

温度和加热方式对未漂洗鱼糜凝胶特性和风味的影响

王梦宇¹, 马兴胜², 张智铭¹, 王 崑¹, 仪淑敏^{1*}, 李学鹏¹, 励建荣¹, 刘英丽³

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
国家鱼糜及鱼糜制品加工技术研发分中心 海洋食品精深加工关键技术省部共建协同创新中心 辽宁锦州 121013

²青岛明月海藻集团有限公司 海洋食品加工与安全控制全国重点实验室 山东青岛 266404

³北京工商大学食品与健康学院 北京食品营养与人类健康高精尖创新中心
北京市食品添加剂工程技术研究中心 北京 100048)

摘要 以未漂洗白鲢鱼鱼糜为研究对象,分析不同凝胶温度(90,115,121℃)和方式(一段加热、二段加热)对鱼糜凝胶特性、微观结构、蛋白的表达分布及风味的影响。结果表明,凝胶强度在90℃二段加热条件下最大,为56.72 g·cm,且二段加热形成的凝胶强度均高于一阶段加热(39.76,8.96,8.05 g·cm)。所有样品中,90℃二段加热处理下鱼糜凝胶白度最高(72.41%)。90℃二段加热能显著增加鱼糜的持水性($P<0.05$),当温度分别为90,115,121℃时,与一段式加热处理相比,二段加热时持水性分别增加6.29%,0.22%,0.6%。微观结构和十二烷基硫酸钠-聚丙烯酰胺凝胶电泳(SDS-PAGE)图谱显示,二段加热能促进未漂洗鱼糜蛋白凝胶网络的形成,使其结构更加紧密,分布更加均匀。气象离子迁移谱(GC-IMS)分析图谱显示,在未漂洗鱼糜中检出45种挥发性风味物质,90℃下2种处理方式制成的鱼肠风味相似,115℃和121℃加热制得的4组鱼肠风味相似,风味物质多于90℃组。结论:90℃二段式加热可使鱼糜凝胶特性提升,115℃二段式加热处理可使鱼肠风味最佳。

关键词 凝胶温度; 未漂洗鱼糜; 鱼糜凝胶; 风味

文章编号 1009-7848(2025)02-0304-13 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2025.02.027

我国水域辽阔,渔业资源丰富。其中,鱼糜制品近几年在中国生产发展十分迅速,年产量从2005年的 4.46×10^5 t^[1]迅速增加到2022年的 1.35×10^6 t^[2]。鱼糜制品是以鱼肉或鱼糜为原料,经绞碎、加辅料等工序斩拌成富有黏性的鱼糊,再经加热制成的凝胶体^[3],是水产品精深加工的代表性产品之一,有营养丰富,食用方便,口感较好,风味独特等优点。

冷冻鱼糜是生产鱼糜制品的重要原料之一,在传统鱼糜生产中,漂洗是鱼糜加工的关键步骤,漂洗可以去除大部分水溶性蛋白和色素,来提高鱼糜制品的凝胶强度和白度^[4],而多次漂洗会造成大量水溶性蛋白和部分脂肪流失,降低鱼糜的营养价值^[5]。此外,每生产1 t鱼糜约需10 t水,部分地区甚至经常超过15 t,造成水资源浪费^[6]。同时,大量漂洗液会造成环境污染^[7]。与常规漂洗鱼糜相

比,未漂洗鱼糜的主要缺点是凝胶性较差,因此对未漂洗鱼糜进行加工研究,可为提升未漂洗鱼糜制品的营养价值和凝胶品质提供理论依据。

加热是生产鱼糜制品重要的一环,鱼糜凝胶的形成需要经过凝胶化和凝胶劣化2个阶段^[8]。鱼糜在0~40℃范围发生凝胶化,由内源性转谷氨酰胺引导蛋白质非共价键交联;在50~70℃范围发生凝胶劣化,由内源性组织蛋白酶调控蛋白水解及劣变^[9]。对鱼糜凝胶进行二段式加热,能有效减少凝胶劣化。研究发现凝胶温度超过115℃时,鱼糜的凝胶三维网状结构开始降解^[5]。鱼糜的风味是评价鱼糜品质的重要标准。本文在未漂洗鱼糜的相关研究基础上,以未漂洗白鲢鱼鱼糜为研究对象,通过不同凝胶温度和方式加工未漂洗鲢鱼鱼糜,探究其对鱼糜凝胶和风味特性的影响。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与试剂

白鲢鱼[平均体长(40±5)cm、体质量(1300±50)g],锦州市科技路水产市场;苏木素-伊红(生

收稿日期: 2024-02-11

基金项目: 国家自然科学基金项目(319716129)

第一作者: 王梦宇,女,本科

通信作者: 仪淑敏 E-mail: yishumin@163.com

物级),北京索莱宝科技有限公司。

磷酸二氢钠、磷酸氢二钠、无水乙醇、甲醇(色谱纯级)、电泳 Maker 蛋白、考马斯亮蓝 R250、溴酚蓝、冰乙酸、酒石酸钾钠、氢氧化钠、硫酸铜,天津市风船化学试剂科技有限公司;十二烷基硫酸钠(SDS)、三羟甲基氨基甲烷(Tris)、四甲基乙二胺(TEMED),均为电泳纯级,丙烯酰胺、*N,N'*-亚甲基双丙烯酰胺、过硫酸钠,均为分析纯级,生工生物工程股份有限公司。

1.2 仪器与设备

MS105DU 分析天平,梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司;FE28KpH 计,METTLER TOLEDO 公司;UV2550 紫外-可见分光光度计,日本 SHIMADZU 公司;SA402B 智能味觉分析系统,日本 INSENT 公司;BHT-312 光学显微镜,日本 Olympus 公司;Flavour Spec 气相离子迁移谱联用仪,德国 GAS 公司;YC200 采肉机和精滤机,诸城市凯成良才食品机械厂;UMC5 真空斩拌锅,德国 Stephan 机械有限公司;T78-90 樱花牌脱水机,慈溪樱花电器有限公司;ZB-20 数显恒温水浴锅,诸城市瑞恒食品机械厂;FJ200-SH 数显高速分散均质机,上海标本模型厂;5 L 卧式灌肠机,锦厨乐公司;THERMO 型冷冻高速离心机,美国 Thermo 公司;AF-10 全自动雪花制冰机,斯科茨曼制冰机系统(上海)有限公司;CM1850 冷冻切片机,德国 Leics 公司。

1.3 方法

1.3.1 白鲢鱼鱼糜加工工艺 新鲜白鲢鱼去头、去尾、去鳞、去内脏,经清洗、采肉、精滤、加抗冻剂(4%蔗糖、4%山梨糖醇)等工序,制得的样品均于-80℃贮藏备用。

1.3.2 未漂洗鱼糜的制备 冷冻的未漂洗白鲢鱼鱼糜在斩拌机中斩拌 2 min,添加质量分数为 2.5%的 NaCl 盐斩 2 min,调节水分含量为 78%之后再连续斩拌 3 min,然后灌入直径为 28 mm 的塑料肠衣中,在不同条件下加热样品(加热条件以 90,115,121℃加热为基础,增加每种温度的二段加热,具体分组为:A:90℃ 30 min;B:40℃ 30 min-90℃ 30 min;C:115℃ 30 min;D:40℃ 30 min-115℃ 30 min;E:121℃ 15 min;F:40℃ 30 min-121℃ 15 min),所有样品均于 4℃贮藏

