

# 锈赤扁谷盗磷化氢抗性的不同治理方法及效果

赵艳艳, 鲁玉杰\*, 张 蒙

河南工业大学 粮油食品学院, 粮食储藏与安全教育部工程研究中心, 粮食储运国家工程实验室,  
河南 郑州 450001

**摘要:**锈赤扁谷盗已经对磷化氢产生了严重的抗药性, 研究其抗性治理的方法对于防治害虫具有重要意义。采用延长磷化氢熏蒸时间(延长时间为连续7 d)和3种防护剂(甲基嘧啶磷、溴氰·甲嘧磷和马拉硫磷)对磷化氢抗性的锈赤扁谷盗进行防治效果的研究。结果表明:延长磷化氢熏蒸时间对锈赤扁谷盗的杀虫效果显著, 磷化氢质量浓度1.38 mg/L时, 熏蒸2、3、4、5、6、7 d, 锈赤扁谷盗在2~5 d时死亡率不足50%, 在6 d时死亡率为76%, 在7 d时死亡率为94%, 死亡率增加显著, 说明锈赤扁谷盗表现了极高的磷化氢抗性, 对其延长磷化氢熏蒸时间比提高浓度防治更可行;3种防护剂中甲基嘧啶磷和溴氰·甲嘧磷比马拉硫磷防治效果好;分别使用2、4、6、8、10  $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ 的甲基嘧啶磷延长触杀时间, 6、10  $\mu\text{g}/\text{m}^2$ 甲基嘧啶磷分别处理48、10 h, 锈赤扁谷盗的死亡率均达到了100%。因此, 可适当延长磷化氢的熏蒸时间或防护剂的处理时间, 适当增加防护剂的剂量均能显著提高锈赤扁谷盗的死亡率, 既能达到害虫防治效果又能延缓抗药性。

**关键词:**锈赤扁谷盗;磷化氢;防护剂;甲基嘧啶磷;马拉硫磷;溴氰·甲嘧磷

中图分类号:S379.5

文献标志码:A

文章编号:1673-2383(2022)02-0111-06

DOI:10.16433/j.1673-2383.2022.02.015

## Different control methods and their effects on phosphine resistance in *Cryptolestes ferrugineus* (Stephens)

ZHAO Yanyan, LU Yujie\*, ZHANG Meng

College of Food Science and Engineering, Engineering Research Center of Grain Storage and Security of Ministry of Education, Grain Storage and Logistics National Engineering Laboratory, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China

**Abstract:** *Cryptolestes ferrugineus* (Stephens) is one of the world's stored grain pest and one of the main stored grain pests in China. At present, phosphine fumigation is the most commonly used method for the prevention and control of *C. ferrugineus*. In recent years, the resistance of *C. ferrugineus* against phosphine has become more and more serious. This problem has become the most difficult challenge for application phosphine and pest control in stored grain. In order to effectively prevent and control the damage caused by *C. ferrugineus* in grain storage, it is of great significance and urgent to study the resistance management methods for pest control. In this paper, the effects of prolonging the fumigation time of phosphine and three protective agents on the control of *C. ferrugineus* resistant to phosphine were studied. The resistance level of the adult of *C. ferrugineus* against phosphine was measured by FAO method, the toxicity of pirimiphos-methyl, malathion and deltamethrin-pirimiphos-methyl against adults of *C. ferrugineus* was determined by filter paper method. Contact killing effect of pyrimidine methyl on the adult of *C. ferrugineus*

收稿日期:2021-11-15

基金项目:河南省自然科学基金项目(202300410105);河南省高等学校重点科研项目(20A210008);河南工业大学高层次人才科研基金项目(2018BS069)

