

DOI: 10.12264/JFSC2023-0284

网湖放养与池塘养殖鳊的肌肉品质比较分析

王森^{1,2}, 马吉顺^{1,2}, 钟可儿^{1,2}, 熊浩^{1,2}, 周琼^{1,2}

1. 华中农业大学水产学院, 湖北 武汉 430070;

2. 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: 为探究大水面养殖与池塘养殖模式下鱼类肌肉品质可能存在的差异及其原因, 以鳊(*Hypophthalmichthys nobilis*)为研究对象, 采集并观测湖北省网湖(网湖放养组)和周边养殖池塘(池塘养殖组)两组鳊的背部肌肉的表观、质构、营养和风味等特征, 并对两者的水质条件与饵料生物组成进行对比研究。结果显示: (1) 网湖放养鳊的腹脂比(IPF)、肝体比(HSI)显著低于池塘养殖组($P<0.05$), 而两者的肥满度(CF)和脏体比(VSI)无显著差异($P>0.05$); 网湖放养鳊的背部鱼皮和背部鱼肉的亮度值(L^*)和白度值(W)显著高于池塘养殖组($P<0.05$); (2) 网湖放养鳊肌肉的弹性、内聚性高于池塘养殖组($P>0.05$), 硬度显著低于池塘养殖组($P<0.05$); (3) 网湖放养鳊的水分、粗蛋白含量显著低于池塘养殖组($P<0.05$), 而粗脂肪含量显著高于池塘养殖组($P<0.05$); 网湖放养鳊的必需氨基酸含量及其评分显著高于池塘养殖组($P<0.05$); 网湖放养组和池塘养殖组的 EAA/TAA 比值分别为 41.24%、40.84%, EAA/NEAA 的比值分别为 84.18%、83.03%, 均符合 FAO/WHO 理想模式标准; 网湖放养组的单不饱和脂肪酸、多不饱和脂肪酸均显著高于池塘养殖组($P<0.05$); 网湖放养鳊肌肉中 Ca、Zn 的含量高于池塘养殖组($P>0.05$); (4) 网湖放养组的鲜味氨基酸占比更高, 苦味氨基酸占比更低; 网湖放养组和池塘养殖组的最高气味活度值分别是呈青草味的己醛和油脂味的 1-辛醛, 对气味呈负面影响的 1-己醇、3-戊酮等挥发性化合物含量及相对气味活度值(ROAV)在网湖放养组更低。研究表明, 网湖放养鳊相对于池塘养殖组具有更好的形态特征、肌肉营养和风味品质, 这与其养殖环境和天然饵料的差异有关。本研究可为大水面生态渔业的发展提供理论参考。

关键词: 鳊; 大水面养殖; 湖泊放养; 池塘养殖; 营养品质; 水质分析; 饵料组成

中图分类号: S965

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2024)05-0557-19

鱼类富含多种不饱和脂肪酸、矿物元素, 为人类提供了健康、经济的蛋白质来源。随着生活水平的逐渐提高, 消费者对水产品健康日益关注^[1-2], 有关鱼类肌肉品质的研究也越来越受到重视^[3]。其中, 鱼肉的表观、质构、营养和风味是消费者对鱼类质量评价的 4 个主要标准^[4-7]。鱼肉的表观主要包括形体指标、色泽等方面^[8], 肥满度、脏体比等形体指标能在一定程度上反映鱼类的营养状态^[9], 色泽属于鱼肉品质评价的一个重要方面, 体现着鱼肉的鲜度^[10]; 质构性反映鱼肉

的软硬程度和弹性, 影响食用者的口感^[11]; 营养价值是评价鱼类肌肉品质的重要指标, 主要体现在常规营养成分(水分、粗脂肪、粗蛋白质和灰分)、氨基酸、脂肪酸及矿物质等方面^[12-13]; 鱼肉的风味特征在很大程度上影响着顾客的选择和偏好, 是肌肉品质评价的重要一部分, 鱼肉的风味由滋味和气味组成, 滋味是指非挥发性呈味物质, 主要包括游离氨基酸、核苷酸和有机酸等^[14]; 气味是指人类嗅觉能感受到的挥发性风味物质, 主要包括醛类、醇类、酮类等^[15-16]。鱼类的肌肉品

收稿日期: 2024-02-10; 修订日期: 2024-04-01.

基金项目: 国家重点研发计划重点专项(2019YFD0900601-02); 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(2662020SCPY007).

作者简介: 王森(1999-), 男, 硕士研究生, 研究方向为鱼类生物学. E-mail: 2637037564@qq.com

通信作者: 周琼, 教授, 研究方向为渔业生态与资源保护. E-mail: hainan@mail.hzau.edu.cn

质是受水体环境^[17-18]和饵料条件^[8,19-20]等多种因素影响的结果,不同养殖模式下鱼类肌肉的营养成分与品质也会有所差异^[21-24]。

鳙(*Hypophthalmichthys nobilis*)又称花鲢、胖头鱼等,主要摄食浮游生物,是大水面放养的重要品种,具有重要的作用^[25]。它可以通过非经典的生物操纵途径抑制水华的大规模暴发,同时通过捕捞活动将水体中过多的氮、磷等营养物质移出水体,防止水体富营养化,实现生态与渔业的和谐发展^[26]。大水面渔业作为我国水产养殖的主要形式之一,对实现渔业高质量发展具有重要的意义^[25]。近年来,通过对大水面生态渔业的积极探索与发展,涌现出了一批生态与产业和谐发展的典型湖泊,如千岛湖、查干湖等。网湖位于湖北省阳新县,属于典型的大水面湖泊,当地渔业部门积极借鉴国内生态渔业发展先进理念,通过生态放养鳙、鳊,发展“以水养鱼、以渔净水”的大水面生态渔业,取得良好成效^[27]。本研究以鳙为研究对象,通过对网湖与周边池塘的水体环境、饵料生物以及鳙肌肉品质进行比较分析,探讨大水面放养和池塘养殖鳙的肌肉品质差异及其可能存在的原因,以期今后大水面生态渔业的健康发展与综合利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

1.1.1 实验用鱼 实验所用鱼样本于 2022 年 12 月 26 日在网湖及周边养殖池塘各随机捕获鳙 30 尾[网湖放养组体长(52.94 ± 4.54) cm, 体重(3.116 ± 0.947) kg; 池塘养殖组体长(48.97 ± 6.21) cm, 体重(2.497 ± 0.804) kg], 并通过活鱼车运至实验室进一步分析。两种养殖模式的鳙通过敲击致死测量形体指标,随后将同种养殖模式鳙的背部肌肉样本混合后分成 3 组,密封存放于 -80°C ,用于后续营养成分和风味特征的分析。

1.1.2 主要试剂 乙醚、石油醚(沸程 $30\sim 60^{\circ}\text{C}$)、95%乙醇、盐酸、氢氧化钠均为分析纯;硝酸、异硫氰酸苯酯、三乙胺均为优级纯;甲醇、乙腈、正己烷、氨基酸混标均为色谱级;脂肪酸甲酯混标均为色谱级;矿物元素(钾、钙、镁、铜、锌、

铁、铬)标准储备溶液(1000 mg/L),购自国家标准物质研究中心。

1.2 主要设备

万分之一电子分析天平(FA-1004,上海舜宇恒平科学仪器有限公司);便携式水质分析仪(YSI,美国);离心机(BR4I,美国 Thermo Fisher 公司);色差仪(CR-400,日本 Konica Minolta 公司);质构分析仪(TA-XT Plus,英国 Stable Micro Systems 公司);气相色谱质谱联用仪(8890-7000D,美国 Agilent 公司);液相色谱仪(1260,美国 Agilent 公司);气相色谱仪(7890A,美国 Agilent 公司);自动进样器(PALRTC120,瑞士 CTC 公司);电感耦合等离子体发射光谱仪(PerkinElmer Optima 8000,美国 PE 公司)

