



丝绸

Journal of Silk

ISSN 1001-7003, CN 33-1122/TS

《丝绸》网络首发论文

题目： 桑葚魔芋复合果冻的凝胶特性研究及其工艺优化
作者： 王小燕，刘利，王海燕，谷山林，李睿
收稿日期： 2020-05-11
网络首发日期： 2020-11-17
引用格式： 王小燕，刘利，王海燕，谷山林，李睿. 桑葚魔芋复合果冻的凝胶特性研究及其工艺优化. *丝绸*.
<https://kns.cnki.net/kcms/detail/33.1122.TS.20201117.0907.002.html>



网络首发：在编辑部工作流程中，稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定，且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式（包括网络呈现版式）排版后的稿件，可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定；学术研究成果具有创新性、科学性和先进性，符合编辑部对刊文的录用要求，不存在学术不端行为及其他侵权行为；稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准，正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性，录用定稿一经发布，不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容，只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认：纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊（光盘版）》电子杂志社有限公司签约，在《中国学术期刊（网络版）》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版，以单篇或整期出版形式，在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊（网络版）》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物（ISSN 2096-4188，CN 11-6037/Z），所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

桑葚魔芋复合果冻的凝胶特性研究及其工艺优化

王小燕¹, 刘利², 王海燕¹, 谷山林¹, 李睿¹

(1.重庆市畜牧科学院, 重庆 402460; 2.重庆市计量质量检测研究院第三分院 重庆 402160)

*通信作者 李睿, 助理研究员, 16598867@qq.com

摘要 以桑葚、魔芋粉为主要原料, 制备高膳食纤维、低热量的桑葚魔芋复合果冻。文章选取凝胶强度和感官评分为评价指标, 通过单因素和响应面试验优化桑葚魔芋复合果冻制备的工艺条件, 并分析桑葚魔芋复合果冻的矿物质、维生素和氨基酸组成及含量。结果发现, 最佳桑葚魔芋复合果冻工艺参数为魔芋粉、卡拉胶、桑葚浆、白砂糖添加量分别为 0.40、0.25、7.00、5.00 g, 加水 100 mL, 溶胀温度 80 °C, 溶胀时间 30 min。该最优条件下, 桑葚魔芋复合果冻的凝胶强度为(16.960 2±0.361 2)N。试验制备的桑葚魔芋复合果冻富含矿物质、氨基酸、维生素等营养成分, 且具有独特的桑葚风味。

关键词 桑葚; 魔芋; 果冻; 凝胶特性; 工艺优化

中图分类号 TS255.36 **文献标志码** A

Study on gel properties and process optimization of the complex jelly of mulberry and konjac

WANG Xiaoyan¹, LIU Li², WANG Haiyan¹, GU Shanlin¹, LI Rui¹

(1.Chongqing Academy of Animal Sciences, Chongqing 402460, China;

2. Third Branch of Chongqing Academy of Metrology and Quality Inspection, Chongqing 402160, China)

Abstract The mulberry konjac jelly with high dietary fiber and low calorie was prepared by using mulberry and konjac powder as the main raw materials. The gel strength and sensory score were selected as the evaluation indicators. The process conditions of mulberry konjac jelly preparation were optimized through single factor and response surface tests, and the composition and content of minerals, vitamins and amino acids of mulberry konjac jelly were analyzed. The results showed that the best process parameters of mulberry konjac jelly were as below: 0.40 g konjac powder, 0.25 g carrageenan, 7.00 g mulberry pulp, 5.00 g sugar, 100 mL water, swelling temperature 80 °C, and swelling time 30min. Under the optimal conditions, the gel strength of mulberry konjac jelly was (16.9602 ± 0.3612) N. The mulberry konjac jelly prepared in this experiment was rich in minerals, amino acids and vitamins, with a unique mulberry flavor.

Key words mulberry; konjac; jelly; gel properties; process optimization

桑葚又名桑椹、桑果, 是桑科桑属植物成熟果穗^[1]。桑葚风味独特, 富含维生素、矿物质、花青素、白藜芦醇等成分, 具有润肠通便、延缓衰老、美容养颜的功效^[2-5]。桑葚属于浆果类, 季节性较强, 皮薄易损, 不耐储藏, 极大制约了果桑产业的发展。研发桑葚精深加工途径, 提高桑葚加工利用率是果桑产业发展的迫切需求。魔芋粉主要成分是魔芋葡甘聚糖, 魔芋葡甘聚糖是由葡萄糖和甘露糖以 β-1,4-糖苷键连接起来的高分子多糖, 是水溶性的膳食纤维, 具有清理肠道、防止肥胖等功效。果冻是由食用胶、水、水果、糖等制成; 呈半固体状, 外观晶莹、色泽鲜艳、口感软滑, 深受青少年及儿童的青睐^[6-9]。桑葚魔芋复合果冻结合桑葚和魔芋双重优点, 具有高膳食纤维、低热量的特点, 并且可增加水果果冻种类^[10-11], 较好地解决桑葚集中成熟带来滞销的问题, 使桑葚由季节临时供给向常

收稿日期: 2020-05-11

基金项目: 重庆市自然科学基金面上项目(cstc2019jcyj-msxmX0090); 重庆市茧丝绸发展补助资金项目(CQ2019JSCC01); 重庆市财政资金支持项目(19518); 重庆市蚕桑产业技术体系项目(18304)

作者简介: 王小燕(1989—), 女, 硕士, 主要从事蚕桑资源综合利用的研究

网络首发时间: 2020-11-17 14:02:21 网络首发地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/33.1122.TS.20201117.0907.002.html>

