

不同品种糯米浸泡前后的理化特性比较

韩雪琴^{1,2}, 刘磊², 黄立新¹

(1. 华南理工大学食品科学与工程学院, 广东广州 510640) (2. 广东省农业科学院蚕业与农产品加工研究所, 农业部功能食品重点实验室, 广东省农产品加工重点实验室, 广东广州 510610)

摘要: 为了研究浸泡处理对糯米理化特性的影响, 本文选用三种糯米样品, 观测了其基本理化指标和粘度曲线等特性。测定浸泡 (20 °C~35 °C) 过程中糯米米粒水分含量的变化和最终的含水量, 采用 Peleg 方程拟合糯米的吸水动力学特性, 并对糯米浸泡前后红外光谱和 X-射线衍射图谱的进行分析比较。研究发现越南米和长江米吸水量大, 其最终含水量分别达到 36.34% (20 °C) 和 34.64% (28 °C), 温度对其影响较小; 黑香米吸水速度和数量较小, 最终含水量为 31.99% (35 °C), 且温度对其影响较大; 其次, 可运用 Peleg 方程米对浸泡过程中糯米的近似水分含量进行预测。浸泡前后糯米的红外光谱在 1047 cm⁻¹ 与 1022 cm⁻¹ 峰的强度比值在 0.89~0.92 之间, 无显著差异。X-射线衍射表明水分子主要进入糯米颗粒内的无定型区和亚结晶区, 越南米和长江米样品的亚结晶区变小, 黑香米则有所增大。本文研究可为米粉的加工提供理论指导。

关键词: 糯米; 浸泡; Peleg 方程; 结晶特性

文章篇号: 1673-9078(2020)02-46-52

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.2.008

Comparison of Physicochemical Properties of Soaked Glutinous Rice from Different Varieties

HAN Xue-qin^{1,2}, LIU Lei², HUANG Li-xin¹

(1.College of Food Science and Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

(2.Sericultural & Agri-Food Research Institute Guangdong Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Functional Foods, Ministry of Agriculture, Guangdong Key Laboratory of Agricultural Products Processing, Guangzhou 510610, China)

Abstract: In order to study the effect of soaking treatment on the physicochemical properties of rice, three types of rice were selected, and their physicochemical properties and viscosity curve were investigated. Changes of moisture content and the final water content of rice during soaking (20 °C~35 °C) were measured, and the Peleg equation was used to fit the measured water absorption data. Infrared spectrum and X-ray diffraction were used to study the change of order structure and crystalline structure of rice before and after soaking. The study found that the Vietnamese rice and Yangtze River rice had greater water absorption, and the final water content reached 36.34% (20 °C) and 34.64% (28 °C), respectively, and temperature had little effect on it. Black fragrant rice had a small water absorption rate and water absorption, and its final water content reached 31.99% (35 °C) and temperature had greater influence on it. In addition, the Peleg equation can be used to predict the approximate moisture content of rice during soaking. The ratios of the absorbance of the bands at 1047 cm⁻¹ and 1022 cm⁻¹ of rice before and after soaking was between 0.89 and 0.92, which was no significant difference. X-ray diffraction showed that water molecules mainly enter the amorphous region and the sub-crystalline region of rice, and the sub-crystalline region of the Vietnamese rice and Yangtze River rice became smaller, while that of the black fragrant rice was increased. This research can provide guidance for the processing of rice flour.

Key words: rice; soaking; peleg equation; crystallization characteristic

收稿日期: 2019-05-07

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2016YFD0400702; 2018YFD0401003; 2018YFD0401101-03); 华南理工大学百步梯攀登计划项目 (j2tw201902473); 广州市科技计划项目 (201807010061); 广东省农科院科技创新战略专项资金 (高水平农科院建设) (R2017PY-JX005; R2017PY-JX005)

作者简介: 韩雪琴 (1994-), 女, 硕士, 研究方向: 食品科学与工程

通讯作者: 黄立新 (1967-), 男, 副教授, 研究方向: 碳水化合物化学

在我国百姓的膳食中, 谷类食品主要提供能量, 蛋白质, 一些种类的矿物质以及 B 族维生素等^[1]。其中大米是稻谷经过砻谷、碾米、加工整理后制成的成品。大米富含淀粉、蛋白质等营养成分, 具消化率高、低过敏性等优点, 为中国和东 (南) 亚地区人民的主食之一。大米除直接食用外, 也可制作各种米制品。水磨米粉作为食品加工原料, 在国内拥有巨大的消费