1.3 实验方法

1.3.1 水样采集与处理 本研究在网湖共设置 5 个采样点(图 1),并在网湖周边随机选取 3 个鳙养殖池塘。于 2022 年 12 月 26 日,使用便携式水质分析仪现场测定网湖各采样点和 3 口池塘的水温(WT)、pH、溶解氧(DO)、盐度(Sal)、总溶解固体(TDS)、电导率(Cond)等指标。水体透明度(SD)使用塞氏透明度盘进行测定。采集 1 L 水样通过车载便携式冰箱保存于 4°C 条件下,带回实验室测定总氮(TN)、硝态氮($\text{NO}_3\text{-N}$)、亚硝酸氮盐($\text{NO}_2\text{-N}$)、铵态氮($\text{NH}_4^+\text{-N}$)、总磷(TP)等化学指标^[28]。

1.3.2 浮游生物采集与处理 浮游植物与浮游动物定性样品使用 25[#]浮游生物网在水下 0.5 m 处按“∞”形轨迹缓慢拖行多次,将样品收集至 50 mL 采样瓶内,加入 4%甲醛溶液进行固定。浮游植物定量样品则在水下 0.5 m 处使用 1 L 采水器采集水样注入 1 L 塑料瓶内,加入鲁格氏液进行固定并贴好标签,并带回实验室静置 24 h 后将样品浓缩至 30 mL;浮游动物定量样品使用 5 L 采水器于水深 0.5 m 处采集两次(10 L),通过 25[#]浮游生物网过滤后转移至 50 mL 采样瓶内,加入 4%甲醛溶液进行固定。将所有样品带回实验室,使用 0.1 mL 与 1 mL 计数框在倒置显微镜下进行物种鉴定和计数。

浮游生物的物种多样性采用 Shannon-Wiener 多样性指数、Pielou 均匀度指数、Margalef 物种

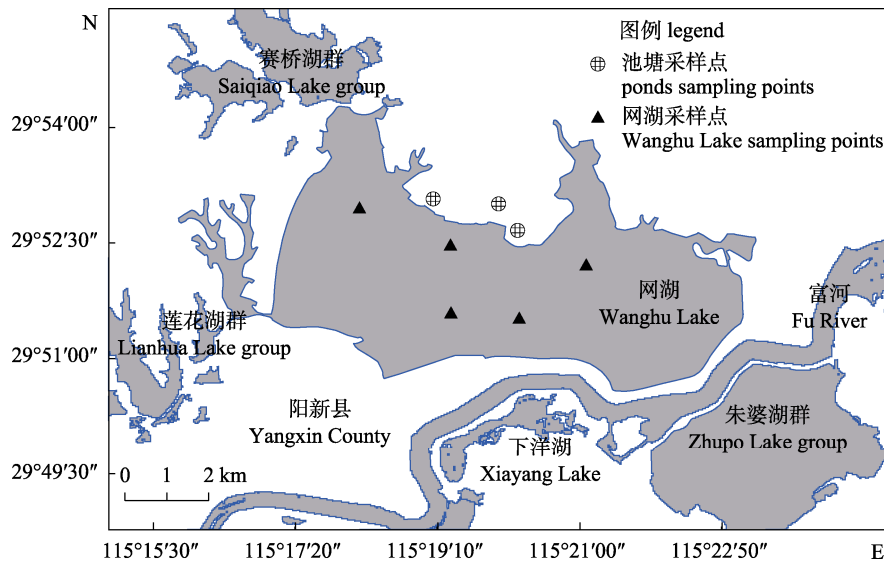


图 1 网湖及周边池塘采样点位置

Fig. 1 Location of sampling sites in the Wanghu Lake and surrounding ponds

丰富度指数和 Simpson 优势度指数等 4 种常用指数进行分析, 计算公式为:

Shannon-Wiener 多样性指数 $H' = -\sum(N_i / N) \log_2(N_i / N)$

Pielou 均匀度指数 $J = H' / \log_2 S$

Margalef 物种丰富度指数 $d = (S - 1) / \log_2 N$

Simpson 优势度指数 $Y = (N_i / N) \times f_i$

式中, N_i 为第 i 种的个体数; N 为所有种类总个体数; S 为物种数; f_i 为第 i 种在各采样点出现的频率; Y 值大于 0.02 为优势种。基于浮游生物多样性指数对网湖和周边池塘的水质进行评价, 具体评价标准见表 1。

表 1 基于浮游生物多样性指数的水质评价标准

Tab. 1 The criteria of water quality assessment based on the plankton diversity indices

生物多样性指数 biodiversity index			污染程度 pollution level
$H' > 3$	$J > 0.5$	$D > 3$	寡污或无污 oligarchic or non-polluted
$3 \geq H' > 2$	$0.5 \geq J > 0.4$	$3 \geq d > 2$	β -中污 β -mesosaprobity
$2 \geq H' > 1$	$0.4 \geq J > 0.3$	$2 \geq d > 1$	α -中污 α -mesosaprobity
$1 \geq H' > 0$	$0.3 \geq J > 0$	$1 \geq d > 0$	重污 heavy pollution

1.3.3 鱼类形体指标和色度的测定 记录鳊的体

长(L)、体重(W)、内脏重(W_v)、腹脂重(W_i)、肝脏重(W_h), 其肥满度、脏体比、腹脂比、肝体比等参数, 并按下述公式计算:

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

脏体比(viscerosomatic index, VSI, %)= $(W_v/W) \times 100$

腹脂比(intraperitoneal fat, IPF, %)= $(W_i/W) \times 100$

肝体比(hepatopancreas somatic indices, HSI, %)= $(W_h/W) \times 100$

随机选取网湖和周边池塘 3 尾鳊的背部肌肉, 将其切成 $3 \text{ cm} \times 3 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}$ 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:

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

1.3.4 鱼肉全质构性测定 鱼肉的全质构测定参照徐永江等^[12]的方法, 随机选取网湖和周边池塘 3 尾鳊, 将背部肌肉切成 $1.5 \text{ cm} \times 1.5 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}$ 的规格, 使用 TA-XT Plus 物性测试仪测定鳊肌肉的硬度、弹性、内聚性、咀嚼性等数据。

1.3.5 鱼肉常规营养成分的测定 选取鳊背部肌肉样品, 其中水分含量的测定参考《食品安全国家标准食品中水分的测定》(GB5009.3—2016)^[29]; 粗灰分含量测定参考《食品安全国家标准食品中

灰分的测定》(GB5009.4—2016)^[30]; 粗蛋白含量测定参考《食品安全国家标准食品中蛋白质的测定》(GB5009.5-2016)^[31]; 粗脂肪含量测定参考《食品安全国家标准食品中脂肪的测定》(GB5009.6—2016)^[32]。

1.3.6 鱼肉脂肪酸、氨基酸含量的测定 取网湖和周边池塘鳊的背部肌肉样品, 参照《食品安全国家标准-食品中氨基酸的测定》(GB 5009.124—2016)^[33]、《食品安全国家标准-食品中脂肪酸的测定》(GB 5009.168—2016)^[34]等国家标准测定鳊肌肉的 17 种水解氨基酸、17 种游离氨基酸、37 种游离脂肪酸、37 种水解脂肪酸等指标。

1.3.7 鱼肉矿物元素测定 首先取 1.5 g 鳊背部肌肉进行湿法消解, 然后用电感耦合等离子体原子发射光谱法(ICP-OES)测定铬、锌、铁、铜、镁、钙、钾等 7 种元素^[20]。

1.3.8 鱼肉挥发性风味化合物测定 参照李温蓉等^[24]的方法, 通过 SPME-GC-MS 测定鳊的挥发性风味。取 3.5 g 捣碎的鱼背部肌肉放入 20 mL 气相色谱顶空瓶中, 加入内标 2-辛醇(200 ng), 再加入 10 mL 饱和氯化钠溶液混合, 通过气相色谱-质谱进行测定。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。

1.3.9 鱼肉营养品质评价方法 根据联合国粮农组织(FAO)和世界卫生组织(WHO)于 1973 年建议的氨基酸评分标准模式^[35]和全鸡蛋蛋白质的氨基酸模式, 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^[12]。

$$\begin{aligned} \text{AAS} &= \text{aa} / \text{AA}_{(\text{FAO/WHO})} \\ \text{CS} &= \text{aa} / \text{AA}_{(\text{Egg})} \\ \text{EAAI} &= \sqrt[n]{\frac{\text{Lys}(t)}{\text{Lys}(s)} \times \frac{\text{Met}(t)}{\text{Met}(s)} \times \cdots \times \frac{\text{Val}(t)}{\text{Val}(s)}}} \times 100 \end{aligned}$$

