

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2025.06.008

马英, 侯梦丹, 高胡君, 等. 不同年龄长吻鮠肌肉营养品质及挥发性风味物质比较分析 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2025, 47(6): 76-89.

## 不同年龄长吻鮠肌肉营养品质及 挥发性风味物质比较分析

马英<sup>1</sup>, 侯梦丹<sup>1</sup>, 高胡君<sup>1</sup>, 秦凤<sup>1</sup>, 魏震<sup>2</sup>, 郑维<sup>2</sup>,  
熊银林<sup>2</sup>, 翟旭亮<sup>3</sup>, 薛洋<sup>3</sup>, 徐凤<sup>3</sup>, 叶华<sup>1</sup>, 罗辉<sup>1</sup>

1. 西南大学水产学院/淡水鱼类资源与生殖发育教育部重点实验室, 重庆 荣昌 402460;

2. 四川省珍稀特有鱼类保护与利用中心, 四川 崇州 611200; 3. 重庆市水产技术推广总站, 重庆 401147

**摘要:** 为研究不同年龄长吻鮠肌肉营养品质和挥发性风味之间的差异, 以人工养殖的 2 龄、3 龄、4 龄长吻鮠为研究对象, 分别对其基本营养成分、氨基酸、脂肪酸和挥发性风味物质进行测定和分析。结果表明: 4 龄和 2 龄肌肉粗蛋白和灰分显著高于 3 龄, 但各龄肌肉间粗脂肪和水分无显著性差异。各龄肌肉均测得 18 种氨基酸, 包含必需氨基酸 7 种, 半必需氨基酸 3 种, 非必需氨基酸 8 种。呈味氨基酸以谷氨酸、天冬氨酸为主, 必需氨基酸中赖氨酸、亮氨酸含量最高。其中苏氨酸、缬氨酸、丙氨酸、胱氨酸和牛磺酸含量各龄间存在显著差异, 其余氨基酸差异不显著。长吻鮠肌肉中必需氨基酸与氨基酸总量比值与 WHO/FAO 模式推荐的标准(0.4)相近, 必需氨基酸与非必需氨基酸比值高于 WHO/FAO 推荐值(0.6)。4 龄和 3 龄肌肉必需氨基酸指数均为 0.87, 高于 2 龄肌肉。综合氨基酸评分(AAS)和化学评分(CS)揭示缬氨酸为长吻鮠肌肉中第一限制性氨基酸。脂肪酸测定结果显示, 除木蜡酸外, 其余脂肪酸各龄间差异均无统计学意义。各龄长吻鮠肌肉中不饱和脂肪酸总量高于饱和脂肪酸, 多不饱和脂肪酸与饱和脂肪酸比值符合健康膳食推荐比值。长吻鮠肌肉中 n-3 PUFA 与 n-6 PUFA 的比值均较为理想, DHA 和 EPA 含量丰富。3 个年龄段肌肉中共检测出 40 种挥发性风味物质, 4 龄和 3 龄肌肉的风味优于 2 龄肌肉。研究表明, 2 龄、3 龄、4 龄长吻鮠肌肉均具有较高的食用价值, 其中, 4 龄长吻鮠肌肉的鲜味程度和营养价值最佳。

**关键词:** 长吻鮠; 肌肉; 基本营养成分; 挥发性风味物质

中图分类号: S912

文献标识码: A

文章编号: 1673-9868(2025)06-0076-14

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



## Comparative Analysis of Nutritional Quality and Volatile Flavor Compounds in the Muscles of *Leiocassis longirostris* at Different Ages

收稿日期: 2024-11-21

基金项目: 国家重点研发计划项目(2022YFD2400903); 重庆市水产科技创新联盟项目(CQFTIU202505-1)。

作者简介: 马英, 硕士研究生, 主要从事水产动物营养与饲料研究。

通信作者: 罗辉, 教授。

MA Ying<sup>1</sup>, HOU Mengdan<sup>1</sup>, GAO Hujun<sup>1</sup>, QIN Feng<sup>1</sup>,  
WEI Zhen<sup>2</sup>, ZHENG Wei<sup>2</sup>, XIONG Yinlin<sup>2</sup>, ZHAI Xuliang<sup>3</sup>,  
XUE Yang<sup>3</sup>, XU Feng<sup>3</sup>, YE Hua<sup>1</sup>, LUO Hui<sup>1</sup>

1. Key Laboratory of Freshwater Fish Resources and Reproductive Development (Ministry of Education), College of Fisheries, Southwest University, Rongchang Chongqing 402460, China;

2. Center for Conservation and Utilization of Rare and Endemic Fishes in Sichuan, Chongzhou Sichuan 611200, China;

3. Chongqing Aquatic Technology Extension Station, Chongqing 401147, China

**Abstract:** To investigate the differences in nutritional quality and volatile flavor of muscles of different ages of *Leiocassis longirostris*, the basic nutrients, amino acids, fatty acids and volatile flavor substances of artificially cultured 2-year-old, 3-year-old and 4-year-old *L. longirostris* were determined and analyzed. The results indicated that the crude protein and ash content of the muscles from 4-year-old and 2-year-old individuals were significantly higher than those from 3-year-old individuals, while no significant differences were observed in crude fat and moisture among the muscles of different ages. A total of 18 amino acids were measured in the muscles of different ages, including 7 essential amino acids, 3 semi-essential amino acids and 8 non-essential amino acids. The predominant flavor amino acids were glutamic acid and aspartic acid, and the contents of lysine and leucine were the highest among the essential amino acids. Significant differences were found in the contents of threonine, valine, alanine, cystine, and taurine across different ages, while the differences in other amino acids were insignificant. The ratio of essential to total amino acids in the muscles of *L. longirostris* was close to the standard recommended by the WHO/FAO model (0.4), while the ratio of essential to non-essential amino acids exceeded the recommended value (0.6). The essential amino acid index of both 4-year-old and 3-year-old muscle was 0.87, which was higher than that of 2-year-old muscle. The comprehensive amino acid score (AAS) and chemical score (CS) revealed that valine was the first limiting amino acid in the muscles of *L. longirostris*. Fatty acid analysis showed that, apart from lignoceric acid, there were no statistically significant differences in the remaining fatty acids among different age groups. The total unsaturated fatty acids content in the muscles of all ages was higher than that of saturated fatty acids, and the ratio of polyunsaturated to saturated fatty acids met the recommended dietary guidelines. The ratios of n-3 PUFA to n-6 PUFA in the muscle of *L. longirostris* were ideal, and the contents of DHA and EPA were higher. A total of 40 volatile flavor substances were identified in the muscles of three age groups, with the flavors of 4-year-old and 3-year-old muscles being superior to those of 2-year-old muscles. This study demonstrates that the muscles of *L. longirostris* at the age of 2, 3 and 4 all possess relatively high edible value. Among them, the muscles of 4-year-old *L. longirostris* show the optimal umami flavor and nutritional value.

**Key words:** *Leiocassis longirostris*; muscle; basic nutrients; volatile flavor substances

长吻鮠(*Leiocassis longirostris*), 又名鮰鱼、江团, 隶属于鲇形目(Siluriformes)、鲿科(Bagridae)、鮠属(*Leiocassis*), 广泛分布于中国长江、辽河和淮河等水系。长吻鮠因肉质鲜美、无肌间刺, 具有较高的营养价值, 而备受人们的喜爱, 属于名贵的淡水经济品种<sup>[1]</sup>。20 世纪 70 年代以前, 长吻鮠均为来自长江流域

