

张艳,王圣开,聂青玉,等.不同原料预制烤鱼的营养成分及质构特性分析[J].食品工业科技,2023,44(22):233-240. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023010082

ZHANG Yan, WANG Shengkai, NIE Qingyu, et al. Analysis on the Nutritional Components and Texture Characteristics of Prefabricated Grilled Fish with Different Fish Species[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(22): 233-240. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2023010082

· 分析检测 ·

不同原料预制烤鱼的营养成分及 质构特性分析

张 艳^{1,*},王圣开²,聂青玉¹,付 勋¹,冯婷婷¹
(1.重庆三峡职业学院农林科技学院,重庆 404155;
2.重庆市万州食品药品检验所,重庆 404000)

摘 要:为探究不同淡水鱼生产预制烤鱼的开发价值,实现预制烤鱼品类多样化发展,以6种常见淡水鱼加工的预制烤鱼为对象,进行营养成分及质构特性分析。结果表明,6种烤鱼水分和灰分含量无显著差异($P>0.05$),蛋白质含量为21.87%~24.28%,脂肪含量均较低。谷氨酸、天冬氨酸和赖氨酸含量高,必需氨基酸总量在7.71~9.42 g/100 g,其中,鲤鱼与武昌鱼必需氨基酸含量较高,其次是罗非鱼和草鱼;武昌鱼、鲤鱼、罗非鱼鲜味氨基酸含量高。6种烤鱼必需氨基酸与总氨基酸的比例约40%,是优质的动物蛋白源。根据氨基酸评分,6种烤鱼的第一限制性氨基酸均为蛋氨酸+半胱氨酸;鲤鱼必需氨基酸指数最高,其次是罗非鱼。6种烤鱼共检出22种脂肪酸,具有较高比例的不饱和脂肪酸。罗非鱼、武昌鱼含较高的二十碳五烯酸、二十二碳六烯酸等功能性脂肪酸,具较高的营养价值。通过主成分分析,营养指标综合得分为罗非鱼>武昌鱼>鲤鱼>草鱼>鲫鱼>钳鱼;从质构特性方面,罗非鱼、武昌鱼的弹性和咀嚼性显著($P<0.05$)高于传统的鲤鱼和草鱼,硬度低于鲤鱼和草鱼,可初步推断罗非鱼、武昌鱼肌肉口感更佳。6种淡水鱼为原料的烤鱼均为优良蛋白质来源,氨基酸组成合理,脂肪酸丰富,其中罗非鱼、武昌鱼生产的预制烤鱼营养及口感更优。该研究为烤鱼多品类开发,延长“养殖+加工”产业链提供理论依据。

关键词:原料,烤鱼,预制,营养成分,质构特性

中图分类号:TS254.4

文献标识码:A

文章编号:1002-0306(2023)22-0233-08

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2023010082

本文网刊:



Analysis on the Nutritional Components and Texture Characteristics of Prefabricated Grilled Fish with Different Fish Species

ZHANG Yan^{1,*}, WANG Shengkai², NIE Qingyu¹, FU Xun¹, FENG Tingting¹

(1.College of Agriculture and Forestry Science and Technology, Chongqing Three Gorges Vocational College,
Chongqing 404155, China;

2.Chongqing Wanzhou Food and Drug Inspection Institute, Chongqing 404000, China)

Abstract: To explore the development value of different freshwater fish productions of prefabricated grilled fish and realize the diversified development of prefabricated grilled fish categories, an analysis was hereby carried out on the nutritional and textural characteristics of prefabricated grilled fish processed from six common freshwater fish. The results showed that there was no significant difference in the moisture and ash content ($P>0.05$), the protein content ranged from 21.87%~24.28%, and the fat content was low in all six types of grilled fish. Besides, the content of glutamic acid, aspartic acid and lysine was high, and that of the total essential amino acids ranged from 7.71~9.42 g/100 g. Among them, that of common carp and Wuchang fish was higher, followed by tilapia and grass carp, Wuchang fish, common carp and tilapia had a high fresh amino acid content. The ratio of the essential amino acids to the total amino acids of the six grilled fish was about 40%, which was a high-quality animal protein source. According to the amino acid score, the first limiting amino acid of all

收稿日期: 2023-01-12

基金项目: 重庆市教育委员会科学技术研究项目(KJZD-K202203501); 重庆三峡职业学院院级科研项目(cqxs2021005)。

作者简介/通信作者*: 张艳(1982-),女,硕士,副教授,研究方向:水产品贮藏加工,E-mail: wskzyan@163.com。

six grilled fish was methionine+cysteine, common carp had the highest essential amino acid index, followed by tilapia. Besides, a total of 22 fatty acids were detected in the six grilled fish species, which had a high proportion of unsaturated fatty acids. Tilapia and Wuchang fish contained high functional fatty acids with a high nutritional value, such as eicosapentaenoic acid and docosahexaenoic acid. Through the principal component analysis, the comprehensive score of nutritional indicators followed the order of tilapia>Wuchang fish>common carp>grass carp>crucian carp>pincer fish, while in terms of textural characteristics, the elasticity and chewiness of tilapia and Wuchang fish were significantly ($P<0.05$) higher than those of traditional common carp and grass carp, and the hardness was lower. In this case, it could be tentatively inferred that tilapia and Wuchang fish had a better muscle texture. As raw materials of grilled fish, all these six freshwater fish were excellent protein sources, reasonable amino acid composition and rich fatty acids, among which, tilapia and Wuchang fish produced prefabricated grilled fish with better nutrition and better taste. Overall, this study provides a theoretical basis for the development of grilled fish in multiple categories and the extension of the "breeding+processing" industry chain.

Key words: raw materials; grilled fish; prefabricated; nutritional components; texture characteristics

烤鱼是重庆特色名菜,其充分融合了传统川菜及四川火锅的用料特点,深受消费者喜爱。目前,烤鱼主要以餐饮现场烤制、现场消费为主,消费的及时性和地域性限制了烤鱼发展。2022 年重庆淡水鱼产量为 56.6 万吨,产值为 13.78 亿元,淡水加工产品仅 1.09 亿元^[1]。2022 年我国预制菜市场规模为 0.42 万亿元,预计 2026 年将突破万亿元^[2]。在此背景下,多种类预制烤鱼的开发,对促进水产加工业向菜品食品化发展,推进淡水鱼“养殖+加工”模式发展,延长烤鱼产业链有重要意义。

不同鱼肉营养成分及质构特性的研究报道较多,鱼类品种、养殖模式、饵料及加热方式等对营养成分产生影响^[3-6]。相关文献报道不同鱼种、同种鱼肉不同来源的脂肪、蛋白质等成分差异较大^[7-9]。韩迎雪等^[10]得出生鲜草鱼、鲤鱼、鲫鱼和罗非鱼脂肪含量差异大,不饱和脂肪酸均为 35% 以上。李温蓉等^[11]得出团头鲂脂肪含量为 4.2%,蛋白含量 18.8%,必需氨基酸与氨基酸总量组成比例(EAA/TAA)达 40.49%。胡芬等^[12]分析了草鱼、鲫鱼、鲢鱼、鲤鱼、武昌鱼的质构特性,得出硬度和弹性是影响鱼肉质构特性的主要因素。徐言等^[13]、陈慧等^[14]分别对不同加工处理下草鱼品质进行分析,李锐等^[15]和 Li 等^[16]对热加工罗非鱼的食用品质及风味等做了相应研究。目前,预制烤鱼的研究主要集中在烤制工艺、调味料方面,对不同原料预制烤鱼的营养成分及质构特性分析鲜有报道。市售预制烤鱼主要以鲤鱼、草鱼为原料鱼,开发品类较少,且预制烤鱼无固定原料鱼渠道,造成因鱼体大小、品质差异大影响终产品品质。在重庆发展烤鱼全产业链的政策导向下,本研究以同一养殖基地罗非鱼、草鱼、鲤鱼、鲫鱼、钳鱼和武昌鱼等 6 种淡水鱼加工的预制烤鱼为对象,分析 6 种不同原料预制烤鱼营养成分及质构特性,以期探究不同淡水鱼生产预制烤鱼的开发价值,为预制烤鱼品类多样化发展提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

