

异淀粉酶增强红薯粉品质的研究

石彬, 李咏富*, 龙明秀, 何扬波, 田竹希, 梁倩

(贵州省现代农业发展研究所, 贵阳 550009)

摘要: **目的** 利用异淀粉酶对红薯淀粉改性, 研究不同剂量的酶添加量对红薯粉品质的影响。**方法** 测定不同酶添加量相应的直链淀粉的含量, 并以红薯粉的糊化特性、凝胶性质、质构性质、烹煮性质以及感官评分作为评价指标, 研究了异淀粉酶对红薯粉品质的影响。**结果** 当酶添加量为 160 U/g(干基质量)时, 直链淀粉含量为 32.69%, 酶添加量继续增加时, 直链淀粉含量变化不大; 酶添加量 120 U/g 时, 淀粉的糊化性质较好; 酶添加量达到 160 U/g 时, 样品的凝胶性质、质构性质以及烹煮性质显著增强($P < 0.05$)。酶添加量 200 U/g 时, 样品的口感最好。**结论** 就整体而言, 160 U/g 左右的酶添加浓度, 能够在节约成本的前提下, 显著提升红薯粉的品质。

关键词: 异淀粉酶; 直链淀粉; 红薯粉; 品质改善

Study on enhancing the quality of sweet potato powder by isomylase

SHI Bin, LI Yong-Fu*, LONG Ming-Xiu, HE Yang-Bo, TIAN Zhu-Xi, LIANG Qian

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

ABSTRACT: Objective To study the effects of different dosage of enzyme addition on the quality of sweet potato starch by using isoamylase to modify sweet potato starch. **Methods** The content of amylose with different enzyme addition was determined. The gelatinization properties, gel properties, texture properties, cooking properties and sensory scores of sweet potato flour were used as evaluation indicators to study the effect of isoamylase on the quality of sweet potato flour. **Results** When the enzyme was added to 160 U/g (dry base mass), the content of amylose was 32.69%, and the content of amylose was not changed much when the enzyme added increased. The gelatinization properties of starch were better when the enzyme was added 120 U/g. The gel properties, texture properties and cooking properties of the sample were significantly enhanced when the enzyme added 160 U/g ($P < 0.05$). At 200 U/g enzyme addition, the taste of the sample was best. **Conclusion** As a whole, about 160 U/g of enzyme concentration can significantly improve the quality of sweet potato powder under the premise of cost saving.

KEY WORDS: isoamylase; amylose; sweet potato powder; quality improvement

1 引言

红薯粉是我国南方地区常见的一种食品, 成品呈灰色细长条状, 晶莹剔透, 与粉丝相似。红薯粉在我国有着

悠久的历史^[1], 其口感软糯香甜, 深受人们的喜爱^[2]。红薯粉主要由红薯淀粉制作而成, 含有丰富的营养成分, 同时与大米等粮食作物相比, 还具有热量低, 食用不易发胖等特点, 是一种健康的食品^[3-5]。近年来, 随着国内外市场的

基金项目: 贵州省科技支撑计划项目(黔科合支撑[2018]2307号)

Fund: Supported by Guizhou Province Science and Technology Support Plan Project (Qiankehe support [2018]2307)

*通讯作者: 李咏富, 博士, 副研究员, 主要研究方向为核技术农业研究。E-mail: liyongfu1985@163.com

*Corresponding author: LI Yong-Fu, Ph.D, Associate Professor, Guizhou Institute of Integrated Agricultural Development, Guiyang, Guizhou 550009, China. E-mail: liyongfu1985@163.com

扩大, 红薯粉越来越受到消费者的欢迎^[6]。然而红薯粉在生产过程中, 由于红薯淀粉本身支链淀粉含量较高, 直链淀粉含量相对较低, 导致了红薯粉丝糊化温度高、下锅易断条、糊锅等一系列问题^[7-9], 对红薯粉产业的发展造成了一定的影响^[10]。传统红薯粉制作过程中, 往往会加入明矾来增强红薯粉品质, 但长期食用明矾会对健康造成严重的危害^[11-13]。因此, 通过安全的方式提升红薯粉品质的研究显得十分必要。但目前关于此方面的研究成果较少, 本研究从制作原料出发, 以异淀粉酶对红薯淀粉进行改性处理, 通过异淀粉酶特异性催化支链淀粉 α -1,6 糖苷键反应, 对支链淀粉进行酶解, 增加直链淀粉含量, 从而加快淀粉糊化, 降低糊化温度, 改善红薯粉品质^[14], 以期在绿色安全的基础上, 摆脱对明矾的依赖, 为红薯粉产业的健康化发展提供理论依据。

