

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2022.09.040

储藏温度与初始含水率对稻谷和糙米食用品质的影响

陈坤杰¹ 梁 静¹ 蒋维银² 张季伟³ 於海明¹

(1. 南京农业大学工学院, 南京 210031; 2. 江苏金满穗农业发展有限公司, 盐城 224300;
3. 江苏丰尚智能科技有限公司, 扬州 225128)

摘要: 以产于江苏省东台市的南粳 9108 为研究对象, 测定了 3 种含水率 (12.10%、14.16% 和 16.34%) 的稻谷和糙米, 在低温 (8℃)、准低温 (15℃) 及室温 (20~25℃) 3 种储藏条件下的含水率、脂肪酸含量、食味值和直链淀粉含量 4 个食用品质指标的变化, 分析比较了在 245 d 的储藏期内, 稻谷和糙米食用品质指标的变化规律。结果表明, 在储藏前, 偏高含水率样品的食用品质优于正常和偏低的样品。但随着储藏时间的延长, 稻谷和糙米的含水率和食味值均逐步降低, 而脂肪酸含量和直链淀粉含量则出现不同程度的上升, 初始含水率、储藏温度和时间对脂肪酸含量、食味值和直链淀粉含量均有极显著的影响 ($P < 0.01$)。在不同的储藏温度下, 不同含水率稻谷和糙米的食用品质都随着储藏时间的延长而逐步降低。其中, 较高含水率的样品在较高储藏温度下品质下降的程度更高, 而且糙米食用品质下降的程度高于稻谷。另外, 试验结果还显示, 在低含水率条件下 (12.1%), 在不同储藏温度下稻谷和糙米食用品质变化都很小, 表明在较低含水率下将水稻以稻谷的形式进行储藏, 有利于保持食用品质。

关键词: 稻谷; 糙米; 储藏温度; 品质; 初始含水率

中图分类号: TS210.1 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2022)09-0390-09 OSID: 

Effect of Storage Temperature and Initial Moisture Content on Eating Quality of Rice and Brown Rice

CHEN Kunjie¹ LIANG Jing¹ JIANG Weiyin² ZHANG Jiwei³ YU Haiming¹

(1. College of Engineering, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210031, China
2. Jiangsu Jinmansui Agricultural Development Co., Ltd., Yancheng 224300, China
3. Jiangsu Fengshang Intelligent Technology Co., Ltd., Yangzhou 225128, China)

Abstract: The changes of four edible quality indicators, including moisture content, fatty acid content, eating value and straight-chain amylose content, were measured under three storage conditions: low temperature (8℃), quasi-low temperature (15℃) and room temperature (20~25℃), using South Japonica 9108 produced in Dongtai, Jiangsu Province as the object of study. The results showed that before storage, the rice and brown rice were more stable than the others, and the high moisture content samples had better eating quality than the normal and low moisture content samples. The initial moisture content, storage temperature and time had a significant effect on the fatty acid content, flavour value and straight chain amylose content ($P < 0.01$). At different storage temperatures, the eating quality of both rice and brown rice at different moisture contents was gradually decreased with increasing storage time. The higher moisture content samples showed a higher reduction in quality at higher storage temperatures, and the brown rice showed a higher reduction in eating quality than the rice. The results also showed that at low moisture content (12.1%), there was little change in the eating quality of both rice and brown rice at different storage temperatures, suggesting that storing rice in the form of paddy at a lower moisture content is clearly beneficial to the maintenance of eating quality.

Key words: rice; brown rice; storage temperature; quality; initial moisture content

收稿日期: 2021-10-28 修回日期: 2022-01-19

基金项目: 江苏省政策引导类计划(苏北科技专项)项目(SZ-YC2019002)和政策引导类计划(国际科技合作/港澳台科技合作)——“一带一路”创新合作项目(BZ2020061)

作者简介: 陈坤杰(1963—),男,教授,博士,主要从事农产品加工与无损检测研究,E-mail: kunjiechen@njau.edu.cn

0 引言

近年来随着我国经济的快速发展,人民生活水平不断提高,消费者对水稻食用品质的要求越来越高^[1]。但是,由于新收获的水稻需要干燥到安全含水率后进行储藏,随着储藏时间的延长,水稻的食用品质通常会明显下降,难以满足消费者对水稻食用品质的需求。因此,研究水稻食用品质的保持技术和方法,具有实际意义。

相关研究表明,水稻的食用品质,除了受其本身品种的影响外,还受到种植模式、土壤、气候、收获、加工以及储藏等各种因素的影响^[2]。其中,含水率和储藏条件(包括储藏温度和时间)的影响最大^[3-4]。目前,水稻主要以稻谷和糙米两种形态进行储藏。以稻谷的形式进行储藏,存在空间利用率低、尘埃附着性强和稻壳中农残迁移率高等问题^[5],如果将水稻加工成糙米再进行储藏,不仅可以提高空间利用率,而且还可以消除稻壳中农残迁移等问题。但是,糙米没有了稻壳的保护,在储藏时受储藏环境的影响更大^[6]。因此,选择合适的储藏条件至关重要。夏宝林等^[7]研究了谷外糙米的含量对稻谷储藏品质的影响,发现相比于稻谷,糙米储藏时的品质更易受储藏环境的影响^[8],且对储藏环境要求较高;周续霞等^[9]对真空包装储藏下的糙米进行研究,发现在储藏糙米时,不仅需要低温,更要控制其初始含水率。过低的含水率虽然能够保证谷物安全渡过储藏期,但是会破坏谷物的食用品质,但是含水率过高时容易滋生微生物。因此,在进行水稻储藏时,合适的储藏温度、含水率以及储藏形式,对保持水稻的食用品质、节约储藏成本,具有重要作用。

目前,我国水稻主要以稻谷常温储藏为主,近些年来,随着消费者对大米品质要求的提高,采用低温(15℃)储藏稻谷逐步增加。目前,关于储藏温度对稻谷和糙米品质影响已有研究报道,但对稻谷和糙米在常温、低温和更低温度储藏条件下的品质变化规律的研究,以及含水率对储藏品质影响的研究,尤其是稻谷和糙米二者之间的比较研究,尚未见报道。为此,本文对稻谷和糙米在常温、低温及更低温度下储藏的品质变化规律进行比较,揭示储藏温度和初始含水率对其品质变化的影响机理,为谷物保质储藏技术的研究提供理论和技术依据^[10]。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验稻谷为南粳 9108,产地为江苏省东台市,

