

DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20230228002

http://www.yykxjz.cn/

喻亚丽, 李清, 张浪, 孙艳红, 鲁晓蓉, 魏辉杰, 陈见, 李佩, 高银爱, 王贵英. 短期微流水处理对池塘养殖杂交鲂“先锋1号”肌肉品质的影响. 渔业科学进展, 2024, 45(2): 245–256

YU Y L, LI Q, ZHANG L, SUN Y H, LU X R, WEI H J, CHEN J, LI P, GAO Y A, WANG G Y. Quality improvement of short-time micro-flow water treatment on the flesh of juvenile hybrid F_1 cultured in ponds. Progress in Fishery Sciences, 2024, 45(2): 245–256

短期微流水处理对池塘养殖杂交鲂 “先锋1号”肌肉品质的影响*

喻亚丽^{1,2} 李清^{1,3} 张浪^{1,2} 孙艳红^{1,3} 鲁晓蓉^{1,2}
魏辉杰^{1,3} 陈见^{1,3} 李佩^{1,3} 高银爱^{1,3} 王贵英^{1,3}①

(1. 武汉市农业科学院水产研究所 湖北 武汉 430207; 2. 中国水产科学院长江水产研究所 农业农村部水产品质量安全风险评估实验室 湖北 武汉 430223; 3. 武汉先锋水产科技有限公司 湖北 武汉 430207)

摘要 以池塘养殖杂交鲂“先锋1号”为对象, 采用短期微流水处理, 研究处理时间(0、4、8和12 d)对杂交鲂“先锋1号”色度、肌纤维直径、肌肉质构特性、常规营养成分、氨基酸和脂肪酸含量的影响, 以评价短时间微流水处理对杂交鲂“先锋1号”品质的提升作用。结果显示, 微流水条件下, 8 d和12 d皮的黄度值(b^*)显著升高, 各实验组肌肉的红度值(a^*)显著降低($P < 0.05$, 下同)。处理8 d时, 肌纤维密度、肌肉硬度、咀嚼性和弹性显著提升, 分别较对照组提升了70.96%、92.04%、198.99%和35.71%。随着处理时间的延长, 粗蛋白和粗脂肪含量显著降低, 灰分在处理过程中无显著差异($P > 0.05$, 下同); 杂交鲂“先锋1号”在处理4 d时的鲜味氨基酸总量(DAA)显著高于8 d和12 d; 氨基酸总量(TAA)和必需氨基酸总量(EAA)变化不显著, 各组必需氨基酸指数(EAAI)分别为77.33%、74.91%、76.56%和76.75%。第8天时, 肌肉中顺-15-二十四碳一烯酸(C24:1)、花生三烯酸(C20:3n6)和花生四烯酸(C20:4n6)含量分别为6.85、41.05和53.84 mg/100 g显著高于其他各组, 而 α -亚麻酸含量, 单不饱和脂肪酸总量和n-6多不饱和脂肪酸(n-6PUFAs)总量分别为48.05、1336.43和524.43 mg/100 g显著高于4 d和12 d。研究表明, 短期微流水处理8 d时, 在保证肌肉营养品质的同时, 可有效改善其体色和肌肉颜色, 增加肌肉口感, 为池塘养殖淡水产品品质提升提供新的思路。

关键词 杂交鲂“先锋1号”; 微流水处理; 质构特性; 肌肉品质

中图分类号 S965.1 文献标识码 A 文章编号 2095-9869(2024)02-0245-12

杂交鲂“先锋1号”是以翘嘴鲂(*Erythroculter ilishaeformis*)为母本、黑尾近红鲂(*Ancherythroculter nigrocauda*)为父本, 通过混合选择育种、杂交育种、分子标记辅助育种等技术手段培育的鲂鱼新品种(王鑫等, 2021)。杂交鲂“先锋1号”具有营养丰富、

生长速度快、生产成本低、抗病能力强、养殖成活率高、耐低氧、生态安全、易捕捞和易运输等优点(王燕青等, 2019), 于2015年被农业部列为国家渔业主导品种。目前, 杂交鲂“先锋1号”作为湖北省水产十大主推品种, 已累计推广养殖面积200余万亩,

* 湖北省技术创新专项(2018ABA105)、湖北省农业科技创新团队项目(2016-620-000-001-069)和中国水产科学研究院基本科研业务费(2020TD74)共同资助。喻亚丽, E-mail: ylyu8811@yfi.ac.cn

① 通信作者: 王贵英, 教授级高工, E-mail: 469926648@qq.com

收稿日期: 2023-02-28, 收修改稿日期: 2023-04-11

直接经济效益达 20 亿,深受养殖户与消费者的青睐。

养殖环境因素对鱼类品质具有显著影响,传统池塘养殖常因养殖密度高、投饵量大而水质较差,加之藻类等次生代谢产物在鱼体内积累,导致鱼肉的口感变差、可接受性降低(Zhang *et al.*, 2019)。目前,杂交鲂“先锋 1 号”以传统池塘养殖为主,虽然其肌肉营养成分兼具双亲的优良性状,但其鲜味氨基酸含量低于亲本,肌肉弹性显著低于父本(王贵英等, 2021)。随着人们生活水平的提高,消费者更加关注养殖水产品的肌肉品质,如何通过调控环境因子,使得杂交鲂“先锋 1 号”具备优质的肌肉品质成为亟待解决的问题。

在上市前将商品鱼进行短时间微流水处理是提升鱼类品质的常用技术之一(Palmeri *et al.*, 2008)。微流水处理是指将鱼类转移至清洁和流动的水体中进行低密度的停食暂养,使其不断处于游泳状态。研究发现,流水处理 6 d 可以降低条纹鲈鱼(*Morone saxatilis*)的土腥味,提高帕库鱼(*Piaractus mesopotamicus*)的风味品质(Pullela *et al.*, 2000);流水处理 10~15 d 能够在保持大西洋鲑(*Salmo salar*)肌肉色度的同时减少肌肉不良气味(Burr *et al.*, 2012);鳊(*Aristichthys nobilis*)经微流水处理 6 d 可显著提高肌肉滋味品质(高琴等, 2021)。微流水处理还可以提高鱼类肌肉的质构特性,胡伟华等(2019)研究发现,经微流水处理,鳊的肌肉硬度、弹性和咀嚼性均显著性提升;冀东(2020)研究发现,微流水组草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)的肌纤维密度显著高于静水组,且随着处理时间的延长,肌肉硬度和肌纤维密度均呈上升趋势;郭晓东(2019)研究发现,微流水处理 8 d 的团头鲂(*Megalobrama amblycephala*)肌肉的凝聚性、回复性和黏性达最大值,口感显著优于未处理的肌肉。时间是微流水处理技术的关键,不同种类的鱼在微流水处理条件的品质最佳时间也有所不同。目前,关于微流水对杂交鲂“先锋 1 号”品质的影响还未见报道,本研究以杂交鲂“先锋 1 号”为研究对象,分析短期微流水处理前后肌肉的质构特性及营养品质的变化,探讨微流水处理对杂交鲂“先锋 1 号”肌肉品质的提升效果,明确微流水处理最佳时间,为池塘养殖杂交鲂“先锋 1 号”品质提升提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 实验材料

2021 年 7 月将 180 尾产于湖北武汉鲂鱼良种场的

池塘养殖杂交鲂“先锋 1 号”[平均体重为(212.07±14.37) g]随机选择,均匀分布($N=30$)带水转移至位于中国水产科学院长江水产研究所的 6 个 1 500 L 圆形暂养池中[pH 7.4±0.3;溶解氧(DO)>7.0 mg/L;温度为(21.5±1.0) °C;自然光周期],暂养 2 周适应环境后开始微流水实验。实验过程中开启暂养池中推水装置,以 1.2 体长/秒(BL/s)的流速进行微流水处理,实验期间不投饵,以池底管道向暂养池充入氧气。微流水分别处理 0 (对照组)、4、8 和 12 d 后,每个时间点、每个暂养池中取 6 尾鱼,用丁香酚麻醉后,进行色度测定,取其背部肌肉用于品质指标的测定。

