

紫苏与酵母抽提物复配对秋刀鱼脱腥工艺研究

吴国强^{1,2}, 步营^{1,*}, 朱文慧^{1,*}, 徐永霞¹, 李学鹏¹, 励建荣¹

(1. 渤海大学食品科学与工程学院 / 生鲜农产品贮藏加工及安全控制技术国家地方联合工程研究中心, 锦州 121013; 2. 大连工业大学海洋食品精深加工关键技术省部共建协同创新中心, 大连 116034)

摘要: 本文以秋刀鱼为研究对象, 通过响应面实验优化紫苏与酵母抽提物复配的最佳脱腥工艺条件, 并利用感官、电子鼻、电子舌、质构仪、气相色谱-质谱仪等方法 and 仪器, 比较了紫苏与酵母抽提物复配脱腥、茶多酚脱腥、市售脱腥液脱腥等预处理对秋刀鱼质构、风味、挥发性物质等的影响。结果表明紫苏与酵母抽提物复配脱腥的最佳配方及工艺为酵母抽提物含量为 1%、紫苏含量为 5%、浸泡时间为 50 min。经紫苏与酵母抽提物复配脱腥处理后对秋刀鱼产品质构影响较小, 白度提升。电子鼻结果表明脱腥处理后的秋刀鱼无机硫化物响应值降低。电子舌结果表明紫苏与酵母抽提物复配脱腥处理降低了秋刀鱼的苦味与咸味, 保持了其丰富度, 显著增加了其鲜味。GC-MS 分析结果表明, 紫苏与酵母抽提物复配脱腥产生鲜香类物质同时去除了不良挥发性物质。上述结果表明, 紫苏与酵母抽提物复配处理具有更好的脱腥效果。

关键词: 秋刀鱼; 紫苏; 酵母抽提物; 脱腥; 风味物质

中图分类号: TS201.1

文献标识码: A

文章编号: 1006-2513(2023)09-0218-10

doi: 10.19804/j.issn1006-2513.2023.09.029

Optimization of deodorization technology of mackerel pike by mixed perilla and yeast extract

WU Guoqiang^{1,2}, BU Ying^{1,*}, ZHU Wenhui^{1,*}, XU Yongxia¹, LI Xuepeng¹, LI Jianrong¹

(1. College of Food Science and Technology, Bohai University/National & Local Joint Engineering Research Center of Storage, Processing and Safety Control Technology for Fresh Agricultural and Aquatic Products, Jinzhou 121013; 2. Collaborative Innovation Center of Seafood Deep Processing, Dalian Polytechnic University, Dalian 116034)

Abstract: The processing conditions of removing fishy flavor of mackerel pike using mixed perilla and yeast extracts were optimized by response surface methodology. Perilla and yeast extract compound, tea polyphenols and commercial deodorant pretreatments were compared on the texture, flavor and volatile substances of fish by sensory evaluation, electronic nose (e-noses), electronic tongue (e-tongue), texture apparatus and gas chromatography-mass spectrometer (GC-MS). The results showed that the optimal conditions were: yeast extracts 1%, perilla 5%, and soaking time 50 min. This treatment had little effect on the texture of mackerel pike and its whiteness was increased. The e-nose detecting results showed that inorganic sulfur response value of mackerel pike decreased after

收稿日期: 2022-08-16

基金项目: 辽宁省海洋经济发展专项; 渤海大学海洋研究院开放基金 (BDHYJY2022005)。

作者简介: 吴国强 (1996-), 男, 硕士, 研究方向: 水产品加工与贮藏。

*通信作者: 步营 (1981-), 男, 博士, 工程师, 研究方向: 水产品加工与贮藏。

朱文慧 (1982-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 水产品加工与贮藏。

decolorization treatment. E-tongue evaluation showed that the extraction method reduced mackerel pike bitter and salty taste, maintained fish richness flavor, and significantly increased its umami taste. The results of GC-MS analysis showed that aldehydes and alcohols were the main substances affecting of mackerel pike fishy taste. Perilla and yeast extract compound produced aromatic substances while removed adverse volatile substances. The above results showed that perilla and yeast extracts compound had a better deodorization effect.

Key words: mackerel pike; perilla; yeast extract; deodorization; flavor substances

秋刀鱼 (*Cololabis saira*) 又称竹刀鱼, 是广泛分布在西北太平洋及其沿岸的经济洄游性鱼类, 其以肉味鲜美、营养价值高而闻名^[1]。我国大陆自 2003 年起在北太平洋公海开始捕捞秋刀鱼, 2017 年产量超过 6.3 万吨^[2]。秋刀鱼有海产品固有的鲜香味, 但也具有一定的腥味, 导致内陆部分消费者对秋刀鱼接受程度较低, 目前大部分秋刀鱼经过加工后出口海外^[3]。因此, 开发一种有效去除秋刀鱼腥味的方法是产业发展的迫切需要。

酵母提取物是以酵母为原料, 经一定工艺精制而成, 具有很好的安全性, 同时具有一定的去腥效果^[4]。姚晓波等^[5]用酵母提取物和迷迭香提取物对鲈鱼进行脱腥, 结果表明处理后的鱼肉中戊醛、异戊醛、己醛、庚醛、壬醛等腥味物质含量降低, 能够较好地抑制鱼腥味并起到提鲜的效果。紫苏可食用也可以作为香料在食品加工中使用^[6], 我国传统饮食文化中有利用紫苏叶烹饪水产菜肴起到增香去除腥味的的作用。研究表明鱼在储存加工过程中发生氧化, 生成醛、醇、酮等低分子醇和羰基化合物, 对鱼的腥味起决定作用。紫苏叶的天然抗氧化作用可以有效地去除水产品的腥味^[7]。