2 材料与方 法

2.1 仪器与试剂

TA20 多功能质构仪(上海保圣实业发展有限公司); AYL400 型均质仪(南通奥亚精密机械制造有限公司); HH-601 恒温水浴锅(常州市金坛区环宇科学仪器厂); Alpha1860S 紫外可见分光光度计(上海谱元仪器有限公司); AVM-2 全自动粘度仪(杭州卓祥科技有限公司)。

红薯淀粉(龙薯 10 号红薯淀粉, 贵州省农业科学院提供); 碘(分析纯)、直链淀粉标准品(纯度 $\geq 98\%$)(上海阿拉丁生化科技股份有限公司); 异淀粉酶(酶活力 ≥ 200 U/mL, 产气杆菌发酵提炼产物, 上海经科化学科技有限公司)。

2.2 实验方法

2.2.1 红薯粉丝制作工艺流程

水、淀粉酶

↓

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置于水浴锅中加热, 同时不停对红薯淀粉进行搅拌, 直至淀粉变为粘稠透明状。

(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, 在阴凉通风条件下自然冷却干燥。

2.2.2 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, 在 40 °C 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。在 40 °C 条件下, 静置反应 30 min, 使异淀粉酶与淀粉溶液充分反应,

然后按照 GB/T 15683-2008《大米直链淀粉含量的测定》^[15]的方法对淀粉溶液中直链淀粉含量进行测定。

2.2.3 淀粉流变性质测试

取充分搅拌均匀的红薯淀粉样品 5 mL 均匀的放入流变仪测试平台, 选择黏度测试模式, 测试温度 25 °C, 测试时间 200 s, 测试间隔时间 1 s, 剪切速率 201/s; 取测试时间 191~200 s 之间的 10 个相对稳定的点, 计算其应力、黏度与法向应力, 取平均值, 每组测试重复 3 次。

2.2.4 淀粉糊化特征值的测定

利用快速粘度仪进行测定。先将红薯淀粉样品放入干燥器中干燥 24 h, 再根据实验设计配置成相应的淀粉溶液, 进行测试。参考余树玺等的测试方法^[16], 具体程序如下: 将淀粉悬浮液在 50 °C 下平衡 1 min, 然后以 12 °C/min 的速率加热至 95 °C, 在 95 °C 下保温 2.5 min, 再以 12 °C/min 的速率冷却至 50 °C, 50 °C 下保温 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。

2.2.5 凝胶性质测试

选择长度相同, 粗细均匀的红薯粉丝成品, 在沸水中煮至中心白色完全消失, 将煮熟的粉条放入冷水中冷却, 用吸水纸吸干粉条表面的水分, 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。每组样品重复做 3 次平行实验, 取平均值作为实验结果。实验参数设定: 探头量程: 1000 N; 测定模式: 压缩模式, 运行速度: 40 mm/min; 压缩型变量: 50%; 触发感应力: 0.038 N。每组样品重复测试 3 次, 取平均值。

2.2.6 剪切力测试

将得到红薯粉丝, 选择 A/LKB-F 探头进行剪切力测试。设置感应力 20 g; 测试形变 90%; 测试前速度 2.0 mm/s; 测试速度: 1.7 mm/s; 测试后速度 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。

2.2.7 拉伸实验

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; 测试前速度 3 mm/s; 测试速度 1 mm/s; 测试后速度 3 mm/s; 每组测试重复 5 次, 取平均值。

2.2.8 烹煮性能测定

(1)断条率: 选择长短、大小均一的红薯粉丝成品, 在蒸馏水中煮沸 20 min, 按公式 1 计算煮后粉丝断的条数。

(2)烹煮损失率: 取 3 g(干基)粉条于 250 mL 烧杯中, 加入 100 mL 沸腾的蒸馏水, 用电炉加热 15 min, 期间不断搅拌。然后将粉条放置在纱布上沥干 5 min, 用吸水纸吸去粉条表面

