

基于模糊综合数学评价研发 薄荷风味猕猴桃果酱

彭毅秦¹, 范湘凤¹, 郑旗², 涂彩虹², 狄飞达², 郭奇亮², 刘继^{2*}

(1. 四川旅游学院 烹饪科学重点实验室, 四川 成都 610100; 2. 成都农林科学院 农产品加工与贮藏研究所, 四川 成都 611130)

摘要: 以绿心猕猴桃为原料, 选择燕麦高葡聚糖、薄荷糖浆、蛋白糖和枸橼酸用量为变量, 模糊得分作为响应值, 通过 Design - Expert 8.0.6 软件进行 4 因素 3 水平 Box - Behnken 中心组合实验, 确定薄荷风味猕猴桃果酱配方。结果表明: 随薄荷糖浆、枸橼酸、蛋白糖量增加, 感官与品质综合得分显著降低; 随燕麦高葡聚糖增加, 感官与品质综合得分先增后降。燕麦高葡聚糖、薄荷糖浆和蛋白糖对果酱品质影响显著; 薄荷糖浆与燕麦高葡聚糖添加量之间具有显著正向交互作用; 最佳配方(质量比)为: 薄荷糖浆 6.00%、蛋白糖 0.06%、枸橼酸 0.20%、燕麦高葡聚糖 0.90%。

关键词: 猕猴桃果酱; 响应面; 工艺优化; 综合评价; 模糊数学; 加工工艺

中图分类号: TS 972.36 **文献标识码:** A **文章编号:** 2095 - 8730(2019)02 - 0072 - 07

猕猴桃属于猕猴桃科(*Actinidiaceae*)猕猴桃属(*Actinidia*), 又名奇异果、藤梨等, 是典型的呼吸跃变型果实。^[1] 猕猴桃营养丰富^[2], 含有抗坏血酸、总酚、花青素、叶绿素、类胡萝卜素、单宁等生物活性化合物, 同时含多种维生素、17 种氨基酸和 14 种矿物质。研究证实猕猴桃富含抗氧化物质^[3], 具有极高的营养保健价值。伴随消费者对健康需求的日益提升, 猕猴桃的市场需求逐年增大。因此近年来猕猴桃鲜果贮藏保鲜技术研究成为热点。大部分研究都利用天然诱导子壳寡糖在果蔬方面的保鲜, 如应用壳寡糖后, 芒果、猕猴桃、番石榴的保鲜时间都得以延长。^[4-5]

长期贮藏的猕猴桃鲜果往往伴随不可避免的食用品质下降, 同时猕猴桃生产季节集中常导致大量滞销果和残次果积压。猕猴桃产业在发展贮藏保鲜技术的同时, 也带动了果实深加工技术研究, 积极推动产业发展。猕猴桃果酱因其风味独特和品质稳定且长时间的货架期品质深受消费者喜爱。汪晓琳^[6]以蓝莓和胡萝卜为主要原料, 以正交设计

优化黄原胶配方, 响应面复合果酱配方, 使果酱色泽自然、口感细腻。寇灿等^[7]将蓝莓和玫瑰结合, 通过正交实验优化低糖蓝莓玫瑰花果酱配方。申光辉等^[8]以乳酸菌发酵方式加工低糖桑葚果酱, 并采用离子色谱法和 GC - MS 测定有机酸与挥发性物质的组成。李涵等^[9]以冷破碎技术加工猕猴桃果浆, 可显著提高果浆的酸度、果胶及蛋白质等。目前此类产品研究集中在原料及新型加工方式, 利用燕麦高葡聚糖和蛋白糖联用降低成品糖分, 及薄荷新风味的猕猴桃果酱新产品研发尚未见相关报道。本文采用 Design - Expert 8.0.6 软件进行 4 因素 3 水平 Box - Behnken 实验,^[10-12]探讨了薄荷糖浆、蛋白糖、枸橼酸、燕麦高葡聚糖对成品品质的影响, 开发薄荷风味新型猕猴桃果酱, 为猕猴桃果酱产品类型的进一步丰富探索了一条新途径。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

猕猴桃: 都江堰产绿心猕猴桃, 由成都市农林

收稿日期: 2018 - 01 - 03 * 通信作者

基金项目: 成都市农林科学院科研专项资助项目(510100 - 201700290 - 2017 - 00363); 四川省大学生创新创业项目(201811552006); 四川旅游学院 2018 年科研创新团队项目(18SCTUTD04)

作者简介: 彭毅秦(1990 -), 男, 四川成都人, 四川旅游学院烹饪科学重点实验室助理实验师, 从事食品加工与检测研究; 刘继(1984 -), 男, 四川成都人, 成都市农林科学院农产品加工与贮藏研究所高级工程师, 博士, 从事农产品贮藏与加工工程研究。

