



中国食品学报

Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology

ISSN 1009-7848, CN 11-4528/TS

## 《中国食品学报》网络首发论文

题目: 不同植物油对金线鱼鱼糜凝胶风味的影响  
作者: 宋春勇, 洪鹏志, 周春霞, 陈艾霖, 林玉锋, 钟坦君, 刘璐  
网络首发日期: 2023-04-12  
引用格式: 宋春勇, 洪鹏志, 周春霞, 陈艾霖, 林玉锋, 钟坦君, 刘璐. 不同植物油对金线鱼鱼糜凝胶风味的影响[J/OL]. 中国食品学报.  
<https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.4528.TS.20230412.1219.004.html>



**网络首发:** 在编辑部工作流程中, 稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定, 且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式(包括网络呈现版式)排版后的稿件, 可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定; 学术研究成果具有创新性、科学性和先进性, 符合编辑部对刊文的录用要求, 不存在学术不端行为及其他侵权行为; 稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准, 正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性, 录用定稿一经发布, 不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容, 只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

**出版确认:** 纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社有限公司签约, 在《中国学术期刊(网络版)》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版, 以单篇或整期出版形式, 在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊(网络版)》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物(ISSN 2096-4188, CN 11-6037/Z), 所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

# 不同植物油对金线鱼鱼糜凝胶风味的影响

宋春勇<sup>1</sup>, 洪鹏志<sup>1,2</sup>, 周春霞<sup>1,2</sup>, 陈艾霖<sup>1</sup>, 林玉锋<sup>1</sup>, 钟坦君<sup>1</sup>, 刘璐<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>广东海洋大学食品科技学院, 广东省水产品加工与安全重点实验室, 广东省海洋食品工程技术研究中心, 广东省现代农业科技创新中心, 广东湛江 524088;

<sup>2</sup>海洋食品精深加工关键技术省部共建协同创新中心, 大连工业大学, 辽宁大连 116034)

\*通信作者 周春霞 E-mail: chunxia.zhou@163.com

**摘要** 为改善鱼糜制品的风味, 比较添加 6 种植物油 (2 mL/100 g 的花生油、大豆油、玉米油、椰子油、橄榄油和红花籽油) 对金线鱼鱼糜凝胶气味、挥发性化合物组成和感官特性的影响, 探讨植物油的种类对鱼糜凝胶风味的改善作用。结果表明, 添加 6 种植物油均能改善金线鱼鱼糜凝胶的气味, 使鱼糜凝胶中醛类、酮类和烃类等挥发性化合物的浓度增大, 种类增多 ( $P < 0.05$ ), 其中添加椰子油的凝胶被检出挥发性化合物的种类最多为 66 种。添加椰子油的凝胶中, 气味活度值 $\geq 1$  的化合物高达 10 种, 明显多于对照组和添加其它植物油的凝胶 ( $P < 0.05$ ), 且其关键气味成分主要是具有清新、椰子、果香等香味的 2-庚酮、辛酸乙酯、2-十一酮、癸酸乙酯和丁位癸内酯, 它们共同作用形成了凝胶独特的风味, 提高了凝胶的总体可接受性, 而添加其它植物油的凝胶中, 关键气味成分主要是己醛、1-辛烯-3-醇、辛醛、癸醛和正十一醛。综上, 添加植物油均能改善金线鱼鱼糜凝胶的风味, 且椰子油改善效果最佳, 更适于开发风味俱佳的鱼糜制品。

**关键词** 金线鱼鱼糜; 植物油; 关键气味成分; 风味; 感官特性

## Effect of Different Vegetable Oils on the Flavor of the *Nemipterus virgatus* Surimi Gel

Song Chunyong<sup>1</sup>, Hong Pengzhi<sup>1,2</sup>, Zhou Chunxia<sup>1,2</sup>, Chen Ailin<sup>1</sup>, Lin Yufeng<sup>1</sup>, Zhong Tanjun<sup>1</sup>, Liu Lu<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>College of Food Science and Technology, Guangdong Ocean University, Guangdong Provincial Key Laboratory of Aquatic Product Processing and Safety, Guangdong Provincial Engineering Technology Research Center of Marine Food, Guangdong Modern Agricultural Science and Technology Innovation Center, Zhanjiang 524088, Guangdong;

<sup>2</sup>Collaborative Innovation Center of Seafood Deep Processing, Dalian Polytechnic University, Dalian 116034, Liaoning)

**Abstract** To improve the flavor of surimi-based products, we compared to the effects of the addition of six vegetable oils (2 mL/100 g of peanut, soybean, corn, coconut, olive and safflower seed oils) on the odor, volatile compounds and sensory characteristics of the *Nemipterus virgatus* surimi gel, and investigated the effect of vegetable oil types on the improvement of the flavor of surimi gel. The results showed that the addition of six vegetable oils could improve the odor of the *Nemipterus virgatus* surimi gel, and increase the content and specie of volatile compounds such as aldehydes, ketones and hydrocarbons ( $P < 0.05$ ). Among them, the gel with coconut oil was detected with the most species of volatile compounds, with 67 kinds. In the gel with coconut oil, there are as many as 10 compounds with odor activity value  $\geq 1$ , which is significantly more than the control and the gel with other vegetable oils ( $P < 0.05$ ). And their key odor components were mainly 2-heptanone, ethyl octanoate, 2-undecanoate, ethyl decanoate and butyl decalactone with fresh, coconut and fruity aromas, which together formed the unique flavor of the gels and improved the overall acceptability of the gels, while the key odor components in the gels with other vegetable oils were mainly aldehydes and alcohols. In conclusion, vegetable oils all could improve the flavor of the *Nemipterus virgatus* surimi gel, and coconut oil was the most effective and more suitable for developing surimi products with good flavor.

**Key words** *Nemipterus virgatus* surimi; vegetable oils; key odor components; flavor; sensory characteristics

基金项目: 广东省现代农业产业技术体系创新团队建设项目 (2021KJ150); 湛江市海洋经济创新发展示范市建设项目 (XM-202008-01B1)

作者简介: 宋春勇, 男, 硕士生

网络首发时间: 2023-04-12 15:07:52 网络首发地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.4528.TS.20230412.1219.004.html>



鱼糜是一种稳定的肌原纤维蛋白浓缩物,通过漂洗、精滤、脱水、细切、斩拌等加工工序形成了高蛋白、低脂肪的深加工水产品,且其味道鲜美,营养物质丰富,食用方便,备受国内外广大消费者的青睐<sup>[1-2]</sup>。据 2020 中国渔业年鉴统计,我国鱼糜制品的加工量为 139.4 万 t,比 2009 年增长了 64.4%,具有巨大的经济效益和发展空间<sup>[3]</sup>。鱼糜在漂洗过程中去除了大量的水溶性蛋白、脂质、氨基酸等风味物质,以浓缩肌原纤维蛋白和减少脂质氧化,延长了冷冻鱼糜的保质期<sup>[4-5]</sup>。油脂能够赋予鱼糜及其制品独特的风味,并在营养方面发挥着巨大的作用<sup>[6]</sup>。然而,油脂缺乏的鱼糜制品具有极其粗糙的口感和令人不快的风味<sup>[7]</sup>,严重限制了鱼糜及其制品的推广与利用。

