

矮化砧对酥梨石细胞及相关酶活性的影响

邵嘉鸣¹ 李新风² 张祖维² 王景雪³ 张述义¹

(1. 山西省农业科学院 旱地农业研究中心,太原 030031;

2. 山西农业大学,山西 太谷 030801;

3. 山西大学 生命科学学院,太原 030006)

摘要 为研究不同梨属矮化砧对酥梨果实内石细胞的影响,以酥梨/ K_{30} /杜梨、酥梨/ $OH \times F_{51}$ /杜梨、酥梨/杜梨的果实为测试材料,在果实生长发育时期,对酥梨果实内与石细胞形成的相关酶类苯丙氨酸氨解酶(PAL)、过氧化物酶(POD)、多酚氧化酶(PPO)活性,以及成熟期对酥梨果实内石细胞含量和粒径比进行了测定研究。结果表明:3种梨属矮化砧上的酥梨果实石细胞总含量和石细胞粒径比的排序均为 $K_{30} < OH \times F_{51} < 杜梨$ 。并且3种梨属砧木上酥梨果实的PAL、POD、PPO活性,从盛花后30~120 d,整体呈从高到低的趋势,在盛花后30 d最高,盛花后60 d差异最显著,盛花后90 d降低幅度最大。通过相关性分析,各个时期的3种酶活性与最终石细胞含量和石细胞粒径比呈正相关。在果实发育前期,酥梨果实内PAL、POD、PPO活性由高到低排列顺序为杜梨、 $OH \times F_{51}$ 、 K_{30} ,梨属矮化砧 K_{30} 和 $OH \times F_{51}$ 酥梨果实内PAL、POD、PPO活性均低于酥梨/杜梨,并且减少了石细胞含量、降低了石细胞粒径比,在改善果实品质方面具有明显作用。

关键词 梨属矮化砧木;酥梨;石细胞含量;石细胞粒径比;PAL;POD;PPO

中图分类号 S 661.2

文章编号 1007-4333(2015)05-0126-06

文献标志码 A

Effects of Pyrus dwarfing-rootstocks on stone cell and relative enzymes activity of Suli-pear fruit

SHAO Jia-ming¹, LI Xin-feng², ZHANG Zu-wei², WANG Jing-xue³, ZHANG Shu-yi¹

(1. Center of Dryland Agricultural Research, Shanxi Academy of Agricultural Science, Taiyuan 030006, China;

2. Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China;

3. College of Life Science, Shanxi University, Taiyuan 030006, China)

Abstract The purpose of this study is to investigate the influence of Pyrus dwarfing-rootstocks varieties on stone cell characteristics of Suli-pear fruit to a theoretical basis for rational utilization of Pyrus dwarfing-rootstocks varieties in production. Suli-pear/ K_{30} /*P. betulaefoliabunge*, Suli-pear/ $OH \times F_{51}$ /*P. betulaefoliabunge*, and Suli-pear/*P. betulaefoliabunge* were used as materials to test the activities of PAL, POD and PPO during fruit development period, and stone cell content, stone cell size ratio in ripe Suli-pear fruits. The data showed that: Among three Pyrus rootstocks, the stone cell content and stone cell size ratio were $K_{30} < OH \times F_{51} < P. betulaefoliabunge$. The PAL, POD and PPO activities displayed a decline trend from 30 to 120 days after full-bloom stage. The PAL activity reached the highest at 30 day after full-bloom, showed significant difference at 60 day, and was maximally reduced at 90 day, as well as POD and PPO activities in Suli-pear fruits of different Pyrus rootstock. According to the correlation analysis, there were positive correlation between final content of stone cells and the enzymes of three tested pear during various stages. Compared with the Suli-pear/*P. betulaefoliabunge*, Suli-pear/ K_{30} /*P. betulaefoliabunge*, Suli-pear/ $OH \times F_{51}$ /*P. betulaefoliabunge* can reduce PAL, POD and PPO activity of Suli-pear fruits in early development stage, thus reduced stone cell content and the stone cell size ratio in mature Suli-pear fruits. In conclusion, Pyrus dwarfing-rootstocks K_{30} and $OH \times F_{51}$ have obvious effect in improving the quality of Suli-pear fruits.

