

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2021.06.024

田琳, 张海洋, 祁智慧, 等. 华北地区高大平房仓稻谷控温储粮情况研究[J]. 粮油食品科技, 2021, 29(6): 247-253.

TIAN L, ZHANG H Y, QI Z H, et al. Research on the temperature-controlled storage of paddy in warehouse of Northern China[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2021, 29(6): 247-253.

# 华北地区高大平房仓稻谷 控温储粮情况研究

田琳, 张海洋, 祁智慧, 唐芳✉

(国家粮食和物资储备局科学研究院, 北京 100037)

**摘要:** 对华北地区某高大平房仓的稻谷空调控温储藏情况进行了监测研究。结果表明: 度夏期间, 利用空调控温技术, 仓房内空间温度和表层平均粮温可有效控制在 22 °C 以下, 但同一粮层不同位点温度差异大, 在粮堆表层、西墙、南墙附近局部位置粮温仍会出现高于 25 °C 的情况。受夏季外界环境高温影响, 粮堆中心与侧壁附近温差 10 °C 以上, 存在“冷心热皮”引起的水分迁移现象。水分和温度在距离粮堆表层和仓房侧壁 0.5 m 附近易升高, 成为霉菌易滋生的重点部位, 同时, 也是发芽率降低和脂肪酸值易升高的位置。因此, 在控温储粮过程中需加强对粮堆表层和仓房侧壁粮情的监控。

**关键词:** 稻谷; 空调控温; 储粮状况; 霉菌生长; 发芽率; 脂肪酸值

中图分类号: Q939.96 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2021)06-0247-07

## Research on the Temperature-Controlled Storage of Paddy in Warehouse of Northern China

TIAN Lin, ZHANG Hai-yang, QI Zhi-hui, TANG Fang✉

(Academy of National Food and Strategic Reserves Administration, Beijing 100037, China)

**Abstract:** In this paper, paddy storage in a warehouse where temperature is controlled by air-conditioning was monitored and studied, in Northern China. During the summer, using air-conditioning temperature control technology, the warehouse temperature and the average grain temperature on the surface can be effectively controlled below 22 °C, but the temperature at different locations of the same grain layer varies greatly. The grain temperature in local areas near the surface of the grain pile, the west wall, and the south wall are still above 25 °C. Affected by the high temperature of the external environment in summer, the temperature difference between the center of the grain pile to the side wall is more than 10 °C, and there is water migration happening caused by “cold heart and hot skin”. Moisture and temperature tend to rise at a distance of 0.5 m from the surface of the grain pile and the side wall of the warehouse, which makes it a key place where mold is easy to grow. At the same time, it is also the location where the germination rate decreases and the fatty acid value increases. Therefore, in the process of temperature-controlled grain storage,

收稿日期: 2021-03-22

基金项目: 国家重点研发计划项目(2019YFC1605303); 中央级公益性基本科研业务费专项(JY2004)

Supported by: National Key Research and Development Project of China (No.2019YFC1605303); Fundamental Research Funds of non-profit Central Institute (No.JY2004)

作者简介: 田琳, 女, 1988 年出生, 助理研究员, 研究方向为储粮微生物。E-mail: tl@ags.ac.cn.

通讯作者: 唐芳, 女, 1978 年出生, 副研究员, 研究方向为储粮微生物。E-mail: tf@ags.ac.cn.

it is necessary to strengthen the monitoring of the grain condition on the surface of the grain pile and the side wall of the warehouse.

**Key words:** paddy; air-conditioning temperature-controlled technology; grain storage status; mold growth; germination rate; fatty acid value

