

冯颖, 张萍萍, 赵存朝, 等. 响应面优化百香果果皮果脯制备工艺 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(17): 275–282. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021120327

FENG Ying, ZHANG Pingping, ZHAO Cunchao, et al. Optimization of Preparation Technology of Passion Fruit Peel and Preserved Fruit by Response Surface Methodology[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(17): 275–282. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021120327

· 工艺技术 ·

响应面优化百香果果皮果脯制备工艺

冯颖¹, 张萍萍^{1,2}, 赵存朝^{1,2}, 陶亮^{1,2,*}, 田洋^{1,2,3}

(1. 云南农业大学食品科学技术学院, 云南昆明 650201;

2. 食药同源资源开发与利用教育部工程研究中心, 云南昆明 650201;

3. 云南省大数据重点研究实验室, 云南昆明 650201)

摘要: 为实现百香果果皮的高值化利用, 本研究以百香果皮为主要原料, 开发具有百香果特征风味的果脯产品。以感官评分作为主要评价指标, 通过单因素实验研究甜味剂、柠檬酸添加量以及糖煮时间和烘干时间对百香果果脯品质的影响, 确定最佳工艺配方。在单因素的基础上与响应面相结合优化百香果果脯的制作工艺, 最后对产品理化指标及微生物等相关指标进行品测。结果表明, 百香果果皮果脯最优工艺: 甜味剂添加量为 25%, 柠檬酸添加量为 0.8%, 糖煮 90 min, 65 °C 下烘干 12 h。在此条件下所得产品口感酸甜, 软糯, 风味浓郁, 理化指标及微生物指标均符合相关的标准要求。此产品的开发为百香果皮综合利用提供思路, 为百香果产业高附加值开发提供参考。

关键词: 百香果果皮, 果脯, 加工工艺, 响应面优化, 理化指标

中图分类号: TS209; TS255.41

文献标识码: B

文章编号: 1002-0306(2022)

17-0275-08

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2021120327



本文网刊:

Optimization of Preparation Technology of Passion Fruit Peel and Preserved Fruit by Response Surface Methodology

FENG Ying¹, ZHANG Pingping^{1,2}, ZHAO Cunchao^{1,2}, TAO Liang^{1,2,*}, TIAN Yang^{1,2,3}

(1. College of Food Science and Technology, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China;

2. Development and Utilization of Food and Drug Homologous Resources Engineering Research Center of the Ministry of Education, Kunming 650201, China;

3. Yunnan Province Big Data Primary Research Laboratory, Kunming 650201, China)

Abstract: In order to realize the high-value utilization of passion fruit peel, this study used passion fruit peel as the main raw material to develop a preserved fruit product with the characteristic flavor of passion fruit. Taking sensory score as the main evaluation index, the effects of sweetener, citric acid addition, and sugar cooking time and drying time on the quality of preserved passion fruit were studied through single factor, and the optimal process formula was determined. On the basis of single factor, combined with response surface methodology, the production process of preserved passion fruit was optimized, and the product physical and chemical indicators and microorganisms and other related indicators were tested. The results showed that the optimal process of passion fruit peel and preserved fruit was as follows: The addition of sweetener was 25%, the addition of citric acid was 0.8%, sugar-boiled for 90 min, and dried at 65 °C for 12 h. Under this condition, the product obtained had a sweet and sour taste, soft waxy, rich flavor, and the physicochemical indexes and microbial indexes all meet the relevant standard requirements. The development of this product provides ideas for the

收稿日期: 2021-12-30

基金项目: 云南省万人计划产业升级精深加工与废弃物再利用研究 (A3032021174); 特色新型功能及营养健康食品关键技术研发与应用 (2019ZG00905); 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); 丽江木梨、海棠果及红果参产品开发 (KX142020042)。

作者简介: 冯颖 (1999-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品资源与营养工程, E-mail: 1085040603@qq.com。

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

comprehensive utilization of passion fruit peel, and provides a reference for the high value-added development of passion fruit industry.

Key words: passion fruit peel; preserved fruit; processing technology; response surface optimization; physical and chemical indicators

百香果(*Passiflora edulis* Sims)是日常生活中常见的水果,属于草质藤本植物,西番莲属。众所周知,百香果有很高的营养价值。其中氨基酸就包括了 17 种,营养物质超过了 160 种,小小的一颗果实,蕴含多种营养素。百香果不仅包含了各种维生素^[1],还可以补充人体所需的多种微量元素^[2]。除了上述优点外,百香果的保健功能也非常强大,既有美容功效,还可以提高机体的免疫力和肠道功能的恢复和重建等^[3]。除了果实之外,百香果的枝叶、果皮和种子也可以药用,不仅可以抗菌^[4],还可以改善和缓解焦虑情绪^[5]、调节血压^[6]、有效改善失眠^[7]等。百香果属于一种货架期比较短的水果,储藏保存有一定的难度^[8]。因此,百香果除了可以鲜食之外,还被加工成为多种容易存储的产品。潘建江等^[9]采用复合胶凝剂加工成百香果果汁果冻;郭正忠等^[10]将百香果酶解浸渍,低温发酵成百香果果酒;付满等^[11]利用百香果汁制作果醋和果酱等产品^[12]。