作者简介:赵艳艳(1991—),女,河南开封人,硕士研究生,研究方向为储藏物害虫综合治理。

\*通信作者:鲁玉杰,教授,博导, E-mail:luyujie1971@163.com。

us was evaluated. The results showed that prolonging the fumigation time of phosphine had a significant insecticidal effect on *C. ferrugineus*. When the concentration of phosphine was 1.38 mg/L, after the fumigation time for 2, 3, 4, 5, 6 and 7 days, the mortality rate was less than 50% in 2 to 5 days, 76% in 6 days and 94% in 7 days, and the mortality rate increased with the fumigant time significantly. When the concentration of phosphine was 13.8 mg/L for 20 h, the survival rate of *C. ferrugineus* was 98%. The results indicated that *C. ferrugineus* showed extremely high phosphine resistance, and it was more feasible to prolong the fumigation time of phosphine than to increase the concentration of phosphine. The  $LD_{50}$  of three kinds of grain protectant pirimiphos-methyl, malathion and deltamethrin-pirimipins-methyl for 24 hours were 7.519, 26.914 and 6.071  $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ , respectively. The  $LD_{50}$  for 48 hours were 5.031, 19.401 and 3.796  $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ , respectively. After 72 hours treatment, the  $LD_{50}$  were 3.438, 13.646 and 2.936  $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ , respectively. These results indicated that among the three grain protectants, pirimiphos-methyl and deltamethrin-pirimipins-methyl had better effect than malathion. The mortality rate of *C. ferrugineus* reached 100% after being treated with pirimiphos-methyl 6  $\mu\text{g}/\text{cm}^2$  for 48 hours and 10  $\mu\text{g}/\text{cm}^2$  for 10 hours. The results showed that prolonging the treatment time and increasing the dosage of the grain protectant significantly increased the mortality rate of *C. ferrugineus*. Therefore, the dosage of protective agent can be appropriately reduced or the treatment time can be prolonged, which can not only achieve the pest control effect but also delay the development of resistance.

**Key words:** *Cryptolestes ferrugineus*; phosphine; grain protectant; pirimiphos-methyl; malathion; deltamethrin-pirimipins-methyl

锈赤扁谷盗(*Cryptolestes ferrugineus*) 在发热的粮堆内很容易发生,并大量聚集,引起粮堆结露或霉变等问题,严重危害粮食安全<sup>[1]</sup>。储粮害虫的化学防治药剂有熏蒸剂和防护剂2类,其中,磷化氢熏蒸剂具有高效、无残留和低成本等优势,是最常用的锈赤扁谷盗的防治药剂,但随着磷化氢长期单一的使用及操作不合理等因素导致锈赤扁谷盗对其产生了严重的抗药性,造成种群猖獗且危害严重<sup>[2-4]</sup>。锈赤扁谷盗对磷化氢的抗性越来越难以控制,由于储粮害虫防治中对熏蒸剂的毒性及其残留量有严格限定,目前难以找到其他可替代磷化氢的熏蒸剂<sup>[5]</sup>。延长磷化氢的熏蒸时间是一种较好的抗药性治理的方法,在实仓中对于治理磷化氢抗性的害虫具有一定的效果<sup>[6]</sup>。

储粮防护剂是指可用于原粮且具有高效、低毒、有一定残效期的化学药剂,可通过触杀、胃毒、驱避等方式防治储粮害虫。储粮防护剂对储藏环境气密性要求不高,在澳大利亚和美国使用较广泛<sup>[7-8]</sup>,但是在实际储粮防治中存在速效性差、药剂分布不均匀等问题,使其在我国储粮害虫防治中的应用受到一定的限制<sup>[9]</sup>。复配药剂可有效降低杀虫剂量,提升防治效果,药剂复配时须选用不同杀虫机理的杀虫剂,避免防护剂之间产生拮抗作用。我国现用的储粮防护剂有甲基嘧啶磷、马拉硫磷、溴氰菊酯(含增效醚)、杀螟

