

文章编号: 1674-5566(2026)01-0057-15

DOI: 10.12024/jsou. 20250104765

不同暂养时间对青鱼表型特征、鱼体健康及肌肉品质的影响

孙海霞^{1,2,3}, 邵仙萍^{1,2,3}, 叶金云^{1,2,3}, 吴成龙^{1,2,3}, 明建华^{1,2,3}, 陈景龙^{1,2,3},
张显睿^{1,2,3}

(1. 湖州师范学院 生命科学学院,浙江 湖州 313000; 2. 湖州师范学院 水生动物繁育与营养国家地方联合工程实验室,浙江 湖州 313000; 3. 湖州师范学院 浙江省水生生物资源养护与开发技术研究重点实验室,浙江 湖州 313000)

摘要: 为探索不同暂养时间对青鱼表型特征、鱼体健康及肌肉品质的影响,以池塘养殖平均质量为(3.30±0.12)kg的青鱼(*Mylopharyngodon piceus*)为研究对象,在室内进行28 d暂养,试验期间投喂商用青鱼配合饲料(粗蛋白30.05%),分别检测暂养0(对照组)、7、14、21和28 d青鱼的形体指标、生理生化指标、体色、肌肉的肉色、质构特性、常规营养成分、氨基酸组成、土腥味物质含量及挥发性物质等。结果显示:暂养期间青鱼体色的亮度和白度显著降低($P<0.05$),肉色的亮度和白度先下降再上升($P<0.05$);暂养14、21和28 d肌肉咀嚼性及弹性显著升高($P<0.05$);暂养21 d肌肉中苯丙氨酸含量增加($P<0.05$);暂养期间肌肉及肝胰脏土腥味物质含量降低($P<0.05$);暂养21和28 d的肌肉中2-庚酮、1-辛烯-3-醇、2-戊基呋喃等愉悦气味等物质含量增加。与对照组相比,暂养21和28 d青鱼肝体比及血清甘油三酯含量、高密度脂蛋白胆固醇含量、谷丙转氨酶活性、谷草转氨酶活性和肝胰脏及肌肉丙二醛含量显著降低($P<0.05$),总抗氧化能力显著升高($P<0.05$)。综上,暂养14 d可以降低青鱼中土腥味物质含量。暂养21 d可以提升青鱼肝胰脏及肌肉抗氧化活性、提高鱼肉弹性及咀嚼性。

关键词: 青鱼; 暂养时间; 鱼体健康; 肌肉品质; 土腥味

中图分类号: S 965.111 文献标志码: A

鱼类的肌肉品质直接受到养殖环境的影响,因此优化养殖条件是提升其整体品质的重要策略^[1]。池塘养殖是我国主要的淡水鱼类养殖方式,但经池塘养殖的淡水鱼因带有土腥味而导致市场消费率降低。实际生产中常以将其置于清水池中的暂养方式来提升鱼肉品质^[2]。对上市前鱼类进行暂养处理可以改善其肌肉品质^[3]。暂养处理包括暂养时间、养殖模式、养殖环境、投喂频率、饲料等诸多因素,其中,暂养时间是影响鱼肉品质效果的关键因素之一^[4]。研究表明,暂养20 d左右可以提高黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*)肌肉中氨基酸含量及肌肉的弹性^[5];暂养20 d可以提高鳙(*Aristichthys nobilis*)肌肉的硬度、弹性及咀嚼性^[6];暂养处理8 d,显著提高团头鲂(*Megalobrama amblycephala*)肌肉的弹性^[7]。暂

养6~20 d可以改善鳙^[8]、鳕鱼(*Maccullochella peelii peelii*, Mitchell)^[9]、草鱼(*Ctenopharyngodon idella*)^[10-11]和鲫(*Carassius auratus*)^[12]的肉质口感和风味品质。暂养10~15 d能够在保持大西洋鲑鱼(*Salmo salar*)肌肉色度的同时减少肌肉不良气味^[13]。暂养7~16 d可以降低白梭吻鲈(*Sander lucioperca*)^[14]、欧洲白鱼(*Coregonus lavaretus*)^[15]肌肉土臭素含量。暂养14 d能显著降低鲤(*Cyprinus carpio* L.)^[16]机体脂肪含量,提高鱼肉的质量和品质。暂养8 d,在保证杂交鮰“先锋1号”(*Erythroculter ilishaformis* ♀ and *Ancherythroculter nigrocauda* ♂, Hybrid F₁)肌肉营养品质的同时,可有效改善体色和肉色,增加肌肉硬度、弹性、咀嚼性,提升肌肉口感^[1]。暂养40 d能促进黄颡鱼肝脏健康,同时提高鱼体肌肉品质^[17]。上述研究表

收稿日期: 2025-01-23 修回日期: 2025-05-09

基金项目: 国家现代农业产业技术体系(CARS-45-10)

作者简介: 孙海霞(1998—),女,硕士研究生,研究方向为水产动物营养与饲料。E-mail:s1097578076@163.com

通信作者: 邵仙萍, E-mail:shaoxp2019@163.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>

明暂养可以提高鱼体抗氧化酶活性、改善鱼体表型特征及提升肌肉品质,但是暂养效果受鱼类品种、时间和养殖环境等因素的影响^[18]。

青鱼(*Mylopharyngodon piceus*),俗称青鲩、乌青、螺蛳青等,具有生长速度快、鱼肉细嫩鲜美、少肌间刺、营养价值高等特点,是我国重要的淡水养殖鱼类^[19]。青鱼主要通过传统池塘养殖生产,因受养殖密度、饲料投饵量、水质等因素影响,池塘养殖青鱼的鱼肉品质有所降低^[20]。目前水产养殖中缺少不同暂养时间对青鱼表型特征、鱼体健康及肌肉品质的影响的研究。因此,本试验以池塘养殖青鱼为研究对象,分析在不同暂养时间下青鱼的形体指标、生理生化指标、体色、肌肉的肉色、质构特性、常规营养成分、氨基酸组成、土腥味物质含量及挥发性物质的变化,以探讨不同暂养时间对青鱼鱼体健康及肌肉品质的影响,旨在为青鱼上市前短期暂养改善品质提供基础数据及理论参考。

1 材料与方法

1.1 试验设计与饲养管理

试验青鱼购自浙江湖州菱湖养殖场,选取规格一致的青鱼作为研究对象,平均体质量为(3.30±0.12)kg,平均体长为(55.12±0.78)cm。试验在湖州师范学院水生生物养殖基地中进行,周期为28 d。其间投喂商用青鱼配合饲料(蛋白含量30.05%),每日09:00投喂1次,投喂率为0.5%。放养40尾青鱼于直径5 m、深度0.9 m、水深0.8 m的养殖池。试验期间保证24 h流水,流速100 L/h,水温保持18~20 °C,pH约7.2、溶氧量>6 mg/L、氨氮≤0.3 mg/L、亚硝酸盐<0.05 mg/L。饲养期间使用自然光源,每日监测水温、pH和溶氧。试验以暂养0 d的青鱼为对照,每7天采样一次,分别在0、7、14、21和28 d取样,共采样5次,用于检测各项指标。

1.2 样品采集

每次采样随机选取5尾鱼,经MS-222麻醉后(200 mg/L)称重,测量鱼全长、体长。用色差仪(CR-400, Konica Minolta,日本)测量侧线以上背部体色。每尾鱼在尾静脉处采血,经3 500 r/min,4 °C离心10 min,吸取上清液保存于-80 °C备用,用于血清生化指标的测定。剖开青鱼腹部,称取各内脏团及肝胰脏重量,用来计算形体指标。去

鳞片随后剖皮,用色差仪测量背肌白肉肉色。取背肌(3 cm×3 cm×1 cm)、侧肌(3 cm×3 cm×0.5 cm),进行质构测定。剩余背肌用于测定肌肉常规营养成分、氨基酸组成及土腥味物质含量。

1.3 形体指标测定

肥满度(Condition factor, CF)、肝体比(Hepatosomatic index, HSI)、脏体比(Viscerosomatic index, VSI)、肠系膜脂肪指数(Mesenteric fat index, MFI)计算公式:

$$I_{CF} = W_a / L_a^3 \times 100 \quad (1)$$

$$I_{HSI} = D_b / W_a \times 100\% \quad (2)$$

$$I_{VSI} = D_c / W_a \times 100\% \quad (3)$$

$$I_{MFI} = D_d / W_a \times 100\% \quad (4)$$

式中: I_{CF} 为肥满度,g/cm³; I_{HSI} 为肝体比,%; I_{VSI} 为脏体比,%; I_{MFI} 为肠系膜脂肪指数,%。 W_a 为鱼体总质量,g; L_a 为鱼体体长,cm; D_b 、 D_c 和 D_d 分别为肝胰脏质量、内脏质量、肠系膜脂肪质量,g。

1.4 血液生化指标测定

血清样品中总蛋白(Total protein, TP)、白蛋白(Albumin, ALB)、球蛋白(Globulin, GLB)、甘油三酯(Triglycerides, TG)、总胆固醇(Total cholesterol, T-CHO)、高密度脂蛋白胆固醇(High-density lipoprotein cholesterol, HDL-C)、低密度脂蛋白胆固醇(Low-density lipoprotein cholesterol, LDL-C)含量,碱性磷酸酶(Alkaline phosphatase, AKP)、酸性磷酸酶(Acid phosphatase, ACP)、谷草转氨酶(Aspartate aminotransferase, AST)、谷丙转氨酶(Alanine aminotransferase, ALT)活性,均使用南京建成生物工程研究所的试剂盒测定,具体方法参考试剂盒说明书。

