

鸭汤调味粉制备工艺优化及其挥发性风味物质分析

刘志聪, 王辉, 李军, 郭德斌, 李继芳

Optimization of Preparation Technology of Duck Soup Flavoring Powder and Analysis of Volatile Flavor Compounds

LIU Zhicong, WANG Hui, LI Jun, GUO Debin, and LI Jifang

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2022110294>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

葡萄籽粉对太谷饼风味的影响

Effect of Grape Seed Powder on the Flavor Components of Taigu Cake

食品工业科技. 2020, 41(21): 235-239 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2019110035>

菠萝蜜种子淀粉制备的香草兰精油微胶囊的风味品质分析

Flavor and quality evaluation of vanilla essential oil microcapsules made from Jackfruit seed starch

食品工业科技. 2017(22): 253-258 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2017.22.049>

基于感官评价和电子鼻分析不同蒸煮时间荸荠挥发性风味物质

Analysis of Volatile Flavor Substances of Chinese Water Chestnut in Different Steaming and Boiling Time Based on Sensory Evaluation and E-nose

食品工业科技. 2020, 41(15): 1-7,14 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020.15.001>

青藏高原狭果茶子籽油成分分析及原油三脱工艺优化

Composition of *Ribes stenocarpum* Maxim Seed Oil and the Optimization of Crude Oil Refining Process

食品工业科技. 2021, 42(22): 212-222 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2021040106>

响应面法优化结晶麦芽制备工艺

Optimization of Preparation Technology of Crystallized Malt by Response Surface Methodology

食品工业科技. 2021, 42(9): 186-193 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020070322>

黑化红枣酒蒸馏过程中主要挥发性风味物质变化及蒸馏工艺研究

Main Volatile Flavor Compounds and Distillation Process during Distillation of Blackened Jujube Wine

食品工业科技. 2020, 41(12): 181-185,213 <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020.12.029>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

刘志聪,王辉,李军,等. 鸭汤调味粉制备工艺优化及其挥发性风味物质分析 [J]. 食品工业科技, 2023, 44(19): 336-346. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022110294

LIU Zhicong, WANG Hui, LI Jun, et al. Optimization of Preparation Technology of Duck Soup Flavoring Powder and Analysis of Volatile Flavor Compounds[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(19): 336-346. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2022110294

· 分析检测 ·

鸭汤调味粉制备工艺优化及其挥发性 风味物质分析

刘志聪¹, 王辉¹, 李军², 郭德斌^{2*}, 李继芳³

(1. 南昌大学食品科学与技术国家重点实验室, 江西南昌 330047;

2. 江西煌上煌集团食品股份有限公司, 江西南昌 330052;

3. 南昌市煌上煌酱卤博物馆, 江西南昌 330052)

摘要:为拓宽鸭油在食品中的应用范围,以辛烯基琥珀酸淀粉钠和麦芽糊精为壁材,鸭油为芯材进行微胶囊化,经喷雾干燥获得鸭油微胶囊粉末,辅以食用盐、白砂糖、酵母抽提物、呈味核苷酸二钠制备鸭汤调味粉。以感官评分为响应值,采用单因素、响应面优化试验确定鸭汤调味粉产品的最佳配方。结果表明,205 g/L 鸭油微胶囊、155 g/L 食用盐、87.5 g/L 白砂糖、7.8 g/L 酵母抽提物,7.5 g/L 呈味核苷酸二钠,制备的鸭汤调味粉获得了 84.9 的感官评分,口感最佳。此外,通过顶空固相萃取结合气质联用技术对鸭汤调味粉挥发性风味物质进行测定,共鉴定出 49 种挥发性风味物质,其中醛类和醇类化合物种类最为丰富。通过计算气味活度值确定鸭汤调味粉的特征挥发性风味物质为壬醛、辛醛、1-辛烯-3-醇,它们共同赋予鸭汤调味粉特有的新鲜香气。该研究结果提高了鸭油在油脂体系中的利用率,为微胶囊应用提供一定的理论指导和借鉴意义。

关键词:鸭油微胶囊粉,鸭汤调味粉,响应面优化,感官评价,风味物质

中图分类号:TS251.9

文献标识码:A

文章编号:1002-0306(2023)19-0336-11

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2022110294



本文网刊:

Optimization of Preparation Technology of Duck Soup Flavoring Powder and Analysis of Volatile Flavor Compounds

LIU Zhicong¹, WANG Hui¹, LI Jun², GUO Debin^{2*}, LI Jifang³

(1. State Key Laboratory of Food Science and Technology, Nanchang University, Nanchang 330047, China;

2. Jiangxi Huangshanghuang Group Food Co., Ltd., Nanchang 330052, China;

3. Huangshanghuang Sauce and Marinade Culture in Nanchang City, Nanchang 330052, China)

Abstract: The duck oil microcapsule powder was prepared by spray drying with sodium starch octenyl succinate (wall materials), maltodextrin (wall materials) and duck oil (core materials) to broaden the application of duck oil in food industry. Then, the flavoring powder of duck soup was prepared with edible salt, granulated sugar, yeast extract and disodium flavored nucleotides. The optimum formula of the flavoring powder of duck soup was determined using single factor and response surface optimization test by taking the sensory score as the response value. The results showed that 205 g/L of duck oil microcapsule powder, 155 g/L of edible salt, 87.5 g/L of granulated sugar, 7.8 g/L of yeast extract and 7.5 g/L of disodium flavored nucleotides were the best in the sensory score of 84.9 and taste of the flavoring powder of duck soup. In addition, the volatile flavor compounds of the flavoring powder of duck soup were determined by headspace

收稿日期: 2022-11-28

基金项目: 2021 年南昌市“双百计划”项目(洪科字【2021】156 号); 2021 年南昌市一般科技计划项目(洪科字【2021】232 号); 2021 年江西省重大科技研发专项“揭榜挂帅”项目(20213AAF02024); 2021 年江西省重点研发计划(20212BBF61007); 2021 年江西省主要学科学术和技术带头人培养计划项目(20213BCJ22025)。

作者简介: 刘志聪(1999-),男,硕士研究生,研究方向: 畜禽加工及高值化利用, E-mail: 1196036961@qq.com。

* 通信作者: 郭德斌(1982-),男,硕士,高级工程师,研究方向: 食品工程技术研发和生产, E-mail: 270832599@qq.com。

solid phase microextraction combined with GC-MS. A total of 49 kinds of volatile flavor compounds were identified, among which aldehydes and alcohols were the most abundant. The characteristic volatile flavor compounds of the flavoring powder of duck soup were determined as nonanal, octanal and 3-octenol, by calculating the odor activity value, and all of these compounds gave the flavoring powder of duck soup unique fresh aroma together. The study improved the utilization of duck oil in the oil system, and will provide some theoretical guidance and reference for the application of microcapsule powder.

