

模糊数学评价结合响应面法优化香菇风味面条伴侣

王安建¹, 崔国梅¹, 薛玮声², 许方方¹, 魏书信¹

(1. 河南省农业科学院农产品加工研究中心 郑州 450002; 2. 河南农业大学 郑州 450002)

摘要: 香菇风味面条伴侣是一种以香菇为主要原料的调味品, 具有香菇特有的风味及营养成分。在单因素试验的基础上, 通过模糊数学评价结合响应面法对香菇风味面条伴侣主要原料配比进行优化, 为生产方便对最佳配比稍加修正并验证, 最后对其理化及微生物指标进行测定。研究表明, 香菇风味面条伴侣的最佳制作配比为卤香菇丁 100.0 g、豆瓣酱 14.1 g、红油 39.1 g、3%交联羟丙基淀粉乳 36.4 g、葱末 7.3 g、姜末 3.6 g、白糖 2.3 g、盐 4.5 g、鸡精 2.3 g、味精 3.2 g、白胡椒粉 0.4 g、十三香 0.4 g、蚝油 9.1 g、豆豉 18.1 g。在此条件下, 香菇风味面条伴侣料质均匀, 色泽红润, 菇味浓郁, 口感最佳, 其模糊感官评分高达 91.35 分, 且能较好地与响应面模型相拟合。香菇风味面条伴侣理化及微生物指标均符合国家标准等相关要求。

关键词: 面条伴侣; 香菇; 工艺优化; 模糊数学评定; 响应面法

中图分类号: S646.1² 文献标志码: A 文章编号: 1673-2871(2025)03-106-08

Optimization of noodle mate of shiitake mushroom flavor by fuzzy mathematical evaluation and response surface methodology

WANG Anjian¹, CUI Guomei¹, XUE Weisheng², XU Fangfang¹, WEI Shuxin¹

(1. Institute of Agro-products Processing, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450002, Henan, China; 2. Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, Henan, China)

Abstract: The noodle mate of shiitake mushroom flavor is a kind of condiment with fresh shiitake mushroom as the main material, which has the special flavor and nutrition. On the basis of single factor experiment, this paper optimized the ratio of main materials of noodle mate through fuzzy mathematics evaluation and response surface test. The optimal ratio was slightly adjusted for convenience in production and the verified, followed by the determination of its physicochemical and microbial indexes. The results showed that the best proportion of the noodle mate of shiitake mushroom flavor consisted of braised and diced mushroom 100 g, bean paste 14.1 g, red oil 39.1 g, 3% cross-linked hydroxypropyl starch emulsion 36.4 g, chopped onion 7.3 g, chopped ginger 3.6 g, sugar 2.3 g, salt 4.5 g, chicken essence 2.3 g, MSG 3.2 g, white pepper 0.4 g, thirteen spices 0.4 g, oil consumption 9.1 g, fermented bean paste 18.1 g. Under these conditions, the noodle mate of shiitake mushroom flavor was uniform, ruddy in color, full-bodied in flavor and best in taste. The fuzzy sensory score of the product reached 91.35, and it fit well with the response surface model. The physical, chemical and microbial indexes of the product met the requirements of the national standards.

Key words: Noodle mate; Shiitake mushroom; Process optimization; Fuzzy mathematical evaluation; Response surface methodology

香菇以极高的营养价值及药用价值成为久负盛名的食用菌, 不仅风味鲜美独特^[1-2], 而且富含香菇多糖、多肽、核酸等多种活性物质^[3-6], 具有抗癌抗炎、免疫调节、降“三高”、提升免疫力、促进钙吸收等药用价值^[7-9]。香菇因独特的质构, 鲜美的滋味, 显著的保健功效, 原料的易得及成本适中, 符合“风

味、健康双导向”要求, 成为加工制品的原料新宠。

香菇风味面条伴侣是以鲜香菇(残次菇)作为主要原料, 辅以豆瓣酱、红油、生姜、葱等香辛料卤制炒制而成, 除了面条伴侣, 还可作为许多菜肴的调味品。该产品又有别于香菇酱, 香菇酱属于油基, 主要通过油炸和炒制工艺制作而成, 含油量高,

收稿日期: 2024-07-16; 修回日期: 2024-11-25

基金项目: 河南省科技攻关计划项目(242102111068, 242102110348); 河南省重点研发专项(231111112500); 河南省农业科学院科技创新团队专项(2024TD35); 河南省农业科学院自主创新项目(2025ZC86); 河南省中央引导地方科技发展资金项目(Z20241471135)

作者简介: 王安建, 男, 研究员, 研究方向为农产品保鲜与加工。E-mail: 309294051@qq.com

且酸价和过氧化值存在一定的超标风险,而该产品属于水基,通过卤制和炒制工艺研制而成,符合人们减油的需求;香菇酱以香菇根为原料,而面条伴侣以残次菇为原料;香菇酱技术成熟、市场稳定,但同质化严重,而香菇风味面条伴侣极为少见,且对其相关的研究也未见报道。该产品利用新鲜的残次菇为原料加工而成,变废为宝,提升产品附加值,提高经济效益。

