

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. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021060168

YANG Dongsong, ZHANG Jiaqi, HUANG Yelong, et al. Optimization of Low Sugar Loquat Mulberry Compound Jam Formula[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(4): 221–229. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021060168

· 工艺技术 ·

低糖枇杷桑葚复合果酱配方优化

杨东松^{1,2}, 张嘉琪^{1,2}, 黄业隆^{1,2}, 林开源^{1,2}, 王 宏^{1,2,*}

(1. 岭南师范学院食品科学与工程学院, 广东湛江 524048;

2. 岭南师范学院广东省粤菜师傅大师工作室, 广东湛江 524048)

摘要: 针对传统高糖果酱的缺陷, 以枇杷和桑葚为主要原料研制低糖复合果酱。通过单因素实验对枇杷占复合果浆添加比、柠檬酸添加量、白砂糖添加量和果胶添加量进行筛选, 根据感官评分, 采用 Box-Behnken 中心组合设计试验, 优化低糖枇杷桑葚复合果酱的配方。结果表明, 最佳配方参数为: 枇杷占复合果浆添加比为 32%, 柠檬酸添加量为 0.1%, 白砂糖添加量为 20.5%, 果胶添加量为 1.0%, 在此条件下制得低糖枇杷桑葚复合果酱的感官评分为 (91.29±1.02) 分。产品酱色亮紫, 酸甜协调, 果味浓郁, 酱体黏稠适度, 凝胶稳定性良好, 总酸为 1.01%, pH 为 3.64, 水分为 67.84%, 灰分为 0.36%, 蛋白质为 0.82%, 维生素 C 为 8.69 mg/100 g, 可溶性固形物为 31.51%, 相比 GB/T 22474-2008《果酱》中含糖量≤65% 的标准, 产品的总糖为 27.02%, 满足果酱市场对低糖的需求, 微生物指标符合国家标准。研究结果可为低糖枇杷桑葚复合果酱的产品开发和工业化生产提供理论参考。

关键词: 枇杷, 桑葚, 低糖果酱, 复合果酱, 工艺配方

中图分类号: TS264.2⁺9

文献标识码: B

文章编号: 1002-0306(2022)04-0221-09

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2021060168

本文网刊:



Optimization of Low Sugar Loquat Mulberry Compound Jam Formula

YANG Dongsong^{1,2}, ZHANG Jiaqi^{1,2}, HUANG Yelong^{1,2}, LIN Kaiyuan^{1,2}, WANG Hong^{1,2,*}

(1. College of Food Science and Engineering, Lingnan Normal University, Zhanjiang 524048, China;

2. Guangdong Province Cantonese Cuisine Master Master Studio, Lingnan Normal University, Zhanjiang 524048, China)

Abstract: Aiming at the defects of traditional high sugar jam, loquat and mulberry were used as main raw materials to develop low sugar compound jam. The ratio of loquat in the compound fruit pulp, citric acid addition, white granulated sugar addition and pectin addition were screened by a single factor experiment. According to sensory score, Box-Behnken central composite design experiment was adopted to optimize the formula of low sugar loquat mulberry jam. The results showed that the optimal formula parameters were as follows: The ratio of loquat in the compound fruit pulp was 32%, the addition of citric acid was 0.1%, the addition of white granulated sugar was 20.5% and the addition of pectin was 1.0%. Under these conditions, the sensory score of low sugar loquat and mulberry compound jam was (91.29±1.02) scores. The product was bright purple in sauce color, harmonious sourness and sweetness, rich in fruit flavor, moderate in viscosity, good in gel stability, total acid content 1.01%, pH value 3.64, moisture content 67.84%, ash content 0.36%, protein content 0.82%, vitamin C content was 8.69 mg/100 g, soluble solids content 31.51%, compared with GB/T 22474-2008 "Jam" which required less than 65% sugar content, the total sugar content of the product was only 27.02%, which met the demand for low sugar in the jam market, and the microbial indexes were in line with the national standards. The results could provide theoretical reference for the product development and industrial production of low sugar loquat mulberry compound jam.

Key words: loquat; mulberry; low sugar jam; compound jam; technological formula

收稿日期: 2021-06-21

基金项目: 广东省协同创新与平台环境建设项目 (2017A040403069)。

作者简介: 杨东松 (1996-), 男, 本科, 高级烹调师, 研究方向: 食品营养与安全, E-mail: 527196138@qq.com。

* 通信作者: 王宏 (1971-), 女, 硕士, 副教授, 研究方向: 食品营养与安全, E-mail: 32548722@qq.com。

果酱是以果浆、糖及酸度调节剂等混合后,经加热熬制而成的酱状产品,是耐贮性差的浆果可选择加工方式之一^[1]。我国的果酱制品大多数以传统工艺制作的高糖果酱为主,含糖量高达60%以上,口感甜腻且糖分过高对人体健康产生不利影响,无法满足消费者对可持续性健康食品的需求,相应产品的消费呈下降趋势^[2-5],而低糖复合果酱具有低糖低热量的特点,含糖量为25%~45%,因其风味独特、营养全面受到消费者的青睐^[6]。随着果酱深加工行业的不断发展,开发低糖型、多风味、高营养的果酱是国内外果酱消费市场共同的发展趋势^[7-10]。

枇杷(*Eriobotrya japonica* Lindl.)为蔷薇科枇杷属常绿小乔木,是中国南方特色的佳果^[11],含有萜类、酚类、黄酮和苦杏仁苷等活性成分,具有止咳平喘、降血糖和保肝护肾等作用^[12-14]。由于枇杷成熟期集中,含水量高,采后贮藏果实较快衰老,易发生腐烂、褐变等问题,导致市售压力较大^[15]。因此,枇杷的鲜果加工技术已逐渐成为研究热点,目前枇杷的深加工产品主要集中在饮料、膏类、果醋和果酒等^[16],市场上鲜有枇杷果酱产品的出现。

桑葚(*Morus alba* L.)系桑科桑属多年生落叶乔木桑树的果穗^[17],富含花青素、黄酮、白藜芦醇等多种天然营养化合物,具有抗氧化、抑制动脉粥样硬化和调节免疫功能等生物功效^[18-21]。部分商家因桑葚不耐贮藏的特性选择制成桑葚酱,但市面上的产品单一,综合开发利用率低,大部分为手工作坊的生产模式,质量稳定性难以控制,不利于标准化生产。