Key words: duck oil microcapsule powder; duck soup seasoning powder; response surface test; sensory evaluation; flavor compound

近年来,由于鸭肉消费量持续上升,促使我国成为全世界肉鸭出栏数量和产肉量排名第一的国家。资料显示,2020 年全年商品肉鸭出栏量约为 46.8 亿只,占世界总出栏量的 60% 以上^[1]。在肉鸭的加工过程中,产生的大量鸭油、鸭肠、鸭肝等副产品并没有得到高效利用,造成资源浪费^[2],其中,鸭油具有胆固醇含量较低,单不饱和脂肪酸、多不饱和脂肪酸的比例较好且含量高的特点,是一种有优良开发前景的油脂^[3-4],但鸭油处于高温、光照或微量金属离子等环境下容易发生氧化变质,同时不溶于水,一定程度上限制了鸭油的精深加工^[5]。

目前,微胶囊技术是一项发展迅速、用途广泛的包埋新技术,不仅能保留原料的营养价值和生物活性,增强其溶解性和性能稳定性,还可以延长其保质期^[6-7]。鱼油^[8-9]、羊油^[10] 等的微囊化研究越来越广泛。同理,可将微胶囊技术用于鸭油微胶囊的制备及产品的应用^[11]。当前关于鸭油的研究大多集中于摄食以及脂肪酸构成等方面,还没有相关研究报道鸭油精深加工及应用以及其挥发性风味物质成分的测定。

本文以辛烯基琥珀酸淀粉钠和麦芽糊精作为微胶囊的壁材,加入乳清蛋白粉及适量乳化剂,将鸭油微囊化,并将其应用到鸭汤调味粉产品中,采用单因素试验、响应面优化试验确定鸭汤调味粉的最佳制备工艺,并采用 HS-SPME-GC-MS 对鸭汤调味粉挥发性风味物质进行测定,结合气味活度值确定鸭汤调味粉主要挥发性风味物质,为鸭油微囊粉新产品的产业化生产奠定基础。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

鸭油 福建省漳州市市售;辛烯基琥珀酸淀粉钠、乳清蛋白粉、麦芽糊精 食品级,浙江一诺生物科技有限公司;酵母抽提物 湖北安琪酵母股份有限公司;呈味核苷酸二钠 食品级,广东肇庆星湖生物科技股份有限公司;琥珀酸二钠 食品级,山东九泰生物科技有限公司;食用盐、白砂糖、谷氨酸钠 均为市售。

T18 digital ULTRA-TURRAX 分散机 江苏苏州赛恩斯仪器有限公司;UH-24 高压细胞破碎机 上海永联生物科技有限公司;135L 高压灭菌锅 湖南长沙秋龙仪器设备有限公司;JE1002 电子天平 上海浦春计量仪器有限公司;KQ-500DE 数控超声波

清洗器 江苏昆山超声仪器有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 鸭油微囊粉制备工艺 水相+油相→分散(6000 r/min, 1 min)→均质(30 MPa, 3 次)→喷雾干燥→微胶囊粉末

水相制备:将壁材辛烯基琥珀酸淀粉钠和麦芽糊精按质量比 1:2 的比例溶解于蒸馏水中,加入 4% 乳清蛋白粉用磁力搅拌器在 60 °C 下搅拌至完全溶解,保持液固比为 3:1。

油相制备:称取固形物含量 35% 的鸭油置于烧杯中,加入 1% 单双甘油脂肪酸酯乳化剂后用磁力搅拌器在 70 °C 下搅拌成均匀状态。

喷雾干燥:保持进风温度 170±1 °C,出风温度 90±5 °C,进样速率为 8 mL/min。

1.2.2 鸭汤调味粉制备工艺 称料混配(固态物料按比例称重)→耐高温材料分装→杀菌(105 °C, 15 min)→成品

1.2.3 品质指标的测定

1.2.3.1 白度的测定 加入适量样品溶液至洁净的比色皿中,用色差仪测定调味粉样品溶液的 L^* 、 a^* 、 b^* 色值^[12]。按亨特白度公式(1)计算样品溶液的白度:

$$W = 100 - \sqrt{(100 - L^*)^2 + K_1 [(a^* - a_p)^2 + (b^* - b_p)^2]} \quad \text{式(1)}$$

式中: K_1 是常数,一般取值为 1; a_p 、 b_p 是理想白在 Lab 系统中的白度指数,测量不带荧光的样品时 $a_p=0.00$ 、 $b_p=0.00$ 。

1.2.3.2 感官评价 取 5 g 成品置于 100 mL 容量烧杯中,加入 50 mL 温水(70~80 °C),使其完全溶解。随机选取 10 名食品学院食品工程专业研究生组成感官评定小组,参考 GB/T 16291.1-2012《感官分析选拔、培训与管理评价员一般导则 第 1 部分:优选评价员》^[13] 的方法,对品评员进行培训。参考 GB 31644-2018《食品安全国家标准 复合调味料》^[14] 的感官评价方法,分别从色泽、组织形态、香气、口感四方面对样品溶液进行感官评定。建立总分为 100 分的评分制,各项权重设定为(1:1:1:1),综合感官评价标准如表 1 所示^[15-16]。感官评分试验分值采用去掉最高最低值取平均值进行计数。

表1 鸭汤调味粉样品溶液感官评定

Table 1 Sensory evaluation of duck soup seasoning powder sample solution

指标	标准	分数
色泽	色泽均匀,呈乳白色	17~25
	色泽稍不均匀,呈乳白色	9~16
	色泽不均匀,呈浅黄色	0~8
组织形态	质地均一,透明,无杂质及沉淀物	17~25
	质地不太均一,杂质及沉淀物很少	9~16
	质地很不均一,杂质及沉淀物很明显	0~8
香气	有鸭油香味,无异味	17~25
	鸭油香味不够突出,略有异味	9~16
	鸭油香味不突出,异味重	0~8
口感	甜度适当,有少许颗粒感,口感细腻光滑	17~25
	甜度过淡或过浓,颗粒较多,口感欠柔和	9~16
	口感粗糙	0~8

1.2.4 鸭汤调味粉制备工艺优化

1.2.4.1 单因素实验设计 考察一项因素时,各因素的固定条件为:鸭油微囊粉添加量 150 g/L,白砂糖添加量 100 g/L,食用盐添加量 100 g/L,酵母抽提物添加量 5 g/L,呈味核苷酸二钠添加量 5 g/L。设置不同鸭油微囊粉添加量:150、175、200、225、250 g/L;不同食用盐添加量:100、125、150、175、200 g/L;不同白砂糖添加量:50、62.5、75、87.5、100 g/L;不同酵母抽提物添加量:5、6.25、7.5、8.75、10 g/L;不同呈味核苷酸二钠添加量:5、6.25、7.5、8.75、10 g/L。测定样品溶液的感官评分与白度值,分别探究鸭油微囊粉添加量、食盐添加量、白砂糖添加量、酵母抽提物添加量、呈味核苷酸二钠添加量对鸭汤调味粉制备的影响。

1.2.4.2 响应面试验设计 在单因素实验结果的基础上,感官评分为响应值(R),选择对鸭汤调味粉感官评分影响较强的3个因素,鸭油微囊粉添加量(A)、食用盐添加量(B)、酵母抽提物添加量(C)为自变量,进行 Box-Behnken 的3因素3水平的响应面试验设计,探究鸭汤调味粉的最佳制备条件,试验因素及水平如表2所示。

表2 鸭油微囊粉响应面因素及水平

Table 2 Response surface elements and levels of duck oil microencapsulated powder

水平	A鸭油微囊粉添加量(g/L)	B食用盐添加量(g/L)	C酵母抽提物添加量(g/L)
-1	175	125	6.25
0	200	150	7.5
1	225	175	8.75

1.2.5 产品质量评定标准

1.2.5.1 感官指标 选择10名食品学院食品工程专业研究生组成评定小组,对成品进行感官检测,参照 GB 31644-2018《食品安全国家标准 复合调味料》^[14]等相关标准文件的方法并适当修整。称取25g成品置于培养皿中,在自然光线下观察其颜色及状态,闻

气味,用温水漱口后直接品尝其滋味,要求质地均一,无外来异物,无正常视力可见霉斑,无异味异嗅。

1.2.5.2 冲调性 将鸭汤调味粉产品按比例进行冲调(10g产品溶解于100mL 50℃温水),对其冲调性、风味及口感等进行评定并分析。

1.2.5.3 理化指标 分别参考 GB/T 8967-2007《谷氨酸钠(味精)》^[17]、GB/T 5009.39-2003《酱油卫生标准的分析方法》^[18]、GB/T 5009.5-2016《食品安全国家标准食品中蛋白质的测定》^[19]测定鸭汤调味粉产品的干燥失重、氯化物和总氮含量,结合 GB 31644-2018《食品安全国家标准复合调味料》^[14],对鸭汤调味粉产品进行评价。

