

二氧化碳气调技术对浅圆仓大豆储藏效果的影响

郭轩宇, 谢 军, 张学娣, 陆 峰, 王运坤, 张志林

(中央储备粮镇江直属库, 江苏 镇江 212006)

摘要:为进一步推动虫害绿色防护技术发展, 促进仓储工作高质量发展, 针对浅圆仓采取下充上排式的二氧化碳气调工艺, 通过考察试验仓内不同位置二氧化碳浓度变化情况、大豆品质指标变化情况和储粮害虫防治效果, 研究二氧化碳气调技术对浅圆仓大豆储藏效果的影响, 并与氮气气调技术进行了对比。结果表明: 各检测点二氧化碳浓度维持 35% 以上的时间超过 15 d; 对锈赤扁谷盗、赤拟谷盗和玉米象等储粮害虫的防治效果显著, 杀虫率达到 100%; 大豆粗脂肪酸值、蛋白质溶解比率和水分等指标变化较小; 与氮气气调技术相比, 二氧化碳气体损失的速度较氮气快, 因此二氧化碳气调对仓房气密性要求更高, 气调成本也更高, 但二氧化碳气调技术所需密闭期较短, 前期一次性投资较低。综上所述, 在仓房具备良好气密性能的情况下, 二氧化碳气调工艺杀虫效果显著。

关键词:浅圆仓; 二氧化碳气调; 杀虫效果; 储藏品质; 大豆

中图分类号:TS222+.1;S379 **文献标识码:**A **文章编号:**1003-7969(2023)10-0148-05

Effect of carbon dioxide air conditioning technology on soybean storage in squat silo

GUO Xuanyu, XIE Jun, ZHANG Xuedi, LU Feng,
WANG Yunkun, ZHANG Zhilin

(Sinograin Zhenjiang Reserves Depot, Zhenjiang 212006, Jiangsu, China)

Abstract: In order to further promote the development of green protection technology against pest and promote the high-quality development of warehousing, the carbon dioxide air conditioning process of filling low and discharging up was adopted for squat silo, and the impact of carbon dioxide air conditioning technology on the effect of the storage of soybean in squat silo by investigating the carbon dioxide concentration changes of the experimental silo in different locations, changes in soybean quality indexes and the effect of pest control in grain storage. In addition, the carbon dioxide air conditioning technology was compared with the nitrogen gas conditioning technology. The results showed that the concentration of carbon dioxide kept above 35% for more than 15 d at each detection point, and the control effect on pests such as *Cryptolestes ferrugineus*, *Tribolium castaneum* Herbst, and *Sitophilus zeamais motschulsky* was significant, and the killing rate reached 100%. The indexes of soybean fatty acid value, protein solubility ratio and water content changed little. The loss rate of carbon dioxide was faster than that of nitrogen, so carbon dioxide air conditioning had higher requirements for the air-tightness of warehouses, and its cost was also higher. However, carbon dioxide air conditioning technology required a shorter sealing period and a lower initial one-time investment. To sum up, under the condition that the warehouse has good air-tightness, the insecticidal effect of carbon dioxide air conditioning technology is remarkable.

Key words: squat silo; carbon dioxide air conditioning; insecticidal effect; storage quality; soybean

收稿日期: 2022-10-08; 修回日期: 2023-07-03

作者简介: 郭轩宇(2000), 男, 主要从事粮油保管工作
(E-mail) x. y. guo@foxmail.com.

储存在浅圆仓内的进口大豆籽粒本身不易滋生害虫,但粮堆内的粉末状杂质和异种粮粒给储粮害虫提供了良好的滋生环境。为防止粮食污染,减少虫霉危害,气调储粮技术作为一项绿色、环保、无污染的储粮技术被广泛研究。气调储粮技术主要分为生物降氧和人工气调^[1],在实际操作中,生物降氧实现难度较大,而人工气调则是利用一定的机械设备置换储藏环境中的气体,相对较易实现^[2]。

