

糙米储藏中品质特性变化及调控研究进展

姚亚静, 芦熹坤*, 李建颖, 关文强, 刘建福, 刘斌

(天津商业大学 生物技术与食品科学学院, 天津 300000)

摘要:糙米为稻谷脱去稻壳后产生的颖果, 含有谷维素、谷胱甘肽、 γ -氨基丁酸、米糠多糖等多种功能性成分, 营养价值高。与稻谷储藏相比, 糙米储藏具有提高仓容利用率、减小运输压力、改善仓储条件等优势。但由于糙米没有外层稻壳的保护, 在储藏过程中品质更容易发生劣变。该文综述糙米在储藏过程中色泽、质构特性、发芽率、生活力、水分含量、电导率、脂肪酸值、丙二醛含量、酶类、热特性、糊化特性等的变化趋势, 分析糙米品质劣变机理, 为糙米的储藏提供参考。

关键词:糙米; 储藏; 物理特性; 生理特性; 生化特性

Changes in Quality and Physicochemical Characteristics of Brown Rice during Storage

YAO Ya-jing, LU Xi-kun*, LI Jian-ying, GUAN Wen-qiang, LIU Jian-fu, LIU Bin

(School of Biotechnology and Food Science, Tianjin University of Commerce, Tianjin 300000, China)

Abstract: Brown rice is the caryopsis obtained by removing the husk of rice grains. It has high nutritional value and contains several functionally active components, such as oryzanol, glutathione, γ -aminobutyric acid and rice bran polysaccharide. Brown rice is well-suited to storage, with advantages including improved utilization rate of warehouse capacity and reduced transportation pressure. However, brown rice is more susceptible to deterioration during storage compared to unhusked rice, due to the lack of the protective outer glume. The present work explored storage-induced changes in color, texture, germination rate, viability, water content, electrical conductivity, fatty acid, malonaldehyde, enzymes, thermal characteristics and gelatinization properties of brown rice. Based on these observations, the mechanism of quality deterioration in brown rice was studied, and a theoretical basis was provided for optimal storage and preservation of brown rice.

Key words: brown rice; storage and preservation; physical property; physiological property; biochemical characteristics

引文格式:

姚亚静, 芦熹坤, 李建颖, 等. 糙米储藏中品质特性变化及调控研究进展[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(15): 204-209.

YAO Yajing, LU Xikun, LI Jianying, et al. Changes in Quality and Physicochemical Characteristics of Brown Rice during Storage[J]. Food Research and Development, 2021, 42(15): 204-209.

水稻是中国主要粮食作物之一, 从国家统计局数据来看, 我国 2015 年~2019 年间稻谷平均年产量为 20 909.58 万吨, 约占粮食总产量的 1/3, 在粮食生产和消费中占主导地位^[1-2]。糙米是稻谷脱去外保护皮层稻壳后的颖果, 包含米糠、胚和胚乳 3 个部分。与精

白米相比, 糙米的营养价值更高, 含有更多的蛋白质、维生素、矿物质、粗纤维、不饱和脂肪酸等营养成分。另外, 糙米还含有多种生物活性物质, 具有提升人体免疫力、抗氧化、预防疾病等功效^[3-5]。糙米中含有的多酚具有抑制血小板凝聚、降低心脑血管等慢性疾病发病率等功能^[6], 米糠多糖具有降血脂、抗肿瘤、抗辐射和降血糖、提高免疫力等生理功效^[7]。

由于稻谷生产具有季节性, 为了保持大米的稳定供给, 需要对其进行储藏。但是由于稻壳占稻谷籽粒质量 18%~20%, 并且稻谷表面粗糙, 储存 1 m³ 容积的

基金项目: 天津市农业科技成果转化与推广项目(201901290)

