

中图分类号: S532 文献标识码: A 文章编号: 1672-3635(2022)04-0332-09

DOI: 10.19918/j.cnki.1672-3635.2022.04.006

贮藏加工

达薯系列自育马铃薯全粉品质特性分析

李本姣¹, 李 松¹, 章 攀¹, 高 桐², 赖天成², 潘韵雯², 赵思毅^{1*}

(1. 达州市农业科学研究院, 四川 达州 635000; 2. 四川农业大学, 四川 雅安 625014)

摘要: 以达州市农业科学研究院自育马铃薯(‘达薯1号’‘达薯2号’和‘达薯3号’)和加工专用品种马铃薯‘大西洋’为原料制备马铃薯全粉, 通过对其营养品质、理化特性、加工特性以及结构特性的对比研究, 明确不同品种之间的性质差异。自育的3种马铃薯全粉中‘达薯3号’淀粉、蛋白质、维生素C和灰分含量均最高, ‘达薯1号’的还原糖含量最高, 为0.56%; 此外, ‘达薯1号’的碘蓝值(7.92)也显著高于其他3个品种。4个品种的溶解度、膨润度和冻融稳定性差异不显著, ‘大西洋’的持油率和持水率均显著高于其他3个品种, 可用于含油或含水量较高的食品加工。‘达薯2号’的最低凝胶浓度最大, 为7.13%, 表明‘达薯2号’凝胶能力最弱, 在食品体系中最不容易凝固, 可用于半流体食品的加工。从4个马铃薯品种全粉结构特性分析可知, 红外光谱图整体相似、所含官能团无差异; 扫描电镜结果显示颗粒形状均不规则、表面均不光滑、可见范围内均无完整颗粒存在; X-射线衍射图谱显示自育的3个品种峰形相似、均有尖峰衍射峰, 其中‘达薯2号’衍射峰最高、衍射强度最大。不同品种马铃薯全粉品质有一定的差异, 可根据加工品质要求选择适宜的品种。

关键词: 马铃薯全粉; 营养品质; 理化特性; 加工特性; 结构特性

Analysis on Quality Characteristics of Self-bred Potato Granules of Dashu Series

LI Benjiao¹, LI Song¹, ZHANG Pan¹, GAO Tong², LAI Tiancheng², PAN Yunwen², ZHAO Siyi^{1*}

(1. Dazhou Academy of Agricultural Sciences, Dazhou, Sichuan 635000, China;

2. Sichuan Agricultural University, Yaan, Sichuan 625014, China)

Abstract: Potato granules were produced from the self-bred potatoes ('Dashu 1', 'Dashu 2' and 'Dashu 3') by the Dazhou Academy of Agricultural Sciences and the special processing variety 'Atlantic' potatoes. Through the comparative study on their nutritional quality, physical and chemical characteristics, processing characteristics and structural characteristics, the property differences among different varieties were clarified. The starch, protein, vitamin C and ash contents of 'Dashu 3' were the highest among the three self-bred varieties, and the reduced sugar content of 'Dashu 1' was the highest, reaching 0.56%. In addition, the iodine blue value (7.92) of 'Dashu 1' was also significantly higher than that of the other three varieties. The solubility, swelling degree and freeze-thaw stability of the four varieties were not significantly different. The oil and water retentions of 'Atlantic' were significantly higher than those of the other three varieties, suggesting that the variety could be used for food processing with high oil or water content. The

收稿日期: 2022-08-04

基金项目: 国家现代农业产业技术体系四川薯类创新团队(川财教[2019]59号); 四川省“十四五”农作物及畜禽育种攻关项目(2021YFYZ0019)。

作者简介: 李本姣(1990-), 女, 硕士, 助理研究员, 从事农产品加工及贮藏。

*通信作者(Corresponding author): 赵思毅, 研究员, 主要从事马铃薯遗传育种研究, E-mail: 476236119@qq.com。

minimum gel concentration of 'Dayu 2' was the highest, reaching 7.13%, indicating that 'Dayu 2' had the weakest gelling ability and was the least likely to solidify in the food system, therefore, it could be used for the processing of semi-fluid food. Infrared spectra were similar as a whole, and there was no difference in the functional groups contained. Scanning electron microscope results showed that their particle shapes were irregular, their surfaces were not smooth, and there were no complete particles in the visible range. The X-ray diffraction pattern showed that the peak shapes of the three self-bred varieties were similar and all had sharp diffraction peaks, among which 'Dayu 2' had the highest diffraction peak and the highest diffraction intensity. There are certain differences in the quality of potato granules of different varieties, and suitable varieties could be selected according to the processing quality requirements.

