

基于负压通风的多杀霉素粉剂实仓喷施工工艺研究

薛丁榕¹, 孙为伟¹, 王超¹, 方治², 潘俊², 李倩倩¹, 伍祎^{1,3*}

1. 国家粮食和物资储备局科学研究院, 粮食储运国家工程研究中心, 北京 100037

2. 张家港市粮食购销总公司, 江苏 张家港 215626

3. 河南粮食作物协同创新中心, 仓储害虫防控技术创新中心, 河南 郑州 450001

摘要:多杀霉素是控制储粮害虫的有效杀虫剂,为了加快其在实仓中简便、高效应用,研究基于负压通风的多杀霉素粉剂在实仓中的喷施工工艺。通过分析风机通风参数、施药均匀性,比较基于负压通风和表面拌粮两种施药工艺对多杀霉素在粮仓中穿透深度和对4种主要储粮害虫的致死作用。结果表明:在负压通风的风机平均风速为7.57 m/s、30 min内完成仓容1329 t的整仓通风条件下的多杀霉素粮堆表层喷施,施药量30 kg;与表面拌粮施药工艺相比,基于负压通风喷施工工艺的粉剂穿透深度普遍达45 cm,甚至可达105 cm,更易穿透粮堆;施药能有效控制虫笼中长角扁谷盗、谷蠹、玉米象和赤拟谷盗4种储粮害虫成虫,21 d时校正死亡率最高可达92.4%。基于负压通风的多杀霉素粉剂喷施工工艺具有操作简便、人工成本低、防虫效果好等优势,具有实仓应用可行性,研究结果为实仓多杀霉素防治储粮害虫提供了技术支持。

关键词:负压通风;多杀霉素;实仓;喷施工工艺;储粮害虫

中图分类号:TS210

文献标志码:A

文章编号:1673-2383(2022)05-0102-06

DOI:10.16433/j.1673-2383.2022.05.014

Field trial on distribution of spinosad powder in grain bulk applied by vacuum ventilation in warehouse

XUE Dingrong¹, SUN Weiwei¹, WANG Chao¹, FANG Zhi², PAN Jun², LI Qianqian¹, WU Yi^{1,3*}

1. National Engineering Research Center of Grain Storage and Logistics, Academy of National Food and Strategic Reserves Administration, Beijing 100037, China

2. Zhangjiagang Grain Purchase and Sale Corporation, Zhangjiagang 215626, China

3. Henan Grain Cooperative Innovation Center, Stored Grain Pests Control Technology Innovation Center, Zhengzhou 450001, China

Abstract: Spinosad that has the advantages of high insecticidal efficiency, safety to non-target organisms, and low residue is a secondary metabolite produced by *Saccharopolyspora spinosa*. It is an effective insecticide to control stored grain pests. At present, the application of spinosad in warehouse mainly adopts the process of insecticide mixed with surface grain (mixed process), but it is time-consuming and labor-intensive. Therefore, the application of spinosad is restricted in warehouse. In order to speed up the simple and efficient application of spinosad in warehouse, this work studied the spraying process of spinosad powder in warehouse based on the vacuum ventilation (spraying process) by analyzing the ventilation parameters, the homogenization and penetration depth of spinosad in warehouse, and the mortality of four kinds of main stored grain pests (*Cryptolestes pusillus*, *Rhyzopertha dominica*, *Sitophilus zeamais* and *Tribolium castane-*

收稿日期:2022-04-27

基金项目:国家粮食和物资储备局科学研究院资助项目(JY2102;JY2003)

