

模糊数学感官评价结合正交实验及响应面法 优化鸡蛋银条肉酱辅料配方

赵赵^{1,2}, 刘薇^{1,2}, 王卅¹, 刘莹莹¹, 邵建平³, 钱飞翔¹, 刘江³, 槐雪^{1,2}, 孙洋^{1,2},
张贝宁^{1,2}, 黄南娟^{1,2}, 朱文政^{1,2,4*}, 周晓燕^{1,2,4,5*}

(1. 扬州大学旅游烹饪学院, 江苏扬州 225127) (2. 江苏省淮扬菜产业化工程研究中心, 江苏扬州 225127) (3. 江苏省丹阳中等专业学校, 江苏镇江 212399) (4. 中餐非遗技艺传承文化和旅游部重点实验室, 江苏扬州 225127) (5. 上海中侨职业技术大学烹饪与酒店管理学院, 上海 201514)

摘要: 模糊数学感官评价是一种基于模糊数学的综合评价方法。该文以鸡蛋、银条、猪肉作为主要原材料, 采用单因素实验、模糊数学感官评价结合正交实验和响应面优化法得到了鸡蛋银条肉酱的最佳辅料配方, 并对其进行了理化指标、卫生指标、污染物指标测定。结果表明, 鸡蛋银条肉酱的最佳辅料配方为: 鸡蛋碎 60 g, 银条 30 g, 猪肉粒 30 g, 菜籽油 30 g, 黄豆酱 25.80 g, 青红椒 20 g, 生抽 14.20 g, 花生 6 g, 蚝油 4.19 g, 芝麻 3.2 g, 白糖 2.57 g, 花椒 1.6 g, 此时感官品质最好, 口感层次丰富、脆嫩可口, 口味咸辣适中, 色泽诱人, 酱体浓稠度适宜, 具有营养丰富、口味独特、口感多样、附加值高等特点, Design-Expert 13 软件得出感官评价得分为 87.75, 验证实验得分为 88.14, 与模型预测值相似, 其各项理化指标、卫生指标、污染物指标均符合相关国家标准规定。该研究与国内目前以银条为主料制作酱料的相关研究相比, 结果更精确、更清晰、更系统、更全面, 可以为银条酱料开发及工业化生产提供新思路、新参考。

关键词: 鸡蛋; 银条; 肉酱; 模糊数学; 响应面法; 工艺优化

文章编号: 1673-9078(2024)11-256-268

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2024.11.1262

Fuzzy Mathematical Sensory Evaluation Combined with Orthogonal Experiments and the Response Surface Method to Optimize the Ingredients of Egg-silver-bar-meat Paste

ZHAO Zhao^{1,2}, LIU Wei^{1,2}, WANG Sa¹, LIU Yingying¹, SHAO Jianping³, QIAN Feixiang¹, LIU Jiang³,
HUAI Xue^{1,2}, SUN Yang^{1,2}, ZHANG Beining^{1,2}, HUANG Nanjuan^{1,2}, ZHU Wenzheng^{1,2,4*}, ZHOU Xiaoyan^{1,2,4,5*}

引文格式:

赵赵, 刘薇, 王卅, 等. 模糊数学感官评价结合正交实验及响应面法优化鸡蛋银条肉酱辅料配方 [J]. 现代食品科技, 2024, 40(11): 256-268.

ZHAO Zhao, LIU Wei, WANG Sa, et al. Fuzzy mathematical sensory evaluation combined with orthogonal experiments and the response surface method to optimize the ingredients of egg-silver-bar-meat paste [J]. Modern Food Science and Technology, 2024, 40(11): 256-268.

收稿日期: 2023-10-20

基金项目: 扬州市-扬州大学市校合作共建创新科技平台项目 (YZ2020267); 中餐非遗技艺传承文化和旅游部重点实验室开放课题 (WLB202201); 扬州大学高层次人才科研启动基金项目 (137012607)

作者简介: 赵赵 (1999-), 男, 硕士, 研究方向: 烹饪科学与技术, E-mail: yzdxlpxyzz@163.com

通讯作者: 朱文政 (1986-), 男, 博士, 副教授, 研究方向: 烹饪科学与技术, E-mail: zhuwz@yzu.edu.cn; 共同通讯作者: 周晓燕 (1964-), 男, 教授, 研究方向: 烹饪科学与技术, E-mail: yzuxyz@163.com

(1.College of Tourism Cuisine, Yangzhou University, Yangzhou 225127, China)(2.Jiangsu Huaiyang Vegetable Industrialization Engineering Research Center, Yangzhou 225127, China) (3.Jiangsu Danyang Secondary Professional School, Zhenjiang 212399, China) (4.Key Laboratory of Chinese Intangible Cultural Heritage Heritage, Ministry of Culture and Tourism, Yangzhou 225127, China) (5.School of Cuisine and Hotel Management, Shanghai Zhongqiao Vocational and Technical University, Shanghai 201514, China)

Abstract: Fuzzy mathematics sensory evaluation is a comprehensive evaluation method based on fuzzy mathematics. In this study, egg, silver bar, and pork were used as the main raw materials, and the optimal ingredient formula of an egg-silver-bar-meat paste was obtained using single-factor experiments. Fuzzy mathematical sensory evaluation combined with orthogonal experiments and the response surface optimization method was used to determine the physicochemical index, health index, and pollutant index values. Based on the sensory quality, the optimal ingredients for the egg-silver-bar-meat paste were as follows: 60 g of crushed egg, 30 g of silver bar, 30 g of diced pork, 30 g of rapeseed oil, 25.8 g of soybean paste, 20 g each of green and red peppers, 14.20 g of light soy sauce, 6 g of peanuts, 4.19 g of oyster sauce, 3.2 g of sesame seeds, 2.57 g of sugar, 1.6 g of Sichuan pepper. The paste exhibited characteristics of high nutritional content, unique taste, and high value addition. The sensory evaluation score obtained using Design-Expert 13 software was 87.75, and that obtained in the verification experiment was 88.14, which was similar to the predicted value of the model. The physical and chemical indicators, health indicators, and pollutant indicators were found to be in accordance with the relevant national standards. Compared with previous domestic research focusing on using silver bars as the primary material for paste preparation, the results of this study were more accurate, articulate, systematic, and comprehensive. Consequently, they provide new insights and serve as a valuable reference for the development and commercialization of silver bar paste.

Key words: eggs; silver bullion; meat paste; fuzzy mathematics; response surface method; process optimization

鸡蛋,是一种常见的蛋类食物,营养价值高且优质,几乎含有人体所需要的所有营养物质^[1],可以为人体提供丰富的蛋白质、脂肪、维生素以及矿物质^[2]。鸡蛋所含蛋白质氨基酸转化吸收率可达到91%^[3],是理想的蛋白质来源。银条,河南偃师市的特产,又称罗汉菜、草石蚕,洁白透亮、口感脆鲜,外观、味道和绿豆芽相似,曾为宫廷著名贡品,可食部分为地下根状茎,种植历史悠久,具有产量高、成本低的特点,传统烹饪方法是将其制作成凉拌菜,广泛用于各种宴席上,受国家地理标志农产品保护^[4],富含多种营养物质,具有降低血脂、消除炎症、治疗肿瘤、提高免疫力等保健和医疗作用,可以作为糖尿病人食品的替代品^[5],是药用功能和食用功能兼备的名特蔬菜品种。上世纪90年代前,银条因其种植面积较小、产量较低,加上烹饪方法不易掌握,所以难以流通至外地,鲜有人品尝到其美味,但近年来随着政府的持续重视以及产业链的日益完善,银条在产量上有了极大的提升,如何更好的开发系列产品、拓宽产品销路、提升经济价值已成为当地面临的重要问题。

