

## 根皮苷对平邑甜茶幼苗生理特性的影响

张江红<sup>1,2</sup>, 毛志泉<sup>2</sup>, 王丽琴<sup>2</sup>, 束怀瑞<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>河北农业大学园艺学院, 保定 071000; <sup>2</sup>山东农业大学园艺科学与工程学院, 泰安 271018)

**摘要:** 【目的】探讨不同浓度根皮苷对平邑甜茶幼苗生理特性的影响。【方法】以平邑甜茶幼苗为试材, 研究砂培条件下, 不同浓度根皮苷对幼苗生物量和生理特性的影响。【结果】根皮苷浓度为 0.001 mmol·L<sup>-1</sup> 时促进幼苗生长, 浓度达到 1 mmol·L<sup>-1</sup> 时开始抑制幼苗的生长, 降低了干物质积累。随着处理浓度的增加, 抑制作用加强。用浓度为 1 mmol·L<sup>-1</sup> 的根皮苷处理幼苗, 叶片和根尖的超微结构受到破坏。保护性酶活性在处理初期提高, 随着根皮苷浓度的增加和处理时间的延长, 超氧化物歧化酶(SOD)活性一直增加, 过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)活性先上升后下降, 丙二醛(MDA)含量增加, 造成细胞膜伤害, 膜脂过氧化。高浓度根皮苷降低了幼苗的光合速率和蒸腾速率。【结论】高浓度根皮苷对幼苗的生长有抑制作用, 是造成重茬障碍的重要因素。

**关键词:** 根皮苷; 平邑甜茶; 超微结构; 保护酶; 丙二醛; 光合速率; 蒸腾速率

## Effect of Phloridzin on Physiological Characteristics of *Malus hupehensis* Rehd. Seedlings

ZHANG Jiang-hong<sup>1,2</sup>, MAO Zhi-quan<sup>2</sup>, WANG Li-qin<sup>2</sup>, SHU Huai-rui<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>College of Horticulture, Agricultural University of Hebei, Baoding 071000; <sup>2</sup>College of Horticultural Science and Engineering, Shandong Agricultural University, Taian 271018)

**Abstract:** 【Objective】This experiment was conducted to explore the effect of phloridzin on the physiological characteristics of *Malus hupehensis* seedlings. 【Method】*M. hupehensis* seedlings growing in sand were treated with phloridzin at different concentrations. Effect of phloridzin on plant morphological and physiological characteristics was investigated. 【Result】The results showed that phloridzin improved seedlings growth at 0.001 mmol·L<sup>-1</sup> and inhibited the growth of seedlings at 1 mmol·L<sup>-1</sup>. Inhibition rate of phloridzin on seedlings enhanced with its concentration increased. At 1 mmol·L<sup>-1</sup>, deformation of the ultrastructures of chloroplast, mitochondrion in leaf and root was observed accompanying with increased MDA content and SOD activity. Activities of POD and CAT increased firstly, then decreased, and then increased again. Photosynthesis rate and transpiration rate of *M. hupehensis* seedlings were reduced at higher concentration of phloridzin. 【Conclusion】Phloridzin at high concentration inhibited the growth of *M. hupehensis* seedlings, which is one of the most important factors that reducing replant problem.

**Key words:** Phloridzin; *Malus hupehensis* seedling; Ultrastructure; Protective enzyme; MDA; Photosynthesis rate; Transpiration rate

## 0 引言

【研究意义】果树连作后皆出现生长衰退、产量下降、品质变劣的现象。由于中国苹果优势产区土地资源紧张, 倒茬和轮作存在困难, 重茬障碍是苹果生产发展面临的重大难题<sup>[1,2]</sup>。【前人研究进展】在多种作物上的研究认为引起重茬危害的原因之一是植物根

分泌和残茬降解时释放出的酚类物质, 对其自身的产生危害, 即自毒作用<sup>[3-6]</sup>。酚类物质显著影响了作物<sup>[7-9]</sup>和蔬菜<sup>[10,11]</sup>的生长发育, 表现在抑制幼苗生长<sup>[12-14]</sup>、光合作用<sup>[15,16]</sup>、离子吸收<sup>[16,17]</sup>、脂膜透性增加<sup>[15]</sup>、保护酶活性降低<sup>[15]</sup>, 干物质含量减少<sup>[16,17]</sup>等方面。根皮苷是一种糖苷, 在苹果树皮、根系等器官中含量非常高<sup>[18]</sup>, 通过根系分泌及残体腐解, 大量的根皮苷释放

收稿日期: 2006-05-31; 接受日期: 2006-11-17

基金项目: 农业部“948”项目资助(2006G28)

作者简介: 张江红(1972-)女, 河北无极人, 讲师, 研究方向为果树根系微域环境。Tel: 0312-7528320; E-mail: jianghongz1972@163.com。通讯作者束怀瑞(1929-), 男, 山东淄博人, 教授, 研究方向为碳氮营养、根系生物学。Tel: 0538-8242364; E-mail: hrshu@sdau.edu.cn