20 世纪 60 年代以来,我国就开展了低氧储粮的室内研究和小规模实仓试验。随着人工气调技术的快速发展,四川绵阳直属库在 2000 年初步建造了具有国际先进水平的二氧化碳气调示范仓,实践证明二氧化碳具有较好的杀虫抑菌效果;中央储备粮南京直属库和广西防城港国家粮食储备库分别在 2004 年和 2005 年开始氮气气调实仓应用试验,取得了良好的杀虫效果。

虫害的滋生通常发生在夏季高温季节,而氮气气调杀虫需要保持氮气浓度在 98% 以上不少于 28 d,密闭期相对较长,期间若出现表层粮温异常升高,充氮作业就被迫停止^[3]。相对氮气气调杀虫,二氧化碳气调杀虫仅需将二氧化碳浓度保持在不低于 35% 维持 15 d 即可,在时间上有一定优势^[4]。目前人工气调技术正逐步向绿色化、智能化、生态化和优质化发展^[5-7]。已有的二氧化碳气调工艺研究仓型大多为平房仓,缺少对浅圆仓开展的试验研究,考虑到新建浅圆仓具有良好的气密性,本试验选取两个新建浅圆仓,采取下充上排式的二氧化碳气调工艺^[8],开展气调杀虫试验,考察二氧化碳气调技术对浅圆仓大豆储藏效果的影响,以期优化浅圆仓实仓气调工艺,防止虫害滋生,提高经济效益,进一步推动虫害绿色防护技术发展,促进仓储工作高质量发展。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 仓房

2 个新建浅圆仓,各仓直径 30 m,装粮设计高度 20 m。仓房结构一致,仓壁均为钢筋混凝土滑模施工结构,总厚度 300 mm;通风系统为 2 组梳状等静压地槽式通风系统,每组有 1 个进风口、6 条支风道,地槽风道口、回风环流管在仓房南北两侧对称分布;仓顶为现浇钢筋混凝土锥形结构,有 2 个轴流风机通风口和 4 个自然通风口,通风口均安装有气密闸板;仓内布设有 34 根测温电缆,分 4 圈布设,可通过智慧粮库系统实时监测粮温;仓底有 7 个出粮口,呈一字排列,每个出粮口均有气密闸板;气密门与挡粮门间有气密槽口。

1.1.2 二氧化碳气调试验器具

二氧化碳运输槽车(储存纯度为 99.99% 的液态食品级二氧化碳),二氧化碳汽化装置(移动撬)2 台,快接隔热软管,自动温湿度检测仪 2 个,氧气浓度检测仪,气体浓度检测管,泵吸式二氧化碳气体检测仪,二氧化碳气体报警仪,聚乙烯薄膜及气密压条等。

1.1.3 虫笼

分别装有 30 头赤拟谷盗、锈赤扁谷盗、玉米象等成虫的玻璃管试虫笼各 8 根,共 24 根,玻璃管两端用高目数纱布包裹,既透气又不会导致成虫逃逸,保障害虫存活的基本条件,同时在玻璃管外标注害虫种类和头数等相关信息。

1.2 试验方法

1.2.1 气密性检测

在仓门气密槽处压入气密薄膜后,依据 LS/T 1213—2022《二氧化碳气调储粮技术规程》,通过压力衰减法(500~250 Pa)对新建仓房进行气密性检测,空仓 500 Pa 降至 250 Pa 的压力半衰期需大于 300 s,实仓 500 Pa 降至 250 Pa 的压力半衰期需大于 240 s。

1.2.2 充气方式

采取下充上排式的充气方式。通过在试验仓南北两侧地槽口充入二氧化碳,微开仓顶东侧的自然通风口排气,打开程度以充气时保证仓内压力不超过 200 Pa 即可。待相应阀门关、启到位后,再启动移动撬,使二氧化碳运输槽车内的二氧化碳通过快接隔热软管输送至移动撬,再经连接移动撬出气口和仓房地槽口的快接隔热软管,将气体充入浅圆仓内部,如图 1 所示。充气完成后,每天在环流风机开启前检测一次气体浓度。当各点检测浓度均衡后,若空间处二氧化碳浓度低于 35%,则进行补气作业。

