

BTH、SA 和 SiO₂ 处理对甜瓜幼苗白粉病抗性 及叶片 HRGP 和木质素含量的影响

陈年来^{1,2}, 胡敏¹, 乔昌萍¹, 乃小英¹, 王锐¹

(¹ 甘肃农业大学农学院, 兰州 730070; ² 甘肃农业大学资源与环境学院, 兰州 730070)

摘要: 【目的】探讨苯并噻二唑 (BTH)、水杨酸 (SA) 和纳米硅 (SiO₂) 对甜瓜幼苗白粉病抗性的诱导作用及与木质素、HRGP 含量的关系。【方法】以抗白粉病甜瓜品种 ‘银帝’ 和感病品种 ‘卡拉赛’ 为材料, 用 BTH、SA 和 SiO₂ 溶液分别预处理, 5 d 后接种白粉病菌并分 4 次调查处理植株的发病情况、测定叶片细胞壁中木质素和羟脯氨酸糖蛋白 (HRGP) 含量。【结果】(1) BTH 和 SA 处理显著降低了甜瓜幼苗的白粉病病情指数, 尤以 BTH 效果为好, 抗病品种发病较感病品种轻, SiO₂ 只在发病初期显著降低病情指数。(2) 白粉菌接种和 BTH、SA 处理对甜瓜叶片木质素及 HRGP 含量增加具有显著的系统诱导作用, 且细胞壁中 HRGP 积累与木质素沉积在时间进程和强度上表现出明显的同步性, 抗病品种的增加程度大于感病品种, SiO₂ 无显著诱导效果。【结论】HRGP 的积累和细胞壁的木质化与甜瓜对白粉病的抗性反应有关, 是寄主-病菌互作的重要生化机制之一。

关键词: 甜瓜; 白粉病; 苯并噻二唑; 水杨酸; 纳米硅; 木质素; 羟脯氨酸糖蛋白

Effects of BTH, SA, and SiO₂ Treatment on Disease Resistance and Leaf HRGP and Lignin Contents of Melon Seedlings

CHEN Nian-lai^{1,2}, HU Min¹, QIAO Chang-ping¹, NAI Xiao-ying¹, WANG Rui¹

(¹ College of Agronomy, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070; ² College of Resource and Environmental Sciences, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070)

Abstract: 【Objective】The objective of the experiment was to investigate the inducing effects of benzothiadiazole (BTH), salicylic acid (SA) and nanometer silicon (SiO₂) spraying on disease resistance of melon to powdery mildew and its relationship to hydroxyproline-rich glycoprotein (HRGP) and lignin contents in leaves. 【Method】Two melon cultivars with different powder mildew susceptibilities, Yindi and Kalakesai, were employed as materials. At the fifth day after BTH, SA and SiO₂ spraying, seedlings were inoculated with *Sphaerotheca fuliginea*, and disease indexes, leaf lignin and HRGP contents were determined for four times at alternate days. 【Result】BTH and SA spraying significantly decreased disease indexes of powdery mildew in melon seedlings especially by BTH spraying and on the resistant cultivar, while SiO₂ spraying showed a significant effect only in the initial days after treatment. Leaf lignin and HRGP content increased significantly and systemically in melon seedlings induced by *Sphaerotheca fuliginea* inoculation and BTH, SA spraying, while SiO₂ had no such effect. The accumulation of lignin and HRGP in leaf cell wall was synchronous obviously, and was higher in the resistant cultivar than in the susceptible one. 【Conclusion】The accumulation of HRGP and the deposition of lignin in cell wall of melon leaves are related to its resistant reactions to powdery mildew, and it is one of the important biochemical mechanisms in melon-*Sphaerotheca fuliginea* interactions.

Key words: *Cucumis melo* L.; powdery mildew; benzothiadiazole; salicylic acid; SiO₂; lignin; HRGP

0 引言

【研究意义】白粉病是甜瓜主要病害之一, 严重

威胁甜瓜产业的可持续发展。目前主要采用硫制剂进行防治, 但大量施药不仅污染农产品和农田环境, 而且引起病菌产生抗药性, 防效逐年降低^[1]。【前人研

收稿日期: 2009-05-18; 接受日期: 2009-07-23

基金项目: 甘肃省农业生物技术应用研究专项 (GNSW-2006-08)

