

“硫酰氟熏蒸风险评估与应用（上）—硫酰氟熏蒸应用技术” 特约专栏文章之三

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2021.04.008

崔森, 刘尚峰, 朱华锦, 等. 不同施药方式硫酰氟熏蒸高大平房仓效果比较研究[J]. 粮油食品科技, 2021, 29(4): 62-67.

CUI M, LIU S F, ZHU H J, et al. Comparative research on the effect of different application methods of sulfuryl fluoride fumigation in large warehouse[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2021, 29(4): 62-67.

不同施药方式硫酰氟熏蒸高大平房仓效果比较研究

崔森¹, 刘尚峰², 朱华锦³, 刘旭光³, 吕明², 沈宗海⁴, 汪中明¹✉

1. 国家粮食和物资储备局科学研究院, 北京 100037;
2. 安徽现代粮食物流中心库, 安徽 六安 231323;
3. 中储粮铜陵直属库, 安徽 铜陵 245000;
4. 安徽华良生物科技有限公司, 安徽 合肥 230011)

摘要: 通过比较分析 3 种不同实仓施药方式硫酰氟熏蒸高大平房仓的穿透力、均匀性和杀虫效果, 探索硫酰氟在实仓熏蒸的最佳工艺。结果表明, 硫酰氟气体可在 2.5 h 内自然扩散穿透粮堆, 24 h 左右达到整仓基本均匀。环流熏蒸可以加速气体均匀, 但此次实验环流过程中导致了一定药剂损失。在整仓熏蒸、膜下上行环流和膜下下行环流的 3 种熏蒸方式中, 整仓熏蒸操作最为简便, 可用于快速杀灭成虫; 膜下上行环流方式, 药剂损耗量较大; 膜下下行环流, 浓度均匀速度快, 用药量较整仓小, 药剂浓度保持时间长, 杀虫效果好。

关键词: 硫酰氟; 高大平房仓; 整仓熏蒸; 膜下环流

中图分类号: TS205.3 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2021)04-0062-06

网络首发时间: 2021-07-02 16:40:48

网络首发地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3863.TS.20210702.1534.033.html>

Comparative Research on the Effect of Different Application Methods of Sulfuryl Fluoride Fumigation in Large Warehouse

CUI Miao¹, LIU Shang-feng², ZHU Hua-jin³, LIU Xu-guang³,
LV Ming², SHEN Zong-hai⁴, WANG Zhong-ming¹✉

1. Academy of National Food and Strategic Reserves Administration, Beijing 100037, China; 2. The Modern Center Grain Warehouse of Anhui, Liu'an, Anhui 231323, China; 3. Sinograin Tongling Grain Depot, Tongling, Anhui 245000, China; 4. Anhui Hualiang Biotechnology Co., Ltd., Hefei, Anhui 230011, China)

Abstract: This study aims at sulfuryl fluoride fumigation in large warehouses. By comparing and analyzing the penetration, uniformity and insecticidal effect of three different methods of application in the real warehouses. The best technology for sulfuryl fluoride fumigation in the real warehouses was explored. Research results show that sulfuryl fluoride gas can diffuse through the grain pile naturally within 2.5 hours,

收稿日期: 2021-03-22

基金项目: 中央级公益性基本科研业务费专项 (ZX1923)

Supported by: Fundamental Research Funds of non-profit Central Institutes (No.ZX1923)

作者简介: 崔森, 女, 1990 年出生, 硕士, 助理研究员, 研究方向为储粮害虫综合防治。E-mail: cm@ags.ac.cn.

通讯作者: 汪中明, 男, 1971 年出生, 博士, 副研究员, 研究方向为储粮害虫综合防治。E-mail: wzm@ags.ac.cn.

and penetrate the entire warehouse within 24 hours. Recirculation fumigation can accelerate the uniformity of the gas, but it causes more chemical loss. Among the three fumigation methods, the whole warehouse fumigation operation is the simplest and the most effective in killing adults. The upward recirculation fumigation under the membrane causes large chemical loss, while for the downward recirculation fumigation under the membrane, the concentration is uniformly distributed, even though the dosage is smaller. The concentration of the agent is maintained for a long time, and the insecticidal effect is significant.

