

低糖西梅果酱加工工艺优化及挥发性物质分析

古丽米热·祖努纳^{1,2}, 沙尼都哈什·哈勒木别克³, 克丽曼·艾沙³, 许铭强^{1,2}, 孟伊娜^{1,2}, 孟新涛^{1,2*}
(1. 新疆农业科学院农产品贮藏加工研究所, 新疆 乌鲁木齐 830091; 2. 新疆主要农副产品精深加工工程技术研究中心, 新疆 乌鲁木齐 830091; 3. 新疆农业大学 食品科学与药学学院, 新疆 乌鲁木齐 830091)

摘要: 针对传统加工工艺制得的果酱口感欠佳、糖含量高、品质低等问题, 该研究以西梅为原料研制低糖西梅果酱。通过单因素试验对柠檬酸添加量、蔗糖添加量和增稠剂添加量进行筛选, 根据糖酸比、黏度和感官评分, 采用 Box-Behnken 中心组合设计试验, 优化低糖西梅果酱的加工工艺。选取最佳配方研制出的低糖西梅果酱, 与市售果酱进行理化品质和挥发性物质比较分析。结果表明: 低糖西梅果酱的最佳工艺参数为柠檬酸添加量 0.5%、蔗糖添加量 15%、复配增稠剂(黄原胶与果胶质量比 1:1)添加量 1.2%。此条件制得的西梅果酱黏度为 26.01 Pa·s, 感官评分为 87。同时, 总酚、总黄酮、总酸的含量分别为 18.52、7.26 mg/g 和 11.52 g/kg, 显著高于市售西梅果酱, 而可溶性固形物含量低于市售果酱约 50%。挥发性物质种类和相对含量明显高于市售果酱。此低糖西梅果酱满足市场对果酱的需求, 微生物指标符合国家标准。

关键词: 西梅; 低糖果酱; 加工工艺; 挥发性物质; 理化品质

Optimization of Formula and Identification of Volatile Compounds of Low-Sugar Prune Jam

GULIMIRE Zununa^{1,2}, SHANIDOUHASHEN Halemubieke³, KELIMAN Aisha³, XU Mingqiang^{1,2},
MENG Yina^{1,2}, MENG Xintao^{1,2*}

(1. Research Institute of Farm Products Storage and Processing, Xinjiang Academy of Agricultural Sciences, Urumqi 830091, Xinjiang, China; 2. Research Center of Main Agricultural Products Processing Engineering in Xinjiang, Urumqi 830091, Xinjiang, China; 3. College of Food Science and Pharmacy, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830091, Xinjiang, China)

Abstract: In response to the poor taste, high sugar content, and low quality of jam produced with conventional formulas, low-sugar prune jam was developed. Single factor experiments were carried out to determine the content scope of citric acid, sucrose, and thickener added. With the sugar-to-acid ratio, viscosity, and sensory score as indicators, a Box-Behnken design was adopted to optimize the formula of the low-sugar prune jam. Furthermore, the low-sugar prune jam produced with the optimal formula was compared with the commercially available jam regarding the physicochemical quality and volatile compounds. The results showed that the optimal formula for producing the low-sugar prune jam was citric acid, sucrose, and composite thickener (1:1 mass ratio of xanthan gum to pectin) added at 0.5%, 15%, and 1.2%, respectively. The jam produced with the optimal formula had the viscosity of 26.01 Pa·s, and the sensory score of 87. The content of total phenols, total flavonoids, and total acids in the product were 18.52, 7.26 mg/g, and 11.52 g/kg, respectively, significantly higher than those of commercially available prune jam, while the content of soluble solids was about 50% lower than that of commercially available jam. The number and relative content of volatile compounds in the product were significantly higher than those of commercially available jam. The prepared low-sugar prune jam met the market requirement for jam, and its microbial indicators met the limits in the national standard.

Key words: prune; low-sugar jam; processing technology; volatile compounds; physicochemical quality

基金项目: 自治区重点研发计划项目(2022B02026-2)

作者简介: 古丽米热·祖努纳(1997—), 女(维吾尔), 硕士, 研究方向: 农产品加工与综合利用。

*通信作者: 孟新涛(1985—), 女, 副研究员, 硕士, 研究方向: 农产品加工与检测分析。

引文格式:

古丽米热·祖努纳,沙尼都哈什·哈勒木别克,克丽曼·艾沙,等.低糖西梅果酱加工工艺优化及挥发性物质分析[J].食品研究与开发,2025,46(4):107-117.

GULIMIRE Zununa, SHANIDOUHASHEN Halemubieke, KELIMAN Aisha, et al. Optimization of Formula and Identification of Volatile Compounds of Low-Sugar Prune Jam[J]. Food Research and Development, 2025, 46(4): 107-117.

西梅果实是一种低热、低脂、低糖的果蔬食品^[1],富含无机盐、维生素、膳食纤维^[2]、多酚等多种营养成分^[3],西梅中的相关营养活性物质在维持人体生理健康和预防某些疾病上具有一定的作用^[4]。相关研究表明,西梅能够明显地抑制大鼠草酸钙肾结石的形成^[5],能增强骨质强度^[6],起到预防骨质疏松的效果^[7-8]。西梅由于其成熟季短,果实容易变软,不耐贮藏而造成大量的浪费^[9]。因此,其果实成熟后除了鲜食外,还会被加工制作成果脯、果汁、果酱、果酒等产品^[10-11]。随着生活水平的提高,绿色健康的生活方式受到推崇,低糖健康食品越来越受到青睐^[12]。传统高糖果酱(含糖量在60%以上)口感过于甜腻,过多糖分摄入会危害人体健康,由于肥胖、代谢综合征和糖尿病引发的健康问题越来越多,市场上对低糖产品的需求急剧增加,低糖果酱的发展前景良好^[13-14]。低糖果酱指含糖量低于45%的果酱^[15],低糖果酱突出原果风味,色泽稳定,口感清爽、酸甜,营养成分更加丰富,适于各类人群。气相离子迁移色谱(gas chromatography-ion mobility spectroscopy, GC-IMS)是一种灵敏的分析技术,能够对挥发性有机化合物(volatile organic compounds, VOCs)进行全面评估,并提供连续的注入功能和快速的分析能力^[16-17]。目前西梅的加工较多集中在西梅果干^[18],对于西梅果实加工方面的研究报道较少,未充分体现西梅果实资源的商业优势和价值,若以西梅果实为原料进行精深加工,研制出与西梅相关的营养产品可极大提升西梅的价值,推动地区经济。

因此,本研究以研发低糖型、多风味、高营养的西梅果酱为目标,以增稠剂的筛选复配为基础,通过柠檬酸添加量、蔗糖添加量、复配增稠剂添加量3个因素考察西梅果浆的质构特性、理化指标和感官评分,运用响应面试验设计确定西梅果酱的最佳工艺优化参数,通过对比自制西梅果酱与市售西梅果酱的理化指标和挥发性风味物质,探究两种西梅果酱挥发性有机物差异,以为低糖西梅果酱的生产加工提供指导。

1 材料与方 法

1.1 材料与仪器

法兰西西梅鲜果:市售,于新疆农业科学院农产品贮藏加工研究所实验室冷冻保存;柠檬酸、D-异抗坏血酸钠、蔗糖、低酯果胶、黄原胶、瓜尔豆胶、羧甲基纤

维钠(sodium carboxymethyl cellulose, CMC-Na)(均为食品级):河南科翔食品添加剂有限公司;没食子酸、 Na_2CO_3 、福林酚试剂、无水乙醇、芦丁标准品、铝化氯、醋酸钾、酚酞、氢氧化钠(均为分析纯):国药集团化学试剂有限公司。

MC 电子天平:梅特勒-托利多仪器有限公司;PZ-01 打浆机:佛山市佰达润电器有限公司;UV759CRT 型紫外分光光度计:青岛聚创环保集团有限公司;M30891 手持折光仪:北京海富达科技有限公司;LSRH-200 均质机:江苏励岸宝智能有限公司;TMS-TOUCH 质构仪:北京盈盛恒泰科技有限责任公司;Pawkit 水分活度测量仪:重庆贝斯淇科技有限公司;KL04A 高速离心机:湖南凯达科学仪器有限公司;调节式万用电炉:深圳市宝安区西乡飞球电器厂;HWS-26 恒温水浴锅:上海力辰仪器科技实力供应商;NDJ-8S 数字式粘度计:上海印溪仪器仪表有限公司;Flavour Spec GC-IMS 联用仪:德国 G.A.S 公司。

