

文章编号: 1674-5566(2025)03-0590-14

DOI: 10.12024/jso.20241004654

## 稻田、池塘和水库养殖鳙肉品质分析

高胡君<sup>1</sup>, 赵绳富<sup>1</sup>, 杨丹<sup>1</sup>, 侯梦丹<sup>1</sup>, 肖川波<sup>1</sup>, 柯真林<sup>1</sup>, 翟旭亮<sup>2</sup>,  
薛洋<sup>2</sup>, 徐凤<sup>2</sup>, 唐仁军<sup>3</sup>, 叶华<sup>1</sup>, 罗辉<sup>1</sup>

(1. 西南大学 水产学院,重庆 402460; 2. 重庆市水产技术推广总站,重庆 401147; 3. 重庆市梁平区畜牧渔业发展中心,重庆 405200)

**摘要:** 为探究稻田、池塘和水库养殖鳙(*Aristichthys nobilis*)肌肉营养品质及挥发性风味物质的差异,以3种不同养殖模式下的鳙为研究对象,分别命名为池塘鳙、稻田鳙和水库鳙,对其肌肉的常规营养成分、矿物质元素、脂肪酸、氨基酸以及挥发性风味物质进行了测定。结果显示,池塘鳙与稻田鳙的粗蛋白含量显著高于水库鳙( $P<0.05$ );池塘鳙的粗脂肪含量显著高于稻田鳙和水库鳙( $P<0.05$ )。铁、钠、硒元素在稻田鳙肌肉中含量显著高于池塘鳙及水库鳙( $P<0.05$ )。池塘鳙的单不饱和脂肪酸含量较高(31.20%),而稻田鳙的饱和脂肪酸含量较高(46.05%),水库鳙则表现为多不饱和脂肪酸较高(29.83%), $\Sigma n-3/\Sigma n-6$ 多不饱和脂肪酸排名为稻田鳙>水库鳙>池塘鳙。在检出的18种氨基酸中,3种鳙肌肉中的氨基酸总量接近,必需氨基酸总量(EAA)占氨基酸总量的比例均在39%以上,均高于WHO/FAO模式标准(35.38%),3种鳙肌肉必需氨基酸指数(EAAI)均在86以上,稻田鳙的EAAI高于池塘鳙和水库鳙。在3种不同养殖模式的鳙肌肉中醛类挥发性物质含量为稻田鳙(1.69%)>池塘鳙(0.82%)>水库鳙(0.55%),且仅在稻田鳙中检测到了己醛,同时壬醛、癸醛的相对含量也最高,稻田鳙肌肉风味更佳。研究结果表明,3种养殖模式下的鳙肌肉营养组成丰富,富含人体所需的多种氨基酸与脂肪酸,均是优质的食物蛋白源。本研究阐明了3种不同养殖模式下鳙肉品质的差异,为消费者选购提供参考,也为鳙肉品质的改善提供基础数据。

**关键词:** 鳙; 肌肉; 矿物质; 氨基酸; 脂肪酸; 挥发性风味物质

中图分类号: S 965.114 文献标志码: A

池塘及水库养殖是我国主要的水产养殖模式,2023年淡水养殖产量为3 414.01万t,位居世界首位<sup>[1]</sup>,大量的水产品流向市场,走向居民的餐桌,极大地弥补了我国居民对蛋白质的需求,为我国消费者从吃饱到吃好,生活品质的提高做出了巨大贡献<sup>[2]</sup>。“稻-鱼共生”模式具有悠久的历史<sup>[3]</sup>,这种养殖模式下为鱼类提供了良好的生存环境以及丰富的天然饵料。同时,鱼类能够为稻田除虫、除草,改善稻田的生态环境以促进水稻的生长<sup>[4]</sup>,为农民的创收提供了有利条件。近年来,稻田综合种养模式的经济、生态以及社会效益逐渐得到广泛认可,成为我国大力支持和发展的一种绿色健康种养模式<sup>[5]</sup>。随着不同养殖模式

的兴起和消费水平的提高,鱼体肌肉中氨基酸和脂肪酸组成更为科学,营养价值更高的鱼肉成为当下人们所追求的消费选择<sup>[6]</sup>。不同养殖模式下水产品肉品质研究逐渐成为了消费者及水产养殖研究者关注的热点。

鳙(*Aristichthys nobilis*)隶属于鲤形目(Cypriniformes)鲤科(Cyprinidae)鳙属(*Aristichthys*),是我国“四大家鱼”之一,也是我国主要淡水经济鱼类。其肉质鲜美,营养丰富,富含人体所需的多种氨基酸、脂肪酸、维生素和矿物元素,是一种高蛋白、低脂肪的优质食用鱼类<sup>[7]</sup>,也是我国养殖的主要淡水经济鱼类之一。相关研究表明养殖模式是影响鱼类肉品质的

收稿日期: 2024-10-09 修回日期: 2024-12-04

基金项目: 重庆市水产科技创新联盟项目(CQFTIU202505-11)

作者简介: 高胡君(1999—),男,硕士研究生,研究方向为水产动物营养与遗传育种。E-mail: 15723227931@163.com

通信作者: 罗辉,E-mail: luohui2629@126.com

版权所有 ©《上海海洋大学学报》编辑部(CC BY-NC-ND 4.0)

Copyright © Editorial Office of Journal of Shanghai Ocean University (CC BY-NC-ND 4.0)

<http://www.shhydxxb.com>

重要因素之一。丁淑荃等<sup>[8]</sup>通过研究万佛湖水库和巢湖刘记渔场池塘养殖鳙的背部肌肉发现水库鳙肌肉中呈味氨基酸含量、必需氨基酸总量及必需氨基酸指数均显著高于池塘鳙。水库鳙肌肉中DHA+EPA含量和 $\Sigma n-3/n-6$ 也显著高于池塘鳙。何伟等<sup>[9]</sup>研究发现水库鳙必需氨基酸、棕榈酸、豆蔻酸和二十碳一烯酸含量显著高于池塘鳙。目前,对于鳙肌肉品质研究大多集中于水库与池塘养殖两种模式的比较,而稻田养殖模式对鳙肌肉品质的影响研究较少。本研究测定了稻田、池塘和水库3种不同养殖模式下鳙肌肉的常规营养成分、氨基酸、脂肪酸、矿物质、挥发性风味物质组成和含量,为探讨不同养殖模式下鳙肌肉的品质差异提供相应的数据支持,为消费者膳食选择提供参考。

表1 不同养殖模式下鳙样品特征  
Tab. 1 Characteristics of bighead carp samples under different culture modes

表型指标 Phenotypic indicators	CT	DT	SK
体质量 Body mass/g	1 347.75±232.27	1 116.60±101.97	1 487.83±96.34
体长 Body length/cm	45.80±2.09	41.85±1.23	44.35±0.54
全长 Total length/cm	54.83±1.64	49.28±1.12	53.05±1.35

注:CT.池塘鳙,DT.稻田鳙,SK.水库鳙;n=6。

Notes: CT represents bighead carp in pond, DT represents bighead carp in rice field, and SK represents bighead carp in reservoir; n=6.

