

# 黄腐酸处理对苹果树腐烂病菌的抑制作用及对苹果树防御酶活性的影响

陈 臻<sup>#</sup>, 侯宝宏<sup>#</sup>, 王卫雄, 徐秉良<sup>\*</sup>

(甘肃农业大学草业学院, 兰州 730070)

**摘要** 黄腐酸作为一种广谱性植物生长调节剂,具有稳定可靠的抗逆增产效果。本试验以黄腐酸为生长调节剂,研究其对苹果树腐烂病菌(*Valsa mali*)的抑制作用及对苹果树皮抗腐烂病的影响。试验结果表明,黄腐酸能抑制苹果树腐烂病菌菌丝的生长,浓度越大抑制效果越明显。经黄腐酸处理后,苹果树腐烂病组织中 SOD、POD、PAL 和 CAT 均呈现先升高后降低的趋势。其中黄腐酸处理后 SOD 活性于 14 d 达到峰值,而其他酶活性均在 21 d 达到最大值。说明黄腐酸能显著提高苹果树体内相关防御酶系的活性,很大程度上提高了植物的免疫力,即增强了苹果树的抗病性。

**关键词** 黄腐酸; 苹果树腐烂病菌; 抑制作用; 防御酶

**中图分类号:** S 436.611.11 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.0529-1542.2016.03.013

## Inhibition of fulvic acid to *Valsa mali* and its effect on the activity of defense enzyme in apple tree

Chen Zhen, Hou Baohong, Wang Weixiong, Xu Bingliang

(College of Prataculture, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China)

**Abstract** As one of the broad-spectrum plant growth regulators, fulvic acid can improve crop resistance and increase the yield stably and reliably. The inhibition of fulvic acid against *Valsa mali* and its effect on the activity of defense enzymes, including SOD, POD, PPO, PAL and CAT, were determined. The results showed that fulvic acid could inhibit the growth of *V. mali* hyphae, and the inhibition effect increased with the increase of concentration. The activities of SOD, POD, PPO, PAL and CAT increased at first and then decreased smoothly after treatment by fulvic acid. The SOD activity reached the peak 14 days after treatment, and the activity of other defense enzymes reached the maximum 21 days after treatment. These results revealed that fulvic acid could significantly increase the activity of the tested defense enzymes in apple trees, and improve the immunity and disease resistance of the apple tree.

**Key words** fulvic acid; *Valsa mali*; inhibition; defense enzyme

近 20 年来,我国苹果产业发展迅速。自 1993 年起,无论种植面积还是总产量,均名列世界第一。2008 年,据农业部统计,我国苹果栽培面积和产量为 199.22 万  $\text{hm}^2$  和 984.66 万 t,分别占世界苹果栽培总面积和总产量的 41.09%和 42.88%,属世界第一大苹果生产国。但随着苹果树大面积种植,苹果树腐烂病已经成为限制苹果产业发展的一个重要因素<sup>[1]</sup>。2013 年,研究者对我国 13 个重点苹果园

调查发现,轻者发病率 25%~35%,重者达 70%~80%,平均发病率株 60%以上<sup>[2]</sup>。目前,生产上对苹果树腐烂病的防治主要采用化学防治,如福美肿,但福美肿由于毒性大、残留多而被禁用,因此,寻求一种诱导苹果树产生抗性,并对环境友好的高效肥或防治药剂已成为热点问题。

黄腐酸(fulvic acid, FA)是一种既溶于酸性溶液,又溶于碱性溶液的腐植酸,也是一种兼有植物

收稿日期: 2015-05-14

修订日期: 2015-09-06

基金项目: 国家星火计划(2013GA860001);公益性行业(农业)科研专项(201203034)

\* 通信作者 E-mail: xubl@gsau.edu.cn

# 为并列第一作者

生长调节剂功能的新型肥料。有关研究表明,在果树叶面喷施黄腐酸既可提高产量,又能增强多种果树的抗性<sup>[3]</sup>。马焕普等<sup>[3]</sup>在葡萄叶面喷施黄腐酸,降低了白腐病发病率,表明其可能影响了葡萄生理作用。有关研究也表明,黄腐酸还能增加酶活性和酚酸类抗性物质的含量,改善植物的新陈代谢过程<sup>[4]</sup>。此外,黄腐酸作为一种富含高活性物质的腐植酸,其不仅具有腐植酸的一般特征,又具有分子量小易被生物吸收、功能团生理活性大、易溶于水等特征,并且能够抑制病菌 DNA 的复制,减少植株发病几率,诱导作物免疫力提高,增强植株抗病能力<sup>[5]</sup>,因此黄腐酸在农业中的用途很广泛<sup>[6]</sup>。本试验通过测定黄腐酸对苹果腐烂病菌的抑制作用和施用黄腐酸后苹果树腐烂病组织中各种防御酶系 SOD、POD、PPO、PAL 和 CAT 含量变化,研究了黄腐酸对苹果树皮抗腐烂病的影响,以期今后苹果树腐烂病的绿色防治提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