我国既是稻谷生产大国也是消费大国，稻谷在国内居民的饮食结构中占据重要的地位，稻谷的安全储藏是保障国民用粮的基础环节之一。稻谷不耐高温，温度是影响稻谷储藏安全的主要因素，高温会引起籽粒呼吸代谢增强，加快品质劣变<sup>[1-3]</sup>，同时引起害虫和微生物的大量繁殖<sup>[4-5]</sup>，对储备粮的质量和数量均造成威胁。因此，储粮行业工作者不断研究和探索，利用多种控温技术延缓储粮温度上升，尽可能将其控制在低温（15℃）或准低温（20℃）范围。目前，全国范围内推广的控温措施多样，应用较广泛的主要有内环流控温、谷物冷却机控温、空调控温等。其中，空调控温是使用粮仓专用空调控制仓内环境温度，从而达到控温储粮的目的，是一种安全、经济、绿色的储粮技术。该技术在我国的干中温干燥<sup>[6]</sup>、中温高湿<sup>[7-10]</sup>、中温低湿<sup>[11]</sup>及高温高湿<sup>[12]</sup>储粮生态区的储粮实践中，都取得了一定的应用效果<sup>[13]</sup>。在针对空调控温技术的储粮效果评价上，局限于表层及整仓粮堆温度和品质的变化研究，如乐大强等<sup>[8]</sup>研究了氮气气调与空调控温技术联用的稻谷仓度夏期间的三温，及整仓稻谷脂肪酸值变化；杜志文等<sup>[10]</sup>研究了食品级惰性粉与空调控温技术联用后整仓稻谷脂肪酸值的变化；王鑫等<sup>[11]</sup>研究比较了空调控温和通风控温粮种技术在整仓平均粮温控制和整仓稻谷水分、脂肪酸值变化上的差异；王平坪等<sup>[12]</sup>通过海口、温州、资阳等地高大平房仓空调控温后全仓和表层粮温监测，分析了不同粮种空调控温效果的差异。有部分研究进行了不同粮堆深度上粮食温度或品质的整体评价，如熊文等<sup>[7]</sup>研究分析了稻谷仓度夏期间表层、中层、底层的粮温变化；周涛等<sup>[9]</sup>研究了空调控温后距粮面 0.5、2.5 和 4.5 m 三层稻谷的水分、黄粒米、脂肪酸值在度夏期间的变化。大量研究表明，空调控温稻谷储藏整仓储粮效果评价良好，但实际储粮中，经常会出现局部霉变发热的情况，找出易出现问题的位置，才能更高

效地利用空调控温技术，提高储粮效果。

本文通过华北地区某高大平房仓的空调控温稻谷储藏实践，分析夏季空调控温期间不同粮堆深度上不同位点的粮温分布情况，以及对具体位置上稻谷水分、发芽率、脂肪酸值和霉菌生长的影响，为华北地区空调控温技术的应用实践提供更为精准指导。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

华北地区某粮库稻谷仓，仓房经气密性改造后半衰期为 30 s，采用壁挂式空调进行控温储藏。实验粮于 2016 年 1 月入仓，产地黑龙江，粮堆尺寸 60 m\*24 m\*6 m，入库水分 14.5%，储藏期两年，本实验在靠西墙半个仓房进行。

### 1.2 仪器设备

AS-01 粮情质量安全监测系统：国家粮食和物资储备局科学研究院；SMART 显微镜：卡尔·蔡司股份公司；PL3002-IC 电子分析天平：梅特勒-托利多仪器（上海）有限公司；DHG-9246A 型电热恒温鼓风干燥箱：上海精宏实验设备有限公司；JSFM-1 粮食水分测试粉碎磨：成都粮食储存科学研究院。

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 粮堆检测点布置

如图 1 所示，在稻谷粮堆布置 9 个检测点，检测点距离各墙 0.5 m。在粮面下 0.4 m 布置粮情质量安全监测系统检测探头，度夏期间每 10 天采

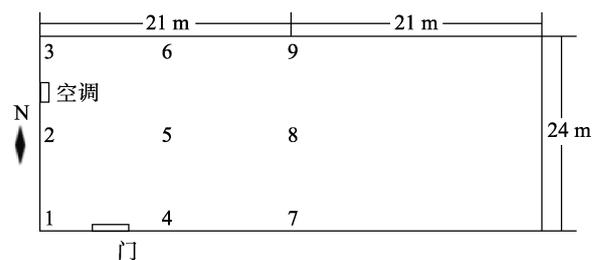


图 1 粮堆检测点布置图

Fig.1 The layout of the inspection point of the grain pile

集粮堆表层粮情信息,粮堆深度 1.6 m 和 5.5 m 层利用测温电缆在 2016 年 6、7、8、9 月中旬和 2017 年的 7、8、9 月中旬的粮温信息进行粮堆状况分析。以上三个粮堆深度各检测点在度夏前、后取样检测稻谷水分、霉菌生长情况、脂肪酸值和发芽率等。

### 1.3.2 储粮霉菌检测方法

储粮霉菌检测依照 LS/T 6132—2018 《粮油检验 储粮真菌的检测 孢子计数法》<sup>[14]</sup>。

### 1.3.3 稻谷品质检测方法

水分测定依照 GB/T 5497—1985 《粮食、油料检测 水分测定法》<sup>[15]</sup>中 105 °C 恒重法;脂肪酸值测定依照 GB/T 20569—2006 《稻谷储藏品质判定规则》<sup>[16]</sup>附录 A 的方法;发芽率测定依照 GB/T 5520—2011 《粮油检验 籽粒发芽试验》<sup>[17]</sup>的方法。

## 1.4 数据分析

实验数据采用 EXCEL 2010 软件进行整理,并使用 SPSS 19.0 软件进行数据描述统计量分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 度夏期间仓房环境