罗非鱼(*Oreochromis mossambicus*)、草鱼(*Cteno-*

pharyngodon idella)、鲤鱼(*Cyprinus carpio*)、鲫鱼(*Carassius auratus*)、钳鱼(学名斑点叉尾鲷, *Ictalurus punctatus*)、武昌鱼(学名团头鲂, *Megalobrama amblycephala*) 均重 0.83~0.95 kg,购于重庆万州区家益超市,来自重庆梁平小林淡水鱼养殖基地;17 种氨基酸混合标准品 上海安谱实验科技股份有限公司;35 种脂肪酸甲酯混合标准品 美国 Sigma-Aldrich 公司;正己烷、乙腈 色谱纯,上海申博化工有限公司;异硫氰酸苯酯、氢氧化钠、甲醇等 分析纯,国药集团化学试剂有限公司。

Agilent 1260 液相色谱仪、Agilent 7890A 气相色谱质谱联用仪 美国安捷伦科技有限公司;CT3 型质构仪 美国 Brookfield 公司;YXD-90C 电烤箱 广州市赛思达机械设备有限公司;DZ-600-2SB 真空包装机 温州市惠泰机械有限公司;CP 214 型分析天平 奥豪斯仪器上海有限公司;GZX-9140MBE 型数显鼓风干燥箱 上海博讯实业公司医疗设备厂。

1.2 实验方法

1.2.1 预制烤鱼样品制备 6 种淡水鱼按相同工艺烤制。鲜活鱼宰杀、清洗,背部剖开,放入 0.5% 复合磷酸盐、6% 食盐、3% 料酒、5% 老姜等配制的腌制液中腌制 20 min,沥干,刷香油,放入 250 °C 电烤箱中烤制 20 min,冷却后无菌真空包装。

1.2.2 基本营养成分 水分按照 GB 5009.3-2016《食品中水分的测定》直接干燥法测定;蛋白质按照 GB 5009.5-2016《食品中蛋白质的测定》凯氏定氮法测定;脂肪按照 GB 5009.6-2016《食品中脂肪的测定》索氏抽提法测定;灰分按照 GB 5009.4-2016《食品中灰分的测定》马弗炉高温灼烧法测定。

1.2.3 氨基酸的测定及评价

1.2.3.1 样品前处理 称取 0.5 g 样品于 50 mL 水解管中,加入 20 mL 1:1 的盐酸,放入烘箱中,110 °C 水解 22 h。取出冷却后,转移至 25 mL 比色管中定容。准确取 50 μ L 样品于 4 mL 离心管中,放入真空干燥箱中,60 °C 干燥 2 h(将溶剂全部烘干),离心管

中充氮气,准确加入 50 μL 衍生试剂(乙醇:异硫氰酸苯酯:水:三乙胺为 7:1:1)(现用现配,配制时充氮),常温下衍生 30 min,加入流动相 A 0.45 mL,混匀,过 0.45 μm 有机滤膜上机^[17]。

1.2.3.2 色谱条件 流动相 A: 0.1 mol/L 无水乙酸钠+乙腈=97+3 (V/V); 流动相 B: 乙腈+水=80+20 (V/V); C_{18} 柱 (4.6 mm $\times$ 250 mm $\times$ 5 μm); 流速: 1 mL/min; 进样量: 10 μL ; 紫外检测器波长: 254 nm。

1.2.3.3 氨基酸评价 参照联合国粮食及农业组织/世界卫生组织 (Food and Agriculture Organization/World Health Organization, FAO/WHO) 建议的氨基酸评分标准和鸡蛋蛋白的氨基酸模式计算氨基酸评分 (Amino Acids Score, AAS)、化学评分 (Chemical Score, CS) 和必需氨基酸指数 (Essential Amino Acid Index, EAAI) 进行比较^[18-19]。

$$\text{AAS} = \frac{\text{样品蛋白质中氨基酸含量}(\text{mg/g N})}{\text{FAO/WHO评分标准模式中相应必需氨基酸含量}(\text{mg/g N})}$$

$$\text{CS} = \frac{\text{样品蛋白质中氨基酸含量}(\text{mg/g N})}{\text{鸡蛋蛋白标准模式中相应必需氨基酸含量}(\text{mg/g N})}$$

$$\text{EAAI} = \sqrt{\frac{100 \times \text{赖氨酸}_i \times 100 \times \text{亮氨酸}_i \times \dots \times 100 \times \text{缬氨酸}_i}{\text{赖氨酸}_s \times \text{亮氨酸}_s \times \dots \times \text{缬氨酸}_s}}$$

式中,mg/g N 表示每克氮中氨基酸的含量(mg); n 为比较的氨基酸个数;t 为蛋白质的必需氨基酸含量(mg/g);s 为鸡蛋蛋白质中的必需氨基酸含量(mg/g)。

1.2.4 水解脂肪酸测定

1.2.4.1 样品处理 参照 GB 5009.168-2016《食品中脂肪酸的测定》中的前处理方法。

1.2.4.2 色谱条件 Agilent HP-88 色谱柱 (100 m $\times$ 0.25 mm $\times$ 0.2 μm); 进样量 1 μL ; 氮气流速 1.3 mL/min; 分流比为 1:20; 进样口温度 260 $^{\circ}\text{C}$; 起始柱温 100 $^{\circ}\text{C}$, 保持 13 min, 以 10 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 速度升至 180 $^{\circ}\text{C}$, 保持 6 min, 以 1 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 速度升至 192 $^{\circ}\text{C}$, 保持 9 min, 以 4 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 速度升至 240 $^{\circ}\text{C}$, 保持 2 min。

1.2.4.3 质谱条件 离子源温度: 240 $^{\circ}\text{C}$; 电子能量: 70 eV; 质量扫描范围 40~400 m/z; 溶剂延迟时间 3 min。

1.2.5 主成分分析 对 6 种烤鱼营养成分进行主成分分析,以特征值 $\lambda > 1$ 的方差贡献率确定最优主成分数,并利用方差贡献率和主成分函数表达式进行综合得分计算。

1.2.6 质构特性测定 参照李锐等^[20]方法。同一样品选取 3~5 条烤鱼,取其背部肌肉切成 2.0 cm $\times$ 2.0 cm $\times$ 1.0 cm 小块,使用 CT3 型质构仪及 P/44 平底圆柱形探头进行测定,每组重复测定 6 次,去除最大值和最小值后取平均值。

1.3 数据处理

所得数据均为 3 次平行试验的平均值,结果以平均值 $\pm$ 标准差表示。采用 SPSS Statistics 26.0 软件对组间显著性进行单因素方差分析和主成分分析, $P < 0.05$ 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 基本营养成分

