

## 海棠果果酱的研制及其品质分析

王远利, 王菲, 张权, 汤木果, 陶亮, 田洋

### Development and Quality Analysis of *Malus prunifolia* Jam

WANG Yuanli, WANG Fei, ZHANG Quan, TANG Muguo, TAO Liang, and TIAN Yang

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2023080017>

## 您可能感兴趣的其他文章

### Articles you may be interested in

复合增稠剂和护色剂对低糖树莓果酱品质影响

Effect of composite thickening agent and color protection agent on the quality of low sugar raspberry jam

食品工业科技. 2017(09): 228-234 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2017.09.035>

不同杀菌方式对贮藏过程中猕猴桃低糖复合果酱品质的影响

Effect of sterilization methods on quality of kiwi low sugar compound jam during storage

食品工业科技. 2018, 39(5): 53-58,64 <https://doi.org/>

香蕉果酱质构测试条件研究

Study on the texture analysis conditions of banana jam

食品工业科技. 2018, 39(4): 1-5,11 <https://doi.org/>

响应面法优化南极磷虾亚铁螯合肽制备工艺及其理化性质

Optimization of Preparation of Iron-chelating Peptides from Antarctic Krill by Response Surface Methodology and Its Physicochemical Properties

食品工业科技. 2019, 40(21): 166-173 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2019.21.027>

葡萄海棠果酵素发酵工艺优化及体外抑菌与抗氧化活性的研究

Technology Optimization of Grape-Begonia Jiaosu and Its Antimicrobial and Antioxidant *in Vitro*

食品工业科技. 2019, 40(16): 118-125 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2019.16.020>

响应面法优化糖渍山药姜片工艺及其质构特性

Optimization of suger-infused ginger slices technology by response surface methodology and its texture properties

食品工业科技. 2017(18): 189-194 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2017.18.036>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

王远利, 王菲, 张权, 等. 海棠果果酱的研制及其品质分析 [J]. 食品工业科技, 2024, 45(11): 175–186. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023080017

WANG Yuanli, WANG Fei, ZHANG Quan, et al. Development and Quality Analysis of *Malus prunifolia* Jam[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(11): 175–186. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023080017

· 工艺技术 ·

# 海棠果果酱的研制及其品质分析

王远利<sup>1</sup>, 王 菲<sup>1</sup>, 张 权<sup>1</sup>, 汤木果<sup>1</sup>, 陶 亮<sup>1,2,3,\*</sup>, 田 洋<sup>1,2,3</sup>

(1. 云南农业大学食品科学技术学院, 云南昆明 650000;

2. 食药同源资源开发与利用教育部工程研究中心, 云南农业大学, 云南昆明 650000;

3. 云南省精准营养与个性化食品制造重点实验室, 云南农业大学, 云南昆明 650000)

**摘要:** 为研发一款营养健康、风味独特的海棠果果酱, 以海棠果果浆添加量、柚子皮果胶添加量、白砂糖添加量、浓缩时间为考察因素, 感官评分为响应值, 采用 Box-Behnken 响应面法进行工艺优化和产品研发; 并对成品的感官指标、理化指标、微生物指标及品质特性进行测定。结果表明, 海棠果果酱的最佳工艺条件为海棠果果浆添加量 77.7%, 柚子皮果胶添加量 5.0%, 白砂糖添加量 17.3%, 浓缩时间 17 min。感官指标结果表明在此优化条件下制作的海棠果果酱酸甜可口, 呈现明亮的红橙色。理化指标结果表明海棠果果酱 pH 为 4.41, 总酸含量为 5.14%, 总黄酮含量为 31.40 mg/100 g, 总糖含量为 10.26%, 可溶性固形物含量为 40.61%, 维生素 C 含量为 7.61 mg/g。微生物指标结果表明果酱成品菌落总数为 50 CFU/g, 未检出霉菌、大肠杆菌 and 金黄色葡萄球菌。品质特性结果显示海棠果果酱属于假塑性流体, 其储能模量 ( $G'$ ) 和损耗模量 ( $G''$ ) 随振荡频率的增加而上升, 且  $G' > G''$ , 表现出以弹性为主的黏弹体特征。含量最高的挥发性风味物质为  $\alpha$ -法尼烯、甲基庚烯酮、2,4-二叔丁基苯酚。海棠果果酱的研制对丰富海棠果的产品种类, 提高海棠果的食用便利性, 促进海棠果的产业链发展具有一定意义。

**关键词:** 海棠果, 果酱, 响应面优化, 理化特性, 品质特性

中图分类号: TS201.1

文献标识码: B

文章编号: 1002-0306(2024)11-0175-12

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2023080017

本文网刊:



## Development and Quality Analysis of *Malus prunifolia* Jam

WANG Yuanli<sup>1</sup>, WANG Fei<sup>1</sup>, ZHANG Quan<sup>1</sup>, TANG Muguo<sup>1</sup>, TAO Liang<sup>1,2,3,\*</sup>, TIAN Yang<sup>1,2,3</sup>

(1. College of Food Science and Technology, Yunnan Agricultural University, Kunming 650000, China;

2. Engineering Research Center of Development and Utilization of Food and Drug Homologous Resources,

Ministry of Education, Yunnan Agricultural University, Kunming 650000, China;

3. Yunnan Key Laboratory of Precision Nutrition and Personalized Food Manufacturing,

Yunnan Agricultural University, Kunming 650000, China)

**Abstract:** In order to develop the nutrition and unique flavor of *Malus prunifolia* jam, the process optimization and product development were used by Box-Behnken response surface method with the addition of *Malus prunifolia* pulp, honey pomelo peel pectin, white sugar and concentration time as factors and sensory scores as response values. The sensory indexes, physical and chemical indexes, microbial indexes and quality characteristics of the finished products were measured. The results showed that the optimum processing conditions of the *Malus prunifolia* jam were 77.7% of the *Malus prunifolia* pulp, 5.0% of the honey pomelo peel pectin, 17.3% of the white sugar, and the concentration time was 17 min. The results of sensory indexes showed that the *Malus prunifolia* jam made under the optimized conditions were tasted sweet and sour, and presented bright red orange color. Physicochemical index results showed that pH of *Malus prunifolia* jam was

收稿日期: 2023-08-10

**基金项目:** 云南省重大科技专项计划 (个性化营养定制健康食品生物制造技术开发及应用) (202102AE090027-2); 低纬高原果蔬产业升级精深加工与废弃物再利用研究 (2019ZG00907-03); 云南省万人计划产业技术领军人才项目 (YNWR-CYJS-2020-010); 高层次科技人才及创新团队选拔专项-云南省食药同源功能食品创新团队 (202305AS350025)。

**作者简介:** 王远利 (1997-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 农产品加工及贮藏工程, E-mail: 1158637838@qq.com。

**\* 通信作者:** 陶亮 (1987-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 食品科学, E-mail: 875316158@qq.com。

4.41, total acid content was 5.14%, total flavone content was 31.40 mg/100 g, total sugar content was 10.26%, soluble solid content was 40.61%, vitamin C content was 7.61 mg/g. The results of microbiological index showed that the total number of bacterial colonies was 50 CFU/g, mold, coliform and *Staphylococcus aureus* were not detected. The results of quality characteristics showed that the *Malus prunifolia* jam belonged to pseudoplastic fluid, the storage modulus ( $G'$ ) and loss modulus ( $G''$ ) of *Malus prunifolia* jam increased with the increase of oscillation frequency, and  $G' > G''$ , showing the characteristics of elastic viscoelastic body. And the most volatile flavor compounds were  $\alpha$ -farnesene, methylheptenone and 2, 4-di-tert-butylphenol. The development of *Malus prunifolia* jam has a certain significance to enrich the product types of *Malus prunifolia*, improve the edible convenience of *Malus prunifolia* and promote the development of the industrial chain of *Malus prunifolia*.