对面条伴侣的评价需要从多指标进行考虑,如色泽、滋味、气味、形态等,这些指标具有一定的模糊性及不确定性。笔者采用模糊数学法作为感官评分的判断依据,先对香菇含量、豆瓣酱含量、红油含量、3%交联羟丙基淀粉乳(以下简称淀粉乳,其中淀粉乳中添加1.5%的食盐)含量进行单因素试验,再通过响应面法优化最佳配比,最终得到香菇风味面条伴侣最佳配方。结合响应面法与模糊数学评价可使数据更加准确、客观和全面,将信息变量变为模糊变量,可较好地弥补变量间的模糊性及不确定性^[10-11],在一定程度上降低了主观评分造成的误差,使结果更加科学严谨。

笔者通过模糊数学评价结合 Box-Behnken 的中心组合试验设计,探讨了不同配料添加量对产品感官品质的影响,并优化出香菇风味面条伴侣的最佳配比,为其工业化生产提供一定的参考。此外,通过利用新鲜残次菇开发香菇风味面条伴侣,不仅可以提高香菇附加值,而且为香菇的多元化应用提供思路。

1 材料与方法

1.1 原料和试剂

香菇(新鲜残次菇)、豆瓣酱、红油、食盐、豆豉、淀粉乳、辣椒、香辛料、番茄酱等,均为市售;冰乙酸、三氯甲烷、碘化钾、石油醚、无水硫酸钠、丙酮、硫代硫酸钠、乙醚、异丙醇、硝酸银、铬酸钾等均为市售分析纯,百里香酚酞由国药集团化学试剂有限公司提供。

1.2 主要仪器和设备

JA5003B 型分析天平(上海精科天美科学仪器有限公司)、水浴锅(常州市金坛顺华仪器有限公司)、恒温干燥箱(昆山振弘检测设备有限公司)、RV8VC 型旋转蒸发仪(艾卡(广州)仪器设备有限公司)、H2050R 型台式高速冷冻离心机(湖南湘仪实验室仪器开发有限公司)、DF-101S 型恒温磁力搅拌器(巩义市予华仪器有限公司)。微生物含量采

用菌落总数测试片、沙门氏菌测试片、大肠菌群测试片、金黄色葡萄球菌测试片测定。

1.3 方法

1.3.1 工艺流程及操作要点 试验于2024年1—4月在河南省农业科学院农产品加工研究所进行,每个试验3次重复。

试验流程:原料预处理→切丁→卤制→红油熬制→炒制→真空包装→灭菌→成品入库。

原料预处理:选择个体大小均匀、成熟度一致、无腐烂无病虫害的新鲜香菇,清洗后置于沸水中(料液比1:5)烫漂3 min,捞出后迅速冷却。

切丁:冷却后的香菇切成0.5 cm³的香菇丁备用。

香菇丁卤煮:香叶0.5 g,八角2.8 g,丁香0.7 g,陈皮1.2 g,白芷2.0 g,花椒0.9 g,良姜0.6 g,肉蔻0.9 g,味精0.9 g,食盐13.2 g,白糖6.7 g,鸡肉膏1.5 g,水1000 g,水烧开后转为文火,100℃微沸状态下熬制3 h。然后,将500 g香菇丁倒入熬好的卤汤中,100℃微沸状态下卤煮10 min,得到卤香菇丁。

红油熬制:草果10 g,豆蔻3 g,小茴香4 g,八角5 g,桂皮4 g,花椒5 g,葱段107 g,香葱50 g,香菜55 g,蒜30 g,姜15 g,秦椒20 g,辣椒(新一代)50 g,辣椒(二荆条)30 g,白芝麻30 g,花生碎50 g,番茄酱50 g,色拉油1000 g。香辛料及辣椒打粉,葱、姜、蒜、香菜切段,辣椒粉加入凉油润湿。油加热6成熟放入香辛料及葱、姜、蒜、香菜小火慢熬15 min,捞出葱、姜、蒜、香菜,油趁热浇入辣椒粉,冷却后搅拌,放置过夜以便风味及色泽溶出。

炒制:锅中倒入一定量的红油,加热至150℃,加入葱末、姜末、豆豉、豆瓣酱炒香,加入卤香菇丁翻炒2 min,再加入白糖、鸡精、味精、蚝油、白胡椒、十三香调味,出锅前加入淀粉乳,搅拌至完全糊化,以调整酱体稠度。

装袋杀菌:香菇面条伴侣趁热装袋,真空包装,95℃灭菌25 min。

1.3.2 单因素试验 基础配方为:葱末7.3 g、姜末3.6 g、白糖2.3 g、盐4.5 g、鸡精2.3 g、味精3.2 g、白胡椒粉0.4 g、十三香0.4 g、蚝油9.1 g、豆豉18.1 g,再对香菇(50、75、100、125、150 g)、豆瓣酱(5、10、15、20、25 g)、红油(10、20、30、40、50 g)、淀粉乳(10、20、30、40、50 g)添加量的工艺参数进行优化。

1.3.3 响应面优化试验 根据单因素试验的结果,以模糊数学感官评分为响应值,对香菇添加量、豆

瓣酱添加量、红油添加量和淀粉乳添加量 4 个因素采用四因素三水平响应面优化试验设计,因素水平见表 1。

表 1 响应面试验因素水平

Table 1 Factors and levels of response surface test				
水平 Level	因素 Factor			
	A 卤香菇 Shiitake mushroom/g	B 豆瓣酱 Bean paste/g	C 红油 Chili oil/g	D 3%淀粉乳 3% Starch milk/g
-1	75	10	30	20
0	100	15	40	30
1	125	20	50	40

