

Su Q F, He H, Li Z X, *et al.* Fillet quality difference of *Micropterus salmoides* cultured under different modes [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2026, 50(1): 012603. [苏青峰, 何欢, 黎芷莘, 等. 不同养殖模式下大口黑鲈肌肉品质差异的研究 [J]. 水生生物学报, 2026, 50(1): 012603.]

不同养殖模式下大口黑鲈肌肉品质差异的研究

苏青峰¹ 何欢¹ 黎芷莘¹ 薛洋² 翟旭亮² 王相煊³ 何钊林³
向泉¹ 朱成科¹ 吕光俊¹

(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 402460; 2. 重庆市水产技术推广总站, 重庆 401120; 3. 四川大唐国际甘孜水电开发有限公司, 康定 626001)

摘要: 为探究不同养殖模式对大口黑鲈(*Micropterus salmoides*)品质的影响, 实验采集了水库圈养(R)、池塘养殖(P)、流水槽养殖(C)及高位池养殖(H) 4种模式下的大口黑鲈, 比较其生长指标、表观特征、肌肉质地、营养成分及风味特性的差异。结果表明: 各组间特定生长率无明显差异($P>0.05$), 但R组增重率及饵料系数略占优势; C组的肥满度、脏体比和肝体比显著低于其余3组($P<0.05$)。4种模式下大口黑鲈的质构特性无显著变化($P>0.05$), 但R组肌纤维直径更小, 密度更大, 质地更好; 且R组粗蛋白含量较其他组有显著提升($P<0.05$)。氨基酸分析显示, R组的必需氨基酸(EAA)含量最高; 且呈鲜味氨基酸(DAA)含量显著高于其他3组($P<0.05$), 其 $\Sigma\text{DAA}/\text{TAA}$ 比值最高达38.58%, 鲜味潜力突出。同时4组的必需氨基酸比例 $\Sigma\text{EAA}/\text{TAA}$ 比值、 $\Sigma\text{EAA}/\text{NEAA}$ 比值均符合FAO/WHO理想蛋白标准。脂肪酸组成方面, R组的多不饱和脂肪酸(ΣPUFA)含量最高, 其中n-6不饱和脂肪酸占比达34.57%。此外大口黑鲈肌肉中共检测到52种风味物质, R组含有的愉悦气味物质含量及种类更多。综合表明水库圈养模式可促进大口黑鲈生长、降低饵料系数, 并显著提升大口黑鲈肌肉营养均衡性、风味丰富度及质构特性, 其优势进一步提升了大口黑鲈商业价值, 可作为更优的养殖模式进行推广。

关键词: 养殖模式; 肌肉; 营养成分; 风味物质; 大口黑鲈

中图分类号: S964 文献标识码: A 文章编号: 1000-3207(2026)01-012603-12

doi: 10.3724/1000-3207.2025.2025.0107 CSTR: 32229.14.SSSWXB.2025.0107



大口黑鲈(*Micropterus salmoides*)又名加州鲈, 隶属于硬骨鱼纲, 鲈形目, 太阳鱼科, 原产于北美洲, 在20世纪80年代引入我国, 是一种广温性、肉食性淡水鱼类, 具有肉质鲜嫩、无肌间刺、生长迅速、营养价值高等优点; 据统计加州鲈2023年养殖产量达80万吨, 为我国重要淡水经济鱼类, 市场前景较为广阔^[1, 2]。目前国内大口黑鲈主要养殖方式为池塘养殖, 然而传统池塘养殖模式存在污水排放量大, 水体流动小, 设备水平低下等问题, 从而导致大口黑鲈养殖效益和营养品质较低^[3], 因此为了提高养

殖效益和产品质量, 大口黑鲈养殖业逐渐转向更为设施化的养殖模式, 如高位池养殖、水库圈养、流水槽养殖、集装箱循环水养殖等^[4]。

鱼肉品质是一种综合性状, 与人的感官有着密切的联系并由一系列的品质评价指标所决定^[5]。鱼类肌肉评价指标主要包含营养成分、感官特征、质构特性等, 肌肉中所含蛋白质、水分、脂肪等会影响肌肉的感官特征^[6]。目前已有研究证明养殖模式^[7, 8]、饲料^[9, 10]、种质^[11]均会影响鱼类的肌肉品质。草鱼(*Ctenopharyngodon idella*)^[12]、团头鲂(*Me-*

收稿日期: 2025-03-31; 修订日期: 2025-05-22

基金项目: 科技部“科技助力经济2020”重点专项(SQ2020YFF0425122); 重庆市技术创新与应用发展专项(cstc2020jcsx-lyjsAX0011); 重庆市水产科技创新联盟重点攻关项目(CQFTIU2022-08)资助 [Supported by Ministry of Science and Technology's "Science and Technology Helping Economy 2020" Key Project (SQ2020YFF0425122); Chongqing Technology Innovation and Application Development Project (cstc2020jcsx-lyjsAX0011); Key Project of Chongqing Fishery Science and Technology Innovation Alliance (CQFTIU2022-08)]

作者简介: 苏青峰(2000—), 男, 硕士研究生; 主要从事水产动物健康养殖研究。E-mail: 3225046134@qq.com

通信作者: 吕光俊(1972—), 男, 副教授; 主要从事水产动物健康养殖和渔业生态研究。E-mail: gjlw66@163.com

galobrama amblycephala)^[13]、斑点叉尾鲷(*Ictalurus punctatus*)^[14]、斑石鲷(*Oplegnathus punctatus*)^[15]等研究结果均表明不同养殖模式会显著影响鱼类的生长状况、肌肉品质、营养成分。目前有关大口黑鲈肌肉品质的研究大多集中在池塘内循环养殖^[16], 但很少有研究系统地比较水库圈养、池塘养殖、流水槽养殖、高位池养殖4种养殖模式下大口黑鲈肌肉品质。鉴于此, 本研究拟测定4种养殖模式下大口黑鲈肌肉在表观、肉质、气味及营养价值方面的差异, 以便进一步了解不同养殖模式对鱼类肌肉品质的影响, 并为大口黑鲈产业提供绿色高效的可持续发展养殖道路提供科学理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验用鱼均来自重庆丰都某养殖场, 4种养殖模式大口黑鲈鱼苗均来源于相同批次的健康大口黑鲈[(13.79±1.08) g]投入4组养殖模式, 养殖周期为180 d, 溶解氧4.74—7.97 mg/L; 期间投喂饲料均为福建天马科技集团有限公司“4号加州鲈鱼配合饲料”, 其干物质主要成分: 水分≤12.0%, 粗蛋白质≥53.0%, 粗脂肪≥6.0%, 粗纤维≤5.0%, 粗灰分≤16.0%, 每日投喂2次(8:00, 17:00), 初始投喂量约占鱼体重的2%—3%, 每天根据前一天的摄食量调整, 并以每次投喂1h后稍有剩余为宜。选取相同饲料源的水库圈养(R)养殖大口黑鲈[(体重: 448.00±5.76) g]、池塘养殖(P)养殖大口黑鲈[(374.57±20.01) g]、流水槽养殖(C)养殖大口黑鲈[(体重: 436.48±63.69) g]、高位池养殖(H)养殖大口黑鲈[(体重: 361.16±34.68) g]各15尾, 每尾鱼用MS-222进行麻醉并测量形体指标, 去除内脏称其空壳重和肝脏重; 去掉鳞、鱼皮再沿着脊柱切取整片状的背部肌肉用于后续指标分析。

1.2 实验方法

形态指标测定 每条试验鱼在解剖前测体重和体长、脏团重、肝脏重、空壳质量, 计算增重率、特定生长率、空壳率、肥满度、脏体比、肝体比, 计算公式:

$$\text{增重率}(\%) = W_f / W_0 \times 100$$

$$\text{特定生长率}(\%/d) = 100 \times (\ln W_f - \ln W_0) / t$$

$$\text{空壳率}(\%) = W_e / W_f \times 100$$

$$\text{肥满度}(\text{g}/\text{cm}^3) = W_f / L_3$$

$$\text{肝体比} = W_l / W_f \times 100$$

$$\text{脏体比} = W_v / W_f \times 100$$

式中, W_0 、 W_e 、 W_f 、 W_l 、 W_v 、 L 分别表示初始质量(g)、空壳质量(g)、体质量(g)、肝脏质量(g)、内脏团质量(g)、体长(cm)。