#### 1.1.1 供试果树品种

苹果树品种为‘新红星’,树龄为 18~21 年,种植于兰州市七里河区彭家坪苹果基地。

#### 1.1.2 供试菌株

苹果树腐烂病菌(*Valsa mali*) LZ29 菌株由甘肃农业大学草业学院病原学实验室提供。

#### 1.1.3 供试药剂

黄腐酸(有效成分为 50 g/L,永业科学研究院) 600 倍稀释液、0.05 mol/L pH 7.8 磷酸缓冲液、130 mol/L 甲硫氨酸、750  $\mu$ mol/L 氮蓝四唑(NBT)、100  $\mu$ mol/L 核黄素、100  $\mu$ mol/L EDTA- $\text{Na}_2$ 、PVP 溶液、0.05 mol/L pH 6.5 磷酸缓冲液、0.3% 的愈创木酚、0.6%  $\text{H}_2\text{O}_2$ 、0.05 mol/L 硼酸盐缓冲溶液(pH 8.8)、0.02 mol/L 苯丙氨酸、0.05 mol/L 邻苯三酚、pH 6.8 磷酸缓冲液、0.067 mol/L  $\text{H}_2\text{O}_2$ 。

#### 1.1.4 试验仪器

TU-1810 紫外分光光度计、石英比色皿、恒温水浴锅、高速冷冻离心机。

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 黄腐酸抑菌活性测定

采用菌丝生长速率法:将黄腐酸制成不同浓度

的溶液,然后按照一定比例加入到熔融的 PDA 培养基中摇匀制成平板,配制成终浓度为 100、50、33、25、20  $\mu$ g/mL 的含药平板。用打孔器( $d=5$  mm)在活化 5 d 的苹果树腐烂病菌菌落边缘打取菌饼,接种于含药 PDA 平板中央,每个浓度梯度为 1 个处理,每个处理设 5 个重复,以无菌水代替黄腐酸作为对照。接种后将平板置于 25℃ 培养箱中恒温黑暗培养 3 d,采用十字交叉法测量苹果树腐烂病菌菌落直径,并计算各处理的抑菌率<sup>[7-9]</sup>和致死中浓度  $\text{EC}_{50}$ <sup>[10]</sup>。

#### 1.2.2 黄腐酸对苹果树防御酶活性的影响

试验地位于兰州市七里河区彭家坪苹果基地。选取树龄相同且患有苹果树腐烂病的苹果树,用刮刀刮取病斑部位及其周围 2 cm 处健康部位树干表皮带回实验室于 4℃ 保存。将带回的树干表皮用 75% 乙醇消毒后无菌水冲洗 3 次晾干备用。选黄腐酸 600 倍稀释溶液喷施于备用的患病组织。从施药时开始,每 7 d 取样一次,共取样 7 次。分别以无菌水喷施患病组织和健康植株树干表皮作为对照,处理和对照均重复 3 次。

##### 1.2.2.1 黄腐酸处理后 SOD 活性测定

SOD 活性测定参照高俊凤等<sup>[11]</sup>的方法,略作修改。粗酶液提取:称取 0.2 g 材料放入预冷的研钵中,加入少许石英砂和 2 mL 0.05 mol/L pH 7.8 磷酸缓冲液(含 1% 聚乙烯吡咯烷酮,5 mmol/L EDTA),研磨至匀浆,并用该浓度的磷酸缓冲液定容至 10 mL 后倒入离心管中,于 4℃、10 000 r/min 离心 20 min,上清液即酶粗提取液,处理和对照均为 3 次重复。

SOD 活性测定:向 5 mL 离心管中分别加入 0.2 mL 酶提取液,然后按顺序加入 1.5 mL pH 7.8 磷酸缓冲液、0.3 mL 130 mol/L 甲硫氨酸、0.3 mL 750  $\mu$ mol/L NBT、0.3 mL 100  $\mu$ mol/L EDTA- $\text{Na}_2$ 、0.2 mL 蒸馏水,最后加入 0.3 mL 100  $\mu$ mol/L 核黄素,然后光照 10 min,最后于 560 nm 下测定吸光度值,空白管分别加 0.2 mL 蒸馏水、1.5 mL pH 7.8 磷酸缓冲液、0.3 mL 130 mol/L 甲硫氨酸、0.3 mL 750  $\mu$ mol/L NBT、0.3 mL 100  $\mu$ mol/L EDTA- $\text{Na}_2$ 、0.2 mL 蒸馏水和 0.3 mL 100  $\mu$ mol/L 核黄素,各处理和对照均重复 3 次。

$$\text{SOD 活性}(\text{U} \cdot \text{g}^{-1}) = \frac{(A_{\text{光照}} - A_{560}) \times V_1}{0.5 \times A_{\text{光照}} \times V_2 \times W}$$