Key words: sulfuryl fluoride; warehouse; fumigation; under the membrane circulation

全世界每年因仓储有害生物造成的粮食、豆类、油料损失约占总存储量的 5%^[1]。储粮害虫危害直接影响到我国粮食数量和质量安全。粮堆作为大型的散粒体结构,在对其进行熏蒸的过程中,不同的施药方式将会对熏蒸的效果产生很大的影响。我国仓储企业长期以来以磷化氢熏蒸作为主要的储粮害虫防治技术,通过长期的应用和研究,形成了包括磷化氢仓外施药、环流熏蒸及实时检测有机结合为一体的磷化氢环流熏蒸技术,并制定了相关技术标准,解决了常规熏蒸方式中难保证磷化氢气体在高大粮堆内的均匀分布、有效杀死储粮害虫的难题。硫酰氟作为目前最有潜力在仓储行业广泛应用的熏蒸剂,虽然针

对硫酰氟实仓杀虫效果等方面有一些应用方法的报道^[2-3],但并未见不同实仓施药方式系统的比较研究,尚没有形成完善的施用工艺。高大平房仓是我国储粮主要的仓型,本研究针对高大平房仓,采用几种不同的硫酰氟熏蒸施用方式,通过比较分析,探索建立和完善的硫酰氟熏蒸技术。

1 材料和方法

1.1 材料

试验在中储粮安徽铜陵库 17 号仓和安徽粮食批发交易市场有限公司现代粮食物流中心库 29 号、40 号和 5 号进行,具体情况见表 1。

表 1 实验仓房情况

Table 1 Experiment warehouses

仓号	品种	粮食水分/%	粮温/°C	仓温/°C	数量/t	入仓时间/(年.月)	粮堆虫害情况/(头/公斤)	仓房气密性/s
17	稻谷	14.1	16.5	32.8	3430	2019.1	谷蠹 5、锈赤扁谷盗 3、书虱 5	—*
29	小麦	11.6	18.9	28	4150	2019.8	书虱: 52	—*
40	小麦	12.7	19.8	30	4846	2019.6	书虱: 86	46
5	稻谷	12.7	19.8	30	3199	2018.9	书虱: 60	53

注: 1、*气密性检测过程中压力上升不到 300 Pa。

Note: *The pressure rises less than 300 Pa during the air tightness test.

1.2 仪器及设备

SP Tr-GAS@200 硫酰氟浓度检测仪: 江苏舒茨仪器股份有限公司; SF-ExplorIR 硫酰氟报警仪: 美国 SPECTROS 仪器有限公司; 环流风机(风机功率 7.5 kW)、仓内环流管(直径 1.1 m): 安徽省华粮粮油储运有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 仓房气密性检测

全仓密闭(窗户,轴流风机口,检查口,通风口)只留一个通风口连接小功率(3 kW)风机,对面检测管连接压力计,开始压入或吸出。负压吸出至压力计-350 Pa 时,关停风机,快速关闭风

机阀门,压力计等-300 Pa 时,开始计时至-150 Pa (半衰期)所用时间^[4]。

1.3.2 试验虫笼

挑选成虫虫龄一致的玉米象 *Sitophilus zeamais*、谷蠹 *Rhizopertha dominica*、长角扁谷盗 *Cryptolestes pusillus* Oliver、嗜卷书虱 *Liposcelis bostrychophila*, 所有虫种饲养于国家粮食和物资储备局科学研究院粮食储运研究所昆虫饲养室,饲养方法见参考文献^[5]。将装有四种成虫的布袋虫笼放置于粮堆内部深度为 50 cm。熏蒸散气后,将虫笼取出,统计成虫死亡率,并将含有虫卵的饲料放入恒温恒湿箱内进行 8 周的饲养,统计卵孵化后成虫种类。

1.3.3 熏蒸方式及用药量

1.3.3.1 整仓熏蒸 采取仓内粮面施药的方式。根据预设浓度计算好用药量，将需要用量的钢瓶气均匀垂直放置于粮面，避免钢瓶与粮食直接接触，以防汽化过程产生的低温导致粮食结露。施药人员佩戴好自给式呼吸器，同时依次由内向外打开钢瓶气气阀，让气体缓慢排出，确保气体释放彻底。

