

DOI: 10.13652/j.issn.1003-5788.2021.02.006

西米品质特性研究

Quality characteristics of sago

常 蕾 王杰儒 杨 敏 李 婷 杜双奎

CHANG Lei WANG Jie-ru YANG Min LI Ting DU Shuang-kui

(西北农林科技大学食品科学与工程学院, 陕西 杨凌 712100)

(College of Food Science and Engineering, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

摘要:以粳米、糯米为对照,西米为试验材料,观察其淀粉颗粒形貌,并研究其食用品质、蒸煮特性、理化特性以及抗消化性。结果表明,西米淀粉颗粒为椭球体,颗粒大于粳米、糯米淀粉颗粒;粳米、糯米淀粉颗粒为多面体结构,表面较光滑;西米蒸煮品质、食味品质优于粳米和糯米;3 种米粉的溶解度和膨胀度随温度的升高呈增大趋势,其中西米粉与糯米粉相差不大,高于粳米粉;西米粉、粳米粉、糯米粉的析水率分别为 61.01%, 51.17%, 19.71%, 西米粉的冻融稳定性低于糯米粉、粳米粉;西米抗性淀粉含量(13.54%)显著低于粳米(27.38%),高于糯米(3.82%)。

关键词:西米;食用品质;理化特性;抗性淀粉

Abstract: Taking japonica rice and glutinous rice as the control, sago as the experimental material, the morphology of starch granules was observed, and the edible quality, cooking characteristics, physical and chemical properties and resistant starch content were studied. Results showed that the sago starch granules were ellipsoid and the size was larger than that of japonica rice and glutinous rice. Meanwhile, the starch granules of japonica rice and glutinous rice were polyhedral with smooth surface. The cooking quality and edible quality of sago were better than those of japonica rice and glutinous rice. The solubility and swelling power of the three kinds of flour increased with the increase of temperature, and sago flour were similar to those of glutinous rice flour, much higher than that of japonica rice flour. The water evolution rate of sago flour, japonica rice flour and glutinous rice flour were 61.01%, 51.17% and 19.71%, respectively, and the freeze-thaw stability of sago flour was lower than that of glutinous rice flour and japonica rice flour. The resistant starch content of sago

(13.54%) was significantly lower than that of japonica rice (27.38%), and higher than that of glutinous rice (3.82%).

Keywords: sago; edible quality; physical and chemical properties; resistant starch

西米又名西谷米,是将西谷椰子树中提取的淀粉摇成颗粒而制成的,多产于马来西亚、印尼诸岛和新几内亚等地区,根据颗粒大小不同分为“珍珠西谷米”和“弹丸西谷米”。陈福泉等^[1]对西米淀粉特性进行分析,表明西米淀粉的直链淀粉含量为 28%,高于马铃薯淀粉和木薯淀粉;西米淀粉颗粒呈椭球体,表面光滑;偏光十字明显;淀粉晶型为 C 型,结晶度为 25%。Arshad 等^[2]对西米淀粉抗消化特性进行评价,发现天然西米淀粉的抗性淀粉含量最高,达到 62.61%,是嗜酸乳杆菌和双歧杆菌的首选发酵基质。毕玉等^[3]对西米淀粉的结构及消化特性进行研究,发现西米淀粉的链长分布、直链淀粉含量以及脂质含量对其消化特性起主要影响作用,而对成糊特性的影响作用并不明显。Othman 等^[4]对 γ -辐照过的西米淀粉理化特性和热学性质进行了研究,发现辐照后西米淀粉的表观直链淀粉含量和膨胀度显著降低,而还原糖和溶解度因淀粉降解而增加;辐照不影响西米淀粉的晶型,但导致其结晶度降低;淀粉糊化起始温度和峰值温度略有升高。

西米是东南亚地区居民的主要食物来源,通常用其做汤、糕饼、布丁及充当增稠剂等;西米质净色白,成小圆球状,煮熟后晶莹剔透,具有清热解毒、健脾、补肺、化痰和治疗消化不良、使皮肤恢复天然润泽等功能;西米适宜体质虚弱、产后病后恢复期、消化不良、神疲乏力之人食用,深受人们尤其是女士的喜爱^[5]。西米作为一种新的淀粉制品被引入中国,具有广阔的发展前景,但有关西米蒸煮特性的研究报道却较少。研究拟以粳米、糯米为对照,参照大米蒸煮食用品质评价方法对西米食用品质特性进行分析,对其淀粉颗粒形貌、溶解度、膨胀势、冻融稳定性和抗性淀粉含量进行研究,旨在增强消费者对西米特性的了解,促进西米资源的开发与利用。