1.5 肝胰脏及肌肉抗氧化指标测定

取保存于-80 °C的肝胰脏及肌肉,放置于4 °C冰箱解冻,用生理盐水按照质量体积比1:4制成组织匀浆液,在4 °C条件下以3 000 r/min离心10 min,取上清液用于测定总抗氧化能力(Total-antioxidant capacity, T-AOC)、丙二醛(Malondialdehyde, MDA)含量、超氧化物歧化酶(Total-superoxide dismutase, T-SOD)、谷胱甘肽过氧化物酶(Glutathione peroxidase, GSH-Px)、过氧化氢酶(Catalase, CAT)活性,均使用南京建成生物工程研究所的试剂盒测定,具体方法参考试剂盒说明书。

1.6 体色及肌肉色测定

使用色差仪依次测量鱼体体色3个点,之间间隔相同距离鳞片(图1内A、B、C)。去鳞片后剖皮,露出背肌白肉,在A位置用色差仪测量肉色。其中,测量值 L^* 代表亮度, L^* 值越大亮度越强,取值0~100; a^* 代表红绿程度, $+a^*$ 为红色方向, $-a^*$ 为绿色方向,取值-60~+60; b^* 代表黄蓝程度, $+b^*$ 为黄色方向, $-b^*$ 为蓝色方向,取值-60~+60^[21]。白度(W)计算公式:

$$W=100-[(100-L^*)^2+a^*+b^*]^{1/2} \quad (5)$$

式中:W为白度; L^* 为亮度; a^* 为红绿值; b^* 为黄蓝值。



A. 体色、肉色测量点;B、C. 体色测量点。

A. Body color and flesh color measurement points; B and C. Body color measurement points.

图1 青鱼体色及肉色测量点

Fig. 1 Body color and flesh color measurement points of *Mylopharyngodon piceus*

1.7 肌肉质构测定

参照陈艳婷等^[22],稍作修改。使用物性测试仪(TA.XT.PlusC型,StableMicroSystems,英国)分别对青鱼背肌及侧肌进行质构分析(Texture profile analysis, TPA),主要包括硬度、坚实度、咀嚼性、弹性。选择A MORS方法进行硬度、坚实度、咀嚼性检测,测试前的速度为2 mm/s,测试速度为2 mm/s,测试后速度为2 mm/s。采用型号为P 1SP的圆柱形探头进行弹性检测,测试前速度为2 mm/s,测试速度为2 mm/s,测试后速度为30 mm/s。

1.8 肌肉营养成分测定

肌肉营养成分测定采用国标法。干物质含量采用(105±2)℃烘箱烘至恒重的方法测定(GB 5009.3—2016);粗蛋白质含量采用杜马斯全自动快速定氮仪测定(GB 5009.5—2016);粗脂肪含量采用索氏抽提法测定(GB 5009.6—2016);粗灰分含量采用马弗炉于550℃灼烧法测定(GB 5009.4—2016)。氨基酸(除色氨酸外)含量采用日立L-8900全自动氨基酸分析仪(Hitachi L-8900,Hi-tachi,日本)测定。

肌肉营养品质评定方法根据FAO/WHO建议

的氨基酸评分标准模式^[23]和全鸡蛋蛋白质的氨基酸模式^[24],分别计算氨基酸评分(Amino acid score, AAS)、化学评分(Chemical score, CS)及必需氨基酸指数(Essential amino acid index, EAAI)^[25]。计算公式:

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。

$$E_{AAI}=[(M_1 \times M_2 \times M_3 \times \cdots \times M_n) / N_1 \times N_2 \times N_3 \times \cdots \times N_n]^{1/n} \times 100 \quad (6)$$

式中:1、2、3、…,n为不同种氨基酸; M_1 、 M_2 、 M_3 、…, M_n 为青鱼肌肉中各氨基酸含量; N_1 、 N_2 、 N_3 、…, N_n 为全鸡蛋蛋白质中相对应氨基酸含量。

1.9 肌肉中土腥味物质测定

根据邹剑敏等^[26]分析方法检测肌肉中土腥味物质含量。采用气相色谱-质谱联用仪(Gas chromatography-mass spectrometer, GC-MS)测定背肌土臭素(Geosmin, GSM)和肝胰脏2-甲基异莰醇(2-methylisoborneol, 2-MIB)的含量。GSM和2-MIB测定色谱条件:使用规格为30 m×0.25 mm, 0.25 μm的DB-5MS色谱柱;升温程序按照起始温度50℃,保持1 min,以10℃/min的速率升温至200℃,保持1 min,以20℃/min的速率升温至220℃,保持1 min;不分流进样;进样口温度250℃;进样口压力:7.66 psi;总流量:44 mL/min;载气为氦气(He)。质谱条件:电子电离源(Electron ionization, EI);离子化能量70 eV;离子源温度230℃;MS四极杆温度150℃;输线温度250℃;溶剂延迟5 min;GSM和2-MIB定量离子质荷比(m/z)分别为112和95。

1.10 肌肉中挥发性物质测定

根据史亚兴等^[27]分析方法检测肌肉中的挥发性物质。采用顶空气相离子迁移谱(Headspace gas chromatography-ion mobility spectrometry, HS-GC-IMS, 德国G.A.S.公司和美国Agilent公司)风味分析仪进行分析检测。取3.00 g背肌鱼肉置于20 mL顶空瓶中,60℃孵育15 min,进样针温度70℃。选用HP-5MS色谱柱(30 m×250 μm×0.25 μm),升温程序按照起始温度45℃,保持5 min,以10℃/min的速率升温至

100 °C, 保持 10 min, 以 10 °C/min 的速率升温至 150 °C, 保持 1 min; 柱温 45 °C, 载气/漂移气为氮气 (99.999%), IMS 温度 80 °C, 分析时间 40.5 min。

1.11 数据统计与分析

试验数据采用统计学方法进行处理, 利用 SPSS 26.0 软件对试验数据组间差异进行单因素方差分析(One-way ANOVA), 以及 Duncan 氏多

重比较完成检验, 以 $P<0.05$ 为差异显著标准, 试验结果均采用平均值±标准误(Mean±SE)表示。

2 结果

2.1 不同暂养时间下青鱼形体指标的变化

由表 2 可知: 暂养 14、21、28 d 青鱼肝体比与 0 d 相比显著下降($P<0.05$)。各组间肥满度、脏体比、肠系膜脂肪指数无显著差异($P>0.05$)。

表 1 不同暂养时间下青鱼形体指标的变化

Tab. 1 Changes in morphometric indices of black carp at different temporary rearing durations

项目 Items	暂养时间 Temporary rearing duration/d				
	0	7	14	21	28
肥满度 CF/(g/cm ³)	2.06±0.04	2.03±0.04	1.86±0.03	1.90±0.03	1.92±0.14
肝体比 HSI/%	1.28±0.10 ^a	1.18±0.05 ^{ab}	1.06±0.07 ^b	0.96±0.03 ^b	0.97±0.02 ^b
脏体比 VSI/%	8.21±0.07	7.87±0.49	7.81±0.27	7.81±0.20	7.31±0.27
肠系膜脂肪指数 MFI/%	4.81±0.20	4.19±0.22	4.50±0.33	4.11±0.30	4.44±0.26

注: 同行数据肩标不同小写字母表示差异显著($P<0.05$), 相同或无字母表示差异不显著($P>0.05$)。

Notes: In the same row, values with different small letter superscripts show significantly difference ($P<0.05$), while with the same or no letter superscripts show no significant difference ($P>0.05$).

2.2 不同暂养时间下青鱼生化指标的变化

各试验组 HDL-C 含量及 ALT 活性与 0 d 相比显著降低($P<0.05$)。暂养 21 d、28 d 鱼体血清中 TG 含量及 AST 活性与 0 d 相比显著降低($P<$

0.05)。暂养期间, 各组间青鱼血清 TP、ALB、GLB、LDL-C 含量、AKP、ACP 活性差异均不显著($P>0.05$)。见表 2。

表 2 不同暂养时间下青鱼血清生化指标的变化

Tab. 2 Changes in serum biochemical indices of black carp at different temporary rearing durations

项目 Items	暂养时间 Temporary rearing duration/d				
	0	7	14	21	28
总蛋白 TP/(g/L)	27.63±0.73	27.74±0.53	27.74±0.46	27.78±0.56	27.48±0.35
白蛋白 ALB/(g/L)	15.84±0.92	16.69±1.35	17.08±1.35	15.50±0.31	13.56±0.59
球蛋白 GLB/(g/L)	11.78±0.61	11.04±1.65	10.66±1.16	12.28±0.56	13.92±0.34
碱性磷酸酶 AKP/(U/L)	8.30±0.54	8.31±0.58	7.78±0.71	7.97±0.84	6.13±0.71
酸性磷酸酶 ACP/(U/L)	7.05±0.50	7.24±0.57	6.15±0.25	7.35±0.44	5.99±0.24
甘油三酯 TG/(mmol/L)	2.79±0.20 ^a	2.75±0.12 ^a	2.39±0.13 ^{ab}	2.27±0.12 ^b	2.01±0.05 ^b
总胆固醇 T-CHO/(mmol/L)	3.44±0.29	3.89±0.16	3.61±0.31	3.74±0.13	3.47±0.16
高密度脂蛋白胆固醇 HDL-C/(mmol/L)	1.39±0.01 ^a	1.32±0 ^b	1.33±0 ^b	1.32±0 ^b	1.32±0.01 ^b
低密度脂蛋白胆固醇 LDL-C/(mmol/L)	1.31±0.13	1.70±0.11	1.45±0.23	1.71±0.07	1.74±0.06
谷丙转氨酶 ALT/(U/L)	4.61±0.28 ^a	2.13±0.12 ^b	2.39±0.15 ^b	1.89±0.11 ^b	1.91±0.17 ^b
谷草转氨酶 AST/(U/L)	22.02±1.97 ^a	18.34±1.39 ^{ab}	18.09±1.45 ^{ab}	15.99±1.07 ^b	14.82±1.36 ^b

注: 同行数据肩标不同小写字母表示差异显著($P<0.05$), 相同或无字母表示差异不显著($P>0.05$)。

Notes: In the same row, values with different small letter superscripts show significantly difference ($P<0.05$), while with the same or no letter superscripts show no significant difference ($P>0.05$).

