

挤压处理对马铃薯全粉加工特性及微观结构的影响

张艳荣, 彭 杉, 刘婷婷, 樊红秀, 陈丙宇, 马宁鹤
(吉林农业大学食品科学与工程学院, 吉林 长春 130118)

摘 要: 采用挤压法对马铃薯全粉进行挤压处理, 考察挤压温度、物料水分质量分数对马铃薯全粉加工特性及马铃薯全粉面团弹性的影响, 通过单因素试验确定最佳挤压工艺参数, 采用扫描电子显微镜、差示扫描量热仪、快速黏度测定仪、X射线衍射仪等仪器, 对挤压处理前后马铃薯全粉的微观结构、热力学性质、糊化特性及结晶度变化等进行对比分析。结果表明: 当挤压温度为150 ℃、物料水分质量分数为35%时, 马铃薯全粉的加工特性综合比较最优, 溶解度较高, 持水性最好, 冻融稳定性较好, 此时马铃薯全粉面团弹性最好; 挤压处理后的马铃薯全粉表面微观结构出现褶皱, 比表面积增加; 热稳定性减弱, 凝胶性减弱, 不易回生; 挤压处理使马铃薯全粉的结晶度下降。

关键词: 挤压处理; 马铃薯全粉; 结构; 加工特性

Effect of Extrusion Treatment on Processing Characteristics and Microscopic Structure of Potato Flour

ZHANG Yanrong, PENG Shan, LIU Tingting, FAN Hongxiu, CHEN Bingyu, MA Ninghe
(College of Food Science and Engineering, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China)

Abstract: Potato flour was modified by extrusion cooking. The effects of extrusion temperature and water content on the processing characteristics of potato flour and dough elasticity were investigated. The optimum extrusion parameters were determined by one-factor-at-a-time method. Scanning electron microscopy, differential scanning calorimetry, a rapid viscosity analyzer and X-ray diffraction were used to evaluate the structure, thermodynamic properties, gelatinization characteristics and crystallinity of extruded and native potato flour. The results showed that an extrusion temperature of 150 ℃ and a water content of 35% were found to be the optimum conditions to obtain the best processing characteristics, higher solubility, the best water-holding capacity, better freeze-thaw stability and the highest dough elasticity. After extrusion, the surface microstructure of potato flour became wrinkled; the specific surface area increased, while the thermal stability, the gelation capacity and the crystallinity decreased. Extruded potato flour was difficult to retrograde.

Keywords: extrusion treatment; potato flour; structure; processing characteristics

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201811017

中图分类号: TS255.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2018) 11-0107-06

引文格式:

张艳荣, 彭杉, 刘婷婷, 等. 挤压处理对马铃薯全粉加工特性及微观结构的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(11): 107-112.

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201811017. <http://www.spkx.net.cn>

ZHANG Yanrong, PENG Shan, LIU Tingting, et al. Effect of extrusion treatment on processing characteristics and microscopic structure of potato flour[J]. Food Science, 2018, 39(11): 107-112. (in Chinese with English abstract)

DOI:10.7506/spkx1002-6630-201811017. <http://www.spkx.net.cn>

马铃薯是我国一种主要的粮菜兼用农作物^[1], 也是重要的饲料和工业原料, 其种植面积及产量排名世界前列。马铃薯块茎内主要营养成分为水分和淀粉, 其次含有少量蛋白质、脂肪、维生素以及微量元素, 其赖氨酸含量更是优于大米、小麦^[2]。马铃薯全粉是由鲜薯经挑

选、清洗、去皮、切片、护色、预煮、蒸煮、干燥、粉碎等一系列工序所制得的干品^[3], 其最大程度上保留了马铃薯的营养成分, 复水后保留了熟制鲜薯的香气和口感^[4], 且具有耐贮藏、易运输等优点, 更方便应用于食品的加工中。自2015年农业部提出马铃薯主食化方针政策

收稿日期: 2018-01-13

基金项目: 吉林省科技攻关重点项目 (20170204028NY)

第一作者简介: 张艳荣 (1965—), 女, 教授, 博士, 研究方向为粮食、油脂及植物蛋白工程。E-mail: xcpyfzx@163.com

后,马铃薯食品研发一时成为热点,孙平等^[5]研制出马铃薯全粉添加量为30%的马铃薯全粉酥性饼干,游新勇等^[6]研制出马铃薯全粉添加量为20%的马铃薯全粉面包,王春香^[7]制作出马铃薯全粉添加量为20%的马铃薯面条。马铃薯全粉不含面筋蛋白,其面团黏度高、缺乏弹性^[8],导致马铃薯全粉不易被大量添加到主食产品中,因此,可采用挤压技术对其进行处理。挤压技术是20世纪60年代后兴起的一种新技术,其工作原理是将置于挤压机内的物料在高温高压状态下瞬间释放至常温常压下,使物料的组织结构和性质发生变化^[9-10]。玉米粉经挤压处理后其物性得到了改善,更适于面食品的加工^[11]。