基金项目:西北农林科技大学大学生创新创业训练计划项目(编号:201910712079);陕西省农业科技创新与转化项目(编号:NYKJ-2018-YL19)

作者简介:常蕾,女,西北农林科技大学在读本科生。

通信作者:杜双奎(1972—),男,西北农林科技大学教授,博士。

E-mail: dushuangkui@126.com

收稿日期:2020-07-08

1 材料与方法

1.1 试验材料

珍珠西米:水分含量为 11.2%,锦江麦德龙现购自运有限公司;

粳米:水分含量为 13.2%,黑龙江省水稻科研基地生产,符合 GB/T 1354—2018;

糯米:水分含量为 12.3%,湖北云梦县好石粮食加工厂,符合 GB/T 1354—2018。

1.2 仪器及试剂

1.2.1 试验仪器

扫描电子显微镜:JSM-6360LV 型,日本电子株式会社;

高速万能粉碎机:FW100 型,天津泰斯特仪器有限公司;

电热恒温鼓风干燥箱:DHG-9146A 型,上海精宏实验设备有限公司;

恒温振荡器:SHA-C 型,常州国华电器有限公司;

低速离心机:KDC-40 型,科大创新股份有限公司中佳分公司;

水浴锅:HSYZ-SP 型,北京科伟仪器厂;

紫外分光光度计:UV1700 型,日本岛津公司;

标准 pH 计:PB-10 型,德国赛多利斯公司。

1.2.2 试剂

1 mg/mL 葡萄糖标准液、3,5-二硝基水杨酸(DNS)、磷酸盐缓冲液(pH 6.4)、醋酸盐缓冲液(pH 4.5)、 α -淀粉酶溶液、糖化酶溶液、盐酸、氢氧化钾:分析纯。

1.3 试验方法

1.3.1 米粉制备 称量珍珠西米、粳米和糯米各 500 g,分别用高速万能粉碎机将其粉碎,过 60 目筛,用自封袋密封,备用。

1.3.2 粉体颗粒形貌分析 取少许粉样于样品台上,用双面胶固定后用扫描电子显微镜观察,拍摄具有代表性的淀粉颗粒形貌特征。

1.3.3 食用品质分析

(1) 感官品质评价:参照大米蒸煮食用品质感官评价方法 GB/T 15682—2008 测定方法及感官评定指标,如表 1。由 5 人组成评价小组对米饭食用品质特性进行评定,结果取平均值。

(2) 蒸煮品质评价:参照杜春微等^[6]的研究方法,稍加改动。称取米样样品 2 g 于扎有小孔的离心管中,量取蒸煮前米样的体积。将离心管放在 50 mL 烧杯中,加入 40 mL 蒸馏水,分别在 50,60,70,80,90,100 ℃下水浴蒸煮 30 min。取出蒸煮后的离心管,去除表面残留,沥干米汤 2 min,称重,按式(1)计算不同温度下米样的加热吸水率。量取蒸煮后米样的体积,按式(2)计算体积膨胀率。

表 1 蒸煮品质感官评定评分标准

Table 1 Sensory evaluation criteria for cooking quality

项目	评价指标	评分标准
气味 (35 分)	清香等正常米饭味	25~35
	轻微陈米味,酸味	21~24
	明显酸味、哈味	1~20
	严重酸味、哈味	0
滋味 (35 分)	香甜等正常米饭滋味	25~35
	轻微酸味、苦涩味等不正常滋味	21~24
	明显酸味、苦涩味	1~20
	严重酸味、哈味、苦涩味	0
色泽 (25 分)	光泽正常	21~25
	发暗,发灰,无光泽	16~20
	暗黄色	0~15
米粒外观结构 (5 分)	正常,紧密	5
	不正常,松散	0~2