1.3.3.2 膜下上行环流熏蒸 施药前制作一套能有效联通钢瓶阀口和环流管口的输气管路，包括瓶口接头、高压软管、管口带两个尖嘴阀快速闷盖。通过仓房配置的上行环流系统，将钢瓶气与环流管道连接，确保气体自粮堆下部向粮面方向环流。启动环流风机，开启钢瓶阀门，直至将预先计算好用药量的药剂全部释放至粮堆中。24 h 后结束环流。

表 2 实验仓房熏蒸方式及用药量

Table 2 Fumigation method and dosage of experiment warehouses

仓号	熏蒸方式	环流时间/h	环流方式	施药浓度/(g/m ³)	投药量/kg
17	整仓熏蒸	-	-	12.73	140.0
29	整仓熏蒸	-	-	10.00	74.3
40	膜下下行环流	3.75	开始投药即开始环流，投药结束后即停止环流	10.00	60.8
5	膜下上行环流	24.00	投药开始即开始环流，24 h 后结束	10.00	55.8

1.3.3.3 膜下下行环流熏蒸 将钢瓶阀门与仓房下行环流管道连接，确保气体自粮面向下环流。启动风机，开启钢瓶阀门，直至将预先计算好用药量的药剂全部释放至粮堆中。开始投药即开始环流，投药结束后即停止环流。

1.3.3.4 熏蒸散气 当仓内气体检测浓度降至 1 mL/m³ 以下，开始散气。散气采用自然通风散气，散气 20 h 以上，记录仓内空气中硫酰氟最高容许浓度降低到 20 mg/m³ (5 mL/m³) 所用时间，并监测记录仓外上风向、下风向空气中硫酰氟浓度变化情况。

浓度，作为判断气体在粮堆内部扩散情况的依据。

整仓熏蒸利用硫酰氟气体具有密度大，穿透性强的特点，通过其自然扩散实现整仓熏蒸的目标。粮堆表面的硫酰氟钢瓶气，自阀门打开后开始向仓内排气。起始气体排放速度较快，前期仓外称重实验证实大约半小时排放 5 kg，后面排气口因汽化产生的低温而结冰堵塞，排放速度逐步减缓。全部释放完 1 瓶 10 kg 的气体约 8 h 左右。

1.3.4 气体采样点布置及浓度检测

整仓熏蒸布置点：仓内对角线三点，每个点上、中、下布置三根取样管(上层粮堆深度 1.5 m，中层深度 3 m，下层深度 4.5 m)。空间中间 1 个(粮面与天花板之间的中心位置)。

从 17 号仓 24 h 内气体浓度的变化情况(图 1)可以发现，气体在起始大量排放的时候，迅速向粮堆上中层扩散，2.5 h 的时候，粮堆中间 3 m 的气体浓度要甚至高于仓内空间的气体浓度，此时气体刚刚到达粮堆底部，但浓度较低。之后气体断续向下扩散，上中层浓度逐渐降低，下层气体浓度逐渐上升。并一直维持这样的趋势，直至 24 h，粮堆底部浓度到达最高 12.7 g/m³，约为粮堆上层浓度的一半。24 h 之后，整仓所有检测点气体浓度开始下降，浓度较高的上中层下降较快，底层浓度下降较缓，在此过程中，上中层高浓度的气体可能还会逐步向下层扩散。60 h 左右，整仓平均气体浓度为 13.7 g/m³ 左右，高于本试验设置浓度为 12.7 g/m³。表明此时检测点之外的其它部位气体浓度并没有真正的均匀。从整仓气体最高平均浓度 17.4 g/m³ 下降至 5 g/m³ 共计用时 137 h，平均衰减速度为 0.091 g/m³·h。