1.2 试验方法

1.2.1 工艺流程

选料→清洗、去核→打浆→护色→微磨→调配→均质→浓缩→装罐密封→灭菌→冷却→成品。

1.2.2 操作要点

- 1)选料:挑选成熟度适宜、无腐烂的新鲜西梅。
- 2)清洗、去核:清水漂洗,用不锈钢刀纵切对开去核。
- 3)打浆、护色:西梅果实进行打浆,加入质量浓度为0.4%的D-异抗坏血酸钠护色。
- 4)微磨、调配、均质:通过胶体磨磨成细腻浆液,西梅浆的糖度为20°Brix,对调配好的浆液于35~40 MPa压力下在均质机中进行均质。
- 5)浓缩:取300 g西梅果浆进行加热,煮沸后转为小火熬制,浓缩后浆液中的可溶性固形物含量达到30%~35%即可,将一定比例的柠檬酸和增稠剂加入到果浆中,加热全程需持续搅拌,以加速水分的蒸发并防止果酱结晶和焦化,直至浓缩终点。
- 6)装罐密封:包装采用玻璃瓶,洗净后煮沸杀菌15 min,杀菌结束后立即装罐,此时果酱温度要求达到85℃以上,装瓶需距瓶口1 cm空隙,避免微生物污染。
- 7)灭菌:样品拧紧瓶盖密封后在水浴中加热杀菌,温度90℃,保持10 min,灭菌结束后将样品分段冷却

至室温。

1.2.3 增稠剂的筛选

调配好的西梅浆浓缩至糖度为 30 °Brix, 选择黄原胶、果胶、瓜尔豆胶、CMC-Na 4 种增稠剂在添加量分别为 0.4%、0.8%、1.2%、1.6% 时, 单一增稠剂不同添加量对低糖西梅果酱品质的影响, 选择效果较好的两种增稠剂作为复配增稠剂添加到果酱中。

1.2.4 增稠剂的复配

调配好的西梅浆在浓缩至糖度为 30 °Brix 时, 添加 0.8% 不同黄原胶与果胶质量比(1:3、1:2、1:1、2:1、3:1)的混合胶, 浓缩至糖度为 33 °Brix。根据感官评定、水分活度以及相关质构指标, 确定最佳复配增稠剂比例。

1.2.5 质构测定

参照贾鲁彦^[9]的方法并稍作修改。通过质构仪对西梅果酱进行全质构分析(texture profile analysis, TPA), 具体参数: 选用 P/0.5 测试头; 测前、中、后速率均为 1 mm/s; 压缩变形量设置为 30%; 触发力为 5 g; 间隔时间 5 s。

1.2.6 单因素试验

取一定量的西梅果浆, 添加柠檬酸(0.1%、0.3%、0.5%、0.7%、0.9%)、蔗糖(20%、25%、30%、35%、40%), 随后进行大火熬煮, 待水分减少后开始转用小火熬制。待浆液中的糖度为 30 °Brix 时, 分别加入复配增稠剂(黄原胶与果胶质量比为 1:1)(0.4%、0.8%、1.2%、1.6%、2.0%)继续浓缩, 至果酱中糖度达到 33 °Brix 时, 停止熬制。通过感官评价、可溶性固形物含量、总酸含量、总酚含量、总黄酮含量和黏度确定最佳单因素条件。

1.3 响应面优化试验

在单因素试验基础上, 以柠檬酸添加量(A)、蔗糖添加量(B)、复配增稠剂添加量(C)为影响因素, 以糖酸比(Y_1)、黏度(Y_2)和感官评价(Y_3)为响应值, 采用三因素三水平 Box-Behnken 设计进行优化试验, 探究不同因素和水平对西梅果酱的影响。Box-Behnken 试验的因素与水平见表 1。

表 1 Box-Behnken 试验设计因素与水平

Table 1 Factors and levels of Box-Behnken design

水平	因素		
	A 柠檬酸添加量/%	B 蔗糖添加量/%	C 复配增稠剂添加量/%
-1	0.3	20	0.4
0	0.5	25	0.8
1	0.7	30	1.2

1.4 感官评价标准及方法

感官评价选择至少 10 名专业的感官评定人员, 从西梅果酱的色泽、口感、形态和风味 4 个方面进行综合评价, 具体的感官评定标准见表 2。

表 2 西梅果酱的感官评分标准

Table 2 Sensory evaluation criteria for prune jam

项目	分值	感官评价标准
色泽	15~20	颜色呈玫红至鲜红色, 亮度较高
	(20) 10~<15	颜色呈暗红色, 亮度较低
	0~<10	颜色红度较低, 发黄
口感	26~30	口感顺滑, 酸甜适中, 西梅的果香浓郁
	(30) 16~<26	口感较顺滑, 入口较细腻, 酸甜适中
	0~<16	口感黏稠不均匀, 有颗粒感且味道过酸或过甜
形态	15~20	果酱均匀细腻, 呈凝胶状, 颜色均匀, 无分层析水和结晶现象
	(20) 10~<15	果酱整体上较均匀, 呈凝胶状, 颜色分布较均匀, 有轻微析水分层现象
	0~<10	果酱粗糙, 有流散现象, 颜色分布不均匀, 分层析水严重, 涂抹均匀光滑, 涂抹流畅, 无断层
风味	26~30	气味丰富、轻盈, 具有西梅原有的香气
	(30) 16~<26	果味香气较淡, 香气有轻微刺激性
	0~<16	有糖液的焦糊味, 刺激性酸味强烈, 果味较轻

1.5 指标测定

总酸含量: 参照 GB 12456—2008《食品安全国家标准 食品中总酸的测定》中的方法进行测定。

可溶性固形物含量: 采用手持折光仪进行测定。

总酚含量: 采用福林酚法进行测定。

总黄酮含量: 采用 $\text{NaNO}_2\text{-Al}(\text{NO}_3)_3\text{-NaOH}$ 法进行测定。

黏度: 使用粘度计测定, 保持样品温度在 20 °C, 转速为 12 r/min, 测定时间为 5 min。

1.6 挥发性风味物质的测定

参考孟新涛等^[20]的方法并稍作修改。准确称取 3.00 g 样品置于 20 mL(2 cm×4 cm)的顶空进样品中, 每个样品重复 3 次。将样品在 80 °C 下孵育 20 min 后进样, 进样 0.5 mL, 进样针温度 85 °C, 孵化转速 500 r/min, 载气为高纯氮气($\geq 99.999\%$); 色谱柱类型: FS-SE-54-CB-0.5 15 m, 序列号: 0.53 mm, 色谱柱温度 45 °C; 分析时间 20 min, 设置程序流速 2.00 mL/min 并保持 10 min, 在 5 min 内线性增至 20.00 mL/min, 在 15 min 内线性增至 100.00 mL/min, 100.00 mL/min 保持 5 min。

1.7 数据分析

每次试验均进行 3 组平行试验, 数据采用 Origin 9.0、SPSS 25.0 和 Design-Expert 8.0.6 进行处理和分析。

2 结果与分析

2.1 增稠剂的筛选

增稠剂种类和添加量的筛选结果见图 1 和表 3。

由图 1 可知, 随着增稠剂添加量的增加, 西梅果酱的水分活度逐渐下降。由表 3 可知, 随着 4 种增稠剂添加量的增加, 黏附性、内聚性和胶黏性整体上都逐渐上升, 其中黏附性方面: 瓜尔豆胶>黄原胶>果胶>CMC-Na;