目前,相关研究侧重马铃薯全粉产品的研发制作及基本理化性质的研究,但挤压处理对马铃薯全粉加工特性及表面微观结构影响的研究较少。因此,本研究采用挤压处理技术对马铃薯全粉进行处理,并对未挤压处理马铃薯全粉(non-extruded potato flour, N-PF)和挤压处理后马铃薯全粉(after extruded potato flour, A-PF)的持水性、持油性、溶解性、膨胀度、冻融稳定性等加工性质以及马铃薯全粉面团弹性进行对比研究,利用差示扫描量热仪(differential scanning calorimeter, DSC)、快速黏度测定仪测定其热特性及糊化特性,通过X射线衍射分析和扫描电子显微镜(scanning electron microscope, SEM)扫描测定其结构,为马铃薯全粉在食品加工业中的应用提供理论和科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

马铃薯全粉 万盛食品化工原料;直链淀粉标准品、支链淀粉标准品 美国Sigma公司;碘(分析纯) 中国医药集团上海化学试剂公司;其他试剂(均为分析纯) 北京化工厂。

1.2 仪器与设备

JC-60型单螺杆挤压机 长春盛达食品工业研究所;高速多功能粉碎机 上海冰都电器有限公司;顶开式冷冻箱 青岛澳柯玛电器公司制造;90-2恒温磁力搅拌器 上海振荣科学仪器有限公司;EX-224电子天平(万分之一) 奥豪斯仪器(上海)有限公司;TU-1901型紫外-可见分光光度计 北京普析通用仪器有限公司;电热恒温水浴锅 北京市永光明医疗器械有限公司;101A-2E电热鼓风干燥箱 上海实验仪器有限公司;Q2000型DSC 美国TA仪器公司;PRESTIGE-21傅里叶变换红外光谱仪 日本岛津公司;D8-ADVANCE型广角X射线衍射仪 德国Bruker公司;TA.XT plus质构仪 英国Stable Micro Systems公司;

JSM-6701F型SEM 日本电子公司;GL16A台式高速冷冻离心机 湖南凯达科学仪器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 挤压处理马铃薯全粉工艺流程

水
↓
马铃薯全粉→水分平衡→喂料→挤压→冷却、干燥→粉碎→成品

1.3.2 挤压处理工艺的单因素试验

通过前期的预实验,实验过程中喂料速率固定为30 kg/h,选择物料水分质量分数和挤压温度(机筒温度)作为考察的两个因素,挤压温度分别为130、140、150、160、170℃,物料水分质量分数分别为25%、30%、35%、40%、45%。每个水平重复3次,取平均值,测定马铃薯全粉的持水性、持油性、溶解度、膨胀度及冻融稳定性等加工特性,以及马铃薯全粉面团的物性,实验过程中不变水平为:物料水分质量分数35%、挤压温度140℃。

1.3.3 马铃薯全粉基础成分的测定

水分测定参照GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》直接干燥法;脂肪测定参照GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》索氏提取法;灰分测定参照GB 5009.4—2016《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》灼烧称量法;蛋白质测定参照GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》分光光度法;淀粉测定参照GB 5009.9—2016《食品安全国家标准 食品中淀粉的测定》酶水解法;直链淀粉含量测定参照高金波等^[12]的方法。

1.3.4 马铃薯全粉加工特性的测定

1.3.4.1 持水性的测定

准确称取2.0 g样品,加入离心管中。加入30 mL蒸馏水,在沸水浴中加热10 min并不断搅拌,冷却至室温后,3 000 r/min离心15 min。将离心管倒置在试管架上,静置,直至无水分滴出后,精确称量。持水性按公式(1)计算。

$$\text{持水性}/(\text{g/g}) = \frac{m_2 - m_1}{m_0} \quad (1)$$

式中: m_0 表示样品干质量/g; m_1 表示离心管质量/g; m_2 表示离心沥水后样品与离心管总质量/g。

1.3.4.2 持油性的测定

准确称取5.0 g样品,加入离心管中。加入30 mL食用油,在沸水浴中加热15 min,冷却至室温后,3 000 r/min离心15 min。上层游离油倾出后,精确称量。持油性按公式(2)计算。

$$\text{持油性}/(\text{g/g}) = \frac{m_2 - m_1}{m_0} \quad (2)$$

式中： m_0 表示样品干质量/g； m_1 表示离心管质量/g； m_2 表示离心沥油后样品与离心管总质量/g。

1.3.4.3 冻融稳定性的测定

称取一定量的样品配成质量分数为6.0%的样品悬浮液，在沸水浴中加热搅拌30 min使之充分糊化，冷却至室温，在-20℃的冰箱中冷冻，24 h后取出，在室温下自然解冻，以4 000 r/min离心20 min，弃去上清液，称量沉淀物的质量，若无上清液，继续冷冻直至上清液析出，以析水率表示冻融稳定性^[13]，计算公式如式（3）。

$$\text{析水率}/\% = \frac{\text{糊质量/g} - \text{沉淀物质量/g}}{\text{糊质量/g}} \times 100 \quad (3)$$

