

湿度对糙糯米发芽过程中淀粉结构及糊化性能的影响

冯志强¹, 肖乃勇^{2,3}, 孙建伟¹, 张照勇¹, 王宏伟^{2,3*}

(1. 三全食品股份有限公司, 郑州 450044; 2. 郑州轻工业大学食品与生物工程学院, 郑州 450002;
3. 河南省食品生产与安全协同创新中心, 郑州 450002)

摘要: **目的** 研究湿度对糙糯米发芽过程中淀粉结构及糊化性能的影响。**方法** 通过扫描电镜、X射线衍射仪、拉曼光谱、差示扫描量热仪、快速粘度测定仪等方法测定糙糯米淀粉结构和糊化性能。**结果** 发芽处理破坏了糙糯米淀粉的颗粒结构、结晶结构和螺旋结构,使其淀粉颗粒表面出现凹坑和孔洞,颗粒粒径减小,淀粉结构无序化程度增加,且随着发芽过程中湿度条件的改变,趋势越加明显。此外,由于发芽处理对淀粉结构的影响,致使淀粉的糊化温度、热糊稳定性升高,而降低了淀粉糊的黏度性能。**结论** 发芽湿度条件能够显著影响糙糯米发芽过程中淀粉结构特性及糊化性能。

关键词: 发芽湿度; 糙糯米; 淀粉; 结构特性

Effect of germination humidity on starch structure and gelatinization performance during germination of glutinous brown rice

FENG Zhi-Qiang¹, XIAO Nai-Yong^{2,3}, SUN Jian-Wei¹, ZHANG Zhao-Yong¹, WANG Hong-Wei^{2,3*}

(1. Sanquan Foods Co., Ltd, Zhengzhou 450044, China; 2. Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450002, China; 3. Collaborative Innovation Center for Food Production and Safety, Zhengzhou 450002, China)

ABSTRACT: Objective To study the effects of germination humidity on starch structure and gelatinization performance during germination of glutinous brown rice. **Methods** Starch structure and gelatinization performance of glutinous brown rice were determined by scanning electron microscopy, X-ray diffractometry, Raman spectroscopy, differential scanning calorimeter and fast viscosity analyzer. **Results** Germination treatment destroyed the granular structure, crystal structure and spiral structure of the brown rice starch, causing pits and pores on the surface of the starch particles, reducing the particle size and increasing the disorder of the starch structure. And as the humidity conditions changed during the germination process, the trend became more obvious. In addition, due to the influence of the germination treatment on the starch structure, the gelatinization temperature and the hot paste stability of the starch were increased, and the viscosity property of the starch paste was lowered. **Conclusion** The germination humidity can significantly affect the starch structure and gelatinization properties of glutinous rice during germination.

KEY WORDS: germination humidity; glutinous brown rice; starch; structure properties

基金项目: 国家重点研发计划子课题(2018YFD0400604-02)

Fund: Supported by the National Key Research and Development Program Sub-topic of China (2018YFD0400604-02)

*通讯作者: 王宏伟, 主要研究方向为淀粉功能及结构解析。E-mail: 717053312@qq.com

*Corresponding author: WANG Hong-Wei, School of Food and Biological Engineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450002, China. E-mail: 717053312@qq.com

1 引言

糙米是稻谷经稻谷去壳后保留了外部皮层组织的全谷物米粒, 其主要由皮层、糊粉层、胚乳和胚组成。相对精米而言, 糙米中含有多种矿物质元素、膳食纤维、谷胱氨酸、 γ -氨基丁酸、谷维素等多种功能性营养物质, 具有极高的营养价值。但是由于糙米皮层中大量的糠层和纤维物质的存在, 使得加工后的糙米制品食味品质较差, 且难以被消化吸收, 作为主食不易被消费者接受^[1,2]。然而, 随着营养均衡的饮食理念深入人心, 糙米的营养价值和生理功能逐渐引起了人们的重视, 针对糙米制品的食用品质改良以及开发易被人群接受的糙米主食食品研究成为国内外研究工作的热点^[3]。