式中  $A_{\text{光照}}$  为光照管的吸光度值;  $A_{560}$  为 560 nm

的吸光度值; $V_1$ 为酶提取液总体积(mL);0.5表示抑制50% NBT光化还原为1个酶活; $V_2$ 为测定时取用酶液体积(mL); $W$ 为样品鲜重(g)。

#### 1.2.2.2 黄腐酸处理后 POD 活性测定

POD活性测定参照高俊凤等<sup>[11]</sup>的方法,略作修改。粗酶液提取:称取材料0.2 g,加入PVP 0.1 g和0.05 mol/L pH 6.5 磷酸缓冲液,于研钵中研磨成浆,并用该磷酸缓冲液定容至10 mL后倒入离心管中,在4℃条件下,以4 000 r/min离心15 min,上清液为酶液,每处理和对照均为3次重复。

POD活性测定:向比色皿中分别加0.2 mL酶提取液、2.6 mL 0.3%的愈创木酚,放入比色槽,再加0.3 mL 0.6%  $H_2O$ ,470 nm波长下比色。立即开始计时,每隔1 min读取1次数值。以1 min内 $A_{470}$ 变化值表示酶活性大小。以等量的蒸馏水代替酶液,依次向比色槽加入2.6 mL 0.3%的愈创木酚,0.3 mL 0.6%  $H_2O$ 为对照,各处理和对照均重复3次。

$$POD \text{ 活性 } (U \cdot \min^{-1} \cdot g^{-1}) = \frac{\Delta A_{470} \times V_1}{0.01 \times V_2 \times t \times W}$$

式中 $\Delta A_{470}$ :单位反应时间内吸光值的变化; $V_1$ :酶提取液总体积(mL);0.01:每分钟增加0.01为1个酶活; $V_2$ :测定时取用酶液体积(mL); $t$ :反应时间(min); $W$ :样品鲜重(g)。

#### 1.2.2.3 黄腐酸处理后 PAL 活性测定

PAL活性测定参照高俊凤等<sup>[11]</sup>的方法,略作修改。粗酶液的提取:称取材料0.2 g放入研钵中,加入2 mL pH 8.8的硼酸缓冲溶液和0.1 g PVP,研磨成匀浆移入10 mL容量瓶中,将定容后的匀浆移入离心管,在4℃的条件下,于4 000 r/min离心30 min,上清液即为粗酶液,每处理和对照均为3次重复。

PAL活性测定:取pH 8.8的硼酸缓冲溶液2 mL、0.2 mL酶液和0.02 mol/L L-苯丙氨酸1 mL作为反应体系,对照管中用等量蒸馏水代替酶液。摇匀后在290 nm下测定起始吸光值 $A_{290}$ ,第1次测定后,将溶液分别倒入试管中,于30℃恒温水浴锅中放置30 min后再次测定吸光值 $A_{290}$ ,反应的酶活性为第2次的 $A_{290}$ 值减去第1次的 $A_{290}$ 值,每个处理和对照均为3次重复。

#### 1.2.2.4 黄腐酸处理后 PPO 活性的测定

PPO测定参照高俊凤等<sup>[11]</sup>的方法,略作修改。

粗酶液提取:取0.2 g材料放入预冷研钵,加0.1 g PVP和2 mL pH 6.8 磷酸缓冲溶液,研成匀浆后移入10 mL容量瓶中定容,4℃下4 000 r/min离心15 min,取上清液即为粗酶液。每处理3次重复。

PPO活性测定:吸取粗酶液0.2 mL于10 mL试管中,依次加入pH 6.8 磷酸缓冲溶液1.5 mL,0.05 mol/L邻苯三酚1.5 mL,于30℃恒温水浴锅中放置2 min,立即置于冰浴下停止反应,以缓冲液代替酶液作为对照,用TU-1810紫外分光光度计在470 nm波长下测定吸光值 $A_{470}$ ,以每分钟内 $A_{470}$ 变化值表示酶活性大小,处理和对照各重复3次。

$$PPO \text{ 活性 } (U \cdot \min^{-1} \cdot g^{-1}) = \frac{\Delta A_{470} \times V_1}{0.01 \times V_2 \times t \times W}$$

式中 $\Delta A_{470}$ :单位反应时间内吸光值的变化; $V_1$ :酶提取液总体积(mL);0.01:每分钟增加0.01为1个酶活; $V_2$ :测定时取用酶液体积(mL); $t$ :反应时间(min); $W$ :样品鲜重(g)。

