

磷化氢与三种防护剂联用对三种主要储粮害虫的防治作用*

余波^{1**} 吴云龙² 王利利³ 苗世远² 许安君⁴ 鲁玉杰^{2***}

(1. 浙江省粮食集团有限公司, 杭州 310006; 2. 江苏科技大学粮食学院, 镇江 212100;

3. 江西省粮食和物资储备局, 南昌 330000; 4. 如弘君立(常州)企业管理有限公司, 常州 213000)

摘要 【目的】赤拟谷盗 *Tribolium castaneum*、米象 *Sitophilus oryzae* 和谷蠹 *Rhyzopertha dominica* 是目前为害较为严重的储粮害虫, 因其较高的磷化氢抗性是目前粮食储藏过程最难防治的 3 种害虫。本研究旨在评价储粮防护剂和磷化氢联用对赤拟谷盗、米象和谷蠹的防治效果, 以期为缓解储粮害虫的磷化氢抗性及其在实仓中综合防治提供理论依据。【方法】采用 55% 甲基嘧啶磷乳油、75% 马拉硫磷乳油和 2% 溴氰·甲嘧磷粉剂分别和磷化氢联用, 以 3 种害虫的虫口密度情况作为评价指标, 对位于广东、福建和河南 3 个不同储粮生态区粮库中的赤拟谷盗、米象和谷蠹进行防治效果测定。【结果】在磷化氢熏蒸粮食之前, 用 55% 甲基嘧啶磷乳油、75% 马拉硫磷乳油或 2% 溴氰·甲嘧磷粉剂处理粮面表层的粮食, 结果表明 3 种储粮防护剂在 3 个粮库的实验粮仓内对赤拟谷盗、米象和谷蠹的防治效果优于单一磷化氢熏蒸。在福建南平粮库使用 75% 马拉硫磷乳油与磷化氢联用后 8 个月对谷蠹的防治效果为 100%; 广东湛江粮库 2% 溴氰·甲嘧磷与磷化氢联用后 8 个月未出现米象活动; 在河南汤阴粮库使用 55% 甲基嘧啶磷乳油与磷化氢联用 8 个月未出现赤拟谷盗。【结论】55% 甲基嘧啶磷乳油、75% 马拉硫磷乳油或 2% 溴氰·甲嘧磷粉剂和磷化氢联用与单一磷化氢熏蒸相比对赤拟谷盗、米象、谷蠹具有很好的防治效果。

关键词 赤拟谷盗; 米象; 谷蠹; 储粮防护剂; 磷化氢; 药剂联用

The effectiveness of phosphine, in combination with three kinds of protective agents, for controlling three major pests of stored grain

YU Bo^{1**} WU Yun-Long² WANG Li-Li³ MIAO Shi-Yuan² XU An-Jun⁴ LU Yu-Jie^{2***}

(1. Zhejiang Grain Group Company Limited, Hangzhou 310006, China; 2. School of Grain Science and Technology, Jiangsu University of Science and Technology, Zhenjiang 212100, China; 3. Jiangxi Grain and Materials Reserve Bureau, Nanchang 330000, China;

4. Ru Hong Jun Li (Changzhou) Enterprise Management Company Limited, Changzhou 213000, China)

Abstract [Aim] To improve the effectiveness of phosphine for controlling three major pests of stored grain; *Tribolium castaneum*, *Sitophilus oryzae*, and *Rhyzopertha dominica*. [Methods] The effectiveness of 55% imidacloprid emulsifiable concentrate, 75% malathion emulsifiable concentrate, and 2% deltamethrin-imidacloprid powder, in combination with phosphine, was evaluated for controlling *T. castaneum*, *S. oryzae* and *R. dominica* in grain depots in three different ecological regions of Guangdong, Fujian and Henan. [Results] Treating the grain surface layer with either 55% imidacloprid emulsifiable concentrate, 75% malathion emulsifiable concentrate, or 2% deltamethrin-imidacloprid powder, before phosphine fumigation, significantly affected the control of *T. castaneum*, *S. oryzae*, and *R. dominica*. The best result was 100% mortality of *R. dominica* in the Nanping depot in Fujian. The use of deltamethrin-imidacloprid in conjunction with phosphine to control *S. oryzae* in the Zhanjiang depot in Guangdong only achieved 55% mortality. [Conclusion] However, a combination of

*资助项目 Supported project: 国家重点研发计划 (2023YFC2604903)

**第一作者 First author, E-mail: 602815958@qq.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: luyjlyj71@just.edu.cn

收稿日期 Received: 2024-07-08; 接受日期 Accepted: 2024-11-09

phosphine and either 55% imidacloprid emulsifiable concentrate, 75% malathion emulsifiable concentrate, or 2% deltamethrin-imidacloprid powder, effectively controlled *T. castaneum*, *S. oryzae* and *R. dominica* in stored grain.

