

基于响应面法的刺五加酵素果冻配方优化

高鲲¹, 蔡智军¹, 何丹¹, 贾金辉¹, 司旭², 王心哲¹, 程贵兰^{1*}

(1. 辽宁农业职业技术学院食品药品学院, 辽宁营口 115009)

(2. 沈阳农业大学食品学院, 辽宁沈阳 110866)

摘要: 刺五加属于药食同源食物, 为了提高其果实的利用率, 该研究以质构特性、感官评分和析水率作为评价指标, 采用单因素试验确定各原料的最佳添加量, 通过响应面试验对果冻的配方进行优化。结果表明, 复合增稠剂添加量、刺五加酵素添加量、甜菊糖苷添加量对果冻的品质影响显著。最佳配方是果胶添加量 2.0%、魔芋胶添加量 1.0%、刺五加酵素添加量 45.0%、甜菊糖苷添加量 1.0%、柠檬酸添加量 2.0%、纯净水添加量 49.0%。此时感官评分为 89.6, 析水率为 2.14%, 均优于各试验组合, 弹性 16.68 mm、回复性 0.46、硬度 22.86 N、34.95 mJ, 各质构特性与市售果冻相近。该配方的果冻呈鲜亮紫红色, 色泽均匀, 光泽度好, 半透明, 刺五加酵素味浓郁, 无异味, 富有弹性和咀嚼性, 酸甜适中, 质地均匀, 结构紧密, 具有较高的感官评分和良好的质构特性。该研究为刺五加果实的深加工、保健食品的开发提供思路和参考。

关键词: 响应面法; 刺五加; 果冻; 甜菊糖苷; 质构分析; 感官评价; 析水率

文章编号: 1673-9078(2025)03-309-318

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2025.3.0295

Acanthopanax Enzyme Jelly Formula Optimization Based on Response Surface Methodology

GAO Kun¹, CAI Zhijun¹, HE Dan¹, JIA Jinhui¹, SI Xu², WANG Xinzhe¹, CHENG Guilian^{1*}

(1. Institute of Food and Drug, Liaoning Agricultural Vocational and Technical College, Yingkou 115009, China)

(2. School of Food Science, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China)

Abstract: *Acanthopanax aculeatus* fruit can be used as medicine and food. To improve the fruit utilization rate, *Acanthopanax* enzyme jelly samples were prepared. The jelly samples were assessed for texture properties, sensory score, and syneresis rate, and the optimal content of each raw material was determined using single-factor tests. The jelly formula was optimized by response surface experiments. Compound thickener, *Acanthopanax* enzyme, and steviol glycoside contents significantly impacted jelly quality. The optimal formula includes 2.0% pectin, 1.0% konjac gum, 45% *Acanthopanax* enzyme, 1.0% steviol glycoside, 2.0% citric acid, and 49% purified water. Jelly samples prepared according to this formula achieved a sensory score of 89.6 and a syneresis rate of 2.14%, which were better than those of other tested combinations. The structural properties (springiness: 16.68 mm, resilience: 0.46, firmness: 22.86 N, and chewiness: 34.95 mJ) of these jelly samples were comparable with those of commercially available jelly. Additionally, these jelly samples were bright purplish

引文格式:

高鲲, 蔡智军, 何丹, 等. 基于响应面法的刺五加酵素果冻配方优化[J]. 现代食品科技, 2025, 41(3): 309-318.

GAO Kun, CAI Zhijun, HE Dan, et al. *Acanthopanax* enzyme jelly formula optimization based on response surface methodology [J]. Modern Food Science and Technology, 2025, 41(3): 309-318.

收稿日期: 2024-03-12

基金项目: 辽宁省兴辽英才项目 (XLYC2211088); 辽宁农业职业技术学院院级科研项目 (Lnz202206)

作者简介: 高鲲 (1986-), 女, 硕士, 讲师, 研究方向: 食品贮藏与加工, E-mail: 735479158@qq.com

通讯作者: 程贵兰 (1975-), 女, 硕士, 副教授, 研究方向: 功能性食品开发, E-mail: 150107849@qq.com

red, uniform in color, glossy, and translucent, with a strong *Acanthopanax* enzyme flavor, no objectionable odor, a springy and chewy mouthfeel, moderate sour and sweet taste, uniform texture, and firm structure. These samples thus achieved high sensory scores and excellent texture properties. This study provides insights and references for further processing of *Acanthopanax* fruits and development of *Acanthopanax* health foods.

Key words: response surface methodology; *Acanthopanax aculeatus*; jelly; steviol glycosides; texture analysis; sensory evaluation; syneresis rate

刺五加又称五加参、老虎潦，李时珍《本草纲目》记载：“此药以五叶交加者良，故名五加。”，是五加科五加属的传统药用植物，主要分布在中国黑龙江、吉林、辽宁等地，种植面积达到 200 万亩^[1-3]。刺五加的根、茎、叶、果均可入药，主治体虚乏力、失眠多梦、食欲不振、腰膝酸痛等症，还具有提高免疫力、抗疲劳、防癌抗癌、镇静安神等功效^[4,5]，属于药食同源食物。刺五加果实是一种黑色球形或卵球形小浆果，富含多酚类物质、多糖、必需氨基酸、皂苷、维生素、三萜、矿物质等多种功能营养成分^[6,7]，加工成酵素后，还会生成多种功能性的次级代谢产物和酶，具有提高免疫力、抗衰老、抗氧化、抗癌、预防便秘等功效^[8,9]。

