

# 池塘内循环水“跑道”系统与传统池塘养殖的三角鲂营养品质对比研究

朱士臣<sup>1</sup>, 冯媛<sup>1</sup>, 彭建<sup>2</sup>, 胡金春<sup>3</sup>, 相兴伟<sup>1</sup>, 叶霆<sup>3</sup>, 丁雪燕<sup>2</sup>, 周凡<sup>2\*</sup>

(1. 浙江工业大学食品科学与工程学院, 杭州 310014; 2. 浙江省水产技术推广总站, 杭州 310023;  
3. 衢州市水产技术推广中心, 衢州 324002)

**摘要:** **目的** 对比评估池塘内循环水“跑道”养殖模式与传统池塘养殖模式下三角鲂营养品质差异。**方法** 对2种模式养殖的三角鲂肌肉营养组成、质构和风味物质等进行评价。**结果** “跑道”养殖的三角鲂具有较低的水分及脂肪含量, 其肌肉的硬度、胶黏性、咀嚼性、单不饱和脂肪酸比例显著高于对照组( $P < 0.05$ ); “跑道”养殖模式没有明显改变三角鲂肌肉的氨基酸模式组成, 但其肌肉氨基酸总量、必需氨基酸、非必需氨基酸、呈味氨基酸均大于对照组。“跑道”养殖的三角鲂具有较为丰富的酮类、醛类等特征性风味物质, 但腥味成分壬醛和1-辛烯-3-醇明显低于对照组。**结论** “跑道”养殖模式能够一定程度改善三角鲂的肌肉理化特性、风味组成和营养品质。

**关键词:** “跑道”养殖; 传统池塘养殖; 三角鲂; 肌肉; 营养品质

## Comparison on nutrition quality of *Megalobrama terminalis* cultivated based on in-pond “raceway” aquaculture system and traditional pond system

ZHU Shi-Chen<sup>1</sup>, FENG Yuan<sup>1</sup>, PENG Jian<sup>2</sup>, HU Jin-Chun<sup>3</sup>, XIANG Xin-Wei<sup>1</sup>, YE Ting<sup>3</sup>,  
DING Xue-Yan<sup>2</sup>, ZHOU Fan<sup>2\*</sup>

(1. College of Food Science and Technology, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China;  
2. Zhejiang Fisheries Technical Extension Center, Hangzhou 310023, China;  
3. Quzhou Fisheries Technical Extension Center, Quzhou 324002, China)

**ABSTRACT: Objective** To compare and evaluate the *Megalobrama terminalis* quality difference between the cycle water “raceway” aquaculture system and the traditional pond system. **Methods** The muscle nutrient composition, texture and flavor substance of 2 cultured *Megalobrama terminalis* were evaluated. **Results** The muscle of *Megalobrama terminalis* from “raceway” system had the lower content of moisture and fat, and the hardness, gumminess, chewiness and monounsaturated fatty acid ratio of the meat of *Megalobrama terminalis* from “raceway” system were significantly higher than those of the control group ( $P < 0.05$ ). The “raceway” system did not significantly change the amino acid pattern composition of *Megalobrama terminalis* muscle, but the total amino acids, essential amino acids, non-essential amino acids and taste-forming amino acids in muscle of *Megalobrama*

基金项目: 浙江省农业农村厅“三农六方”科技协作项目(2019SNLF022)、浙江省科技厅重点科技研发项目(2019C02060)

Fund: Supported by the Project of Technology Program of Department of Agriculture and Rural Areas of Zhejiang Province (2019SNLF022), and Zhejiang Provincial Key Research Program of Department of Science and Technology (2019C02060).

\*通信作者: 周凡, 高级工程师, 主要研究方向为水产养殖与水产动物营养。E-mail: zhoufan0302@126.com

\*Corresponding author: ZHOU Fan, Senior Engineer, Zhejiang Fisheries Technical Extension Center, Hangzhou, Zhejiang 310023, China. E-mail: zhoufan0302@126.com

*terminalis* were greater than those in the control group. The abundant ketones, aldehydes and other characteristic flavor were found in the *Megalobrama terminalis* meat from “raceway” system, but nonaldehyde and 1-octene-3-alcohol were significantly lower than those in the control group. **Conclusion** The in-pond “raceway” aquaculture system can benefit for the improvement of muscular physicochemical properties, flavor composition and nutritional quality of *Megalobrama terminalis* to some extent.

**KEY WORDS:** in-pond “raceway” aquaculture system; traditional pond system; *Megalobrama terminalis*; muscle; nutrition quality

## 0 引言

随着我国经济水平提高,居民对高品质水产品的消费需求不断上升。水产动植物的品质除了受遗传特性等内在因素影响外,饲料营养、养殖管理策略等也会不同程度影响肉的质构特性、风味组成以及营养品质<sup>[1]</sup>。养殖模式可作为一种改善鱼肌肉品质的有效调控手段,可推动水产养殖业的提质增效和绿色高质量发展。

池塘内循环水“跑道”养殖(以下简称“跑道”养殖),是一种将池塘分为流水养鱼区和循环水净化处理区,在“跑道”中高密度圈养吃食性鱼类,将外塘作为净水区的循环高效养殖模式<sup>[2]</sup>。相较于传统池塘静水养殖模式,“跑道”养殖作为一种循环流水的动态养殖模式,具有节水省地、环境可控、降低污染、提高经济效益等优势<sup>[3]</sup>。值得强调的是,已有研究证实一定流速水流刺激可诱导鱼肉红白肌纤维肥大,提高蛋白质合成和积累率,从而显著增加鱼肉蛋白质含量,降低脂肪含量。如耿子蔚等<sup>[4]</sup>发现“跑道”养殖的大口黑鲈肌肉的质构特性及营养品质显著提高;刘梅等<sup>[5]</sup>证实了“跑道”养殖模式下的黄颡鱼具有较高的氨基酸组成及多不饱和脂肪酸含量。由此可见,不同模式对鱼肌肉品质的影响主要集中于对其形体指标、质构特性以及营养品质的研究。此外,淡水鱼的鱼腥味作为影响其品质及其价格的重要因素之一,探究不同养殖模式对鱼肌肉包括挥发性风味在内的多重品质的影响,对于“跑道”养殖模式的健康可持续推广具有重要意义。

