

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2019.04.012

优质稻保质保鲜储藏关键技术 与装备研究进展

王若兰¹, 渠琛玲¹, 何 荣², 王月慧³, 田国军⁴, 张源泉⁵

(1. 河南工业大学 粮油食品学院, 河南 郑州 450001; 2. 南京财经大学, 江苏 南京 210023;
3. 武汉轻工大学, 湖北 武汉 430023; 4. 湖北省粮油食品质量监督检测中心, 湖北 武汉 430206;
5. 湖南粮食集团有限责任公司, 湖南 长沙 410008)

摘要: 优质稻因营养丰富、口感好, 但优质稻的储藏期限明显低于普通稻谷, 在常规储存条件下, 安全储藏期通常不超过一年半。针对常规储藏条件下易变黄、生霉结块、品质口味变差等突出问题, 通过对优质稻储藏品质特性的研究, 探索优质稻黄变的环境条件, 建立优质稻黄变的检测方法, 研发新型粮堆结露结块防控和处理技术, 明确不同储藏条件下优质稻的保质储存周期, 并将优质稻低温储藏工艺集成示范。

关键词: 优质稻; 黄变; 结露; 保质保鲜; 工艺优化

中图分类号: TS210.1;S379.7 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2019)04-0062-06

Research progress on key technologies and equipment for quality preservation and fresh – keeping storage of high quality paddy

WANG Ruo-lan¹, QU Chen-ling¹, HE Rong², WANG Yue-hui³, TIAN Guo-jun⁴, ZHANG Yuan-quan⁵

(1. College of Food Science and Technology, Henan University of Technology, Zhengzhou Henan 450001;
2. Nanjing University of Finance & Economics, Nanjing Jiangsu 210003; 3. Wuhan Polytechnic University,
Wuhan Hubei 430023; 4. Hubei Grain, Oil & Food Quality Supervision and Inspection station,
Wuhan Hubei 430206; 5. Hunan Grain Group Co., Ltd., Changsha Hunan 410008)

Abstract: High quality paddy is rich in nutrition and good taste, but the storage period of high quality paddy is obviously lower than that of common paddy. Under conventional storage conditions, the safe storage period usually did not exceed 1.5 years. Aiming at the problems of yellowing, mildew, caking, quality and taste deterioration under conventional storage conditions, the storage quality characteristics of high quality paddy was studied to explore the effect of environment on yellowing high quality paddy. The detection method for yellowed paddy was established. Thenew control and treatment technology for condensation and caking were developed. Shelf life of high-quality paddy in different storage conditions was defined. The storage process for high-quality paddy in low temperature was integrated into demonstration.

Key words: high quality paddy; yellowing; condensation; quality preservation and fresh-keeping; optimization of process

稻谷是我国主要粮食品种, 长期以来稻谷储备以普通稻谷品种为主。普通稻谷较耐储, 储藏周期可以达到3年。优质稻由于其米色清亮, 煮

出的饭甘香松软, 口感好, 而广受欢迎。其次, 优质稻营养价值高于普通稻, 除淀粉成分外, 非淀粉成分含量比较高, 如: 蛋白质、灰分、脂肪和色素等。近年来随着我国稻谷品种的不断调整, 普通稻谷种植越来越少, 优质稻种植面积快速增长, 很多主产区优质稻种植面积比例达到80%以上。

收稿日期: 2000-00-00

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFD0401005)

作者简介: 王若兰, 1960年出生, 女, 教授。

我国对于普通稻谷的研究比较多^[1-3],对优质稻的储藏特性研究却刚刚起步。优质稻谷储藏稳定性差,特别是优质稻中的非淀粉成分在储藏过程中分解变化较快,尤其是度夏后,品质劣变快,蛋白质、脂类的氧化水解更明显,经过一段时间储藏,其食用品质(口感、食味、香气等)急剧下降,使优质稻的安全储藏期明显缩短。同时优质稻在储藏期间也容易出现黄变,甚至还会结露结块,严重威胁了优质稻的储藏安全。

目前对优质稻储藏的研究多为实验室模拟环境条件下的品质变化,对优质稻实仓原位储藏条件下储藏品质的变化监测还是空白。因此急需进一步开展优质稻在不同储藏条件下的储藏特性研究,确定优质稻的保质保鲜储备周期。

