47%~66.20% (图2-B)。

### 3 6-BA和AgNO<sub>3</sub>组合对毛状根中可溶性蛋白含量的影响

从图3可见, 对照上培养的三裂叶野葛毛状根中可溶性蛋白含量呈现先下降后上升的变化趋势, 培养至25 d时, 达到最低值, 约为1.26 mg·g<sup>-1</sup> (FW), 是培养初期的15.39%; 培养25~30 d, 可溶性蛋白含量又逐渐升高, 30 d时为培养初期的16.88%。与对照相比, 添加0.1、0.5、1.0、3.0、5.0 mg·L<sup>-1</sup> 6-BA和30 μmol·L<sup>-1</sup> AgNO<sub>3</sub>的培养基上培养的三裂叶野葛毛状根中可溶性蛋白含量总体上呈现下降的变化趋势, 培养至30 d时, 达到最低值, 分别是其培养初期含量的37.43%、44.29%、76.37%、59.76%和50.93%, 但均高于同期对照水平。另外, 在三裂叶

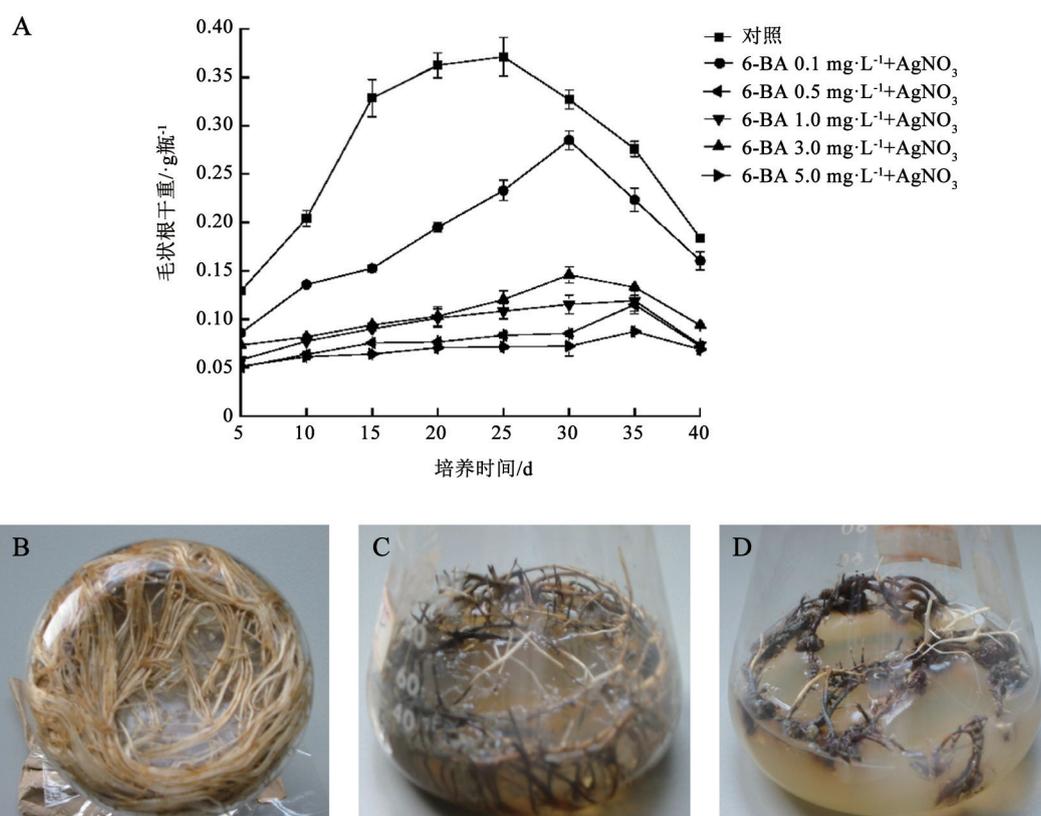
图1 不同浓度6-BA和AgNO<sub>3</sub> 30 μmol·L<sup>-1</sup>组合对三裂叶野葛毛状根生长的影响

Fig.1 Effects of different concentrations of 6-BA in combination with 30 μmol·L<sup>-1</sup> AgNO<sub>3</sub> on the growth of *P. phaseoloides* hairy roots

