

野生大豆接种大豆疫霉根腐病菌后过氧化物酶(POD)活性变化

程鹏¹,徐鹏飞²,范素杰²,靳立梅²,吴俊江³,王金生³,张淑珍²

(1. 黑龙江省农业技术推广站,黑龙江 哈尔滨 150036;2. 大豆生物学教育部重点实验室/农业部大豆生物学与遗传育种重点实验室/东北农业大学大豆研究所,黑龙江 哈尔滨 150030;3. 黑龙江省农业科学院大豆研究所,黑龙江 哈尔滨 150086)

摘要:对大豆疫霉菌胁迫下抗感不同野生大豆根、茎、叶中过氧化物酶(peroxidase, POD)活性的变化进行了初步研究。结果表明:抗病野生大豆接种后叶中 POD 活性在病程的大部分阶段高于感病野生大豆,同时高于未接种植株;而根和茎中的 POD 酶活性在病程的大部分阶段有所增加,但变化幅度不大。

关键词:大豆疫霉根腐病;野生大豆;过氧化物酶(POD)

中图分类号:S565.1

文献标识码:A

文章编号:1000-9841(2013)02-0197-05

Response of POD Activity in *Glycine soja* Inoculated by *Phytophthora sojae*

CHENG Peng¹, XU Peng-fei², FAN Su-jie², JIN Li-mei², WU Jun-jiang³, WANG Jin-sheng³, ZHANG Shu-zhen²

(1. Heilongjiang Agricultural Technology Extension Station, Harbin 150036, China; 2. Key Laboratory of Biology in Chinese Ministry of Education/Key Laboratory of Biology and Breeding & Genetics for Soybean in Northeast China, Ministry of Agriculture/Soybean Research Institute of Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China; 3. Soybean Research Institute of Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Harbin 150086, China)

Abstract: *Phytophthora* root and stem rot caused by *Phytophthora sojae* is a world wide destructive soybean disease, it may attack plants at any growth stage, causing root and stem rot. The principle of POD activity changes in roots, stems and leaves of soybean varieties with different resistance to *Phytophthora sojae* and the effect of POD on resistance to this disease were researched. The results showed that the POD activities of leaves in resistant soybean varieties increased compared with the susceptible soybean varieties at most of the pathogenicity stages, and it was also higher than that of control. The reaction of POD in roots and stems increased at most of the pathogenicity stages, however, the change extent was relatively low.

Key words: *Phytophthora* root and stem rot of soybean; *Glycine soja*; Peroxidase

大豆疫霉根腐病是由大豆疫霉菌(*Phytophthora sojae* Kaufmann & Gerdemann)引起的毁灭性世界范围大豆土传病害^[1]。自1991年在我国正式报道发现大豆疫霉根腐病菌以来,其已对我国大豆生产构成了严重威胁^[2-3]。

植物在病原菌胁迫时,会诱导一系列相关蛋白的表达,其中过氧化物酶(peroxidase, POD)是与植物生物胁迫和非生物胁迫有密切关系的一类氧化还原酶,其广泛存在于动物、植物和微生物体内。该酶参与众多的植物生理过程,在植物的生长发育、抵御生物和非生物胁迫方面起着一定作用。目前,已对拟南芥、大豆、水稻、烟草等的过氧化物酶的基因序列、表达模式、酶学性质及生理功能等方面进行了研究^[4-6]。

鉴于POD在植物体内的重要作用以及关于POD活性与野生大豆抗疫霉根腐病关系的研究鲜有报道,现对大豆疫霉根腐病菌胁迫下的抗、感野生大豆POD活性的变化进行研究,以期野生大豆

抗疫霉根腐病生理生化机制的研究奠定一定的理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料

抗感野生大豆共8份,由中国农业科学院作物科学研究所邱丽娟研究员提供。其中ZYD00388、ZYD00410、ZYD00841和ZYD02405为抗病资源;ZYD00006、ZYD01153、ZYD02497和ZYD02927为感病资源,其相关性状及抗感评价见表1。