1.2.6 鸭汤调味粉风味物质检测方法

1.2.6.1 顶空固相微萃取 称取2.00g样品于20mL顶空瓶中,并加入6mL饱和氯化钠溶液和磁力搅拌子,置于多功能进样器的全自动固相微萃取的进样装置上面。平衡时间:10min,提取温度:60℃,提取时间:30min,解析温度:250℃,解析时间:1min。萃取头:CAR/PDMS,65μm,2cm。

1.2.6.2 色谱条件 色谱柱:安捷伦 HP-Innowax (60m×0.25mm(i.d.)×0.25μm)毛细管柱,流速为1mL/min;进样温度230℃;载气为He(>99.9%),不分流进样。程序升温条件:40℃保持3min,在以5℃/min的速度升温至230℃,保持10min。

1.2.6.3 质谱条件 电子轰击(EI)离子源,电子能量70eV,离子源温度230℃,四极杆温度为250℃,SCAN范围为30~400m/z,溶剂延迟0.5min。

1.2.7 定性定量分析 定性方法:根据化合物保留时间,将质谱数据与计算机中MS定性谱库(NIST14-1.lib)进行检索并匹配,仅报道匹配度均超过800(最大值为1000)的挥发性风味物质。

定量方法:参考程华峰等^[20]的方法采用内标法定量,以邻二氯苯为内标物,按式(2)计算挥发性风味物质的含量。

$$X = \frac{0.5V_1}{mV_0} \times 1000 \quad \text{式(2)}$$

式中:X为化合物含量,ng/g;V₁为挥发性成分的峰面积;V₀为内标的峰面积;0.5为内标的含量,μg;m为样品量,g。

1.2.8 气味活度值评价方法 采用气味活度值(odor activity value, OAV)评价各化合物对总体风味的贡献,通过式(3)计算 OAV 值。

$$OAV = \frac{C}{T} \quad \text{式(3)}$$

式中:C为挥发性风味物质的浓度,ng/g;T为挥发性风味物质的气味阈值,ng/g。

1.3 数据处理

本文实验数据均重复平行实验3次,结果以平均值±标准差表示。选用 Design-Expert 10.0.7 软件进行响应面试验设计,采用 SPSS 21.0 软件进行试验

数据统计及方差分析,采用 Origin 2018 作图。同列标注不同字母的平均值之间差异显著($P>0.05$ 表示不显著, $P<0.05$ 表示显著, $P<0.01$ 表示极显著)。

2 结果与分析

2.1 单因素实验结果

各单因素对鸭汤调味粉产品感官性质的影响如图 1 所示。由图 1A 可知,感官评分($P<0.05$)随鸭油微囊粉添加量的增大呈先上升后下降的趋势,白度值($P<0.05$)先上升后下降,当鸭油微囊粉添加量为 200 g/L 时,样品溶液的感官评分和白度值都较高,当添加量继续增大时,感官评分下降。这可能是由于鸭油微囊粉添加量过大,整体产品后味的苦涩感及颗粒感逐渐增强,造成口感不佳,当鸭油微囊粉浓度过高时使其颜色失真。综上,选择鸭油微囊粉的响应面设计区间为 175~225 g/L。

由图 1B 可知,感官评分($P<0.05$)随食用盐添加量的增大呈先上升后下降的趋势,白度值($P<0.05$)先

上升后下降再上升,在食用盐添加量为 150 g/L,样品溶液的感官评分最高,为 84.1 分,当添加量继续增大时,感官评分反而下降。该结果与赵敏等^[21]的报道相一致,原因可能在于盐度提高后破坏了原有的咸鲜比,鲜味及其他风味被盐味覆盖,感官分值及白度值受到一定影响。综上,选择食用盐的响应面优化试验设计区间为 125~175 g/L。

由图 1C 可知,感官评分($P<0.05$)随白砂糖添加量的增大呈先上升后下降的趋势,白度值($P>0.05$)先下降后上升,当白砂糖添加量为 87.5 g/L 时,样品溶液的感官评分最高,为 83.1 分。这可能是由于白砂糖在一般调味料中起到中和风味、提鲜味的作用,添加量过高会打破咸甜比平衡,影响产品风味,降低产品整体品质,对感官分值及白度值产生一定的影响。综上,确定白砂糖的添加量为 87.5 g/L。