备用。

1.3.3 凝胶强度的测定 凝胶强度用 TA.XT.PLUS 质构仪测定,测定前先将样品在室温放置 30 min,切成圆柱体^[10](2.5 cm×2.5 cm×2.5 cm)。测试条件:探头型号为 P/5S;测前速度、测试速度和测后速度均为 1 mm/s;压缩形变为 50%;触发力为 15 g。每组 10 个平行。

1.3.4 蒸煮损失的测定 参考 Sharaf Eddin 等^[11]的方法稍作修,将鱼糜凝胶制成直径为 8 mm,高为 20 mm 的圆柱体,准确称量(m_1)后放入小型蒸煮袋中并封口,水浴条件为 90℃ 20 min,迅速取出并将表面液体擦干再次称量(m_2),每组 10 个平行。蒸煮损失的计算方法见式(1)。

$$\text{蒸煮损失}(\%) = (m_1 - m_2) / m_1 \times 100 \quad (1)$$

注: m_1 为蒸煮前的凝胶质量,g; m_2 为蒸煮后的凝胶质量,g。

1.3.5 持水性的测定 参考 Cao 等^[12]的方法略作修改,将约 1 g 鱼糜凝胶置于离心管中,在 4℃、5 000×g 离心力下离心 15 min,测量离心后凝胶重量占原重的百分比,10 次平行,持水性的计算方法见式(2)。

$$\text{持水性}(\%) = m_4 / m_3 \times 100 \quad (2)$$

注: m_4 为离心后凝胶质量-凝胶干重,g; m_3 为离心前凝胶质量-凝胶干重,g。

1.3.6 白度的测定 采用 CR-400 色差计分析鱼糜制品凝胶的白度,测量并记录亮度(L^*)、红色/绿色(a^*)和黄色/蓝色(b^*)值,根据式(3)计算白度^[13]值。

$$\text{白度} = 100 - [(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}]^{1/2} \quad (3)$$

1.3.7 pH 值的测定 参考《食品安全国家标准食品 pH 值的测定》(GB 5009.237-2016)中的测定方法^[14]并稍作修改。取 5 g 样品加入 50 mL 蒸馏水,均质后静置 30 min,过滤取上清液,用 pH 计测定样品的 pH 值,每组 10 个平行。

1.3.8 微观结构分析 鱼糜凝胶先进行冷冻切片,切片厚度为 10 μm,用 HE 试剂对切片染色,染色后的切片在显微镜下观察,放大倍数为 40 倍。

1.3.9 凝胶 SDS-PAGE 分析 参考 Huang 等^[15]的方法并稍加修改。称取凝胶样品 2.5 g,绞碎并加入 22.5 mL 的 5% SDS 溶液加热至 90℃,高速均

质 2 min 后将匀浆液置于 90 °C 水浴中加热 1 h, 待其冷却后在 24~27 °C、10 000 r/min 条件下离心 15 min, 取上清液。利用 SDS 溶液调节离心后取出的上清液质量浓度至 6 mg/mL, 之后将上样缓冲液与蛋白液按 1:1 的体积比混合, 沸水浴 5 min。制胶后, 上样量为 10 μ L, 其中浓缩胶和分离胶质量浓度分别为 4 mg/mL 和 12 mg/mL。先于 80 V 恒压条件下运行 15 min, 后于 120 V 恒压条件下运

行 80 min, 当底部条带接近底部时停止, 取胶。电泳完成后进行染色 (染色液: 0.25% 的考马斯亮蓝 R-250) 和脱色 (脱色液: 含 50% 甲醇和 10% 乙酸), 运用 Quantity One 软件进行扫描和分析。

1.3.10 气象离子迁移谱 (GC-IMS) 分析 称取 2 g 鱼肠样品置于 20 mL 顶空瓶中密封, 在 60 °C 条件下孵育 15 min 后进样。具体分析条件和气相色谱条件见表 1 和表 2。

表 1 分析条件

Table 1 Analysis conditions

气相-离子迁移谱单元		自动顶空进样单元	
分析时间/min	20	进样体积/ μ L	500
色谱柱类型	FS-SE-54: 15 m ID: 0.53 mm	孵育时间/min	15
柱温/°C	60	孵育温度/°C	60
载气/漂移气	N ₂	进样针温度/°C	65
IMS 温度/°C	45	孵化转速/(r/min)	500

表 2 气相色谱条件

Table 2 Gas chromatographic conditions

时间点	漂移气流量/(mL/min)	载气流量/(mL/min)	操作
00:00,000	150	2	记录
02:00,000	150	2	-
20:00,000	150	100	停止

1.3.11 智能味觉分析系统 (电子舌) 分析 将样品切碎后准确称取 25 g 于烧杯中, 按照 1:5 的质量比加入 125 g 已加热至 40 °C 的纯净水, 均质 1 min 后离心, 离心条件为 20 °C、10 000 r/min、15 min。取离心上清液用 0.22 μ m 滤膜抽滤, 以 30 mmol/L 氯化钾和 0.3 mmol/L 酒石酸溶液作为基准液, 采用智能味觉分析系统进行分测试, 每组测定 4 遍。

1.4 统计分析

试验数据采用 SPSS 19.0 软件进行分析处理, 利用 Origin 8.0 作图。GC-IMS 数据的采用 Reporter 插件、LAV (Laboratory Analytical Viewer)、Dynamic PCA 插件、Gallery Plot 插件以及 GCxIMS Library Search 软件进行分析。

2 结果与分析

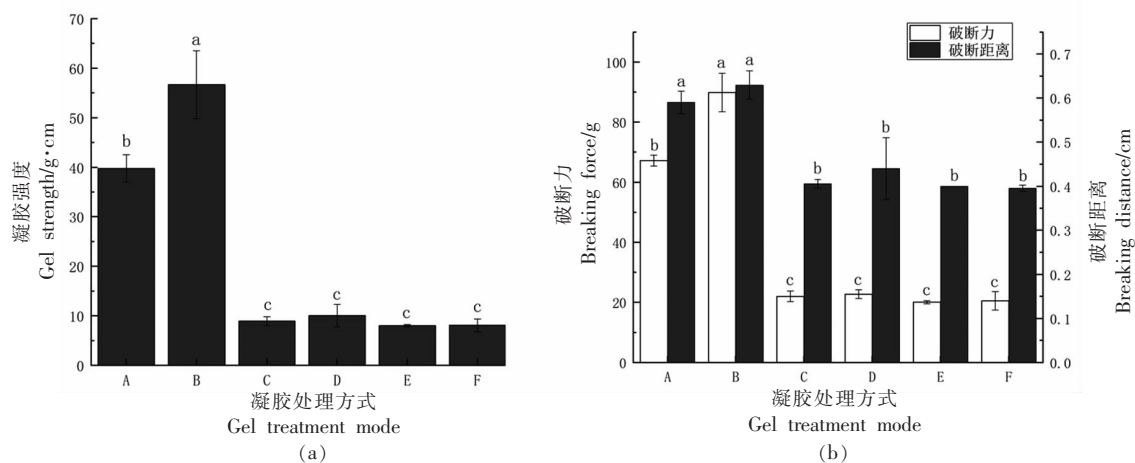
2.1 凝胶条件对未漂洗鱼糜凝胶特性的影响

2.1.1 凝胶条件对未漂洗鱼糜凝胶强度、破断力

和破断距离的影响 凝胶强度是反映鱼糜凝胶品质特性的重要指标之一, 对消费者的感官可接受性有直接影响^[16], 破断力能反映凝胶在受到外力作用下发生断裂时所能承受的最大力, 破断力越大, 说明凝胶强度越高, 即凝胶抵抗外力破坏能力越强。破断距离反映了凝胶的韧性, 破断距离越长即韧性越好。图 1 为不同凝胶化温度下鱼糜凝胶强度、破断力和破断强度的变化。从图中可以看出, 在 90 °C 二段加热条件下, 鱼糜凝胶的凝胶强度、破断力和破断距离均达到最大值, 分别为: 56.72 g·cm, 89 g, 0.63 cm。由此可见, 90 °C 二段加热可以有效提升未漂洗鱼糜凝胶的品质。不同温度下, 二段加热的凝胶特性均优于一段加热, 这是因为二段加热可以使鱼糜凝胶预先在 40 °C 时进行低温凝胶化^[17], 加强其疏水相互作用、非二硫共价键以及二硫键^[18-19], 并快速通过凝胶劣化带, 从而改善鱼糜凝胶强度、破断力和破断强度。随着凝胶温度的上升, 鱼糜凝胶强度、破断力和破断强度

