

红毛藻 R-藻红蛋白果冻的制备工艺

罗丹¹, 杨晗¹, 李月¹, 姜泽东^{1,2}, 王力^{1,2}

(1. 集美大学海洋食品与生物工程学院, 福建 厦门 361021; 2. 福建省食品微生物与酶工程重点实验室, 福建 厦门 361021)

[摘要] 为了研究红毛藻 R-藻红蛋白、卡拉胶-魔芋粉复合胶、木糖醇、柠檬酸的不同添加量对红毛藻 R-藻红蛋白果冻品质的影响, 通过单因素实验筛选获得 4 种物质的最佳添加量, 并采用正交法优化果冻配方, 确定红毛藻 R-藻红蛋白果冻的最优制备工艺条件。结果表明, 得到的最佳配方是复合胶、木糖醇、柠檬酸、红毛藻 R-藻红蛋白液的质量分数分别为 0.9%, 9.0%, 0.10%, 4.5%; 感官评分为 87.64, 弹性为 (0.98 ± 0.016) mm, 咀嚼性为 (0.789 ± 0.021) N; 可溶性固形物质量分数为 24.3%; 菌落总数为 40 CFU/g, 未检出大肠杆菌, 结果符合国家标准要求。

[关键词] 红毛藻 R-藻红蛋白; 果冻; 工艺优化; 复合胶; 木糖醇; 柠檬酸

[中图分类号] TS 254.5

Study on the Processing Technology of Jelly of R-Phycoerythrin from *Bangia fusco-purpurea*

LUO Dan¹, YANG Han¹, LI Yue¹, JIANG Zedong^{1,2}, WANG Li^{1,2}

(1. College of Ocean Food and Biological Engineering, Jimei University, Xiamen 361021, China; 2. Fujian Key Laboratory of Food Microbiology and Enzyme Engineering, Xiamen 361021, China)

Abstract: To study the effects of different addition amounts of R-phycoerythrin from *Bangia fusco-purpurea*, carrageenan-konjac powder compound gum, xylitol and citric acid on the quality of jelly of R-phycoerythrin from *Bangia fusco-purpurea*, the optimal addition amounts of four substances through single factor experiment, and the formula of jelly was optimized by orthogonal method to determine the optimal preparation conditions of jelly of R-phycoerythrin from *Bangia fusco-purpurea*. The results showed: the optimum formula was compound glue 0.9%, xylitol 9.0%, citric acid 0.10%, R-phycoerythrin from *Bangia fusco-purpurea* solution 4.5%; the sensory score was 87.64, the elasticity was (0.98 ± 0.016) mm, and the chewiness was (0.789 ± 0.021) N. The content of soluble solids was 24.3%, the total number of colonies was 40 CFU/g, and *Escherichia coli* was not detected, which met the requirements of national standards.

Keywords: R-phycoerythrin from *Bangia fusco-purpurea*; jelly; process optimization; compound gum; xylitol; citric acid

[收稿日期] 2021-11-08

[基金项目] 福建省自然科学基金项目 (2020J01674)

[作者简介] 罗丹 (1997—), 女, 硕士生, 从事生物技术方向研究。通信作者: 姜泽东 (1982—), 男, 教授, 博士, 从事食品生物技术方向研究。E-mail: zdjiang@jmu.edu.cn

<http://xuebaobangong.jmu.edu.cn/zkb>

0 引言

果冻作为一种休闲食品深受人们的喜爱。随着健康意识的不断提高,人们对果冻食品的要求也从美味、安全、卫生上升至具备一定的营养保健功能^[1]。目前,为节约生产成本,部分果冻食品生产厂商在生产过程中添加人工合成色素、香精、防腐剂等,从而导致其营养价值和保健效果降低,甚至给人体健康带来不利的影响^[2]。当前,果冻着色大多使用人工合成色素,有研究表明,这类合成色素对儿童的行为具有负面影响^[3-4]。因此,禁止销售含人工色素的食品逐渐成为一种趋势,而天然替代品比大多数人工色素更易获得^[5],这也使得人们对天然提取色素的需求日益增长。

