



叶面喷施水杨酸对马铃薯绿原酸含量及关键酶基因表达的影响

杨慧芹 余万都 张丽颖 高冬丽 尚轶 马玲

Effects of Foliar Spraying Salicylic Acid on the Content of Chlorogenic Acid and Expression of Key Enzyme Gene in *Solanum tuberosum* Leaves

Yang Huiqin, Yu Wandu, Zhang Liying, Gao Dongli, Shang Yi, Ma Ling

引用本文:

杨慧芹, 余万都, 张丽颖, 高冬丽, 尚轶, 马玲. 叶面喷施水杨酸对马铃薯绿原酸含量及关键酶基因表达的影响[J]. 西南林业大学学报, 2021, 41(5):184–188. doi: 10.11929/j.swfu.202005057

Yang Huiqin, Yu Wandu, Zhang Liying, Gao Dongli, Shang Yi, Ma Ling. Effects of Foliar Spraying Salicylic Acid on the Content of Chlorogenic Acid and Expression of Key Enzyme Gene in *Solanum tuberosum* Leaves[J]. Journal of Southwest Forestry University(Natural Science), 2021, 41(5):184–188. doi: 10.11929/j.swfu.202005057

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11929/j.swfu.202005057>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

过量叶酸对小鼠胚胎发育及 *Vangl1* 基因表达的影响

Effects of Excessive Folic Acid on Embryonic Development and *Vangl1* Gene Expression in Mice

西南林业大学学报. 2020, 40(5): 87 <https://doi.org/10.11929/j.swfu.201906027>

对羟基苯甲酸和肉桂酸对巨尾桉9号苗木生长及生理指标的影响

Effects of p-Hydroxybenzoic Acid and Cinnamic Acid on the Growth and the Physiological Indexes of Seedlings of *Eucalyptus grandis* × *E. urophylla* No.9

西南林业大学学报. 2020, 40(6): 19 <https://doi.org/10.11929/j.swfu.201908018>

不同大别山山核桃优树含油率与脂肪酸组分含量分析

Oil Content and Fatty Acid Composition of Superior *Carya dabieshanensis* Trees in Dabieshan

西南林业大学学报. 2019, 39(3): 124 <https://doi.org/10.11929/j.swfu.201809060>

黄腐酸有机肥对盐胁迫下刺槐幼苗生长的影响

Effects of Fulvic Acid Organic Fertilizer on the Growth of *Robinia pseudoacacia* Seedlings Under Salt Stress

西南林业大学学报. 2019, 39(2): 36 <https://doi.org/10.11929/j.swfu.201807016>

云南核桃分心木氨基酸含量及综合评价

Amino Acid Content and Comprehensive Evaluation of *Diaphragma juglandis* Fructus in Yunnan

西南林业大学学报. 2018, 38(4): 200 <https://doi.org/10.11929/j.issn.2095-1914.2018.04.031>

樟叶越桔 *VdARP7* 基因片段克隆与表达分析

Gene Cloning and Expression Analysis of *VdARP7* in *Vaccinium dunalianum*

西南林业大学学报. 2018, 38(4): 179 <https://doi.org/10.11929/j.issn.2095-1914.2018.04.028>

DOI: 10.11929/j.swfu.202005057

引文格式: 杨慧芹, 余万都, 张丽颖, 等. 叶面喷施水杨酸对马铃薯绿原酸含量及关键酶基因表达的影响 [J]. 西南林业大学学报 (自然科学), 2021, 41(5): 184–188.

叶面喷施水杨酸对马铃薯绿原酸含量及关键酶基因表达的影响

杨慧芹 余万都 张丽颖 高冬丽 尚轶 马玲

(云南师范大学云南省马铃薯生物学重点实验室, 马铃薯科学研究院, 云南昆明 650500)