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

根据公式评价两种养殖模式下鳊肌肉的风味品质:

$$\text{滋味活度值(TAV)} = C_i / T_i$$

相对气味活度值(ROAV) $\approx 100 \times (C_i / C_{\max}) \times (T_{\max} / T_i)$ 式中, C_i 为某种滋味物质的含量(mg/kg); T_i 为对应滋味物质的阈值(mg/kg); 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($\mu\text{g/kg}$)。

1.4 数据处理

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($\bar{x} \pm \text{SD}$)”表示。所有实验数据使用 Excel 2016 软件进行处理, 采用 SPSS 26.0 软件对数据进行单因素方差(one-way ANOVA)分析, 显著性差异检测限为 $P < 0.05$, 并以 Origin 2019b、ArcGIS 10.7 软件绘图。

2 结果与分析

2.1 网湖和周边池塘的水质特征

网湖和周边池塘的水质特征如表 2 所示。网湖水体中溶解氧(DO)含量(9.98 mg/L)高于池塘水体(9.83 mg/L), 网湖水体的硝态氮(NO_3^- -N)含量

表 2 网湖和周边池塘的水质参数

Tab. 2 Water quality parameters in the Wanghu Lake and surrounding ponds

$n=8; \bar{x} \pm \text{SD}$

类别 category	网湖 Wanghu Lake	池塘 pond
温度/ $^{\circ}\text{C}$ WT	10.08 $\pm$ 1.28 ^a	10.87 $\pm$ 0.06 ^a
pH	7.05 $\pm$ 2.31 ^a	8.27 $\pm$ 0.50 ^a
溶解氧/(mg/L) DO	9.98 $\pm$ 0.82 ^a	9.83 $\pm$ 0.99 ^a
盐度/% Sal	0.13 $\pm$ 0.01 ^a	0.18 $\pm$ 0.02 ^b
总溶解固体/(mg/L) TDS	203.89 $\pm$ 43.84 ^a	246.57 $\pm$ 28.53 ^a
电导率/($\mu\text{S/cm}$) Cond	204.78 $\pm$ 5.07 ^a	276.97 $\pm$ 32.08 ^a
透明度/cm SD	35.10 $\pm$ 5.22 ^a	45.33 $\pm$ 2.08 ^a
总氮/(mg/L) TN	1.52 $\pm$ 0.96 ^a	2.76 $\pm$ 0.61 ^b
硝态氮/(mg/L) NO_3^- -N	0.47 $\pm$ 0.04 ^a	0.32 $\pm$ 0.03 ^b
亚硝态氮/(mg/L) NO_2^- -N	0.04 $\pm$ 0.03 ^a	0.05 $\pm$ 0.02 ^a
铵态氮/(mg/L) NH_4^+ -N	0.42 $\pm$ 0.19 ^a	1.29 $\pm$ 0.60 ^a
总磷/(mg/L) TP	0.12 $\pm$ 0.02 ^a	0.30 $\pm$ 0.07 ^b

注: 表中同一指标中含有不同英文字母表示有显著差异($P < 0.05$)。

Note: Different letters in the same index in the table indicate significant differences ($P < 0.05$).

(0.47 mg/L) 显著高于周边池塘 (0.32 mg/L, $P<0.05$)。此外, 网湖水体中的温度(WT)、pH、盐度(Sal)、总溶解固体(TDS)、电导率(Cond)、透明度(SD)、总氮(TN)、亚硝态氮($\text{NO}_2\text{-N}$)、铵态氮($\text{NH}_4\text{-N}$)、总磷(TP)均低于周边池塘。其中, 网湖水体中的 Sal (0.13%) 显著低于周边池塘 (0.18%, $P<0.05$); 网湖水体的 TN 含量 (1.52 mg/L) 显著低于周边池塘 (2.76 mg/L, $P<0.05$); 网湖水体的 TP 含量 (0.12 mg/L) 显著低于周边池塘 (0.30 mg/L,

$P<0.05$)。

2.2 网湖和周边池塘浮游生物群落结构特征

网湖水体浮游植物和浮游动物密度平均值分别为 18.18×10^6 cells/L、7823.95 ind/L, 均显著低于周边池塘 (图 2, $P<0.05$)。网湖和周边池塘的浮游植物生物量平均值分别为 8.87 mg/L 和 57.69 mg/L, 两者差异极显著 (图 2, $P<0.01$)。网湖水体的浮游动物生物量平均值为 3.23 mg/L, 显著高于周边池塘 (0.85 mg/L, 图 2, $P<0.05$)。

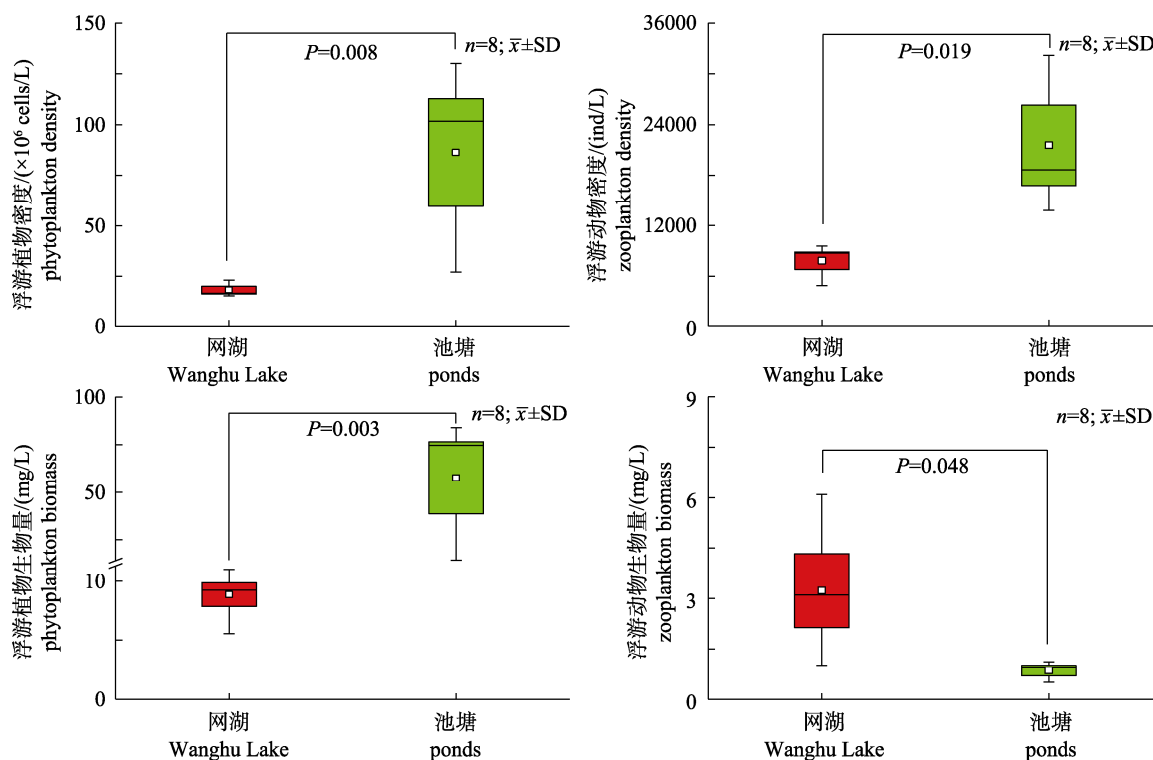


图2 网湖和周边池塘的浮游生物密度和生物量

Fig. 2 The density and biomass of plankton in the Wanghu Lake and surrounding ponds