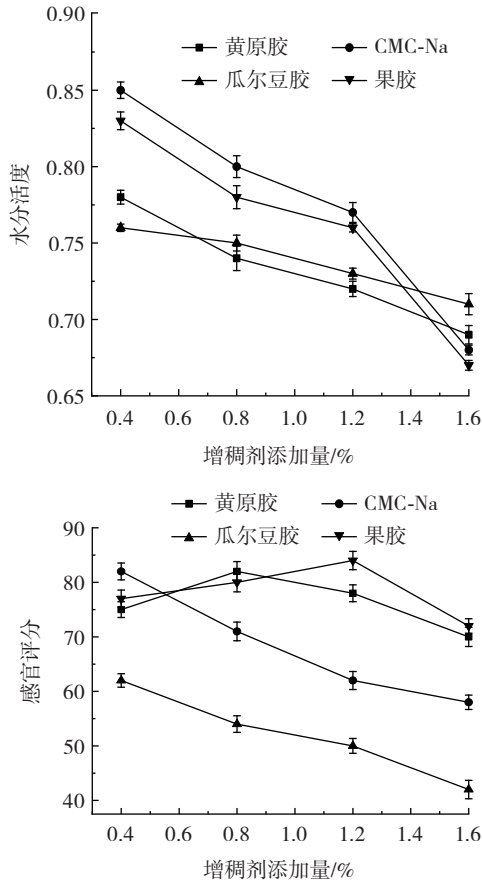


图1 增稠剂的种类及添加量对水分活度和感官评分的影响
Fig.1 Effects of types and addition amounts of thickeners on water activity and sensory score

表3 增稠剂的种类及添加量对 TPA 模式下质构的影响
Table 3 Effects of types and addition amounts of thickeners on the product texture under the TPA mode

增稠剂	添加量/%	黏附性	内聚性	胶黏性/N
黄原胶	0.4	7.72±0.05 ^b	0.18±0.03 ^k	1.27±0.04 ⁱ
	0.8	11.54±0.07 ^f	0.35±0.02 ^{fe}	1.33±0.05 ⁱ
	1.2	12.53±0.05 ^d	0.78±0.05 ^b	1.36±0.02 ⁱ
	1.6	16.29±0.10 ^e	0.80±0.05 ^a	1.26±0.02 ⁱ
CMC-Na	0.4	5.15±0.01 ^l	0.33±0.01 ^{eh}	1.16±0.04 ^k
	0.8	6.49±0.01 ^k	0.36±0.01 ^f	1.67±0.04 ^e
	1.2	7.09±0.01 ⁱ	0.51±0.03 ^e	1.86±0.01 ^f
瓜尔豆胶	1.6	7.51±0.01 ^h	0.53±0.03 ^e	2.05±0.12 ^e
	0.4	6.82±0.02 ^j	0.15±0.01 ^k	1.26±0.05 ^j
	0.8	12.09±0.01 ^e	0.23±0.01 ^j	3.29±0.16 ^e
果胶	1.2	23.24±0.01 ^b	0.58±0.03 ^d	4.09±0.15 ^b
	1.6	28.35±0.03 ^a	0.66±0.02 ^e	5.67±0.14 ^a
	0.4	6.44±0.01 ^k	0.16±0.01 ^k	1.35±0.01 ⁱ
果胶	0.8	10.58±0.01 ^e	0.28±0.03 ^{hi}	1.59±0.03 ^h
	1.2	10.76±0.01 ^e	0.29±0.05 ^{hi}	2.92±0.08 ^d
	1.6	12.41±0.01 ^d	0.56±0.04 ^d	3.28±0.14 ^e

注:同列不同字母表示差异显著, $P < 0.05$ 。

内聚性方面:黄原胶>瓜尔豆胶>CMC-Na>果胶;胶黏性方面:瓜尔豆胶>果胶>CMC-Na>黄原胶;根据果酱的感

官评价,当增稠剂黄原胶和果胶的添加量增加时感官评分先上升后降低,黄原胶添加量 0.8%、果胶添加量 1.2% 时西梅果酱感官评分最高。随着 CMC-Na 和瓜尔豆胶添加量的增加,感官评分逐渐下降。综合考虑食品胶对降低果酱水分活度和提高其感官评分的影响,选择黄原胶和果胶进行复配。

2.2 增稠剂的复配筛选结果

增稠剂比例筛选结果见图 2 和表 4。

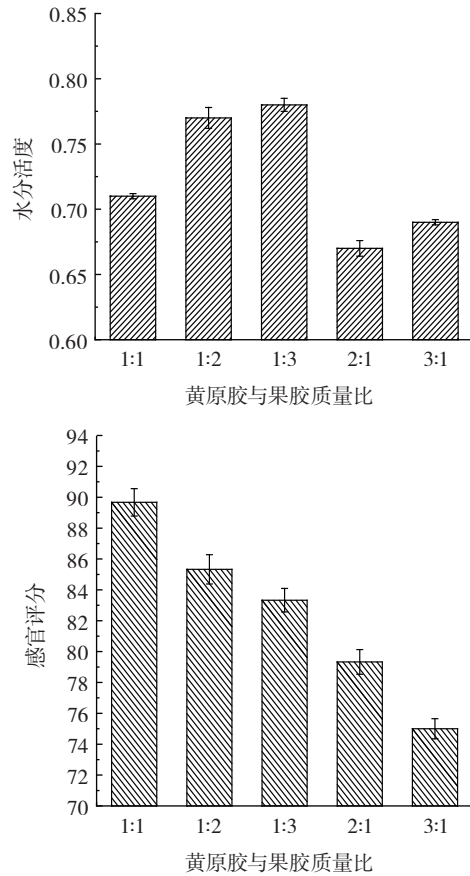


图2 复配增稠剂比例对水分活度和感官评分的影响

Fig.2 Effects of composition ratio of the composite thickener on water activity and sensory score

表4 复配增稠剂的比例及添加量对 TPA 模式下质构的影响
Table 4 Effects of composition ratio and addition amount of the composite thickener on the product texture under the TPA mode

黄原胶与果胶质量比	黏附性	内聚性	胶黏性/N
1:1	18.37±0.13 ^c	0.87±0.04 ^b	4.14±0.07 ^e
1:2	9.28±0.08 ^d	0.12±0.01 ^d	1.77±0.05 ^e
1:3	8.62±0.09 ^e	0.18±0.01 ^e	2.63±0.09 ^d
2:1	24.61±0.30 ^b	0.88±0.03 ^b	6.51±0.15 ^b
3:1	25.37±0.22 ^a	1.62±0.08 ^a	7.34±0.24 ^a

注:同列不同字母表示差异显著, $P < 0.05$ 。

如图 2 所示,在黄原胶与果胶的质量比为 2:1 和 3:1 时水分活度与感官评分均较低,因为黄原胶添加量过大时果酱较为黏稠,且不易涂抹;但黄原胶添加量

过小时,又会造成果酱过于稀薄。由表4可知,随着黄原胶添加量的增加,黏附性、内聚性和胶黏性整体呈先下降后上升趋势,在黄原胶与果胶的质量比为1:1时黏附性、内聚性和胶黏性适中,感官评分最高,此时适合西梅果酱的研制。

2.3 单因素试验结果

2.3.1 柠檬酸添加量对理化指标和感官评分的影响

柠檬酸添加量对理化指标和感官评分的影响见图3。

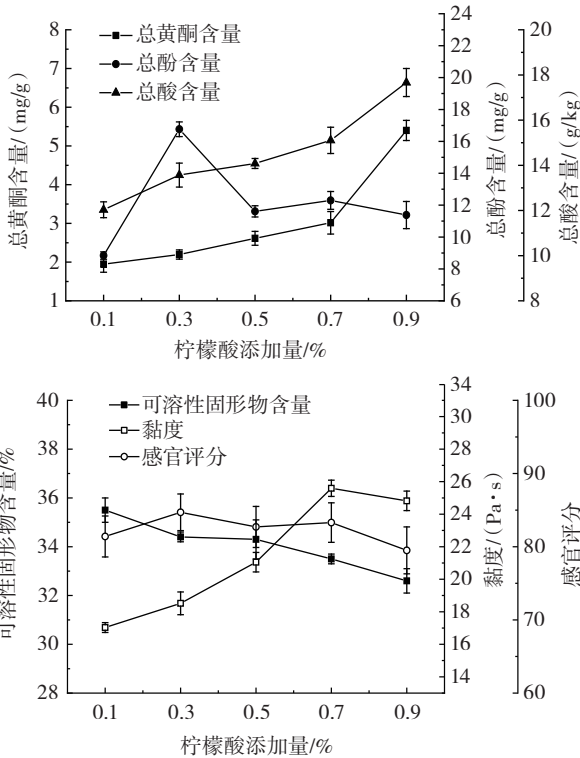


图3 柠檬酸添加量对理化指标和感官评分的影响

Fig.3 Effects of citric acid addition amount on physicochemical indicators and sensory score