由图 1D 可知,感官评分($P<0.05$)随酵母抽提物添加量的增大呈先上升后下降的趋势,白度值($P<$

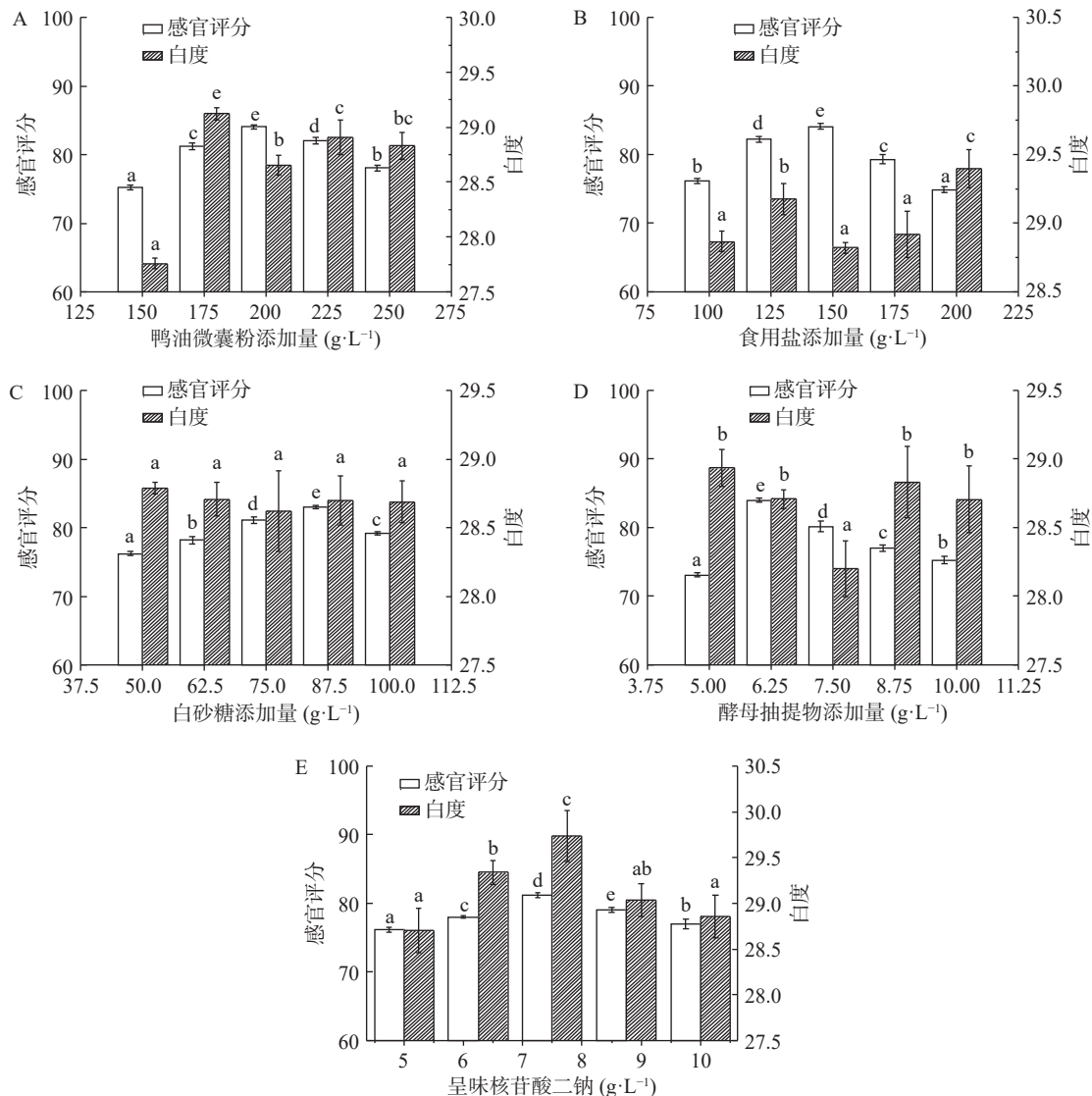


图 1 各单因素对鸭汤调味粉品质指标的影响

Fig.1 Effects of single factors on quality indexes of duck soup seasoning powder

注: A-鸭油微囊粉添加量; B-食用盐添加量; C-白砂糖添加量; D-酵母抽提物添加量; E-呈味核苷酸二钠添加量。

0.05)先下降后上升,在添加量为 6.25 g/L 时,样品溶液的感官评分最高,且白度值较高。该结果与刘伟等^[22]的报道一致,原因可能在于酵母抽提物在滋味上鲜味过于浓郁,当酵母抽提物添加量低于 6.25 g/L 时,不足以掩盖调味粉中不良风味,当酵母抽提物添加量高于 6.25 g/L,鲜味过重,掩盖产品自身风味,影响产品整体感官评分及白度值。综上,选择酵母抽提物的响应面优化试验设计区间为 6.25~8.75 g/L。

由图 1E 可知,感官评分($P<0.05$)随呈味核苷酸二钠添加量的增大呈先上升后下降的趋势,白度值先上升后下降,在添加量为 7.5 g/L 时,样品溶液的感官评分和白度值都最高,分别为 81.2 分和 29.74%($P<0.05$)。这可能是因为呈味核苷酸二钠的添加量与咸味剂和鲜味剂总量有一定的关系,当呈味核苷酸二钠添加量低于 7.5 g/L 时,口感及颜色一般,当呈味核苷酸二钠添加量为 7.5 g/L 时,鲜味浓厚,感官评分及白度值达到最高,当呈味核苷酸二钠添加量高于 7.5 g/L 时,产品本身风味被掩盖,结合经济因素,添加量不宜过大,最终确定呈味核苷酸二钠的添加量为 7.5 g/L。

2.2 响应面优化试验

2.2.1 响应面试验设计及结果 通过单因素实验及显著性分析结果,并综合用料成本等因素,固定白砂糖添加量 87.5 g/L,呈味核苷酸二钠添加量 7.5 g/L,选取鸭油微囊粉添加量(A)、食用盐添加量(B)、酵母抽提物添加量(C),利用 Box-Behnken 原理设计 3 因素 3 水平的响应面试验,其试验结果如表 3 所示。

表 3 鸭油微囊粉响应面试验结果
Table 3 Response surface test results of duck oil microencapsulated powder

实验号	A鸭油微囊粉	B食用盐	C酵母抽提物	R感官评分(分)
1	0	-1	-1	78.4±0.2
2	1	0	-1	79.6±0.3
3	-1	0	-1	76.5±0.1
4	0	1	1	81.7±0.2
5	-1	0	1	80.4±0.3
6	0	1	-1	78.4±0.1
7	-1	1	0	79.9±0.2
8	-1	-1	0	78.1±0.2
9	1	0	1	81.9±0.3
10	0	0	0	84.3±0.2
11	0	-1	1	79.8±0.4
12	0	0	0	84.6±0.2
13	1	1	0	82.2±0.3
14	0	0	0	85.3±0.3
15	0	0	0	84.8±0.2
16	1	-1	0	79.3±0.1
17	0	0	0	84.2±0.3

采用 Design-Expert 10.0.7 软件对表 3 的试验结果进行回归分析,得到的二次多项式回归方程为: $R=84.64+1.01A+0.83B+1.36C+0.27AB-0.40AC+0.48BC-2.37A^2-2.40B^2-2.67C^2$,回归模型方差分析及显著性检验结果如表 4 所示。

表 4 鸭汤调味粉回归模型及显著性检验

Table 4 Regression model and significance test of duck soup seasoning powder

方差来源	平方和	自由度	均方	F值	P值	显著性
模型	117.28	9	13.03	41.76	<0.0001	**
A-鸭油微囊粉	8.20	1	8.20	26.28	0.0014	**
B-食用盐	5.45	1	5.45	17.45	0.0042	**
C-酵母抽提物	14.85	1	14.85	47.59	0.0002	**
AB	0.30	1	0.30	0.97	0.3576	
AC	0.64	1	0.64	2.05	0.1952	
BC	0.90	1	0.90	2.89	0.1328	
A ²	23.65	1	23.65	75.78	<0.0001	**
B ²	24.15	1	24.15	77.39	<0.0001	**
C ²	30.02	1	30.02	96.18	<0.0001	**
残差	2.18	7	0.31			
失拟项	1.41	3	0.47	2.44	0.2044	
误差	0.77	4	0.19			
总和	119.46	16				
R ²	0.9817					
R ² _{adj}	0.9582					

注:表中*为显著($P<0.05$);**为极显著($P<0.01$)。

由表 4 可知,模型极显著($P<0.01$),且失拟项 P 值为 0.2044,不显著($P>0.05$),表明模型预测值与实际值误差较小,具有良好的拟合程度,可以进行数据分析。对回归方程进行显著性检验,结果为 $R^2=0.9817$,因素 A、因素 B、因素 C 项对鸭汤调味粉的感官评分的影响呈现极显著水平($P<0.01$),说明 A、B、C 三因素与响应值之间具有良好的相关性,可以通过此方程预测鸭汤调味粉的最佳工艺条件。因素 A²、因素 B²、因素 C² 项对鸭汤调味粉的感官评分的影响呈现极显著水平($P<0.01$),因素 A 和 B,因素 A 和 C,因素 B 和 C 之间的交互作用影响均相对较弱($P>0.05$)。回归方程校正系数 R^2_{adj} 为 0.9582,这表明该模型能解释 95.82% 的受试验因素影响的响应值变化。因此可用该模型对鸭汤调味粉配方进行分析及预测。

2.2.2 各因素相互作用分析 鸭油微囊粉添加量(A)、食用盐添加量(B)、酵母抽提物添加量(C)之间交互作用的响应面图和等高线图如图 2 所示,可以直观的分析 2 个因素之间交互作用对感官评分的影响程度。等高线图的形状可呈现出各因素之间交互作用的强弱,椭圆形反映了两因素之间的交互作用具有显著影响,越接近圆形则代表两因素之间的交互作用越不显著。由图 2 结合表 5 中的 F 值分析可知,对鸭汤调味粉的感官评分的影响次序:酵母抽提物添加量(C)>鸭油微囊粉添加量(A)>食用盐添加量(B)。

2.2.3 最优工艺条件预测及验证 通过软件对实验数据进行优化预测,当添加 205.081 g/L 鸭油微囊粉、155.247 g/L 食用盐、7.823 g/L 酵母抽提物时,此时的感官评分最高,其理论值为 85.0 分。按照该条件进行验证试验,为方便操作,添加 205 g/L 鸭油微囊粉、155 g/L 食用盐、7.8 g/L 酵母抽提物测得鸭汤