**Key words:** *Malus prunifolia*; jam; response surface optimization; physicochemical property; quality characteristics

海棠果(*Malus prunifolia*)是一种蔷薇科苹果属果实<sup>[1]</sup>,主要分布于云南、浙江、湖北等地。海棠果中不仅含有丰富的糖类、维生素等营养物质,同时还含有粗纤维、香豆素类、黄酮类、萜类等多种活性物质<sup>[2]</sup>,具有促进胃肠道蠕动,调节人体肠道菌群,增强机体免疫<sup>[3-4]</sup>,延缓衰老,预防肿瘤及抗氧化等功效<sup>[5-6]</sup>。由于其富含有机酸、单宁酸和其他多酚类物质,因此海棠果味酸、涩,直接食用口感欠佳,大多自然脱落腐烂,造成严重的资源浪费。目前对海棠果加工产品虽然已经有果酒、果醋、果茶等,但总体以海棠果为原料的加工食品种类相对较少,在一定程度上影响了海棠果产业的健康发展。因此如何将大量浪费的海棠果加以应用并转化为经济效益显得尤为重要。

柚子(*Citrus maxima* Merr),是芸香科柑橘属水果,富含多种营养素及活性成分<sup>[7]</sup>。我国柚子资源丰富,盛产于广西、广东、福建等地区,年产量接近490万吨,居世界第一<sup>[8]</sup>。我国柚子以鲜食为主,而柚子皮占整个柚子果实鲜重的40%左右,其产生的腐败物、渗滤液等严重影响了生态环境。有研究表明,柚子皮中富含黄酮、多酚、多糖等多种活性物质,不仅可用于杀菌和美容护肤<sup>[9]</sup>,还在减少血栓形成、抗衰老、抗肿瘤、降血糖和降血脂等方面有一定功效<sup>[10-11]</sup>;此外,柚子皮中富含果胶,含量可达干物质的30%左右<sup>[12]</sup>,果胶作为常用的食品添加剂具有凝胶性和乳化稳定性,可用作凝胶剂、增稠剂等<sup>[13]</sup>,因此从废弃柚子皮中提取果胶,不仅实现了废弃物的资源化,也为果胶的制备提供了一个重要来源,具有经济和环境的双重效益。

因此,本实验以丽海棠果为主要原料,柚子皮果胶为天然增稠剂,通过单因素实验和响应面优化,探究海棠果果酱的最佳工艺配方,并对成品的感官指标、理化指标、微生物指标及品质特性进行测定,为海棠果及柚子皮的综合利用提供一定参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

海棠果 购自云南省丽江市玉龙县拓农农业开发基地;柚子皮 市售白心蜜柚剥皮后获得;白砂糖 昆明天彬食品有限公司;碘液 福州飞净生物有

限公司;草酸 天津市登峰化学试剂厂;苯酚、硫酸 国药集团化学试剂有限公司;芦丁 上海源叶生物科技有限公司;乙酸钾 西陇科技股份有限公司;氯化铝 天津市大茂化学试剂厂;酚酞 天津市天新精细开发中心;实验所用化学试剂均为分析纯。

打浆机 浙江绍兴苏泊尔家居用品有限公司;手持糖度仪 广州乐享电子有限公司;PHS-25C 型数显 pH 计 上海今迈科技有限公司;CM-5 色差仪 天津特鲁斯科技有限公司;TA.XTPlus 型质构仪 英国 Stable Micro System;YXQ-LS-100SII 立式压力蒸汽灭菌器 江阴滨江医疗设备有限公司;LBC-1300IIA2 生物安全柜 上海龙跃仪器设备有限公司;LRH-250 生化培养箱 郑州生元仪器设备有限公司;EPOCH 2 酶标仪 美国伯腾仪器有限公司;DHR2 旋转流变仪 美国 TA 公司;6890N-G5795B 气相色谱质谱联用仪 安捷伦科技有限公司;旋转蒸发器 巩义市予华仪器有限责任公司。

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 海棠果果酱的制备

1.2.1.1 工艺流程 海棠果果酱的制作工艺流程见图1。

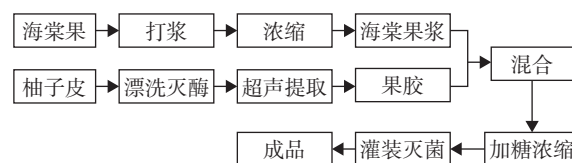


图1 海棠果果酱制作工艺流程图

Fig.1 *Malus prunifolia* jam production process flow chart

1.2.1.2 操作要点 原材料预处理:柚子皮预处理,挑选新鲜完整、质量均一柚子,参照刘芳等<sup>[14]</sup>的方法,稍作修改(灭酶时间为10~15 min;乙醇沉淀过程中加入乙醇量为柚子皮浆液体积的2倍),提取柚子皮果胶备用。海棠果预处理,选择无病虫害和机械损伤且成熟度高的海棠果,去梗洗净后去心切块。

打浆浓缩:海棠果放入0.1%的抗坏血酸溶液中浸泡30 min,取出沥干后与水按1:4混合打浆后真空浓缩为原体积的50%备用。

混合:将柚子皮果胶按适当比例加入海棠果果浆中。



加糖浓缩: 先将果浆煮沸后改用小火进行浓缩, 分三次加入白砂糖(每次添加量分别占 50%、25%、25%), 在浓缩过程中要不停搅拌, 防止酱体焦糊。

灌装灭菌: 将浓缩后的果酱趁热快速装入提前杀菌消毒的玻璃瓶中, 立即密封, 将封装好的果酱置于沸水中杀菌 30 min。

1.2.2 海棠果果酱最优配方的确定

1.2.2.1 单因素实验 以感官评分为判断依据, 固定柚子皮果胶添加量为 8 g, 白砂糖添加量为 30 g, 浓缩时间为 15 min, 设定海棠果果浆添加量分别为 80、100、120、140、160 g; 固定海棠果果浆添加量为 120 g, 白砂糖添加量为 30 g, 浓缩时间为 15 min, 设定柚子皮果胶添加量分别为 4、6、8、10、12 g; 固定海棠果果浆添加量为 120 g, 柚子皮果胶添加量为 8 g, 浓缩时间为 15 min, 设定白砂糖添加量分别为 20、30、40、50、60 g; 固定海棠果果浆添加量为 120 g, 柚子皮果胶添加量为 8 g, 白砂糖添加量 30 g, 设定浓缩时间分别为 5、10、15、20、25 min, 分别探究海棠果果浆、柚子皮果胶、白砂糖添加量及浓缩时间对海棠果果酱感官品质的影响。

1.2.2.2 响应面试验优化 以单因素实验为基础, 按照 Box-Behnken 的设计原理, 以海棠果果浆添加量(A)、柚子皮果胶添加量(B)、白砂糖添加量(C)、浓缩时间(D)4 因素为变量, 以感官评分为因变量值(Y), 进行四因素三水平的响应面分析, 因素水平如表 1 所示。

表 1 响应面因素水平  
Table 1 Response surface factors and levels

编码水平	因素			
	A 海棠果果浆添加量(g)	B 柚子皮果胶添加量(g)	C 白砂糖添加量(g)	D 浓缩时间(min)
-1	100	6	20	10
0	120	8	30	15
1	140	10	40	20

1.3 海棠果果酱质量评定

1.3.1 感官评价 挑选 20 名经专业训练的感官评定人员(男女比例 1:1)分别从色泽、气味、滋味、组织状态 4 个方面对海棠果果酱进行感官品质评价, 取平均分作为感官评分, 其中, 总评分为四个项目评分之和<sup>[15]</sup>。评分标准见表 2。

1.3.2 色度及质构测定 采用色差仪测定海棠果果酱的  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$  值。其中,  $L^*$  表示亮度,  $a^*$  表示红绿程度,  $b^*$  表示黄蓝程度。参照贾鲁彦<sup>[16]</sup> 的测定方法, 使用质构仪对海棠果果酱进行质构分析。测试探头为 P/0.5 圆柱型探头, 测定参数为: 初始速度 1 mm/s, 测试速度 1 mm/s, 测试后回程速度 10 mm/s, 测试距离 30 mm, 触发类型 Auto 5 g。

1.3.3 理化指标及微生物指标测定 可溶性固形物质量分数采用糖度仪测定; pH 采用 pH 计测定; 维生

表 2 海棠果果酱感官评分  
Table 2 Sensory scale of *Malus prunifolia* jam

评分项目	感官评价标准	得分
色泽(10分)	橙红色, 酱体颜色均匀, 有光泽	8~10
	暗红色, 酱体颜色较均匀, 少有光泽	5~7
	微红色, 酱体颜色不均匀, 无光泽	0~4
气味(10分)	海棠果香味浓郁, 果味融合协调	8~10
	海棠果香味较浓郁, 果味融合一般	5~7
	海棠果香味不明显, 果味融合较差	0~4
滋味(10分)	酸甜适度, 口感柔滑细腻, 回味浓厚	8~10
	微酸或微甜, 口感较细腻, 回味一般	5~7
	偏酸或偏甜, 口感略粗糙, 回味不明显	0~4
组织状态(10分)	酱体均匀, 细腻, 流动性好	8~10
	酱体较均匀, 细腻, 流动性较好	5~7
	酱体不均匀, 有颗粒, 流动性差	0~4

素 C 采用碘量法测定<sup>[17]</sup>; 总糖含量参照刘志明等<sup>[18]</sup> 的方法采用苯酚硫酸法测定; 总黄酮含量参照陈江梅等<sup>[19]</sup> 的方法进行测定; 总酸含量参照《GB 12456-2021 食品安全国家标准 食品中总酸的测定》中的方法进行测定。菌落总数、大肠菌群、霉菌、金黄色葡萄球菌分别参照《GB 4789.2-2016 食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定》《GB 4789.3-2016 食品安全国家标准 食品微生物学检验 大肠菌群计数》《GB 4789.15-2016 食品安全国家标准 食品微生物学检验 霉菌和酵母计数》《GB 4789.10-2016 食品安全国家标准 食品微生物学检验金黄色葡萄球菌检验》中的方法进行测定。