对稻谷黄变的研究也是集中在收获后入仓前和储藏期间两个环节,研究结果认为,黄变的原因主要是受储藏环境温度和水分因子的影响,且以水分因子的影响更处于主导地位。稻谷收获后入仓前的环节,因未能及时晾晒也是稻谷黄变形成的一大原因,此外推测在储藏期间稻谷自身的美拉德反应可能是黄变的另一原因^[4]。

在解决粮堆结露结块问题方面,目前主要靠翻动粮面、粮堆挖沟打塘或单管通风、表层处理以及预埋风笼、粮面覆膜等,但是这些技术仍然处在探索阶段,效率不高,工艺参数优化不够,粮堆结露问题仍然难以彻底解决,同时缺乏有效的粮堆结块防控技术与装备。

目前国内外对于优质稻的储藏特性的研究还很不系统;稻谷黄变的影响主导因子也存在分歧^[5-7];粮堆结露结块问题仍未得到彻底解决;稻谷结露、结块、黄变防控的措施不具体,针对性和操作性不强;优质稻保质保鲜的工艺优化与关键技术装备研发大多为实验室研究结果,为系统性的实仓应用研究打下基础。以下是课题开展以来的一些研究进展。

1 稻谷黄变的环境条件及防控关键技术研究

1.1 优质稻黄变的评价方法及等级标准研究

分别采用近红外光谱(图1)、拉曼光谱(图2)、高光谱图像(图3)研究了优质稻黄变的检测方法,建立了优质稻黄度指数的预测模型;并

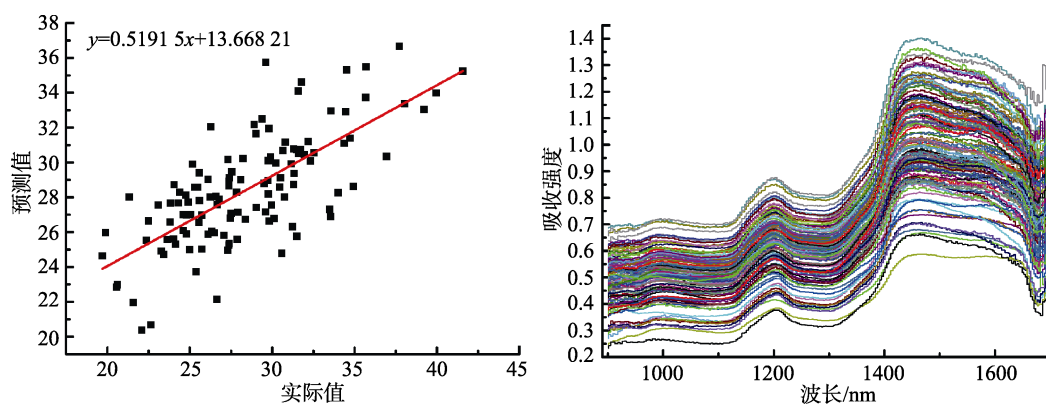


图1 不同黄变程度优质稻的近红外光谱及预测结果

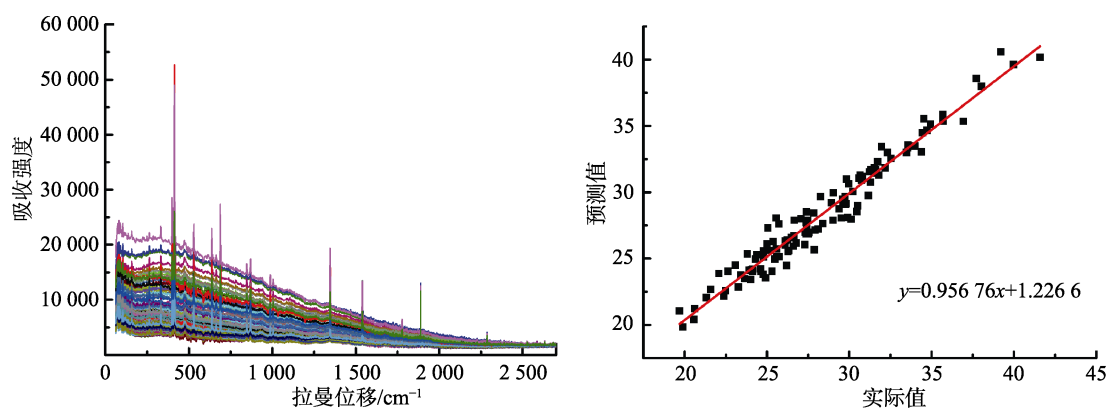


图2 不同黄变程度优质稻的拉曼光谱及预测结果

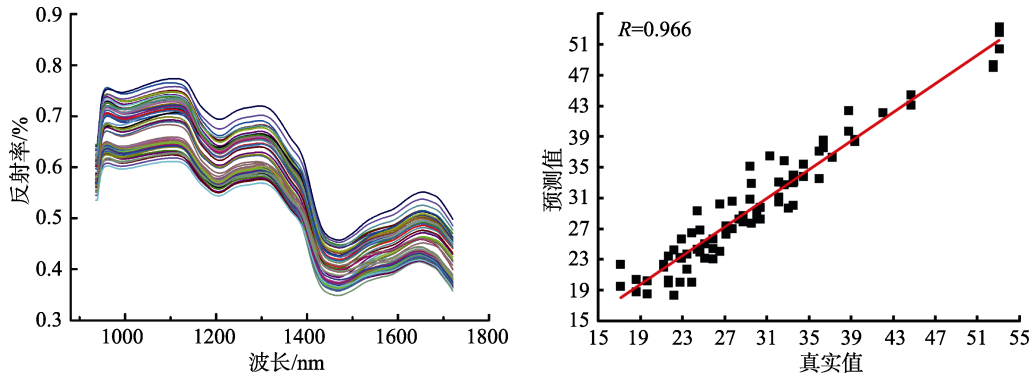


图 3 优质稻高光谱数据提取及模型结果

