

挤压膨化参数对马铃薯全粉理化性质的影响

Effects of different extrusion conditions on physicochemical properties of potato powder

章丽琳^{1,2}

张 喻^{1,2}

张涵予^{1,2}

ZHANG Li-lin^{1,2} ZHANG Yu^{1,2} ZHANG Han-yu^{1,2}

(1. 湖南农业大学食品科学技术学院, 湖南 长沙 410128; 2. 食品科学与生物技术湖南省重点实验室, 湖南 长沙 410128)

(1. Food Science and Technology College, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China;

2. Key Laboratory for Food Science and Biotechnology of Hunan Province, Changsha, Hunan 410128, China)

摘要:研究物料含水量、挤压温度、螺杆转速对马铃薯全粉水溶性、碘蓝值、糊化特性等理化性质的影响。结果表明:随物料含水量的增大,马铃薯全粉的水溶性、碘蓝值逐渐减小,吸水性、吸油性逐渐增大,膨胀性先增大后减小,在 35% 时最大,糊化温度先减小后增大,峰值黏度、谷值黏度、最终黏度、凝胶性逐渐增大,热稳定性在 30% 时最强;随挤压温度的增大,水溶性、碘蓝值逐渐增大,吸水性、吸油性逐渐减小,膨胀性先增大后减小,在 170 °C 最大,糊化温度、热稳定性逐渐增大,峰值黏度、谷值黏度、最终黏度、凝胶性逐渐减小;随螺杆转速的增大,水溶性、碘蓝值逐渐增大,吸水性、吸油性逐渐减小,膨胀性先增大后减小,在 360 r/min 时最大,糊化温度逐渐减小,峰值黏度、谷值黏度、最终黏度、凝胶性逐渐增大,热稳定性先减弱后增强,在 280 r/min 时最弱。

关键词:马铃薯全粉;挤压膨化;理化性质

Abstract: Several physicochemical properties of potato powder were studied, including the material moisture, extrusion temperature and screw speed's influence. The results indicated that with the increase of material moisture, the water-solubility, iodine blue value of potato powder decreasing, water-absorption, oil-absorption increasing, expansibility increased firstly and then decreased, which was the largest in moisture of 35%, while the gelatinization temperature decreased firstly then increased, and the peak, valley, final viscosity, gelatin increasing gradually. Thermal stability was the strongest in the moisture of 30%. With the increasing of extrusion temperature, the water-solubility, iodine blue value increased gradually, water-absorption, oil-absorption decreasing, and the expansibility increased firstly then decreased, which was the largest in 170 °C. Gelatinization temperature increased gradually, and the peak, valley, final

viscosity, thermal stability and gelatin decreasing gradually. With the increasing of screw speed, the water-solubility, iodine blue value increased, but the water-absorption and oil-absorption decreased. Expansibility increasing firstly then decreasing, which was the largest at the speed of 360 r/min. Gelatinization temperature decreased gradually, but the peak, valley and final viscosity and gelatin increased, while, the thermal stability decreased firstly than increased, which was the lowest at the speed of 280 r/min.

Keywords: potato powder; extrusion; physicochemical properties

马铃薯全粉是以新鲜马铃薯为原料,经多道工序制成的含水量较低的粉状物料^[1]。马铃薯全粉复水后具有新鲜马铃薯特有的香气、风味、口感和营养价值^[2]。中国马铃薯种植面积和总产量均居世界第一,但总体加工水平比较落后,深加工的发展潜力巨大^[3]。

挤压膨化技术为物料经粉碎、混合后,在挤压腔内受摩擦作用不断向前输送,最终从特定的模具中挤出,得到具有特定形状及质构的产品^[4]。挤压膨化过程中,物料发生淀粉糊化、蛋白质变性、膳食纤维降解、脂肪破裂等^[5]。挤压膨化技术能够使物料颗粒膨松多孔,淀粉糊化度增大、抗老化性增强等,一些理化性质的变化有利于提高马铃薯全粉的加工性能^[6]。传统的生产将马铃薯全粉直接添加至面条、粉丝等的加工中,但受马铃薯全粉理化性质的影响,所生产出的面条、粉丝等品质不优且马铃薯全粉的添加量受到限制。