不同暂养时间下青鱼肝胰脏及肌肉抗氧化能力的变化如表 3 所示。与 0 d 相比, 暂养 14、21、28 d 时青鱼肝胰脏 MDA 含量显著降低, T-AOC 显著升高($P<0.05$)。暂养期间, 各组间青鱼肝胰脏 T-SOD、CAT、GSH-Px 活性无显著差异

($P>0.05$)。各组间青鱼肌肉中 T-SOD、CAT 活性无显著差异($P>0.05$)。各试验组青鱼肌肉 MDA 含量与 0 d 相比显著降低($P<0.05$)。暂养 21、28 d 青鱼肌肉中 T-AOC 显著高于 0 d($P<0.05$)。

表3 不同暂养时间下青鱼肝胰脏及肌肉抗氧化能力的变化

Tab. 3 Changes in antioxidant capacity of liver and muscle of black carp at different temporary rearing duration

项目 Items	暂养时间 Temporary rearing duration/d				
	0	7	14	21	28
肝胰脏抗氧化能力 Liver antioxidant capacity					
总超氧化物歧化酶 T-SOD/(U/mg prot)	142.29±2.94	142.68±2.93	141.14±2.92	141.83±1.55	142.63±1.49
过氧化物酶 CAT/(U/mg prot)	9.82±0.98	9.39±1.27	9.49±0.83	9.62±0.89	9.65±1.14
谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/(μmol/L)	338.09±24.14	368.34±13.76	383.32±10.81	361.63±18.84	358.12±15.26
总抗氧化能力 T-AOC/(U/mg prot)	1.59±0.27 ^b	2.13±0.12 ^{ab}	2.74±0.17 ^a	2.60±0.20 ^a	2.76±0.11 ^a
丙二醛 MDA/(mmol/mg prot)	0.83±0.07 ^a	0.68±0.08 ^{ab}	0.56±0.05 ^b	0.53±0.03 ^b	0.60±0.04 ^b
肌肉抗氧化能力 Muscle antioxidant capacity					
总超氧化物歧化酶 T-SOD/(U/mg prot)	21.11±0.41	21.39±0.67	22.41±0.38	22.06±0.60	21.86±0.62
过氧化氢酶 CAT/(U/mg prot)	2.52±0.31	2.96±0.30	2.34±0.35	2.18±0.32	2.02±0.29
总抗氧化能力 T-AOC/(U/mg prot)	0.25±0.02 ^b	0.26±0.04 ^b	0.38±0.06 ^{ab}	0.49±0.03 ^a	0.43±0.04 ^a
丙二醛 MDA/(mmol/mg prot)	3.24±0.21 ^a	2.67±0.14 ^b	2.25±0.11 ^b	2.22±0.16 ^b	2.24±0.08 ^b

注:同行数据肩标不同小写字母表示差异显著($P<0.05$),相同或无字母表示差异不显著($P>0.05$)。

Notes: In the same row, values with different small letter superscripts show significantly difference ($P<0.05$), while with the same or no letter superscripts show no significant difference ($P>0.05$).

2.3 不同暂养时间下青鱼体色与肉色的变化

不同暂养时间下青鱼体色的变化如表4所示。部位A、B各试验组青鱼体色的 L^* 、 b^* 、 W 显著低于0 d ($P<0.05$),各组 a^* 无显著差异 ($P>0.05$)。

0.05)。暂养7、14、21 d部位C青鱼体色的 L^* 、 W 显著低于0 d ($P<0.05$),暂养28 d青鱼体色的 a^* 显著低于0 d和暂养14 d,各试验组 b^* 显著低于0 d ($P<0.05$)。

表4 不同暂养时间下青鱼体色的变化

Tab. 4 Changes in body color of black carp at different temporary rearing durations

测量部位 Measuring area	项目 Items	暂养时间 Temporary rearing duration/d				
		0	7	14	21	28
A	L^*	37.02±0.57 ^a	28.13±1.73 ^b	29.21±1.39 ^b	27.42±0.60 ^b	29.85±1.02 ^b
	a^*	1.74±0.24	1.45±0.15	1.60±0.09	1.46±0.06	1.41±0.06
	b^*	1.52±0.25 ^a	-0.99±0.29 ^b	-0.76±0.34 ^b	-1.22±0.06 ^b	-0.68±0.25 ^b
	W	36.97±0.57 ^a	28.10±1.73 ^b	29.18±1.39 ^b	27.40±0.60 ^b	29.83±1.02 ^b
B	L^*	38.24±0.95 ^a	29.86±1.93 ^b	31.15±1.72 ^b	29.52±0.89 ^b	32.77±1.18 ^b
	a^*	1.35±0.20	1.21±0.10	1.39±0.07	1.13±0.17	1.05±0.12
	b^*	1.46±0.20 ^a	-0.57±0.33 ^b	-0.32±0.38 ^b	-0.76±0.16 ^b	-0.32±0.26 ^b
	W	38.20±0.95 ^a	29.84±1.93 ^b	31.13±1.72 ^b	29.51±0.89 ^b	32.75±1.18 ^b
C	L^*	37.67±0.72 ^a	30.17±2.36 ^b	30.77±1.35 ^b	30.53±1.42 ^b	33.73±0.95 ^{ab}
	a^*	1.52±0.09 ^a	1.20±0.17 ^{ab}	1.43±0.02 ^a	1.11±0.13 ^{ab}	0.90±0.11 ^b
	b^*	0.83±0.42 ^a	-0.97±0.27 ^b	-0.68±0.24 ^b	-0.97±0.38 ^b	-0.69±0.26 ^b
	W	37.64±0.71 ^a	30.15±2.37 ^b	30.74±1.35 ^b	30.51±1.43 ^b	33.72±0.95 ^{ab}

注:同行数据肩标不同小写字母表示差异显著($P<0.05$),相同或无字母表示差异不显著($P>0.05$)。

Notes: In the same row, values with different small letter superscripts show significantly difference ($P<0.05$), while with the same or no letter superscripts show no significant difference ($P>0.05$).

不同暂养时间下青鱼肉色的变化如表5所示。暂养14 d青鱼肉色的L*和W显著低于0 d,但是随着暂养时间继续延长,21 d、28 d时青鱼肉色的L*和W显著高于14 d($P<0.05$),与0 d无显

著差异($P>0.05$)。暂养14 d青鱼肉色的a*显著高于暂养7 d($P<0.05$)。暂养28 d青鱼肉色的b*显著高于暂养7 d、21 d($P<0.05$)。

表5 不同暂养时间下青鱼肉色的变化

Tab. 5 Changes in flesh color of black carp at different temporary rearing durations

项目 Items	暂养时间 Temporary rearing duration/d				
	0	7	14	21	28
L*	45.19±0.31 ^a	43.44±0.79 ^a	41.07±0.52 ^b	43.82±0.23 ^a	43.66±0.48 ^a
a*	-0.23±0.22 ^{ab}	-1.19±0.31 ^b	0.10±0.49 ^a	-0.76±0.03 ^{ab}	-0.21±0.21 ^{ab}
b*	-0.94±0.43 ^{ab}	-1.54±0.28 ^b	-0.87±0.55 ^{ab}	-1.33±0.12 ^b	0.18±0.25 ^a
W	45.17±0.31 ^a	43.40±0.78 ^a	41.04±0.52 ^b	43.80±0.23 ^a	43.65±0.48 ^a

注:同行数据肩标不同小写字母表示差异显著($P<0.05$),相同或无字母表示差异不显著($P>0.05$)。

Notes: In the same row, values with different small letter superscripts show significantly difference ($P<0.05$), while with the same or no letter superscripts show no significant difference ($P>0.05$)。

2.4 不同暂养时间下青鱼肌肉质构的变化

不同暂养时间下青鱼肌肉质构的变化如表6所示。暂养14 d青鱼背肌硬度显著低于0 d和其余试验组($P<0.05$)。暂养21 d青鱼背肌坚实度高于暂养14 d($P<0.05$)。暂养14、21、28 d青鱼背肌弹性显著高于0 d($P<0.05$)。与0 d相比,暂养期间青鱼背肌咀嚼性呈升高趋势,但各组间无显著差异($P>0.05$)。暂养7 d青鱼侧肌硬度显著低

于0 d和暂养21 d、28 d($P<0.05$)。暂养28 d侧肌坚实度显著高于暂养14 d($P<0.05$)。暂养14、21、28 d侧肌咀嚼性和弹性显著高于0 d和暂养7 d($P<0.05$)。

2.5 不同暂养时间下青鱼肌肉常规营养成分的变化

由表7可知:不同暂养时间对青鱼肌肉常规营养成分未产生显著影响($P>0.05$),其中,粗脂肪呈下降趋势,但是差异不显著($P>0.05$)。

表6 不同暂养时间下青鱼肌肉质构的变化

Tab. 6 Changes in muscle texture of black carp at different temporary rearing durations