的野生群体,但由于过度捕捞,资源严重衰退,20世纪80年代开始发展人工繁殖<sup>[2]</sup>。随着人工繁殖、饲料营养等技术的不断提升,长吻鮠市场供应量得到一定程度的恢复,据《中国渔业统计年鉴》统计,2023年全国长吻鮠养殖产量已达到4.86万吨,呈现逐年增长趋势。产量提升后,人们开始关注水产品的食用品质。而年龄作为影响食品品质的潜在因素,已成为许多研究者筛选和评估优质食品源的重要关注点<sup>[3-5]</sup>。通常长吻鮠养殖2~3年即可上市,因不同细分市场对长吻鮠规格有要求,所以市售商品鱼年龄通常在2龄以上,跨越2龄、3龄、4龄等多个年龄段。基于此,从食用价值,即营养和风味角度进一步探讨长吻鮠不同年龄的差异,对长吻鮠养殖推广和利用具有重要意义。目前关于长吻鮠的研究主要集中于其生物学特性、养殖技术、饲料营养、疾病防治等方面<sup>[6]</sup>,对长吻鮠肌肉营养成分的分析以及对不同年龄阶段肌肉营养成分差异的比较研究较少。本研究通过对不同年龄阶段的长吻鮠肌肉的常规营养成分、氨基酸、脂肪酸以及挥发性风味物质进行测定,运用统计学方法进行比较分析,以期长为长吻鮠食品加工和居民膳食选择提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验动物

实验所用不同年龄长吻鮠均来自四川省长吻鮠原种场(中国崇州),养殖期间水温维持在22~28℃,溶解氧含量维持在6~8 mg/L, pH值维持在6.5~8.0,氨氮低于0.2 mg/L,亚硝酸盐低于0.05 mg/L,养殖期间投喂长吻鮠专用商品饲料。于2023年7月挑选生长状况良好、无病无伤、规格统一的各年龄段(2龄、3龄、4龄)长吻鮠用于试验,其中:2龄长吻鮠平均体长为30.44±1.53 cm,平均体质量为249.39±38.59 g;3龄长吻鮠平均体长为43.92±3.38 cm,平均体质量为788.08±244.23 g;4龄长吻鮠平均体长为62.08±3.69 cm,平均体质量为2320.26±310.53 g。分别取其背部肌肉搅碎混匀,分装后放于-80℃冰箱保存备用。每个年龄共设3个重复组。

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 基本营养成分的测定

水分、灰分、粗蛋白、粗脂肪的测定分别采用《食品安全国家标准 食品中水分的测定》(GB5009.3—2016)的恒温干燥法<sup>[7]</sup>、《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》(GB5009.4—2016)的灼烧法<sup>[8]</sup>、《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》(GB5009.5—2016)的凯氏定氮法<sup>[9]</sup>、《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》(GB5009.6—2016)的索氏抽提法<sup>[10]</sup>。

#### 1.2.2 氨基酸的测定

氨基酸测定方法采用《食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定》(GB5009.124—2016)<sup>[11]</sup>中的方法。

#### 1.2.3 氨基酸营养价值评价方法

根据FAO/WHO提出的蛋白质氨基酸评分标准<sup>[12]</sup>和中国预防医学科学院营养与食品卫生研究所提出的全鸡蛋蛋白质的氨基酸模式<sup>[13]</sup>对不同年龄长吻鮠蛋白质氨基酸营养品质进行评价,具体计算方法如下:

$$I_{AAS} = I_1 / I_2 \quad (1)$$

式中: $I_{AAS}$ 为氨基酸评分; $I_1$ 为待测样品肌肉蛋白质氨基酸含量(mg/g),此处氨基酸含量指每克蛋白质中含有的氨基酸毫克数; $I_2$ 为WHO评分模式氨基酸含量(mg/g)。

$$I_{cs} = I_1 / I_3 \quad (2)$$

式中: $I_{cs}$ 为化学评分; $I_1$ 为待测样品肌肉蛋白质氨基酸含量(mg/g),此处氨基酸含量指每克蛋白质中含有的氨基酸毫克数; $I_3$ 为全鸡蛋蛋白质中相应氨基酸含量(mg/g)。

$$I_{EAAI} = [(100 \times I_A / I_{AE}) \times (100 \times I_B / I_{BE}) \times (100 \times I_C / I_{CE}) \times \dots \times (100 \times I_H / I_{HE})]^{1/n} \quad (3)$$

式中:  $n$  为比较的必需氨基酸个数;  $I_A$ 、 $I_B$ 、 $I_C$ 、 $\dots$ 、 $I_H$  为样品中各必需氨基酸含量(mg/g);  $I_{AE}$ 、 $I_{BE}$ 、 $I_{CE}$ 、 $\dots$ 、 $I_{HE}$  为与全鸡蛋蛋白质对应的必需氨基酸含量(mg/g)。

#### 1.2.4 脂肪酸的测定

脂肪酸测定方法采用《食品安全国家标准 食品中脂肪酸的测定》(GB 5009.168—2016)<sup>[14]</sup>中的方法。

#### 1.2.5 挥发性风味物质的测定

挥发性风味物质采用顶空固相微萃取—气相色谱质谱联用(HS-SPME-GC-MS)法进行测定。称取 2 g 肌肉样品加入 20 mL 顶空样品瓶中,并加入 5 mL 饱和 NaCl 溶液,立即用硅—聚四氟乙烯盖子密封。60 °C 水浴孵育 30 min。将老化的萃取头(50/30  $\mu$ m DVB/CAR/PDMS 涂层)通过隔膜插入,并暴露于顶空瓶的顶部空间,预处理 60 min。色谱分离在安捷伦 6890 气相色谱-5971 质谱检测器系统(Agilent Technologies, 美国)和 HP-5MS(Agilent Technologies, 美国)毛细管柱(长 30 m, 内径 0.25 mm, 膜厚 0.25  $\mu$ m)上进行。以超纯氮气(恒定流量, 1.0 mL/min)作为载气,将样品在 250 °C 的进样器中解析 5 分钟。温度程序如下:初始 40 °C,保持 2°min 后,升温至 180 °C,升温速率为 5 °C/min;第二阶段,从 180 °C 到 280 °C,升温速率为 10 °C/min,并在 280 °C 下保持 10 min。质谱条件:电子撞击电离(EI)70 eV;界面温度, 280 °C;离子源温度, 230 °C。所有数据都是通过收集 33~450 m/z 扫描范围内的全扫描质谱获得的。

通过面积归一法计算每种挥发性物质的相对浓度。

### 1.3 数据分析

不同年龄长吻鮠肌肉营养成分采用 SPSS 27.0 软件进行单因素方差分析(One-way ANOVA),结果以平均值 $\pm$ 标准差(Mean $\pm$ S. D.)表示,显著性检验用 Duncan 法进行多重比较,以  $p < 0.05$  为差异显著水平。挥发性风味物质利用未知物分析(Quant-My-Way)软件,检索 NIST 2017 谱库,进行定性分析。使用 EXCEL 软件处理数据。使用 Graphpad Prism 10.1.2 绘制氨基酸和脂肪酸相关的柱状图。使用 Origin 2024 绘制挥发性风味物质相关的雷达图和 Venn 图。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同年龄长吻鮠肌肉基本营养成分统计

基本营养成分占比统计结果(表 1)显示,各年龄段长吻鮠之间水分、粗脂肪差异无统计学意义( $p > 0.05$ ),但粗蛋白和灰分差异显著( $p < 0.05$ )。4 龄肌肉粗蛋白和灰分含量最高,显著高于 3 龄( $p < 0.05$ ),但与 2 龄肌肉差异不显著( $p > 0.05$ )。