由图3可知,随着柠檬酸添加量的增加,总酸含量和总黄酮含量呈逐渐上升趋势,总酚含量整体呈先上升后下降再回升趋势,黏度和感官评分呈先上升后下降趋势,可溶性固形物含量呈下降趋势。当柠檬酸添加量为0.3%和0.7%时,此时酱体的酸味柔和口感良好。随柠檬酸添加量的继续增大,果酱酸涩感增加,西梅果酱的感官评分降低,酱体黏稠度也有下降,这是因为添加少量的柠檬酸能促进水果中本身存在的果胶物质形成凝胶^[21],而当柠檬酸添加量增大到一定程度,其对果酱中外加增稠剂的溶解有抑制作用,造成果酱黏度效果不佳,酱体组织不均匀^[1]。因此综合考虑果酱的理化指标及口感,选择柠檬酸添加量0.3%、0.5%、0.7%进行响应面优化试验。

2.3.2 蔗糖添加量对理化指标和感官评分的影响

蔗糖添加量对理化指标和感官评分的影响见图4。

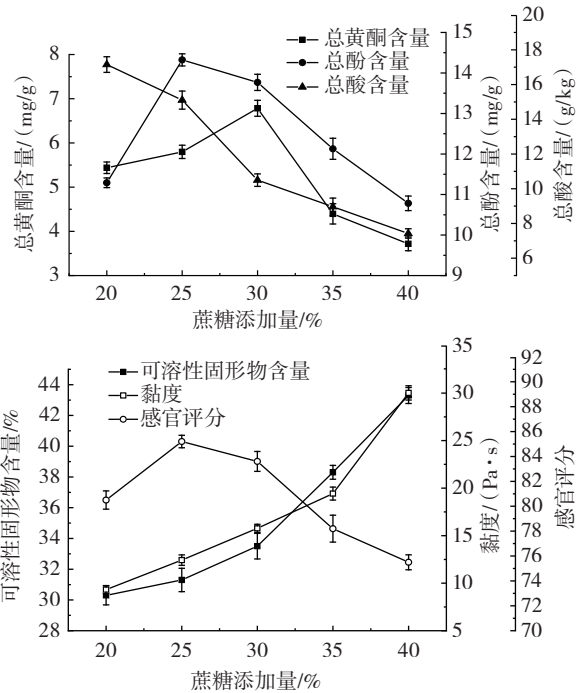


图4 蔗糖添加量对理化指标和感官评分的影响

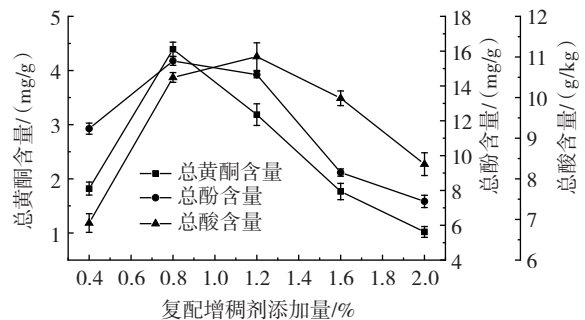
Fig.4 Effects of sucrose addition amount on physicochemical indicators and sensory score

由图4可知,随着蔗糖添加量的增加,果酱的总黄酮含量、总酚含量和感官评分先上升后下降,总酸含量呈下降趋势,可溶性固形物含量和黏度呈逐渐上升趋势。这是由于果酱中存在的果胶物质在高糖条件时易形成凝胶^[22]。当蔗糖添加量25%时,总酚含量为14.23 mg/g,感官评分最高,西梅果酱的感官品质最好。当蔗糖添加量30%时,总黄酮含量为6.78 mg/g,感官评分较高。因此综合考虑果酱的理化指标及口感,选择蔗糖添加量20%、25%、30%进行响应面优化试验。

2.3.3 复配增稠剂添加量对理化指标和感官评分的影响

复配增稠剂添加量对理化指标和感官评分的影响见图5。

由图5可知,随着复配增稠剂添加量的增加,总黄酮含量、总酚含量、总酸含量呈先上升后下降,可溶性固形物含量和黏度逐渐上升,感官评分逐渐下降。当复配增稠剂添加量为0.4%时,黏度值为17.22 Pa·s,果酱易于涂抹,感官得分最高。当复配增稠剂添加量



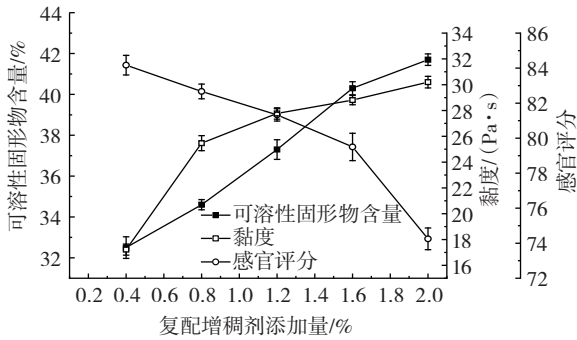


图5 复配增稠剂添加量对理化指标和感官评分的影响

Fig.5 Effects of composite thickener addition amount on physicochemical indicators and sensory score

为0.8%时,西梅果酱的总黄酮含量为4.39 mg/g,总酚含量为15.44 mg/g,总酸含量为10.50 g/kg,此时果酱组织状态良好,感官得分较高,复配增稠剂添加量过大时,果酱呈现板结状况,流动性差,较难涂抹,因此感官评分较低。综上所述,选择复配增稠剂添加量0.4%、0.8%、1.2%进行响应面优化试验。

2.4 响应面试验优化试验结果

2.4.1 数学模型的建立及分析

响应面试验结果见表5,回归模型方差分析见表6。

表5 Box-Behnken 设计试验方案及结果

Table 5 Box-Behnken design and test results

试验号	A 柠檬酸添加量	B 蔗糖添加量	C 复配增稠剂添加量	Y ₁ 黏度/(Pa·s)	Y ₂ 糖酸比	Y ₃ 感官评分
1	-1	-1	0	15.15	2.457	86.12
2	1	-1	0	13.04	2.623	83.00
3	-1	1	0	17.45	3.472	79.83
4	1	1	0	16.65	4.273	72.00
5	-1	0	-1	11.57	3.505	84.17
6	1	0	-1	9.69	3.526	78.00
7	-1	0	1	18.64	3.750	86.17
8	1	0	1	17.09	3.818	84.17
9	0	-1	-1	14.76	2.925	80.38
10	0	1	-1	15.14	4.782	76.13
11	0	-1	1	26.08	3.358	85.75
12	0	1	1	20.96	4.275	73.38
13	0	0	0	12.44	3.354	84.88
14	0	0	0	11.05	3.786	85.66
15	0	0	0	13.13	3.796	85.88
16	0	0	0	12.11	3.316	86.75
17	0	0	0	13.46	3.836	86.00

表6 回归模型方差分析

Table 6 Analysis of variance for the regression model

方差来源	黏度				糖酸比				感官评分			
	平方和	均方差	F 值	P 值	平方和	均方差	F 值	P 值	平方和	均方差	F 值	P 值
模型	245.57	27.29	10.24	0.002 9**	5.03	0.56	9.48	0.003 6**	358.49	39.83	41.73	<0.000 1**
A	5.02	5.02	1.88	0.212 2	0.14	0.14	2.36	0.168 1	45.7	45.7	47.87	0.000 2**
B	0.17	0.17	0.064	0.807 3	3.7	3.7	62.7	<0.000 1**	143.74	143.74	150.59	<0.000 1**
C	124.9	124.9	46.85	0.000 2**	0.027	0.027	0.45	0.521 9	14.55	14.55	15.25	0.005 9**
AB	0.43	0.43	0.16	0.700 3	0.1	0.1	1.71	0.232 4	5.55	5.55	5.81	0.046 7*
AC	0.027	0.027	0.01	0.922 3	0.000 552	0.000 552	0.009 36	0.925 6	4.35	4.35	4.55	0.070 2
BC	7.56	7.56	2.84	0.136	0.22	0.22	3.75	0.094 2	16.48	16.48	17.27	0.004 3**
A ²	3.61	3.61	1.36	0.282 4	0.37	0.37	6.35	0.039 8*	2	2	2.1	0.190 8
B ²	69.44	69.44	26.05	0.001 4**	0.054	0.054	0.91	0.371 3	101.38	101.38	106.22	<0.000 1**
C ²	31.52	31.52	11.82	0.010 9*	0.46	0.46	7.8	0.026 8*	17.13	17.13	17.95	0.003 9**
残差	18.66	2.67			0.41	0.059			6.68	0.95		
失拟项	15.1	5.03	5.66	0.063 6	0.14	0.048	0.72	0.591	4.87	1.62	3.59	0.124 3
纯误差	3.56	0.89			0.27	0.067			1.81	0.45		
总和	264.23				5.44				365.17			