本研究利用响应面法优化了紫苏与酵母抽提物复配脱腥工艺, 并利用感官分析、电子舌、电子鼻、顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用仪 (Headspace solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry, HS-SPME-GC-MS)、色差仪、质构仪等研究对比了紫苏与酵母抽提物复配脱腥与茶多酚、市售脱腥液等方法对秋刀鱼的脱腥作用以及对肉质影响, 以期对秋刀鱼及海水鱼类脱腥提供可靠的方法及理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

秋刀鱼: 锦州海鲜市场; 茶多酚: 河南欧格化工产品有限公司; 酵母抽提物: 安琪酵母股份有限公司; 紫苏粉: 锦州农贸市场; 试剂均为分析纯。

1.2 仪器与设备

SA-402B 电子舌: 日本 Insent 公司; PEN3 电子鼻: 德国 Airsense 公司; 7890N-5975C 气相色谱-质谱联用仪: Agilent 公司; DF-101S 集热式恒温加热磁力搅拌器: 郑州长城科工贸有限公司; 萃取头 20mL 顶空钳口样品瓶: 美国 Supelco 公司; CR-400 型色彩色差计: 日本 Konica-Minolta 公司; TA-XT-Plus 型质构分析仪: 英国 Stable Micro Systems 公司。

1.3 秋刀鱼脱腥工艺

1.3.1 秋刀鱼处理

将冷冻秋刀鱼解冻, 去头、内脏和鳍, 清水洗净后, 切成 5 cm × 5 cm 左右的小块, 沥干备用。将处理好的秋刀鱼进行脱腥处理, 然后放入蒸煮袋抽真空密封后进行高温杀菌, 温度 121 °C, 时间 30 min, 杀菌后降温至室温。

脱腥处理如下: 1) 茶多酚处理 (CDF): 茶多酚溶液 (质量浓度为 20%) 与秋刀鱼按照 1:4 的比例浸泡时间 60 min; 2) 市售脱腥液处理 (TXY): 市售脱腥液与秋刀鱼料液按照 3:20 的比例浸泡时间为 70 min; 3) 紫苏与酵母抽提物复配脱腥处理 (ZJ): 按照优化工艺进行; 4) 对照组 (DZ): 蒸馏水与秋刀鱼按照 1:4 的比例浸泡时间 60 min。

1.3.2 脱腥工艺条件确定

根据前期单因素实验结果及 Box-Behnken 实

验设计原理,以酵母抽提物质量浓度(A)、紫苏质量分数(B)、浸泡时间(C)为考察因素,以感官综合评价(Y)结果为评价指标,进行三因素三水平试验设计,优化秋刀鱼脱腥工艺条件,因素及水平见表1。

表1 响应面试验因素水平表

Table 1 Factors and levels of response surface experiments

水平	A 酵母抽提物 量浓度 /%	B 紫苏质量分数 /%	C 浸泡时间 / min
-1	0.5	3	45
0	1	5	50
1	1.5	7	55

1.4 试验方法

1.4.1 白度测定

白度测定根据雷萌萌等^[8]的方法进行修改,先校正色差仪,然后将对照组、茶多酚组、市售脱腥液组、紫苏与酵母抽提物复配脱腥组处理的4组秋刀鱼样品取同一位置点置于色差仪的光源处,测定并记录参数 L^* 、 a^* 、 b^* ,通过亨特白度公式计算出秋刀鱼肉的白度(WH),按照下列公式计算:

$$WH = 100 - \sqrt{(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}}$$

1.4.2 质构测定

根据仪淑敏等^[9]测定方法修改,将冷却至室温的样品切成2 cm × 2 cm × 2 cm的鱼块,采用鱼肉TPA模式:选用柱型探头P36对样品进行测试。测试模式:采用两次压缩测试,测前速度为5 mm/sec,测试速度为1 mm/sec;测后速度为5 mm/sec,压缩比为30%,停留时间为5 s,触发力为5 g。

1.4.3 电子鼻测定

根据步营等^[10]实验方法修改,准确称取5g搅碎、均质后的鱼肉置于50 mL烧杯中,保鲜膜封口,室温条件下静置30 min,进行检测,每组样品做3次平行试验。电子鼻条件:取样间隔1.0 s;清洗时间100 s;测定时间150 s。使用设备自带WinMuster软件对样品挥发性气味的指标信息进行分析。

1.4.4 电子舌测定

根据侯玉等^[11]的方法进行修改,将秋刀鱼肉搅碎、均质处理,按体积比稀释10倍,先后经0.45、0.2 μm的滤膜过滤,取80 mL样液置于电子舌测试杯中,对其苦、鲜、和鲜味的回味进行测定,以基准液做空白对照。

1.4.5 挥发性物质测定

根据张渤函等^[12]的方法修改,称取3 g均质后的鱼肉于样品瓶中,加入6 mL饱和NaCl溶液及磁转子,用聚四氟乙烯隔垫密封,于60 ℃恒温磁力搅拌器中平衡20 min。使用50/30 μm DVB/CAR/PDMS萃取头270 ℃活化60 min,顶空吸附40 min后,插入GC进样口,解吸5 min。

GC条件:HP-5MS毛细管柱(30 m × 0.25 mm, 0.25 μm);进样口温度250 ℃,不分流模式进样;载气为He,流速1.0 mL/min;升温程序:柱初温40 ℃,保持2 min,以4 ℃/min升至160 ℃,保持1 min,以10 ℃/min升至250 ℃,保持5 min。

MS条件:接口温度280 ℃;离子源温度230 ℃;四极杆温度150 ℃;电子能量70 eV;质量扫描范围为30 ~ 550 m/z。

挥发性物质的定性定量分析:所得GC-MS检测结果通过计算机NIST11谱库和人工检索处理,并利用C8~C20正构烷烃混标的保留时间计算各个色谱峰的保留指数,统计匹配度大于50(最大值100)的挥发性成分,按峰面积归一法计算各化学成分的相对含量。