1.3.4.4 溶解度、膨胀度的测定

参照刘骏^[14]的方法，配制质量分数2%的样品悬浮液，在90℃条件下使其糊化后倒入离心管中，3 000 r/min离心20 min，分别收集上清液和下层沉淀，上清液置于105℃烘箱中烘干至恒质量，记录其质量。溶解度和膨胀度的计算公式如式（4）、（5）。

$$\text{溶解度}/\% = \frac{m_1}{m_2} \times 100 \quad (4)$$

$$\text{膨胀度}/\% = \frac{m_0}{m_2(1-S)} \times 100 \quad (5)$$

式中： m_1 表示上清液蒸干后的恒质量/g； m_2 表示样品总质量/g； m_0 表示离心后得到的沉淀物质量/g； S 表示由式（4）计算得到的溶解度/%。

1.3.5 糊化度的测定

参考Birch等^[15]的方法进行测定。

1.3.6 马铃薯全粉面团物性的测定

经过前期预实验，马铃薯全粉面团的最适加水量为马铃薯全粉质量的48%，将混合均匀的马铃薯全粉面团置于温度32~34℃、相对湿度75%~80%的醒发箱内静置10 min后进行物性测定。将准备好的马铃薯全粉面团置于物性测试平台，采用质地剖面分析模式P50探头，测前速率1 mm/s、测试速率2 mm/s、测后速率2 mm/s、返回距离10 mm^[16]，物性测试项目为：硬度、黏着性、弹性、内聚性、胶黏性、咀嚼性、回复性^[17]。

1.3.7 糊化特性的测定

采用快速黏度测定仪。准确称取3.0 g样品，根据水分校正公式称取一定量的去离子水并充分混合，升温程序参考Leivas等^[18]的方法，先在50℃下恒温2 min，以6℃/min加热到95℃，保温6 min，再以6℃/min冷却到50℃，最后再恒温2 min，记录样品的黏度变化曲线。

1.3.8 热特性分析

精确称取一定量的样品，放入DSC专用坩埚中，按照一定比例加入蒸馏水，密封置于4℃冰箱中平衡24 h，用空的坩埚做对照，通氮气，启动仪器进行测定。扫描温度范围为20~100℃，扫描速率10℃/min，氮气速率30 mL/min。

1.3.9 X射线衍射分析

将干燥样品放入带有凹槽的玻璃板上压平，放入X射线衍射仪进行测定，采用连续扫描法，广角衍射，特征射线CuK α ，扫描速率为2（°）/min，扫描区域为5°~45°，步长为0.1°，管压为40 kV，管流为40 mA。

1.3.10 SEM观察

取烘干后待测样品于双面胶上，放入镀金器中喷涂铂-钨合金，再放入SEM下，拍摄样品放大1 000倍后的微观结构。

1.4 数据统计分析

实验数据重复测定3次，结果以 $\bar{x} \pm s$ 表示。利用SPSS 17.0软件对数据进行差异显著性分析和方差分析，Origin 8.0软件作图，以 $P < 0.05$ 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 马铃薯全粉基本成分分析

表1 马铃薯全粉基本组成成分
Table 1 Proximate chemical composition of potato flour

样品	水分质量 分数/%	粗脂肪含量/ (g/100 g)	粗蛋白含量/ (g/100 g)	灰分含量/ (g/100 g)	淀粉含量/ (g/100 g)	直链淀粉含量/ (g/100 g)
N-PF	8.84±0.17 ^a	0.94±0.03 ^a	5.34±0.15 ^b	2.40±0.10 ^b	76.25±2.23 ^b	28.32±1.53 ^a
A-PF	8.42±0.34 ^a	0.80±0.03 ^a	4.89±0.06 ^a	2.84±0.16 ^a	74.09±1.03 ^a	30.11±0.90 ^b

注：同一指标肩标小写字母不同表示差异显著（ $P < 0.05$ ），下同。

由表1可知，经挤压处理后，马铃薯全粉中淀粉含量由（76.25±2.23）g/100 g降低到（74.09±1.03）g/100 g，直链淀粉含量由（28.32±1.53）g/100 g增加到（30.11±0.90）g/100 g，粗脂肪含量由（0.94±0.03）g/100 g降低到（0.80±0.03）g/100 g，粗蛋白含量由（5.34±0.15）g/100 g降低到（4.89±0.06）g/100 g。挤压处理前后淀粉、直链淀粉和粗蛋白含量差异显著，粗脂肪含量、水分质量分数及灰分含量差异不显著。陈子意^[19]研究发现，槟榔芋全粉经挤压膨化处理后，由于受到高温作用，淀粉和蛋白质含量均有所降低，这与本研究结果一致。