常规营养成分测定 肌肉营养成分均选定大口黑鲈背部肌肉为样品, 参照国家相关标准进行测定, 水分测定采用105℃恒温干燥法(GB 5009.3—2016); 灰分含量的测定(GB 5009.4—2016)采用马弗炉高温灼烧; 粗蛋白质含量的测定用(GB 5009.5—2016)凯氏定氮法进行; 粗脂肪含量测定用索氏乙醚抽提法(GB 5009.6—2016)进行。

物理性状 将背部肌肉切成1.0 cm×1.0 cm×1.0 cm规格的肉块, 用于硬度、内聚力、弹性、咀嚼性、回复性、胶黏性测定(美国 Brookfield CT3质构仪), 测定过程中, 选取探头直径为6 mm的TA-41, 对样本采用双压缩法, 测试速率1 mm/s, 返回速率4.5 mm/s, 压缩目标2.0 mm, 触发点负载7 g, 环境温度20—25℃^[17]。

氨基酸和脂肪酸的测定 总氨基酸的测定采用盐酸水解法, 将鱼肉冷冻干燥后, 在110℃用6 mol/L HCl溶液水解24h, 将所有水解产物在自动氨基酸分析仪(L-8900, 日立)进行测定, 通过与标准品的保留时间和峰面积进行比较, 来识别和定量氨基酸。在提取鱼肉脂质后确定脂肪酸含量, 使用氯仿-甲醇(2:1, v/v)提取脂质, 并通过真空干燥获得, 将脂质溶解己烷中, 并通过与14%的BF₃-甲醇进行酯交换制备脂肪酸甲酯, 并用岛津气相色谱仪(GC-2010)测定脂肪酸组成。

挥发性风味物质的测定 参照Ma等^[18]的方法测定挥发性风味物质(VOC), 使用安捷伦(8890-5977B)气相色谱-质谱联用仪测定。通过比对NIST数据库进行分析, 保留匹配度大于80%的挥发性成分。挥发性气味物质的评价用气味活度值(OAV, Odor activity value)来描述, 当OAV≥1时, 表示对鱼肉整体风味有贡献。

$$\text{OAV} = C / \text{OT}$$

式中, C 表示挥发性气味物质的相对浓度, OT 表示该气味物质的阈值。

肌肉切片的制作 取4种养殖模式下大口黑鲈的背部肌肉用于石蜡切片的制作, 固定的组织经过全自动脱水机(JT-12S)进行梯度脱水, 脱水透明后的组织使用包埋机(BMJ-A)进行包埋, 包埋后用转轮式切片机(徕卡-2016)进行切片。切片经二甲苯脱蜡后, 依次进行苏木精染色、水洗、盐酸酒精分化、温水返蓝, 梯度酒精脱水后伊红复染, 再次

脱水、二甲苯透明等步骤,最后用中性树脂封片。

营养品质评价方法 根据联合国粮农组织(FAO)和世界卫生组织(WHO)建议的氨基酸评分标准模式(% , dry)和中国疾病预防控制中心营养与食品安全所提出的全鸡蛋蛋白的氨基酸模式(% , dry),分别按以下公式计算氨基酸评分(AAS)、化学评分(CS)和必需氨基酸指数(EAAI):

$$AAS = \frac{aa}{AA(FAO/WHO)}$$

$$CS = \frac{aa}{AA(Egg)}$$

$$EAAI = \sqrt[n]{\frac{100A}{AE} \times \frac{100B}{BE} \times \frac{100C}{CE} \times \dots \times \frac{100G}{GE}}$$

式中, aa为试验样品中氨基酸含量(%), AA (FAO/WHO)为FAO/WHO评分标准模式中同种氨基酸含量(%), AA (Egg)为全鸡蛋蛋白中同种氨基酸含量(%), n 为比较的氨基酸数, A 、 B 、 C 、... G 为样品蛋白质的必需氨基酸含量(% , dry), AE、BE、CE、...GE为全鸡蛋蛋白的必需氨基酸含量(% , dry)。

1.3 数据分析

使用SPSS 26.0统计软件对数据进行统计学分析;数据经Shapiro-Wilk检验验证正态性($P>0.05$),

Levene检验验证方差齐性($P>0.05$);再采用单因素方差分析,如果组间差异显著时($P<0.05$),则采用Duncan's进行多重比较。

2 结果

2.1 形体指标

如表1所示,四种养殖模式间大口黑鲈增重率以R组最高,特定生长率以C组最高;且R、C组饵料系数显著低于P、H组($P<0.05$);空壳率、肥满度、脏体比、肝体比相互间差异显著($P<0.05$),其中H组的肥满度、脏体比最大,为3.06%和12.81%;而C组的脏体比和肥满度最小,同时空壳率显著增加($P<0.05$);4组的肝体比均小于0.2,且差异显著($P<0.05$)。

2.2 肌肉物理性状

4种养殖模式下大口黑鲈肌肉的弹性、内聚力、胶黏性、咀嚼力、回复性、硬度见表2。4种养殖模式下大口黑鲈肌肉的物理性状都不存在显著差异,其中R组的内聚力、胶黏性、咀嚼力、回复性、硬度都高于其余3组;P组的弹性指标最低为0.44,而C组弹性最高为0.46。

2.3 常规营养成分

由表3得知,在4种养殖模式下除了粗灰分差异不显著以外($P>0.05$),水分、粗脂肪、粗蛋白均具

表1 不同养殖模式下大口黑鲈生长和形态学指标对比

Tab. 1 Comparison of morphological and growth indexes of *M. salmoides* under different breeding modes

指标Index	养殖模式Cultured model			
	R	P	C	H
增重率Weight gain rate (%)	2883.14.32±66.30 ^a	2732.41±56.99 ^b	2773.99±63.45 ^{ab}	2701.98±40.83 ^b
特定生长率Specific growth rate (%/d)	1.89±0.01	1.86±0.01	1.90±0.08	1.85±0.01
饵料系数Feed conversion rate	1.01±0.01 ^b	1.14±0.05 ^a	1.06±0.01 ^b	1.16±0.02 ^a
空壳率Gutted yield (%)	88.63±1.33 ^{bc}	90.60±1.35 ^b	93.02±0.75 ^a	87.19±0.92 ^c
肥满度Condition factor (g/cm ³)	2.81±0.08 ^a	2.91±0.28 ^a	1.99±0.10 ^b	3.06±0.20 ^a
脏体比Viscerosomatic index	11.37±1.33 ^{ab}	9.40±1.35 ^b	6.97±0.75 ^c	12.81±0.92 ^a
肝体比Hepatosomatic index	1.68±0.14 ^a	1.89±0.42 ^a	0.99±0.25 ^b	1.88±0.43 ^a

注: 相同栏中不同的上标字母表示组间差异显著($P<0.05$);下同

Note: Different superscript letters in the same row indicate significant differences ($P<0.05$); the same applies below

表2 不同养殖模式下大口黑鲈肌肉物理性状对比

Tab. 2 Comparison of muscle physical properties of *M. salmoides* under different breeding modes

指标Index	养殖模式Cultured model			
	R	P	C	H
弹性Springiness (mm)	0.45±0.11	0.44±0.18	0.46±0.06	0.46±0.18
内聚力Cohesiveness	0.35±0.02	0.33±0.04	0.33±0.05	0.29±0.09
胶黏性Gumminess (N)	741.50±177.46	526.38±47.69	570.95±206.04	543.48±129.80
咀嚼力Chewiness (mJ)	333.22±82.68	234.13±30.21	269.96±131.39	246.31±50.06
回复性Resilience	0.17±0.02	0.15±0.04	0.18±0.02	0.15±0.06
硬度Hardness (N)	2178.97±639.73	1582.18±143.12	1677.50±353.82	1889.92±314.64

表 3 不同养殖模式下大口黑鲈常规营养成分对比(湿重)

Tab. 3 Comparison of conventional nutritional components of *M. salmoides* under different culture conditions (wet weight)

指标Index (g/100 g)	养殖模式Cultured model			
	R	P	C	H
水分 Moisture	78.54±0.11 ^b	79.35±0.11 ^a	79.27±0.37 ^a	79.00±0.14 ^a
粗灰分 Crude ash	1.01±0.07	1.05±0.03	1.04±0.09	1.02±0.05
粗脂肪 Crude lipid	1.16±0.08 ^b	3.12±0.02 ^a	1.19±0.12 ^b	1.26±0.09 ^b
粗蛋白 Crude protein	21.16±0.05 ^a	19.92±0.49 ^b	20.07±0.65 ^b	19.64±0.27 ^b

