

文章编号: 1674-5566(2023)03-0510-12

DOI:10.12024/jsou.20220303775

清水池塘吊水饥饿处理对大口黑鲈品质的提升效果

鲁 强¹, 李 慷^{1,2,3}, 李征程¹, 巴旭冰¹, 徐 岩¹, 张美琼⁴, 刘利平^{1,2,3}

(1. 上海海洋大学 水产种质资源发掘与利用教育部重点实验室, 上海 201306; 2. 上海海洋大学 上海水产养殖工程技术研究中心, 上海 201306; 3. 上海海洋大学 水产科学国家级实验教学示范中心, 上海 201306; 4. 上海开太鱼文化发展有限公司, 上海 201501)

摘 要: 为了研究吊水饥饿处理对土塘养殖大口黑鲈(*Micropterus salmoides*) 鱼肉品质的提升效果, 在种植苦草(*Vallisneria spiralis*) 的清水池塘中, 比较不同暂养时间(0、1、4、7、10、13、16 d) 下, 鱼肉的营养成分、质构特性和土腥味物质的变化情况。结果发现, 暂养不同时间后: (1) 大口黑鲈鱼肉的水分含量显著下降至(74.90 ± 2.40)% (第 7 天), 灰分含量显著上升, 达到(1.27 ± 0.17)% (第 7 天); 总糖含量先下降后恢复至初始含量水平(0.49 ± 0.03) g/100 g (第 13 天)。(2) 鱼肉中不饱和脂肪酸新增加 3 种(C20:3n3、C20:4n3、C22:4n6), 脂肪酸种类达到 23 种(第 10 天); 游离氨基酸有 16 种, 氨基酸滋味活性值(Taste active value, TAV) 随着暂养时间延长有显著变化, 其中具有鲜味的谷氨酸 TAV > 1 (第 4 天), 呈苦味的组氨酸 TAV < 1 (第 16 天)。(3) 暂养 10 d 后, 鱼肉硬度和咀嚼性显著增加。(4) 鱼肉中土腥味物质 2-MIB 和 GSM 含量分别由初始的(0.42 ± 0.01) μg/kg 和(0.54 ± 0.06) μg/kg 下降到(0.33 ± 0.05) μg/kg 和(0.35 ± 0.06) μg/kg (第 16 天)。研究表明, 清水池塘暂养处理能显著改善大口黑鲈的鱼肉品质, 综合提升效果和经济效益, 暂养时间为 10 d 较好。

关键词: 大口黑鲈; 饥饿处理; 暂养; 品质提升

中图分类号: S 965.211 **文献标志码:** A

鲈鱼是我国重要养殖经济鱼类, 据《2020 中国渔业统计年鉴》和《2021 中国渔业统计年鉴》, 2018—2020 年我国淡水养殖鲈鱼产量分别为 43、48、62 万 t, 呈现逐年增加的趋势, 其中大口黑鲈(*Micropterus salmoides*) 在广东、浙江以及江苏等地大规模养殖^[1-2]。大口黑鲈属太阳鱼科(Centrarchidae)黑鲈属(*Micropterus*), 是一种广温性肉食性鱼类, 生长速度快、抗逆性强, 肉质肥嫩、味道鲜美, 含有丰富的蛋白质和维生素^[3]。因此, 广受消费者欢迎, 市场前景广阔^[3-4]。

鱼肉品质是决定水产品可持续发展的关键因素, 而土腥味是影响淡水经济鱼类品质的重要因素之一, 其导致水产养殖产业的经济价值下降^[5]。引起鱼肉中土腥味的物质主要是 2-甲基异莰醇(2-methylisoborneol, 2-MIB) 和土臭素

(Geosmin, GSM)^[5]。研究^[6]表明, 大西洋鲑(*Salmo salar*)、虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*) 等鱼肉中均检测出该类物质。目前有关大口黑鲈鱼肉中土腥味的报道不多, 仅 SCHRADER 等^[7]发现在循环水系统中养殖的大口黑鲈也存在明显的土腥味, 检测发现鱼肉中含有 2-MIB 和 GSM, 且以 2-MIB 为主。

目前通常采取循环水或流水暂养的方式提升鱼肉品质。研究^[8]表明, 团头鲂(*Megalobrama amblycephala*) 经循环水暂养处理后, 鱼肉中的甜味氨基酸含量、鱼肉弹性以及咀嚼性等均显著增加。流水暂养处理草鱼(*Ctenopharyngodon idella*) 鱼肉的挥发性异味化合物减少, 质构特征的硬度和弹性等显著增加^[9-10]。静水暂养处理罗非鱼(*Oreochromis mossambicus*)^[11] 鱼肉中辛醛和壬醛

收稿日期: 2022-03-16 修回日期: 2022-06-14

基金项目: 国家重点研发计划项目(2019YFD0900303); 上海市科技兴农技术创新项目(沪农科创字[2021]第 3-1 号); 上海市科技兴农重点攻关项目(沪农科创字[2018]第 2-12 号)

作者简介: 鲁 强(1994—), 男, 硕士研究生, 研究方向为生态养殖。E-mail: 1475176620@qq.com

通信作者: 刘利平, E-mail: lp-liu@shou.edu.cn

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.shhydx.com

含量明显下降,风味得以改善。然而有关大口黑鲈品质提升的研究目前鲜有报道。

苦草(*Vallisneria spiralis*)作为水产养殖中常用的沉水植物,不仅能为养殖水体提供氧气,还能有效去除池塘水体中氮、磷等营养物质,同时其根、茎、叶等结构可作为微生物的附着载体,提高净水能力^[12-13]。本文采用在清水池塘(即净鱼塘)中人工种植苦草,通过饥饿暂养的方式改善大口黑鲈鱼肉品质。比较不同暂养时间对大口黑鲈鱼肉营养成分、质构特性以及土腥味物质含量的影响,为改善人工养殖的大口黑鲈鱼肉品质提供数据参考。

1 材料与方法

1.1 实验材料

将土池养殖的大口黑鲈成鱼[体质量(0.549 ± 0.097)kg,产地:江苏省苏州市]转移至上海市金山区枫泾镇开太鱼文化发展有限公司养殖场。挑选体表无伤、活力强的个体进行盐水(质量分数为2%)消毒后,随机投入3个实验网箱(规格为1 m × 1 m × 1 m)中,密度为40尾/箱。网箱置于0.4 hm²、水深1.3 m的回字形池塘,池塘底部种植苦草,约占池塘水面的85%(图1)。实验期间不换水,使用水车式增氧机曝气增氧。以未暂养的大口黑鲈为对照组(0 d),以暂养1、4、7、10、13、16 d为实验组,暂养期间不投喂。每次16:00时采集池塘水样,从3个网箱中随机各取3条大口黑鲈,低温(0℃冰水)麻醉后,取其背部鱼肉,保存于-80℃冰箱中待测。

1.2 实验方法

1.2.1 水化指标测定

总氮(TN)采用碱性过硫酸钾法、总磷(TP)采用钼锑抗分光光度法、总氨氮(TAN)采用纳氏试剂分光光度法、硝态氮(NO₃-N)采用紫外分光光度法、亚硝态氮(NO₂-N)采用乙二胺分光光度法^[14]测定。

1.2.2 鱼肉营养指标的测定

鱼肉中水分含量按照《食品中水分的测定》^[15],采用直接干燥法(101~105℃)测定。鱼肉中灰分含量按照《食品中灰分的测定》^[16]所述方法测定。鱼肉中粗蛋白含量按照《食品中蛋白质的测定》^[17]中的凯氏定氮法测定(氮换算为蛋白质的系数, $F=6.25$)。鱼肉粗脂肪的测定按照