#### 1.2.2.5 黄腐酸处理后 CAT 活性测定

CAT活性测定参照高俊凤等<sup>[11]</sup>的方法略作修改。粗酶液提取:同SOD酶液提取方法。

CAT活性测定:用蒸馏水调0,向比色皿中加0.2 mL酶液,将比色皿放入比色槽,加2.8 mL 0.067 mol/L  $H_2O_2$ ,立即置于240 nm处比色,用0.05 mol/L pH 7.8 磷酸缓冲液代替酶液作为空白对照,每隔1 min读1次。以每分钟内 $A_{240}$ 变化值表示酶活性大小,处理和对照各重复3次。

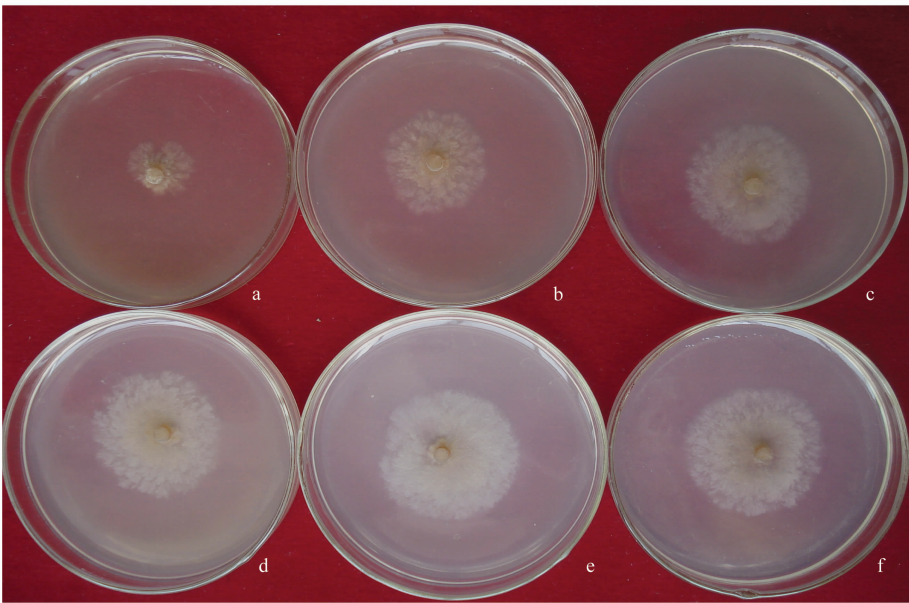
$$CAT \text{ 活性 } (U \cdot \min^{-1} \cdot g^{-1}) = \frac{\Delta A_{240} \times V_1}{0.01 \times V_2 \times t \times W}$$

式中 $\Delta A_{240}$ :单位反应时间内吸光值的变化; $V_1$ :酶提取液总体积(mL);0.01:每分钟增加0.01为1个酶活; $V_2$ :测定时取用酶液体积(mL); $t$ :反应时间(min); $W$ :样品鲜重(g)。

## 2 结果与分析

### 2.1 黄腐酸抑菌活性测定

通过菌丝生长速率法对黄腐酸抑菌活性测定结果表明:黄腐酸能够抑制苹果树腐烂病菌的生长(图1),具有很好的杀菌作用,浓度越大,抑制作用越强。其 $EC_{50} = 76.99 \mu\text{g/mL}$ ,回归方程为 $y = 2.9888x - 0.6382$ ,相关系数 $r = 0.9883$ (表1)。



a~e: 黄腐酸浓度分别为100、50、33、25 和20  $\mu\text{g/mL}$ ; f: 对照  
a~e: The concentrations of fulvic acid are 100, 50, 33, 25  $\mu\text{g/mL}$  and 20  $\mu\text{g/mL}$ , respectively; f: CK

图 1 不同浓度黄腐酸对苹果树腐烂病菌的抑制作用

Fig. 1 Inhibitory effect of fulvic acid at different concentration on *Valsa mali*

表 1 黄腐酸对苹果树腐烂病菌的抑制效果<sup>1)</sup>

Table 1 The inhibitory efficiency of fulvic acid against *Valsa mali*

| 黄腐酸浓度/ $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$<br>Concentration of<br>fulvic acid | 菌落直径/ cm<br>Diameter of<br>colony | 生长抑制率/%<br>Inhibitory rate of<br>growth | 回归方程<br>Regression<br>equation | 相关系数( <i>r</i> )<br>Correlation<br>coefficient | $\text{EC}_{50}/\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ |
|------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------|------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| 100.00                                                                       | 1.85±0.24                         | (63.50±3.33)a                           | $y=2.99x-0.64$                 | 0.99                                           | 76.99                                             |
| 50.00                                                                        | 3.00±1.22                         | (32.40±2.08)ab                          |                                |                                                |                                                   |
| 33.00                                                                        | 3.85±1.31                         | (9.50±1.33)b                            |                                |                                                |                                                   |
| 25.00                                                                        | 3.93±0.11                         | (7.30±0.89)b                            |                                |                                                |                                                   |
| 20.00                                                                        | 4.02±0.50                         | (4.90±0.31)bc                           |                                |                                                |                                                   |
| CK                                                                           | 4.20±1.00                         | (0.00±0.03)c                            |                                |                                                |                                                   |