到土壤中, 造成下茬苹果树体生长衰退, 产量下降、品质变劣<sup>[1,2]</sup>。【本研究切入点】但根皮苷对苹果砧木生理特性影响未见报道, 缺乏对其作用机制进行深入研究 and 探讨。平邑甜茶是生产上重要的苹果砧木, 苗木生长整齐一致, 避免试材个体的差异对处理结果的影响, 结果分析可靠。【拟解决的关键问题】本文拟研究不同浓度的根皮苷对平邑甜茶幼苗的生物量、光合作用、根系呼吸和保护酶特性等生理特性的影响, 为进一步揭示根皮苷的作用机制提供新的资料和依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验于 2004~2005 年在山东农业大学园艺学院根系实验室进行。供试材料为苹果砧木平邑甜茶 (*M. hupehensis* Rehd.), 4℃层积 30 d 待种子露白后播种。供试分析纯试剂根皮苷 (phloridzin) 购自 Sigma 公司。采用的栽培基质为砂培, 砂石用 3% HCl 溶液浸泡 1 周后用水洗涤, 再用 Hoagland 营养液浸泡 24 h, 备用。

### 1.2 试验方法

1.2.1 基质处理 根皮苷用少量无水乙醇溶解, 分别稀释到不同浓度:  $1 \times 10^{-3}$ ,  $1 \times 10^{-1}$ , 1, 10  $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  (分别以 T1, T2, T3, T4 表示, 并保持乙醇浓度 <0.2%, 不影响细胞的正常生理状态), 均匀浸润砂石 (对照加入同等量无水乙醇的蒸馏水)。放置过夜, 第 2 天乙醇挥发完毕后播种。

1.2.2 试验设计与处理方法 选择芽势一致露白的种子播种于 10 cm×10 cm×10 cm 盛有砂石的营养钵中, 每营养钵 3 粒种子, 待幼苗长出后挑选生长一致的保留 1 棵, 每 2 d 浇灌一次营养液, 每次 50 ml。保证各处理的幼苗生长条件一致。幼苗出现 6 片功能叶片后, 开始进行处理, 每 3 d 浇灌一次处理液 (T1, T2, T3, T4), 每次 50 ml, 共处理 3 次。每处理 5 钵, 重复 3 次。

### 1.3 测定项目与方法

1.3.1 根形态测定 分别于第 3 次添加根皮苷液处理的第 16 天取不同处理的幼苗测定根系形态和呼吸强度, 用水小心的冲洗地上部和根系, 洗净后擦干, 分别称取地上部和根系鲜重。将根系平铺于透明硬塑料膜上, 用国产 NUScan700 平板扫描仪进行根系扫描, 照相。然后将地上部和根系烘干, 称取干重。样品图像利用 Delta-T SCAN 根系分析系统 (Delta-T

Device Ltd, Cambridge, UK) 对样品图像进行分析处理, 记录幼苗的根长、根表面积和根尖数。

1.3.2 根呼吸强度测定 小心完整取出被测植株整个根系, 蒸馏水冲洗干净, 称取细根 0.1 g, 用双面刀片切成 2 mm 长的根段, 利用生物氧检测器 (YSI-53) 和 Oxy-Lab 氧电极自动测定系统 (英国 HANSATECH 公司生产) 测定呼吸速率, 以每克根鲜重每分钟消耗  $\text{O}_2$  的微摩尔数表示根系的呼吸速率。

1.3.3 保护酶活性及膜质过氧化测定 分别于第 3 次添加根皮苷液处理的第 2、5、10、16 天测定根系的 POD、SOD、 $\text{H}_2\text{O}_2$  保护酶活性和膜脂过氧化产物丙二醛 (MDA) 含量。测定依据赵世杰等的方法<sup>[19]</sup>。

1.3.4 超微结构的观察 透射电镜观察根系和叶片的超微结构, 参照吴凤芝的方法<sup>[20]</sup>。

1.3.5 光合作用指标测定 采用 LI-6400 便携式光合仪 (美国 LI-COR 公司生产), 于第 3 次添加根皮苷液处理后第 16 天上午 11:00 测定幼苗上部第 3 和第 4 片叶的净光合速率 (Pn), 蒸腾速率 (Tr), 气孔导度 (Gs), 细胞间隙  $\text{CO}_2$  浓度。