网湖水体浮游植物检测到 8 门 42 属 69 种 (图 3), 其中绿藻门 (35 种) 种数最多, 占浮游植物总数的 50.72%, 其次是硅藻门 (13 种), 占比 18.84%。周边池塘共检测到浮游植物 6 门 25 属 39 种, 以绿藻门 (24 种) 最多, 占比 60.00%; 其次为硅藻门 (7 种), 占比 17.50%。由表 3 可知, 网湖和池塘优势种主要隶属于蓝藻门、硅藻门、绿藻门和隐藻门, 其中网湖以矮小沟链藻 (*Aulacoseira pusilla*) 优势度最高, 池塘以双对栅藻 (*Scenedesmus biguga*) 的优势度最高。

网湖水体中共检测到浮游动物 40 种 (图 3),

其中轮虫最多 (21 种), 占比 52.50%; 原生动物次之 (13 种), 占比 32.50%; 枝角类和桡足类均为 3 种 (7.50%)。周边池塘检测到浮游动物 41 种 (图 3), 其中轮虫 23 种 (56.10%)、原生动物 14 种 (34.14%)、枝角类 2 种 (4.88%)、桡足类 2 种 (4.88%)。如表 3 所示, 网湖水体的优势种为原生动物和轮虫类, 池塘优势种为原生动物, 网湖和周边池塘均以旋回侠盗虫 (*Stribilidium gyrans*) 的优势度为最高。

与周边池塘相比, 网湖水体浮游植物和浮游动物具有更高的物种数 (图 3)。网湖浮游植物的物种丰富度指数 (d) 高于周边池塘, 且浮游动物的多

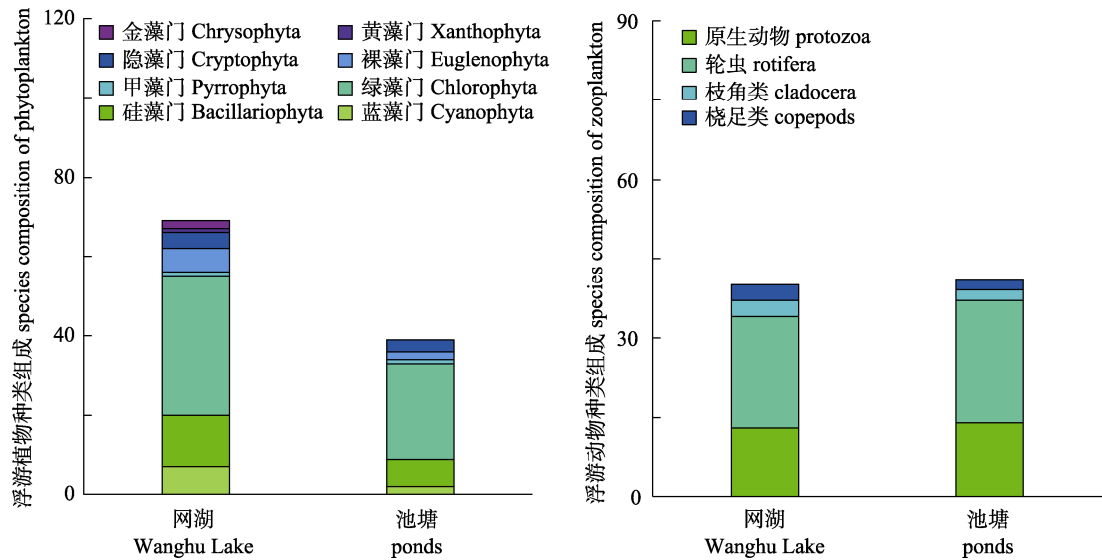


图 3 网湖和周边池塘浮游植物与浮游动物种类组成

Fig. 3 Species composition of plankton in the Wanghu Lake and surrounding ponds

表 3 网湖与周边池塘的浮游生物优势种及优势度

Tab. 3 Dominant species and dominance of plankton in the Wanghu Lake and surrounding ponds

分类 classification		优势种 dominant species ($Y>0.02$)		网湖 Wanghu Lake	池塘 pond
浮游植物 phytoplankton	蓝藻门 Cyanophyta	卷曲鱼腥藻	<i>Anabaena circinalis</i>	0.02	
		极小集胞藻	<i>Synechocystis minuscula</i>		0.05
	硅藻门 Bacillariophyta	矮小沟链藻	<i>Aulacoseira pusilla</i>	0.47	
		链形小环藻	<i>Cyclotella catenata</i>	0.04	0.03
		颗粒直链藻	<i>Melosira granulata</i>	0.05	
		尖针杆藻	<i>Synedra acus</i>		0.09
	绿藻门 Bacillariophyta	四角十字藻	<i>Crucigenia quadrata</i>		0.04
		四足十字藻	<i>Crucigenia terapedia</i>		0.06
		肥壮蹄形藻	<i>Kirchneriella obesa</i>		0.07
		双棘栅藻	<i>Scenedesmus bicaudatus</i>		0.04
		双对栅藻	<i>Scenedesmus biguga</i>	0.03	0.18
		四尾栅藻	<i>Scenedesmus quadricauda</i>		0.05
	隐藻门 Cryptophyta	尖尾蓝隐藻	<i>Chroomonas acuta</i>	0.02	
		嗜蚀隐藻	<i>Cryptomonas erosa</i>		0.02
		卵形隐藻	<i>Cryptomonas ovata</i>	0.05	0.05
浮游动物 zooplankton	原生动物 protozoan	团脾睨虫	<i>Askenasia volvox</i>	0.09	
		旋回侠盗虫	<i>Stribilidium gyrans</i>	0.32	0.20
		紫晶喇叭虫	<i>Stentor amethystinus</i>		0.07
		密针刺胞虫	<i>Acanthocystis myriospina</i>		0.11
		似月形刺胞虫	<i>Acanthocystis erinaceoides</i>	0.05	
		小单环栉毛虫	<i>Didinium balbiamii nanum</i>		0.10
		筒裸口虫	<i>Holophrya simplex</i>		0.17
		中华拟铃壳虫	<i>Tintinnopsis sinensis</i>	0.14	
		钵杵拟铃壳虫	<i>Tintinnopsis subpistillum</i>	0.18	
	轮虫类 rotifera	螺形龟甲轮虫	<i>Keratella cochlearis</i>	0.04	
		曲腿龟甲轮虫	<i>Keratella ualga</i>	0.02	
		针簇多肢轮虫	<i>Polyarthra trigla</i>	0.03	

样性指数(H')、均匀度指数(J)和丰富度指数(d)均高于周边池塘(图 4)。基于浮游生物多样性指数对网湖和周边池塘水质进行评价(表 1), 网湖浮游植物多样性指数对应水质类型为 2 个寡污或无污、1 个 β -中污; 周边池塘浮游植物多样性指数对应 2 个寡污或无污以及 1 个 α -中污。网湖浮游动物多样性指数分别对应水质类型为 2 个寡污或无污、1

个 β -中污; 池塘浮游动物多样性指数对应为 1 个寡污或无污和 2 个 β -中污。

2.3 网湖放养和池塘养殖鳊的外观特征

网湖放养和池塘养殖鳊的肥满度、脏体比无显著差异(表 4, $P>0.05$), 然而网湖放养鳊的肥满度和脏体比均高于池塘养殖鳊。网湖放养鳊腹脂比和肝体比显著低于池塘养殖组($P<0.05$)。

