

玛咖淀粉与马铃薯、淮山药淀粉的理化性质比较

张黎明¹, 刘娜¹, 郝利民^{1,2}, 王福深¹, 张丽彤¹, 宋宁¹, 丁娟娟¹, 陈前¹

(1. 工业发酵微生物教育部重点实验室, 天津科技大学生物工程学院, 天津 300457)

(2. 总后勤部军需装备研究所, 北京 100010)

摘要: 以马铃薯和淮山药淀粉为对照, 研究了玛咖淀粉的化学组分、颗粒形貌、结晶结构、热力学性质、溶解度、膨胀度、糊透明度和冻融稳定性。结果表明, 玛咖淀粉颗粒呈现椭圆形或不规则形, 颗粒长轴在 7.2~15.6 μm 之间, 短轴在 5.1~9.8 μm 之间; 其偏光十字呈现垂直交叉, X-射线衍射结晶结构为 C 型, 且在衍射角(2 θ)为 20 附近有直链淀粉-脂类复合物的特征吸收峰。玛咖淀粉的颗粒形貌和结晶结构与淮山药淀粉相似。玛咖淀粉的糊化温度较马铃薯和淮山药淀粉低, 该淀粉糊化的起始温度(T_0)、峰值温度(T_p)和终止温度(T_c)分别为 46.88 $^{\circ}\text{C}$ 、50.42 $^{\circ}\text{C}$ 和 54.82 $^{\circ}\text{C}$, 糊化焓变 7.37 J/g。玛咖淀粉的溶解度和糊透明度比淮山药淀粉高, 比马铃薯淀粉低; 其峰值黏度与山药淀粉相近, 显著低于马铃薯淀粉; 膨胀度和冻融稳定性均优于马铃薯和淮山药淀粉。玛咖淀粉作为一种淀粉新资源, 具有一定的开发价值和广阔的发展前景。

关键词: 玛咖; 马铃薯; 淮山药; 淀粉; 理化性质

文章编号: 1673-9078(2016)3-73-78

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2016.3.013

Comparison of the Physicochemical Properties of Maca Starch with Those of Potato and Chinese Yam Starches

ZHANG Li-ming¹, LIU Na¹, HAO Li-min^{1,2}, WANG Fu-shen¹, ZHANG Li-tong¹, SONG Ning¹, DING Juan-juan¹, CHEN Qian¹

(1. Key Laboratory of Industrial Fermentation Microbiology, Ministry of Education, College of Biotechnology, Tianjin University of Science and Technology, Tianjing 300457, China) (2. The Quartermaster Equipment Institute of General Logistics Department of People's Liberation Army, Beijing 100010, China)

Abstract: Chemical composition, particle morphology, crystal structure, thermodynamic properties, solubility, degree of expansion, paste clarity, and freeze-thaw stability of maca root starch were compared with those of potato and Chinese yam starches. Maca starch granules were oval or irregular. The long axis of these granules ranged between 7.2 and 15.6 μm and short axis ranged between 5.1 and 9.8 μm . A square cross was observed for the polarization cross of maca starch. X-Ray powder diffraction showed that maca starch had C-type crystalline patterns, and the characteristic peak of amylase-lipid complexes occurred at approximately 2 θ (i.e., approximately 20 $^{\circ}$). Morphology and crystalline pattern of maca starch were similar to those of Chinese yam starch. Gelatinization temperature of maca starch was lower than that of potato and Chinese yam starches. Onset (T_0), peak (T_p), and conclusion temperatures (T_c) of maca starch were 46.88 $^{\circ}\text{C}$, 50.42 $^{\circ}\text{C}$, and 54.82 $^{\circ}\text{C}$, respectively. Gelatinization enthalpy of maca starch was 7.37 J/g. Solubility and paste clarity of maca starch were higher than those of Chinese yam starch and lower than those potato starch. Peak viscosity of maca starch was similar to that of Chinese yam starch but was lower than that of potato starch. Swelling power and freeze-thaw stability of maca starch were higher than those of Chinese yam and potato starches. As a new starch source, the maca starch has certain values and broad prospects for development.