收获时间为 2020 年 10 月。

1.2 试验仪器与试剂

H1850 型离心机,上海邦西仪器有限公司;DHC 型电热恒温鼓风干燥箱,上海华商医疗器械有限公司;FSD-100A 型电动粉碎机,台州市路桥开源仓储设备所;YP-2001 型电子秤,上海菁海仪器有限公司;TP-JLG-2018 型砬谷机,浙江托普云农科技股份有限公司;LRHS-250B 型恒温恒湿培养箱,上海博泰实验设备有限公司;JSWL 型大米食味计,北京东孚久恒仪器技术有限公司;BCD-539WBSN 型冰箱,青岛海尔股份有限公司。

1.3 试验方法

将收获的水稻(含水率为 17.12%)分为 3 份,铺放在阳光下进行自然晾晒,分别干燥至含水率 12.10%、14.16% 和 16.34%,然后将 3 种含水率稻谷的一部分用微型砬谷机脱壳制成糙米,再分别装在聚乙烯塑料包装袋中,每袋约 300 g。置于低温 8℃(通过冰箱将储藏温度设定为 8℃)、准低温 15℃(通过恒温恒湿箱将储藏温度设定为 15℃)及常温 20~25℃(通过空调将储藏温度控制在 20~25℃)3 种条件下储藏。每隔 35 d 取少量样品,分别测定稻谷和糙米的含水率、脂肪酸含量、食味值、直链淀粉含量。研究不同含水率的稻谷与糙米在不同储藏时间、储藏温度下的食用品质变化。

1.4 稻谷和糙米食用品质参数测定

1.4.1 含水率

参照 GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》测定样品的含水率。

1.4.2 脂肪酸值

根据 GB/T 20569—2006《稻谷储存品质判定规则》中附录 A 规定的方法测定稻谷和糙米的脂肪酸值(质量比)。

1.4.3 直链淀粉含量

参照 GB/T 15683—2008 规定的方法测定稻谷和糙米的直链淀粉含量(质量分数)。

1.4.4 食味值

食味值采用 JSWL 型大米食味计测定并记录结果^[11]。

1.5 数据处理

测量时重复试验 5 次,取平均值。运用 Origin 2018、Excel 进行数据处理、绘图,采用 SPSS 26.0 软件进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 不同储藏温度下稻谷和糙米含水率

含水率是影响稻谷及糙米食用品质的指标

之一,合理地调控水分,对改善稻谷的加工质量和改善稻谷的食用品质都具有重要作用^[12]。在不同储藏温度下,不同初始含水率的稻谷和糙米的含水率随储藏时间的变化如图 1 所示。由图 1 可知,随着储藏时间的延长,不同储藏温度下的稻谷和糙米的含水率均逐步下降,但糙米含水率下降的程度较稻谷更为明显。稻谷和糙米在 245 d 的储藏期内含水率变化总量如图 2 所示,分析图 2 可知,初始含水率较低(12.1%)并且储藏温度也较低时(8℃),稻谷和糙米的含水率变化都较小,二者几乎相同,降低量

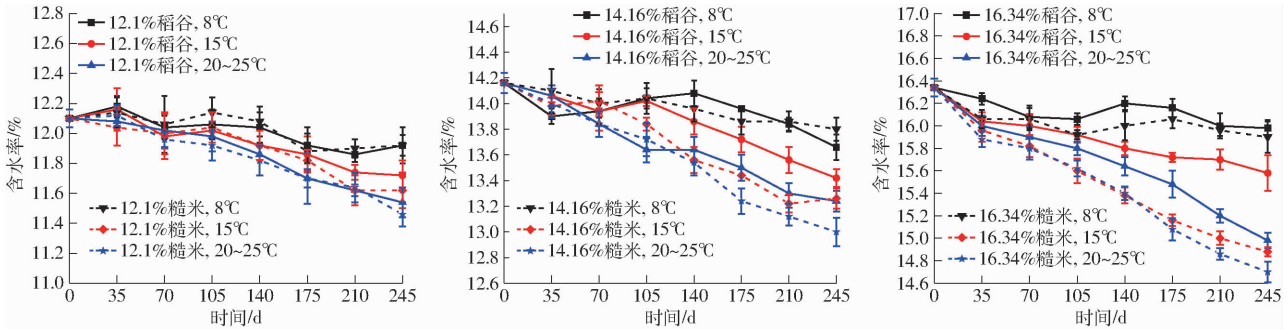


图 1 不同储藏温度下稻谷和糙米含水率变化曲线

Fig.1 Change curves of moisture content of rice and brown rice at different storage temperatures

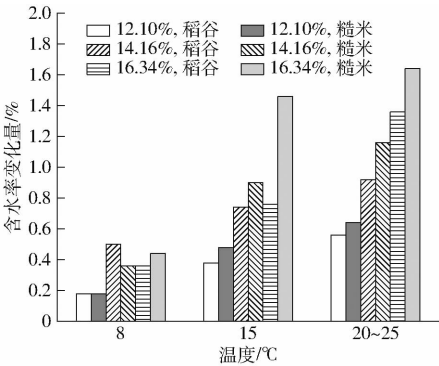


图 2 不同温度下稻谷和糙米含水率的变化量

Fig.2 Variation in moisture content of rice and brown rice stored for 245 days at different temperatures

另外,图 1 还显示,储藏期间,稻谷和糙米样品的含水率不是持续下降^[3],而是表现出一定的波动。初始含水率为 12.1% 的稻谷和糙米样本,在 35、105 d 其含水率出现较为明显的增加,而初始含水率为 14.16% 与 16.34% 的稻谷和糙米样本,其含水率在 8℃ 储藏时 140 d 左右出现波动增长。这种波动变化的原因,可能是稻谷跟糙米表面在储藏环境的温湿度作用下,发生吸附解析动态变化所致^[7]。