摘要: 以二倍体马铃薯 CIP-65 为试验材料, 用 0.01、0.10、1.00 mmol/L 3 种不同浓度的 SA 溶液对马铃薯叶片进行喷施处理, 然后采用紫外分光光度法和 qRT-PCR 法对 CGA 含量和 CGA 合成关键酶——羟基肉桂酰辅酶 A 奎尼羟基肉桂转移酶 *HQT* 基因的表达水平进行检测, 分析水杨酸 (SA) 对马铃薯叶片中绿原酸 (CGA) 含量及关键酶基因表达的影响。结果表明: 低浓度 SA (0.01 mmol/L) 处理后, 马铃薯叶片中的 CGA 含量明显提高, *HQT* 基因的表达也被激活, 与绿原酸变化趋势一致; 中等浓度 (0.1 mmol/L) 的 SA 处理也明显提高了马铃薯叶片中的 *HQT* 表达量和 CGA 含量, 但 CGA 含量的增幅低于 0.01 mmol/L 的 SA 处理; 高浓度 (0.1 mmol/L) 的 SA 处理在一定程度上促进了 *HQT* 基因的表达, 但绿原酸的含量与处理前相比差异不大。因此, 较低浓度的 SA 喷施处理能够促进马铃薯叶片中 *HQT* 基因的表达和 CGA 的积累。

关键词: 二倍体; 马铃薯; 叶片; 水杨酸; 绿原酸; 基因表达

中图分类号: S532.0

文献标志码: A

文章编号: 2095-1914(2021)05-0184-05

Effects of Foliar Spraying Salicylic Acid on the Content of Chlorogenic Acid and Expression of Key Enzyme Gene in *Solanum tuberosum* Leaves

Yang Huiqin, Yu Wandu, Zhang Liying, Gao Dongli, Shang Yi, Ma Ling

(Yunnan Provincial Key Laboratory of Potato Biology/Joint Academy of Potato Science,
Yunnan Normal University, Kunming Yunnan 650500, China)

Abstract: The diploid *Solanum tuberosum* CIP-65 was used as the test material in this study, and the *S. tuberosum* leaves were sprayed with 3 different concentrations of salicylic acid (SA) solutions of 0.01, 0.10, and 1.00 mmol/L. Then, the content of chlorogenic acid (CGA) and the expression level of hydroxycinnamoyl CoA quinate hydroxycinnamoyl transferase (*HQT*) gene were detected by UV spectrophotometry and qRT-PCR. The effects of SA on CGA content and the expression of key enzyme gene in *S. tuberosum* leaves were analyzed. The results showed that the content of CGA and the expression of *HQT* gene in *S. tuberosum* leaves were significantly increased after low concentration of SA (0.01 mmol/L), and the expression of *HQT* gene was also activated, which was consistent with the change trend of CGA; the expression of *HQT* and CGA content in *S. tuberosum* leaves were significantly increased by SA treatment with medium concentration (0.1 mmol/L), but the increase of CGA content was lower than that of 0.01 mmol/L SA treatment; high concentration (0.1 mmol/L) of SA solution pro-

收稿日期: 2020-05-26; 修回日期: 2020-08-27

基金项目: 国家自然科学基金面上项目 (31972433) 资助; 云南师范大学博士研究生创新基金项目 (yjs2018151) 资助。

第1作者: 杨慧芹 (1988—), 女, 博士研究生。研究方向: 马铃薯营养与品质研究。Email: yanghuiqin1012@163.com。

通信作者: 马玲 (1987—) 女, 助理研究员。研究方向: 马铃薯分子生物学研究。Email: maling223322@126.com。

moted the expression of *HQT* gene, but the content of CGA was not significantly different from that before treatment. In conclusion, SA treatment with lower concentration could promote the expression of *HQT* gene and the accumulation of CGA in *S. tuberosum* leaves.

Key words: diploid; *Solanum tuberosum*; leaf; alicyclic acid; chlorogenic acid; gene expression