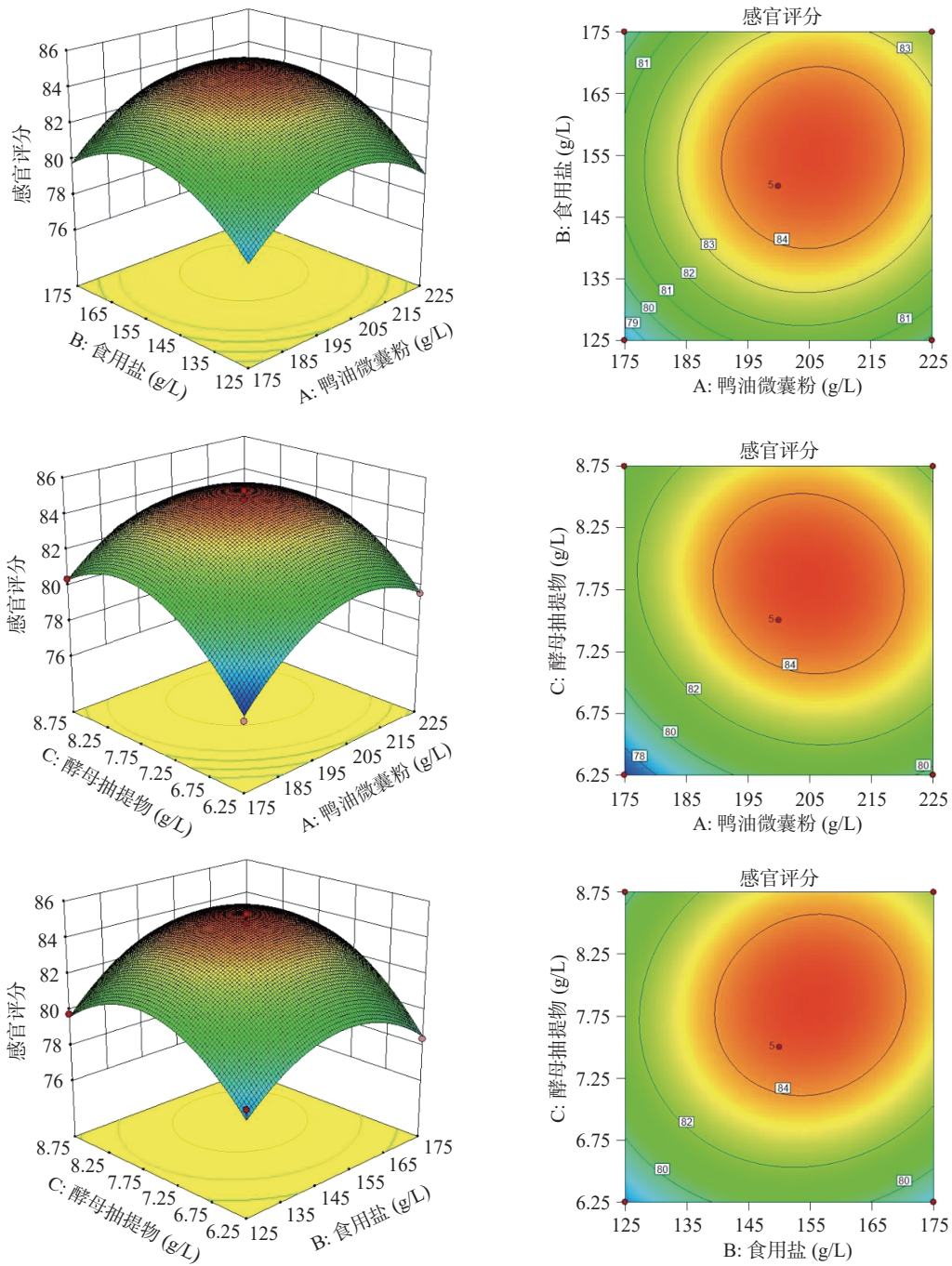


图 2 鸭油微囊粉添加量、食用盐添加量、酵母抽提物添加量交互作用对鸭汤调味粉感官评分的影响

Fig.2 Effects of the addition of microencapsulated duck oil powder, edible salt and yeast extract on the sensory score of duck soup seasoning powder

调味粉感官评分(84.9±0.2)分,白度值为 29.3±0.1,与模型值较为接近,该模型较准确,无显著性差异(P>0.05)。说明响应面法对鸭汤调味粉制备的工艺条件优化得到的工艺参数可靠度高,具有一定应用价值。

2.3 产品分析

2.3.1 产品感官分析 醇厚的口感、鲜香的气味可以提高产品的评分,良好的外观可增强产品的视觉效果,提升整体质量。在自然光线下对鸭汤调味粉进行感官检测,结果如表 5 所示。鸭汤调味粉质地均一,无霉斑和异物,加上其感官评分及口感最佳,是一款风味适宜,味道鲜美的复合调味品。

表 5 感官检测结果

Table 5 Sensory test results

项目	质量要求	检测结果
滋味、气味	无异味、无异嗅	符合
状态	质地均一,无外来异物,无正常视力可见霉斑	符合

2.3.2 产品冲调性分析 经检验检测,鸭汤调味粉产品冲调性良好。以 50 ℃ 温水为载体时,口感良好,具有独特风味。

2.3.3 产品理化指标分析 经检验检测,鸭汤调味粉的理化指标检测结果如下表 6 所示,结果表明鸭汤调味粉各项指标均符合 GB 31644-2018《食品安全国

家标准《复合调味粉》^[14]要求。

表6 鸭汤调味粉理化指标结果
Table 6 Physical and chemical indicators of duck soup seasoning powder

检测指标	实测值	标准
干燥失重(g/100 g)	2.6±0.12	≤ 5.0
氯化物(以NaCl计)(g/100 g)	31.05±0.31	≤ 50.0
总氮(以氮计)(g/100 g)	4.58±0.05	≥ 1.40

2.4 样品挥发性风味物质分析

通过三组平行试验所得鸭汤调味粉中挥发性化合物的总离子流色谱图如图3所示,通过检索得出鸭汤调味粉的主要化学成分,并采用内标法定量,以邻二氯苯为内标物,计算得到含量。

2.4.1 挥发性物质组成及含量分析 鸭汤调味粉中挥发性物质 SPME-GC-MS 分析结果如表7所示。

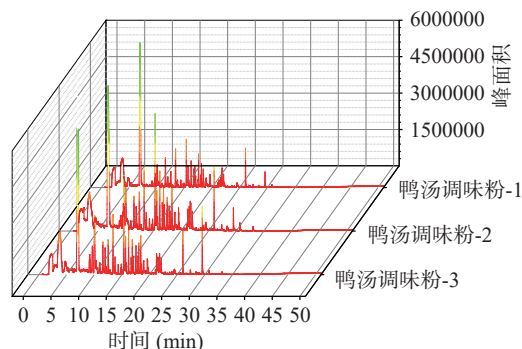


图3 鸭汤调味粉中挥发性化合物的总离子流色谱图

Fig.3 Total ion flow chromatogram of volatile compounds in duck soup seasoning powder

主要检出挥发性风味物质 8 大类,共 49 种,主要包含醛类、醇类、酸类、烯炔类、酮类、酯类、酚类等化合物。

表7 鸭汤调味粉挥发性风味物质 SPME-GC-MS 分析结果

Table 7 Analysis of volatile flavor compounds in duck soup seasoning powder by SPME-GC-MS

