

“储粮害虫防治研究”专题文章之四

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2020.05.012

小麦仓多点施药环流硫酰氟浓度变化及对锈赤扁谷盗的致死效果

谢少秋¹, 王殿轩²✉, 韩伟¹, 黄依林², 赵欣欣², 董鹏¹, 王跃进³, 唐培安⁴

(1. 中央储备粮济南直属库有限公司, 山东 济南 250100;

2. 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;

3. 龙口市化工厂, 山东 烟台 265709;

4. 江苏省现代粮食流通与安全协同创新中心, 江苏 南京 210023)

摘要: 在高大平房仓采用硫酰氟 20 g/m³ 的剂量对仓温 27~30 °C、中部上层粮温 26~28 °C、中部中下层粮温 16~19 °C、东北部上中下层粮温 26~29 °C 的 8 000 t 小麦粮堆利用环流系统施药口和粮面多点施药并环流, 测定粮面、粮面下 1.5 和 4.5 m 深处的硫酰氟浓度, 以及对室内培养的锈赤扁谷盗成虫、蛹、幼虫、卵和粮堆中采集的锈赤扁谷盗成虫的致死效果。在环流条件下粮面和粮堆下 4.5 m 深处在施药完毕硫酰氟浓度即达到或接近峰值, 粮堆下 1.5 m 深处浓度较低。熏蒸 3 至 12 h 时各部位层点浓度均在 20 g/m³ 以上, 分布较为均匀。12 h 时, 粮堆中硫酰氟浓度总体较高, 此时间后随时间延长浓度下降趋势明显。在 24 h 时停止环流后, 各检测点硫酰氟浓度下降较快, 粮温较高的东北角部位检测点浓度下降速率大于粮温较低的粮堆中部的浓度下降速率, 粮温高的部位硫酰氟浓度下降比粮温低的部位明显较快。粮堆中硫酰氟浓度在降到 2 g/m³ (约 13 d) 以后衰减速率变小, 从 2 g/m³ 衰减至 0 g/m³ 的时间约 10 d。粮面硫酰氟浓度 27~24 g/m³ 熏蒸 3 h 可完全杀死锈赤扁谷盗成虫和幼虫, 浓度 27~22 g/m³ 经 6 h 可完全杀死锈赤扁谷盗蛹, 27~19 g/m³ 经 24 h 可完全杀死锈赤扁谷盗的卵。锈赤扁谷盗各虫态对硫酰氟的耐受力大小为: 卵>蛹>成虫~幼虫。在粮堆表层和周边粮温 26~29 °C、内部粮温 16~19 °C 的粮堆中, 锈赤扁谷盗 4 个虫态经硫酰氟浓度 24 g/m³ 上下开始到 23 d 后的 0 g/m³ 的过程均可全部被杀死。

关键词: 小麦堆; 多点施药; 环流熏蒸; 硫酰氟浓度; 锈赤扁谷盗; 致死效果

中图分类号: TS210.2; S379.5 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2020)05-0089-07

Sufuryl Fluoride Concentration Change and Killing Effect on *Cryptolestes ferrugineus* (Stephens) in Stored Wheat Warehouse Applied in Several Points and Recirculation

XIE Shao-qiu¹, WANG Dian-xuan²✉, HAN Wei¹, HUANG Yi-lin², ZHAO Xin-xin²,
DONG Peng¹, WANG Yao-jin³, TANG Pei-an⁴

(1. State Grain Reserves Jinan Depot LTD Company, Jinan, Shandong 250100, China; 2. School of Food Science and Technology Engineering Research Center of Grain Storage and Security of Ministry of Education, Grain Storage and Logistics National Engineering Laboratory, School of Food Science and Technology, Henan University of Technology, Zhengzhou, Henan 450001, China; 3. Longkou City Chemical Plant, Yantai, Shandong 265709, China; 4. Jiangsu Collaborative Innovation Center of Modern Grain Circulation and Safety, Nanjing, Jiangsu 210023, China)

收稿日期: 2020-03-21

基金项目: 国家重点研发计划 (2017YFC1600804)

