

中图分类号: S532 文献标识码: A 文章编号: 1672-3635(2022)04-0350-08

DOI: 10.19918/j.cnki.1672-3635.2022.04.008

紫色马铃薯雪花全粉加工性能研究

童 丹*, 韩黎明, 原霁虹, 孙永军, 王 芳

(甘肃中医药大学, 甘肃 兰州 730000)

摘 要: 自国家实施马铃薯主粮化战略以来, 马铃薯主食产品研发已成为推动马铃薯产业高效发展的重要增长点之一。为研发紫色马铃薯主食化及功能食品, 比较研究了紫色马铃薯‘黑美人’雪花全粉和‘陇薯7号’雪花全粉基本营养成分、品质特征以及食品加工性能。紫色马铃薯‘黑美人’雪花全粉中维生素C、必需氨基酸与氨基酸总量的比值、蛋白质等营养成分, 持油能力、持水能力、膨胀度、沉淀指数等食品加工性能优于‘陇薯7号’雪花全粉。紫色马铃薯雪花全粉还富含花色苷, 且保持率较好。紫色马铃薯雪花全粉较普通马铃薯雪花全粉具有更高的营养价值, 且加工特性更好, 具有更好更广的研发价值和前景。

关键词: 紫色马铃薯; 雪花全粉; 花色苷; 营养成分; 加工性能

Study on Processing Properties of Purple Potato Flakes

TONG Dan*, HAN Liming, YUAN Jihong, SUN Yongjun, WANG Fang

(Gansu University of Chinese Medicine, Lanzhou, Gansu 730000, China)

Abstract: Since the national implementation of the potato staple food strategy, the research and development of potato staple food products has become one of the important growth points to promote the efficient development of the potato industry. To develop purple potato staple food and functional food, the nutritional components, quality characteristics and processing properties of purple potato 'Black Beauty' flakes and common potato 'Longshu 7' flakes were analyzed and compared. The vitamin C content, the ratio of essential amino acids to total amino acids, protein content, oil holding capacity, water holding capacity, swelling degree, sedimentation index and other processing characteristics of purple potato 'Black Beauty' flakes were higher than those of 'Longshu 7' flakes. Purple potato flakes was also rich in anthocyanins, and the retention was good. Purple potato flakes have higher nutritional value and better food processing performances than those of common potato flakes, therefore, they may have broader development and utilization prospects.

Key Words: purple potato; potato flake; anthocyanin; nutrition; processing

紫色马铃薯营养丰富, 不仅含有普通马铃薯的营养成分, 还富含抗氧化性成分花色苷^[1], 具有更广阔的应用前景。紫色马铃薯雪花全粉是将紫色马铃薯通过清洗、去皮、切片、漂洗、预煮、冷却、

收稿日期: 2022-07-19

基金项目: 甘肃省自然科学基金项目(21JR1RA258); 甘肃省高等学校创新基金项目(2021A-209)。

作者简介: 童丹(1975-), 女, 硕士, 副教授, 研究方向为分析化学及农产品成分分析检测。

*通信作者(Corresponding author): 童丹, E-mail: Tongdan1204@163.com。

蒸煮、制泥、干燥、破碎、包装等工艺制备而成。紫色马铃薯雪花全粉及紫色马铃薯衍生品都很稀缺,随着2015年国家实施马铃薯主粮化战略,相关研发机构和学者培育紫色马铃薯优良品种、创新马铃薯主食加工新技术、研发主食消费的紫色马铃薯食品^[2]。利用先进的生产加工技术,制得的紫色马铃薯雪花全粉所含的游离淀粉较少,且花色苷的保持率较高,因此其营养价值全面,加工性能更好^[3,4]。仇干等^[5]研究了紫色马铃薯全粉-小麦粉混粉的理化特性,结果表明混粉较小麦粉营养更全面。目前,利用紫色马铃薯雪花全粉研制了品种繁多的功能食品,如薯条、薯片、馒头、蛋糕、营养粉、米酒以及保健产品^[6-13]。

本试验以甘肃薯香园农业科技有限公司购置的雪花全粉为原料,对比分析了紫色马铃薯雪花全粉和普通雪花全粉的基本理化成分、品质特征指标以及食品加工特性,为紫色马铃薯雪花全粉制备、主食化、功能食品研发及产业化提供理论指导和技术支持。