年全程供给桑葚产品转化,就地供应,就地加工,极大地降低桑葚运输及坏果成本,桑葚资源也得到最大限度的利用。

本文以桑葚、魔芋粉为核心原料制备果冻,采用质构分析仪测定果冻凝胶强度,通过响应曲面设计优化桑葚魔芋复合果冻最佳工艺,为拓宽桑葚精深加工利用途径,提高桑葚经济效益提供参考。

1 试验

1.1 材料与试剂

鲜桑葚(重庆市畜牧科学院蚕业研究所),魔芋粉(重庆西大魔芋科技开发有限公司),卡拉胶、柠檬酸(郑州莫达化工产品有限公司),白砂糖(重庆市永立百货超市有限公司),均为食品级。氨基酸标准品(Sigma-Aldrich 公司)。

1.2 仪器与设备

FTC TMS-PRO 质构仪(美国 FTC 公司),DZKW-4 恒温水浴锅(北京中兴伟业仪器有限公司),FA2004 B 电子天平(上海越平科学仪器有限公司),JJ-1 精密增力电动搅拌机(邦西仪器科技有限公司),LC-20AD 液相色谱仪(日本岛津公司),ICP-OES730 电感耦合等离子体发射光谱仪(美国 Agilent 公司)。

1.3 方法

1.3.1 样品处理方法

选取新鲜成熟桑葚,去除坏果,用剪刀去蒂,流水冲洗沥干,直接打浆用于制备桑葚魔芋复合果冻及单因素和响应面试验,并测定桑葚魔芋复合果冻中矿质元素、氨基酸、维生素等的含量。

1.3.2 桑葚魔芋复合果冻的制备方法

称取一定量的魔芋粉、卡拉胶、白砂糖、桑葚浆,加入 100 mL 纯净水,于一定温度恒温水浴搅拌溶胀一定时间,趁热罐装冷却得到桑葚魔芋复合果冻。

1.3.3 单因素试验

以魔芋粉、卡拉胶、桑葚浆和白砂糖含量及果冻凝胶形成温度为主要因素,进行单因素考察试验,以质构参数和感官评定为评价指标,分别考察魔芋粉(0.10、0.20、0.30、0.40、0.50 g)、卡拉胶(0.05、0.10、0.15、0.20、0.25 g)、桑葚浆(4、6、8、10、12 g)、白砂糖(2、3、4、5、6 g)、温度(70、75、80、85、90 °C)5 个因素对桑葚魔芋复合果冻的凝胶强度及感官得分的影响。

1.3.4 响应面试验

在单因素试验的基础上,采用响应面试验设计,优化桑葚魔芋复合果冻的配方。

1.3.5 桑葚魔芋复合果冻凝胶强度测定

凝胶强度是指使凝胶破裂需要的最大的力^[12],可反映果冻弹性、咀嚼性等主要品质特性,与消费者接受程度紧密相关。用 FTC TMS-PRO 质构仪测定凝胶强度,质构仪参数: P/0.5 凝胶强度探头,测前探头下降速率 30 mm/min,测试速率 30 mm/min,测试后探头上升速率 50 mm/min,穿刺测试距离 5 mm,回程距离 50 mm,触发力 3 N,力量感应量程 2 500 N,用质构仪自带的软件进行分析^[13-14]。

1.3.6 感官评定

选取 10 名感官鉴评员对试验配制的桑葚魔芋复合果冻进行感官评定,主要从果冻的色泽、风味、口感和组织形态方面进行评价^[15-16],具体评分标准见表 1。

表1 感官评定
Tab.1 Sensory evaluation

项目	评定标准	分值/分
色泽(20分)	胶体色泽光亮, 均匀一致, 半透明	16~20
	胶体色泽光亮, 较均匀	11~15
	胶体色泽暗淡, 严重不均匀	0~10
风味(20分)	桑葚味浓郁, 无异味	11~20
	桑葚味较浓, 无异味	5~10
	桑葚味较淡, 无异味	0~4
口感(30分)	口感润滑、细腻, 有弹性和咀嚼性, 甜度适中	21~30
	口感润滑、细腻, 有弹性和咀嚼性, 偏甜	11~20
	口感粗糙、不细腻, 无弹性和咀嚼性, 甜度过浓	0~10
形态(30分)	成冻完整, 结构紧实, 质地均匀, 光滑	26~30
	成冻完整, 结构紧实, 质地不均匀, 不光滑	16~25
	成冻不完整, 结构不紧实, 质地不均匀, 不光滑	0~15

1.3.7 矿质元素测定方法

采用 ICP-OES730 仪器测定桑葚魔芋复合果冻中钙、铁、硒、锌 4 种矿质元素的含量, 具体操作参数为: 发射功率 1.0 kW; 载气为氩气; 等离子气流量 15 L/min; 辅助气流量 1.5 L/min; 雾化器流量 0.75 L/min^[17]。用 ICP 自带的软件进行分析。