有显著差异。相较于其他3种养殖模式, R组拥有更低的粗脂肪含量($P<0.05$); 4组水分均低于80%, 其中P组肌肉水分含量最高, 且P组的脂肪含量显著高于R、C、H组($P<0.05$)。R组大口黑鲈肌肉中拥有更高的蛋白含量且显著高于另外3组($P<0.05$), 但4组粗蛋白含量均在19%—22%, 依次为R>C>P>H。

2.4 肌肉氨基酸组成

4种养殖模式下大口黑鲈肌肉中共检测出16种氨基酸, 包含7种必需氨基酸(EAA)、9种非必需氨基酸(NEAA); 非必需氨基酸(NEAA)中含有4种呈鲜味氨基酸(DAA; 表4)。在检测出来的16种氨基酸中谷氨酸(Glu)的含量最高, 精脯氨酸(Pro)含量最低。另外氨基酸(TAA)、非必需氨基酸(NEAA)、呈鲜味氨基酸(DAA)、必需氨基酸(EAA)、半必需氨基酸(HEAA)、 Σ DAA/TAA比值均以R组最高; 且R组的 Σ EAA/TAA比值更接近FAO/WHO要求的40%的标准。

2.5 肌肉氨基酸营养价值评价

品质优良的鱼肉需含有足够的人体必需氨基酸及符合人体生理需求的氨基酸组成比例, 将氨基酸经过换算后与鸡蛋蛋白质的氨基酸模式、FAO/WHO制订的蛋白质评价的氨基酸标准模式进行比较, 并分别计算出AAS、CS和EAAI(表5)。从表中得知4种养殖模式中除了Val和Met略低于1.0以外, 其余均高于1.0, 其中Lys的分值最高; CS评分结果也是Lys最高, 达1.0以上。

2.6 肌肉脂肪酸的测定结果

4种养殖模式鱼肉中检测出的16种脂肪酸中包括5种饱和脂肪酸(SFA), 3种单不饱和脂肪酸(MUFA), 8种多不饱和脂肪酸(PUFA)。其中P组C22:6n-3显著低于R、C、H组; 4组的 Σ SFA在16.84%—19.64%, 在单个饱和脂肪酸(SFA)中, 均以C16:0含量最高, 在9.80%—11.48%; R组C22:0未检出, 导致其饱和脂肪酸含量低于其余3组, 而多不饱和脂肪酸含量高于其余3组, 尤其是n-3和n-6系列不饱和脂肪酸,

可以看出, 相较于其余3组, R组大口黑鲈肌肉中饱和脂肪酸种类减少, 而多不饱和脂肪酸种类增多、含量及占比升高。

2.7 挥发性风味物质

本次实验大口黑鲈肌肉中共检测出52种VOC(SI>80), 主要由酯类、烃类、醇类、酮类、醛类组

表 4 不同养殖模式下大口黑鲈氨基酸组成及含量

Tab. 4 Amino acid composition and content of *M. salmoides* under different breeding modes (g/100 g)

氨基酸组成 Composition of amino acids	氨基酸含量Content of amino acid			
	R	P	C	H
苏氨酸Thr [*]	1.01±0.05 ^a	0.91±0.04 ^b	0.96±0.04 ^{ab}	0.89±0.03 ^b
缬氨酸Val [*]	1.01±0.02 ^a	0.90±0.01 ^b	0.98±0.02 ^a	0.92±0.01 ^b
蛋氨酸Met [*]	0.74±0.01 ^a	0.68±0.01 ^b	0.69±0.01 ^b	0.66±0.01 ^c
异亮氨酸Ile [*]	1.00±0.01 ^a	0.90±0.01 ^c	0.96±0.02 ^b	0.91±0.02 ^c
亮氨酸Leu [*]	1.81±0.12	1.64±0.10	1.72±0.11	1.62±0.08
苯丙氨酸 Phe	0.96±0.01 ^a	0.86±0.01 ^b	0.89±0.02 ^b	0.87±0.02 ^b
赖氨酸Lys [*]	2.13±0.13 ^a	1.9±0.07 ^b	1.99±0.11 ^{ab}	1.89±0.07 ^b
组氨酸His [△]	0.56±0.02 ^a	0.52±0.01 ^b	0.55±0.01 ^a	0.56±0.01 ^b
精氨酸Arg [△]	1.31±0.07 ^a	1.17±0.06 ^b	1.22±0.05 ^{ab}	1.18±0.05 ^b
谷氨酸 Glu [▲]	3.46±0.13 ^a	3.08±0.11 ^b	3.2±0.17 ^{ab}	3.03±0.09 ^b
甘氨酸 Gly [▲]	1.03±0.04 ^a	0.90±0.03 ^b	1.01±0.04 ^a	1.03±0.02 ^a
丙氨酸 Ala [▲]	1.31±0.05 ^a	1.15±0.03 ^b	1.20±0.05 ^b	1.17±0.03 ^b
天门冬氨酸 Asp [▲]	2.34±0.14 ^a	2.07±0.06 ^b	2.18±0.08 ^{ab}	2.08±0.05 ^b
酪氨酸Tyr [○]	0.82±0.01 ^a	0.76±0.02 ^b	0.80±0.03 ^a	0.75±0.01 ^b
丝氨酸Ser [○]	0.90±0.01 ^a	0.80±0.02 ^c	0.84±0.02 ^b	0.79±0.01 ^c
脯氨酸Pro [○]	0.67±0.01 ^b	0.59±0.01 ^d	0.70±0.01 ^a	0.63±0.01 ^c
Σ TAA	21.10±1.05	18.80±1.04	19.90±1.87	19.00±1.07
Σ EAA	8.66±0.45	7.79±0.42	8.19±0.59	7.76±0.33
Σ NEAA	10.53±0.21 ^a	9.35±0.12 ^c	9.93±0.14 ^b	9.48±0.14 ^c
Σ HEAA	1.87±0.14	1.69±0.09	1.77±0.12	1.70±0.09
Σ DAA	8.14±0.14 ^a	7.20±0.19 ^b	7.59±0.25 ^b	7.31±0.09 ^b
Σ EAA/TAA (%)	41.04±1.00	41.44±1.23	41.16±1.00	40.84±1.14
Σ EAA/NEA (%)	82.24±1.93	83.32±2.13	82.48±1.44	81.86±1.63
Σ DAA/TAA (%)	38.58±2.19	38.30±2.56	38.14±3.12	38.47±1.95

注: Σ TAA为氨基酸总量; Σ EAA为必需氨基酸总量; *表示必需氨基酸; Σ NEAA为非必需氨基酸总量; ○表示非必需氨基酸; Σ HEAA为半必需氨基酸总量; △表示半必需氨基酸; Σ DAA为鲜味氨基酸总量; ▲表示鲜味氨基酸

Note: Σ AA represents the total amount of amino acids; Σ EAA represents the total amount of essential amino acids; * represents essential amino acids; Σ NEAA represents the total amount of non-essential amino acids; ○ represents non-essential amino acids; Σ HEAA represents the total amount of semi-essential amino acids; △ represents semi-essential amino acids; Σ DAA represents the total amount of umami amino acids; ▲ represents umami amino acids

表 5 四种养殖模式下大口黑鲈肌肉氨基酸AAS、CS、EAAI的比较

Tab. 5 Comparison of amino acid AAS, CS, and EAAI in muscle of *M. salmoides* under four breeding modes

必需氨基酸EAA	FAO/WHO	鸡蛋蛋白 标准值 Egg protein	分值			
			R	P	C	H
AAS 苏氨酸Thr	250		1.19	1.14	1.20	1.13
缬氨酸Val	310		0.96	0.91	0.98	0.94
异亮氨酸Ile	250		1.18	1.13	1.20	1.16
亮氨酸Leu	440		1.22	1.17	1.22	1.17
赖氨酸Lys	340		1.85	1.75	1.82	1.77
蛋氨酸+半胱氨酸Met+Cys	220		0.99	0.97	0.98	0.95
苯丙氨酸+酪氨酸Phe+Tyr	380		1.38	1.34	1.38	1.36
CS 苏氨酸Thr	292		1.02	0.98	1.02	0.97
缬氨酸Val	410		0.73	0.69	0.74	0.71
异亮氨酸Ile	331		0.89	0.85	0.90	0.87
亮氨酸Leu	534		1.00	0.96	1.00	0.96
赖氨酸Lys	441		1.43	1.35	1.41	1.36
蛋氨酸+半胱氨酸Met+Cys	386		0.57	0.55	0.56	0.54
苯丙氨酸+酪氨酸Phe+Tyr	565		0.93	0.90	0.93	0.91
EAAI 必需氨基酸指数			90.55	86.83	90.65	87.61