1 材料与方 法

1.1 材料与仪器

定西市地产‘黑美人’紫色马铃薯雪花全粉、‘陇薯7号’马铃薯雪花全粉,由甘肃薯香园农业科技有限公司提供。

十二烷基硫酸钠(SDS);抗坏血酸标准液;酒石酸钾钠;盐酸;氢氧化钠;亚铁氰化钾;茛三酮;乙醇;葡萄糖标准液;醋酸锌;碘标准液;丙三醇;硫酸铜;氨基酸标准品。以上试剂均为分析纯,购于山东鑫泽化工科技有限公司。

FD-2A-80真空冷冻干燥机(上海继谱电子科技有限公司);J1-26高速组织捣碎机(常州市伟嘉仪器制造有限公司);TANK ECO微波消解仪(上海新仪微波化学科技有限公司);HH-8数显恒温水浴锅(青岛聚创环保集团有限公司);BNX-S30超声波清洗机(东莞市布兰森超声波设备有限公司);TDL-80-2C离心机(上海仪天科学仪器有限公司);Milli-Q®IX70XX超纯水机[西格玛奥德里奇(上海)贸易有限公司];RC-FA-C电子分析天平

(北京睿诚永创科技有限公司);WZZ-2S自动旋光仪(济南欧莱博技术有限公司);LC-15C型高效液相色谱仪(日本岛津公司);DH700CD型便携式色差测色仪(重庆市松朗电子仪器有限公司);A388全自动氨基酸分析仪(德国曼默博尔公司);UV-2450紫外可见分光光度计(日本岛津公司)。

1.2 试验方法

1.2.1 雪花全粉营养成分分析

雪花全粉中干物质分析参照GB 5009.3—2016进行^[14];蛋白质提取物测定采用Lowry法^[15,16]进行;总淀粉测定采用旋光法^[17,18]进行;直链淀粉测定采用T/GXAS222—2021^[19]进行;还原糖测定采用GB 5009.7—2016^[20]进行;维生素C测定采用GB 5009.86—2016^[21-23]进行;灰分测定参照GB 5009.4—2016^[24]进行;纤维素测定参照GB 5009.88—2014^[25]进行;氨基酸测定采用GB 5009.124—2016^[26]进行,评分(Amino acid score, AAS)按照公式(1)进行。

$$AAS = \frac{Ax}{As} \times 100 \quad (1)$$

式中: Ax —雪花全粉中氨基酸的含量(g/kg); As —FAO/WHO在此评分模式下同一种氨基酸的含量(g/kg)。

马铃薯雪花全粉中花色苷含量测定^[25]:提取溶剂浸泡→超声提取→大孔树脂浓缩纯化→双波长光度法测定。精确称量雪花全粉0.6 g于离心管中,向离心管中加30 mL提取溶剂(1% HCl: 95%乙醇=70:30),置于数显恒温水浴锅中,50℃保持30 min,冷却至室温,超声30 min,3 500 r/min离心20 min,准确量取2份5 mL上层清液于50 mL容量瓶内,分别用两种不同pH的缓冲溶液(pH 1.0和pH 4.5)定容至50 mL,混匀,静置2 h,作空白对照,分别在波长525和700 nm下测样品溶液的吸光值,并计算马铃薯雪花全粉所含花色苷的量(X)(公式2、公式3)、花色苷的总量(M)(公式4)以及花色苷的保持率(MR)(公式5)。

$$A = (A_{525nm} - A_{700nm})_{pH1.0} - (A_{525nm} - A_{700nm})_{pH4.5} \quad (2)$$

$$X = [(A/\epsilon \times L)/m] \times MW \times DF \quad (3)$$

式中: X —样品花色苷含量(mg/100 g); A —吸光

值; ε -矢车菊素-3-葡萄糖苷消光系数, 26 900 L/(mol × cm); L -光程值, 1 cm; V -样品中提取液的体积(mL); m -样品的质量(g); MW -矢车菊素-3-葡萄糖苷的摩尔质量(449.2 g/mol); DF -提取液的稀释倍数。

$$M = m \times X \quad (4)$$

式中: M -马铃薯雪花全粉样品中花色苷的总量(mg); X -每 100 g 马铃薯雪花全粉中花色苷的含量(mg/100 g)。

$$MR(\%) = \frac{M_0 - M_1}{M_0} \times 100 \quad (5)$$

式中: M_0 -鲜马铃薯中花色苷含量; M_1 -雪花全粉中花色苷含量。

1.2.2 雪花全粉品质特性指标分析

(1) 全粉色泽分析法

雪花全粉的色泽测定参照全自动测色仪法分析^[27], 用亨特均匀表色系统测定 a^* 、 b^* 、 L^* 值, 计算样品的总色差(ΔE), 见公式(6)。

$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L_0^*)^2 + (a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2} \quad (6)$$