注:**表示影响极显著,P<0.01;*表示影响显著,P<0.05。

2.4.2 方差分析

对表6数据进行回归拟合分析,得到的二次多项回归模型方程如下。

$$Y_1=12.44-0.79A+0.15B+3.95C+0.33AB+0.083AC-1.37BC-0.93A^2+4.06B^2+2.74C^2$$

$$Y_2=3.62+0.13A+0.68B+0.058C+0.16AB+0.012AC-0.23BC-0.30A^2-0.11B^2+0.33C^2$$

$$Y_3=85.83-2.39A-4.24B+1.35C-1.18AB+1.04AC-2.03BC-$$

$$0.69A^2-4.91B^2-2.02C^2$$

结果表明,黏度(Y₁)、糖酸比(Y₂)和感官评分(Y₃)的回归模型影响极显著,黏度(Y₁)失拟项为P=0.063 6,糖酸比(Y₂)失拟项为P=0.591,感官评分(Y₃)失拟项为P=0.124 3,失拟项不显著(P>0.05),3个模型的拟合系数为R²_(Y₁)=0.929 4,R²_(Y₂)=0.924 2,R²_(Y₃)=0.981 7,校正系数为R²_{Adj(Y₁)}=0.838 6,R²_{Adj(Y₂)}=0.826 7,R²_{Adj(Y₃)}=0.958 2,说明3个模型的回归拟合度较好,更接近实际试验。

根据回归方程系数显著性检验可知,对于黏度,一次项 C 、二次项 B^2 的影响极显著 ($P < 0.01$), C^2 的影响显著 ($P < 0.05$); 通过 F 值可判断各因素对果酱黏度的影响程度依次为复配增稠剂添加量 (C) > 柠檬酸添加量 (A) > 蔗糖添加量 (B)。对于糖酸比 (Y_2), 一次项 B 的影响极显著 ($P < 0.01$), 二次项 A^2 和 C^2 的影响显著 ($P < 0.05$); 各因素对果酱糖酸比的影响程度依次为蔗糖添加量 (B) > 柠檬酸添加量 (A) > 复配增稠剂添加量

(C)。对于感官评分 (Y_3), 一次项 A 、 B 、 C 的影响极显著 ($P < 0.01$), 交互项 AB 的影响显著 ($P < 0.05$), BC 的影响极显著 ($P < 0.01$); 二次项 B^2 和 C^2 的影响极显著 ($P < 0.01$), 各因素对果酱感官评分的影响程度依次为蔗糖添加量 (B) > 柠檬酸添加量 (A) > 复配增稠剂添加量 (C)。

2.4.3 响应面模型验证试验

各因素交互作用对西梅果酱影响的响应面图见图 6。响应面的坡度越陡峭, 说明两个因素交互作用对

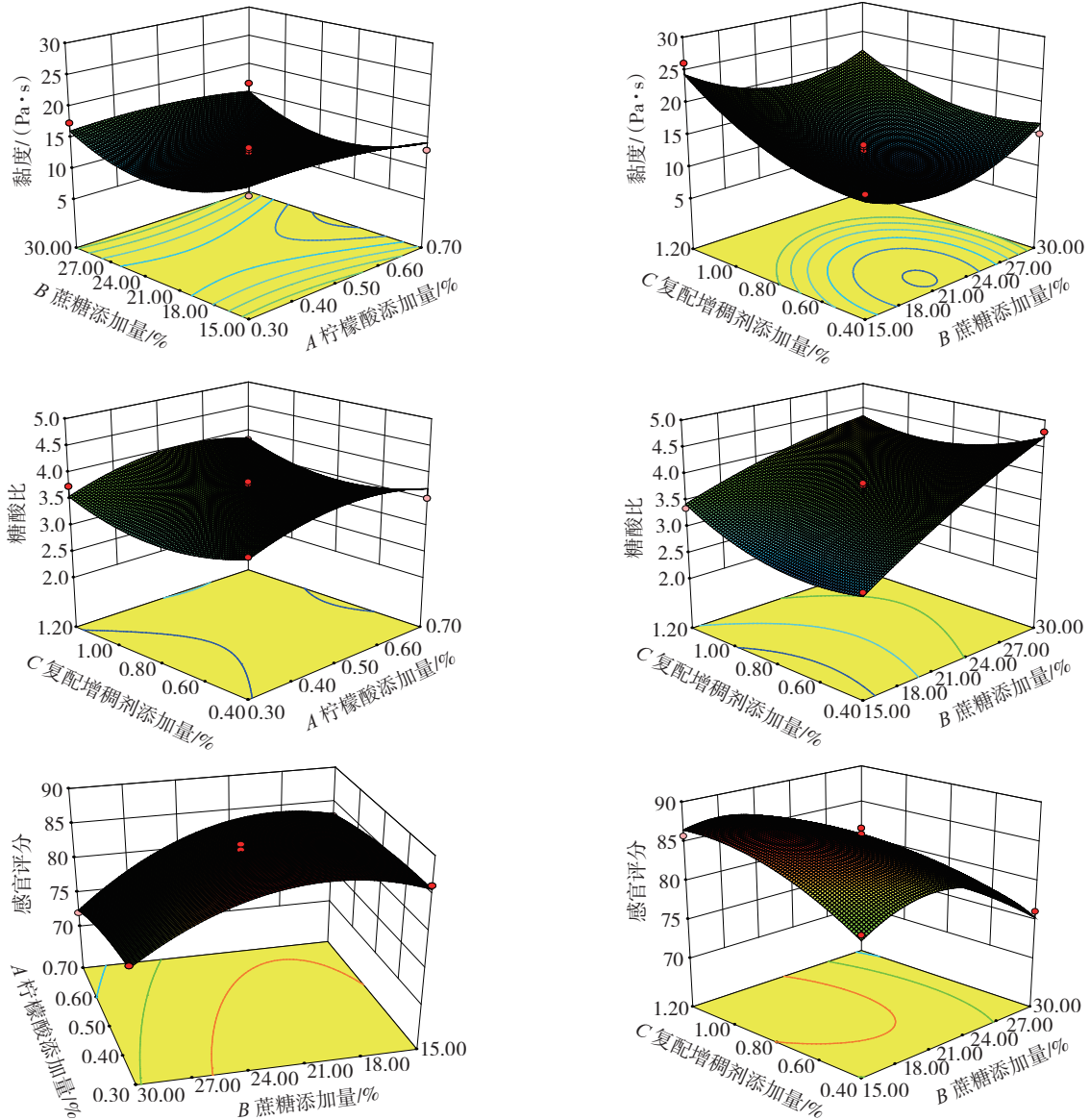


图 6 各因素交互作用对西梅果酱影响的响应面

Fig.6 Response surface diagrams of interactions between factors on the prune jam

西梅果酱响应值的影响越显著, 坡度平缓, 则影响不显著。由图 6 可知, 西梅果酱的感官评分中交互项 AB 和 BC 响应曲面陡峭, 说明柠檬酸添加量和蔗糖添加量、复配增稠剂添加量和蔗糖添加量交互作用对果酱感官评分影响显著。