Key words pyrus dwarfing-rootstocks; suli pear variety; stone cells content; stone cells size ratio; PAL; POD; PPO

收稿日期: 2015-01-26

基金项目: 山西省农业与社会发展科技攻关计划项目(031034, 20100311019-2); 山西省农业科学院重点科研项目(2012YZD06)

第一作者: 邵嘉鸣, 副研究员, 主要从事果树矮化砧木及抗逆生理研究, E-mail: jmshao168@hotmail.com

酥梨是我国梨产区的主栽品种之一,石细胞是梨果实所特有的细胞结构,石细胞含量的多少以及石细胞颗粒的大小,与酥梨果肉质地的粗细、品质密切相关^[1],是衡量梨果实品质优劣的重要性状之一。石细胞含量多、颗粒大,不仅影响鲜食品质,还影响加工品质。因此减少梨果实石细胞含量和石细胞的粒径比,对改善和提高梨果实品质具有十分重要的意义。有关石细胞的研究表明:石细胞的形成过程就是细胞壁次生加厚的过程,木质素是细胞壁次生结构的主要成分,也是石细胞的主要成分。所以木质素的合成、运输和沉积与石细胞发育存在密切关系^[2-3]。木质素的合成需要酚类物质作底物,在梨果实果心处木质素合成的旺盛时期,次生代谢物质肉桂酸、咖啡酸、阿魏酸、咖啡酸酯化产物积累,而果核硬化期后酚类物质含量降低,认为这是水溶性酚酸转化为木质素的原因^[4]。植物体内木质素的生物合成途径基本是通过苯丙氨酸和苯丙烷类代谢途径进行^[5-6]。在木质素合成途径中存在着几个关键酶即苯丙氨酸解氨酶(PAL)、多酚氧化酶(PPO)、过氧化物酶(POD)等。PAL催化L-苯丙氨酸脱氨生成反式肉桂酸,是苯丙氨酸途径的第一个关键酶,其表达及丰度直接影响木质素生物合成的整个过程。PPO催化香豆酸转化为咖啡酸从而促进木质素合成^[7],是形成石细胞的又一关键酶,在一定数量PPO存在的条件下,细胞内香豆酸含量决定细胞木质化的程度^[8]。POD在木质素合成的最后一步反应催化H₂O₂分解而使木质素单体聚合生成木质素^[9-11]。从已有的研究中看有关梨果实石细胞的研究主要是在乔化栽培条件下的研究报道。果树矮化砧木作为果树的重要组成部分,不仅影响树体对矿质营养元素的吸收、运转和利用^[12],而且对地上部树体的生长发育和果实品质形成具有重要的调控作用^[13]。但梨属矮化砧对梨果实石细胞的形成发育、以及合成途径中关键酶的影响还未见报道。因此,本研究试图从砧木影响作用的角度,通过对石细胞形成过程中,木质素合成的关键酶苯丙氨酸解氨酶(PAL)、多酚氧化酶(PPO)、过氧化物酶(POD)的测定分析,研究和比较不同梨属矮化砧对梨果实石细胞发育形成的影响作用,达到减少梨果实石细胞含量和石细胞的粒径比,改善和提高梨果实品质的目的,以期为在生产中合理利用梨属矮化砧,提供理论依据和技术支持。

1 材料与方法

1.1 材料

试验在山西省太原山西省农科院试验果园(6年生)进行。以乔砧杜梨做基础,选用K系列梨属矮化砧K₃₀(山西省农业科学院邵开基等培育)、美国的梨属矮化砧OH×F₅₁作为中间砧,砧段长度20 cm,分别嫁接酥梨品种,砧穗组合为:酥梨/K₃₀/杜梨、酥梨/OH×F₅₁/杜梨,酥梨/乔砧杜梨。

1.2 试验设计

试验采用随机排列,株行距2 m×3 m,常规田间栽培管理。每个砧穗组合定植5株,选3株长势基本一致的梨树,于盛花后30、60、90、120 d,每株随机摘取5~10个正常果,用于测定PAL、POD和PPO酶活性。于果实成熟期测定石细胞含量及石细胞粒径比,3次重复,每份样品取3次测试的平均值作为测定结果。