当前,关于银条的研究主要集中在营养成分分析、产品加工、产后贮藏保鲜等方面的内容,例

如马玉翠等^[6]以银条地下茎为原料,通过提取、发酵、分离、纯化制备等过程,研制出了通过国家标准化管理委员会组织验收的水苏糖标准样品;赵永敢等^[7]对泡椒银条的加工工艺条件进行了优化研究;焦镛等^[8]以感官评价和比容值为评定指标,通过单因素和响应面实验得到了银条面包的最佳工艺参数;党东阳等^[9]通过不同的热处理方式,对银条贮藏过程中褐变的控制效应及其机制进行了研究,有效控制了采后银条所产生的褐变反应。鸡蛋软嫩,银条脆鲜,猪肉香滑滋润,三者搭配起来制酱不仅营养物质丰富而且口感层次多样,具有医疗保健、美味可口、方便快捷等特点。然而,目前还未见有关于鸡蛋与银条作为主要原料进行酱料制备的相关研究,相关的仅有刘晓丽等^[10]以新鲜银条和香菇作为主要原料,通过单因素试验和正交实验得到了银条香菇营养酱的最佳配方;贾庆超等^[11]以黑蒜和银条作为主要原料,通过单因素实验和响应面法优化得到了黑蒜银条酱的最佳配方。

感官评价是一种能够最直接的描述、判断产品质量水平的指标,在研究开发方面具有重要作用^[12],但人的感官存在模糊,评价人的意见通常会通过语言描述,难以精确量化,不能清晰的描述产

品质量^[13], 特点是不准确、不精确、不确定^[14], 因此可以通过模糊数学结合感官评价的方式使感官评价更具科学性、系统性、可信性。模糊数学感官评价是一种基于模糊逻辑的工业产品感官评价数据分析方法^[15], 此方法将常规感官评价的不确定性转化为了模糊性, 而不是随机性^[16], 具有科学客观、系统性强、结果清晰等特点, 目前该方法已经成功地应用于许多涉及模糊数据的实验中^[17]。本研究主要以银条、鸡蛋、猪肉作为主要原料制作鸡蛋银条肉酱, 以期能够为解决国人食用佐餐酱料“营养价值低”、“口感单一”等问题提供技术参考, 提升传统名优产品附加值, 为提升银条产品工业化发展提供数据参考, 推动酱料研究与“健康化”趋势相融合。

1 材料和方法

1.1 材料与设备

主要材料: 新鲜银条, 洛阳市喜蜜银条小闫食品销售店, 挑选长度为(15±1)cm, 要求“两头细、中间粗”, 外观洁白无特殊色泽、表皮鲜亮、无机械性损伤、无病虫害、未褐变; 鸡蛋、猪肉、青红椒、菜籽油、海天黄豆酱、蚝油、白糖、生抽、花生、芝麻、花椒、干红椒、葱、姜、蒜, 扬州市永辉超市(万达店), 要求新鲜未变质。

主要仪器: 电子天平(FA2204B型), 上海天美天平仪器有限公司; 立式压力蒸汽灭菌锅(YXQ-LS-50S11型), 上海博迅实业有限公司医疗设备厂; 电热恒温水浴锅(DZKW-S-4型), 北京市永光明医疗仪器有限公司; 电热恒温培养箱(DHP-420型), 上海跃进医疗器械厂; 通风橱, 苏州净化设备有限公司; 卡路里量热仪, 北京盈盛恒泰科技有限责任公司; 炒锅, 浙江苏泊尔股份有限公司; 多烹智能灶

(8225-259型), 深圳市多烹科技开发有限公司。

1.2 试验方案

1.2.1 实验方法

鸡蛋银条肉酱经过前期预实验风味表现及团队感官评价确定制作基础配方为: 鸡蛋 60 g, 猪肉粒 30 g, 银条 30 g, 青红椒 20 g, 菜籽油 26 g, 花椒 1.6 g, 花生 6 g, 芝麻 3.2 g, 黄豆酱 20 g, 干红椒 1.8 g, 葱 8 g, 姜 5 g, 蒜 5 g, 蚝油 5 g, 白糖 2 g, 生抽 10 g。在此配方的基础上, 以鸡蛋银条肉酱的色泽、组织形态、口味、气味四个方面的感官品质评价为评分标准, 进行单因素实验, 并依据单因素实验结果对干红椒、葱、姜、蒜 4 个因素进行五因素三水平 $L_{16}(3^5)$ (含 1 项空白) 的正交实验, 同时将筛选出的更具代表性的 4 种影响因素, 通过采用 Design-Exper 13.0.5.0 版本软件构建 Box-Behnken 的多元回归模型进行响应面优化研究。

1.2.2 工艺流程

根据基础配方, 确定鸡蛋银条肉酱的加工工艺流程图如下:

原料处理: 将鸡蛋(全蛋)打散, 锅中放油 16 g, 将蛋液加工成约 0.5 cm×0.5 cm×0.5 cm 的正方块备用; 银条在加工前需使用 NaCl 水溶液浸泡 10 min 后清洗干净方可使用, 加工成 0.5 cm 长的碎粒备用; 猪肉加工为 1 cm 见方的猪肉粒备用, 青红椒、花椒、干红椒、葱、姜、蒜均加工为碎末备用。

工艺要点: 锅中放菜籽油 10 g, 并烧至七成热(210℃)放葱、姜、蒜、干红椒爆香后再放入调制好的酱汁, 将酱汁加热至黏稠并散发浓郁香味后再倒入鸡蛋碎, 翻动锅中原料, 1 min 后放入银条粒、青红椒翻炒 3 min, 最后加入花生碎、芝麻增香添色翻炒 2 min。

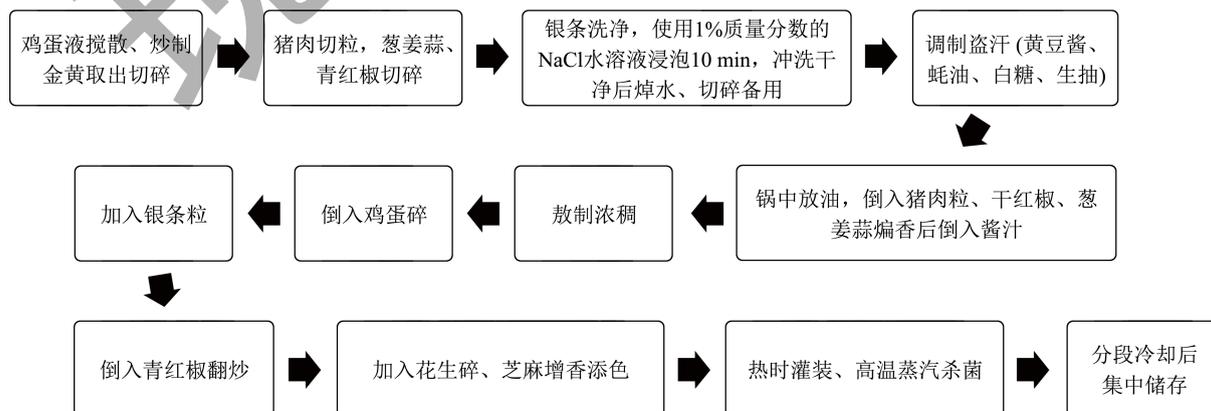


图 1 鸡蛋银条肉酱加工工艺流程图

Fig.1 Process flow chart of egg silver meat paste

杀菌灌装：参考张开平等^[18]的方法并进行一定的优化修改，195 mL 玻璃圆瓶清洗干净后蒸汽灭菌 10 min，将炒制好的鸡蛋银条肉酱热时灌入玻璃瓶中，灌至离瓶口 1 cm 处，最后添加 5 mL 的香油封口，采用高压蒸汽灭菌技术（压力 105 kPa，温度 121 °C，保压时间 15 min）进行灭菌操作，瓶盖保持微开口，水浴排气 10 min 后封住瓶盖，将酱料倒入沸水锅中，持续灭菌 10 min，最后采用分段冷却的方法进行冷却，放入阴凉干燥处储存。