硫磷和惰性粉及其混配药剂<sup>[10-11]</sup>。甲基嘧啶磷(Pirimiphos-methyl)用于储粮防护剂的商品为保安定,是一种广谱性有机磷杀虫剂,对甲虫和蛾类有一定的防治效果。甲基嘧啶磷杀虫机理是抑制昆虫神经突触上乙酰胆碱酯酶的活性,使害虫兴奋而死亡,还具有触杀、胃毒和熏蒸作用,在原粮上能较好地保持生物活性<sup>[12-13]</sup>。马拉硫磷(Malathion)纯品为浅黄色油状液体,较早使用在我国粮食储藏中,储粮害虫接触其纯品后通常1~2 d会死亡<sup>[14]</sup>。马拉硫磷主要针对粮粒表面的储粮害虫,对藏在粮粒内部钻蛀性害虫的卵、幼虫及蛹的防治效果不明显。2%溴氰·甲嘧磷是一种粉剂,其成分是1.8%甲基嘧啶磷和0.2%溴氰菊酯,杀虫机理是抑制乙酰胆碱酯酶的活性,抑制储粮害虫神经离子通道,使昆虫兴奋、麻痹而死亡<sup>[15]</sup>。甲基嘧啶磷和溴氰菊酯混合使用可以扩大杀虫谱,对储粮害虫的防治具有增效作用<sup>[16]</sup>。

由于储粮害虫防治中对熏蒸剂的毒性及其残留量有严格限定,目前难以找到其他能够替代磷化氢的熏蒸剂。针对锈赤扁谷盗对磷化氢抗性的严重现状,防护药剂的科学使用有助于磷化氢抗性的治理和有效防治抗性害虫<sup>[17]</sup>,因此,从抗性害虫的科学防治角度出发,科学评估磷化氢的使用方法和防护剂对防治磷化氢高抗品系的锈赤扁谷盗的使用效果。为此,作者探究了延长

磷化氢的熏蒸时间和甲基嘧啶磷、马拉硫磷和溴氰·甲嘧磷对锈赤扁谷盗的磷化氢抗性防治效果,以寻找磷化氢抗性的治理方法,为储粮害虫的综合防治提供技术指导。

## 1 材料与方 法

### 1.1 供试昆虫

供试锈赤扁谷盗(*C. ferrugineus*)成虫采自河南安阳林州国家粮食储备库。试虫在河南工业大学储粮害虫综合防治实验室培养数代,在(30±2)℃、RH(70±5)%的恒温培养箱内黑暗条件培养。饲料配制比例为燕麦片:碎小麦:全麦粉质量比13:5:2(全麦粉:酵母质量比9:1)。选择羽化后3~6 d、生长发育状态基本一致的锈赤扁谷盗雌性成虫进行试验。

### 1.2 主要试剂

55%甲基嘧啶磷乳油、2%溴氰·甲嘧磷粉剂:湖南海利化工股份有限公司;马拉硫磷:德州绿霸精细化工有限公司;丙酮:天津市科密欧化学试剂有限公司;聚四氟乙烯溶液:上海三爱富新材料有限公司;磷化铝片剂:山东龙口市化工厂。

### 1.3 主要仪器与设备

P 型微量移液枪:北京吉尔森科技公司;SHP-450 生化培养箱:上海精宏实验设备有限公司;JXFM110 全自动锤式旋风磨:上海赛霸精密仪器有限公司;2.5 mL 针筒注射器:郑州新丰化验器材有限公司;HL-200-PH<sub>3</sub> 报警仪、HL-201-PH<sub>3</sub> 气体浓度检测仪:北京佳粮科贸有限公司。

### 1.4 试验方法

#### 1.4.1 磷化氢抗性的测定

采用 FAO(世界粮农组织)方法对锈赤扁谷盗磷化氢的抗性进行测定,磷化氢推荐使用质量浓度 0.414 mg/L<sup>[15]</sup>,使用质量浓度分别为 0.69、0.97、1.38、2.08、2.78、3.47、6.94、10.41、13.89 mg/L 的磷化氢对锈赤扁谷盗成虫熏蒸 20 h。

#### 1.4.2 磷化氢熏蒸

利用常压熏蒸法测定磷化氢对锈赤扁谷盗成虫的杀虫效果。采用带有硅胶玻璃旋塞密封的 1 450 mL 锥形瓶作为磷化氢熏蒸装置,将玻璃旋塞均匀涂抹适量凡士林,确保锥形瓶的密封性。随机挑取 50 头锈赤扁谷盗成虫于熏蒸瓶中,使用微型气密注射器分别抽取质量浓度为 0.69、0.97、1.38、2.08、2.78、3.47、6.94、10.41、13.89 mg/L 的磷化氢气体通过玻璃旋塞上的特