Key words: maca; potato; Chinese yam; starch; physicochemical properties

玛咖, 又称玛卡, 属十字花科(*Cruciferae*)独行菜

收稿日期: 2015-04-09

基金项目: 全军科研项目 (AX110C002) 总后勤部军需装备研究所

作者简介: 张黎明 (1963-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 天然产物研究与开发

通讯作者: 郝利民 (1969-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 军需功能食品与食品生物技术

属(*Lepidium meyenii* Walp.) 1 年生或 2 年生草本植物, 最早产于海拔 3500~4500 m 的秘鲁安第斯山区^[1]。玛咖是一种药食同源性植物, 主要食用部分为成熟膨大的块根。其根茎含有丰富的多糖、蛋白质、氨基酸、矿物质和微量元素等营养物质和玛咖烯、玛咖酰胺、芥子油苷、生物碱和黄酮类等活性成分^[1,2]。通过药理学实验证明, 玛咖中的这些成分具有抗氧化、抗疲劳、

提高性功能、促进生长、缓解更年期综合症等功效^[1,2]。2001年,玛咖首次在我国云南省丽江、会泽、曲靖等地引种,至2010年底全国种植面积达194.4 hm²,玛咖产量838.7 t^[3]。玛咖已成为当前功能食品研究的热点,以玛咖为主要原料的保健食品受到了各国消费者的广泛青睐。2011年,中华人民共和国卫生部批准玛咖作为新资源食品。

目前玛咖的营养保健功能受到极为广泛的关注,相对应的研究也较为活跃。到目前为止,国内外对于玛咖中营养成分评价有比较深入的研究^[4,5],对玛咖根茎的中生物活性成分的提取、分离纯化、结构鉴定及药理活性也多见报道^[1,2,5]。但是对于玛咖淀粉的分离提取和理化性质却少见报道。玛咖植物能耐低温、大风,可以在无肥料、缺氧、昼夜温差大、长期冰封的恶劣条件下生长,这些独特的自然环境对玛咖淀粉的理化性质有独特的影响;另一方面,玛咖淀粉是提取玛咖活性成分后剩余的副产物,其含量约占玛咖片干重的31.57%^[4],这些成分如不加以利用,不仅使玛咖资源白白地浪费,而且还会造成环境污染。因此,本文旨在探讨玛咖淀粉的颗粒结构和理化性质,通过与常见的块茎或根茎类淀粉(马铃薯淀粉和淮山药淀粉)的比较,探讨玛咖淀粉的颗粒结构和理化性质特性,以为玛咖资源的综合利用提供理论依据。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与amp;仪器

玛咖2013年11月采集于总后勤部军需装备研究所玛咖种植基地(云南丽江),使用前切片(约2~3 mm)、干燥,装入自封袋备用;淮山药饮片,购自天津南楼大药房,干燥,装入自封袋备用;马铃薯淀粉为秦皇岛市豪瑞淀粉有限公司生产。

Philips XL-30型环境扫描电子显微镜; Rigaku D/max2500型X衍射仪; TU-1810紫外可见分光光度仪,北京普析通用仪器有限公司;离心机(LD4-2A),北京医用离心机厂;分析天平(PB203-N型),梅特勒-托利多仪器有限公司; DSC 822型差示扫描量热仪,梅特勒-托利多仪器有限公司; 布拉班德黏度仪(Micro Visco-Amlyo-graph型),德国布拉班德公司。

1.2 玛咖和淮山药淀粉的分离方法

玛咖和淮山药淀粉的分离参考文献^[6]。取玛咖片或淮山药片置于NaOH溶液(pH 10~11)中浸泡24 h,之后用水冲洗至中性。将浸泡过的切片加入适量的蒸馏水进行磨浆,过150 μm筛,如此重复操作3~4次。

将所得淀粉浆液静置12 h,过滤,收集淀粉沉淀。用无水乙醇洗涤淀粉沉淀,于50℃下真空干燥,粉碎,过75 μm筛得玛咖或淮山药淀粉。

1.3 淀粉的化学成分分析

水分测定:水分用直接干燥法测定:参照GB5497-85;灰分测定:灰分用灼烧法测定:参照GB8306-87;蛋白质测定:总蛋白质用凯氏定氮法测定:参照GB/T5511-85;脂肪测定:参照GB/T22427-2008,用索氏萃取法;直链淀粉参考文献^[8]测定。

1.4 淀粉颗粒形貌、大小及偏光十字分析

将待测样品充分分散于无水乙醇中,取适量涂于玻璃片上,晾干后用导电双面胶将附有样品玻片固定在载物台上,在真空条件下进行镀金处理,然后将处理好的样品台放入扫描电子显微镜中观察,并拍摄具有代表性的样品颗粒形貌。

取少量淀粉样品,用蒸馏水使其分散均匀,取一滴分散样品于载玻片的中间位置,盖上盖玻片(注意避免出现气泡),置于偏光显微镜下,观察人参淀粉颗粒的偏光十字及其形态,放大倍数为400倍。

1.5 淀粉的结晶结构分析

将待测淀粉样品经干燥、粉碎,然后进行测试,淀粉样品应保持在平衡水分含量并过120目筛。实验条件:CuK α 射线、电压30 kV、电流30 mA、起始角4°、终止角60°、扫描速度12°/min。参考文献^[9]计算淀粉的相对结晶度。

