



池塘养殖和大湖养殖对“华海 1 号”团头鲂鱼肉品质的影响

李温蓉^{1,2}, 田明礼³, 安玥琦^{2,4}, 温利^{1,2}, 陈浩^{1,2},
肖淑婷^{1,2}, 阮秋风^{1,2}, 刘茹^{1,2,4}, 熊善柏^{1,2,4*}

(1. 华中农业大学食品科学技术学院, 湖北 武汉 430070;

2. 国家大宗淡水鱼加工技术研发分中心, 湖北 武汉 430070;

3. 湖南喜味佳生物科技有限公司, 湖南 岳阳 414000;

4. 长江经济带大宗水生生物产业绿色发展教育部工程研究中心, 湖北 武汉 430070)

摘要: 为探究不同养殖模式下新品种“华海 1 号”团头鲂的品质差异, 实验以不同养殖模式(池塘组及大湖组)的“华海 1 号”团头鲂为对象, 采用色差仪、质构仪对其外观及质地进行测定, 采用超高效液相色谱仪或气相色谱-质谱联用仪等对营养特性和风味物质进行测定。结果显示, 大湖养殖团头鲂肉质的亮度、白度、弹性、咀嚼性、回复性均显著高于池塘组, 且大湖组肌肉水分含量更高, 粗脂肪含量更低。池塘组和大湖组鱼肉 EAA/TAA 及 EAA/NEAA 比值分别为 0.41、0.82 以及 0.38、0.72, 均符合 FAO/WHO 推荐的理想必需氨基酸构成。池塘组必需氨基酸指数虽高于大湖组, 但其必需氨基酸中仅赖氨酸含量显著高于大湖组, 而大湖组鱼肉中非必需氨基酸及半必需氨基酸含量分别为池塘组的 1.05 倍及 1.01 倍, 且大湖组总脂肪酸含量下降 21.09%, 多不饱和脂肪酸占比提升 4.00%, EPA 和 DHA 含量分别为池塘组的 14.20 倍和 7.51 倍, 故大湖组鱼肉营养更为均衡。池塘组鱼肉谷氨酸及丙氨酸 TAV 值均大于 1, 大湖组赖氨酸 TAV 值大于 1, 但大湖组鱼肉中鲜味及甜味氨基酸总占比更高, 苦味氨基酸总占比更低, 且大湖组呈鲜味的 AMP 及 IMP 含量为池塘组的 1.24 倍及 1.54 倍, 而呈苦味的 Hx 及 HxR 仅为池塘组的 62.74% 及 44.53%, 结合感官评价可知, 呈味物质的相互作用使熟制后大湖组鱼肉呈现鲜甜味。大湖组鱼肉中对气味呈负面影响的 (Z)-4-庚烯醛、1-己醇等挥发性化合物含量及 ROAV 值更低, 气味品质更佳。大湖组感官评价中质地、色泽、滋味、气味各项得分均显著高于池塘组。研究表明, 大湖养殖团头鲂的质地品质及营养品质均优于池塘养殖模式, 且熟制后鱼肉风味更适口, 可作为一种更优的养殖模式进行推广, 本研究为选取合适的养殖模式以提升“华海 1 号”团头鲂肌肉品质提供了理论依据。

关键词: “华海 1 号”团头鲂; 质地品质; 营养品质; 风味品质; 池塘养殖; 大湖养殖

中图分类号: S 965.119

文献标志码: A

团头鲂 (*Megalobrama amblycephala*) 又称武昌鱼, 是我国长江中下游湖泊主养的草食性经济

鱼类之一^[1], 2020 年我国团头鲂养殖总产量达 78.17 万 t, 同比增长 2.47 %^[2]。团头鲂成活率高、

收稿日期: 2022-02-28 修回日期: 2022-03-24

资助项目: 国家现代农业产业技术体系专项 (CARS-45-28)

第一作者: 李温蓉(照片), 从事水产品加工及贮藏研究, E-mail: lwrong@webmail.hzau.edu.cn

通信作者: 熊善柏, 从事水产品加工及贮藏研究, E-mail: xionsgb@mail.hzau.edu.cn



生长速率快、易饲养和捕捞, 是养殖者喜爱的经济鱼种, 同时又因较高的营养价值而受消费者的青睐^[3-4]。然而, 团头鲂自然分布区域狭小, 多集中于长江中下游湖泊, 遗传多样性低, 近亲繁殖极易引起生长速率减慢、抗病抗逆能力降低、性成熟提早等不良现象, 使得其经济性性状衰退^[5]。为此, 华中农业大学高泽霞团队以天然分布于湖北梁子湖和江西鄱阳湖的野生团头鲂亲本作为基础选育群体, 以生长速率及成活率为目标性状, 经过 4 代选育后获得遗传性状稳定、生长速率快、成活率高的新品种“华海 1 号”^[6]。

养殖模式会显著影响鱼体肉质的品质特性^[7-9]。马玲巧等^[10]研究表明, 与水库网箱养殖相比, 池塘养殖斑点叉尾鲂 (*Ictalurus punctatus*) 肌肉具有较好的持水力, 且其凝聚性及回复性较高。丁德明等^[11]通过测定常规营养成分、氨基酸、脂肪酸等营养指标表明, 大湖养殖翘脚鲌 (*Culter alburnus*) 的营养品质显著优于池塘养殖。目前, 关于养殖模式对团头鲂新品种“华海 1 号”的加工与食用品质特性的影响尚未见报道。本研究以池塘养殖和大湖养殖的“华海 1 号”团头鲂为对象, 测定两种养殖模式下“华海 1 号”团头鲂的形体指标、物理特性、营养特性及风味指标, 比较养殖模式对团头鲂食用品质的影响, 为团头鲂新品种“华海 1 号”的推广确定合适养殖模式提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验用鱼 池塘养殖“华海 1 号”团头鲂, 体质量 (0.930 ± 0.230) kg, 体长 (39.06 ± 2.34) cm; 大湖养殖“华海 1 号”团头鲂, 体质量 (0.879 ± 0.172) kg, 体长 (39.81 ± 2.24) cm, 均来自于湖北省黄冈市浠水县望天湖渔场。于 2021 年 11 月 26 日在池塘和大湖中各随机取样 8 尾, 鲜鱼运输至实验室分析。两种养殖模式下的“华海 1 号”团头鲂敲击致死并测量形体指标, 随后去鳞、去头、去内脏, 取鱼背部肌肉用于后续指标分析。

主要试剂 乙醚、石油醚 (沸程 30~60 °C)、95% 乙醇、盐酸、氢氧化钠均为分析纯, 购于国药集团化学试剂有限公司; 异硫氰酸苯酯、三乙胺均为优级纯, 购于国药集团化学试剂有限公司; 甲醇、乙腈、正己烷、氨基酸混标均为色谱级, 购于上海安谱实验科技股份有限公司; 脂肪酸甲

酯混标均为色谱级, 购于美国 Sigma-Aldrich 公司。核苷酸标品 [5'-三磷酸腺苷 (ATP)、5'-二磷酸腺苷 (ADP)、5'-一磷酸腺苷 (AMP)、鸟嘌呤核苷酸 (GMP)、5'-次黄嘌呤核苷酸 (IMP)、次黄嘌呤核苷 (HxR)、次黄嘌呤 (Hx)]、乙醇、环己酮均为色谱纯, 购于上海源叶生物科技有限公司。

1.2 主要设备

FA-1004 电子分析天平, 上海舜宇恒平科学仪器有限公司; BR4I 型离心机, 美国 Thermo Fisher 公司; CR-400 型色差仪, 日本 KonicaMinolta 公司; TA-XTPlus 型质构分析仪, 英国 Stable Micro Systems 公司; 8890-7000D 型气相色谱质谱联用仪、1260 型液相色谱仪、7890A 型气相色谱仪, 美国 Agilent 科技公司; PAL RTC 120 自动进样器, 瑞士 CTC 公司。

1.3 实验方法

形体指标测定 宰杀时记录团头鲂的体长 (L)、体质量 (W)、内脏重 (W_I)、去头去鳞去内脏后体质量 (W_L), 其脏体指数、空壳率及肥满度按下述公式计算^[12]:

脏体指数 (viscerosomatic index, VI, %) = $(W_I / W) \times 100\%$

空壳率 (empty shell rate, ESR, %) = $(W_L / W) \times 100\%$

肥满度 (condition factor, CF, g/cm^3) = $(W / L^3) \times 100$

色度测定 将鱼背部肌肉切成长、宽、高为 3 cm × 3 cm × 1 cm 的规格, 采用 CR-400 色差仪对样品进行色度测定。分别记录背部肌肉及所带鱼皮两面的色差值 L^* (亮度值)、 a^* (红绿值)、 b^* (黄蓝值)。白度计算公式^[13]:

$$\text{白度} = 100 - \sqrt{(100 - L^*)^2 + (a^*)^2 + (b^*)^2}$$

全质构测定 参考陈东清^[14]所述方法, 使用 TA-XTPlus 物性测试仪测定鱼背部肌肉的质构特性。

蒸煮损失率测定 团头鲂的持水性可采用蒸煮损失率表示, 损失越大代表持水性越差。参考刘云轩^[15]的方法并稍作修改, 取于 4 °C 解冻 12 h 后的团头鲂去皮后的背部肌肉, 用滤纸吸干表面水分并称重, 计为 m_1 , 随后将其置于蒸锅中蒸制 5 min 后, 置于常温冷却, 用滤纸吸干表面水分并称重, 计为 m_2 , 计算蒸煮损失率^[16]:

$$\text{蒸煮损失率}(\%) = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100\%$$

常规营养成分的测定 常规营养成分的测定均选取团头鲂背部肌肉为样品, 其中水分含量测定参考 GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》^[17], 采用直接干燥法; 粗灰分含量测定参考 GB 5009.4—2016《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》^[18], 采用马弗炉高温灼烧法; 粗蛋白含量测定参考 GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》^[19], 采用凯氏定氮法; 粗脂肪含量测定参考 GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》^[20], 采用索氏抽提法。