采用分光光度法对黄变稻谷的不同提取液进行测定，优化了实验检测条件，建立了基于分光光度计的优质稻黄度检测方法（图 4）^[8]。同时，参照 GB/T 20569—2006 稻谷储存品质指标（根据脂肪酸值分为宜存、轻度不宜存和重度不宜存三个级别）和 GB 1350—2009 稻谷质量标准（根据出糙率和整精米率分为 5 个等级），将稻谷黄变程度（黄度指数）划分为五个等级，并确定了指标的阈值，建立了优质稻黄变的等级标准（表 1）。

对不同黄变程度的稻谷进行等级划分结果如表 1，可以指导分类、按质量等级储存，提高优质稻的储藏质量和效率，及时推陈储新，合理轮

换，从而避免造成经济损失。

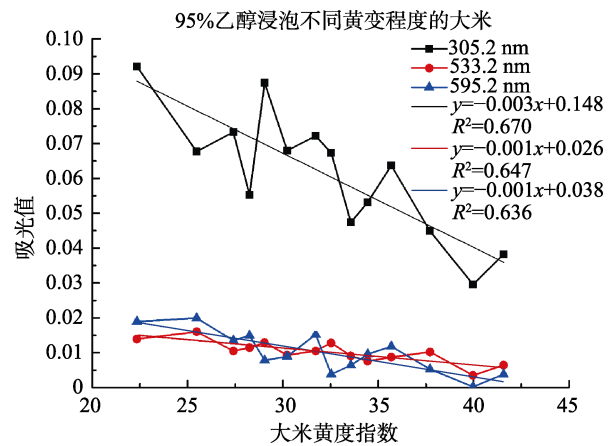


图 4 分光光度法最优结果

表 1 稻谷黄变等级划分

黄变等级	等级指标				稻谷状态
	黄度指数	脂肪酸值/ (mg KOH/100g)	出糙率/%	整精米率/%	
一级黄变	19.7~22.3	12.38	75.032	44.231	宜存 3 级
二级黄变	23.1~26.8	29.92	73.754	41.238	宜存 4 级
三级黄变	27.4~31.6	35.75	73.043	41.015	轻度不宜存 4 级
四级黄变	32.3~35.7	36.96	72.850	38.891	轻度不宜存 5 级
五级黄变	36.9~41.6	> 37.64	71.114	38.002	重度不宜存 5 级

1.2 优质稻收获后入仓前黄变的环境因子影响规律研究

研究表明，优质稻在低湿、常湿状态下（湿度接近晴天条件）储藏，不会黄变；温度 40 储藏 28 d，开始黄变。高湿下，温度 ≥ 35 储藏 35 天，开始黄变。黄变临界温度为 30，易黄变温度为 40。湿度对优质稻黄变的影响显著高于温度的影响。氮气对优质稻黄变影响较小；低湿、常湿，温度 40，充入氮气，可以在一定程度上减缓温度对黄变的影响。