制硅胶垫注射熏蒸瓶内。在(25±1)℃、全黑暗条件下熏蒸 20 h,熏蒸结束后,通风橱内散气 24 h,将存活试虫转至加少量饲料的培养皿上,置于恒温培养箱内培养,观察并记录试虫死亡情况,14 d 后确定最终死亡个数。每组试验至少重复 3 次,以未经磷化氢熏蒸作为空白对照组。分别在磷化氢质量浓度 0.69、0.97、1.38 mg/L 下熏蒸 2、3、4、5、6、7 d,散气 24 h,将存活试虫重新培养 14 d 后观察记录最终死亡个数。浓度梯度参考鉴别质量浓度,锈赤扁谷盗敏感品系和抗性鉴别质量浓度分别为 0.011 mg/L 和 0.064 mg/L<sup>[1]</sup>。

#### 1.4.3 药膜法

采用药膜法测定甲基嘧啶磷、马拉硫磷和溴氰·甲嘧磷对锈赤扁谷盗成虫的杀虫效果<sup>[18]</sup>。使用丙酮将 3 种防护剂分别稀释 6 个浓度梯度。其中,甲基嘧啶磷浓度为 0、2、4、6、8、10 μg/cm<sup>2</sup>;马拉硫磷的浓度为 0、10、15、20、25、30 μg/cm<sup>2</sup>;溴氰·甲嘧磷的浓度为 0、2、3、4、5、6 μg/cm<sup>2</sup>。将每一浓度剂量取 1 mL 分别均匀分布在内径为 9.6 cm 的培养皿底面,将滤纸用固体胶粘到培养皿底部,保证滤纸紧贴培养皿不留缝隙。培养皿壁上涂聚四氟乙烯溶液,从滤纸的中间位置开始用螺旋形的方式涂药液使其均匀分布于滤纸上<sup>[15]</sup>,通风处放置 0.5 h,丙酮完全挥发后放入试虫,设置丙酮为对照组。药剂浓度以单位面积上药剂的有效成分的沉积量(μg/cm<sup>2</sup>)表示,在(25±1)℃,全黑暗的条件下进行处理。观察并记录处理 24、48、72 h 后昆虫死亡情况。

甲基嘧啶磷对锈赤扁谷盗的毒力评价:将甲基嘧啶磷稀释成 2、4、6、8、10 μg/cm<sup>2</sup> 的浓度梯度,施药后在(30±1)℃、全黑暗条件下进行试验。参考文献[19]观察试虫在甲基嘧啶磷不同剂量下的死亡情况。

### 1.5 数据分析

采用 SPSS 20.0 中 Probit 的回归分析进行毒力分析,计算毒力回归方程,估算 LD<sub>50</sub>(半致死剂量)和 LD<sub>99</sub>(99%致死剂量)及其 95%的置信区间。利用 Abbott 公式计算校正死亡率,并用 ANOVA 和 Duncan 新复极差法进行多重差异显著性比较。

## 2 结果与分析

### 2.1 锈赤扁谷盗磷化氢抗性的测定

由图 1 可知,在远高于磷化氢推荐质量浓度



0.69、0.97、1.38、2.08、2.78、3.47 mg/L 熏蒸处理后,锈赤扁谷盗的存活率仍是 100%,使用质量浓度 13.89 mg/L 熏蒸处理其存活率在 96% 以上,死亡率极低,说明锈赤扁谷盗对磷化氢抗性极强。