目前国内外关于糙米食用品质的加工改良技术繁多, 其主要发芽技术、酶技术、发酵技术、挤压膨化技术、超高压技术等^[3]。其中, 发芽技术是一种新型的生物改性技术, 可以改善糙米食用品质, 进一步提高其营养价值。糙米发芽过程中, 在一定温度、湿度等环境处理条件下种子内部的酶类物质被激活, 通过一系列的生物酶解作用进而改善糙米内部的营养成分组成及相关理化特性^[4]。淀粉是糙米的主要组成物质, 其理化性能的变化将直接影响糙米制品的应用。目前, 有关发芽对糙米淀粉理化特性的影响^[5-8], 而对于发芽环境条件对糙米淀粉的理化特性及结构特性的研究较少, 且以糙糯米淀粉为原料的研究几乎不可见。

本文研究了糙糯米发芽过程中环境的湿度条件对其淀粉结构特性及理化特性的影响, 建立糙糯米结构特性变化与其理化性能间的内在联系, 以为发芽糙米制品的研发提供一定的理论基础。

2 材料与方法

2.1 材料与仪器

糙糯米(粳型, 淀粉含量 82%): 北京金禾绿源商贸有限公司。

HWS-080 恒温恒湿培养箱(上海精宏试验设备有限公司); JSM-6490LV 扫描电子显微镜(日本 JEOL 公司); S3500 激光粒度分析仪(美国 Microtrac 有限公司); D8 advance X-射线衍射仪(德国 Bruker 公司); BWS465-785S 便携式拉曼光谱仪(美国 Bwtek 公司); DSC Q2000 差式扫描量热仪(美国 TA 仪器公司); RVA4500 快速黏度测定仪(澳大利亚波通仪器有限公司); Discovery 流变仪(美国 TA 仪器公司); TG16-WS 台式高速离心机(湖南湘仪实验室仪器开发公司)。

2.2 试验方法

2.2.1 发芽糙糯米的制备

参照吴晓娟等^[7]的方法进行了发芽糙糯米的制备。选

取颗粒饱满、米粒大小一致的糙糯米粒, 用 1% 的 NaClO 溶液(1/1)浸泡杀菌 30 min 后, 去离子水洗净, 调节 pH 为 7。室温下, 在去离子水中浸泡 12 h, 每隔 0.5 h 搅拌 1 次。弃去水溶液, 将糙米转移至培养皿中。在恒温恒湿箱中进行发芽处理, 设置培养箱温度为 30 °C, 发芽时间 48 h。发芽湿度(培养环境体系)分别为 50%、60%、70%、80%。

2.2.2 发芽糙糯米淀粉的提取

发芽糙糯米淀粉的提取参照 Wang 等^[9]的方法: 将制备好的发芽糙糯米清洗干净后, 打浆过 240 目筛, 离心后, 弃去上清液。将沉淀物与 0.4% 的 NaOH 溶液以 1:5(m/V) 的比例混匀, 再次离心, 弃去上清液, 重复 3 次。然后, 将湿淀粉放入 45 °C 烘箱中干燥 24 h, 过 160 目筛封存备用。根据糙糯米发芽过程中培养箱培养湿度的不同, 将原淀粉和 50%、60%、70% 和 80% 发芽湿度条件下发芽处理得到的淀粉样品分别命名为 Waxy rice, GBS-50%, GBS-60%, GBS-70%, GBS-80%。

2.2.3 扫描电镜分析

将经过干燥处理后的淀粉样品, 均匀涂抹在粘有导电胶的样品台上, 喷金处理后, 放入扫描电镜的真空样品室中观察, 选取具有代表性的淀粉颗粒形貌于 3000 倍放大倍数下拍照。工作电压为 10 kV。

2.2.4 粒径分布分析

称取一定量的淀粉样品, 加入适量的蒸馏水配置成质量分数为 1% 的淀粉乳液, 采用 Microtrac S3500 型激光粒度分析仪进行样品粒径大小和粒度分布进行测定^[10]。

2.2.5 X 射线衍射分析

称取一定量的淀粉样品平铺于样品槽中, 于 D8 advance 型 X 射线衍射仪样品台上进行淀粉样品晶体结构的测定。测试过程中, 设置仪器参数为: 波长 0.1542 nm 的单色 Cu-K α 射线、管压 40 kV, 管流 30 mA, 扫描区域 4°~60°, 采样步宽 0.02°, 扫描方式为连续, 重复次数为 1。

