

## 不同贮藏条件下大米品质的变化

席孟瑶<sup>1</sup>, 赵卿宇<sup>1,3</sup>, 李丽娜<sup>2</sup>, 王红<sup>2</sup>, 王超<sup>1</sup>, 郝智慧<sup>3</sup>, 沈群<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 中国农业大学食品科学与营养工程学院 北京 100083

<sup>2</sup> 今麦郎食品股份有限公司 河北邢台 054001

<sup>3</sup> 国家粮食产业(药用功能资源开发)技术创新中心 北京 100193

**摘要** 以“盐丰大米”为试验对象,在不同温度(15℃、室温 20~25℃和 37℃)下贮藏 300 d,定期评估其理化指标、色差、糊化特性、质构特性和蒸煮特性的变化规律,为大米贮藏过程中品质变化预测提供参考。试验结果表明:在不同温度贮藏期间,大米的品质特性均发生显著变化,且温度越高,变化越明显。其中,大米水分含量、蛋白质含量、硫基含量、 $L^*$  值、 $a^*$  值、黏着性、米汤 pH 值随贮藏时间的延长呈下降趋势,在 37℃高温贮藏条件下,分别下降了 2.44%,0.49%,1.1%,12.81,2.84,0.21,1.2; $b^*$  值、回生值、糊化温度、吸水率、膨胀体积呈上升趋势,在 37℃高温贮藏条件下,分别上升了 18.69,349cP,12.2℃,152%,197%。此外,其它指标在不同温度下的变化趋势有所差异。在 15℃低温贮藏条件下,大米的咀嚼性先升高后降低,弹性变化不显著,峰值黏度下降,回复性上升。而在 37℃高温贮藏条件下,其咀嚼性、回复性、峰值黏度和崩解值均呈先上升后下降的趋势,弹性总体呈下降趋势。结合咀嚼性、峰值黏度、崩解值与食味值的相关性,“盐丰大米”在 37℃贮藏 60 d 后食味性达到最佳。

**关键词** 大米;贮藏;理化特性;食用品质

**文章编号** 1009-7848(2024)12-0288-11 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2024.12.026

中国是世界上最大的稻米生产国,占世界稻米总产量的 30%<sup>[1]</sup>。稻谷经脱壳加工制成的大米,是我国最主要的粮食之一,人均年消费量达 138 kg 左右。稻米收获后极少量被加工用作食品原料和饲料成分,而绝大多数大米作为熟米饭供人们食用,这也导致大量的大米需在不同时期被储存以保证粮食供应稳定<sup>[2]</sup>。然而,大米加工时其胚乳的保护层被去除,米粒直接暴露在外界环境中,淀粉和蛋白质等多种营养物质受外界温度、湿度等多种因子的影响,在酶和微生物的作用下极易发生霉变、虫害、脂类水解和氧化等劣变现象,从而导致大米陈化,甚至失去食用价值,造成严重的粮食浪费。研究大米贮藏期间的品质变化,延缓大米品质劣变,对推动大米储藏有着重要的现实意义。

一般来说,大米品质受自身所含物质,如淀粉组成、水分、蛋白质和脂肪含量等内因作用<sup>[3]</sup>。在贮

藏期间保持大米健康和营养价值不仅取决于生产和收获的条件,还取决于适当的储存条件,如贮藏温度、贮藏时间以及空气湿度等,它们直接或间接作用于大米内在组分,进而影响其食用品质。研究表明贮藏期间的老化过程会导致大米的化学和物理特性发生变化,如大米组成含量、颜色、风味、糊化特性等<sup>[4]</sup>。“盐丰大米”属粳型常规水稻,耐低温盐碱,产量极高,适宜在我国辽宁南部、新疆、河北等地区种植。该品种米质优良,食味极佳,深受消费者喜爱。本试验以“盐丰大米”为研究对象,在 300 d 内定期评估其在不同储藏温度下理化性质、色差变化、糊化特性、质构特性和蒸煮特性的变化规律,确定储藏时间和温度对大米品质的影响,为大米的适宜贮藏条件和最佳贮藏期限提供一定的技术参考。

## 1 材料与amp;方法

### 1.1 材料

“盐丰稻米”由中储粮沈阳直属库提供。稻谷用小型砻谷机去壳得到糙米,再在碾米机上制成 GB 1354-2009 所规定的标准一等大米,具体营养成分参考之前发表的文献<sup>[5]</sup>。

收稿日期: 2023-12-17

基金项目: “十四五”国家重点研发计划项目(2022YFFF1100505); 中国博士后科学基金资助项目(2022M723417,2023T160693)

第一作者: 席孟瑶,女,硕士生

通信作者: 沈群 E-mail: shenqun@cau.edu.cn

取大米样品密封于聚乙烯袋中,置于恒温、恒湿箱内培养 300 d, 储藏条件分别设置为 15 ℃, 50%RH(模拟低温)、室温(约 20~25 ℃)以及 37 ℃, 50%RH(模拟高温)。每隔 60 d 取样 1 次进行测定。

## 1.2 仪器与设备

ALC-110.4 精密电子天平, 赛多利斯科学仪器(北京)有限公司;KDY-9820 凯氏定氮仪, 北京通润机电技术有限公司;V1800 可见分光光度计, 尤尼柯(上海)仪器有限公司;FE20K pH 计, 上海青浦沪西仪器厂;TX-XT Plus 质构仪, 英国 Stable Micro Systems 公司;ColorQuestXE 色差仪, 美国 HunterLab 公司;TecMaster 快速黏度分析仪(RVA), 澳大利亚 Newport Scientific 仪器公司;HWS-080 恒温恒湿箱, 上海精宏实验设备有限公司;CD1-MB 磨粉机, 特雷首邦(北京)贸易有限公司。

## 1.3 方法

1.3.1 理化性质测定 水分含量按照《食品安全国家标准 食品中水分的测定方法》(GB/T 5009.3-2016)进行测定;蛋白质含量根据《谷物和豆类氮含量测定和粗蛋白质含量计算凯氏法》(GB/T 5511-2008), 采用凯氏定氮仪进行大米蛋白质含量测定; 巯基质量分数根据 Ellman 试剂比色法<sup>[6]</sup>测定。

1.3.2 色泽的测定 使用色差仪对大米色泽进行测定。取 50 g 左右大米倒进石英皿中, 通过标准光源照射测定样品的  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$  值, 样品重复测定 3 次, 求平均值, 并根据  $\Delta E = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$  计算色差值。

1.3.3 糊化特性测定 称取 5 g 大米, 粉碎后过 40 目筛, 采用快速黏度测量仪进行测定。程序设定<sup>[7]</sup>: 选择 Standard1 程序(以水分质量分数 14% 为基准), 首先在 50 ℃ 下平衡 1 min, 再以 12 ℃/min 的速率升温至 95 ℃, 并在此温度下保持 3 min, 然后以相同速率降温至 50 ℃, 并保持 1.5 min。搅拌器的转动速率最初设定为 960 r/min, 保持 10 s 后调整转速为 160 r/min。

