

油茶不同品种抗炭疽病与相关酶活性关系的研究

常明山¹, 邓艳¹, 廖旺姣¹, 苏全², 方小玉³, 吴耀军¹

(1. 广西特色经济林培育与利用重点实验室, 广西林业科学研究院, 广西 南宁 530002; 2. 崇左市林业勘测设计院, 广西 崇左 532200; 3. 崇左市森林病虫害防治检疫站, 广西 崇左 532200)

摘要: [目的] 探明 6 种供试油茶的抗炭疽病等级, 分析油茶过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)、超氧化物歧化酶(SOD)、多酚氧化酶(PPO) 4 种酶活性, 摸清油茶抗炭疽病与酶活性的相关程度。 [方法] 采用活体针刺接种自然发病法评价抗炭疽病等级, 采用光度分析法测试了酶活性, 采用关联法分析抗炭疽病与相关酶活性的相关程度。 [结果] 结果表明: 感病指数最小为博白大果油茶 26.9, 病斑长度(2.62 ± 0.40) mm, 感病指数最大为普通油茶 68.8, 病斑长度(8.01 ± 2.03) mm。感病指数大小顺序依次为: 普通油茶 > 岑软 3 号 > 岑软 2 号 > 陆川油茶 > 香花油茶 > 博白大果油茶; 感病后, 高抗的博白大果油茶、中抗的陆川油茶和香花油茶 POD 活性均较其他高感油茶品种明显升高, CAT 也明显升高(除岑软 2 号油茶外), SOD 和 PPO 则表现各异; 防御酶活性诱导增长率、酶 AUEAPC 综合增长率以高抗的博白大果油茶, 中抗的香花油茶和陆川油茶增长率高于高感油茶; 健康油茶酶活性与病斑大小、感病指数相关性弱或基本不相关, 感病后 POD、CAT、PPO 均与抗性呈正相关, 而 SOD 与抗性呈负相关, 相关性均在高度和中度以上。 [结论] 博白大果油茶为高抗品种, 陆川及香花油茶为中抗品种, 岑软 2 号、岑软 3 号、普通油茶为高感品种, 且感病油茶酶活性与感病指数存在明显相关, 试验进一步明确了油茶抗炭疽病及其防御酶在抗性评价中的作用, 为早期鉴别油茶抗病性并筛选抗病油茶提供参考依据。

关键词: 油茶; 抗病性; 酶活性; 相关性

中图分类号: S763.1

文献标识码: A

文章编号: 1001-1498(2018)02-0141-06

Study on the Relationship Between Enzyme Activity and Disease Resistance of Different *Camellia oleifera* Varieties to *Colletotrichum gloeosporioides* Penz

CHANG Ming-shan¹, DENG Yan¹, LIAO Wang-jiao¹, SU Quan², FANG Xiao-yu³, WU Yao-jun¹

(1. Guangxi Key Laboratory of Superior Timber Trees Resource Cultivation, Guangxi Zhuang Autonomous Region Forestry Research Institute, Nanning 530002, Guangxi, China; 2. Chongzuo Forestry Survey Institute, Chongzuo 532200, Guangxi, China; 3. Forest Pest Management and Quarantine Station of Chongzuo, Chongzuo 532200, Guangxi, China)

Abstract: [Objective] To study 6 *Camellia oleifera* varieties' disease resistance, the peroxidase (POD), catalase (CAT), superoxide dismutase (SOD) and polyphenol oxidase (PPO) activity, the correlation of disease resistance and the enzyme activity. [Method] The living wounding inoculation method was used to evaluate disease resistance, the enzyme activities was tested by photometric analysis, the disease resistance and the relevance of the enzyme activity were studied by correlation analysis. [Result] The results show that the disease infected index of *C. gigantocarpa* was 26.9, disease length (2.62 ± 0.40) mm, the disease infected index of *Camellia oleifera* was 68.8, disease length (8.01 ± 2.03) mm, and the disease resistance was in the order of *C. gigantocarpa* > *C. osmantha* Ye CX > *C. vietnamensis* > *C. oleifera* 'Cenruan 2' > *C. oleifera* 'Cenruan 3' > *Camellia oleifera*. The

收稿日期: 2017-02-24

基金项目: 广西特色经济林培养与利用重点实验室自主课题(15-A-03-02); 广西林业科技项目(桂林科字[2012]第9号); 广西林科院基本科研业务费项目(林科201420号)。

