金龟子绿僵菌对黄曲条跳甲体内保护酶活性的影响

蒋春艳

(龙岩市农业科学研究所,福建龙岩 364000)

摘要 为探索绿僵菌对黄曲条跳甲保护酶活性的影响,分别用浓度为 1×10^8、2×10^8、4×10^8、8×10^8、1.6×10^9 个/mL 的金龟子绿僵菌 CQMa421 孢子悬浮液处理黄曲条跳甲成虫,对侵染后黄曲条跳甲体内超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)和过氧化氢酶(CAT)活性进行了研究。结果表明:处理后 120 h 内,SOD 活性先升高后降低,48 h 时 SOD 活性达最高,分别为 69.5、72.5、74.5、75.9、76.7 U/g,SOD 活性与孢子悬浮液浓度呈正相关;各处理 POD 活性在处理后 72 h 时开始上升,96 h 时活性最高,分别为 1 020、1 066.67、1 240、1 086.67、1 166.67 U/g,分别为对照组的 3.33、3.48、4.04、3.54 倍和 3.80 倍,随后开始下降;CAT 活性变化总体趋势为上升—下降—上升—下降;3 种酶活性最后都恢复至对照组水平,各处理组最大值间差异显著,且显著高于对照组,表明 3 种保护酶在黄曲条跳甲抵御金龟子绿僵菌入侵过程中均做出了应激反应。

关键词 金龟子绿僵菌; 黄曲条跳甲; 超氧化物歧化酶; 过氧化物酶; 过氧化氢酶

中图分类号: S433.5 **文献标识码:** A **DOI:** 10.16688/j.zwbh.2021411

Effects of infection by *Metarhizium anisopliae* on the activities of protective enzymes in *Phyllotreta striolata*

JIANG Chunyan

(*Longyan Institute of Agricultural Science, Fujian Province, Longyan* 364000, *China*)

Abstract To explore the change in the activities of protective enzymes in *Phyllotreta striolata* infected by *Metarhizium anisopliae*, 1×10^8, 2×10^8, 4×10^8, 8×10^8 and 1.6×10^9 spores/mL spore suspension of *M. anisopliae* CQMa421 were used to infect the adults of *P. striolata*, respectively. The activities of superoxide dismutase (SOD), peroxidase (POD) and catalase (CAT) of *P. striolata* were measured after infected by CQMa421. The results showed that, within 120 h after treatment, the activity of SOD of *P. striolata* was increased at the initial infection stage, but dropped at the later infection stage with increasing time at the same treatment concentration. The activity of SOD reached the highest at 48 h, which was 69.5, 72.5, 74.5, 75.9, 76.7 U/g fresh weight, respectively, and the activity of SOD had a positive correlation with the spore concentration of *M. anisopliae* CQMa421. The POD activity of treatment groups began to increase at the 72nd-hours and reached the highest at the 96th-hours, which was 1 020, 1 066.67, 1 240, 1 086.67, 1 166.67 U/g fresh weight, respectively, and they were 3.33-, 3.48-, 4.04-, 3.54- and 3.80-folds as much as the control group, but then dropped. The activity of CAT displayed the trend of rise-decrease-rise-decrease within 120 h after treatment. The activities of the three enzymes finally returned to the level equal to the control groups. The maximum values were significantly different among different treatment groups. The activities of SOD, POD and CAT were significantly higher than that of the control group, which indicated that the three protective enzymes responded to the invasion of *M. anisopliae*.

Key words *Metarhizium anisopliae*; *Phyllotreta striolata*; superoxide; peroxidase; catalase

生物防治中应用较广的微生物主要有绿僵菌 *Metarhizium* spp.、球孢白僵菌 *Beauveria bassiana* 和蜡蚧轮枝菌 *Verticillium lecanii* 等[1]。绿僵菌属 *Metarhizium* Sorokin 隶属于真菌门 Eumycota,丝

收稿日期: 2021-07-27 **修订日期:** 2021-09-06
基金项目: 福建省科技厅农业引导性项目(2018N0058)
联系方式 E-mail:jcyxj@126.com

