

银杏叶片三种酶活性变化与抗疫霉菌关系的研究

林敏敏¹, 廖咏梅^{1*}, 周志权²

(1. 广西大学农学院, 南宁 530005; 2. 广西产品质量监督检验院, 南宁 530022)

摘要: 将疫霉菌离体接种于银杏叶片, 发现不同龄期银杏叶片对疫霉菌的抗病性有差异, 叶龄为 100 d 的抗病性较强, 叶龄为 20 d 的抗病性较弱。不同银杏品种叶片对疫霉菌的抗性也有差异, 潮田 1 号和大佛手 2 号较抗病, 大佛手 1 号和桂 G86-1 较感病。不同龄期叶片接种后, 其过氧化物酶(POD)和苯丙氨酸解氨酶(PAL)的酶活性变化与抗病性成正相关, 而多酚氧化酶(PPOD)的酶活性变化与抗病性没有相关性; 不同银杏品种叶片接种后, 品种间的抗病性与 PPOD 酶活性变化成正相关, 而 POD 和 PAL 的酶活性变化与品种间的抗病性没有相关性。可见, POD、PPOD 和 PAL 的酶活性变化没有明显规律性, 不能作为衡量银杏叶片抗病性的生化指标。

关键词: 银杏; 疫霉菌; 抗病性; 酶活性

中图分类号: Q945 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2007)03-0513-05

Study on relationship between resistance against *Phytophthora nicotianae* and variation of three enzymes activities of *Ginkgo biloba*

LIN Min-Min¹, LIAO Yong-Mei^{1*}, ZHOU Zhi-Quan²

(1. College of Agriculture, Guangxi University, Nanning 530005, China; 2. Guangxi Zhuang Autonomous Region Institute of Supervision & Testing on Product Quality, Nanning 530022, China)

Abstract: The results of *Phytophthora nicotianae* inoculated on *Ginkgo biloba* leaves showed that leaves with different age had different disease resistance, in which it had stronger disease resistance at 100d age while 20d age leaves had weaker disease resistance; among different varieties, Chaotian No. 1 and Dafoshou No. 2 showed stronger disease resistance while Dafoshou No. 1 and GuiG86-1 had weaker disease resistance. Results of three enzymes activities detection showed that peroxidase (POD) and phenylalanine ammonia-lyase (PAL) enzymes activities had positive relationship with disease resistance while polyphenoloxidase (PPOD) hadn't. Among different varieties, PPOD enzyme activity had positive relationship with disease resistance while POD and PAL hadn't. The detection results suggested that POD, PPOD and PAL enzymes activities did not have regular variation in leaves of different age and different varieties, so it's not advisable to choose the three enzymes activities as the criterion of disease resistance.

Key words: *Ginkgo biloba*; *Phytophthora nicotianae*; disease resistance; enzymes activities

银杏在自然生长环境中病虫害很少发生, 但随着银杏早实丰产技术的推广, 银杏种植面积不断扩大, 其病虫害问题也日趋严重。在广西桂北地区出现一种造成银杏苗木整株枯死的新病害。经鉴定, 该病害由烟草疫霉菌(*Phytophthora nicotianae*)引

起(周志权等, 2003), 即银杏疫病(廖咏梅等, 1998)。

银杏疫病的发生和银杏生长期关系密切, 一般苗期发病重, 生长后期发病轻, 其可能原因是银杏生长后期对疫霉菌的抗病性增强了。一般认为病原体侵染植物后, 植物体内酚类物质的加速合成和积累

收稿日期: 2006-07-15 修回日期: 2006-12-20

基金项目: 广西自然科学基金(桂科自 9811016) [Supported by Natural Science Foundation of Guangxi (9811016)]

作者简介: 林敏敏(1978-), 女, 广西鹿寨人, 硕士, 植物病理学专业, 主要从事出入境植物检疫和食品微生物检测工作。

* 通讯作者(Author for correspondence, E-mail: liaoym@gxu.edu.cn)