表 1 不同年龄长吻鮠肌肉基本营养成分(鲜质量)占比

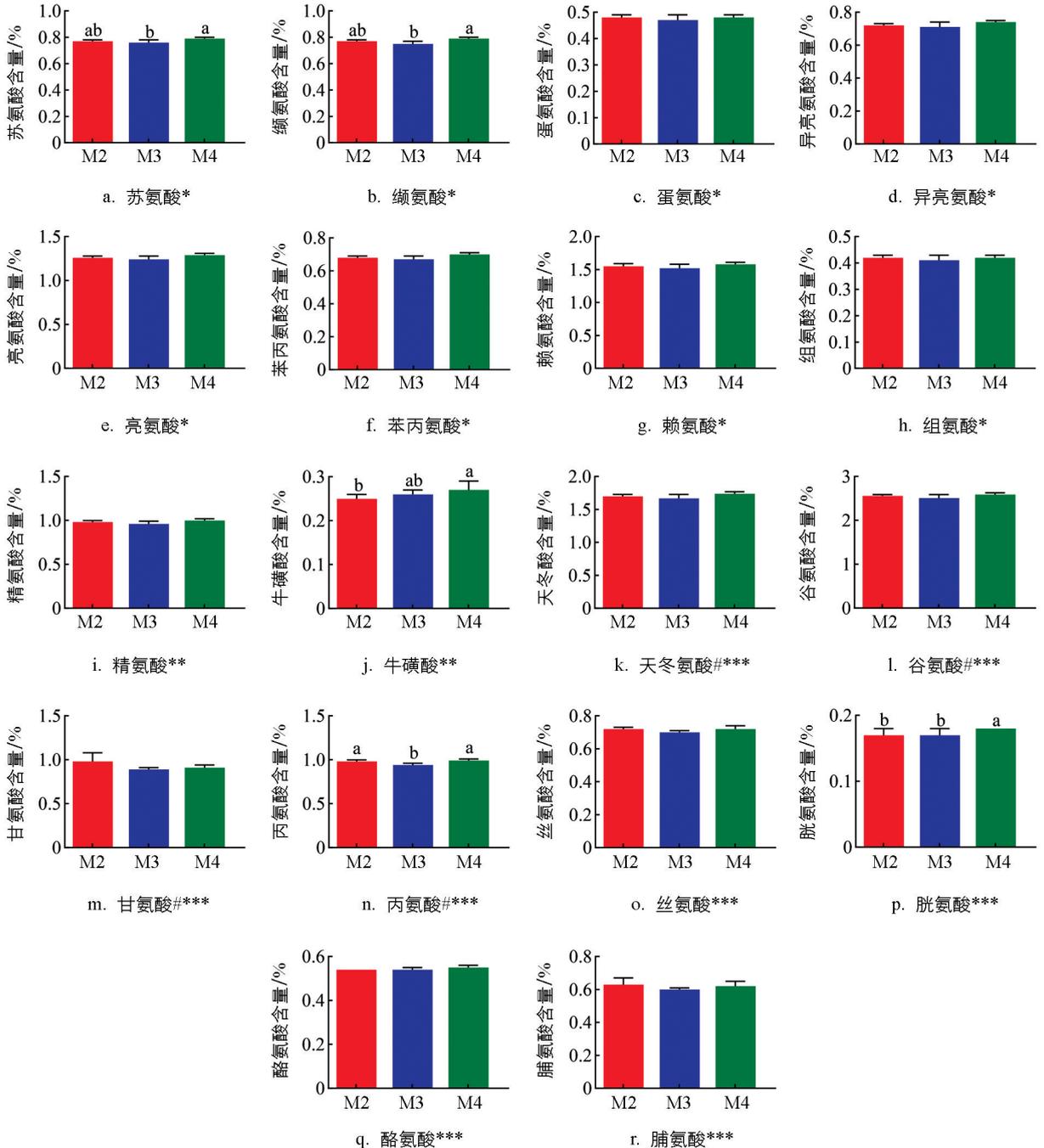
营养成分	M2	M3	M4	%
水分	80.01 $\pm$ 0.62	81.34 $\pm$ 0.65	79.81 $\pm$ 0.43	
粗蛋白	15.38 $\pm$ 0.25ab	14.86 $\pm$ 0.18b	15.93 $\pm$ 0.48a	
粗脂肪	3.59 $\pm$ 0.52	2.83 $\pm$ 0.96	3.24 $\pm$ 0.25	
灰分	1.02 $\pm$ 0.01a	0.97 $\pm$ 0.02b	1.02 $\pm$ 0.03a	

注:表中同一行不同字母上标表示差异具有统计学意义( $p < 0.05$ ); M2、M3、M4 分别对应 2 龄、3 龄、4 龄长吻鮠肌肉,下同。

### 2.2 不同年龄长吻鮠肌肉氨基酸组成及含量统计

测定得到的 18 种氨基酸(图 1)中,包含必需氨基酸 7 种,半必需氨基酸 3 种,非必需氨基酸 8 种。其中,鲜味氨基酸(Delicious amino acids, DAA)有 4 种(天冬氨酸、谷氨酸、甘氨酸、丙氨酸)。在各龄鱼肌肉中,含量最高的氨基酸为谷氨酸,其次分别为天冬氨酸、赖氨酸、亮氨酸,含量最低的氨基酸为胱

氨酸。以上氨基酸中, 除胱氨酸外, 其余氨基酸含量差异无统计学意义( $p > 0.05$ )。4 龄鱼中胱氨酸含量显著高于 2 龄和 3 龄鱼, 2 龄和 3 龄鱼之间差异无统计学意义。必需氨基酸(essential amino acid, EAA)中, 苏氨酸、缬氨酸, 以及非必需氨基酸(nonessential amino acid, NEAA)中牛磺酸、丙氨酸、胱氨酸的含量在各龄鱼肌肉中差异具有统计学意义( $p < 0.05$ ), 其余氨基酸差异不具有统计学意义( $p > 0.05$ )。3 个年龄组肌肉中必需氨基酸与氨基酸总量比值相等, 均为 0.39, 必需氨基酸与非必需氨基酸比值大于等于 0.75。必需氨基酸、半必需氨基酸、非必需氨基酸、鲜味氨基酸含量随着年龄的增长呈先降低、后增加的趋势。各氨基酸含量占氨基酸总量的比例差异无统计学意义( $p > 0.05$ )(表 2 和表 3)。



\* 代表鱼类必需氨基酸, \*\* 代表半必需氨基酸, \*\*\* 代表非必需氨基酸, # 代表呈味氨基酸。

图 1 不同年龄长吻鲈肌肉 18 种氨基酸含量比较

表 2 不同年龄长吻鮠肌肉氨基酸组成及含量

%

氨基酸种类	M2	M3	M4
必需氨基酸总量 EAA	6.22±0.12	6.12±0.21	6.36±0.09
半必需氨基酸总量 HEAA	1.65±0.02	1.64±0.04	1.69±0.05
鲜味氨基酸总量 DAA	6.22±0.10	6.01±0.15	6.22±0.12
氨基酸总量 TAA	16.15±0.16	15.76±0.42	16.35±0.29
非必需氨基酸总量 NEAA	8.27±0.15	8.01±0.17	8.30±0.17

表 3 不同年龄长吻鮠肌肉氨基酸组成比例

氨基酸种类	M2	M3	M4
必需氨基酸总量与氨基酸总量的比值	0.39±0.01	0.39±0.00	0.39±0.00
非必需氨基酸总量与氨基酸总量的比值	0.51±0.00	0.51±0.00	0.51±0.00
必需氨基酸总量与非必需氨基酸总量的比值	0.75±0.02	0.76±0.01	0.77±0.01
鲜味氨基酸总量与氨基酸总量的比值	0.39±0.00	0.38±0.00	0.38±0.00
半必需氨基酸总量与氨基酸总量的比值	0.10±0.00	0.10±0.00	0.10±0.00

### 2.3 不同年龄长吻鮠肌肉必需氨基酸评价

根据不同年龄长吻鮠肌肉氨基酸 AAS 评分模式结果可知,长吻鮠肌肉中苏氨酸、亮氨酸、赖氨酸、异亮氨酸、蛋氨酸+胱氨酸、苯丙氨酸+酪氨酸含量均高于 FAO/WHO 标准。各年龄段 AAS 值最大的均为赖氨酸。AAS 值最低的均为缬氨酸。根据 CS 评分模式结果可知,长吻鮠肌肉中赖氨酸含量高于全鸡蛋蛋白,其他必需氨基酸含量均低于全鸡蛋蛋白。综合 AAS 和 CS 评分标准,长吻鮠肌肉第一限制性氨基酸为缬氨酸。各龄长吻鮠肌肉必需氨基酸指数均超过 0.85(表 4)。