孢科 Hyphomycetaceae。该属真菌是一类非常重要的环境微生物[2]，1879 年 Metchnikoff 首先大量繁殖绿僵菌防治奥地利丽金龟 *Anisoplia austriaca* Herbst，此后绿僵菌就成为了害虫微生物防治的主角之一[3]，并成为生防领域的研究热点之一。绿僵菌侵染寄主是寄主与病原菌之间生理生化相互作用的结果[4]，其中包括寄主保护酶类活性发生一定变化。超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)和过氧化氢酶(CAT)是昆虫体内 3 种重要的保护酶。SOD 几乎存在于所有有氧呼吸的生物体内，是一类重要的保护酶[1]。但是 SOD 稳定性不高，外界温度的变化、外源物质的侵入等都易导致 SOD 活性丧失[1]。POD 存在于动植物体的细胞中，主要功能是催化过氧化物对各种物质的氧化，是一类以过氧化氢为电子受体的氧化还原酶，可以通过消除毒性物质和过氧化氢对细胞起到保护的作用[1]。CAT 催化细胞内过氧化氢的分解防止其过氧化，从而起到防御作用，是一种重要的机体保护酶[1]。李世广等[5]研究了菜青虫 *Pieris rapae* 感染金龟子绿僵菌后体内几种保护酶活性的变化，结果表明，用金龟子绿僵菌处理后菜青虫体内 SOD、POD 和 CAT 均呈现先上升后下降的趋势，反映出菜青虫在金龟子绿僵菌侵染初期防御能力增强，后期降低。王伦等[6]用印楝素处理的食物喂养光肩星天牛 *Anoplophora glabripennis* 成虫，结果表明 SOD 活性呈现先升高再降低的趋势，在第 3 天时达到最高，但处理组的酶活性一直都略高于对照组。宋漳等[7]研究发现马尾松毛虫 *Dendrolimus punctatus* 3～4 龄幼虫被金龟子绿僵菌侵染后 1～4 d，体壁组织以及血淋巴中 POD 活性均有明显的减弱趋势。林忠莲等研究发现磷化氢对谷蠹 *Rhyzopertha dominica*、玉米象 *Sitophilus zeamais* 成虫体内的 CAT 活性有明显的抑制作用[8]。刘玉娣等[9]用抑太保处理小菜蛾 *Plutella xylostella* 幼虫 5 h 后 2、3、4 龄幼虫的 CAT 活性降至最低，证明小菜蛾 2、3、4 龄幼虫的 CAT 和 POD 活性与耐药性存在着一定的相关性。杀虫剂可通过干扰昆虫体内的相关酶活性来扰乱昆虫的防御体系，使昆虫不能正常代谢，直至死亡[10-13]，因此农药对昆虫体内相关酶活性的抑制能力是衡量其防治效果的重要指标。

黄曲条跳甲 *Phyllotreta striolata* (Fabricius)是十字花科蔬菜上的一种重要害虫。目前其在我国福建、广东和台湾等地大量发生[14]，阻碍蔬菜正常生长或影响其品质，造成一定经济损失。由于黄曲条跳甲成虫善于跳跃，极易躲避杀虫剂，造成防效下降。农民为了控制该虫的为害，加大用药量，增加用药频率，从而加速了其抗药性的产生和发展。绿僵菌是对黄曲条跳甲有高致病力的病原菌[15]。由于绿僵菌侵染率高，对人畜环境安全，且可大量繁殖，可作为防治黄曲条跳甲的生防菌。目前有关绿僵菌侵染昆虫后昆虫体内保护酶活性变化方面的研究也有不少，而金龟子绿僵菌侵染黄曲条跳甲后保护酶活性方面的研究少见报道。本研究通过测定金龟子绿僵菌 CQMa421 处理黄曲条跳甲后其体内保护酶活性的变化，探讨黄曲条跳甲与金龟子绿僵菌相互作用机理，为寻找黄曲条跳甲抗药性治理措施，延缓其抗性发展，及黄曲条跳甲绿色防控提供一定理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 供试虫源

黄曲条跳甲成虫从福建省龙岩市蔬菜种植基地和龙岩市农业科学研究所植保室蔬菜大棚中十字花科蔬菜上采集，蔬菜种植基地在采集黄曲条跳甲前至少 15 d 未喷施农药，植保研究室蔬菜大棚中蔬菜播种后未喷施农药。采集的成虫于室内以新鲜未施用药剂的‘上海青’叶片饲养 72 h，饥饿 2 h 以上再进行药剂处理，‘上海青’(隆之喜种业有限公司生产)种植于龙岩市农业科学研究所植保室大棚。