1.3 试验测定项目与方法

前处理:将样品放入采样冷藏保温箱带回实验室,洗净,分别去皮去果心,取果肉切成小块,在冰浴中混匀,用BP-310s电子秤称取5 g样品,用以下方法,加入提取液,冰浴研磨。用7551紫外可见分光光度计比色测定相关酶活性。

PAL测定:参考高俊凤等^[14]方法,以每小时A₂₉₀增加0.01为1个PAL酶活性单位。

POD测定:参考张志良等^[15]方法,在470 nm波长处检测反应液吸光度,以每分钟吸光度变化0.01为1个酶活性单位。

PPO测定:参照彭永宏等^[16]方法,在398 nm波长处检测反应液吸光度,以每分钟吸光度变化0.01为1个酶活性单位。

石细胞含量及石细胞粒径比测定:将样品分别去皮去果心,按四分法取样100 g,切成1.0 cm小块放入保鲜袋中,入冰箱-20℃冷冻处理12 h,冻融2次,解冻后加入100 mL水,用组织捣碎机处理1 min,加入适量水,用搅拌器搅拌,静置,待石细胞下沉,倒出上层果肉渣液,反复3次,将下沉石细胞合并,再加适量水搅拌,弃上层液,反复3次,过滤纸滤掉多余液体,最后获得纯净石细胞颗粒,在80℃烘箱内烘干至恒重。石细胞含量=(提取的石细胞重量/所用果肉重量)×100%。并利用40目筛对石细胞分级,计算石细胞粒径比($\Phi > 40$ 目/ $\Phi < 40$ 目),每个小区3次重复。

1.4 统计分析

用 Excel 2007 软件对数据做单因素方差分析和相关性分析,采用新复极差测验进行差异显著性比较。

2 结果与分析

2.1 不同梨属砧木对酥梨果实内石细胞含量的影响

表 1 结果表明,经方差分析和 F 测验,3 种梨属砧木的酥梨果实石细胞总含量多少排序依次为杜梨、 $\text{OH} \times \text{F}_{51}$ 、 K_{30} ,差异显著,LSR 法比较结果, K_{30} 、 $\text{OH} \times \text{F}_{51}$ 分别比杜梨的减少了 29.05% 和 19.93%,分别达到差异极显著和差异显著水平, K_{30} 和 $\text{OH} \times \text{F}_{51}$ 之间差异不显著。说明梨属矮化砧木均可减少

酥梨果实总石细胞含量,特别是 K_{30} 对减少酥梨果实总石细胞含量的作用更为显著。

酥梨果实内 $\Phi > 40$ 目的石细胞含量多少的排序为,杜梨、 $\text{OH} \times \text{F}_{51}$ 、 K_{30} 。差异极显著, K_{30} 和 $\text{OH} \times \text{F}_{51}$ 的酥梨果实内 $\Phi > 40$ 目的石细胞含量分别比杜梨减少了 38.23% 和 26.05%,差异极显著, K_{30} 和 $\text{OH} \times \text{F}_{51}$ 之间差异不显著。而酥梨果实内 $\Phi < 40$ 目的石细胞含量多少排序同样表现为杜梨、 $\text{OH} \times \text{F}_{51}$ 、 K_{30} ,但差异不显著, K_{30} 和 $\text{OH} \times \text{F}_{51}$ 分别比杜梨减少了 13.93% 和 9.88%。3 个梨属砧木之间石细胞($\Phi > 40$ 目)/($\Phi < 40$ 目)粒径比值差异显著也反映出 3 种梨属砧木之间,酥梨果实内石细胞含量的差异主要体现在 $\Phi > 40$ 目的石细胞上。

表 1 不同砧木对酥梨果实内石细胞的影响

Table 1 Effects of the different Pyrus -rootstocks to content in Sulipear fruit

梨属砧木名称 Pyrus rootstocks tape	石细胞质量分数/(g/100 g)(果肉) Stone cells content			石细胞粒径比 ($\Phi > 40$ 目/ $\Phi < 40$ 目) Stone cells size ratio ($\Phi > 40$ mesh/ $\Phi < 40$ mesh)
	总 Always	$\Phi > 40$ 目	$\Phi < 40$ 目	
杜梨	0.744 4 aA	0.463 0 A	0.281 4 a	1.645 3 a
$\text{OH} \times \text{F}_{51}$	0.596 0 aAB	0.342 4 aB	0.253 6 a	1.350 2 ab
K_{30}	0.528 2 bB	0.286 0 aB	0.242 2 a	1.180 8 b

