

Plackett-Burman 设计与模糊数学联用优化 卤虫风味酱制备工艺

姜晓东^{1,2}, 孙元芹^{1,2}, 赵旭东^{1,2}, 张帅中^{1,2}, 李晓^{1,2}, 纪蕾^{1,2}, 王颖^{1,2*}

(1. 山东省海洋科学研究院, 山东 青岛 266104; 2. 青岛市水产生物品质评价与利用工程研究中心, 山东 青岛 266104)

摘要: 为挖掘卤虫作为食品资源的开发潜力, 该研究以卤虫、贝类、蔬菜等为主要原料, 开发一款卤虫风味酱。结合模糊数学原理, 以感官评分为指标, 采用 Plackett-Burman 试验设计筛选出影响产品感官品质的关键因子, 进一步结合中心组合设计-响应面法优化最优工艺配方, 采用电子舌技术分析产品滋味, 并测定其营养成分。结果表明: 影响卤虫风味酱感官品质的关键因子为植物油、胡萝卜、山药。卤虫风味酱最优配方为 100.00 g 卤虫、60.75 g 植物油、47.47 g 胡萝卜、38.31 g 山药、60.00 g 蛤蜊肉、8.00 g 香菇、9.00 g 黄豆酱、0.60 g 孜然粉、0.75 g 姜黄粉、0.60 g 白砂糖。此优化条件下, 产品滋味以鲜香为主, 滋味协调、口感立体、色泽鲜亮, 感官评分为 95.50, 感官品质达到最佳, 蛋白质含量为 14.56 g/100 g。

关键词: 卤虫; Plackett-Burman 设计; 模糊数学法; 风味酱; 工艺优化

Optimization of *Artemia* Flavor Sauce Process Formula by Plackett-Burman Design and Fuzzy Mathematics

JIANG Xiaodong^{1,2}, SUN Yuanqin^{1,2}, ZHAO Xudong^{1,2}, ZHANG Shuaizhong^{1,2},
LI Xiao^{1,2}, JI Lei^{1,2}, WANG Ying^{1,2*}

(1. Marine Science Research Institute of Shandong Province, Qingdao 266104, Shandong, China; 2. Qingdao Aquatic Organisms Quality Evaluation and Utilization Engineering Research Center, Qingdao 266104, Shandong, China)

Abstract: In order to tap into the potential of *Artemia* as a food resource, an *Artemia* flavor sauce, with *Artemia*, shellfish, and vegetables as the main raw materials, was developed in this study. By combining the principles of fuzzy mathematics, sensory evaluation was used as an evaluation indicator, and the Plackett-Burman design was used to screen key factors that affected the sensory quality of products. Meanwhile, the central composite design-response surface methodology was used to optimize the optimal process formula, and electronic tongue technology was used to analyze the taste of the product and determine its nutritional components. The results indicated that vegetable oil, carrots, and yam were key factors affecting the sensory quality of the *Artemia* flavor sauce. Furthermore, the optimal formula was obtained as follows: *Artemia* of 100.00 g, vegetable oil of 60.75 g, carrots of 47.47 g, yams of 38.31 g, clam meat of 60.00 g, shiitake mushrooms of 8.00 g, soybean sauce of 9.00 g, cumin powder of 0.60 g, ginger powder of 0.75 g, and white sugar of 0.60 g, respectively. Under these optimized conditions, the delicious and fragrant taste was considered the main characteristic of the sauce, with a harmonious and three-dimensional taste and bright color. The sensory quality reached its optimal value, with a sensory score of 95.50. Additionally, the protein content was 14.56 g/100 g.

Key words: *Artemia*; Plackett-Burman design; fuzzy mathematics method; flavor sauce; process optimization

基金项目: 国家重点研发计划项目(2024YFD2401604); 青岛市关键技术攻关及产业化示范类项目(24-1-3-hygg-25-hy); 山东省虾蟹产业技术体系建设任务项目(SDAIT-13-01)

作者简介: 姜晓东(1988—), 男(汉), 助理研究员, 硕士研究生, 研究方向: 食品生物技术。

*通信作者: 王颖(1971—), 女(汉), 研究员, 硕士研究生, 研究方向: 海洋生物资源利用。

引文格式:

姜晓东,孙元芹,赵旭东,等. Plackett-Burman 设计与模糊数学联用优化卤虫风味酱制备工艺[J]. 食品研究与开发, 2025,46(5):138-146.

JIANG Xiaodong, SUN Yuanqin, ZHAO Xudong, et al. Optimization of *Artemia* Flavor Sauce Process Formula by Plackett-Burman Design and Fuzzy Mathematics[J]. Food Research and Development, 2025,46(5):138-146.