1.1.2 供试药剂及试剂

80 亿孢子/mL 金龟子绿僵菌 CQMa421 可分散油悬浮剂(OD)，重庆聚立信生物工程有限公司生产。超氧化物歧化酶(SOD)试剂盒、过氧化物酶(POD)试剂盒、过氧化氢酶(CAT)试剂盒均为苏州科铭生物技术有限公司产品。

1.1.3 真菌分离及分生孢子悬浮液配制

将金龟子绿僵菌 CQMa421 可分散油悬浮剂接入 PDA 培养基，放入培养箱于(25±1)℃和 L//D=12 h//12 h 下培养并进行多次分离纯化。纯化后的金龟子绿僵菌经培养产孢后，将分生孢子粉刮下，用含 0.1%吐温-80 的无菌水，配成 1.6×10^9 个/mL 孢子悬浮液，待用。

1.2 方法

1.2.1 试虫处理

采用浸叶法处理试虫。金龟子绿僵菌 CQ-Ma421 孢子悬浮液用无菌水配制成 5 个浓度,即 1×10^8、2×10^8、4×10^8、8×10^8、1.6×10^9 个/mL。将新鲜、未施用任何药剂的'上海青'叶片在孢子悬浮液中浸渍约 15 s 后取出,自然晾干后置于透明塑料瓶中,每瓶接入 200 头左右虫龄、大小一致的黄曲条跳甲成虫,用 80 目防虫网封口,置于温度(25±1)℃、相对湿度 70%～80%,光周期 L//D=14 h//10 h 的人工气候箱内,以含 0.01%吐温-80 无菌水作空白对照,分别于 24、48、72、96 h 和 120 h 时取出活虫大约 0.1 g,放入冰箱冷冻用于酶活性测定。

1.2.2 酶液制备

准确称取 0.1 g 试虫放入研磨杯中,加入 1 mL 酶提取液,冰浴下进行组织匀浆。于 4℃下,8 000 r/min 离心 10 min,取上清液作为酶源,置于冰上待测。

1.2.3 酶活性测定

超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)活性测定均按试剂盒说明书进行。SOD 活性测定:将 90 μL 待测酶液和各测试试剂按顺序加入测定管中充分摇匀,室温静置 30 min 后加入1 mL 玻璃比色皿中,测定各管 560 nm 下吸光度;POD 活性测定:工作液在 25℃恒温水浴锅中预热 10 min 以上,将 50 μL 待测酶液和 950 μL 工作液加入1 mL 玻璃比色皿中混匀,测定 470 nm 下 1 min 时和 2 min 后的吸光度,将每毫升反应体系中每分钟 OD_{470} 变化 0.01 定义为 1 个酶活力单位;CAT 活性测定:将工作液在 25℃恒温水浴锅中预热 10 min,将 35 μL 待测酶液和 1 mL 工作液加入 1 mL 石英比色皿中混匀,室温下立即测定 240 nm 下初始吸光度和 1 min 后的吸光度,将每克组织每分钟催化 1 nmol H_2O_2 降解定义为 1 个酶活力单位。