1.3.4 面条伴侣感官评价 面条伴侣的感官评价包括色泽、口感、气味及形态,因个人喜好等影响评分,故采用人群的测定方法以减少误差。本试验邀请 20 人参与培训及评分,面条伴侣感官评价标准见表 2。

1.3.5 模糊数学模型的建立 因素集 $M=\{\text{香菇添加量,豆瓣酱添加量,红油添加量,淀粉乳添加量}\}$;权重采用强制决定法经评判确定面条伴侣感官指标的权重 $X=\{0.15,0.3,0.3,0.25\}$,即色泽 0.15、滋味 0.3、气味 0.3、形态 0.25;评语集 $=\{\text{优,良,中,差}\}$ 。

表 2 面条伴侣感官评价标准

Table 2 Sensory evaluation standard table of noodle mate					
评价指标 Index	权重 Weight	评价标准 Evaluation criteria			
		优(100 分) Excellent	良(80 分) Good	中(60 分) Medium	差(40 分) Bad
色泽 Color	0.15	色泽红润,有光泽 Ruddy in color and lustrous	色泽较红润,有一定光泽 Ruddy in color with the certain luster	色泽呈红褐色,有一定光泽 Reddish brown in color, with a certain luster	色泽发暗,无明显光泽 Dark in color and without apparent gloss
滋味 Taste	0.3	滋味鲜美 Tastes more delicious	滋味较为鲜美 Taste delicious	口感一般 Taste normal	口感较差 Taste poor
气味 Smell	0.3	菇味浓郁 Full-bodied in mushroom flavor	菇味较浓郁 Rich in mushroom flavor	菇味不足 Poor in mushroom flavor	菇味不明显,有异味 Strange smell in mushroom flavor
形态 Form	0.25	分布均匀,稠度适中 Uniform more distribution, moderate more consistency	分布较均匀,稠度较适中 Uniform distribution, moderate consistency	分布不均匀,较稀或较稠 Uniform less distribution, moderate less consistency	分布不均匀,很稀或很稠 Uniform not distribution, moderate not consistency

用 Y 表示面条伴侣感官指标综合评价结果, $Y=X\times T, G=Y\times H$, 其中 X 为权重, T 为模糊矩阵, G 为模糊数学感官评分,等级向量 $H=\{100, 80, 60, 40\}$,参照耿吉等^[12]和魏劲松等^[13]的方法得出各样品模糊数学感官评分。

1.3.6 理化及卫生指标测定 食盐含量的测定:参考 GB 5009.42—2016;过氧化值的测定:参考 GB 5009.227—2023;酸价的测定:参考 GB 5009.229—2016;大肠菌群、沙门氏菌、金黄色葡萄球菌含量按照说明书要求测定。

1.4 数据分析

采用 SPSS 23.0 及 Design-Expert 12 进行数据统计分析,并用 Origin 8.5.1 软件制图。

2 结果与分析

2.1 单因素试验

2.1.1 卤香菇丁添加量对面条伴侣感官品质的影响 卤香菇丁含量影响面条伴侣整体的风味、口

感、营养价值和保质期。卤香菇丁能够提供面条伴侣的浓郁菇鲜味及丰富的营养,且能够给面条伴侣带来层次感和嚼劲,但含量过高可能使得产品过于浓稠,影响口感,成本也较高。

由图 1 可知,随着卤香菇丁添加量的增加,其感官评分呈现先升高后降低的趋势。当卤香菇丁的添加量为 50 g 时,其感官评分最低,为 68.8 分,此时卤香菇丁的添加量较少,产品形态太稀,固形物含量较低,香菇风味寡淡。当卤香菇丁添加量达到 100 g 时,感官评分高达 89.78 分,此时产品的口味鲜香,菇味浓郁,酱体黏稠度及固形物含量适中。当香菇添加量达到 150 g 时,感官评分仅为 82.81 分,明显低于卤香菇丁添加量为 100 g 的评分,可能是卤香菇丁添加量过多导致产品形态黏稠度过大,菇味过于浓郁反而带来了不适,且口感不够协调。结合成本等综合考虑,卤香菇丁的添加量适宜选择 75~125 g。

2.1.2 豆瓣酱添加量对面条伴侣感官品质的影

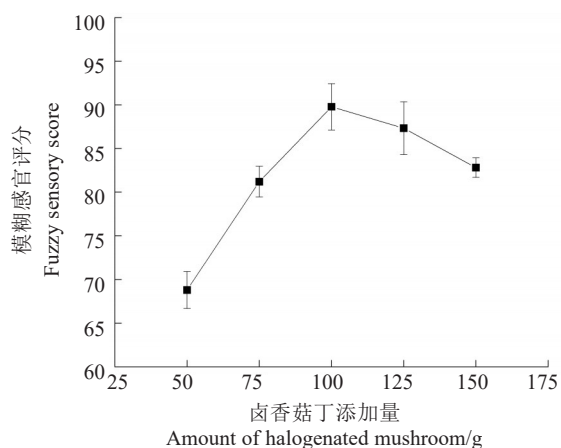


图1 卤香菇丁添加量对面条件感官品质的影响
Fig. 1 Effects of different addition amount of braised and diced mushroom on sensory quality of noodle mate