的水分后称量。再将粉条放入烘箱在 105 °C 下烘干至恒重, 并称量。按以下公式 2 计算粉条烹煮损失率。

干物质含量: 按照公式 3 计算干物质含量。

$$\text{断条率} = \frac{\text{断条数}}{\text{原样品条数}} \times 100\% \quad (1)$$

烹煮损失率=[煮后含水粉条质量(g) - 煮后干燥粉条质量(g)]/煮后干燥粉条质量(g)×100% (2)

干物质含量=[煮后干燥粉条质量(g)/煮前粉条质量(g)]×100% (3)

2.2.9 含水量测定

根据 GB 5009.3-2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》^[2]中的直接干燥法测定。

2.2.10 感官评价

选择长度相同, 粗细均匀的红薯粉丝成品, 在沸水中煮 20 min, 至中心白色完全消失, 将煮熟后的红薯粉捞出, 进行感官评价。根据红薯粉的口感、色泽、品相标准, 组织 20 位有感官评价经验的人, 进行红薯粉成品的感官评价, 具体标准如表 1 所示。满分为 100 分, 去掉最高分和最低分, 余下分数取平均值, 作为实际所得分数。

表 1 红薯粉成品感官评价标准
Table 1 Sensory evaluation criteria for finished sweet potato powder

项目	所占分数	评分标准	得分
口感	40	软硬适中、弹性好、咀嚼性好、不黏牙	30~40
		偏硬或偏软、弹性较好、咀嚼性较好、不黏牙	20~30
		偏硬或偏软、弹性差、黏牙	0~20
色泽	20	色泽饱满均匀、呈淡褐色、无杂色	15~20
		色泽较饱满均匀、呈淡褐色、有少量杂色	7~15
		色泽不饱满、颜色过深或过浅、有较多杂色	0~7
品相	20	整体透明无裂痕、无明显断条	15~20
		整体透明有少量裂痕、有少量断条	7~15
		浑浊有多处裂痕、有大量断条	0~7

3 结果与分析

3.1 改性处理对红薯淀粉性质的影响

异淀粉酶能够特异性的催化支链淀粉 α -1,6 糖苷键反应, 切下整个侧枝, 形成长短不一的直链淀粉, 从而实现了对淀粉的改性。应力和黏度是反映流变性质的重要指标, 应力代表在受外因而产生变形时, 物体各部分之间产生单位面积上的内力, 法向应力反映了同截面垂直的内力, 而黏度代表了分子间相互吸引力的大小。按照 2.2.2 中方法对红薯淀粉进行改性处理, 并对其中直链淀粉含量与流变性质进行测试, 重复 3 次, 取平均值, 结果如表 2 所示。由表 2 可知酶添加量与淀粉中直链淀粉含量、应力、黏度以及法向应力都密切相关。当酶的添加量增加时, 直链淀粉含量随之上升, 而相应的应力、黏度和法向应力则呈下降趋势, 应力、黏度等减小可能跟样品中支链淀粉含量降低有关。当酶添加量为 40 U/g 时, 样品中直链淀粉含量为 25.75%, 而空白样品直链淀粉含量为 25.40%, 二者无显著差异($P > 0.05$), 表明此时没有充分的酶催化底物进行反应, 而相应的淀粉应力、黏度、法向应力等性质变化也不明显。当酶添加量为 160 U/g, 直链淀粉含量达到 32.69%, 显著的高于空白样品($P < 0.05$), 而应力、黏度、法向应力分别为 0.15 Pa、0.63 Pa·s 和 -76.32 Pa·s, 显著低于空白样品($P < 0.05$)。当酶添加量继续增大至 200 U/g 和 240 U/g 时, 直链淀粉含量分别为 33.05% 和 32.96%, 与酶添加量 160 U/g 的样品差异不大, 而相应的应力、黏度与法向应力的值也

不存在显著差异($P > 0.05$)。可能是由于在酶添加量为 160 U/g 时, 异淀粉酶催化反应体系达到平衡, 继续增加酶的添加量不会促进反应, 淀粉相应的流变性质也趋于稳定。

