不同诱抗剂防治豌豆白粉病的效果及对防御酶的影响

陆建英， 杨晓明*， 王 昶， 张丽娟， 闵庚梅

（甘肃省农业科学院作物研究所，兰州 730070）

摘要 本文研究了4种诱抗剂防治豌豆白粉病的效果及其诱导豌豆叶片防御酶活性变化。结果表明，用不同诱抗剂进行诱导处理后第7天，对豌豆白粉病防效为16.25%～52.18%，效果最好的处理为0.1%S-诱抗素，平均防效为52.18%，处理后第10天，防效上升到20.59%～56.43%，效果最好的仍为0.1%S-诱抗素；喷施诱抗剂后增产效果明显，不同处理平均增产幅度在0.77%～12.54%之间；诱导后显著提高了抗性相关防御酶POD活性，其中0.1% S-诱抗素处理POD酶活性最高，但却降低了CAT酶活性。

关键词 诱抗剂； 豌豆白粉病； 病害防治

中图分类号： S 436.43 **文献标识码**： B **DOI**： 10.3969/j.issn.0529－1542.2017.05.037

Effect of four inducers on pea powdery mildew control and defensive enzymes activity

Lu Jianying， Yang Xiaoming， Wang Chang， Zhang Lijuan， Min Gengmei

（*Crop Institute*, *Gansu Academy of Agricultural Sciences*, *Lanzhou* 730070, *China*）

Abstract Effect of four inducers on pea powdery mildew control and defensive enzymes activity was investigated in this paper. The results showed that the average control efficacy was between 16.25% and 52.18% at the seventh day after treatment, and the best treatment was 0.1% *S*-ABA with control efficacy of 52.18%. At the tenth day after treatment, the control efficacy increased and reached to 20.59%－56.43%, and 0.1% *S*-ABA was still the best treatment. After spraying inducers, the yield increased obviously by 0.77%－12.54%. The activity of POD, one of the defense enzyme related disease resistance, was significantly improved in induced leaves, but the CAT activity in induced leaves was reduced. POD activity of 0.1% *S*-ABA was the highest.

Key words inducers； pea powdery mildew； disease control

豌豆白粉病 *Erysiphe pisi* DC.[1-2]是豌豆常见病害之一，甘肃中西部等多数地方都有发生和危害。该病在甘肃省主要发生在豌豆的成株期，发病时叶片和豆荚表面着生白色粉斑，严重时甚至整株覆盖一层白色粉末，光合作用明显受阻，导致豌豆豆荚生长不良，病害流行年份对豌豆的品质和产量造成很大的损失[3]，减产25%～30%[4-6]。为了减少成本投入，农民对该病一般不进行防治，或者喷施化学农药，但由于防治时间和药剂的选择上存在问题，防治效果往往不佳。植物抗性诱导剂是一类新型的生物农药，本身并无杀菌活性，但它能诱导植物产生抗性，激发植物内部的免疫机制，达到抗病、防病、治病的目的[7-8]。植物具有抵抗病害的潜在能力，当被某种因子刺激后，这种能力便可被激活，从而产生对病菌侵染的抵抗力[9]。经诱导的植物，抗病相关的基因表达能快速开启，基因表达的强度增强，与抗病性相关的物质代谢也随之加强，最终表现出抗病性[10-11]。目前，植物诱导抗病性已在水稻稻瘟病[12-13]、百合根腐病[14]、烟草青枯病[15]和黄瓜枯萎病[16]、瓜类蔬菜白粉病[17]、霜霉病[18]等病害有相关研究，但有关诱抗剂在豌豆白粉病上的研究报道较少。本文对几种诱抗剂防治豌豆白粉病的效果及其

收稿日期： 2016－10－21 **修订日期**： 2016－12－09

基金项目： 国家自然科学基金(31760420)；国家现代农业食用豆产业技术体系(CARS－09)；甘肃省青年科技基金计划(145RJYA303)

* 通信作者 E-mail：yangxm04@hotmail.com

诱导豌豆叶片防御酶活性变化进行研究，旨在为该病害的防治提供一种新的途径。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本试验于 2014 年- 2015 年在甘肃永登县上川镇试验基地进行，以感病品种‘S3008’为试验材料，选择肥力均匀的地块种植，随机区组排列，小区面积 10 m^2，行距 20 cm，密度按当地生产中半无叶型豌豆密度种植，田间管理优于大田试验。