作者简介: 姚亚静(1995—), 女(汉), 硕士研究生, 研究方向: 食品加工及贮藏。

* 通信作者: 芦熹坤(1990—), 女(汉), 讲师, 博士研究生, 研究方向: 功能性谷物食品, 植物活性成分开发利用。

糙米实际上相当于储存 1.60 m³ 容积的稻谷。糙米储藏可以提高仓容利用率、减小运输压力、改善仓储条件。随着人们健康意识的提高,糙米逐渐被人们所接受^[8]。例如在日本,主要是以糙米形式进行储藏。但是糙米由于没有外层颖壳保护,同时具有完整胚,呼吸强度较大,所以更容易在储藏过程中发生陈化现象,导致品质的劣变^[9]。本文主要对糙米在不同储藏环境和技术条件下各品质指标的变化趋势进行分析,探讨糙米储藏过程中品质劣变和调控机理,为糙米储藏过程中的品质评价、劣变控制及其储藏保鲜技术开发应用提供参考。

1 物理特性

1.1 色泽

在储藏过程中,糙米中色素物质、脂肪酸值等的变化导致颜色发生变化,是糙米品质变化最直观的外观表征之一^[10]。糙米颜色的变化与储藏时间、温度、气体环境以及自身含水量有很大的关系。随着储藏时间的延长,糙米的含水量增加,颜色变暗趋势明显^[11]。通过控制糙米水分含量,以及在低温的环境下储藏,可以使糙米颜色变化减缓。顾佳缘等^[12]研究发现,在储藏过程中糙米的叶黄素含量与 L* 值呈极显著正相关,与 a* 值、b* 值呈极显著负相关;且在储藏过程中, L* 值呈下降趋势, a* 和 b* 值则随储藏时间的延长而增加。叶黄素含量在储藏过程中呈下降趋势,且温度越高、含水量越高,下降越明显。Park 等^[13]研究了糙米在不同温度(4、20、30、40 ℃)条件下储藏 4 个月后颜色的变化,发现颜色从乳白色变成黄色;储藏一个月后, 4 ℃条件下 b* 值变化很小(从 10.5 到 10.86),高于 20 ℃条件下 b* 值增加迅速,之后保持相对恒定。b* 值下降可能与脂质氧化有关。也有研究表明 10% O₂+90% N₂ 包装与 100% N₂、真空包装相比颜色变化速率较慢,可以延缓糙米陈化^[14]。

1.2 质构特性

糙米蒸煮后的质构特性可以直观地反映糙米劣变程度。糙米在蒸煮时,蛋白质通过与水结合增加分散质和黏滞质的聚集或通过二硫键网络结构的增加而影响其质构变化,其中影响较大的是黏度和硬度^[15]。糙米在储藏初期,米粒结构紧密,淀粉颗粒之间间隙小,吸水速率慢,水分很难进入,使得淀粉糊化困难,米饭硬度高。而随着储藏时间的延长,糙米淀粉老化越来越严重,不能再保持籽粒的完整性,蒸煮后米饭变得松散,硬度随之降低。因此,随着储藏时间的延长,蒸煮后米粒的硬度呈现先上升后下降的趋势^[16-17]。李

岩等^[18]研究常规和气调(充氮 98%以上)储藏条件下糙米质构特性的变化,发现米饭的硬度和黏度随着糙米储藏时间的延长而增大,且糙米储藏温度越高,蒸煮后米饭的硬度和黏度增大越明显。同时,相比常规储藏,气调储藏有效延缓了米饭硬度和黏度等的品质劣变。

2 生理特性

2.1 发芽

发芽率是评定种子生命力和新陈度的重要指标之一,可以衡量糙米储藏品质的优劣,不同储藏条件会影响糙米的发芽。储藏温度、储藏时间、气体环境及水分含量是影响糙米发芽率的主要因素。张玉荣等^[19]将糙米置于 15、25、35 ℃条件下储藏 210 d,发现糙米发芽率随着储藏的进行而呈现下降趋势,温度越高下降越快,35 ℃条件下糙米的发芽率在 120 d 后已经趋近于 0。而 15 ℃和 25 ℃条件下储藏的糙米,在储藏结束后仍有 50%以上的发芽率。过高温度储藏降低糙米发芽率的主要原因是糙米的胚部长时间受到高温作用后导致籽粒发芽率降低。而在低温环境下,这种影响力则比较微弱。王若兰等^[20]研究发现 98% N₂ 和 40% CO₂ 气调储藏与常规储藏相比可以更好地保持发芽率,且 98% N₂ 储藏的效果更好。另外,随着糙米的含水量从 13.5%增加到 17.0%,发芽率降低更快,水分含量为 17.0%的糙米在储藏 4 个月时,对照组和 CO₂ 组发芽率已经降为 0。