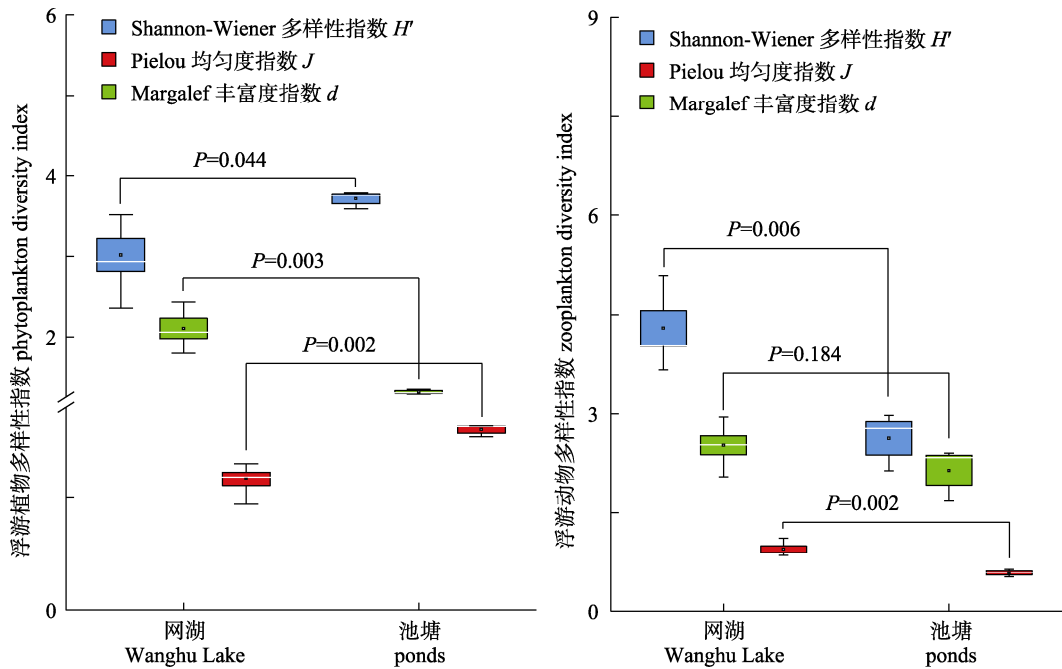


图 4 网湖和周边池塘浮游生物多样性指数
Fig. 4 Diversity indices of plankton in the Wanghu Lake and surrounding ponds

表 4 网湖放养和池塘养殖鳊的形态指标
Tab. 4 Morphological indices of *Hypophthalmichthys nobilis* in the Wanghu Lake and surrounding ponds

n=30; $\bar{x} \pm SD$				
类别 category	肥满度(g/cm ³) CF	脏体比/% VSI	腹脂比/% IPF	肝体比/% HSI
网湖放养 Wanghu Lake stocking	2.05±0.26 ^a	6.45±0.79 ^a	0.45±0.13 ^a	0.80±0.26 ^a
池塘养殖 pond culture	2.04±0.10 ^a	5.87±0.64 ^a	0.67±0.26 ^b	1.51±0.13 ^b

注: n 为样本数; 表中同一指标中含有不同英文字母表示有显著差异($P<0.05$).
Note: n is the number of samples. Different letters in the same index indicate significant differences ($P<0.05$).

网湖放养组背部肌肉亮度值(L^*)和白度值(W)均显著高于池塘组(表 5, $P<0.05$), 网湖放养组背部肌肉 a^* 值低于池塘养殖组。与背部肌肉色泽趋势类似, 网湖放养组鱼皮色泽的亮度值和白度值显著高于池塘养殖组($P<0.05$)。

2.4 网湖放养和池塘养殖鳊的质构特性

网湖放养鳊的硬度显著低于池塘养殖组(表 6, $P<0.05$), 但两种养殖模式下鳊的弹性、内聚性、咀嚼性差异并不显著($P>0.05$), 网湖放养鳊的弹性和内聚性均高于池塘养殖组。

表 5 网湖放养和池塘养殖鳊的色度差异

Tab. 5 Chromaticity differences of *Hypophthalmichthys nobilis* between Wanghu Lake and surrounding ponds

n=3; $\bar{x} \pm \text{SD}$					
部位 position	养殖模式 breeding mode	亮度值 L^*	红绿值 a^*	黄蓝值 b^*	白度值 W
背部肌肉 dorsal muscle	网湖放养 Wanghu Lake stocking	54.85±1.09 ^a	-0.13±0.07 ^b	0.22±0.14 ^b	54.85±1.09 ^a
	池塘养殖 pond culture	49.59±0.44 ^b	1.03±0.13 ^a	1.49±0.24 ^a	49.56±0.44 ^b
背部鱼皮 dorsal fish skin	网湖放养 Wanghu Lake stocking	48.39±1.12 ^a	-1.29±0.14 ^a	2.61±0.19 ^a	48.31±1.12 ^a
	池塘养殖 pond culture	45.97±1.40 ^b	-0.34±0.17 ^b	0.66±0.45 ^b	45.96±1.40 ^b

注：表中同一指标中含有不同英文字母表示有显著差异($P<0.05$).
Note: Different letters in the same index indicate significant differences ($P<0.05$).

表 6 网湖放养和池塘养殖鳊的质构特性

Tab. 6 Texture characteristics of *Hypophthalmichthys nobilis* in the Wanghu Lake and surrounding ponds

n=3; $\bar{x} \pm \text{SD}$				
养殖模式 aquaculture mode	硬度/g hardness	弹性 flexibility	内聚性 cohesion	咀嚼性/g chewability
网湖放养 Wanghu Lake stocking	1399.86±192.92 ^b	0.51±0.12 ^a	0.44±0.03 ^a	315.26±113.08 ^a
池塘养殖 pond culture	2028.85±349.89 ^a	0.47±0.04 ^a	0.41±0.06 ^a	386.24±88.64 ^a

注：表中同一指标中含有不同英文字母表示有显著差异($P<0.05$).
Note: Different letters in the same index indicate significant differences ($P<0.05$).

2.5 网湖放养和池塘养殖鳊的营养特征

网湖放养组肌肉粗脂肪含量显著高于池塘养殖组(表 7, $P<0.05$), 且肌肉粗灰分含量高于池塘养殖组($P>0.05$), 然而其肌肉水分和粗蛋白的含量显著低于池塘养殖组($P<0.05$)。

表 7 网湖放养和池塘养殖鳊肌肉中常规营养成分含量

Tab. 7 Conventional nutrient contents of *Hypophthalmichthys nobilis* muscle in the Wanghu Lake and surrounding ponds

n=3; $\bar{x} \pm \text{SD}$; g/100 g				
养殖模式 aquaculture mode	水分 moisture content	粗灰分 coarse ash	粗蛋白 crude protein	粗脂肪 crude fat
网湖放养 Wanghu Lake stocking	78.30±0.23 ^b	1.40±0.03 ^a	15.58±0.11 ^b	3.48±0.07 ^a
池塘养殖 pond culture	80.33±0.06 ^a	1.12±0.04 ^a	17.65±0.26 ^a	0.51±0.10 ^b

注：表中同一指标中含有不同英文字母表示有显著差异($P<0.05$).
Note: Different letters in the same index indicate significant differences ($P<0.05$).

网湖放养组与池塘养殖组鳊的总氨基酸含量存在显著差异(表 8, $P<0.05$)。除精氨酸和苏氨酸外, 网湖放养组的氨基酸含量均高于池塘养殖组。其中, 网湖放养组的必需氨基酸和非必需氨基酸含量均显著高于池塘养殖组($P<0.05$)。在两种

表 8 网湖放养和池塘养殖鳊肌肉水解氨基酸含量

Tab. 8 Hydrolyzed amino acid contents of *Hypophthalmichthys nobilis* muscle in the Wanghu Lake and surrounding ponds

n=3; $\bar{x} \pm \text{SD}$; mg/g		
氨基酸 amino acids	网湖放养 Wanghu Lake stocking	池塘养殖 pond culture
天冬氨酸 Asp	15.22±0.15 ^a	14.72±0.20 ^b
谷氨酸 Glu	22.70±0.20 ^a	22.04±0.36 ^b
丝氨酸 Ser	6.13±0.07 ^a	6.03±0.06 ^a
甘氨酸 Gly	8.60±0.13 ^a	8.35±0.06 ^b
丙氨酸 Ala	9.41±0.02 ^a	9.26±0.03 ^b
脯氨酸 Pro	5.59±0.17 ^a	5.40±0.04 ^a
酪氨酸 Tyr	5.79±0.05 ^a	5.68±0.03 ^b
非必需氨基酸 NEAA	73.45±0.38 ^a	71.49±0.56 ^b
组氨酸 His	4.56±0.03 ^a	4.40±0.01 ^b
精氨酸 Arg	10.10±0.13 ^a	10.12±0.09 ^a
半必需氨基酸 SEAA	14.65±0.10 ^a	14.52±0.10 ^a
苏氨酸 Thr	6.54±0.15 ^a	6.55±0.03 ^a
缬氨酸 Val	8.31±0.05 ^a	8.18±0.04 ^b
蛋氨酸 Met	4.41±0.03 ^a	3.81±0.05 ^b
异亮氨酸 Ile	6.94±0.02 ^a	6.65±0.08 ^b
亮氨酸 Leu	12.93±0.13 ^a	12.70±0.05 ^a
苯丙氨酸 Phe	6.88±0.06 ^a	6.78±0.03 ^a
赖氨酸 Lys	15.84±0.41 ^a	14.69±0.21 ^b
必需氨基酸 EAA	61.83±0.08 ^a	59.36±0.22 ^b
总氨基酸 TAA	149.93±0.21 ^a	145.36±0.77 ^b

注：表中同一指标中含有不同英文字母表示有显著差异($P<0.05$).
Note: Different letters in the same index indicate significant differences ($P<0.05$).