2.2.6 拉曼光谱分析

称取一定量的淀粉样品置于高约 1 cm 的铝盒中, 用配有光纤探头的 BWS465-785S 高性能便携式拉曼光谱仪进行淀粉样品拉曼光谱的测定。测试条件为: 扫描范围为 175~4000 cm⁻¹, 光谱分辨率 4 cm⁻¹, 激发功率 100 mW, 曝光时间 10 s, 扫描方式为连续, 重复次数为 64。

2.2.7 热力学特性分析

称取约为 0.2 g 的淀粉样品于小试管中, 加入适量的蒸馏水配置成质量分数为 30% 的淀粉乳液。在 4 °C, 待淀粉乳液密封平衡 24 h 后, 精确吸取 12 mg 淀粉乳液于液体测试铝盒中, 压片机压片后, 采用 Q2000 差式扫描量热仪进行样品热稳定性分析。测试条件为: 升温范围为 20~120 °C, 升温速率 10 °C/min。测试以密封的空铝盘为参比。

2.2.8 糊化特性分析

准确称取 1.5 g 淀粉(干基), 加入适量蒸馏水于测试铝罐中配置质量分数比 6% 的淀粉乳液, 采用 RVA4500 快速

黏度测定仪进行淀粉样品糊化特性的测定^[11]。测试程序为: 25 °C 下保持 1 min; 以 5 °C/min 的速率升温至 95 °C (14 min); 95 °C 下保持 10 min; 以 5 °C/min 的速率降温至 50 °C (9 min); 50 °C 下保温 10 min。糊化过程中的起始转速为 960 r/min, 随后均采用 160 r/min 转速测定。

2.3 数据处理与分析

所有试验均重复 3 次以上(特别说明除外), 用 Microsoft Excel 2013 分析处理, 通过 Origin 9.0 作图, 统计分析采用 SPSS 22.0 软件, 方差分析采用 Duncan 多重比较法进行显著性检验($P < 0.05$)。

3 结果与分析

3.1 不同发芽湿度处理对糙糯米淀粉颗粒形貌的影响

图 1 为不同发芽湿度处理前后糙糯米淀粉的扫描电子显微镜图片。由图可以看出, 发芽处理前糙糯米淀粉的颗粒大小较为均一, 呈多角、无规则形态, 且表面光滑、规整。经过发芽处理后, 淀粉颗粒表面变得粗糙, 出现凹坑和孔洞, 形态变得不规整; 且随着发芽湿度的增加, 淀粉表面的破坏程度加剧, 凹陷和孔洞数量明显增加, 甚至颗粒出现破碎、颗粒粒径变小。上述结果可能是由于发芽处理导致糙糯米中内源酶类物质的激活以及相关淀粉酶对淀粉颗粒的水解作用, 且发芽环境的变化对相关淀粉酶类物质的酶活性影响显著^[8]。

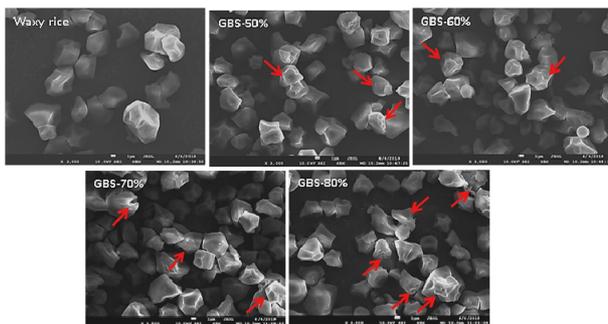


图 1 不同发芽湿度处理对糙糯米淀粉颗粒形貌的影响

Fig.1 The morphological characteristics of waxy brown rice starch with different germination humidity treatment

3.2 不同发芽湿度处理对糙糯米淀粉粒径分布的影响

表 1 分别给出了不同发芽湿度处理前后糙糯米淀粉颗粒的粒径参数。由数据表明, 在不同发芽湿度处理条件下, 糙糯米淀粉颗粒的平均粒径 $D(0.5)$ 从 6.95 μm 减少到 4.97 μm 。同样地, 发芽处理后糙糯米淀粉颗粒的 $D(0.1)$ 和 $D(0.9)$ 也呈现减小的趋势, 这可能源于发芽过程中内源酶的激活, 引起了淀粉颗粒的侵蚀和水解, 从而使得淀粉颗