《食品中粗脂肪的测定》^[18]中索氏抽提法。水溶性蛋白和脂肪酸测定参考蒋静^[19]的方法。

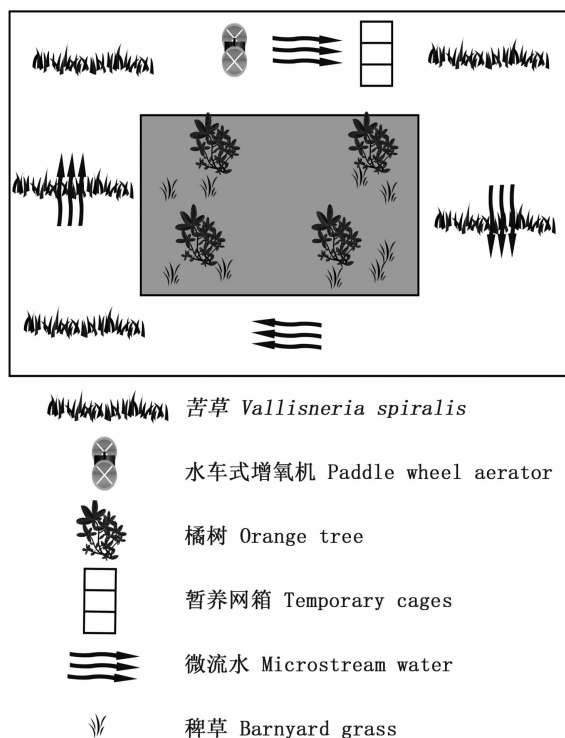


图1 清水池塘吊水养殖系统

Fig. 1 Hanging aquaculture system in clear water pond

1.2.3 鱼肉质构特性的测定

将背部鱼肉去皮,切割成2 cm × 2 cm × 1 cm的小块,鱼肉质构参数测定参考郭晓冬^[20]的方法,使用Universal TA型质构仪(上海腾拔,上海)进行测定,参数:探头P/36R,测前速度2 mm/s,测试速度1 mm/s,测后速度5 mm/s,压缩比50%,停留时间5 s。

1.2.4 鱼肉滋味成分的测定

氨基酸种类组成和含量测定参考徐楚等^[21]的方法,仪器为L-8800氨基酸自动分析仪(日本日立公司)。鱼肉中滋味氨基酸的确定参考陈周等^[10]的方法。

1.2.5 鱼肉土腥味物质的测定

鱼肉中土腥味提取前处理参考张凯^[22]的方法。取混匀的鱼糜5.00 g于50 mL离心管中,加入质量分数为25%的胰蛋白酶稀释液(原液为0.25% Trypsin-EDTA)10 mL,温度37℃、转速150 r/min、振荡2 h后,用28.6%氯化钠溶液定容到50 mL。然后进行微波蒸馏,参数设置功率

560 W, 蒸馏 5 min, 记录提取液的总体积, 取 5 mL 置于 15 mL 顶空进样瓶中, 于 -20 °C 条件下保存。

固相微萃取 (SPME) 样品处理: 将冷冻的顶空瓶样品解冻后, 采用 2 cm 长度的 DVB/CAR/PDMS 纤维头, 50 °C 下孵育 15 min, 萃取 40 min, 在气相色谱 (GC) 进样口中脱吸附 5 min。然后按照设定参数在美国安捷伦公司气相色谱-质谱联用仪 (Gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS, 7890B-5977B) 上分析。

GC-MS 主要条件: 色谱柱 TG-WAXMS (30 m × 250 μm × 0.25 μm), 进样温度 250 °C, 初温 60 °C 保留 2.5 min, 以 8 °C/min 升至 250 °C, 保留 5 min; 氦气 (99.999%) 1.0 mL/min; 无分流; 接口温度 250 °C; 离子源温度 230 °C; 四极杆温度 150 °C; 电子轰击源 70 eV; 质谱扫描范围 20 ~ 400 m/z; 单离子扫描模式 95 和 112。

1.2.6 形体指标测量方法和计算公式

采样时, 用纸巾擦去鱼体体表水分, 称取体质量, 测量体长。计算脏体指数 (Visceral somatic indices, VSI)、肝体指数 (Hepatopancreas somatic indices, HIS) 和肥满度 (Condition factor,

CF)。

计算公式:

$$V_{SI} = W_1/W \times 100\% \quad (1)$$

$$H_{SI} = W_2/W \times 100\% \quad (2)$$

$$C_F = W/L_3 \times 100\% \quad (3)$$

式中: V_{SI} 为脏体指数, %; H_{SI} 为肝体指数, %; C_F 为肥满度, g/cm³; W 为鱼体质量, g; W_1 为内脏质量, g; W_2 为肝脏质量, g; L 为体长, cm。

1.3 数据分析

数据处理采用 Excel 2003, 统计分析采用 SPSS 19.0 软件进行方差分析, 以 $P < 0.05$ 作为统计显著差异, 作图采用软件 GraphPad 8.0, 使用 AI 软件绘图。数据结果以平均值 ± 标准差 (Mean ± SD) 表示, 样品数量 $n = 3$ 。

2 结果

2.1 清水池塘中水质状况

暂养期间池塘水质结果显示, 总氮低于 0.2 mg/L、总磷低于 0.02 mg/L、总氨氮低于 0.15 mg/L (表 1), 根据《地表水环境质量标准》^[23], 暂养池水体属于 I 类水质。

表 1 大口黑鲈暂养池塘水质指标

Tab. 1 Water quality of *Micropterus salmoides* temporary rearing pond

指标 Index	处理时间 Treatment time					平均值 ± 标准差 Mean ± SD
	0 d	4 d	10 d	13 d	16 d	
水温 T/°C	33.6	32.9	25.9	29.6	30.4	30.480 ± 2.733
溶解氧 DO/(mg/L)	9.23	8.86	4.76	5.98	5.75	6.916 ± 1.780
pH	9.48	9.53	8.06	8.58	9.22	8.974 ± 0.569
总氮 TN/(mg/L)	0.136	0.136	0.170	0.142	0.136	0.144 ± 0.013
总磷 TP/(mg/L)	0.010	0.013	0.008	0.010	0.011	0.010 ± 0.002
总氨氮 TAN/(mg/L)	0.033	0.009	0.045	0.021	0.009	0.023 ± 0.014
硝态氮 NO ₃ -N/(mg/L)	0.179	0.146	0.249	0.220	0.175	0.194 ± 0.036
亚硝酸盐氮 NO ₂ -N/(mg/L)	0.004	0.002	0.018	0.016	0.020	0.012 ± 0.008

2.2 不同暂养时间对大口黑鲈鱼体指标的影响

图 2 为大口黑鲈在暂养期间脏体指数、肝体指数、肥满度、平均体质量的变化情况。结果显示, 暂养期间, 实验组脏体指数显著低于对照组 ($P < 0.05$), 呈逐步下降的趋势。实验组中 (1、7、10、13、16 d) 肝体指数显著低于对照组 ($P < 0.05$)。实验组肥满度 (4、7、10、13、16 d) 与对照组之间无显著变化 ($P > 0.05$)。实验组中平均体质量在暂养第 1 天稍高于对照组, 而其他实验组

与对照组相比稍有下降, 但无显著变化 ($P > 0.05$), 而实验组中暂养 10 d 显著低于暂养 1 d ($P < 0.05$), 见图 2(b)。

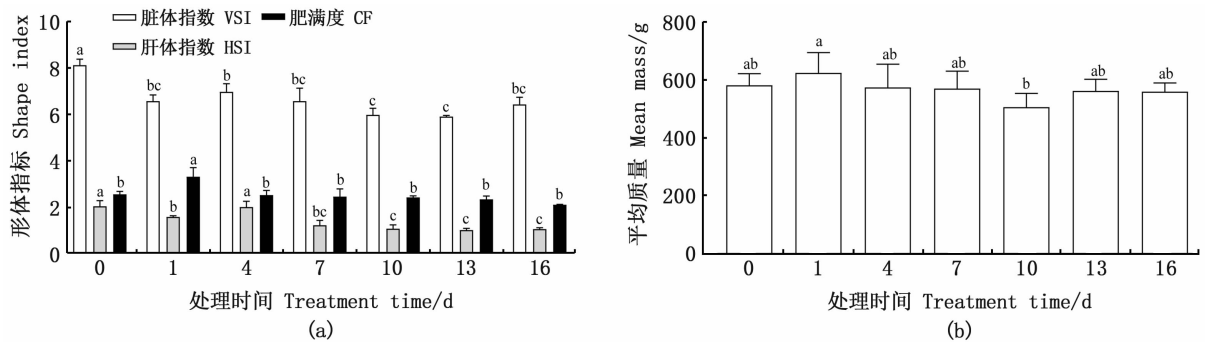
2.3 不同暂养时间对大口黑鲈鱼肉营养成分的影响

2.3.1 对基本营养成分的影响

大口黑鲈鱼肉水分、灰分、粗蛋白、总糖、水溶性蛋白含量经过暂养有显著变化 ($P < 0.05$), 粗脂肪含量无显著变化 ($P > 0.05$)。水分含量从

第 7 天开始显著低于对照组 ($P < 0.05$), 而灰分含量从第 7 天开始则显著高于对照组 ($P < 0.05$)。粗蛋白含量暂养至第 1 天、4 天时显著低于对照组 ($P < 0.05$), 但暂养至第 7 天则显著增加 ($P < 0.05$), 直至稍高于对照组。粗脂肪含量在整个暂养期间无显著变化 ($P > 0.05$)。总糖含

