

红薯粉无铝工艺优化

Optimization of aluminum-free process for sweet potato powder producing

石 彬 李咏富 龙明秀 何扬波 田竹希 梁 倩

SHI Bin LI Yong-fu LONG Ming-xiu HE Yang-bo TIAN Zhu-xi LIANG Qian

(贵州省现代农业发展研究所, 贵州 贵阳 550009)

(Guizhou Institute of Integrated Agricultural Development, Guiyang, Guizhou 550009, China)

摘要:通过异淀粉酶对红薯淀粉进行改性,以天然多糖代替明矾作为添加剂,研究无明矾红薯粉制作工艺,并对加水量、加热温度、多糖添加量、老化时间等关键因素进行优化,以红薯淀粉的糊化特征值、凝胶性质、蒸煮性质、剪切力、断条率与拉伸力等作为指标考察不同条件对红薯粉性质的影响。结果表明,异淀粉酶能提升淀粉中直链淀粉含量,提升淀粉凝胶性质,瓜尔豆胶能有效替代明矾,提升红薯粉品质。各因素对指标影响大小的顺序为加水量>加热温度>老化时间>瓜尔豆胶添加量,最优工艺条件为加水量 80%、加热温度 90℃、瓜尔豆胶添加量 0.3%、老化时间 10 h。

关键词:红薯粉;明矾;瓜尔豆胶;条件优化

Abstract: The sweet potato starch was modified by isoamylase, and the natural polysaccharide was used instead of alum as additive to study the process of making sweet potato powder without alum. Moreover, several key factors including water quantity, heating temperature, polysaccharide addition amount and aging time were optimized. The effects of different conditions on the properties of sweet potato starch were examined by using gelatinization characteristic value, gel properties, cooking properties, shear force, breaking rate and tensile force of sweet potato starch as indexes. The results showed that isoamylase could increase amylose content and enhance starch gel properties, and guar gum could effectively replace alum and improve the quality of sweet potato powder. The order of the influence of each factor on the index was as follows. From high to low, they were water addition, heating temperature, aging time, and addition amount

of guar bean gum. The optimal process combination was found to be adding 80% water and 0.3% guar bean gum, heating at 90℃, and aging for 10 h.

Keywords: sweet potato powder; alum; guar gum; condition optimization

粉条是中国的一种传统美食,又被称作粉丝、冬粉等^[1]。红薯粉是以红薯淀粉为主要原料制作而成的一种特色美食,其外观晶莹剔透,口感软糯香甜,深受人们喜爱^[2]。研究^[3-6]表明,红薯中除了含有丰富的碳水化合物外,还含有维生素和氨基酸等营养物质,相对其他淀粉类谷物而言,其热量低,对减肥瘦身、延缓衰老也有一定的作用,是一种健康的保健食品。而传统的红薯粉在加工生产过程中,往往存在成品韧性差,不耐煮等问题^[7-8],生产者往往选择在配方中加入明矾^[9-10]。长期摄入含有明矾的食物会损害人的神经系统,引发痴呆、智力衰退等一系列问题^[11-13]。目前市面上已出现了无铝红薯粉丝,但仍普遍存在断条率高、易糊汤等质量问题,一定程度上制约了产业的发展^[14],因此无明矾的红薯粉制作新工艺成为研究的一个热点^[15]。试验拟以异淀粉酶对红薯淀粉进行改性,同时以卡拉胶、瓜尔豆胶、槐豆胶 3 种天然碳水化合物代替明矾对红薯粉生产过程中的关键因素进行优化,以期通过安全绿色的方法实现红薯粉制作过程的无铝化,同时提高无明矾红薯粉的质量与生产效益,为红薯粉科学生产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

红薯淀粉:龙薯 10 号红薯淀粉,贵州省农业科学院;碘、直链淀粉标准品、支链淀粉标准品、异淀粉酶(产气杆菌发酵提炼产物):上海经科化学科技有限公司;

卡拉胶、瓜尔豆胶、槐豆胶:食品级,河南万邦实业有限公司。

基金项目:贵州省科技支撑计划项目(编号:黔科合支撑[2018]2307 号);贵州省特色农产品辐照保鲜技术服务企业行动计划项目(编号:黔科合平台人才[2016]5712 号)

作者简介:石彬,男,贵州省现代农业发展研究所研究实习生,硕士。

通信作者:李咏富(1985—),男,贵州省现代农业发展研究所副研究员,博士。E-mail:liyongfu1985@163.com

收稿日期:2020-04-30

1.1.2 主要仪器设备

多功能质构仪:TA20 型,上海保圣实业发展有限公司;

均质仪:AYL400 型,南通奥亚精密机械制造有限公司;

恒温水浴锅:HH-601 型,常州市金坛区环宇科学仪器厂;

紫外—可见分光光度计:Alpha1860S 型,上海谱元仪器有限公司;