目前以刺五加果实为原料在食品中应用已有报道，贾金辉等^[10]以感官评分和酒精度为评价指标，采用响应面法优化刺五加果酒的酿造工艺，确定最佳酿造工艺为料水比 1.7:1 (kg/L)，果胶酶添加量 60 mg/L，接种量 207 mg/L，发酵温度 24 ℃，此时酒精度为 11.9%vol，感官评分为 94，挥发酸为 0.3 g/L，总硫为 42 mg/L。刘彦平等^[11]采用混料设计方案和模糊数学综合评判确定黄芪复合功能饮料的最佳配方，得到刺五加果浸提液 38.3%，黄芪浸提液 20%，金丝小枣浸提液 27%，甘草浸提液 4%，生姜浸提液 3.8%，北五味子浸提液 2%，薄荷浸提液 5% 时，饮料口感最佳。刘敏等^[12]采用单因素实验、正交实验优化刺五加复合果醋制作工艺，确定最佳工艺条件。果冻口感独特、携带方便，被多数消费者所接受，通过添加不同的功能性成分，已研发出多款新型的果冻制品。杨丽丽等^[13]通过单因素实验和响应面法优化石斛花果冻配方，产品具有石斛花特有风味，弹性良好，且具有药用价值。谢礼文等^[14]对南酸枣复合凝胶果冻配方进行优化，南酸枣营养丰富，富含黄酮、多酚等抗氧化成分，提高制品保健功能，添加复合胶使果冻具有良好的质构特性。张莉等^[15]研制红茶菌发酵液莱阳梨果冻，制品具有调理肠胃、生津止渴、降火清肺等功效。刺

五加果实在食品中的应用主要体现在饮品上，但将其制作成酵素果冻的研究鲜有报道。

本研究以刺五加果实、甜菊糖苷等为原料，通过单因素试验和响应面试验，以质构特性、感官评价、析水率为评价指标，确定刺五加酵素果冻的最佳配方，为刺五加果实的深加工、保健食品的开发提供思路和参考。

1 材料与方法

1.1 原料

果胶，河南中辰生物科技有限公司；魔芋胶，富源县光华魔芋开发有限公司；甜菊糖苷，山东唐乐生物科技股份有限公司；柠檬酸，正宏生物科技有限公司；刺五加酵素，实验室自制。

1.2 设备

SF-400A 电子秤，广东宏沅达电子有限公司；HWS-24 电热恒温水浴锅，上海一恒科学仪器有限公司；TMS-PRO 质构仪，美国 FTC 公司；RE-W5007 电子温度计，中国人民电器集团。

1.3 基础配方

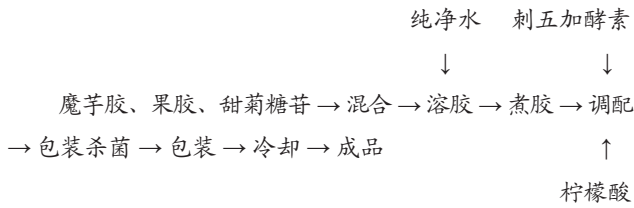
将配方中纯净水的添加量（质量分数）设为 50%，其它原料添加量（质量分数）通过与纯净水比较得到，刺五加酵素果冻的基础配方见表 1。

表 1 刺五加酵素果冻基础配方

Table 1 *Acanthopanax* enzyme jelly base formula

原料	质量分数/%	质量/g
纯净水	50	250
刺五加酵素	44	220
甜菊糖苷	1	5
柠檬酸	2	10
果胶	1.5	7.5
魔芋胶	1.5	7.5

1.4 工艺流程



1.5 操作要点

1.5.1 混合、溶胶、煮胶

将魔芋胶、果胶和赤藓糖醇混合均匀，加入纯净水搅拌，浸泡 20 min，使复合增稠剂充分吸水溶胀，移入 95 °C 恒温水浴锅中加热搅拌 10 min，所有原料充分溶解，成为澄清、黏稠的凝胶液^[16,17]。

1.5.2 调配

待凝胶液冷却至 75 °C，加入刺五加酵素和柠檬酸，柠檬酸需先用少量纯净水溶解后加入，搅拌均匀即可^[18]。

1.5.3 杀菌、包装、冷却

果胶包装盒在 80 °C 下保持 20 min 进行巴氏杀菌，然后装入调配好的果冻液，立即封口，放置冷水中至凝冻状，即为成品。

1.6 试验设计

1.6.1 单因素试验

在复合增稠剂总添加量不变的情况下，考察果胶和魔芋胶质量比（3:1、2:1、1:1、1:2、1:3）对果冻品质的影响，确定最佳质量比用于后续试验。研究复合增稠剂添加量（质量分数）（2%、2.5%、3.0%、3.5%、4.0%）、刺五加酵素添加量（质量分数）（36.0%、40.0%、44.0%、48.0%、52.0%）、甜菊糖苷添加量（质量分数）（0.4%、0.7%、1.0%、1.3%、1.6%）对果冻品质的影响，通过质构分析、感官评价和析水率确定各原料的适宜添加量。

1.6.2 响应面试验

根据单因素试验结果，选择复合增稠剂添加量、刺五加酵素添加量、甜菊糖苷添加量 3 个因素及适宜添加量（质量分数）进行响应面试验，以感官评价、析水率作为评价标准，确定刺五加酵素果冻的最优组合。