优质稻黄变速率预测模型为：

$$\ln k = -0.2817 \cdot RH + 34.821 + 94.105 \cdot \frac{RH}{T} - 11915.684 \cdot \frac{1}{T}$$
 ，黄度指数预测模型为 $Y_m = Y_{m_0} + e^{(-0.2817 \cdot RH + 34.821 + 94.105 \cdot \frac{RH}{T} - 11915.684 \cdot \frac{1}{T})_t}$ ，两个模型适合温度范围 35~45，湿度范围 65%~85%。通过对优质稻的黄变速率和黄度指数模型进行验证，结果显示实际值和模型预测值之间的相对误差范围在 0.13%~8.94%之间，通过差异性分析得出 $P=0.408 (P>0.05)$ ，两者之间差异不显著。因此预测模型有效，可以预测优质稻的黄变速率和

黄度指数。

1.3 微生物对优质稻黄变影响的研究

对原始优质籼稻做带菌量分析, 得出了其自身携带的霉菌最主要的有四种, 白曲霉、灰绿曲霉、黄曲霉和黑曲霉^[9]。不同含水量稻谷霉菌数量随时间的变化如图 5 所示。

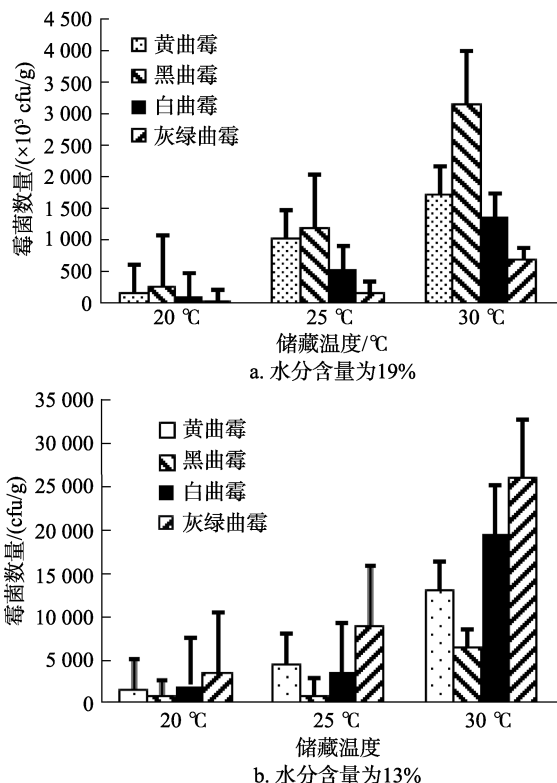


图 5 优质籼稻储藏 35 天时主要霉菌菌落数

为了探索各种危害型霉菌对其优质稻黄变的影响, 将每一种菌单一接种于灭完菌的优质籼稻中, 调节不同的水分和温度, 使其生长成为优势菌, 通过检测其带菌量和黄度指数的关系, 来确定影响最显著的菌种。

稻谷被四种霉菌侵染后黄度指数发生了不同程度的变化, 精碾成大米, 其色泽发黄较深, 但此时能否食用及是否可以继续储藏, 只有通过对其毒素和脂肪酸值的测定加以论证^[10](图 6、图 7)。

由图 6 可知, 当优质籼稻被霉菌在适宜的环境侵染后, 随着生长, 在改变优质籼稻黄度指数的同时, 脂肪酸值也发生较大的增幅, 在一周内如果不加管控优质籼稻品质将变为不宜存储, 丧失食用性和储藏性。

