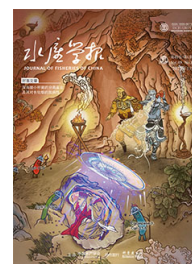


DOI: 10.11964/jfc.20230313953

不同净养时间和养殖密度下大口黑鲈的表型特征、健康状况及肌肉营养品质

胥 晴^{1,2}, 原居林¹, 倪 蒙¹, 邹松保¹, 刘 梅¹, 顾志敏^{1,2,3*}

1. 浙江省淡水水产研究所, 农业农村部淡水渔业健康养殖重点实验室, 浙江省鱼类健康与营养重点实验室, 浙江 湖州 313000; 2. 湖州师范学院生命科学学院, 浙江 湖州 313000; 3. 浙江省农业科学院, 浙江 杭州 310021

第一作者: 胥晴, 从事水产健康养殖研究, E-mail: bmezora76@163.com



摘要:

【目的】探究生态净养模式中不同处理时间及养殖密度对大口黑鲈表型特征、健康状况及肌肉营养品质的影响, 确定最佳净养时间及养殖密度。

【方法】以初始体重为(460.60±12.74)g大口黑鲈为对象, 设置低、中、高3种养殖密度(2.5、7.5和12.5 kg/m³), 结合短期净养(7 d, 不投饲)及长期净养(28 d, 少量投饲)两种投喂模式, 探究大口黑鲈生态净养效果。

【结果】相较于对照组(净养0 d), 鱼体肝体指数、脏体指数及肌肉饱和脂肪酸含量均在净养后显著下降, 而鱼体肥满度及肌肉必需氨基酸占比均显著升高, 必需氨基酸含量、氨基酸评分及必需氨基酸指数普遍随净养时间的延长逐渐升高。相较于短期净养(7 d), 长期净养(28 d)后鱼体重、肥满度及血液总蛋白含量显著增加, 而脏体指数及血液低密度脂蛋白胆固醇含量显著降低; 此外, 不同密度组间对比显示, 肝体指数、脏体指数、血液葡萄糖及低密度脂蛋白胆固醇含量和肌肉饱和脂肪酸含量均因养殖密度的升高而降低, 而血液生化指标、肝脏超氧化物歧化酶含量和肌肉粗蛋白、灰分及必需氨基酸总量普遍在中密度组呈现最高值。

【结论】长期净养更能消耗较多的内脏脂肪、改善鱼体表型特征并提升鱼体肌肉的营养品质。因此, 28 d少量投饲净养结合7.5 kg/m³的养殖密度是大口黑鲈的最适净养策略。本研究为大口黑鲈生态净养模式应用推广提供一定的理论参考。

关键词:大口黑鲈; 净养时间; 养殖密度; 内脏脂肪; 健康状况; 肌肉营养品质

通信作者: 顾志敏, 从事水产种质资源与选择育种研究, E-mail: guzhimin2006@163.com



资助项目: 国家重点研发计划(2020YFD0900105); 浙江省“领雁尖兵”研发项目(2022C02027); 浙江省“三农九方”科技协作计划项目(2022SNJF068, 2023SNJF075)

收稿日期: 2023-03-25
修回日期: 2023-05-25

文章编号:
1000-0615(2025)01-019614-17
中图分类号: S 965.1
文献标志码: A

作者声明本文无利益冲突

©《水产学报》编辑部(CC BY-NC-ND 4.0)
Copyright © Editorial Office of Journal of Fisheries of China (CC BY-NC-ND 4.0)

生态净养是将商品规格鱼类移至清洁水体中进行异位处理, 通过流水暂养与阶段性饥饿处理达到优化鱼体外形、去除土腥味、提升营养价值, 改善鱼肉品质的一种策略。净养时间是影响鱼体肌肉品质改善效果的关键因素之一^[1]。当前鱼类的净养普遍采取少量投饲甚至不投饲(饥饿)的策略, 该策略下的鱼体表型特征会发生明显变化^[2-3], 例如10~15 d的饥饿净养会显著降低斑点叉尾鲟(*Ictalurus punctatus*)



的肝体比和脏体比, 表明净养过程消耗了鱼体多余的内脏脂肪^[4]。因此, 不投饲的净养策略普遍会导致鱼类因自身能量消耗带来明显的体重损失、部分营养流失、死亡率升高等问题^[5-7]。然而, 黑棘鲷 (*Acanthopagrus schlegelii*) 经 21 d 净养后其鱼肉产量并未减少^[8]。另外, 净养 10 d 后的鳙 (*Hypophthalmichthys nobilis*), 其肌肉中粗蛋白含量无显著变化, 肌肉营养价值并未降低^[9]。综上, 净养效果会受饥饿状态下鱼类代谢能力的影响, 肌肉品质改善效果的差异则因养殖品种、大小、净养时间、温度等^[10]不同所致, 同时也提出了能否通过少量投饲的净养策略实现不损失鱼体重且提升肌肉品质的问题。

养殖密度一直是鱼类水产养殖业最为关注的因素之一^[11-15]。此前的研究揭示养殖密度可对水质、鱼类的生长性能、肌肉品质、免疫反应、基因表达、产量以及生态效益产生直接影响^[16-17]。过高的养殖密度带来的拥挤胁迫, 不仅导致鱼体产生强烈的氧化应激反应, 造成机体免疫及相关代谢功能损伤^[18], 降低鱼体肌肉粗蛋白等营养成分^[19]。然而, 过低的养殖密度无法充分利用养殖空间, 导致产量和经济效益受损^[13-15, 20-21]。目前, 养殖密度对鱼类影响的研究多围绕幼鱼展开^[15, 22], 由于幼鱼养殖的水环境、投喂频率、管理策略都明显不同于成品鱼的净养, 且养殖密度对生态净养的结果研究较少, 团头鲂 (*Megalobrama amblycephala*)^[23] 及斑点叉尾鲷^[24] 的研究结果表明生态净养密度需低于日常养殖密度, 而关于生态净养模式下大口黑鲈 (*Micropterus salmoides*) 的最佳密度尚未报道, 因此大口黑鲈的最佳净养密度有待研究。

大口黑鲈俗称加州鲈, 是我国淡水鱼主要养殖品种之一, 具有肉质鲜美、无肌间刺等优点。作为一种重要的商业淡水养殖物种, 据统计 2021 年的产量达 70 万 t 以上^[25]。目前, 国内外的鱼类生态净养实验已有诸多报道, 包括大西洋鲑 (*Salmo salar*)^[26]、真白鲑 (*Coregonus lavaretus*)^[27]、墨瑞鳕 (*Maccullochella peelii*)^[28]、草鱼 (*Ctenopharyngodon idella*)^[29]、鳙^[9]、鲫 (*Carrasius auratus*)^[7]、莫桑比克罗非鱼 (*Oreochromis mossambicus*)^[30]、鲤 (*Cyprinus carpio*)^[31]、团头鲂^[23] 以及黄颡鱼 (*Pelteobagrus fulvidraco*)^[32] 等, 关于生态净养大口黑鲈的研究仅限于时间因素^[33], 尚未见关于养殖密度对大口黑鲈生态净养效果影响的报道。本研究开展了为期 28 d 的

净养实验, 比较了短期净养 (7 d, 不投饲) 和长期净养 (28 d, 少量投饲) 下养殖密度对其表型特征、血液生化指标、肝脏抗氧化酶活性以及肌肉营养品质的影响, 为大口黑鲈的品质提升及生态净养模式商业化应用推广提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 实验设计、养殖管理及样品采集

本研究于 2022 年 4 月开展, 商品规格的大口黑鲈 [(460.60±12.74) g] 采购于湖州市菱湖严氏家庭农场, 活水车运往衢州市开化县廷芳家庭农场, 将规格一致、健康无病的大口黑鲈放入 9 个池中, 净养于水深约 1.5 m 的室外圆形水泥池 (直径 6 m, 深度 2 m)。分别设置低密度组 (2.5 kg/m³, LSD)、中密度组 (7.5 kg/m³, MSD) 及高密度组 (12.5 kg/m³, HSD), 每个实验组各 3 个平行, 以净养 0 d 为初始对照。实验过程中操作人员均严格遵守实验动物伦理规范。

实验开展前, 进行为期 2 d 的暂养, 让鱼适应新的环境。随后持续饥饿 7 d, 第 8 天开始投喂膨化颗粒饲料 (广东海大集团股份有限公司), 每天投喂 2 次 (8:00 和 17:00), 日投喂量为鱼体重的 2%, 每天记录摄食及死亡情况, 及时清除死鱼。在整个净养实验期间, 增氧设备不间断开启, 溶解氧 6.87~9.64 mg/L, 水温 12.6~16.2 °C, pH 7.08~7.60。

分别在净养 0、7 和 28 d 对每个处理组随机取 6 尾, 测量鱼体长和体重, 利用肝素锂真空采血管采集血液。随后解剖鱼体, 称量肝脏、内脏及肠系膜脂肪重量后, 分装于无菌密封袋中, -80 °C 保存备用, 并取鱼体背部肌肉称重后分装于无菌密封袋, -20 °C 保存备用。

1.2 生长指标测定

根据以下公式计算肝体指数 (HSI)、脏体指数 (VSI)、肠系膜脂肪指数 (MFI) 和肥满度 (CF):

$$\text{HSI} (\%) = \frac{W_L}{W} \times 100\%$$

$$\text{VSI} (\%) = \frac{W_V}{W} \times 100\%$$

$$\text{MFI} (\%) = \frac{W_F}{W} \times 100\%$$

$$\text{CF} (\text{g}/\text{cm}^3) = \frac{W}{L^3} \times 100$$

式中, W 为体重 (g), W_L 为肝脏重量 (g), W_V 为内脏重量 (g), W_F 为肠系膜脂肪重量 (g), L 为体长 (cm)。

1.3 血液生化指标测定

解冻后的血液样品分别检测总蛋白 (TP, A045-2-2)、血糖 (GLU, A154-1-1)、甘油三酯 (TG, A110-1-1)、低密度脂蛋白胆固醇 (LDL-C, A113-1-1) 及高密度脂蛋白胆固醇 (HDL-C, A112-1-1) 含量, 上述指标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。

1.4 肝脏抗氧化指标测定

取保存于 $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的肝脏, $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰箱解冻, 滤纸吸干表面血液和水分, 以生理盐水为匀浆介质, 按照 1:9 的比例 (体积比) 制成组织匀浆液, 在 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下以 $3\ 000\ \text{r/min}$ 离心 10 min, 取上清液用于 TP (A045-2-2)、超氧化物歧化酶 (SOD, A001-3-2)、丙二醛 (MDA, A003-1-2) 和过氧化氢酶 (CAT, A007-1-1) 等指标测定, 上述指标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 肌肉营养成分测定