大豆疫霉根腐病菌1号生理小种,是黑龙江省目前的优势生理小种^[3],由东北农业大学大豆生物学教育部重点实验室分离保存。

1.2 方法

1.2.1 种植方法 野生大豆种子先机械微破种皮,每个材料分别取6粒种子播种于掺入草炭土的直径为8 cm的盆钵中,3次重复。

收稿日期:2012-11-20

基金项目:教育部新世纪人才培养计划(NCET-09-164);国家自然科学基金(31071439,31171577,31101167);高等学校博士点基金(20112325120005);黑龙江省教育厅项目(12511041)。

第一作者简介:程鹏(1973-),男,学士,农艺师,主要从事农业技术推广研究。E-mail:chip73@qq.com。

通讯作者:张淑珍(1972-),女,博士,教授,主要从事大豆抗病遗传育种研究。E-mail:dnzhshzh@163.com。

表1 供试野生大豆农艺性状及抗病性

Table 1 Agronomic characters and resistance to *Phytophthora sojae* of tested wild soybeans

编号 Accession of wild soybean	来源 Origin	种皮色 Seed coat colour	脐色 Hilum colour	粒形 Seed shape	茸毛色 Pappus color	叶形 Leaf shape	抗感性 Resistant/ Susceptible
ZYD00388 (R1)	黑龙江 Heilongjiang	褐色 Brown	褐色 Brown	椭圆 Elliptical	灰色 Gray	长叶 Long leaf	抗 Resistant
ZYD00410 (R2)	黑龙江 Heilongjiang	黑色 Black	黑色 Black	椭圆 Elliptical	灰色 Gray	长叶 Long leaf	抗 Resistant
ZYD00841 (R3)	吉林 Jilin	褐色 Brown	褐色 Brown	椭圆 Elliptical	灰色 Gray	长叶 Long leaf	抗 Resistant
ZYD02405 (R4)	辽宁 Liaoning	黑色 Black	黑色 Black	椭圆 Elliptical	灰色 Gray	长叶 Long leaf	抗 Resistant
ZYD00006 (S1)	黑龙江 Heilongjiang	黑色 Black	褐色 Brown	椭圆 Elliptical	灰色 Gray	长叶 Long leaf	感 Susceptible
ZYD01153 (S2)	吉林 Jilin	黑色 Black	黑色 Black	椭圆 Elliptical	灰色 Gray	长叶 Long leaf	感 Susceptible
ZYD02497 (S3)	辽宁 Liaoning	黑色 Black	黑色 Black	椭圆 Elliptical	棕色 brown	长叶 Long leaf	感 Susceptible
ZYD02927 (S4)	山西 Shanxi	黑色 Black	黑色 Black	椭圆 Elliptical	灰色 Gray	长叶 Long leaf	感 Susceptible

抗感标准参照文献[7]。

The standard to evaluate resistance or susceptibility is based on Yang^[7].

1.2.2 胡萝卜(CA)培养基的配置 将新鲜的胡萝卜洗净,称取200 g,切成小块放入植物组织搅碎机中搅成匀浆,加入1 000 mL蒸馏水煮沸30 min,过滤除去残渣,将20 g琼脂加入滤液中搅拌融化后,备用。

1.2.3 菌种的培养 将培养基和培养皿在一个大气压下灭菌20 min后,放置于超净工作台冷却,再将15 mL CA培养基倒入直径为10 cm的已灭菌的培养皿中,冷却后制成CA固体培养基,然后用接种针将活化的病原菌接种于平皿中央,倒置于25℃温箱中培养10 d。

1.2.4 游动孢子悬浮液的制备 参照左豫虎等^[8]的方法略有改动:用打孔器在菌落边缘内侧打孔,挑取8~10个菌块转入灭菌的三角瓶内,加入20 mL CA液体培养基,25℃黑暗培养3 d,倒掉液体培养基,加入20 mL土壤浸出液,光暗交替培养(360 mol·m⁻²·s⁻¹光强下16 h光照,8 h黑暗)。25℃培养1~2 d可见大量孢子囊形成。将三角瓶内的土壤浸出液倒掉,加入20 mL无菌蒸馏水,置4℃冰箱中20~30 min后,取出置于25℃培养,30 min后即有大量游动孢子释放,6 h后游动孢子大量产生。用无菌水配制成浓度大约为1×10⁵个孢子·mL⁻¹游动孢子悬浮液,置室温下保存待用。

