

3 种抗性诱导剂诱导枣树抗缩果病的研究

岳子石,宋晓斌*,王 方,张 丹

(西北农林科技大学 林学院,陕西 杨陵 712100)

摘 要:在田间选取感病品种七月鲜,分别叶面喷施抗性诱导剂水杨酸、草酸、壳聚糖(每种药剂设置 4 个浓度梯度),并于喷施后统计发病率,进行药剂筛选。对经筛选药剂处理过的样品采集叶片测定相关抗性指标:可溶性蛋白、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)、苯丙氨酸解氨酶(PAL)4 个抗性指标。结果表明:3 种诱导剂均可诱导枣树增强植株对缩果病的抗性,壳聚糖对枣缩果病防治最为明显;最终筛选出 $3\text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 水杨酸、 $1\text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 草酸、 $500\text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 壳聚糖 3 种药剂,对枣缩果病有较好的防治作用。感病品种七月鲜在诱导剂喷施之后引起枣叶片内可溶性蛋白、CAT 和 POD 和 PAL 酶活性的显著增加,且均可在第 3 天达到最大值,说明这几个指标与抗病密切正相关,由此可推测出对感病品种七月鲜来说,可溶性蛋白、POD、CAT 和 PAL 是与诱导抗性相关的生理生化物质。

关键词:枣;药剂筛选;抗性诱导;可溶性蛋白;过氧化物酶;过氧化氢酶;苯丙氨酸解氨酶

中图分类号:S665.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2016)01-0153-05

Induction of Systemic Resistance against Jujube Fruit Shrinking Disease with Three Resistant Inducers

YUE Zi-shi, SONG Xiao-bin*, WANG Fang, ZHANG Dan

(College of Forestry, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: In order to improve the ability of resisting jujube fruit shrinking disease, resistance inducers of salicylic acid, oxalic acid and chitosan with different concentrations were sprayed on the leaves of susceptible cultivar-“Qiyuexian”. The controlling effects were detected by incidence of disease. Indices such as the content of soluble protein, peroxidase (POD), catalase (CAT), and phenylalanine ammonia-lyase (PAL) were measured. The results showed that all the resistant inducers could increase the resistance of jujube, and applying potassium permanganate and chitosan had showing outstanding effect. Based on the above, $500\text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ chitosan, $3\text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ salicylic acid, $1\text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ oxalic acid were selected out, which were more effective in controlling jujube fruit shrinking disease. For the susceptible cultivar-Qiyuexian, soluble protein, POD and CAT were in the higher levels than those of the control. Meanwhile, the activity of these enzymes could reach the maximum activities at the third day. The results showed that these physiological indices had the obvious positive correlation with the resistance of the jujube. Defense enzymes POD, CAT, PAL, soluble protein played important roles in inducing resistance to the jujube fruit shrinking disease of susceptible cultivars.

Key words: jujube; drug selection; resistance reduction; soluble protein; peroxidase; catalase; phenylalanine ammonia-lyase

收稿日期:2015-03-20 修回日期:2015-05-19

基金项目:林业公益性行业科研专项(201104017)。

作者简介:岳子石,男,硕士研究生,研究方向:植物病理学。E-mail:flightprince@163.com

* 通信作者:宋晓斌,男,副研究员,研究方向:森林病害及其防治。E-mail:sxb88@nwsuaf.edu.cn

枣树(*Zizyphus jujube*)是我国目前果树中栽培历史悠久、特色突出的树种,其适应性强,栽植范围较为广泛^[1]。但是枣缩果病作为枣树最为严重的病害,致使枣果每年损失千万公斤,严重时期可导致全年绝收,严重制约着枣树的栽培和枣产业的发展^[2-5]。目前,针对枣缩果病防治主要有化学药剂手段,并取得了一定的成果^[6-8]。近年来,人们关注食品安全、环境保护和身体健康,在农药的使用时有了许多限制。故此,需要发展一种切实有效并且对环境、对人类健康没有伤害的防治方法。