水分采用 GB 5009.3—2016 中的直接干燥法测定; 粗蛋白采用 GB 5009.5—2016 中的凯氏定氮法测定; 粗脂肪采用 GB 5009.6—2016 索氏提取法测定; 灰分采用 GB 5009.4—2016 的第一法测定。氨基酸及脂肪酸含量的测定参照 GB 5009.124—2016 进行。

1.6 营养价值评价

根据 1973 年 FAO/WHO 建议的氨基酸评分标准模式^[34] 和中国预防医学科学院营养与食品卫生研究所提出的全鸡蛋蛋白质的氨基酸模式^[35], 分别计算氨基酸评分 (AAS)、化学评分 (CS) 及必需氨基酸指数 (EAAI)。

氨基酸含量 (mg/g N) =

$$\frac{\text{样品中某一氨基酸含量}(\%) \times 6.25 \times 1\ 000}{\text{样品中粗蛋白含量}(\%)}$$

AAS =

$$\frac{\text{待评价蛋白质中某种必需氨基酸含量}(\text{mg/g N})}{\text{FAO评分模式中某种必需氨基酸含量}(\text{mg/g N})}$$

CS =

$$\frac{\text{待评价蛋白质中某种必需氨基酸含量}(\text{mg/g N})}{\text{鸡蛋蛋白质中某种必需氨基酸含量}(\text{mg/g N})}$$

EAAI =

$$\left(\frac{\text{赖氨酸}_t}{\text{赖氨酸}_s} \times 100 \times \dots \times \frac{\text{缬氨酸}_t}{\text{缬氨酸}_s} \times 100 \right) \frac{1}{n}$$

式中, n 为比较的氨基酸数, t 为实验蛋白质的氨基酸含量 (mg/g N), s 为鸡蛋蛋白质的氨基酸含量 (mg/g N)。

1.7 数据分析

实验数据采用 Office Excel 2016 软件进行处理, 相关的统计分析利用 SPSS v19.0 软件完成。表型特征、血液生化及肝脏抗氧化性指标、脂肪酸成分、氨基酸成分的组间差异利用单因素方差分析 (One-Way ANOVA) 以及 Duncan 氏多重比较完成检验, 显著性水平设置为 $P < 0.05$ 。文中数值均以平均值 \pm 标准误 (mean \pm SE) 表示。

2 结果

2.1 大口黑鲈鱼体表型特征在不同养殖密度和净养时间上的变化

体重和体长在短期净养 (7 d) 过程中随密度增大而增加, 但在长期净养 (28 d) 中却呈下降趋势, 2 个时间点各组间差异均不显著。HSI 和 VSI 都因密度的增加而降低, 尤其是长期净养处理组 ($P < 0.05$) (表 1)。

为了进一步解析鱼体表型特征在整个净养期间的变化规律, 实验混合不同净养密度的数据, 按照时间序列进行分析, 发现不论短期还是长期净养都会显著改变大口黑鲈的表型特征 (表 1)。对于鱼体重及 CF, 相比对照组, 长期净养导致二者分别增加 15% 和 47% ($P < 0.05$), 短期净养的增幅相对较小 (4.5% 和 23%)。然而, 短期和长期净养均会导致体长、HSI、VSI 这 3 个指标显著降低 ($P < 0.05$)。对于 MFI 而言, 短期净养导致内脏肠系脂肪降低 24%, 但长期净养却增加了 9.6%, 这说明短期和长期净养对肠系膜脂肪的积累有着不同的效果。

2.2 大口黑鲈血液生化及肝脏抗氧化性在不同养殖密度和净养时间上的变化

通过比较短期净养内不同密度组间的差异,

表 1 不同养殖密度对大口黑鲈表型特征在短期和长期净养的变化

Tab. 1 Variations of physical indicators of *M. salmoides* reared at different stocking density during short/long-term depuration

形态指标 physical indicators	净养时间/d depuration time	净养密度 stocking density			时间维度 time dimension
		LSD	MSD	HSD	
体重/g body weight	0				460.60 ± 12.74 ^B
	7	455.83 ± 28.47	465.17 ± 31.56	523.32 ± 37.75	481.44 ± 19.22 ^{AB}
	28	566.15 ± 27.07	530.26 ± 31.10	498.33 ± 10.47	531.58 ± 14.92 ^A
体长/cm body length	0				25.98 ± 0.56 ^A
	7	24.23 ± 0.37	24.45 ± 0.35	24.87 ± 0.44	24.52 ± 0.22 ^B
	28	24.35 ± 0.26	24.20 ± 0.52	23.25 ± 0.38	23.93 ± 0.25 ^B
肝体指数/% HSI	0				2.36 ± 0.05 ^A
	7	2.01 ± 0.15	1.96 ± 0.18	1.79 ± 0.07	1.92 ± 0.08 ^B
	28	2.32 ± 0.10 ^a	1.92 ± 0.05 ^b	1.79 ± 0.13 ^b	1.99 ± 0.08 ^B
脏体指数/% VSI	0				5.28 ± 0.12 ^A
	7	4.38 ± 0.35	4.32 ± 0.22	4.02 ± 0.23	4.24 ± 0.15 ^B
	28	3.95 ± 0.15 ^a	3.30 ± 0.11 ^b	3.19 ± 0.19 ^b	3.48 ± 0.12 ^C
肠系膜脂肪指数/% MFI	0				1.86 ± 0.17 ^{AB}
	7	1.63 ± 0.06	1.52 ± 0.12	1.28 ± 0.19	1.48 ± 0.08 ^B
	28	2.14 ± 0.27	1.74 ± 0.11	2.07 ± 0.22	2.04 ± 0.13 ^A
肥满度/% CF	0				2.63 ± 0.11 ^C
	7	3.19 ± 0.11	3.17 ± 0.14	3.40 ± 0.20	3.25 ± 0.09 ^B
	28	3.91 ± 0.06	3.75 ± 0.19	3.83 ± 0.18	3.86 ± 0.08 ^A

注: 不同小写字母表示同行之间差异显著 ($P < 0.05$), 不同大写字母表示同列之间差异显著 ($P < 0.05$); 下同。

Notes: Lowercase superscripts in the same row sharing no letters indicate significant differences among different stocking density groups ($P < 0.05$), while uppercase superscripts in the same column sharing no letters indicates significant difference over depuration time ($P < 0.05$); the same below.

多项血液生化指标 (除了甘油三酯) 均在 LSD 组中检出最高值。然而, 长期净养后的大口黑鲈血液中各项生化指标的最高值普遍出现在 MSD 组, 包括 TP、GLU 和 LDL-C。此外, 通过测定肝脏的 CAT、SOD 和 MDA 的含量来表征鱼体的抗氧化能力。短期和长期净养的影响不一, 唯一的例外是 SOD 含量在 MSD 组都表现出显著较高的水平 ($P < 0.05$) (表 2)。

仅从完整的净养时期来看, 短期和长期的净养都导致甘油三酯含量的升高, 却显著降低总蛋白含量 ($P < 0.05$)。短期净养提高了大口黑鲈血液中的高密度脂蛋白胆固醇 (2.90 vs. 1.87) 和低密度脂蛋白胆固醇 (2.46 vs. 2.29), 但长期净养 (28 d) 却呈现相反的模式 (表 2)。随着净养时间的延长, 鱼体的抗氧化能力 (CAT 及 SOD) 呈逐步下降的趋势, 长期净养后分别呈现 64% 和 48% 的降幅。MDA 含量随着净养时间的延长先升后降 ($P < 0.05$) (表 2)。

2.3 大口黑鲈肌肉常规营养成分在不同养殖密度和净养时间上的变化

短期和长期净养下粗蛋白在不同养殖密度下有着相似的变化规律, 普遍在 MSD 下较高, 而粗脂肪在长期净养下随密度的增长其含量显著降低 ($P < 0.05$), 短期 MSD 组灰分含量显著低于其余密度组 ($P < 0.05$), 水分在两种净养时间下变化相反 (表 3)。从时间维度上看, 不论短期还是长期净养, 通常会导致大口黑鲈肌肉的主要营养成分的降低, 如表 3 所示, 相比对照组, 净养降低了粗脂肪、粗蛋白及灰分的含量, 却增加了肌肉中的水分, 而组间含量在统计学上无显著差异。

2.4 大口黑鲈肌肉脂肪酸组成及含量在不同养殖密度和净养时间上的变化

为了进一步解析肌肉脂肪酸含量的变化情况, 本实验共检测出肌肉中 14 种脂肪酸, 包

表 2 不同养殖密度对大口黑鲈血液生化指标及肝脏抗氧化能力在短期和长期净养的变化

Tab. 2 Variations of serum biochemistry and hepatic antioxidant enzyme activity of *M. salmoides* reared at different stocking density during short/long-term depuration