科学院提供;蔗糖:南京甘汁园糖业有限公司;薄荷糖浆:合肥嘉南贸易有限责任公司;蛋白糖:广州市京糖生物科技有限公司;燕麦高葡聚糖:河南悦欣生物科技有限公司;枸橼酸:大自然生物集团有限公司。

1.2 仪器与设备

TMS-PRO 型高精度专业食品物性分析仪:美国 FTC 公司;JC 13-DC-P3A 全自动色差仪:北京北信未来电子科技中心;YP-N 型电子天平:上海精密仪器仪表有限公司;SF 164 电磁炉:广东美的生活电器电磁炉制造有限公司;DS-1 高速组织捣碎匀浆机:上海标本模型厂。

1.3 实验方法

1.3.1 基础配方

以猕猴桃果浆 500 g 为标准,枸橼酸 0.2%、蔗糖 15%、燕麦高葡聚糖 0.9%、蛋白糖 0.06%、薄荷糖浆 8% 为基础配方。

1.3.2 薄荷风味猕猴桃果酱的制作工艺

制作工艺如下:

削皮→冲洗→制浆→称重→调配→熬制→装罐→杀菌→冷却→成品。

挑选大小均匀、成熟度基本一致的猕猴桃,去皮后用蒸馏水清洗表面的污渍后,将果肉切碎后均匀捣碎;按配方称量果浆及配料并混合均匀;在 80~90 °C 熬制 20 min,同时搅拌;趁热灌装并水浴杀菌 20 min,待自然冷却即得成品。

1.3.3 实验设计

研究不同添加量的薄荷糖浆、蛋白糖、枸橼酸、燕麦高葡聚糖对猕猴桃果酱品质影响,因素水平见表 1。

表 1 因素水平编码

因素 (%)	代码	水平 (%)		
		-1	0	1
薄荷糖浆添加量	A	5.00	6.00	7.00
蛋白糖添加量	B	0.05	0.06	0.07
枸橼酸添加量	C	0.10	0.20	0.30
燕麦高葡聚糖添加量	D	0.80	0.90	1.00

1.4 检测方法

1.4.1 感官评价

感官评价内容包括色泽、香味、滋味、组织状态、涂抹性。猕猴桃果酱的感官评分标准见表 2。

表 2 薄荷糖猕猴桃果酱感官评分标准

项目	得分	参考标准
色泽	20 分	指果酱颜色和光泽:绿色、无杂色为 8~10 分;黄绿色为 4~7 分;黄色为 1~3 分。光泽均匀为 8~10 分;光泽较均匀为 4~7 分;光泽不均匀为 1~3 分
风味	40 分	指果酱香气和酸甜度:薄荷、猕猴桃香气浓郁为 11~15 分;薄荷、猕猴桃香气适中为 6~10 分;无薄荷、猕猴桃香气为 1~5 分。酸甜适中,果味浓郁为 17~25 分;偏酸或偏甜、果味较淡为 9~16 分;过酸或过甜、有不良风味为 1~8 分
口感	15 分	清新爽口、口感细腻为 11~15 分;较清新、口感不够细腻为 6~10 分;不清新、口感粗糙为 1~5 分
组织状态	15 分	凝胶良好、无分层、表面无液体析出为 11~15 分;基本形成凝胶、有流动感为 6~10 分;未形成凝胶、易流动为 1~5 分
涂抹性	10 分	易于涂抹,涂层均匀、连续、光滑为 8~10 分;较易涂抹,涂层较均匀为 4~7 分;不易涂抹、涂层不连续为 1~3 分

1.4.2 质构测定

程序 TPA、探头 R36、形变量 50%、检测速度 60 mm/min、最小感应力 0.375 N。测定黏附性、胶黏性、最大黏附力,测定 5 次取平均值。

1.4.3 理化指标

总酸参照 GB/T 12456—2008 食品中总酸的测定;维生素 C 参照 GB 14754—2010 食品添加剂维生素 C(抗坏血酸)的测定;色差参照 JG 595—2002 测色色差计检定规程。