B: MS; C: MS+6-BA 0.5 mg·L<sup>-1</sup>+AgNO<sub>3</sub> 30 μmol·L<sup>-1</sup>; D: MS+6-BA 5.0 mg·L<sup>-1</sup>+AgNO<sub>3</sub> 30 μmol·L<sup>-1</sup>。培养25 d。

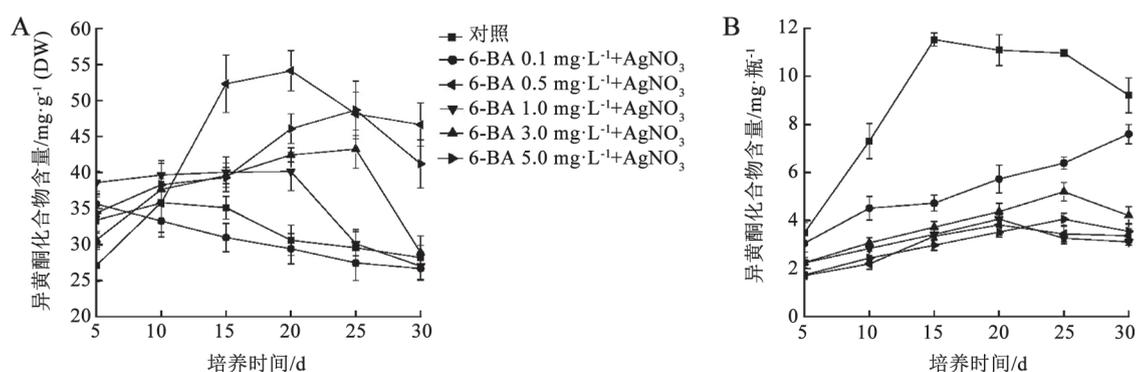
图2 不同浓度6-BA和AgNO<sub>3</sub> 30 μmol·L<sup>-1</sup>组合对三裂叶野葛毛状根中异黄酮化合物含量的影响

Fig.2 Effects of different concentrations of 6-BA in combination with 30 μmol·L<sup>-1</sup> AgNO<sub>3</sub> on the contents of isoflavone compounds in *P. phaseoloides* hairy roots

野葛毛状根培养过程中, 不同浓度6-BA和30 μmol·L<sup>-1</sup> AgNO<sub>3</sub>组合培养的不同时期毛状根中可溶性蛋白含量均较同期对照高。这表明, 不同浓度6-BA和30 μmol·L<sup>-1</sup> AgNO<sub>3</sub>组合可以延缓三裂叶野葛毛状根中可溶性蛋白的降低。

#### 4 6-BA和AgNO<sub>3</sub>组合对毛状根中SOD和POD活性的影响

从图4-A可知, MS培养的三裂叶野葛毛状根中SOD活性变化幅度较大, 培养至30 d时, 达到最大值, 约为222.21 U·mg<sup>-1</sup> (蛋白), 是其培养初期水

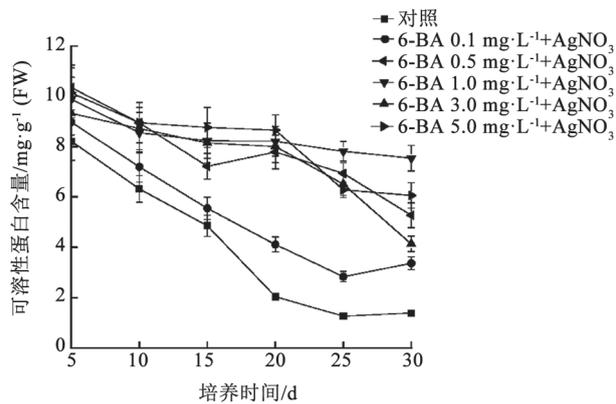


图3 不同浓度6-BA和30  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$   $\text{AgNO}_3$ 组合对三裂叶野葛毛状根中可溶性蛋白含量的影响

Fig.3 Effects of different concentrations of 6-BA in combination with 30  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$   $\text{AgNO}_3$  on soluble protein contents in *P. phaseoloides* hairy roots

平的10.40倍。与对照相比,添加0.1、0.5、1.0、3.0、5.0  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  6-BA和30  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$   $\text{AgNO}_3$ 组合的培养基上培养的三裂叶野葛毛状根中SOD活性很