3.2 改性处理对淀粉糊化的影响

在相同条件下, 以峰值黏度、谷值黏度、最终黏度、回生值、衰减值为指标, 考察了不同加酶量对红薯淀粉的糊化性能的影响, 重复 3 次, 取平均值, 结果如表 3 所示。峰值黏度反映了淀粉在糊化过程中的膨胀度与结合水的能力, 由表 3 可知, 空白样品的峰值黏度为 877.25 Pa·s, 当酶添加量为 120 U/g 时, 峰值黏度最小, 为 738.52 Pa·s, 当酶添加量为 240 U/g 时, 峰值黏度最大, 为 982.32 Pa·s, 总体而言峰值黏度随酶添加量的变化不明显, 表明随着异淀粉酶的加入对淀粉糊化过程结合水的能力的影响不大; 谷值黏度和最终黏度反映了淀粉在加热过程中形成凝胶的能力, 由表中可知, 随着酶添加量的增大, 样品谷值黏和最终黏度也随之增大。空白样品的谷值黏度和最终黏度最小, 分别为 429.38 Pa·s 和 659.33 Pa·s, 当酶添加量为 240 U/g 时, 样品的谷值黏度达到最大, 为 684.39 Pa·s; 当酶添加量为 200 U/g 时, 最终黏度达到最大, 为 982.02 Pa·s, 表明异淀粉酶能够增强淀粉形成凝胶的能力; 回生值与淀粉的回生能力有关, 回生值越大代表样品回生能力越强。当酶添加量小于 120 U/g 时, 样品的回生值随酶添加量的增大显著增大, 当酶添加量为 120 U/g 时, 回生值达到 687.95 Pa·s, 当酶量继续增加时, 回生值变化不大, 结果表明淀粉的回生性能随着酶添加量的增加而增强, 当酶添加量达

到 120 U/g 后, 回生能力逐渐趋于稳定。衰减与淀粉的热稳定性有关, 衰减越小表明样品热稳定性越好。当酶添加量小于 120 U/g 时, 随着酶添加量的增大, 样品的衰减随其减小, 当酶添加量大于 120 U/g 时, 衰减开始增大。结果表明总体而言, 异淀粉酶的加入能够增加样品的热稳定性, 在 120 U/g 的酶浓度时, 样品的热稳定性最好。

3.3 改性处理对红薯粉凝胶性质的影响

淀粉分子糊化时, 直链淀粉分子会从淀粉粒中逸出, 淀粉分子链能够通过氢键发生交联, 可溶性的直链淀粉形成三维网络凝胶结构, 溶胀淀粉碎片和颗粒将填充在直链淀粉所产生的网络结构中, 形成凝胶, 其中直链淀粉的含量与淀粉的凝胶性质密切相关。通过 TPA 试验, 对改性后

的红薯淀粉凝胶的硬度、内聚性、弹性、胶粘性、咀嚼性进行测试, 重复 3 次, 取平均值, 结果如表 4 所示。结果表明, 淀粉样品的硬度、内聚性、弹性、胶粘性与咀嚼性的值均随着酶添加量的增大而增大。当酶添加量小于 120 U/g 时, 随着酶添加量的增加, 样品各凝胶性质的值上升较快, 当酶添加量超过 120 U/g 时, 样品的凝胶性质上升趋势开始变慢, 当酶添加量达到 160 U/g 时, 样品各项凝胶性质趋于稳定。结果表明, 通过淀粉酶的改性, 能够显著增强淀粉的凝胶特性, 当酶添加量小于 120 U/g 时, 酶催化反应底物可能处于过量状态, 故当酶增加时, 反应产生的直链淀粉也随之增多, 从而显著增强了淀粉的凝胶特性。当酶添加量为 160 U/g 时, 反应达到饱和, 当酶添加量继续增加时, 对样品的凝胶特性影响不大。

表 2 不同酶添加量对红薯淀粉性质的影响($n=3$)
Table 2 Effect of different enzymes on sweet potato starch properties($n=3$)