养殖模式中, 半必需氨基酸的总含量差异不显著 ($P>0.05$), 但网湖放养组的半必需氨基酸中组氨酸的含量要显著高于池塘养殖组 ($P<0.05$)。

以 AAS 和 CS 对氨基酸进行营养评价, 网湖放养组和池塘养殖组均以蛋氨酸和胱氨酸评价最低, 为第一限制性氨基酸(表 9)。以 AAS 对氨基

酸进行营养评价, 第二限制氨基酸为苏氨酸; 以 CS 对氨基酸进行营养评价, 第二限制氨基酸为缬氨酸。其中, 氨基酸的 AAS 和 CS 评分均表现为网湖放养组高于池塘养殖组; 除蛋氨酸和胱氨酸外, 网湖放养组鳊肌肉其余氨基酸的含量(AAC)均高于 FAO/WHO 模式。

表 9 网湖放养和池塘养殖鳊肌肉氨基酸评分、化学评分及必需氨基酸指数

Tab. 9 Amino acid scores, chemical scores and essential amino acid indices of *Hypophthalmichthys nobilis* muscle in the Wanghu Lake and surrounding ponds

必需氨基酸 EAA	FAO/WHO	鸡蛋蛋白 egg protein	网湖放养 Wanghu Lake stocking			池塘养殖 pond culture		
			AAC (mg/g N)	AAS	CS	AAC (mg/g N)	AAS	CS
异亮氨酸 Ile	250	331	278.30	1.11	0.84	235.37	0.94	0.71
亮氨酸 Leu	440	534	518.57	1.18	0.97	449.89	1.02	0.84
苏氨酸 Thr	250	292	262.27	1.05 [#]	0.90	232.06	0.93 [#]	0.79
缬氨酸 Val	310	411	333.18	1.07	0.81 [#]	289.67	0.93	0.70 [#]
赖氨酸 Lys	340	441	635.32	1.87	1.44	520.1	1.53	1.18
蛋氨酸+胱氨酸 Met+Cys	220	386	176.76	0.80*	0.46*	134.85	0.61*	0.35*
苯丙氨酸+酪氨酸 Phe+Tyr	380	565	508.14	1.34	0.90	441.16	1.16	0.78
必需氨基酸指数 EAAI			86.17			72.76		

注: *为第一限制性氨基酸; #为第二限制性氨基酸。
Note: * is the first restrictive amino acid; # is the second restrictive amino acid.

本次共检测出水解脂肪酸 27 种, 网湖放养组鳊肌肉的总脂肪酸含量显著高于池塘养殖组(表 10, $P<0.05$)。网湖放养组饱和脂肪酸含量显著高于池塘养殖组 ($P<0.05$), 且网湖放养组的十一烷酸(C11)和十三烷酸(C13)未被检测出, 饱和脂肪酸种类更少。相较于池塘养殖组, 网湖放养组的

多不饱和脂肪酸和单不饱和脂肪酸含量均显著高于池塘养殖组 ($P<0.05$), 分别是池塘养殖组的 1.38 倍和 1.29 倍, 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 的含量也存在显著差异 ($P<0.05$), 为池塘养殖鳊的 1.98 倍, 营养价值更高。

表 10 网湖放养和池塘养殖鳊肌肉的水解脂肪酸含量

Tab. 10 Hydrolyzed fatty acid contents of *Hypophthalmichthys nobilis* muscle in the Wanghu Lake and surrounding ponds
 $n=3$; $\bar{x} \pm SD$; mg/100 g

脂肪酸 fatty acids	网湖放养 Wanghu Lake stocking	池塘养殖 pond culture
十一烷酸 C11 : 0	ND	0.18±0.02
十二烷酸 C12 : 0	0.62±0.06 ^a	0.56±0.05 ^a
十三烷酸 C13 : 0	ND	0.32±0.03
肉豆蔻酸 C14 : 0	1.42±0.11 ^a	1.22±0.11 ^a
十五烷酸 C15 : 0	0.85±0.08 ^a	1.01±0.03 ^b
棕榈酸 C16 : 0	20.75±0.64 ^a	14.31±0.34 ^b
棕榈油酸 C16 : 1	2.91±0.12 ^a	2.00±0.12 ^b
十七烷酸 C17 : 0	1.58±0.09 ^a	1.36±0.04 ^b
十八烷酸 C18 : 0	10.38±0.29 ^a	7.71±0.24 ^b
油酸 C18 : 1n9c	16.84±0.54 ^a	12.72±0.42 ^b

(待续 to be continued)

(续表 10 Tab. 10 continued)

脂肪酸 fatty acids	网湖放养 Wanghu Lake stocking	池塘养殖 pond culture
亚油酸 C18 : 2n6c	4.60±0.22 ^a	4.35±0.13 ^a
α-亚麻酸 C18 : 3n3	2.92±0.13 ^a	2.87±0.06 ^a
γ-亚麻酸 C18 : 3n6	0.79±0.04 ^a	0.64±0.06 ^b
花生酸 C20 : 0	1.58±0.16 ^a	1.40±0.13 ^a
花生烯酸 C20 : 1	1.04±0.02 ^a	1.12±0.06 ^a
二十碳二烯酸 C20 : 2	1.05±0.05 ^a	1.07±0.05 ^a
顺-11,14,17-二十碳三烯酸 C20 : 3n3	1.34±0.11 ^a	1.24±0.08 ^a
顺-8,11,14-二十碳三烯酸 C20 : 3n6	1.64±0.11 ^a	1.17±0.05 ^b
花生四烯酸 C20 : 4n6 (ARA)	7.86±0.19 ^a	9.29±0.23 ^b
顺-5, 8, 11, 14, 17-二十碳五烯酸 C20 : 5n3 (EPA)	8.08±0.20 ^a	5.40±0.13 ^b
二十一碳酸 C21 : 0	0.87±0.07 ^a	0.75±0.06 ^a
二十二碳酸 C22 : 0	1.87±0.19 ^a	1.60±0.15 ^a
芥酸 C22 : 1n9	2.82±0.36 ^a	2.28±0.39 ^a
顺-13,16-二十二碳二烯酸 C22 : 2	0.88±0.09 ^a	0.80±0.11 ^a
顺-4, 7, 10, 13, 16, 19-二十二碳六烯酸 C22 : 6n3 (DHA)	19.48±0.16 ^a	8.55±0.37 ^b
二十三碳酸 C23 : 0	1.04±0.04 ^a	0.92±0.12 ^a
神经酸 C24 : 1	1.40±0.12 ^a	1.26±0.09 ^a
多不饱和脂肪酸 ∑PUFA	48.64±1.23 ^a	35.37±0.54 ^b
单不饱和脂肪酸 ∑MUFA	25.02±1.13 ^a	19.38±0.73 ^b
饱和脂肪酸 ∑SFA	40.97±1.65 ^a	31.33±0.67 ^b
总脂肪酸 ∑TFA	114.62±3.99 ^a	86.09±1.55 ^b
EPA+DHA	27.56±0.36 ^a	13.95±0.49 ^b

注: ND 表示样品中未检出该物质。表中同一指标中含有不同英文字母表示有显著差异($P<0.05$)。
Note: ND means that the substance has not been detected in the sample. Different letters in the same index indicate significant differences ($P<0.05$).