2.2 挤压条件对马铃薯全粉持水性、持油性及析水率的影响

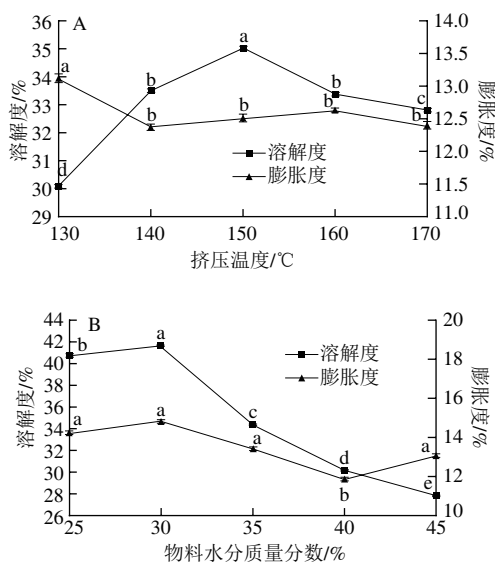
由表2可知，马铃薯全粉持水性随物料水分质量分数的升高逐渐增大，原因可能是物料吸水黏度增加，加大了与机腔内壁的摩擦力^[20]，在机腔内停留时间较长，使水分流失较多，导致持水性升高；相反，水分过量减少摩擦，停留时间短，持水性降低。随挤压温度的升高，机腔内物料水分大量汽化，增加了马铃薯全粉的持水性；温度过高会加快淀粉熔融和糊精化，导致持水性降低^[21]。持油性主要受蛋白质来源、加工方式、颗粒粒径大小等多方面因素的影响^[22]，随挤压温度的升高，马铃薯全粉持油性逐渐降低，原因可能是高温破坏了蛋白质

结构;随物料水分质量分数的升高,马铃薯全粉持油性逐渐升高,原因可能是高水分在机腔内有润滑作用,物料停留时间短,蛋白质破坏程度低。析水率随挤压温度的升高呈先降低后升高的趋势,挤压处理会造成淀粉分子的断裂,过多的短链淀粉会影响淀粉链的排列顺序,从而影响析水率^[23]。

表2 挤压条件对马铃薯全粉持水性、持油性及析水率的影响
Table 2 Effects of different extrusion conditions on water-holding capacity, oil-holding capacity and syneresis rate of potato flour

挤压条件		持油性	持水性	析水率	%
挤压 温度/℃	130	0.597 3±0.003 9 ^d	7.150 2±0.000 6 ^a	26.90±0.40 ^e	
	140	0.591 2±0.002 8 ^c	7.650 3±0.000 6 ^d	23.82±0.06 ^c	
	150	0.583 7±0.001 4 ^b	7.723 1±0.000 5 ^c	22.69±0.11 ^b	
	160	0.582 5±0.002 4 ^b	7.283 7±0.001 3 ^c	20.86±0.06 ^a	
	170	0.571 8±0.010 8 ^a	7.267 7±0.000 7 ^b	24.49±0.10 ^d	
物料水 分质量 分数/%	25	0.587 7±0.002 9 ^a	6.056 4±0.000 5 ^a	29.72±0.06 ^e	
	30	0.590 7±0.004 2 ^b	6.822 4±0.000 7 ^b	24.16±0.05 ^c	
	35	0.592 1±0.003 3 ^b	7.498 5±0.000 5 ^c	23.05±0.06 ^a	
	40	0.594 9±0.000 9 ^c	7.559 6±0.003 3 ^d	21.48±0.06 ^b	
	45	0.595 5±0.002 4 ^c	7.287 6±0.000 4 ^c	28.15±0.09 ^d	
未处理		0.598 6±0.001 0	7.424 2±0.000 8	19.24±0.07	

2.3 挤压条件对马铃薯全粉溶解度、膨胀度的影响



同一指标小写字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$), 下同。

图1 挤压温度 (A)、物料水分质量分数 (B) 对马铃薯全粉溶解度、膨胀度的影响

Fig. 1 Effects of extrusion temperature (A) and water content (B) on solubility and swelling degree of potato flour

溶解度和膨胀度可以直观地反映物料与水分之间的相互作用^[24]。由图1A中可以看出,挤压温度在130~160 °C范围内对溶解度影响显著 ($P < 0.05$)。随着温度的升高,马铃薯全粉的溶解度呈先上升后降低的趋势,当温度达到150 °C时溶解度最高。随着物料水分质

