

四种杀虫剂对平菇菌丝及子实体的安全性评价

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

(1. 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;
2. 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)

摘要:为研究除虫脲、呋虫胺、高效氯氰菊酯和氯虫苯甲酰胺4种杀虫剂对平菇菌丝和子实体生长的影响,采用拌料和喷雾两种方式对平菇进行药剂处理,使用液相色谱-质谱联用法和气相色谱法对其残留情况进行分析,并研究4种杀虫剂对蚊蝇类双翅目害虫的防治效果。结果表明,4种杀虫剂对平菇菌丝生长抑制率最高的是氯虫苯甲酰胺,达14.39%,其他3种药剂抑制率均较低。拌料处理中,100 mg·L⁻¹除虫脲和高效氯氰菊酯对平菇子实体产量的影响较小,第一潮菇的生物转化率在56%以上;喷雾处理中,100 mg·L⁻¹高效氯氰菊酯与呋虫胺对平菇产量的影响较小,第一潮菇的生物转化率在57%以上。呋虫胺对蚊蝇类双翅目害虫的防治效果最好,虫口减退率可在97.1%以上。平菇拌料处理子实体中均未检测出高效氯氰菊酯和氯虫苯甲酰胺农药残留;喷雾处理子实体中4种供试药剂均未超出残留限量。综上所述,平菇拌料处理可选用高效氯氰菊酯药剂,喷雾处理可选用呋虫胺药剂,对平菇子实体产品的安全性影响较小。

关键词:平菇;杀虫剂;菌丝;产量;安全性

中图分类号:S646.1⁴ 文献标志码:A 文章编号:1673-2871(2024)12-109-07

Evaluation of the safety of four insecticides on mycelium and substrate of *Pleurotus ostreatus*

ZHANG Zhiying^{1,2}, MA Lin², QU Shaoxuan², JIANG Ning², LI Huiping², HOU Lijuan², LIN Jinsheng², XU Ping², WANG Weixia¹, LI Fuhou¹

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

Abstract: The objective of this study is to examine the impact of four insecticides, specifically diflubenzuron, dinotefuran, beta-cypermethrin and chlorantraniliprole, on the growth of the mycelium and fruiting bodies of *Pleurotus ostreatus*. The pharmacological treatment of *P. ostreatus* employs both mixing and spraying techniques. The residues were subjected to analysis using liquid chromatography-mass spectrometry (LC-MS/MS) and gas chromatography (GC). A study was conducted to evaluate the efficacy of four insecticides against dipteran pests, specifically mosquitoes and flies. The results demonstrated that the highest inhibitory efficacy of the four insecticides on the mycelium of *P. ostreatus* was 14.39% for chlorantraniliprole. The remaining three agents exhibited lower inhibition rates. The impact of diflubenzuron in conjunction with beta-cypermethrin in the mixing treatment on the production of *P. ostreatus* substrates was found to be insignificant. The initial flush of mushrooms was subjected to a bioconversion process, resulting in a conversion rate of over 56%. The application of beta-cypermethrin and dinotefuran in spray treatments has been observed to exert a minimal influence on the yield of *P. ostreatus*. The bioconversion rate of the initial flush of mushrooms was in excess of 57%. Dinotefuran has been demonstrated to be the most effective chemical agent against mosquitoes and flies, which are classified as dipteran pests. The rate of population reduction can reach as high as 97.1%. The analysis of the treated substrates of *P. ostreatus* revealed the absence of beta-cypermethrin and chlorantraniliprole pesticide residues. Residue limits for all four insecti-

收稿日期:2024-07-11;修回日期:2024-09-05

基金项目:国家食用菌产业技术体系(CARS-20);江苏省现代农业(蔬菜)产业技术体系(JATS(2023)320)

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

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

cides tested were not exceeded in sprayed substrates. Overall, beta-cypermethrin can be used for mixing treatment of *P. ostreatus*, and dinotefuran can be used for spraying treatment. The impact on the safety of *P. ostreatus* substrate products is minimal.