网湖放养和池塘养殖组鳙肌肉矿物元素均以 K 的含量最高, 其次是 Ca、Mg。其中, 网湖放养组肌肉 Ca 和 Zn 含量要高于池塘养殖组(表 11, $P>0.05$), 网湖放养组 Cr、Fe、Cu 的含量要低于池塘养殖组($P>0.05$), 而网湖放养组 Mg 的含量要显著低于池塘养殖组($P<0.05$)。

2.6 网湖放养和池塘养殖鳙的滋味特性

游离氨基酸中, 网湖放养组鳙的总氨基酸含量显著低于池塘组(表 12, $P<0.05$), 且除蛋氨酸外, 两种养殖模式下鳙的肌肉游离氨基酸含量均存在显著差异($P<0.05$)。依据呈味物质滋味阈值计算滋味活度值(TAV), 网湖放养组的组氨酸的 TAV 大于 1, 池塘养殖组的组氨酸与精氨酸滋味活度值大于 1。网湖放养鳙的甜味氨基酸和苦味氨基酸含量显著低于池塘养殖组($P<0.05$), 但酸味氨基酸及鲜味氨基酸含量更高(表 13)。

表 11 网湖放养和池塘养殖鳙肌肉的矿物质组成及含量
Tab. 11 Mineral compositions and contents of *Hypophthalmichthys nobilis* muscle in the Wanghu Lake and surrounding ponds
 $n=3$; $\bar{x} \pm \text{SD}$; mg/kg

矿物质元素 mineral elements	网湖放养 Wanghu Lake stocking	池塘养殖 pond culture
铬 Cr	1.99±0.20 ^a	2.06±0.05 ^a
锌 Zn	2.81±0.19 ^a	2.32±0.41 ^a
铁 Fe	3.46±0.84 ^a	3.63±1.18 ^a
铜 Cu	0.26±0.067 ^a	0.40±0.06 ^a
镁 Mg	292.27±20.26 ^a	346.12±18.23 ^b
钙 Ca	599.10±58.52 ^a	592.36±41.73 ^a
钾 K	1314.08±128.85 ^a	1338.11±112.25 ^a

注: 表中同一指标中含有不同英文字母表示有显著差异($P<0.05$)。
Note: Different letters in the same index indicate significant differences ($P<0.05$).

表 12 网湖放养和池塘养殖鳊游离氨基酸含量及 TAV 值

Tab. 12 Free amino acid contents and TAV values of *Hypophthalmichthys nobilis* in the Wanghu Lake and surrounding ponds
n=3; $\bar{x} \pm SD$

游离氨基酸 free amino acid	味感 ^[24] taste sensation	呈味阈值 ^[24] /(mg/kg) taste threshold	网湖放养/(mg/kg) Wanghu Lake stocking	TAV	池塘养殖/(mg/kg) pond culture	TAV
天冬氨酸 Asp	鲜/酸	1000	51.05±1.18 ^a	0.05	13.66±0.21 ^b	0.01
谷氨酸 Glu	鲜/酸	300	19.33±0.89 ^a	0.06	42.62±0.65 ^b	0.14
丝氨酸 Ser	甜	1500	55.15±0.50 ^a	0.04	127.13±2.02 ^b	0.08
甘氨酸 Gly	甜	1300	1093.74±20.38 ^a	0.84	1216.29±17.30 ^b	0.94
丙氨酸 Ala	甜	600	170.65±4.32 ^a	0.28	320.41±3.71 ^b	0.53
脯氨酸 Pro	甜	3000	108.39±0.78 ^a	0.04	34.78±0.78 ^b	0.01
酪氨酸 Tyr	苦	ND	10.55±0.37 ^a	ND	5.54±0.29 ^b	ND
组氨酸 His	苦/酸	200	827.36±18.90 ^a	4.14	645.66±7.00 ^b	3.23
精氨酸 Arg	苦/甜	500	398.57±3.74 ^a	0.80	832.96±9.68 ^b	1.67
苏氨酸 Thr	甜	2600	67.39±0.27 ^a	0.03	97.44±1.89 ^b	0.04
缬氨酸 Val	苦	400	51.03±1.61 ^a	0.13	64.72±0.77 ^b	0.16
蛋氨酸 Met	苦	300	15.11±0.14 ^a	0.05	14.10±0.70 ^a	0.05
异亮氨酸 Ile	苦	900	22.11±0.74 ^a	0.02	14.47±0.47 ^b	0.02
亮氨酸 Leu	苦	1900	52.44±1.15 ^a	0.03	29.49±0.88 ^b	0.02
苯丙氨酸 Phe	苦	900	7.30±0.75 ^a	0.01	1.46±0.54 ^b	0.00
赖氨酸 Lys	苦	500	93.57±4.22 ^a	0.19	328.23±5.53 ^b	0.66
总氨基酸 TAA			3043.73±55.98 ^a		3788.95±41.35 ^b	

注: 呈味氨基酸的阈值在水溶液中测定。表中同一指标中含有不同英文字母表示有显著差异($P<0.05$)。
Note: The threshold of flavor amino acids is determined in aqueous solution. Different letters in the same index indicate significant differences ($P<0.05$).

表 13 网湖放养和池塘养殖鳊呈味氨基酸含量

Tab. 13 Contents of tasting amino acids of *Hypophthalmichthys nobilis* in the Wanghu Lake and surrounding ponds

呈味氨基 tasting amino acid	网湖放养 Wanghu Lake stocking	池塘养殖 pond culture
甜味氨基酸/(mg/kg) SWAA	1893.88±29.81 ^a	2629.00±32.49 ^b
酸味氨基酸/(mg/kg) SOAA	897.74±19.01 ^a	701.94±7.67 ^b
鲜味氨基酸/(mg/kg) UMAA	70.38±2.07 ^a	56.28±0.73 ^b
苦味氨基酸/(mg/kg) BIAA	1478.04±30.88 ^a	1936.63±20.18 ^b
甜味氨基酸占比/% proportion of SWAA	43.64	49.38
酸味氨基酸占比/% proportion of SOAA	20.69	13.18
鲜味氨基酸占比/% proportion of UMAA	1.62	1.06
苦味氨基酸占比/% proportion of BIAA	34.06	36.38

注: 表中同一指标中含有不同英文字母表示有显著差异($P<0.05$)。
Note: Different letters in the same index indicate significant differences ($P<0.05$).

表 14 网湖放养和池塘养殖鳊的游离脂肪酸含量

Tab. 14 Free fatty acid contents of *Hypophthalmichthys nobilis* in the Wanghu Lake and surrounding ponds

n=3; $\bar{x} \pm SD$; mg/100 g

脂肪酸 fatty acid	网湖放养 Wanghu Lake stocking	池塘养殖 pond culture
十一烷酸 C11 : 0	ND	0.10±0.01
十二烷酸 C12 : 0	0.30±0.04 ^a	0.28±0.03 ^a

(待续 to be continued)

(续表 14 Tab. 14 continued)