项目 Items	暂养时间 Temporary rearing durations/d				
	0	7	14	21	28
背肌 Dorsal muscle					
硬度 Hardness/(g/s)	50.36±0.61 ^a	49.38±0.99 ^a	46.03±1.16 ^b	49.24±0.54 ^a	50.77±0.46 ^a
坚实度 Solidity/g	66.00±0.89 ^{ab}	65.27±0.95 ^{ab}	63.63±0.77 ^b	66.75±0.84 ^a	65.97±0.35 ^{ab}
咀嚼性 Chewiness/(g·s)	49.39±0.63	49.52±1.44	50.30±0.94	51.87±0.72	51.47±0.47
弹性 Springiness/%	41.69±1.10 ^b	43.68±0.71 ^{ab}	45.99±0.83 ^a	45.07±0.79 ^a	45.01±0.30 ^a
侧肌 Lateral muscle					
硬度 Hardness/(g/s)	60.19±0.49 ^a	57.38±0.89 ^b	59.11±0.93 ^{ab}	61.55±0.68 ^a	61.54±0.55 ^a
坚实度 Solidity/g	50.43±1.05 ^{ab}	49.39±1.29 ^{ab}	45.43±1.17 ^b	50.35±1.40 ^{ab}	51.16±1.97 ^a
咀嚼性 Chewiness/(g·s)	38.26±0.56 ^b	39.87±0.59 ^b	42.83±0.44 ^a	42.51±0.81 ^a	42.77±0.82 ^a
弹性 Springiness/%	37.32±0.59 ^b	38.75±0.69 ^b	42.84±0.64 ^a	42.43±0.70 ^a	41.76±0.60 ^a

注:同行数据肩标不同小写字母表示差异显著($P<0.05$),相同或无字母表示差异不显著($P>0.05$)。

Notes: In the same row, values with different small letter superscripts show significantly difference ($P<0.05$), while with the same or no letter superscripts show no significant difference ($P>0.05$)。

表7 不同暂养时间下青鱼鱼体肌肉常规营养成分的变化(干物质基础)

Tab. 7 Changes in conventional nutrient composition of black carp muscle at different temporary rearing duration(DM basis)

项目 Items	暂养时间 Temporary rearing duration/d					%
	0	7	14	21	28	
干物质DM	27.89±0.61	27.67±0.47	27.33±0.51	27.40±0.25	27.45±0.41	
灰分Ash	5.34±0.06	5.31±0.17	5.14±0.17	5.41±0.26	5.29±0.15	
粗蛋白质CP	77.15±1.41	77.31±0.65	77.15±0.90	77.52±0.94	78.79±1.27	
粗脂肪EE	9.93±0.62	9.73±0.63	9.61±0.67	9.32±0.42	9.30±0.56	

注:同行数据肩标不同小写字母表示差异显著($P<0.05$),相同或无字母表示差异不显著($P>0.05$)。

Notes: In the same row, values with different small letter superscripts show significantly difference ($P<0.05$), while with the same or no letter superscripts show no significant difference ($P>0.05$).

2.6 不同暂养时间下青鱼肌肉氨基酸组成及氨基酸评分的变化

暂养 21 d 青鱼肌肉必需氨基酸(EAA)中苯丙氨酸(Phe)含量显著高于暂养 0 d、7 d、28 d($P<0.05$) ;其余各组 EAA 含量及总必需氨基酸

丙氨酸(Phe)含量显著高于暂养 0 d、7 d、28 d($P<0.05$) ;其余各组 EAA 含量及总必需氨基酸

丙氨酸(Phe)含量显著高于暂养 0 d、7 d、28 d($P<0.05$) ;其余各组 EAA 含量及总必需氨基酸

表8 不同暂养时间下青鱼肌肉氨基酸组成及含量的变化(干物质基础)

Tab. 8 Changes in amino acid composition and content of black carp muscle at different temporary rearing indicates(DM basis)

项目 Items	暂养时间 Temporary rearing duration/d					%
	0	7	14	21	28	
必需氨基酸 EAA						
苯丙氨酸 Phe	2.99±0.04 ^b	2.97±0.05 ^b	3.12±0.10 ^{ab}	3.28±0.05 ^a	2.97±0.12 ^b	
组氨酸 His	2.68±0.11	2.70±0.04	2.70±0.06	2.78±0.04	2.82±0.05	
异亮氨酸 Ile	3.17±0.21	3.22±0.09	3.37±0.07	3.50±0.06	3.41±0.08	
赖氨酸 Lys	6.66±0.13	7.09±0.07	6.68±0.15	7.04±0.13	6.77±0.18	
亮氨酸 Leu	5.93±0.20	5.95±0.12	5.84±0.11	5.84±0.17	6.24±0.14	
蛋氨酸 Met	2.06±0.04	2.06±0.03	2.14±0.08	2.15±0.06	2.23±0.07	
精氨酸 Arg	4.06±0.12	3.97±0.06	4.15±0.11	3.74±0.19	3.88±0.09	
苏氨酸 Thr	3.13±0.06	3.18±0.07	3.07±0.10	3.31±0.05	3.32±0.09	
缬氨酸 Val	3.69±0.15	3.70±0.07	3.77±0.08	3.82±0.06	3.92±0.09	
总必需氨基酸 TEAA	34.34±0.79	34.83±0.32	34.85±0.56	35.47±0.35	35.56±0.63	
非必需氨基酸 NEAA						
丙氨酸 Ala	4.17±0.09	4.19±0.09	4.29±0.07	4.24±0.08	4.32±0.11	
半胱氨酸 Cys	0.44±0.02	0.50±0.06	0.44±0.01	0.42±0	0.45±0.03	
天冬氨酸 Asp	7.22±0.11	7.45±0.10	7.58±0.11	7.24±0.14	7.24±0.19	
谷氨酸 Glu	11.16±0.16 ^{ab}	11.35±0.14 ^{ab}	10.91±0.11 ^b	11.15±0.09 ^{ab}	11.46±0.18 ^a	
甘氨酸 Gly	3.37±0.06 ^{bc}	3.54±0.05 ^{ab}	3.23±0.08 ^c	3.64±0.05 ^a	3.70±0.08 ^a	
脯氨酸 Pro	9.01±0.16 ^a	9.07±0.19 ^a	9.13±0.17 ^a	8.33±0.19 ^b	8.88±0.15 ^{ab}	
丝氨酸 Ser	2.85±0.09	2.99±0.11	2.88±0.09	2.96±0.04	3.12±0.12	
酪氨酸 Tyr	2.64±0.10 ^{ab}	2.49±0.05 ^b	2.60±0.03 ^{ab}	2.73±0.04 ^a	2.63±0.07 ^{ab}	
总非必需氨基酸 TNEAA	40.86±0.60	41.59±0.44	41.05±0.39	40.71±0.31	41.80±0.70	
总氨基酸 TAA	75.20±1.31	76.42±0.74	75.90±0.92	76.19±0.61	77.36±1.29	
EAA/TAA	45.65±0.36 ^b	45.58±0.12 ^b	45.90±0.22 ^{ab}	46.56±0.17 ^a	45.96±0.20 ^{ab}	
NEAA/TAA	54.35±0.36 ^a	54.42±0.12 ^a	54.10±0.22 ^{ab}	53.44±0.17 ^b	54.04±0.20 ^{ab}	
EAA/NEAA	84.04±1.20 ^b	83.77±0.40 ^b	84.87±0.75 ^{ab}	87.13±0.59 ^a	85.07±0.70 ^{ab}	

注:同行数据肩标不同小写字母表示差异显著($P<0.05$),相同或无字母表示差异不显著($P>0.05$)。

Notes: In the same row, values with different small letter superscripts show significantly difference ($P<0.05$), while with the same or no letter superscripts show no significant difference ($P>0.05$).

肌肉非必需氨基酸(NEAA)中谷氨酸(Glu)、甘氨酸(Gly)含量暂养28 d显著高于暂养14 d($P<0.05$)。脯氨酸(Pro)含量暂养21 d最低($P<0.05$)。酪氨酸(Tyr)含量暂养21 d显著高于暂养7 d($P<0.05$)。EAA/TAAs、EAA/NEAA的值暂养21 d显著高于暂养0 d、7 d, NEAA/TAAs值则相反($P<0.05$);其余各组NEAA含量及总必需氨基酸(TNEAA)与0 d相比差异不显著($P>0.05$)。EAA/TAAs、EAA/NEAA值暂养21 d显著高于暂养0 d、7 d, NEAA/TAAs值则相反($P<0.05$)。见表8。

由表9可知:AAS、CS评分结果都显示,不同暂养时间下半胱氨酸+蛋氨酸(Cys+Met)评分最低,其次为缬氨酸(Val),所以Cys+Met被认为是第一限制性氨基酸,Val被认为是第二限制性氨基酸。EAAI各组没有显著差异($P>0.05$)。

2.7 不同暂养时间下青鱼土腥味物质的变化

不同暂养时间下青鱼土腥味物质的变化如图2~3所示。各试验组背肌GSM含量和肝胰脏2-MIB含量显著低于0 d($P<0.05$)。

2.8 不同暂养时间下青鱼肌肉挥发性物质的变化

为进一步了解挥发性物质的变化,对不同暂养时间下青鱼肌肉进行Gallery plot指纹图谱分析。斑点的亮度表示物质的浓度,颜色越浅表示浓度越低,一些物质含量较高具有二聚体、三聚体结构^[28-31]。由图4可知,在青鱼肌肉中共鉴定出52种挥发性物质,包括醛类8种、酮类9种,醇类20种,酯类4种、其他11种。结果显示,青鱼肌肉中含有较多的醇类、酮类、醛类物质,随着暂养时间的延长,暂养21 d、28 d 2-庚酮、1-辛烯-3-醇、

