

“硫酰氟熏蒸风险评估与应用（上）—硫酰氟熏蒸应用技术”特约专栏文章之四

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2021.04.009

崔森, 黄呈兵, 方江坤, 等. 硫酰氟熏蒸在砖圆仓应用效果评价研究[J]. 粮油食品科技, 2021, 29(4): 68-72.

CUI M, HUANG C B, FANG J K, et al. Research on the effectiveness of sulfuryl fluoride fumigation in brick silo[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2021, 29(4): 68-72.

# 硫酰氟熏蒸在砖圆仓应用效果评价研究

崔森<sup>1</sup>, 黄呈兵<sup>2</sup>, 方江坤<sup>2</sup>, 方智毅<sup>3</sup>, 汪中明<sup>1</sup>✉

- (1. 国家粮食和物资储备局科学研究院, 北京 100037;
2. 福建省储备粮管理有限公司漳州直属库, 福建 漳州 363005;
3. 福建省储备粮管理有限公司漳浦直属库, 福建 漳州 363200)

**摘要:** 为探索砖圆仓硫酰氟熏蒸杀虫和防护效果, 分别在 3 个不同气密性仓房, 分别采用整仓不环流熏蒸和环流熏蒸, 以及采用不同的熏蒸药剂浓度, 通过分析比较气体均匀性, 浓度保持时间和杀虫防护效果进行评价。试验结果表明, 硫酰氟气体可在 4 h 内自然扩散穿透 10 m 粮堆, 并在 24 h 内达到整仓气体均匀。环流熏蒸由于环流管道老化造成药剂损失, 气体浓度保持时间短。5 g/m<sup>3</sup> 的药剂浓度即可实现较好的快速杀灭 4 种主要储粮害虫的效果。

**关键词:** 硫酰氟; 砖圆仓; 应用效果

中图分类号: TS205.3 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2021)04-0068-05

网络首发时间: 2021-07-02 16:25:30

网络首发地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3863.TS.20210702.1452.031.html>

## Research on the Effectiveness of Sulfuryl Fluoride Fumigation in Brick Silo

CUI Miao<sup>1</sup>, HUANG Cheng-bing<sup>2</sup>, FANG Jiang-kun<sup>2</sup>, FANG Zhi-yi<sup>3</sup>, WANG Zhong-ming<sup>1</sup>✉

- (1. Academy of National Food and Strategic Reserves Administration, Beijing 100037, China;
2. Zhangzhou gain depot, Fujian Grain Reserves Management Co., Ltd., Zhangzhou, Fujian 363005, China;
3. Zhangpu gain depot, Fujian Grain Reserves Management Co., Ltd., Zhangzhou, Fujian 363200, China)

**Abstract:** To investigate the insecticidal and protective effectiveness of sulfuryl fluoride fumigation in brick silos, three warehouses with different air-tightness were used for evaluation by analyzing gas uniformity, concentration retention time and insecticidal effects. Whole warehouse non-circulation fumigation and circulation fumigation were adopted with different fumigation concentrations applied. The experiment results show that sulfuryl fluoride gas can naturally diffuse thoroughly through a 10 m grain pile within 4 hours, and achieve uniform gas in the entire warehouse within 24 hours. However, circulation fumigation caused a large amount of chemical loss and the concentration retention time was comparatively short. Results also prove the

收稿日期: 2021-04-02

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.

concentration of 5 g/m<sup>3</sup> can achieve a desired and rapid killing effect of 4 main types of pests in stored grains.