1.3.4 流变学特性测定 使用旋转流变仪测定海棠果果酱的流变性能。通过稳态剪切实验测定了不同样品的黏度, 室温下剪切速率从 0.01 增加到 100 s<sup>-1</sup>, 测试温度保持在 25±0.1 ℃。在室温下, 固定应变 1%, 施加 0.1~10 Hz 的频率进行扫频, 记录样品的流变参数( $G'$ 和 $G''$ )。

1.3.5 挥发性风味物质 参照和俊才等<sup>[20]</sup> 的方法稍作修改, 采用 HS-SPME-GC-MS 测定海棠果果酱的挥发性物质。取适量果酱于顶空小瓶中, 加盖密封; 于 80 ℃ 平衡 10 min, 顶空萃取(萃取头 mPDMS/DVB)吸附 50 min, 然后在 250 ℃ 的 GC-MS 进样口解吸 5 min。挥发性有机物在 Agilent 30 m×0.25 mm×0.25 μm HP-5MS 毛细管色谱柱上分离, 柱温程序在 40 ℃ 下进行 3 min, 然后以 2 ℃/min 上升到 80 ℃, 以 2 ℃/min 上升到 90 ℃, 然后以 3 ℃/min 上升到 150 ℃, 然后以 5 ℃/min 上升到 180 ℃, 最后以 15 ℃/min 上升到 230 ℃ 并保持 2 min。质谱条件如下: 电子轰击(EI)离子源温度 230 ℃; 电子能量为 70 eV; 四极杆质量范围为 30~600 amu; 传输线温度为 250 ℃; 检测器电压为 1.2 kV; 四极杆温度为 150 ℃。根据化合物保留时间, 将获得的质谱与 NIST 库中的质谱进行比对, 对挥发性化合物进行定性分析, 采用峰面积归一化法获得海棠果果酱各挥发性风味物质的相对含量。

## 1.4 数据处理

实验结果用平均值±标准差表示,用 Origin 2019 软件进行绘图分析,用 Design expert 8.0.6 软件进行响应面分析。采用 Excel 2013 软件统计分析数据的相关性。风味描述在 <http://www.thegoodscentscompany.com> 网址查询得出。

## 2 结果与分析

### 2.1 单因素实验结果与分析

**2.1.1 海棠果果浆添加量对海棠果果酱的影响** 由图 2A 可知,海棠果果浆添加量为 80、100、140、160 g 时,产品感官品质轮廓较为接近,当海棠果果浆添加量低于 120 g 时,海棠果的风味未能突显,颜色较淡。同时,在添加量小于 120 g 时,果酱中纤维素等物质含量较低,无法较好的与水分子形成氢键,果酱凝胶网络结构无法形成,对水分子的束缚能力较差,水分易析出,组织状态较差,感官评分较低。在海棠果果浆添加量为 120 g 时,海棠果果酱的感官评分最高,制得的海棠果果酱酱体粘稠适中,口感细腻,颜色明亮呈橙红色且具有海棠果特有的清香味,此时感官评价总分达 38.20 分。由于海棠果果浆呈酸性,继续增加海棠果果浆的添加量,体系酸度过高,会抑制果胶的溶解性及胶凝性<sup>[21]</sup>,使果酱凝胶效果不佳,酱体不均匀,同时,果浆颜色呈暗红色,光泽度不佳,组织状态及滋味评分较低。因此,选择海棠果果浆添加量为 100、120、140 g 为响应面试验研究水平。

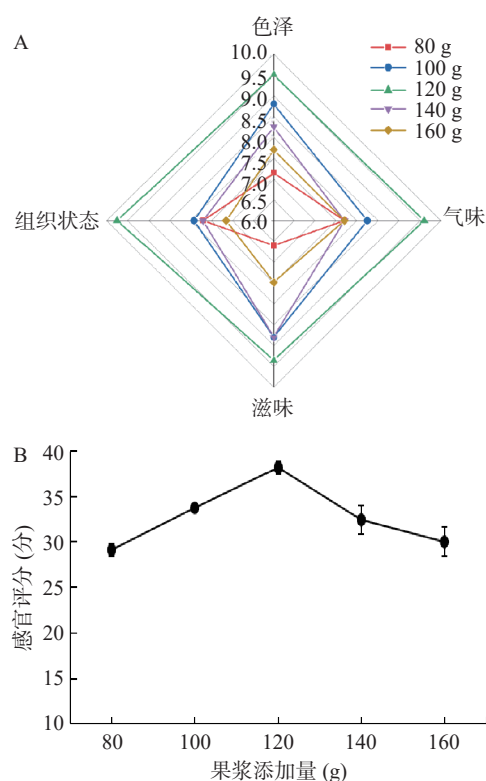


图2 海棠果果浆添加量对海棠果果酱感官品质的影响  
Fig.2 Effect of addition of *Malus prunifolia* pulp on the sensory quality of *Malus prunifolia* jam

### 2.1.2 柚子皮果胶添加量对海棠果果酱的影响

胶作为植物特有的细胞壁组织,是一种天然的聚半乳糖醛酸高分子多糖物质<sup>[22]</sup>,能与  $\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{Mg}^{2+}$  形成特殊共价键,有效锁住体系水分同时增强体系粘稠度,因此,在果酱的加工制作中添加一定量果胶不仅能改善果酱的凝胶状态,而且能改善其涂抹性、质地和口感<sup>[23]</sup>。由图 3 可知,在其他因素一定的条件下,添加不同量的柚子皮果胶对果酱的感官品质有显著影响。具体表现为,随着柚子皮果胶添加量的增加,海棠果果酱感官评分先增加后降低,其中柚子皮果胶添加量为 8 g 时,海棠果果酱的感官评分最高,制得的海棠果果酱呈明亮的红橙色,酱体均匀,胶黏性好,组织细腻,具有海棠果特有清香味,口感最佳,感官评价总分达 37.91 分。当柚子皮果胶加入量过少,无法有效锁住水分,有沉淀和水分析出,体系不稳定,同时,酱体黏稠度低,口感稀疏,因此感官评分较低;当柚子皮果胶添加量过多,果酱的凝胶硬度明显增加,流动性较差,酱体偏硬,滋味和组织状态下降。因此选择柚子皮果胶添加量 6、8、10 g 为响应面试验研究水平。

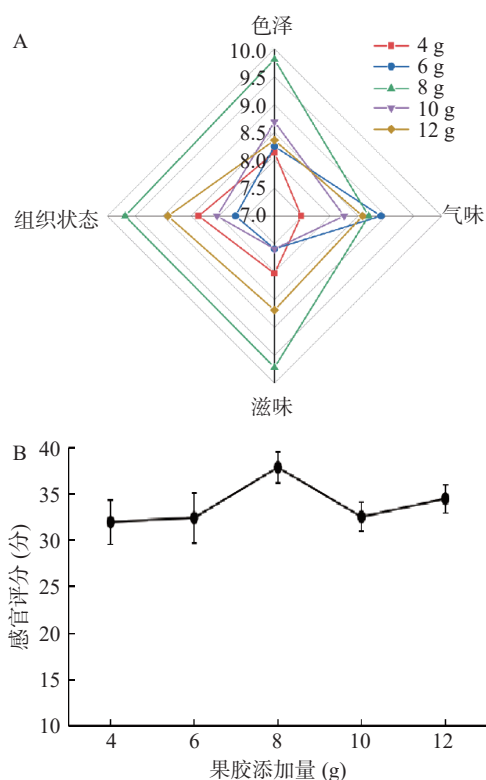


图3 柚子皮果胶添加量对海棠果果酱感官品质的影响

Fig.3 Effect of addition of honey pomelo peel pectin on the sensory quality of *Malus prunifolia* jam

**2.1.3 白砂糖添加量对海棠果果酱的影响** 果酱中添加白砂糖可以起到调节果酱口感和组织状态的作用,同时一定的糖含量可以使果酱维持较高的渗透压,对微生物生长起到一定的抑制作用,从而延长产品货架期<sup>[24]</sup>。由图 4A 可知,白砂糖添加量为 20、40、50、60 g 时,果酱感官评分雷达图轮廓相似,添加

量为 30 g 时雷达图形状发生明显改变,此时的海棠果果酱的光泽度、果香味、口感、组织状态较突出,感官总评分为 36.83 分。白砂糖添加量低于 30 g 时,糖酸比不协调,果酱口感偏酸,同时糖含量添加较少时,果胶不易形成凝胶<sup>[25]</sup>,果酱组织状态较差。白砂糖添加量高于 30 g 时,产品甜味过腻,掩盖了海棠果特有的香味,风味欠佳,组织不均匀,具有一定的颗粒感,且后期容易出现返砂现象,影响成品品质。因此选择白砂糖添加量 20、30、40 g 为响应面试验研究水平。