Key Words: potato granule; nutritional quality; physicochemical property; processing property; structural property

四川省达州市为典型的丘陵山区,生态环境优越,气候温和,四季分明,适宜多季马铃薯种植,种植面积大、产量高,是四川省第二大大马铃薯生产区,也是四川省主要马铃薯种薯基地^[1]。达薯系列马铃薯是由达州市农业科学研究院培育的较为出众的地方性马铃薯品种,具有高产、高抗、适应性好、抗逆性强、耐贮藏等优势,其中‘达薯1号’为四川省农业厅确定的2013~2016年四川省马铃薯主推品种^[2]。达薯系列马铃薯虽然品质较好、产量高,但是大部分鲜食,仅有极少量进行粗加工,产业链条短、附加值低,严重制约了达州市马铃薯提质增效和马铃薯产业发展。

2015年中央一号文件明确指出马铃薯可作为主食食用后,中国的马铃薯市场发生了一系列变化,种质资源不断丰富,马铃薯新品种不断创新,许多专用品种应运而生;消费市场也呈现出多元发展,过去以鲜食为主,而现在逐渐变为鲜食、干制品、淀粉加工、速冻食品、膨化休闲食品等多种方式并存。用途不同所需的马铃薯品种亦存在差异^[3]。优良的马铃薯加工专用品种要求具有表皮光滑、芽眼浅且少,高蛋白、低糖分等特点^[4]。本文以达州市农业科学研究院自育的3个马铃薯品种‘达薯1号’‘达薯2号’和‘达薯3号’为原料,以加工专用马铃薯品种‘大西洋’为对照,经过一系列工艺流程制备马铃薯全粉,通过对比研究,分析3种马铃薯全粉的营养品质、理化特性、加工特性以及结构特性,以了解达薯系列马铃薯品种对全粉品种的影响,选取更适宜加工品种、以及对促进地方马铃薯品种的精深开发、提高达州市马铃薯的经济附

加值具有现实意义,同时也为达薯系列马铃薯的品质育种和加工品种选育提供基础性试验数据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

马铃薯‘达薯1号’‘达薯2号’和‘达薯3号’,采自达州市农业科学研究院万源高山马铃薯试验基地,原料的种植管理方法均相同,成熟后收获块茎,选取个体大小相似、表面光滑、芽眼浅且少的作为试验材料。马铃薯‘大西洋’(CK)于市场采购;0.2%柠檬酸、0.1%氯化钙、0.15%抗坏血酸、 α -淀粉酶溶液7 500 U/mL、葡萄糖淀粉酶溶液15 000 U/mL均为食品级;碘试剂、浓盐酸、碱性酒石酸铜甲液/乙液、氢氧化钠、氢氧化钾等均为分析纯。

TT122-JF2204分析天平,东方化玻(北京)科技有限公司;HH-6电子恒温水浴锅,上海比朗仪器制造有限公司;SGW-1旋光仪,上海仪电物理光学仪器有限公司;UV-1200双光束分光光度计,翱艺仪器有限公司;NR10QC色差仪,北京奥依克光电仪器有限公司;Million-QB超纯水机,Million公司;SU8020扫描电子显微镜,日本日立公司;Nicolet IS10红外光谱仪,美国尼高力公司;BRUCKER D8 ADVANCE X射线粉末衍射仪,德国布鲁克公司。

1.2 试验方法

1.2.1 马铃薯全粉的制备

马铃薯颗粒全粉制备工艺流程参考韩黎明等^[5]方法。

1.2.2 营养品质测定

水分含量测定参照 GB 5009.3—2016《食品中水分的测定》^[6]; 灰分含量测定参照 GB 5009.4—2016《食品中灰分的测定》^[7]; 淀粉含量测定参照 GB 5009.9—2016《食品中淀粉的测定》^[8]; 还原糖含量测定参照 GB 5009.7—2016《食品中还原糖的测定》中直接滴定法^[9]; 蛋白质含量测定参照 GB 5009.5—2016《食品中蛋白质的测定》中凯氏定氮法^[10]; 维生素 C 含量测定参照 GB 5009.86—2016《食品中抗坏血酸的测定》中 2,6-二氯酚酚滴定法^[11]。

1.2.3 色泽测定

参考余斌等^[12]方法使用色差仪的去除镜面反射模式进行测定, 测定前用黑板进行调零, 用标准白板进行校正。将马铃薯全粉均匀铺满培养皿中, 采用色差仪进行测定, 每个样品测定 10 次取平均值。计算样品的总色差(ΔE)。

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

式中: L^* 值表示样品亮度从明亮 ($L^* = 100$) 到黑 ($L^* = 0$) 之间的变化; a^* 值表示颜色从绿色 ($-a^*$) 到红色 ($+a^*$) 的变化, 绝对值越大表示相应绿和红色越重; b^* 值表示黄色到蓝色之间的变化。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。

1.2.4 碘蓝值测定

碘蓝值的测定参照 SB/T 10752—2012《马铃薯雪花全粉》^[13]并参照冷明新等^[14]方法改进。称取 0.25 g 样品于 100 mL 烧杯中, 加入 50 mL 65.5℃ 的蒸馏水, 保持溶液温度不变, 在恒温水浴锅中不断搅拌 5 min 再静置 1 min 后过滤, 趁热吸取 1 mL 滤液于 50 mL 显色管中, 加入 1 mL 0.02 mol/L 碘标准溶液后定容, 以试剂空白为对照, 在波长 650 nm 下测定样品的吸光度 E , 并计算得出样品碘蓝值 (IBV)。