1.2 实验方法

1.2.1 色度测定 按照长、宽、高为 3.0 cm×3.0 cm×0.5 cm 的规格,取鱼背部肌肉。使用 CR-400 色差仪(柯尼卡美能达(中国)投资有限公司),参考景电涛等(2019)的方法对杂交鲂“先锋 1 号”背皮和肌肉亮度值(L^*)、红度值(a^*)和黄度值(b^*)值进行测定并记录。

1.2.2 肌纤维特性测定 参考董立学等(2021)的方法,取杂交鲂“先锋 1 号”侧线上方靠近背鳍部位的肌肉,切成体积约为 0.5 cm×0.5 cm×0.5 cm 的小方块,放入甲醛固定液中固定,制作成石蜡切片。用正置荧光显微镜观察肌纤维结构特征,拍照并对图像进行分析。使用 Caseviewer 软件对肌纤维图像进行肌纤维直径及密度测量。每张切片随机取约 100 条肌纤维进行肌纤维直径的测量,随机取 10 个单位面积的视野,记录单位面积中肌纤维个数,计算肌纤维密度。

1.2.3 肌肉质构特性测定 参考孙文波等(2023)的方法,将杂交鲂“先锋 1 号”肌肉样品切成约为 0.5 cm×0.5 cm×0.5 cm 的小块,利用 TVT-300XP 物性测定仪(瑞典泰沃公司),通过探头为 P-cy5s 的圆柱型探头对样品进行 TPA 测试。测试条件:测试前速率为 5 mm/s,测试速率为 1 mm/s,测试后速率为 5 mm/s,压缩程度为 30%,触发力为 10 g,停留时间 5 s。

1.2.4 基本营养成分测定 水分含量的测定采用 105 °C 烘箱干燥法(参照 GB 5009.3-2016《食品中水分的测定》),粗蛋白含量采用凯氏定氮法测定(参照 GB 5009.5-2016《食品中蛋白质的测定》),粗脂肪含量采用索氏抽提法测定(参照 GB 5009.6-2016《食品中脂肪的测定》),粗灰分含量采用马弗炉灼烧法测定(参照 GB 5009.4-2016《食品中灰分的测定》)。

1.2.5 氨基酸测定 氨基酸的测定参照 GB 5009.124-2016《食品中氨基酸的测定》。称取约 0.02 g 的干样

于水解管中,加入 6 mol/L 盐酸 10 mL,抽真空封管,于 110 °C 水解 22 h。冷却后用超纯水定容至 25 mL,取 5 mL 于称量瓶中 80 °C 水浴至干,后再加入 1 mL 超纯水,于 80 °C 继续水浴蒸干,重复 3 次。用 5 mL 超纯水复溶称量瓶里残留物质,转移至离心管混匀,取 1 mL 过 0.22 μm 水相滤膜于进样瓶,使用日立 L-8900 氨基酸自动分析仪进行测定。

氨基酸评价:根据 FAO/WHO 建议的氨基酸评分标准模式和中国预防医学科学院营养与食品卫生研究所提出的鸡蛋蛋白的氨基酸模式,分别按公式计算氨基酸评分(amino acid score, AAS)、化学评分(chemical score, CS)和必需氨基酸指数(essential amino acid index, EAAI)来评价肌肉中氨基酸的营养价值(宋红梅等, 2020)。

氨基酸含量(mg/g N)=(肌肉氨基酸含量 g/100 g/肌肉蛋白质含量 g/100 g)×6.25×1 000

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

$$CS = aa / AA \text{ (Egg)}$$

$$EAA = [(100A/AE) \times (100B/BE) \times \dots (100I/IE)]^{1/n}$$

式中, aa 为待评样品某种氨基酸含量(mg/g N); AA (FAO/WHO)表示 FAO/WHO 评分标准模式中同种氨基酸含量(mg/g N); AA(Egg)表示全鸡蛋蛋白质中同种氨基酸含量(mg/g N); n 为比较的必需氨基酸个数; A、B、…、I 为待评价样品中各必需氨基酸含量(mg/g N); AE、BE、…、IE 为全鸡蛋蛋白质相对应的必需氨基酸含量(mg/g N)。

1.2.6 脂肪酸含量测定 脂肪酸含量的测定参照 GB 5009.168-2016《食品中脂肪酸的测定》。称取干样 1.00 g (精确至 0.01 g)于顶空瓶中,依次加入 10 mL 8.3 mol/L 盐酸水解, 1.0 mL 十一碳酸甘油三酯内标,

1.0 mL 10%焦性没食子酸, 2 mL 95%乙醇和 4 mL 超纯水,于 80 °C 水浴 40 min。冷却后转移至分液漏斗,用 25 mL 乙醚石油醚混合液(乙醚:石油醚=1:1)冲洗,静置分层,吸取上清液于鸡心瓶中。按照以上步骤重复 3 次,旋转蒸发仪浓缩至干,残留物为脂肪提取物。分别向鸡心瓶中加入 8 mL 氢氧化钠甲醇溶液、7 mL 三氟化硼甲醇溶液,将脂肪提取物转移到顶空瓶中,水浴至油滴消失。向顶空瓶中加 10 mL 正己烷,静置分层后取上清液 5 mL,加 5 g 无水硫酸钠,振荡 1 min,静置 5 min,吸取上层溶液 1 mL 到进样瓶中,使用 Agilent 7890A 气相色谱仪进行测定。

1.2.7 数据分析 采用 Microsoft Excel 2003 软件进行数据统计,实验结果均以平均值±标准差(mean±SD)形式表示,使用 SPSS 26.0 单因素方差分析(one-way ANOVA)进行显著性检验, $P < 0.05$ 表示差异显著。采用 Origin 2022 作图。

2 结果与分析

2.1 微流水处理对杂交鮠“先锋1号”色度的影响

L^* 、 a^* 和 b^* 值是鱼体表观颜色的有效指标, L^* 表示亮度值, L^* 值越大表明颜色越明亮; a^* 表示红绿程度($-a^*$ 表示绿, $+a^*$ 表示红); b^* 表示黄蓝程度($-b^*$ 表示蓝, $+b^*$ 表示黄)(管玲玲等, 2022)。微流水处理对杂交鮠“先锋1号”色度的影响见表 1, 随处理时间的延长,皮和肌肉的 L^* 变化不显著。处理第 12 天时,皮的红度值显著低于对照组, 8 d 和 12 d 实验组的黄度值显著高于对照组。各实验组肌肉的红度值显著低于对照组,其中第 8 天时红度值最低。而肌肉的黄度值变化不显著。

表 1 微流水处理对杂交鮠“先锋1号”色度的影响

Tab.1 Effects of micro-flow water on color of juvenile hybrid F_1

组织 Tissue	指标 Index	0 d	4 d	8 d	12 d
皮 Skin	亮度 L^*	63.83±1.50	60.56±13.14	63.00±13.69	63.69±7.42
	红度 a^*	-1.11±0.13 ^a	-1.34±0.37 ^{ab}	-0.90±0.08 ^a	-2.00±0.69 ^b
	黄度 b^*	4.31±0.29 ^a	4.51±0.12 ^a	6.84±0.97 ^b	5.63±0.50 ^b
肌肉 Muscle	亮度 L^*	45.17±3.76	42.07±1.17	44.07±1.14	45.05±1.74
	红度 a^*	-0.29±0.06 ^a	-0.92±0.16 ^b	-1.19±0.20 ^b	-1.04±0.31 ^b
	黄度 b^*	2.28±0.79	1.10±0.14	1.93±0.32	1.02±0.39

注:同行上标不同字母表示差异性显著($P < 0.05$),下同。

Note: Different superscript letters of the same line indicate significant difference ($P < 0.05$), the same below.