量分数的增加,其溶解度呈下降趋势。溶解度决定加工性能,对产品的功能特性有影响^[25],低溶解度往往不能满足食品加工需求。挤压温度在140~170 °C范围内对马铃薯全粉膨胀度影响不显著 ($P > 0.05$),Kusumayanti等^[26]研究发现,膨胀度主要与支链淀粉含量有关^[27]。从图1A、B可以看出,当挤压温度、物料水分质量分数分别为140 °C和40%时,马铃薯全粉的膨胀度最低,原因可能是在机械热及高剪切力的作用下,长支链淀粉发生断裂、降解现象^[28]。

2.4 挤压条件对马铃薯全粉糊化度的影响

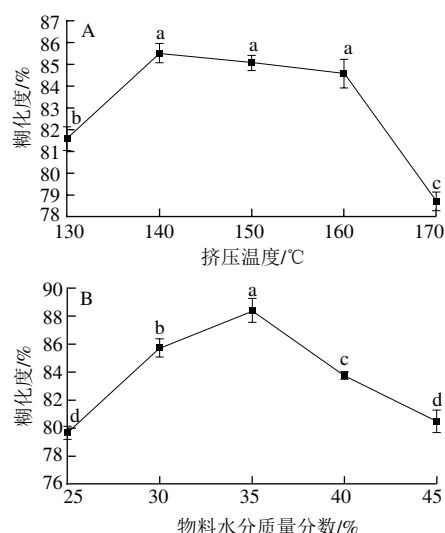


图2 挤压温度 (A)、物料水分质量分数 (B) 对马铃薯全粉糊化度的影响

Fig. 2 Effects of extrusion temperature (A) and water content (B) on gelatinization degree of potato flour

由图2A可以看出,马铃薯全粉糊化度随挤压温度升高呈先升高后降低趋势,当挤压温度为140 °C时,糊化度最高,为85.51%;挤压温度过低时,淀粉吸收热量较少,不足以发生糊化反应,糊化度较低;逐渐升温会加快水分子进入淀粉内部的速度,提高淀粉糊化度;挤压温度过高时,高温会使机腔内物料发生焦化现象,堵塞挤压腔^[19],导致糊化度降低。在图2B中,糊化度随物料水分质量分数增加而升高,当物料水分质量分数为35%时,糊化度最高,为88.40%,水分质量分数继续增加反而降低糊化度。水分质量分数的增加使物料黏度增大,延长物料在机腔内的挤压时间,加热时间的延长使糊化度升高;水分质量分数过高使物料在机腔内停留时间缩短,导致糊化度降低。经实验得到未经挤压处理马铃薯全粉的糊化度为66.36% (未显示在图中)。

2.5 挤压条件对马铃薯全粉面团弹性的影响

由图3A可知,当挤压温度在130~150 °C范围内,随着挤压温度升高,马铃薯全粉面团弹性逐渐升高,挤压温度对马铃薯全粉面团弹性影响显著 ($P < 0.05$)。未挤压处理的马铃薯全粉面团弹性为0.764 (未显示在图

中)。当挤压温度为150℃时,马铃薯全粉面团弹性达到最高,为0.882;当温度继续升高时,马铃薯全粉面团弹性遭到破坏,弹性值不断下降,并且温度过高容易使物料内水分快速蒸发,不利于物料输送,甚至使其在机腔内发生焦糊现象^[29]。由图3B可以看出:在其他条件不变的情况下,物料水分质量分数在25%~35%范围内对马铃薯全粉面团弹性值影响显著($P<0.05$);当物料水分质量分数为25%时,马铃薯全粉面团弹性值最低;物料水分质量分数为35%时,弹性值最高,为0.873;水分质量分数继续加大时,马铃薯全粉面团的弹性变差。

通过单因素试验获得较为科学客观的经挤压处理后马铃薯全粉特性的评价结果,为进一步的工艺研究提供理论依据,同时为产业化生产提供理论依据和科学指导。综合单因素试验结果,最佳挤压处理条件为:挤压温度150℃、物料水分质量分数35%,在此条件下对马铃薯全粉进行挤压处理,对N-PF与A-PF作进一步的比较分析。

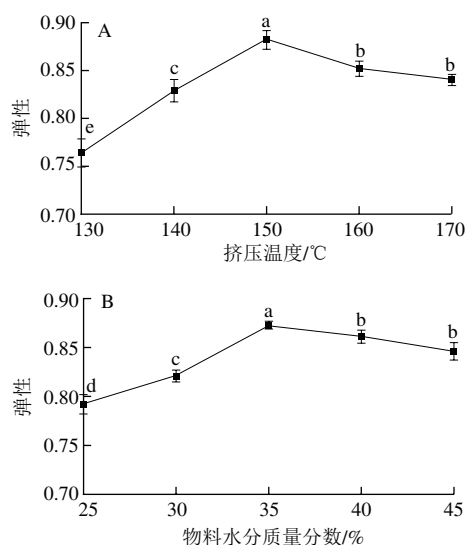


图3 挤压温度(A)、物料水分质量分数(B)对马铃薯全粉面团弹性的影响

Fig. 3 Effects of extrusion temperature (A) and water content (B) on elasticity of potato dough