枇杷和桑葚富含有机酸,当中的鞣酸、苹果酸与高蛋白食物结合发生蛋白质化学反应,生成沉淀物质,不易被机体消化,继而引发呕吐、腹泻等现象^[22-23],而枇杷和桑葚的营养成分以碳水化合物为主,蛋白质含量低,同食搭配不会引起人体的不适症状,目前尚未见枇杷和桑葚同食对人体产生毒副作用的报道。因此,枇杷和桑葚可同食搭配,两者结合无拮抗作用。相反,两种原料组合还能对营养成分进行优势互补,桑葚中的磷、镁、硒、烟酸、核黄素、亮氨酸、苯丙氨酸、甘氨酸、酪氨酸、精氨酸等营养成分与枇杷相比其含量更高,而枇杷中的钾、铁、钴、天冬氨酸等营养成分含量比桑葚高^[24-27],两者复合能够更好发挥果酱的营养作用,达到均衡营养的目的。此外,枇杷和桑葚的成熟上市时间主要集中在3~6月,产季相同可满足原料生产的条件和需求,低糖枇杷桑葚复合果酱作为一种加工产品,不仅能解决枇杷、桑葚鲜果因收获期集中、鲜食期短而导致积压滞销的风险,还能打破原料季节性供应的限制,提高果品的综合效益,同时低糖能够满足特定健康问题的消费者的饮食需求,扩大了适宜食用人群的范围,符合目前国内外对果酱制品天然、营养、多风味的市场需求,而以枇杷和桑葚为原料研制低糖复合果酱的研究鲜

有报道。

基于此,本文以枇杷和桑葚为主要原料,通过单因素实验和响应面法对低糖枇杷桑葚复合果酱的配方进行优化,研制一款新型低糖复合果酱,以期对枇杷和桑葚的综合资源利用以及低糖枇杷桑葚复合果酱的产品开发提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

枇杷 产自云南省蒙自市;桑葚 产自广东省汕头市;白砂糖 成都太古糖业有限公司;食盐 广东省广盐集团股份有限公司;柠檬酸 河南万邦化工科技有限公司;果胶 广东惠尔康食品配料有限公司;抗坏血酸 河南糖柜食品有限公司;桑葚果酱1、桑葚果酱2、桑葚果酱3 湛江世贸沃尔玛;盐酸、氢氧化钠、氯化钾、无水乙醇、硫酸铜、硫酸钾、磷酸二氢钾、亚铁氰化钾等 均为国产分析纯。

ST16H1 不锈钢锅、C22-ID30 电磁炉 浙江苏泊尔股份有限公司;YP1002A电子天平 上海浦春计量仪器有限公司;SH-1060 打浆机 广州三莱电器有限公司;T-105 温度计 深圳拓尔为科技有限公司;HH-4 水浴锅 上海力辰邦西仪器科技有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 低糖枇杷桑葚复合果酱工艺流程 低糖枇杷桑葚复合果酱生产工艺流程如下(图1):

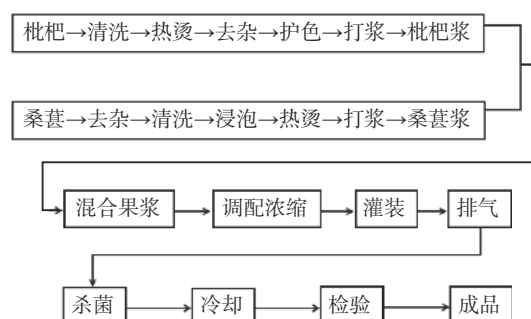


图1 低糖枇杷桑葚复合果酱生产工艺流程

Fig.1 Production process of low sugar loquat mulberry compound jam

1.2.2 操作要点 原料选择与预处理:枇杷浆:选择色泽金黄、表皮完整的枇杷进行清洗,放入沸水中热烫后,迅速冷却至40℃以下剥皮去核去内膜,取果肉浸入浓度为0.15%柠檬酸和0.05%抗坏血酸的混合液中浸泡20min,防止果肉在浓缩过程中发生褐变,护色后将果肉取出放入打浆机中破碎打浆,重复3次,至酱体呈浆液形态待用。

桑葚浆:选择7~8成熟、颗粒饱满、无异味的桑葚去掉果梗进行清洗,放入浓度为5%的食盐溶液浸泡5min,随后放入沸水中漂烫,通过加热破坏桑葚中氧化酶和果胶酶的活性,防止果胶水解并软化果肉组织;漂烫后重复3次破碎打浆,至酱体呈浆液形态待用。

混合果浆: 枇杷浆和桑葚浆按试验设计比例复配制备复合果浆。

调配浓缩: 参考段丽丽等^[28]方法, 以果浆量为基准按试验设计所示比例称取柠檬酸、白砂糖、果胶等辅料备用, 分取 100 g 复合果浆进行加热, 煮沸后转为小火熬制, 分三阶段加入白砂糖, 每阶段加入的时间间隔为 30 s, 柠檬酸、果胶分别用 75 ℃ 以上热水溶解制备柠檬酸溶液和增稠剂并于出锅前 3 min 加入, 加热全程需持续搅拌, 以加速水分的蒸发防止果酱结晶和焦化, 直至浓缩终点(取筷子蘸酱后竖直提起, 酱汁缓慢下滑), 熬制时间为 20 min。

灌装: 包装采用玻璃瓶, 洗净后煮沸杀菌 8 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。

排气: 灌装后置于温度为 90 ℃ 的水浴中加热排气 5 min。

杀菌: 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。

检验: 检查成品密封性, 确保酱无渗出, 最后得到成品。

1.2.3 单因素实验设计 按照 1.2.2 的方法, 以感官评分为指标, 固定柠檬酸添加量为 0.15%, 白砂糖添加量为 20%, 果胶添加量为 1.0%, 探究枇杷占复合果浆添加比(10%、20%、30%、40%、50%)对低糖枇杷桑葚复合果酱感官评分的影响; 固定枇杷占复合果浆添加比为 30%, 白砂糖添加量为 20%, 果胶添加量为 1.0%, 探究柠檬酸添加量(0.05%、0.10%、0.15%、0.20%、0.25%)对低糖枇杷桑葚复合果酱感官评分的影响; 固定枇杷占复合果浆添加比为 30%, 柠檬酸添加量为 0.15%, 果胶添加量为 1.0%, 探究白砂糖添加量(16%、18%、20%、22%、24%)对低糖枇杷桑葚复合果酱感官评分的影响; 固定枇杷占复合果浆添加比为 30%, 柠檬酸添加量为 0.15%, 白砂糖添加量为 20%, 探究果胶添加量(0.8%、0.9%、1.0%、1.1%、1.2%)对低糖枇杷桑葚复合果酱感官评分的影响。

1.2.4 响应面优化 基于单因素实验结果, 采用 Box-Behnken 中心组合设计原理, 选用枇杷占复合果浆添加比(X_1)、柠檬酸添加量(X_2)、白砂糖添加量(X_3)和果胶添加量(X_4)作为考察因素, 以低糖枇杷桑葚复合果酱感官评分(Y)为指标, 进行响应面分析试验(表 1)。