表 4 不同年龄长吻鮠肌肉必需氨基酸评价

必需氨基酸种类	FAO 评分	全鸡蛋	M2		M3		M4	
		蛋白	AAS	CS	AAS	CS	AAS	CS
苏氨酸	40	47	1.15	0.98	1.17	0.99	1.18	1.00
缬氨酸	50	66	0.93	0.70	0.93	0.71	0.93	0.71
异亮氨酸	40	54	1.08	0.80	1.10	0.81	1.09	0.81
亮氨酸	70	84	1.08	0.90	1.10	0.92	1.09	0.91
赖氨酸	55	70	1.69	1.33	1.71	1.35	1.70	1.34
蛋氨酸+胱氨酸	35	57	1.12	0.69	1.13	0.69	1.13	0.70
苯丙氨酸+酪氨酸	60	93	1.22	0.79	1.24	0.80	1.23	0.80
必需氨基酸指数 EAAI			0.86		0.87		0.87	

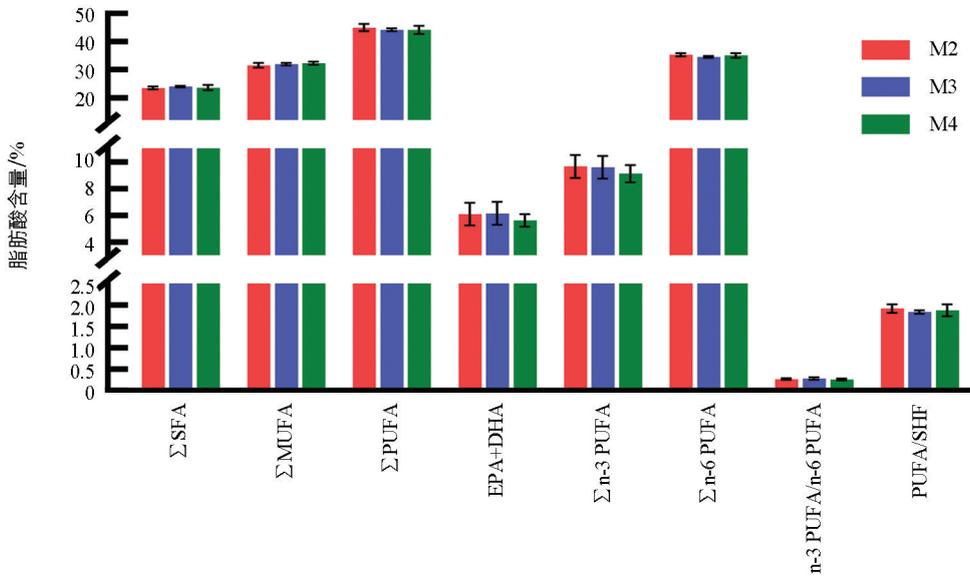
### 2.4 不同年龄长吻鮠肌肉脂肪酸组成及含量统计

共检测 37 种脂肪酸,各年龄中,饱和脂肪酸含量仅木蜡酸表现出显著性差异( $p < 0.05$ ),即 2 龄肌肉木蜡酸含量显著高于 3 龄、4 龄肌肉(表 5)。3 个年龄肌肉中多不饱和脂肪酸总量大于单不饱和脂肪酸含量、饱和脂肪酸含量(图 2)。三类脂肪酸中含量最高的脂肪酸分别为亚油酸、油酸、棕榈酸(表 5)。EPA+DHA 总量、n-3 PUFA 与 n-6 PUFA 的比值、PUFA 与 SFA 的比值在各龄肌肉之间未表现出显著性差异( $p > 0.05$ )(图 2)。

表 5 不同年龄长吻鮠肌肉脂肪酸组成及含量

%

种类	脂肪酸	M2	M3	M4
饱和脂肪酸(SFA)	丁酸(C4:0)	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00
	己酸(C6:0)	0.01±0.00	0.01±0.01	0.00±0.01
	辛酸(C8:0)	0.00±0.01	0.00±0.00	0.00±0.01
	癸酸(C10:0)	0.01±0.01	0.00±0.00	0.00±0.01
	十一烷酸(C11:0)	0.00±0.01	0.01±0.01	0.01±0.01
	月桂酸(C12:0)	0.09±0.03	0.07±0.04	0.09±0.06
	十三烷酸(C13:0)	0.01±0.00	0.01±0.01	0.01±0.01
	肉豆蔻酸(C14:0)	1.24±0.04	1.22±0.03	1.25±0.05
	十五烷酸(C15:0)	0.22±0.01	0.20±0.01	0.21±0.02
	棕榈酸(C16:0)	16.26±0.27	16.63±0.23	16.43±0.50
	十七烷酸(C17:0)	0.21±0.02	0.20±0.02	0.21±0.02
	硬脂酸(C18:0)	4.29±0.25	4.42±0.26	4.28±0.43
	花生酸(C20:0)	0.22±0.01	0.23±0.02	0.22±0.01
	二十一烷酸(C21:0)	0.03±0.01	0.02±0.01	0.02±0.02
	山嵛酸(C22:0)	0.11±0.02	0.10±0.01	0.10±0.01
	二十三烷酸(C23:0)	0.76±0.07	0.80±0.11	0.74±0.03
	木蜡酸(C24:0)	0.05±0.02a	0.02±0.00b	0.02±0.00b
单不饱和脂肪酸(MUFA)	肉豆蔻脑酸(C14:1n5)	0.04±0.01	0.02±0.01	0.03±0.00
	十五碳烯酸(C15:1n5)	0.01±0.01	0.00±0.01	0.00±0.00
	棕榈油酸(C16:1n7)	2.90±0.07	2.94±0.02	2.96±0.08
	十七碳烯酸(C17:1n7)	0.15±0.01	0.15±0.01	0.15±0.01
	反油酸(C18:1n9t)	0.08±0.01	0.10±0.01	0.10±0.01
	油酸(C18:1n9c)	26.74±0.96	27.13±0.46	27.45±0.65
	二十碳烯酸(C20:1n9)	1.42±0.11	1.41±0.15	1.40±0.14
	芥酸(C22:1n9)	0.08±0.01	0.07±0.01	0.07±0.02
	神经酸(C24:1n9)	0.09±0.04	0.11±0.01	0.09±0.03
多不饱和脂肪酸(PUFA)	反亚油酸(C18:2n6t)	0.01±0.00	0.00±0.01	0.00±0.01
	亚油酸(C18:2n6c)	33.01±0.55	32.25±0.52	32.77±0.76
	γ-亚麻酸(C18:3n6)	0.13±0.05	0.15±0.06	0.14±0.03
	α-亚麻酸(C18:3n3)	3.24±0.11	3.11±0.12	3.16±0.15
	二十碳二烯酸(C20:2n6)	1.34±0.19	1.32±0.18	1.34±0.10
	二十碳三烯酸(C20:3n6)	0.74±0.03	0.76±0.05	0.71±0.02
	二十碳三烯酸(C20:3n3)	0.34±0.04	0.33±0.05	0.32±0.04
	花生四烯酸 ARA(C20:4n6)	0.03±0.01	0.02±0.01	0.03±0.02
	二十二碳二烯酸(C22:2n6)	0.05±0.02	0.04±0.02	0.06±0.02
	二十碳五烯酸 EPA(C20:5n3)	0.95±0.09	0.88±0.10	0.87±0.08
	二十二碳六烯酸 DHA(C22:6n3)	5.14±0.75	5.27±0.77	4.76±0.39



ΣSFA 表示饱和脂肪酸总量, ΣMUFA 表示单不饱和脂肪酸总量, ΣPUFA 表示多不饱和脂肪酸总量, Σn-3 PUFA 表示 n-3 系多不饱和脂肪酸总量, Σn-6 PUFA 表示 n-6 系多不饱和脂肪酸总量, n-3 PUFA/n-6 PUFA 表示 n-3 系多不饱和脂肪酸总量与 n-6 系多不饱和脂肪酸总量的比值, PUFA/SFA 表示多不饱和脂肪酸总量与饱和脂肪酸总量的比值。