1.2 试验设计

于当年 6 月下旬豌豆白粉病发生前喷施诱抗剂 1 次，隔 10 d 再喷施 1 次。诱抗剂设 6 个处理，即 0.5 g/L 水杨酸（SA）（烟台市双化工有限公司）、1 g/L壳聚糖粉剂（上海中秦化学试剂有限公司）、0.1% S-诱抗素水剂（福施壮，四川龙蟒福生科技有限责任公司）、1% S-诱抗素可溶粉剂（四川龙蟒福生科技有限责任公司）、0.25% S-诱抗素水剂（四川龙蟒福生科技有限责任公司）和 0.5%（*W*/*V*）碳酸氢钾（上海中秦化学试剂有限公司），以清水为对照，每处理 3 次重复。分别于第 2 次喷施后 7 d、10 d 调查病情级别和病情指数，最终计算比较不同诱抗剂处理的防病效果。每小区最后单打单收计产后进行比较。

病情分级标准为：0 级，叶片上无可见侵染；1 级，0＜菌体覆盖单叶面积＜10%；3 级，10%≤菌体覆盖单叶面积＜35%；5 级，35%≤菌体覆盖单叶面积＜65%；7 级，65%≤菌体覆盖单叶面积＜90%；9 级，菌体覆盖单叶面积≥90%。

病情指数＝∑[(各级病叶数×相对级数值)/(调查总叶数×最高级值)]×100；

防治效果(%)＝[(对照病情指数－药剂处理病情指数)/对照病情指数]×100。

1.3 样品采集与指标测定

酶活性测定于第 2 次喷药后 5 d 取样。取样时在每小区中随机选取 3 点，每点由下至上依次剪取各处理叶片，取样后立即装入自封袋带回实验室低温保存，并尽快进行指标测定。超氧化物歧化酶（SOD）活力采用氮蓝四唑光化还原法；过氧化物酶（POD）活力测定采用愈创木酚法；过氧化氢酶（CAT）活力测定采用过氧化氢法。

1.4 数据处理

采用软件 SPSS 17.0 进行数据分析，用 ANOVA 模块中的 Duncan 新复极差法分析不同处理间的差异显著性。

2 结果与分析

2.1 诱抗剂对豌豆白粉病的防治效果

诱抗剂防治豌豆白粉病两年试验平均效果见表 1。不同诱抗剂对豌豆白粉病有不同程度的防治效果，处理后第 7 天，平均防效在 16.25%～52.18%之间，效果最好的处理为 0.1%S-诱抗素，平均防效为52.18%，接着依次是 0.5 g/L 水杨酸、0.5%（*W*/*V*）碳酸氢钾、0.25%S-诱抗素、1%S-诱抗素，平均防效分别为 38.09%、30.29%、27.59%、17.80%，防效最差的是 1 g/L 壳聚糖，平均防效为 16.25%。处理后第 10 天，平均防效上升到 20.59%～56.43%之间，其中防效最好的是 0.1%S-诱抗素，平均防效为 56.43%，其次为 0.5 g/L 水杨酸，平均防效为 43.99%，接着依次是 0.25%S-诱抗素、0.5%（*W*/*V*）碳酸氢钾、1% S-诱抗素，平均防效分别为 37.57%、36.62%和 24.58%，防效最差的是 1 g/L 壳聚糖，为 20.59%。清水对照处理病情指数上升，诱抗剂处理病情指数下降，但降低幅度不大，为35.17～64.08。方差分析结果显示，0.1%S-诱抗素处理的平均防治效果和病情指数与其他处理均存在显著性差异。

2.2 不同诱抗剂诱导对豌豆产量的影响

不同处理的豌豆产量见表 1。诱抗剂处理与对照相比，增产幅度在 0.77%～12.54%之间，其中以 0.5 g/L 水杨酸处理增产幅度最大，为 12.54%，小区平均产量 4.37 kg。但是，诱抗剂处理后的增产效果与其防病效果不存在相关性。不同诱抗剂处理后的豌豆产量有不同程度的增加，说明诱抗剂能够提高豌豆抗病性和抗逆性，最终导致产量增加。