Key words: *Pleurotus ostreatus*; Insecticide; Mycelium; Yield; Safety

食用菌产业在国内发展迅速,已经成为一类重要的经济作物。但在食用菌栽培过程中会频繁发生虫害,造成食用菌产业严重损失^[1-3]。平菇(*Pleurotus ostreatus*)在我国食用菌产业中占据重要地位,常见的平菇栽培方式主要是发酵料栽培,堆制发酵过程可使培养料更适宜平菇菌丝生长^[4],此过程无需高温灭菌,若菇农忽略对虫害的防治,或者采用不科学的防治措施,极易发生虫害,且以双翅目等小型害虫为主,最终降低生产效益并造成严重的经济损失^[5]。随着我国食用菌产业的快速发展,人们越来越重视食用菌的品质与安全^[6-7],不合理使用农药会导致食用菌农药残留超标^[8],使食用菌在销售和出口时受到阻碍^[9]。2023年前三季度我国共有121批次食用菌产品被美国、日本、韩国和欧盟扣留(召回),其中一个原因就是疑含农药残留或残留超标^[10]。针对陕西省835份食用菌样品进行农药残留检测分析,有262份样品检测出农药残留,共检出42种农药,其中包括36种未登记农药^[11]。目前在食用菌生产中允许使用的登记农药仅有17种,并且以杀菌剂为主^[12-13]。虫害方面缺乏适宜的农药产品,导致菇农会根据自行判断选择其他农药,导致农药残留超标。目前在平菇日常生产中极易发生的害虫主要有果蝇、跳虫、蕈蚊、线虫、蛞蝓和螨类等,其中双翅目害虫主要有异迟眼蕈蚊、平菇厉眼蕈蚊、真菌瘿蚊、短脉异蚤蝇等^[14]。危害方式主要为幼虫钻入食用菌菌袋中直接取食菌丝或培养料原基,危害部位褐色并伴有黏状物体,最终导致原基消失或菇蕾萎缩,继而感染霉菌导致菌袋污染。研究表明,在菌袋发菌期间发现有虫害时,可向菌袋内部注射菊酯类杀虫剂或敌菇虫800~1000倍液;在出菇后发生虫害时可以用20%杀灭菊酯2000~2500倍液或者阿维菌素800~1000倍液对场地进行喷洒^[15]。研究表明,对杀虫剂产生抗药性占比最高的是双翅目害虫,如淡色库蚊幼虫对氯菊酯的抗性系数达到了15.9,较之前的抗性系数增加了4.7倍^[16];家蝇已对47种化合物产生抗性;铜绿蝇已对25种化合物产生抗性^[17]。由于目前针对大多数虫害防治的主要方法还是化学防治,因此农药的选择至关重要。

目前我国在食用菌上登记的杀虫剂仅有12

种。尽管笔者拟采用的除虫脲、高效氯氰菊酯和氯虫苯甲酰胺均不在其中,呋虫胺仅在双孢蘑菇上进行登记,但这4种杀虫剂均为市场上的常规农药,具有代表性,探讨4种杀虫剂对平菇菌丝和子实体产量的影响,并对蚊蝇类等双翅目害虫的药效以及平菇产品中农药残留量进行检测,明确药剂在平菇中的残留降解效果,以期对平菇生产选用农药、施用方法等提供一定的参考,为杀虫剂在食用菌生产中推广应用提供借鉴。

1 材料与方法

1.1 材料

供试平菇菌种由江苏省农业科学院蔬菜研究所食用菌团队提供。培养料配方:84%棉籽壳、15%麸皮、1%石灰粉,含水量为65%。

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

1.2 试验方法

试验于2023年7—10月在江苏省农业科学院蔬菜研究所食用菌团队实验室进行,田间药效试验在平菇大棚内完成。

1.2.1 供试药剂拌料处理对平菇菌丝生长及产量的影响 结合除虫脲、呋虫胺、高效氯氰菊酯和氯虫苯甲酰胺在其他作物上的使用剂量和产品的推荐剂量,用清水将其配成有效成分为100、500和1000 mg·L⁻¹的3个施药剂量,用清水作对照(CK)。采用3 cm×13 cm×26 cm的聚乙烯塑料袋,每袋称取200 g干料培养料,分别与配置好的溶液搅拌均匀装袋,每处理3次重复,每次重复10袋,后续的灭菌、接种、发菌、出菇管理采用常规方法^[18]。