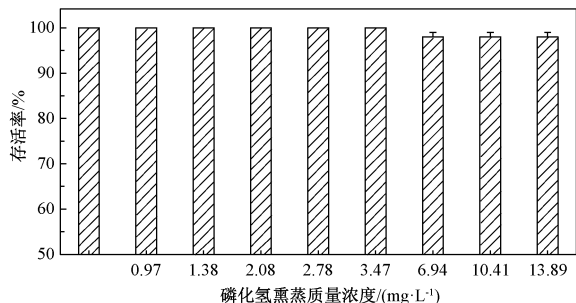


图1 锈赤扁谷盗在磷化氢不同质量浓度熏蒸 20 h 后的存活率

Fig. 1 Survival rates of *C. ferrugineus* fumigated for 20 h with different concentrations of phosphine

## 2.2 延长磷化氢熏蒸时间对锈赤扁谷盗的杀虫效果

磷化氢质量浓度 0.69、0.97、1.38 mg/L 下延长熏蒸时间试虫死亡率如图 2 所示。由图 2 可知,在 25 °C 下,磷化氢质量浓度 0.69 mg/L 时,锈赤扁谷盗在 2 d 后死亡率为 9.5%,在 3~5 d 时死亡率不足 45%,在 7 d 时死亡率为 57%;在 5、6、7 d 时死亡率差异显著;随着熏蒸时间的延长,锈赤扁谷盗的死亡率增加,但是延长时间至 7 d 时仍然达不到防治锈赤扁谷盗的效果。磷化氢质量浓度 0.97 mg/L 时,熏蒸 7 d 后死亡率为 65%,随着熏蒸时间的延长,锈赤扁谷盗死亡率增加显著,但仍无法达到锈赤扁谷盗的防治效果。磷化氢质量浓度 1.38 mg/L 时,锈赤扁谷盗在 2~5 d 时死亡

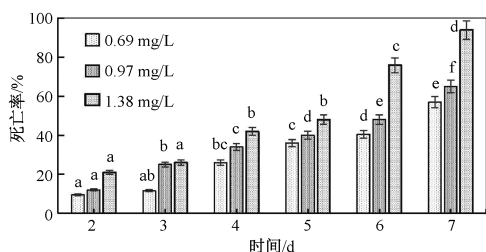


图2 磷化氢不同质量浓度熏蒸不同时间后锈赤扁谷盗成虫的死亡率

Fig. 2 Mortality rates of *C. ferrugineus* adults fumigated with different phosphine

率不足 50%,在 6 d 时死亡率为 76%,在 7 d 时死亡率为 94%,死亡率增加显著。

综上,延长磷化氢熏蒸时间对锈赤扁谷盗成虫有一定的防治效果。在储粮害虫防治的实仓应用中,磷化氢质量浓度为 1.38 mg/L 已远超 FAO 推荐的,并不符合粮油储藏技术规范中规定 0.414 mg/L。

## 2.3 3 种防护剂对锈赤扁谷盗的杀虫效果

甲基嘧啶磷、马拉硫磷和溴氰·甲嘧磷对锈赤扁谷盗成虫分别处理 24、48、72 h 后的毒力回归方程和相关参数如表 1 所示,由表 1 可知,相同杀虫效果下,3 种防护剂的 LD<sub>50</sub> 顺序为马拉硫磷>甲基嘧啶磷>溴氰·甲嘧磷,施药量依次是马拉硫磷>甲基嘧啶磷>溴氰·甲嘧磷,说明锈赤扁谷盗成虫对甲基嘧啶磷和溴氰·甲嘧磷比马拉硫磷敏感,较低剂量能达到较好的防治效果。甲基嘧啶磷、马拉硫磷和溴氰·甲嘧磷的触杀时间从 24 h 延长至 72 h 后,3 种防护剂 LD<sub>50</sub> 均相应降低,说明延长处理时间也能达到对锈赤扁谷盗成虫的触杀效果。甲基嘧啶磷、马拉硫磷和溴氰·甲嘧磷 R<sup>2</sup> 为 0.850~0.980,决定系数 R<sup>2</sup> 接近于 1,说明药剂的毒力回归方程的拟合度都比较高。