**Key words:** sulfuryl fluoride; brick silo; effectiveness in application

砖圆仓由于占地少、机械化程度高等优点在我国有一定范围的应用。但由于砖圆仓高度较高,气密性无法得到保障,熏蒸过程中操作方法不正确等原因往往会造成熏蒸效果不佳,操作不当的话,甚至会发生中毒、爆炸等生产安全事故。随着环流熏蒸技术的发展,砖圆仓等筒式仓型的杀虫问题也得到了一定程度的解决。但与平房仓相比,由于气密性、环流熏蒸工艺配置和操作方法等因素的影响,砖圆仓的深粮层的熏蒸效果常常不甚理想<sup>[1-2]</sup>。

硫酰氟气态下密度是空气的 2.88 倍,前期预

试验证明了其具有较好的沉降和穿透能力。但它是否能够自然穿透 10 m 高以上的粮堆,如何利用现有的环流装备更好的对砖圆仓进行熏蒸,本研究将对硫酰氟在砖圆仓的施用方式、气体扩散以及杀虫效果进行探索,为该熏蒸剂在砖圆仓的应用推广提供技术支撑。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料

试验在福建省储备粮管理有限公司漳州直属库 Z3、Z4、Z5 号仓进行,具体情况见表 1。

表 1 试验仓房情况  
Table 1 Experimental warehouse

仓号	品种	数量/t	粮高/m	粮食水分/%	平均粮温/°C	仓温/°C	入仓时间/年	粮堆虫害情况/(头/公斤)	仓房气密性/s
Z3	小麦	1 400	11.17	11.4	24.6	22	2020	锈赤扁谷盗 3、书虱少许、赤拟谷盗 3	正压 72
Z4	小麦	1 400	11.26	11.4	26.3	22	2020	锈赤扁谷盗 4、书虱少许、米象 3	正压 87
Z5	小麦	1 400	11.18	11.0	26.7	23	2020	锈赤 3、书虱少许、米象 3	正压 98

### 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(功率 7.5 kW)、气密性测试风机(功率 3 kW):浙江台州闽鑫仓储设备厂;仓内 PVC 环流管(75 mm)、仓外管道不锈钢(110 mm):自制。

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 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<sup>[3]</sup>。将装有四种成虫的布袋虫笼放置于粮堆内部深度为 50 cm 处。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。

#### 1.3.2 气密性测试

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气密性测试风机,对面检测管连接压力计,开始正压压入到压力计 550 Pa 时停止,快速关闭风机阀门,压力计等降至 500 Pa 时开始计时至 250 Pa 所用的时间(半衰期)。

#### 1.3.3 熏蒸方式及用药量

1.3.3.1 整仓熏蒸 采取仓外称重施药的方式。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仓外。施药人员佩戴好自给式呼吸器,同时打开钢瓶气阀,让气体缓慢排出,直至将预先计算好用药量的药剂全部释放至粮堆中,确保气体释放彻底。

1.3.3.2 下行环流 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。

1.3.3.3 熏蒸散气 当仓内气体检测浓度降至

4 mg/m<sup>3</sup> 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/m<sup>3</sup> 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。

表 2 试验仓房熏蒸方式及用药量  
Table 2 Fumigation method and dosage of experimental warehouse

仓号	熏蒸方式	环流时间/h	环流方式	施药浓度/(g/m <sup>3</sup> )	投药量/kg
Z3	整仓熏蒸	-	-	15	40
Z4	整仓熏蒸	3	下行环流	5	13
Z5	整仓熏蒸	3	下行环流	10	26

### 1.3.4 气体采样点布置及浓度检测

砖圆仓整仓布置点(5个点):上层粮堆深度 1.5 m, 上中层 4 m, 中层 6 m, 中下层 8 m, 下层深度 10 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。

### 1.3.5 熏蒸后仓内害虫长期监测

熏蒸结束后,对三个粮仓进行长期害虫检测。检测周期为 1 个周进行 1 次,在粮堆上层 0.5 m、中上层 4 m、中下层 7 m 以及下层 10 m, 分别进行扦样检查, 并进行结果记录。

## 1.4 数据处理

用 WPS Office Excel 2020 处理数据。

## 2 结果与分析

### 2.1 气体穿透粮堆过程浓度变化

为了解不同仓房气密性,不同药剂浓度穿透砖圆仓 10 m 粮堆的规律,Z3、Z5 和 Z4 仓气密性分别为 72 s、98 s、87 s,熏蒸药剂浓度分别采用 15 g/m<sup>3</sup>、10 g/m<sup>3</sup> 和 5 g/m<sup>3</sup>。Z3 仓气密性较差,采用整仓熏蒸的方式,Z5 和 Z4 在熏蒸初始阶段环流 3 h。

