

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2023.02.022

颀宇, 李倩倩, 尹君, 等. 气调剂在优质籼米保质保鲜储藏中的应用研究[J]. 粮油食品科技, 2023, 31(2): 172-177.

JIE Y, LI Q Q, YIN J, et al. The storage technology for fresh-reserving of high-quality indica rice by air-regulating agent[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2023, 31(2): 172-177.

气调剂在优质籼米保质保鲜储藏中的应用研究

颀宇¹, 李倩倩¹, 尹君¹, 王法², 刘北辰², 方玉强², 张国红², 张忠杰¹✉

(1. 国家粮食和物资储备局科学研究院, 粮食储运国家工程研究中心, 北京 100037;

2. 北京君泰气调工程技术研究院, 北京 100044)

摘要: 绿色储粮技术的创新发展是粮食储藏领域的重要研究课题, 气调储粮是绿色储粮技术之一。开展了气调剂在第五储粮生态区域(中温高湿环境)对优质籼米保质保鲜储藏的实验研究, 实时监测储藏环境氧气浓度、温度和相对湿度, 并对保质保鲜效果进行评价。结果表明: 新型气调剂气调技术可有效保持第五生态区域所储优质籼米的品质, 并可适当延长保质储藏时间。与对照组相比, 气调剂实验组在5个月储藏期间, 密闭储藏空间内氧气浓度维持在0.1%以下, 相对湿度维持在70%; 气调剂实验组优质籼米的水分含量比对照组高0.98%, 脂肪酸值比对照组低1.34 mg (KOH)/100 g, 新鲜度比对照组高7分。由此可知, 气调剂气调技术可以按照需求调控密闭空间内氧气浓度和相对湿度, 实现保质保鲜储粮目的, 是一种绿色低碳保质的储粮新技术。

关键词: 气调剂; 降氧; 第五储粮生态区; 保质保鲜; 绿色储粮

中图分类号: TS201.4 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2023)02-0172-06

网络首发时间: 2023-03-09 16:37:23

网络首发地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3863.TS.20230309.1401.024.html>

The Storage Technology for Fresh-Reserving of High-Quality Indica Rice by Air-regulating Agent

JIE Yu¹, LI Qian-qian¹, YIN Jun¹, WANG Fa², LIU Bei-chen², FANG Yu-qiang²,
ZHANG Guo-hong², ZHANG Zhong-jie¹✉

(1. National Engineering Research Center for Grain Storage and Transportation, Academy of National Food and Strategic Reserves Administration, Beijing 100037, China;

2. Beijing Jun Tai Research Institute for Controlled Atmosphere Technology, Beijing 100044, China)

Abstract: The innovative development of green technology is the permanent scientific research topic in the field of grain storage, and the controlled atmosphere is one of the green grain storage technologies. This paper carried out the research on the storage technology of high-quality indica rice in the fifth

收稿日期: 2023-01-15

基金项目: 院企合作研发项目(H22008)

Supported by: Institute-enterprise Cooperative Research and Development Project (No. H22008)

作者简介: 颀宇, 女, 1989年出生, 博士, 研究方向为粮食加工与贮藏。E-mail: jyu@ags.ac.cn.

通讯作者: 张忠杰, 男, 1960年出生, 博士, 研究员, 研究方向为粮食储藏与干燥。E-mail: zzj@ags.ac.cn.

ecological area of grain storage (medium temperature and high humidity) by air-regulating agent. The concentration of oxygen, temperature and relative humidity of the storage environment were monitored, and the quality of high-quality indica rice was also evaluated. The results showed that the technology of air-regulating could effectively delay the quality deterioration of rice. Compared with the controlled group, the experiment group can maintain the concentration of oxygen in the confined space below 0.1% and the relative humidity at 70% during the 5-month storage period. The moisture content of the controlled atmosphere group was 0.98% higher than that of the controlled group. The fatty acid value was 1.34 mg (KOH)/100 g lower than that of the controlled group, while the freshness was 7 points higher than that of the controlled group. The above results showed that the air-regulating agent can adjust and control the oxygen concentration and relative humidity in the confined space according to the demand, which could achieve the purpose of preserving the quality and freshness of grain. It is a green, low-carbon and fresh-reserving new grain storage technology.