为改善鱼糜制品的风味,在鱼糜制品加工过程中,常添加外源添加物作为风味改良剂和加工助剂。如添加四川泡椒能明显提高鲢鱼鱼糜凝胶的醇类和酯类风味物质的相对含量,降低醛类风味物质的相对含量,且泡二荆条改善凝胶的香味最明显<sup>[8]</sup>。酵母抽提物能够明显改善鲢鱼鱼糜制品的滋味,使其滋味醇厚,鲜味明显提升,并伴有浓郁的肉香味,同时抑制鱼糜制品的土腥味,提高大众对鱼糜制品的接受度<sup>[9]</sup>。蟹肉能明显提高鲢鱼鱼糜中脂肪和矿物质含量,并改善鱼糜制品的风味<sup>[10]</sup>。葡萄酒酵母细胞液能明显抑制鱼肉中脂肪氧化,降低鱼腥味物质的浓度,并对白鲢鱼鱼糜凝胶的鱼腥味起到良好的抑制作用<sup>[11]</sup>。这些外源添加物能抑制鱼糜制品的鱼腥味,改善鱼糜制品的风味,然而也会影响凝胶的营养与品质,且这些外源添加物的获取工艺繁多,价格相对昂贵。此外,植物油富含不饱和脂肪酸,获取工艺简便以及营养价值高,同时在光热等条件下,易发生油脂氧化、美拉德反应等内在反应而产生油脂特有的风味,因此也常作为鱼糜及其制品的风味和质地改良剂、增色剂和加工助剂<sup>[12-13]</sup>。椰子油可改善黄鱼鱼糜凝胶的白度和风味,提高凝胶的感官特性,并可作为中链脂肪酸的补充剂<sup>[14]</sup>。山茶油能有效提高白姑鱼鱼糜凝胶的白度、质构和持水性,同时改善凝胶的口感和风味<sup>[15]</sup>。虽然植物油能改善鱼糜凝胶的口感与风味,但是目前的研究主要侧重于凝胶特性方面,且对风味的研究也仅限于感官方面<sup>[16-18]</sup>。为此,本研究以加工产量大,凝胶性质强的金线鱼鱼糜为原料,通过电子鼻检测比较 6 种植物油对凝胶气味的影响,结合顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用分析其挥发性化合物,确定不同植物油对凝胶中关键气味成分的影响,筛选出改善凝胶风味的最佳油脂,为开发风味俱佳的鱼糜制品提供理论参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

冷冻金线鱼鱼糜(AAA级),北海丰华食品有限公司;花生油、大豆油和玉米油,益海嘉里食品营销有限公司;椰子油,上海磐臣贸易有限公司;橄榄油,品渥食品股份有限公司;红花籽油,中粮塔原红花(新疆)有限公司;甲醇、正己烷均为色谱纯,西陇科学股份有限公司;2-甲基-3-庚酮(色谱纯),上海麦克林生化科技有限公司;正构烷烃混合物(色谱纯),坛墨科技股份有限公司;其余试剂均为国产分析纯级,广州化学试剂厂。

### 1.2 仪器与设备

UMC5 斩拌机,德国 Stephan 公司;PEN3 电子鼻,德国 AIRSENSE 公司;50/30  $\mu$ mdvb/Carbowxen 固相微萃取头,美国 Supelco 公司;GCMS-TQ8050NX 三重四级杆气相色谱质谱联用仪,日本岛津仪器有限公司;TU-20H 恒温水浴锅,英国 Bibby Scientific 公司;JYL-co12 绞肉机,九阳股份有限公司;。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 鱼糜凝胶的制备

金线鱼鱼糜凝胶的制备参考 Zhou 等<sup>[15]</sup>的方法。将冷冻鱼糜置于 4 °C 冰箱中解冻,随后将解冻的鱼糜置于斩拌机中斩碎,添加质量分数 2.5% 的 NaCl 斩拌 2 min,再添加 2 mL/100 g 的植物油(花生油、大豆油、玉米油、椰子油、橄榄油和红花籽油)并调节水分含量至 80%,将混合鱼糜斩拌 3 min 后,抽真空、灌肠、密封,经二段加热(40 °C, 30 min, 90 °C, 20 min)后,由冰水冷却至室温,在

4℃冰箱中保存备用。整个斩拌过程的温度均维持在 10℃以下,以不添加植物油的鱼糜凝胶为对照组。

### 1.3.2 鱼糜凝胶气味的测定

将鱼糜凝胶切成小块,称取 10.0 g 样品置于 20 mL 顶空瓶中同时加盖密封。室温下平衡 30 min,随后将电子鼻的探头插入顶空瓶吸取样品的气味,电子鼻的检测时间为 100 s,清洗时间为 120 s,进样流速为 300 mL/min,载气流速 300 mL/min。同时以经活性炭吸附的干燥空气为载气,并采用 Win Muster 软件对样品的气味进行分析<sup>[19-20]</sup>。

### 1.3.3 鱼糜凝胶挥发性化合物的测定

参考 Wang 等<sup>[21]</sup>和杨君萍等<sup>[22]</sup>的方法并略作修改,测定凝胶的挥发性化合物。

1) 顶空固相微萃取:将 10.0 g 凝胶搅碎并装入 20 mL 顶空瓶。样品在 60℃水浴平衡 10 min,将萃取头 SPME 暴露并萃取 30 min 以吸附挥发性化合物,随后将萃取针插入气相色谱-质谱中解吸 3 min,同时进行热脱附检测,其中解吸温度为 250℃。

2) 气相色谱条件:色谱柱型号是 Rtx-5ms;初始温度 50℃,保温 5 min,以 5℃/min 的速率升温至 100℃,保温 2 min,随后以 4℃/min 的速率升温至 140℃,保温 1 min,再以相同的速率升温至 180℃,保温 2 min,最后以 5℃/min 的速率升温至 250℃,保持 5 min。其中进样模式是不分流模式,氦气流量为 1.5 mL/min。

3) 质谱条件:离子源温度为 230℃,电子能量(EI)为 70 eV,四极杆温度为 150℃,采用全扫描采集模式,扫描范围  $m/z$  35~550 u。

4) 定性、定量方法:通过 NIST 14 数据库检索挥发性化合物并匹配,筛选出匹配度大于 80(最大值 100)的挥发性化合物。在相同色谱条件下,利用正构烷烃混合物计算挥发性化合物的保留指数 RI。结合 MS 和 RI 鉴定结果,以 2-甲基-3-庚酮作为内标物,根据 2-甲基-3-庚酮的质量浓度,及各挥发性化合物的峰面积与内标物峰面积的比值,对凝胶中挥发性化合物进行定量分析(设定挥发性化合物的绝对校准因子均为 1.00),其中 RI 的计算如公式(1)。

$$RI = 100 \times \left( \frac{t_x - t_n}{t_{n+1} - t_n} \right) + 100n \quad (1)$$

式中, $n$ ——被测挥发性化合物的碳原子数; $t_x$ ——被测挥发性化合物的保留时间(min); $t_n$ ——与被测挥发性化合物碳原子数相同的正构烷烃的保留时间(min); $t_{n+1}$ ——比被测挥发性化合物多 1 个碳原子的正构烷烃的保留时间(min)。