是植物非专化抗病机制之一。酚类物质及其氧化产物醌对微生物具有很高的毒性,有些酚类物质可中和病菌产生的毒素,有些是植保素或木质素生物合成的前体,参与植物对病原物的生化和物理防御(郭红莲等,2003)。在植物体中,大多数酚类化合物是经由莽草酸途径合成的,此途径中苯丙氨酸解氨酶(phenylalanine ammonia-lyase, PAL)是一个关键酶,过氧化物酶(peroxidase, POD)和多酚氧化酶(polyphenoloxidase, PPOD)可催化酚氧化成对病原菌毒性更强的醌类物质,因此,这三种酶被认为是与植物抗病性有关的酶类(张笑宇等,2005;杨建卿等,2005)。在植物与病原物的相互作用中,随着病原菌的侵染,三种酶的活性提高,活性提高的幅度和植物的抗病性的强弱成正相关,但有时POD的活性出现反常现象,在抗病性强的植物体中,其活性反而降低(章元寿,1996)。本文通过检测银杏不同龄期叶片接种疫霉菌后,其体内的三种酶活性的变化,探讨酶活性变化与银杏疫病发生的关系。

1 材料与方 法

1.1 材料

疫霉菌:由广西科学院生物研究所分离和保存疫霉菌菌种,使用前在无菌条件下,挑取大小约为5 mm×5 mm的菌丝块,置于马铃薯葡萄糖琼脂(PDA)培养基平板中央,置于28℃培养5~7 d。

银杏品种:大梅核、桂G86-1、大佛手1号、大佛手2号、潮田1号,其中大梅核品种在广西大学植物病理学研究室网室中盆栽,其它4个品种在广西植物研究所银杏园栽培。

1.2 疫霉菌对离体银杏叶片的致病性处理

盆栽银杏(品种:大梅核)的实生苗,在叶片展开定型后第20、40、60、80、100 d,分别取不同植株相同叶位的叶片,进行室内离体接种。采集的叶片先用无菌水清洗1次(避免擦伤叶片),然后进行刺伤接种:用具6支大头针的接种针板在叶片中央刺伤2次,用直径5 mm的打孔器在培养5~7 d的疫霉菌菌落边缘打取菌饼,将菌饼接种于叶片刺伤部位,菌丝面紧贴叶片,每叶各接种1块菌饼。设刺伤接无菌培养基块为空白对照。每处理8片叶。处理后的叶片置于垫有湿润吸水纸的灭菌培养皿中的三角玻璃架上,于28℃保湿培养,逐日观察、记录叶片发病情况,计算发病率及病情指数,病害分级标准用廖味

梅等(1998)的方法,用目测法估计,以病斑占叶面积的百分比计算,病害分级标准如下:0级:叶片无病斑;1级:病斑占叶面积的20%以下;2级:病斑占叶面积的21%~40%;3级:病斑占叶面积的41%~60%;4级:病斑占叶面积的61%~80%;5级:病斑占叶面积的81%~100%。

发病率(%)=(发病叶片数/接种叶片数)×100%……………(式1-1)

病情指数=[∑(各级发病叶片数×各级代表数值)/(发病最重级数×接种叶片总数)]×100 ……
……………(式1-2)

同时,在银杏叶片的60 d龄期,到广西植物研究所采集其它4个品种银杏的叶片,分别用相同的方法接种、观察和记录。

1.3 银杏叶片离体接种疫霉菌后POD、PPOD、PAL酶活性测定

取叶龄20、60、100 d的大梅核银杏叶片和桂G86-1、大佛手1号、大佛手2号、潮田1号等4个品种的银杏叶片,按1.2的方法进行刺伤接种,接种后0、12、24、48、72、96、120h分别测定上述处理样品中POD、PPO、PAL酶活性。POD活性测定按章骏德(1982)的方法,PPOD活性测定按中国科学院上海植物生理研究所(1999)的方法,PAL活性测定按薛应龙(1985)的方法。