2-戊基呋喃,暂养21 d酮类物质2-辛酮、3-辛酮等具有香气的物质含量相对升高。4-甲基-1-戊醇各试验组斑点亮度显著低于对照组,显示暂养可以显著降低不愉快气味的相对含量。其余挥发性物质在暂养期间变化不明显,提示随着暂养时间的延长,可以提高青鱼肌肉中香味道,降低异味。

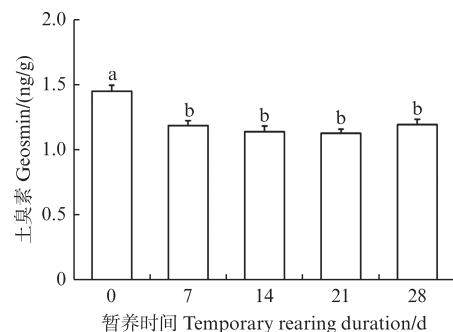
3 讨论

3.1 不同暂养时间对青鱼表型特征的影响

肝体比、脏体比等形体指标是衡量鱼体生长发育与健康水平的一个重要指标^[30]。本研究显示,暂养14、21、28 d青鱼肝体比显著降低,肝体比越小,表明鱼体的肝胰脏负荷控制在自我调控的范围内,可以防止发生肝病^[31],说明暂养对青鱼的肝胰脏健康有一定促进作用。本研究中,青鱼的肥满度、脏体比及肠系膜脂肪指数各组没有发生显著变化,但随着暂养时间的延长整体呈下降趋势,鱼体肝体比下降会减少脂肪在肝胰脏的蓄积,因此可以保护肝胰脏健康。付运银等^[17]对黄颡鱼的暂养研究显示,肥满度呈现下降趋势,与本试验结果一致。

3.2 不同暂养时间对青鱼鱼体健康的影响

血清生化指标可以作为衡量鱼类健康状况、营养水平以及组织状态的重要参数^[32-34]。血清ACP与AKP对水产动物的非特异性免疫具有重要意义,血清TP、ACP和AKP等指标均能反映机体健康和免疫状态^[35]。本研究中,暂养期间TP含量、AKP及ACP活性无显著差异,说明暂养不会对青鱼的免疫能力造成影响。袁小琛等^[36]对



数据柱形标注不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

Value columns with different small letters mean significant difference ($P<0.05$).

图2 不同暂养时间下青鱼背肌土臭素含量

Fig. 2 Dorsal muscle geosmin content of black carp at different temporary rearing durations

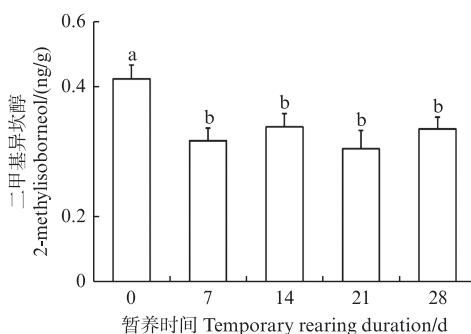
表9 不同暂养时间下青鱼肌肉氨基酸评分AAS、CS及EAAI的变化(干物质基础)

Tab. 9 Changes in muscle amino acid scores AAS, CS and EAAI of black carp at different temporary rearing duration(DM basis)

项目 Items		暂养时间 Temporary rearing duration/d				
		0	7	14	21	28
氨基酸评分 AAS	异亮氨酸 Ile	0.79±0.05	0.81±0.02	0.84±0.02	0.87±0.01	0.85±0.02
	赖氨酸 Lys	1.22±0.02	1.30±0.01	1.23±0.03	1.29±0.02	1.24±0.03
	亮氨酸 Leu	0.84±0.03	0.85±0.02	0.83±0.02	0.83±0.02	0.89±0.02
	苏氨酸 Thr	0.78±0.01	0.79±0.02	0.77±0.02	0.83±0.01	0.83±0.02
	缬氨酸 Val	0.74±0.03 ^{**}	0.75±0.01 ^{**}	0.76±0.02 ^{**}	0.77±0.01 ^{**}	0.79±0.02 ^{**}
	苯丙氨酸+酪氨酸 Phe+Tyr	0.93±0.02 ^{ab}	0.90±0.02 ^b	0.94±0.02 ^{ab}	0.99±0.01 ^a	0.92±0.03 ^{ab}
化学评分 CS	半胱氨酸+蛋氨酸 Cys+Met	0.71±0.01 [*]	0.73±0.01 [*]	0.73±0.02 [*]	0.73±0.02 [*]	0.76±0.03 [*]
	异亮氨酸 Ile	0.60±0.04	0.61±0.02	0.64±0.01	0.66±0.01	0.64±0.02
	赖氨酸 Lys	0.94±0.02	1.00±0.01	0.95±0.02	1.00±0.02	0.96±0.03
	亮氨酸 Leu	0.69±0.02	0.70±0.01	0.68±0.01	0.68±0.02	0.73±0.02
	苏氨酸 Thr	0.67±0.01	0.68±0.02	0.66±0.02	0.71±0.01	0.71±0.02
	缬氨酸 Val	0.56±0.02 ^{**}	0.56±0.01 ^{**}	0.58±0.01 ^{**}	0.58±0.01 ^{**}	0.60±0.01 ^{**}
必需氨基酸指数EAAI	苯丙氨酸+酪氨酸 Phe+Tyr	0.62±0.01 ^{ab}	0.60±0.01 ^b	0.63±0.01 ^{ab}	0.67±0.01 ^a	0.62±0.02 ^{ab}
	半胱氨酸+蛋氨酸 Cys+Met	0.40±0.01 [*]	0.41±0.01 [*]	0.42±0.01 [*]	0.42±0.01 [*]	0.43±0.02 [*]
	必需氨基酸指数EAAI	62.32±1.45	63.27±0.59	63.33±0.91	65.44±0.57	65.42±1.38

注: *表示第一限制氨基酸; **表示第二限制氨基酸。同行数据肩标不同小写字母表示差异显著($P<0.05$), 相同或无字母表示差异不显著($P>0.05$)。

Notes: *indicates the first restricted amino acid; **indicates the second restricted amino acid. In the same row, values with different small letter superscripts show significant difference ($P<0.05$), while with the same or no letter superscripts show no significant difference ($P>0.05$).



数据柱形标注不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

Value columns with different small letters mean significant difference ($P<0.05$).

图3 不同暂养时间下青鱼肝胰脏二甲基异坎醇含量

Fig. 3 Hepatic 2-methylisoborneol content of black carp at different temporary rearing durations

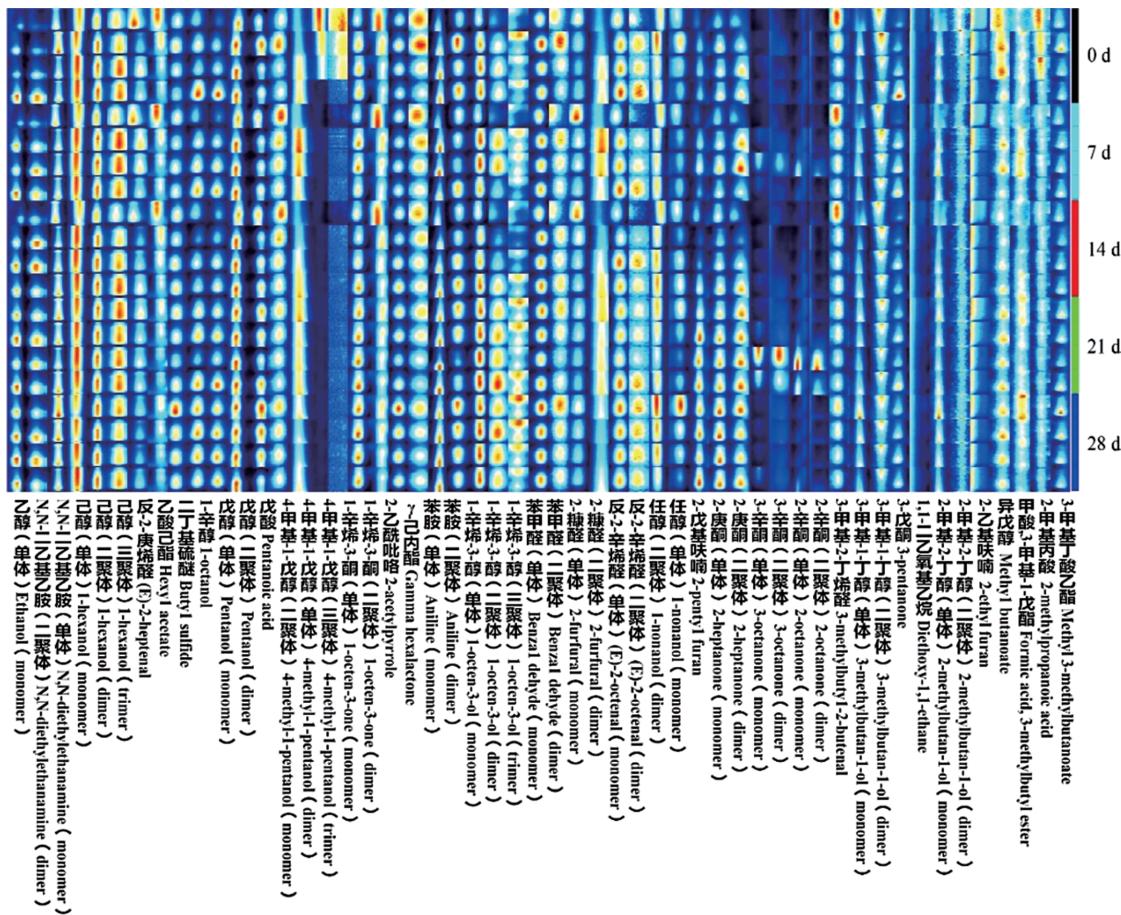
的研究显示,暂养期间AKP无显著差异,与本研究结果一致。血清TC、TG、HDL-C和LDL-C水平通常用来反映体内的脂类代谢情况,是评价血脂的重要指标^[37],防止脂质过高引起机体脂肪肝^[38]。本研究显示,TG含量降低及HDL-C含量升高,表明青鱼对脂肪的吸收能力下降,脂肪在肝胰脏的蓄积减少,机体肝胰脏状态良好。血清中ALT和AST作为机体重要的转氨酶,当肝细胞受损时,血液中ALT和AST的活性就会升高^[37-38]。AST和ALT活性升高通常反映肝胰脏