脂肪酸含量的测定 鱼肉中脂肪酸组成的测定参照 GB 5009.168—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪酸的测定》^[21]。游离脂肪酸的测定: 称取 0.5 g 去皮后鱼背部肌肉, 加入 2 mL 95% 乙醇和 4 mL 水, 混匀。加入 10 mL 95% 乙醇, 混匀, 再加入 30 mL 乙醚石油醚 ($V_{\text{乙醚}}:V_{\text{石油醚}}=1:1$) 混合液, 振摇 5 min, 静置 10 min, 收集醚层提取液, 重复提取水解液 3 次, 将醚层水浴蒸干, 残留物为脂肪提取物。将烧瓶放入 60 °C 烘箱中烘干至恒重, 并称重待甲酯化。水解脂肪酸的测定为在上述方法“加入 10 mL 95% 乙醇”之前, 向样品中加入 10 mL 8.3 mol/L 盐酸溶液, 于 80 °C 水解 40 min, 并冷却至室温, 其余操作相同。

脂肪甲酯化 向烧瓶中加入 4 mL 0.5 mol/L 氢氧化钠甲醇溶液, 45 °C 水浴加热 20 min, 加入 4 mL 14% 三氟化硼甲醇溶液, 45 °C 水浴加热 20 min。冷却至室温, 加入 3 mL 正己烷萃取 2 min, 静置分层后取正己烷层过 0.45 μm 滤膜后上机。

色谱条件 HP-88 色谱柱 (100 m×0.25 mm, 0.2 μm); 进样口温度: 260 °C; 载气流速: 1.3 mL/min; 分流比: 20:1。升温程序: 先于 100 °C 保持 13 min 后以 10 °C/min 的速率升至 180 °C 保持 6 min, 再以 1 °C/min 的速率升至 192 °C 保持 9 min, 最终以 4 °C/min 的速率升至 240 °C 保持 2 min。

质谱条件 离子源温度: 240 °C; 传输线温度: 220 °C; 溶剂延迟时间: 5.00 min; 扫描范围: 40~400 amu; 离子源: EI 源 70 eV。

氨基酸含量的测定 鱼肉中氨基酸组成的测定根据文献^[22]所述方法稍作修改。水解氨基酸的测定, 称取去皮后鱼背部肌肉 0.5 g, 加入 20 mL 盐酸 ($V_{\text{盐酸}}:V_{\text{纯水}}=1:1$), 放入 110 °C 烘箱中

水解 22 h, 取出冷却后, 转移至 25 mL 比色管中定容待测; 游离氨基酸的测定, 称取 1 g 样品, 加入 5 mL 0.02 mol/L 盐酸溶液, 超声 20 min 后于 6 000 r/min 离心 5 min, 取上清液待测。水解氨基酸及游离氨基酸的测定: 经前处理后均取 50 μL 样品进行衍生反应, 放入 60 °C 真空干燥箱中干燥 2 h (将溶剂全部烘干), 离心管中充氮, 准确加入 50 μL 衍生试剂 ($V_{\text{乙醇}}:V_{\text{异硫氰酸苯酯}}:V_{\text{水}}:V_{\text{三乙胺}}=7:1:1:1$), 常温下衍生 30 min, 加入流动相 A ($V_{0.1\text{mol/L 无水乙酸钠}}:V_{\text{乙腈}}=97:3$, 混匀后调 pH 为 6.5) 0.45 mL, 混匀, 过 0.45 μm 滤膜后上机, HPLC 主要技术参数参照 Gheshlaghi 等^[22]。

核苷酸及其降解产物的测定 核苷酸及其降解产物 (ATP、ADP、AMP、GMP、IMP、HxR、Hx) 的提取参考刘敬科^[23]。样品取去皮后鱼背部肌肉, 含量测定使用超高效液相色谱进行, 主要技术参数参考 Luo 等^[24]。

挥发性风味化合物测定 采用 SPME-GC-MS 对团头鲂挥发性风味组分进行测定, 具体参照杨姣等^[25]的方法并稍作修改。取 5.0 g 斩碎的鱼背部肌肉放入 20 mL 顶空气相瓶中, 加入 1 μL 内标环己酮 (1 000 μg/mL), 再加入 10 mL 饱和氯化钠溶液混合, 采用气相色谱-质谱进行测定, 主要技术参数参照杨姣等^[25]的方法。经气相色谱-质谱仪分离鉴定的物质在 NIST 及 Flavor 谱库中检索, 利用面积归一化法计算各挥发性物质的相对含量。

营养品质评价方法 根据联合国粮农组织 (FAO) 和世界卫生组织 (WHO) 1973 年建议的氨基酸评分标准模式^[26]和全鸡蛋蛋白质的氨基酸模式^[27]分别按以下公式计算氨基酸评分 (AAS)、化学评分 (CS), 同时计算必需氨基酸指数 EAAI^[28]:

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

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

$$\text{EAAI} = [\text{Lys}_{(\text{t})}/\text{Lys}_{(\text{s})} \times 100 + \text{Met}_{(\text{t})}/\text{Met}_{(\text{s})} \times 100 + \dots + \text{Val}_{(\text{t})}/\text{Val}_{(\text{s})} \times 100]^{1/n}$$

式中, aa 为实验样品中某氨基酸含量 (mg/g N), $\text{AA}_{(\text{FAO/WHO})}$ 为 FAO/WHO 评分模式中同种氨基酸含量 (mg/g N), $\text{AA}_{(\text{Egg})}$ 为全鸡蛋蛋白质中同种氨基酸含量 (%), n 为比较的氨基酸个数; t 为待评的蛋白质; s 为标准蛋白质。

风味品质评价方法 根据公式评价两种养殖模式下团头鲂肌肉风味品质:

$$\text{滋味活度值 (TAV)} = C_i/T_i$$

$$\text{相对气味活度值 (ROAV)} \approx 100 \times (C_i/C_{\text{max}}) \times (T_{\text{max}}/T_i)$$

式中, C_i 、 T_i 分别为滋味物质含量 (mg/kg) 及阈值; C_i 、 T_i 为对应挥发性物质的相对含量 ($\mu\text{g/kg}$) 和感觉阈值 ($\mu\text{g/kg}$), $C_{\max}$ 、 $T_{\max}$ 为所有风味物质中对样品总体气味贡献最大组分的相对含量 ($\mu\text{g/kg}$) 和感觉阈值 ($\mu\text{g/kg}$)。

感官评价 团头鲂肌肉从 $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰箱取出后置于 $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰箱中解冻 12 h, 在蒸锅中蒸制 10 min 后进行感官评价。感官评定由 10 位受过专业训练的品评员 (5 男, 5 女) 进行。感官评价标准参考陈周等^[29] 的方法。

1.4 数据分析

实验均重复 3 次。样品色度及质构特性参数平行测定 6 次, 其他指标平行测定 3 次。结果均以“平均值 $\pm$ 标准差”表示。实验数据使用 Excel 2019 软件处理, 采用 SPSS 25 软件对数据进行单因素方差分析, 显著性差异检测限为 $P<0.05$ 。

2 结果

2.1 不同养殖模式“华海 1 号”团头鲂形体指标

不同养殖模式下团头鲂的空壳率和肥满度无显著差异 ($P>0.05$) (表 1)。但是大湖养殖团头鲂脏体指数显著低于池塘养殖 ($P<0.05$), 同时空壳率略有增加。表明与池塘养殖相比, 大湖养殖的团头鲂内脏占比更少, 鱼体可食用部分占比更多。

2.2 感官评价

大湖组团头鲂感官各项得分及总体得分显著高于池塘组 ($P<0.05$), 且二者总体感官描述存在

表 1 养殖模式对团头鲂形体指标的影响

Tab. 1 Effects of different culture models on body morphological indexes of *M. amblycephala*

养殖模式 culture models	脏体指数(VIS)/% viscerosomatic index	肥满度(CF)/(g/cm ³) condition factor	空壳率(ESR)/% empty shell rate
池塘养殖 pond- cultured	12.04 $\pm$ 2.33 ^a	1.54 $\pm$ 0.19 ^a	72.98 $\pm$ 1.62 ^a
大湖养殖 lake-cultured	9.95 $\pm$ 1.34 ^b	1.38 $\pm$ 0.12 ^a	74.06 $\pm$ 2.57 ^a

注: 同一指标中不同小写字母表示有显著差异($P<0.05$), 下同
Notes: different lowercase letters in the same index represent significant differences ($P<0.05$), the same below

明显区别 (表 2)。由此可知, 大湖养殖模式下的团头鲂感官品质更佳。

2.3 不同养殖模式“华海 1 号”团头鲂物理特性

大湖组团头鲂肌肉亮度值和白度值均显著高于池塘组 ($P<0.05$); 且相较于池塘组, 大湖组团头鲂肌肉 a^* 值更低 (表 3)。说明大湖组团头鲂肌肉亮度和白度增加, 鱼肉色泽更为鲜亮。与肌肉色泽趋势类似, 大湖组团头鲂鱼皮色泽的亮度值和白度值同样显著高于池塘组 ($P<0.05$)。说明大湖养殖的“华海 1 号”团头鲂具有较好的亮度和白度。

与池塘组相比, 大湖组团头鲂的弹性、咀嚼性及回复性均显著高于池塘组 ($P<0.05$) (表 4), 表明大湖养殖的“华海 1 号”团头鲂背部肌肉的质地更佳, 与感官评价结果一致。不同养殖模式的团头鲂蒸煮损失率无显著差异。