酶添加量/(U/g)	直链淀粉含量/%	应力/Pa	黏度/(Pa·s)	法向应力/Pa
0	25.40±1.78	0.28±0.01	1.12±0.22	-33.68±2.91
40	25.75±2.06	0.23±0.02	1.08±0.09	-39.77±3.42
80	27.42±1.24	0.19±0.01	0.84±0.06	-50.82±5.09
120	30.81±1.67	0.14±0.01	0.82±0.14	-72.01±4.71
160	32.69±3.03	0.15±0.01	0.63±0.08	-76.32±6.63
200	33.05±2.77	0.08±0.01	0.51±0.03	-80.24±4.89
240	32.96±0.95	0.05±0.01	0.54±0.05	-81.05±3.66

表 3 不同的酶添加量对红薯淀粉糊化的影响($n=3$)
Table 3 Effect of different enzymes on gelatinization characteristics of sweet potato starch($n=3$)

酶添加量/%	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/(Pa·s)
0	877.25±37.55	429.38±22.07	659.33±12.74	487.00±28.24	436.82±38.45
40	926.30±60.02	572.81±31.00	666.56±43.20	542.05±41.66	351.49±17.33
80	896.87±47.61	528.44±19.84	788.52±19.88	568.74±24.39	361.41±28.06
120	738.52±67.24	596.62±49.16	865.91±37.50	687.95±36.21	141.71±10.71
160	879.33±51.33	655.57±57.25	944.56±83.16	679.42±47.62	221.32±19.59
200	956.28±73.01	662.84±48.04	982.02±52.31	727.11±22.35	294.24±27.00
240	982.32±40.22	684.39±29.55	955.14±46.22	705.61±58.18	291.61±18.62

表 4 酶添加量对红薯淀粉凝胶性质的影响($n=3$)
Table 4 Effects of different enzymes on the gel properties of sweet potato starch ($n=3$)

酶添加量/(U/g)	硬度/N	内聚性	弹性/mm	胶粘性/N	咀嚼性/mJ
0	26.73±1.75	0.29±0.01	1.43±0.12	12.54±1.99	21.42±2.60
40	30.42±2.74	0.44±0.02	1.46±0.26	13.88±2.37	26.23±0.97
80	32.83±4.69	0.42±0.03	1.51±0.17	14.51±2.46	29.04±1.83
120	37.51±2.88	0.47±0.02	1.64±0.12	16.53±1.32	35.41±1.74
160	39.44±3.24	0.49±0.04	1.71±0.22	16.92±1.94	38.42±2.79
200	38.91±4.66	0.51±0.03	1.74±0.34	17.35±3.01	39.11±4.02
240	39.72±5.01	0.52±0.02	1.69±0.28	17.51±2.03	38.23±3.86

3.4 改性处理对红薯粉质构性质的影响

研究了不同浓度的异淀粉酶对红薯粉质构性质的影响,以剪切力和拉伸力作为指标进行了测试,结果如图 1、图 2 所示。剪切应力与拉伸力主要反映了粉条的韧性与耐咀嚼性,剪切力与拉伸力越大,则表示粉条的韧性与嚼劲越好。由图 1、图 2 可知,随着酶的添加量增大,样品的剪切力也不断增大。当酶添加量为 0、400、800、1200、1600、2000、2400 U/g 时,相应的剪切力分别为 5.38、6.12、6.56、6.74、7.02、7.08、7.11 N,而拉伸力分别为 0.58、0.61、0.65、0.70、0.72、0.73、0.73 N。结果表明当酶添加量小于 120 U/g 时,样品剪切力与拉伸力随酶添加量增大而迅速增大,当酶添加量达到 160 U/g 时,样品的剪切力与拉伸力趋于稳定,表明 160 U/g 左右为异淀粉酶的合适催化浓度。

