

孙娜, 朱秀娟, 王林林, 等. 模糊数学结合响应面法优化无水瓢儿软罐头加工工艺 [J]. 福建农业科技, 2025, 56 (5): 07-14.

模糊数学结合响应面法优化无水瓢儿软罐头加工工艺



孙娜, 朱秀娟, 王林林, 叶文斌

(陇南师范学院, 甘肃 成县 742500)

摘要: 为了解决传统瓢儿糖水罐头在加工过程中易产生后味苦涩、果肉软烂及风味物质流失等问题, 选取新鲜瓢儿为主要原料, 以蜂蜜、冰糖、白砂糖等为辅料, 经过原料选择、清洗、护色、烫漂、硬化、装罐、蒸制后制得新型无水瓢儿软罐头。以模糊感官评价为指标, 通过单因素及 Box-Behnken 中心组合设计试验对无水瓢儿软罐头加工工艺进行了优化。结果表明: 影响无水瓢儿软罐头品质的因素由大到小依次为混合糖添加量>蒸煮时间>瓢儿添加量, 优化获得无水瓢儿软罐头最佳配方为瓢儿添加量 82%、混合糖添加量 23%、蒸煮时间 11 min。在此条件下, 所得产品具有独特的瓢儿果香味, 色泽鲜艳, 酸甜适口, 并符合商业无菌要求。

关键词: 无水; 野生瓢儿; 软罐头; 加工工艺

中图分类号: TS295.6 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2301 (2025) 05-0007-08

DOI: 10.13651/j.cnki.fjnykj.2025.05.002

Optimization of the Processing Technology of Anhydrous Soft Cans of Wild Strawberries by Fuzzy Mathematics Combined with Response Surface Method

SUN Na, ZHU Xiu-juan, WANG Lin-lin, YE Wen-bin

(Longnan Normal University, Chengxian, Gansu 742500, China)

Abstract: In order to solve the problems of bitter aftertaste, soft and rotten flesh, and loss of flavor substances in the traditional sugar water can of wild strawberries during the processing, the fresh wild strawberries was selected as the main raw material, with honey, rock sugar, and white granulated sugar as the auxiliary materials. After the raw material selection, cleaning, color protection, blanching, hardening, canning, and steaming, a new type of anhydrous soft cans of wild strawberries was produced. By using the fuzzy sensory evaluation as the indicator, the processing technology of anhydrous soft cans of wild strawberries was optimized through the single factor and Box-Behnken central composite design experiments. The results showed that the factors affecting the quality of anhydrous soft cans of wild strawberries were in the order of mixed sugar content>cooking time>canned food content, from highest to lowest. The optimal formula for optimizing the production of anhydrous soft cans of wild strawberries was as follows: the pot addition of 82%, the mixed sugar addition of 23%, and the cooking time of 11 minutes. Under these conditions, the obtained product had a unique pot fruit aroma, bright color, sweet and sour taste, and met the requirements of commercial sterility.

Key words: Anhydrous; Wild strawberries; Soft can; Processing technology

瓢儿隶属于蔷薇科草莓属, 是一种具有重要开发潜力的野生水果资源, 民间俗称“藻兹”“漂泡儿”^[1]。其果实富含黄酮类化合物、维生素 C、可溶性糖、氨基酸、有机酸及多种矿物质元素^[2], 兼

收稿日期: 2025-04-16

作者简介: 孙娜, 1988 年生, 女, 讲师, 主要从事营养食品加工及功能性成分研究。

基金项目: 陇南市社会化出资科技计划项目 (2024SZ19); 成县县级计划项目 (2023-x101); 陇南师范学院横向项目 (CXLCHX2024-01)。

具食药同源特性, 传统医学认为其具有清热解毒、润肺止咳、补血健脾及抑制肿瘤细胞活性等功效^[3]。野生瓢儿果实体积较小、果皮薄嫩, 采后机械损伤与微生物感染风险显著高于栽培草莓, 常温贮藏下极易腐烂变质^[4]。受限于其高易损性, 目前仅能以“现采现销”模式或软罐头、速冻鲜果等初级加工产品供应市场, 导致这一特色资源的经济与营养价值未得到充分挖掘, 季节性滞销与损耗问题突出。

市售瓢儿软罐头多数为糖水软罐头, 存在口感过于甜腻, 后味略有苦涩, 果实重量轻, 多数漂浮于糖水之上等问题, 严重制约了瓢儿软罐头的市场发展^[5]。本研究以无水瓢儿软罐头为对象, 引入模糊数学-响应面法联合优化模型, 通过构建多指标模糊综合评价体系, 利用响应面法建立工艺参数与综合评分的二次回归模型, 确定无水瓢儿软罐头最优加工工艺参数, 不仅可为提升瓢儿软罐头的工业化生产品质提供理论依据, 也为助力地域特色食品向高附加值商品转化提供新的途径。