本试验拟以市售马铃薯全粉为原料,研究挤压膨化过程中物料含水量、挤压温度、螺杆转速对马铃薯全粉理化性质的影响,以期通过挤压膨化处理,改善马铃薯全粉的加工性能,增大其在食品加工中的应用范围。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

马铃薯全粉:甘肃正阳农业科技股份有限公司;
碘:分析纯,广州化学试剂分公司;

基金项目:湖南省研究生创新项目(编号: CX2016B302)

作者简介:章丽琳,女,湖南农业大学在读硕士研究生。

通信作者:张喻(1972—),女,湖南农业大学教授,博士。

E-mail: skxzhangyu@163.com

收稿日期: 2016—10—26

碘化钾:分析纯,国药集团化学试剂有限公司;
菜籽油:食品级,益阳金浩油中王油脂有限公司。

1.2 仪器与设备

快速黏度分析仪:RVA-S/N2112681 型,北京波通瑞华科学仪器有限公司;

粉碎机:BJ-500A 型,德清熊火照明科技有限公司;

离心机:TD5A 型,长沙英泰仪器有限公司;

双螺杆挤压膨化机:GTS75 型,湖南富马科食品工程技术有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 马铃薯全粉挤压膨化处理 在一定喂料速度下,机头模孔直径 5 mm,挤压温度为 160 ℃,螺杆转速为 320 r/min 的条件下,调制物料含水量为 20%,25%,30%,35%,40% 进行挤压膨化;在物料含水量为 25%,螺杆转速为 320 r/min,调节挤压温度为 140,150,160,170,180 ℃进行挤压膨化;在物料含水量为 25%,挤压温度为 160 ℃,调节螺杆转速为 240,280,320,360,400 r/min 进行挤压膨化。挤出物在 50 ℃ 的条件下烘干,并粉碎过 80 目筛以测定其理化性质。

1.3.2 水溶性与吸水性测定 称取样品 2.00 g(m_0)放入已恒重(m_1) 的离心管中,加入 100 mL 蒸馏水,30 ℃水浴条件下搅拌 30 min,冷却;充分离心,上清液倒入已恒重(m_2)的锅中,105 ℃条件下烘干至恒重(m_3);称取离心管及沉淀物总质量(m_4),按式(1)、(2)计算水溶性及吸水性^[7]。

$$S = \frac{m_3 - m_2}{m_0}, \tag{1}$$

$$J_{\text{水}} = \frac{m_4 - m_1}{m_0} \times 100\%, \tag{2}$$

式中:
 S ——水溶性,g/g;
 $J_{\text{水}}$ ——吸水性,%;
 m_0 ——样品重量,g;
 m_1 ——恒重后离心管质量,g;
 m_2 ——恒重后铝盒质量,g;
 m_3 ——恒重后铝盒与上清液总质量,g;
 m_4 ——离心管与沉淀物总质量,g。

1.3.3 膨胀性测定 称取样品 2.00 g(m_0) 置于刻度试管中,读取体积 V_1 ,用移液管吸取 50 mL 蒸馏水加入试管中。30 ℃水浴条件下搅拌 30 min 后室温放置 24 h,读取样品体积 V_2 ^[8]。膨胀性按式(3)计算:

$$P = \frac{V_2 - V_1}{m_0}, \tag{3}$$

式中:

表 1 物料含水量对挤出物水溶性、吸水性、膨胀性、吸油性的影响[†]
Table 1 Material moisture's influence on water-solubility, water-absorption, expansibility, oil-absorption of potato powder