三角鲂(*Megalobrama terminalis*),俗称三角鲃,色泽光亮、肉质细嫩、口感较佳,是浙江地区主要的淡水养殖品种之一,商品鱼深受长三角、京津冀等地区消费者喜爱。近年来,三角鲂作为“跑道”养殖的适宜品种之一,也开展了养殖示范与推广<sup>[6]</sup>。本研究以三角鲂为研究对象,比较分析了“跑道”养殖和传统池塘养殖模式对鱼肌肉基本组分、质构特性、营养品质以及挥发性风味组成差异,以期为“跑道”养殖模式的推广和肉质营养调控技术提供理论参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

本研究所用的三角鲂来自浙江省衢州市某养殖企业。

其中以“跑道”模式养成的三角鲂作为实验组,以传统池塘模式养成的三角鲂为对照组(养殖期间投喂相同的商品饲料,养殖周期均为 130 d)。每组各随机选择 3 条规格相同(1 kg/尾)的三角鲂进行检测。

浓硫酸、氢氧化钠、氯化钠、硼酸、盐酸、无水硫酸钠、对苯二酚(分析纯,广州化学试剂厂);石油醚、氯仿、正己烷(分析纯,天津市富宇精细化工有限公司);68%硝酸(优级纯,苏州晶瑞化学股份有限公司);三氟化硼-甲醇溶液(优级纯,上海安普科学仪器有限公司);混合氨基酸标准品、十一烷酸标准品(优级纯,美国 Sigma-Aldrich 公司)。

ZRD-A780 全自动鼓风干燥箱(上海智诚分析仪器制造有限公司);TA-XT plus 质构分析仪(英国 Stable Micro Systems 公司);B180 马弗炉(德国纳博热公司);QP-2010 Plus 气相色谱质谱联用仪(日本岛津公司);L-8900 全自动氨基酸分析仪(日本 HITACHI 公司);Elan DRC-e 电感耦合等离子体质谱联用仪(美国 Perkin Elmer 公司)。

### 1.2 实验方法

#### 1.2.1 基本组成成分

称取 2.50 g 鱼肉样品,参照 GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》<sup>[7]</sup>直接干燥法测定;粗蛋白质含量:称取 2.00 g 鱼肉样品,参照 GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》<sup>[8]</sup>凯氏定氮法测定;粗脂肪含量:称取 5.00 g 鱼肉样品,参照 GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》<sup>[9]</sup>索氏抽提法测定;总灰分含量:称取 5.00 g 鱼肉样品,参照 GB 5009.4—2016《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》<sup>[10]</sup>。

#### 1.2.2 质构特性

新鲜活鱼宰杀后,取鱼体左右背部肌肉切成长、宽、厚为 2 cm×2 cm×1 cm 的肉块,用于全质构分析。采用 TA-XT plus 物性测试仪进行 TPA 模式测试,选择 P/36R 圆柱形测试探头,测试前速度为 3 mm/s,测试速度为 1 mm/s,测试速度为 5 mm/s,鱼肉的变形率为 50%,间隔停留时间 5 s,负重探头类型:Auto-5 g,每组样品测 6 次平行,取平均值<sup>[11]</sup>。

#### 1.2.3 氨基酸组成及营养评价

(1)氨基酸组成:采用 Agilent 1100 安捷伦氨基酸自

动分析仪, 4.0 mm×125 mm C<sub>18</sub> 柱, 柱温 40 °C, 缓冲液流速: 1.0 mL/min。流动相 A: 20 mmol/L 醋酸钠; 流动相 B: 20 mmol/L 醋酸钠:甲醇:乙腈 = 1:2:2(V:V:V)。紫外检测波长: 338 nm。因色氨酸在盐酸水解过程被破坏, 所以未能测出<sup>[12]</sup>。

(2)营养评价: 蛋白质的氨基酸评分(amino acid score, AAS)和化学评分(chemical score, CS)按照公式(1)、(2)计算<sup>[13]</sup>:

$AAS = (\text{样品中某种氨基酸含量 mg/g 氮}) / \text{WHO/FAO 模式谱中对应氨基酸含量(mg/g 氮)} (1)$

$CS = (\text{样品中某种氨基酸含量 mg/g 氮}) / \text{鸡蛋蛋白质中同种氨基酸含量(mg/g 氮)} (2)$

#### 1.2.4 脂肪酸组成

参考徐继林等<sup>[14]</sup>的方法, 进行脂肪酸甲酯化随后通过 0.22 μm 有机微孔滤膜过滤, 进行气相色谱测定。

气相色谱分析: INNOWAX 弹性毛细管柱(60 m×0.32 mm, 0.5 μm), 起始温度 90 °C, 保留 5 min, 再以 15 °C/min 升至 200 °C, 以 1 °C/min 升至 240 °C, 保留 10 min。

MS 条件: EI 模式, 离子源温度 250 °C, 传输线温度 250 °C, 全质量扫描范围 35~450 amu, 间隔时间 0.2 s。

数据分析: 将出峰质谱图与标准谱库(NIST 2014 和 Wiley 9)中的谱图自动进行匹配, 当且仅当正反匹配度均大于 800 时报出该出峰物质鉴定结果。并同时与标品出峰时间做对比。

#### 1.2.5 挥发性风味

参照谭汝成等<sup>[15]</sup>的方法。采用气相色谱质谱联用仪进行挥发性风味物质的测定。

进样口参数: 选择不分流模式, 温度为 240 °C, 不分流时间为 1 min, 隔垫吹扫 5 mL/min, 载气为氦气, 流速控制为 1 mL/min。

GC 条件: DB-5 MS 弹性毛细管柱(60 m×0.32 mm, 1 μm), 起始温度 40 °C, 以 3 °C/min 升至 100 °C, 以 2 °C/min 升至 150 °C, 以 8 °C/min 升至 240 °C, 保留 5 min。