卤虫(*Artemia*)亦称丰年虫、丰年虾、盐水丰年虫等,属节肢动物门、鳃足纲、无甲目,主要以滤食微藻、有机碎屑等为食。卤虫成虫的粗蛋白含量为 50.20%~69.02%^[1],其氨基酸组成合理,必需氨基酸占氨基酸总量的 40% 以上,符合粮农组织/世界卫生组织推荐的理想蛋白质模式^[2],是一种优质动物蛋白。此外,以微藻为食的卤虫还会富集叶绿素、类胡萝卜素等色素^[3],具有较高的营养价值。卤虫食用历史悠久,在南北美洲及非洲的原始部落,部分地区长期保持着食用卤虫的习惯^[4]。近年来,一部分东南亚国家也出现卤虫加工利用的实例:泰国有以发酵卤虫为提取原料的卤虫鱼露(*Artemia nampla*)产品,其作为主食调味料而在曼谷一带备受推崇;湄公河三角洲一带的越南烹饪行业则致力于将卤虫蛋饼(*Artemia melette*)作为新式菜品向世界推广^[5]。在我国民间同样长期保留着众多对于卤虫的食用习惯,如东南沿海地区的部分家庭以卤虫做汤食用,味道十分鲜美。卤虫菜品或是以卤虫为原料的加工产品研发具有巨大的发展前景。

酱制品始于中国,延续至今成为维系传统家庭生活与饮食健康的最为常见的菜式之一^[6]。随着消费者对于食品的美味、营养和食品多样性的追求日益增长,以卤虫为原料,开发一款可用于佐餐、拌饭、拌面的卤虫风味酱产品,尝试以我国大众普遍接受的酱制品形式将卤虫引入食谱,对提高消费者对卤虫食品接受度和提高卤虫在食品领域的应用价值具有积极意义。

试验设计在食品开发中发挥重要作用。Plackett-Burman(PB)设计,主要针对当因子数众多且不确定众因子相对于响应变量的显著影响时,通过比较两水平差异与整体差异性之间的显著性,筛选出关键影响因素,从而减少试验次数,提高试验效率^[7]。响应面法能够评价各因素的交互作用,从而优化工艺参数^[8]。因此,PB 设计与最陡爬坡试验结合响应面法是一种经济高效的优化试验设计方法,常用于食品加工领域^[9]。感官评价在食品评价中非常重要,对决定消费者的购买欲望起主导作用^[10]。然而感官品质一般为文字描述,具有模糊性特征,而模糊数学感官评价法能够依据模糊变换原理及最大隶属度原则,对食品品质实现多方面因素的综合考量^[11-12],具有客观、准确、具体化等优势。韩玉谦等^[13]利用卤虫卵研制氨基酸饮料,而以卤虫为原料开发风味酱的研究还鲜有报道。本试验以

卤虫为主料,复配蔬菜、贝肉等,结合模糊数学原理,以感官评分为指标,以 Plackett-Burman 设计结合响应面法对配方原料进行优化,研制一款美味与营养兼具的卤虫风味酱产品,以期为卤虫在食品领域的开发利用提供一定参考。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与试剂

卤虫:滨州铭硕生物科技有限公司;蛤蜊、香菇、山药、胡萝卜、孜然粉、姜黄粉、白砂糖、洋葱、姜、蒜、海鲜酱 A、海鲜酱 B:市售;植物油:中粮福临门食品营销有限公司;黄豆酱:海天酿造食品有限公司。

1.2 仪器与设备

精密鼓风干燥箱(BAO-250A):施都凯仪器设备有限公司;高压蒸汽灭菌锅(YXQ-LS-100S):上海博迅生物仪器股份有限公司;榨汁机(JS43D-250):浙江绍兴苏泊尔家居用品有限公司;电磁炉(C21-RT2126):广东美的生活电器制造有限公司;电子天平(HC5002):慈溪市华徐衡器实业有限公司;全自动蛋白测定仪(Kjeltec 8400)、全自动脂肪测定仪(Soxtec8000):丹麦 FOSS 公司;电感耦合等离子体光谱仪(5110):安捷伦科技有限公司;电子舌系统(TS-5000Z):日本 insent 公司。

1.3 方法

1.3.1 工艺流程

原辅料处理→炒制→灌装→排气→封盖→高温高压灭菌→冷却→检验→成品。

1.3.2 操作要点

1.3.2.1 原辅料处理

卤虫:清洗、沥干后,置 40℃精密鼓风干燥箱内烘干 2 h,备用。

蛤蜊肉丁:将蛤蜊洗净,蒸煮至开口,取蛤蜊肉,切成细丁,备用。

胡萝卜-山药匀浆:将胡萝卜、山药煮熟后,将山药去皮,将两者切块、混合、打浆,得胡萝卜-山药匀浆,备用。

1.3.2.2 卤虫风味酱制备

植物油下锅,油热后,加入洋葱末、姜末和蒜末,炒香后,加入卤虫,翻炒至卤虫颜色稍黄后,加入黄豆酱、蛤蜊肉丁、香菇丁和胡萝卜-山药匀浆,翻炒至色泽均匀后,依次加入姜黄粉、孜然粉和白砂糖,翻炒至酱体色泽均一、气味鲜香浓郁后盛出备用。