2.2 微流水处理对杂交鮠“先锋1号”肌纤维特性的影响

由图 1 可知,微流水处理显著影响杂交鮠“先锋

1号”的肌纤维直径,处理 8 d 时杂交鮠“先锋1号”肌纤维直径最低,为 90.54 μm,显著低于处理 0、4 和 12 d 时的肌纤维直径。微流水处理会增加杂交鮠“先锋1号”的肌纤维密度,处理 8 d 时肌纤维密度

为 275.25 n/mm^2 ，显著高于对照组和其他各实验组，较对照组提高了 70.96%。

2.3 微流水处理对杂交鲂“先锋 1 号”质构特性的影响

微流水处理对杂交鲂“先锋 1 号”肌肉质构特性

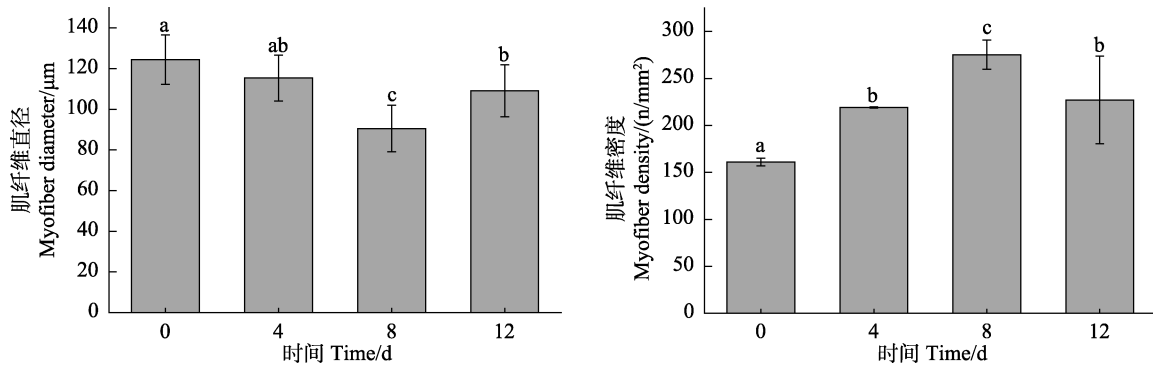


图 1 微流水处理对杂交鲂“先锋 1 号”肌纤维直径和肌纤维密度的影响

Fig.1 Effects of micro-flow water on muscle myofiber diameter and myofiber density of juvenile hybrid F_1

不同字母表示差异性显著 ($P < 0.05$)。

Different letters indicate significant difference ($P < 0.05$).

表 2 微流水处理对杂交鲂“先锋 1 号”肌肉质构的影响

Tab.2 Effects of micro-flow water on muscle texture of juvenile hybrid F_1

指标 Index	0 d	4 d	8 d	12 d
硬度 Hardness/g	644.33 ± 111.60^c	$1\ 048.71 \pm 100.98^b$	$1\ 237.36 \pm 104.11^a$	$1\ 222.92 \pm 97.07^a$
咀嚼性 Chewiness/g	97.37 ± 35.50^b	228.96 ± 23.59^a	291.13 ± 68.94^a	254.46 ± 76.10^a
回复性 Resilience	0.16 ± 0.03^b	0.22 ± 0.03^a	0.25 ± 0.07^a	0.22 ± 0.03^a
弹性 Springiness	0.42 ± 0.06^c	0.55 ± 0.05^{ab}	0.57 ± 0.06^a	0.49 ± 0.09^b

2.4 微流水处理对杂交鲂“先锋 1 号”常规营养成分的影响

微流水处理对杂交鲂“先锋 1 号”肌肉常规营养成分的影响见表 3 所示。由结果可知，微流水处理会显著影响肌肉的水分、粗蛋白、粗脂肪含量。随处理时间的延长，肌肉水分含量呈先升高后降低的趋势，

在 8 d 时最高，显著高于对照组和 4 d 组；对照组肌肉粗蛋白含量显著高于处理 8 d 和 12 d 时的粗蛋白含量，随处理时间的延长粗蛋白含量逐渐降低，在 12 d 时达最低，为 $18.74 \text{ g}/100 \text{ g}$ 。在微流水处理过程中，杂交鲂“先锋 1 号”肌肉中粗脂肪含量显著下降，处理 12 d 时鱼肉中粗脂肪含量下降 36.5%。各组肌肉中灰分含量差异不显著。

表 3 微流水处理对杂交鲂“先锋 1 号”肌肉常规营养成分的影响 ($\text{g}/100 \text{ g}$ ，湿重)

Tab.3 Effects of micro-flow water on muscle essential nutrients of juvenile hybrid F_1 ($\text{g}/100 \text{ g}$, wet weight)

指标 Index	0 d	4 d	8 d	12 d
水分 Moisture	76.10 ± 0.10^b	76.46 ± 0.21^b	77.24 ± 0.14^a	76.69 ± 0.32^{ab}
粗蛋白 Crude protein	19.67 ± 0.10^a	19.15 ± 0.21^{ab}	18.95 ± 0.03^b	18.74 ± 0.39^b
粗脂肪 Crude fat	2.73 ± 0.01^a	2.68 ± 0.01^a	2.42 ± 0.01^b	2.00 ± 0.02^c
灰分 Ash	1.28 ± 0.02	1.25 ± 0.03	1.24 ± 0.02	1.28 ± 0.01

2.5 微流水处理对杂交鲂“先锋 1 号”氨基酸的影响

2.5.1 氨基酸组成 微流水处理 0、4、8 和 12 d

杂交鲂“先锋 1 号”肌肉中均检出 17 种氨基酸(表 4)，在微流水处理过程中氨基酸总量和必需氨基酸总量

呈下降趋势。8 d 时氨基酸总量、鲜味氨基酸总量和必需氨基酸总量均低于对照组, 但无显著性差异。处理 4 d 时肌肉鲜味氨基酸总量(DAA)显著高于 8 d 和 12 d 的鲜味氨基酸总量, 各组必需氨基酸总量(EAA)和

氨基酸总量(TAA)差异不显著。各组肌肉中 EAA/TAA 为 40%左右, EAA/NEAA 在 60%以上, 均符合根据 FAO/WHO 对蛋白质的理想模式要求, 均属于优质蛋白源。

表 4 微流水处理对杂交鮠“先锋 1 号”氨基酸组成和含量的影响(g/100 g, 湿重)

Tab.4 Effects of micro-flow water on amino acid composition and contents in muscle of juvenile hybrid *F₁* (g/100 g, wet weight)

氨基酸 Amino acid	0 d	4 d	8 d	12 d
天冬氨酸 Asp [▲]	1.68±0.05 ^{ab}	1.75±0.02 ^a	1.61±0.05 ^b	1.61±0.05 ^b
苏氨酸 Thr [■]	0.85±0.02	0.87±0.01	0.85±0.03	0.84±0.05
丝氨酸 Ser	0.77±0.01	0.77±0.01	0.76±0.03	0.75±0.03
谷氨酸 Glu [▲]	2.26±0.05 ^b	2.37±0.04 ^a	2.18±0.05 ^b	2.18±0.07 ^b
甘氨酸 Gly [▲]	0.91±0.03	0.93±0.08	0.95±0.05	0.88±0.03
丙氨酸 Ala [▲]	1.09±0.02	1.11±0.03	1.07±0.06	1.05±0.03
胱氨酸 Cys	0.12±0.01	0.11±0.01	0.11±0.01	0.10±0.03
缬氨酸 Val [■]	0.94±0.02	0.93±0.03	0.92±0.04	0.90±0.03
蛋氨酸 Met [■]	0.33±0.10	0.24±0.02	0.27±0.06	0.27±0.05
异亮氨酸 Ile [■]	0.79±0.01	0.73±0.06	0.81±0.05	0.80±0.07
亮氨酸 Leu [■]	1.51±0.04 ^{ab}	1.52±0.03 ^a	1.44±0.04 ^b	1.45±0.05 ^b
酪氨酸 Tyr	0.55±0.03	0.47±0.03	0.52±0.03	0.52±0.08
苯丙氨酸 Phe [■]	0.89±0.01 ^a	0.79±0.07 ^b	0.85±0.02 ^{ab}	0.85±0.05 ^{ab}
赖氨酸 Lys [■]	1.67±0.05 ^a	1.73±0.05 ^a	1.56±0.05 ^b	1.57±0.04 ^b
组氨酸 His	0.48±0.01 ^{ab}	0.46±0.01 ^b	0.55±0.03 ^a	0.49±0.07 ^{ab}
精氨酸 Arg	1.01±0.02 ^{ab}	0.91±0.10 ^b	1.10±0.06 ^a	1.00±0.12 ^{ab}
脯氨酸 Pro	2.22±0.11	2.19±0.14	2.08±0.06	2.13±0.19
TAA	18.09±0.48	17.87±0.48	17.63±0.36	17.43±0.89
DAA	5.94±0.14 ^{ab}	6.16±0.09 ^a	5.81±0.13 ^b	5.73±0.06 ^b
EAA	6.98±0.21	6.81±0.13	6.70±0.12	6.69±0.30
NEAA	9.61±0.28	9.70±0.27	9.28±0.20	9.24±0.18
DAA/TAA	0.33±0.01 ^b	0.35±0.01 ^a	0.33±0.01 ^b	0.33±0.01 ^b
EAA/TAA	0.39±0.01	0.38±0.01	0.38±0.01	0.38±0.01
EAA/NEAA	0.73±0.01 ^a	0.70±0.01 ^b	0.72±0.01 ^a	0.72±0.01 ^a

注: ■为必需氨基酸; ▲为鲜味氨基酸; EAA 为必需氨基酸总量; DAA 为鲜味氨基酸总量; NEAA 为非必需氨基酸总量; TAA 为氨基酸总量。

Note: ■: Essential amino acids; ▲: Delicious amino acids; EAA: Total essential amino acids; DAA: Total delicious amino acids; NEAA: Total non-essential amino acids; TAA: Total amino acids.