指标 indicators	净养时间/d depuration time	净养密度 stocking density			时间维度 time dimension
		LSD	MSD	HSD	
血液生化指标 plasma biochemical parameters					
甘油三酯/(mmol/L) TG	0				8.14 ± 0.75 ^B
	7	9.46 ± 0.29	11.96 ± 1.16	11.82 ± 1.01	11.04 ± 0.48 ^A
	28	12.52 ± 0.91	12.37 ± 1.34	10.81 ± 0.86	11.96 ± 0.62 ^A
总蛋白/(mmol/L) TP	0				108.64 ± 1.87 ^A
	7	75.23 ± 3.16 ^a	75.63 ± 1.80 ^a	64.03 ± 2.27 ^b	72.07 ± 1.60 ^C
	28	75.57 ± 2.62 ^b	86.24 ± 2.14 ^a	77.40 ± 2.28 ^b	79.61 ± 1.50 ^B
葡萄糖/(mmol/L) GLU	0				13.31 ± 0.82 ^A
	7	13.74 ± 1.07	12.81 ± 1.21	12.69 ± 0.91	13.10 ± 0.60 ^A
	28	7.85 ± 0.67	8.82 ± 0.96	7.92 ± 0.74	8.23 ± 0.46 ^B
高密度脂蛋白胆固醇/(mmol/L) HDL-C	0				1.87 ± 0.23 ^B
	7	3.47 ± 0.20 ^a	1.53 ± 0.26 ^b	2.74 ± 0.44 ^a	2.90 ± 0.26 ^A
	28	0.82 ± 0.13	0.95 ± 0.17	1.51 ± 0.42	1.10 ± 0.16 ^C
低密度脂蛋白胆固醇/(mmol/L) LDL-C	0				2.29 ± 0.22 ^{AB}
	7	3.29 ± 0.49 ^a	2.49 ± 0.20 ^{ab}	1.83 ± 0.13 ^b	2.46 ± 0.16 ^A
	28	2.07 ± 0.22	2.26 ± 0.21	2.05 ± 0.25	1.93 ± 0.10 ^B
肝脏抗氧化能力 liver antioxidant capacity					
过氧化氢酶/(U/mg prot) CAT	0				46.44 ± 3.26 ^A
	7	26.07 ± 3.89	19.71 ± 2.58	19.47 ± 1.76	20.45 ± 1.33 ^B
	28	19.19 ± 2.17	16.54 ± 1.74	17.65 ± 1.44	16.87 ± 0.84 ^B
超氧化物歧化酶/(U/mg prot) SOD	0				42.66 ± 36.60 ^A
	7	17.55 ± 3.74 ^b	47.38 ± 5.51 ^a	44.88 ± 6.27 ^a	36.60 ± 5.46 ^A
	28	15.15 ± 2.36 ^b	33.18 ± 2.73 ^a	18.56 ± 1.51 ^b	22.30 ± 2.99 ^B
丙二醛/(mmol/L) MDA	0				9.31 ± 0.49 ^B
	7	5.35 ± 0.58	4.05 ± 0.56	5.62 ± 0.68	4.71 ± 0.35 ^C
	28	9.27 ± 0.79 ^b	14.87 ± 1.18 ^a	12.48 ± 0.84 ^a	12.20 ± 0.62 ^A

含 3 种饱和脂肪酸 (SFA)、5 种单不饱和脂肪酸 (MUFA) 和 6 种多不饱和脂肪酸 (PUFA)。这些脂肪酸在短期、长期以及不同养殖密度下的变化情况与粗脂肪的变化情况一致, 即不论净养时间长短, SFA、PUFA、二十碳五烯酸 (EPA) 和二十二碳六烯酸 (DHA) 均在 LSD 组中检测到较高的含量 (表 4)。

时间维度上的比较揭示了净养处理 (7 和 28 d) 导致饱和脂肪酸总量 (ΣSFA) 显著低于净养前 (0 d) ($P < 0.05$) (表 4)。而不饱和脂肪酸 (ΣUFA)、单不饱和脂肪酸 (ΣMUFA) 及多不饱和脂肪酸 (ΣPUFA) 均高于净养前对照组, 其中,

短期净养组的 ΣMUFA 及 ΣUFA 含量显著高于对照组 (0 d) ($P < 0.05$); PUFA 中 ω-3 及 ω-6 系列脂肪酸及 EPA 与 DHA 总量均呈先上升后下降的趋势, 短期净养组 ω-6 PUFA 及 EPA+DHA 显著高于净养对照组 (0 d) ($P < 0.05$)。

2.5 大口黑鲈肌肉氨基酸组成及含量在不同养殖密度和净养时间上的变化

短期净养期的结果表明, 必需氨基酸、半必需氨基酸、非必需氨基酸及氨基酸总量均随养殖密度的增长逐渐降低, 必需氨基酸/氨基酸总量在 MSD 组呈现最高, 且显著高于 HSD 组 ($P < 0.05$)。长期净养条件下, 上述指标均在

表 3 不同净养密度对大口黑鲈肌肉常规营养成分在短期和长期净养过程中的变化

Tab. 3 Variations of nutritional components in muscle of *M. salmoides* reared at different stocking density during short/long-term depuration % 湿重

常规营养成分 nutritional components	净养时间/d depuration time	净养密度 stocking density			时间维度 time dimension
		LSD	MSD	HSD	
粗蛋白 crude protein	0				19.90 ± 0.70
	7	18.90 ± 0.06 ^a	19.37 ± 0.39 ^a	17.83 ± 0.26 ^b	18.81 ± 0.27
	28	18.27 ± 0.12 ^b	19.33 ± 0.12 ^a	19.33 ± 0.23 ^a	19.08 ± 0.19
粗脂肪 crude lipid	0				2.70 ± 0.70
	7	2.13 ± 0.42	2.07 ± 0.29	2.10 ± 0.21	2.11 ± 0.18
	28	2.40 ± 0.06 ^a	1.70 ± 0.12 ^b	1.47 ± 0.26 ^b	1.80 ± 0.17
水分 moisture	0				77.10 ± 0.70
	7	77.47 ± 0.27	77.50 ± 0.21	78.10 ± 0.06	77.65 ± 0.16
	28	78.00 ± 0.23	77.70 ± 0.23	77.17 ± 0.43	77.64 ± 0.17
灰分 ash	0				1.35 ± 0.05
	7	1.30 ± 0.06 ^a	1.13 ± 0.03 ^b	1.33 ± 0.03 ^a	1.25 ± 0.04
	28	1.30 ± 0.06	1.37 ± 0.09	1.23 ± 0.03	1.29 ± 0.04

表 4 不同养殖密度下短期及长期生态净养大口黑鲈肌肉脂肪酸组成及含量的变化

Tab. 4 Changes of muscle fatty acid composition and content of *M. salmoides* reared at different culture density during short/long-term depuration mg/100 g 湿重

脂肪酸 fatty acids	净养时间/d depuration time	净养密度 stocking density			时间维度 time dimension
		LSD	MSD	HSD	
C14:0	0				37.40 ± 7.40 ^A
	7	22.00 ± 5.61	21.73 ± 4.21	21.20 ± 1.93	21.28 ± 2.35 ^B
	28	20.57 ± 3.00	17.27 ± 2.63	15.20 ± 2.00	17.09 ± 1.57 ^B
C16:0	0				506.45 ± 66.65 ^A
	7	348.47 ± 78.10	335.53 ± 51.26	311.50 ± 19.23	334.80 ± 31.57 ^B
	28	270.03 ± 35.44	269.53 ± 19.91	220.03 ± 40.69	253.33 ± 21.12 ^B
C18:0	0				120.95 ± 10.55 ^A
	7	86.03 ± 12.94	90.73 ± 6.78	84.37 ± 9.64	89.36 ± 5.20 ^B
	28	78.00 ± 8.92	80.23 ± 4.73	65.47 ± 13.70	89.12 ± 3.95 ^B
ΣSFA	0				664.80 ± 63.50 ^A
	7	456.50 ± 96.62	448.00 ± 62.14	417.07 ± 27.34	445.44 ± 38.74 ^B
	28	368.60 ± 45.16	367.03 ± 27.25	300.70 ± 56.21	351.34 ± 24.76 ^B
C16:1	0				35.65 ± 2.75 ^B
	7	105.40 ± 7.03 ^a	63.50 ± 13.84 ^b	61.28 ± 7.85 ^b	76.85 ± 9.93 ^A
	28	59.60 ± 14.60	52.50 ± 6.28	45.87 ± 10.42	55.20 ± 5.95 ^{AB}
C18:1n9c	0				270.20 ± 61.30
	7	512.50 ± 134.34	651.87 ± 106.15	474.07 ± 110.68	528.09 ± 70.51
	28	465.97 ± 121.94	386.27 ± 41.12	346.10 ± 53.24	417.86 ± 45.17
C20:1	0				10.40 ± 2.90 ^B
	7	21.73 ± 1.65	17.93 ± 2.28	17.57 ± 2.13	18.78 ± 1.34 ^A
	28	15.23 ± 2.82	12.77 ± 1.54	12.80 ± 2.18	14.10 ± 1.23 ^{AB}
C22:1n9	0				27.15 ± 2.25
	7	19.23 ± 1.16	32.93 ± 11.58	24.33 ± 3.44	22.66 ± 1.49
	28	23.07 ± 1.30	19.23 ± 1.74	18.70 ± 3.79	20.31 ± 1.63

· 续表 4 ·

脂肪酸 fatty acids	净养时间/d deputation time	净养密度 stocking density			时间维度 time dimension
		LSD	MSD	HSD	
C24:1	0				10.00 ± 0.50
	7	9.90 ± 0.53	9.77 ± 0.28	10.90 ± 0.57	10.06 ± 0.31
	28	8.67 ± 1.69	9.63 ± 0.78	9.27 ± 0.19	9.68 ± 0.31
ΣMUFA	0				353.40 ± 58.40 ^B
	7	668.77 ± 125.65	776.00 ± 107.94	588.13 ± 118.14	656.44 ± 68.45 ^A
	28	572.53 ± 141.58	480.40 ± 50.88	432.73 ± 66.94	517.15 ± 53.18 ^{AB}
C18:2n6c	0				239.55 ± 87.05 ^B
	7	477.50 ± 108.69	417.47 ± 42.27	486.70 ± 77.75	447.61 ± 45.18 ^A
	28	276.07 ± 15.57	312.67 ± 12.99	273.93 ± 35.96	292.74 ± 14.10 ^B
C18:3n3	0				14.95 ± 5.15 ^B
	7	30.33 ± 7.24	25.10 ± 1.85	25.53 ± 4.10	27.05 ± 2.95 ^A
	28	16.30 ± 1.64	19.07 ± 0.52	16.23 ± 2.92	17.63 ± 1.13 ^{AB}
C20:2	0				11.05 ± 0.55
	7	12.07 ± 2.19	12.80 ± 0.93	11.27 ± 1.80	11.70 ± 0.93
	28	8.33 ± 0.98	9.17 ± 0.20	8.97 ± 0.64	9.13 ± 0.51
C20:4n6	0				8.35 ± 0.15 ^{AB}
	7	12.63 ± 1.18	10.80 ± 1.00	11.03 ± 0.88	11.66 ± 0.97 ^A
	28	7.07 ± 0.73	9.67 ± 1.03	5.87 ± 1.60	7.41 ± 0.91 ^B
C20:5n3 (EPA)	0				13.35 ± 0.75
	7	21.47 ± 2.94 ^a	16.23 ± 1.74 ^{ab}	10.70 ± 0.85 ^b	16.60 ± 2.04
	28	14.77 ± 4.67	13.80 ± 1.80	9.10 ± 2.69	12.70 ± 2.10
C22:6n3 (DHA)	0				67.10 ± 3.20
	7	150.97 ± 18.42 ^a	125.43 ± 15.40 ^{ab}	72.63 ± 7.36 ^b	120.24 ± 14.80
	28	113.60 ± 42.67	108.57 ± 7.99	60.90 ± 20.87	93.43 ± 18.39
ΣPUFA	0				354.35 ± 87.55
	7	704.97 ± 133.68	607.83 ± 34.28	617.87 ± 84.42	634.86 ± 54.89
	28	436.13 ± 49.39	472.93 ± 5.54	375.00 ± 61.06	433.03 ± 29.90
ΣUFA	0				707.75 ± 29.15 ^B
	7	1373.73 ± 251.68	1383.83 ± 116.62	1206.00 ± 167.19	1291.30 ± 105.72 ^A
	28	1008.67 ± 184.60	953.33 ± 56.24	807.73 ± 127.67	950.18 ± 77.19 ^{AB}
Σω-3 PUFA	0				95.40 ± 1.20
	7	202.77 ± 27.29 ^a	166.77 ± 15.69 ^{ab}	108.87 ± 7.62 ^b	163.89 ± 18.10
	28	144.67 ± 48.50	141.43 ± 8.59	86.23 ± 25.97	123.75 ± 21.16
Σω-6 PUFA	0				247.90 ± 86.90 ^B
	7	489.57 ± 110.85	430.27 ± 43.06	497.97 ± 78.35	459.28 ± 45.76 ^A
	28	283.13 ± 14.93	322.33 ± 12.17	279.80 ± 37.26	300.15 ± 14.68 ^{AB}
EPA+DHA	0				100.05 ± 15.65 ^B
	7	172.43 ± 21.30 ^a	141.67 ± 17.07 ^a	83.33 ± 8.09 ^b	136.84 ± 16.79 ^A
	28	128.37 ± 47.23	122.37 ± 8.82	70.00 ± 23.54	101.23 ± 20.74 ^B