作者简介: 谢少秋, 男, 1994 年出生, 助工, 研究方向为粮食储藏。

通讯作者: 王殿轩, 男, 1962 年出生, 博士, 教授, 研究方向为储藏物害虫综合治理。

Abstract: A fumigation with dosage of 20 g/m³ sulfuryl fluoride was carried out in a warehouse stored 8 000 t of wheat and equipped with recirculation system, in which the temperature was 27~30 °C for head space, 26~28 °C for top layer of the bulk, 16~19 °C for middle and bottom layers of central bulk and 26~29 °C for surrounded bulk grain in the warehouse. The fumigant was applied in five points on the bulk surface and through the ventilation ducts under bottom of the bulk by a pipe connection while the recirculation running. The concentrations of sulfuryl fluoride in bulk surface, 1.5 m and 4.5 m depth under grain surface were all monitored during the process. The killing effect on *Cryptolestes ferrugineus* (Stephens) was also examined for the adults, pupae, larvae, and eggs of lab cultured strain and adults of field strain. The peak concentration was monitored on surface of the bulk and in the depth of 4.5 m of that, the concentration was lower in the depth of 1.5 m of the bulk, just after fumigant applied and while recirculation running. During exposure of 3 to 12 h, the sulfuryl fluoride concentration was above 20 g/m³ and distributed uniformly. The concentration of sulfuryl fluoride in the grain pile was generally higher, and the concentration decreased obviously with the time after 12 h. Sulfuryl fluoride concentration descended more quickly after 24 h when recirculation stopped and descended rate of sulfuryl fluoride concentration in higher temperature part of grain located in surround bulk was bigger than that in lower temperature part located in central bulk. When the concentration of sulfuryl fluoride in the grain pile decreased to 2 g/m³ (about 13 d), the decay rate decreased, and the time from 2 g/m³ to 0 g/m³ was about 10 days. During the fumigation that sulfuryl fluoride concentration changed in range of 27~24 g/m³, adults and larvae can be killed completely in 3 h exposure. Pupae can be given 100% mortality in 6 h when exposure under 27~22 g/m³ of the fumigation. The full mortality for eggs needed 24 h in 27~19 g/m³ of sulfuryl fluoride concentration. The tolerance of four life stages of *C. ferrugineus* to sulfuryl fluoride was eggs>pupae>adults≈larvae. In the grain bulk where temperature was 26~29 °C for top layer and surround bulk and 16~19 °C for middle and bottom grain of central bulk, all life stages of *C. ferrugineus* can be fumigated successfully by sulfuryl fluoride that concentration varied from about 24 g/m³ to 0 g/m³ during 23 d of the exposure time.

Key words: wheat bulk; fumigant application in several points; recirculation; sulfuryl fluoride concentration; *Cryptolestes ferrugineus*; killing effect

硫酰氟具有扩散快、穿透性强、杀虫效果好、不燃爆、无腐蚀等特性,长期以来多用于检疫、集装箱、建筑物等熏蒸杀虫和白蚁的防治^[1-2],在世界范围内有较多应用^[3-4]。美国、瑞士、意大利、英国、加拿大、法国、西班牙、比利时、德国和特立尼达和多巴哥共和国等国家已登记可将硫酰氟用于食品加工厂结构熏蒸等^[5-6]。随着溴甲烷在全球范围内淘汰使用、害虫磷化氢抗性发展、新型替代性熏蒸药剂开发难度增加等^[5,7],近些年来硫酰氟用于粮食加工场所杀虫剂替代物的研究增多^[8-9],关于硫酰氟熏蒸的研究多为 48 h 以内的杀虫结果^[1]。硫酰氟对成虫、幼虫、蛹等的杀虫效果较好^[2,10-11],对虫卵的效果较差^[12-15],且大龄卵比新生卵对硫酰氟的耐力更强^[1]。近期多个国家批准硫酰氟可用于储粮场所的熏蒸杀虫,但相

关报告仍多为加工厂或建筑结构熏蒸^[16]。例如,澳大利亚批准硫酰氟可用于粮堆熏蒸^[17],实际上大型仓房和粮堆熏蒸报道仍然缺少。粮堆熏蒸中由于粮食对硫酰氟的快速吸附,短时间内熏蒸气体浓度可快速下降,一般通过控制剂量延长熏蒸时间达到杀虫效果的想法可能不易实现^[1]。中国于 2007 年批准硫酰氟可用于原粮熏蒸^[18],在我国大型粮堆中采用硫酰氟熏蒸杀虫尚需要更多研究和试验。在堆高 4.5 m 的小麦包装仓中,用 15 g/m³ 的硫酰氟通过磷化氢环流熏蒸系统 2 个施药口以 30 kg/h 流量施入硫酰氟,7 d 后检查发现粮食中玉米象 *Sitophilus zeamais* (Motschulsky)、锈赤扁谷盗 *Cryptolestes ferrugineus* (Stephens) 等储粮害虫成虫未见存活^[19]。在 2 000 t 的散装稻谷仓中,用 20 g/m³ 的硫酰氟熏蒸堆高为 4 m 的粮堆,通过磷

化氢环流系统施药口按约 12 kg/h 的速度通入 80 kg 的硫酰氟, 连续环流 24 h, 共熏蒸 5 d 后取出玉米象、米象 *Sitophilus oryzae* (Linnaeus)、谷蠹 *Rhizopertha dominica* (Fabricius)、赤拟谷盗 *Tribolium castaneum* (Herbst) 和锈赤扁谷盗试虫, 再培养 30 d 后检查害虫均全部死亡, 此过程粮堆不同部位硫酰氟残留量差异明显^[27]。