图 2 不同年龄长吻鮠肌肉脂肪酸含量比较

### 2.5 不同年龄长吻鮠肌肉中挥发性风味物质统计

采用 HS-SPME-GC-MS 法测定不同年龄长吻鮠肌肉中的挥发性风味物质, 共检测出 40 种, 分别属于烃类(Hydrocarbons)、醛类(Aldehydes)、酮类(Ketones)、酯类(Esters)、芳香类(Aromatics)、醇类(Alcohols)、酸类(Acids)和其他类(Others)。各龄肌肉中包含 7 种烃类, 其含量随年龄增加而减少; 8 种醛类, 其含量随年龄增加而增加; 3 种酮类, 在 3 龄长吻鮠肌肉中含量最低; 4 种酯类, 其含量随年龄增加而减少; 9 种芳香类, 在 4 龄长吻鮠肌肉中含量最低; 2 种醇类, 其含量随年龄增加而增加; 2 种酸类, 在 3 龄长吻鮠肌肉中含量最低; 5 种其他类物质, 在 3 龄长吻鮠肌肉中含量最高(图 3 和表 6)。不同年龄长吻鮠肌肉中检测出的挥发性风味物质种类数分别为: 2 龄长吻鮠肌肉中检测出 20 种, 十三烷和邻苯二甲酸庚-4-基异丁酯均为 2 龄长吻鮠肌肉特有; 3 龄长吻鮠肌肉共检测出 31 种, 包含特有醛类 1 种, 特有酯类 1 种, 特有芳香类 3 种, 特有其他类 4 种; 4 龄长吻鮠肌肉共检测出 28 种, 包含特有烃类、醛类、酮类、芳香类、酸类各 1 种(图 4 和表 6)。

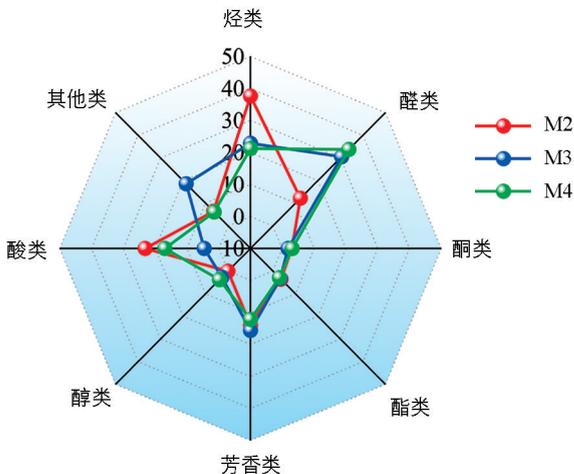


图 3 不同年龄长吻鮠肌肉挥发性风味物质种类及其在挥发性风味物质总量中的百分比

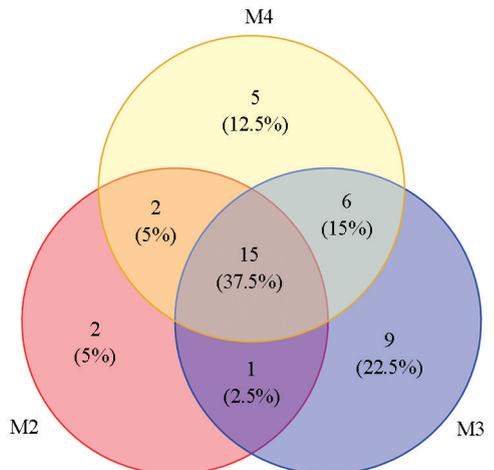


图 4 不同年龄长吻鮠肌肉挥发性风味物质鉴定数量

表6 不同年龄长吻鮠肌肉挥发性风味物质组成

种类	化合物名称	保留时间/ min	含量/%		
			M2	M3	M4
烃类	十三烷	19.65	0.83	—	—
	十四烷	22.29	3.28	1.32	1.71
	十五烷	24.78	8.19	4.61	4.88
	十六烷	27.14	1.12	0.97	—
	十七烷	29.38	11.33	9.61	5.84
	2,6,10,14-四甲基十五烷	29.52	12.89	6.36	8.29
	8-十七烯	28.89	—	—	0.54
醛类	安息香醛	9.94	2.72	3.47	4.74
	壬醛	14.05	8.20	11.97	10.99
	癸醛	17.04	1.24	1.16	0.88
	己醛	5.04	—	7.06	10.70
	庚醛	7.83	—	1.01	1.63
	辛醛	—	—	2.79	2.96
	(E)-2-癸烯醛	18.62	—	3.09	—
	(E,E)-2,4-癸二烯醛	20.13	—	—	1.87
酮类	环己酮	7.82	1.38	0.93	0.76
	1-苯基-1-己酮	23.87	1.76	0.91	1.70
	5-十二烷基二氢-2(3H)-呋喃酮	35.49	—	—	0.67
酯类	二乙氨基二硫代甲酸甲酯	21.86	3.17	2.19	2.52
	邻苯二甲酸二丁酯	33.18	—	0.56	—
	邻苯二甲酸庚-4-基异丁酯	—	0.42	—	—
	1,2-苯二甲酸二(2-甲基丙基)酯	32.53	—	0.52	0.37
芳香类	甲苯	4.80	2.39	—	2.65
	苯乙烯	7.49	3.33	—	2.49
	1-庚烯基苯	23.19	—	—	0.51
	萘	16.38	4.51	7.13	3.66
	2-甲基萘	19.97	2.34	4.80	1.95
	1,6-二甲基萘	22.42	—	0.50	—
	1,2-二甲基萘	22.83	—	0.72	—
	1,4-二甲基萘	23.13	—	0.80	—
	喹啉	17.98	1.30	1.69	0.91
醇类	1-辛烯-3-醇	10.27	—	1.27	3.00
	2-乙基-1-己醇	11.76	—	1.42	0.80
酸类	正十六烷酸(棕榈酸)	33.76	23.15	4.55	12.09
	十八烷酸(硬脂酸)	36.05	—	—	4.81
其他类	N,N-二丁基甲酰胺	19.78	6.45	8.46	6.08
	甲氧基苯基脒	8.42	—	8.59	—
	苯并[c]噻吩	16.64	—	0.41	—
	苕	24.43	—	0.57	—
	芴	26.76	—	0.56	—

注:“—”表示不含该物质。

## 3 讨论和结论

### 3.1 讨论

#### 3.1.1 基本营养成分比较分析

肌肉营养组成是消费者评判鱼类品质的主要指标之一<sup>[15]</sup>。本实验测定的 4 个常规营养指标中,各年龄段肌肉水分、粗脂肪含量无显著性差异,但粗蛋白和灰分差异显著。蛋白质作为肉类主要营养指标,其含量受到动物年龄影响<sup>[16-17]</sup>。本研究发现,4 龄肌肉粗蛋白含量显著高于 3 龄,与 2 龄肌肉无显著性差异,这一结果与宽体沙鳅、翘嘴鲌等水产动物<sup>[18]</sup>肌肉粗蛋白含量研究结果相似。但与中华鳖、野猪、陕北白绒山羊<sup>[19-21]</sup>等动物肉类蛋白质含量随着动物年龄的增长而增加的规律不同。产生差异的原因可能与物种、环境、实验条件、饲养管理等因素有关。另一方面,长吻鮠的粗蛋白含量在 14.86%~15.93%之间,高于鲢鱼<sup>[22]</sup>、与黄颡鱼<sup>[23]</sup>、黄花鱼<sup>[22]</sup>等含量接近,是补充蛋白质的优质食物源。脂肪含量是评判鱼肉营养价值、决定肌肉多汁性和风味浓度的重要指标。本研究中,各龄肌肉粗脂肪含量在 2.83%~3.59%。高于鲢、鳊<sup>[24]</sup>、乌鳢、黄鳝<sup>[23]</sup>等淡水养殖鱼类,与鳊鱼<sup>[25]</sup>、黄颡鱼<sup>[23]</sup>、许氏平鲈<sup>[22]</sup>接近,而低于加州鲈<sup>[25]</sup>、小带鱼、鲮鱼、黄花鱼<sup>[22]</sup>。产生差异的原因可能与鱼的品种和是否处于繁殖期有关。另外,四大基本营养指标中,粗蛋白、粗脂肪、灰分在各龄肌肉中的含量均呈现出 4 龄、2 龄大于 3 龄的趋势,结合长吻鮠生长情况和繁殖特性分析其原因可能为:2 龄长吻鮠处于快速生长阶段,需要大量蛋白质等营养物质来构建和修复身体各组织器官,因此会积累更多粗蛋白。同时,为了满足生长所需的能量,也会储存一定量的粗脂肪,而较高的灰分可用于构建和强化骨骼等硬组织。3 龄长吻鮠相对 2 龄长吻鮠生长速度减缓,骨骼发育处于相对稳定的阶段,对蛋白质、脂肪、灰分等需求及积累量均有所减少,且性成熟后的 3 龄长吻鮠在繁殖期结束后,其能量分配更多地倾向于恢复繁殖过程中的能量损耗和维持基本生理功能,而非像 2 龄长吻鮠那样着重于生长相关的营养积累,因此营养物质含量低于 2 龄长吻鮠。尽管 4 龄长吻鮠和 3 龄长吻鮠一样,在 4-6 月繁殖期产生了巨大的能量消耗,但由于其在之前多个生长周期中积累了较多的营养物质,相比之下,3 龄长吻鮠的营养储备基础较弱,所以在繁殖后的 7 月份,4 龄长吻鮠肌肉中的蛋白、脂肪等营养物质含量高于 3 龄长吻鮠。