物料含水量/%	水溶性/%	吸水性/(g·g ⁻¹)	膨胀性/(mL·g ⁻¹)	吸油性/(mL·g ⁻¹)
20	5.72±0.09 ^b	3.66±0.06 ^a	3.26±0.17 ^a	0.68±0.03 ^a
25	5.57±0.14 ^b	3.78±0.13 ^a	4.62±0.06 ^b	0.78±0.09 ^b
30	5.52±0.04 ^b	3.86±0.09 ^a	5.14±0.13 ^b	0.80±0.03 ^c
35	5.49±0.12 ^b	4.32±0.11 ^b	5.52±0.41 ^c	0.82±0.08 ^c
40	5.23±0.09 ^a	4.93±0.18 ^c	3.37±0.06 ^a	0.91±0.09 ^d

[†] 同列不同字母表示差异显著(P<0.05)。

P ——膨胀性,mL/g;
 V_1 ——样品体积,mL;
 V_2 ——吸水膨胀后样品体积,mL;
 m_0 ——样品重量,g。

1.3.4 吸油性测定 称取 5.00 g 样品于烧杯中,加入 30 mL 菜籽色拉油,在 100 ℃的水浴中加热 20 min,冷却静置至室温,移入离心管中,3 000 r/min 离心 25 min,量取上清液 V (mL)体积^[9]。吸油量按式(4)计算:

$$J_{\text{油}} = \frac{30 - V}{5}, \tag{4}$$

式中:
 $J_{\text{油}}$ ——吸油量,mL/g;
 V ——样品体积,mL。

1.3.5 碘蓝值测定 取 50 mL 容量瓶,65.5 ℃水浴并用蒸馏水定容;称样品 0.25 g 于烧杯中,倒入预热并定容的 50 mL 蒸馏水中,65.5 ℃水浴加热搅拌 5 min,静置 1 min 后过滤;滤液保持于 65.5 ℃,吸取 1 mL 于 50 mL 显色管,加 1 mL 0.02 mol/L 碘标准溶液,蒸馏水定容至刻度;同时取 1 mL 0.02 mol/L 碘标准溶液于另一容量瓶,蒸馏水定容至 50 mL 作空白对照;以对照组调零,测定样品在波长 650 nm 下吸光度 E ^[10]。碘蓝值按式(5)计算:

$$D = E \times 54.2 + 5, \tag{5}$$

式中:
 D ——碘蓝值;
 E ——样品在波长 650 nm 下的吸光度。

1.3.6 糊化特性测定 称取 3.00 g 样品放入专用铝筒中,加入 25 mL 蒸馏水,放入仪器进行测定。采用升温/降温循环程序,50 ℃保持 1 min,4 min 内加热至 95 ℃并保持 5.5 min,4 min 内冷却至 50 ℃并保持 4 min,旋转浆在起始 10 s 内旋转速度为 960 r/min,后保持 160 r/min 至结束^[11]。

2 结果与分析

2.1 物料含水量对挤出物水溶性、吸水性、膨胀性、吸油性的影响

由表 1 可知,随物料含水量的增大,马铃薯全粉的水溶性逐渐减小,吸水性逐渐增大,原因可能是物料含水量的增大使物料的流动性增大,降低了剪切力,物料的降解程度降低,从而吸水性逐渐增大、水溶性减小。膨胀性先增大后减小,在物料含水量为 35% 时最大,原因可能是适当水分能够使物料发生玻璃化转变,易于膨胀,但水分过高时,物料表观黏度降低,在机筒内所受剪切力降低,在机头处的压力显著降低,导致膨胀性较低^[12]。吸油性逐渐增大,吸油性大小与

物料中蛋白质的结构相关^[13],原因可能是随水分增加,蛋白质的降解减弱。

2.2 物料含水量对挤出物碘蓝值的影响

由图 1 可知,随物料含水量的增大,马铃薯全粉碘蓝值逐渐减小,原因可能是随物料含水量的增大,马铃薯全粉在挤压膨化过程中所受到的剪切力减小,其中淀粉所受到的破坏程度减小。