作者简介: 陈年来, 教授, 博士。Tel: 0931-7632495, 13038746708; E-mail: chenl@gsau.edu.cn

究进展】近年来研究表明,苯并噻二唑(BTH)、水杨酸(SA)和纳米硅(SiO₂)可提高甜瓜、苦瓜、葡萄、小麦等多种作物的抗病性^[1-4]。植株在受到病菌感染、理化因子或生物制剂诱导时,木质素含量明显增加^[5],引起细胞壁木栓化,阻止病原菌侵染和蔓延^[6],不仅对病原微生物的入侵起屏障作用,而且木质素的低分子量酚类前体及多聚作用产生的游离基可以钝化真菌的膜、酶和毒素^[7]。羟脯氨酸糖蛋白(HRGP)是植物细胞壁的主要结构组分,与木质素的形成密切相关,当植物细胞壁受损或遭病原菌侵染时,植物体内会大量积累HRGP以修复细胞壁结构,进而增强抗病性^[8]。SA、BTH和SiO₂可以提高甜瓜植株和果实的抗病性^[9-11],且对叶片的光合速率与寿命、果实的产量与品质均无不良影响^[12]。抗性相关酶活性与信号途径研究表明,BTH可以通过提高植物体内的抗病相关酶的活性、增加叶片内活性氧的产生,诱导甜瓜植株产生系统抗病性^[10,13]。【本研究切入点】尚不清楚BTH、SA和SiO₂诱导甜瓜对白粉菌的抗性是否与HRGP和木质素的积累有关。【拟解决的关键问题】探讨BTH、SA和SiO₂诱导甜瓜幼苗增强对白粉病抗性与木质素、HRGP积累的关系,进一步揭示甜瓜诱导抗病性产生的生理生化机制。

1 材料与方法

1.1 供试材料

1.1.1 植物材料 ‘银帝’为甘肃河西瓜菜研究所育成,是甘肃省厚皮甜瓜主栽品种之一,较抗白粉病^[14];‘卡拉克赛’又名“伽师瓜”,是中国新疆著名哈密瓜地方品种,易感白粉病^[10]。试验进行盆栽种植,基质为蛭石和珍珠岩(3:1),甜瓜幼苗破心后间留2株/盆,两叶一心时定苗为1株/盆。试验期间交替浇灌清水和1/2 Hoagland营养液,使基质湿度维持在最大持水量的75%左右。

表1 甜瓜白粉病分级标准

Table 1 Grading standard of powdery mildew in melon

级别	抗病性	发病程度	代表数值
Rank	Disease resistance	Extent of incidence	Values
1	免疫 Immunity	叶片无病 Asymptomatic	0
2	高抗 Highly resistance	病斑占叶面积的1/4以下 Lesion area<1/4 of leaf area	1
3	中抗 Moderate resistance	病斑面积占叶面积的1/4—1/2 Lesion area occupy 1/4-1/2 of leaf area	2
4	中感 Moderate susceptibility	病斑面积占叶面积的1/2—3/4 Lesion area occupy 1/2-3/4 of leaf area	3
5	高感 High susceptibility	病斑面积占叶面积的3/4以上 Lesion area >3/4 of leaf area	4

1.1.2 试验菌种 白粉菌(*Sphaerotheca fuliginea*)采自甘肃省农业科学院(兰州)日光温室。孢子悬浮液制备方法为:采摘感染白粉病的新鲜黄瓜叶片,用毛笔将白粉菌孢子刷到盛有蒸馏水的烧杯中,用血球计数板计数配成浓度为3×10⁴孢子/mL的悬浮液^[15]。

1.1.3 主要试剂 苯并噻二唑(BTH)由澳大利亚悉尼大学 Robyn McConchi 博士提供,水杨酸(SA)为天津市百世化工有限公司产品,纳米硅(SiO₂)为青岛裕民源硅胶试剂厂产品。BTH、SA和SiO₂用蒸馏水分别配制成0.35、1.0、20 mmol·L⁻¹的溶液^[1,16],并加入1—2滴0.01% Tween-80作表面活性剂。

