

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2025.01.021

张江南, 李瑞敏, 渠琛玲, 等. 低温条件下糙米储藏品质和微观结构变化的研究[J]. 粮油食品科技, 2025, 33(1): 200-207.

ZHANG J N, LI R M, QU C L, et al. Study on the storage quality and microstructural changes of brown rice under low-temperature conditions[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2025, 33(1): 200-207

低温条件下糙米储藏品质和微观结构变化的研究

张江南^{1,2}, 李瑞敏², 渠琛玲¹, 张忠杰², 尹君^{1,2}✉

(1. 河南工业大学 粮食和物资储备学院, 河南 郑州 450001;
2. 国家粮食和物资储备局科学研究院 粮食储运研究所, 北京 100037)

摘要: 以3种不同初始含水量(13.5%、15.5%、17.9%)的糙米为研究对象, 在低温15℃储藏下, 对比10%O₂+90%N₂气调组和空气自然密封组, 研究低温条件下不同含水量糙米储藏品质和微观结构的变化。结果表明: 低温15℃储存的糙米, 含水量越高, 则脂肪酸值越大, 发芽率越低, 食味值越小, 微观结构越差; 低温气调储藏能延缓糙米脂肪酸值的上升和发芽率的降低, 在一定程度上可保持糙米的品质, 可为糙米保质保鲜储藏提供新方案。

关键词: 糙米; 低温储藏; 气调储藏; 初始含水量; 品质; 微观结构

中图分类号: TS210.1; S511 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2025)01-0200-08

网络首发时间: 2024-12-11 10:53:32

网络首发地址: <https://link.cnki.net/urlid/11.3863.TS.20241210.1256.002>

Study on the Storage Quality and Microstructural Changes of Brown Rice under Low-Temperature Conditions

ZHANG Jiang-nan^{1,2}, LI Rui-min², QU Chen-ling¹, ZHANG Zhong-jie², YIN Jun^{1,2}✉

(1. School of Food and Strategic Reserves, Henan University of Technology, Zhengzhou, Henan 450001, China; 2. Institute of Grain Storage and Logistics, Academy of National Food and Strategic Reserves Administration, Beijing 100037, China)

Abstract: The changes in storage quality and microstructure of brown rice with different moisture contents were investigated under low-temperature conditions. Three types of brown rice with different initial moisture contents of 13.5%, 15.5%, and 17.9% were studied under two storage conditions: 10%O₂+90%N₂ controlled atmosphere storage and air-natural sealing storage at 15 °C. The results showed that, at 15 °C, higher initial moisture content led to greater fatty acid values, lower germination rates, lower flavor values, and poorer microstructure in brown rice. Low-temperature controlled atmosphere storage delayed the increase in fatty

收稿日期: 2024-08-28; 修回日期: 2024-09-19; 录用日期: 2024-09-20

基金项目: 企业合作课题“气调保质保鲜储粮技术研究”(H22008)

Supported by: Enterprise Cooperation Project "Research on Quality Guarantee and Refreshing for Grain Storage Technology under Controlled Atmosphere" (No. H22008)

第一作者: 张江南, 男, 1999年出生, 在读硕士生, 研究方向为粮食干燥、储藏工艺, E-mail: 2227873419@qq.com

通信作者: 尹君, 女, 1981年出生, 博士, 研究员, 研究方向为节能环保干燥技术, E-mail: yjun@ags.ac.cn

acid values and the reduction in germination rates, thereby maintaining the quality of brown rice to some extent. This study provides a potential solution for the quality preservation and freshness storage of brown rice.

Key words: brown rice; low temperature storage; air-conditioned storage; initial moisture content; quality; microstructure

糙米是稻谷脱去稻壳后的颖果，其加工程度低，营养损失小^[1]，已有研究发现糙米中富含淀粉、蛋白质、脂肪、纤维素、维生素，同时还富含多种生物活性物质，并具有降低血液胆固醇、抗氧化等保健功能^[2-3]，其可满足消费者对营养、健康、绿色食品的需求。但因糙米含有丰富的营养物质，容易酸败，在流通或储藏过程中稳定性较差，不易储存，导致食用价值降低。因此，需要探究适宜的糙米储藏方式以保持糙米的品质。糙米在储藏过程中主要受温度和水分影响较大，温度和水分适宜时糙米易受到霉菌的侵染，加速品质劣变。通过控制储藏温度和糙米的水分，可以延缓储藏期间糙米品质的变化^[4]。