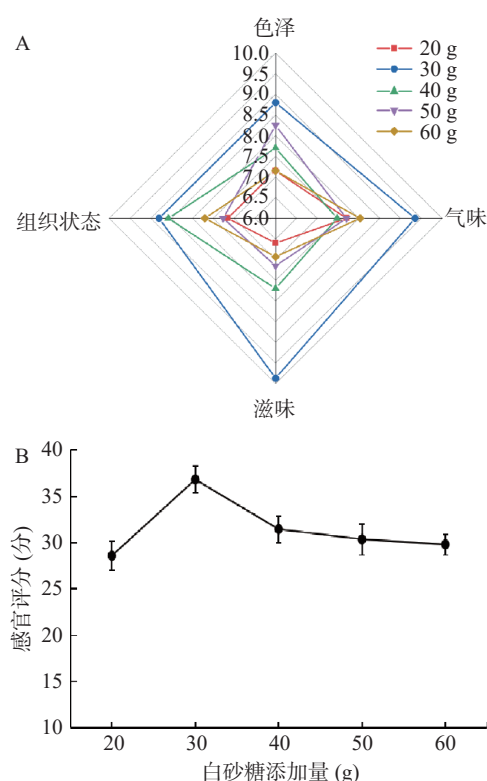


图 4 白砂糖添加量对海棠果果酱感官品质的影响

Fig.4 Effect of addition of white sugar on the sensory quality of *Malus prunifolia* jam

**2.1.4 浓缩时间对海棠果果酱的影响** 果酱熬制可以蒸发多余的水分,保持良好的组织状态,形成稳定的风味,同时可以杀灭果酱中大部分酶的活性,有利于果酱保持稳定状态。由图 5A 可看出,在浓缩时间为 15 min 时,果酱色泽、风味、滋味及组织状态均有最大评分,感官总评分为 37.02 分,此时的海棠果果酱色泽均匀,酱体细腻,口感柔滑,回味浓厚;浓缩时间小于 15 min 时,由于浓缩时间相对较短,果胶、纤维素等物质分子结构未完全展开,亲水基团未充分暴露,与水结合状态较差,黏度较小,酱体易流散且酱体中存在少量气泡,组织状态评分较低;浓缩时间大于 15 min 时,果酱失水过多,组织状态过稠,呈现板结状况,同时浓缩时间过长,会发生焦糖化反应,破坏营养成分,影响果酱的感官品质。因此,选择浓缩时间 10、15、20 min 为响应面试验研究水平。

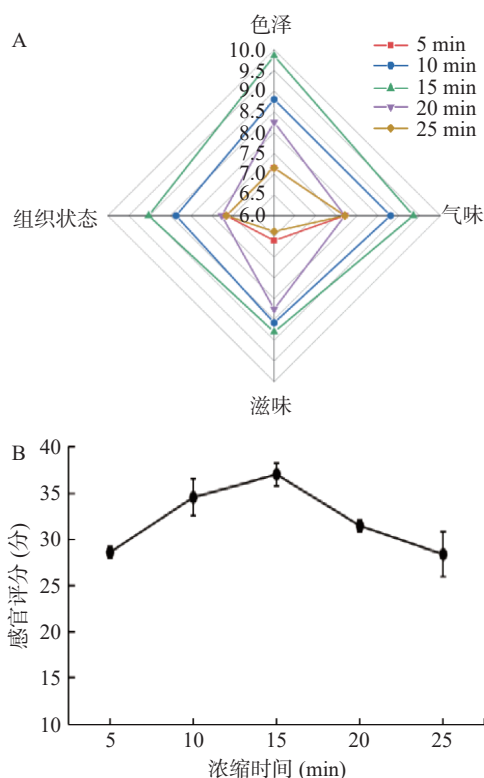


图 5 浓缩时间对海棠果果酱感官品质的影响

Fig.5 Effect of concentration time on the sensory quality of *Malus prunifolia* jam

## 2.2 响应面试验结果与分析

**2.2.1 响应面优化海棠果果酱感官评分结果** 运用 Design-Expert.8.0.6 软件,对表 3 试验数据进行二次多项回归拟合,建立二次回归模型,其回归方程为:  $Y=38.32+2.79A-0.56B-0.35C+0.92D+1.19AB-0.23AC-0.72AD-1.97BC+0.59BD-1.14CD-5.21A^2-3.14B^2-2.14C^2-1.54D^2$ 。对该模型及回归系数进行回归分析,结果见表 4。

从表 4 可以看出感官评分回归模型显著性  $P<0.0001$ (极显著),感官评分回归失拟项检验  $P=0.4167>0.05$ (不显著),说明海棠果果酱感官评分二次回归模型与实际试验拟合性充分,模型失拟不显著,可以对回归方程相应回归值进行预测,同时模型回归系数  $R^2_{adj}=0.9569$ ,表明 95.69% 的数据可用该模型解释,其差异系数  $C.V\%=2.23$ ,说明模型真实值与预测值之间相差较小,方程可靠性较强。通过分析相关数据可以看出,一次项海棠果果浆添加量、浓缩时间对海棠果果酱感官评分具有极显著影响( $P<0.01$ ),柚子皮果胶添加量对海棠果果酱感官评分具有显著影响( $P<0.05$ ),白砂糖添加量对海棠果果酱感官评分影响不显著( $P>0.05$ )。通过  $F$  值判断各因素对海棠果果酱感官评分影响顺序关系为:海棠果果浆添加量>浓缩时间>柚子皮果胶添加量>白砂糖添加量。

**2.2.2 各因素的交互作用** 三维响应面是回归函数的图形表示,反映了各自变量对响应值的影响,以及各自变量之间的交互作用。响应曲面的陡峭程度反



表 3 海棠果果酱感官评定响应面优化的试验设计与结果  
Table 3 Experimental design and results of response surface optimization for sensory rating of *Malus prunifolia* jam

试验号	A海棠果果浆添加量	B柚子皮果胶添加量	C白砂糖添加量	D浓缩时间	Y感官评分(分)
1	-1	0	-1	0	28.32±0.80
2	1	0	-1	0	34.44±0.64
3	-1	0	1	0	28.08±0.83
4	1	0	1	0	33.28±1.28
5	0	-1	0	-1	34.72±2.35
6	0	1	0	-1	31.84±0.52
7	0	-1	0	1	34.36±0.44
8	0	1	0	1	33.84±2.72
9	-1	0	0	-1	27.08±1.01
10	1	0	0	-1	33.48±0.32
11	-1	0	0	1	30.72±1.16
12	1	0	0	1	34.24±0.98
13	0	-1	-1	0	32.04±1.08
14	0	-1	1	0	34.16±0.80
15	0	1	-1	0	35.48±1.24
16	0	1	1	0	29.72±0.68
17	-1	-1	0	0	28.80±2.24
18	1	-1	0	0	32.52±0.60
19	-1	1	0	0	25.28±1.35
20	1	1	0	0	33.76±1.16
21	0	0	-1	-1	32.16±0.56
22	0	0	1	-1	34.88±0.36
23	0	0	-1	1	36.92±1.40
24	0	0	1	1	35.08±0.48
25	0	0	0	0	37.96±0.56
26	0	0	0	0	37.84±1.04
27	0	0	0	0	39.12±1.60
28	0	0	0	0	37.72±0.36
29	0	0	0	0	38.96±1.32

映因素对试验结果的影响程度<sup>[15]</sup>, 响应面的坡度越陡峭, 说明两个因素交互作用对海棠果果酱感官评分的影响越显著, 坡度平缓, 则影响非显著。由图 6 可知,

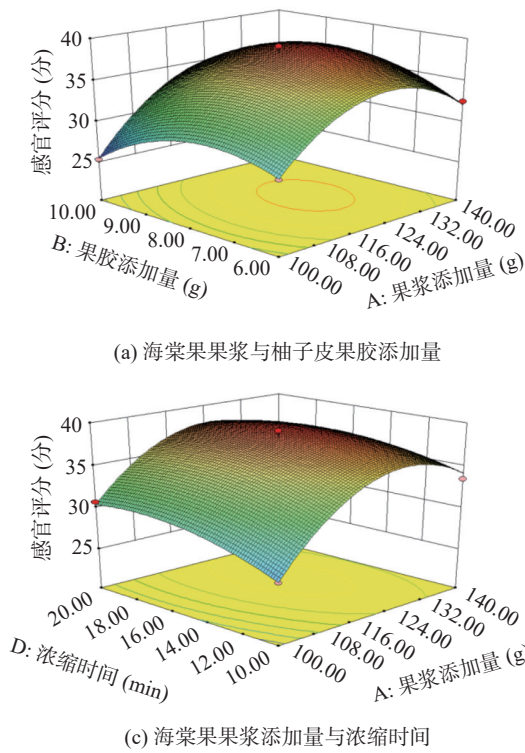


表 4 海棠果果酱感官评分模型及回归系数的回归分析结果  
Table 4 Sensory score model of *Malus prunifolia* jam and regression analysis result of regression coefficient

