

5 种市售鳕鱼肠品质比较及风味分析

叶 繁¹, 陈 康^{1,2}, 陶美洁¹, 李思敏¹, 曹亚伦¹, 戴志远^{1,2}

(1. 浙江工商大学海洋食品研究院, 浙江 杭州 310012; 2. 浙江省水产品加工技术研究
联合重点实验室, 浙江 杭州 310012)

摘要: 文章以 5 种市售国内外鳕鱼肠为研究对象, 进行凝胶性能评价、脂肪酸组成及挥发性成分分析。结果表明, 5 种鳕鱼肠的凝胶强度分别为 3 394.39、3 109.18、2 790.72、3 204.49 和 3 742.91 g·mm; 白度分别为 69.61、66.63、63.88、76.46 和 76.78。5 种鳕鱼肠分别检出 17、15、22、19、15 种脂肪酸, 油酸、亚油酸和棕榈酸在 5 种鳕鱼肠中含量普遍较高, 多不饱和脂肪酸相对含量分别为 17.87%、26.42%、16.92%、59.56% 和 59.27%, 鱼肠 B 中含量最高的多不饱和脂肪酸为 DHA (13.28%)。5 种鳕鱼肠共检出 83 种挥发性物质, 其中醛类 6 种、酮类 5 种、酸酚类 6 种、烃类 25 种、醇类 8 种、酯类 22 种、其他类 11 种。鱼肠 A 中相对含量最高的是酸酚类物质 (61.12%), 而鱼肠 B 中酸酚类物质只占 7.66%; 鱼肠 B 中的挥发性物质以酯类为主, 含量达 50.68%; 在鱼肠 C 中酸酚类物质含量最高, 其次为酯类; 鱼肠 D 和鱼肠 E 中, 均为酯类物质含量最高, 分别为 43.12% 和 38.48%。

关键词: 鳕鱼肠; 凝胶性能; 脂肪酸; 挥发性成分

中图分类号: TS 254.1

文献标志码: A

开放科学 (资源服务) 标识码 (OSID):



Comparison of quality and volatile components among five brands of cod sausages

YE Fan¹, CHEN Kang^{1,2}, TAO Meijie¹, LI Simin¹, CAO Yalun¹, DAI Zhiyuan^{1,2}

(1. College of Seafood, Zhejiang Gongshang University, Hangzhou 310012, China; 2. State Key Laboratory of Aquatic Products Processing of Zhejiang Province, Hangzhou 310012, China)

Abstract: Five brands of cod sausages were evaluated for their gel properties, fatty acid composition and volatile components. Their gel strengths were 3 394.39 g·mm, 3 109.18 g·mm, 2 790.72 g·mm, 3 204.49 g·mm, 3 742.91 g·mm, respectively, while the whiteness was 69.61, 66.63, 63.88, 76.46 and 76.78, respectively. A total of 17, 15, 22, 19 and 15 fatty acids were detected. The contents of oleic acid, linoleic acid and palmitic acid were relatively high, while the relative contents of polyunsaturated fatty acids were 17.87%, 26.42%, 16.92%, 59.56% and 59.27%, respectively. The total amount of EPA and DHA in Brand B was the highest (18.00%). A total of 83 volatile components were identified, including six aldehydes, five ketones, six acid-phenols, 25 hydrocarbons, eight alcohols, 22 esters and 11 other components. Acid-phenols were the most in Brand A (61.12%) but only 7.66% in Brand B. The relative content of esters in Brand B was higher than those of the other components, reaching 50.68%. The volatiles were mainly composed of acid-phenols and esters in Brand C. In Brand D and Brand E, esters were the most, reaching 43.12% and 38.48%, respectively.

收稿日期: 2019-06-05; 修回日期: 2019-07-11

资助项目: “十二五”国家科技支撑计划项目 (2012BAD28B05)

作者简介: 叶 繁 (1995—), 女, 硕士研究生, 从事水产品加工与贮藏研究。E-mail: 328183169@qq.com

通信作者: 戴志远 (1958—), 男, 教授级高级工程师, 从事水产品加工与贮藏研究。E-mail: dzy@mail.zjgsu.edu.cn

Key words: cod sausage; gel properties; fatty acids; volatile components

鳕鱼是一种深海鱼, 主要产于北欧无污染的海洋深水区, 中国鳕鱼年加工量约 50 万吨, 主要种类是狭鳕 (*Theragra chalcogramma*), 多数用于生产冷冻鳕鱼片、鳕鱼块和鱼糜制品等^[1]。鳕鱼具有高营养、低胆固醇、营养成分易于被人体吸收等优点^[2]。鳕鱼肉中蛋白质占 16.8%, 比鲑鱼、三文鱼、带鱼都高, 脂肪质量分数约为 0.4%。鱼脂中含有人体必需的不饱和脂肪酸和钙 (Ca)、磷 (P)、铁 (Fe) 等各种微量元素, 以及维生素 A、维生素 B 等多种维生素, 还含有球蛋白、白蛋白, 且含有儿童发育所必需的各种氨基酸, 比例恰当, 与儿童的需要量十分接近^[3]。

鳕鱼肠是一种以鳕鱼为主要原料, 添加淀粉、调味料等辅料, 进行混合、挤压、加工成型的深加工食品。鳕鱼肠最先由韩国开发推广, 主要针对儿童消费群体, 具有品质高、口感好、营养丰富等优点, 深受消费者欢迎。目前, 中国鱼糜制品生产企业逐渐意识到儿童鱼肠类产品具有市场广泛、同类产品少、市场竞争较小等优点, 各大知名品牌陆续推出多种儿童鳕鱼肠产品。但是, 由于国内对鳕鱼肠产品的研究起步较晚, 产品品质相较于工艺已成熟的韩国产品差异显著。国内企业开发和生产鳕鱼肠的工艺在不断改进及完善, 但对其产品品质及风味成分进行研究的报道并不多, 而质地、营养价值和风味的评价对消费者选择购买产品尤为重要。针对国内外鳕鱼肠产品品质研究的空白, 本文以市售的 5 种鳕鱼肠为研究对象, 其中 A、B 为国产产品, C、D、E 为韩国原装进口产品, 对其质构特性、白度、脂肪酸组成和挥发性成分进行分析和比较, 以期为消费者购买选择提供一定的数据支

撑, 并为国内鳕鱼肠产品的配方及工艺改进提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

不同品牌的 5 种鳕鱼肠分为 A、B、C、D、E 组, 市购, 具体营养成分见表 1。其中 A、B 组为国产鳕鱼肠, C、D、E 组为韩国进口鳕鱼肠。

37 种脂肪酸甲酯标准品 (美国 Sigma-Aldrich 公司); 50% 三氟化硼-甲醇溶液, 分析纯 (山东西亚化学工业有限公司); 无水甲醇、丙酮、正己烷均为色谱纯 (国药集团化学试剂有限公司); 高纯氮气 (杭州今工特种气体有限公司); 氯仿、无水硫酸钠、氢氧化钾、氯化钠均为分析纯 (衢州巨化试剂有限公司)