目前,关于市场上的百香果产品主要包括原果汁、发酵果汁、复合果汁、果冻、果醋和果酱等^[13],且多与雪梨、枸杞、芒果、火龙果^[14]等水果搭配制成复合饮料为主。这些加工过程中,在获取果肉后,果皮一般是进行了丢弃处理,不仅浪费,同时也污染了环境。经过研究发现,百香果的果皮中包含了多种营养元素,如花青素、矿物质和黄酮等^[15],可以抗衰老、增强身体的新陈代谢、促进血液的循环,具有一定开发价值。果皮占据了百香果总重的 40%~50%,其中,有 15%~20% 的比例为干物质^[16],其中果皮所含有的果胶含量和膳食纤维含量都十分丰富,是制作果脯的最佳选择。

我国百香果的产业不断扩大,但加工的类型较单一,多是以百香果的鲜果为主的饮料开发。本研究利用百香果果皮为原料通过添加甜味剂、柠檬酸等制作果脯,采用葡萄糖进行包裹,通过工艺、配方的优化,开发出具有百香果独特风味的果脯,使其产品的储藏时间延长。对果皮进行加工利用不仅可以减少废弃物污染,从而保护自然环境、降低处理成本,提升百香果的综合价值。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

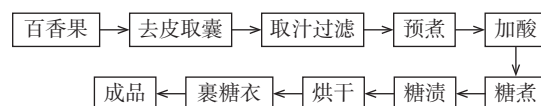
紫色百香果 云南天佑科技开发有限公司,产自云南德宏秋季采摘;柠檬酸、葡萄糖、蜂蜜糖浆、白砂糖 均属于食品级,郑州百合食品化工有限公司。

DHG-2150B 电热恒温鼓风干燥箱 郑州生元仪器有限公司;C21-SX810 电磁炉 九阳股份有限公司;AR224CN 电子天平 奥豪斯仪器有限公司;

PJ24M5 平底锅 浙江苏泊尔股份有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 百香果皮果脯的加工工艺



1.2.2 操作要点 a.百香果的选择及洗涤:选择果皮完整、无霉烂的百香果,用水冲洗表面的泥沙、杂质等,直至表面冲洗干净^[17]。

b.去皮取囊:人工挖除果囊后将剩余的果皮肉清洗干净。

c.取汁过滤:将果囊用纱布进行两次过滤成百香果汁。

d.预煮:将百香果皮、白砂糖、葡萄糖、蜂蜜糖浆和占质量 10% 的水熬煮 5 min。

e.加酸:加入百香果汁(10%)和少量的柠檬酸(0.2%)进行调和。

f.糖煮:将百香果皮在 60℃ 下熬煮 90 min,煮制过程中用不锈钢勺轻轻搅拌防止糖煮不均匀。确保百香果汁和柠檬酸能够均匀融入糖液并渗透到皮内,增加和提升香味,口感酸甜适宜,百香果果皮的颜色均一。

g.糖渍:百香果皮煮制后留在该糖液中,放置在 4℃ 下浸渍 12 h。

h.烘干:置于 65℃ 恒温鼓风干燥箱中,烘干 12 h。为了使其能烘干均匀,干燥过程中要注意按时翻动果皮和更换烘盘位置。

i.裹糖衣:将葡萄糖均匀的撒在烘干的果脯表面。

1.2.3 单因素实验 固定百香果果脯原料为新鲜百香果果皮 1 kg,对单一甜味剂和复配甜味剂进行筛选,确定甜味剂最佳糖配比为白砂糖:葡萄糖:蜂蜜糖浆(2:2:1),固定甜味剂总添加量 20%,柠檬酸添加量 0.4%,糖煮时间 60 min。分别研究甜味剂总添加量(17.5%、20%、22.5%、25%、27.5%),柠檬酸添加量(0.2%、0.4%、0.6%、0.8%、1.0%),不同糖煮时间(60、70、80、90、100 min),烘干时间(8、10、12、14、16 h),等对百香果果皮果脯感官评分、总糖含量、水分含量等指标的影响。

1.2.4 响应面试验优化 本文以单因素实验为基础,本研究的试验因素为对百香果果皮果脯感官评分产生比较明显影响的因素,然后应用中心组合(Box-Behn-ken)试验设计原理,进行 3 因素 3 水平的响应面试验设计,具体数值详见表 1。

表 1 Box-Behnken 因素水平表
Table 1 Box-Behnken factor level table

因素	水平		
	-1	0	1
X ₁ 甜味剂添加量(%)	22.5	25.0	27.5
X ₂ 糖煮时间(min)	80	90	100
X ₃ 烘干时间(h)	10	12	14

1.2.5 产品质量评价

1.2.5.1 百香果果脯感官评价^[17] 由 10 位食品专业的学生组成评定小组,对百香果果皮果脯进行感官品评定,根据 GB14884-2016《食品安全国家标准蜜饯》当中的方式,选用百分制来评定百香果果皮果脯,其中,色泽、口感、滋味和组织形态分别设置为 25 分,计算 10 位评审员的打分的均值,详见表 2:

表 2 百香果果脯感官评定标准
Table 2 Sensory evaluation criteria for preserved passion fruit peel