2 结果与分析

2.1 疫霉菌对离体银杏叶片的致病性

2.1.1 疫霉菌对不同龄期银杏叶片的致病性 银杏叶片接种后,叶龄20 d的叶片经24 h发病率便达100%,叶龄40~100 d的叶片接种后48 h发病率达到100%(表1)。可见,不同龄期的叶片均在接种后2 d内全部发病,说明疫霉菌对银杏叶片有很强的致病力。取各龄期叶片接种后96 h的病情指数进行比较(表2),可见叶龄40、60、80 d的叶片接种后病情指数没有显著性差异,但和叶龄为20 d和100 d的病情指数比较有显著差异。从表1还看到,叶龄长病情指数低,叶龄短病情指数高,说明银杏叶片随龄期增长对疫霉菌侵染的抵抗力逐渐增强。

2.1.2 疫霉菌对不同品种银杏叶片的致病性 将银杏叶片接种后发病率和病情指数综合为表3,从表3可见,在60 d龄期的不同品种叶片上,大佛手1号接种后48h发病率达100%,桂G86-1接种后120 h

表 1 不同龄期叶片接种疫霉菌后发病情况 (28 ℃, 下表同)
Table 1 Disease occurrence of leaves with different age after inoculation

接种后时间 Time after inoculation(h)	发病率 Disease incidence(%)					病情指数 Disease index				
	20 d	40 d	60 d	80 d	100 d	20 d	40 d	60 d	80 d	100 d
100	68.5	52.5	46.5	37.5	28.0	22.5	20.0	12.0	8.0	
100	100	100	100	100	60.0	52.0	42.5	32.0	28.0	
72	100	100	100	100	100	76.0	77.0	55.0	48.0	40.0
96	100	100	100	100	100	97.5	80.0	77.5	72.0	56.0
120	100	100	100	100	100	100.0	86.0	80.0	84.0	64.0

注: 空白对照的叶片均不发病。 Note: Wounded control leaves were symptomless.

表 2 各龄期叶片接种疫霉菌后 96 h 病情指数比较
Table 2 Disease index of leaves with different
age after 96 h inoculation

叶龄 Age (d)	病情指数 Disease index	差异显著性水平 Significant difference level	
		$\alpha=0.05$	$\alpha=0.01$
20	97.5	a	A
40	80.0	b	B
60	77.5	b	B
80	72.0	b	B
100	56.0	c	C

发病率达 100%, 其它 2 个品种(大佛手 2 号、潮田 1 号)在接种后 96 h 发病率达 100%, 说明供试品种对疫霉菌侵染都是高度敏感的, 均在接种后 5 d 内 100% 感病。同时, 将接种后 96 h 不同品种叶片的病情指数进行比较(表 4), 可见桂 G86-1 和大佛手 1 号在接种后 96 h, 病情指数达 67.5 和 57.5, 二者没有显著的差异性; 大佛手 2 号和潮田 1 号病情指数较低, 分别为 35.0 和 27.5, 二者也没有显著的差异性; 但相对而言, 桂 G86-1 和大佛手 1 号较大佛手 2

表 3 不同品种叶片接种疫霉菌后发病情况
Table 3 Disease occurrence of leaves of different varieties after inoculation

接种后时间 Time after inoculation (h)	发病率 Disease incidence(%)				病情指数 Disease index			
	桂 G86-1 Gui G86-1	大佛手 2 号 Dafoshou No. 2	大佛手 1 号 Dafoshou No. 1	潮田 1 号 Chaotian No. 1	桂 G86-1 Gui G86-1	大佛手 2 号 Dafoshou No. 2	大佛手 1 号 Dafoshou No. 1	潮田 1 号 Chaotian No. 1
24	17.5	22.3	56.5	28.5	20.0	17.5	20.0	17.5
48	30.5	36.5	100	42.5	32.5	17.5	32.5	17.5
72	53.5	64.5	100	79.0	37.5	25.0	52.5	20.0
96	85.5	100	100	100	67.5	35.0	57.5	27.5
120	100	100	100	100	77.5	52.5	87.5	42.5

注: 空白对照的叶片均不发病。 Note: Wounded control leaves were symptomless.