功能异常,也反映应激状态^[39-40]。本研究显示,暂养期间ALT和AST活性显著低于0 d,原因可能是机体维持正常的生理功能而提高机体的代谢效率,使机体能更好地适应环境。袁小琛等^[36]对鳙的研究显示,暂养14 d血清中ALT活性显著低于0 d、暂养7 d,与本试验结果一致。付运银等^[17]对黄颡鱼的研究显示,暂养40 d黄颡鱼血清中ALT、AST含量显著低于0 d,与本试验结果一致。

MDA是脂质过氧化物的代表产物^[37],T-AOC可反映机体的健康状况,是重要的抗氧化指标。本

试验中,肝胰脏及肌肉中MDA含量试验组显著低于0 d, T-AOC含量暂养21 d、28 d显著高于0 d, 研究表明暂养能影响青鱼的抗氧化系统功能,提升青

鱼肝胰脏抗氧化能力,缓解鱼体应激状态。袁小琛等^[36]对暂养鳙的研究显示,血清中MDA含量暂养14 d显著低于其余组,与本试验结果相似。



同一列中颜色越深表示该物质在此样品中含量越多,反之含量越少。

The darker the color in the same column, the more the substance is present in this sample, and vice versa.

图4 不同暂养时间下青鱼肌肉挥发性物质指纹图谱

Fig. 4 Fingerprint of volatile compounds in black carp at different temporary rearing durations

3.3 不同暂养时间对青鱼肌肉色度的影响

色差是反映水产品品质变化的主要物理指标。当前水产品色泽的检测主要依赖于色差仪,该设备是一种模仿人的眼睛用于测量物体间颜色差异的高精度密度仪器^[40]。本试验结果显示,各试验组青鱼不同部位(A点、B点)体色的亮度、白度显著低于0 d。青鱼肉色的亮度和白度在暂养14 d显著低于0 d 及其余试验组。研究表明随着暂养时间的延长,青鱼体色逐渐变暗,其原因可能与青鱼生活环境相关,本试验条件下青鱼生活水域相比于池塘较小,鱼采食后饲料沉积增加,色素残余较多,因此体色较暗。熊铭等^[41]以斑石鲷(*Oplegnathus punctatus*)为研究对象,采用不同养殖模式对鱼肉品质进行比较,发现池塘养殖体色更亮,与本试验

结果相似。赵蔚蓝等^[21]采用不同养殖模式研究鱼体体色变化,结果显示人工养殖模式体色亮度显著低于野生养殖模式,与本试验结果相似。

3.4 不同暂养时间对青鱼肌肉质构的影响

质构仪是目前最为广泛使用的一种测量鱼肉质地特性的仪器,它能够测量水产品在外力作用下的形变、弯曲等情况,并且不会受到人为影响,是一种有效的感官评定手段^[42]。质地作为一种重要的品质指标,其硬度、坚实度、咀嚼性和弹性是评价其品质的主要指标^[43]。本试验结果显示,暂养14、21、28 d背肌弹性、侧肌弹性、咀嚼性高于0 d;暂养14 d背肌硬度相较于0 d显著下降,但是随着暂养时间延长,硬度回升;而侧肌硬度则是在暂养7 d时显著下降,但是随着暂养时间延长,硬

度回升。研究表明适宜的暂养时间能促使青鱼肉质更有弹性、嚼劲,口感较好,适口性更佳。这也可能与本试验中采用微流水处理有关,微流水处理能增加鱼类的运动强度,减少鱼体脂肪含量,促进肌纤维的生长。鲁强等^[44]以大口黑鲈鱼为研究对象,结果显示暂养10 d后鱼肉弹性显著升高,与本试验结果相一致。LYU等^[11]以草鱼为研究对象,结果显示经过长期暂养,肌肉弹性显著高于不暂养组,与本试验结果相似。

3.5 不同暂养时间对青鱼肌肉常规营养成分的影响

鱼类的蛋白质含量与其营养品质密切相关^[1]。本研究中,暂养时间对青鱼肌肉水分、灰分、粗蛋白、粗脂肪含量没有产生显著影响;但随着暂养时间的延长,青鱼肌肉粗蛋白含量呈上升趋势,粗脂肪含量呈下降趋势。可能是由于池塘养殖模式下因在水流湍急的环境中进行自行觅食等活动,肌肉得到运动训练,肌肉运动能力提高,其中蛋白质含量也会上升^[21]。崔雁娜等^[45]对大口黑鲈进行短期净化研究,肌肉常规营养成分结果各组无显著差异,与本试验结果相似。

3.6 不同暂养时间对青鱼肌肉氨基酸的影响

鱼体肌肉氨基酸组成中,Ile、Phe含量在暂养21 d时较高,表明暂养可提升青鱼肌肉氨基酸营养价值,与付运银等^[17]对黄颡鱼进行暂养后肌肉EAA含量变化相似。根据FAO/WHO的氨基酸理想模式,EAA/TAA及EAA/NEAA分别大于40%和60%,可被认为是质量较好的蛋白质^[46]。本研究中,EAA/TAA高于45%,EAA/NEAA高于85%,说明暂养对青鱼氨基酸比例无影响,进一步说明青鱼肌肉氨基酸比例比较均衡,是质量较好的蛋白质。

AAS、CS、EAAI是评定必需氨基酸营养价值的3个指标,AAS、CS越接近1,EAAI越接近100,代表蛋白质价值越高,营养越均衡^[24]。本研究中,暂养21 d青鱼肌肉中EAAI与标准蛋白质更为接近,可作为人体食用的优质蛋白源,具有较高的营养价值。喻亚丽等^[1]研究显示,杂交鮰“先锋1号”经暂养后有更高的食用价值,与本试验结果相似。

3.7 不同暂养时间对青鱼肌肉土腥味物质的影响

池塘水体中蓝藻和放线菌等细菌通过降解有机物而形成似土壤的腥味物质,以GSM和2-MIB为主,它们易被鱼鳃和皮肤吸收,在鱼体中蓄积^[47]。GSM和2-MIB的含量在鱼体的不同组

织中存在差异^[48]。邹剑敏等^[26]对罗非鱼的肝脏、肌肉、肠道内容物、血液进行GSM和2-MIB测定,结果显示不同组织中GSM均有检出,2-MIB均未检出。本研究中,各试验组背肌中有检出GSM,未检测出2-MIB。肝胰脏中检出2-MIB,未检测出GSM,且各试验组背肌中GSM、肝胰脏中2-MIB含量与0 d相比显著降低,说明在本试验条件下可以达到清除鱼体土腥味物质的作用。鲁强等^[44]以大口黑鲈鱼为研究对象,结果显示暂养16 d鱼肉中土腥味物质显著降低,暂养可以降低鱼体携带的土腥味物质与本试验结果一致。SCHRAMA等^[49]暂养期间饲喂与不饲喂罗非鱼,结果显示土臭素随暂养时间的延长而下降,与本试验结果一致。

3.8 不同暂养时间对青鱼肌肉中挥发性物质的影响

挥发性物质负责鱼产品的整体香气,对感官品质的提升有重要作用^[50]。本研究采用GC-IMS技术对青鱼肌肉中挥发性物质进行鉴定,对检测出的所有化合物按照化合物结构进行分类,主要有酮类、醇类、醛类、酯类等,其中以醇类种类最多,其次为酮类、醛类。1-辛烯-3-醇是一种不饱和醇类,带有一种类似蘑菇、干草气味^[51]。本研究中暂养21、28 d肌肉中1-辛烯-3-醇含量较高,这表明随暂养时间的延长有助于富集较多醇类物质,有助于改善青鱼肌肉的风味。本试验与孙丽慧等^[52]对暂养期间大口黑鲈肌肉风味研究结果一致。大部分酮类化合物有果香、奶油香味,能减少肉腥气味^[53]。2-庚酮具有类似果香、花香和青草香,在大黄鱼^[54]和大口黑鲈^[52]肌肉中有报道。2-戊基呋喃具有青草味,研究报道显示其有助于提高鳙^[55]和三倍体虹鳟鱼^[56]肌肉的整体香气。本研究中2-庚酮、2-戊基呋喃随暂养时间延长含量增加,表明随暂养时间延长利于促进青鱼肌肉愉悦气味的增加。