均出现下降的趋势,因为温度大于 100 °C 后,鱼糜凝胶中的肌球蛋白重链开始降解,蛋白二级结构

中的无规则卷曲被破坏,最终导致鱼糜凝胶的三维网状结构空隙变大,更容易被破坏^[20]。



注:不同小写字母表示差异性显著($P<0.05$);A. 90 °C 30 min, B. 40 °C 30 min-90 °C 30 min, C. 115 °C 30 min, D. 40 °C 30 min-115 °C 30 min, E. 121 °C 15 min, F. 40 °C 30 min-121 °C 15 min。

图 1 凝胶处理方式对鱼糜凝胶强度、破断力及破断距离的影响

Fig.1 Effects of gel treatment method on strength, breaking force and breaking distance of surimi gel

2.1.2 加热方式对未漂洗鱼糜凝胶持水性和蒸煮损失的影响 持水性反映鱼糜凝胶保持水分的能力,是鱼糜和鱼糜制品的一个重要参数。持水性越高,表明鱼糜凝胶的网络结构越致密,对水分的束缚能力越强^[21]。由图 2 可知,90 °C 二段加热组持水性最高,从 90 °C 一段加热的 66.43% 增加到 72.72%。D 组和 F 组鱼糜凝胶二段加热的持水性虽然均高于一段加热,但随着凝胶化温度的升高,持水性有所下降。未漂洗鱼糜凝胶在 90 °C 二段加热条件下,凝胶内部三维网状结构更致密,能有效锁住水分,提高保水性。然而,温度过高会破坏鱼糜凝胶内部三维网状结构,骨架更加脆弱,当温度升高后,没有足够的三维网状空间结构支撑,未漂洗鱼糜的持水性下降。

蒸煮损失率是鱼糜凝胶在蒸煮过程中损失的水分,是表明鱼糜保水能力的重要指标。由图 2 得知,90 °C 二段加热组蒸煮损失最低,为 17.88%,保水能力最强,与持水性结果一致,所有组中,二段加热的蒸煮损失均小于同温度下一段加热,并且 90 °C 加热的蒸煮损失小于 115 °C 和 121 °C 的同条件处理结果,保水性更好,表明 90 °C 二段加热条件可以有效减少未漂洗鱼糜凝胶的蒸煮损失,该结果与持水性分析所得结论一致。

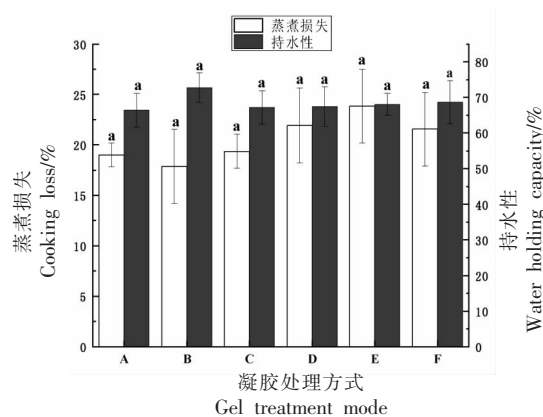


图 2 凝胶处理方式对未漂洗鱼糜凝胶蒸煮损失、持水性的影响

Fig.2 Effects of gel treatment method on cooking loss and water retention of gel of unwashed surimi

2.1.3 凝胶化温度对未漂洗鱼糜凝胶白度的影响

白度决定鱼糜制品的感官接受程度。白度与鱼糜凝胶的光分散性有关,由凝胶的结构、肌纤维蛋白和分散颗粒的大小决定^[22]。由表 3 可以看出,在 121 °C 两种凝胶化方式的白度差异性不显著,二段加热白度略高于一段加热,90 °C 凝胶化温度下鱼糜凝胶的白度低于其余 4 组,其中 115 °C 二段加热时白度最高,为 72.41%,且 L^* 为影响白度的主要因素。温度过高时,肌红蛋白会氧化形成高铁肌

红蛋白,而高铁肌动蛋白含量越少,白度值越高,因此鱼糜凝胶在 115 °C 和 121 °C 加热时,更多肌红蛋白被氧化成高铁肌红蛋白,导致白度下降^[23]。由于二段加热蛋白凝聚性更好,随着蛋白聚集程

度的增加,鱼糜凝胶中三维网状结构更加致密,凝胶网络结构反射更多的光,因此白度值更高^[23]。白度值的变化趋势与凝胶强度变化趋势基本一致。

表 3 凝胶处理方式对未漂洗鱼糜白度的影响

Table 3 Effect of gel treatment on whiteness of unwashed surimi

	L^*	a^*	b^*	白度/%
90 °C 30 min	66.07 ± 0.60 ^d	0.08 ± 0.10 ^b	14.76 ± 0.41 ^a	63.00 ± 0.39 ^d
40 °C 30 min-90 °C 30 min	68.69 ± 1.70 ^e	0.13 ± 0.02 ^b	14.50 ± 0.42 ^a	65.49 ± 1.37 ^e
115 °C 30 min	74.41 ± 0.11 ^b	-0.75 ± 0.03 ^e	14.60 ± 0.13 ^a	70.53 ± 0.08 ^b
40 °C 30 min-115 °C 30 min	76.44 ± 0.10 ^a	-1.06 ± 0.06 ^d	14.32 ± 0.16 ^a	72.41 ± 0.12 ^a
121 °C 15 min	68.77 ± 0.70 ^e	0.37 ± 0.27 ^a	14.76 ± 0.41 ^a	65.45 ± 0.77 ^e
40 °C 30 min-121 °C 15 min	68.80 ± 0.05 ^e	0.16 ± 0.55 ^a	14.77 ± 0.23 ^a	65.48 ± 0.13 ^e

注:不同小写字母表示差异性显著($P < 0.05$)。

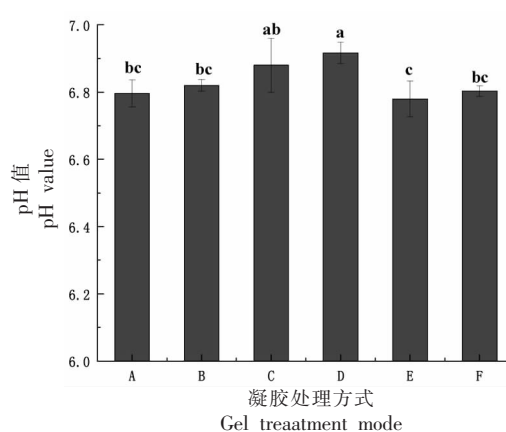
2.1.4 凝胶化温度对未漂洗鱼糜凝胶 pH 值的影响 pH 值反映鱼糜凝胶的新鲜度,pH 值会影响肌原纤维蛋白的电荷状态和分子间作用力,进而影响蛋白凝胶的形成和特性。当系统的 pH 值接近等电点(pI)时,静电斥力大小几乎为零,蛋白质分子聚集在一起形成凝胶网络结构^[24]。因此,在实际的水产品生产 and 加工中,系统的 pH 值须在 pI 和极限 pH 值之间,以获得具有更好凝胶弹性的凝胶。由图 3 可知,鱼糜凝胶 pH 值均在最适 pH 6.7~7.5 之间的中性区域^[25],处理方式不同的组间差异不明显,说明电荷对鱼糜凝胶影响较小。

