

DOI: 10.13652/j.issn.1003-5788.2021.06.003

籼稻后熟对米粉品质的影响研究进展

Review of *indica* post-ripening on the qualities of rice noodle

莫西亚 易翠平 祝红 李彩云

MO Xi-ya YI Cui-ping ZHU Hong LI Cai-yun

(长沙理工大学化学与食品工程学院, 湖南 长沙 410114)

(School of Chemistry and Food Engineering, Changsha University of Science and Technology, Changsha, Hunan 410114, China)

摘要:文章综述了籼稻后熟作用对米粉品质的宏观影响,分析了影响米粉品质变化的后熟原料籼米粉的理化性质(糊化特性、质构特性、水合特性)变化,及相应淀粉、蛋白质和脂肪等主要大分子的结构变化及其相互作用与米粉品质变化的相关性。

关键词:籼稻;后熟;米粉;品质

Abstract: The quality changes of rice noodles during *indica* post-ripening were reviewed, and the physicochemical properties of related *indica* rice flour, including pasting properties, textural properties and hydration properties, were also analyzed. In addition, the correlation between the structure of starch, protein and lipid macromolecules among their interactions with the qualities of noodles was also summarized. This review will supply the theoretical basis for the quality stability of rice-based products, especially rice noodles.

Keywords: *indica* rice; post-ripening; rice noodle; quality

米粉作为中国南方及东南亚地区的米制传统主食,据不完全统计,2017 年产值已经超过 100 亿元,并在近 5 年来呈逐年增长的趋势^[1]。米粉分为高水分含量的鲜湿米粉、米面、保鲜方便米粉和低水分含量的米排粉、波纹米粉、银丝米粉、直条米粉等不同品种。一般经浸泡、熟化和成型等工序制成^[2]。不同米粉虽然工艺各异,但其加工原料籼稻却均需要经过一年及以上时间的贮藏,一般认为,贮藏过程中,稻米的脂肪酸值增加、蒸煮品质下降,所以这个过程又被称为陈化^[3]。然而对于米粉而言,稻米在陈化的同时还完成了一个“生理”上的后熟才达到加工品质的稳定。贮藏时间太短,籼稻的后熟程度不够,米粉丝因黏

性太强而无法单独成条、断条率高且蒸煮损失大;贮藏时间太长,虽达到籼稻的后熟要求,但原料又容易因黄曲霉毒素污染及其他品质改变等问题而不宜使用。

目前缺乏对籼稻后熟的系统研究,米粉加工企业仅凭生产经验选择贮藏一段时间的籼稻制作米粉,并未深入了解原料的差异性和适用性,难以保证米粉品质。品质稳定的米粉原料来源成为困扰生产者的共同难题,也是实现中国传统米制食品工业化生产需要解决的关键问题。文章拟综述籼稻后熟作用对米粉品质的影响研究进展,以期为保障米制主食的原料稳定,推进传统米粉工业生产的现代化进程提供参考。

1 籼稻后熟对米粉品质的影响

粮食达到“收获成熟”时被收割,但此时其生理上并未完全成熟,表现为种子发芽率低^[4],加工、食用品质差,呼吸作用强,代谢旺盛,需经过一段时间的贮藏后,才能完成内部的生理生化变化,达到生理上的完全成熟(粮食的后熟)。完成后熟作用的粮粒,呼吸作用减弱,稳定性加强,发芽率升高,品质得到改善。因此,稻谷的后熟作用实际是食用品质和加工品质逐步完善的一个生理过程^[5]。

稻谷需经过后熟才能达到制作米粉的品质要求(表 1)。随贮藏年限(1~4 年)延长,米粉的蒸煮损失率降低,米粉更加爽滑^[6]。早、晚籼稻在(36±2)℃,相对湿度(RH)85%的条件下加速贮藏 0~3 个月,随贮藏时间的延长,制备的发酵型鲜湿米粉的咀嚼性、弹性因籼稻品种不同而不同程度地增大、黏性和蒸煮损失不同程度地降低;但米粉的白度值和电子鼻所得的风味无显著变化^{[7][11]18-20}。稻谷在室温下贮藏 0~18 个月后制备的非发酵型米排粉的质构特性随贮藏时间的延长也得以改善,表现在抗剪切性、拉伸性和弯曲性提高,表面黏性、碎粉率、断条率、汤汁沉淀和吐浆值降低,延长稻谷贮藏期可以降低米排粉黏性、增加硬度和劲道感^{[12]53-56,65-67}。总体而言,籼稻后熟改善了米粉的品质。

基金项目:国家自然科学基金项目(编号:31771899)

作者简介:莫西亚,女,长沙理工大学在读研究生。

通信作者:易翠平(1973—),女,长沙理工大学教授,博士。

E-mail: 109823769@qq.com

收稿日期:2021-04-20

2 籼稻后熟过程中理化性质的变化

籼稻后熟过程中,受稻谷品种与贮藏时间、温度等的影响^[13-14],其糊化特性、质构特性、水合特性等理化性质发生变化(表 2),使籼米品质改变,影响米粉等米制品品质。