2.5.2 氨基酸评分 如表 5 所示, 本研究中各组杂交鮠“先锋 1 号”肌肉中必需氨基酸总量均高于 FAO/WHO 模式下的 2 190 mg/g N, 但低于鸡蛋蛋白标准的 2 960 mg/g N。各组肌肉中苏氨酸、亮氨酸、赖氨酸、苯丙氨酸+酪氨酸含量均高于 FAO/WHO 标准模式。同时, 杂交鮠“先锋 1 号”肌肉中 Lys 的含量均超过了鸡蛋蛋白模式的含量, 其中, 处理 4 d 的杂交鮠 Lys 含量最高, 是鸡蛋蛋白模式的 1.28 倍。

如表 6 所示, 以 AAS 和 CS 作为评分标准时, 微流水处理 0、4、8 和 12 d 的杂交鮠第一限制性氨基酸一致, 均为 Met+Cys; 0、8 和 12 d 第二限制性氨基酸均为 Val, 4 d 为 Ile。必需氨基酸指数(EAAI)可以表征食物中必需氨基酸组成与标准蛋白质的相似程度, 本研究中 0 d 的杂交鮠 EAAI 最高, 为 77.33%; 4 d 最低, 为 74.91%; 8 d 和 12 d 的 EAAI 相当, 分别为 76.56%和 76.75%。

表5 微流水处理对杂交鲈“先锋1号”肌肉中必需氨基酸含量的影响(mg/g N, 湿重)

Tab.5 Effect of micro-flow water on essential amino acid content in muscle of juvenile hybrid F₁ (mg/g N, wet weight)

必需氨基酸 EAA	0 d	4 d	8 d	12 d	FAO/WHO	鸡蛋蛋白 Egg protein
苏氨酸 Thr	270	284	280	280	250	292
缬氨酸 Val	299	304	303	300	310	411
异亮氨酸 Ile	251	238	267	267	250	331
亮氨酸 Leu	480	496	475	484	440	534
赖氨酸 Lys	531	565	515	524	340	441
蛋氨酸+胱氨酸 Met+Cys	143	114	125	123	220	386
苯丙氨酸+酪氨酸 Phe+Try	458	411	452	457	380	565
总量 Total content	2 431	2 412	2 418	2 435	2 190	2 960

表6 微流水处理对杂交鲈“先锋1号”肌肉氨基酸评分的影响

Tab.6 Effect of micro-flow water on evaluation of essential amino acids composition of Juvenile Hybrid F₁

必需氨基酸 EAA	0 d		4 d		8 d		12 d	
	AAS	CS	AAS	CS	AAS	CS	AAS	CS
苏氨酸 Thr	1.08	0.92	1.14	0.97	1.12	0.96	1.12	0.96
缬氨酸 Val	0.96**	0.73**	0.98	0.74	0.98**	0.74**	0.97**	0.73**
异亮氨酸 Ile	1.00	0.76	0.95**	0.72**	1.07	0.81	1.07	0.81
亮氨酸 Leu	1.09	0.90	1.13	0.93	1.08	0.89	1.10	0.91
赖氨酸 Lys	1.56	1.20	1.66	1.28	1.51	1.17	1.54	1.19
蛋氨酸+胱氨酸 Met+Cys	0.65*	0.37*	0.52*	0.30*	0.57*	0.32*	0.56*	0.32*
苯丙氨酸+酪氨酸 Phe+Try	1.20	0.81	1.08	0.73	1.19	0.80	1.20	0.81
必需氨基酸指数 EAAI	77.33		74.91		76.56		76.75	

注: *代表第一限制性氨基酸; **代表第二限制性氨基酸。

Note: *: The first limiting amino acid; **: The second limiting amino acid.

2.6 微流水处理对杂交鲈“先锋1号”脂肪酸的影响

如表7所示,在杂交鲈“先锋1号”肌肉中检出19种脂肪酸,微流水处理时间会显著影响脂肪酸的含量。在微流水作用下,以第8天时肌肉中棕榈酸、花生酸、顺-15-二十四碳一烯酸、花生三烯酸和花生四烯酸含量分别为498.88、8.47、6.85、41.05和53.84 mg/100 g,显著高于其他各组。同时,第8天时肌肉中硬脂酸、油酸、 α -亚麻酸含量,单不饱和脂肪酸总量和n-6PUFAs总量显著高于4 d和12 d,与对照组差异不显著。

3 讨论

3.1 微流水处理对杂交鲈“先锋1号”体色的影响

环境与营养是影响鱼类体色的外在因素(李迎娣, 2022)。鱼类的体色是影响其品质的重要因素之一,直接影响养殖鱼类的价格和消费者的选择,决定了产品的市场竞争力(An *et al.*, 2021)。然而,不同种类鱼的肌肉的颜色是不一致的。例如,消费者更喜欢肉色

偏白的中华倒刺鲃(*Spinibarbus sinensis*)(Li *et al.*, 2016),而大西洋鲑鱼则偏好于肉色偏红(Johnston *et al.*, 2000)。传统池塘养殖模式下,密度高、水质差及饲料色素物质缺乏等易导致养殖鱼类体色发生改变,如体色消退、条纹中断或消失等,在一定程度上影响了水产品的经济价值(陈秀梅等, 2022)。刘家丰等(2020)研究发现,暂养处理后的河蟹体色有较明显的改善。现有研究表明,肌肉的颜色不仅由色素沉着和肌红蛋白含量决定,肌纤维直径和间距影响光的散射和吸收也会导致水产品的色度差异(Hughes *et al.*, 2020)。本研究中,随处理时间的延长,皮和肌肉的 L^* 呈先下降后上升的趋势,各实验组肌肉的红色显著低于对照组,表明微流水作用下杂交鲈先锋1号具有较好的亮度,肌肉的色泽更为鲜亮。研究发现,流水作用下的持续游泳对中华倒刺鲃(Li *et al.*, 2016)和鳕鱼(*Gadus morhua* L)(Bjørnevik *et al.*, 2003)肌肉颜色无显著影响,但对大西洋鲑肌肉(Johnston *et al.*, 2000)色度有显著影响。因此,微流水作用下为了达到良好的调理肉色效果,有必要对不同鱼种、不同养殖模式进行进一步研究。

表 7 微流水处理对杂交鮠“先锋 1 号”肌肉脂肪酸组成和含量的影响(mg/100 g, 湿重)

Tab.7 Effects of micro-flow water on composition and content of fatty acids in Juvenile Hybrid F₁ (mg/100 g, wet weight)