1.2 仪器与设备

7890A 气相色谱仪 (美国 Agilent 仪器公司); TMS-Pro 专业研究级食品物性分析仪 (美国 FTC 公司); Hunter Lab 分光测色仪 (美国 Hunter Lab 公司); RC-6 Plus 高速冷冻离心机 (美国 Thermo Fisher 公司); Ultra-Turrax T-18 均质机 (德国 IKA 公司); RC-6 Plus 高速冷冻离心机 (美国 Thermo Fisher 公司); 自动恒温干燥箱 (上海市实验仪器总厂); DK-S 12 型电热恒温水浴锅 (上海森信实验仪器有限公司); DSY-III 型氮吹仪 (北京金科精华苑科技有限公司)。

1.3 方法

1.3.1 质构测定^[4] 采用 TPA 方法测定样品破断强度和凹陷深度。样品为高 30 mm 的圆柱体, 采

表1 5种鳕鱼肠配料表

Table 1 Ingredient list of five brands of cod sausages

鱼肠种类 brands of cod sausage	配料表 ingredient list
鱼肠 A Brand A	鳕鱼鱼糜、水、鸡肉、醋酸酯淀粉、猪肉、白砂糖、食用盐、味精、卡拉胶、瓜尔胶、黄原胶、柠檬酸、食用香精香料、山梨酸钾
鱼肠 B Brand B	冷冻鱼糜、水、淀粉、食用盐、白砂糖、味精、成品味淋酒、食用香精、DHA藻油
鱼肠 C Brand C	鳕鱼肉、碳酸钙、食用盐、木糖醇、小麦淀粉
鱼肠 D Brand D	冷冻鱼糜、水、肥膘、淀粉、食用盐、白砂糖、食用香精、山梨酸钾、味精、香辛料
鱼肠 E Brand E	金线鱼肉、鳕鱼肉、大豆油、淀粉、全鸡蛋液、鸡蛋清、麦芽糖、脱脂乳粉、乳清粉、谷氨酸钠、洋葱粉、麦芽糊精、酵母提取物、食用盐、谷朊粉、白砂糖

用 P/50 不锈钢球形探头, 直径 5 mm, 穿刺速度为 $60 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ 。凝胶强度为破断强度和凹陷深度的乘积^[5], 见公式 (1)。每组样品重复测量 5 次。

凝胶强度 ($\text{g} \cdot \text{mm}$) = 破裂强度 (g) $\times$ 凹陷深度 (mm) (1)

1.3.2 白度测定 参照 Park 方法^[6]。采用 Hunter Lab 分光测色仪测定 L^* (亮度)、 a^* (正值为红度/负值为绿度)、 b^* (正值为黄度/负值为蓝度)。每组重复测量 5 次。根据公式 (2) 计算白度 (W)。

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

1.3.3 脂肪酸组成测定 参照 Bligh 和 Dyer^[7] 方法。取 4 g 绞碎后的鱼肠放入离心管中, 加入 12 mL 氯仿-甲醇 (2:1, $V:V$) 混合液均质 3 min, 均质完全后超声 (超声频率 40 kHz, 超声功率 300 W) 提取 20 min, 低温 $8500 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 离心 15 min, 取下层液氮气吹干得油脂。在提取油脂中加入 5 mL $0.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 氢氧化钾-甲醇溶液, 于 65°C 水浴 20 min, 振摇至油滴消失。冷却后加入 2 mL 14% 三氟化硼-甲醇溶液, 于 65°C 水浴 5 min。再超声提取 10 min 后加入 2 mL 正己烷, 振摇后用 2 mL 饱和氯化钠淋洗上层, 静置分层取上层, 用无水硫酸钠脱水, 上层溶液过滤待测。采用峰面积归一化法分析各脂肪酸组分的相对含量。每组样品重复测试 3 次。

气相色谱条件为 HP-INNOWAX 毛细管色谱柱 ($30 \text{ m} \times 0.25 \text{ mm}$, $0.15 \mu\text{m}$); 升温程序: 初温 50°C 保持 2 min, 后以 $4^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ 升至 250°C , 保持 15 min; 进样口温度为 250°C , 分流比 40:1, 进样量 $1 \mu\text{L}$, 载气流速为 $0.65 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ 。

1.3.4 挥发性成分测定 取 4 g 样品装入顶空萃取瓶中, 70°C 平衡 10 min, 采用 $50 \mu\text{m}$ DVB/CAR/PDMS 涂层萃取头在吸附 40 min 后于 250°C 下解吸 4 min。

GC 条件为色谱柱, Trace TR-35MS ($30 \text{ m} \times 0.25 \text{ mm}$, $0.25 \mu\text{m}$); 载气 (氮气) 流速 $1 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$, 不分流; 进样口温度 250°C ; 升温程序: 柱温以 30°C 保持 1 min, $4^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ 从 30°C 升至 92°C , 保持 2 min, 再以 $5^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ 升至 200°C , 最后以 $6^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ 使温度上升至 240°C , 保持 4 min。

MS 条件为选择电子 (EI) 电离源; 电离电压 70 eV; 离子源温度为 250°C ; 传输线温度为 250°C , 检测器温度为 280°C , 质量扫描范围 m/z 33~450。扫描方式为全扫描。

1.4 数据分析

挥发性成分通过 NIST 2.0 数据库检索定性, 仅当正反匹配度均大于 800 (最大值为 1 000) 的鉴定结果予以保留, 按面积归一化法求得各挥发性成分的相对含量。通过 IBM SPSS Statistics 19.0 软件分析处理数据, 利用 Origin 2017 进行图表制作。结果用“平均值 $\pm$ 标准差 ($\bar{X} \pm \text{SD}$)”表示, 以 Duncan 检验进行方差分析, 如为两组样本均数比较, 使用 t 检验。显著性水平设定为 0.05, 当 $P < 0.05$ 时, 即为差异显著。

2 结果与分析

2.1 5 种鳕鱼肠质构特性分析

5 种鳕鱼肠的凝胶强度测定结果见表 2。5 种鳕鱼肠中, 鱼肠 E 的凝胶强度最高 ($3742.91 \text{ g} \cdot \text{mm}$), 可能是因为相对于其他产品, 鱼肠 E 添加了全鸡蛋液、鸡蛋清、乳粉、乳清粉和谷朊粉 5 种蛋白添加物, 而相关报道^[8-10]指出添加外源蛋白可以显著提高鱼糜制品的凝胶强度。鱼肠 A 也具有较高的凝胶强度 ($3394.39 \text{ g} \cdot \text{mm}$), 且同鱼肠 E 的差异不显著 ($P > 0.05$), 这可能是由于鱼肠 A 中多添加了卡拉胶、瓜尔胶、黄原胶, 相关研究^[11-13]发现添加亲水胶体可以增强鱼糜制品的凝胶强度, Luo 等^[14]