序号	化合物	保留时间(min)	CAS号	化学式	含量(ng/g)
酸类					
1	3,4-二甲氧基苯甲酸	15.6049	93-07-2	C ₉ H ₁₀ O ₄	35.15±14.77
2	丙酸	18.8837	79-09-4	C ₃ H ₆ O ₂	41.90±5.14
3	异丁酸	19.6445	79-31-2	C ₄ H ₈ O ₂	80.40±0.56
4	异戊酸	22.0784	503-74-2	C ₅ H ₁₀ O ₂	126.20±10.74
5	正戊酸	23.6331	109-52-4	C ₅ H ₁₀ O ₂	14.03±2.49
6	庚酸	28.4124	111-14-8	C ₇ H ₁₄ O ₂	22.16±10.75
7	辛酸	30.7704	124-07-2	C ₈ H ₁₆ O ₂	23.45±12.09
8	壬酸	33.2450	112-05-0	C ₉ H ₁₈ O ₂	8.05±1.34
	小计				351.34
醛类					
9	己醛	6.9432	66-25-1	C ₆ H ₁₂ O	275.15±68.80
10	庚醛	9.7304	111-71-7	C ₇ H ₁₄ O	65.80±17.88
11	2-己烯醛	10.5533	505-57-7	C ₆ H ₁₀ O	5.40±3.25
12	辛醛	12.5467	124-13-0	C ₈ H ₁₆ O	140.05±54.80
13	2-庚烯醛	13.4112	2463-63-0	C ₇ H ₁₂ O	442.90±58.26
14	壬醛	15.3547	124-19-6	C ₉ H ₁₈ O	1065.15±77.42
15	苯甲醛	18.4137	100-52-7	C ₇ H ₆ O	389.60±30.12
16	反式-2-壬烯醛	18.9262	18829-56-6	C ₉ H ₁₆ O	134.50±22.20
17	苯乙醛	21.2746	122-78-1	C ₈ H ₈ O	230.20±21.21
18	2,4-癸二烯醛	25.2849	2363-88-4	C ₁₀ H ₁₆ O	8.20±3.14
	小计				2756.95
烯炔类					
19	右旋萜二烯	10.1211	5989-27-5	C ₁₀ H ₁₆	140.20±51.27
20	3-异丙基-6-亚甲基-1-环己烯	10.3109	555-10-2	C ₁₀ H ₁₆	8.17±4.55
21	十二烷	10.3842	112-40-3	C ₁₂ H ₂₆	14.80±4.10
22	邻异丙基甲苯	12.0091	527-84-4	C ₁₀ H ₁₄	98.10±18.43
23	十四烷	15.7648	629-59-4	C ₁₄ H ₃₀	23.65±12.09
	小计				284.92
醇类					
24	戊醇	11.5777	30899-19-5	C ₅ H ₁₂ O	255.03±23.24
25	正己醇	14.3524	111-27-3	C ₆ H ₁₄ O	53.15±4.73
26	1-辛烯-3-醇	16.8868	3391-86-4	C ₈ H ₁₆ O	382.05±6.01
27	庚醇	17.0334	111-70-6	C ₇ H ₁₆ O	178.40±3.11

续表 7

序号	化合物	保留时间(min)	CAS号	化学式	含量(ng/g)
28	2-乙基-1-己醇	17.9048	104-76-7	C ₈ H ₁₈ O	195.40±3.53
29	芳樟醇	19.3155	78-70-6	C ₁₀ H ₁₈ O	25.30±1.83
30	辛醇	19.6029	111-87-5	C ₈ H ₁₈ O	118.80±111.86
31	(-)-4-萘品醇	20.5996	20126-76-5	C ₁₀ H ₁₈ O	2.50±0.56
32	苯乙醇	27.4018	60-12-8	C ₈ H ₁₀ O	39.10±0.98
33	十三醇	28.9152	112-70-9	C ₁₃ H ₂₈ O	5.45±5.30
	小计				1255.18
	酮类				
34	1-辛烯-3-酮	12.8224	4312-99-6	C ₈ H ₁₄ O	23.45±9.12
35	甲基庚烯酮	13.8009	110-93-0	C ₈ H ₁₄ O	15.05±0.49
36	2-壬酮	15.2407	821-55-6	C ₉ H ₁₈ O	15.55±8.69
37	苯乙酮	21.5131	98-86-2	C ₈ H ₈ O	31.75±0.91
38	2(5H)-呋喃酮	23.7462	497-23-4	C ₄ H ₄ O ₂	0.95±0.21
	小计				86.75
	酯类				
39	己酸乙烯基酯	21.8218	3050-69-9	C ₈ H ₁₄ O ₂	122.45±16.47
40	丙位己内酯	22.6680	695-06-7	C ₆ H ₁₀ O ₂	5.60±1.70
	小计				128.05
	酚类				
41	苯酚	29.3709	108-95-2	C ₆ H ₆ O	4.80±0.70
42	乙基麦芽酚	29.5530	4940-11-8	C ₇ H ₈ O ₃	167.10±36.62
	小计				171.90
	其他				
43	2-甲基吡嗪	11.8205	109-08-0	C ₅ H ₆ N ₂	10.50±4.10
44	2,5-二甲基吡嗪	13.3856	123-32-0	C ₆ H ₈ N ₂	151.16±39.90
45	2-乙基-5-甲基吡嗪	15.1020	13360-64-0	C ₇ H ₁₀ N ₂	22.40±0.98
46	乙酸铵	16.6666	631-61-8	C ₂ H ₇ NO ₂	157.7±15.83
47	2-乙基-3,6-二甲基吡嗪	16.6896	13360-65-1	C ₈ H ₁₂ N ₂	36.5±0.98
48	茴香脑	25.5762	104-46-1	C ₁₀ H ₁₂ O	6.45±3.46
49	2-乙酰基吡咯	28.6162	1072-83-9	C ₆ H ₇ NO	17.05±1.06
	小计				401.76

酸类化合物主要来源于脂肪的分解^[23]。本次试验中共检测出 8 种酸类化合物,主要有异戊酸、异丁酸和丙酸。其中异丁酸含量为 126.20 ng/g,主要赋予刺激性气味,对鸭汤调味粉样品整体风味有轻微的调节作用,而丁酸和丙酸的含量分别为 80.40 和 41.90 ng/g,对产品口感影响不大。

醛类化合物主要来源于脂肪酸的氧化,阈值相对较低,对产品风味有突出的贡献^[24]。该类物质化学性质极其不稳定,易被还原分解成对应的酸类和醇类物质^[25-26]。本次试验中共检测出 10 种醛类化合物,主要有壬醛、苯甲醛和辛醛,其中壬醛的含量最高,为 1065.15 ng/g,主要赋予浓厚的油脂气息,并伴有些许玫瑰香气,对产品风味贡献极大;苯甲醛和辛醛的含量分别为 389.60 ng/g 和 140.05 ng/g,赋予产品杏仁味和蜂蜜样香气,对整体风味有一定的贡献作用;烯醛和二烯醛类化合物,如 2-庚烯醛,2-己烯醛对样品特征风味贡献更小,相较于猪^[27]、牛^[28],壬醛和辛醛是鸭汤调味粉中特有的醛类物质。

烃类化合物的含量相对偏低,但其风味阈值较高,一般认为烃类化合物对鸭汤调味粉呈味作用不

大^[29],但产品中该类物质少量的存在可以使得口感更加醇厚^[30]。本次试验共测得 5 种烃类化合物,主要有右旋萜二烯和邻异丙基甲苯,含量分别为 140.20 ng/g 和 98.10 ng/g,对产品整体风味有轻微的调节作用。

醇类化合物可能来源于蛋白质的分解、氨基酸的代谢及亚油酸的降解作用^[31]。醇类的阈值普遍偏高^[32],其含量也相对较高,对样品特征风味有一定的贡献。本次试验共测得 10 种醇类化合物,主要有 1-辛烯-3-醇、戊醇和庚醇,其中戊醇的含量为 255.03 ng/g,庚醇的含量为 178.40 ng/g,主要赋予新鲜的油脂气息,并伴有淡淡的清香,而 1-辛烯-3-醇是个特例,其阈值仅为 1 ng/g,表现出类似蘑菇香、干草香的的气味。相较于猪^[27]、牛^[28],1-辛烯-3-醇是鸭汤调味粉中特有的醇类风味物质。

酮类化合物可能是由不饱和脂肪酸的热氧化或降解产生^[33-34]。本次试验中共检测出 5 种酮类化合物,主要包括 1-辛烯-3-酮、甲基庚烯酮、2-壬酮、苯乙酮等,其中苯乙酮和 2-壬酮含量分别为 31.75 ng/g 和 15.55 ng/g,主要贡献山楂香气,对产品整体风味