### 1.3.4 鱼糜凝胶中挥发性化合物的气味活度值的测定

参考张凯华等<sup>[23]</sup>的方法计算凝胶中挥发性化合物的气味活度值(Odor activity value, OAV),且定义  $OAV \geq 1$  的挥发性化合物是关键的风味化合物,对鱼糜凝胶的风味具有重要贡献,而  $0.1 \leq OAV < 1$  的挥发性化合物对鱼糜凝胶的风味起到修饰作用。

$$OAV_i = \frac{C_i}{T_i} \quad (2)$$

式中, $C_i$ 和  $T_i$ ——挥发性化合物的质量浓度( $\mu\text{g/kg}$ )及其对应的水中察觉阈值( $\mu\text{g/kg}$ )<sup>[24]</sup>。

### 1.3.5 凝胶的感官评定

将凝胶切成一样厚的薄片置于瓷盘中,并随机用 3 位数编码。在室温下平衡 30 min,组织 20 位经培训的食品专业的学生(年龄在 20~30 岁之间),且熟悉鱼糜及其制品,要求他们对凝胶的色泽、弹性、质地和气味进行感官评定并打分,具体评分标准见表 2,所有样本均在相同条件下进行评估<sup>[8,25]</sup>。



表1 添加不同植物油的金线鱼鱼糜凝胶的感官评分标准  
Table 1 The sensory evaluation criteria for the *Nemipterus virgatus* surimi gel with different vegetable oils

| 分数   | 色泽             | 弹性                        | 质地                    | 气味                  |
|------|----------------|---------------------------|-----------------------|---------------------|
| 1~3  | 颜色较黄，不均匀，有杂色   | 弹性差，稍微用力按表面就裂开            | 质地粗糙，切面松散，有气孔且不均匀     | 鱼腥味过浓，无油脂风味，有异味     |
| 4~7  | 颜色较白，且均匀       | 弹性一般，稍微用力按表面不裂开，而不能迅速恢复原状 | 质地较细嫩，切面密实，气孔小，而分布不均匀 | 鱼腥味适中，有油脂特有的风味，而有异味 |
| 8~10 | 颜色饱满，很白，均匀且无杂色 | 弹性好，稍微用力按表面不裂开，且能迅速恢复原状   | 质地细嫩、切面密实，气孔小且分布均匀    | 鱼腥味适中、有油脂特有的风味，且无异味 |

注：总体可接受性=0.2×色泽+0.2×弹性+0.3×质地+0.3×气味

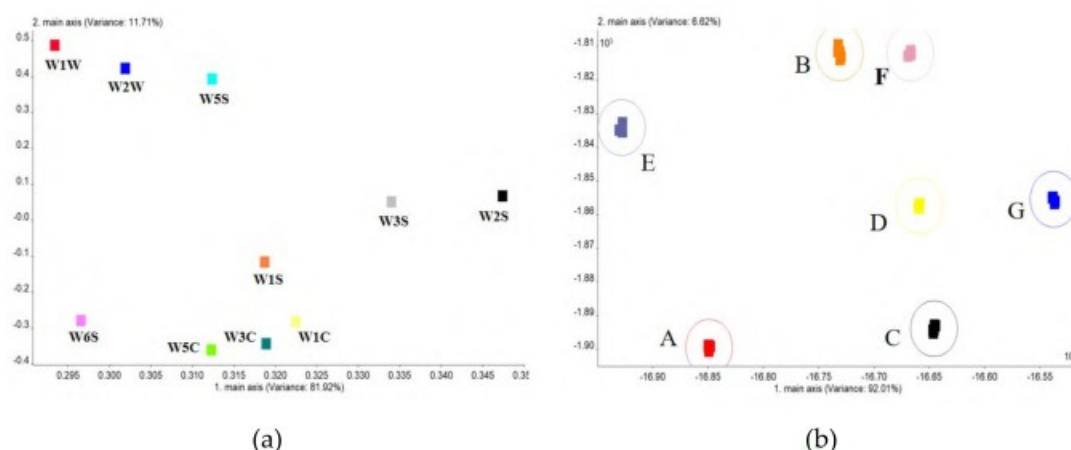
1.4 数据统计与分析

所有的样品检测重复 3 次，用 SPSS 17.0 软件对数据进行分析，显著性差异检验使用 Duncan 多重检验 ( $P<0.05$  表示差异显著)，图形均采用 Origin 9.0 软件绘制，结果以  $\bar{x} \pm s$  的形式表示。

2 结果与分析

2.1 不同植物油对金线鱼鱼糜凝胶气味的影响

根据金线鱼鱼糜凝胶气味的响应值，利用电子鼻自带的 Win Muster 软件进行负荷加载分析 (Loading analysis, LA) 和线性判别分析 (Linear discriminant analysis, LDA)，得到气味的二维散点图和 LDA 分析图。其中 LA 分析是基于电子鼻的不同传感器对样品气味的敏感程度，分析计算样品中不同挥发性化合物的组成和浓度<sup>[26]</sup>，而 LDA 分析是基于电子鼻所收集的挥发性化合物数据及其分布的距离，反映不同样品之间气味的差异<sup>[19]</sup>。据图 1a 可知，判别式 LA1 和 LA2 贡献率分别为 81.92%和 11.71%，累计贡献率达 93.63%，能满足判别金线鱼鱼糜凝胶中气味变化的要求，且 LA1 贡献率在 LA 分析中起决定性作用。此外，W2S 和 W3S 传感器对凝胶样品的气味最敏感，结合 PEN3 电子鼻传感器检测的特点，推测在金线鱼鱼糜凝胶制品中挥发性化合物的类型主要是醇类、芳香族化合物和烷烃类。此外，在 LDA 分析中，添加了不同植物油的凝胶样品 LDA1 和 LDA2 差异很明显，且各组信号均无重叠现象，表明 6 种植物油均能改变金线鱼鱼糜凝胶的气味，进而影响凝胶的风味。其中，添加了花生油和橄榄油的凝胶气味的线性距离相近，添加了玉米油、大豆油和红花籽油的凝胶气味的线性距离相近，表明添加了花生油和橄榄油的凝胶可能具有相似的气味，而添加了玉米油、大豆油和红花籽油的凝胶可能具有相似的气味。



注：根据 PEN3 电子鼻传感器检测的特点，W2W 对芳香族化合物和有机硫化物敏感，而 W3S 对烷烃敏感；A~G 分别为对照组、添加 2 mL/100 g 花生油、大豆油、玉米油、椰子油、橄榄油和红花籽油的凝胶组。

图 1 添加不同植物油对金线鱼鱼糜凝胶 LA(a)和 LDA(b)的影响  
Fig.1 Effects of different vegetable oils on the LA (a) and LDA (b) of the *N. virgatus* surimi gel

## 2.2 不同植物油对金线鱼鱼糜凝胶挥发性化合物的影响

采用固相微萃取-气相色谱-质谱联用分析了金线鱼鱼糜凝胶的挥发性化合物。由图 2c 可知，对照组和添加了 2 mL/100 g 的花生油、大豆油、玉米油、椰子油、橄榄油和红花籽油的凝胶组分别被检测出 42, 53, 51, 51, 66, 54, 54 种挥发性化合物，其中特有的挥发性化合物分别为 6, 4, 5, 5, 17, 4, 5 种，而共同含有的挥发性化合物仅有 19 种，表明 6 种植物油的添加均能明显丰富并改变金线鱼鱼糜凝胶的挥发性化合物，且添加椰子油对凝胶挥发性化合物的影响最显著。椰子油的脂肪酸组成主要是中链饱和脂肪酸，而其它植物油的脂肪酸组成主要是不饱和的油酸和亚油酸。在加热过程中，中链饱和脂肪酸易挥发，而不饱和油酸和亚油酸易被氧化并分解形成小分子化合物，因此 6 种植物油的添加均能明显增加凝胶中挥发性化合物的种类。由图 2a 和 2b 可知，醛类、醇类、酮类、烃类和酯类的种类和含量在凝胶挥发性化合物中占优势，它们共同作用形成了含植物油的凝胶独特的风味。