Key words *Tribolium castaneum*; *Sitophilus oryzae*; *Rhyzopertha dominica*; grain protectant; phosphine; insecticide combination

磷化氢作为目前我国粮食仓储过程中最常用的熏蒸剂,长期单一使用已造成了储粮害虫抗性日益增加(王争艳等,2016;张惠研等,2024)。与此同时,储粮害虫的危害导致我国粮食在数量与质量上损耗的频发(白旭光,2008;姜雪等,2022),严重影响粮食安全。

赤拟谷盗 *Tribolium castaneum* 作为一种世界性储粮害虫,具有重要的研究意义,在粮食仓储过程中危害粮食品质安全,可造成严重经济损失(白旭光,2008),其磷化氢抗性也日益严重(刘国军,2009)。米象 *Sitophilus oryzae* 主要在我国南方各省份中危害谷物及其加工品的安全(黄建国和姜永嘉,1982;曹阳等,2000;姜雪等,2022),其磷化氢抗性也已成为仓储过程所面对的重大难题。谷蠹 *Rhyzopertha dominica* 作为一种在大洋洲危害严重的储粮害虫,主要在我国华南地区最为猖獗,其磷化氢抗性水平主要与其危害的粮食种类有关(曹阳等,2000;王继婷等,2016)。

为了减少储粮害虫造成的粮食产后损失,亟需寻求一种新的储粮害虫防治方法。甲基嘧啶磷是一种广谱、高效且低毒的有机磷杀虫剂,具有触杀、胃毒和熏蒸等多重作用机制(白旭光,2008)。迄今为止,甲基嘧啶磷已被证实对米象、谷蠹、赤拟谷盗、锈赤扁谷盗 *Cryptolestes ferrugineus* 等多种储粮害虫具有较好的防治效果(Huang and Subramanyam, 2005; Kljajić and Perić, 2007)。马拉硫磷是一种高效、低毒、广谱性杀虫剂,主要通过触杀和胃毒作用发挥杀虫效果,并且具有微熏蒸作用,施药后 1-2 d 害虫即死亡(张太江和王怀忠,2003)。其杀虫机理在于抑制昆虫神经系统中乙酰胆碱酯酶的活性(文一,2008)。此外,在储粮中最常使用的拟除虫菊酯杀虫剂为溴氰菊酯(吴树会等,2008),其主要作用机制是通过抑制靶标动物的神经离子通道来干扰渗透膜,进而阻碍神经传导(余惠

群等,2010)。为了延缓磷化氢抗药性发展,本文采用粮堆表层施用 55%甲基嘧啶磷乳油、75%马拉硫磷乳油或 2%溴氰·甲嘧磷粉剂,并结合不同储粮害虫磷化氢熏蒸的 LC_{25} (赤拟谷盗: 0.04 mg/L; 米象: 0.19 mg/L; 谷蠹: 0.77 mg/L) (王利利,2018),探究其联合防治效果,为磷化氢高抗性的赤拟谷盗、米象和谷蠹的防治提供切实有效的方法。

1 材料与方法

1.1 药剂与器材

本实验选用的 55%乳油的甲基嘧啶磷采购于湖南海利化工股份有限公司,2%粉剂的溴氰·甲嘧磷采购于湖南海利化工股份有限公司,75%乳油的马拉硫磷采购于德州绿霸精细化工有限公司,56%磷化铝采购于济宁高新技术开发区永丰化工厂,用于制备磷化氢。

主要仪器包括深圳隆瑞科技有限公司的 2680 型超低容量电动喷雾器;山东华盛中天集团的 3WF-3A 背负式喷粉机;北京佳粮科贸有限公司的 HL-200 磷化氢气体检测仪。

1.2 实验粮仓

广东省湛江北站国家粮食储备中转库(简称湛江粮库,广东省湛江市,中国第 7 储粮生态区),选用 3 号、4 号与 8 号仓为实验粮仓;福建省储备粮管理总公司南平储备库(简称南平粮库,福建省南平市,中国第 5 和第 6 生态区之间),选用 1 号、3 号与 4 号仓为实验粮仓;河南汤阴茂祥粮油储运有限公司(简称汤阴粮库,河南省汤阴县,中国第 4 储粮生态区)选用 7 号、8 号与 10 号仓为实验粮仓。

1.3 仓房基本情况和施药方法

在各实验仓内,首先将药剂均匀喷洒于粮堆

表面,待其沉降后,对粮食进行翻拌处理,随后开展磷化氢熏蒸操作。实验过程中,严格按照表 1 中列明的药剂种类、用量和施药时间进行操作。防护剂的施用量依据粮堆表层 30 cm 的深度计算,具体用量则根据储存粮食的容重确定(例如,小麦参考容重为 760 kg/m³,稻谷参考容重为 540 kg/m³)。

在施用 2%溴氰·甲嘧磷粉剂时,操作人员需佩戴防尘口罩和护目镜,使用背负式喷粉机将药剂喷洒在粮堆表面。同时,配合轴流风机下部的抽风设备,确保药剂充分扩散至粮堆内部,并等待其沉降。随后,利用翻粮机对粮堆进行翻动,使药剂与粮食充分混合,确保拌粮深度达到 30 cm。