量^[2]。国内目前主要使用水磨法生产米粉,与干磨、半干磨等其它方法相比,水磨米粉具有粉质细腻柔软、弹性较好、营养成分保留多、制法简便等优点^[3-5]。我国水磨米粉的生产企业众多,在河南省信阳潢川县已经成为了重要的产业,但许多米粉加工企业缺乏科学系统的研究指导,对不同品种和来源大米的特性,以及时间、温度等浸泡工艺因素的影响了解不多,认识浅,更多依靠现场管理和经验。如浸泡不合适,一方面影响生产时间和效率,水及物损增大,另一方面,还可能造成大米出现变质、营养成分流失等状况,米粉产品的粘度特性和质量波动大,品种变劣。国内外已有对大米浸泡吸水特性的研究报道。盛岩等^[6]开展了粳米、籼米和糯米吸着等温线的研究,粳米与糯米之间的吸着等温线差异随着温度的增加而更加显著。Perez 等人^[7]研究发现在较高温度下浸泡的谷物表现出更高的亲水行为,升高浸泡温度增加了水的吸收和扩散系,然而该研究缺少对浸泡后大米品种结构方面的研究。目前对于不同种类的糯米吸水动力学及对浸泡糯米结构表征方面的研究鲜有报道。

本文对由米粉生产企业提供的不同品种的糯米,在不同的温度下进行浸泡,测定吸水量的变化,采用热力学原理分析糯米水分吸着等温线,通过红外光谱及 X-光衍射仪表征浸泡后糯米品质的变化,以研究浸泡过程糯米内部含水量以及结构的变化规律加深对浸泡过程机理的认知。本研究能够为提高米制品的质量及生产效率,降低能耗和减少污染提供理论依据。这对于米制品加工产业的发展具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 试验材料

越南米、黑香米(黑龙江)和长江米(湖北黄冈)都为糯米,由河南省潢川县某粮业公司提供。氢氧化钠、硫酸、盐酸、碘化钾、碘等均为分析纯,溴化钾为光谱纯。

1.2 主要仪器设备

JJ24BC 型分析天平,双杰五金专营有限公司;101 型电热鼓风干燥箱,吴江华飞电热设备有限公司;W205B 数控恒温水浴锅,海圣科仪器有限公司;K8400 型全自动凯氏定氮仪,瑞典 Foss 公司;Viscograph-E 型 Brabender 粘度仪,德国 Brabender 公司;YQ105-6700 型红外光谱,尼高力仪器公司;X'Pert PRO X-射线衍射仪,日本 RIGAKU 公司。

1.3 试验方法

1.3.1 米粒外观及其基本理化指标

米粒外观:测量尺测定糯米米粒的长度、宽度及厚度,并进行按压。直接干燥法测水分^[8],参考 GB 5009.3-2010;直链淀粉含量^[9],参考 GB/T 15683-2008。凯氏定氮法测蛋白质^[10],GB 5009.5-2012,换算系数为 5.95。

1.3.2 糯米的糊化粘度特性

糯米浸泡软透,水磨过筛,脱水洗涤,低温干燥,过 100 目筛,得到米粉样品,测水分。采用 Brabender 粘度计测其粘度曲线^[11],条件:米粉乳总质量 460 g,浓度 8.6% (W/W),转速 75 r/min,扭矩 700 cmg。温度程序:初始温度 30 °C,1.5 °C/min 升温到 95 °C,保温 30 min,再以-1.5 °C/min 从 95 °C 降温至 50 °C,50 °C 下保温 30 min。仪器记录粘度随时间和温度的变化,可得起糊温度 GT、峰值温度 PT、峰值粘度 PK、升温到 95 °C 时糊粘度 A、95 °C 保温后糊粘度 B、降温 50 °C 时糊粘度 C 和 50 °C 保温后糊粘度 D 等特征值,反映糯米糊化粘度特性。

1.3.3 糯米浸泡过程含水量变化

在 20 °C、27~29 °C (室温)、35 °C 温度分别进行浸泡实验(米水比为 1:5),浸泡 0、10、20、30、40、60、90、120、180 min 时取样,利用直接干燥法测定米粒样品含水量。

1.3.4 红外光谱

将糯米原料和水浸泡后的糯米样品,分别用玛瑙石研钵研磨,得到粉末样品,将样品和溴化钾放入玛瑙研钵中,再研磨混合均匀,压片,置于红外光谱仪在 4000~400 cm⁻¹ 波数范围进行扫描。

1.3.5 X-射线衍射分析

将糯米原料和充分浸泡后的糯米样品,分别用玛瑙石研钵研碎,得到粉末样品,采用固体粉末压片法测定样品的 X-射线衍射图谱。测试条件:铜靶,电压 40 kV,电流 40 mA,衍射角(2 θ)扫描范围为 5~80°;扫描速率:14.28 S/步,步长:0.05°。

1.4 实验数据的分析

采用 Version 17.0 的 SPSS 和 Origin 9.0 软件对实验数据进行统计分析处理。

2 结果及讨论

2.1 米粒外观及其基本理化指标

表 1 三种糯米的基本理化特性比较

Table 1 Comparison of physicochemical properties of three types of rice

样品	长度/cm	宽度/cm	厚度/cm	水分/%	直链淀粉/%	蛋白质/%
越南米	0.50±0.01 ^a	0.34±0.01 ^a	0.15±0.01 ^a	11.81±0.17 ^b	1.67±0.05 ^b	7.45±0.02 ^a
黑香米	0.55±0.02 ^b	0.25±0.01 ^b	0.13±0.01 ^a	9.90±0.23 ^a	1.29±0.04 ^a	8.42±0.36 ^b
长江米	0.59±0.01 ^b	0.28±0.01 ^c	0.15±0.01 ^a	14.65±0.08 ^c	1.38±0.05 ^a	8.32±0.21 ^b