1.4.4 薄荷风味猕猴桃果酱品质综合评分

评价指标 $L(A_1)$ 、 $a^*(A_2)$ 、 $b^*(A_3)$ 、 $VC(A_4)$ 、黏附性(A_5)、胶黏性(A_6)、最大黏附力(A_7)、感官评分(A_8)、总酸(A_9) 根据前期研究,最终确定指标范围: $A_1 = 19 \sim 37$ 、 $A_2 = -9 \sim -1$ 、 $A_3 = 15 \sim 41$ 、 $A_4 = 0.05 \sim 0.30$ g/kg、 $A_5 = 1 \sim 22$ mJ、 $A_6 = 0.5 \sim 2.0$ N、 $A_7 = 0.05 \sim 2.00$ N、 $A_8 = 60 \sim 80$ 、 $A_9 = 8 \sim 26$ g/kg。^[13-14]

$$p(A_1) = \begin{cases} 1 & (A_1 \geq 37) \\ \frac{A_1 - 19}{37 - 19} & (19 < A_1 < 37) \\ 0 & (A_1 \leq 19) \end{cases}$$

$$p(A_2) = \begin{cases} 1(A_2 \geq -1) \\ \frac{A_2 + 9}{-1 + 9} & (-9 < A_2 < -1) \\ 0(A_2 \leq -9) \end{cases}$$

$$p(A_3) = \begin{cases} 1(A_3 \geq 41) \\ \frac{A_3 - 15}{41 - 15} & (15 < A_3 < 41) \\ 0(A_3 \leq 15) \end{cases}$$

$$p(A_4) = \begin{cases} 1(A_4 \geq 0.3) \\ \frac{A_4 - 0.05}{0.30 - 0.05} & (0.05 < A_4 < 0.30) \\ 0(A_4 \leq 0.05) \end{cases}$$

$$p(A_5) = \begin{cases} 1(A_5 \geq 22) \\ \frac{A_5 - 1}{22 - 1} & (1 < A_5 < 22) \\ 0(A_5 \leq 1) \end{cases}$$

$$p(A_6) = \begin{cases} 1(A_6 \geq 2.0) \\ \frac{A_6 - 0.5}{2.0 - 0.5} & (0.5 < A_6 < 2.0) \\ 0(A_6 \leq 0.5) \end{cases}$$

$$p(A_7) = \begin{cases} 1(A_7 \geq 2.00) \\ \frac{A_7 - 0.05}{2.00 - 0.05} & (0.05 < A_7 < 2.00) \\ 0(A_7 \leq 0.05) \end{cases}$$

$$p(A_8) = \begin{cases} 1(A_8 \geq 80) \\ \frac{A_8 - 60}{80 - 60} & (60 < A_8 < 80) \\ 0(A_8 \leq 60) \end{cases}$$

$$p(A_9) = \begin{cases} 1(A_9 \geq 26) \\ \frac{A_9 - 8}{26 - 8} & (8 < A_9 < 26) \\ 0(A_9 \leq 8) \end{cases}$$

综合评分 $Y = p(A_1) \times 10\% + p(A_2) \times 10\% + p(A_3) \times 10\% + p(A_4) \times 10\% + p(A_5) \times 10\% + p(A_6) \times 10\% + p(A_7) \times 10\% + p(A_8) \times 20\% + p(A_9) \times 10\%$ 。式中: $A_1 \sim A_9$ 各评价指标权重值分别为 10%、10%、10%、10%、10%、10%、10%、20%、10%。

2 单因素实验结果分析

2.1 薄荷糖浆添加量对果酱成品品质的影响

由表3可知,随薄荷糖浆添加量增加,感官得分、品质综合评分和 a^* 逐渐降低; L 、 b^* 趋势则与之相反;黏附性、胶黏性呈先显著减小后显著增高的趋势。综上所述,薄荷糖浆最佳添加比例拟定为 5%~7% 之间。