1.3.2.3 定量灌装

采用玻璃瓶装罐,110 g/瓶,装罐后瓶内留 1~2 cm 的顶隙。

1.3.2.4 排气封罐

100 °C加热排气 7~8 min,真空封罐。

1.3.2.5 高温高压灭菌

将封口后的罐头装入高压蒸汽灭菌锅中,在预热 20 min、杀菌 50 min、冷却 20 min 条件下杀菌,杀菌温度 121 °C。

1.3.3 试验设计

1.3.3.1 Plackett-Burman 试验设计筛选关键因子

根据文献[14-15]和预试验结果,本研究固定卤虫

质量,以 100 g 卤虫为标准,其他原料按占卤虫质量的百分比表示。对植物油添加量(A)、蛤蜊肉添加量(B)、香菇添加量(C)、山药添加量(D)、胡萝卜添加量(F)、黄豆酱添加量(G)、孜然粉添加量(H)、姜黄粉添加量(J)、白砂糖添加量(K)以及 E、I 两个虚拟变量进行筛选,每个因素取高、低 2 个水平,其中高水平为低水平的 1.5 倍,以感官评分为指标,采用 Design-Expert 8.0 软件选用 $n=12$,按表 1 设计试验。

1.3.3.2 最陡爬坡试验设计

根据 PB 试验结果,由主要影响因素的偏回归系数的正负值决定各因素的爬坡方向,按照一定梯度改变植物油、胡萝卜、山药的添加量,进而快速接近最大

表 1 Plackett-Burman 试验因素及水平
Table 1 Factors and levels for Plackett-Burman test

水平	因素											
	A 植物油添加量/%	B 蛤蜊肉添加量/%	C 香菇添加量/%	D 山药添加量/%	E 虚拟变量	F 胡萝卜添加量/%	G 黄豆酱添加量/%	H 孜然粉添加量/%	I 虚拟变量	J 姜黄粉添加量/%	K 白砂糖添加量/%	
-1	44	40	8	35.0		35.0	6	0.6		0.50	0.4	
1	66	60	12	52.5		52.5	9	0.9		0.75	0.6	

响应值^[16-17]。

1.3.3.3 响应面试验设计

在 PB 试验和最陡爬坡试验的基础上,以植物油、胡萝卜、山药添加量为因素,以感官评分为响应值,通过中心组合设计三因素五水平的响应面试验,考察各因素对响应值的影响程度。试验因素及水平如表 2 所示。

表 2 中心组合设计因素及水平
Table 2 Factors and levels for central composite design

水平	因素		
	A'植物油添加量/%	B'胡萝卜添加量/%	C'山药添加量/%
-1.682	46.5	37	25.5
-1	52	41	31
0	60	47	39
1	68	53	47
1.682	73.5	57	52.5

1.3.4 模糊数学-感官评价法模型构建

1.3.4.1 建立因素集、评语集

利用模糊数学法进行卤虫风味酱品质综合分析时,首先应设立评价因素集。选定色泽、气味、滋味、口感作为卤虫风味酱感官性质的评价指标,因素集设为 U ,确定因素集为 $U=(\text{色泽 } u_1, \text{气味 } u_2, \text{滋味 } u_3, \text{口感 } u_4)$ 。

评价集是每个因素评价结果的集合。参考周慧等^[10]、徐建宗^[18]研究并根据本产品品质分布实际情况,对每个因素按“优、良、差”3 个等级评价,评语集设为 V ,确定评语集为 $V=(\text{优 } v_1, \text{良 } v_2, \text{差 } v_3)$,优、良、差赋值

分别为 100、80、60 分。

1.3.4.2 确定权向量

综合考虑本产品在各因素上的区分能力,结合预试验结果,对影响本产品感官品质的各个因素的重要程度进行确定,色泽占 20%,气味占 20%,滋味占 30%,口感占 30%,权重总和为 1。确定权向量(A)为 $A=(0.2, 0.2, 0.3, 0.3)$ 。

1.3.4.3 确定模糊矩阵

邀请 8 名感官评价人员(男女各 4 名)根据卤虫风味酱的评定标准,分别对样品的色泽、气味、滋味和口感 4 个方面进行等级确定,感官评分标准见表 3。通过统计各等级票数占总票数的比率,确定各因素对于各评级的隶属度^[19-20]。以因素为行,评级为列,得到单个样品的 4×3 模糊矩阵 R 如下。

$$R = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \\ r_{41} & r_{42} & r_{43} \end{pmatrix}$$

