

DOI:10.16861/j.cnki.zggc.2025.0413

4种杀虫剂对秀珍菇与毛木耳防御酶活性的影响

张智颖^{1,2}, 邱琴^{1,2}, 林金盛¹, 徐平¹, 李辉平¹, 侯立娟¹,
蒋宁¹, 曲绍轩¹, 马林¹, 王伟霞², 李福后²

(1. 江苏省农业科学院蔬菜研究所·江苏省高效园艺作物遗传改良重点实验室 南京 210014;
2. 江苏海洋大学海洋食品与生物工程学院·江苏省海洋生物资源与环境重点实验室 江苏连云港 222005)

摘要:为探究杀虫剂对食用菌防御酶活性的影响,以秀珍菇和毛木耳为研究对象,采用含药平皿培养法、培养料拌料施药和出菇前喷雾施药3种方式,以不加药或清水为对照(CK),测定4种常用杀虫剂(除虫脲、呋虫胺、高效氯氟氰菊酯和氯虫苯甲酰胺)对菌丝及子实体中过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)、超氧化物歧化酶(SOD)和苯丙氨酸解氨酶(PAL)活性的影响。结果表明,在菌丝体阶段,经高效氯氟氰菊酯处理后,仅秀珍菇菌丝中的SOD活性与毛木耳菌丝中的PAL活性显著高于相应对照。通过拌料施药方式施用高效氯氟氰菊酯后,秀珍菇子实体中仅CAT活性显著高于相应对照,而毛木耳子实体中的CAT、POD和SOD活性均显著高于相应对照;采用喷雾施药时,所有杀虫剂处理秀珍菇子实体中的防御酶活性均无显著高于相应对照的结果,而毛木耳子实体中则均未出现显著低于相应对照的情况。综上所述,施用4种杀虫剂后,秀珍菇和毛木耳菌丝及子实体中的防御酶活性均发生不同程度的变化,其变化规律主要受食用菌品种差异、不同生长期以及杀虫剂的内吸性、持效性、渗透性等理化特性的共同影响。

关键词:秀珍菇;毛木耳;杀虫剂;防御酶活性

中图分类号:S646.1⁴+S646.6

文献标志码:A

文章编号:1673-2871(2026)03-212-07

Effects of four insecticides on the activity of defence enzymes of *Pleurotus pulmonarius* and *Auricularia polytricha*

ZHANG Zhiying^{1,2}, QIU Qin^{1,2}, LIN Jinsheng¹, XU Ping¹, LI Huiping¹, HOU Lijuan¹, JIANG Ning¹, QU Shaoxuan¹, MA Lin¹, WANG Weixia², LI Fuhou²

(1. Institute of Vegetable Crop, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences/Jiangsu Key Laboratory for Horticultural Crop Genetic Improvement, Nanjing 210014, Jiangsu, China; 2. School of Ocean Food and Biological Engineering, Jiangsu Ocean University/Key Laboratory of Marine Bioresources and Environment in Jiangsu Province, Lianyungang 222005, Jiangsu, China)

Abstract: To investigate the effects of insecticides on the activity of defense enzymes in edible fungi, *Pleurotus pulmonarius* and *Auricularia polytricha* were used as test materials. The effects of four commonly used insecticides (diflubenzuron, dinotefuran, beta-cyhalothrin and chlorantraniliprole) on the activity of catalase (CAT), peroxidase (POD), superoxide dismutase (SOD) and phenylalanine ammonia-lyase (PAL) in mycelia and fruiting bodies were determined by three methods, drug-containing plate culture, mixed drug in culture substrate and spraying before fruiting. The results showed that at the mycelial stage, only the SOD activity of *P. pulmonarius* and the PAL activity of *A. polytricha* treated with beta-cyhalothrin were significantly higher than the respective control. After application of beta-cypermethrin by mixing with the culture substrate, only the CAT activity in fruiting bodies of *P. pulmonarius* was significantly higher than that in the corresponding control, while the CAT, POD and SOD activity in fruiting bodies of *A. polytricha* were all significantly higher than those in the corresponding control. When the insecticide were sprayed before fruiting, no significant increase in defense enzyme activity was observed in insecticide-treated *P. pulmonarius* fruiting bodies compared to those in the corresponding control, while no significant decrease was found in *A. polytricha* under the same treatments. In conclusion, the application of the four insecticides led to varying degrees of changes in the defense enzyme activity of *P. pulmonarius* and *A. polytricha* in both mycelia and fruiting bodies. The variation patterns were mainly influenced by the differences in edible mushroom varieties, different growth stages, and the physicochemical properties of the insecticides such as their

收稿日期:2025-06-07;修回日期:2025-09-12

基金项目:国家食用菌产业技术体系(CARS-20);江苏省亚夫科技服务项目(KF(24)1103)

作者简介:张智颖,男,在读硕士研究生,研究方向为食品安全。E-mail:zzy1ng@163.com

通信作者:马林,女,研究员,研究方向为食用菌虫害防控。E-mail:malin1590@sina.com

李福后,男,副教授,研究方向为食品加工与安全。E-mail:lifuhou2002@163.com

systemicity, persistence and permeability.