2.3 物料含水量对挤出物糊化特性的影响

物料含水量对马铃薯全粉糊化特性的影响见表 2,其中当物料含水量为 40%时,挤出物糊化温度高于 95℃,糊化特性无法测定。

由表 2 可知,随物料含水量的增大,马铃薯全粉糊化温度先减小后增大,原因可能是适当的水分会使物料内部的有序分子发生氢键断裂而分散成无序状态,原来的晶体结构被破坏,淀粉易发生糊化^[14];峰值、谷值、最终黏度逐渐增大;衰减值在水分添加量为 30%时最小,衰减值大小反映淀粉热糊的稳定性^[15],说明水分为 30%时,马铃薯全粉的热稳定性最强;回生值逐渐增大,回生值越大,说明淀粉的凝胶性越强^[16],物

料含水量的增大能够提高马铃薯全粉的凝胶性。

2.4 挤压温度对挤出物水溶性、吸水性、膨胀性、吸油性的影响

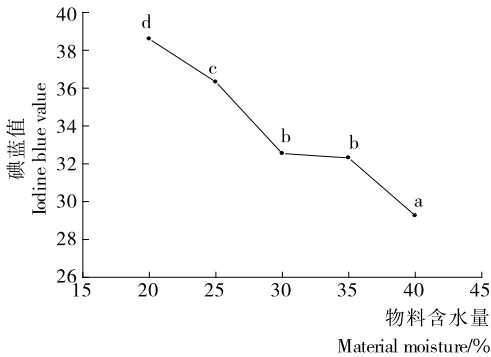
由表 3 可知,随着挤压温度的增大,马铃薯全粉的水溶性逐渐增大,且整体差异性显著,原因可能是随着温度的升高,大分子物质降解增加,水溶性成分增多^[17];吸水性逐渐减小,差异性显著,原因可能是温度升高促进了淀粉的熔融和糊精化^[18];膨胀性先增大后减小,整体差异性显著,这是由于挤压温度增大,机腔内压力增大,物料在被挤出时所受到的内外压差增大,膨胀性就越大,但挤压温度过高时,物料黏度下降,所受到的剪切作用减弱,膨胀性降低^[19];吸油性逐渐减小,原因可能是膨化温度的升高增大了蛋白质变性与降解。

2.5 挤压温度对挤出物碘蓝值的影响

由图 2 可知,随挤压温度的增大,马铃薯全粉的碘蓝值逐渐增大,差异性显著。说明挤压温度对马铃薯全粉碘蓝值影响显著,原因可能是温度的升高致使淀粉受破坏程度增大。

2.6 挤压温度对挤出物糊化特性的影响

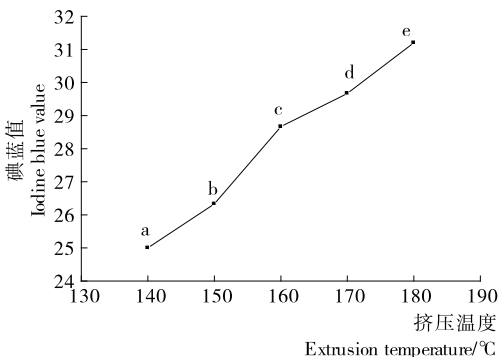
挤压温度对马铃薯全粉糊化特性的影响见表 4,其中当



不同字母表示差异显著(P<0.05)

图 1 物料含水量对挤出物碘蓝值的影响

Figure 1 Material moisture’s influence on iodine blue value of potato powder



不同字母表示差异显著(P<0.05)

图 2 挤压温度对马铃薯全粉游离淀粉碘蓝值的影响

Figure 2 Extrusion temperature’s influence on iodine blue value of potato powder

表 2 物料含水量对挤出物糊化特性的影响[†]

Table 2 Material moisture’s influence on gelatinization characteristics of potato powder