1.2.5 接种方法 采用游动孢子全苗接种法,待野

生大豆真叶完全展开后,用水将盆土充分浸泡,将泥土轻轻倒出,用流水慢慢冲洗,洗净根上所有附泥,然后将整个植株根部浸没在游动孢子悬浮液中,以蒸馏水为对照。接种后将处理和对照在25℃保湿箱中保温保湿。

1.2.6 取样方法 接种后0,12,24,36,48,60,72 h连续取样,每次取各供试野生大豆的整个植株,用无菌冰水洗净擦干,液氮冷冻后保存在-20℃的冰柜中备用。

1.2.7 酶液提取 参考李合生^[9]的方法,并稍作修改。分别称取0.2 g根、茎、叶,加入0.1 mol·L⁻¹的磷酸缓冲液(pH7.8)4 mL,冰浴研磨匀浆后于1.0×10⁴ r·min⁻¹ 4℃下离心20 min,取上清液,置于4℃冰箱中备用。

1.2.8 活性测定 参照郝再彬^[10]的方法,酶活性测定的反应体系为:2.9 mL 0.05 mol·L⁻¹磷酸缓冲液,1 mL质量百分数为2%的H₂O₂;1.0 mL 0.05 mol·L⁻¹愈创木酚和0.1 mL酶液。用加热煮沸5 min的酶液作为对照,反应体系加入酶液后,立即于37℃水浴中保温15 min,然后迅速转入冰浴中,并加入2 mL质量百分数为20%的三氯乙酸终止反应,然后,过滤(或以5 000 r·min⁻¹离心10 min),适当稀释,470 nm波长下测定吸光度。以每分钟内

ΔA_{470} 变化0.01为1个POD活性单位(U)。

$$\begin{aligned} & \text{过氧化物酶活性}(\text{OD}_{470\text{nm}} \cdot \text{g}^{-1}\text{FW} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}) \\ &= \frac{\Delta A_{470} \times N}{0.01 \times W \times T \times V} \quad (1) \end{aligned}$$

其中, ΔA_{470} 为反应时间内吸光度的变化,N为酶液总体积(mL),W为样品鲜重(g),T为反应时间(min),V为反应体系中所用酶液体积(mL)。

根据式(1)计算出的POD酶活性值,计算供试野生大豆接种后根、茎、叶中的POD活性变化率,公式如下:

$$\text{POD活性变化率}(\%) = (A_1 - A_0) / A_0 \times 100$$

其中, A_1 为接种后供试野生大豆中POD活性, A_0 为未接种野生大豆中POD活性。

1.3 数据分析

用DPS(V12.01)软件进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 接种前抗感野生大豆间POD活性比较

如图1所示,接种前根中POD活性表现为R2 > R4 > R3 > S4 > S2 > R1 > S1 > S3;接种前茎中POD活性表现为R4 > R2 > S4 > S3 > S1 > R3 > R1 > S2;接种前叶中POD活性表现为R1 > R2 > R3 > R4 > S3 > S2 > S4 > S1。由表2可知,接种前抗感野生大豆间根、茎、叶中POD活性差异不显著。

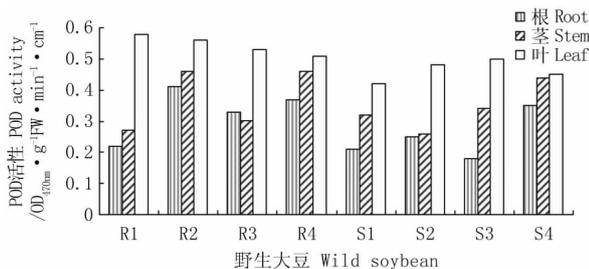


图1 接种前抗感野生大豆根、茎、叶中POD活性比较

Fig.1 The POD activity in roots, stems and leaves of tested wild soybeans before inoculated by *Phytophthora sojae*