实验仓在每年度夏期间(6~9 月)开启空调控温,仓内环境温度超过 23 °C 时开启空调。度夏期间仓温均控制在 22.0 °C 以下,第一年和第二年度夏期间仓温最高值分别为 21.3、21.5 °C,均出现在 6 月下旬至 7 月上旬,持续时间小于 15 d,空调控温效果良好。仓房内环境相对湿度最低 39.0%,最高 71.3%,平均维持在 55.5%±9.8%。

### 2.2 度夏期间粮温变化情况

温度是稻谷储藏的关键影响因素之一,在实际储粮中需要利用控温技术延缓粮堆温度上升,尽可能将其控制在低温或准低温范围内。本研究中的实验仓采用仓房空间空调控温,目标是控制粮温低于 22 °C。选取 0.4、1.6、5.5 m 三个粮堆深度,储藏两年过程中度夏期间(6~9 月)的温度监控数据进行统计分析,粮堆不同层各检测点及层均温变化情况见表 1。

表 1 各检测点度夏期间粮温情况表

Table 1 Table of grain temperature during the summer period at each inspection point

检测点	度夏均温/°C			度夏最高温		
	0.4 m	1.6 m	5.5 m	温度/°C	所在粮堆深度/m	检测时间
1	21.8 ± 1.5a	22.8 ± 2.5d	20.2 ± 1.9d	26.2	1.6	2016/8/11
2	21.2 ± 1.3a	16.0 ± 3.1abcd	12.9 ± 2.2bc	23.7	0.4	2016/8/26
3	21.7 ± 1.5a	20.6 ± 4.1cd	18.4 ± 6.2cd	27.4	1.6	2016/8/11
4	22.2 ± 1.3a	20.5 ± 1.5cd	12.0 ± 1.2ab	24.5	0.4	2016/8/26 2016/9/21
5	19.7 ± 1.6a	9.7 ± 3.7ab	7.3 ± 0.9ab	22.9	0.4	2016/6/30
6	20.8 ± 1.4a	17.0 ± 3.7bcd	10.5 ± 2.2ab	23.4	0.4	2016/8/26
7	22.9 ± 1.3a	20.4 ± 3.0cd	12.7 ± 1.3abc	24.8	1.6	2016/8/11
8	21.1 ± 1.7a	9.1 ± 3.4a	6.8 ± 0.8a	24.4	0.4	2016/6/23
9	20.5 ± 1.6a	13.8 ± 3.5abc	9.6 ± 1.4ab	21.8	0.4	2016/8/26
均温	21.3 ± 1.7	16.7 ± 5.7	12.3 ± 5.0	-	-	-

注:不同小写字母表示同列数据经 Tukey HSD 检验在 0.05 水平上的差异显著性。

Note: Different lowercase letters indicate the significance of the difference in the same column of data at the 0.05 level by Tukey HSD test.

由表 1 可见,整个度夏期间不同粮堆深度粮温均值存在较大差异,在粮面下 0.4 m 粮温均值为 21.3 °C,随着粮堆深度的增加,层均温逐渐降低。从层均温的角度,控温效果已达到目标。但从同一粮堆深度不同检测点的粮温分析,表层受空调控温影响各点粮温均值差异不显著 ( $P > 0.05$ ),而 1.6 和 5.5 m 局部位置温度高,检测点均温差异显著 ( $P < 0.05$ ),在原始粮温数据中,在 1.6 m 的 1、3 点在 2016 年 8 月下旬分别出现过

26.2、27.4 °C 的高温,由图 1 可知,这两点分布在西侧两个墙角,这与西墙受夕照热辐射影响密切相关。靠近南墙的 4、7 点温度高于北墙 6、9 点,明显高于粮堆中心位置 5、8 点,实验仓受外界环境热辐射影响,存在“冷心热皮”的现象。空调控温主要控制了粮堆表层温度,而对粮堆四壁温度作用较小,粮堆四壁受墙体保温隔热效果影响更大。

储藏第一年和第二年开启空调的时间分别为

6 月 21 日和 5 月 17 日, 仓内空调启动时间对粮堆表层及整体温度控制有一定影响。第二年提前了 1 个月左右开启空调, 度夏期间粮温均值 15.7 °C, 比第一年的 17.5 °C 降低了 1.8 °C。储藏第一年 8 月下旬至 9 月下旬 3、4 和 7 号检测点表层粮温有出现 25.0 °C 以上的现象, 持续时间在一个月左右, 最高值分别达到 26.0、26.1、26.4 °C。第二年度夏期间各检测点表层粮温均在 25.0 °C 以下。适宜的空调启动时间, 具有更好地控温效果, 更利于稻谷的安全储藏。