低温储藏和气调储藏是目前糙米储藏中常用的绿色储粮方式。低温储藏可延缓粮食在储藏过程中品质的劣变，其原理是利用低温环境来减缓粮食内部生化反应、抑制微生物生长^[6]。张雪梅等^[7]研究了含水量13.49%的糙米在不同温度（15、20、25、35℃）下的模拟储藏（控制湿度为65%~75%）及室温储藏，结果表明低温储藏可有效保持糙米的品质，延长储藏期。但低温储藏成本投资较大是无法忽视的缺点，特别是在气温较高的南方地区，能耗大也是推广该技术的难题^[8]。而同样作为绿色储粮的气调储藏技术，可以有效解决前述难题。气调储藏通过降低储藏环境的氧气浓度抑制霉菌生长^[9]、减少谷物的呼吸作用、降低自身代谢反应^[10]，减缓谷物微观结构、化学成分和最终品质变化，从而延长保质期^[11]。由此可知，气调储藏糙米是一种绿色环保有效的方法，值得深入研究。

由于我国幅员辽阔，单一的储藏方式难以应对不同地区的储粮特点，对于北方地区，低温储藏更为适合，而对于全年平均气温较高的南方地区，低温储粮会增加成本，气调储藏可能会更有

优势。本文探究了不同含水量的糙米在氮气气调、低温的储藏条件下糙米品质变化规律和微观结构的变化，为糙米在各地多样化储藏选择提供参考。

1 材料与方法

1.1 实验材料

糙米：由2023年收获的东北粳稻谷砻谷脱壳而成，初始水分为13.5%（w.b.）。

1.2 仪器与设备

RDT320P型台式气调包装机：成都市罗迪波尔机械设备有限公司；JSFM-II型粮食水分测试粉碎磨：杭州大成光电仪器有限公司；FSJ-IIA型锤片式粮食粉碎机：中储粮成都储藏研究院有限公司；LNN-1000SD型恒温恒湿箱：上海一恒科技有限公司；DKZ-3B型电热恒温振荡水槽：上海一恒科学仪器有限公司；JEC-3000FC型离子溅射仪、JSM-IT700HR型扫描电镜：日本电子株式会社（JEOL）；SATAKE型大米食味测定仪：东孚久恒仪器技术有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 样品处理

多次均匀添加蒸馏水至部分糙米样品中并平衡，将含水量调至15.5%（w.b.）、17.9%（w.b.）。将不同含水量的糙米装入规格为长×宽×高=200 mm×140 mm×60 mm的气调盒中，每盒糙米质量为（500±5）g，放入气调包装机中充气塑封。气体成分为10%O₂+90%N₂平衡气，对照组采用空气自然密封储藏，放入低温（15℃）的恒温培养箱储藏180 d，每隔30 d取样并进行品质指标的测定。

1.3.2 储藏品质指标测定

水分：参照GB 5009.3—2016《食品安全国家标准食品中水分的测定》。脂肪酸值：参照GB/T 20569—2006《稻谷储存品质判定规则》。发芽率：

参照 GB/T 5520—2011《粮油检验 发芽试验》。食味值：食味值的测定用食味测定仪直接测定得出，仪器检测精度符合 GB/T 15682—2008《粮油检验 稻谷、大米蒸煮食用品质感官评价方法》的要求。

1.3.3 籽粒微观结构测定

从样品中随机取3粒外形相似的糙米籽粒，用解剖刀沿糙米顶端1 mm处及尾部1 mm处横切去两端，将样品用导电胶固定，经离子溅射仪喷金处理后，使用扫描电镜在5 kV电压下观察并拍照。分别在100倍下观察横断面胚乳结构，在2 000倍下观察糙米外表皮和淀粉颗粒组织结构。