1.4.6 感官评价

参考代文婷等^[13]方法,由10名经过培训小组成员(5名男性,5名女性;年龄在23~25岁)对不同紫苏质量分数、酵母抽提物质量浓度、浸泡时间条件下进行脱腥的秋刀鱼品评。环境温度为25 ℃,评价之前先对评价员在滋味、气味2个方面进行培训。一组测试结束后,小组成员漱口、休息5 min,然后对样本再次进行感官品评,具体评分标准见表2。

表2 感官评分表

Table 2 The sensory evaluation

感官	无腥味	腥味略淡	腥味较淡	腥味略浓	腥味较浓	腥味浓
评分	0	1	2	3	4	5

1.5 数据处理

用 Origin 2019b 软件及 Excel 2007 软件对数据进行统计分析并作图, 采用 SPSS 19.0 软件进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 响应面结果分析

以腥味感官评分 (Y) 为响应值, 在单因素基础上分别以 (A) 酵母抽提物质量分数、(B) 紫苏质量分数、(C) 浸泡时间为实验因素, 实验结果见表 3。将所得的试验结果进行多元拟合, 得到回归式模型: $Y=89.00-2.13A-0.13B+1.00C+0.75AB-0.50AC-0.50BC-7.62A^2-2.12B^2-2.88C^2$ 。紫苏与酵母抽提物复配脱腥优化结果为, 酵母抽提物质量分数为 1%、紫苏液质量分数为 5%、浸泡时间为 50 min。

表 3 Box-Behnken 实验设计与结果
Table 3 Design and results of Box-Behnken test

试验号	A: 酵母抽提物 质量分数 /%	B: 紫苏质 量分数 /%	C: 浸泡时 间 /min	腥味感官 评分
1	0.50	3.00	50.00	1.6
2	1.50	3.00	50.00	1.4
3	0.50	7.00	50.00	1.4
4	1.50	7.00	50.00	2
5	0.50	5.00	45.00	0.8
6	1.50	5.00	45.00	1.2
7	0.50	5.00	55.00	1
8	1.50	5.00	55.00	1.2
9	1.00	3.00	45.00	1.4
10	1.00	7.00	45.00	1.6
11	1.00	3.00	55.00	1.8
12	1.00	7.00	55.00	1
13	1.00	5.00	50.00	0.2
14	1.00	5.00	50.00	0.6
15	1.00	5.00	50.00	0.4
16	1.00	5.00	50.00	0.2
17	1.00	5.00	50.00	0.4

一般说来, 响应面模型的适应性会受到建模、拟合和优化过程的影响而产生误差, 如果模型中的 $P < 0.05$, 失拟项值 > 0.05 同时存在, 则能证明该模型具有良好的适应性^[14]。由表 4 可知, 模型中 $P < 0.01$, 模型极显著; 失拟项 $P > 0.05$, 不显著, 说明构建的模型较可靠。在试验数据与回归模型的拟合性上, 可以通过决定系数 R^2 进行验证, R^2 值越接近于 1, 模型的可靠性越高。决定系数 R^2 为 0.976, 调整后的决定系数 R^2 为 0.905, 两者都大于 80%, 表明该模型拟合效果较好, 可以准确地预测秋刀鱼脱腥条件。 F 值能够反映各因素对响应值的重要性, F 值越大, 表明对响应值的影响越大^[15]。由表 4 可知, 根据 F 值的大小可以判断 3 个因素对感官评分影响的顺序为 $B > A > C$, 即紫苏质量分数 $>$ 酵母抽提物质量分数 $>$ 浸泡时间。其中一次项 B 对鱼肉的腥味评分影响显著 ($P < 0.05$), A、C 对产品的感官评分无显著差异 ($P > 0.05$)。二次项 B^2 对感官评分影响极显著 ($P < 0.01$), C^2 对结果影响显著 ($P < 0.05$)。交互项 AB、BC、AC 对结果影响不显著 ($P > 0.05$)。

表 4 响应面试验方差分析表

Table 4 Variance analysis of response surface test

变异来源	平方和	自由度	方差	F 值	P 值
模型	462.682	9	44.7425	4.3988	0.0011
A	8	1	8	0.7865	0.1600
B	50	1	50	4.9157	0.0130
C	0.42	1	0.42	0.1400	1
AB	25	1	25	2.4579	0.1609
AC	1	1	1	0.0983	0.7630
BC	25	1	25	2.4579	0.1609
A^2	16.01053	1	16.0105	1.5741	0.2499
B^2	149.0632	1	149.0632	14.6551	0.0065
C^2	103.1684	1	103.1684	10.1429	0.0154
残差	71.2	7	10.1714		
失拟项	60	3	20	7.1428	0.0439
纯误差	11.2	4	2.8		
总值	473.8824	16			
			$R^2=0.976$		$R^2_{Adj}=0.905$