MS 条件: EI 模式, 离子源温度 250 °C, 传输线温度 250 °C, 全质量扫描范围 35~500 amu, 间隔时间 0.2 s。

#### 1.2.6 矿质元素测定

将样品冷冻干燥至恒重, 研磨均质化。称取(1±0.001) g, 用 5 mL 硝酸、2 mL 过氧化氢和 1 mL 水混合物消化, 然后用微波加热。采用 Elan DRC-e 电感耦合等离子体质谱仪(inductively coupled plasma mass spectrometer, ICP-MS)测定 Ca、Mg、K、Na、Fe、Zn、Mn、Cu 等<sup>[16]</sup>。运行工作参数为: 等离子体气(氩气)流速 15 L/min; 射频功率 1200 W; 载气(氩气)流速 1.5 L/min; 雾化室温度 2 °C; 采样锥孔径 1 mm; 截取锥孔径 0.4 mm; 进液速度 0.5 rps/s; 进液时间 15 s; 稳定时间 15 s, 重复次数 3 次<sup>[17]</sup>。

### 1.3 数据处理

使用 Excel 2010 和 SPSS 22.0 软件进行数据处理和

统计分析, 使用 Origin 9.0 作图。实验数据进行单因子方差分析, 再采用 Tukey's 检验均值的显著性, 显著性水平  $P$  取 0.05。

## 2 结果与分析

### 2.1 基本营养成分

表 1 为不同模式养殖的三角鲂肌肉基本营养成分组成。与对照组相比, 实验组即采用“跑道”养殖的三角鲂, 其肌肉具有较低的水分以及脂肪含量( $P < 0.05$ )。此外, 实验组鱼肉中还含有略高于对照组的蛋白质和灰分。这与刘梅等<sup>[5]</sup>报道的流水养殖与常规池塘养殖的黄颡鱼肌肉营养成分组成结果基本一致。邹礼根等<sup>[17]</sup>研究表明“水槽式”养殖青鱼肌肉粗脂肪含量低于池塘传统养殖青鱼, 但两者肌肉中的蛋白质、水分、粗灰分含量基本一致。2 组模式养殖三角鲂肌肉的基本组成差异或许由于不同养殖模式的运动量不同所致<sup>[18]</sup>。“跑道”养殖的三角鲂由于具有较高的运动量, 导致其代谢速率提高, 从而促进脂肪的分解和蛋白质的合成转化, 因而导致其肌肉脂肪含量降低和蛋白质含量升高<sup>[19]</sup>。

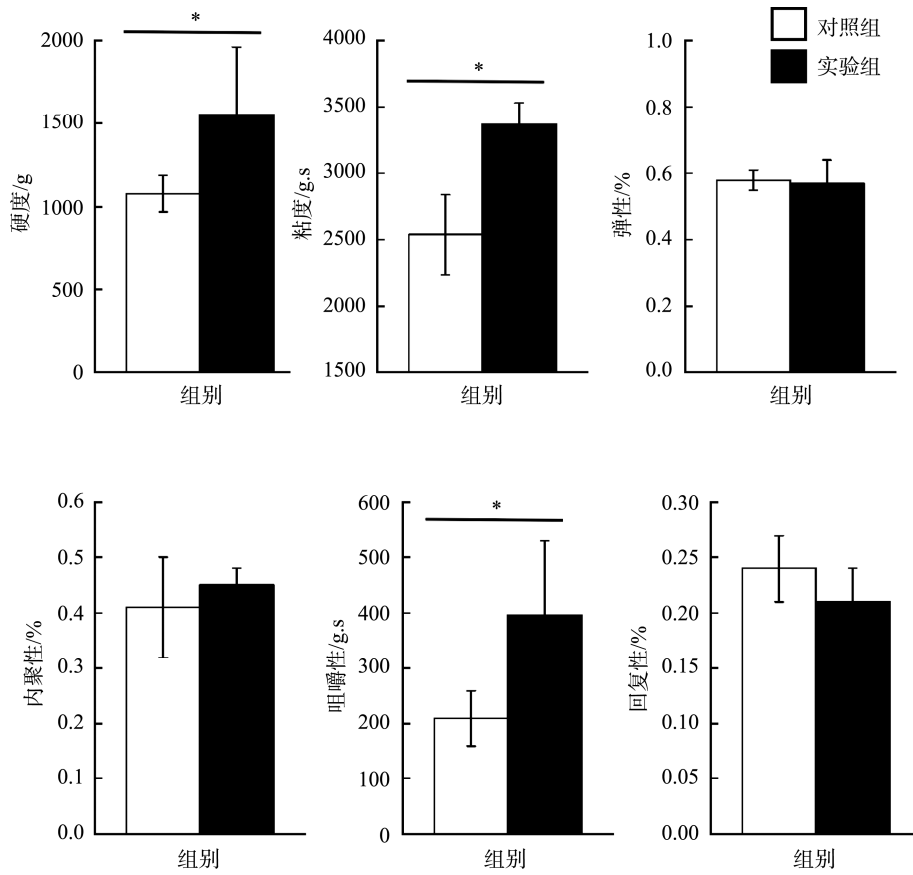
表 1 不同模式养殖的三角鲂肌肉基本营养成分组成(g/100 g)  
Table 1 Physicochemical parameters in meat of *M. terminalis* cultured in different systems(g/100 g)

基本营养成分	对照组	实验组
水分	74.59±5.50 <sup>a</sup>	72.93±5.57 <sup>b</sup>
粗蛋白	18.39±4.32 <sup>a</sup>	20.40±6.59 <sup>a</sup>
粗脂肪	5.68±0.96 <sup>a</sup>	4.60±1.61 <sup>b</sup>
灰分	1.94±0.07 <sup>a</sup>	2.07±0.75 <sup>b</sup>

注: 同行数据不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ ), 相同字母表示差异不显著( $P > 0.05$ ), 下表同。

### 2.2 质构特性

从图 1 可以看出, “跑道”养殖的三角鲂肌肉的硬度、胶黏性和咀嚼性显著高于对照组( $P < 0.05$ ), 但两者的弹性、内聚性和回复性差异不显著( $P > 0.05$ )。一般而言, 具有较高硬度和咀嚼性的鱼肌肉其口感更佳, 肉质更为爽脆<sup>[20-21]</sup>。本研究发现采用“跑道”养殖三角鲂肌肉的硬度、胶黏性和咀嚼性相比传统养殖的三角鲂分别提高了 43.89%、99.49%和 89.47%, 说明循环流水养殖三角鲂具有较好的口感及耐煮性。这可能由于三角鲂在循环流水模式较高的运动强度下, 其运动能力增强, 进而导致肌纤维密度增大, 肌纤维直径变小, 网络结构更为紧密<sup>[22]</sup>。此外, 肌肉的成分组成也会影响其质构特性。一般而言, 咀嚼性与蛋白质含量呈正相关, 而与粗脂肪、水分含量呈负相关, 因此, 营养成分含量的变化影响鱼肉的机械强度<sup>[23]</sup>, 这与“跑道”养殖三角鲂肌肉基本成分组成一致。