脂肪酸 Fatty acid	0 d	4 d	8 d	12 d
豆蔻酸 C14:0	36.94±0.91 ^a	25.85±2.41 ^b	35.21±0.79 ^a	32.49±3.05 ^a
十五碳酸 C15:0	4.78±0.38	4.79±0.93	5.34±0.77	4.29±0.18
棕榈酸 C16:0	441.85±7.07 ^a	333.50±2.58 ^b	498.88±0.55 ^c	401.45±9.28 ^d
硬脂酸 C18:0	169.93±3.57 ^a	99.91±7.87 ^b	172.06±9.77 ^a	115.70±15.41 ^b
花生酸 C20:0	7.26±0.01 ^b	4.55±0.16 ^c	8.47±0.30 ^a	5.28±0.46 ^c
饱和脂肪酸 SFA	660.76±2.21 ^a	468.61±2.11 ^b	719.98±10.63 ^c	559.22±3.37 ^d
顺-9-十六碳一烯酸 C16:1n7	117.25±0.21 ^a	79.42±4.80 ^b	112.60±2.63 ^a	115.13±6.21 ^a
反-9-十八碳一烯酸 C18:1n9t	6.04±0.40	4.70±0.79	6.27±0.07	4.87±0.98
油酸 C18:1n9c	1 156.87±9.17 ^a	772.69±11.79 ^b	1 170.35±12.98 ^a	938.69±8.46 ^c
顺-11-二十碳一烯酸 C20:1	33.16±1.04 ^a	19.76±2.23 ^b	30.60±3.28 ^a	26.97±3.24 ^{ab}
芥酸 C22:1n9	10.07±0.18 ^a	8.93±0.59 ^b	9.77±0.12 ^{ab}	9.77±0.12 ^{ab}
顺-15-二十四碳一烯酸 C24:1	4.75±0.11 ^b	4.27±0.07 ^b	6.85±0.98 ^a	4.63±0.90 ^b
单不饱和脂肪酸 MUFA	1 328.13±9.93 ^a	889.77±7.91 ^b	1 336.43±12.61 ^a	1 100.07±17.94 ^c
亚油酸 C18:2n6c	433.85±2.71 ^a	297.20±1.68 ^b	418.32±1.57 ^c	330.38±6.54 ^d
γ-亚麻酸 C18:3n6	7.66±0.52 ^b	9.13±1.18 ^{ab}	11.21±1.17 ^a	8.59±0.06 ^b
α-亚麻酸 C18:3n3	47.55±0.33 ^a	33.64±1.05 ^b	48.05±1.24 ^a	36.05±1.82 ^b
顺,顺-11,14-二十碳二烯酸 C20:2	16.31±0.72	15.88±2.51	18.42±1.58	15.58±0.64
花生三烯酸 C20:3n6	32.41±1.37 ^{bc}	27.09±0.47 ^c	41.05±2.48 ^a	33.45±2.76 ^b
花生四烯酸 C20:4n6	43.56±2.14 ^b	43.05±0.02 ^b	53.84±0.11 ^a	44.23±4.99 ^b
二十碳五烯酸(EPA)C20:5n3	12.50±0.65	13.29±1.39	14.27±0.42	14.00±0.81
二十二碳六烯酸(DHA)C22:6n3	80.78±0.36 ^{ab}	70.59±0.63 ^b	78.30±6.47 ^{ab}	87.20±4.92 ^a
n-3 PUFAs	140.83±0.62 ^a	117.53±0.29 ^b	140.61±4.81 ^a	137.24±2.29 ^a
n-6 PUFAs	517.48±2.95 ^a	376.47±3.30 ^b	524.43±5.13 ^a	416.64±4.25 ^c
多不饱和脂肪酸 PUFA	679.89±4.49 ^a	509.88±1.08 ^b	683.45±1.90 ^a	575.13±0.52 ^c
脂肪酸总量 TFA	2 668.78±12.22 ^a	1 868.26±8.93 ^b	2 739.86±21.34 ^c	2 234.42±15.10 ^d

3.2 微流水处理对杂交鮠“先锋 1 号”肌纤维与肌肉质构特性的影响

有研究认为,肌纤维结构的显著变化是鱼类在运动训练中产生生长差异的重要原因,例如大西洋鲑(0.45 BL/s, 56 d)(Totland *et al*, 1987)、虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)(0.8、1.6 BL/s, 28 d)(Martin *et al*, 2005)、金头鲷(*Sparus aurata*)(1.5 BL/s, 28 d)(Ibarz *et al*, 2011)等鱼均出现在运动处理中体重和肌纤维直径显著增加的现象。这可能是由于鱼类运动量的增加使得肌肉细胞间的结合力增强,肌纤维直径变得小而排列紧密,肌纤维密度增加。Martin 等(2006)研究发现,通过运动训练鲤鱼(*Cyprinus carpio* L)的肌纤维直径不变,但体重降低;金鱼(*Carassius auratus*)经 28 d 训练后最终体重下降了 15.7%,肌纤维直径增加了 22.4%(Davison *et al*, 1978);中华倒刺鲃在不同流速下肌纤维变化呈现不同规律(Li *et al*, 2016)。可见流水作用下的运动训练对鱼类的肌纤维直径的影响不一致,这可能与养殖

品种、微流水流速和养殖环境有关。本研究中,杂交鮠“先锋 1 号”肌纤维直径和肌纤维密度呈反比关系,随着处理时间的延长肌纤维直径呈先降后升的趋势,肌纤维密度则先升后降,在 8 d 时肌纤维密度达最高,肌纤维直径最小。肌纤维密度在一定程度上也是衡量肌肉品质的指标,通常肌纤维密度越大,肌肉嫩度越大。因此,通过微流水作用,可以提高杂交鮠“先锋 1 号”肌纤维密度,从而改善其口感。

研究表明,肌纤维直径与肌肉质构参数中的硬度、回复性、咀嚼性及粘聚性指标呈负相关,肌纤维的大小与鱼肉硬度的关系紧密,基本上呈现肌纤维直径越小其肌肉硬度越高的规律,与本研究结果相符(李文倩等, 2010; Hurling *et al*, 1996)。TPA 指标中的硬度和弹性与感官分析指标具有显著相关性,且与咀嚼性呈显著正相关,硬度较大,弹性较强的鱼肉,其口感会更好(周聃等, 2021; 高宇等, 2020)。流水净化 20 d 使草鱼硬度增加 31.52%,咀嚼性增加 84.59%(Lü *et al*, 2018);处理 20 d 使鳙鱼(*Aristichthys nobilis*)弹性

增加 73.68%，咀嚼性增加 72.73% (胡伟华等, 2019)；本研究中，微流水处理 8 d 时，肌肉硬度增加 92.04%，咀嚼性增加 198.99%，这是因为鱼体在微流水中进行持续游泳运动，使肌纤维密度增加，胶原蛋白含量增高，导致肌肉硬度增加 (Shi *et al.*, 2019)。说明通过微流水处理能够显著改善鱼体肌肉的质构特性，从而提升其口感。

3.3 微流水处理对杂交鮠“先锋 1 号”常规营养成分的影响

肌肉作为鱼类的主要可食部位，其营养成分的含量对鱼肉品质起重要作用。在微流水处理过程中鱼体一直处于持续游泳状态，骨骼肌发生重要的生化变化，导致肌肉营养成分发生变化 (Zhu *et al.*, 2016)。因此，可以通过微流水作用，改变肌肉中营养成分的含量和比例，从而改变鱼肉的品质。微流水处理时鱼类处于饥饿状态，会动用机体储能来维持生命活动，作为主要储能物质的糖原、脂肪和蛋白质会在饥饿过程中不同程度地被消耗 (钱周兴等, 2006)。在本研究中，随着微流水作用的延长，粗脂肪含量显著下降，而粗蛋白含量在第 8 天时开始显著下降，表明杂交鮠“先锋 1 号”在微流水作用下，先以消耗脂肪、后消耗蛋白来维持生命活动。该结果与微流水处理草鱼前 4 d 结果一致 (陈周等, 2020)。

3.4 微流水处理对杂交鮠“先锋 1 号”氨基酸的影响

氨基酸组成与含量决定了鱼类肌肉蛋白质的品质，必需氨基酸能增加鱼肉的营养价值，而鲜味氨基酸能增加鱼肉的风味品质。赖氨酸是人体重要的必需氨基酸之一，主要存在于动物性食物和豆类中，具有促进人体生长发育、增强机体免疫力、抗病毒、促进脂肪氧化、缓解焦虑情绪等生理功能 (程辉辉等, 2016)。本研究中，微流水处理 4 d 时，杂交鮠肌肉赖氨酸含量达到最高，赖氨酸能提高人体对蛋白质的吸收和利用效率；杂交鮠“先锋 1 号”肌肉氨基酸总量和必需氨基酸总量在微流水处理过程中呈下降趋势，与短期饥饿下的鳊鱼 (*Müchthysmiüy basilewsky*) (柳敏海等, 2009) 和卵形鲳鲹 (*Trachinotus ovatus*) (钟金香等, 2018) 等研究结果相似，这可能与微流水作用下杂交鮠“先锋 1 号”在利用蛋白质供能有关。