$$\text{碘蓝值 (IBV)} = E \times 54.2 + 5$$

1.2.5 马铃薯全粉加工特性测定指标及方法

(1) 溶解度与膨润度的测定

称取 0.1 g (W) 样品于 50 mL 离心管中, 加入 10 mL 蒸馏水溶解。沸水浴加热 30 min 并持续搅拌, 离心 (4 000 r/min, 15 min), 上清液蒸干后为水溶物质并称重 (A), 沉淀物为膨胀淀粉并称重 (P)。

$$\text{溶解度 } S(\%) = A/W \times 100$$

$$\text{膨润度 } (\%) = P/[W \times (1-S)] \times 100$$

式中: A 表示离心后上清液蒸干后水溶物质质量, g; W 表示样品质量, g; P 表示离心后下层沉淀物质量, g; S 表示溶解度。

(2) 最低胶凝浓度的测定

参照江永利和邓云^[15]方法, 配制样品浓度为 2%~20% 的悬浮液, 置于恒温振荡水浴锅中 100℃ 加热 1 h, 快速冷却后于 4℃ 静置 2 h, 将试管倒置, 观察样品是否滑落, 不滑落时的最小浓度即为最低胶凝浓度。

(3) 持油率的测定

称取 5 g 样品 (m) 于 50 mL 离心管 (m_1) 中, 加入 30 mL 食用油, 充分混合。将离心管在 30℃ 水浴中搅拌 30 min, 冷却静置至室温, 离心 (3 000 r/min, 20 min), 弃上清液, 倒置 5 min 后称量离心管和沉淀物的质量 (m_2)。

$$\text{持油率 (g/g)} = (m_2 - m_1 - m)/m$$

式中: m_2 表示离心管和沉淀物质量, g; m_1 表示离心管质量, g; m 表示样品质量, g。

(4) 持水率的测定

称取 2 g 样品 (m) 于 50 mL 离心管 (m_1) 中, 加入 30 mL 蒸馏水, 充分混合。将离心管在 30℃ 水浴中搅拌 30 min, 冷却静置至室温, 离心 (3 000 r/min, 20 min), 弃上清液, 倒置 5 min 后称量离心管和沉淀物的质量 (m_2)。

$$\text{持水率 (g/g)} = (m_2 - m_1 - m)/m$$

式中: m_2 表示离心管和沉淀物质量, g; m_1 表示离心管质量, g; m 表示样品质量, g。

(5) 冻融稳定性

称取 3 g 样品于 100 mL 烧杯中, 加入蒸馏水配成 6% 混合液, 100℃ 水浴锅中充分搅拌 20 min 后冷却至室温。称取 30 g (m_2) 的混合乳液到 50 mL 离心管中, 在 -20℃ 的冰箱中冷却 24 h 后取出, 40℃ 水浴解冻后离心 (3 000 r/min, 20 min), 称量上清液质量 (m_1)。

$$\text{析水率 (g/g)} = m_1/(m_2 \times 6\%)$$

式中: m_1 表示上清液质量, g; m_2 表示混合乳液的质量, g。

1.2.6 马铃薯全粉结构特性测定指标及方法

(1) 红外光谱

将马铃薯全粉冷冻干燥 24 h 去除水分后, 通过 KBr 压片法制取样品薄片后再进行红外光谱扫描。扫描条件为: 波段范围 $4\ 000\sim 500\text{ cm}^{-1}$, 扫描分辨率 4 cm^{-1} , 扫描整合频谱 32 倍^[16]。

(2) 扫描电镜

将马铃薯全粉用特定的双面胶带固定在样品台上, 经自动喷金器镀金后, 放入电镜中进行观察。测定条件为: 测定电压 15 kV, 电流 40 mA, 物距 11 mm ^[16]。

(3) X-射线衍射

测定条件为: 电压 40 kV、电流 200 mA、扫描范围衍射角 $2\theta = 5\sim 55^\circ$, 扫描步长 0.02° , 扫描速度 $6^\circ/\text{min}$ ^[16]。

1.3 数据处理

采用 Excel 2017 对试验数据进行统计分析, 分析结果以平均值 $\pm$ 标准差表示。采用 Duncan's 法进行处理间差异显著性测验 ($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 不同品种马铃薯全粉营养品质分析

4 种马铃薯全粉的水分含量为 $3.07\%\sim 5.19\%$,

平均水分含量为 4.36% , 其中‘达薯 1 号’的水分含量显著高于其他 3 个品种为 5.19% 。4 种马铃薯全粉的淀粉含量由大到小依次为: ‘大西洋’ $>$ ‘达芋 3 号’ $>$ ‘达芋 2 号’ $>$ ‘达薯 1 号’, 平均值为 75.87% 。还原糖含量由大到小依次为: ‘达薯 1 号’ $>$ ‘达芋 2 号’ $>$ ‘达芋 3 号’ $>$ ‘大西洋’, 平均值为 0.38% , 含量最高的为‘达薯 1 号’, 其次为‘达芋 2 号’, 二者之间无显著性差异, ‘大西洋’还原糖含量显著低于其他 3 个品种为 0.25% , 自育的 3 个达薯系列马铃薯品种中‘达芋 3 号’显著低于‘达薯 1 号’和‘达芋 2 号’为 0.31% , 与对照‘大西洋’最接近。4 种马铃薯全粉的蛋白质含量为 $7.08\%\sim 9.41\%$, 平均值为 8.42% , 低于普通小麦的蛋白质含量, 并且马铃薯全粉中未检测出面筋蛋白, 将其与小麦淀粉混合时加工性能变差。4 种马铃薯全粉的维生素 C 含量为 $5.48\sim 8.44\text{ mg}/100\text{ g}$, 平均值为 $6.99\text{ mg}/100\text{ g}$, 其中维生素 C 含量最低的是‘达薯 1 号’为 $5.48\text{ mg}/100\text{ g}$, 最高的是‘达芋 3 号’为 $8.44\text{ mg}/100\text{ g}$, 4 个品种间呈现出显著性差异。4 种马铃薯全粉的灰分含量为 $0.91\%\sim 1.57\%$, 平均值为 1.26% , 远高于小麦粉的灰分含量(一般为 0.35%), 表明 4 种马铃薯全粉中钙、铁、锌等矿物质含量较丰富(表 1)。