表 1 各实验粮库的尺寸、粮食类型、防护剂用药剂量和用量
Table 1 Each experimental grain depot of size, grain type, dose and dosage of grain protectant

粮库 Grain depot	地理位置 Geographic position	仓房尺寸: 长(m)×宽(m)× 粮高(m) Granary dimensions: Long(m)× breadth(m) ×grain height(m)	粮食种类 Grain type	药剂 Pesticides	防护剂 Protectant	
					有效成分 剂量 Dose of active principle	用量 Dosage
湛江粮库 Zhanjiang grain depot	21.27° N 10.35° E	50 × 20 × 6	稻谷 Rice	磷化氢 Phosphine	—	—
				55%甲基嘧啶磷+磷化氢 55% Pirimiphos-methyl + phosphine	8 mg/kg	2.38 L
				2%溴氰·甲嘧磷+磷化氢 2% Deltamethri-pirimiphos-methyl + phosphine	5 mg/kg	40.50 kg
				磷化氢 Phosphine	—	—
南平粮库 Nanping grain depot	27.33° N 118.12° E	60 × 20 × 4	稻谷 Rice	55%甲基嘧啶磷+磷化氢 55% Pirimiphos-methyl + phosphine	0.5 g/m ²	1.12 L
				75%马拉硫磷+磷化氢 75% Malathion + phosphine	0.5 g/m ²	0.83 L
				磷化氢 Phosphine	—	—
				55%甲基嘧啶磷+磷化氢 55% Pirimiphos-methyl + phosphine	5 mg/kg	2.50 L
汤阴粮库 Tangyin grain depot	35.92° N 114.35° E	60 × 20 × 6	小麦 Wheat	2%溴氰·甲嘧磷+磷化氢 2% Deltamethri-pirimiphos-methyl + phosphine	4 mg/kg	51.30 kg
				磷化氢 Phosphine	—	—
				55%甲基嘧啶磷+磷化氢 55% Pirimiphos-methyl + phosphine	5 mg/kg	2.50 L
				2%溴氰·甲嘧磷+磷化氢 2% Deltamethri-pirimiphos-methyl + phosphine	4 mg/kg	51.30 kg

—: 仓房未使用防护剂。南平粮库实验仓储存的稻谷均为包装粮,其他库点实验仓储存的粮食均为散装粮。
—: No protective agents were applied in the warehouse. In Nanping grain depot, the stored rice is all packaged grain, while in other warehouse points, the stored grains are all bulk grain.

对于施用 55%甲基嘧啶磷乳油和 75%马拉硫磷乳油,采用超低容量喷雾器进行喷洒,同时在轴流风机下部进行抽风,以促进雾滴迅速沉降至粮堆底部。待药剂完全沉降后,使用翻粮机对粮食进行翻拌,确保混合深度达到 30 cm 的标准。

1.4 防虫线的布置

在 55%甲基嘧啶磷乳油和 75%马拉硫磷实验的粮仓内,采用宽 15 cm 的防虫吸附线(以毡

布条为吸附材料)布置于窗台及门处的密封膜上,其施药剂量分别为 0.91 和 0.67 g/m²。而在 2%溴氰·甲嘧磷粉剂的实验仓中,则在门窗部位均匀喷洒该粉剂,剂量为 25 g/m²。

1.5 磷化氢熏蒸

根据 LS/T 1201-2002 标准中的磷化氢环流熏蒸技术规程,在广东湛江粮库、福建南平粮库和河南汤阴粮库进行仓内膜下环流磷化氢熏蒸

实验。每个实验仓中,磷化铝的单位用药量分别为 5、4 和 3 g/m³,总用药量分别为 30.0、19.2 和 21.6 kg。

1.6 虫口密度检查

在熏蒸前后,采用扦样法监测仓内害虫密度。对于房式仓,设定了 11 个采样点:每个角各 1 个,长边各设 2 个、短边设 1 个,以及中间 1 个点,起始点位于东南角,随后按逆时针顺序排列,第 11 个点作为中心点。考虑到可能出现高密度害虫区域,在仓顶四面墙中部各另设 1 个采样点。每个采样点分别采集两个层次的样品,分别取自距仓底 0.5 m 以上和距粮面 2 m 处,每层采集 1 kg 粮样,再利用筛选法对外部害虫进行分类计数(计数单位为头/kg)。此外,在靠近门窗的墙面上选取两处害虫密度最高的区域,统计单位面积(头/m²)的害虫数。熏蒸结束后,每隔一个月测定一次虫口密度,选取其中密度最高的 5 个采样点,计算其平均值作为该仓当月整体虫口密度。

1.7 数据处理

实验数据的计算与分析采用 GraphPad Prism 8.3 和 SPSS 22 软件,采用单因素方差分析来分析组间差异,然后采用 Duncan 氏新复极差法来进行多重比较。参考柏晶等(2017)的方法评价防治效果。