量在暂养 1 d、4 d 时显著下降 ($P < 0.05$), 第 7 天时恢复到对照组水平, 第 10 天时达到最高, 随后下降。水溶性蛋白含量也呈现出先下降(第 1、4 天)、然后上升(第 7、10、13 天)、再下降(第 16 天)的规律(表 2)。



图中不同的小写字母表示存在显著性差异 ($P < 0.05$)。
Different lowercase letters in the figure indicate significant difference ($P < 0.05$).

图 2 不同暂养时间对大口黑鲈鱼体指标的影响

Fig. 2 Effect of temporary rearing on the body index of *Micropterus salmoides*

表 2 暂养处理对大口黑鲈基本营养成分的影响

Tab. 2 Effect of temporary rearing on basic nutrient composition of *Micropterus salmoides*

处理时间 Treatment time/d	水分 Moisture/%	灰分 Ash/%	粗蛋白 Crude protein/%	粗脂肪 Crude fat/%	总糖 Total sugar/ (g/100 g)	水溶性蛋白 Water soluble protein/(mg/g)
0	78.31 ± 1.12 ^b	0.97 ± 0.09 ^b	18.33 ± 0.91 ^a	13.54 ± 1.73	0.54 ± 0.07 ^b	78.60 ± 1.15 ^{bc}
1	81.51 ± 1.58 ^a	0.77 ± 0.11 ^c	15.02 ± 1.15 ^b	13.98 ± 0.52	0.34 ± 0.06 ^c	66.99 ± 1.48 ^c
4	80.13 ± 2.45 ^a	0.89 ± 0.15 ^{bc}	15.70 ± 2.39 ^b	13.26 ± 0.52	0.38 ± 0.08 ^c	72.63 ± 1.53 ^d
7	74.90 ± 2.40 ^c	1.27 ± 0.17 ^a	19.34 ± 1.71 ^a	12.71 ± 1.07	0.52 ± 0.09 ^b	82.83 ± 1.47 ^a
10	75.06 ± 1.19 ^c	1.29 ± 0.18 ^a	19.40 ± 0.52 ^a	12.64 ± 1.93	0.61 ± 0.08 ^a	80.08 ± 3.52 ^{ab}
13	75.44 ± 0.97 ^c	1.33 ± 0.09 ^a	19.15 ± 1.24 ^a	11.42 ± 1.75	0.49 ± 0.03 ^b	81.85 ± 1.00 ^{ab}
16	75.68 ± 2.05 ^c	1.30 ± 0.23 ^a	19.02 ± 0.74 ^a	11.37 ± 1.16	0.47 ± 0.03 ^b	75.16 ± 0.23 ^{cd}

注: 同列中不同的小写字母表示存在显著性差异 ($P < 0.05$)。

Notes: Different lowercase letters in the same column indicate significant differences ($P < 0.05$).

2.3.2 对大口黑鲈脂肪酸含量的影响

大口黑鲈鱼肉中共检测出 23 种脂肪酸, 其中饱和脂肪酸 3 种、单不饱和脂肪酸 5 种、多不饱和脂肪酸 14 种以及反式脂肪酸 1 种(表 3)。在对照组的鱼肉中检测出 20 种脂肪酸, 从暂养第 10 天开始鱼肉脂肪酸种类稳定在 23 种, 新增加

的 3 种脂肪酸分别为 C20: 3n3、C20: 4n3、C22: 4n6, 脂肪酸含量在第 10 天达到最大值, 显著高于对照组 ($P < 0.05$)。从脂肪酸的绝对含量来看, 5 种不饱和脂肪酸 (C16: 1n9、C20: 3n3、C20: 4n3、C20: 4n6、C22: 4n6) 随着暂养时间的延长, 其绝对含量显著高于对照组 ($P < 0.05$)。

表3 暂养处理对大口黑鲈脂肪酸含量的影响

Tab.3 Effect of temporary rearing on fatty acid content of *Micropterus salmoides* mg/100 g