式中: r_{ij} 为该样本第 i 个因素对于第 j 个评级的隶属度。

1.3.4.4 综合评判结果和感官评分计算

单个样品的综合评判结果(B)和感官评分(F)的计算公式如下。

$$B = A \times R \\ F = B \times S^T$$

式中: A 为权向量; R 为该样品的模糊矩阵; $S=(100, 80, 60)$,即优、良、差 3 个等级所对应分值; S^T 为向量 S 的转置。

表3 卤虫风味酱感官评分标准

Table 3 Sensory evaluation criteria for *Artemia* flavor sauce

因素	权重	等级	评价标准
色泽	0.2	优	酱体呈浅棕色、富有光泽,油呈金黄、透亮,内容物色泽均一
		良	酱体呈略深棕色、略有光泽,油色略差,内容物色泽较为均一
		差	酱体暗淡、缺乏光泽,油色不佳,内容物色泽参差
气味	0.2	优	海鲜风味浓郁,气味整体协调、突出
		良	略有海鲜风味,气味整体略不协调
		差	缺乏海鲜风味,气味整体不协调
滋味	0.3	优	咸甜适宜,鲜味浓郁,滋味整体协调,回味香浓
		良	咸甜适宜,鲜味稍淡,滋味整体较协调,回味稍差
		差	或咸甜不适宜,或缺乏鲜味,滋味整体不协调,略有异味
口感	0.3	优	质地均匀,黏稠适中,富有肉质颗粒感,易咀嚼
		良	质地较均匀,略稠或略稀,略有肉质颗粒感
		差	质地不均匀,过稠或过稀,缺乏肉质颗粒感,难咀嚼

1.3.5 电子舌试验

取 60 g 样品置于洁净的烧杯中,添加 60 mL 纯水,搅拌均匀,3 000 r/min 离心 10 min,过滤,取上清

液,测定 5 种基本味(酸、甜、苦、咸、鲜)和涩味及回味。参比溶液(无味点)为 30 mmol/L 氯化钾+0.3 mmol/L 酒石酸。酸味无味点为-13,咸味无味点为-6,其他味觉阈值为 0。检测条件为温度 25 ℃、清洗时间 5 min、采集时间 2 min。每组测试 3 次,取平均值。

1.3.6 能量和营养成分测定

按照 GB 28050—2011《食品安全国家标准 预包装食品营养标签通则》^[21]测定能量、碳水化合物含量;按照 GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》^[22]测定粗蛋白含量;按照 GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》^[23]测定粗脂肪含量;按照 GB 5009.91—2017《食品安全国家标准 食品中钾、钠的测定》^[24]测定钠含量。

1.4 数据处理

采用 Excel 2010 软件进行数据分析,采用 Design-Expert 8.0 进行 PB 试验与响应面试验数据分析。

2 结果与分析

2.1 Plackett-Burman 试验结果及模糊数学分析

2.1.1 模糊数学法-感官评价分析

以 Plackett-Burman 试验为例,8 名感官评价人员对 12 组样品进行等级确定,各因素在每个等级中的票数分布见表 4。

表4 Plackett-Burman 试验模糊数学感官评价统计情况

Table 4 Statistics of sensory evaluation by fuzzy mathematics in Plackett-Burman test

序号	色泽			气味			滋味			口感		
	优	良	差	优	良	差	优	良	差	优	良	差
1	3	5	0	4	4	0	1	5	2	5	1	2
2	6	2	0	6	2	0	5	3	0	6	1	1
3	4	4	0	5	3	0	3	3	2	6	2	0
4	3	5	0	5	2	1	5	3	0	6	2	0
5	6	2	0	2	6	0	3	5	0	5	3	0
6	4	3	1	4	4	0	2	6	0	6	2	0
7	7	1	0	6	2	0	4	2	2	4	3	1
8	4	4	0	3	4	1	6	2	0	3	4	1
9	3	5	0	5	3	0	5	3	0	5	3	0
10	0	5	3	2	6	0	3	5	0	4	2	2
11	1	6	1	2	5	1	4	3	1	5	3	0
12	4	4	0	6	2	0	3	5	0	3	5	0

将表 4 中各等级的票数依次除以总评定人数,即得到等级票数占总票数的比率,并按照矩阵排列得出各样品的模糊综合评价矩阵。以样品 1 为例,其色泽 3 人选优、5 人选良、0 人选差,因此可得到色泽=(0.375,0.625,0),同理可得气味=(0.500,0.500,0),滋味=(0.125,0.625,0.25),口感=(0.625,0.125,0.250),

样品 1 的模糊矩阵 R_1 如下。

$$R_1 = \begin{pmatrix} 0.375 & 0.625 & 0 \\ 0.500 & 0.500 & 0 \\ 0.125 & 0.625 & 0.250 \\ 0.625 & 0.125 & 0.250 \end{pmatrix}$$

以权重向量 A 对 R_1 进行矩阵乘法,则得到样品 1 的

表7 Plackett-Burman 试验方差分析

Table 7 Analysis of variance for Plackett-Burman test

方差来源	F 值	P 值	显著性
模型	24.53	0.039 8	*
A	84.05	0.011 7	*
B	0.05	0.843 8	
C	2.45	0.258 0	
D	31.25	0.030 5	*
F	64.80	0.015 1	*
G	0.80	0.465 5	
H	18.05	0.051 2	
J	18.05	0.051 2	
K	1.25	0.379 8	