将收集的米汤倒入恒重的铝盒中,置于 105 ℃鼓风干燥箱中干燥至恒重,称重,按式(3)计算固体溶出物。

$$a = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100\%, \tag{1}$$

$$v = \frac{v_1 - v_0}{v_0} \times 100\%, \tag{2}$$

$$d = \frac{m_3}{m_1} \times 100\%, \tag{3}$$

式中:

a ——加热吸水率,%;

v ——体积膨胀率,%;

d ——溶出率,%;

m_1 ——样品质量,g;

m_2 ——蒸煮后米样质量,g;

m_3 ——米汤固态物质量,g;

v_1 ——蒸煮后米样体积,mL;

v_0 ——蒸煮前米样体积,mL。

1.3.4 米粉理化特性分析

(1) 溶解度和膨胀度:根据杜春微等^[6]的研究方法修改如下,分别称取 0.5 g 米粉于 5 支带盖离心管,加入 40 mL 蒸馏水,充分振荡后水浴。水浴温度分别为 50,60,70,80,90 ℃,时间为 30 min,每隔 5 min 振荡离心管。取出离心管,冷却至室温后于 3 800 r/min 下离心 20 min。倒出上清液,将离心管于 130 ℃下干燥至恒重后称重。分别按式(4)、(5)计算溶解度和膨胀率。

$$S_A = \frac{A}{W} \times 100\%, \tag{4}$$

$$S_P = \frac{P}{W(1 - S_A/100)}, \tag{5}$$

式中:

S_A ——溶解度, %;

S_P ——膨胀度, g/g;

A ——水溶淀粉量(上清残渣), g;

W ——样品干重, g;

P ——离心管中沉淀物质量, g。

(2) 冻融稳定性: 用析水率表示。析水率越低, 冻融稳定性越好。根据段春月等^[7]的研究方法修改如下, 配制 0.06 kg/L 的米粉悬浮液, 振荡下快速加热到 95 ℃, 保持 30 min 后冷却至室温。此时米粉形成凝胶, 将其置于 4 ℃ 下冷藏 24 h, 再转至 -16 ℃ 冷冻 24 h。取出, 在室温下融解 2 h, 振荡 15 s, 3 000 r/min 离心 20 min, 弃去上清液, 称取沉淀物质量。按式(6)计算析水率。

$$I = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100\%, \quad (6)$$

式中:

I ——析水率, %;

m_1 ——淀粉糊质量, g;

m_2 ——沉淀物质量, g。

1.3.5 抗性淀粉含量测定 采用 TSA 法^[8]。称取 0.5 g 样品, 加入磷酸盐缓冲液(pH 6.4) 10 mL, α -淀粉酶液 1 mL, 90 ℃ 恒温 30 min(不断振荡)。冷却至室温, 4 000 r/min 离心 20 min, 弃上清。加入 10 mL 蒸馏水, 洗涤沉淀, 离心弃上清液, 步骤重复 1 次。加入 6 mL 2 mol/L KOH 溶液, 室温下振荡 30 min, 用 2 mol/L HCl 调 pH 至中性。加入 5 mL 醋酸盐缓冲液(pH 4.5)、糖化酶 1 mL, 60 ℃ 水浴振荡 1 h。离心(4 000 r/min, 20 min), 收集上清液。再用 10 mL 蒸馏水洗涤沉淀, 离心, 取上清液, 步骤重复一次。合并上清液, 加水定容至 50 mL。取定容溶液 1 mL, 加入 1 mL 蒸馏水, 1.5 mL 3,5-二硝基水杨酸(DNS), 然后进行 5 min 水浴, 冷却至室温, 再加水定容至 20 mL, 540 nm 下测定吸光度值, 同时制备空白对照进行测定。

$$R_s = \frac{(A_1 - A_0) \times V_0}{V_1 \times M \times 1\,000} \times 0.9 \times 100\%, \quad (7)$$

式中:

R_s ——抗性淀粉含量, %;

A_1 ——样品中还原糖含量, mg;

A_0 ——空白中还原糖含量, mg;

V_0 ——定容体积, mL;

V_1 ——测定时取用液的体积, mL;