表2 5种鳕鱼肠凝胶强度对比

指标 index	鱼肠 A Brand A	鱼肠 B Brand B	鱼肠 C Brand C	鱼肠 D Brand D	鱼肠 E Brand E
破断强度/g breaking strength	429.05 $\pm$ 60.31 ^{ab}	362.23 $\pm$ 23.87 ^b	378.80 $\pm$ 26.28 ^b	428.23 $\pm$ 33.84 ^{ab}	439.63 $\pm$ 14.09 ^a
凹陷深度/mm depth of depression	8.05 $\pm$ 0.93 ^{ab}	8.62 $\pm$ 0.38 ^a	7.31 $\pm$ 0.28 ^b	7.66 $\pm$ 0.60 ^b	8.63 $\pm$ 0.51 ^a
凝胶强度/(g·mm) gel strength	3394.39 $\pm$ 471.57 ^{ab}	3109.18 $\pm$ 287.07 ^{bc}	2790.72 $\pm$ 277.61 ^c	3204.49 $\pm$ 307.20 ^{bc}	3742.91 $\pm$ 280.25 ^a

注: 同行上标字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$), 下同

Note: Values with different letters for the same index are significantly different ($P < 0.05$). The same case in the following tables.

研究表明添加亲水胶体在一定程度上抑制了低等级(2级)鳕鱼鱼糜制品的凝胶劣化现象从而提高其凝胶强度。同时,国内鱼肠A和B凝胶强度差异不显著($P>0.05$),而进口鱼肠C、D和E差异显著($P<0.05$),推测国内鱼肠产品更加注重凝胶特性,以添加胶体的方式提高鱼肠的凝胶强度,追求较好的口感(表2)。这是因为亲水胶体与肉糜中的盐溶蛋白以及不溶性蛋白质微粒在斩拌过程中充分混合,在加热过程中,蛋白质分子和胶体分子在水的作用下充分展开,蛋白质与蛋白质、蛋白质与多糖、多糖与多糖之间发生相互作用,形成致密、稳定的三维网状结构,提高了肉糜的凝胶强度和持水性能。但是儿童吃东西时,他们的咀嚼力和吞咽力较弱,根据日本厚生劳动省介护食品的凝胶强度最高限值($100\text{ g}\cdot\text{cm}$)^[15],国内外的鱼肠凝胶强度均过高,所以开发易消化、方便食用的鱼肠非常必要。

2.2 5种鳕鱼肠白度分析

白度是消费者对产品进行评价的一个重要依据,是鱼糜制品最直观的指标。鱼肠D和鱼肠E的白度显著高于其他3种($P<0.05$,图1)。这可能是由于鱼肠D添加了肥膘、鱼肠E添加了大豆油。Chang等^[16]研究发现,添加油脂可以显著增加鱼糜制品的白度,相关研究发现多种植物油都有增加鱼糜制品白度的作用^[17-19]。上述分析表明,国内鱼肠产品的白度指标同进口产品相比具有一定差距,后续鱼肠研究可以针对白度指标进行改进,提高国内产品的品质。但肥膘等动物脂肪里含有大量的饱和脂肪酸和胆固醇,大豆油含有大量的亚油酸,因此,国内鳕鱼肠企业可用大豆油等植物油代替动物脂肪来改善色泽,同时也能强化鱼肠的脂质营养价值。

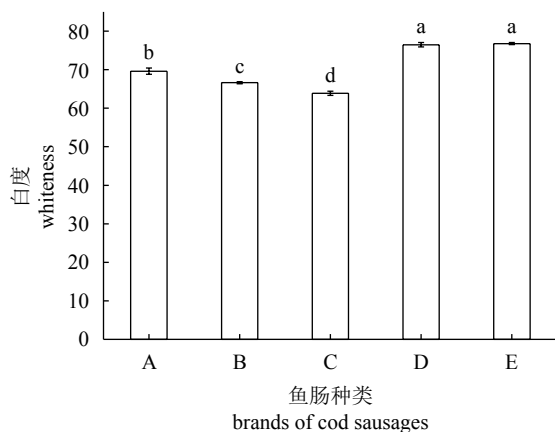


图1 5种鳕鱼肠白度对比

Figure 1 Whiteness of five brands of cod sausages

2.3 5种鳕鱼肠脂肪酸组成分析

5种鳕鱼肠中分别检出17、15、22、19、15种脂肪酸(表3)。鱼肠A中检出8种饱和脂肪酸(SFA)、4种单不饱和脂肪酸(MUFA)和5种多不饱和脂肪酸(PUFA);鱼肠B中检出8种SFA、3种MUFA和4种PUFA;鱼肠C中检出11种SFA、7种MUFA和4种PUFA;鱼肠D中检出6种SFA、6种MUFA和7种PUFA;鱼肠E中检出6种SFA、3种MUFA和6种PUFA。鱼肠A中3大类脂肪酸质量分数排序为MUFA(55.88%)>SFA(26.25%)>PUFA(17.87%);鱼肠B中为SFA(51.22%)>PUFA(26.42%)>MUFA(22.36%);鱼肠C中SFA(50.80%)>MUFA(31.89%)>PUFA(16.92%);鱼肠D中PUFA(59.56%)>SFA(24.65%)>MUFA(15.69%);鱼肠E中PUFA(59.27%)>MUFA(27.85%)>SFA(12.54%)。