1) 表中数据为平均值±SE。菌落直径为处理后 72 h 的数据。同列数据后不同小写字母表示经 Duncan 氏新复极差法检验在  $P<0.05$  水平差异显著。  
Data in the table are mean±SE. The colony diameter was measured in 72 hours after treatment. Different lowercase letters in the same column indicate significant differences at 0.05 level by Duncan's new multiple range test.

2.2 SOD 活性

SOD 活性测定结果表明,用黄腐酸处理感染苹果树腐烂病的患病组织,随着处理时间的增加,苹果树腐烂病组织中 SOD 酶活性呈现先升高后降低的趋势。经黄腐酸处理后第 14 天测定组织中 SOD 活性达最高,为 85.09 U/(min·g),之后 SOD 活性开始下降。且经黄腐酸处理的组织中 SOD 活性均明显高于未经黄腐酸处理的组织和健康组织,但未经处理的和健康的组织中酶活性随时间变化不显著(图 2)。

2.3 POD 活性

由图 3 可以看出,患病组织经黄腐酸处理后测定不同时间 POD 活性变化,结果发现随处理时间增加,苹果

树腐烂病组织中 POD 活性的变化趋势为先缓慢升高后逐渐降低,且明显高于对照处理。施药 21 d 后患病组织中 POD 活性达到最大值,为 107.19 U/(min·g),处理 42 d 后 POD 活性为 82.79 U/(min·g),而未经处理的和健康的组织酶活性无明显变化。

2.4 PAL 活性

试验结果表明,患苹果树腐烂病的组织经黄腐酸处理后,随处理时间增加,其 PAL 酶活性先升高后降低,但变化趋势较平缓,各处理之间差异不显著。与未经黄腐酸处理的组织和健康组织相比,经黄腐酸处理后的组织中 PAL 活性升高较显著(图 4)。施用黄腐酸 21 d 后患病组织中 PAL 活性达到最大值,为 97.12 U/(min·g),之后 PAL 酶活性开