表3 薄荷糖添加量对猕猴桃果酱综合评分的影响

薄荷糖添加量(%)	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00	11.00
L	29.22 ± 0.33 ^c	29.48 ± 0.65 ^c	30.99 ± 0.43 ^b	31.23 ± 0.45 ^b	31.44 ± 0.36 ^b	35.57 ± 0.07 ^a	36.09 ± 0.36 ^a
a^*	-3.10 ± 0.31 ^a	-3.92 ± 0.20 ^b	-4.97 ± 0.31 ^c	-5.67 ± 0.19 ^d	-7.59 ± 0.10 ^e	-8.10 ± 0.31 ^f	-8.42 ± 0.20 ^g
b^*	16.87 ± 0.24 ^d	17.70 ± 0.76 ^c	18.97 ± 0.81 ^{bc}	19.10 ± 0.66 ^b	19.56 ± 0.22 ^b	19.94 ± 0.28 ^{ab}	20.54 ± 0.59 ^a
黏附性(mJ)	21.50 ± 2.28 ^a	15.66 ± 1.96 ^b	14.28 ± 1.08 ^c	17.81 ± 0.60 ^b	13.01 ± 0.25 ^d	14.19 ± 1.37 ^c	15.24 ± 1.08 ^b
胶黏性(N)	1.59 ± 0.13 ^a	1.33 ± 0.09 ^b	1.27 ± 0.071 ^b	0.95 ± 0.05 ^c	0.60 ± 0.01 ^d	1.22 ± 0.08 ^b	1.28 ± 0.04 ^b
最大黏附力(N)	1.32 ± 0.89 ^a	0.99 ± 0.13 ^b	0.93 ± 0.09 ^b	0.47 ± 0.02 ^c	0.30 ± 0.11 ^d	0.99 ± 0.11 ^b	1.08 ± 0.06 ^a
VC(g/kg)	0.27 ± 0.01 ^b	0.29 ± 0.02 ^a	0.29 ± 0.01 ^a	0.23 ± 0.08 ^c	0.24 ± 0.01 ^c	0.20 ± 0.08 ^d	0.14 ± 0.12 ^e
总酸(g/kg)	12.13 ± 0.06 ^c	13.75 ± 0.10 ^d	16.18 ± 0.10 ^c	17.09 ± 0.24 ^b	17.37 ± 0.16 ^b	17.37 ± 0.16 ^b	19.25 ± 0.46 ^a
感官评分	75.10 ± 9.37 ^a	75.10 ± 6.83 ^a	70.50 ± 9.0 ^b	72.20 ± 3.54 ^b	75.20 ± 7.14 ^a	68.80 ± 7.73 ^c	67.3 ± 5.78 ^c
综合评分	0.57 ± 0.01 ^a	0.53 ± 0.01 ^a	0.50 ± 0.01 ^b	0.47 ± 0.01 ^b	0.45 ± 0.01 ^b	0.38 ± 0.01 ^c	0.35 ± 0.01 ^c

注:同行不同字母数值间表示差异显著($P < 0.05$)。

2.2 蛋白糖添加量对果酱成品品质的影响

由表 4 可知,品质评判指标随蛋白糖添加量增加, a^* 显著增加, L 、 b^* 显著降低;黏附性、胶黏

性均呈先显著增加后显著减小趋势; VC 、总酸显著降低;综合评分波动不明显。综上所述,蛋白糖最佳添加比例为 0.05% ~ 0.07%。

表 4 蛋白糖添加量对猕猴桃果酱综合评分的影响

蛋白糖添加量(%)	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08
L	28.74 ± 0.75 ^a	26.87 ± 0.37 ^b	26.89 ± 1.68 ^b	25.66 ± 0.04 ^{bc}	25.15 ± 1.04 ^{cd}	24.22 ± 0.47 ^d	20.91 ± 0.93 ^e
a^*	-7.82 ± 0.67 ^b	-8.60 ± 0.61 ^c	-7.54 ± 0.20 ^b	-7.62 ± 0.90 ^b	-7.07 ± 0.65 ^b	-3.91 ± 0.78 ^a	-3.86 ± 0.12 ^a
b^*	38.49 ± 0.13 ^a	38.32 ± 0.20 ^a	34.63 ± 1.08 ^b	35.20 ± 1.31 ^b	30.74 ± 0.34 ^c	30.50 ± 0.76 ^c	15.03 ± 0.03 ^d
黏附性(mJ)	4.91 ± 1.09 ^{de}	8.08 ± 2.54 ^b	12.61 ± 0.18 ^a	4.37 ± 0.90 ^{de}	3.16 ± 1.05 ^e	5.41 ± 1.33 ^{cd}	5.77 ± 0.31 ^{cd}
胶黏性(N)	0.63 ± 0.06 ^c	0.76 ± 0.13 ^{bc}	1.11 ± 0.03 ^a	0.76 ± 0.08 ^{bc}	0.61 ± 0.06 ^c	0.81 ± 0.03 ^b	0.83 ± 0.08 ^b
最大黏附力(N)	0.39 ± 0.03 ^d	0.57 ± 0.14 ^b	0.89 ± 0.02 ^a	0.34 ± 0.08 ^d	0.34 ± 0.02 ^d	0.45 ± 0.19 ^c	0.43 ± 0.04 ^c
VC (g/kg)	0.29 ± 0.07 ^a	0.29 ± 0.07 ^a	0.25 ± 0.04 ^b	0.25 ± 0.04 ^b	0.23 ± 0.07 ^c	0.25 ± 0.08 ^b	0.24 ± 0.04 ^c
总酸(g/kg)	15.99 ± 0.05 ^a	15.50 ± 0.16 ^a	13.92 ± 0.03 ^b	13.83 ± 0.17 ^b	13.19 ± 0.03 ^b	11.44 ± 0.15 ^c	9.79 ± 0.52 ^d
感官评分	75.8 ± 5.75 ^a	64.00 ± 5.12 ^c	64.90 ± 5.85 ^c	69.30 ± 7.11 ^{bc}	78.00 ± 4.43 ^a	66.80 ± 12.44 ^{bc}	69.70 ± 4.54 ^b
综合评分	0.43 ± 0.04 ^d	0.41 ± 0.14 ^c	0.43 ± 0.06 ^d	0.48 ± 0.04 ^b	0.50 ± 0.04 ^a	0.46 ± 0.01 ^c	0.45 ± 0.08 ^c