粒向小粒径范围移动; 且作为糙糯米发芽过程中的主要环境影响条件之一, 发芽湿度的增加可能一定程度促进了糙糯米中内源酶类物质的生成以及相关淀粉酶活性的增强, 导致淀粉颗粒的水解程度加剧, 使得淀粉颗粒变小^[12]。此外, 通过 SEM 和粒径分布变化对比可知, 粒径大小的变化与电泳的结果相一致。

表 1 不同发芽湿度处理对糙糯米淀粉粒径参数的影响($n=3$)
Table 1 Size parameters of waxy brown rice starch subject to different germination humidity treatment ($n=3$)

样品	D(0.1)/ μm	D(0.5)/ μm	D(0.9)/ μm
Waxy rice	3.17 \pm 0.14 ^a	6.95 \pm 0.13 ^a	14.33 \pm 0.05 ^a
GBS-50%	2.61 \pm 0.15 ^b	5.21 \pm 0.09 ^b	10.43 \pm 0.04 ^b
GBS-60%	2.63 \pm 0.06 ^b	5.25 \pm 0.08 ^b	10.66 \pm 0.17 ^b
GBS-70%	2.61 \pm 0.04 ^b	5.23 \pm 0.05 ^b	10.84 \pm 0.07 ^b
GBS-80%	2.49 \pm 0.14 ^c	4.97 \pm 0.06 ^c	10.97 \pm 0.09 ^b

注: 同一列中不同字母表示有显著性差异($P < 0.05$)。

3.3 不同发芽湿度处理对糙糯米淀粉结晶结构的影响

图 2 和表 2 为不同发芽湿度处理后糙糯米淀粉 X 射线衍射光谱图及相对结晶度数据。由图 2 可看出, 糙糯米淀粉的衍射峰在 15 °、23 ° 均出现了强烈的衍射峰, 并且在 2 θ 的 17 ° 和 18 ° 附近出现了双峰, 表明糙糯米淀粉的结晶结构为典型的 A 型结构^[13]。经过发芽处理后的糙糯米淀粉, 虽然峰强度有所减弱, 但衍射峰位置未发生偏移, 结晶类型没有发生变化, 此结果与 Wu 等^[14]研究发现一致。通过表 2 可知, 经过发芽处理后糙糯米中淀粉的相对结晶度降低, 结晶结构遭到破坏, 且随着发芽过程中培养湿度的增加, 淀粉的结晶结构破坏增强, 结晶区域弱化程度加剧, 淀粉的相对结晶度呈现逐渐降低的趋势。

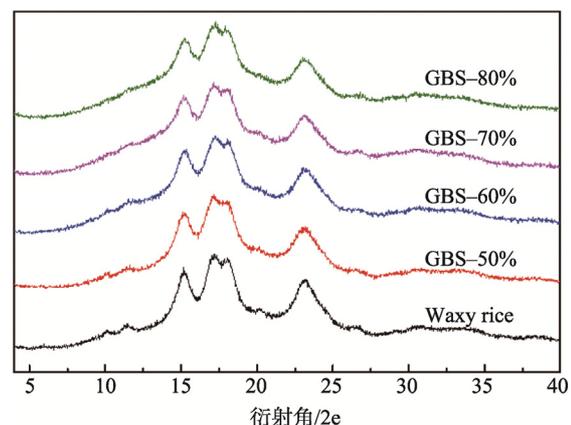


图 2 不同发芽湿度处理对糙糯米淀粉 X 射线衍射图谱的影响
Fig.2 Effect of X-ray diffraction pattern of waxy brown rice starch with different germination humidity treatment

表 2 不同发芽湿度处理对糙糯米淀粉相对结晶度和短程有序化程度的影响($n=3$)

Table 2 Relative crystallinity of waxy brown rice starch treated by germination treatment at different humidity ($n=3$)

样品	相对结晶度/%	半高宽
Waxy rice	35.84±0.24 ^b	16.47±0.08 ^b
GBS-50%	33.70±0.51 ^c	16.84±0.09 ^{ab}
GBS-60%	33.25±0.12 ^{cd}	17.35±0.04 ^a
GBS-70%	32.76±0.14 ^b	17.10±0.07 ^{ab}
GBS-80%	32.68±0.11 ^b	17.15±0.08 ^{ab}