利用方差分析(表 1、2),研究入库初始含水率、储藏时间以及储藏温度对稻谷、糙米含水率变化的影响。结果显示,初始含水率、储藏时间和储藏温度都对稻谷和糙米含水率的变化具有极显著影响($P<0.01$),其中对稻谷和糙米含水率变化影响最

为 0.18%;当初始含水率较高(14.16% 和 16.34%)、储藏温度也较高(20~25℃ 和 15℃)时,稻谷和糙米的含水率下降程度较大,初始含水率 14.16% 的稻谷和糙米在 20~25℃、15℃ 储藏温度下降低量为 0.92%、0.74%、1.16%、0.9%;初始含水率 16.34% 的稻谷在 20~25℃、15℃ 储藏温度下降低量为 1.36%、0.76%、1.64%、1.46%。相比较而言,在各种储藏条件下,糙米含水率下降的程度都高于稻谷。这可能是因为糙米失去稻壳的保护后,直接暴露环境中,受到储藏环境的影响更大所致。

为显著的是入库时初始含水率,其次是储藏温度和储藏时间。

表 1 储藏条件对稻谷含水率影响的方差分析

Tab.1 Variance analysis of effect of storage conditions on rice moisture content

方差来源	Ⅲ类平方和	自由度	均方	F	显著性
修正模型	966.135	71	13.608	1358.866	**
储藏时间	14.502	7	2.072	206.886	**
初始含水率	940.449	2	470.225	46957.257	**
储藏温度	5.314	2	2.675	265.307	**
误差	2.884	288	0.01		
修正总计	969.019	359			

注:**表示极显著水平($P<0.01$),下同。

表 2 储藏条件对糙米含水率影响的方差分析

Tab.2 Variance analysis of effect of storage conditions on moisture content of brown rice

方差来源	Ⅲ类平方和	自由度	均方	F	显著性
修正模型	892.054	71	12.564	1116.812	**
储藏时间	25.508	7	3.644	323.905	**
初始含水率	844.335	2	422.168	37526.007	**
储藏温度	10.123	2	5.061	449.896	**
误差	3.24	288	0.011		
修正总计	895.294	359			

2.2 不同储藏温度下稻谷和糙米脂肪酸含量

脂类约占稻谷质量的 3%,是稻谷重要的营养成分之一;虽然稻谷中脂肪酸含量不高,但是储藏期间却最容易发生变化,当脂肪酸含量变高时,稻

谷的食用品质会变差^[13],目前我国制定的相关标准中粳稻储藏脂肪酸(KOH)含量(质量比)小于等于25 mg/(100 g)^[14]。

不同储藏温度下稻谷和糙米脂肪酸含量的变化曲线如图3所示,由图可以看出,随着储藏时间延长,样品的脂肪酸含量均呈现不同程度的增大^[15],初始含水率高的样品脂肪酸含量增大得更为明显,研究表明^[16]含水率高的稻谷脂肪酶水解能力强,使得游离脂肪酸增加快,脂肪氧化速度加快,因此脂肪酸值上升得更快。而且在相同储藏温度和初始含水率下,不同储藏时刻糙米的脂肪酸含量始终比稻谷脂肪酸含量高,说明以糙米形式进行储藏,大米食用

品质会下降更快。这可能是因为糙米失去外壳的保护,米胚、胚乳等直接暴露在环境中,更容易被氧化。另外,糙米中丰富的营养成分在这种条件下为微生物的繁殖生长提供更加有利的环境,微生物分泌的解脂酶更有可能将脂肪分解成游离的脂肪酸,导致糙米的游离脂肪酸含量更高^[17]。经过245 d的储藏后,稻谷和糙米脂肪含量变化量如图4所示,可以发现,在相同储藏温度下,含水率越高的稻谷和糙米,其脂肪酸含量增加越多^[18-19];对含水率相同的稻谷和糙米,储藏温度越高,脂肪酸含量增加越大,且糙米的脂肪酸含量增加量总是高于稻谷,与刘欣等^[20]研究结果一致。

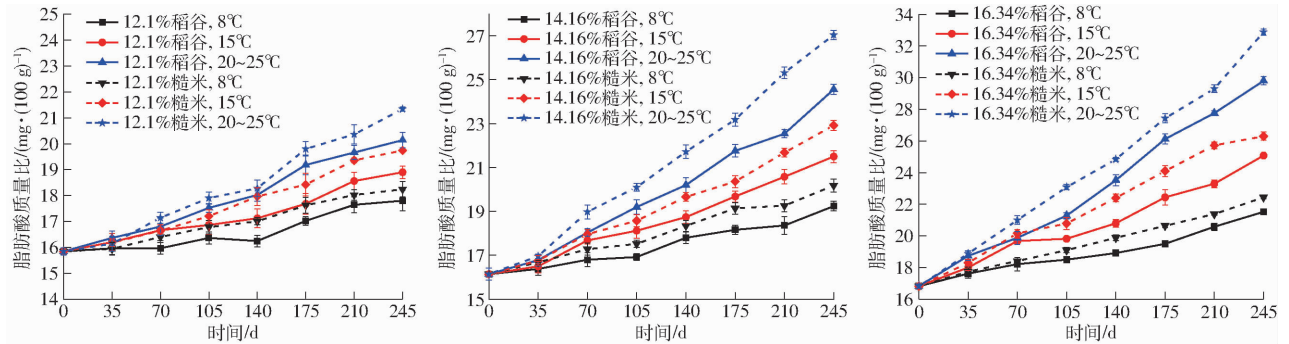


图3 不同储藏温度下稻谷和糙米脂肪酸含量变化曲线

Fig.3 Change curves of fatty acid content of rice and brown rice at different storage temperatures