1.6 淀粉热学性质分析

淀粉热力学特性参考文献^[8]进行测定。在25 μL的铝坩锅中精确称取2.5 mg淀粉,加入蒸馏水使淀粉乳浓度达到70%左右,在室温下平衡24 h。测定条件为:25~125℃,升温速率为5℃/min。淀粉微晶熔融起始温度 T_0 (Onset temperature),峰值温度 T_p (Peak temperature),终止温度 T_c (Conclusion temperature)和糊化焓变 ΔH (Enthalpy of gelatinization)由软件自动计算。

1.7 淀粉溶解度与膨胀度的测定

配制质量分数为2%的淀粉乳,取50 mL在一定温度下搅拌加热30 min,然后置于离心管中,以3000 r/min转速离心20 min,再将上清液置于烘箱中蒸干,继续干燥至恒重称量质量为A;离心管中膨胀淀粉质

量用 P 表示, 试样干重为 W 。按照公式计算其溶解度 (S) 和膨胀度 (B)^[9]。

$$S(\%) = \frac{A}{W} \times 100 \quad (1)$$

$$B(\text{g/g}) = \frac{P}{W(100-S)} \times 100 \quad (2)$$

1.8 淀粉糊透明度的测定

参照杜双奎等人^[10]的方法。以透光率表示淀粉糊的透明度。配制质量浓度为 1.0 g/100 mL 的 3 种淀粉的淀粉乳, 放入沸水浴中加热搅拌 20 min, 加入适量蒸馏水保持淀粉糊的原有体积, 冷却至 25 °C, 以蒸馏水为空白, 在 620 nm 波长处测定淀粉糊的吸光度, 计算淀粉糊的透光率 (%)。

1.9 淀粉冻融稳定性的测定

称取一定量的淀粉样品配制成 3% 的淀粉乳。沸水浴 30 min 后冷却至室温。量取 30 mL 淀粉糊转移至已知质量的 50 mL 离心管内称重。装有样品的离心管于 -20 °C 冻 24 h, 25 °C 解冻 4 h, 如此进行 3 个冻融循环后 3000 r/min 离心 15 min, 去除上清液, 称量沉淀的质量^[11]。样品重复测定 3 次, 然后按照公式 (3) 计算淀粉的析水率。

$$\text{析水率}(\%) = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m_0} \times 100 \quad (3)$$

式中 m_0 表示离心管质量, g; m_1 表示淀粉样品和离心管质量, g; m_2 表示离心后沉淀物和离心管质量, g。

表 1 玛咖、马铃薯和淮山药淀粉的基本组成成分

Table 1 Basic components of maca, potato, and yam starches

| 样品 | 水分/% | 灰分/% | 脂肪/% | 蛋白质/% | 直链淀粉/% |
|-------|------------|-----------|-----------|-----------|------------|
| 玛咖淀粉 | 10.14±0.43 | 0.32±0.03 | 0.35±0.03 | 0.47±0.05 | 20.56±0.90 |
| 马铃薯淀粉 | 12.27±0.28 | 0.43±0.08 | 0.18±0.04 | 0.27±0.02 | 19.38±0.54 |
| 淮山药淀粉 | 10.81±0.52 | 0.31±0.05 | 0.24±0.01 | 0.49±0.04 | 23.71±0.75 |

2.2 淀粉的扫描电子显微结构

利用扫描电子显微镜 (SEM) 考察玛咖、马铃薯和淮山药淀粉的形貌, 结果如图 1 所示。由图 1 可知, 玛咖淀粉的颗粒形貌主要呈现有椭圆形或不规则形状, 椭圆的长轴分布在 7.2~15.6 μm 范围内, 短轴分布在 5.1~9.8 μm 的范围内。马铃薯淀粉颗粒表面光滑, 大的典型颗粒近似椭圆形, 椭圆的长轴分布在 15~75 μm 范围内, 短轴分布在 10~50 μm 的范围内, 未成熟的小颗粒呈球形。而淮山药淀粉大多数呈扁平状, 扁平盘形状不规则, 多近似多边形, 扁平面宽度为 5~25

1.10 淀粉糊黏度测定

准确称取淀粉和蒸馏水, 混匀成质量分数为 8% 的淀粉乳, 用微型 Brabender 黏度计测定淀粉的黏度^[10]。测定参数设定: 从 30 °C 开始计时, 以 7.5 °C/min 的速率程序升温至 93 °C, 并保温 5 min, 再以 -7.5 °C/min 的速率冷却到 50 °C, 并保温 2 min。绘出一条随时间和温度变化的连续黏度曲线, 其中黏度单位为 BU。