2.2 生活力

生活力是指粮食或种子能否发芽、长成植株的一种潜在的能力^[19]。采用 2,3,5-氯化三苯基四唑染色法测定,根据糙米胚部染色的范围来确定糙米是否具有生活力^[19,21]。张玉荣等^[22]研究认为低温时糙米呼吸活动较弱,代谢产生有毒物质的速率较慢,可长时间维持高生活力,高温时代谢较快,生活力降低较快。糙米在低温(15、20 ℃)条件下生活力降低比较慢,储藏 300 d 后生活力从 76%降到(53±4.2)%、(61±1.4)%;而在高温(35 ℃)条件下储藏 180 d 后生活力从 76%降到(6±1.4)%,趋近于 0。

3 生化特性

3.1 水分含量

在储藏过程中,糙米水分含量对品质的劣变、微生物的生长和繁殖、谷粒物理性质改变有非常重要的作用^[23]。随着储藏时间的延长,糙米水分含量逐渐降低。在储藏过程中,水分含量主要受环境中的水分、温度的影响,尤其是温度对它的影响更大。有文献^[13,24]表

明,在储藏温度低于20℃时,糙米水分含量降低较为缓慢,可以更好地保持糙米的水分。

3.2 电导率

细胞膜在细胞代谢活动中非常重要,起到隔离细胞与外界环境的作用。它不仅对参与细胞代谢活动的酶活性有影响,而且可以调节细胞间的物质交流和运输^[25]。细胞电解质渗漏的主要原因是膜脂过氧化导致的膜功能变化,而电解质渗漏导致电导率显著增加,膜透性增强^[26]。随着储藏时间的延长,稻谷细胞膜通透性逐渐增强,电导率逐渐增大^[27]。此外,温度也是影响电导率变化的主要因素。高树成等^[28]通过对不同品种的糙米在储藏过程中电导率变化研究,发现在准低温(20℃)和农户储藏条件下,糙米的电导率均随着储藏时间的延长而呈现上升趋势,但准低温条件下变化趋势较小。

3.3 脂肪酸值

糙米在储藏期间,脂肪的变化也是影响糙米品质的重要因素。在光、热、酶等因素作用下,脂肪会水解为游离脂肪酸,随着储藏时间的延长,游离脂肪酸逐渐增多,最终引发糙米的酸败。此外糙米中脂肪酸值越高,糙米的气味和感官品质越差,因此经常用脂肪酸值来反映糙米的劣变程度^[29]。脂肪酸值的变化程度受糙米水分、温度、环境中气体成分影响较大。孙辉等^[30]通过研究不同水分含量(13%、14%、15%、16%、17.5%、18.5%)的糙米在15、20、30℃条件下储藏6个月脂肪酸值的变化,发现水分含量为18.5%的脂肪酸值明显高于其它水分含量;温度低于20℃时不同水分含量的糙米脂肪酸值差异不大,且明显低于30℃的脂肪酸值。詹启明等^[31]发现气调储藏(98%以上氮气)下糙米脂肪酸值的上升趋势明显低于常规储藏,表明气调储藏可以有效延缓脂肪酸值的增加。

3.4 丙二醛含量

在储藏过程中,糙米中的脂类会水解产生游离脂肪酸,并在脂肪氧化酶的作用下产生氢过氧化物,然后进一步分解产生醛、酮类等小分子产物,其中主要产物为丙二醛。丙二醛是引起大米蒸煮后出现“陈米臭”现象的主要成分之一^[32]。丙二醛含量随储藏时间的延长呈现先上升后下降的趋势。温度、气体环境都对其有显著性影响。柴芃宇等^[33]通过研究15、25、35℃条件下不同气调储藏(CO₂、N₂、真空)以及常规储藏方式条件下糯性糙米丙二醛含量的变化,发现15℃下丙二醛含量变化比较小,而25℃和35℃下变化较为明显,尤其是35℃。另外气调储藏可以抑制脂质氧化反应,丙二醛含量变化较小,其中真空储藏的效果最好。周