全自动黏度仪:AVM-2 型,杭州卓祥科技有限公司。

1.2 方法

1.2.1 工艺流程

水、添加剂
↓
淀粉原料→打糊(制芡)→和面→煮粉糊化→压面成型→冷却(低温老化)→干燥(自然风干)→成品

工艺要点:

(1) 打糊:向红薯淀粉中加入适量的纯净水,搅拌使之充分溶解成均匀的淀粉糊。

(2) 煮粉糊化:将充分溶解后的红薯淀粉于水浴锅中加热,同时不停地搅拌,直至淀粉变为黏稠透明状。

(3) 冷却干燥:将压面成型的红薯粉条浸入冷水中冷却,约 10 s 后迅速取出,于阴凉通风条件下自然冷却干燥。

1.2.2 红薯淀粉改性 准确称取 50 g 红薯淀粉(以干基计算),加入纯净水搅拌使之充分溶解,40 ℃ 水浴中孵育 5 min,向淀粉糊中加入不同剂量的异淀粉酶,充分搅拌,混匀。40 ℃ 下静置反应 30 min,按 GB/T 15683—2008 的方法测定淀粉溶液中直链淀粉含量。

1.2.3 淀粉糊化特征值的测定 利用快速黏度仪进行测定。将红薯淀粉样品放入干燥器中干燥 24 h,根据试验设计计算出样品实际水的添加量,并配置成相应的淀粉溶液进行 RVA 测试。根据文献[16]的方法并修改:将淀粉悬浮液于 50 ℃ 平衡 1 min,以 12 ℃/min 的速率加热至 95 ℃,保温 2.5 min,再以 12 ℃/min 的速率冷却至 50 ℃,保温 2 min,整个过程 13 min。测定参数包括峰值黏度、谷值黏度、最终黏度、回生值、衰减值,每组样品重复测试 3 次,取平均值。

1.2.4 凝胶性质测试 选择长度相同,粗细均匀的红薯粉丝成品,沸水中煮至中心白色完全消失,放入冷水中冷却,用吸水纸吸干粉条表面水分,每次取 6 根长度一致、大小均匀的粉丝并排放于测试台上,每根粉丝之间留出一定间隙,选择质构仪 P50 探头进行 TPA 测试。每组样品重复 3 次,取平均值。参数设定:探头量程 1 000 N;测定模式为压缩模式,运行速度 40 mm/min;压缩形变量 50%;触发感应力 0.038 N。每组样品重复 3 次,取平

均值。

1.2.5 剪切力测试 选择 A/LKB-F 探头进行剪切力测试。感应力 20 g;测试形变 90%;测前速度 2.0 mm/s;测试速度 1.7 mm/s;测后速度 2.0 mm/s,得到样品最大剪切力,每组测试重复 5 次,取平均值。

1.2.6 拉伸试验 将粉丝两端分别用夹具固定进行拉伸测试。选择质构仪测定模式为拉伸测试;探头为 A/SR 夹具;拉升距离 40 mm;感应力 0.038 N;测前速度 3 mm/s;测试速度 1 mm/s;测后速度 3 mm/s;每组测试重复 5 次,取平均值。

1.2.7 断条率的测定 选择长短、大小均一的红薯粉丝成品,于蒸馏水中煮沸 20 min,计算煮后粉丝断条数。每组样品重复测试 3 次,取平均值,按式(1)计算断条率。

$$c = \frac{n}{n_0} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

c ——断条率,%;

n ——断条数;

n_0 ——原样品条数。

1.2.8 单因素试验

(1) 异淀粉酶添加量:固定加水量 80%,加热温度 80 ℃,瓜尔豆胶添加量 0.2%,老化时间 10 h,考察异淀粉酶添加量(0,40,80,120,160,200,240 U/g)对红薯粉直链淀粉含量和凝胶性质的影响。

(2) 加水量:固定异淀粉酶添加量 160 U/g,加热温度 80 ℃,瓜尔豆胶添加量 0.2%,老化时间 10 h,考察加水量(60%,70%,80%,90%,100%)对红薯粉糊化特性的影响。

(3) 加热温度:固定异淀粉酶添加量 160 U/g,加水量 80%,瓜尔豆胶添加量 0.2%,老化时间 10 h,考察加热温度(60,70,80,90,100 ℃)对红薯粉凝胶性质的影响。

(4) 多糖种类及添加量:固定异淀粉酶添加量 160 U/g,加水量 80%,加热温度 80 ℃,老化时间 10 h,考察明矾、卡拉胶、瓜尔豆胶、槐豆胶 4 种添加剂在不同剂量下(0.1%,0.2%,0.3%,0.4%,0.5%)对红薯粉品质的影响。

(5) 老化时间:固定异淀粉酶添加量 160 U/g,加水量 80%,加热温度 80 ℃,瓜尔豆胶添加量 0.2%,考察老化时间(2,4,6,8,10,12,14 h)对红薯粉品质的影响。