在培养过程中待菌丝盖面时第一次划线,以对照组长至菌袋底部的时间为准第二次划线,测量每个处理菌袋上两次划线的距离,以此距离作为菌丝的生长速度来计算供试药剂对平菇菌丝的抑制率^[19]。根据樊玉萍^[20]的采收方法对平菇第一潮菇进行采收,测定产量,并观察供试药剂拌料处理对平菇子实体产量的影响,计算平菇生物转化率^[21]。菌

丝抑制率/%=(对照菌丝生长量-处理菌丝生长量)/对照菌丝生长量 \times 100;生物转化率/%=鲜菇质量/基质干料质量 \times 100。

1.2.2 供试药剂喷雾对平菇子实体产量的影响
用清水拌料,菌丝培养与出菇管理同 1.2.1。待菌丝长满菌袋形成原基时开袋,将供试药剂配制成 100、500 和 1000 mg \cdot L⁻¹ 的溶液均匀喷雾至菌袋表面,以喷清水作为对照,产量测定与生物转化率同 1.2.1。

1.2.3 供试药剂对蚊蝇类双翅目害虫的药效测定
结合拌料处理对平菇菌丝及产量的影响,以及正常生产中喷施药剂基本不会超过最高推荐浓度,所以选取药剂有效成分为 100 和 500 mg \cdot L⁻¹ 2 个浓度进行杀虫试验。选择 9 个有蚊蝇类双翅目害虫的平菇大棚,将大棚用塑料薄膜从中平均分为 3 部分,作为 3 次重复,将 4 种供试药剂配制好溶液均匀喷洒于大棚中,每重复喷施 20 L 溶液,然后在大棚前、中、后 3 个部分分别悬挂 3 张黄色粘虫板,以喷清水作为对照,按黄板上的粘虫数为依据计算供试药剂的防治效果,并计算虫口减退率^[22]。虫口减退率/%=(防前虫数-防后虫数)/防前虫数 \times 100。

1.2.4 供试药剂残留分析
拌料处理取菌袋灭菌后、菌丝长满、一潮菇后培养料与子实体样品,喷雾处理取一潮菇后菌袋表面料、菌袋中间料与子实体样品;称取试样各 10 g 于 50 mL 塑料离心管中,加入 10 mL 乙腈及一颗陶瓷均质子,剧烈振荡 1 min,加入 4 g 无水硫酸镁、1 g 氯化钠、1 g 柠檬酸钠二水合物、0.5 g 柠檬酸二钠盐倍半水合物,振荡 1 min 后 4200 r \cdot min⁻¹ 离心 5 min,吸取上清液过微孔滤膜,按照 GB 23200.121-2021《植物源性食品中 331

种农药及其代谢物残留量的测定 液相色谱-质谱联用法》测定除虫脲、呋虫胺和氯虫苯甲酰胺农药残留^[23]。准确称取 25 g 试样放入匀浆机中,加入 50 mL 乙腈,在匀浆机中高速匀浆 2 min 后用滤纸过滤,滤液收集到装有 5~7 g 氯化钠的 100 mL 具塞量筒中,收集滤液 40~50 mL,盖上塞子,剧烈震荡 1 min,在室温下静置 30 min,使乙腈相和水相分层,按照 NY/T 761-2008《蔬菜和水果中有机磷、有机氯、拟除虫菊酯和氨基甲酸酯类农药多残留的测定 气相色谱法》测定高效氯氰菊酯农药残留^[24]。对于 4 种供试药剂处理后培养料与子实体中的药剂残留量是否超标,参照 GB 2763-2021 食品中农药最大残留限量标准进行判定^[25],呋虫胺和氯虫苯甲酰胺两种药剂在食用菌上暂无最大残留限量,以茄果类最大残留限量作为标准。