注:同行不同字母数值间表示差异显著($P < 0.05$)。

2.3 枸橼酸添加量对果酱成品品质的影响

由表 5 可知,随枸橼酸添加量的增加, a^* 、 b^* 、黏附性呈先显著增大后显著减小趋势;综合评分、胶黏性呈显著减小趋势;最大黏附力呈显著

增加趋势。总酸含量显著增加,从 13.96 g/kg 增至 19.72 g/kg,高出 41.37%。综上所述,枸橼酸最佳添加量在 0.10 ~ 0.30% 之间。

表 5 枸橼酸添加量对猕猴桃果酱综合评分的影响

枸橼酸添加量(%)	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70
L	25.32 ± 0.14 ^d	25.50 ± 0.13 ^d	25.61 ± 0.09 ^d	25.93 ± 0.89 ^d	26.61 ± 0.33 ^c	28.91 ± 0.44 ^b	29.42 ± 0.03 ^a
a^*	-8.43 ± 0.26 ^d	-7.82 ± 0.21 ^{bc}	-7.33 ± 0.03 ^b	-7.75 ± 0.25 ^c	-6.82 ± 0.09 ^a	-6.84 ± 0.64 ^a	-7.52 ± 0.49 ^b
b^*	33.16 ± 0.31 ^d	34.43 ± 0.44 ^c	34.77 ± 0.50 ^c	37.97 ± 0.43 ^b	40.05 ± 0.47 ^a	28.54 ± 0.10 ^e	32.93 ± 1.33 ^d
黏附性(mJ)	6.87 ± 1.76 ^d	8.13 ± 1.03 ^b	7.47 ± 1.14 ^c	9.54 ± 2.16 ^a	8.76 ± 0.99 ^b	4.44 ± 0.62 ^e	9.48 ± 1.23 ^a
胶黏性(N)	1.04 ± 0.79 ^a	0.95 ± 0.08 ^a	0.90 ± 0.10 ^b	0.83 ± 0.05 ^c	0.74 ± 0.04 ^d	0.70 ± 0.90 ^d	0.22 ± 0.09 ^e
最大黏附力(N)	0.46 ± 0.83 ^d	0.47 ± 0.05 ^d	0.54 ± 0.15 ^d	0.65 ± 0.13 ^c	0.66 ± 0.07 ^c	0.67 ± 0.09 ^b	0.69 ± 0.02 ^a
VC (g/kg)	0.22 ± 0.07 ^d	0.22 ± 0.07 ^d	0.23 ± 0.08 ^c	0.24 ± 0.07 ^b	0.24 ± 0.08 ^b	0.24 ± 0.01 ^b	0.25 ± 0.07 ^a
总酸(g/kg)	13.96 ± 0.03 ^c	14.94 ± 0.03 ^d	16.18 ± 0.10 ^c	17.42 ± 0.12 ^c	19.12 ± 0.10 ^b	19.25 ± 0.15 ^b	19.72 ± 0.17 ^a
感官评分	78.50 ± 6.90 ^a	76.40 ± 6.63 ^a	70.50 ± 9.06 ^b	73.70 ± 5.33 ^a	73.70 ± 8.30 ^a	70.80 ± 5.05 ^b	69.80 ± 6.88 ^b
综合评分	0.47 ± 0.02 ^a	0.46 ± 0.02 ^a	0.45 ± 0.03 ^a	0.45 ± 0.02 ^a	0.44 ± 0.04 ^b	0.43 ± 0.07 ^b	0.38 ± 0.02 ^c