2.3 诱抗剂对豌豆白粉病抗性相关防御酶活性的影响

诱抗剂处理对 SOD、POD、CAT 酶活性的影响见表 2，与对照相比，不同诱抗剂处理对 SOD 酶活性影响不一致，除 1%S-诱抗素处理外，其他诱抗剂处理都降低了 SOD 酶活性，但变化幅度不大，差异不显著。诱抗剂处理对 POD 的酶活性影响较大，所有处理都显著地提高了 POD 的活性，其中 0.1%S-诱抗素处理 POD 酶活性最高，达到 12 995.56 U/g。不同诱抗处理均降低了 CAT 的酶活性，0.1%S-诱抗素、1 g/L 壳聚糖、0.5 g/L 水杨酸处理与清水对照存在显著差异。

表 1　不同诱抗剂防治豌豆白粉病的效果[1)]

Table 1　Control effect of different inducers on pea powdery mildew

处理 Treatment	处理后 7 d The 7th day after treatment		处理后 10 d The 10th day after treatment		小区产量/kg Average yield per plot	增产/% Increased yield
	病情指数 Disease index	平均防效/% Control efficacy	病情指数 Disease index	平均防效/% Control efficacy		
0.1% S-诱抗素 0.1% Abscisic acid	(36.66±1.28)d	(52.18±1.67)a	(35.17±1.61)d	(56.43±2.00)a	4.02±0.28	3.52
0.5 g/L 水杨酸 0.5 g/L Salicylic acid	(47.40±2.89)cd	(38.09±3.77)ab	(45.16±3.53)c	(43.99±4.37)b	4.37±0.23	12.54
0.5%(W/V)碳酸氢钾 0.5%(W/V) Potassium bicarbonate	(53.35±2.93)cd	(30.29±3.83)bc	(51.12±2.93)c	(36.62±3.64)b	4.33±0.31	11.68
0.25% S-诱抗素 0.25% Abscisic acid	(55.23±4.98)bcd	(27.59±6.50)bc	(50.37±2.42)c	(37.57±3.00)b	4.21±0.22	8.51
1% S-诱抗素 1% Abscisic acid	(62.68±4.13)bc	(17.80±5.37)c	(60.78±3.16)b	(24.58±3.91)c	3.91±0.31	0.77
1 g/L 壳聚糖 1 g/L Chitosan	(64.10±1.96)b	(16.25±2.55)c	(64.08±1.33)b	(20.59±1.65)c	4.15±0.41	6.96
清水空白对照 Water	(76.68±0.64)a	—	(80.76±0.98)a	—	3.88±0.29	—

1) 数据为平均值±标准误,不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。下同。
Data were presented as mean±SE, data with different lowercase letters indicated significant difference at 0.05 level. The same below.

表 2　不同诱抗剂对 3 种防御酶活性的影响

Table 2　Effects of different inducers on activity of three defensive enzymes

处理 Treatment	SOD 酶活性/U·g^{-1} SOD activity	POD 酶活性/U·g^{-1} POD activity	CAT 酶活性/U·g^{-1} CAT activity
0.1% S-诱抗素　0.1% Abscisic acid	(378.37±8.12)ab	(12 995.56±5 007.52)a	(418.67±142.29)c
0.5 g/L 水杨酸　0.5 g/L Salicylic acid	(349.89±13.44)b	(4 391.11±2 587.37)ab	(688.00±158.05)bc
0.5%(W/V)碳酸氢钾　0.5%(W/V)Potassium bicarbonate	(359.30±4.01)ab	(5 102.22±1 853.69)ab	(864.00±412.70)abc
0.25% S-诱抗素　0.25% Abscisic acid	(378.00±9.86)ab	(7 191.11±3 497.72)ab	(2 504.00±832.12)ab
1% S-诱抗素　1% Abscisic acid	(395.63±9.26)a	(8 213.33±2 747.05)ab	(1 904.00±763.75)abc
1 g/L 壳聚糖　1 g/L Chitosan	(380.76±20.94)ab	(6 915.56±4 336.66)ab	(357.33±90.08)c
清水空白对照　Water	(382.45±3.40)ab	(844.44±844.44)b	(2 618.67±878.61)a