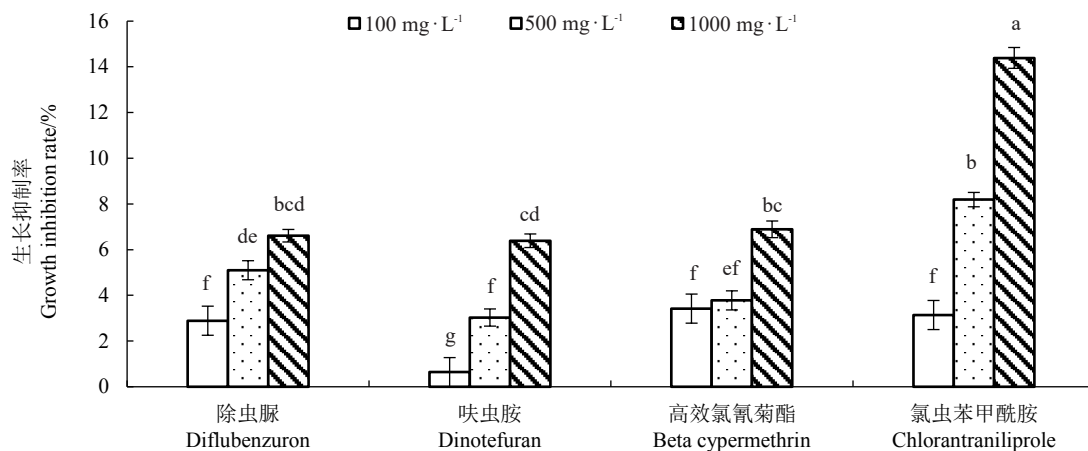
1.3 数据分析

使用 SPSS26 软件对数据进行统计分析,结果用平均值 \pm 标准差表示,采用 Duncan 法进行差异显著性分析;使用 Microsoft Excel 2024 制图。

2 结果与分析

2.1 供试药剂拌料处理对平菇菌丝生长及产量的影响

由图 1 可知,供试药剂不同有效成分浓度对平菇菌丝的生长抑制率不同,随着有效成分浓度增大,抑制作用增强。氯虫苯甲酰胺对平菇菌丝抑制作用最强,其最高浓度下对菌丝的抑制率在 14% 以上;呋虫胺对平菇菌丝的抑制作用最小,抑制率在 0.64%~6.39%,除虫脲与高效氯氰菊酯对菌丝的抑



注:不同小写字母表示处理间在 0.05 水平差异显著。

Note: Different small letters indicate significant difference among different treatments at 0.05 level.

图 1 供试药剂对平菇菌丝生长的影响

Fig.1 Effects of test agents on the growth of flat mushroom mycelium

制率均在2%~7%。由此可见,在平菇拌料中可加入呋虫胺类对平菇菌丝抑制作用较小的杀虫剂,其次可选用除虫脲与高效氯氰菊酯。

由表1可知,供试药剂拌料处理对平菇子实体产量有不同的影响,平菇产量随着药剂浓度的增大而降低。4种药剂在100 mg·L⁻¹时,除虫脲显著低于对照外,其他处理与对照无显著差异,其中除虫脲对平菇产量影响最小,转化率达到57.84%;高效氯氰菊酯在100和500 mg·L⁻¹时平菇产量均与对照无显著差异,且生物转化率在55%以上;4种药剂在1000 mg·L⁻¹时平菇产量均显著低于对照。因此从供试药剂拌料试验结果来看,选择除虫脲与高效氯氰菊酯药剂对平菇产量影响较小。

表1 供试药剂拌料处理对平菇产量的影响
Table 1 Effects of mixing treatments with test agents on the yield of *Pleurotus ostreatus*

| 供试药剂 Test preparation | $\rho/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$ | 每袋产量 Yield/(g·bag ⁻¹) | 生物转化率 Bioconversion rate/% |
|-------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|
| 除虫脲 | 100 | 115.67±12.91 a | 57.84 |
| Diflubenzuron | 500 | 109.50±15.83 b | 54.75 |
| | 1000 | 94.50±9.86 de | 47.25 |
| 呋虫胺 Dinotefuran | 100 | 108.00±10.39 b | 54.00 |
| | 500 | 100.00±7.43 cd | 50.00 |
| 高效氯氰菊酯 Beta cypermethrin | 100 | 93.50±7.21 e | 46.75 |
| | 500 | 112.83±12.30 ab | 56.42 |
| 氯虫苯甲酰胺 Chlorantraniliprole | 500 | 110.50±10.20 ab | 55.25 |
| | 1000 | 99.17±11.75 cde | 49.59 |
| CK | 100 | 110.83±11.68 ab | 55.42 |
| | 500 | 100.67±9.71 c | 50.34 |
| | 1000 | 97.33±6.79 cde | 48.67 |
| | | 115.83±9.75 a | 57.92 |

注:同列数字后不同小写字母表示差异显著($p<0.05$)。下同。

Note: Different small letters in the same column indicate significant difference ($p<0.05$). The same below.