Key words: *Pleurotus pulmonarius*; *Auricularia polytricha*; Insecticide; Defence enzyme activity

化学农药在食用菌生产中对控制虫害、保障食用菌产量与品质发挥不可或缺的作用^[1-2]。然而,农药的过量或不当使用不仅会带来残留与环境风险^[3],更可能对食用菌自身的生理代谢产生潜在影响。目前,关于农药对作物的影响研究较多,但针对食用菌,尤其是其防御系统应答机制的研究尚显薄弱,现有文献多集中于杀菌剂对食用菌的影响^[4],而杀虫剂对食用菌生理生化影响的研究则鲜有报道。

植物的防御酶系统是应对环境胁迫的重要生理指标。过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)、超氧化物歧化酶(SOD)和苯丙氨酸解氨酶(PAL)共同构成了植物抗氧化与抗逆响应的关键酶体系。CAT是一种抗氧化酶,能够保护生物大分子的结构与功能,因此CAT已成为植物氧化应激的生物标志物^[5-6]。POD具有消除过氧化氢和酚类、胺类毒性的双重作用^[7-8]。SOD能够催化有害的超氧自由基,在植物生长发育和逆境胁迫中发挥重要的作用^[9-10]。PAL是植物体内一类重要的免疫抗性酶,植物通过调节其活性来降低逆境对自身的伤害^[11-12]。目前对杀虫剂的研究主要集中在其对有害生物的毒杀作用及对植物产生的影响方面,而杀虫剂对食用菌影响的研究相对较少。

因此,本研究选取生产上常用的20%呋虫胺悬浮剂、25%除虫脲可湿性粉剂、20%氯虫苯甲酰胺悬浮剂和10%高效氯氰菊酯悬浮剂4种杀虫剂,以秀珍菇(*Pleurotus pulmonarius*)和毛木耳(*Auricularia polytricha*)为试验材料,系统测定4种杀虫剂对2种食用菌菌丝及子实体中CAT、POD、SOD、PAL等4种防御酶活性的影响。本研究旨在阐明不同杀虫剂对2种食用菌生理代谢的干扰效应,以期为建立杀虫剂在食用菌栽培中的安全使用标准提供理论依据,对保障食用菌安全生产与品质具有重要意义。

1 材料与方 法

1.1 材 料

试验于2024年5—7月在江苏省农业科学院蔬菜研究所食用菌实验室进行。

秀珍菇、毛木耳菌种均由江苏省农业科学院蔬菜研究所食用菌实验室提供。

培养基:马铃薯葡萄糖琼脂培养基(PDA),购自生工生物工程(上海)股份有限公司。

秀珍菇培养料配方:棉籽壳45%、细木屑45%、

麸皮10%,含水量为65%。

毛木耳培养料配方:细木屑80%、麸皮20%,含水量为65%。

杀虫剂:20%呋虫胺悬浮剂(江苏剑牌农化股份有限公司)、25%除虫脲可湿性粉剂(山西康派伟业生物科技有限公司)、20%氯虫苯甲酰胺悬浮剂(安阳市锐普农化有限责任公司)、10%高效氯氰菊酯悬浮剂(江苏功成生物科技有限公司)。

1.2 试验设计

菌丝收集方法:分别将除虫脲(T1)、呋虫胺(T2)、高效氯氰菊酯(T3)、氯虫苯甲酰胺(T4)等4种杀虫剂制备成有效成分浓度(ρ ,后同)均为1000 mg·L⁻¹的带药PDA培养基,并分别倒入90 mm的培养皿中,分别将秀珍菇和毛木耳菌种活化后用5 mm打孔器接种至培养皿中,每个处理3次重复,每个重复3个培养皿,以不加药的培养基作为对照,于25℃培养箱中恒温暗培养至菌丝长满后,分别取不同处理的菌丝1 g置于5 mL冻存管,置于-20℃冰箱保存备用。

子实体收集方法:采用拌料施药和喷雾施药2种施药方式,拌料施药时将4种杀虫剂分别配制有效成分浓度均为1000 mg·L⁻¹的溶液,用于秀珍菇和毛木耳培养料的制作,分别以等量清水为对照,采用3 cm×13 cm×26 cm的聚乙烯塑料袋,每袋干料220 g。拌料、装袋、灭菌、接种、发菌、出菇管理均按照刘先超等^[13]的方法。喷雾施药时除施药方式不同外,其他操作与拌料处理相同,待菌丝长满菌袋形成原基开袋后(出菇前),将有效成分浓度均为1000 mg·L⁻¹的4种杀虫剂溶液分别一次性均匀地喷雾至菌袋表面,以喷等量清水为对照。每处理3次重复,每次15袋。待子实体至采收期时分别取不同处理的菌盖1 g于5 mL冻存管中,置于-20℃冰箱保存备用。