藻胆蛋白是一种纯天然色素,色彩艳丽,是理想的食品添加剂。目前,市面上常见的2种藻胆蛋白是藻红蛋白和藻蓝蛋白。藻蓝蛋白常用于甜点、布丁、酵母及乳制品^[6-9],而藻红蛋白的相关应用研究较少。与常用的人工色素及其他天然色素相比,藻红蛋白着色更优。因此,将藻红蛋白作为一种健康的天然色素应用于果冻的生产加工具有较高的研究价值^[10]。由于红毛藻中的藻红蛋白颜色独特,因此,本研究将红毛藻R-藻红蛋白应用于果冻配方中,通过单因素正交实验探索木糖醇、柠檬酸、红毛藻R-藻红蛋白、复合胶的不同添加量对果冻感官及质构分析(texture profile analysis, TPA)的影响,确定红毛藻R-藻红蛋白果冻的最优制备工艺,以期开发一种独具红毛藻风味的新型果冻,为红毛藻R-藻红蛋白的深加工提供技术参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

红毛藻R-藻红蛋白粉,自制;白魔芋粉(食品级),广州利成实业有限公司;木糖醇(食品级),广州福正东海食品有限公司;柠檬酸、氯化钾(食品级),河南万邦实业有限公司;柠檬酸钠(食品级),潍坊英轩实业有限公司;卡拉胶(食品级),味之缘食品配料商城;奶粉(食品级),双城雀巢有限公司;磷酸二氢钠、磷酸氢二钠(食品级),万康生物科技有限公司;硫酸铵(食品级),江苏科伦多食品配料有限公司。

1.2 仪器与设备

HHS 电热恒温水浴锅,上海博讯实业有限公司;BS 124 S 型电子天平,北京赛多利斯仪器系统有限公司;JJ-2 型组织捣碎匀浆机,富华仪器有限公司;2W 型阿贝折光仪,上海精密光学仪器公司;TA. TOUCH 凝胶强度测定仪,上海保圣实业发展有限公司。

1.3 方法

1.3.1 红毛藻R-藻红蛋白果冻的制作流程

果冻的制作工艺流程如图1所示。

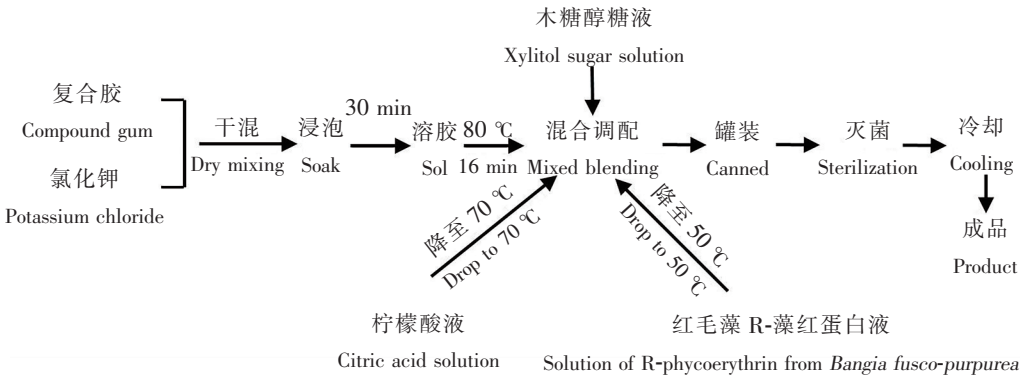


图1 红毛藻R-藻红蛋白果冻工艺流程

Fig.1 Technological process of jelly of R-phycoerythrin from *Bangia fuscopurpurea*

1.3.2 操作过程

1) 原料溶解。称取一定量红毛藻 R-藻红蛋白冻干粉, 加纯净水配制质量浓度为 5 g/L 的红毛藻 R-藻红蛋白液; 分别称取一定量木糖醇、柠檬酸并加纯净水溶解, 配制成糖液和酸液。

2) 复合胶制备。单一胶制成的果冻凝胶弹性小且韧性不足, 本实验采用卡拉胶-魔芋粉 (质量比为 2:1) 复配, 利用两者协同作用以达到性能互补。将复合胶与氯化钾干混, 加水浸泡 30 min, 80 ℃ 下加热搅拌至完全溶解, 后加入木糖醇糖液, 搅拌均匀。