表 1 响应面试验因素水平设计

Table 1 Factors and levels of response surface experiment				
水平	因素			
	X_1 枇杷占复合果浆添加比(%)	X_2 柠檬酸添加量(%)	X_3 白砂糖添加量(%)	X_4 果胶添加量(%)
-1	20	0.05	18	0.9
0	30	0.10	20	1.0
1	40	0.15	22	1.1

1.2.5 产品质量评价

1.2.5.1 感官品质评价 由 10 名具有品评经验的专业人员组成鉴定组对低糖枇杷桑葚复合果酱的色泽、滋味、气味和组织状态 4 个指标作感官品质评价(表 2)。评价方法: 取样品置于干燥的玻璃瓶中, 在自然光线下用肉眼观察酱色和光泽度; 置于鼻下, 用手轻扇, 以鼻腔嗅果香浓郁程度; 放入口内, 品评果酱酸味、甜味和细腻程度; 搅拌样品后静置, 评估酱体均匀度、凝胶性和流散程度, 观察有无析水现象^[29]。

表 2 感官品质评价标准(总分 100)
Table 2 Sensory quality evaluation criteria (total scores 100)

指标	评分标准	分值(分)
色泽 (20%)	富有光泽, 颜色呈亮紫色	16~20
	色泽较明亮, 颜色呈紫色	11~15
	色泽较暗, 颜色呈暗紫色	6~10
	色泽暗淡, 颜色呈深紫色	0~5
滋味 (30%)	酸甜适度, 口感柔滑细腻, 回味浓厚	26~30
	微酸或微甜, 口感较细腻, 回味一般	16~25
	偏酸或偏甜, 口感略粗糙, 回味不明显	6~15
	酸甜不协调, 口感粗糙, 无回味	0~5
气味 (20%)	枇杷和桑葚香味浓郁, 果味融合协调	16~20
	枇杷和桑葚香味较浓郁, 果味融合一般	11~15
	枇杷和桑葚香味不明显, 果味融合较差	6~10
	果味融合差, 基本无枇杷和桑葚香味	0~5
组织状态 (30%)	酱体均匀不流散, 凝胶良好, 无水析出	26~30
	酱体较均匀但不流散, 凝胶性一般, 出现析水	16~25
	酱体基本均匀轻微流散, 凝胶性较差, 少量水析出	6~15
	酱体不均匀且流散, 无法凝胶, 出现汁液分离现象	0~5

1.2.5.2 理化指标和微生物指标测定 可溶性固形物: 参照 GB/T 10786-2006《罐头食品的检验方法》; 总糖: 参照 GB 5009.8-2016《食品安全国家标准 食品中蔗糖的测定》; 总酸: 参照 GB 12456-2008《食品安全国家标准 食品中总酸的测定》; pH: 参照 GB 5009.237-2016《食品安全国家标准 食品 pH 值的测定》; 水分: 参照 GB 5009.3-2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》; 灰分: 参照 GB 5009.4-2016《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》; 蛋白质: 参照 GB 5009.5-2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》; 维生素 C: 参照 GB 5009.86-2016《食品安全国家标准 食品中抗坏血酸的测定》; 大肠菌群: 参照 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》; 菌落总数: 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》; 沙门氏菌: 参照 GB 4789.4-2016《食品安全国家标准 食品微生物学检验 沙门氏菌检验》; 金黄色葡萄球菌: 参照 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》。

1.3 数据处理

每组实验平行 3 次, 结果以平均值±标准差表示。实验数据通过 Excel 2016 进行统计, 采用 SPSS17.0 软件进行单因素方差分析, 采用 Origin 8.0 软件生成图像, Design Expert 8.0.6 软件进行 Box-Behnken 中心组合试验设计及后续数据分析处理。

2 结果与分析

2.1 单因素实验分析

2.1.1 枇杷占复合果浆添加比对低糖枇杷桑葚复合果酱感官品质的影响 果酱品质的优劣与果浆添加量和配比有直接关系,枇杷占复合果浆添加比影响低糖枇杷桑葚复合果酱的色泽、气味与滋味。由图2可知,随着枇杷占复合果浆添加比的变化,感官评分呈先上升后下降的趋势,当枇杷占复合果浆添加比为10%时,感官评分最低,由于枇杷含量少,桑葚易将枇杷的颜色和风味覆盖,此时产品酱色暗沉,几乎无枇杷风味;当枇杷占复合果浆添加比为30%时,感官评分达到峰值,随着枇杷含量的逐渐增多,果酱亮度逐渐提升,此时酱色明亮,果味融合协调且具有特殊清香风味;当枇杷占复合果浆添加比超过30%后,感官评分呈下降趋势,随着枇杷含量的增加果酱出现轻微涩味,果味融合不协调,果酱风味与口感下降。因此,选择枇杷占复合果浆添加比为30%。

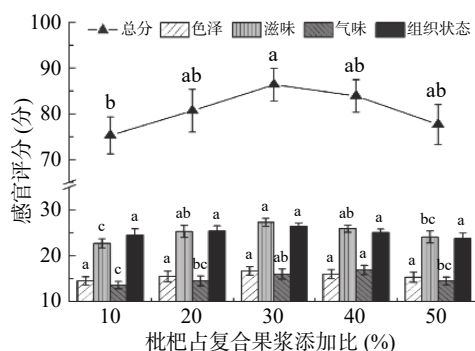


图2 枇杷占复合果浆添加比对果酱感官品质的影响

Fig.2 Effect of the ratio of loquat in the compound fruit pulp on sensory quality of jam

注:同一系列不同字母表示差异显著($P < 0.05$),图3~图5同。

2.1.2 柠檬酸添加量对低糖枇杷桑葚复合果酱感官品质的影响 柠檬酸是食品加工常用的酸味添加剂和钙离子强化剂,添加至果酱中可增加氢离子数目,致使链间排斥力降低,强化增稠剂和糖溶液的结合,促使形成稳定有序的网络结构^[30],并具有一定抗氧化和防腐作用^[31],主要影响低糖枇杷桑葚复合果酱的酸度和涂抹性。由图3可知,当柠檬酸添加量为0.10%时,感官评分达到峰值,随着柠檬酸的增加,氢离子浓度也随之增大,减弱了分子链间的排斥力,果酱涂抹性能得到增强^[32],此时果酱糖酸协调,口感柔和,柠檬酸酸味自然;当柠檬酸添加量为0.05%时,酸味较弱,糖酸比失调;当添加量在0.15%~0.25%时,果酱酸度较高,破坏了酸甜平衡,口感偏酸超过了口感接受的正常值。因此,选择柠檬酸添加量为0.10%。