注：同一列中字母不同表示数值存在显著差异($p<0.05$)。表 2、3、5 同。

表 2 三种糯米粘度曲线的特征值

Table 2 Characteristic values of viscosity curve of three types of rice

特征值	GT/°C	PT/°C	PK/BU	A/BU	B/BU	C/BU	D/BU
越南米	64.34±0.43 ^b	77.10±0.72	357.67±3.88	255.33±4.55 ^b	209.67±8.32 ^b	330.67±6.32 ^b	326.00±1.78 ^b
黑香米	68.61±0.38 ^c	-	-	174.00±5.87 ^a	186.33±1.99 ^a	264.67±3.40 ^a	253.67±5.38 ^a
长江米	63.27±0.04 ^a	68.52±0.40	1042.33±6.16	538.33±2.59 ^c	443.33±11.67 ^c	651.33±6.68 ^c	614.33±2.05 ^c

米粒外观及其基本理化指标,结果列于表 1。由表 1 数据可见,三种糯米的厚度(高度)大致相同。越南米颗粒短而宽,略显矮胖。长江米颗粒较长,宽度中等,体型显得相对较大。黑香米颗粒窄,长度中等,略显细长。三种糯米的直链淀粉含量在 1.20%~1.70%之间,相差较小。黑香米和长江米的蛋白质含量很接近,在 8.40%左右,但越南米的蛋白质含量相对较小。在常温下,三种糯米样品的(平衡)水分含量相差较大,其中黑香米的水分含量不足 10%,比多数糯米的小。从糯米的米粒外观形状、蛋白质含量等指标以及产地来源看,这三种糯米样品是品种差异很大的原料。

按压糯米米粒,发现长江米硬度较高,用力不能搓碎或捻碎,其次为越南米,而黑香米在按压时显现出一定弹性,但也不能被手指力搓碎或捻碎。

2.2 糊化粘度特性

表 2 数据可见,这三个糯米样品的糊化粘度特性差异显著($p<0.05$),进一步显示为品种差别大的糯米材料。其中,长江米起糊温度较低(63.27 °C),峰值粘度高,其它粘度特征值也较高,这样较理想的糊化粘度特性,为一般糯米食品加工企业和市场所需要。越南米的峰值粘度、升温到 95 °C 时糊粘度、95 °C 保温后糊粘度、降温到 50 °C 时糊粘度和 50 °C 保温后糊粘度值分别为 357.67、255.33、209.67、330.67、326 BU,其粘度特征值相比于长江米偏小,且淀粉糊在降温 and 经过 50 °C 保温过程后变化较小,说明越南米淀粉糊的稳定性较好。黑香米虽也是糯米,但更多显示与一般紫米、黑米相同相似的性质,如糊化温度较高,较难蒸煮,没有峰值粘度的特征值,糊粘度较低,糊化粘度特性与之前研究的黑血糯米相似^[12]。

2.3 糯米浸泡过程含水量的变化

表 3 浸泡温度对三种糯米最终含水量的影响(%)

Table 3 Effect of soaking temperatures on the final water content of three types of rice (%)

样品	20 °C	28 °C	35 °C
越南米	36.34±0.57 ^b	35.81±0.52 ^b	35.25±0.39 ^c
黑香米	27.74±0.34 ^a	28.17±0.48 ^a	31.99±0.77 ^a
长江米	33.01±0.37 ^b	34.64±0.29 ^b	33.61±0.29 ^b

三个糯米样品在不同温度下浸泡过程含水量的变化图,见图 1。糯米样品浸泡充分后最终含水量的结果,列于表 3。图 1 可见,在不同温度下的浸泡,越南米和长江米样品含水量的变化及其趋势比较一致:在浸泡 0~40 min 时米粒含水量增长很快,40~60 min 阶段增速趋缓,在 60~80 min 阶段增速已不明显,100 min 及以后,糯米吸水量基本达到饱和,含水量达到平衡,基本不再变化,但由糯米中溶解到水中的内容物增多,米粒虽变软,较易碾碎稍显砂粒感。越南米与长江米的吸水特征与薏米、糙米相似^[13,14]。在 20~35 °C 范围,越南米与长江米的吸水动力学曲线相似,说明温度对这两个糯米样品在浸泡过程含水量的变化影响较小。从表 3 的数据可见,越南米和长江米在不同温度下的最终含水量分别在 35%~36% 和 33%~34% 之间,说明温度对这两个糯米样品浸泡充分后最终含水量的影响也较小。此外,越南米和长江米充分浸泡后,米粒易碾碎且不再有砂粒的感觉。