2.1 糊化特性

糊化特性谱图简单且能准确反映籼米品质,可以作为衡量和预测籼米蒸煮、食用和加工品质的重要指标^[21-23],一般用快速黏度分析仪(RVA)测定。粳稻在 4~40 °C 下贮藏 0~4 个月,峰值黏度增大,且温度越高,变化越显著;另外,无论在何种贮藏温度下,粳米的崩解值均降低、回生值均增大^[24]。亦有研究^[25]表明,粳稻和籼稻经 20 °C 或 35 °C、RH 60% 贮藏 0~6 个月,籼米的峰值黏度、热糊黏度、冷糊黏度和回生值增大,崩解值降低。而 Yi 等^[7]将早、晚籼稻各 3 种在(36±2) °C, RH 85% 的条件下加速贮藏 0~3 个月,籼米糊化特性的各指标都发生显著变化,其中不同品种的回生值和糊化温度变化趋势最为一致,均显著增大。并发现籼米的冷糊黏度、崩解值、回生值、溶解性与鲜湿米粉的蒸煮损失、咀嚼性、弹性和黏性显著相关,其中冷糊黏度与鲜湿米粉黏性的相关系数最高,或许可以将冷糊黏度作为一项预测指标来选

择生产高品质鲜湿米粉的籼稻原料。

2.2 质构特性

籼米的凝胶质构特性赋予鲜湿米粉等米制品良好的黏弹性。根据流变学的观点,凝胶是一种可以表现出一定的屈服应力、具有黏弹性和中等模量(<10⁶ Pa)的物质;从结构学角度来看,凝胶是一个由相互连接的材料与许多隙间溶剂构成的连续的基质^[11]³。凝胶形态不同会导致其性质差异^[26]。籼米中所含的淀粉、蛋白质和脂类等大分子物质在籼稻后熟过程中的变化会对籼米的凝胶特性产生不同程度的影响^[27],进而影响鲜湿米粉的品质。将早、晚籼稻各 3 种在(36±2) °C, RH 85% 的条件下加速贮藏 0~3 个月,多数品种的籼米凝胶咀嚼性和弹性显著提高,黏性显著降低,籼稻的后熟作用提高了籼米的凝胶质构特性。相关性分析表明,籼米的凝胶咀嚼性和弹性与鲜湿米粉的蒸煮损失和黏性极显著负相关,与鲜湿米粉的咀嚼性和弹性极显著正相关;籼米的凝胶黏性与鲜湿米粉的蒸煮损失和黏性极显著正相关^[7]^[11]^{25-26,28}。

2.3 水合特性

水合特性亦是反映籼米特性的重要指标之一,其与淀粉颗粒的完整性和结晶性有关^[28]。贮藏后的籼米水合特性(溶解性和膨润力)低于新收获的籼米。(36±2) °C,

表 1 籼稻后熟对米粉品质的影响[†]

Table 1 Quality changes of rice noodle affected by after-ripening of *indica* rice

贮藏时间	米粉品质变化	参考文献
1~4 年	蒸煮损失率降低;断条率先下降后升高;硬度、咀嚼性、黏着性上升	[6]
0~3 个月	黏性、弹性增加,蒸煮损失率降低	[7]
3,9,11,21,23 个月	吐浆值及酸度呈增加趋势,含水量呈下降趋势	[8]
0~18 个月	破碎率减少,柔韧性增加	[9]
0~18 个月	最大破断应力、剪切应力、最大破断应变增加,米粉条拉伸特性和抗剪切性能改善	[10]

[†] 米粉品质变化均为随贮藏时间延长的变化。

表 2 籼稻后熟过程中理化性质的变化[†]

Table 2 Physicochemical properties changes of *indica* rice during after-ripening

品种	贮藏条件		理化性质变化	参考文献
	温度/°C	时间		
稻花香二号	15,20~25,37	0~300 d	硬度增加,黏着性降低	[15]
茉莉			硬度增加,黏着性、弹性降低	
Koshihikari, Kyeema, Doongara	4	0~16 个月	峰值黏度降低	[16]
	37		峰值黏度、崩解值降低	
BR-IRGA 410	20	0~180 d	糊化温度呈降低趋势	[17]
	35		糊化温度先降低后上升	
KhaoDawk Mali 105	室温	6 个月	回生值、终值黏度增加	[18]
金优 207	37	11 周	峰值黏度先上升后下降,回生值增大	[19]
Hom Daeng	28~35	12 个月	膨润力降低	[20]

[†] 籼稻理化性质变化均为随贮藏时间延长的变化。

RH 85%的条件下加速贮藏 0~3 个月的籼稻, 籼米的溶解性随后熟时间的延长显著降低, 且晚籼稻溶解性的变化程度显著高于早籼稻^{[11]27}。溶解性是固体在水溶液中分散或溶解的能力^[29], 溶解性的降低可能是由于直链淀粉—支链淀粉、支链淀粉—支链淀粉之间的相互作用增加以及键的增强所致^[30]。膨润力在籼稻后熟过程中的降低也可能是相互作用键的增强所致^[31]。相关性分析表明, 籼米的溶解性和膨润力与鲜湿米粉的蒸煮损失、咀嚼性、弹性和黏性极显著相关^[7]。