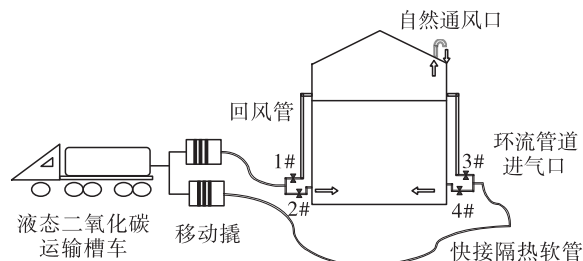


图 1 下充上排式充气工艺

1.2.3 二氧化碳浓度检测

在气调作业前布置好气体浓度检测管,并利用深层扦样器将通过仓顶穿线孔的气体取样管埋入相应点位,同时对各取样管做好标记。如图 2 所示,将浅圆仓分成 4 层,分别对仓顶空间处(1#)、粮面下

1 m 处[2#、3#、4#、5#，分别为中心、北(离墙 1~2 m)、东(离墙 1~2 m)、南(离墙 1~2 m)]、粮面下 10 m 处[6#、7#、8#、9#，分别为中心、北(离墙 1~2 m)、东(离墙 1~2 m)、南(离墙 1~2 m)]和仓底地槽处(10#、11#，气体浓度可在地槽口阀门处测得)共 11 个点位进行二氧化碳浓度检测。

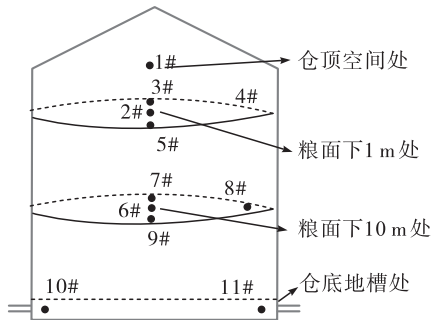


图2 二氧化碳浓度检测点分布图

1.2.4 害虫检测

在 2 个浅圆仓粮面中心下 0.4 m 处、北侧回风管粮面下 0.4 m 处、南侧回风管粮面下 0.4 m 处和东侧仓壁粮面下 0.4 m 处等 4 处点位分别放置准备好的 3 类储粮害虫的玻璃管试虫笼。在试验结束后，开启轴流风机进行通风散气，通过泵吸式二氧化碳检测仪以及二氧化碳气体报警仪检测仓顶空间的二氧化碳浓度，确保二氧化碳浓度正常后进仓取出试验仓试虫笼，并检查害虫存活情况。

1.2.5 温湿度检测

试验前，将自动温湿度检测仪分别放置于 56 号、60 号仓内中心粮面上约 1 m 高的空间处，同时打开其开关记录相关数据。

1.2.6 大豆品质检测

试验前，按照国粮发[2010]190 号《中央储备粮油质量检查扦样检验管理办法》附件 1 规定的扦样方法扦取 56 号仓和 60 号仓的大豆样品。圆仓分区域布点按截面分为 8 个外圆点、8 个内圆点和 1 个中心点，其中外圆点、内圆点均设在圆仓截面径向的 4 条等分线上，外圆点距圆仓的内壁 1 m 处，内圆点在半径中心处，中心点为圆仓的中心点(见图 3)。同时将各仓粮堆分为 3 层，分别是粮面下 1.5 m 和 10 m

处。分别依据 GB 5009.5—2016、GB 5009.229—2016、GB 5009.3—2016 对各混合层样品蛋白质溶解比率、粗脂肪酸值和水分等指标进行检测，并做好相应记录。在完成仓房散气工作后，在试验前布设点位再次取样检测，对比前后指标变化。