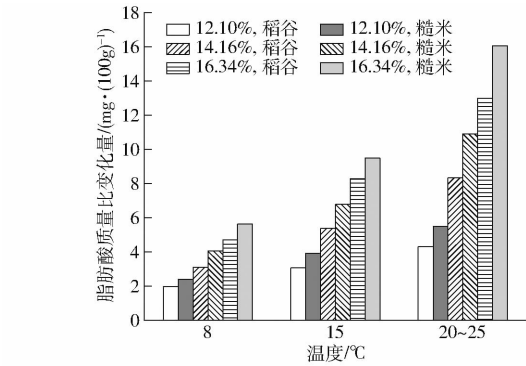


图4 不同温度下储藏245 d 稻谷和糙米脂肪酸质量比变化量

Fig.4 Change of fatty acids in rice and brown rice stored for 245 days at different temperatures

进一步分析可知,在3个不同温度下,经过245 d的储藏,12.1%含水率稻谷和糙米的脂肪酸质量比均小于25 mg/(100 g),满足标准要求。在20~25℃下,经过245 d的储藏,14.16%含水率稻谷的脂肪酸含量升高了8.32 mg/(100 g),增加到24.56 mg/(100 g),接近临界状态,而糙米的脂肪酸含量升高了10.9 mg/(100 g),达到27.04 mg/(100 g),超过标准要求;含水率16.34%的稻谷和糙米在20~25℃下储藏245 d时,脂肪酸含量分别升高了12.98、16.06 mg/(100 g),分别达到29.8、32.88 mg/(100 g),远超过规定值。因此,较高含水

率的稻谷和糙米在储藏时脂肪酸含量增长都较快,不利于长时间储藏。

方差分析(表3、4)显示,初始含水率、储藏时间和储藏温度都对稻谷和糙米脂肪酸含量的变化影响极显著($P<0.01$),对稻谷脂肪酸含量变化

表3 储藏条件对稻谷脂肪酸含量影响的方差分析

Tab.3 Variance analysis of effects of storage conditions on fatty acids in rice					
方差来源	Ⅲ类平方和	自由度	均方	F	显著性
修正模型	2 995.142	71	42.185	461.951	**
储藏时间	1 280.547	7	182.935	2 003.246	**
初始含水率	808.925	2	404.463	4 429.095	**
储藏温度	406.154	2	203.077	2 223.807	**
误差	26.3	288	0.091		
修正总计	3 021.442	359			

表4 储藏条件对糙米脂肪酸含量影响的方差分析

Tab.4 Variance analysis of effects of storage conditions on fatty acids in brown rice					
方差来源	Ⅲ类平方和	自由度	均方	F	显著性
修正模型	4 353.904	71	61.323	907.736	**
储藏时间	1 997.713	7	285.388	4 224.486	**
初始含水率	1 074.077	2	537.039	7 949.584	**
储藏温度	567.355	2	283.677	4 199.17	**
误差	19.456	288	0.068		
修正总计	4 373.36	359			

影响最为显著的是初始含水率,其次是储藏温度和储藏时间;对糙米脂肪酸含量变化影响最为显著的是初始含水率,其次是储藏时间,最后是储藏温度。

2.3 不同储藏温度下稻谷和糙米直链淀粉含量

直链淀粉含量是评价稻谷或者糙米食用及蒸煮品质的重要指标之一^[21],在一定程度上,稻谷直链淀粉含量越低,其食用口感越好,米饭的粘性更佳^[22]。不同储藏温度下稻谷和糙米直链淀粉含量变化曲线如图 5 所示。总体来说,经过 245 d 的储藏,稻谷在 8、15℃、20~25℃ 储藏温度下直链淀粉含量增加量为 0.36%、0.62%、0.74%,糙米增加量为 1.12%、1.4%、2.02%;初始含水率 14.16% 的稻谷在 8、15℃、20~25℃ 储藏温度下直链淀粉含量增加量为 0.54%、0.42%、1.02%,同含水率的糙米增加量为 1.34%、1.64%、1.96%;初始含水率 16.34% 的稻谷在 8、15℃、20~25℃ 储藏温度下直

链淀粉含量增加量为 1.04%、0.8%、1.32%,同含水率的糙米增加量为 2.4%、3.4%、3.9%。由图 5 可知,在储藏前,含水率较高的稻谷和糙米,有相对较低直链淀粉含量,说明此时含水率较高的稻谷和糙米具有较佳的口感。在储藏过程中,随着储藏时间的延长,稻谷和糙米的直链淀粉含量呈现先下降然后上升的趋势,尤其是稻谷这种趋势更加明显。造成储藏初期直链淀粉含量下降的原因,可能是在储藏初期,样品的生理特性还不稳定,内部游离脂肪酸与直链淀粉相结合对淀粉本身性质产生影响或是初期水分分布不稳定所造成^[23]。经过 245 d 的储藏后,稻谷和糙米的直链淀粉含量都增加(图 6)。温度和含水率越高,不论是稻谷和糙米,其直链淀粉含量增加得都越多,而且都是糙米的直链淀粉含量增加值比稻谷的更高。其原因可能是储藏期间,糙米失去稻壳的保护直接暴露在空气中,更容易受外界环境影响所致。

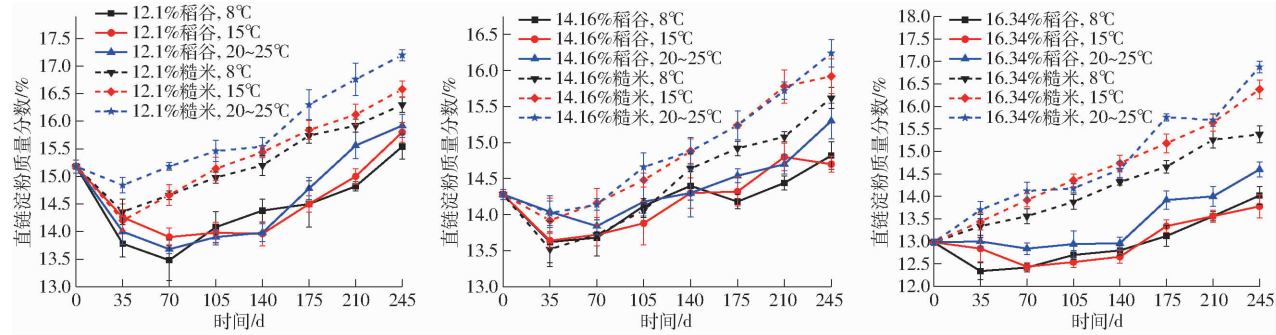


图 5 不同储藏温度下稻谷和糙米直链淀粉含量变化曲线

Fig. 5 Change curves of amylose content of rice and brown rice at different storage temperatures