1.2.9 正交试验 根据单因素试验结果,选择加水量、加热温度、瓜尔豆胶添加量、老化时间为因素,以剪切力、弹性、断条率、拉伸力为指标进行正交试验。并根据文献[1]的方法对红薯粉品质评价采用综合加权评分法,剪切力、弹性、断条率、拉伸力 4 项指标各占 25 分,总分 100 分。

1.2.10 数据处理 采用 Origin 9.0 软件进行作图;采用

SPSS 19.0 软件进行数据统计分析处理,使用 Duncan 显著性分析。

2 结果与分析

2.1 异淀粉酶添加量对红薯粉品质的影响

由图 1 可知,红薯淀粉中直链淀粉含量随异淀粉酶添加量的增大而增大。当酶添加量<80 U/g 时,直链淀粉含量增加较慢,可能是由于酶含量过低,未能充分与底物中 α -1,6 糖苷键反应,导致产物直链淀粉含量变化不大。当酶添加量>80 U/g 时,直链淀粉含量上升速度加快;当酶添加量为 160 U/g 时,直链淀粉含量趋于稳定,表明此时异淀粉酶含量达到了阈值,在底物一定的情况下,继续增加酶含量对反应影响不大。

由表 1 可知,随着异淀粉酶添加量的增加,凝胶的硬度、内聚性、弹性、胶黏性、咀嚼性增大。当酶添加量为 80 U/g 时,各凝胶性质均显著高于空白样品 ($P<0.05$);当酶添加量为 160,200,240 U/g 时,各凝胶性质均达最大值,除硬度外,3 组样品的内聚性、弹性、胶黏性、咀嚼性无显著差异 ($P>0.05$),表明异淀粉酶含量在 160 U/g

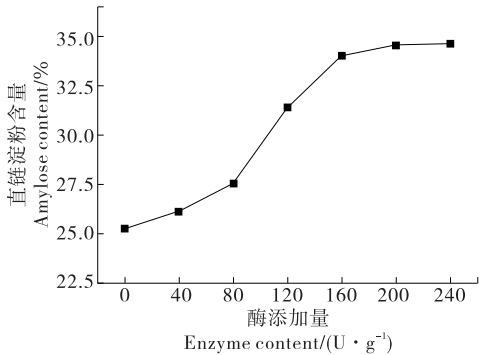


图 1 异淀粉酶添加量对直链淀粉含量的影响

Figure 1 Effect of different enzyme quantity on amylose content

表 1 异淀粉酶添加量对淀粉凝胶性质的影响[†]

Table 1 Effects of different enzymes on the properties of starch gel

酶添加量/ (U · g ⁻¹)	硬度/ N	内聚性	弹性/ mm	胶黏性/ N	咀嚼性/ mJ
0	27.82 ^a	0.38 ^a	1.45 ^a	13.67 ^a	22.64 ^a
40	31.64 ^b	0.41 ^{ab}	1.43 ^a	14.25 ^{ab}	28.72 ^b
80	33.85 ^c	0.43 ^b	1.53 ^b	14.82 ^b	30.48 ^c
120	34.81 ^d	0.48 ^c	1.66 ^c	16.71 ^c	34.82 ^d
160	37.95 ^e	0.51 ^{cd}	1.74 ^d	17.92 ^d	38.95 ^e
200	38.32 ^f	0.53 ^d	1.78 ^d	17.99 ^d	39.04 ^e
240	38.51 ^f	0.53 ^d	1.73 ^{cd}	18.14 ^d	39.01 ^e

[†] 字母不同表示差异显著 ($P<0.05$)。

左右时达到了阈值,对淀粉凝胶性质影响最大。综合考虑,以 160 U/g 为合适的异淀粉酶添加量。

2.2 加水量对红薯淀粉品质的影响

由表 2 可知,加水量对红薯淀粉糊的状态有较大影响,不同加水量的淀粉糊之间的黏度与应力存在显著差异 ($P<0.05$)。当加水量为 60% 时,淀粉糊流动性差,有淀粉结块现象,不能充分溶解,黏度和应力偏小。当加水量>70% 时,淀粉糊的黏度和应力随加水量的增加而减小,淀粉糊流动状态良好。当加水量为 70%~80% 时,淀粉糊的黏度和应力最大,黏稠度适中,流动状态较好。当加水量增大至 90% 时,淀粉的黏度和应力迅速下降,黏稠度较低,影响成糊。表明合适的加水量对淀粉成糊有着十分重要的作用,加水量过低会导致结块,而加水量过高则会导致淀粉糊过稀,不利于糊化。

由表 3 可知,淀粉的峰值黏度、谷值黏度、最终黏度以及回生值均随加水量的增加先增大后减小。峰值黏度反映了淀粉在糊化升温过程中的膨胀度与结合水的能

表 2 加水量对淀粉糊状态的影响[†]