表 1 不同品种马铃薯全粉营养品质分析

Table 1 Analysis of nutritional quality of granules in different potato varieties

品种 Variety	水分(%) Moisture	淀粉(%) Starch	还原糖(%) Reducing sugar	蛋白质(%) Protein	维生素 C(mg/100 g) Vitamin C	灰分(%) Ash
达薯 1 号 Dashu 1	$5.19 \pm 0.36\text{ a}$	$64.79 \pm 4.66\text{ c}$	$0.56 \pm 0.09\text{ a}$	$7.08 \pm 0.51\text{ c}$	$5.48 \pm 0.14\text{ d}$	$1.14 \pm 0.002\text{ c}$
达芋 2 号 Dayu 2	$3.07 \pm 0.65\text{ c}$	$70.90 \pm 5.94\text{ bc}$	$0.41 \pm 0.07\text{ a}$	$8.26 \pm 0.44\text{ b}$	$5.84 \pm 0.05\text{ c}$	$1.40 \pm 0.002\text{ ab}$
达芋 3 号 Dayu 3	$4.41 \pm 0.06\text{ bc}$	$79.40 \pm 4.93\text{ b}$	$0.31 \pm 0.07\text{ b}$	$8.93 \pm 0.25\text{ ab}$	$8.44 \pm 0.08\text{ a}$	$1.57 \pm 0.002\text{ a}$
大西洋 Atlantic	$4.76 \pm 0.06\text{ b}$	$88.39 \pm 0.80\text{ a}$	$0.25 \pm 0.07\text{ c}$	$9.41 \pm 0.50\text{ a}$	$8.19 \pm 0.05\text{ b}$	$0.91 \pm 0.002\text{ c}$

注: 不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。采用 Duncan 测验方法。下同。

Note: Different lowercase letters indicate significant differences ($P < 0.05$) as tested by using Duncan's method. The same below.

2.2 不同品种马铃薯全粉理化特性分析

2.2.1 色泽分析

不同品种马铃薯全粉的理化特性分析如表 2 所示, 色泽主要反映了马铃薯全粉的感官性状, 主要由品种及加工方式决定。4 种马铃薯全粉中‘大

西洋’的亮度显著高于其他 3 个品种为 94.59 , 其次是‘达芋 3 号’为 91.59 , 亮度值最低的为‘达芋 2 号’, 其次为‘达薯 1 号’, 二者之间无显著性差异。‘达薯 1 号’的 a^* 显著高于其他 3 个品种为 3.15 , 颜色偏红, 其次是‘达芋 2 号’为 2.67 , ‘大西洋’的 a^* 最小

为-0.48, 颜色偏绿。4种马铃薯全粉中‘达薯1号’的 b^* 显著高于其他3个品种为24.07, 其次是‘达芋2号’为23.87, b^* 值最低的是‘大西洋’, 其次是‘达芋3号’, 二者之间无显著性差异。 ΔE 表示颗粒全粉色泽与原马铃薯色泽接近程度, ΔE 值越小, 褐变程度越小, 与原料颜色越接近。4种马铃薯全粉中‘大西洋’的 ΔE 值显著高于其他3个品种为15.56, 其次是‘达芋3号’为9.58, ΔE 值最低的是‘达薯1号’, 其次是‘达芋2号’, 二者之间无显著性差异。

2.2.2 碘蓝值

碘蓝值表示全粉被破坏释放出游离淀粉的程度, 游离的直链淀粉越多, 颜色越深, 碘蓝值越大。其是评价水稻、玉米、小麦等淀粉类食品品质的一个重要指标。‘达薯1号’的碘蓝值显著高于其他3个品种为7.92, 说明‘达薯1号’的游离直链淀粉含量较高, 能溶于水而不成糊状。‘大西洋’的碘蓝值最低为6.15, 自育的3个品种中‘达芋3号’的碘蓝值与‘大西洋’最接近为6.99(表2)。

表2 不同品种马铃薯全粉理化特性分析

Table 2 Analysis of physicochemical properties of granules in different potato varieties