式中: a^* 彩色指数-红(+)/绿(-)值; b^* 彩色指数-黄(+)/蓝(-)值; L^* -为白度值($L^* = 100$ 表示白色, $L^* = 0$ 表示黑色)。

式(6)中, 下标带 0 的参数为空白值。 ΔE 值越小, 表明颗粒全粉色泽与原马铃薯色泽越接近。

(2) 马铃薯雪花全粉碘蓝值分析

马铃薯雪花全粉的碘蓝值测定参见 SB/T 10752—2012^[28]进行。准确称量 0.50 g 马铃薯雪花全粉于 100 mL 容量瓶内, 用蒸馏水定容至 100 mL, 放入 65.5℃ 数显恒温水浴锅中, 搅拌 5 min, 取出并静置 1 min, 过滤, 准确吸取 2 mL 滤液于 100 mL 容量瓶内, 加入 2 mL 0.02 mol/L 碘标准液, 用蒸馏水定容至 100 mL。空白对照, 试剂空白调零点, 测吸光值 A_{650nm} (E), 计算雪花全粉的碘蓝值(Iodine blue value, IBV), 见公式(7)。

$$IBV = A(E) \times 54.2 + 5 \quad (7)$$

1.2.3 雪花全粉加工特性分析

(1) 雪花全粉持水能力测定

准确称取 5 g 雪花全粉(m)于 50 mL 离心管(m_1)

中, 向离心管中加入 30 mL 蒸馏水, 然后置于 30℃ 数显恒温水浴锅中, 搅拌 30 min, 静置冷却至室温, 3 000 r/min 离心 20 min, 弃去上清液, 倒置 5 min, 称量离心管和沉淀物的总质量(m_2), 计算雪花全粉持水率(Water holding capacity, WHC), 见公式(8)。

$$WHC(g/g) = \frac{m_2 - m_1 - m}{m} \quad (8)$$

(2) 雪花全粉持油能力测定

准确称取 5 g 雪花全粉(m)于 50 mL 离心管(m_1)中, 向离心管中加入 30 mL 食用油, 然后置于 30℃ 数显恒温水浴锅中, 搅拌 30 min, 静置冷却至室温, 3 000 r/min 离心 20 min, 弃去上清液, 倒置 5 min, 称量离心管和沉淀物的总质量(m_2), 计算雪花全粉持油率(Oil holding capacity, OHC), 见公式(9)。

$$OHC(g/g) = \frac{m_2 - m_1 - m}{m} \quad (9)$$

(3) 雪花全粉冻融特性测定

雪花全粉冻融特性测定参照 Ahmed 等^[29]进行。准确称取 5 g 雪花全粉于 50 mL 离心管(m_1)中, 向离心管中加入 30 mL 蒸馏水, 将离心管置于数显恒温水浴锅中, 30℃ 搅拌 30 min, 冷却至室温, 放入冰箱中, -18℃ 冷冻 24 h, 然后取出解冻至室温, 3 000 r/min 离心 20 min, 准确称其质量(m_2), 弃去上清液, 倒置 5 min, 称量离心管和沉淀物的总质量(m_3), 用析水率(I)来表示冻融稳定性的大小, 见公式(10)。

$$I(g/g) = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \quad (10)$$

(4) 雪花全粉溶胀度和溶解度分析

马铃薯雪花全粉的溶胀度和溶解度分析按照 Adeleke 和 Odedeji^[30]方法进行。精确称取 1 g 雪花全粉(m_0)置于 50 mL 离心管(m_1)内, 向离心管中加入 30 mL 蒸馏水, 摇匀, 置于数显恒温水浴锅中, 100℃ 振摇 30 min, 4 000 r/min 离心 20 min, 上清液倒入已恒重的干燥铝盒中, 在 100℃ 数显恒温水浴锅中蒸干水分, 置于烘箱中, 105℃ 下烘干至恒重(m_2); 将倒掉上层清液的离心管倒置 5 min, 称重