### 1.4 数据处理

原始数据的处理采用 Excel 软件完成, 差异显著性测验采用 SAS 软件完成。

## 2 结果与分析

### 2.1 幼苗生物量

根皮苷对平邑甜茶幼苗根系特征的影响如表 1 所示。T1 处理根系干重、呼吸速率和根系的表面积都大于对照, T2 处理与对照差异不显著。T3 处理, 根系与地上部生物量的积累分别减少了 51.7% 和 17.5%, 根系的长度和根尖数量分别减少了 24.8% 和 23.6%。T4 处理根系和地上部的生物量、根系表面积和根长显著低于对照, 依次为对照的 37.2%、40.9%、56.6% 和 40.6%, 同时根系的呼吸速率提高了 23.75%, 达到了显著差异水平。说明 T3 处理浓度 ( $1 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ ) 即表现出抑制幼苗的生长, 降低植株根系与地上部生物量的积累。并且随处理浓度的增加, 抑制作用增强。

### 2.2 叶片和根尖的超微结构

由图 1 可以看出, 对照处理幼苗的根尖超微结构具有完整的线粒体, 质体, 核膜, 内质网膜结构 (图 1-1); 质体含有清晰的淀粉粒 (图 1-2); 线粒体界限清楚 (图 1-3)。叶片的超微结构表现为叶绿体完整,

片层清楚,基粒多(图 1-4)。而 T4 处理幼苗 16 天后,观察到根尖细胞的核膜、液泡、质体和线粒体的膜结

构都不完整(图 1-5);且质体外膜不清楚;淀粉体结构受到破坏(图 1-6);线粒体的界限不清(图 1-7)。

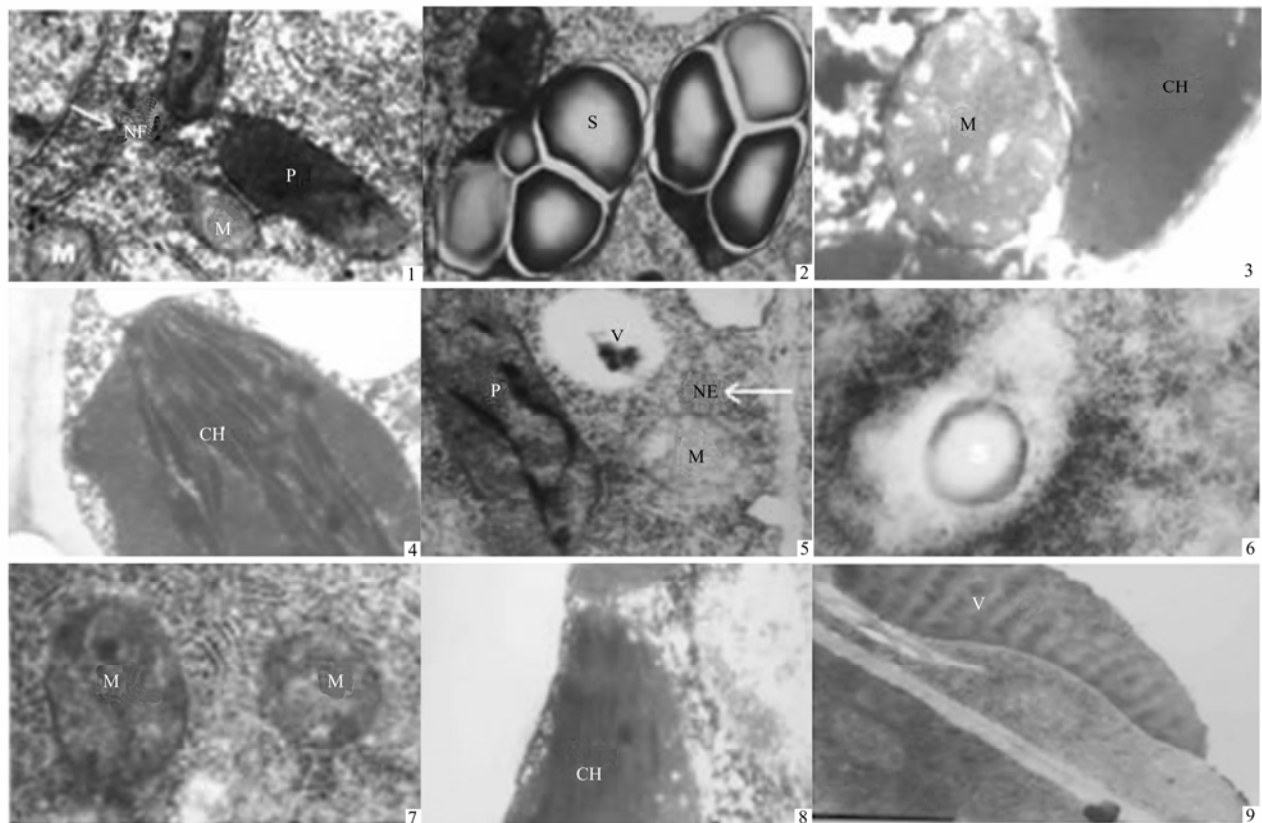
表 1 根皮昔处理对平邑甜茶幼苗生物量及根系特征的影响

Table 1 Effect of phloridzin on biomass and root morphology of *M. hupehensis* Rehd. seedlings