绪霞等^[34]研究也表明了低温可以抑制脂质氧化反应,且4℃和16℃储藏条件下产生的丙二醛含量无显著性差异。

3.5 酶类变化

糙米中含有多种酶,包括过氧化物酶、脂肪氧化酶等^[10]。在储藏过程中,糙米籽粒进行呼吸作用会产生有害物质过氧化氢,过氧化氢的氧化作用会使糙米品质发生不好的变化。而过氧化氢酶可以分解过氧化氢,对糙米籽粒起到保护作用。因此过氧化氢酶活力可以作为评价糙米新鲜程度的重要指标之一。随着储藏时间的延长,过氧化氢酶活力会不断减弱。并且温度越高,过氧化氢酶活力越低^[35]。童茂彬等^[36]对不同温度(20、25、30、35℃)条件下常规储藏和充氮(98%)储藏糙米过氧化氢酶活力进行研究,发现气调储藏可减缓过氧化氢酶活力的下降,有利于糙米的储藏。

4 热特性和糊化特性

4.1 热特性

淀粉糊化是指淀粉颗粒在水中受热后吸水膨胀,分子间和分子内氢键发生断裂,淀粉分子扩散的过程。应用差示扫描量热仪对5种稻米陈化前后的热力学特性进行探讨,4、38℃储藏9个月后,可以发现4℃储藏前后稻谷的糊化温度基本不变,而38℃储藏后稻米的糊化温度明显升高^[37]。糊化温度升高说明糊化所需的能量越多,越难糊化^[38]。Ding等^[39]研究发现,随着储藏的进行糊化焓变增加,在7个月后略微降低。研究发现直链淀粉、蛋白质、脂类对米粉糊化温度、焓变有重要影响。直链淀粉和蛋白质含量高的米粉,糊化温度高。脂类可以降低糊化焓变及温度,使糊化更容易进行^[40]。

4.2 糊化特性

糊化特性是反映淀粉品质的一项重要指标,快速粘度仪法是测量淀粉糊化特性最常用的一种方法,糊化特征值与糙米食味之间具有显著相关性。影响糙米糊化特性的最主要因素是糙米直链淀粉的含量,直链淀粉含量越大,糙米的口感就越差,因此淀粉的组分不一样使得糙米的糊化性质会有所不同。刘欣等^[41]将不同水分含量的糙米在不同温湿度动态条件下储藏240 d,发现随着储藏时间的延长,糙米的峰值黏度、热浆黏度和最终黏度均呈现上升趋势,回生值先增加后下降。水分含量相同的条件下,温度越高,上升的趋势越快。同一温度下的不同水分含量的糙米,其初始水分含量越高,黏度值越大,且随着时间的延长有显著地增加。宋伟等^[42]研究结论与上述研究结果一致。

5 展望

糙米因其营养价值高,逐步进入大众的视野。但是在储藏过程中糙米的品质会发生一系列劣变。为了延缓糙米品质劣变,目前较为有效的方法是低温贮藏,但是低温成本高耗能大。有学者发现,气调储藏也可以减缓糙米品质劣变。但是因其技术含量高、费用高等条件,限制了气调储藏方法的推广。除此之外,也有学者研究了红外辐照对糙米贮藏稳定性的影响。因此可以将低温、气调与辐照处理、保鲜材料结合起来,以提高糙米质量,延缓劣变,也为糙米储藏保鲜提供了新思路。

参考文献:

- [1] 周显青, 张玉荣, 褚洪强, 等. 糙米机械破碎力学特性试验与分析[J]. 农业工程学报, 2012, 28(18): 255-262.
ZHOU Xianqing, ZHANG Yurong, CHU Hongqiang, et al. Experiment and analysis of mechanical properties of mechanical crushing brown rice[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(18): 255-262.
- [2] 万小进, 田帅东, 王慧强, 等. 关于地下仓包装糙米储存技术探索[J]. 现代食品, 2019(22): 100-104.
WAN Xiaojin, TIAN Shuaidong, WANG Huiqiang, et al. Exploration on storage technology of packaged brown rice in underground Bin[J]. Modern Food, 2019(22): 100-104.
- [3] 于勇, 潘芳, 吴剑, 等. 超高压处理对糙米多酚、黄酮类含量及其抗氧化性的影响[J]. 农业机械学报, 2017, 48(11): 368-374.
YU Yong, PAN Fang, WU Jian, et al. Effect of high pressure treatment on phenolics, flavonoids and antioxidant activity of brown rice [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(11): 368-374.
- [4] 翟玮玮, 侯会绒, 孙兆远. 四种谷物中多酚含量的测定及抗氧化特性研究[J]. 食品工业科技, 2012, 33(24): 150-153.
ZHAI Weiwei, HOU Huirong, SUN Zhaoyuan. Detection of phenols content and antioxidant activity of four grains[J]. Science and Technology of Food Industry, 2012, 33(24): 150-153.
- [5] 杨玉民, 张亮, 王维坚, 等. 主食糙米加工技术的研究进展[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(16): 200-205.
YANG Yumin, ZHANG Liang, WANG Weijian, et al. Brown rice for staple food and survey of processing technology[J]. Food Research and Development, 2018, 39(16): 200-205.
- [6] NEWMARK H L. Plant phenolics as potential cancer prevention agents[J]. Advances in Experimental Medicine and Biology, 1996, 401: 25-34.
- [7] 徐秀义. 复配发芽糙米方便米饭生产工艺优化及其货架期预测模型构建[D]. 锦州: 渤海大学, 2019: 4.
XU Xiuyi. The optimizing of the processing technology of instant rice with germinated brown rice and the construction of shelf life prediction model[D]. Jinzhou: Bohai University, 2019: 4.
- [8] 朱光有, 张玉荣, 贾少英, 等. 国内外糙米储藏品质变化研究现状及展望[J]. 粮食与饲料工业, 2011(10): 1-4.
ZHU Guangyou, ZHANG Yurong, JIA Shaoying, et al. Research status and prospect of brown rice storage quality change at home and abroad[J]. Cereal & Feed Industry, 2011(10): 1-4.
- [9] 杨振东. 糙米储藏过程中品质变化研究进展[J]. 粮食与油脂, 2010, 23(4): 1-3.
YANG Zhendong. Study on quality changes of brown rice during storage[J]. Cereals & Oils, 2010, 23(4): 1-3.
- [10] 王毅, 罗自生. 糙米储藏过程中品质变化研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2017, 8(3): 767-772.
WANG Yi, LUO Zisheng. Research progress on quality changes of brown rice during storage[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2017, 8(3): 767-772.
- [11] 孔祥刚. 糙米气调储藏稳定性研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2011: 16-17.
KONG Xianggang. The study on stability of husked rice in controlled atmosphere storage[D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2011: 16-17.
- [12] 顾佳缘, 王琰, 杨恒, 等. 不同水分含量糙米动态储藏过程中叶黄素含量及色度值变化[J]. 食品工业科技, 2019, 40(11): 1-6.
GU Jiayuan, WANG Yan, YANG Heng, et al. Changes of lutein content and chromatic value in brown rice with different water content during dynamic storage[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(11): 1-6.
- [13] PARK C E, KIM Y S, PARK K J, et al. Changes in physicochemical characteristics of rice during storage at different temperatures [J]. Journal of Stored Products Research, 2012, 48: 25-29.
- [14] 王毅. 气调包装延缓糙米陈化进程的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2018: 16-17.
WANG Yi. Study on retarding the aging process of brown rice by modified atmosphere package[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2018: 16-17.
- [15] MARIOTTI M, SINELLI N, CATENACCI F, et al. Retrogradation behaviour of milled and brown rice pastes during ageing[J]. Journal of Cereal Science, 2009, 49(2): 171-177.
- [16] 张玉荣, 王亚军, 贾少英, 等. 糙米储藏过程中蒸煮品质及质构特性变化研究[J]. 粮食与饲料工业, 2014(1): 1-6.
ZHANG Yurong, WANG Yajun, JIA Shaoying, et al. Changes of the cooking quality and texture characteristics of brown rice during storage[J]. Cereal & Feed Industry, 2014(1): 1-6.
- [17] 吴林蔚. 基于气味和理化指标评价稻米储藏品质的研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2013: 23-24.
WU Linyu. Comprehensive evaluation of round-grained nonglutinous rice quality based on gas composition with physical and physicochemical property[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2013: 23-24.
- [18] 李岩, 童茂彬, 张来林, 等. 不同储藏方式对粳糙米加工食用品质的影响[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2013, 34(2): 47-51.
LI Yan, TONG Maobin, ZHANG Lailin, et al. Influence of storage