评定指标	评分标准	分值(分)
色泽(25分)	橘红色,均匀一致,富有光泽	15~25
	偏黄色,有一定光泽	7~14
	色泽不均匀,光泽度差	1~6
组织状态(25分)	糖分渗透均匀,有透明感,无结晶返砂	15~25
	糖分渗透均匀,无透明感,稍有结晶返砂	7~14
	糖分渗透不均匀,无透明感,有结晶返砂	1~6
口感(25分)	软硬适中,有嚼劲,不黏牙	15~25
	偏硬或偏软,稍有嚼劲,微黏牙	7~14
	偏软或偏软,无嚼劲,黏牙	1~6
滋味(25分)	酸甜适中,百香果风味浓郁	15~25
	酸甜适中,百香果风味稍淡	7~14
	酸甜比失调,无百香果风味	1~6

1.2.5.2 百香果皮果脯产品理化和微生物指标的测定 本试验中,水分含量遵循的标准是 GBT/10782-2021 蜜饯质量通则;菌落和霉菌总数、大肠菌群的测试遵循的是 GB 4789.2-2016 食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定标准中的规定。

1.2.6 总糖的测定 采用 DNS 法测百香果果脯中总糖的含量^[18]。分别移取 1.0 mg/mL 葡萄糖标准溶液 0、0.20、0.40、0.60、0.80、1.00 mL 置于 6 个 25 mL 具塞试管中,用水稀释至 1.00 mL,各加入 DNS 溶

液 1.50 mL,然后将试管放置于沸水浴中加热 5 min,取出,迅速冷却至室温,用蒸馏水定容至 25 mL。在波长 540 nm 处,用 1 cm 比色皿,以空白试剂为参比,测其吸光度。

1.3 数据处理

本次单因素实验获取的数据的收集和整理工作都使用 Excel 2013、SPSS 19.0 统计软件对试验数据进行分析。利用 Design-Expert 8.0.6 进行响应面分析,结果以均值±SD 表示。

2 结果与分析

2.1 单因素实验

2.1.1 甜味剂对果脯品质的影响 根据标准 GB 13104-2014 食品安全国家标准 食糖中将白砂糖定义为以甘蔗或甜菜为原料,经提取糖汁、清净处理、煮炼结晶和分蜜等工艺加工制成的蔗糖结晶。葡萄糖为无色晶体,有甜味但甜味不如蔗糖。蜂蜜是蜜蜂采集植物的花蜜、分泌物或蜜露,与自身分泌物混合后,经充分酿造而成的天然甜性物质这三种物质不仅在甜味上有不同,而且风味上也具有不同,不同的添加比例,会使产品具有别致的风味。由表 3 可知,白砂糖、葡萄糖、蜂蜜糖浆组成的甜味剂感官评分最高,因为单一的甜味剂都存在各自不同的优点和缺点,而将三种甜味剂按一定的比例复配之后可以弥补彼此的不足,此时制作出来的果脯口感良好,酸甜适中,且不会出现流糖返砂现象。因此,用白砂糖、葡萄糖、蜂蜜糖浆复配后制作出的百香果果脯口感最好。

2.1.2 白砂糖、葡萄糖和蜂蜜糖浆的比例对果脯品质的影响 在甜味剂添加量、柠檬酸添加量、糖煮时间、烘干时间不变的情况下,研究白砂糖、葡萄糖和蜂蜜糖浆的不同比例对百香果皮果脯品质感官评分影响,筛选出合适的糖配比(表 4)。

影响果脯品质的重要因素之一是白砂糖、葡萄糖和蜂蜜糖浆的比例,其比例会直接影响果脯的口感以及储存期,白砂糖添加量过少时,会使得果脯的黏度增大,容易粘牙,其成品口感略差;反之,白砂糖添加量太多时,一方面会出现果脯反砂的情况,一方面还会导致果脯硬度变强,这样一来,无论是果脯的口感还是色泽,亦或是咀嚼性等都会有一定的影响^[13],因此白砂糖的添加量需要适中,不宜过量或少量,需

表 3 甜味剂对百香果果皮果脯感官评分的影响

Table 3 Effect of sweeteners on sensory score of preserved passion fruit peel

甜味剂	感官评价	感官评分(分)
白砂糖	果脯透明感好,黏度适中,返砂	85.1±1.2
葡萄糖	果脯透明感一般,黏度适中,不返砂	80.0±1.7
蜂蜜糖浆	果脯透明感差,黏度大,不返砂	69.0±1.3
白砂糖:葡萄糖(1:1)	果脯透明感好,黏度适中,不返砂	82.0±1.5
白砂糖:蜂蜜糖浆(1:1)	果脯透明感好,黏度大,返砂	78.0±1.4
葡萄糖:蜂蜜糖浆(1:1)	果脯透明感差,黏度大,不返砂	73.0±1.5
白砂糖:葡萄糖:蜂蜜糖浆(1:1:1)	果脯透明感好,黏度适中,不返砂	89.0±1.6

表 4 糖对比对百香果果皮果脯感官评分的影响

Table 4 Effect of sugar ratio on sensory score of preserved passion fruit peel

糖配比(白砂糖:葡萄糖:蜂蜜糖浆)	感官评价	感官评分(分)
1:1:1	甜度偏低, 硬度柔软合适, 不黏牙	86.0±1.2
1:1:2	甜度偏低, 硬度柔软合适, 微黏牙	83.0±1.1
1:2:1	甜度低, 硬度偏软, 微黏牙	77.0±1.5
1:2:2	甜度低, 硬度柔软合适, 黏牙	85.0±1.6
2:1:1	甜度低, 硬度偏硬, 不黏牙	75.0±1.7
2:2:1	甜度合适, 硬度柔软合适, 不黏牙	90.0±1.3
2:1:2	甜度高, 硬度偏硬, 黏牙	79.0±1.5