品种 Variety	色泽 Color				碘蓝值(IBV)
	L^*	a^*	b^*	ΔE	Iodine blue value
达薯1号 Dashu 1	86.60 ± 0.81 c	3.15 ± 0.82 a	24.07 ± 0.86 a	5.78 ± 0.34 c	7.92 ± 0.05 a
达芋2号 Dayu 2	86.04 ± 0.60 c	2.67 ± 0.22 b	23.87 ± 0.55 b	6.10 ± 0.49 c	7.55 ± 0.10 b
达芋3号 Dayu 3	91.59 ± 0.39 b	1.19 ± 0.04 c	13.93 ± 0.11 c	9.58 ± 0.08 b	6.99 ± 0.06 c
大西洋 Atlantic	94.59 ± 0.09 a	-0.48 ± 0.02 c	10.88 ± 0.08 c	15.56 ± 0.10 a	6.15 ± 0.33 d

2.3 不同品种马铃薯全粉加工特性分析

2.3.1 溶解度和膨润度

溶解度是衡量淀粉水溶能力大小的尺度, 与直链淀粉含量呈正相关, 还与支链淀粉的链长、淀粉颗粒结构等相关。膨润度是衡量淀粉水合能力的尺度, 主要与淀粉颗粒结构、比表面积和颗粒大小等有关。4种马铃薯全粉的溶解度为4.81%~7.58%, 平均溶解度为6.45%, 其中溶解度最高的是‘达薯1号’为7.58%, 最低的是‘大西洋’为4.81%, 但差异不显著。4种马铃薯全粉的膨润度为15.54%~19.96%, 平均膨润度为17.84%, 其中膨润度最高的是‘达薯1号’为19.96%, 最低的是‘大西洋’为15.54%, 亦差异不显著(表3)。

2.3.2 最低凝胶浓度

最低凝胶浓度是衡量淀粉胶凝能力大小的指标, 与食品体系内蛋白质、碳水化合物和脂类等相关。不同品种马铃薯全粉最低凝胶浓度如表3所示, 4种马铃薯全粉的最低凝胶浓度为5.73%~7.13%, 平均最低胶凝浓度为6.51%, 且4个品种间存在显著性差异(其中‘达芋3号’和‘大西洋’无显著差异), ‘达薯1号’的最低胶凝浓度最低为

5.73%, 说明‘达薯1号’的凝胶能力最强。

2.3.3 持油率和持水率

淀粉的持油率和持水率极大的影响加工工艺, 是产品设计中需着重考虑的因素。持油率主要反映全粉吸油能力, 与全粉加工条件、颗粒大小、蛋白质含量等相关。4种马铃薯全粉的持油率为0.63~1.57 g/g, 平均值为1.13 g/g, 且4个品种间存在显著性差异。‘大西洋’的持油率最高为1.57 g/g, 可能与该品种蛋白质含量较高有关; ‘达薯1号’的持油率较高为1.33 g/g, 这2个品种可用于脂肪含量较高的食品加工(表3)。持水率与淀粉所属品种、含量、性质等相关, 主要影响面团的稳定性, 持水率越大, 面团越稳定。4种马铃薯全粉的持水率为6.15~8.29 g/g, 平均值为7.34 g/g, 且4个品种间存在显著性差异。自育的3个品种中, ‘达芋3号’的持油率和持水率均较低(表3)。

2.3.4 冻融稳定性(析水率)

冻融稳定性主要衡量全粉耐受冷冻和溶解的能力, 与直链淀粉含量呈负相关, 还与淀粉的种类及分子大小等相关, 用析水率表示, 析水率越大

则冻融稳定性越差，反之则越好。4种马铃薯全粉的析水率为7.89~8.59 g/g，平均析水率为8.20 g/g，其中析水率最大的是‘达薯1号’为8.59 g/g，但品种间差异不显著(表3)。

表3 不同品种马铃薯全粉加工特性分析

Table 3 Analysis of processing properties of granules in different potato varieties

品种 Variety	溶解度(%) Solubility	膨润度(%) Swelling degree	最低凝胶浓度(%) Minimum gel concentration	持油率(g/g) Oil retention	持水率(g/g) Water retention	析水率(g/g) Freeze-thaw stability
达薯1号 Dashu 1	7.58 ± 0.007 a	19.96 ± 0.003 a	5.73 ± 0.25 c	1.33 ± 0.10 b	7.17 ± 0.42 c	8.59 ± 0.79 a
达芋2号 Dayu 2	7.36 ± 0.023 a	18.43 ± 0.014 a	7.13 ± 0.25 a	0.99 ± 0.14 c	7.73 ± 0.15 b	8.21 ± 0.41 a
达芋3号 Dayu 3	6.03 ± 0.011 a	17.42 ± 0.010 a	6.33 ± 0.15 b	0.63 ± 0.03 d	6.15 ± 0.22 d	8.11 ± 0.43 a
大西洋 Atlantic	4.81 ± 0.009 a	15.54 ± 0.045 a	6.83 ± 0.21 b	1.57 ± 0.05 a	8.29 ± 0.28 a	7.89 ± 0.24 a