作者简介: 常明山(1983—), 男, 硕士, 高级工程师。主要从事化学生态学和林业有害生物控制技术研究。0771-2319917, E-mail: 12cms@163.com

SOD and PPD activities were different. The Defense enzymes induced growth rate, the enzyme AUEAPC comprehensive growth rate of high and medial resistant varieties was higher than that of the highly susceptible varieties. The lesion size, infectious index was uncorrelated with the healthy plants enzyme activity, but the POD, CAT, PPO was high positive correlated with the diseased plants enzyme activity, the SOD was high negative correlation with the diseased plants enzyme activity. [**Conclusion**] *C. gigantocarpa* belongs to high resistant variety; *C. vietnamensis* and *C. osmantha* the medial resistant varieties, *Camellia oleifera*, *C. oleifera* ‘Cenruan 2’, *C. oleifera* ‘Cenruan 3’ belong to highly susceptible varieties. A clear correlation is found between disease infected index and the enzyme activity. This conclusion further clarifies the disease resistance of *C. oleifera* and enzymes evaluation, could also be useful for the early identification of disease resistance of *C. oleifera*.

Keywords: *Camellia oleifera*; disease resistance; enzyme activity; relativity

油茶 (*Camellia oleifera* Abel.) 属于山茶科山茶属, 是世界四大木本油料树种之一, 我国油茶主产区主要集中在江西、安徽、湖南、福建、广西等长江流域及以南地区。茶油的不饱和脂肪酸含量高达 96% 以上, 有“东方橄榄油”的美誉, 保健功效明显, 同时, 大力发展油茶产业在食用油供应、环境美化、增加农林收入等方面具有重要作用^[1-4]。

油茶炭疽病 (*Colletotrichum gloeosporioides* Penz.) 是油茶林最主要的病害, 病菌常造成落果、落叶、枯梢, 甚至整株死亡, 江西、安徽、湖南等多地报道过油茶病株率高达 70% 以上, 病果率可达 100%, 严重影响油茶产量^[5]。

研究发现, 植物抗病性与防御酶活性密切相关, 如过氧化物酶、过氧化氢酶、超氧化物歧化酶等防御酶, 其在植物诱导抗性方面发挥着重要作用, 有些指标甚至可以作为植物抗性水平和筛选抗病植物品种的重要参考标准^[6-8]。过氧化物酶 (Peroxidase, 简称 POD) 是一种还原酶, 能够清除细胞内有害物质、保护酶蛋白, 与植物抗病性有密切关系, 尤其与病原菌的侵染作用明显, 如白粉病可以导致感病苜蓿品种 POD 活性显著高于抗病品种^[9]。过氧化氢酶 (Catalase, 简称 CAT) 也称触酶, 存在于植物体所有组织中, 可以催化细胞内过氧化氢, 与植物代谢、抗寒、抗病有一定关系, 如马铃薯植株体内过量的 CAT 表达可以提高抗病性^[10-11]。超氧化物歧化酶 (Superoxide Dismutase, 简称 SOD) 是抵御活性氧的第一道防线, 植物受到病原菌感染, 体内活性氧增加, 该酶作为内源活性氧清除剂参与抗植物逆境胁迫, 如黄瓜花叶病毒 (cucumber mosaic virus, CMV) 侵染可以导致 SOD 活性上升^[12-13]。多酚氧化酶 (Polyphenol Oxidase, 简称 PPO) 是一种铜结合酶, 参与生物

氧化, 在植物体内具有抗病虫害、生根等作用, 如大斑病菌侵染无论在抗病和感病品种的玉米种 PPO 均明显升高^[14]。

本实验采用活体针刺接种自然发病法, 依托发病率、病情指数等鉴定油茶抗病性, 划分抗炭疽病等级, 利用光度分析法测定健康和感病植株叶片 4 种酶 POD、CAT、SOD、PPO 活性, 分析油茶抗炭疽病与酶活性之间的关联, 以期控制该病害扩展蔓延提供生理生化方面的理论依据, 同时也为油茶抗病品种的筛选和丰产奠定基础。

1 材料和方法

1.1 材料

1.1.1 供试油茶 油茶品种为岑软 3 号油茶 (Cenruan 3)、博白大果油茶 (*C. gigantocarpa*)、普通油茶 (*Camellia oleifera*)、岑软 2 号油茶 (Cenruan 2)、香花油茶 (*C. osmantha* Ye CX)、陆川油茶 (*C. vietnamensis*)。每个品种选 30 株, 共 180 株相同苗龄植株, 植株健康。

1.1.2 供试菌种 供试菌种分离自油茶发病叶片。油茶炭疽病菌: 胶孢炭疽菌 *Colletotrichum gloeosporioides* Penz.