1.2.3 影响鸡蛋银条肉酱感官的单因素实验

根据预实验的实际情况，发现干红椒、葱、姜、蒜、黄豆酱、蚝油、白糖、生抽对产品感官评分影响显著。设定以 30 g 银条为计，加工工艺相同的前提之下，固定配方为鸡蛋碎 60 g，猪肉粒 30 g，菜籽油 30 g，花生 6 g，芝麻 3.2 g，青红椒 20 g，花椒 1.6 g，变量为影响程度较大的干红椒、葱、姜、蒜、蚝油、白糖、生抽等 8 种因素，具体实验设计见表 1。

表 1 鸡蛋银条肉酱单因素实验设计

Table 1 Single factor experimental design of egg and silver meat sauce

固定量	变量
干红椒 1.8 g, 葱 8 g, 姜 5 g, 蒜 5 g, 蚝油 4 g, 白糖 2 g, 生抽 10 g	黄豆酱添加量分别为 20 g、25 g、30 g、35 g、40 g
葱 8 g, 姜 5 g, 蒜 5 g, 黄豆酱 25 g, 蚝油 5 g, 白糖 2 g, 生抽 10 g	干红椒添加量分别为 1 g、1.5 g、2 g、2.5 g、3 g
干红椒 1.5 g, 姜 5 g, 蒜 5 g, 黄豆酱 25 g, 蚝油 5 g, 白糖 2 g, 生抽 10 g	葱添加量分别为 4 g、6 g、8 g、10 g、12 g
干红椒 1.5 g, 葱 8 g, 蒜 5 g, 黄豆酱 25 g, 蚝油 4 g, 白糖 2 g, 生抽 10 g	姜添加量分别为 3 g、4 g、5 g、6 g、7 g
干红椒 1.5 g, 葱 8 g, 姜 5 g, 黄豆酱 25 g, 蚝油 4 g, 白糖 2 g, 生抽 10 g	蒜添加量分别为 4 g、5 g、6 g、7 g、8 g
干红椒 1.5 g, 葱 8 g, 姜 5 g, 蒜 5 g, 黄豆酱 25 g, 白糖 2 g, 生抽 10 g	蚝油添加量分别为 2 g、4 g、6 g、8 g、10 g
干红椒 1.5 g, 葱 8 g, 姜 5 g, 蒜 5 g, 黄豆酱 25 g, 蚝油 4 g, 生抽 10 g	白糖添加量分别为 1 g、1.5 g、2 g、2.5 g、3 g
葱 8 g, 姜 5 g, 蒜 5 g, 黄豆酱 25 g, 蚝油 4 g, 白糖 2.5 g	生抽添加量分别为 8 g、10 g、12 g、14 g、16 g

1.2.4 正交实验设计

根据单因素实验结果，获得影响鸡蛋银条肉酱感官评分因素的取值范围，黄豆酱、蚝油、白糖、生抽 4 种原料的添加量均由响应面来决定，其余因素采用五因素三水平 $L_{16}(3^5)$ 正交实验进行设计，以干红椒、葱、姜、蒜的添加量作为变量因子，以感官评分作为指标进行正交实验，优化鸡蛋银条肉酱加工工艺，鸡蛋银条肉酱正交实验设计因素水平见表 2。

表 2 正交试验设计因素水平表

Table 2 Horizontal table of orthogonal experiment design factors

水平	因素			
	A(干红椒/g)	B(葱/g)	C(姜/g)	D(蒜/g)
1	1	8	4	5
2	1.5	10	5	6
3	2	12	6	7

1.2.5 响应面优化实验

基于单因素实验结果，以黄豆酱、蚝油、白糖、生抽添加量作为因素，以感官评价分值作为响应值 Y，采用 Design-Expert 13 软件，依据 Box-Behnken 实验设计原理对黄豆酱、蚝油、白糖、生抽 4 种原料进行响应面优化，具体实验设计因素与水平见表 3。

表 3 响应面设计因素水平表

Table 3 Level table of response surface design factors

水平	因素			
	A(黄豆酱/g)	B(蚝油/g)	C(白糖/g)	D(生抽/g)
1	20	2	2	12
2	25	4	2.5	14
3	30	6	3	16

1.2.6 感官评价标准设计

感官评分标准设计参考 GB 2718-2014《食品安全国家标准酿造酱》^[19]中对酱类制品的相关要求和标准及邵蕾等^[20]的方法，结合鸡蛋银条肉酱的实际情况而制定，分数设计强制确定，如表 4 所示。将制作完成的鸡蛋银条肉酱分别放入一次性餐盘内，邀请 10 位（5 男 5 女）对味觉、嗅觉和视觉敏感且经过培训并具有一定专业基础的评价人员对酱料的色泽、组织形态、口味、气味四个方面进行感官评价。确保环境安静，没有其他气味及噪音污染，所有评价人员需保证每个样品在 5 min 内完成评价，在进行下一个样品评价前用纯净水漱口。

表 4 鸡蛋银条肉酱感官评分表
Table 4 Sensory rating table of egg and silver meat sauce

项目	评定标准	等级
色泽 U_1 (20 分)	酱料颜色呈黄褐色或深褐色, 外观明亮且有光泽 (15~20)	优 V_1
	酱料颜色呈深褐色, 颜色、光泽较暗淡 (10~14)	良 V_2
	酱料颜色呈深褐色, 颜色明亮但无光泽 (5~9)	中 V_3
	酱料颜色呈浅褐色, 颜色、光泽较暗淡 (≤ 4)	差 V_4
组织形态 U_2 (20 分)	酱体黏稠, 可见鸡蛋、银条、猪肉原料状 (15~20)	优 V_1
	酱体黏稠, 隐约可见鸡蛋、银条、猪肉原料状 (10~14)	良 V_2
	酱体较稀, 略见鸡蛋、银条、猪肉原料状 (5~9)	中 V_3
	酱体较稀, 无鸡蛋、银条、猪肉原料状 (≤ 4)	差 V_4
口味 U_3 (35 分)	甜辣味浓郁顺口, 有鸡蛋软糯、猪肉鲜香和银条脆爽口感, 咸味适口 (28~35)	优 V_1
	甜辣味较浓郁顺口, 略有鸡蛋软糯、猪肉鲜香和银条脆爽口感, 有咸味 (20~27)	良 V_2
	甜辣味较少且不顺口, 无鸡蛋软糯、猪肉鲜香和银条脆爽口感, 咸味较弱 (12~19)	中 V_3
	无甜辣味, 无鸡蛋软糯、猪肉鲜香和银条脆爽口感, 咸味较弱 (≤ 11)	差 V_4
气味 U_4 (25 分)	有酱香味且风味十足, 无不良气味 (20~25)	优 V_1
	有酱香味, 风味略好且无不良气味 (14~19)	良 V_2
	酱香味较明显, 风味不明显, 无异味 (8~13)	中 V_3
	酱香味不明显, 风味不明显, 有异味 (≤ 7)	差 V_4