1 材料与方法

1.1 试验材料

瓢儿采自甘肃省陇南成县黄渚镇碌碡沟, 选择果实完整无病虫害, 无显著机械损伤, 保留果梗结构, 单果大小及形态保持均一性, 生理成熟度达到商业采收标准。

1.2 仪器与试剂

1.2.1 主要仪器 FA2004N 型电子天平 (上海精密科学仪器有限公司)、手持折光仪 (上海天垒仪器仪表有限公司)、CM-GYQ50 型高压灭菌锅 (山东创美机械科技有限公司)。

1.2.2 主要试剂 蜂蜜、白砂糖、冰糖均为食品级, 采购于超市; D-异抗坏血酸钠 (D-sodium erythorbate)、氯化钠 (NaCl)、柠檬酸 (citric acid)、氯化钙 (CaCl_2) 和 δ -葡萄糖酸内酯 (δ -gluconolactone), 均购自河南瑞仁生物工程有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 工艺流程 原料选择、清洗→护色→烫漂→硬化→装罐→蒸制→成品。

1.3.2 操作要点 (1) 原料选择、清洗

选取成熟度均匀 (约八成熟) 的新鲜瓢儿果实, 剔除机械损伤、病斑及发育不良的个体。将筛

选后的果实置于流动清水 (25 ± 2) $^{\circ}\text{C}$ 中漂洗 3 min, 去除表面杂质及残留物, 25°C 条件下静置 30 min 自然沥干, 备用。

(2) 护色

将预处理后的完整果实浸渍于复合护色液 (含 0.3% D-异抗坏血酸钠、0.2% 柠檬酸及 1.5% NaCl, w/v) 中, 于 (25 ± 1) $^{\circ}\text{C}$ 条件下恒温浸泡 20 min^[6]。处理完成后, 采用符合 GB 5749-2022《生活饮用水卫生标准》标准的饮用水冲洗果实表面残留护色剂 3 次, 每次 30 s, 沥干备用。

(3) 烫漂

将预处理后的瓢儿果坯置于恒温水浴 (95 ± 1) $^{\circ}\text{C}$ 中进行热烫处理, 料液比 1:5 (m/v), 持续 2 min 以达到完全灭酶效果。处理完毕后立即转入冰水混合物 ($0 \sim 4^{\circ}\text{C}$) 中快速冷却 30 s, 该工艺可有效钝化多酚氧化酶 (PPO) 和过氧化物酶 (POD) 活性, 同时增强组织细胞膜通透性, 促进后续糖渍工艺中填充物质与糖液的渗透。

(4) 硬化

采用复合硬化剂溶液 (含 1.5% CaCl_2 与 1% δ -葡萄糖酸内酯, w/v) 对瓢儿果坯进行质构改良处理^[7]。在 $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$ 恒温条件下, 以 1:8 (m/v) 的固液比浸渍 4 h, 使钙离子与果胶物质充分交联。处理完成后, 用三级梯度冷却水 ($15^{\circ}\text{C} \rightarrow 10^{\circ}\text{C} \rightarrow 5^{\circ}\text{C}$) 分段冲洗 180 s, 彻底去除表面残留硬化剂。

(5) 装罐

将预处理后的瓢儿果均匀装填至灭菌玻璃容器中, 按果坯质量 20% 的比例添加混合糖 (蜂蜜: 冰糖: 白砂糖=1:2:1, w/w/w)。采用分层装填方式, 每 100 g 果坯对应 20 g 混合糖, 确保混合糖均匀分布。装瓶后静置 30 min 促进初始渗透平衡。

(6) 蒸制

将装填好的玻璃罐置于沸水浴 (100 ± 1) $^{\circ}\text{C}$ 中进行巴氏杀菌处理, 维持 10~15 min (罐中心温度 $\geq 95^{\circ}\text{C}$)。杀菌完成后立即移出, 采用真空封罐机在 85°C 以上热态条件下完成密封, 确保罐内真空度达到 0.04~0.05 MPa。