脂肪酸 Fatty acid	处理时间 Treatment time/d						
	0	1	4	7	10	13	16
豆蔻酸 C14:0	115.82 ± 30.61	125.13 ± 23.69	124.49 ± 3.96	114.56 ± 16.40	144.94 ± 32.46	134.29 ± 29.03	141.98 ± 21.54
软脂酸 C16:0	1 524.85 ± 355.39	1 637.39 ± 307.59	1 611.89 ± 28.15	1 581.94 ± 164.45	1 825.92 ± 339.04	1 719.77 ± 324.13	1 816.73 ± 201.47
硬脂酸 C18:0	337.24 ± 61.29	343.97 ± 54.16	342.58 ± 20.78	337.44 ± 29.39	379.06 ± 58.18	370.74 ± 63.70	369.04 ± 52.81
顺-9-十六碳一烯酸 C16:1n9	46.75 ± 10.12 ^b	58.59 ± 19.50 ^b	53.12 ± 3.86 ^b	49.81 ± 8.11 ^b	92.75 ± 6.00 ^a	56.07 ± 14.44 ^b	68.08 ± 10.48 ^b
顺-7-十六碳一烯酸 C16:1n7	573.31 ± 176.49	614.67 ± 95.31	599.86 ± 32.96	594.86 ± 68.64	781.18 ± 55.80	655.38 ± 152.50	728.33 ± 75.98
顺-7-十七碳一烯酸 C17:1n7	44.20 ± 6.37	43.97 ± 7.15	43.82 ± 0.76	41.95 ± 4.45	47.50 ± 8.23	45.53 ± 7.49	49.26 ± 4.43
反油酸 C18:1n9T	4 911.94 ± 551.90	4 276.86 ± 788.74	4 132.25 ± 66.59	4 041.39 ± 481.22	4 689.19 ± 1 014.84	4 595.59 ± 1 031.64	4 970.61 ± 657.24
油酸 C18:1n9	316.25 ± 71.28	358.06 ± 14.50	312.88 ± 12.51	308.09 ± 32.64	352.01 ± 68.58	339.54 ± 63.71	362.22 ± 42.28
顺-6-十八碳二烯酸 C18:2n6	3 611.83 ± 875.66	3 942.35 ± 700.53	4 018.14 ± 240.49	3 770.40 ± 422.88	4 474.96 ± 960.05	4 221.15 ± 831.61	4 625.48 ± 549.44
顺-6-十八碳三烯酸 C18:3n6	40.37 ± 6.14	39.84 ± 2.32	38.16 ± 2.59	38.73 ± 5.12	50.96 ± 5.70	63.52 ± 26.62	43.15 ± 5.72
顺-3-十八碳三烯酸 C18:3n3	334.30 ± 86.39	359.93 ± 61.90	363.84 ± 24.21	342.55 ± 40.10	412.00 ± 96.14	388.53 ± 81.75	425.58 ± 63.64
顺-3-十八碳四烯酸 C18:4n3	42.75 ± 6.42	38.46 ± 7.24	38.54 ± 3.34	39.83 ± 4.30	44.63 ± 12.14	42.06 ± 8.29	45.67 ± 7.37
顺-9-二十碳一烯酸 C20:1n9	126.60 ± 28.29	128.25 ± 20.16	131.09 ± 4.40	124.73 ± 14.75	143.01 ± 31.48	160.98 ± 11.03	148.54 ± 19.61
顺-4-二十碳二烯酸 C20:2n4	112.46 ± 15.92	109.08 ± 16.35	115.46 ± 3.38	105.04 ± 12.03	122.86 ± 19.59	115.97 ± 18.68	128.56 ± 9.97
顺-6-二十碳三烯酸 C20:3n6	37.84 ± 7.07	35.85 ± 5.14	37.87 ± 2.01	34.11 ± 3.68	40.32 ± 7.01	39.95 ± 7.30	39.74 ± 1.81
顺-3-二十碳三烯酸 C20:3n3	-	-	-	-	35.82 ± 1.39 ^a	32.38 ± 1.84 ^b	34.55 ± 2.50 ^{ab}
顺-6-二十碳四烯酸 C20:4n6	147.29 ± 19.40 ^b	156.48 ± 15.23 ^{ab}	167.92 ± 3.44 ^{ab}	168.85 ± 9.15 ^{ab}	178.64 ± 13.91 ^a	173.20 ± 14.90 ^{ab}	184.99 ± 9.07 ^a
顺-3-二十碳四烯酸 C20:4n3	-	34.63 ± 2.45 ^{bc}	30.78 ± 2.08 ^c	-	42.22 ± 0.03 ^a	38.36 ± 2.52 ^{ab}	37.01 ± 5.69 ^{ab}
顺-3-二十碳五烯酸 C20:5n3	139.52 ± 23.23	141.46 ± 17.47	142.02 ± 6.98	147.92 ± 12.35	157.55 ± 25.94	152.65 ± 20.47	163.04 ± 21.92
顺-6-二十二碳四烯酸 C22:4n6	-	-	25.87 ± 0.31 ^c	-	32.77 ± 0.14 ^a	31.07 ± 2.37 ^{ab}	28.65 ± 3.59 ^{bc}
顺-6-二十二碳五烯酸 C22:5n6	62.38 ± 12.12	62.47 ± 5.59	68.57 ± 2.00	66.87 ± 4.76	73.44 ± 9.55	73.20 ± 10.51	73.61 ± 5.52
顺-3-二十二碳五烯酸 C22:5n3	139.75 ± 27.66	142.24 ± 19.06	148.31 ± 9.56	141.64 ± 19.15	171.83 ± 40.89	165.98 ± 38.00	178.63 ± 28.50
顺-3-二十二碳六烯酸 C22:6n3	1 307.13 ± 222.34	1 371.71 ± 196.59	1 367.17 ± 9.37	1 349.54 ± 103.47	1 515.73 ± 180.29	1 429.76 ± 193.29	1 525.61 ± 125.13
ω-3 脂肪酸 ω-3FA	1 963.44 ± 360.54	2 088.43 ± 299.53	2 090.66 ± 49.26	2 021.48 ± 176.09	2 379.78 ± 352.36	2 249.71 ± 342.75	2 410.09 ± 252.61
ω-6 脂肪酸 ω-6FA	3 899.71 ± 915.04	4 237.00 ± 726.94	4 356.54 ± 239.04	4 078.96 ± 444.99	4 851.10 ± 991.35	4 602.10 ± 842.76	4 995.63 ± 570.36
饱和脂肪酸 SFA	1 978.92 ± 446.96	2 108.50 ± 384.90	2 081.97 ± 46.92	2 037.94 ± 209.61	2 354.91 ± 429.49	2 230.80 ± 416.51	2 334.75 ± 275.16
单不饱和脂肪酸 MUFA	6 019.04 ± 783.78	5 480.39 ± 934.74	5 273.01 ± 96.92	5 160.84 ± 608.09	6 105.64 ± 1 133.83	5 853.08 ± 1 271.99	6 327.04 ± 807.44
多不饱和脂肪酸 PUFA	5 975.61 ± 1 283.39	6 434.50 ± 1 040.74	6 562.66 ± 289.85	6 205.48 ± 632.31	7 353.75 ± 1 362.77	6 967.79 ± 1 203.15	7 534.27 ± 831.55
不饱和脂肪酸 UFA	18 013.68 ± 2 735.59	17 395.29 ± 2 904.63	17 108.67 ± 479.75	16 527.16 ± 1 843.61	19 565.02 ± 3 628.89	18 673.94 ± 3 745.10	20 188.35 ± 2 446.35

注:“-”表示样品中未检出该物质,同行中不同小写字母表示存在显著性差异($P < 0.05$)。

Notes:“-” means that the substance was not detected in the sample, and different lowercase letters in the same row indicate significant difference ($P < 0.05$).

2.3.3 对大口黑鲈游离氨基酸的影响

暂养期间,大口黑鲈鱼肉中氨基酸种类保持在 16 种(表 4),其中 15 种氨基酸的含量有显著变化($P < 0.05$),半胱氨酸的含量在整个暂养期间无显著变化($P > 0.05$)。进一步分析发现,天冬氨酸、苏氨酸、丝氨酸、谷氨酸、丙氨酸、缬氨酸、蛋氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、酪氨酸、苯丙氨酸的含量在暂养到 4 d 时显著高于对照组($P < 0.05$);赖氨酸含量暂养到 1 d 时显著高于对照组($P < 0.05$);甘氨酸和组氨酸含量从暂养第 1 天

开始显著低于对照组($P < 0.05$);精氨酸含量呈先下降后上升的变化趋势($P < 0.05$)。苦味类氨基酸含量在第 4 天时达到最大值(185.75 mg/100 g),显著高于对照组($P < 0.05$),实验组从第 7 天开始与对照组之间无显著变化($P > 0.05$)。甜味氨基酸整个实验组与对照组相比无显著变化($P > 0.05$)。鲜味氨基酸含量在实验组(4、7 d)显著高于对照组($P < 0.05$),实验组从第 10 天开始与对照组相比无显著变化($P > 0.05$)。

表 4 暂养处理对大口黑鲈游离氨基酸含量的影响

Tab.4 Effect of temporary rearing on content of free amino acid in *Micropterus salmoides* mg/100 g