诱导植物增强抗性是一种很有前景的控制植物病害的防治策略。诱导抗性从广义上来说是指能够增强植株对病害的对抗作用,包括植物组织局部抗性和整株植物的系统抗性^[9]。获得性系统抗性是最为经典的一种诱导抗性的形式,它通过植物体内水杨酸的聚集作为信号途径,来调节植物的抗性^[10]。

外源和内源的诱导物刺激在本质上是影响寄主的生理过程,植物在接受刺激后导致防御基因快速一致的响应,从而表现出对病原物的高度敏感性,以增强自身抗性。植物的抗性可以通过施用外源的合成物来获得,比如水杨酸、苯丙噻二唑。在信号转导和植物体对病原菌的抗性系统中,水杨酸是一种重要的物质;内源水杨酸浓度的增加作用于植物过敏反应部位,同时防御反应中作为转导信号。因此外源水杨酸的施用可以使植物体的抗性得到表达,同时也可以增强植物组织获得性抗性的防御能力。壳聚糖是几丁质脱乙酰基的形式,是天然的抗菌物质,对植物具有广泛持久的系统免疫作用^[11-15]。壳聚糖能够使植物体内木质素、酚类、黄酮类物质含量的增加,同时也能够激活免疫反应使体内诱导出 PAL、 β -1,3-葡聚糖酶,通过增强植物体抗性使自身免受真菌的侵染^[14-16]。草酸也是一种有效且研究较多的化学抗诱剂,是重要的化工原料,用途广泛,制备简单。草酸的诱导不仅可以使植物产生局部抗病性和系统抗病性,而且经草酸处理的植株感病指数显著降低,草酸能够增强植株的系统抗性,提高抗性指标 POD 的活性^[17]。本研究针对感病枣品种七月鲜,进行抗性诱导剂的筛选,提出了抗性诱导剂的最适浓度,为枣缩果病的防治工作提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料

试验地点设置在陕西省榆林市清涧县牛家湾村清涧红枣试验站枣园。选取感病品种七月鲜,选取树龄相同、树势一致、长势健康整齐的枣树植株。

1.2 药剂的配置

水杨酸:配置 $1\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的母液,用 KOH 调节 pH 至 5.8,用前稀释至所需浓度,现用现配,浓度设置为 $1,3,5,7\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

草酸:分析纯,用 KOH 调节 pH 至 6.2,现用现配,浓度设置为 $1,5,10,15\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

壳聚糖:分子量为 3 000,购于浙江金壳生物有限公司,现用现配,浓度设置为 $200,500,1\ 000,2\ 000\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

1.3 田间抗性诱导药剂筛选

2011—2012 年 7 月 20 日左右在试验枣园内对选定的七月鲜,用以上 3 种药剂及每个药剂设置的浓度梯度进行处理,在晴天无风的天气下喷施,保证整株喷施且喷洒均匀,对照喷施等量清水,每隔 5~7 d 喷施 1 次,共喷 6 次,每个处理选取 3 个重复。诱导处理之前 1 个月内和处理过程中禁止对所选植株喷施任何防病、虫害的药剂。于诱导剂最后 1 次喷施停止 1 周后开始统计发病率,随机选取东、西、南、北、中 5 个方位的枣吊,记录病果和健果个数,计算发病率。

1.4 筛选药剂对感病品种诱导机制

根据药剂的田间施用情况对药剂进行筛选,用筛选出的药剂对七月鲜进行处理;每种药剂各喷 3 次,每隔 3~5 d 喷 1 次,每个处理设置 3 个重复,药剂诱导处理后采集 0、1、2、3、5 d 和 7 d 的枣树叶片,选取叶片时需保证健康无病虫害,将采集的叶片用锡箔纸包裹,贮藏于液氮中带回实验室,−80℃ 超低温冰箱保存。