(m_3) (沉淀物和离心管总质量), 然后置于烘箱中, 105℃下干燥至恒重, 再次称重(m_4), 计算溶解度(S) (公式 11) 和溶胀度(B) (公式 12)。

$$S(\%) = \frac{m_2}{m_0} \times 100 \quad (11)$$

$$B(\%) = \frac{m_3 - m_1}{m_4 - m_1} \times 100 \quad (12)$$

(5) 雪花全粉沉淀值测定

雪花全粉沉淀值测定参照中华人民共和国国家标准(GB/T 15685—2011)^[9]进行。

(6) 雪花全粉最低胶凝浓度测定

马铃薯雪花全粉最低胶凝浓度分析按照仇干等^[9]法进行。取若干支干净试管, 分别精确称量一定量雪花全粉于试管内, 向试管内分别加入 5 mL 纯净水, 配制成一系列浓度为 2%~20% 的悬浮溶液, 100℃恒温数显水浴锅中加热 1 h, 快速冷却到 4℃, 在此条件下静置 2 h, 然后倒置试管, 并仔细观察试管内样品是否滑落, 样品不滑落的最低浓度则为最低胶凝浓度。

1.3 数据分析

采用 SAS 9.2 统计分析软件对试验结果进行数据分析。对每个成分指标和特性指标平行分析 3 次, 求其平均值, 用平均值 ± 标准偏差来表示各项指标最终结果。

2 结果与分析

2.1 紫色马铃薯雪花全粉营养成分分析

紫色马铃薯‘黑美人’雪花全粉和‘陇薯 7 号’马铃薯雪花全粉的营养成分分析见表 1。

与‘陇薯 7 号’马铃薯雪花全粉相比, 紫色马铃薯‘黑美人’雪花全粉中游离淀粉含量较低, 而蛋白质含量又显著高于‘陇薯 7 号’雪花全粉, 这是由原马铃薯中淀粉和干物质含量所决定的。紫色马铃薯雪花全粉灰分含量与‘陇薯 7 号’雪花全粉灰分含量较为接近; 紫色马铃薯雪花全粉中维生素 C 含量较‘陇薯 7 号’雪花全粉显著增加; 紫色马铃薯雪花全粉还含有丰富的花色苷, 且花色苷保持率较高, 具有保健功能。

表 1 马铃薯雪花全粉营养成分分析

Table 1 Analysis on nutritional components of potato flakes

样品 Sample	水分(%) Water	蛋白质(%) Protein	淀粉(%) Starch	还原糖(%) Reducing sugar	维生素 C (mg/100 g) Vitamin C	灰分(%) Ash	纤维素(%) Fiber	花色苷 (mg/100 g) Anthocyanin	花色苷保持率(%) Anthocyanin retention
紫色马铃薯‘黑美人’ 雪花全粉 Purple potato 'Black Beauty' flake	6.96 ± 0.12 a	10.23 ± 0.21 a	68.95 ± 0.70 b	0.85 ± 0.02 a	7.54 ± 0.06 a	4.06 ± 0.03 a	3.06 ± 0.18 a	342.06 ± 1.08	83.72 ± 1.26
‘陇薯 7 号’雪花全粉 (CK) Potato 'Longshu 7' flake	7.42 ± 0.16 a	8.72 ± 0.16 b	77.62 ± 1.11 a	0.66 ± 0.02 b	6.62 ± 0.05 b	3.82 ± 0.03 a	3.45 ± 0.22 a	—	—

注: 数据表示为平均值 ± 标准偏差。同列数据小写字母表示 0.05 水平差异显著 ($P < 0.05$), 邓肯氏(Duncan's)法。下同。

Note: Data are presented as mean ± standard deviation. The data in the same column marked with different small letter indicate significant difference at 0.05 level ($P < 0.05$) as tested using Duncan's multiple range test method. The same below.

雪花全粉中氨基酸含量测定见表 2。紫色马铃薯‘黑美人’雪花全粉中必需氨基酸(E)和氨基酸总量(T)较‘陇薯 7 号’雪花全粉高, 紫色马铃薯雪花全粉中必需氨基酸(E)与非必需氨基酸(N)之比(E/N)、必需氨基酸(E)与氨基酸总量(T)之比(E/T)也较‘陇薯 7 号’雪花全粉高, 均高于联合国粮农组织

(FAO)和世界卫生组织(WHO)提出的参考蛋白质(40%和 60%)模式。结果显示, 紫色马铃薯雪花全粉中必需氨基酸含量高、组成比例均衡, 营养价值高。因此, 将紫色马铃薯雪花全粉与小麦粉混合加工食用, 能大大提高小麦面粉中赖氨酸欠缺, 从而使食品营养更全面。