Key words: air-regulating agent; oxygen-consumed; the fifth ecological area of grain storage; preservation; the green grain storage

粮食安全是关乎国计民生的永久性课题,其中储粮安全是粮食安全的重要组成部分,作为全世界三分之一以上人口主粮的大米的安全储藏是一个更具挑战性的课题^[1]。随着我国人民生活水平不断提升,食品安全与营养健康的需求越来越高,优质大米的需求量亦逐年增加,如何实现优质大米的保量保鲜储藏也就成为储粮研究的重点。目前,以低温(准低温)储粮、气调储粮为主的绿色储粮技术被广泛应用于大米储藏实践,并取得了一定的效果。我国的气调储藏技术已处于国际领先水平,研究表明气调储藏可以明显减缓大米脂肪酸值的增加和生物酶活性等的变化^[2]。大米在储藏期间由于自身的生理特性,容易发霉生虫,因此,目前气调储藏技术的作用多集中于杀虫抑霉,短期杀虫处理后

再利用低温实现保质储存^[3-4]。本文针对气调储粮技术对环境影响效果、非常态环境下储藏大米品质变化规律、以及由非常态化到常态化的大米品质变化规律,就新型气调剂气调储粮技术应用于优质籼米保质保鲜储藏进行了实验研究,取得了良好效果。

1 材料与方法

1.1 实验材料

优质籼米(品种为黄华占,出厂时间 2022 年 6 月):江西金佳谷物安福粮油购销有限公司。

气调剂和气调专用复合膜:北京君泰气调工程技术研究院。

1.2 仪器与设备

实验所用仪器与设备如表 1 所示。

表 1 实验所用仪器与设备信息

Table 1 Information on instruments and equipment used in the test

型号	仪器/设备	供应商
NC502-470M V2	自动监测设备(温度测试范围-40~80 °C,精度:±0.3 °C;相对湿度测试范围 0%~99.9%,精度±3.0%RH,氧气浓度测试范围 0%~25%,精度±2.0%)	北京盈丰利泰科贸有限公司
ZS-100	手提式封口机	上海沪越联合包装机械厂
JMWT-12	大米外观品质检测仪	北京东孚久恒仪器技术有限公司
JCXG	大米测鲜仪	北京东孚久恒仪器技术有限公司
PL3002-IC	电子分析天平	托利多仪器(上海)有限公司
DGG-9070A	电热恒温鼓风干燥箱	广东泰宏君科学仪器股份有限公司

1.3 实验方法

1.3.1 储藏地概况

实验于 2022 年 6 月至 2022 年 11 月在江西省安福县盈丰利泰公司仓库进行, 江西省是我国产粮大省和粮源净调出省, 地处储粮生态第五区, 气候特点是中温高湿。

1.3.2 气调剂储藏环境搭建

按照 1 吨/垛(25 kg 袋装大米, 40 袋为一垛), 布置 3 个实验组堆垛和 1 个对照组堆垛。实验组依据 SB/T 11150—2015《中药材气调养护技术规范》, 以 2 kg/m³ 投放标准, 分别放置 500 g 气调剂 8 包, 以气调专用复合膜(高阻隔聚乙烯复合膜)密封, 构建密闭堆垛环境, 并在堆垛内配置自动监测设备 1 台。对照组不做任何处理, 在仓间自然环境储藏, 仓间也同时安装自动监测设备, 实时监测自然环境数据。