Table 2 Effect of different water quantity on starch paste state

加水量/ %	黏度/ (Pa · s)	应力/ Pa	淀粉糊状态
60	3.86 ^a	9.27 ^b	很黏稠,流动性差,有部分淀粉结块,不易搅拌
70	1.85 ^b	38.64 ^c	较黏稠,流动性较好,有少量淀粉结块,较易搅拌
80	1.77 ^c	35.50 ^d	黏稠度适中,流动性好,无结块,易搅拌
90	0.86 ^d	5.17 ^c	糊较稀,流动性好,无结块,易搅拌
100	0.16 ^e	1.13 ^a	糊很稀,流动性好,无结块,易搅拌

[†] 字母不同表示差异显著 ($P<0.05$)。

表 3 加水量对淀粉糊化特征值的影响[†]

Table 3 Effect of different water addition on the characteristic value of starch gelatinization

加水量/ %	峰值黏度/ (Pa · s)	谷值黏度/ (Pa · s)	最终黏度/ (Pa · s)	回生值/ (Pa · s)	衰减值/ (Pa · s)
60	985.64 ^a	674.10 ^b	886.48 ^a	827.66 ^a	305.02 ^b
70	1 085.61 ^b	730.65 ^a	1 174.07 ^b	672.06 ^b	342.02 ^c
80	1 120.52 ^c	825.33 ^c	1 323.52 ^c	732.52 ^c	287.10 ^a
90	986.75 ^a	719.01 ^a	1 056.25 ^d	542.91 ^d	251.68 ^d
100	874.91 ^d	577.34 ^d	864.22 ^a	657.20 ^e	294.60 ^a

[†] 字母不同表示差异显著 ($P<0.05$)。

力^[16],当加水量为 70%和 80%时,样品黏度分别为 1 085.61,1 120.52 Pa·s,与其他组存在显著差异($P<0.05$),加水量继续升高,峰值黏度迅速下降,表明淀粉的结合水能力下降。谷值黏度与最终黏度反映了淀粉形成凝胶的能力,当加水量为 80%时,谷值黏度与最终黏度分别为 825.33,1 323.52 Pa·s,显著高于其他组($P<0.05$),表明此时淀粉形成凝胶能力最强。回生值、衰减值、淀粉的回生能力与热稳定性相关,随着加水量的增加,回生值总体呈下降趋势,当加水量为 60%,70%,80%时回生性能最好;当加水量为 80%,90%,100%时淀粉的衰减值最低,分别为 287.10,251.68,294.60 Pa·s,表明加水量较高时淀粉的热稳定性也随之增强。综上,随着加水量的增加,红薯淀粉整体的结合水能力、形成凝胶能力、回生能力先上升后下降,而热稳定性则不断增强,当加水量为 70%~90%时,淀粉的糊黏状态良好,各项糊化特征值处于较高水平。

2.3 加热温度对淀粉凝胶特性的影响

由表 4 可知,随着淀粉糊化时加热温度的改变,红薯淀粉的硬度、内聚性、弹性、胶黏性、咀嚼性等凝胶性质均有较大变化。当温度较低时,淀粉的各凝胶特性随温度的升高迅速增大,可能是由于温度较低,不能彻底破坏淀粉粒晶体结构,使之成为非结晶性的淀粉,导致糊化不完全,随着温度的升高,淀粉粒之间的晶体结构被完全破坏,能够充分糊化。当温度继续升高时,各凝胶特性开始减小,可能是由于高温破坏了淀粉分子的螺旋形二级结构,内部疏水基团外露,样品糊化受到影响,从而影响凝胶性质。当糊化温度从 60℃升高至 70℃时,样品的硬度与内聚性明显提升,说明 60~70℃的红薯淀粉可能存在糊化不充分到充分糊化的过程;当温度为 80℃时,样品的硬度、内聚性、胶黏性、咀嚼性分别为 39.14 N,0.58,22.64 N,36.82 mJ,显著高于其他温度($P<0.05$),表明 80℃时的淀粉中网状结构较多,能充分形成凝胶结构;而当糊化时温度为 90℃时,样品的各项凝胶特性迅速降低,表明温度为 80~90℃时,高温对淀粉分子的二级结

表 4 温度对红薯淀粉凝胶特性的影响[†]
Table 4 Effect of different temperature on gel properties of sweet potato starch

糊化温度/ ℃	硬度/ N	内聚性	弹性/ mm	胶黏性/ N	咀嚼性/ mJ
60	27.68 ^a	0.38 ^a	1.62 ^c	14.85 ^a	28.06 ^a
70	35.70 ^b	0.52 ^b	1.75 ^b	18.77 ^c	32.45 ^b
80	39.14 ^c	0.58 ^c	1.74 ^b	22.64 ^d	36.82 ^c
90	30.75 ^a	0.43 ^d	1.28 ^d	14.90 ^a	20.44 ^d
100	28.19 ^a	0.36 ^e	1.01 ^a	11.26 ^b	18.62 ^e