注:小写字母表示不同砧木处理在 $P < 0.05$ 水平下差异显著性;大写字母表示不同砧木处理在 $P < 0.01$ 水平下差异显著性。

Note: Small letters indicate significance of difference at $P < 0.05$ level of the different Pyrus rootstocks tape; Capital letters indicatesignificance of difference at $P < 0.01$ level of the different Pyrus rootstocks type. The same as in the following table.

2.2 不同梨属砧木对酥梨发育过程中果实内石细胞形成相关酶活性的影响

从石细胞形成过程中相关的酚类代谢途径-木质素合成角度,研究了梨属矮化砧对石细胞形成的影响。对石细胞主要成分木质素合成的相关细胞壁酶类 PAL、POD 和 PPO 活性进行了分析。

1) PAL 活性。在盛花后 30 d 时,3 个梨属砧木的酥梨果实内 PAL 活性从大到小依次为:杜梨、 K_{30} 、 $\text{OH} \times \text{F}_{51}$,差异不显著,但此时 PAL 活性最高,平均值为 953.56(U/g · h)。盛花后 60 d,3 种砧木的 PAL 活性虽有所下降,但它们之间 PAL 活性却达到差异极显著水平,PAL 酶活性从大到小依次为:杜梨、 $\text{OH} \times \text{F}_{51}$ 、 K_{30} 。 K_{30} 和 $\text{OH} \times \text{F}_{51}$ 的 PAL 活性分别比杜梨低 32.48%、23.11%。到盛花后 90 d,3 个梨属砧木的酥梨果实内 PAL 活性平均值,与 30 d 时相比大幅下降了 87.03%,其 PAL 活性从大到小依次改变为: $\text{OH} \times \text{F}_{51}$ 、 K_{30} 、杜梨,差异

显著, $\text{OH} \times \text{F}_{51}$ 和 K_{30} 的 PAL 活性比杜梨高 46.57%、39.81%。 K_{30} 和 $\text{OH} \times \text{F}_{51}$ 之间在盛花后 60 和 90 d 时差异均不显著。到盛花后 120 d 时,3 个砧木的 PAL 活性均值与 30 d 时相比下降了 94.78%,PAL 活性从大到小依次为: K_{30} 、 $\text{OH} \times \text{F}_{51}$ 、杜梨,差异不显著。 K_{30} 和 $\text{OH} \times \text{F}_{51}$ 的 PAL 活性也仅稍高于杜梨(表 2)。

2) POD 活性。在盛花后 30 d 时,3 个梨属砧木的酥梨果实内 POD 活性从大到小依次为:杜梨、 K_{30} 、 $\text{OH} \times \text{F}_{51}$,差异不显著,此时 POD 活性最高,平均值为 245.89(U/g · min),盛花后 60 d,3 个梨属砧木的 POD 活性也有所下降,此时 POD 活性从大到小依次为杜梨、 $\text{OH} \times \text{F}_{51}$ 、 K_{30} ,差异极显著, K_{30} 的 POD 活性比 $\text{OH} \times \text{F}_{51}$ 和杜梨分别低 20.34%、38.51%, $\text{OH} \times \text{F}_{51}$ 的 POD 活性比杜梨低 22.81%。盛花后 90 d,3 个梨属砧木酥梨果实内的 POD 活性平均值与 30 d 时相比下降了 84.50%。POD 活性

从大到小依次为:杜梨、 K_{30} 、 $OH \times F_{51}$,差异显著, K_{30} 和 $OH \times F_{51}$ 的POD活性分别比杜梨低21.25%、27.76%,但 K_{30} 和 $OH \times F_{51}$ 之间差异不显著。盛花后120 d时,3种梨属砧木的POD活性平均值降低了93.43%。三者之间差异都不显著,见表2。