- methods on processing and eating quality of indica brown rice[J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2013, 34(2): 47-51.
- [19] 张玉荣, 贾少英, 周显青. 糙米储藏陈化过程中生理生化指标变化特性[J]. 农业工程学报, 2011, 27(9): 375-380.
- ZHANG Yurong, JIA Shaoying, ZHOU Xianqing. Changing characteristic of physical and chemical indices during brown rice storage [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2011, 27(9): 375-380.
- [20] 王若兰, 孔祥刚, 李东岭, 等. 气调储藏条件下糙米生理活性变化及相关性研究[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2011, 32(3): 5-10.
- WANG Ruolan, KONG Xianggang, LI Dongling, et al. Study on the changes and relativity of husked rice physiological activities under controlled atmosphere storage conditions[J]. Journal of Henan University of Technology (Natural Science Edition), 2011, 32(3): 5-10.
- [21] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 草种子检验规程生活力的生物化学(四唑)测定: GB/T 2930.5—2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Regulations for the inspection of grass seeds biochemical (tetrazole) determination of viability : GB/T 29305—2017 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.
- [22] 张玉荣, 贾少英, 周显青. 糙米储藏品质评价数学模型的建立[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2011, 32(6): 1-7.
- ZHANG Yurong, JIA Shaoying, ZHOU Xianqing. Establishment of mathematical model for evaluating brown rice storage quality [J]. Journal of Henan University of Technology(Natural Science Edition), 2011, 32(6): 1-7.
- [23] 宋伟, 李冬坤, 乔琳, 等. 对不同含水量粳稻谷 T₂ 峰面积和 MRI 图像的定量分析[J]. 中国农业科学, 2015, 48(22): 4529-4538.
- SONG Wei, LI Dongshen, QIAO Lin, et al. Quantitative analysis of T₂ peak area and the MRI images of japonica rice with different moisture contents[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2015, 48(22): 4529-4538.
- [24] 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[J]. 食品科技, 2018, 43(9): 204-208.
- SONG Yongling, YANG Shaoming, WANG Ruolan. Effect of storage temperature on quality and microbial quality of rice[J]. Food Science and Technology, 2018, 43(9): 204-208
- [25] 姚豪杰, 马海乐, 潘忠礼, 等. 催化式红外辐射预处理对糙米贮藏稳定性的影响[J]. 食品工业科技, 2017, 38(11): 102-106, 110.
- YAO Haojie, MA Haile, PAN Zhongli, et al. Effect of catalytic infrared radiation pretreatment on stability of brown rice[J]. Science and Technology of Food Industry, 2017, 38(11): 102-106, 110.
- [26] 张来林, 李岩, 陈娟, 等. 不同储藏温度及储藏方法对稻谷品质的影响[J]. 粮食与饲料工业, 2011(7): 17-19.
- ZHANG Lailin, LI Yan, CHEN Juan, et al. Effects of different storage temperature and storage methods on the quality of rice[J]. Cereal & Feed Industry, 2011(7): 17-19.
- [27] 周显青, 张玉荣. 储藏稻谷品质指标的变化及其差异性[J]. 农业工程学报, 2008, 24(12): 238-242.
- ZHOU Xianqing, ZHANG Yuyong. Changes and differential analysis of the quality indexes of stored paddy[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2008, 24(12): 238-242.
- [28] 高树成, 赵旭, 林子木. 不同品种糙米储藏期间品质变化规律的研究[J]. 现代食品科技, 2017, 33(3): 244-250, 273.
- GAO Shucheng, ZHAO Xu, LIN Zimu. A study on the rate of change in the quality of different brown rice varieties during storage [J]. Modern Food Science and Technology, 2017, 33(3): 244-250, 273.
- [29] 张岭, 李永富, 史锋, 等. 高温流化糙米储藏稳定性的研究[J]. 中国粮油学报, 2019, 34(4): 7-12.
- ZHANG Ling, LI Yongfu, SHI Feng, et al. Storage stability of high-temperature air fluidized brown rice[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2019, 34(4): 7-12.
- [30] 孙辉, 包金阳, 张蕊, 等. 糙米在不同温度储藏中脂肪酸的变化[J]. 粮油食品科技, 2014, 22(3): 102-105.
- SUN Hui, BAO Jinyang, ZHANG Rui, et al. Changes of fatty acid in brown rice stored in different temperature[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2014, 22(3): 102-105.
- [31] 詹启明, 古争艳, 张来林, 等. 不同储藏方式对粳糙米储藏品质的影响[J]. 粮食与饲料工业, 2013(1): 1-5.
- ZHAN Qiming, GU Zhengyan, ZHANG Lailin, et al. Effects of different storage ways on storage quality of japonica rice[J]. Cereal & Feed Industry, 2013(1): 1-5.
- [32] 陈银基, 陈霞, 蒋伟鑫, 等. ⁶⁰Co- γ 辐照对储藏糙米理化品质和食用品质的影响研究[J]. 中国粮油学报, 2015, 30(5): 106-110, 121.
- CHEN Yinji, CHEN Xia, JIANG Weixin, et al. Effects of ⁶⁰Co gamma irradiation on physical and chemical quality and eating quality of stored brown rice[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2015, 30(5): 106-110, 121.
- [33] 柴芃宇, 雷凡, 王月慧. 糯性糙米气调储藏脂质变化的研究[J]. 中国酿造, 2016, 35(2): 92-96.
- CHAI Pengyu, LEI Fan, WANG Yuehui. Changes of lipid of glutinous husked rice during the storage[J]. China Brewing, 2016, 35(2): 92-96.
- [34] 周绪霞, 梁媛, 张焘彦, 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.
- [35] 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.
- [36] 童茂彬, 李岩, 董晓欢, 等. 不同储藏方式对粳糙米储藏品质的影响研究[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2013, 34(1): 96-