表 4 不同品种叶片接种后 96 h 病情指数比较
Table 4 Disease index of leaves of different
varieties after 96 h inoculation

品种 Variety	病情指数 Disease index	差异显著性水平 Significant difference level	
		$\alpha=0.05$	$\alpha=0.01$
桂 G86-1 Gui G86-1	67.5	a	A
大佛手 2 号 Dafoshou No. 2	35.0	a	A
大佛手 1 号 Dafoshou No. 1	57.5	b	B
潮田 1 号 Chaotian No. 1	27.5	b	B

号和潮田 1 号更易感病。

2.2 大梅核银杏不同龄期叶片离体接种后酶活性变化

2.2.1 POD 酶活性变化 POD 酶活性的测定结果如图 1。从图 1 可见, 各龄期叶片在接种前 POD 酶活性几乎相同, 都处于很低的水平。接种疫霉菌后,

叶龄为 60 d 和 100 d 的叶片, 其 POD 酶活性迅速升高, 在 24 h 有一个峰值; 叶龄为 20 d 的叶片, 接种疫霉菌后其 POD 酶活性也缓慢提高, 但到 72 h 处才出现高峰。叶龄 60 d 和 100 d 叶片于接种后 48~72 h 出现酶活性的低谷, 即 POD 酶活性降低, 这有两种可能, 一是叶片内酶促反应形成不溶性物质, 阻碍了水份的运输, 使得与 POD 酶有关的反应失水, 从而影响了 POD 酶活性; 二是此前 POD 酶活性迅速增强, 酶催化的反应迅速发生, 造成反应所需的底物暂时缺乏, 这时出现酶活性低谷正是等待底物合成的阶段。表 1 中的接种试验结果表明, 在不同龄期叶片中, 叶龄为 20 d 的叶片病情指数最高, 即其抗病性最差, POD 酶活性的曲线变化和接种试验结果一致, 说明在银杏的不同叶龄叶片中, POD 酶活

性与抗病性成正相关,抗病性强的叶片,POD 酶活性很快出现高峰。

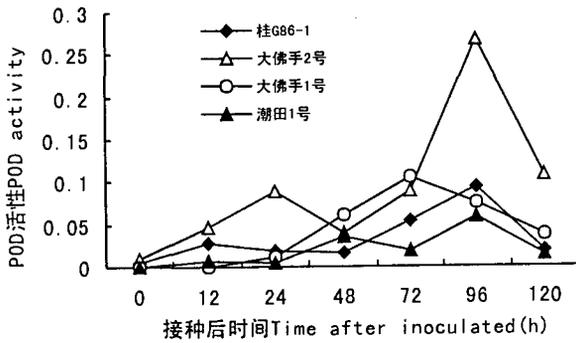


图 1 不同龄期叶片接种后 POD 活性变化曲线
Fig. 1 POD activity in leaves with different age after inoculation

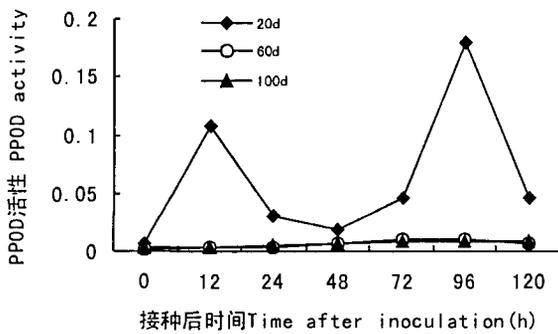


图 2 不同龄期叶片接种后 PPOD 活性变化曲线
Fig. 2 PPOD activity in leaves with different age after inoculation

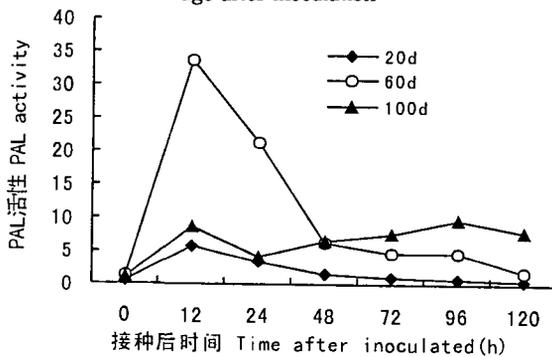


图 3 不同龄期叶片接种后 PAL 活性变化曲线
Fig. 3 PAL activity in leaves with different age after inoculation