[†] 字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

构造成了一定的影响。综上,当加热温度为 70~90℃时,红薯淀粉糊化比较充分,各凝胶特性处于较高水平。

2.4 多糖种类及添加量对红薯粉品质的影响

由表 5 可知,明矾对红薯粉的断条率和拉伸力影响较大,当添加量为 0.3%时,样品的断条率、拉伸力分别为 15.34%、0.67 N,与其他添加量存在显著差异($P<0.05$),当添加剂量继续增大时,各指标下降较快,表明 0.2%~0.3%为合适的明矾添加剂量。卡拉胶作为添加剂时,除干物质含量外,对其他性质均有一定的提升,但整体效果不如明矾,当添加量为 0.2%时,样品的拉伸力与断条率分别为 0.59 N 和 23.75%,显著优于其他添加量($P<0.05$),而剪切力与蒸煮损失率则分别在 0.3%与 0.4%时达最佳,表明合适的卡拉胶添加剂量为 0.2%~0.4%。以瓜尔豆胶作为添加剂时,样品的剪切力与拉伸力提升明显,蒸煮损失率与断条率均降到了较低水平,当添加量为 0.2%时,样品的剪切力达最大,为 7.59 N,蒸煮损失率、断条率均达最低,分别为 3.72%,17.66%,而当添加量为 0.3%时,拉伸力达最大,为 0.62 N,表明 0.2%~0.4%为瓜儿豆胶合适的添加量。槐豆胶主要影响样品的剪切力、断条率和拉伸力,当添加量为 0.2%时,断条率为 19.50%,显著低于其他添加量($P<0.05$),当添加量为 0.3%时,剪切力和拉伸力分别为 6.58,0.66 N,高于其他添加量,表明 0.1%~0.3%为槐豆胶合适的添加量。综上,4 种多糖均对红薯粉品质有一定提升,可能是由于天然多糖作为添加剂时,能增加淀粉的黏度,增强淀粉与水的结合能力,使直链淀粉糊化时形成的凝胶基质增多,促进了凝胶网络的形成,从而增强样品的弹性、韧性等品质。其中瓜尔豆胶对红薯粉的品质影响最大,与明矾相比,在最优添加剂量下,整体与明矾效果差异不大,可以作为明矾的有效替代品。

2.5 老化时间对红薯粉品质的影响

由图 2 可知,老化时间对红薯粉的剪切力、弹性、断条率与拉伸力都有较大影响,其中剪切力、弹性、拉伸力随老化时间的增加呈先增大后减小的趋势,断条率则随老化时间的增加先减小后增大。当老化时间为 8 h 时,样品的弹性达最大值,为 1.44 mm,继续增加老化时间,样品弹性开始缓慢下降。当老化时间为 10 h 时,剪切力与拉伸力达到峰值,分别为 6.50,0.54 N,继续增加老化时间,样品的剪切力和拉伸力迅速下降。而样品的断条率则在老化时间为 10 h 时达最低,为 26.82%,当老化时间>10 h 时,断条率随之上升,可能是由于老化开始阶段,随着老化时间的增加,淀粉内部微晶束逐渐增多,粉条表面的凝胶网络由疏变密,粉条各项指标随之增强。但当老化超过一定时间后,粉条内部的微晶束逐渐增多,内部凝胶网络由弱到强,粉条表面的强度不能抵抗拉伸过程中粉条内部产生的应力,导致质构测定的各指标下

表 5 多糖种类及添加量对红薯粉性质的影响[†]
Table 5 Effects of different polysaccharides on the properties of sweet potato powder

种类	添加量/%	剪切力/N	干物质含量/%	蒸煮损失率/%	断条率/%	拉伸力/N
空白	0.0	4.26	74.92	9.97	31.05	0.51
	0.1	4.98 ^b	72.86 ^a	6.05 ^a	24.62 ^a	0.55 ^a
	0.2	5.66 ^a	73.68 ^a	5.37 ^b	18.75 ^b	0.62 ^b
明矾	0.3	6.43 ^c	78.82 ^b	5.82 ^c	15.34 ^c	0.67 ^c
	0.4	5.58 ^a	75.50 ^{ab}	6.73 ^d	20.56 ^d	0.56 ^a
	0.5	4.49 ^d	77.63 ^b	6.58 ^c	23.25 ^e	0.52 ^a
卡拉胶	0.1	4.42 ^a	69.75 ^a	7.55 ^a	30.67 ^a	0.55 ^c
	0.2	4.83 ^b	77.42 ^b	6.88 ^b	23.75 ^b	0.59 ^d
	0.3	5.58 ^c	74.89 ^{bc}	6.04 ^c	25.25 ^c	0.48 ^a
瓜尔豆胶	0.4	5.22 ^d	70.96 ^a	5.25 ^d	26.34 ^c	0.53 ^{bc}
	0.5	4.06 ^e	72.64 ^c	8.91 ^e	28.00 ^d	0.49 ^{ab}
槐豆胶	0.1	5.54 ^a	71.65 ^a	5.96 ^a	28.35 ^a	0.54 ^{bc}
	0.2	7.59 ^b	78.50 ^b	3.72 ^b	17.66 ^b	0.59 ^{cd}
	0.3	6.59 ^c	76.41 ^b	4.54 ^c	22.58 ^c	0.62 ^d
槐豆胶	0.4	6.12 ^d	71.04 ^a	6.48 ^d	27.38 ^d	0.53 ^{ab}
	0.5	5.55 ^a	77.53 ^b	6.06 ^e	26.04 ^d	0.48 ^a
槐豆胶	0.1	4.62 ^a	69.76 ^a	5.59 ^a	23.24 ^a	0.52 ^{ab}
	0.2	5.71 ^b	75.82 ^b	5.96 ^b	19.50 ^c	0.56 ^b
	0.3	6.58 ^c	74.75 ^b	5.01 ^c	25.42 ^b	0.66 ^c
槐豆胶	0.4	5.52 ^d	77.24 ^{bc}	6.84 ^d	26.05 ^b	0.62 ^c
	0.5	5.72 ^b	79.84 ^c	7.62 ^e	28.25 ^d	0.51 ^a