1.4 数据处理

用 Excel 和 Origin 软件进行数据处理、绘图，采用 SPSS 进行统计分析。

2 结果与分析

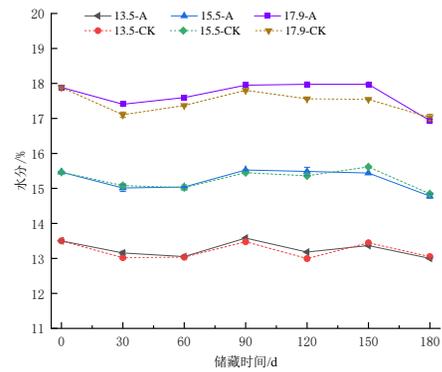
2.1 储藏品质的变化

2.1.1 水分的变化

水分是影响糙米储藏品质的重要指标，选择适宜含水量糙米进行储藏，可以改善糙米食用品质，延缓储藏品质的下降。不同含水量的糙米储藏期间的水分变化如图1所示，在储藏过程中，糙米含水量呈现波动的趋势，可能是因糙米具有解吸与吸附作用，在不同储藏湿度中其主导作用不同，导致失水或吸水^[12]。储藏180 d后的糙米水分保留率见表1，含水量越高的糙米，其水分散失越多，10%O₂+90%N₂气调储藏和自然密封储藏的初始水分含量为17.9%的糙米在储藏180 d后水分分别下降至16.94%和17.02%，水分保留率分别为94.7%和95.1%，比初始水分含量为13.5%的糙米水分保留率低1.6%。对比气调和自然密封条件下的各含水量糙米，两者在储藏过程中水分含量变化无明显差异。

2.1.2 脂肪酸值的变化

脂肪酸值作为评价糙米储藏品质的重要指标，通过测定脂肪酸值可直接反映糙米在储藏和食用过程中品质的优劣。随着储藏时间延长，糙米脂肪酸值随着籽粒中游离脂肪酸含量的增加而增加。不同初始含水量糙米脂肪酸值变化如图2所示，随



注：A为10%O₂+90%N₂，CK为自然密封储藏，下同。

Notes: A: 10% O₂ + 90% N₂, CK: naturally sealed storage, the same as below.

图1 不同含水量糙米储藏期间水分的变化

Fig.1 Changes in moisture during storage of brown rice with different moisture contents

表1 储藏180 d后糙米初始水分含量(第0 d)的保留率

Table 1 Retention of initial moisture content (0 d) of brown rice after 180 d of storage

水分含量 储存方式	%		
	13.5	15.5	17.9
CK	96.7	95.8	95.1
10%O ₂ +90%N ₂	96.3	95.3	94.7

着储藏时间的延长，糙米脂肪酸值呈上升趋势，这与张玉荣等^[13]的研究结果一致；初始含水量越高的糙米，其脂肪酸值增加速度更快。初始含水量为13.5%、15.5%和17.9%糙米的脂肪酸值分别为22.27、23.13、24.50 mgKOH/100 g，储藏180 d后，10%O₂+90%N₂气调组其脂肪酸值分别增加了10.62、24.40和32.46 mgKOH/100 g，自然密封组其脂肪酸值分别增加了12.59、26.10和33.88 mgKOH/100 g，10%O₂+90%N₂气调组脂肪酸值的增加幅度和速度均小于自然密封组，气调储藏能更好地延缓脂肪酸值的上升。因此，在糙米储藏时要控制糙米的初始含水量，尽量减少糙米的储藏时间，结合低温气调实现对糙米的保质保鲜。

2.1.3 发芽率的变化

发芽率是判定种子生命力和粮食新鲜程度的重要指标，能有效反应粮食的储藏品质。新收获粮食发芽率较高，在储藏过程中，发芽率随着粮食品质下降而逐渐下降^[14]。不同含水量的糙米在储藏过程中的发芽率变化如图3所示，不同储藏条件下的糙米在储藏过程中的发芽率呈现不同程度

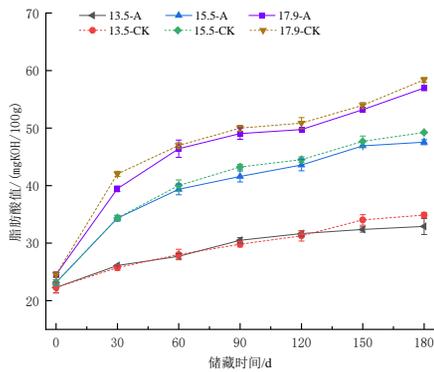


图 2 不同含水量糙米储藏期间脂肪酸值的变化

Fig.2 Changes in fatty acid values during storage of brown rice with different moisture contents