1.3.4 质构特性测定 参数设定<sup>[7]</sup>: 使用 P36/R 探头; 选择 TPA 模式; 测试类型: 压缩; 测试前速度: 1 mm/s, 测试速度: 0.5 mm/s, 测试后速度: 1 mm/s,

压缩比: 70%。

测试步骤: 称取 10 g 大米, 清洗干净后放置于铝盒中, 以料液比 1:3 的比例添加蒸馏水, 静置 10 min 后沸水蒸制 40 min, 然后保温 10 min, 取出铝盒冷却至室温。从中心部分随机选取 3 粒平行放置于质构仪载物台上进行测试。样品重复测定 3 次, 取其平均值。

1.3.5 蒸煮特性测定 参照王肇慈<sup>[8]</sup>大米蒸煮特性试验, 测定大米吸水率、膨胀体积及米汤 pH 值。

1.3.6 数据分析 通过 SPSS 22.0 软件进行统计学分析, 试验数据以平均值±标准差表示。采用 Duncan 多重比较法进行方差分析, 在 95% 的置信水平上报告均值之间的差异性。采用 Origin Pro 9.0 作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 理化性质变化

水分含量与大米的最终食用品质密切相关, 它不仅决定大米是否可以安全贮藏, 而且影响大米香气的保留, 同时有研究表明水分也是影响大米黄变的主要因素之一<sup>[9]</sup>。在贮藏过程中, 大米在周围环境温度及相对湿度的影响下吸附或解吸水分, 导致大米水分含量发生变化, 而这种波动可能导致大米品质下降<sup>[10]</sup>。由图 1 可知, 随着贮藏时间的延长, 大米在不同贮藏条件下水分含量皆呈不断下降的趋势, 且温度越高, 其下降趋势越明显。300 d 后, 在 15 ℃、室温和 37 ℃ 条件下贮藏的大米, 其水分含量分别下降至 12.38%, 11.44% 和 10.56%。Park 等<sup>[4]</sup>研究发现在 30 ℃ 和 40 ℃ 下贮藏 4 个月后的大米, 水分含量显著下降。An 等<sup>[11]</sup>也报道在 20 ℃ 下贮藏的大米籽粒水分含量大幅下降, 进而影响其蛋白质、脂肪和灰分含量。水分含量下降的原因可能与大米内部水分参与微生物的生长代谢有关。储藏温度越高, 微生物代谢速率越快, 水分消耗越多<sup>[11]</sup>。高温也可以增强籽粒内的酶活性和呼吸代谢速率, 受包装材料透气性的影响, 在温度梯度的作用下, 大米与外界环境的水分交换速率加快, 从而促使大米内游离水的流失速度加快。故在 37 ℃ 条件下贮藏的大米水分流失更多, 品质劣变速度更快。水分含量过低也会影响大米

的蒸煮性能,如黏度降低、口感下降等<sup>[12]</sup>。而与常温贮藏相比,15℃低温储藏下大米的呼吸作用被抑制,其水分含量只是略有下降,更好地保证了大米长期贮藏过程中的水分变化。

由图2可知,盐丰大米在15℃、室温和37℃条件下,其蛋白质含量分别下降至7.14%,7.00%和6.76%。大米中的蛋白质根据溶解程度可分为四大类:碱溶性谷蛋白、醇溶性蛋白、盐溶性球蛋白和水溶性白蛋白<sup>[13]</sup>。徐晋<sup>[14]</sup>发现大米球蛋白和醇溶蛋白含量在贮藏期间皆呈下降趋势。高温加剧了蛋白质含量的下降程度,其中球蛋白在高温条件下稳定性被破坏,溶解度下降,进而导致其含量显著下降<sup>[15]</sup>。有研究表明,与相应的新鲜大米相比,陈化大米中蛋白质质量分数减少,原因可能与陈化过程中蛋白质之间/内部通过其它反应形成基团的相互作用有关<sup>[13]</sup>。Shi等<sup>[16]</sup>评估了大米在高温高湿条件下贮藏蛋白的变化,结果表明在大米贮藏期间,蛋白质发生明显氧化,而巯基含量的减少和羰基含量的增加可以反映蛋白质的氧化程度<sup>[17]</sup>。由图3可知,盐丰大米在15℃和37℃下贮藏300d后,巯基质量分数分别下降了0.7%和1.1%,这在一定程度上解释了本研究中蛋白质含量下降的原因。在大米贮藏过程中蛋白质受到空气、温度等影响,巯基氧化成二硫键,在分子内产生二硫桥和其它交联反应,进而导致蛋白质分子质量的增加,使大米热力学特性发生改变<sup>[18]</sup>。Chrastil等<sup>[19]</sup>研究发现在大米贮藏过程中,巯基含量降低,二硫键交联增加,进而导致淀粉周围形成强网状结构,限制淀粉颗粒的膨胀,使大米更硬,黏性更低。

## 2.2 色泽变化

大米在贮藏过程中,外观变化是最直观的反映食用品质的指标。采后黄变对大米颜色、烹饪特性和食用价值有很大影响<sup>[20]</sup>,它也是导致大米价值降低的主要原因之一<sup>[21]</sup>。如图4所示,在贮藏期间, $L^*$ 值和 $a^*$ 值减小, $b^*$ 值增大。贮藏300d后,盐丰大米在15℃、室温和37℃条件下, $L^*$ 值分别下降了4.13,7.71和12.81。由此可以看出,大米在高温条件下亮度减小的最快,尤其在贮藏后期,其变暗程度愈发明显。Jungtheerapanich等<sup>[22]</sup>证明在30℃下贮藏9个月的大米白度下降,Park等<sup>[14]</sup>发