注:同行不同字母数值间表示差异显著($P < 0.05$)。

2.4 燕麦高葡聚糖添加量对果酱品质的影响

由表6可知,随燕麦高葡聚糖添加量的增加, L 、 b^* 、黏附性、胶黏性显著增加; VC 显著降低。感官评分与品质综合评分总体均呈先显著增加后

显著减小趋势,均在0.90%出现最高值79.68与0.44分。综上所述,燕麦高葡聚糖最佳添加比例拟定在0.8%~1%之间。

表6 燕麦高葡聚糖添加量对猕猴桃果酱综合评分的影响

燕麦高葡聚糖添加量(%)	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00	1.10
L	26.71 ± 0.39 ^d	27.32 ± 0.22 ^d	31.36 ± 0.44 ^c	31.96 ± 0.12 ^c	32.15 ± 0.16 ^c	32.82 ± 0.96 ^b	34.23 ± 0.75 ^a
a^*	-1.93 ± 0.25 ^b	-2.70 ± 0.44 ^c	-2.37 ± 0.24 ^c	-1.28 ± 0.18 ^a	-5.34 ± 0.13 ^d	-1.17 ± 0.26 ^a	-2.56 ± 0.17 ^c
b^*	19.77 ± 0.33 ^f	21.32 ± 0.32 ^e	24.19 ± 0.74 ^d	25.33 ± 0.75 ^c	26.55 ± 0.34 ^b	26.84 ± 0.23 ^b	28.45 ± 0.31 ^a
黏附性(mJ)	1.33 ± 0.26 ^d	5.09 ± 0.73 ^b	3.79 ± 1.09 ^c	5.01 ± 0.20 ^b	6.62 ± 0.61 ^a	6.44 ± 0.63 ^a	6.44 ± 1.37 ^a
胶黏性(N)	0.59 ± 0.23 ^c	0.75 ± 0.03 ^b	0.62 ± 0.05 ^c	0.75 ± 0.05 ^b	0.86 ± 0.07 ^a	0.85 ± 6.59 ^a	0.86 ± 0.05 ^a
最大黏附力(N)	0.19 ± 0.02 ^c	0.37 ± 0.09 ^b	0.32 ± 0.04 ^b	0.37 ± 0.85 ^a	0.38 ± 0.74 ^a	0.44 ± 0.05 ^a	0.49 ± 0.06 ^a
VC (g/kg)	0.26 ± 0.01 ^a	0.22 ± 0.02 ^b	0.21 ± 0.04 ^c	0.21 ± 0.05 ^c	0.18 ± 0.07 ^d	0.09 ± 0.04 ^e	0.07 ± 0.02 ^f
总酸(g/kg)	16.09 ± 0.03 ^a	12.13 ± 0.06 ^b	11.32 ± 0.03 ^c	10.13 ± 0.03 ^d	10.09 ± 0.03 ^d	10.02 ± 0.03 ^d	9.99 ± 0.03 ^e
感官评分	69.70 ± 6.61 ^c	75.90 ± 6.68 ^{ab}	71.80 ± 4.51 ^b	77.30 ± 6.50 ^{ab}	79.68 ± 7.77 ^a	78.40 ± 8.19 ^a	73.20 ± 6.86 ^{ab}
综合评分	0.40 ± 0.07 ^c	0.40 ± 0.06 ^c	0.41 ± 0.06 ^b	0.42 ± 0.06 ^b	0.44 ± 0.05 ^a	0.43 ± 0.03 ^b	0.38 ± 0.65 ^c

注:同行不同字母数值间表示差异显著($P < 0.05$)。

3 工艺优化实验设计

3.1 Box Behnken 实验设计与结果

在单因素实验基础上,以模糊综合数学评价为响应值,采用响应面实验设计优化其工艺,结果见表7。

表7 薄荷风味猕猴桃果酱最佳工艺响应面实验设计与结果

试验号	A/%	B/%	C/%	D/%	综合评分
1	0	0	0	0	0.76
2	1	-1	0	0	0.51
3	1	0	1	0	0.45
4	-1	1	0	0	0.50
5	0	1	0	1	0.52
6	-1	0	0	1	0.55
7	1	0	0	1	0.45
8	0	0	-1	1	0.52
9	0	0	1	1	0.52
10	0	0	0	0	0.68

续表7

试验号	A/%	B/%	C/%	D/%	综合评分
11	0	0	1	-1	0.46
12	0	-1	0	-1	0.46
13	-1	0	1	0	0.48
14	0	-1	-1	0	0.53
15	1	0	-1	0	0.45
16	0	0	0	0	0.72
17	0	0	0	0	0.69
18	0	-1	0	1	0.55
19	1	1	0	0	0.45
20	0	1	1	0	0.50
21	1	0	0	-1	0.46
22	0	0	0	0	0.74
23	0	1	0	-1	0.46
24	0	1	-1	0	0.50
25	0	0	-1	-1	0.46
26	-1	-1	0	0	0.53
27	-1	0	0	-1	0.46
28	-1	0	-1	0	0.48
29	0	-1	1	0	0.53

3.2 模型的建立与显著性检验

由表 8 可知,果酱的二次多项式模型为:

$Y = 0.72 - 1.90 \times 10^{-2}A - 1.60 \times 10^{-2}B - 3.30 \times 10^{-4}C + 2.90 \times 10^{-2}D - 8.41 \times 10^{-3}AB - 1.57 \times 10^{-3}AC - 2.60 \times 10^{-2}AD - 9.01 \times 10^{-4}BC - 8.50 \times 10^{-3}BD + 2.53 \times 10^{-3}CD - 0.13A^2 - 9.40 \times 10^{-2}B^2 - 0.12C^2 - 0.12D^2$ 。回归方程显著 ($P < 0.01$),失拟项不显著 ($P = 0.9572 > 0.05$), $R = 0.9703$, $R_{Adj}^2 = 0.9405$,表示模型能较好反映各因素对薄荷风味猕猴桃果酱综合得分的影响。 A^2 、 B^2 、 C^2 、 D^2 、 D 具有极显著性 ($P < 0.01$), A 、 B 、 AD 具有显著性 ($P < 0.05$),表明各自变量与因变量之间具有一定交互作用。由图 1 知, A 、 D 变化对评分影响较大,交互作用显著,在其各取值范围内存在极值。

表 8 回归方程的显著性分析

方差来源	平方和	自由度	F	P	显著性
模型	0.24	14	32.63	<0.0001	显著
A	4.126×10^{-3}	1	7.84	0.0142	*
B	2.960×10^{-3}	1	5.62	0.0326	*
C	1.307×10^{-6}	1	2.482×10^{-3}	0.9610	
D	0.010	1	19.38	0.0006	**
AB	2.828×10^{-4}	1	0.54	0.4757	
AC	9.897×10^{-6}	1	0.019	0.8929	
AD	2.630×10^{-3}	1	5.00	0.0422	*
BC	3.245×10^{-6}	1	6.165×10^{-3}	0.9385	
BD	2.892×10^{-4}	1	0.55	0.4708	
CD	2.551×10^{-5}	1	0.048	0.8290	
A ²	0.11	1	204.95	<0.0001	**
B ²	0.058	1	109.60	<0.0001	**
C ²	0.087	1	164.33	<0.0001	**
D ²	0.089	1	168.85	<0.0001	**
残差	7.370×10^{-3}	14			
失拟项	2.976×10^{-3}	10	0.27	0.9572	不显著
净误差	4.394×10^{-3}	4			
总离差	0.25	28			
R	0.9703				
R _{Adj} ²	0.9405				
CV	4.33				

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

3.3 最佳条件的预测及验证实验

采用 Design - ExPert 8.0.6 软件对回归方程进行分析,得到的最优工艺条件为:薄荷糖浆

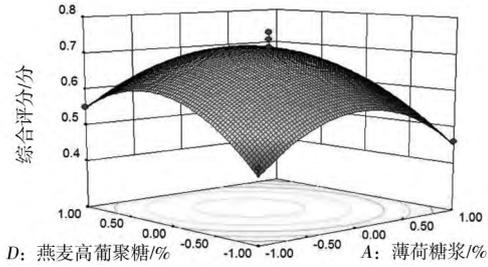


图 1 薄荷糖浆与燕麦高葡聚糖添加量对猕猴桃果酱综合得分的响应面

5.35%、蛋白糖 0.06%、枸橼酸 0.20%、燕麦高葡聚糖 0.92%,此条件猕猴桃果酱具有光泽度高、香气适中、口感细腻等特点,品质综合评分预测值为 0.76。为方便实际操作调整为薄荷糖浆 6.00%、蛋白糖 0.06%、枸橼酸 0.20%、燕麦高葡聚糖 0.90%,进行 5 次平行试验^[15],猕猴桃果酱的综合评分值为 0.756,与预测值相近,证实模型优化所得工艺配方参数准确可行。

4 结论

本实验以薄荷糖浆、蛋白糖、枸橼酸、燕麦高葡聚糖添加量为自变量,以综合评分分值为响应值,对猕猴桃果酱制作配方进行优化。实验结果表明:薄荷糖浆添加量对果酱品质的影响最显著。根据二次多项回归方程拟合出的最优配方为薄荷糖浆 6.00%、蛋白糖 0.06%、枸橼酸 0.20%、燕麦高葡聚糖 0.90%。此条件下猕猴桃果酱的色泽均匀、组织形态良好、风味独特。5 次平行验证试验综合平均得分为 0.756 与预测值相近,表明响应面法优化出的猕猴桃果酱配方是可信的。

参考文献:

[1] GAO S P, HU K D, HU L Y, et al. Hydrogen sulfide delays Postharvest senescence and Plays an antioxidative role in fresh - cut kiwifruit [J]. HortScience, 2013, 48: 1385 - 1392.