## 1.2 测定方法

用清水清洗实验鱼体表面并擦干鱼体表面水分,取鱼体两侧背部全部肌肉,去除鳞片、鱼皮及大骨刺,将肌肉充分捣碎后于-80 °C冷冻保存用于营养成分测定。实验方案遵守中国科学技术部制定的《实验动物伦理待遇指南》。

水分测定采用105 °C常压烘干法(GB 5009.3—2016);粗灰分测定采用马弗炉550 °C高温灰化法(GB 5009.3—2016);粗蛋白测定采用凯氏定氮法(GB 5009.5—2016);粗脂肪的测定采用酸水解法(GB 5009.6—2016);脂肪酸测定采用岛津GC-2010气相色谱仪(GB 5009.168—2016);氨基酸测定采用英国 Biochrom-30<sup>+</sup>型氨基酸自动分析仪(GB 5009.124—2016);磷(GB/T 5009.87—2016)、铜(GB/T 5009.13—2017)、锌(GB/T 5009.14-2017)、铁/镁/锰(GB/T 5009.90—2016)、钾/钠(GB/T 5009.91—2017)、钙(GB/T 5009.92-2016)、硒(GB/T 5009.93—2017)、铬

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

选择重庆市池塘(CT)、稻田(DT)、水库(SK)3种不同养殖模式下,体况良好且均达到上市规格的鳙(体质量:1 000.30~1 629.10 g;体长:40.40~47.70 cm)为研究对象。池塘鳙取自3个主养草鱼的养殖池塘,每个池塘选取2尾鳙,共6尾;稻田鳙养殖于开挖环沟的稻田中,环沟深1.0 m,宽2.5 m,稻田蓄水后水深可达1.5 m。按照每公顷450~750尾的密度放养250 g左右的规格苗,达到上市规格后,对3块不同的稻田进行取样,每块稻田2尾,共6尾;水库鳙取自3个不同的中型水库,每个水库2尾鳙,共6尾。分别对3种模式下每尾鳙的肌肉进行各项指标测定。样品特征见表1。

(GB/T 5009.123—2023)使用电感耦合等离子体质谱仪(NexION 1000G)测定;挥发性风味物质使用安捷伦(8890—5977B)气相色谱-质谱联用仪进行测定。

### 1.3 鳙肌肉品质和营养价值评价方法

依据联合国粮食与农业组织/世界卫生组织(FAO/WHO)建议的氨基酸评分模式和中国疾病预防控制中心提出的全鸡蛋蛋白质氨基酸评分模式,分别比较氨基酸评分(AAS)、化学评分(CS)、必需氨基酸总量(EAA)和必需氨基酸指数(EAAI)<sup>[10]</sup>。

氨基酸评分为样品蛋白质氨基酸含量(mg/g)与FAO评分模式氨基酸含量(mg/g)的比值。

化学评分为样品蛋白质氨基酸含量(mg/g)与全鸡蛋蛋白质中同种氨基酸含量(mg/g)的比值。

$$EAA = A + B + C + \dots + H \quad (1)$$

$$EAAI = [(100A/AE) \times (100B/BE) \times (100C/CE) \times \dots \times (100H/HE)]^{1/n} \quad (2)$$

式中: $A, B, C \dots H$ 为各必需氨基酸含量, mg/g; AE、BE、CE...HE为全鸡蛋蛋白质相对应的必需氨基酸含量, mg/g;  $n$ 为比较的必需氨基酸个数。

#### 1.4 数据处理

采用Excel 2021和IBM SPSS 29.0中的单因素方差分析对数据进行处理, 数据结果采取平均值±标准差(Mean±SD)表示。均值内部比较采用最小显著差异法(Least significant difference, LSD), 显著水平为0.05( $P<0.05$ )。

### 2 结果

#### 2.1 基本营养成分含量

由表2可知:3种不同养殖模式下鳙的肌肉中水分、粗灰分以及肥满度均无显著性差异( $P>0.05$ )。

0.05)。而池塘鳙与稻田鳙肌肉中的粗蛋白含量显著高于水库鳙( $P<0.05$ ), 池塘鳙肌肉中的粗脂肪含量显著高于稻田与水库鳙( $P<0.05$ )。

#### 2.2 矿物质元素含量

不同养殖模式下的鳙肌肉中富含人体所需的各类微量及常量元素。常量元素中, 3种不同养殖模式下的鳙肌肉中均以钾的含量最高, 其次是磷元素;微量元素中, 3种不同养殖模式下的鳙肌肉中均以铁、锌元素的含量较高, 其他微量元素除稻田鳙肌肉中锰含量高于1 mg/kg外, 其他含量均低于1 mg/kg。稻田鳙肌肉中的铁、硒、钠元素含量显著高于池塘和水库鳙( $P<0.05$ ), 稻田鳙肌肉中的铬、锰元素含量显著高于池塘鳙( $P<0.05$ )。见表3。

表2 不同养殖模式下鳙肌肉常规营养成分含量(鲜质量)

Tab. 2 Conventional nutritional content of bighead carp muscle under different breeding modes (fresh mass)

营养成分 Nutrient component	CT	DT	SK
水分 Moisture/%	79.50±0.35	79.40±1.84	81.20±2.43
粗灰分 Crude ash/%	1.19±0.02	1.18±0.04	1.09±0.14
粗蛋白 Crude protein/%	17.92±0.31 <sup>a</sup>	17.36±0.60 <sup>a</sup>	15.29±0.63 <sup>b</sup>
粗脂肪 Crude fat/%	1.20±0.10 <sup>a</sup>	0.78±0.14 <sup>b</sup>	0.87±0.16 <sup>b</sup>
肥满度 Coefficient of condition	1.42±0.37	1.57±0.28	1.71±0.12

注:CT. 池塘鳙, DT. 稻田鳙, SK. 水库鳙。 $n=6$ ; 同行不同小写字母代表具有显著性差异( $P<0.05$ )。

Notes: CT represents bighead carp in pond, DT represents bighead carp in rice field, and SK represents bighead carp in reservoir.  $n=6$ ; Different lower case letters represent significant differences ( $P<0.05$ ).

表3 不同养殖模式下鳙肌肉中矿物质元素含量(鲜质量)

Tab. 3 Mineral element content in bighead carp muscle under different culture modes (fresh mass) mg/kg

矿物质 Minerals	CT	DT	SK
常量元素 Macroelement			
K	3 992.96±467.04	3 975.68±540.68	3 556.21±658.22
Na	226.22±34.92 <sup>b</sup>	388.23±73.58 <sup>a</sup>	200.15±34.96 <sup>b</sup>
Ca	643.79±286.53	478.63±202.44	472.22±217.20
Mg	244.90±18.46	247.01±32.34	210.63±38.25
P	2 632.12±273.37	2 684.12±405.40	2 250.95±492.47
微量元素 Microelement			
Fe	7.08±1.74 <sup>b</sup>	13.46±3.32 <sup>a</sup>	5.17±1.70 <sup>b</sup>
Zn	8.35±0.91	8.57±1.60	6.32±2.95
Cu	0.30±0.04	0.32±0.02	0.25±0.10
Se	0.20±0.05 <sup>b</sup>	0.28±0.03 <sup>a</sup>	0.10±0.02 <sup>c</sup>
Cr	0.14±0.03 <sup>b</sup>	0.25±0.07 <sup>a</sup>	0.16±0.09 <sup>ab</sup>
Mn	0.51±0.22 <sup>b</sup>	1.15±0.42 <sup>a</sup>	0.78±0.44 <sup>ab</sup>

注:CT. 池塘鳙, DT. 稻田鳙, SK. 水库鳙。 $n=6$ ; 同行不同小写字母代表具有显著性差异( $P<0.05$ )。

Notes: CT represents bighead carp in pond, DT represents bighead carp in rice field, and SK represents bighead carp in reservoir.  $n=6$ ; Different lower case letters represent significant differences ( $P<0.05$ ).

### 2.3 脂肪酸含量

由表4可知:3种鱼肌肉共检测出26种脂肪酸,由C12-C22脂肪酸组成,除十三烷酸在稻田鳙与池塘鳙肌肉中被检测到,木蜡酸仅在稻田鳙肌肉中被检测到外,其余24种脂肪酸在3种鱼肉中均被检测到。所检测出的饱和脂肪酸(SFA)中,以棕榈酸为主,占总脂肪酸含量的20.67%~22.41%。单不饱和脂肪酸(MUFA)中,以油酸为主,占总脂肪酸含量的17.27%~22.28%。单不饱和脂肪酸(PUFA)中,以亚油酸、亚麻酸、二十碳五烯酸(EPA)、二十二碳六烯酸(DHA)为主,分别占总脂肪酸含量的7.01%~13.01%、4.84%~5.22%、4.13%~4.85%和5.12%~8.41%,稻田鳙的DHA含量显著高于池塘鳙( $P<0.05$ )。在3种鱼肌肉中,稻田鳙的饱和脂肪酸总量、EPA+DHA总量、 $\Sigma n-3/n-6$ 多不饱和脂肪酸均最高,其次是水库鳙,池塘鳙最低。