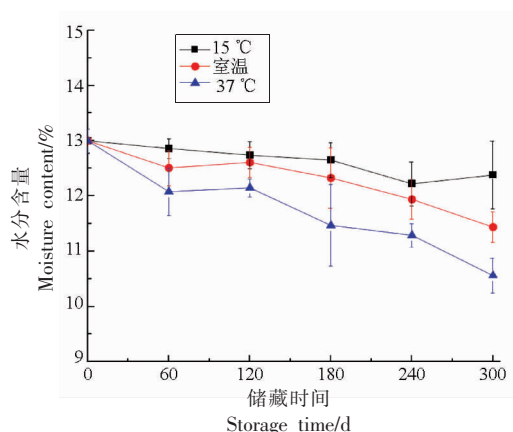


图1 大米储藏期间水分含量的变化

Fig.1 Changes in moisture content during rice storage

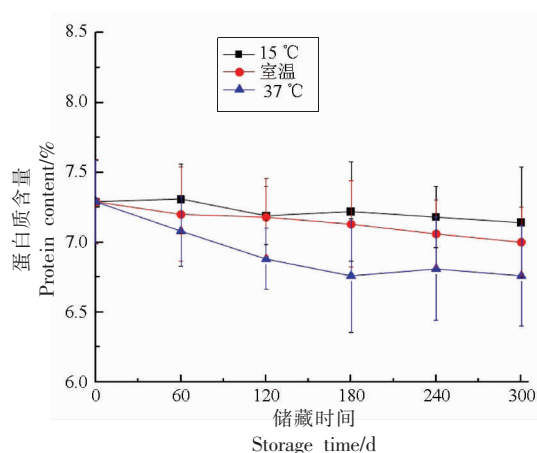


图2 大米储藏期间蛋白质含量的变化

Fig.2 Changes in protein content during rice storage

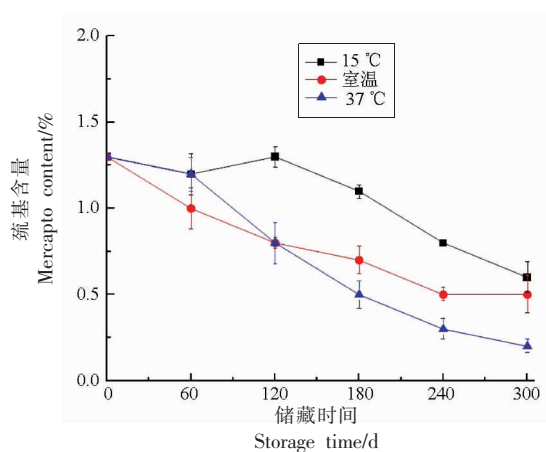


图3 大米储藏期间巯基含量的变化

Fig.3 Changes in mercapto content during rice storage

现贮藏温度越高,大米在贮藏过程中的白度越低。 $L^*$ 值下降的原因可能是大米表面霉菌的生长降低



了反射率<sup>[11]</sup>,也可能是大米颗粒结构发生变化,其表面光洁度随贮藏时间的延长而降低,从而降低了大米的亮度<sup>[23]</sup>。在 15 °C 长期储藏过程中  $a^*$  值上下波动但变化较小,表明大米在低温条件下红绿值更加稳定。而在室温和 37 °C 下整体呈下降趋势,其值分别减小了 1.3 和 2.84,说明贮藏温度越高,大米颜色绿值越大。 $b^*$  值在 15 °C、室温和 37 °C 贮藏条件下呈先升高后降低最后又升高的趋势,最终表现为  $b^*$  值的增大,于 300 d 后分别上

升了 14.35,15.29 和 18.69。与其它指标相比, $b^*$  值的变化最为明显,且低温并没有阻止大米的黄变。黄变的发生可能与呼吸代谢产生的色素积累有关<sup>[9]</sup>,也可能是由于糖苷键和肽键通过美拉德反应分解形成羰基和氨基化合物<sup>[24]</sup>。而  $b^*$  值出现短暂下降的原因可能是大米长期贮藏过程中容易受到虫害侵蚀,外皮层遭到破坏,从而使大米的胚乳部分暴露出来,导致  $b^*$  值下降。

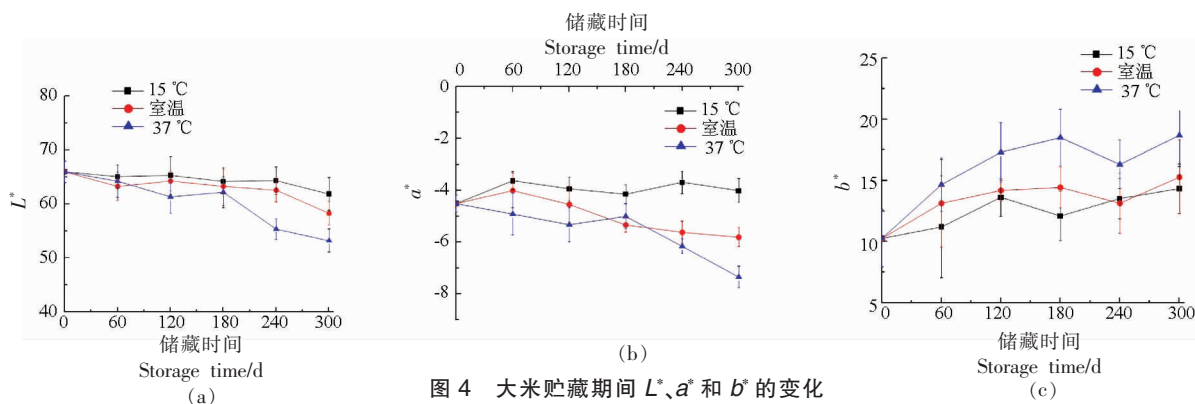


图 4 大米贮藏期间  $L^*$ 、 $a^*$  和  $b^*$  的变化

Fig.4 Changes in  $L^*$ ,  $a^*$ , and  $b^*$  during rice storage

### 2.3 糊化特性变化

大米的老化过程在收获后立即开始,其中最敏感的指标之一是糊化特性的改变。除淀粉和脂类对大米糊化特性的改变有较大影响外,有多个研究表明,大米在长期贮藏过程中蛋白质含量和巯基含量显著下降,二硫键交联增加,而蛋白质可能通过介导二硫键来影响大米 RVA 谱图<sup>[25]</sup>。一般来说,峰值黏度越大代表米饭的食味性越好<sup>[12]</sup>。由表 1 可知,盐丰大米的峰值黏度在室温和 37 °C 条件下于贮藏早期开始上升,在贮藏后期逐渐下降,分别于 120 d 和 60 d 达到最大值,而在 15 °C 低温贮藏下其峰值黏度总体呈下降趋势,说明淀粉分子溶胀和浸出程度降低。有学者指出峰值黏度的增加归因于大米中  $\alpha$ -淀粉酶活性的下降,导致大米贮藏后淀粉短链百分比增加,长链百分比减少<sup>[26]</sup>,从而使淀粉颗粒在糊化过程中膨胀程度更高。本研究结果发现在更高的贮藏温度下盐丰大米的峰值黏度最大值更大,这可能是由于大米颗粒膨胀时直链淀粉中水分的去除<sup>[27]</sup>。随着贮藏时间的延长,无论哪种条件贮藏 300 d 后,大米的峰值黏度均低于初始状态,说明大米在长期贮藏过程中在

淀粉酶的作用下淀粉链长减少。

崩解值代表淀粉颗粒膨润破裂后的胶稠化程度,是大米老化过程中最敏感的指标之一。和峰值黏度相似,盐丰大米在贮藏期间的崩解值先升高后降低,在室温和 37 °C 贮藏下分别于 120 d 和 60 d 出现最高崩解值,之后开始下降,最终表现为崩解值的降低,这与上述峰值黏度的分析结果一致。崩解值的降低表明淀粉颗粒在糊化后的破裂能力因淀粉颗粒老化而显著降低。