1.1.4 诱导与接种 幼苗培养到五叶一心时期时对第3片真叶进行叶面喷雾处理,之后5 d接种白粉菌。共设5个处理:清水喷雾(CK1),清水喷雾+白粉菌接种(CK2);0.35 mmol·L⁻¹ BTH 喷雾+白粉菌接种(BTH),1.0 mmol·L⁻¹ SA 喷雾+白粉菌接种(SA),20 mmol·L⁻¹ 纳米硅喷雾+白粉菌接种(SiO₂)。接种时用手持喷雾器将白粉菌孢子悬浮液均匀喷洒在甜瓜幼苗叶片上^[15],接种后2、4、6、8 d统计幼苗病情指数,诱导处理后3 d及接菌后1、4、7 d采集幼苗第3片真叶(处理叶)和第5片真叶(诱导叶)作为测定样本。每个处理重复3次,每次重复15盆。

1.2 测定指标及方法

1.2.1 病害统计 自白粉菌接种后2 d开始,隔日统计甜瓜叶片发病情况至卡拉克赛 CK2 病株率达100%,记录各级病叶数,计算病株率、病叶率、病情指数及诱导效果。病叶分级、病叶率、病情指数的计算标准参照熊岳农学院黄瓜白粉病的调查方法^[17](表1)。

诱导效果(%)=(对照病情指数-处理病情指数)/对照病情指数×100%

1.2.2 细胞壁的制备及木质素含量测定 细胞壁的制备参照李建华、李雄彪的方法^[18],木质素含量测定

和计算采用熊素敏等改进的 XH 波钦诺克法^[19]并做如下修改：细胞壁干样称量取下限（50 mg），所有试剂用量减半但浓度不变^[19]。

1.2.3 HRGP 含量的测定 根据文献[20]，细胞壁中 HRGP 的含量与羟脯氨酸（HYP）含量正相关，因此本文以测定细胞壁中 HYP 的含量来代表细胞壁中 HRGP 的含量^[21]。HYP 测定参照 Kivirikko 等的方法^[22]。配制不同浓度纯羟脯氨酸和对二甲氨基苯甲醛显色剂作用，在 A_{560nm} 测定 OD 值，绘制标准曲线^[22]，根据标准曲线计算 HYP 含量。

1.3 数据分析

利用 SPSS 16.0 统计软件进行单因素方差分析，差异显著性测验采用 Duncan 法，作图软件为 Excel。

2 结果

2.1 诱导剂对甜瓜幼苗白粉病的影响

从表 2 可以看出，随处理后时间延长，植株的发病率、病情指数增大，诱导效果减小。整个试验期间，BTH 和 SA 对甜瓜幼苗白粉病始终具有显著($P<0.05$)

抑制作用，BTH 的抑制作用大于 SA，SiO₂ 只在发病初期对白粉菌有显著($P<0.05$)抑制作用。两个甜瓜品种对白粉菌的敏感性差异明显，‘卡拉克赛’在接菌后 2 d 发病，‘银帝’接菌后 4 d 才发病。接菌后 8 d，BTH、SA、SiO₂ 和 CK2 这 4 个处理‘银帝’的病情指数分别为 14.02%、16.02%、23.11%和 26.22%，显著($P<0.05$)低于‘卡拉克赛’的 30.36%、42.66%、48.81%和 53.77%。

2.2 诱导和接种处理对甜瓜叶细胞木质素含量的影响

由图 1 可知，接种白粉菌（CK2）后甜瓜叶细胞木质素含量显著($P<0.05$)高于未接菌对照（CK1），说明白粉菌接种可以诱导甜瓜叶片物理抗性增强；BTH 和 SA 处理后幼苗第 3 叶和第 5 叶木质素含量均显著($P<0.05$)高于 CK2，表明其对甜瓜叶片木质素合成和积累具有系统诱导作用，BTH 处理的效应强于 SA 处理，幼苗第 3 叶（处理叶）的木质素含量增幅大于第 5 叶（诱导叶），但 SiO₂ 处理效果不显著。BTH 和 SA 处理后，抗病品种‘银帝’的木质素积累响应

表 2 诱导剂处理后甜瓜幼苗白粉病发病情况

Table 2 Disease severity of powdery mildew in melon (cv. Yindi and Kalakesai) after inducer spraying