2.2.2 PPOD 酶活性变化 从图 2 可见,接种疫霉菌后,叶龄为 20 d 的叶片,PPOD 酶活性迅速增加,而且具有两个明显的峰值;而 60 d 和 100 d 叶龄的叶片,其抗病性较强,但其 PPOD 酶活性没有显著变化。因此,在银杏叶片中,虽然 60 d 和 100 d 叶龄

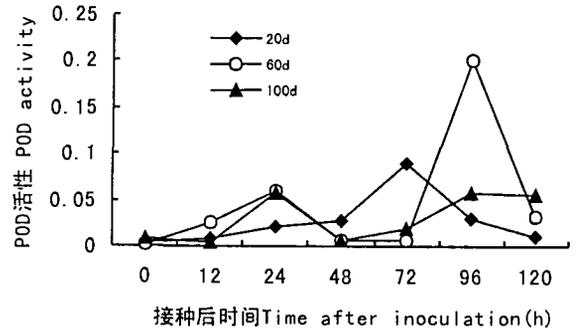


图 4 不同品种叶片接种后 POD 酶活性变化曲线
Fig. 4 POD activity in leaves of different varieties after inoculation

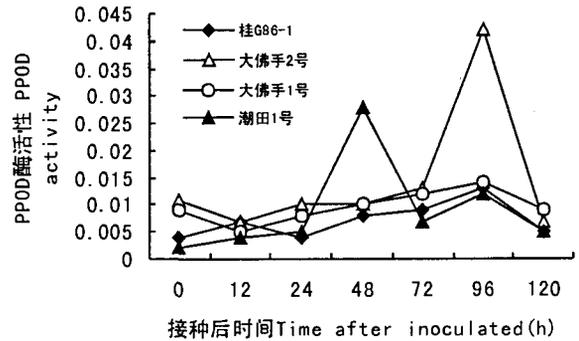


图 5 不同品种叶片接种后 PPOD 酶活性变化曲线
Fig. 5 PPOD activity in leaves of different varieties after inoculation

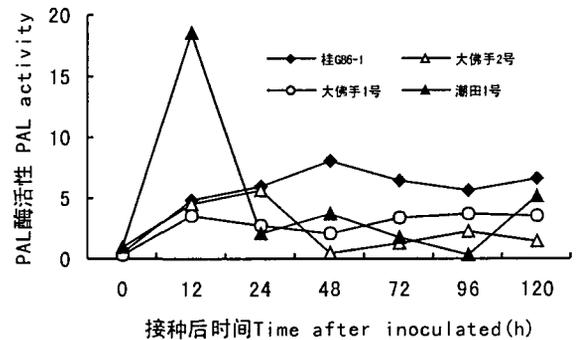


图 6 不同品种叶片接种后 PAL 酶活性变化曲线
Fig. 6 PAL activity in leaves of different varieties after inoculation

叶片的 PPOD 酶活性变化不显著,但由于其体内 POD 酶活性的提高,推测已经满足其体内酚类物质对病原菌的抗病性,因此,所测得的 PPOD 酶活性变化和叶龄的抗病性变化的不一致,并不和叶片的抗病性矛盾。另外,从 20 d 叶龄的叶片抗病性最弱的结果来看,PPOD 酶活性增加并不提高银杏叶片的抗病性,因此可推断 PPOD 酶活性变化与银杏叶片抗病性无明显规律性。

2.2.3 PAL 酶活性变化 叶龄为 60 d 的叶片 PAL 酶活性在接种后 12 h 迅速增加, 有一个很强的峰值, 然后急速下降; 20 d 和 100 d 叶龄的叶片中, 也在接种后 12 h 出现峰值, 其中 100 d 叶龄的峰值更强些(图 3)。说明在接种疫霉菌后, 银杏叶片中的 PAL 酶活性都增强了, 并且叶龄长的叶片中 PAL 酶活性增强幅度大于叶龄短的叶片, 这与离体接种试验中叶龄长的叶片抗病性强相对应, 可见, PAL 的酶活性变化和抗病性成正相关。