马铃薯 (*Solanum tuberosum*), 为茄科茄属 1 年生草本植物, 又称土豆、地蛋、洋芋等^[1]。马铃薯种植可追溯到公元前 8000 ~ 5000 年的秘鲁南部。其形态特征为草本, 茎分地上茎和地下茎两部分, 可食用部分为地下茎。地下茎呈块状, 扁球形或长圆形, 直径 3 ~ 10 cm, 外皮呈白色、浅红色或紫色。马铃薯是全球第四大粮食作物, 仅次于玉米 (*Zea mays*)、水稻 (*Oryza sativa*) 和小麦 (*Triticum aestivum*), 已成为世界性重要的口粮来源和多种工业加工原料^[2]。马铃薯在云南省的种植更为普遍, 现已成为云南省第三大农作物, 并成为促进云南贫困地区经济发展的主要产业。马铃薯因其含较多的淀粉、蛋白质、无机盐等, 深受广大人民群众喜爱^[3]。除了食用价值之外, 马铃薯还具有调中、健脾益气、消炎解毒等广泛的药用价值, 所含酚酸、黄酮等酚类物质具有多种保健作用^[4]。

酚类化合物是植物中分布最广泛的次生代谢产物, 在植物生长发育和逆境信号转导中起着重要作用。马铃薯中最主要的酚类物质是绿原酸 (CGA), 它是一种天然的抗氧化剂, 其抗氧化能力要强于咖啡酸、对羟苯酸、阿魏酸、丁香酸、J 基羟基茴香醚和生育酚^[5], 在某些食品中可取代或部分取代目前常用的人工合成抗氧化剂。绿原酸, 化学名称为 3-*O*-咖啡酰奎尼酸, 分子式为 $C_6H_{18}O_9$ 。绿原酸具有广泛的生物活性, 研究表明绿原酸对急性咽喉炎症和化脓性皮肤疾病疗效显著, 具有抗氧化、抗菌、抗病毒、抗肿瘤、降血糖、降血脂等多种药用功能, 现代科学对绿原酸生物活性的研究已深入到食品、医药、保健和日用化工等领域^[6]。此外, 绿原酸等酚类物质在植物抗病中也具有重要作用^[7]。在体外实验中, 绿原酸具有广泛的抗真菌活性, 能完全抑制孢子萌发或菌丝长度从而起到杀菌剂的作用。有研究表明, 绿原酸能有效抑制马铃薯疮痂病、黑胫病和晚疫病等病原菌的侵染^[8]。通过 *HQT* 合成绿原酸的途径是其主要的合成途径^[9-10], 目前对这一途径中 *HQT* 基因功能的研究较为深入, 越来越多的实验证明了它与绿原酸合成的直接关系。大

量研究结果表明, 在富含绿原酸的植物, 如番茄 (*Lycopersicon esculentum*)、烟草 (*Nicotiana tabacum*)、朝鲜蓟 (*Cynara scolymus*)、咖啡 (*Coffea arabica*) 和金银花 (*Lonicera japonica*) 中都存在 *HQT* 基因, 并且 *HQT* 在体内体外都可以直接催化咖啡酰辅酶 A 与奎宁酸生成绿原酸^[6]。研究表明, 过表达 *HQT* 基因能明显提高植物体内的绿原酸含量^[11-12]; 相反, 沉默 *HQT* 基因后绿原酸含量显著下降^[13]。

水杨酸 (SA) 作为一种信号分子, 在植物的抗病过程中发挥着重要作用, 它能诱导植物系统获得性抗性, 激活植物抗性反应, 诱导某些抗性基因及抗性相关蛋白的表达, 从而诱导植物对细菌、真菌和病毒等产生系统抗性^[14]。鉴于绿原酸在植物抗病性方面具有重要作用, 本研究以水杨酸作为诱导剂, 对二倍体马铃薯叶片进行叶面喷施, 研究了水杨酸对马铃薯绿原酸含量及关键酶基因 *HQT* 表达的影响, 为绿原酸在植物抗病方面的研究提供一定的参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本试验选用的材料为国际马铃薯中心 (CIP) 提供的二倍体马铃薯 CIP-65。取苗龄为 3 周的 CIP-65 无菌苗, 选择状态良好, 长势一致的移栽到直径 25 cm 的花盆中, 置于温室内正常生长。

1.2 试验方法

1.2.1 SA 叶面喷施处理

马铃薯苗移栽 30 d 后, 分别用 0.01、0.1、1 mmol/L 的 SA 进行叶面喷施, 在处理后不同时间段 (6、12、24 h) 分别进行叶片样品采集 (选取植株顶端完全展开、状态良好、无任何病变的功能叶), 液氮速冻后, -80 °C 保存备用。以 0 h 未经任何处理的叶片样品作为对照。