2.2 供试药剂喷雾对平菇产量的影响

由表2可知,喷雾处理对平菇产量的影响效果不同,平菇产量随着药剂浓度的增大而降低。4种药剂在100 mg·L⁻¹处理时的平菇产量与对照均无显著差异,其中呋虫胺对平菇产量影响最小,第一潮菇生物转化率达57.59%;呋虫胺在500 mg·L⁻¹时平菇产量与对照无显著差异,其余3种药剂在500 mg·L⁻¹时的平菇产量均显著低于对照;4种药剂在1000 mg·L⁻¹时的平菇产量均显著低于对照。因此,从供试药剂喷雾处理结果来看,选择呋虫胺药剂对平菇产量影响最小。

表2 供试药剂喷雾处理对平菇产量的影响
Table 2 Effects of spray treatments with test agents on the yield of *Pleurotus ostreatus*

| 供试药剂 Test preparation | $\rho/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$ | 每袋产量 Yield/(g·bag ⁻¹) | 生物转化率 Bioconversion rate/% |
|-------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|
| 除虫脲 | 100 | 110.17±12.07 a | 55.06 |
| Diflubenzuron | 500 | 98.00±10.47 bc | 49.00 |
| | 1000 | 94.67±8.70 c | 47.34 |
| 呋虫胺 Dinotefuran | 100 | 115.17±10.79 a | 57.59 |
| | 500 | 109.33±8.17 a | 54.67 |
| 高效氯氰菊酯 Beta cypermethrin | 100 | 99.33±5.37 bc | 49.67 |
| | 500 | 114.50±12.06 a | 57.25 |
| 氯虫苯甲酰胺 Chlorantraniliprole | 500 | 103.00±11.26 b | 51.50 |
| | 1000 | 99.17±13.40 bc | 49.59 |
| CK | 100 | 112.17±13.43 a | 56.09 |
| | 500 | 97.17±17.45 bc | 48.59 |
| | 1000 | 94.33±12.58 c | 47.17 |
| | | 115.83±9.75 a | 57.92 |

2.3 供试药剂对蚊蝇类双翅目害虫的药效测定

由表3可知,呋虫胺处理的防治效果最好,在500 mg·L⁻¹时对蚊蝇类害虫的虫口减退率在97%以上,100 mg·L⁻¹时虫口减退率也达到了93.56%;其次是除虫脲,各处理浓度虫口减退率均在77%以上;高效氯氰菊酯在100 mg·L⁻¹时虫口减退率最低,只有43.16%。呋虫胺处理的虫口减退率显著高于同一有效成分浓度的除虫脲、高效氯氰菊酯和氯虫苯甲酰胺。从试验数据来看,呋虫胺的效果最好,因此可选用呋虫胺药剂来防治平菇日常生产中蚊蝇类等双翅目害虫。

表3 供试药剂对蚊蝇类双翅目害虫的药效测定
Table 3 Determination of the efficacy of test agents against Diptera pests

| 供试药剂 Test preparation | $\rho/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$ | 粘虫数 Number of sticklebacks | 虫口减退率 Decrease rate of worm mouth/% |
|-------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|--|
| 除虫脲 | 100 | 2269 | 77.22 c |
| Diflubenzuron | 500 | 1363 | 86.32 b |
| 呋虫胺 Dinotefuran | 100 | 642 | 93.56 a |
| | 500 | 289 | 97.10 a |
| 高效氯氰菊酯 Beta cypermethrin | 100 | 5662 | 43.16 e |
| | 500 | 1537 | 84.57 b |
| 氯虫苯甲酰胺 Chlorantraniliprole | 100 | 3126 | 68.62 d |
| | 500 | 1601 | 83.93 b |
| CK | | 9962 | |

2.4 供试药剂农药残留分析

2.4.1 供试药剂拌料处理的农药残留分析 由表4可知,无论用药浓度高低,随着时间延长,不同时期培养料中的农药残留量呈现降低的趋势。参照 GB 2763—2021 食品中农药最大残留限量标准,除虫脲3个浓度在子实体中的农药残留量为小于 $0.026 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,残留量均低于食用菌中农药最大残留限量标准。呋虫胺的两个中低浓度在子实体中的残留量为 $0.078\sim 0.483 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,同样低于最大残留限量,而最高浓度($1000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$)时子实体中的残