[†] 字母不同表示差异显著(P<0.05)。

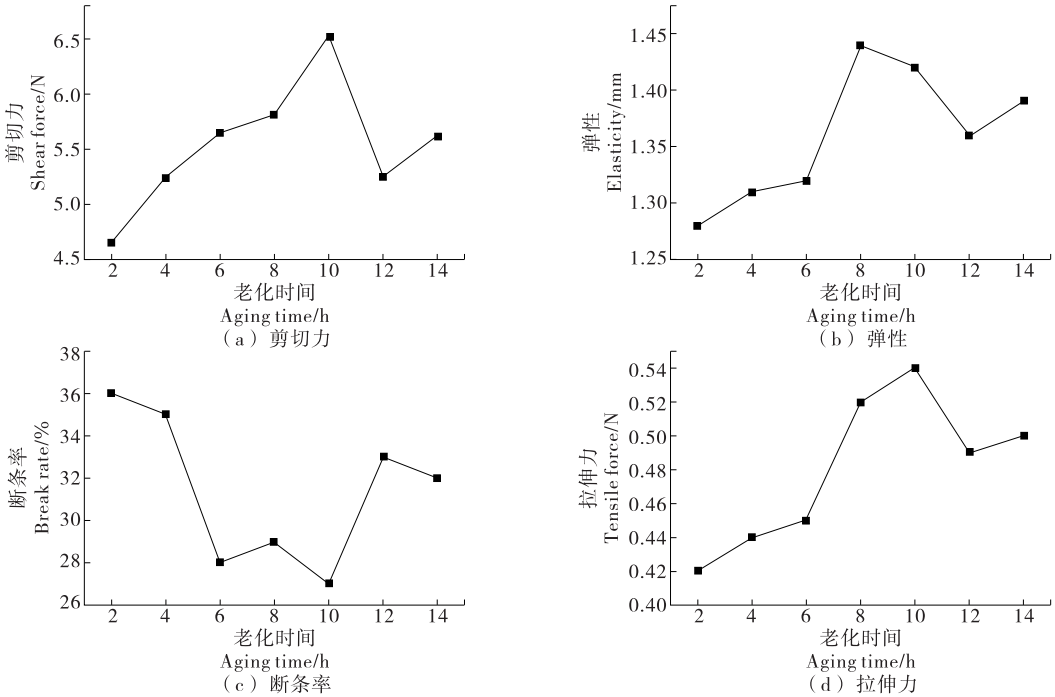


图 2 老化时间对样品性质的影响
Figure 2 Effect of different aging time on sample properties

降。当老化时间为 8~12 h 时,样品的剪切力、弹性、拉伸力较大,断条率较低,表明 8~12 h 为红薯粉比较合适的老化时间。

2.6 正交试验

根据单因素优化结果,选择加水量、糊化温度、瓜尔豆胶添加量以及老化时间为因素,以红薯粉剪切力、弹性、断条率与拉伸力为测试指标进行正交试验,因素水平见表 6,试验结果及分析见表 7。

表 6 因素水平表

Table 6 Level of factors for orthogonal test

水平	A 加水量/ %	B 加热温 度/℃	C 瓜尔豆胶 添加量/%	D 老化时 间/h
1	70	70	0.2	8
2	80	80	0.3	10
3	90	90	0.4	12

表 7 正交试验样品品质分析[†]