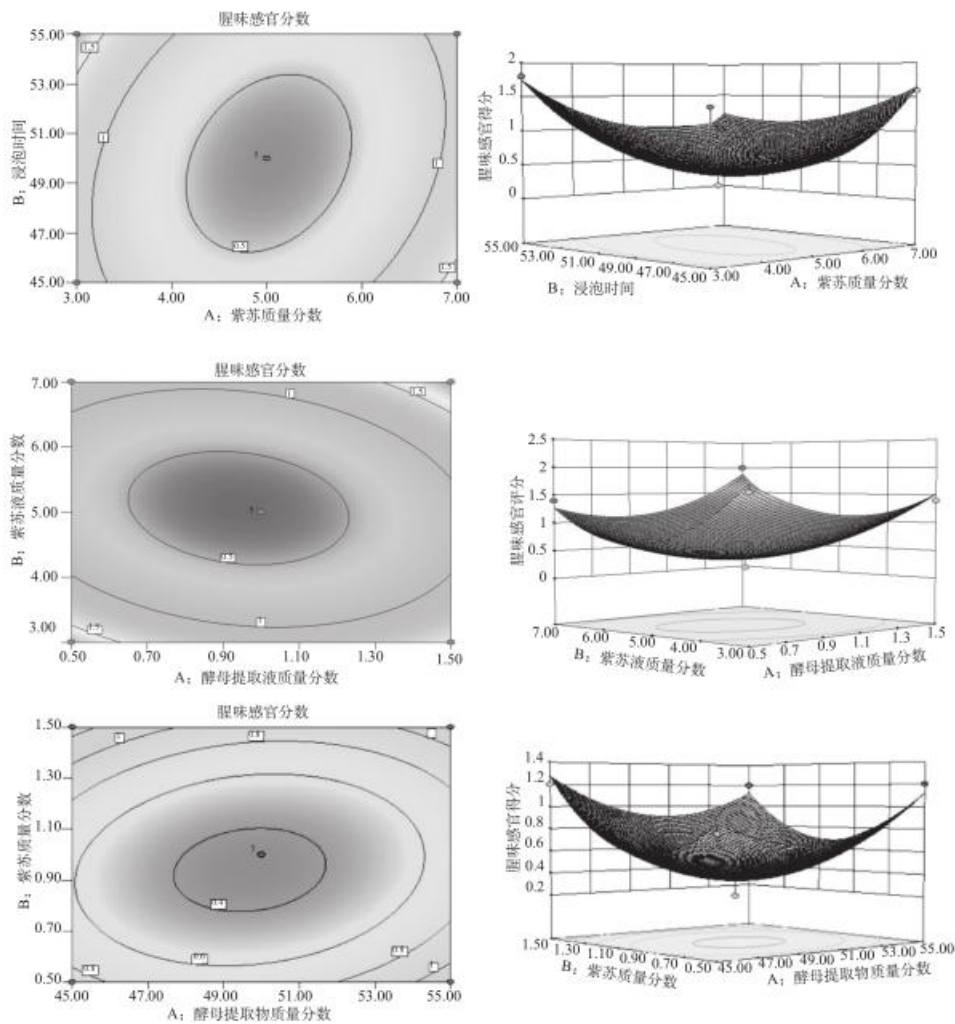


图1 双因素交互作用对腥味感官评分的响应面及等高线图

Figure 1 Response surface and contour plot of two-factor interactions on sensory score of fishy smell

各影响因素对产品的交互作用见图1。在所选范围内各影响因素的交互作用存在极大值，既是响应面的最高点，同时也是等值线最小椭圆的中心点。由表4可知酵母抽提物质量分数、紫苏质量分数、浸泡时间两两交互作用不显著 ($P > 0.05$)。

根据 Design Expert 8.0.6 软件分析得出的最优紫苏与酵母抽提物复配脱腥工艺，即酵母抽提物质量分数为1%、紫苏质量分数为5%、浸泡时间为50 min，预测腥味评分为0.35，进行验证结果3次平行脱腥试验腥味评分分别为0.2、0.4、0.2，平均腥味评分为0.27，与模型预测值相近，表明该模型是可靠的。

2.2 不同脱腥方式对秋刀鱼色泽的影响

色泽是鱼肉的一个重要指标，4组秋刀鱼的色泽参数见表5。从表中结果可以看出经过脱腥处理后亮度值 L^* 值与对照相比显著提升，但是各处理组内差异不显著。经脱腥处理后红度值 a^* 显著升高，茶多酚脱腥组、紫苏与酵母抽提物复配脱腥组、市售脱腥液处理组差异显著，紫苏与酵母抽提物复配脱腥组与对照组更为接近，说明紫苏与酵母抽提物复配脱腥处理对红度值的改变较小。脱腥处理后黄度值 b^* 无显著差异。综合来看，秋刀鱼经过脱腥处理后白度值显著提升，但各脱腥处理组差异不显著，说明经过脱腥处理的秋刀鱼颜色变浅从而更有效地散射光线，改善秋刀鱼外观质量^[16]。

表 5 不同脱腥方式对秋刀鱼鱼肉色泽的影响

Table 5 Effect of different deodorization methods on the color of mackerel pike

类别	对照	紫苏与酵母抽提物复配脱腥	茶多酚脱腥	市售脱腥液
L^*	43.73 ± 1.06 ^a	52.34 ± 2.17 ^b	52.56 ± 0.09 ^b	52.42 ± 0.81 ^b
a^*	0.43 ± 0.13 ^a	0.89 ± 0.13 ^b	2.25 ± 0.03 ^c	2.02 ± 0.07 ^a
b^*	12.24 ± 0.2 ^a	14.28 ± 0.51 ^a	11.22 ± 0.28 ^b	13.73 ± 2.28 ^a
WH	42.42 ± 1.12 ^a	50.23 ± 1.62 ^b	51.19 ± 0.09 ^b	50.07 ± 1.07 ^b

注：同列标有不同字母表示差异性显著 ($P < 0.05$)，下同。

表 6 不同脱腥方式对秋刀鱼肉质构的影响

Table 6 Effect of different deodorization methods on the texture of mackerel pike