水产品的主要营养成分(水分、灰分、粗脂肪和粗蛋白)是衡量水产品肌肉营养和品质的重要指标^[21-22],6 种烤鱼的常规营养成分见表 1。6 种烤鱼水分含量为 55.6%~56.9%,灰分含量 1.61%~1.78%,水分和灰分含量差异不显著($P > 0.05$)。烤鱼油脂来自于香油和原料鱼脂肪,6 种烤鱼脂肪含量均低于 4%,蛋白质含量均大于 21%,均具有低脂高蛋白的特点。蛋白质含量是评价营养价值的主要依据,6 种烤鱼中,草鱼、鲫鱼、钳鱼和武昌鱼中蛋白质含量较高,并与罗非鱼、鲤鱼存在显著差异($P < 0.05$)。烤鱼蛋白质含量高于生鲜鱼肉蛋白质含量^[4,23],因为烤制后鱼肉水分含量下降,干物质增加,蛋白质含量增加。烤鱼中脂肪影响烤鱼的口感,除鲤鱼和武昌鱼外,其余各组烤鱼脂肪含量呈显著差异($P < 0.05$),杂食性钳鱼、罗非鱼较草食性的草鱼、武昌鱼脂肪含量高,与鱼类食性影响肌肉脂肪含量报道相符^[23]。

2.2 氨基酸组成及营养评价

2.2.1 氨基酸组成及含量分析 如表 2 所示,6 种烤鱼均检出 16 种氨基酸,含有 7 种人体必需氨基酸(色氨酸在酸解过程中被破坏)。从氨基酸含量分析,含量最高的是谷氨酸,其次是天冬氨酸、赖氨酸,与文献报道一致^[11,23]。其中氨基酸总量为武昌鱼(24.19 g/100 g)>鲤鱼(22.94 g/100 g)>罗非鱼(23.86 g/100 g)>草鱼(22.38 g/100 g)>钳鱼(20.36 g/100 g)>鲫鱼(19.49 g/100 g)。

烤鱼鲜味由鲜味氨基酸含量决定。据表 2 可知,6 种烤鱼中,部分烤鱼鲜味氨基酸呈显著差异($P < 0.05$),武昌鱼、鲤鱼、罗非鱼和草鱼的鲜味氨基

表 1 6 种烤鱼常规营养成分含量

Table 1 Routine nutrients content in muscle of six kinds of grilled fish

测定项目	含量(g/100g, 鲜重)					
	罗非鱼	草鱼	鲤鱼	鲫鱼	钳鱼	武昌鱼
水分	56.81 $\pm$ 1.47 ^a	55.60 $\pm$ 1.00 ^a	55.92 $\pm$ 0.52 ^a	56.31 $\pm$ 0.56 ^a	55.64 $\pm$ 0.71 ^a	56.91 $\pm$ 1.38 ^a
粗灰分	1.62 $\pm$ 0.06 ^a	1.75 $\pm$ 0.06 ^a	1.78 $\pm$ 0.13 ^a	1.68 $\pm$ 0.05 ^a	1.72 $\pm$ 0.09 ^a	1.61 $\pm$ 0.03 ^a
粗蛋白	22.31 $\pm$ 0.57 ^b	23.59 $\pm$ 0.63 ^a	21.87 $\pm$ 1.12 ^b	23.07 $\pm$ 0.57 ^a	23.01 $\pm$ 0.44 ^a	24.28 $\pm$ 1.30 ^a
粗脂肪	3.20 $\pm$ 0.09 ^b	2.05 $\pm$ 0.09 ^c	2.87 $\pm$ 0.16 ^c	2.67 $\pm$ 0.06 ^d	3.81 $\pm$ 0.05 ^a	2.38 $\pm$ 0.11 ^c

注: 同行字母不同表示数据间显著差异($P < 0.05$); 表2、表4、表7同。

表 2 6 种烤鱼水解氨基酸的组成及含量
Table 2 Composition and content of hydrolyzed amino acids of 6 kinds of grilled fish

氨基酸	含量(g/100 g)					
	罗非鱼	草鱼	鲤鱼	鲫鱼	钳鱼	武昌鱼
天冬氨酸*Asp	2.68±0.06 ^{bc}	2.67±0.04 ^{bc}	2.89±0.08 ^{ab}	2.03±0.11 ^d	2.46±0.08 ^c	2.96±0.05 ^a
谷氨酸*Glu	3.97±0.05 ^a	3.89±0.04 ^a	4.02±0.11 ^a	3.03±0.09 ^c	3.55±0.13 ^b	4.15±0.10 ^a
甘氨酸*Gly	1.58±0.06 ^a	1.33±0.07 ^b	1.40±0.02 ^b	1.35±0.08 ^b	1.19±0.08 ^c	1.62±0.04 ^a
丙氨酸*Ala	1.24±0.05 ^a	1.12±0.09 ^a	1.23±0.03 ^a	1.02±0.06 ^b	1.02±0.09 ^b	1.24±0.02 ^a
FAA	9.48±0.03 ^{ab}	9.01±0.09 ^b	9.53±0.05 ^{ab}	7.43±0.29 ^d	8.21±0.12 ^c	9.97±0.18 ^a
缬氨酸*Val	1.06±0.08 ^{ab}	1.09±0.03 ^{ab}	1.19±0.05 ^a	0.94±0.08 ^b	1.03±0.06 ^{ab}	1.20±0.04 ^a
蛋氨酸*Met	0.56±0.03 ^c	0.62±0.01 ^b	0.73±0.01 ^a	0.52±0.03 ^c	0.59±0.02 ^{bc}	0.43±0.01 ^d
苏氨酸*Thr	0.95±0.03 ^a	0.88±0.02 ^a	0.98±0.07 ^a	0.85±0.08 ^a	0.86±0.05 ^a	0.96±0.04 ^a
异亮氨酸*Ile	0.99±0.02 ^{ab}	0.98±0.02 ^{ab}	1.07±0.06 ^a	0.88±0.04 ^b	0.92±0.05 ^{ab}	1.06±0.07 ^a
亮氨酸*Leu	1.86±0.09 ^b	1.85±0.04 ^b	2.00±0.01 ^a	1.63±0.01 ^c	1.68±0.03 ^c	2.02±0.07 ^a
苯丙氨酸*Phe	1.03±0.03 ^{ab}	1.02±0.03 ^{ab}	1.12±0.03 ^a	0.99±0.06 ^{ab}	0.92±0.06 ^b	1.10±0.02 ^a
赖氨酸*Lys	2.16±0.15 ^b	2.13±0.03 ^b	2.34±0.07 ^a	1.89±0.03 ^c	1.96±0.04 ^c	2.39±0.03 ^a
EAA	8.61±0.18 ^b	8.57±0.01 ^b	9.42±0.06 ^a	7.71±0.08 ^c	7.96±0.05 ^c	9.17±0.09 ^a
丝氨酸Ser	1.00±0.07 ^a	1.01±0.05 ^a	1.02±0.06 ^a	0.92±0.07 ^a	0.92±0.17 ^a	1.01±0.04 ^a
组氨酸His	0.57±0.04 ^b	0.73±0.02 ^a	0.69±0.06 ^a	0.65±0.08 ^{ab}	0.45±0.07 ^c	0.66±0.04 ^{ab}
精氨酸Arg	1.47±0.09 ^{ab}	1.35±0.04 ^{bc}	1.44±0.04 ^{ab}	1.21±0.08 ^d	1.25±0.11 ^{cd}	1.53±0.06 ^a
脯氨酸Pro	1.04±0.09 ^a	0.91±0.02 ^{ab}	0.93±0.03 ^{ab}	0.89±0.02 ^{ab}	0.83±0.04 ^b	1.01±0.09 ^{ab}
酪氨酸Tyr	0.78±0.04 ^{ab}	0.79±0.02 ^{ab}	0.83±0.04 ^a	0.69±0.05 ^b	0.74±0.04 ^{ab}	0.85±0.01 ^a
NEAA	14.33±0.07 ^{ab}	13.80±0.13 ^b	14.44±0.1 ^{ab}	11.78±0.26 ^c	12.40±0.13 ^c	15.03±0.23 ^a
ΣTAA	22.94±0.25 ^{bc}	22.38±0.14 ^c	23.86±0.04 ^{ab}	19.49±0.33 ^d	20.36±0.14 ^d	24.19±0.15 ^a
ΣEAA/ΣTAA	0.38±0.004	0.38±0.001	0.40±0.03	0.40±0.004	0.39±0.003	0.38±0.002
ΣEAA/ΣNEAA	0.60±0.01	0.62±0.002	0.65±0.01	0.65±0.01	0.64±0.01	0.61±0.015
ΣFAA/ΣTAA	0.41±0.06	0.40±0.001	0.40±0.03	0.38±0.01	0.40±0.01	0.41±0.005