留量超出了残留限量,这可能与呋虫胺属于内吸性农药有关。根据呋虫胺在食用菌上的建议用药量为 $500 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,说明呋虫胺在拌料处理时有效成分浓度不超过说明书最大使用量,在平菇子实体中的农药残留量是符合要求的。在高效氯氰菊酯和氯虫苯甲酰胺处理后的子实体中均未检出农药残留,这两种药剂均属于非内吸性农药。从食品安全角度来看,本试验平菇拌料处理中添加高效氯氰菊酯和氯虫苯甲酰胺对食用菌产品的安全性影响较小。

表4 供试药剂拌料处理农药残留

Table 4 Pesticide residue of treatment by mixing of test agents

| 供试药剂 Test preparation | $\rho/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$ | 残留量 Residue/ $(\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})$ | | | | 最大残留限量 Maximum residue limits |
|-------------------------------|--|---|----------------------------|------------------------------|------------------|----------------------------------|
| | | 灭菌后培养料 Sterilized media | 长满菌丝培养料 Mycelial medium | 采后培养料 Post-harvest medium | 子实体 Subentity | |
| 除虫脲 Diflubenzuron | 100 | 1.684 | 1.619 | 1.135 | ND | 0.3(食用菌 Edible fungus) |
| | 500 | 2.912 | 2.076 | 1.188 | 0.023 | |
| | 1000 | 3.811 | 2.132 | 2.076 | 0.026 | |
| 呋虫胺 Dinotefuran | 100 | 7.640 | 6.887 | 0.103 | 0.078 | 0.5(茄果类 Solanaceous) |
| | 500 | 23.255 | 18.479 | 15.093 | 0.483 | |
| | 1000 | 29.603 | 27.158 | 19.792 | 0.696 | |
| 高效氯氰菊酯 Beta cypermethrin | 100 | 8.598 | 4.489 | 3.514 | ND | 0.5(食用菌 Edible fungus) |
| | 500 | 78.391 | 65.272 | 38.225 | ND | |
| | 1000 | 168.254 | 148.326 | 121.849 | ND | |
| 氯虫苯甲酰胺 Chlorantraniliprole | 100 | 0.017 | 0.015 | ND | ND | 0.6(茄果类 Solanaceous) |
| | 500 | 0.081 | 0.075 | 0.065 | ND | |
| | 1000 | 1.349 | 0.787 | 0.713 | ND | |
| CK | | ND | ND | ND | ND | |

注:ND表示低于检出限。下同。

Note:ND means below the detection limit. The same below.

2.4.2 供试药剂喷雾处理的农药残留分析 由表5可知,平菇喷雾农药残留数据结果表明, $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的除虫脲和不同浓度处理的高效氯氰菊酯在菌袋中间部位的培养料中未检测出农药残留,说明除虫脲和高效氯氰菊酯向下渗透的程度较低;而另两种药剂在菌袋中间部位均检测出农药残留,说明呋虫胺和氯虫苯甲酰胺向下渗透的能力较强。4种供试药剂对菌袋进行喷雾处理后,除了 $100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 高效氯氰菊酯子实体中未检出农药残留外,其他处理的子实体中都检测出农药残留,但都低于食品安全国家标准限量,药剂残留量从高到低为氯虫苯甲酰胺>高效氯氰菊酯>呋虫胺>除虫脲。

3 讨论与结论

笔者采用喷雾和拌料处理两种方法测定平菇

子实体及培养料中农药残留情况。本试验的喷雾处理是在子实体形成前喷施4种农药,对菌袋中子实体的形成及后期生长未产生影响,且子实体中的农药残留均未超出残留限量。本试验中除了低浓度的高效氯氰菊酯外,其余药剂的不同处理浓度对蚊蝇类等双翅目害虫的防治效果均较好,其中低浓度的高效氯氰菊酯效果不好的原因与该试验场地长期使用菊酯类药物,使害虫对菊酯类药物产生了抗药性有关。目前国内对这几种杀虫剂在其他虫害防治方面也有报道,研究表明,用2000倍的25%的除虫脲喷洒料面可有效驱避发菌期成虫产卵和消灭料内幼虫^[26];4.5%高效氯氰菊酯对黑粪蚊有较好的防治效果^[27]。