3 籼稻后熟过程中的大分子结构变化及相互作用

稻谷在贮藏过程中, 宏量组分的总含量虽无显著变化^[32], 但某些成分的分子结构发生了变化(表 3)。有研究认为, 早籼稻的直链淀粉含量、胶稠度和食味品质是影响米粉凝胶质构特性的主要因素^{[12]94[37]}; 亦有研究表明, 籼米熟化过程中, 脂肪酶水解脂肪, 形成游离脂肪酸与直链淀粉形成螺旋状络合物, 抑制淀粉膨润^[38]; 脂质过氧化物进一步诱导大米蛋白氧化, 将游离巯基转变为二硫键^[39-40], 使得大米蛋白交联度和聚集程度增加, 影响米制品品质^[41]。这些大分子结构变化导致籼稻品质变化, 从而影响米粉品质。

3.1 淀粉及相关酶类

淀粉是米粉中含量最多的组分, 其组成和结构是米粉品质的决定因子。研究报道, 直链淀粉的含量和结构与蒸煮米饭的水分吸收、体积膨胀及蓬松度正相关, 而与黏度、柔软性和色泽负相关^[37,42]。贮藏大米的品质受直链淀粉含量和分子量大小影响。贮藏 31 周后, 直链淀粉含量较高(23%~25%)的大米比含量较低(9%~11%)的大米黏度低、硬度高^[43]; 直链淀粉链长较长的蒸煮米饭硬度较大^[44]。而 Yi 等^[7]研究表明, 籼稻在(36±2)℃, RH 85%的条件下加速贮藏 0~3 个月, 直链淀粉含量变化仅在 1%~2%, 并不显著, 与 Baradi 等^[45]的研究结果相似。但不同籼稻种质资源间的直链淀粉含量差异较

大, 相关性分析表明, 直链淀粉含量与鲜湿米粉的咀嚼性极显著正相关, 与黏性极显著负相关。支链淀粉的精细结构亦影响大米凝胶的热特性和流变学特性^[46]。籼稻贮藏过程中, 支链淀粉的短链 Fa(聚合度 6~12)和长链 Fb₃(聚合度 37~60)的相对百分含量发生变化, 不同籼稻品种的长链 Fb₃或者短链 Fa 的链长增加, 并且支链淀粉的短链占比越小、长链占比越大, 鲜湿米粉的黏性越小(图 1)^[7]。这可能是在籼稻贮藏过程中, 淀粉水解酶降解了淀粉, 导致还原糖数量和支链淀粉的短链 Fa 占比增加^[47], 又或者是可溶性淀粉合成酶(SSs)和脱支酶(DBEs)等酶的协调作用增加了支链淀粉的长链占比^[48]。Pandey 等^[49]报道, 大米淀粉合成酶的不同亚型控制直链淀粉和支链淀粉的含量和结构, 其中可溶性淀粉合成酶基因 SSIIa 可以延长 α-葡聚糖的单位链长但不影响分支状况, 延长的外层链不溶且有结晶性(图 2); 颗粒结合淀粉合成酶 GBSS1 可以延长直链淀粉和支链淀粉的外链长度^[50]。此外, α-淀粉酶亦被认为在熟化过程中通过水解作用影响大米的品质^[51]。

淀粉的结晶程度也是影响鲜湿米粉品质的因素之一, 籼稻经贮藏后, 结晶结构没有变化, 均在 2θ 15°, 17°, 18°和 23°处有明显的衍射峰, 但相对结晶度却发生变化。糙米、黑米和红米在不同温度下贮藏 6 个月所分离的淀粉相对结晶度降低, 且贮藏温度越高, 相对结晶度降低越显著^[33]。梁兰兰^{[12]100-103}将汕优 998 稻在室温下贮藏 18 个月, 发现淀粉相对结晶度先降低, 后稳定, 再回升。相对结晶度与非发酵米排粉的最大破应力极显著负相关, 与吐浆量和断条率显著正相关。另有研究^{[11]35,37}表明, 随着籼稻贮藏时间的延长, 不同品种的淀粉相对结晶度呈不一致的变化趋势, 相关性分析表明, 淀粉的相对结晶度与发酵米粉的黏性极显著正相关。

3.2 蛋白质及其与淀粉的相互作用

蛋白质是籼米中含量仅次于淀粉的第二大组成分, 约占 8%~11%^[52]。贮藏过程中, 粗蛋白含量未发生显著变化, 但蛋白质的分级组分、相对分子质量却发生改

表 3 籼稻后熟过程中的大分子变化

Table 3 Molecular changes of *indica* rice during after-ripening

物质	贮藏条件		贮藏变化	参考文献
	温度/℃	时间		
淀粉	36±2	0~3 个月	支链淀粉的长链 Fb ₃ (聚合度 37~60)或者短链 Fa(聚合度 6~12)的链长增加	[7]
	40	6 个月	结晶结构不变, 但相对结晶度降低	[33]
	37	0~18 周	总巯基与游离巯基含量均降低	[34]
蛋白质	37	0~12 周	羰基含量增加, 游离巯基含量减少, β-折叠结构相对含量降低, 无规卷曲与 β-转角结构增加	[35]
脂类	20	360, 540 d	脂肪酸含量增加, 卵磷脂含量降低	[36]