3) 混合调配。待糖胶液温度降至 70 ℃, 加入柠檬酸液 (边加边搅拌), 冷却至 50 ℃ 后加入红毛藻 R-藻红蛋白液, 混匀。

4) 罐装。将调配液趁热倒入无菌果冻杯中, 迅速封口。

5) 杀菌。巴氏杀菌, 85 ℃, 15 min。

6) 冷却。杀菌结束后冷却至室温, 即得红毛藻 R-藻红蛋白果冻。

1.3.3 红毛藻 R-藻红蛋白、复合胶、木糖醇、柠檬酸添加量对果冻感官及质构的影响

1) 红毛藻 R-藻红蛋白。固定复合胶总添加量为 0.9%、木糖醇为 9.5%、柠檬酸为 0.15%、柠檬酸钠为 0.1%、氯化钾为 0.1% (均为质量分数), 分别设定红毛藻 R-藻红蛋白液 (5 g/L) 添加量为 3.5%, 4.0%, 4.5%, 5.0%, 5.5% (均为质量分数), 制备红毛藻 R-藻红蛋白果冻, 分别进行弹性、咀嚼性测试及感官评分, 以确定红毛藻 R-藻红蛋白液最适添加量。

2) 复合胶。固定红毛藻 R-藻红蛋白液添加量 (5 g/L) 为 4.5%、木糖醇为 9.5%、柠檬酸为 0.15%、柠檬酸钠为 0.1%、氯化钾为 0.1% (均为质量分数), 分别设定复合胶添加量为 0.7%, 0.8%, 0.9%, 1.0%, 1.1% (均为质量分数), 制备红毛藻 R-藻红蛋白果冻, 分别进行弹性、咀嚼性测试和感官评分, 以确定复合胶最佳添加量。

3) 木糖醇。固定复合胶添加量为 0.9%、红毛藻 R-藻红蛋白液 (5 g/L) 为 4.5%、柠檬酸为 0.15%、柠檬酸钠为 0.1%、氯化钾为 0.1% (均为质量分数), 分别设定木糖醇添加量为 8.5%, 9.0%, 9.5%, 10.0%, 10.5% (均为质量分数), 制备红毛藻 R-藻红蛋白果冻, 分别进行弹性、咀嚼性测试和感官评分, 以确定木糖醇最佳添加量。

4) 柠檬酸。固定复合胶添加量为 0.9%、红毛藻 R-藻红蛋白液 (5 g/L) 为 4.5%、木糖醇为 9.5%、柠檬酸钠为 0.1%、氯化钾为 0.1% (均为质量分数), 分别设定柠檬酸添加量为 0.05%, 0.10%, 0.15%, 0.20%, 0.25% (均为质量分数), 制备红毛藻 R-藻红蛋白果冻, 分别进行弹性、咀嚼性测试和感官评分, 以确定柠檬酸最佳添加量。

1.3.4 果冻的感官评价

参照 GB/T 19883—2018^[11] 制定红毛藻 R-藻红蛋白果冻的感官评分标准, 如表 1 所示。打分项目分别为外观 (20 分)、风味 (25 分)、组织状态 (25 分)、口感 (30 分), 满分 100 分。选取 10 名食品专业人员, 其中男女各 5 名, 且已通过感官分析培训, 健康状况良好, 能客观、公正评价样品。根据该标准对红毛藻 R-藻红蛋白果冻进行评分。

1.3.5 检测方法

1) 理化指标检测方法。采用质构仪 TPA 模式对果冻的弹性、硬度、咀嚼性进行测定。设置测试参数: P/36R 探头, 测试前速率为 2 mm/s, 测试速率为 1 mm/s, 测试后速率为 1 mm/s, 触变力为 0.049 N, 压缩形变量为 20%。每个样品测定 5 次, 取平均值。

2) 微生物指标测定。分别参照 GB 4789.2—2016^[12]、GB 4789.3—2016^[13] 对果冻的菌落总数及大肠菌群进行检测。

3) 固形物含量测定。参照 GB/T 10786—2006^[14] 检测果冻成品的可溶性固形物含量。

1.3.6 红毛藻 R-藻红蛋白果冻制备配方优化

根据红毛藻 R-藻红蛋白果冻单因素实验结果, 以产品感官评分为指标, 对复合胶用量 (A)、木

糖醇用量 (B)、柠檬酸用量 (C)、红毛藻 R-藻红蛋白液用量 (D) 等因素进行 4 因素 3 水平 $L_9(3^4)$ 正交实验,实验设计因素与水平如表 2 所示。