成(表 7)。在检测出的10种醛类中, R、C组检测出8种醛类物质, 但R组醛类含量显著高于其余3组($P<0.05$); C组酯类、烷烃类含量显著高于其余3组, 而酮类含量仅次于H组($P<0.05$); 4个组别中OAV ≥ 1 的挥发性化合物有12种(表 8), R、P、C、H分别有6、4、7和2种(表 6)。

2.8 四种养殖模式下大口黑鲈肌纤维结构差异

选取大口黑鲈背部肌肉进行HE染色观察, 并测量肌纤维直径和密度(图 1和表 9)。从图 1可以看出, 大口黑鲈肌肉中有丰富的结缔组织呈不规则分布, 但R、C组的肌纤维分布更细密。从表 9中得知R、C组肌纤维密度显著高于P、H组($P<0.05$), 其中R组的肌纤维密度更大; 而P组肌纤维直径显著高于另外3组($P<0.05$), R组的肌纤维直径最小。

3 讨论

3.1 不同养殖模式大口黑鲈表观及质地品质

鱼肉的表观和质地品质作为评价鱼类养殖效果的重要指标, 直接反映了鱼肉的新鲜度、口感和消费者的食用体验^[12]。实验结果显示, R组和C组大口黑鲈肌肉肥满度、脏体比、肝体比低于P和H组, 这一结果与黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*)^[19]、罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)^[20]、太湖鲢鲈(*Culter alburnus* ♀ × *Megalobrama terminalis* ♂)^[21]、黑鲷

(*Acanthopagrus schlegelii*)^[22]上得到的结果基本一致。同时 R、C组的增重率和特定生长率饵料系数较优表现表明流水环境能有效提高生长速度和饲料利用效率。R组和C组在表观品质及生长性能上的提升可能是由于持续的水流环境中得到了合适强度的运动; 促进脂肪分解供能, 导致脂肪储备减少, 肥满度等形态指标下降^[23-25]。

鱼肉的质构特性受养殖环境、加工方式、鱼类活动强度等多种因素的影响^[26]。胡芬等^[27]认为硬度和弹性是影响鱼肉质构特性的主要指标, 鱼肉的硬度越大、弹性较强时肉质会更好。同时研究表明, 肌肉的硬度、咀嚼性与粗蛋白含量呈正相关, 与粗脂肪、水分含量呈负相关^[28]。本实验中R组鱼肉中较高的粗蛋白、较低粗脂肪和水分含量有助于提高硬度和弹性, 从而使R组鱼肉更加紧实, 口感更为爽脆。该现象在周彬等^[29]和耿子蔚等^[30]的研

表 6 不同养殖模式下大口黑鲈脂肪酸组成及相对含量对比

Tab. 6 Comparison of fatty acid composition and relative content of *M. salmoides* under different breeding modes (%)

脂肪酸Fatty acid	脂肪酸含量Content of fatty acids			
	R	P	C	H
C14:0	1.36±0.02	1.50±0.40	1.37±0.30	1.24±0.20
C16:0	11.48±1.20	9.80±1.13	10.44±1.16	11.21±1.16
C16:1	3.25±1.02	4.39±1.13	4.87±1.00	3.96±1.08
C18:0	3.31±0.85 ^b	4.66±0.98 ^{ab}	4.70±0.88 ^{ab}	5.53±1.03 ^a
C18:1n-9c	29.89±0.90 ^b	31.28±1.06 ^{ab}	33.35±1.13 ^a	31.09±1.57 ^{ab}
C18:2n-6c	30.81±0.57 ^a	24.24±1.01 ^b	25.69±1.12 ^b	23.93±0.90 ^b
C18:3n-6	1.73±0.47	2.00±0.4	1.90±0.79	1.83±0.64
C18:3n-3	0.91±0.06 ^b	0.88±0.02 ^b	0.94±0.03 ^{ab}	1.01±0.08 ^a
C20:2	0.66±0.06 ^b	0.68±0.02 ^b	—	0.77±0.02 ^a
C22:0	—	0.56±0.02	—	0.70±0.02
C20:3n-6	1.48±0.09	1.44±0.10	1.83±1.00	2.43±1.01
C20:4n-6	0.54±0.01 ^b	0.64±0.02 ^a	0.42±0.02 ^c	0.67±0.02 ^a
C23:0	0.70±0.03 ^c	1.27±0.03 ^a	1.01±0.03 ^b	0.97±0.20 ^b
C20:5n-3	1.23±0.04 ^c	1.43±0.04 ^b	1.62±0.10 ^a	1.76±0.09 ^a
C24:1	0.33±0.02 ^c	0.43±0.04 ^b	0.46±0.03 ^b	0.56±0.03 ^a
C22:6n-3	12.32±1.04 ^a	10.07±1.02 ^b	11.40±1.09 ^a	12.36±1.12 ^a
ΣSFA	16.84±2.09	17.79±2.55	17.52±2.36	19.64±2.61
ΣMUFA	33.48±1.04	36.09±1.17	38.68±1.02	35.61±1.14
ΣPUFA	49.68±3.20	41.39±3.66	43.80±5.28	44.75±5.44
n-3不饱和脂肪酸	14.46±1.13 ^{ab}	12.39±1.08 ^b	13.96±1.22 ^{ab}	15.13±1.29 ^a
n-6不饱和脂肪酸	34.57±1.13 ^a	28.33±2.57 ^b	29.84±2.93 ^b	28.86±2.66 ^b

注: ΣSFA为饱和脂肪酸总量; ΣMUFA为单不饱和脂肪酸总量; ΣPUFA为多不饱和脂肪酸总量; “—”未检出; 下同

Note: ΣSFA represents the total amount of saturated fatty acids; ΣMUFA represents the total amount of monounsaturated fatty acids; ΣPUFA represents the total amount of polyunsaturated fatty acids; “—”. not detected; the same applies below

表 7 不同养殖模式下大口黑鲈肌肉挥发性成分分析

Tab. 7 Analysis of volatile flavor components of *M. salmoides* under different breeding modes