	硬度	粘聚性	胶着度	咀嚼度	回复性	弹性
DZ	1510.42 ± 164.23 ^a	0.63 ± 0.085 ^a	714.69 ± 81.62 ^a	568.06 ± 98.06 ^a	0.25 ± 0.04 ^a	0.82 ± 0.13 ^a
ZJ	1353.47 ± 125.53 ^b	0.562 ± 0.02 ^{ab}	649.185 ± 77.6 ^{ab}	488.99 ± 79.45 ^{ab}	0.18 ± 0.01 ^a	0.76 ± 0.07 ^a
TXY	1246.43 ± 137.42 ^b	0.505 ± 0.06 ^b	497.761 ± 89.32 ^b	370.80 ± 59.81 ^b	0.19 ± 0.05 ^a	0.75 ± 0.04 ^a
CDF	1564.61 ± 139.08 ^a	0.515 ± 0.07 ^b	780.12 ± 62.26 ^{ab}	463.84 ± 96.70 ^{ab}	0.18 ± 0.05 ^a	0.72 ± 0.15 ^a

2.4 电子鼻分析

四种方法处理的秋刀鱼电子鼻雷达图如图 2 所示，R3（对氨水、芳香成分灵敏）、R4（主要对氢气有选择性）、R5（对烷烃成分灵敏）、R9（对有机硫化物灵敏）、R10（对高浓度烷烃灵敏）五个传感器上变化不大，说明经三种脱腥处理对秋刀鱼的芳香成分、乙醇化合物、有机硫化物和烷烃类化合物没有明显影响。脱腥处理组与对照组相比 R1（对芳香成分灵敏）、R2（对氮氧化合物很灵敏）、R6（对甲烷灵敏）、R7（对无机硫化物灵敏）响应值变化较大，说明脱腥处理会影响秋刀鱼的氮氧化合物、无机硫化物、甲烷和芳香成分的气味组分，也可能是与无机硫化物的产生、脂肪和蛋白质氧化有关^[18]。其中紫苏与酵母抽提物复配脱腥组的 R8（对乙醇灵敏，对羰基也有响应）响应值有明显降低，乙醇和羰基化合物等低分子量物质主要由秋刀鱼在加工过程中脂质氧化而来，这说明紫苏酵母抽提物复配脱腥能更好地降低秋刀鱼肉的氧化，从而保持秋刀鱼的鲜度。

2.5 电子舌分析

电子舌可利用人工脂质膜传感器技术检测食品的各种味觉指标^[19]。表 7 为不同处理组秋刀鱼酸味、苦味、鲜味、丰富度、咸味和苦味回味

2.3 质构分析

质构是食品的重要品质，也是评价鱼肉制品的重要依据^[17]。如表 6 所示，与对照组相比，紫苏与酵母抽提物复配脱腥后鱼肉硬度显著下降，而粘聚性、咀嚼度、回复性、弹性无显著性变化；市售脱腥液组鱼肉硬度、粘聚性、咀嚼度均显著下降，回复性、弹性无显著性变化；茶多酚组鱼肉粘聚性显著性下降，硬度、咀嚼度、回复性、弹性无显著性变化。综上说明紫苏与酵母抽提物复配脱腥对秋刀鱼产品质构影响较小。

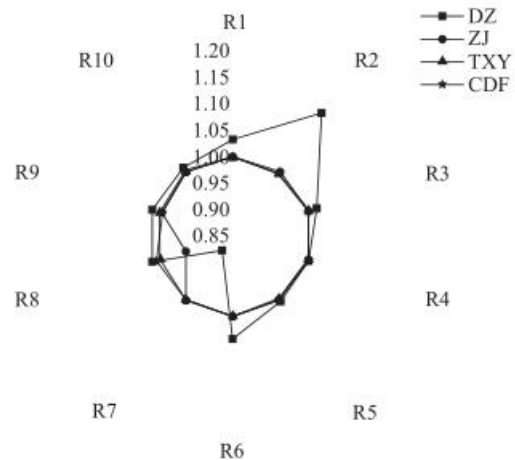


图 2 不同脱腥方法电子鼻雷达图

Figure 2 Radar image of electronic nose of different deodorization methods

值，从表 7 可以看出与对照相比，各处理组的苦味、咸味显著降低；酸味升高，但均为负值；苦味回味除市售脱腥液组外，无显著变化；紫苏与酵母抽提物复配脱腥组处理显著提升了秋刀鱼的鲜味；市售脱腥液、茶多酚组处理显著降低了秋刀鱼的丰富度，紫苏与酵母抽提物复配脱腥组处理无显著变化。因此，紫苏与酵母抽提物复配脱腥组处理显著降低了秋刀鱼的苦味与咸味，保持了其丰富度，显著增加了其鲜味。

表7 不同脱腥方法对秋刀鱼滋味的影响

Table 7 Effect of different deodorization methods on the taste of mackerel pike

	酸味	苦味	苦味回味	鲜味	丰富度	咸味
DZ	-24.87±0.23 ^a	10.22±0.02 ^a	0.34±0.03 ^a	0.71±0.02 ^a	0.46±0.03 ^a	5.49±0.14 ^a
ZJ	-22.50±0.93 ^b	9.7±0.06 ^b	0.29±0.05 ^a	0.92±0.02 ^b	0.45±0.04 ^{ab}	1.09±0.03 ^b
TXY	-20.61±0.24 ^c	8.29±0.03 ^c	0.17±0.08 ^b	0.83±0.04 ^a	0.34±0.07 ^{bc}	2.42±0.03 ^c
CDF	-20.64±0.36 ^d	8.01±0.04 ^d	0.27±0.1 ^a	0.82±0.02 ^a	0.33±0.08 ^c	2.29±0.3 ^c

2.6 挥发性风味成分分析

从表8可以看出不同脱腥方法处理的秋刀鱼产生挥发性成分共有5类,分别为醛、醇、烯烃、烷烃、其他。表9为不同脱腥方式对秋刀鱼挥发性风味物质的影响,由表可知,经过脱腥处理后各类物质的种类以及相对百分含量都发生了变化。