始下降。而未经处理的和健康的组织 PAL 活性虽然起初有较小的变化,但整体变化趋势不明显。

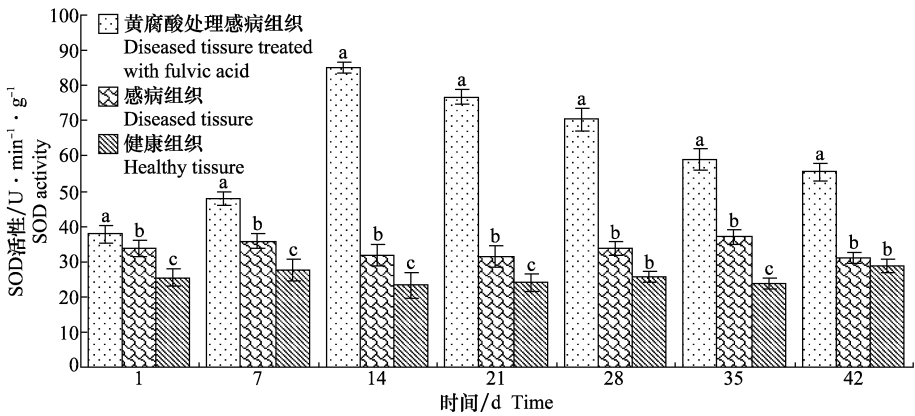


图 2 黄腐酸对苹果树 SOD 活性的影响

Fig. 2 The effect of fulvic acid on SOD activity in apple tree

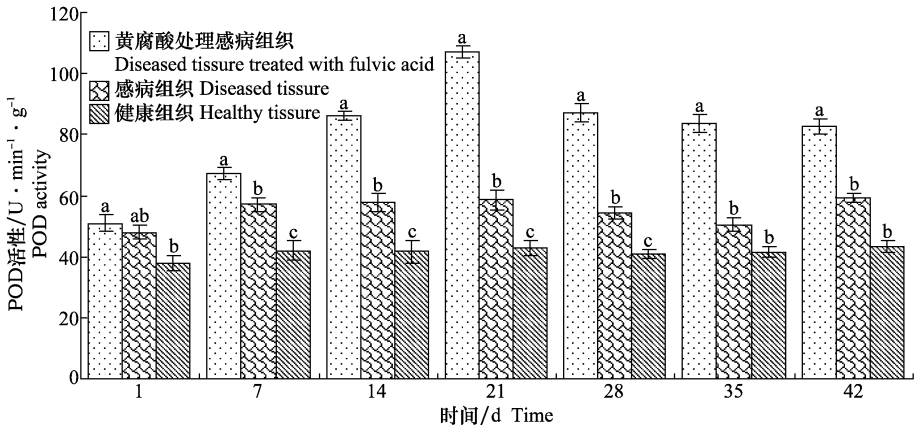


图 3 黄腐酸对苹果树 POD 活性的影响

Fig. 3 The effect of fulvic acid on POD activity in apple tree

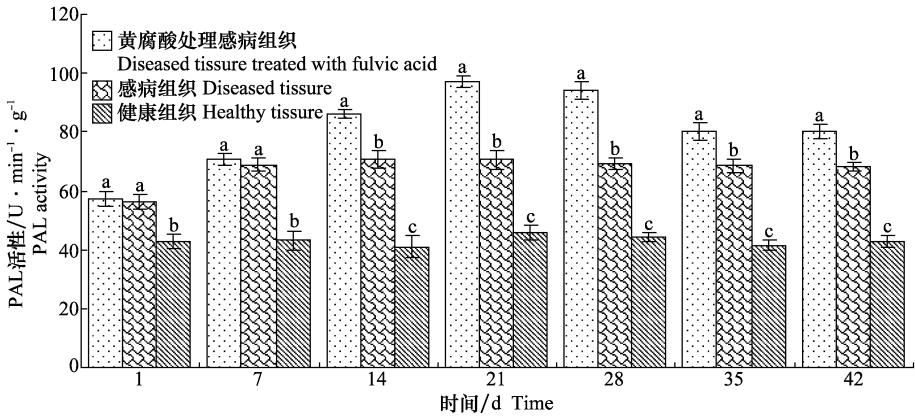


图 4 黄腐酸对苹果树 PAL 活性的影响

Fig. 4 The effect of fulvic acid on PAL activity in apple tree

2.5 PPO 活性的测定

PPO 活性测定结果表明,黄腐酸对苹果树腐烂病组织中 PPO 活性影响显著,并明显升高(图 5)。PPO 活性从处理后第 7 天开始明显上升,分别于 21 d 和 35 d

出现两次峰值,为 69.90 U/(min · g)和 70.02 U/(min · g),但从处理后 21 d 开始,PPO 活性随时间变化不明显;与未处理的和健康的组织相比较,后两者 PPO 活性虽有较小的变化,但前后变化无明显差异。

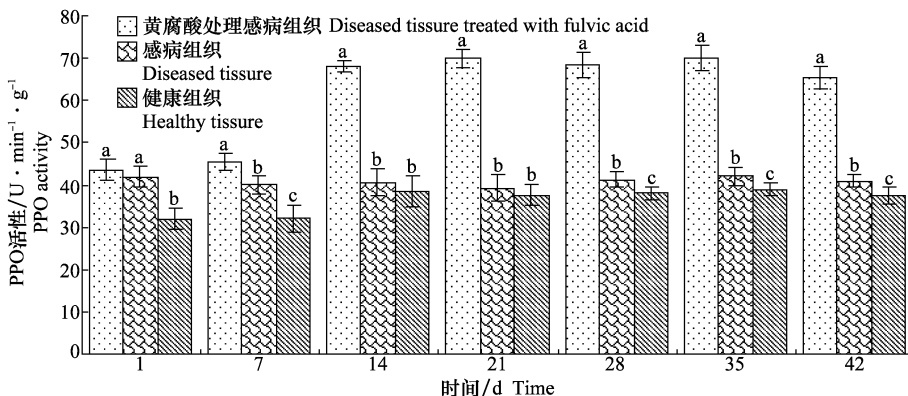


图5 黄腐酸对苹果树 PPO 活性的影响

Fig. 5 The effect of fulvic acid on PPO activity in apple tree

## 2.6 CAT 活性测定

从图6可以看出,苹果树腐烂病组织中CAT活性经黄腐酸处理后呈急剧升高又急剧下降的趋势,并与对照达到显著差异。其中CAT的活性于第21天达到最大,值为31.11 U/(min · g)。而未经处理的组织和健康的组织中酶活性值很接近,无显著差异,从开始至42 d CAT无明显变化。