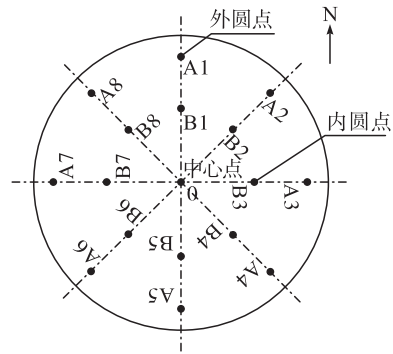


图3 取样点分布

1.2.7 安全防护措施

在试验前，准备好试验仓房各类警示标牌，分别贴置于地下通廊入口、仓周和仓顶栈桥位置显眼处，并在仓顶、仓周和地下通廊等处布置警戒线以及围挡进行隔离，防止无关人员误入试验区域。

在试验过程中，为杜绝二氧化碳气体意外泄漏引发的风险，安排人员携带二氧化碳气体报警仪每日巡查现场，重点检查试验仓房相关标识牌是否脱落，仓周警戒线及围挡是否正常以及是否有无关人员进入警戒范围内等，以确保试验安全进行。

在准备散气工作时，首先疏散现场所有无关人员，安排人员全程现场跟踪，再打开仓顶自然通风口和轴流风机对仓顶空间进行排气散气，同时接谷冷机对粮面控温通风，待仓温与平均粮温温差在 3℃ 以内时，开启环流风机加速粮堆内二氧化碳散气，直至二氧化碳浓度检测合格后，试验结束。

2 结果与讨论

2.1 仓房的选择

通过气密性检测选取气密性能良好、同一批次来粮、储存品质相近、数量相当的浅圆仓共 2 个，其中 56 号浅圆仓作为二氧化碳气调试验仓，60 号浅圆仓作为对照仓，仓房情况如表 1 所示。

表1 仓房情况

仓号	储粮量/t	大豆产地	入库时间	试验前仓温/℃		半衰期/s
				最高	平均	
56	9 989.746	美国	2022-02-19	35	29.6	380
60	9 989.476	美国	2022-02-28	33	29.3	400

2.2 二氧化碳浓度变化分析

2022 年 6 月 27 日，56 号仓首次充入二氧化碳

18.34 t，并于 7 月 11 日补气 11.68 t，期间粮堆各层二氧化碳浓度平均值变化情况如图 4 所示。

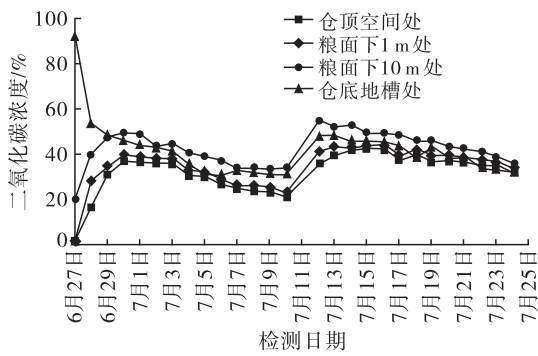


图4 二氧化碳浓度变化情况

从图4可以看出,启动内环流后,仓顶空间处二氧化碳浓度迅速上升,在6月30日达到最高值36.7%,

随后逐渐下降,于7月4日降至30.4%,经7月11日补气,仓顶空间处二氧化碳浓度迅速上升,直至7月22日,保持在35%以上,后因7月24日各层二氧化碳浓度平均值低于35%,开始散气作业。试验过程中,仓内各检测点二氧化碳浓度维持35%以上的时间超过了15 d,满足LS/T 1213—2022《二氧化碳气调储粮技术规程》中关于有效杀虫浓度及有效浓度维持时间的要求。

2.3 气调对储粮害虫的影响

通过充分散气后,取出预埋在56号试验仓和60号对照仓粮堆内的玻璃管试虫笼,同时检测相应仓房内的玻璃管试虫笼中虫样存活情况,结果如表2所示。

表2 各仓害虫情况

储量害虫	食源	虫态	56号仓				60号仓			
			A	B	C	D	A	B	C	D
赤拟谷盗	全麦粉	成虫	(30)	(30)	(30)	(30)	29(1)	27(3)	26(4)	26(4)
		幼虫	0	0	0	0	73(74)	271(25)	269(23)	244(50)
锈赤扁谷盗	全麦粉及碎麦粒	成虫	(30)	(30)	(30)	(30)	188(18)	288(10)	298(12)	326(8)
玉米象	小麦及麦片	成虫	(30)	(30)	(30)	(30)	97(3)	101(4)	104(5)	120(4)