低,且变化不明显,培养至30 d时,SOD活性分别较同期对照下降了49.94%、82.59%、77.58%、69.03%和80.99%。这表明不同浓度6-BA和30  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$   $\text{AgNO}_3$ 组合可降低三裂叶野葛毛状根中SOD活性。

由图4-B可知,对照毛状根中POD活性呈上升趋势,培养至30 d时POD活性达到最大值,是培养初期毛状根POD活性水平的6.16倍,然后随着毛状根的褐化而逐渐降低。与对照相比,添加不同浓度6-BA和 $\text{AgNO}_3$  30  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 培养基培养的三裂叶野葛毛状根POD活性则随着培养时间的延长而逐渐升高,在培养至30 d时达到最大值,分别是同期对照POD活性的82.15%、55.19%、28.85%、28.16%和39.30%。以上结果表明,不同浓度6-BA和 $\text{AgNO}_3$  30  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 组合降低三裂叶野葛毛状根的POD活性。

#### 5 6-BA和 $\text{AgNO}_3$ 组合对毛状根细胞程序性死亡(programmed cell death, PCD)的影响

由图5可见,三裂叶野葛毛状根在添加不同浓

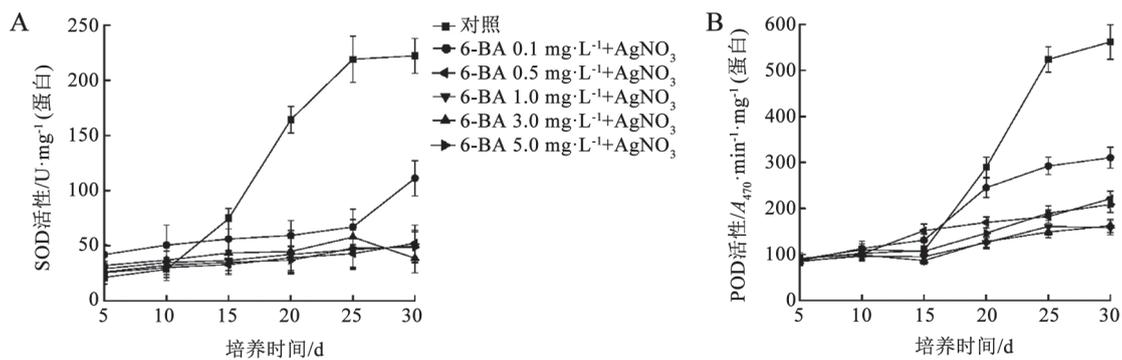


图4 不同浓度6-BA和 $\text{AgNO}_3$  30  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 组合对三裂叶野葛毛状根中SOD和POD活性的影响

Fig.4 Effects of different concentrations of 6-BA in combination with 30  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$   $\text{AgNO}_3$  on the activities of SOD and POD in *P. phaseoloides* hairy roots

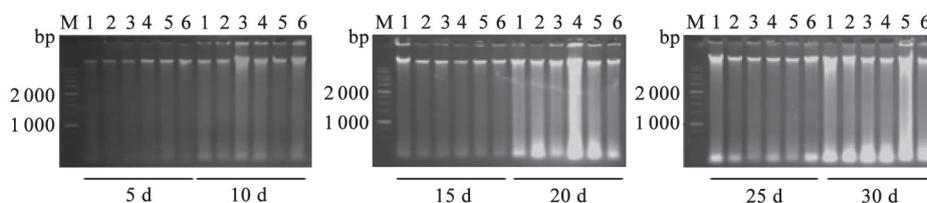


图5 不同浓度6-BA和 $\text{AgNO}_3$  30  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 组合处理后三裂叶野葛毛状根中DNA片段的电泳检测

Fig.5 Electrophoresis detection of DNA fragments in *P. phaseoloides* hairy roots after treatment with different concentrations of 6-BA in combination with 30  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$   $\text{AgNO}_3$

M: marker; 1: 对照; 2: 6-BA 0.1  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ; 3: 6-BA 0.5  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ; 4: 6-BA 1.0  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ; 5: 6-BA 3.0  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ; 6: 6-BA 5.0  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ .

度6-BA和30  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$   $\text{AgNO}_3$ 的培养基上培养至20 d时,通过琼脂糖凝胶电泳可以观察到140~200 bp大小的DNA片段;培养至30 d时,DNA片段更亮,且亮度与6-BA的浓度呈正相关。说明不同浓度6-BA和30  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$   $\text{AgNO}_3$ 组合可以诱导三裂叶野葛毛状根PCD的发生。

## 讨 论

6-BA是一种细胞分裂素类抑制物质,而 $\text{AgNO}_3$ 是乙烯作用的抑制剂;它们可在植物的生长发育及次生物质代谢过程中发挥着重要的作用(袁玉辉等2014;李琰等2010)。已有的报道证实,在MS培养基中添加2.0  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  6-BA可以显著促进丹参(*Salvia miltiorrhiza*)毛状根中丹参酮IIA的生物合成与积累(房翠萍等2011);在MS培养基中添加1.0  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  KT和不同浓度的 $\text{AgNO}_3$ 可以显著促进葡萄(*Vitis vinifera*)愈伤组织中白藜芦醇的合成与积累(张真等2008)。实验结果显示,不同浓度6-BA和30  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$   $\text{AgNO}_3$ 组合不仅抑制三裂叶野葛毛状根的生长,而且降低毛状根总异黄酮化合物的含量(图1和2),这与已有的研究结果不一致,可能与植物种类、毛状根类型以及激素浓度不同有关。

较多的 $\text{Ag}^+$ 对植物活体细胞有伤害作用,进而调控细胞内抗氧化酶活性水平。已有的研究结果证实,外施6-BA和 $\text{AgNO}_3$ 可以提高黄瓜(*Cucumis sativus*)和小麦(*Triticum aestivum*)叶片中POD和SOD的活性水平(娄群峰等2003;艾辛等2000;杨东清等2013)。 $\text{AgNO}_3$ 可以提高香蕉组培苗种POD和SOD的活性水平,而降低雌性系黄瓜植株体内POD的活性水平(陈学好和赵有为1993;区炳庆和何丽烂2003)。本文结果表明,不同浓度的6-BA和30  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$   $\text{AgNO}_3$ 组合可以延缓三裂叶野葛毛状根中可溶性蛋白的降低,降低SOD和POD的活性水平(图3和4),这与陈学好和赵有为(1993)的研究结果相反,但与区炳庆和何丽烂(2003)的研究结果部分一致。这表明,6-BA和 $\text{AgNO}_3$ 对植物抗氧化酶活性的影响因植物或毛状根类型而异,但有关6-BA和 $\text{AgNO}_3$ 组合调控三裂叶野葛毛状根SOD和POD活性水平的具体机制尚有待进一步研究。

PCD是植物生长过程中一种重要的生理现象,受到许多因素的诱导和影响,如植物激素等(Kuni-

kowska等2013;代建丽等2013)。外施6-BA可以促进烟草(*Nicotiana tabacum*)和胡萝卜(*Daucus carota*)细胞的衰老,诱导PCD的发生,提高衰老相关基因(senescence-associated gene) *SAG-12*的表达水平(Samuilov等2013)。10  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$   $\text{Ag}^+$ 可以促进氰化钾诱导的豌豆(*Pisum sativum*)叶表皮细胞的PCD发生(Carmi等2004)。在本研究中,不同浓度6-BA和30  $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$   $\text{AgNO}_3$ 组合不仅抑制三裂叶野葛毛状根的生长,而且促进PCD的发生,且高浓度6-BA的促进效果较显著(图5),与已有的研究结果相一致。已有的研究表明,植物PCD的发生与乙烯的合成和积累密切相关,而 $\text{AgNO}_3$ 是乙烯作用的抑制剂,因此,本实验中6-BA和 $\text{AgNO}_3$ 组合对三裂叶野葛毛状根生长、异黄酮合成的影响是否是通过影响其乙烯的合成与积累以及是否通过乙烯来影响三裂叶野葛毛状根的异黄酮化合物的合成和抗氧化酶的活性,还需进一步的研究和验证。