回生值表示淀粉溶液在冷却过程中的回生黏度,反映了大米的老化程度。由表中数据可知,盐丰大米的回生值随贮藏时间的延长总体呈上升趋势。高回生值可能是由于大米在脱支酶的作用下,淀粉颗粒浸出的直链淀粉数量增多以及糊化后淀粉残留物的影响导致米饭变硬<sup>[4]</sup>。据报道,大米在贮藏期间糊化特性的变化表现为回生值增加和崩解值减少<sup>[28]</sup>,这与本研究结果一致。在 15 °C、室温和 37 °C 贮藏过程中,盐丰大米的糊化温度逐渐上升,于 300 d 后分别提高了 2.95,7.88 和 12.2。糊化温度的升高表明淀粉颗粒溶胀受到阻碍,糊化困难,大米品质劣变。这可能是由于蛋白质分子之

表1 盐丰大米不同条件贮藏下的糊化特性

贮藏条件		Table 1 Changes of pasting properties of Yanfeng rice under different storage conditions										
贮藏时间/d	峰值黏度/cP	谷值黏度/cP	崩解值/cP	最终黏度/cP	回升值/cP	峰值时间/min	开始糊化温度/°C					
15 °C, 50%RH	0	2 887.00 ± 57.98 <sup>a</sup>	1 709.00 ± 45.25 <sup>a</sup>	1 178.00 ± 12.73 <sup>c</sup>	2 776.00 ± 59.40 <sup>b</sup>	1 067.00 ± 14.14 <sup>c</sup>	6.29 ± 0.30 <sup>a</sup>	70.70 ± 0.64 <sup>e</sup>				
	60	2 652.50 ± 6.36 <sup>c</sup>	1 370.50 ± 21.92 <sup>e</sup>	1 282.00 ± 28.28 <sup>b</sup>	2 461.50 ± 14.85 <sup>c</sup>	1 091.00 ± 36.77 <sup>c</sup>	5.96 ± 0.04 <sup>ab</sup>	70.99 ± 0.23 <sup>c</sup>				
	120	2 743.50 ± 26.16 <sup>b</sup>	1 398.50 ± 9.19 <sup>e</sup>	1 345.00 ± 16.97 <sup>a</sup>	2 344.50 ± 41.72 <sup>d</sup>	932.50 ± 13.44 <sup>d</sup>	5.87 ± 0.06 <sup>b</sup>	70.70 ± 1.16 <sup>e</sup>				
	180	2 509.50 ± 19.09 <sup>c</sup>	1 251.50 ± 7.78 <sup>d</sup>	1 258.00 ± 11.31 <sup>b</sup>	2 462.00 ± 5.66 <sup>c</sup>	1 210.50 ± 13.44 <sup>b</sup>	5.74 ± 0.03 <sup>b</sup>	72.79 ± 0.52 <sup>b</sup>				
	240	2 605.00 ± 9.90 <sup>d</sup>	1 480.00 ± 18.38 <sup>b</sup>	1 125.00 ± 8.49 <sup>d</sup>	2 732.00 ± 31.11 <sup>b</sup>	1 252.00 ± 12.73 <sup>b</sup>	5.98 ± 0.10 <sup>ab</sup>	74.91 ± 0.50 <sup>a</sup>				
	300	2 540.00 ± 16.97 <sup>de</sup>	1 529.50 ± 10.61 <sup>b</sup>	1 010.50 ± 6.36 <sup>c</sup>	2 871.50 ± 30.41 <sup>a</sup>	1 342.00 ± 19.80 <sup>a</sup>	6.27 ± 0.06 <sup>a</sup>	73.65 ± 0.32 <sup>ab</sup>				
室温	0	2 887.00 ± 57.98 <sup>b</sup>	1 709.00 ± 45.25 <sup>ab</sup>	1 178.00 ± 12.73 <sup>c</sup>	2 776.00 ± 59.40 <sup>cd</sup>	1 067.00 ± 14.14 <sup>de</sup>	6.29 ± 0.30 <sup>a</sup>	70.70 ± 0.64 <sup>e</sup>				
	60	2 854.00 ± 16.97 <sup>b</sup>	1 453.50 ± 26.16 <sup>e</sup>	1 400.50 ± 9.19 <sup>b</sup>	2 801.00 ± 7.07 <sup>c</sup>	1 347.50 ± 19.09 <sup>b</sup>	6.17 ± 0.02 <sup>ab</sup>	72.53 ± 0.28 <sup>d</sup>				
	120	3 062.00 ± 5.66 <sup>a</sup>	1 516.50 ± 13.44 <sup>d</sup>	1 545.50 ± 19.09 <sup>a</sup>	2 524.50 ± 10.61 <sup>c</sup>	1 008.00 ± 24.04 <sup>e</sup>	6.20 ± 0.02 <sup>ab</sup>	73.80 ± 0.31 <sup>d</sup>				
	180	2 609.50 ± 4.95 <sup>d</sup>	1 595.50 ± 9.19 <sup>e</sup>	1 014.00 ± 14.14 <sup>d</sup>	2 708.50 ± 19.09 <sup>b</sup>	1 113.00 ± 9.90 <sup>d</sup>	6.30 ± 0.02 <sup>a</sup>	76.68 ± 0.98 <sup>e</sup>				
	240	2 461.50 ± 6.36 <sup>e</sup>	1 658.00 ± 5.66 <sup>b</sup>	803.50 ± 12.02 <sup>e</sup>	2 929.50 ± 17.68 <sup>b</sup>	1 271.50 ± 23.33 <sup>c</sup>	5.93 ± 0.06 <sup>b</sup>	80.62 ± 0.56 <sup>a</sup>				
	300	2 738.00 ± 32.53 <sup>c</sup>	1 718.50 ± 14.85 <sup>a</sup>	1 019.50 ± 47.38 <sup>d</sup>	3 151.00 ± 33.94 <sup>a</sup>	1 432.50 ± 48.79 <sup>a</sup>	6.06 ± 0.01 <sup>ab</sup>	78.58 ± 0.47 <sup>b</sup>				
37 °C, 50%RH	0	2 887.00 ± 57.98 <sup>c</sup>	1 709.00 ± 45.25 <sup>d</sup>	1 178.00 ± 12.73 <sup>b</sup>	2 776.00 ± 59.40 <sup>d</sup>	1 067.00 ± 14.14 <sup>e</sup>	6.29 ± 0.30 <sup>a</sup>	70.70 ± 0.64 <sup>e</sup>				
	60	3 317.00 ± 9.90 <sup>a</sup>	1 871.50 ± 20.51 <sup>b</sup>	1 445.50 ± 10.61 <sup>a</sup>	2 803.00 ± 26.87 <sup>b</sup>	931.50 ± 6.36 <sup>c</sup>	6.47 ± 0.06 <sup>de</sup>	73.54 ± 0.40 <sup>d</sup>				
	120	3 143.50 ± 16.26 <sup>b</sup>	2 010.50 ± 13.44 <sup>a</sup>	1 133.00 ± 2.83 <sup>c</sup>	3 030.50 ± 23.33 <sup>b</sup>	1 020.00 ± 9.90 <sup>d</sup>	6.75 ± 0.08 <sup>cd</sup>	76.30 ± 0.17 <sup>e</sup>				
	180	2 817.00 ± 8.49 <sup>d</sup>	1 783.00 ± 9.90 <sup>e</sup>	1 034.00 ± 18.38 <sup>d</sup>	2 961.00 ± 8.49 <sup>bc</sup>	1 178.00 ± 18.38 <sup>b</sup>	6.86 ± 0.04 <sup>bc</sup>	77.26 ± 0.08 <sup>e</sup>				
	240	2 651.00 ± 8.49 <sup>e</sup>	1 743.50 ± 30.41 <sup>cd</sup>	907.50 ± 21.92 <sup>e</sup>	3 125.50 ± 6.36 <sup>c</sup>	1 382.00 ± 24.04 <sup>a</sup>	7.22 ± 0.03 <sup>a</sup>	78.71 ± 0.42 <sup>b</sup>				
	300	2 387.00 ± 15.56 <sup>f</sup>	1 518.00 ± 4.24 <sup>e</sup>	869.00 ± 11.31 <sup>f</sup>	2 934.00 ± 1.41 <sup>c</sup>	1 416.00 ± 5.66 <sup>a</sup>	7.10 ± 0.03 <sup>ab</sup>	82.90 ± 0.36 <sup>a</sup>				