3)PPO活性。3种梨属砧木在盛花后30、60、90 d时,酥梨果实内的PPO活性 K_{30} 最低,杜梨最高, $OH \times F_{51}$ 居中。在盛花后30 d,3种梨属砧木上酥梨果实的PPO活性最高,平均值为273.05(U/g·min),3种砧木之间PPO活性差异显著, K_{30} 和 $OH \times F_{51}$ 的PPO活性分别比杜梨低25.15%、

13.24%。在盛花后60 d时3种砧木之间PPO活性差异显著, K_{30} 和 $OH \times F_{51}$ 分别比杜梨低20.91%、13%,盛花后90 d差异达到极显著, K_{30} 和 $OH \times F_{51}$ 比杜梨低34.72%、24.48%,盛花后120 d时,差异也达到极显著水平, K_{30} 和 $OH \times F_{51}$ 的酥梨果实PPO活性分别比杜梨降低38.09%和47.56%,在2个梨属矮化砧之间PPO活性均未达到差异显著(表2)。3种梨属砧木的酥梨果实中PPO活性也是处于不断下降的趋势,在花后90 d时,PPO活性平均值下降了51.93%,到花后120 d时PPO活性平均值下降了74.28%,下降幅度明显小于PAL和POD(表2)。

表2 不同砧木对酥梨发育过程中果实内PSL、POD、PPO活性的影响

Table 2 Effects of the different Pyrus-rootstocks on activity of PAL,POD,PPO in Sulipear fruit

盛花后天数/d Days after blossom	砧木品种 Rootstock varieties	酶活性/(U/(g·min)) Enzyme activity		
		PAL	POD	PPO
30	杜梨	991.67 a	261.00 a	316.67 aA
	$OH \times F_{51}$	924.67 a	233.67 a	274.73 bAB
	K_{30}	944.33 a	242.78 a	237.02 bB
60	杜梨	596.22 A	205.74 aA	265.64 aA
	$OH \times F_{51}$	458.44 aB	158.81 bAB	231.11 bAB
	K_{30}	402.56 aB	126.52 cB	210.09 bB
90	杜梨	96 B	45.53 A	165.38 A
	$OH \times F_{51}$	140.71 aA	32.89 aB	124.89 aB
	K_{30}	134.22 aA	35.85 aB	107.96 aB
120	杜梨	48.07 a	16.71 a	99.42 A
	$OH \times F_{51}$	49.67 a	14.79 a	52.13 aB
	K_{30}	51.60 a	16.90 a	61.56 aB

2.3 酶活性与石细胞性状的相关性分析

对盛花后30、60、90和120 d各发育阶段的3种梨属砧木酥梨果实内PAL、POD和PPO活性与最终石细胞含量之间相关性进行了分析,结果表明:在60 d时PAL、POD和PPO活性都与最终石细胞含量之间存在极显著正相关,PPO活性与石细胞含量之间在30和90 d时,相关性极显著。另外PAL活性在30 d时,POD活性在90 d时,PPO活性在120 d时与石细胞含量之间均存在显著正相关,表明梨属矮化砧主要是在石细胞形成的关键时期,降

低了果实内3种酶的活性,从而降低了石细胞的含量(表3)。

PAL、POD和PPO活性与石细胞粒径比的相关性分析结果看出:在盛花后30、60和120 d时,PAL、POD和PPO活性与石细胞粒径比的相关性和石细胞含量的相关性都是一致的,但在90 d时,PAL、POD与石细胞粒径比的相关性分别达到了显著和极显著水平,说明这时期的PAL和POD活性与石细胞粒径比相关性更为密切(表4)。

表3 不同时期酥梨果实内石细胞含量与 POD、PAL 和 PPO 活性之间的相关系数

Table 3 The correlation coefficient between stone cell content and enzyme activity of POD, PAL, PPO at different period

酶 The enzyme	盛花后天数/d Days after full blossom			
	30	60	90	120
$R_{PAL, Stone\ cell\ content}^2$	0.569 8*	0.862 7**	0.459 9	0.186 6
$R_{POD, Stone\ cell\ content}^2$	0.151 9	0.878 0**	0.627 6*	0.130 5
$R_{PPO, Stone\ cell\ content}^2$	0.765 6**	0.823 6**	0.950 9**	0.565 9*

注: * 为显著线性相关, ** 为极显著线性相关, 下同。

Node: * and ** respectively indicate significant linear correlation of 0.05 or 0.01 level, the same below.