气味活性物质Odor-active compound	含量Content (μg/kg)			
	R	P	C	H
亚硫酸2-乙基己基异己酯 Sulfurous acid, 2-ethylhexyl isohexyl ester	13.59±1.6 ^a	7.49±0.46 ^b	—	—
己酸乙烯酯Vinyl hexanoate	24.53±2.14 ^b	3.43±0.54 ^c	48.51±5.86 ^a	—
氯甲酸正己酯Hexyl chloroformate	—	8.23±0.86 ^b	63.35±5.98 ^a	—
邻苯二甲酸正丁基异丁基酯 1, 2-Benzenedicarboxylic acid, butyl 2-methylpropyl ester	3.26±0.62 ^c	12.13±1.86 ^b	4.45±0.32 ^c	24.12±4.32 ^a
甲酸庚酯Formic acid, heptyl ester	14.01±2.10 ^b	—	29.31±5.32 ^a	—
1-辛基三氟乙酸酯1-Octyl trifluoroacetate	—	—	—	25.57±2.29
酯类	55.38±6.46 ^b	31.27±3.72 ^c	145.63±17.51 ^a	49.69±6.61 ^{bc}
4-甲基癸烷4-Methyldecane	—	25.59±5.20 ^b	216.86±6.80 ^a	—
2-苄基辛烷2-Benzyldecane	—	70.70±8.90	—	—
2, 3, 5, 8-四甲基癸烷2, 3, 5, 8-Tetramethyldecane	—	23.34±3.20	—	—
5-丁基-壬烷Nonane, 5-butyl-	6.47±2.01 ^b	6.76±1.8 ^b	37.90±5.60 ^a	—
十四烷Tetradecane	—	8.39±1.32 ^b	27.81±5.69 ^a	30.61±3.69 ^a
2, 6, 10-三甲基十三烷2, 6, 10-Trimethyltridecane	—	5.74±1.23 ^c	38.8±5.56 ^a	31.20±1.20 ^b
二十烷Eicosane	—	10.00±1.20 ^b	43.55±5.32 ^a	—
十二烷Dodecane	19.74±3.36 ^b	18.23±2.88 ^b	122.09±4.63 ^a	18.80±2.23 ^b
辛烷Octane	83.57±5.51	—	—	—
2, 3, 3-三甲基辛烷Octane, 2, 3, 3-trimethyl-	7.44±2.20 ^b	—	69.71±3.25 ^a	—
3, 4-二甲基十一烷Undecane, 3, 4-dimethyl-	3.70±0.85 ^b	—	36.18±2.5 ^a	—
二十八烷Octacosane	16.01±3.01 ^b	—	—	22.95±2.23 ^a
2, 4-二甲基庚烷Heptane, 2, 4-dimethyl-	—	—	144.4±5.89	—
5-(2-甲基丙基)壬烷 Nonane, 5-(2-methylpropyl)-	—	—	74.00±4.32	—
2, 6-二甲基十一烷Undecane, 2, 6-dimethyl-	—	—	40.17±3.21	—
4-甲基十二烷Dodecane, 4-methyl-	—	—	40.43±2.14	—
5-甲基十四烷Tetradecane, 5-methyl-	—	—	87.48±5.64	—
9-甲基十七烷9-methylheptadecane	—	—	58.34±3.26	—
3, 7-二甲基癸烷Decane, 3, 7-dimethyl-	—	—	—	27.39±2.31
2, 6, 10, 14-四甲基十六烷 Hexadecane, 2, 6, 10, 14-tetramethyl-	—	—	—	25.55±1.65
烷烃类	136.93±16.94 ^b	168.74±25.73 ^b	1037.72±63.81 ^a	156.5±13.31 ^b
1-辛烯-3-醇1-Octen-3-ol	57.33±3.22 ^b	175.99±5.65 ^a	42.59±3.10 ^c	21.82±2.22 ^d
1-己醇1-Hexanol	31.61±1.65 ^a	—	30.71±1.23 ^a	—
3-甲基-1-己醇1-Hexanol, 3-methyl-	—	—	—	19.96±1.98
总和	88.95±4.87 ^b	175.99±5.65 ^a	73.30±4.33 ^c	41.79±4.20 ^d
3-羟基-2-丁酮Acetoin	6.74±1.11 ^b	31.01±2.35 ^a	—	34.55±3.32 ^a
苯十六酮Hexadecanophenone	—	—	63.55±5.24 ^a	6.01±0.58 ^b
姜黄酮(±)-Dihydro-ar-turmerone	—	—	—	35.35±1.17
香叶基丙酮Geranylacetone	9.67±1.02	—	—	—
酮类	16.42±2.13 ^d	31.01±2.35 ^c	63.55±5.24 ^b	75.91±5.07 ^a
苯甲醛Benzaldehyde	21.12±1.09 ^b	5.46±0.23 ^c	31.52±4.18 ^a	9.28±1.21 ^c
戊醛Pentanal	9.24±0.59 ^b	—	17.66±1.65 ^a	—
庚醛Heptanal	16.18±1.98	—	—	—
辛醛Octanal	16.68±0.79 ^b	—	48.42±5.26 ^a	—
壬醛Nonanal	46.45±3.31 ^a	—	32.94±1.62 ^b	—

续表 7

气味活性物质Odor-active compound	含量Content (μg/kg)			
	R	P	C	H
己醛Hexanal	262.09±6.87 ^a	10.65±1.03 ^b	—	—
(E, E)-2, 4-庚二烯醛 (E, E)-2, 4-Heptadienal	5.43±0.98 ^b	—	71.50±1.98 ^a	—
2, 3-二甲苯戊醛2, 3-dimethyl-Pentanal	—	—	10.56±1.08	—
2-庚烯醛(Z)-2-Heptenal	—	—	16.65±1.06	—
(Z)-3-苯丙烯醛 (Z)-3-Phenylacrylaldehyde	39.77±2.32 ^b	73.46±3.33 ^a	28.81±5.02 ^c	43.36±3.31 ^b
醛类	416.97±17.93 ^a	89.58±4.59 ^c	258.06±21.85 ^b	52.64±4.52 ^d
β-罗勒烯beta-Ocimene	—	34.74±1.33	—	—
α-姜黄烯α-Curcumene	—	—	—	35.99±6.21
对二甲苯p-Xylene	142.06±5.22 ^a	16.09±0.36 ^c	57.62±2.22 ^b	—
甲氧基苯肟 Methoxybenzaldehyde oxime	21.05±0.89 ^c	55.63±1.33 ^b	—	69.37±1.25 ^a
苯酚Phenol	2.00±0.32 ^b	3.95±0.87 ^b	663.61±12.20 ^a	5.81±0.88 ^b
乙苯Ethylbenzene	33.96±1.25	—	—	—
芳香烃类				
环丁烷, 1, 2-双(1-甲基乙烯基)-, 反式- Cyclobutane, 1, 2-bis (1-methylethenyl)-, trans-	—	—	—	18.60±2.24
(Z)-5-十四碳烯-3-炔 (Z)-5-Tetradecen-3-yne	13.85±0.82	—	—	—
二丁基羟基甲苯Butylated Hydroxytoluene	69.55±0.44 ^d	169.39±2.23 ^c	98.68±0.98 ^c	1581.23±15.60 ^a
其他	282.47±8.94 ^c	279.8±6.12 ^c	819.91±15.40 ^b	1711.01±26.18 ^a

表 8 不同养殖模式下大口黑鲈肌肉中气味活性物质的气味活度值对比

Tab. 8 Comparison of odor activity values (OAV) of odor active substances in the muscles of *M. salmoides* under different breeding modes

气味活性物质Odor-active compound	气味描述Odor description	阈值Threshold (μg/kg)	OAV			
			R	P	C	H
二丁基羟基甲苯Butylated Hydroxytoluene	焦香	30	2.32	5.65	3.29	52.71
1-辛烯-3-醇1-Octen-3-ol	蘑菇味、发酵味	110	0.52	1.60	0.39	0.20
1-己醇1-Hexanol	青草、花香	5.60	5.65	0	5.48	0
3-羟基-2-丁酮Acetoin	奶油、脂肪味	14.00	0.48	2.22	0	2.47
苯甲醛Benzaldehyde	杏仁、焦糖、脂香	47.00	0.17	0.12	0	0.20
戊醛Pentanal	杏仁味	12.00	0.77	0	1.47	0
庚醛Heptanal	脂香、柑橘	2.80	5.78	0	0	0
辛醛Octanal	水果、柑橘	0.59	28.42	0	82.48	0
壬醛Nonanal	清新味	8.00	5.81	0	4.12	0
己醛Hexanal	果香、青草味	5.00	52.42	2.13	0	0
2, 4-庚二烯醛, (E, E) (E, E)-2, 4-Heptadienal	青草味	15.40	0.35	0	4.64	0
2-庚烯醛(Z)-2-Heptenal	烤肉味、熟鱼味	13.00	0	0	1.28	0

究结果中也有发现。

此外, 肌纤维与肉质的形状和保持肉色方面密切相关, 其直径和密度是鱼类肌纤维的主要特性, 决定着鱼肉品质^[31]。研究发现肌纤维的直径越小、密度越大, 鱼肉的硬度和咀嚼性就愈大, 口感更佳^[32, 33]。R组大口黑鲈的肌纤维直径最小、密度最大, 与R组的硬度、咀嚼性最大、口感最优的结论相吻合。相比之下, 传统养殖模式的水体流动性较低、自净能力较弱可能导致养殖环境较差, 会间

接影响肌肉发育, 尤其在缺氧情况下会使肌纤维的直径和长度增长缓慢, 肌纤维会发生轻度萎缩从而使肉质发硬, 颜色暗淡^[31]。这与草鱼^[29]、和异育银鲫“中科3号”(Carassius auratus gibelio var. CAS III)^[34]在类似养殖条件下的研究结果基本一致。由于R、C组均表现出更好的表观及质地品质, 但R组适宜的养殖环境和适度的运动强度使得肌纤维密度及直径上略优于C组, 能够有效改善肉质的口感。

3.2 不同养殖模式下大口黑鲈营养特性

鱼类鱼肉营养价值主要与总蛋白含量、脂肪含量、氨基酸组成及含量、脂肪酸组成及含量等有关^[35]。蛋白质的营养价值取决于所含氨基酸的种类和数量,且氨基酸是维持机体正常生长和发育的基本结构,所以为了更全面地评价鱼肉的品质,还需比较组成蛋白质的必需氨基酸和鲜味氨基酸。

本实验中发现P组大口黑鲈肌肉中的蛋白水平显著低于R组;这与朱士臣等^[36]的研究中池塘养殖模式下三角鲂(*Megalobrama terminalis*)的粗脂肪、水分含量更高,蛋白质含量更低的结果一致,这可能是由于P组运动强度较低,能量消耗较少,因此肌肉不够紧实,水分、脂肪含量就较高^[34]。