注: \*: 组间具有显著性差异( $P < 0.05$ )。

图 1 不同模式养殖的三角鲂肌肉质地特性比较

Fig.1 Comparison of texture characteristics of *M. terminalis* cultured in different modes

### 2.3 氨基酸组成

氨基酸组成对鱼肉蛋白质质量评价具有重要意义<sup>[24]</sup>。表 2 为不同模式养殖的三角鲂肌肉氨基酸组成。从表 2 中可以看出, 2 种养殖模式的三角鲂肌肉中均检测到 17 种氨基酸, 其中谷氨酸的含量最高, 分别为 3.18、3.11 g/100 g。其次为天冬氨酸、赖氨酸、亮氨酸, 这一结果与姚翹等<sup>[25]</sup>所报道基本一致。2 组三角鲂肌肉必需氨基酸占总氨基酸含量的 41%、必需氨基酸占非必需氨基酸含量的 88%, 分别高于 FAO/WHO 标准的 35.38%、60%, 说明三角鲂肌肉是一种氨基酸组成较为平衡的优质蛋白质。且采用“跑道”养殖模式不会显著改变三角鲂肌肉的氨基酸模式组成。两者氨基酸的含量有所差异, 但不显著( $P > 0.05$ )。实验组的三角鲂肌肉的氨基酸总量、必需氨基酸、非必需氨基酸、呈味氨基酸均大于对照组, 表明采用“跑道”养殖能一定程度改善三角鲂肌肉的营养品质。

采用 FAO/WHO 氨基酸评分标准和鸡蛋蛋白质的氨基酸评分, 对不同方式养殖的三角鲂肌肉的必需氨基酸进行营养评价, 结果见表 3。2 种模式下养殖的三角鲂, 除缬氨酸外的其他必需氨基酸均高于鸡蛋蛋白质的评分标准, 所

有必需氨基酸均高于 FAO/WHO 氨基酸的评分标准。进一步计算了 2 组三角鲂肌肉的氨基酸评分(AAS)和化学评分(CS), 结果见表 4。可以看出, 以 AAS 和 CS 为评分标准, 2 种模式养殖的三角鲂, 其肌肉的第一限制性氨基酸均为 Met+Cys, 这与周彬等<sup>[26]</sup>报道结果一致。

表 2 不同模式养殖的三角鲂肌肉氨基酸组成(湿重 g/100 g)  
Table 2 Amino acids composition in muscle of *M. terminalis* cultured in different models (wet weight g/100 g)

氨基酸	对照组	实验组
天冬氨酸(Asp)	1.88±0.04 <sup>a</sup>	1.99±0.02 <sup>b</sup>
苏氨酸(Thr)*	0.85±0.01 <sup>a</sup>	0.87±0.03 <sup>a</sup>
丝氨酸(Ser)	0.78±0.01 <sup>a</sup>	0.79±0.02 <sup>a</sup>
谷氨酸(Glu)	3.11±0.09 <sup>a</sup>	3.18±0.10 <sup>a</sup>
脯氨酸(Pro)	0.71±0.01 <sup>a</sup>	0.72±0.03 <sup>a</sup>
甘氨酸(Gly)	0.81±0.02 <sup>a</sup>	0.85±0.01 <sup>a</sup>
丙氨酸(Ala)	1.01±0.01 <sup>a</sup>	1.07±0.06 <sup>a</sup>
胱氨酸(Cys)	0.10±0.04 <sup>a</sup>	0.11±0.01 <sup>a</sup>

表 2(续)

氨基酸	对照组	实验组
缬氨酸(Val)*	1.03±0.02 <sup>a</sup>	1.06±0.06 <sup>a</sup>
甲硫氨酸(Met)*	0.50±0.01 <sup>a</sup>	0.53±0.01 <sup>a</sup>
异亮氨酸(Ile)*	0.89±0.02 <sup>a</sup>	0.92±0.03 <sup>a</sup>
亮氨酸(Leu)*	1.50±0.11 <sup>a</sup>	1.52±0.09 <sup>a</sup>
酪氨酸(Tyr)*	0.43±0.03 <sup>a</sup>	0.46±0.01 <sup>a</sup>
苯丙氨酸(Phe)*	0.62±0.02 <sup>a</sup>	0.66±0.01 <sup>a</sup>
赖氨酸(Lys)*	1.59±0.13 <sup>a</sup>	1.63±0.15 <sup>a</sup>
组氨酸(His)**	0.71±0.01 <sup>a</sup>	0.74±0.03 <sup>a</sup>
精氨酸(Arg)**	1.27±0.21 <sup>a</sup>	1.35±0.15 <sup>a</sup>
呈味氨基酸	7.86±0.17 <sup>a</sup>	8.20±0.21 <sup>a</sup>
必需氨基酸(EAA)	7.41±0.10 <sup>a</sup>	7.65±0.16 <sup>a</sup>
半必需氨基酸(CEAA)	1.98±0.02 <sup>a</sup>	2.09±0.06 <sup>a</sup>
非必需氨基酸(NEAA)	8.40±0.18 <sup>a</sup>	8.71±0.22 <sup>a</sup>
氨基酸总量(TAA)	17.79±0.35 <sup>a</sup>	18.45±0.44 <sup>a</sup>
EAA/TAA/%	41.65±0.17 <sup>a</sup>	41.46±0.08 <sup>a</sup>
EAA/NEAA/%	88.21±0.47 <sup>a</sup>	87.83±0.26 <sup>a</sup>

注: \*: 必需氨基酸; \*\*: 半必需氨基酸。

表 3 不同模式养殖的三角鲂肌肉必需氨基酸与 FAO/WHO 及鸡蛋蛋白标准模式比较(mg/g N)