### 2.4 氨基酸含量及营养价值评估

由表5可知,3种鳙肌肉中均检测出18种常见的氨基酸,其中必需氨基酸(EAA)7种,半必需氨基酸(HEAA)2种,鲜味氨基酸(DAA)4种。3种鳙肌肉的氨基酸均以谷氨酸(Glu, 2.42~2.66 g)含量最高,其次是天冬氨酸(Asp, 1.62~1.80 g),牛磺酸(Taurine, 0.08~0.10 g)含量最低。3种不同养殖模式下鳙肌肉中的EAA总量与DAA总量较为接近。

池塘鳙的TAA、EAA总量、HEAA总量和DAA总量均显著高于水库鳙( $P<0.05$ )。稻田鳙的TAA、EAA总量、HEAA总量和DAA总量与池塘鳙和水库鳙无显著性差异( $P>0.05$ )。池塘鳙的TAA最高,其次是稻田鳙,水库鳙的TAA最低。同样的EAA、HEAA和DAA总量也都表现为池塘鳙含量最高,其次是稻田鳙,水库鳙含量最低。3种鳙的EAA含量占TAA含量的39%以上,其中水库鳙最高。同时,3种鳙的DAA含量

占TAA含量的比例均在37%以上,其中稻田鳙比例最高。

参照FAO/WHO和全鸡蛋蛋白评分模式,3种不同养殖模式下鳙肌肉中除缬氨酸(Val)的含量低于FAO/WHO标准外,其他几种必需氨基酸含量均高于FAO/WHO标准(表6和表7)。对于全鸡蛋蛋白评分标准,3种模式下的鳙除赖氨酸含量高于全鸡蛋蛋白标准外,其他必需氨基酸含量均低于全鸡蛋蛋白标准。3种养殖模式下的鳙肌肉中的赖氨酸含量均明显高于FAO/WHO与全鸡蛋蛋白标准,表明鳙可以作为1种优质的赖氨酸食物源。对于氨基酸评分(AAS),除缬氨酸外,3种不同养殖模式下的鳙其他必需氨基酸均超过1.0,缬氨酸为3种不同养殖模式下鳙的第一限制性氨基酸;而对于化学评分(CS),池塘鳙与稻田鳙的第一限制性氨基酸为蛋氨酸+胱氨酸,水库鳙的第一限制性氨基酸为缬氨酸。其中,Ile、Met+Cys、Phe+Tyr在水库鳙肌肉中含量最接近鸡蛋蛋白中的含量。3种模式下鳙肌肉必需氨基酸指数(EAAI)接近,且均大于85,表明这3种鳙氨基酸营养价值均较高。

### 2.5 挥发性风味物质组成及相对含量

从池塘鳙、稻田鳙和水库鳙的肌肉中分别检测出41、38和51种挥发性成分(表8)。3种鳙肌肉中的挥发性成分都以烃类化合物为主,在3种鳙的肌肉中分别达到81.73%、88.61%和93.09%。醛类化合物在稻田鳙中含量最高,达1.69%,水库鳙含量最低,为0.55%,主要的呈味物质(己醛和辛醛)只在稻田鳙的肌肉中被检测到。醇类化合物在池塘鳙中的含量最高,为3.30%,而水库鳙含量最低,为0.90%,其中,1-辛烯-3-醇的含量在稻田鳙中最高,达0.37%。在池塘鳙中检测到2种酮类化合物,水库鳙中1种,稻田鳙中未检测到酮类化合物。

表4 不同养殖模式下鳙肌肉中脂肪酸组成及相对含量

Tab. 4 Fatty acid composition and relative content of bighead carp muscle under different culture modes %

种类 Type	脂肪酸 Fatty acids	CT	DT	SK
饱和脂肪酸 SFA	月桂酸 C12:0	0.40±0.28	0.13±0.03	0.16±0.06
	十三烷酸 C13:0	-	0.16±0.05	0.11±0.03
	肉豆蔻酸 C14:0	2.62±0.58	3.00±0.65	2.52±0.62
	十五烷酸 C15:0	1.12±0.08	1.35±0.23	1.14±0.24
	棕榈酸 C16:0	20.67±2.45	21.48±1.39	22.41±2.13
	十七烷酸 C17:0	1.09±0.10 <sup>b</sup>	1.45±0.20 <sup>a</sup>	1.32±0.29 <sup>ab</sup>
	硬脂酸 C18:0	7.73±0.56 <sup>b</sup>	10.80±1.13 <sup>a</sup>	11.34±2.86 <sup>a</sup>
	花生酸 C20:0	0.40±0.04 <sup>a</sup>	0.39±0.04 <sup>a</sup>	0.31±0.04 <sup>b</sup>
	山嵛酸 C22:0	0.23±0.04 <sup>b</sup>	0.36±0.07 <sup>a</sup>	0.26±0.04 <sup>b</sup>
	二十三烷酸 C23:0	4.49±1.08 <sup>b</sup>	6.74±0.87 <sup>a</sup>	5.15±1.52 <sup>ab</sup>
总量 Total	木蜡酸 C24:0	-	0.17±0.04	-
		38.75±5.17	46.05±4.70	44.71±7.83
单不饱和脂肪酸 MUFA	棕榈油酸 C16:1n7	5.30±1.73	5.17±0.85	4.72±0.85
	十七碳烯酸 C17:1n7	0.58±0.17	0.56±0.09	0.55±0.10
	反油酸 C18:1n9t	0.59±0.19	0.56±0.05	0.63±0.11
	油酸 C18:1n9c	22.28±2.22	18.98±2.40	17.27±4.71
	二十碳烯酸 C20:1n9	1.69±0.32 <sup>a</sup>	1.02±0.10 <sup>b</sup>	1.17±0.13 <sup>b</sup>
	芥酸 C22:1n9	0.37±0.11 <sup>a</sup>	0.18±0.06 <sup>b</sup>	0.19±0.02 <sup>b</sup>
	神经酸 C24:1n9	0.40±0.02 <sup>b</sup>	0.64±0.12 <sup>a</sup>	0.57±0.19 <sup>ab</sup>
总量 Total		31.20±4.76 <sup>a</sup>	27.11±3.67 <sup>ab</sup>	25.10±6.11 <sup>b</sup>
多不饱和脂肪酸 PUFA	亚油酸 C18:2n6c	13.01±8.38	7.01±2.57	10.16±6.70
	γ-亚麻酸 C18:3n6	0.23±0.06	0.24±0.02	0.18±0.03
	α-亚麻酸 C18:3n3	4.84±0.95	4.85±0.77	5.22±0.99
	二十碳二烯酸 C20:2n6	0.58±0.25	0.44±0.08	0.48±0.13
	二十碳三烯酸 C20:3n6	0.80±0.17 <sup>a</sup>	0.60±0.06 <sup>b</sup>	0.65±0.05 <sup>ab</sup>
	二十碳三烯酸 C20:3n3	0.79±0.30	0.75±0.12	0.86±0.20
	二十碳五烯酸 EPAC20:5n3	4.13±1.96	4.25±0.34	4.85±1.41
总量 Total	二十二碳六烯酸 DHAC22:6n3	5.12±1.71 <sup>b</sup>	8.41±1.05 <sup>a</sup>	7.42±2.04 <sup>ab</sup>
		29.50±13.78	26.56±5.01	29.83±11.55
Σ n-3 多不饱和脂肪酸 n-3 PUFA		14.88±4.88	18.26±1.24	18.35±3.84
Σ n-6 多不饱和脂肪酸 n-6 PUFA		14.62±8.53	8.30±2.57	11.48±6.82
n-3 / n-6 多不饱和脂肪酸 n-3 PUFA / n-6 PUFA		1.53±1.18	2.38±0.81	2.26±1.52
二十碳五烯酸+二十二 碳六烯酸 EPA+DHA		9.25±3.65	12.66±1.22	12.27±3.41
多不饱和脂肪酸 / 饱和 脂肪酸 PUFA/SFA		0.76±0.13	0.58±0.09	0.67±0.11

注: CT. 池塘鳙; DT. 稻田鳙; SK. 水库鳙。n=6; 同行不同小写字母代表具有显著性差异P<0.05。“-”代表相对含量少于0.1%或未检测到该种脂肪酸。

Notes: CT represents bighead carp in pond, DT represents bighead carp in rice field, and SK represents bighead carp in reservoir. n=6; Different lower case letters represent significant differences P<0.05. “-” represents less than 0.1% relative content or no aliphatic acid was detected.