2.3 银杏 4 个品种叶片离体接种后酶活性的变化

2.3.1 POD 酶活性变化 银杏 4 个品种叶片中 POD 酶活性变化如图 4。接种前各品种酶活性相近, 接种后大佛手 2 号、桂 G86-1 叶片的酶活性迅速增强。桂 G86-1 叶片酶活性在接种后 12 h 和 96 h 出现两个峰值; 大佛手 2 号在接种后 24 h 和 96 h 也出现两个活性峰; 大佛手 1 号接种 48 h 后酶活性才骤升, 并于 72 h 出现一活性峰; 潮田 1 号接种后酶活性增强幅度不大。结果反映, 大佛手 2 号 POD 活性最强; 相应地, 在离体叶片接种时, 该品种表现为较抗病(表 4), POD 酶活性与抗病性成正相关。同时, 4 个品种间比较, 潮田 1 号和大佛手 2 号的叶片接种试验, 它们的病情指数差异在同一水平上, 抗病性基本一致(表 4), 而 POD 酶活性变化在潮田 1 号叶片中不明显, 在大佛手 2 号叶片中变化大, 说明 POD 酶活性变化并不完全与品种抗病性正相关。

2.3.2 PPOD 酶活性变化 接种后 48 h 潮田 1 号出现酶活性高值, 大佛手 2 号则在接种后 96 h 出现酶活性高值, 大佛手 1 号和桂 G86-1 酶活性变化平缓(图 5), 这和品种的抗病性表现一致(表 4)。说明 PPOD 酶活性变化与品种抗病性呈正相关。

2.3.3 PAL 酶活性变化 从图 6 可见, 接种后 4 个品种的 PAL 酶活性都有增强趋势, 其中抗病性较强的潮田 1 号的 PAL 酶活性在接种后 12 h 迅速增强, 但具有类似抗病性的大佛手 2 号接种后, 其 PAL 酶活性并不比其它抗病性较弱的两个品种——桂 G86-1 和大佛手 1 号更强, 说明 PAL 酶活性的变化与品种抗病性的表现不是相一致的。

3 讨论

研究表明, 银杏叶片的叶龄长短和抗病性密切相关, 叶龄长的抗病性强, 叶龄短的抗病性弱, 在叶龄达到 100 d 以上时, 即出叶后 3 个多月的叶

片对疫霉菌的抗病性较强。而且银杏的品种抗病性也有差异, 潮田 1 号和大佛手 2 号较抗疫霉菌, 而大佛手 1 号和桂 G86-1 的抗病性较弱。说明重视银杏嫩叶期的病害防治是最重要的防病措施, 选用抗病品种也是必要的。

烟草疫霉菌是一个有强侵染性的植物病原菌, 在离体条件下, 温度为 28~30 °C, 相对湿度为 90%~100% 时, 对银杏叶片的侵入及扩展速度最快。在广西桂林地区, 5 月下旬至 6 月, 银杏叶片正值嫩叶时期, 且当地一般为高温高湿天气, 烟草疫霉菌的厚垣孢子在土壤中越冬后, 遇高温多雨季节, 引起病害, 一旦发病后, 由于病菌的强侵染特性, 病害迅速蔓延, 致使苗木成处枯死。因此在高温多雨季节来临, 银杏叶片尚处于嫩叶时期, 要加强对病害的预防工作, 一旦出现病害, 及时拔除病株, 并全面喷施适于防治卵菌纲真菌的化学药剂, 控制病情发展。