注：※为必需氨基酸；*为鲜味氨基酸；FAA：鲜味氨基酸总量；EAA：必需氨基酸总量；NEAA：非必需氨基酸总量；TAA：总氨基酸总量。

酸含量均达 9.00 g/100 g 以上, 其次是钳鱼, 鲫鱼最低, 含量分别为 8.21 和 7.43 g/100 g。其中武昌鱼、鲤鱼和罗非鱼的鲜味氨基酸为 9.48~9.97 g/100 g, 无显著差异($P>0.05$)。谷氨酸和天冬氨酸是主要的鲜味氨基酸, 含量最高, 对烤鱼的风味有贡献作用。丙氨酸和谷氨酸共存时具有协同增效作用, 可以增强鱼肉的鲜味感^[24]。罗非鱼与武昌鱼甘氨酸含量高, 不但可以赋予清香味, 而且能够降低鱼肉的苦味^[25]。食品滋味组成存在组分间协同、加乘和抑制效应, 苯丙氨酸、酪氨酸、精氨酸等苦味氨基酸亦能增加呈味的复杂性和辅助提升鲜度的作用^[24]。6 种烤鱼鲜味氨基酸与总氨基酸($\Sigma\text{FAA}/\Sigma\text{TAA}$)比例为 38% 以上, 表明 6 种烤鱼鲜味佳, 食用价值高。

6 种烤鱼必需氨基酸总量在 7.71~9.42 g/100 g, 赖氨酸、亮氨酸含量均较高, 鲤鱼必需氨基酸总量最高, 为 9.42 g/100 g, 鲫鱼最低, 鲤鱼与武昌鱼必需氨基酸含量接近, 罗非鱼和草鱼含量接近, 与钳鱼和鲫鱼必需氨基酸存在显著差异($P<0.05$)。6 种烤鱼样品必需氨基酸(Essential Amino Acid, EAA)与总氨基酸(Total Amino Acid, TAA)的比例(EAA/TAA)在 38%~40%, 接近 FAO/WHO 提出的 40% 理想模式, EAA 与非必需氨基酸(Nonessential Amino Acid, NEAA)的比例(EAA/NEAA)为 60%~65%, 达到 FAO/WHO 提出的评价标准, 是优质的动物蛋白源。

2.2.2 6 种烤鱼必需氨基酸组成评价 采用 AAS、CS 以及 EAAI 指标进行烤鱼蛋白质的营养评价。从表 3 可知, 根据 AAS 和 CS 评分, 6 种烤鱼的第一限制性氨基酸为蛋氨酸+半胱氨酸, 草鱼的第二限制性氨基酸为苏氨酸和缬氨酸, 其余 5 种烤鱼的第二限制性氨基酸为缬氨酸, 与文献报道一致^[3]。EAAI 是表示样品必需氨基酸含量与标准蛋白质的相符程度, EAAI 越接近 100, 表明食物蛋白与参比营养蛋白的必需氨基酸组成越接近, 营养价值越高^[3]。如表 4 所示, 鲤鱼 EAA(2932 mg/g N)和 EAAI(93.66)最高, 其次是罗非鱼、草鱼、武昌鱼、钳鱼, 鲫鱼最低, 由此说明, 鲤鱼与模式谱较接近, 含有丰富且均衡的必需氨基酸, 其肌肉营养价值高。

2.3 6 种烤鱼脂肪酸组成及含量分析

由表 4 可知, 6 种烤鱼脂肪酸种类和含量存在差异。共检出 22 种脂肪酸, 其中 7 种饱和脂肪酸(Saturated Fatty Acid, SFA)、5 种单不饱和脂肪酸(Monounsaturated Fatty Acid, MUFA)和 10 种多不饱和脂肪酸(Polyunsaturated Fatty Acids, PUFA), 含量分别为 0.7064~1.7803、0.9639~3.3611 和 0.5923~1.0139 g/100 g。

对 6 种烤鱼饱和脂肪酸进行分析, 6 种烤鱼饱和脂肪酸含量依次为罗非鱼>鲤鱼>鲫鱼>草鱼>武昌鱼>钳鱼, 各饱和脂肪酸含量及其总含量在部分烤鱼差

表 3 6 种烤鱼必需氨基酸组成评价

Table 3 Evaluation of essential amino acid composition in muscle of 6 kinds of grilled fish

处理组	指标	Thr	Val	Ile	Leu	Lys	Phe+Tyr	Met+Cys	ΣEAA (mg/g N)	EAAI
FAO/WHO	AA(mg/gN)	250	310	250	440	340	380	220	2190	—
全鸡蛋	AA(mg/gN)	292	411	331	534	441	565	386	2960	—
	AA(mg/gN)	266	298	279	521	605	507	156		
罗非鱼	AAS	1.06	0.96**	1.11	1.18	1.78	1.33	0.71*	2631	82.91
	CS	0.91	0.73**	0.84	0.98	1.37	0.90	0.40*		
	AA(mg/gN)	234	288	260	490	565	478	165		
草鱼	AAS	0.93**	0.93**	1.04	1.11	1.66	1.26	0.75*	2480	78.72
	CS	0.80**	0.70**	0.79	0.92	1.28	0.85	0.43*		
	AA(mg/gN)	279	339	307	573	669	558	208		
鲤鱼	AAS	1.12	1.09**	1.23	1.30	1.97	1.47	0.95*	2932	93.66
	CS	0.96	0.83**	0.93	1.07	1.52	0.99	0.54*		
	AA(mg/gN)	231	254	238	442	512	455	141		
鲫鱼	AAS	0.93	0.82**	0.95	1.01	1.50	1.20	0.64*	2274	71.94
	CS	0.79	0.62**	0.72	0.83	1.16	0.80	0.37*		
	AA(mg/gN)	234	281	249	456	533	451	159		
钳鱼	AAS	0.94	0.91**	1.00	1.04	1.57	1.19	0.72*	2363	75.51
	CS	0.80	0.68**	0.75	0.85	1.21	0.80	0.41*		
	AA(mg/gN)	248	308	274	521	615	501	110		
武昌鱼	AAS	0.99	0.99**	1.10	1.18	1.81	1.32	0.50*	2578	78.32
	CS	0.85	0.75**	0.83	0.98	1.39	0.89	0.28*		