膜下熏蒸布置点：仓内对角线三点，每个点上、中、下布置三根取样管(上层粮堆深度 1.5 m，中层深度 3 m，下层深度 4.5 m)。

投药结束每 6 h 检测一次硫酰氟浓度。48 h 后每天定时检测两次。

1.4 数据处理

用 WPS Office Excel 2020 处理数据。

2 结果与分析

2.1 硫酰氟气体在粮堆内扩散规律比较分析

以不同时间，不同位置检测点的硫酰氟气体

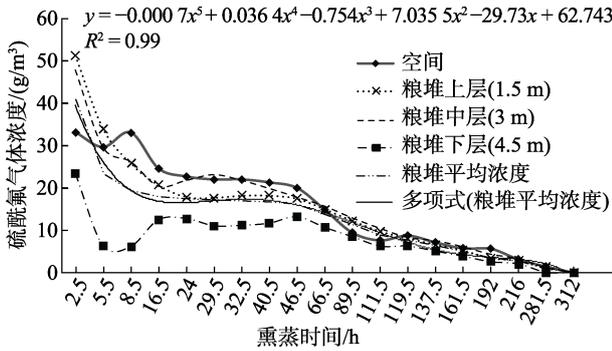


图 1 17 号仓 (整仓熏蒸) 硫酰氟气体浓度变化

Fig. 1 The change of sulfuryl fluoride gas concentration in No. 17 warehouse (whole warehouse fumigation)

29 号小麦仓浓度变化趋势 (图 2) 与 17 号稻谷仓存在一定差异。气体在小麦粮堆中的扩散速度明显要快于稻谷粮堆。5.5 h 的时候, 粮堆底部气体浓度已经到达 15.7 g/m^3 , 随后各层浓度开始衰减, 粮仓空间和粮堆上层气体浓度衰减速度最快, 幅度相当。中层气度浓度一直最高。从相对均匀后的整仓平均气体浓度 9.0 g/m^3 下降到 5.2 g/m^3 , 用时 37 h, 平均衰减速度为 $0.1 \text{ g/m}^3 \cdot \text{h}$ 。

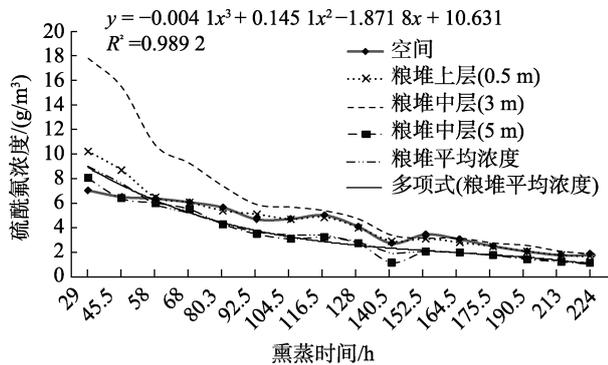


图 2 29 号仓 (整仓熏蒸) 硫酰氟气体浓度变化

Fig. 2 The change of sulfuryl fluoride gas concentration in No. 29 warehouse (whole warehouse fumigation)

膜下下行环流熏蒸, 气体释放结束后即停止环流。由图 3 可见, 40 号仓熏蒸过程中, 20 h 粮堆上中层气体浓度达到最高, 中层气体浓度高于上层, 下层浓度达到 10 g/m^3 以上。随后上中层气体浓度逐渐下降, 底层浓度逐步上升, 40 h 达到最高点, 整仓平均气体浓度为 17.3 g/m^3 , 远高于试验设置浓度 10 g/m^3 。40 h 之后粮堆各层气体浓度开始衰减。平均衰减至 5.3 g/m^3 , 用时 154 h, 平均衰减速度为 $0.078 \text{ g/m}^3 \cdot \text{h}$ 。

膜下上行环流熏蒸, 气体自粮堆底部向上扩散。从 5 号仓的气体浓度的变化情况 (图 4) 可

见, 环流结束时, 粮堆底部气体浓度最高, 为 10.6 g/m^3 。中、上两层气体浓度基本一致, 平均浓度 8.8 g/m^3 左右。环流结束后 16 h 内, 气体仍然会沿着环流的方向流动, 40 h, 气体浓度基本均匀。平均衰减至 5.2 g/m^3 , 用时 55 h, 平均衰减速度为 $0.065 \text{ g/m}^3 \cdot \text{h}$ 。