响 豆瓣酱是香菇酱主要成分之一,能够很好地调节香菇酱的形态、风味及色泽。豆瓣酱的鲜香和辣味与香菇鲜美的滋味相融合,可增强产品的风味层次,而且为产品带来更加细腻的口感。此外,豆瓣酱本身含有丰富的蛋白质、膳食纤维等,可进一步提升整体的营养价值。其对产品的感官品质影响见图2。

由图2可知,随着豆瓣酱的添加量增加,产品感官评分呈现先升高后降低的趋势。当豆瓣酱的添加量为5g时,产品感官评分最低,为72.15分,但因豆瓣酱的添加量过少,产品风味层次感不强,形态较稀,口感偏淡。当豆瓣酱添加量达到15g时,感官评分最佳,为90.00分,此时香菇色泽红润,口感鲜香,风味层次感突出,气味协调,咸淡适中,

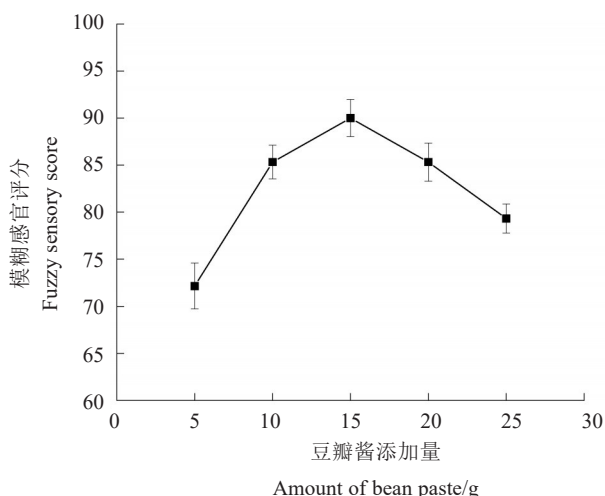


图2 豆瓣酱添加量对面条件感官评分的影响
Fig. 2 Effects of different addition amount of bean paste on sensory quality of noodle mate

酱体分布均匀。当豆瓣酱添加量为25g时,产品感官评分较低,为79.32分,明显低于豆瓣酱为15g的评分。可能是豆瓣酱添加量过多,色泽变暗,口味偏咸,酱体过于黏稠,且掩盖了香菇原有的风味。综合考虑,豆瓣酱的添加量宜选择10~20g。

2.1.3 红油添加量对面条件感官品质的影响 红油对面条件的影响主要体现在色泽、风味和口感上,红油适量添加有助于提升产品整体的口感和风味,但添加过量,色泽加重,辣度过高,更会掩盖香菇本身的风味。

由图3可知,随着红油的添加量增加,产品感官评分呈现先升高后降低的趋势。当红油的添加量为10g时,产品的感官评分最低,为69.38分,此时红油的添加量过少,虽然菇味浓郁,但形态过稠,色泽不够油亮,炒制后香味不够,风味层次不突出。当红油的添加量达到40g时,感官评分最高,达90.56分,产品达到最佳状态,此时产品色泽红润油亮,炒制后菇味浓郁,香气飘逸,风味层次感突出,产品分布均匀。当红油的添加量为50g时,产品感官评分下降为85.64分,此时产品色泽虽然红润油亮,但菇味略显寡淡,香气稍有不足,产品整体偏稀,油腻感突出。此外,红油添加过多也会导致产品油水分分离,色泽过红,品质降低。综合考虑,红油的添加量宜选择30~50g。

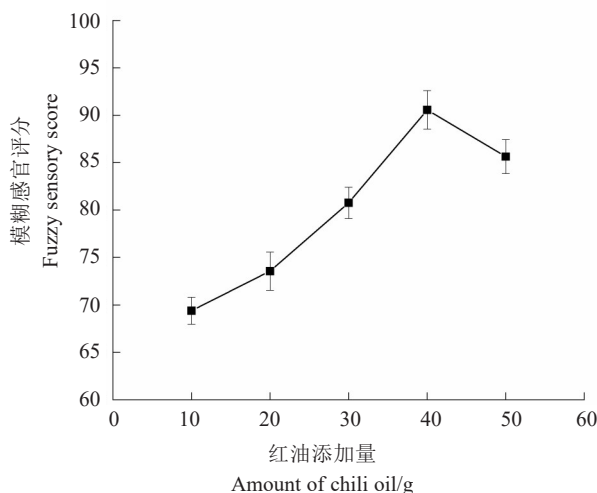


图3 红油添加量对面条件感官品质的影响
Fig. 3 Effects of different addition amount of chili oil on sensory quality of noodle mate

2.1.4 淀粉乳添加量对面条件感官品质的影响 由图4可知,随着淀粉乳添加量增加,面条件感官评分呈现先升高后降低的趋势。当淀粉乳的添加量为10g时,产品较稀,感官评分最低。