1.2 方法

1.2.1 接种 采用活体针刺接种自然发病法^[15], 略有改动。从枝条顶端开始第二张至第四张成熟叶片作为接种叶片, 叶片接种前用带 75% 酒精的脱脂棉擦拭表面, 用沾有灭菌水的棉球擦拭 3 遍, 用灭菌的解剖针在叶片上接种点刺 6 个针眼, 每张叶片上取 4 个接种点, 各接种点相距 2 cm 左右。用解剖刀在 28℃ 暗培养 5 天的油茶炭疽病菌菌落菌丝体厚度 0.5 mm, 边缘切取 1.0 cm × 0.5 cm 菌块, 正面贴于针刺处, 然后用沾有 1.0% 葡萄糖水脱脂棉敷于菌块上, 最

后用密封袋将有接种叶片的枝条密封,自然温度下(25℃~30℃)保湿72 h后,除去密封袋。用无菌PDA培养基接种作对照。每个油茶品种接种10张叶片,逐日观察,记录发病情况。

1.2.2 感病评价 接种10天后测量病斑大小,计算感病指数^[16-17]。

$$\text{感病指数} = \frac{\sum(\text{发病株数} \times \text{相应级数代表值})}{\text{调查总株数} \times \text{最高级数代表值}} \times 100$$

病害程度分级根据病斑的扩展情况确定,分级标准如下:

病级	感病程度
I	病斑无扩展;
II	病斑有1.0~3.0 mm长度范围扩展;
III	病斑有3.1~6.0 mm长度范围扩展;
IV	病斑有6.1~9.0 mm长度范围扩展;
V	病斑有9.1 mm以上长度范围扩展;

根据感病指数的计算结果,并结合病斑的扩张大小,将抗病品种等级划分:感病指数1~50,高抗;感病指数31~50,中抗;感病指数51~60为中感,感病指数在60以上为高感。

1.2.3 取样和样品处理 选择接种炭疽病植株上的未接种叶片和未接种炭疽病植株上的正常叶片,自其嫩芽向下30~50cm采集新鲜完整叶片,12个处理,每个处理15株,共180株,将相同处理叶片装入同一自封袋中,3次重复,标记,迅速带回实验室,低温-20℃保存,测前取出剪碎。

1.2.4 酶活性测试 测试POD活性采用愈创木酚氧化分光光度法进行测定,以每分钟光密度变化值($\Delta OD_{470} \cdot g^{-1} \cdot min^{-1}$)表示酶活力大小^[18-20]。CAT活性参照陈建勋等^[18]、张以顺等^[19]、刘萍等^[20]的方法进行测定,略有改动,以每分钟光密度变化值($\Delta OD_{240} \cdot g^{-1} \cdot min^{-1}$)表示酶活力大小^[18-20]。SOD活性采用氮蓝四唑(NBT)光化还原法进行测定,活力大小以($\Delta OD_{560} \cdot g^{-1}$)表示^[2, 21]。PPO活性采用儿茶酚法进行测定,以每分钟光密度变化值($\Delta OD_{525} \cdot min^{-1}$)表示酶活力大小^[20]。

试剂 愈创木酚(天津市科密欧化学试剂有限公司AR 100 g)、氮蓝四唑(NBT)(南京旋光科技有限公司AR 250 mg)、儿茶酚(天津市大茂化学试剂厂AR 250 g)。

1.3 酶活性增长率

1.3.1 防御酶活性诱导增长率^[14]

防御酶活性诱导增长率 =

$$\frac{\text{接种后防御酶活性} - \text{对照防御酶活性}}{\text{对照防御酶活性}} \times 100$$

1.3.2 酶AUEAPC综合增长率^[22] 计算酶活性发展曲线下面积(the area under enzyme activity progress curve, AUEAPC, 以下简称A),以4种酶AUEAPC的综合增长率表示防御酶系综合活性的提高程度。