2.1.3 白砂糖添加量对低糖枇杷桑葚复合果酱感官品质的影响 白砂糖添至果酱中可调节果酱的糖酸比,改善口感与风味,并随着糖量的增加,糖类物质的

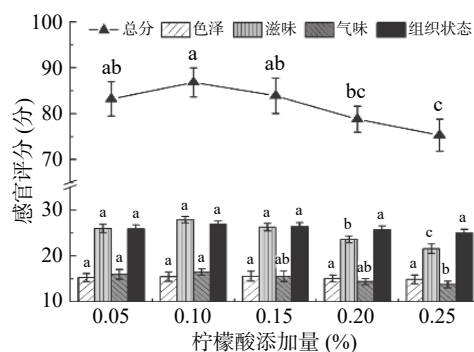


图3 柠檬酸添加量对果酱感官品质的影响

Fig.3 Effect of citric acid addition on sensory quality of jam

黏性也随之增强^[33],形成高渗透压抑制微生物生长^[34],延长果酱的保质期,主要影响低糖枇杷桑葚复合果酱的甜度和黏稠度。由图4可知,当白砂糖添加量为16%时,糖酸比较低,口感偏酸,不利于果胶胶体形成,出现轻微析水现象;当白砂糖添加量为20%时,感官评分最高,此时果酱酸甜协调,口感清爽,黏稠适度,沈冰等^[35]在研制低糖雪梨菠萝复合果酱时也认为白砂糖添加量为20%时果酱感官品质最佳;当添加量在22%~24%时,甜度偏高,口感甜腻,黏性增大,果香味不明显,张琳等^[30]在研究柿子山楂复合果酱时认为白砂糖最佳添加量为40%,测得总糖度为45.21%,果酱糖度相对较高。因此,选择白砂糖添加量为20%。

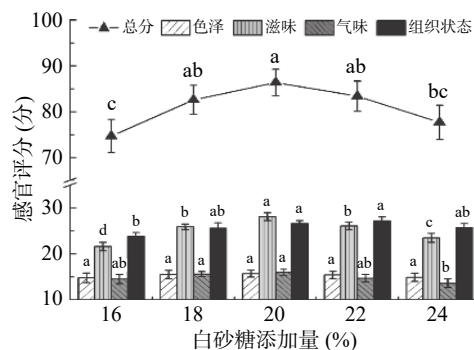


图4 白砂糖添加量对果酱感官品质的影响

Fig.4 Effect of white granulated sugar addition on sensory quality of jam

2.1.4 果胶添加量对低糖枇杷桑葚复合果酱感官品质的影响 果胶作为增稠剂,其中的羧基能与钙离子、镁离子等多价金属离子产生桥联作用形成凝胶,减少脱水收缩的作用,改善酱体凝胶状态和质地口感^[36],影响低糖枇杷桑葚复合果酱的涂抹性、黏稠度与凝胶效果。由图5可知,随着果胶添加量的增加,感官评分呈先上升后下降的趋势,当果胶添加量在0.8%~0.9%时,感官评分随之上升,果酱较易涂抹,出现轻微析水现象;当果胶添加量为1.0%时,感官评分达到峰值,随着果胶添加量增加,果胶与金属离子结合形成的网络结构数量增加^[37],凝胶效果增强,此时果酱酱体组织紧密,黏稠适度,口感质地良好;当添加量超过1.0%后,凝胶效果明显增强,但酱体逐

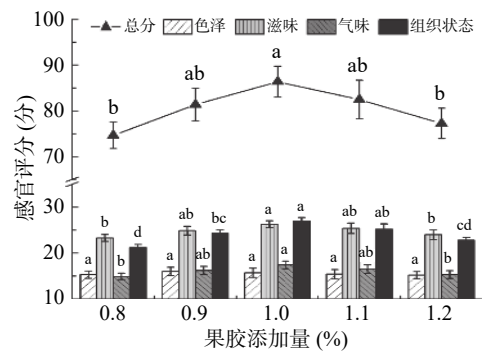


图 5 果胶添加量对果酱感官品质的影响
Fig.5 Effect of pectin addition on sensory quality of jam

渐黏结发硬, 涂抹性差, 影响口感及整体外观。因此, 选择果胶添加量为 1.0%。

2.2 响应面试验设计结果及分析

2.2.1 响应面回归模型的建立与分析 在单因素实验结果的基础上, 选择枇杷占复合果浆添加比(X_1)、柠檬酸添加量(X_2)、白砂糖添加量(X_3)、果胶添加量(X_4)为响应因子, 以感官评分(Y)为响应值, 建立 Box-Behnken 中心组合设计试验模型, 通过拟合二次方程确定最佳配方参数以及最高理论的感官评分。

利用 Design-Expert 8.0.6 软件对表 3 所得实验数据进行拟合分析, 建立枇杷占复合果浆添加比(X_1)、柠檬酸添加量(X_2)、白砂糖添加量(X_3)和果胶

表 3 响应面优化设计与结果

Table 3 Designs and results of response surface methodology					
实验号	X_1	X_2	X_3	X_4	Y 感官评分(分)
1	-1	-1	0	0	83.75
2	0	1	1	0	89.42
3	-1	0	0	1	85.54
4	-1	0	1	0	86.66
5	0	0	0	0	91.57
6	0	0	0	0	91.03
7	0	1	-1	0	87.02
8	0	0	0	0	91.62
9	0	-1	0	1	88.35
10	0	-1	-1	0	85.57
11	-1	0	-1	0	84.46
12	0	0	1	-1	87.32
13	0	0	-1	1	87.25
14	-1	1	0	0	84.76
15	1	0	0	-1	86.08
16	0	-1	0	-1	83.84
17	1	0	-1	0	86.68
18	1	0	0	1	88.59
19	0	0	0	0	90.83
20	0	1	0	1	87.46
21	-1	0	0	-1	85.54
22	1	-1	0	0	83.69
23	1	0	1	0	87.90
24	0	0	0	0	91.51
25	0	-1	1	0	86.62
26	0	0	1	1	89.71
27	1	1	0	0	88.49
28	0	1	0	-1	87.75
29	0	0	-1	-1	85.22

添加量(X_4)对产品品质感官测评得分(Y)的响应面模型:

$$Y=91.31+0.89X_1+1.09X_2+0.95X_3+0.93X_4+0.95X_1X_2-0.25X_1X_3+0.63X_1X_4+0.34X_2X_3-1.20X_2X_4+0.090X_3X_4-3.21X_1^2-2.64X_2^2-1.75X_3^2-1.89X_4^2。$$

方差分析结果如表 4 所示, 低糖枇杷桑葚复合果酱的感官测评得分回归模型显著性检验 F 值为 47.18, $P<0.0001$, 表明回归模型达到极显著水平; 失拟项检验 F 值为 2.26, $P=0.2242>0.05$, 失拟项检验不显著。其中一次项 X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 , 交互项 X_1X_2 、 X_2X_4 , 二次项 X_1^2 、 X_2^2 、 X_3^2 、 X_4^2 极显著($P<0.01$); 交互项 X_1X_4 显著($P<0.05$)。比较 F 值大小可知, 影响低糖枇杷桑葚复合果酱感官评分的因素按顺序排列依次为 $X_2>X_3>X_4>X_1$ 。