作者简介:薛丁榕(1990—),女,山西长治人,博士,助理研究员,研究方向为储粮害虫综合治理机理与技术。

*通信作者:伍祎,博士,副研究员,E-mail:wuyi@ags.ac.cn。

um)。The results showed that the average wind speed of the fan was 7.57 m/s, and the whole warehouse with a storage capacity of 1 329 tons could be sprayed by spinosad within 30 minutes using spraying process. The total dosage of spinosad was 30 kg. The weights of spinosad powder in the disks near the insecticide spray points (A, G and K) were higher than the others. Otherwise, the spinosad powder was evenly distributed elsewhere on the surface. Compared to the mixed process, the penetration depth of spinosad using spraying process can be generally up to 45 cm and even reached 105 cm, which indicated that the spraying process was easier to penetrate grain pile for spinosad powder. At 7 days, the corrected mortality of four kinds of pests in the warehouse using spraying process was lower than that of mixed process. However, the corrected mortality of *Sitophilus zeamais* and *Tribolium castaneum*, higher than 89.5%, had no significant difference between the two warehouses using mixed process and spraying process at 21 days. In order to further optimize the application process based on vacuum ventilation and improve the homogenization distribution of the spinosad in horizontal and vertical planes, factors such as fan power, insecticide spray point setting, ambient temperature and humidity, and the size of warehouse should be taken into account. Since the advantages of simple operation, low labor cost and promising effect of pest control, it is feasible to apply spinosad by vacuum ventilation. This study laid a foundation for further application of spinosad in warehouse to control stored grain pests.

Key words: vacuum ventilation; spinosad; warehouse; spraying process; stored grain pests

多杀霉素又名多杀菌素 (spinosad), 是一种微生物源杀虫剂, 由土壤放线菌刺糖多孢菌 (*Saccharopolyspora spinosa*) 经有氧发酵产生的胞内次级代谢产物^[1]。多杀霉素是昆虫的神经毒剂, 具有触杀和胃毒作用, 杀虫机制主要是通过变构拮抗烟碱型乙酰胆碱受体, 刺激昆虫神经系统, 导致非功能性肌肉收缩、震颤、麻痹而死亡^[2]。多杀霉素具有对靶标害虫高效、对非靶标生物安全、残留低、降解快和与现存化学药剂无交互抗性等优点^[3-4]。多杀霉素主要的降解方式是光降解和土壤微生物降解^[5], 在避光缺氧的储粮条件下稳定, 而出仓后遇光易降解, 因此适合作为储粮保护剂。近年来随着对多杀霉素在储粮害虫防效效果、初步实仓应用以及浓度检测技术方面的研究开展^[6-9], 其已成为新型绿色粮食保护剂而逐步应用。

储粮害虫是导致粮食数量损失和品质下降的重要因素, 威胁着粮食储藏安全。谷蠹 (*Rhyzopertha dominica* (Fabricius))、玉米象 (*Sitophilus zeamais* Motschulsky) 是危害粮食的重要蛀食性害虫, 长角扁谷盗 (*Cryptolestes pusillus* (Schönherr)) 和赤拟谷盗 (*Tribolium castaneum* (Herbst)) 是粉食性害虫, 这 4 种主要储粮害虫危害严重、易爆发、抗性强, 造成严重的经济损失^[10-11]。实验室试验和表面拌粮实仓试验表明多杀霉素对谷蠹、玉米象、赤拟谷盗和扁谷盗类害虫具有较好的杀灭作用^[12-14], 但在实仓应用中, 表面拌粮操作复杂, 需要大量人力、物力的投入, 因此在一定程度

上制约了多杀霉素在粮食行业中推广应用。

负压通风是利用实仓的机械通风系统, 在粮堆下方通风口处通过风机抽风, 在粮堆下层形成负压状态, 使外界气体在压力差作用下, 从粮堆表面沿着粮堆中的孔隙穿过粮层, 从而改变粮堆内部气体介质, 调整粮堆温度、湿度等, 具有降温通风、保质减损、预防结露的作用, 达到保障粮食安全储藏的目的^[15]。近几年来, 负压通风常与微小防虫粉剂联合使用, 在实仓通风设备基础上, 结合喷粉机喷施粉剂, 达到简化施药工艺, 提高施药均匀性和降低劳动成本的目的^[16-18]。