注:A、B、C、D分别代表粮面中心下0.4 m、北侧回风管粮面下0.4 m、南侧回风管粮面下0.4 m和东侧仓壁粮面下0.4 m;不带括号的为活虫数量,括号内的为死虫数量

由表2可知,在56号试验仓中密闭27 d后,赤拟谷盗、锈赤扁谷盗和玉米象全部死亡,死亡率为100%。而60号对照仓内储粮害虫存活数量远超试验仓,且有明显繁殖现象,其中:用全麦粉饲养的赤拟谷盗成虫死亡率为10%,且繁殖大量幼虫,幼虫死亡率为16.7%;用全麦粉和碎麦粒饲养的锈赤扁谷盗成虫数量增加至原来的9.6倍,成虫死亡率为4.2%;用小麦及麦片饲养的玉米象成虫数量增加至原来的3.7倍,死亡率为3.7%。另外,60号对照仓各点位的储粮害虫生长繁殖状况存在较大差异,粮面中心下方0.4 m处害虫存活数量较其他位置少。

以上结果表明,各检测点二氧化碳浓度维持35%以上的时间达到15 d后,在很大程度上能够防治上述储粮害虫的生长繁殖,同时由于回风管下方埋虫点靠近仓壁,粮温受外部温度影响较大,温度高,害虫繁殖快,而中心点下方埋虫点粮温相对四周低,害虫繁殖慢,说明在同一仓房内粮温不同的位置,对储粮害虫的生长繁殖速度有不同的影响。

2.4 气调对仓内湿度的影响

仓内温湿度变化情况见图5。由图5可以看出,在试验期间,56号试验仓和60号对照仓仓内温度差异不明显,56号仓内湿度较60号仓内湿度更低,表明充二氧化碳不会影响仓内温度,但对仓内湿度产生一定影响。

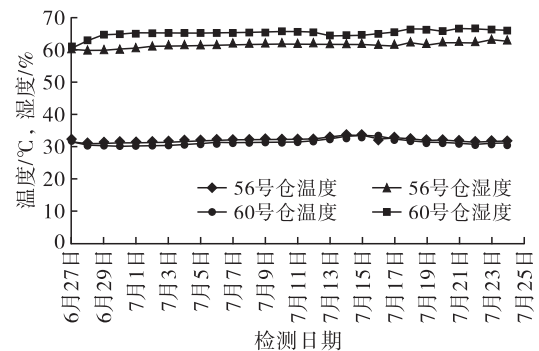


图5 仓内温湿度变化情况

2.5 气调对大豆品质指标的影响

粗脂肪酸值和蛋白质溶解比率是大豆定等的两个重要化学指标,在很大程度上能反映大豆品质的优劣。气调对大豆品质指标的影响见表3。

表3 大豆品质指标的变化情况

指标	样品来源	56号仓		60号仓	
		气调前	气调后	气调前	气调后
蛋白质溶解比率/%	粮面下1 m	90	88	89	89
	粮面下5 m	89	91	91	88
	粮面下10 m	89	88	90	87
粗脂肪酸值(KOH)/(mg/g)	粮面下1 m	0.88	0.98	1.10	0.97
	粮面下5 m	0.99	0.96	0.87	0.85
	粮面下10 m	0.84	0.85	0.86	0.84
水分/%	粮面下1 m	10.2	10.2	9.8	9.9
	粮面下5 m	10.1	10.2	10.5	10.3
	粮面下10 m	10.2	10.1	10.5	10.3

由表3可以看出:试验前后56号试验仓与60号对照仓的蛋白质溶解比率平均值变化分别为0.33、2.00百分点,二者仅相差1.67百分点;对照仓与试验仓粗脂肪酸值(KOH)平均值变化的差值为0.08 mg/g;各层水分变化幅度约为0.1百分点。各项检测指标的总变化幅度在正常范围内,且试验仓各项指标变化幅度与对照仓相近,说明此次二氧化碳气调对仓房所储存大豆的蛋白质溶解比率、粗脂肪酸值和水分变化影响不明显。