注:*表示存在显著性差异($P<0.05$)。

更具优势。

由表7可知,该模型F值为24.53, $P=0.039\ 8<0.05$,模型显著。各因素中,植物油、胡萝卜、山药3个因素对感官评分的影响显著($P<0.05$),且显著性植物油>胡萝卜>山药,而其他6个因素对感官评分的影响不显著($P>0.05$)。因此,选择植物油、胡萝卜、山药3个因素作为下一步试验的关键因素。在非显著性因素中,蛤蜊肉、黄豆酱、姜黄粉、白砂糖对感官评分的影响是正效应,应取其高水平,而香菇、孜然粉的影响是负效应,应取其低水平。因此,根据Plackett-Burman试验结果确定每添加100g卤虫,则添加60.00g蛤蜊肉、8.00g香菇、9.00g黄豆酱、0.60g孜然粉、0.75g姜黄粉和0.60g白砂糖。

本研究发现,植物油对产品的影响最大,这是因为植物油可使产品中各种配料在炒制过程中更好地受热炒香,植物油本身发生适度热反应氧化也能够增加产品风味。此外,植物油也会影响产品性状和保存时限。如果植物油添加量过少,则酱体较干、色泽暗淡,且产品容易腐败^[25];胡萝卜对产品感官评分的影响次之,胡萝卜会增加产品的甘甜味,影响产品色泽,且胡萝卜营养丰富,富含胡萝卜素,是获取维生素A的安全来源;山药对产品感官评分影响显著且为负相关,这是因为山药淀粉含量高,添加过多会使产品质地黏稠,缺乏肉质颗粒感,从而影响产品品质。除山药外,香菇和孜然粉同样对产品感官评分呈负相关,这是因为香菇具有强烈的典型香味,添加过多会掩盖卤虫原有鲜味,且香菇颜色较深,过多添加会使酱体颜色发暗;而孜然粉作为香辛调味品,适当添加可以去除炒制后卤虫肉残留的腥味,而添加过多则会掩盖产品鲜味。

2.2 最陡爬坡试验结果

植物油、胡萝卜对感官评分的影响是正效应,取值应逐渐增大,而山药的影响是负效应,取值应逐渐减小。根据3个因素效应大小设定变化的方向和步长,

进行最陡爬坡试验,确定显著因素的最适范围,试验设计及结果见表8。

表8 最陡爬坡试验设计及结果

Table 8 Design and results of steepest ascent test

序号	A'植物油添加量/%	B'胡萝卜添加量/%	C'山药添加量/%	感官评分
1	44	35	55	83.75
2	52	41	47	90.00
3	60	47	39	91.00
4	68	53	31	87.50
5	76	59	23	89.25
6	84	65	15	83.25

由表8可知,随着植物油、胡萝卜添加量的增加和山药添加量的减少,产品感官评分呈先上升后下降的趋势。试验3的卤虫风味酱感官评分最高,表明最大响应值在第3号试验附近。因而选择试验3(植物油添加量60%、胡萝卜添加量47%、山药添加量39%)作为响应面试验的中心点。

2.3 卤虫风味酱响应面优化试验

以植物油添加量、胡萝卜添加量、山药添加量为因素,采用三因素五水平中心组合试验,以感官评分为响应值,试验结果见表9,方差分析见表10。

表9 中心组合设计方案与结果

Table 9 Scheme and results of central composite design

试验标准序	区组	因素			Y 感官评分
		A'	B'	C'	
1	1	-1	-1	-1	86.00
4	1	1	1	-1	84.75
6	1	1	-1	1	79.75
7	1	-1	1	1	83.00
9	1	0	0	0	94.50
10	1	0	0	0	95.00
2	2	1	-1	-1	89.25
3	2	-1	1	-1	85.75
5	2	-1	-1	1	78.25
8	2	1	1	1	84.50
11	2	0	0	0	93.25
12	2	0	0	0	96.25
13	3	-1.682	0	0	81.00
14	3	1.682	0	0	83.75
15	3	0	-1.682	0	78.50
16	3	0	1.682	0	82.75
17	3	0	0	-1.682	76.25
18	3	0	0	1.682	80.00
19	3	0	0	0	97.25
20	3	0	0	0	95.50

表 10 回归模型方差分析

Table 10 Analysis of variance for regression model

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
区组	49.01	2	24.5			
模型	741.9	9	82.43	7.68	0.004 3	**
A'	7.14	1	7.14	0.66	0.438 4	
B'	10.37	1	10.37	0.97	0.354 6	
C'	14.24	1	14.24	1.33	0.282 8	
A'B'	2.26	1	2.26	0.21	0.658 8	
A'C'	0.07	1	0.07	6.55×10 ⁻³	0.937 5	
B'C'	25.38	1	25.38	2.36	0.162 7	
A' ²	185.41	1	185.41	17.27	0.003 2	**
B' ²	254.86	1	254.86	23.73	0.001 2	**
C' ²	373.2	1	373.2	34.76	0.000 4	**
残差	85.9	8	10.74			
失拟项	79.75	5	15.95	7.77	0.061 0	
纯误差	6.16	3	2.05			
总变异	876.81	19				