2.4 不同养殖模式“华海 1 号”团头鲂营养特性

相较于池塘养殖, 大湖养殖“华海 1 号”团头

表 2 不同养殖模式团头鲂感官评分

Tab. 2 Sensory evaluation of *M. amblycephala* with different culture models

养殖模式 culture models	气味 odor	滋味 taste	色泽 color	质地 texture	总体得分 overall score	总体感官描述 general sensory description
池塘养殖 pond-cultured	6.50 $\pm$ 1.25 ^b	6.52 $\pm$ 0.70 ^b	7.18 $\pm$ 1.06 ^b	6.95 $\pm$ 1.67 ^b	7.13 $\pm$ 0.60 ^b	闻时无腥味, 但在品鉴过程中有腥味产生; 色泽透明回味甘甜; 肉质弹性较好
大湖养殖 lake-cultured	8.02 $\pm$ 1.20 ^a	7.88 $\pm$ 1.23 ^a	8.30 $\pm$ 1.18 ^a	9.17 $\pm$ 0.63 ^a	8.00 $\pm$ 0.52 ^a	无明显腥味; 色泽亮白; 入口鲜香回味较甜; 肉质弹性好、有嚼劲

表 3 养殖模式对团头鲂色泽差异的影响

Tab. 3 Effects of different culture models on colour of *M. amblycephala*

部位 position	养殖模式 culture models	L^*	a^*	b^*	W
背部肌肉 back muscle	池塘养殖 pond-cultured	62.80 $\pm$ 1.29 ^b	-0.95 $\pm$ 0.25 ^a	1.63 $\pm$ 0.76 ^a	62.75 $\pm$ 1.30 ^b
	大湖养殖 lake-cultured	64.23 $\pm$ 1.73 ^a	-1.16 $\pm$ 0.33 ^a	1.02 $\pm$ 0.73 ^a	64.19 $\pm$ 1.72 ^a
背部鱼皮 back skin	池塘养殖 pond-cultured	55.79 $\pm$ 1.68 ^b	0.74 $\pm$ 0.10 ^a	12.94 $\pm$ 5.13 ^a	53.73 $\pm$ 0.96 ^b
	大湖养殖 lake-cultured	61.47 $\pm$ 1.15 ^a	0.61 $\pm$ 0.33 ^a	10.05 $\pm$ 2.90 ^a	60.11 $\pm$ 1.41 ^a

表 4 养殖模式对团头鲂全质构参数及蒸煮损失的影响

Tab. 4 Effects of different culture models on texture characters and cooking loss of <i>M. amblycephala</i>						
养殖模式 culture models	硬度/g hardness	弹性 springiness	内聚性 cohesiveness	咀嚼性/g chewiness	回复性 resilience	蒸煮损失率/% cooking loss
池塘养殖 pond-cultured	2 678.44±573.90 ^a	0.49±0.05 ^b	0.39±0.03 ^a	513.57±133.45 ^b	0.20±0.03 ^b	12.22±0.02 ^a
大湖养殖 lake-cultured	3 223.72±487.06 ^a	0.57±0.05 ^a	0.43±0.03 ^a	806.79±197.51 ^a	0.25±0.02 ^a	13.41±0.02 ^a

鲂肌肉拥有更高的水分含量及更低的粗脂肪含量，而两种养殖模式下团头鲂的粗灰分及粗蛋白含量无显著差异 ($P>0.05$) (表 5)。

表 5 不同养殖模式下团头鲂肌肉中常规营养成分含量

Tab. 5 Content of nutritional components in <i>M. amblycephala</i> muscle with different culture models				
养殖模式 culture models	水分 moisture	粗灰分 crude ash	粗蛋白 crude protein	粗脂肪 crude lipid
池塘养殖 pond-cultured	76.36±0.13 ^b	1.17±0.16 ^a	18.94±0.07 ^a	4.20±0.08 ^a
大湖养殖 lake-cultured	77.47±0.04 ^a	1.21±0.09 ^a	18.88±0.10 ^a	3.89±0.09 ^b

虽然池塘养殖和大湖养殖“华海 1 号”团头鲂的总氨基酸含量并无显著差异 ($P>0.05$)，但大湖组团头鲂的各非必需氨基酸含量及各半必需氨基酸含量均显著高于池塘组 ($P<0.05$)。同时大湖组团头鲂的缬氨酸、苏氨酸以及亮氨酸三种必需氨基酸含量均显著高于池塘组 ($P<0.05$)，但由于池塘组团头鲂的另一必需氨基酸——赖氨酸含量显著高于大湖组，且含量相差较大，导致大湖组团头鲂的必需氨基酸总量显著低于池塘组 ($P<0.05$)，进一步导致大湖组 EAA/TAA、EAA/NEAA 比值下降 (表 6)。

以 AAS 和 CS 为氨基酸评价标准，两种养殖模式下苏氨酸评分最低，即为第一限制性氨基酸，且两种养殖模式下第二限制性氨基酸均为缬氨酸 (表 7)。除苏氨酸、异亮氨酸及赖氨酸，大湖组的各类必需氨基酸 AAS 及 CS 评分均显著高于池塘组 ($P<0.05$)。由于池塘组赖氨酸含量与大湖组差异较大，导致池塘组 EAAI 显著高于大湖组 ($P<0.05$)。

大湖养殖“华海 1 号”团头鲂的总脂肪酸含量显著低于池塘养殖 ($P<0.05$)，下降了 21.09%。两种养殖模式下“华海 1 号”团头鲂的饱和脂肪酸含量并无显著差异。大湖组团头鲂单不饱和脂肪酸含量显著低于池塘组 ($P<0.05$)，尤其是池塘组含量较低的神经酸不再检出，而大湖组团头鲂多不饱和脂肪酸的含量显著增多 ($P<0.05$)，尤其是池塘组未有的二十碳三烯酸 (C20:3n3) 被检出。可以

表 6 不同养殖模式下团头鲂肌肉水解氨基酸含量

Tab. 6 Content of amino acid in <i>M. amblycephala</i> muscle with different culture models				mg/kg
氨基酸 amino acid		池塘养殖 pond-cultured	大湖养殖 lake-cultured	
天冬氨酸 Asp		18 292.05±93.07 ^b	18 523.51±67.94 ^a	
谷氨酸 Glu		25 685.09±101.69 ^b	27 205.05±103.00 ^a	
丝氨酸 Ser		7 322.67±35.34 ^b	7 704.06±23.10 ^a	
甘氨酸 Gly		9 937.56±22.70 ^b	10 511.69±43.53 ^a	
脯氨酸 Pro		6 138.75±23.20 ^b	6 693.99±27.49 ^a	
酪氨酸 Tyr		6 111.22±11.21 ^b	6 445.29±21.77 ^a	
丙氨酸 Ala		10 888.69±65.77 ^b	11 364.77±49.12 ^a	
非必需氨基酸 NEAA		84 376.05±331.55 ^b	88 448.36±324.29 ^a	
组氨酸 His		5 235.35±20.34 ^a	4 490.54±6.86 ^b	
精氨酸 Arg		10 950.20±33.70 ^b	11 858.07±38.38 ^a	
半必需氨基酸 SEAA		16 185.56±53.40 ^b	16 348.61±45.24 ^a	
缬氨酸 Val		8 940.34±26.43 ^b	9 038.43±36.29 ^a	
蛋氨酸 Met		4 186.65±15.75 ^a	4 168.44±26.11 ^a	
苏氨酸 Thr		7 874.38±38.14 ^b	8 240.92±28.46 ^a	
异亮氨酸 Ile		8 554.85±61.64 ^a	8 650.65±53.45 ^a	
亮氨酸 Leu		14 163.30±31.75 ^b	14 526.35±77.72 ^a	
苯丙氨酸 Phe		7 625.49±13.75 ^a	7 687.53±120.87 ^a	
赖氨酸 Lys		17 774.30±575.46 ^a	11 788.28±259.70 ^b	
必需氨基酸 EAA		69 119.32±430.67 ^a	64 100.59±498.89 ^b	
总氨基酸 TAA		169 680.92±260.31 ^a	168 897.56±733.76 ^a	

看出，相较于池塘组，大湖组团头鲂饱和脂肪酸种类减少，多不饱和脂肪酸种类增多，且多不饱和脂肪酸的含量及占比显著升高 ($P<0.05$)，特别是其中具有降血脂功效的 ω -3 系列高度不饱和脂肪酸 EPA 和 DHA 的含量分别为池塘养殖团头鲂的 14.20 倍和 7.51 倍，营养价值显著提升 (表 8)。

2.5 不同养殖模式“华海 1 号”团头鲂滋味特性

游离氨基酸是水产品主要的呈味物质之一，主要呈现鲜、甜、苦、酸四种味道^[30-31]，游离氨基酸的种类及含量的不同会导致水产品呈现的滋味不同。大湖组团头鲂的总游离氨基酸含量显著低于池塘组 ($P<0.05$) (表 9)。除蛋氨酸外，两种养

表 7 不同养殖模式下团头鲂肌肉氨基酸评分、化学评分及必需氨基酸指数

Tab. 7 Comparative analysis of AAS, CS and EAAI in muscles of *M. amblycephala* with different culture models

必需氨基酸 EAA	FAO/WHO	全鸡蛋蛋白质 egg protein	池塘养殖 pond-cultured			大湖养殖 lake-cultured		
			氨基酸含量/(mg/g N) amino acids content	氨基酸评分 AAS	化学评分 CS	氨基酸含量/(mg/g N) amino acids content	氨基酸评分 AAS	化学评分 CS
缬氨酸 Val	310	411	282.49	0.95 ^b	0.72 ^B	285.59	0.97 ^a	0.73 ^A
蛋氨酸+胱氨酸 Met+Cys	220	386	248.81	1.18 ^b	0.67 ^B	260.39	1.24 ^a	0.71 ^A
苏氨酸 Thr	250	292	132.29	0.55 ^a	0.47 ^A	131.71	0.55 ^a	0.47 ^A
异亮氨酸 Ile	250	311	270.31	1.13 ^a	0.91 ^A	273.34	1.15 ^a	0.92 ^A
亮氨酸 Leu	440	534	447.53	1.06 ^b	0.88 ^B	459.00	1.09 ^a	0.90 ^A
苯丙氨酸+酪氨酸 Phe+Try	380	565	434.05	1.19 ^b	0.80 ^B	446.56	1.23 ^a	0.83 ^A
赖氨酸 Lys	340	441	561.62	1.73 ^a	1.33 ^A	372.48	1.15 ^b	0.88 ^B
必需氨基酸指数 EAAI			82.56			77.74		