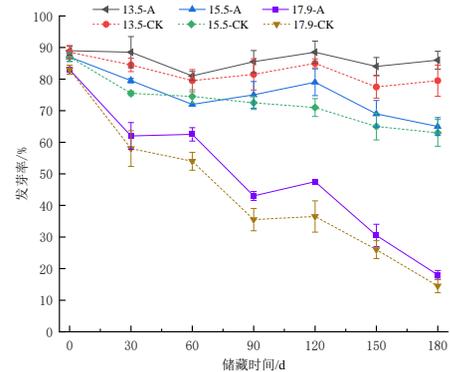


图 3 不同含水量糙米储藏期间发芽率的变化

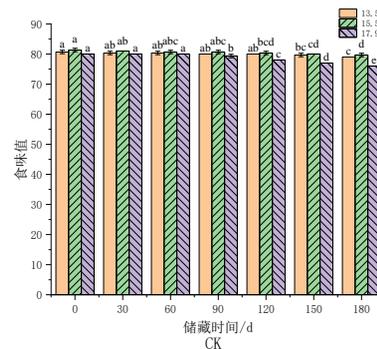
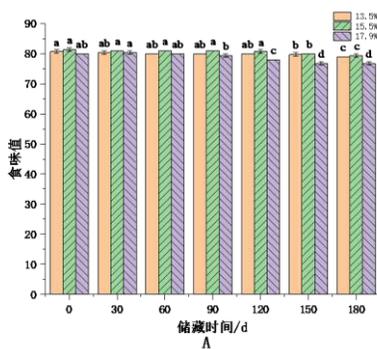
Fig.3 Changes in germination during storage of brown rice with different moisture contents

的下降。糙米的含水量对糙米发芽率有较大影响，含水量越高的糙米，其发芽率下降得越快，可能是在密闭环境中，较高水分糙米的代谢较强，更容易消耗糙米籽粒中的营养物质，同时伴随着有害微生物的滋生，导致发芽率快速降低^[15]。13.5%的糙米发芽率下降得较少，整体趋于稳定，在储藏期间发芽率一直维持在75%以上；而17.9%糙米的发芽率具有显著下降的趋势，储藏至180 d时发芽率降至20%以下；10%O₂+90%N₂气调储藏的糙米在储藏180 d时发芽率高于自然密封储藏，说明气调能够保持糙米的生理活性，延缓糙米的品质变化，这与N₂减少了空气对糙米生理活性的作用，抑制了糙米的呼吸作用有关^[16]。

2.1.4 食味值的变化

不同含水量糙米在储藏过程中的食味值结果如图4所示。在储藏过程中，糙米食味值均呈现下

降趋势，储藏时间对糙米食味值有显著性影响。不同水分含量的糙米食味值下降速度不同，13.5%和15.5%的糙米食味值下降缓慢，在储藏180 d后依旧能达到79分以上，而17.9%高水分糙米的食味值在储藏中后期迅速下降，储藏180 d后评分值低于77分，可能是较高水分的糙米在储藏过程中的酶活较高、籽粒内部生化反应较强，且高湿更有利于微生物的快速繁殖，造成品质劣变速度加快^[17]。10%O₂+90%N₂气调和自然密封储藏条件下糙米的食味值差异较小，对糙米的食味值无明显影响。综上，保持糙米良好的食味值，重在控制糙米的初始含水量。含水量越高的糙米，储藏期间品质劣变更快，导致糙米食味值降低。而安全储藏水分的糙米不仅维持储藏期间的食味值，且减少了因水分过高引起糙米品质的劣变。



注：不同小写字母表示样品不同储藏时间的食味值存在显著性差异(P<0.05)。

Notes: Different lowercase letters indicate significant differences (P<0.05) in the flavor values of the samples across different storage times.

图 4 不同含水量糙米储藏期间食味值的变化

Fig.4 Changes in flavor values of brown rice during storage at different moisture contents

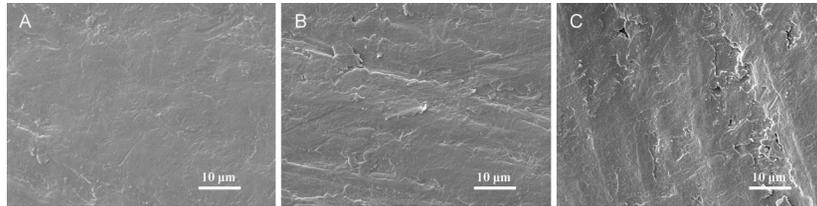
2.2 微观结构的变化

2.2.1 不同条件下糙米籽粒表面微观结构变化

不同储藏条件下的糙米籽粒表面及胚乳在2000倍扫描电子显微镜下结构如图5~6所示。实验中观察到不同储藏时间的糙米表皮会发生不同程度的损伤,存在起皮现象。由图5B、5C可知,气调储藏的糙米在储存180 d后表面出现褶皱,但自然密封储藏的糙米表皮出现了起皮现象,说明10%O₂+90%N₂气调比自然密封储藏能更好维持糙米表皮的微观结构。