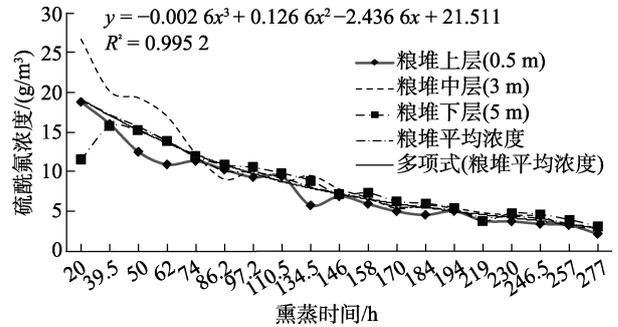


图 3 40 号仓 (膜下下行环流) 硫酰氟气体浓度变化

Fig. 3 The change of sulfuryl fluoride gas concentration in No. 40 warehouse (downward recirculation fumigation under the membrane)

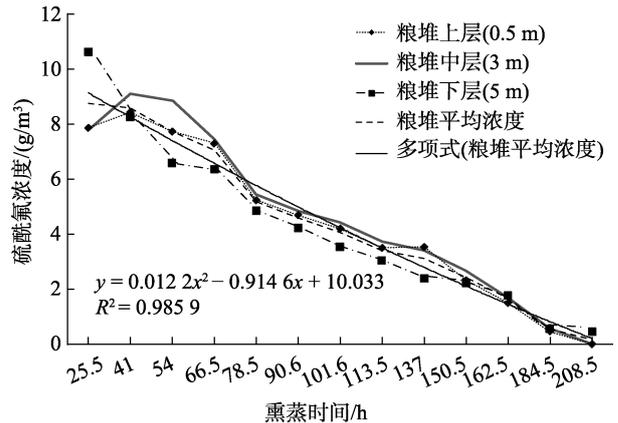


图 4 5 号仓 (膜下上行环流) 硫酰氟气体浓度变化

Fig. 4 The change of sulfuryl fluoride gas concentration in No. 5 warehouse (upward recirculation fumigation under the membrane)

此外, 对三种施药方式中硫酰氟熏蒸浓度衰减数据点进行拟合分析, 所得回归方程见图 1~4。三个方程的拟合度较好, R^2 分别为 0.990 0, 0.991 5, 0.990 2, 0.985 9。其中, 17 号仓衰减规律符合五次多项式方程, 其他整仓熏蒸仓内硫酰氟浓度衰减规律符合三次多项式方程, 膜下熏蒸的上行和下行衰减规律符合二次多项式方程。

2.2 粮堆中硫酰氟气体均匀性分析

粮堆各层浓度比达到 0.6 时, 判定为气体分布均匀^[3]。由表 3 可见, 17 号稻谷仓整仓熏蒸方式硫酰氟气体浓度全仓均匀用时最短, 为 16.5 h。

然后依次是膜下上行环流方式的 5 号仓、膜下下行环流的 40 号仓和整仓熏蒸的 29 号仓, 达到全仓均匀用时分别是 25.5、39.5 和 58 h。而保持均匀性时间最长的是 40 号仓, 其次是 5 号、17 号仓和 29 号仓。

表 3 硫酰氟气体在粮堆内部分布均匀性
Table 3 Uniformity of sulfuryl fluoride gas distribution in grain pile

仓号	浓度比 ≥ 0.6		浓度比 ≥ 0.7		浓度比 ≥ 0.8		
	达到时间/h	保持时间/h	所占时间/%	保持时间/h	所占时间/%	保持时间/h	所占时间/%
17	16.5	183.0	58.7	91.0	29.1	-	-
29	58.0	106.4	47.5	-	-	-	-
40	39.5	249.3	90.0	167.5	60.5	140.5	50.7
5	25.5	159.1	76.3	159.0	76.3	81.0	38.8

对相同粮种间不同熏蒸方式达到气体均匀的速度进行比较。同为稻谷的 17 号和 5 号仓, 整仓熏蒸的气体均匀速度要快于膜下上行环流的熏蒸方式。同为小麦的 40 号仓和 29 号相比, 膜下下行环流熏蒸的气体均匀性要快于整仓熏蒸。