1.2.2 绿原酸含量测定

参照钟方晓^[15]的方法稍作修改: 准确称取 0.2 g 马铃薯叶片样品, 加入 2 mL 75% 乙醇研磨匀浆, 超声波在 4 °C 条件下震荡萃取 30 min, 萃取结束后, 4 °C, 12000 r/min 离心 2 min, 取上清

适当稀释后于 327 nm 波长下检测吸光度,以 75% 乙醇为空白对照。根据标准曲线计算绿原酸含量。

标准曲线制作:以 75% 乙醇为溶剂,先配制成 100 mL 含绿原酸 20 mg 的溶液,再依次配制成 100 mL 中含绿原酸 0.5、1.0、1.5、2.0 mg 4 种不同浓度的绿原酸标准溶液。取 2 mL 绿原酸标准溶液于 327 nm 处测出各标准溶液的吸光值,以 2 mL 75% 乙醇代替绿原酸标准溶液作为空白。以系列标准绿原酸浓度为横坐标,对应的吸光值为纵坐标。

1.2.3 RNA 提取和 qRT-PCR

用天根公司的 RNAprep Pure 多糖多酚植物总 RNA 提取试剂盒来提取马铃薯叶片样品中的总

RNA。提取的 RNA 用 1% 琼脂糖凝胶电泳和超微量分光光度计进行检测, A_{260}/A_{280} 值在 1.8 ~ 2.1 之间。按照 TaKaRa 公司的反转录试剂盒 (Prime Script™ RT reagent Kit with gDNA Eraser) 进行反转录反应,并将反转录得到的 cDNA 作为荧光定量 PCR 反应的模板。荧光定量 PCR 反应根据 TaKaRa 公司的荧光定量分析试剂盒 TB Green™ Premix Ex Taq™ II (Tli RNaseH Plus) 来进行。采用 StepOnePlus 实时荧光定量 PCR 仪对马铃薯 CGA 合成关键酶基因 *StHQT* 进行表达检测,以马铃薯的 *Actin* 基因作为内参基因^[16],用 Vector NTI 软件来设计引物,序列如表 1。采用 $2^{-\Delta\Delta CT}$ 法对目的基因进行相对定量差异表达分析。

表 1 引物序列
Table 1 Primers sequences

基因	上游引物 (5'→3')	下游引物 (5'→3')
<i>Actin</i>	CACCCACACTGTCCCATCT	GTCACGGCCAGCCAAGTC
<i>StHQT</i>	TGGAGATATCTCAACCTTTCCACTCG	GACCATCGGATAACGTGTGGAATACT

1.3 数据分析

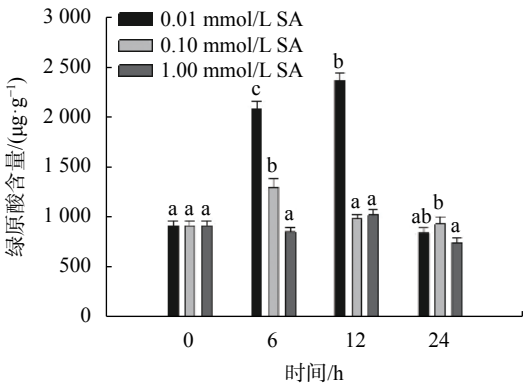
试验数据统计分析采用 SPSS 11.5 软件,采用 Sigmaplot 12.5 软件进行绘图,图表中的小写字母表示邓肯氏新复极差测验在 $P=0.05$ 水平上呈显著性差异。