### 2.3 稻谷水分变化情况

稻谷水分过高储藏过程中存在发热霉变的安全隐患<sup>[18]</sup>, 水分过低会影响加工及食用品质<sup>[19-20]</sup>, 通常北方粳稻储藏水分在 13.5% ~15.5%, 具体根据储藏当地气候和仓储条件而定。实验仓处于华北地区, 稻谷入库平均水分 14.5%, 仓房容量 6 000 t, 水分存在不均匀现象。同样选取储藏两年度夏前

后(6月初、9月底)不同粮堆深度取样检测, 并进行统计分析, 水分均值变化情况见表 2。

表 2 稻谷在不同粮堆深度水分分布情况  
Table 2 The distribution of paddy moisture at different grain pile depths %

检测时间	0.4 m	1.6 m	5.5 m
第一年度夏前	14.1 ± 0.7	14.1 ± 0.7	-
第一年度夏后	14.0 ± 0.7	14.1 ± 0.8	-
第二年度夏前	13.8 ± 0.5	13.9 ± 0.7	14.0 ± 0.4
第二年度夏后	14.0 ± 0.5	14.3 ± 0.7	13.9 ± 0.9

由表 2 可知, 粮堆各层水分均值在 13.8%~14.3%之间, 与入仓水分相比有所下降, 下降幅度小于 1.0%。各层水分均值差异不明显 ( $P>0.05$ )。而均值的标准差普遍较大, 说明水分在同一粮层各检测点之间分布不均匀。水分是影响霉菌生长的关键性因素, 局部高水分区域将成为霉菌优先生长的区域, 应在储藏过程中重点关注。度夏前后水分在不同检测点的具体分布情况如图 2 所示。

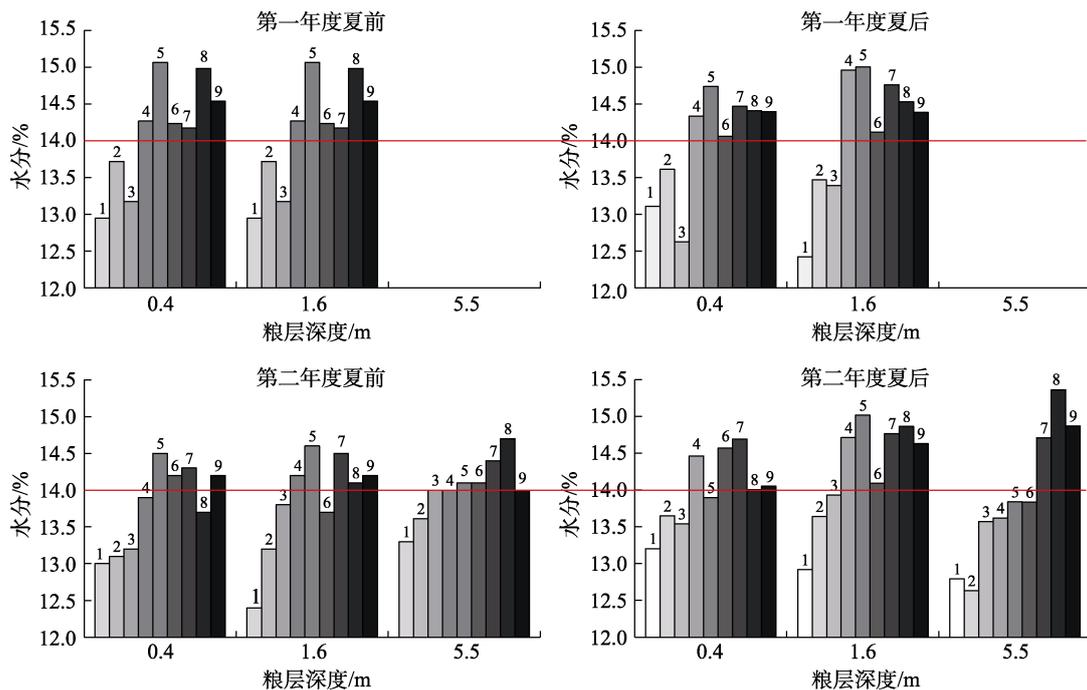


图 2 各检测点度夏前后水分变化情况

Fig.2 Changes in moisture at each inspection point before and after summer

如图 2 所示, 1~3 点水分最低, 这 3 点位于西墙附近, 根据粮库储粮经验, 度夏期间西墙夕照时间长, 粮温普遍偏高, 表 1 中实际检测的粮温数据也有体现, 粮堆高温点是易发生粮食霉变的关键控制点, 因此稻谷入库时, 为确保储粮安全, 预先将这一区域稻谷水分控制到明显低于储

粮霉菌生长临界水分(14.0%)。第一年度夏前 4~9 点水分都在 14.0% 及以上, 且水分分布不均匀, 其中 5 和 8 号检测点在粮面下 0.4 m 和 1.6 m 达到 15.0% 及以上, 即粮堆中心位置稻谷水分整体偏高。实验仓为冬季入仓, 满仓后通风均温, 保持粮堆中心温度处于较低水平, 表 1 中可见 5、8 点