有一定的修饰作用。

酯类化合物是一种芳香性化合物,通常来源于蛋白质水解生成的有机酸和醇类物质的酯化作用^[35]。本次试验中共检测出2种酯类化合物,分别为己酸乙酯和丙位己内酯。己酸乙酯含量为122.45 ng/g, OAV 值小于0.1,对产品整体风味贡献微弱,而丙位己内酯含量为5.60 ng/g,对产品整体风味起修饰作用。

样品中另一特征风味的重要来源来自于杂环化合物以及酚类化合物,这些化合物的存在会使得样品的整体风味更为浓郁^[36],其中苯酚和2,5-二甲基吡嗪

呈现出坚果香、花生、脂肪香和椰子豆香等气味,但它们含量低,气味阈值相对较高,对样品整体风味贡献微弱。

2.4.2 挥发性风味物质气味特征分析 挥发性物质在风味体系中的含量与气味阈值共同决定了食品的特征风味^[37]。通常认为, $OAV \geq 1$,说明该物质对总体风味有主要贡献,并在一定范围内该值越大说明该化合物对风味影响越大; $0.1 < OAV < 1$,说明该物质对总体风味起一定修饰作用。通过文献^[32,35-36,38]共找到以下14种挥发性物质气味阈值,通过公式(3)求出各挥发性气味物质的OAV值,结果如表8所示。

表8 鸭汤调味粉挥发性成分的气味活度值
Table 8 Odor activity volatile components in duck soup seasoning powder

序号	化合物名称	阈值(ng/g)	气味活度值	气味特征
酸类				
1	异丁酸	10.0	8.04	刺激性气味
醛类				
2	庚醛	3	21.93	稀释后类似甜杏、坚果香气
3	辛醛	0.7	200.07	高度稀释下类似甜橙、蜂蜜样香气
4	壬醛	1	1065.15	强烈的油脂气息,稀释后呈现玫瑰和柑橘样香气
5	苯甲醛	320.0	1.22	杏仁味
6	苯乙醛	4	57.55	玫瑰、蜂蜜甜味
醇类				
7	1-辛烯-3-醇	1	382.05	蘑菇香、干草香
8	庚醇	3	59.47	新鲜清淡的油脂气息,并带有清香
9	芳樟醇	1.5	16.87	人造精油的调合原料
10	辛醇	110	1.08	强烈的油脂气味,并带有柑橘、玫瑰气味
酮类				
11	2-壬酮	38.0	0.41	-
12	苯乙酮	36.0	0.88	山楂香气
酯类				
13	丙位己内酯	12.0	0.47	浓甜药草、椰子豆香
杂环及其他类				
14	2-乙基-3,6-二甲基吡嗪	1	36.50	-

注: -表示未找到相关气味特征的形容词。

异丁酸、庚醛、辛醛、壬醛、苯甲醛、苯乙醛、1-辛烯-3-醇、庚醇、芳樟醇、辛醇以及2-乙基-3,6-二甲基吡嗪等化合物是鸭汤调味粉中的主要香味成分。这些化合物的OAV值均大于1,表明它们在食品中的浓度高于其感官阈值,对鸭汤调味粉的整体风味有主要贡献。除了以上化合物外,2-壬酮、苯乙酮和丙位己内酯等化合物的OAV值处于0~1之间。虽然它们对总体风味的贡献不如前者显著,但仍然具有一定的修饰作用。

综上,鸭汤调味粉的特征挥发性风味物质为壬醛、辛醛和1-辛烯-3-醇,它们共同赋予了鸭汤调味粉独有的新鲜香气。

3 结论

本文鸭油微囊粉为原料,在单因素试验的基础上,应用Box-Behnken和响应面优化确定研制鸭汤调味粉的最优配方:205 g/L鸭油微囊粉、155 g/L食

用盐、87.5 g/L白砂糖、7.8 g/L酵母抽提物、7.5 g/L呈味核苷酸二钠,此时的鸭汤调味粉感官评分及口感最佳,是一款风味适宜、味道鲜美的复合调味品。并基于HS-SPME-GC-MS技术对鸭汤调味粉挥发性风味物质进行监测分析,结果表明,醛醇类化合物最多,各为10种,其次是酸类8种、其他类7种、烃类5种、酮类5种、酯类2种、酚类2种,其中壬醛贡献油脂气息、辛醛主要贡献蜂蜜样香气、1-辛烯-3-醇主要贡献蘑菇香、干草香,属于鸭汤调味粉产品中特有的风味物质。本研究可为以微囊粉为原料制备调味料的工艺提供一定的理论指导,并拓展了鸭油在产品中的应用范围。

参考文献

[1] WANG D Y, ZHU Y Z, XU W M. Composition of intramuscular phospholipids and free fatty acids in three kinds of traditional Chinese duck meat products[J]. *Poultry Science*, 2009, 88(1): 221-

226.