图6a、6d、6g分别为不同含水量的糙米在10%O₂+90%N₂气调下初始糙米籽粒表面微观结构

图,由图可知,不同水分含量的糙米样品在初始状态下,表面相对平整光滑,没有明显的褶皱或凹陷特征。然而随着储存时间的延长,糙米的表面结构逐渐出现明显差异。如图6b、6e、6h所示,不同含水量的糙米储存至90 d时,糙米表面变得不平整,表皮略微出现褶皱,与初始状态(0 d)相比,差异较小。储存至180 d时(图6c、6f、6i),表面褶皱增多,更加粗糙,凹陷结构更为明显,可能是糙米在储存过程中水分含量减少引起的。不同储存条件对糙米表面结构的影响程度各不相同,且在整个储藏期间,水分含量越高的糙米其表面结构变化越明显。

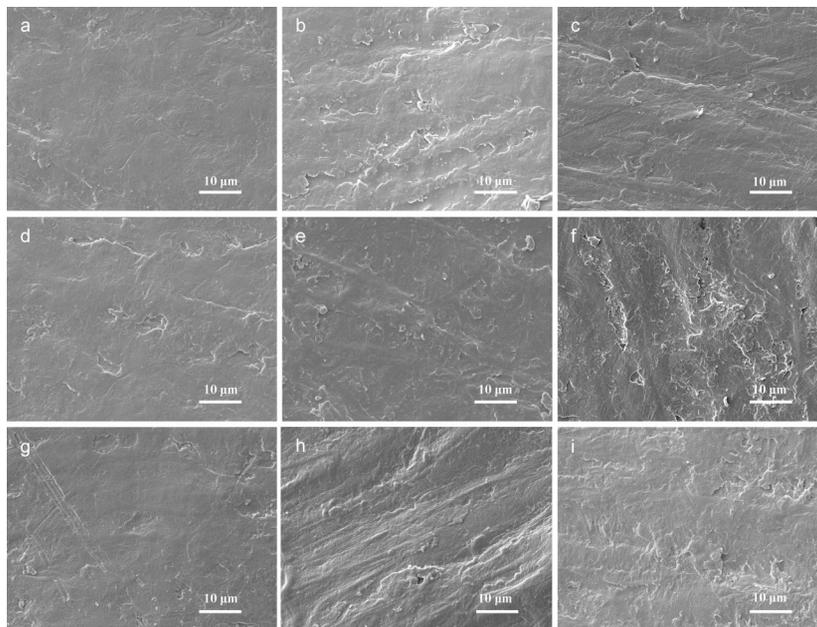


注:A为原始样品;B、C分别为气调和自然密封条件的180 d电镜图;上述均为13.5%水分的糙米;下同。

Notes: A represents the original sample; B and C are the 180 d electron micrographs of air-conditioned and naturally sealed conditions, respectively; all of the above are for brown rice at 13.5% moisture; the same as below.

图5 不同条件下糙米籽粒表面微观结构图

Fig.5 Surface microstructure of brown rice under different conditions



注:a、b、c为13.5%糙米0 d、90 d、180 d扫描电镜图;d、e、f为15.5%糙米;g、h、i为17.9%糙米;上述均为10%O₂+90%N₂气调储藏下的糙米;下同。

Notes:a, b and c are scanning electron micrographs of 13.5% brown rice at 0 d, 90 d, and 180 d; d, e, f are 15.5% brown rice; g, h, i are 17.9% brown rice; all of the above are for brown rice under 10%O₂+90%N₂ air-conditioned conditions; the same as below.

图6 不同水分糙米籽粒表面结构图

Fig.6 Surface structure of brown rice grains with different moisture contents

2.2.2 不同条件下糙米胚乳横断面的结构变化

将处理好的糙米样品，通过扫描电镜放大100倍，观察横断面胚乳微观结构（图7~8）。不同含水量的糙米初始胚乳细胞呈长多边形柱状结构，轮廓清晰，内部包裹着淀粉颗粒，胚乳细胞以接近胚乳中心位置为起点，呈同心圆放射状排列，且靠近中心的胚乳细胞通常比外围的细胞小。由图7B、7C可知，10%O₂+90%N₂气调储藏比自然密封储藏的糙米胚乳淀粉粒裸露较少，放射型柱状结构破坏程度相对较低，所以在保持糙米胚乳微观结构方面，10%O₂+90%N₂气调的效果优于自然密封储藏。

如图8所示，图8c、8f、8i分别为13.5%、15.5%和17.9%含水量糙米储存至180d放大100倍的糙米胚乳横断面扫描电镜图。与初始样品相比，糙米表层胚乳细胞的破裂程度增大，淀粉粒裸露增加且细胞间横断面变得粗糙，尤其中心区域的