| 处理<br>Treatment | 根系干重<br>Dry weight of<br>root (mg) | 地上部干重<br>Dry weight of<br>above ground (mg) | 细根呼吸速率<br>Fine root respiration<br>( $\mu\text{mol O}_2\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}\cdot\text{min}^{-1}$ ) | 根系表面积<br>Total root area<br>( $\text{cm}^2$ ) | 根尖数<br>Number of root<br>tip | 根长<br>Total root length<br>(m) |
|-----------------|------------------------------------|---|---|---|------------------------------|--------------------------------|
| CK              | 319.0b*                            | 525.0a                                      | 0.44  | 22.2b   | 178a                         | 2.2ab                          |
| T1              | 372.3a                             | 491.7a                                      | 0.45  | 27.0a   | 169a                         | 2.5a                           |
| T2              | 317.0b                             | 523.0a                                      | 0.36  | 17.9c   | 138ab                        | 2.0bac                         |
| T3              | 154.0c                             | 433.0b                                      | 0.50  | 12.7d   | 136ab                        | 1.7bc                          |
| T4              | 120.0d                             | 215.0c                                      | 0.55  | 12.6d   | 113b                         | 1.3c                           |

同列不同小写字母表示处理间  $\alpha=0.05$  水平差异显著。下同

Means within a column followed by the different letter are significantly different at 5% level. The same as below



1~4: CK; 5~9: T4 处理; M: 线粒体; NE: 核膜; P: 质体; V: 液泡; S: 淀粉粒; CH: 叶绿体; 1: CK: 细胞器  $\times 30\text{K}$ ; 2: CK: 质体  $\times 20\text{K}$ ; 3: CK: 线粒体  $\times 30\text{K}$ ; 4: T4 处理: 质体  $\times 30\text{K}$ ; 5: T4 处理: 细胞器  $\times 30\text{K}$ ; 6: T4 处理: 线粒体  $\times 30\text{K}$ ; 7: CK: 叶绿体  $\times 30\text{K}$ ; 8: T4 处理: 叶绿体  $\times 30\text{K}$ ; 9: T4 处理: 叶泡膜上有黑色颗粒沉淀  $\times 25\text{K}$   
1-4: CK; 5-9: T4 treatment; M: mitochondria; NE: nuclear membrane; P: plastid; V: vacuole; S: starch grain; CH: chloroplast; 1: CK: cellular organelle  $\times 30\text{K}$ ; 2: CK: plastid  $\times 20\text{K}$ ; 3: CK: mitochondria  $\times 30\text{K}$ ; 4: T4 treatment: cellular organelle  $\times 30\text{K}$ ; 5: T4 treatment: plastid  $\times 30\text{K}$ ; 6: T4 treatment: mitochondria  $\times 30\text{K}$ ; 7: CK: chloroplast  $\times 30\text{K}$ ; 8: T4 treatment: chloroplast  $\times 30\text{K}$ ; 9: T4 treatment: sediment of black particles on vacuolar membrane  $\times 25\text{K}$

图 1 CK 和 T4 处理平邑甜茶幼苗叶片和根尖的超微结构

Fig. 1 Ultrastructure of leaf and root tip of *M. hupehensis* Rehd. seedling (CK and T4 treatment)

叶片的核膜和叶绿体膜边界模糊(图 1-8), 有的甚至解体; 液泡膜上有黑色颗粒沉积(图 1-9)。这可能是多酚物质与蛋白质结合的产物沉积到液泡中, 起到解毒的作用, 或者重金属与蛋白质络合的结果, 有待于进一步研究。表明根皮苷浓度达到  $10 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  时, 幼苗叶片和根尖的超微结构受到破坏。

### 2.3 根系幼苗保护性酶和膜脂过氧化

图 2 所示为 4 种浓度的根皮苷对平邑甜茶幼苗根

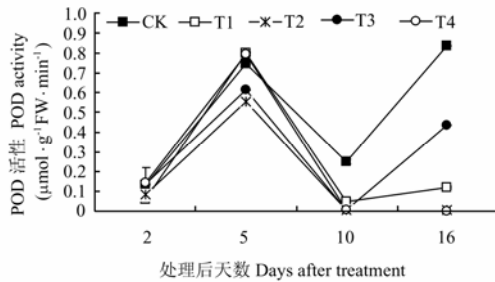


图 2 根皮苷对幼苗根系 POD 活性的影响

Fig. 2 Effect of phloridzin on POD activity of roots of *M. hupenhensis* seedlings