接菌后天数 Days after inoculation (d)	处理 Treatments	卡拉克赛 Kalakesai			银帝 Yindi		
		病叶率 Percent of diseased leaves (%)	病情指数 Disease index	诱导效果 Induced effects (%)	病叶率 Percent of diseased leaves (%)	病情指数 Disease index (%)	诱导效果 Induced effects (%)
2	CK2	12.70	0.03a	/	/	//	/
	SiO ₂	7.22	0.02b	43.13	/	//	/
	SA	3.33	0.01c	73.75	/	//	/
	BTH	3.33	0.01c	73.75	/	//	/
4	CK2	29.15	10.06a	/	10.86	2.72 a	/
	SiO ₂	24.36	6.26b	37.74	5.56	1.39 b	48.86
	SA	17.36	4.69bc	53.39	5.37	1.26 b	53.73
	BTH	13.28	3.08c	69.36	3.70	0.93 b	65.91
6	CK2	54.76	25.00a	/	32.29	11.02 a	/
	SiO ₂	50.00	18.65a	25.40	25.69	8.68 b	21.26
	SA	29.17	10.12b	59.52	18.85	6.49 c	41.10
	BTH	28.04	9.59b	61.64	18.07	4.70 c	57.41
8	CK2	95.24	53.77a	/	52.78	26.22 a	/
	SiO ₂	90.48	48.81ab	9.23	50.00	23.11 ab	11.83
	SA	80.16	42.66b	20.66	39.26	16.02 bc	38.90
	BTH	73.81	30.36c	43.54	36.51	14.02 c	46.52

试验期内 CK1 没有发生白粉病；小写字母代表同期各处理间在 $P<0.05$ 水平上差异显著。下同
Different lower case letters indicate significant difference at $P<0.05$ among treatments in the same investigation period. The same as below

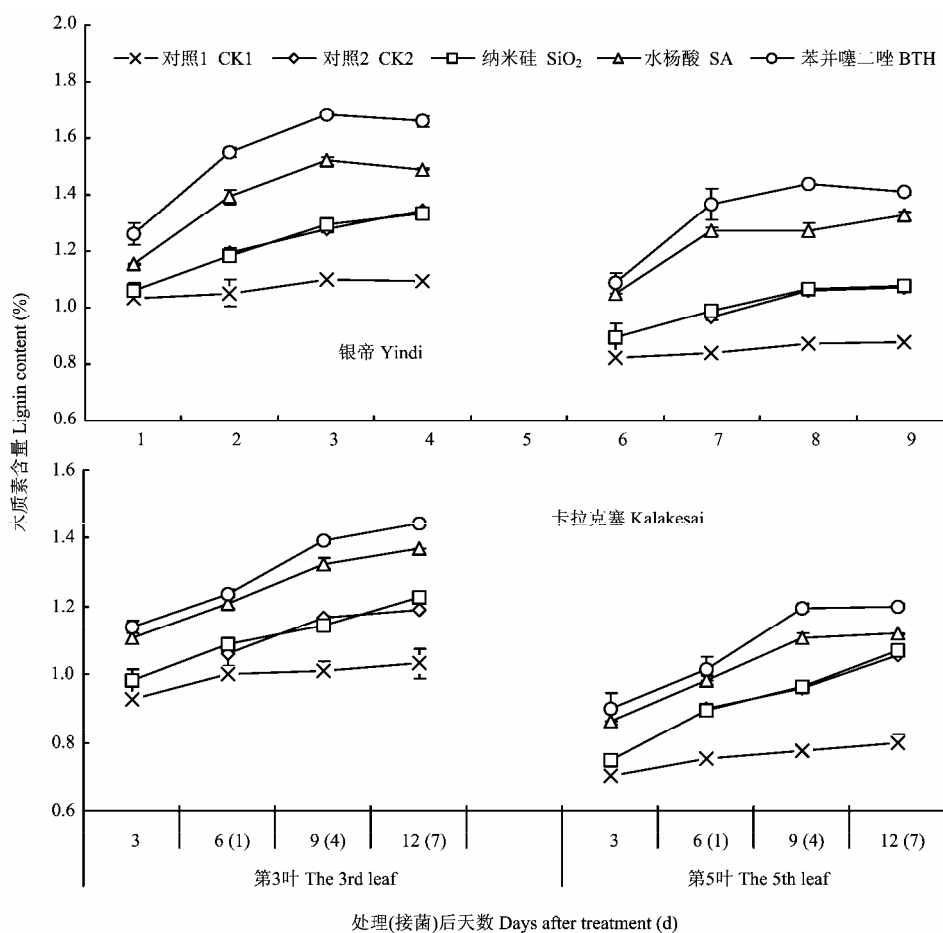


图 1 诱导剂处理和白粉菌接种对银帝和卡拉克赛甜瓜叶片木质素含量的影响

Fig. 1 Effects of inducer treatment and *Sphaerotheca fuliginea* inoculation on leaf lignin contents of melon (cv. Yindi and Kalakesai)