4种酶AUEAPC综合增长率 =

$$\frac{\sum(\text{接种后酶A值} - \text{对照酶A值})}{\sum(\text{对照酶A值} \times 4)}$$

1.4 数据处理

采用Excel和SPSS13.0对数据进行统计;采用R. A. Fister变异数分析法对不同油茶品种病斑长度和酶活性含量差异进行比较;采用关联分析度量酶活性与感病指数间的关联程度。

2 结果与分析

2.1 接种结果

供试的6个油茶品种接种胶孢炭疽菌,感病程度略有不同,其中普通油茶、岑软2、3号油茶3个品种较陆川油茶、香花油茶、博白大果油茶3个品种感病重,病斑扩展长度较大,分别为8.01 mm、7.24 mm和7.63 mm,但差异不显著,感病指数均约在70.0左右;陆川油茶、香花油茶和博白大果油茶病斑扩展较小,其中博白大果油茶炭疽病病斑扩展最小,仅为2.62 mm,感病指数也最低,为26.9(表1)。对接种感病后的叶片病原再分离,获得的病原菌与接种病原一致。对照处理叶片未发病。

表1 不同油茶品种接种炭疽菌感病结果

Table 1 The result of Disease Infected Index

油茶品种	病斑长度/mm	感病指数
Varieties	Disease Length	Disease Infected Index
普通油茶 <i>Camellia oleifera</i>	8.01 ± 2.03a	68.8
岑软3号 Cenruan 3	7.63 ± 1.87a	74.4
岑软2号 Cengruan 2	7.24 ± 1.75a	70.6
陆川油茶 <i>C. vietnamensis</i>	4.70 ± 0.78b	50.0
香花油茶 <i>C. osmantha</i>	3.98 ± 0.72b	42.5
博白大果油茶 <i>C. gigantocarpa</i>	2.62 ± 0.40c	26.9

注:同一列中有不同字母的数据表示差异显著($P < 0.05$)。

Note: Within the same columns, values with different superscripts letters (ac) differ ($P < 0.05$).

根据抗病等级划分标准,结合感病指数,将供试6个油茶品种划分为3个抗性级别,其中博白大果油茶为高抗品种,陆川及香花油茶为中抗品种,岑软2号、岑软3号、普通油茶为高感品种。

2.2 酶活性

从图1可以看出,过氧化物酶在健康油茶植株上较感病油茶低,健康油茶过氧化物酶活性均在0.02U以下,其中普通油茶最高,陆川油茶最低,而感病后过氧化物酶活性均升高至0.03U以上,其中博白大果油茶最高;过氧化氢酶在博白大果油茶、普通油茶、香花油茶和陆川油茶感病后的植株叶片上

活性较岑软3号油茶、岑软2号油茶高,其中博白大果油茶和香花油茶升高幅度最高;超氧化物歧化酶在感病后的陆川油茶植株叶片降低,普通油茶、岑软2号油茶感病后的植株叶片体内升高;多酚氧化酶在博白大果油茶、岑软2号油茶、陆川油茶感病后植株体内较岑软3号油茶、普通油茶、香花油茶高,其中博白大果油茶升高幅度最大,达12U以上。

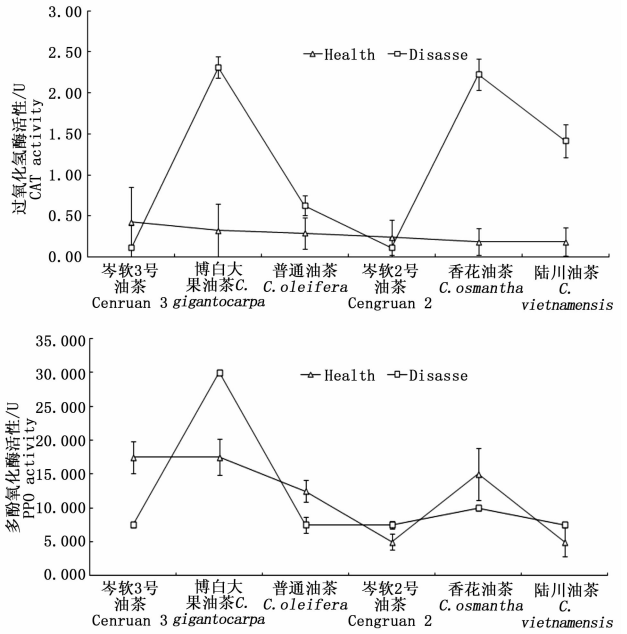
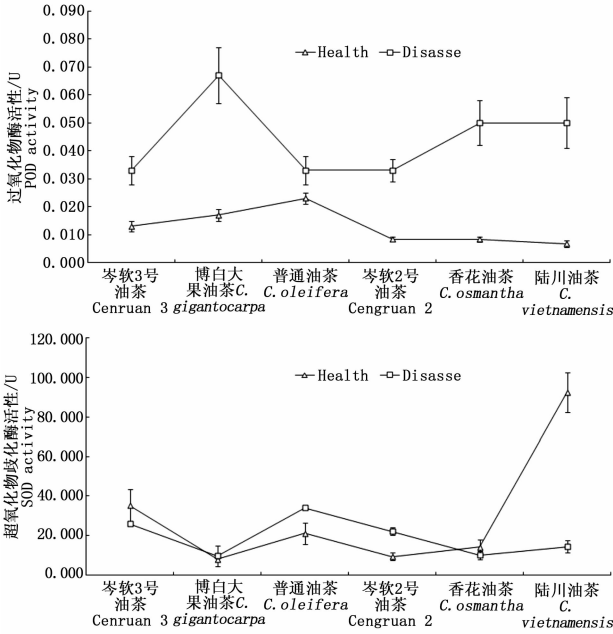