1.3.8 氨基酸、维生素测定方法

采用液相色谱测定桑葚魔芋复合果冻中的氨基酸含量, 测试选用 C18 柱(5 μm , 4.6 mm \times 250 mm), 紫外吸收检测器(UVD)。流动相 A: 0.1 mol/L 醋酸钠溶液(pH 6.5): 乙腈=93.0:7.0。流动相 B: 水: 乙腈=20.0:80.0。精密称取样品 5 g 至安瓿瓶中, 加 6 mol/L 盐酸溶液含 0.1%苯酚适量使样品溶解, 充氮, 熔封, 烘箱 110 $^{\circ}\text{C}$ 水解 24 h 后, N_2 吹干盐酸, 加 2.0 mL 水复溶^[18]。取 200 μL 上述溶液加入 25 倍稀释后的 A 溶液 100 μL 和稀释后的 B 溶液 100 μL , 摇匀, 室温反应 60 min; 然后加入正己烷溶液 400 μL 旋紧盖子后振摇 5~10 s, 室温静置分层, 取下层 200 μL 溶液, 加入 800 μL 水混合均匀, 再取 200 μL 上述溶液, 加 800 μL 水混合均匀, 过 0.22 μm 滤膜, 即得样品测试液。

采用 LC-20AD 仪器测定桑葚魔芋复合果冻中维生素 C、B₁、B₂、B₆ 的含量。选用 Ultimate AQ-C18 (4.6 mm \times 250 mm, 5 μm) 色谱柱, 流速 1.0 mL/min, 柱温 30 $^{\circ}\text{C}$, 进样量 5 μL , 检测波长 254 nm, 流动相 A: 20 mg/mol 乙酸钠(用乙酸调为 pH 为 5.8), 流动相 B: 甲醇。对照溶液: 精密称取维生素 C、B₁、B₂、B₆ 对照品适量, 加 0.001 mol/L 盐酸溶液溶解稀释至每 1 mL 各含 85.2、100.6、87.4、82.6 μg 的混合对照溶液。样品溶液: 精密称取适量样品至锥形瓶中, 避光, 加 0.01 mol/L 盐酸 20 mL, 25 $^{\circ}\text{C}$ 超声 15 min 提取, 离心, 过膜, 即得。

1.3.9 数据处理方法

每组试验均进行 3 次平行测试, 单因素试验及成分测定结果采用 SPSS 软件进行显著性差异分析, 响应面试验采用 Design-Expert 8.0.6 软件进行设计分析。

2 结果与分析

2.1 单因素试验

2.1.1 魔芋粉添加量对桑葚魔芋复合果冻凝胶强度和感官评分的影响

魔芋凝胶食品对一些慢性疾病具有一定的治疗和预防作用, 如糖尿病、肥胖症、高血压等^[19]。魔芋葡甘聚糖在中性水中是不形成凝胶的, 但与其他多糖复配可形成凝胶, 如卡拉胶、琼脂胶等, 利用其协同作用所得复配胶凝胶性能要比单独使用的凝胶强度好。随着魔芋粉添加量的增大, 桑葚魔芋复合果冻的凝胶强度呈现先增大后减小的趋势, 如图 1 所示。当魔芋粉添加量为 0.3 g 时, 凝胶强度和感官得分都达到最大, 分析认为是由于魔芋粉与卡拉胶共同作用使凝胶状态增强, 内部结构的分子之

间排列更紧密^[20]，形态更稳定。当魔芋粉添加量继续增大时，分析认为因魔芋粉过量导致与卡拉胶的共混凝胶多糖分子链的结构和多糖分子对粒子的敏感程度发生改变，从而使得凝胶强度下降。

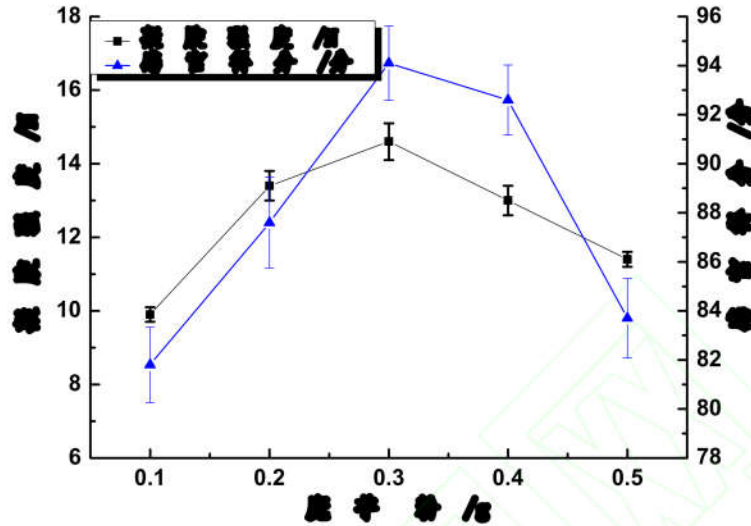


图1 魔芋粉添加量对桑葚魔芋复合果冻凝胶强度及感官得分的影响
Fig.1 Effect of konjac powder dose on gel strength and sensory score of mulberry konjac jelly

2.1.2 卡拉胶添加量对桑葚魔芋复合果冻凝胶强度及感官得分的影响

在凝胶食品中，凝胶食品的形状和质构特性对于评价凝胶食品的品质起到决定性作用；卡拉胶是一种热可逆凝胶，有脆性大弹性小的特点，在0~0.2 g/100 mL内与魔芋粉共同作用效果下，卡拉胶的添加量越大，凝胶强度越大，之后凝胶强度有下降趋势，感官得分先呈上升趋势后趋于平缓。综合果冻的咀嚼性要求^[6]，选择卡拉胶添加量为0.15~0.25 g/100 mL做进一步的筛选(图2)。