快于感病品种‘卡拉克赛’，木质素含量也极显著地高于‘卡拉克赛’，表明诱导处理在抗病品种上的效果优于在感病品种上。

2.3 诱导和接种处理对叶片 HRGP 含量的影响

两甜瓜品种对照株 (CK1) 叶细胞的 HRGP 水平较低且相当 (图 2)，白粉菌接种 (CK2) 后 HRGP 含量均显著 ($P < 0.05$) 升高，说明厚皮甜瓜中的 HRGP 是诱导表达的抗性物质。BTH 和 SA 处理后，甜瓜幼苗第 3 叶和第 5 叶的 HRGP 含量显著高于 CK2，表明 BTH 和 SA 对甜瓜叶片 HRGP 含量增加具有系统诱导作用，但 SiO₂ 处理效果不显著。白粉菌接种或诱导剂处理后，HRGP 含量的增长速度比木质素更快，‘银帝’叶片中 HRGP 含量增速明显快于‘卡拉克赛’，说明 HRGP 在甜瓜抗病反应中的表现比木质素更积极，抗病品种 HRGP 合成对诱导处理的响应比感病品

种更快。

3 讨论

前人研究表明，BTH、SA 可诱导黄瓜对霜霉病的抗性^[23-24]，喷施硅制剂能明显提高黄瓜^[25]和甜瓜^[1,16]抗白粉病的能力。本研究结果表明，BTH、SA 和 SiO₂ 处理均可以显著 ($P < 0.05$) 降低甜瓜幼苗白粉病病情指数，作用效果 BTH > SA > SiO₂。

HRGP 和木质素可以加强细胞壁，增加组织木质化程度，构成致密的结构屏障阻止病原真菌的侵染穿透。BTH 处理和霜霉菌接种可诱导黄瓜叶片细胞壁木质素和 HRGP 含量的增加^[8]，SA 处理可增加辣椒叶片细胞壁中 HRGP 和木质素沉积^[26]。本研究中发现，白粉菌侵染和 BTH、SA 诱导处理均可以诱导甜瓜植株系统积累 HRGP 和木质素，说明 BTH 和 SA 处理后甜