注: ΣSFA. 饱和脂肪酸总量, ΣMUFA. 单不饱和脂肪酸总量, ΣPUFA. 多不饱和脂肪酸总量, ΣUFA. 不饱和脂肪酸总量, Σω-3 PUFA. ω-3系多不饱和脂肪酸总量, Σω-6 PUFA. ω-6系多不饱和脂肪酸总量。

Notes: ΣSFA. total saturated fatty acids, ΣMUFA. total mono-unsaturated fatty acids, ΣPUFA. total poly-unsaturated fatty acids, ΣUFA. total unsaturated fatty acids, Σω-3 PUFA. total ω-3 poly-unsaturated fatty acids, Σω-6 PUFA. total ω-6 poly-unsaturated fatty acids.

MSD 组呈现最高值, 除非必需氨基酸外, 其余指标在各密度组间差异不显著 ($P>0.05$) (表 5)。

从时间维度上看, 净养处理会导致大口黑

鲈肌肉大部分必需氨基酸组分及氨基酸总量高于对照组, 长期净养的效果尤其显著, 共有 6 个必需氨基酸组分高于对照组 ($P<0.05$) (表 5)。

表 5 不同养殖密度下短期及长期生态净养大口黑鲈肌肉氨基酸组成及含量的变化
Tab. 5 Changes of muscle amino acid composition and content of *M. salmoides* reared at different culture density during short/long-term depuration

氨基酸 amino acids	净养时间/d depuration time	净养密度 stocking density			时间维度 time dimension
		LSD	MSD	HSD	
必需氨基酸 EAA	0				5.66 ± 0.42 ^B
	7	6.31 ± 0.07 ^a	6.26 ± 0.12 ^a	5.83 ± 0.09 ^b	6.18 ± 0.09 ^{AB}
	28	6.30 ± 0.18	7.01 ± 0.31	6.29 ± 0.15	6.58 ± 0.16 ^A
苏氨酸 Thr	0				0.71 ± 0.02
	7	0.76 ± 0.01	0.73 ± 0.02	0.73 ± 0.02	0.74 ± 0.01
	28	0.76 ± 0.02 ^b	0.85 ± 0.03 ^a	0.74 ± 0.02 ^b	0.79 ± 0.02
赖氨酸 Lys	0				1.44 ± 0.12 ^B
	7	1.59 ± 0.02 ^a	1.56 ± 0.02 ^a	1.46 ± 0.03 ^b	1.55 ± 0.02 ^{AB}
	28	1.60 ± 0.03 ^{ab}	1.74 ± 0.07 ^a	1.57 ± 0.04 ^b	1.64 ± 0.04 ^A
蛋氨酸 Met	0				0.17 ± 0.07 ^B
	7	0.27 ± 0.01 ^b	0.32 ± 0.02 ^a	0.22 ± 0.01 ^b	0.27 ± 0.02 ^{AB}
	28	0.29 ± 0.04	0.41 ± 0.06	0.37 ± 0.05	0.37 ± 0.03 ^A
异亮氨酸 Ile	0				0.69 ± 0.06 ^B
	7	0.77 ± 0.00 ^a	0.77 ± 0.01 ^a	0.75 ± 0.01 ^b	0.76 ± 0.01 ^A
	28	0.76 ± 0.03	0.85 ± 0.03	0.78 ± 0.03	0.81 ± 0.02 ^A
亮氨酸 Leu	0				1.24 ± 0.09 ^B
	7	1.37 ± 0.01 ^a	1.33 ± 0.02 ^{ab}	1.27 ± 0.02 ^b	1.34 ± 0.02 ^{AB}
	28	1.34 ± 0.03 ^{ab}	1.48 ± 0.05 ^a	1.32 ± 0.04 ^b	1.39 ± 0.03 ^A
苯丙氨酸 Phe	0				0.66 ± 0.03 ^B
	7	0.72 ± 0.02 ^a	0.70 ± 0.01 ^a	0.64 ± 0.01 ^b	0.70 ± 0.02 ^{AB}
	28	0.73 ± 0.01	0.78 ± 0.05	0.69 ± 0.02	0.73 ± 0.01 ^A
缬氨酸 Val	0				0.77 ± 0.04 ^B
	7	0.84 ± 0.01 ^a	0.84 ± 0.01 ^a	0.78 ± 0.02 ^b	0.83 ± 0.01 ^{AB}
	28	0.82 ± 0.03	0.90 ± 0.03	0.82 ± 0.03	0.86 ± 0.02 ^A
半必需氨基酸 SEAA	0				1.26 ± 0.01
	7	1.29 ± 0.03 ^a	1.21 ± 0.05 ^{ab}	1.16 ± 0.03 ^b	1.22 ± 0.03
	28	1.21 ± 0.13	1.40 ± 0.04	1.29 ± 0.04	1.34 ± 0.04
组氨酸 His	0				0.36 ± 0.01 ^B
	7	0.40 ± 0.02	0.36 ± 0.01	0.38 ± 0.01	0.38 ± 0.01 ^{AB}
	28	0.38 ± 0.01	0.41 ± 0.01	0.39 ± 0.01	0.40 ± 0.01 ^A
精氨酸 Arg	0				0.90 ± 0.01
	7	0.90 ± 0.02 ^a	0.85 ± 0.04 ^{ab}	0.78 ± 0.01 ^b	0.85 ± 0.02
	28	0.83 ± 0.12	1.00 ± 0.04	0.90 ± 0.05	0.94 ± 0.04
非必需氨基酸 NEAA	0				8.06 ± 0.38
	7	7.94 ± 0.08	7.69 ± 0.14	7.74 ± 0.32	7.82 ± 0.09
	28	8.04 ± 0.32 ^{ab}	8.65 ± 0.24 ^a	7.70 ± 0.19 ^b	8.15 ± 0.20
丙氨酸 Ala	0				1.08 ± 0.08
	7	1.05 ± 0.02	1.04 ± 0.02	1.04 ± 0.02	1.05 ± 0.01
	28	1.01 ± 0.09	1.14 ± 0.03	1.05 ± 0.04	1.10 ± 0.02
酪氨酸 Tyr	0				0.48 ± 0.06 ^B
	7	0.55 ± 0.01	0.54 ± 0.01	0.52 ± 0.01	0.54 ± 0.01 ^{AB}
	28	0.53 ± 0.02 ^b	0.61 ± 0.02 ^a	0.53 ± 0.02 ^b	0.56 ± 0.02 ^A
丝氨酸 Ser	0				0.64 ± 0.01
	7	0.66 ± 0.01	0.64 ± 0.01	0.65 ± 0.02	0.65 ± 0.01
	28	0.69 ± 0.02 ^a	0.73 ± 0.02 ^{ab}	0.63 ± 0.02 ^b	0.68 ± 0.02

氨基酸 amino acids	净养时间/d depuration time	净养密度 stocking density			时间维度 time dimension
		LSD	MSD	HSD	
谷氨酸 Glu	0				2.35 ± 0.14 ^B
	7	2.56 ± 0.05	2.48 ± 0.03	2.46 ± 0.08	2.51 ± 0.04 ^{AB}
	28	2.56 ± 0.10 ^{ab}	2.83 ± 0.10 ^a	2.48 ± 0.07 ^b	2.64 ± 0.08 ^A
甘氨酸 Gly	0				1.13 ± 0.34 ^A
	7	0.80 ± 0.01	0.77 ± 0.02	0.83 ± 0.06	0.81 ± 0.02 ^B
	28	0.86 ± 0.10	0.86 ± 0.10	0.80 ± 0.02	0.83 ± 0.01 ^B
脯氨酸 Pro	0				0.76 ± 0.24 ^A
	7	0.57 ± 0.03	0.51 ± 0.03	0.59 ± 0.12	0.55 ± 0.02 ^B
	28	0.58 ± 0.04	0.56 ± 0.01	0.50 ± 0.01	0.54 ± 0.01 ^B
天冬氨酸 Asp	0				1.63 ± 0.09 ^B
	7	1.75 ± 0.03	1.70 ± 0.03	1.66 ± 0.03	1.71 ± 0.02 ^{AB}
	28	1.82 ± 0.05 ^{ab}	1.91 ± 0.07 ^a	1.71 ± 0.04 ^b	1.80 ± 0.04 ^A
氨基酸总量 ΣAA	0				14.97 ± 0.05
	7	15.55 ± 0.16	15.16 ± 0.30	14.73 ± 0.38	15.22 ± 0.18
	28	15.55 ± 0.62	17.06 ± 0.59	15.29 ± 0.37	16.07 ± 0.39
必需氨基酸/氨基酸总量 EAA/AA	0				37.81 ± 2.67 ^B
	7	40.61 ± 0.15 ^{ab}	41.32 ± 0.23 ^a	39.61 ± 0.42 ^b	40.61 ± 0.28 ^A
	28	40.57 ± 0.47	41.08 ± 0.38	41.17 ± 0.19	40.97 ± 0.15 ^A