EAAI 可以表征食物中必需氨基酸组成与 FAO/WHO 模式下标准蛋白质的相似程度，通过计算 AAS 和 CS 可以对食物中必需氨基酸的营养价值进行评价，EAAI 越大，说明氨基酸组成越平衡，蛋白质质量和利用率越高 (Adeyeye, 2012)。冯德品等 (2017) 研究

发现，微流水模式下齐口裂腹鱼 (*Schizothorax prenanti*) 的鲜味氨基酸含量增加，氨基酸评分更高。本研究中，微流水处理下，肌肉中 EAAI 呈先下降后上升的趋势，微流水处理条件下 8 d 和 12 d 的 EAAI 与标准蛋白质更为接近，可作为人体的优质蛋白源，具有较高的食用价值。

3.5 微流水处理对杂交鮠“先锋 1 号”脂肪酸的影响

多不饱和脂肪酸是评价肌肉脂肪酸质量的重要指标，包括 n-3 和 n-6 系列不饱和脂肪酸，它可以促进水生动物的生长，还具有降低人体心脑血管疾病、调节血脂和降低血压的作用 (靳革等, 2018)。n-3PUFAs/n-6PUFAs 是评价肌肉脂肪酸营养的一个重要指标，FAO/WHO 组织推荐的 n-3PUFAs/n-6PUFAs 比例最低为 0.1~0.2 左右，比例越高 (>0.2) 代表具有更高的营养价值，对人体的健康越有利 (王慧, 2017)。本研究中，经微流水处理的杂交鮠肌肉 n-3PUFAs/n-6PUFAs 均在 0.25 以上，可作为优质脂肪源。微流水处理中鱼体的持续游泳运动可以在一定程度上显著增加鱼肌肉中 PUFA、EPA 和 DHA 的含量，且鱼体在短期饥饿时可能会使脂肪酸代谢通路发生改变，在停食处理时倾向于先利用机体中的饱和脂肪酸和单不饱和脂肪酸，而保存对生命代谢更为重要的多不饱和脂肪酸 (Huang *et al.*, 2021; Zajic *et al.*, 2013)。本研究结果显示，微流水处理 8 d 时其 PUFA 含量显著高于 4 d 和 12 d，与对照组含量差异不显著，与草鱼 (陈周等, 2020; 阮秋凤等, 2021) 处理过程与研究结果相似，而鳊鱼 (高琴等, 2021) 的 PUFA 含量则在处理过程中始终低于对照组，这可能是品种的差异和处理过程中流速不同造成的 (Huang *et al.*, 2021)。

此外，有研究表明，脂肪酸的组成与肉类风味有关，如亚油酸能够带来甜味；花生四烯酸和反式亚油酸的氧化水解则能提高 1-辛烯-3-醇的含量，为肉制品带来蘑菇香和青草香味 (李文博等, 2019; Lü *et al.*, 2018)。微流水净化能够提高杂交鮠肌肉中 PUFA 的含量，风味物质沉积的多元化，使其在具有较高营养价值的同时也有更好的风味品质。

4 结论

经短期微流水处理后，杂交鮠“先锋 1 号”体色更加明亮，处理 8 d 时肌纤维密度最高，硬度、咀嚼性和弹性显著高于对照组，呈现更受消费者青睐的表观和质构特性。虽然微流水处理 8 d 时肌肉中粗蛋白和粗脂肪含量显著下降，但氨基酸总量变化不显著，

且其 EAAI 大于 75%; 单不饱和脂肪酸总量和 n-6 多不饱和脂肪酸(n-6PUFAs)总量显著高于 4 d 和 12 d 组。因此, 短期微流水处理在保证肌肉营养品质的同时, 可有效改善其体色和肌肉颜色, 提高其口感, 最适处理时间为 8 d。

参 考 文 献

- ADEYEYE E I. Evaluation of the amino acid profile of the yolk and albumen of guinea fowl (*Numida meleagris*) egg. *Elixir Applied Biology*, 2012, 47: 8799–8803
- AN D, XIAO Q, ZHANG C, *et al.* Preparation, characterization, and application of high-whiteness agar bleached with hydrogen peroxide. *Food Hydrocolloids*, 2021, 113: 106520
- BJØRNEVIK M, KARLSEN Ø, JOHNSTON I A, *et al.* Effect of sustained exercise on white muscle structure and flesh quality in farmed cod (*Gadus morhua* L.). *Aquaculture Research*, 2003, 34(1): 55–64
- BURR G S, WOLTERS W R, SCHRADER K K, *et al.* Impact of depuration of earthy-musty off-flavors on fillet quality of Atlantic salmon, *Salmo salar*, cultured in a recirculating aquaculture system. *Aquacultural Engineering*, 2012, 50: 28–36
- CHEN X M, GAO D X, LI Z Y, *et al.* Effects of Astaxanthin on growth, body color and antioxidation of *Pelteobagrus fulvidraco*. *Feed Industry*, 2022, 43(4): 21–24 [陈秀梅, 高东旭, 李祖洋, 等. 虾青素对黄颡鱼生长、体色及抗氧化性的影响. *饲料工业*, 2022, 43(4): 21–24]
- CHEN Z, HU Y, AN Y Q, *et al.* Quality improvement of short-time micro-flow water treatment on the flesh of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) cultured in a pond. *Journal of Fisheries of China*, 2020, 44(7): 1198–1210 [陈周, 胡杨, 安玥琦, 等. 短时间微流水处理对池塘养殖草鱼肌肉品质的提升作用. *水产学报*, 2020, 44(7): 1198–1210]
- CHENG H H, XIE C X, LI D P, *et al.* The study of muscular nutritional components and fish quality of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) in ecological model of cultivating grass carp with grass. *Journal of Fisheries of China*, 2016, 40(7): 1050–1059 [程辉辉, 谢从新, 李大鹏, 等. 种青养鱼模式下的草鱼肌肉营养成分和品质特性. *水产学报*, 2016, 40(7): 1050–1059]
- DAVISON W, GOLDSPIK G. The effect of training on the swimming muscles of the goldfish (*Carassius auratus*). *Journal of Experimental Biology*, 1978, 74(1): 115–122
- DONG L X, YU Y L, MAO T, *et al.* Analysis of muscle quality variations of *Ictalurus punctatus* reared in internal-circulation pond aquaculture. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2021, 28(7): 914–924 [董立学, 喻亚丽, 毛涛, 等. 池塘内循环流水养殖斑点叉尾鲷肌肉品质的分析. *中国水产科学*, 2021, 28(7): 914–924]
- FENG D P, DONG J F, ZHANG J P, *et al.* Comparison and quality evaluation of nutritive composition in muscle of *Schizothorax prenanti* reared in cages and flowing water. *Chinese Journal of Fisheries*, 2017, 30(4): 17–22 [冯德品, 董舰峰, 张金平, 等. 网箱与微流水养殖的齐口裂腹鱼肌肉营养成分的比较与分析. *水产学杂志*, 2017, 30(4): 17–22]
- GAO Q, AN Q Q, CHEN Z, *et al.* The effect of short-term micro-flow water treatment on the muscle taste quality of bighead carp cultures in ponds. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2021, 45(5): 1057–1066 [高琴, 安玥琦, 陈周, 等. 短时微流水处理对池塘养殖鳊鱼肌肉滋味品质的影响. *水生生物学报*, 2021, 45(5): 1057–1066]
- GAO Y, BI B L, KONG L F, *et al.* Effect of low temperature crosslinking time on gel properties of tilapia minced meat surimi induced by acid. *Science and Technology of Food Industry*, 2020, 41(10): 26–31 [高宇, 毕保良, 孔令富, 等. 低温交联时间对酸诱导罗非鱼碎肉鱼糜凝胶特性的影响. *食品工业科技*, 2020, 41(10): 26–31]
- GUAN L L, LIU X H, TIAN H N, *et al.* Fillet quality difference of triploid rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) cultured under different modes. *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. *水生生物学报*, 2022, 46(7): 1016–1028]
- GUO X D. Quality Improvement of circulating water starvation treatment on the muscle of blunt snout bream. Doctoral Dissertation of Hua Zhong Agricultural University, 2019 [郭晓东. 循环水暂养处理对团头鲂肌肉品质的提升作用. 华中农业大学博士研究生学位论文, 2019]
- HU W H, LÜ H, FAN Q X, *et al.* Influence of the purification time in micro- water purification aquaculture system of the meat quality of *Aristichys nobles*. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2019, 43(5): 1056–1061 [胡伟华, 吕昊, 樊启学, 等. 净化时间对微流水系统中鳊品质影响的研究. *水生生物学报*, 2019, 43(5): 1056–1061]
- HUANG X, HEGAZY A M, ZHANG X. Swimming exercise as potential measure to improve flesh quality of cultivable fish: A review. *Aquaculture Research*, 2021, 52(12): 5978–5989
- HUGHES J M, CLARKE F M, PURSLOW P P, *et al.* Meat color is determined not only by chromatic heme pigments but also by the physical structure and achromatic light scattering properties of the muscle. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2020, 19(1): 44–63
- HURLING R, RODELL J, HUNT H. Fiber diameter and fish texture. *Journal of Texture Studies*, 1996, 27(6): 679–685
- IBARZ A, FELIP O, FERNADEZ B J, *et al.* Sustained swimming improves muscle growth and cellularity in gilthead sea bream. *Journal of Comparative Physiology B: Biochemical, Systemic, and Environmental Physiology*, 2011, 181(2): 209–217
- JI D. Effects of dietary sodium chloride, starvation and flowing water on growth and flesh quality of grass carp