注:**表示影响极显著(P<0.01)。

对表 9 中数据拟合分析,得到回归方程: $Y = -452.76 + 22.75A' + 32.33B' + 13.27C' - 0.11A'B' + 0.01A'C' + 0.36B'C' - 0.55A'^2 - 1.14B'^2 - 0.78C'^2$ 。

由表 10 可知,模型 $P < 0.01$,表明试验所采用的二次模型极显著;失拟项 $P = 0.061 0 > 0.05$,表明该方程在被研究的区域内不显著,模型具有高度的可靠性^[26]。模型相关系数 $R^2 = 0.896 2$,表明响应值的变化 89.62% 来自所选因素,方程的拟合程度较好,能很好地对响应面值进行预测;矫正相关系数 $R_{Adj}^2 = 0.779 5$,无明显过拟合现象;信噪比 $= 7.523 > 4$,信息足够明确以屏蔽噪音,模型设计合理;变异系数为 $3.80\% < 10\%$,说明数据稳定性高,模型可信。根据 F 值大小可判断,各因素对试验结果影响大小次序为 C' 山药添加量 $> B'$ 胡萝卜添加量 $> A'$ 植物油添加量。根据软件分析结果,得配方参数为植物油添加量 60.75%、胡萝卜添加量 47.47%、山

药添加量 38.31%,预期感官评分为 95.35。

2.4 验证试验

对试验模型进行验证试验,重复 3 次,取平均值,制作的卤虫风味酱感官评分实际平均值为 95.50 ± 1.16 ,与理论值 95.35 非常接近。在 10% 置信水平下,预测值置信区间为 [94.89, 95.81],包含实际结果,故该模型高度可信,产品最佳条件成立。

2.5 电子舌结果分析

电子舌技术在用于区分样品之间滋味的差异性方面,已得到了广泛的研究和应用^[27]。卤虫风味酱电子舌结果见图 1。

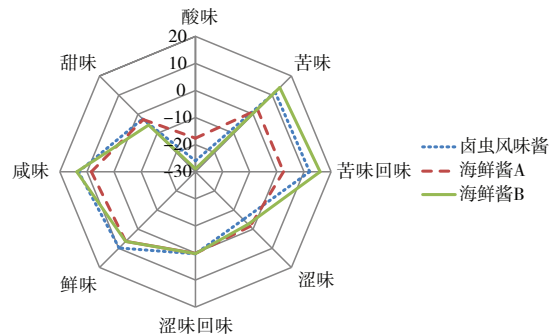


图 1 基于电子舌的卤虫风味酱滋味轮廓(去除无味点)

Fig.1 Taste profiles of Artemia flavor sauce based on electronic tongue (remove tasteless point)

由图 1 可知,卤虫风味酱的酸味、甜味、涩味都低于检测阈值,理论上表明样品中这一味道感知不到或不存在。鲜味、咸味、苦味、苦味回味均在无味点以上,共同组成了本产品的滋味。与市售海鲜酱相比,本产品鲜味最高,咸味适宜,苦味较淡,整体以鲜香为主,滋味较为丰富。后续为进一步降低产品苦味,可适当添加木糖或葡萄糖进行美拉德反应,增加产品鲜香味^[28]。

2.6 产品营养指标

卤虫风味酱基本营养成分见表 11。

由表 11 可知,卤虫风味酱蛋白质含量较高且碳水

表 11 卤虫风味酱能量和营养成分含量(湿基)

Table 11 Energy and nutritional component content of Artemia flavor sauce (wet base)

组别	能量/(kJ/100 g)	粗蛋白含量/(g/100 g)	粗脂肪含量/(g/100 g)	碳水化合物含量/(g/100 g)	钠含量/(mg/100 g)
卤虫风味酱	1 468	14.56±1.38	27.21±1.74	12.60±1.15	698±26
紫苏干贝海鲜酱 ^[29]	-	12.56	16.37	-	-
海鲜酱 A	880	1.00	1.20	47.00	2 750
海鲜酱 B	511	7.00	9.50	2.40	1 280

注:-表示未检测。

化合物含量较低,其蛋白质和碳水化合物含量分别为 14.56 g/100 g 和 12.60 g/100 g。结果表明,卤虫风味酱具有较高营养价值,适合佐餐、拌饭、拌面等各类餐饮及家庭烹饪使用。

3 结论

本研究利用卤虫为原料研制了一款鲜香型卤虫风味酱。结合模糊数学原理,以感官评分为指标,通过 Plackett-Burman 结合响应面法优化卤虫风味酱配方为

100.00 g 卤虫、60.75 g 植物油、47.47 g 胡萝卜、38.31 g 山药、60.00 g 蛤蜊肉、8.00 g 香菇、9.00 g 黄豆酱、0.60 g 孜然粉、0.75 g 姜黄粉、0.60 g 白砂糖。此条件下,卤虫风味酱均一稳定,形态黏稠适度,肉质具醇厚感和颗粒感,色泽呈浅棕色,具有浓郁的海鲜风味,滋味协调,口感立体,感官评分最高。卤虫风味酱蛋白质含量较高且碳水化合物含量较低,适合佐餐、拌饭、拌面等各类餐饮及家庭烹饪使用,填补了市场上卤虫酱类产品的空白。