同样, 半必需氨基酸 (组氨酸和精氨酸) 受长期净养的影响较为明显。然而, 非必需氨基酸对净养呈现出不一致的响应, 如酪氨酸、丝氨酸、谷氨酸和天冬氨酸的含量随净养时间的延长而增加; 但甘氨酸和脯氨酸却随之降低。净养期间, 氨基酸组成比例方面, 必需氨基酸与氨基酸总量比值 (EAA/TAA) 随净养时间而增加 ($P < 0.05$)。

2.6 大口黑鲈肌肉氨基酸评分在不同养殖密度和净养时间上的变化

大口黑鲈肌肉氨基酸评分的结果如表 6 所示, 蛋氨酸+半胱氨酸由于其较低的含量, 被认为是第一限制性氨基酸, 其氨基酸评分在 MSD 组呈现最高, 其余氨基酸的氨基酸评分则相反, MSD 组较其余密度组低。肌肉化学评分中, 各氨基酸的化学评分在 MSD 组普遍最高, 其中 MSD 组亮氨酸、赖氨酸、苯丙氨酸和缬氨酸、苏氨酸显著高于 HSD 组 ($P < 0.05$) (表 6)。

相比于对照组, 短期和长期的净养均显著提高了大口黑鲈肌肉中必需氨基酸的评分 ($P < 0.05$), 苏氨酸是唯一例外, 尽管短期净养提高了其氨基酸评分但差异不显著。从必需氨基酸指数 EAAI 结果来看, 净养处理可显著提高大口黑鲈肌肉的营养价值 (表 6)。

3 讨论

3.1 净养时间和密度对大口黑鲈表型特征的影响

体重、HSI、VSI 及 CF 等指标作为鱼类形态学的重要表征, 可较直观的反映鱼类的生长状态, 受到养殖密度及投喂模式的影响。从生态净养时间尺度上看, 在短期净养处理后, HSI 显著下降, 说明处于饥饿状态的鱼体将肝脏作为主要耗能组织, 与胡玲珠等^[36]对日本花鲈 (*Lateolabrax japonicus*) 进行短期饥饿后 HSI 显著降低的结果一致, 可能与处于饥饿状态下鱼体靠分解肝脏中肝糖原供能有关^[35-36]。另外, 短期净养后, VSI 及 MFI 也有不同程度地降低, 与杜震宇等^[37]研究饥饿对花鲈的影响结果类似。这说明饥饿状态下, 鱼体除了将肝脏作为供能组织外, 还会动用肠系膜脂肪等内脏脂肪提供能量, 与钟金香等^[38]发现处于饥饿状态下鲷会同时动用内脏及肝脏中物质供能的结论一致。而长期净养后, 鱼体 HSI 及 MFI 呈现不同程度地回升, 这可能是大口黑鲈在经历饥饿 (0~7 d) 后复投喂 (8~28 d) 所产生的补偿性生长的结果^[39], 这也很好地解释了长期净养导致体重和 CF 的增幅均明显高于短期净养 (表 1)。因而, 相较于短期净养, 长期的少量投饲净养可在减

表 6 不同养殖密度下短期及长期生态净养大口黑鲈肌肉氨基酸评分 AAS、化学评分 CS 及必需氨基酸指数 EAAI 的变化

Tab. 6 Changes of AAS, CS and EAAI in muscle of *M. salmoides* reared at different stocking density during short/long-term depuration

氨基酸 amino acid	净养时间/d depuration time	净养密度 stocking density						时间维度 time dimension	
		LSD		MSD		HSD		氨基酸评分 AAS	化学评分 CS
		氨基酸评分 AAS	化学评分 CS	氨基酸评分 AAS	化学评分 CS	氨基酸评分 AAS	化学评分 CS		
亮氨酸 Leu	0							0.86 ± 0.10 ^B	0.66 ± 0.08 ^B
	7	1.03 ± 0.01	0.85 ± 0.01	0.98 ± 0.02	0.80 ± 0.01	1.02 ± 0.03	0.84 ± 0.03	1.01 ± 0.01 ^A	0.76 ± 0.01 ^A
	28	1.04 ± 0.03 ^{ab}	0.86 ± 0.02 ^{ab}	1.09 ± 0.03 ^a	0.89 ± 0.03 ^a	0.97 ± 0.02 ^b	0.80 ± 0.01 ^b	1.06 ± 0.02 ^A	0.80 ± 0.02 ^A
异亮氨酸 Ile	0							0.89 ± 0.10 ^B	0.73 ± 0.08 ^B
	7	1.01 ± 0.00	0.77 ± 0.00	1.00 ± 0.01	0.75 ± 0.01	1.00 ± 0.02	0.76 ± 0.02	1.01 ± 0.02 ^A	0.83 ± 0.01 ^A
	28	1.04 ± 0.04	0.79 ± 0.03	1.10 ± 0.03	0.83 ± 0.02	1.00 ± 0.03	0.76 ± 0.02	1.04 ± 0.02 ^A	0.85 ± 0.02 ^A
赖氨酸 Lys	0							1.33 ± 0.15 ^B	1.03 ± 0.12 ^B
	7	1.55 ± 0.02	1.19 ± 0.01	1.48 ± 0.02	1.14 ± 0.02	1.51 ± 0.05	1.16 ± 0.04	1.52 ± 0.02 ^A	1.17 ± 0.02 ^A
	28	1.62 ± 0.04 ^{ab}	1.25 ± 0.03 ^{ab}	1.65 ± 0.05 ^a	1.27 ± 0.04 ^a	1.49 ± 0.02 ^b	1.15 ± 0.02 ^b	1.58 ± 0.04 ^A	1.22 ± 0.03 ^A
蛋氨酸+半胱氨酸* Met+Cys*	0							0.25 ± 0.12 ^B	0.14 ± 0.07 ^B
	7	0.40 ± 0.02	0.23 ± 0.01 ^a	0.47 ± 0.02	0.27 ± 0.01 ^b	0.36 ± 0.02	0.21 ± 0.01 ^b	0.41 ± 0.02 ^A	0.24 ± 0.01 ^A
	28	0.45 ± 0.06	0.25 ± 0.03	0.60 ± 0.08	0.34 ± 0.05	0.54 ± 0.08	0.31 ± 0.05	0.55 ± 0.05 ^A	0.31 ± 0.03 ^A
苯丙氨酸+酪氨酸 Phe+Try	0							0.95 ± 0.11 ^B	0.63 ± 0.07 ^B
	7	1.11 ± 0.02	0.74 ± 0.01	1.06 ± 0.02	0.71 ± 0.02	1.07 ± 0.03	0.72 ± 0.02	1.08 ± 0.02 ^A	0.73 ± 0.01 ^A
	28	1.14 ± 0.03 ^{ab}	0.77 ± 0.02 ^{ab}	1.18 ± 0.06 ^a	0.80 ± 0.03 ^a	1.04 ± 0.02 ^b	0.70 ± 0.02 ^b	1.11 ± 0.03 ^A	0.75 ± 0.02 ^A
苏氨酸 Thr	0							0.90 ± 0.06 ^B	0.77 ± 0.05 ^B
	7	0.86 ± 0.01	1.00 ± 0.01	0.81 ± 0.02	0.94 ± 0.02	0.88 ± 0.03	1.03 ± 0.04	0.99 ± 0.02 ^{AB}	0.84 ± 0.02 ^{AB}
	28	0.89 ± 0.03 ^{ab}	1.03 ± 0.03 ^{ab}	0.94 ± 0.03 ^a	1.10 ± 0.03 ^a	0.82 ± 0.01 ^b	0.96 ± 0.01 ^b	1.04 ± 0.03 ^A	0.89 ± 0.02 ^A
缬氨酸 Val	0							0.79 ± 0.07 ^B	0.60 ± 0.06 ^B
	7	0.89 ± 0.01	0.67 ± 0.01	0.87 ± 0.01	0.66 ± 0.01	0.89 ± 0.03	0.67 ± 0.02	0.89 ± 0.01 ^A	0.68 ± 0.01 ^A
	28	0.91 ± 0.03	0.69 ± 0.03	0.94 ± 0.03	0.71 ± 0.02	0.86 ± 0.02	0.65 ± 0.02	0.91 ± 0.02 ^A	0.69 ± 0.02 ^A
必需氨基酸指数 EAAI	0							56.45 ± 8.83 ^B	
	7	70.76 ± 0.87		70.08 ± 1.13		68.96 ± 1.88		68.52 ± 0.80 ^A	
	28	73.45 ± 3.32		79.45 ± 3.76		71.07 ± 1.88		73.55 ± 2.04 ^A	

注：“*”代表第一限制氨基酸。

Notes: "*" represents the first limited amino acid.

少鱼体重损失的同时，降低内脏及肝脏脂肪含量，提升鱼体肥满度，较好地解决了生态净养采取长时间饥饿处理会导致养殖鱼类因自身能量消耗带来明显体重损失的问题^[5-6]。

养殖密度是影响鱼类生长、生存福利及养殖效益的重要因素，有研究指出，鱼类养殖密度存在一定的阈值，当养殖密度超过阈值时，鱼类的生长性能开始下降^[40-41]，类似的效应同样发生在养殖鱼类生态净养模式中。本实验中，HSI 和 VSI 都随净养密度的升高而降低，这与

此前报道的池塘内循环流水系统 (in-pond raceway system, IPRS) 中养殖大口黑鲈的结果相似^[22]。养殖密度的增加促使鱼体脂肪分解供能，肝脏中脂肪沉积量下降，HSI 及 VSI 降低^[40-41]。另外，MFI 在短期净养阶段随养殖密度的增加逐渐降低，与早期在施氏鲟 (*Acipenser schrenckii*) 幼鱼的研究结果类似^[42]。