水分添加量/%	糊化温度/℃	峰值黏度/(Pa·s)	谷值黏度/(Pa·s)	最终黏度/(Pa·s)	衰减值/(Pa·s)	回生值/(Pa·s)
20	85.02±1.68 ^c	102.33±24.58 ^a	42.67±8.14 ^a	126.33±16.65 ^a	59.66±11.93 ^a	83.66±4.04 ^a
25	50.20±0.48 ^a	106.00±10.21 ^a	46.00±6.56 ^b	138.00±18.25 ^a	60.00±32.19 ^a	92.00±13.75 ^a
30	69.60±0.03 ^b	106.33±12.66 ^a	46.92±21.63 ^b	196.00±22.52 ^b	59.41±6.11 ^a	149.08±27.18 ^b
35	80.55±0.03 ^c	229.33±53.03 ^b	48.67±12.66 ^b	217.00±7.21 ^c	180.66±3.21 ^b	168.33±3.21 ^b

† 同列不同字母表示差异显著(P<0.05)。

表 3 挤压温度对挤出物水溶性、吸水性、膨胀性、吸油性的影响[†]

Table 3 Extrusion temperature’s influence on water-solubility, water-absorption, expansibility, oil-absorption of potato powder

挤压温度/℃	水溶性/%	吸水性/%	膨胀性/(mL·g ⁻¹)	吸油性/(mL·g ⁻¹)
140	5.17±0.17 ^a	5.33±0.13 ^c	3.12±0.03 ^a	0.96±0.09 ^d
150	5.22±0.15 ^a	4.69±0.08 ^d	3.83±0.07 ^b	0.91±0.09 ^c
160	5.52±0.12 ^b	4.16±0.08 ^c	4.54±0.08 ^c	0.89±0.08 ^{bc}
170	6.49±0.09 ^c	3.18±0.09 ^a	4.83±0.08 ^d	0.82±0.11 ^b
180	7.62±0.09 ^d	3.12±0.09 ^a	4.65±0.09 ^{cd}	0.69±0.09 ^a

† 同列不同字母表示差异显著(P<0.05)。

表 4 挤压温度对挤出物糊化特性影响[†]

Table 4 Extrusion temperature's influence on gelatinization characteristics of potato powder

膨化温度/℃	糊化温度/℃	峰值黏度/(Pa·s)	谷值黏度/(Pa·s)	最终黏度/(Pa·s)	衰减值/(Pa·s)	回生值/(Pa·s)
140	67.32±0.52 ^a	435.33±53.03 ^c	72.00±21.63 ^c	169.00±18.25 ^b	363.33±32.19 ^c	97.00±13.75 ^b
150	85.07±0.53 ^b	288.67±96.02 ^b	47.33±95.06 ^b	137.00±37.03 ^b	241.34±14.29 ^b	89.67±66.76 ^b
160	91.15±0.03 ^c	160.00±12.66 ^a	38.00±6.56 ^a	83.00±22.52 ^a	122.00±6.11 ^a	45.00±27.18 ^a

† 同列不同字母表示差异显著(P<0.05)。

挤压温度为 170,180 ℃时,挤出物糊化温度高于 95 ℃,糊化特性无法测定。

由表 4 可知,随着挤压温度的增大,马铃薯全粉糊化温度逐渐增大,且差异性显著,原因可能是挤压温度过高,物料在机筒内焦糊并结成硬块^[20];峰值、谷值、最终黏度逐渐减小,峰值黏度、谷值黏度差异性显著,可能是温度升高使得大分子物质发生降解,物料吸水溶胀能力降低,黏度下降;衰减值、回生值逐渐减小,且差异性显著,说明挤压温度的增大提高了全粉的热稳定性,降低其凝胶性。