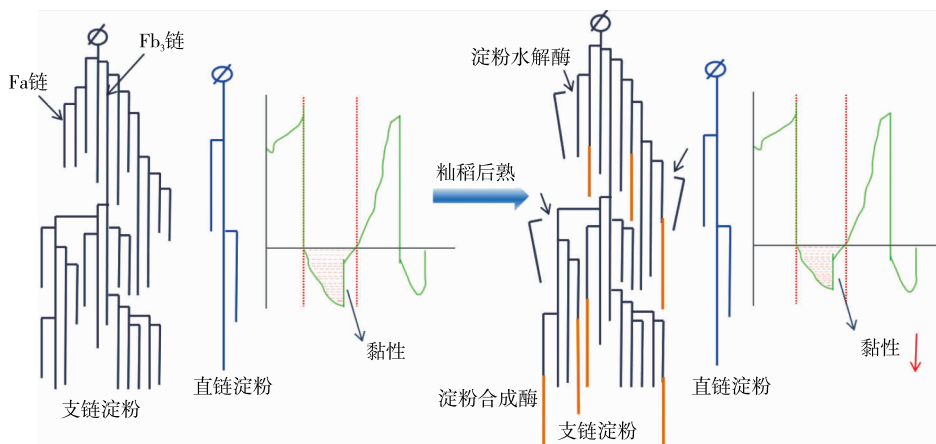


图 1 支链淀粉链长对鲜湿米粉黏度的影响

Figure 1 Effect of amylopectin chain length on the adhesiveness of fresh rice noodle

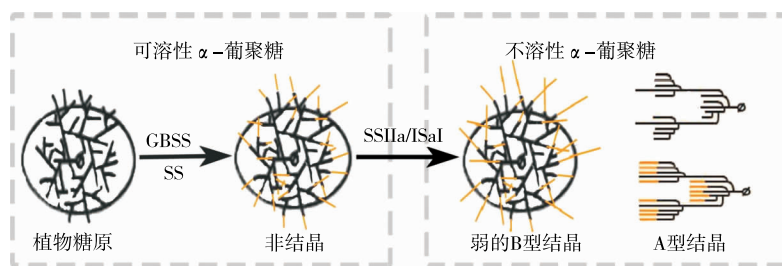


图 2 SSIIa 对葡聚糖及支链淀粉分子结构的影响^[49]

Figure 2 Effect of SSIIa on dextran and molecular structure of amylopectin

变^[53-54]。随着贮藏时间延长,清蛋白和球蛋白含量降低^[55]。有研究^[56]认为,籼稻在贮藏过程中,醇溶蛋白的存在导致籼米的峰值黏度先上升后降低,而谷蛋白则显著降低峰值黏度。贮藏蛋白(谷蛋白和醇溶蛋白)含量的降低可能与低分子量蛋白通过二硫键交联形成高分子量的蛋白有关^[57]。二硫键的增加和低分子量肽的减少使得大米蛋白的交联和聚集程度增加,进而限制淀粉颗粒的溶胀和糊化,导致大米食用品质和蒸煮品质下降^[53,58-59]。Zhao 等^[60]发现,粳稻贮藏后蛋白质二级结构发生改变,

α -螺旋和 β -折叠减少, β -转角和无规卷曲增加(表 4)。另有研究^[61]发现,籼稻在 45 °C 贮藏 6 个月后,球蛋白的 α -螺旋结构、谷蛋白的无规卷曲减少,而醇溶蛋白的反平行 β -折叠、清蛋白的 α -螺旋结构增加,蛋白质结构的改变可能是造成籼米糊化特性变化的原因之一。

而发酵鲜湿米粉的原料籼米经发酵后蛋白含量降低 50%,留下的主要是 60 ku 和 13.5 ku 的蛋白亚基条带^[62]。其中,60 ku 亚基一般是淀粉粒合成酶(granule-bound starch synthase, GBSS)^[63]。实际上,淀粉合成酶

表 4 贮藏时间和温度对大米蛋白质二级结构含量的影响^{[60]†}

Table 4 Influence of storage time and temperatures on rice protein secondary structure content

温度/°C	时间/d	α -螺旋/%	β -折叠/%	β -转角/%	无规卷曲/%
30	0	25.6±1.4 ^a	43.5±3.0 ^a	10.6±2.8 ^b	20.3±1.9 ^b
	100	24.4±1.2 ^{ab}	38.5±0.8 ^b	15.2±2.0 ^a	21.9±1.9 ^b
	200	22.8±0.7 ^b	37.4±1.2 ^b	15.9±1.6 ^a	23.9±1.7 ^{ab}
	300	20.8±0.5 ^c	36.3±2.4 ^b	16.7±2.5 ^a	26.2±2.0 ^a
70	0	25.6±1.4 ^a	43.5±3.0 ^b	10.6±2.8 ^b	20.3±1.9 ^c
	100	20.7±1.0 ^b	36.7±2.6 ^b	13.4±1.7 ^{ab}	29.2±3.2 ^a
	200	18.3±1.2 ^c	33.4±1.0 ^{bc}	14.7±2.3 ^{ab}	33.6±2.3 ^a
	300	16.5±1.0 ^c	31.2±0.9 ^c	16.5±2.0 ^a	35.8±0.8 ^a