1.11 数据处理

试验数据以平均值±标准差 (Mean±SD) 表示。采用 Microsoft Office Excel 2007 数据分析工具进行处理, 并用 Origin 软件进行作图。

2 结果与讨论

2.1 淀粉的组成成分分析

玛咖、马铃薯和淮山药淀粉的基本组成成分测定结果见表 1。由表 1 可知, 玛咖淀粉的水分、灰分和蛋白质含量均与淮山药淀粉接近, 其水分、灰分含量比马铃薯淀粉低, 但蛋白质含量却高于马铃薯淀粉。在 3 种淀粉中, 玛咖淀粉的脂肪含量最大, 直链淀粉含量小于淮山药淀粉, 但比马铃薯淀粉高。淀粉所含的蛋白质、脂肪、灰分和直链淀粉组分, 对于淀粉的物理化学性质有一定程度的影响, 其中直链淀粉含量的多少将通过对淀粉溶解性、糊化特性以及抗酶解作用等的影响, 继而影响到淀粉的各种加工性能^[10]。

μm。从图 1 还可以看出, 部分玛咖淀粉的外形与淮山药淀粉相似, 但颗粒相对较淮山药大; 在 3 种淀粉中, 玛咖淀粉的颗粒尺寸最小, 马铃薯的粒径最大。

玛咖淀粉、马铃薯淀粉和山药淀粉颗粒的偏光十字见图 2。由图 2 可以看出, 三种淀粉都有可见的偏光十字, 与其它两种淀粉相比, 玛咖淀粉的偏光十字视强度较弱, 呈现垂直交叉的正十字型, 十字交叉点接近于淀粉粒心; 而马铃薯淀粉和山药淀粉的偏光十字交叉点偏向颗粒一端, 呈“X”型, 小颗粒淀粉的偏光十字交叉点在中心。不同淀粉颗粒的偏光十字所表现的形态、位置以及明显程度不同, 可以用来判断淀

粉颗粒的品种。

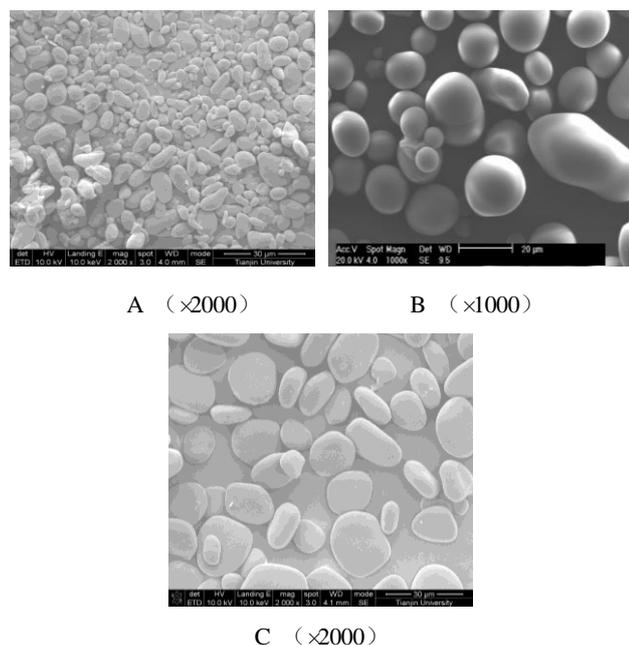


图1 玛咖 (A)、马铃薯 (B) 和淮山药 (C) 淀粉的 SEM 照片
Fig.1 SEM micrographs of maca (A), potato (B) and yam (C) starch

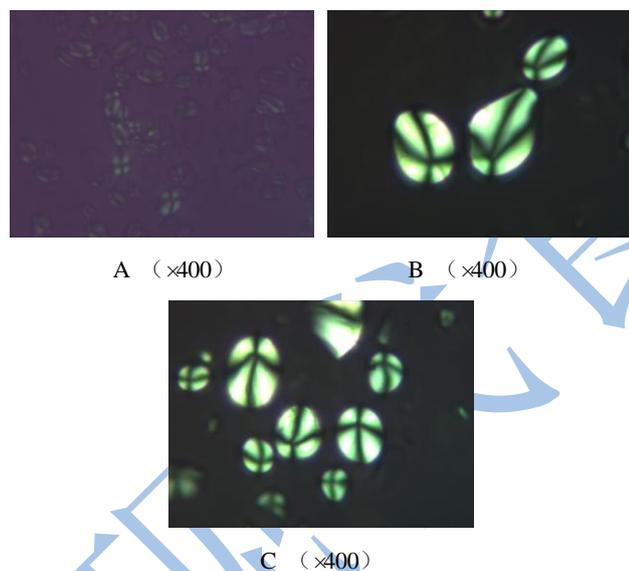


图2 玛咖 (A)、马铃薯 (B) 和淮山药 (C) 淀粉的偏光照片
Fig.2 Polarized images of maca (A), potato (B), and yam (C) starches