粮仓大小、粮堆规模、粮食种类与质量、环境温度 and 湿度、剂量大小与浓度分布, 及不同害虫种类和虫态都会影响硫酰氟的熏蒸效果^[20]。锈赤扁谷盗为普遍发生且难以用磷化氢成功治理的害虫, 在大型粮堆中采用硫酰氟熏蒸并跟踪浓度变化、对锈赤扁谷盗各虫态的致死效果, 尤其是对锈赤扁谷盗虫卵致死效果的研究尚少。本文在高大平房仓堆高 6 m、散储 8 200 t 小麦粮堆中, 采用多点施药加环流进行硫酰氟熏蒸, 检测了熏蒸气体浓度变化及其对锈赤扁谷盗不同虫态的致死效果, 以期对硫酰氟的应用和锈赤扁谷盗的有效治理提供参考。

1 材料与方 法

1.1 粮仓与粮情

实验仓房为某直属粮食储备库 17 号仓, 长度 59.7 m, 宽 23.20 m, 高 9.0 m, 储粮高度 6.0 m, 储存小麦 7 987.7 t。小麦水分含量为 11.6%, 杂质为 0.4%, 不完善粒为 5.5%, 容重为 796 g/L。施药时仓温 26 °C、42% RH。熏蒸期间仓温 27~30 °C、粮堆中部上层粮温 26~28 °C、中部中下层粮温 16~19 °C、东北部上中下层粮温 26~29 °C。仓房密闭检测气密性正压 500 Pa 压力半衰期为 60 s。

1.2 试虫准备

实验所用试虫包括室内培养的锈赤扁谷盗成虫、幼虫、蛹和卵, 和从待熏蒸粮堆采集的锈赤扁谷盗成虫。室内培养的锈赤扁谷盗采集自山西某粮库, 在河南工业大学储粮害虫研究室以(32±1) °C、70%±5% RH 培养 10 数代。

熏蒸中采用粮面虫笼和粮堆虫笼放入不同虫态试虫进行杀虫效果监测。粮面虫笼采用 Ø10 mm×70 mm 的两端开口玻璃管盛放, 放入试虫和少许饲料后用橡皮筋和筛绢封口。埋入粮堆深层的粮堆虫笼 Ø20 mm×120 mm 采用不锈钢制作, 侧壁

对开 2 个透气孔并用筛网固定封闭, 两端锥形并具有埋入和提出配置(见图 1)。

成虫虫笼是在两通玻璃管和不锈钢虫笼分别放入羽化 14 d 的锈赤扁谷盗成虫 50 头和少许饲料, 用橡皮筋和筛绢封口。幼虫虫笼是在前述虫笼中放入老熟锈赤扁谷盗幼虫 50 头及少许饲料后封口。卵虫笼的准备为在 80 目饲料筛下物中放入 1 000 头以上羽化 14 d 的锈赤扁谷盗成虫使其产卵, 24 h 后分别用 60 和 80 目筛分离出虫卵, 在立体解剖放大镜下挑取 50 粒卵置于前述虫笼中并加少许饲料封口。蛹虫笼准备为将锈赤扁谷盗老熟幼虫放入适量饲料中观察化蛹, 在化蛹后 24 h 内挑取 50 头蛹置于前述虫笼中并加少许饲料封口。另外从试验粮堆中筛取锈赤扁谷盗成虫置入上述虫笼。此外, 将前述虫笼分别准备对照样本放于相同条件未进行熏蒸仓房的粮面上。

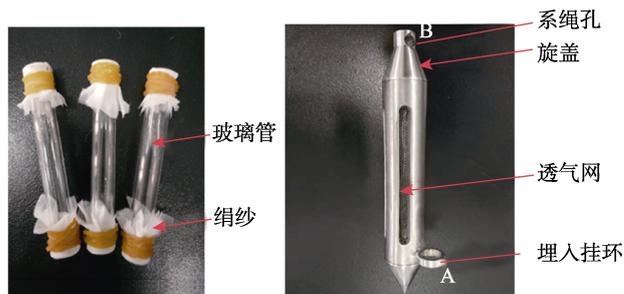


图 1 粮面上虫笼(左)和粮堆内虫笼(右)

1.3 虫笼与气体检测点设置

分别在粮面中部和东北角处取 2 个点位, 在选择点位上分别设置粮面虫笼和粮堆虫笼。粮面虫笼直接放置于粮堆表面, 分别用小绳系好并将其一端设于取样密封口, 在熏蒸过程中分别于 3、6、12、24、48 和 72 h 后用细绳从密封口拉出。粮堆虫笼分别借助扦样器埋至粮堆 3 和 6 m 深处, 等熏蒸后硫酰氟浓度降为 0 g/m³ 时用设置好的拉绳拉出。