必需氨基酸组成和含量决定了蛋白质营养水平,是衡量其营养价值的重要指标;且半必需氨基酸在一定条件下可以转化为必需氨基酸,而且对婴儿的发育至关重要^[37]。在本实验中R组的必需氨基酸含量以及半必需氨基酸含量均高于其余3组,而且在AAS为标准下,R组必需氨基酸评分更接近FAO/WHO模式值,说明水库圈养模式下大口黑鲈必需氨基酸组成和含量更能满足人体需求。此结果与高露姣等^[7]在红鳍东方鲀(*Takifugu rubripes*)实验中的结果类似。天门冬氨酸、谷氨酸、甘氨酸、丙氨酸4种氨基酸的含量对鱼肉的鲜美程度起主要作用^[38],本实验中R组鲜味氨基酸总量显著高于其余3组,说明在水库圈养下大口黑鲈鱼肉更鲜

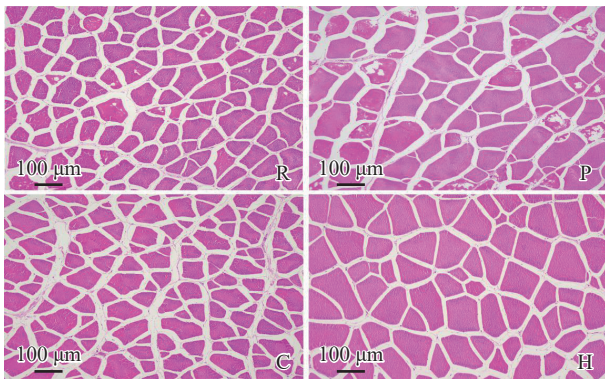


图1 不同养殖模式下大口黑鲈肌纤维横切图

Fig. 1 Muscle fiber cross-section of *M. salmoides* under different breeding modes

表9 不同养殖模式下大口黑鲈肌纤维直径与密度差异

Tab. 9 Differences in muscle fiber diameter and density of *M. salmoides* under different breeding modes

指标Index	R	P	C	H
肌纤维密度 Fiber density (mm ²)	91.24± 5.79 ^a	56.93± 2.63 ^b	84.67± 10.90 ^a	67.15± 6.36 ^b
肌纤维直径 Fiber diameters (μm)	107.42± 7.15 ^c	133.98± 7.36 ^b	113.56± 6.87 ^{bc}	118.18± 11.99 ^b

美。造成以上差异的主要原因可能是水库圈养提供了丰富的食物来源和较好的养殖环境促进了大口黑鲈对这些氨基酸的吸收和合成^[39,40],从而保证了营养物质的均衡。

此外,相较于P组,R、C、H组大口黑鲈肌肉中饱和脂肪酸种类和含量更少,不饱和脂肪酸种类及含量更丰富;尤其是R组不饱和脂肪酸含量最大,特别是其中的EPA和DHA含量较高,且EPA、DHA具有多种生理学功能,例如促进儿童生长发育、免疫调节作用、降血脂、预防心血管疾病等作用^[41]。类似的结果在耿子蔚等^[30]研究中发现。Sushchik等^[42]报道,生活环境、食物来源、季节的差异会影响脂肪酸的组成,对PUFA的影响大于SFA;由于R组在养殖过程中可以解决粪便和代谢废物等污染问题^[43],大口黑鲈生长环境较优,这可能是造成R组与其余3组脂肪酸差异的原因。

综上所述,R组大口黑鲈肌肉有着高蛋白、低脂肪的营养特点。且鲜味氨基酸含量、多不饱和脂肪酸含量均高于其余3组。所以水库圈养模式通过优化水质、增加天然饵料的摄取,提升了鱼肉的整体营养价值,使大口黑鲈在营养价值上具有更明显的优势,也更符合人对健康饮食的需求。

3.3 四种养殖模式下大口黑鲈肌肉风味物质比较分析

气味的形成与人类的嗅觉阈值有关,嗅觉阈值是指引起人嗅觉最小刺激的物质浓度,嗅觉阈值低的化合物越容易被感知^[44]。在挥发性气味物质中,醛类、酮类化合物的嗅觉阈值相对较低,容易被人类感知;而醇类、芳香类和烃类化合物阈值较高,对食品风味的贡献较小^[45]。

在本实验中辛醛对C组的贡献较大,不饱和支链醛含量也较多,使C组大口黑鲈肌肉带有独特的水果香、脂肪味及青草香。可能是由于C组流水富氧环境通过增强鱼的代谢活动,促进了脂质代谢和氧化,从而生成更多的醛类物质^[46];同时己醛这一典型水产品品质评价指标^[47]在R组(水库圈养)中贡献最大,水库圈养的生态系统为鱼类提供了更自然的饵料来源;同时R组含有较高的不饱和脂肪酸水平,不饱和脂肪酸与脂肪氧合酶或裂解酶发生的生物合成反应、氧化降解、自发的反醇醛缩合反应后会获得醛类物质这些因素可能共同促进醛类物质的生成^[45],从而使R组大口黑鲈具有更浓郁的果香及青草香。

在醇类物质方面,其主要来源于脂肪氧化和氨基酸代谢还原^[48]。1-辛烯-3-醇被认为是与鱼腥味密切相关的物质,其在P组中贡献较大。P组由于水体

封闭和代谢废物积累,容易导致腥味物质的生成^[49]。此外,R组和C组中检测到高OAV值的己醇,己醇带有青草香味,对提升鱼肉风味起到一定作用。

在酮类中仅有3-羟基-2-丁酮对P、H组贡献较大;但在C组中酮类化合物的含量高于R组,而酮类化合物的存在可能会与其他风味物质相互作用使鱼腥味增加^[50]。4组大口黑鲈肌肉中检测出的烃类、芳香类和酯类的含量较大,可能会有效减弱肌肉中的刺激性气味形成和增强了整体风味的协调性^[48],其中二丁基羟基甲苯对P组和H组的贡献较大,使得P、H组大口黑鲈肌肉偏向于焦香味,此实验结果与孙丽慧等^[51]在大口黑鲈中的研究结果基本一致。总体而言,R、C组OAV值 ≥ 1 的成分较多,但R组含有不愉悦气味物质较少;这些成分混合在一起构成了大口黑鲈独特的风味。

4 结论

通过评估表观品质、肉质、气味及营养价值相关指标发现水库圈养、池塘养殖、流水养殖、高位池养殖大口黑鲈肌肉品质存在显著差异,其中水库圈养模式下鱼肉质度较好,氨基酸营养更均衡,不饱和脂肪酸种类较多,挥发性风味物质含量丰富,可以作为更优的养殖模式进行推广。

(作者声明本文符合出版伦理要求)

参考文献:

- [1] Egnew N, Renukdas N, Romano N, *et al.* Physio-biochemical, metabolic nitrogen excretion and ion-regulatory assessment in largemouth bass (*Micropterus salmoides*) following exposure to high environmental iron [J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2021(208): 111526.
- [2] Fishery and Fishery Administration of the Ministry of Agriculture and Rural Areas, National Aquatic Technology Promotion Terminal, China Society of Fisheries. China Fishery Statistics Yearbook [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2024: 21-36. [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 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2024: 21-36.]
- [3] Zhang L M. Study on nitrogen and phosphorus budget of *Micropterus salmoides* in in-pond raceway aquaculture systems versus usual pond aquaculture systems [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2020: 5-7. [张雷鸣. 大口黑鲈池塘内循环流水养殖与传统池塘养殖模式环境因子变化及氮磷收支比较 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2020: 5-7.]
- [4] Zhou X Z, Zhang Y, Zhou Q, *et al.* Changes in growth and muscle quality of largemouth bass (*Micropterus salmoides*) reared in recirculating aquaculture system [J]. *Food Science*, 2024, **45**(11): 75-83. [周秀珍, 张毅, 周钦, 等. 循环水净化养殖过程中大口黑鲈生长及肌肉品质变化 [J]. *食品科学*, 2024, **45**(11): 75-83.]
- [5] Lie Ø. Flesh quality—the role of nutrition [J]. *Aquaculture research*, 2001(32): 341-348.
- [6] Wang L Y, Liu D L, Deng T, *et al.* Lean aquaculture pattern on muscle quality of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2025, **49**(04): 23-31. [王刘永, 刘德露, 邓婷, 等. 瘦身养殖模式对草鱼肌肉品质的影响 [J]. *水生生物学报*, 2025, **49**(04): 23-31.]
- [7] Gao L J, Huang Y Q, Xia L J, *et al.* Comparison of flesh quality of farmed fugu, *Takifugu rubripes* from different culture models [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2011, **35**(11): 1668-1676. [高露姣, 黄艳青, 夏连军, 等. 不同养殖模式下红鳍东方鲀的品质比较 [J]. *水产学报*, 2011, **35**(11): 1668-1676.]
- [8] Urbich A V, Furuya W M, Michelato M, *et al.* Synergistic effects of dietary methionine and taurine on growth performance, blood parameters, expression in hepatic sulfur-metabolism genes, and flesh quality of large Nile Tilapia [J]. *Animal Feed Science and Technology*, 2022(**288**): 115291.
- [9] Cai W C, Jiang G Z, Li X F, *et al.* Effects of complete fish meal replacement by rice protein concentrate with or without lysine supplement on growth performance, muscle development and flesh quality of blunt snout bream (*Megalobrama amblycephala*) [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2018, **24**(1): 481-491.
- [10] Zhou L, Han D, Zhu X, *et al.* Effects of total replacement of fish oil by pork lard or rapeseed oil and recovery by a fish oil finishing diet on growth, health and fish quality of gibel carp (*Carassius auratus Gibelio*) [J]. *Aquaculture Research*, 2016, **47**(9): 2961-2975.
- [11] Michael P O, Adedayo F E. Comparative study of the flesh quality of *Clarias gariepinus* in farm-raised and wild populations [J]. *Asian Journal of Fisheries and Aquatic Research*, 2019, **4**(4): 1-9.
- [12] Wen L, Li W R, Tao L, *et al.* Recirculating aquaculture pond on edible quality of polyculture grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2023, **47**(8): 1353-1362. [温利, 李温蓉, 陶玲, 等. 池塘循环水养殖对混养草鱼食用品质的影响 [J]. *水生生物学报*, 2023, **47**(8): 1353-1362.]
- [13] Li W R, Tian M L, An Y Q, *et al.* Effects of pond culture and lake culture on fish quality of *Megalobrama amblycephala* “Huahai No. 1” [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2022, **46**(7): 1220-1234. [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.]
- [14] Dong L X. Analysis of effects on muscle quality of *Ictalurus punctatus* reared in internal-circulation pond aquaculture [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural Univer-

- sity, 2021: 1-9. [董立学. 池塘内循环流水养殖对斑点叉尾鲷肌肉品质影响的分析 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2021: 1-9.]
- [15] Xiong M, Wu Z L, Lin X D. Meat quality characteristics of spotted knifejaw (*Oplegnathus punctatus*) cultured under different aquaculture modes [J]. *Food Science*, 2016, **37**(3): 17-21. [熊铭, 吴祖亮, 林向东. 不同养殖模式斑石鲷的鱼肉品质特性分析 [J]. *食品科学*, 2016, **37**(3): 17-21.]
- [16] Hu H D. Effects of three culture modes on largemouth bass largemouth bass (*Micropterus salmoides*) intestinal microbial communities and muscle quality of largemouth bass [D]. Chongqing: Chongqing Three Gorges University, 2023: 1-4. [胡慧蝶. 三种养殖模式对大口黑鲈肠道微生物群落及肌肉品质的影响 [D]. 重庆: 重庆三峡学院, 2023: 1-4.]
- [17] Xia N, He Q, Lin X D. Analysing texture characteristics of fresh *Tilapia Fillets* muscle [J]. *Packaging and Food Machinery*, 2013, **31**(5): 6-10. [夏南, 何其, 林向东. 新鲜罗非鱼片肌肉的质构特性分析 [J]. *包装与食品机械*, 2013, **31**(5): 6-10.]
- [18] Ma R, Liu X, Tian H, *et al.* Odor-active volatile compounds profile of triploid rainbow trout with different marketable sizes [J]. *Aquaculture Reports*, 2020(17): 100312.
- [19] Liu M, Mi G Q, Guo J L, *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]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2019, **31**(4): 1704-1717. [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.]
- [20] Ma Z R, Chen L T, Yan X, *et al.* Effects of in-pond raceway system culture mode on muscle quality at different sites of *Tilapia* [J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2023, **54**(9): 2790-2799. [马之瑞, 陈丽婷, 严欣, 等. 池塘循环流水养殖模式对罗非鱼不同部位肌肉品质的影响 [J]. *南方农业学报*, 2023, **54**(9): 2790-2799.]
- [21] Jiang W P, Cheng S, Jia Y Y, *et al.* Comparative analysis of muscle nutritional characteristics and edible quality of (*Culter alburnus* ♀ × *Megalobrama terminalis* ♂) under two culture models [J]. *Chinese Journal of Fisheries*, 2022, **35**(6): 30-36. [蒋文萍, 程顺, 贾永义, 等. 两种养殖模式太湖鲢鲈肌肉营养特性及食用品质的比较分析 [J]. *水产学杂志*, 2022, **35**(6): 30-36.]
- [22] Zhang Y, Zhou Z P, Lin P H, *et al.* Effects of internal-circulation pond aquaculture mode on muscle quality of *Acanthopagrus schlegelii* [J]. *Fishery Modernization*, 2022, **49**(3): 107-112. [张艺, 周振平, 林培华, 等. 池塘内循环流水养殖模式对黑鲷肌肉品质影响的研究 [J]. *渔业现代化*, 2022, **49**(3): 107-112.]
- [23] Zhou F, Bu W, Fan H, *et al.* A comparative study on the muscle and gut microbiota of *Opsariichthys bidens* from rice field and pond culture breeding modes [J]. *Metabolites*, 2024, **14**(8): 443.
- [24] Liu G, Wu Y, Qin X, *et al.* The effect of aerobic exercise training on growth performance, innate immune response, and disease resistance in juvenile *Schizothorax prenanti* [J]. *Aquaculture*, 2018(486): 18-25.
- [25] Yogata H. The effects of swimming exercise on growth and whole-body protein and fat contents of fed and unfed fingerling Yellowtail [J]. *Fisheries Science*, 2000, **66**(6): 1100-1105.
- [26] Jiang Q X. Study on thermal processing properties and mechanism of bighead carp (*Aristichthys nobilis*) muscle [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2015: 1-10. [姜启兴. 鳊鱼肉热加工特性及其机理研究 [D]. 无锡: 江南大学, 2015: 1-10.]
- [27] 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): 69-73. [胡芬, 李小红, 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): 69-73.]
- [28] Li X, Li B, Chen N, *et al.* A comparison study on flesh quality of large yellow croaker (*Larimichthys croceus*) cultured with three different modes [J]. *Journal of Ocean University of China*, 2017, **16**(6): 1187-1194.
- [29] Zhou B, Tang H Y, Zhu C K, *et al.* Analysis on nutritional quality between grass carp cultured in circulating flume and intensive culture pond [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2020, **32**(2): 948-958. [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.]
- [30] Geng Z W, Zhang X Y, Zheng H Y, *et al.* Comparative on muscle quality characteristics of *Micropterus salmoides* between in-pond raceway system and traditional pond system [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2018, **39**(23): 95-98. [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.]
- [31] Guan W J, Zhu Y F, Chen Z D. Muscle quality in fish related to characteristics of muscular fibers [J]. *Fisheries Science*, 2008, **27**(2): 101-104. [关文静, 朱艺峰, 陈芝丹. 鱼类肌纤维特性与鱼肉品质关系 [J]. *水产科学*, 2008, **27**(2): 101-104.]
- [32] Pan J, Wu R, Wu X, *et al.* Impacts of different feeding modes on the gonadal development, total edible yield, and nutritional composition of male Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) [J]. *Aquaculture and Fisheries*, 2020, **5**(6): 300-307.
- [33] Xu X, Guan W, Niu B, *et al.* Chromosome-level assembly of the Chinese hooksnout carp (*Opsariichthys bidens*) genome using PacBio sequencing and Hi-C technology