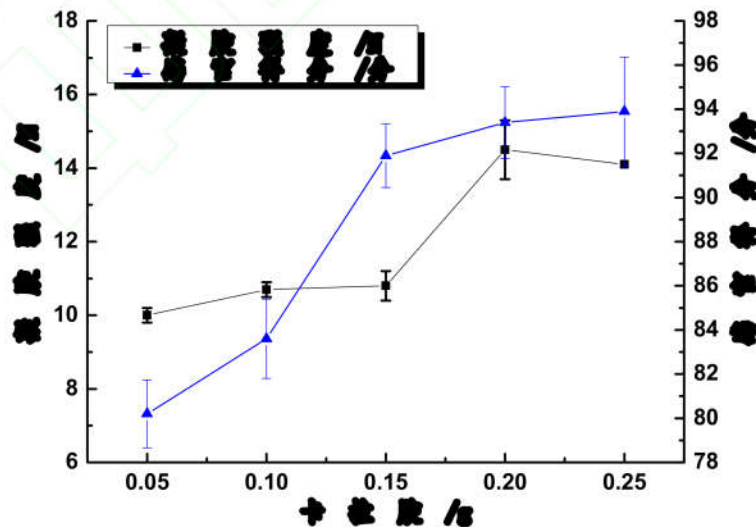


图2 卡拉胶添加量对桑葚魔芋复合果冻凝胶强度及感官得分的影响
Fig.2 Effect of carrageenan dose on gel strength and sensory score of mulberry konjac jelly

2.1.3 桑葚浆添加量对桑葚魔芋复合果冻凝胶强度及感官得分的影响

随着桑葚浆添加量的增加，桑葚魔芋复合果冻凝胶强度呈减小趋势，加入桑葚使得复配胶的总体占比下降，从而呈现果冻凝胶强度下降的现象，但凝胶强度下降幅度较小。感官评分则呈现先增大后减小的趋势，在桑葚浆添加量为 8 g/100 mL 时感官得分最高，桑葚风味浓郁(图 3)。

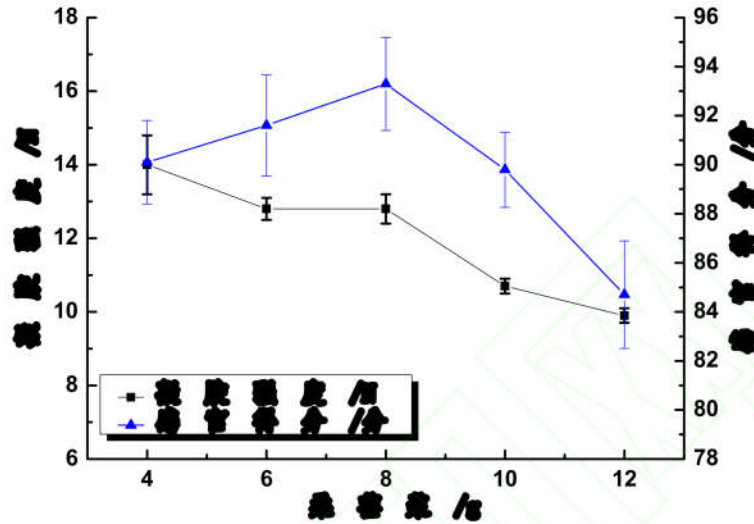


图 3 桑葚浆添加量对桑葚魔芋复合果冻凝胶强度及感官得分的影响
Fig.3 Effect of mulberry juice dose on gel strength and sensory score of mulberry konjac jelly

2.1.4 白砂糖添加量对桑葚魔芋复合果冻凝胶强度及感官得分的影响

随着白砂糖添加量增大，桑葚魔芋复合果冻凝胶强度呈减小趋势。感官评分则都呈现先增大后减小的趋势，这是因为甜度过高会导致感官评分下降，由于白砂糖添加至 6 g/100 mL 后感官评分大幅降低，所以确定白砂糖添加量为 5 g/100 mL(图 4)。

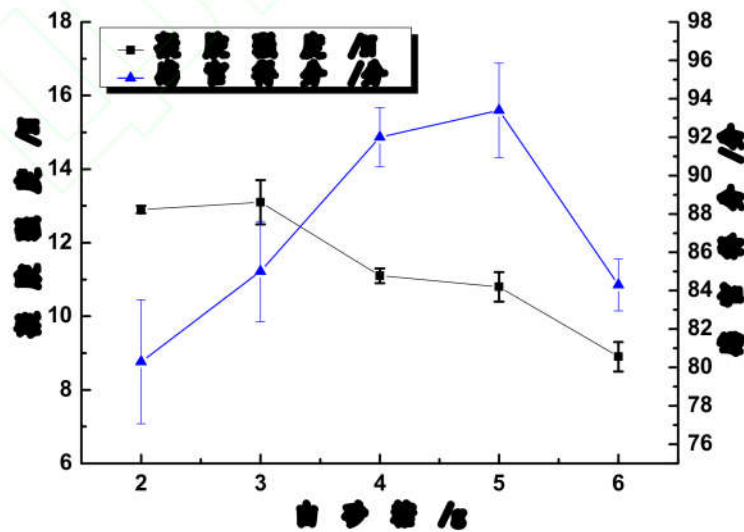


图 4 白砂糖添加量对桑葚魔芋复合果冻凝胶强度及感官得分的影响
Fig.4 Effect of sugar dose on gel strength and sensory score of mulberry konjac jelly