2.3 淀粉的结晶结构

玛咖淀粉 (A)、马铃薯淀粉 (B) 和淮山药淀粉 (C) 的 X-射线衍射结果见图 3。根据天然淀粉 X-衍射特征峰的位置和强度的不同, 淀粉可分为 A 型、B 型和 C 型 3 种。由图 3 可以看出, 玛咖淀粉在 2θ 约为 17° 有强衍射峰, 在 15°、18° 和 23° 有较强的衍射峰, 在 5.7° 有弱的吸收峰, 既具有 A 型晶体的峰形特征又

具有 B 型的特征, 所以玛咖淀粉的晶型应属于 C 型晶型。玛咖淀粉衍射图在 20° (2θ) 附近有吸收峰, 这可能对应淀粉中的直链淀粉-脂类复合物^[6]。淮山药淀粉的衍射峰与玛咖淀粉相似, 也属于 C 型晶型。玛咖淀粉和淮山药淀粉的相对结晶度分别为 28.6% 和 29.5%。马铃薯淀粉在 5.7°、15°、17° 和 22° 的 2θ 处均有吸收峰, 为 B 型图谱的特征, 属于 B 型。其相对结晶度为 31.2%。一般来说, 块根或块茎类淀粉呈现 B 型图谱^[11], 而衍射峰除了受其植物来源和生长环境的影响, 还与其它因素如支链淀粉的链长、直链淀粉和水分的含量有关^[12]。

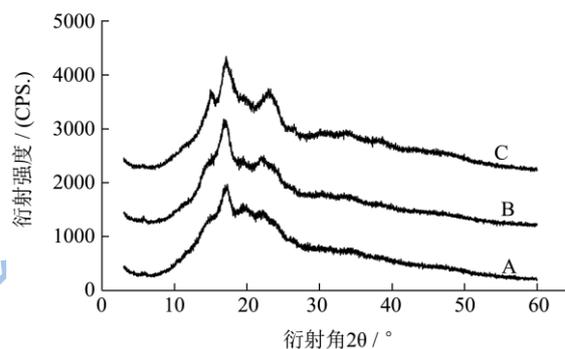


图3 玛咖 (A)、马铃薯 (B) 和淮山药 (C) 淀粉的 X-射线衍射图

Fig.3 X-Ray diffraction patterns of maca (A), potato (B), and yam (C) starches

2.4 淀粉的热学性质

表 2 玛咖、马铃薯和淮山药淀粉的糊化特征参数

Table 2 Gelatinization characteristics of maca, potato, and yam starches

| 样品 | $T_0/^\circ\text{C}$ | $T_p/^\circ\text{C}$ | $T_c/^\circ\text{C}$ | $\Delta H/\text{J/g}$ |
|-------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|
| 玛咖淀粉 | 46.88±0.36 | 50.42±0.18 | 54.82±0.51 | 7.37±0.32 |
| 马铃薯淀粉 | 58.98±0.29 | 67.58±0.31 | 74.80±0.19 | 5.12±0.43 |
| 淮山药淀粉 | 65.82±0.39 | 69.92±0.44 | 72.89±0.33 | 5.62±0.26 |

玛咖、马铃薯和淮山药淀粉在糊化过程中的热力学参数 (起始温度 T_0 , 峰值温度 T_p , 终止温度 T_c 和糊化焓变 ΔH) 结果见表2。由表2可知, 玛咖淀粉的糊化起始温度 (46.88 °C)、峰值温度 (50.42 °C) 和终止温度 (54.82 °C) 均低于马铃薯和淮山药淀粉, 但其热焓值 (7.37 J/g) 却高于其它两种淀粉。来源不同的淀粉热力学性质会有差异, 这是由多种因素影响的结果, 例如淀粉的生长条件、淀粉的提取方法和加工条件、不同的直链淀粉含量及分子结构等, 这些因素都会对测定结果产生不同程度的影响^[13]。由表2还可以看出, 3种淀粉的吸热焓均偏低, 这是由于淀粉糊化的吸热焓除了受淀粉颗粒的整体结构、以及内部直链淀粉、支