3　结论与讨论

本研究中选用的诱抗剂是目前在生产上较普遍使用的诱抗剂。*S*-诱抗素是世界公认的第五大植物生长调节剂,在美国、日本、东南亚等地已被广泛应用于农业生产,但在我国的应用和推广还处于起步阶段。水杨酸是一种重要的诱导植物抗病反应的内源信号分子,参与植物过敏性反应(hypersensitivity resistance,HR)、植物系统抗病性(systemic resistance,SAR)与病程相关蛋白(pathogenesis-related proteins,PRP)基因的表达[19-20]。外源水杨酸作为诱导因子,可诱导烟草、马铃薯、黄瓜、豌豆等作物产生对真菌、细菌和病毒病害的局部和系统抗性[21-22]。本研究选择 S-诱抗素、水杨酸、碳酸氢钾、壳聚糖等 4 种诱抗剂进行试验,结果表明,0.1%*S*-诱抗素效果最好,喷药后 7 d 和 10 d 对豌豆白粉病防效分别为 52.18%和 56.43%,但这个防治效果并不算理想,原因可能与喷施时间、次数和调查时间不合适有关。0.1%*S*-诱抗素(福施壮)能有效提高农作物的抗旱、抗病能力,在改善作物品质的情况下提高植株的综合抗逆能力,从而提高产量[23]。武建宽等[24]在小麦返青期、拔节期喷施 0.1%*S*-诱抗素,结果对增加小麦植株抗逆性和生长调节作用明显。脱落酸(ABA)在较高浓度时对植物的许多生理活动表现出抑制作用,然而在较低浓度时,则会促进某些生理作用,提高叶片光合作用和抗氧化酶活性,减少病虫害发生[23,25-28]。因此,这正是本研究结果中 0.1%*S*-诱抗素防治豌豆白粉病的效果优于高浓度的 0.25% *S*-诱抗素、1%*S*-诱抗素的原因。今后还需调整喷药时间和次数,并结合本病的发病规律和豌豆的成熟期,进一步筛选豌豆白粉病诱抗剂,以充分发挥诱抗剂的诱抗效果,更好地防控豌豆白粉病的发生和危

害。近几年来,随着植物激素研究的进一步深入,植物激素在多种作物上已广泛应用,且增产效果明显。陆信娟等[29]研究了 3 种激素对大蒜的增产效果,结果表明 0.2 g/L 的水杨酸对大蒜增产效果明显。本研究中 0.5 g/L 水杨酸诱导后的豌豆增产幅度最大。

本试验表明,喷施诱抗剂后豌豆体内防御酶发生了一系列变化,SOD 酶、POD 酶、CAT 酶变化各不相同,其中 4 种诱抗剂处理后 POD 酶活性较清水对照都有所提高,但与防病效果不存在相关性。因此可以看出,豌豆白粉病发生前进行诱抗剂田间喷施对该病有一定的抑制作用,进而提高了豌豆产量,诱抗后植物叶片内的 SOD 酶、POD 酶、CAT 酶发生变化,但是否与抗性变化存在相关性还有待进一步研究。

诱抗剂在诱导植物产生系统抗病性时,其效果因作物或病害不同而不同,因此,针对不同作物、不同病原菌引起的病害选择最适诱抗剂以及最佳浓度才能起到事半功倍的效果,今后应进一步细化这方面的研究。

参考文献

[1] 彭化贤,姚革,贾瑞林,等. 我国豌豆地方品种抗白粉病性的研究[J]. 植物病理学报,1993,23(1):62.

[2] 陆建英,杨晓明,王昶,等. 抗白粉病豌豆种质资源田间筛选[J]. 植物保护,2015,41(3):154-158.

[3] 邵振润,刘万才. 我国小麦白粉病的发生现状与治理对策[J]. 中国农学通报,1996,12(6):21-23.

[4] Berkenkamp B,Kirkham C. Pea diseases in N. E. Saskatchewan [J]. Canadian Plant Disease Survey,1991,71:108.

[5] Orr D D,Burnett P A. Survey of radley pea in central Alberta-1992 [J]. Canadian Plant Disease Survey,1993, 73:100.