1.2.7 建立模糊数学综合评判模型

设定鸡蛋银条肉酱感官质量指标集 U 、评语集 V 、权重向量集 A 。感官评分集 $U=U=\{U_1, U_2, U_3, U_4\}$, 其中 U_1, U_2, U_3, U_4 分别表示色泽、组织形态、口味、气味。感官质量评语集 $V=\{V_1, V_2, V_3, V_4\}$, V_1, V_2, V_3, V_4 分别对应优 (90 分)、良 (80 分)、中 (70 分)、差 (60 分)。权重向量集 $A=\{a_1, a_2, a_3, a_4\}$, 根据归一化原则, $a_1+a_2+a_3+a_4=1$, 强制确定鸡蛋银条肉酱的权重集合 $A=\{a_1, a_2, a_3, a_4\}=\{0.3, 0.2, 0.3, 0.2\}$ 。评价体系的建立: 模糊关系综合评价结果为 $L_i=A*R_i$, 其中 A 表示权重集合, R_i 表示转换矩阵, 综合评价感官评分 $S_i=L_i*V$ 。

1.2.8 微生物和理化指标检验方法

对照 GB 31644-2018《食品安全国家标准复合调味料》中的相关要求, 采用 GB 4789.2-2022《食品安全国家标准食品微生物学检验菌落总数测定》中的菌落总数测定法对酱料菌落总数进行测定; 采用 GB 4789.15-2016《食品安全国家标准食品微生物学检验霉菌和酵母计数》测定霉菌总数; 采用 GB 5009.12-2023《食品安全国家标准食品中铅的测定》中的火焰原子吸收光谱法测定铅含量; 采用 GB 5009.11-2014《食品安全国家标准食品中总砷及

无机砷的测定》中的银盐法测定砷含量。

1.3 数据处理

单因素实验结果采用平均值 \pm 标准误差表示, 使用 Microsoft Office Excel 2021 进行数据的整理、计算, 使用 IBM SPSS Statistics 27 进行正交实验的数据分析及误差值的结果分析, 通过 Design-Expert 13 软件进行响应面优化实验的设计及计算, 使用 Origin 2021 软件绘制误差折线图。

2 结果与分析

2.1 单因素实验结果分析

由图 2a 可知, 黄豆酱添加量为 20~40 g 时, 感官评价得分呈先上升后逐渐下降趋势, 差异显著 ($P < 0.05$)。黄豆酱添加量为 20、30 g 时, 酱料色泽、组织形态表现不佳, 感官评分处于中间水平, 在添加量为 25 g 时, 酱料整体风味及性状表现最佳, 香味浓郁、色泽诱人、口感最佳, 在逐渐增加黄豆酱添加量后, 在 30~40 g 时, 发现酱料口味较重, 组织形态表现不明显, 感官评分呈现下降趋势, 差异不显著 ($P > 0.05$)。因此, 黄豆酱在添加量为 25 g 时, 表现最佳, 故将 20、25、30 g 作为响应面的三个水平。

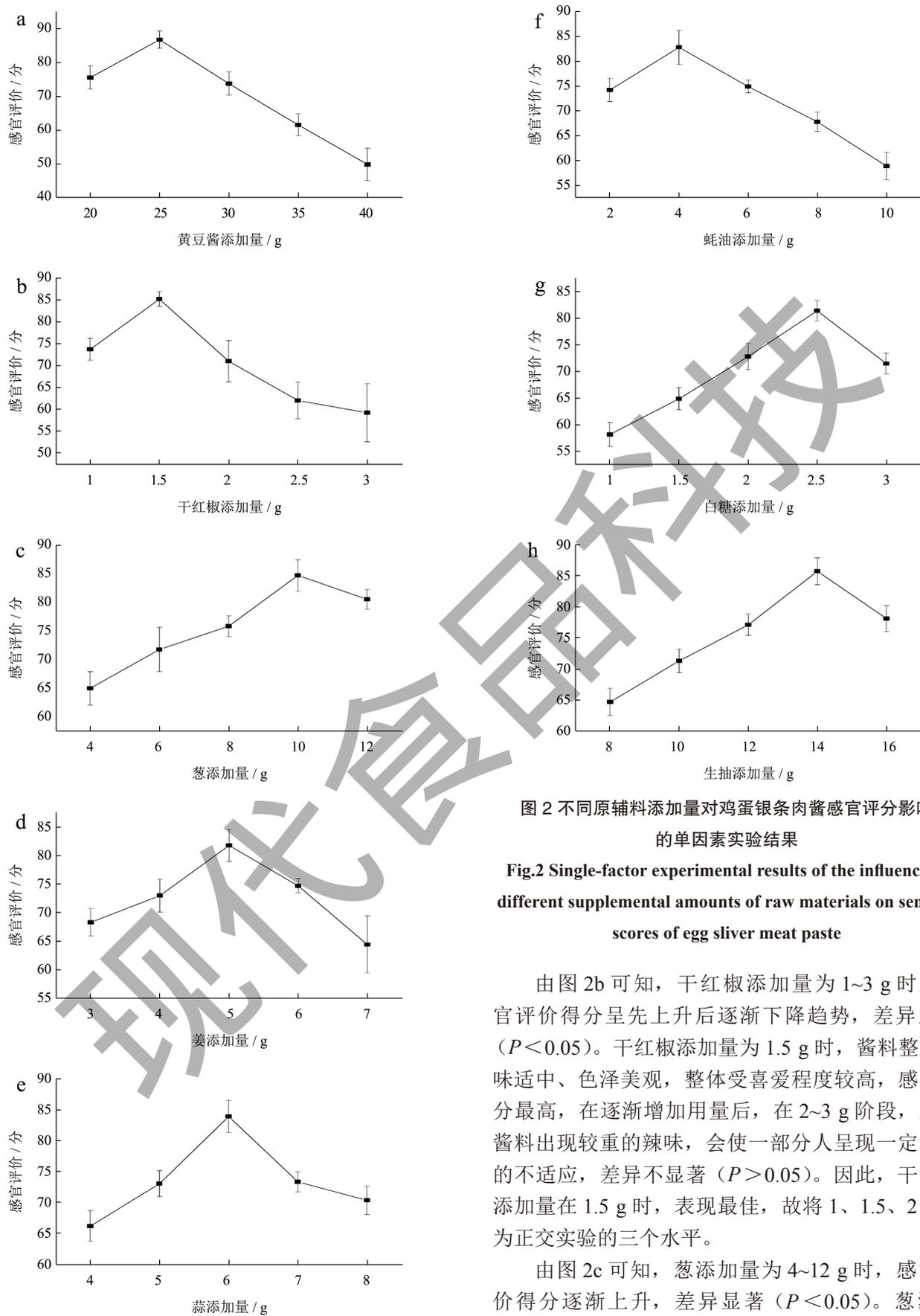


图2 不同原辅料添加量对鸡蛋银条肉酱感官评分影响的单因素实验结果

Fig.2 Single-factor experimental results of the influence of different supplemental amounts of raw materials on sensory scores of egg sliver meat paste

由图2b可知,干红椒添加量为1~3 g时,感官评价得分呈先上升后逐渐下降趋势,差异显著($P < 0.05$)。干红椒添加量为1.5 g时,酱料整体辣味适中、色泽美观,整体受喜爱程度较高,感官评分最高,在逐渐增加用量后,在2~3 g阶段,发现酱料出现较重的辣味,会使一部分人呈现一定程度的不适应,差异不显著($P > 0.05$)。因此,干红椒添加量在1.5 g时,表现最佳,故将1、1.5、2 g作为正交实验的三个水平。

由图2c可知,葱添加量为4~12 g时,感官评价得分逐渐上升,差异显著($P < 0.05$)。葱添加

量为 10 g 时, 酱料香气浓郁, 整体能够表现出较好的食用感受, 感官评分最高。在添加量为 4~8 g 时, 由于葱的量较少, 不能作出让人充分满意的香气贡献, 需要进一步增加用量, 且差异不显著 ($P>0.05$), 而在添加量为 12 g 时, 过多的葱, 不仅不能给酱料整体带来提升作用, 还会带给酱料一种特殊的葱香气, 使酱料主体味道被葱的味道所掩盖, 感官评分开始下降。因此, 葱添加量在 10 g 时, 表现最佳, 故将 8、10、12 g 作为正交实验的三个水平。