图 1 气调剂堆垛储藏

Fig.1 Stacking storage with air-regulating agent

1.3.3 气调剂储藏环境监测

实验组和对照组储藏 5 个月, 气调剂堆垛内温度、相对湿度和氧气浓度采用自动监测设备实时监测。

1.3.4 优质籼米品质评价参数及标准

实验组和对照组储藏 5 个月, 优质籼米的水分含量参照 GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》; 脂肪酸值参照 GB/T 29405—2012《粮油检验 谷物及制品脂肪酸值测定仪器法》, 新鲜度参照 LS/T 6118—2017《粮油检验 稻谷新鲜度测定与判别》; 垩白度采用大米外观品质检测仪测定。

1.4 数据分析

所有数据均为三次平行测定结果的平均值。Microsoft Office Excel 2010 和 SIMCA-P 软件用于数据统计和相关性分析。

2 结果与讨论

2.1 气调剂储藏技术评价

2.1.1 堆垛环境温度和相对湿度变化

表 2 和表 3 分别为气调剂实验组和对照组在 6—11 月间温度和相对湿度变化情况。江西地处亚热带季风气候区, 春寒夏热, 秋燥冬冷, 因此温度和相对湿度均呈现先升高后降低的趋势。气调实验组 7、8 月的平均气温超过 30.0 °C, 自 8 月后, 温度值逐渐下降, 11 月平均温度达到最低, 为 20.4 °C。堆垛内自动监测设备采集到的环境温度数据与实际温度变化一致, 说明自动监测设备可以准确监测垛内环境变化, 气调剂对环境温度没有影响。

表 2 2022 年 6—11 月气调剂堆垛环境温度和相对湿度的最高值、最低值和平均值

Table 2 The highest, lowest and average values of temperature and relative humidity under controlled-atmosphere environment from June 2022 to November 2022

月份	温度/°C			相对湿度/%RH		
	最高值	最低值	平均值	最高值	最低值	平均值
6	28.9	25.1	26.7	90.4	77.3	79.7
7	32.8	27.9	30.2	84.4	77.1	79.7
8	33.4	29.7	31.8	85.3	79.6	81.2
9	29.8	26.9	28.7	84.3	79.8	81.6
10	31.2	20.5	23.8	84.5	78.5	80.6
11	24.1	13.4	20.4	83.6	77.1	79.1

表 3 2022 年 6—11 月仓间环境温度和相对湿度的最高值、最低值和平均值

Table 3 The highest, lowest and average values of temperature and relative humidity in warehouse from June 2022 to November 2022

月份	温度/°C			相对湿度/%RH		
	最高值	最低值	平均值	最高值	最低值	平均值
6	30.1	25.1	27.5	97.0	93.1	94.9
7	34.2	28.2	31.0	95.1	62.5	83.0
8	34.3	28.7	32.4	79.7	61.2	70.7
9	30.2	26.7	28.7	73.2	50.6	61.8
10	31.9	19.3	23.7	75.5	36.0	57.7
11	24.7	11.9	20.0	99.3	59.4	78.6

气调剂实验组 8-10 月的相对湿度平均值均>80.0%RH, 其余 3 个月的相对湿度平均值均>77.0%RH。对照组 6 月相对湿度最高, 平均值为 94.9%RH, 8 月前相对湿度平均值>70.0%RH, 9-11 月相对湿度平均值为 60.0%RH, 这与江西省自然环境有关, 受亚热带季风气候影响, 江西省雨量充沛, 相对湿度较高^[5]。通过图 2 可知, 实验组相对湿度在 6-11 月保持稳定, 而对照组则波动较大, 不利于优质籼米的保存。