表 1 感官评分标准
Tab. 1 The standards of sensory scores

评分项目 Scoring items	评分内容 Scoring content	分值 Score
外观 Appearance (20 分)	呈淡红色,表面光滑,色泽鲜亮,透明 Light red,smooth surface,bright color and transparent	15 ~ 20
	呈红色,表面较光滑,色泽较鲜亮,半透明 Red,the surface is smooth,and the color is bright and translucent	8 ~ 14
	呈深红色,表面粗糙,色泽暗淡,不透明 Dark red,rough surface,dim color and opaque	1 ~ 7
风味 Flavor (25 分)	无腥味,酸甜可口 No fishy smell,sour,sweet and delicious	20 ~ 25
	腥味较淡,稍酸或稍甜 The fishy smell is light,and slightly sour or sweet	12 ~ 20
	腥味过重,过酸或过甜 The fishy smell is too heavy,and too sour or too sweet	1 ~ 12
组织状态 Organizational status (25 分)	成冻完整,弹性好,无气泡,无析水现象 Complete freezing,good elasticity,no bubbles and no water precipitation	20 ~ 25
	成冻较完整,有弹性,有气泡,轻微析水现象 The freezing is relatively complete,and elastic,with bubbles and slight water precipitation	12 ~ 20
	成冻不完整,无弹性,大量气泡,严重析水现象 Incomplete freezing,inelastic,a large number of bubbles and serious water precipitation	1 ~ 12
口感 Texture (30 分)	爽滑细腻,软硬适中 Smooth and delicate,moderate soft and hard	21 ~ 30
	较爽滑细腻,软硬较适中 It is smooth and delicate,with moderate hardness and softness	11 ~ 20
	口感粗糙,过软或过硬 The taste is rough,and too soft or too hard	1 ~ 10

表 2 正交实验因素水平表
Tab. 2 Factors and levels of orthogonal test

单位 Unit:%

水平 Level	因素 Factors			
	w(复合胶 Compound gum) (A)	w(木糖醇 Xylitol)(B)	w(柠檬酸 Citric acid)(C)	w(红毛藻 R-藻红蛋白液 Solution of R-phycoerythrin from <i>Bangia fusco-purpurea</i>)(D)
1	0.8	9.0	0.10	3.5
2	0.9	9.5	0.15	4.5
3	1.0	10.0	0.20	5.5

2 实验结果与讨论

2.1 红毛藻 R-藻红蛋白添加量的确定

由图 2 可知,红毛藻 R-藻红蛋白液对果冻质构影响较小,对感官评分影响较大。随着红毛藻 R-藻红蛋白液含量的增大,果冻颜色逐渐加深,由浅粉色过渡为红色,继续增加红毛藻 R-藻红蛋白液,则转变为深红色。当红毛藻 R-藻红蛋白液质量分数为 4.5% 时,果冻颜色鲜亮,口感较好,感官评分最高,故确定红毛藻 R-藻红蛋白液最佳添加量质量分数为 4.5%。

2.2 复合胶添加量的确定

由图 3 可知,随着复合胶含量的增加,果冻的弹性、咀嚼性逐渐提升,感官评分呈先增后降的趋势。这是由于复合胶用量少时,果冻绵软,弹性、咀嚼性、口感较差;增加用量,弹性、咀嚼性增强,成型性好;当用量超过 0.9% 时,果冻质地过硬,口感变差。单一的 κ -卡拉胶凝胶更硬,容易

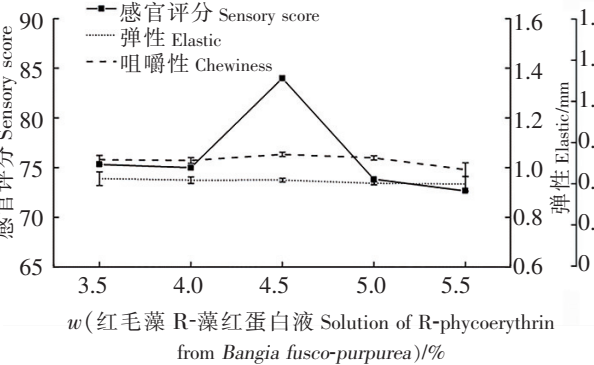


图 2 红毛藻 R-藻红蛋白液用量对果冻感官及质构的影响
Fig.2 The effect of the amount of solution of R-phycoerythrin from *Bangia fuscopurpurea* on the sensory and texture of jelly