西梅果酱微生物指标见表 7。

表 7 西梅果酱微生物指标

Table 7 Microbial indicators of the prune jam

菌落总数/(CFU/g)	大肠菌群/(CFU/mL)
≤1 500	≤30
<10	<5

根据响应面软件分析3个响应因素对黏度、糖酸比和感官评分的影响所得工艺参数分别为柠檬酸添加量0.48%、蔗糖添加量15.47%、复配增稠剂添加量1.2%，此时所研制出来的西梅果酱黏度可达24.71 Pa·s，糖酸比可达3.49，感官评分达到86.75。为检验该模型的准确性以及可操作性，将西梅果酱加工工艺条件调整为柠檬酸添加量0.5%、蔗糖添加量为15%、复配增稠剂添加量为1.2%。在此条件下所研制的西梅果酱

总酚含量为18.52 mg/g，总黄酮含量为7.26 mg/g，果酱组织状态良好，感官评分为87。微生物检测结果符合国家标准中对此类产品的微生物指标要求，产品安全性高。

2.5 低糖西梅果酱与市售果酱对比

2.5.1 理化指标对比

将最佳配方得到的低糖西梅果酱与市售西梅果酱的理化指标和挥发性物质进行测定，结果见表8。

表8 西梅果酱对比结果

Table 8 Comparison of prune jam products

类型	可溶性固形物含量/%	总酚含量/(mg/g)	总黄酮含量/(mg/g)	总酸含量/(g/kg)	黏度/(Pa·s)
低糖西梅果酱	33.70±1.02*	18.52±0.41*	7.26±0.36*	11.52±0.25*	26.01±0.85*
市售西梅果酱	>60	12.37±0.16	0.88±0.06	8.96±0.10	20.72±0.74

注：*表示同一指标差异显著， $P<0.05$ 。

由表8可知，低糖西梅果酱和市售果酱可溶性固形物含量存在显著差异，低糖果酱可溶性固形物含量为33.70%，比市售果酱低。低糖西梅果酱总酚含量和总黄酮含量达到18.52 mg/g和7.26 mg/g，显著高于市售西梅果酱，且果酱颜色均匀、酱体黏稠适度、果酱均匀细腻。

2.5.2 两种西梅果酱的挥发性风味物质差异对比分析

GC-IMS谱图分析指纹图谱如图7所示。每行代表不同果酱的一个样品，每列代表一种挥发性风味物质。颜色代表挥发性化合物的含量。颜色越亮，含量就越高。图中两种同名称化合物是单体及其二聚体。二聚体的漂移时间由于其质子亲和力的较高而延长。挥发性化合物定性结果见表9。

由图7和表9可知，两种不同西梅果酱的挥发性

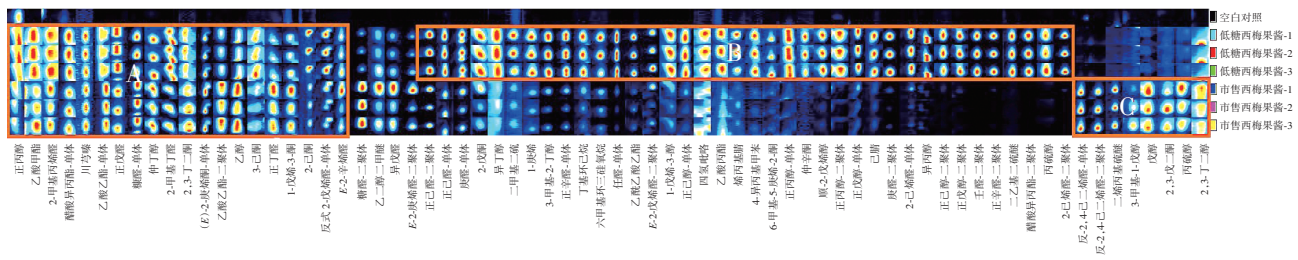


图7 两种西梅果酱的GC-IMS指纹图谱

Fig.7 GC-IMS fingerprints of two prune jam products

表9 挥发性化合物定性结果

Table 9 Qualitative identification results of volatile compounds

编号	化合物名称	CAS号	分子式	保留指数	保留时间/s	漂移时间/ms	相对含量/%	
							低糖组	市售组
1	壬醛-单体	C124196	C ₉ H ₁₈ O	142.2	693.107	1.474 3	1.94	0.65
2	壬醛-二聚体	C124196	C ₉ H ₁₈ O	142.2	694.605	1.959 6	3.14	0.09
3	反-2-辛烯醛	C2548870	C ₈ H ₁₄ O	126.2	582.226	1.343 6	0.52	0.80
4	丁基环己烷	C1678939	C ₁₀ H ₂₀	140.3	532.406	1.256 0	0.66	0.38
5	4-异丙基甲苯	C99876	C ₁₀ H ₁₄	134.2	503.067	1.298 5	0.34	0.18
6	正辛醛-单体	C124130	C ₈ H ₁₆ O	128.2	474.901	1.404 6	1.78	1.24
7	正辛醛-二聚体	C124130	C ₈ H ₁₆ O	128.2	470.207	1.833 1	3.16	0.28
8	6-甲基-5-庚烯-2-酮	C110930	C ₈ H ₁₄ O	126.2	446.735	1.184 6	0.76	0.30
9	(E)-2-庚烯醛-单体	C18829555	C ₇ H ₁₂ O	112.2	413.875	1.259 9	1.92	3.35
10	(E)-2-庚烯醛-二聚体	C18829555	C ₇ H ₁₂ O	112.2	399.792	1.678 7	1.74	4.44
11	仲辛酮	C111137	C ₈ H ₁₆ O	128.2	450.256	1.339 0	0.30	0.06
12	乙酰乙酸乙酯	C141979	C ₆ H ₁₀ O ₃	130.1	391.577	1.155 6	1.26	0.58
13	二乙基二硫醚	C110816	C ₄ H ₁₀ S ₂	122.2	361.064	1.288 8	1.00	0.06
14	庚醛-单体	C111717	C ₇ H ₁₄ O	114.2	336.419	1.331 3	1.54	1.89

续表9 挥发性化合物定性结果
Continue table 9 Qualitative identification results of volatile compounds