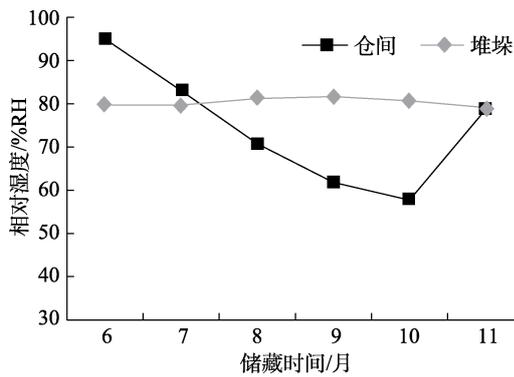


图 2 仓间与气调剂堆垛内温度和相对湿度对比
Fig.2 Comparison of temperature and relative humidity between warehouse and controlled-atmosphere environment

2.1.2 堆垛环境氧气浓度变化

表 4 为气调剂实验组在 6-11 月间氧气浓度的变化情况, 对照组为仓间自然环境, 氧气浓度为空气中氧气浓度(21%)。气调剂在堆垛密封之初, 还未反应时, 垛内的氧气值为自然环境常态值, 此时氧气浓度最高, 随着气调剂发生吸氧反应, 垛内氧气浓度逐渐下降, 耗时约一周下降至最低值(0.01%)。6 月氧气浓度下降最快, 说明气调剂初始反应程度剧烈, 下半年每个月的氧气最高

表 4 2022 年 6-11 月堆垛环境氧气浓度最高值、最低值和平均值

Table 4 The highest, lowest and average values of oxygen under controlled-atmosphere environment from June 2022 to November 2022 %

月份	氧气浓度		
	最高值	最低值	平均值
6	20.89	0.01	1.51
7	0.79	0.01	0.09
8	0.39	0.01	0.04
9	0.05	0.01	0.02
10	0.22	0.01	0.03
11	0.32	0.01	0.02

值均呈下降的趋势, 氧气浓度平均值均<0.1%, 说明气调专用复合膜能够保证堆垛气密性, 气调剂能够较好维持堆垛环境中氧气浓度, 使优质籼米处于低氧环境储藏。

2.2 优质籼米保质保鲜储藏评价

优质籼米储藏期间水分含量变化如图 3 所示。储藏 150 天后, 实验组水分含量从 12.92%变为 13.00%, 对照组水分含量由 13.09%变为 12.02%, 下降 1.07%。对照组在 150 天时水分含量回升, 这与外界空气湿度较高有关。结果表明, 气调剂实验组在密闭环境中具有较好保水效果。

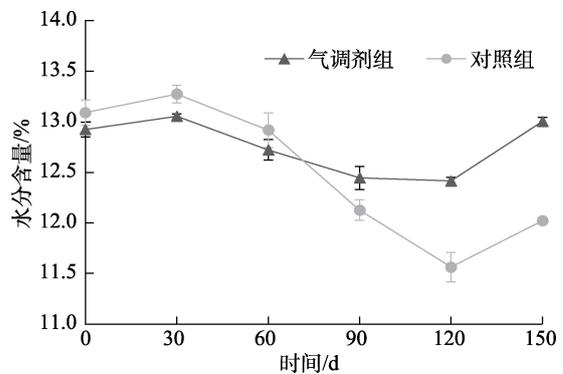


图 3 水分含量变化
Fig.3 Moisture content change of rice

优质籼米储藏期间脂肪酸值变化如图 4 所示, 脂肪酸值均随着储藏时间的延长呈上升趋势, 实验组脂肪酸值由 6.02 升至 10.70 mg (KOH)/100 g, 上升幅度 4.67 mg (KOH)/100 g; 对照组脂肪酸值从 5.83 升至 12.04 mg (KOH)/100 g, 上升幅度为 6.21 mg (KOH)/100 g, 说明气调剂减缓了大米脂肪酸值的增加, 因为低氧环境抑制大米脂类物质的氧化速度和强度。