1.5 酶液提取及活性测定

1.5.1 粗酶液提取(不用于 PAL 测定)^[18] 用液氮研磨植物叶片,加入 $50\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}\text{ pH}=6.8$ 的磷酸缓冲液(内含 1% 聚乙烯吡多烷酮 PVP 和 $0.1\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 EDTA-Na2)5 mL,摇匀后放置于 4℃ 离心机中,12 000 r 离心 15 min,上清液即为粗酶提取液。

1.5.2 可溶性蛋白、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)活性的测定 可溶性蛋白采用考马斯亮蓝法进行测定^[18];POD 采用愈创木酚法进行测定^[19];CAT 采用分光光度计法进行测定^[20]。

1.5.3 苯丙氨酸解氨酶(PAL)活性测定^[21] 酶液的提取:用液氮研磨植物叶片,加 $50\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}\text{ pH}=8.8$ 硼酸缓冲液(内含 1% PVP 和 $5\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 巯基乙醇)提取液 3 mL,充分混合后置于 4℃ 离心机中离心 10 min,上清液即为粗酶提取液。采用陈建中、盛炳成^[21]的方法测定。

1.6 数据处理方法

统计发病率,百分数经反正弦后用 PASW Statistics 18 软件进行方差分析;记录酶活性指标,用 Excel 制作表格。

2 结果与分析

2.1 不同化学诱抗剂对 2 个品种的防治效果

喷施 3 种药剂的发病率统计结果如表 1,通过分析可知,七月鲜为感病品种在自然状态下发病率较高,这几个药剂的发病率均低于对照且差异显著($df=12,F=19.307,p<0.01$)。不同浓度的壳聚糖处理效果均对植株有较好的效果,且发病率明显低于对照。作为经典的抗性诱导剂水杨酸和草酸,草酸相对于水杨酸稍好,其中 $3\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 水杨酸和 $1\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 草酸诱导相比对照有着较好的效果,但是两者整体效果一般。

表 1 不同药剂处理对七月鲜枣缩果病发病率统计结果
Table 1 Incidence of jujube fruit shrinking disease of cultivar “Qiyuexian” with different chemical treatments

药剂种类	处理浓度	感病品种 七月鲜发病率/%
CK	0	45.67±2.48a
水杨酸/(mmol·L ⁻¹)	1	32.92±2.23bcde
	3	25.08±2.65ef
	5	30.83±2.20bcde
	7	36.25±2.84abcd
草酸/(mmol·L ⁻¹)	1	26.25±2.36def
	5	37.83±2.94abc
	10	40.83±2.31ab
	15	33.33±2.64cde
壳聚糖/(mg·L ⁻¹)	200	24.53±1.68ef
	500	13.67±1.10h
	1 000	15.62±1.45gh
	2 000	18.11±1.17fgh

2.2 不同化学诱导剂对感病品种七月鲜体内几种生物物质的诱导

不同药剂一定程度上都可以降低七月鲜果病的发病率,但不同的药剂之间差异较大。筛选水杨酸、壳聚糖、草酸中防治较好的浓度,即壳聚糖 $500\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、水杨酸 $3\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 和草酸 $1\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$,探究不同药剂对七月鲜的诱导机制。

2.2.1 不同化学诱导剂对感病品种七月鲜体内可溶性蛋白含量的影响 由图 1 可知,3 种药剂的处理都能使感病品种七月鲜枣叶片内可溶性蛋白含量升高,壳聚糖处理呈现先升高后降低的趋势,第 3 d 达到最大且与对照相比增加 107.3%,随后开始下降,第 7 天的酶活性大小趋于对照;水杨酸处理呈现先升高后下降又缓升高的趋势,两个峰值分别出现

在第 2 天和第 5 天,分别高于对照 83.94% 和 89.14%,第 5 天达到最大值后,第 7 天有小幅下降但依然处于较高水平。草酸处理也出现 2 个峰值,但先升高后下降,在升高在下降的趋势,分别在第 1 天和第 3 天有峰值分别高于对照 74.3% 和 86.12%,且第 3 天达到最大值为 $22.52\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ (FW),但在第 5 天开始明显下降,第 7 天下降到 $13.28\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ (FW) 且趋于对照。虽然水杨酸处理和草酸处理出现 2 个峰值,但是有较为明显的波动,且在最高峰值处低于壳聚糖处理。