分别在放置虫笼部位粮堆深度 1.5 和 4.5 m 设置硫酰氟气体取样点(见图 2), 取样导气管为直径 2.5 mm 的 PU 塑料管, 经密闭引导至仓外。在密封外端口连接硫酰氟浓度检测仪器进行硫酰氟浓度检测, 该检测仪型号为 SF-ContainLR, 美国 Spectros 生产, 检测范围 0~240 g/m³, 灵敏度 0.16 g/m³, 用前校准正常。分别在施药后的 3、6、12 和 24 h 以及之后的每天定时检测硫酰氟浓度,

直至检测值降为 0 g/m^3 ，每检测点浓度检测 3 次。

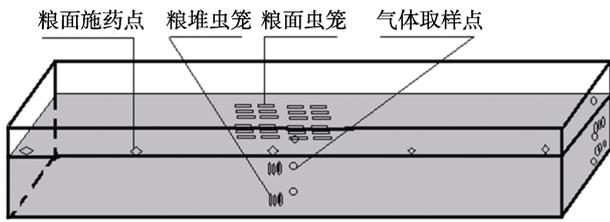


图 2 粮仓内虫笼与气体检测取样点位置示意

1.4 施药与环流

施药前开启环流风机，配戴防护用具后，将 5 瓶（共 $5 \times 10 \text{ kg}$ ）硫酰氟在粮堆表面仓房长度方向均匀放置于 5 个位置施药（图 2）。另外，利用仓房原有磷化氢环流熏蒸系统的施药口连接硫酰氟钢瓶，先后将 21 瓶（ $21 \times 10 \text{ kg}$ ）硫酰氟施入仓内。从施药开始开启环流风机 24 h 后停机。之后在 32 h 时再开启环流风机 3 h 后停机。使用药剂为山东省龙口市化工厂生产的纯度达 99% 的硫酰氟，每钢瓶装 10 kg 的硫酰氟，共使用 26 钢瓶的硫酰氟，总计施药剂量为 20 g/m^3 。

1.5 试虫检查

取出的虫笼放置于 $32 \text{ }^\circ\text{C}$ 、 $70\% \pm 5\% \text{ RH}$ 黑暗条件下培养。成虫于 14 d 后检查死亡率，用毛笔轻触虫体尾部时无附肢抽动视为死亡；熏蒸过的卵于培养 28 d 后检查，对应出现活的幼虫、蛹或成虫视为存活，相应差值为死亡数；幼虫和蛹培养过程中每 3 d 检查 1 次成虫数量，直至无新增成虫为止。

1.6 数据与处理

数据采用 Excel 2010 软件进行统计，并用 SPSS 16.0 软件进行分析。

2 结果与分析

2.1 粮堆表面测点硫酰氟浓度及变化

在熏蒸后的 0、3、6、9、12 和 24 h 中部粮面硫酰氟浓度分别为 27、24、22、21、21 和 19 g/m^3 ，东北部的浓度分别为 19、22、22、21、21 和 19 g/m^3 。在环流风机运行的情况下，开始粮面中部靠近仓南部施药点浓度偏高至 27 g/m^3 ，远离施药点（距离 20 m）的东北角检测浓度偏低为 19 g/m^3 。熏蒸 3 h 后中部表面浓度下降至 24 g/m^3 ，东北角检测浓度上升至 22 g/m^3 ，熏蒸的 6~24 h 期间不同

检测时间和粮面检测点的硫酰氟浓度基本接近于 20 g/m^3 。

在 24 h 后停止环流后硫酰氟浓度呈下降状态，至 32 h 时又开机环流 3 h，粮面硫酰氟浓度仅保持至 17 g/m^3 。32 h 后粮面浓度继续下降，但中部和东北角的硫酰氟浓度下降速率出现差异，在 32 至 96 h 期间，中部浓度下降速率为 14.7%，东北角浓度下降速率为 23.5%。直至 384 h 时，两个部位的浓度又再次接近至 2 g/m^3 ，之后两个部位的浓度下降为 0 g/m^3 时的速率相近。以上硫酰氟浓度变化见图 3，粮面浓度变化结果说明，多点施药情况下该仓的环流系统可以促使仓内空间和粮面上硫酰氟浓度均匀分布，且在均匀分布进程中的 24 h 后硫酰氟浓度快速下降，下降原因主要应为粮食吸附。达到浓度均匀后中部较高浓度下降速率较大，东北角浓度下降速率较小。环境温度高时粮食对硫酰氟的吸附增加，粮面两个不同部位的硫酰氟浓度衰减速率差异可能与所处部位的粮温有关。