本研究分析了风机通风参数、施药均匀性, 并与表面拌粮施药工艺比较了粮仓中药剂分布和对 4 种主要储粮害虫死亡率的影响, 基于负压通风的多杀霉素粉剂实仓喷施工工艺, 为实仓中开发简便、高效应用多杀霉素防治储粮害虫奠定了基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 供试昆虫

长角扁谷盗采集于北京, 以 m (全麦粉): m (燕麦片): m (酵母) = 10:10:1 均匀混合配成饲料饲养; 谷蠹采集于福建漳州, 以小麦粒饲养; 玉米象采集于江苏盐城, 以小麦粒饲养; 赤拟谷盗采集于山东淄博, 饲料与长角扁谷盗相同。以上

4 种储粮害虫均属昆虫纲鞘翅目昆虫,在 27 ℃、RH 70% 的黑暗环境下进行饲养,试虫均由本实验室提供。

1.1.2 试验仓基本情况

试验仓为张家港市粮油购销总公司 15 号仓和 26 号仓,均为高大平房仓,仓房规格 20.5 m×14.5 m,粮堆高度 6.05 m,仓容 1 329 t,储藏 2020 年入仓的晚粳稻,安装有机械通风设备。

1.1.3 主要的药剂及仪器

0.5% 多杀霉素粉剂:北京三浦百草绿色植物制剂有限公司;试虫虫笼:自制;智能型热线风速仪:沈阳加野科学仪器有限公司;TP4/8 比托管:北京百奥凯密科技有限公司;KASEI 3F-30 喷粉机:山东华盛中天科赛有限公司;Agilent 1260 高效液相色谱仪:安捷伦科技有限公司;HPP750 恒温恒湿培养箱:德国美墨尔特公司。

1.2 试验方法

1.2.1 试验仓施药方法

15 号仓:粮仓负压通风稳定后,在持续负压通风的情况下,利用喷粉机在监测点 4、仓门位置和监测点 5(图 1)进行粮面喷施多杀霉素粉剂,施药量分别为 15、10、5 kg,耗时 30 min,施药结束后继续通风 15 min。

26 号仓:采用粮面 30 cm 混匀拌粮施用多杀霉素粉剂的方法,施药 30 kg。

1.2.2 试验仓虫笼放置

试验仓布有 5 个监测点(图 1),每个监测点在距粮面 15 cm 及 30 cm 处分别放置虫笼。施药结束后,将对应位置的少许粮食装入虫笼中,再选取健壮的长角扁谷盗、谷蠹、玉米象和赤拟谷盗各 50 头试虫放入并封口,将虫笼埋入各仓监测点的对应位置处。

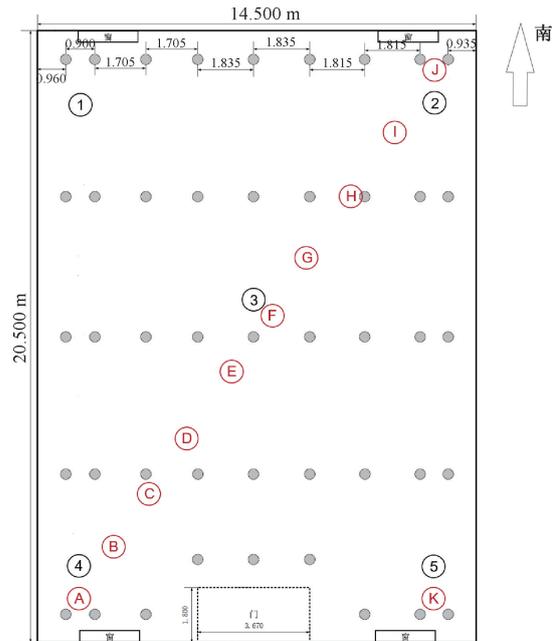
由于实仓在储存粮食时都需进行药剂处理,因此对照组的虫笼放置在与试验仓相同温度、湿度条件的培养箱中饲养。