- (*Ctenopharyngodon idella*). Master's Thesis of Shanghai Ocean University, 2020 [冀东. 饲料中添加氯化钠以及饥饿、流水对草鱼(*Ctenopharyngodon idella*)生长性能和肌肉品质的影响. 上海海洋大学硕士研究生学位论文, 2020]
- JIN G, LI J, QI Y, *et al.* Study on the source and physiological function of polyunsaturated fatty acids. *Feed Review*, 2018(4): 23–25 [靳革, 李娟, 齐悦, 等. 多不饱和脂肪酸的来源及生理功能研究. *饲料博览*, 2018(4): 23–25]
- JING D T, YANG F, YU D W, *et al.* Reasons for quality deterioration of obscure pufferfish fillets during frozen storage. *Progress in Fishery Sciences*, 2019, 40(5): 166–174 [景电涛, 杨方, 余达威, 等. 暗纹东方鲀冻藏品质劣化的原因解析. *渔业科学进展*, 2019, 40(5): 166–174]
- JOHNSTON I A, ALDERSON R, SANDHAM C, *et al.* Muscle fibre density in relation to the colour and texture of smoked Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture*, 2000, 189(3/4): 335–349
- LI W B, LUO Y L, LIU C, *et al.* Effects of feeding patterns on volatile flavor components and fatty acid composition of Sunit sheep meat. *Food Science*, 2019, 40(24): 207–213 [李文博, 罗玉龙, 刘畅, 等. 饲养方式对苏尼特羊肉挥发性风味成分和脂肪酸组成的影响. *食品科学*, 2019, 40(24): 207–213]
- LI W Q, LI X Q, LENG X J, *et al.* Preliminary study on flesh quality evaluation of *Siniperca chuatsi* (Basiewsky). *Science and Technology of Food Industry*, 2010, 31(9): 114–117, 121 [李文倩, 李小勤, 冷向军, 等. 鳊鱼肌肉品质评价的初步研究. *食品工业科技*, 2010, 31(9): 114–117, 121]
- LI X M, YUAN J M, FU S J, *et al.* The effect of sustained swimming exercise on the growth performance, muscle cellularity and flesh quality of juvenile qingbo (*Spinibarbus sinensis*). *Aquaculture*, 2016, 465: 287–295
- LI Y D. Occurrence of body color and expression analysis of related genes during the early development of different fishes of *Amphiprion*. Master's Thesis of Shanghai Ocean University, 2022 [李迎娣. 双锯鱼属(*Amphiprion*)不同鱼种早期发育过程中体色的发生及相关基因的表达分析. 上海海洋大学硕士研究生学位论文, 2022]
- LIU J F, HUANG L, HE J X, *et al.* Study on the effects of holding culture for fattening after autumn on the quality of large-sized commercial crabs. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2020, 48(5): 106–108 [刘家丰, 黄龙, 何吉祥, 等. 秋后暂养育肥对大规格商品蟹品质的影响研究. *安徽农业科学*, 2020, 48(5): 106–108]
- LIU M H, LUO H Z, FU R B, *et al.* Biochemical composition amino acid and fatty acid composition in juvenile of mllchthys mlluy under short-time starvayion. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2009, 33(2): 230–235 [柳敏海, 罗海忠, 傅荣兵, 等. 短期饥饿胁迫对鲢鱼生化组成、脂肪酸和氨基酸组成的影响. *水生生物学报*, 2009, 33(2): 230–235]
- LÜ H, HU W, XIONG S B, *et al.* Depuration and starvation improves flesh quality of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*). *Aquaculture Research*, 2018, 49(9): 3196–3206
- MARTIN C I, JOHNSTON I A. Endurance exercise training in common carp *Cyprinus carpio* L. induces proliferation of myonuclei in fast muscle fibres and slow muscle fibre hypertrophy. *Journal of Fish Biology*, 2006, 69(4): 1221–1227
- MARTIN C I, JOHNSTON I A. The role of myostatin and the calcineurin-signalling pathway in regulating muscle mass in response to exercise training in the rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* Walbaum. *Journal of Experimental Biology*, 2005, 208(11): 2083–2090
- PALMERI G, TURCHINI G M, KEAST R, *et al.* Effects of starvation and water quality on the purging process of farmed Murray cod (*Maccullochella peelii peelii*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2008, 56(19): 9037–9045
- PULLELA S V, FERNANDES C F, FLICK G J, *et al.* Quality comparison of aquacultured pacu (*Piaractus mesopotamicus*) fillets with other aquacultured fish fillets using subjective and objective sensorial traits. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 2000, 9(1): 65–76
- QIAN Z X, XU Y Q, FANG Y F. Effects of starvation on fish. *Bulletin of Biology*, 2006(6): 9–11 [钱周兴, 徐永清, 方一峰. 饥饿对鱼类的影响. *生物学通报*, 2006(6): 9–11]
- RUAN Q F, AN Y Q, CHEN Z, *et al.* Effect-time micro-flow water treatment on flavor quality of grass carp fish meat. *Journal of Food Science and Technology*, 2021, 39(3): 30–42, 51 [阮秋凤, 安玥琦, 陈周, 等. 短时间微流水处理对草鱼鱼肉风味品质的影响. *食品科学技术学报*, 2021, 39(3): 30–42, 51]
- SHI C, WANG J, YANG Z, *et al.* Sustained swimming training is associated with reversible filet texture changes of European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.). *Frontiers in Physiology*, 2019, 10: 725
- SONG H M, QU Z W, WANG X J, *et al.* Analysis and assessment for nutritional components of the muscle of *Datnioides pulcher*. *Progress in Fishery Sciences*, 2020, 41(5): 177–184 [宋红梅, 屈政委, 汪学杰, 等. 印尼拟松鲷肌肉营养成分分析与评价. *渔业科学进展*, 2020, 41(5): 177–184]
- SUN W B, ZHOU M R, HOU M D, *et al.* Comparing the effects of pond and rice field culture methods on muscle quality of rice flower carp. *Progress in Fishery Sciences*, 2023, 44(2): 196–204 [孙文波, 周明瑞, 侯梦丹, 等. 稻田和池塘养殖禾花鲤肌肉营养与品质分析. *渔业科学进展*, 2023, 44(2): 196–204]
- TOTLAND G K, KRYVI H, JØDESTØL K A, *et al.* Growth and composition of the swimming muscle of adult Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) during long-term sustained swimming.