Table 3 Comparison of essential amino acids in muscle of *M. terminalis* cultured in different systems with FAO/WHO and egg protein standard models (mg/g N)

氨基酸	对照组	实验组	FAO/WHO	鸡蛋蛋白
Thr	52.88	54.16	40	47
Val	64.38	66.06	50	66
Met+Cys	37.56	39.64	35	57
Ile	55.63	57.56	40	54
Leu	93.69	94.73	70	86
Phe+Tyr	65.28	69.61	60	93
Lys	99.41	101.89	55	70

## 2.4 脂肪酸组成

鱼类的生活环境某种程度上可影响鱼肉的脂肪酸组成, 尤其对不饱和脂肪酸的组成的影响较为明显<sup>[27]</sup>。表 5 为不同模式养殖的三角鲂肌肉脂肪酸组成。可以发现, “跑道”养殖的三角鲂肌肉共检测到 12 种脂肪酸, 其中饱和脂肪酸(saturated fatty acid, SFA)4 种, 占脂肪酸总量的 24.75%, 不饱和脂肪酸(unsaturated fatty acid, UFA)8 种, 占脂肪酸总量的 75.25%, 单不饱和脂肪酸(monounsaturated fatty acids, MUFA)3 种, 占脂肪酸总量的 42.08%, 多不饱和脂肪酸(polyunsaturated fatty acids, PUFA)占脂肪酸总量的 33.18%; 对照组三角鲂肌肉含有的脂肪酸种类与实验组相同, 但某些种类的脂肪酸组成有显著差异。其中, 对照

组三角鲂肌肉的饱和脂肪酸比例为 28.74%, 显著高于实验组, 但不饱和脂肪酸比例, 特别是单不饱和脂肪酸比例明显低于实验组, 表明流水养殖模式能够明显改善三角鲂的脂肪酸组成( $P < 0.05$ ); 王峰等<sup>[28]</sup>的研究也表明池塘循环水养殖的半滑舌鳎具有较低的单不饱和脂肪酸含量。这或许是由于三角鲂在流水养殖槽的水流作用下, 长时间处于运动状态, 对脂肪的消耗量大, 从而引起不饱和脂肪酸组成产生差异<sup>[29-30]</sup>。

表 4 不同模式养殖的三角鲂肌肉必需氨基酸组成评价  
Table 4 The essential amino acids composition of *M. terminalis* cultured in different systems

氨基酸	对照组		实验组	
	AAS <sup>1</sup>	CS <sup>2</sup>	AAS	CS
Thr	1.32	1.13	1.35	1.15
Val	1.29	0.98	1.32	1.00
Met+Cys	1.07	0.66	1.13	0.70
Ile	1.39	1.03	1.44	1.07
Leu	1.34	1.09	1.35	1.10
Phe+Tyr	1.09	0.70	1.16	0.75
Lys	1.81	1.42	1.85	1.46
Total	9.31	7.00	9.61	7.22

注: 1. AAS=样品蛋白质中某种必需氨基酸含量/FAO 模式中某种必需氨基酸含量;

2. CS=待测蛋白质中某种必需氨基酸含量/鸡蛋蛋白质中某种必需氨基酸含量。

## 2.5 挥发性成分

风味是评价水产品品质的重要指标之一。其中, 酮类、醛类等化合物是水产品香气特征的主要成分<sup>[31-32]</sup>, 而壬醛和 1-辛烯-3-醇通常被认为是淡水鱼中主要腥味成分<sup>[33]</sup>。从表 6 结果中可以发现, 2 种模式养殖的三角鲂均含有酮类、醛类、含硫含氮含氧及杂环化合物等水产品香气特征挥发性成分。与对照组相比, 实验组鱼肌肉中酮类、醛类等特征性风味物质显著高于对照组, 但腥味成分如壬醛和 1-辛烯-3-醇则明显低于对照组, 表明采用“跑道”模式养成的三角鲂具有较好的风味组成。

## 2.6 矿物元素组成

由表 7 可知, 在检测的 7 种矿物元素中, 实验组三角鲂肌肉含量最为丰富的矿物元素为钾, 高达 100.76 mg/L, 其次为镁、钙和钠。除钙、铜元素外, 实验组三角鲂具有比对照组显著较高的含量( $P < 0.05$ )。有研究表明, 一定的运动强度能够通过影响支链氨基酸的组成进而调控矿物元素的组成<sup>[33-34]</sup>。因此, 2 种模式养殖的三角鲂肌肉矿物元素组成差异可能是由于“跑道”养殖三角鲂肌肉中氨基酸含量略高导致<sup>[35]</sup>。

表5 不同模式养殖的三角鲂肌肉脂肪酸组成(%)  
Table 5 The fatty acid composition of *M. terminalis* cultured in different systems (%)

脂肪酸	对照组	实验组
肉豆蔻酸 C14:0	1.62±0.88 <sup>b</sup>	0.86±0.24 <sup>a</sup>
棕榈酸 C16:0	17.14±1.16 <sup>b</sup>	15.40±4.54 <sup>a</sup>
棕榈烯酸 C16:1	3.51±0.59 <sup>a</sup>	3.50±1.23 <sup>a</sup>
硬脂酸 C18:0	7.62±0.45 <sup>a</sup>	7.24±0.66 <sup>a</sup>
油酸 C18:1	32.30±4.42 <sup>b</sup>	37.96±3.46 <sup>a</sup>
亚油酸 C18:2	15.69±2.17 <sup>b</sup>	20.56±1.96 <sup>a</sup>
亚麻酸 C18:3	1.70±0.85 <sup>b</sup>	1.45±0.53 <sup>a</sup>
花生酸 C20:0	1.39±0.86 <sup>b</sup>	1.05±0.17 <sup>a</sup>
二十碳一烯酸 C20:1	0.25±0.07 <sup>a</sup>	0.28±0.03 <sup>a</sup>
二十碳二烯酸 C20:2	1.34±0.87 <sup>b</sup>	0.83±0.25 <sup>a</sup>
二十碳三烯酸 C20:3	10.45±1.40 <sup>b</sup>	7.88±1.45 <sup>a</sup>
二十二碳六烯酸 C22:6	3.62±0.38 <sup>b</sup>	2.19±0.54 <sup>a</sup>
饱和脂肪酸占总脂肪酸百分比(SFA/FA)	28.74±0.24 <sup>b</sup>	24.75±0.37 <sup>a</sup>
不饱和脂肪酸占总脂肪酸百分比(UFA/FA)	71.26±0.76 <sup>b</sup>	75.25±0.63 <sup>a</sup>
单不饱和脂肪酸占总脂肪酸百分比(MUFA/FA)	37.32±0.36 <sup>b</sup>	42.08±0.31 <sup>a</sup>
多不饱和脂肪酸占总脂肪酸百分比(PUFA/FA)	33.94±0.40 <sup>a</sup>	33.18±0.31 <sup>a</sup>