2 结果与分析

2.1 水杨酸对马铃薯叶片绿原酸含量的影响

经叶面喷施水杨酸处理后,马铃薯叶片内绿原酸含量变化如图 1 所示。从图中可以看出,0.01 mmol/L SA 和 0.1 mmol/L SA 处理都能明显提高马铃薯叶片内的绿原酸含量,而 1 mmol/L SA 处理的效果不太明显。处理后 6 h 时,0.01 mmol/L SA 处理马铃薯叶片中绿原酸含量剧增,显著高于其他组中绿原酸含量的水平 ($P<0.05$); 0.1 mmol/L SA 处理的绿原酸含量也明显增加 ($P<0.05$),但低于 0.01 mmol/L SA 处理的;而 1 mmol/L SA 处理的绿原酸含量有所下降。处理后 12 h 时,0.01 mmol/L SA 处理的绿原酸含量继续增加至最高,显著高于其他 2 组处理的水平 ($P<0.05$); 0.1 mmol/L SA 处理的绿原酸含量恢复到初始水平; 1 mmol/L SA 处理的绿原酸含量有所提高,但差异不显著。处理后 24 h 时,0.01 mmol/L SA 处理的绿原酸含量恢复到初始水平,0.01 mmol/L SA 和 0.1 mmol/L SA 处理的绿原酸含量也有轻微下降;此时 0.01 mmol/L SA 和 0.1 mmol/L SA 处理的绿原酸含量差异不

明显, 1 mmol/L SA 处理绿原酸含量显著低于 0.1 mmol/L SA 处理的 ($P<0.05$), 但与 0.01 mmol/L SA 处理的差异不显著。



不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。

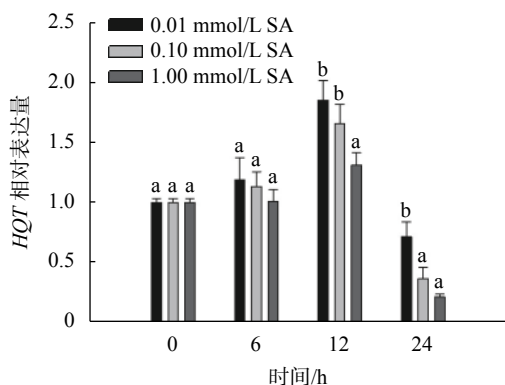
图 1 叶面喷施水杨酸对马铃薯叶片绿原酸含量的影响

Fig. 1 Effect of foliar application of SA on the content of CGA in *S. tuberosum* leaves

2.2 水杨酸对马铃薯叶片 *HQT* 基因表达的影响

经叶面喷施水杨酸处理后,马铃薯叶片内绿原酸合成关键酶基因 *HQT* 的表达变化见图 2。处理后 6 h 时,0.01 mmol/L SA 和 0.1 mmol/L SA 处理的 *HQT* 基因表达量均有一定程度的增高,但差异不显著; 1 mmol/L SA 处理的 *HQT* 基因表达量无明显变化。处理后 12 h 时,3 个浓度 SA 处理的 *HQT* 基因表达量都明显增高,且 0.01 mmol/L

SA 和 0.1 mmol/L SA 处理的 *HQT* 基因表达量显著高于 1 mmol/L SA 处理的 ($P < 0.05$)。到处理后 24 h 时, 3 个浓度 SA 处理的 *HQT* 基因表达量都明显降低, 但 0.01 mmol/L SA 处理的 *HQT* 基因表达水平仍显著高于其他 2 个浓度处理的 ($P < 0.05$)。



不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

图2 叶面喷施水杨酸对马铃薯叶片 *HQT* 基因表达的影响

Fig. 2 Effects of foliar application of SA on gene expression of *HQT* in *S. tuberosum* leaves

3 结论与讨论

SA 是植物体内普遍存在的内源信号分子之一, 在植物的生长、发育、成熟、衰老等生理过程以及抗盐、抗旱、抗低温、抗紫外线、抗重金属等逆境反应的诱导中发挥着重要作用。SA 能够有效促进植物细胞分裂和伸长, 诱导一系列与抗逆有关的基因表达, 提高植株体内保护酶活性, 提高抗逆性, 以缓解逆境胁迫下对植物造成的危害。此外, SA 还能诱导植物对病毒、真菌及细菌等病原生物产生广谱而持久的抗性^[17]。