5种鳕鱼肠含量最高的饱和脂肪酸均为棕榈酸(C16:0,为12.08%~28.51%),这可能是因为棕榈酸在很多淡水鱼和海水鱼中均较高。相关研究发现,黄线狭鳕鱼肉(33.55%)^[20]、狭鳕鱼皮(25.28%)^[21]、鲤(15.92%)^[22]、青干金枪鱼(*Thunnus tonggol*, 23.02%)^[23]中棕榈酸的含量都较高。在单不饱和脂肪酸中,油酸(C18:1n-9)含量均最高,其中在鱼肠A中高达52.90%,也是鱼肠A的最高含量脂肪酸。油酸可以有效降低血清总胆固醇和低密度脂蛋白胆固醇含量^[24],并具有调节血脂的功效^[25],还可以改善胰岛素抵抗及脂肪紊乱^[26]。在多不饱和脂肪酸中,鱼肠B含量最高的为DHA,其他4种鳕鱼肠均为亚油酸(C18:2n-6),这是由于鱼肠B中添加了富含DHA的藻油(DHA含量 $\geq 35\%$)。n-3多不饱和脂肪酸是海水鱼的重要特征脂肪酸,公认其具有降低心血管疾病发病风险的作用,同时还具有抗炎、细胞保护和抗氧化作用^[27-28]。鱼肠D和E富含n-6多不饱和脂肪酸,远远高于其他3种样品。研究表明,n-6多不饱和脂肪酸同样具有降低血压的效果,并且与n-3多不饱和脂肪酸相比效果更好^[29]。但也有研究指出,过多的n-6多不饱和脂肪酸反而会增加血液黏稠度,在低n-3多不饱和脂肪酸摄入时,不良作用更显著^[30]。因此,Raphael和Sordillo^[31]提出n-6 Σ PUFA/n-3 Σ PUFA可以作为脂肪酸营养价值的一个重要判断指标,并且该比值降至4:1时可以降低因心血管疾病导致的死亡

表3 5种鳕鱼肠脂肪酸组成及质量分数

Table 3 Fatty acids compositions and mass fractions of five brands of cod sausages

 $\bar{X} \pm \text{SD}; \%$

脂肪酸种类 fatty acid	鱼肠 A Brand A	鱼肠 B Brand B	鱼肠 C Brand C	鱼肠 D Brand D	鱼肠 E Brand E
辛酸 C8:0	0.44±0.01 ^b	12.11±1.30 ^a	0.51±0.04 ^b	ND	0.10±0.00 ^b
癸酸 C10:0	0.36±0.01 ^c	6.25±0.46 ^a	1.21±0.08 ^b	ND	0.09±0.00 ^c
十一碳酸 C11:0	ND	ND	0.11±0.01	ND	ND
十二碳酸 C12:0	0.08±0.00 ^c	0.27±0.01 ^b	1.42±0.09 ^a	ND	0.02±0.00 ^c
十三碳酸 C13:0	ND	ND	0.18±0.02	ND	ND
肉豆蔻酸 C14:0	1.25±0.01 ^c	3.58±0.05 ^b	5.63±0.35 ^a	1.29±0.02 ^c	0.21±0.02 ^d
十五碳酸 C15:0	0.05±0.00 ^c	0.64±0.01 ^a	0.60±0.04 ^b	0.07±0.00 ^c	0.05±0.01 ^c
棕榈酸 C16:0	23.11±0.01 ^b	21.32±0.74 ^d	28.51±0.46 ^a	22.11±0.00 ^c	12.08±0.02 ^c
十七碳酸 C17:0	0.24±0.00 ^b	ND	0.59±0.03 ^a	0.27±0.00 ^b	ND
硬脂酸 C18:0	ND	5.83±0.56 ^b	11.04±0.30 ^a	ND	ND
花生酸 C20:0	ND	1.20±0.04 ^b	0.99±0.01 ^a	ND	ND
二十二碳酸 C22:0	0.72±0.03 ^a	ND	ND	0.74±0.03 ^a	ND
二十四碳酸 C24:0	ND	ND	ND	0.17±0.01	ND
饱和脂肪酸 ΣSFA	26.25	51.22	50.8	24.65	12.54
肉豆蔻油酸 C14:1	ND	ND	0.70±0.05 ^a	0.03±0.00 ^b	ND
十五碳一烯酸 C15:1	ND	ND	0.18±0.01	ND	ND
棕榈油酸 C16:1	1.92±0.03 ^d	4.21±0.06 ^a	2.84±0.21 ^b	2.37±0.03 ^c	0.24±0.00 ^c
十七碳一烯酸 C17:1	0.20±0.00 ^b	ND	0.16±0.01 ^c	0.26±0.00 ^a	ND
油酸 C18:1n-9	52.90±0.08 ^a	16.43±0.57 ^c	27.51±1.04 ^b	11.48±0.01 ^d	27.39±0.05 ^b
花生烯酸 C20:1n-9	0.86±0.01 ^b	ND	0.18±0.01 ^c	1.36±0.06 ^a	0.22±0.02 ^c
二十四碳一烯酸 C24:1n-9	ND	1.73±0.02 ^a	0.33±0.02 ^b	0.19±0.01 ^c	ND
单不饱和脂肪酸 ΣMUFA	55.88	22.36	31.89	15.69	27.85
亚油酸 C18:2n-6	15.48±0.04 ^c	6.65±0.38 ^c	10.27±0.41 ^d	41.86±0.16 ^b	50.19±0.37 ^a
α -亚麻酸 C18:3n-3	1.06±0.01 ^c	ND	ND	1.26±0.03 ^b	6.95±0.05 ^a
γ -亚油酸 C18:3n-6	ND	ND	ND	14.79±0.02 ^a	0.40±0.02 ^b
顺-11,14,17-二十碳三烯酸 C20:3n-3	0.46±0.02 ^d	1.77±0.07 ^a	1.06±0.03 ^b	0.51±0.01 ^{cd}	0.53±0.03 ^c
顺-8,11,14-二十碳三烯酸 C20:3n-6	ND	ND	ND	0.11±0.01	ND
二十碳五烯酸 C20:5n-3 (EPA)	0.21±0.01 ^c	4.72±0.04 ^a	1.92±0.14 ^b	0.27±0.02 ^c	0.25±0.01 ^c
二十二碳六烯酸 C22:6n-3 (DHA)	0.67±0.06 ^c	13.28±0.24 ^a	3.68±0.24 ^b	0.77±0.06 ^c	0.94±0.08 ^c
多不饱和脂肪酸 ΣPUFA	17.87	26.42	16.92	59.56	59.27
EPA+DHA	0.88	18	5.59	1.04	1.19
n-3 ΣPUFA	2.39	19.77	6.65	2.81	8.67
n-6 ΣPUFA	15.48	6.65	10.27	56.75	50.6
n-6 ΣPUFA /n-3 ΣPUFA	6.47	0.34	1.54	20.22	5.83
$\Sigma\text{PUFA}/\Sigma\text{SFA}$	0.68	0.52	0.33	2.42	4.72

注: ND. 未检出; 表4 同此

Note: ND. not detected. The same case in Table 4.