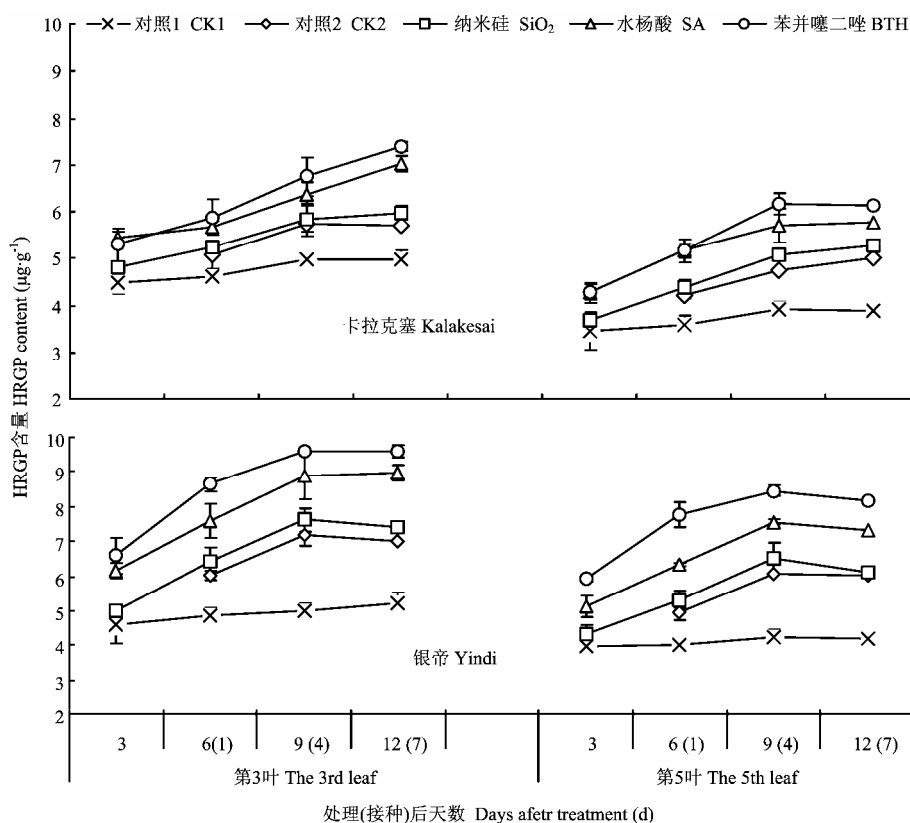


图2 诱导处理和白粉菌接种对银帝和卡拉克赛甜瓜叶片 HRGP 含量的影响

Fig. 2 Effects of inducer treatment and *Sphaerotheca fuliginea* inoculation on leaf HRGP content of melon (cv. Yindi and Kalakesai)

瓜幼苗对白粉病抗性的提高与叶细胞中这两种抗性物质的产生有关。BTH、SA 处理后甜瓜幼苗叶片中 HRGP 和木质素的积累动态与叶组织中 PAL 和 POD 活性显著升高在时间上表现出较好的一致性^[10,13], 这与用 SA 诱导拟南芥抗灰霉病过程中 PAL 和 POD 活性提高、引起木质素含量增加的结果一致^[7], 表明通过 PAL 和 POD 活性升高引起木质素和 HRGP 积累是植物诱导抗性的重要生化机制。SiO₂ 对甜瓜幼苗叶细胞木质素、HRGP 含量升高无诱导作用, 纳米硅处理后甜瓜幼苗白粉病发生较轻可能与硅沉积产生的物理屏障作用有关^[11]。

植物的抗病性决定于体内抗病基因的存在和抗性基因表达后产生抗病物质的速度和数量, 诱导剂的作用就在于增强抗病基因表达强度, 促进抗病物质的形成和积累。本研究结果表明, 基础抗性不同的甜瓜品种对诱导处理的响应强度和不同, 诱导处理和白粉菌接种后, 甜瓜叶片木质素和 HRGP 积累无论在速度上还是在积累量上都与甜瓜品种对白粉病的基础抗

性正相关, 表明诱抗剂处理抗病品种的效果之所以优于感病品种与其叶细胞中 HRGP 和木质素积累速度和数量有关, 与用 SA 诱导辣椒对疫霉菌的抗性研究中得到的结果相同^[26]。

4 结论

BTH 和 SA 对甜瓜白粉病抗性有显著的诱导作用, BTH 的效果较 SA 好, 在抗病品种上的效果优于在感病品种上的, 纳米硅可以通过物理屏障作用降低甜瓜白粉病病情指数。BTH、SA 处理和白粉菌接种均可诱导甜瓜叶片细胞壁木质素和 HRGP 含量的增加, HRGP 积累和细胞壁木质化是甜瓜对白粉病抗性反应的重要生化机制之一。

References

- [1] 郭玉蓉, 赵桦, 陈德蓉, 刘磊, 毕阳. 两种硅化物对甜瓜白粉病的抑制机理研究. 中国农业科学, 2005, 38(3): 576-581.