2.1.5 温度对桑葚魔芋复合果冻凝胶强度及感官得分的影响

随着搅拌加热溶胀温度的提高, 桑葚魔芋复合果冻凝胶强度呈现先平稳增加后下降然后又增加的趋势, 分析认为是由于卡拉胶的特性决定的, 在凝胶化过程中, 温度升高可导致卡拉胶凝胶结构消失, 有序的三维网络结构变成双螺旋结构^[12], 从而表现出凝胶强度的起伏变化。加热溶胀温度对桑葚魔芋复合果冻的感官得分影响较小, 在温度为 80 °C 时感官得分和凝胶强度均能达到较好效果, 所以选取溶胀温度为 80 °C(图 5)。

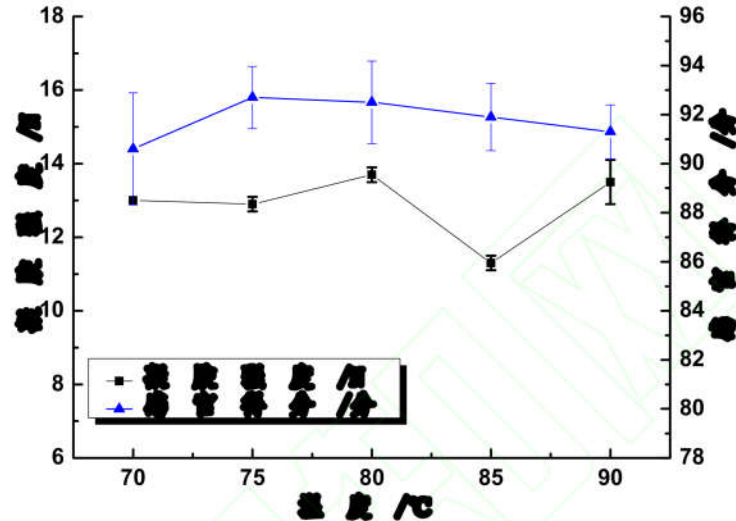


图 5 温度对桑葚魔芋复合果冻凝胶强度及感官得分的影响

Fig.5 Effect of temperature on gel strength and sensory score of mulberry konjac jelly

2.2 响应面试验设计与结果

研究表明, 凝胶强度与果冻口感密切相关^[12]。因此, 本试验通过感官评定及质构测定确定了对桑葚魔芋复合果冻口感及滋味影响的 3 个显著因素, 分别是魔芋粉、卡拉胶、桑葚浆的添加量。通过数据分析最终选择魔芋粉添加量为 0.20、0.30、0.40 g/100 mL, 卡拉胶添加量为 0.15、0.20、0.25 g/100 mL, 桑葚浆添加量为 4、6、8 g/100 mL。白砂糖添加量为 5 g/100 mL, 溶胀温度设置为 80 °C。以凝胶强度为响应值, 选用 3 因素 3 水平的 Box-Behnken 试验设计^[13], 共 17 组试验, 每组试验 3 个平行。试验设计因素与水平见表 2。

表2 响应面试验因素水平表

Tab.2 Factors and levels of response surface experiments

水平	因素		
	A 魔芋粉添加量/(g·100 mL ⁻¹)	B 卡拉胶添加量/g·100 mL ⁻¹)	C 桑葚浆添加量/(g·100 mL ⁻¹)
-1	0.20	0.15	4.00
0	0.30	0.20	6.00
1	0.40	0.25	8.00

在单因素试验结果的基础上, 以魔芋粉添加量(A)、卡拉胶添加量(B)、桑葚浆添加量(C)为自变量, 以凝胶强度(R)为响应值, 对桑葚魔芋复合果冻制备的工艺条件进行优化, 试验设计与结果见表 3。

表3 桑葚魔芋复合果冻凝胶强度的响应面设计与结果

Tab.3 Response surface design and results for gel strength of mulberry konjac jelly

编号	A 魔芋粉添加量/(g·100 mL ⁻¹)	B 卡拉胶添加量/(g·100 mL ⁻¹)	C 桑葚浆添加量/(g·100 mL ⁻¹)	凝胶强度/N
1	0.30	0.20	6.00	13.3±0.50
2	0.40	0.15	6.00	15.3±0.45
3	0.30	0.20	6.00	13.2±0.14
4	0.40	0.20	8.00	14.4±0.29
5	0.40	0.20	4.00	14.9±0.33
6	0.30	0.20	6.00	13.3±0.33
7	0.30	0.20	6.00	13.2±0.33
8	0.20	0.20	4.00	11.4±0.49
9	0.30	0.25	8.00	15.6±0.33
10	0.30	0.15	8.00	11.9±1.27
11	0.20	0.25	6.00	14.6±0.94
12	0.20	0.15	6.00	11.8±1.23
13	0.40	0.25	6.00	16.9±0.12
14	0.30	0.15	4.00	13.1±0.33
15	0.30	0.25	4.00	13.8±0.19
16	0.20	0.20	8.00	12.2±0.61
17	0.30	0.20	6.00	13.3±0.18

由表 4 可知,模型的 $F=1105.93$, $P<0.0001$, 表明试验所用的二次模型是极显著的,在统计学上也是有意义的。失拟项 $P=0.3678$, 在 $P<0.05$ 水平上不显著,对模型是有利的^[21]。校正决定系数 $R^2_{Adj}=0.9984$, 变异系数 $CV=0.43\%$, 说明只有 0.16% 的变异不能由该模型解释,因此该模型拟合性较好。