注: 同行中不同小写字母表示氨基酸评分有显著差异($P<0.05$), 同行中不同大写字母表示化学评分有显著差异($P<0.05$)
Notes: different lowercase letters in the same row represent significant differences in AAS ($P<0.05$), different capital letters in the same row represent significant differences in CS ($P<0.05$)

表 8 不同养殖模式下团头鲂肌肉水解脂肪酸含量
Tab. 8 Content of fatty acids in *M. amblycephala* muscle with different culture models mg/100 g

脂肪酸 fatty acids	池塘养殖 pond-cultured	大湖养殖 lake-cultured
月桂酸 C12:0	7.57±0.67 ^a	—
肉豆蔻酸 C14:0	37.87±3.01 ^b	100.53±2.33 ^a
十五烷酸 C15:0	5.17±0.42 ^b	25.43±0.75 ^a
棕榈酸 C16:0	661.97±54.23 ^b	746.83±16.13 ^a
十七碳酸 C17:0	2.27±3.93 ^b	19.03±0.51 ^a
硬脂酸 C18:0	180.27±13.03 ^a	105.60±0.44 ^b
肉豆蔻烯酸 C14:1	—	3.73±0.06 ^a
棕榈油酸 C16:1	137.53±11.11 ^b	449.63±8.20 ^a
十七烯酸 C17:1	7.80±0.60 ^b	22.2±0.36 ^a
油酸 C18:1n9c	2 281.77±149.26 ^a	998.80±41.75 ^b
二十碳烯酸 C20:1	41.53±3.25 ^a	25.67±0.50 ^b
芥酸 C22:1n9	30.77±1.72 ^a	6.83±0.31 ^b
神经酸 C24:1	2.30±1.99 ^a	—
亚油酸 C18:2n6c	479.40±40.65 ^a	153.43±1.35 ^b
α-亚麻酸 C18:3n3	35.20±2.27 ^a	99.83±2.40 ^b
二十碳二烯酸 C20:2	18.97±0.85 ^a	12.57±0.21 ^b
二十碳三烯酸 C20:3n6	25.93±1.50 ^a	14.80±0.36 ^b
二十碳三烯酸 C20:3n3	—	16.73±0.21 ^a
花生四烯酸 C20:4n6	68.27±5.01 ^a	67.20±1.04 ^a
二十碳五烯酸 C20:5n3	6.83±0.35 ^b	97.00±1.47 ^a
二十二碳六烯酸 C22:6n3	32.03±2.37 ^a	240.50±3.56 ^b
总脂肪酸 TFA	4 063.43±11.29 ^a	3 206.37±9.60 ^b
饱和脂肪酸 SFA	895.10±74.33 ^a	997.43±19.30 ^a
单不饱和脂肪酸 MUFA	2 501.70±130.88 ^a	1 506.87±33.22 ^b
多不饱和脂肪酸 PUFA	666.63±52.87 ^b	702.07±9.60 ^a
多不饱和脂肪酸占比/% proportion of PUFA	0.16±0.01 ^b	0.22±0.00 ^a

注: “—”表示样品中未检出该物质, 下同
Notes: “—”represents not detected in the samples, the same below

殖模式下团头鲂肌肉游离氨基酸含量均有显著差异 ($P<0.05$), 依据呈味物质滋味阈值^[32] 计算, 池塘组谷氨酸及丙氨酸滋味活度值 (taste activity value, TAV) 大于 1, 大湖组赖氨酸的 TAV 大于 1, 由呈味氨基酸占比可知, 大湖养殖的“华海 1 号”团头鲂甜味氨基酸及鲜味氨基酸占比更高, 苦味氨基酸占比更低 (表 10)。

池塘组团头鲂的总脂肪酸、饱和脂肪酸、单不饱和脂肪酸及多不饱和脂肪酸含量均显著高于大湖组, 分别为大湖组的 2.28、1.73、3.08 及 1.44 倍 (表 11)。但大湖组团头鲂的多不饱和脂肪酸占比显著高于池塘组 ($P<0.05$), 尤其是大湖组中 EPA 和 DHA 的含量分别为池塘组的 14.42 和 6.19 倍, DHA 不仅具有保健功能, 还可以增加鱼肉鲜甜味, 减少酸味和苦味; EPA 作为易氧化并产生风味的多不饱和脂肪酸, 可以增加肉质的柔嫩感和风味的浓郁感。

大湖组团头鲂鱼肉中具有增鲜效果的 AMP 和 IMP 的含量均显著高于池塘组 ($P<0.05$) (表 12)。两种养殖模式下团头鲂肌肉中 GMP 无显著差异, 但大湖组呈苦味的 HxR 及 Hx 显著低于池塘组 ($P<0.05$)。感官评价显示滋味物质的综合作用使得大湖组滋味评分更高。

2.6 不同养殖模式“华海 1 号”团头鲂气味特性

两种养殖模式下“华海 1 号”团头鲂挥发性风味均以醛类、醇类及酮类为主, (E,E)-2,4-壬二烯醛均具有最高的气味活度值 (odor activity value, OAV), 故取其为 100 以计算其他物质的 ROAV。

表 9 不同养殖模式下团头鲂游离氨基酸含量及 TAV 值

Tab. 9 Content of free amino acids and TAV in <i>M. amblycephala</i> with different culture models						
游离氨基酸 free amino acids	呈味特征 taste characteristics	阈值/(mg/kg) threshold	池塘养殖/(mg/kg) pond-cultured	TAV	大湖养殖/(mg/kg) lake-cultured	TAV
天冬氨酸 Asp	鲜/酸	1 000	19.22±0.57 ^b	0.02	35.62±0.16 ^a	0.04
谷氨酸 Glu	鲜/酸	300	343.53±10.06 ^a	1.15	293.90±0.66 ^b	0.98
丝氨酸 Ser	甜	1 500	42.89±1.65 ^a	0.03	20.77±1.17 ^b	0.01
甘氨酸 Gly	甜	1 300	1 012.29±28.46 ^a	0.78	731.38±3.83 ^b	0.56
组氨酸 His	苦/酸	200	180.87±6.30 ^a	0.90	70.32±0.63 ^b	0.35
精氨酸 Arg	苦/甜	500	46.39±0.08 ^b	0.09	62.30±1.02 ^a	0.12
苏氨酸 Thr	甜	2 600	42.32±0.33 ^a	0.02	34.36±2.20 ^b	0.01
丙氨酸 Ala	甜	600	623.37±9.82 ^a	1.04	230.38±0.66 ^b	0.38
脯氨酸 Pro	甜	3 000	48.36±0.25 ^a	0.02	33.54±0.27 ^b	0.01
酪氨酸 Tyr	苦	—	191.47±3.56 ^a	—	26.84±0.33 ^b	—
缬氨酸 Val	苦	400	217.93±14.96 ^a	0.54	145.30±2.31 ^b	0.36
蛋氨酸 Met	苦	300	115.21±4.77 ^a	0.38	120.92±0.40 ^a	0.40
异亮氨酸 Ile	苦	900	18.86±0.13 ^b	0.02	60.22±0.38 ^a	0.07
亮氨酸 Leu	苦	1900	277.66±8.97 ^a	0.15	149.42±2.83 ^b	0.08
苯丙氨酸 Phe	苦	900	171.28±4.09 ^a	0.19	116.90±1.56 ^b	0.13
赖氨酸 Lys	苦	500	471.24±6.19 ^b	0.94	594.67±1.51 ^a	1.19
总氨基酸 TAA			3 822.84±49.48 ^a		2 726.81±15.20 ^b	

表 10 不同养殖模式下团头鲂呈味氨基酸含量及占比
Tab. 10 Content and proportion of flavor amino acids in *M. amblycephala* with different culture models

养殖模式 culture models	池塘养殖 pond-cultured	大湖养殖 lake-cultured
鲜味氨基酸/(mg/kg) UMAA	362.74±10.63 ^a	329.52±0.50 ^b
甜味氨基酸/(mg/kg) SWAA	2 240.45±25.89 ^a	1 645.09±5.24 ^b
苦味氨基酸/(mg/kg) BIAA	1 219.65±12.95 ^a	752.21±9.45 ^b
酸味氨基酸/(mg/kg) SOAA	543.61±16.94 ^a	399.83±1.13 ^b
鲜味氨基酸占比/% proportion of UMAA	8.31	10.54
甜味氨基酸占比/% proportion of SWAA	51.31	52.62
苦味氨基酸占比/% proportion of BIAA	27.93	24.05
酸味氨基酸占比/% proportion of SOAA	12.45	12.79

注：鲜味氨基酸包括天冬氨酸、谷氨酸；甜味氨基酸包括甘氨酸、丙氨酸、丝氨酸、苏氨酸、赖氨酸、脯氨酸；苦味氨基酸包括蛋氨酸、缬氨酸、亮氨酸、异亮氨酸、苯丙氨酸、酪氨酸、组氨酸、精氨酸；酸味氨基酸包括天冬氨酸、谷氨酸、组氨酸^[33]
Notes: umami amino acids are Asp and Glu; sweetness amino acids are Gly, Ala, Ser, Thr, Lys and Pro; bitterness amino acids are Met, Val, Leu, Ile, Phe, Tyr, His and Arg; sourness amino acids are Asp, Glu and His^[33]

当 0.1≤ROAV<1 时，认为该化合物对样品气味有修饰作用，ROAV≥1 说明该化合物为样品的关键气味物质。相较于大湖组，池塘组团头鲂的挥发性风味物质种类及含量更多，特别是具有青草味