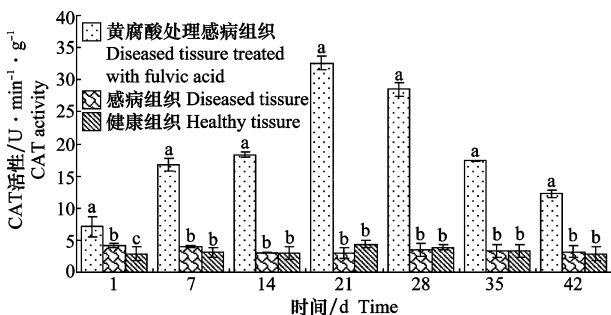


图6 黄腐酸对苹果树 CAT 活性的影响

Fig. 6 The effect of fulvic acid on CAT activity in apple tree

## 3 结论与讨论

植物生长调节剂可调控植物体内的核酸、蛋白质和酶的合成,并能对植物不同生长发育阶段起到调节和控制作用。有的植物生长调节剂能提高植物的蛋白质、糖等的含量,有的能增强植物抗寒、抗旱、抗盐碱和抗病虫害的能力<sup>[12]</sup>。目前,随着化学农药大量使用造成的不良后果,植物生长调节剂在植物病害防治中发挥出越来越大的作用。黄腐酸作为植物生长调节剂之一,既有腐植酸的特性,又不是农药,将其与农药配合使用,可以调控果树营养并起到刺激作用。陈玉玲认为黄腐酸既能直接刺激植物生长,也能通过改变 IAA 和脱落酸含量而间接刺激植

物生长<sup>[13]</sup>。此外黄腐酸还可改变病树的生理生化指标,有效地辅助农药发挥药效,达到防治植物病害的作用<sup>[14]</sup>。再者,黄腐酸可提高作物免疫力,增强植株抗病能力,增根壮苗,抗旱抗病。回振龙等<sup>[15]</sup>的研究发现黄腐酸能促进连作马铃薯的生长发育,并提高马铃薯幼苗对连作的抗性。赵永峰等<sup>[16]</sup>在马铃薯上喷施黄腐酸使得马铃薯产量显著提高。本试验测定了黄腐酸对苹果树腐烂病菌的抑制作用和施用黄腐酸后苹果树体防御酶系 SOD、POD、PPO、PAL 和 CAT 含量随时间的变化情况。结果表明,黄腐酸对苹果树腐烂病菌的抑制作用随浓度的增加而增强;且经黄腐酸处理苹果树腐烂病组织后,苹果树腐烂病组织中 SOD、POD、PAL 和 CAT 均呈现先升高后降低的趋势,其中黄腐酸处理后 SOD 活性于第14天出现峰值,而其他几种防御酶的酶活性于处理后第21天达到最大值。此外,黄腐酸处理苹果树腐烂病组织后,PPO活性出现两次高峰,分别于第21天和第35天。但从处理后第21天开始,PPO活性变化不明显。因此,黄腐酸作为植物生长调节剂,可以显著提高植物体内相关防御酶系的活性,很大程度上提高了植物的免疫力,增强了植株抗病性。

目前,黄腐酸作为一种新型植物生长调节剂,在植物病害防治中的应用还相对较少,但其显著的效果使该药剂具有更加广阔的应用前景。2002年,赵永峰等测定了黄腐酸在马铃薯上的应用效果,发现当用量为 3 000 mL/hm<sup>2</sup> 和 3 750 mL/hm<sup>2</sup> 时增效显著<sup>[16]</sup>。本试验测定了黄腐酸对苹果树腐烂病菌抑制效果和对腐烂病组织中相关酶活性的影响,结果表明其可以显著提高各种酶活性,这也为今后黄腐酸的

诱组合(12 mg/L 庚醛—3 mg/L 桉叶油醇)为庚醛最低驱避浓度(12 mg/L)与桉叶油醇最低引诱浓度(3 mg/L)组合。作者认为,自然界昆虫会根据植物体内的多种信息物质判断植物是否为其适宜的产卵寄主,且起重要作用的物质浓度不会太高。因而当低浓度的桉叶油醇与低浓度的庚醛组合时,马铃薯块茎蛾更容易接收信息物质的刺激,从而对马铃薯块茎蛾的产卵调控起到增强的作用。

参考文献

[1] Arab A, Trigo J R, Lourenção A L, et al. Differential attractiveness of potato tuber volatiles to *Phthorimaea operculella* (Gelechiidae) and the predator *Orius insidiosus* (Anthocoridae)[J]. Journal of Chemical Ecology, 2007, 33(10):1845 - 1855.

[2] Renwick J A A, Chew F S. Oviposition behaviour in Lepidoptera [J]. Annual Review of Entomology, 1994, 39:377 - 400.

[3] Proffit M, Birgersson G, Bengtsson M, et al. Attraction and oviposition of *Tuta absoluta* females in response to tomato leaf volatiles [J]. Journal of Chemical Ecology, 2011, 37(6):565 - 574.