1.2.3 负压通风风机参数测定

实仓中负压通风的基础参数影响多杀霉素粉剂喷施均匀性,为了准确评估喷施工艺中粮面及粮层喷施的均匀性,对 15 号试验仓的风机通风参数和表面风速进行测定。

1.2.3.1 风机通风参数的测定

在 15 号仓的 2 个通风口(靠近门一侧的两个窗户下方)设置长 1.7 m,直径 570 mm 测试管。测试管一端与通风口连接,一端与风机连接。在测试管离风道口一端 1.0 m 截面(测试截



注:●为表观风速的测定点;监测点 1—5 为药剂量测定点和虫笼监测位置;A—K 为多杀霉素喷施粮面均匀性检查圆盘放置点。

图 1 粮堆表面风速测定点、监测点以及检查圆盘放置点示意图

Fig. 1 Schematic diagram of the measuring locations of wind speed, the monitoring locations and the inspection disk locations on the surface of the grain pile

面)处上方和水平方向各开一个直径 12 mm 的圆形测试孔;在垂直和水平方向各设 7 个测试点,测点位置参数参考分环法测量规定。风机稳定 30 min 后,用智能型热线风速仪采用分环法测量通风系统的风速^[19]。

1.2.3.2 粮面表面风速的测定

15 号仓一侧通风口连接测试管和风机,形成从粮面上方到粮堆底部穿过粮堆内部的稳定气流,通过 50 倍圆锥形集风筒和叶轮式风速仪测定监测点表面风速。根据粮面形状和仓房已布置的地上支风道位置设置风速监测点,分别在支风道上、支风道之间和距墙面 1.0 m 处布点,布点位置见图 1 中灰色实心圆点。风机稳定 30 min 后,用叶轮式风速仪测定每个测定点上集风筒口的风速,记录数据。计算平均表面风速和表面风速均匀度^[20]。

1.2.4 负压通风粮面喷施均匀性检查

在 15 号仓粮面对角线均匀放置 10 个(A—J)直径为 90 mm 的检查圆盘,同时在靠门一侧角落位置设置第 11 个检查点(K),布点位置见图 1,用以收集喷施 24 h 内各点的多杀霉素粉剂。

1.2.5 粮堆多杀霉素药剂浓度的检测

为了分析试验仓中不同位置垂直方向多杀霉素的浓度,在 5 个监测点(图 1)垂直设置 5 个深度,分别为距粮面 15、30、45、75、105 cm,药剂施用结束 1 个月后进行抽样检测。检测方法参照 GB/T 20769—2008《水果和蔬菜中 450 种农药及相关化学品残留量的测定——液相色谱-串联质谱法》和文献[21],简要步骤如下:称取 500 g 不同位点的粮食样品于 1 000 mL 锥形瓶中,加 750 mL 甲醇,超声提取 30 min,过滤,将滤液旋蒸至 5 mL,10 000 r/min 离心 10 min,用 0.22 μm 的有机滤膜过滤后即可用于液相色谱串联质谱测定;采用外标——校准曲线法定量测定,定量标准曲线采用基质混合标准工作溶液。

1.2.6 害虫死亡情况检查

定期检查每个虫笼中的 4 种害虫各 50 头成虫个体的死亡情况,记录各虫种的死亡数量。计算害虫死亡率和校正死亡率。

$$\text{死亡率} = \frac{\text{死亡虫数}}{50} \times 100\%, \quad (1)$$

$$\text{校正死亡率} = \frac{\text{处理死亡率} - \text{对照死亡率}}{100 - \text{对照死亡率}} \times 100\%。 \quad (2)$$

1.3 数据处理

利用 Excel 计算平均值和标准差,采用 DPS 数据处理系统的 Fisher 最小显著差异(LSD)检验对数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 负压通风参数测定结果

在负压持续通风 30 min 的情况下,15 号仓各通风参数基本稳定。风机平均风速 7.57 m/s,系统总风量 13 900.26 m³/h,单位通风量 13.00 m³/(h·t),粮面平均表观风速 0.021 1 m/s,粮面表观风速均匀度达到 75% 以上。根据风机通风参数测定结果,粮面表观风速均匀度较低说明风机功率过大,若降低风机功率,减小风速,可提高粮面表面均匀度,有利于药剂的均匀喷施。