参考文献:

- [1] 黄旭雄. 卤虫的营养[J]. 水产科学, 2007, 26(11): 628-631.
HUANG Xuxiong. Nutrition in brine shrimp *Artemia*[J]. Fisheries Science, 2007, 26(11): 628-631.
- [2] 姜晓东, 李红艳, 王颖, 等. 不同微藻对卤虫生长性能和营养价值的比较分析[J]. 食品研究与开发, 2023, 44(18): 66-73.
JIANG Xiaodong, LI Hongyan, WANG Ying, et al. Comparison of effects of different microalgae on growth performance and nutritional value of *Artemia*[J]. Food Research and Development, 2023, 44(18): 66-73.
- [3] MILLÁN-ALMARAZ M I, LÓPEZ-PERAZA D J, NIEVES-SOTO M, et al. Effect of 4 microalgal diets on the proximal composition, chlorophyll concentration, and total carotenoid content in *Artemia franciscana*[J]. Ciencias Marinas, 2023, 49:e3381.
- [4] 张耀武. 丰年虫鸡蛋的营养成分分析与安全性评价[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2011.
ZHANG Yaowu. Analysis of nutritional components and safety evaluation of eggs of mature insects[D]. Yangling: Northwest A & F University, 2011.
- [5] NGUYENV H, PATRICK S. Brine shrimp *Artemia* as a direct human food[J]. World Aquaculture, 2020, 51(3):24-25.
- [6] 吴正格. 酱调料与烹饪应用研究[J]. 扬州大学烹饪学报, 2008, 25(3): 37-41.
WU Zhengge. Research into the culinary application of sauce condiments[J]. Journal of Researches on Dietetic Science and Culture, 2008, 25(3): 37-41.
- [7] 葛宜元. 试验设计方法与 Design-Expert 软件应用[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2015.
GE Yiyuan. Experimental design method and application of Design-Expert software[M]. Harbin: Harbin Institute of Technology Press, 2015.
- [8] 刘振蓉, 赵武奇, 胡新中, 等. 燕麦挂面制作过程中干燥工艺优化研究[J]. 中国农业科学, 2022, 55(24): 4927-4942.
LIU Zhenrong, ZHAO Wuqi, HU Xinzhong, et al. Optimization of drying process in oat noodle production[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2022, 55(24): 4927-4942.
- [9] 杨健, 张星灿, 华苗苗, 等. Plackett-Burman 设计联用 Box-Behnken 响应面法优化鲜湿米粉延缓老化的研究[J]. 中国粮油学报, 2022, 37(1): 7-12.
YANG Jian, ZHANG Xingcan, HUA Miaomiao, et al. Plackett-Burman design combined with Box-Behnken response surface methodology to optimize anti-aging effects of fresh and wet rice noodle[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2022, 37(1): 7-12.
- [10] 周慧, 范江平, 李睿, 等. 均匀设计和模糊数学联用优化香辣猪肉干配方[J]. 食品研究与开发, 2022, 43(9): 138-143.
ZHOU Hui, FAN Jiangping, LI Rui, et al. Optimization of spicy pork dried recipe using uniform design and fuzzy mathematics[J]. Food Research and Development, 2022, 43(9): 138-143.
- [11] 李玉珍, 肖怀秋. 模糊数学评价法在食品感官评价中的应用[J]. 中国酿造, 2016, 35(5): 16-19.
LI Yuzhen, XIAO Huaiqiu. Application of fuzzy mathematics evaluation method in food sensory evaluation[J]. China Brewing, 2016, 35(5): 16-19.
- [12] ALI Z N, ASKERZADE I, ABDULWAHAB S. Estimation model for bread quality proficiency using fuzzy weighted relevance vector machine classifier[J]. Applied Bionics and Biomechanics, 2021, 2021: 6670316.
- [13] 韩玉谦, 冯晓梅, 姜守磊, 等. 卤虫卵氨基酸饮料的研制[J]. 食品科学, 2003, 24(12): 78-81.
HAN Yuqian, FENG Xiaomei, JIANG Shoulei, et al. Study on the amino-acid beverage of brine shrimp eggs[J]. Food Science, 2003, 24(12): 78-81.
- [14] 王颖, 李晓, 孙元芹, 等. 新型海鲜酱的加工技术研究[J]. 中国调味品, 2009, 34(10): 66-69.
WANG Ying, LI Xiao, SUN Yuanqin, et al. Study on the processing technology of a new type of scallop sauce[J]. China Condiment, 2009, 34(10): 66-69.
- [15] 王颖, 李晓, 卢珺, 等. 一种新型牡蛎即食食品的加工工艺[J]. 保鲜与加工, 2010, 10(2): 48-50.
WANG Ying, LI Xiao, LU Jun, et al. A new oyster instant food processing technology[J]. Storage and Process, 2010, 10(2): 48-50.
- [16] 李勇昊, 姜永生, 周长海, 等. 响应面法优化里氏木霉 *Rut C-30* 产纤维素酶液体培养基[J]. 中国酿造, 2012, 31(4): 29-32.
LI Yonghao, JIANG Yongsheng, ZHOU Changhai, et al. Optimization of liquid-state fermentation medium for cellulase production by *Trichoderma reesei* Rut C-30 with response surface methodology[J]. China Brewing, 2012, 31(4): 29-32.
- [17] 于雷, 张薇, 刘婷婷, 等. 超声波辅助双酶法提取米糠蛋白的工艺优化[J]. 食品工业科技, 2014, 35(19): 225-228, 234.
YU Lei, ZHANG Wei, LIU Tingting, et al. Optimization of ultrasonic-assisted dual enzymatic extraction of rice bran protein[J]. Science and Technology of Food Industry, 2014, 35(19): 225-228, 234.
- [18] 徐建宗. 熏马肉干丝辣椒酱产品开发及工艺优化[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2022.
XU Jianzong. Product development and process optimization of smoked horse dried shredded chili sauce[D]. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2022.
- [19] 王瑞花, 张文娟, 陈健初, 等. 基于模糊数学综合评价法优化红烧肉制作工艺[J]. 食品工业科技, 2015, 36(6): 274-278.
WANG Ruihua, ZHANG Wenjuan, CHEN Jianchu, et al. Optimization of braised pork processing based on fuzzy mathematic evaluation[J]. Science and Technology of Food Industry, 2015, 36(6): 274-278.
- [20] 刘加友, 陈兵兵, 王振斌, 等. 模糊数学和响应面在葛根乳酸菌饮料感官评定中的应用[J]. 中国食品学报, 2017, 17(1): 224-229.
LIU Jiayou, CHEN Bingbing, WANG Zhenbin, et al. Application of fuzzy mathematics and response surface in sensory assessment of kudzu root beverage[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2017, 17(1): 224-229.
- [21] 中华人民共和国卫生部. 食品安全国家标准 预包装食品营养标签通则: GB 28050—2011[S]. 北京: 中国标准出版社, 2013.
Ministry of Health of the People's Republic of China. National food safety standard General rules for nutrition labeling of prepackaged foods: GB 28050—2011[S]. Beijing: Standards Press of China, 2013.