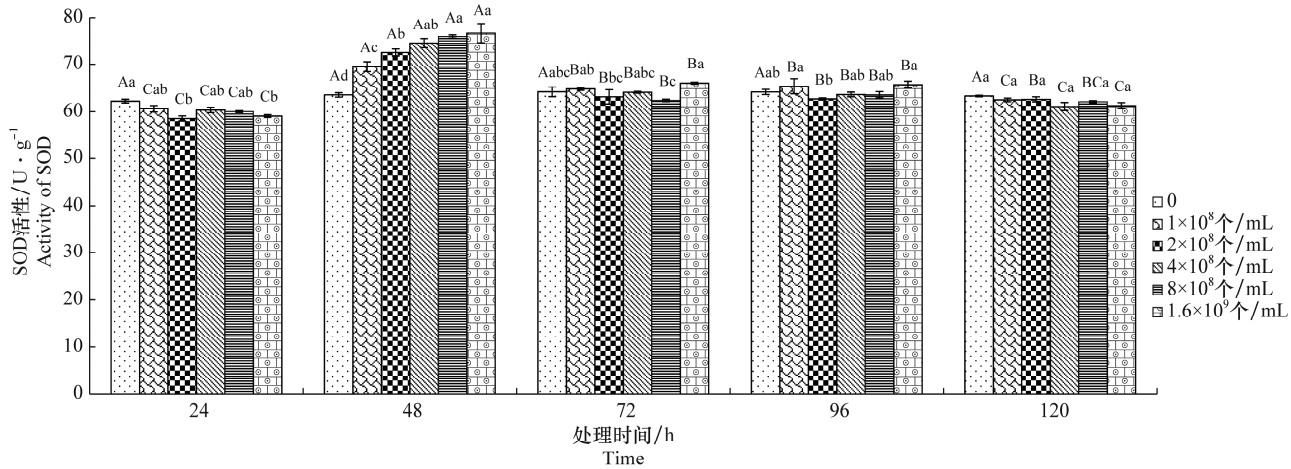
1.3 数据处理

试验结果采用 Excel 2007 进行数据统计,数据以平均值±标准误差表示;DPS 软件进行方差分析和 Tukey 法多重比较进行差异显著性分析,利用 Excel 2007 作出酶活性图表。

2 结果与分析

2.1 金龟子绿僵菌对黄曲条跳甲体内 SOD 活性的影响

由图 1 可得出,不同浓度金龟子绿僵菌 CQ-Ma421 处理黄曲条跳甲成虫后,其体内 SOD 活性出现不同程度的变化。120 h 内,各浓度处理后,SOD 活性都呈现先升高后降低的趋势,在 48 h 时 SOD 活性显著增强,与其他时间点测得的活性值差异显著($P<0.05$),到 120 h 时恢复到接近 24 h 时的活性,而空白对照组在测定期间 SOD 活性差异不显著,处于动态平衡状态。



数据为平均值±标准差。不同大写字母表示同一浓度处理后不同时间酶的活性差异显著,不同小写字母表示不同浓度处理后同一时间酶活性差异显著(α=0.05)。下同

The data are mean±SD. Different capital letters indicate significant differences of enzyme activity of same treatment at different time at 0.05 level. Different lowercase letters indicate significant differences of enzyme activity of different treatments at the same time at 0.05 level. The same applies below

图 1 金龟子绿僵菌处理黄曲条跳甲后体内 SOD 活性变化

Fig. 1 Changes of SOD activity in *Phyllotreta striolata* treated by *Metarhizium anisopliae*

不同浓度金龟子绿僵菌 CQMa421 处理后，同一时间点测得的黄曲条跳甲 SOD 活性不同。各处理组在 24 h 时 SOD 活性略低于对照，对照组为 62.23 U/g，处理组按处理浓度由低到高其 SOD 活性分别为 60.63、58.6、60.37、60.03 U/g 和 59.1 U/g，各处理组间差异不显著。48 h 时各处理浓度下 SOD 活性都显著高于对照，处理浓度越高，SOD 活性越高，其中浓度 1.6×10^9 个/mL 金龟子绿僵菌 CQMa421 处理后黄曲条跳甲 SOD 活性达 76.67 U/g，为对照组的 1.21 倍，各处理间存在显著差异（$P<0.05$）。72 h 开始 SOD 活性出现下降趋势，到 120 h 时各处理组 SOD 活性回到对照水平。

2.2 金龟子绿僵菌对黄曲条跳甲体内 POD 活性的影响

金龟子绿僵菌 CQMa421 孢子悬浮液处理黄曲条跳甲后 72 h 内不同浓度处理在同一时间点测得的 POD 活性差异不显著，且同一浓度处理的 POD 活性随时间也没有显著变化，但处理后 96 h 时各处理组 POD 活性均达到峰值，即浓度 1×10^8、2×10^8、4×10^8、8×10^8、1.6×10^9 个/mL 孢子悬浮液处理后 POD 活性分别为 1 020、1 066.67、1 240、1 086.67 U/g 和 1 166.67 U/g，显著高于其他时间的 POD 活性，也显著高于对照的 POD 活性（306.67 U/g），分别为对照的 3.33、3.48、4.04、3.54 倍和 3.80 倍；到 120 h 时 POD 活性恢复到对照水平。对照组 120 h 内 POD 活性较稳定，各时间点无显著差异（图 2）。