(7) 成品

将成品瓢儿软罐头置于控温仓储环境 ($20 \sim 30^{\circ}\text{C}$) 中进行为期 7 d 的熟化稳定处理, 进行品质检验。

1.3.3 无水瓢儿软罐头的单因素试验设计 采用单因素试验考察瓢儿添加量、混合糖 (蜂蜜: 冰糖: 白

砂糖)质量比、混合糖添加量和蒸煮时间 4 个因素对无水瓢儿软罐头感官评分的影响。其中瓢儿添加量设 70%、74%、78%、82%、86%，混合糖(蜂蜜:冰糖:白砂糖)质量比设 2:1:1、1:1:1、1:2:1、1:3:1、1:1:2，混合糖添加量设 18%、20%、22%、24%、26%，蒸煮时间设 6、8、10、12、14 min。各因素固定水平分别为瓢儿添加量为 78%，混合糖质量比 1:2:1，混合糖添加量为 22%，蒸煮时间 10 min。

1.3.4 响应曲面试验设计 基于前期单因素试验结果，本研究采用 Box-Behnken 中心组合设计方法，系统考察瓢儿添加量(A)、混合糖添加量(B)和蒸煮时间(C)对无水瓢儿软罐头感官品质的影响。以感官评价综合得分(Y)作为响应值，建立三因素三水平的响应面模型。无水瓢儿软罐头工艺优化响应面分析因子和水平见表 1。

表 1 无水瓢儿软罐头工艺优化响应面分析因子及水平
Table 1 Response surface analysis factors and levels for the process optimization of anhydrous soft cans of wild strawberries

编码水平	响应变量		
	A: 瓢儿添加量 (%)	B: 混合糖添加量 (%)	C: 蒸煮时间 (min)
-1	74	20	8
0	78	22	10
1	82	24	12

1.4 感官评价

组建 10 名经专业培训的食品感官评价员，从无水瓢儿软罐头的色泽、组织状态、口感及风味方面建立四维评分系统，具体评价标准如表 2。

表 2 无水瓢儿软罐头感官评判标准
Table 2 Sensory evaluation criteria of anhydrous soft cans of wild strawberries

评语	很好	较好	一般	较差	差
色泽	呈红色，色泽光亮，均匀一致	呈红色，色泽基本均匀一致	呈淡红色，色泽基本均匀一致	呈淡红色，色泽不均匀	呈暗红色，色泽暗淡且不均匀
组织状态	形态饱满，果形完整，果肉均匀悬浮于糖液中，无杂质	形态基本饱满，果形基本完整，果肉均匀悬浮于糖液中，无杂质	形态不饱满，果形基本完整，有少量果肉上浮或下沉于糖液中，无杂质	形态不饱满，果形不完整，果肉上浮或下沉于糖液中，无杂质	形态干瘪，果形不完整，果肉上浮或下沉于糖液中，有杂质
口感	口感酸甜适中，果肉韧性有嚼劲	口感酸甜适中，果肉韧性较好	口感偏甜或偏酸，果肉韧性一般	口感偏甜或偏酸，果肉韧性差	口感偏甜或偏酸，果肉韧性差，有苦涩味
风味	具有浓郁的瓢儿果香味，无异味	具有清香的瓢儿果香味，无异味	瓢儿果香味寡淡，有少量异味	瓢儿香味不足，有异味	无瓢儿香味，有明显异味

1.5 数学模型的建立

参考叶琳弘等^[8]方法并改进，根据模糊数学评价法，选取色泽、组织状态、口感、风味 4 个核心指标构成评价指标集合 U，即 $U=\{\text{色泽，组织状态，口感，风味}\}$ ；将感官评价标准划分为 5 级，评语等级集合 $V=\{\text{优，良，中，合格，差}\}$ ，通过试验统计(感官评分)确定每个指标在评语等级上的隶属度，形成矩阵 $R_i(i=1, 2, \cdots, 17)$ 。

通过强制决定法确定各指标权重分配为 $A=\{0.20, 0.30, 0.20, 0.30\}$ ，对应评分占比分别为 20%、30%、20%、30%，总权重系数为 1，则 $Y_i=A \cdot R_i$ ；将模糊评价等级集合 K 设定为五级标

准：优(100)、良(80)、中(60)、合格(40)、差(0)，即 $K=\{100, 80, 60, 40, 0\}$ ，则无水瓢儿软罐头模糊综合评价得分即为 $T_i=Y_i \times K$ 。

1.6 成品品质测定

净含量测定依据 GB/T 10786-2022《软罐头食品的检验方法》^[9]；可溶性固形物含量采用谭属琼研究团队^[10]建立的分析方法；基于 GB 4789.26-2023《商业无菌检验》^[11]开展商业无菌的检测。