表2 接种前抗感野生大豆根、茎、叶中POD活性平均值比较

Table 2 Comparison on the POD activity of tested wild soybeans before inoculated by *Phytophthora sojae* ($\text{OD}_{470\text{nm}} \cdot \text{g}^{-1}\text{FW} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$)

材料 Material	根 Root	茎 Stem	叶 Leaf
抗病野生大豆(R) Resistant wild soybean	0.373 a	0.518 a	0.333 a
感病野生大豆(S) Susceptible wild soybean	0.331 a	0.458 a	0.243 a

数字后标有相同字母表示在0.05水平上差异不显著。

Means followed by the same letters are not significantly different at 5% level.

2.2 接种后抗感野生大豆POD活性变化率比较

如图2A所示,接种疫霉根腐病菌1号生理小种后,抗病野生大豆R1根中POD活性始终高于未接种对照;R2在接种后12h,R3在接种后12,24和72h,R4在接种后24h根中POD活性比未接种对照植株增加。感病野生大豆S1在接种后36h根中POD活性低于未接种对照;S2在接种后36和48h,S3在接种后12~48h,S4在接种后36h根中POD活性比未接种对照植株低。由此可见,接种后,在病程的大部分阶段,抗病野生大豆根中POD活性均有不同程度的增加,但变化幅度不大,而且在病程的个别阶段也有POD活性降低的情况,如抗病野生大豆R2和R4,感病野生大豆S3。

如图2B所示,接种疫霉根腐病菌1号生理小种后,抗病野生大豆R1和感病野生大豆S1茎中POD活性比未接种对照植株低,而感病野生大豆S3茎中POD活性比未接种对照植株高。抗病野生大豆R2在接种后12,24,36和48和72h,R3在接种后24,36和48h,R4在接种后12,24,60和72h高于未接种对照植株。感病野生大豆S2在接种后36和48h,S4在接种后24和60h低于未接种对照植株。由此可见,接种后,抗病野生大豆R1、R2、R3在病程的大部分阶段茎中POD活性与未接种植株基本持平,变化幅度不大,R4在病程的大部分阶段POD活性较未接种对照植株高,且个别阶段增加幅度较大;感病野生大豆茎中POD活性变化幅度较小。

如图2C所示,接种后72h内,抗病野生大豆R4叶片中POD活性始终明显高于未接种对照植株,感病野生大豆S3叶片中POD活性始终明显低于未接种对照植株。抗病野生大豆R1在接种后24和48h,R2在接种后12,24和48h,R3在接种后24,36和48h高于未接种对照植株。感病野生大豆S1在接种后12h,S2在接种后36和48h,S4在接种后12,24,36,60和72h低于未接种对照植株。由此可见,接种后,抗病野生大豆叶中POD活性在病程前期阶段(24h)均明显增加,后期有所降低,感病野生大豆S1、S2叶中POD活性在病程大部分阶段有所增加,而S3、S4叶中POD活性在病程大部分阶段有所降低。

总体而言,接种疫霉根腐病菌1号生理小种后,比较抗病野生大豆和感病野生大豆可以看出,4个抗病野生大豆叶中POD活性变化率总的正值时间点明显多于4个感病野生大豆,而根和茎中则相差不多,由此可知,抗病野生大豆接种后叶中POD活性在病程的大部分阶段高于感病野生大豆,同时高于未接种植株;而根和茎中的POD酶活性在病程的大部分阶段有所增加,但变化幅度不大。