系 POD 活性的影响。结果表明, 4 个处理对幼苗 POD 活性的影响一致, 呈现出先升高后下降又回升的变化, 但不同的处理浓度引起的变化程度存在差异。T3 和 T4 处理后前 5 d 内 POD 活性超过了对照, 表明植株自身产生一定的保护机制, 随后 5 d 内活性下降, 第 10 天 POD 活性变化为  $0.003 \mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}\cdot\text{min}^{-1}$ , 随后又出现上升的趋势, 第 16 天时检测到的 POD 酶活性变化分别为  $0.435$ 、 $0.002 \mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}\cdot\text{min}^{-1}$ , 但仍低于对照 ( $0.832 \mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}\cdot\text{min}^{-1}$ )。说明 T3 和 T4 处理后, 幼苗体内的保护酶活性不能达到正常水平, 进而影响植株的生长。由图 3 可以看出, 4 个浓度处理后, 幼苗的 SOD 酶活性随着处理时间的延长, 一致呈现出增加的趋势, T1 处理 SOD 酶活性与对照差异不显著, T2, T3, T4 三个处理 10 d 后幼苗的 SOD 酶活性开始下降, 其中 T4 处理酶活性仅为对照的 65.1%。图 4 表示根皮苷处理对 CAT 活性的影响。4 个浓度处理都引起酶活性降低, 且都低于对照, 可以看出 T3 和 T4 处理后 CAT 活性呈现先上升后降低又升高的变化趋势, 说明幼苗通过自身的防御系统, 有可能抵御一段时期的逆境, 但清除活性氧的能力低于对照, 第 16 天测定的结果表明 T4 处理 CAT 活性最低, 仅为对照

的 35%。图 5 是根皮苷对膜脂过氧化的影响。结果表明, T3 和 T4 处理明显增加了细胞内 MDA 的含量, 导致细胞内氧自由基产生和清除的平衡受到破坏, 自由基的增加进一步导致细胞膜的伤害, 造成膜脂过氧化。

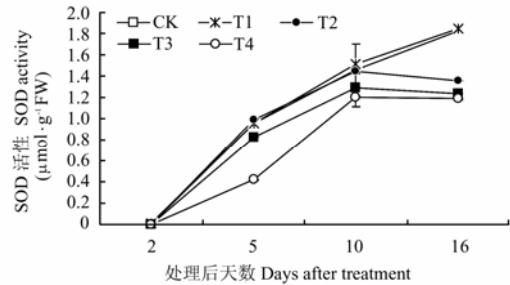


图 3 根皮苷对幼苗根系 SOD 活性的影响

Fig. 3 Effect of phloridzin on SOD activity of roots of *M. hupenhensis* seedlings

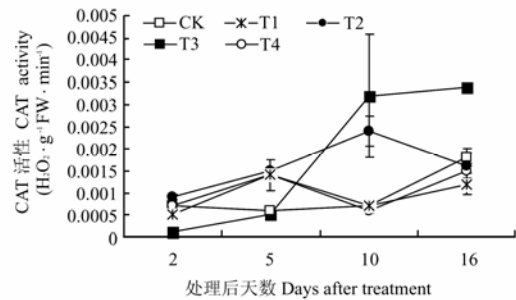


图 4 根皮苷对幼苗根系 CAT 活性的影响

Fig. 4 Effect of phloridzin on CAT activity of roots of *M. hupenhensis* seedlings

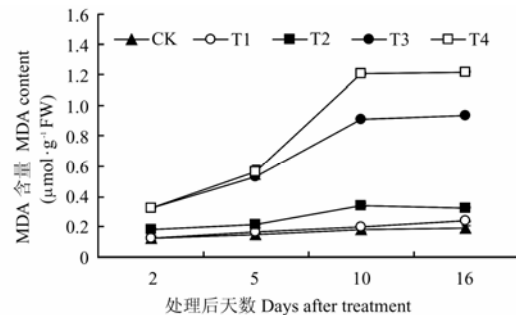


图 5 根皮苷对幼苗根系 MDA 含量的影响

Fig. 5 Effect of phloridzin on MDA content of roots of *M. hupenhensis* seedlings

以上结果表明,浓度不超过  $0.1 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  的根皮昔处理后,幼苗由于保护酶系统的作用,氧自由基可以得到一定程度的清除,膜脂过氧化程度较轻。在处理浓度达到  $1 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  时,幼苗产生的氧自由基因保护酶的清除能力削弱而不能得到及时的清除,对细胞膜将产生毒害作用,这种毒害作用随着处理时间的延长和浓度的增加而增加。