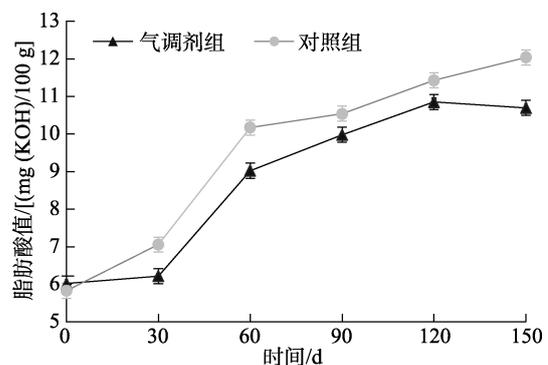


图 4 脂肪酸值变化
Fig.4 Fatty acids value change of rice

由图 5 可知，实验组垩白度在储藏期间变化相对平缓，变化范围为 0.74%~0.82%；对照组垩白度由 0.57% 上升至 0.83%，上升幅度 0.27%，相较实验组，对照组垩白度有小幅上升。

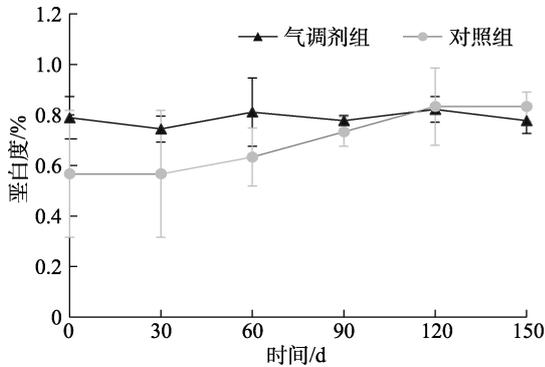


图 5 垩白度变化
Fig.5 Chalkiness change of rice

优质籼米新鲜度随时间变化如图 6 所示。实验组新鲜度在储藏期间变化缓慢，变化范围为 73.22~76.11 分；对照组新鲜度由 75.33 下降至 68 分，下降幅度 7.33 分，对照组新鲜度下降较明显。

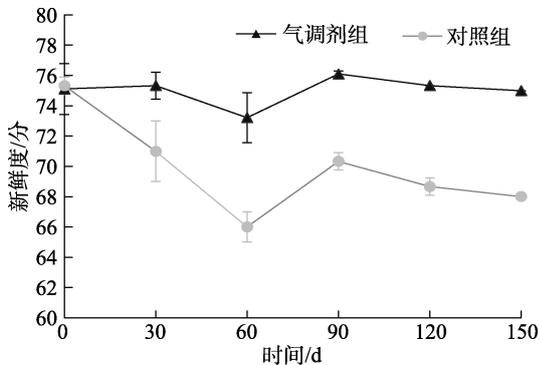


图 6 新鲜度变化
Fig.6 Freshness change of rice

气调剂堆垛内环境（温度、相对湿度、氧气浓度、时间）和优质籼米品质（水分含量、脂肪酸值、垩白度、新鲜度）的相关性指数如图 7 所示。气调剂储藏环境下，优质籼米的品质受储藏时间影响最大，垩白度、脂肪酸值和新鲜度与储藏时间呈正相关，水分含量与储藏时间呈负相关，而储藏时间与储藏温度、相对湿度、氧气浓度呈负相关。氧气浓度与储藏时间相关性指数为 -0.691，与相对湿度相关性指数为 0.981。