表 2 刺五加酵素果冻响应面试验设计

Table 2 Design of response surface experiment for acanthopanax jelly

水平	添加量/%		
	A 复合增稠剂	B 刺五加酵素	C 甜菊糖苷
-1	2.5	40.0	0.7
0	3.0	44.0	1.0
1	3.5	48.0	1.3

1.6.3 验证试验

利用感官评价和析水率指标，将两组响应面试验得到的最优组合进行比较，最后将比较得到的最优组合果冻与市售果冻的质构特性进行对比，确定刺五加酵素果冻最佳配方。

1.6.4 品质评价

1.6.4.1 质构分析

将制作完成 2 h 内的果冻切成 30 mm×30 mm×10 mm 的长方体，采用质构仪测定弹性、硬度和咀嚼性，选择测试模式 TPA，使用 P/36 圆柱形探头，高度 20 mm，测试前、中、后的速度均为 60.0 mm/min，开始力为 0.5 N，压缩率为 50%，两次压缩间隔为 5 s^[19,20]。每个配方的样品测试 3 次，测得结果取平均值。

表 3 刺五加酵素果冻感官评价标准

Table 3 Sensory evaluation criteria for acanthopanax jelly

评价指标	评价标准	评分 / 分
色泽 (20分)	鲜亮紫红色，色泽均匀，光泽度好，半透明	15~20
	稍暗紫红色，色泽较均匀，光泽度较好，稍透明	9~14
	暗紫红色，色泽不均匀，光泽度差，不透明	1~8
风味 (30分)	刺五加酵素味浓郁，无异味	25~30
	刺五加酵素味较明显，稍有异味	16~24
	刺五加酵素味不明显，有异味	1~15
口感 (30分)	入口细腻，富有弹性和咀嚼性，酸甜适中	25~30
	入口较细腻，弹性和咀嚼性一般，稍甜或稍酸	16~24
	入口粗糙，无弹性和咀嚼性，过甜或过酸	1~15
组织状态 (20分)	质地均匀，结构紧实，无气泡	15~20
	质地较均匀，结构较紧实，有少量气泡	9~14
	质地不均匀，结构不紧实，有较多气泡	1~8

1.6.4.2 感官评价

以 GB 19299-2015《食品安全国家标准 果冻》中感官要求为基础,结合产品实际,确定刺五加酵素中药保健果冻感官评价标准,见表3。感官评价小组由8名食品加工技术专业学生组成,感官评分取平均值。

1.6.4.3 析水率测定

称量制作完成2h内的果冻,在4℃下放置2d,离心5min除去从果冻中析出的水分后,再次称量^[21]。果冻析水率计算公式如下:

$$R = \frac{M-m}{M} \times 100\% \quad (1)$$

式中:

R——果冻析水率, %;

M——果冻质量, g;

m——析水后果冻质量, g。

每个配方的样品测试3次,测得结果取平均值。另外,研究表明当果冻析水率<3%时,为合格产品,析水率测定以此为参考标准^[22]。

1.6.5 数据分析

采用 Design-Expdrt 12 软件进行响应面试验设计和结果分析^[23],用 Excel 2022 软件进行单因素试验数据整理和作图。

2 结果与分析

2.1 单因素试验

2.1.1 复合增稠剂质量比对果冻品质的影响

根据表4可知,果胶和魔芋胶质量比2:1时,

弹性和回复性数值最大,其他质量比都有所下降;随着果胶和魔芋胶质量比值的减小,硬度和咀嚼性数值逐渐下降。由图1可知,随着魔芋胶添加比例的减少,感官评分呈现先升高后降低的趋势,在果胶和魔芋胶质量比的为2:1时,感官评分最高,为88.6分,果冻表现出较好的口感和组织状态,弹性和咀嚼性适宜,结构紧实,这是由于果胶具有良好的凝胶性,当酸度合适,能够形成可逆性凝胶,而魔芋胶主要起到增稠作用。

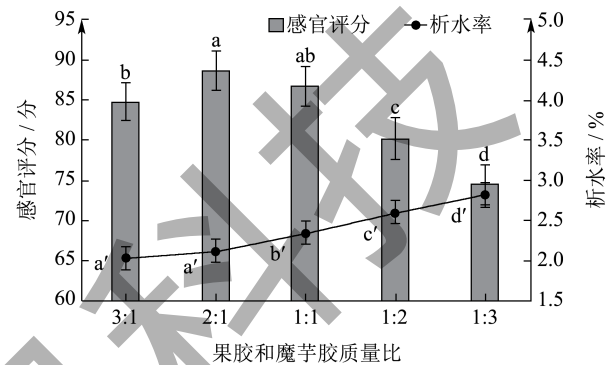


图1 果胶和魔芋胶质量比对果冻品质的影响

Fig.1 Effect of mass ratio between pectin and konjac gum on the quality of jelly

注:不同的字母表示差异显著(P<0.05)。图2~4同。

由图1可知,析水率随着果胶和魔芋胶质量比的减小,析水率数值逐渐增大,这是因为果胶具有较强的水化作用,持水能力更强。各质量比的析水率<3%,都是合格产品。

综上所述,确定选择果胶和魔芋胶质量比2:1用于后续试验。

表4 果胶和魔芋胶质量比对果冻质构的影响

Table 4 Effect of mass ratio between pectin and konjac gum on the texture of jelly