[6] Janila P,Sharma B. RAPD and SCAR markers for powdery mildew resistance gene *er* in pea[J]. Plant Breed,2004,123:271-274.

[7] 赵小明. 壳寡糖诱导植物抗病性及其诱抗机理的初步研究[D]. 北京:中国科学院,2006.

[8] 康恩祥,乃小英,陈年来,等. 诱抗剂复合处理对甜瓜光合特性及果实品质的影响[J]. 干旱地区农业研究,2012,30(2):150-153.

[9] Dang J L, Jones J D G. Plant pathogens and integrated defense responses to infection [J]. Nature,2001,411:826-833.

[10] 刘祖琪,张石城. 植物抗性生理学[M]. 北京:中国农业出版社,1994:222-332.

[11] Creelman R A, Mullet J E. Biosynthesis and action of jasmonates in plants [J]. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology,1997,48:355-381.

[12] 邬腊梅,柏连阳. 水稻稻瘟病的植物源诱抗剂研究进展[J]. 湖南农业科学,2012(11):84-86.

[13] 李静波,柏连阳,任新国,等. 诱抗剂及诱导对水稻稻瘟病抗性的机理研究进展[J]. 中国植保导刊,2008,28(1):15-18.

[14] 郭芳,王亚军,谢忠奎,等. 诱抗剂对切花百合生长、抗病性及相关酶活性的影响[J]. 园艺学报,2010,37(5):763-768.

[15] 郭庆明,徐笑宇,陈永明,等. 几种诱抗剂诱导烟草抗青枯病效果及其与链霉素混用增效作用[J]. 农药,2012,51(8):608-610.

[16] 曾军,郭生国. 植物诱抗剂甲壳质防治黄瓜枯萎病药效研究[J]. 现代农业科技,2012(4):217.

[17] 韩欢欢,马韬,谢冰. 瓜类蔬菜白粉病抗性诱导及其抗病机制研究进展[J]. 中国农学通报,2012,28(25):124-128.

[18] 程智慧,李玉红,孟焕文,等. BHT 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[J]. 中国农业科学,2006,39(5):925-940.

[19] 吴建丽,郝建军. 水杨酸与植物诱导抗病性[J]. 辽宁林业科技,2005(1):33-35.

[20] Naidoo R, Mybury A, Berger D, et al. Expression profiling of putative *Eucalyptus grandis* defence marker genes in response-to treatment with methyljasmonate and salicylic acid [J]. BMC Proceedings,2011,5(S1):96.

[21] 刘凤全,王金生. 水杨酸诱导水稻幼苗抗白叶枯病研究[J]. 植物保护学报,2000,27(1):47-52.

[22] Frfy S, Carver T L W. Induction of systemic resistance in pea to pea powdery mildew by exogenous application of salicylic acid [J]. Journal of Phytopathology, 1998,146(5/6), 239-245.

[23] 解艳玲,杜军,沈振荣,等. S-诱抗素研究进展[J]. 安徽农业科学,2013,41(4):1517-1518.

[24] 武建宽,秦焕荣,杨萍. S-诱抗素对小麦生长调节作用及增产效果试验研究[J]. 陕西农业科学,2014,60(2):6-7.

[25] 刘小金,徐大平,杨曾奖,等. 脱落酸对檀香幼苗生长、光合及叶片抗氧化酶活性的影响[J]. 南京林业大学学报(自然科学版),2016,40(3):57-62.

[26] 柯维忠,尹明华,洪森荣,等. 外源脱落酸对黄独试管苗生长发育的影响[J]. 湖南农业科学,2009(9):4-7.

[27] 陈文瑞,张武军. 脱落酸浸种对水稻秧苗素质的影响[J]. 四川农业大学学报,2000,18(2):131-133.

[28] Black T J. The physiological role of abscisic acid in the rooting of poplars and aspen stem sprouts [J]. Physiologia Plantarum,1986,67:638-643.

[29] 陆信娟,杨峰,樊继德. 3 种激素处理对大蒜鳞茎性状、产量及保护酶活性的影响[J]. 江西农业学报,2014,26(7):18-21.

(责任编辑:杨明丽)