表8 秋刀鱼肉挥发性物质汇总

Table 8 Summary of volatile substances of mackerel pike

类别	DZ/种 (相对含量)	ZJ/种 (相对含量)	TXY/种 (相对含量)	CDF/种 (相对含量)
醇	7 (16.72%)	8 (14.44%)	2 (5.78%)	7 (5.92%)
醛	10 (13.63%)	9 (12.7%)	12 (7.32%)	7 (10.83%)
烯烃	7 (16.17%)	6 (11.47%)	10 (21.32%)	9 (19.04%)
烷烃	25 (38.29%)	20 (26.43%)	15 (61.21%)	21 (36.66%)
酮	2 (1.59%)	3 (23.77%)	1 (0.58%)	1 (16.16%)

表9 不同脱腥方式对秋刀鱼肉挥发性物质影响

Table 9 Effect of different deodorization methods on volatile substance of mackerel pike

化学物质分类	化学物质名称	相对含量/%			
		对照	紫苏-酵母	脱腥液	茶多酚
醇	D-氨基丙醇	3.75	5.23	ND	4.30
	1-戊烯-3-醇	2.27	0.27	ND	0.15
	顺式-3-辛烯-1-醇	0.53	1.63	ND	ND
	1-辛烯-3-醇	ND	1.57	ND	0.41
	芳樟醇	ND	2.97	ND	ND
	2-辛烯-1-醇	ND	2.18	ND	ND
	1-壬醇	ND	0.30	ND	ND
	3,6-壬二烯醇	ND	0.29	ND	0.14
	2-氨基-2-甲基-1-丙醇	0.18	ND	ND	ND
	顺-3-己醇	4.74	ND	ND	ND
	5-甲基-1-己炔-3-醇	3.34	ND	ND	ND

化学物质分类	化学物质名称	相对含量/%			
		对照	紫苏-酵母	脱腥液	茶多酚
醇	2,3-二甲基环己醇	1.91	ND	ND	ND
	3-氯-1-丙醇	ND	ND	5.37	ND
	4-萜烯醇	ND	ND	0.41	ND
	1-乙基环丙醇	ND	ND	ND	0.13
	2-甲基-十一烷醇	ND	ND	ND	0.16
	2,7-辛二烯-1-醇	ND	5.79	ND	1.63
醛	丙醛	ND	1.32	ND	ND
	己醛	3.89	ND	1.39	3.62
	反-2-辛烯醛	ND	1.65	ND	ND
	壬醛	1.58	1.29	1.12	2.91
	顺-2,6-壬二烯醛	1.59	ND	0.50	0.57
	4-乙基苯甲醛	ND	0.26	0.19	ND
	(顺)-2-癸烯醛	ND	0.44	ND	ND
	丁香醛 D	1.61	0.95	0.44	0.49
	十一醛	0.24	0.25	ND	ND
	2-己烯醛	1.53	ND	ND	ND
	反-2,顺-4-庚二烯醛	1.33	ND	ND	0.43
	反-4-庚醛	0.25	ND	ND	ND
	庚醛	0.98	ND	1.38	1.54
	9,12,15-十八碳三烯醛	0.63	0.75	ND	ND
(2E,4E)-2,4-辛二烯醛	ND	ND	1.53	ND	
烯类	alpha-环柠檬醛	ND	ND	0.25	0.27
	(9Z,12Z)-十八碳-9,12-二烯醛	ND	ND	0.17	ND
	反,顺-2,6-壬二烯醛	ND	ND	0.23	ND
	十二醛	ND	ND	0.12	ND
	2,4,6,8-四甲基-1-十一碳烯	5.46	ND	2.75	ND
	柠檬烯	7.24	4.85	0.17	4.92
	3,7-二甲基-1-辛烯	0.46	ND	ND	ND
	1,11-十二碳二烯	0.44	ND	ND	ND

化学物质分类	化学物质名称	相对含量 /%			
		对照	紫苏-酵母	脱腥液	茶多酚
	1-十四烯	0.38	ND	ND	ND
	1-十六烯	1.84	3.49	4.98	2.12
	顺-2-甲基-7-十八烯	0.35	ND	ND	ND
	2,4-辛二烯	ND	1.69	1.68	ND
	2,4-壬二烯	ND	0.59	ND	ND
	1,4-二甲基-1,4-戊二烯	ND	0.56	ND	ND
	β-石竹烯	ND	0.29	ND	ND
	(Z)-3-十二碳烯	ND	ND	ND	ND
	5-甲基-1,4-己二烯	ND	ND	ND	0.15
	3,4-庚二烯	ND	ND	ND	0.42
烯类	3-甲基-1,4-庚二烯	ND	ND	4.69	8.19
	3-(1-甲基乙基)-环己烯	ND	ND	ND	0.54
	3,5,5-三甲基-2-己烯	ND	ND	ND	2.16
	(Z)-2-十三碳烯	ND	ND	ND	0.25
	6-十三碳烯	ND	ND	ND	0.29
	5-硝基-1-戊烯	ND	ND	0.16	ND
	1,3-反式,5-顺-辛三烯	ND	ND	0.18	ND
	(E)-B-罗勒烯	ND	ND	0.16	ND
	β-月桂烯	ND	ND	1.25	ND
	γ-松油烯	ND	ND	5.30	ND
	异癸烷	0.55	ND	ND	ND
	癸烷	5.95	0.47	3.66	6.27
	2,4-二甲基己烷	1.42	ND	ND	5.24
	3-乙基-2-甲基-正己烷	0.36	ND	ND	ND
	2,6-二甲基壬烷	2.59	0.33	ND	ND
	十三烷	5.44	1.58	ND	0.36
	4-甲基-癸烷	2.18	ND	ND	ND
烷类	4,7-二甲基-十一烷	2.56	ND	ND	1.84
	2,4,6-三甲基-癸烷	0.22	ND	ND	ND
	十甲基环五硅氧烷	1.12	2.78	0.79	0.82
	2-甲基十一烷	0.94	0.85	ND	0.57
	2,5,9-三甲基-癸烷	1.33	0.78	ND	ND
	八甲基环四硅氧烷	0.43	1.75	0.26	0.22
	2-甲基癸烷	1.65	ND	ND	ND
	正十七烷	1.22	0.55	1.40	0.83
	4,6-二甲基十二烷	0.97	1.99	ND	ND