## 参考文献

- 艾辛,祝莉莉,舒理慧,陶晓明,何光存(2000). 硝酸银对雌性黄瓜植株中三种氧化酶同工酶的影响. 植物学通报, 17 (3): 242~245
- 陈学好,赵有为(1993). 硝酸银诱导对黄瓜雌性系苗株茎端生化特性和形态的影响. 园艺学报, 20 (2): 197~198
- 代建丽,宋婵婵,徐晨,张国彬(2013). 库拉索芦荟愈伤培养褐化现象的抑制研究. 安徽农学通报, 19 (6): 23~24
- 房翠萍,王维婷,王志芬,单成钢,倪大鹏,张玉琼(2011). 植物激素对丹参毛状根生长和丹参酮生物合成的影响. 中药材, 34 (5): 661~664
- 何含杰,施和平(2014). 6-苜氨基腺嘌呤和苯乙酸对三裂叶野葛毛状根生长和异黄酮含量的影响. 生物工程学报, 30 (10): 1573~1585
- 李琰,冯俊涛,王永宏,崔欢,张兴(2010). 抗褐变剂对雷公藤愈伤组织生长和次生代谢产物含量的影响. 武汉植物学研究, 28 (2): 224~228
- 娄群峰,陈劲枫,任刚,罗向东(2003). 硝酸银和乙烯利对黄瓜叶片中3种氧化还原同工酶和酶活性影响的比较. 植物生理学通讯, 39 (6): 580~584
- 区炳庆,何丽烂(2003). 香蕉组培苗POD、PPO及SOD活性对银胁迫的反应. 广西植物, 23 (1): 93~95
- 施和平,权宏, Kintzios S (2003). 三裂叶野葛毛状根的诱导及其固体培养和液体培养. 生物工程学报, 19 (3): 307~311
- 施和平,曾宝强,王云灵,陈利华(2010). 镉及其与钙组合对褐脉少花龙葵毛状根生长、抗氧化酶活性和吸收镉的影响. 生物工程学报, 26 (2): 147~158
- 王思瑶,李明阳,邵占媛,尹静(2014). 不同培养基及激素处理下柘柳丛生芽总酚、三萜及黄酮物质的积累. 北京林业大学学报, 36 (5): 74~81
- 吴德邻,陈忠毅,黄向旭(1994). 中国葛属(*Pueraria* DC.)的研究. 热

- 带亚热带植物学报, 2 (3): 12~21
- 杨东清, 王振林, 尹燕桦, 倪英丽, 杨卫兵, 蔡铁, 彭佃亮, 徐彩龙, 崔正勇, 刘铁宁等(2013). 外源ABA和6-BA对不同持绿型小麦旗叶衰老的影响及其生理机制. 作物学报, 39 (6): 1096~1104
- 杨秋娅, 李晓宇, 刘皋林(2013). 人参皂苷Rb1的药理作用研究进展. 中国药学杂志, 48 (15): 1233~1237
- 杨睿, 付春祥, 金治平, 赵德修(2005). 不同理化因子对雪莲毛状根生长和总黄酮生物合成的影响. 生物工程学报, 21 (2): 233~238
- 袁玉辉, 刘显军, 杨柳, 陆赢, 官春云, 刘忠松(2014). 激素和硝酸银对芥菜型油菜下胚轴再生植株的影响. 湖南农业大学学报(自然科学版), 40 (1): 1~7
- 袁玉辉, 杨柳, 刘显军, 陆赢, 刘忠松(2013). 6-BA和AgNO<sub>3</sub>对芥菜型油菜下胚轴芽再生的影响. 作物研究, 27 (2): 121~124
- 张真, 李胜, 刘媛, 吴兵, 李婷, 张青松, 罗丽媛, 薛冲(2008). 硝酸银对葡萄愈伤组织生长及其白藜芦醇含量的影响. 甘肃农业大学学报, 43 (5): 59~62
- Beauchamp C, Fridovich I (1971). Superoxide dismutase: improved assays and an assay applicable to acrylamide gels. *Anal Biochem*, 44 (1): 276~287
- Bradford MM (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal Biochem*, 72: 248~252
- Carmi F, Terzi M, Michele R, Zottini M, Schiava F (2004). High levels of the cytokinin BAP induce PCD by accelerating senescence. *Plant Sci*, 166 (4): 963~969
- Kunikowska A, Byczkowska A, Doniak M, Kazmierczak A (2013). Cytokinins résumé: their signaling and role in programmed cell death in plants. *Plant Cell Rep*, 32 (6): 771~780
- Samuilov VD, Kiselevsky DB, Nesov AV, Dzyubinskaya EV, Vasil IA, Samuilov FD (2013). Programmed cell death in plants under anaerobic conditions: effects of Ag<sup>+</sup>. *Russ J Plant Physiol*, 32 (6): 771~780