黑香米显示与越南米和长江米不同的变化及其趋势:在 0~40 min 浸泡阶段,米粒含水量虽然一直增长,但增加的速度较越南米和长江米缓慢。40~180 min 阶段,米粒含水量还一直在平稳地呈线性地增长,表现与越南米和长江米完全不同。在 20~28 °C 内,温度对

黑香米米粒在浸泡过程含水量的变化和最终含水量的影响,与越南米和长江米一样,都较小;在 28~35 °C 内,温度升高,米粒含水量明显增大,最终含水量也由 28 °C 时的 28.17% 上升至 31.99%,说明在较高温度下的温度影响较大。Perez 等人的研究表明温度对粳米浸泡吸水速率影响较大,较高的浸泡温度使米粒能吸收更多的水分,水分子能够与谷物中存在的淀粉颗粒水合^[4]。

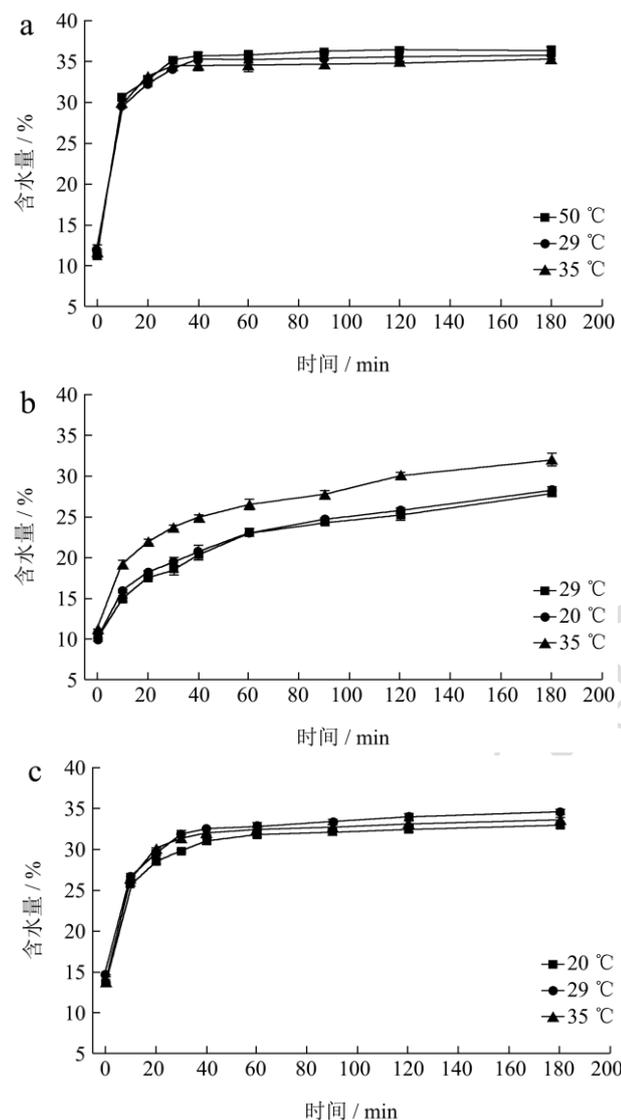


图1 浸泡过程中糯米水分含量随时间的变化

Fig.1 Water content changes of three types of rice during soaking

注: a: 越南米; b: 黑香米; c: 长江米。

在 20~28 °C 浸泡 180 min 的米粒,比起越南米和长江米,要稍用力才能碾碎且砂粒感觉明显。在 35 °C 浸泡 180 min 后的米粒,相对容易碾碎且砂粒感觉还是较明显。试验表明黑香米需要在较高的水温下进行浸泡,糯米粘度曲线的起糊温度(68.61 °C)较高的,在室温下浸泡吸水性和吸水力可能较小。

2.4 糯米吸水动力学方程的拟合

表 4 不同浸泡温度下 Peleg 参数的拟合结果比较

Table 4 Comparison of fitting results of Peleg parameters under different soaking temperatures

样品	温度/°C	K1	K2	R ²
越南米	20	0.1431	0.0367	0.9974
	28	0.1343	0.0403	0.9912
	35	0.1247	0.0424	0.9941
黑香米	20	0.4103	0.0531	0.9914
	28	0.3380	0.0494	0.9961
	35	0.2644	0.0480	0.9922
长江米	20	1.6645	0.0580	0.9931
	28	1.5611	0.0541	0.9933
	35	1.1838	0.0496	0.9942

Peleg 数学模型 $M_t = M_0 + t / (K_1 + K_2 \times t)$ 为两参数、非指数的经验型方程,能够较好地用于表示物料吸收水分与时间、温度的关系^[15,16],其中 M_t 为样品在 t 时刻的水分含量; M_0 为样品初始水分含量; K_1 为速率常数, K_2 为容量常数。变换 Peleg 数学式,得到 $t / (M_t - M_0) = K_1 + K_2 \times t$,以 t 为自变量,根据方程中直线的斜率和截距计算得出 K_1 和 K_2 ,结果见表 4。