Z3 仓在投药结束 4 h 后,粮堆各层检测点均能够检测到药剂浓度,且底层 10 m 的浓度达到 28 g/m<sup>3</sup>,气体均匀性为 0.3(最低浓度与最高浓度的比值)<sup>[3]</sup>,详见表 3。此时粮堆中上层 4 m 处的气体浓度最高,往下浓度逐渐降低。熏蒸 11 h 后,气体均匀性达到 0.58,接近均匀。19 h 整仓气体达到均匀。在此阶段,药剂平均浓度衰减速

度很快,从 4 h 的 64.7 g/m<sup>3</sup> 很快降至 27.7 g/m<sup>3</sup>,平均衰减速度为 2.5g/(m<sup>3</sup>·h)。此后整仓气体浓度保持均匀并逐渐衰减的趋势,浓度衰减速度有所下降,到 120 h 时,平均衰减速度为 0.2g/(m<sup>3</sup>·h)。整仓气体平均浓度衰减至设定浓度 50%,用时约 4 d。

表 3 Z3 号粮仓内硫酰氟浓度变化表  
Table 3 The change of sulfuryl fluoride concentration in No.Z3 warehouse

熏蒸时间/h	气体浓度/(g/m <sup>3</sup> )							气体均匀性
	空间	粮堆 1.5 m	粮堆 4 m	粮堆 6 m	粮堆 8 m	粮堆 10 m	粮堆 平均	
4.0	63.1	80.8	93.3	66.1	55.2	28.0	64.7	0.3
10.8	35.4	42.5	52.2	44.4	30.6	39.9	41.9	0.6
19.0	24.2	28.1	35.8	28.1	23.7	22.6	27.7	0.6
26.6	19.0	21.0	26.5	22.4	17.7	22.2	22.0	0.7
34.5	15.3	16.9	20.7	18.8	13.6	20.8	18.2	0.7
44.0	13.6	14.7	16.7	15.3	10.7	17.6	15.0	0.6
52.6	10.9	12.3	13.6	13.2	9.1	14.2	12.5	0.6
70.6	10.0	9.7	10.2	10.0	9.0	10.7	9.9	0.8
76.8	7.8	9.0	10.4	8.9	5.4	10.0	8.7	0.5
97.3	7.2	7.1	8.2	7.4	5.0	9.2	7.4	0.5
100.3	6.2	6.0	7.1	6.8	4.5	8.7	6.6	0.5
119.3	5.5	4.9	5.6	6.2	4.1	7.0	5.6	0.6
149.0	5.0	3.9	4.1	3.6	2.6	4.0	3.6	0.6
172.6	4.4	3.0	3.2	3.6	2.7	4.1	3.3	0.7
196.6	4.2	3.0	2.9	2.4	2.3	3.7	2.9	0.6
220.8	3.6	2.4	2.3	1.8	1.3	2.3	2.0	0.5
244.3	3.3	2.2	1.9	1.7	1.1	2.1	1.8	0.5
263.0	2.9	2.0	1.7	1.6	1.1	2.1	1.7	0.5
293.6	2.5	1.7	1.5	1.5	1.2	2.0	1.6	0.6
360.0	1.6	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	0.0	0.0

Z5 仓在熏蒸过程中环流了 3 h,而之后检测结果显示出来的气体扩散速度和分布均匀性,均较 Z3 有很大的差距(详见表 4)。熏蒸结束 4 h,仅在粮堆上层 1.5 m 处检测到气体浓度。12 h,中上层开始检测到气体浓度,仅为 1.5 g/m<sup>3</sup>。20 h,粮堆底层可以检测到气体浓度,但整个中下层的浓度均很低。36 h,底层浓度达到最高,而此时 8 m 处的浓度却较低,可能与检测点附近的粮食杂质有关。之后浓度逐渐衰减,整个检测过程中,整仓的气体均未能达到均匀,且平均浓度较低,最高仅为 5.6 g/m<sup>3</sup>,远低于设置熏蒸浓度,应与环流过程中造成气体损失有关。