注:同一列数据后的字母相同表示在  $P=0.05$  水平差异不显著,字母不同表示在  $P=0.05$  水平差异显著。

间二硫键的加强,在贮藏后期提供了一个更刚性的蛋白质基质<sup>[29]</sup>。

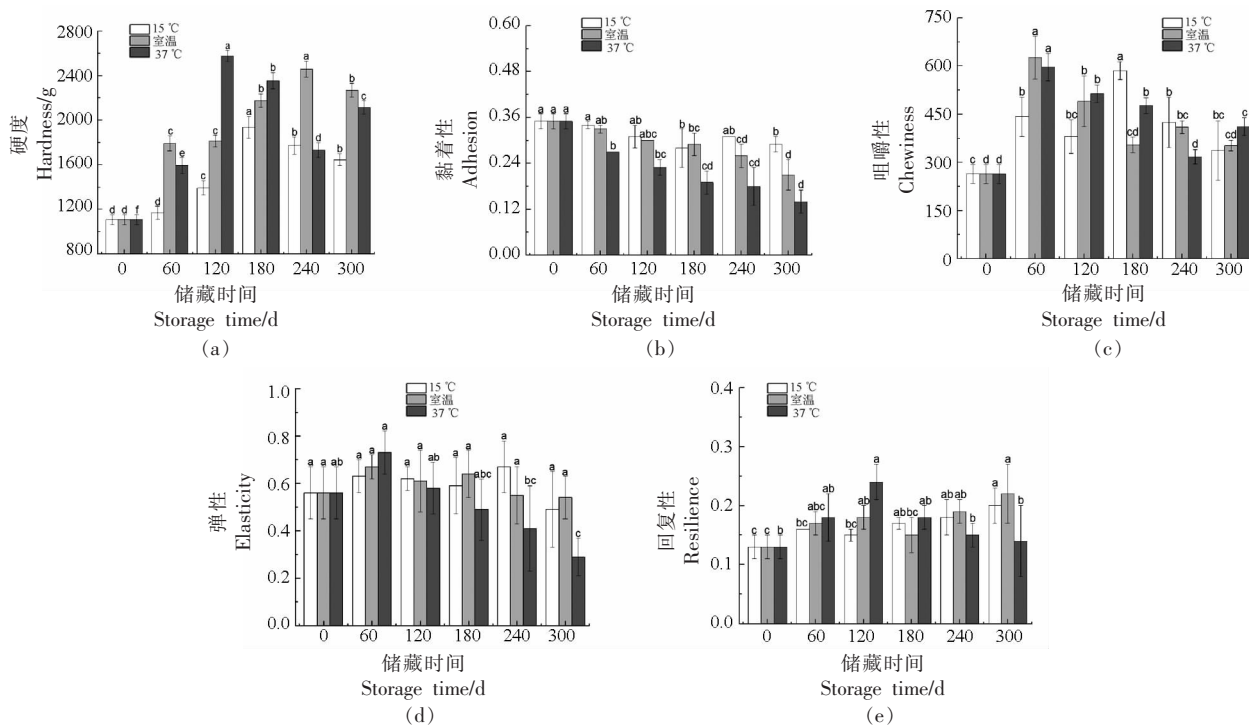
## 2.4 质构特性变化

质构特性分析可以直观反映出大米在贮藏期间食用品质的变化规律。硬度与大米的食味值呈显著负相关<sup>[30]</sup>。由图 5a 可知,在 3 种不同贮藏条件下,蒸煮后盐丰大米的硬度呈现先升高后降低的趋势,最终表现为硬度的显著增加,在 15℃、室温和 37℃ 下贮藏 300 d 后分别增加了 537.41, 1 161.05 和 1 009.52。Zhou 等<sup>[31]</sup>和 Meullenet 等<sup>[32]</sup>曾报道随着贮藏时间的延长,提高贮藏温度会增加煮熟大米的硬度<sup>[31]</sup>。熟米硬度增加的原因可能是在贮藏过程中,受氧气、温度和湿度的影响大米籽粒发生酶促和非酶促反应,细胞壁结构的稳定性遭到破坏,从而使相邻细胞内的淀粉颗粒或蛋白质网络相互连接,淀粉颗粒吸收的水分减少,肿胀更受限制,其中的淀粉聚合物发生更多的物理纠缠,从而形成硬度较大的淀粉凝胶<sup>[33]</sup>,同时蛋白质网络的持续强化增加了吸水阻力<sup>[34]</sup>。此外有研究表明大米在老化过程中,直链淀粉含量上升<sup>[14]</sup>,支链淀粉被分解,这与硬度增加直接相关<sup>[35]</sup>。另一

方面,在贮藏期间直链淀粉会和游离脂肪酸形成复合的淀粉-脂类产物,使糊化温度升高,进而导致熟米硬度增加。而在贮藏后期煮熟大米的硬度下降,原因可能是大米劣变程度加剧,难以保持籽粒的完整性,由此蒸煮后形成的米饭松散,硬度降低<sup>[36]</sup>。