表5 不同养殖模式下鳙肌肉中氨基酸组成及含量

Tab. 5 Amino acid composition and content in the muscle of bighead carp under different culture modes g/100 g

氨基酸种类 Amino acid species	CT	DT	SK
苏氨酸 Thr*	0.78±0.01 <sup>a</sup>	0.75±0.02 <sup>ab</sup>	0.70±0.07 <sup>b</sup>
缬氨酸 Val*	0.84±0.01 <sup>a</sup>	0.82±0.03 <sup>ab</sup>	0.76±0.08 <sup>b</sup>
蛋氨酸 Met*	0.54±0.01	0.52±0.01	0.49±0.05
异亮氨酸 Ile*	0.77±0.01	0.76±0.02	0.70±0.07
亮氨酸 Leu*	1.37±0.02	1.33±0.04	1.24±0.12
苯丙氨酸 Phe*	0.72±0.01 <sup>a</sup>	0.70±0.02 <sup>ab</sup>	0.65±0.07 <sup>b</sup>
赖氨酸 Lys*	1.72±0.03 <sup>a</sup>	1.65±0.05 <sup>ab</sup>	1.54±0.15 <sup>b</sup>
必需氨基酸总量 EAA	6.73±0.08 <sup>a</sup>	6.53±0.19 <sup>ab</sup>	6.09±0.61 <sup>b</sup>
组氨酸 His**	0.59±0.02 <sup>a</sup>	0.52±0.01 <sup>b</sup>	0.50±0.05 <sup>b</sup>
精氨酸 Arg**	1.05±0.01 <sup>a</sup>	1.03±0.03 <sup>ab</sup>	0.95±0.09 <sup>b</sup>
半必需氨基酸总量 HEAA	1.64±0.03 <sup>a</sup>	1.55±0.04 <sup>ab</sup>	1.45±0.14 <sup>b</sup>
天冬氨酸 Asp <sup>#</sup>	1.80±0.02 <sup>a</sup>	1.74±0.05 <sup>ab</sup>	1.62±0.16 <sup>b</sup>
谷氨酸 Glu <sup>#</sup>	2.66±0.03	2.62±0.08	2.42±0.24
甘氨酸 Gly <sup>#</sup>	0.88±0.02 <sup>a</sup>	0.82±0.02 <sup>a</sup>	0.74±0.08 <sup>b</sup>
丙氨酸 Ala <sup>#</sup>	1.05±0.01 <sup>a</sup>	1.00±0.03 <sup>ab</sup>	0.92±0.09 <sup>b</sup>
鲜味氨基酸总量 DAA	6.38±0.04 <sup>a</sup>	6.18±0.18 <sup>ab</sup>	5.71±0.58 <sup>b</sup>
丝氨酸 Ser	0.72±0.01 <sup>a</sup>	0.69±0.02 <sup>ab</sup>	0.65±0.07 <sup>b</sup>
胱氨酸 Cys	0.18±0.00 <sup>a</sup>	0.18±0.00 <sup>ab</sup>	0.17±0.02 <sup>b</sup>
酪氨酸 Tyr	0.60±0.01 <sup>a</sup>	0.58±0.02 <sup>ab</sup>	0.54±0.05 <sup>b</sup>
脯氨酸 Pro	0.63±0.02 <sup>a</sup>	0.60±0.02 <sup>ab</sup>	0.54±0.06 <sup>b</sup>
牛磺酸 Taurine	0.10±0.01	0.08±0.00	0.09±0.02
氨基酸总量 TAA	17.22±0.16 <sup>a</sup>	16.61±0.47 <sup>ab</sup>	15.43±1.56 <sup>b</sup>
非必需氨基酸总量 NEAA	8.61±0.07 <sup>a</sup>	8.31±0.12 <sup>ab</sup>	7.70±0.40 <sup>b</sup>
必需氨基酸总量/氨基酸总量 EAA/TAA/%	39.08±0.11 <sup>b</sup>	39.31±0.07 <sup>a</sup>	39.43±0.11 <sup>a</sup>
非必需氨基酸总量/氨基酸总量 NEAA/TAA/%	50.00±0.14 <sup>a</sup>	50.03±0.22 <sup>a</sup>	49.90±0.13 <sup>b</sup>
必需氨基酸总量/非必需氨基酸总量 EAA/NEAA/%	78.16±0.24	78.58±0.18	79.09±0.33
鲜味氨基酸总量/氨基酸总量 DAA/TAA/%	37.05±0.18	37.18±0.03	37.02±0.13
半必需氨基酸总量/氨基酸总量 HEAA/TAA/%	9.54±0.09 <sup>a</sup>	9.34±0.04 <sup>b</sup>	9.37±0.08 <sup>b</sup>

注：“\*”.必需氨基酸，“\*\*”.半必需氨基酸，“#”.鲜味氨基酸。

Notes: “\*”represents essential amino acids, “\*\*”represents semi-essential amino acids, and “#” represents umami amino acids.

表6 必需氨基酸组成与含量  
Tab. 6 Composition and content of essential amino acids mg/g

必需氨基酸种类 Essential amino acid	FAO/WHO 评分模式 FAO/WHO scoring pattern	全鸡蛋蛋白评分模式 Egg protein	氨基酸含量 Amino acid content		
			CT	DT	SK
赖氨酸 Lys	55	70	95.98	95.05	100.72
亮氨酸 Leu	70	86	76.45	76.61	81.10
苏氨酸 Thr	40	47	43.53	43.20	45.78
缬氨酸 Val	50	66	46.88	47.24	49.71
异亮氨酸 Ile	40	54	42.97	43.78	45.78
蛋氨酸+胱氨酸 Met+Cys	35	57	40.18	40.32	43.17
苯丙氨酸+酪氨酸 Phe+Tyr	60	93	73.66	73.73	77.83
必需氨基酸指数 EAII			86.55	86.76	86.66

表7 必需氨基酸评分  
Tab. 7 Score of essential amino acids

必需氨基酸 Essential amino acid	氨基酸评分 AAS			化学评分 CS		
	CT	DT	SK	CT	DT	SK
赖氨酸 Lys	1.75	1.73	1.83	1.37	1.36	1.44
亮氨酸 Leu	1.09	1.09	1.16	0.89	0.89	0.94
苏氨酸 Thr	1.09	1.08	1.14	0.93	0.92	0.97
缬氨酸 Val	0.94	0.94	0.99	0.71	0.72	0.75
异亮氨酸 Ile	1.07	1.09	1.14	0.80	0.81	0.85
蛋氨酸+胱氨酸 Met+Cys	1.15	1.15	1.23	0.70	0.71	0.76
苯丙氨酸+酪氨酸 Phe+Tyr	1.23	1.23	1.30	0.79	0.79	0.84

表8 3种不同养殖模式下鳙挥发性风味物质组成及含量  
Tab. 8 Composition and content of volatile flavor substances in bighead carp fish  
under three different breeding modes