化学物质分类	化学物质名称	相对含量 /%			
		对照	紫苏-酵母	脱腥液	茶多酚
	2,4,6-三甲基-辛烷	2.37	0.24	ND	ND
	6,6-二甲基-十一烷	0.55	ND	ND	ND
	十二甲基环六硅氧烷	2.41	ND	2.33	1.92
	廿二烷基三氯硅烷	0.37	ND	ND	ND
	2,6,10-三甲基十二烷	0.95	0.22	0.27	ND
	十四烷	0.98	ND	1.72	7.33
	氯代十四烷	0.35	ND	ND	ND
	正十九烷	1.12	ND	0.24	0.19
	十四甲基环七硅氧烷	0.26	ND	46.69	0.43
	十二烷	ND	5.32	1.26	0.14
	2,4,6-三甲基-庚烷	ND	0.80	ND	ND
	十一烷	ND	2.29	0.75	3.78
	2,4-二甲基十一烷	ND	2.41	ND	ND
	2,6-二甲基-十一烷	ND	0.45	ND	ND
烷类	2,3,4-三甲基-癸烷	ND	0.39	ND	ND
	2,3,5,8-四甲基-癸烷	ND	2.30	ND	ND
	2-甲基-十三烷	ND	0.33	ND	ND
	十六烷	ND	0.60	ND	ND
	2,9-二甲基-癸烷	ND	ND	0.32	ND
	4-甲基十二烷	ND	ND	0.58	ND
	2,4-二甲基十二烷	ND	ND	0.78	ND
	2,6-二甲基辛烷	ND	ND	0.16	ND
	6-甲基-十八烷	ND	ND	ND	0.36
	3,3-二甲基辛烷	ND	ND	ND	1.36
	2,4-二甲基-癸烷	ND	ND	ND	1.88
	2,4-二甲基-十一烷	ND	ND	ND	0.87
	2,8-二甲基-十一烷	ND	ND	ND	0.88
	3,7-二甲基-十一烷	ND	ND	ND	0.91
	2,6-二甲基癸烷	ND	ND	ND	0.46
	2-乙基呋喃	5.92	9.99	3.85	7.74
	2-正戊基呋喃	0.43	0.98	ND	1.16
	反式-2-(2-戊烯基)呋喃	0.79	0.43	1.67	4.30
其他	6-辛烯-2-酮	0.31	ND	ND	ND
	4-甲基-5-壬酮	1.28	ND	ND	ND
	甲基庚烯酮	ND	0.82	0.58	ND
	白苏烯酮	ND	0.95	ND	ND
	紫苏酮	ND	22.00	ND	16.19

注：“ND”表示该物质未检出。

鱼在储存加工过程中发生氧化,生成醛、醇、酮等低分子醇和羰基化合物,对鱼的腥味起决定作用。表8显示紫苏与酵母抽提物复配脱腥中有8种醇、9种醛,比其他两种脱腥方式(市售脱腥液2种醇、12种醛,茶多酚7种醇,7种醛)风味更丰富产生更好的挥发性物质,而且紫苏与酵母抽提物复配脱腥中增加较多含量的紫苏酮具有清香气味特征^[20]。由表9可知,与对照组相比,紫苏与酵母抽提物复配脱腥组产生了1-辛烯-3-醇、1-壬醇、3,6-壬二烯醇等具有清香气味特征的物质^[3],三种脱腥处理后低分子量令人难以接受的气味物质顺-3-己醇被除去,低分子量物质主要由秋刀鱼在加工过程中脂质氧化而来,紫苏与酵母抽提物复配脱腥很好地降低秋刀鱼肉的氧化,与电子鼻结果一致。

对于醛类物质,已知反-2-辛烯醛、十一醛具有鲜香特征的物质,紫苏与酵母抽提物复配脱腥增添了反-2-辛烯醛、提高了十一醛含量,市售脱腥液、茶多酚去除了这两种物质,对比这两组,紫苏与酵母抽提物复配脱腥组起到了更好的增香效果。具有腥味特征的己醛、庚醛、反-2,顺-4-庚二烯醛、反-4-庚醛^[21]在对照组、紫苏与酵母抽提物复配脱腥、市售脱腥液、茶多酚中含量分别为3.89%、0%、1.39%、3.62%;0.98%、0%、1.38%、1.54%;1.33%、0%、0.43%;0.25%、0%、0%、0%;紫苏与酵母抽提物复配脱腥法去除了这些腥味物质,市售脱腥液和茶多酚去除了反-4-庚醛,降低了己醛、反-2,顺-4-庚二烯醛的含量,庚醛含量得到了增加,从腥味特征物质来看,紫苏与酵母抽提物复配脱腥效果更好,从鲜香特征物质来看,紫苏与酵母抽提物复配脱腥增加了鲜香物质含量。茶多酚和市售脱腥液处理的鱼肉醛类物质有部分不良物质重叠,含量降低较少,鲜香气味物质含量也被减少。三种脱腥方式下的烷、烯类物质降低,可能是通过烷基自由基的脂质自氧化过程或在烹饪过程中的相互作用等化学反应的原因造成,但由于阈值较高,对鱼的整体风味贡献不大^[22]。紫苏与酵母抽提物复配脱腥法显著降低了不良风味物质,明显提高了鲜香味物质含量,具有良好的脱腥效果。