表2 马铃薯雪花全粉氨基酸构成分析

Table 2 Analysis on amino acid composition of potato flakes

样品 Sample	氨基酸总量 (mg/g) Total amino acids	必需氨基酸含量 (mg/g) Essential amino acids	必需氨基酸与氨基酸 总量之比(E/T) Ratio of essential amino acids to total amino acids	必需氨基酸与非必需 氨基酸之比(E/N) Ratio of essential amino acids to non essential amino acids	氨基酸评分 (AAS) Amino acids score
紫色马铃薯‘黑美人’雪花全粉 Purple potato 'Black Beauty' flake	844.52 ± 0.45 a	398.65 ± 0.63 a	47.20 a	89.41 a	74.00 a
‘陇薯7号’雪花全粉(CK) Potato 'Longshu 7' flake	760.24 ± 0.21 b	299.59 ± 0.37 b	39.41 b	65.07 b	50.92 b

2.2 雪花全粉品质特性指标分析

2.2.1 雪花全粉色泽分析

色泽是马铃薯雪花全粉的主要品质特征之一,雪花全粉色泽和原马铃薯薯肉色泽越接近,表明雪花全粉在生产加工过程中发生褐变的程度越小。感观可见,紫色马铃薯‘黑美人’雪花全粉呈紫色,‘陇薯7号’雪花全粉呈淡黄色,两者色泽都较均匀。利用全自动测色仪测定雪花全粉,测定结果表明(表3),紫色马铃薯雪花全粉与‘陇薯7号’雪花全粉的 ΔE 值分别为 54.25 ± 0.63 和 87.19 ± 1.19 ,差异显著($P < 0.05$);‘陇薯7号’雪花全粉的 L^* 值高达 85.43 ± 0.42 ,而紫色马铃薯雪花全粉的 L^* 值为 53.89 ± 0.20 ,白度值远远低于‘陇薯7号’雪花全粉;‘陇薯7号’雪花全粉 a^* 值仅仅是 -1.17 ± 0.04 ,而紫色马铃薯雪花全粉 a^* 值则高达 8.21 ± 0.30 ,红色较‘陇薯7号’雪花全粉明显

增加。雪花全粉色泽与原料薯肉色泽相比,紫色马铃薯鲜薯 L^* 值、 a^* 值、 b^* 值、 ΔE 值依次为 51.39 ± 0.18 、 8.68 ± 0.21 、 -3.77 ± 0.03 和 52.54 ± 0.71 ,紫色马铃薯雪花全粉 L^* 值、 a^* 值、 b^* 值、 ΔE 值依次为 53.89 ± 0.20 、 8.21 ± 0.30 、 -4.10 ± 0.03 和 54.25 ± 0.63 ,紫色马铃薯加工成雪花全粉后色泽指标并无显著($P > 0.05$)变化,雪花全粉色泽与原料鲜薯色泽极其相近,加工过程较好的保留了色素。

2.2.2 雪花全粉碘蓝值分析

碘蓝值是衡量雪花全粉中游离淀粉含量高低的特性参数,游离淀粉含量与全粉碘蓝值成正相关,而游离淀粉含量大小也是评价全粉品质的主要指标之一。紫色马铃薯雪花全粉碘蓝值(6.57 ± 0.35)较‘陇薯7号’雪花全粉(6.89 ± 0.29)略低(表3),但差异不显著。

表3 马铃薯雪花全粉理化指标分析

Table 3 Analysis on physical and chemical index of potato flakes

样品 Sample	色泽 Color and luster				碘蓝值(IBV) Iodine blue value
	L^*	a^*	b^*	ΔE	
紫色马铃薯‘黑美人’鲜薯 Purple potato 'Black Beauty' fresh tuber	51.39 ± 0.18 b	8.68 ± 0.21 a	-3.77 ± 0.03 b	52.54 ± 0.71 b	-
紫色马铃薯‘黑美人’雪花全粉 Purple potato 'Black Beauty' flake	53.89 ± 0.20 b	8.21 ± 0.30 a	-4.10 ± 0.03 b	54.25 ± 0.63 b	6.57 ± 0.35 a
‘陇薯7号’鲜薯 Potato 'Longshu 7' fresh tuber	88.59 ± 0.30 a	-0.94 ± 0.21 b	13.74 ± 0.04 a	89.71 ± 0.92 a	-
‘陇薯7号’雪花全粉(CK) Potato 'Longshu 7' flake	85.43 ± 0.42 a	-1.17 ± 0.04 b	15.03 ± 0.18 a	87.19 ± 1.19 a	6.89 ± 0.29 a

2.3 雪花全粉加工性能分析

2.3.1 马铃薯雪花全粉持水能力和持油能力

雪花全粉的持水能力与其中游离淀粉含量及类型有关,直链淀粉含量与雪花全粉持水能力成正相关,而马铃薯雪花全粉持水能力是影响面团稳定性的主要因素。雪花全粉中蛋白质类型、性质、含量以及雪花全粉的生产加工条件等因素都会影响雪花全粉持油能力,比如雪花全粉持油能力与非极性末端蛋白质含量成正相关。紫色马铃