表6 不同模式养殖的三角鲂肌肉中主要挥发性成分及相对含量  
Table 6 The main volatile components and relative content of *M. terminalis* cultured in different systems

挥发性成分	对照组/(ng/g)	实验组/(ng/g)
环戊醇	—	1.72
顺-2-戊烯醇	—	0.33
正己醇	7.97	12.38
1-辛烯-3-醇	4.93	3.38
2-甲基-1-十六烷醇	0.15	0.35
醇类总计	13.05	18.16
己醛	11.36	14.83
庚醛	—	0.69
正辛醛	2.04	2.90
壬醛	0.84	0.47
(Z)-4-庚烯醛(Z)-4-heptenal	—	1.70
2-己烯醛	3.78	4.19
醛类总计	18.02	24.78
6-羟基-5,6-二甲基-1,3-噻嗪烷-2-硫酮	4.39	5.92
1-硝基辛-2-酮	—	0.15
5-甲基-3-庚酮	—	0.73
酮类总计	4.39	6.80
1-氮丙啶乙胺	—	0.45
丙-2-基硫烷基甲烷二硫辛酸	—	6.96
异丙基三硫代碳酸氢盐	4.03	3.41
2,6-二叔丁基苯醌	—	1.23
其他	4.03	12.05
酯类总计	—	1.72

注：“—”表示未检出。

表7 不同模式养殖的三角鲂肌肉矿物元素含量的比较  
Table 7 Comparison of mineral elements of *M.terminalis* cultured in different systems

矿物元素	对照组/(mg/g)	实验组/(mg/g)
Fe	1.35±0.25 <sup>a</sup>	1.72±0.15 <sup>b</sup>
Mg	14.68±0.87 <sup>a</sup>	16.21±1.00 <sup>b</sup>
Zn	1.27±0.19 <sup>a</sup>	2.27±1.06 <sup>b</sup>
Ca	6.11±3.20 <sup>a</sup>	5.65±1.30 <sup>a</sup>
Cu	0.06±0.01 <sup>a</sup>	0.06±0.02 <sup>a</sup>
Na	1.89±0.03 <sup>a</sup>	2.64±0.08 <sup>b</sup>
K	85.22±6.60 <sup>a</sup>	100.76±5.44 <sup>b</sup>

### 3 结 论

本研究较为全面地评价了“跑道”养殖模式与传统池塘养殖模式对三角鲂肌肉品质如基本组成、质构特性、营养品质及挥发性风味的影响。理化特性分析表明,“跑道”养殖模式能显著改善三角鲂肌肉的基本成分组成,且其具有较高的硬度、胶黏性和咀嚼性。营养品质方面,“跑道”养殖三角鲂的肌肉氨基酸总量、必需氨基酸、非必需氨基酸、呈味氨基酸均大于对照组。“跑道”养殖三角鲂也具有显著较高的单不饱和脂肪酸比例和矿物元素组成。风味组成方面,“跑道”养殖三角鲂具有较为丰富的酮类、醛类等特征性风味物质,但腥味成分壬醛和1-辛烯-3-醇明显低于对照组。由此可见,“跑道”养殖模式能够一定程度改善三角鲂的肌肉理化特性、风味组成和营养品质,为“跑道”养殖模式实现提质增效和优品优价发展提供了数据支撑。

### 参考文献

- [1] 陈跃文,蔡文强,祁立波,等. 俄罗斯鲟鱼不同部位肌肉营养组成分析与评价[J]. 中国食品学报, 2019, 19(8): 286–293.  
CHEN YW, CAI WQ, QI LB, *et al.* Analysis and evaluation of nutritional components in the muscle of different parts of Russian sturgeon [J]. J Chin Inst Food Sci Technol, 2019, 19(8): 286–293.
- [2] 马文君,丁雪燕,周凡,等. 浙江省池塘内循环流水“跑道”养殖模式发展现状及建议[J]. 中国渔业经济, 2019, (5): 76–81.  
MA WJ, DING XY, ZHOU F, *et al.* Development status and countermeasures of in-pond raceway aquaculture in Zhejiang province [J]. Chin Fish Econ, 2019, (5): 76–81.
- [3] OTOSHI CA, ARCE SM, MOSSO SM. Growth and reproductive performance of broodstock shrimp reared in a biosecure recirculating aquaculture system versus a flow-through pond [J]. Aquac Eng, 2003, 29(3–4): 93–107.
- [4] 耿子蔚,张鑫宇,郑汉宇,等. 池塘工业化养殖与传统池塘养殖模式对大口黑鲈肌肉品质特性的比较研究[J]. 食品工业科技, 2018, 39(23): 95–98.  
GENG ZW, ZHANG XY, ZHENG HY, *et al.* Comparative on muscle quality characteristics of *Micropterus salmoides* between in-pond raceway system and traditional pond system [J]. Sci Technol Food Ind, 2018, 39(23): 95–98.
- [5] 刘梅,宓国强,郭建林,等. 池塘内循环流水养殖模式对黄颡鱼生长性能、形体指标、血清生化指标及肌肉营养成分的影响[J]. 动物营养学报, 2019, 31(4): 1704–1717.  
LIU M, MI GQ, GUO JL, *et al.* Effects of internal circulation pond aquaculture model on growth performance, morphological indices, serum biochemical indices and muscle nutritional components of *Pelteobagrus fulvidraco* [J]. Chin J Anim Nutr, 2019, 31(4): 1704–1717.
- [6] 马恒甲,陈勇平,谢楠,等. 三角鲂池塘内循环水槽、网箱两段式养殖简介[J]. 科学养鱼, 2020, (7): 78–79.  
MA HJ, CHEN YP, XIE N, *et al.* Brief introduction to the two-stage breeding of *Megalobrama terminalis* in the circulating tank and cage in the pond [J]. Sci Fish Farm, 2020, (7): 78–79.
- [7] GB 5009.3—2016 食品安全国家标准 食品中水分的测定[S].  
GB 5009.3—2016 National food safety standard-Determination of moisture in food [S].
- [8] GB 5009.5—2016 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定[S].  
GB 5009.5—2016 National food safety standard-Determination of protein in food [S].
- [9] GB 5009.6—2016 食品安全国家标准 食品中脂肪的测定[S].  
GB 5009.6—2016 National food safety standard-Determination of fat in food [S].
- [10] GB 5009.4—2016 食品安全国家标准 食品中灰分的测定[S].  
GB 5009.4—2016 National food safety standard-Determination of ash in food [S].
- [11] 郭水荣,王力,陈凡,等. 池塘内循环“水槽式”养殖三角鲂“老口”鱼种试验[J]. 科学养鱼, 2018, (2): 80–81.  
GUO SR, WANG L, CHEN F, *et al.* The study of *Megalobrama terminalis* cultivated based on in-pond “raceway” aquaculture system [J]. Sci Fish Farm, 2018, (2): 80–81.
- [12] 李红艳,刘天红,姜晓东,等. 工厂化循环水养殖珍珠龙胆石斑鱼营养成分、食用安全性和质构特性分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(12): 4083–4089.  
LI HY, LIU TH, JIANG XD, *et al.* Study of nutritional quality, edible safety and texture properties of ♀*Epinephelus fuscoguttatus*×♂*Epinephelus lanceolatus* in industrial recirculating aquaculture systems [J]. J Food Saf Qual, 2020, 11(12): 4083–4089.
- [13] 刘先进,陈胜军,李来好,等. 四种鲍鱼肌肉营养成分分析与品质评价[J]. 食品与发酵工业, 2018, 44(5): 227–231.  
LIU XJ, CHEN SJ, LI LH, *et al.* Nutritional analysis and quality