M ——样品干重, g。

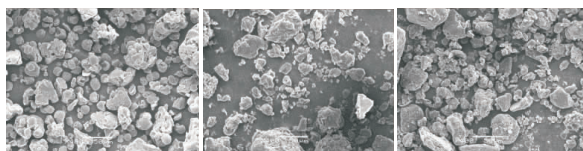
1.4 数据处理

试验数据为 2 次平行试验的均值; 采用 Excel 软件作图, 采用 SPSS 20.0 软件进行方差分析, 多重比较采用 Duncan 新复极差法。

2 结果与分析

2.1 颗粒形貌

采用扫描电子显微镜对西米、粳米、糯米粉体颗粒进行观察, 结果如图 1 所示。3 种粉体颗粒呈现出没有规则的表面凹凸不平的多面体结构, 淀粉被蛋白质所包裹。西米粉中淀粉颗粒清晰可见, 形状类似于椭球体, 也有少部分接近球形, 大小不一, 有断切面; 粳米淀粉颗粒呈多面体形, 表面较光滑, 大小均匀, 棱角尖锐突出, 部分颗粒表面稍有凹陷; 糯米淀粉颗粒表面比较光滑, 与粳米有着类似的典型颗粒形貌, 其淀粉颗粒的多边形平面中心凹陷较为明显。西米淀粉颗粒远大于糯米和粳米淀粉, 粳米淀粉颗粒最小。



(a) 西米粉 (b) 粳米粉 (c) 糯米粉

图 1 3 种粉体颗粒的扫描电子显微镜图片

Figure 1 Scanning electron micrographs of three kinds of starch granules ($\times 400$)

2.2 食用品质

2.2.1 感官品质 3 种米的食用感官品质评定结果见表 2。从米饭气味来看, 粳米有明显的清香米饭味, 而西米米饭香味不明显。从滋味来看, 西米有香甜米饭味, 比较糯, 口感有弹性、耐咀嚼; 粳米有明显的香甜米饭味, 且黏性不大, 口感好; 糯米口感较糯较粘。从色泽和外观结构来看, 生西米质净色白, 表面光滑圆润, 米粒大小均匀, 质硬而不碎, 煮熟后的西米透明似珍珠, 西米粒粘连在一起; 生糯米白色不透明, 外观圆短, 米粒较均匀; 生粳米透明, 外观椭圆形, 米粒比较均匀。

由米饭感官分析, 粳米、糯米蒸出的米饭比较湿润, 饭粒互相粘连不易散开, 翻动时稍有黏重的感觉, 煮饭时沥去米汤可使饭粒分散而不致粘连, 放置数小时后, 饭粒粘而较柔软, 回生程度较小; 而煮熟的西米晶莹剔透, 呈透明的糊状, 非常湿润, 饭粒互相粘连不易散开, 翻动时黏重感很强, 煮饭时即使沥去米汤, 饭粒也不能分散, 放置数小时后, 饭粒仍然粘而柔软, 没有出现明显的变硬回生现象。

不同品种米在食用特性上的差别, 主要与米中的化学组分不同有关。直链淀粉含量越高的米饭硬度、弹性、胶着性和咀嚼性越高, 黏性越低, 米饭的支链淀粉含量高时淀粉易糊化、黏度大, 蒸煮后米饭柔软, 风味比较好; 蛋白质含量高的米吸水能力弱, 经蒸煮后口感粗糙, 米粒硬、易松散破碎、品质较差^[9]。由表 2 可知, 西米和粳米的综合评分值较高, 感官品质好。杜双奎等^[10]的研究中, 粳米直链淀粉含量中等(20%~24%), 糯米直链淀粉含

量较低($<2\%$),二者的蛋白质含量均在 $7\%\sim 8\%$,煮熟后米饭质地较软,口感较好,有黏性,与试验结果相似。而西米直链淀粉含量约为 28% ,蛋白质含量仅为 0.21% ^[11],表现出西米米饭较糯,口感有弹性,耐咀嚼,这可能还与西米的淀粉组成及性质有关。

2.2.2 蒸煮品质 米的蒸煮品质主要与其物理特性和化学成分不同有关。西米、粳米、糯米3种米样溶出率、加热吸水率、体积膨胀率随温度的变化如图2、3所示。

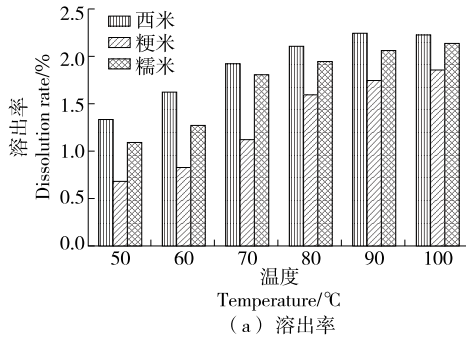


表2 3种米的感官品质评分结果
Table 2 Sensory quality evaluation results of three kinds of rice