Table 7 Quality analysis of orthogonal test samples

试验号	A	B	C	D	剪切力/N	弹性/mm	断条率/%	拉伸力/N	加权评分
1	1	1	1	1	6.12 ^a	1.66 ^e	22.33 ^a	0.42 ^{bc}	70.05
2	1	2	2	2	6.34 ^b	1.53 ^{bc}	26.46 ^b	0.48 ^d	68.35
3	1	3	3	3	6.71 ^c	1.56 ^{cd}	20.75 ^d	0.44 ^{cd}	72.59
4	2	1	2	3	7.46 ^d	1.78 ^f	18.43 ^c	0.58 ^g	84.33
5	2	2	3	1	6.38 ^b	1.62 ^{de}	20.85 ^d	0.53 ^f	75.87
6	2	3	1	2	7.63 ^e	1.66 ^e	15.96 ^e	0.60 ^g	86.33
7	3	1	3	2	6.66 ^f	1.54 ^{bc}	27.04 ^f	0.45 ^{cd}	67.57
8	3	2	1	3	5.34 ^g	1.41 ^a	25.58 ^g	0.37 ^a	57.60
9	3	3	2	1	5.92 ^h	1.48 ^{ab}	24.33 ^b	0.39 ^{ab}	64.56
加	k_1	70.33	73.98	71.32	70.16				
权	k_2	82.17	67.27	72.41	74.08				
评	k_3	63.24	74.49	72.01	71.51				
分	R	18.93	7.22	1.09	3.92				

[†] 字母不同表示差异显著(P<0.05)。

由表 7 可知,6 号样品的剪切力与拉伸力最大,分别为 7.63,0.60 N,断条率最低,为 15.96%;4 号样品的弹性最大,为 1.78 N;7 号样品断条率最高,为 27.04%;8 号样品剪切力、弹性与拉伸力最低,分别为 5.34 N,1.41 mm,0.37 N。根据极差分析结果可知,各因素对指标影响大小的顺序为加水量>加热温度>老化时间>瓜尔豆胶添加量,最优组合为 A₂B₃C₂D₂,即加水量 80%、加热温度 90℃、瓜尔豆胶添加量 0.3%、老化时间 10 h。

极差分析所得的最优组合 A₂B₃C₂D₂不在正交试验列表中,需对其结果进行验证。验证实验(n=3)所得样品剪切力为 7.82 N,弹性为 1.74 mm,断条率为 14.89%,拉伸力为 0.57 N,加权评分为 88.79,优于正交试验设计的任意组合,可以认定 A₂B₃C₂D₂为最佳组合工艺。

3 结论

通过异淀粉酶对红薯淀粉改性和天然多糖作为明矾代替物,研究了无明矾红薯粉的制作工艺。结果表明,最佳无明矾红薯粉制作工艺为加水量 80%、加热温度 90℃、瓜尔豆胶添加量 0.3%、老化时间 10 h,此时样品的剪切力为 7.82 N,弹性为 1.74 mm,断条率为 14.89%,拉伸力为 0.57 N,加权评分为 88.79。后续可进一步对多种天然多糖

添加剂进行筛选和复配,以实现红薯粉的无铝化生产。

参考文献

[1] 范会平,李瑞,王娜,等. 冷冻工艺对无铝红薯粉条品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2016, 42(8): 142-146.

[2] 谭洪卓,谭斌,刘明,等. 甘薯淀粉性质与其粉丝品质的关系[J]. 农业工程学报, 2009(4): 294-300.

[3] 吴仲珍,刘治江,李育生,等. 无矾魔芋红薯粉条的研制及加工工艺[J]. 安徽农业科学, 2013(24): 10 122-10 124.

[4] 王家良,陈光远,王改玲. 提高红薯淀粉得率的浸泡工艺研究[J]. 中国粮油学报, 2011(8): 24-27, 32.

[5] 索海英,德力格尔桑,张航. 无明矾马铃薯粉丝制作工艺及其性能的研究[J]. 粮食与食品工业, 2011(2): 32-35.

[6] 卫萍,杨媚,游向荣,等. 常用食品改良剂对马铃薯米粉品质的影响[J]. 南方农业学报, 2017, 48(2): 314-322.

[7] 岳晓霞,王梁,刘广,等. 马铃薯粉丝生产工艺条件的优化[J]. 食品与机械, 2013, 29(2): 184-187.

[8] FU Bin-xiao. Asian noodles: History, classification, raw materials, and processing [J]. Food Research International, 2008, 41(9): 888-902.

(下转第 224 页)