来源	离差平方和	自由度	均方	F值	P值	显著性
模型	350.55	14	25.04	45.45	<0.0001	**
A海棠果果浆添加量	93.19	1	93.19	169.15	<0.0001	**
B柚子皮果胶添加量	3.72	1	3.72	6.75	0.0211	*
C白砂糖添加量	1.44	1	1.44	2.62	0.1280	
D浓缩时间	10.08	1	10.08	18.30	0.0008	**
AB	5.66	1	5.66	10.28	0.0063	**
AC	0.21	1	0.21	0.38	0.5454	
AD	2.07	1	2.07	3.76	0.0728	
BC	15.52	1	15.52	28.18	0.0001	**
BD	1.39	1	1.39	2.53	0.1342	
CD	5.20	1	5.20	9.44	0.0083	**
A <sup>2</sup>	176.07	1	176.07	319.60	<0.0001	**
B <sup>2</sup>	64.16	1	64.16	116.46	<0.0001	**
C <sup>2</sup>	29.71	1	29.71	53.92	<0.0001	**
D <sup>2</sup>	15.48	1	15.48	28.11	0.0001	**
残差	7.71	14	0.55			
失拟项	5.94	10	0.59	1.34	0.4167	ns
纯误差	1.77	4	0.44			
总和	358.26	28				
$R^2_{adj}=0.9569$ C.V%=2.23						

注:  $P<0.01$ 为极显著, 用“\*\*”表示;  $P<0.05$ 为显著, 用“\*”表示;  $P>0.05$ 为不显著, 用“ns”表示。

海棠果果酱的感官评分随着各因素的增大呈先升高后降低的趋势, 其中交互项 BC、AB、CD 响应曲面陡峭, AD、BD、AC 响应曲面坡度较平缓, 说明柚子皮果胶添加量和白砂糖添加量、海棠果果浆添加量和柚子皮果胶添加量、白砂糖添加量和浓缩时间交互作用对海棠果果酱感官评分影响显著, 而海棠果果浆添加量和浓缩时间、柚子皮果胶添加量和浓缩时

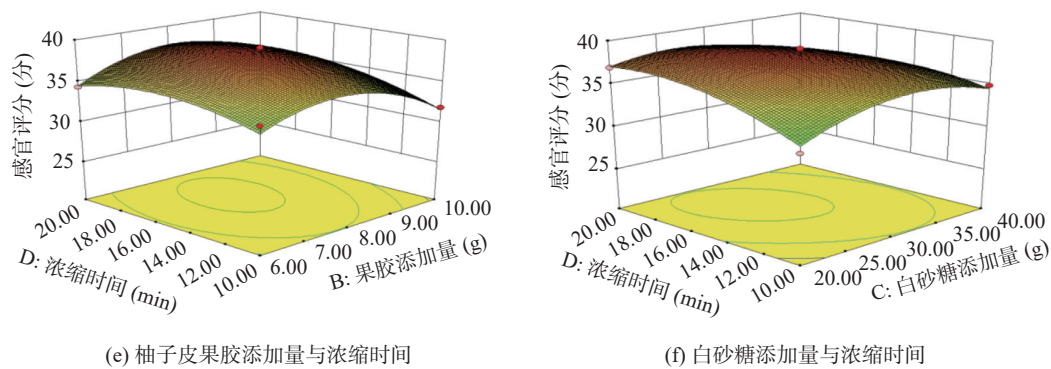


图 6 两两交互作用对海棠果果酱感官评分影响的响应面图

Fig.6 Response surface plot of the effect of interaction on the sensory score of *Malus prunifolia* jam

间、海棠果果浆添加量和白砂糖添加量交互作用对海棠果果酱的影响不显著,这与方差分析结果一致。

2.2.3 验证实验结果 根据回归方程模型,预测的最优条件为:海棠果果浆添加量 125.12 g、柚子皮果胶添加量 8.11 g、白砂糖添加量 27.93 g、浓缩时间 16.62 min,即当海棠果果浆、柚子皮果胶、白砂糖分别占配料总量的 77.64%、5.03%、17.33%,海棠果果酱感官品质最佳。结合实际情况将该条件修正为海棠果果浆添加量 77.7%、柚子皮果胶添加量 5.0%、白砂糖添加量 17.3%、浓缩时间 17 min。在此条件下设置 3 次平行实验,得到海棠果果酱的感官评分达 38.01 分,与预测值(38.85)二者相差在 5% 范围内,说明该模型能较好地预测海棠果果酱的实际制作情况,优化出的工艺参数可行性高。

2.3 海棠果果酱色差及质构测定结果

果酱的色泽是消费者评判其品质的重要因素,故通过色差仪测定果酱的  $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$  值。由表 5 可知果酱的  $a^*$  值为 8.96,  $b^*$  值为 4.07,颜色偏红、黄色,  $L^*$  值为 37.12,样品亮度略低,这可能是由于常压熬煮属于持续加热过程,且电磁功率较高,果酱温度升温速度快,水分蒸发速度快,故果酱发生了一定的非酶促褐变<sup>[26]</sup>。同时,颜色的加深还有可能是熬煮过程中酚类物质与金属离子发生呈色反应,促进其它分子氧化剂氧化或者发生自身氧化缩合反应,引起果酱颜色的变化<sup>[27]</sup>。质构特性是评价产品口感的重要指标,能

表 5 海棠果果酱色差及质构测定结果

Table 5 Results of color difference and texture determination of *Malus prunifolia* jam

项目	测定结果
$L^*$ 值	37.12±0.51
$a^*$ 值	8.96±0.69
$b^*$ 值	4.07±0.11
硬度(g)	173.83±15.04
弹性(g)	0.77±0.09
内聚性(g)	0.50±0.02
黏性(g·s)	-75.56±18.67
咀嚼度(g)	67.30±8.23
胶着度(g)	87.41±6.24

反映产品的组织状态。由质构检测结果可知,海棠果果酱的硬度为 173.83 g、弹性为 0.77 g、内聚性为 0.50 g、黏性为-75.56 g·s、咀嚼度为 67.30 g、胶着度为 87.41 g,结果表明海棠果果酱具有一定的黏弹性,咀嚼性好。

2.4 产品理化及微生物指标实验结果

根据最佳工艺参数制成的海棠果果酱,理化指标如表 6 所示。pH 为 4.41,总酸含量 5.14%,总黄酮含量 31.40 mg/100 g,总糖含量 10.26%,可溶性固形物含量 40.61%,维生素 C 含量 7.61 mg/g。微生物检测结果显示海棠果果酱菌落总数为 50 CFU/g,霉菌、大肠杆菌、金黄色葡萄球菌等均未检出,符合国家标准中对此类产品的微生物指标要求<sup>[28]</sup>,产品安全性高。

表 6 海棠果果酱理化及微生物指标  
Table 6 Physical, chemical and microbiological indexes of *Malus prunifolia* jam

项目	测定结果
pH	4.41±0.01
总酸(%)	5.14±0.12
总黄酮(mg/100 g)	31.40±1.07
总糖(%)	10.26±0.53
可溶性固形物(%)	40.61±1.46
维生素C(mg/g)	7.61±0.12
菌落总数(CFU/g)	50
霉菌(CFU/g)	未检出
大肠菌群(CFU/g)	未检出
金黄色葡萄球菌(CFU/g)	未检出

2.5 海棠果果酱的流变学特性测定

图 7(a)所示为海棠果果酱黏度随剪切速率的变化曲线。从图中可以看出,随着剪切速率的增加,海棠果果酱的黏度呈直线下降趋势,这也表明海棠果果酱具有假塑性流体特征,具有良好的触变性<sup>[29]</sup>。当剪切速率较小时,其结构破坏较小,流体表现出的黏度较大,而随着剪切速率的增大,随机缠绕的果胶多糖分子链伸展,逐渐沿剪切应力方向直线排列<sup>[26]</sup>,果酱的分子结构被破坏,凝胶体系逐渐瓦解,果酱体系中各组分分子间的相互作用力减弱,导致表观黏度降