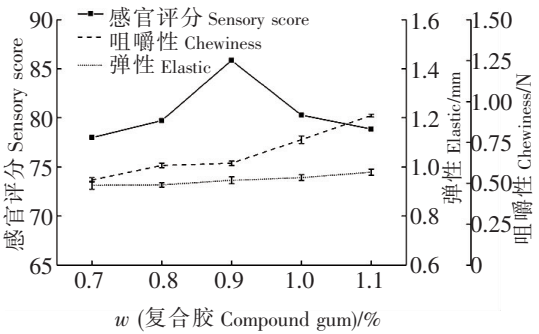


图 3 复合胶用量对果冻感官及质构的影响
Fig.3 The effect of the amount of compound gum on the sensory and texture of jelly

出现弹性小、脆性大、析水等问题^[15]，魔芋粉的加入可以改善其易碎的缺陷。这是因为螺旋 κ -卡拉胶分子能通过氢键与魔芋分子相互作用， κ -卡拉胶分子形成有序螺旋结构，发生凝胶化。 κ -卡拉胶的主要连接区影响混合胶质凝胶，有助于形成三维聚合物网络；魔芋分子的弱连接区有助于增强黏度^[16-17]。因此，使用复合胶能产生更好的效果，即增加总胶质量浓度就会提升体系的胶凝状态。最终选择最佳复配胶添加量质量分数为 0.9%。

2.3 木糖醇添加量的确定

由图 4 可知，随着木糖醇添加量的增加，果冻的弹性、咀嚼性及感官评分先增后减。木糖醇用量过低时，果冻味道寡淡，口感过软，无韧性。当木糖醇质量分数增至 9.5% 时，果冻味道清爽，软硬适中。这可能是由于木糖醇分子的吸水特性，降低了凝胶自由水含量，增强了魔芋与 κ -卡拉胶之间的分子间吸引力，使弹性、咀嚼性增大，口感变佳，感官评分提高^[18]。当用量过高时，果冻有清凉的刺激感，质地变软并出现析水现象。可能是当木糖醇浓度过高时，剩余游离或未结合的水不足以参与复合胶内部分子链的结合，从而导致凝胶形成不完全，硬度降低，黏性上升，口感下降^[19]。因此，最终确定木糖醇添加量质量分数为 9.5%。

2.4 柠檬酸添加量的确定

由图 5 可知，当柠檬酸质量分数为 0.05% ~ 0.25% 时，果冻感官评分波动幅度较大，弹性、咀嚼性变化不显著。柠檬酸能赋予果冻一定的酸爽风味，其用量对果冻口感及胶的稳定性有较大影响。适当浓度的 OH^- 能够有效地增加卡拉胶形成稳定的双螺旋结构，增强凝胶强度^[20]。当柠檬酸加入量少时，酸味不足，且使复合胶的酸碱性发生变化^[21]。当质量分数为 0.15% 时，果冻酸甜爽口、口感最佳。因此，最终确定柠檬酸添加量质量分数为 0.15%。

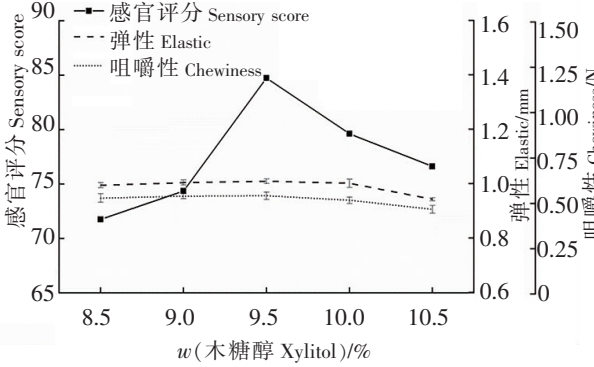


图 4 木糖醇用量对果冻感官及质构的影响
Fig.4 The effect of the amount of xylitol on the sensory and texture of jelly

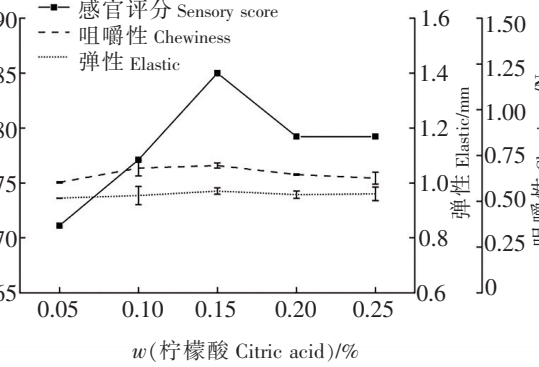


图 5 柠檬酸用量对果冻感官及质构的影响
Fig.5 The effect of the amount of citric acid on the sensory and texture of jelly