2.2 凝胶化温度对未漂洗鱼糜凝胶微观结构的影响

图 4 为不同凝胶化温度下,未漂洗鱼糜凝胶的微观结构变化,它反映的是各种处理条件下未漂洗鱼糜凝胶内部三维网状结构的空洞大小、空隙分布均匀情况、凝胶网状结构、骨架坚硬程度以及空间稳定性,是直观反映鱼糜凝胶强度的指标。图 4 中可以看出,与一段加热相比,二段加热条件下未漂洗鱼糜凝胶孔隙更致密紧凑,分布更均匀,空间结构相对稳定;90 °C 加热的 2 种处理方式优于其余 4 种,115 °C 加热的 2 种方式优于 121 °C 对应的 2 种处理方式,其结果与凝胶强度所得结果基本一致。

2.3 凝胶化温度对未漂洗鱼糜凝胶中蛋白质组分及含量的影响

肌球蛋白重链(MHC)作为肌原纤维蛋白中对



注:不同小写字母表示差异性显著($P < 0.05$); A. 90 °C 30 min, B. 40 °C 30 min-90 °C 30 min, C. 115 °C 30 min, D. 40 °C 30 min-115 °C 30 min, E. 121 °C 15 min, F. 40 °C 30 min-121 °C 15 min。

图 3 凝胶处理方式对未漂洗鱼糜凝胶 pH 值的影响
Fig.3 Effect of gel treatment methods on pH value of unwashed surimi gel

鱼糜凝胶能力帮助最大的蛋白质,其含量越高,鱼糜凝胶能力越强^[26]。A、C、E 3 组比较可以看出,随着凝胶化温度的升高,鱼糜凝胶强度呈现逐渐减小的趋势,这说明温度主要促进鱼糜蛋白发生聚集而不是使蛋白之间交联形成聚合物^[8],同时 MHC 条带呈现逐渐减弱的趋势,说明高温会导致鱼糜凝胶的 MHC 发生降解。同温度下二段式加热与一段式加热相比可以看出,一段加热鱼糜凝胶的 MHC 条带颜色更深,这是因为二段加热使鱼糜在 40 °C 下 MHC 充分交联,形成较大的聚集体而不能进入分离胶^[18]。肌动蛋白(AC)的含量变化不

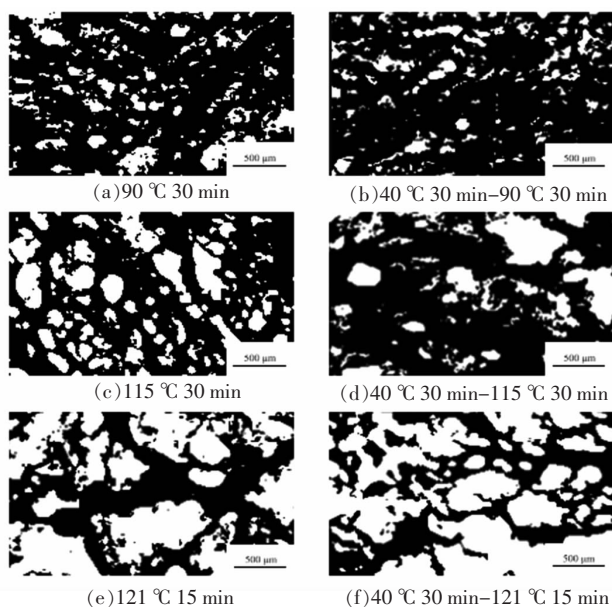


图4 凝胶处理方式对未漂洗鱼糜凝胶微观结构的影响
Fig.4 Effects of gel treatment on the microstructure of gel of unwashed surimi

明显。

2.4 凝胶化温度对未漂洗鱼糜风味的影响

2.4.1 凝胶化温度对未漂洗鱼糜凝胶挥发性物质的影响

气相离子迁移谱技术(GC-IMS)是一种新型的风味分析技术,可提供高效的离子色谱分离点和优秀的气相色谱响应速度,具有灵敏度高、操作简便、结果准确的优点,在食品风味分析领域中,有越来越大的优势^[27]。

图6表示的是的不同凝胶化温度处理下未漂洗白鲢鱼鱼糜制成鱼肉香肠的GC-IMS三维图谱,为方便分析,取图7 GC-IMS俯视图进行分

析。图7中可以看出,在150 s的保留时间附近,二段加热方式比一段加热颜色更深,在300 s的保留时间附近,115 °C及121 °C的4种处理方式颜色更深,说明不同凝胶温度和同温度下的不同处理条件均会影响未漂洗鱼糜的挥发性有机物含量,对鱼糜凝胶的风味产生影响。通过外标与保留指数的计算,对比数据库,得到具体挥发性有机物的种类,如表4、表5所示。

通过表5的结果得出,共检测出45种挥发性有机物,其中,醇类10种、酮类6种、醛类18种、酯类2种、吡嗪类5种、苯类、烯类、酸类和呋喃类各1种。

未漂洗鱼糜中含有大量的醇类物质,这是由于未漂洗鱼糜中含有大量的酶,醇还原酶可以使醛类物质还原为醇^[28],不饱和醇对鱼糜风味的影响较大^[29]。醛类能够提升未漂洗鱼糜的风味特性^[30]。其中,苯甲醛具有类似杏仁的气味,属于芳香醛类,能提升肉类的整体感知和海鲜的风味^[31]。

未漂洗鱼糜中检测出的酮类物质有6种,酮类物质具有一定的腥味^[32]。

吡嗪类化合物主要呈现豆豉、坚果风味,是许多食品中的关键风味成分^[33],并且有较低的感官阈值^[34]。在未漂洗鱼糜中的吡嗪类物质有5种,分别是:2,3-二乙基-5-甲基吡嗪、2-乙基-3,5-二甲基吡嗪、2-乙基-3,6-二甲基吡嗪、2-乙基吡嗪、2,6-二甲基吡嗪,吡嗪通常用来做香精的中间物质,大多具有良好的风味。

酯类由醇类和羧酸类化合物酯化而得,含有短链脂肪酸的酯具有甜味和水果香气,而长链脂

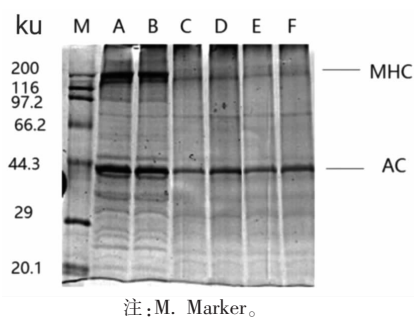
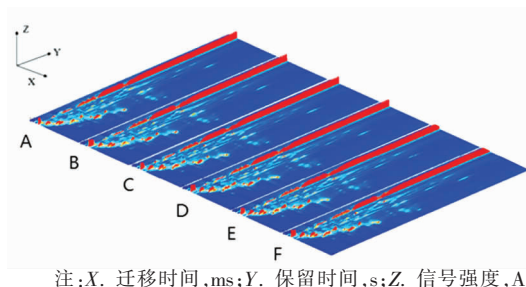