图1 健康与感病油茶4种保护酶活性对比

Fig. 1 The enzyme activities of *Camellia oleifera* in healthy and diseased

2.3 酶活性增长率

以防御酶活性诱导增长率为评价指标进行比较(图2),博白大果油茶、香花油茶 POD、CAT 增长率均较其他品种油茶显著升高 ($p < 0.05$),普通油茶和岑软2号油茶4种酶诱导增长率相对其他品种低。

比较(图3),发现香花油茶、陆川油茶、博白大果油茶酶 AUEAPC 综合增长率均较高,达到200%以上,而岑软3号油茶和普通油茶在100%以下。

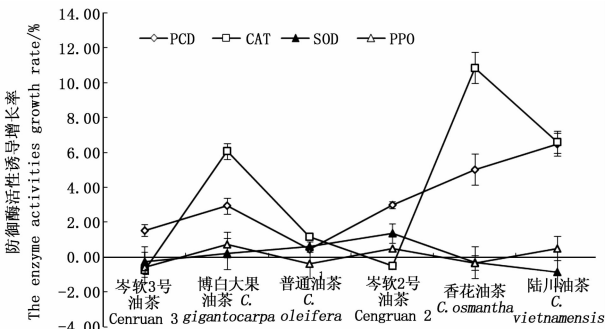


图2 油茶防御酶活性诱导增长率

Fig. 2 The enzyme activities growth rate of *Camellia oleifera*

以4种酶 AUEAPC 综合增长率为评价指标进行

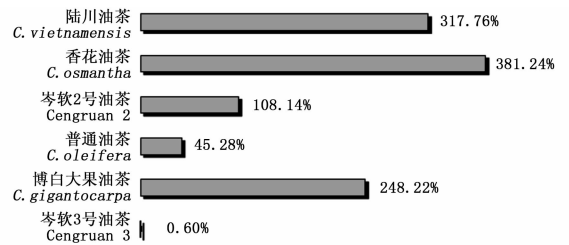


图3 4种酶 AUEAPC 综合增长率

Fig. 3 The AUEAPC growth rate of 4th enzyme activities

2.4 相关分析

感病指数与健康、感病油茶植株4种酶活性的相关分析见表2。感病指数与健康油茶4种酶活性的相关性为低度或基本不相关,与感病油茶 POD、CAT、PPO 酶活性呈高度或中度负相关,与 SOD 酶活性呈高度正相关。

表2 感病指数与酶活性相关分析

Table 2 The correlation of Disease Infected Index and enzyme activity

项目 Items	POD	CAT	SOD	PPO
感病指数 - 健康油茶酶活性 Disease Infected Index - enzyme activity of health <i>Camellia oleifera</i>	0.07	0.31	0.05	-0.28
感病指数 - 感病油茶酶活性 Disease Infected Index - enzyme activity of diseased <i>Camellia oleifera</i>	-0.98	-0.96	0.86	-0.79

注: $|r| > 0.95$ 存在显著性相关; $|r| \geq 0.8$ 高度相关; $0.5 \leq |r| < 0.8$ 中度相关; $0.3 \leq |r| < 0.5$ 低度相关; $|r| < 0.3$ 关系极弱, 不相关。 $|r| > 0.95$ significant correlation; $|r| \geq 0.8$ highly correlation; $0.5 \leq |r| < 0.8$ moderate correlation; $0.3 \leq |r| < 0.5$ low correlation; $|r| < 0.3$ not correlation.