果胶和魔芋胶质量比	3:1	2:1	1:1	1:2	1:3
弹性/mm	15.57 ± 0.82 ^a	16.26 ± 1.17 ^a	16.03 ± 1.34 ^a	14.95 ± 1.06 ^b	13.18 ± 0.93 ^c
回复性	0.32 ± 0.03 ^b	0.41 ± 0.06 ^a	0.39 ± 0.07 ^a	0.29 ± 0.04 ^b	0.21 ± 0.06 ^c
硬度/N	24.36 ± 1.24 ^a	22.37 ± 1.02 ^b	21.14 ± 0.98 ^c	20.61 ± 1.29 ^c	18.92 ± 1.43 ^d
咀嚼性/mJ	36.04 ± 1.30 ^a	34.08 ± 1.25 ^b	33.17 ± 1.06 ^b	31.54 ± 0.93 ^c	28.75 ± 1.41 ^d

注:同行间不同的字母表示差异显著(P<0.05)。表5~7同。

表5 复合增稠剂添加量对果冻质构的影响

Table 5 Effect of compound thickener addition amount on the texture of jelly

复合增稠剂添加量/%	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
弹性/mm	14.28 ± 0.76 ^b	15.61 ± 1.12 ^a	16.32 ± 1.01 ^a	14.97 ± 1.09 ^b	13.04 ± 0.95 ^c
回复性	0.28 ± 0.05 ^c	0.35 ± 0.07 ^b	0.43 ± 0.08 ^a	0.32 ± 0.04 ^{bc}	0.19 ± 0.02 ^d
硬度/N	17.98 ± 0.85 ^d	20.53 ± 1.14 ^c	22.41 ± 1.06 ^b	23.86 ± 1.27 ^b	25.17 ± 1.30 ^a
咀嚼性/mJ	29.38 ± 1.30 ^d	32.14 ± 1.25 ^c	34.06 ± 1.27 ^b	36.14 ± 0.93 ^a	37.29 ± 1.41 ^a

表 6 刺五加酵素添加量对果冻质构的影响

Table 6 Effect of acanthopanax enzyme addition amount on the texture of jelly

刺五加酵素添加量/%	36.0	40.0	44.0	48.0	52.0
弹性/mm	15.02 ± 1.22 ^b	16.19 ± 1.17 ^a	16.30 ± 1.24 ^a	15.35 ± 1.13 ^b	13.84 ± 0.82 ^c
回复性	0.36 ± 0.04 ^c	0.41 ± 0.06 ^b	0.45 ± 0.10 ^a	0.35 ± 0.07 ^c	0.24 ± 0.02 ^d
硬度/N	21.41 ± 1.32 ^b	23.86 ± 1.25 ^a	23.21 ± 1.43 ^a	20.79 ± 1.23 ^b	18.05 ± 1.06 ^c
咀嚼性/mJ	34.13 ± 1.38 ^b	36.08 ± 1.27 ^a	33.40 ± 1.29 ^b	31.65 ± 1.51 ^c	28.67 ± 1.42 ^d

2.1.2 复合增稠剂添加量对果冻品质的影响

根据表 5 可知，随着复合胶添加量的增加，果冻的弹性和回复性先升高再降低，添加量 5% 时，数值最大；随着复合胶添加量的增加，硬度和咀嚼性数值逐渐上升。由图 2 可知，随着复合胶添加量的增加，感官评分呈现先升高再降低的趋势，在复合增稠剂添加量为 3% 时，评分最高，为 88.7 分，高于或低于此添加量，感官评分下降，复合胶添加量在 2.5%~3.5% 时，果冻入口细腻，富有弹性和咀嚼性，质地均匀，结构紧实。这是由于随着复合胶添加量的增加，形成的氢键数量增多，分子相互作用变大，凝胶体强度提高，但添加量过多，凝胶性质过强，口感变差。

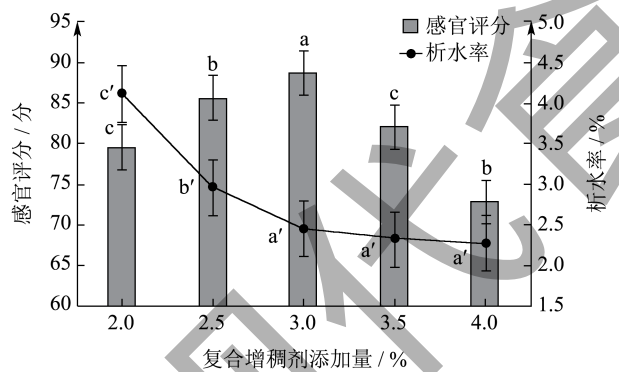


图 2 复合增稠剂添加量对果冻品质的影响

Fig.2 Effect of compound thickener addition amount on the quality of jelly

由图 2 可知，随着复合胶添加量的增加，析水率表现为持续下降，添加量 3.0%~4.0% 时，析水率差异不显著，这是因为一方面其分子体积很大，相互作用可形成结、带或网状结构，阻断液体流动，另一方面其分子中含有较多的亲水基团，通过形成氢键吸附大量的水分子。当添加量 ≥ 2.5%，析水率 < 3%，为合格品。