氨基酸 Amino acid	处理时间 Treatment time/d						
	0	1	4	7	10	13	16
天冬氨酸 Asp	1.04 ± 0.06 ^c	1.00 ± 0.08 ^c	4.61 ± 1.06 ^a	2.79 ± 1.04 ^b	1.15 ± 0.31 ^c	1.14 ± 0.14 ^c	1.56 ± 0.45 ^{ab}
苏氨酸 Thr	13.17 ± 0.50 ^c	15.72 ± 2.52 ^c	22.09 ± 4.84 ^{ab}	24.07 ± 3.98 ^a	17.91 ± 1.95 ^{bc}	16.49 ± 1.10 ^{bc}	14.04 ± 1.31 ^c
丝氨酸 Ser	7.28 ± 0.25 ^b	6.12 ± 1.61 ^b	10.68 ± 0.04 ^a	7.45 ± 1.41 ^b	6.49 ± 0.73 ^b	6.32 ± 0.98 ^b	7.13 ± 0.72 ^b
谷氨酸 Glu	12.30 ± 0.59 ^c	15.75 ± 1.87 ^c	39.76 ± 1.59 ^a	25.7 ± 11.33 ^b	14.88 ± 2.34 ^c	14.19 ± 0.85 ^c	10.32 ± 1.35 ^c
甘氨酸 Gly	47.83 ± 5.56 ^a	27.56 ± 7.22 ^b	26.09 ± 2.23 ^b	36.17 ± 5.08 ^b	31.15 ± 5.84 ^b	30.35 ± 6.79 ^b	32.12 ± 3.45 ^b
丙氨酸 Ala	31.94 ± 2.25 ^c	41.2 ± 10.17 ^{bc}	46.91 ± 1.07 ^{ab}	45.39 ± 4.68 ^{ab}	39.40 ± 4.23 ^{bc}	39.07 ± 1.78 ^{bc}	56.27 ± 3.86 ^a
半胱氨酸 Cys	1.86 ± 0.11	2.22 ± 0.21	2.94 ± 0.37	2.15 ± 0.62	2.31 ± 0.99	1.80 ± 0.27	1.95 ± 0.18
缬氨酸 Val	4.80 ± 0.23 ^c	5.10 ± 0.36 ^{bc}	18.82 ± 1.30 ^a	9.03 ± 4.15 ^b	5.10 ± 0.47 ^{bc}	5.51 ± 0.20 ^{bc}	7.47 ± 1.12 ^{bc}
蛋氨酸 Met	1.41 ± 0.11 ^c	1.26 ± 0.21 ^c	5.36 ± 0.89 ^a	2.95 ± 1.34 ^b	2.16 ± 0.08 ^{bc}	2.11 ± 0.29 ^{bc}	3.05 ± 0.42 ^b
异亮氨酸 Ile	7.10 ± 0.54 ^b	5.40 ± 0.18 ^b	22.79 ± 3.70 ^a	10.01 ± 3.48 ^b	5.89 ± 0.38 ^b	6.00 ± 0.17 ^b	9.15 ± 1.86 ^b
亮氨酸 Leu	12.87 ± 0.54 ^{bc}	12.51 ± 0.58 ^c	36.79 ± 2.67 ^a	19.05 ± 6.22 ^b	12.96 ± 0.70 ^{bc}	12.83 ± 0.21 ^{bc}	16.95 ± 1.95 ^{bc}
酪氨酸 Tyr	2.54 ± 0.29 ^c	3.28 ± 0.04 ^c	13.79 ± 1.64 ^a	6.20 ± 4.20 ^{bc}	3.34 ± 0.26 ^c	4.65 ± 1.73 ^c	8.89 ± 1.10 ^b
苯丙氨酸 Phe	9.75 ± 0.11 ^{bc}	8.47 ± 0.31 ^c	15.90 ± 1.10 ^a	11.54 ± 1.65 ^b	10.32 ± 0.21 ^{bc}	10.33 ± 0.09 ^{bc}	11.63 ± 1.28 ^b
赖氨酸 Lys	18.81 ± 2.07 ^c	7.33 ± 0.83 ^d	41.81 ± 3.99 ^a	29.87 ± 4.43 ^b	33.51 ± 0.77 ^{ab}	35.80 ± 3.16 ^{ab}	38.91 ± 7.13 ^a
组氨酸 His	54.11 ± 1.89 ^a	45.32 ± 2.28 ^b	30.50 ± 3.17 ^{de}	40.73 ± 1.86 ^{bc}	35.86 ± 7.44 ^{cd}	26.32 ± 2.84 ^{ef}	19.89 ± 4.51 ^f
精氨酸 Arg	0.92 ± 0.20 ^{abc}	-	-	0.71 ± 0.16 ^c	0.83 ± 0.12 ^{bc}	1.11 ± 0.08 ^{ab}	1.17 ± 0.17 ^a
苦味氨基酸 BIAA	112.31 ± 3.52 ^{bc}	86.66 ± 3.33 ^c	185.75 ± 16.58 ^a	130.10 ± 24.52 ^b	110.00 ± 8.76 ^{bc}	104.66 ± 5.63 ^{bc}	117.10 ± 11.83 ^{bc}
甜味氨基酸 SWAA	100.22 ± 7.00	90.70 ± 21.17	105.76 ± 7.32	113.10 ± 5.37	94.95 ± 12.06	92.22 ± 10.12	109.56 ± 8.30
鲜味氨基酸 UMAA	13.34 ± 0.63 ^c	16.75 ± 1.94 ^c	44.37 ± 1.53 ^a	28.58 ± 12.28 ^b	16.03 ± 2.64 ^c	15.33 ± 0.98 ^c	11.88 ± 1.45 ^c

注:“-”表示样品中未检出该物质,同行中不同小写字母表示存在显著性差异($P < 0.05$)。苦味氨基酸:Phe、Leu、Met、Val、Lys、Tyr、His、Arg;甜味氨基酸:Thr、Ala、Gly、Ser;鲜味氨基酸:Asp、Glu。

Notes:“-” means that the substance was not detected in the sample, and different lowercase letters in the same row indicate significant difference ($P < 0.05$). BIAA: Phe, Leu, Met, Val, Lys, Tyr, His, Arg; SWAA: Thr, Ala, Gly, Ser; UMAA: Asp, Glu.

2.3.4 对大口黑鲈滋味活性值的影响

根据 TAV 的定义^[24],TAV > 1 的游离氨基酸见表 5。从表 5 可以看出,具有鲜味的谷氨酸 TAV 值在暂养到第 4 天和第 7 天时显著高于对照组($P < 0.05$),实验组从第 10 天开始与对照组

之间无显著变化($P > 0.05$)。而具有苦味的组氨酸含量则在整个暂养期间均低于对照组($P < 0.05$),表明暂养将有利于促进大口黑鲈鱼肉滋味的提升。

表 5 暂养处理对大口黑鲈滋味活性值影响

Tab. 5 Effect of temporary rearing on the taste active value in *Micropterus salmoides*

氨基酸 Amino acid	阈值 Threshold/ (mg/100 g)	处理时间 Treatment time/d						
		0	1	4	7	10	13	16
谷氨酸 Glu	30	0.41 ± 0.02 ^c	0.53 ± 0.06 ^c	1.27 ± 0.05 ^a	0.86 ± 0.38 ^b	0.50 ± 0.08 ^c	0.47 ± 0.03 ^c	0.34 ± 0.05 ^c
组氨酸 His	20	2.71 ± 0.09 ^a	2.27 ± 0.11 ^b	1.52 ± 0.16 ^{de}	2.04 ± 0.09 ^{bc}	1.79 ± 0.37 ^{cd}	1.32 ± 0.14 ^{ef}	0.99 ± 0.23 ^f

注:同行中不同的小写字母表示存在显著性差异($P < 0.05$)。

Notes: Different lowercase letters in the same row indicate significant differences ($P < 0.05$).

2.4 不同暂养时间对大口黑鲈鱼肉质构特性的影响

由表 6 可以看出,大口黑鲈鱼肉的硬度参数在暂养处理 10 d 和 16 d 均显著高于暂养 1 d ($P < 0.05$),鱼肉的黏性、咀嚼性、黏聚性的参数

变化情况相同,均为暂养 10 d 显著高于暂养 1 d 和 16 d,且 1 d 和 16 d 之间无显著变化($P < 0.05$),弹性、回复性在 3 个采样时间点上无显著变化($P > 0.05$)。

表 6 暂养处理对大口黑鲈质构特性的影响

Tab. 6 Effect of temporary rearing on the texture properties of *Micropterus salmoides*

指标 Index	处理时间 Treatment time/d		
	1	10	16
硬度 Hardness	1 443.20 ± 277.83 ^c	2 318.80 ± 64.20 ^a	1 937.20 ± 182.43 ^b
黏性 Adhesiveness	13.03 ± 5.09 ^b	27.42 ± 5.67 ^a	16.81 ± 3.77 ^b
弹性 Springiness	0.57 ± 0.02	0.57 ± 0.03	0.54 ± 0.03
咀嚼性 Chewiness	551.56 ± 133.76 ^b	938.14 ± 86.38 ^a	678.25 ± 41.78 ^b
黏聚性 Cohesiveness	0.66 ± 0.01 ^b	0.70 ± 0.01 ^a	0.66 ± 0.02 ^b
回复性 Resilience	0.84 ± 0.04	0.87 ± 0.03	0.81 ± 0.04

注:同行中不同的小写字母表示存在显著性差异($P < 0.05$)。

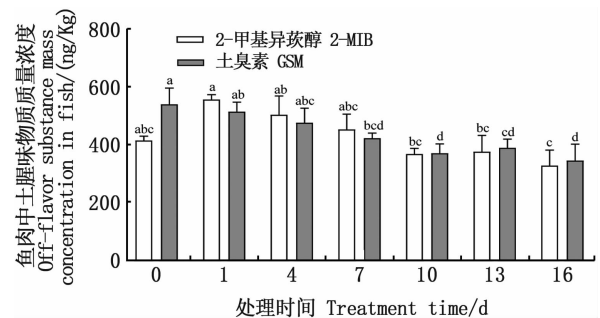
Notes: Different lowercase letters in the same row indicate significant differences ($P < 0.05$).