## 2.4 光合作用

表 2 不同浓度根皮昔处理对幼苗光合作用的影响

Table 2 Effect of phloridzin on photosynthesis of *M. hupenhensis* seedlings

| 处理<br>Treatment | 叶面积<br>Leaves area<br>( $\text{cm}^2$ ) | 光合速率<br>Photosynthesis rate<br>( $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ ) | 蒸腾速率<br>Transpiration rate<br>( $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ ) | 气孔导度<br>Stomatal conductance<br>( $\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ) | 胞间 $\text{CO}_2$ 浓度<br>Intercellular $\text{CO}_2$<br>concentration( $\mu\text{L}\cdot\text{L}^{-2}$ ) |
|-----------------|---|--|---|--|--|
| CK              | 21.6ab                                  | 3.1bc  | 1.8a  | 0.30   | 303.0  |
| T1              | 23.6a                                   | 3.8ab  | 1.8a  | 0.06   | 296.0  |
| T2              | 19.6b                                   | 4.0a   | 1.4ab   | 0.05   | 233.0  |
| T3              | 13.0c                                   | 2.9c   | 1.3c  | 0.04   | 234.7  |
| T4              | 14.0c                                   | 2.5c   | 0.9c  | 0.04   | 194.3  |

由表 2 可以看出, T3 和 T4 处理,幼苗的叶面积分别为对照的 39.8%和 35.2%,光合速率分别为对照的 60.6%和 65%,蒸腾速率降低了 6.4%和 18.6%,说明高浓度根皮昔处理后幼苗的叶面积减少,光合和蒸腾作用降低,与对照差异显著,从而导致光合作用转化的物质和能量降低,造成幼苗缺乏快速生长所必需的物质和能量,生长速度减慢。

## 3 讨论

植物通过组织分泌或残茬分解等途径产生的酚类物质具有化感作用,会抑制邻近植物或下茬植物的生长发育<sup>[21-23]</sup>。根系是直接受到影响的器官。Vaugh<sup>[14]</sup>发现高浓度 ( $1 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ ) 的阿魏酸 (*trans-Ferulic acid*),香草酸 (*vanillic acid*),肉桂酸 (*cinnamic acid*),对羟基苯甲酸 ( $\rho$ -*hydroxybenzoic acid*),丁香酸 (*syringic acid*),咖啡酸 (*caffeic acid*) 等酚酸物质,抑制了营养液培养的 *Pisum sativum* 根系生长,表现在影响了根系形态学特征(主根,侧根,数量和长度),并抑制了根细胞分裂。本试验发现,根皮昔的处理浓度达到  $1 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$  后对幼苗的根系长度和表面积有很大影响,分别减少了 24.7%~43.4%,根系干重和地上部干重减少了 17%~62.19%,因此在很大程度上影响了根系的吸收能力。本试验还观察到高浓度根皮昔对引起幼苗根系的变化先于叶片的变化,表现为根尖短粗,颜色变为褐色,随后出现叶片变薄和颜色变黄,说明根系生长受到影响后才表现叶片光合作用的降低。根系的呼吸会受到化感物质影响<sup>[12]</sup>,可以改变植物的能量代谢。本试验结果表明,高浓度根皮昔 ( $10 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ ) 处理后幼苗根系的呼吸速率提高了 23.75%,那么用于建造和维持根系生命所消耗的能量增加,不利于植株的生长发育,这也表明了平邑甜茶幼苗根系

的呼吸速率和呼吸途径可能与自毒和化感有关。吴凤芝等<sup>[20]</sup>观察酚酸对黄瓜幼苗超微结构的影响时发现,高浓度苯丙烯酸使黄瓜幼苗细胞膜,叶绿体,线粒体,细胞核均受到不同程度的破坏。本研究未发现细胞核的变异,但观察到叶绿体和线粒体的膜结构受到破坏。可能不同酚类物质的作用效果对于不同植物的影响有差异。

高浓度根皮昔引起幼苗细胞保护酶活性升高到降低,又升高的趋势,在第 10 天出现一个较低值,这可能是由于取样的差异引起的。幼苗保护酶活性的改变引起 MDA 含量增加,组织内剩余活性氧增多<sup>[24]</sup>,使膜系统保护功能下降,膜脂过氧化程度加剧,使细胞膜的结构和功能受到破坏,进而降低了叶片的光合速率,最终导致养分吸收和转化减少,表现出幼苗生长受阻,发育不良。

在苹果树叶片、老根和园地土壤的浸提液中均检测到根皮昔及其分解产物,主要成分是根皮昔<sup>[1,2,18,25]</sup>。多年生苹果园土壤中根皮昔长期累积,高浓度根皮昔是苹果幼苗生长的抑制剂,确定其在土壤中的毒害临界浓度,有助于了解重茬对苹果的根系微域环境影响,为果树生产中重茬危害的研究提供参考。

## 4 结论

低浓度根皮苷促进幼苗的生长, 浓度达到  $1 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  时开始表现出抑制幼苗生长的作用, 且随着处理浓度的增加, 抑制作用加强, 表现在降低干物质积累, 影响保护酶活性, 降低光合速率等方面。进一步证明高浓度根皮苷是造成重茬障碍的重要因素。