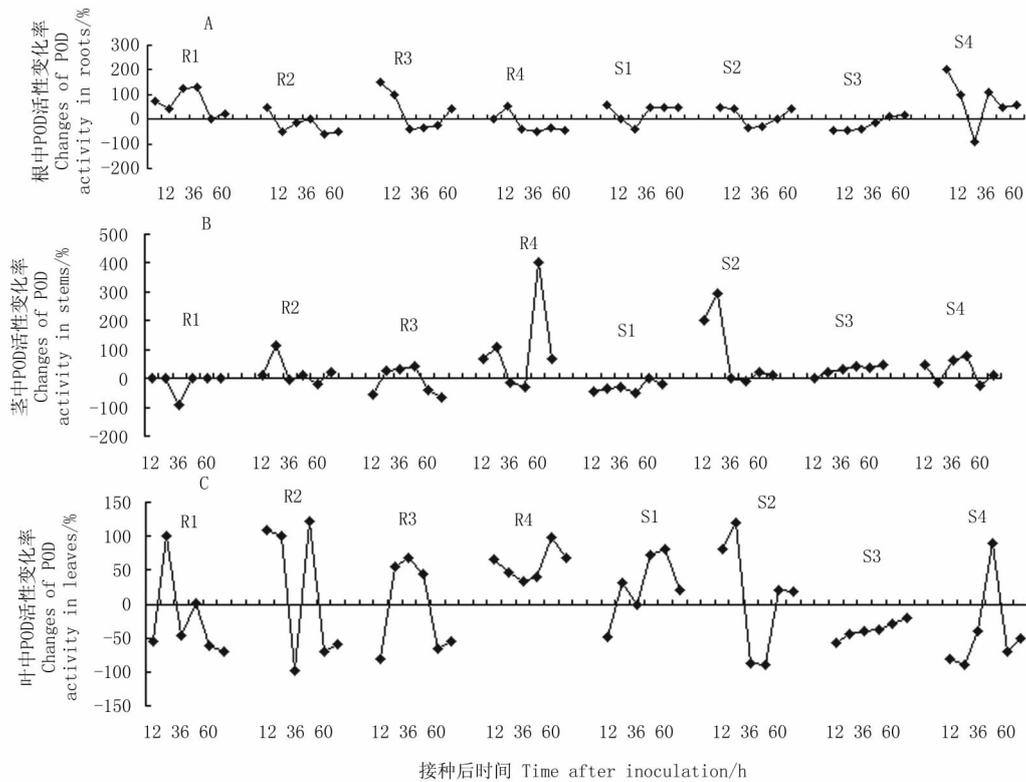


图2 接种疫霉根腐病菌后抗感 *G. soja* 根(A)、茎(B)、叶(C)中 POD 活性的变化率

Fig. 2 Changes of POD activity in wild soybean roots (A), stems (B) and leaves (C) inoculated by *Phytophthora sojae*

3 结论与讨论

植物和病原菌相互作用过程中,植物体内过氧化物酶(POD)活性发生变化是寄主的一种普遍性反应,和植物抗病性有一定的关系。在防御酶系中,POD使 H_2O_2 转化为 H_2O 和 O_2 ,以避免对植物细胞的伤害,同时,在合适的氢供体和 H_2O_2 存在时,还能够产生对入侵微生物有致死性的毒性物质(氧化酚类等),抑制病原物的增殖及其向植物的其他部位扩展^[11]。

许多研究表明,在受到外界胁迫时 POD 活性的增强增加了酚氧化物的含量,引起了过敏性反应,从而抑制了病原菌入侵^[12],但是对于不同的寄主和病原菌的组合,POD 活性的变化规律是不同的。而且,关于 POD 在植物抗病性中的作用至今没有得到一致的结论。孙万春等^[13]研究表明,黄瓜接种炭疽病菌后叶片中 POD 活性显著增强,能诱导植株产生系统抗病性;张丽娟等^[14]分析了不同抗性大豆品种在接种灰斑病菌 1~10 号生理小种后叶片中 POD 活性变化,结果表明大豆抗感品种接种后叶片中 POD 活性均比对照植株有所增高,且抗感品种接种后叶片中 POD 活性变化幅度因生理小种的不同而异;吴俊江等^[15]分析了不同栽培大豆品种接种疫霉菌后根、茎、叶中 POD 活性变化,结果表明,同一品种不