的己醛以及具有油脂味的壬醛，分别是大湖养殖的 19.84 倍和 8.73 倍 (表 13)，且其 ROAV 均大于 1。可见大湖组团头鲂呈负面气味的挥发性物质含量更少，气味品质更佳，这与感官评价结果一致。

3 讨论

3.1 不同养殖模式“华海 1 号”团头鲂的表现及质地品质

形体指标、色泽、质构以及蒸煮损失等均会影响鱼肉的加工特性^[34]。不同养殖模式会对鱼肉的加工特性产生影响^[35]。鱼体的形体指标可以通过肥满度、脏体指数等来反映^[36]。随着消费水平的提高，消费者越来越青睐于脏体指数低、可食用肉占比高等具有较好形体指标的鱼体。同时，色泽作为食品品质评价的第一印象，决定产品的市场竞争力^[37]。鱼肉质度作为新鲜度和口感品质的重要评价指标，反映肉的软硬程度和弹性等指标。

本实验结果显示，大湖养殖的“华海 1 号”团头鲂脏体指数显著低于池塘养殖，说明大湖养殖的团头鲂可食用肉占比高，因此具有较好的市场价格，商品经济价值更高，此结果与不同养殖模式下对斑点叉尾鲷(*Ictalurus punctatus*)^[38]的研究结

表 11 不同养殖模式团头鲂游离脂肪酸含量
Tab. 11 Content of free fatty acids in *M. amblycephala* with different culture models mg/100 g

游离脂肪酸 free fatty acids	池塘养殖 pond-cultured	大湖养殖 lake-cultured
月桂酸 C12:0	7.15±0.07 ^a	—
肉豆蔻酸 C14:0	30.35±0.07 ^b	41.65±0.50 ^a
十五烷酸 C15:0	3.55±0.07 ^b	10.65±0.07 ^a
棕榈酸 C16:0	604.90±29.13 ^a	357.55±14.50 ^b
十七碳酸 C17:0	—	7.85±0.07 ^a
硬脂酸 C18:0	147.10±0.71 ^a	47.90±0.28 ^b
棕榈油酸 C16:1	137.30±0.14 ^b	243.00±2.83 ^a
油酸 C18:1n9c	2 186.50±1.13 ^a	505.85±0.21 ^b
二十碳烯酸 C20:1	36.15±0.35 ^a	13.80±0.42 ^b
芥酸 C22:1n9	30.55±0.64 ^a	13.90±0.28 ^b
亚油酸 C18:2n6c	470.80±5.52 ^a	86.40±0.28 ^b
二十碳二烯酸 C20:2	16.75±0.64 ^a	7.50±0.00 ^b
α-亚麻酸 C18:3n3	41.20±0.28 ^b	75.50±0.71 ^a
二十碳三烯酸 C20:3n6	36.45±0.35 ^a	14.55±0.21 ^b
二十碳三烯酸 C20:3n3	—	9.05±0.35 ^a
花生四烯酸 C20:4n6	49.55±0.35 ^a	44.80±0.28 ^b
二十碳五烯酸 C20:5n3	4.80±0.14 ^b	69.20±1.70 ^a
二十二碳六烯酸 C22:6n3	22.35±0.50 ^b	138.25±0.50 ^a
总脂肪酸 TFA	3 825.45±25.53 ^a	1 679.55±7.85 ^b
饱和脂肪酸 SFA	793.05±30.05 ^a	457.75±13.65 ^b
单不饱和脂肪酸 MUFA	2 390.50±0.28 ^a	776.55±2.33 ^b
多不饱和脂肪酸 PUFA	641.90±4.24 ^a	445.25±3.47 ^b
多不饱和脂肪酸占比/% proportion of PUFA	0.17±0.00 ^b	0.27±0.00 ^a

果一致。这可能是由于在大湖养殖环境下，“华海 1 号”团头鲂在适宜的流速和低密度养殖环境中得到了合适强度的运动，从而通过分解脂肪提供能量，在一定程度上抑制了团头鲂内脏脂肪的沉

积，导致其脏体指数及肥满度均有所降低^[39]。同时，大湖养殖的“华海 1 号”团头鲂肌肉及鱼皮的亮度值和白度值均显著高于池塘养殖，即大湖养殖对色泽有一定的提升作用，有利于提高团头鲂的市场竞争力。这可能与大湖环境中养殖水域大、饲料堆积少，使得鱼体在浅色环境中表现出更高的亮度有关，符合 Wang 等^[40]的结论。与池塘组相比，大湖组肉质的弹性、咀嚼性及回复性均有显著提升。这可能是由于大湖养殖环境更接近于自然，团头鲂运动能力得到提高，使得肌肉细胞间的结合能力有所增强^[8]，此结果与不同养殖模式对斑石鲷鱼 (*Oplegnathus punctatus*)^[41]、大黄鱼 (*Larimichthys crocea*)^[42] 的研究结果一致。蒸煮损失率可以反映团头鲂肌肉的质地是否致密以及其肌肉中蛋白和水的结合状态^[43]。较高的持水能力对保持调理水产品的风味及营养价值等起着重要的作用。本实验中不同养殖模式的“华海 1 号”团头鲂持水性并无显著差异。

综上可知，大湖养殖环境接近自然环境，使得大湖养殖的“华海 1 号”团头鲂具有较好的形体特征，鱼肉及鱼皮色泽较好，同时肉质具有较好的弹性及口感，表观及质地品质更优，商品价值得以提升。

3.2 不同养殖模式“华海 1 号”团头鲂的营养特性

营养成分是评价鱼肉营养价值的一项重要指标^[44]。鱼肉的营养价值主要体现在高蛋白质及低脂肪含量，即氨基酸及脂肪酸的组成一定程度上可以反映鱼肉的营养特性，但生长环境等因素会对鱼类的肌肉营养成分造成影响^[45]。半必需氨基酸是婴幼儿生长发育所必需的，对伤口愈合也有积极作用^[46]，同时在一定条件下可以转化为必需

表 12 不同养殖模式下的团头鲂核苷酸含量
Tab. 12 Content of nucleotides in *M. amblycephala* with different culture models mg/kg

核苷酸 nucleotides	呈味特性 flavor properties	阈值/(mg/kg) threshold	池塘养殖 pond-cultured		大湖养殖 lake-cultured	
			含量 content	TAV	含量 content	TAV
5'-三磷酸腺苷 ATP	鲜	—	1 916.71±21.71 ^a	—	1 773.11±26.40 ^b	—
5'-二磷酸腺苷 ADP	—	—	71.22±3.82 ^a	—	64.45±3.65 ^a	—
5'-一磷酸腺苷 AMP	鲜	500	163.39±7.07 ^b	0.33	202.20±1.66 ^a	0.40
5'-次黄嘌呤核苷酸 IMP	鲜	250	42.26±0.24 ^b	0.17	48.80±1.02 ^a	0.20
鸟嘌呤核苷酸 GMP	鲜/甜	125	25.09±0.24 ^a	0.20	25.14±0.39 ^a	0.20
次黄嘌呤核苷 HxR	苦	—	27.00±0.01 ^a	—	16.94±0.06 ^b	—
次黄嘌呤 Hx	苦	—	20.84±0.89 ^a	—	9.28±0.23 ^b	—

表 13 不同养殖模式下团头鲂主要挥发性化合物含量

Tab. 13 Content of major volatile odor compounds in <i>M. amblycephala</i> with different culture models							μg/kg	
挥发性风味物质 volatile odor compounds			气味 odor	阈值/ (μg/kg) threshold	池塘养殖 pond-cultured		大湖养殖 lake-cultured	
					含量 content	ROAV	含量 content	ROAV
醛类 aldehydes								
己醛 hexanal	青草味 grassy odor	4.50	10 190.35±1 745.92 ^a	14.91	513.54±95.42 ^b	0.87		
戊醛 pentanal	油漆味 painty odor	—	437.92±6.77 ^a	—	—	—		
壬醛 nonanal	油脂味 oily odor	1.00	1 398.27±69.47 ^a	9.21	160.26±8.64 ^b	1.22		
庚醛 heptanal	柠檬味 lemony odor	3.00	761.65±30.63 ^a	1.67	—	—		
(Z)-4-庚烯醛 (Z)-4-heptenal	臭鱼味 fishy odor	4.20	132.70±4.19 ^a	0.21	58.85±8.37 ^b	0.11		
(E,E)-2,4-壬二烯醛 (E,E)-2,4-nonadienal	鱼油味 fish oily odor	0.05	759.18±27.14 ^a	100	654.37±59.14 ^b	100		
醇类 alcohols								
1-己醇 1-hexanol	绿霉味 mildewy odor	250.00	1 358.02±218.78 ^a	0.04	—	—		
1-庚醇 1-heptanol	油脂味 oily odor	—	155.34±34.23 ^a	—	133.80±11.27 ^a	—		
1-辛烯-3-醇 1-octen-3-ol	蘑菇味 mushroomy odor	10.00	452.86±22.38 ^a	0.30	78.95±7.89 ^b	0.06		
酮类 ketones								
2,3-丁二酮 2,3-butanedione	奶酪味 cheesy odor	5.00	111.57±17.13 ^b	0.15	204.56±46.77 ^a	0.31		
2,3-辛二酮 2,3-octanedione	过熟味 warmed-over odor	—	2 056.07±218.43 ^a	—	373.44±23.29 ^b	—		