1.7 数据分析

利用 Excel 2010 进行单因素和模糊数学评分实验结果分析；利用 Design Expert 12 软件进行响应面法分析及多元回归建模。

2 结果与分析

2.1 单因素试验结果分析

2.1.1 瓢儿添加量对无水软罐头感官品质的影响

由图 1 可知, 瓢儿添加量对无水瓢儿软罐头感官评分的影响呈现先升后降的变化趋势。当添加量在 70%~78% 范围内时, 随着瓢儿比例的增加, 感官评分呈现显著上升趋势 ($P<0.05$), 在 78% 添加量时达到最大值 (92.5 ± 1.3) 分, 此时瓢儿软罐头呈现最优的品质特征; 当添加量超过 78% 后, 由于体系中糖酸比例失衡, 酸味物质相对过量, 使得感官评分呈现明显下降趋势^[12]。因此, 综合风味特性和工艺稳定性考量, 最终确定瓢儿添加量为 78% 最佳。

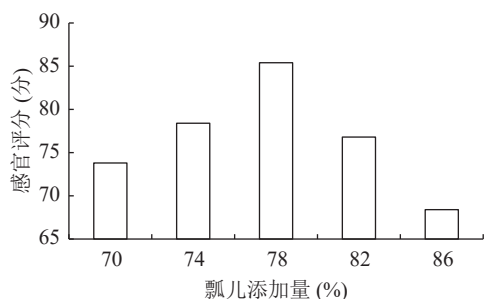


图 1 瓢儿添加量对无水软罐头感官品质的影响

Fig. 1 Effect of wild strawberries addition on the sensory quality of anhydrous soft cans

2.1.2 混合糖质量比对无水瓢儿软罐头感官品质的影响

由图 2 可知, 当混合糖 (蜂蜜:冰糖:白砂糖) 质量比为 1:2:1 时, 瓢儿软罐头感官评分最高, 这时软罐头的感官品质最好, 这可能是 3 种糖源的协同作用形成了理想的风味层次, 其中冰糖提供主体甜味, 蜂蜜贡献特征花香, 而白砂糖则起到快速渗透的作用^[13]。因此, 综合风味特性和工艺稳定性考量, 最终确定 1:2:1 为最佳混合糖配比。

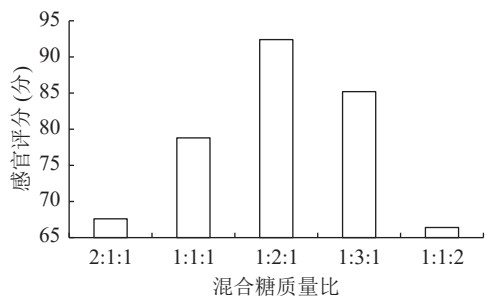


图 2 混合糖质量比对无水瓢儿软罐头感官品质的影响

Fig. 2 Effect of mixed sugar mass ratio on the sensory quality of anhydrous soft cans of wild strawberries

2.1.3 混合糖添加量对无水陇南野生瓢儿软罐头感官品质的影响 由图 3 可知, 混合糖添加量对无水瓢儿软罐头感官评分的影响亦呈现先升后降的变化趋势。当添加量在 18%~22% 范围内时, 随着混合糖含量的增加, 感官评分显著提升, 在 22% 添加量时达到峰值, 此时无水瓢儿软罐头呈现最优品质特征。然而, 当添加量超过 22% 后, 由于渗透压过高导致明显的甜腻感、促进蔗糖结晶和降低果实脆度等问题^[14]。因此, 综合风味特性和工艺稳定性考量, 最终确定 22% 为最佳混合糖添加量。

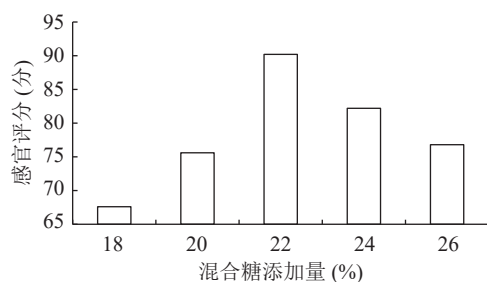


图 3 混合糖添加量对无水瓢儿软罐头感官品质的影响

Fig. 3 Effect of mixed sugar addition on the sensory quality of anhydrous soft cans of wild strawberries

2.1.4 蒸制时间对无水陇南野生瓢儿软罐头感官品质的影响

由图 4 可知, 在 6~10 min 处理范围内, 随着蒸制时间的延长, 感官评分呈现稳定上升趋势, 在 10 min 时达到最大值 (90.5 ± 0.8) 分。此时产品达到冰糖完全溶解和果胶适度降解, 保证了果实完整性和理想质地。当蒸制时间超过 10 min 后, 热损伤效应开始显现, 导致果实过度软化, 促进美拉德反应发生及造成维生素 C 的损失。因此, 综合品质控制和能耗考量, 最终确定 10 min 为最优蒸制时间参数。