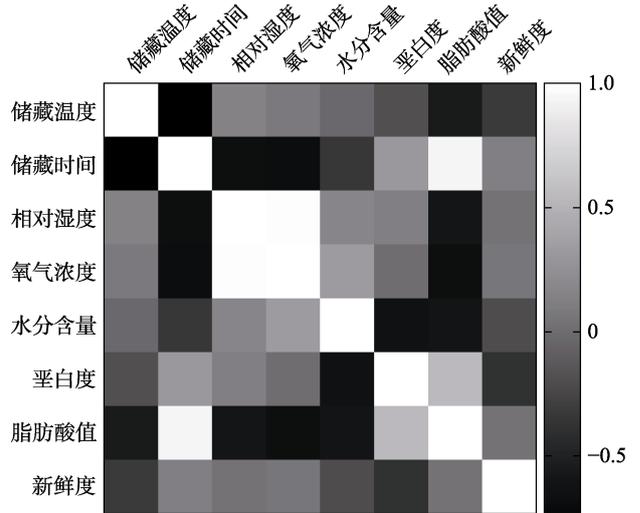


图 7 气调剂储藏环境与优质籼米品质相关性指数
Fig.7 Correlative index between the storage environment of controlled-atmosphere and the quality of rice

2.3 讨论

江西省是我国优质籼米主产省之一，夏季气候环境温度最高可达 34.3 °C，相对湿度最高可达 97.0%（表 3）。为保证优质籼米的品质，加工厂常采用低温储藏技术，但低温技术对整体仓房气密性和隔热保温性等指标要求较高，因此投资成本较高^[6]。本研究创新性采用气调剂气调技术在高湿环境储藏优质籼米，为粮食保质保鲜储藏提供新方法。

根据实验组堆垛内自动监测设备采集的氧气、温度和相对湿度数据可知，在气调剂和气调专用复合膜（高阻隔聚乙烯复合膜）构建的密闭空间中，氧气浓度可在一周内降至最低，7-11 月储藏期间氧气浓度平均值可维持在 0.1% 以下（表 4），这与气调剂在党参和烟叶贮藏中的降氧效果一致^[7-9]。通过对比气调剂堆垛与仓间的温度和相对湿度可知，气调剂能够有效保持密闭环境相对湿度的恒定（图 1）。气调剂是一种由铁、炭、填充剂和调湿剂等成分组成的制剂，其作用机理是消耗密闭空间内氧气，并分解释放适量的二氧化碳气体，来调节储藏环境的气氛，可双向调控密闭空间内相对湿度，这也是优质籼米储藏期间品质优于对照组的原因。堆垛环境内温度随外界温度变化，而相对湿度则保持稳定，且空间内处于低氧环境，优质籼米的脂肪酸值、垩白度和新鲜

度受储藏时间影响最大(图 6),受其他因素影响较小,因此品质劣化减缓。而外界温度和相对湿度波动较大,对照组受环境因素影响脂肪酸值上升和新鲜度下降加快。优质籼米与堆垛内环境湿度进行水分交换,动态平衡过程中水分含量有所升高,达到动态平衡后水分含量逐渐稳定,在 13.0%波动。我国南方地区收储环节稻谷水分和杂质含量偏高,高水分大米的储藏对技术要求很高,管理费用也较高^[10],如仓内空气的相对湿度过低会导致大米的含水量损失,不仅造成仓储企业的经济损失,也会影响大米的整精米率和口感^[11]。本研究结果表明,气调剂堆垛储藏操作简单,投资成本和管理费用相对较低,可以在高湿环境下双向控湿,保持优质籼米水分含量,并减缓其他品质的劣变。另外,借助自动监测设备,通过智能监测数字化软件平台,对氧气浓度、温度和相对湿度数据采集并进行分析、储存和统计,实现实时监测和预警功能,是极有潜力的绿色、智能储粮技术。

3 结论

本文以优质籼米为对象,探究气调剂气调技术在中温高湿环境的保质保鲜效果,为新型气调剂气调技术的推广应用和实现粮食产业减损降耗、提质增效提供依据。主要结论如下:

(1) 气调剂气调技术可在一周内将堆垛内自然氧气浓度降至 0.01%,并在储藏期间维持低氧环境,有效控制密闭环境中氧气浓度。

(2) 在仓间相对湿度最高为 97%条件下,采用气调剂气调技术可将堆垛内相对湿度长期维持在 70%。

(3) 气调剂气调技术可在 5 个月储藏期内使优质籼米的水分含量损失低于 0.1%,并减缓脂肪酸值和垩白度的增加,保持优质籼米新鲜度在 76 分以上,保证优质籼米在第五储粮生态区的保质保鲜储藏。

参考文献:

[1] 中华人民共和国统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京: 国统计出版社, 2021.
National Bureau of Statistics. China Statistical Yearbook-

2021[M]. Beijing: Chinese Statics Press.