链淀粉的链长, 聚合度等因素的影响外, 还要与一些测定条件(如水分的含量和升温速率)密切相关^[12]。

2.5 淀粉的溶解度和膨胀度

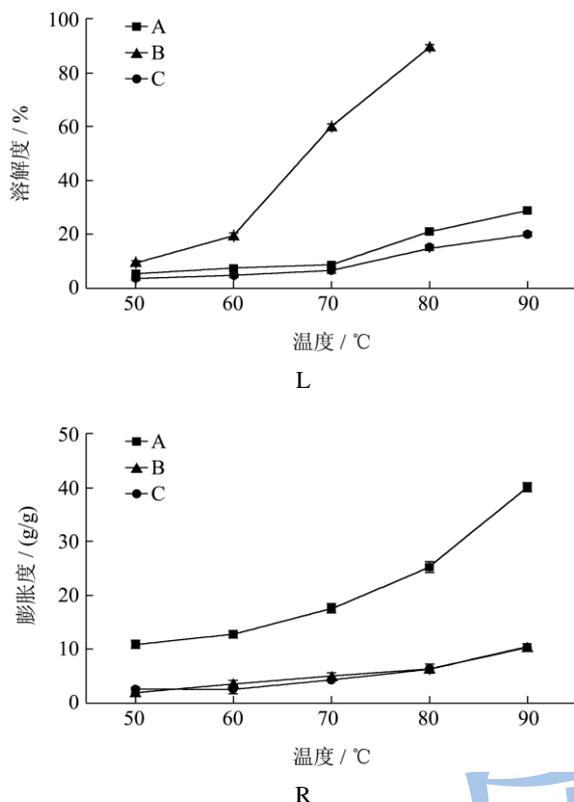


图4 玛咖(A)、马铃薯(B)和淮山药(C)淀粉在不同温度下的溶解度和膨胀度

Fig.4 Solubility and swelling power of maca (A), potato (B), and yam (C) starches at different temperatures

溶解性和膨胀度反映了淀粉和水的相互作用。在不同温度下, 对玛咖淀粉、马铃薯淀粉和淮山药淀粉的溶解度和膨胀度进行测定, 结果见图4。由图4(L)可知, 3种淀粉的溶解度均随着温度的升高而增大; 在同一温度下, 玛咖淀粉的溶解度与淮山药淀粉相近, 但远远低于马铃薯淀粉的溶解度。由图4(R)还可以看出, 随着温度的上升, 3种淀粉的膨胀度随之增加。当温度为50 °C时, 3种淀粉的膨胀度都很小, 但当温度高于50 °C时玛咖淀粉膨胀度迅速增加, 远远大于马铃薯淀粉和淮山药淀粉, 表明玛咖淀粉颗粒内部的结合键的力比其它两种淀粉弱。这是因为随着温度的升高, 水分进入到淀粉颗粒中, 淀粉颗粒开始吸水膨胀, 同时造成未结晶部分直链淀粉因受热作用而逐渐溶于水, 因而使淀粉的溶解度增加^[14]。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质量的比例以及支链淀粉中长链、短链所占的比例有关。这些综合因素导致玛咖淀粉的溶解度较马铃薯

淀粉低, 但其糊化温度较马铃薯淀粉低。

2.6 淀粉糊的透明度

将玛咖、马铃薯和淮山药淀粉分别配制成一定浓度的淀粉乳, 用分光光度计测定糊的透明度, 所得结果见图5。由图5可知, 玛咖淀粉的透光率略高于淮山药淀粉, 远远低于马铃薯淀粉, 反映出玛咖淀粉成糊后的透明度较差, 进而说明其与水结合的能力较弱。这是由于马铃薯淀粉颗粒大, 结构松散, 直链淀粉含量少, 在热水中能完全膨胀糊化; 而玛咖淀粉和淮山药淀粉相对而言颗粒较小, 直链淀粉含量相对较多(见表1)。

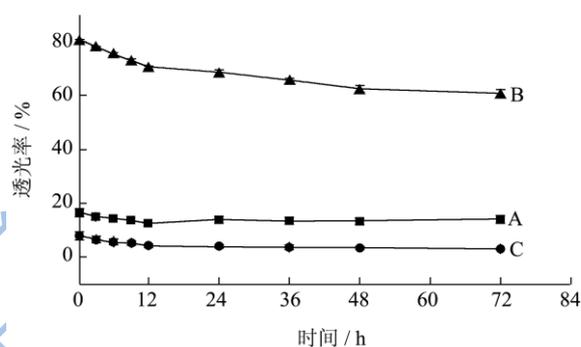


图5 玛咖(A)、马铃薯(B)和淮山药(C)淀粉的糊透明度
Fig.5 Paste transparency of maca (A), potato (B), and yam (C) starches