氨基酸。必需氨基酸 (异亮氨酸等) 能够有效降低胆固醇, 同时起到保护肝脏、控制癌细胞等作用^[47], 这些必须从外界食物中获取的必需氨基酸深受人们关注。

本实验中, 两种养殖模式下团头鲂肌肉中粗灰分及粗蛋白含量无显著差异, 但大湖组团头鲂水分含量高于池塘组, 脂肪含量低于池塘组, 鱼肉中水分含量与脂肪含量呈反比, 此结果与大湖养殖罗氏沼虾 (*Macrobrachium rosenbergii*)^[48] 及董立学等^[49] 对不同养殖模式下斑点叉尾鲷的研究结果一致。大湖组非必需氨基酸及半必需氨基酸含量均显著高于池塘组; 而在必需氨基酸中, 除赖氨酸外, 大湖组其余氨基酸含量同样显著高于池塘组; 且以 AAS 为标准下, 大湖组各必需氨基酸评分更接近于 FAO/WHO 模式值, 说明大湖养殖的“华海 1 号”团头鲂氨基酸含量更能满足人类机体的需求, 此研究结果与原居林等^[50] 一致, 造成以上差异的原因可能是大湖养殖系统的食物远比池塘养殖的更为充足, 从而保证了各项营养物质的均衡和积累。而赖氨酸含量下降这一现象与廖英杰等^[51] 研究结果一致, 可能由于精氨酸-赖氨酸的拮抗作用, 高精氨酸含量影响了赖氨酸的吸收而导致赖氨酸含量减少, 最终导致大湖组 EAA/TAA、EAA/NEAA 以及 EAAI 的降低。但从人体必需氨基酸含量占总氨基酸含量 (EAA/TAA) 来看,

两种模式分别为 41% 和 38%, 均符合 FAO/WHO 理想模式标准 (40% 左右); 且二者必需氨基酸和非必需氨基酸的比值 (EAA/NEAA) 分别为 82% 和 72%, 均高于 FAO/WHO 提出的 60% 的参考蛋白模式, 证明两种模式下“华海 1 号”团头鲂属优质动物蛋白源^[52]。此外, 相较于池塘组, 大湖组团头鲂饱和脂肪酸种类更少, 多不饱和脂肪酸种类及含量丰富, 特别是其中的 EPA 和 DHA 含量较高, 二者所代表的 ω-3 系列脂肪酸可促进脂代谢及骨代谢、改善代谢紊乱^[53-54], 并且对脂肪肝有一定的改善作用^[55], 可以降低心血管的发病率, 此研究结果与丁德明等^[11] 对大湖养殖和池塘养殖翘嘴鲌以及不同养殖模式对青鱼 (*Mylopharyngodon piceus*) 肌肉营养的影响^[56] 结果一致。可见大湖养殖的“华海 1 号”团头鲂营养更为均衡, 具有更高的保健价值以及经济价值。

3.3 不同养殖模式“华海 1 号”团头鲂的风味品质

风味是肉制品的重要评价指标, 包括滋味与气味两个方面。鱼肉的滋味品质主要取决于其游离氨基酸、游离脂肪酸以及核苷酸的含量及组成^[57]。不同的游离氨基酸及核苷酸具有不同的呈味特性^[31, 58], 可增强鱼蟹类的风味^[59], 而脂肪酸特别是多不饱和脂肪酸的氧化则会影响鱼肉风味^[60]。

气味主要由具有不同气味特性的挥发性化合物产生。

本研究结果表明, 池塘组鱼肉谷氨酸及丙氨酸 TAV>1, 大湖组赖氨酸 TAV>1, 说明以上氨基酸对鱼肉滋味起主要贡献, 但滋味为多种呈味物质的综合感觉, 大湖组鲜味及甜味氨基酸占比显著增高, 苦味氨基酸占比显著减少, 大湖组鱼肉中呈鲜味的 IMP 及 AMP 含量显著增多, 且大湖组鱼肉饱和脂肪酸含量显著下降, 多不饱和脂肪酸占比显著提高, 尤其是 EPA 和 DHA 含量分别为池塘组的 14.42 和 6.19 倍, 与湖泊养殖黄颡鱼 (*Pelteobagrus fulvidraco*) 结果一致^[61]。两种养殖模式下的“华海 1 号”团头鲂挥发性气味物质均以醛类、醇类和酮类为主, 这与李阳等^[62]研究结果一致。虽然大湖养殖的挥发性化合物含量较少, 但就挥发性物质的呈味特性而言, 大湖组鱼肉中对气味呈负面影响的 (Z)-4-庚烯醛、1-己醇等挥发性化合物含量及 ROAV 更低, 气味品质更佳。

感官评价显示大湖组鱼肉风味更适宜, 可能是由于多种呈味物质的综合作用使得大湖组鱼肉滋味感知更为鲜甜, 如有研究表明, 虽然组氨酸本身呈苦味, 但其可增强水产品风味, 使水产品具有“肉香”的特征^[63]。此外, 生鱼肉经热加工熟制后, 呈味氨基酸等风味前体物质占比发生变化, 如陈惠等^[64]研究证明热加工会使草鱼 (*Ctenopharyngodon idella*) 肉必需氨基酸占比增加; 且李金林等^[65]研究表明 EPA 及 DHA 经加热处理后会形成脂肪氧化型产物, 更利于产生令人愉快的风味, 因此, 大湖组滋味评分更高可能是由于鱼肉熟制后多种呈味物质的相互作用及氧化产生的新物质使得大湖组鲜味突出而苦味感知不明显, 这与丁德明等^[11]对大湖养殖及池塘养殖翘嘴鲌的滋味品质研究结果一致。综上, 大湖养殖较池塘养殖的“华海 1 号”团头鲂滋味及气味两方面的风味更适宜。

4 结论

“华海 1 号”团头鲂是一种营养丰富、品质优良的鱼种, 且大湖养殖更是一种有利于“华海 1 号”团头鲂加工、营养及风味品质提升的养殖模式, 可作为更优的养殖方式进行推广。

感谢华中农业大学水产学院高泽霞教授团队为本研究提供实验用鱼。

(作者声明本文无实际或潜在的利益冲突)

参考文献 (References):