#### 3.1.2 氨基酸组成差异及品质分析

氨基酸是构成蛋白质的基本单元,其种类和含量决定着蛋白质的品质优劣。本研究发现长吻鮠肌肉必需氨基酸、半必需氨基酸、非必需氨基酸、鲜味氨基酸含量随着年龄的增长呈先降低、后增加的趋势,与各龄肌肉总粗蛋白的含量变化规律一致。但各氨基酸含量占氨基酸总量的比例差异无统计学意义。这一结果与董纯等<sup>[26]</sup>对不同年龄圆口铜鱼的氨基酸研究结果一致。说明就氨基酸而言,各龄长吻鮠肌肉营养价值总体趋于一致。长吻鮠肌肉检测出的 18 种氨基酸中,含量最高的依次为谷氨酸、天冬氨酸、赖氨酸和亮氨酸,胱氨酸含量最低,符合罗非鱼(*Oreochromis spp.*)、鲤(*Cyprinus carpio*)和鲫(*Carassius auratus*)等常规硬骨鱼类肌肉中的氨基酸含量排列顺序。谷氨酸和天冬氨酸为水产动物重要的鲜味氨基酸,二者参与形成鲜味肽,进而增加食物的鲜美口感和醇厚滋味<sup>[27]</sup>。除谷氨酸和天冬氨酸外,肌肉中检测出的甘氨酸和丙氨酸也是肉类重要的呈味氨基酸,其中,丙氨酸可以使鱼肉呈现甜鲜味感<sup>[28]</sup>。本研究中,4 龄、2 龄长吻鮠肌肉中丙氨酸含量显著高于 3 龄肌肉,前两者丙氨酸含量差异无统计学意义。推测 4 龄和 2 龄长吻鮠肌肉肉质更为鲜甜,相较 3 龄肌肉具有更大的水产品消费潜力。必需氨基酸是评价鱼类营养品质的主要指标<sup>[13]</sup>。本研究发现长吻鮠肌肉中赖氨酸、亮氨酸含量较高。赖氨酸是一种重要的抗氧化剂<sup>[29]</sup>,是参与人体生长发育的重要氨基酸<sup>[30]</sup>。而亮氨酸对癌细胞具有较强的细胞毒性<sup>[29]</sup>。因此食用长吻鮠可补充对人体具有明显益处的赖氨酸、亮氨酸等重要氨基酸。

氨基酸的比例也决定蛋白质的营养价值。据 FAO/WHO 公布的理想氨基酸模式可知,必需氨基酸与氨基酸总量的比值在 0.4 左右、必需氨基酸与非必需氨基酸的比值 $\geq 0.6$  的蛋白质,被认为是优质蛋白

质<sup>[31]</sup>。本研究中, 3 个年龄肌肉中必需氨基酸占总氨基酸比例的平均值均为 0.39, 接近 FAO/WHO 推荐值。必需氨基酸与非必需氨基酸的比值均大于 0.75, 超过 FAO/WHO 推荐值, 说明 3 个年龄长吻鲢肌肉中氨基酸种类齐全且组成比例接近人体需求, 质量均较高, 属于优质蛋白源。

必需氨基酸指数 EAAI 通过必需氨基酸与参考蛋白的几何平均值来比较蛋白质质量<sup>[32]</sup>。EAAI 值越高, 表明蛋白质质量越高, 被人体消化吸收的效率越高<sup>[33]</sup>。当 EAAI 值大于 0.70 时, 蛋白质质量较理想<sup>[34]</sup>。基于此参考标准, 各年龄段长吻鲢肌肉的蛋白质质量均较为理想。4 龄和 3 龄长吻鲢肌肉 EAAI 值略高于 2 龄肌肉, 表明一定程度上, 4 龄、3 龄肌肉的蛋白品质优于 2 龄肌肉。

综合氨基酸评分 AAS 和化学评分 CS 结果显示缬氨酸为 3 个年龄段长吻鲢的第一限制性氨基酸。因而, 食用长吻鲢时, 建议同时通过其他食物源补充缬氨酸。在培育商品鱼过程中, 可通过在饲料中额外添加缬氨酸, 从而平衡氨基酸, 提高肌肉蛋白质品质。此外, 两种评分模式下, 赖氨酸评分均最高, 表明食用长吻鲢肌肉能够很好地弥补谷物膳食中赖氨酸的不足。

### 3.1.3 脂肪酸组成差异研究

脂肪酸分为饱和脂肪酸和不饱和脂肪酸, 在鱼体中具有不同的作用。研究表明, 与不饱和脂肪酸相比, 饱和脂肪酸含量越高, 食物的香气、嫩度等指标就会越低<sup>[35]</sup>。本研究中各龄长吻鲢肌肉不饱和脂肪酸含量均高于饱和脂肪酸。饱和脂肪酸含量从高到低依次为 3 龄肌肉、4 龄肌肉、2 龄肌肉, 三者间无显著性差异。饱和脂肪酸可为机体提供能量<sup>[36]</sup>, 推测 3 龄肌肉饱和脂肪酸含量相对较高的原因为: 在性成熟的 3 龄长吻鲢繁殖后恢复阶段的能量代谢过程中, 不同类型的脂肪酸被利用的顺序存在差异。不饱和脂肪酸含有双键, 化学性质相对活泼, 在能量代谢过程中更容易被氧化分解来提供能量。在繁殖期和繁殖后的恢复阶段, 不饱和脂肪酸被优先利用, 而饱和脂肪酸由于化学结构相对稳定, 被氧化分解的速度较慢, 所以在剩余的脂肪中, 饱和脂肪酸的占比相对升高。不饱和脂肪酸根据双键个数的不同, 可分为单不饱和脂肪酸和多不饱和脂肪酸。从表 5 中可知, 长吻鲢肌肉单不饱和脂肪酸中油酸含量最高, 多不饱和脂肪酸中亚油酸含量最高, 而油酸和亚油酸是预防人体心脑血管等疾病的重要物质<sup>[18]</sup>。各龄长吻鲢肌肉中多不饱和脂肪酸与饱和脂肪酸的比值均符合健康膳食中的推荐比值( $\geq 0.4$ )<sup>[37]</sup>, 从高到低依次为 2 龄肌肉、4 龄肌肉、3 龄肌肉, 说明 2 龄和 4 龄长吻鲢肌肉脂肪酸含量和比例更符合人体需求。鱼类中 n-3 PUFA、n-6 PUFA、EPA 和 DHA 的含量可以作为评价脂肪酸营养价值的重要指标<sup>[38]</sup>。n-6 PUFA、n-3 PUFA 作为人类必需的营养素, 自身不能合成, 必须从膳食中获取<sup>[39]</sup>。n-6 PUFA 和 n-3 PUFA 参与人体抗炎和抗癌作用, 平衡机体组织中 n-3 PUFA 与 n-6 PUFA 的比值可有效降低癌症等疾病的患病风险。文献[40]建议将 n-3 PUFA 与 n-6 PUFA 的比值小于 2.5 作为衡量肉类营养的指标<sup>[40]</sup>, 本研究中, 所有年龄组长吻鲢肌肉的 n-3 PUFA 与 n-6 PUFA 的比值比例均满足上述标准, 进一步证明长吻鲢是一种具有较高营养价值的水产品。DHA 和 EPA 具有多种功能, 包括有益于脑神经发育、提高视网膜功能和降低慢性疾病风险, 如心血管疾病和糖尿病等<sup>[41]</sup>。本研究结果表明, 各龄长吻鲢肌肉中 DHA 和 EPA 含量丰富, 适量摄入长吻鲢肌肉对人体健康大有益处。