种类 Type	名称 Name	保留时间 Retention time/min	相对含量 Content/%		
			CT	DT	SK
醛类化合物 Aldehyde compound	Decanal 癸醛	17.00	0.13	0.10	0.05
	Pentadecanal-十五醛	31.63	-	0.10	-
	Hexanal 己醛	4.99	-	0.47	-
	Heptanal 庚醛	7.78	0.07	0.11	0.03
	Nonanal 壬醛	14.00	0.52	0.69	0.44
	Hexadecanal 十六醛	31.62	0.06	-	0.03
	Benzaldehyde dimethyl acetal 苯甲醛二甲缩醛	14.21	0.04	-	-
醇类化合物 Alcohol compounds	Octanal 辛醛	10.91	-	0.22	-
	总计 Total		0.82	1.69	0.55
	1-Dodecanol 十二醇	24.11	0.06	-	0.02
	1-Octen-3-ol 1-辛烯-3-醇	10.28	0.15	0.37	0.09
	1-Hexanol, 2-ethyl- 2-乙基己醇	11.73	0.13	0.11	0.05
	1-Octanol 辛醇	13.02	0.25	0.20	0.11
	1-Nonanol 1-壬醇	16.02	0.24	0.12	-
酮类化合物 Ketone compounds	1-Hexanol 正己醇	6.90	1.65	0.23	-
	1-Heptanol 正庚醇	9.98	-	-	0.02
	2,4,7,9-Tetramethyl-5-decyn-4,7-diol 2,4,7,9-四甲基-5-癸炔-4,7-二醇	22.70	-	-	0.05
	总计 Total		3.30	2.72	0.90
	1-Hexanone, 5-methyl-1-phenyl- 5-甲基-1-苯基己烷-1-酮	12.84	0.01	-	-
	Benzophenone 二苯甲酮	27.82	0.01	-	0.01
	总计 Total		0.02	0.00	0.01
酯类化合物 Ester compounds	Hexadecanoic acid, methyl ester 十六酸甲酯	33.28	-	0.18	-
	n-Caproic acid vinyl ester 正己酸乙烯酯	10.37	-	0.19	0.04
	Dibutyl phthalate 邻苯二甲酸二丁酯	33.80	-	0.03	0.01
	Hexadecanoic acid, methyl ester 棕榈酸甲酯	33.28	0.22	-	0.06
	总计 Total		0.22	0.40	0.11
烃类化合物 Hydrocarbon compounds	Pentadecane 正十五烷	24.74	0.71	1.36	1.39
	Tetradecane, 3-methyl- 3-甲基十四烷	26.25	-	-	0.02
	Heptadecane 正十七烷	29.40	71.46	77.55	75.24
	Octadecane 正十八烷	31.34	0.26	-	0.27
	Hexadecane, 2,6,10,14-tetramethyl- 植烷	31.51	0.07	-	0.02

·续表8·

种类 Type	名称 Name	保留时间 Retention time/min	相对含量 Content/%		
			CT	DT	SK
	Hexane, 3,3-dimethyl-3,3-二甲基己烷	12.60	-	-	0
	cis-Calamenene 顺-菖蒲烯	25.41	0.24	-	0.05
	1-Heptadecene 2-十七烯	29.19	3.58	1.98	1.85
	1-Nonadecene: 1-十九碳烯	32.82	-	-	0.30
	Nonadecane 正十九烷	32.91	-	0.18	0.08
	2-Heptadecene, (Z)-3-十七烷烯	29.06	-	5.01	11.94
	Caryophyllene 石竹烯	26.86	3.50	-	0.52
	Benzene, (1-methylethyl)-2-苯基-1-丙烯	8.47	-	-	0.02
	Humulene ALPHA-葎草烯	23.72	-	-	0.23
	Hexadecane 十六烷	27.10	0.94	0.64	0.98
	9-Nonadecene 9-十九碳烯	32.54	-	-	0.05
	8-Heptadecene 8-十七烷烯	29.00	0.41	1.67	-
	Heptadecane, 7-methyl-西部铁杉尺蠖性信息素	30.30	0.25	-	0.08
	Caryophyllene oxide 石竹素	26.13	0.31	-	0.05
	Tetradecane, 4-ethyl-4-乙基十四烷	30.43	-	0.11	-
	Heptadecane, 7-methyl-7-甲基十七烷	30.29	-	0.10	-
	总计 Total		81.73	88.61	93.09
芳香类化合物 Aromatic compounds	Benzaldehyde 苯甲醛	9.57	0.20	0.09	0.03
	Styrene 苯乙烯	7.44	1.59	1.21	0.36
	2,4-Di-tert-butylphenol 2,4-二特丁基苯酚	25.07	0.73	0.18	0.13
	Benzene, 1,3-dimethyl-间二甲苯	6.82	-	0.95	0.25
	Benzene, propyl-正丙苯	9.35	0.04	0.04	0.01
	Butylated Hydroxytoluene 2,6-二叔丁基对甲基苯酚	25.13	-	-	0.13
	Ethylbenzene 乙基苯	6.60	0.26	0.19	0.07
	Toluene 甲苯	4.24	0.46	0.27	0.09
	trans-Isoeugenol(E)-2-甲氧基-4-(1-丙烯基苯酚)	23.56	2.10	1.00	0.44
	Pyridine, 2,5-dimethyl-2,5-二甲基吡啶	8.74	0.81	-	0.19
	Naphthalene 萘	16.35	0.83	0.51	0.30
	Benzo[c]thiophene 苯并[C]噻吩	16.60	-	-	0.01
	Quinoline 喹啉	17.98	0.13	0.08	0.05
	Naphthalene, 2-methyl-β-甲基萘	19.47	0.78	0.47	0.25
	Naphthalene, 1,2-dimethyl-1,2-二甲基萘	22.77	0.03	-	0.01
	3-p-Tolylpyridine 2-对甲苯基吡啶	27.64	-	-	0.01
	Naphthalene, 1,6-dimethyl-1,6-二甲基萘	22.77	-	0.04	-
	Acenaphthene 茴	24.38	0.03	-	-
	6-Methoxy-3-methylbenzofuran 6-甲氧基-3-甲基苯并呋喃	22.76	0.13	-	-
	总计 Total		8.10	5.04	2.33
酰胺类化合物 Amide compounds	Dimethyl phthalate N,N-二甲基甲酰胺	23.69	-	0.64	-
	Formamide, N,N-dibutyl-N,N-二丁基甲酰胺	19.73	4.50	2.59	1.28
	总计 Total		4.50	3.23	1.28
其他类化合物 Other compounds	Oxime-, methoxy-phenyl- 甲氧基苯基-肟	8.66	3.75	-	1.60
	Carbamodithioic acid, diethyl-, methyl ester S-甲基N,N二乙基二硫代氨基甲酸	21.82	-	-	0.69
	总计 Total		3.78	0	2.29

注:“-”表示未检测出该物质。

Notes: “-” represents no substance detected.

### 3 讨论

#### 3.1 基本营养成分含量

鱼体肌肉是摄食鱼类的主要营养部位,其水分、粗灰分、粗蛋白和粗脂肪的含量直接反映了鱼类的食用品质与营养价值<sup>[11]</sup>。蛋白质在人们的日常膳食摄入中起着至关重要的作用,其含量是衡量食物营养价值的关键指标之一<sup>[12]</sup>。本研究中3种不同养殖模式下鳙肌肉中粗蛋白的含量池塘鳙>稻田鳙>水库鳙,其中,池塘鳙与稻田鳙肌肉中粗蛋白含量显著高于水库鳙,与李玲雪等<sup>[13]</sup>对不同养殖模式下瓯江彩鲤肌肉营养成分的研究结果一致。结果表明,不同的养殖模式对于鳙肌肉中的蛋白质含量具有一定的影响,原因可能在池塘养殖条件下,水温变化幅度较小,浮游生物丰富,另外还可以摄食部分配合饲料,有利于蛋白质在鱼体内的积累。在粗脂肪含量方面,池塘鳙显著高于稻田和水库鳙。与宋咏<sup>[14]</sup>对三峡库区与池塘养殖鳙肌肉品质的研究相符,这可能与其养殖环境和投喂的饵料密切相关,相比之下,水库鳙与稻田鳙其食物来源多为活的饵料生物<sup>[15]</sup>,它们在捕食过程中的活动量较大,能量消耗增多,有助于防止脂肪的过度积累。相反,池塘鳙活动空间有限,主要依靠人工投喂,食物易获得、活动量较小,因而脂肪容易在体内累积。高蛋白低脂肪的食物是现代饮食的推荐选择,它们不仅能满足人体对蛋白质的基本需求,还有助于提高饱腹感、控制食欲和管理体重。此外,低脂肪的摄入有助于降低胆固醇,减少心血管疾病的风险。对于特定疾病患者,例如糖尿病患者,高蛋白低脂肪食物还可以帮助控制血糖水平,减少并发症的风险<sup>[16]</sup>。稻田鳙相较于池塘鳙与水库鳙,具有较高的粗蛋白含量和较低的粗脂肪含量,营养价值更佳,更符合现代人的饮食需求。

#### 3.2 矿物质元素含量

矿物质元素是维持人体正常新陈代谢和构成身体组织的关键营养素,人体无法自行合成这些元素,必须通过食物来获取,摄入量不足或过多都会导致人体不适,因此,食物中矿物质含量是评估其营养价值的重要指标之一<sup>[17]</sup>。在本研究中,我们比较了3种不同养殖模式下鳙肌肉中的矿物质含量。分析结果表明,鳙肌肉富含铁、