醛类是金线鱼鱼糜凝胶挥发性化合物中浓度最高的化合物。对照组中醛类化合物的浓度为 14.59  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ，占比高达 34.25%。添加了椰子油后，凝胶中醛类的种类与含量占比减少，而酯类的种类与含量占比增大 ( $P < 0.05$ )。而添加了其它植物油的凝胶中，醛类的种类与含量占比变化幅度最大 ( $P < 0.05$ )，且不同的植物油对凝胶中挥发性化合物的影响不同。其中己醛、辛醛、壬醛、癸醛、正十一醛和正十二醛的检出浓度高，且其阈值低，具有浓郁的气味，然而随碳原子数的增加，这些醛类化合物的气味逐步减弱并呈现愉快气味，它们是典型的不饱和脂肪酸的氧化产物，同时也是构成鱼肉风味的关键组成化合物<sup>[27]</sup>。

醇类具有轻快、柔和的气味，是构成金线鱼鱼糜凝胶风味的重要组成部分。在对照组中被检测出正己醇、1-辛烯-3-醇、4-乙基-1-辛酸-3-醇、3-环己烯-1-乙醇、苯乙醇等 8 种醇类化合物，它们的总浓度为 11.37  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ，总占比为 26.70%。

烃类是金线鱼鱼糜凝胶中被检出种类最多的化合物，高达 42 种。烃类化合物无味且阈值高，因此对凝胶的风味贡献率小，且主要来源于脂肪酸的氧化或类胡萝卜素的分解<sup>[28]</sup>。然而烃类化合物，尤其是不饱和烃类化合物易被氧化，形成醇类、醛类、酮类等阈值低的化合物。

酯类具有水果的香味，酯类的分子质量越大，挥发性越小，阈值变大，对样品的风味贡献越小<sup>[29]</sup>。椰子油的脂肪酸组成主要是月桂酸和棕榈酸，在加热过程中，这些中链饱和的脂肪酸易挥发，并与醇类化合物发生酯化反应形成酯类化合物<sup>[30-31]</sup>。因此与其它植物油相比，添加了椰子油的凝胶中酯类的种类和含量占比增加，而醇类的种类和含量占比减少 ( $P < 0.05$ )，表明椰子油能明显改善金



线鱼鱼糜凝胶的风味。在对照组和添加其它植物油的凝胶中,酯类被检出种类和含量占比均较低,且以大分子质量的酯类为主,因此酯类对其风味改善效果一般。

酮类是碳基化合物,阈值较低,可以产生原生的、浓郁的香味,主要来源于不饱和脂肪酸的氧化降解,以及醇类化合物的氧化或酯类化合物的降解<sup>[32]</sup>。对照组中酮类化合物的浓度为 8.42  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,占比高达 19.79%。添加了 2 mL/100 g 的植物油,凝胶中酮类化合物的比例增大 ( $P<0.05$ ),对凝胶的风味贡献率也增大。

其它类化合物主要是含氮类、含卤素的化合物。其中含氮类化合物主要是氨基酸、蛋白质等分解产生的小分子化合物,其阈值低,然而在凝胶中被检出的种类少、浓度低,因此其对凝胶的风味贡献率小。显然,添加了 2 mL/100 g 的植物油,金线鱼鱼糜凝胶中的醛类、醇类、烃类、酮类和酯类化合物的种类和含量明显增加,且醛类、醇类、酮类和酯类是构成凝胶风味主要组成化合物,不饱和的烃类又是形成这些风味物质的重要前体化合物。因此,6 种植物油均能有效改变金线鱼鱼糜凝胶的挥发性化合物,进而改善凝胶风味。

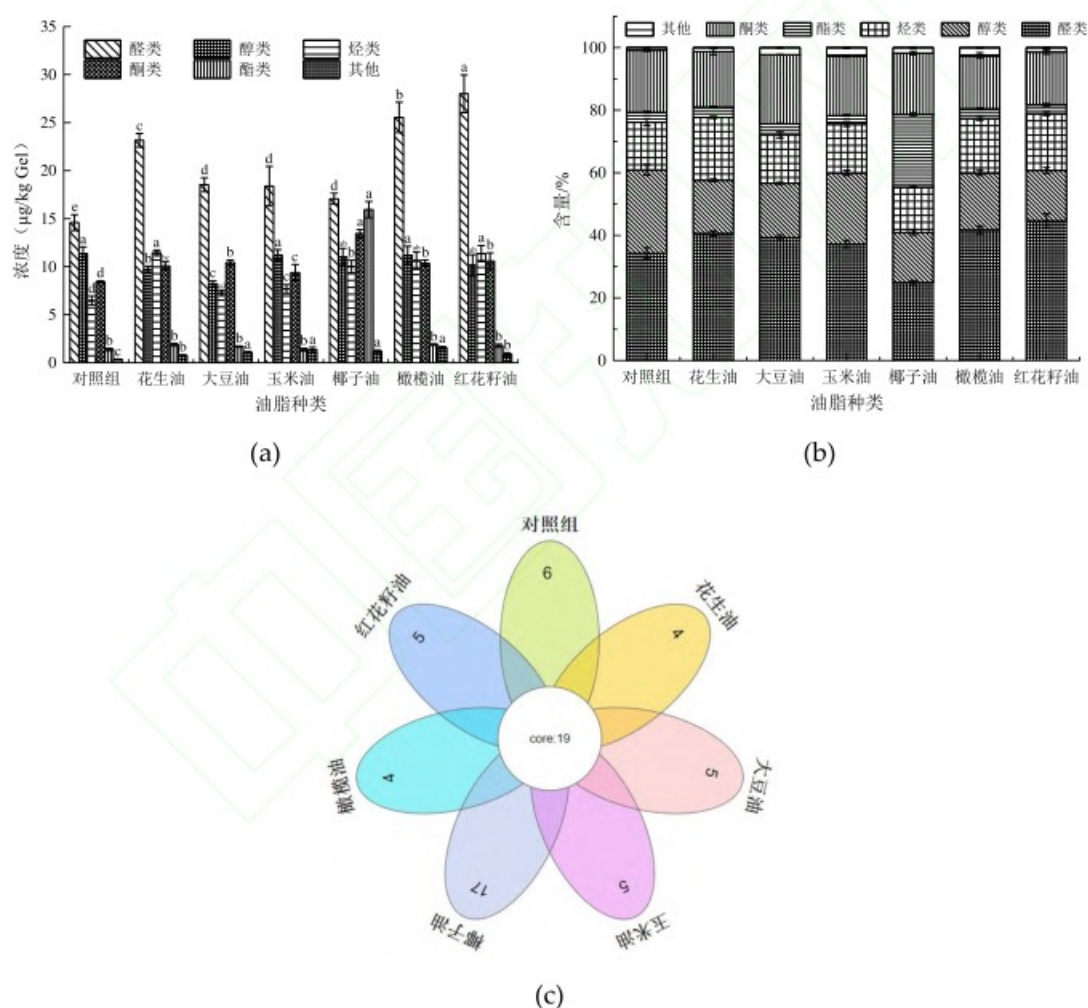


图2 不同植物油对金线鱼鱼糜凝胶挥发性化合物浓度(a)、含量(b)和动态韦恩图(c)的影响

Fig.2 Effects of different vegetable oils on the concentration of volatile compound (a), content (b) and dynamic venn (c) on the *N. virgatus surimi gel*