叶面喷施是促进植物生长和次生代谢物积累的有效手段。在外源性水杨酸应用中, 不同浓度对作物的影响效果不同, 高浓度水杨酸会抑制植物的生长, 只有在适宜的浓度下水杨酸才会对植物产生有利的影响。研究表明, 15 mg/L 的 SA 处理对菊花 (*Dendranthema morifolium*) 中总糖、总蛋白、总氨基酸、VC 含量以及 SOD 活性都有不同程度的提高^[18]。2 mmol/L 的 SA 喷施丹参幼苗后, 能有效调控蔗糖合成酶的活性, 降低根中蔗糖合成酶的降解活性, 从而增加蔗糖在丹参 (*Salvia miltiorrhiza*) 幼苗中的积累, 并产生一定的影响^[19]。0.1 mmol/L 的外源 SA 能有效促进低温胁迫下黄瓜 (*Cucumis sativus*) 植株光合速率的增加, 维持植株体内细胞膜的稳定性, 从而使黄

瓜植株在低温胁迫下良好的生长^[20]。苗志奇等^[21]的研究表明, 0.1 mg/L 的 SA 可以提高红豆杉 (*Taxus wallichiana* var. *chinensis*) 细胞培养体系中紫杉醇生物合成途径的代谢通量, 使紫杉醇含量是对照组的 4 倍; 当 SA 的浓度超过 0.1 mg/L, 紫杉醇和其他紫杉烷类物质都出现下降。李铂等^[22]研究发现, 叶面喷施 0.5 mmol/L 的 SA 能够促进当归 (*Angelica sinensis*) 幼苗生长, 提高超氧化物歧化酶 (SOD)、过氧化物酶 (POD)、过氧化氢酶 (CAT) 等抗保护酶的活性, 超过此浓度, 植株生长受到抑制。王宏虬等^[23]研究发现, SA 在浓度为 1.00 mmol/L 时能显著提高马铃薯叶片中色素、可溶性蛋白及相关酶系 (POD、CAT、PPO、PAL) 含量, 降低叶片中 SAFR 和 MDA 含量, 增强马铃薯对疮痂病的抗性。本研究中, 不同浓度 SA 处理对马铃薯叶片中绿原酸含量及 *HQT* 基因表达的影响不同: 低浓度水杨酸 (0.01 mmol/L) 处理后, 马铃薯叶片中的 CGA 含量明显提高, *HQT* 基因的表达也被激活, 与绿原酸变化趋势一致, 表明 *HQT* 基因与绿原酸的生物合成有直接关系; 中等浓度 (0.1 mmol/L) 的 SA 处理也明显提高了马铃薯叶片中 *HQT* 的表达量和 CGA 含量, 但 CGA 含量的增幅低于 0.01 mmol/L 的 SA 处理; 高浓度 (1.0 mmol/L) 的 SA 处理也在一定程度上促进了 *HQT* 基因的表达, 但绿原酸的含量与处理前相比差异不大, 表明只有适宜浓度的 SA 才能够促进马铃薯叶片绿原酸的合成与积累。本研究中马铃薯叶片的最佳处理浓度为 0.01 mmol/L, 与其他研究所使用的浓度存在一定差异, 这可能是由于不同植物对 SA 的响应具有一定的差异造成的。

绿原酸等酚类物质是普遍存在于植物体内的一类次生代谢产物, 具有许多关键的生理功能, 对植物的品质和产量起着重要的作用。随着科学研究的深入, 酚类物质与植物抗病性之间的关系得到进一步证实, 这个领域的研究近年来愈发引人注目。本研究以二倍体马铃薯为试验材料, 采用叶面喷施的方式, 探究马铃薯绿原酸及其合成关键酶基因 *HQT* 对抗病激素 SA 的响应情况, 可为绿原酸在植物抗病方面的研究提供一定的参考。

[参 考 文 献]

- [1] 危明川, 张安占, 王涛, 等. 智能化农业机械在云南马铃薯种植中的展望 [J]. 河北农机, 2014(7): 58-59, 60.