注: 同一列字母中不同字母表示有显著性差异 ($P<0.05$)。

3.4 不同发芽湿度处理对糙糯米淀粉短程有序化结构的影响

前人研究表明, 在拉曼位移为 480 cm^{-1} 时, 此处特征峰的半峰宽的大小与淀粉的短程有序化结构显著相关, 半峰宽越大, 短程有序化结构的有序度越低^[9]。由表 2 可知, 当糙糯米经过发芽处理后, 随着发芽湿度的增加, 其 480 cm^{-1} 处散射峰的半高宽也越来越大, 这表明糙糯米中淀粉的短程有序分子结构减少, 颗粒无序化程度增加, 其可能是因为糙糯米经过发芽处理时, 淀粉酶的作用导致其淀粉分子内部的氢键遭到破坏, 使得分子变得混乱无序^[15]。

3.5 不同发芽湿度处理对糙糯米淀粉热力学特性的影响

图 3 和表 3 分别为不同发芽湿度处理前后糙糯米淀粉的 DSC 热流图以及相关热性能参数。从表 3 可知, 经过发芽处理后, 糙糯米中淀粉的 T_0 、 T_p 和 T_c 略有增长, 但不同发芽湿度条件处理下, 淀粉的 T_0 、 T_p 和 T_c 无明显变化趋势。然而, 随着发芽湿度的增加, 糙糯米淀粉的 ΔH 呈现逐渐降低的趋势。对于 ΔH 值, 其反应的是淀粉颗粒内部双螺旋结构的变化^[16]。因此, ΔH 值的降低, 表明发芽处理导致了淀粉内部螺旋结构的破坏, 从而引起淀粉结晶结构的破坏, 且随着发芽湿度的增加, 淀粉螺旋结构破坏呈明显增加的趋势, 与上述 X 射线衍射分析结果相一致。

3.6 不同发芽湿度处理对糙糯米淀粉糊化特性的影响

图 4 与表 4 分别为不同发芽湿度处理前后糙糯米淀粉的成糊曲线变化情况及相应的糊化参数。由表 4 可知, 发芽处理未改变淀粉的起糊温度, 但引起了淀粉峰值黏度、最终黏度、回生值降低以及糊化曲线整体黏度降低。这可能是由于糙糯米发芽过程淀粉颗粒结构、结晶结构和螺旋结构的破坏, 降低了淀粉颗粒完整性, 使得淀粉中直链淀粉浸出、支链淀粉降解, 分子链结构趋于无序化, 从而导致糙糯米淀粉糊峰值黏度及糊化曲线整体黏度呈现降低趋势^[17,18]; 此外,

由于淀粉分子链结构的无序化, 导致分子重排时分子链间的缔合度降低, 导致淀粉的回生值下降。随着发芽湿度的增加, 淀粉的黏度特性变化程度越明显, 这可能是由于环境条件对糙糯米内部淀粉酶活性的影响所致。

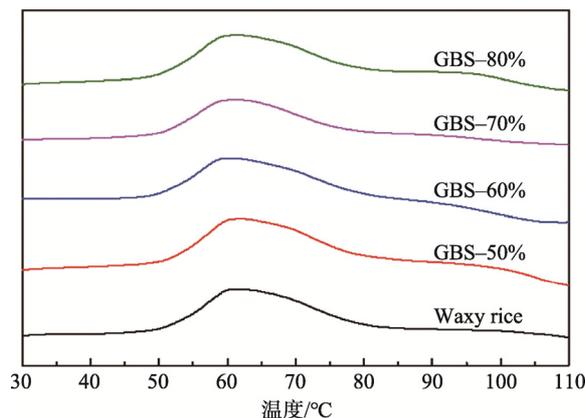


图 3 不同发芽湿度处理对糙糯米淀粉热力学特性的影响
Fig.3 Effect of thermodynamic properties of waxy brown rice starch with different germination humidity treatment

表 3 不同发芽湿度处理对糙糯米淀粉热力学参数的影响($n=3$)
Table 3 Thermodynamic parameters of waxy brown rice starch treated by germination treatment at different humidity ($n=3$)