## 2.4 甲基嘧啶磷对锈赤扁谷盗的毒力评价

由于锈赤扁谷盗对马拉硫磷不够敏感,复配药剂溴氰·甲嘧磷药效受单药剂毒性及混配比例的影响较大。实际储粮害虫防治中,就杀虫效果而言,甲基嘧啶磷比马拉硫磷和溴氰·甲嘧磷更好,因此,评价甲基嘧啶磷对锈赤扁谷盗的毒力,结果如图 3 所示。结果表明在一定的质量浓度范围内,随着甲基嘧啶磷浓度的升高,锈赤扁谷盗磷化氢高抗品系的死亡时间开始缩短。当甲基嘧啶磷剂量为 2 μg/cm<sup>2</sup> 时,处理接近 24 h 时锈赤扁谷盗才开始出现死亡,84 h 时死亡率达 50%,当甲基嘧啶磷为 6、10 μg/cm<sup>2</sup> 时,分别处理 8、2 h 后锈赤扁谷盗即出现了死亡,且在 48、10 h 后死亡率均达到了 100%。与 2 μg/cm<sup>2</sup> 相比,磷化氢抗性品系的锈赤扁谷盗的死亡时间明显缩短,死亡率也明显提高,说明甲基嘧啶磷的杀虫效果随剂量增大明显提高。因此,在增加剂量和延长触杀时间下,均显著提高了锈赤扁谷盗的死亡率,也说明时间、剂量及其交互效应对试虫死亡率有影响。

表 1 3 种防护剂处理不同时间锈赤扁谷盗成虫的毒力回归方程及相关参数

Table 1 Regression equation of toxicity of three kinds of protectants on *C. ferrugineus* adults

防护剂	处理时间/h	毒力回归方程	LD <sub>50</sub> (95%置信区间)/(mg·L <sup>-1</sup> )	LD <sub>99</sub> (95%置信区间)/(mg·L <sup>-1</sup> )	χ <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>
甲基嘧啶磷	24	Y=7.429X-6.509	7.519 (7.160~7.904)	12.518 (11.375~14.374)	13.904	0.850
	48	Y=4.204X-2.950	5.031 (4.458~5.619)	12.384 (10.286~16.432)	23.028	0.963
	72	Y=3.951X-2.119	3.438 (3.104~3.758)	8.966 (7.895~10.582)	10.588	0.941
马拉硫磷	24	Y=4.222X-6.038	26.914 (24.843~29.921)	65.998 (52.901~93.488)	5.633	0.959
	48	Y=4.341X-5.591	19.409 (18.122~20.785)	46.443 (39.839~57.880)	3.066	0.980
	72	Y=5.774X-6.554	13.646 (12.718~14.504)	26.295 (24.056~29.563)	14.862	0.901
溴氰·甲嘧磷	24	Y=3.863X-3.026	6.071 (5.485~7.046)	16.184 (12.260~25.646)	4.864	0.931
	48	Y=4.312X-2.498	3.796 (3.542~4.065)	9.137 (7.841~11.377)	15.888	0.934
	72	Y=4.486X-2.098	2.936 (2.703~3.150)	6.830 (6.046~8.092)	15.522	0.912

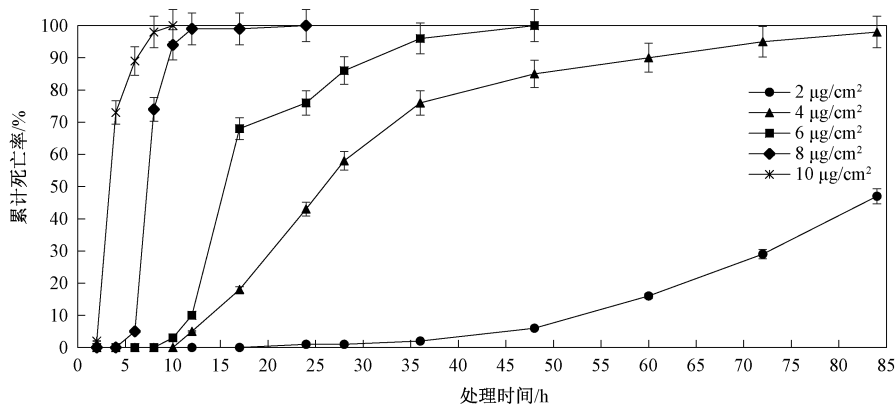


图 3 不同剂量甲基嘧啶磷对锈赤扁谷盗的毒力评价

Fig. 3 Toxicity test and evaluation of *C. ferrugineus* with different doses of pyrimidine methyl