从表 4 可见:在相同温度下,3 个糯米样品的吸水动力学参数 K_1 值不相同,长江米数值最大,均随温度上升而下降,呈现负相关的关系。在相同温度下,三个糯米样品的 K_2 容量常数值也不相同,越南米随着温度上升表现出增大的趋势,黑香米、长江米则出现下降的趋势,这说明可能存在不同的吸水动力学途径。

通过表 4 数据,可得糯米样品的 K_1 和 K_2 与浸泡温度 T 关系式。其中,越南米, $K_1 = -0.0012T + 0.1679$, $K_2 = 0.0004T + 0.0292$ (R^2 都大于 0.98);黑香米, $K_1 = -0.0316T + 2.3439$, $K_2 = -0.0006T + 0.0693$ (R^2 都大于 0.87);长江米, $K_1 = -0.0097T + 0.6062$, $K_2 = -0.0003T + 0.0596$ (R^2 都大于 0.95)。

将上述这些 K_1 、 K_2 与温度 T 的关系式,代入 Peleg 数学模型 $M_t = M_0 + t / (K_1 + K_2 \times t)$ 中,可得越南米吸水动力学方程 $M_t = M_0 + t / [-0.0012T + 0.1679 + (0.0004T + 0.0292) \times t]$,以及黑香米和长江米等的吸水动力学方程,分别为 $M_t = M_0 + t / [-0.0316T + 2.3439 + (-0.0006T + 0.0693) \times t]$ 和 $M_t = M_0 + t / [-0.0097T + 0.6062 + (-0.0003T + 0.0596) \times t]$ 。用这些方程可计算在不同温度下各浸泡时间的米粒含水量的预测数据,和实验的实际数据比较,越南米的结果参见图 2 (其它,略),可见实验数据和预测值有较好的一致性。因此可运用吸水动力学

方程对糯米浸泡过程中的近似水分含量进行预测。

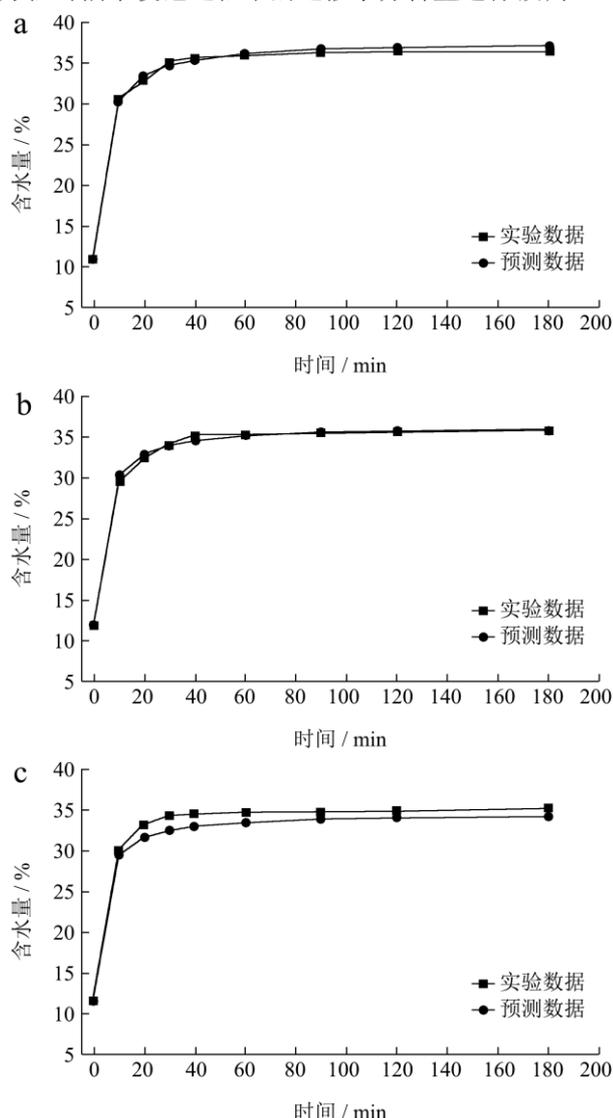


图2 越南米在不同温度下吸水实验数据与预测数据比较

Fig.2 Comparison of experimental and predicted data of Vietnamese rice at different soaking temperatures

注: a: 20 °C; b: 28 °C; c: 35 °C。

2.5 红外光谱

糯米原料、室温浸泡吸水 2 h 和浸泡 8 h (充分浸泡吸水) 的糯米样品, 经研磨后, 分别测定其红外光谱。越南米各样品的红外光谱图, 列于图 3, 黑香米和长江米样品与之相似, 略。

从图 3 可见, 越南米各样品红外光谱的形状及其变化很相似, 浸泡水的物理过程, 无新的化学键出现。由于各样品主体成分都是淀粉, 淀粉占其干固物含量都在 90% 以上, 故其红外光谱图都与淀粉非常相似, 在 3382 cm^{-1} 附近有一个强且宽的吸收峰, 为淀粉分子和或水分子的 O-H 键伸缩振动吸收, 其它的吸收峰也都与淀粉有相同的归属^[17-20]。