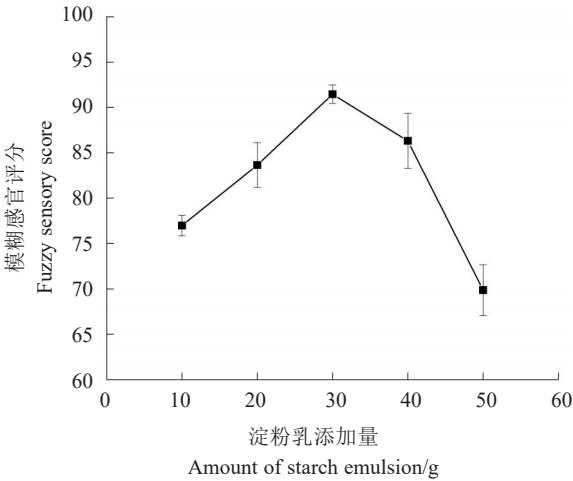


图 4 淀粉乳添加量对面条件侣感官品质的影响
Fig. 4 Effects of different addition amount of starch emulsion on sensory quality of noodle mate

当淀粉乳的添加量为 30 g 时,感官评分达到最高,为 91.46 分,此时产品黏稠度适中,水油融合,产品状态最佳。当淀粉乳含量继续增加,则产品黏稠度增大,较为糊口,评分下降,当添加量为 50 g 时,评分最低,为 69.86 分。因此,淀粉乳的添加量宜选择 20~40 g。

2.2 响应面试验结果与分析

根据 1.3.5 模糊数学模型的计算方法,由表 3 的投票结果,得到 1~29 号样品的模糊评价矩阵、综合评价矩阵及最终的模糊综合评分,即响应面试验设计的结果。最后感官评分 G1=Y1H=80.9, G2=77.3, G3=89.8, G4=75.2, G5=78.1, G6=81.7, G7=85.4, G8=81.1, G9=81.9, G10=88.5, G11=78.7, G12=82.5, G13=86.5, G14=81.3, G15=81.8, G16=88.1, G17=85.2, G18=89.5, G19=83.0, G20=82.2, G21=

表 3 面条件侣感官评价投票结果
Table 3 Voting results of sensory evaluation for noodle partner

试验号 Experiment number	色泽 Color				滋味 Taste				气味 Smell				形态 Form			
	优 Excellent	良 Good	中 Medium	差 Bad	优 Excellent	良 Good	中 Medium	差 Bad	优 Excellent	良 Good	中 Medium	差 Bad	优 Excellent	良 Good	中 Medium	差 Bad
1	4	10	6	0	8	12	0	0	2	13	4	1	8	6	4	2
2	10	10	0	0	2	8	10	0	4	8	6	2	8	4	8	0
3	15	5	0	0	12	6	2	0	10	10	0	0	8	10	2	0
4	4	12	4	0	2	10	6	2	4	6	8	2	8	4	8	0
5	8	12	0	0	2	8	10	0	4	8	8	0	8	6	6	0
6	12	8	0	0	6	8	6	0	2	14	4	0	4	14	2	0
7	12	8	0	0	8	10	2	0	6	14	0	0	6	8	6	0
8	14	6	0	0	6	10	4	0	4	10	6	0	4	8	8	0
9	4	12	4	0	12	6	2	0	4	10	6	0	4	10	6	0
10	16	4	0	0	10	8	2	0	10	9	1	0	6	12	2	0
11	6	8	6	0	6	10	4	0	2	8	10	0	7	8	5	0
12	12	4	4	0	6	10	4	0	4	10	6	0	10	5	5	0
13	10	10	0	0	12	7	1	0	6	12	2	0	6	10	4	0
14	6	8	6	0	6	12	2	0	6	10	4	0	4	10	6	0
15	4	10	6	0	6	14	0	0	8	10	2	0	4	8	6	2
16	12	8	0	0	12	4	4	0	8	12	0	0	8	10	2	0
17	10	10	0	0	8	12	0	0	8	10	2	0	6	6	8	0
18	14	6	0	0	12	4	4	0	10	10	0	0	8	12	0	0
19	10	8	2	0	6	10	4	0	6	12	2	0	4	12	4	0
20	6	10	4	0	12	8	0	0	4	8	8	0	4	10	6	0
21	8	12	0	0	13	7	0	0	5	10	5	0	4	6	10	0
22	16	4	0	0	8	10	2	0	6	12	2	0	8	8	4	0
23	8	10	2	0	8	12	0	0	6	12	2	0	8	8	4	0
24	12	8	0	0	12	6	2	0	7	10	3	0	6	12	2	0
25	12	8	0	0	13	3	4	0	10	8	2	0	8	10	2	0
26	12	6	2	0	12	6	2	0	10	6	4	0	8	8	4	0
27	12	6	2	0	12	4	4	0	4	12	4	0	6	8	6	0
28	6	8	6	0	6	10	4	0	2	8	10	0	7	8	5	0
29	12	6	2	0	12	6	2	0	10	6	4	0	8	8	4	0

83.6, G22=86.4, G23=85.5, G24=87.0, G25 =88.4, G26 =87.3, G27 =83.9, G28 =78.7, G29=87.3。响应面试验设计及结果具体如表 4,并使用 Design-Expert 12 对感官评分进行回归分析。