品种	气味 (35分)	滋味 (35分)	色泽 (25分)	外观结构 (5分)	综合评价
西米	30	34	24	5	93
粳米	34	33	21	5	93
糯米	31	31	23	5	90

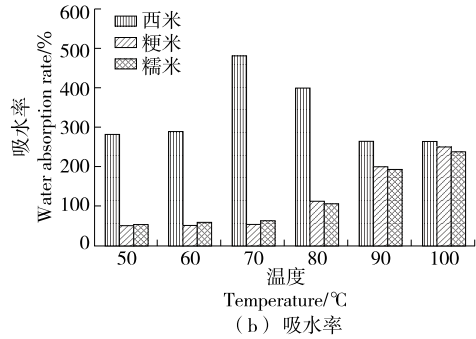


图2 温度对溶出率与吸水率的影响

Figure 2 Effect of temperature on dissolution rate and water absorption rate

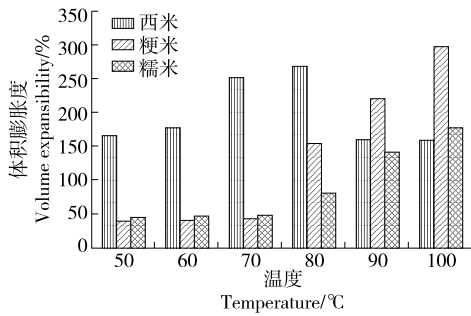


图3 温度对体积膨胀度的影响

Figure 3 Effect of temperature on volume expansibility

由图2可以看出,西米的溶出率在 $50\sim 90\text{ }^{\circ}\text{C}$ 随着温度的升高逐渐增大, $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时溶出率最高(为 2.25%),之后趋于稳定;粳米和糯米的溶出率在 $50\sim 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 随温度的升高而持续增大,最大溶出率分别为 1.86% 、 2.14% 。相同温度下,3种米的蒸煮溶出率有差异,西米的溶出率最高,糯米次之,粳米溶出率相对最小。研究^[12]报道,固体溶出率与米中直链淀粉含量有密切的关系,直链淀粉含量高,其吸水率、膨胀率也高,米汤中溶出物少,固体溶出率低。西米的固体溶出率高于粳米、糯米,分析其原因,可能是受到米粒的粒形、硬度、组成、结构等影响。西米固体溶出物多,因此米饭更粘,食味品质及口感好。

大米在蒸煮过程中的吸水率大小受直链淀粉含量的影响,同时也受水分含量和蛋白质含量的影响。直链淀粉含量低、水分高的米吸水率低,蛋白质含量高的米粒结构紧凑,淀粉颗粒间隙小,吸水慢,吸水量少,故具有较低的吸水率^[13]。从图2可以看出,在 $50\sim 90\text{ }^{\circ}\text{C}$ 范围内,随

着温度的升高,西米吸水率呈先增大后减小,在 $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时达到最大吸水率(479.98%), $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ 后吸水率趋于稳定;而粳米和糯米的吸水率则随温度的升高而增大。同一温度下($50\sim 90\text{ }^{\circ}\text{C}$),西米吸水率显著高于粳米和糯米($P<0.05$),粳米与糯米的吸水率没有显著差异性($P>0.05$)。西米直链淀粉含量高于粳米和糯米,蛋白质含量低于粳米和糯米,因此表现出高的蒸煮吸水率。

由图3可以看出,在 $50\sim 90\text{ }^{\circ}\text{C}$ 随着温度的升高,西米的体积膨胀率亦呈先增大后减小趋势,在 $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时体积膨胀率最大,达到 267.19% , $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ 后趋于稳定,而粳米和糯米的体积膨胀率在 $50\sim 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 随温度的升高而不断增大,粳米的增长幅度迅速, $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时体积膨胀率最大为 296.72% 。在低的温度范围内($50\sim 80\text{ }^{\circ}\text{C}$),西米的体积膨胀率显著高于粳米和糯米($P<0.05$);大于 $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,粳米体积膨胀率显著高于西米与糯米($P<0.05$),糯米的体积膨胀率变化幅度较小。分析其原因,可能是米在蒸煮过程中的体积膨胀率除了受到直链淀粉含量、蛋白质含量等影响外,还与米粒的粒形、组成、结构等有关。