- [31] FELDL C, MOLLER P, OTTE J, et al. Micellar electrokinetic capillary chromatography for determination of indolyl glucosinolates and transformation products thereof[J]. Analytical Biochemistry, 1994, 217(1): 62-69.
- [32] PARK C H, YEO H J, PARK S Y, et al. Comparative phytochemical analyses and metabolic profiling of different phenotypes of Chinese cabbage (*Brassica Rapa* ssp. *Pekinensis*)[J]. Foods, 2019, 8(11): 587
- [33] HU Ye, LIANG Hao, YUAN Qi-peng, et al. Determination of glucosinolates in 19 Chinese medicinal plants with spectrophotometry and high-pressure liquid chromatography[J]. Natural Product Research, 2010, 24(13): 1 195-1 205.
- [34] ARES A M, BERNAL J, NOZAL M J, et al. Fast determination of intact glucosinolates in broccoli leaf by pressurized liquid extraction and ultra high performance liquid chromatography coupled to quadrupole time-of-flight mass spectrometry[J]. Food Research International, 2015, 76: 498-505.
- [35] TOLRA R P, ALONSO R, POSCHENRIEDER C, et al. Determination of glucosinolates in rapeseed and *Thlaspi caerulescens* plants by liquid chromatography-atmospheric pressure chemical ionization mass spectrometry[J]. Journal of Chromatography A, 2000, 889(1/2): 75-81.
- [36] LEE K C, CHEUK M W, CHAN W, et al. Determination of glucosinolates in traditional Chinese herbs by high-performance liquid chromatography and electrospray ionization mass spectrometry[J]. Analytical and Bioanalytical Chemistry, 2006, 386(7/8): 2 225-2 232.
- [37] TIAN Qing-guo, ROSSELOT R A, SCHWARTZ S J. Quantitative determination of intact glucosinolates in broccoli, broccoli sprouts, Brussels sprouts, and cauliflower by high-performance liquid chromatography-electrospray ionization-tandem mass spectrometry[J]. Analytical Biochemistry, 2005, 343(1): 93-99.
- [38] HWANG I M, PARK B, DANG Y M, et al. Simultaneous direct determination of 15 glucosinolates in eight *Brassica* species by UHPLC-Q-Orbitrap-MS[J]. Food Chemistry, 2019, 282: 127-133.
- [39] 彭佩, 田艳, 邓放明, 等. 基于 HPLC-Q-TOF-MS 技术鉴定不同品种花椰菜叶中硫代葡萄糖苷[J]. 食品与机械, 2019, 35(4): 42-47, 119.
- [40] CAPRIOTTI A L, CAVALIERE C, LA BARBERA G, et al. Chromatographic column evaluation for the untargeted profiling of glucosinolates in cauliflower by means of ultra-high performance liquid chromatography coupled to high resolution mass spectrometry[J]. Talanta, 2018, 179: 792-802.
- [41] 梁浩, 李瑞敏, 袁其朋. 天然活性异硫氰酸酯类化合物的研究进展[J]. 北京化工大学学报(自然科学版), 2015, 42(2): 1-12.
- [42] LIANG Xu, LEE H W, LI Zhi-feng, et al. Simultaneous quantification of 22 glucosinolates in 12 *Brassicaceae* vegetables by hydrophilic interaction chromatography-tandem mass spectrometry[J]. ACS Omega, 2018, 3(11): 15 546-15 553.
- [43] SUN Jiang-hao, ZHANG Meng-liang, CHEN Pei. GLS-finder: A platform for fast profiling of glucosinolates in *Brassica* vegetables[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2016, 64(21): 4 407-4 415.
- [44] THOMAS M, BADR A, DESJARDINS Y, et al. Characterization of industrial broccoli discards (*Brassica oleracea* var. *italica*) for their glucosinolate, polyphenol and flavonoid contents using UPLC MS/MS and spectrophotometric methods[J]. Food Chemistry, 2018, 245: 1 204-1 211.
- [45] LELARIO F, BIANCO G, BUFO S A, et al. Establishing the occurrence of major and minor glucosinolates in *Brassicaceae* by LC-ESI-hybrid linear ion-trap and Fourier-transform ion cyclotron resonance mass spectrometry[J]. Phytochemistry, 2012, 73(1): 74-83.
- [46] 丁云花, 何洪巨, 宋曙辉, 等. 不同西兰花品种中硫代葡萄糖苷的组分与含量分析[J]. 长江蔬菜, 2015(20): 70-74.

(上接第 194 页)

- [9] 李小婷, 闫淑琴, 刘碧婷, 等. 无矾红薯粉丝品质改进[J]. 食品科技, 2011, 36(4): 121-126, 130.
- [10] 管爱红, 李智, 葛宏义. 红薯淀粉中添加剂明矾的定性和定量太赫兹时域光谱技术检测[J]. 光谱学与光谱分析, 2018(1): 267-270.
- [11] WANDEE Y, UTTAPAP D, PUNCHA-ARNON S, et al. Quality assessment of noodles made from blends of rice flour and canna starch[J]. Food Chemistry, 2015, 179: 85-93.
- [12] 陶瑞青, 张海均, 贾冬英, 等. 薯类粉丝加工中明矾替代物的研究进展[J]. 粮食与饲料工业, 2012(2): 44-45, 49.
- [13] 胡晓川, 张萌. 无铝明矾代用品制作油条的工艺[J]. 食品研究与开发, 2014(10): 64-66.
- [14] 巫东堂, 周柏玲, 卢健鸣, 等. 无铝粉丝(条)研制及生产工艺研究[J]. 农业工程学报, 2003(1): 162-164.
- [15] ITTHIVADHANAPONG P, SANGNARK A. Effects of substitution of black glutinous rice flour for wheat flour on batter and cake properties[J]. International Food Research Journal, 2016, 23(3): 1 190-1 198.
- [16] 唐丽, 张娟, 李一沛, 等. 湿热处理对不同水分含量的米粉性质及粉条品质的影响[J]. 湖南农业科学, 2019, 40(2): 93-96.