2.3 金龟子绿僵菌对黄曲条跳甲体内 CAT 活性的影响

金龟子绿僵菌侵染后，黄曲条跳甲体内 CAT 活性总体表现为先上升并在处理后 120 h 时恢复至正常水平，对照组在不同时间 CAT 活性差异不显著。各处理组 CAT 活性随时间变化差异较大。1×10^8、2×10^8、4×10^8 个/mL 处理在 48 h，8×10^8 个/mL 和 1.6×10^9 个/mL 处理在 72 h CAT 活性上升达到最大值，其中 8×10^8 个/mL 金龟子绿僵菌处理后，CAT 活性由 48 h 的 107.52 nmol/(min·g)，上升到 72 h 的 116.96 nmol/(min·g)，为同时间对照的 1.13 倍，随后降低；96 h 时，浓度为 1×10^8、2×10^8、4×10^8 个/mL 处理组 CAT 活性较 72 h 有所升高；120 h 时，各处理组 CAT 活性均降低（图 3）。

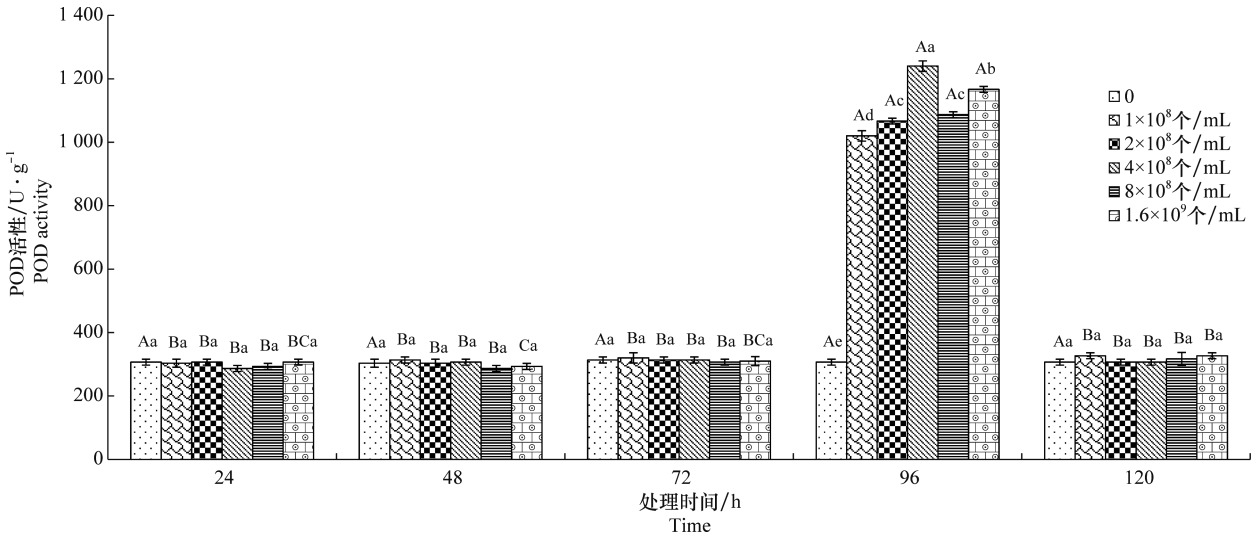


图 2 金龟子绿僵菌处理黄曲条跳甲后体内 POD 活性变化

Fig. 2 Changes of POD activity in *Phyllotreta striolata* treated by *Metarhizium anisopliae*

金龟子绿僵菌处理后 24 h，黄曲条跳甲 CAT 活性略高于对照；48 h 时 CAT 活性开始上升，除浓度为 8×10^8 个/mL 外，其他处理组都显著高于对照；72 h 时浓度为 8×10^8 和 1.6×10^9 个/mL 处理组显著高于其他处理和对照（$P<0.05$），120 h 时所有处理组 CAT 活性下降，除浓度为 1.6×10^9 个/mL 外，其他处理组 CAT 活性与对照相当。