米的食用品质是米的质量品质的一个重要指标,而蒸煮品质是评价米的食用品质的主要方面之一。蒸煮品质通常用加热吸水率、体积膨胀率和米汤溶出物等指标来反映。加热吸水率小、体积膨胀率小、米汤固体溶出物多的米食用品质好^[14]。综合分析3种米的食用品质,西米米饭的食用品质最高,粳米次之,糯米较差。

2.3 理化特性

2.3.1 溶解度与膨胀度 淀粉吸水膨胀反映了直链淀粉

的特性,而淀粉的溶解主要是直链淀粉从润胀的颗粒中逸出的过程。淀粉的溶解和膨胀与其颗粒大小、形态、组成、直链和支链淀粉的分子量和比例以及支链淀粉中长短链所占的比例有关。西米粉、粳米粉、糯米粉的溶解度和膨胀度测定结果如图 4 所示。由图 4 可以看出,随着温度的升高,3 种粉的溶解度和膨胀度均呈增大趋势。温度低于 60 °C,3 种粉的溶解度和膨胀度变化幅度较小;大于 60 °C 时,西米粉、糯米粉的溶解度和膨胀度急剧上升,表现出相似的溶解和膨胀趋势,而粳米粉溶解度、膨胀度的上升比较平缓。这可能是由于低温下,粉中淀粉晶体结构的存在使其在冷水中不能溶解,吸水膨胀缓慢,表现出较低的溶解度和膨胀度;随着温度的升高,淀粉开始吸水膨胀,溶解度和膨胀度迅速增大;继续加热,淀粉颗粒开始崩解,直链淀粉析出,使得溶解度继续增加,淀粉受热糊化,使得膨胀度增大^[15-16]。

2.3.2 冻融稳定性 析水率反映淀粉糊冻融稳定性。淀粉经冻融后发生沉淀,胶体结构被破坏,当分子间氢键结合时会析出水,从而析水率越低,冻融稳定性越好。3 种米粉的冻融稳定性测定结果见图 5。由图 5 可以看出,3 种米粉凝胶的冻融稳定性有着极显著的差异($P < 0.01$)。西米粉的析水率最高(61.01%),粳米粉次之(51.17%),糯米粉最低(19.71%),表明西米粉凝胶的冻融稳定性最差,经冻融后胶体被破坏,容易析水,难以保

证食品品质,不适用于直接制作冷冻食品,所以在加工过程中有必要对其进行改性以提高其冻融或冷藏稳定性^[17]。西米具有较差的冻融稳定性,与其较高的直链淀粉含量有关,直链淀粉含量高易发生老化,冻融稳定性差,这与王丽霞等^[18]在山药淀粉研究中发现的结果一致。冻融稳定性除了受直链淀粉、蛋白质含量的影响外,可能还与支链淀粉链长、其他组分(如脂肪含量等)、淀粉颗粒的结晶结构、淀粉特性等有关^[19]。

2.3.3 抗消化性 抗性淀粉是指在小肠中能抵抗酶的水解而不被消化,但在结肠内能被微生物发酵利用的那部分淀粉。不同食物的抗性淀粉含量受其中直链淀粉与支链淀粉含量、比例、淀粉颗粒的大小、结构以及淀粉分子的聚合度等影响。直链淀粉与支链淀粉的比值越大,抗性淀粉含量越高;抗性淀粉越多,抗性淀粉水解速度越慢,越不易消化^[20]。西米、粳米和糯米的抗性淀粉含量测定结果如图 6 所示。3 种材料的抗性淀粉含量差异极显著($P < 0.01$),粳米中抗性淀粉含量最高,达到 27.38%,糯米最低,仅有 3.82%,西米抗性淀粉含量为 13.54%,与 Loo 等^[21]研究报道结果接近(12.0%左右),但明显低于 Arshad 等^[2]的报道值(62.6%),这与试验材料、测定方法不同有关。