[4] Dimock M B, Renwick J A A. Oviposition by field population of *Pieris rapae* (Lepidoptera:Pieridae) deterred by an extract of a wild crucifer [J]. Environment Entomology, 1991,20(3): 802 - 806.

(上接 86 页)

应用提供了更加广阔的领域,并为苹果树腐烂病的防治提供了新的途径,但黄腐酸在植物组织中对其他抗病指标的影响还不明确,需进一步探明。

参考文献

[1] 曹克强,国立耘,李保华,等. 中国苹果树腐烂病发生和防治情况调查[J]. 植物保护, 2009, 35(2):114 - 116.

[2] 郑玉林. 苹果树腐烂病的发生与防治[J]. 北方果树, 2013(1): 32 - 33.

[3] 马焕普,梁宝岩,刘志民. 葡萄叶面喷施黄腐酸的效应[J]. 北京农学院学报, 2004, 19(4):1 - 3.

[4] 郭红莲,程根武,陈捷,等. 玉米灰斑病抗性反应中酚类物质代谢作用的研究[J]. 植物病理学报, 2003, 33(4):342 - 346.

[5] 王勇刚,曾富华,吴志华,等. 植物诱导抗病与病程相关蛋白[J]. 湖南农业大学学报, 2002, 28(2):177 - 181.

[6] 卢林纲. 黄腐酸及其在农业上的应用[J]. 现代化农业, 2001 (5):9 - 10.

[7] 桑维钧,李小霞,吴文辉,等. 防治何首乌叶斑病的室内药剂筛选[J]. 农药, 2007, 46(1):60 - 61.

[5] Ma Yanfen, Xiao Chun. Push-pull effects of three plant secondary metabolites on oviposition of the potato tuber moth, *Phthorimaea operculella* [J]. Journal of Insect Science, 2013, 13:1 - 7.

[6] Fenemore P G. Host-plant location and selection by adult potato moth, *Phthorimaea operculella* (Lepidoptera, Gelechiidae)-a review [J]. Journal of Insect Physiology. 1988,34:175 - 177.

[7] Raman K V, Booth R H, Palacios M. Control of potato tuber moth *Phthorimaea operculella* (Zeller) in rustic potato stores [J]. Journal of Tropical Forest Science, 1987, 27:568 - 569.

[8] Cameron P J, Walker G P, Penny G M, et al. Movement of potato tuberworm (Lepidoptera:Gelechiidae) within and between crops, and some comparisons with diamondback moth (Lepidoptera:Plutellidae) [J]. Environmental Entomology, 2002,31(1):65 - 75.

[9] 桂富荣,李正跃. 用马铃薯人工饲养马铃薯块茎蛾的方法[J]. 昆虫知识, 2003, 40(2):187 - 189.

[10] Jayanthi P D K, Virek K, Aurade R M, et al. Specific volatile compounds from mango elicit oviposition in gravid *Bactrocera dorsalis* females [J]. Journal of Chemical Ecology, 2014, 40 (3):259 - 266.

[11] Davis E E. Insect repellents: concepts of their mode of action relative to potential sensory mechanisms in mosquitoes (Diptera: Culicidae)[J]. Journal of Medical Entomology, 1985, 22(3): 237 - 243.

(责任编辑:田 喆)

[8] 管炜,李淑菊,杨瑞环,等. 黄瓜黑斑病菌室内药剂筛选试验 [J]. 北方园艺, 2011(12):130 - 131.

[9] 付海朋,李淑菊,王惠哲. 黄瓜褐斑病菌室内药剂筛选试验 [J]. 中国瓜菜, 2011,24(4):32 - 34.

[10] 陈策. 苹果树腐烂病发生规律和防治研究[M]. 北京:中国农业科学技术出版社, 2009.

[11] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京:高等教育出版社, 2006.

[12] 傅华龙,何天久,吴巧玉. 植物生长调节剂的研究与应用[J]. 生物加工过程, 2008, 6(4):7 - 12.

[13] 沈讷敏. 生化黄腐酸苹果专用菌肥的研制与应用[D]. 西安:西北大学, 2012.

[14] 陈玉玲. 黄腐酸对冬小麦幼苗一些生理过程的影响及作用机理的探讨[J]. 华北农学报, 1999,14(1):143 - 144.

[15] 回振龙,李朝周,史文煊,等. 黄腐酸改善连作马铃薯生长发育及抗性生理的研究[J]. 草业学报, 2013, 22(4):130 - 136.

[16] 赵永峰,吴林科,周皓蕾,等. 黄腐酸在马铃薯上的应用效果初报[J]. 甘肃农业科技, 2002(5):41 - 42.

(责任编辑:田 喆)