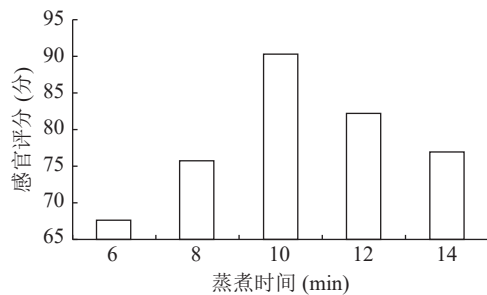


图 4 蒸制时间对无水瓢儿软罐头感官品质的影响

Fig. 4 Effect of steaming time on the sensory quality of anhydrous soft cans of wild strawberries

2.2 响应面试验结果分析

2.2.1 模糊数学感官评价结果 组织 10 名专业感官评价员对 17 组配方样品进行盲评，评价采用结

构化评分表，从色泽、组织状态、口感和风味四个维度进行量化评分，得到无水瓢儿软罐头的感官评价结果见表 3。

表 3 无水瓢儿软罐头感官评价结果
Table 3 Sensory evaluation results of anhydrous soft cans of wild strawberries

序号	色泽					组织状态					口感					风味				
	优	良	中	合格	差	优	良	中	合格	差	优	良	中	合格	差	优	良	中	合格	差
1	0	0	8	2	0	2	7	1	0	0	0	0	7	2	1	0	8	2	0	0
2	0	4	5	1	0	0	3	6	1	0	0	4	6	0	0	0	3	6	1	0
3	0	7	3	0	0	0	7	3	0	0	0	6	2	2	0	0	8	2	0	0
4	0	7	3	0	0	0	8	2	0	0	0	6	2	2	0	0	8	2	0	0
5	0	10	0	0	0	0	8	2	0	0	9	1	0	0	0	9	1	0	0	0
6	0	4	6	0	0	0	7	3	0	0	0	6	4	0	0	0	3	6	1	0
7	0	7	3	0	0	2	4	4	0	0	0	0	7	3	0	0	4	5	1	0
8	6	2	2	0	0	7	2	1	0	0	6	2	2	0	0	7	2	1	0	0
9	9	1	0	0	0	8	2	0	0	0	0	10	0	0	0	8	1	1	0	0
10	9	1	0	0	0	0	10	0	0	0	8	1	1	0	0	8	2	0	0	0
11	0	7	3	0	0	3	5	2	0	0	0	6	2	2	0	0	8	2	0	0
12	9	1	0	0	0	0	10	0	0	0	9	1	0	0	0	0	9	1	0	0
13	0	10	0	0	0	0	8	1	1	0	9	1	0	0	0	0	10	0	0	0
14	0	9	1	0	0	0	8	2	0	0	0	0	7	2	1	0	8	2	0	0
15	9	1	0	0	0	8	2	0	0	0	0	10	0	0	0	8	1	1	0	0
16	9	1	0	0	0	8	2	0	0	0	5	5	0	0	0	8	1	1	0	0
17	0	8	2	0	0	1	6	3	0	0	2	6	2	0	0	0	2	6	2	0

2.2.2 模糊矩阵的建立结果 以表 3 中第 1 个无水瓢儿软罐头样品为例，建立色泽、组织状态、口感和风味 4 个因素的模糊评价矩阵： $U_{\text{色泽}}=(0, 0, 0.8, 0.2, 0)$ ， $U_{\text{组织状态}}=(0.2, 0.7, 0.1, 0, 0)$ ， $U_{\text{口感}}=(0, 0, 0.7, 0.2, 0.1)$ ， $U_{\text{风味}}=(0, 0.8, 0.2, 0, 0)$ ，则第 1 个无水瓢儿软罐头样品的因素评价矩阵如下：

$$R_1 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0.8 & 0.2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.2 & 0.7 & 0.1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

基于上述模糊评价矩阵构建方法，可得其余 16 个无水瓢儿软罐头样品 ($R_2 \sim R_{17}$) 的评价矩阵。此外，感官指标综合评分矩阵

$$Y_1 = A \times R_1 = \{0.20, 0.30, 0.20, 0.30\} \times \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0.8 & 0.2 & 0 \\ 0.2 & 0.7 & 0.1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.7 & 0.2 & 0.1 \\ 0 & 0.8 & 0.2 & 0 & 0 \end{pmatrix} = \{0.06, 0.45, 0.39, 0.08, 0.02\}$$