农药拌料栽培中高效氯氰菊酯和氯虫苯甲酰胺3个浓度处理后的子实体中均未检出农药残留,

表5 供试药剂喷雾处理农药残留

Table 5 Pesticide residues from spray treatments of test agents

| 供试药剂 Test preparation | $\rho/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$ | 残留量 Residue/($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) | | | 最大残留限量 Maximum residue limits |
|-------------------------------|--------------------------------------|--|--|------------------|----------------------------------|
| | | 菌袋表面料 Fungus bag surface material | 菌袋中间位置料 Fungus bag middle position material | 子实体 Subentity | |
| 除虫脲 Diflubenzuron | 100 | 0.308 | ND | 0.062 | 0.3(食用菌 Edible fungus) |
| | 500 | 0.313 | 0.043 | 0.076 | |
| | 1000 | 0.318 | 0.312 | 0.102 | |
| 呋虫胺 Dinotefuran | 100 | 0.614 | 0.576 | 0.116 | 0.5(茄果类 Solanaceous) |
| | 500 | 0.627 | 0.593 | 0.136 | |
| | 1000 | 0.634 | 0.594 | 0.157 | |
| 高效氯氰菊酯 Beta cypermethrin | 100 | ND | ND | ND | 0.5(食用菌 Edible fungus) |
| | 500 | ND | ND | 0.272 | |
| | 1000 | 0.475 | ND | 0.378 | |
| 氯虫苯甲酰胺 Chlorantraniliprole | 100 | 0.664 | 0.549 | 0.323 | 0.6(茄果类 Solanaceous) |
| | 500 | 0.672 | 0.556 | 0.434 | |
| | 1000 | 0.674 | 0.587 | 0.445 | |
| CK | | ND | ND | ND | |

说明拌料处理中添加高效氯氰菊酯和氯虫苯甲酰胺对食用菌产品的安全性影响较小。研究表明,将高效氯氰菊酯加水稀释 750 倍后与培养料混合均匀,在子实体中未检测出农药残留^[28]。从本试验看,子实体中未检出高效氯氰菊酯和氯虫苯甲酰胺残留,其原因与这两种药剂不属于内吸性农药有关,而除虫脲和呋虫胺则属于内吸性农药,子实体中均检测出农药残留,从拌料处理农药残留结果可看出,高温高压灭菌过程中 4 种药剂都产生一定程度的分解,这主要与农药随着温度的升高从而加速分解有关。研究表明,拌料法中平菇菌丝对除虫脲和高效氯氰菊酯的敏感性较低,且从供试药剂拌料处理对平菇产量的影响试验来看,这两种药剂对产量影响较小^[29]。从拌料处理农药残留结果可以看出,高效氯氰菊酯拌料处理后的平菇子实体中均未检测出农药残留,但在培养料中却检测出较高的残留量,可能与该药剂不属于内吸性农药有关,但在不同的培养料配方中,或者不同的食用菌品种中是否也是同样的结果还需要进一步研究。

综上所述,从喷雾杀虫试验、药剂对平菇产量影响及农药残留量检测结果来看,将有效成分为 $100\sim 500\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的呋虫胺药剂喷洒于菌袋表面或大棚中既能有效防治蚊蝇类等双翅目害虫,又对平菇产量的影响较小。从拌料处理中菌丝抑制试验、药剂对平菇产量的影响及农药残留检测结果来看,平菇拌料处理中最适宜加入高效氯氰菊酯,在有效成

分质量浓度不超过 $1000\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 时对平菇子实体安全性影响较小。