样品	糊化温度 (T_0)/°C	峰值温度 (T_p)/°C	终止温度 (T_c)/°C	焓值 (ΔH)
Waxy rice	51.93±0.14 ^d	60.51±0.03 ^b	77.93±0.13 ^b	14.96±0.13 ^a
GBS-50%	52.65±0.49 ^b	61.13±0.26 ^a	79.26±0.52 ^a	14.86±0.18 ^a
GBS-60%	52.96±0.56 ^a	61.13±0.26 ^a	78.88±0.01 ^{ab}	14.81±0.01 ^a
GBS-70%	52.21±0.70 ^c	61.48±0.01 ^b	78.68±0.81 ^{ab}	13.77±0.13 ^b
GBS-80%	52.04±0.13 ^{cd}	61.28±0.03 ^a	78.60±0.59 ^{ab}	12.51±0.18 ^c

注: 同一列字母中不同字母表示有显著性差异 ($P<0.05$)。

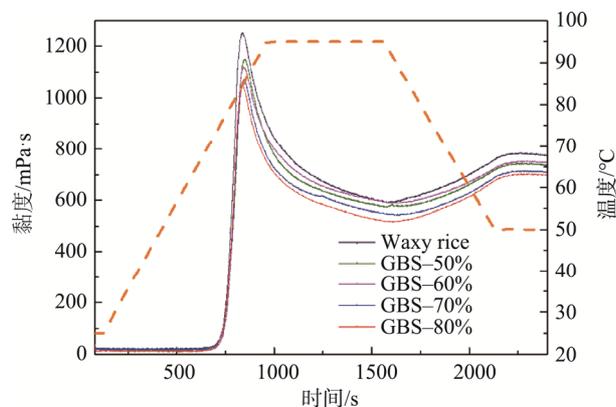


图 4 不同发芽湿度对糙糯米淀粉黏度的影响
Fig.4 Pasting profiles of waxy brown rice starch with different germination humidity treatment

表4 不同发芽湿度对糙糯米淀粉黏度特性的影响($n=3$)Table 4 Pasting properties of waxy brown rice starch subjected to different germination humidity treatment ($n=3$)

样品	起糊温度/ $mPa \cdot s$	峰值黏度/ $mPa \cdot s$	终值黏度/ $mPa \cdot s$	崩解值/ $mPa \cdot s$	回生值/ $mPa \cdot s$
Waxy rice	71.05±0.2 ^b	1263±27.6 ^a	774±18.8 ^a	685±18.0 ^a	144±11.1 ^a
GBS-50%	71.08±0.2 ^b	1156.5±9.2 ^b	682.5±50 ^a	590±21.2 ^b	127±2.6 ^b
GBS-60%	71.38±0.3 ^{ab}	1142.5±33.2 ^b	692.5±34.5 ^a	583.5±13.0 ^b	118.5±2.5 ^{ab}
GBS-70%	71.70±0.2 ^a	1090±28.3 ^b	655±16.7 ^b	564±32.0 ^a	122±3.0 ^a
GBS-80%	71.78±0.4 ^a	1027±25.5 ^b	631±8.9 ^b	537.5±13.5 ^b	124±7.4 ^b

注: 同一列字母中不同字母表示有显著性差异 ($P<0.05$)。

4 结论与讨论

本研究观察了不同发芽湿度条件对糙糯米淀粉结构特性以及糊化性能的影响。发芽处理破坏了糙糯米淀粉的颗粒结构、结晶结构与螺旋结构, 导致淀粉结构无序化程度增加。此外, 由于发芽处理对淀粉结构特性的影响, 导致淀粉糊的峰值黏度、终值黏度及黏度曲线有所下降, 热糊稳定性及冷糊稳定性提高, 一定程度上改变了发芽制品的品质。本试验虽然研究发芽处理对淀粉结构特性以及糊化特性的影响, 但仅做了聚集态结构及糊化特性的分析, 有关发芽处理对淀粉链结构以及凝胶性能的影响未做系统的探究, 仍需后续探讨。