黏着性反映了米饭颗粒对口腔内各个接触面黏着的性质。虽然不同的研究团队在定义和烹饪方式上存在差异,但普遍认为随着储藏时间的延长,大米黏着性显著下降。由图 5b 可知,在 15℃、室温和 37℃ 条件下贮藏的大米黏着性均显著下降,300 d 后分别减少了 0.06, 0.14 和 0.21,且随着温度的升高,黏度下降越明显。Meullenet 等<sup>[32]</sup>报告称,提高贮藏温度会降低大米的黏着性。随着贮藏时间的延长,蛋白与直链淀粉和/或支链淀粉的结合减少,造成熟米黏性下降<sup>[37]</sup>。此外,大米黏着性下降可能是由于淀粉酶活力下降促使淀粉溶胶转化为凝胶,淀粉细胞壁变得坚固,蒸煮时不易破裂<sup>[38]</sup>,也可能是由于大米淀粉颗粒被游离脂肪酸包裹,使淀粉难以膨化<sup>[39]</sup>。

咀嚼度是表示大米食味性如何的标志之一,



注:不同小写字母表示各组之间存在显著性差异( $P<0.05$ )。

图 5 大米贮藏期间质构特性的变化

Fig.5 Changes in texture properties during rice storage

咀嚼性增大代表大米食味性增加<sup>[12]</sup>。由图 5c 可知, 盐丰大米在 3 种不同贮藏条件下咀嚼性呈先增加后降低的趋势, 并且其咀嚼性最高点出现在不同时间段。在室温和 37 °C 下贮藏的大米于 60 d 左右首先达到峰值, 而在 15 °C 下贮藏的大米于 180 d 左右达到峰值。这和大多数消费者的习惯一致, 即新鲜大米收获后一般将其贮藏 2~6 个月则口感更佳。

弹性表示熟米颗粒在压力作用下恢复原来形态的程度, 能够反映米饭的口感, 弹性越大, 大米嚼劲越大。由图 5d 可知, 盐丰大米在 15 °C 和室温贮藏下弹性略有波动, 但始终无显著差异, 而在 37 °C 贮藏下弹性总体呈下降趋势, 300 d 后下降了 27%。弹性下降的原因可能是在高温条件下大米水分流失较多, 导致大米内部的淀粉颗粒在蒸煮过程中从龟裂的裂缝中流出, 进而降低了大米的弹性<sup>[30]</sup>。回复性表示米饭受挤压后快速恢复形变的能力。从图 5e 可以看出, 盐丰大米的回复性在高温状态下先升高后降低, 而在两种较低温状态下总体呈上升趋势。

## 2.5 蒸煮特性变化

大米的蒸煮性能受理化性质变化的影响, 包括细胞壁和蛋白质的变化、蛋白质之间的相互作用、脂质氧化分解产物和淀粉-蛋白质的相互作用<sup>[40]</sup>。根据大米的吸水率可以预测其最佳蒸煮条件, 对研究米饭的适口性具有重要意义, 大米吸水率增加, 米饭的适口性变差<sup>[41]</sup>。由图 6a 可知, 在 15 °C、室温和 37 °C 条件下, 随着储藏时间的延长, 盐丰大米的吸水率不断增大, 且温度越高, 上升趋势越明显, 贮藏 300 d 后吸水率分别上升了 41%、56% 和 152%。吸水率升高的原因可能是大米在老化过程中, 由于细胞壁的硬化导致淀粉在糊化过程中需要更多的水分来维持多角形晶体的形状<sup>[42]</sup>, 也有可能是大米细胞壁在贮藏过程中脱水从而导致大米吸水能力的提高<sup>[11]</sup>。而相比其它两种条件, 37 °C 高温贮藏下的盐丰大米吸水率显著增大, 这可能是由于高温促使淀粉的微晶束结构增强, 糊化困难, 进而导致大米蒸煮过程中吸水率上升。

在长期贮藏过程中, 大米中的微生物或脂肪酶分解脂肪产生大量游离脂肪酸, 蒸煮时这些积累的游离脂肪酸溶于水, 从而使蒸煮剩余水的

酸度增加, 米汤 pH 值降低<sup>[43]</sup>。大米在不同温度下贮藏过程中的米汤 pH 值如图 6b 所示, 盐丰大米初始 pH 值为 6.9, 在 15 °C 和室温下贮藏 300 d 蒸煮后分别下降至 6.5 和 6.3, 变化幅度较小, 而在 37 °C 高温贮藏下的大米 pH 值降低至 5.7, 下降幅

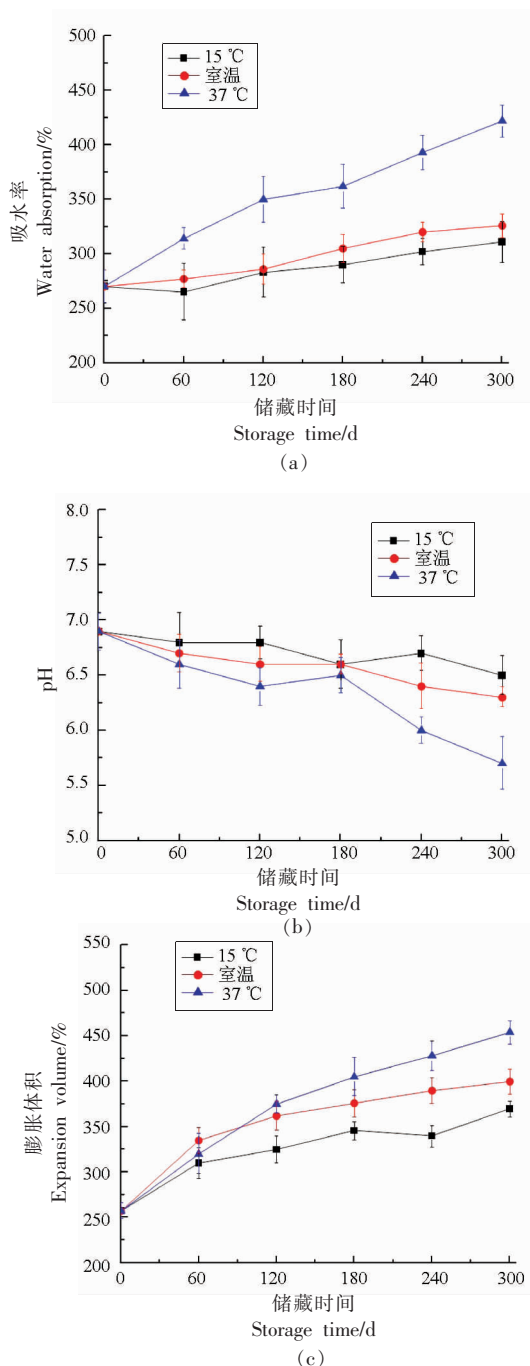


图 6 大米贮藏期间吸水率、米汤 pH 值和膨胀体积的变化

Fig.6 Changes in water absorption, pH of rice soup, expansion volume during rice storage



度较大。低温可以抑制大米中微生物的生长和酶的活性,从而阻碍酸的生成,但在贮藏后期微生物仍能代谢并产酸。高温为微生物生长代谢提供了良好的条件,因此在 37 °C 贮藏过程中,“盐丰大米”的内部腐坏速度最快,pH 值迅速下降。