- [J]. *Frontiers in Genetics*, 2021(12): 788547.
- [34] Wang H S. Effects of swimming training on the flesh quality and metabolism of thyroid hormones in *Carassius auratus gibelio* var. CAS III [D]. Wuhan Huazhong Agricultural University, 2019: 28-44. [王海珊. 游泳训练对异育银鲫“中科3号”肌肉品质与甲状腺激素代谢的影响 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2019: 28-44.]
- [35] Guan L L, Liu X H, Tian H N, *et al.* Fillet quality difference of triploid rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) cultured under different modes [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2022, **46**(7): 1016-1028. [管玲玲, 刘小红, 田海宁, 等. 不同养殖模式下三倍体虹鳟鱼肉品质差异的研究 [J]. *水生生物学报*, 2022, **46**(7): 1016-1028.]
- [36] Zhu S C, Feng Y, Peng J, *et al.* Comparison on nutrition quality of *Megalobrama terminalis* cultivated based on in-pond “raceway” aquaculture system and traditional pond system [J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2021, **12**(3): 1057-1065. [朱士臣, 冯媛, 彭建, 等. 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 [J]. *食品安全质量检测学报*, 2021, **12**(3): 1057-1065.]
- [37] Okekunle A P, Zhang M, Wang Z, *et al.* Dietary branched-chain amino acids intake exhibited a different relationship with type 2 diabetes and obesity risk: a meta-analysis [J]. *Acta Diabetologica*, 2019, **56**(2): 187-195.
- [38] Wu L F, Wu Y N, Zhou M, *et al.* Effects of main soybean antigen on nutritional components in muscle of *Ctenopharyngodon idellus* [J]. *Journal of Jilin Agricultural University*, 2010, **32**(2): 214-217. [吴莉芳, 吴亚男, 周敏, 等. 大豆抗原蛋白对草鱼肌肉营养成分的影响 [J]. *吉林农业大学学报*, 2010, **32**(2): 214-217.]
- [39] 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. [何伟, 罗辉, 杜思雨, 等. 三种营养类型水库和人工养殖池塘鳊鱼养成品的肌肉品质差异 [J]. *渔业科学进展*, 2021, **42**(6): 135-141.]
- [40] Wang Z, Li H, Cao W, *et al.* Effect of drying process on the formation of the characteristic flavor of oyster (*Crassostrea hongkongensis*) [J]. *Foods*, 2023, **12**(11): 2136.
- [41] Tocher D R, Betancor M B, Sprague M, *et al.* Omega-3 long-chain polyunsaturated fatty acids, EPA and DHA: bridging the gap between supply and demand [J]. *Nutrients*, 2019, **11**(1): 89.
- [42] Sushchik N N, Gladyshev M I, Kalachova G S. Seasonal dynamics of fatty acid content of a common food fish from the Yenisei river, *Siberian grayling*, *Thymallus arcticus* [J]. *Food Chemistry*, 2007, **104**(4): 1353-1358.
- [43] Cheng C. Effect of flowing water environment on growth performance and muscle quality of largemouth bass (*Micropterus salmoides*) in-pond tank culture system soy sauce [D]. Wuhan Huazhong Agricultural University, 2024: 31-36. [程成. 池塘圈养系统中流水环境对大口黑鲈生长性能和肌肉品质的影响 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2024: 31-36.]
- [44] Zhang J J, Wang X C, Shi W Z. Odor characteristics of white croaker and small yellow croaker fish during refrigerated storage [J]. *Journal of Food Biochemistry*, 2019, **43**(10): e12852.
- [45] Ma R. Preliminary study on relationship between nutrition and fish quality of farmed large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*) [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2023: 35-37. [马睿. 营养与养殖大黄鱼品质之间关系的初步研究 [D]. 青岛: 中国海洋大学, 2014: 35-37.]
- [46] Wei Y, Weng X D, Yu J, *et al.* Study on the effects of different culture modes on the nutritional quality and characteristic flavor of *Carassius auratus* [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2024, **55**(1): 243-252. [韦毓, 翁旭东, 于瑾, 等. 不同养殖模式对鲫鱼(*Carassius auratus*)营养品质及特征风味的影响研究 [J]. *海洋与湖沼*, 2024, **55**(1): 243-252.]
- [47] Xian C N. Effect of photovoltaic fishery breeding mode on eating quality of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*) [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2022: 38-48. [洗才凝. 渔光一体养殖模式对中华绒螯蟹食用品质的影响 [D]. 上海: 上海海洋大学, 2022: 38-48.]
- [48] Tu X H, Li P P, Bian H, *et al.* Differences in volatile components of *Procambarus clarkii* from different co-culture modes [J]. *Meat Research*, 2023, **37**(12): 32-38. [屠晓航, 李鹏鹏, 卞欢, 等. 不同养殖模式克氏原螯虾肉中挥发性成分的差异研究 [J]. *肉类研究*, 2023, **37**(12): 32-38.]
- [49] Ran P C, Zhao S L, Li X K, *et al.* Research progress on fish quality evaluation and improvement [J]. *Journal of Aquaculture*, 2023, **44**(6): 14-19. [冉鹏程, 赵松龄, 李选凯, 等. 鱼肉品质评价及改善研究进展 [J]. *水产养殖*, 2023, **44**(6): 14-19.]
- [50] Huang Q, Dong K, Wang Q, *et al.* Changes in volatile flavor of yak meat during oxidation based on multi-omics [J]. *Food Chemistry*, 2022(371): 131103.
- [51] Sun L H, Bao C R, Li Q, *et al.* Effects of industrialized circulating aquaculture mode on muscle nutritional components and volatile flavor compounds of largemouth bass (*Micropterus salmoides*) [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2024, **36**(5): 3192-3208. [孙丽慧, 包成荣, 李倩, 等. 工厂化循环水养殖模式对大口黑鲈肌肉营养成分和挥发性风味物质的影响 [J]. *动物营养学报*, 2024, **36**(5): 3192-3208.]

FILLET QUALITY DIFFERENCE OF *MICROPTERUS SALMOIDES* CULTURED UNDER DIFFERENT MODES

SU Qing-Feng¹, HE Huan¹, LI Zhi-Xin¹, XUE Yang², ZHAI Xu-Liang², WANG Xiang-Xuan³, HE Zhao-Lin³,
XIANG Xiao¹, ZHU Cheng-Ke¹ and LÜ Guang-Jun¹

(1. Key Laboratory of Freshwater Fish Reproduction and Development (Ministry of Education), College of Fisheries, Southwest University, Chongqing 402460, China; 2. Chongqing Fisheries Technology Extension Station, Chongqing 401120, China;
3. Sichuan Datang International Ganzi Hydropower Development Co., Ltd., Kangding 626001, China)

Abstract: *Micropterus salmoides* is a commercially important freshwater aquaculture species in China, facing growing demand amid declining wild resources, necessitating improvements in farming efficiency and product quality. The study focused on evaluating the differences in muscle quality of *M. salmoides* reared in four different aquaculture systems in Chongqing: reservoir cage culture (R), pond culture (P), raceway culture (C), and high-place pond culture (H). This evaluation was conducted by examining growth indices, apparent traits, meat quality, aroma, and nutritional value. Results showed that there were no significant differences in specific growth rate (SGR) among groups ($P>0.05$), but the weight gain rate and feed conversion ratio of group R showed slight advantages. Additionally, significant quality differences were observed across the four culture systems in terms of the condition factor, viscerosomatic index, and hepatosomatic index of the fish in the C group were significantly lower than those in the other three groups ($P<0.05$). Moisture content, crude fat, and crude protein contents varied notably across systems ($P<0.05$), with the R group exhibiting the highest crude protein and the lowest crude fat content. A total of 16 amino acids were detected in all groups, with the R group showing significantly higher non-essential amino acids (NEAA) and delicious amino acids (DAA) contents compared to the other groups ($P<0.05$), along with the highest ratio of $\sum\text{DAA}/\text{TAA}$ (total delicious amino acids to total amino acids). Additionally, the ratios of $\sum\text{EAA}/\text{TAA}$ (total essential amino acids to total amino acids) and $\sum\text{EAA}/\text{NEAA}$ in the four groups exceeded the ideal pattern standards recommended by the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)/World Health Organization (WHO). A total of 16 fatty acids were identified, with the R group showing the highest $\sum\text{PUFA}$ (total polyunsaturated fatty acids) content, in which the n-6 fatty acids comprised 34.57% of total fatty acids. A total of 52 flavor compounds were detected in the muscle of *M. salmoides*, with the R group containing a higher content and greater variety of pleasant odor substances. Histological analysis revealed that the R group muscle fibers had smaller diameters and denser arrangements compared to other groups. The results demonstrated that reservoir cage culture (R) not only enhanced the growth of *Micropterus salmoides* and improved the feed conversion ratio (FCR), but also significantly exhibited superior muscle texture, more balanced amino acid nutrition, higher unsaturated fatty acids diversity, and richer volatile flavor profiles, significantly enhancing muscle quality. These findings highlight reservoir cage culture as a preferable aquaculture system for *M. salmoides*.

Key words: Aquaculture pattern; Muscle; Nutritional components; Volatile flavor compounds; *Micropterus salmoides*