薯‘黑美人’雪花全粉与‘陇薯7号’雪花全粉的持水能力、持油能力分析结果表明(表4),紫色马铃薯雪花全粉持油能力(2.987 ± 0.07)g/g和持水能力(5.49 ± 0.22)g/g较‘陇薯7号’雪花全粉(2.784 ± 0.08)g/g和(4.19 ± 0.12)g/g高,这可能是因为紫色马铃薯雪花全粉中直链淀粉、蛋白质含量均高于‘陇薯7号’雪花全粉。因此紫色马铃薯雪花全粉较普通马铃薯更适合加工成油脂含量较高的食品,比如桃酥等。

表4 马铃薯雪花全粉加工特性分析

Table 4 Analysis on processing characteristics of potato flakes

样品 Sample	持油能力(g/g) Oil holding capacity	持水率(g/g) Water holding capacity	析水率(g/g) Water precipitation rate	溶解度(%) Solubility	膨胀度(%) Expansion degree	沉淀指数(mL) Sedimentation index	最低胶凝浓度(%) Minimum gel concentration
紫色马铃薯‘黑美人’雪花全粉 Purple potato 'Black Beauty' flake	2.987 ± 0.07 a	5.49 ± 0.22 a	1.98 ± 0.10 a	2.79 ± 0.07 a	14.51 ± 0.10 a	38.79 ± 0.22 a	6.36 ± 0.00 a
‘陇薯7号’雪花全粉(CK) Potato 'Longshu 7' flake	2.784 ± 0.08 b	4.19 ± 0.12 b	2.08 ± 0.05 a	2.68 ± 0.05 a	13.01 ± 0.09 b	36.45 ± 0.18 b	6.81 ± 0.00 a

2.3.2 雪花全粉冻融稳定性

马铃薯雪花全粉析水率分析结果表明(表4),紫色马铃薯‘黑美人’雪花全粉析水率(1.98 ± 0.10)g/g较‘陇薯7号’雪花全粉(2.08 ± 0.05)g/g低,但差异不显著。如向小麦面粉中添加一定的马铃薯雪花全粉不仅可以增加食品的营养价值,也大大提高食品的冻融稳定性。

2.3.3 雪花全粉的溶解度和膨胀度

马铃薯雪花全粉的溶解度和膨胀度分析结果表明(表4),紫色马铃薯‘黑美人’雪花全粉的膨胀度($14.51\% \pm 0.10\%$)显著高于‘陇薯7号’雪花全粉的膨胀度($13.01\% \pm 0.09\%$),且紫色马铃薯雪花全粉的溶解度($2.79\% \pm 0.07\%$)也略高于‘陇薯7号’雪花全粉的溶解度($2.68\% \pm 0.05\%$)。马铃薯雪花全粉的水溶能力以溶解度来衡量,结果表明,紫色马铃薯雪花全粉较‘陇薯7号’雪花全粉具有较好的水溶能力,但差异不显著。

2.3.4 雪花全粉的沉淀指数

紫色马铃薯‘黑美人’雪花全粉沉淀指数($38.79 \pm$

0.22)mL较‘陇薯7号’雪花全粉(36.45 ± 0.18)mL显著提高,因此紫色马铃薯雪花全粉可作为面包制作加工的绝佳添加基料。

2.3.5 雪花全粉最低胶凝浓度

最低胶凝浓度是物质胶凝能力的度量,受其中蛋白质、脂类以及碳水化合物等综合因素的影响,最低胶凝浓度值越小,物质胶凝能力越强。紫色马铃薯‘黑美人’雪花全粉的最低胶凝浓度($6.36\% \pm 0.00\%$)略低于‘陇薯7号’雪花全粉($6.81\% \pm 0.00\%$),但差异不显著。

3 讨 论

Friedman等^[32]和Ngobese等^[33]研究报道了不同马铃薯品种制备的全粉的理化性质及加工品质存在很大差异。本研究分析了紫色马铃薯‘黑美人’雪花全粉和‘陇薯7号’雪花全粉营养成分、品质特性指标以及加工特性。紫色马铃薯雪花全粉维生素C、蛋白质、必需氨基酸(E)与氨基酸总量(T)比值(E/T)等营养成分均高于‘陇薯7号’马铃薯雪花