- [22] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定: GB 5009.5—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, China Food and Drug Administration. National food safety standard Determination of protein in foods: GB 5009.5—2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.
- [23] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中脂肪的测定: GB 5009.6—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, China Food and Drug Administration. National food safety standard Determination of fat in foods: GB 5009.6—2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.
- [24] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中钾、钠的测定: GB 5009.91—2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, China Food and Drug Administration. National food safety standard Determination of potassium and sodium in foods: GB 5009.91—2017[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.
- [25] 刘春娟, 刘微. 干贝香菇海鲜酱制作工艺研究[J]. 中国调味品, 2019, 44(1): 105-107.
LIU Chunjuan, LIU Wei. Research on production process of dried scallop and *Lentinus edodes* food sauce[J]. China Condiment, 2019, 44(1): 105-107.
- [26] 贾庆超, 梁艳美, 张杰. 五香牛肉鸡枞菌风味酱的研制[J]. 中国酿造, 2021, 40(3): 195-200.
JIA Qingchao, LIANG Yanmei, ZHANG Jie. Development of spicy beef and *Collybla albuminosa* flavor sauce[J]. China Brewing, 2021, 40(3): 195-200.
- [27] 朱红, 孙健, 钮福祥, 等. 基于电子舌技术的不同甘薯雪花粉滋味品质评价[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(24): 9201-9206.
ZHU Hong, SUN Jian, NIU Fuxiang, et al. Evaluation of taste quality of sweet potato flour from different varieties based on electronic tongue technology[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2020, 11(24): 9201-9206.
- [28] 丁慧璞, 欧阳伟虹, 黄玉婷, 等. 小黄鱼边角料的酶解工艺及酶解液性能研究[J]. 核农学报, 2020, 34(9): 2021-2031.
DING Huipu, OUYANG Weihong, HUANG Yuting, et al. Enzymatic hydrolysis technology of small yellow croaker scraps and properties of its enzymatic hydrolysis solution[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2020, 34(9): 2021-2031.
- [29] 杨东松, 张嘉琪, 张海福, 等. 响应面法优化紫苏干贝海鲜酱工艺研究[J]. 中国调味品, 2021, 46(12): 119-125.
YANG Dongsong, ZHANG Jiaqi, ZHANG Haifu, et al. Optimization of processing technology of *Perilla* and scallop seafood sauce by response surface methodology[J]. China Condiment, 2021, 46(12): 119-125.

加工编辑: 刘艳美
收稿日期: 2024-07-10