注: *表示第一限制性氨基酸;**第二限制性氨基酸。

表 4 6 种烤鱼脂肪酸组成及含量

Table 4 Composition and contents of fatty acids in the muscle of 6 kinds of grilled fish

脂肪酸	含量(g/100 g)					
	罗非鱼	草鱼	鲤鱼	鲫鱼	钳鱼	武昌鱼
C _{12:0}	—	0.0183±0.007	—	—	—	—
C _{14:0}	0.0426±0.0031 ^b	0.0686±0.0030 ^a	0.0380±0.0061 ^b	0.0275±0.0023 ^c	0.0266±0.0006 ^c	0.0231±0.0026 ^c
C _{15:0}	0.0064±0.009 ^a	0.0043±0.0008 ^b	0.0049±0.0008 ^b	0.0047±0.0005 ^b	0.0048±0.0006 ^b	0.0046±0.0005 ^b
C _{16:0}	1.3439±0.0988 ^a	1.0295±0.0113 ^b	1.1345±0.0774 ^b	1.0844±0.1532 ^b	0.5239±0.0205 ^c	0.6498±0.0333 ^c
C _{17:0}	0.0089±0.0006 ^a	—	—	—	—	0.0066±0.0007 ^b
C _{18:0}	0.3645±0.0215 ^a	0.1735±0.0111 ^b	0.2773±0.0334 ^{ab}	0.2270±0.0299 ^b	0.1511±0.0037 ^b	0.1673±0.0344 ^b
C _{20:0}	0.0140±0.0017 ^a	0.0094±0.0008 ^b	—	0.0092±0.0009 ^b	—	0.0077±0.0005 ^c
ΣSFA	1.7803±0.1186 ^a	1.3036±0.0228 ^b	1.4547±0.1169 ^b	1.3528±0.1582 ^b	0.7064±0.0245 ^c	0.8591±0.1369 ^c
C _{16:1}	0.0906±0.0231 ^b	0.1445±0.0085 ^a	0.1399±0.0090 ^a	0.1242±0.0198 ^a	0.0445±0.0044 ^c	0.0904±0.0231 ^b
C _{18:1n9c}	3.1174±0.1016 ^a	2.1061±0.0945 ^c	2.2173±0.1037 ^c	2.6860±0.1523 ^b	0.8699±0.0209 ^c	1.5046±0.1947 ^d
C _{20:1}	0.0961±0.0123 ^a	0.0493±0.0027 ^c	0.0713±0.0042 ^b	0.0985±0.0081 ^a	0.0256±0.0010 ^d	0.0413±0.0023 ^c
C _{22:1n9}	0.0497±0.0027 ^b	0.0303±0.0017 ^d	0.0219±0.0023 ^c	0.0583±0.0052 ^a	0.0199±0.0017 ^c	0.0398±0.0026 ^c
C _{24:1}	0.0073±0.0003 ^a	0.0058±0.0004 ^b	0.0048±0.0003 ^c	0.0068±0.0004 ^a	0.0040±0.0002 ^c	0.0070±0.0010 ^a
ΣMUFA	3.3611±0.0864 ^a	2.3360±0.1055 ^c	2.4552±0.0922 ^c	2.9738±0.1522 ^b	0.9639±0.0176 ^c	1.6831±0.2118 ^d
C _{18:2n6c}	0.7488±0.0354 ^a	0.6416±0.0444 ^b	0.4718±0.0353 ^c	0.7298±0.0684 ^a	0.4629±0.0350 ^c	0.4531±0.0433 ^c
C _{20:2}	0.0407±0.0051 ^a	0.0183±0.0019 ^b	0.0140±0.0026 ^{bc}	0.0130±0.0017 ^c	0.0187±0.0006 ^b	0.0163±0.0019 ^{bc}
C _{22:2}	0.0040±0.0008	—	—	—	—	—
C _{18:3n6}	—	—	—	0.0094±0.0009 ^a	0.0080±0.0007 ^b	—
C _{18:3n3}	0.0515±0.0041 ^b	0.0587±0.0025 ^a	0.0269±0.0016 ^d	0.0619±0.0032 ^a	0.0298±0.0016 ^d	0.0401±0.0022 ^c
C _{20:3n6}	0.0522±0.0019 ^a	0.0359±0.0014 ^b	0.0219±0.0023 ^c	0.0352±0.0043 ^b	0.0161±0.0010 ^d	0.0374±0.0039 ^b
C _{20:3n3}	0.0036±0.0006 ^b	—	—	0.0043±0.0012 ^a	—	—
C _{20:4n6}	0.0375±0.0032 ^d	0.0936±0.0094 ^a	0.0584±0.0039 ^c	0.0345±0.0020 ^d	0.0323±0.0016 ^d	0.0777±0.0032 ^b
EPA	0.0084±0.0011 ^a	0.0056±0.0004 ^b	0.0060±0.0010 ^b	0.0039±0.0003 ^c	—	0.0080±0.0008 ^a
DHA	0.0672±0.0026 ^a	0.0298±0.0011 ^d	0.0380±0.0038 ^c	0.0244±0.0082 ^d	0.0245±0.0004 ^d	0.0569±0.0042 ^b
ΣPUFA	1.0139±0.0362 ^a	0.8835±0.0594 ^b	0.6370±0.0447 ^c	0.9164±0.0837 ^b	0.5923±0.0344 ^d	0.6895±0.0318 ^c
ΣFA	6.1553±0.1850 ^a	4.5231±0.1798 ^c	4.5469±0.1332 ^c	5.2430±0.1532 ^b	2.2626±0.0669 ^c	3.2317±0.0505 ^d
ΣUFA	4.3750±0.1029 ^a	3.2195±0.1573 ^c	3.0922±0.0729 ^c	3.8902±0.0699 ^b	1.5562±0.0508 ^c	2.3726±0.1800 ^d

续表 4

脂肪酸	含量(g/100 g)					
	罗非鱼	草鱼	鲤鱼	鲫鱼	钳鱼	武昌鱼
$\Sigma\omega$ -3 PUFA	0.1271±0.0037 ^a	0.0941±0.0039 ^c	0.0709±0.0037 ^d	0.0902±0.0089 ^c	0.0543±0.0019 ^c	0.1050±0.0043 ^b
EPA+DHA	0.0756±0.0020 ^a	0.0354±0.0014 ^d	0.0440±0.0031 ^c	0.0283±0.0082 ^c	0.0245±0.0004 ^c	0.0649±0.0034 ^b
Σ PUFA: Σ F A(%)	16.47±0.11 ^c	19.53±0.19 ^c	14.01±0.22 ^f	17.48±0.86 ^d	26.18±0.24 ^d	21.33±0.09 ^b
Σ UFA: Σ F A(%)	71.08±1.25 ^b	71.18±0.65 ^b	68.01±1.88 ^b	74.20±2.40 ^a	68.78±0.70 ^b	73.42±4.61 ^a

注: Σ F A脂肪酸总量; Σ SFA饱和脂肪酸总量; Σ UFA不饱和脂肪酸总量; Σ PUFA多不饱和脂肪酸总量; Σ MUFA单不饱和脂肪酸总量; “-”表示未检出。