另外两者与其相复配使用中合口感。从表 4 中可知当白砂糖、葡萄糖和蜂蜜糖浆的配比为 2:2:1 时, 百香果皮果脯的感官评分最高, 用这个比例制成的果脯口感最佳, 柔软适中, 甜酸平衡, 不返砂, 不黏牙, 因此, 确定实验最优糖配比为 2:2:1。

2.1.3 甜味剂添加量对果脯品质的影响 在糖配比、柠檬酸添加量、糖煮时间、烘干时间不变的条件下, 研究甜味剂不同添加量对百香果果脯品质感官评分和总糖含量的影响, 筛选出合适的甜味剂添加量。

由图 1 可知百香果果皮果脯的感官评分随着甜味剂用量的增加呈现先增加上升后下降的趋势, 总糖含量由于甜味剂的增加而趋于呈现逐渐增加的趋势, 当果脯甜味剂的添加量控制在 25.0% 左右时, 其获得了最高的感官评分, 具有合适的酸甜度, 有明显的糖衣形成, 且糖衣透亮有光泽, 果脯无结晶返砂现象。而当甜味剂添加量过少时, 甜酸比不平衡, 果脯过酸口感不佳, 而甜味剂添加量过多时则会使果脯口感过甜, 发硬, 黏牙, 产生结晶返砂现象^[19]。因此, 甜味剂添加量为 25.0% 时, 百香果皮果脯的品质最佳。

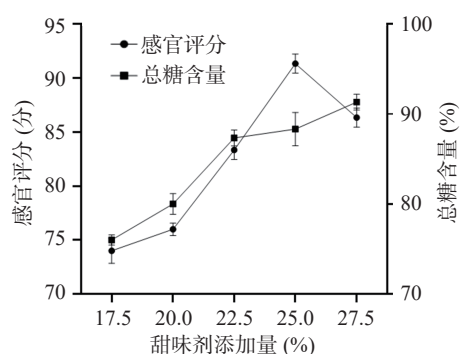


图 1 甜味剂添加量对百香果果皮果脯感官评分的影响
Fig.1 Effect of sweetener addition on sensory score of preserved passion fruit peel

2.1.4 柠檬酸添加量对果脯品质的影响 在甜味剂用量、糖配比、烘干时间、糖煮时间不变的条件下, 探讨分析添加的柠檬酸对百香果果脯品质感官评分和总糖含量的影响, 并最终确定理想的柠檬酸添加量。

在全部的有机酸当中, 柠檬酸的优势表现为, 其酸味是最为可口的, 并且也是最缓和的, 因此柠檬酸

被广泛应用于各行各业。由图 2 可知, 柠檬酸的添加剂量, 不仅会影响到产品的酸甜度, 还会对其色泽^[20]等产生直接的影响, 除此之外, 还可以降低产品的甜度, 提升产品的储藏性以及优化产品风味等^[21]多种效果。但是, 如果柠檬酸浓度过高, 则可能对果脯的品质产生负面的影响, 例如造成果脯口味不够, 甜度或者酸度超标。通过分析图 2 可知, 柠檬酸添加量控制在 0.8% 时, 能够获得最高的感官评价。其原因是, 柠檬酸能够对细胞膜透性进行一定的改变, 导致果脯的含糖总量在一定范围内有所下降^[22], 因此其糖酸比的数值是先上升后下降的。

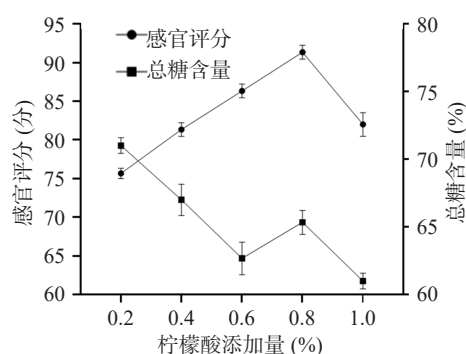


图 2 柠檬酸添加量对百香果果皮果脯感官评分的影响
Fig.2 Effect of citric acid addition on sensory score of preserved passion fruit peel

2.1.5 糖煮时间对果脯品质的影响 在甜味剂添加量、糖配比、烘干时间、柠檬酸添加量不变的条件下, 研究不同糖煮时间对百香果果脯品质感官评分和总糖含量的影响, 筛选出合适的糖煮时间。

糖煮时间也能够对产品的还原糖含量和风味产生最为直接的影响^[23]。通常情况下, 糖煮时间过长的话, 会导致果脯风味受到负面影响, 降低口感, 同时因为转化糖比例有所上升, 极易发生“流糖”现象^[24]。相反, 如果糖煮时间过短, 那么将会导致糖无法完全转化, 同样也会对果脯口感产生负面影响。通过分析图 3 可以得知, 糖煮时间控制在 90 min 时, 能够获得最高的感官评分, 可能是在这段时间果脯中产生的还原糖最高, 口感酸甜均一, 能使糖液充分渗入, 所以此时间煮制成的果脯不会过软过烂^[17]。因此糖煮时间为 90 min 是制作百香果果脯的最适糖煮时间。