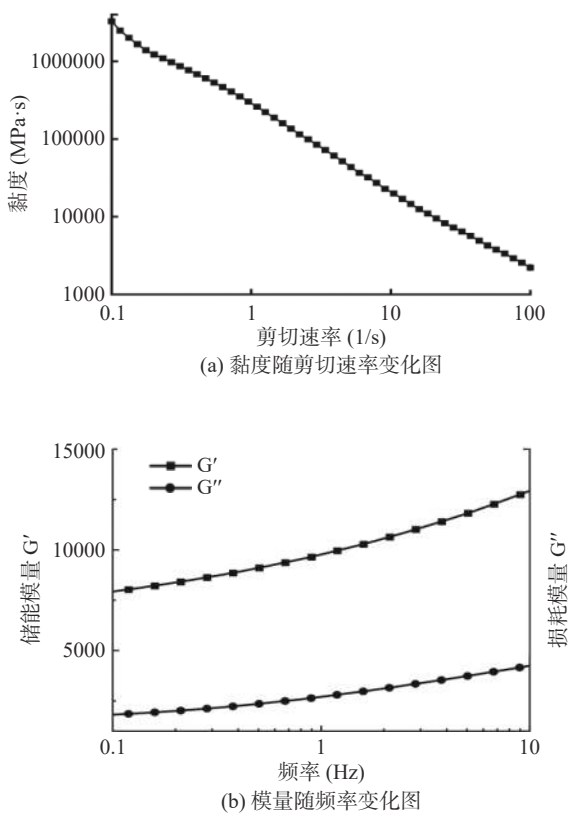


图 7 海棠果果酱的流变学特性测试

Fig.7 Rheological properties of *Malus prunifolia* jam

低<sup>[30]</sup>。研究表明呈现触变性的食品口感较为柔和爽口<sup>[31]</sup>。说明本产品口感爽口润滑,感官品质较好。

图 7(b)所示为海棠果果酱的频率扫描函数图。其中,储能模量( $G'$ )表示材料在每个动态振荡周期中储存弹性变形能的能力,反映了材料的弹性或固体性质,因此也可称为弹性模量。损耗模量( $G''$ )是指材料耗散变形能的能力,它与材料的黏性或液体性质有关,因此也可称为黏性模量<sup>[32]</sup>。由图可知,在 0.1~

10 Hz 内,果酱的  $G'$ 与  $G''$ 随频率的增加呈升高趋势,表现出频率依赖性,且  $G'$ 始终高于  $G''$ ,说明样品呈现黏弹性的类固体特征。研究表明具有此种特性的产品受力变形后恢复能力较强,内部结构较为紧密,具有较好的长期稳定性<sup>[27,33]</sup>。因此本产品具有较好的质地口感及储藏稳定性。

2.6 海棠果酱挥发性风味物质研究结果

由表 7 可知,海棠果果酱中共检测到 93 种挥发性风味物质,包括 17 种醇类、3 种酚类、19 种醛类、11 种酯类、9 种酮类、9 种烯炔类、2 种烷烃类、8 种苯环类、10 种有机酸和 5 种其他物质。其中相对含量由高到低分别为:烯炔类、醛类、酮类、有机酸、酚类、酯类、苯环类、醇类、烷烃类。

烯炔、醛类、酮类作为海棠果果酱中的主要挥发性风味物质,其相对含量占全部物质的 70.88%。烯炔类化合物本身阈值较低<sup>[34]</sup>,对果酱的风味贡献较大。果酱中的主要烯炔类物质为  $\alpha$ -法尼烯,相对含量为 31.42%,这个物质可以赋予海棠果果酱柑橘和热带果香。醛类物质主要来源于脂肪酸代谢、氨基酸转氨基作用或 Strecker 降解,香气浓厚,大多呈现花香和果香气味<sup>[33]</sup>。从醛类风味物质种类及相对含量分析上看,2,4-二甲基苯甲醛、苯甲醛、壬醛、(E)-2-庚烯醛视为海棠果果酱的特征醛类物质,可赋予海棠果果酱樱桃、柑橘、脂肪等香味。酮类化合物是由醇类氧化生成,部分对果香味具有一定的贡献<sup>[35]</sup>,同时,酮类物质作为一种香气阈值较低的物质,其对样品的风味具有较大贡献<sup>[36]</sup>,海棠果果酱中相对含量最高的酮类物质是甲基庚烯酮,相对含量为 12.94%,提供了柑橘、苹果、柠檬草的香气。

有机酸、酚类、酯类含量次之,其相对含量分别为 8.15%、6.75%、4.51%。有机酸作为果实风味和营养化合物的重要构成因素,影响水果的口感、色泽

表 7 海棠果果酱挥发性风味物质相对含量

Table 7 Relative contents of volatile flavor substances in *Malus prunifolia* jam

种类	挥发性风味化合物	相对含量(%)	相对总量(%)	气味描述
醇类 (17种)	戊醇	0.33	3.92	甜、香脂
	壬醇	0.13		蜡、柑橘、醛酸、橙、脂肪
	辛醇	0.74		蜡、橙子、醛类、玫瑰
	芳樟醇	0.27		柑橘、香甜、花、蓝莓
	乙基卡必醇	0.22		
	苯乙醇	0.09		花香、甜、玫瑰味
	2-苯氧基乙醇	0.17		玫瑰香、肉桂酚
	豆蔻醇	0.12		果味、蜡、椰子
	十六烷醇	0.10		蜡、花
	顺- $\alpha,\alpha$ -5-三甲基-5-乙烯基四氢化呋喃-2-甲醇	0.12		花
	1,5-辛二烯-3-醇	0.57		海洋、蘑菇
	1-辛烯-3-醇	0.31		蘑菇、泥土、生鸡肉
	(+)-(1s,2s)-(2-苯基环丙基)甲醇	0.13		
	6-庚烯-1-醇	0.24		
	3,6-二甲基-3-庚醇	0.18		
	正己醇	0.12		果味、苹果皮、机油
	(2E)-2-香叶基香叶基香叶醇	0.08		

续表 7

种类	挥发性风味化合物	相对含量(%)	相对总量(%)	气味描述
酚类 (3种)	2,4-二叔丁基苯酚	6.54	6.75	酚醛、树脂
	2-甲氧基-4-甲基苯酚	0.06		
	愈创木酚	0.15		木质、酚醛、烟熏
	戊醛	0.68		杏仁、麦芽、辛辣
	己醛	0.56		青草、柑橘、脂肪
	庚醛	0.70		脂肪、柑橘、腐臭
	辛醛	1.13		肥皂、脂肪、柠檬
	壬醛	2.32		柑橘、脂肪
	3-呋喃甲醛	0.09		
	癸醛	1.04		蜡、脂肪、柑橘、橙皮
	2-辛烯醛	0.09		
	苯甲醛	3.15		果味、樱桃、杏仁、焦糖
	2,4,5-三甲基苯甲醛	0.48	18.77	
醛类 (19种)	(Z)-2-壬烯醛	0.31		脂肪、蜡、黄瓜
	(E)-2-癸烯醛	0.31		蜡、脂肪、水果、牛油
	2,4-二甲基苯甲醛	3.52		萘基、樱桃、杏仁、香草
	3-羟基-4-甲氧基苯甲醛	0.40		
	5-羟甲基糠醛	0.53		脂肪、黄油、蜡、焦糖
	(E)-2-庚烯醛	2.00		肥皂、脂肪、杏仁
	柠檬醛	0.87		柠檬、柑橘、木质
	3-(5'-甲酰基-2-呋喃基)-2-丙烯醛	0.13		
	(E,E)-2,4-庚二烯醛	0.46		
	$\gamma$ -丁内酯	0.57		焦糖、甜
	己酸丁酯	0.09		水果
	$\alpha$ -当归内酯	0.24		甜、奶油、椰子、香豆素
	丁酸己酯	0.04		苹果皮
酯类 (11种)	己酸己酯	0.29	4.51	果味、苹果皮、桃子
	丁二酸二甲酯	0.02		酯类、果味、泡泡糖、木瓜
	苯甲酸甲酯	0.78		酚醛、樱桃、甜味
	(E)-2-甲基-2-丁酸-2-甲丙酯	0.05		草药、辛辣
	棕榈酸甲酯	0.66		油、蜡、脂肪
	乙酸乙酯	1.71		果味、甜味、菠萝
	Z,E-2-甲基-2-环丙基-1-乙氧羰基环丙烷	0.06		
	5-甲基3-庚酮	0.07		果味、柑橘
	(E)-1-苯基-1-庚烯-3-酮	0.04		
	甲基庚烯酮	12.94		柑橘、苹果、柠檬草
	紫罗兰酮	0.72		木质,花香,浆果味,果味
	(E)-香叶基丙酮	0.62	15.65	果味、蜡、玫瑰、香蕉
	4,6-二甲基-2-庚酮	0.21		
酮类 (9种)	4-环己基-5,5-二甲基环己烷-1,3-二酮	0.52		
	5,6-二氢-吡喃-2,5-二酮	0.26		
	2-乙酰基-1-甲基环戊烯	0.27		
	苯乙烯	0.07		甜味、汽油
	$\alpha$ -姜黄烯	0.06		草药
	$\alpha$ -白菖考烯	1.34		木质
	$\alpha$ -法尼烯	31.42		柑橘、木质、热带水果味
	10,8,11-三烯	0.63	36.46	
	2,6-二甲基-2,6-辛二烯	0.92		
	1,5,9-三甲基-1,5,9-环十二碳三烯	1.41		辛辣
	1,3-二(1-甲基乙基)-1,3-环戊二烯	0.30		
	2-茨烯	0.31		
烷烃类 (2种)	十四烷	0.07	0.19	蜡
	4,4-二甲基-庚烷	0.12		