表 4 回归模型方差分析表
Table 4 Analysis of variance of regression model

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	160.90	14	11.49	47.18	<0.0001	**
X_1	9.58	1	9.58	39.31	<0.0001	**
X_2	14.26	1	14.26	58.53	<0.0001	**
X_3	10.89	1	10.89	44.69	<0.0001	**
X_4	10.36	1	10.36	42.53	<0.0001	**
X_1X_2	3.59	1	3.59	14.74	0.0018	**
X_1X_3	0.24	1	0.24	0.99	0.3377	
X_1X_4	1.58	1	1.58	6.47	0.0234	*
X_2X_3	0.46	1	0.46	1.87	0.1930	
X_2X_4	5.76	1	5.76	23.65	0.0003	**
X_3X_4	0.032	1	0.032	0.13	0.7208	
X_1^2	66.76	1	66.76	274.05	<0.0001	**
X_2^2	45.06	1	45.06	184.97	<0.0001	**
X_3^2	19.79	1	19.79	81.25	<0.0001	**
X_4^2	23.28	1	23.28	95.56	<0.0001	**
残差	3.41	14	0.24			
失拟项	2.90	10	0.29	2.26	0.2242	
纯误差	0.51	4	0.13			
总和	164.31	28				

注: “*”表示 $P<0.05$, 显著水平; “**”表示 $P<0.01$, 极显著水平。

由表 5 响应面评估参数表可知, 决定系数 $R^2=0.9792$, 说明方程与实际试验拟合度好; 校正决定系数 $R^2_{Adj}=0.9585$, 说明有 95.85% 的试验符合该模型; 变异系数 C.V. 值为 0.56% $<5\%$, 表示方程有良好的重现性; 信噪比 Adeq Precision 为 21.831 >4 , 表示模型具有足够的分辨力, 可信度较高, 即该模型可用于最佳配方的理论预测。

表 5 响应面评估参数表
Table 5 Response surface evaluation parameter

R^2	R^2_{Adj}	C.V.	Adeq Precision
0.9792	0.9585	0.56	21.831

2.2.2 响应面图分析 三维响应面和等高线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^[38]。响应曲面的陡峭程度反映因素对试验结果的影响程度,等高线反映两因素交互作用的强弱^[39-40]。由图6~图8可知,低糖枇杷桑葚复合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 X_1X_2 、 X_1X_4 、 X_2X_4 响应曲面陡峭,等高线呈椭圆形,说明上述因素间的交互作用对果酱感官评分影响显著,与方差分析结果一致。

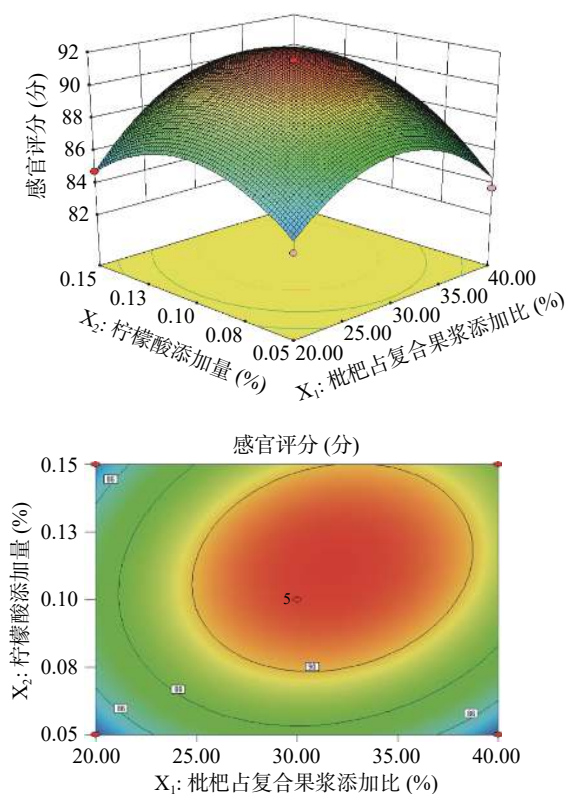


图6 枇杷占复合果浆添加比和柠檬酸添加量对感官评分影响的响应面和等高线图

Fig.6 Response surface and contour map of the effect of the ratio of loquat in the compound fruit pulp and citric acid addition on sensory scores

2.3 参数优化和模型验证

由响应面回归分析得到低糖枇杷桑葚复合果酱的最佳配方为:枇杷占复合果浆添加比 31.8%,柠檬酸添加量 0.11%,白砂糖添加量 20.57%,果胶添加量 1.02%,感官评分预测值为 91.74 分。考虑到方案操作的便捷性,将最佳条件修正为:枇杷占复合果浆添加比 32%,柠檬酸添加量 0.1%,白砂糖添加量 20.5%,果胶添加量 1.0%,以此条件进行 3 次验证试验得到低糖枇杷桑葚复合果酱感官评分为 (91.29 ± 1.02) 分,与理论预测值相差小,说明该响应面的配方优化方案可行性较高。

2.4 产品质量

2.4.1 理化指标和微生物指标 由表6可知,低糖枇杷桑葚复合果酱的总糖含量为 27.02%,可溶性固形物含量为 31.51%,符合 GB/T 22474-2008《果酱》中含糖量 $\leq 65\%$,可溶性固形物含量 $\geq 25\%$ 的标准要

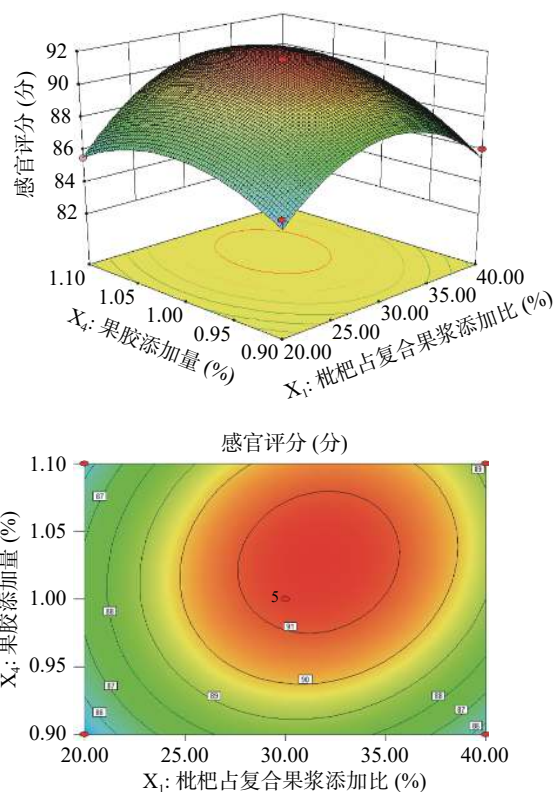


图7 枇杷占复合果浆添加比和果胶添加量对感官评分影响的响应面和等高线图

Fig.7 Response surface and contour map of the effect of the ratio of loquat in the compound fruit pulp and pectin addition on sensory scores