### 3.1.4 风味特征对比分析

肌肉中烃类化合物含量由高到低依次为 2 龄、3 龄、4 龄。3 龄和 4 龄肌肉烃类物质含量差异不大。各年龄段烃类含量不同, 但研究表明, 烃类物质芳香阈值较高, 通常认为其对整体风味的贡献度较小<sup>[42]</sup>。烃类物质包含烷烃和烯烃, 烯烃类化合物在一定条件下可生成醛或酮类物质<sup>[43]</sup>。与其他两组肌肉相比, 4 龄肌肉特有 8-十七烯, 该不饱和烯烃可能间接性地对肌肉风味产生影响。

醛类化合物主要由脂肪酸的氧化以及氨基酸 Strecker 降解产生<sup>[44]</sup>。醛类香气阈值低<sup>[45]</sup>, 含量高, 是各龄长吻鲢肌肉风味的重要贡献物质。3 个年龄肌肉中共检测出 8 种醛类, 其相对含量占比由高到低依次为: 4 龄、3 龄、2 龄。2 龄肌肉与其他两组肌肉醛类含量差异较大, 说明 4 龄和 3 龄肌肉的风味明显优于 2 龄肌肉。2 龄肌肉中仅含有三种醛类物质, 3 龄、4 龄肌肉各含有 7 种醛类物质。醛通常具有青草味、糖果味、坚

果味、奶酪味和脂肪味等味道<sup>[46]</sup>,且醛类通常具有气味叠加效应<sup>[47]</sup>,这可能是 3 龄和 4 龄长吻鮠肌肉风味更加丰富和独特的原因。3 龄、4 龄肌肉中,相对含量占比最高的醛类为壬醛,己醛次之,安息香醛、辛醛等含量也较高。已有研究报道,己醛具有脂质和青草香味,壬醛具有青草香味,在较高浓度下可表现出鱼腥味<sup>[48]</sup>,这可能是 3 龄、4 龄肌肉具有明显腥味的主要原因。

各龄肌肉中,酮类挥发性物质相对含量均较低,分别为 2 龄肌肉 3.01%,3 龄肌肉 1.84%,4 龄肌肉 3.14%。酮类物质阈值较高<sup>[42]</sup>,对长吻鮠风味贡献度较低。

与酮类物质相似,酯类香气阈值也较高<sup>[47]</sup>,且在各龄肌肉挥发物质中含量较低,不作为长吻鮠肌肉的主要风味贡献物质。

不同年龄肌肉检测出的芳香化合物种类不完全相同。3 龄肌肉以萘为主,2 龄和 4 龄肌肉各含有一些苯类物质。萘、苯类物质会对长吻鮠肌肉风味产生一定负面影响。研究已表明,众多淡水鱼类中也检测到这两类物质,其原因可能是由于鱼类对饲料及环境中该物质的蓄积<sup>[43]</sup>。因而,控制环境及饲料等因素对培育优质风味的鱼类具有重要作用。

醇类主要由脂肪氧化和羰基化合物的还原产生。与其他物质相比,醇类的阈值较高,除非浓度较高否则对风味的贡献度都较低<sup>[49]</sup>。但是,一些特殊的不饱和醇的阈值却相对较低<sup>[45]</sup>。如 1-辛烯-3-醇。该物质在 4 龄肌肉中相对含量较高,3 龄肌肉次之,2 龄肌肉中未检测出。1-辛烯-3-醇具有类似蘑菇的气味,通常也被认为是水产品中土腥味的来源<sup>[50]</sup>。这也是 3 龄、4 龄长吻鮠肌肉腥味更重的重要原因之一。

长吻鮠肌肉中共检测出两种酸类物质,分别为正十六烷酸(棕榈酸)和十八烷酸(硬脂酸),酸类物质在各年龄肌肉中含量差异明显,2 龄肌肉为 23.15%,3 龄肌肉为 4.55%,4 龄肌肉为 16.90%。但有研究表明,这两类物质属于不散发特殊气味的挥发物<sup>[51]</sup>。因此,较少关注它们在长吻鮠肌肉风味贡献中的作用。

### 3.2 结论

各龄长吻鮠肌肉中蛋白质含量高、脂肪含量低,4 龄肌肉粗蛋白含量最高,4 龄、2 龄肌肉灰分含量显著高于 3 龄肌肉。各龄肌肉氨基酸、脂肪酸种类齐全、组成平衡、含量丰富。4 龄、2 龄肌肉重要鲜味氨基酸、必需氨基酸含量略高于 3 龄。4 龄肌肉必需氨基酸指数等于 3 龄肌肉、高于 2 龄肌肉,n-3 PUFA/n-6 PUFA 比值较为理想。长吻鮠肌肉中含有青草味、糖果味、坚果味、奶酪味、脂肪味和蘑菇味等挥发性风味,以及特有的土腥味。风味程度方面,4 龄、3 龄肌肉优于 2 龄肌肉。因而,结合营养价值和鲜味程度综合考虑,4 龄长吻鮠肌肉可作为三者中最优质的食物来源。但在实际生产应用中,确定长吻鮠的最佳养殖或生产龄期时,需要在鲜味程度、营养价值与生产成本和利润之间进行权衡。

### 参考文献:

- [1] 肖明松,崔峰,康健,等.长吻鮠养殖群体与野生群体遗传多样性分析[J].水生生物学报,2013,37(1):90-99.
- [2] 鲍美华,冯军,何锦军,等.长江特色鱼类长吻鮠大规模苗种培育技术要点[J].中国水产,2021(8):76-77.
- [3] BAO G L, LIU X, WANG J Q, et al. Effects of Slaughter Age on Myosin Heavy Chain Isoforms, Muscle Fibers, Fatty Acids, and Meat Quality in *Longissimus thoracis* Muscle of Tibetan Sheep [J]. *Frontiers in Veterinary Science*, 2021, 8: 689589.
- [4] 李云霞,孟军,王建文,等.年龄对伊犁马肉食用品质和肌纤维特性的影响[J].食品研究与开发,2021,42(20):14-20.
- [5] 王琨,程宝晶,刘斌,等.不同年龄野生和养殖兴凯湖翘嘴鲌肌肉营养成分分析[J].中国水产科学,2012,19(5):906-912.
- [6] 曹静,张风桦,宋军,等.养殖和野生长吻鮠肌肉营养成分比较分析[J].食品科学,2015,36(2):126-131.
- [7] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会.食品安全国家标准 食品中水分的测定:GB 5009.3-2016[S].北京:中国标准出版社,2016.
- [8] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会.食品安全国家标准 食品中灰分的测定:GB 5009.4-2016[S].北京:中