1.3 试验测定指标及方法

分别取上述菌丝和子实体样品,擦净水分,去除杂质,剪碎后放入研钵,加入液氮,研磨成粉状后转移出来,然后准确称量质量并记录,使用组织破碎仪冰浴提取,8000 r·min⁻¹,4℃离心10 min,取上清液置冰上待测。采用南京陌凡生物科技有限公司的过氧化氢酶试剂盒(PMHA2-M96)、过氧化物酶试剂盒(PMHA1-M96)、超氧化物歧化酶试剂盒(PMHA4-M96)和苯丙氨酸解氨酶试剂盒(PMHA9-M96)分别测定菌丝和子实体中的

CAT、POD、SOD 和 PAL 活性。

1.4 数据处理

采用 SPSS26 和 Origin2022 软件对数据进行统计分析及作图,采用 Duncan 法进行显著性分析 ($P<0.05$)。

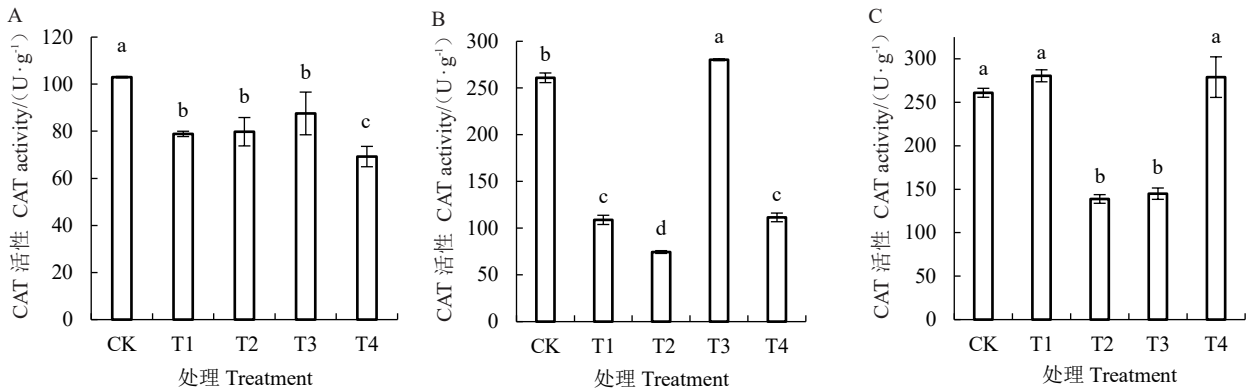
2 结果与分析

2.1 杀虫剂对秀珍菇和毛木耳体内 CAT 活性的影响

杀虫剂对秀珍菇体内 CAT 活性的影响如图 1 所示。菌丝体阶段,4 种杀虫剂处理秀珍菇菌丝的 CAT 活性均显著低于 CK,其中氯虫苯甲酰胺处理菌丝的 CAT 活性最低(图 1-A);拌料施药时子实体 CAT 活性除高效氯氰菊酯处理显著高于 CK 外,其

他 3 种杀虫剂处理均显著低于 CK(图 1-B);喷雾施药时子实体 CAT 活性呋虫胺和高效氯氰菊酯处理均显著低于 CK,除虫脲与氯虫苯甲酰胺处理均略高于 CK,但均与 CK 差异不显著(图 1-C)。

杀虫剂对毛木耳体内 CAT 活性的影响如图 2 所示。菌丝体阶段杀虫剂处理均表现出了与秀珍菇相似的结果,即各杀虫剂处理菌丝的 CAT 活性均受到抑制,均显著低于 CK(图 2-A);拌料施药时子实体 CAT 活性仅除虫脲处理显著低于 CK,而氯虫苯甲酰胺处理的 CAT 活性最高,显著高于其他 3 种杀虫剂(图 2-B);喷雾施药时子实体 CAT 活性除虫脲与高效氯氰菊酯处理均显著高于 CK,呋虫胺与氯虫苯甲酰胺处理均略低于 CK,但与 CK 差异不显著(图 2-C)。



注:A. 菌丝体阶段;B. 拌料施药处理的子实体;C. 喷雾施药处理的子实体。不同小写字母表示处理间在 0.05 水平差异显著。下同。

Note: A. Mycelium stage; B. Fruiting bodies under medium mixing treatment; C. Fruiting bodies under spray treatment. Different small letters indicate significant difference among different treatments at 0.05 level. The same below.