### 2.3 金线鱼鱼糜凝胶的关键气味成分的确定

挥发性化合物的气味活度值是其质量浓度与香气察觉阈值的比值,可评估挥发性化合物对样品风味贡献的情况<sup>[19]</sup>。当挥发性化合物的质量浓度大于香气察觉阈值时,其  $\text{OAV}\geq 1$ ,才能被感觉器官感

知, 且 OAV 越大, 表明挥发性化合物对样品风味的贡献越大<sup>[19]</sup>。据表 2 可知, 对照组和添加了植物油的凝胶中的关键气味成分主要是阈值低、检出浓度高的醛类、醇类、酮类和酯类。对照组中 OAV≥1 的挥发性化合物有 6 种, 分别为己醛、1-辛烯-3-醇、辛醛、反-2-壬烯醛、癸醛和正十二醛, 其中癸醛主要呈蜡质、柑橘的香味, 且其 OAV 高达 40.70 ( $P<0.05$ ), 因此癸醛对凝胶风味的贡献最大。添加了植物油后, 凝胶中己醛、辛醛、壬醛和正十一醛的 OAV 增大 ( $P<0.05$ ), 其中添加了红花籽油的凝胶中己醛浓度增大最明显 ( $P<0.05$ ), 且其 OAV 高达 8.41 ( $P<0.05$ ), 对凝胶的风味贡献增大 ( $P<0.05$ ), 这些直链醛类的阈值低、检出浓度高, 呈青草、油脂等香味, 是典型的植物油中不饱和脂肪酸的氧化产物<sup>[23]</sup>。与添加其它植物油相比, 在凝胶中添加椰子油, 其 OAV≥1 的挥发性化合物高达 10 种, 并且酯类的检出浓度和种类明显增加, 其中辛酸乙酯和丁位癸内酯的 OAV 分别为 18.60 和 2.19, 它们呈奶油、椰子、果香等香味, 对添加了椰子油的凝胶的风味起到积极的作用。在热加工过程中, 椰子油中的游离脂肪酸可以与不饱和脂肪酸氧化产生的醇类化合物发生酯化反应生成酯类物质, 使添加了椰子油的凝胶风味更加浓郁<sup>[31]</sup>。此外, 酯类化合物也可与氨基酸等发生美拉德反应生成其它风味物质, 丰富了凝胶的风味<sup>[31]</sup>。因此, 6 种植物油均能明显丰富金线鱼鱼糜凝胶的关键气味成分, 改善其风味, 且椰子油改善的效果最佳。

表2 不同植物油对金线鱼鱼糜凝胶气味活性化合物的OAV值的影响  
Table 2 Effects of different vegetable oils on the OAV of various odour-active compounds on the *N. virgatus* surimi gel

| 挥发性化合物   | 气味描述         | 阈值<br>/ $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ | 气味活性化合物的 OAV 值          |                         |                         |                         |                         |                         |                         |
|----------|--------------|--------------------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
|          |              |                                            | 对照组                     | 花生油                     | 大豆油                     | 玉米油                     | 椰子油                     | 橄榄油                     | 红花籽油                    |
| 己醛       | 清新、蘑菇、青草味    | 2.4                                        | 2.38±0.42 <sup>d</sup>  | 2.93±0.04 <sup>d</sup>  | 4.76±0.70 <sup>b</sup>  | 4.13±0.70 <sup>bc</sup> | 3.93±0.14 <sup>bc</sup> | 3.25±0.15 <sup>cd</sup> | 8.41±0.71 <sup>a</sup>  |
| 正己醇      | 飘逸、醇甜果味      | 5.6                                        | 0.13±0.05 <sup>a</sup>  | 0.09±0.01 <sup>b</sup>  | -                       | -                       | -                       | 0.12±0.03 <sup>a</sup>  | 0.10±0.02 <sup>ab</sup> |
| 2-庚酮     | 果香、甜味、青草、椰木香 | 1.0                                        | 0.73±0.14 <sup>cd</sup> | -                       | 0.86±0.11 <sup>c</sup>  | 0.66±0.11 <sup>d</sup>  | 2.19±0.08 <sup>a</sup>  | 0.45±0.09 <sup>c</sup>  | 1.31±0.11 <sup>b</sup>  |
| 1-辛烯-3-醇 | 蘑菇、鲜味、鱼腥味    | 1.5                                        | 3.41±0.22 <sup>c</sup>  | 3.29±0.13 <sup>c</sup>  | 3.57±0.05 <sup>bc</sup> | 4.45±0.27 <sup>a</sup>  | 3.58±0.58 <sup>bc</sup> | 3.30±0.51 <sup>c</sup>  | 4.26±0.59 <sup>ab</sup> |
| 辛醛       | 油脂、果香        | 0.578                                      | 4.93±0.24 <sup>c</sup>  | 5.55±0.12 <sup>a</sup>  | 5.35±1.31 <sup>b</sup>  | 5.87±0.45 <sup>a</sup>  | 5.03±0.09 <sup>c</sup>  | 6.28±0.57 <sup>a</sup>  | 5.17±0.48 <sup>b</sup>  |
| 2-壬酮     | 乳酪、青草、清新     | 5                                          | 0.36±0.03 <sup>b</sup>  | 0.36±0.01 <sup>b</sup>  | 0.11±0.02 <sup>c</sup>  | 0.33±0.05 <sup>b</sup>  | 0.65±0.05 <sup>a</sup>  | 0.35±0.03 <sup>b</sup>  | 0.15±0.02 <sup>c</sup>  |
| 壬醛       | 油脂、青草味       | 1.1                                        | -                       | 7.70±0.35 <sup>b</sup>  | -                       | -                       | -                       | 8.65±1.04 <sup>a</sup>  | -                       |
| 反-2-壬烯醛  | 油脂、清新、植物     | 0.1                                        | 2.30±0.50 <sup>b</sup>  | -                       | -                       | 0.80±0.10 <sup>c</sup>  | 3.00±0.20 <sup>a</sup>  | -                       | -                       |
| 1-壬醇     | 油脂、清新、玫瑰香    | 2.0                                        | -                       | -                       | -                       | 0.14±0.01 <sup>b</sup>  | -                       | -                       | 0.23±0.06 <sup>a</sup>  |
| 辛酸乙酯     | 白兰地、果香、奶油    | 0.1                                        | -                       | -                       | -                       | -                       | 18.60±1.90 <sup>a</sup> | -                       | -                       |
| 癸醛       | 蜡质、柑橘        | 0.1                                        | 40.70±2.10 <sup>a</sup> | 12.60±1.30 <sup>b</sup> | 12.70±3.40 <sup>b</sup> | 15.60±1.40 <sup>b</sup> | 15.90±4.10 <sup>b</sup> | 16.20±1.80 <sup>b</sup> | 12.70±2.90 <sup>b</sup> |
| 2-十一酮    | 蜡质、水果、奶油味    | 7.0                                        | <0.1                    | <0.1                    | <0.1                    | <0.1                    | 0.29±0.02 <sup>a</sup>  | <0.1                    | <0.1                    |
| 正十一醛     | 蜡香、皂香、柑橘     | 0.03                                       | -                       | 4.67±0.67 <sup>b</sup>  | 5.00±1.00 <sup>b</sup>  | 9.33±2.33 <sup>a</sup>  | 6.00±0.33 <sup>b</sup>  | 4.67±0.33 <sup>b</sup>  | 4.33±1.00 <sup>b</sup>  |
| 癸酸乙酯     | 清甜、苹果、葡萄、白兰地 | 8.6                                        | -                       | -                       | -                       | -                       | 0.28±0.03 <sup>a</sup>  | -                       | -                       |
| 正十二醛     | 皂香、蜡香、柑橘     | 0.13                                       | 1.92±0.23 <sup>ab</sup> | 1.15±0.15 <sup>c</sup>  | 0.85±0.08 <sup>c</sup>  | 1.77±0.31 <sup>b</sup>  | 2.23±0.08 <sup>a</sup>  | 1.08±0.15 <sup>c</sup>  | 2.08±0.46 <sup>ab</sup> |
| 丁位癸内酯    | 清新、椰子、奶油、果香  | 1.0                                        | -                       | -                       | -                       | -                       | 2.19±0.24 <sup>a</sup>  | 0.19±0.01 <sup>b</sup>  | -                       |