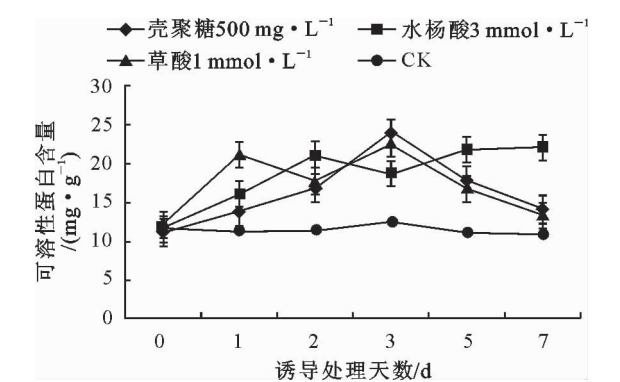


图 1 不同诱导剂处理后七月鲜叶片可溶性蛋白含量的变化
Fig. 1 Changes of soluble protein in the cultivar “Qiyuexian” after applying inducers

2.2.2 不同化学诱导剂对感病品种七月鲜体内 POD 活性的影响 如图 2 所示,通过酶活性测定可知:水杨酸、壳聚糖和草酸 3 种药剂处理后都会引起枣树叶片 POD 活性的升高,并且在测定的有效时间内均出现先升高后降低的趋势。壳聚糖处理酶活性逐渐上升,在第 3 天达到峰值高于对照 123.4%,第 5 天开始下降。水杨酸和草酸处理峰值也同样出现在第 3 天。水杨酸处理在第 5 天下降之后又开始有上升趋势,第 7 天的酶活性高于对照 60.81%;而草酸处理在第 5 天 POD 活性急剧降低,在第 7 天的 POD 活性趋于对照。整体来说水杨酸处理和草酸处理在 0~3 d 内的酶活性稍高于壳聚糖,但在第 3 天达到峰值且 3 个药剂引起的酶活性大小相差不大,第 5 天和第 7 天水杨酸处理和草酸处理引起枣叶片内过氧化物酶活性下降的速度比壳聚糖处理迅速,说明壳聚糖的诱导效果较水杨酸和草酸稳定。

2.2.3 不同化学诱导剂对感病品种七月鲜体内 CAT 活 由图 3 可知,不同的诱导剂处理引起 CAT 的活性变化不同,壳聚糖处理引起 CAT 的酶活性出现先升高后下降的趋势,在第 3 天可以达到峰值,高于对照 109.22% 倍,第 5 天开始急剧下降,第 7 天下降至最低,大小趋于对照。水杨酸处理在第 2 天出现峰值,且上升速度较为迅速,第 2 天的酶

活性高于对照 132.91%，第 3 天和第 5 天有较为明显的下降，第 7 天出现较为平缓的上升。草酸处理出现 2 个峰值，分别在第 1 天和第 3 天且其峰值分别高于对照 120.89%和 115.75%，在第 3 天和第 5 天急剧下降，第 5 天和第 7 天出现小幅度的下降。

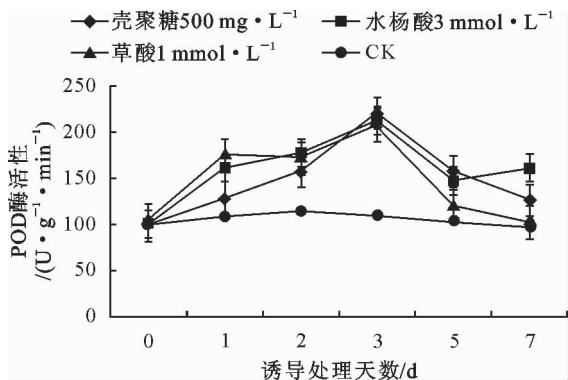


图 2 不同诱导剂处理后七月鲜叶片 POD 含量的变化
Fig. 2 Changes of POD in the cultivar “Qiyuexian” after applying inducers