以感官评分为响应值,使用 Design-Expert 12 对感官评分进行回归分析,得到响应值(Y)与香菇添加量(A)、豆瓣酱添加量(B)、红油添加量(C)和淀粉乳添加量(D)之间的二次回归方程: $Y=88.62+2.47A+1.17B+0.28C+0.48D-1.85AB+2.27AC+1.00AD-0.93BC+0.43BD+0.050CD-5.15A^2-4.31B^2-2.01C^2-0.45D^2$ 。回归模型方差分析结果如表 5。

由表 5 可知,回归模型极显著($p<0.01$),失拟项不显著($p>0.05$), $R^2=0.925\ 4$, $R_{Adj}^2=0.850\ 8$,由此可知,感官评分的二次回归方程拟合度较好。该模型中一次项因素 A (香菇添加量), B (豆瓣酱添加量), AB 、 AC 、 A^2 、 B^2 、 C^2 为显著的模型项($p<0.05$)。根据 F 值的大小,可以判断各因素对香菇风味面条伴侣感官品质影响的大小顺序为香菇添加量>豆瓣酱添加量>淀粉乳添加量>红油添加量,说明香菇添加量对产品感官评分影响最大,其对产品风味、形态等影响及贡献较大。

2.3 响应面试验交互作用分析

以感官评分为响应值,依据回归方程建立响应面如图 5。响应面越陡峭说明响应值对香菇风味面条伴侣感官评分的影响越灵敏,而等高线越接近椭圆说明交互作用越强。

表 4 响应面试验设计与结果
Table 4 Design and results of response surface experiment

试验号 Experiment number	A 香菇 Shiitake mushroom/g	B 豆瓣酱 Bean paste/g	C 红油 Chili oil/g	D 淀粉乳 Starch milk/%	感官评分 Sensory score
1	125	20	40	30	80.9
2	75	15	50	30	77.3
3	100	15	40	30	89.8
4	75	10	40	30	75.2
5	75	15	40	40	78.1
6	100	20	50	30	81.7
7	100	15	30	20	85.4
8	100	10	50	30	81.1
9	125	15	30	30	81.9
10	100	15	50	40	88.5
11	100	10	30	30	78.7
12	100	10	40	40	82.5
13	125	15	50	30	86.5
14	75	20	40	30	81.3
15	75	15	30	30	81.8
16	100	15	40	30	88.1
17	100	20	40	20	85.2
18	100	15	40	30	89.5
19	100	20	30	30	83.0
20	125	10	40	30	82.2
21	125	15	40	20	83.6
22	100	15	50	20	86.4
23	100	20	40	40	85.5
24	125	15	40	40	87.0
25	100	15	40	30	88.4
26	100	15	40	30	87.3
27	100	10	40	20	83.9
28	75	15	40	20	78.7
29	100	15	30	40	87.3

表 5 响应面回归模型方差分析
Table 5 Variance analysis of the response surface regression model

方差来源 Source	平方和 Sum of squares	自由度 Df	均方 Mean quares	F 值 F value	p 值 p value	
模型 Model	393.90	14	28.14	12.40	<0.000 1	显著 Significant
A	73.51	1	73.51	32.41	<0.000 1	*
B	16.33	1	16.33	7.20	0.017 8	*
C	0.96	1	0.96	0.42	0.525 2	
D	2.71	1	2.71	1.19	0.293 1	
AB	13.69	1	13.69	6.04	0.027 7	*
AC	20.70	1	20.70	9.13	0.009 2	*
AD	4.00	1	4.00	1.76	0.205 4	
BC	3.42	1	3.42	1.51	0.239 6	
BD	0.72	1	0.72	0.32	0.581 4	
CD	0.01	1	0.01	0.004	0.948 0	
A ²	172.15	1	172.15	75.89	<0.000 1	*
B ²	120.73	1	120.73	53.22	<0.000 1	*
C ²	26.31	1	26.31	11.60	0.004 3	*
D ²	1.32	1	1.32	0.58	0.457 7	
残差 Residuals	31.76	14	2.27			
失拟项 Lack of fit	27.53	10	2.75	2.6	0.184 6	不显著 No significant

$R^2=0.925\ 4$, $R_{Adj}^2=0.850\ 8$

注:*表示该模型显著。
Note: * indicates that the model is significant.