- evaluation of four kinds of abalone muscle [J]. *Food Ferment Ind*, 2018, 44(5): 227–231.
- [14] 徐继林, 严小军, 罗瑜萍, 等. 岱衢族野生大黄鱼与养殖大黄鱼肌肉脂类 and 脂肪酸组成的比较研究[J]. *中国食品学报*, 2008, (1): 108–114.  
XU JL, YAN XJ, LUO YP, *et al.* Comparison of lipids and fatty acids composition in muscle between wild and farmed *Pseudosciaena crocea* from Tai-chu race [J]. *J Chin Inst Food Sci Technol*, 2008, (1): 108–114.
- [15] 谭汝成, 熊善柏, 鲁长新, 等. 加工工艺对腌腊鱼中挥发性成分的影响[J]. *华中农业大学学报*, 2006, 25(2): 203–207.  
TAN RC, XIONG SB, LU CX, *et al.* Effect of processing technology on the volatiles in cured fish [J]. *J Huazhong Agric Univ*, 2006, 25(2): 203–207.
- [16] 倪明龙, 邱志超, 李银花, 等. 基于微波消解-电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)测定深海鱼肌肉中 12 种元素[J]. *食品工业科技*, 2020, 41(9): 244–249.  
NI ML, QIU ZC, LI YH, *et al.* Determination of 12 elements in deep-sea fish muscles by ICP-MS after pretreatment of microwave digestion [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2020, 41(9): 244–249.
- [17] 邹礼根, 郭水荣, 翁丽萍, 等. 两种不同养殖模式对青鱼肌肉营养品质的影响[J]. *宁波大学学报(理工版)*, 2018, 31(4): 25–30.  
ZOU LG, GUO SR, WEN LP, *et al.* Effects of two different culture modes on muscle nutrients of black carp [J]. *J Ningbo Univ (Nat Sci Eng Ed)*, 2018, 31(4): 25–30.
- [18] DALSGAARD J, LUND I, THORARINSDOTTIR R, *et al.* Farming different species in RAS in Nordic countries: current status and future perspectives [J]. *Aquac Eng*, 2013, 53: 2–13.
- [19] LIU YJ, ROSTEN TW, HENRIKSEN RK, *et al.* Comparative economic performance and carbon footprint of two farming models for producing Atlantic salmon (*Salmo salar*): land-based closed containment system in freshwater and open net pen in seawater [J]. *Aquac Eng*, 2016, 71: 1–12.
- [20] 胡芬, 李建生, 李圣法. 东海区红娘鱼属种类组成及其分布特征[J]. *水产学报*, 2005, (2): 188–192.  
HU F, LI JS, LI SF. Species composition and distribution of the genus *Lepidotrigla* in the East China sea [J]. *J Fish China*, 2005, (2): 188–192.
- [21] 翁丽萍, 戴志远, 赵芸, 等. 养殖大黄鱼和野生大黄鱼特征滋味物质的分析与比较[J]. *中国食品学报*, 2015, 15(4): 254–261.  
WEN LP, DAI ZY, ZHAO Y, *et al.* Comparative studies of characteristic flavour compounds between cultured and wild large yellow croakers [J]. *J Chin Inst Food Sci Technol*, 2015, 15(4): 254–261.
- [22] ZHANG L, YIN M, WANG X. Meat texture, muscle histochemistry and protein composition of *Eriocheir sinensis* with different size traits [J]. *Food Chem*, 2020, 338: 127632.
- [23] DRENGSTIGR A, BERGHEIM A. Commercial land-based farming of European lobster (*Homarus gammarus* L.) in recirculating aquaculture system (RAS) using a single cage approach [J]. *Aquac Eng*, 2013, 53: 14–18.
- [24] 罗钦, 黄敏敏, 任丽花, 等. 澳洲金鲈鱼种肌肉中氨基酸与脂肪酸组成的分析[J]. *食品安全质量检测学报*, 2020, 11(11): 3607–3613.  
LUO Q, HUANG MM, REN LH, *et al.* Analysis on the amino acids and fatty acids compositions in muscle of juvenile Australian golden perch [J]. *J Food Saf Qual*, 2020, 11(11): 3607–3613.
- [25] 姚翻, 陶宁萍, 王锡昌. 宝石鱼肉氨基酸组成及营养评价[J]. *现代食品科技*, 2009, 25(4): 447–450.  
YAO X, TAO NP, WANG XC, *et al.* Composition analysis and nutritional evaluation of amino acids of Jade Perch muscle [J]. *Mod Food Sci Technol*, 2009, 25(4): 447–450.
- [26] 周彬, 唐洪玉, 朱成科, 等. 循环流水槽养殖草鱼与池塘精养草鱼营养品质比较[J]. *动物营养学报*, 2020, 32(2): 948–958.  
ZHOU B, TANG HY, ZHU CK, *et al.* Analysis on nutritional quality between grass carp cultured in circulating flume and intensive culture pond [J]. *Chin J Anim Nutr*, 2020, 32(2): 948–958.
- [27] 颜孙安, 姚清华, 林香信, 等. 不同养殖密度瓦氏黄颡鱼肌肉营养成分分析与评价[J]. *食品安全质量检测学报*, 2019, 10(19): 6637–6644.  
YAN SA, YAO QH, LIN XX, *et al.* Analysis and evaluation of nutritional component of *Pelteobagrus vachelli* cultured with different stocking density [J]. *J Food Saf Qual*, 2019, 10(19): 6637–6644.
- [28] 王峰, 雷霖霖. 半滑舌鲷成鱼开放流水与循环水养殖模式下生长及肌肉营养成分差异研究[J]. *水产学报*, 2015, 39(4): 520–528.  
WANG F, LEI QL. Research on variance analysis of breeding and quality in muscles of *Cynoglossus semilaevis* adult fish in open flow through and recirculating aquaculture mode [J]. *J Fish China*, 2015, 39(4): 520–528.
- [29] ZHANG GJ, ZHAO NN, SHARAWY Z, *et al.* Effects of dietary lipid and protein levels on growth and physiological metabolism of *Pelteobagrus fulvidraco* larvae under recirculating aquaculture system (RAS) [J]. *Aquacult*, 2018, 495: 458–464.
- [30] BÖGNER M, SCHWENKE C, GÜRTZGEN T, *et al.* Effect of ambient light intensity on growth performance and diurnal stress response of juvenile starry flounder (*Platichthys stellatus*) in recirculating aquaculture systems (RAS) [J]. *Aquac Eng*, 2018, 83: 20–26.
- [31] BURR GS, WOLTERS WR, SCHRADER KK, *et al.* Impact of depuration of earthy-musty off-flavors on fillet quality of Atlantic salmon, *Salmo salar*, cultured in a recirculating aquaculture system [J]. *Aquac Eng*, 2012, 50: 28–36.
- [32] SCHRADER KK, DAVIDSON J, SUMMERFELT ST. Evaluation of the impact of nitrate-nitrogen levels in recirculating aquaculture systems on concentrations of the off-flavor compounds geosmin and 2-methylisoborneol in water and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. *Aquac Eng*, 2013, 57(2): 126–130.
- [33] 郭利攀, 龚立科, 俞琰全, 等. 东海经济鱼类的多元素分析及产地判别[J]. *中国食品学报*, 2015, 15(1): 214–221.  
GUO LP, GONG LK, YU YL, *et al.* Multi-element analysis and geographical origin distinguishing for commercial dishes from East China