虫口密度减退率 =

$$\frac{\text{处理前虫口密度} - \text{处理后虫口密度}}{\text{处理前虫口密度}} \times 100\%,$$

防治效果 =

$$\frac{\text{处理仓虫口密度减退率} - \text{对照仓虫口密度减退率}}{100 - \text{对照仓虫口密度减退率}} \times 100\%。$$

2 结果与分析

2.1 广东湛江粮库储粮赤拟谷盗、米象和谷蠹的防治效果

将拌药后实验仓熏蒸 9 个月的虫口密度与对照磷化氢熏蒸仓进行比较,从图 1(A-C)可

以看出,在进行防治前,3 个不同仓之间赤拟谷盗、谷蠹和米象害虫密度差异不显著($P > 0.05$);在前 6 个月的观察中,3 个仓内均未发现虫害活动;在第 7 个月时,使用磷化氢熏蒸的仓内发现赤拟谷盗、谷蠹和米象活动;在第 8 个月时,2%溴氰·甲嘧磷粉剂或 55%甲基嘧啶磷乳油与磷化氢联用的仓内,出现赤拟谷盗为害,且仓内赤拟谷盗的虫口密度和只用磷化氢的仓相比差异显著($P < 0.05$);在第 9 个月时,2%溴氰·甲嘧磷粉剂或 55%甲基嘧啶磷乳油与磷化氢联用的仓内,发现谷蠹与米象的虫害活动,且仓内谷蠹和米象的虫口密度和只用磷化氢的仓相比差异显著($P < 0.05$)。说明在磷化氢熏蒸稻谷之前进行 55%甲基嘧啶磷乳油或 2%溴氰·甲嘧磷粉剂处理稻谷可以延长粮食储藏期间的无虫期,且 2%溴氰·甲嘧磷粉剂和 55%甲基嘧啶磷乳油效果相当。

2.2 福建南平粮库储粮谷蠹和米象的防治效果

在福建南平粮库内未发现赤拟谷盗,统计显示,施药前后 9 个月内,1、3 和 4 号仓的米象虫口密度均低于 4 头/kg,而磷化氢熏蒸后 9 个月内,3 个仓均未检测到米象(图 2)。此外,防治前 3 个仓内谷蠹的虫口密度无显著差异($P > 0.05$)。在使用 75%马拉硫磷乳油或 55%甲基嘧啶磷乳油与磷化氢联用处理后,熏蒸结束 8 个月内各仓均未发现谷蠹活动;但在第 9 个月时,只有采用 75%马拉硫磷乳油联用处理的仓检测到谷蠹活动,而采用 55%甲基嘧啶磷乳油联用处理的仓仍未发现虫害。综上,这表明在磷化氢熏蒸前对稻谷进行预处理能够延长储粮期间的无虫期,其中 55%甲基嘧啶磷乳油的防虫效果优于 75%马拉硫磷乳油。

2.3 河南汤阴粮库储粮米象和赤拟谷盗的防治效果

图 3 显示了河南汤阴粮库在施药前和施药后 10 个月内赤拟谷盗和米象的虫口密度情况。防治之前,7 号仓与 8 号、10 号仓的赤拟谷盗虫口密度存在显著差异($P < 0.05$),7 号仓与 8 号米象虫口密度差异显著($P < 0.05$);防治后第 8