- [1] Gong D B, Xu L H, Wu C, *et al.* Two types of gynogenetic blunt snout bream derived from different sperm[J]. *Aquaculture*, 2019, 511: 734250.
- [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. 中国渔业统计年鉴 2021[M]. 中国农业出版社, 2021: 47.
Fisheries Administration Bureau of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs, National Fisheries Technology Extension Center, China Society of Fisheries. China fishery statistical yearbook 2021[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2021: 47 (in Chinese).
- [3] Chen J, Chen X L, Huang X, *et al.* Genome-wide analysis of intermuscular bone development reveals changes of key genes expression and signaling pathways in blunt snout bream (*Megalobrama amblycephala*)[J]. *Genomics*, 2021, 113(1): 654-663.
- [4] 徐昊, 梁化亮, 戈贤平, 等. 团头鲂必需氨基酸营养研究进展[J]. 动物营养学报, 2020, 32(11): 5105-5116.
Xu H, Liang H L, Ge X P, *et al.* Research advances on essential amino acid nutrition of blunt snout bream (*Megalobrama amblycephala*)[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2020, 32(11): 5105-5116 (in Chinese).
- [5] Zheng G D, Wu C B, Liu J, *et al.* Transcriptome analysis provides new insights into the growth superiority of a novel backcross variety, *Megalobrama amblycephala* ♀ × (*M. amblycephala* ♀ × *Culter alburnus* ♂) ♂[J]. *Aquaculture*, 2019, 512: 734317.
- [6] 王卫民, 高泽霞, 刘红, 等. 团头鲂“华海 1 号”[J]. 中国水产, 2018(5): 65-70.
Wang W M, Gao Z X, Liu H, *et al.* *Megalobrama amblycephala* "Huahai No 1"[J]. *China Fisheries*, 2018(5): 65-70 (in Chinese).
- [7] 蔡丽, 魏泽宏, 唐涛, 等. 池塘内循环水“跑道”养殖与池塘传统养殖翘嘴鲌肌肉营养成分和挥发性风味物质的比较[J]. 水产学报, 2021, 45(10): 1621-1633.
Cai L, Wei Z H, Tang T, *et al.* Comparison of nutritional quality and volatile flavor compounds in muscle of *Culter alburnus* cultivated in in-pond "raceway" aquaculture system and traditional pond[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2021, 45(10): 1621-1633 (in Chinese).
- [8] 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 (in Chinese).
- [9] 张艳霞, 谢成民, 周纷, 等. 两种养殖模式大黄鱼肌肉营养价值评价及主体风味物质差异性分析[J]. *食品科学*, 2020, 41(8): 220-227.
- Zhang Y X, Xie C M, Zhou F, *et al.* Evaluation of muscle nutritional value and differences in main flavor substances of *Pseudosciaena crocea* in two cultivation modes[J]. *Food Science*, 2020, 41(8): 220-227 (in Chinese).
- [10] 马玲巧, 元成龙, 曹静静, 等. 水库网箱和池塘养殖斑点叉尾鮰肌肉营养成分和品质的比较分析[J]. *水产学报*, 2014, 38(4): 531-536.
- Ma L Q, Qi C L, Cao J J, *et al.* Comparative study on muscle texture profile and nutritional value of channel catfish (*Ictalurus punctatus*) reared in ponds and reservoir cages[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2014, 38(4): 531-536 (in Chinese).
- [11] 丁德明, 陈杏华, 伍远安, 等. 不同养殖模式翘嘴鲌肌肉营养品质比较[J]. *中国饲料*, 2021(1): 89-95.
- Ding D M, Chen X H, Wu Y A, *et al.* Comparative analysis on nutritional quality of *Culter alburnus* cultured under different aquaculture modes[J]. *China Feed*, 2021(1): 89-95 (in Chinese).
- [12] 刘广翔, 宋长友, 闻海波, 等. 饥饿胁迫对淡水石首鱼形体指标、肌肉脂肪酸组成及肝脏脂肪代谢基因表达的影响[J]. *动物营养学报*, 2022, 34(1): 544-554.
- Liu G X, Song C Y, Wen H B, *et al.* Effects of starvation stress on physical indexes, muscle fatty acid composition and liver lipid metabolism gene expression of *Aplodinotus grunniens*[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2022, 34(1): 544-554 (in Chinese).
- [13] Liu Q, Kong B H, Han J C, *et al.* Effects of superchilling and cryoprotectants on the quality of common carp (*Cyprinus carpio*) surimi: microbial growth, oxidation, and physiochemical properties[J]. *LWT - Food Science and Technology*, 2014, 57(1): 165-171.
- [14] 陈东清. 草鱼片调理处理及其贮藏过程中的品质变化研究 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2015.
- Chen D Q. Study on the processing technology of prepared grass carp fillets and changes of quality during storage[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2015 (in Chinese).
- [15] 刘云轩. 紫苏提取物的特性及对调理鱼片品质的影响 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2016.
- Liu Y X. Characteristics of perilla extract and its effects on the quality of seasoned fish fillet[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2016 (in Chinese).
- [16] Yang Z, Wang W, Wang H Y, *et al.* Effects of a highly resistant rice starch and pre-incubation temperatures on the physicochemical properties of surimi gel from grass carp (*Ctenopharyngodon idella*)[J]. *Food Chemistry*, 2014, 145: 212-219.
- [17] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.3—2016 食品安全国家标准 食品中水分的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- National Health and Family Planning Commission of PRC. GB 5009.3-2016 National food safety standards determination of moisture in foods[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017 (in Chinese).
- [18] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.4—2016 食品安全国家标准 食品中灰分的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- National Health and Family Planning Commission of PRC. GB 5009.4—2016 National food safety standards determination of ash in foods[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017(in Chinese).
- [19] 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. GB 5009.5—2016 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- National Health and Family Planning Commission of PRC, State Food and Drug Administration. GB 5009.5—2016 National food safety standards determination of protein in foods[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017 (in Chinese).
- [20] 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. GB 5009.6-2016 食品安全国家标准 食品中脂肪的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- National Health and Family Planning Commission of PRC, State Food and Drug Administration. GB 5009.6-2016 National food safety standards determination of lipid in foods[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017 (in Chinese).
- [21] 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. GB 5009.168—2016 食品安全国家标准 食品中脂肪酸的测定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- National Health and Family Planning Commission of PRC, State Food and Drug Administration. GB 5009.168—2016 National food safety standards determination of fatty acids in foods[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017 (in Chinese).
- [22] Gheshlaghi R, Scharer J M, Moo-Young M, *et al.* Application of statistical design for the optimization of amino acid separation by reverse-phase HPLC[J]. *Analytical Biochemistry*, 2008, 383(1): 93-102.
- [23] 刘敬科. 鲢鱼风味特征及热历史对鲢鱼风味的影响 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2009.
- Liu J K. Flavor character of silver carp and the influence of heating history on the silver carp flavor[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2009 (in Chinese).
- [24] Luo X Y, Xiao S T, Ruan Q F, *et al.* Differences in flavor characteristics of frozen surimi products reheated by microwave, water boiling, steaming, and frying[J]. *Food Chemistry*, 2022, 372: 131260.
- [25] 杨姣, 安玥琦, 陈雨欣, 等. 鱼糜制品加热过程中过熟味的特征风味成分解析[J]. 现代食品科技, 2020, 36(8): 265-280.
- Yang J, An Y Q, Chen Y X, *et al.* Characterization of odorant components in surimi products with warmed-over flavor during the heating process[J]. *Modern Food Science & Technology*, 2020, 36(8): 265-280 (in Chinese).
- [26] Beaton G H, Durnin J V G A, Gopalan G. Energy and protein requirements[R]. Geneva: World Health Organization, 1975.
- [27] 桥本芳郎. 养鱼饲料学 [M]. 蔡完其, 译. 北京: 中国农业出版社, 1980.
- Yoshiro H. Fish feed[M]. Cai W Q, trans. Beijing: China Agricultural Press, 1980 (in Chinese).
- [28] Oser B L. Method for integrating essential amino acid content in the nutritional evaluation of protein[J]. *Journal of the American Dietetic Association*, 1951, 27(5): 396-402.
- [29] 陈周, 胡杨, 安玥琦, 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 (in Chinese).
- [30] 卢佳芳, 朱煜康, 徐大伦, 等. 不同剂量电子束辐照对花鲈鱼肉风味的影响[J]. *食品科学*, 2021, 42(12): 153-158.
- Lu J F, Zhu Y K, Xu D L, *et al.* Effect of electron beam irradiation with different doses on flavor of *Lateolabrax japonicus* meat[J]. *Food Science*, 2021, 42(12): 153-158 (in Chinese).
- [31] 赵洪雷, 冯媛, 徐永霞, 等. 海鲈鱼肉蒸制过程中品质及风味特性的变化[J]. *食品科学*, 2021, 42(20): 145-151.
- Zhao H L, Feng Y, Xu Y X, *et al.* Changes in quality and flavor characteristics of sea bass muscle during steaming[J]. *Food Science*, 2021, 42(20): 145-151 (in Chinese).
- [32] 韩昕苑, 樊震宇, 从娇娇, 等. 冻融循环过程中冷冻罗非鱼片呈味物质的变化[J]. *食品科学*, 2022, 43(2): 269-275.
- Han X Y, Fan Z Y, Cong J J, *et al.* Changes of taste substances in frozen tilapia (*Oreochromis niloticus*) fillets during freeze-thaw cycles[J]. *Food Science*, 2022, 43(2): 269-275 (in Chinese).
- [33] Dong M, Zhang Y Y, Huang X H, *et al.* Dynamic sensations of fresh and roasted salmon (*Salmo salar*) during chewing[J]. *Food Chemistry*, 2022, 368: 130844.
- [34] 姜启兴. 鳙鱼肉热加工特性及其机理研究 [D]. 无锡: 江南大学, 2015.
- Jiang Q X. Study on thermal processing properties and mechanism of bighead carp (*Aristichthys nobilis*) muscle[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2015 (in Chinese).
- [35] Li S, Guo Q Y, Li B G, *et al.* Evaluation of culture mode and feed on body color, texture and nutritional composition of cultured *Pseudosciaena crocea*[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2019, 45(21): 118-125.
- [36] Xu J H, Qin J, Yan B L, *et al.* Effects of dietary lipid levels on growth performance, feed utilization and fatty acid composition of juvenile Japanese seabass (*Lateolabrax japonicus*) reared in seawater[J]. *Aquaculture International*, 2011, 19(1): 79-89.
- [37] An D, Xiao Q, Zhang C, *et al.* Preparation, characteriza-

- tion, and application of high-whiteness agar bleached with hydrogen peroxide[J]. *Food Hydrocolloids*, 2021, 113: 106520.
- [38] 邵俊杰, 张世勇, 朱昱璇, 等. 不同养殖模式对斑点叉尾鲷生长和肌肉品质特性的影响[J]. *水产学报*, 2017, 41(8): 1256-1263.
- Shao J J, Zhang S Y, Zhu Y X, *et al.* Comparative study on growth performance and meat quality characteristics of channel catfish (*Ictalurus punctatus*) cultured under different aquaculture modes[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2017, 41(8): 1256-1263 (in Chinese).
- [39] Yogata H, Oku H. The effects of swimming exercise on growth and whole-body protein and fat contents of fed and unfed fingerling yellowtail[J]. *Fisheries Science*, 2000, 66(6): 1100-1105.
- [40] Wang L M, Luo M K, Yin H R, *et al.* Effects of background adaptation on the skin color of Malaysian red tilapia[J]. *Aquaculture*, 2020, 521: 735061.
- [41] 奉琳娜, 林向东, 成一伟. 不同养殖模式对斑石鲷鱼肉品质的影响及分析[J]. *渔业现代化*, 2015, 42(4): 35-38.
- Feng L N, Lin X D, Cheng Y W. Effects of two culture models on the fresh quality of *Oplegnathus punctatus*[J]. *Fishery Modernization*, 2015, 42(4): 35-38 (in Chinese).
- [42] 邹咪, 郭全友, 汤嘉慧, 等. 两种养殖模式下大黄鱼肌原纤维蛋白流变学特征研究[J]. *食品与发酵工业*, 2020, 46(2): 61-65.
- Zou M, Guo Q Y, Tang J H, *et al.* Rheological study of large yellow croaker myofibrillar protein in two farmed modes[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2020, 46(2): 61-65 (in Chinese).
- [43] Zhang T, Xue Y, Li Z J, *et al.* Effects of deacetylation of konjac glucomannan on Alaska pollock surimi gels subjected to high-temperature (120 °C) treatment[J]. *Food Hydrocolloids*, 2015, 43: 125-131.
- [44] Xie R T, Amenogbe E, Chen G, *et al.* Effects of feed fat level on growth performance, body composition and serum biochemical indices of hybrid grouper (*Epinephelus fuscoguttatus* × *Epinephelus polyphekadion*)[J]. *Aquaculture*, 2021, 530: 735813.
- [45] Every S L, Pethybridge H R, Crook D A, *et al.* Comparison of fin and muscle tissues for analysis of signature fatty acids in tropical euryhaline sharks[J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2016, 479: 46-53.
- [46] 王洪荣, 季昀. 氨基酸的生物活性及其营养调控功能的研究进展[J]. *动物营养学报*, 2013, 25(3): 447-457.
- Wang H R, Ji Y. Advanced research in biological activities and functions of nutritional regulation of amino acids[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2013, 25(3): 447-457 (in Chinese).
- [47] Okekunle A P, Zhang M, Wang Z, *et al.* Dietary branched-chain amino acids intake exhibited a different relationship with type 2 diabetes and obesity risk: a meta-analysis[J]. *Acta Diabetologica*, 2019, 56(2): 187-195.
- [48] 崔光艳, 姜增华, 王假真, 等. 2种养殖模式下罗氏沼虾肌肉营养成分的比较[J]. *江苏农业科学*, 2018, 46(9): 212-214.
- Cui G Y, Jiang Z H, Wang J Z, *et al.* Comparison of muscle nutrient components of *Macrobrachium rosenbergii* under two cultured modes[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2018, 46(9): 212-214 (in Chinese).
- [49] 董立学, 喻亚丽, 毛涛, 等. 池塘内循环流水养殖斑点叉尾鲷肌肉品质的分析[J]. *中国水产科学*, 2021, 28(7): 914-924.
- Dong L X, Yu Y L, Mao T, *et al.* Analysis of muscle quality variations of *Ictalurus punctatus* reared in internal-circulation pond aquaculture[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2021, 28(7): 914-924 (in Chinese).
- [50] 原居林, 刘梅, 倪蒙, 等. 不同养殖模式对大口黑鲈生长性能、形体指标和肌肉营养成分影响研究[J]. *江西农业大学学报*, 2018, 40(6): 1276-1285.
- Yuan Y L, Liu M, Ni M, *et al.* Effects of different culture models on growth performances, morphological traits and nutritional quality in muscles of *Micropterus salmoides*[J]. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2018, 40(6): 1276-1285 (in Chinese).
- [51] 廖英杰, 刘波, 任鸣春, 等. 精氨酸对团头鲂幼鱼生长、血清游离精氨酸和赖氨酸、血液生化及免疫指标的影响[J]. *中国水产科学*, 2014, 21(3): 549-559.
- Liao Y J, Liu B, Ren M C, *et al.* Effects of dietary arginine level on growth performance, free essential amino acids, hematological characteristics, and immune response in juvenile blunt snout bream (*Megalobrama amblycephala*)[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2014, 21(3): 549-559 (in Chinese).
- [52] 张高静, 韩丽萍, 孙剑锋, 等. 南美白对虾营养成分分析与评价[J]. *中国食品学报*, 2013, 13(8): 254-260.