3 结论

西米淀粉颗粒为椭球体,颗粒大于糯米和粳米淀粉。

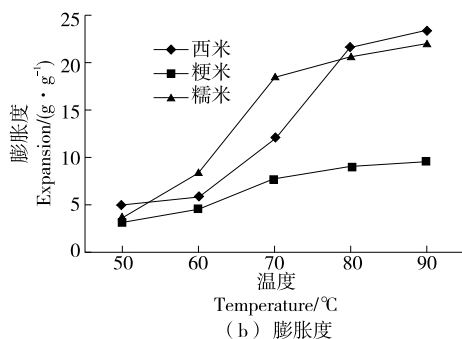
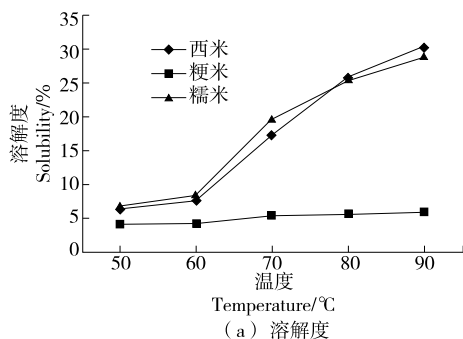
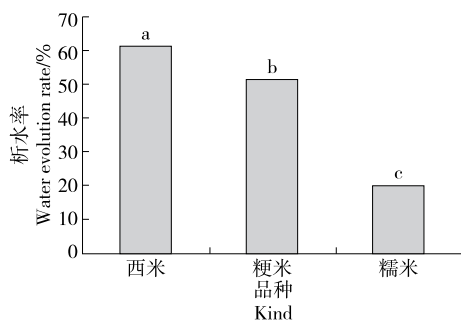


图 4 温度对溶解度和膨胀度的影响

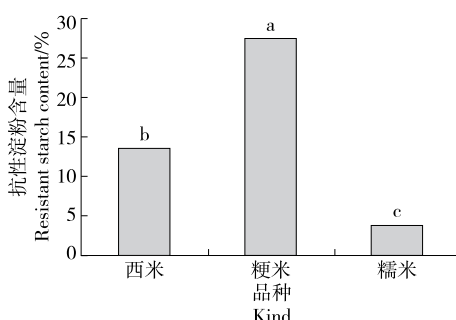
Figure 4 Effect of temperature on solubility and expansion



字母不同表示差异显著($P < 0.05$)

图 5 3 种米粉凝胶的冻融稳定性

Figure 5 Freeze thaw stability of three kinds of rice flour gel



字母不同表示差异显著($P < 0.05$)

图 6 3 种米的抗性淀粉含量

Figure 6 Resistant starch content of three kinds of rice

西米米饭质地柔软,黏性大,米汤固体溶出率大,食用品质较好,西米蒸煮时的吸水率和体积膨胀率与粳米、糯米有差异,总体来说西米蒸煮及食味品质优于粳米和糯米。西米溶解度和膨胀度与糯米接近但高于粳米,且随着温度的升高而增大,有利于西米的蒸煮。西米具有较高的析水率(61.01%),故冻融稳定性较差,不适合直接用于冷冻食品。西米抗性淀粉含量(13.54%)显著高于糯米(3.82%),低于粳米(27.38%)。西米与粳米、糯米的品质差异性与其组分、含量以及颗粒结构有关,有待进一步深入分析。