全粉, 并且富含花色苷, 是良好的天然色素资源, 营养价值和保健功能更高, 具有广阔的开发应用前景。因此, 将紫色马铃薯雪花全粉与小麦粉混合加工食用, 能大大改善小麦面粉中部分营养成分不足的问题, 从而使食品营养更全面^[34]。

紫色马铃薯雪花全粉呈紫色, 与原料薯薯肉颜色非常接近。通过对原料薯和雪花全粉中花色苷含量对比分析, 结果表明全粉加工过程中花色苷保持好, 色素损失率较低。紫色马铃薯雪花全粉中所含游离淀粉少, 因此碘蓝值较‘陇薯7号’马铃薯雪花全粉低, 表明紫色马铃薯雪花全粉加工过程中细胞抗机械能力强, 细胞受破坏程度较低, 保持较好的完整性。

张杰^[34]研究表明, 马铃薯品种全粉的品质特性均存在显著差异, ‘下寨65’全粉色泽好、感官品质最佳, 其灰分及脂肪含量最高, 具有较高的持水能力、乳化性及溶解度, 适宜加工水分含量较高的产品; ‘青薯168’全粉的粗纤维含量最高, 具有较高的持水能力、持油能力、乳化性、乳化稳定性及复水稳定性, 适宜加工酥性马铃薯产品; ‘乐薯1号’全粉的淀粉及水分含量最高, 具有较高的乳化稳定性及复水稳定性, 可直接用于复水要求较高的休闲食品的加工。而本研究表明紫色马铃薯雪花全粉持油能力、持水能力、沉淀指数、膨胀度加工特性指标均较‘陇薯7号’马铃薯雪花全粉高。冻融稳定性、溶解度、最低胶凝浓度与‘陇薯7号’雪花全粉接近。因此, 紫色马铃薯雪花全粉较‘陇薯7号’雪花全粉具有更优的加工特性。

冻融稳定性能很好的反映食物抗冷冻、解冻等急剧物变的能力, 表明食物在低温生产加工以及低温存贮过程中的稳定性, 基于紫色马铃薯雪花全粉的这一优势, 其可作为速冻食品的加工基料。如向小麦面粉中添加一定的紫色马铃薯雪花全粉不仅可以增加食品的营养价值, 也大大提高食品的冻融稳定性^[34]。

马铃薯雪花全粉沉淀指数的测定原理是蛋白质与十二烷基硫酸钠产生水合作用从而膨胀形成絮状沉淀物, 蛋白质含量越高, 沉淀指数值越大, 反之亦然。紫色马铃薯雪花全粉较‘陇薯7号’马铃薯雪

花全粉具有更高的沉淀指数, 从而说明其蛋白质含量更高, 营养更丰富。

总体来看, 紫色马铃薯雪花全粉在加工过程中极大限度保留马铃薯细胞的完整性, 花色苷保持率较高, 营养价值和保健功能俱佳。紫色马铃薯雪花全粉具有很好的加工性能, 是生产薯泥、馒头、糕点、代餐粉、营养粉等功能性食品的绝佳基料^[35], 极大提高紫色马铃薯的附加值。以紫色马铃薯雪花全粉为基料的主食化产品、特色功能性食品加工工艺研发及产业化将成为马铃薯主食化发展新的增长点, 具有广阔的开发利用前景。

[参 考 文 献]

- [1] 肖继坪, 郭华春. 云南马铃薯地方彩色品种“剑川红”和“转心乌”的花色苷主成分分析[J]. 天然产物研究与开发, 2012, 24(4): 503-506, 497.
- [2] 仇菊, 刘鹏, 孙君茂. 彩色马铃薯营养保健功能及其食品开发研究进展[J]. 食品与机械, 2016, 32(10): 226-229.
- [3] 崔璐璐, 林长彬, 徐怀德, 等. 紫马铃薯全粉加工技术研究[J]. 食品工业科技, 2014, 35(5): 221-224, 228.
- [4] 黄洪媛, 罗二波, 秦礼康. 紫色马铃薯颗粒全粉生产工艺优化[J]. 食品科学, 2011, 32(22): 135-142.
- [5] 仇干, 胥心, 邓云. 紫马铃薯全粉-小麦粉混粉的理化特性研究[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(3): 15-19.
- [6] 黄洪媛, 秦礼康. 紫色马铃薯薯条生产工艺的研究[J]. 食品工业科技, 2012, 33(4): 269-273.
- [7] 刘振宇, 胡林双, 宿飞飞, 等. 紫色马铃薯馒头加工工艺的优化[J]. 中国马铃薯, 2018, 32(3): 175-183.
- [8] 童丹, 韩黎明, 原霁虹, 等. 紫色马铃薯全粉蛋糕的研制[J]. 中国食物与营养, 2016, 22(12): 57-61.
- [9] 张伟君, 钟耀广. 紫马铃薯全粉对马芬蛋糕质构性能和感官品质的影响[J]. 食品工业科技, 2017, 38(18): 211-214, 220.
- [10] 刘家艳, 曹敏, 黄茜, 等. 紫色马铃薯冲调营养粉配方研制与主要功能成分分析[J]. 西南师范大学学报: 自然科学版, 2013, 38(10): 51-56.
- [11] 陈杰华, 蒋益虹, 王颖滢, 等. 酶法生产紫马铃薯饮料的工艺研究[J]. 中国食品学报, 2012, 12(4): 57-64.
- [12] 林学泰, 金润洙, 金圣勋, 等. 紫色马铃薯用于肥胖症病人的保