率。参照这一标准, 鱼肠 B 和鱼肠 C 的 $n-6$ Σ PUFA/ $n-3$ Σ PUFA 远远低于该限值。国内外的鳕鱼肠以儿童为主要消费对象, 因此国内产品鱼肠 B 最适合儿童食用, 其 $n-6$ Σ PUFA/ $n-3$ Σ PUFA (0.34) 对于人体是有益的, 且相对于其他 4 种鱼肠, 其 DHA 含量最高, DHA 是婴幼儿神经细胞发育过程中重要的营养成分, 能促进大脑发育和视网膜的形成。鱼肠 B 中还富含 DHA 藻油, 其提取自海洋微藻, 未经过食物链传递, 相对更安全。

2.4 5种鳕鱼肠挥发性成分分析

5种鳕鱼肠共检出 84 种挥发性物质, 其中醛类 6 种、酮类 5 种、酸酐类 6 种、烃类 25 种、醇类 8 种、酯类 22 种、其他类 11 种(表 4)。鱼肠 A、B、C、D、E 中分别检出 26、21、36、31、34 种挥发性物质。不同品牌鱼肠中挥发性物质的组成和相对含量差异较大, 鱼肠 A 中相对含量最高的是酸酐类物质 (61.12%), 而鱼肠 B 中酸酐类物质只占 7.66%; 鱼肠 B 中的挥发性物质以酯类为主, 含量达 50.68%; 在鱼肠 C 中含量最高的是酸酐类物质, 其次是酯类; 在鱼肠 D 和鱼肠 E 中, 酯类物质含量均最高, 分别为 43.12% 和 38.48%。一些挥发物质在 5 种鱼肠中均有检出, 如己醛、壬醛、2,3-二氢-1,1,3-三甲基-3-苯基-1*H*-茛、乙醇、1-辛烯-3-醇、棕榈酸乙酯、癸二酸二丁酯。而某些挥发物质仅存在于某种鱼肠中, 如环庚三烯、3-乙酰基-4-羟基-6-甲基-2*H*-吡喃-2-酮、2-丁酮、香草醛仅在鱼肠 A 中被检测出, 辛酸、2,2-二甲基联苯仅在鱼肠 B 中被检出, (*R*)-4-萜品醇仅在鱼肠 C 中被检出。

鱼肠 A、D、E 中检测到的醛类物质含量均较高, 分别为 12.64%、10.22%、11.70%。因为醛类物质的阈值较低, 因此这些醛类物质对这 5 种鱼肠的总体风味起到关键作用。5 种鱼肠中均检出己醛、壬醛。Kealy^[32] 研究发现, 含有 6~10 个碳 (C) 的醛类对肉香味的形成具有重要作用, 是熟肉的主要风味成分。5 种鱼肠中, 壬醛在醛类中的含量均较高, 壬醛已被鉴定出广泛存在于海水鱼及淡水鱼中, 有强烈的脂肪气息, 稀释时具有橙子及玫瑰香调, 是黄鱼、鳗鱼、鲳鱼和马鲛鱼的主体香气成分^[33]。另外, 在鱼肠 B 中, 含量最高的醛类为苯甲醛, 该物质主要具苦杏仁味, 除鱼肠 D 外, 其余鱼肠均检出该物质, 研究发现苯甲醛是猪肉特有的风味物质^[34], 而只有鱼肠 A 的配料表中标识猪

肉成分, 从而导致有苯甲醛检出。在 5 种鱼肠中, 酮类物质不仅种类最少, 且含量也较低, 相对含量均低于 5%。在鱼肠中共检测出 4 种酚类、2 种酸类物质, 其中, 乙基麦芽酚、3-烯丙基-6-甲氧基苯酚分别是鱼肠 A、鱼肠 C 中含量最高的挥发性物质。乙基麦芽酚作为一种香味改良剂、增香剂, 是一种公认的安全、可靠、用量少、效果显著的食品添加剂。白晓莉等^[35] 在水香蒿香料中鉴定出 3-烯丙基-6-甲氧基苯酚, 水香蒿酯类含量较高, 具有明显的清香, 是一种较理想的天然植物香料, 可以作为香料应用于食品、卷烟等方面。除鱼肠 A 外, 其他 4 种鱼肠都检测出较高含量的烃类化合物, 其中鱼肠 B、C、D、E 中烃类含量分别为 28.86%、12.28%、14.44%、20.21%, 包括烷烃、烯烃以及芳香烃。这类化合物的阈值一般都比较低, 对于食品的风味贡献不大。其中萜类化合物主要来自于鱼肠中的调味香料, 如雪松烯、3-蒎烯、 α -蒎烯等。Ekundayo 等^[36] 在胡椒粉中检测到 α -蒎烯、蒎烯, 在红辣椒中检出石竹烯、柠檬烯^[37]。醇类物质主要来自于脂肪的氧化降解, 它们的阈值一般较高, 对产品风味的贡献不大; 但随着碳链的增长, 可以产生出脂肪香的特征^[38]。鱼肠 D、E 的醇类含量较高, 而鱼肠 A、B、C 较低, 可能是因为醇类物质是由 $n-3$ 和 $n-6$ 多不饱和脂肪酸二级氢过氧化物的降解产物^[39], 与上文中脂肪酸成分的检测结果相符。5 种鱼肠中均检出 1-辛烯-3-醇这类化合物, 其普遍存在于淡水鱼及海水鱼的挥发性香味物质中, 其阈值仅 $1 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 在鳕鱼肉中的相对气味活度值 (ROAV 值) 为 1.13, 是鳕鱼肉的主体香气成分^[33]。5 种鱼肠中检测到的酯类物质种类较多, 其中鱼肠 A 酯类含量最低 (11.95%), 其他 4 种鱼肠中的酯类含量介于 28.27%~50.68%, 这类物质通常呈现一种清甜的果香^[40], 给鱼肠带来愉快的风味。鱼肠 A 和鱼肠 D 中均检出 2-甲基噻吩, 这种杂环含硫化合物有浓郁烤肉或煮肉香味, 且对肉风味具有特别重要作用。仅在鱼肠 A 和鱼肠 B 中检出吡嗪类物质, 分别占 1.62% 和 0.65%。吡嗪类化合物是美拉德反应的产物, 它们一般形成于食品的烹饪过程。虽然其相对含量较低, 但是这类物质的感官阈值相当低^[41], 具有烤香、咖啡香、肉香等特征, 对鱼肠的整体风味具有重要贡献。仅在鱼肠 B 和鱼肠 C 中检出 2-乙基呋喃, 这类化合物通常具有很强的肉香味和极低的阈值^[42]。