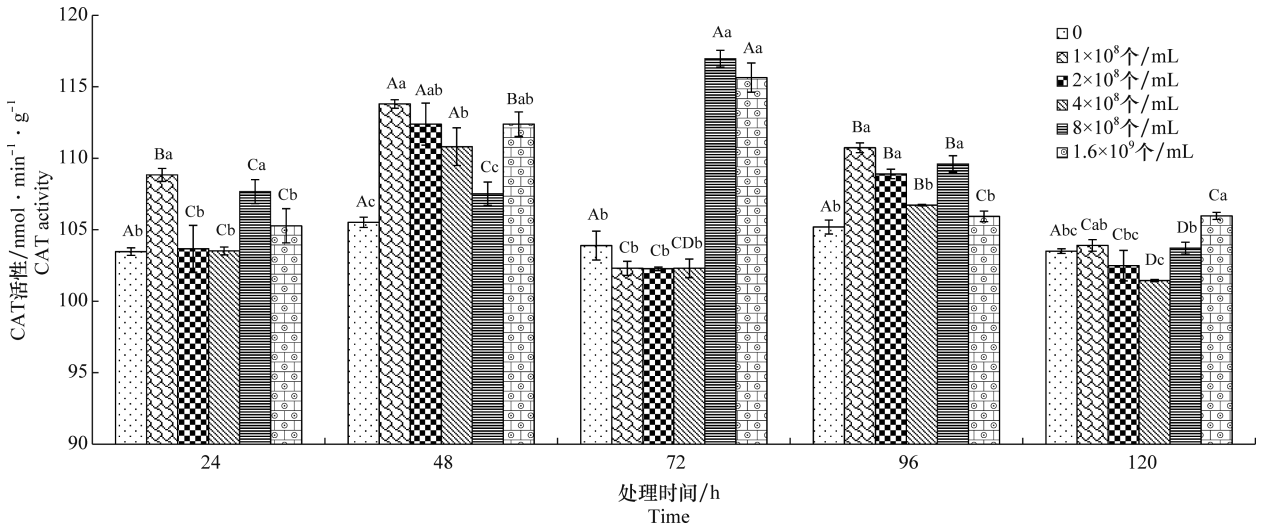


图 3　金龟子绿僵菌处理黄曲条跳甲后体内 CAT 活性变化

Fig. 3　Changes of CAT activity in *Phyllotreta striolata* treated by *Metarhizium anisopliae*

3　结论与讨论

昆虫细胞内活性氧的产生与清除主要靠 SOD、POD 和 CAT 三者协调调控,当昆虫受到外界各种胁迫时可以诱导昆虫体内这 3 种保护酶含量升高,协同调控作用使活性氧处于动态平衡状态,以降低活性氧自由基对机体的伤害,维持昆虫正常生长发育。黄训兵等研究了 4 种植物源化合物对亚洲小车蝗 *Oedaleus asiaticus* 保护酶活性的影响,结果显示保护酶活性均与对照差异显著[16];宋程飞等研究了绿薄荷 *Mentha spicata* 茎、叶乙醇提取物对小菜蛾幼虫 3 种保护酶的影响,结果表明,随着提取物作用时间的增加,小菜蛾体内 3 种保护酶活性均表现为先升高后下降[17];张胜兰等研究了蝉花 *Isaria cicadae* SLGY-2 对斜纹夜蛾 *Spodoptera litura* 生长发育及体内保护酶活性的影响,结果表明,斜纹夜蛾在抵御蝉花 SLGY-2 侵染过程中,虫体内 3 种保护酶均出现应激反应,且随着菌株孢子浓度增加,酶活性逐渐上升,但最终表现为下降[18];李会平等测定了桑天牛 *Apriona germari* 幼虫感染白僵菌后体内主要保护酶活性的变化,结果表明,桑天牛幼虫感染白僵菌后,体内 SOD、POD 和 CAT 活性在接种初期迅速提高,但在接种后期均出现不同程度下降[19]。