续表 7

种类	挥发性风味化合物	相对含量(%)	相对总量(%)	气味描述
苯环类 (8种)	甲苯	0.37	4.1	油漆
	邻二甲苯	0.26		天竺葵
	对二甲苯	0.05		
	1,3-二叔丁基苯	2.01		
	三甲苯	0.66		
	1-苯基-4-戊烯-1-炔	0.01		
	2-甲基苯并呋喃	0.11		酚醛
	(1S,7S,8aR)-1,8a-二甲基-7-(异丙烯苯基苯胺)-1,2,3,7,8,8a-六氢茚	0.63		
有机酸 (10种)	乙酸	1.41	8.15	刺鼻的酸醋
	丁酸	0.41		尖锐的酸醋、奶酪、黄油、水果
	己酸	0.81		酸味汗
	庚酸	0.11		蜡质、果味、脂肪
	辛酸	0.94		蜡、脂肪、白兰地
	壬酸	2.86		脂肪、蜡、芝士味
	癸酸	0.78		肥皂、脂肪、果味
	苯甲酸	0.54		淡淡的香脂味
	月桂酸	0.26		脂肪、椰子
	2-甲基-3-四氢呋喃-2'-丙酸	0.03		
其他 (5种)	桉叶油醇	0.40	1.6	薄荷、甜味
	2-戊基呋喃	0.25		果味
	2-丙基呋喃	0.13		
	顺/反式-2-环乙基-1,5-甲基四氢呋喃	0.08		
	脱水糖	0.74		

及生物稳定性<sup>[37]</sup>。由表 7 可知,壬酸和乙酸相对含量最高,是主要的有机酸成分,壬酸具有脂肪、蜡、芝士味,低分子量的乙酸使果酱产生酸味及刺激性气味。酚类物质大多来源于纤维素等的热解,呈现出一种烟熏、药香的特殊香<sup>[33]</sup>。2,4-二叔丁基苯酚作为主要的酚类成分,使海棠果果酱具有淡淡的树脂味。酯类化合物作为评价果品风味的重要指标之一,主要由醇类及有机酸发生酯化反应生成,多具有水果和花香味<sup>[38]</sup>。乙酸乙酯作为主要酯类成分,赋予海棠果果酱果味及甜味。

苯环类、醇类、烷烃类化合物在海棠果果酱中相对含量较低,总含量不到 10%。苯环类化合物由于其独特的结构一般都具有香甜味,对整体风味有一定的贡献<sup>[39]</sup>。醇类多是由葡萄糖代谢、氨基酸脱羧或多不饱和脂肪酸氧化降解形成的<sup>[40]</sup>,通常呈现果香味和花香味,但醇类化合物风味阈值较高,对风味的贡献相对较小<sup>[33]</sup>。烷烃类化合物分子量大且阈值高,香气不突出<sup>[33]</sup>。在海棠果果酱检测出的风味物质中,烷烃类物质的类别较少,相对含量不高。

3 结论

采用单因素结合响应面分析后得到海棠果果酱最佳工艺参数为:海棠果果浆添加量 77.7%,柚子皮果胶添加量为 5.0%,白砂糖添加量为 17.3%,浓缩时间为 17 min,感官指标结果表明在此优化条件下制作的海棠果果酱酸甜可口,具有海棠果特有的清香味。理化指标结果表明海棠果果酱 pH 为 4.41,总酸

含量为 5.14%,总黄酮含量为 31.40 mg/100 g,总糖含量为 10.26%,可溶性固形物含量为 40.61%,维生素 C 含量为 7.61 mg/g。微生物指标结果表明果酱成品菌落总数为 50 CFU/g、霉菌、大肠菌群、金黄色葡萄球菌均未检出,产品理化及微生物指标均符合国家标准。品质特性结果显示海棠果果酱  $a^*$ 、 $b^*$ 、 $L^*$  值分别为 8.96、4.07、37.12,呈现明亮的红橙色,同时海棠果果酱属于假塑性流体,并表现出以弹性为主的黏弹体特征;采用 HS-SPME-GC-MS 对海棠果果酱的挥发性风味物质进行检测,共发现 93 种挥发性风味物质,包括 17 种醇类、3 种酚类、19 种醛类、11 种酯类、9 种酮类、9 种烯炔类、2 种烷烃类、8 种苯环类、10 种有机酸和 5 种其他物质,其中相对含量较高的挥发性风味物质为  $\alpha$ -法尼烯、甲基庚烯酮、2,4-二叔丁基苯酚。通过研究结果可知,开发的海棠果果酱是一款营养丰富、风味独特,同时具有一定市场前景的特色产品,可为海棠果的精深加工提供一定参考,同时为新型植物果酱产品的开发提供思路。

© The Author(s) 2024. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

参考文献

[1] 徐海祥, 陈舒达, 刘灵灵. 海棠果再制奶酪配方及加工工艺优化[J]. 食品研究与开发, 2022, 43(6): 106–116. [XU H X, CHEN Z D, LIU L L. Recipe and processing technology optimization of processed *Begonia* fruit cheese[J]. Food Research and Develop-