2.6 马铃薯全粉糊化特性

表3 马铃薯全粉糊化特性

Table 3 Paste properties of potato flour

样品	峰值黏度/ (Pa·s)	谷值黏度/ (Pa·s)	衰减值/ (Pa·s)	最终黏度/ (Pa·s)	回生值/ (Pa·s)	峰值 时间/min	糊化 温度/℃
N-PF	768.50±3.50 ^b	742.00±4.00 ^b	44.50±0.50 ^a	960.00±5.00 ^b	236.00±2.00 ^b	5.56±0.04 ^b	65.87±0.72 ^a
A-PF	416.50±3.50 ^a	173.00±0.00 ^a	243.50±3.50 ^b	266.00±2.00 ^a	93.00±2.00 ^a	3.70±0.03 ^a	78.73±1.23 ^b

糊化特性是淀粉在食品应用中的重要衡量指标^[30]。回生值表示最终黏度与谷值黏度的差值,在冷却过程中直链淀粉分子之间的缔合导致回生现象的发生^[31],最终黏

度取决于淀粉冷却后的回生能力。由表3可以看出,经过挤压处理的马铃薯全粉峰值黏度、谷值黏度、回生值及最终黏度有一定程度降低,说明A-PF在冷却过程中不易变硬、老化。周星杰等^[32]研究发现,经挤压处理后苦荞粉的谷值黏度、最终黏度及回生值有所下降,与本研究结果一致。N-PF的衰减值低于A-PF,说明N-PF黏度热稳定性较好。另外,A-PF的峰值时间较短,糊化温度升高。

2.7 马铃薯全粉热特性分析

表4 马铃薯全粉热特性参数

Table 4 Thermal parameters of potato flour

样品	起始温度/℃	结束温度/℃	峰值温度/℃	热焓/(J/g)
N-PF	51.88±3.37 ^a	75.26±4.42 ^a	64.08±0.03 ^a	-1.986±0.179 ^a
A-PF	56.13±4.24 ^b	77.14±5.29 ^b	65.11±1.96 ^a	-1.603±0.030 ^a

表4中的起始温度和结束温度代表马铃薯全粉糊化的起始温度和结束温度。由表4可以看出,A-PF糊化时的起始温度、结束温度和峰值温度均高于N-PF,说明经挤压处理A-PF大部分淀粉已经糊化,未糊化的淀粉较少,这与黄浩庭^[33]的研究结果一致。A-PF的热焓值降低,这可能是因为经挤压处理后淀粉颗粒发生了变性,淀粉分子从有序状态转变为无序状态,能量也随之变化^[34]。

2.8 马铃薯全粉X射线衍射分析

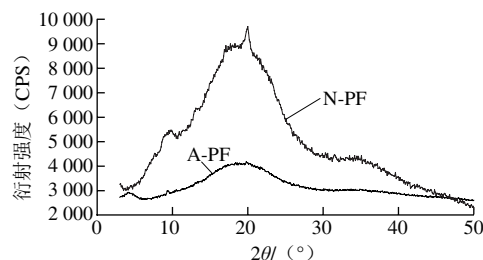
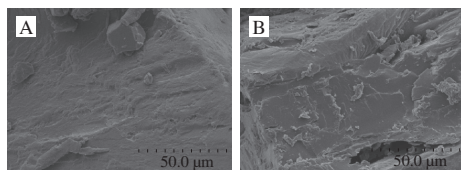


图4 马铃薯全粉的X射线衍射图

Fig. 4 X-ray diffraction pattern of of potato flour

根据图4可知,N-PF在2θ角在9.7°、13.1°、20.0°附近均出现明显的衍射峰,经挤压处理后,结晶度大幅下降,峰强度下降;原因是在高温、高压及高剪切力的作用下,长支链淀粉结构遭到破坏^[35],淀粉内部分子链发生断裂、降解现象^[36],从而导致淀粉的结晶度下降。A-PF在2θ角为13.1°处的衍射峰已经消失,在9.7°、20.0°处的衍射峰强度很弱,并在4.1°附近出现较强衍射峰,未消失的峰变得弥散,呈现典型的非晶体衍射特征^[37];说明挤压处理导致晶体结构遭到破坏,结晶度降低,峰强度下降。采用MDI Jade5.0软件对X射线衍射图谱进行分析,得到N-PF的结晶度为40.39%,经挤压处理后,马铃薯全粉结晶度降低至13.97%。此外,结晶区比例降低表明淀粉在糊化过程中所吸收热量减少,即热焓值降低,与表4测定结果一致。