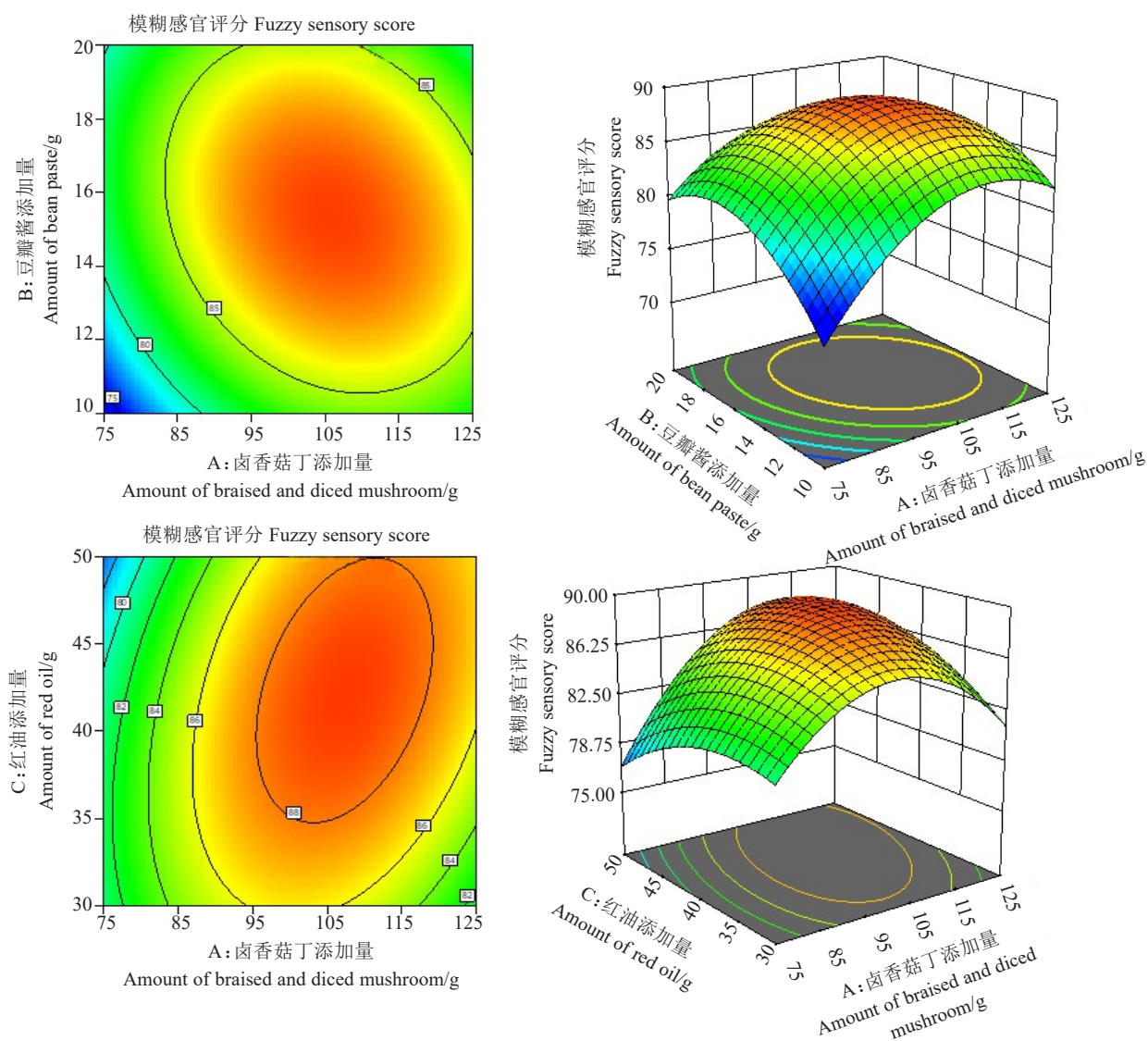


图5 各因素交互作用对面条件感官评分影响的响应面图

Fig. 5 Response surface of the interaction of factors on the sensory score of noodle mate

由卤香菇丁与豆瓣酱的交互响应3D图可知,当固定豆瓣酱添加量、以卤香菇丁添加量为自变量、感官评分为因变量时,感官评分呈先上升后下降趋势,在其添加量为75~125 g范围内,图像较为陡峭,说明卤香菇丁对香菇风味面条伴侣的影响较为明显。当固定卤香菇丁添加量以豆瓣酱添加量为自变量、感官评分为因变量时,感官评分呈先上升后下降趋势,在其添加量为10~20 g范围内,图像较为陡峭,说明豆瓣酱对香菇风味面条伴侣的影响也较为明显。对比卤香菇丁一侧和豆瓣酱一侧的陡峭程度发现,卤香菇丁一侧比豆瓣酱一侧更为陡峭,说明卤香菇丁对产品感官评分影响更为明显,这与回归模型方差分析的结果较为一致。

由卤香菇丁与红油的交互响应3D图可知,当

固定卤香菇丁添加量、以红油添加量为自变量、感官评分为因变量时,感官评分的趋势变化并不明显,说明红油对产品感官评分的影响并不明显,可能是红油添加量相对较低,对决定性的口感贡献相对较小。该情况与回归模型方差分析的结果较为一致。

2.4 验证试验

由响应面模型预测得到的最佳工艺条件为卤香菇丁添加量109.69 g、豆瓣酱添加量15.36 g、红油添加量42.84 g、3%交联羟丙基淀粉乳添加量40 g。为了更贴近生产实际,对最佳工艺条件稍加修正,以卤香菇丁为基准添加量100.0 g、豆瓣酱添加量14.1 g、红油添加量39.1 g、3%交联羟丙基淀粉乳添加量36.4 g。再进行3组平行试验,得出香菇风味面条伴侣的感官评分为91.35分,与预测值总体吻