2.6 二氧化碳气调与氮气气调储粮的对比

氮气气调储粮技术也是镇江直属库储粮防虫抑虫的主要技术,采取负压上充下排的充氮方式,设定智能充氮系统目标浓度96%,检测氮气浓度低于95%时自动进行补充,当检测到南北地槽口氮气浓度都超过设定目标浓度时,自动关闭制氮机进行环流均衡^[9]。其试验仓房与本次试验仓房结构基本一致,气密性均较为良好,储存品种为美国大豆,储存数量基本一致。将二氧化碳气调储粮与氮气气调储粮试验数据进行对比,结果如下。

防治虫害效果方面:氮气气调与二氧化碳气调防治虫害效果均较为良好,对于赤拟谷盗、锈赤扁谷盗和玉米象等储粮害虫的生长、发育和繁殖均有抑制作用。

气体浓度保持方面:氮气气调试验在充气达到目标浓度后的12 d内,仓内氮气平均浓度由96.45%衰减至94.90%,降低1.55百分点;补气后,整仓氮气平均浓度14 d内由96.74%衰减至95.62%,降低1.12百分点。二氧化碳气调试验首次充气后的10 d内,整仓平均浓度由42.8%衰减至26.6%,降低16.2百分点;补气后,9 d内由45.6%下降至35.4%,降低10.2百分点。

气调储粮成本方面:使用固定式制氮设备制氮并将其充入仓房的电费为0.385元/t。而此次二氧化碳气调试验采购液态二氧化碳30 t,单价为500元/t,仅考虑二氧化碳用气费用,费用在1.5万元/t

左右,较氮气气调储粮成本高;但若考虑到气体发生装置费用,移动式二氧化碳汽化装置较固定式制氮设备大大节省了气调储粮前期一次性投资。

3 结论

在浅圆仓空仓气密性达300 s以上,粮面不覆膜的情况下,采用下充上排,间歇环流的充气工艺能够实现全仓粮堆二氧化碳气体浓度高于35%的目标;在仓房气密性良好的情况下,确保仓内二氧化碳浓度维持在35%以上的时间超过15 d,可有效防治赤拟谷盗、锈赤扁谷盗和玉米象等储粮害虫;在气调期间,充二氧化碳对大豆的蛋白质溶解比率、粗脂肪酸值和水分等指标未见不良影响;二氧化碳气体损失的速度较氮气快,二氧化碳气调对仓房气密性要求更高,气调成本也更高,但二氧化碳气调技术所需密闭期较短,前期一次性投资较低。

参考文献:

- [1] 韩枫,夏利泽,孔志超.大豆安全储藏技术研究进展[J].粮食与油脂,2017(12):14-16.
- [2] 刘颖,郭志敏,李云飞,等.果蔬气调贮藏国内外研究进展[J].食品与发酵工业,2006(4):94-97.
- [3] 张志愿,杨文生,张成.智能气调储藏技术在浅圆仓中的应用研究[J].粮油仓储科技通讯,2013(3):31-33.
- [4] 刘作伟,郭道林,严晓平,等.CO₂气调储藏防治储粮害虫的研究[J].粮食储藏,2004(2):10-14.
- [5] 高素芬.氮气气调储粮技术应用进展[J].粮食储藏,2009(4):25-28.
- [6] 李丹丹,李浩杰,张志雄,等.我国氮气气调储粮研发和推广应用进展[J].粮油仓储科技通讯,2015(5):37-41.
- [7] 梁彦伟,金邑峰.我国储粮技术的应用与展望[J].现代食品,2020(20):1-4.
- [8] 刘旭光,朱华锦,洪文奎,等.二氧化碳气调储粮新工艺试验[J].粮食储藏,2019(3):6-9.
- [9] 张志愿,杨文生,张成.智能气调储藏技术在浅圆仓中的应用研究[J].粮油仓储科技通讯,2013(3):31-33.