sea [J]. J Chin Inst Food Sci Technol, 2015, 15(1): 214-221.

[34] 姜晴晴, 邵世奇, 陈士国, 等. 冻融循环对带鱼蛋白性质及肌肉品质的影响[J]. 中国食品学报, 2016, 16(4): 122-129.

JIANG QQ, SHAO SQ, CHEN SG, *et al.* Effect of freeze-thaw cycles on the characteristics of protein and the quality of muscle in Hairtail (*Trichiurus haumela*) [J]. J Chin Inst Food Sci Technol, 2016, 16(4): 122-129.

[35] BUSSEL CJ, SCHROEDER JP, MANLMANN L, *et al.* Aquatic accumulation of dietary metals (Fe, Zn, Cu, Co, Mn) in recirculating aquaculture systems (RAS) changes body composition but not performance and health of juvenile turbot (*Psetta maxima*) [J]. Aquac Eng, 2014, 61(1): 35-42.

(责任编辑: 张晓寒)

### 作者简介



朱士臣, 讲师, 主要研究方向为水产品加工贮藏与副产物综合利用。  
E-mail: zhusc@zjut.edu.cn



周 凡, 高级工程师, 主要研究方向为水产养殖与水产动物营养  
E-mail: zhoufan0302@126.com



## “粮油加工与质量安全”专题征稿函

民以食为天, 食以安为先。食品安全的源头在农业, 粮油产品是基础。我国作为粮食生产大国和人口大国, 粮油质量安全受到政府、产业和消费者的高度关注。与此同时, 随着乡村振兴战略和农业高质量发展, 发掘不同产地、不同品种粮油产品特异品质, 促进优质粮油产品开发, 是推动粮油产业高质量发展、满足人民日益增长的消费需要的重要举措。

鉴于此, 本刊特别策划了“粮油加工与质量安全”专题, 主要围绕粮油加工工艺、质量安全检测技术研究、粮油产品特异品质挖掘与评价、粮油产品质量安全风险评估、真实性与产地溯源、检测方法的标准化和分析质量控制技术以及粮油质量安全管理技术等方面展开论述和研究, 本专题计划在 2021 年 4 月出版。

鉴于您在该领域的成就, 本刊主编吴永宁技术总师特别邀请您为本专题撰写稿件, 以期进一步提升该专题的学术质量和影响力。综述及研究论文均可, 请在 2021 年 1 月 20 日前通过网站或 E-mail 投稿。我们将快速处理并优先发表。

同时, 希望您能够推荐该领域的相关专家并提供电话和 E-mail。

感谢您的参与和支持!

投稿方式:

网站: [www.chinafoodj.com](http://www.chinafoodj.com)

E-mail: [jfoodsqa@126.com](mailto:jfoodsqa@126.com)(注明专题)

《食品安全质量检测学报》编辑部