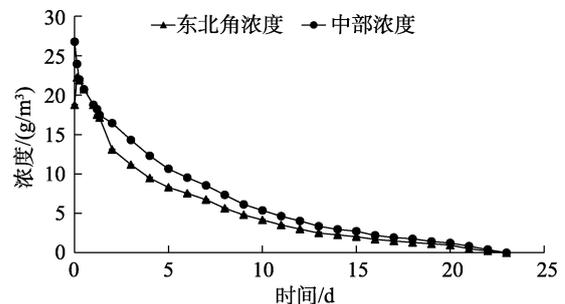


图 3 粮堆中部和东北角 0 m 深处硫酰氟浓度及变化

2.2 粮深 1.5 m 处硫酰氟浓度及变化

两个检测部位粮堆下 1.5 m 深处硫酰氟浓度及变化见图 4。按总体施药剂量 20 g/m^3 施药后粮堆中部和东北角 1.5 m 深处硫酰氟浓度在开始时间即分别达到 19.80 和 13.27 g/m^3 ，多点施药环流中硫酰氟向粮堆穿透速度快且达到浓度水平较高。熏蒸 3 h 后粮堆两个部位 1.5 m 处浓度分别达峰值 23.00 和 22.10 g/m^3 ，药剂向粮堆扩散明显且均匀性较好。经 6 h 后浓度呈现下降趋势且中部和东北角 1.5 m 深处浓度差逐渐缩小，主要是由于小麦吸附使浓度逐渐下降，由于环流的作用浓度分布更加均匀，以至 12 h 后中部和东北角 1.5 m 深处硫酰氟浓度分别为 20.47 和 20.37 g/m^3 。

熏蒸 24 h 后中部和东北角 1.5 m 深处硫酰氟浓度均为 18.70 g/m^3 ，此后关闭环流，仓内硫酰氟浓度大幅衰减，2 d 后中部和东北角 1.5 m 处分别衰减至 16.37 和 14.00 g/m^3 ，东北角粮堆 1.5 m 深处硫酰氟浓度衰减幅度明显大于中部。3 d 后中部和东北角 1.5 m 深处浓度分别为 14.23 和 12.57 g/m^3 ，中部 1.5 m 深处 6 d 后硫酰氟浓度衰减至剂量浓度的一半，东北角 1.5 m 深处于 4 d 后衰减至剂量浓度的一半。总体东北部位硫酰氟浓度衰减速率大于中间部位，此差异与两个部位的粮温差异有关。23 d 后两个部位粮深 1.5 m 处硫酰氟浓度均衰减至 0 g/m^3 ，低浓度下两个部位浓度变化差异不明显，或者说是硫酰氟浓度接近 0 g/m^3 时衰减速率变缓。

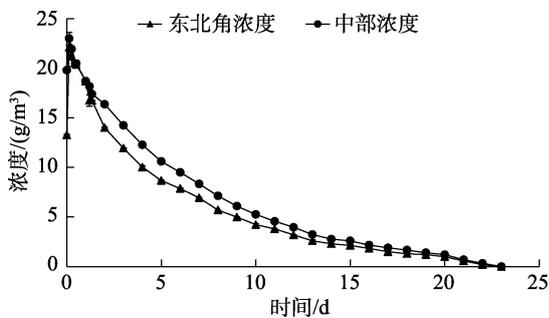


图 4 粮堆中部和东北角 1.5 m 深处硫酰氟浓度及变化

2.3 粮深 4.5 m 处硫酰氟浓度及变化

中部和东北检测点粮堆 4.5 m 深处的硫酰氟浓度变化见图 5。熏蒸开始粮堆中部和东北角 4.5 m 深处硫酰氟浓度分别为 23.43 和 24.43 g/m^3 ，达到峰值且浓度值接近，这与该处在环流系统施药口施药后硫酰氟经粮堆底部通风管道输送扩散距离较近、通风管道出风量接近有关。

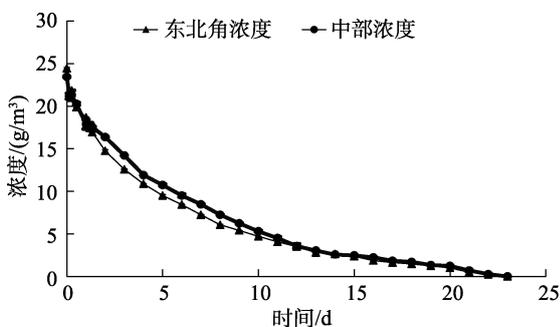


图 5 粮堆中部和东北角 4.5 m 深处硫酰氟浓度及变化

之后经 3 h 的时间，两个检测部位粮堆 4.5 m 深处与粮堆 1.5 m 深处硫酰氟浓度差异逐渐缩小，

6 h 后分别为 21.83 和 21.27 g/m^3 ，且与 1.5 m 深处的浓度基本一致，环流系统促进粮堆内硫酰氟均匀分布效果明显。在 12 h 时中部和东北角各层点的硫酰氟浓度基本在 20 g/m^3 ，此前硫酰氟浓度均高于施药剂量浓度。说明施药剂量按总容积计算，前期粮食吸附较小，气体多集中粮堆上空间和粮堆内空隙。12 h 后硫酰氟浓度逐渐衰减，中部浓度衰减 50% 的时间为 6 d，东北角浓度衰减 50% 的时间为 5 d，东北部位浓度衰减较快与该处粮堆温度较高有关。