3.2 净养时间和密度对大口黑鲈健康状况的影响

在鱼类血液生化指标中，葡萄糖浓度常被用作反映鱼类应激状态^[43]，甘油三酯及总蛋白

与鱼体代谢水平及健康状态密切相关^[44], 反映出鱼类对环境的适应性。HDL-C 主要由肝脏合成, 其作用是将血液和组织中多余的胆固醇携带至肝脏分解并逆向排出体外, 通常被认为是“好”胆固醇^[43-44], 而 LDL-C 则将胆固醇从肝脏转运至外周组织进行利用, 或堆积于血管壁上, 被视为“坏”胆固醇^[20]。本研究中, 经过短期净养后, 血液总蛋白含量显著降低, 与杨成辉等^[45]的饥饿导致血液中总蛋白水平下降的结论一致, 恢复投喂后总蛋白水平有所回升, 与小鳞黑鲃 (*Girella leonina*) 经 5 d 饥饿后复投喂的结果一致^[46], 说明在短期饥饿后的复投喂可改善鱼体的健康状态。血液葡萄糖浓度随净养时间的延长逐渐下降, 而甘油三酯则逐渐上升, 这与处于饥饿及复投喂阶段鱼类对体内能源物质的利用顺序有关。另外, 经长期少量复投喂 (28 d) 净养后, 鱼体血液中 LDL-C 浓度显著降低 ($P < 0.05$), 说明促进了鱼体内的糖脂代谢, 保护了鱼类肝脏健康^[47]。各密度组间血液生化指标的差异主要存在于短期净养阶段, 而长期净养阶段中, MSD 组鱼体血液总蛋白水平显著高于其他其密度组 ($P < 0.05$), 与此前报道的 IPRS 系统中大口黑鲈最适养殖密度研究结果一致^[22]。

肝脏作为鱼类重要的代谢器官, 参与调节因密度或饥饿等胁迫状态产生的氧化损伤^[48-49]。SOD 及 CAT 等抗氧化指标与机体对应激的代偿和清除自由基的能力直接相关^[50]。MDA 是脂质过氧化的最终产物, 体内 MDA 含量表征活性氧和自由基对脂质的氧化损伤程度^[51]。本研究中, 短期净养处理后, 鱼体肝脏 CAT 与 SOD 活性均呈现不同程度的降低, 与罗非鱼肝脏相关抗氧化酶经 7 d 饥饿后的变化一致^[52], 推测与 MDA 含量的降低存在一定关系, 7 d 饥饿尚未引起因鱼体内脂质的过氧化而产生的超过鱼体耐受程度的 MDA, 并未诱导肝脏组织的抗氧化反应。长期净养后 SOD 及 CAT 活性仍降低, 与长江鲟 (*A. dabryanus*) 肝脏抗氧化性经饥饿复投喂后的变化趋势一致, 其原因因为饥饿导致肝脏抗氧化失衡, 继而导致复投喂后鱼体抗氧化水平尚未恢复^[53], 而根据本研究结果, 推测与复投喂后肝脏 MDA 含量显著升高有关。研究表明, SOD 及 CAT 活性与 MDA 含量存在负相关关系^[54]。各密度组肝脏抗氧化指标的差

异性主要存在于长期净养阶段, MSD 组鱼体肝脏 SOD 活性显著高于其他密度组, 呈现出较好的抗氧化能力。而净养密度的增高会引起 MDA 水平随之升高 (表 2), 与此前 Wang 等^[15]开展的不同密度下大口黑鲈的研究结果相一致, 表明密度胁迫会引起水生动物组织内的自由基过氧化作用而增加 MDA 水平^[55]。短期净养阶段, 观察发现高密度养殖诱导大口黑鲈肝脏 SOD 含量升高, 从而抑制 CAT 含量, CAT 较低的水平可能是由于组织中较高的过氧化氢抑制所致^[56]。而 SOD 在高密度组有着较高的含量, 类似的研究还有尼罗罗非鱼 (*O. niloticus*)^[17]、鲤^[57]。

3.3 净养时间与密度对大口黑鲈肌肉营养价值的影响

水产品被视为消费者餐桌上的优质动物蛋白源, 衡量水产品营养价值的指标主要有粗蛋白质含量、粗脂肪含量、氨基酸含量与组成、脂肪酸含量与组成等, 通常会受到投喂模式及养殖密度等环境因素的影响^[57-58]。本研究中, 鱼体肌肉粗蛋白、粗脂肪等常规营养成分在整个净养阶段均无显著变化, 但短期不投喂处理后, 肌肉粗蛋白、粗脂肪及灰分均降低, 与商品规格 [(844.57±57.07) g] 斑点叉尾鲷禁食 5 d 的结果类似^[4], 可能与饥饿状态下鱼体进行内源性营养代谢以维持生命活动有关^[59-60]。另外, 净养后 (7 和 28 d) 饱和脂肪酸含量显著降低, 尤其是长期净养后降幅达 52.8%, 短期净养与袁小琛等^[61]对鳙进行禁食暂养后鱼体肌肉饱和脂肪酸含量变化类似, 但长期净养后肌肉饱和脂肪酸含量并未因恢复投喂后而回升, 与点带石斑鱼 (*Epinephelus coioides*) 幼鱼饥饿复投喂结果类似^[62], 推测与饥饿状态鱼体优先利用饱和脂肪酸有关, 饥饿后的少量投喂仅能维持鱼体的日常生命活动, 并未达到能源物质积累的程度。鱼体肌肉氨基酸组成中, 8 种必需氨基酸均随净养时间的延长逐渐升高, 表明净养可提升大口黑鲈肌肉氨基酸营养价值, 与付运银等^[32]对黄颡鱼进行少量投喂净养后肌肉必需氨基酸含量变化类似。根据 FAO/WHO 氨基酸模式标准, 质量较好的蛋白质中必需氨基酸总量/氨基酸总量应超过 40%^[63]。本实验中, 相较于初始对照组 (0 d), 两种净养时间模式处理均显著提升了必需氨基酸占比, 且均达到 40% 以上,

表明净养为改善鱼体肌肉蛋白质质量的有效方式。此外, AAS、CS 及 EAAI 是评价蛋白质营养价值的重要指标, 优质的蛋白质不仅需种类齐全, 比例也需满足人类营养需求^[64]。EAAI 越高, 表明氨基酸组成越合理, 蛋白质品质越好, 其利用率越高^[65]。本研究中, 大口黑鲈肌肉 AAS、CS 及 EAAI 值均随净养时间的延长逐渐升高, 进一步印证了净养是改善鱼体肌肉营养价值有效方式的结论。

各密度组间常规营养成分的差异主要发生于长期少量投饲 (28 d) 时间段, 肌肉粗蛋白含量随养殖密度增加逐渐升高, 而粗脂肪逐渐降低, 与 IPRS 系统中大口黑鲈养殖密度研究的结果一致^[22], 即表明高密度养殖致使鱼类对生存空间及食物的竞争增强, 鱼体内脂肪积累减少, 还会逐渐消耗体内脂肪作为维持生命活动的能量来源^[66-67]。此外, 脂肪酸组成及含量差异主要存在于短期净养阶段, EPA 及 DHA 等有益脂肪酸的含量随养殖密度的增加而降低, 与密度胁迫状态下刀鲚 (*Coilia nasus*) 幼鱼的脂肪酸含量变化一致^[68], 推测因密度胁迫致使肌肉中部分氨基酸含量发生变化, 从而影响氨基酸构成比例。必需氨基酸/氨基酸总量在短期净养阶段, MSD 组显著高于 HSD, 而在长期净养后, 各密度组间未见显著差异, 且均高于 40%, 推测饥饿后的少量复投喂可以一定程度上缓解鱼类因高密度环境产生的代谢失衡, 维持体内较平稳的代谢反应。AAS 与 CS 的差异主要存在于长期净养阶段, 普遍在 MSD 组呈现最高值, 类似的, EAAI 值也在 MSD 组达到最高值, 但与其他密度组差异不显著, 均达到 70% 以上, 符合 FAO/WHO 中所提及的理想营养模式。

4 结论

相较于短期净养处理, 长期净养可以在保证较少的体重损失的同时, 消耗内脏脂肪、改善鱼体表型特征并提升鱼体肌肉的营养品质, 且在长期净养后, MSD 组大口黑鲈健康状态更佳, 肌肉营养价值更高。因此, 建议 28 d 少量投饲净养结合 7.5 kg/m³ 的养殖密度是大口黑鲈的最适净养策略。

参考文献 (References):

- [1] Bar N. Physiological and hormonal changes during prolonged

starvation in fish[J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2014, 71(10): 1447-1458.

- [2] Day R D, Tibbetts I R, Secor S M. Physiological responses to short-term fasting among herbivorous, omnivorous, and carnivorous fishes[J]. *Journal of Comparative Physiology B*, 2014, 184(4): 497-512.

- [3] Shan X J, Quan H F, Dou S Z. Morphological and histological changes in digestive tract development during starvation in the miiuy croaker[J]. *Fish Physiology and Biochemistry*, 2016, 42(2): 529-546.

- [4] 钟金香, 李俊伟, 颜晓勇, 等. 短期饥饿对斑点叉尾鲷形态、肌肉品质构成及营养组成的影响 [J]. *南方水产科学*, 2018, 14(2): 90-95.

Zhong J X, Li J W, Xie X Y, et al. Effects of short-term starvation on morphometrical, textural parameters and nutritional composition of channel catfish (*Ictalurus punctatus*)[J]. *South China Fisheries Science*, 2018, 14(2): 90-95 (in Chinese).

- [5] Zhang X D, Zhu Y F, Cai L S, et al. Effects of fasting on the meat quality and antioxidant defenses of market-size farmed large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*)[J]. *Aquaculture*, 2008, 280(1-4): 136-139.

- [6] Kosuge K, Miida T, Takahashi A, et al. Estimating the fasting triglyceride concentration from the postprandial HDL-cholesterol and apolipoprotein ciii concentrations[J]. *Atherosclerosis*, 2006, 184(2): 413-419.

- [7] 吴朝朝, 陈丽丽, 袁美兰, 等. 短期暂养对鲫鱼肉质影响的研究 [J]. *食品工业科技*, 2015, 36(15): 334-337.

Wu Z Z, Chen L L, Yuan M L, et al. Research of the effect of short term starvation to the crucian meat quality[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2015, 36(15): 334-337 (in Chinese).

- [8] Grigorakis K, Alexis M N. Effects of fasting on the meat quality and fat deposition of commercial-size farmed gilthead sea bream (*Sparus aurata*, L.) fed different dietary regimes[J]. *Aquaculture Nutrition*, 2005, 11(5): 341-344.

- [9] 高琴, 安玥琦, 陈周, 等. 短时微流水处理对池塘养殖鲮鱼肌肉滋味品质的影响 [J]. *水生生物学学报*, 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 (in Chinese).