综上所述，确定选择复合胶添加量（质量分数）2.5%、3%、3.5% 进行响应面试验。

2.1.3 刺五加酵素添加量对果冻品质的影响

根据表 6 可知，刺五加酵素添加量为 44% 时，弹性和回复性数值最大，添加量在 40% 时，差异不显著；硬度和咀嚼性则在添加量 40% 时，数值最大。由图 3 可知，刺五加酵素添加量在 40.0% 时，感官评分最高，为 89.1 分，其两侧添加量的感官评分逐渐下降，添加量 44% 时，差异不显著，刺五加酵素添加量在 40.0%~44.0% 时，果冻为鲜亮的紫红色，色泽均匀，半透明，刺五加酵素味浓郁，无异味，富有弹性和咀嚼性。这是因为刺五加酵素中富含有机酸，在添加量为 48.0% 时，果冻的 pH 值最适于凝胶的形成，添加量少时，pH 值较高，不利于凝胶的形成，添加量过多时，pH 值过低，增稠剂发生水解，影响凝胶成型。

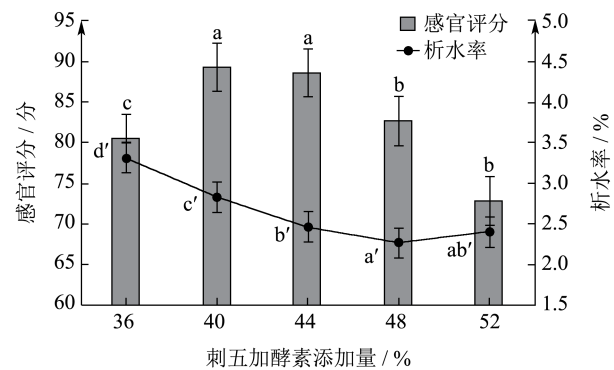


图 3 刺五加酵素添加量对果冻品质的影响

Fig.3 Effect of acanthopanax enzyme addition amount on the quality of jelly

由图 3 可知，随着刺五加酵素添加量的添加，析水率呈现先下降后上升的趋势，在添加量 40.0% 时，析水率数值最小，但在 36% 时，差异不显著，这是由于 pH 低时抑制增稠剂分子上羟基的解离，

在分子间和分子内形成更多的氢键和范德华力的作用下，有利于增稠剂形成立体网眼结构，使更多的水分子留存在网眼中。当添加量≤48.0%，析水率<3%，为合格品。

综上所述，确定选择刺五加酵素添加量（质量分数）40.0%、44.0%、48.0%进行响应面试验。

2.1.4 甜菊糖苷添加量对果冻品质的影响

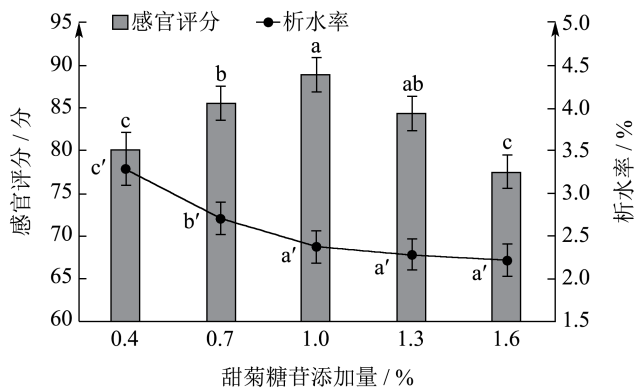


图4 甜菊糖苷添加量对果冻品质的影响

Fig.4 Effect of stevia glycoside addition amount on the quality of jelly

根据表7可知，随着甜菊糖苷添加量的增加，各质构数值均呈现先升高后降低的趋势，弹性和回复性数值在添加量1.0%时最大，硬度和咀嚼性数值则在添加量1.3%时最大。由图4可知，甜菊糖苷添加量在1.0%时，感官评分最高，为88.9分，此时果冻入口细腻，富有弹性和咀嚼性，酸甜适中，质地均匀，结构紧实。这是由于一方面随着糖苷量的增加，甜度逐渐升高，在添加量1.0%时达到最适的甜酸比例；另一方面甜苷具有亲水性，随着添加量的增加，结合水增多，有利于增稠剂网络结构的形成和稳定，但过量，会影响分子间

的交联。

由图4可知，随着甜菊糖苷添加量的增加，析水率持续下降，但添加量≥1.0%时，差异不显著，这是因为糖苷结构中具有多个亲水羟基，通过形成氢键，将自由水转化为结合水，防止水分子流动。当添加量≥0.7%，析水率<3%，为合格品。

综上所述，确定选择甜菊糖苷添加量（质量分数）0.7%、1.0%、1.3%进行响应面试验。

2.2 响应面试验

采用 Design-Expdrt12 软件对表8中的试验数据进行回归分析，得到感官评价和析水率的二次回归方程：

$$Y_1=89.32+1.30A+2.85B+0.90C-1.58AB+0.925AC-0.6755BC-12.27A^2-4.07B^2-0.6225C^2$$

$$Y_2=2.23-0.17A-0.2825B-0.09C+0.17AB+0.11AC+0.1055BC+1.15A^2+0.408B^2+0.078C^2$$

由表9和表10可知， Y_1 和 Y_2 模型的 $P < 0.01$ ，表明该模型差异性极显著，失拟项 $P > 0.05$ ，表示差异性不显著，说明回归模型具有较高的可信度，试验误差小，校正 $R^2 > 0.9$ ，系数 $R^2 > 0.9$ ，表明回归模型具有较高的拟合度，预测 $R^2 > 0.9$ ，说明模型具有较好的预测效果，因此可用于刺五加酵素果冻试验结果的分析与预测。