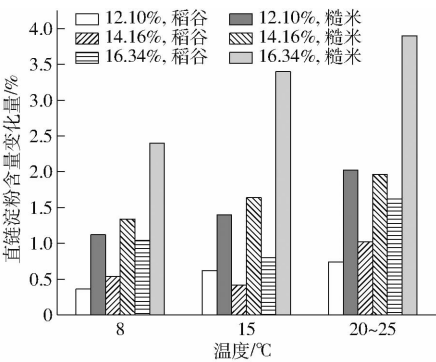


图 6 不同温度下储藏 245 d 稻谷和糙米直链淀粉含量变化量

Fig. 6 Change of amylose in rice and brown rice stored for 245 days at different temperatures

方差分析(表 5、6)表明,初始含水率、储藏时间以及储藏温度对稻谷和糙米直链淀粉含量的变化都具有极显著影响($P < 0.01$),其中,最为显著的影响因素是初始含水率,其次是储藏时间和储藏温度。

2.4 不同储藏温度下稻谷和糙米食味值

大米食味值是根据大量的感官食味评价和米粒

表 5 储藏条件对稻谷直链淀粉影响的方差分析

Tab. 5 Variance analysis of effects of storage conditions on amylose in rice					
方差来源	Ⅲ类平方和	自由度	均方	F	显著性
修正模型	658.457	71	9.274	208.731	**
储藏时间	91.100	7	13.014	292.913	**
初始含水率	542.997	2	271.499	6110.626	**
储藏温度	4.121	2	2.06	46.374	**
误差	12.796	288	0.044		
修正总计	671.253	359			

表 6 储藏条件对糙米直链淀粉影响的方差分析

Tab. 6 Variance analysis of effects of storage conditions on brown rice amylose					
方差来源	Ⅲ类平方和	自由度	均方	F	显著性
修正模型	332.256	71	4.68	133.758	**
储藏时间	224.744	7	32.106	917.688	**
初始含水率	65.325	2	32.663	933.590	**
储藏温度	15.018	2	7.509	214.624	**
误差	10.076	288	0.035		
修正总计	342.332	359			

内部结构的相关性得出,为评价大米品质的综合指标,比人为评分具有更高的可靠性^[23]。稻谷和糙米在不同储藏温度下食味值变化曲线如图7所示。由图7可知,在储藏前,含水率16.34%的稻谷和糙米的食味值最高,达到81.6,高于含水率为12.1%和14.16%的样品。这表明新收获的水稻,含水率较高时,其食用口感会较好。这与文献[24]的研究结果基本一致。在储藏过程中,稻谷和糙米食味值均发生不同程度下降,如图8所示,不论是在较低温度下储藏还是在较高温度下储藏,经过245 d的储藏后,都是含水率较高(16.34%)的稻谷和糙米食味值下降幅度更大,在不同储藏温度下,稻谷均下降5.0左右,糙米降低了3.5左右。而含水率较低的稻谷和糙米食味值

下降幅度较小,下降幅度均低于3.0。尽管储藏温度不同,但含水率12.1%的稻谷和糙米在经过245 d的储藏后,食味值均大于等于79,将有较好的使用品质。这可能是由低含水率稻谷呼吸作用不强^[25],内部结构及主要营养成分如蛋白质、淀粉和脂肪含量处于基本稳定状态所致。另外,相较稻谷而言,糙米食味值下降的幅度相对更小。例如,初始含水率为16.34%的稻谷,经过245 d的储藏,其食味值下降到76分以下,而相同含水率糙米的食味值均却达到77分以上。这可能是由于稻谷收获后未经垅谷处理,受损伤小,较大程度地保留了稻谷原本的生理活性^[26],再加上含水率高,导致呼吸作用强、营养成分消耗大,因此,稻谷食用品质下降程度大。

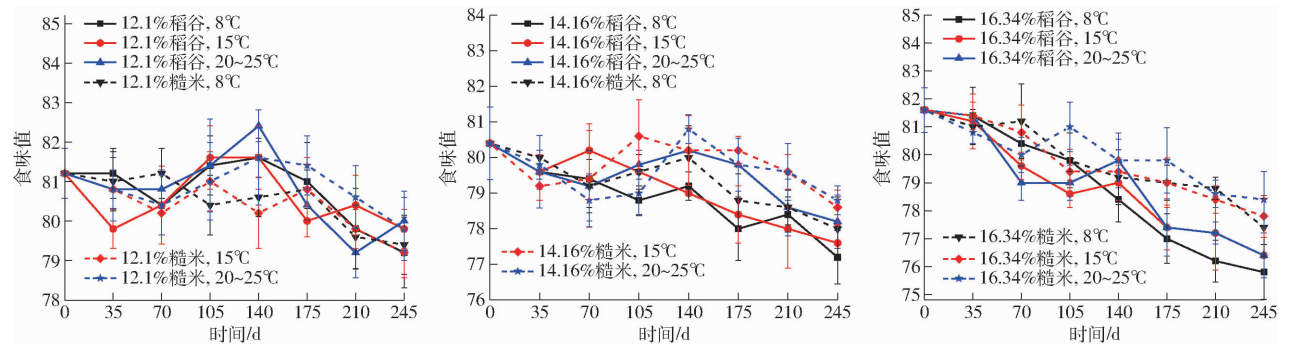


图7 不同储藏温度下稻谷和糙米食味值变化曲线

Fig.7 Change curves of taste value of rice and brown rice at different storage temperatures