2.5 暂养处理对大口黑鲈土腥味物质含量的影响

在实验期间,大口黑鲈鱼肉中 2-MIB 含量实验组与对照组之间无显著变化($P > 0.05$),而实验组中含量呈逐渐下降趋势,从暂养第 10 天开始与暂养 1 天相比出现显著下降($P < 0.05$)。GSM 含量随着暂养时间的延长,呈现逐渐下降的趋势,从第 7 天开始 GSM 含量均显著低于对照组(423.17 ng/kg, $P < 0.05$),到第 16 天达到最低(345.70 ng/kg, $P < 0.05$)。见图 3。

表 7 为对土腥味物质含量与形体指标、脂肪含量等进行相关性分析的结果。从表 7 可以看出:鱼肉中 2-MIB 含量与肥满度有极显著正相关($r = 0.791, P < 0.01$),与脂肪含量和平均体质量具有显著正相关($r = 0.670, P < 0.05$; $r = 0.670, P < 0.05$)。GSM 含量与脏体指数、肝体指数、肥

满度呈极显著正相关($r = 0.819, P < 0.01$; $r = 0.818, P < 0.01$; $r = 0.769, P < 0.01$),与平均体质量具有显著正相关($r = 0.660, P < 0.05$)。



图中不同的小写字母表示存在显著性差异($P < 0.05$)。

Different lowercase letters in the figure indicate significant difference ($P < 0.05$).

图 3 暂养处理对大口黑鲈土腥味含量的影响
Fig. 3 Effect of temporary rearing on content of off-flavor compounds in *Micropterus salmoides*

表 7 土腥味物质含量与鱼体指标的相关性分析
Tab.7 Correlation analysis between off-flavor substance content and fish body indicators

指标 Index	脏体指数 VSI	肝体指数 HSI	肥满度 CF	脂肪含量 FC	平均体质量 MW
2-甲基异苊醇 2-MIB	0.179	0.376	0.626 **	0.449 *	0.449 *
土臭素 GSM	0.671 **	0.670 **	0.590 **	0.358	0.436 *

注: * 表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关; ** 表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关。

Notes: *. Significantly correlated at the 0.05 level (bilateral); **. Significantly correlated at the 0.01 level (bilateral).

3 讨论

3.1 清水吊养对鱼体指标的影响

生物饥饿时,将利用身体储备的能量维持身体的代谢活动,其中糖类和脂质优先被消耗^[25]。鱼类脏体指数、肝体指数、肥满度等形体指标是判断营养状况和生长情况的初级指标^[26]。本研究中饥饿暂养后,大口黑鲈的脏体指数和肝体指数(第 4 天除外)显著低于对照组,分析原因应该是肝脏和内脏周围的营养物质在饥饿暂养过程中被快速消耗所致。LYU 等^[9]和 PALMERI 等^[27]认为在饥饿条件下,草鱼和墨瑞鲈(*Maccullochella peelii*)会优先使用肝脏和内脏周围的脂类物质,而不是鱼肉中的脂类物质。鱼体中脂质和水分含量之间存在负相关关系,脂质分解代谢后会补充水分^[25],表 2 中水分含量上升(第 1 天和第 4 天)也说明了这一点。因此,本研究中大口黑鲈的肥满度仅在饥饿暂养 1 d 后显著高于对照组,且平均体质量暂养 1 d 后略高于对照组,是因为饥饿早期水分进入鱼体内所致;而随着饥饿时间的延长,营养物质被不断消耗,从而导致肥满度先升高后下降;实验中平均体质量在经过 16 d 暂养后无显著下降,可能因为误差范围内采样不均引起。

3.2 清水吊养对鱼类营养成分的增加作用

肌肉的营养成分组成和含量是鱼肉品质评价的主要指标^[28]。本研究显示,鱼肉中灰分含量在暂养一段时间后显著上升,这是由于暂养期间,鱼体处于饥饿状态下,消耗了鱼肉中的糖类和脂肪,并吸收水体中的矿物质。这与循环水暂养处理下团头鲂的鱼肉品质变化结果一致^[8]。BOSWORTH 等^[29]和 DAVIS 等^[30]认为饥饿早期碳水化合物会减少,可能是鱼体为适应饥饿状态进行糖原分解代谢的结果。本研究中水溶性蛋白和总糖含量有显著变化,而鱼肉的弹性无显著变化。这跟鱼种、品质分析时的鱼肉状态以及养殖水体密切相关^[31]。李清等^[32]发现 I 类水质池

塘与 III 类水质池塘鲤鱼蛋白质、粗脂肪含量有显著差异,表明水质对鱼肉品质有重要影响。本研究中的暂养池塘水体属于 I 类水质,有利于大口黑鲈鱼肉品质的提升。

本研究还发现随着暂养时间的延长,大口黑鲈鱼肉中不饱和脂肪酸的种类在增加。SECOR 等^[33]与 LYU 等^[9]认为饥饿处理导致多不饱和脂肪酸种类的增加:一方面是鱼体内脂肪酸代谢途径发生改变,机体优先利用体内的饱和脂肪酸和单不饱和脂肪酸,使机体中多不饱和脂肪酸比例增加;另一方面鱼肉中脂肪酸在代谢分解过程中也会产生游离脂肪酸,使不饱和脂肪酸含量上升,促使草鱼鱼肉中大部分脂肪醛和脂肪醇含量减少^[34],而这有利于异味物质含量下降和风味物质积累。此外,研究发现不饱和脂肪酸中的亚油酸具有降低血脂和软化血管的作用,而被称为脑黄金的 DHA 对婴儿脑部发育有重要影响^[35]。EPA 在对心脏保护和防止动脉硬化的形成以及减少血小板聚集等方面有重要作用^[36]。本研究发现这几种脂肪酸含量随着暂养时间的延长呈波动性上升,有利于鱼体营养增加。

3.3 清水吊养在鱼肉风味、口感提升中的作用

池塘种植的沉水植物在生长期能够吸收水体中氮、磷等营养物质,使水体得到净化^[37]。刘明文等^[38]和常宝亮等^[39]研究发现,苦草对于水体 TN、TP、 PO_4^{3-} 等均有较好的去除效果,并能有效抑制铜绿微囊藻的生长,减少池塘中土腥味物质的产生^[40]。土腥味物质是多种化学物质的总称,其中 2-MIB 和 GSM 因其来源广、阈值低等特点,对水产品品质的影响最为广泛^[5]。本研究发现,暂养处理难以去除鱼肉中的 2-MIB,但对 GSM 有较好的去除作用。其去除效果与暂养时间有关,这一点与罗非鱼^[41]和大西洋鲑(*Salmo salar*)^[42]的暂养处理结果一致。土腥味物质属于烯萜醇类物质,具有亲脂性、半挥发性以及抗氧化能力,富集在脂肪丰富的组织中^[5]。这种特性导致鱼肉中土腥味物质去除困难。