图 1 杀虫剂对秀珍菇体内 CAT 活性的影响

Fig. 1 Effects of insecticides on CAT activity in *Pleurotus pulmonarius*

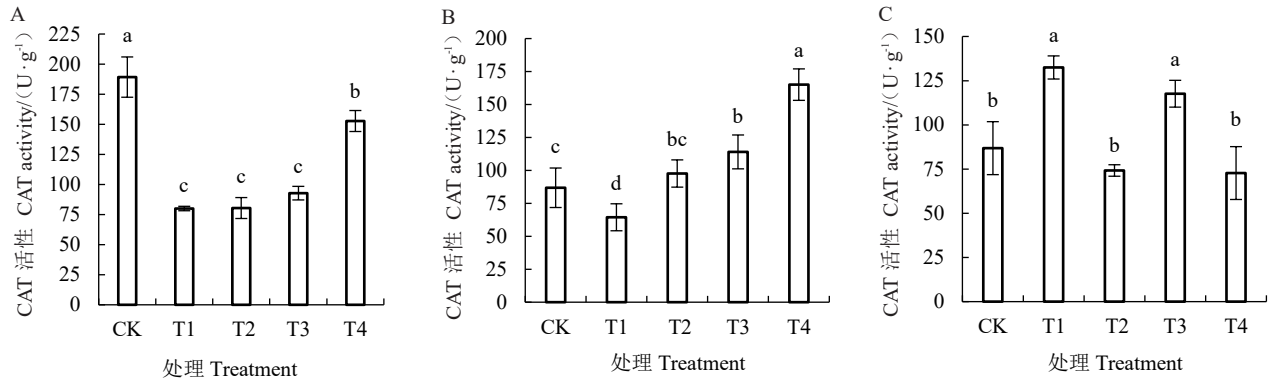


图 2 杀虫剂对毛木耳体内 CAT 活性的影响

Fig. 2 Effects of insecticides on CAT activity in *Auricularia polytricha*

2.2 杀虫剂对秀珍菇和毛木耳体内 POD 活性的影响

杀虫剂对秀珍菇体内 POD 活性的影响如图 3

所示。菌丝体阶段 4 种杀虫剂处理毛木耳菌丝的 POD 活性均显著低于 CK,其中氯虫苯甲酰胺处理的 POD 活性最低(图 3-A);拌料施药时子实体中

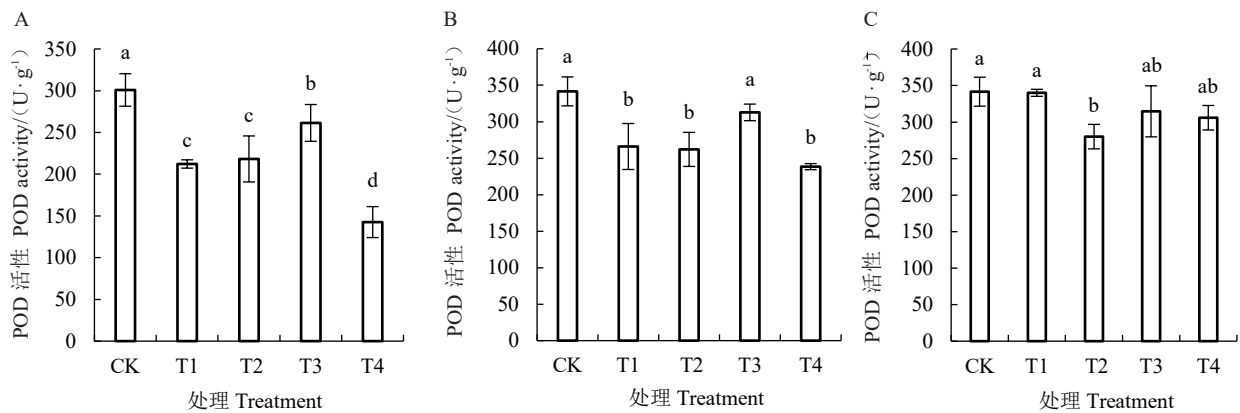


图3 杀虫剂对秀珍菇体内 POD 活性的影响

Fig. 3 Effects of insecticides on POD activity in *Pleurotus pulmonarius*

POD 活性除高效氯氰菊酯处理与 CK 无显著差异外,其他 3 种杀虫剂处理均显著低于 CK(图 3-B);喷雾施药时子实体中 POD 活性除吡虫啉处理显著低于 CK 外,其他 3 种杀虫剂处理的 POD 活性均与 CK 无显著差异(图 3-C)。

杀虫剂对毛木耳体内 POD 活性的影响如图 4 所示。菌丝体阶段,4 种杀虫剂处理菌丝的 POD 活性均显著低于 CK,其中除虫脲处理的 POD 活性最低(图 4-A);拌料处理毛木耳子实体中 POD 活性 4 种杀虫剂处理均显著高于 CK,其中氯虫苯甲酰胺处