POD、PPOD 和 PAL 都是与植物抗病性有关的酶类, 一般而言, 3 种酶的活性增加与植物的抗病性成正相关, 但也有相反的例子(章元寿, 1996)。我们对 3 种酶活性的测定结果表明, POD、PPOD 和 PAL 酶活性变化没有明显规律性, 酶的活性变化并不完全和叶片的抗病性成正相关。徐建华等(1995)报道, 黄瓜感染镰刀菌后, 抗病、感病各品种的 POD、PPOD 和 PAL 酶活性曲线均呈现两个峰值, 抗病品种酶活性峰 I 值比感病品种高, 其中感病品种的 3 种酶活性峰 II 值大于峰 I 值, 而抗病品种酶活性峰 I、II 值在不同酶里有不同变化; 张建军等(1996)在研究小麦品种对梭条斑病抗病特性时, 发现小麦接种后, 感病 POD 活性的升高率明显大于抗病品种。可见, 与植物抗病性相关的酶类的活性变化并没有固定的规律, 因此, 我们认为在银杏中, 利用酶活性作为鉴别植物抗病性的指标概念是比较模糊的。植物的抗病性表现受到多种因素的影响, 包括内在的基因表达、外在的环境因子的影响及植物与病原物的相互作用等, 应以多种指标综合评定一种植物对某种病原菌抗病性。

参考文献:

- 中国科学院上海植物生理研究所. 1999. 现代植物生理学实验指南[M]. 上海: 科技出版社, 314
- 张建军, 李祥, 侯明生. 1996. 小麦品种对梭条斑花叶病毒抗病性特性的研究-II. 抗病性与植株内多酚氧化酶活性、过氧化物酶活性及其同工酶谱的关系[J]. 华中农业大学学报, 15 (下转第 526 页 Continue on page 526)

- Orzaez D, Granell A. 1997. DNA fragmentation is regulated by ethylene during carpel senescence in *Pisum sativum* [J]. *Plant J*, **11**:137-144
- Reyerson D E, Heath M C. 1996. Cleavage of nuclear DNA into oligonucleosomal fragments during cell death induced by fungal infection or by abiotic treatments [J]. *Plant Cell*, **8**:393-402
- Schiefelbein JW, Masucci JD, Wang H. 1997. Building a root: The control of patterning and morphogenesis during root development [J]. *Plant Cell*, **9**:1 089-1 098
- Schussler EE, Longstreth DJ. 2000. Changes in cell structure during the formation of root aerenchyma in *Sagittaria lancifolia* (Alismataceae) [J]. *Am J Bot*, **87**(1):12-19
- Schwartz BW, Yeung EC, Meinke DW. 1994. Disruption of morphogenesis and transformation of the suspensor in abnormal suspensor mutants of *Arabidopsis* [J]. *Development*, **120**(11):3 235-3 245
- Stridh H, Kimland M, Jones DP, et al. 1998. Cytochrome crelease and caspase activation in hydrogen peroxide and tributyltin-induced apoptosis [J]. *Febs Letters*, **429**:351-355
- Sun YL(孙英丽), Zhao Y(赵允), Liu CX(刘春香), et al. 1999a. Programmed cell death induced by cytochrome C in plant(细胞色素 C 能诱导植物细胞编程性死亡) [J]. *Acta Bot Sin* (植物学报), **41**(4):379-383
- Sun YL(孙英丽), Zhou J(周军), Dai RR(戴尧仁), et al. 1999b. Apoptosis and its mechanism induced by VK3 in plant(VK3 诱导的植物细胞凋亡及其机理) [J]. *Chin Sci Bull* (科学通报), **44**(19):2 075-2 080
- Sun YL, Zhu HZ, Dai YR, et al. 1999. Cytochrome release and caspase activation during menadione-induced apoptosis in plants [J]. *Cell Mol Life Sci*, **55**:310-314
- Tian XR(田向荣), Ouyang XZ(欧阳学智), Song SQ(宋松泉). 2003. Programmed cell death during seed development and germination programmed cell death during seed development and germination(种子发育与萌发过程中的程序性细胞死亡) [J]. *Acta Bot Yunnan* (云南植物研究), **25**(5):579-588
- Vex DL, Strasser A. 1996. The molecular biology of apoptosis [J]. *Proc Natl Acad Sci USA*, **93**:2 239-2 244
- Wang H, Li J, Bostock RM, et al. 1996a. A poptosis; a functional paradigm for programmed plant cell death induced by a Host-selective phototoxin and invoked during development [J]. *Plant Cell*, **8**(3):375-391
- Wang H, Oppedihk BJ, Lu X, et al. 1996b. Apoptosis in barley a leurone during germination and its inhibition by abscisic acid [J]. *Plant Mol Biol*, **32**:1 125-1 134
- Wyllie AH. 1980. Glucocorticoid - induced thymocyte apoptosis is associated with endogenous nuclease activation [J]. *Nature*, **284**:255-256
- Yan Xu, Manreen R. Hanson. 2000. Programmed cell death during pollination-induced petal senescence in petunia [J]. *Plant Physiol*, **122**:1 323-1 333
- Yang Z(杨征), Cai CL(蔡陈峻), Song YC(宋运淳). 1999. Recent progress of plant apoptosis(植物细胞凋亡研究进展) [J]. *Prog Biochem Biophys* (生物化学与生物物理进展), **26**(5):439-443
- You RL(尤瑞麟). 1985. Ultrastructural research on the nucellar cells at low Ebb in wheat(小麦珠心细胞衰退过程的超微结构研究) [J]. *Acta Bot Sin* (植物学报), **27**(4):345-353
- Yu WH(于维华), Chen P(陈鹏), Wang L(王莉), et al. 2004. Advances in studies on programmed cell death(PCD) in plants(植物细胞程序性死亡(PCD)的研究进展) [J]. *Guihaia* (广西植物), **24**(2):146-151
- Zhang GY(张贵友), Tian RH(田瑞华), Dai RR(戴尧仁). 2001. Research progress in plant cell apoptosis(植物细胞凋亡的研究进展) [J]. *Progress in Biotech* (生物工程进展), **21**(6):22-26
- Zhou L(周蕾), Gao F(高峰). 2005. The genetic regulation in floral organ development(花器官形成的基因调控) [J]. *Guihaia* (广西植物), **25**(6):579-583