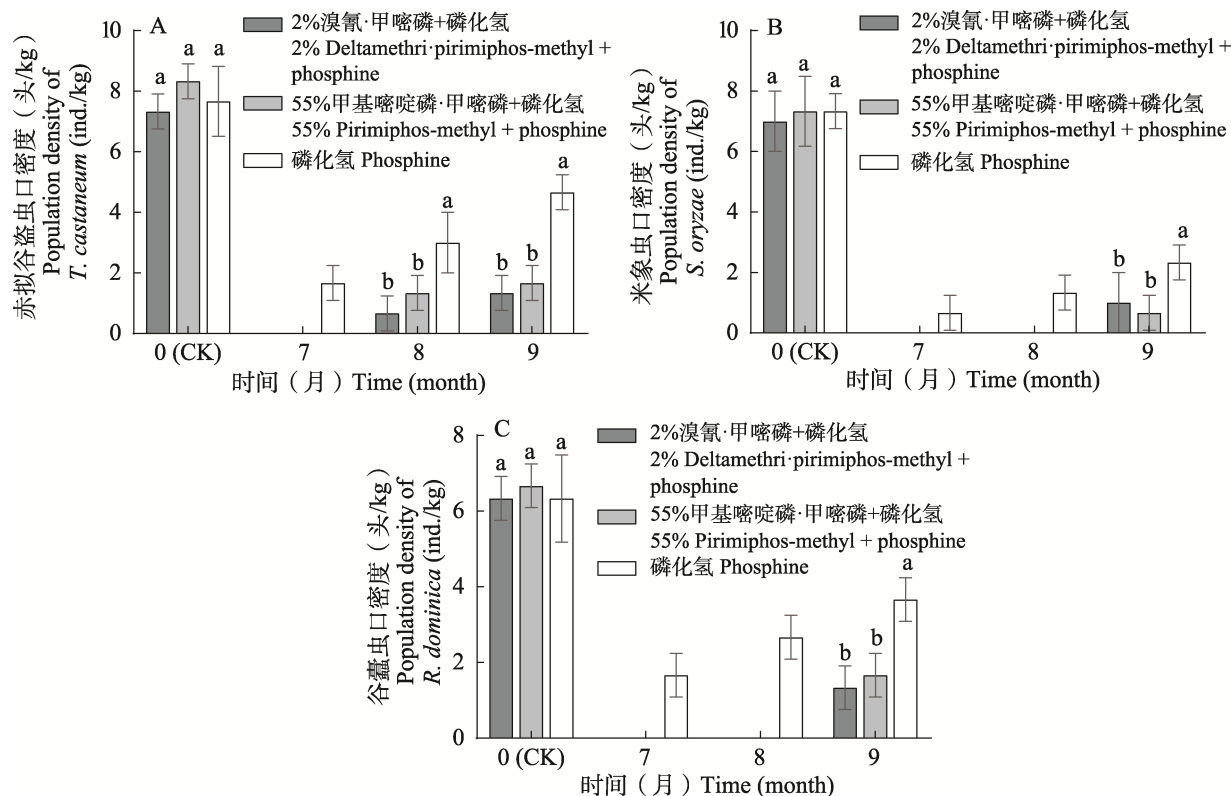


图 1 湛江粮库磷化氢与 2 种防护剂联用后赤拟谷盗 (A)、米象 (B) 和谷蠹 (C) 的虫口密度

Fig. 1 The population density of *Tribolium castaneum* (A), *Sitophilus oryzae* (B) and *Rhyzopertha dominica* (C) after different treatments of two kinds of grain protectant and phosphine in Zhanjiang grain depot

图中数据为平均值±标准误, 柱上不同小写字母表示同一时间内不同处理间差异显著 ($P < 0.05$, Duncan 氏新复极差法)。下图同。The data in the figure are mean±SE, and different lowercase letters above bars indicate significant difference among treatments at the same time ($P < 0.05$, Duncan's new multiple range test). The same below.

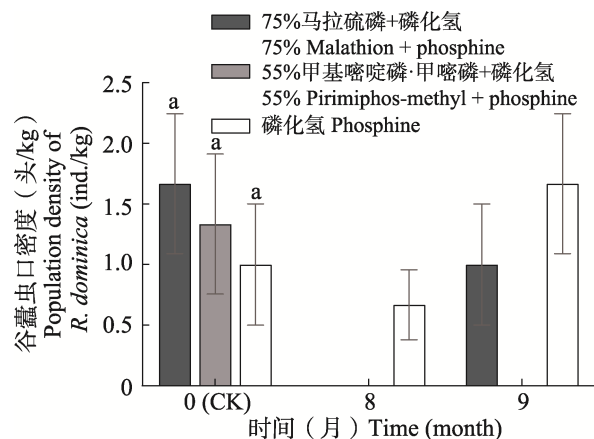


图 2 南平粮库用 2 种防护剂和磷化氢联用后谷蠹虫口密度

Fig. 2 The population density of *Rhyzopertha dominica* after different treatments of two kinds of grain protectant and phosphine in Nanping grain depot

个月, 在仅采用磷化氢熏蒸的对照仓中, 仍检测到赤拟谷盗和米象的活动; 相比之下, 经 2%溴

氰·甲嘧磷粉剂或 55%甲基嘧磷乳油预处理后, 再进行磷化氢熏蒸的仓内小麦, 在 8 个月内未发现虫害迹象。这表明, 在磷化氢熏蒸前先施用 55%甲基嘧磷乳油或 2%溴氰·甲嘧磷粉剂, 均能延长粮食储藏期间的无虫期, 两者防治效果相似。

2.4 对赤拟谷盗、谷蠹和米象的防治效果评价

广东湛江粮库、福建南平粮库和河南汤阴粮库整个施药期结束后对赤拟谷盗、谷蠹和米象的防治效果进行评价, 从表 4 可以看出, 用 2%溴氰·甲嘧磷粉剂、75%马拉硫磷乳油或 55%甲基嘧磷乳油处理后再进行磷化氢熏蒸均有较好的防治效果, 福建南平粮库对谷蠹的防治效果达 100%, 广东湛江粮库溴氰·甲嘧磷与磷化氢联用后对米象的防治效果为 55%。