同理可得到另外 16 个无水瓢儿软罐头样品的感官指标综合评分 $Y_2 \sim Y_{17}$ ，具体结果见表 4。

2.2.3 响应面分析试验结果 以第 1 个无水瓢儿软罐头样品为例，模糊综合评价得分 T_1 为：

$$T_1 = Y_1 \times K = \{0.06, 0.45, 0.39, 0.08, 0.02\} \times \{100, 80, 60, 40, 0\} = 68.6$$

同理可得到另外 16 个无水瓢儿软罐头样品的感官指标综合评分 $T_2 \sim T_{17}$ 。

无水瓢儿软罐头工艺优化的三因素二次回归旋转组合试验设计方案及相应的试验结果数据见表 5 和表 6。

基于表 5 的试验数据，采用响应面回归程序进行建模分析，得到以下二次多项式回归方程：

$$Y = 92.28 + 3.38A + 5.83B + 4.35C + 2.40AB + 0.75AC + 2.45BC - 9.54A^2 - 8.64B^2 - 8.49C^2$$

式中： Y 为模糊综合评价得分，单位为分； A 为瓢儿添加量，%； B 为混合糖添加量，%； C 为蒸制时间，min。

表 4 无水瓢儿软罐头感官指标综合评分矩阵的建立结果

Table 4 The establishment results of the comprehensive evaluation matrix for the sensory indicators of anhydrous soft cans of wild strawberries

试验号	感官指标综合评分矩阵	试验号	感官指标综合评分矩阵
Y_1	{0.06, 0.45, 0.39, 0.08, 0.02}	Y_{10}	{0.58, 0.40, 0.02, 0.00, 0.00}
Y_2	{0.00, 0.34, 0.58, 0.08, 0.00}	Y_{11}	{0.09, 0.65, 0.22, 0.04, 0.00}
Y_3	{0.00, 0.71, 0.25, 0.04, 0.00}	Y_{12}	{0.36, 0.61, 0.03, 0.00, 0.00}
Y_4	{0.00, 0.74, 0.22, 0.04, 0.00}	Y_{13}	{0.18, 0.76, 0.03, 0.03, 0.00}
Y_5	{0.45, 0.49, 0.06, 0.00, 0.00}	Y_{14}	{0.00, 0.66, 0.28, 0.04, 0.02}
Y_6	{0.00, 0.50, 0.47, 0.03, 0.00}	Y_{15}	{0.66, 0.31, 0.03, 0.00, 0.00}
Y_7	{0.06, 0.38, 0.47, 0.09, 0.00}	Y_{16}	{0.76, 0.21, 0.03, 0.00, 0.00}
Y_8	{0.66, 0.20, 0.14, 0.00, 0.00}	Y_{17}	{0.07, 0.52, 0.35, 0.06, 0.00}
Y_9	{0.66, 0.31, 0.03, 0.00, 0.00}		

表 5 无水瓢儿软罐头工艺优化响应面分析试验设计及结果

Table 5 Response surface analysis experimental design and results for the process optimization of anhydrous soft cans of wild strawberries

试验号	因素			模糊综合评价得分 T (分)
	瓢儿添加量/ A	混合糖添加量/ B	蒸煮时间/ C	
1	0	-1.0	-1.0	68.6
2	-1.0	-1.0	0	65.2
3	0	1.0	-1.0	73.4
4	-1.0	1.0	0	74
5	1.0	1.0	0	87.8
6	1.0	-1.0	0	69.4
7	-1.0	0	-1.0	68.2
8	0	0	0	90.4
9	0	0	0	92.6
10	0	0	0	91.2
11	-1.0	0	1.0	75.8
12	0	1.0	1.0	86.6
13	1.0	0	1.0	81.8
14	1.0	0	-1.0	71.2
15	0	0	0	92.6
16	0	0	0	94.6
17	0	-1.0	1.0	72

由表 6 可知，所建立的二次回归模型具有高度显著性 ($P<0.01$)。模型各项中，除交互项 AC 外 ($P>0.05$)，其余一次项 (A 、 B 、 C)、交互项 (AB 、 BC) 及二次项 (A^2 、 B^2 、 C^2) 均对感官评

分产生显著影响^[15] ($P<0.05$)。模型决定系数 $R^2=0.9834$ ，校正决定系数 $R^2_{Adj}=0.9621$ ，表明模型拟合度良好。各因素影响程度依次为：混合糖添加量>蒸制时间>瓢儿添加量。失拟项不显著 ($P>$