胚乳细胞损伤程度更大，导致其放射状轮廓逐渐模糊甚至消失。初始含水量越高的糙米，这种现象表现的更为明显。

2.2.3 不同条件下糙米胚乳淀粉颗粒形态的变化

放大2000倍下的糙米胚乳淀粉颗粒的微观结构见图9~10。如图10a、10d、10g所示，在15℃条件下不同含水量糙米储存前（0d）其淀粉颗粒大多以复杂颗粒的形式存在，淀粉颗粒的边角都清晰可见，呈多面体晶体结构，排列紧密有序。储藏至180d时（图10c、10f、10i），其复合淀粉颗粒周围出现裂纹，截面出现少量裂纹和小孔洞，部分淀粉颗粒模糊，裂纹可能是由脱分支酶分解淀粉引起的，较高水分的糙米这种微观结构变化更为明显。10%O₂+90%N₂气调储藏的糙米形态结构比自然密封储藏的糙米整体上更接近初始状态，所以10%O₂+90%N₂气调能更好地保持糙米的微观结构（图9B、9C）。

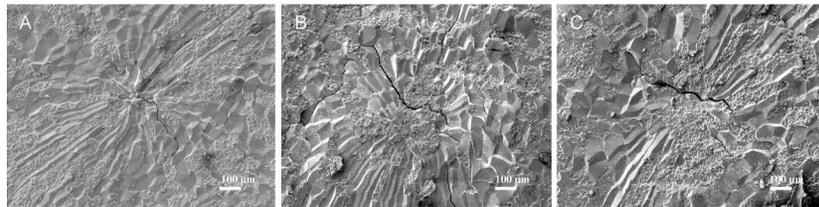


图7 不同条件下糙米胚乳横断面微观结构图

Fig.7 Cross-sectional microstructure of brown rice endosperm under different conditions

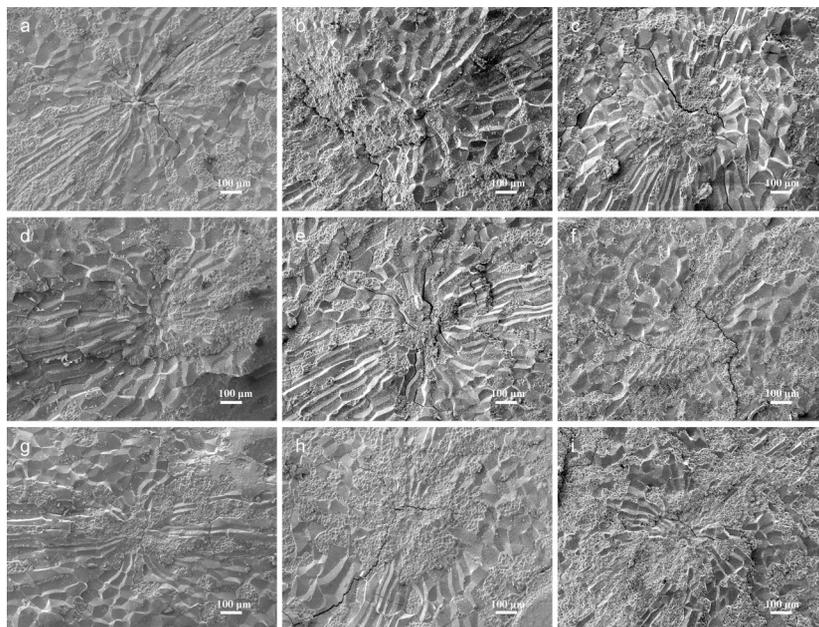


图8 不同水分糙米胚乳横断面结构图

Fig.8 Cross-sectional structure of endosperm of brown rice with different moisture contents

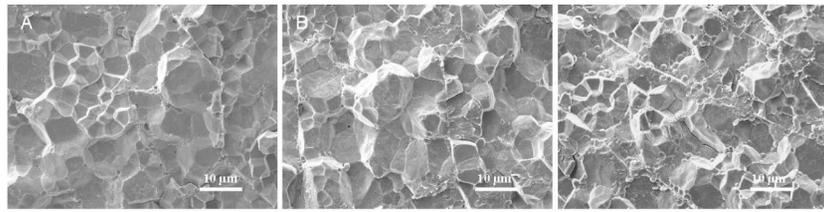


图9 不同条件下糙米胚乳淀粉颗粒微观结构图

Fig.9 Microstructure of starch granules in brown rice endosperm under different condition