注: 气味描述通过风味查询网站 <http://www.thegoodscentscompany.com/> 查找。同行不同小写字母表示差异显著 ( $P<0.05$ ), “-”表示未检测到。

2.4 金线鱼鱼糜凝胶的关键气味成分的相关性分析

将对照组和添加了 6 种植物油的凝胶样品与关键气味成分进行 PCA 主成分分析。结果如图 3a 所示, 第一主成分贡献率为 59.8%, 第二主成分贡献率为 29%, 累计贡献率高达 88.8%, 表明 PCA 主成分能包含鱼糜凝胶中关键气味成分的绝大部分信息。对照组与添加植物油的凝胶组中关键气味成分差异很明显, 在整个 PCA 象限内均未出现重叠, 表明通过 PCA 主成分分析能够判别对照组与添加了植物油的凝胶组中关键气味成分的差异, 进一步表明 6 种植物油均能改善金线鱼鱼糜凝胶的风味。然而, 花生油、大豆油、玉米油、橄榄油和红花籽油的脂肪酸组成主要是不饱和的油酸和亚油酸。在热加工过程中, 不饱和脂肪酸被氧化分解产生的挥发性化合物比较相近。因此, 添加了这些植物油的凝胶中关键气味成分均分布在 PCA 第一象限内且比较接近, 添加了大豆油和红花籽油的凝胶之间出现重叠现象, 表明添加这些植物油的凝胶之间的关键气味成分比较接近, 对凝胶风味的改善作用也是相近的。然而与其它植物油相比, 椰子油的脂肪酸组成主要是中链饱和的月桂酸和棕榈酸, 这些中链饱和脂肪酸在加热过程中易挥发而不易被氧化<sup>[14]</sup>, 并且挥发的脂肪酸可与醇类的化合物发生酯化反应产



生具有浓郁香味的酯类化合物<sup>[30-31]</sup>, 构成凝胶独特的风味。因此添加了椰子油的凝胶中关键气味成分分布在 PCA 第四象限内, 且其与添加了其它植物油的凝胶之间在 PC2 上差异明显, 而在 PC1 上相似。这与金线鱼鱼糜凝胶的关键气味成分分析结果(表 2)一致, 再次验证 PCA 主成分分析法的可行性。

为进一步探讨 6 种植物油对金线鱼鱼糜凝胶的关键气味成分的影响, 将其关键气味成分进行聚类动态热图分析。图中红色越深表示关键气味成分的浓度越高, 蓝色越深表示关键气味成分的浓度越低。据图 3b 所示, 根据对照组和添加了植物油的凝胶中关键气味成分的差异, 将凝胶样品分四大类, 分别为 I 类(对照组)、II 类(添加了花生油和橄榄油的凝胶组)、III 类(添加了玉米油、大豆油和红花籽油的凝胶组)和 IV 类(添加了椰子油的凝胶组)。结果表明, I 类的气味成分主要以正己醇、反-2-壬烯醛和癸醛为主; II 类的气味成分主要以壬醛和辛醛为主; III 类的气味成分主要以己醛、1-壬醇、1-辛烯-3-醇和正十一醛为主; IV 类的气味成分主要以 2-庚酮、辛酸乙酯、2-十一酮、癸酸乙酯和丁位癸内酯为主。综合分析, 在添加了椰子油的凝胶中挥发性酯类和酮类化合物的浓度高, 使凝胶样品呈现椰子油特有的风味, 因此推测椰子油改善金线鱼鱼糜凝胶的风味潜力最大, 更适合用于开发风味俱佳的鱼糜凝胶制品。

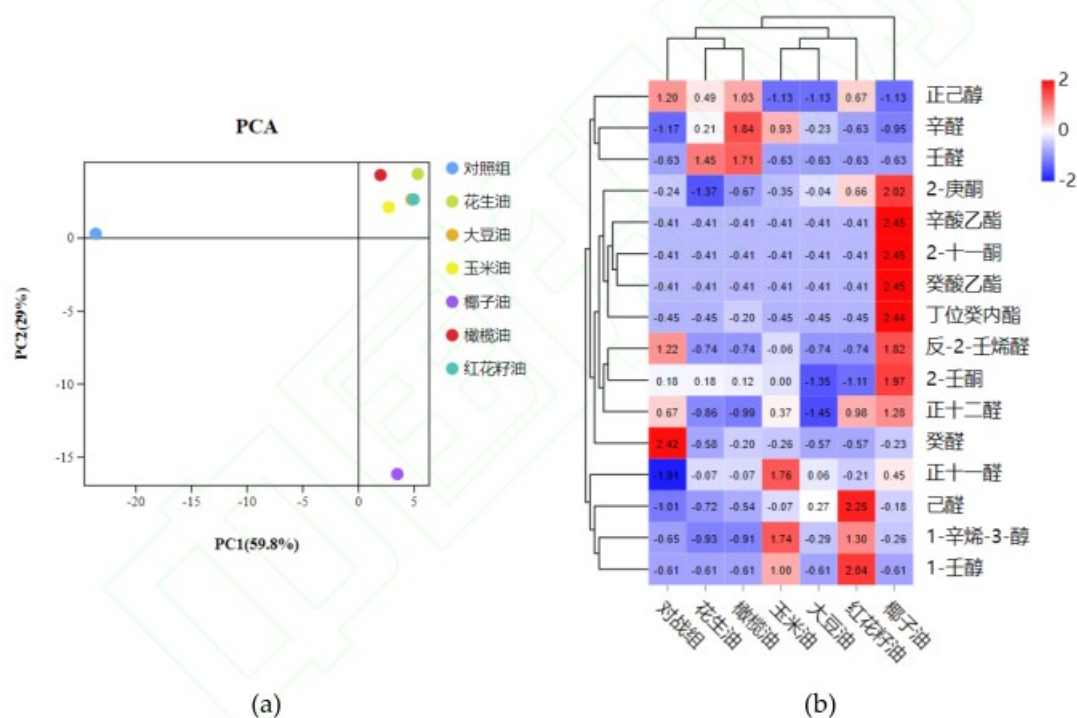


图 3 含不同植物油的金线鱼鱼糜凝胶中关键气味成分的 PCA 图 (a) 和动态热图 (b) 分析

Fig.3 The PCA (a) and dynamic heatmap (b) analysis of the key odor components on the *N. virgatus* surimi gel with different vegetable oils