2.2 基于负压通风喷施多杀霉素的粮面均匀性分析

基于 15 号仓的负压通风设备,在 30 min 内完成了监测点 4、仓门位置和监测点 5 的药剂喷施,且粮仓空间内基本无药剂粉粒分布。为了检测药剂喷施表面均匀性,喷施时在粮面 A—K 位

置的 11 个检查点用圆盘收集药剂,其中监测点 4 离 A 最近,施药 15 kg;仓门位置离 K 最近,施药 10 kg;监测点 5 离 G 最近,施药 5 kg,多杀霉素粉剂在各点采集结果见图 2,结果表明:在施药点附近的检查点 A、G 和 K 处,粮面收集的药剂相对更多;在从 A 到 F 点以及从 G 到 J 点收集到的药剂量均逐步减少;施药点施药量直接影响均匀度的分布。药剂在粮面除 A、G 和 K 点外,收集药剂量平均值达到 0.2 g。因此,采用负压通风工艺和喷粉机喷施多杀霉素,要充分考虑施药点和施药量的分布,可通过移动式或多点设置喷粉机有效解决均匀施药问题。

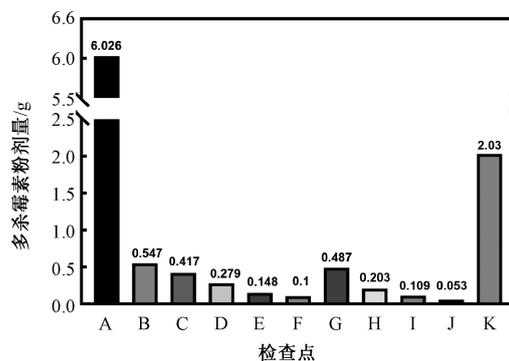


图 2 粮面检查点多杀霉素粉剂量
Fig. 2 Weight of spinosad powder in inspection disk location

2.3 基于负压通风喷施多杀霉素的粮堆药剂浓度分析

喷施多杀霉素 1 个月后,抽取粮仓 5 个监测点 5 个不同深度位置的粮食,检测多杀霉素药剂在粮堆垂直方向的浓度情况(图 3)。根据检测结果,15 号仓中多杀霉素药剂普遍能达到距粮面 45 cm 处,在离通风口较远的监测点 1—3,药剂浓度从表层到粮堆内部依次减少,在距离粮面 45 cm 处仍可达到 0.1 mg/kg,说明借助负压通风能有效将多杀霉素粉剂吸入害虫常发粮层。离通风口较近的监测点 4 药剂浓度在深度 30 cm 处浓度最高,甚至比深度为 15 cm 处浓度还高。在通风口附近的监测点 4 和 5 的药剂可以达到 105 cm 的深度,表明通风口附近穿透深度大。监测点 4 多杀霉素总量最大,达到 6.18 mg/kg,这与表面均匀性检查在 A 点收集量最高的结果一致,表明施药点附近的药剂量在水平和垂直方向均最多。在仓型相同的 26 号仓采用试制的粮面拌合器进行拌合,监测点 3 多杀霉素含量在 15 cm 处浓度最高,其余监测点在深度 30 cm 处