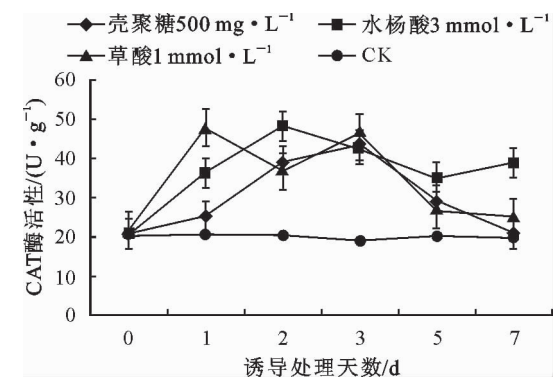


图 3 不同诱导剂处理后 7 月鲜叶片 CAT 含量的变化
Fig. 3 Changes of CAT in the cultivar “Qiyuexian” after applying inducers

2.2.4 不同化学诱导剂对感病品种七月鲜体内 PAL 活性的影响 由图 4 可看出，壳聚糖处理呈现上升一下降一上升的趋势，在第 1 天达到峰值且高于对照 32.18%，第 5 天降低到最低值，且低于对照 15.12%，第 7 天开始升高且高于对照；水杨酸处理后酶活性波动较大，总体来说为先上升后下降的趋势，第 2 天上升到峰值，随后开始下降，第 5 天下降至最低且低于对照，第 7 天有较小幅度的上升；草酸处理呈现比较平缓的趋势，在第 1 天达到最大值，高于对照 26.06%，第 2 天至第 5 天有缓慢的下降趋势，第 7 天达到最低且活性处于对照之下。总体来说壳聚糖始终高于对照，而水杨酸和草酸的处理呈现先高于对照而后又下降且低于对照的趋势。

3 结论与讨论

可溶性蛋白是细胞构成中的重要成分，它的含

量增加可以使细胞壁各个成分之间的联系，促使细胞壁木质化程度加强，从而起到阻止病原和病原毒素入侵的作用；植物体内的部分相关抗病蛋白也是可溶性蛋白，病程相关蛋白的功能有多种，可以吞噬病原物，清除毒素，抑制病毒蛋白外壳等。李森^[22]研究猕猴桃溃疡病时发现抗病品种可溶性蛋白含量高，感病品种在感病后，体内可溶性蛋白含量增加；周博如^[23]研究报道不同抗性品种大豆感染细菌性疫病后，可溶性蛋白含量先升高后降低的趋势。POD 能够将酚类物质氧化为醌和过氧化物。在木质素和木栓层的合成过程中，过氧化物能起到催化作用。这样 POD 就能够使得植物细胞的物理防御能力加强，表现为植物抗性增强。国外研究者 Radwan^[24]研究经过诱导剂处理过的胡瓜叶片，能够使 POD 酶活指标升高。活性氧 H₂O₂、O₂⁻ 在植物体内与病原菌的抗性有关，但是这些活性氧如果在植物体内有大量的剩余会对植物造成伤害，而 CAT 能够清除这些多余的活性氧。PAL 在苯丙氨酸转化肉桂酸的过程中催化苯丙氨酸脱氨基，这是苯基丙酸类合成路径的最后一步，苯基丙酸类合成路径可以提供木质素、植物抗毒素的前提物质^[25]，Mandal^[26]通过研究诱导剂处理过的马铃薯发现，PAL 活性相对未经处理的样品要高出 5.9 倍。