同部位 POD 活性变化是不同的,通过不同部位之间 POD 活性的变化来共同完成抵抗病原菌侵害的过程。陈晨等^[16]分析了大豆疫霉根腐病菌毒素胁迫下抗感不同大豆品种 POD 活性的变化,结果表明,毒素处理后抗病大豆品种根、茎和叶中 POD 活性在病程的大部分阶段都高于对照。陈高等^[17]对黄曲霉侵染前后两种花生籽仁中 POD 活性进行测定表明,接种 8 h 后两花生品种 POD 活性明显提高,并表现出明显的活性高峰,之后 POD 活性逐渐下降,24 h 后 POD 活性变化幅度较小,两花生品种间的 POD 活性相差较大。刘莉铭等^[18]分析茎点枯病菌诱导下芝麻 POD 的活性变化表明,茎点枯病菌诱导下抗病品种 POD 活性比感病品种升高快,感病品种在病原菌诱导 36 h 后,POD 活性才明显上升且高于抗病品种,推测酶的活性变化与芝麻的抗病反应有着密切关系。由此可见,不同基因型寄主接种病原菌后抗感品种体内 POD 活性均有所变化,且 POD 活性与植物抗病性呈正相关,这与本文研究结果抗病野生大豆叶中 POD 活性在病程的大部分阶段比对照有所增加相一致。但由于所用的材料和方法及病原菌不同,关于过氧化物酶在植物抗病性中的作用,以及如何与其它防御酶共同起作用抵御病害的侵袭,还需进一步深入研究。

本研究结果表明:接种大豆疫霉根腐病菌后,

抗病野生大豆叶中 POD 活性在病程的大部分阶段比对照有所增加,而茎和根中的酶活性变化幅度不大;感病野生大豆茎和根中 POD 活性在病程的个别阶段比对照增加,在病程的大部分阶段 POD 活性低于对照,叶中 POD 活性变化的幅度较大。