- ment, 2022, 43(6): 106–116.]
- [2] 王文良. 海棠果多酚的提取及在鲜湿面条中的应用[D]. 泰安: 山东农业大学, 2021. [WANG W L. Extraction of polyphenols from *Malus crabapple* and their application in fresh noodles [D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2021.]
- [3] 穆锐, 夏蕴实, 张燕婷, 等. 食药同源植物膳食纤维的化学成分和肠道菌群调节作用研究进展[J]. 食品工业科技, 2022, 43(18): 493–500. [MU R, XIA Y S, ZHANG Y T, et al. Research progress on the chemical composition and intestinal flora regulation of dietary fiber from the edible and medicinal plants[J]. Food Industry Science and Technology, 2022, 43(18): 493–500.]
- [4] 童观珍, 樊莹润, 李泽林, 等. 响应面设计优化丽江海棠果汁饮料配方[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(24): 85–91. [TONG G Z, FAN Y R, LI Z L, et al. Formula optimization for *Malus rockii* Rehd. juice beverage by Box-Behnken design[J]. Food Research and Development, 2019, 40(24): 85–91.]
- [5] 段永芳, 林冬梅, 宋惠月. 海棠果的功效成分及生物学功效评价研究进展[J]. 食品安全导刊, 2022(19): 129–132. [DUAN Y F, LIN D M, SONG H Y. Research progress on functional components and biological efficacy evaluation of *Begonia* fruit[J]. Food Safety Guide, 2022(19): 129–132.]
- [6] VELUSAMY K, VEERABAHU R M. *In vitro* antioxidant studies of *Begonia malabarica* Lam. and *Begonia floccifera* Bedd [J]. Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine, 2012, 2(3): S1572–S1577.
- [7] 邵金华, 皮佳婷, 周旭, 等. 柚子果汁制备工艺的研究[J]. 湖南科技学院报, 2018, 39(5): 32–35. [SHAO J H, PI J T, ZHOU X, et al. Study on preparation technology of grape fruit juice[J]. Journal of Hunan University of Science and Technology, 2018, 39(5): 32–35.]
- [8] 刘婧婧. 基于柚子皮挥发性物质的南美白对虾保鲜技术研究[D]. 天津: 天津科技大学, 2022. [LIU J J. Study on preservation technology of *Penaeus vannamei* based on volatile substances from pomelo peel[D]. Tianjin: Tianjin University of Science and Technology, 2022.]
- [9] 张方艳, 葛国香, 刘美伶, 等. 4种柚子皮精油成分及其抑菌活性的研究[J]. 农产品加工, 2021(17): 1–4. [ZHANG F Y, GE G X, LIU M L, et al. Study on chemical compositions and antimicrobial activity of essential oils from four pomelo peels[J]. Agricultural Processing, 2021(17): 1–4.]
- [10] 戚启琼, 韦倩妮, 郭峰君, 等. 柚子皮活性成分的综合利用研究进展[J]. 现代食品, 2021(22): 97–99. [QI Q Q, WEI Q N, GUO F J, et al. Research progress on comprehensive utilization of active components from pomelo peel[J]. Modern Food, 2021(22): 97–99.]
- [11] PÉREZ F A, GUTIÉRREZ L, SUMANO H, et al. Effect of dehydrated grapefruit peels on intestinal integrity and Eimeria invasion of caprine epithelial cells *in vitro* and anticoccidial activity *in vivo*[J]. Small Ruminant Research, 2022, 210: 106663.
- [12] 刘媛洁, 张良, 胡欢平, 等. 酶法协同超声波辅助酸法提取柚子皮中果胶工艺条件优化[J]. 食品工业科技, 2019, 41(4): 114–119. [LIU Y J, ZHANG L, HU H P, et al. Optimization on technology conditions of extracted pectin from shaddock peel by enzymatic method combined with ultrasonic assisted acid method[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 41(4): 114–119.]
- [13] ILSE F, THOMAS D, EUGÉNIE D, et al. Fine-tuning the properties of pectin-calcium gels by control of pectin fine structure, gel composition and environmental conditions[J]. Trends in Food Science & Technology, 2010, 21(5): 219–228.
- [14] 刘芳, 沈清清, 陈红惠, 等. 柚子皮果胶的提取及软糖的研制[J]. 山东化工, 2019, 49(9): 39–41, 44. [LIU F, SHEN Q Q, CHEN H H, et al. Extraction of pectin from shaddock peel and the preparation of soft sweets[J]. Shandong Chemical Industry, 2019, 49(9): 39–41, 44.]
- [15] 杨东松, 张嘉琪, 黄业隆, 等. 低糖枇杷桑葚复合果酱配方优化[J]. 食品工业科技, 2022, 43(4): 221–229. [YANG D S, ZHANG J Q, HUANG Y Y, et al. Optimization of low sugar loquat mulberry compound jam formula[J]. Food Industry Science and Technology, 2022, 43(4): 221–229.]
- [16] 贾鲁彦. 猕猴桃果酱加工工艺研究[D]. 杨凌: 西北农业大学, 2014. [JIA L Y. Study on processing technology of kiwifruit jam[D]. Yangling: Northwest Agricultural University of Science and Technology, 2014.]
- [17] 王美荣. 直接碘量法定量测定维生素C[J]. 阴山学刊, 2006, 20(3): 39–40. [WANG M R. Quantitative determination of vitamin C by direct iodometry[J]. Yinshan Academic Journal, 2006, 20(3): 39–40.]
- [18] 刘志明, 唐彦君, 吴海舟. 苯酚-硫酸法测定葡萄酒中总糖含量的样品处理[J]. 中国酿造, 2011(2): 158–161. [LIU Z M, TANG Y J, WU H Z. Sample treatment for determination of total sugar content in wine by phenol-sulfuric acid method[J]. China Brewing, 2011(2): 158–161.]
- [19] 陈江梅, 李利军, 马齐. 桑葚汁、莱菔汁和沙棘汁中的总黄酮含量测定分析[J]. 中国酿造, 2009(7): 153–154. [CHEN J M, LI L J, MA Q. Determination and analysis of total flavonoids in Sangbo juice, Caiying juice and seabuckthorn juice[J]. China Brewing, 2009(7): 153–154.]
- [20] 和俊才, 林毅, 吴桂革, 等. 苹果酱制备工艺的响应面法优化及挥发性风味成分分析[J]. 热带农业科学, 2022, 42(6): 88–96. [HE J C, LIN Y, WU G P, et al. Optimization of preparation technology by response surface methodology and analysis of volatile flavor components of *Amomum tsao-ko* sauce[J]. Scientia Tropica Agricultura, 2022, 42(6): 88–96.]
- [21] 蒋文馨. 分子结构及溶液环境对柑橘果胶空间构象及功能性的影响研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2022. [JANG W X. Effects of molecular structure and solution environment on spatial conformation and function of citrus pectin[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2022.]
- [22] ZHU M N, HUANG R M, WEN P, et al. Structural characterization and immunological activity of pectin polysaccharide from kiwano (*Cucumis metuliferus*) peels[J]. Carbohydrate Polymers, 2021, 254: 117371.
- [23] 许文广, 邓英毅, 杨滨银. 响应面法优化低糖红枣果酱的加工工艺[J]. 中国调味品, 2022, 47(12): 130–135. [XU W G, DENG Y Y, YANG B Y. Optimization of processing technology of low-sugar jujube jam by response surface method[J]. Chinese Condiments, 2022, 47(12): 130–135.]
- [24] 吴思. 柿子复合果酱的研制[D]. 武汉: 华中农业大学, 2017. [WU S. The development of persimmon compound jam[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2017.]
- [25] 唐秋菊. 红枣枸杞复合系列产品的研制[D]. 石河子: 石河子大学, 2021. [TANG Q J. Development of jujube wolfberry composite series products[D]. Shihezi: Shihezi University, 2021.]
- [26] 吴思宇, 熊思慧, 潘思轶. 真空浓缩和常压熬煮对柑橘酱品质及流变特性的影响[J]. 华中农业大学学报, 2023, 42(2): 194–201. [WU S Y, XIONG S H, PAN S Y. Effects of vacuum concentration and atmospheric boiling on the quality and rheological properties of citrus paste[J]. Journal of Huazhong Agricultural

- University, 2023, 42(2): 194–201. ]
- [ 27 ] 赵文洁. 南酸枣果酱产品的研发[D]. 南昌: 南昌大学, 2020. [ ZHAO W J. The development of *Choerospondias axillaris* jam [D]. Nanchang: Nanchang University, 2020. ]
- [ 28 ] 国家质量监督检验检疫总局, 国家标准化管理委员会. 果酱: GB/T22474-2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008. [ State Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine, Standardization Administration. Jam: GB/T22474-2008[S]. Beijing: Standards Press of China, 2008. ]
- [ 29 ] LIANG Z H, LI S N, LIANG Q X, et al. Analysis on the fatty acids and volatile components in *Pleurotus geesteranus* by HS-SPME-GC-MS[J]. Journal of Food Quality, 2020, 2020(5): 1–5.
- [ 30 ] 柯范生, 廖耀元. 低糖荔枝果酱流变特性研究[J]. 福建农业学报, 2009, 24(6): 575–579. [ KE F S, LIAO Y Y. Rheological properties of low-sugar litchi jam[J]. Journal of Fujian Agricultural Sciences, 2009, 24(6): 575–579. ]
- [ 31 ] 杨述. 海洋新型低脂类蛋黄酱的制备及流变特性[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2011. [ YANG S. The preparation and rheological properties of new marine low-fat mayonnaise[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2011. ]
- [ 32 ] ZHAO C B, CHU Z J, MAO Y X, et al. Structural characteristics and acid-induced emulsion gel properties of heated soy protein isolate-soy oligosaccharide glycation conjugates[J]. Food Hydrocolloids, 2022, 137.
- [ 33 ] AUGUSTO P E D, IBARZ A, CRISTIANINI M. Effect of high pressure homogenization (HPH) on the rheological properties of tomato juice: Creep and recovery behaviours[J]. Food Research International, 2013, 54(1): 169–176.
- [ 34 ] 周宇科, 郑传洋, 任汐月, 等. 不同产地花生酱的挥发性风味成分比较分析[J]. 现代食品科技, 2023, 39(4): 297–310. [ ZHOU Y K, ZHENG C Y, REN X Y, et al. Comparative analysis demonstrates changes in volatile flavor components in peanut butter from different origins[J]. Modern Food Science and Technology, 2023, 39(4): 297–310. ]
- [ 35 ] 于思文, 王玉超, 黄一承, 等. 黑曲霉纤维素酶对蓝锭果酵素中挥发性化合物和有机酸的影响[J]. 食品研究与开发, 2023, 44(11): 36–42. [ YU S W, WANG Y C, HUANG Y C, et al. Effect of *Aspergillus niger* cellulase on volatiles and organic acids in fermented blue honeysuckle berry[J]. Food Research and Development, 2023, 44(11): 36–42. ]
- [ 36 ] 费永涛, 黄一鹤, 屈春云, 等. 覆盆子乳酸菌饮料发酵工艺优化及挥发性风味物质分析[J]. 中国酿造, 2023, 42(7): 214–220. [ FEI Y T, HUANG Y H, QU C Y, et al. Optimization of fermentation process and volatile flavor substances of raspberry lactic acid bacteria beverage[J]. China Brewing, 2023, 42(7): 214–220. ]
- [ 37 ] 段云飞, 吴光, 叶洪, 等. HPLC 法同时测定采后莲雾果实 7 种有机酸的含量[J]. 食品科学, 2021, 42(4): 175–180. [ DUAN Y F, WU G B, YE H, et al. Simultaneous determination of seven organic acids in wax apple (*Syzygium samarangenes* [Blume] Merrill & L. M. Perry) fruit during postharvest storage by high performance liquid chromatography[J]. Food Science, 2021, 42(4): 175–180. ]
- [ 38 ] LEE J W, KANG S A, CHEON C. Quality characteristics of distilled alcohols prepared with different fermenting agents[J]. Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry, 2015, 58(2): 275–283.
- [ 39 ] 张毅, 孙健, 岳瑞雪, 等. 冰烤薯风味轮的构建及应用[J]. 食品与发酵工业, 2023, 49(23): 236–245. [ ZHANG Y, SUN J, YUE R X, et al. Construction of flavor wheel for quickly frozen baked sweet potato and its applications[J]. Food and Fermentation Industry, 2023, 49(23): 236–245. ]
- [ 40 ] YE Y, WAN L, ZHAN P, et al. Characterization of the aroma compounds of millet Huangjiu at different fermentation stages[J]. Food Chemistry, 2022, 366: 130691.