异显著($P<0.05$)。饱和脂肪酸由 $C_{12:0}$ 、 $C_{14:0}$ 、 $C_{15:0}$ 、 $C_{16:0}$ 、 $C_{17:0}$ 、 $C_{18:0}$ 、 $C_{20:0}$ 组成, 其中含量最高是棕榈酸($C_{16:0}$), 其次是硬脂酸($C_{18:0}$), 其余饱和脂肪酸含量较少, 这与林婉玲等^[26]、雷琳等^[27] 曾报道多种淡水鱼的饱和脂肪酸中 $C_{16:0}$ 最高的报道结果一致。其中 $C_{12:0}$ 仅在草鱼中检出, $C_{17:0}$ 仅在罗非鱼与武昌鱼中检出, $C_{20:0}$ 在鲤鱼和钳鱼中未检出。

对 6 种烤鱼不饱和脂肪酸进行分析, 不饱和脂肪酸总量和多不饱和脂肪酸总量依次为罗非鱼>鲫鱼>草鱼>鲤鱼>武昌鱼>钳鱼。罗非鱼中的 MUFA、PUFA 均为最高, 与韩迎雪^[10] 测出草鱼、鲫鱼和罗非鱼中 Σ MUFA 的顺序罗非鱼>草鱼>鲫鱼结果有差异。单不饱和脂肪酸中 $C_{18:1}$ 在 6 种烤鱼中含量最高, 草鱼和鲤鱼 $C_{18:1}$ 含量不显著外, 其余各组样品均呈显著差异($P<0.05$), $C_{18:1}$ 是一种低血脂性脂肪酸, 因此被认为是一种良性的脂肪酸^[28]; 多不饱和脂肪酸 $C_{18:2}$ 含量最高, 部分烤鱼 $C_{18:2}$ 含量呈显著差异。6 种烤鱼不饱和脂肪酸与总脂肪酸比例(Σ UFA: Σ F A) 高达 68% 以上, 并具有较高含量的 PUFA, PUFA 具有降血脂、预防心脑血管疾病、促进生长发育等功效, 同时能增加鱼肉香味^[25]。多不饱和脂肪酸中, 6 种烤鱼均含有亚油酸($C_{18:2n6c}$)和亚麻酸($C_{18:3n3}$) 两种必需脂肪酸, 鲫鱼和草鱼的亚麻酸含量较高, 罗非鱼和鲫鱼的亚油酸含量高。以 EPA 和 DHA 为代表的 ω -3 PUFA 可促进脂质代谢, 降低心血管疾病的患病风险^[28-29], 是评判鱼中脂肪酸营养价值重要标准。由表 4 可知, 6 种烤鱼中, 罗非鱼 EPA+DHA、 ω -3 PUFA 含量最高, 分别为 0.0756、0.1271 g/100 g, 其次是武昌鱼, 与其余 4 种烤鱼含量差异明显($P<0.05$), 与韩迎雪等^[10] 报道 EPA+DHA 在鲫鱼中最高, 其次是罗非鱼、草鱼的结果有差异。综上所述, 6 种烤鱼多不饱和脂肪酸种类组成丰富, 且多不饱和脂肪酸相对含量均较高, 且罗非鱼、武昌鱼含 EPA 和 DHA 等功能性脂肪酸, 草鱼和鲫鱼含较高的亚麻酸, 具有较好的营养价值。

2.4 烤鱼营养成分主成分分析

分别以脂肪、蛋白质、16 种氨基酸、22 种脂肪酸为评判指标, 进行主成分分析, 对 6 种烤鱼营养成分进行综合评价。以特征值 $\lambda>1$ 的原则确定 5 个主成分, 累积贡献率达 100%。

由表 5 可知, 主成分 1 的贡献率为 40.857%, 说明主成分 1 在分析评价中起主导作用。其中, Asp、

表 5 不同烤鱼营养成分因子载荷矩阵和贡献率

Table 5 Loading matrix and contribution rate of nutrient factor of different grilled fish

指标	成分				
	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅
Asp	0.958	-0.169	-0.160	0.112	0.126
Glu	0.942	-0.070	-0.119	0.217	0.216
Gly	0.698	0.678	0.088	0.081	-0.194
Ala	0.942	0.209	0.221	0.145	0.002
Ser	0.921	0.066	0.149	-0.105	0.337
His	0.385	0.249	0.203	-0.764	0.406
Arg	0.960	0.243	-0.005	0.135	-0.027
Pro	0.704	0.640	0.189	0.233	-0.067
Tyr	0.977	-0.128	-0.135	-0.059	0.087
Val	0.952	-0.229	-0.176	-0.100	-0.003
Met	0.065	-0.733	0.581	-0.072	0.340
Thr	0.945	0.027	0.231	0.069	-0.220
Ile	0.990	-0.104	0.029	-0.088	-0.003
Leu	0.991	-0.020	-0.014	-0.131	0.028
Phe	0.872	0.119	0.222	-0.398	-0.129
Lys	0.990	-0.025	-0.061	-0.121	-0.030
$C_{12:0}$	-0.036	0.005	-0.155	-0.233	0.959
$C_{14:0}$	0.091	-0.010	0.233	-0.038	0.967
$C_{15:0}$	0.158	0.303	0.549	0.742	-0.176
$C_{16:0}$	0.104	0.340	0.898	-0.009	0.257
$C_{16:1}$	0.192	0.108	0.494	-0.721	0.433
$C_{17:0}$	0.509	0.645	-0.009	0.541	-0.179
$C_{18:0}$	0.242	0.271	0.856	0.354	-0.100
$C_{18:1n9c}$	0.021	0.566	0.812	-0.032	0.135
$C_{18:2n6c}$	-0.422	0.654	0.537	0.114	0.305
$C_{20:0}$	-0.009	0.921	0.170	0.169	0.307
$C_{18:3n6}$	-0.904	-0.106	-0.113	-0.061	-0.394
$C_{18:3n3}$	-0.417	0.761	0.143	-0.196	0.434
$C_{20:1}$	-0.134	0.511	0.833	-0.089	-0.140
$C_{20:2}$	0.162	0.388	0.324	0.831	0.166
$C_{20:3n6}$	0.206	0.894	0.249	0.228	0.210
$C_{20:3n3}$	-0.468	0.647	0.543	0.114	-0.233
$C_{22:1n9}$	-0.264	0.903	0.258	-0.084	-0.204
$C_{20:4n6}$	0.541	0.066	-0.356	-0.448	0.613
$C_{22:2}$	0.164	0.452	0.473	0.736	0.050
EPA	0.743	0.604	0.266	-0.049	0.102
$C_{24:1}$	0.174	0.974	0.129	-0.040	-0.046
DHA	0.698	0.519	0.123	0.457	-0.139
蛋白质	-0.001	0.409	-0.868	-0.250	0.132
脂肪	-0.305	-0.436	0.095	0.702	-0.463
特征值	16.343	11.133	5.947	4.118	2.459
贡献率%	40.857	27.832	14.868	10.294	6.148

Glu、Ala、Ser、Arg、Tyr、Val、Thr、Ile、Leu、Phe、Lys 载荷值较高, 且产生正向影响, 说明鲜味、甜味及

表 6 不同品种烤鱼主成分分析综合得分
Table 6 Principal component comprehensive scores of different grilled fish

样品	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅	F	排序
罗非鱼	1.918	4.280	4.687	4.780	-0.422	3.139	1
草鱼	0.205	-0.155	-0.760	-2.896	5.522	-0.034	4
鲤鱼	3.056	-2.190	0.920	-1.327	0.177	0.652	3
鲫鱼	-5.163	1.387	1.316	-1.172	-1.281	-1.729	5
钳鱼	-4.194	-4.363	-3.711	1.238	-3.295	-3.555	6
武昌鱼	4.177	1.041	-2.452	-0.623	-0.702	1.526	2