2.9 马铃薯全粉SEM观察结果



A. N-PF; B. A-PF。

图5 马铃薯全粉SEM图片 (1000×)

Fig. 5 SEM pictures of native and extruded potato flour (1000 ×)

由图5可知, N-PF的表面相对较为平整光滑, 纹路清晰, 有少许光滑颗粒, 略有褶皱; A-PF的表面较为粗糙, 有不规则的颗粒物质存在, 并有不同层次的褶皱和裂痕。这可能是因为挤压处理使淀粉由固态转变为熔融态后形成的不固定形态^[38], 该结构使得A-PF较N-PF的比表面积增加, 有利于水分子进入, 使马铃薯全粉持水能力提高。

3 结论

单因素试验结果表明, 当挤压温度150℃、物料水分质量分数35%时, 马铃薯全粉的加工特性综合比较最优, 溶解度较高, 为35.05%, 冻融稳定性较好。A-PF的持水性(7.723 1%)较N-PF(7.424 2%)提高了4.03%, 面团弹性得到改善; 并且经挤压处理后, 马铃薯全粉凝胶能力减弱, 不易于老化。微观结构观察结果表明A-PF颗粒表面较为粗糙, 出现波纹型褶皱; 经挤压处理后, 马铃薯全粉结晶度下降。挤压处理降低了马铃薯全粉面团原本的高黏度, 使其具有了适当的黏弹性, 可以更好地应用到面制品当中; 并且挤压处理有效地改善了其加工性能, 有利于其在相应食品加工中的应用。

参考文献:

- [1] 刘丽宅, 谢晶, 汪洋, 等. 马铃薯主食产品研究现状及发展前景[J]. 粮食加工, 2016, 41(6): 64-67.
- [2] 曾凡逵, 许丹, 刘刚. 马铃薯营养综述[J]. 中国马铃薯, 2015, 29(4): 233-243. DOI:10.3969/j.issn.1672-3635.2015.04.013.
- [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. DOI:10.13386/j.issn.1002-0306.2014.05.043.
- [4] 郝琴, 王金刚. 马铃薯深加工系列产品生产工艺综述[J]. 粮食与食品工业, 2011, 18(5): 12-14. DOI:10.3969/j.issn.1672-5026.2011.05.005.
- [5] 孙平, 周清贞, 杨明明, 等. 马铃薯全粉酥性饼干的研制[J]. 食品科技, 2010, 35(9): 201-204. DOI:10.13684/j.cnki.spkj.2010.09.055.
- [6] 游新勇, 莎娜, 王国泽, 等. 马铃薯全粉面包的加工工艺研究[J]. 广东农业科学, 2012, 39(7): 116-119. DOI:10.3969/j.issn.1004-847X.2012.07.040.
- [7] 王春香. 制作马铃薯面条[J]. 农村实用科技信息, 2008(6): 33.
- [8] 刘颖, 张丹, 刘丽宅. 马铃薯-小麦混合粉面团制备及品质改良研究[J]. 食品工业科技, 2017, 38(6): 137-141; 146. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2017.06.018.
- [9] 张裕中, 王景. 食品挤压加工技术与应用[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1998: 4-65.
- [10] KIM J H, TANHECO E J, NG P K W. Effect of extrusion conditions on resistant starch formation from pastry wheat flour[J]. Food Chemistry, 2006, 99(4): 718-723. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2017.06.018.
- [11] 张艳荣, 王研, 刘相阳, 等. 挤出处理对玉米面团物性的影响[J]. 食品科技, 2012, 37(3): 187-191. DOI:10.13684/j.cnki.spkj.2012.03.068.
- [12] 高金波, 崔媛, 王丽丽, 等. 碘显色法测定马铃薯全粉直链淀粉含量的影响因素探讨[C]//马铃薯产业与现代可持续农业. 北京: 中国作物学会马铃薯专业委员会, 2015: 371-375.
- [13] HOOVER R, LI Y X, HYNES G, et al. Physicochemical characterization of mung bean starch[J]. Food Hydrocolloids, 1997, 11(4): 401-408. DOI:10.1016/S0268-005X(97)80037-9.
- [14] 刘骏. 淮山全粉挤压膨化特性的研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2015: 43-45.
- [15] BIRCH G F, PRIESTEY R H. Degree of gelatinization of cooked rice[J]. Starch-Stärke, 1973(25): 98-108. DOI:10.1002/star.19730250308.
- [16] ZHENG T S. Studies on application of texture analyzer to the quality evaluation of dough and bread[J]. Food Science, 2004, 25(10): 37-40.
- [17] 明建, 宋欢, 赵国华. 豌豆苗膳食纤维的添加对面团和面包物性的影响[J]. 食品科学, 2008, 29(10): 67-70. DOI:10.3321/j.issn.1002-6630.2008.10.008.
- [18] LEIVAS C L, ALMEIDA R R D, FREITAS R J S D, et al. Structural, physico-chemical, thermal and pasting properties of potato (*Solanum tuberosum* L.) flour[J]. Journal of Thermal Analysis & Calorimetry, 2013, 111(3): 2211-2216. DOI:10.1007/s10973-012-2395-2.
- [19] 陈子意. 槟榔芋全粉挤压膨化特性的研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2015: 39-41.
- [20] 冯凤琴, 刘东红, 叶立扬. 甘薯全粉加工及其挤压膨化食品特性的分析研究[J]. 农业工程学报, 2001, 17(3): 99-102. DOI:10.3321/j.issn.1002-6819.2001.03.023.
- [21] 章雨琳, 张喻, 张涵予. 挤压膨化参数对马铃薯全粉理化性质的影响[J]. 食品与机械, 2016, 32(12): 40-44. DOI:10.13652/j.issn.1003-5788.2016.12.009.
- [22] 周宇冰, 詹智钧, 李娜, 等. 热风干燥对淮山粉物理特性的影响[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(11): 19-23. DOI:10.3969/j.issn.1005.2016.11.005.
- [23] 黄祖强, 童张法, 胡华宇, 等. 机械活化对木薯淀粉冻融稳定性的影响[J]. 食品工业科技, 2006(3): 58-60. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2006.03.012.
- [24] RAMESH YADAV A, GUHA M, THARANATHAN R N, et al. Changes in characteristics of sweet potato flour prepared by different drying techniques[J]. LWT-Food Science and Technology, 2006, 39(1): 20-26. DOI:10.1016/j.lwt.2004.12.010.
- [25] 刘传富, 王兆升, 董海洲, 等. 挤压膨化对豆渣加工特性影响的研究[J]. 食品与发酵工业, 2008, 34(12): 102-105. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.2008.12.026.
- [26] KUSUMAYANTI H, HANDAYANI N A, SANTOSA H. Swelling power and water solubility of cassava and sweet potatoes flour[J]. Procedia Environmental Sciences, 2015, 23: 164-167. DOI:10.1016/j.proenv.2015.01.025.
- [27] KIM E J, KIM H S. Influence of pectinase treatment on the physicochemical properties of potato flours[J]. Food Chemistry, 2015, 167: 425-432. DOI:10.1016/j.foodchem.2014.07.014.
- [28] 杜双奎, 魏益民, 张波. 挤压膨化过程中物料组分的变化分析[J]. 中国粮油学报, 2005(3): 39-43; 47. DOI:10.3321/j.issn.1003-0174.2005.03.010.
- [29] 王大为, 杜彩霞, 周清涛, 等. 响应面法优化玉米皮纤维双螺杆挤压工艺[J]. 食品科学, 2011, 32(18): 6-10. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2014.06.040.
- [30] 吕振磊, 李国强, 陈海华. 马铃薯淀粉糊化及凝胶特性研究[J]. 食品与机械, 2010, 26(3): 22-27. DOI:10.3969/j.issn.1003-5788.2010.03.007.
- [31] 郭静璇. 挤压法马铃薯米线的生产工艺和品质改良研究[D]. 无锡: 江南大学, 2016: 18-20.
- [32] 周星杰, 余少璟, 陈凯, 等. 挤压糊化处理对苦荞粉理化性质的影响[J]. 食品科学: 1-8. (2017-04-26)[2018-02-02]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20170426.1500.020.html>.
- [33] 黄浩庭. 挤压膨化对紫薯全粉理化特性影响的研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2015: 40.
- [34] MARTINEZ M M, ROSELL C M, GOMEZ M. Modification of wheat flour functionality and digestibility through different extrusion conditions[J]. Journal of Food Engineering, 2014, 143(6): 74-79. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2014.06.035.
- [35] 林雅丽, 张晖, 王立, 等. 挤压对糙米中淀粉理化性质的影响[J]. 现代食品科技, 2016, 32(12): 254-259; 224. DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2016.12.039.
- [36] 廖卢艳. 基于粉丝生产的湿热改性甘薯淀粉性质及机理研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2015: 54-64.
- [37] 赵凯, 张守文, 方桂珍, 等. 湿热处理对马铃薯淀粉颗粒特性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2006(6): 8-10. DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.2006.06.003.
- [38] CAI W, DIOSADY L L. Model for gelatinization of wheat starch in a twin-screw extruder[J]. Journal of Food Science, 2010, 58(4): 872-875. DOI:10.1111/j.1365-2621.1993.tb09380.x.