由图 2d 可知, 姜添加量为 3~7 g 时, 感官评价得分呈现先上升后下降趋势, 差异显著 ($P<0.05$)。姜添加量为 5 g 时, 可以给予酱料一股特殊的芳香, 烘托出酱料的整体香味, 感官评分最高。在添加量为 3~4 g 时, 香味不明显, 需要增加用量, 在添加量为 6~7 g 时, 量过多, 刺激较大, 使酱料的味道呈现出一定程度的姜辣味, 同时在酱料中会出现一部分姜的碎粒, 影响整体酱料口感, 且与添加量为 5 g 时相比, 差异不显著 ($P>0.05$)。因此, 姜添加量在 5 g 时, 表现最佳, 故将 4、5、6 g 作为正交实验的三个水平。

由图 2e 可知, 蒜添加量为 4~8 g 时, 感官评价得分呈现先上升后下降趋势, 差异显著 ($P<0.05$)。蒜添加量为 6 g, 能够有效去除酱料肉蛋类原料带来的腥膻味, 并通过含硫化合物的溶解, 促进了酱料整体香气的融合、散发。在添加量为 4~5 g 时, 作用不明显, 需要增加用量, 在添加量为 7~8 g 时, 添加量过多, 会破坏酱料的主体香气, 感官评分处于下降状态, 在这个两个区间, 差异不显著 ($P>0.05$)。因此, 蒜添加量为 6 g 时, 表现最佳, 故将 5、6、7 g 作为正交实验的三个水平。

由图 2f 可知, 蚝油添加量为 2~10 g 时, 感官评价得分呈现先上升而后逐渐下降趋势, 差异显著 ($P<0.05$)。蚝油添加量为 4 g 时, 酱料味道鲜美、色泽亮丽, 口感鲜香可口, 组织形态表现明显, 感官评分最高。在添加量为 2 g 时, 用量不够, 被感知能力较弱, 需要增加用量。在添加量为 6~10 g 时, 用量较多, 口味会呈现偏咸的状态, 且酱料色泽较深, 感官评分较低, 同时与添加量为 4 g 相比差异不显著 ($P>0.05$)。因此, 蚝油添加量为 4 g 时, 表现最佳, 故将 2、4、6 g 作为响应面实验的三个水平。

由图 2g 可知, 白糖添加量为 1~3 g 时, 感官评价得分呈逐渐上升而后下降趋势, 差异显著

($P<0.05$)。白糖添加量为 2.5 g 时, 酱料口感鲜美、色泽美观, 酱体黏稠, 感官评分最高。白糖添加量为 1~2 g 时, 提升鲜味作用不明显, 需要增加用量, 在添加量为 3 g 时, 可以提供理想的提鲜作用, 但是酱料出现明显的甜味, 不符合酱料本体口味特点, 在添加量为 1~1.5 g 时, 与添加量为 2.5 g 相比, 差异不显著 ($P>0.05$)。因此, 白糖添加量为 2.5 g 时, 表现最佳, 故将 2、2.5、3 g 作为响应面的三个水平。

由图 2h 可知, 生抽添加量为 12~16 g 时, 感官评价得分呈先逐渐上升而后下降趋势, 差异显著 ($P<0.05$)。生抽添加量为 14 g 时, 酱料外观表现优异, 口味适宜, 风味表现较好, 感官评分最高。在添加量为 8~12 g 时, 作用不明显, 酱料整体味道没有得到有效散发出来, 需要进一步增加用量, 在添加量为 16 g 时, 酱料咸味较重、颜色较深, 在添加量为 8、10 g 时, 与添加量为 14 g 时, 差异不显著 ($P>0.05$)。因此, 生抽添加量为 14 g 时, 表现最佳, 故将 12、14、16 g 作为响应面的三个水平。

表 5 正交实验设计表

Table 5 Orthogonal experimental design table

编号	A (干红椒/g)	B (葱/g)	C (姜/g)	D (蒜/g)	E (空白)
1	1	8	4	5	1
2	1	10	5	6	2
3	1	12	6	7	3
4	1	8	4	5	2
5	1.5	8	5	7	2
6	1.5	10	4	6	3
7	1.5	12	5	5	2
8	1.5	10	6	6	1
9	2	8	6	6	2
10	2	10	6	7	1
11	2	12	4	6	2
12	2	12	5	5	3
13	1	8	6	6	3
14	1.5	10	5	6	2
15	2	12	5	5	1
16	2	12	4	7	2

2.2 正交实验结果分析

2.2.1 正交实验设计

以干红椒、葱、姜、蒜 4 种原料为实验变量,

设计五因素三水平 $L_{16}(3^5)$ 正交实验 (含一列空白值), 并适当根据单因素实验情况进行拟水平法改造个别实验, 具体实验结果设计如表 5 所示。

2.2.2 感官评价投票数统计

将 10 名感官评价人员的感官评价投票数进行统计整合, 各因素投票数如表 6 所示。

2.2.3 模糊矩阵的建立

将表 4 中的数据建立模糊评价转换矩阵 R_i , 可得到转换矩阵 $R_1 \sim R_{16}$ 。以 1 号实验样品为例: 色泽的评价人数分别为: 1 人选优, 9 人选良, 0 人选差, 0 人选差, 则 $U_{\text{色泽}} = (0.1, 0.9, 0, 0)$, 同理 $U_{\text{组织形态}} = (0, 1, 0, 0)$, $U_{\text{口味}} = (0, 1, 0, 0)$, $U_{\text{气味}} = (0, 0.8, 0.2, 0)$, 由此可得矩阵 R_1 , 同理可得 $R_2 \sim R_{16}$ 。

2.2.4 模糊数学综合评价得分

按照矩阵相乘方法, 通过与权重集相乘得到 $L_1 = A \times R_1$ (权重集 \times 模糊矩阵) = (0.03, 0.93, 0.04, 0), 同理可得 $L_2 \sim L_{16}$ 。

表 6 正交实验条件下鸡蛋银条肉酱感官评价各因素票数
Table 6 Votes of various factors in sensory evaluation of egg silver meat paste under orthogonal experimental conditions

序号	色泽			组织形态			口味			气味						
	优	良	中	差	优	良	中	差	优	良	中	差				
1	1	9	0	0	0	10	0	0	0	10	0	0	0	8	2	0
2	9	1	0	0	8	2	0	0	6	4	0	0	4	6	0	0
3	8	2	0	0	10	0	0	0	4	6	0	0	5	5	0	0
4	0	9	1	0	1	8	1	0	4	6	0	0	0	10	0	0
5	7	3	0	0	3	7	0	0	0	9	1	0	1	9	0	0
6	7	3	0	0	2	8	0	0	1	9	0	0	7	3	0	0
7	0	10	0	0	3	7	0	0	3	7	0	0	4	6	0	0
8	6	4	0	0	8	2	0	0	6	4	0	0	4	6	0	0
9	0	7	3	0	0	6	4	0	0	9	1	0	0	4	6	0
10	0	10	0	0	0	10	0	0	0	10	0	0	0	4	6	0
11	0	10	0	0	3	7	0	0	0	10	0	0	0	4	6	0
12	4	6	0	0	1	9	0	0	0	10	0	0	0	10	0	0
13	3	7	0	0	2	8	0	0	1	7	2	0	1	9	0	0
14	10	0	0	0	10	0	0	0	8	2	0	0	7	3	0	0
15	4	6	0	0	1	9	0	0	1	9	0	0	1	9	0	0
16	2	8	0	0	6	4	0	0	4	6	0	0	2	8	0	0