Guo Y R, Zhao H, Chen D R, Liu L, Bi Y. Inhibitory mechanisms of

- two silicon compounds on mildew powder of melon. *Scientia Agricultura Sinica*, 2005, 38(3): 576-581. (in Chinese)
- [2] 王国莉. 水杨酸对苦瓜叶片白粉病抗性 & 抗氧化酶活性的影响. 西北植物学报, 2008, 28(3): 529-534.
- Wang G L. Effect of salicylic acid on powdery mildew resistance and antioxidant enzymes activity of bitter melon leaf. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2008, 28(3): 529-534. (in Chinese)
- [3] 侯 琪, 安 力, 潘多英, 黄 锐, 王鹤娉. BTH 和 SA 对葡萄植株及采后果实病害控制效果. 北方园艺, 2008(10): 166-168.
- Hou Q, An L, Pan D Y, Huang R, Wang H P. Studies on the resistance induced by BTH and SA against disease in grape. *Northern Horticulture*, 2008(10): 166-168. (in Chinese)
- [4] 刘彩云, 周益林, 王荔军, 段霞瑜, 张福锁, 沈慧敏. 不同硅源剂对小麦白粉病的作用效果及对白粉病菌孢子萌发的影响. 植物病理学报, 2008, 38(3): 312-316.
- Liu C Y, Zhou Y L, Wang L J, Duan X Y, Zhang F S, Shen H M. Effects of different silicon compounds on wheat powdery mildew and germination of pathogen spores. *Acta Phytopathologica Sinica*, 2008, 38 (3): 312-316. (in Chinese)
- [5] 任 琴, 胡永建, 李镇宇, 金幼菊. 受害马尾松木质素含量及其过氧化物酶活性. 生态学报, 2007, 27(11): 4895-4899.
- Ren Q, Hu Y J, Li Z Y, Jin Y J. Content variation of lignin and peroxidase activities from damaged *Pinus massioniana*. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(11): 4895-4899. (in Chinese)
- [6] 李 伟, 熊 谨, 陈晓阳. 木质素代谢的生理意义及其遗传控制研究进展. 西北植物学报, 2003, 23(4): 675-681.
- Li W, Xiong J, Chen X Y. Advances in the research of physiological significances and genetic regulation of lignin metabolism. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2003, 23(4): 675-681. (in Chinese)
- [7] 王 媛, 杨红玉, 程在全. SA 诱导拟南芥对灰霉病的抗性与木质素含量的关系. 植物保护, 2007, 33(4): 50-54.
- Wang Y, Yang H Y, Cheng Z Q. Relationship between SA-induced resistance to grey mold in *Arabidopsis* and the lignin contents. *Plant Protection*, 2007, 33(4): 50-54. (in Chinese)
- [8] 程智慧, 李玉红, 孟焕文, 陈 鹏, 杜慧芳. BTH 诱导黄瓜幼苗对霜霉病的抗性与细胞壁 HRGP 和木质素含量的关系. 中国农业科学, 2006, 39(5): 935-940.
- Cheng Z H, Li Y H, Meng H W, Chen P, Du H F. The relationship between BTH-induced resistance to downy mildew in cucumber seedlings and content of HRGP and lignin in cell wall. *Scientia Agricultura Sinica*, 2006, 39(5): 935-940. (in Chinese)
- [9] 李学文, 姜 明, 冯作山, 毛晓英, K Y Phan-Thien. BTH 处理对哈密瓜品质产量及抗叶部病害的影响. 中国农学通报, 2007, 23(2): 226-230.
- Li X W, Jiang M, Feng Z S, Mao X Y, Phan-Thien K Y. Effect of BTH treatment on yield, quality, and resistance to leaf disease of Hami melon. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2007, 23(2): 226-230. (in Chinese)
- [10] 朱振家. 甜瓜抗白粉病化学诱导物筛选及诱导抗病性机理研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2007.
- Zhu Z J. Studies on chemical induction of melon resistance to powdery mildew: elicitor screening and physiological mechanism[D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2007. (in Chinese)
- [11] 郭玉蓉, 毕 阳, 曹孜义. 硅剂处理对‘玉金香’甜瓜红粉病的抑制. 园艺学报, 2003, 30(5): 586-588.
- Guo Y R, Bi Y, Cao Z Y. Inhibiting muskmelon pink mold rot of cantaloupe ‘Yujinxiang’ treated with silicon agents. *Acta Horticulturae Sinica*, 2003, 30(5): 586-588. (in Chinese)
- [12] 李喜娥, 陈年来, 王春林, 乔昌萍, 冯建明. BTH 和 SA 处理及白粉菌接种对甜瓜叶片光合特性的影响. 西北植物学报, 2007, 27(8): 1643-1649.
- Li X E, Chen N L, Wang C L, Qiao C P, Feng J M. Effects of BTH and SA treatment and *Sphaerotheca fuliginea* on photosynthetic characteristics of muskmelon. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2007, 27(8): 1643-1649. (in Chinese)
- [13] 王春林. BTH 诱导甜瓜抗白粉病机理及信号转导途径的研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2007.
- Wang C L. Studies on resistance to powder mildew and signal transduction pathway of muskmelon induced by BTH[D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2007. (in Chinese)
- [14] 陈年来, 屈 星, 陶永红. 甜瓜标准化生产技术. 北京: 金盾出版社, 2007: 111-117.
- Chen N L, Qu X, Tao Y H. *Technology for Standard Production of Melon*. Beijing: Jindun Press, 2007: 111-117. (in Chinese)
- [15] 马 青, 孙 辉, 杜昱光, 赵小明, 商鸿生. 氨基寡糖素对黄瓜白粉病菌侵染的抑制作用. 菌物学报, 2004, 23(3): 423-428.
- Ma Q, Sun H, Du Y G, Zhao X M, Shang H S. Inhibition of amino oligochitosan to the infection of cucumber powdery mildew. *Mycosystema*, 2004, 23(3): 423-428. (in Chinese)
- [16] 朱振家, 安翠香, 马育斌, 唐瑞永, 陈年来. 几种化学诱导物对甜瓜白粉病抗性的诱导作用. 甘肃农业大学学报, 2007, 42(5): 100-103.
- Zhu Z J, An C X, Ma Y B, Tang R Y, Chen N L. Effect of several chemical elicitors on resistance induction of melon to *Erysiphe cucurbitacearum*. *Journal of Gansu Agricultural University*, 2007,