中下层面度夏温度均低于 10 °C, 即使水分偏高, 也可降低霉变风险。两年储藏期度夏过程中, 对于靠近墙壁, 特别是南墙的 4、7 点, 水分均呈升高趋势, 受“冷心热皮”影响, 稻谷粮堆内存在水分迁移。

第一年度夏后, 秋冬交替季节实验仓进行了缓速通风降温, 稻谷水分损失 0.2% 左右。第二年度夏后, 稻谷计划出库, 推测实验仓可能采取了一定的通风措施, 因此出现了底层水分总体降低, 而中上层水分略微升高的现象。

## 2.4 储粮期间霉菌生长情况

稻谷储藏期间, 霉菌生长初期会影响稻谷色泽气味, 后期导致品质劣变, 部分霉菌的生长繁殖甚至会产生真菌毒素, 构成食品卫生安全隐患<sup>[21-22]</sup>。本文跟踪检测了稻谷控温储藏两年期间霉菌的生长情况。第一年度夏前, 表层 9 个检测点中 5 和 8 号检测点有少量检出, 检出量分别为  $3.3 \times 10^5$  个/g 和  $0.9 \times 10^5$  个/g, 粮面下 1.6 m 的检出量与表层基本一致, 估计为同一批粮食。根据图 2 中稻谷初始水分分布情况, 有霉菌检出的点与初始水分偏高的点基本吻合。第一年度夏前所有检测点霉菌检出量均处在安全或临界水平<sup>[14]</sup>, 整仓稻谷初始状况良好。稻谷经过两个夏季的储藏, 粮堆不同深度霉菌的检出情况见表 3。

表 3 储粮霉菌在不同粮堆深度上的检出情况表

Table 3 Table of the detection status of stored grain molds at different grain pile depths  $10^5$  个/g

粮堆深度/m	第一年度夏后			第二年度夏后		
	检出率	检出总量	检出最大值	检出率	检出总量	检出最大值
0.4	6/9	60.3	17.1	6/9	52.5	17.7
1.6	6/9	36.6	17.1	6/9	30.6	16.8
5.5	1/9	0.6	0.6	0/9	0	0

从表 3 可知, 第一年度夏后, 粮面下 0.4 m 和 1.6 m 的检出率基本一致, 但 0.4 m 检出总量比 1.6 m 高出近 1 倍, 粮面下 5.5 m 几乎未检出, 随着粮堆深度的增加, 粮层温度逐渐降低, 储粮霉菌的生长呈现逐渐降低的规律。查看原始数据发现, 三个粮层深度上 1~3 点均未检出霉菌, 与其水分明显低于霉菌生长临界水分直接相关。0.4 m 粮层深度的 4、7、9 点的霉菌检出量在 8 月底 9 月初达到了  $10^6$  水平 (持续时间小于 30 d), 第一

年度夏后, 环境温度降低, 粮温也随之降低, 霉菌生长基本处于停滞状态。第二年度夏后, 不同粮堆深度的霉菌检出规律与第一年度夏后基本一致, 但检出总量有所下降, 表明第二年度夏期间原有霉菌没有持续增长, 由粮温控制情况可知, 第二年度夏平均粮温比第一年降低 1.8 °C, 低温可抑制霉菌生长。可见, 通过控制稻谷水分和储粮环境温度, 能将储粮霉菌控制在一定水平, 避免继续增长。

综上储粮实践, 控温储粮可以通过控制仓房环境温度, 达到控制粮堆表层温度的目的, 但对于西侧和南侧墙体附近, 因受阳光辐照影响, 粮温仍可能偏高, 易出现“冷心热皮”现象, 进而引起水分迁移, 造成墙体附近稻谷水分升高, 导致霉菌生长。因此, 墙壁的保温隔热效果对于控温储粮尤为重要。

## 2.5 稻谷发芽率的变化

稻谷籽粒是一个完整的生命体, 发芽率是评价其生命活力的重要指标, 也是判定粮食品质变化最敏感的指标, 发芽率极易受到储藏温度和有害生物生长的影响<sup>[23-24]</sup>。本实验在第一年入夏前, 对表层各检测点样品进行检测, 发芽率范围为 82%~96%, 均值 91.33%, 稻谷的生命活力较强。经历两年控温储藏后, 整仓稻谷发芽率均值 59.77%, 空调控温保持了稻谷大部分的生命活力。但不同检测点稻谷发芽率均值存在显著性差异 ( $P < 0.05$ ), 具体见表 4。