4 结论

试验表明,暂养14 d青鱼鱼体肝体比、高密度脂蛋白、土腥味物质含量较低,鱼体氧化应激得到缓解;暂养21 d鱼体肝胰脏及肌肉抗氧化活性提升,肌肉的亮度及白度恢复,鱼肉弹性及咀嚼性提高,苯丙氨酸含量增加,肌肉营养价值更高。由此可见,在本试验条件下,暂养在保证较

少体质量损失的同时,能缓解鱼体应激、提高鱼体健康、增加鱼肉弹性、提高肌肉中必需氨基酸含量并减少鱼肉土腥味。因此,暂养有助于改善青鱼健康及鱼肉品质,本研究可为暂养青鱼提升品质提供理论参考。

作者声明本文无利益冲突。

参考文献:

- [1] 喻亚丽,李清,张浪,等. 短期微流水处理对池塘养殖杂交鮰“先锋1号”肌肉品质的影响[J]. 渔业科学进展, 2024, 45(2): 245-256.
- YU Y L, LI Q, ZHANG L, et al. Quality improvement of short-time micro-flow water treatment on the flesh of juvenile hybrid *F₁* fish cultured in ponds[J]. Progress in Fishery Sciences, 2024, 45(2): 245-256.
- [2] GUI J F. Chinese wisdom and modern innovation of aquaculture [J]. Water Biology and Security, 2024, 3 (3): 100271.
- [3] DU H Y, LV H, XU Z R, et al. The mechanism for improving the flesh quality of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) following the micro-flowing water treatment using a UPLC-QTOF/MS based metabolomics method[J]. Food Chemistry, 2020, 327: 126777.
- [4] BAR N. Physiological and hormonal changes during prolonged starvation in fish [J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 2014, 71 (10): 1447-1458.
- [5] ZHOU Y, XIONG Y, HE X L, et al. Depuration and starvation regulate metabolism and improve flesh quality of yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*) [J]. Metabolites, 2023, 13(11): 1137.
- [6] 胡伟华,吕昊,樊启学,等. 净化时间对微流水系统中鮰品质影响的研究[J]. 水生生物学报, 2019, 43(5): 1056-1061.
- HU W H, LYU H, FAN Q X, et al. Influence of the purification time in micro-water purification aquaculture system on the meat quality of *Aristichthys nobles*[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2019, 43(5): 1056-1061.
- [7] 郭晓东,吕昊,刘茹,等. 加工前净化处理对团头鲂肌肉品质的影响[J]. 肉类研究, 2018, 32(12): 1-7.
- GUO X D, LYU H, LIU R, et al. Effect of depuration treatment before processing on the flesh quality of blunt snout bream (*Megalobrama amblycephala*) [J]. Meat Research, 2018, 32(12): 1-7.
- [8] 高琴,安玥琦,陈周,等. 短时微流水处理对池塘养殖鮰鱼肌肉滋味品质的影响[J]. 水生生物学报, 2021, 45 (5): 1057-1066.
- GAO Q, AN Y Q, CHEN Z, et al. The effect of short-term micro-flow water treatment on the muscle taste quality of bighead carp cultured in ponds [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2021, 45(5): 1057-1066.
- [9] PALMERI G, TURCHINI G M, CAPRINO F, et al. Biometric, nutritional and sensory changes in intensively farmed Murray cod (*Maccullochella peelii peelii*, Mitchell) following different purging times [J]. Food Chemistry, 2008, 107(4): 1605-1615.
- [10] 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[J]. 食品科学技术学报, 2021, 39 (3): 30-42, 51.
- RUAN Q F, AN Y Q, CHEN Z, et al. Effect of short-time micro-flow water treatment on flavor quality of grass carp fish meat [J]. Journal of Food Science and Technology, 2021, 39(3): 30-42, 51.
- [11] LYU H, HU W H, XIONG S B, et al. Depuration and starvation improves flesh quality of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) [J]. Aquaculture Research, 2018, 49(9): 3196-3206.
- [12] JIANG Y, ZHAO L, YUAN M L, et al. Identification and changes of different volatile compounds in meat of crucian carp under short-term starvation by GC-MS coupled with HS-SPME [J]. Journal of Food Biochemistry, 2017, 41(3): e12375.
- [13] 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 [J]. Aquacultural Engineering, 2012, 50: 28-36.
- [14] PODDUTURI R, PETERSEN M A, VESTERGAARD M, et al. Case study on depuration of RAS-produced pikeperch (*Sander lucioperca*) for removal of geosmin and other volatile organic compounds (VOCs) and its impact on sensory quality [J]. Aquaculture, 2021, 530: 735754.
- [15] LINDHOLM-LEHTO P C, VIELMA J, PAKKANEN H, et al. Depuration of geosmin- and 2-methylisoborneol-induced off-flavors in recirculating aquaculture system (RAS) farmed European whitefish *Coregonus lavaretus* [J]. Journal of Food Science and Technology, 2019, 56 (10): 4585-4594.
- [16] 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[J]. Aquaculture, 2013, 400-401: 111-119.
- [17] 付运银,郑维友,张恒,等. 开放流水养殖模式下暂养时间对黄颡鱼肌肉品质和营养价值的影响[J]. 水生生物学报, 2023, 47(8): 1342-1352.
- FU Y Y, ZHENG W Y, ZHANG H, et al. Purging time on muscle quality and nutritional value of yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*) under open flowing water mode

- [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2023, 47(8): 1342-1352.
- [18] SAKYI M E, CAI J, AMPOFO-YEBOAH A, et al. Starvation and re-feeding influence the growth, immune response, and intestinal microbiota of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*; Linnaeus 1758) [J]. *Aquaculture*, 2021, 543: 736959.
- [19] 叶金云. 青鱼营养与配合饲料研究现状与展望(一) [J]. *科学养鱼*, 2011, 33(11): 12-14.
- YE J Y. Current status and future prospects of black carp (*Mylopharyngodon piceus*) nutrition and compound feed research (Part 1) (Part 1) [J]. *Scientific Fish Farming*, 2011, 33(11): 12-14.
- [20] TANG H P, MAO S Q, XU X Y, et al. Genetic diversity analysis of different geographic populations of black carp (*Mylopharyngodon piceus*) based on whole genome SNP markers [J]. *Aquaculture*, 2024, 582: 740542.
- [21] 赵蔚蓝, 张婷, 李梦娇, 等. 2种养殖模式下鲫鱼型体、体色和肌肉品质的比较研究 [J]. *中国农学通报*, 2023, 39(36): 148-153.
- ZHAO W L, ZHANG T, LI M J, et al. Comparative study on body parameters, colour and meat quality characteristics of crucian carp (*Carassius auratus*) cultured under two modes [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2023, 39(36): 148-153.
- [22] 陈艳婷, 贾小巍, 钱鹏丞, 等. 饲料中不同脂肪源对青鱼生长性能、血清生化指标及肌肉品质的影响 [J]. *动物营养学报*, 2022, 34(7): 4657-4673.
- CHEN Y T, JIA X W, QIAN P C, et al. Effects of dietary different lipid sources on growth performance, serum biochemical parameters and muscle quality of black carp (*Mylopharyngodon piceus*) [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2022, 34(7): 4657-4673.
- [23] WHO. Protein and amino acid requirements in human nutrition: report of a joint WHO/FAO/UNU expert consultation [M]. Albany: World Health Organization, 2007.
- [24] NOACK R. Energy and protein requirements. Report of a joint FAO/WHO Ad hoc expert committee. WHO Technical Report Series No. 522, 118 S., Genf 1973 [J]. *Food/Nahrung*, 1974, 18(3): 329-332.
- [25] CHEN L H, ZENG W H, RONG Y Z, et al. Compositions, nutritional and texture quality of wild-caught and cage-cultured small yellow croaker [J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2022, 107: 104370.
- [26] 邹剑敏, 卢奇, 桂源, 等. 罗非鱼体内土腥味物质的分布特征研究 [J]. *食品安全质量检测学报*, 2021, 12(19): 7704-7709.
- ZOU J M, LU Q, GUI Y, et al. Study on distribution characteristics of earthy odor in tilapia [J]. *Journal of Food Safety and Quality*, 2021, 12(19): 7704-7709.
- [27] 史亚兴, 董会, 徐丽, 等. 基于电子鼻和GC-IMS技术分析不同类型鲜食玉米的风味差异 [J]. *中国农业科技导报*, 2024, 26(11): 143-156.
- SHI Y X, DONG H, XU L, et al. Flavor differences of different types of fresh corn based on electronic nose and GC-IMS technology [J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2024, 26(11): 143-156.
- [28] XU Y, HU Y, LAN H, et al. Comparative analysis of quality and flavor profiles in raw and pre-cooked large yellow croaker (*Larimichthys crocea*) meat post freezing and reheating [J]. *Food Chemistry*, 2025, 464: 141865.
- [29] CHEN L P, TENG X Y, LIU Y, et al. The dynamic change of flavor characteristics in Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) during depuration uncovered by mass spectrometry-based metabolomics combined with gas chromatography-ion mobility spectrometry (GC-IMS) [J]. *Food Chemistry*, 2024, 434: 137277.
- [30] OLSEN R E, SUONTAMA J, LANGMYHR E, et al. The replacement of fish meal with Antarctic krill, *Euphausia superba* in diets for Atlantic salmon, *Salmo salar* [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2006, 12(4): 280-290.
- [31] GU J Z, ZHANG Q L, HUANG D Y, et al. Effects of partial substitution of enzymatic hydrolysate of poultry by-product meal for fishmeal on the growth performance, hepatic health, antioxidant capacity, and immunity of juvenile largemouth bass (*Micropterus salmoides*) [J]. *Aquaculture Reports*, 2024, 35: 101990.
- [32] HARIKRISHNAN R, NISHA RANI M, BALASUNDARAM C. Hematological and biochemical parameters in common carp, *Cyprinus carpio*, following herbal treatment for *Aeromonas hydrophila* infection [J]. *Aquaculture*, 2003, 221(1/4): 41-50.
- [33] GARCIA F, PILARSKI F, ONAKA E M, et al. Hematology of *Piaractus mesopotamicus* fed diets supplemented with vitamins C and E, challenged by *Aeromonas hydrophila* [J]. *Aquaculture*, 2007, 271 (1/4): 39-46.
- [34] SILVEIRA-COFIGNY R, PRIETO-TRUJILLO A, ASCENCIO-VALLE F. Effects of different stressors in haematological variables in cultured *Oreochromis aureus* S. [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 2004, 139 (4): 245-250.
- [35] ZHANG W N, ZHANG M X, CHENG A Y, et al. Immunomodulatory and antioxidant effects of *Astragalus* polysaccharide liposome in large yellow croaker (*Larimichthys crocea*) [J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2020, 100: 126-136.
- [36] 袁小琛, 陈范, 王光毅, 等. 暂养时间对鳙肌肉品质和营养价值的影响 [J]. *淡水渔业*, 2020, 50(6): 83-91.
- YUAN X C, CHEN F, WANG G Y, et al. Effects of