表4 5种鳕鱼肠挥发性成分组成与相对含量

Table 4 Volatile compounds and relative contents of five brands of cod sausages

化合物 compound	相对含量/% relative content				
	鱼肠 A Brand A	鱼肠 B Brand B	鱼肠 C Brand C	鱼肠 D Brand D	鱼肠 E Brand E
醛类 aldehydes					
己醛 hexenal	0.59	0.65	0.67	2.51	2.35
香草醛 vanillin	1.86	ND	ND	ND	ND
苯甲醛 benzaldehyde	1.84	1.84	1.32	ND	2.12
壬醛 nonanal	6.93	1.03	2.18	7.02	6.05
辛醛 octanal	0.83	ND	0.37	ND	1.18
(<i>E</i>)-2-甲基-2-丁烯醛 (<i>E</i>)-2-methyl-2-butenal	0.59	ND	ND	0.70	ND
酮类 ketones					
3-乙酰基-4-羟基-6-甲基-2 <i>H</i> -吡喃-2-酮 3-acetyl-4-hydroxy-6-methyl-2 <i>H</i> -pyran-2-one	1.53	ND	ND	ND	ND
2-丁酮 2-butanone	1.09	ND	ND	ND	ND
2-壬酮 2-nonanone;	ND	0.31	0.21	ND	ND
2,6-二甲基-4-庚酮 2,6-dimethyl-4-heptanone	ND	ND	ND	ND	2.27
4,6-二甲基-2-庚酮 4,6-dimethyl-2-heptanone	ND	ND	ND	ND	1.96
酸酚类 acid-phenols					
乙基麦芽酚 2-ethyl-3-hydroxy-4 <i>H</i> -pyran-4-one	59.72	ND	ND	11.11	ND
甲基丁香酚 1,2-dimethoxy-4-(2-propenyl) benzene	ND	ND	6.28	ND	0.94
3-烯丙基-6-甲氧基苯酚 3-allyl-6-methoxyphenol	ND	ND	37.48	ND	9.11
2,6-二叔丁基苯酚 2,6-bis (1,1-dimethylethyl) phenol	ND	ND	ND	ND	1.42
山梨酸 sorbic acid	1.40	ND	ND	3.89	ND
辛酸 octoic acid	ND	7.66	ND	ND	ND
烃类 hydrocarbons					
十一烷 undecane	0.52	ND	ND	0.83	0.73
十四烷 tetradecane	ND	5.88	ND	ND	0.83
十五烷 pentadecane	ND	12.52	0.90	ND	ND
十六烷 hexadecane	ND	ND	ND	1.42	ND
2,6,10-三甲基十四烷 2,6,10-trimethyltetradecane	ND	4.67	ND	1.20	0.89
2,6,10-三甲基十六烷 2,6,10-trimethylhexadecane	ND	ND	ND	ND	0.69
8-丙氧基雪松烷 8-propoxy-cedrane	ND	ND	0.38	1.47	ND
环庚三烯 1,3,5-cycloheptatriene	0.36	ND	ND	ND	ND
雪松烯 cedren	1.19	ND	0.44	1.58	1.26
3-蒎烯 3-carene	ND	ND	0.65	ND	1.66
β -蒎烯 β -pinene	ND	ND	0.27	ND	0.61
α -蒎烯 α -copaene	ND	ND	0.34	ND	0.81
(<i>R</i>)-1-甲基-5-(1-甲基乙烯基) 环己烯 (<i>R</i>)-1-methyl-5-(1-methylethenyl) cyclohexene	ND	ND	1.50	ND	ND
β -石竹烯 β -caryophyllene	ND	ND	4.24	ND	5.78
β -倍半水芹烯 [S-(<i>R</i> *, <i>S</i> *)]-3-(1,5-dimethyl-4-hexenyl)-6-methylene-cyclohexene	ND	ND	ND	1.09	ND
α -姜黄烯 1-(1,5-dimethyl-4-hexenyl)-4-methyl-benzene	ND	ND	ND	2.04	ND
姜烯 [S-(<i>R</i> *, <i>S</i> *)]-5-(1,5-dimethyl-4-hexenyl)-2-methyl-1,3-cyclohexadiene	ND	ND	ND	2.25	ND

续表 4

to be continued

化合物 compound	相对含量/% relative content				
	鱼肠 A Brand A	鱼肠 B Brand B	鱼肠 C Brand C	鱼肠 D Brand D	鱼肠 E Brand E
(Z,Z,Z)-1,5,9,9-四甲基-1,4,7-环十一碳三烯 (Z,Z,Z)-1,5,9,9-tetramethyl-1,4,7-cycloundecatriene	ND	ND	0.53	ND	ND
D-柠檬烯 D-limonene	ND	ND	ND	ND	2.87
2,3-二氢-1,1,3-三甲基-3-苯基-1 <i>H</i> -茚 2,3-dihydro-1,1,3-trimethyl-3-phenyl-1 <i>H</i> -indene	0.43	4.55	0.79	2.56	0.37
2,2-二甲基联苯 2,2-dimethylbiphenyl	ND	1.25	ND	ND	ND
对二甲苯 <i>p</i> -xylene	ND	ND	0.37	ND	ND
联苯 biphenyl	ND	ND	1.90	ND	ND
邻二甲苯 <i>o</i> -xylene	ND	ND	ND	ND	0.72
甲苯 toluene	ND	ND	ND	ND	2.98
醇类 alcohols					
乙醇 ethyl alcohol	1.47	4.83	1.38	6.37	6.91
1-辛烯-3-醇 1-octen-3-ol	0.93	0.47	0.58	0.92	0.75
松油醇 <i>p</i> -menth-1-en-8-ol	ND	ND	0.32	ND	ND
(<i>R</i>)-4-萜品醇 (<i>R</i>)-4-methyl-1-(1-methylethyl)-3-cyclohexen-1-ol	ND	ND	0.77	ND	ND
正丁醇 1-butanol	ND	ND	ND	3.19	ND
(<i>R</i>)-1,2-丙二醇 (<i>R</i>)-1,2-propanediol	ND	ND	ND	ND	0.59
2-乙基己醇 2-ethyl-1-hexanol	ND	ND	ND	ND	3.66
苯甲醇 benzyl alcohol	ND	ND	ND	ND	1.58
酯类 esters					
邻苯二甲酸单(2-乙基己基)酯 1,2-benzenedicarboxylic acid, mono(2-ethylhexyl) ester	1.03	ND	ND	ND	ND
异硬脂酸甲酯 16-methyl-heptadecanoic acid, methyl ester	0.84	ND	0.28	0.42	ND
庚酸丁酯 heptanoic acid, butyl ester	1.22	ND	ND	1.84	ND
棕榈酸乙酯 hexadecanoic acid, ethyl ester	0.62	1.74	2.15	0.63	1.05
癸二酸二丁酯 decanedioic acid, dibutyl ester	8.22	22.76	10.04	22.71	23.74
癸酸乙酯 decanoic acid, ethyl ester	ND	17.03	ND	4.25	ND
乙酰柠檬酸三丁酯 acetyltributyl citrate	ND	0.81	2.02	0.68	4.57
硬脂酸甲酯 octadecanoic acid, methyl ester	ND	1.00	ND	ND	ND
辛酸乙酯 octanoic acid, ethyl ester	ND	7.35	ND	ND	ND
丁二酸二甲酯 butanedioic acid, dimethyl ester	ND	ND	0.76	ND	ND
棕榈酸甲酯 hexadecanoic acid, methyl ester	ND	ND	0.35	ND	ND
己二酸异丁酯 hexanedioic acid, bis(2-methylpropyl)ester	ND	ND	0.98	ND	5.30
己二酸二甲酯 hexanedioic acid, dimethyl ester	ND	ND	2.70	ND	ND
戊二酸二甲酯 pentanedioic acid, dimethyl ester	ND	ND	6.29	ND	ND
丙二醇甲醚醋酸酯 1-methoxy-2-propyl acetate	ND	ND	2.71	ND	ND
丁位十二内酯 6-heptyltetrahydro-2 <i>H</i> -pyran-2-one	ND	ND	ND	0.96	ND
乙酸丙酯 <i>n</i> -propyl acetate	ND	ND	ND	1.55	ND
乙酸乙酯 ethyl acetate	ND	ND	ND	7.74	ND
山梨酸乙酯 (<i>E,E</i>)-2,4-hexadienoic acid, ethyl ester	ND	ND	ND	2.34	ND
2-乙基己基乙酸酯 acetic acid, 2-ethylhexyl ester	ND	ND	ND	ND	1.31