2.4 不同品种马铃薯全粉结构特性分析

2.4.1 红外光谱分析

4种马铃薯全粉的红外光谱整体相似，在5个区域内出现典型的单吸收峰，且峰位置基本一致，表明样品所含的官能团无差异(图1)。在3 000~3 500 cm⁻¹出现强且较宽的吸收峰，反映的是薯类中O-H的伸缩振动，在4种马铃薯全粉的O-H伸缩振动中‘达薯1号’的吸收峰最强，‘达芋3号’的吸收峰最弱。在2 848~3 000 cm⁻¹出现中等的吸收峰，反映的是CH₂的伸缩振动；在1 500~1 700 cm⁻¹出现吸收峰，反映的是多糖和蛋白质的混合振动；在1 410 cm⁻¹附件出现的吸收峰，反映的是C-O-C的伸缩振动和淀粉中CH₂的弯曲振

动。在900~1 300 cm⁻¹波段出现的吸收峰，反映的是淀粉中C-O、C-C键的伸缩振动以及C-OH键的弯曲振动，大量研究学者认为该波段范围是淀粉的构型敏感带，并常用1 047 cm⁻¹的吸收代表淀粉结晶区的结构特征，反映淀粉短程分子内的有序结构，1 022 cm⁻¹的吸收峰则代表了淀粉无定型区的结构特征，反映淀粉大分子的无规则线团结构。两者的比值表示淀粉有序和无序结构的比例，其值越大，淀粉颗粒的结晶程度越大。4种马铃薯全粉比值大小为‘达薯1号’>‘达芋2号’>‘达芋3号’>‘大西洋’，表明马铃薯全粉中淀粉的有序程度‘达薯1号’最高，‘大西洋’最低(图1)。

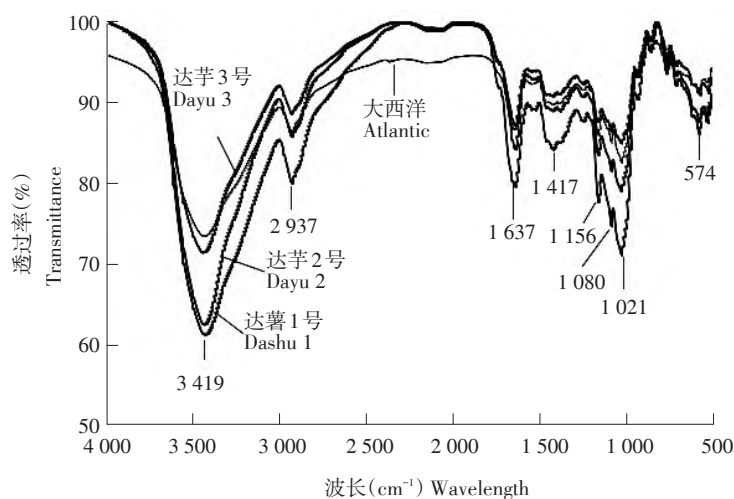


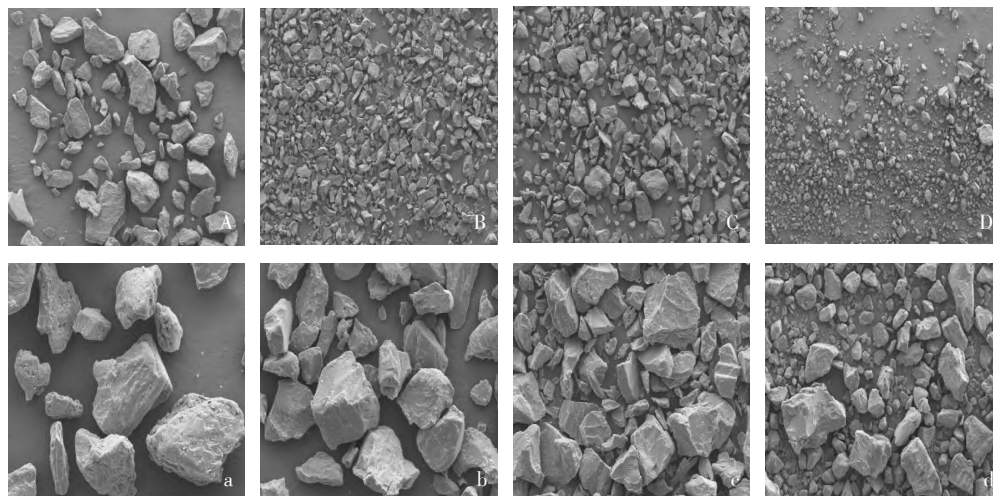
图1 不同品种马铃薯全粉红外光谱图

Figure 1 Infrared spectra of granules in different potato varieties

2.4.2 扫描电镜分析

试验主要观察4种不同马铃薯全粉的微观形态, 放大倍数分别为50和200倍, 结果如图2所示。不同品种中粒径‘达薯1号’最大, ‘大西洋’最

小, 4个品种的马铃薯全粉颗粒形状均不规则、表面均不光滑、可见范围内均无完整全粉颗粒存在, 其中除了‘达薯1号’颗粒分布较松散以外, 其他3个品种分布均较紧密。



注: A~D分别为‘达薯1号’‘达芋2号’‘达芋3号’和‘大西洋’在50倍下的SEM照片, a~d分别为‘达薯1号’‘达芋2号’‘达芋3号’和‘大西洋’在200倍下的SEM照片。

Note: A~D are the SEM images of 'Dashu 1', 'Dayu 2', 'Dayu 3' and 'Atlantic' at 50 times, respectively; a~d are the SEM images of 'Dashu 1', 'Dayu 2', 'Dayu 3' and 'Atlantic' at 200 times.