Z4 仓采用熏蒸的药剂浓度较低,为 5 g/m<sup>3</sup>。

表 4 Z4 号粮仓内硫酰氟浓度变化表  
 Table 4 The change of sulfuryl fluoride concentration in No.Z4 warehouse

熏蒸 时间/h	气体浓度/(g/m <sup>3</sup> )							气体 均匀性
	空间	粮堆 1.5 m	粮堆 4 m	粮堆 6 m	粮堆 8 m	粮堆 10 m	粮堆 平均	
4.8	42.9	36.4	6.7	5.3	<1.0	<1.0	9.7	0.0
12.0	28.9	30.6	3.3	2.9	<1.0	<1.0	7.4	0.0
21.0	23.1	22.0	20.7	4.5	3.5	1.9	10.5	0.1
28.2	18.0	16.2	18.5	3.9	3.2	1.8	8.7	0.1
36.0	16.5	12.5	16.4	3.6	3.1	1.7	7.5	0.1
46.0	13.2	9.5	14.5	3.3	3.4	2.2	6.6	0.2
54.3	10.8	8.6	13.0	3.1	3.0	2.4	6.0	0.2
72.0	7.3	6.8	10.8	2.8	2.5	2.0	5.0	0.2
77.3	6.0	6.5	5.7	2.6	2.9	1.5	3.8	0.2
97.5	3.5	3.9	5.2	3.6	3.5	3.5	3.9	0.7
102.0	3.2	3.5	4.5	3.1	3.1	2.8	3.4	0.6
120.6	2.8	2.3	3.5	2.6	2.4	1.9	2.5	0.5
149.5	2.3	2.0	3.0	1.9	1.9	1.6	2.1	0.5
174.0	2.4	2.6	2.0	2.7	3.1	1.7	2.4	0.5
198.2	1.2	1.8	1.9	1.2	1.6	2.9	1.9	0.4
222.3	<1.0	1.2	1.3	1.2	1.3	2.4	1.5	0.5
245.6	<1.0	<1.0	1.1	1.1	2.3	1.3	1.2	0.5
264.3	<1.0	<1.0	1.1	1.0	1.9	1.3	1.1	0.5
292.3	1.1	<1.0	1.0	1.0	1.4	1.2	0.9	0.7
360.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	0.0	0.0

表 5 Z5 号粮仓内硫酰氟浓度变化表  
 Table 5 The change of sulfuryl fluoride concentration in No.Z5 warehouse

熏蒸 时间/h	气体浓度/(g/m <sup>3</sup> )							气体 均匀性
	空间	粮堆 1.5 m	粮堆 4 m	粮堆 6 m	粮堆 8 m	粮堆 10 m	粮堆 平均	
4.0	52.1	28.3	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	5.7	0.0
12.3	35.7	20.2	1.5	<1.0	<1.0	<1.0	4.3	0.0
20.0	28.5	12.5	8.4	2.5	1.7	1.1	5.2	0.1
28.0	23.6	8.9	7.3	6.3	4.0	1.3	5.6	0.1
36.0	20.0	7.0	5.6	6.0	2.1	7.2	5.6	0.3
46.0	18.0	6.5	5.5	5.9	2.3	5.4	5.1	0.4
53.5	15.1	5.4	4.0	3.5	2.0	5.9	4.2	0.3
72.0	14.0	5.0	3.5	2.9	2.0	5.0	3.7	0.4
76.6	11.7	4.5	3.5	3.0	2.1	4.9	3.6	0.4
97.5	8.1	4.8	4.6	4.2	2.8	5.2	4.3	0.5
102.0	7.5	4.5	4.3	3.9	2.5	5.0	4.0	0.5
120.8	6.0	3.7	3.2	2.8	1.7	4.3	3.1	0.4
149.5	5.6	3.0	2.2	2.0	1.2	2.6	2.2	0.4
174.0	5.7	2.6	1.8	3.3	<1.0	3.2	2.2	0.0
198.3	5.0	1.7	1.3	2.0	<1.0	2.9	1.6	0.0
220.0	4.8	<1.0	<1.0	1.6	<1.0	2.5	0.8	0.0
245.5	4.4	<1.0	<1.0	1.4	<1.0	1.7	0.6	0.0
264.3	4.0	<1.0	<1.0	1.3	<1.0	1.5	0.6	0.0
294.6	3.8	<1.0	<1.0	1.1	<1.0	1.3	0.5	0.0
360.0	1.8	1.1	1.1	1.1	<1.0	<1.0	0.7	0.0