编号	化合物名称	CAS号	分子式	保留指数	保留时间/s	漂移时间/ms	相对含量/%	
							低糖组	市售组
15	庚醛-二聚体	C111717	C ₇ H ₁₄ O	114.2	330.551	1.709 6	4.44	1.09
16	正己醇-单体	C111273	C ₆ H ₁₄ O	102.2	307.341	1.324 8	1.31	0.55
17	正己醇-二聚体	C111273	C ₆ H ₁₄ O	102.2	303.83	1.641 8	1.00	0.10
18	己腈	C628739	C ₆ H ₁₁ N	97.2	319.982	1.264 6	0.88	0.28
19	2-己烯醛-单体	C6728263	C ₆ H ₁₀ O	98.1	289.786	1.183 8	2.14	0.89
20	2-己烯醛-二聚体	C6728263	C ₆ H ₁₀ O	98.1	286.275	1.522 9	5.24	0.45
21	糠醛-单体	C98011	C ₅ H ₄ O ₂	96.1	268.006	1.085 9	2.14	3.27
22	糠醛-二聚体	C98011	C ₅ H ₄ O ₂	96.1	265.633	1.338 4	3.01	12.03
23	正己醛-单体	C66251	C ₆ H ₁₂ O	100.2	249.810	1.257 3	1.86	2.16
24	正己醛-二聚体	C66251	C ₆ H ₁₂ O	100.2	241.898	1.565 2	5.94	7.22
25	六甲基环三硅氧烷	C541059	C ₆ H ₁₈ O ₃ Si ₃	222.5	256.930	1.463 8	0.96	0.81
26	正戊醇-单体	C71410	C ₅ H ₁₂ O	88.1	226.866	1.255 5	1.96	0.81
27	正戊醇-二聚体	C71410	C ₅ H ₁₂ O	88.1	226.075	1.513 6	1.67	0.20
28	2-己酮	C591786	C ₆ H ₁₂ O	100.2	231.206	1.184 5	0.60	0.58
29	2,3-丁二醇	C513859	C ₄ H ₁₀ O ₂	90.1	241.280	1.351 9	0.31	0.56
30	3-己酮	C589388	C ₆ H ₁₂ O	100.2	239.159	1.474 6	0.35	0.43
31	反式-2-戊烯醛	C1576870	C ₅ H ₈ O	84.1	214.239	1.108 0	1.90	1.59
32	反式-2-戊烯醛	C1576870	C ₅ H ₈ O	84.1	211.058	1.364 6	2.47	1.85
33	顺-2-戊烯醇	C1576950	C ₅ H ₁₀ O	86.1	219.011	1.458 7	1.35	0.34
34	二甲基二硫	C624920	C ₂ H ₆ S ₂	94.2	205.755	1.151 1	0.50	0.25
35	1-庚烯	C592767	C ₇ H ₁₄	98.2	186.601	1.089 8	1.27	0.75
36	乙酸丙酯	C109604	C ₅ H ₁₀ O ₂	102.1	192.125	1.161 4	0.53	0.25
37	四氢吡咯	C123751	C ₄ H ₉ N	71.1	182.183	1.276 4	0.42	0.43
38	正戊醛	C110623	C ₅ H ₁₀ O	86.1	186.601	1.184 4	1.04	1.62
39	3-甲基-2-丁醇	C598754	C ₅ H ₁₂ O	88.1	181.078	1.428 5	4.38	2.76
40	烯丙基腈	C109751	C ₄ H ₅ N	67.1	174.322	1.122 4	0.42	0.17
41	醋酸异丙酯-单体	C108214	C ₅ H ₁₀ O ₂	102.1	166.340	1.163 2	0.92	1.48
42	醋酸异丙酯-二聚体	C108214	C ₅ H ₁₀ O ₂	102.1	165.844	1.488 6	3.54	0.06
43	1-戊烯-3-醇	C616251	C ₅ H ₁₀ O	86.1	176.260	1.345 6	1.37	0.84
44	2-戊酮	C107879	C ₅ H ₁₀ O	86.1	177.870	1.368 8	1.53	1.50
45	乙二醇二甲醚	C110714	C ₄ H ₁₀ O ₂	90.1	173.284	1.317 3	1.17	3.05
46	异丁醇	C78831	C ₄ H ₁₀ O	74.1	160.388	1.173 1	1.04	0.51
47	丙硫醇	C107039	C ₃ H ₈ S	76.2	162.868	1.357 9	1.35	0.19
48	2-甲基丁醛	C96173	C ₅ H ₁₀ O	86.1	165.348	1.406 0	0.85	1.75
49	仲丁醇	C78922	C ₄ H ₁₀ O	74.1	160.884	1.318 5	1.14	1.79
50	乙酸乙酯-单体	C141786	C ₄ H ₈ O ₂	88.1	148.981	1.093 0	0.78	1.73
51	乙酸乙酯-二聚体	C141786	C ₄ H ₈ O ₂	88.1	146.005	1.345 6	0.69	1.62
52	正丙醇-单体	C71238	C ₃ H ₈ O	60.1	137.573	1.120 1	0.77	0.56
53	正丙醇-二聚体	C71238	C ₃ H ₈ O	60.1	139.061	1.250 7	0.20	0.61
54	乙酸甲酯	C79209	C ₃ H ₆ O ₂	74.1	139.557	1.185 4	0.51	0.75
55	2-甲基丙烯醛	C78853	C ₄ H ₆ O	70.1	139.061	1.223 6	0.45	0.98
56	乙醇	C64175	C ₂ H ₆ O	46.1	107.318	1.126 3	4.61	7.32
57	异丙醇	C67630	C ₃ H ₈ O	60.1	117.238	1.173 1	4.45	0.94
58	川芎嗪	C1124114	C ₈ H ₁₂ N ₂	136.2	641.596	1.209 0	0.17	0.29
59	反-2,4-己二烯醛-单体	C142836	C ₆ H ₈ O	96.1	348.643	1.113 7	0.10	2.63
60	反-2,4-己二烯醛-二聚体	C142836	C ₆ H ₈ O	96.1	345.791	1.443 1	0.25	2.08
61	二烯丙基硫醚	C592881	C ₆ H ₁₀ S	114.2	299.209	1.126 9	0.07	1.24
62	3-甲基-1-戊醇	C589355	C ₆ H ₁₄ O	102.2	294.456	1.315 1	0.35	0.57
63	戊醇	C123513	C ₅ H ₁₂ O	88.1	202.016	1.243 3	0.15	1.14

续表9 挥发性化合物定性结果

Continue table 9 Qualitative identification results of volatile compounds

编号	化合物名称	CAS号	分子式	保留指数	保留时间/s	漂移时间/ms	相对含量/%	
							低糖组	市售组
64	2,3-戊二酮	C600146	C ₅ H ₈ O ₂	100.1	177.808	1.218 1	0.13	0.92
65	丙硫醇	C107039	C ₃ H ₈ S	76.2	153.180	1.171 6	1.35	0.19
66	正丁醛	C123728	C ₄ H ₈ O	72.1	152.362	1.290 4	0.36	0.66
67	异戊醛	C590863	C ₅ H ₁₀ O	86.1	161.086	1.202 4	1.81	4.54
68	正丙醇	C71238	C ₃ H ₈ O	60.1	130.007	1.112 2	0.20	0.61
69	2,3-丁二酮	C431038	C ₄ H ₆ O ₂	86.1	137.913	1.168 3	0.66	0.73
70	1-戊烯-3-酮	C1629589	C ₅ H ₈ O	84.1	174.717	1.074 8	0.93	1.69

物质存在差异, A区域的挥发性物质相对含量在两种果酱中都较高, 主要物质包括正丙醇、乙酸甲酯、2-甲基丙烯醛、醋酸异丙酯(单体)、川芎嗪、乙酸乙酯(单体和二聚体)、正戊醛、糠醛(单体)、仲丁醇、2-甲基丁醛、2,3-丁二醇、反式-2-庚烯醛(单体)、乙醇、3-己酮、正丁醛、1-戊烯-3-酮、2-己酮、反式-2-戊烯醛(单体)、反式-2-辛烯醛等。B区域挥发性物质仅在低糖西梅果酱样品中相对含量较高, 包括正己醛(单体和二聚体)、庚醛(单体和二聚体)、2-戊酮、异丁醇、二甲基二硫、1-庚烯、3-甲基-2-丁醇、正辛醛(单体和二聚体)、丁基环己烷、六甲基环三硅氧烷、壬醛(单体和二聚体)、乙酰乙酸乙酯、反式-2-戊烯醛(二聚体)、1-戊烯-3-醇、正己醇(单体和二聚体)、四氢吡咯、乙酸丙酯、烯丙基腈、4-异丙基甲苯、6-甲基-5-庚烯-2-酮、正丙醇(单体和二聚体)、仲辛酮、顺-2-戊烯醇、正丙醇、己腈、2-己烯醛(单体和二聚体)、异丙醇、二乙基二硫醚、醋酸异丙酯(二聚体)、丙硫醇。C区域挥发性物质仅在市售西梅果酱样品中相对含量较高, 主要有反式-2,4-己二烯醛(单体和二聚体)、二烯丙基硫醚、3-甲基-1-戊醇、戊醇、2,3-戊二酮、丙硫醇、2,3-丁二酮。

从表9可知, 两种果酱中共检测出70种挥发性风味物质, 包括8种酮类、24种醛类、18种醇类、7种酯类、3种醚类、2种烷烃类和8种其他类。其中总相对含量由高到低分别为醛类>醇类>酯类>酮类>醚类>烷烃类>其他类。醛类、醇类和酯类作为西梅果酱中的主要挥发性风味物质, 其相对含量占全部物质的88.1%和87.66%。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^[23]。从醛类风味物质及相对含量分析上看, 正己醛、2-己烯醛、庚醛、正辛醛、壬醛可视为西梅果酱的特征醛类物质, 可赋予西梅果酱奶酪、豌豆、柑橘、脂肪等香味, 对西梅果酱风味贡献很大。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^[24], 3-甲基-2-丁醇、正戊醇、丙硫醇、1-戊烯-3-醇等特征醇类物质可赋予西梅果酱果香味和花香味。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^[25]。醋酸异丙酯和乙酸乙酯作为主要酯类成分, 赋予西梅果酱果味及甜味。酮类物质是脂肪氧化产生的另一重要物质^[26], 具有花香、水果香等令人愉悦的风味。两种不同西梅果酱中有2-戊酮、6-甲基-5-庚烯-2-酮、2,3-丁二酮等特征酮类物质赋予西梅果酱甜果香、柑橘味、果味、浓黄油味。