图2 不同品种马铃薯全粉SEM图

Figure 2 SEM of granules in different potato varieties

2.4.3 结晶结构分析

X-射线衍射法是研究晶体结构的分析方法, 其特点是只需要少量样品, 且对样品无损伤和消耗, 可得到晶体的组成方式、原子在三维空间的分布等信息。根据晶体点阵及组成不同, 可得出其特征的衍射图像, 通过分析研究图谱上的结晶区和非结晶区, 可以了解样品结晶结构变化情况。4种马铃薯全粉的X-射线衍射图谱如图3所示。‘达薯1号’‘达芋2号’和‘达芋3号’有尖峰衍射峰, 可能主要是由线度大的微晶晶粒引起的, 其中‘达芋2号’衍射峰最高、衍射强度最大, 说明‘达芋2号’的晶粒最大, 结构较稳定。‘大西洋’无明显的尖峰衍射峰, 呈现出典型的弥散衍射图谱, 可能主要是由短程有序的非晶结构引起的, 这与图2的扫描电镜结果一致。

3 讨论

本文以达州市农业科学研究院自育马铃薯品种(‘达薯1号’‘达芋2号’和‘达芋3号’)和马铃薯‘大西洋’为原料经过“二次回填”干燥技术制得马铃薯颗粒全粉, 通过对其营养品质、理化特性、加工特性以及结构特性的对比研究, 自育的3种马铃薯全粉中‘达芋3号’淀粉、蛋白质、维生素C和灰分含量均最高, 与加工专用品种‘大西洋’相比品质最接近, 表示‘达芋3号’在自育的3个品种中总体来说最适宜加工。马翠芳等^[6]以青海省6种马铃薯为原料制备马铃薯全粉, 通过对其理化、功能性质和微观结构的测定与分析表明, 6种马铃薯全粉灰分含量为3.33%~5.12%, ‘闽薯’灰分含量较高, ‘青薯9号’和‘乐薯’的脂肪和蛋白质含量均较高, ‘青薯

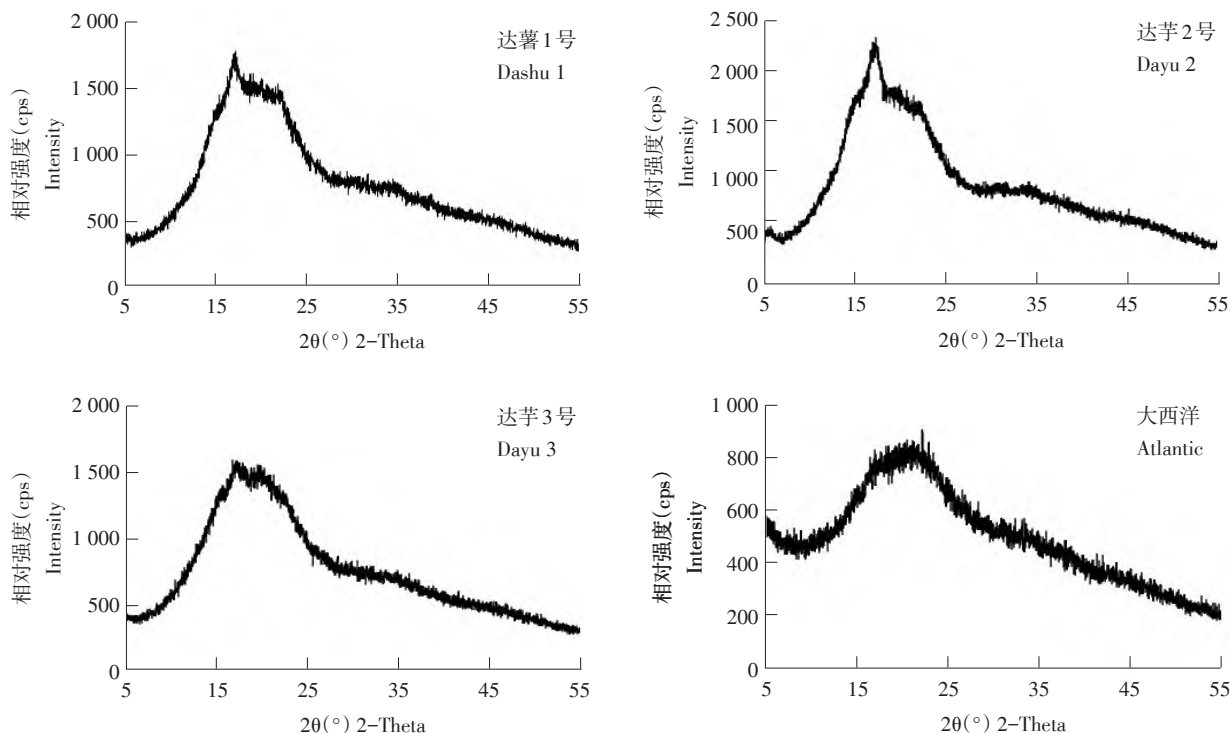


图3 不同品种马铃薯全粉X-衍射图

Figure 3 X-ray diffraction of granules in different potato varieties

2号’的还原糖含量最高, 为 $6.34\% \pm 0.29\%$; ‘青薯9号’的持油能力(1.69 ± 0.12) mL/g和黏度(1440 ± 10) cps 高于其他品种, ‘脱毒175’的吸水指数较高, ‘闽薯’的溶解度最高, 为 $14.9\% \pm 0.7\%$, 不同马铃薯全粉在品质方面有一定的差异。