参考文献

- [1] 中国食用菌协会. 2022 年度全国食用菌统计调查结果分析[J]. 中国食用菌, 2024, 43(1): 118-126.
- [2] 马林, 顾鲁同, 曲绍轩, 等. 食用菌虫害防控研究进展[J]. 环境昆虫学报, 2024, 46(2): 332-340.
- [3] 田丹梅, 刘起林, 高康, 等. 中国省际食用菌产业集聚及空间差异化研究[J]. 北方园艺, 2024(7): 139-146.
- [4] 曹娜, 王祎璠, 陈青君, 等. 平菇培养料不同处理工艺的理化性质与微生物菌群动态[J]. 应用与环境生物学报, 2022, 28(3): 705-711.
- [5] 刘伟, 蔡英丽, 何培新, 等. 羊肚菌栽培的病虫害发生规律及防控措施[J]. 食用菌学报, 2019, 26(2): 128-134.
- [6] 毛瑞男, 邢浩特. 大食物观下我国粮食安全保障路径研究[J]. 学习与探索, 2024(2): 127-135.
- [7] ZHENG C M, LI J Q, LIU H G, et al. Review of postharvest processing of edible wild-grown mushrooms[J]. Food Research International, 2023, 173(1): 113223.
- [8] 刘婷婷, 李春青, 王娟娟, 等. 我国食用菌农药残留现状及检测技术研究[J]. 农药科学与管理, 2023, 44(9): 25-29.
- [9] 张琼. 我国食用菌出口遭遇贸易壁垒的困境与破解对策[J]. 产业与科技论坛, 2020, 19(6): 11-12.
- [10] 佚名. 2023 年前三季度我国 121 批次出口食用菌产品被扣留(召回)[J]. 食用菌, 2023, 31(6): 409.
- [11] 李嘉, 王舒婷, 吴晓红, 等. 陕西省食用菌农药残留膳食摄入风险评估研究[J]. 西北园艺(综合), 2023(6): 49-54.
- [12] 尹硕, 吴迪, 罗雪婷, 等. 我国食用菌用农药登记情况及残留限量标准现状分析[J]. 农产品质量与安全, 2023(4): 104-109.
- [13] 边银丙, 肖扬, 郭孟配. 食用菌病害防控研究进展[J]. 食用菌学

- 报,2021,28(5):121-131.
- [14] 李建波,何璞.我国食用菌双翅目害虫种类和防治研究现状[J].中国植保导刊,2017,37(11):19-25+37.
- [15] 赵玲丽.无公害平菇病虫害防治技术[J].乡村科技,2016(13):25.
- [16] 房魏,柳文进,王海玲,等.北京台湖地区淡色库蚊对3种常用杀虫剂的抗药性及*kdr*基因多态性研究[J].中国国境卫生检疫杂志,2015,38(1):30-32.
- [17] 何秀玲.害虫抗药性研究与治理状况概述[J].世界农药,2013,35(5):34-38.
- [18] 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.
- [19] 陈强,刘子语,王国红,等.4种农药对秀珍菇虫害防治及产品安全性影响的研究[J].中国园艺文摘,2016,32(5):40-43.
- [20] 樊玉萍,杨凤仙,张姣,等.木醋鱼蛋白对平菇菌丝生长及产量影响研究[J].食用菌,2023,45(5):15-17.
- [21] 冯小飞,赵宁,孙紫宇,等.利用天麻废弃菌材栽培3种食用菌的试验[J].西南林业大学学报(自然科学),2020,40(4):163-168.
- [22] 雷雨霞,李红玉,李蝶,等.四种杀虫剂对异迟眼蕈蚊的防治效果[J].北方园艺,2016(8):108-111.
- [23] 中华人民共和国国家卫生健康委员会,中华人民共和国农业农村部,国家市场监督管理总局.食品安全国家标准 植物源性食品中331种农药及其代谢物残留量的测定 液相色谱-质谱联用法:GB 23200.121-2021[S].北京:中国农业出版社,2021.
- [24] 中华人民共和国农业部.蔬菜和水果中有机磷、有机氯、拟除虫菊酯和氨基甲酸酯类农药多残留的测定:NY/T 761-2008[S].北京:中国农业出版社,2008.
- [25] 中华人民共和国国家卫生健康委员会,中华人民共和国农业农村部,国家市场监督管理总局.食品安全国家标准 食品中农药最大残留限量:GB 2763-2021[S].北京:中国标准出版社,2022.
- [26] 刘长虹.菇蚊蚤蝇综合防控[J].天津农林科技,2013(5):12.
- [27] 李怡萍,孙立娟,刘亚娟,等.八种杀虫剂对黑粪蚊的防治效果及残留分析[J].植物保护学报,2009,36(3):261-267.
- [28] 樊中臣,唐俊,操海群,等.平菇及其培养料中5种拟除虫菊酯类农药的残留消解动态[J].食品科学,2013,34(11):41-44.
- [29] 李红玉,李蝶,邵凡旭,等.四种农药对平菇菌丝和子实体性状的影响[J].北方园艺,2015(16):134-139.