† 同一列数据后的字母不同表示在 $P < 0.05$ 水平差异显著。

系列在谷物加工中常常表现为淀粉粒结合蛋白(Starch granule-associated proteins, SGAPs),与直链淀粉紧密结合在一起影响谷物的基本性质:降低糊的黏度,通过增加淀粉凝胶的硬度而降低由剪切引起的淀粉破损等。SGAPs一般由低分子量蛋白亚基(5~30 ku)和高分子量蛋白亚基(60~149 ku)构成,其中低分子量 SGAPs 是淀粉颗粒表面蛋白(starch granule-surface proteins, GSP),能用盐溶液提取,高分子量 SGAPs 是淀粉颗粒通道蛋白(starch granule-channel protein, GCP),需要用很强的表面活性剂在淀粉粒溶胀的条件下才能被提取^[63]。SGAPs 与淀粉分子的结合有利于提高淀粉体系的结构稳定性,脱除 GCP 导致直链淀粉浸出率、溶解度、膨润力增加,降低淀粉的表观结晶度、终值黏度等;脱除 GSP 后,淀粉颗粒暴露,糊化过程中峰值黏度上升^[64]。由于 GCP 与 GSP 的去,更多的 α -淀粉酶活性位点暴露,使淀粉水解速率提高,从而影响大米品质^[65]。

3.3 脂类及其与淀粉的相互作用

稻米中的脂类,包括非淀粉脂、淀粉脂。非淀粉脂主要包括圆球体、脂肪体的脂肪以及与细胞膜、蛋白体结合的脂肪,而淀粉脂主要是与淀粉粒结合的脂肪。在稻米的脱糙、精制过程中,大部分非淀粉脂被去除,因此内胚

乳中主要是以淀粉—脂类复合物形式存在的淀粉脂^{[12]16}。大米脂肪在贮存期间易发生水解和氧化,其脂肪酸组成和含量都发生改变^[41,66-67],从而影响籼米品质。对 38.8 °C 贮藏 6 个月的糙米粉进行脱脂处理,发现脱去非淀粉脂的糙米峰值黏度、终值黏度均降低^[68]。亦有研究^{[11]35}表明,籼稻在(36±2) °C, RH 85% 的条件下加速贮藏 0~3 个月,所得淀粉在 2 θ 为 20° 处的淀粉脂吸收峰略有减弱,可能是脂肪的水解或氧化导致与淀粉的结合变少,淀粉脂结构的减弱有利于淀粉吸水膨胀,形成更好的凝胶网络结构,进而提高鲜湿米粉的品质。

淀粉和脂类的相互作用亦影响淀粉的特性和功能。在谷物中,直链淀粉一般以左手螺旋的空腔结构,将结合脂类包埋在其中形成直链淀粉—脂类复合物(图 3),脂类的链长和不饱和度通过影响复合物的结构而影响谷物的热稳定性和结晶度,从而使复合物的酶水解作用、溶解度和膨润力降低,改变淀粉的基本特性^[69]。此外,支链淀粉虽然没有直接证据证明可以与脂类形成真实的复合物,但某些脂类可以通过与支链淀粉的相互作用,影响淀粉的特性^[69]。由此可见,籼稻在贮藏过程中,脂类的氧化、脂肪酸值升高等现象必然会引起脂类结构改变从而通过与淀粉的相互作用而改变籼米的品质。

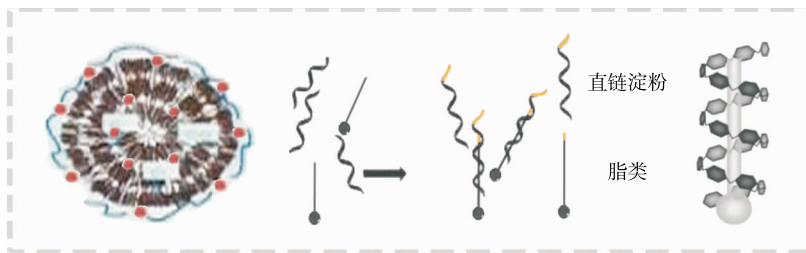


图 3 直链淀粉与脂类的相互作用

Figure 3 Interaction between amylose and lipids

4 结论

籼稻的后熟作用使淀粉、蛋白质、脂类等大分子的结构及相互作用发生改变,影响籼米的理化性质,进而使米粉在口感、风味、质构等方面得到改善。了解籼稻后熟作用对米粉品质的影响,对控制籼稻的后熟及选择优良的生产原料从而推进米粉工业生产现代化起着重要作用。然而目前关于籼稻后熟对米粉品质的影响主要集中在淀粉、风味物质等的变化,而关于籼稻后熟过程中蛋白质、脂类如何影响米粉品质的研究较少;其次,关于籼稻后熟对米粉品质的影响多局限于淀粉、蛋白质和脂类等大分子宏观量的变化,缺乏分子结构层面的变化及他们之间相互作用的研究,这些变化对米粉品质的影响需进一步深入研究。

参考文献

[1] 中商产业研究院. 米粉行业发展前景良好 未来需突破加工技

术难题[J]. 中国食品, 2019(14): 88-91.