本文研究不同浓度金龟子绿僵菌处理黄曲条跳甲不同时间对 SOD、POD 和 CAT 活性的影响,结果表明,金龟子绿僵菌处理后黄曲条跳甲体内 SOD、POD 和 CAT 的活性均有升高,并出现一定的变化规律。黄曲条跳甲取食处理叶片后,24 h 内金龟子绿僵菌孢子还未萌发,SOD 活性与对照组相差不大,或低于对照;随着取食时间增加,孢子萌发并在黄曲条跳甲体内繁殖,O_2 浓度增加,虫体内的 HO^- 浓度增加,虫体迅速作出免疫防卫反应,48 h 时 SOD 为被激活且活性明显上升,以减轻过氧离子对虫体的毒害,随后金龟子绿僵菌在虫体内大量繁殖,使得 SOD 合成受到抑制,自我防卫能力迅速下降,表现为 SOD 活性急剧下降,120 h 时回到正常水平。前期可能由于金龟子绿僵菌产生的毒素少,POD 活性在 72 h 内上升很缓慢,随着金龟子绿僵菌孢子在体内大量繁殖,毒素急剧增加,机体迅速启动免疫系统使 POD 活性快速上升,以维持机体正常生理功能,96 h 到达最高值,随着毒素在体内越集越多,使得 POD 合成受阻,活性逐渐下降。金龟子绿僵菌处理 48～72 h 时,黄曲条跳甲 CAT 活性上升到最高,但最终不敌金龟子绿僵菌在体内的生长和增殖速度,所以侵染后期 CAT 活性逐渐下降,最终黄曲条跳甲走向死亡,低浓度处理组 CAT 活性出现了一定的反弹,这可能是昆虫抵御有毒物质的抗性反应,生产上我们应该再施一次药,或者增加处理浓度,以提高防治效果。本文结果与前人研究结果基本一致。可见,这 3 种保护酶在黄曲条跳甲抵抗绿僵菌引起的氧化胁迫中发挥了重要作用。本试验初步分析了金龟子绿僵菌 CQMa421 对黄曲条跳甲 3 种保护酶活性的影响,其对黄曲条跳甲的生防潜力还需进一步研究。

(下转 157 页)

参考文献

[1] 张雁冰，艾国民，刘宏民，等. 植物源农药的研制及其开发现状[J]. 河南农业科学，2005(5)：30－32.

[2] 李晓菲，徐政. 植物源杀菌剂研究进展[J]. 南方农业，2018，12(13)：40－42.

[3] 王美鑫，金亚杰，韩森汇，等. 闽楠溃疡病(*Clonostachys rosea*)化学杀菌剂与抑菌植物室内筛选[J]. 贵州师范大学学报(自然科学版)，2021，39(2)：26－30.

[4] ZHANG Shuang，ZHAO Qianhui，XUE Wenhui，et al. The isolation and identification of *Candida glabrata* from avian species and a study of the antibacterial activities of Chinese herbal medicine *in vitro* [J/OL]. Poultry Science，2021，100(4)：101003. DOI：10.1016/j.psj.2021.01.026.

[5] 刘志祥，曾超珍，张映辉. 穿心莲提取物体外抗菌活性及稳定性的研究[J]. 北方园艺，2009(1)：105－106.

[6] SULE A，AHMED Q U，SAMAH O A，et al. Bacteriostatic and bactericidal activities of *Andrographis paniculata* extracts on skin disease causing pathogenic bacteria [J]. Journal of Medicinal Plants Research，2011，5(1)：7－14.

[7] 兰景尧，薛文通. 姜精油抑菌作用的研究进展[J]. 食品工业科技，2016，37(19)：387－390.

[8] MAJOLO C，NASCIMENTO V P，CHAGAS E，et al. Antimicrobial activity of essential oil from *Curcuma longa* and *Zingiber officinale* rhizomes against enteric *Salmonella* isolated from chicken [J]. Revista Brasileira De Plantas Medicinais，2014，16(3)：505－512.

[9] 唐杰，冯甦，候若彤，等. 川芎提取物的抑菌杀虫作用研究[J]. 时珍国医国药，2008(10)：2437－2439.

[10] 罗丹，吴昊，陈存坤，等. 姜油对番茄致病菌的抑制效果及抑菌机制初探[J]. 食品安全质量检测学报，2017，8(4)：1404－1409.

[11] 黄琼，田玉红，刘玉梅. 正交实验设计优化穿心莲总黄酮提取工艺[J]. 广州化工，2011，39(11)：71－72.

[12] 马志强，牛芳胜，毕秋艳. 一种评价哈茨木雷与化学农药联合增效的方法[J]. 农药，2013，52(12)：921－923.

[13] 胡杨. 川芎化学成分分离提取及结构鉴定研究[D]. 长春：长春师范大学，2013：1－50.