- [2] 卓会敏, 付三泽, 刘恒, 等. 我国马铃薯产业标准现状分析及建议 [J]. *安徽农业科学*, 2019, 47(21): 248–250, 270.
- [3] 文丽. 马铃薯营养价值探讨 [J]. *现代农业科技*, 2016(4): 293–294.
- [4] 李宝君. 马铃薯的营养价值与药用价值 [J]. *吉林蔬菜*, 2009(5): 19.
- [5] 李次力, 刘畅, 刘天怡, 等. 马铃薯皮中绿原酸提取工艺优化 [J]. *食品科学*, 2014, 35(12): 70–74.
- [6] 何柳, 陈士林. 植物中绿原酸合成途径研究进展 [J]. *药物生物技术*, 2013, 20(5): 463–466.
- [7] Martínez G, Regente M, Jacobi S, et al. Chlorogenic acid is a fungicide active against phytopathogenic fungi [J]. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 2017, 140: 30–35.
- [8] Johnson G, Schaal L A. Relation of chlorogenic acid to scab resistance in potatoes [J]. *Science*, 1952, 115(2997): 627–629.
- [9] Rhodes M J C, Woollorton L S C. The enzymic conversion of hydroxycinnamic acids to p-coumarylquinic and chlorogenic acids in tomato fruits [J]. *Phytochemistry*, 1976, 15(6): 947–951.
- [10] Ulbrich B, Zenk M H. Partial purification and properties of p-hydroxycinnamoyl-CoA: Shikimate-p-hydroxycinnamoyl transferase from higher plants [J]. *Phytochemistry*, 1980, 19(8): 1625–1629.
- [11] Niggeweg R, Michael A J, Martin C. Engineering plants with increased levels of the antioxidant chlorogenic acid [J]. *Nature Biotechnology*, 2004, 22(6): 746–754.
- [12] 张静茹, 吴敏琳, 李卫东, 等. 金银花 *HQT* 基因在真核植物细胞中对绿原酸生物合成的调控 [J]. *中草药*, 2016, 47(20): 3683–3687.
- [13] Payyavula R S, Shakya R, Sengoda V G, et al. Synthesis and regulation of chlorogenic acid in potato: Rerouting phenylpropanoid flux in *HQT*-silenced lines [J]. *Plant Biotechnology Journal*, 2015, 13(4): 551–564.
- [14] 丁秀英, 苏宝林, 张军, 等. 水杨酸在植物抗病中的作用 [J]. *植物学报*, 2001, 36(2): 163–168.
- [15] 钟方晓. 高效液相及紫外分光光度法测定金银花中绿原酸和异绿原酸含量方法学比较 [J]. *时珍国医国药*, 2005, 16(3): 212.
- [16] 李飞, 徐建飞, 刘杰, 等. 冷驯化前后野生马铃薯 *Solanum acaule* 内参基因的筛选 [J]. *西南农业学报*, 2012, 25(5): 1592–1595.
- [17] 齐秀东. 水杨酸对植物的生理作用 [J]. *河北科技师范学院学报*, 2007, 21(1): 74–79.
- [18] 刘萍, 张静, 丁义峰, 等. 水杨酸喷施对食用菊花主要营养成分含量的影响 [J]. *中国蔬菜*, 2011(8): 86–89.
- [19] 王春丽, 梁宗锁, 李殿荣, 等. 茉莉酸甲酯和水杨酸对丹参幼苗中蔗糖代谢和酚酸类物质积累的影响 [J]. *西北植物学报*, 2011, 31(7): 1405–1410.
- [20] Orabi S A, Salman S R, Shalaby M A F. Increasing resistance to oxidative damage in cucumber (*Cucumis sativus* L.) plants by exogenous application of salicylic acid and paclobutrazol [J]. *World Journal Agricultural Sciences*, 2010, 6(3): 252–259.
- [21] 苗志奇, 未作君, 元英进. 水杨酸在紫杉醇生物合成中诱导作用的研究 [J]. *生物工程学报*, 2000, 16(4): 509–513.
- [22] 李铂, 唐志书, 王楠, 等. 叶面喷施水杨酸对当归幼苗生理特性和保护酶活性的影响 [J]. *中国现代中药*, 2019, 21(5): 634–637.
- [23] 王宏虬, 缪福俊, 李彪, 等. 马铃薯疮痂病最适诱抗剂筛选试验 [J]. *南方农业学报*, 2013, 44(7): 1125–1129.

(责任编辑 张 坤)