- [10] 胡伟华, 吕昊, 樊启学, 等. 净化时间对微流水系统中鲮品质

- 影响的研究[J]. *水生生物学报*, 2019, 43(5): 1056-1061.
- Hu W H, Lü 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 (in Chinese).
- [11] Montero D, Robaina L E, Socorro J, *et al.* Alteration of liver and muscle fatty acid composition in gilthead seabream (*Sparus aurata*) juveniles held at high stocking density and fed an essential fatty acid deficient diet[J]. *Fish Physiology and Biochemistry*, 2001, 24(1): 63-72.
- [12] Tan C X, Sun D C, Tan H X, *et al.* Effects of stocking density on growth, body composition, digestive enzyme levels and blood biochemical parameters of *Anguilla marmorata* in a recirculating aquaculture system[J]. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2018, 18(1): 9-16.
- [13] Hoseini S M, Yousefi M, Hoseinifar S H, *et al.* Cytokines' gene expression, humoral immune and biochemical responses of common carp (*Cyprinus carpio*, Linnaeus, 1758) to transportation density and recovery in brackish water[J]. *Aquaculture*, 2019, 504: 13-21.
- [14] Hoseini S M, Mirghaed A T, Ghelichpour M, *et al.* Effects of dietary tryptophan supplementation and stocking density on growth performance and stress responses in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)[J]. *Aquaculture*, 2020, 519: 734908.
- [15] Wang Y Y, Ni J J, Nie Z J, *et al.* Effects of stocking density on growth, serum parameters, antioxidant status, liver and intestine histology and gene expression of largemouth bass (*Micropterus salmoides*) farmed in the in-pond raceway system[J]. *Aquaculture Research*, 2020, 51(12): 5228-5240.
- [16] Yarahmadi P, Miandare H K, Hoseinifar S H, *et al.* The effects of stocking density on hemato-immunological and serum biochemical parameters of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)[J]. *Aquaculture International*, 2015, 23(1): 55-63.
- [17] Dawood M A O, Noreldin A E, Ali M A M, *et al.* Menthol essential oil is a practical choice for intensifying the production of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*): effects on the growth and health performances[J]. *Aquaculture*, 2021, 543: 737027.
- [18] Long L N, Zhang H G, Ni Q, *et al.* Effects of stocking density on growth, stress, and immune responses of juvenile Chinese sturgeon (*Acipenser sinensis*) in a recirculating aquaculture system[J]. *Comparative Biochemistry and Physiology-Part C: Toxicology & Pharmacology*, 2019, 219: 25-34.
- [19] 周伟, 王洋, 孙学亮, 等. 养殖密度对斑节对虾肌肉品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2018, 39(23): 69-75.
- Zhou W, Wang Y, Sun X L, *et al.* Effect of stocking density on muscle quality of *Penaeus monodon*[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2018, 39(23): 69-75 (in Chinese).
- [20] Zhu T F, Ai Q H, Mai K S, *et al.* Feed intake, growth performance and cholesterol metabolism in juvenile turbot (*Scophthalmus maximus* L.) fed defatted fish meal diets with graded levels of cholesterol[J]. *Aquaculture*, 2014, 428-429: 290-296.
- [21] Badiola M, Mendiola D, Bostock J. Recirculating aquaculture systems (RAS) analysis: main issues on management and future challenges[J]. *Aquacultural Engineering*, 2012, 51: 26-35.
- [22] Ni M, Liu M, Lou J F, *et al.* Stocking density alters growth performance, serum biochemistry, digestive enzymes, immune response, and muscle quality of largemouth bass (*Micropterus salmoides*) in in-pond raceway system[J]. *Fish Physiology and Biochemistry*, 2021, 47(4): 1243-1255.
- [23] 郭晓东. 循环水暂养处理对团头鲂肌肉品质的提升作用[D]. 武汉: 华中农业大学, 2019.
- Guo X D. Quality Improvement of circulating water starvation treatment on the muscle of blunt snout bream[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2019 (in Chinese).
- [24] 陈亚楠, 李海蓝, 钜晓艳, 等. 暂养环境因子对斑点叉尾鲷肌肉理化性质与质构特性的影响[J]. *肉类研究*, 2021, 35(8): 9-15.
- Chen Y N, Li H L, Chu X Y, *et al.* Effects of environmental factors during temporary rearing on physicochemical properties and texture characteristics of *Ictalurus punctatus* muscles[J]. *Meat Research*, 2021, 35(8): 9-15 (in Chinese).
- [25] 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 2022[M]. 北京: 中国农业出版社, 2022.
- Fishery and Fishery Administration of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs, National Aquatic Technology Promotion Station, China Society of Fisheries. China fishery statistical yearbook 2022[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2022 (in Chinese).
- [26] 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.
- [27] 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 white-

- fish *Coregonus lavaretus*[J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2019, 56(10): 4585-4594.
- [28] 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.
- [29] 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 (in Chinese).
- [30] 王术娥. 罗非鱼营养、挥发性成分及质构特性研究 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2010.
- Wang S E. Study of nutritional composition, volatile compound and texture property of tilapia[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2010 (in Chinese).
- [31] 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.
- [32] 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 (in Chinese).
- [33] 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 (in Chinese).
- [34] FAO/WHO. Energy and protein requirements. Report of a joint FAO/WHO ad hoc expert committee[R]. Rome: FAO Nutrition Meetings Report Series, 1973: 1-118.
- [35] 桥本芳郎. 养鱼饲料学 [M]. 蔡完其, 译. 北京: 农业出版社, 1980.
- Yoshiro H. Fish feed[M]. Cai W Q, trans. Beijing: China Agricultural Press, 1980 (in Chinese).
- [36] 胡珍珠, 周宣羽, 张顺, 等. 饥饿再投喂对花鲈幼鱼生理生化指标的影响 [J]. *宁波大学学报 (理工版)*, 2021, 34(4): 8-14.
- Hu L Z, Zhou X Y, Zhang S, *et al.* Effects of starvation and refeeding on physiological and biochemical indices in juvenile of *Lateolabrax Japonicus*[J]. *Journal of Ningbo University (NSEE)*, 2021, 34(4): 8-14 (in Chinese).
- [37] 杜震宇, 刘永坚, 田丽霞, 等. 饥饿对于鲈肌肉、肝脏和血清主要生化组成的影响 [J]. *动物学报*, 2003, 49(4): 458-465.
- Du Z Y, Lv Y J, Tian L X, *et al.* Effects of starvation on visceral weight and main biochemical composition of the muscle, liver and serum in the Japanese sea bass (*Lateolabrax japonicus*)[J]. *Acta Zoologica Sinica*, 2003, 49(4): 458-465 (in Chinese).
- [38] 钟金香, 李俊伟, 顾晓勇, 等. 饥饿处理对鳙鱼形态和肌肉营养成分的影响分析 [J]. *基因组学与应用生物学*, 2019, 38(8): 3515-3520.
- Zhong J X, Li J W, Jie X Y, *et al.* Effects analysis of starvation on morphology and muscle nutrients composition of *Aristichthys nobilis*[J]. *Genomics and Applied Biology*, 2019, 38(8): 3515-3520 (in Chinese).
- [39] Ali M, Nicieza A, Wootton R J. Compensatory growth in fishes: a response to growth depression[J]. *Fish and Fisheries*, 2003, 4(2): 147-190.
- [40] Turnbull J, Bell A, Adams C, *et al.* Stocking density and welfare of cage farmed atlantic salmon: application of a multivariate analysis[J]. *Aquaculture*, 2005, 243(1-4): 121-132.
- [41] 陈洁. 养殖密度对草鱼脂肪蓄积、脂肪代谢及相关基因表达的影响 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2017.
- Chen J. Effect of stocking density on lipid accumulation and the expression level of genes related to lipid metabolism in grass carp *Ctenopharyngodon idella*[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2017 (in Chinese).
- [42] 张墨, 李吉方, 温海深, 等. 放养密度对大杂交鲟生长性能的影响及生理应答机制 [J]. *海洋科学*, 2016, 40(8): 35-41.
- Zhang M, Li J F, Wen H S, *et al.* Effect of stocking density on growth performance and mechanism of physiological response in hybrid sturgeon[J]. *Marine Sciences*, 2016, 40(8): 35-41 (in Chinese).
- [43] Refaey M M, Li D P, Tian X, *et al.* High stocking density alters growth performance, blood biochemistry, intestinal histology, and muscle quality of channel catfish *Ictalurus punctatus*[J]. *Aquaculture*, 2018, 492: 73-81.
- [44] 万金娟, 刘波, 戈贤平, 等. 日粮中不同水平维生素 C 对团头鲂幼鱼免疫力的影响 [J]. *水生生物学报*, 2014, 38(1): 10-18.