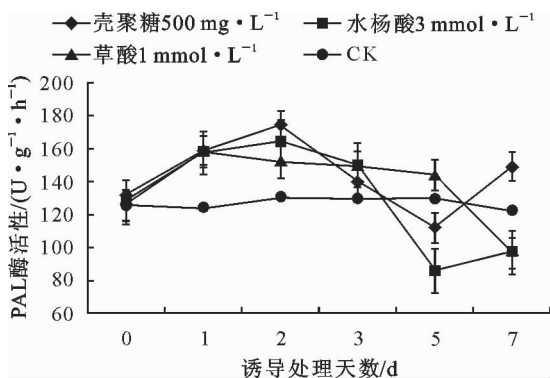


图 4 不同诱导剂处理后七月鲜叶片 PAL 含量的变化
Fig. 4 Changes of PAL in the cultivar “Qiyuexian” after applying inducers

本研究所测可溶性蛋白、POD、CAT、PAL 4 指标结果与赵杨^[27]、李克梅^[28]研究结果一致，经过处理过的植株中 4 个指标的含量较对照有了较大幅度的增加，对应的植株发病率也较低，该指标与抗病性有着关联性。应用壳聚糖、水杨酸、草酸 3 种药剂防治枣缩果病确实起到了效果，诱导植物体产生抗性物质，激活系统免疫抗性。但是，作为防治效果最好的壳聚糖处理，在指标上并未体现，可能是壳聚糖诱导植物通过其他方式增强的自身抗性，具体原因还需进一步研究才能说明。

本研究结果表明,不同的药剂处理都能在一定程度上降低枣缩果病的发病率。壳聚糖在几种药剂中表现最好,可使发病率明显低于对照。水杨酸和草酸属于研究较多且较为经典诱导剂,在许多研究中,水杨酸和草酸对病害的诱导抗性取得了较好的效果,而在本试验中研究证明水杨酸和草酸虽然有一定的效果,但在枣缩果病的防治上取得的效果并不突出,可能是因为试验中所选的材料种类以及品种的差异造成的。

参考文献:

[1] 陈怡金. 中国枣树学概论[M]. 北京:中国科学技术出版社, 1991:1-9.

[2] 张朝红,刘孟军,周俊义,等. 枣缩果病研究进展[J]. 河北林果研究,2008,23(1):62-65.

[3] 周琳,宋宏伟,于磊. 枣缩果病研究进展[J]. 河南林业科技, 2002,22(1):1-3.

[4] 薛晓妮,宋晓斌,王长柱,等. 枣树缩果病的发生规律研究[J]. 西北林学院学报,2012,27(4):172-176.

XUE X N, SONG X B, WANG C Z, *et al.* Regularity of occurrence on jujube-fruit shrink disease[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2012,27(4):172-176. (in Chinese).

[5] 李文爱,赵鹏,王培新. 陕西枣树主要病虫害及防治对策研究[J]. 西北林学院学报,2007,22(5):120-123.

LI W A, ZHAO P, WANG P X. The disease and pests of jujube and their control strategies in Shaanxi Province[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2007,22(5):120-123. (in Chinese)

[6] 侯晓杰. 枣缩果病病原和防治研究[D]. 郑州:河南农业大学, 79-83.

[7] 李京涛,陈素珍,王海臣. 枣缩果病防治药剂对比试验[J]. 河南林业科技,2004(4):10.

[8] 原贵生,刘惠娟,刘贤谦,等. 七种药剂对枣缩果病病原菌——细交链孢菌抑制作用[J]. 中国森林病虫,2007,26(6): 28-30.

[9] HAMMERSCHMIDT R, METRAUX J P, VAN LOON L C. Inducing resistance :a summary of papers presented at the first international symposium on induced resistance to plant diseases [J]. European Journal of Plant Pathology,2001,107(1):1-6.

[10] DURRANT W E, DONG X. Systemic acquired resistance[J]. Annual Reviews Phytopathol,2004,42:185-209.

[11] DEVLIEGHERE F, VERMEULEN A, DEBEVERE J. Chitosan; antimicrobial activity, interactions with food components and applicability as a coating on fruit and vegetables [J]. Food Microbiology,2004,21(6):703-714.

[12] CHEN H P, XU L L. Isolation and characterization of novel chitosan-binding protein from non-heading chinese cabbage leaves [J]. Journal of Integrative Plant Biology,2005,47(4):452-456.