从图 7 可以看出, 在第 7 天的时候黄曲霉毒

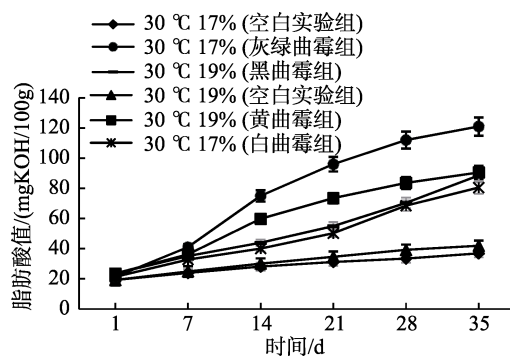


图 6 四种危害霉菌严重黄变组 35 天内脂肪酸值的变化

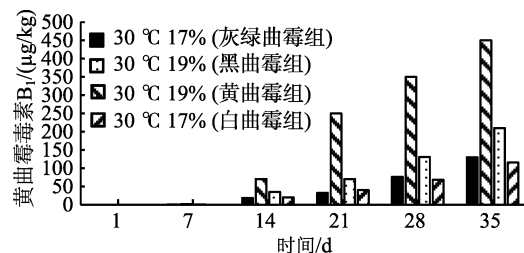


图 7 优质籼稻接种四种霉菌后严重黄变组在 35 天内黄曲霉毒素 B₁ 的变化

素皆未达到国家标准 10 μg/kg, 主要是黄曲霉毒素的产生相对于黄曲霉和寄生曲霉的生长具有滞后性的原因, 此时如果对优质籼稻做出合理的处理是能够避免粮食品质的劣变, 由图 6 可知, 在第 7 天时脂肪酸值增加的幅度也不是特别明显, 且只有灰绿曲霉组达到最高 40.1 mgKOH/100g, 其他三组只是处于轻度不宜储存(37.0 mgKOH/100g)和宜储存标准之间(30.0 mgKOH/100g)。因此微生物作用下严重黄变的优质籼稻, 最佳发现和处理时间应该在第一周内, 时间越早越有效。

2 储存稻谷粮堆结露结块成因及品质变化研究

2.1 稻谷粮堆结露

粮堆内或外空气中所含的气态水凝结成液态水, 后附着于粮堆表层或内部该现象称为粮堆结露。粮堆结露造成粮堆局部水分含量升高, 易引起粮食呼吸旺盛, 微生物活动加剧, 甚至引起粮堆发热、霉变^[11]。并构建露点温度与空气相对湿度、温度的函数模型 $t_2 = t_1 + \frac{\lg(RH_1)}{\lg 1.063}$, 以及温湿

度与露点温度预测图, 并绘制稻谷粮堆表层结露曲线, 此外研究了不同季节粮堆截面温度分布规律, 推断粮堆中冷热空气对流状况, 判断结露的难易程度。露点温度预测如图 8。

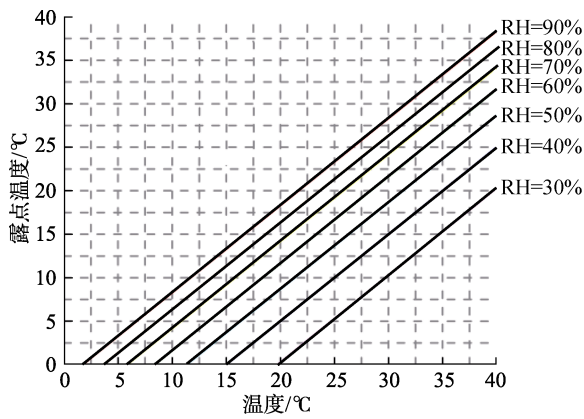


图 8 露点温度预测图

2.2 实仓粮温监测及结露预警

秋季为结露易发季节，10~11 月外界气温下降较快，而粮食是热的不良导体，其中稻谷的导热系数约为 $0.082 \sim 0.1223 \text{ W/(m}\cdot\text{)}$ ，其保温性能很好，热量传递较慢。受 6~9 月高温季节的影响，粮堆内上层粮温最高、中层粮温次之、下层粮温最低，上图为经典的粮堆秋季结露形成图，粮堆高温热气流从粮堆中部上升、低温冷气流从粮堆四周沉降，上升的内部热气流遇冷达到饱和，将结露水分转移至粮面并发生结露。若粮堆温差足够，粮堆冷热空气的对流作用持续发生，使得低温粮层的增厚，并且结露区域不断向下转移发展，直到结露温差消除。上述方式的结露表现为水分增长幅度大、结露区域更广，严重危害粮食安全。此时可以选用分阶段多次通风的方法，降低并均衡仓内各层粮温，消除结露温差，确保储粮安全。高大平房仓高温粮堆与外界冷空气对流作用结露形成如图 9。