表 4 不同检测点稻谷发芽率变化情况表

Table 4 Variation of paddy germination rate at different inspection points %

取样位置	0.4 m	1.6 m	5.5 m
1	28.75 ± 3.30e	70.75 ± 5.74bc	95.25 ± 1.89ab
2	40.00 ± 0.82d	74.00 ± 6.93b	98.75 ± 1.50a
3	10.50 ± 2.08f	15.25 ± 2.06f	90.5 ± 1.73b
4	12.25 ± 5.44f	47.25 ± 6.18e	95.00 ± 2.16ab
5	61.50 ± 4.80b	88.50 ± 1.73a	98.25 ± 0.50ab
6	6.25 ± 3.30f	62.50 ± 5.74cd	79.25 ± 3.86c
7	7.75 ± 1.71f	56.00 ± 4.55de	75.00 ± 6.48c
8	51.50 ± 2.65c	86.00 ± 4.00a	92.25 ± 2.22ab
9	21.25 ± 0.96e	58.50 ± 4.80d	91.00 ± 0.82ab
粮层均值	26.64 ± 19.11	62.08 ± 20.95	90.58 ± 7.75

注: 不同小写字母表示同列数据经 Tukey HSD 检验在 0.05 水平上的差异显著性。

Note: Different lowercase letters indicate the significance of the difference in the same column of data at the 0.05 level by Tukey HSD test.

从表 4 得知, 第二年度夏后, 稻谷发芽率在各检测粮层的均值普遍下降, 越接近粮面下降幅度越大。粮面下 0.4 m 发芽率均值下降至 26.64%, 各检测点与初始值相比都显著降低, 且检测点之间差异显著; 1~3 号检测点基本没有储粮霉菌生长但粮温偏高, 发芽率均降至 40% 以下; 4、6、7 和 9 号点不仅粮温偏高, 储藏期间均检出一定数量的霉菌生长, 发芽率基本都降至了 20% 以下; 5 和 8 号检测点位于粮堆中心, 粮温低且霉菌生长数量相对少, 发芽率保持在 50% 以上。粮面下 1.6 m 发芽率均值降至 62.08%, 除 5 和 8 号检测点外均显著降低, 降低最为明显的 3、4、7、9 点, 或高温持续时间长, 或霉菌生长数量多。粮面下 5.5 m 稻谷发芽率均值保持在 90.58%。可见, 持续高温和霉菌生长都是造成稻谷发芽率显著下降的重要因素。

仓储企业储存的稻谷是为了满足民众的日常生活需求, 对发芽率的要求并不高。但一些特殊用途的粮食如种子用粮的储藏, 主要为了保持种子的生命活力, 就本研究的结果来看, 设置 22 °C 的空调控温对发芽率的保持并不理想, 结合表 1 中层均温情况, 种子用粮的储藏至少需要将粮食温度控制在 15 °C 及以下。

## 2.6 稻谷脂肪酸值的变化

脂肪酸值是评价稻谷储藏过程中品质变化的重要依据之一, 是稻谷是否宜存的主要判定指标<sup>[16]</sup>。实验第一年度夏前, 整仓稻谷脂肪酸值范围在 13.7~19.8 mg KOH/100g 之间, 均值为 17.58 mg KOH/100g。经过两个夏季的储藏, 整仓稻谷脂肪酸均值 23.57 mg KOH/100g, 尚处在宜存范围内, 但不同粮堆深度上稻谷脂肪酸均值之间存在显著性差异 ( $P < 0.05$ ), 具体变化情况见表 5。

表 5 不同粮堆深度稻谷脂肪酸值变化情况表

Table 5 Variation of fatty acid values of paddy at different grain pile depths mg KOH/100g

粮堆深度/m	第一年度夏后	第二年度夏后
0.4	21.84 ± 2.07b	25.99 ± 2.11c
1.6	19.39 ± 1.21a	23.83 ± 1.51b
5.5		20.89 ± 1.35ab

注: 不同小写字母表示数据经 Tukey HSD 检验在 0.05 水平上的差异显著性。

Note: Different lowercase letters indicate the significance of the difference in the same column of data at the 0.05 level by Tukey HSD test.

由表 5 可知, 粮堆表层脂肪酸值升高幅度最大, 随着粮堆深度的增加, 脂肪酸值升高幅度逐渐减小。第一年度夏后, 0.4 m 和 1.6 m 两层脂肪酸值分别升高了 24.2% 和 10.3%, 第二年度夏后, 三层分别升高了 47.8%、35.6% 和 18.8%, 第二年度夏后表层脂肪酸值升高最为明显, 介于宜存与不宜存临界状态, 1.6 m 层和 5.5 m 层保存良好。0.4 m 和 1.6 m 层虽有霉菌检出, 但生长时间短, 第一年度夏后未持续增长。稻谷有稻壳的保护, 短期的霉菌生长对脂肪酸值的影响不明显。而对于 1、3 点表层位点脂肪酸值分别达到 30 和 28.1 mg KOH/100g, 局部稻谷处于不宜存状态, 与两个位点夏季高温直接相关。