由表9可知，模型分析得到A、B、C、AB、 A^2 、 B^2 ， $P < 0.01$ ，对感官评分有极显著影响，AC、BC， $P < 0.05$ ，对感官评分有显著影响。由F值得到各因素对感官评分的影响顺序为 $B > A > C$ ，即刺五加酵素添加量>复合增稠剂添加量>甜菊糖苷添加量。

表7 甜菊糖苷添加量对果冻质构的影响

Table 7 Effect of stevia glycoside addition amount on texture of jelly

甜菊糖苷添加量/%	0.4	0.7	1.0	1.3	1.6
弹性/mm	14.16 ± 0.92 ^c	15.24 ± 1.08 ^b	16.38 ± 1.06 ^a	15.09 ± 0.96 ^b	13.95 ± 0.88 ^c
回复性	0.31 ± 0.02 ^d	0.41 ± 0.09 ^b	0.49 ± 0.11 ^a	0.36 ± 0.05 ^c	0.27 ± 0.03 ^c
硬度/N	20.52 ± 1.29 ^b	21.95 ± 1.18 ^a	23.81 ± 1.37 ^a	24.03 ± 1.26 ^b	23.89 ± 1.24 ^c
咀嚼性/mJ	32.48 ± 1.35 ^b	34.26 ± 1.17 ^a	36.04 ± 1.35 ^b	36.95 ± 1.49 ^c	36.27 ± 1.28 ^d

表 8 刺五加酵素果冻响应面试验结果

Table 8 Response surface test results of acanthopanax enzyme jelly

序号	因素			评价指标	
	A 复合增稠剂添加量/%	B 刺五加酵素添加量/%	C 甜菊糖苷添加量/%	感官评分 / 分	析水率/%
1	1	0	-1	75.6	3.22
2	1	1	0	75.1	3.57
3	0	1	1	87.7	2.45
4	0	0	0	89.3	2.23
5	0	0	0	89.2	2.24
6	-1	0	-1	74.5	3.89
7	-1	-1	0	67.4	4.35
8	0	1	-1	87.7	2.41
9	-1	1	0	76.3	3.46
10	0	0	0	89.4	2.23
11	0	0	0	89.4	2.24
12	0	-1	-1	80.7	3.20
13	0	-1	1	82.9	2.82
14	1	0	1	80.2	3.25
15	0	0	0	89.3	2.23
16	1	-1	0	72.8	3.78
17	-1	0	1	75.4	3.48

表 9 感官评分回归方程方差分析

Table 9 Sensory score regression equation analysis of variance

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	841.77	9	94.14	298.21	<0.000 1	**
A	12.75	1	12.75	40.66	0.000 4	**
B	63.28	1	63.28	201.76	<0.000 1	**
C	6.48	1	6.48	20.66	0.002 7	**
AB	10.89	1	10.89	34.72	0.000 6	**
AC	3.42	1	3.42	20.91	0.013 1	*
BC	1.82	1	1.82	5.81	0.046 7	*
A ²	638.05	1	638.05	2 034.31	<0.000 1	**
B ²	71.12	1	71.12	226.77	<0.000 1	**
C ²	1.44	1	1.44	4.59	0.069 3	
残差	2.20	7	0.313 6			
失拟项	2.17	3	0.722 5	3.59	0.697 2	
纯误差	0.028 0	4	0.007 0			
总差	848.52	16				
校正 R ²	0.997 4					
系数 R ²	0.994 1					
预测 R ²	0.958 9					
变异系数	0.688 7					

注: * 表示差异性显著, P<0.05, ** 表示差异性极显著, P<0.01。 表 10 同。

表 10 析水率回归方程方差分析

Table 10 Water evolution rate regression equation analysis of variance

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	7.73	9	0.859 2	240.86	<0.000 1	**
A	0.231 2	1	0.231 2	64.81	<0.000 1	**
B	0.638 4	1	0.638 4	178.98	<0.000 1	**
C	0.064 8	1	0.064 8	18.17	0.003 7	**
AB	0.115 6	1	0.115 6	32.41	0.000 7	**
AC	0.048 4	1	0.048 4	13.57	0.007 8	**
BC	0.044 1	1	0.044 1	12.36	0.009 8	**
A ²	5.55	1	5.55	1 555.61	<0.000 1	**
B ²	0.700 9	1	0.700 9	196.49	<0.000 1	**
C ²	0.025 6	1	0.025 6	4.59	0.031 5	*
残差	0.025 0	7	0.003 6			
失拟项	0.024 8	3	0.008 3	276.11	0.480 6	
纯误差	0.000 5	4	0.000 1			
总差	7.76	16				
校正 R ²	0.996 8					
系数 R ²	0.992 6					
预测 R ²	0.948 7					
变异系数	0.99					