锰、锌、硒、铜等微量元素,以及钾、钙、钠、镁、磷等常量元素。常量元素中钾元素含量最高,微量元素中铁、锌元素含量最高,这与贾成霞等<sup>[18]</sup>对密云水库鳙的研究结果相似。

微量元素中,铁元素是人体血红蛋白和肌红蛋白的重要组成成分,是人体不可或缺的微量元素。缺铁会导致贫血症<sup>[19]</sup>。本研究发现,稻田鳙肌肉中的铁含量显著高于池塘鳙与水库鳙,表明稻田鳙是优质的铁元素食物来源,对于缓解或预防贫血症尤其有益。硒元素具有抗氧化和增强免疫力的作用,并能防止白内障的形成及解毒重金属<sup>[20]</sup>。本研究显示,稻田鳙肌肉中硒的含量显著高于池塘和水库鳙。因此,老年人群为预防白内障的发生更宜食用稻田鳙,免疫力低下的人群如老人和小孩也宜多食用稻田鳙,以此提高自身免疫力,减少疾病的发生。此外,锰元素对于人体的骨骼健康和生殖系统发育至关重要<sup>[21]</sup>。稻田鳙肌肉中的锰含量显著高于池塘鳙。食用稻田,对骨折患者和青少年尤为有益。

#### 3.3 脂肪酸含量

食物中脂肪酸的摄入对人体健康有着重要影响。水产品中富含人体所需的各类脂肪酸,包括饱和脂肪酸和不饱和脂肪酸。本研究中3种不同养殖模式下的鳙肌肉中饱和脂肪酸含量较高的均是棕榈酸和硬脂酸,这与 HALILOĞLU 等<sup>[22]</sup>对淡水鱼肌肉脂肪酸的研究结果一致。相关研究表明适量摄入棕榈酸可降低血清胆固醇浓度,有益于心血管健康和肠道健康<sup>[23]</sup>,本研究中棕榈酸的含量在鳙肌肉的饱和脂肪酸中占比都较高,合理摄入有望降低血清胆固醇浓度。关于单不饱和脂肪酸,池塘鳙中的含量显著高于水库鳙,而稻田鳙与池塘鳙和水库鳙之间的差异不显著。其中油酸在3种鳙的肌肉单不饱和脂肪酸中最具有代表性,其摄入可降低血清总胆固醇和脂蛋白胆固醇浓度,同时减少氧化应激产物、降低炎症反应,有助于机体损伤后的康复<sup>[24]</sup>。3种鳙肌肉中的油酸含量均能满足人体的摄入需求,是较好的油酸食物源。3种鳙均富含亚油酸、亚麻酸、二十二碳六烯酸(DHA)与二十碳五烯酸(EPA)等多种多不饱和脂肪酸。稻田和水库鳙肌肉中的DHA含量显著高于池塘鳙,且稻田鳙的DHA+EPA总量超过水库鳙和池

塘鳙。DHA与EPA被誉为“脑黄金”,对于人体而言具有较高的保健作用,尤其有助于幼儿大脑发育和增强记忆力<sup>[25]</sup>。较高的n-3/n-6多不饱和脂肪酸比值可以有效的降低血脂,减少心脑血管疾病发病率<sup>[26]</sup>,FAO/WHO推荐比值为1:1。本研究显示,肌肉中n-3/n-6稻田鳙>水库鳙>池塘鳙,远高于FAO/WHO推荐值,说明稻田鳙的多不饱和脂肪酸含量和组成更符合人体需求。整体来看,稻田鳙的棕榈酸含量较高,且DHA+EPA总量和n-3/n-6多不饱和脂肪酸均优于池塘鳙和水库鳙,显示出更佳的营养价值。因此,相较于池塘鳙和水库鳙,食用稻田鳙是更好的选择。

#### 3.4 氨基酸含量及其价值评估

食物中氨基酸的组成比例、种类以及含量被认为是决定蛋白质品质的主要因素,根据FAO/WHO提出的标准,理想蛋白质的必需氨基酸与氨基酸总量的比值约为40%,必需氨基酸与非必需氨基酸的比值应大于60%<sup>[27]</sup>,本研究中的鳙必需氨基酸与氨基酸总量的比值都在40%左右,必需氨基酸与非必需氨基酸的比值都大于60%,均符合FAO/WHO标准,属于较为优质的理想蛋白质。必需氨基酸必须从食物中摄取,人体无法自身合成,其在食物中的含量,一直备受人们关注。赖氨酸又被称为“生长氨基酸”具有调节人体代谢平衡、提高胃液分泌、增强食欲、促进高钙吸收、加强骨骼生长等功能;亮氨酸、异亮氨酸和缬氨酸这3种支链氨基酸对肝脏的保护、肝性脑病的治疗、节省肌肉消耗方面具有积极作用<sup>[28]</sup>。本研究中稻田鳙与池塘鳙肌肉中的苏氨酸、缬氨酸、苯丙氨酸和赖氨酸含量均显著高于水库鳙,说明稻田鳙和池塘鳙必需氨基酸含量及种类更能满足人体的需要。天冬氨酸、谷氨酸、甘氨酸和丙氨酸这4种呈味氨基酸的含量及组成比例对肉的滋味有着重要影响<sup>[29]</sup>。本研究中稻田鳙和池塘鳙的鲜味氨基酸总量显著高于水库鳙,其中稻田鳙的鲜味氨基酸含量与氨基酸总量比值超过池塘鳙和水库鳙,表明稻田鳙具有更饱满的口感滋味。

根据FAO/WHO评分标准和全鸡蛋蛋白评分标准,稻田、池塘、水库鳙的必需氨基酸总量(EAA)均在400 mg/g以上,大于WHO/FAO提出的标准350 mg/g<sup>[16]</sup>,因此是优质食物蛋白源。从

氨基酸评分(AAS)来看,3种养殖模式下的鳙除缬氨酸外,其他必需氨基酸AAS评分均大于1.0,缬氨酸为第一限制性氨基酸,与叶香尘等<sup>[30]</sup>对建鲤和金边鲤的研究结果一致。从化学评分(CS)来看3种养殖模式下的鳙赖氨酸评分均大于1,而以谷物为主食的人群赖氨酸是限制性氨基酸<sup>[31]</sup>,食用鳙能够很好的弥补谷物中赖氨酸的不足,从而达到氨基酸平衡。从整体上来看3种鳙的AAS、CS、EAA及EAAI都比较接近,且均高于FAO/WHO提出的标准,说明3种养殖模式下的鳙营养价值均较高,是人们日常饮食中较优的食物蛋白源。

#### 3.5 挥发性风味物质组成及相对含量

挥发性风味物质中的烃类化合物的芳香阈值较高,需要较高的含量才能引起嗅觉反应,对食品的整体风味贡献较小<sup>[32]</sup>。3种不同养殖模式下鳙肌肉中烃类挥发性物质含量为水库鳙(93.09%)>稻田鳙(88.61%)>池塘鳙(81.73%)。虽然检测出来的烃类化合物占比较高,但是对鳙肌肉整体风味贡献较小。

醛类化合物是一种低阈值的呈味化合物,较小的含量就能引起嗅觉反应,对食品风味的贡献具有重要影响<sup>[33]</sup>。稻田鳙肌肉中特有的醛类化合物有3种,池塘鳙肌肉仅1种,水库鳙肌肉无特有醛类化合物,这可能是稻田鳙肌肉风味更加独特的原因之一。3种不同养殖模式下鳙肌肉中醛类挥发性物质含量为稻田鳙(1.69%)>池塘鳙(0.82%)>水库鳙(0.55%),这可能是稻田鳙风味明显优于池塘鳙和水库鳙的重要原因。己醛具有较低的阈值,可以使肉类产品呈现芳草香味,被认为是评价肉类产品重要的指标<sup>[34]</sup>,壬醛、葵醛能够产生令人愉悦的清新黄瓜香味<sup>[35]</sup>,在3种不同养殖模式的鳙肌肉中,仅在稻田鳙中检测到了己醛,同时壬醛、葵醛的相对含量也表现为最高,这可能是稻田鳙风味明显优于池塘鳙和水库鳙的主要原因之一。