2.7 螺杆转速对挤出物水溶性、吸水性、膨胀性、吸油性的影响

由表 5 可知,随螺杆转速的增大,马铃薯全粉的水溶性逐渐增大;吸水性逐渐减小,差异性显著,原因可能是随螺杆转速的增大,剪切作用增强,纤维素、淀粉等大分子降解程度增大^[21];膨胀性先增大后减小,在 360 r/min 时最大,这是由于转速直接影响机腔内剪切力和压力,随着转速的增大,产生的剪切力增大,在机头处产生的压力增大,物料在机头处被挤出时所受到的内外压差增大,膨胀性增大,但转速过高,物料在机腔内滞留时间缩短,大分子物质未完全降解就被挤出,膨胀性降低^[22];吸油性逐渐减小,原因可能是转速增大增加了大分子物质的降解。

2.8 螺杆转速对挤出物碘蓝值的影响

由图 3 可知,随螺杆转速的增大,马铃薯全粉的碘蓝值逐渐增大,说明转速越大,淀粉受破坏的程度越大。

表 5 螺杆转速对挤出物水溶性、吸水性、膨胀性、吸油性的影响[†]

Table 5 Screw rotation speed's influence on water-solubility, water-absorption, expansibility, oil-absorption of potato powder

螺杆转速/(r·min ⁻¹)	水溶性/%	吸水性/%	膨胀性/(mL·g ⁻¹)	吸油性/(mL·g ⁻¹)
240	5.43±0.07 ^a	5.40±0.07 ^e	3.39±0.01 ^a	1.16±0.12 ^d
280	5.45±0.07 ^a	4.82±0.01 ^d	3.52±0.01 ^a	1.15±0.12 ^d
320	5.46±0.11 ^a	4.48±0.01 ^c	4.62±0.11 ^b	0.90±0.07 ^c
360	5.92±0.09 ^b	4.25±0.03 ^b	6.85±0.13 ^c	0.82±0.07 ^b
400	6.35±0.09 ^c	3.98±0.03 ^a	4.46±0.09 ^b	0.70±0.06 ^a

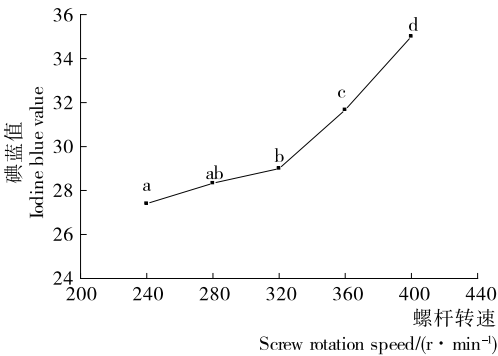
† 同列不同字母表示差异显著(P<0.05)。

表 6 螺杆转速对挤出物糊化特性的影响[†]

Table 6 Screw rotation speed's influence on gelatinization characteristics of potato powder

螺杆转速/(r·min ⁻¹)	糊化温度/℃	峰值黏度/(Pa·s)	谷值黏度/(Pa·s)	最终黏度/(Pa·s)	衰减值/(Pa·s)	回生值/(Pa·s)
240	90.80±1.68 ^a	136.33±24.58 ^a	41.67±12.66 ^a	82.33±16.65 ^a	94.66±11.93 ^a	40.66±4.04 ^a
280	89.20±0.52 ^a	160.00±53.03 ^{ab}	48.00±21.63 ^a	120.00±18.25 ^{ab}	112.00±32.19 ^b	72.00±13.75 ^b
320	85.10±0.53 ^a	176.67±96.02 ^b	66.33±95.06 ^b	140.34±37.03 ^b	110.34±14.29 ^b	74.01±66.76 ^b

† 同列不同字母表示差异显著(P<0.05)。



不同字母表示差异显著(P<0.05)

图 3 螺杆转速对挤出物碘蓝值的影响
Figure 3 Screw rotation speed's influence on iodine blue value of potato powder