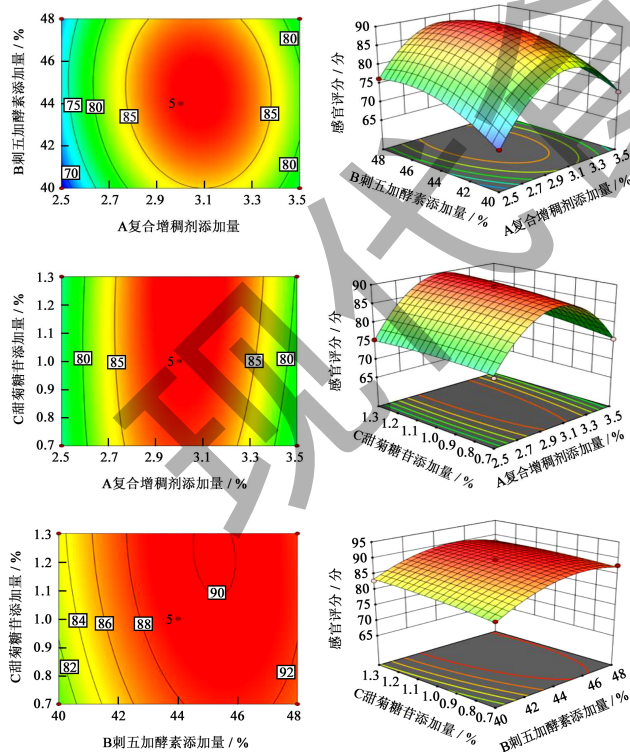


图 5 交互作用对感官评分影响的响应面

Fig.5 Response surface of interaction effects on sensory scores

由图 5 可知，配方中的复合增稠剂添加量、刺五加酵素添加量和甜菊糖苷添加量与感官评分存在相关性，从等高线得知，复合增稠剂添加量和刺五加酵素添加量、复合增稠剂添加量和甜菊糖苷添加量交互作用显著。通过响应面优化分析得到果冻的最佳配方（质量分数）为复合增稠剂添加量 3.029%，刺五加酵素添加量 45.153%，甜菊糖苷添加量 1.183%，感官评分理论值 90.042 分，根据实际，修正最佳配方为复合增稠剂添加量 3.0%，刺五加酵素添加量 45.0%，甜菊糖苷添加量 1.2%。

由表 10 可知，模型分析得到 A、B、C、AB、AC、BC、A²、B²，P<0.01，对析水率有极显著影响，C²，P<0.01，对析水率有显著影响。由 F 值得到各因素对感官评分的影响顺序为 B>A>C，即刺五加酵素添加量>复合增稠剂添加量>甜菊糖苷添加量。

由图 6 可知，配方中的复合增稠剂添加量、刺五加酵素添加量和甜菊糖苷添加量与析水率存在相关性，复合增稠剂添加量和刺五加酵素添加量、复合增稠剂添加量和甜菊糖苷添加量、刺五加酵

添加量和甜菊糖苷添加量的交互作用显著。通过响应面优化分析得到果冻的最佳配方(质量分数)为复合增稠剂添加量 3.000%, 刺五加酵素添加量 45.191%, 甜菊糖苷添加量 1.113%, 析水率 2.175%, 根据实际, 修正最佳配方为复合增稠剂添加量 3.0%, 刺五加酵素添加量 45.0%, 甜菊糖苷添加量 1.1%。

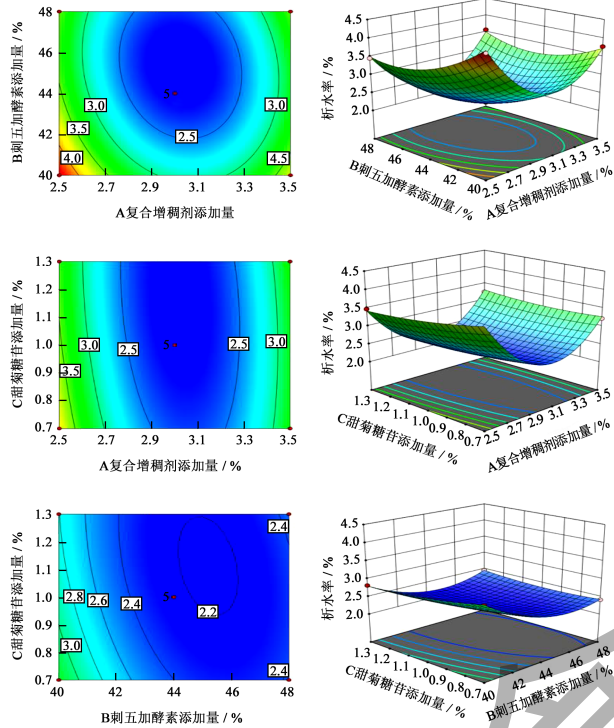


图 6 交互作用对析水率影响的响应面

Fig.6 Response surface of interaction effect on water evolution rate

2.3 验证试验

感官评分和析水率响应面优化的最佳配方进行比较, 各做 3 次重复实验, 前者的感官评分为 88.9, 析水率为 2.17%; 后者的感官评分为 89.6, 析水率为 2.14%, 由此可见, 后者的感官评分更高, 因此确定刺五加酵素中药保健果冻的最佳配方(质量分数)为复合增稠剂添加量 3.0%, 刺五加酵素添加量 45.0%, 甜菊糖苷添加量 1.1%。

表 11 质构特性比较试验结果

Table 11 Results of comparison of texture characteristics

试验样品	弹性/mm	回复性	硬度/N	咀嚼性/mJ
最佳配方果冻	16.68 ± 0.83	0.46 ± 0.05	22.86 ± 0.96	34.95 ± 1.48
市售果冻	16.54 ± 0.62	0.43 ± 0.05	23.06 ± 1.07	35.19 ± 1.61

如表 11 所示, 最佳配方果冻与市售果冻比较, 弹性和回复性稍高, 而硬度和咀嚼性稍低, 但都相

差不大, 说明最佳配方果冻具有良好的质构特性。

综上所述, 刺五加酵素果冻的最佳配方(质量分数)为果胶添加量 2.0%, 魔芋胶添加量 1.0%, 刺五加酵素添加量 45.0%, 甜菊糖苷添加量 1.0%, 柠檬酸添加量 2.0%, 纯净水添加量 49.0%。