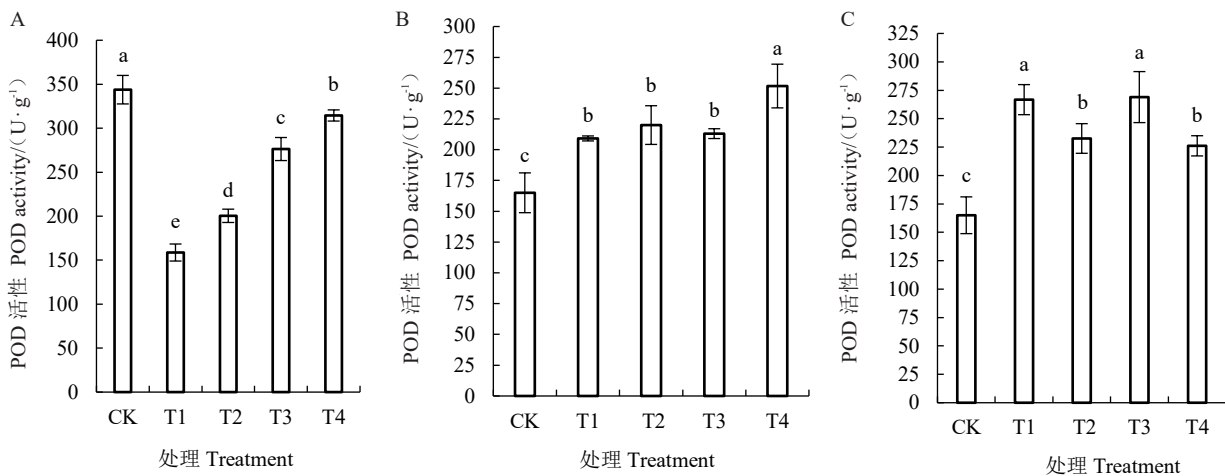


图4 杀虫剂对毛木耳体内 POD 活性的影响

Fig. 4 Effects of insecticides on POD activity in *Auricularia polytricha*

理的 POD 活性最高(图 4-B);喷雾施药时毛木耳子实体中 POD 活性 4 种杀虫剂处理均显著高于 CK,其中高效氯氰菊酯处理 POD 活性最高(图 4-C)。

2.3 杀虫剂对秀珍菇和毛木耳体内 SOD 活性的影响

杀虫剂对秀珍菇体内 SOD 活性的影响如图 5 所示。菌丝体阶段,除氯虫苯甲酰胺处理外,除虫脲、吡虫啉和高效氯氰菊酯处理秀珍菇菌丝中的 SOD 活性均高于 CK,其中高效氯氰菊酯处理的 SOD 活性最高,显著高于 CK(图 5-A);拌料施药与喷雾施药 2 种施药方式秀珍菇子实体中 SOD 活性表现为 4 种杀虫剂处理均显著低于相应 CK(图 5-B、图 5-C)。

杀虫剂对毛木耳体内 SOD 活性的影响如图 6 所示。菌丝体阶段,4 种杀虫剂处理毛木耳菌丝的 SOD 活性均显著低于 CK,其中除虫脲处理的 SOD 活性最低(图 6-A);与秀珍菇不同的是,毛木耳拌料施药和喷雾施药 2 种方式施药后子实体中 SOD 活性均高于相应 CK,拌料施药时子实体中 SOD 活性氯虫苯甲酰胺处理最高(图 6-B),喷雾施药时子实体中 SOD 活性除虫脲处理最高(图 6-C)。