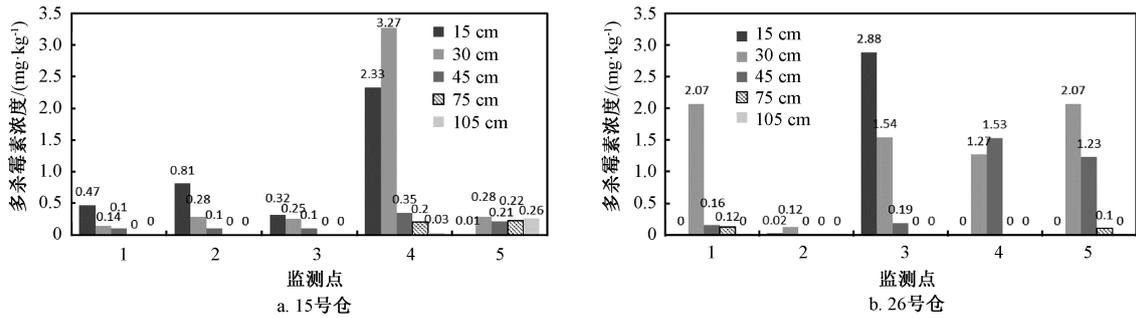


图3 施药1个月后仓粮堆中多杀霉素分布

Fig. 3 Distribution of spinosad in grain pile after one month of application

浓度最高,但药剂均无法达到 105 cm,表明药剂主要分布在拌粮的 30 cm 处,很难穿透分布在粮堆深处。

2.4 基于负压通风喷施多杀霉素对害虫的防治效果

为了进一步评估多杀霉素的施药工艺,检测 15 号和 26 号仓多杀霉素粉剂施用后对 4 种储粮害虫的杀灭作用。施药后将虫笼分别放置在 5 个监测点距离粮面 15 cm 和 30 cm 的位置。放置虫笼 7 d 和 21 d 时,检查害虫的死亡情况,计算害虫的校正死亡率(图 4)。由图 4 可知,15 号仓的长角扁谷盗、谷蠹、玉米象和赤拟谷盗 7 d 时校正死亡率分别为 79.5%、62.2%、47.5% 和 61.2%,放置虫笼 21 d 时,4 种害虫的校正死亡率分别升高至 85.0%、62.8%、89.5% 和 92.4%,其中玉米象和赤拟谷盗的校正死亡率显著增多。采用表面拌粮法的 26 号仓的 4 种害虫在 7 d 和 21 d 时的校正死亡率均在 96.1% 以上。施药 21 d 时,玉米象和赤拟谷盗的校正死亡率在 15 号仓和 26 号仓中无显著性差异。试验结果表明,基于负压通风和表面拌粮两种多杀霉素粉剂施用工艺在实仓中对害虫都具有显著的毒杀作

用,7 d 时表面拌粮施药工艺的杀虫效果优于基于负压通风的喷施工工艺,但玉米象和赤拟谷盗在施药 21 d 时效果无显著性差异。

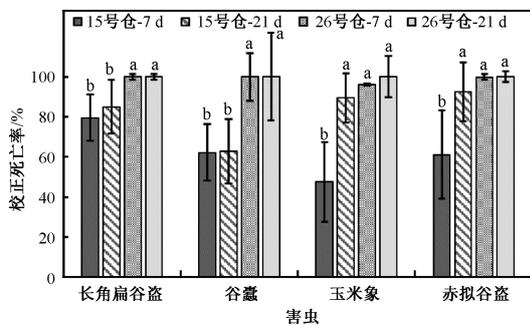
3 讨论与结论

本研究结果表明,采用负压通风联合喷粉机喷施多杀霉素粉剂,药剂在粮面和内部均有分布,对于 4 种害虫有显著的毒杀作用,对储粮起到保护作用,具有实仓应用可行性。目前对于多杀霉素在实仓中的应用多采用表面拌粮法^[22-24],通过与表面拌粮法比较,基于负压通风的多杀霉素粉剂实仓喷施工工艺的操作简单便捷,在 30 min 内完成整仓施药,无须在粮仓中增加设备,所需人工成本低,具有较好的实仓应用前景。

基于负压通风喷施多杀霉素粉剂,在粮面平均表观风速为 0.021 1 m/s,粮面表观风速均匀度达到 75% 以上时,水平方向上能覆盖整个粮面,在垂直方向上普遍能达到 45 cm 处,在水平和垂直方向上均匀度受施药点和施药量的影响,后期改进应考虑仓房大小,设施合理的风机功率,多点喷施或移动喷施,有效解决均匀性问题,以提高高大平房仓防治效果,减少用药量。