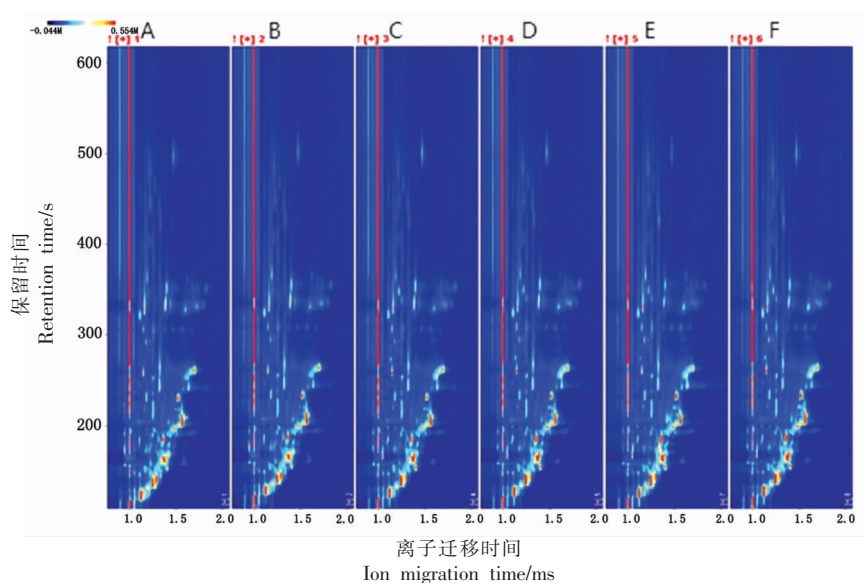
图5 不同凝胶处理方式下的SDS-PAGE分析图
Fig.5 SDS-PAGE analysis chart under different gel treatment modes



注:X. 迁移时间,ms;Y. 保留时间,s;Z. 信号强度,A。

图6 不同凝胶处理方式下未漂洗鱼肉香肠的GC-IMS三维图谱

Fig.6 GC-IMS 3D spectrum of unrinsed fish sausages under different gel treatment methods



注:横坐标 1.0 处红色竖线为 RIP 峰(反应离子峰),RIP 峰两侧的每一个点代表一种挥发性有机物。颜色代表物质的浓度,白色表示浓度较低,红色表示浓度较高,颜色越深表示浓度越大。

图 7 不同凝胶处理方式下未漂洗鱼肉香肠的 GC-IMS 的二维谱图

Fig.7 2D profiles of GC-IMS of unrinsed fish sausages under different gel treatment methods

表 4 不同加热温度下未漂洗鱼糜挥发性化合物定性分析

Table 4 Qualitative analysis of volatile compounds of surimi without rinsing at different heating temperatures

序号	常用名称	CAS 号	分子式	保留指数	保留时间/s	迁移时间/ms
1	2,3-二乙基-5-甲基吡嗪 (2,3-Diethyl-5-methylpyrazine)	C18138040	C ₉ H ₁₄ N ₂	1 174.3	596.3	1.3
2	壬醛单体(Nonanal)	C124196	C ₉ H ₁₈ O	1 106.1	498.3	1.5
3	壬醛二聚体(Nonanal)	C124196	C ₉ H ₁₈ O	1 104.7	496.2	1.9
4	2-乙基-3,5-二甲基吡嗪 (2-Ethyl-3,5-dimethylpyrazine)	C13925070	C ₈ H ₁₂ N ₂	1 095.2	482.6	1.2
5	2-乙基-3,6-二甲基吡嗪 (2-Ethyl-3,6-dimethylpyrazine)	C13360651	C ₈ H ₁₂ N ₂	1 069.6	445.8	1.2
6	反-2-庚烯醛[(E)-2-Octenal]	C2548870	C ₈ H ₁₄ O	1 054.5	424.0	1.3
7	(E,E)-2,4-庚二烯醛[(E,E)-2,4-heptadienal]	C4313035	C ₇ H ₁₀ O	1 014.0	365.8	1.2
8	正辛醛单体(Octanal)	C124130	C ₈ H ₁₆ O	1 005.8	354.0	1.4
9	正辛醛二聚体(Octanal)	C124130	C ₈ H ₁₆ O	1 006.5	355.0	1.8
10	正庚醇(1-Heptanol)	C111706	C ₇ H ₁₆ O	990.1	335.4	1.4
11	己酸乙酯(Ethyl hexanoate)	C123660	C ₈ H ₁₆ O ₂	986.5	332.4	1.8
12	3-辛醇(1-Octen-3-ol)	C3391864	C ₈ H ₁₆ O	981.8	328.5	1.2
13	1-辛烯-3-醇(1-Octen-3-ol)	C3391864	C ₈ H ₁₆ O	978.9	326.0	1.6
14	3-呋喃甲醇(3-Furanmethanol)	C4412913	C ₅ H ₆ O ₂	972.9	321.1	1.1
15	苯甲醛(Benzaldehyde)	C100527	C ₇ H ₆ O	955.8	306.9	1.2
16	(E)-2-庚烯醛单体[(E)-2-Heptenal]	C18829555	C ₇ H ₁₂ O	953.4	304.9	1.3
17	(E)-2-庚烯醛二聚体[(E)-2-Heptenal]	C18829555	C ₇ H ₁₂ O	953.4	304.9	1.7
18	(E,E)-2,4-庚二烯醛 [(E,E)-2,4-Heptadienal]	C4313035	C ₇ H ₁₀ O	1 010.6	360.9	1.6

(续表 4)

序号	常用名称	CAS 号	分子式	保留指数	保留时间/s	迁移时间/ms
19	庚醛单体(Heptanal)	C111717	C ₇ H ₁₄ O	900.3	260.9	1.3
20	庚醛二聚体(Heptanal)	C111717	C ₇ H ₁₄ O	900.3	260.9	1.7
21	环己酮(Cyclohexanone)	C108941	C ₆ H ₁₀ O	896.7	257.8	1.2
22	2-庚酮(2-Heptanone)	C110430	C ₇ H ₁₄ O	890.8	253.5	1.6
23	1-己醇单体(1-Hexanol)	C111273	C ₆ H ₁₄ O	869.9	243.0	1.3
24	1-己醇二聚体(1-Hexanol)	C111273	C ₆ H ₁₄ O	867.9	242.0	1.6
25	2-己烯醛单体[(E)-2-hexenal]	C6728263	C ₆ H ₁₀ O	845.0	230.5	1.2
26	2-己烯醛二聚体[(E)-2-hexenal]	C6728263	C ₆ H ₁₀ O	845.7	230.8	1.5
27	正己醛(Hexanal)	C66251	C ₆ H ₁₂ O	789.8	202.8	1.6
28	2-己酮(2-Hexanone)	C591786	C ₆ H ₁₂ O	776.6	197.1	1.5
29	丁酸(Butanoic acid)	C107926	C ₄ H ₈ O ₂	821.5	218.7	1.2
30	正戊醇(1-Pentanol)	C71410	C ₅ H ₁₂ O	759.0	190.3	1.3
31	甲苯(Toluene)	C108883	C ₇ H ₈	768.6	194.0	1.0
32	戊醛(Pentanal)	C110623	C ₅ H ₁₀ O	702.9	168.8	1.4
33	2-戊酮(2-Pentanone)	C107879	C ₅ H ₁₀ O	693.4	165.1	1.4
34	正丁醇(1-Butanol)	C71363	C ₄ H ₁₀ O	677.6	160.8	1.4
35	异戊醛(3-Methylbutanal)	C590863	C ₅ H ₁₀ O	643.9	153.2	1.4
36	乙酸乙酯(Ethyl acetate)	C141786	C ₄ H ₈ O ₂	608.6	145.2	1.3
37	丁醛(Butanal)	C123728	C ₄ H ₈ O	590.2	141.1	1.3
38	甲乙酮(2-Butanone)	C78933	C ₄ H ₈ O	569.5	136.4	1.2
39	丙酮(Acetone)	C67641	C ₃ H ₆ O	508.2	122.5	1.1
40	乙醇(Ethanol)	C64175	C ₂ H ₆ O	490.5	118.6	1.1
41	异丙醇(2-Propanol)	C67630	C ₃ H ₈ O	543.4	130.5	1.2
42	2-薔烯(2-Carene)	C554610	C ₁₀ H ₁₆	1 002.2	348.9	1.2
43	2-戊基呋喃(2-Pentylfuran)	C3777693	C ₉ H ₁₄ O	994.5	339.0	1.3
44	2-乙基吡嗪(2-Ethylpyrazine)	C13925003	C ₆ H ₈ N ₂	931.7	286.9	1.1
45	2,6-二甲基吡嗪(2,6-Dimethylpyrazine)	C108509	C ₆ H ₈ N ₂	915.4	273.4	1.1