2.4 杀虫剂对秀珍菇和毛木耳体内 PAL 活性的影响

杀虫剂对秀珍菇体内 PAL 活性的影响如图 7 所示。秀珍菇菌丝和拌料施药时子实体中 4 种杀虫剂处理 PAL 活性均显著低于相应 CK,其中氯虫

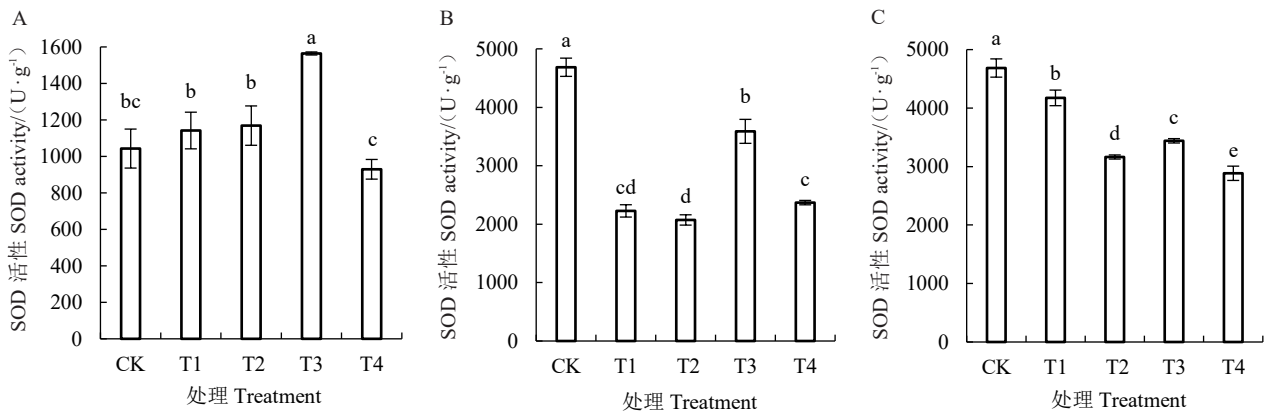


图5 杀虫剂对秀珍菇体内 SOD 活性的影响

Fig. 5 Effects of insecticides on SOD activity in *Pleurotus pulmonarius*

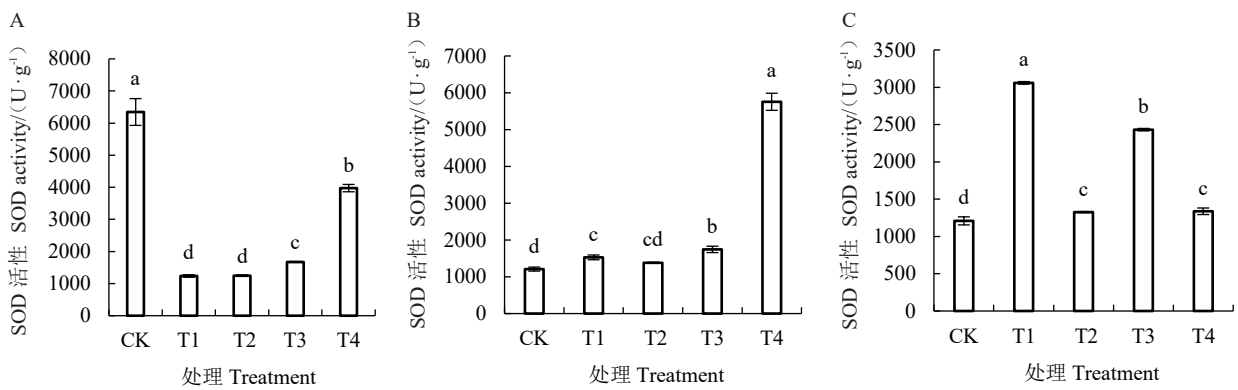


图6 杀虫剂对毛木耳体内 SOD 活性的影响

Fig. 6 Effects of insecticides on SOD activity in *Auricularia polytricha*

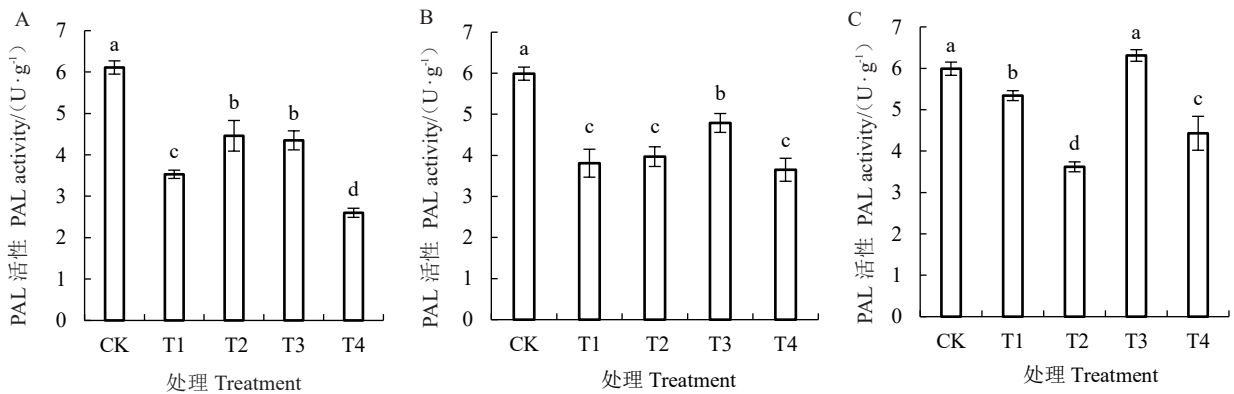


图7 杀虫剂对秀珍菇 PAL 活性的影响

Fig. 7 Effects of insecticides on PAL activity in *Pleurotus pulmonarius*

苯甲酰胺处理的 PAL 活性均最低(图 7-A、图 7-B); 喷雾施药时子实体 PAL 活性除高效氯氰菊酯处理略高于 CK 外,其他 3 种杀虫剂处理的 PAL 活性均显著低于 CK,其中吡虫啉处理的 PAL 活性最低(图 7-C)。

杀虫剂对毛木耳体内 PAL 活性的影响如图 8 所示。菌丝体阶段,高效氯氰菊酯和氯虫苯甲酰胺

处理菌丝的 PAL 活性均高于 CK,而除虫脲和吡虫啉处理均显著低于 CK(图 8-A);拌料施药时子实体中的 PAL 活性吡虫啉处理最高,显著高于 CK,而氯虫苯甲酰胺处理 PAL 活性显著低于 CK(图 8-B); 喷雾施药时子实体 PAL 活性 4 种杀虫剂处理均显著高于 CK,而 4 种杀虫剂处理间差异不显著(图 8-C)。