参考文献

- [1] Schmitthenner A F. Problems and progress in control of *Phytophthora* root rot of soybean [J]. *Plant Disease*, 1985, 69 (4): 362-368.
- [2] 王华,高峰,吴彩兰,等. 新疆大豆疫霉生物学特性及生理小种鉴定[J]. *新疆农业科学*, 2008, 45 (1): 126-129. (Wang H, Gao F, Wu C L, et al. Identification on biological traits and physiological race of *Phytophthora sojae* in Xinjiang[J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2008, 45 (1): 126-129.)
- [3] Zhang S Z, Xu P F, Wu J J, et al. Races of *Phytophthora sojae* and their virulences on commonly grown soybean varieties in Heilongjiang, China [J]. *Plant Disease*, 2010, 94: 87-91.
- [4] 文才艺,吴元华,张艳红. 过氧化物酶活性与烟草脉坏死病抗性的关系[J]. *华中师范大学学报(自然科学版)*, 2001, 35(3): 334-337. (Wen C H, Wu Y H, Zhang Y H. Relationship between peroxidase activity and resistance to potato virus Y-vein strain in tobacco[J]. *Journal of Central China Normal University (Nat. Sci.)*, 2001, 35(3): 334-337.)
- [5] 黄有凯,罗曼,蒋立科,等. 哈茨木霉对水稻过氧化物酶及多酚氧化酶活性的影响[J]. *微生物学通报*, 2003, 30(5): 1-4. (Huang Y K, Luo M, Jiang L K et al. Effects of *Trichoderma Harziarum* on polyphenol oxidase and peroxidase in rice[J]. *Microbiology*, 2003, 30(5): 1-4.)
- [6] 曾家豫,袁红霞,廖世奇,等. 大豆过氧化物酶基因的克隆及其表达载体的构建[J]. *食品科学*, 2010, 31(5): 197-200. (Zeng J Y, Yuan H X, Liao S Q, et al. Cloning and plasmid construction of soybean peroxidase gene for prokaryotic expression system [J]. *Food Science*, 2010, 31(5): 197-200.)
- [7] Yang X B. Races of *Phytophthora sojae* in Iowa soybean fields [J]. *Plant Disease*, 1996, 80: 1418-1420.
- [8] 左豫虎,臧忠婧,刘锡若. 影响大豆疫霉菌(*Phytophthora sojae*)游动孢子产生的条件[J]. *植物病理学报*, 2001, 31(3): 241-245. (Zuo Y H, Zang Z J, Liu X R. Studies on production condition of zoospores of *Phytophthora sojae* [J]. *Acta Phytopathologica Sinica*, 2001, 31(3): 241-245.)
- [9] 李合生. *植物生理生化实验原理和技术* [M]. 北京:高等教育出版社, 1999. (Li H S. *The principle and technology of plant physiology* [M]. Beijing: Higher Education Press, 1999.)
- [10] 郝再彬. *植物生理学实验* [M]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社, 2004: 24-38. (Hao Z B. *Plant physiology experiment* [M]. Harbin: Harbin Institute of Technology Press, 2004: 24-38.)
- [11] 张树生,胡蕾,刘忠良,等. 植物体内抗病相关酶与植物抗病性的关系[J]. *安徽农学通报*, 2006 (13): 48-49. (Zhang S S, Hu L, Liu Z L, et al. Relationship between the disease defense-related enzymes and the disease resistance of plants [J]. *Anhui Agricultural Science Bulletin*, 2006 (13): 48-49.)
- [12] 王安乐,邓稳桥,朱海全,等. 黄瓜感染霜霉病菌后关键酶活性的变化[J]. *长江蔬菜*, 2008 (14): 52-54. (Wang A L, Deng W Q, Zhu H Q, et al. On the change of enzyme activities of cucumber infected by *Pseudoperon oспорa* [J]. *Journal of Changjiang Vegetables*, 2008 (14): 52-54.)
- [13] 孙万春,梁永超,杨艳芳. 硅和接种黄瓜炭疽菌对黄瓜过氧化物酶活性的影响及其与抗病性的关系[J]. *中国农业科学*, 2002, 35(12): 1560-1564. (Sun W C, Liang Y C, Yang Y F. Influences of silicon and inoculation with *Colletotrichum lagenarium* on peroxidase activity in leaves of cucumber and their relation to resistance to anthracnose [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2002, 35 (12): 1560-1564.)
- [14] 张丽娟,杨庆凯,张彩英. 大豆感染灰斑病菌后过氧化物酶活性的变化[J]. *大豆科学*, 2002, 21(3): 172-176. (Zhang L J, Yang Q K, Zhang C Y. The changes of POD activity in leaves of soybean varieties infected by *Cercospora sojina* Hara [J]. *Soybean Science*, 2002, 21(3): 172-176.)
- [15] 吴俊江,刘丽君,高明杰,等. 大豆接种疫霉根腐病菌后过氧化物酶活性的变化[J]. *中国油料作物学报*, 2003, 25(3): 67-70. (Wu J J, Liu L J, Gao M J, et al. The change of POD activity in soybean varieties after inoculation with *Phytophthora sojae* [J]. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*, 2003, 25(3): 67-70.)
- [16] 陈晨,徐鹏飞,张淑珍,等. 大豆疫霉根腐病菌毒素处理不同大豆品种后过氧化物酶活性的变化[J]. *大豆科学*, 2010, 29(5): 840-844. (Chen C, Xu P F, Zhang S Z, et al. Changes of peroxidase in soybean treated by pathotoxin produced by *Phytophthora sojae* [J]. *Soybean Science*, 2010, 29(5): 840-844.)
- [17] 陈高,闫彩霞,李春娟,等. 黄曲霉侵染前后花生过氧化物酶与过氧化氢酶活性变化的研究[J]. *山东农业科学*, 2009(3): 12-14. (Chen G, Yan C X, Li C J, et al. Activity changes of peroxidase and catalase in peanut before and after invaded by *Aspergillus flavus* [J]. *Shandong Agricultural Sciences*, 2009(3): 12-14.)
- [18] 刘莉铭,刘红彦,田保明,等. 茎点枯病菌诱导后芝麻过氧化物酶活性变化及其基因表达分析[J]. *河南农业科学*, 2012, 41(8): 93-98. (Liu L M, Liu H Y, Tian B M, et al. Analysis of POD activity and gene expression pattern in sesame infected with *Macrophomina phaseolina* [J]. *Journal of Henan Agricultural Sciences*, 2012, 41(8): 93-98.)