表 7 6 种烤鱼的质构特性
Table 7 Texture characteristics of 6 kinds of grilled fish

测定项目	罗非鱼	草鱼	鲤鱼	鲫鱼	钳鱼	武昌鱼
硬度(g)	188.77±5.15 ^{bc}	198.55±5.38 ^a	195.36±2.87 ^{ab}	172.31±2.94 ^d	190.20±4.02 ^{bc}	187.22±1.88 ^{bc}
弹性(mm)	4.55±0.19 ^a	4.05±0.30 ^b	3.86±0.35 ^b	4.10±0.12 ^b	4.08±0.19 ^b	4.52±0.15 ^a
咀嚼性(mJ)	5.52±0.25 ^a	5.06±0.04 ^b	4.91±0.06 ^b	3.45±0.45 ^c	4.75±0.23 ^b	5.42±0.20 ^a
胶着性(g)	86.63±5.09 ^a	75.24±1.71 ^b	88.24±2.02 ^a	75.36±2.67 ^b	90.12±2.85 ^a	78.01±2.29 ^b
内聚力	0.52±0.09 ^{ab}	0.62±0.03 ^a	0.53±0.04 ^{ab}	0.51±0.10 ^{ab}	0.54±0.05 ^{ab}	0.49±0.07 ^b

大部分必需氨基酸对烤鱼营养影响显著。主成分 2 中贡献率为 27.832%, C_{24:1}、C_{20:0}、C_{22:1n9}、C_{20:3n6} 载荷值较高,说明这 4 个脂肪酸指标是对烤鱼营养有重要影响。主成分 3 的贡献率为 14.868%,其中 C_{18:0}、C_{20:1} 载荷较大,产生正向影响;第 4 主成分贡献率为 10.294%,C_{20:2} 载荷值最大;第 5 主成分贡献率为 6.148%,主要指标为 C_{12:0}、C_{14:0},对此主成分产生正向影响。

由方差贡献率和主成分函数表达式可求综合评价函数可得: F=0.409F₁+0.278F₂+0.149F₃+0.103F₄+0.061F₅。根据主成分综合评价函数值可知 6 种烤鱼的综合得分和排序结果,见表 6。综合得分排序为罗非鱼>武昌鱼>鲤鱼>草鱼>鲫鱼>钳鱼。

2.5 6 种烤鱼的质构特性分析

烤鱼质构特性影响其食用口感,与肌肉结构及状态等因素有关。质构特性包括硬度、弹性、咀嚼性等^[19]。硬度是决定鱼肉制品口感的主要因素,从表 7 可见,6 种烤鱼中,部分烤鱼硬度差异显著,草鱼和鲤鱼硬度接近,罗非鱼、鲤鱼、武昌鱼和钳鱼差异不显著,鲫鱼硬度最低。有研究表明硬度与样品水分、蛋白质特性及汁液流失等因素有关。弹性是去掉外力,食品恢复原形的能力,与水分含量、蛋白质等因素有关^[21],罗非鱼、武昌鱼弹性较高,显著高于其他样品;样品硬度和弹性越大,咀嚼性越大。罗非鱼、武昌鱼的咀嚼性高,鲫鱼咀嚼性最低,这可能与鲫鱼硬度最小,导致咀嚼性小有关;罗非鱼、鲤鱼和钳鱼胶着性较高,可能是因为钳鱼的脂肪含量最高,胶着性大,与 Fox 等^[30]认为脂肪含量会在一定程度上影响肉品胶着性结论相符;6 种烤鱼内聚力无显著差异(P>0.05)。本研究中,6 种烤鱼在质构特性上存在差异,总体分析,罗非鱼、武昌鱼的弹性和咀嚼性显著高于传统的鲤鱼和草鱼烤鱼组(P<0.05),硬度低于鲤鱼和

草鱼,可初步表明罗非鱼、武昌鱼肌肉口感较佳。

3 结论

本文以 6 种淡水鱼为原料加工的预制烤鱼为对象,进行营养及质构分析,得出以下结论:6 种烤鱼均具有高蛋白低脂特点,必需氨基酸与总氨基酸的比例合理,并具有较高比例的不饱和脂肪酸。其中,鲤鱼、武昌鱼、罗非鱼和草鱼必需氨基酸和鲜味氨基酸含量均较高;罗非鱼、武昌鱼含较高的 EPA、DHA 等功能性脂肪酸,具较高的营养价值。营养指标主成分分析综合得分排序为罗非鱼>武昌鱼>鲤鱼>草鱼>鲫鱼>钳鱼。罗非鱼、武昌鱼的弹性和咀嚼性显著高于传统的鲤鱼和草鱼烤鱼,硬度低于鲤鱼和草鱼,可初步推断罗非鱼、武昌鱼口感较佳。综上所述,6 种淡水鱼加工的预制烤鱼为优质动物蛋白源,氨基酸比例合理,脂肪酸丰富,口感尚佳。本研究为淡水鱼的开发利用价值及预制烤鱼品类多样化开发提供参考,但尚未进行养殖环境、烤制工艺等因素对不同原料烤鱼的品质影响分析,后期工作着重对不同淡水鱼养殖模式和烤制工艺的优化进行研究,为烤鱼养殖、加工全产业链发展提供数据支撑。

参考文献

[1] 农业农村部渔业渔政管理局. 中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2023: 6-18. [Ministry of agriculture and rural affairs of the People's Republic of China. China Fishery Statistical Yearbook[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2023: 6-18.]

[2] 黄卉, 陈胜军, 赵永强, 等. 水产品预制菜加工与质量安全控制技术进展[J]. 南方水产科学, 2022, 18(6): 152-160. [HUANG H, CHEN S J, ZHAO Y Q, et al. Research advances on processing and quality safety control technology of aquatic pre-made products[J]. South China Fisheries Science, 2022, 18(6): 152-160.]

[3] 郭忠宝, 肖蕊, 黄卉, 等. 3 种养殖模式罗非鱼品质比较分析与评价[J]. 南方农业学报, 2021, 52(1): 206-212. [GUO Z B, XIAO R, HUANG H, et al. Comparative analysis and evaluation of nutritional quality of tilapia in three aquaculture modes[J]. Journal of Southern Agriculture, 2021, 52(1): 206-212.]