2.7 淀粉的冻融稳定性

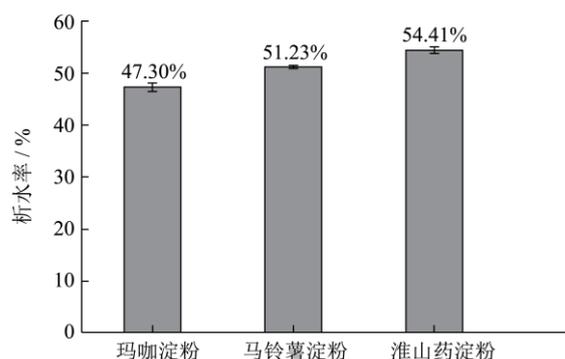


图6 玛咖、马铃薯和淮山药淀粉糊的冻融稳定性

Fig.6 Freeze-Thaw stability of maca, potato, and yam starch pastes

淀粉糊冻融稳定性与淀粉颗粒的溶胀度、淀粉分子的结构密切相关。将玛咖、马铃薯和淮山药淀粉配制成一定浓度的淀粉乳, 放在冰箱中进行冷冻, 然后解冻, 计算其析水率, 所得结果见图6。淀粉的冻融稳定性可以用析水率来反映, 析水率越低, 冻融稳定性越好, 反之越差。由图6可知, 3种淀粉的析水率相差不多, 其中玛咖淀粉的析水率最低, 冻融稳定

性最好, 马铃薯淀粉的冻融稳定性较好, 介于玛咖淀粉和淮山药淀粉之间。

2.8 淀粉的糊化特性

在相同质量分数条件下, 分别测定了玛咖、马铃薯和淮山药淀粉糊的黏度变化曲线, 结果见图 7。由图 7 可以看出, 三种淀粉的黏度曲线类型相似, 但各种淀粉糊化温度、糊化黏度峰值是不同的。玛咖淀粉起始糊化温度为 52.9 °C, 明显低于马铃薯淀粉和淮山药淀粉, 表现出易于糊化的特性; 其峰值黏度为 720 BU, 与淮山药淀粉相似, 显著低于马铃薯淀粉 (1176 BU); 玛咖淀粉破损值为 286 BU, 低于马铃薯淀粉而高于淮山药淀粉, 表明玛咖淀粉具有较好的热稳定性, 抗剪切能力较强; 最终黏度 BE 表示淀粉糊的凝沉性, 玛咖淀粉的 BE 值为 51 BU, 均小于马铃薯和淮山药淀粉, 表明其凝沉性要比马铃薯和淮山药淀粉弱; 而玛咖淀粉的回生值 EF 为 25 BU, 均小于马铃薯和淮山药淀粉, 值小说明淀粉糊低温下的冷糊稳定性差, 不易回生。这与淀粉颗粒的润胀能力、刚性、直/支链淀粉比例有关^[10]。

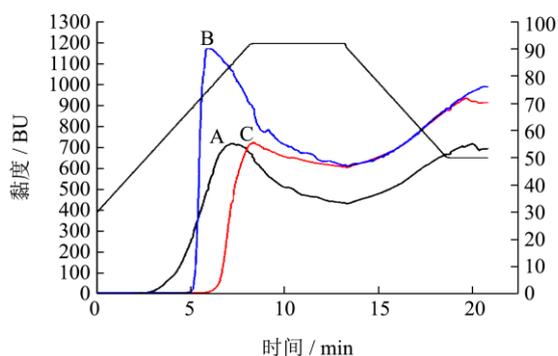


图 7 玛咖 (A)、马铃薯 (B) 和淮山药 (C) 淀粉的黏度曲线

Fig.7 Viscosity curves of maca (A), potato (B), and yam (C) starches

3 结论

3.1 玛咖淀粉的水分含量为 10.14%, 脂肪 0.35%, 蛋白质 0.47%, 灰分 0.32%, 直链淀粉含量为 20.56%。

3.2 玛咖淀粉颗粒表面光滑, 椭圆形、卵圆形或不规则形, 颗粒长轴在 7.2~15.6 μm 之间, 短轴在 5.1~9.8 μm 之间; 颗粒形貌与淮山药淀粉相似, 但尺寸比淮山药淀粉小; 玛咖淀粉的偏光十字呈现垂直交叉, 交叉点接近于粒心; 其 X-射线衍射结晶型式与淮山药相同, 均为 C 型。玛咖淀粉的糊化温度较马铃薯淀粉和淮山药淀粉低, 该淀粉糊化的起始温度 (T_0)、峰值温度 (T_p) 和终止温度 (T_c) 分别为 46.88 °C、50.42 °C 和 54.82 °C, 糊化焓变 7.37 J/g。