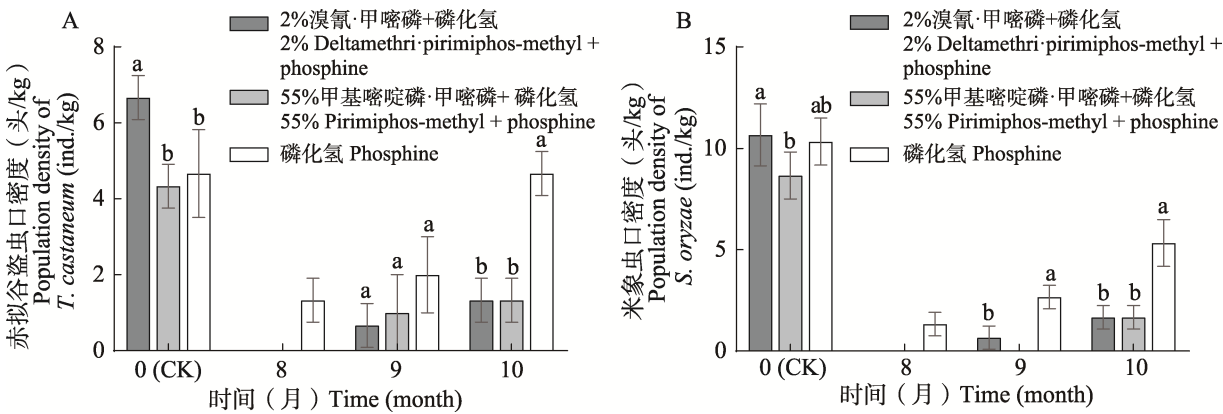


图3 汤阴粮库用2种防护剂和磷化氢联用后赤拟谷盗(A)和米象(B)虫口密度
Fig. 3 The population density of *Tribolium castaneum* (A) and *Sitophilus oryzae* (B) after different treatments of two kinds of grain protectant and phosphine in Tangyin grain depot

表4 3种防护剂和磷化氢联用对赤拟谷盗、谷蠹和米象的防治效果
Table 4 Combination with three kinds of protectants and phosphine in the control efficiency of *Tribolium castaneum*, *Rhyzopertha dominica* and *Sitophilus oryzae*

昆虫种类 Insect species	药剂 Pesticides	防治效果(%) Control efficiency (%)		
		湛江粮库 9 个月后 9 months later in Zhanjiang grain depot	南平粮库 9 个月后 9 months later in Lliuzhou grain depot	汤阴粮库 10 个月后 10 months later in Tangyin grain depot
赤拟谷盗 <i>T. castaneum</i>	P + PH ₃	67.1	—	61.5
	D + PH ₃	70.1	—	80.0
	M + PH ₃	—	—	—
谷蠹 <i>R. dominica</i>	P + PH ₃	56.8	100.0	—
	D + PH ₃	63.6	—	—
	M + PH ₃	—	64.0	—
米象 <i>S. oryzae</i>	P + PH ₃	71.4	—	62.7
	D + PH ₃	55.1	—	69.7
	M + PH ₃	—	—	—

P: 甲基嘧啶磷; D: 溴氰·甲嘧磷; M: 马拉硫磷; PH₃: 磷化氢; —表示没有数据。
P: Pirimiphos-methyl; D: Deltamethri-pirimiphos-methyl; M: Malathion; PH₃: Phosphine; — means no data.

3 结论与讨论

本研究通过比较不同防护剂与磷化氢联用在不同粮库中对赤拟谷盗、谷蠹和米象的防治效果,发现同种防护剂在不同粮库中的防治效果有明显差异,分析其主要原因,可能与气候条件密切相关。例如,湛江粮库所在的储粮区域温度和湿度均较高,年均温度在 20-26 ℃,相对湿度约 80%,使得储粮条件相对严峻;南平粮库位于中

温高湿区域,年相对湿度在 70%-85%,夏季尤为炎热潮湿;而汤阴粮库则处于中温干燥区,其年平均相对湿度为 55%-75% (王若兰, 2008)。由于气候条件的差异,高温高湿区域的粮食水分含量较高,导致防护剂降解速率加快,从而降低了防治效果。因此,防护剂在高温高湿储粮区的使用,应适当增大剂量 (白旭光, 2008)。温度与湿度的变化对导致了储粮害虫生命活动的变化,赤拟谷盗最适发育温度为 27-30 ℃,相对湿

度 70%(胡志鹏, 2017)。Falah 和 Azher(2020) 的研究表明赤拟谷盗和谷斑皮蠹 *Trogoderma granarium* 在高湿度的条件下产卵能力显著提高, 而低湿度的条件下产卵能力与孵化率则受到抑制。谷蠹作为一种耐热耐干旱能力较强的储粮害虫, 最适生长条件为 32℃左右, 相对湿度 75%左右(张玉荣等, 2018), 在这个条件下, 谷蠹的发育周期最短, 产卵能力最强(Kumawat, 2018)。温度湿度的变化对米象的生长繁殖同样有重要影响(黄建国和姜永嘉, 1982; 夏世祥, 2000; 王殿轩等, 2011, 2016)。因此, 高温高湿的储粮环境为害虫的生长提供了有利条件。