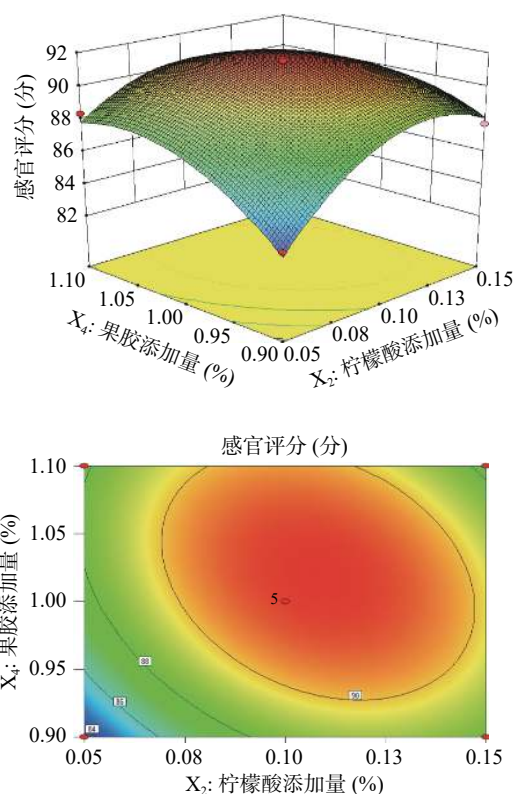


图8 柠檬酸添加量和果胶添加量对感官评分影响的响应面和等高线图

Fig.8 Response surface and contour map of the effect of citric acid addition and pectin addition on sensory scores

求^[29]; 目前我国对低糖果酱未有明确定义, 传统果酱含糖量通常在 60% 以上, FDA 规定食品含糖量比该同类参照食品的含糖量相比低 25% 以上可称为低糖^[6], 故低糖果酱常指含糖量在 45% 以下的果酱制品, 该产品总糖含量只有 27% 左右, 满足果酱制品对低糖的要求, 与申光辉等^[41]研制的生香酵母发酵桑葚果酱总糖含量和可溶性固形物含量低 10% 左右; 同时低糖枇杷桑葚复合果酱的水分含量为 67.84%, 灰分含量为 0.36%, 蛋白质含量为 0.82%, pH 为 3.64, 维生素 C 含量为 8.69 mg/100 g, 总酸含量为 1.01%, 相比刘於^[27]研制的低糖桑葚果酱维生素 C 含量高 1.36 mg/100 g, 总酸含量高 6.3 g/kg, 枇杷添至果酱中提高了果酱的维生素 C 含量和酸度, 可有效抑制果酱的氧化褐变。根据表 7 可知, 果酱的大肠菌群、菌落总数低于国家标准, 沙门氏菌和金黄色葡萄球菌未检出。低糖枇杷桑葚复合果酱的理化指标和微生物指标符合国家相关标准。

表 6 低糖枇杷桑葚复合果酱理化指标

Table 6 Physical and chemical indexes of low sugar loquat mulberry compound jam

检验项目	检验结果
可溶性固形物(%)	31.51±0.49
总糖(%)	27.02±0.63
总酸(%)	1.01±0.07
pH	3.64±0.05
维生素C(mg/100 g)	8.69±0.37
蛋白质(%)	0.82±0.03
水分(%)	67.84±0.56
灰分(%)	0.36±0.02

表 7 低糖枇杷桑葚复合果酱微生物指标

Table 7 Microbial indexes of low sugar loquat mulberry compound jam

检验项目	检验结果
大肠菌群(MPN/100 g)	<30
菌落总数(CFU/g)	<100
沙门氏菌	未检出
金黄色葡萄球菌	未检出

2.4.2 感官鉴评比较分析 针对色泽、风味、口感、黏稠度和涂抹性五个关键特征与三款市售桑葚果酱进行感官鉴评^[42], 使用雷达图将不同果酱之间的评价表现差异直观地进行展示。由图 9 可知, 低糖枇杷桑葚复合果酱在风味上优于市售桑葚果酱, 这可能是枇杷中的醛类和酯类等物质相对含量较高, 具有“青香型”的风味物质^[43], 挥发性强, 使果酱在呈味上更加丰富; 复合果酱的口感、涂抹性与最高评分在同一水平, 与市售桑葚果酱无较大差别; 由于低糖枇杷桑葚复合果酱含糖量低, 与传统高糖果酱相比, 多酚氧化酶活性不易钝化, 果酱易发生褐变且因较长时间的加热熬制, 使果酱水分降低而黏性增大, 在色泽和黏稠度上略逊于市售桑葚果酱, 但均在可接受范围内。低

糖枇杷桑葚复合果酱整体评分高于市售桑葚果酱, 基本可为消费者接受。

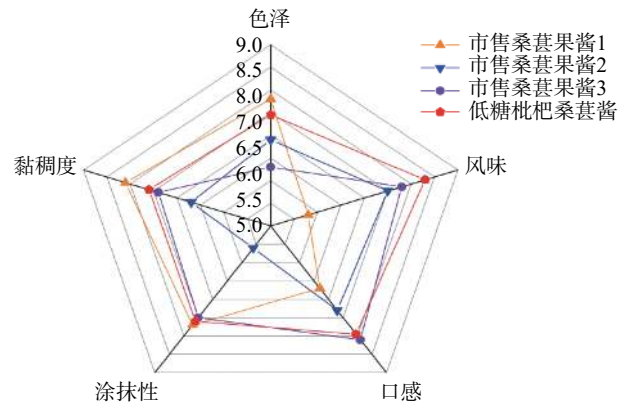


图 9 低糖枇杷桑葚复合果酱与市售桑葚果酱感官鉴评雷达图

Fig.9 Sensory evaluation radar map of low sugar loquat mulberry compound jam and commercially available mulberry jam

3 结论

通过单因素实验及响应面法优化了低糖枇杷桑葚复合果酱的配方。最终得到最佳配方为: 枇杷占复合果浆添加比 32%, 柠檬酸添加量 0.1%, 白砂糖添加量 20.5%, 果胶添加量 1.0%, 对此配方验证所得感官评分为(91.29±1.02)分。各因素对低糖枇杷桑葚复合果酱感官评分影响的主次顺序为柠檬酸添加量>白砂糖添加量>果胶添加量>枇杷占复合果浆添加比。对产品的理化指标和微生物指标进行检测, 检测结果显示符合国家标准, 并与市售桑葚果酱进行感官鉴评比较分析, 对比得出低糖枇杷桑葚复合果酱在风味上优于市售桑葚果酱, 口感、涂抹性与最高评分相近, 色泽和黏稠度在可接受范围内, 为提高枇杷和桑葚的利用率, 促进枇杷和桑葚加工产业进一步发展提供参考。

试验首次以枇杷和和桑葚为主要原料研制低糖枇杷桑葚复合果酱, 所得产品呈亮紫色, 酸甜协调, 组织均匀, 凝胶稳定性良好。基于本研究可进一步探讨果酱的贮藏稳定性, 对储藏期间品质风味、果酱微观结构变化等方面继续开展研究, 以此更好地为生产实际提供帮助。

参考文献

[1] GUPTA E, PURWAR S, JAISWAL P, et al. Sensory evaluation and nutritional composition of developed papaya-gooseberry jam[J]. Food and Nutrition Sciences, 2016(7): 600–608.