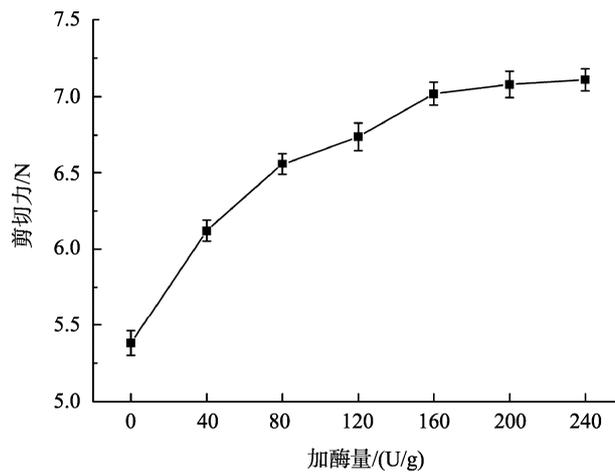


图 1 酶添加量对样品剪切力的影响($n=3$)

Fig.1 Effect of different enzymes on shear force of sample($n=3$)

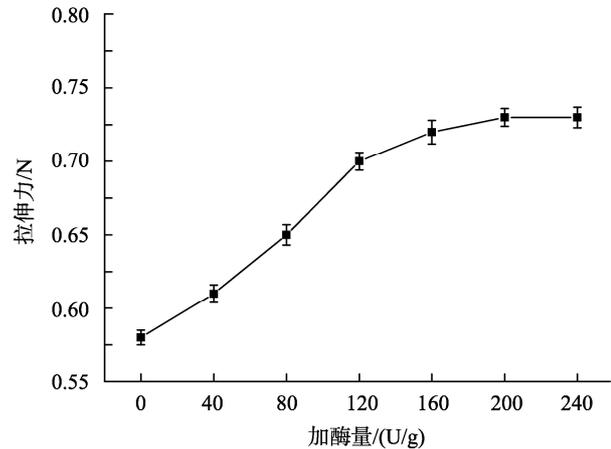


图 2 酶添加量对样品拉伸力的影响($n=3$)

Fig.2 Effect of different enzymes on tensile force of sample ($n=3$)

3.5 改性处理对红薯粉烹煮性质的影响

红薯粉粉条成品食用时,一般都需要经过烹煮加热过程,因此烹煮性质是粉条品质的重要评判标准。而断条率、干物质的量、烹煮损失与含水量则时反映粉条烹煮性质的几个重要指标。断条率主要反映了粉条的耐煮性,断条率越小,代表粉条在烹煮过程中越不容易断裂,越耐烹煮,反之则不耐烹煮;干物质的量和含水量代表粉条中干物质与水的比例,而干物质的量越高相应的烹煮品质越好;烹煮损失率则表示粉条在烹煮过程中损失的情况,烹煮损失越小,相应品质越好,对改性后的样品进行了烹煮性能测试,测试结果如表 5 所示。由结果可知,样品的断条率、烹煮损失和含水量随着酶添加量上升而减小,当酶添加量为 240 U/g 时,断条率与烹煮损失最小,分别为 23.77%和

表 5 酶添加量对样品烹煮性质的影响($n=3$)
Table 5 Effect of enzyme addition on cooking properties of samples($n=3$)

酶添加量/(U/g)	断条率/%	干物质的量/%	烹煮损失率/%	含水量/%
0	37.65±2.71	77.64±9.45	10.88±2.05	24.52±3.62
40	33.51±3.44	75.59±6.38	8.64±1.21	23.48±1.99
80	34.35±1.87	78.32±5.07	8.05±0.97	20.51±2.04
120	28.66±2.08	69.35±4.22	7.84±0.69	18.73±2.86
160	26.54±4.96	80.40±8.60	6.71±0.33	16.94±2.97
200	25.31±3.42	75.05±6.44	6.74±0.84	17.45±1.54
240	23.77±1.22	79.66±5.91	5.77±0.71	17.56±1.32

5.77%, 当酶添加量为 200 U/g 时, 含水量最低, 为 17.45%。而样品干物质的量则随着酶添加量的上升而增大, 在酶添加量为 160 U/g 时达到最大。结果表明异淀粉酶的加入能够改善红薯粉的煮煮品质, 随着酶添加量的增大, 断条率和煮煮损失率显著减小, 样品的耐煮性有较大提升, 而干物质的量升高与含水量的下降, 样品的煮煮品质增强。当酶添加量达到 160 U/g 时, 各项煮煮性质变化趋于稳定, 当酶添加量继续增大时, 煮煮性质变化不明显, 综合分析, 酶添加剂量 160 U/g 左右, 样品的煮煮性能最好。