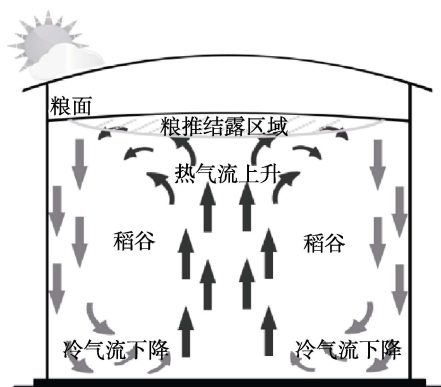


图 9 高大平房仓高温粮堆与外界冷空气对流作用结露形成图

2.3 结露过程中优质稻品质的变化

水分变化是粮食储藏结露结块过程中的一个重要特征。以优质稻晶两优 534 和科两优 889 为

原料，研究储藏期间水分含量（11.5%、12.5%、13.5%、14.5%、15.5%、16.5%）对优质稻加工及理化品质、食用品质、储藏品质、淀粉精细结构和晶体特性的影响。结果表明，两种优质稻的出糙率均随着储藏时间的增加而有所下降，约从 76% 降至 68%；整精米率也有下降趋势，约从 55% 降至 45%；晶两优 534 垩白粒率约从 10% 增至 15%，科两优 889 垩白粒率约从 7% 增至 17%；两种优质稻脂肪酸值约从 15 mgKOH/100g 升至 23 mgKOH/100g ；储藏过程中，两种稻谷的降落数值随着储藏时间均呈现先增加后减小的趋势，说明在储藏初期 α -淀粉酶活性先减小后增加；两种稻谷的淀粉粘度也随着储藏时间的延长而有所增加。

3 优质稻储藏保质保鲜特性及储备周期研究

针对优质稻谷储藏保质保鲜难、品质劣变快等突出问题，采用模拟仓和实仓共同监测优质稻品质的变化，确定优质稻品质变化敏感指标，明确优质稻保质储备周期，为粮食仓储企业优质稻品质判定及优质稻储备、轮换提供指导。目前实验室和实仓研究的各品质指标已监测两年，获得了大量数据及各品质指标的变化趋势及范围。

3.1 实验室模拟储藏

以黄花粘和两优优质稻为原料，采用准低温（ $15\sim 20$ ）常温、充氮（浓度在 98% 之上）条件下，于模拟实验仓（大小尺寸为 $1.5 \text{ m} \times 0.95 \text{ m} \times 1.2 \text{ m}$ ）中储藏。监测水分、色泽气味、整精米率、出糙率、黄粒米率、发芽率、脂肪酸、糊化特性、蒸煮品质、降落数值、垩白率、带菌量、过氧化氢酶、胶稠度等指标的变化。脂肪酸值、黄粒米率变化如图 10 和图 11 所示。三种储藏方式下优质稻谷的品质劣变速度规律为：常规储藏 > 充氮储藏 > 准低温储藏。

3.2 实仓储藏

以两优优质稻为原料，在湖北襄阳东国家粮食储备库 31# 仓和 32# 仓（仓容共 3 310 t），于准低温（ $15\sim 20$ ）条件下储藏。监测指标包括水分、杂质、黄粒米、出糙率、整精米率、垩白粒率、垩白度、孢子计数、鲜度、酶活力等指标。

根据已获得的研究成果，拟将色泽、气味、脂肪酸值、黄粒米含量、新鲜度、发芽率、峰值粘度、品尝评分等灵敏指标，作为优质稻谷储存品质指标，并对其阈值范围进行界定，制定相关标准。