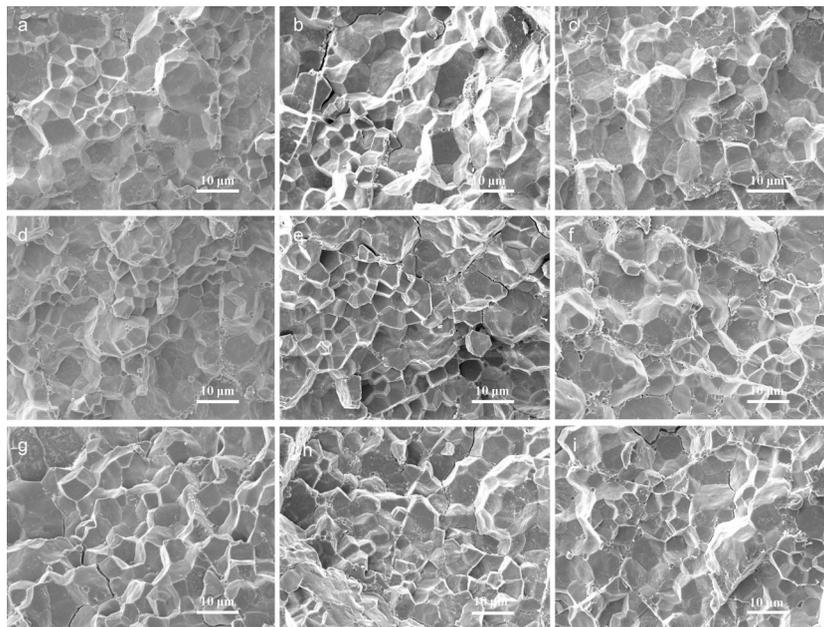


图10 不同水分糙米胚乳淀粉颗粒结构图

Fig.10 Structure of starch granule in endosperm of brown rice with different moisture contents

3 结论

本研究探讨了糙米在低温条件下储藏过程中主要品质指标和微观结构的变化,结果表明,经过180 d的低温储藏,糙米水分呈小幅度波动性变化,整体呈下降趋势;气调储藏和自然密封储藏的糙米发芽率和食味值呈下降趋势;脂肪酸值不断增大,且含水量越高的糙米脂肪酸值上升越快。气调储藏的糙米能更好的保持糙米品质,即气调储藏糙米的发芽率比自然密封储藏下降得更少,脂肪酸值增加得更慢。

糙米籽粒表面和内部微观结构在储存过程中均发生了不同程度的改变,且初始含水量越高的糙米变化更为明显,10%O₂+90%N₂气调储藏比自然密封储藏能更好地维持糙米微观结构。在储藏过程中糙米的表面微观结构由初始的平整、光滑、无褶皱逐渐变为凹凸、粗糙、褶皱和起皮;糙米胚乳横断面的放射状结构逐渐变得模糊,暴露出

的淀粉颗粒数量显著增加;糙米淀粉颗粒排列疏松,淀粉粒间裂缝增多,棱角变得模糊不清。

通过对不同水分的糙米进行低温气调储藏和低温自然密封储藏对比实验,研究了糙米储藏品质和微观结构的变化,探究了糙米储藏过程中品质变化规律。含水量较低的糙米(13.5%)品质变化小,表明糙米在安全储藏水分下进行储藏有利于糙米品质的保持,含水量越高越不利于糙米品质保持。低温气调储藏在一定程度上能延缓糙米品质劣变,为糙米绿色储藏提供数据支撑和实践指导。后续可对不同含水量糙米气调解封后的品质变化开展深入研究。

参考文献:

- [1] 何臻,张柏林,黄家春.大米食味品质分析的研究进展[J].南方农业,2017,11(11):125-126.
HE Z, ZHANG B L, HUANG J C. Research progress of rice taste quality analysis[J]. South China Agriculture, 2017, 11(11):