因素 A、B、C 对桑葚魔芋复合果冻的凝胶强度影响都极显著,交互项 AB、AC、BC 的 P 值也都小于 0.01,对桑葚魔芋复合果冻的凝胶强度也都有极显著的影响。二项式 A^2 、 B^2 、 C^2 的 P 值都达到了极显著水平。魔芋粉添加量对桑葚魔芋复合果冻凝胶强度影响最大,其次是卡拉胶添加量、桑葚浆添加量。桑葚魔芋复合果冻凝胶强度与各因素变量的二次方程模型为:

$$R=13.26+1.44A+1.10B+0.11C-0.3AB-0.32AC+0.75BC+0.51A^2+0.88B^2-0.54C^2$$

式中:各项系数的绝对值表示单因素对凝胶强度参数的影响程度,正负反映影响方向。

表4 凝胶强度回归模型方差分析

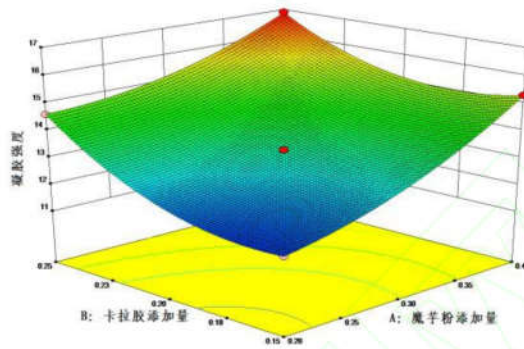
Tab.4 Analysis of variance for the regression model of gel strength

来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值
模型	34.84	9	3.87	1105.93	<0.0001
A 魔芋粉添加量	16.53	1	16.53	4723.21	<0.0001
B 卡拉胶添加量	9.68	1	9.68	2765.71	<0.0001
C 桑葚浆添加量	0.10	1	0.10	28.93	0.001
AB	0.36	1	0.36	102.86	<0.0001
AC	0.42	1	0.42	120.71	<0.0001
BC	2.25	1	2.25	642.86	<0.0001
A ²	1.08	1	1.08	309.84	<0.0001
B ²	3.28	1	3.28	936.91	<0.0001
C ²	1.24	1	1.24	354.05	<0.0001
残差	0.025	7	3.50×10 ⁻³		
失拟	0.013	3	4.17×10 ⁻³	1.39	0.3678
纯误差	0.012	4	3.00×10 ⁻³		
总和	34.86	16			

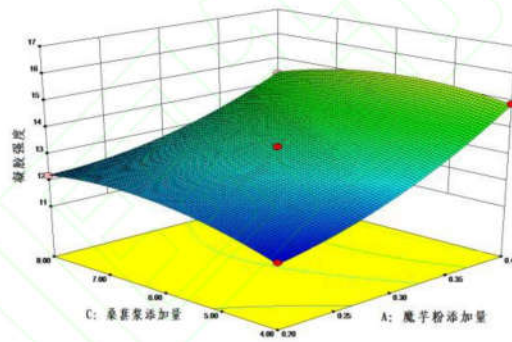
注: $P<0.05$, 差异显著; $P<0.01$, 差异极显著。

图 6 是 3 个因素中任意 2 个因素与凝胶强度所作的三维响应面图,能直观反应各因素间的交互作用。由图 6(a)(b)显示,沿 A 轴方向的响应面坡度明显比较陡峭,说明魔芋粉添加量的影响较卡拉胶、桑葚浆添加量大。随着魔芋粉添加量的增加,桑葚魔芋复合果冻的凝胶强度整体呈上升趋势,卡拉胶添加量的增加使桑葚魔芋复合果冻的凝胶强度也随之增大,且上升趋势平稳。桑葚浆的添加对桑葚魔芋复合果冻的凝胶强度影响较小。

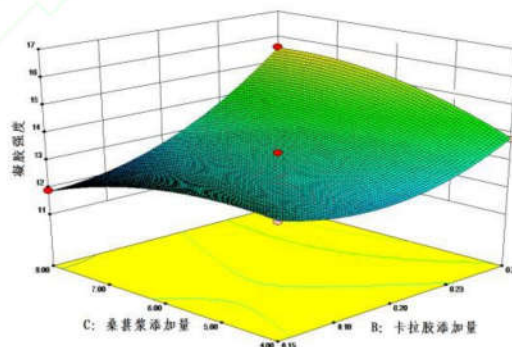
通过 Design-Expert8.0.6 软件分析, 在溶胀温度 80 ℃、溶胀时间 30 min 时, 魔芋粉、卡拉胶、桑葚浆添加量分别为 0.40、0.25、6.99 g/100 mL 时桑葚魔芋复合果冻凝胶强度最大, 该最优条件下凝胶强度的预测值为 17.020 6 N。采用优化后的参数进行验证试验, 为方便操作试验条件设为: 溶胀温度 80 ℃, 溶胀时间 30 min, 魔芋粉、卡拉胶、桑葚浆添加量分别为 0.40、0.25、7.00 g/100 mL。经 3 次平行试验后测得桑葚魔芋复合果冻的凝胶强度为(16.960 2±0.361 2)N, 与模型预测值 17.020 6 N 无显著差异, 说明拟合模型优化出的参数较为准确。



(a)魔芋粉添加量与卡拉胶添加量



(b)魔芋粉添加量与桑葚浆添加量



(c)卡拉胶添加量与桑葚浆添加量

图 6 各因素交互作用对桑葚魔芋复合果冻凝胶强度影响的响应面
Fig.6 Response surface diagram of interaction among various factors on gel strength of mulberry konjac jelly