表 7 正交实验结果分析

Table 7 Analysis of orthogonal experiment results

编号	A (干红椒)	B (葱)	C (姜)	D (蒜)	E (空白)	感官评分
1	1	1	1	1	1	79.9
2	1	2	2	2	2	86.9
3	1	3	3	3	3	86.6
4	1	1	1	1	2	80.9
5	2	1	2	3	2	82.6
6	2	2	1	2	3	84.2
7	2	3	2	1	2	82.3
8	2	2	3	2	1	86
9	3	1	3	2	2	76.8
10	3	2	3	3	1	78.8
11	3	3	1	2	2	79.4
12	3	3	2	1	3	81.4
13	1	1	3	2	3	81.2
14	2	2	3	1	2	88.8
15	3	3	2	2	1	81.9
16	3	3	1	3	2	83.4

K1	415.5	401.4	407.8	413.3	326.6	
K2	423.9	424.7	415.1	576.4	661.1	
K3	481.7	495	498.2	331.4	333.4	
k1	138.5	133.8	135.933 3	137.766 7	108.866 7	
k2	141.3	141.566 7	138.366 7	192.133 3	220.366 7	
k3	160.566 7	165	166.066 7	110.466 7	111.133 3	

极差 R	22.066 67	31.2	30.133 33	81.666 67	111.5	

较优水平	A ₃ B ₃ C ₃ D ₂		因素影响大小		D>B>C>A	

分别赋予优、良、中、差分值为 90、80、70、60 分值，按照加权平均型矩阵相乘算法——乘法——有界算子的方法进行计算，将 L_1 中的各个量分别与相应分值 V_i 相乘根据公式： $S_i=L_i \times V_i$ ，以 1 号实验样品为例，1 号样品感官评价结果 $S_1=0.03 \times 90+0.93 \times 80+0.04 \times 70+0 \times 60=79.9$ ，同理可以计算出 $S_2 \sim S_{16}$ 。

2.2.5 正交实验结果分析

根据 2.2.4 计算出的实验样品的感官得分，得出正交实验结果如表 7 所示。

由表 7 可知，影响鸡蛋银条肉酱感官评价得分的因素是：蒜的添加量 > 葱的添加量 > 姜的添加量 > 干红椒的添加量，说明蒜所散发出的香气以及对酱料整体口感、风味影响最大，干红椒的添加量与其他因素相比，对鸡蛋银条肉酱的综合影响最小。通过查看 K 值，可以看出，综合得分最高参数组合为 $A_3B_3C_3D_2$ ，即干红椒的添加量为 2 g，葱的添加量为 12 g，姜的添加量为 6 g，蒜的添加量为 6 g，在此条件下，鸡蛋银条肉酱的制备效果较好。

2.3 响应面实验结果分析

2.3.1 实验结果

对 10 名感官评价人员模糊数学评价各因素投票数进行统计，如表 8 所示，此处响应面模糊数学感官评价分值与正交实验的感官评价分值计算方法一致，响应面实验设计与结果见表 9。

2.3.2 回归模型方差分析

由表 10 可知，回归模型的 F 值为 26.39， P 值 < 0.000 1，相关性极显著，且方程失拟项不显著，相关系数 $R^2=0.963 5$ ， $R_{adj}^2=0.927 0$ ，说明该响应面模型与实际结果的拟合度较高，实验数据可靠有效，可信度高，模型中一次项 A、B、C、D 具有极显著性，交互项 AB、AC、AD、BC、BD、CD 不显著，A、B、C、D 的平方项具有极显著性。

根据响应面多元线性回归拟合数据，得到鸡蛋银条肉酱的感官评分 (Y) 对 A (黄豆酱添加量)、B (蚝油添加量)、C (白糖添加量)、D (生抽添加量) 的二次多项回归模型标准方程：

$$Y=87.36+2.01A+1.41B+1.58C+1.21D-1.25AB-0.900 0AC-0.875 0AD-0.900 0BC-1.03BD-0.825 0CD-5.23A^2-5.23B^2-4.63C^2-4.41D^2$$

表 8 响应面各因素评价票数

Table 8 Evaluation votes of each factor on the response surface

序号	色泽				组织形态				口味				气味			
	优	良	中	差	优	良	中	差	优	良	中	差	优	良	中	差
1	2	8	0	0	3	7	0	0	0	5	5	0	0	10	0	0
2	0	8	2	0	0	9	1	0	0	6	4	0	0	6	4	0
3	0	2	8	0	0	4	6	0	0	1	9	0	0	1	9	0
4	0	5	5	0	0	8	2	0	0	1	9	0	0	2	8	0
5	2	8	0	0	1	9	0	0	0	6	4	0	2	7	1	0
6	0	4	6	0	0	7	3	0	0	1	9	0	0	2	8	0
7	6	4	0	0	6	4	0	0	8	2	0	0	8	2	0	0
8	0	8	2	0	0	9	1	0	0	7	3	0	0	5	5	0
9	1	8	1	0	0	9	0	0	0	7	3	0	0	7	3	0
10	0	7	3	0	0	9	1	0	1	8	1	0	0	5	5	0
11	0	10	0	0	5	5	0	0	0	9	1	0	1	9	0	0
12	3	7	0	0	1	8	1	0	0	5	5	0	0	5	5	0
13	8	2	0	0	9	1	0	0	5	5	0	0	8	2	0	0
14	0	7	3	0	0	6	4	0	0	6	4	0	0	6	4	0
15	0	10	0	0	0	8	2	0	0	8	2	0	0	7	3	0
16	8	2	0	0	8	2	0	0	10	0	0	0	7	3	0	0
17	3	7	0	0	1	8	1	0	0	9	1	0	0	7	3	0
18	0	9	1	0	0	10	0	0	0	8	2	0	0	7	3	0
19	1	8	1	0	2	8	0	0	0	10	0	0	0	5	5	0
20	0	9	1	0	0	9	1	0	0	9	1	0	0	9	1	0
21	3	7	0	0	1	9	0	0	0	7	3	0	0	6	4	0
22	2	8	0	0	1	9	0	0	0	10	0	0	0	9	1	0
23	9	1	0	0	4	6	0	0	6	4	0	0	7	3	0	0
24	0	2	8	0	0	7	3	0	0	2	8	0	0	3	7	0
25	0	10	0	0	0	10	0	0	0	7	3	0	0	10	0	0
26	0	10	0	0	0	9	1	0	0	8	2	0	0	9	1	0
27	5	5	0	0	8	2	0	0	9	1	0	0	8	2	0	0
28	0	4	6	0	0	6	4	0	0	0	10	0	0	2	8	0
29	0	10	0	0	5	5	0	0	0	5	5	0	2	8	0	0

表 9 响应面实验设计与结果

Table 9 Experimental design and results of response surface

试验号	A (黄豆酱/g)	B (蚝油/g)	C (白糖/g)	D (生抽/g)	Y (感官评分)
1	30	4	3	14	80.9
2	20	4	2	14	72.8
3	20	4	3	14	77.9
4	25	6	3	14	79.8
5	20	6	2.5	14	77.3
6	25	6	2.5	12	79
7	25	4	3	16	79.7
8	25	4	2.5	14	87.4
9	25	2	2	14	71.9
10	25	4	2.5	14	88.4
11	25	6	2	14	76.9
12	25	4	3	12	79.4
13	25	4	2	16	79.9
14	30	6	2.5	14	79.1
15	20	2	2.5	14	73.2
16	20	4	2.5	12	73.8
17	25	2	3	14	78.4
18	25	4	2.5	14	87.3
19	20	4	2.5	16	77.2
20	30	4	2.5	12	78.5
21	25	4	2	12	76.3
22	25	4	2.5	14	86.7
23	25	2	2.5	12	73.3
24	25	6	2.5	16	80.6
25	25	4	2.5	14	87
26	30	2	2.5	14	80
27	30	4	2.5	16	78.4
28	30	4	2	14	79.4
29	25	2	2.5	16	79