## 2.5 不同植物油对金线鱼鱼糜凝胶相对感官特性的影响

由图 4 可知, 6 种植物油的添加均会导致金线鱼鱼糜凝胶的感官评分发生改变。与对照组比较, 添加了 2 mL/100 g 的植物油的鱼糜凝胶的色泽、气味、弹性和质地的感官评分值均明显变化 ( $P < 0.05$ )。添加了植物油后, 虽然降低了质地的感官评分, 但植物油在鱼糜凝胶基质中发生适度的氧化以及产生光散效应, 抑制了凝胶的鱼腥味, 使其鱼腥味适中, 并产生植物油特有的风味, 改善凝胶的色泽和风味<sup>[33]</sup>, 导致鱼糜凝胶的色泽、气味和总体可接受性等感官指标的评分均明显高于对照组 ( $P < 0.05$ )。综合分析各指标的得分情况, 植物油的添加可有效改善鱼糜凝胶的色泽, 使凝胶制品具有植物油特有的香气, 提高鱼糜凝胶的总体可接受性。因此, 6 种植物油的添加均能有效改善鱼糜凝胶

的风味,由此改善鱼糜凝胶的感官特性,提高产品的总体可接受性。

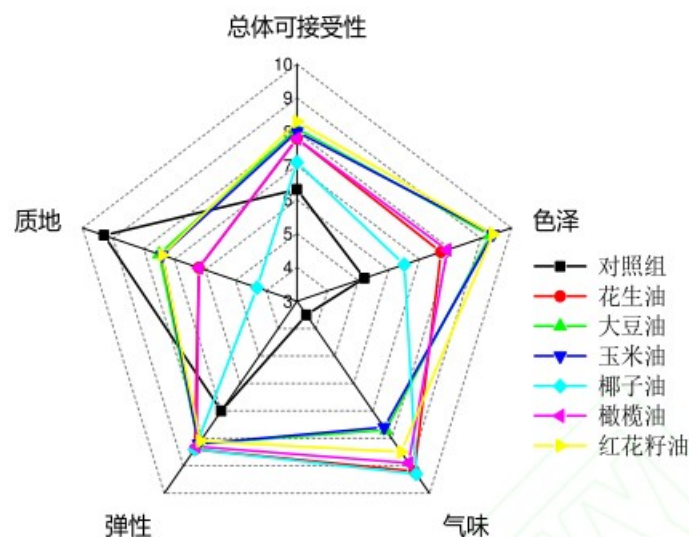


图4 不同植物油对金线鱼鱼糜凝胶感官特性的影响  
Fig.4 Effects of different vegetable oils on sensory characteristics of the *N. virgatus* surimi gel

### 3 结 论

采用固相微萃取-气相色谱-质谱联用分析了金线鱼鱼糜凝胶的挥发性化合物,发现对照组和添加了 2 mL/100 g 的花生油、大豆油、玉米油、椰子油、橄榄油和红花籽油的凝胶分别被检测出 42, 53, 51, 51, 66, 54, 54 种挥发性化合物。添加了植物油的凝胶中醛类、酮类和烃类的浓度明显增大,且添加了椰子油的凝胶中酯类的浓度增大最明显,因此椰子油对凝胶风味改善效果最佳,其它植物油改善效果一般。此外,通过 OVA、PCA 主成分和聚类热图分析确定了金线鱼鱼糜凝胶的关键气味成分,主要包括醛类、醇类、酮类、酯类,同时根据关键气味成分的差异性,将凝胶样品分为 I 类(对照组)、II 类(添加了花生油和橄榄油的凝胶组)、III 类(添加了玉米油、大豆油和红花籽油的凝胶组)和 IV 类(添加了椰子油的凝胶组)四大类,且 I、II 和 III 类的气味成分主要以醛类和醇类为主。而 IV 类的气味成分主要以具有椰子、果香等香味的 2-庚酮、辛酸乙酯、2-十一酮、癸酸乙酯和丁位癸内酯为主,它们共同作用形成了凝胶独特的风味。综合分析,椰子油使金线鱼鱼糜凝胶的关键气味成分的浓度明显增大,种类明显增多,呈现椰子油特有的香味,提高了凝胶的总体可接受性,可用于开发风味俱佳的鱼糜凝胶制品,然而其对凝胶质构和持水性等的影响还需进一步研究。

### 参考文献:

- [1] BUDA U, PRIYADARSHINI M B, MAJUMDAR R K, et al. Quality characteristics of fortified silver carp surimi with soluble dietary fiber: Effect of apple pectin and konjac glucomannan[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2021, 175: 123-130.
- [2] 刘芳芳. 海水鱼鱼糜加工及凝胶过程中蛋白质变化规律的研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2020.  
LIU F F. Mechanism of protein changes during processing and gelation of marine fish surimi[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2020.
- [3] 农业部渔业渔政管理局. 2020 中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2020: 89.  
Ministry of Agriculture. 2020 China fishery statistical yearbook[M]. Beijing: Agricultural Press, 2020: 89.
- [4] ZHOU X X, JIANG S, ZHAO D D, et al. Changes in physicochemical properties and protein structure of surimi enhanced with camellia tea oil[J]. LWT-Food Science and Technology, 2017, 84: 562-571.
- [5] ZHOU X X, CHEN H, LYU F, et al. Physicochemical properties and microstructure of fish myofibrillar protein-lipid composite gels: Effects of fat type and concentration[J]. Food Hydrocolloids, 2019, 90: 433-442.
- [6] JIAO X D, CAO H W, FAN D M, et al. Effects of fish oil incorporation on the gelling properties of silver carp surimi gel subjected to microwave heating combined with conduction heating treatment[J]. Food Hydrocolloids, 2019, 94: 164-173.
- [7] CHOI Y S, CHOI J H, HAN D J, et al. Optimization of replacing pork back fat with grape seed oil and rice bran fiber for reduced-fat meat emulsion systems[J]. Meat Science, 2010, 84(1): 212-218.
- [8] 杨峰, 巫朝华, 范大明, 等. 四川泡椒对鲢鱼鱼糜凝胶风味特性的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(16): 152-157.  
YANG F, WU C H, FANG D M, et al. Effect of Sichuan pickled peppers on flavor characteristics of silver carp surimi gel[J]. Food Science, 2017, 38(16): 152-157.
- [9] 翟营营, 黄晶晶, 张慧敏, 等. 酵母抽提物主要滋味成分分析及其对鱼糜制品风味的影响[J]. 华中农业大学学报, 2019,