参考文献

- 程威威, 吴跃, 周婷, 等. 发芽糙米蒸煮食用品质相关性研究[J]. 粮食与油脂, 2014, 27(3): 39-44.
Cheng WW, Wu Y, Zhou T, et al. Correlation studies of cooking and eating quality of germination brown rice [J]. Cere Oils, 2014, 27(3): 39-44.
- Zhou Z, Robards K, Helliwell S, et al. Composition and functional properties of rice [J]. Int J Food Sci Technol, 2010, 37(8): 849-868.
- 解舒乐, 吴凤凤, 蔡群, 等. 糙米食品加工与利用的研究进展[J]. 粮食与食品工业, 2018, 25(1): 1-6.
Xie SL, Wu FF, Cai Q, et al. The research progress on processing and utilization of brown rice food [J]. Cere Food Ind, 2018, 25(1): 1-6.
- Chavan JK, Kadam SS. Nutritional improvement of cereals by sprouting [J]. Critic Rev Food Technol, 1989, 28(5): 401-437.
- 赵黎平, 韩永斌, 胡秋辉, 等. 糙米发芽过程中淀粉功能特性的变化[J]. 食品科学, 2015, 36(5): 45-49.
Zhao LP, Han YB, Hu QH, et al. Effect of germination on functional properties of brown rice starch [J]. Food Sci, 2015, 36(5): 45-49.
- Cheng L, Oh SG, Lee DH, et al. Effect of germination on the structures and physicochemical properties of starches from brown rice, oat, sorghum, and millet [J]. Int J Biol Macromol, 2017, 105(214): 553-542.
- 吴晓娟, 从竞远, 吴伟, 等. 糙米发芽前后营养成分的变化及其对发芽糙米糊化特性的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(18): 67-72.
Wu XJ, Cong JY, Wu W, et al. Nutritional changes of brown rice during germination and their effects on pasting properties of germinated brown rice [J]. Food Sci, 2017, 38(18): 67-72.
- Pinkaew H, Wang YJ, Naivikul O. Impact of pre-germination on amylopectin molecular structures, crystallinity, and thermal properties of pre-germinated brown rice starches [J]. J Cere Sci, 2017, (73): 151-157.
- Wang H, Liu Y, Chen L, et al. Insights into the multi-scale structure and digestibility of heat-moisture treated rice starch [J]. Food Chem, 2018, (242): 323-332.
- Liang Z, Yan Z, Wei H, et al. Multi-scale structures of cassava and potato starch fractions varying in granule size [J]. Carbohydr Polym, 2018, (200): 400-407.
- Wang H, Wang Z, Li X, et al. Multi-scale structure, pasting and digestibility of heat moisture treated red adzuki bean starch [J]. Int J Biol Macromol, 2017, (102): 162-169.
- Li C, Oh SG, Lee DH, et al. Effect of germination on the structures and physicochemical properties of starches from brown rice, oat, sorghum, and millet [J]. Int J Biol Macromol, 2017, 105(1): 931-939.
- Wang H, Zhang B, Chen L, et al. Understanding the structure and digestibility of heat-moisture treated starch [J]. Int J Biol Macromol, 2016, (88): 1-8.
- Wu F, Chen H, Yang N, et al. Effect of germination time on physicochemical properties of brown rice flour and starch from different rice cultivars [J]. J Cere Sci, 2013, 58(2): 263-271.
- Kalita D, Sarma B, Srivastava B. Influence of germination conditions on malting potential of low and normal amylose paddy and changes in enzymatic activity and physicochemical properties [J]. Food Chem, 2017, (220): 67-75.
- Varavinit S, Shobsngob S, Varayanond W, et al. Effect of amylose content on gelatinization, retrogradation and pasting properties of flours from different cultivars of Thai rice [J]. Starch-Stärke, 2010, 55(9): 410-415.
- Qiao D, Tu W, Liao A, et al. Multi-scale structure and pasting/digestion features of yam bean tuber starches [J]. Carbohydr Polym, 2019, (213): 199-207.
- Zhang B, Chen L, Li X, et al. Understanding the multi-scale structure and functional properties of starch modulated by glow-plasma: A structure-functionality relationship [J]. Food Hydrocolloid, 2015, (50): 228-236.

(责任编辑: 陈雨薇)

作者简介



冯志强, 高级工程师, 主要研究方向为速冻食品加工。
E-mail: fzqh78@163.com



王宏伟, 主要研究方向为淀粉功能以及结构解析。
E-mail: 717053312@qq.com.