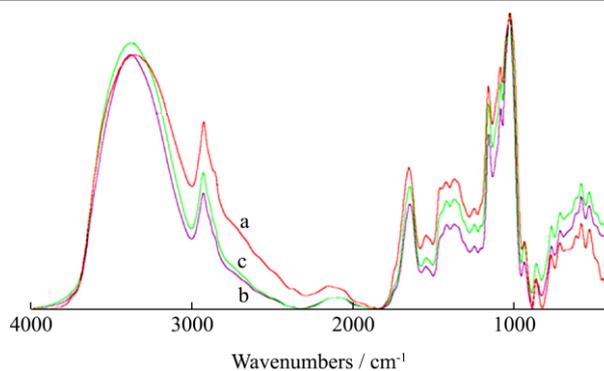


图3 越南米原料 (a)、浸泡 2 h (b)、浸泡 8 h (c) 的样品的红外光谱

Fig.3 Infrared spectra of Vietnamese rice (a), soaked for 2 hours (b), and soaked for 8 hours (c)

所得红外光谱进行去卷积处理后, 所得图谱在 1047 cm^{-1} 的红外吸收是淀粉结晶区的结构特征, 对应淀粉聚集态结构中的有序结构, 1022 cm^{-1} 的红外吸收则是淀粉非晶区的结构特征, 对应于淀粉大分子的无规线团结构。1047 cm^{-1} 与 1022 cm^{-1} 峰的强度比值表示淀粉分子结构中的有序结构和无定形结构的比例关系, 其比值越大, 颗粒内有序度越高^[17,18]。3 个糯米样品的红外图谱在 1047 cm^{-1} 与 1022 cm^{-1} 峰的强度比值结果, 列于表 5。

表5 浸泡不同时间的糯米样品红外光谱 (1047/1022) cm^{-1} 峰强度比值

Table 5 The ratios of the absorbance of the bands at 1047 and 1022 cm^{-1} of rice in different soaking times

浸泡状态	原样	浸泡 2 h	浸泡 8 h
越南米	0.91±0.04 ^a	0.92±0.02 ^a	0.92±0.03 ^a
黑香米	0.91±0.03 ^a	0.91±0.01 ^a	0.91±0.02 ^a
长江米	0.89±0.01 ^a	0.90±0.04 ^a	0.90±0.02 ^a

注: 同一列中字母不同表示数值存在显著差异 ($p < 0.05$)。

从表 5 中可见, 3 个糯米样品在室温经过不同时间的水浸泡后, 其 1047 cm^{-1} 与 1022 cm^{-1} 峰的强度比值在 0.89~0.92 范围内, 并无显著性差异 ($p < 0.05$)。钟芳等人研究了糯米糊化过程的红光光谱的变化, 研究发现从室温到 60 °C, 淀粉的 R(A1047/A1022) 值基本保持不变, 在这段温度范围内, 水分子只是单纯地进入淀粉颗粒的微晶束的间隙中, 淀粉粒缓慢地吸收少量的水分, 产生有限的膨胀, 而颗粒内部保持原来的晶体结构^[17]。而本实验浸泡温度为 20~35 °C, 在该浸泡温度下, 水分子主要进入淀粉颗粒的无定型区域, 导致糯米淀粉颗粒之间的粘结松散和破坏, 但对淀粉颗粒 (红外) 晶体结构无显著的影响。

2.6 X-射线衍射分析

糯米原样和浸泡 8 h 糯米样品的 X-射线衍射图谱, 分别见图 4。

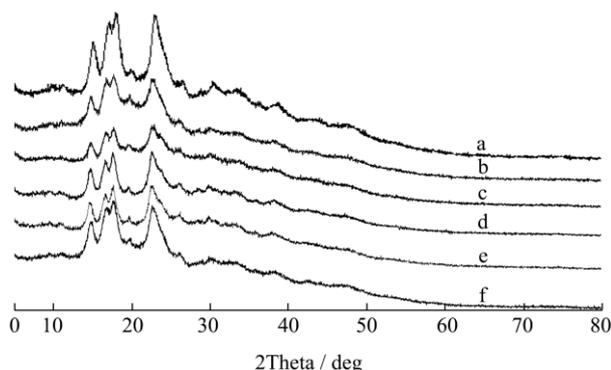


图 4 越南米 (a) 和浸泡 8 h 样 (b)、黑香米 (c) 和浸泡 8 h 样 (d)、长江米 (e) 和浸泡 8 h 样 (f) 的 X-射线衍射图

Fig.4 X-ray diffraction patterns of Vietnamese rice (a) and soaked for 8 hours (b), Black fragrant rice (c) and soaked for 8 hours (d), Yangtze River rice (e) and soaked for 8 hours (f)