马铃薯全粉中还原糖含量是影响油炸和烘焙食品品质的重要因素^[17]。还原糖可与氮化合物的 α -氨基酸发生美拉德反应, 利于风味的形成^[18]; 但是, 还原糖含量过高时会导致产品颜色加深, 亦可能产生较高的丙烯酰胺^[19], 进而影响产品品质。‘达薯1号’的还原糖含量最大, 为 $0.56\% \pm 0.09\%$ 。此外, ‘达薯1号’的碘蓝值也显著高于其他3个品种, 表明在加工过程中细胞抗外界机械力的能力弱、细胞破坏程度较大, 从扫描电镜可以明显的看出‘达薯1号’颗粒较大、结构较蓬松, 可用于面包等发酵食品中。‘达芋2号’的最低凝胶浓度最大, 为 $7.13\% \pm 0.25\%$, 说明‘达芋2号’凝胶能

力最弱, 在食品体系中最不容易凝固, 可用于半流体食品的加工, 避免淀粉凝固而造成产品品质变差。不同品种马铃薯全粉结构特性分析可知, 红外光谱图整体相似、所含官能团无差异; 扫描电镜结果显示颗粒形状均不规则、表面均不光滑、可见范围内均无完整颗粒存在。X-射线衍射图谱显示自育的3个品种峰形相似、均有尖峰衍射峰, ‘达芋2号’衍射峰最高、衍射强度最大, 说明‘达芋2号’的晶粒最大, 结构较稳定。这与马翠芳等^[16]的研究结果相符, 不同品种马铃薯全粉所含官能团并无差异, 整体均呈现不规则形状, 可见范围内基本无完整颗粒存在, 衍射峰形相似, ‘青薯2号’全粉颗粒的衍射强度较高, 结晶区较大。

综上所述, 不同品种马铃薯全粉在营养品质、理化特性、加工特性以及结构特性这四方面有一定的差异性, 在实际加工应用中, 可根据加工品质要求选择适宜的品种。

[参 考 文 献]

- [1] 胡振兴, 杨小丽, 李益, 等. 达州市马铃薯生产发展现状及产业发展对策[J]. 四川农业科技, 2021(4): 66-68.
- [2] 赵思毅, 杨锡波, 丁大杰, 等. 马铃薯新品种——达薯1号[J]. 四川农业与农机, 2012(5): 44.
- [3] 张颢城, 李中慧, 王秀丽. 中国马铃薯主要品种特征与产业布局分析[J]. 中国马铃薯, 2022, 36(1): 78-85.
- [4] 金黎平, 屈冬玉, 纪颖彪. 马铃薯加工型品种的选育技术[C]//陈伊里. 中国马铃薯研究进展. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学出版社, 1999.
- [5] 韩黎明, 童丹, 杨新俊. ‘黑美人’马铃薯颗粒全粉品质特性分析[J]. 食品工业科技, 2019, 40(17): 251-256.
- [6] 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.
- [7] 中华人民共和国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.
- [8] 中华人民共和国卫生和计划生育委员会. GB 5009.9—2016 食品安全国家标准 食品中淀粉的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [9] 中华人民共和国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.
- [10] 中华人民共和国卫生和计划生育委员会. GB 5009.5—2016 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [11] 中华人民共和国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.
- [12] 余斌, 刘娟, 李茂宏, 等. 引进马铃薯种质资源块茎及全粉色泽品质性状的评价研究[J]. 甘肃农业大学学报, 2019, 54(4): 37-47.
- [13] 中华人民共和国商务部. SB/T 10752—2012 马铃薯雪花全粉[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.
- [14] 冷明新, 郑淑芳, 王涛. 马铃薯全粉蓝值的测定[J]. 山西食品工业, 2001(4): 39-40.
- [15] 江永利, 邓云. 马铃薯全粉和豆渣粉对小麦粉理化特性的影响[J]. 上海交通大学学报: 农业科学版, 2018, 36(4): 59-65.
- [16] 马翠芳, 邹鹏仁, 梁欣悦, 等. 青海省不同品种马铃薯全粉品质及结构分析[J]. 食品工业科技, 2019, 40(7): 70-75.
- [17] Zhao Y C, Dan X U, Jin C Y, *et al.* Detection and correlation analysis of dry matter, starch and reducing sugar content in potato tubers [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2017, 33(10): 288-293, 280.
- [18] Jagadeesh S L, Hegde L, Reddy B S, *et al.* Studies on suitability of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) bulbs for processing into "papad"—an indian traditional product [J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2009, 33(s1): 281-298.
- [19] Nguyen H T, Ine F K H J, Van Boekel M A J S. Acrylamide and 5-hydroxymethylfurfural formation during biscuit baking. Part II: effect of the ratio of reducing sugars and asparagine [J]. *Food Chemistry*, 2017, 230(1): 14-23.