参考文献

- [1] 陈福泉, 钟碧疆, 吴正双, 等. 西米淀粉颗粒性质的研究[J]. 食品科技, 2009, 34(12): 193-196.
- [2] ARSHAD N H, ZAMAN S A, RAWI M H, et al. Resistant starch evaluation and in vitro fermentation of lemantak (native sago starch), for prebiotic assessment[J]. International Food Research Journal, 2018, 25: 951-957.
- [3] 毕玉, 方芳, 洪雁, 等. 西米淀粉结构及消化特性[J]. 食品科学, 2014, 35(13): 70-73.
- [4] OTHMAN Z, HASSAN O, HASHIM K. Physicochemical and thermal properties of gamma-irradiated sago (*Metroxylon sago*) starch[J]. Radiation Physics and Chemistry, 2015, 109: 48-53.
- [5] KARIM A A, TIE A P, MANAN D M, et al. Starch from the sago (*Metroxylon sago*) palm tree: Properties, prospects, and challenges as a new industrial source for food and other uses[J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2008, 7: 215-228.
- [6] 杜春微, 高梦晗, 刘庆, 等. 黄米品质特性研究[J]. 食品工业, 2018, 39(2): 83-87.
- [7] 段春月, 刘静, 刘畅. 3种粟属坚果淀粉的结构及其理化特性[J]. 中国粮油学报, 2020, 35(5): 72-78.
- [8] 杨光, 丁霄霖. 抗性淀粉定量测定方法的研究[J]. 中国粮油学报, 2002(3): 59-62.
- [9] 郭亚丽, 李芳, 洪媛, 等. 大米理化成分与米饭品质的相关性研究[J]. 武汉轻工大学学报, 2015, 34(3): 1-6.
- [10] 杜双奎, 杨红丹, 于修焯, 等. 商品粳米、籼米、糯米品质特性和糊化特性比较研究[J]. 食品科学, 2010, 31(5): 78-81.
- [11] 陈翠兰, 张本山. 西米物化性质的研究[J]. 食品工业科技, 2010(1): 78-80.
- [12] 黄亚伟, 徐晋, 王若兰. 不同品种五常大米储藏期间蒸煮品质与质构变化规律及相关性研究[J]. 粮食与油脂, 2016, 29(8): 33-38.
- [13] 夏凡, 董月, 朱蕾, 等. 大米理化性质与其食用品质相关性研究[J]. 粮食科技与经济, 2018, 43(5): 100-107.
- [14] 李贞. 大米理化性质与食味品质的相关性[J]. 粮食与油脂, 2017, 30(1): 89-92.
- [15] 卢绍闯, 秦石秀, 陈家丽, 等. 龙爪粟淀粉的提取及理化特性研究[J]. 中国粮油学报, 2020, 35(5): 65-71.
- [16] 王蕾, 杜弘坤, 卢晓黎. 盐酸改性工艺对糯米粉老化性质的影响[J]. 食品与发酵科技, 2010, 46(13): 79-93.
- [17] REKHA S S, JOHN F K, SAJILATA M G, et al. Industrial production, processing, and utilization of sago palm-derived products[J]. Carbohydrate Polymers, 2007, 72(1): 1-20.
- [18] 王丽霞, 王敬臻, 张金玲, 等. 长山山药淀粉的制备及性能[J]. 食品科学, 2017, 38(9): 156-161.
- [19] 苏晗, 涂金金, 陈竞豪, 等. 淀粉冻融特性及其品质影响因素研究现状[J]. 包装工程, 2019, 40(13): 31-40.
- [20] 刘素君, 姚永伟, 高宏欢, 等. 不同小麦品种抗性淀粉含量及其与其他淀粉品质性状的关系[J]. 麦类作物学报, 2020(4): 455-463.
- [21] LOO Siew-wai, TAN Zi-ni, KARIM Alias A, et al. Fermentation of metroxylon sago resistant starch type III by *Lactobacillus* sp. and *Bifidobacterium bifidum*[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2010, 58(4): 2 274-2 278.
- (上接第 23 页)
- [11] MAO Xue-ying, CHENG Xue, WANG Xu, et al. Free-radical-scavenging and anti-inflammatory effect of yak milk casein before and after enzymatic hydrolysis[J]. Food Chem, 2011, 126(2): 484-490.
- [12] PEREIRA C, CALHELHA R C, BARROS L, et al. Antioxidant properties, anti-hepatocellular carcinoma activity and hepatotoxicity of artichoke, milk thistle and borututu[J]. Ind Crops Products, 2013, 49(4): 61-65.
- [13] LYDIA A, CHAWKI B, SALIHA A Z, et al. Antioxidant, tyrosinase and urease inhibitory activities of camel α S-casein and its hydrolysate fractions[J]. Small Ruminant Research, 2019, 173: 30-35.
- [14] 陈其芳. 不同季节牦牛奶脂脂肪酸分析[J]. 中国畜牧兽医文摘, 2017, 33(6): 61.
- [15] 彭小霞, 李理, 余保宁. 全谷物脱脂酸牛奶的理化性质及流变学特性研究[J]. 中国酿造, 2020, 39(2): 33-37.
- [16] 马晓灵, 周坚. 葛粉与粳米粉复配挤压方便米饭流变学特性研究[J]. 食品科技, 2016, 41(11): 160-163.
- [17] CHEN Chao, CHEN Zheng-xing, LUO Xiao-hu, et al. Effects of milk proteins on the bio accessibility and antioxidant activity of oat phenolics during in vitro digestion[J]. Food Science, 2019, 84(4): 895-903.
- [18] ZANUTTO E M R, SOUZA V J C, DOPRADO D Z, et al. Production of milk peptides with antimicrobial and antioxidant properties through fungal proteases[J]. Food Chem, 2019, 278(25): 823-831.