从图 4 可见, 浸泡前后 3 个糯米样品在 15.4° 、 17.4° 、 18.3° 和 23.3° 的 2θ 角处都具有明显的吸收峰, 在 17° 和 18° 附近的衍射为相连的双峰, 呈现谷物淀粉典型的 A 型晶体结构^[21], 颗粒主体的晶体结构不变, 不受水浸泡的显著影响。它们的无定型区应该是吸收吸附水的主要区域, 也基本不受水浸泡的显著影响。

陈福泉等专家^[22]对原淀粉的 X-射线衍射图的不同区域, 相应划分为结晶区、非结晶区(无定型区)和亚结晶区(过渡区), 其中亚结晶区夹杂处于结晶区和非结晶区的中间区域。观察图 4 中 a、b、e、f 可见, 越南米和长江米经过水充分浸泡后, 它们亚结晶区的面积区域都有所变小, 由于这 2 个糯米样品吸收吸附较多量的水, 其中原有的亚结晶区部分也相应吸收吸附较多量的水, 导致其结晶性变弱, X-射线衍射图谱对应的面积缩减。而黑香米经过水充分浸泡后, 见图 4 中 c 和 d, 其亚结晶区的面积区域则有所变大, 相对于越南米和长江米, 黑香米吸水速度和吸水量都较慢较小, 其吸收吸附的水可能反而参与了淀粉分子的微弱结晶, 表明不同种类性质的糯米的粉末颗粒的 X-射线衍射图谱, 其亚结晶区的过渡区受所吸收吸附水的影响, 表现有所差异, 需要进一步探究。

3 结论

3.1 3 个糯米试验对象, 长江米起糊温度较低, 峰值粘度高, 其它粘度特征值也较高, 为一般米面食品企业想要的特性; 黑香米起糊温度较高, 无峰值粘度, 其它糊粘度特征值也较低。其外观、蛋白和粘度曲线等特性不同, 为不同品种的糯米样品。

3.2 在 $20\sim 35^\circ\text{C}$ 浸泡中, 越南米和长江米在 $0\sim 40\text{ min}$

阶段吸水快且量大, 然后变慢, 100 min 以后吸水量基本达到饱和, 温度的影响小。黑香米在 $0\sim 40\text{ min}$ 阶段, 吸水速度及其数量相对较小; 在 $40\sim 180\text{ min}$ 阶段, 米粒的吸水量还一直在平稳地呈线性地增长, 在较高温度下的温度影响较大, 表现与越南米和长江米完全不同的变化趋势。

3.3 利用 Peleg 方程能够较好地模拟糯米在 $20\sim 35^\circ\text{C}$ 温度下的水分吸收过程, 所得的吸水动力学方程, 发现实际数据与预测值有较好的一致性。

3.4 糯米水浸泡前后的各样品, 红外光谱可知没有新的化学键出现, 基本一致。

3.5 糯米水浸泡前后的各样品, X-射线衍射分析发现, 其中淀粉颗粒的结晶结构无显著变化, 依然呈现 A 型结晶结构; 水分子主要进入无定型区和亚结晶区, 其中越南米和长江米的亚结晶区区域有所变小, 黑香米则有所增大, 表现不同。

参考文献

- [1] 蔡沙,何建军,徐瑾,等.不同类型大米淀粉物化特性的研究[J].湖北农业科学,2016,55(22):5897-5902
CAI Sha, HE Jan-jun, XU Jin, et al. Study on the physicochemical properties from different types of rice starches [J]. Hubei Agricultural Sciences, 2016, 55(22): 5897-5902
- [2] 王永辉,张业辉,张名位,等.不同水稻品种大米直链淀粉含量对加工米粉品种的影响[J].中国农业科学,2013,1:109-120
WANG Yong-hui, ZHANG Ye-hui, ZHANG Ming-wei, et al. Effect of amylose content of different rice varieties on the qualities of rice vermicelli [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2013, 1:109-120
- [3] 成明华,李里特,辰巳英三.大米品种和制粉工艺对大米粉性质的影响[J].粮食与饲料工业,2000,8:16-19
CHENG Ming-hua, LI Li-te, CHEN Si-ying-san. Influences of rice varieties and grinding processes on rice flour characteristics [J]. Cereal and Feed Industry, 2000, 8: 16-19
- [4] 高晓旭,佟立涛,钟葵,等.不同磨粉工艺对大米粉粉质特性的影响[J].现代食品科技,2015,1:194-199
GAO Xiao-xu, TONG Li-tao, ZHONG Kui, et al. Effect of milling processes on quality of rice flour [J]. Modern Food Science & Technology, 2015, 1: 194-199
- [5] 陈洁,李琳,蔡永艳,等.磨粉工艺对大米粉品种特性影响[J].食品工业,2019,40(1):105-107
CHEN Jie, LI Lin, CAI Yong-yan, et al. Effect of milling process on the quality of rice flour [J]. The Food Industry, 2019, 40(1): 105-107