2.9 螺杆转速对挤出物糊化特性的影响

由表 6 可知,随螺杆转速的增大,马铃薯全粉糊化温度逐渐减小,差异性不显著,当螺杆转速为 360,400 r/min 时,马铃薯全粉糊化温度高于 95 ℃,糊化特性无法测定,原因可能是在转速为 240~320 r/min 时,转速的增大使淀粉分子受到的剪切作用增强,水分易于渗透,淀粉更易糊化,而螺杆转速过高,物料在机腔内滞留时间较短,混合不均匀,较难糊化;峰值、谷值、最终黏度逐渐增大;衰减值先增大后减小,说明较低的螺杆转速下,马铃薯全粉的热稳定性较强;回生值逐渐增大,说明螺杆转速的增大提高马铃薯全粉的凝胶性。

3 结论

研究表明,马铃薯全粉的理化性质随挤压膨化参数的变化会发生显著变化,挤压膨化处理能够改善马铃薯全粉的一些理化性质,可通过相应的挤压膨化处理得到具有相应理化性质的全粉,应用于马铃薯产品的加工中。挤压膨化过程中,物料含水量的增大能够降低马铃薯全粉的水溶性、碘蓝值,提高其吸水性、吸油性,而挤压温度和螺杆转速的作用相反。随物料含水量、挤压温度、螺杆转速的增大,膨胀性先增大后减小,说明加工过程中应控制适宜的挤压条件以得到膨胀性较好的马铃薯产品。

适当的物料含水量、螺杆转速能够降低全粉的糊化温度;物料含水量、挤压温度、螺杆转速的增大能够提高全粉的糊化黏度;物料含水量为 30%时,全粉的热稳定性较好,挤压温度的增大能够提高全粉的热稳定性;物料含水量、螺杆转速的增大能够提高全粉的凝胶性,而挤压温度的作用相反。

参考文献

[1] 宋国安. 马铃薯全粉及其系列产品开发前景广阔[J]. 山东食品科技, 1999(6): 19-20.

[2] 庞芳兰. 发达国家马铃薯产业的发展及启示[J]. 世界农业, 2008(3): 53-55.

[3] 吕世安. 中国马铃薯产业发展现状与趋势[J]. 湖北民族学院学报: 自然科学版, 2002, 20(4): 29-34.

[4] 刘红武. 食品挤压技术[J]. 食品科学, 2000, 21(12): 184-187.

[5] 杜冰, 梁淑如, 程燕锋, 等. 挤压膨化加工过程参数及其影响[J]. 食品与机械, 2008, 24(5): 133-136.

[6] CHINNASWAMMY R, HANA M A. Relationship between amylase content and expansion properties of corn starches [J]. Cereal Chemistry, 1988, 65(2): 138-143.

[7] DISSING U, MATTIASSON B. Polyelectrolyte complexes as vehicles for affinity precipitation of proteins[J]. Journal of Bio-

technology, 1996, 52(1): 1-10.

[8] 解铁民, 高扬, 张英蕾, 等. 挤压参数对薏米挤出产品物理特性的影响[J]. 食品与机械, 2013, 29(1): 18-22, 101.

[9] 吴卫国, 谭兴和, 熊兴耀, 等. 不同工艺和马铃薯品种对马铃薯颗粒全粉品质的影响[J]. 中国粮油学报, 2006, 21(6): 98-102.

[10] 廖卢艳, 吴卫国. 不同淀粉糊化及凝胶特性与粉条品质的关系[J]. 农业工程学报, 2014, 30(15): 332-338.

[11] 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.

[12] 赵学伟, 魏益民, 张波. 挤压对小米蛋白溶解性和分子量的影响[J]. 中国粮油学报, 2006, 21(2): 38-42.

[13] 杜双奎. 玉米品种籽粒品质与挤压膨化特性研究[D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2006: 18-24.

[14] 李向阳, 刘传富, 刁恩杰, 等. 双螺杆挤压对膨化小米糊化特性的影响研究[J]. 中国粮油学报, 2009, 24(5): 44-46.

[15] 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.

[16] NOOSUK P, HILL S E, PRADIPASENA P, et al. Structure-viscosity relationships for that rice starches[J]. Starch, 2003, 55(8): 337-344.