膨胀体积代表米饭在蒸煮过程中的涨性。由图 6c 可知,盐丰大米的膨胀体积变化趋势和吸水率较为类似,贮藏前 3 个月室温条件下的大米膨胀体积较大,贮藏后期膨胀体积变化程度和温度呈正相关,即温度越高,膨胀体积越大。淀粉颗粒的体积增加可能是由于贮藏过程中淀粉间的连接作用和蛋白质中的网络加强<sup>[34]</sup>,体积膨胀增大,米饭蓬松发软,适口性变差。

### 3 结论

大米在贮藏过程中发生的老化是不可避免的,它对大米的外观、理化指标、糊化特性、质构特性和蒸煮特性都有很大影响。通过“盐丰大米”在不同温度条件下的贮藏试验,探索不同贮藏条件下的大米品质变化情况,结果表明:随着贮藏时间的延长,受淀粉、蛋白质和脂类等变化的影响,大米水分含量、蛋白质含量、硫基含量、 $L^*$  值、 $a^*$  值、米汤 pH 值、黏着性不断下降, $b^*$  值、回生值、糊化温度、吸水率、膨胀体积不断上升,且贮藏温度越高,大米指标变化趋势越明显。此外,一些指标在不同温度下的变化趋势有所差异。综合咀嚼性、峰值黏度、崩解值与食味值的相关性,“盐丰大米”在 37 °C 贮藏 60 d 后食味性达到最佳,此后其品质迅速劣变,贮藏 300 d 时已达到劣质大米水平。综上所述,“盐丰大米”在 15 °C 低温条件下更适合长期贮藏,且该结果为其它大米的合理贮藏提供理论依据。未来仍需对大米的老化机理重点分析,以开发稳定淀粉、蛋白质和脂类的技术,保证大米在贮藏过程中的品质稳定。

### 参 考 文 献

- [1] 张群. 稻米营养制品加工关键技术[J]. 食品与生物技术学报, 2015, 34(3): 336.  
ZHANG Q. Key technologies for rice nutrient product processing[J]. Journal of Food and Biotechnology, 2015, 34(3): 336.
- [2] ZHOU Z, ROBARDS K, HELLIWELL S, et al. Ageing of stored rice: Changes in chemical and physical attributes [J]. Journal of Cereal Science, 2002, 35(1): 65-78.
- [3] 陆益钡, 樊炯, 马莉娜, 等. 不同包装方式对大米品质特性的影响[J]. 农产品加工 (上半月), 2022 (11): 21-25.  
LU Y B, FAN J, MA L N, et al. Effect of different packaging methods on quality characteristics of rice[J]. Agricultural Products Processing (First Half of Month), 2022(11): 21-25.
- [4] PARK C, KIM Y, PARK K, et al. Changes in physicochemical characteristics of rice during storage at different temperatures[J]. Journal of Stored Products Research, 2012, 48: 25-29.
- [5] 赵卿宇, 郭辉, 沈群. 粳米品质特性及与感官质量关系研究[J]. 中国粮油学报, 2020, 35(8): 1-7.  
ZHAO Q Y, GUO H, SHEN Q. Study on quality characteristics of Japonica rice and its relationship with sensory quality[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2020, 35(8): 1-7.
- [6] WU W, HOU L, ZHANG C M, et al. Structural modification of soy protein by 13-hydroperoxyoctadecadienoic acid[J]. European Food Research and Technology, 2009, 229(5): 771-778.
- [7] 赵卿宇, 郭辉, 陈博睿, 等. 大米储藏过程品质变化及其动力学[J]. 食品科学, 2020, 41(21): 204-212.  
ZHAO Q Y, GUO H, CHEN B R, et al. Kinetics of quality change of rice during storage [J]. Food Science, 2020, 41(21): 204-212.
- [8] 王肇慈. 粮油食品品质分析[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2000: 326-327.  
WANG Z C. Quality analysis of grain and oil food [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2000: 326-327.
- [9] LIU J G, LIU M, LIU Y Q, et al. Moisture content is a key factor responsible for inducing rice yellowing[J]. Journal of Cereal Science, 2020, 94: 102988.
- [10] NOVOA-MUÑOZ F. Simulation of the temperature of barley during its storage in cylindrical silos [J]. Mathematics and Computers in Simulation, 2019, 157: 1-14.



- [11] AN Y X, ZHOU X Q, ZHANG Y R. Changes in physicochemical, cooking and sensory characteristics of rice shifted from low-temperature storage[J]. *Grain & Oil Science and Technology*, 2019, 1(1): 8-14.
- [12] 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 Q Y, GUO H, SHEN Q. 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.
- [13] ZHOU Z, ROBARDS K, HELLIWELL S, et al. Rice ageing. I. effect of changes in protein on starch behaviour[J]. *Die Stärke*, 2003, 55(3/4): 162-169.
- [14] 徐晋. 五常大米储藏期间品质变化研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2016: 1-2.
- XU J. Study on quality change of Wuchang rice during storage[D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2016: 1-2.
- [15] SANCHEZDELANGEL S. Study of denaturation of corn proteins during storage using differential scanning calorimetry[J]. *Food Chemistry*, 2003, 83(4): 531-540.
- [16] SHI J Y, WU M D, QUAN M M. Effects of protein oxidation on gelatinization characteristics during rice storage[J]. *Journal of Cereal Science*, 2017, 75: 228-233.
- [17] HUANG Y R, HUA Y F, QIU A Y. Soybean protein aggregation induced by lipoxygenase catalyzed linoleic acid oxidation[J]. *Food Research International*, 2006, 39(2): 240-249.
- [18] 谢宏, 李新华, 王帅. 不同气体条件对糙米储藏效果影响的研究[J]. *粮油加工*, 2007(4): 61-63.
- XIE H, LI X H, WANG S. Study on the influence of different gas conditions on the storage effect of brown rice[J]. *Cereals and Oils Processing*, 2007(4): 61-63.
- [19] CHRASTIL J. Chemical and physicochemical changes of rice during storage at different temperatures[J]. *Journal of Cereal Science*, 1990, 11(1): 71-85.
- [20] 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.
- [21] AMBARDEKAR A A, SIEBENMORGEN T J. Effects of postharvest elevated - temperature exposure on rice quality and functionality[J]. *Cereal Chemistry*, 2012, 89(2): 109-116.
- [22] JUNGTHEERAPANICH S, TANANUWONG K, ANUNTAGOOL J. Aging kinetics of low amylose rice during storage at ambient and chilled temperatures[J]. *International Journal of Food Properties*, 2017, 20(8): 1904-1912.
- [23] 程启芬. 温度、露置时间及水分含量对大米色泽和黏度的影响[J]. *粮食与食品工业*, 2006(3): 20-23.
- CHENG Q F. Effects of temperature, exposure time and moisture content on color and viscosity of rice[J]. *Grain and Food Industry*, 2006(3): 20-23.
- [24] SIRISOONTARALAK P, NOOMHORM A. Changes in physicochemical and sensory-properties of irradiated rice during storage[J]. *Journal of Stored Products Research*, 2007, 43(3): 282-289.
- [25] 谢新华, 李晓方, 肖昕. 蛋白质中二硫键对稻米淀粉黏滞性的影响[J]. *核农学报*, 2009, 23(1): 114-117.
- XIE X H, LI X F, XIAO X. Effect of disulfide bonds in protein on starch viscosity of rice[J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2009, 23(1): 114-117.
- [26] HUANG Y C, LAI H M. Characteristics of the starch fine structure and pasting properties of waxy rice during storage[J]. *Food Chemistry*, 2014, 152: 432-439.
- [27] GHIASI K, VARRIANO-MARSTON K, HOSENEY R C. Gelatinization of wheat starch. II. Starch-surfactant interaction[J]. *Cereal Chemistry*, 1982, 59(2): 86-88.
- [28] SOWBHAGYA C M, BHATTACHARYA K R. Changes in pasting behaviour of rice during ageing[J]. *Journal of Cereal Science*, 2001, 34(2): 115-124.
- [29] ZIEGLER V, FERREIRA C D, TONIETO L, et al. Efeitos da temperatura de armazenamento de grãos de arroz integral de pericarpo pardo, preto e vermelho sobre as propriedades físico-químicas e de pasta[J]. *Brazilian Journal of Food Technology*, 2017, 20: e2016051.
- [30] 宋婷. 大米贮藏过程中不同碾磨程度对大米品质影响的规律分析[D]. 大庆: 黑龙江八一农垦大学, 2016.