研究显示, 联合使用甲基嘧啶磷与 2%溴氰·甲嘧磷不仅能提升防治效果, 还能减少所需的农药量, 并延缓害虫抗性的产生(张艺伟, 2017)。此外, 赤拟谷盗、谷蠹和米象对马拉硫磷不具有交叉抗性, 其对磷化氢的抗性也不受防护剂影响(曹阳等, 2000; Kem, 2013)。

在防治米象、谷蠹、赤拟谷盗等储粮害虫时, 提高仓房密封性并延长磷化氢暴露时间能有效杀灭耐药性害虫(王继婷等, 2016)。虽然磷化氢熏蒸具有迅速杀虫的特点, 但其防虫效果不具持久性。若与具有高效、低毒和长效防护特点的储粮防护剂联合使用, 则可同时达到治虫和预防的双重效果。我国规定的大多数防护剂与磷化氢不存在拮抗作用, 因此, 将 1 种或 2 种防护剂与磷化氢联合使用, 不仅能降低农药用量, 还能延缓害虫抗药性的形成(何睿, 2017)。

致谢: 本次试验得到了湛江北站国家粮食储备中转库、福建省储备粮管理总公司南平储备库和河南汤阴茂祥粮油储运有限公司的众多领导及员工给予的大力支持与帮助, 特此致谢。

参考文献 (References)

- Bai XG, 2008. Stored Product Pests and Preventive Treatment. Beijing: Science Press. 324–376. [白旭光, 2008. 储藏物害虫与防治. 北京: 科学出版社. 324–376.]
- Bai J, Du YM, Liu XN, Wang JJ, Du YZ, 2017. The valuation of control effects of different insecticides on *Bemisia tabaci* (Gennadius). *Journal of Environmental Entomology*, 39(3):

- 705–712. [柏晶, 杜以梅, 刘晓娜, 王建军, 杜予州, 2017. 不同药剂对 Q 型烟粉虱的防治效果评价. *环境昆虫学报*, 39(3): 705–712.]
- Cao Y, Zhao YJ, Wang DX, Lu ZJ, Zhang JJ, Han JP, 2000. Cross resistance of phosphine resistant strains of *Rhyzopertha dominica* and *Sitophilus oryzae* to three protectants. *Grain Storage*, 29(4): 13–17. [曹阳, 赵英杰, 王殿轩, 卢振江, 张建军, 韩建平, 2000. 谷蠹和米象的 PH_3 抗性品系对 3 种粮食保护剂的交互抗性研究. *粮食储藏*, 29(4): 13–17.]
- Falah AS, Azher MA, 2020. Effect of different levels of relative humidity and impurities in three stored insects. *Plant Archives*, 20(S1): 257–261.
- He R, 2017. Study on the effect of comprehensive prevention and control of stored grain pests in Zhanjiang. *Food Science and Technology and Economy*, 42(2): 60–61. [何睿, 2017. 湛江市储粮害虫综合防治作用效果研究. *粮食科技与经济*, 42(2): 60–61.]
- Hu ZP, 2017. Study on the influence of water content in high temperature treatment *Tribolium castaneum*. *Environment and Development*, 29(9): 95–98. [胡志鹏, 2017. 高温处理对赤拟谷盗水分含量的影响研究. *环境与发展*, 29(9): 95–98.]
- Huang JG, Jiang YJ, 1982. Discussing the sensitivity of different stages of *Sitophilus oryzae* to phosphine. *Journal of Zhengzhou Grain Institute*, 3(3): 12–16. [黄建国, 姜永嘉, 1982. 探讨米象不同虫态对磷化氢的敏感性. *郑州粮食学院学报*, 3(3): 12–16.]
- Huang FN, Subramanyam B, 2005. Management of five stored-product insects in wheat with pirimiphos-methyl and pirimiphos-methyl plus synergized pyrethrins. *Pest Management Science*, 61(4): 356–362.
- Jiang X, Zhao Z, Gong C, Zhang XX, He LS, Wang SS, Li YY, 2022. Simulation study on residual effects of S-methoprene on *Sitophilus oryzae* and *Sitophilus zeamais*. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 37(4): 153–158. [姜雪, 赵珍, 龚超, 张锡贤, 何丽莎, 王森山, 李燕羽, 2022. 应用 S-烯虫酯小麦防治米象和玉米象持效性模拟研究. *中国粮油学报*, 37(4): 153–158.]
- Kem TR, 2013. Cross-resistance characteristics of phosphine-resistant strain of *Tribolium castaneum* (Herbst) to contact insecticides. *Journal of Entomological Research*, 3(1): 38–41.
- Kljajić P, Perić I, 2007. Effectiveness of wheat-applied contact insecticides against *Sitophilus granarius* (L.) originating from different populations. *Journal of Stored Products Research*, 43(4): 523–529.
- Kumawat K, Rana BS, Kachhawa D, Jain HK, 2018. To study the effect of different temperature and relative humidity on the