对比不同的熏蒸方式, 5 号仓、40 号仓达到均匀性的时间比 29 号仓短, 但比 17 号仓长, 因此膜下投药对比整仓熏蒸达到均匀性的时间并不具明显优势, 但 40 号仓达到均匀性后, 浓度均匀性保持时间比整仓熏蒸的长。对比 5 号仓上行环流 3.75 h 和 40 号仓下行环流 24 h, 上行环流达到均匀性需 25.5 h, 下行环流需 39.9 h, 因此环流时间加长, 达到均匀性的时间变短, 但在均匀度的保持时间上, 环流时间短的均匀性保持时间为 249.3 h, 远远高于环流时间长的 159.1 h。

2.3 不同施药方式杀虫效果

由表 4 可以看出, 三种施药方式熏蒸结束后, 预埋虫笼中成虫死亡率均为 100%。但两个整仓熏蒸的虫笼, 56 天后分布位于中上层的两个虫笼中发现了孵化出来的玉米象。表明整仓熏蒸中, 仓内保持的药剂浓度不足以杀死虫卵。17 号仓保持 5 g/m³ 以上浓度的时间约为 6 天, 这之前实验室硫酰氟杀灭虫卵的预实验结果基本一致。需要通过增加用药量、增加增效剂、或改变熏蒸方式等途径解决硫酰氟杀卵问题。

表 4 粮堆预埋虫笼成虫死亡率
Table 4 Mortality of adult insect cages embedded in grain piles

熏蒸方式	浓度/(g/m ³)	粮食品种	成虫死亡率/%	卵孵化后的种类
对照	对照	-	0	玉米象, 谷蠹, 长角扁谷盗, 嗜卷书虱
整仓	10.0	小麦	100	玉米象
整仓	12.7	稻谷	100	玉米象
膜下	10.0	小麦	100	-
膜下	10.7	稻谷	100	-

3 讨论

3.1 环流过程可能产生了药剂损失

4 个实验仓房中, 5 号仓采用膜下熏蒸的方式, 气密最高, 为 53 s。但通过 24 h 上行式环流后, 但整仓气体达到基本均匀后, 整仓气体浓度约为 8.8 g/m³, 远低于未进行气密性改造的 17 号和 29 号仓整仓熏蒸气体均匀后的浓度。可见此次环流实验过程中产生了较大的药剂损失。有研究表明, 在磷化氢整仓环流熏蒸与膜下环流熏蒸对比试验中, 采用膜下环流熏蒸延长了磷化氢气体有效浓度的时间, 大大提高了熏蒸效果, 减少了使用量, 而并未造成药剂的损失^[6]。因此, 进行硫酰氟膜下环流熏蒸时, 需考虑环流对药剂的损失, 以确保熏蒸的杀虫效果。

40 号仓气密性为 46 s, 采用膜下下行环流, 因为该仓仅环流了 3.75 h, 所以因环流损失的药剂剂量要远远小于 5 号仓。但整仓气体基本均匀后, 气体浓度与 17 号整仓浓度相差不大, 说明近 4 h 的环流过程还是导致了部分药剂的损失。

3.2 硫酰氟穿透力强

江利国^[7]等研究结果表明, 未进行环流的磷化氢熏蒸气体需 4 天左右方能达到均衡。本实验中整仓熏蒸的 17 号稻谷仓, 在开始投药的 2.5 h 后, 粮堆底部就可以检测到药剂气体浓度, 通过自然扩散用时 16.5 h 达到全仓气体均匀。研究表明硫酰氟气体比磷化氢气体具有更强的穿透力, 扩散能力更强。

3.3 仓房气密性对硫酰氟熏蒸的影响

本试验中, 采用整仓熏蒸的两个仓房均为未经过气密性改造, 是压力无法达到 300 Pa 的气密

性较差的仓房。结果显示, 本研究中浓度衰减较快的 29 号小麦仓, 半衰期大约 3 天左右。而 17 号稻谷仓, 保持 5 g/m^3 以上浓度达 6 天左右。这两种气密性条件下, 用药剂量为 10 g/m^3 时, 能够快速杀灭成虫。有研究表明, 平房仓 300 Pa 压力半衰期在 40 s 以下, 则需要在熏蒸中补充投药, 以保证有效的杀虫浓度^[8]。因此, 对于气密性差的仓房, 推荐采用硫酰氟熏蒸。