3.3 玛咖淀粉的溶解度和膨胀度随温度升高而增大, 其溶解度与淮山药淀粉接近, 明显小于马铃薯淀粉; 其膨胀度明显高于马铃薯淀粉和淮山药淀粉。玛咖淀粉糊的冻融稳定性优于马铃薯淀粉和淮山药淀粉, 但糊的透明度较低。玛咖淀粉的峰值黏度与淮山药淀粉相近, 显著低于马铃薯淀粉。其破损值、最终黏度和回生值均低于马铃薯淀粉。玛咖淀粉作为一种淀粉新资源, 具有一定的开发价值和广阔的发展前景。

参考文献

- [1] Sandoval M, Okuhama N N, Angeles F M, et al. Antioxidant activity of the cruciferous vegetable Maca (*Lepidium meyenii*) [J]. Food Chemistry, 2002, 79(2): 207-213
- [2] Choi E H, Kang J, Cho J Y, et al. Supplementation of standardized lipid-soluble extract from maca (*Lepidium meyenii*) increases swimming endurance capacity in rats [J]. Journal of Functional Foods, 2012, 4(2): 568-573
- [3] 杨少华, 李国政, 薛润光, 等. 云南玛咖产业发展现状及促进对策分析 [J]. 世界科学技术-中医药现代化, 2012, 14(4): 1921-1924
YANG Shao-hua, LI Guo-zheng, XUE Run-guang, et al. Present situation and promoting strategies of maca industry in Yunnan province [J]. World Science and Technology-Modernization of Traditional Chinese Medicine and Materia Medica, 2012, 14(4): 1921-1924
- [4] 孙晓东, 唐辉, 杜萍, 等. 丽江玛咖的营养成分分析及多糖体外的抗氧化作用 [J]. 光谱实验室, 2013, 30(5): 2365-2371
SUN Xiao-dong, TANG Hui, DU Ping, et al. Nutritional components and antioxidative activity of polysaccharide in vitro from maca cultivated in Lijiang [J]. Chinese Journal of Spectroscopy Laboratory, 2013, 30(5): 2365-2371
- [5] Wang Y L, Wang Y C, McNeil B, et al. Maca: An Andean crop with multi-pharmacological functions [J]. Food Research International, 2007, 40(7): 783-792
- [6] 刘蒙, 曲智雅, 李小定, 等. 紫薯淀粉理化性质的研究 [J]. 中国粮油学报, 2013, 28(5): 24-30
Liu Meng, Qu Zhi-ya, Li Xiao-ding, et al. Study on the physicochemical properties of purple sweet potato starch [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2013, 28(5): 24-30
- [7] 罗志刚. 微波对马铃薯淀粉性质的影响 [J]. 食品与发酵工业, 2007, 33(6): 50-52
LUO Zhi-gang. Effects of microwave on properties of potato Starch [J]. Food and Fermentation Industry, 2007, 33(6): 50-52

- [8] 乔星,许凤,汤月昌,等.奉化芋艿淀粉特性的研究[J].现代食品科技,2014,30(11):182-187
QIAO Xing, XU Feng, TANG Yue-chang, et al. Characterization of Fenghua taro starch [J]. Modern Food Science and Technology, 2014, 30(11): 182-187
- [9] 尹月斌,涂宗财,王辉,等.白栎淀粉的特性[J].食品科学, 2013, 34(1):57-60
YIN Yue-bin, TU Zhong-cai, WANG Hui, et al. Characteristics of white oak starch [J]. Food Science, 2013, 34(1): 57-60
- [10] 杜双奎,周丽卿,于修焯,等.山药淀粉加工特性研究[J].中国粮油学报,2011,26(3):34-40
DU Shuang-kui ZHOU Li-qing YU Xi-zhu, et al. Processing properties of Chinese yam starch [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2011, 26(3): 34-40
- [11] Hoover R, Ratnayake W S. Starch characteristics of black bean, chick pea, lentil, navy bean and pinto bean cultivars grown in Canada [J]. Food Chemistry, 2002, 78(4): 489-498
- [12] Manek R V, Kunle O O, Emeje M O, et al. Physical, thermal and sorption profile of starch obtained from *Tacca leontopetaloides* [J]. Starch/Stärke, 2005, 57(2): 55- 61
- [13] McPherson, A E, Jane J. Comparison of waxy potato with other root and tuber starches [J]. Carbohydrate Polymers, 1999, 40(1): 57-70
- [14] 张杰,何义萍,韩小贤,等.燕麦淀粉与常见淀粉的性质对比研究[J].粮食与饲料工业, 2012,(1):20-22
ZHANG Jie, HE Yi-ping, HAN Xiao-xian, et al. Comparative study on properties of oat starch and commonly used starches [J]. Cereal and Feed Industry, 2012, (1): 20-22