表 10 响应面回归模拟的方差分析

Table 10 Analysis of variance for response surface regression simulation

方差来源	平方和	自由度	均方	F值	P值	显著性
模型	539.63	14	38.55	26.39	<0.000 1	**
A	48.4	1	48.4	33.14	<0.000 1	**
B	23.8	1	23.8	16.3	0.001 2	**
C	29.77	1	29.77	20.38	0.000 5	**
D	17.52	1	17.52	12	0.003 8	**
AB	6.25	1	6.25	4.28	0.057 6	
AC	3.24	1	3.24	2.22	0.158 6	
AD	3.06	1	3.06	2.1	0.169 6	
BC	3.24	1	3.24	2.22	0.158 6	
BD	4.2	1	4.2	2.88	0.111 9	
CD	2.72	1	2.72	1.86	0.193 7	
A ²	177.42	1	177.42	121.48	<0.000 1	**
B ²	177.42	1	177.42	121.48	<0.000 1	**
C ²	139.05	1	139.05	95.21	<0.000 1	**
D ²	125.86	1	125.86	86.18	<0.000 1	**
残差	20.45	14	1.46			
失拟项	18.8	10	1.88	4.55	0.078 7	
纯误差	1.65	4	0.413			
总离差	560.08	28				

		$R^2=0.963 5$	$R_{adj}^2=0.927 0$	$C.V.\%=1.52$		

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

2.3.3 交互因素对鸡蛋银条肉酱感官品质的影响

利用 Design-Expert 13.0.5.0 软件对数据进行处理, 得到响应面等高线图和三维曲面图, 见图 3。

由图 3 可知, AB、AC、AD、BC、BD、CD 六个响应面 3D 图均存在一个最高点, 说明响应面优化因素的设计水平选择合理, 在已选择的水平范围内存在最大值。等高线越密集, 证明其对实验结果的影响越显著^[21], 由此可以看出 BD、CD 相对于其他交互项, 影响较为显著。等高线越趋近于椭圆形, 交互作用越显著^[22], 交互项 AB、AC、AD、BC、BD、CD 的等高线图中, AB、BD 相较于其他交互项, 表现较为显著, 总体来看, 各因素在对鸡蛋银条肉酱感官评分影响上交互作用不明显, 但 3D 曲面坡度存在陡峭现象, 说明黄豆酱和蚝油、黄豆酱和白糖、黄豆酱和生抽、

蚝油和白糖、蚝油和生抽、白糖和生抽虽然对鸡蛋银条肉酱感官评分的影响未达到显著水平,但相互之间存在一定的交互作用。

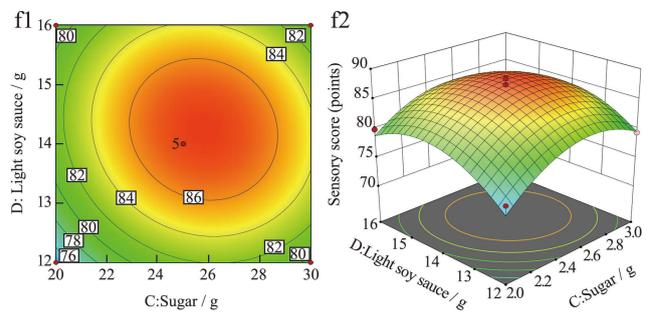
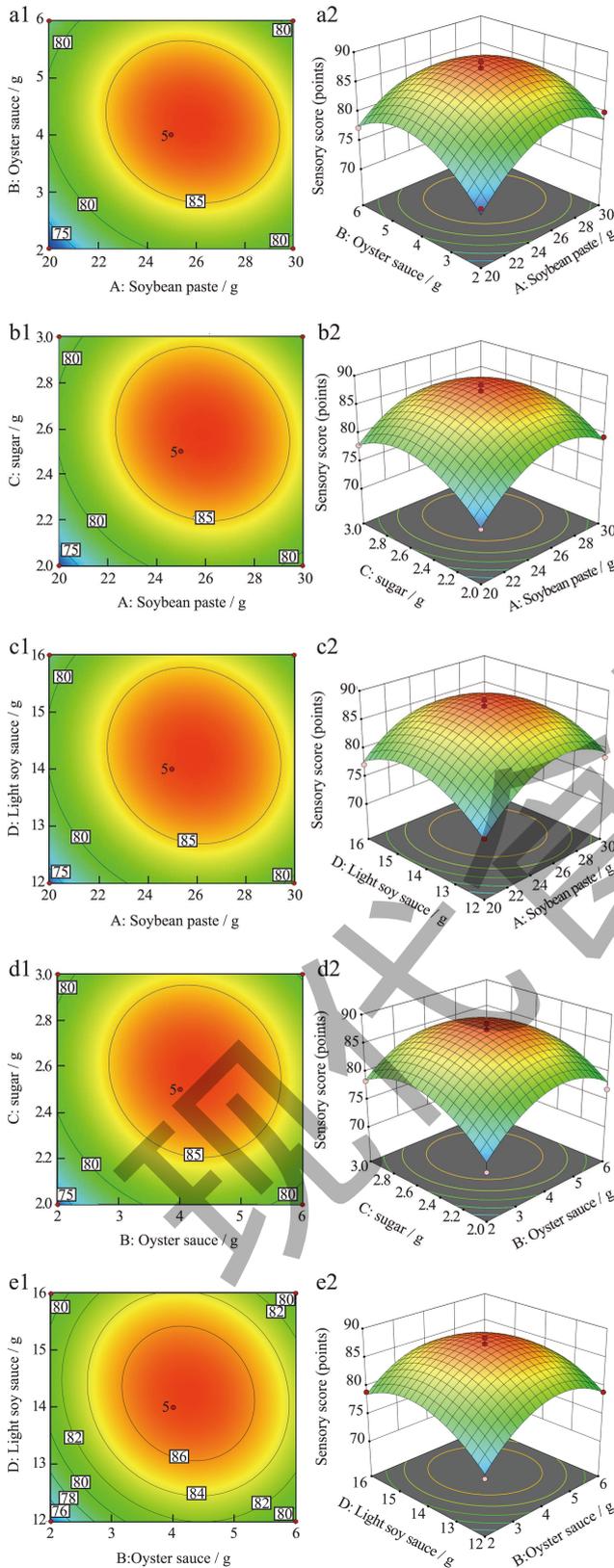


图3 各因素交互作用对鸡蛋银条肉酱感官评分综合影响的等高线图和3D响应面图

Fig.3 Contour map and 3D response surface map of the comprehensive influence of the interaction of various factors on the sensory score of egg bolognese sauce

注:(a) 黄豆酱和蚝油的等高线图及3D响应面图;

(b) 黄豆酱和白糖的等高线图及3D响应面图;(c) 黄豆酱和生抽的等高线图及3D响应面图;(d) 蚝油和白糖的等高线图及3D响应面图;(e) 蚝油和生抽的等高线图及3D响应面图;(f) 白糖和生抽的等高线图及3D响应面图。

2.3.4 最佳工艺参数优化与模型验证

经 Design-Expert 13.0.5.0 软件处理可得, 方程的极值点为黄豆酱添加量为 25.803 g、蚝油添加量为 4.188 g, 白糖添加量为 2.568 g, 生抽添加量为 14.195 g, 此时感官评价得分最高, 为 87.754 分。为了进一步验证响应面预测值和实际值的拟合度及其回归方程的有效性, 对软件优化处理后得到的最佳工艺条件进行验证实验。在此条件下, 为了方便开展试验, 对各因素的添加量进行了微调: 黄豆酱添加量 25.80 g, 蚝油添加量 4.19 g, 白糖添加量 2.57 g, 生抽添加量 14.20 g, 在此条件下进行三次验证实验, 所得到的鸡蛋银条肉酱感官评价得分为 88.14, 与模型预测值十分接近, 可以进一步验证响应面模型建立的可行性。