3.6 感官评价

由于个人的口味喜好差异, 感官评价结果会存在一定随机误差, 然而就整体而言, 人们在大体口感上差异并不明显, 因此感官评价可以作为一项参考指标, 评价不同酶添加量对红薯粉品质的影响。按照 2.2.10 中的方法, 对红薯粉样品的具体品质进行了感官评价, 结果如表 6 所示。由结果可知, 在未添加异淀粉酶的情况下, 感官得分为 67, 红薯粉样品整体品质较差, 缺乏弹性和韧性、口感偏软、且容易糊汤断条。当酶添加量增大时, 感官评分也随之增加, 当酶添加量为 200 U/g 时, 感官评分达到最大值 85。当酶添加量小于 200 U/g 时, 口感由偏软黏牙变成软硬适中, 而当酶添加量继续增大时, 口感偏硬, 从而影响了感官评分。样品的嚼劲和韧性随着酶添加量的增加而增大, 当酶添加量大于 160 U/g 时, 样品的嚼劲和韧性有明显提升; 而断条情况则是随着酶添加量的增加而减少, 与断条率研究结果一致, 当酶添加量达到 160 U/g 时, 断条情况明显改善。感官评价结果显示, 200 U/g 的酶添加量时样品口感最好, 此时弹性、韧性较大, 断条较少, 且口感软硬适中。而当酶添加量小于 160 U/g 时, 样品的弹性、嚼劲与韧性偏小、而断条较多, 口感上也偏软; 当酶添加量达到 240 U/g 时, 口感较硬影响了感官评分。

表 6 不同酶添加量的样品感官评分

Table 6 Sensory score of samples with different enzyme additions

酶添加量	感官得分	品质比较
0	67	弹性较差、偏软粘牙、嚼劲和韧劲差、易糊汤断条。
40	72	弹性较差、较软粘牙、嚼劲和韧性较差、不糊汤但断条多。
80	77	弹性一般、较软不黏牙、有一定的嚼劲和韧性、断条较多
120	79	弹性较好、软硬适中、有一定嚼劲和韧性、断条较多
160	82	弹性好、软硬适中、有较好的嚼劲和韧性、断条较少
200	85	弹性好、软硬适中、有较好的嚼劲和韧性、断条少
240	81	弹性好、偏硬、有较好的嚼劲和韧性、断条少

4 结 论

利用异淀粉酶对红薯淀粉进行改性处理, 并对红薯粉的糊化特性、凝胶性质、质构性质、煮煮性质等进行测定, 同时通过感官评价对改性后的红薯粉品质进行分析。结果表明, 异淀粉酶能够有效催化淀粉反应, 增加其中直链淀粉含量, 随着酶添加量的增大, 红薯粉的各项性质也相应的增强, 当酶添加量达到 160 U/g 左右时, 酶浓度趋近饱和, 淀粉中直链淀粉含量达到最大, 红薯粉相应的品质较好, 继续增加酶浓度时, 红薯粉的各项品质变化不大。研究表明, 异淀粉酶改性处理, 能够改善红薯粉口感, 增强红薯粉的弹性和韧性, 对减少断条增强其煮煮性质具有较好的效果。