- 125-126.
- [2] SALEH A S M, WANG P, WANG N, et al. Brown rice versus white rice: nutritional quality, potential health benefits, development of food products, and preservation technologies[J]. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2019, 18(4): 1070-1096.
- [3] MARIO G F, SATYA S J, LIU S M, et al. Developing a standard definition of whole-grain foods for dietary recommendations: summary report of a multidisciplinary expert roundtable discussion [J]. *Advances in Nutrition* (Bethesda, Md.), 2014, 5(2): 164-176.
- [4] 黄皓, 王毅, 李莉, 等. 低氧包装对糙米陈化和品质的影响[J]. *中国粮油学报*, 2021, 36(01): 8-13.
HUANG H, WANG Y, LI L, et al. Effect of low oxygen packaging on aging and quality of brown rice[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils*, 2021, 36(01): 8-13.
- [5] 刘欣, 陈文若, 曹俊, 等. 糙米储藏过程品质劣变机制及储藏技术研究进展[J]. *粮食与饲料工业*, 2017(01): 15-18.
LIU X, CHEN W R, CAO J, et al. Research progress on quality deterioration mechanism and storage technology of brown rice during storage[J]. *Cereal & Feed Industry*, 2017(01): 15-18.
- [6] 韩越, 胡月英. 低温储粮技术的研究现状与思考[J]. *粮油仓储科技通讯*, 2019, 35(06): 30-34.
HAN Y, HU Y Y. Research status and thinking of low temperature grain storage technology[J]. *Grain and Oil Storage Technology Communication*, 2019, 35(06): 30-34.
- [7] 张雪梅, 张玲, 高飞虎, 等. 储藏温度对渝香203糙米品质的影响研究[J]. *中国粮油学报*, 2023, 38(04): 15-23.
ZHANG X M, ZHANG L, GAO F H, et al. Effects of storage temperature on quality of yu xiang 203 brown rice[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils*, 2023, 38(04): 15-23.
- [8] 金建, 马海乐, 闫景坤. 糙米储藏技术研究进展[J]. *粮食与饲料工业*, 2012(03): 6-9.
JIN J, MA H L, YAN J K. Progress on brown rice storage technology research[J]. *Cereal & Feed Industry*, 2012(03): 6-9.
- [9] NIPADA R, SONGSIN P. Effect of modified atmosphere packaging on the quality of germinated parboiled brown rice.[J]. *Food science and biotechnology*, 2017, 26(2): 303-310.
- [10] QU C L, LI W H, YANG Q K, et al. Metabolic mechanism of nitrogen modified atmosphere storage on delaying quality deterioration of rice grains[J]. *Food Chemistry: X*, 2022, 16: 100519.
- [11] 何宇铠, 杨志成, 张丞彦, 等. 气调技术对稻谷储藏品质变化及控制的研究进展[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(23): 377-384.
HE Y K, YANG Z C, ZHANG Z Y, et al. Research progress of controlled atmosphere technology on changes and control of paddy storage quality[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(23): 377-384.
- [12] 陈坤杰, 梁静, 蒋维银, 等. 储藏温度与初始含水率对稻谷和糙米食用品质的影响[J]. *农业机械学报*, 2022, 53(09): 390-398.
CHEN K J, LIANG J, JIANG W Y, et al. Effect of storage temperature and initial moisture content on eating quality of rice and brown rice[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2022, 53(09): 390-398.
- [13] 张玉荣, 李月, 褚洪强, 等. 氮气气调储藏下不同温度对晚籼稻品质的影响[J]. *食品安全质量检测学报*, 2023, 14(16): 160-169.
ZHANG Y R, LI Y, CHU H Q, et al. Effects of different temperatures on quality of late indica rice under nitrogen-controlled atmosphere storage[J]. *食品安全质量检测学报*, 2023, 14(16): 160-169.
- [14] 张玉荣, 张婷婷, 王游游, 等. 加速陈化对稻谷储藏品质和糊化特性的影响[J]. *河南工业大学学报(自然科学版)*, 2021, 42(03): 85-92.
ZHANG Y R, ZHANG T T, WANG Y Y, et al. Effect of accelerated aging on storage qualities and gelatinization characteristics of rice[J]. *Journal of Henan University of Technology(Natural Science Edition)*, 2021, 42(03): 85-92.
- [15] 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(02): 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(02): 39-43.
- [16] 王力, 陈赛赛, 胡育铭. 充氮气调储粮技术研究与应用[J]. *粮油食品科技*, 2016, 24(05): 102-105.
WANG L, CHEN S S, HU Y M. Research and application of controlled atmosphere storage with N₂[J]. *Science and Technology of Cereals, Oils and Foods*, 2016, 24(05): 102-105.
- [17] 周绪霞, 梁媛, 张丞彦, 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(01): 114-118.
ZHOU X X, LIANG Y, ZHANG Z Y, et al. Analysis of quality change of vacuum packed japonica brown rice during storage[J]. *Journal of Zhejiang University of Technology*, 2019, 47(01): 114-118. 完
- 备注: 本文的彩色图表可从本刊官网 (<http://lyspkj.ijournal.cn>)、中国知网、万方、维普、超星等数据库下载获取。