从两个部位和不同层点硫酰氟浓度变化看，施药后在环流系统的作用下熏蒸剂硫酰氟分布较快、均匀性较好。在前期若干小时内硫酰氟浓度高于或接近施药剂量，此期间粮食吸附较少，药剂以气体分布较多。12 h 后各层点硫酰氟浓度下降较快，说明粮食对药剂的吸附增加导致检测浓度降低。在浓度快速衰减的过程中，各个检测点都经历了中部浓度衰减速率较小、东北部位浓度衰减速度较大的过程，这与东北角部位粮温较高硫酰氟被粮食较快吸附有关。当硫酰氟浓度接近 2 g/m^3 后其衰减速率明显变慢，两个检测部位的衰减速度差异不明显，直至施药后的 23 d 均衰减至 0 g/m^3 。

2.4 杀虫效果

表 1 显示，粮面虫笼中的锈赤扁谷盗经 3 h 熏蒸培养 28 d 后，成虫和幼虫死亡率均达 100%，蛹和卵的死亡率分别为 86.67 和 78.00%。经硫酰氟熏蒸 6 h 后成虫、幼虫和蛹死亡率均达 100%，卵的死亡率为 86.67%。经熏蒸 24 h 后卵的死亡率才达 100%。结果表明，硫酰氟熏蒸 3 h 可以完全杀死锈赤扁谷盗成虫和幼虫，6 h 可完全杀死锈赤扁谷盗的蛹，24 h 才可完全杀死锈赤扁谷盗各个虫态，锈赤扁谷盗卵的完全致死时间为蛹的 4 倍，为成虫和幼虫的 8 倍以上。锈赤扁谷盗不同虫态对硫酰氟耐受力大致为：卵>蛹>成虫≈幼虫。

埋于深度 3 和 6 m 处的粮堆虫笼经 23 d 熏蒸（浓度减至 0 g/m^3 ）取出，培养 28 d 检查锈赤扁谷盗各虫态的死亡率均为 100%，结果表明 20 g/m^3 的硫酰氟经该熏蒸过程可完全致死粮堆深度 3 和 6 m 处锈赤扁谷盗各虫态。

表 1 室内培养锈赤扁谷盗品系各虫态硫酰氟熏蒸中不同时间的死亡率

时间/h	虫笼设置深度/m	卵	幼虫	蛹	成虫	%
3	0	78.00±2.00	100.00±0.00	86.67±0.00	100.00±0.00	
6	0	86.67±2.31	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00	
12	0	93.33±2.31	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00	
24	0	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00	
48	0	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00	
72	0	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00	
552	3	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00	
552	6	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00	

硫酰氟熏蒸对从试验仓粮堆中采集锈赤扁谷盗成虫的致死效果为:置于粮面虫笼内成虫经 3 h 熏蒸取出,再培养 28 d 后样本中有 2 头幼虫存活,该幼虫应为虫笼中成虫所产虫卵经历熏蒸后的存活者。经 6 h 及以上时间熏蒸后成虫经培养后检查均完全死亡。说明硫酰氟熏蒸 3 h 可以完全杀死试验仓采集的锈赤扁谷盗成虫。23 d 后通风散气,在粮堆中部和东北角分别在 0、1.5、3.0、4.5 和 6.0 m 深度处取粮食 1 kg,经培养 28 d 均未发现活虫。表明采用剂量 20 g/m³ 的硫酰氟多点施药环流经试验的熏蒸过程可完全致死仓内发生的锈赤扁谷盗。

3 讨论

在对 2 000 t 散装稻谷仓用 20 g/m³ 剂量硫酰氟熏蒸堆高 4 m 的粮堆时,通过磷化氢环流系统施药通入全部 80 kg 的硫酰氟,并保持环流风机开启 24 h,其报告中没有说明硫酰氟的浓度变化情况,从其测定稻谷中硫酰氟的残留情况看,采用磷化氢环流熏蒸系统施药口施入硫酰氟可促使熏蒸剂分布均匀^[21]。本实验中采用环流熏蒸系统施药口和粮面多点施药,同样可以促使硫酰氟更快速扩散和均匀分布。

室内研究表明,硫酰氟熏蒸中粮食的吸附率随粮食温度、水分和熏蒸时间而变化,在熏蒸初期的 24 h 内硫酰氟被吸附的量较小,之后随熏蒸时间延长吸附量增大,且吸附后的硫酰氟不易解吸^[22]。本实验中硫酰氟在初期浓度大于施药剂量浓度,表明熏蒸剂以扩散分布为主,12 h 后浓度下降趋势加快,表明其被粮食吸附增加的趋势明显。温度较低的粮堆中部硫酰氟浓度下降慢于温度较高的东北部的浓度,进一步说明实仓熏蒸中