3 结论

利用质构特性、感官评价和析水率作为评价指标, 采用单因素试验确定复合胶、刺五加酵素、甜菊糖苷的最佳添加量, 通过响应面试验得到对感官评分和析水率的影响为刺五加酵素添加量 > 复合增稠剂添加量 > 甜菊糖苷添加量, 果冻最佳配方(质量分数)为果胶添加量 2.0%、魔芋胶添加量 1.0%、刺五加酵素添加量 45.0%、甜菊糖苷添加量 1.0%、柠檬酸添加量 2.0%, 纯净水添加量 49.0%。此时果冻呈鲜亮紫红色, 色泽均匀, 光泽度好, 半透明, 刺五加酵素味浓郁, 无异味, 富有弹性和咀嚼性, 酸甜适中, 质地均匀, 结构紧实, 此时果冻具有较高的感官评分、较低的析水率和良好的质构特性。本研究为刺五加果实的深加工、功能性食品开发、工业化生产提供思路和参考。

参考文献

- [1] 赵晨雨,李慧敏,王新媛,等.响应面法优化刺五加酶解工艺的研究[J].中国食品添加剂,2021,9:23-30.
- [2] GONG X, ZHANG L, JIANG R, et al. Hepatoprotective effects of syringin on fulminant hepatic failure induced by D-galactosamine and lipopolysaccharide in mice [J]. Journal of Applied Toxicology, 2014, 34(3): 265-271.
- [3] 药典委员会.中华人民共和国药典(一部)[M].北京:化学工业出版社,2005.
- [4] 古鹏鑫,贾奇侠,王海峰.基于氧化应激研究刺五加多糖的抗运动性疲劳作用[J].现代食品科技,2023,39(4):55-61.
- [5] LEE S J, HONG S, YOO S H, et al. Cyanidin-3-O-sambubioside from *Acanthopanax sessiliflorus* fruit inhibits metastasis by downregulating MMP-9 in breast cancer cells MDA-MB-231 [J]. Planta Medica, 2013, 79(17): 1636-1640.
- [6] 王欣宇,林花,刁春妍,等.刺五加果生物活性及其应用进展[J].农业与技术,2023,43(3):10-13.
- [7] SONG Y, YANG C J, YU K, et al. *In vivo* antithrombotic and antiplatelet activities of a quantified *Acanthopanax sessiliflorus* fruit extract [J]. Chin J Nat Med, 2011, 9(2): 141-145.
- [8] YANG C, AN Q, XIONG Z, et al. Triterpenes from *Acanthopanax sessiliflorus* fruits and their antiplatelet aggregation activities [J]. Planta Medica, 2009, 6: 656-659.
- [9] 肖仔君,钟瑞敏,陆伟东,等.酵素中具有抑菌能力乳酸菌

- 的筛选及鉴定[J].现代食品科技,2023,39(7):60-67.
- [10] 贾金辉,柴虹宇,程贵兰,等.响应面法优化刺五加果酒的酿造工艺[J].食品研究与开发,2022,43(4):136-142.
- [11] 刘彦平,齐玉刚,石龙贵,等.黄芪复合功能饮料的研制[J].食品工业,2013,7:35-38.
- [12] 刘敏,翁彬彬,贾博文,等.刺五加复合果醋的制作工艺研究[J].吉林医药学院学报,2021,42(3):166-169.
- [13] 杨丽丽,张庆美,陈军文,等.石斛花果冻产品的研制及品质分析[J].中国食品添加剂,2021,11:165-172.
- [14] 谢礼文,蓝琳舒,黎冬明,等.南酸枣复合凝胶果冻配方优化[J].食品工业科技,2022,43(7):199-205.
- [15] 张莉,李文新,孙英瑞,等.红茶菌发酵液莱阳梨果冻的研制[J].食品研究与开发,2022,43(4):108-114.
- [16] 朱玲,周晓丽,杨景峰,等.蝶豆花奇亚籽酸奶果冻工艺优化及贮存品质分析[J].南方农业学报,2023,54(7):2071-2080.
- [17] 汤璐,李大塘.玫瑰山药果冻的工艺优化研究[J].粮食与油脂,2021,34(10):79-82.
- [18] 贾娟,胡萝卜蜂蜜营养保健果冻的研制[J].现代食品科技,2013,29(6):1355-1358.
- [19] 师聪,李哲,师环环,等.槐花树莓果冻的加工工艺研究[J].粮食与油脂,2021,34(8):88-92.
- [20] UBEDA C, HIDALGO C, TORIJA M J, et al. Evaluation of antioxidant activity and total phenols index in persimmon vinegars produced by different processes [J]. LWT-Food Science and Technology, 2011, 44(7): 1591-1596.
- [21] 张林婷,韩维,许兴华,等.杏鲍菇微粉果冻的研制及品质评价[J].食品研究与开发,2022,43(11):135-141.
- [22] 王霞,王鹏,周光宏.添加亚麻籽对卡拉胶乳化肠品质的影响[J].食品与发酵工业,2012,38(10):47-51.
- [23] 张惠朋,林奕云,杨怀谷等.木瓜蛋白酶嫩化鹅胸肉工艺优化[J].现代食品科技,2023,39(2):29-35.