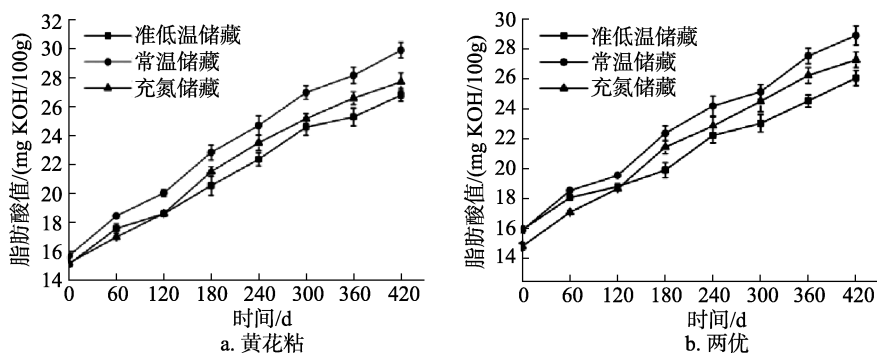


图10 黄花粘和两优脂肪酸值变化

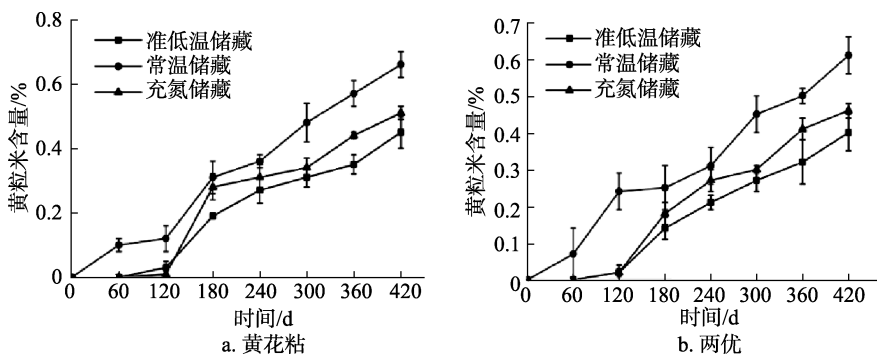


图11 黄花粘和两优黄粒米变化

4 优质稻低温保质保鲜工艺优化与关键技术装备研发

以湖北省粮油食品质量监督检测中心-襄阳东国家粮食储备库和湖南粮食集团为示范单位,建立了太阳能集成优质稻低温储藏工艺示范仓,通过低温组合式优质稻保质保鲜技术研究,可有效降低熏蒸剂的使用,实现了绿色储粮的要求。示范仓以较高水分粮入库,通过集成技术的应用,可有效降低水分的损耗,同时保持优质稻较好的品质。

襄阳东国家粮食储备库使用横向通风、水能空调、环流通风系统、屋面喷淋系统等技术集成,可有效降低水分损耗,保持在国标(13.5%)左右,黄粒米无检出,脂肪酸值变化甚微,轮换出库后进行质量跟踪,碾米做饭品尝口感良好,保质保鲜效果良好。

湖南粮食集团金山公司开慧粮食储备库进行横向通风及智能化仓储升级改造后,以24 m跨全程覆膜横向通风为优质稻保鲜储藏主体工艺系统,针对钢混仓体结构特点,测试了新型纳米材料气密性、分体式调频谷冷、喷射型回风式粮面空调、专用内置式轴流风机等性能;进行了分体式谷冷机通风降温实验、冬季横向通风实验和氮气调杀虫实验。仓房气密性得到显著提升,改

造后的示范仓比实验要求值提升115%,较之设计值提升43%;夏季谷物冷却降温速率提高35%,降温能耗仅为行标规定值的44%。

参考文献:

- [1] 高树成,刘长生,赵旭. 空调控温储藏稻谷品质变化规律的研究,粮油食品科技[J], 2017, 25(5): 66-70.
- [2] 陈伊娜,卢章明,谢静杰,等. 高温高湿生态区稻谷储存期间品质变化研究,粮食储藏[J], 2015, 44(5): 31-36.
- [3] 夏吉庆,邢靓,施灿璨,等. 自然冷资源储藏环境下稻谷质构特性及蒸煮品质的试验研究,沈阳农业大学学报[J], 2016, 47(1): 114-118.
- [4] 宋永令,孔晨晨,王若兰,等. 稻谷黄变研究现状,食品工业[J], 2017, 38(11): 283-286.
- [5] BRYANT R J, YEATER K M, BELEFANT-MILLER H. The effect of induced yellowing on the physicochemical properties of specialty rice[J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 2013, 93: 271-275.
- [6] BELEFANTMILLER H. Induced postharvest yellowing in southern U. S. rice cultivars[J]. Cereal Chemistry, 2009, 86(1): 67-69.
- [7] BRYANT R J, YEATER K M, BELEFANT-MILLER H. The effect of induced yellowing on the physicochemical properties of specialty rice[J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 2012, 93(2): 271-275.
- [8] 王好,王若兰,黄亚伟,等. 稻谷黄变的检测技术研究,食品工业[J], 2018, 39(1): 250-253.
- [9] 宋永令,杨绍铭,王若兰. 储藏温度对稻谷品质和微生物含量的影响,食品科技[J], 2018, 43(9): 204-208.
- [10] 黄冬,黄晓赞,滕显发. 新鲜度脂肪酸值与稻谷储存品质的相关性[J]. 粮食科技与经济, 2018, 43(2): 79-82.
- [11] 章铨,田兴国,何荣,等. 粮堆结露成因与预防处理研究进展[J]. 粮食储藏, 2018(1): 1-5.