[2] LESPINARD A R, BAMBICHA R R, MASCHERONI R H. Quality Parameters assessment in kiwi jam during Pasteurization. Modelling and optimization of the thermal process [J]. Food & BioProducts Processing, 2012, 90 (4): 799 - 808.

[3] PARK Y S, HAM K S, PARK Y K, et al. The effects of treatment on quality parameters of smoothie - type 'Hayward' kiwi fruit beverages [J]. Food Control, 2016, 70: 221 - 228.

- [4] HUANG Z Y, LI J, ZHANG J F, et al. Physicochemical properties enhancement of Chinese kiwi fruit (*Actinidia chinensis* Planch) via chitosan coating enriched with salicylic acid treatment [J]. *Journal of Food Measurement and Characterization* 2017, 11(1): 184–191.
- [5] NAIR M S, SAXENA A, KAUR C. Effect of chitosan and alginate based coatings enriched with pomegranate peel extract to extend the postharvest quality of guava (*Psidium guajava* L.) [J]. *Food Chemistry* 2018, 240(1): 245–252.
- [6] 汪晓琳. 低糖蓝莓胡萝卜复合果酱制作工艺的研究 [J]. *保鲜与加工* 2017, 17(5): 30–35.
- [7] 寇灿, 莫新春, 李琼, 等. 低糖型蓝莓玫瑰花复合保健果酱的研制 [J]. *食品工业* 2017, 38(7): 134–137.
- [8] 申光辉, 冯孟, 张志清, 等. 乳酸菌发酵低糖桑葚复合果酱工艺优化及其风味成分分析 [J]. *江苏农业学报* 2018, 34(1): 158–165.
- [9] 李涵, 杨天歌, 向珈慧, 等. 冷破碎工艺对猕猴桃果浆品质的影响 [J]. *食品工业科技* 2017, 38(4): 259–262.
- [10] 宋跃, 李淑娟, 白晓明, 等. 响应面优化长白落叶松体胚形成早期培养条件的研究 [J]. *植物研究*, 2017, 37(4): 613–620.
- [11] 高腾, 丁婵, 苏建青. 响应面优化超声辅助提取刺五加茎皮黄酮工艺 [J]. *中国畜牧杂志* 2017, 53(8): 114–118.
- [12] 肖怀秋, 李玉珍, 杨涛, 等. 番茄猕猴桃复合果蔬饮料工艺的响应面优化 [J]. *食品研究与开发* 2017, 34(17): 59–64.
- [13] 池春欢, 汪云友, 陈厚荣. 多指标综合评分法优化辣椒热泵-微波联合干燥工艺 [J]. *食品与发酵工业*, 2018, 44(6): 172–179.
- [14] 张斌, 孙兰萍, 胡海燕, 等. 基于模糊数学和响应面法的超高压嫩化河蚌肉的感官评价 [J]. *食品与发酵工业* 2017, 43(6): 157–162.
- [15] 任政伟, 彭毅秦, 丁捷, 等. 响应面法优化泡椒猪肝超声波腌制液配方 [J]. *美食研究* 2018, 35(1): 28–33.

Development of mint-flavored kiwi jam based on fuzzy comprehensive mathematics evaluation

PENG Yiqin¹, FAN Xiangfeng¹, ZHENG Qi², TU Caihong², DI Feida², GUO Qiliang², LIU Ji^{2*}

(1. Cuisine Science Key Laboratory of Sichuan Province, Sichuan Tourism University, Chengdu, Sichuan 610100, China;

2. Agricultural Product Storage and Processing Research Institute, Academy of Agriculture and Forestry of Chengdu, Chengdu, Sichuan 611130, China)

Abstract: Using green kiwifruit as raw material, the quantities of high oat glucan, mint syrup, protein sugar and citric acid as the variables, and the fuzzy score as the response value, the 4-factor 3-level Box-Behnken center composite design with Design-Expert 8.0.6 software was applied to optimize the mint-flavored kiwi jam recipe. The results showed that with the increase of the amount of mint syrup, citric acid and protein sugar, the comprehensive scores of sensory and quality were significantly reduced. With the increase of oat glucans, the sensory and comprehensive scores increased first and then decreased. High oat glucan, mint syrup and protein sugar have significant effects on the quality of jam; there was a significant positive interaction between mint syrup and high oat glucan; the best recipe was consisted of 6.00% of mint syrup, 0.06% of protein sugar, 0.20% of citric acid, and 0.90% of high oat glucan.

Key words: kiwi jam; response surface methodology; process optimization; comprehensive evaluation; fuzzy mathematics; processing technology

(责任编辑: 赵 勇)