表 6 无水瓢儿软罐头工艺优化 Box-Benhknen 试验方差分析

方差来源	平方和	自由度	均方	<i>F</i> 值	<i>P</i> 值
模型	1681.58	9	186.84	46.15	<0.000 1
<i>A</i>	91.13	1	91.13	22.51	0.002 1
<i>B</i>	271.45	1	271.45	67.05	<0.000 1
<i>C</i>	151.38	1	151.38	37.39	0.000 5
<i>AB</i>	23.04	1	23.04	5.69	0.048 5
<i>AC</i>	2.25	1	2.25	0.56	0.480 2
<i>BC</i>	24.01	1	24.01	5.93	0.045 1
<i>A</i> ²	383.21	1	383.21	94.66	<0.000 1
<i>B</i> ²	314.31	1	314.31	77.64	<0.000 1
<i>C</i> ²	303.50	1	303.50	74.97	<0.000 1
残差	28.34	7	4.05		
失拟项	18.05	3	6.02	2.34	0.214 8
纯误差	10.29	4	2.57		
总回归	1709.92	16			

注：*P*<0.05表示影响显著，*P*<0.01表示影响极显著。

0.05) 证实模型可靠性，可用于工艺优化预测。响应面模型的多目标优化解析 (图 5)，可得无水瓢儿软罐头最优配方为：瓢儿添加量 82%、混合糖

2.2.4 验证试验及成品品质检验通过 Box-Behnken瓢儿软罐头最优配方为：瓢儿添加量 82%、混合糖

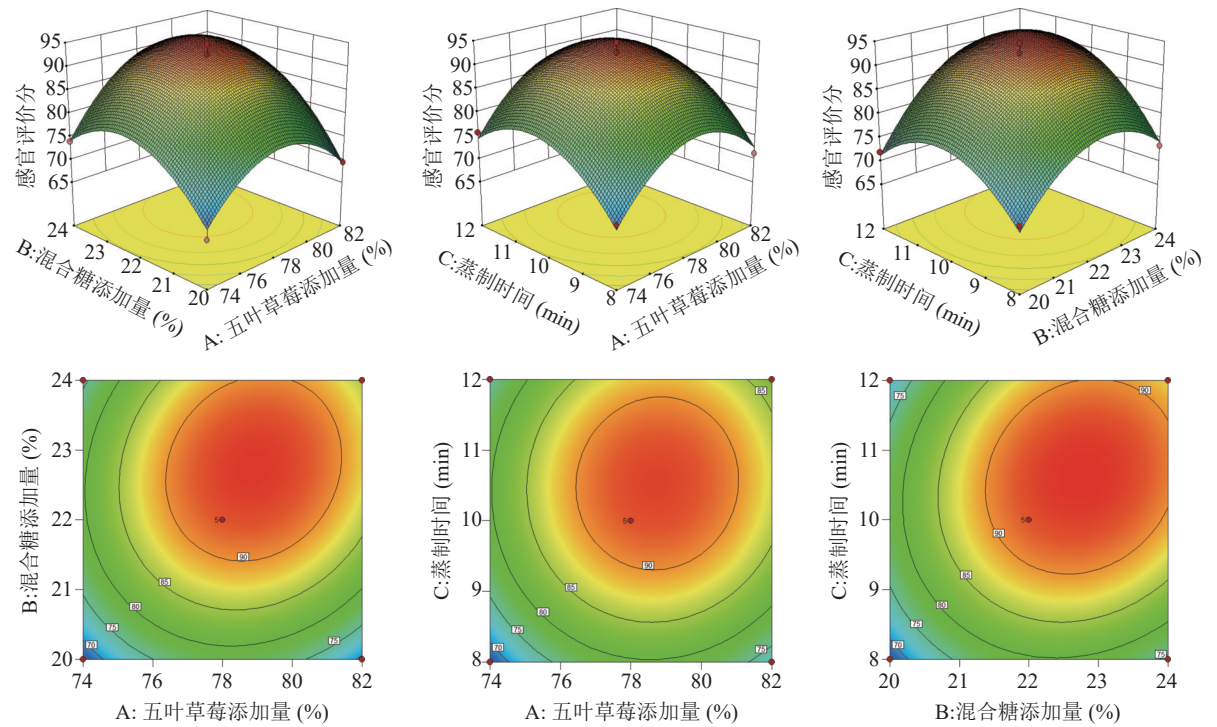


图 5 瓢儿添加量-混合糖添加量-蒸煮时间三因子响应面交互图

Fig. 5 Response surface interaction diagram of three factors: wild strawberries addition amount, mixed sugar addition amount, and cooking time