表 5 挥发性化合物分类表

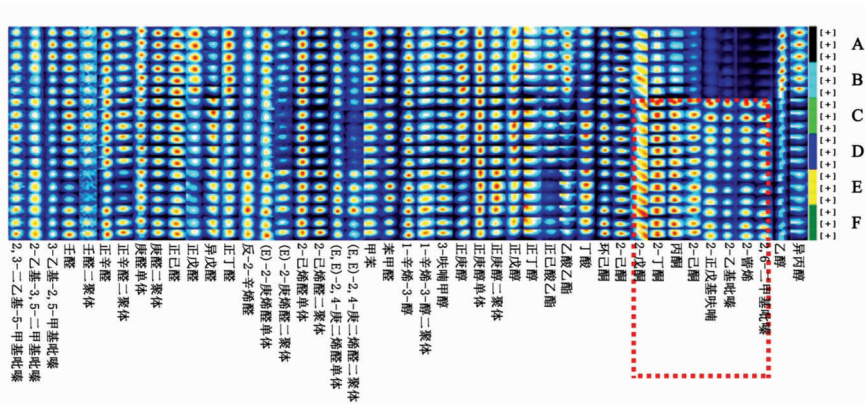
Table 5 Volatile compounds classification table

种类	名称
醇类	正戊醇、3-辛醇、1-辛烯-3-醇、3-呋喃甲醇、1-己醇单体、1-己醇二聚体、正戊醇、正丁醇、乙醇、异丙醇
酮类	环己酮、2-庚酮、甲乙酮、丙酮、2-己酮、2-戊酮
醛类	壬醛单体、壬醛二聚体、反-2-辛烯醛、(E,E)-2,4-庚二烯醛、正辛醛单体、正辛醛二聚体、苯甲醛、(E)-2-庚烯醛单体、(E)-2-庚烯醛二聚体、(E,E)-2,4-庚二烯醛、庚醛单体、庚醛二聚体、2-己烯醛单体、2-己烯醛二聚体、戊醛、异戊醛、丁醛、正己醛
酯类	己酸乙酯、乙酸乙酯
吡嗪类	2,3-二乙基-5-甲基吡嗪、2-乙基-3,5-二甲基吡嗪、2-乙基-3,6-二甲基吡嗪、2-乙基吡嗪、2,6-二甲基吡嗪
苯类	甲苯
烯类	2-薔烯
酸类	丁酸
呋喃类	2-戊基呋喃

肪酸的酯具有脂肪香气^[35]。在未漂洗白鲢鱼鱼糜中检测出短链脂肪酸的酯类：乙酸乙酯和己酸乙酯。

呋喃类化合物对肉制品而言十分重要，在未漂洗鱼糜中检测出 2-戊基呋喃，具有果香、豆香、青香及类似蔬菜的香气^[36]；苯类物质有毒性，鱼糜中含量较少；烯类物质检出一种：2-萜烯，有一定刺激性；酸类中丁酸有酸臭味^[37]。

将不同凝胶化温度下未漂洗鱼糜的信号峰制



注：A. 90℃ 30 min, B. 40℃ 30 min-90℃ 30 min, C. 115℃ 30 min, D. 40℃ 30 min-115℃ 30 min, E. 121℃ 15 min, F. 40℃ 30 min-121℃ 15 min。

图 8 不同凝胶处理方式下鱼肉香肠中挥发性有机物指纹图谱对比

Fig.8 Comparison of fingerprints of volatile organic compounds in fish sausage under different gel treatment methods

2.4.2 凝胶化温度对未漂洗鱼糜凝胶滋味的影响

电子舌作为一种新型检测工具，可应用在食品主成分分析、感官分析等场景，可将多种数据综合观察^[38]。图 9 为不同加热条件下未漂洗鱼糜的滋味主成分分析图，鱼糜中主成分 1 和主成分 2 贡献率分别为为 65.83% 和 22.80%，总贡献率为 88.63%，可以反应 6 组样品的整体信息。由图可知，一段加热与二段加热组的轮廓并不相似，且不同温度差异明显，说明不同凝胶温度和方式对鱼糜的滋味影响较大。

3 结论

采用二段式加热可以改善未漂洗白鲢鱼鱼糜凝胶特性，明显提高鱼糜凝胶强度，增强凝胶保水性，降低蒸煮损失率，鱼糜凝胶的硬度、弹性及咀嚼度明显提高，使鱼糜凝胶网格结构更为致密，孔隙似圆度更高。其中，90℃二段加热处理可以使鱼糜凝胶特性达到最佳。未漂洗鱼糜中，共检测出

成指纹分析图，来分析未漂洗鱼糜所含风味物质的具体差异。图 8 为不同温度下，未漂洗鱼糜中含有的挥发性物质指纹图谱，由图 8 可知，鱼肠中大部分物质相似，含量略有不同，图中红框标记处差异最大。结果表明，115℃和 121℃高温加热的未漂洗鱼糜的风味物质多于 90℃加热，同等温度下不同加热方式对鱼肠的风味影响不大。综合来看，115℃二段加热制成的鱼肠风味更佳。

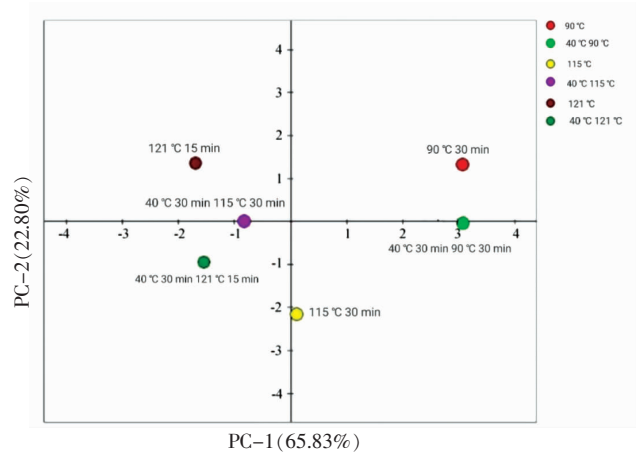


图 9 不同加热温度处理鱼肠滋味的影响

Fig.9 Effect of different heating temperatures on the taste of fish intestines

45 种挥发性风味物质，同温度下二段加热的白鲢鱼鱼肠风味更佳，其中，115℃二段式加热的鱼肠风味最佳。因此，采用二段式加热方法能有效改善未漂洗白鲢鱼鱼糜凝胶的品质，为未漂洗白鲢鱼