表4 不同时期酥梨果实内石细胞粒径比与 POD、PAL、PPO 活性之间的相关系数

Table 4 The correlation coefficient between stone cells size ratio and enzyme activity of POD, PAL, PPO at different period

酶 The enzyme	盛花后天数/d Days after full blossom			
	30	60	90	120
$R_{PAL, Stone\ cell\ size\ ratio}^2$	0.586 1*	0.946 2**	0.556 0*	0.244 4
$R_{POD, Stone\ cell\ size\ ratio}^2$	0.241 5	0.853 1**	0.781 4**	0.071 2
$R_{PPO, Stone\ cell\ size\ ratio}^2$	0.908 6**	0.784 3**	0.804 3**	0.645 5*

3 讨论

本试验中,从3种酶活性的整体变化趋势来看,从盛花后30~120 d这个阶段,3种梨属砧木上酥梨果实的PAL、POD和PPO活性整体呈从高到低的下降趋势,这与陶书田等^[17]的研究结果一致。盛花后30 d,3种梨属砧木的酥梨果实内PAL、POD和PPO活性最高,这与此时石细胞正处于形成期,石细胞含量迅速增加^[18]的结果是相吻合的。盛花后30~60 d,酥梨果实内PAL、POD、PPO的活性依次为 $K_{30} < OH \times F_{51} < 杜梨$,特别到60 d时,3个梨属砧木之间酶活性的差异极显著,相关性分析表明60 d时PAL、POD和PPO活性都与最终石细胞含量之间存在极显著正相关关系。这与张绍铃等^[19]的结果一致。本试验中,PAL、POD和PPO这3种酶活性的高低,与石细胞含量和石细胞的粒径比大小之间均呈正相关。这一结果在PPO酶活性和石细胞的粒径比相关性上与陶书田等^[8]的结果有所不同。PPO活性与酥梨石细胞含量和石细胞粒径比之间的相关性,在30~90 d时为极显著,在120 d时,相关性显著。PPO是木质素合成过程的关键性

酶,也是影响梨石细胞形成的关键性酶。在木质素合成过程中,PPO是催化香豆酸向咖啡酸转化的相关酶,因此,酥梨果实发育过程中的木质素代谢,可能主要是通过香豆酸途径^[20]。从试验结果可明显看出:梨属矮化砧,尤其是 K_{30} 在石细胞形成的时期中,PAL、POD、PPO活性均低于乔砧杜梨和 $OH \times F_{51}$,而且3种酶活性的高低,与石细胞含量和石细胞的粒径比大小之间均呈正相关关系,因此,对于减少和降低酥梨果实内的石细胞含量和石细胞的粒径比均具有明显的作用。

许多研究表明,影响梨果实石细胞发育和形成的因素主要有2个方面,一是环境因素,如营养、光照条件、栽培管理等。另一个是生理因素,如酶和内源激素等,因此,影响次生壁形成及调控木质素代谢过程的酶和内源激素等生理因素均会影响石细胞发育和形成^[2]。因此,梨属矮化砧对酥梨果实石细胞含量以及对石细胞粒径比影响的相关机理还有待于进一步的深入研究。

4 结论

试验首次就梨属矮化砧对梨果实石细胞含量的

影响进行了研究,试验结果表明:3种梨属砧木的酥梨果实石细胞总含量多少的排序为 $K_{30} < OH \times F_{51} < 杜梨$ 。其中 K_{30} 对减少酥梨果实总石细胞含量的作用最为显著。梨属矮化砧主要是在石细胞形成的关键时期,降低了梨果实内 PAL、POD 和 PPO 活性,从而可显著降低酥梨果实的石细胞含量和石细胞粒径比,主要是减少了 $\Phi > 40$ 目的石细胞含量。同时3种酶活性的高低,与石细胞含量和石细胞粒径比大小之间均呈正相关关系。