上述研究结果表明, 除采用空调控制仓温粮温外, 仍需根据外界环境和日照强度, 对仓房墙壁四周进行保温隔热效果的提升, 才能确保整仓稻谷储存品质良好。

## 3 结论

实验仓通过空调控温, 仓内空间温度和表层粮温有效控制在 22 °C 及以下, 随着粮堆深度的增加, 粮层均温逐渐降低, 同一粮层不同位点温度差异大, 在表层、西墙、南墙附近局部位置粮温高于 25 °C; 实验稻谷整仓水分维持在 14.0% 左右, 度夏期间受“冷心热皮”影响, 粮堆内存在水分迁移现象; 水分和温度易升高的粮堆表层和仓房侧壁是霉菌易滋生的重点部位, 也是发芽率降低和脂肪酸值易升高的位置, 是控温储粮过程中尤其需要加强监控的位置; 具体可通过仓房改造加强仓壁的保温隔热效果, 以减少水分迁移, 降低霉菌滋生的风险。

华北地区稻谷仓采取空调控温 (22 °C) 的储粮措施, 从整仓情况分析, 储粮状况良好。但因仓房保温密闭隔热效果不同, 入仓粮食初始状况存在差异等原因, 粮堆内仍存在温度、水分不均匀等问题, 易出现局部粮食霉变发热, 是今后需要持续关注和研究解决的问题。

## 参考文献:

- [1] 段依梦, 宋玉, 曹磊, 等. 温度对高水分稻谷储藏品质的影响及其预测模型研究[J]. 食品工业科技, 2020, 41(19): 304-308+326.  
DUAN Y M, SONG Y, CAO L, et al. Effect of temperature on