- biology of *Rhizopertha dominica*. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 6(1): 544–549.
- Liu GJ, 2009. Fumigation control effects of plant essential oils and mixed fumigants on *L. bostrychophila* and *T. castaneum*. Master dissertation. Chongqing: Southwest University. [刘国军, 2009. 植物精油及混用熏蒸剂对嗜卷书虱和赤拟谷盗的熏蒸控制作用. 硕士学位论文. 重庆: 西南大学.]
- Wang DX, Li ZD, Lu Qun, Xu W, 2011. Study on the movement behavior of *Sitophilus oryzae* at different temperatures. *Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition)*, 32 (4): 6–9. [王殿轩, 李兆东, 陆群, 徐威, 2011. 不同温度下米象的运动行为研究. 河南工业大学学报(自然科学版), 32(4): 6–9.]
- Wang DX, Zheng Z, Yuan YK, Liu KX, Lu Q, 2016. Measurement and calculation of the initial temperature of *Sitophilus oryzae* and *Sitophilus zeamais*. *Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition)*, 37(2): 11–15, 31. [王殿轩, 郑祯, 袁玉珂, 刘凯霞, 陆群, 2016. 米象和玉米象发育始点温度的测定与计算. 河南工业大学学报(自然科学版), 37(2): 11–15, 31.]
- Wang JT, Wang DX, Li JL, Huang X, Gao Y, 2016. Study on phosphine resistance of different *Rhizopertha dominica* (Fabricius) strains and their completely lethal concentrations and exposure times. *Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition)*, 37(1): 16–22. [王继婷, 王殿轩, 李佳丽, 皇欣, 高源, 2016. 谷蠹的磷化氢抗性及其完全致死浓度与时间研究. 河南工业大学学报(自然科学版), 37(1): 16–22.]
- Wang LL, 2018. The control of six stored-grain pests by combining three protectants with phosphine. Master dissertation. Zhengzhou: Henan University of Technology. [王利利, 2018. 3 种防护剂和磷化氢联用对 6 种储粮害虫的防治. 硕士学位论文. 郑州: 河南工业大学.]
- Wang RL, 2008. Grain and Oil Storage. Beijing: China Light Industry Press. 61–67. [王若兰, 2008. 粮油储藏学. 北京: 中国轻工业出版社. 61–67.]
- Wen Y, 2008. Study on joint toxicity and toxicological mechanism of organophosphorus pesticides. Doctor dissertation. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences. [文一, 2008. 有机磷农药的联合毒性及其毒理学机理研究. 博士学位论文. 北京: 中国农业科学院.]
- Wu SH, Lü JH, Zu LY, Wang LP, Cao Y, 2008. Research progress on the determination of pyrethroid pesticide residue in stored grain. *Grain and Oil Food Science and Technology*, 16(5): 19–22. [吴树会, 吕建华, 祖丽亚, 汪丽萍, 曹阳, 2008. 储粮拟除虫菊酯类农药残留检测研究进展. 粮油食品科技, 16(5): 19–22.]
- Xia SX, 2000. Effects of low temperature during rice storage on the physiological effects of *Sitophilus zeamais* and *Sitophilus oryzae*. *Sichuan Grain and Oil Science and Technology*, 2000(2): 33–36. [夏世祥, 2000. 大米储藏中低温对玉米象和米象生理作用的影响. 四川粮油科技, 2000(2): 33–36.]
- Yu HQ, Liao YF, Zhou H, Mo YB, Huang KL, Lin WJ, Mu CS, 2010. The study progress of pyrethroid insecticides. *Enterprise Technology and Development*, 2010(20): 46–49. [余慧群, 廖艳芳, 周海, 莫友彬, 黄科林, 林卫江, 慕朝师, 2010. 拟除虫菊酯杀虫剂研究进展. 企业科技与发展, 2010(20): 46–49.]
- Zhang TJ, Wang HZ, 2003. Health surveillance of phosphine exposed workers. *Industrial Hygiene and Occupational Diseases*, 29(1): 50–51. [张太江, 王怀忠, 2003. 磷化氢作业对工人健康影响的调查. 工业卫生与职业病, 29(1): 50–51.]
- Zhang YR, Tian T, Bao J, 2018. Changes in lipids in wheat after infestation by *Rhizopertha dominica* at different growth and development stages. *Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition)*, 39(3): 8–14. [张玉荣, 田甜, 暴洁, 2018. 小麦被不同生长发育阶段的谷蠹侵害后其脂类的变化. 河南工业大学学报(自然科学版), 39(3): 8–14.]
- Zhang YW, 2017. Toxicity of malathion and deltamethrin mixture to *Locusta migratoria* and their toxicological mechanisms. Master dissertation. Taiyuan: Shanxi University. [张艺伟, 2017. 马拉硫磷与溴氰菊酯混配对飞蝗毒力测定及毒性机理研究. 硕士学位论文. 太原: 山西大学.]