### 3 讨论与结论

由于锈赤扁谷盗对磷化氢和储粮环境抗药性高,适应能力强,且繁殖速度快,目前已成为我国粮食储藏中危害性严重的储粮害虫之一。针对锈赤扁谷盗对磷化氢抗药性的严重现状,从抗性害虫的科学防治的角度出发,科学评估磷化氢的使用方法和储粮防护剂对防治锈赤扁谷盗的效果。测定防护剂甲基嘧啶磷、马拉硫磷、溴氰·甲嘧磷经药膜法和熏蒸剂磷化氢 FAO 法对磷化氢高抗性锈赤扁谷盗的毒力作用。结果表明:锈赤扁谷盗对磷化氢具有极高抗性,当磷化氢质量浓度为 1.38 mg/L 处理 2~5 d 时死亡率不足 50%,而且一般粮库储藏过程中磷化氢浓度无法达到这种高浓度,因而在粮食储藏中使用磷化氢熏蒸防治时,需要根据锈赤扁谷盗抗性水平来适当延长熏蒸时间进行防治工作。

甲基嘧啶磷、马拉硫磷和溴氰·甲嘧磷分别对锈赤扁谷盗处理 24、48、72 h 后,锈赤扁谷盗对甲基嘧啶磷和溴氰·甲嘧磷比马拉硫磷更敏感;

每一种防护剂均随锈赤扁谷盗处理时间的延长,对试虫的 LD<sub>50</sub> 相应降低,死亡率显著提高。由于马拉硫磷对锈赤扁谷盗成虫的 LD<sub>50</sub> 较大,锈赤扁谷盗对其不够敏感,溴氰·甲嘧磷这种药剂具有一定毒性。因此,甲基嘧啶磷比马拉硫磷和溴氰·甲嘧磷更适合用于实际储粮害虫防治。刘凤杰等<sup>[20]</sup>采用滤纸药膜法测定了防虫磷和甲基嘧啶磷对不同虫态的锈赤扁谷盗的熏杀效果,结果显示,甲基嘧啶磷对锈赤扁谷盗成虫的 LD<sub>50</sub> 比防虫磷的小,说明锈赤扁谷盗对甲基嘧啶磷比对马拉硫磷敏感,与本文结果一致。

对锈赤扁谷盗的磷化氢熏蒸结果表明,在实际储粮害虫防治中使用磷化氢熏蒸杀灭效果并不理想,这与粮库中锈赤扁谷盗难以彻底杀灭的现状相符合。由于防护剂的杀虫机理和磷化氢不同,3 种防护剂中甲基嘧啶磷和溴氰·甲嘧磷的杀虫效果优于马拉硫磷,触杀时间的延长和剂量的增加极大提高了试虫的死亡率。在实际储粮害虫防治上,在推荐剂量内可以运用此原理有效防治锈赤扁谷盗的危害。粮仓中粮堆表面和粮堆内部温度不同,也可能影响杀虫剂对锈赤扁谷