- storage quality of high-moisture paddy and its prediction model[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(19): 304-308+326.
- [2] 田琳, 张海洋, 祁智慧, 等. 东北优质粳稻不同温度储藏条件品质变化研究[J]. 粮油食品科技, 2020, 28(3): 135-139.  
TIAN L, ZHANG H Y, QI Z H, et al. Study on the quality changes of high quality japonica paddy under different temperature storage conditions in northeast China[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2020, 28(3): 135-139.
- [3] ZIEGLER V, FERREIRA C D, HOFFMANN J F, et al. Elias. Effects of moisture and temperature during grain storage on the functional properties and isoflavone profile of soy protein concentrate[J]. Food Chemistry, 2018, 242(1): 37-44.
- [4] 郑妙, 曹克芳, 郭超. 4种储藏物害虫幼虫对温度的敏感性研究[J]. 粮食科技与经济, 2016, 41(4): 55-56+59.  
ZHENG M, CAO K F, GUO C. Grain science and technology and economy [J]. Grain Science and Technology and Economy, 2016, 41(4): 55-56+59.
- [5] 张航. 温度对储粮安全水分及微生物活动速率的影响[D]. 河南工业大学, 2011.  
ZHANG H. The impact of temperate on safety moisture of storage grain and rate of microbial activity[D]. Henan University of Technology, 2011.
- [6] 王德华, 张春禄, 林子木, 等. 辽宁地区高大平房仓储偏高水分稻谷的实践[J]. 粮食加工, 2020, 45(3): 78-80.  
WANG D H, ZHANG C L, LIN Z M, et al. Practice of storing rice with high water content in tall cottage barn in Liaoning [J]. Grain Processing, 2020, 45(3): 78-80.
- [7] 熊文, 王富领, 粟雄俊, 等. 空调控温储粮技术度夏试验[J]. 粮油仓储科技通讯, 2020, 36(6): 25-26.  
XIONG W, WANG F L, SU X J, et al. Experimental study on air-controlled temperature grain storage technology in summer[J]. Grain and Oil Storage Science and Technology Communication, 2020, 36(6): 25-26.
- [8] 乐大强, 潘增利, 李国斌, 等. 高大平房仓氮气的调与空调控温储粮应用[J]. 粮油仓储科技通讯, 2020, 36(6): 1-4.  
LE D Q, PAN Z L, LI G B, et al. Application of nitrogen gas controlled and air controlled temperature grain storage in tall cottage barn[J]. Grain and Oil Storage Science and Technology Communication, 2020, 36(6): 1-4.
- [9] 周涛, 张兵, 刘博, 等. 湖南地区空调控温储粮应用研究[J]. 粮油食品科技, 2020, 28(6): 229-233.  
ZHOU T, ZHANG B, LIU B, et al. Research on the application of air-conditioning control temperature to store grain in Hunan [J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2020, 28(6): 229-233.
- [10] 杜志文, 梅芝健, 任迪旋, 等. 食品级惰性粉与空调控温技术联用对稻谷品质变化及虫害防治的研究[J]. 粮油仓储科技通讯, 2020, 36(4): 22-24.  
DU Z W, MEI Z J, REN D X, et al. Study on quality change and pest control of rice by food grade inert powder combined with air temperature control technology[J]. Grain and Oil Storage Science and Technology Communication, 2020, 36(4): 22-24.
- [11] 王鑫, 关锡林, 李守星, 等. 中温低湿储粮生态区夏季不同控温储粮技术的探讨[J]. 粮油仓储科技通讯, 2019, 35(6): 27-29+38.  
WANG X, GUAN X L, LI S X, et al. Discussion on different temperature control techniques for grain storage in summer in medium temperature and low humidity grain storage ecological area[J]. Grain and Oil Storage Science and Technology Communication, 2019, 35(6): 27-29+38.
- [12] 王平坪, 吴俊友, 许海峰, 等. 不同粮种的空调控温储藏应用效果对比试验[J]. 粮食科技与经济, 2020, 45(9): 48-52+79.  
WANG P P, WU J Y, XU H F, et al. Comparative experiment on application effect of air control and temperature storage of different grain seeds[J]. Grain Science and Technology and Economy, 2020, 45(9): 48-52+79.
- [13] 张敏, 肖龙芝, 黄晓峰, 等. 空调控温储粮技术的发展现状及其应用前景[J]. 现代面粉工业, 2020, 34(3): 23-26.  
ZHANG M, XIAO L Z, HUANG X F, et al. Development status and application prospects of grain-storing technique with air conditioning and temperature control[J]. Modern Flour Milling Industry, 2020, 34(3): 23-26.
- [14] 国家粮食局. 粮油检验 储粮真菌的检测 孢子计数法: LS/T 6132—2018 [S].  
State Administration of Grain. Inspection of grain and oils - Storage fungal examination - Enumeration spores of fungi: LS/T 6132—2018[S].
- [15] 商业部粮食储运局. 粮食、油料检测 水分测定法: GB/T 5497—1985[S].  
Grain Storage and Transportation Bureau of the Ministry of Commerce. Inspection of grain and oilseeds Methods for determination of moisture content: GB/T 5497—1985 [S].
- [16] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 中国国家标准化管理委员会. 稻谷储存品质判定规则: GB/T 20569—2006[S].  
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization administration. Guidelines for evaluation of paddy storage character: GB/T 20569—2006[S].
- [17] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 中国国家标准化管理委员会. 粮油检验 发芽试验: GB/T 5520—2011[S].  
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization administration. Inspection of grain and oils - Germination test of seeds: GB/T 5520—2011[S].
- [18] 薛飞, 渠琛玲, 王若兰, 等. 稻谷储藏过程中发热霉变研究进展[J]. 食品工业科技, 2017, 38(12): 338-341.  
XU F, QU C L, WANG R L, et al. Progress on the fever and moldy of paddy during storage[J]. Science and Technology of Food Industry, 2017, 38(12): 338-341.
- [19] 袁道骥, 史韬琦, 王月慧, 等. 水分对低温储藏优质稻品质的影响[J]. 中国粮油学报, 2019, 34(6): 6-11.  
YUAN D J, SHI T Q, WANG Y H, et al. Effect of moisture on quality of low temperature storage high quality rice[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2019, 34(6): 6-11.
- [20] 古汶玉, 黄玉, 谢宇霞, 等. 稻谷水分对出糙率和整精米率的影响[J]. 粮食科技与经济, 2020, 45(4): 80-81.  
GU W Y, HUANG Y, XIE Y X, et al. Effect of rice moisture on rough grain yield and milled rice yield[J]. Grain Science and Technology and Economy, 2020, 45(4): 80-81.
- [21] SUN X D, SU P, SHAN H. Mycotoxin contamination of rice in China [J]. Journal of Food Science, 2017, 82(3): 573-584.
- [22] FERRE F S. Worldwide occurrence of mycotoxins in rice[J]. Food Control, 2016, 62: 291-298.
- [23] 陈玉峰, 汪福友, 王红亮, 等. 稻谷储藏技术及品质变化研究进展[J]. 现代食品, 2020(21): 32-36+39.  
CHEN Y F, WANG F Y, WANG H L, et al. Research progress on storage technology and quality change of paddy[J]. Modern Food, 2020(21): 32-36+39.
- [24] 张海洋, 欧阳毅, 祁智慧, 等. 稻谷储存水分和温度对真菌生长和稻谷主要品质的影响[J]. 粮油食品科技, 2017, 25(2): 39-43.  
ZHANG H Y, OU Y Y, QI Z H, et al. Influence of storage moisture content and temperature on growth of fungi and quality of stored paddy[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2017, 25(2): 39-43. 