[2] JI Y S, JIN H J, JAE S K, et al. Development of low-sugar antioxidant jam by a combination of anthocyanin-rich berries[J]. Applied Biological Chemistry, 2016, 59(2): 305–312.

[3] DONG J L, HYUNGJAE L, SEON H L, et al. Effects of jam processing on anthocyanins and antioxidant capacities of *Rubus coreanus* miquel berry[J]. Food Science and Biotechnology, 2013, 22(6): 1607–1612.

[4] MARIANA A P, DIANA M, DIANA D, et al. Processing an d

- storage impact on the antioxidant properties and color quality of some low sugar fruit jams[J]. *Romanian Biotechnological Letters*, 2011, 16(5): 6504–6512.
- [5] 卫萍, 游向荣, 张雅媛, 等. 不同杀菌方式对低糖香蕉果酱品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2015, 36(7): 97–100, 104. [WEI P, YOU X R, ZHANG Y Y, et al. Effect of different sterilization ways on quality of low-sugar banana jam[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2015, 36(7): 97–100, 104.]
- [6] 康明. 无花果与果干营养品质及低糖果酱的研制[D]. 上海: 上海海洋大学, 2020. [KANG M. Nutritional quality of figs and dried fruits and development of low-sugar jam[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2020.]
- [7] 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 P, YOU X R, ZHANG Y Y, et al. Development of low-sugar banana jam[J]. *Food Research and Development*, 2016, 37(1): 63–67.]
- [8] FENG H, ZHANG J L, WU P. Optimization of low-sugar polygonatum jam production process by response surface methodology[J]. *Journal of Food Technology and Preservation*, 2019, 3(1): 11–19.
- [9] KOVACEVIC D B, PUTNIK P, DRAGOVIC-UZELAC V, et al. Influences of organically and conventionally grown strawberry cultivars on anthocyanins content and color in purees and low-sugar jams[J]. *Food Chemistry*, 2015, 181: 94–100.
- [10] ANNA B, ANNA K, JAROSLAW K, et al. Texture, color, and sensory features of low-sugar gooseberry jams enriched with plant ingredients with prohealth properties[J]. *Journal of Food Quality*, 2018, 2018: 1–12.
- [11] 于馨森, 陈发兴, 卢海芬, 等. 不同品种枇杷果实微量元素分析及综合评价[J]. *热带作物学报*, 2019, 40(11): 2227–2235. [YU X M, CHEN F X, LU H F, et al. Trace element analysis and comprehensive evaluation of different loquat fruits[J]. *Journal of Tropical Crops*, 2019, 40(11): 2227–2235.]
- [12] 刘丽丽, 刘玉垠, 王杰, 等. 枇杷功能成分及生物活性研究进展[J]. *食品科学*, 2020, 41(5): 306–314. [LIU L L, LIU Y Y, WANG J, et al. Research progress on functional components and biological activities of loquat[J]. *Food Science*, 2020, 41(5): 306–314.]
- [13] LEE H, KIM Y K, LEE H J, et al. Effects of loquat(*Eriobotrya japonica* Lindl.) ethanol extracts of different aerial parts on antioxidant activity and antiproliferation of human cancer cells[J]. *The Korean Journal of Community Living Science*, 2016, 27(2): 211–220.
- [14] LIN J Y, TANG C Y. Strawberry, loquat, mulberry, and bitter melon juices exhibit prophylactic effects on LPS-induced inflammation using murine peritoneal macrophages[J]. *Food Chemistry*, 2008, 107(4): 1587–1596.
- [15] 刘哲, 诸梦洁, 向露, 等. 利用糖渍液加工枇杷膏的工艺条件与品质[J]. *浙江农业学报*, 2020, 32(3): 510–517. [LIU Z, ZHU M J, XIANG L, et al. Technological conditions and quality of loquat paste processed with sugary solution[J]. *Journal of Zhejiang Agriculture*, 2020, 32(3): 510–517.]
- [16] 段珍珍, 袁敏, 常荣, 等. 有机酸及挥发性香气在枇杷醋加工中的变化及其对品质的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2017, 43(12): 114–123. [DUAN Z Z, YUAN M, CHANG R, et al. Changes of organic acids and volatile aroma in loquat vinegar processing and their effects on quality[J]. *Food and Fermentation Industry*, 2017, 43(12): 114–123.]
- [17] 孟依娜, 蒋素文, 胡爱荣, 等. 桑葚提取物药学价值的基础研究进展[J]. *现代实用医学*, 2020, 32(2): 274–277. [MENG Y N, JIANG S W, HU A R, et al. Advances in basic research on pharmaceutical value of mulberry extract[J]. *Modern Practical Medicine*, 2020, 32(2): 274–277.]
- [18] PEL P, CHAS H S, NHOEK P, et al. Chemical constituents with proprotein convertase subtilisin/kexin type 9 mRNA expression inhibitory activity from dried immature *Morus alba* fruits[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2017, 65(26): 5316–5321.
- [19] WU T, QI X, LIU Y, et al. Dietary supplementation with purified mulberry (*Morus australis* Poir) anthocyanins suppresses body weight gain in high-fat diet fed C57BL/6 mice[J]. *Food Chemistry*, 2013, 141(1): 482–487.
- [20] HUANG H P, CHANG Y C, WU C H, et al. Anthocyanin-rich mulberry extract inhibit the gastric cancer cell growth *in vitro* and xenograft mice by inducing signals of p38/p53 and c-jun[J]. *Food Chemistry*, 2011, 129(4): 1703–1709.
- [21] SINGHAL B K, KHAN M A, DHAR A, et al. Approaches to industrial exploitation of mulberry (*Mulberry* sp.) fruits[J]. *Fruit Ornamental Plant Res*, 2010, 18(1): 83–99.
- [22] 冯金梅. 桑葚的药理作用探析[J]. *中国农业信息*, 2013(13): 239. [FENG J M. Analysis of pharmacological effects of mulberry[J]. *China Agricultural Information*, 2013(13): 239.]
- [23] 张婷婷, 令桢民, 赵旺生. 枇杷的研究现状和应用前景[J]. *农产品加工(学刊)*, 2006(7): 50–52. [ZHANG T T, LING Z M, ZHAO W S. Research status and application prospect of loquat[J]. *Journal of Agricultural Products Processing (Tribune)*, 2006(7): 50–52.]
- [24] 罗吉庆, 张永杰, 江丽慧, 等. 枇杷营养价值和功能价值的应用研究[J]. *农产品加工*, 2021(4): 83–87. [LUO J Q, ZHANG Y J, JIANG L H, et al. Study on the application of nutritional value and functional value of loquat[J]. *Journal of Agricultural Products Processing*, 2021(4): 83–87.]
- [25] 孙乐, 张小东, 郭迎迎. 桑葚的化学成分和药理作用研究进展[J]. *人参研究*, 2016, 28(2): 49–54. [SUN L, ZHANG X D, GUO Y Y. Research progress on chemical constituents and pharmacological effects of mulberry[J]. *Ginseng Research*, 2016, 28(2): 49–54.]
- [26] 高慧颖, 姜帆, 张立杰, 等. 5个枇杷晚熟品种果实氨基酸组成和含量分析[J]. *福建果树*, 2009(2): 37–41. [GAO H Y, JIANG F, ZHANG L J, et al. Analysis of amino acid composition and content in fruits of five late-maturing loquat varieties[J]. *Fujian Fruit Tree*, 2009(2): 37–41.]
- [27] 刘於. 桑葚成分分析及低糖果酱的工艺参数优化[D]. 雅安: 四川农业大学, 2014. [LIU Y. Mulberry composition analysis and process parameter optimization of low candy sauce[D]. Ya'an: Sichuan Agricultural University, 2014.]