2.3 桑葚魔芋复合果冻中主要矿物质和维生素含量

矿物质和维生素是维持人体健康所必需的营养素,由表 5 可知,桑葚魔芋复合果冻中主要含有钙、铁、硒、锌四种矿质元素,其中钙含量最高,达到 70.2 mg/kg;水溶性维生素主要有维生素 C、B₁、B₂、B₆ 四种维生素,其中维生素 B₂ 含量最高,达到 5.97 μg/mL。表明桑葚魔芋复合果冻有较好的营养价值。

表5 桑葚魔芋复合果冻中主要矿物质和维生素含量
Tab.5 Main mineral and vitamin content in mulberry konjac jelly

矿物质	含量/(mg·kg ⁻¹)	维生素	含量/(μg·mL ⁻¹)
Ca	70.2±2.59	维生素 C	1.26±0.11
Fe	3.8±0.24	维生素 B ₁	3.52±0.27
Se	0.2±0.05	维生素 B ₂	5.97±0.18
Zn	0.3±0.07	维生素 B ₆	3.94±0.51

2.4 桑葚魔芋复合果冻的氨基酸组成及含量

由表 6 可知,桑葚及桑葚魔芋复合果冻中主要含有天冬氨酸、谷氨酸等 15 种氨基酸,桑葚魔芋复合果冻中天冬氨酸含量最高,其次是谷氨酸。这两种氨基酸都属于酸性氨基酸,因其侧链有氨基或羧基而具有螯合金属离子和作为质子供体的能力,对抗氧化能力表现有一定贡献^[22],表明本试验制备的桑葚魔芋复合果冻具有一定的保健功效。

表6 桑葚魔芋复合果冻的氨基酸组成及含量
Tab.6 Amino acid composition and content of mulberry konjac jelly

氨基酸	含量/(mg·g ⁻¹)	氨基酸	含量/(mg·g ⁻¹)
天冬氨酸	0.189±0.05	酪氨酸	0.099±0.02
谷氨酸	0.097±0.01	缬氨酸	0.016±0.00
丝氨酸	0.033±0.01	蛋氨酸	0.010±0.00
甘氨酸	0.016±0.00	异亮氨酸	0.012±0.00
精氨酸	0.018±0.01	亮氨酸	0.018±0.00
苏氨酸	0.014±0.01	苯丙氨酸	0.012±0.00
丙氨酸	0.022±0.00	赖氨酸	0.013±0.00
脯氨酸	0.015±0.00		

3 结 论

通过单因素试验筛选出对桑葚魔芋复合果冻凝胶强度和感官得分影响较大的 3 个因素,进一步利用响应面分析建立桑葚魔芋复合果冻配方的二次多项式数学模型,对影响凝胶强度的关键因素及其相互作用进行深入探讨,发现各因素对果冻的凝胶强度影响大小为:魔芋粉添加量>卡拉胶添加量>桑葚浆添加量。此外,魔芋粉和卡拉胶添加量对桑葚魔芋复合果冻的凝胶强度有极显著的影响。综上,最终确定桑葚魔芋复合果冻的最佳工艺条件为:魔芋粉、卡拉胶、桑葚浆、白砂糖添加量分别为 0.40、0.25、7.00、5.00 g/100 mL。本试验制备的桑葚魔芋复合果冻中富含矿物质、氨基酸、维生素等营养元素,为桑葚地深加工及工业生产提供了技术参考,也为桑葚主要成分保存研究奠定了理论基础。

参考文献:

- [1] 杨新, 卢红梅, 杨双全, 等. 桑葚及桑葚果酒的研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(4): 257-262.
YANG Xin, LU Hongmei, YANG Shuangquan, et al. Research progress on mulberry and mulberry wine[J]. Food and Fermentation Industries, 2019, 45(4): 257-262.
- [2] 吴玥霖, 曾里, 曾凡骏. 桑葚营养果冻的工艺研究[J]. 食品与发酵科技, 2009, 45(3): 70-73.
WU Yuelin, ZENG Li, ZENG Fanjun, et al. Processing technology of the nutrition mulberry Jelly[J]. Food and Fermentation Technology, 2009, 45(3):70-73.
- [3] 刘学铭, 黄小霞, 廖森泰, 等. 3 种富含花青素植物提取物抗氧化和降血脂活性比较研究[J]. 中国食品学报, 2014, 14(1):