熏蒸过程中环流了 3 h。从表 5 可见,熏蒸结束后 5 至 12 h,中层以上均能检测到气体浓度,表明此时气体穿透了 6 m 的粮堆。直至 21 h 粮堆底层才检测到气体浓度。在气体扩散过程中,同样是中上层 4 m 处的气体浓度最高。整仓气体浓度在 97.5 h 才达到均匀,此时气体平均浓度为 3.8 g/m<sup>3</sup>。

整仓熏蒸的 Z3 仓与采用环流 3 h 的 Z4 和 Z5 仓相比,反而是气体最先穿透 10 m 粮堆,并且整仓气体最先到均匀。可见环流造成了大量的气体损失,并不利于硫酰氟气体在粮堆内扩散。

Z4 和 Z5 仓熏蒸方式相同,Z5 气密性稍高于 Z4,且 Z5 仓设置浓度为 10 g/m<sup>3</sup>,是 Z4 仓的 2 倍。但在气体分布扩散过程中,气体到达粮堆底层的时间基本一致,两个仓房的整仓气体平均浓度反而是 Z4 仓偏高。经与粮库确认,Z5 仓的环流管道可能由于年久失修,管道内部可能出现老化漏气的现象,导致此次环流过程中大量药剂的损失。

## 2.2 熏蒸杀虫和防护效果

熏蒸过程中,3 个试验仓在粮面表层均放置

虫笼和含虫卵的饲料,包括玉米象、谷蠹、长角扁谷盗和嗜卷书虱 4 种害虫。熏蒸散气结束后,4 种害虫均全部死亡。含有虫卵在恒温恒湿箱内进行 8 周的饲养后均未发现虫卵孵化的现象。表明最低为 5 g/m<sup>3</sup> 的熏蒸浓度均可有效杀灭 4 种害虫。

表 6 粮堆预埋虫笼成虫死亡率

Table 6 Mortality of adult insect cages embedded in grain piles

仓号	虫笼成虫死亡率/%	虫笼卵孵化情况
Z3	100	未发现
Z4	100	未发现
Z5	100	未发现

熏蒸结束,对 3 个仓房的害虫进行定期监测。福建漳州库目前 Z5 号仓底部 9.5 m 深发现米象 4 头和书虱少许,Z4 也发现几头书虱,其他仓尚无发现活虫根据本次熏蒸试验的硫酰氟药剂浓度设置,Z3、Z5 和 Z4 分别采用 15 g/m<sup>3</sup>、10 g/m<sup>3</sup> 和 5 g/m<sup>3</sup>。结合浓度监测的结果来看,Z3 仓整仓气体均匀的快,平均浓度在 5 g/m<sup>3</sup> 以上的保持时间在 5 d 以上,熏蒸效果较好。而 Z5 仓虽然设置浓度为 10 g/m<sup>3</sup>,但浓度检测却显示浓度均匀性差,

表 7 熏蒸后仓内害虫长期监测情况  
Table 7 Long-term monitoring of pests in the warehouse after fumigation