酥梨是我国北方梨产区的主栽品种之一,也是我国梨出口的主要品种之一,优良的果实品质对于提高酥梨的产值、提高农业经济效益非常重要。应用矮化砧是果树矮密栽培发展的总趋势^[21],矮化砧对提高果实品质的影响作用,是评价矮化砧性状的一项重要指标。经过多年的砧穗组合栽培比较试验,证明:梨属矮化砧可增加酥梨果实的可溶性固形物含量、类胡萝卜素、固酸比、维生素 C 含量^[22],减少果实石细胞含量,可明显提高梨的果实品质,综合性状优异,因此,建议在北方梨栽培区的矮密栽培生产中推广应用。

参 考 文 献

- [1] 李玲,蔡永萍,刘小阳. 梨果实的石细胞[J]. 植物生理学通讯, 2004,40(10):629-632
- [2] 乔勇进,张绍铃,陶书田,等. 梨果实石细胞发育机理的研究进展[J]. 果树学报,2005,22(4):367-371
- [3] 何天明,张椅,缩以强,等. 香梨果实早期发育的解剖研究[J]. 新疆农业科学,2001,38(5):247-248
- [4] 鞠志国,朱广廉,曹宗. 莱阳桂聚果实褐变与多酚氧化酶及酚类物质区域化分布的关系[J]. 植物生理学报,1988,14(4):44-48
- [5] 欧阳光察,薛应龙. 植物苯丙烷类代谢的生理意义及其调控[J]. 植物生理学通讯,1988,24(3):9-16
- [6] Ross W W, John J M, Ronald R S. Recent advances in understanding lidnin biosynthesis [J]. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology,1998,49:585-609
- [7] 席屿芳,罗自生,程度,等. 竹笋才后木质化与多酚氧化酶、过氧化物酶和苯丙氨酸解氨酶活性的关系[J]. 植物生理学通讯, 2001,37(4):294-295
- [8] 陶书田,张绍铃,乔勇进,等. 梨果实发育过程中石细胞团及几种酶活性变化的研究[J]. 果树学报,2004,21(6):516-520
- [9] Andrea P, Tilman O, Friederike S. Apoplastic peroxidase and lignification in needless of Norwayspruce [J]. Plant Physiol, 1994,106:390-401
- [10] Whetten R W, MacKay J J, Sederoff R R. Recent advances in understanding lignin biosynthesis [J]. Annu Rev Plant Physiol Plant MoLBiol,1998(49):585-609
- [11] Pang A, Catesson A M, Francesch C, et al. On substrate specificity of peroxidase involved in the lignification process [J] Plant Physiol,1989,135:325-329
- [12] 张秀芝,郭江云,王永章,等. 不同砧木对富士苹果矿物质元素含量和品质指标的影响[J]. 2014,20(2):414-420
- [13] 邵开基,李登科,张忠仁,等. SH 系列苹果矮化砧性状及生理特性的研究[J]. 园艺学报,1991,18(4):289-295
- [14] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京:高等教育出版社, 2006:219-221
- [15] 张志良,瞿伟菁. 植物生理学实验指导[M]. 北京:高等教育出版社,2002:123-124
- [16] 彭永宏,成文,施和平. 热水结合酸浸处理对荔枝果皮色素含量与酶活性的影响[J]. 果树科学,1999,16(2):92-97
- [17] 陶书田,张绍铃,乔勇进,等. 梨果实发育过程中石细胞团及几种相关酶活性变化的研究[J]. 果树学报,2004,21(6):516-520
- [18] 刘小阳,李玲,高贵珍,等. 光照对砀山酥梨果实发育过程中 POD、PAL、PPO 酶活性的影响研究[J]. 激光生物学报,2008, 17(3):295-298
- [19] 张绍铃,张振铭,乔勇进,等. 不同时期套袋对幸水梨果实品质、石细胞发育及其相关酶活性变化的影响[J]. 西北植物学报, 2006,26(7):1369-1377
- [20] 聂敬全. 砀山酥梨果实石细胞解剖学研究及木质素合成途径的初步分析[D]. 合肥:安徽农业大学,2009
- [21] 邵开基,邵嘉鸣,张述义. 推广优良果树矮化砧 振兴山西果树产业[J]. 山西果树,2004(6):31-32
- [22] 邵嘉鸣,张述义,李登科. 梨属不同矮化砧木对酥梨果实品质的影响[J]. 山西农业科学,2010,38(2):26-27,30

责任编辑:王燕华