具有类似蘑菇香味<sup>[36]</sup>的1-辛烯-3-醇在3种不同养殖模式下的鳙肌肉中都被检测到,在稻田鳙的比例为0.37%,在池塘鳙的比例为0.15%,在水库鳙的比例为0.09%。对鱼腥味有增强作用的酮类化合物<sup>[37]</sup>在稻田鳙肌肉中未被检测到,而池塘鳙肌肉中的酮类化合物占比为0.02%,水库鳙肌肉中的酮类化合物占比为0.01%。这可能是稻

田镛肌肉风味更佳的原因之一。综上,稻田镛的风味优于池塘镛和水库镛。

#### 4 结论

本研究比较分析了3种不同养殖模式下镛肌肉的营养成分和营养价值。研究结果显示,3种镛均是蛋白质含量丰富且粗脂肪含量较为适中的优质淡水鱼类,富含人体所需的多种矿物质元素、氨基酸和脂肪酸,其必需氨基酸组成均高于FAO/WHO的理想模式。与水库镛和池塘镛相比,稻田镛具有更高的蛋白含量和较低的脂肪含量,属于高蛋白低脂肪食物,稻田镛的氨基酸和脂肪酸组成也更加均衡,并且具有更出色的肌肉风味。这些特点使得稻田镛更符合现代人的消费需求,是一种值得推广的优质水产品。本研究结果为人们选择日常膳食提供了参考依据,同时为稻田镛的推广提供了基础数据。

作者声明本文无利益冲突。

#### 参考文献:

- [1] 农业农村部渔业渔政管理局,全国水产技术推广总站,中国水产学会. 中国渔业统计年鉴 2023[M]. 北京:中国农业出版社, 2024.
- [2] 方建光, 李钟杰, 蒋增杰, 等. 水产生态养殖与新养殖模式发展战略研究[J]. 中国工程科学, 2016, 18(3): 22-28.
- [3] 沈雪达, 苟伟明. 我国稻田养殖发展与前景探讨[J]. 中国渔业经济, 2013, 31(2): 151-156.
- [4] 李文博, 刘少君, 叶新新, 等. 稻田综合种养模式对土壤生态系统的影响研究进展[J]. 生态与农村环境学报, 2021, 37(10): 1292-1300.
- [5] LI W B, LIU S J, YE X X, et al. Effects of the co-culture of rice and aquatic animals on soil eco-system: a review [J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2021, 37(10): 1292-1300.
- [6] 步洪凤, 梁玉刚, 方宝华. 稻田综合种养主要模式及其研究进展[J]. 杂交水稻, 2023, 38(1): 10-19.
- [7] BU H F, LIANG Y G, FANG B H. Main models and research progress of planting-breeding ecosystem in rice field[J]. Hybrid Rice, 2023, 38(1): 10-19.
- [8] GUAN W Z, XU X J, NIU B L, et al. Comparison on muscle morphology and biochemical composition of largemouth bass (*Micropterus salmoides*) cultured under different modes in Zhejiang Province [J]. Fisheries Science & Technology Information, 2022, 49(4): 187-192.
- [9] 谢雅雯. 生鲜运输时间对镛鱼头品质及风味变化的影响[D]. 南昌:江西师范大学, 2019.
- [10] XIE Y W. Quality and flavor changes of the bighead carp's head during the fresh logistics transportation [D]. Nanchang: Jiangxi Normal University, 2019.
- [11] 丁淑荃, 王光毅, 袁小琛, 等. 水库放养和池塘饲养镛背肌质构特性与营养价值评价[J]. 水产学杂志, 2022, 35(2): 47-52, 58.
- [12] DING S Q, WANG G Y, YUAN X C, et al. Muscular quality and nutritional value of bighead carp (*Aristichthys nobilis* Richardson) raised in the reservoir and cultured in the pond[J]. Chinese Journal of Fisheries, 2022, 35(2): 47-52, 58.
- [13] 何伟, 罗辉, 杜思雨, 等. 三种营养类型水库和人工养殖池塘镛鱼养成品的肌肉品质差异[J]. 渔业科学进展, 2021, 42(6): 135-141.
- [14] HE W, LUO H, DU S Y, et al. Differences in meat quality of bighead carp between the three nutritional types of reservoirs and artificial culture ponds [J]. Progress in Fishery Sciences, 2021, 42(6): 135-141.
- [15] 罗辉, 陈李婷, 敬庭森, 等. 田螺科四种螺的肌肉主要营养成分[J]. 水产学报, 2022, 46(11): 2177-2185.
- [16] LUO H, CHEN L T, JING T S, et al. Muscle nutrition analysis of four snail species of Viviparidae [J]. Journal of Fisheries of China, 2022, 46(11): 2177-2185.
- [17] HE J Z, FENG P F, LV C F, et al. Effect of a fish - rice co-culture system on the growth performance and muscle quality of tilapia (*Oreochromis niloticus*) [J]. Aquaculture Reports, 2020, 17: 100367.
- [18] WU G Y. Dietary protein intake and human health [J]. Food & Function, 2016, 7(3): 1251-1265.
- [19] 李玲雪, 高春山, 彭思博, 等. 稻田与池塘养殖瓯江彩鲤肌肉营养成分对比分析[J]. 水产科技情报, 2023, 50(2): 116-120.
- [20] LI L X, GAO C S, PENG S B, et al. Contrastive analysis on muscle nutrient composition of *Cyprinus*