## References

- [1] 杨兴洪, 罗新书. 果树再植问题研究进展. 果树科学, 1991, 8(4): 239-244.  
Yang X H, Luo X S. Research advances on replant disease of fruit tree. *Journal of Fruit Science*, 1991, 8(4): 239-244. (in Chinese)
- [2] 杨兴洪, 王寿华, 武修英. 苹果再植病及病原线虫种的研究. 植物病理学报, 1994, 24(2): 165-168.  
Yang X H, Wang S H, Wu X Y. Apple replant disease and the identification of pathogenic nematode species. *Acta Phytopathologica Sinica*, 1994, 24(2): 165-168. (in Chinese)
- [3] Inderjit. Plant phenolics in allelopathy. *The Botanical Review*, 1996, 62(2): 186-202.
- [4] 吴凤芝, 赵凤艳, 马凤鸣. 酚酸物质及其化感作用. 东北农业大学学报, 2001, 32: 313-319.  
Wu F Z, Zhao F Y, Ma F M. Phenolic acid substances and Allelopathy mechanisms. *Journal of Northeast Agricultural University*, 2001, 32: 313-319. (in Chinese)
- [5] Friebe A, Schulz M, Kuck P, Schnal H. Phytotoxins from shoot extracts and root exudates of *Agropyron repens* seedlings. *Phytochemistry*, 1995, 38:1157-1159.
- [6] Reigosa M J, Sanchez-Moreiras A, Gonzalez L. Ecophysiological approach in allelopathy. *Critical Reviews in Plant Science*, 1999, 18: 577-608.
- [7] Asao T, Hasegawa K, Sueda Y, Tomita K, Taniguchi K, Hosoki T, Pramanik M H R, Matsui Y. Autotoxicity of root exudates from taro. *Scientia Horticulturae*, 2003, 97: 389-396.
- [8] Liu X B, Herbert S J. Fifteen years of research examining cultivation of continuous soybean in northeast China: A review. *Field Crops Research*, 2002, 79: 1-7.
- [9] Seal A N, Pratley J E, Haig T, An M. Identification and quantitation of compounds in a series of allelopathic and non-allelopathic rice root exudates. *Journal of Chemical Ecology*, 2004, 30: 1647-1662.
- [10] 彭宇, 张春兰, 沈其荣, 周虹杰, 杨广超. 盐胁迫下两种外源酚酸对黄瓜种子萌发及幼苗体内某些酶活性的效应. 南京农业大学学报, 2003, 26 (1): 33-36.  
Peng Y, Zhang C L, Shen Q R, Zhou H J, Yang G C. Effects of two phenolic acids on seed germination and activities of some emzymes in cucumbersedlings under salt stress. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 2003, 26 (1): 33-36. (in Chinese)
- [11] Yu J Q, Matsui Y. Effects of root exudates of cucumber (*Cucumis sativus*) and allelochemicals on ion uptake by cucumber seedlings. *Journal of Chemical Ecology*, 1997, 23: 817-827.
- [12] Reigosa M J, Souto X C, Gonzalez L. Effect of phenolic compounds on the germination of six weeds species. *Plant Growth Regulation*, 1999, 28: 83-88.
- [13] Chon S U, Choi S K, Jung S, Jang H G, Pyo B S, Kim S M. Effects of alfalfa leaf extracts and phenolic allelochemicals on early seedling growth and root morphology of alfalfa and barnyard grass. *Crop Protection*, 2002, 21: 1077-1082.
- [14] Vaughan D, Ord B. Influence of phenolic acids on morphological changes in roots of *Pisum sativum*. *Journal of Science of Food and Agriculture*, 1990, 52: 289-299.
- [15] Yu J Q, Ye S F, Zhang M F, Hu W H. Effects of root exudates and aqueous root extracts of cucumber (*Cucumis sativus*) and allelochemicals, on photosynthesis and antioxidant enzymes in cucumber. *Biochemical Systematics and Ecology*, 2003, 31: 129-139.
- [16] Santos W D, Ferrarese M D L, Finger A, Teixeira A C N, Ferrarese O. Lignification and related enzymes in *Glycine max* inhibition by ferulic acid. *Journal of Chemical Ecology*, 2004, 30: 1203-1212.
- [17] Baziramakenga R, Simard R R, Leroux G D. Effects of benzoic acid and cinnamic acids on growth, mineral composition, and chlorophyll content of soybean. *Journal of Chemical Ecology*, 1994, 20: 2821-2833.
- [18] Schieber A, Keller P, Carle R. Determination of phenolic acids and flavonoids of apple and pear by high-performance liquid chromatography. *Journal of Chromatography A*, 2001, 910: 265-273.
- [19] 赵世杰, 刘华山, 董新纯. 植物生理学实验指导. 北京: 中国农业科技出版社, 1998: 149-161.  
Zhao S J, Liu H S, Dong X C. *Experimental Instruct of Plant Physiology*. Beijing: Chinese Agricultural Science and Technology Press, 1998: 149-161. (in Chinese)
- [20] 吴凤芝, 潘凯, 马凤鸣, 王学东. 苯丙烯酸对黄瓜幼苗光合作用和细胞超微结构的影响. 园艺学报, 2004, 31(2): 183-188.  
Wu F Z, Pan K, Ma F M, and Wang X D. Effects of cinnamic acia on photosynthesis and cell ultrastructure of cucumber seedlings. *Acta Horticulturae Sinica*, 2004, 31(2): 183-188. (in Chinese)
- [21] 申建波, 张福锁. 根分泌物的生态效应. 中国农业科技导报, 1999, 1(4): 21-27.  
Shen J B, Zhang F S. Ecological effect of root exudates. *Review of China Agricultural Science and Technology*, 1999, 1(4): 21-27. (in Chinese)