- [28] 段丽丽,徐丽霞,杨滢仪.低糖柚子皮香蕉复合果酱的工艺研究[J]. *四川旅游学院学报*, 2018(6): 21-25. [DUAN L L, XU L X, YANG Y Y. Study on the technology of low sugar pomelo peel banana compound jam[J]. *Journal of Sichuan Tourism University*, 2018(6): 21-25.]
- [29] 中国商业联合会商业标准中心. GB/T 22474-2008 果酱[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009. [Commercial Standards Center of China Business Federation. GB/T 22474-2008 Jam[S]. Beijing: China Standards Press, 2009.]
- [30] 张琳,王希琰,张仁堂.柿子山楂复合果酱的研究及配方优化[J]. *中国调味品*, 2020, 45(2): 88-92. [ZHANG L, WANG X Y, ZHANG R T. Research and formula optimization of persimmon hawthorn compound jam[J]. *Chinese Condiments*, 2020, 45(2): 88-92.]
- [31] 陈诗晴,王征征,姚思敏薇,等.猕猴桃低糖复合果酱加工工艺[J]. *安徽农业科学*, 2017, 45(33): 96-99, 112. [CHEN S Q, WANG Z Z, YAO S M W, et al. Processing technology of kiwifruit low-sugar compound jam[J]. *Anhui Agricultural Sciences*, 2017, 45(33): 96-99, 112.]
- [32] 蒋利珍.超高压加工油梨果酱的基础理论及其工艺研究[D]. 广州: 华南农业大学, 2017. [JIANG L Z. Study on the basic theory and technology of ultra-high pressure processing of avocado jam[D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2017.]
- [33] 刘静娜,庄远红,刘攀.响应面法优化琯溪红肉蜜柚果酱配方设计[J]. *食品研究与开发*, 2019, 40(24): 138-143. [LIU J N, ZHUAN Y H, LIU P. Optimization of recipe design of guanxi red meat honey pomelo jam by response surface methodology[J]. *Food Research and Development*, 2019, 40(24): 138-143.]
- [34] 李吉达,彭婷,赵玥,等.黔野生猕猴桃果酱的制备及体外抗氧化性研究[J]. *食品研究与开发*, 2019, 40(3): 119-124. [LI J D, PENG T, ZHAO Y, et al. Preparation and antioxidant function in vitro of wild kiwi Jam in Guizhou province[J]. *Food Research and Development*, 2019, 40(3): 119-124.]
- [35] 沈冰,刘永智,易志,等.雪梨-菠萝保健型低糖复合果酱的制作工艺优化[J]. *安徽农业科学*, 2017, 45(15): 113-115, 119. [SHEN B, LIU Y Z, YI Z, et al. Recipe optimization of pear-pineapple health-type low-sugar compound jam[J]. *Anhui Agricultural Sciences*, 2017, 45(15): 113-115, 119.]
- [36] 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 S J, GAO C, YU Z, et al. Research progress of low-sugar jam[J]. *Food Industry*, 2019, 40(12): 264-267.]
- [37] 王甄妮.低糖皇冠梨果酱的研制及流变特性研究[D]. 锦州: 渤海大学, 2021. [WANG Z N. Development and rheological properties of low-sugar crown pear jam[D]. Jinzhou: Bohai University, 2021.]
- [38] 吕佳玮,王颀,刘亚琼,等.沙棘多酚提取纯化工艺研究[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(3): 108-114. [LV J W, WANG J, LIU Y Q, et al. Study on extraction and purification process of sea buckthorn polyphenols[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(3): 108-114.]
- [39] 田丹,刘昊昊,邓红,等.冷破碎红富士苹果浆发酵低度苹果酒工艺优化[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(6): 166-173, 180. [TIAN D, LIU M H, DENG H, et al. Optimization of fermentation process of low alcohol degree cider with cold crushing red Fuji apple pulp[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(6): 166-173, 180.]
- [40] 崔燕,谭卓,宣晓婷,等.天然复合水蜜桃果汁配方优化及超高压对果汁品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(6): 151-158, 165. [CUI Y, TAN Z, XUAN X T, et al. Formula optimization of natural compound honey peach juice and the effects of high hydrostatic pressure on its quality[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(6): 151-158, 165.]
- [41] 申光辉,冯孟,张志清,等.生香酵母发酵桑葚低糖复合果酱工艺优化及风味、抗氧化活性变化分析[J]. *江苏农业学报*, 2018, 34(3): 669-678. [SHEN G H, FENG M, ZHANG Z Q, et al. Process optimization of mulberry low sugar compound jam fermented by aroma producing yeast and analysis of changes in flavor and antioxidant activity[J]. *Jiangsu Journal of Agriculture*, 2018, 34(3): 669-678.]
- [42] 杨颖.甜橙全果微粉碎及新型果酱加工工艺研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2019. [YANG Y. Research on the micro-grinding and new jam processing technology of whole orange[D]. Changsha: Hunan University, 2019.]
- [43] 陈薇薇,孙海艳,蒋赞,等.枇杷香气成分固相微萃取条件的正交试验优化[J]. *食品科学*, 2015, 36(24): 35-39. [CHEN W W, SUN H Y, JIANG Y, et al. Optimization of solid phase microextraction conditions of loquat aroma components by orthogonal test[J]. *Food Science*, 2015, 36(24): 35-39.]