- [6] 盛岩,李兴军.不同类型大米吸着等温线差异性研究[J].食品工业科技,2013,34(19):69-73
SHENG Yan, LI Xing-jun. Difference in sorption isotherms of different types of milled rice [J]. Science and Technology of Food Industry, 2013, 34(19): 69-73
- [7] Perez J H, Tanaka F, Uchino T. Comparative 3D simulation on water absorption and hygroscopic swelling in japonica rice grains under various isothermal soaking conditions [J]. Food Research International, 2011, 44(9): 2615-2623
- [8] GB 5009.3-2016,食品中水分的测定[S]
GB 5009.3-2016, Determination of Moisture in Foods [S]
- [9] GB/T 15683-2008,大米 直链淀粉含量的测定[S]
GB/T 15683-2008, Rice- Determination of Amylose Content [S]
- [10] GB/T 5009.5-2016,食品中蛋白质的测定[S]
GB/T 5009.5-2010, Determination of Protein in Foods [S]
- [11] 黄立新,高群玉,林红,等.糯米及其淀粉性质的研究-糯米粉和糯米淀粉糊性质的比较[J].郑州粮食学院学报,2000,21(1): 22-26
HUANG Li xin, GAO Qun-yu, LIN Hong, et al. Study on the properties of glutinous rice and its starch-comparison of the properties of glutinous rice flour and starch paste glutinous rice [J]. Journal of Zhengzhou Grain College, 2000, 21(1): 22-26
- [12] 姜欣,周家华,黄立新.黑血糯米粉的物化性质研究[J].粮油食品科技,2004,12(3):1-3
JIANG Xin, ZHOU Jia-hua, HUANG Li-xin. Study on the properties of black glutinous rice [J]. Science and Technology of Cereals, Oil and Foods, 2004, 12(3): 1-3
- [13] 王辉,胡国洲,陈光静等.薏米吸水动力学的实验研究[J].食品工业科技,2013,34(17):126-134
WANG Hui, HU Guo-zhou, CHEN Guang-jing. Experimental research of kinetics of water absorption of coix seed [J]. Science and Technology of Food Industry, 2013, 34(17): 126-134
- [14] Thakur A K, Gupta A K. Water absorption characteristics of paddy, brown rice and husk during soaking [J]. Journal of Food Engineering, 2006, 75(2):252-257
- [15] Peleg M. An empirical model for the description of moisture sorption curves [J]. Journal of Food Science, 1988, 53(4): 1216-1219
- [16] 关东胜,成明华,张慧敏.不同条件对大米浸泡效果的研究[J].粮油食品科技,2002,10(6):20-22
GUAN Dong-sheng, CHENG Ming-hua, ZHANG Hui-min. Study on the soaking effect of different conditions [J]. Science and Technology of Cereals, Oil and Foods, 2002, 10(6): 20-22
- [17] 李玥,钟芳,麻建国,等.大米淀粉糊化过程的光谱分析[J].高分子学报, 2008,7:720-725
LI Yue, ZHONG Fang, MA Jian-guo, et al. Spectral analysis of gelatinization process of rice starch [J]. Acta Polymerica Sinica, 2008, 7: 720-725
- [18] 任静,刘刚,欧全宏等.淀粉的红外光谱及其二维相关红外光谱的分析鉴定[J].中国农学通报,2014,31(17):58-64
REN Jing, LIU Gang, OU Quan-hong, et al. Starch discrimination with Fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR) and two-dimensional correlation infrared spectroscopy (2D-IR) [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2014, 31(17): 58-64
- [19] Zhang L, Yang X, Li S, et al. Preparation, physicochemical characterization and *in vitro* digestibility on solid complex of maize starches with quercetin [J]. LWT-Food Science and Technology, 2011, 44(3): 787-792
- [20] Wang H, Lv J, Jiang S, et al. Preparation and characterization of porous corn starch and its adsorption toward grape seed proanthocyanidins [J]. Starch-Starke, 2016, 68(11): 1-10
- [21] Fiedorowicz M, Para A. Structural and molecular properties of dialdehyde starch [J]. Carbohydrate Polymers, 2006, 63(3): 360-366
- [22] 陈福泉,张本山,卢海凤,等. X射线衍射在淀粉颗粒结晶度研究中的应用[J].食品科学,2010,31(3):284-287
CHEN Fu-quan, ZHANG Ben-shan, LU Hai-feng, et al. A review of application of X ray diffraction in crystal structure determination of starch granules [J]. Food Science, 2010,31(3): 284-287

(上接第 158 页)

- [35] 王钰婷.浅谈扫描电镜技术及其在胶结物类型识别中的应用[J].中国资源综合利用,2018,36(9):180-182
WANG Yu-ting. Discussion on scanning electron microscopy technology and its application in cement type identification [J]. China Resources Comprehensive Utilization, 2018, 36(9): 180-182
- [36] ZHOU Xu-xia, CHEN Ting, LIN Hong-han, et al. Physicochemical properties and microstructure of surimi treated with egg white modified by tea polyphenols [J]. Food Hydrocolloids, 2019, 90: 82-89