2.1.6 烘干时间对果脯品质的影响 在柠檬酸添加

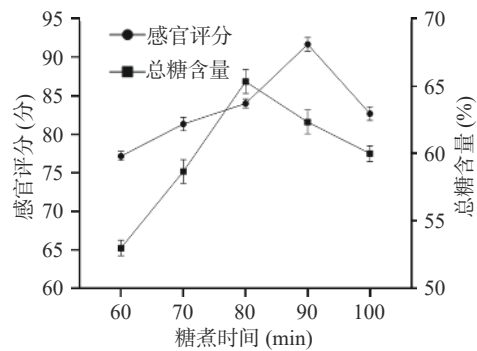


图 3 糖煮时间对百香果果皮果脯感官评分的影响
Fig.3 Effect of sugar cooking time on sensory score of preserved passion fruit peel

量、甜味剂添加量、糖煮时间不变的条件下,探索分析烘干时间的长短对百香果果脯品质感官评分和水分含量的影响,基于此选择最适宜的烘干时间。

百香果皮果脯的软硬度受到烘烤时长的直接影响,水分含量会随着烘烤时长的增加而不断的减少,最终导致果脯硬度不断增加^[19],果脯的软硬程度直接影响了果脯的口感^[25]。由图 4 可知,当烘干时间达到 12 h 时,感官评分最高,此时果脯中百香果风味浓郁,软硬适中,酸甜比平衡,口感最佳。而当烘干时间过短时,百香果皮果脯水分过多,影响口感;而烘干时间过长时,百香果果脯无弹性,硬度过大^[26]。因此在烘干时间为 12 h 时果脯的口感最佳。

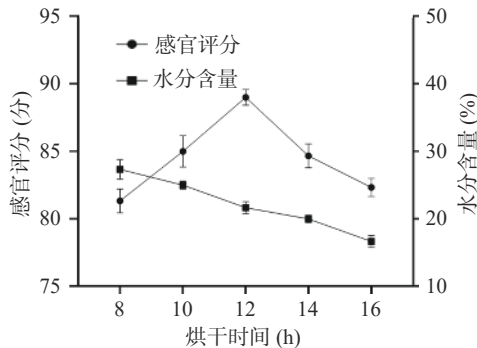


图 4 不同烘干时间对百香果果皮果脯感官评分的影响
Fig.4 Effect of different drying time on sensory score of preserved passion fruit peel

2.2 响应面试验设计及其结果

2.2.1 响应面优化及结果 以单因素和中心组合试验为基础,选择应用 Design Expert 软件完成相关的分析,将感官评分(Y)设置为响应值,选取甜味剂添加量(X_1)、糖煮时间(X_2)、烘干时间(X_3)三个因素,采用响应面试验对百香果皮果脯加工工艺进行优化。试验设计及结果见表 5。

2.2.2 模型建立及显著性检验 对表 6 进行多元回归拟合处理之后,分别获取到百香果皮果脯感官评分值(Y)、甜味剂添加量(X_1)、糖煮时间(X_2)、烘干时间(X_3)的二次方程模型为: $Y=93.56+0.51X_1-0.25X_2+1.29X_3-1.02X_1X_2-0.50X_1X_3-1.03X_2X_3-4.71X_1^2-2.63X_2^2-2.11X_3^2$ 回归模型的方差分析结果见表 6。

表 5 响应面分析方案及结果

Table 5 Response surface analysis scheme and results				
实验号	X_1 甜味剂添加量	X_2 糖煮时间	X_3 烘干时间	Y 感官评分(分)
1	0	0	0	94.0±1.3
2	0	1	-1	88.8±1.7
3	-1	0	-1	86.7±1.5
4	0	-1	-1	85.8±1.6
5	1	1	0	84.7±1.2
6	0	-1	1	90.9±1.1
7	0	0	0	92.9±1.7
8	0	1	1	89.8±1.5
9	-1	0	1	87.8±1.4
10	1	-1	0	86.7±1.3
11	-1	-1	0	85.7±1.6
12	0	0	0	94.0±1.4
13	0	0	0	92.9±1.3
14	1	0	-1	84.7±1.7
15	1	0	1	87.8±1.2
16	0	0	0	94.0±1.1
17	-1	1	0	87.8±1.5

表 6 回归模型方差分析表

Table 6 Regression model analysis of variance table						
方差来源	平方和	自由度	均方	F值	P值	显著性
模型	180.18	9	20.02	60.68	<0.0001	**
X_1	2.1	1	2.1	6.37	0.0396	*
X_2	0.5	1	0.5	1.52	0.2581	
X_3	13.26	1	13.26	40.19	0.0004	**
X_1X_2	4.2	1	4.2	12.74	0.0091	**
X_1X_3	1	1	1	3.03	0.1252	
X_2X_3	4.2	1	4.2	12.74	0.0091	**
X_1^2	93.21	1	93.21	282.51	<0.0001	**
X_2^2	29.12	1	29.12	88.27	<0.0001	**
X_3^2	18.66	1	18.66	56.55	0.0001	**
残差	2.31	7	0.33			
失拟项	0.86	3	0.29	0.79	0.5604	
纯误差	1.45	4	0.36			
总和	182.48	16				