鱼糜制品的开发提供理论依据。

参 考 文 献

- [1] 农业农村部渔业渔政管理局, 全国水产技术推广总站, 中国水产学会. 中国渔业统计年鉴-2006[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006: 89.
The Fisheries and Fisheries Administration Bureau of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs, the National Aquatic Technology Promotion Station, China Society of Fisheries. China fisheries statistical yearbook-2006[M]. Beijing: China Agricultural Publishing House, 2006: 89.
- [2] 农业农村部渔业渔政管理局, 全国水产技术推广总站, 中国水产学会. 中国渔业统计年鉴-2023[M]. 北京: 中国农业出版社, 2023: 89.
The Fisheries and Fisheries Administration Bureau of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs, the National Aquatic Technology Promotion Station, China Society of Fisheries. China fisheries statistical yearbook-2023[M]. Beijing: China Agricultural Publishing House, 2023: 89.
- [3] 励建荣, 王忠强, 仪淑敏, 等. 天然抗氧化剂对鱼糜及鱼糜制品抗氧化能力及品质影响的研究进展[J]. 食品科学, 2021, 42(21): 1-7.
LI J R, WANG Z Q, YI S M, et al. Progress in research on the effect of natural antioxidants on the antioxidant capacity and quality of surimi and surimi products[J]. Food Science, 2021, 42(21): 1-7.
- [4] 熊泽语, 谢晨, 陈百科, 等. 不同添加物对未漂洗鱼糜大黄鱼鱼糜品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(10): 151-158.
XIONG Z Y, XIE C, CHEN B K, et al. Effects of different additives on the quality of non-rinsed large yellowcroaker surimi[J]. Food and Fermentation Industries, 2021, 47(10): 151-158.
- [5] 鲍佳彤, 宁云霞, 杨淇越, 等. 不同淀粉种类对未漂洗革胡子鲶鱼鱼糜凝胶特性的影响[J]. 肉类研究, 2020, 34(4): 27-33.
BAO J T, NING Y X, YANG Q Y, et al. Effects of different starch types on gel properties of unrinsed clarias gariepinus surimi[J]. Meat Research, 2020, 34(4): 27-33.
- [6] GRANATA L A. The seafood industry: Species, products, processing, and safety[J]. Journal of Aquatic Food Product Technology, 2012, 21(5): 524-537.
- [7] 暴伊芮, 吴燕燕, 赵前程, 等. 钙离子添加量对未漂洗海鲈鱼糜凝胶特性的影响[J]. 渔业现代化, 2021, 48(4): 106-112.
BAO Y R, WU Y Y, ZHAO Q C, et al. Effect of calcium ion adding on the gel properties of unrinsed minced meat of *Lateolabrax japonicas* [J]. Fishery Modernization, 2021, 48(4): 106-112.
- [8] 郑昇阳, 陈晓婷, 吴靖娜, 等. 凝胶化温度对大黄鱼鱼糜凝胶性质的影响[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2018, 40(12): 37-45.
ZHENG S Y, CHEN X T, WU J N, et al. Effect of gelation temperature on gelling properties of large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*) surimi [J]. Journal of Southwest University (Natural Science Edition), 2018, 40(12): 37-45.
- [9] 朱士臣, 冯媛, 刘书来, 等. 鱼糜凝胶热稳定性的增强技术研究进展[J]. 中国食品学报, 2022, 22(7): 384-396.
ZHU S C, FENG Y, LIU S L, et al. Recent advances of technologies to enhance thermal stability of surimi gel products[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2022, 22(7): 384-396.
- [10] GAO X, XIE Y R, YIN T, et al. Effect of high intensity ultrasound on gelation properties of silver carp surimi with different salt contents[J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2021, 70: 105326-105326.
- [11] SHARAF EDDIN A, ADEGOKE S C, IBRAHIM S A, et al. Fortification of surimi gels with camel milk[J]. Journal of Aquatic Food Product Technology, 2021, 30(5): 535-548.
- [12] CAO H W, FAN D M, JIAO X D, et al. Heating surimi products using microwave combined with steam methods: Study on energy saving and quality [J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2018, 47: 231-240.
- [13] PETCHARAT T, BENJAKUL S. Effect of gellan and calcium chloride on properties of surimi gel with low and high setting phenomena [J]. RSC Advances, 2017, 7(83): 52423-52434.
- [14] 中华人民共和国卫生部. 食品安全国家标准 食品pH值的测定: GB 5009.237-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
Ministry of Health of the People's Republic of China. National food safety standard - Determination of

- pH in foods: GB 5009.237-2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016.
- [15] HUANG J L, YE B B, WANG W, et al. Incorporation effect of inulin and microbial transglutaminase on the gel properties of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) surimi [J]. Journal of Food Measurement and Characterization, 2021, 15 (1): 1-11.
- [16] 李瑶瑶, 黄英瑶, 翟瑞意, 等. 柠檬醛纳米乳液对鲮鱼鱼糜凝胶品质及贮藏稳定性的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(24): 7843-7848.
- LI Y Y, HUANG Y Y, ZHAI R Y, et al. Effects of citral nano emulsion on the quality and storage stability of Spanish mackerel surimi gel[J]. Journal of Food Safety and Quality, 2022, 13(24): 7843-7848.
- [17] 张一鸣, 李思仪, 沈晓溪, 等. 加热方式对混合鱼糜凝胶特性的影响[J]. 食品工业科技, 2021, 42 (19): 64-69.
- ZHANG Y M, LI S Y, SHEN X X, et al. Effect of heating method on the characteristics of mixed chyme gel[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(19): 64-69.
- [18] MLEKO S. Effect of protein concentration on whey protein gels obtained by a two-stage heating process [J]. European Food Research & Technology, 2019, 209(6): 389-392.
- [19] 刘海梅, 熊善柏, 谢笔钧, 等. 鲢鱼糜凝胶形成过程中化学作用力及蛋白质构象的变化[J]. 中国水产科学, 2008, 15(3): 469-475.
- LIU H M, XIONG S B, XIE B J, et al. Changes of chemical forces and protein conformation during the formation of silver carp surimi gel[J]. Chinese Fisheries Science, 2008, 15(3): 469-475.
- [20] ZHANG L L, ZHANG F X, WANG X. Changes of protein secondary structures of pollock surimi gels under high-temperature (100 °C and 120 °C) treatment[J]. Journal of Food Engineering, 2016, 171 (18): 159-163.
- [21] 米红波, 王聪, 苏情, 等. 变性淀粉对白鲢鱼鱼糜凝胶特性和蛋白构象的影响[J]. 中国食品学报, 2021, 21(1): 72-80.
- MI H B, WANG C, SU Q, et al. Changes of chemical interactions and protein conformation during forming of silver carp surimi gel[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2021, 21(1): 72-80.
- [22] XU Y Q, YU J, XUE Y, et al. Enhancing gel performance of surimi gels via emulsion co-stabilized with soy protein isolate and κ -carrageenan[J]. Food Hydrocolloids, 2023, 135(85): 108217.
- [23] CHAIJAN M, BENIAKUL S, VISWSSANGUAN W, et al. The effect of freezing and aldehydes on the interaction between fish myoglobin and myofibrillar proteins[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2007, 55(11): 4562-4568.
- [24] 张兴, 杨玉玲, 马云, 等. pH对肌原纤维蛋白及其热诱导凝胶非共价键作用力与结构的影响[J]. 中国农业科学, 2017, 50(3): 564-573.
- ZHANG X, YANG Y L, MA Y, et al. Effects of pH on the non-covalent forces and structure of myofibrillar protein and heat induced gel[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2017, 50(3): 564-573.
- [25] 翟璐, 杨加成, 陈康, 等. 金枪鱼纳米鱼骨钙对鱼糜制品凝胶特性的影响[J]. 中国食品学报, 2022, 22(5): 180-188.
- ZHAI L, YANG J C, CHEN K, et al. Effect of tuna nanoscale fish bone calcium on gelation characteristic of surimi products[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2022, 22 (5): 180-188.
- [26] 唐淑玮, 高瑞昌, 曾名湧, 等. 鲟鱼鱼糜凝胶形成过程中的物理化学变化[J]. 食品科学, 2019, 40 (7): 82-87.
- TANG S W, GAO R C, ZENG M Y, et al. Physicochemical changes of sturgeon surimi during gelation[J]. Food Science, 2019, 40(7): 82-87.
- [27] WANG S Q, CHEN H T, SUN B G. Recent progress in food flavor analysis using gas chromatography-ion mobility spectrometry (GC-IMS)[J]. Food Chemistry, 2020, 315(81): 126158.
- [28] BASUNI M, HAYATI R, SIHALOHO M A, et al. Bioinformatics approach of predicted polyphenol reductase in Durian (*Durio zibethinus* Murr)[J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2019, 305(1): 012036.
- [29] 张涵, 秦磊, 刘宏伟, 等. 海参制品风味构成特点研究[C]// 中国食品科学技术学会第十三届年会论文摘要集, 北京: 中国食品科学技术学会, 2016: 1.
- ZHANG H, QIN L, LIU H W, et al. Study on the flavor composition characteristics of sea cucumber products[C]// Abstracts of the 13th Annual Meeting of CIFST, Beijing: Annual Meeting of the Chinese Institute of Food Science and Technology, 2016: 1.