- 42(5): 100-103. (in Chinese)
- [17] 熊岳农业专科学校. 蔬菜病虫害防治学实验实习指导. 重印版. 北京: 中国农业出版社, 1996: 135.
- Xiongyue Agricultural University. *Guidance to Experimental Practice of Study on Control of Pest and Disease in Vegetable*. Beijing: China Agricultural Press, 1996: 135. (in Chinese)
- [18] 李建华, 李雄彪. 细胞壁的制备及其羟脯氨酸含量的测定. 植物生理学通讯, 1993, 29(5): 363-365.
- Li J H, Li X B. Preparation and hydroxyproline analysis of plant cell wall. *Plant Physiology Communications*, 1993, 29(5): 363-365. (in Chinese)
- [19] 熊素敏, 左秀凤, 朱永义. 稻壳中纤维素、半纤维素和木质素含量的测定. 粮食与饲料工业, 2005(8): 40-41.
- Xiong S M, Zuo X F, Zhu Y Y. Determination of cellulose, hemi-cellulose and lignin in rice hull. *Cereal & Feed Industry*, 2005(8): 40-41. (in Chinese)
- [20] Lamport D T A, Miller D H. Hydroxyproline arabinosides in the plant kingdom. *Plant Physiology*, 1971, 48: 454-458.
- [21] 栗波, 刘宇刚, 欧阳光察. 黄瓜叶片富含羟脯氨酸糖蛋白(HRGP)的诱导. 植物生理学通讯, 1993, 29(5): 337-339.
- Li B, Liu Y G, Ouyang G C. Accumulation of hydroxyproline-rich glycoprotein in cucumber leaves induced by fungal elicitors. *Plant Physiology Communications*, 1993, 29(5): 337-339. (in Chinese)
- [22] Kivirikko K I. Modifications of a specific assay for hydroxyproline in urine. *Annual Biochemistry*, 1967, 19: 249-253.
- [23] 李玉红, 程智慧, 陈鹏, 陈晓光. 苯并噻二唑(BTH)诱导黄瓜幼苗对霜霉病抗性的研究. 园艺学报, 2006, 33 (2) : 278-282.
- Li Y H, Cheng Z H, Chen P, Chen X G. Studies on induction resistance to *Pseudoperonospora cubensis* by BTH in cucumber seedlings. *Acta Horticulturae Sinica*, 2006, 33(2): 278-282. (in Chinese)
- [24] 孙艳, 杨淑英. 水杨酸诱发黄瓜幼苗对霜霉病抗性的研究. 植物病理学报, 2004, 34(2): 187-189.
- Sun Y, Yang S Y. Effects of SA on resistance of cucumber seedlings to downy mildew. *Acta Phytopathologica Sinica*, 2004, 34 (2): 187-189. (in Chinese)
- [25] Belanger R R, Bowen P A, Ehret D L, Menzies J G. Soluble silicon: its role in crop and disease management of greenhouse crops. *Plant Disease*, 1995, 79: 329-336.
- [26] 毛爱军, 王永健, 冯兰香, 耿三省, 许勇. 水杨酸诱导辣椒抗病病生化机制的研究. 中国农学通报, 2005, 21(5): 219-222.
- Mao A J, Wang Y J, Feng L X, Gen S S, Xu Y. Study on the relative biochemical mechanism induced by salicylic acid against *Phytophthora capsici* in pepper (*Capsicum annuum*). *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2005, 21(5): 219-222. (in Chinese)

(责任编辑 曲来娥)