3 结论

本研究通过响应面分析确定了紫苏与酵母抽提物复配脱腥最佳脱腥条件,即酵母提取液质量分数为1%、紫苏液质量分数为5%、浸泡时间为50 min,利用感官评价、质构、电子舌、电子鼻、GC-MS对比茶多酚、市售脱腥液、紫苏酵母抽提物复配脱腥效果,电子鼻结果表明脱腥处理后的秋刀鱼无机硫化合物响应值降低。电子舌和质构分析可以看出,与其他处理组相比,紫苏与酵母抽提物复配脱腥降低秋刀鱼腥味的同时,改善秋刀鱼滋味,保持了秋刀鱼的质构。由GC-MS仪分析可知,秋刀鱼挥发性成分主要是醛、酮、醇、烯烃、烷烃等物质,主要影响风味的醛类物质经紫苏与酵母抽提物复配脱腥后鲜香气味物质含量增加显著,腥臭味物质明显降低。紫苏与酵母抽提物复配脱腥法物料易获取、加工条件简单,比市售脱腥液对秋刀鱼肉质影响更小,更好地保持其本身的味道,比茶多酚脱腥法脱腥效果更明显,鲜味增加更多。紫苏与酵母抽提物复配脱腥法可以作为一种有效的秋刀鱼脱腥工艺,为海水鱼脱腥提供借鉴。

参考文献

- [1] 罗海波,陈伟,王锦富,等.秋刀鱼营养价值及其开发利用研究进展[J].水产科学,2016,35(2):179-184.
- [2] 花传祥,朱清澄,许巍,等.北太平洋秋刀鱼生活史和资源渔场研究进展[J].中国水产科学,2019,26(4):811-821.
- [3] 董婧琪,王圆圆,闫保国,等.水产品腥味物质形成机理与脱腥技术研究进展[J].食品研究与开发,2022,43(5):189-194.
- [4] 钱攀,马旭婷,许刚,等.美国鲑鱼挥发性成分和脱腥方法研究[J].中国食品学报,2016,16(12):169-176.
- [5] 姚晓波,熊光权,乔宇,等.酵母提取物和迷迭香提取物对鲈鱼风味的影响[J].食品科技,2020,45(2):144-150.
- [6] 魏长玲,郭宝林,张琛武,等.中国紫苏资源调查和紫苏叶挥发油化学型研究[J].中国中药杂志,2016,41(10):1823-1834.
- [7] 姜文鑫.紫苏蛋白的性状表征及抗菌肽的制备[D].长春:吉林农业大学,2014.
- [8] 雷萌萌,艾志录,潘中闪,等.液氮间歇式浸渍冻结对饺子冻裂率及感官品质特性的影响[J].食品工业科技,2021,42(3):25-30.
- [9] 仪淑敏,姬颖,姜天舒,等.鲣鱼鱼肉与白鲢鱼鱼糜混合热聚集行为分析[J].食品工业科技,2020,41(14):8-14.
- [10] 步营,吕月月,朱文慧,等.基于模糊数学与响应面分析

- 法开发味噌风味鲑鱼罐头[J]. 中国调味品, 2021, 46 (9): 90-94.
- [11] 侯玉, 黄建联, 傅璇, 等. 红枣添加量对鱼糜制品凝胶特性的影响[J]. 渤海大学学报: 自然科学版, 2019, 40 (3): 224-231.
- [12] 张渤函, 李学鹏, 励建荣, 等. 基于特征挥发性气味物质的冷藏大黄鱼新鲜度预测模型构建[J]. 渤海大学学报: 自然科学版, 2022, 43 (2): 140-154.
- [13] 代文婷, 吴宏, 邢丽杰, 等. 模糊数学结合响应面法优化番茄调味酱的配方[J]. 食品工业科技, 2019, 40 (11): 211-217.
- [14] 王振强, 田振华, 王皓. 响应面法优化酶解制备鲑鱼皮胶原蛋白活性肽工艺及产物表征[J]. 中国食品添加剂, 2022, 33 (8): 80-86.
- [15] 杨威, 纪登杰, 许依能, 等. 响应面法优化贻贝壳制备羟基磷灰石工艺[J]. 中国食品添加剂, 2022, 33 (4): 95-102.
- [16] Kono S, Kon M, Araki T, et al. Effects of relationships among freezing rate, ice crystal size and color on surface color of frozen salmon fillet [J]. *Journal of Food Engineering*, 2017, 214: 158-165.
- [17] 郭培, 李川, 申铨日, 等. 金鲳鱼肉和罗非鱼皮明胶改善罗非鱼碎肉鱼糜品质[J]. 农业工程学报, 2016, 32 (S2): 406-411.
- [18] 张欣, 陈双宜, 谷惠文, 等. 基于电子鼻技术的荆州鱼糕贮藏过程新鲜度预测[J]. 轻工学报, 2022, 37 (3): 17-25.
- [19] Huang W Y, Song E, Lee D, et al. Characteristics of functional brown rice prepared by parboiling and microwave drying [J]. *Journal of Stored Products Research*, 2021, 92: 101796.
- [20] 韦保耀, 黄丽, 滕建文, 等. 紫苏香气的化学成分分析及评价[J]. 食品科学, 2007, 28 (3): 301-305.
- [21] 刘方芳. 美国大口胭脂鱼关键挥发性气味物质的分析及脱腥技术研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2020.
- [22] Iglesias J, Medina I. Solid-phase microextraction method for the determination of volatile compounds associated to oxidation of fish muscle [J]. *Journal of Chromatography A*, 2008, 1192 (1): 9-16.