- 102.
- TONG Maobin, LI Yan, DONG Xiaohuan, et al. Influence of storage methods on storage quality of indica brown rice[J]. Journal of Henan University of Technology(Natural Science Edition), 2013, 34(1): 96–102.
- [37] 战旭梅. 稻米储藏过程中质构品质变化及其机理研究[D]. 南京: 南京师范大学, 2008: 45–47.
- ZHAN Xumei. Study on the changes of texture quality and mechanisms of rice during storage[D]. Nanjing: Nanjing Normal University, 2008: 45–47.
- [38] 李莎莎, 吴娜娜, 李兴峰, 等. 不同品种糙米粉糊化特性比较研究[J]. 粮油食品科技, 2016, 24(4): 15–18.
- LI Shasha, WU Nana, LI Xingfeng, et al. Compare of the paste properties of different varieties of brown rice flour[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2016, 24(4): 15–18.
- [39] DING C, KHIR R, PAN Z L, et al. Influence of infrared drying on storage characteristics of brown rice[J]. Food Chemistry, 2018, 264: 149–156.
- [40] 余世锋, 杨秀春, LUCILE M, 等. 直链淀粉、蛋白质及脂类对大米粉热特性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2009, 35(4): 38–42.
- YU Shifeng, YANG Xiuchun, LUCILE M, et al. Effects of amylose, protein and lipid on the thermal properties of rice flour[J]. Food and Fermentation Industries, 2009, 35(4): 38–42.
- [41] 刘欣, 陈文若, 顾佳缘, 等. 动态温湿度储藏条件下糙米主要储藏特性研究[J]. 食品工业科技, 2018, 39(16): 13–20, 26.
- LIU Xin, CHEN Wenruo, GU Jiayuan, et al. The main storage characteristics of brown rice with different water capacity under the dynamic variations of temperature and humidity[J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(16): 13–20, 26.
- [42] 宋伟, 刘璐, 支永海, 等. 糙米储藏水分对糊化特性的影响[J]. 食品工业科技, 2011, 32(11): 384–386, 413.
- SONG Wei, LIU Lu, ZHI Yonghai, et al. Effect of moisture content on pasting properties of brown rice[J]. Science and Technology of Food Industry, 2011, 32(11): 384–386, 413.

加工编辑:冯娜

收稿日期:2020–10–19