- [2] SATMALEE P, CHAROENREIN S. Acceleration of ageing in rice stick noodle sheets using low temperature[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2009, 44(7): 1 367-1 372.
- [3] ZHOU Zhong-kai, WANG Xiao-feng, SI Xu, et al. The ageing mechanism of stored rice: A concept model from the past to the present[J]. Journal of Stored Products Research, 2015, 64: 80-87.
- [4] DU W, CHENG J, CHENG Y, et al. Physiological characteristics and related gene expression of after-ripening on seed dormancy release in rice[J]. Plant Biology, 2015, 17(6): 1 156-1 164.
- [5] 冯攀屹, 王晓曦, 董秋晨, 等. 小麦后熟作用对其品质变化的影响[J]. 粮食加工, 2010, 35(5): 37-39.
- [6] 张玉荣, 周显青, 彭超, 等. 不同储藏年限稻谷的品质及鲜湿米粉加工适应性分析[J]. 食品科学, 2020, 41(23): 42-48.
- [7] YI Cui-ping, ZHU Hong, BAO Jin-song, et al. The texture of fresh rice noodles as affected by the physicochemical properties and starch fine structure of aged paddy[J]. LWT-Food Science & Tech-

- nology, 2020, 130: 109610.
- [8] 吴卫国, 李合松, 曹薇, 等. 稻谷储藏期对米粉品质的影响[J]. 粮食与饲料工业, 2006(1): 5-7, 12.
- [9] 陈嘉东, 梁兰兰, 杨晓泉, 等. 稻谷储存时间对米排粉碎粉率和柔韧性的影响[J]. 中国粮油学报, 2011, 26(5): 7-11.
- [10] 梁兰兰, 赵志敏, 吴军辉, 等. 稻谷陈化时间对米粉制品品质特性的影响[J]. 华南理工大学学报(自然科学版), 2010, 38(4): 65-70, 96.
- [11] 祝红. 籼稻的后熟及其淀粉对鲜湿米粉品质的影响[D]. 长沙: 长沙理工大学, 2020.
- [12] 梁兰兰. 稻谷储存时间及品种对米排粉品质影响机理研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2010.
- [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] 谢岚, 全珂, 刘艳兰, 等. 贮藏温度和时间对籼稻糊化特性的影响[J]. 食品与机械, 2020, 36(2): 129-133, 170.
- [15] 赵卿宇, 郭辉, 沈群. 香米不同储存过程理化和食用品质变化[J/OL]. 食品科学. [2021-04-12]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20200722.1322.064.html>.
- [16] ZHOU Zhong-kai, ROBARDS K, HELLIWELL S, et al. Effect of rice storage on pasting properties of rice flour[J]. Food Research International, 2003, 36(6): 625-634.
- [17] KAMINSKI T A, BRACKMANN A, SILVA L P D, et al. Changes in culinary, viscoamylographic and sensory characteristics during rice storage at different temperatures[J]. Journal of Stored Products Research, 2013, 53: 37-42.
- [18] SOPONRONNARIT S A, CHIAWET M A, PRACHAYAWARA-KORN S B, et al. Comparative study of physicochemical properties of accelerated and naturally aged rice (Article)[J]. Journal of Food Engineering, 2008(2): 268-276.
- [19] 吴伟, 李彤, 蔡勇建, 等. 三种稻米在贮藏过程中蒸煮特性变化的比较[J]. 食品与机械, 2014, 30(3): 122-126.
- [20] TANANUWONG K, MALILA Y. Changes in physicochemical properties of organic hulled rice during storage under different conditions[J]. Food Chemistry, 2010, 125(1): 179-185.
- [21] TONG Chuan, CHEN Ya-ling, TANG Fu-fu, et al. Genetic diversity of amylose content and RVA pasting parameters in 20 rice accessions grown in Hainan, China[J]. Food chemistry, 2014, 161: 239-245.
- [22] BAO Jin-song, SHEN Sheng-quan, XIA Ying-wu. Analysis of genotype \times environment interaction effects for starch pasting viscosity characteristics in indica rice [J]. Acta genetica sinica, 2006, 33(11): 1 007-1 013.
- [23] 何秀英, 程永盛, 刘志霞, 等. 国标优质籼稻的稻米品质与淀粉 RVA 谱特征研究[J]. 华南农业大学学报, 2015, 36(3): 37-44.