- Zhang G J, Han L P, Sun J F, *et al.* Analysis and evaluation of nutritive composition in *Penaeus vannamei*[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2013, 13(8): 254-260 (in Chinese).
- [53] Adeyemi W J, Lawal S I, Olatunji D B, *et al.* Omega 3 fatty acids favour lipid and bone metabolism in orchidectomised rats[J]. *Clinical Nutrition Open Science*, 2021, 35: 67-76.
- [54] Wei W T, Hu M J, Huang J, *et al.* Anti-obesity effects of DHA and EPA in high fat-induced insulin resistant mice[J]. *Food & Function*, 2021, 12(4): 1614-1625.
- [55] Tobin D, Brevik-Andersen M, Qin Y, *et al.* Evaluation of a high concentrate omega-3 for correcting the omega-3 fatty acid nutritional deficiency in non-alcoholic fatty liver disease (CONDIN)[J]. *Nutrients*, 2018, 10(8): 1126.
- [56] 邹礼根, 郭水荣, 翁丽萍, 等. 两种不同养殖模式对青鱼肌肉营养品质的影响[J]. 宁波大学学报(理工版), 2018, 31(4): 25-30.
- Zhou L G, Guo Y R, Wen L P, *et al.* Effects of two different culture modes on muscle nutrients of black carp[J]. Journal of Ningbo University (Natural Science and Engineering Edition), 2018, 31(4): 25-30 (in Chinese).
- [57] 高瑞昌, 苏丽, 黄星奕, 等. 水产品风味物质的研究进展[J]. *水产科学*, 2013, 32(1): 59-62.
- Gao R C, Su L, Huang X Y, *et al.* Research progress of flavor components in fishery products[J]. *Fisheries Science*, 2013, 32(1): 59-62 (in Chinese).
- [58] 赵静, 丁奇, 孙颖, 等. 香菇菌汤及酶解液中滋味成分及呈味特性的对比分析[J]. *食品科学*, 2016, 37(24): 99-104.
- Zhao J, Ding Q, Sun Y, *et al.* Comparison of taste compounds and taste characteristics of shiitake mushroom soup and enzymatic hydrolysate[J]. *Food Science*, 2016, 37(24): 99-104 (in Chinese).
- [59] 刘源, 王文利, 张丹妮. 食品鲜味研究进展[J]. *中国食品学报*, 2017, 17(9): 1-10.
- Liu Y, Wang W L, Zhang D N. Research progress of umami in food[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2017, 17(9): 1-10 (in Chinese).
- [60] Rahimabadi E Z, Bakar J, Man Y B C, *et al.* The impact of lipid content, cooking and reheating on volatile compounds found in narrow-barred Spanish mackerel (*Scomberomorus commerson*)[J]. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 2011, 10(2): 336-345.
- [61] 张明, 陶其辉, 肖秀兰, 等. 鄱阳湖黄颡鱼含肉率及肌肉营养分析[J]. *江西农业学报*, 2001, 13(3): 39-42.
- Zhang M, Tao Q H, Xiao X L, *et al.* Analysis of meat rate of *Pseudobagrus fulvidraco* from Poyang Lake and nutrient composition in its muscle[J]. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2001, 13(3): 39-42 (in Chinese).
- [62] 李阳, 汪超, 胡建中, 等. 武昌鱼中挥发性成分的HS-SPME和GC-MS分析[J]. *湖北农业科学*, 2014, 53(4): 907-912.
- Li Y, Wang C, Hu J Z, *et al.* Analyzing of volatile components in *Megalobrama amblycephala* by headspace solid-phase microextraction coupled with gas chromatography-mass spectrometry[J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2014, 53(4): 907-912 (in Chinese).
- [63] Li J L, Tu Z C, Sha X M, *et al.* Effect of frying on fatty acid profile, free amino acids and volatile compounds of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) fillets[J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2017, 41(4): e13088.
- [64] 陈惠, 刘焱, 李志鹏, 等. 热加工对草鱼鱼肉品质及风味成分的影响[J]. *食品与机械*, 2017, 33(9): 53-58, 68.
- Chen H, Liu Y, Li Z P, *et al.* The influence of thermal treatment on grass carp quality and volatile flavor compounds[J]. *Food and Machinery*, 2017, 33(9): 53-58, 68 (in Chinese).
- [65] 李金林, 万亮, 陈春艳, 等. ω -3 LCPUFAs模拟热加工鱼肉脂肪氧化形成风味物质的研究[J]. *中国食品学报*, 2020, 20(6): 95-105.
- Li J L, Wan L, Chen C Y, *et al.* Studies on formation of flavor compounds in fish meat during heat process based on oxidation models of ω -3 LCPUFAs[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2020, 20(6): 95-105 (in Chinese).

Effects of pond culture and lake culture on fish quality of *Megalobrama amblycephala* "Huahai No.1"

LI Wenrong^{1,2}, TIAN Mingli³, AN Yueqi^{2,4}, WEN Li^{1,2}, CHEN Hao^{1,2},
XIAO Shuting^{1,2}, RUAN Qiufeng^{1,2}, LIU Ru^{1,2,4}, XIONG Shanbai^{1,2,4*}

(1. College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;

2. National R & D Branch Center for Conventional Freshwater Fish Processing, Wuhan 430070, China;

3. Hunan Xiweijia Biotechnology Co., Ltd., Yueyang 414000, China;

4. Engineering Research Center of Green development for Conventional Aquatic Biological Industry in
the Yangtze River Economic Belt, Ministry of Education, Wuhan 430070, China)

Abstract: In order to explore the quality differences of the new variety "Huahai No.1" *Megalobrama amblycephala* cultured in different modes, this study took "Huahai No.1" *M. amblycephala* with different culture modes (pond culture and lake culture) as the research object; their appearance and texture were determined by colorimeter and texture analyzer, and their nutritional characteristics and flavor compounds were determined by ultra performance liquid chromatography (UPLC) or gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). The results showed that the brightness, whiteness as well as the springiness, chewiness and resilience of flesh in *M. amblycephala* cultured in lake mode were significantly higher than those of those cultured in pond mode, and the muscle moisture content of the lake group was higher and the crude fat content was lower. The EAA/TAA and EAA/NEAA ratios of fish in pond group and lake group were 0.41, 0.82 and 0.38, 0.72, respectively, which were in line with the ideal essential amino acid composition recommended by FAO/WHO. Although the index of essential amino acids in the pond group were higher than that in the lake group, only lysine content in the essential amino acids as significantly higher than that in the lake group, while the contents of non-essential amino acids and semi-essential amino acids of fish in the lake group were 1.05 times and 1.01 times that in the pond group, respectively. The total fatty acid content in the lake group decreased by 21.09%, and the proportion of polyunsaturated fatty acids increased by 4.00%, among which EPA and DHA content were 14.20 times and 7.51 times those in the pond group, and the nutrition of the fish in the lake group was more balanced. The TAV values of glutamic acid and alanine in pond group were greater than 1, while that of lysine in lake group was greater than 1, but the total proportion of fresh and sweet amino acids in fish in lake group was higher, and the total proportion of bitter amino acids was lower, and the contents of umami-presenting AMP and IMP in lake group were 1.24 times and 1.54 times those in pond group, while Hx and HxR in bitter taste were only 62.74% and 44.53% of those in pond group. Combined with sensory evaluation, the interaction of flavor substances made the lake group fish fresh and sweet, and the content and ROAV value of volatile compounds such as (Z)-cis-4-hepten-1-al and 1-hexanol which negatively affect the odor in fish meat of lake group were lower, and the odor quality was better. In sensory evaluation, the scores of texture, color, taste and smell were significantly higher in lake group, which was consistent with the above results. The above results indicate that the material quality, nutritional quality and flavor quality of *M. amblycephala* in the lake culture mode are better than those in the pond culture mode, which can be promoted as a better culture mode. This study provides a theoretical basis for selecting the appropriate culture mode to improve the muscle quality of "Huahai No.1" *M. amblycephala*.

Key words: "Huahai No.1" *Megalobrama amblycephala*; material quality; nutritional quality; flavor quality; pond culture; lake culture

Corresponding author: XIONG Shanbai. E-mail: xiongsb@mail.hzau.edu.cn

Funding projects: China Agriculture Research System of MOF and MARA (CARS-45-28)