- purging time on meat quality and nutritional value of *Aristichthys nobilis* [J]. *Freshwater Fisheries*, 2020, 50 (6): 83-91.
- [37] ZHANG P H, ZHANG C, YAO X F, et al. Selenium yeast improve growth, serum biochemical indices, metabolic ability, antioxidant capacity and immunity in black carp *Mylopharyngodon piceus* [J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2024, 146: 109414.
- [38] WU F, TIAN J, YU L J, et al. Effects of dietary rapeseed meal levels on growth performance, biochemical indices and flesh quality of juvenile genetically improved farmed tilapia [J]. *Aquaculture Reports*, 2021, 20: 100679.
- [39] 艾凤, 王连生, 李晋南, 等. 低磷饲料中添加 α -酮戊二酸对松浦镜鲤生长性能、体成分和血清生化指标的影响 [J]. *水生生物学报*, 2018, 42(3): 525-532.
- AI F, WANG L S, LI J N, et al. Effects of α -ketoglutarate supplementation in low-phosphorous diets on growth performance, body composition and serum biochemical indexes of Songpu mirror carp [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2018, 42(3): 525-532.
- [40] LEÓN K, MERY D, PEDRESCHI F, et al. Color measurement in $L^*a^*b^*$ units from RGB digital images [J]. *Food Research International*, 2006, 39(10): 1084-1091.
- [41] 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.
- 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.
- [42] 陈胜军, 张晓凡, 潘创, 等. 水产品品质评价研究进展 [J]. *肉类研究*, 2022, 36(6): 53-59.
- CHEN S J, ZHANG X F, PAN C, et al. Recent progress in quality evaluation of aquatic products [J]. *Meat Research*, 2022, 36(6): 53-59.
- [43] 赵何勇, 陈诏, 徐鸿飞, 等. 海水和淡水养殖关岛红罗非鱼肌肉营养成分及品质特性分析 [J]. *南方农业学报*, 2018, 49(7): 1396-1402.
- ZHAO H Y, CHEN Z, XU H F, et al. Muscular nutritional components and texture profile of marine cultured and fresh water cultured Guam red tilapia (*Oreochromis* spp.) [J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2018, 49(7): 1396-1402.
- [44] 鲁强, 李慷, 李征程, 等. 清水池塘吊水饥饿处理对大口黑鲈品质的提升效果 [J]. *上海海洋大学学报*, 2023, 32(3): 510-521.
- LU Q, LI K, LI Z C, et al. Effect of temporary rearing treatment in clear water pond on the quality improvement of largemouth bass (*Micropterus salmoides*) [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2023, 32(3): 510-521.
- [45] 崔雁娜, 徐磊, 郭水荣, 等. 暂养净化对池塘养殖大口黑鲈营养成分及挥发性风味物质的影响 [J]. *食品安全质量检测学报*, 2023, 14(16): 94-103.
- CUI Y N, XU L, GUO S R, et al. Effects of purification and temporary maintenance on the nutritional components and volatile flavor compounds of *Micropterus salmoides* in pond [J]. *Journal of Food Safety and Quality*, 2023, 14 (16): 94-103.
- [46] YIN M Y, WANG X C. Impact of temperature fluctuations on fatty acid composition and nutritional quality of tilapia fillet (*Oreochromis niloticus*) [J]. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 2024, 18(3): 1679-1689.
- [47] HOWGATE P. Tainting of farmed fish by geosmin and 2-methyl-iso-borneol: a review of sensory aspects and of uptake/depuration [J]. *Aquaculture*, 2004, 234 (1/4): 155-181.
- [48] YARNPAKDEE S, BENJAKUL S, PENJAMRAS P, et al. Chemical compositions and muddy flavour/odour of protein hydrolysate from Nile tilapia and broadhead catfish mince and protein isolate [J]. *Food Chemistry*, 2014, 142: 210-216.
- [49] SCHRAM E, KWADIJK C, HOFMAN A, et al. Effect of feeding during off-flavour depuration on geosmin excretion by Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) [J]. *Aquaculture*, 2021, 531: 735883.
- [50] MU H, WEI Z H, YI L N, et al. Effects of low dietary fish meal on the volatile compounds in muscle of large yellow croaker *Larimichthys crocea* [J]. *Aquaculture Research*, 2017, 48(9): 5179-5191.
- [51] MOREIRA N, ARAÚJO A M, ROGERSON F, et al. Development and optimization of a HS-SPME-GC-MS methodology to quantify volatile carbonyl compounds in Port wines [J]. *Food Chemistry*, 2019, 270: 518-526.
- [52] 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.
- 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.
- [53] ZHAO W T, FAN X K, SHI Z H, et al. Effect of ultrasonic pretreatment with synergistic microbial fermentation on tenderness and flavor of air-dried duck under low nitrite process [J]. *Food Chemistry*, 2024, 24: 101946.
- [54] MU H, WEI Z H, YI L N, et al. Dietary fishmeal levels affect the volatile compounds in cooked muscle of farmed large yellow croaker *Larimichthys crocea* [J]. *Aquaculture Research*, 2017, 48(12): 5821-5834.
- [55] NIU Y X, GAO Q, XIONG S B, et al. The mechanism

- of improving the flavor quality of bighead carp (*Aristichthys nobilis*) by the short-term micro-flowing water treatment [J]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2024, 136: 106763.
- [56] MA R, LIU X H, TIAN H N, et al. Odor-active volatile compounds profile of triploid rainbow trout with different marketable sizes [J]. *Aquaculture Reports*, 2020, 17: 100312.

Effects of different temporary rearing duration on phenotypic characteristics, health status, muscle quality of black carp (*Mylopharyngodon piceus*)

SUN Haixia^{1,2,3}, SHAO Xianping^{1,2,3}, YE Jinyun^{1,2,3}, WU Chenglong^{1,2,3}, MING Jianhua^{1,2,3}, CHEN Jinglong^{1,2,3}, ZHANG Xianrui^{1,2,3}

(1. College of Life Sciences, Huzhou University, Huzhou 313000, Zhejiang, China; 2. National Local Joint Engineering Laboratory of Aquatic Animal Genetic Breeding and Nutrition, Huzhou University, Huzhou 313000, Zhejiang, China; 3. Zhejiang Provincial Key Laboratory of Aquatic Bioresources Conservation and Development Technology, Huzhou University, Huzhou 313000, Zhejiang, China)

Abstract: In order to explore the effects of different temporary rearing duration indoors on phenotypic characteristics, health status and muscle quality of black carp (*Mylopharyngodon piceus*), an indoor feeding trial was conducted. In this experiment, average body mass of (3.30±0.12) kg of pond-raised black carps were used, commercial formulated pellets for black carp (30.05% crude protein) was fed during the trial period, and 28 d of indoor temporary rearing duration was carried out to explore the variations of phenotypic indexes, physiological and biochemical indexes, body color, muscle color, texture property, and contents of conventional nutrients, amino acids, earthy odor substances and volatile compounds in black carps on 0 d (control), 7 d, 14 d, 21 d, and 28 d, respectively. The results showed that: body brightness and whiteness of black carp decreased significantly ($P<0.05$); muscle brightness and whiteness decreased firstly and then increased ($P>0.05$) during the temporary rearing period; muscle chewiness and elasticity increased significantly ($P<0.05$) at 14, 21 and 28 d of staging time; contents of muscle essential amino acids increased ($P<0.05$) at 21 d of staging time; contents of earthy odor substances in muscle and liver decreased ($P<0.05$) during staging time. Compared with the control group, hepatic steatosis index and serum triglyceride content, HDL content, AST and AST activities were significantly decreased ($P<0.05$) at 21 and 28 d of staging time; malondialdehyde contents in liver and muscle were significantly decreased ($P<0.05$) and total antioxidant capacity was significantly increased ($P<0.05$) at 21 and 28 d of staging time, increased content of pleasant odors and other substances such as 2-heptanone, 1-octen-3-ol, and 2-pentylfuran in muscle at 21 and 28 d of staging time. In conclusion, at 14 d of staging time could reduce the content of earthy substances in black carp. At 21 d of staging time increased the antioxidant activity of the liver and muscle of black carp, and improved the elasticity and chewiness of the fish meat.

Key words: *Mylopharyngodon piceus*; temporary rearing duration; health status; muscle quality; off-flavors