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.
Fan HP, Li R, Wang N, *et al.* Effect of freezing process on quality of non-aluminum sweet potato powder [J]. Food Ferment Ind, 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.
Tan HZ, Tan B, Liu M, *et al.* Relationship between starch properties of sweet potato and vermicelli quality [J]. J Agric Eng, 2009, (4): 294-300.
- [3] 苏瑞丽, 阮美娟, 彭喜洋. 四种红薯粉中多糖含量的测定及比较[J]. 粮油加工, 2009, (12): 165-167.
Su RL, Ruan MJ, Peng XY. Determination and comparison of polysaccharide content in four kinds of sweet potato powder [J]. Grain Oil Proc, 2009, (12): 165-167.
- [4] 吴广辉, 毕韬韬. 红薯营养价值及综合开发利用研究进展[J]. 食品研究与开发, 2015, 36(20): 199-202.
Wu GH, Bi TT. Advances in nutritional value and comprehensive development and utilization of sweet potato [J]. Food Res Dev, 2015, 36(20): 199-202.
- [5] Chen Z, Schols HA, Voragen AGJ. Physicochemical properties of starches obtained from three varieties of Chinese sweet potatoes [J]. J Food Sci, 2003, 68(2): 431-437.
- [6] 张颖, 肖颜林, 徐德琼, 等. 原料与粉丝色泽的相关性研究[J]. 食品与发酵科技, 2010, 46(6):36-39, 42.
Zhang Y, Xiao YL, Xu DQ, *et al.* Study on the correlation between raw material and vermicelli color [J]. Food Ferment Technol, 2010, 46(6): 36-39, 42.
- [7] 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.
Li XT, Yan SQ, Liu BT, *et al.* Quality improvement of sweet potato vermicelli without alum [J]. Food Sci Technol, 2011, 36(4): 121-126, 130.
- [8] 杨海龙, 谢新华, 艾志录. 保鲜红薯粉丝的加工工艺研究[J]. 农产品加工, 2014, (3): 36-38.
Yang HL, Xie XH, Ai ZL. Study on processing technology of fresh-keeping sweet potato fans [J]. Proc Agric Prod, 2014, (3): 36-38.
- [9] 李颖. 无矾红薯粉丝的加工研究[J]. 粮油加工, 2009, (6): 113-115.

- Li Y. Study on processing of alum-free sweet potato fans [J]. Grain Oil Proc, 2009, (6): 113-115.
- [10] 吴仲珍, 刘治江, 李育生, 等. 无矾魔芋红苕粉条的研制及加工工艺[J]. 安徽农业科学, 2013, (24): 258-260, 264.
- Wu ZZ, Liu ZJ, Li YS, *et al.* Development and processing technology of non-aluminum *Amorphophalls konjac* vermicelli [J]. J Anhui Agric Sci, 2013, (24): 258-260, 264.
- [11] 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.
- Wu DT, Zhou BL, Lu JM, *et al.* Development and production technology of non-aluminum fans [J]. Trans Chin Soc Agric Eng, 2003, (1): 162-164.
- [12] 李敏, 吴卫国, 杨韵. 无矾红薯粉丝加工工艺研究[J]. 农产品加工, 2014, (3): 30-34.
- Li M, Wu WG, Yang Y. Alum-free sweet potato vermicelli processing technology research [J]. Farm Prod Proc, 2014, (3): 30-34.
- [13] 杨书珍, 于康宁, 黄启星, 等. 明矾替代物对甘薯粉丝品质的影响[J]. 中国粮油学报, 2009, 24(10): 54-58.
- Yang SZ, Yu KN, Huang QX, *et al.* Effect of alum substitution on sweet potato vermicelli quality [J]. J Chin Cere Oils Associat, 2009, 24(10): 54-58.
- [14] 邓福明, 木泰华, 陈井旺, 等. 甘薯淀粉的结构、成分及其特性研究进展[J]. 食品工业科技, 2012, 33(13): 373-377.
- Deng MF, Mu TH, Chen JW, *et al.* Research progress in the structure, chemical composition, and characteristics of sweet potato starches [J]. Sci Technol Food Ind, 2012, 33(13): 373-377.
- [15] 翟佳丽, 何睿. 大米中直链淀粉含量测定方法的比较[J]. 粮食加工, 2017, 42(3): 24-26.
- Zhai JL, He R. Comparison of determination methods of amylose in rice [J]. Food Proc, 2017, 42(3): 24-26.
- [16] 余树玺, 邢丽君, 木泰华, 等. 4 种不同甘薯淀粉成分、物化特性及其粉条品质的相关性研究[J]. 核农学报, 2015, (4): 734-742.
- Yu SX, Xing LJ, Mu TH, *et al.* Study on correlation of starch composition, physical and chemical properties and powder quality of 4 sweet potato [J]. J Nucl Agric Sci, 2015, (4): 734-742.

(责任编辑: 韩晓红)

作者简介

石彬, 硕士, 主要研究方向为农产品加工于保鲜。

E-mail: 406140627@qq.com

李咏富, 博士, 副研究员, 主要研究方向为核技术农业研究。

E-mail: liyongfu1985@163.com