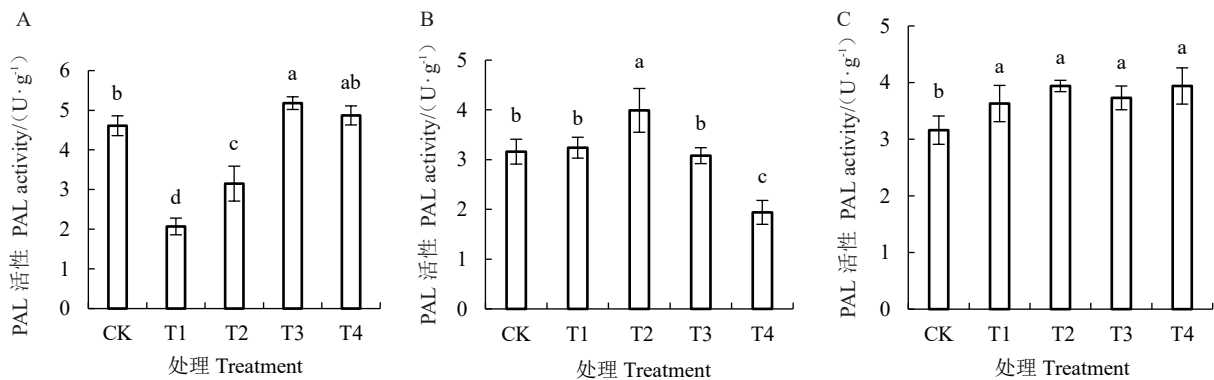


图8 杀虫剂对毛木耳体内 PAL 活性的影响

Fig. 8 Effects of insecticides on PAL activity in *Auricularia polytricha*

3 讨论与结论

农药胁迫可诱导植物细胞代谢产生过量的活性氧(ROS),进而对植物生长造成不利影响。为应对这种氧化损伤,植物通过激活防御酶系统以清除过量的 ROS,从而减轻毒害^[14]。与此类似,食用菌菌丝与子实体中的防御酶系统也在缓解氧化胁迫中发挥重要作用^[15]。秀珍菇和毛木耳是我国食用菌设施化栽培的 2 个重要品种。由于在分类学地位上秀珍菇(伞菌目)和毛木耳(木耳目)的差异较大,两者对药剂的敏感性可能存在显著不同^[16]。然而,关于不同食用菌防御酶活性变化与其药剂敏感性之间关系的研究仍较为有限。本研究系统测定了 4 种常用杀虫剂对秀珍菇和毛木耳菌丝及子实体中 4 种防御酶活性的影响。结果表明,杀虫剂对防御酶活性的影响因食用菌品种、生长发育阶段以及施药方式的不同而呈现出复杂的差异性。

在菌丝体阶段,2 种食用菌对杀虫剂的响应基本一致,均主要表现为防御酶活性下降。与 CK 相比,仅高效氯氰菊酯处理显著提高了秀珍菇的 SOD 活性和毛木耳的 PAL 活性,其余处理的酶活性与相应 CK 相比,均显著降低或略高但差异不显著。菌丝体阶段多数酶活性的降低,意味着防御酶系统对农药胁迫敏感,菌丝抵御能力下降,这与前期观察到的菌丝生长受抑结果^[17]相印证。

为研究杀虫剂对子实体中防御酶的影响,本研究采用了食用菌栽培中最常见的培养料制作时拌料施药和原基形成前(出菇前)喷雾施药 2 种方式,旨在与生产实际相贴合,2 种施药方式处理后食用菌子实体中防御酶响应出现明显不同。拌料施药时,秀珍菇除高效氯氰菊酯处理的 CAT 活性外,其余药剂处理的 CAT、POD、SOD 和 PAL 活性均低于

相应 CK,表明持续存在的药剂可能使其防御系统功能受损;高效氯氰菊酯和氯虫苯甲酰胺处理的毛木耳子实体 CAT、POD 和 SOD 活性均显著高于相应 CK,除虫脲和呋虫胺处理的毛木耳子实体中 POD、SOD、PAL 活性均高于相应 CK,说明毛木耳能更有效地调动防御酶系统应对杀虫剂胁迫。于高波等^[18]研究也表明氯虫苯甲酰胺等化学杀虫剂处理番茄叶片后,番茄叶片中抗氧化酶活性呈现出不同程度的提高以响应农药处理。喷雾施药时,所有杀虫剂处理的秀珍菇子实体中 4 种酶活性均未显著高于相应 CK,且多数酶活性显著低于相应 CK,表明急性杀虫剂胁迫严重干扰秀珍菇子实体防御酶系统;而毛木耳防御酶则普遍被激活,各杀虫剂处理 4 种酶活性均未出现显著低于相应 CK 的情况,进一步证实毛木耳对短期胁迫具有较强的应激响应能力。

本研究中的 4 种杀虫剂在化学成分、杀虫特点等方面均有不同,4 种杀虫剂的内吸性、持效性、渗透性等理化特性对秀珍菇和毛木耳菌丝和子实体中防御酶系的影响不同。高效氯氰菊酯为触杀型拟除虫菊酯类杀虫剂,无内吸性^[19],拌料施药和喷雾施药 2 种施药方式对 2 种食用菌子实体中防御酶活性抑制较小,表现为显著低于 CK 的酶活性指标最少。除虫脲和氯虫苯甲酰胺分别属于苯甲酰基脲类和邻氨基苯甲酰胺类杀虫剂,持效期均较长^[20-21],在拌料施药处理中子实体防御酶活性显著下降的数量多于喷雾施药处理。呋虫胺为新烟碱类杀虫剂,渗透性好^[22],4 种杀虫剂处理对秀珍菇和毛木耳菌丝和子实体中防御酶活性多表现为显著抑制作用,虽对双翅目害虫防效明显^[23],但需严格控制剂量以减少对食用菌自身的影响。