- 38(5): 105-113.  
ZHAI Y Y, HUANG J J, ZHANG H M, et al. Analysis of main flavor components of yeast extract and its effect on flavor of surimi products[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2019, 38(5): 105-113.
- [10] LIANG F, LIN L, ZHU Y J, et al. Comparative study between surimi gel and surimi/crabmeat mixed gel on nutritional properties, flavor characteristics, color, and texture[J]. Journal of Aquatic Food Product Technology, 2020, 29(7): 681-692.
- [11] 付湘晋, 贺海翔, 许时婴, 等. 酵母细胞液处理对白鲢鱼鱼糜脂肪氧化和风味的影响[J]. 食品科学, 2010, 31(15): 95-99.  
FU X J, HE H X, XU S Y, et al. Effect of wall-free cell of yeast on lipid oxidation and flavor of silver carp surimi[J]. Food Science, 2010, 31(15): 95-99.
- [12] SHI L, WANG X F, CHANG T, et al. Effects of vegetable oils on gel properties of surimi gels[J]. LWT-Food Science and Technology, 2014, 57(2): 586-593.
- [13] KWAN A, DAVIDOVPARDO G. Controlled release of flavor oil nanoemulsions encapsulated in filled soluble hydrogels[J]. Food Chemistry, 2018, 250: 46-53.
- [14] GANI A, BENJAKUL S, NUTHONG P. Effect of virgin coconut oil on properties of surimi gel[J]. Journal of Food Science and Technology, 2018, 55(2): 496-505.
- [15] ZHOU X X, JIANG S, ZHAO D D, et al. Changes in physicochemical properties and protein structure of surimi enhanced with camellia tea oil[J]. LWT-Food Science and Technology, 2017, 84: 562-571.
- [16] LIU X Y, JI L, ZHANG T, et al. Effects of pre-emulsification by three food-grade emulsifiers on the properties of emulsified surimi sausage[J]. Journal of Food Engineering, 2019, 247: 30-37.
- [17] 米红波, 王聪, 赵博, 等. 大豆油、亚麻籽油和紫苏籽油对草鱼鱼糜品质的影响[J]. 食品工业科技, 2017, 38(18): 60-64; 73.  
MI H B, WANG C, ZHAO B, et al. Effect of soybean, flaxseed and perilla seed oils on the quality of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) surimi gels[J]. Science and Technology of Food Industry, 2017, 38(18): 60-64; 73.
- [18] LIU X Y, JI L, ZHANG T, et al. Effects of pre-emulsification by three food-grade emulsifiers on the properties of emulsified surimi sausage[J]. Journal of Food Engineering, 2019, 247: 30-37.
- [19] 卢佳芳, 朱煜康, 徐大伦, 等. 不同剂量电子束辐照对花鲈鱼肉风味的影响[J]. 食品科学, 2021, 42(12): 153-158.  
LU J F, ZHU Y K, XU D L, et al. Effect of electron beam irradiation on with different doses on flavor of *Lateolabrax japonicus* meat[J]. Food Science, 2021, 42(12): 153-158.
- [20] TIAN P, ZHAN P, TIAN H L, et al. Analysis of volatile compound changes in fried shallot (*Allium cepa* L. var. *Aggregatum*) oil at different frying temperatures by GC-MS, OAV, and multivariate analysis[J]. Food Chemistry, 2021, 345: 128748.
- [21] WANG Z H, XU Z, SUN L M, et al. Dynamics of microbial communities, texture and flavor in Suan zuo yu during fermentation[J]. Food Chemistry, 2020, 332(1): 1-9.
- [22] 杨君萍, 谷贵章, 胡科娜, 等. 鳊鱼鲞贮藏过程中油脂氧化及挥发性物质变化研究[J]. 食品科学, 2020, 42(11): 221-228.  
YANG J P, GU G Z, HU K N, et al. Changes of lipid oxidation and volatile substances in dried salted eel during cold storage[J]. Food Science, 2020, 42(11): 221-228.
- [23] 张凯华, 臧明仕, 张哲奇, 等. 不同复热方式对猪耳朵制品挥发性风味和脂肪氧化的影响[J]. 食品科学, 2018, 39(14): 242-248.  
ZHANG K H, ZANG M W, ZHANG Z Q, et al. Effect of reheating methods on volatile flavor constituents and lipid oxidation in cooked pig ear[J]. Food Science, 2018, 39(14): 242-248.
- [24] 李智宇, 王凯, 冒德寿, 等译. 化合物嗅觉阈值汇编: 原书第二版/(荷)里奥·范海默特著[M]. 北京: 中国科学出版社, 2018: 242-464.  
LI Z Y, WANG K, MAO D C, et al. Compilations of odour threshold values in air, water and other media: second enlarged and revised edition/ (Netherlands) L. J. van Gemert[M]. Beijing: China Science Press, 2018: 242-464.
- [25] 徐安琪, 杨铭, 朱煜康, 等. 紫菜粉添加对鲑鱼鱼糜凝胶特性及其蛋白结构的影响[J]. 食品科学, 2021, 42(2): 46-52.  
XU A Q, YANG R, ZHU Y K, et al. Effect of laver (*Porphyra umbilicalis*) powder on gel properties and protein structure of giant squid (*Dosidicus gigas*) surimi[J]. Food Science, 2021, 42(2): 46-52.
- [26] LI Q, GU Y, WANG H T. The influence of temperature on flow-induced forces on quartz-crystal-microbalance sensors in a Chinese liquor identification electronic-nose: three-dimensional computational fluid dynamics simulation and analysis[J]. Applied Mathematics and Mechanics, 2019, 40(9): 1301-1312.
- [27] DAJANTA K, APICHTSRANGKON A, CHUKEATIROTE E. Volatile profiles of thua nao, a Thai fermented soy product[J]. Food Chemistry, 2010, 125(2): 464-470.
- [28] MOHAMED H N, MAN Y C, MUSTAFA S, et al. Tentative identification of volatile flavor compounds in commercial budu, a Malaysian fish sauce, using GC-MS[J]. Molecules, 2012, 17(5): 5062-5080.
- [29] 徐祖东, 陈康, 涂丹, 等. 藜麦对鳕鱼鱼糜凝胶性能及挥发性风味的影响[J]. 中国食品学报, 2020, 20(2): 212-220.  
XU Z D, CHEN K, TU D, et al. Effect of chenopodium quinoa on properties and volatile components of surimi gel from pagrosomus[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2020, 20(2): 212-220.
- [30] 李婷, 田佳乐, 刘洋, 等. 保加利亚乳杆菌的筛选及其发酵乳中的风味物质[J]. 中国食品学报, 2021, 21(3): 315-323.  
LI T, TIAN J L, LIU Y, et al. Screening of *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* and its flavor substances in fermented milk[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2021, 21(3): 315-323.
- [31] JOSÉ M L, MARIO B, SANCHEO B. Relationship between flavour deterioration and the volatile compound profile of semi-ripened sausage[J]. Meat Science, 2013, 93(3): 614-620.
- [32] 黄玉平, 翁武银, 张希春, 等. 鱼皮明胶蛋白对淡水鱼糜凝胶特性的影响[J]. 中国食品学报, 2012, 12(11): 51-58.  
HUANG Y P, WENG Y Y, ZHANG X C, et al. Effects of fish skin gelatin on gel property of surimi from freshwater fish[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2012, 12(11): 51-58.
- [33] 宋春勇, 洪鹏志, 周春霞, 等. 大豆油和预乳化大豆油对金线鱼鱼糜凝胶品质的影响[J]. 食品科学, 2021, 42(8): 90-

97.

SONG C Y, HONG P Z, ZHOU C X, et al. Effect of soybean oil and pre-emulsified soybean oil on the quality of *Nemipterus virgatus* surimi gel[J]. Food Science, 2021, 42(8): 90-97.

中国知网