- [24] ISONO H, OHTSUBO K, IWASAKI T, et al. Eating quality of domestic and foreign rices of various varieties and characteristics[J]. Journal of the Japanese Society for Food Science and Technology-nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi, 1994, 41(7): 485-492.
- [25] 雷玲, 孙辉, 姜薇莉, 等. 稻谷储存过程中品质变化研究[J]. 中国粮油学报, 2009, 24(12): 101-106.
- [26] DAMODARAN S, PARKIN K L. Fennema's food chemistry[M]. 5th ed. [S.l.]: CRC Press, 2017: 131-132.
- [27] 熊善柏, 赵思明, 饶应昌, 等. 稻米的凝胶特性研究[J]. 食品科学, 2001(7): 21-25.
- [28] TONG Li-tao, GAO Xiao-xu, LIN Li-zhong, et al. Effects of semi-dry flour milling on the quality attributes of rice flour and rice noodles in China[J]. Journal of Cereal Science, 2015, 62: 45-49.
- [29] FALADE K O, SEMON M, FADAIRO O S, et al. Functional and physico-chemical properties of flours and starches of African rice cultivars[J]. Food Hydrocolloids, 2014, 39: 41-50.
- [30] SUN Qing-jie, WANG Tao, XIONG Liu, et al. The effect of heat moisture treatment on physicochemical properties of early indica rice[J]. Food Chemistry, 2013, 141(2): 853-857.
- [31] HUANG Ting-ting, ZHOU Da-nian, JIN Zheng-yu, et al. Effect of repeated heat-moisture treatments on digestibility, physicochemical and structural properties of sweet potato starch[J]. Food Hydrocolloids, 2016, 54: 202-210.
- [32] PATINDOL J, WANG Y J, JANE J L. Structure-functionality changes in starch following rough rice storage[J]. Starch-Starke, 2005, 57(5): 197-207.
- [33] ZIEGLER V, FERREIRA C D, GOEBEL J T S, et al. Changes in properties of starch isolated from whole rice grains with brown, black, and red pericarp after storage at different temperatures (Article)[J]. Food Chemistry, 2017, 216: 194-200.
- [34] 吴晓娟, 吴伟. 籼粳稻两个品种大米储藏过程中蛋白质氧化对其蒸煮食用品质的影响[J]. 食品科学, 2019, 40(1): 16-22.
- [35] 吴伟, 吴晓娟. 籼米中嘉早 17 储藏过程中蛋白质氧化程度及结构的变化[J]. 中国粮油学报, 2018, 33(10): 104-109.
- [36] ZHANG Dong, DUAN Xiao-ling, SHANG Bo, et al. Analysis of lipidomics profile of rice and changes during storage by UPLC-Q-extractive orbitrap mass spectrometry[J]. Food Research International (Ottawa, Ont), 2021, 142: 110214.
- [37] YU Shi-feng, MA Ying, SUN Da-wen, et al. Impact of amylose content on starch retrogradation and texture of cooked milled rice during storage[J]. Journal of Cereal Science, 2009, 50(2): 139-144.
- [38] KAUR K, SINGH N. Amylose-lipid complex formation during cooking of rice flour[J]. Food Chemistry, 2000, 71(4): 511-517.
- [39] MORITAKA S, YASUMATSU K. The effect of sulfhydryl groups on storage deterioration of milled rice[J]. Eiyu To Shokuryo, 1972, 25(2): 59-62.
- [40] 任顺成, 周瑞芳, 李永红. 大米陈化过程中谷蛋白与大米质构特性的变化[J]. 中国粮油学报, 2002(3): 42-46.
- [41] LEE Y, MAUROMOUSTAKOS A, WANG Y J. Effects of heat treatments on the milling, physicochemical, and cooking properties of two long-grain rice cultivars during storage [J]. Cereal Chemistry, 2014, 91(1): 56-64.
- [42] BHATTACHARYA K, JULIANO B. Rice: Chemistry and technology[M]. Minnesota: American Association of Cereal Chemists,