粮温高的部位硫酰氟浓度下降更快,也说明粮温高时对硫酰氟的吸附速率较快。

在储粮达 8 000 t 的小麦仓中采用 20 g/m³ 剂量硫酰氟施药熏蒸,硫酰氟各检测点浓度都经历了浓度从高到低变化过程,经多点施药加 24 h 环流,仓内和粮堆硫酰氟浓度峰值与剂量浓度值相关性较小,在施药后的 12 h 后浓度下降速率加快,表明粮食对硫酰氟的吸附作用明显。随时间延长硫酰氟浓度衰减速率逐渐变表明小麦吸附作用呈现出下降趋势。以 20 g/m³ 剂量熏蒸的小麦仓经 23 d 后硫酰氟浓度可衰减至 0 g/m³。

采用硫酰氟熏蒸杀死害虫卵的难度远大于胚后发育诸虫态,如对于博物馆害虫^[23]、储藏物甲虫^[1,24-26]、蛾类^[11,26]、书虱^[6]和螨类^[27]。本文采用 20 g/m³ 剂量的硫酰氟经 3 h 熏蒸后锈赤扁谷盗成虫和幼虫 100%死亡,6 h 后蛹 100%死亡,24 h 后卵完全死亡,结果与以往研究中卵对硫酰氟耐力较其它虫态高 5~30 倍的报道一致。一般情况下卵对硫酰氟耐力最强,其次是蛹、幼虫和成虫^[21,26-29]。本试验中锈赤扁谷盗不同虫态对硫酰氟耐受力大小为:卵>蛹>成虫≈幼虫。

4 结论

储存小麦的高大平房仓采用环流熏蒸系统施药口和粮面多点施药,可以促使硫酰氟快速均匀分布。以 20 g/m³ 剂量熏蒸的小麦仓经 23 d 后硫酰氟浓度可衰减至 0 g/m³。在熏蒸小麦粮堆中初期硫酰氟浓度会大于施药剂量浓度,熏蒸剂以扩散分布为主,12 h 后熏蒸剂浓度下降趋势加快,被粮食吸附增加趋势明显,粮温高的部位硫酰氟浓度下降更快,或者说是粮温高时对硫酰氟的吸附速率较快。采用 20 g/m³ 剂量硫酰氟施药熏蒸,

经 3 h 后锈赤扁谷盗成虫和幼虫 100% 死亡, 6 h 后蛹 100% 死亡, 24 h 后卵完全死亡。锈赤扁谷盗不同虫态对硫酰氟耐受力大小为: 卵>蛹>成虫≈幼虫。

参考文献:

- [1] HWAIDI M I, COLLINS P J, SISSONS M. Does sorption of sulfuryl fluoride by wheat reduce its efficacy against adults and eggs of *Rhyzopertha dominica*?[J]. Journal of Stored Products Research, 2017, 74: 91-97
- [2] 郑剑宁, 裘炯良. 硫酰氟在国外的研究及应用进展[J]. 中华卫生杀虫药械, 2004, 10(4): 244-248.
- [3] DERRICK M R, BURGESS H D, BAKER M T, et al. Sulfuryl fluoride (Vikane): A review of its use as a fumigant[J]. Journal of the American Institute for Conservation, 1990, 29(1): 77-90.
- [4] CHAYAPRASERT W, MAIER D E, ILELEJI K E, et al. Effects of weather conditions on sulfuryl fluoride and methyl bromide leakage during structural fumigation in a flour mill[J]. Journal of Stored Products Research, 2009, 45(1): 1-9.
- [5] 郑剑宁, 裘炯良, 杨定波. 硫酰氟在有害生物控制中的应用研究[J]. 中国媒介生物学及控制杂志, 2007, 18(1): 73-75.
- [6] 郑剑宁, 周力沛, 裘炯良, 等. 硫酰氟在食品熏蒸中的应用与研究进展[J]. 中华卫生杀虫药械, 2005, 11(2): 115-118.
- [7] 严晓平, 穆振亚, 李丹丹, 等. 硫酰氟防治储粮害虫研究和应用进展[J]. 粮食储藏, 2018, (4): 15-19.
- [8] 郑剑宁, 裘炯良, 卢岳云. 硫酰氟熏蒸技术与应用研究概况[J]. 中华卫生杀虫药械, 2008, 14(5): 327-329.
- [9] ATHANASSIOU C G, PHILLIPS T W, M JAMIE A, et al. Effectiveness of sulfuryl fluoride for control of different life stages of stored-product psocids (Psocoptera)[J]. Journal of Economic Entomology, 2012, 105(1): 282-287.
- [10] BALTACI D, KLEMENTZ D, GEROWITT B, et al. Lethal effects of sulfuryl fluoride on eggs of different ages and other life stages of the warehouse moth *Ephesia elutella* (Hübner)[J]. Journal of Stored Products Research, 2009, 45(1): 19-23.
- [11] SMALL G J. A comparison between the impact of sulfuryl fluoride and methyl bromide fumigations on stored-product insect populations in UK flour mills[J]. Journal of Stored Products Research, 2007, 43(4): 410-416.
- [12] SCHNEIDER B M, HARTSELL P L. Control of stored product pests with Vikane gas fumigant (sulfuryl fluoride)[C]//Proceedings of the 7th International Working Conference on Stored Product Protection. Beijing China, 1998: 406-408.
- [13] 郭超, 曾伶, 劳传忠, 等. 小麦粉堆垛硫酰氟熏蒸及杀虫效果的实仓试验[J]. 粮油食品科技, 2016, 24(3): 104-107
- [14] MIZOBUTI M, MATSUOKA I, SOMA Y, et al. Susceptibility of forest insect pests to sulfuryl fluoride, 2: Ambrosia beetles[J]. Research Bulletin of the Plant Protection Service (Japan), 1996.
- [15] SOMA Y, YABUTA S, MIZOBUTI M, et al. Susceptibility of forest insect pests to sulfuryl fluoride, 1: Wood borers and bark beetles[J]. Research Bulletin of the Plant Protection Service (Japan), 1996.
- [16] PRABHAKARAN S. Commercial performance and global development status of profume gas fumigant[C]//Proceedings of the 9th international working conference on stored product protection, 2006: 635-641.
- [17] NAYAK M K, HOLLOWAY J C, PAVIC H, et al. Developing strategies to manage highly phosphine resistant populations of flat grain beetles in large bulk storages in Australia[C]//Proceedings of the 9th international working conference on stored product protection. 2010: 396-401.
- [18] 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, 37(5): 6-9.
- [19] 庄波, 罗绍华. 硫酰氟熏蒸剂对包装粮的熏蒸杀虫实验[J]. 粮食科技与经济, 2014, 39(3): 55-56.
- [20] 李金有, 孙薇, 李西标, 等. 硫酰氟熏蒸处理集装箱扩散规律初步研究[J]. 检验检疫学刊, 2014, 24(2): 62-64.
- [21] 徐国淦, 陈仲梅, 赵森, 等. 硫酰氟熏蒸应用技术的开发研究[J]. 粮食储藏, 2001, 30(1): 12-18.
- [22] HWAIDI M, COLLINS P J, SISSONS M, et al. Sorption and desorption of sulfuryl fluoride by wheat, flour and semolina[J]. Journal of Stored Products Research, 2015, 62: 65-73.
- [23] SU N Y, SCHEFFRAHN R H. Efficacy of sulfuryl fluoride against four beetle pests of museums (Coleoptera: Dermestidae, Anobiidae)[J]. Journal of Economic Entomology, 1990, 83(3): 879-882.
- [24] BELL C H, SAVVIDOU N. The toxicity of Vikane (sulfuryl fluoride) to age groups of eggs of the Mediterranean flour moth (*Ephesia kuehniella*)[J]. Journal of Stored Products Research, 1999, 35(3): 233-247.
- [25] BALTACI D, KLEMENTZ D, GEROWITT B, et al. Sulfuryl fluoride against all life stages of rust-red grain beetle (*Cryptolestes ferrugineus*) and merchant grain beetle (*Oryzaephilus mercator*)[C]//Proceedings of the Annual International Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reductions. 2008: 81-83.
- [26] BELL C H, WONTNER-SMITH T J, SAVVIDOU N. Some properties of sulphuryl fluoride in relation to its use as a fumigant in the cereals industry[C]//Advances in Stored Product Protection Proceedings of the 8th International Working Conference on Stored Product Protection. York UK, 2002: 910-915.
- [27] ABBAR S, SAĞLAM Ö, SCHILLING M W, et al. Efficacy of combining sulfuryl fluoride fumigation with heat to control the ham mite, *Tyrophagus putrescentiae* (Schrank) (Sarcoptiformes: Acaridae)[J]. Journal of Stored Products Research, 2018, 76: 7-13.
- [28] OPIT G P, THOMS E, PHILLIPS T W, et al. Effectiveness of sulfuryl fluoride fumigation for the control of phosphine-resistant grain insects infesting stored wheat[J]. Journal of Economic Entomology, 2016, 109(2): 1-12.
- [29] HARTZER M, SUBRAMANYAM B, CHAYAPRASERT W, et al. Methyl bromide and sulfuryl fluoride effectiveness against red flour beetle life stages[C]//International Working Conferences on Stored-Product Protection. Julius Kühn-Institut, 2010: 365-370. ☉

备注: 本文的彩色图表可从本刊官网 (<http://lspkj.ijournal.cn/ch/index.aspx>)、中国知网、万方、维普、超星等数据库下载获取。