盗的杀虫效果,此外,湿度、粮食种类水分含量等因素均会对防护剂的药效有一定影响,所以应根据储粮实际情况制定更安全有效的害虫防治措施。

#### 参考文献:

- [1] NAYAK M K, HOLLOWAY J C, EMERY R N, et al. Strong resistance to phosphine in the rusty grain beetle, *Cryptolestes ferrugineus* (Stephens) (Coleoptera: Laemophloeidae): its characterisation, a rapid assay for diagnosis and its distribution in Australia [J]. *Pest management science*, 2013, 69(1): 48-53.
- [2] SUN E T, WANG Y N, WANG K, et al. Assessment of genetic diversity and differentiation of *Liposcelis bostrychophila* (Psocoptera: Liposcelidae) in China using inter-simple sequence repeat (ISSR) fingerprinting [J]. *Applied entomology and zoology*, 2017, 52(2): 241-246.
- [3] 唐培安, 李非凡, 王进军, 等. 嗜卷书虱羧酸酯酶 CarE 基因克隆及表达分析 [J]. *中国粮油学报*, 2017, 32(10): 130-138, 147.
- [4] NAYAK M K, COLLINS P J, THRONE J E, et al. Biology and management of psocids infesting stored products [J]. *Annual review of entomology*, 2014, 59: 279-297.
- [5] 王争艳, 潘娅梅, 谢雅茜, 等. 4种药剂联用对嗜卷书虱成虫的熏杀效果 [J]. *粮食储藏*, 2016, 45(6): 7-11.
- [6] 周晓军, 王凯, 代永, 等. 延长磷化氢熏蒸有效时间对储粮害虫熏蒸效果的影响 [J]. *现代食品*, 2016(14): 85-89.
- [7] SINGH S. Natural plant products-as protectant during grain storage: a review [J]. *Journal of entomology and zoology studies*, 2017, 5(3): 1873-1885.
- [8] HERTLEIN M B, THOMPSON G D, SUBRAMANYAM B, et al. Spinosad: a new natural product for stored grain protection [J]. *Journal of stored products research*, 2011, 47(3): 131-146.
- [9] RUMBOS C I, DUTTON A C, TSIROPOULOS N G, et al. Persistence and residual toxicity of two pirimiphos-methyl formulations on wheat against three stored-product pests [J]. *Journal of stored products research*, 2018, 76: 14-21.
- [10] ARTHUR F H, CAMPBELL J F, BRABEC D L, et al. Aerosol insecticide distribution inside a flour mill: assessment using droplet measurements and bioassays [J]. *Journal of stored products research*, 2018, 77: 26-33.
- [11] ABDELGHANY A Y, AWADALLA S S, ABDEL-BAKY N F, et al. Efficacy of reduced risk insecticides on penetration into jute and polyethylene bags by *Lasioderma serricorne* (F.) (Coleoptera: Anobiidae) [J]. *Journal of stored products research*, 2016, 69: 190-194.
- [12] 欧阳建勋, 朱邦雄, 伍湘东, 等. 5% 甲基嘧啶硫磷无气味粉剂防治书虱等害虫的研究 [J]. *粮食储藏*, 2010, 39(4): 7-10.
- [13] 鲁玉杰, 王利利, 王争艳, 等. 两种防护剂和磷化氢联用对储粮书虱和锈赤扁谷盗的实仓防治效果 [J]. *环境昆虫学报*, 2019, 41(4): 882-890.
- [14] 王松雪, 苏福荣, 谢刚, 等. 不同储粮环境作用下马拉硫磷在粮食上的残留消解动态 [J]. *食品科学*, 2008, 29(7): 78-80.
- [15] 白旭光, 王殿轩, 吕建华. 储藏物害虫与防治 [M]. 2版. 北京: 科学出版社, 2008.
- [16] 胡刚, 徐汉虹, 胡林. 储粮害虫熏蒸剂和防护剂的研究概况 [J]. *安徽大学学报(自然科学版)*, 2001, 25(4): 94-101.
- [17] 王争艳, 王文芳, 苗世远, 等. 储粮防护剂的应用现状及展望 [J]. *应用昆虫学报*, 2021, 58(3): 497-507.
- [18] 赵英杰, 李建锋, 宋君杰, 等. 苦皮藤素乳油对3种储粮害虫的触杀作用 [J]. *河南工业大学学报(自然科学版)*, 2011, 32(3): 64-66.
- [19] RUMBOS C I, DUTTON A C, ATHANASSIOU C G. Comparison of two pirimiphos-methyl formulations against major stored-product insect species [J]. *Journal of stored products research*, 2013, 55: 106-115.
- [20] 刘凤杰, 王利利, 鲁玉杰, 等. 两种防护剂和磷化氢联用对锈赤扁谷盗和两种书虱的防治 [J]. *粮食储藏*, 2017, 46(6): 29-34.

(责任编辑 周凤航)