- 1985: 289-348.
- [43] THANATHORNVARAKUL N, ANUNTAGOOL J, TANANUWONG K. Aging of low and high amylose rice at elevated temperature: Mechanism and predictive modeling [J]. *Journal of Cereal Science*, 2016, 70: 155-163.
- [44] JANE J L. Effect of amylose molecular size and amylopectin branch chain length on paste properties of starch [J]. *Cereal Chem*, 1992, 69(1): 60-65.
- [45] BARADI M A U A, ANCHETA R G A, ROMERO M V B. Effects of storage methods and time on the quality of traditional rice [J]. *Philippine Agricultural Scientist*, 2016, 99(3): 238-245.
- [46] TAKAHASHI T, FUJITA N. Thermal and rheological characteristics of mutant rice starches with widespread variation of amylose content and amylopectin structure [J]. *Food Hydrocolloids*, 2017, 62: 83-93.
- [47] HUANG Yu-chan, LAI Hsi-mei. Characteristics of the starch fine structure and pasting properties of waxy rice during storage [J]. *Food Chemistry*, 2014, 152: 432-439.
- [48] BAO Jing-song. Rice chemistry and technology [M]. 4th ed. Amsterdam: Elsevier Inc, AACC International, 2019: 67-73.
- [49] PANDEY M K, RANI N S, MADHAV M S, et al. Different isoforms of starch-synthesizing enzymes controlling amylose and amylopectin content in rice (*Oryza sativa* L.) [J]. *Biotechnology Advances*, 2012, 30(6): 1 697-1 706.
- [50] NANKO F, ISAO H, SACHI S, et al. Elongated phytylglycogen chain length in transgenic rice endosperm expressing active starch synthase IIa affects the altered solubility and crystallinity of the storage α -glucan [J]. *Journal of Experimental Botany*, 2012, 63(16): 5 859-5 872.
- [51] HAKATA M, KURODA M, MIYASHITA T, et al. Suppression of α -amylase genes improves quality of rice grain ripened under high temperature [J]. *Plant Biotechnology Journal*, 2012, 10(9): 1 110-1 117.
- [52] AHMAD U A, ALFARO L B, YEBOAH-AWUDZI M C, et al. Influence of milling intensity and storage temperature on the quality of Catahoula rice (*Oryza sativa* L.) (Article) [J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2017, 75: 386-392.
- [53] LIKITWATTANASADE T, HONGSPRABHAS P. Effect of storage proteins on pasting properties and microstructure of Thai rice [J]. *Food research international*, 2010, 43(5): 1 402-1 409.
- [54] 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): 1 804-1 809.
- [55] 王娜. 储藏条件对稻谷陈化的影响研究 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2010: 31-33.
- [56] SHI Jia-yi, WU Mei-dan, QUAN Meng-meng. Effects of protein oxidation on gelatinization characteristics during rice storage (Article) [J]. *Journal of Cereal Science*, 2017, 75: 228-233.
- [57] ZHOU Zhong-kai, KEVIN R, HELLIWELL S, et al. Rice ageing I: Effect of changes in protein on starch behaviour [J]. *Starch-Starke*, 2003, 55(3/4): 162-169.
- [58] ZHOU Zhong-kai, YANG Xue, SU Zhe, et al. Effect of ageing-induced changes in rice physicochemical properties on digestion behaviour following storage (Article) [J]. *Journal of Stored Products Research*, 2016, 67: 13-18.
- [59] 王鹏跃, 沈庆霞, 路兴花, 等. 米蛋白及其组分与米饭物性及感官的关联特征研究 [J]. *食品与机械*, 2016, 32(3): 24-27.
- [60] ZHAO Qing-yu, LIN Jia-hui, WANG Chao, et al. Protein structural properties and proteomic analysis of rice during storage at different temperatures [J]. *Food Chemistry*, 2021, 361: 130028.
- [61] GUO Yu-bao, CAI Wei-rong, TU Si-cong, et al. Infrared and Raman spectroscopic characterization of structural changes in albumin, globulin, glutelin, and prolamin during rice aging [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2013, 61(1): 185-192.
- [62] 杨有望. 鲜湿米粉自然发酵的研究 [D]. 长沙: 长沙理工大学, 2016: 17.
- [63] HAMAKER B R, GRIFFIN V K, MOLDENHAUER K A K. Potential influence of a starch granule-associated protein on cooked rice stickiness [J]. *Journal of Food Science*, 1991(5): 1 327-1 329.
- [64] ZHAN Qian, YE Xiao-ting, ZHANG Yu, et al. Starch granule-associated proteins affect the physicochemical properties of rice starch [J]. *Food Hydrocolloids*, 2020, 101: 105504.
- [65] MA Meng-ting, XU Yi-juan, LIU Zi-yi, et al. Removal of starch granule-associated proteins promotes α -amylase hydrolysis of rice starch granule [J]. *Food chemistry*, 2020, 330: 127313.
- [66] 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.
- [67] 杨志成, 张双凤, 张丞彦, 等. 人工加速陈化对优质稻谷贮藏品质的影响 [J]. *食品与机械*, 2020, 36(4): 132-136, 145.
- [68] 张向民, 周瑞芳, 冯仑. 脂类在稻米陈化过程中的变化及与稻米糊化特性的关系 [J]. *中国粮油学报*, 1998(3): 18-22.
- [69] AMAGLIANI L A, O'REGAN J B, KELLY A L A, et al. Chemistry, structure, functionality and applications of rice starch (Review) [J]. *Journal of Cereal Science*, 2016, 70: 291-300.
-
- (上接第 10 页)
- [17] 张葵, 车佩云. 我国特殊医学用途配方食品营养功效调查 [J]. *粮食科技与经济*, 2019, 44(9): 110-116.
- [18] 吴秀文. 新型冠状病毒肺炎营养治疗的研究进展 [J]. *肠外与肠内营养*, 2020, 27(3): 133-135.
- [19] HARAJ N E, AZIZ S E, CHADLI A, et al. Nutritional status assessment in patients with Covid-19 after discharge from the intensive care unit [J]. *Clinical Nutrition ESPEN*, 2020, 41: 423-428.
- [20] 解读《新冠肺炎疫情期间重点人群营养健康指导建议》 [J]. *中国食品卫生杂志*, 2020, 32(3): 344.
- [21] 刘娜. 新冠肺炎疫情期间儿童青少年营养健康指导建议 [J]. *家有孕宝*, 2020, 2(11): 57.
- [22] CHI Xin-li, LIANG Kai-xin, CHEN Si-tong, et al. Mental health problems among Chinese adolescents during the COVID-19: The importance of nutrition and physical activity [J]. *International Journal of Clinical and Health Psychology*, 2020, 21(3): 100218.