[2] TONG C, GAO H Y, LUO S J, et al. Impact of postharvest operations on rice grain quality: a review[J]. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2019, 18(3): 626-640.

[3] HUANG Y L, WANG D X, JIAN F J, et al. Mortality of different stages of *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: Pyralidae) at three temperatures in controlled atmosphere of high nitrogen[J]. *Journal of economic entomology*, 2020: 1-5.

[4] 邹易, 张红建, 郑联合, 等. 控温气调技术在海南地区储粮中的应用研究[J]. *粮食与食品工业*, 2018, 25(4): 49-52+56.
ZOU Y, ZHANG H J, ZHENG L, et al. Study on the application of temperature and air control in grain storage of Hainan[J]. *Cereal and Food Industry*, 2018, 25(4): 49-52+56.

[5] 刘梦洁, 杨怡欣, 陈乐, 等. 江西不同生态区优质晚籼稻产量、品质变化特征[J]. *中国稻米*, 2022, 28(2): 60-65.
LIU M J, YANG Y X, CHEN L, et al. variation characteristics of yield and quality of high quality late indica rice in different ecological regions of Jiangxi province[J]. *China Rice*, 2022, 28(2): 60-65.

[6] 王若兰, 宋永令, 付鹏程. 中国稻谷储藏技术及装备的现状与发展趋势[J]. *中国稻米*, 2021, 27(4): 66-70.
WANG R L, SONG Y L, FU P C. Present situation and development trend of rice storage technology and equipment in China[J]. *China Rice*, 2021, 27(4): 66-70.

[7] 何媛丽. 气调剂和臭氧处理对贮藏后党参品质的影响研究[D]. 甘肃农业大学, 2016.
HE Y L. The study on effect of air-regulating and ozone treatments[D]. Gansu Agricultural University, 2016.

[8] 卓思楚. 烟叶气调剂不同氧气浓度的防霉杀虫及醇化效果[J]. *安徽农业科学*, 2010, 38(1): 158-160.
ZHUO S C. Effect of mildewproof and disinsection and alcoholization of tobacco air-regulating agent on tobacco leaves in different oxygen concentration condition[J]. *Journal of Anhui Agriculture Science*, 2010, 38(1): 158-160.

[9] 沈舰, 黄立兵, 曾经纬, 等. 仓库气氛调控剂对片烟醇化质量的干预分析[J]. *贵州大学学报(自然科学版)*, 2017, 34(1): 29-34+56.
SHEN J, HUNG L B, ZENG J W, et al. Intervention analysis of warehouse air-regulating agent on sheet tobacco fermentation quality[J]. *Journal of Guizhou University (National Science)*, 2017, 34(1): 29-34+56.

[10] 胡飞俊, 何睿, 陈志军, 等. 我国南方高水分稻谷储藏技术应用现状及发展趋势[J]. *粮食科技与经济*, 2015, 40(2): 43-45.
HU F J, HE R, CHEN Z J, et al. Application status and development trend of high moisture rice storage technology in south China[J]. *Grain Science and Technology and Economy*, 2015, 40(2): 43-45.

[11] 陶利思, 秦文, 魏征, 等. 偏高水分粳稻谷储藏期间粮堆空气特性与品质指标的变化[J]. *食品工业科技*, 2022, 43(2): 328-337.

TAO L S, QIN W, WEI Z, et al. Changes in intergranular air properties of grain bulk and quality parameters in japonica paddy with slightly high moisture during storage[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2022, 43(2): 328-337. 完