3 讨论

本次实验采用针刺接种法, 浸染 10 天后油茶叶片病斑扩展出现明显差异, 其中高抗品种博白大果油茶与高感品种普通油茶病斑长度差别 3 倍多, 说明相比其他供试油茶, 炭疽病菌更容易侵染普通油茶, 且病斑在叶片上扩展迅速。邓艳等^[2]通过对比健康油茶叶片的酶活性, 认为普通油茶、陆川油茶抗病性、抗逆性较高, 但是也认同病菌侵染能够更加准确判断油茶抗病性, 其结果与本次实验不同。由于植物的抗病性是由多种因子共同作用的, 抗病害侵染过程中需要其他重要因子参加防御体系的综合协调^[23], 而通过抗病性接种也能够反映病原菌侵染的直观特征, 所以开展油茶苗期炭疽病接种试验对于油茶抗性品种选育和抗性机制研究尤为重要。

感病植物酶的变化对于研究植物抗病机制具有重要作用, 也是开展寄主与病原物互作研究的重要内容^[24]。段琳等^[25]的研究发现, 健康油茶抗病性与防御酶活性关联较小, 而通过接种炭疽菌可以诱导防御酶活性增加。邢会琴等^[9]的研究也发现植物防御酶具有抵抗病原菌的能力, 但是只有在植物遭受外界侵害后, 才能表现出来。本次试验选用的 6 个不同抗性油茶品种, 在接种炭疽病后, 抗性强的博白大果油茶、陆川油茶、香花油茶过氧化物酶均较其他油茶品种明显升高, 过氧化氢酶也明显升高(除岑软 2 号油茶外), 超氧化物歧化酶和多酚氧化酶则表现各异。油茶防御酶活性诱导增长率、酶 AUEAPC 综合增长率以抗性强的博白大果油茶、香花油茶、陆川油茶增长率较高, 其余 3 种高感油茶品种相对较低。通过关联分析发现, 油茶未接种炭疽病前酶活性与病斑大小、感病指数的相关性较弱, 或者基本不相关, 而接种炭疽病 10 天后, POD、CAT、PPO 均与抗

性呈正相关, 而 SOD 与抗性呈负相关, 相关性均在高度和中度以上。所以, 本次研究也得到与郭文硕、叶建仁等^[26-27]一致的结论, 即健康植株防御酶活性与病害关联性较小, 而受害植株防御酶活性与病害侵染明显相关。也说明病原菌的侵染能够引起不同抗病油茶品种体内防御酶活性发生明显变化, 且油茶抗性酶活性变化有规律可循。

在植物抗病评价中, 通过计算感病指数能够直接反映病害侵染的速度, 通过分析酶活性可以摸清健康和感病植株的防御能力, 由酶活性诱导增长率、酶 AUEAPC 综合增长率以及关联分析能够更加准确的对病害侵染后的油茶抗性做出全面评价, 也为油茶抗病性选育提供参考。

4 结论

本研究系统评价了 6 种供试油茶的抗炭疽病等级, 分析了油茶叶片 POD、CAT、SOD、PPO 的活性, 进行了抗炭疽病与相关酶活性的关联程度分析。研究发现了博白大果油茶为高抗品种, 陆川及香花油茶为中抗品种, 岑软 2 号、岑软 3 号、普通油茶为高感品种, 高抗的博白大果油茶、中抗的陆川油茶和香花油茶感病后 POD 活性均较其他高感油茶品种明显升高, 防御酶活性诱导增长率、酶 AUEAPC 综合增长率均以高抗油茶高于高感油茶, 而健康油茶酶活性与感病指数相关性极弱或基本无关, 感病后酶活性均与抗性呈一定相关性。本结论进一步明确了油茶抗炭疽病及其防御酶在抗性评价中的作用, 为早期鉴别油茶抗病性并筛选抗病油茶提供依据。

参考文献:

- [1] 马锦林. 油茶耐弱光生理特性研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2012.
- [2] 邓艳, 常明山, 朱英芝, 等. 不同油茶品种叶片 3 种保护酶活性分析[J]. 南方农业学报, 2016, 47(5): 686-689.
- [3] 游美红. 我国油茶产业化现状与发展前景分析[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(14): 6119-6121.
- [4] 崔之益, 李蕊萍, 胡加新, 等. 油茶炭疽病研究进展[J]. 现代农业科技, 2014, 12: 141-142.
- [5] 曹志华. 不同油茶品种果皮的化学成分与抗炭疽病之间关系的研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2009.
- [6] 翟彩霞, 马春红, 秦君, 等. 植物诱导抗病性的常规鉴定——相关酶活性变化与诱导抗病性的关系[J]. 中国农学通报, 2004, 20(5): 222-224.
- [7] 叶茂炳, 徐朗莱, 徐雍泉, 等. 苯丙氨酸解氨酶和绿原酸与小麦抗赤霉病性的关系[J]. 南京农业大学学报, 1990, 13(3): 103

-107.

- [8] 何利,唐翠明,戴凡炜,等. 防御酶与植物抗青枯病关系研究进展[J]. 广东农业科学, 2013, 12(40):101-103.
- [9] 邢会琴,李敏权,徐秉良. 过氧化物酶和苯丙氨酸解氨酶与苜蓿白粉病抗性的关系[J]. 草地学报, 2007, 15(4):376-380.
- [10] 南芝润,范月仙. 植物过氧化氢酶的研究进展[J]. 安徽农学通报, 2008, 14(5):27-29.
- [11] 张国华,云兴福. 西芹鲜根浸提液对黄瓜叶片内 POD 和 CAT 活性的影响[J]. 内蒙古农业大学学报, 2008, 29(2):37-42.
- [12] 董传媛. 油茶炭疽病的发生与植株内含物和酶活性的关系研究[D]. 合肥:安徽农业大学, 2009.
- [13] 夏民旋,王维,袁瑞,等. 超氧化物歧化酶与植物抗性[J]. 分子植物育种, 2015, 13(11):2633-2646.
- [14] 王光达,黄初女,吴委林,等. 不同玉米品种对大斑病的抗性及相关防御酶活性的关系研究[J]. 玉米科学, 2014, 22(5):146-152.
- [15] 戴清良,徐焰平,林清强,等. 内生炭疽菌在茶树体内的分布及其内生特性[J]. 林业科学, 2008, 44(5):84-89.
- [16] 田昕,王振亮,贺伟,等. 枣树不同品种缩果病抗性及相关酶活性关系的研究[J]. 中国农学通报, 2012, 28(19):152-158.
- [17] 张曦,宋晓斌,史明欣. 酶活性与枣树炭疽病抗性的关系研究[J]. 西北林学院学报, 2010, 25(3):114-117.
- [18] 陈建勋,王晓峰. 植物生理学实验指导[M]. 广州:华南理工大学出版社, 2006:68-73.
- [19] 张以顺,黄霞,陈云凤. 植物生理学实验教程[M]. 北京:高等教育出版社, 2009:136-141.
- [20] 刘萍,李明军. 植物生理学实验技术[M]. 北京:科学出版社, 2007:123-129, 147-150.
- [21] 邵登魁,裴建文,雷建明,等. 白菜型冬油菜白粉病病程中超氧化物歧化酶和过氧化物酶及多酚氧化酶的变化[J]. 西北农业学报, 2006, 15(5):118-122.
- [22] 刘喜存,刘红彦,倪云霞,等. 不同化学诱抗剂对金银花叶片防御酶系的影响[J]. 植物保护, 2009, 35(2):75-77.
- [23] 林忠平. 植物对病害的防御系统[J]. 植物学通报, 1993, 10(3):1-13.
- [24] 朱建华,叶国藩. 油茶物质过氧化物酶与炭疽病抗性[J]. 福建林学院学报, 1990, 10(4):368-375.
- [25] 段琳. 红果油茶抗炭疽病机理研究[J]. 合肥:安徽农业大学, 2003.
- [26] 郭文硕,黄宗安. 锥栗对栗疫病抗性与过氧化物酶的关系[J]. 福建林学院学报, 2000, 20(1):5-8.
- [27] 叶建仁,周明显,李传道,等. 松针过氧化物酶及其对松针褐斑病抗性[J]. 南京林业大学学报, 1978(4):27-36.

(责任编辑:崔 贝)