[14] 王颖. GC/MS法测定不同产地鲜姜精油化学成分[J]. 广东化工，2016，43(7)：176.

[15] 张峻淞，曾令杰，崔丹丹，等. 穿心莲饮片的特征图谱及主要内酯成分的含量测定[J]. 中国药业，2020，29(19)：19－22.

[16] 李文兰，范玉奇，季宇彬,等. 均匀设计法优选川芎中阿魏酸和总酚酸的提取工艺[J]. 中国现代应用药学，2007(3)：198－201.

[17] 张晶琳，GLOIRE MARTHA K M G，班兆军，等. 生姜精油抗菌性能及在食品中的应用研究进展[J]. 食品工业，2020，41(1)：273－276.

(责任编辑：杨明丽)

(上接 133 页)

参考文献

[1] 王卅. 八角茴香提取物与几种绿僵菌对桃蚜的协同作用研究[D]. 合肥：安徽农业大学，2016.

[2] 刘昌燕，赵培静，汪军，等. 生防真菌遗传转化方法研究进展[J]. 中国植保导刊，2009，29(1)：13－16.

[3] 代鹏，宋妍，许天委，等. 绿僵菌的研究进展[J]. 热带农业科学，2005，25(2)：73－77.

[4] GILLESPIE J P，BAILEY A M，COBB B，et al. Fungi as elicitors of insect immune responses [J]. Archives of Insect Biochemistry and Physiology，2000，44(2)：49－68.

[5] 李世广，窦婷婷，付小伶，等. 菜青虫感染金龟子绿僵菌后体内几种保护酶活性的变化[J]. 植物保护，2016，42(3)：133－136.

[6] 王伦，李创. 印楝提取物对光肩星天牛成虫体内保护酶的影响[J]. 煤炭与化工，2015，38(2)：66－68.

[7] 宋漳，冯丽贞，景云. 马尾松毛虫感染绿僵菌后某些生化指标的变化[J]. 昆虫知识，2002，39(4)：297－300.

[8] 林忠莲，张立力. 磷化氢对谷蠹、玉米象成虫体内过氧化氢酶的抑制作用[J]. 郑州工程学院学报，2002，23(1)：1－7.

[9] 刘玉娣，赵士熙. 小菜蛾过氧化氢酶和过氧化物酶与耐药性的关系[J]. 福建农林大学学报(自然科学版)，2002，31(3)：304－307.

[10] 王桂清，姬兰柱，张弘，等. 中国植物源杀虫剂研究进展[J]. 中国农业科学，2006，39(3)：510－517.

[11] 侯军，马志卿，冯俊涛，等. 鬼臼毒素对小菜蛾的生物活性及对其几种代谢酶系的影响[J]. 昆虫学报，2007，50(9)：895－899.

[12] 王燕，师光禄，吴振宇，等. 植物源杀虫剂作用机理研究进展[J]. 北京农学院学报，2008，23(4)：70－73.

[13] 徐河山，马雅军. 植物源杀虫剂作用方式和机理的研究进展[J]. 热带医学杂志，2006，6(6)：743－744.

[14] 孙淑君，游秀峰，夏红军. 黄曲条跳甲对常用杀虫剂的敏感性测定[J]. 河南科学，2013，31(3)：293－296.

[15] 何越超. 黄曲条跳甲的非化学防治技术研究[D]. 福州：福建农林大学，2017.

[16] 黄训兵，李辉，涂雄兵，等. 四种植物源化合物对亚洲小车蝗存活率、解毒酶和保护酶活性的影响[J]. 植物保护学报，2021，48(1)：158－164.

[17] 宋程飞，吴兰军，段雨，等. 绿薄荷茎、叶乙醇提取物对小菜蛾幼虫3种保护酶的影响[J]. 山西农业大学学报(自然科学版)，2020，40(4)：73－81.

[18] 张胜兰，刘健锋，邹晓，等. 蝉花SLGY-2对斜纹夜蛾生长发育及体内保护酶活性的影响[J]. 山地农业生物学报，2020，39(4)：30－36.

[19] 李会平，黄大庄，苏筱雨，等. 桑天牛幼虫感染白僵菌后体内主要保护酶活性的变化[J]. 蚕业科学，2007，33(4)：634－636.

(责任编辑：杨明丽)