检测 时间/周	Z3				Z4				Z5			
	上层	中上层	中下层	下层	上层	中上层	中下层	下层	上层	中上层	中下层	下层
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	-	-	-	-	拟蜴 2*, 书虱	-	-	-	米象 4*, 书虱	-	-	-

备注：1、上层代表粮堆深度 0.5 m，中上层代表 4 m，中下层代表 7 m，下层代表 10 m。2、\*表示每公斤粮食中查到的害虫数量。3、序号 N 表示熏蒸结束后第 N 周检查仓内害虫的时间。

Note:1. The upper layer represents the grain pile depth of 0.5 meters, the upper middle layer represents 4 meters, the lower middle layer represents 7 meters, and the lower layer represents 10 meters. 2. \* indicates the number of pests found per kilogram of grain. 3. The serial number N indicates the time to inspect the pests in the warehouse in the Nth week after the fumigation is finished.

且平均浓度一直较低，甚至要低于 Z4 仓。因此，在无虫期的防护上，Z4、Z5 仓分别为 96、93 d。主要原因还是由于实际浓度偏低，尤其是中下层和底层，导致无法杀灭虫卵。

### 3 讨论

筒式仓房由于粮堆高于 10 m 以上，磷化氢熏蒸时均需要通过环流管道才能实现气体的均匀扩散。韩志强<sup>[4]</sup>研究浅圆仓熏蒸时发现，仓房半衰期为 603 s，其有效浓度的维持时间依旧不是很理想。根据我国新建仓验收的最低气密性标准，平房仓  $\geq 40$  s，筒仓、浅圆仓  $\geq 60$  s<sup>[5]</sup>，为提高磷化氢熏蒸效果和降低费用，对于砖圆仓，更需要提高仓房的气密等级。由于硫酰氟气体分子量大，具有较强穿透力，本试验表明其自然扩散能力可以迅速穿透 10 m 以上粮堆，并实现均匀，而由于筒式仓的环流管道较长，环流过程中更易导致气体损失，因此，对于砖圆仓的硫酰氟熏蒸，更适合采用整仓不环流熏蒸。

### 4 结论

硫酰氟气体穿透能力强，可在 4 h 内穿透 10 m 粮堆。砖圆仓的环流管道较长，采用环流熏蒸时，由于环流管道老化，造成气体损失。对于气密性

不好的砖圆仓，采用 5 g/m<sup>3</sup> 的熏蒸药剂浓度可以达到很好的快速杀虫的效果，对于杀卵和长期防护，还需要进一步探索施用浓度和熏蒸方法。

### 参考文献：

- [1] 刘少波. 浅析影响熏蒸杀虫效果的原因及解决的对策[J]. 粮食与食品工业, 2014, 21(5): 79-80.  
LIU S B, Analysis on the reasons affecting fumigation insecticidal effects and countermeasures[J]. Cereal & Food Industry, 2014, 21(5): 79-80.
- [2] 张永君, 李瑞, 韩伟, 等. 立筒仓间歇性投药环流熏蒸试验[J]. 粮食与食品工业, 2010, 17(3): 36-39.  
ZHANG Y J, LI R, HAN W, et al. Circulation fumigation experiment with intermittent dosing in vertical silos [J]. Cereal & Food Industry, 2010, 17(3): 36-39.
- [3] 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.
- [4] 韩志强, 林乾, 张景, 等. 浅圆仓内环流熏蒸中磷化氢浓度分布规律研究[J]. 粮食储藏, 2018, 47(4): 20-23.  
HAN Z Q, LIN Q, ZHANG J, et al. Concentration distribution of phosphine in circular fumigation in squat silo[J]. Grain Storage, 2018, 47(4): 20-23.
- [5] 陶金亚, 张来林, 黄浙文, 等. 粮食仓房的气密性分析[J]. 现代食品, 2016(16): 26-30.  
TAO J Y, ZHANG L L, HUANG Z W, et al. Analysis of the air tightness of grain warehouse[J]. Modern Food, 2016(16): 26-30. 完