续表 4

to be continued

化合物 compound	相对含量/% relative content				
	鱼肠 A Brand A	鱼肠 B Brand B	鱼肠 C Brand C	鱼肠 D Brand D	鱼肠 E Brand E
十四酸乙酯 tetradecanoic acid, ethyl ester	ND	ND	ND	ND	0.45
二乙二醇单乙基醚醋酸酯 2-(2-ethoxyethoxy)-ethanol, acetate	ND	ND	ND	ND	2.08
其他 other components					
2-(氮杂环丙烷-1-基) 乙胺 (2-aziridinylethyl) amine	1.88	ND	ND	2.78	ND
2,3-二甲基吡嗪 2,3-dimethylpyrazine	0.79	ND	ND	ND	ND
2,3-二乙基吡嗪 2,3-diethylpyrazine	0.83	ND	ND	ND	ND
2-甲基噻吩 2-methylthiophene	1.14	ND	ND	2.38	ND
2-正戊基呋喃 2-pentylfuran	1.60	ND	ND	1.58	ND
甲氧基苯基酚 methoxy-phenyl-oxime	ND	2.68	ND	ND	ND
2-乙基呋喃 2-ethylfuran	ND	0.34	0.41	ND	ND
2,5-二甲基吡嗪 2,5-dimethylpyrazine	ND	0.65	ND	ND	ND
苯基醚 diphenyl ether	ND	ND	5.49	ND	ND
异丙基二硫醚 bis (1-methylethyl) disulfide	ND	ND	1.36	ND	ND
2,4,5-三氯甲苯 2,4,5-trichlorotoluene	ND	ND	ND	0.42	ND

3 结论

通过对鳕鱼肠凝胶性能、脂肪酸组成和挥发性成分进行分析和比较, 鱼肠 E 的凝胶强度最高 (3 742.91 g·mm), 国内鱼肠 A 和 B 凝胶强度差异不显著 ($P>0.05$), 而进口鱼肠 C、D 和 E 差异显著 ($P<0.05$)。国内鱼肠产品更注重提高凝胶强度, 通过添加亲水胶体制备高凝胶强度的鱼肠。鱼肠 D 和鱼肠 E 的白度显著高于其他 3 种鱼肠 ($P<0.05$), 国内鱼肠企业可考虑将紫苏籽油、亚麻籽油等植物油添加至鱼肠中, 并找到最优的添加量, 以达到既改善鱼肠品质又增加营养的目的。

5 种鳕鱼肠在脂肪酸组成和含量上差异性较大, 5 种鳕鱼肠中油酸、亚油酸和棕榈酸含量均较高, 而仅有鱼肠 B 和鱼肠 C 的 $n-6 \Sigma PUFA/n-3 \Sigma PUFA$ 低于 4.0 的限值, 具有较好的脂肪酸营养价值。国内产品鱼肠 B 最适合儿童食用, 其中添加了藻油, 使得鱼肠 B 中 DHA 含量远高于其他 4 种鱼肠。

5 种鳕鱼肠共检出 83 种挥发性物质, 其中醛类 6 种、酮类 5 种、酸酚类 6 种、烃类 25 种、醇类 8 种、酯类 22 种、其他类 11 种。与韩国进口鱼肠相比, 国内鱼肠的挥发性物质种类较少, 鱼肠 A 中相对含量最高的是酸酚类物质 (61.12%), 而鱼肠 B 中酸酚类物质只占 7.66%; 鱼肠 B 中的挥发

性物质以酯类为主, 含量达 50.68%; 鱼肠 C 中含量最高的是酸酚类物质, 其次是酯类; 鱼肠 D 和鱼肠 E 中酯类物质含量均最高, 分别为 43.12% 和 38.48%。仅在鱼肠 A 和鱼肠 B 中检出吡嗪类物质, 这可能是由于国内产品生产时加热温度较高、时间较长, 加强了美拉德反应。

参考文献:

[1] HELSER T E, COLMAN J R, ANDERL D M, et al. Growth dynamics of Saffron cod (*Eleginus gracilis*) and Arctic cod (*Boreogadus saida*) in the Northern Bering and Chukchi Seas[J]. Deep-Sea Res Pt II, 2017, 135(7): 66-77.

[2] 路鑫. 鳕鱼与猪肉的重组加工研究 [D]. 长春: 吉林农业大学, 2013: 4-5.

[3] 许昌鑫. 鳕鱼排中蛋白质和鱼骨明胶的提取研究 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2014: 10-12.

[4] 陈海华, 薛长湖. 不同添加物对鲤鱼鱼糜蛋白凝胶品质改良的研究 [J]. 食品与发酵工业, 2008, 32(10): 79-84.

[5] 仪淑敏, 李欢, 陈思, 等. 鱼骨粉对金线鱼糜凝胶特性的影响 [J]. 食品科学, 2017, 38(9): 1-7.

[6] PARK J W. Surimi gel colors as affected by moisture content and physical conditions[J]. J Food Sci, 1995, 60(1): 15-18.

[7] BLIGH E G, DYER W J. A rapid method for total lipid extraction and purification[J]. Can J Biochem Physiol, 1959, 37(8): 911-917.

[8] CAMPODEAÑO L, TOVAR C. The effect of egg albumen on the viscoelasticity of crab sticks made from Alaska pollock and Pacific whiting surimi[J]. Food Hydrocoll, 2009, 23(7): 1641-1646.