- 20-27. LIU Xueming, HUANG Xiaoxia, LIAO Sentai, et al. Antioxidant activities and hypolipidemic effects of three different anthocyanin-enriched extracts[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2014, 14(1): 20-27.
- [4] 钮成拓, 李正学, 范林旭, 等. 桑葚果酒发酵过程中功能性物质的检测及其变化情况[J]. *食品与发酵工业*, 2019, 45(3): 87-92.
- NIU Chengtuo, LI Zhengxue, FAN Linxu, et al. Measurement and changes in bioactive compounds during mulberry wine fermentation[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2019, 45(3): 87-92.
- [5] 冉国敬, 蒋鑫炜, 黎浩仪, 等. 利用中压制液相色谱从桑葚中快速制备矢车菊素-3-葡萄糖苷单体[J]. *食品科学*, 2019, 40(3): 103-109.
- RAN Guojing, JIANG Xinwei, LI Haoyi, et al. Rapid preparation of cyanidin-3-glucoside from mulberry fruit by preparative medium pressure liquid chromatography[J]. *Food Science*, 2019, 40(3): 103-109.
- [6] 梁晓娟, 陈静, 张文哲, 等. 响应面法优化百合果冻配方[J]. *食品工业科技*, 2018, 39(1): 221-226.
- LIANG Xiaojuan, CHEN Jing, ZHANG Wenzhe, et al. Optimization of lily jelly formulation by response surface methodology[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2018, 39(1): 221-226.
- [7] 金明良, 覃小丽, 唐小媛, 等. 含罗望子胶的复配胶在牛奶果冻中的应用[J]. *食品与发酵工业*, 2017(10): 136-141.
- JIN Mingliang, QIN Xiaoli, TANG Xiaoyuan, et al. Preparation of milk jelly using tamarind compound gums[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2017(10): 136-141.
- [8] 张晓银, 李汴生. 高温杀菌对低酸性大米果冻质构特性的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2012, 38(7): 98-102.
- ZHANG Xiaoyin, LI Biansheng. Effects of high-temperature sterilization on the texture characteristics of low-acid rice jelly[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2012, 38(7): 98-102.
- [9] 张海悦, 张凤清, 李丰收. 马齿苋排毒养颜果冻的研制[J]. *食品与发酵工业*, 2004, 30(8): 47-48.
- ZHANG Haiyue, ZHANG Fengqing, LI Fengshou. Preparation of purslane jelly[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2004, 30(8): 47-48.
- [10] 杨旭, 程道梅, 李淼, 等. 桑葚蜜桔风味果冻配方的研究[J]. *食品研究与开发*, 2017, 38(8): 82-84.
- YANG Xu, CHENG Daomei, LI Miao, et al. Study on the formula of the Jelly with mulberry and sweet orange flavor[J]. *Food Research and Development*, 2017, 38(8): 82-84.
- [11] 余小颖, 赵丰, 李学斌, 等. 紫甘薯保健果冻的研制[J]. *食品工业科技*, 2009, 30(1): 246-248.
- YU Xiaoling, ZHAO Feng, LI Xuebin, et al. Study on the developmet of purple sweet potato health jelly[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2009, 30(1): 246-248.
- [12] 徐东彦. 环糊精对卡拉胶/魔芋胶复配凝胶凝胶特性的影响及应用[D]. 济南: 齐鲁工业大学, 2019.
- XU Dongyan. Effect of Cyclodextrins on the Gelling Properties of Carrageenan/Konjac Glucommanan and Its Applications[D]. Ji'nan: Qilu University of Technology, 2019.
- [13] 田华, 黄珍. 保健果冻研究现状与展望[J]. *食品研究与开发*, 2019, 40(4): 215-219.
- TIAN Hua, HUANG Zhen. Research progress and future prospect of health jelly[J]. *Food Research and Development*, 2019, 40(4): 215-219.
- [14] 念波, 石兴云, 刘静, 等. 应用响应面设计优化黄精速溶茶加工工艺[J]. *云南农业大学学报(自然科学)*, 2019, 34(2): 121-126.
- NIAN Bo, SHI Xingyun, LIU Jing, et al. Optimization of the technology for production of instant polygonatum powder by response surface design[J]. *Journal of Yunnan Agricultural University (Natural Science)*, 2019, 34(2): 121-126.
- [15] 魏慧贤, 钟芳, 麻建国, 等. 用感官评定方法确定甜酸比的研究[J]. *食品与机械*, 2008, 24(4): 106-109.
- WEI Huixian, ZHONG Fang, MA Jianguo, et al. Determination of sugar/acid ratio using organoleptice valuation method [J]. *Food and Machinery*, 2008, 24(4): 106-109.
- [16] 中华人民共和国国家市场监督管理总局. GB/T19883—2018 果冻[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018.
- State Administration of Market Supervision and Administration of The People's Republic of China. GB/T 19883-2018 Jelly[S]. Beijing: China Standard Press, 2018.
- [17] MIR-MARQUES A, MARTINEZ-GARCIA M, GARRIGUES S, et al. Green direct determination of mineral elements in artichokes by infrared spectroscopy and X-ray fluorescence[J]. *Food Chemistry*, 2016(196): 1023-1030.
- [18] PAI R, SINGH G, PANDIT V. Development and validation of a HPLC method for the determination of trans-resveratrol in spiked human plasma[J]. *Journal of Advanced Pharmaceutical Technology & Research*, 2012, 3(2): 130-135.
- [19] WILLIAMS P A, PHILLIPS G O, WILLIAMS P A, et al. Gums and stabilisers for the food industry[J]. *Nutrition Bulletin*, 2002,28(2): 229-230.
- [20] 谢桂勉, 杨培新, 郑锐东, 等. 响应曲面法优化淮山紫薯复合风味果冻工艺[J]. *食品工业科技*, 2016, 37(16): 285-289.
- XIE Guimian, YANG Peixin, ZHENG Ruidong, et al. Optimization of formulation of compound Chinese yam and purple sweet potato jelly by response surface methodology[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2016, 37(16): 285-289.
- [21] 姜惠敏, 李明, 曹光群, 等. 酶解制备羊胎盘抗氧化肽工艺条件的优化[J]. *食品与生物技术学报*, 2017, 36(1): 104-110.
- JIANG Huimin, LI Ming, CAO Guangqun, et al. Preparation of antioxidant peptides from sheep placenta byproducts by enzymatic hydrolysis[J]. *Journal of Food and Biotechnology*, 2017, 36(1): 104-110.
- [22] CUI C, HU Q, REN J, et al. Effect of the structural features of hydrochloric acid-deamidated wheat gluten on its susceptibility to enzymatic hydrolysis[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2013, 61(24): 5706-5714.