综合来看,食用菌防御酶系对杀虫剂胁迫的响

应差异受食用菌品种特性、生长阶段及药剂理化性质的共同调控。从品种角度看,毛木耳子实体在应对杀虫剂胁迫时表现出比秀珍菇更为主动的防御响应;从生长阶段来看,菌丝体阶段的防御酶系受杀虫剂的影响较子实体阶段更为一致;从药剂种类来看,高效氯氰菊酯对食用菌防御酶系的抑制作用低于除虫脲、吡虫啉和氯虫苯甲酰胺。本研究是对杀虫剂在食用菌栽培中安全性评价的初步探索,后续还需结合转录组学、基因差异表达和代谢组学等展开深入工作,并与防御酶活性数据相互印证,从而系统阐明不同生育期不同杀虫剂对食用菌生长的作用机制。

参考文献

- [1] 马驰宇,王雪晴,米志鹏.中国食用菌出口贸易现状、风险及对策[J].北方园艺,2024(12):142-149.
- [2] 龙泗成.贵州省食用菌栽培常见病虫害及其防治措施[J].南方农业,2024,18(11):83-85.
- [3] 温雅君,肖志勇,孙志伟,等.食用菌中农药残留安全风险评价及膳食暴露风险评估[J].农学学报,2024,14(4):77-82.
- [4] 尹园园,武恩斯,李洪霄,等.10种生物农药对食用菌菌丝生长的安全性评价[J].中国植保导刊,2025,45(2):69-73.
- [5] 张坤生,田荟琳.过氧化氢酶的功能及研究[J].食品科技,2007(1):8-11.
- [6] 董璐,杨春洪,陈林,等.大豆CAT基因家族生物信息学分析及非生物逆境胁迫响应研究[J].大豆科学,2022,41(6):663-671.
- [7] 付渊迪,常菲菲,王馨曼,等.番茄响应低温胁迫的生理及分子机制研究进展[J].江苏农业科学,2024,52(21):17-24.
- [8] 冉海榕,李佳欣,傅玉凡,等.不同基因型甘薯叶片酚类质量分数及PPO,POD活性的差异[J].西南大学学报(自然科学版),2023,45(10):54-62.
- [9] 彭佳铭,屈仁军,王世威,等.丹参超氧化物歧化酶SmMSD2基因的克隆与表达分析[J].药学报,2023,58(2):454-464.
- [10] 杨林林,韩敏琦,高嘉,等.小麦超氧化物歧化酶基因家族鉴定及盐胁迫下响应锌钾的表达分析[J].山东农业科学,2023,55(8):11-20.
- [11] 刘振东,张树武,刘佳,等.美洲南瓜抗白粉品种筛选及其与生理指标的相关性[J].甘肃农业大学学报,2023,58(1):63-68.
- [12] 冯连荣,矫丽曼,张妍,等.杨叶枯病原菌生物学特性、防治药剂筛选及杨树抗病性评价[J].东北林业大学学报,2024,52(1):103-109.
- [13] 刘先超,常培丹,彭熙,等.6个平菇菌株栽培比较试验[J].食用菌,2024,46(1):24-27.
- [14] 方灵,史梦竹,韦航,等.草甘膦胁迫对茶树生理生化及次生代谢产物的影响[J].农药学报,2026,28(1):161-169.
- [15] 刘国丽,陈珣,马晓颖,等.高温胁迫对平菇亲本和杂交子菌丝生长及抗氧化酶活性的影响[J].中国食用菌,2025,44(4):58-62.
- [16] 蒋宁,骆昕,曲绍轩,等.19种农药对食用菌菌丝生长的安全性评价[J].农药科学与管理,2020,41(11):30-36.
- [17] 张智颖,邱琴,侯立娟,等.杀虫剂施用对秀珍菇和毛木耳的安全性评价[J].浙江农业学报,2025,37(8):1733-1742.
- [18] 于高波,杜康健,李贤,等.四种农药对番茄叶片抗氧化相关酶活性的影响[J].黑龙江八一农垦大学学报,2017,29(4):16-19.
- [19] 唐红霞,李玉博,张颂函,等.高效氯氰菊酯和吡丙醚在芥蓝中的残留消解及膳食暴露风险评估[J].植物保护,2024,50(1):232-238.
- [20] 李怡,李勤奋,邓晓,等.苯甲酰胺类杀虫剂降解菌的分离鉴定及其降解特性[J].应用与环境生物学报,2018,24(4):928-933.
- [21] 刘冬华,李开轩.氯虫苯甲酰胺的主要特性和使用技术[J].农药科学与管理,2025,46(5):56-58.
- [22] 张宇昊,马卫华,刘晋佳,等.亚致死剂量吡虫啉对意大利蜜蜂采集蜂免疫解毒相关基因表达和酶活性的影响[J].浙江农业学报,2023,35(3):575-581.
- [23] 张智颖,马林,曲绍轩,等.四种杀虫剂对平菇菌丝及子实体的安全性评价[J].中国瓜菜,2024,37(12):109-115.