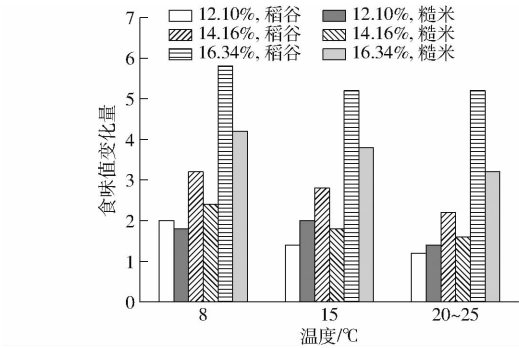


图8 不同温度下储藏245 d 稻谷和糙米食味值变化量

Fig.8 Variation of taste value of rice and brown rice stored for 245 days at different temperatures

方差分析(表7、8)显示,初始含水率、储藏时间对稻谷和糙米食味品质变化的影响都极显著($P<0.01$),储藏温度对稻谷和糙米食味品质变化的影响为显著($P<0.05$)。对稻谷,最重要的影响因素是初始含水率,其次是储藏时间,最后是储藏温度。对糙米,最重要的影响因素是储藏时间,其次是初始含水率,最后是储藏温度。

3 模型拟合

研究表明,储藏过程中含水率、脂肪酸含量的变

表7 储藏条件对稻谷食味值影响的方差分析

Tab.7 Variance analysis of effect of storage conditions on eating value of rice

方差来源	Ⅲ类平方和	自由度	均方	F	显著性
修正模型	795.531	71	11.205	14.775	**
储藏时间	397.131	7	56.733	74.813	**
初始含水率	179.039	2	89.519	118.048	**
储藏温度	4.822	2	2.411	3.179	*
误差	218.400	288	0.758		
修正总计	1 013.931	359			

注:*表示显著水平($P<0.05$),下同。

表8 储藏条件对糙米食味值影响的方差分析

Tab.8 Variance analysis of effect of storage conditions on taste value of brown rice

方差来源	Ⅲ类平方和	自由度	均方	F	显著性
修正模型	340.464	71	4.795	6.743	**
储藏时间	179.442	7	25.635	36.049	**
初始含水率	42.022	2	21.011	29.547	**
储藏温度	5.272	2	2.636	3.707	*
误差	204.800	288	0.711		
修正总计	545.264	359			

化存在一定线性关系^[27],本文使用最小二乘法曲线拟合,根据决定系数选用不同阶级曲线进行相关参

数的拟合。本文拟合曲线最大阶数设为 3 阶。拟合后的曲线公式为

$$y = b_1x^3 + b_2x^2 + b_3x + b_0$$

式中 y ——储藏期间含水率、脂肪酸含量实际值

$b_1、b_2、b_3、b_0$ ——拟合系数

x ——储藏时间,d

结果如表 9 所示,其中,模型决定系数 R^2 能够较好地反映拟合效果,其值越大,拟合效果越好。

从表 9 中可以看出,整体上糙米比稻谷的拟合

效果更好,初始含水率对拟合效果影响不大。在含水率随时间变化的拟合曲线中,当储藏温度为 8℃时,使用三阶拟合仍未取得较好拟合效果;当储藏温度为 15℃时,使用二阶拟合即可取得较好拟合效果;当储藏温度为 20 ~ 25℃时,使用一阶拟合已取得较好拟合效果。在脂肪酸随时间变化的拟合曲线中,整体使用一阶拟合时已取得较好拟合效果,但随着储藏温度的升高,拟合的效果有所提升。

表 9 模型拟合决定系数及拟合曲线系数

Tab.9 Decision coefficient of model fitting and fitting curve parameters

指标	储藏温度/℃	决定系数 R^2	b_1	b_2	b_3	b_0
16.34%,稻谷,含水率	8	0.806	-1.335×10^{-7}	5.202×10^{-5}	-6.247×10^{-3}	16.35
	15	0.960		6.900×10^{-6}	-4.404×10^{-3}	16.28
	20 ~ 25	0.976			-5.082×10^{-3}	16.29
16.34%,糙米,含水率	8	0.909	-1.661×10^{-7}	6.949×10^{-5}	-8.857×10^{-3}	16.33
	15	0.994		8.006×10^{-6}	-7.833×10^{-3}	16.30
	20 ~ 25	0.983			-6.449×10^{-3}	16.25
14.16%,稻谷,含水率	8	0.873	-2.038×10^{-7}	6.605×10^{-5}	-5.957×10^{-3}	14.12
	15	0.967		-8.260×10^{-6}	-8.673×10^{-4}	14.13
	20 ~ 25	0.976			-3.830×10^{-3}	14.14
14.16%,糙米,含水率	8	0.948	-5.890×10^{-9}	2.650×10^{-6}	-1.753×10^{-3}	14.16
	15	0.949		-1.166×10^{-6}	-3.837×10^{-3}	14.18
	20 ~ 25	0.989			-4.932×10^{-3}	14.18
12.10%,稻谷,含水率	8	0.859	7.303×10^{-8}	-2.781×10^{-5}	1.596×10^{-3}	12.11
	15	0.927		-2.818×10^{-6}	-1.085×10^{-3}	12.13
	20 ~ 25	0.957			-2.483×10^{-3}	12.17
12.10%,糙米,含水率	8	0.789	8.128×10^{-8}	-3.347×10^{-5}	2.578×10^{-3}	12.09
	15	0.940		-7.580×10^{-6}	-2.245×10^{-4}	12.08
	20 ~ 25	0.966			-2.639×10^{-3}	12.16
16.34%,稻谷,脂肪酸含量	8	0.968			1.767×10^{-2}	16.80
	15	0.981			3.183×10^{-2}	16.84
	20 ~ 25	0.991			5.337×10^{-2}	16.45
16.34%,糙米,脂肪酸含量	8	0.997			2.21×10^{-2}	16.84
	15	0.991			3.976×10^{-2}	16.95
	20 ~ 25	0.993			6.313×10^{-2}	16.55
14.16%,稻谷,脂肪酸含量	8	0.968			1.244×10^{-2}	15.95
	15	0.990			2.195×10^{-2}	15.93
	20 ~ 25	0.989			3.398×10^{-2}	15.74
14.16%,糙米,脂肪酸含量	8	0.986			1.618×10^{-2}	16.08
	15	0.991			2.733×10^{-2}	15.91
	20 ~ 25	0.993			4.501×10^{-2}	15.67
12.10%,稻谷,脂肪酸含量	8	0.881			8.565×10^{-3}	15.55
	15	0.966			1.243×10^{-2}	15.70
	20 ~ 25	0.988			1.845×10^{-2}	15.68
12.10%,糙米,脂肪酸含量	8	0.985			1.057×10^{-2}	15.69
	15	0.988			1.677×10^{-2}	15.61
	20 ~ 25	0.984			2.312×10^{-2}	15.52