添加量 23% 和蒸煮时间 11 min，模型预测该条件下感官评分可达 90.2 分。为验证模型有效性，按此参数进行 3 次平行验证试验，实际感官评分均值为（90.5±0.4）分，与预测值相对误差仅为 0.33%。该研究通过数学模型与实证数据的双重验证，证实优化参数体系在工业化生产中具有可重复

性和稳定性，为工艺放大提供了量化依据。

成品无水瓢儿软罐头果形完整，形态饱满，呈光亮红色，具有浓郁的瓢儿果香味，均匀悬浮于糖液中，酸甜可口，无杂质，且符合软罐头商业无菌标准^[11]，见表 7。

表 7 无水瓢儿软罐头成品品质检验结果

Table 7 Quality inspection results of anhydrous soft cans of wild strawberries

罐头类别	净含量（g）	固形物含量（%）	可溶性固形物含量（%）	商业无菌检验
无水瓢儿软罐头	120±0.13	80±2.1	67±0.18	无微生物增殖
市售糖水瓢儿罐头	220±0.15	42±2.5	16±0.13	无微生物增殖

3 结论

本研究围绕陇南野生瓢儿资源高效利用与产业升级需求，基于模糊数学原理构建感官评价模型，通过单因素变量筛选与 Box-Behnken 响应面法对无水瓢儿软罐头工艺参数进行多目标优化。结果表明无水瓢儿软罐头最佳配方为瓢儿添加量 82%、混合糖添加量 23%、蒸煮时间 11 min，在此条件下，所得产品具有独特的野生瓢儿果香味，色泽鲜红，酸甜适口，并符合商业无菌要求。该工艺不仅可以有效解决传统瓢儿糖水软罐头口感甜腻、后味苦涩、果实漂浮于糖水之上的问题，还能用于特殊情况下即食营养补给、甜点装饰及烹饪辅料等，可为陇南特色林果资源精深加工提供可产业化的技术路径。

参考文献：

[1] 马瑞，马良俊，柴建安，等. 略阳县五叶草莓种质资源调查与开发利用[J]. 中国果菜，2021，41（2）：61-63，81.

[2] 孙娜，朱秀娟，胡文斌，等. 陇南五叶草莓营养品质测定及其黄酮的抗氧化活性研究[J]. 宁夏师范学院学报，2020，41（4）：36-43.

[3] 李巧兰，陈莉. 五叶草莓醇提取物对 S180 荷瘤小鼠 VEGF、bFGF 影响及形态学观察的实验研究[J]. 中华中医药学刊，2012，30（3）：544-546.

[4] 王千存，彭涛，路宏科，等. 低温发酵和冷冻过滤瓢儿酒的工艺

优化[J]. 中国酿造，2019，38（1）：188-192.

[5] 孟祥山. 糖水水果罐头组织解体原因与控制技术研究[J]. 现代食品，2023，29（12）：52-55.

[6] 杨玲，王小龙. 无水冰糖凉州皇冠梨软罐头加工工艺研究[J]. 中国食品工业，2016（9）：50-53.

[7] 孙娜，朱秀娟，胡文斌，等. 模糊数学感官评价法优化低糖五叶草莓果脯加工工艺[J]. 保鲜与加工，2021，21（2）：80-87，93.

[8] 叶琳弘，吴靖娜，苏永昌，等. 模糊数学综合评价法在鲍鱼内脏酱工艺优化中的应用[J]. 海南大学学报（自然科学版），2017，35（3）：234-245.

[9] 国家市场监督管理总局，国家标准化管理委员会. 软罐头食品的检验方法：GB/T 10786-2022[S]. 北京：中国标准出版社，2022.

[10] 谭属琼，谢勇武，廖宇星，等. 响应面优化番茄巴沙鱼软罐头制备工艺[J]. 中国调味品，2023，48（10）：139-144，156.

[11] 国家卫生健康委员会，国家市场监督管理总局. 食品微生物学检验 商业无菌检验：GB 4789.26-2023[S]. 北京：中国标准出版社，2023.

[12] 农玉萍，于洋. 红枣山楂蓝莓复合饮料工艺优化及抗氧化活性分析[J]. 食品工业，2025，46（1）：1-7.

[13] 王荣荣，付文军，王家东. 猕猴桃山药复合果酱的工艺优化[J]. 粮食加工，2024，49（5）：41-45.

[14] 费英敏，孙维宝，麻淑珍. 调理鸡柳配方优化及冷藏中微生物变化研究[J]. 肉类工业，2021（6）：13-17.

[15] 江海霞，赵海. 响应面法优化龙眼枣姜酒发酵工艺的研究[J]. 现代食品，2024，30（23）：179-182，186.

（责任编辑：柯文辉）