- SONG T. Law analysis of the influence of different milling degrees on rice quality during rice storage [D]. Daqing: Heilongjiang Bayi Agricultural Reclamation University, 2016.
- [31] 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.
- [32] MEULLENET J F, MARKS B P, HANKINS J A, et al. Sensory quality of cooked long - grain rice as affected by rough rice moisture content, storage temperature, and storage duration[J]. Cereal Chemistry, 2000, 77(2): 259–263.
- [33] TANANUWONG K, MALILA Y. Changes in physicochemical properties of organic hulled rice during storage under different conditions[J]. Food Chemistry, 2011, 125(1): 179–185.
- [34] DING C, KHIR R, PAN Z, et al. Influence of infrared drying on storage characteristics of brown rice [J]. Food Chemistry, 2018, 264: 149–156.
- [35] SITAKALIN C, MEULLENET J F C. Prediction of cooked rice texture using an extrusion test in combination with partial least squares regression and artificial neural networks[J]. Cereal Chemistry, 2001, 78(4): 391–394.
- [36] 黄亚伟, 徐晋, 王若兰. 不同品种五常大米储藏期间蒸煮品质与质构变化规律及相关性研究[J]. 粮食与油脂, 2016, 29(8): 33–38.
- HUANG Y W, XU J, WANG R L. Study on the variation of cooking quality and texture of different varieties of Wuchang rice during storage and its correlation[J]. Grains and Oils, 2016, 29(8): 33–38.
- [37] CHRASTIL J. Protein–starch interactions in rice grains. Influence of storage on oryzenin and starch [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1990, 38(9): 1804–1809.
- [38] 吕庆云, 孙丽娟, 李再贵. 大米食味与理化性质的关系[J]. 粮食与食品工业, 2003(4): 15–17, 35.
- LŪ Q Y, SUN L J, LI Z G. Relationship between rice taste and physicochemical properties [J]. Grain and Food Industry, 2003(4): 15–17, 35.
- [39] YADAV B K, JINDAL V K. Dimensional changes in milled rice (*Oryza sativa* L.) kernel during cooking in relation to its physicochemical properties by image analysis [J]. Journal of Food Engineering, 2007, 81(4): 710–720.
- [40] SODHI N S, SINGH N, ARORA M, et al. Changes in physico–chemical, thermal, cooking and textural properties of rice during aging[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2003, 27(5): 387–400.
- [41] KASAI M, LEWIS A, MARICA F, et al. NMR imaging investigation of rice cooking[J]. Food Research International, 2005, 38(4): 403–410.
- [42] SOPONRONNARIT S, CHIAWWET M, PRACHAY-AWARAKORN S, et al. Comparative study of physicochemical properties of accelerated and naturally aged rice [J]. Journal of Food Engineering, 2008, 85(2): 268–276.
- [43] WANG T, SHE N N, WANG M N, et al. Changes in physicochemical properties and qualities of red brown rice at different storage temperatures [J]. Foods, 2021, 10(11): 2658.

### The Quality Changes of Rice at Different Storage Conditions

Xi Mengyao<sup>1</sup>, Zhao Qingyu<sup>1,3</sup>, Li Lina<sup>2</sup>, Wang Hong<sup>2</sup>, Wang Chao<sup>1</sup>, Hao Zhihui<sup>3</sup>, Shen Qun<sup>1\*</sup>

(<sup>1</sup>College of Food Science and Nutritional Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083

<sup>2</sup>Jinmailang Food Co., Ltd., Xingtai 054001, Hebei

<sup>3</sup>National Center of Technology Innovation for Medicinal Function of Food, National Food and Strategic Reserves Administration, Beijing 100193)

**Abstract** ‘Yanfeng rice’ was stored at different temperatures (15 °C, room temperature, 20–25 °C and 37 °C) for 300 d, and its physical and chemical indexes, color difference, gelatinization characteristics, texture characteristics and cooking characteristics were evaluated regularly in order to provide reference for predicting the quality change of rice during storage. The results showed that the quality characteristics of ‘Yanfeng Rice’ changed significantly during storage at different

temperatures, and the higher the temperature, the more obvious the change trend was. Among them, rice moisture content, protein content, sulfhydryl content,  $L^*$ ,  $a^*$ , adhesion value, pH of rice soup decreased with the extension of storage time, at 37 °C, the indicators decreased by 2.44%, 0.49%, 1.1%, 12.81, 2.84, 0.21 and 1.2, respectively;  $b^*$ , setback value, gelatinization temperature, water absorption rate, and expansion volume increased, at 37 °C, the indicators increased by 18.69, 349cP, 12.2 °C, 152%, and 197%, respectively. In addition, the change trend of other indexes at different temperatures is different. Under the condition of low temperature storage at 15 °C, the chewiness of 'Yanfeng Rice' increased at first, and then the elasticity did not change significantly, and the peak viscosity decreased and the recovery increased. However, the peak viscosity and disintegration value of masticatory resilience increased at first and then decreased at 37 °C, and the elasticity showed a downward trend as a whole combined with the correlation between peak viscosity disintegration value of chewiness and taste value, the taste of 'Yanfeng Rice' reached after being stored at 37 °C for 60 d.

**Keywords** rice; storage; physicochemical; eating quality