醇类、酮类和醛类等是形成鱼体气味的成分,而影响鱼体滋味的物质包括游离氨基酸、核苷酸类和有机酸类等^[34]。游离氨基酸的增加是引起鱼肉滋味变化的重要因素^[9],其作用大小由TAV决定,即呈味物质检测值与该物质阈值的比值。当TAV>1时,随着数值增大影响作用增加;当TAV<1时,该呈味物质贡献不明显^[24]。本研究发现,暂养处理一定时间,大口黑鲈鱼肉中鲜味氨基酸TAV>1(4 d),苦味氨基酸TAV值显著下降最终小于1,显著地改善了鱼肉品质。阮秋凤等^[34]研究短时间微流水对草鱼鱼肉风味品质的影响,以及陈周等^[10]研究短时间微流水处理对池塘养殖草鱼鱼肉品质的提升作用,均发现了呈味物质的累积和异味强度下降的规律。氨基酸对于生物至关重要,研究发现,谷氨酸在脑组织的生化代谢过程中发挥重要作用,参与多种活性物质的生成,而缬氨酸是蛋白质合成的重要原料,在促进氮储存和抑制蛋白质分解等方面有重要作用^[35]。本研究中包括这两种氨基酸在内,暂养后含量有显著性上升(第4天),这对于鱼肉品质的提升有重要作用。

质构是构成食品组织特性的重要指标之一,与食品的外观、风味、营养成分一起构成了食品的四大品质要素^[43]。胡芬等^[44]认为鱼肉硬度较大、弹性较强时,口感会更好。本研究中鱼肉硬度显著性上升,表明暂养处理能在一定程度上提升大口黑鲈鱼肉口感。

4 结论

大口黑鲈经过清水池塘吊水养殖处理,鱼肉品质有显著性改善,主要体现如下:(1)鱼肉硬度和咀嚼性显著提升,不饱和脂肪酸种类增加;(2)具有鲜味的谷氨酸显著上升,而具有苦味的组氨酸显著下降,鱼体土腥味物质含量随着暂养时间的持续而显著性下降;(3)综合品质效果以及生产经济效益考虑,净化时间以10 d为宜。

参考文献:

- [1] 农业农村部渔业渔政管理局,全国水产技术推广总站,中国水产学会. 2020中国渔业统计年鉴[M]. 北京:中国农业出版社,2020:33.
Fisheries Administration Bureau of Ministry of Agriculture and Rural Affairs, National Fisheries Technology Extension Center, China Society of Fisheries. China fishery statistical yearbook in 2020[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2020: 33.
- [2] 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. 2021中国渔业统计年鉴[M]. 北京:中国农业出版社,2021:25.
Fisheries Administration Bureau of Ministry of Agriculture and Rural Affairs, National Fisheries Technology Extension Center, China Society of Fisheries. China fishery statistical yearbook in 2021[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2021: 25.
- [3] WAN J L, CAO A L, CAI L Y. Effects of vacuum or sous-vide cooking methods on the quality of largemouth bass (*Micropterus salmoides*) [J]. International Journal of Gastronomy and Food Science, 2019, 18: 100181.
- [4] 胥钦,乔宇,汪莹,等. 超高压结合真空低温烹调处理对鲈鱼品质的影响[J]. 食品工业,2021,42(6):174-178.
XU Q, QIAO Y, WANG Y, et al. Effect of high hydrostatic pressure combined with sous-vide treatment on quality of perch[J]. The Food Industry, 2021, 42(6): 174-178.
- [5] 刘利平,李慷,闫莉. 水产动物体内土腥味物质的来源、检测及其防控与去除的研究进展[J]. 水产学报,2021,45(5):813-829.
LIU L P, LI K, YAN L. Sources, determination, prevention and elimination of off-flavour compounds in aquatic animals [J]. Journal of Fisheries of China, 2021, 45(5): 813-829.
- [6] DAVIDSON J, SCHRADER K, RUAN E, et al. Evaluation of depuration procedures to mitigate the off-flavor compounds geosmin and 2-methylisoborneol from Atlantic salmon *Salmo salar* raised to market-size in recirculating aquaculture systems[J]. Aquacultural Engineering, 2014, 61: 27-34.
- [7] SCHRADER K K, RUBIO S A, PIEDRAHITA R H, et al. Geosmin and 2-methylisoborneol cause off-flavors in cultured largemouth bass and white Sturgeon reared in recirculating-water systems[J]. North American Journal of Aquaculture, 2005, 67(3): 177-180.
- [8] 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.
- [9] LYU H, HU W H, XIONG X B, et al. Depuration and starvation improves flesh quality of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) [J]. Aquaculture Research, 2018, 49(9): 3196-3206.
- [10] 陈周,胡杨,安琦琦,等. 短时间微流水处理对池塘养殖草鱼鱼肉品质的提升作用[J]. 水产学报,2020,44(7):1198-1210.
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 [J]. Journal of Fisheries of China, 2020, 44(7): 1198-1210.

- [11] 杜伟光, 李小定, 王术娥, 等. 尼罗罗非鱼暂养阶段挥发性成分的变化[J]. 食品科学, 2011, 32(14): 215-218.
DU W G, LI X D, WANG S E, et al. Changes of volatile components in Nile Tilapia during purging process[J]. Food Science, 2011, 32(14): 215-218.
- [12] 郭雅倩, 薛建辉, 吴永波, 等. 沉水植物对富营养化水体的净化作用及修复技术研究进展[J]. 植物资源与环境学报, 2020, 29(3): 58-68.
GUO Y Q, XUE J H, WU Y B, et al. Research progress on purification effects and restoration technologies of submerged macrophytes on eutrophic water [J]. Journal of Plant Resources and Environment, 2020, 29(3): 58-68.
- [13] 韩苗苗. 沉水植物光合作用对河湖水质净化过程的影响研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2021: 1-74.
HAN M M. Effects of photosynthesis by submerged plants on water purification in river and lake [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2021: 1-74.
- [14] 国家环境保护总局, 《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法[M]. 4 版. 北京: 中国环境科学出版社, 2009.
Editorial Board of Water and Wastewater Monitoring and Analysis Method, State Environmental Protection Administration. Water and wastewater monitoring and analysis methods[M]. 4th ed. Beijing: China Environmental Science Press, 2009.
- [15] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中水分的测定:GB 5009.3—2016 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. National food safety standards determination of moisture in foods:GB 5009.3 - 2016 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.
- [16] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中灰分的测定:GB 5009.4—2016 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. National food safety standards determination of ash in foods: GB 5009.4 - 2016 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.
- [17] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定:GB 5009.5—2016 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, China Food and Drug Administration. National food safety standards determination of protein in foods: GB 5009.5 - 2016 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.
- [18] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中脂肪的测定:GB 5009.6—2016 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, China Food and Drug Administration. National food safety standards determination of lipid in foods:GB 5009.6 - 2016 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.
- [19] 蒋静. 电磁加热模式对鲫鱼汤营养素释放的影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2016: 1-74.
JIANG J. The influence of electromagnetic heating mode on the nutrients release of crucian soup [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2016: 1-74.
- [20] 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: 1-132.
GUO X D. Quality improvement of circulating water starvation treatment on the muscle of blunt snout bream [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2019: 1-132.
- [21] 徐楚, 王锡昌, 侯玉军, 等. 高白鲑肌肉营养评价及风味物质分析[J]. 食品与营养科学, 2020, 9(1): 47-58.
XU C, WANG X C, HOU Y J, et al. Nutritional assessment and flavor compounds analysis of Muscles of coregonus peled [J]. Hans Journal of Food and Nutrition Science, 2020, 9(1): 47-58.
- [22] 张凯. 不同系统对养殖水体和罗非鱼肌肉异味物质含量的影响[D]. 上海: 上海海洋大学, 2017: 1-62.
ZHANG K. Impact of different cultivation systems on the accumulation of off-flavor compounds in tilapia flesh [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2017: 1-62.
- [23] 国家环境保护总局, 国家质量监督检验检疫总局. 地表水环境质量标准:GB 3838—2002 [S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
State Environmental Protection Administration, General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Environmental quality standards for surface water: GB 3838 - 2002 [S]. Beijing: China Environmental Press, 2002.
- [24] 马海建, 施文正, 宋洁, 等. 超高压处理对草鱼鱼肉风味物质的影响[J]. 现代食品科技, 2016, 32(8): 204-212.
MA H J, SHI W Z, SONG J, et al. Effects of ultra-high pressure treatment on flavor substances in grass carp [J]. Modern Food Science and Technology, 2016, 32(8): 204-212.
- [25] 宋红彬. 黄姑鱼 (*Nibea albiflora*) 对低温与饥饿胁迫的生理响应及差异表达谱的初步研究[D]. 舟山: 浙江海洋大学, 2019: 1-80.
SONG H B. Preliminary study on physiological response and differential expression profiles of yellow drum (*Nibea albiflora*) to low temperature and starvation [D]. Zhoushan: Zhejiang Ocean University, 2019: 1-80.
- [26] 黄春红, 肖调义, 胡毅, 等. 基于肝脂的草鱼肝脂过量累积评价指标构建[J]. 南京农业大学学报, 2016, 39(4): 640-649.
HUANG C H, XIAO T Y, HU Y, et al. Indicators construction for excessive lipid accumulation in