2.4 理化指标及微生物的测定

将经软件优化得到最佳工艺配方制得的鸡蛋银条肉酱进行理化指标及微生物检测, 并判断是否符合 GB 31644-2018 《食品安全国家标准复合调味料》中的相关要求, 具体检测结果见表 11。

由表 11 可知, 鸡蛋银条肉酱的各项检测结果均符合国家标准相关规定, 表明其质量安全可靠, 可以保证食用安全。

表 11 鸡蛋银条肉酱理化和微生物检测结果

	序号	项目	检测结果	指标要求	是否符合国家相关要求
理化指标	1	食盐含量	13.2 g/100 g	>12 g/100 g	符合
	2	卡路里	1 260 kJ/100 g	—	符合
卫生指标	3	菌落总数	<10 ⁴ CFU/g	<10 ⁴ CFU/g	符合
	4	霉菌总数	<10 ³ CFU/g	<10 ³ CFU/g	符合
污染物指标	5	铅	未检出	≤1.0 mg/kg	符合
	6	砷	未检出	≤0.5 mg/kg	符合
	7	汞	未检出	≤0.05 mg/kg	符合
	8	镉	未检出	≤0.1 mg/kg	符合

3 结论

本实验设定银条添加量为 30 g，以模糊感官评价综合得分作为响应值，固定配方为鸡蛋碎 60 g，猪肉粒 30 g，菜籽油 30 g，花生 6 g，芝麻 3.2 g，青红椒 20 g，花椒 1.6 g，对影响鸡蛋银条肉酱的干红椒、葱、姜、蒜、蚝油、白糖、生抽 8 种因素采用单因素实验结合正交实验、响应面优化法得到其最佳配方，并对最优配方制作的鸡蛋银条肉酱进行理化和微生物检测实验。结果表明，鸡蛋银条肉酱的最佳辅料配方为：鸡蛋碎 60 g，银条 30 g，猪肉粒 30 g，菜籽油 30 g，黄豆酱 25.80 g，青红椒 20 g，生抽 14.20 g，花生 6 g，蚝油 4.19 g，芝麻 3.2 g，白糖 2.57 g，花椒 1.6 g，此时感官品质最好，口感层次丰富、脆嫩可口，口味咸辣适中，色泽诱人，酱体浓稠度适宜，响应面优化软件得到的感官评价得分为 87.75 分，在此条件下进行三次验证实验，得到感官评价得分为 88.14，其各项理化指标、卫生指标、污染物指标均符合国家标准，具有营养丰富、口味独特、口感多样、附加值高等特点。

本文所制备的鸡蛋银条肉酱，在国内研究中未见有报道，上文中提到的与之相关的银条酱料所采用的是单因素实验和正交实验结合的方法进行配方优化，或者正交实验和响应面法相结合的方法进行配方优化，相比之下，本文的研究采用模糊数学感官评价结合正交实验、响应面优化法的方法对酱料配方进行优化，结果更精确、更清晰、更系统、更全面，不仅为消费者提供了一个新选择，为鸡蛋银条肉酱的发展及工业化生产提供了数据参考，也为佐食酱的开发提供了新思路，为拓宽银条加工途径、丰富酱料功能应用提供了新理念、新方法。

参考文献

- [1] 贾久满,张丽娜.不同品种鸡蛋的蛋品质及营养成分比较[J].江苏农业科学,2017,45(14):152-155.
- [2] 庄珑昱,郑江霞.鸡蛋品质评价方法研究进展及其影响因素分析[J].中国家禽,2024,46(3):87-94.
- [3] XIA X, LIU F, HUANG K, et al. Egg consumption and risk of coronary artery disease, potential amplification by high genetic susceptibility: a prospective cohort study [J]. The American Journal of Clinical Nutrition, 2023, 118(4): 773-781.
- [4] 党东阳,李佩艳,刘建,等.不同贮藏温度对银条褐变及细胞壁降解的影响[J].食品与发酵工业,2023,49(4):88-96.
- [5] 钟先锋,黄桂东,张继,等.银条水苏糖抑制人结肠癌Caco-2细胞增殖的作用及机制[J].食品与机械,2015,31(6):156-159.
- [6] 马玉翠,王淳,王尉,等.水苏糖标准样品的研制[J].中国实验方剂学杂志,2017,23(14):68-73.
- [7] 赵永敢,刁静雯.泡椒银条加工工艺研究[J].中国调味品,2018,43(2):100-102.
- [8] 焦镭,蒋小锋,魏楠,等.银条面包的研制及工艺优化[J].粮食与油脂,2020,33(10):46-51
- [9] 党东阳.热处理对银条贮藏过程中褐变的控制效应及其机制研究 [D].洛阳:河南科技大学,2022.
- [10] 刘晓丽,赵世航,王彦,等.银条香菇营养酱的开发研制[J].中国调味品,2021,46(7):135-139.
- [11] 贾庆超,梁艳美,卢灿,等.响应面法优化黑蒜银条酱制备工艺[J].中国调味品,2021,46(12):92-97.
- [12] 周一鸣,陆灏钰,陈杰,等.模糊数学模型结合响应面法优化萌发藜麦乳工艺设计[J].现代食品科技,2023,39(9):223-232.
- [13] OGEDJO M, KAPOOR A, SENTHIL KUMAR P, et al. Modeling of sugarcane bagasse conversion to levulinic acid using response surface methodology (RSM), artificial neural networks (ANN), and fuzzy inference system (FIS): A comparative evaluation [J]. Fuel, 2022, 329: 125409.

- [14] SINIJA V R, MISHRA H N. Fuzzy analysis of sensory data for quality evaluation and ranking of instant green tea powder and granules [J]. Food and Bioprocess Technology, 2011, 4(3): 408-416.
- [15] MUKHOPADHYAY S, MAJUMDAR G C, GOSWAMI T K, et al. Fuzzy logic (similarity analysis) approach for sensory evaluation of chhana podo [J]. LWT-Food Science and Technology, 2013, 53(1): 204-210.
- [16] YANG M S, LIU H H. Fuzzy least-squares algorithms for interactive fuzzy linear regression models [J]. Fuzzy Sets and Systems, 2003, 135(2): 305-316.
- [17] ZOLFAGHARI Z S, MOHEBBI M, NAJARIYAN M. Application of fuzzy linear regression method for sensory evaluation of fried donut [J]. Applied Soft Computing, 2014, 22: 417-423.
- [18] 张开平, 韦行静, 刘燕, 等. 低糖马齿苋紫薯酱加工工艺优化及其产品品质评价[J]. 食品工业科技, 2024, 45(3): 187-196.
- [19] GB 2718-2014, 食品安全国家标准 酿造酱[S].
- [20] 邵蕾, 许铭强, 马燕, 等. 基于模糊数学感官评价法结合响应面法优化高压电场解冻法兰西西梅工艺[J]. 现代食品科技, 2023, 39(8): 188-198.
- [21] 何军波, 贾庆超. 模糊数学评价结合响应面法优化黑蒜香菇酱制备工艺及抗氧化活性和储藏分析[J]. 食品工业科技, 2023, 44(19): 47-56.
- [22] 刘馥源, 黄占旺, 沈勇, 等. 香菇多酚超声波提取工艺及抗氧化性分析[J]. 中国调味品, 2022, 47(3): 14-20.