(上接第 517 页 Continue from page 517)

- (5):420-425
- 章元寿. 1996. 植物病理生理学[M]. 姜堰:江苏科学技术出版社,207-210
- 章骏德. 1982. 植物生理学实验法[M]. 江西人民出版社,30-31
- 薛应龙. 1985. 植物生理学实验手册[M]. 上海:上海科技出版社,191
- Guo HL(郭红莲), Cheng GW(程根武), et al. 2003. The function of phenolic metabolism in resistant mechanism of gray leaf spot of corn(玉米灰斑病抗性反应中酚类物质代谢作用的研究) [J]. *Acta Phytopathol Sin* (植物病理学报), **33**(4):342-346
- Xu JH(徐建华), Li RQ(利容千), Wang JB(王建波). 1995. Some changes of enzyme activities from susceptible and resistant cucumber cultivars after inoculation with Cucumber wilt *Fusarium*(黄瓜不同抗病品种感染镰刀枯萎菌后几种酶活性的变化) [J]. *Acta Phytopathol Sin* (植物病理学报), **25**(3):239-242
- Yang JQ(杨建卿), Xu DF(许大风), Kong J(孔俊), et al. 2005. Change of activities of some enzymes in different tobacco varieties infected with *Phytophthora nicotianae* (不同烟草品种罹黑胫病后几种酶活性的变化) [J]. *J Hefei Univ Tech(Nat Sci Edi)* (合肥工业大学学报(自然科学版)), **28**(7):816-819
- Zhang XY(张笑宇), Liu ZP(刘正坪), Hu J(胡俊), et al. 2005. Effect of *Sclerotinia sclerotiorum* toxin on some enzymes activities in sunflower(向日葵菌核病毒素对向日葵体内几种酶活性的影响) [J]. *J Beijing Agric Coll* (北京农学院学报), **20**(1):49-52
- Zhou ZQ(周志权), Liao YM(廖咏梅), Lin MM(林敏敏). 2003. Identification of *Phytophthora species* causing Ginkgo wilt(银杏疫病病原种的鉴定) [J]. *Acta Phytopathol Sin* (植物病理学报), **33**(1):30-34