4 结论

(1)在不同储藏条件下,随着储藏时间的延长,

稻谷和糙米含水率、食味值逐步下降,直链淀粉含量逐步上升,稻谷和糙米食用品质都呈现不同程度的降低。储藏温度、含水率以及储藏时间均对稻谷和

糙米品质变化有极显著的影响($P < 0.01$)。

(2) 含水率高的稻谷和糙米,在较高储藏温度下,其食用品质下降得更大;在相同储藏条件下,糙米食用品质下降程度明显高于稻谷。

(3) 在不同储藏温度下,含水率较低稻谷和糙米(12.10%),其品质变化都很小,表明将水稻以稻谷形式在较低含水率下进行储藏,明显有利于食用品质保持。

参 考 文 献

[1] 王红亮,渠琛玲,王若兰,等. 优质稻谷常温储藏条件下品质变化研究[J]. 中国粮油学报, 2019,34(6):97-103.
WANG Hongliang, QU Chenling, WANG Ruolan, et al. Research on quality changes of highquality paddy in conventional storage [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2019, 34(6):97-103. (in Chinese)

[2] 邵小龙, 徐文, 时小转, 等. 不同收储条件对粳稻南粳 5055 储藏品质的影响[J]. 中国粮油学报, 2020,35(5):130-136.
SHAO Xiaolong, XU Wen, SHI Xiaozhuan, et al. Effect of different harvest and storage conditions storage quality of japonica rice Nanjing 5055[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2020, 35(5):130-136. (in Chinese)

[3] 李卓珍, 渠琛玲, 王红亮, 等. 优质稻谷准低温储藏与常温储藏品质变化的比较研究[J]. 中国粮油学报, 2020, 35(11):104-110.
LI Zhuozhen, QU Chenling, WANG Hongliang, et al. Comparative study on the quality changes of the high quality paddy during quasi-low temperature storage and conventional temperature storage[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2020, 35(11):104-110. (in Chinese)

[4] ZHOU Z, ROBARDS K, HELLIWELL S, et al. Effect of storage temperature on cooking behaviour of rice [J]. Food Chemistry, 2007, 105(2):491-497.

[5] 王玉凤, 孙培玲, 夏吉庆. 糙米保鲜储藏技术试验研究[J]. 中国粮油学报, 2009, 24(5):95-98.
WANG Yufeng, SUN Peiling, XIA Jiqing. Storage and fresh-keeping technology of brown rice[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2009, 24(5):95-98. (in Chinese)

[6] 吴树会, 袁毅, 陈智斌, 等. 优质籼米皖稻 207 储藏质量指标变化规律及安全储藏期研究[J]. 中国粮油学报, 2017, 32(7):1-6.
WU Shuhui, YUAN Yi, CHEN Zhibin, et al. Research on regularity of the change in storage quality and safe storage period of high-quality indica rice Wan-dao 207 [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2017, 32(7):1-6. (in Chinese)

[7] 夏宝林, 孙伟. 常规储藏条件下谷外糙米对稻谷品质影响的研究进展[J]. 粮食科技与经济, 2015, 40(3):47-49.

[8] WANG C, FENG Y, FU T, et al. Effect of storage on metabolites of brown rice[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2020, 100(12):4364-4377.

[9] 周绪霞, 梁媛, 张燕彦, 等. 真空包装糙米储藏过程中品质变化分析[J]. 浙江工业大学学报, 2019, 47(1):114-118.
ZHOU Xuxia, LIANG Yuan, ZHANG Zhengyan, et al. Analysis of quality change of vacuum packed japonica brown rice during storage[J]. Journal of Zhejiang University of Technology, 2019, 47(1):114-118. (in Chinese)

[10] 毕文雅, 张来林, 林玉辉, 等. 偏高水分闽北优质稻在储藏期间的品质变化研究[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2017, 38(4):42-46.
BI Wenya, ZHANG Lailin, LIN Yuhui, et al. Quality changes of high-moisture high-quality rice in the north of Fujian Province [J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2017, 38(4):42-46. (in Chinese)

[11] 邹勇, 曾卓华, 方立魁, 等. 优质重庆高山贡米筛选及其理化成分与食味特性关系研究[J]. 中国粮油学报, 2022, 37(3):17-24.
ZOU Yong, ZENG Zhuohua, FANG Likui, et al. Taste quality association studies and screening for optimal premium quality of rice from Chongqing[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2022, 37(3):17-24. (in Chinese)

[12] 李佳, 曹毅, 赵旭, 等. 2 种储粮水分粳稻储藏周期内品质变化及效益分析[J]. 中国粮油学报, 2021, 36(3):110-115.
LI Jia, CAO Yi, ZHAO Xu, et al. Quality change and benefit analysis of two grain storage moisture japonica rice during storage period[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2021, 36(3):110-115. (in Chinese)

[13] JIANG H, LIU T, HE P, et al. Quantitative analysis of fatty acid value during rice storage based on olfactory visualization sensor technology[J]. Sensors and Actuators B: Chemical, 2020, 309:127816.