[17] 黄诚, 周长春, 尹红, 等. 玉米产品挤压膨化特性的影响因素[J]. 食品与发酵工业, 2007, 33(4): 91-93.

[18] 朱永义, 赵仁勇, 林利忠. 挤压膨化对糙米理化特性的影响[J]. 中国粮油学报, 2003, 18(2): 14-16.

[19] OKE M O, AWONORIN S O, WORKNEH T S. Expansion ratio of extruded water yam starches using a single screw extruder[J]. African Journal of Agricultural Research, 2013, 8(9): 750-762.

[20] 凌彬. 营养膨化米果的开发研究[D]. 武汉: 武汉工业学院, 2012: 33-39.

[21] 朱永义, 赵仁勇, 林利忠. 挤压膨化对糙米理化特性的影响[J]. 中国粮油学报, 2003, 18(2): 45-47.

[22] 吴广森. 紫糯全麦粉的挤压膨化处理及其应用研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2015: 22-24.

(上接第 11 页)

[4] 彭晓虹, 杨普香, 黎小萍. 桑果汁饮料工艺技术的研究[J]. 食品科技, 2003(11): 64-73.

[5] 徐辉艳, 濮智颖, 王汉屏, 等. 桑葚果醋发酵工艺条件的研究[J]. 食品工业科技, 2009(2): 164-165.

[6] 赵祥杰, 杨荣玲, 肖更生, 等. 桑葚果酒专用酵母的筛选及鉴定[J]. 中国食品学报, 2008, 8(1): 60-65.

[7] 赖剑峰. 桑葚酒发酵过程中花青素的生物转化研究[D]. 南昌: 江西农业大学, 2013: 9-15.

[8] 陈娟, 阚建全, 张荣, 等. 蜂蜜桑葚酒主要成分的分析[J]. 食品与发酵工业, 2011, 37(2): 113-119.

[9] 姚汝华. 微生物工程工艺原理[M]. 2 版. 广州: 华南理工大学出版社, 2005: 129-156.

[10] HYOHAK S, MOON-HO E, SIRA L, et al. Modeling of batch experimental kinetics and application to fed-batch fermentation of Clostridium tyrobutyricum for enhanced butyric acid production[J]. Biochemical Engineering Journal, 2010, 53(1): 71-76.

[11] GÜLNUR B, PEMRA D, BETÜL K, et al. Mathematical description of ethanol fermentation by immobilized saccharo-myc

erevisiae[J]. Process Biochemistry, 1998, 33(7): 763-771.

[12] 郑启富, 朱益民, 杨锡宝. 发酵动力学建模的新方法[J]. 安徽化工, 2002(6): 49-50.

[13] IKASARI L, MITCHELL D. Two-phase model of the kinetics of growth of rhizopusoligosporus in membrane culture[J]. Bio-technol. Bioeng, 2000(68): 619-627.

[14] 陈祖满. 桑葚果酒酿造技术[J]. 中国酿造, 2005(4): 62-64.

[15] WANG Chu-yan, LIU Yan-wei, JIA Jun-qiang, et al. Optimization of fermentation process for preparation of mulberry fruit wine by response surface methodology[J]. African Journal of Microbiology Research, 2013, 7(3): 227-236.

[16] 王春晓, 江路, 刘延琳. DNS 法监控葡萄酒发酵进程的应用研究[J]. 中国酿造, 2012, 31(9): 24-27.

[17] 张勇, 李从发, 艾遥琴, 等. 蜂蜜酒发酵动力学研究[J]. 食品工业科技, 2015, 36(5): 136-139.

[18] 李秀萍, 吴幼茹, 王在谦. 甘蔗果酒发酵动力学研究[J]. 酿酒科技, 2015(5): 42-45.

[19] 徐抗震, 宋纪蓉, 伍星, 等. 发酵生产苹果酒的放大和动力学研究[J]. 食品科学, 2005, 26(4): 27-31.