两种施药工艺施用多杀霉素对长角扁谷盗、谷蠹、玉米象和赤拟谷盗 4 种主要储粮害虫的防治效果存在一定差异,但 21 d 时害虫的校正死亡率都达到 62.0% 以上,均能产生明显的毒杀效果。7 d 时表面拌粮法的防治效果优于基于负压通风喷施的防治效果,但 21 d 时两种施药工艺对于玉米象和赤拟谷盗的毒杀效果无显著性差异,校正死亡率达到 89.0% 以上。因此,基于负压通风的多杀霉素粉剂喷施工工艺应用于实仓中能有效控制储粮害虫。

本试验所用风机和设置参数为试验仓通风



注:不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。

图4 储粮害虫的校正死亡率

Fig. 4 Corrected mortality of stored grain pests

降温时默认设置,功率较大,而且,仓外环境温度、湿度未在通风的理想参数范围内。因此,在采用负压通风施用多杀霉素时,可结合冬季通风降温蓄冷,采用小功率风机,在降低能耗的同时,还能有效提高施药均匀性,将粮仓的降温和防护剂控虫有效结合起来。总之,为了进一步优化基于负压通风的多杀霉素施药工艺,改善药剂在水平面和垂直面分布的均匀性,应综合考虑风机功率、施药点设置、外界温湿度以及粮仓大小等因素,提高负压通风施用多杀霉素在实仓应用效果。

参考文献:

- [1] MERTZ F P, YAO R C. *Saccharopolyspora spinosa* sp. nov. isolated from soil collected in a sugar mill rum still [J]. International journal of systematic bacteriology, 1990, 40 (1): 34-39.
- [2] SALGADO V L. Studies on the mode of action of spinosad: insect symptoms and physiological correlates [J]. Pesticide biochemistry and physiology, 1998, 60(2): 91-102.
- [3] 吴若旻. 多杀菌素对几种储粮害虫的作用效果研究 [D]. 郑州: 河南工业大学, 2010.
- [4] CRANE D M, LAMERE C A, MOON R D, et al. Efficacy and nontarget effects of a spinosad-based larvicide in Minnesota vernal pools and cattail marshes [J]. Journal of the American mosquito control association, 2021, 37(3): 125-131.
- [5] 史雪岩. 多杀菌素类杀虫剂的环境降解及抗性机制研究进展 [J]. 农药学学报, 2018, 20(5): 557-567.
- [6] 张从宇, 王国万, 汪正雄, 等. 多杀菌素在实仓中的应用试验 [J]. 粮油仓储科技通讯, 2015, 31(1): 37-38, 46.
- [7] RUMBOS C I, DUTTON A C, ATHANASSIOU C G. Insecticidal effect of spinetoram and thiamethoxam applied alone or in combination for the control of major stored-product beetle species [J]. Journal of stored products research, 2018, 75: 56-63.
- [8] SAMMANI A M P, DISSANAYAKA D M S K, WIJAYARATNE L K W, et al. Effect of pheromones, plant volatiles and spinosad on mating, male attraction and burrowing of *Cadra cautella* (Walk.) (Lepidoptera: Pyralidae) [J]. Insects, 2020, 11(12): 845.
- [9] 吴若旻, 王殿轩, 陈吉汉, 等. 3种生物源物质及甲基嘧啶硫磷对3种储粮害虫的毒力比较 [J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2010, 31(2): 28-31.
- [10] HUBERT J, STEJSKAL V, ATHANASSIOU C G, et al. Health hazards associated with arthropod infestation of stored products [J]. Annual review of entomology, 2018, 63: 553-573.
- [11] NAYAK M K, DAGLISH G J, PHILLIPS T W, et al. Resistance to the fumigant phosphine and its management in insect pests of stored products: a global perspective [J]. Annual review of entomology, 2020, 65: 333-350.
- [12] 王晶磊, 肖雅斌, 高洪涛, 等. 多杀菌素及其多杀菌素复配剂实仓防虫效果初探 [J]. 粮食与食品工业, 2014, 21(5): 81-84, 91.
- [13] VÉLEZ M, BOTINA L L, TURCHEN L M, et al. Spinosad-and deltamethrin-induced impact on mating and reproductive output of the maize weevil *Sitophilus zeamais* [J]. Journal of economic entomology, 2018, 111(2): 950-958.
- [14] WIJAYARATNE L K W, RAJAPAKSE R H S. Effects of spinosad on the heat tolerance and cold tolerance of *Sitophilus oryzae* L. (Coleoptera: Curculionidae) and *Rhyzopertha dominica* F. (Coleoptera: Bostrichidae) [J]. Journal of stored products research, 2018, 77: 84-88.
- [15] 丁希华, 陈正兴, 俞龙文, 等. 负压通风、内环流控温保粮技术运用试验 [J]. 粮油仓储科技通讯, 2018, 34(3): 3-8.
- [16] 郑颂, 张振军, 方江坤, 等. 高大平房仓惰性粉多向施用工艺研究 [J]. 粮食科技与经济, 2015, 40(6): 42-44.