[14] 施灿琛, 周福君, 夏吉庆, 等. 自然冷资源低温储藏仓设计与稻谷储藏试验[J]. 农业机械学报, 2017, 48(11):375-382.
SHI Cancan, ZHOU Fujun, XIA Jiqing, et al. Design of cool storage warehouse with natural cold resource and paddy storage experiment[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(11):375-382. (in Chinese)

[15] 李娟, 李忠海, 付湘晋, 等. 不同品种稻谷储藏期间品质变化的研究[J]. 食品与机械, 2012, 28(1):197-199.
LI Juan, LI Zhonghai, FU Xiangjin, et al. Study on quality change of different kinds of paddy during storage [J]. Food & Machinery, 2012, 28(1):197-199. (in Chinese)

[16] 孟晶, 戴辉, 秦施奇, 等. 储藏期间粳稻谷脂肪酸值的影响因素研究[J]. 粮食与油脂, 2017, 30(6):32-34.
MENG Jing, DAI Hui, QIN Shiqi, et al. Influence factors on fatty acid value of japonica rice during storage[J]. Cereals & Oils, 2017, 30(6):32-34. (in Chinese)

[17] 夏吉庆,郑先哲,刘成海. 储藏方式对稻米黏度和脂肪酸含量的影响[J]. 农业工程学报, 2008,24(11):260–263.
XIA Jiqing, ZHENG Xianzhe, LIU Chenghai. Effects of storage methods on viscosity and fattyacid content of rice [J]. Transactions of the CSAE, 2008,24(11):260–263. (in Chinese)

[18] DEKA S C, SOOD D R, GUPTA S K. Effect of storage on fatty acid profiles of basmati rice (*Oryza sativa* L.) genotypes[J]. Journal of Food Science and Technology (Mysore),2000,37(3):217–221.

[19] ZHAO Q, GUO H, HOU D, et al. Influence of temperature on storage characteristics of different rice varieties[J]. Cereal Chemistry, 2021,98(4):935–945.

[20] 刘欣,姚远航,陈文若,等. 动态温湿度条件下糙米主要储藏品质指标变化[J]. 食品科学, 2019,40(3):245–250.
LIU Xin, YAO Yuanhang, CHEN Wenruo, et al. Changes in main storage quality indices of brown rice under dynamic temperature and humidity conditions[J]. Food Science,2019,40(3):245–250. (in Chinese)

[21] 赵卿宇,郭辉,沈群. 两种香米在不同温度储存过程中理化性质和食用品质的变化[J]. 食品科学, 2021,42(9):160–168.
ZHAO Qingyu, GUO Hui, SHEN Qun. Variations in physicochemical properties and eating quality of two fragrant rice varieties during storage at different temperatures[J]. Food Science,2021,42(9):160–168. (in Chinese)

[22] 曹俊,蒋伟鑫,刘欣,等. 温度动态变化对不同水分含量稻谷主要品质变化的影响[J]. 食品科学, 2016,37(17):76–83.
CAO Jun, JIANG Weixin, LIU Xin, et al. Effects of dynamic temperature changes on main quality attributes of paddy rice with different moisture contents[J]. Food Science,2016,37(17):76–83. (in Chinese)

[23] 宋婷,白晶,翟爱华. 储藏后对不同加工精度大米食用品质变化规律的研究[J]. 粮食与油脂, 2016,29(12):70–74.
SONG Ting, BAI Jing, ZHAI Aihua. Change regularity of different precision of milled riceedible quality after storage [J]. Cereals & Oils, 2016,29(12):70–74. (in Chinese)

[24] 毕文雅,张来林,石天玉,等. 低温、准低温储藏对甬优 15 优质稻质构特性的影响研究[J]. 粮食与饲料工业,2021(3):1–3,9.
BI Wenya, ZHANG Lailin, SHI Tianyu, et al. Study on the effect of low temperatureand quasi-low temperature storage on the texture characteristics of high-quality rice of Yongyou15[J]. Cereal & Feed Industry,2021(3):1–3,9. (in Chinese)

[25] 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 Daoji, SHI Taoqi, WANG Yuehui, 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. (in Chinese)

[26] IJIMA K, SUZUKI K, HORI K, et al. Endosperm enzyme activity is responsible for texture and eating quality of cooked rice grains in Japanese cultivars[J]. Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry, 2019,83(3):502–510.

[27] 高振鹏,宋杨,张美娜,等. 益生菌发酵苹果汁过程中总酚酸变化与动力学研究[J]. 农业机械学报,2019,50(11):350–356.
GAO Zhenpeng, SONG Yang, ZHANG Meina, et al. Changes and kinetics of total phenolic acids of apple juice fermented by probiotics[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2019,50(11):350–356. (in Chinese)

(上接第 373 页)

[26] ELSNER J B, TSONIS A A. Singular spectrum analysis—a new tool in time series analysis[M]. New York: Plenum Press, 1996: 39–50.

[27] 孔雯,车权,赵慧荣,等. 基于奇异谱分析与长短时记忆神经网络的电厂存煤量短期预测[J]. 信息与控制,2020,49(6):742–751.
KONG Wen, CHE Quan, ZHAO Huirong, et al. Short term prediction of coal storage in power plant based on singular spectrum analysis and short-term memory neural network[J]. Information and Control, 2020,49(6):742–751. (in Chinese)

[28] EBERHART R, KENNEDY J. A new optimizer using particle swarm theory[C]//Mhs95 Sixth International Symposium on Micro Machine & Human Science. IEEE, 2002.

[29] 谢磊,丁达理,魏政磊,等. AdaBoost–PSO–LSTM 网络实时预测机动轨迹[J]. 系统工程与电子技术,2021,43(6):1651–1658.
XIE Lei, DING Dali, WEI Zhenglei, et al. Real time prediction of maneuver trajectory using AdaBoost–PSO–LSTM network [J]. Systems Engineering and Electronic Technology,2021,43(6):1651–1658. (in Chinese)

[30] HOCHREITER S, SCHMIDHUBER J. Long short-term memory[J]. Neural Computation, 1997, 9(8):1735–1780.

[31] 魏腾飞,潘庭龙. 基于改进 PSO 优化 LSTM 网络的短期电力负荷预测[J]. 系统仿真学报,2021,33(8):1866–1874.
WEI Tengfei, PAN Tinglong. Short term power load forecasting based on improved PSO optimized LSTM network[J]. Journal of System Simulation,2021,33(8):1866–1874. (in Chinese)

[32] BASAK D, SRIMANTA P, PATRANBIS D C. Support vector regression[J]. Neural Information Processing Letters & Reviews, 2007,11(10):203–224.

[33] HUANG G B, ZHU Q Y, SIEW C K. Extreme learning machine: theory and applications[J]. Neurocomputing, 2006, 70(1/3):489–501.