- [30] YUAN X L, PENG X J, ZHONG L M, et al. Analysis of the characteristic flavor substances of boneless cold-eating rabbit under different pre-processing treatments[J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2021, 45(10): e15812.
- [31] PEINADO I, KOUTSIDIS G, AMES J. Production of seafood flavour formulations from enzymatic hydrolysates of fish by-products[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2016, 66: 444-452.
- [32] YI S M, JI Y, GUO Z H, et al. Gel properties and flavor characteristics of blended anchovy (*Engraulis japonicus*) mince and silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) surimi [J]. *RSC Advances*, 2020, 10(11): 6563-6570.
- [33] 张香, 叶翠, 卢涵, 等. 发酵香肠制作过程中菌群演替及挥发性风味成分变化规律[J]. *中国食品学报*, 2022, 22(5): 282-290.
- ZHANG X, YE C, LU H, et al. The succession of bacterial flora and the variation of volatile flavor components during the production of fermented sausage[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2022, 22(5): 282-290.
- [34] 詹思佳, 苏蔚莹, 王道梁, 等. 顶空-固相微萃取和同时蒸馏萃取法提取肉桂的挥发性成分[J]. *中国食品学报*, 2022, 22(12): 181-190.
- ZHAN S J, SU W Y, WANG D L, et al. Extraction of volatile components of rougui tea using the headspace-solid-phase microextraction and simultaneous distillation extraction [J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2022, 22(12): 181-190.
- [35] WANG Y Q, LI J X, WU Y Y, et al. Analysis of volatile compounds in sea bass (*Lateolabrax japonicus*) resulting from different slaughter methods using electronic-nose (E-Nose) and gas chromatography-ion mobility spectrometry [J]. *Molecules*, 2021, 26(19): 5889-5889.
- [36] FENG M M, DAI Z T, YIN Z S, et al. The volatile flavor compounds of Shanghai smoked fish as a special delicacy [J]. *Journal of Food Biochemistry*, 2020, 45(1): 13553-13553.
- [37] 丁羽萱, 王尧, 姚羿安, 等. 外源 γ -氨基丁酸对发芽大豆酚类物质富集及抗氧化能力的影响[J]. *食品科学*, 2021, 42(13): 72-78.
- DING Y X, WANG Y, YAO Y A, et al. Effect of exogenous γ -aminobutyric acid on the accumulation of phenolics and antioxidant capacity in germinated soybean [J]. *Food Science*, 2021, 42(13): 72-78.
- [38] 陈鹏羽, 李少博, 王卫, 等. 电子舌作用机理及其在肉品检测中的研究进展[J]. *食品研究与开发*, 2023, 44(1): 184-190.
- CHEN P Y, LI S B, WANG W, et al. Mechanism of electronic tongue and the application in meat quality detection: A review [J]. *Food Research and Development*, 2023, 44(1): 184-190.

Effects of Temperature and Heating Method on Gel and Flavor Characteristics of Unwashed Surimi

WANG Mengyu¹, MA Xingsheng², ZHANG Zhiming¹, WANG Wei¹, YI Shumin^{*},
LI Xuepeng¹, LI Jianrong¹, LIU Yingli³

¹College of Food Science and Technology, Bohai University, National and Local Joint Engineering Research Center for Processing and Safety Control Technology for Fresh Agricultural and Aquatic Products, National R&D Branch Center of Surimi and Surimi Products Processing, Key Technologies for Deep Processing of Marine Food: Provincial and Ministerial Collaborative Innovation Center, Jinzhou 121013, Liaoning

²State Key Laboratory of Marine Food Processing & Safety Control, Qingdao Bright Moon Seaweed Group Co., Ltd., Qingdao 266404, Shandong

³College of Food and Health, Beijing Technology and Business University, Beijing Advanced Innovation Center for Food Nutrition and Human Health, Beijing Engineering and Technology Research Center of Food Additives, Beijing 100048)

Abstract The effects of different gel temperatures (90, 115, 121 °C) and methods (one-stage heating, two-stage heating) on the gel properties, microstructure, protein expression distribution, and flavor of unwashed silver carp surimi were

analyzed. The results showed that the gel strength was the highest under the two-stage heating condition at 90 °C, reaching 56.72 g·cm. Moreover, the gel strength formed by two-stage heating was higher than that of one-stage heating (39.76, 8.96, 8.05 g·cm). Among all the samples, the whiteness of surimi gel was the highest (72.41%) at 90 °C two-stage heating treatment. Two-stage heating at 90 °C could significantly increase the water holding capacity of surimi ($P < 0.05$). When the temperature was 90, 115 °C and 121 °C, compared with one-stage heating treatment, the water holding capacity increased by 6.29%, 0.22% and 0.6%, respectively. The microstructure and sodium dodecyl sulfate-polyacrylamide gel electrophoresis (SDS-PAGE) showed that two-stage heating could promote the formation of protein gel network of unwashed surimi, making its structure more compact and more evenly distributed. The GC-IMS analysis showed that 45 kinds of volatile flavor substances were detected in the unwashed surimi. The flavor of the fish sausages prepared by the two treatments at 90 °C was similar. The flavor of the four groups of fish sausages prepared by heating at 115 °C and 121 °C was similar, and the flavor substances were more than those of the 90 °C group. Conclusion: Two-stage heating at 90 °C could improve the gel properties of surimi, and two-stage heating at 115 °C could make the fish sausage have the best flavor.

Keywords gel temperature; unwashed surimi; surimi gel; flavor