- carpio* var. *color* cultured in paddy field and pond [J]. *Fisheries Science & Technology Information*, 2023, 50 (2): 116-120.
- [14] 宋咏. 三峡库区水域牧场放养与池塘养殖鲢鳙肌肉品质和消化酶活力以及形态的比较研究[D]. 重庆: 西南大学, 2014.
- SONG Y. Comparative analyses of muscle nutritional composition, digestion enzymes activities, dietary and morphology of silver carp and bighead carp in the Three Gorges Reservoir water ranch and the farm pond [D]. Chongqing: Southwest University, 2014.
- [15] 李礼, 徐洪亮, 李波, 等. 稻田和池塘养殖模式下沙塘鳢生长及食物组成的对比分析[J]. 水生生物学报, 2023, 47(11): 1745-1751.
- LI L, XU H L, LI B, et al. Comparative analysis of the growth and food composition of *Odontobutis obscura* in rice-fish and pond culture modes [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2023, 47(11): 1745-1751.
- [16] 罗洁霞. 居民膳食蛋白质供需平衡分析[D]. 北京: 中国农业科学院, 2018.
- LUO J X. A supply and demand analysis of Chinese residents' dietary protein [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2018.
- [17] SOUZA T L, SOUZA L A, BARBOSA I S, et al. Mineral and trace elements in nutritious flours: total contents, in vitro bioaccessibility and contribution to dietary intake [J]. *Biological Trace Element Research*, 2023, 201(9): 4600-4611.
- [18] 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.
- JIA C X, QU J Q, LI Y G, et al. Nutritional compositions in muscles of silver carp *Hypophthalmichthys molitrix* and bighead carp *Aristichthys nobilis* in Miyun reservoir [J]. *Fisheries Science*, 2019, 38(1): 40-47.
- [19] 李岩, 霍军生. 微量元素铁与人体健康[J]. 肥料与健康, 2022, 49(6): 25-27, 33.
- LI Y, HUO J S. Trace element iron and human health [J]. *Fertilizer & Health*, 2022, 49(6): 25-27, 33.
- [20] 刘莉, 刘毅. 微量元素硒与人体健康[J]. 黑龙江科学, 2014, 5(6): 16-17.
- LIU L, LIU Y. The indispensable microelement of human bodies-selenium[J]. *Heilongjiang Science*, 2014, 5(6): 16-17.
- [21] EL-SAID G F, EL-SADAAWY M M, SHOBIER A H, et al. Human health implication of major and trace elements present in commercial crustaceans of a traditional seafood marketing region, Egypt [J]. *Biological Trace Element Research*, 2021, 199(1): 315-328.
- [22] İBRAHİM HALILOĞLU H, BAYIR A, NECDET SIRKECİOĞLU A, et al. Comparison of fatty acid composition in some tissues of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) living in seawater and freshwater [J]. *Food Chemistry*, 2004, 86(1): 55-59.
- [23] 森. 月桂酸、棕榈酸、油酸对胆固醇影响比较[J]. 粮食与油脂, 1998(4): 56.
- SEN. Comparison of the effects of lauric acid, palmitic acid, and oleic acid on cholesterol [J]. *Grain and Grease*, 1998(4): 56.
- [24] KALSCHEUR K F, TETER B B, PIPEROVA L S, et al. Effect of dietary forage concentration and buffer addition on duodenal flow of Trans-C<sub>18:1</sub> fatty acids and milk fat production in dairy cows [J]. *Journal of Dairy Science*, 1997, 80(9): 2104-2114.
- [25] 庄平, 宋超, 章龙珍. 舌虾虎鱼肌肉营养成分与品质的评价[J]. 水产学报, 2010, 34(4): 559-564.
- ZHUANG P, SONG C, ZHANG L Z. Evaluation of nutritive quality and nutrient components in the muscle of *Glossogobius giuris* [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2010, 34(4): 559-564.
- [26] HUANG C W, CHIEN Y S, CHEN Y J, et al. Role of n-3 polyunsaturated fatty acids in ameliorating the obesity-induced metabolic syndrome in animal models and humans [J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 2016, 17: 1689.
- [27] Joint FAO/WHO Ad Hoc Expert Committee on Energy and Protein Requirements, World Health Organization & Food and Agriculture Organization of the United Nations. Energy and protein requirements : report of a Joint FAO/WHO ad hoc expert committee [meeting held in Rome from 22 March to 2 April 1971] [R]. Rome: World Health Organization, 1973.
- [28] 王林娜, 田永胜, 李振通, 等. 棕点石斑鱼、杂交“金虎斑”及珍珠龙胆的肌肉营养成分分析及品质评价[J]. 水产学报, 2023, 47(9): 113-121.
- WANG L N, TIAN Y S, LI Z T, et al. Analysis and quality evaluation of nutritional components in the muscle of *Epinephelus fuscoguttatus*, *E. fuscoguttatus* ♀ × *E. tukula* ♂ and *E. fuscoguttatus* ♀ × *E. lanceolatus* ♂ [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2023, 47(9): 113-121.
- [29] 邹远超, 文正勇, 覃川杰, 等. 野生和养殖中华沙鳅肌肉营养成分比较分析[J]. 营养学报, 2018, 40(3): 304-306.
- ZOU Y C, WEN Z Y, QIN C J, et al. The comparative analysis of nutritional composition of muscles of wild and bred *Sinibotia superciliaris* [J]. *Acta Nutrimenta Sinica*, 2018, 40(3): 304-306.
- [30] 叶香尘, 邹辉, 刘康, 等. 池塘和稻田养殖模式对金边鲤和建鲤肌肉品质的影响[J]. 水产学报, 2020, 44(8): 1296-1305.
- YE X C, ZOU H, LIU K, et al. Effects of pond and

- paddy field culture models on muscle quality of Jinbian carp and Jian carp (*Cyprinus carpio*) [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2020, 44(8): 1296-1305.
- [31] KIM J D, LALL S P. Amino acid composition of whole body tissue of Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*), yellowtail flounder (*Pleuronectes ferruginea*) and Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*) [J]. *Aquaculture*, 2000, 187(3/4): 367-373.
- [32] 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.
- [33] JIA Z H, KAVUNGAL S, JIANG S, et al. The characterization of hematopoietic tissue in adult Chinese mitten crab *Eriocheir sinensis* [J]. *Developmental & Comparative Immunology*, 2016, 60: 12-22.
- [34] 姚文生, 马双玉, 蔡莹煊, 等. 基于气相-离子迁移谱技术分析烤羊肉串的挥发性风味成分[J]. 食品工业科技, 2021, 42(8): 256-263.
- YAO W S, MA S Y, CAI Y X, et al. Analysis of volatile flavor substances in mutton shashlik based on GC-IMS technology [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2021, 42(8): 256-263.
- [35] XU Y Q, LIMWACHIRANON J, LI L, et al. Characterisation of volatile compounds of farmed soft-shelled turtle (*Pelodiscus sinensis*) by solid-phase microextraction and the influence of matrix pH on the release of volatiles [J]. *International Journal of Food Science & Technology*, 2017, 52(1): 275-281.
- [36] 陈志杰, 杨振东, 顾振新. 顶空固相微萃取气质联用检测灵芝菌丝体挥发性风味物质[J]. 食品研究与开发, 2010, 31(2): 132-135.
- CHEN Z J, YANG Z D, GU Z X. Determination of volatile flavor compounds in ganoderma lucidum by HS-SPME-GC-MS [J]. *Food Research and Development*, 2010, 31(2): 132-135.
- [37] 施文正, 王锡昌, 陶宁萍, 等. 野生草鱼与养殖草鱼的挥发性成分[J]. 江苏农业学报, 2011, 27(1): 177-182.
- SHI W Z, WANG X C, TAO N P, et al. Volatile compounds of wild and cultured grass carps [J]. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, 2011, 27 (1) : 177-182.

## Quality analysis of *Aristichthys nobilis* muscle cultured in rice fields, ponds and reservoirs

GAO Hujun<sup>1</sup>, ZHAO Shengfu<sup>1</sup>, YANG Dan<sup>1</sup>, HOU Mengdan<sup>1</sup>, XIAO Chuanbo<sup>1</sup>, KE Zhenlin<sup>1</sup>, ZHAI Xuliang<sup>2</sup>, XUE Yang<sup>2</sup>, XU Feng<sup>2</sup>, TANG Renjun<sup>3</sup>, YE Hua<sup>1</sup>, LUO Hui<sup>1</sup>

(1. College of Fisheries, Southwest University, Chongqing 402460, China; 2. Chongqing Aquatic Products Technology Promotion General Station, Chongqing 401147, China; 3. Chongqing Liangping District Animal Husbandry and Fishery Development Center, Chongqing 405200, China)

**Abstract:** Bighead carp (*Aristichthys nobilis*) is an important economic cultured fish. Its muscle quality is affected by different aquaculture environments. Moreover, the effect of different aquaculture models on the muscle quality of bighead carp is unclear. To explore this, we selected six bighead carp, randomly and respectively, from three different aquaculture environments: paddy field (DT), pond (CT), and reservoir (SK). We analyzed their muscle composition, measuring moisture, crude ash, crude protein, crude fat, and volatile flavor compounds using methods like atmospheric drying, high-temperature ashing, Kjeldahl nitrogen determination, acid hydrolysis, and gas chromatography-mass spectrometry. The results showed that the crude protein content of CT and DT was significantly higher than that of SK ( $P<0.05$ ). Additionally, the crude fat content of CT was significantly higher than that of DT and SK ( $P<0.05$ ). The muscles from all groups are rich in various constant and trace elements required by the human body, among which the contents of iron, manganese, sodium, and selenium are significantly higher in DT than in CT and SK ( $P<0.05$ ). The distribution of fatty acids differed among the groups types of bighead carp, with CT having a higher content of monounsaturated fatty acids (31.20%), DT showing higher saturated fatty acids (46.05%), and SK having higher polyunsaturated fatty acids (29.83%). The  $\Sigma n-3/\Sigma n-6$  polyunsaturated fatty acid ratio was highest in DT, followed by SK and CT. We also observed similar total amino acid content among the 18 amino acids analyzed, the total amino acid content in the muscles of all three bighead carp was similar, and the proportion of total essential amino acids (EAA) to total amino acids was above 39%, surpassing the WHO/FAO model standard of 35.38%. The essential amino acid index (EAAI) was above 86 for all three groups, with DT exhibiting higher values than ST and CT. Notably, DT was found to have a better flavor profile with higher aldehyde volatile substances and lacking ketone volatile substances. Overall, the study highlighted the nutrient richness and balanced amino acid and fatty acid profiles in bighead carp muscles, making them a superior protein source across the different breeding modes. This study illustrates the nutritional benefits and balanced amino acid and fatty acid profiles in bighead carp muscles across different farming models, offering insights for consumer selection and foundational data to enhance muscle quality in bighead carp.

**Key words:** *Aristichthys nobilis*; muscle; minerals; amino acids; fatty acids; volatile flavor substances