- 国标准出版社, 2016.
- [9] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定: GB 5009.5-2016 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [10] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中脂肪的测定: GB 5009.6-2016 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [11] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定: GB 5009.124-2016 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [12] PELLETT P L, YOUNG V R. 蛋白质食物的营养评价 [M]. 范文洵, 译. 北京: 人民卫生出版社, 1984.
- [13] 刘志泉. 食品营养学 [M]. 2 版. 北京: 中国轻工业出版社, 2004.
- [14] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中脂肪酸的测定: GB 5009.168-2016 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [15] 王崇, 陈金生, 夏一丹, 等. 中国结鱼营养成分分析与品质评价 [J]. 水产学杂志, 2023, 36(6): 8-13.
- [16] 娄新建, 马万浩, 郝力壮, 等. 牦牛肉品质研究进展 [J]. 中国畜牧兽医, 2024, 51(8): 3394-3409.
- [17] 李娜, 柴晓峰, 张继才, 等. 年龄对云南本地牛肉品质的影响 [J]. 食品工业科技, 2015, 36(22): 105-110.
- [18] 赵仲孟, 周剑, 李强, 等. 不同年龄段养殖长吻鮠肌肉的营养成分比较及评价 [J]. 中国农学通报, 2023, 39(23): 102-108.
- [19] HOU M D, SUN W B, MA Y, et al. Comparative Analysis for Nutrients, Flavor Compounds, and Lipidome Revealed the Edible Value of Pond-Cultured Male *Pelodiscus sinensis* with Different Ages [J]. Food Chemistry, 2024, 454: 139795.
- [20] MODZELEWSKA-KAPITUŁA M, TOMASZ Ż. The Influence of Age and Gender on the Quality of Raw and Roasted Wild Boars (*Sus scrofa*) Meat [J]. Meat Science, 2021, 181: 108600.
- [21] 阚博文, 高亚伟, 王国军, 等. 不同年龄陕北绒山羊胴体差异比较研究 [J]. 中国畜牧杂志, 2019, 55(2): 44-48.
- [22] 李佳蔚, 丁玉竹, 薛敬林, 等. 莱州湾 6 种海水鱼肌肉营养成分与健康评价 [J]. 食品工业, 2023, 44(11): 319-322.
- [23] 温小波, 库天梅, 李伟国. 4 种优质底栖淡水鱼类肌肉营养成分的比较 [J]. 大连水产学院学报, 2003, 18(2): 99-103.
- [24] 贾成霞, 曲疆奇, 李永刚, 等. 密云水库鲢鱼、鳙鱼营养成分分析与评价 [J]. 水产科学, 2019, 38(1): 40-47.
- [25] 汪涛, 沈勇, 孙龙生, 等. 梭鲈与加州鲈、鳊鱼的肌肉品质比较 [J]. 水产养殖, 2020, 41(7): 17-23.
- [26] 董纯, 罗安红, 陈小娟, 等. 不同年龄和性腺发育阶段圆口铜鱼营养成分分析 [J]. 水生态学杂志, 2022, 3(2): 108-115.
- [27] 刘义, 赵钺沁, 周怡梅, 等. 鲜味肽的研究进展 [J]. 西华大学学报(自然科学版), 2016, 35(3): 21-25.
- [28] 罗辉, 周明瑞, 敬庭森, 等. 雌、雄卵形鲳鲷肌肉品质评价 [J]. 南方水产科学, 2020, 16(6): 115-123.
- [29] SARMA D, AKHTAR M S, DAS P, et al. Nutritional Quality in Terms of Amino Acid and Fatty Acid of Five Coldwater Fish Species; Implications to Human Health [J]. National Academy Science Letters, 2013, 36(4): 385-391.
- [30] NANAONI H, ROMHARSHA H, SAROJNALINI C. Amino Acid Profiling of Some Fresh Water Fishes of Manipur [J]. Oriental Journal of Chemistry, 2022, 38(6): 1453-1459.
- [31] CONSULTATION J W E. Protein and Amino Acid Requirements in Human Nutrition [J]. World Health Organization Technical Report Series, 2007(935): 1-265.
- [32] DAWCZYNSKI C, SCHUBERT R, JAHREIS G. Amino Acids, Fatty Acids, and Dietary Fibre in Edible Seaweed Products [J]. Food Chemistry, 2007, 103(3): 891-899.
- [33] MACHADO M, MACHADO S, PIMENTEL F B, et al. Amino Acid Profile and Protein Quality Assessment of Macroalgae Produced in an Integrated Multi-Trophic Aquaculture System [J]. Foods, 2020, 9(10): 1382.
- [34] BROWN M R, JEFFREY S W. Biochemical Composition of Microalgae from the Green Algal Classes *Chlorophyceae* and *Prasinophyceae*. 1. Amino Acids, Sugars and Pigments [J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 1992, 161(1): 91-113.
- [35] 倪冬冬, 李洪军, 贺稚非, 等. 大鲵汤加工过程中营养品质变化规律 [J]. 食品科学, 2017, 38(20): 119-124.

- [36] WANG L, JIA S P, ZHANG L, et al. Comparative Study on Nutritional Quality and Volatile Flavor Compounds of Muscle in *Cyprinus carpio haematopterus* under Wild, Traditional Pond and In-Pond Raceway System Culture [J]. Aquaculture Reports, 2022, 25: 101194.
- [37] 刘晓畅, 张寿, 孙宝忠, 等. 牦牛肉品质特性研究进展 [J]. 肉类研究, 2020, 34(11): 78-83.
- [38] MA F R, WANG L, HUANG J T, et al. Comparative Study on Nutritional Quality and Serum Biochemical Indices of Common Carp (*Cyprinus carpio*) Aged 11 to 13 Months Aged Cultured in Traditional Ponds and Land-Based Container Aquaculture Systems [J]. Food Research International, 2023, 169: 112869.
- [39] 段叶辉, 李凤娜, 李丽立, 等. n-6/n-3 多不饱和脂肪酸比例对机体生理功能的调节 [J]. 天然产物研究与开发, 2014, 26(4): 626-631, 479.
- [40] KELAVA UGARKOVIĆ N, KONJACIĆ M, PRPIĆ Z, et al. Effect of Sex and Age on Nutritional Content in Wild Axis Deer (*Axis axis* Erx.) Meat [J]. Animals, 2020, 10(9): 1560.
- [41] ZHANG Y L, YANG B, YANG L, et al. Comparison of the Nutritional Qualities of the Pond, Rice-Field and Wild Crayfish (*Procambarus clarkii*) Meat [J]. Food Chemistry Advances, 2023, 2: 100272.
- [42] YU H Z, CHEN S S. Identification of Characteristic Aroma-Active Compounds in Steamed Mangrove Crab (*Scylla serrata*) [J]. Food Research International, 2010, 43(8): 2081-2086.
- [43] 曹静, 张凤桦, 杨欣怡, 等. 顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用分析养殖长吻鲮肌肉挥发性风味成分 [J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(7): 160-165.
- [44] TENG X Y, LIU Y, CHEN L P, et al. Effects of Liquid Nitrogen Freezing at Different Temperatures on the Quality and Flavor of Pacific Oyster (*Crassostrea gigas*) [J]. Food Chemistry, 2023, 422: 136162.
- [45] WANG Z J, LI H Q, CAO W H, et al. Effect of Drying Process on the Formation of the Characteristic Flavor of Oyster (*Crassostrea hongkongensis*) [J]. Foods, 2023, 12(11): 2136.
- [46] MARTI-QUIJAL F J, REMIZE F, MECA G, et al. Fermentation in Fish and By-Products Processing: An Overview of Current Research and Future Prospects [J]. Current Opinion in Food Science, 2020, 31: 9-16.
- [47] 王福田, 赖年悦, 程华峰, 等. 比较分析三种不同环境下的中华鳖肌肉营养品质及其挥发性风味物质 [J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(22): 253-261.
- [48] GAO P, JIANG Q X, XU Y S, et al. Aroma Profiles of Commercial Chinese Traditional Fermented Fish (Suan Yu) in Western Hunan: GC-MS, Odor Activity Value and Sensory Evaluation by Partial Least Squares Regression [J]. International Journal of Food Properties, 2020, 23(1): 213-226.
- [49] 郑欣虹, 曾巧玲, 杜艳瑜, 等. 大黄鱼鱼卵磷脂-鱼油微胶囊贮藏过程中挥发性成分及稳定性分析 [J]. 食品与发酵工业, 2024, 50(14): 173-179, 186.
- [50] ZHANG J H, CAO J, PEI Z S, et al. Volatile Flavour Components and the Mechanisms Underlying Their Production in Golden Pompano (*Trachinotus blochii*) Fillets Subjected to Different Drying Methods: A Comparative Study Using an Electronic Nose, an Electronic Tongue and SDE-GC-MS [J]. Food Research International, 2019, 123: 217-225.
- [51] 翟笑倩, 林鑫, 陈碧翰, 等. 不同热处理对脆化罗非鱼肉挥发性成分的影响 [J]. 仲恺农业工程学院学报, 2022, 35(4): 10-18.

责任编辑 张枸

崔玉洁