注: *表示差异显著, $P<0.05$; **表示差异极显著, $P<0.01$ 。

观察表 6 可以得知,该试验的感官评分回归模型显著性检验 $P<0.01$,由此可知,该二次多元回归模型极显著,其失拟性检验 $P=0.5604$, P 的取值大于 0.05,代表着该二次多元回归模型不显著,综上所述,可以在实验拟合当中应用该模型。分析该回归模型可知,相关系数 $R^2=0.9873$,信噪比 $Adeqprecision=20.679$,由此可以判断,模型具有高度的拟合度和可置信度,因此可将其在百香果果皮果脯感官评价中应用。CV 代表着离散系数,指的是标准值和均值的比值,在本实验中,感官评分拟合 $CV=0.52\%$ 。CV 可以反馈实验精度,其值越高,响应的可靠性越差,偏离均值也就越大。经过上述分析可以得知,回归模型拟合程度比较好,并且实验本身至存在比较小的误差,可以对百香果果皮果脯的感官评分进行较为准确的分析和估算,具有实践意义。

根据上图可以得知,可以通过响应面和等高线

的变化情况来直接全面的了解百香果皮果脯感官评分中甜味剂添加量(X_1)、糖煮时间(X_2)、烘干时间(X_3)所产生的影响。图5显示的内容是,两个因素交互作用的强弱以及其对响应值所产生的影响情况。通过观察 P 值可以得知,在百香果皮果脯的感官评分过程当中,影响由大到小分别是烘干时间(X_3)>甜味剂添加量(X_1)>糖煮时间(X_2)。将所有因素控制在实验范围内,各个因素交互都具有其最佳作用点,对其进行优化升级之后,可以获取该产品的最佳工作配方,各个参数的值分别是:甜味剂添加量为20%,糖煮和烘干时间分别为90 min和12.3 h,此时

获取到的感官评分是93.7638分。本文在对相关的设备参数以及产品的实际操作进行综合考虑之后,对该产品的最优工艺配方再次进行了3次试验,将各个参数的值进行了调整,即甜味剂添加量为25%,糖煮和烘干时间分别为90 min和12 h,此时获取到的感官评分是94.2±1.4分,接近理论预测值。

2.3 百香果皮果脯微生物指标

根据检测结果可以得知,优化工作制作得到的百香果皮果脯产品不论是其理化指标,还是其微生物检测都能够达到相应标准中对于果脯的规定。其微生物指标检测情况详见表7。

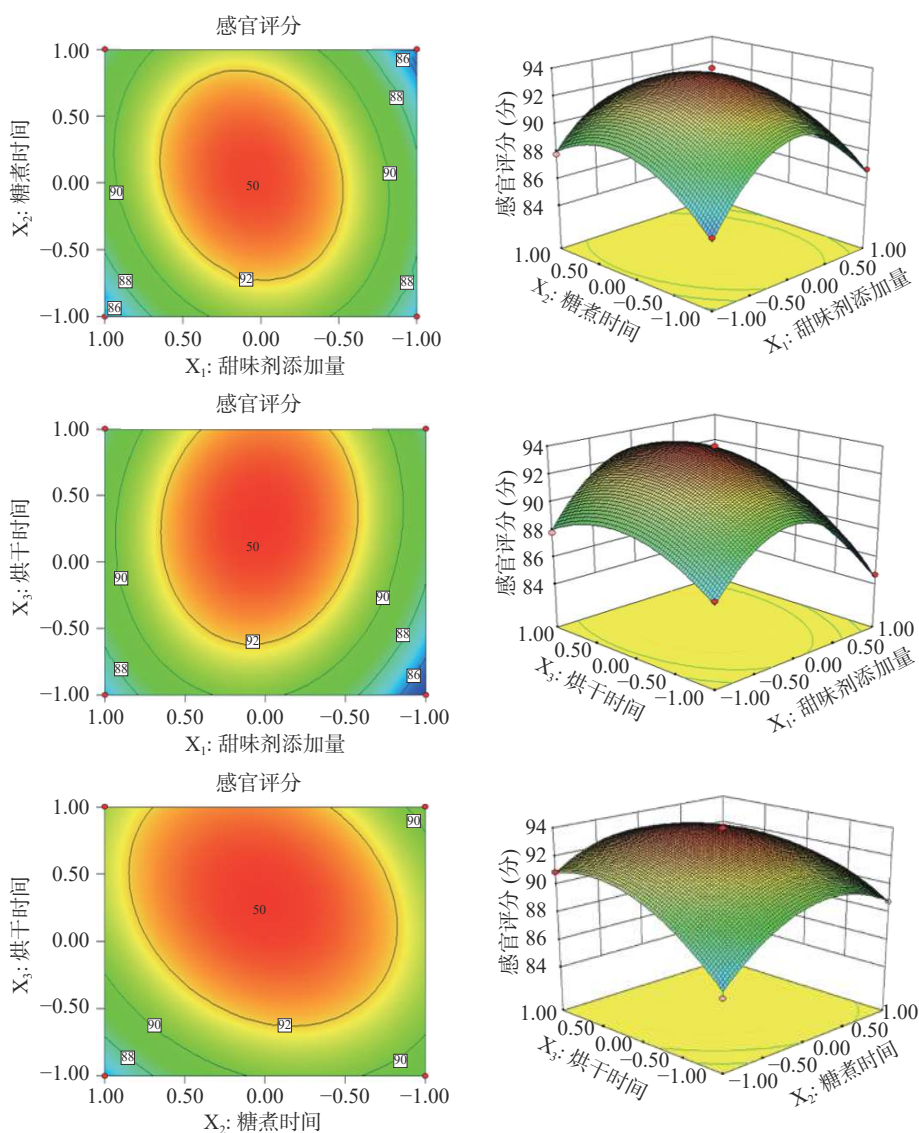


图5 响应曲面图及等高线图。

Fig.5 Response surface and contour plots

表7 百香果皮果脯微生物指标

Table 7 Microbial indicators of preserved passion fruit peel

指标	标准要求	检测数据	标准来源	评价
菌落总数(CFU/g)	$m=10$; $M=10^2$	<10	GB 4789.2-2016	合格
大肠杆菌(CFU/g)	$m=10^3$; $M=10^4$	<10	GB 4789.3-2016	合格
霉菌(CFU/g)	≤ 50	<10	GB 4789.15-2016	合格