- overview of the applications of nanomaterials and nanodevices in the food industry [J]. *Foods*, 2020, 9(2): 148.
- [40] JAGADEESAN B, GERNER-SMIDT P, ALLARD M W, et al. The use of next generation sequencing for improving food safety: translation into practice [J]. *Food microbiology*, 2019, 79: 96-115.
- [41] PORTE L, GARCÍA P, BRAUN S, et al. Head-to-head comparison of Microflex LT and Vitek MS systems for routine identification of microorganisms by MALDI-TOF mass spectrometry in Chile [J]. *PLoS one*, 2017, 12(5): e0177929.
- [42] STEVENSON M, PANDOR A, MARTYN-ST JAMES M, et al. *Sepsis*: the lightcycler sepsifast test mgrade[®], sepsitest? and iridica bac bsi assay for rapidly identifying blood-stream bacteria and fungi-a systematic review and economic evaluation [J]. *Health technology assessment*, 2016, 20(46): 1-246.
- [43] CHABIRAND A, LOISEAU M, RENAUDIN I, et al. Data processing of qualitative results from an interlaboratory comparison for the detection of “Flavescence dorée” phytoplasma: how the use of statistics can improve the reliability of the method validation process in plant pathology [J]. *PLoS one*, 2017, 12(4): e0175247.
- (责任编辑 姚玮华)

(上接第 107 页)

- [17] 陈君凯. 食品级惰性粉防虫技术在竖向通风系统仓房中的应用 [J]. *现代食品*, 2020(8): 8-10.
- [18] 刘静, 王昌利. 惰性粉粮面拌和结合机械通风实仓防虫效益研究 [J]. *粮食加工*, 2022, 47(1): 85-89.
- [19] 祝祥坤, 石天玉, 沈波, 等. 稻谷平房仓储藏的横向通风技术工艺研究 [J]. *粮油食品科技*, 2015, 23(S1): 33-37.
- [20] 李福君, 赵会义, 石天玉, 等. 粮食储藏横向通风技术 [M]. 北京: 科学出版社, 2016: 106-109.
- [21] CONCHA-MEYER A, GRANDON S, SEPÚLVEDA G, et al. Pesticide residues quantification in frozen fruit and vegetables in Chilean domestic market using QuEChERS extraction with ultra-high-performance liquid chromatography electrospray ionization Orbitrap mass spectrometry [J]. *Food chemistry*, 2019, 295: 64-71.
- [22] 王晶磊, 徐威. 多杀菌素在平房仓中防治储粮害虫效果研究 [J]. *粮食科技与经济*, 2012, 37(6): 29-31.
- [23] 王晶磊, 徐威. 多杀菌素高大平房仓防治储粮害虫效果初探 [J]. *粮油仓储科技通讯*, 2012, 28(6): 28-31.
- [24] 祝星星. 多杀菌素防治储粮害虫应用技术研究 [D]. 武汉: 武汉轻工大学, 2014.
- (责任编辑 周凤航)