- Aquaculture, 1987, 66(3): 299–313
- WANG G Y, YU Y L, HE L, *et al.* Analysis and evaluation of nutritional composition for the juvenile hybrid F₁. *Freshwater Fisheries*, 2021, 51(2): 72–80 [王贵英, 喻亚丽, 何力, 等. 杂交鲂“先锋 1 号”肌肉营养成分分析及品质评价. *淡水渔业*, 2021, 51(2): 72–80]
- WANG H. Effects of different cultivation methods on nutrition and flavor quality of female swimming crab (*Portunus trituberculatus*). Master's Thesis of Shanghai Ocean University, 2017 [王慧. 不同养殖方式对雌体三疣梭子蟹营养与风味品质的影响. 上海海洋大学硕士研究生学位论文, 2017]
- WANG X, MA H, ZHU D M, *et al.* Karyotype and cellular DNA content of culter hybrid F₁ *Erythroculter ilishaeformis* (♀) *Ancherythroculter nigrocauda* (♂) “Xianfeng No.1”. *Fisheries Science*, 2021, 40(3): 347–353 [王鑫, 马浩, 祝东梅, 等. 杂交鲂“先锋 1 号”染色体组型分析和 DNA 含量测定. *水产科学*, 2021, 40(3): 347–353]
- WANG Y Q, DING D M. New cultivars of aquaculture- Juvenile Hybrid F₁. *Hunan Agriculture*, 2019(2): 17 [王燕青, 丁德明. 水产养殖新品种——杂交鲂“先锋 1 号”. *湖南农业*, 2019(2): 17]
- ZAJIC T, MRAZ J, SAMPELS S, *et al.* Fillet quality changes as a result of purging of common carp (*Cyprinus carpio* L.) with special regard to weight loss and lipid profile. *Aquaculture*, 2013, 400: 111–119
- ZHANG W, XIA S, ZHU J, *et al.* Growth performance, physiological response and histology changes of juvenile blunt snout bream, *Megalobrama amblycephala* exposed to chronic ammonia. *Aquaculture*, 2019, 506: 424–436
- ZHONG J X, LI J W, JIE X Y, *et al.* Effects of short-term starvation on meat quality of *Trachinotus ovatus*. *Journal of Jinan University (Natural Science and Medicine)*, 2018, 39(5): 394–401 [钟金香, 李俊伟, 颀晓勇, 等. 短期饥饿处理对卵形鲳鲹鱼肉品质的影响. *暨南大学学报(自然科学与医学版)*, 2018, 39(5): 394–401]
- ZHOU D, HAN Y N, ZHOU D R, *et al.* Comparative analysis of meat quality of California perch under different breeding modes. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2021, 49(6): 146–149 [周聃, 崔雁娜, 周冬仁, 等. 不同养殖模式下加州鲈鱼肉质比较分析. *江苏农业科学*, 2021, 49(6): 146–149]
- ZHU Z, SONG B, LIN X, *et al.* Effect of sustained training on glycolysis and fatty acids oxidation in swimming muscles and liver in juvenile tinfoil barb *Barbonymus schwanenfeldii* (Bleeker, 1854). *Fish Physiology and Biochemistry*, 2016, 42(6): 1807–1817

(编辑 陈 辉)

Quality Improvement of Short-Time Micro-Flow Water Treatment on the Flesh of Juvenile Hybrid F₁ Fish Cultured in Ponds

YU Yali^{1,2}, LI Qing^{1,3}, ZHANG Lang^{1,2}, SUN Yanhong^{1,3}, LU Xiaorong^{1,2},
WEI Huijie^{1,3}, CHEN Jian^{1,3}, LI Pei^{1,3}, GAO Yin'ai^{1,3}, WANG Guiying^{1,3}①

(1. Fisheries Research Institute, Wuhan Academy of Agricultural Sciences, Wuhan 430207, China;

2. Yangtze River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Ministry of Agriculture Laboratory of Quality & Safety Risk Assessment for Aquatic Product, Wuhan 430223, China;

3. Wuhan Xianfeng Aquaculture Technology Company Limited, Wuhan 430207, China)

Abstract Hybrid F₁ is a novel hybrid of *Erythroculter ilishaeformis* (♀) and *Ancherythroculter nigrocauda* (♂). Current studies have focused on the genetic features, evaluation of fillet quality, farming techniques, and so on. Meanwhile, few studies have addressed enhancing fillet quality. Traditional intensive pond aquaculture is the major culture method in China. A large amount of excreta and feed residuals remaining in the aquaculture water bodies restricts the critical nutrients, flesh texture, and taste of the fillet. In this study, juvenile hybrid F₁ cultured in ponds was obtained from the seed farm (Wuhan Xianfeng Aquaculture Technology Company Limited, Wuhan, Hubei) as the study subject. The fish was treated with short-term micro-flow water (1.2 BL/s) to improve muscle quality. The effects of treatment time (0, 4, 8, and 12 d) on muscle quality in juvenile hybrid F₁ flesh were investigated following

① Corresponding author: WANG Guiying, E-mail: 469926648@qq.com

short-term micro-flow water treatment by assessing the color, muscle fiber, texture, nutrient composition, and the contents of amino acid and fatty acid. The color of the samples was determined by a CR-400 automatic chromaticity meter (Konica Minolta, Japan), wherein the color was expressed by L , a^* , and b^* . The skin yellowness values were significantly higher at treated 8 d and 12 d, while the short-term micro-flow water treatment significantly influenced muscle redness ($P < 0.05$). The texture property of fish is one of the keys to its quality. The juvenile hybrid F_1 flesh showed a significant improvement in fiber density, hardness, chewiness, and springiness by 70.96%, 92.04%, 198.99%, and 35.71% compared with the control group, respectively after 8 d treatment. Frozen fresh samples were lyophilized for the following analysis. Kjeldahl and Soxhlet-Henkel methods were used for the determination of total, crude protein ($N=6.25$) and fat content respectively. The protein and fat content significantly decreased in the flesh following the extension of micro-flow water treatment time, while the ash content did not significantly change ($P > 0.05$, the same below). The amino acid content presented the highest values of glutamic acid, followed by proline, and the lowest values in cystine among the 17 amino acids detected in the fillet of juvenile hybrid F_1 . The amino acid composition was assayed by a Hitachi L-8900 automatic amino acid analyzer. The amino acids EAA/TAA of all groups were about 40%, and the amino acids EAA/NEAA was over 60%, which were high-quality proteins complied with the Food and Agriculture Organization of the United Nations and the World Health Organization (FAO/WHO) standards. Umami flavors are closely related to the composition and ratio of umami amino acid. The content of total amino acids and essential amino acids showed a decreasing trend under the influence of micro-flow water. The total of delicious amino acid treated at 4 d were significantly higher than those of juvenile hybrid F_1 treated at 8 d and 12 d. The TAA content and total EAA content did not dramatically change. The essential amino acid index (EAAI) is used to indicate how close the essential amino acid content is to the standard protein. EAAI were 77.33%, 74.91%, 76.56% and 76.75%, respectively. The fatty acid composition was assayed using gas chromatography (Agilent 7890A, USA). Nineteen kinds of fatty acids were detected in the muscle of juvenile hybrid F_1 , including 5 kinds of saturated fatty acids, 6 kinds of monounsaturated fatty acids, and 8 kinds of polyunsaturated fatty acids, respectively. The micro-flow water significantly affected the fatty acid content in muscle. The content of *cis*-15-tetracosenoic acid (6.85 mg/100 g), eicosatrienoic acid (41.05 mg/100 g), and arachidonate (53.84 mg/100 g) was significantly higher than that in the other groups after treatment for 8 d. Meanwhile, the content of α -linolenic acid (48.05 mg/100 g), monounsaturated fatty acid (MUFA) (1 336.43 mg/100 g), and n-6 polyunsaturated fatty acids (524.43 mg/100 g) were higher than that in the other groups at 4 d and 12 d. This study indicated that short-term micro-flow water treatment improves the color of skin and meat, and the meat texture at 8 d while ensuring the quality of the flesh. The short-term micro-flow water treatment can help to provide new ideas to improve the quality of aquatic products cultured in ponds.

Key words Hybrid F_1 ; Micro-flow water treatment; Texture; Muscle quality