- Wan J J, Liu B, Ge X P, *et al.* Effects of dietary vitamin C on the non-specific immunity, three *HSPs* mRNA expression and disease resistance of juvenile wuchang bream (*Megalobrama amblycephala*)[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2014, 38(1): 10-18 (in Chinese).
- [45] 杨成辉, 蔡勋, 刘霞, 等. 饥饿和再投喂对哲罗鱼幼鱼血液生理生化指标的影响 [J]. *淡水渔业*, 2009, 39(1): 36-40.
- Yang C H, Cai X, Liu X, *et al.* Effects of starvation and refeeding on the physiological and biochemical indices of blood of *Hucho taimen* juveniles[J]. *Freshwater Fisheries*, 2009, 39(1): 36-40 (in Chinese).
- [46] 张怡波, 吕慧明, 袁子, 等. 饥饿再投喂对黑鲢幼鱼消化酶活性与血液生理生化指标的影响 [J]. *宁波大学学报(理工版)*, 2019, 32(5): 12-16.
- Zhang Y B, Lv H M, Yuan Z, *et al.* Effects of starvation and refeeding on digestive enzyme activities and blood indices in juvenile *Girella leoninas*[J]. *Journal of Ningbo University (NSEE)*, 2019, 32(5): 12-16 (in Chinese).
- [47] 王梦华, 李国立, 黄文庆, 等. 饲料中添加复合植物提取物对大口黑鲈生长性能、血清生化指标和肝脏、肠道健康的影响 [J]. *水产学报*, 2022, 46(10): 1892-1901.
- Wang M H, Li G L, Huang W Q, *et al.* Effects of plant extract compound on growth performance, serum biochemical indices, liver and intestinal health of largemouth bass (*Micropterus salmoides*)[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2022, 46(10): 1892-1901 (in Chinese).
- [48] Aidos L, Vasconi M, Lanfranchi M, *et al.* Effect of different stocking densities on growth, muscle development and fatty acid profile of *Acipenser baerii* larvae[J]. *International Journal of Health, Animal Science and Food Safety*, 2018, 5(1s): 83-84.
- [49] Babaei S, Kenari A A, Hedayati M, *et al.* Effect of diet composition on growth performance, hepatic metabolism and antioxidant activities in Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*, brandt, 1869) submitted to starvation and refeeding[J]. *Fish Physiology and Biochemistry*, 2016, 42(6): 1509-1520.
- [50] 丰程程, 张颖, 张永泉, 等. 哲罗鱼胚胎至仔稚幼鱼期主要免疫指标和抗氧化酶的活性变化 [J]. *淡水渔业*, 2013, 43(6): 35-38,50.
- Feng C C, Zhang Y, Zhang Y Q, *et al.* The activities of immunological indicators and antioxidant enzyme in *Hucho taimen* during the development from the embryo to juvenile[J]. *Freshwater Fisheries*, 2013, 43(6): 35-38,50 (in Chinese).
- [51] Long S S, Dong X H, Tan B P, *et al.* Growth performance, anti-oxidant ability, biochemical index in serum, liver histology and hepatic metabolomics analysis of juvenile hybrid grouper (♀ *Epinephelus fuscoguttatus* \times ♂ *Epinephelus lanceolatus*) fed with oxidized fish oil[J]. *Aquaculture*, 2021, 545: 737261.
- [52] 卢俊姣, 刘淑兰, 翟少伟. 饥饿胁迫对罗非鱼肝脏抗氧化能力的影响 [J]. *中国农学通报*, 2013, 29(35): 75-79.
- Lu J J, Liu S L, Zhai S W. Effects of starvation stress on antioxidant capacity in hepatopancreas of tilapia (*Oreochromis niloticus*)[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2013, 29(35): 75-79 (in Chinese).
- [53] 吴晓云, 陈叶雨, 赖见生, 等. 饥饿复投喂对长江鲟肝脏、肠道和肌肉抗氧化功能的影响 [J]. *南方农业学报*, 2021, 52(11): 3157-3165.
- Wu X Y, Chen Y Y, Lai J S, *et al.* Effects of starvation and refeeding on antioxidative function of liver, intestine and muscle in *Acipenser dabryanus*[J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2021, 52(11): 3157-3165 (in Chinese).
- [54] 彭玲, 曾江宁, 黄伟, 等. 厚壳贻贝抗氧化酶活性和脂质过氧化物含量对 Cd 和 Aroclor 1254 胁迫的响应 [J]. *生态学杂志*, 2015, 34(3): 718-726.
- Peng L, Zeng J N, Huang W, *et al.* Effects of cadmium and Aroclor 1254 on antioxidant enzyme activities and lipid peroxidation levels in *Mytilus coruscus*[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2015, 34(3): 718-726 (in Chinese).
- [55] 赵大显, 程超, 肖敏, 等. 养殖密度对西伯利亚杂交鲟幼鱼生长、抗氧化酶活性和相关基因表达的影响 [J]. *水产学报*, 2022, 46(9): 1582-1592.
- Zhao D X, Cheng C, Xiao M, *et al.* Effects of stocking density on growth, antioxidant enzyme activity and related gene expression of juvenile Siberian hybrid sturgeon [*Acipenser baerii* (♀) \times *A. schrenckii* (♂)] [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2022, 46(9): 1582-1592 (in Chinese).
- [56] Sahin K, Yazlak H, Orhan C, *et al.* The effect of lycopene on antioxidant status in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) reared under high stocking density[J]. *Aquaculture*, 2014, 418-419: 132-138.
- [57] Adineh H, Naderi M, Hamidi M K, *et al.* Biofloc technology improves growth, innate immune responses, oxidative status, and resistance to acute stress in common carp (*Cyprinus carpio*) under high stocking density[J]. *Fish & Shellfish Immunology*, 2019, 95: 440-448.
- [58] 文玲梅, 赵伟. 鱼类肌肉品质评价研究进展 [J]. *湖北农业科学*, 2020, 59(S1): 174-176.

- Wen L M, Zhao W. Fish muscle quality evaluation: a review[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2020, 59(S1): 174-176 (in Chinese).
- [59] Sheridan M A, Mommsen T P. Effects of nutritional state on *in vivo* lipid and carbohydrate metabolism of coho salmon, *Oncorhynchus kisutch*[J]. *General and Comparative Endocrinology*, 1991, 81(3): 473-483.
- [60] Gillis T E, Ballantyne J S. The effects of starvation on plasma free amino acid and glucose concentrations in lake sturgeon[J]. *Journal of Fish Biology*, 1996, 49(6): 1306-1316.
- [61] 袁小琛, 陈范, 王光毅, 等. 暂养时间对鲢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 (in Chinese).
- [62] 陈波, 柳敏海, 施兆鸿, 等. 饥饿和再投饲对点带石斑鱼幼鱼脂肪酸和氨基酸组成的影响 [J]. *上海水产大学学报*, 2008, 17(6): 674-679.
- Chen B, Liu M H, Shi Z H, *et al.* The effects of starvation and re-feeding on fatty acid and amino acid composition in juvenile of *Epinephelus malabaricus* Bloch & Schneider[J]. *Journal of Shanghai Fisheries University*, 2008, 17(6): 674-679 (in Chinese).
- [63] Pellet P L, Young V R. Nutritional evaluation of protein foods[J]. *Food and Nutrition Bulletin*, 1980.
- [64] 类延菊, 贡文霞, 杨品红, 等. 野生与养殖翘嘴鲌品质的比较研究 [J]. *淡水渔业*, 2021, 51(3): 74-81.
- Lei Y J, Yun W X, Yang P H, *et al.* Comparative studies on the flesh quality between wild and cultured *Culter alburnus*[J]. *Freshwater Fisheries*, 2021, 51(3): 74-81 (in Chinese).
- [65] 徐梅英, 陈云仙, 吴常文. 网箱养殖与野生黄姑鱼肌肉营养成分比较 [J]. *浙江海洋学院学报 (自然科学版)*, 2010, 29(4): 340-345.
- Xu M Y, Chen Y X, Wu C W, *et al.* Analysis of nutrition in the muscle of wild and cultured *Nibea albiflora*[J]. *Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science Edition)*, 2010, 29(4): 340-345 (in Chinese).
- [66] Piccolo G, Marono S, Bovera F, *et al.* Effect of stocking density and protein/fat ratio of the diet on the growth of dover sole (*Solea solea*)[J]. *Aquaculture Research*, 2008, 39(16): 1697-1704.
- [67] 王秋实, 孙大江, 赵春刚. 放养密度对池塘养殖施氏鲟幼鱼生长和肌肉成分的影响 [J]. *水产学杂志*, 2015, 28(2): 22-25.
- Wang Q S, Sun D J, Zhao C G. Effects of stocking density on growth and muscular composition in Amur sturgeon *Acipenser schrenckii* in pond culture[J]. *Chinese Journal of Fisheries*, 2015, 28(2): 22-25 (in Chinese).
- [68] 施永海, 刘永士, 徐嘉波, 等. 2种养殖密度模式下刀鲚幼鱼的营养成分分析 [J]. *西北农林科技大学学报 (自然科学版)*, 2023, 51(5): 1-7,18.
- Shi Y H, Liu Y S, Xu J B, *et al.* Analysis and evaluation of muscle nutrient components of *Coilia nasus* young fish under two cultural density levels[J]. *Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition)*, 2023, 51(5): 1-7,18 (in Chinese).

Comparative study on phenotypic characteristics, health status and muscle nutritional quality of largemouth bass (*Micropterus salmoides*) under different depuration time and stocking density

XU Qing^{1,2}, YUAN Julin¹, NI Meng¹, ZOU Songbao¹, LIU Mei¹, GU Zhimin^{1,2,3*}

1. Key Laboratory of Fish Health and Nutrition of Zhejiang Province, Key Laboratory of Healthy Freshwater Aquaculture, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Zhejiang Institute of Freshwater Fisheries, Huzhou, 313001 China;

2. College of Life Science, Huzhou University, Huzhou 313000, China;

3. Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310021, China

Abstract: This study aimed to determine the optimal depuration strategy for largemouth bass (*Micropterus salmoides*) by examining the effects of varying treatment times and stocking density on phenotypic characteristics, health status, and muscle nutritional quality. *M. salmoides* with an initial body mass of (460.60±12.74) g were used as the research object. Three stocking densities (2.5, 7.5 and 12.5 kg/m³) were established, and two feeding modes were combined: short-term depuration (7 d, non-feeding) and long-term starvation (28 d, small-scale feeding). The results showed that, compared with the control (0 d), the hepatosomatic index (HSI), visceral index (VSI), and saturated fatty acid (SFA) content in muscle decreased significantly after depuration, while the condition factor (CF) and the proportion of essential amino acids (EAA/TAA) in muscle increased significantly. The content of essential amino acids (EAA), amino acid score (AAS), and essential amino acid index (EAAI) generally increased with the extension of net rearing time. Compared to short-term depuration (7 d), the body weight, CF, and total blood protein content (TP) of fish increased significantly after long-term depuration (28 d), while VSI and blood low-density lipoprotein cholesterol (LDL-C) content decreased significantly. Furthermore, comparisons among different density groups revealed that HSI, VSI, blood glucose (GLU), and LDL-C content, as well as muscle SFA content, decreased with increasing breeding density. In contrast, blood biochemical indexes, liver superoxide dismutase (SOD) content, and muscle crude protein, ash, and total essential amino acids (TAA) generally exhibited the highest values in the medium stocking density (MSD) group. Overall, long-term depuration can lead to greater consumption of visceral fat, improved fish body shape characteristics, and enhanced nutritional quality of fish muscle. Therefore, the optimal depuration strategy for *M. salmoides* is 28 d depuration with small amounts feeding at stocking density of 7.5 kg/m³. This study provides a theoretical reference for the application and popularization of ecological depuration culture model of *M. salmoides*.

Key words: *Micropterus salmoides*; depuration time; stocking density; visceral fat; health status; muscle nutritional quality

Corresponding author: GU Zhimin. E-mail: guzhimin2006@163.com

Funding projects: National Key Research and Development Program of China (2020YFD0900105); the Research and Development Program for “Pioneer” and “Leading Goose” of Zhejiang Province (2022C02027); Zhejiang Province “Three Agriculture Nine Side” Science and Technology Cooperation Program Project (2022SNJF068, 2023SNJF075)