2.5 红毛藻 R-藻红蛋白果冻最优配方的确定

确定复合胶用量 (A)、木糖醇用量 (B)、柠檬酸用量 (C)、藻红蛋白液用量 (D) 4 个单因素的优化结果,以产品感官评分为指标,设置 4 因素 3 水平正交实验,确定红毛藻 R-藻红蛋白果冻的最佳配方,结果如表 3 所示。通过极差分析可知,各因素对果冻感官得分的影响顺序为 $A > D > C > B$,即:复合胶用量对产品质量影响最大,其次是红毛藻 R-藻红蛋白液用量,柠檬酸和木糖醇用量对果冻感官评分影响较小。根据结果分析,确定红毛藻 R-藻红蛋白果冻的最佳配方为 $A_2B_1C_1D_2$,即复合胶为 0.9%、木糖醇为 9.0%、柠檬酸为 0.10%、红毛藻 R-藻红蛋白液为 4.5% (均为质量分数)。由于最佳组合不在正交优化的条件内,故进行验证实验,重复进行 5 次实验,经感官评定得出所制成的果冻产品感官评分为 87.64,TPA 质构测定其弹性为 (0.98 ± 0.016) mm,咀嚼性为 (0.789 ± 0.021) N,在此条件下制成的果冻具有较好的风味及品质。

表 3 正交实验设计方案及结果
Tab.3 The design and results of orthogonal test

实验号 Experiment number	A	B	C	D	感官评分 Sensory score
1	1(0.8%)	1(9.0%)	1(0.10%)	1(3.5%)	79.13
2	1(0.8%)	2(9.5%)	2(0.15%)	2(4.5%)	77.88
3	1(0.8%)	3(10.0%)	3(0.20%)	3(5.5%)	74.50
4	2(0.9%)	1(9.0%)	2(0.15%)	3(5.5%)	77.13
5	2(0.9%)	2(9.5%)	3(0.20%)	1(3.5%)	79.63
6	2(0.9%)	3(10.0%)	1(0.10%)	2(4.5%)	80.38
7	3(1.0%)	1(9.0%)	3(0.20%)	2(4.5%)	77.00
8	3(1.0%)	2(9.5%)	1(0.10%)	3(5.5%)	74.75
9	3(1.0%)	3(10.0%)	2(0.15%)	1(3.5%)	76.00
K_1	77.17	77.75	78.09	78.25	—
K_2	79.05	77.42	77.00	78.42	—
K_3	75.92	76.96	77.04	75.46	—
R	3.13	0.79	1.08	2.96	—

2.6 红毛藻 R-藻红蛋白果冻质量评价

- 1) 感官指标。根据最优配方制作的果冻呈透亮的淡红色,表面平滑,质地均匀细腻,无明显气泡,软硬适中,有较好的持水性及咀嚼性,酸甜可口,无腥味。
- 2) 微生物指标。依照 GB 4789.2—2016^[12]、GB 4789.3—2016^[13]检测果冻的微生物含量,结果显示,菌落总数为 40 CFU/g,大肠杆菌未检出,符合 GB/T 19883—2018^[11]的要求。
- 3) 可溶性固形物。按照 GB/T 10786—2006^[14]检测红毛藻 R-藻红蛋白果冻中可溶性固形物质量分数为 24.3%,已达国标 GB/T 19883—2018^[11]的要求。

3 结论

本文将红毛藻 R-藻红蛋白添加至果冻配方中,通过单因素正交实验得到红毛藻 R-藻红蛋白果冻的最佳配方为:红毛藻 R-藻红蛋白液 (5 g/L) 为 4.5%、复合胶为 0.9%、木糖醇为 9.0%、柠檬酸为 0.10% (均为质量分数)。在此条件下制成的果冻不仅具有透亮的淡红色,还有独特的红毛藻香气,咀嚼性、弹性较好。经检测,成品的大肠菌群、菌落总数及可溶性固形物含量均符合国家标准。

通过极差分析,对产品质量影响最大的是复合胶用量。单一的 κ -卡拉胶凝胶脆性大,加入魔芋粉可以增强膜的黏度,使 κ -卡拉胶形成有序螺旋结构,发生凝胶化。因此,使用复合胶能增加总胶质量浓度,提升体系的胶凝状态。柠檬酸的用量对胶的稳定性影响较大,柠檬酸添加过量会使卡拉胶被酸解为小分子,破坏有序的网状结构,使复合胶凝胶硬度、弹性、咀嚼性下降。复合胶用量、木糖