[13] SUN X J, BI Y, LI C Y. Postharvest chitosan treatment induces resistance in potato against *Fusarium sulphureum*[J]. Agricultural Sciences in China. 2008,7(5):615-621.

[14] LIU J, TIAN S P, MENG X H, *et al.* Effects of chitosan on control of postharvest diseases and physiological responses of

tomato fruit[J]. Postharves Biology and Technology,2007,44 (3):300-306.

[15] MENG X H, LI B Q, LIU J, *et al.* Physiological responses and quality attributes of table grape fruit to chitosan preharvest spray and post harvest coating during storage[J]. Food Chemistry,2008,106(2):501-508.

[16] ROMANAZZI G, NIGRO F, IPPOLITO A, *et al.* Effects of pre-and postharvest chitosan treatments to control storage grey mould of table grapes[J]. Food Science, 2002, 67(5): 1862-1867.

[17] 李玉红,陈鹏,程智慧,等. 草酸和 BTH 对黄瓜幼苗霜霉病抗性和胞间隙病程相关蛋白的诱导[J]. 植物病理学报,2006,36 (3):238-243.

[18] 高俊凤. 植物生理学实验指导[M]. 北京:高等教育出版社, 2006:140-144.

[19] 胡景江,文建雷,景耀,等. 过氧化物酶和多酚氧化酶与杨树溃疡病抗性的关系[J]. 西北林学院学报,1990,5(1):46-50.

[20] 李合生,孙群,赵世杰. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京:高等教育出版社,2000:706-714.

[21] 陈建中,盛炳成,刘克均. 苯丙酸类代谢与苹果对轮纹病抗性的关系[J]. 果树科学,1997,14(3):149-152.

CHEN J Z, SHENG B C, LIU K J. The relation between metabolism of phenylalanine and resistance to *Physoalospora piricola* nose in apple trees[J]. Fruit Sci., 1997,14(3):149-152. (in Chinese)

[22] 李森,檀根甲,李瑶,等. 猕猴桃品种酚类物质及可溶性蛋白含量与抗溃疡病的关系[J]. 植物保护,2009,35(1):37-41.

LI M, TAN G J, LI Y, *et al.* Relationships between the contents of phenolics, soluble proteins in plants of kiwifruit cultivars and their resistance to kiwifruit bacterial canker by *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae* [J]. Plant Protection, 2009,35(1):37-41. (in Chinese)

[23] 周博如,李永锦,刘太国,等. 不同抗性的大豆品种接种大豆细菌性疫病菌后可溶性蛋白、总糖含量变化的研究[J]. 大豆科学,2000,19(2):111-114.

[24] RADWAN D E, FAYEZ K A, MAHMOUD S Y, *et al.* Physiological and metabolic changes of cucurbita pepo leaves in response to zucchini yellow mosaic virus infection and salicylic acid treatments[J]. Plant Physiology and Biochemistry, 2007, 45(6-7):480-489.

[25] CAO J K, JIANG W B. Induction of resistance in yali (*Pyrus bretschneideri* Rehd.) fruit against postharvest diseases by acibenzolar-S-methyl sprays on trees during fruit growth[J]. Scientia Horticulturæ,2006,110(2):181-186.

[26] MANDAL S, MALLICK N, MITRA A. Salicylic acid-induced resistance to *fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* in tomato[J]. Plant Physiology and Biochemistry, 2009,47(7):642-649.

[27] 赵 杨,魏颖娟,邹应斌. 低温胁迫下早稻幼苗叶片和根系的生理指标变化及其品种间差异[J]. 核农学报,2015;29(4), 792-798.

[28] 李克梅,张芯伪,王丽丽,等. 草酸诱导紫花苜蓿对霜霉病的抗性[J]. 草业科学,2015,32(1):36-40.

LI K M, ZHANG X W, WANG L L, *et al.* The resistance of alfalfa to downy mildew induced by oxalic acid[J]. Pratacul-tural Science,2015,32(1):36-40.