- Chinese)
- [22] Hiradate S, Morita S, Furubayashi A, Fujii Y, Harada J. Plant growth inhibition by *cis*-cinnamoyl glucosides and *cis*-cinnamic acid. *Journal of Chemical Ecology*, 2005, 31: 591-601.
- [23] Inderjit, Rawat D S, Foy C L. Multifaceted approach to determine rice straw phytotoxicity. *Canada Journal of Botany*, 2004, 82: 168-176.
- [24] 吴凤芝, 黄彩红, 赵凤艳. 酚酸类物质对黄瓜幼苗生长及保护酶活性的影响. *中国农业科学*, 2002, 35: 821-825.
- Wu F Z, Huang C H, Zhao F Y. Effects of phenolic acids on growth and activities of membrane protective enzymes of cucumber seedlings. *Scientia Agricultura Sinica*, 2002, 35: 821-825. (in Chinese)
- [25] 余叔文, 汤章城. 植物生理与分子生物学. 北京: 北京科学出版社, 2000.
- Yu S W, Tang Z C. *Plant Physiology and Molecular Biochemistry*. Beijing: Science Press, 2000. (in Chinese)

(责任编辑 王 莉, 吴晓丽)

(上接 471 页)

## 2006年转基因作物商业化生产的全球态势 (二)

从1996年到2006年, 全球发展中国家的转基因作物的种植面积持续增长。2006年, 发展中国家转基因作物种植面积占全球转基因作物种植总面积的40% (4090万公顷); 从2005年到2006年, 发展中国家的转基因作物种植面积增长率 (21%) 显著高于工业化国家 (9%)。代表亚洲、拉丁美洲和非洲的5个主要发展中国家 (印度、中国、阿根廷、巴西和南非) 综合影响力日益提升, 预示全球对转基因作物的采用和接受程度增加。

自1996年转基因作物商业化生产以来, 11年的全球转基因作物累计种植面积达5.77亿公顷, 相当于美国或中国陆地总面积的1/2强。转基因作物品种的采用率, 反映了农民对转基因产品的满意度。采用率提高, 说明农民满意。种植转基因作物品种相比种植传统品种具有以下优势: 作物管理更加方便灵活、生产成本降低、生产效率提高、健康状况改善、农药使用减少环境更加清洁等。这些特点有助于农业的可持续性发展。转基因作物采用率的持续、快速增长, 反映了工业化国家和发展中国家的农户、消费者以及社会的进步。

根据1996年到2005年转基因作物全球影响的最新调查, 2005年全球转基因作物种植户获得的纯经济效益估计为56亿美元, 10年的累计效益高达270亿美元 (发展中国家为130亿美元, 工业化国家为140亿美元); 这些估计值也包括了阿根廷从双季转基因大豆中获得的效益。10年内杀虫剂有效成分的累计削减量为22.43万吨, 按环境影响系数 (EIQ) 计算, 相当于使杀虫剂产生的环境影响降低了15%。

除22个种植转基因作物的国家外, 2006年来, 另有29个国家已经批准了相关法规, 允许进口转基因作物产品, 用作食品和饲料加工原料, 或进行环境试验, 其中包括没有种植转基因作物的主要食品进口国日本。

转基因作物的未来是鼓舞人心的, 因为种植目前 4 种主要转基因作物的国家数量有望继续增加, 它们在全球种植的转基因作物总面积以及农户数量预计会持续增长。第一代转基因作物已被广泛采用, 而具备“投入”和“产出”性状的第二代转基因作物也已面市。抗旱转基因作物有望在 2010 年到 2011 年面市, 这对以雨养农业为主的发展中国家而言尤其重要。品质改良的转基因作物也已亮相, 这意味着转基因产品会得到更多国家、尤其是欧洲国家的接纳。

展望2006年到2015年转基因作物商品化生产的第二个10年, 全球转基因作物的种植面积将继续增加, 到2015年, 预测将有分布于40多个国家的至少2000万农户参与种植转基因作物。转基因作物种植面积的扩大, 将有助于实现2015年将全球贫困和饥饿人口降低50%的联合国人道主义“千年发展目标 (MDG) ”。

数据来源于 ISAAA (农业生物技术应用国际服务组织)