合,证明该模型合理。

2.5 理化指标及微生物指标的测定

香菇风味面条伴侣未见相关标准,则对照 GB/T 4789.22—2024 确定香菇风味面条伴侣的主要理化指标及微生物指标,并对在最佳配比条件下制成

的产品进行检测,各项指标均符合标准,结果见表 6。常规香菇酱含油量在 35%左右,本品含油量仅为 16.24%,其酸价及过氧化值远低于参照标准,不仅能迎合大众的减油要求,卫生指标也能较好控制,从而降低产品安全风险。

表 6 产品理化和微生物指标
Table 6 Physical, chemical and microbiological indicators of the product

指标 Indicators	标准 Standards	检测结果 Results	是否符合标准 Meets the criteria or not
w(食盐)(以 NaCl 计, g·100 g ⁻¹) Salt content(NaCl, g·100 g ⁻¹)	≤30	8.9	符合 Coincidence
酸价(以脂肪计, mg·g ⁻¹) Acid value (in fat, mg·g ⁻¹)	≤5	0.3	符合 Coincidence
过氧化值(以脂肪计, g·100 g ⁻¹) Peroxide value (in fat, g·100 g ⁻¹)	≤0.25	0.02	符合 Coincidence
大肠菌群(MPN·100 g ⁻¹) Coliform bacteria (MPN·100 g ⁻¹)	≤30	≤2	符合 Coincidence
金黄色葡萄球菌含量 Staphylococcus aureus content	不得检出 Can't be detected	未检出 Not detected	符合 Coincidence
沙门氏菌含量 Salmonella content	不得检出 Can't be detected	未检出 Not detected	符合 Coincidence

3 结 论

通过模糊数学评定法及响应面试验对香菇风味面条伴侣的配方进行优化,得出最佳组合,然后结合生产实际,对最佳工艺条件稍加修正并进行验证。结果表明,葱末 7.3 g、姜末 3.6 g、白糖 2.3 g、盐 4.5 g、鸡精 2.3 g、味精 3.2 g、白胡椒粉 0.4 g、十三香 0.4 g、蚝油 9 g、豆豉 18 g、卤香菇丁 100.0 g、豆瓣酱 14.1 g、红油 39.1 g、3%交联羟丙基淀粉乳 36.4 g。该配方下的香菇风味面条伴侣,口感鲜香美味,菇味浓郁,色泽红润油亮,料质均匀,黏稠度适当,理化性质及微生物指标符合要求,不仅满足减油开发的需求,也具有广阔的市场发展前景。

参考文献

- [1] DENG S M, ZHANG G X, KUAI J J, et al. Lentinan inhibits tumor angiogenesis via interferon γ and in a T cell independent manner[J]. Journal of Experimental and Clinical Cancer Research, 2021, 40(1): 366.
- [2] 简红忠, 廖兴茂, 高媛, 等. 略阳乌鸡香菇酱工艺优化[J]. 食品工业, 2022, 43(10): 96-99.
- [3] SHI D F, ZHOU R R, FENG X, et al. Effects of low-dose γ -irradiation on the water state of fresh *Lentinula edodes*[J]. Lwt-Food Science and Technology, 2020, 118: 108764.
- [4] 李静敏, 薛长湖, 梅轩玮, 等. 基于碳水化合物结合结构域的香菇多糖特异性荧光探针的构建与应用[J]. 食品工业科技, 2024, 45(19): 240-246.
- [5] PÉREZ-BASSART Z, FABRA M J, MARTÍNEZ-ABAD A, et al. Compositional differences of β -glucan-rich extracts from three relevant mushrooms obtained through a sequential extraction protocol[J]. Food Chemistry, 2023, 402: 134207.
- [6] NI J Z, MA R H, WANG W, et al. Potential biosurfactant and methanol extraction for phenolic active substances from *Lycium barbarum* fruits and leaves[J]. Industrial Crops and Products, 2024, 212: 118333.
- [7] LI W Y, WANG J L, HU H P, et al. Functional polysaccharide lentinan suppresses human breast cancer growth via inducing autophagy and caspase-7-mediated apoptosis[J]. Journal of Functional Foods, 2018, 45: 75-85.
- [8] YAO H Y, FAN Z, CHENG H L, et al. Recent development of thermoelectric polymers and composites[J]. Macromolecular Rapid Communications, 2018, 39(6): 1700727.
- [9] REN G M, XU L M, LU T Y, et al. Structural characterization and antiviral activity of lentinan from *Lentinus edodes* mycelia against infectious hematopoietic necrosis virus[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2018, 115: 1202-1210.
- [10] 李嘉灏, 李良怡, 熊玉帛, 等. 基于模糊数学评定与响应面法优化预制梅菜扣肉配方[J]. 中国调味品, 2023, 48(12): 83-91.
- [11] 周晓璐, 牛希跃, 任晓璞, 等. 模糊数学评价结合响应面法优化新疆椒麻鸡拌料油配方及工艺[J]. 中国调味品, 2023, 48(4): 101-108.
- [12] 耿吉, 苏夏青, 陈方鹏, 等. 模糊数学结合响应面法优化栗香白果酱制作工艺[J]. 中国调味品, 2023, 48(1): 122-127.
- [13] 魏劲松, 徐洲, 黄宪龙, 等. 模糊数学结合响应面法优化葛根酒发酵工艺参数及其香气成分分析[J]. 食品工业科技, 2019, 40(5): 193-200.