- [4] 温利, 田明礼, 安玥琦, 等. 不同养殖模式对草鱼的营养与食用品质的影响[J]. 华中农业大学学报, 2022, 41(3): 244-251. [WEN L, TIAN M L, AN Y Q, et al. Effects of different aquaculture mode on nutritional quality and eating quality of grass carp[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2022, 41(3): 244-251.]
- [5] 岑剑伟, 于福田, 杨贤庆, 等. 几种杀菌方法对罗非鱼片鱼肉品质的影响比较[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(7): 123-129. [CEN J W, YU F T, YANG X Q, et al. Comparison of several germicidal methods of tilapia fillet and their effects on fish meat quality[J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(7): 123-129.]
- [6] CAI L, TONG F L, TANG T, et al. Comparative evaluation of nutritional value and flavor quality of muscle in triploid and diploid common carp: Application of genetic improvement in fish quality[J]. Aquaculture, 2021, 541(7): 736780.
- [7] 谢曦, 翟笑倩, 黎烽, 等. 脆肉尼罗罗非鱼与普通尼罗罗非鱼肌肉理化与营养特性的比较[J]. 水产学报, 2022, 46(8): 1439-1448. [XIE X, ZHAI X Q, LI F, et al. Comparative analysis of physicochemical and nutritional properties between crisp and normal *Oreochromis niloticus*[J]. Journal of Fisheries of China, 2022, 46(8): 1439-1448.]
- [8] SKALECKI P, FLOREK M, PYC A, et al. Comparison of physicochemical properties, fatty acid composition and mineral contents in common carp (*Cyprinus carpio* L.) fillet and the native traditional product carp ham[J]. Polish Journal of Food and Nutrition Sciences, 2016, 66(4): 311-320.
- [9] GONG Y Y, LU J X, HUANG Y Q, et al. Nutrient compositional differentiation in the muscle of wild, inshore and offshore cage-cultured large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*) [J]. Iranian Journal of Fisheries Sciences, 2019, 18(3): 497-506.
- [10] 韩迎雪, 林婉玲, 杨少玲, 等. 15种淡水鱼肌肉脂肪含量及脂肪酸组成分析[J]. 食品工业科技, 2018, 39(20): 217-222. [HAN Y X, LIN W L, YANG S L, et al. Analysis of fat content and fatty acid composition in muscles of 15 species of freshwater fish[J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(20): 217-222.]
- [11] 李温蓉, 田明礼, 安玥琦, 等. 池塘养殖和大湖养殖对“华海1号”团头鲂鱼肉品质的影响[J]. 水产学报, 2022, 46(7): 1220-1234. [LI W R, TIAN M L, AN Y Q, et al. Effects of pondculture and lake culture on fish quality of *Megalobrama amblycephala* “Huahai No.1” [J]. Journal of Fisheries of China, 2022, 46(7): 1220-1234.]
- [12] 胡芬, 李小定, 熊善柏, 等. 5种淡水鱼肉的质构特性及与营养成分的相关性分析[J]. 食品科学, 2011, 32(11): 69-72. [HU F, LI X D, XIONG S B, et al. Texture properties of freshwater fish and their correlation with nutritional components[J]. Food Science, 2011, 32(11): 69-72.]
- [13] 徐言, 陈季旺, 莫加利, 等. 烤制温度和时间对烧烤草鱼块品质的影响[J]. 食品科学, 2022, 43(15): 36-42. [XU Y, CHEN J W, MO J L, et al. Effect of roasting temperature and time on the quality attributes of roasted grass carp fillets[J]. Food Science, 2022, 43(15): 36-42.]
- [14] 陈惠, 刘焱, 李志鹏, 等. 热加工对草鱼鱼肉品质及风味成分的影响[J]. 食品与机械, 2017, 33(9): 53-58. [CHEN H, LIU Y, LI Z P, et al. Effect of hot processing on meat quality and flavor components of grass carp[J]. Food Machinery, 2017, 33(9): 53-58.]
- [15] 李锐, 孙祖莉, 李来好, 等. 不同热加工方式对罗非鱼片食用品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(14): 127-135. [LI R, SUN Z L, LI L H, et al. Effects of different thermal processing methods on edible quality of tilapia fillets[J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(14): 127-135.]
- [16] LI R, SUN Z L, ZHAO Y Q, et al. Effect of different thermal processing methods on water-soluble taste substances of tilapia fillets [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2022, 106: 104298.
- [17] GHESLAGHI R, SCHARER J M, MOO Y M, et al. Application of statistical design for the optimization of amino acid separation by reverse-phase HPLC[J]. Analytical Biochemistry, 2008, 383(1): 93-102.
- [18] SELIGSON F H, MACKEY L N. Variable predictions of protein quality by chemical score due to amino acid analysis and reference pattern[J]. The Journal of Nutrition, 1984, 114(4): 682-691.
- [19] ADEYEYE E I. The comparison of the amino acids profiles of whole eggs of duck, francolin and turkey consumed in Nigeria [J]. Global Journal of Science Frontier Research, 2013, 13(3): 10-20.
- [20] 李锐, 孙祖莉, 杨贤庆, 等. 加热方式对罗非鱼片质构特性和蛋白质理化特性的影响[J]. 大连海洋大学学报, 2020, 35(4): 577-582. [LI R, SUN Z L, YANG X Q, et al. Effects of heating methods on texture and protein physicochemical properties of *Nile tilapia* fillets[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2020, 35(4): 577-582.]
- [21] 庄海旗, 刘江琴, 崔燎, 等. 6种鲢科鱼脂肪酸组成比较及相关性分析[J]. 南方农业学报, 2018, 49(3): 556-562. [ZHUANG H Q, LIU J Q, CUI L, et al. Comparative and correlation analysis for fatty acid composition in six species of Anchovies[J]. Journal of Southern Agriculture, 2018, 49(3): 556-562.]
- [22] XIE R T, AMENYOGBE E, CHEN G, et al. Effects of feed fat level on growth performance, body composition and serum biochemical indices of hybrid grouper (*Epinephelus fuscoguttatus* × *Epinephelus polyphekadion*) [J]. Aquaculture, 2021, 530: 735-743.
- [23] 贾成霞, 杨慕, 胡庆杰, 等. 6种野生鱼肌肉营养成分分析与评价[J]. 现代食品科技, 2023, 39(6): 27-36. [JIA C X, YANG M, HU Q J, et al. Nutritional compositions and evaluation of 6 species wild fish muscle[J]. Modern Food Science and Technology, 2023, 39(6): 27-36.]
- [24] 刘登勇, 赵志南, 吴金城, 等. 不同地域特色熏鸡非盐呈味物质比较分析[J]. 食品科学, 2020, 41(2): 238-243. [LIU D Y, ZHAO Z N, WU J C, et al. Comparative analysis of non-salt taste compounds in featured smoked chickens from different regions[J]. Food Science, 2020, 41(2): 238-243.]
- [25] 赵洪雷, 冯媛, 徐永霞, 等. 海鲈鱼肉蒸制过程中品质及风味特性的变化[J]. 食品科学, 2021, 42(20): 145-151. [ZHAO H L, FENG Y, XU Y X, et al. Changes in quality and flavor characteristics of sea bass muscle during steaming[J]. Food Science, 2021, 42(20): 145-151.]
- [26] 林婉玲, 韩迎雪, 李来好, 等. 6种鲤科鱼肌肉脂肪的脂肪酸组成比较及相关性分析[J]. 中国油脂, 2019, 44(10): 29-34. [LIN W L, HAN Y X, LI L H, et al. Comparison and correlation analysis on fatty acid composition in muscle fat of six species of Cyprinid fishes[J]. China Oils and Fats, 2019, 44(10): 29-34.]
- [27] 雷琳. 鄱阳湖几种野生淡水鱼及其食物链脂类中脂肪酸特点的研究[D]. 南昌: 南昌大学, 2012. [LEI L. Characteristic analysis of fatty acids in wild freshwater fish and their diet from Poyang lake[D]. Nanchang: Nanchang University, 2012.]
- [28] ADEYEMI W J, LAWAL S I, OLATUNJI D B, et al. Omega 3 fatty acids favour lipid and bone metabolism in orchidectomised rats[J]. Clinical Nutrition Open Science, 2021, 35: 67-76.
- [29] WEI W T, HU M J, HUANG J, et al. Anti-obesity effects of DHA and EPA in high fat-induced insulin resistant mice[J]. Food & Function, 2021, 12(4): 1614-1625.
- [30] FOX J B, ACKERMAN S A, JENKINSE R K. Effect of anionic gums on the texture of pickled frankfurters[J]. Journal of Food Science, 1983, 48(4): 1031-1035.