膜下熏蒸的两个实验仓, 气密分别是 53 s 和 46 s。两个仓房的气体浓度平均衰减速度分别为 $0.078 \text{ g/m}^3 \cdot \text{h}$ 和 $0.065 \text{ g/m}^3 \cdot \text{h}$, 与仓房气密性成正比。

仓房气密性对硫酰氟熏蒸的气体浓度保持十分重要, 但由于其杀灭害虫成虫的速度快, 在应急处理成虫时, 对仓房气密性要求较低。

4 结论

硫酰氟整仓熏蒸操作方便, 快速均布, 能够快速杀死成虫。但用药量较大, 气密性不佳的仓房, 气体浓度衰减快, 会出现杀卵不彻底的现象; 膜下上行环流的熏蒸方式, 环流时间较长, 药剂在环境过程中可能会产生药剂损失。膜下下行环流的熏蒸方式, 环流时间短, 浓度均布快, 比整仓熏蒸节约用药量, 并由于覆膜后气密性好, 药剂浓度保持时间长, 杀虫效果较好。

参考文献:

- [1] 张生芳, 樊新华, 高渊, 等. 储藏物甲虫[M]. 北京: 科学出版社, 2016: 1.
ZHANG S F, FAN X H, GAO Y, et al. Storage Beetle[M]. Beijing: Science Press. 2016: 1.
- [2] 严晓平, 许胜伟, 张娟, 等. 硫酰氟熏蒸稻谷实仓示范试验研究[J]. 粮食储藏, 2008(5): 6-9.
YAN X P, XU S W, ZHANG J, et al. Pilot research of sulfuryl fluoride fumigation on paddy in field[J]. Grain Storage, 2008, (5): 6-9.
- [3] 罗正有, 徐玉琳, 曹宇, 等. 硫酰氟与磷化铝在储粮熏蒸中的对比试验[J]. 粮油仓储科技通讯, 2017, 33(3): 35-37.
LUO Z Y, XU Y L, CAO Y, et al. Contrast experiment of sulfuryl fluoride and aluminum phosphide in the fumigation of stored grain[J]. Liang You Cang Chu Ke Ji Tong Xun, 2017, 33(3): 35-37.
- [4] 磷化氢膜下环流熏蒸技术规程: Q/ZCL T1—2007[S]. 北京: 中国储备粮管理总公司, 2007.
Regulation of phosphine recirculation fumigation under plastic sheeting: Q/ZCL T1—2007[S]. Beijing: China Grain Reserve Management Corporation, 2007.
- [5] 白旭光. 储藏物害虫与防治[M]. 北京: 科学出版社, 2008: 203-256.
BAI X G. Storage pests and control[M]. Beijing: Science Press, 2008: 203-256.
- [6] 张峰. 整仓环流熏蒸与膜下环流熏蒸对比试验[J]. 粮食科技与经济, 2013, 38(6): 40-41.
ZHANG F. Contrast experiment of circulatory fumigation and Submembrane circulation fumigation[J]. Grain Science and Technology and Economy, 2013, 38(6): 40-41.
- [7] 江利国, 李平忠, 薛家智, 等. 不同粮种磷化氢薄膜密闭熏蒸施药剂量的选择[J]. 粮油仓储科技通讯, 1988(2): 30-37.
JIANG L G, LI P Z, XUE J Z, et al. Selection of the dosage of different grain types of phosphine film for sealed fumigation[J]. Liang You Cang Chu Ke Ji Tong Xun, 1988(2): 30-37.
- [8] 王殿轩. 仓房气密性与磷化氢环流熏蒸用药量及浓度的相关性[J]. 粮食储藏, 2002(4): 11-15.
WANG D X. Relativity between gastightness and dosage and concentration in recirculation fumigation of phosphine[J]. Grain Storage, 2002(4): 11-15. 完