3 结论

本研究通过单因素试验及响应面法优化了低糖西梅果酱的工艺优化, 优化后最佳工艺为柠檬酸添加量0.5%、蔗糖添加量15%、复配增稠剂添加量1.2%。对此配方验证所得感官评分为87。在此条件下所研制的西梅果酱功能性成分较高, 糖含量较低, 果酱组织状态良好, 感官评分较高。对该产品和市售果酱产品的理化指标和风味进行检测, 结果表明, 低糖西梅果酱在理化品质和风味上优于市售西梅果酱, 口感、涂抹性更好, 色泽和黏稠度在可接受范围内。本研究为提高西梅的利用率, 促进果酱加工产业进一步发展提供参考。

参考文献:

- 戴志伟. 西梅原浆中乳酸菌的筛选及发酵型低糖西梅果酱的研制[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2021.
DAI Zhiwei. Screening of lactic acid bacteria from prunes puree and development of fermented low sugar prunes jam[D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2021.
- JARVIS N, O'BRYAN C A, RICKE S C, et al. The functionality of plum ingredients in meat products: A review[J]. Meat Science, 2015, 102: 41-48.
- 陈树鹏, 陈晓维, 余元善, 等. 西梅的营养价值及加工研究进展[J]. 中国果菜, 2023, 43(6): 15-21.
CHEN Shupeng, CHEN Xiaowei, YU Yuanshan, et al. Research progress in nutritional value and processing of *Prunus domestica* L [J]. China Fruit & Vegetable, 2023, 43(6): 15-21.
- CHANG G H, CHANG S W, KIM M E, et al. N-butanol extracts of *Panax notoginseng* inhibit osteoclastogenesis by suppressing mapk and downregulating NFATC1 and CFOS in LPS-activated raw 264.7 cells[J]. Bone, 2010, 47: S209.
- 李扬, 张士青. 西梅干预大鼠草酸钙肾结石的实验研究[J]. 现代泌尿外科杂志, 2016, 21(11): 875-880.

- LI Yang, ZHANG Shiqing. Effects of prune intervention on calcium oxalate nephrolithiasis in rats[J]. Journal of Modern Urology, 2016, 21(11): 875-880.
- [6] GRAEF J L, OUYANG P, YAN W, et al. Dried plum polyphenolic extract combined with vitamin K and potassium restores trabecular and cortical bone in osteopenic model of postmenopausal bone loss [J]. Journal of Functional Foods, 2018, 42: 262-270.
- [7] 刘海丽, 葛声. 西梅防治骨质疏松症的研究进展[J]. 中国食物与营养, 2017, 23(3): 67-71.
LIU Haili, GE Sheng. Research advancements on prevention and treatment function of prunes for osteoporosis[J]. Food and Nutrition in China, 2017, 23(3): 67-71.
- [8] P II RAINEN L, PEUHKURI K, BÄCKSTRÖM K, et al. Prune juice has a mild laxative effect in adults with certain gastrointestinal symptoms[J]. Nutrition Research, 2007, 27(8): 511-513.
- [9] 夏娜, 周茜, 魏健, 等. 不同储藏温度对 NFC 西梅汁品质变化的影响[J]. 保鲜与加工, 2021, 21(8): 7-14.
XIA Na, ZHOU Qian, WEI Jian, et al. Influence of different storage temperature on quality change of NFC prune juice[J]. Storage and Process, 2021, 21(8): 7-14.
- [10] STIERLIN E, AZOULAY S, MASSI L, et al. Cosmetic potentials of *Prunus domestica* L. leaves[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2018, 98(2): 726-736.
- [11] AKTER B, RABETA M S. Synbiotic and antioxidant activity of fruit by-products and their effect on human health[J]. Food Research, 2020, 5(1): 24-35.
- [12] 赵思佳, 高畅, 于泽, 等. 低糖果酱的研究进展[J]. 食品工业, 2019, 40(12): 264-267.
ZHAO Sijia, GAO Chang, YU Ze, et al. Research progress on low sugar jam[J]. The Food Industry, 2019, 40(12): 264-267.
- [13] BANAS A N, KORUS A, KORUS J. Texture, color, and sensory features of low-sugar gooseberry jams enriched with plant ingredients with prohealth properties[J]. Journal of Food Quality, 2018, 2018: 1646894.
- [14] 热娜古丽·木沙, 艾克拜尔·买买提, 张红等. 新疆西梅果酱加工工艺研究[J]. 食品与发酵科技, 2017, 53(1): 120-122.
RENAGULI·Musha, AIKEBAIER·Maimaiti, ZHANG Hong, et al. Study on the processing technology of Xinjiang prune jam[J]. Food and Fermentation Technology, 2017, 53(1): 120-122.
- [15] 巩卫琪, 穆宏磊, 郜海燕, 等. 低糖杨梅红枣复配果酱的研制[J]. 浙江农业科学, 2014, 55(2): 238-241.
GONG Weiqi, MU Honglei, GAO Haiyan, et al. Development of low sugar yangmei red date composite jam[J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 2014, 55(2): 238-241.
- [16] PU D D, ZHANG H Y, ZHANG Y Y, et al. Characterization of the aroma release and perception of white bread during oral processing by gas chromatography - ion mobility spectrometry and temporal dominance of sensations analysis[J]. Food Research International, 2019, 123: 612-622.
- [17] CAVANNA D, ZANARDI S, DALL'ASTA C, et al. Ion mobility spectrometry coupled to gas chromatography: A rapid tool to assess eggs freshness[J]. Food Chemistry, 2019, 271: 691-696.
- [18] 卫萍, 游向荣, 张雅媛, 等. 低糖香蕉果酱的研制[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(1): 63-67.
WEI Ping, YOU Xiangrong, ZHANG Yahuan, et al. Development of low-sugar banana jam[J]. Food research and development, 2016, 37(1): 63-67.
- [19] 贾鲁彦. 猕猴桃果酱加工工艺研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2014.
JIA Luyan. Research on the processing technology of kiwifruit jam [D]. Yangling: Northwest A & F University, 2014.
- [20] 孟新涛, 乔雪, 潘俨, 等. 新疆不同产区羊肉特征风味成分离子迁移色谱指纹谱的构建[J]. 食品科学, 2020, 41(16): 218-226.
MENG Xintao, QIAO Xue, PAN Yan, et al. Construction of ion migration chromatography fingerprint spectra for flavor components of lamb from different production areas in Xinjiang[J]. food science, 2020, 41(16): 218-226.
- [21] 耿楠. 低糖山楂-红枣复配果酱的研制及品质分析[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2018.
GENG Nan. Development and quality analysis of the low sugar compound jam with hawthorn and jujube [D]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2018.
- [22] 吴思. 柿子复配果酱的研制[D]. 武汉: 华中农业大学, 2017.
WU Si. Development of persimmon compound jam[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2017.
- [23] 王远利, 王菲, 张权, 等. 海棠果酱的研制及其品质分析[J]. 食品工业科技, 2024, 45(11): 175-186.
WANG Yuanli, WANG Fei, ZHANG Quan, et al. Development and quality analysis of Haitang jam[J]. Science and Technology of Food Industry, 2024, 45(11): 175-186.
- [24] YE Y T, WANG L X, ZHAN P, et al. Characterization of the aroma compounds of Millet Huangjiu at different fermentation stages[J]. Food Chemistry, 2022, 366: 130691.
- [25] LEE J W, KANG S A, CHEONG 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.
- [26] 张杰, 董华发, 冯美琴, 等. 响应面法优化盐焗鸡腿的低钠复配盐配方及挥发性风味物质分析[J]. 食品工业科技, 2022, 43(11): 208-217.
ZHANG Jie, DONG Huafa, FENG Meiqin, et al. Optimization of low-sodium compound salt formula for salt-baked chicken thighs by response surface methodology and analysis of volatile flavor compounds[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(11): 208-217.

责任编辑:张璐

收稿日期:2024-01-17