注: m: 微生物指标可接受水平的限量值; M: 微生物指标的最高安全限量值。

3 结论

最佳百香果果皮果脯工艺配方: 甜味剂当中的白砂糖、葡萄糖和蜂蜜糖浆三者应当按照 2:2:1 的最佳配比进行搭配, 甜味剂和柠檬酸的添加剂量分别为 25% 和 0.8%, 糖煮和烘干的时间分别为 90 min 和 12 h, 按照这一配比进行加工制取的百香果果皮果脯不仅能够将其营养和风味进行较为完整的保留, 同时产品的品相也非常完美, 不仅颜色鲜艳并且产品的形态非常饱满, 味道也十分的可口, 较好的保留了百香果的水果香气, 除此之外, 百香果果皮果脯的所有理化和微生物指标都达到了国家标准。为了更好的推动百香果产业的发展, 本文通过制作百香果果皮果脯来帮助当地农民或者企业尽可能的降低成本消耗, 推动农产品经济发展, 有助于百香果产业的发展和进步。

参考文献

- [1] 李荣章, 向文能. 探析百香果功能研究及其开发进展[J]. 农民致富之友, 2018(23): 62. [LI Rongzhang, XIANG Wenneng. Research on the function of passion fruit and its development progress[J]. Friends of Farmers Get Rich, 2018(23): 62.]
- [2] 胡德辉, 赵莉娜, 谢文佩, 等. 百香果加工工艺研究进展[J]. 农产品加工, 2018(11): 65-67. [HU Dehui, ZHAO Lina, XIE Wenpei, et al. Research progress on processing technology of passion fruit[J]. Farm Products Processing, 2018(11): 65-67.]
- [3] 张丹, 田德雨, 郑晓楠, 等. 百香果枸杞复合饮料的研制[J]. 食品工程, 2018(3): 12-14, 21. [ZHANG Dan, TIAN Deyu, ZHENG Xiaonan, et al. Development of passion fruit and lycium barbarum compound beverage[J]. Food Engineering, 2018(3): 12-14, 21.]
- [4] LINGARAJU D P, SUDARSHANA M S, POORNACHANDRA R K, et al. Antibacterial evaluation and phytochemical screening of leaves and fruits of passiflora subpeltata Ortega[J]. BMR Microbiology, 2015, 1: 1-6.
- [5] OTIFY A, GEORGE C, ELSAYED A, et al. Mechanistic evidence of passiflora edulis (Passifloraceae) anxiolytic activity in relation to its metabolite fingerprint as revealed via LC-MS and chemometrics[J]. Food & Function, 2015, 6(12): 3807-3817.
- [6] CAZARIN C B B, RODRIGUEZ-NOGALES A, ALGIERI F, et al. Intestinal anti-inflammatory effects of passiflora edulis peel in the dextran sodium sulphate model of mouse colitis[J]. Journal of Function Foods, 2016, 26: 565-576.
- [7] 成文韬, 袁启凤, 肖国枫, 等. 西番莲果实生物活性成分及生理功能研究进展[J]. 食品工业科技, 2018, 39(16): 346-351. [CHENG Wentao, YUAN Qifeng, XIAO Tujian, et al. Research progress on bioactive components and physiological functions of passionflower fruit[J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(16): 346-351.]
- [8] 陈美花, 熊拯, 庞庭才. 气调包装对百香果贮藏品质的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(20): 287-292. [CHEN Meihua, XIONG Zheng, PANG Tingcai, et al. Effects of modified atmosphere packaging on storage quality of passion fruit[J]. Food Science, 2016, 37(20): 287-292.]
- [9] 潘建江, 陈雪梅. 百香果果汁果冻的工艺及配方优化[J]. 饮料工业, 2015, 18(3): 13-17. [PAN Jianjiang, CHEN Xuemei. Technology and formulation optimization of passion fruit juice jelly[J]. Beverage Industry, 2015, 18(3): 13-17.]
- [10] 郭正忠, 黄星源, 蔡冠英. 西番莲果酒的发酵工艺研究[J]. 酿酒, 2017, 44(4): 96-98. [GUO Zhengzhong, HUANG Xingyuan, CAI Guanying. Research on fermentation technology of passion fruit wine[J]. Liquor Making, 2017, 44(4): 96-98.]
- [11] 付满, 宁桂圆, 薛海媚, 等. 一种用于果酱的百香果果皮浆制备工艺[J]. 食品工业, 2019, 40(4): 86-91. [FU Man, NING Guiyuan, XUE Haimei, et al. A kind of preparation technology of passion fruit peel pulp for jam[J]. The Food Industry, 2019, 40(4): 86-91.]
- [12] 罗文珊, 吴佩佩, 谭强, 等. 百香果深加工技术研究进展[J]. 农产品加工, 2018(7): 69-74. [LUO Wenshan, WU Peipei, TAN Qiang, et al. Research progress on deep processing technology of passion fruit[J]. Farm Products Processing, 2018(7): 69-74.]
- [13] 戴钰钰. 百香果深加工工艺研究进展[J]. 漳州职业技术学院学报, 2020, 22(4): 93-98. [DAI Yujie. Research progress on deep processing technology of passion fruit[J]. Journal of Zhangzhou Institute of Technology, 2020, 22(4): 93-98.]
- [14] 赵叶, 陈艳芳, 赵存朝, 等. 百香果泡芙配方优化[J]. 食品工业科技, 2021, 42(8): 172-178. [ZHAO Ye, CHEN Yanfang, ZHAO Chunchao, et al. Recipe optimization of passion fruit puffs[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(8): 172-178.]
- [15] 胡敏, 欧阳军, 胡蓉, 等. 紫果百香果外果皮中花青素的提取工艺及稳定性研究[J]. 江西农业大学学报, 2018, 40(4): 825-834. [HU Min, OU Yangjun, HU Rong, et al. Study on the extraction process and stability of anthocyanins from the exocarp of passion fruit[J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 2018, 40(4): 825-834.]
- [16] 刘纯友, 殷朝敏, 黄永春, 等. 百香果皮多糖的分离纯化、结构特性及生物活性研究进展[J]. 食品工业科技, 2018, 39(8): 35-34. [LIU Chunyou, YIN Chaomin, HUANG Yongchun, et al. Research progress on separation, purification, structural properties and biological activity of passion fruit peel polysaccharides[J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(8): 35-34.]
- [17] 黄桂涛, 肖嘉琪, 余元善, 等. 百香果果脯工艺研究及品质测定[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(20): 53-58. [HUANG Guitao, XIAO Jiaqi, YU Yuanshan, et al. Research and quality determination of preserved passion fruit[J]. Food Research and Development, 2019, 40(20): 53-58.]
- [18] 孙健, 马欢, 陈旭成, 等. 不同总糖测定方法在含寡糖肥料检测中的应用对比[J]. 磷肥与复合化肥, 2018, 33(7): 43-45. [SUN Jian, MA Huan, CHEN Xucheng, et al. Application comparison of different total sugar determination methods in the detection of oligosaccharide-containing fertilizers[J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2018, 33(7): 43-45.]
- [19] 喻忠刚. 百香果果脯加工工艺[J]. 农村百事通, 2017(14): 21-22. [YU Zhonggang. Processing technology of preserved passion fruit[J]. Rural Know-How, 2017(14): 21-22.]
- [20] 冯媛媛, 李雪丹, 桑亚新, 等. 微波渗糖技术加工低糖欧李果