- hepatopancreas of grass carp based on hepatopancreas lipid [J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2016, 39(4): 640-649.
- [27] 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.
- [28] 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[J]. 水产学报, 2016, 40(7): 1050-1059.
- 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 [J]. Journal of Fisheries of China, 2016, 40(7): 1050-1059.
- [29] BOSWORTH B G, WOLTERS W. Effects of short - term feed restriction on production, processing and body shape traits in market - weight channel catfish, *Ictalurus punctatus* (Rafinesque) [J]. Aquaculture Research, 2005, 36(4): 344-351.
- [30] DAVIS K B, GAYLORD T G. Effect of fasting on body composition and responses to stress in sunshine bass [J]. Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology, 2011, 158(1): 30-36.
- [31] 杨京梅. 大宗淡水鱼原料特性研究[D]. 无锡: 江南大学, 2011: 1-38.
- YANG J M. Study on material characteristics of conventional freshwater fish [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2011: 1-38.
- [32] 李清, 李德运, 刘勇, 等. 不同水源池塘对鱼肉品质的影响[C]//经济发展方式转变与自主创新——第十二届中国科学技术协会年会. 昆明: 中国水产学会, 2010.
- LI Q, LI D Y, LIU Y, et al. Effects of ponds of different water sources on fish quality [C]//The 12th Annual Conference of China Association for Science and Technology. Kunming: China Society of Fisheries, 2010.
- [33] SECOR S M, CAREY H V. Integrative physiology of fasting [J]. Comprehensive Physiology, 2016, 6(2): 773-825.
- [34] 阮秋风, 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.
- [35] 刘崇万, 朱晓华, 孟勇, 等. 池塘循环水槽养殖模式对斑点叉尾鲴鱼肉营养品质的提升作用[J]. 江苏农业学报, 2021, 37(2): 418-425.
- LIU C W, ZHU X H, MENG Y, et al. Improvement of in-pond raceway system on the nutritional quality in the muscle of *Letaurus punetaus* [J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2021, 37(2): 418-425.
- [36] DE CARVALHO C C R, CARAMUJO M J. The various roles of fatty acids [J]. Molecules, 2018, 23(10): 2583.
- [37] 苗金, 原海燕, 黄苏珍. 10种水生观赏植物对不同富营养化水体的净化效果研究[J]. 水土保持学报, 2015, 29(2): 60-64, 75.
- MIAO J, YUAN H Y, HUANG S Z. Study on the purification of ten species of ornamental plants for different eutrophic water [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2015, 29(2): 60-64, 75.
- [38] 刘明文, 孙昕, 李鹏飞, 等. 3种水生植物及其组合吸收去除水中氮磷的比较[J]. 环境工程学报, 2021, 15(4): 1289-1298.
- LIU M W, SUN X, LI P F, et al. Comparison of the absorption and removal of nitrogen and phosphorus from waterbody by three aquatic plants and their combinations [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2021, 15(4): 1289-1298.
- [39] 常宝亮, 上官凌飞, 沈志国, 等. 六种沉水植物对三种不同氮磷浓度水体的净化效果[J]. 给水排水, 2021, 57(s1): 230-236.
- CHANG B L, SHANGGUAN L F, SHEN Z G, et al. Purification effect of six submerged macrophytes on three different concentrations of nitrogen and phosphorus [J]. Water & Wastewater Engineering, 2021, 57(s1): 230-236.
- [40] 高云霓, 刘碧云, 王静, 等. 苦草 (*Vallisneria spiralis*) 释放的酚酸类物质对铜绿微囊藻 (*Microcystis aeruginosa*) 的化感作用[J]. 湖泊科学, 2011, 23(5): 761-766.
- GAO Y N, LIU B Y, WANG J, et al. Allelopathic effects of phenolic compounds released by *Vallisneria spiralis* on *Microcystis aeruginosa* [J]. Journal of Lake Sciences, 2011, 23(5): 761-766.
- [41] YAMPRAYOON J, NOOMHORM A. Geosmin and off-flavor in Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) [J]. Journal of Aquatic Food Product Technology, 2000, 9(2): 29-41.
- [42] 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.
- [43] 吴朝朝, 陈丽丽, 袁美兰, 等. 短期暂养对鲫鱼肉质品质影响的研究[J]. 食品工业科技, 2015, 36(15): 334-337.
- WU C C, 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.
- [44] 胡芬, 李小定, 熊善柏, 等. 5种淡水鱼肉的质构特性及与营养成分的相关性分析[J]. 食品科学, 2011, 32(11): 69-73.
- HU F, LI X D, XIONG S B, et al. Texture properties of freshwater fish and their correlation with nutritional components [J]. Food Science, 2011, 32(11): 69-73.

Effect of temporary rearing treatment in clear water pond on the quality improvement of largemouth bass (*Micropterus salmoides*)

LU Qiang¹, LI Kang^{1,2,3}, LI Zhengcheng¹, BA Xubing¹, XU Yan¹, ZHANG Meiqiong⁴, LIU Liping^{1,2,3}

(1. Key Laboratory of Exploration and Utilization of Aquatic Genetic Resources, Ministry of Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. Shanghai Engineering Research Center of Aquaculture, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 3. National Demonstration Center for Experimental Fisheries Science Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 4. Shanghai Kaitaiyu Culture Development Co. Ltd., Shanghai 201501, China)

Abstract: Off-flavor problem commonly exists in traditional aquaculture systems, and it has been reported that a temporary rearing model with clean water could remove the off-flavor in fish effectively. In order to study the effect of temporary rearing on off-flavor depuration and fish quality improvement of largemouth bass (*Micropterus salmoides*), we have cultured fish in pond with *Vallisneria spiralis* for different time (0, 1, 4, 7, 10, 13, 16 d). The results showed that: (1) The concentration of 2-methylisoborneol (2-MIB) and geosmin (GSM) decreased from $(0.42 \pm 0.01) \mu\text{g}/\text{kg}$ and $(0.54 \pm 0.06) \mu\text{g}/\text{kg}$ to $(0.33 \pm 0.05) \mu\text{g}/\text{kg}$ and $(0.35 \pm 0.06) \mu\text{g}/\text{kg}$, respectively (10 th day). (2) Moisture of fish muscle was decreased significantly to $(74.90 \pm 2.40)\%$ (7 th day), and ash content was increased significantly to $(1.27 \pm 0.17)\%$ (7 th day). The total sugar content firstly decreased and then recovered to the initial level of $(0.49 \pm 0.03) \text{g}/100 \text{g}$ (13 th day). (3) Three kinds of unsaturated fatty acids (C20:3n3, C20:4n3 and C22:4n6) were increased, and 23 kinds of total fatty acids were detected in fish (10 th day); there were 16 kinds of free amino acids, and the taste active values (TAV) of amino acids were significantly different through the extension of rearing time ($P < 0.05$), including glutamate (TAV > 1) with umami taste and histidine (TAV < 1) with bitter taste. (4) After 10 days of temporary rearing, the hardness and chewiness of fish were significantly increased. In conclusion, the temporary rearing in clear water pond planted with *Vallisneria spiralis* could significantly depurate off-flavor and improve the quality of largemouth bass, and a 10-day temporary rearing is beneficial to both quality and economic value enhancement.

Key words: *Micropterus salmoides*; starvation treatment; temporary rearing; quality improvement