- 健功能食品: 韩国, 101223986 [P]. 2008-07-23.
- [13] 韩黎明, 童丹, 原霁虹. 马铃薯资源化利用技术 [M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2015.
- [14] 中华人民共和国卫生和计划生育委员会. GB 5009.3—2016 食品安全国家标准 食品中水分的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [15] 韩黎明, 童丹, 安志刚, 等. 马铃薯质量检测技术 [M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2015.
- [16] 江昕听, 卢尧伟, 杨海船, 等. Lowry 法测定马铃薯中蛋白质提取物的含量 [J]. 解放军药理学学报, 2013, 29(4): 348-350.
- [17] 周秀梅, 雷宝良, 张凤枰, 等. 旋光法测定木薯中淀粉含量不确定度评定 [J]. 食品科学, 2016, 37(12): 144-147.
- [18] 于鲁浩, 马耀宏, 杨俊慧, 等. 马铃薯块茎中淀粉含量的快速测定方法 [J]. 食品科技, 2012, 37(3): 279-283.
- [19] 刘轶, 冯涛, 邴芳玲, 等. 双波长法测定马铃薯淀粉中直链淀粉含量 [J]. 食品工业, 2016, 37(2): 164-166.
- [20] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.7—2016 食品安全国家标准 食品中还原糖的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [21] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.86—2016 食品安全国家标准 食品中抗坏血酸的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [22] 王辉, 刘辉, 刘嘉, 等. 高效液相色谱法测定彩色马铃薯中维生素 C 含量 [J]. 食品研究与开发, 2017, 38(12): 130-134.
- [23] 杨晓辉, 蔡慧珍, 汪岭, 等. “黑美人”马铃薯中原花青素抗氧化性研究 [J]. 天然产物研究与开发, 2016, 28(3): 400-403.
- [24] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.4—2016 食品安全国家标准 食品中灰分的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [25] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.88—2014 食品安全国家标准 食品中膳食纤维的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [26] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.124—2016 食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [27] Orikasa T, Wu L, Ando Y, *et al.* Hot air drying characteristics of sweet potato using moisture sorption isotherm analysis and its quality changes during drying [J]. International Journal of Food Engineering, 2010, 6(2): 61-64.
- [28] 中国标准化委员会. SB/T 10752—2012 马铃薯雪花全粉 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.
- [29] Ahmed M, Akter M S, Eun J B. Peeling, drying temperatures, and sulphite-treatment affect physicochemical properties and nutritional quality of sweet potato flour [J]. Food Chemistry, 2010, 121(1): 112-118.
- [30] Adeleke R O, Odedeji J O. Functional properties of wheat and sweet potato flour blends [J]. Pakistan Journal of Nutrition, 2010, 9(6): 535-538.
- [31] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB/T 15685—2011 粮油检验 小麦沉淀指数测定 SDS 法 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2011.
- [32] Friedman M, Kobayuki N, Kim H J, *et al.* Glycoalkaloid, phenolic, and flavonoid content and antioxidative activities of conventional nonorganic and organic potato peel powders from commercial gold, red, and Russet potatoes [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2017, 62: 69-75.
- [33] Ngobese N Z, Workneh T S, Alimi B A, *et al.* Nutrient composition and starch characteristics of eight European potato cultivars cultivated in South Africa [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2017, 55: 1-11.
- [34] 张杰. 青海马铃薯全粉品质特性研究 [J]. 青海农林科技, 2022(2): 62-68.
- [35] 王腾, 马爽, 金光辉. 中国马铃薯全粉加工型品种研究进展 [J]. 中国马铃薯, 2022, 36(3): 266-270.