- 脯[J]. [食品科技](#), 2015, 40(7): 103–109. [FENG Yuanyuan, LI Xuedan, SANG Yaxin, et al. Processing of low-sugar preserved plums by microwave infiltration technology[J]. [Food Science and Technology](#), 2015, 40(7): 103–109.]
- [21] PRECIADO-IÑIGA G E, AMADOR-ESPEJO G G, BÁRCENAS M E. Blanching and antimicrobial mixture (potassium sorbate-sodium benzoate) impact on the stability of a tamarillo (*Cyphomandra betacea*) sweet product preserved by hurdle technology[J]. [J Food Sci Technol](#), 2018, 55(2): 740–748.
- [22] 陈柳米, 夏启雄, 薛梅, 等. 百香果果酱的制作工艺研究[J]. [农业研究与应用](#), 2021, 34(2): 58–62. [CHEN Liumi, XIA Qixiong, XUE Mei, et al. Research on the production technology of passion fruit jam[J]. [Agricultural Research and Application](#), 2021, 34(2): 58–62.]
- [23] 张洁, 韩苗苗, 史少华, 等. 荸荠蜜饯加工及保藏工艺优化[J]. [武汉轻工大学学报](#), 2016, 35(3): 94–97. [ZHANG Jie, HAN Miaomiao, SHI Shaohua, et al. Optimization of processing and preservation technology of water chestnut preserves[J]. [Journal of Wuhan Polytechnic University](#), 2016, 35(3): 94–97.]
- [24] 韩苗苗, 胡晓潇, 吴文钦, 等. 莲藕蜜饯加工及保藏工艺优化[J]. [食品科技](#), 2016, 41(8): 89–93. [HAN Miaomiao, HU Xiaoxiao, WU Wenqin, et al. Optimization of processing and preservation technology of candied lotus root[J]. [Food Science and Technology](#), 2016, 41(8): 89–93.]
- [25] 何文兵, 刘雪莲, 李娜. 集安白桃果脯加工工艺[J]. [林业科技通讯](#), 2015(3): 67–69. [HE Wenbing, LIU Xuelian, LI Na. Ji'an white peach preserved fruit processing technology[J]. [Forest Science and Technology](#), 2015(3): 67–69.]
- [26] 诸梦洁, 刘哲, 陆胜民. 百香果果酱加工工艺[J]. [浙江农业科学](#), 2018, 59(5): 751–752, 756. [ZHU Mengjie, LIU Zhe, LU Shengmin. Passion fruit jam processing technology[J]. [Journal of Zhejiang Agricultural Sciences](#), 2018, 59(5): 751–752, 756.]