- [9] 王冬妮, 范馨茹, 祁立波, 等. 淀粉和蛋白类添加物对鲑鱼鱼糜凝胶特性的影响[J]. 中国食品学报, 2018, 18(4): 65-70.
- [10] 王崑, 马兴胜, 仪淑敏, 等. 面筋蛋白和大米蛋白对鲑鱼鱼糜凝胶特性的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(11): 46-51.
- [11] FILIPI I, LEE C M. Preactivated iota-carrageenan and its rheological effects in composite surimi gel[J]. LWT-Food Sci Technol, 1998, 31(2): 129-137.
- [12] 陈海华, 薛长湖. 亲水胶体对大头狗母鱼鱼糜凝胶特性的影响[J]. 食品科学, 2009, 30(5): 40-45.
- [13] HASANPOUR F, HOSEINI E, MOTALEBI A A, et al. Effects of soy protein concentrate and Xanthan gum on physical properties of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) surimi[J]. Iran J Fish Sci, 2012, 11(3): 518-530.
- [14] LUO Y, KUWAHARA R, KANENIWA M, et al. Effect of soy protein isolate on gel properties of Alaska pollock and common carp surimi at different setting conditions[J]. J Sci Food Agr, 2004, 84(7): 663-671.
- [15] 钱娟. 罗非鱼低盐鱼糜的凝胶特性及其制品的研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2013: 19-22.
- [16] CHANG T, WANG C J, WANG X F, et al. Effects of soybean oil, moisture and setting on the textural and color properties of surimi gels[J]. J Food Quality, 2015, 38(1): 53-59.
- [17] SHI L, WANG X F, CHANG T, et al. Effects of vegetable oils on gel properties of surimi gels[J]. LWT-Food Sci Technol, 2014, 57(2): 586-593.
- [18] ZHOU X X, JIANG S, ZHAO D D, et al. Changes in physico-chemical properties and protein structure of surimi enhanced with camellia tea oil[J]. LWT-Food Sci Technol, 2017, 84: 562-571.
- [19] GANI A, BENJAKUL S, NUTHONG P. Effect of virgin coconut oil on properties of surimi gel[J]. J Food Sci Technol, 2018, 55(2): 496-505.
- [20] 张红霞. 我国三个常见海域消费对健康影响的风险-获益平衡研究[D]. 太原: 山西医科大学, 2014: 4-5.
- [21] 楼乔明, 张问, 刘连亮, 等. 狭鳕鱼皮脂肪酸组成分析及其营养评价[J]. 核农学报, 2016, 30(2): 332-337.
- [22] 孙家娟, 张帆, 李永志, 等. 鲤鱼肌肉脂肪酸组成的 GC/MS 分析[J]. 化学工程师, 2017, 5(5): 27-29, 13.
- [23] 郑振霄, 童玲, 徐坤华, 等. 2种低值金枪鱼赤身肉的营养成分分析与评价[J]. 食品科学, 2015, 36(10): 114-118.
- [24] VAFEIADOU K, WEECH M, ALTOWAIJRI H, et al. Replacement of saturated with unsaturated fats had no impact on vascular function but beneficial effects on lipid biomarkers, E-selectin, and blood pressure: results from the randomized, controlled Dietary Intervention and VAScular function (DIVAS) study[J]. Am J Clin Nutr, 2015, 102(1): 40-48.
- [25] SCHWINGSHACKL L, HOFFMANN G. Monounsaturated fatty acids, olive oil and health status: a systematic review and meta-analysis of cohort studies[J]. Lipids Health Dis, 2014, 13(1): 154-155.
- [26] FINUCANE O M, LYONS C L, MURPHY A M, et al. Monounsaturated fatty acid-enriched high-fat diets impede adipose NLRP3 inflammasome-mediated IL-1 beta secretion and insulin resistance despite obesity[J]. Diabetes, 2015, 64(6): 2116-2128.
- [27] KROMHOUT D, YASUDA S, GELEIJNSE J M. Fish oil and omega-3 fatty acids in cardiovascular disease: do they really work?[J]. Eur Heart J, 2012, 33(4): 436-443.
- [28] HAMMAD S, PU S H, JONES P J. Current evidence supporting the link between dietary fatty acids and cardiovascular disease[J]. Lipids, 2016, 51(5): 507-517.
- [29] CHIUVE S E, RIMM E B, SANDHU R K, et al. Dietary fat quality and risk of sudden cardiac death in women[J]. Am J Clin Nutr, 2012, 96(3): 498-507.
- [30] PATTERSON E, WALL R, FITZGERALD G F, et al. Health implications of high dietary omega-6 polyunsaturated fatty acids[J]. J Nutr Metab, 2012(2): 539426-539427.
- [31] RAPHAEL W, SORDILLO L M. Dietary polyunsaturated fatty acids and inflammation: the role of phospholipid biosynthesis[J]. Int J Mol Sci, 2013, 14(10): 21167-21188.
- [32] KEALY R D. Synergistic flavor enhancing coatings for cat foods composition comprising citric and phosphoric acids: United States 3930031[P]. 1974-07-11.
- [33] 田迪英, 焦慧, 陶崴, 等. 5种海鱼挥发性风味成分分析[J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(10): 155-159.
- [34] 何宇洁. 液熏灌肠加工工艺研究及其挥发性风味物质的检测[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2012: 34-40.
- [35] 白晓莉, 郑琳, 刘煜宇, 等. 水香薷香料的制备及挥发性成分分析[J]. 中国食品添加剂, 2011(3): 144-146, 157.
- [36] EKUNDAYO O, LAAKSO I, ADEGBOLA R M, et al. Essential oil constituents of Ashanti pepper (*Piper guineense*) fruits (Berries)[J]. J Agr Food Chem, 1988, 36(5): 880-882.
- [37] GUADAYOL J M, CAIXACH J, RIBE J, et al. Extraction, separation and identification of volatile organic compounds from paprika oleoresin (Spanish type)[J]. J Agr Food Chem, 1997, 45(5): 1868-1872.
- [38] 颜桂阜. 冷藏鳕鱼调理食品加工工艺研究[D]. 无锡: 江南大学, 2012: 28-29.
- [39] KAWAI T, SAKAGUCHI D M. Fish flavor[J]. Crit Rev Food Sci, 1996, 36(3): 257-298.
- [40] 张娜, 袁信华, 过世东, 等. 中华绒螯蟹挥发性物质的研究[J]. 食品与发酵工业, 2008, 34(3): 141-144, 148.
- [41] LUAN F, WANG X H, LIU H T, et al. Studies on the quantitative relationship between the olfactory thresholds of pyrazine derivatives and their molecular structures[J]. Flavour Fragr J, 2009, 24(2): 62-68.
- [42] CALKINS C R, HODGEN J M. A fresh look at meat flavor[J]. Meat Sci, 2007, 77(1): 63-80.