醇用量对果冻的质构特性影响较大,柠檬酸及红毛藻 R-藻红蛋白对质构特性影响不明显,但 4 个因素的添加量都显著影响果冻的感官评分。

[参 考 文 献]

- [1] 王琦. 果冻产品发展趋势及相关技术问题的初探 [J]. 食品工业科技, 2001(4): 77-78.
- [2] ANTELO F S, COSTA J A V, KALIL S J. Thermal degradation kinetics of the phycocyanin from *Spirulina platensis* [J]. Biochemical Engineering Journal, 2008, 41(1): 43-47.
- [3] MCCANN D, BARRETTA, COOPER A, et al. Food additives and hyperactive behaviour in 3-year-old and 8/9-year-old children in the community: a randomised, double-blinded, placebo-controlled trial [J]. Lancet, 2007, 370(9598): 1560-1567.
- [4] AMOLD L E, LOFTHOUSE N, HURT E. Artificial food colors and attention-deficit/hyperactivity symptoms: conclusions to dye for [J]. Neurotherapeutics, 2012, 9(3): 599-609.
- [5] WROLSTAD R E, CULCER C A. Alternatives to those artificial FD and C food colorants [J]. Review of Food Ence and Technology, 2012, 3(1): 59-77.
- [6] CHENTIR I, KCHAOU H, HAMD I M, et al. Biofunctional gelatin-based films incorporated with food grade phycocyanin extracted from the Saharian cyanobacterium *Arthrospira* sp [J]. Food Hydrocolloids, 2019, 89: 715-725.
- [7] GALETOVIC A, SEURA F, GALLARDO V, et al. Use of phycobiliproteins from Atacama cyanobacteria as food colorants in a dairy beverage prototype [J]. Foods, 2020, 9(2442): 1-7.
- [8] SUDHAKAR M P, JAGATHEESAN A, PERUMAL K, et al. Methods of phycobiliprotein extraction from *Gracilaria crassa* and its applications in food colourants [J]. Algal Research, 2015, 8: 115-120.
- [9] SUDHAKAR M P. Extraction, purification and application study of R-phycoerythrin from *Gracilaria corticata* (J. Agardh) J. Agardh var. *corticata* [J]. Indian Journal of Natural Products and Resources, 2015, 5(4): 371-374.
- [10] KAIXIAN Q, FRANKLIN M, BOROWITZKA M A. The study for isolation and purification of R-phycoerythrin from a red alga [J]. Applied Biochemistry and Biotechnology, 1993, 43(2): 133-139.
- [11] 全国休闲食品标准化技术委员会, 国家市场监督管理总局. 果冻: GB/T 19883—2018 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2018.
- [12] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定: GB 4789.2—2016 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [13] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品微生物学检验 大肠菌群计数: GB 4789.3—2016 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [14] 国家质量监督检验检疫总局. 罐头食品的检验方法: GB/T 10786—2006 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- [15] 杨晨, 魏婷, 常慧敏, 等. 响应面法优化柿子果冻加工技术 [J]. 食品研究与开发, 2020, 41(5): 127-133.
- [16] KOHYAMA K, SANO Y, NISHINARI K. A mixed system composed of different molecular weights konjac glucomannan and κ -carrageenan II: molecular weight dependence of viscoelasticity and thermal properties [J]. Food Hydrocolloids, 1996, 10(2): 229-238.
- [17] WILLIAMS P A. Molecular interactions of plant and algal polysaccharides [J]. Structural Chemistry, 2009, 20(2): 299-308.
- [18] TOTOSAUS A, GUERRERO, MONTEJANO J G. Effect of added salt on textural properties of heat-induced gels made from gum-protein [J]. Journal of Texture Studies, 2005, 36(1): 78-92.
- [19] 梁晓娟. 兰州百合果冻、饮品的加工工艺及特性研究 [D]. 兰州: 西北师范大学, 2018.
- [20] 陈婕, 邓爱华, 王云, 等. 响应面法优化朝鲜蓟果冻的加工工艺 [J]. 广州化工, 2020, 48(2): 64-69.
- [21] 魏玉. κ -卡拉胶的凝胶化作用及其与魔芋胶协同作用特性研究 [D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2010.

(责任编辑 马建华 英文审校 刘静雯)