- [2] 龙霞, 宁俊丽, 丁晓雯. 家禽油脂功能性研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(1): 259-264. [LONG X, NING J L, DING X W. Research progress on functional properties of poultry oil[J]. Food and Fermentation Industries, 2019, 45(1): 259-264.]
- [3] QIAO Y, HUANG J C, CHEN H C, et al. Meat quality, fatty acid composition and sensory evaluation of cherry valley, spent layer and crossbred ducks[J]. *Animal Science Journal*, 2017, 88(1): 156-165.
- [4] KIM T K, LEE M H, KIM S M, et al. Physicochemical properties of reduced-fat duck meat emulsion systems: Effects of preemulsification with vegetable oils and duck skin[J]. *Poultry Science*, 2021, 100(2): 1291-1298.
- [5] 胥亚夫, 俞存兵, 郭忠, 等. 南极磷虾油微囊粉的制备及其性能分析[J]. 中国油脂, 2022, 47(2): 70-73. [XU Y F, YU C B, GUO Z, et al. Preparation and properties of Antarctic krill oil microcapsulated powder[J]. *China Oils and Fats*, 2022, 47(2): 70-73.]
- [6] 徐振波, 梁军, 陈丽丽, 等. 微胶囊化粉末油脂的研究与应用进展[J]. 食品工业科技, 2014, 35(5): 392-395. [XU Z B, LIANG J, CHEN L L, et al. Research progress in production and application of microcapsulated oil and fat powder[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2014, 35(5): 392-395.]
- [7] LIN Q Q, WU D, GINGH H, et al. Improving solubility and stability of β -carotene by microencapsulation in soluble complexes formed with whey protein and OSA-modified starch[J]. *Food Chemistry*, 2021, 352: 129267.
- [8] 江连洲, 王朝云, 王中江, 等. 鱼油微胶囊射流空化制备工艺优化及理化性质研究[J]. 农业工程学报, 2019, 35(15): 312-320. [JIANG L Z, WANG Z Y, WANG Z J, et al. Process optimization and physicochemical properties of fish oil microcapsules prepared by jet cavitation[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2019, 35(15): 312-320.]
- [9] JIA C H, HUANG S J, LI J J, et al. Physical properties of fish oil microcapsules prepared with octenyl succinic anhydride-linked starch and maltodextrin[J]. *Food and Bioprocess Technology*, 2019, 12(11): 1887-1894.
- [10] 王豪, 何鑫, 刘丹, 等. 羊油粉末油脂的制备工艺[J]. 食品工业, 2020, 41(8): 76-80. [WANG H, HE X, LIU D, et al. The preparation technology of tallow powder oil[J]. *The Food Industry*, 2020, 41(8): 76-80.]
- [11] WANG S, ZHANG W, CHEN Y F, et al. The aromatic properties of polyurea-encapsulated lavender oil microcapsule and their application in cotton fabrics[J]. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 2019, 19(7): 4147-53.
- [12] 王艺颖, 夏文水, 许艳顺, 等. 壳聚糖微胶囊对淡水鱼油保护作用的研究[J]. 科学养鱼, 2016(6): 76-78. [WANG Y Y, XIA W S, XU Y S, et al. Study on the protective effect of chitosan microcapsules on freshwater fish oil[J]. *Scientific Fish Farming*, 2016(6): 76-78.]
- [13] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB/T 16291.1-2012 感官分析 选拔、培训与管理评价员一般导则 第 1 部分: 优选评价员[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012. [General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the China. GB/T 16291.1-2012 General guidelines for the selection, training and management of evaluators in sensory analysis part 1: Preferred evaluators[S]. Beijing: Standards Press of China, 2012.]
- [14] 中华人民共和国国家市场监督管理总局. GB 31644-2018 食品安全国家标准 复合调味料[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018. [The State Administration for Market Regulation of the China. GB 31644-2018 National food safety standard compound seasoning[S]. Beijing: Standards Press of China, 2018.]
- [15] 郭辉, 李沛, 沈硕, 等. 酱类专用酵母抽提物在几款方便面调味酱料中的应用[J]. 中国调味品, 2015, 40(4): 96-98. [GUO H, LI P, SHEN S, et al. Application of yeast extract in instant noodles sauces[J]. *China Condiment*, 2015, 40(4): 96-98.]
- [16] 郑惠娜, 曾小勤, 廖建华, 等. 利用马氏珠母贝肉煮汁液开发调味酱[J]. 中国调味品, 2012, 37(6): 61-64. [ZHEN H N, ZENG X Q, LIAO J H, et al. Study on the flavoring sauce processing technology using of *Pinctada martensii* meat cooking juices[J]. *China Condiment*, 2012, 37(6): 61-64.]
- [17] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB/T 8967-2007 谷氨酸钠(味精)[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007. [General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the China. GB/T 8967-2007 Sodium glutamate (*Monosodium glutamate*)[S]. Beijing: Standards Press of China, 2007.]
- [18] 中华人民共和国卫生部. GB/T 5009.39-2003 酱油卫生标准的分析方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003. [Ministry of Health of the Ministry of Health of the People's Republic of China. GB/T 5009.39-2003 Analysis method for hygienic standards of soy sauce[S]. Beijing: Standards Press of China, 2003.]
- [19] 中华人民共和国国家食品药品监督管理总局. GB 5009.5-2016 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016. [State Food and Drug Administration of the China. GB 5009.5-2016 National food safety standard-determination of protein in food[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016.]
- [20] 程华峰, 林琳, 葛孟甜, 等. 3 种生态环境中华绒螯蟹肉挥发性风味特征的比较[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(23): 247-256. [CHENG H F, LIN L, GE M T, et al. Comparison of volatile flavor characteristics in the meat of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) from three eco-environment systems[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2019, 45(23): 247-256.]
- [21] 赵敏. 以洪泽湖低值鱼为基料的调味料的研制[D]. 扬州: 扬州大学, 2019. [ZHAO M. Development of condiment based on Hongze Lake low value fish[D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2019.]
- [22] 刘伟. 超声波处理对河蚌肉酶解物美拉德反应的影响及其微胶囊化调味料制备[D]. 长春: 吉林大学, 2019. [LIU W. Effect of ultrasonic treatment on Maillard reaction of hydrolysate derived from mussel meat and its manufacture of microencapsulated seasoning[D]. Changchun: Jilin University, 2019.]
- [23] 任为一, 陈海燕, 李婷, 等. 嗜热链球菌发酵乳中挥发性风味物质的 GC-MS 指纹图谱[J]. 中国食品学报, 2020, 20(9): 190-202. [REN W Y, CHEN H Y, LI T, et al. Analysis of volatile flavor compounds in fermented milk with streptococcus thermophilus by gas chromatographic fingerprints[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2020, 20(9): 190-202.]
- [24] 丹彤, 包秋华, 孟和毕力格, 等. 发酵乳风味物质乙醛、双乙酰的合成途径及其调控机制[J]. 食品科技, 2012, 37(7): 75-79. [DAN T, BAO Q H, MENG H B L G, et al. Gene regulation to increase acetaldehyde and diacetyl production by lactic acid bacteria[J]. *Food Science and Technology*, 2012, 37(7): 75-79.]
- [25] MADRUGA M S, ELMORE J S, DODSON A T, et al. Volatile flavour profile of goat meat extracted by three widely used techniques[J]. *Food Chemistry*, 2008, 115(3): 1081-1087.
- [26] 荣建华, 熊诗, 张亮子, 等. 基于电子鼻和 SPME-GC-MS 联用分析脆肉鲩鱼肉的挥发性风味成分[J]. 食品科学, 2015, 36(10): 124-128. [RONG J H, XIONG S, ZHANG L Z, et al. Analysis of volatile flavor components in crisp grass carp muscle by elec-

- tronic nose and SPME-GC-MS[J]. *Food Science*, 2015, 36(10): 124-128.]
- [27] 李铁志, 王明, 雷激. 阿坝州半野血藏猪肉挥发性风味物质的研究[J]. *食品科技*, 2015, 40(10): 124-130. [LI T Z, WANG M, LEI J. Study on volatile flavor compounds of pork collected from banye blood in aba prefecture[J]. *Food Science and Technology*, 2015, 40(10): 124-130.]
- [28] 周蓓蓓, 杨松, 尤逢惠, 等. 酱牛肉挥发性风味物质研究[J]. *农产品加工(学刊)*, 2014(23): 47-49. [ZHOU B B, YANG S, YOU F H, et al. Volatile flavor compounds of sauced beef[J]. *Academic Periodical of Farm Products*, 2014(23): 47-49.]
- [29] TOLDRA F, FLORES M, SANZ Y. Dry-cured ham flavour enzymatic generation and process influence[J]. *Food Chemistry*, 1997, 59(4): 47-49.
- [30] SUDUN, WULIJIDELIGEN, KENSUKE A, et al. Interaction between lactic acid bacteria and yeasts in airag, an alcoholic fermented milk[J]. *Animal Science Journal*, 2013, 84(1): 66-74.
- [31] CARROLL A L, DESAI S H, ATSUMI S. Microbial production of scent and flavor compounds[J]. *Current Opinion in Biotechnology*, 2016, 37: 8-15.
- [32] 李官丽, 伍淑婕, 罗秀娟, 等. 基于 SPME-GC-MS 萃取荸荠挥发性风味物质研究[J]. *食品研究与开发*, 2022, 43(14): 70-78. [LI G L, WU S J, LUO X J, et al. Extraction of volatile flavor compounds from Chinese water chestnut based on SPME-GC-MS[J]. *Food Research and Development*, 2022, 43(14): 70-78.]
- [33] HEATH H B, REINECCIUS G. *Flavor and Its Study*[M]. *Flavor Chemistry and Technology*, 1986: 71-111.
- [34] CHA Y J, CADWALLADER K R, BAEK H H. Volatile flavor components in snow crab cooker effluent and effluent concentrate[J]. *Journal of Food Science*, 1993, 58(3): 525-530.
- [35] REINHARD H, SAGER F, ZOLLER O. Citrus juice classification by SPME-GC-MS and electronic nose measurements[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2007, 41(10): 1906-1912.
- [36] 李静, 张述伟, 周龙华, 等. 基于 HS-SPME-GC-MS 法分析大麦幼苗中的挥发性成分[J]. *食品研究与开发*, 2021, 42(10): 148-153. [LI J, ZHANG S W, ZHOU L H, et al. Analysis on volatile components in barley grass by HS-SPME-GC-MS[J]. *Food Research and Development*, 2021, 42(10): 148-153.]
- [37] ZHU Y, LV H P, SHAO C Y, et al. Identification of key odorants responsible for chestnut-like aroma quality of green teas[J]. *Food Research International*, 2018, 108: 74-82.
- [38] 里奥·范海默特. 化合物香味阈值汇编[M]. 北京: 科学出版社, 2015. [LEO V H. *Compilation of compound aroma thresholds*[M]. Beijing: Science Press, 2015.]