脂肪酸 fatty acid	网湖放养 Wanghu Lake stocking	池塘养殖 pond culture
十三烷酸 C13 : 0	ND	0.17±0.02
肉豆蔻酸 C14 : 0	0.80±0.10 ^a	0.72±0.10 ^a
十五烷酸 C15 : 0	0.52±0.06 ^a	0.77±0.12 ^b
棕榈酸 C16 : 0	16.85±0.66 ^a	14.36±2.39 ^a
棕榈油酸 C16 : 1	2.47±0.09 ^a	1.64±0.23 ^b
十七烷酸 C17 : 0	0.99±0.06 ^a	1.01±0.15 ^a
十八烷酸 C18 : 0	5.77±0.20 ^a	5.19±0.87 ^a
油酸 C18 : 1n9c	14.13±0.49 ^a	12.03±1.60 ^a
亚油酸 C18 : 2n6c	4.01±0.16 ^a	3.85±0.13 ^a
α-亚麻酸 C18 : 3n3	2.67±0.09 ^a	2.46±0.03 ^b
γ-亚麻酸 C18 : 3n6	0.46±0.03 ^a	0.35±0.03 ^b
花生酸 C20 : 0	0.84±0.11 ^a	0.71±0.08 ^a
花生烯酸 C20 : 1	0.76±0.03 ^a	0.85±0.09 ^a
二十碳二烯酸 C20 : 2	0.59±0.04 ^a	0.72±0.04 ^b
顺-11, 14, 17-二十碳三烯酸 C20 : 3n3	0.72±0.06 ^a	0.73±0.06 ^a
顺-8, 11, 14-二十碳三烯酸 C20 : 3n6	0.99±0.07 ^a	0.68±0.02 ^b
花生四烯酸 C20 : 4n6 (ARA)	4.53±0.22 ^a	5.70±1.21 ^a
顺-5, 8, 11, 14, 17-二十碳五烯酸 C20 : 5n3 (EPA)	6.48±0.29 ^a	3.86±1.19 ^a
二十一碳酸 C21 : 0	0.43±0.07 ^a	0.37±0.03 ^a
二十二碳酸 C22 : 0	0.89±0.13 ^a	0.79±0.08 ^a
芥酸 C22 : 1n9	1.54±0.23 ^a	1.62±0.36 ^a
顺-13,16-二十二碳二烯酸 C22 : 2	0.46±0.07 ^a	0.39±0.05 ^a
顺-4, 7, 10, 13, 16, 19-二十二碳六烯酸 C22:6n3(DHA)	12.50±1.18 ^a	5.00±2.42 ^b
二十三碳酸 C23 : 0	0.51±0.09 ^a	0.46±0.04 ^a
神经酸 C24 : 1	0.48±0.08 ^a	0.45±0.03 ^a
多不饱和脂肪酸 ΣPUFA	33.40±1.78 ^a	23.74±4.62 ^b
单不饱和脂肪酸 ΣMUFA	19.37±0.65 ^a	16.59±2.27 ^a
饱和脂肪酸 ΣSFA	27.91±1.37 ^a	24.91±3.76 ^a
总脂肪酸 ΣTFA	80.68±2.97 ^a	65.24±1.46 ^b
EPA+DHA	18.98±1.45 ^a	8.86±3.61 ^b

注: 表中同一指标中含有不同英文字母表示有显著差异($P<0.05$).
Note: Different letters in the same index indicate significant differences ($P<0.05$).

网湖放养组鳙的总脂肪酸和多不饱和脂肪酸含量均显著高于池塘组(表 14, $P<0.05$), 分别为池塘组的 1.24 倍和 1.41 倍, 尤其是网湖放养组中 EPA 和 DHA 的含量分别为池塘养殖组的 1.68 倍和 2.49 倍(表 14)。

2.7 网湖放养和池塘养殖鳙的气味特性

如表 15 所示, 醛类是网湖放养组和池塘养殖组含量最丰富的挥发性化合物, 其中己醛和 1-辛

醛分别是网湖放养组和池塘养殖组最高的气味活度值(odor activity value, OAV), 故取其为 100 用于计算其他物质的 ROAV。当 $0.1\leq\text{ROAV}<1$ 时, 认为该化合物对样品气味有修饰作用, $\text{ROAV}\geq 1$ 说明该化合物是样品的关键气味物质。网湖放养组的主要挥发性气味种类多达 15 种, 是池塘养殖组的 1.67 倍。相较于池塘养殖组, 网湖放养组呈负面气味的挥发性物质含量更少, 其中呈丙酮味

表 15 网湖放养和池塘养殖鳊的主要挥发性化合物含量
Tab. 15 Contents of main volatile compounds of *Hypophthalmichthys nobilis* in the Wanghu Lake stocking and surrounding ponds

物质 material	气味 odor	阈值/(μg/kg) threshold	网湖放养 Wanghu Lake stocking		池塘养殖 pond culture	
			含量 content	ROAV	含量 content	ROAV
醛类 aldehydes						
己醛 hexanal	青草味 ^[24] grassy odor	4.50 ^[24]	134.78±8.23 ^a	100.00	9.23±3.21 ^b	23.42
戊醛 pentanal	杏仁味 ^[19] almond odor	1.57 ^[19]	28.39±2.45	60.37	ND	ND
丙醛 propanal	辛辣味 ^[19] spicy odor	15.10 ^[19]	22.22±4.78	4.91	ND	ND
1-辛醛 1-octanal	油脂味 ^[19] fatty odor	0.70 ^[19]	6.55±0.14 ^a	31.24	6.13±1.86 ^a	100.00
庚醛 heptanal	柠檬味 ^[24] lemon odor	3.00 ^[24]	8.32±2.03	9.26	ND	ND
壬醛 nonanal	油脂味 ^[24] fatty odor	1.00 ^[24]	7.72±1.56	25.78	ND	ND
醇类 alcohols						
顺-2-戊烯-1-醇 (Z)-2-penten-1-ol	蘑菇味 ^[21] mushroomy odor	89.20 ^[21]	167.07±39.90	6.25	ND	ND
1-戊烯-3-醇 1-pentene-3-ol	烤肉味 ^[21] barbecue odor	400.00 ^[21]	65.35±8.21 ^a	0.55	23.25±9.22 ^b	0.66
1-辛烯-3-醇 1-octen-3-ol	蘑菇味 ^[24] mushroomy odor	10.00 ^[24]	67.60±4.54 ^a	22.57	49.58±15.32 ^a	56.62
1-戊醇 1-pentanol	油脂味 ^[21] fatty odor	400.00 ^[21]	24.52±2.32 ^a	0.20	15.93±4.49 ^b	0.45
1-己醇 1-hexanol	绿霉味 ^[24] mildewy odor	250.00 ^[24]	16.84±3.24 ^a	0.22	18.89±10.24 ^a	0.86
酮类 ketones						
丙酮 acetone	醚香味* ethereal odor	500000.00 ^[14]	165.09±37.88 ^a	0.00	171.34±14.69 ^a	0.00
3-戊酮 3-pentanone	丙酮味* acetone odor	316.00 ^[21]	28.85±2.63 ^a	0.30	379.56±30.58 ^b	13.72
2,3-戊二酮 2,3-pentanedione	焦糖味 ^[21] caramel odor	5.13 ^[21]	14.72±1.50	9.58	ND	ND
2-辛酮 2-octanone	花香味 ^[16] flowery odor	50.20 ^[16]	8.87±0.57 ^a	0.59	26.02±2.04 ^b	5.92

注: 挥发性化合物的阈值在水溶液中测定, *气味描述来源于风味网站: <http://www.perflavory.com/index.html>. 表中同一指标中含有不同英文字母表示有显著差异($P<0.05$).

Note: The threshold of volatile compounds is determined in aqueous solution, * odor description comes from flavor website: <http://www.perflavory.com/index.html>. Different letters in the same index indicate significant differences ($P<0.05$).

的 3-戊酮和绿霉味的 1-己醇在池塘养殖组中的含量分别是网湖放养组相应含量的 13.16 倍和 1.12 倍。同时, 网湖放养组鳊的关键挥发性风味物质的种类和含量更高, 特别是具有青草味的己醛以及蘑菇味的 1-辛烯-3-醇, 分别是池塘养殖组的 14.60 倍和 1.36 倍(表 15)。

3 讨论

3.1 网湖放养和池塘养殖模式下鳊的表现及其肌肉质构分析

本研究中, 网湖放养鳊的肥满度和脏体比与池塘养殖组并无显著差异但网湖放养鳊的腹脂

比、肝体比则显著低于池塘养殖,这可能归因于网湖水域面积大,鳊在摄食过程中较大范围的运动减少了肝脏脂肪的蓄积,使其腹脂比和肝体比有所降低^[36-37]。此外,网湖放养鳊的肌肉及鱼皮的亮度值和白度值均显著高于养殖池塘这可能与网湖水体透明度低、浮游动物含量丰富有关,网湖放养鳊在浅色环境中表现出更高的亮度^[38],同时从水体的天然饵料中获得足够的相关色素沉积,而池塘养殖鳊难以从饵料获得足够的相关色素沉积^[2],使得网湖放养鳊的表观特征更好。

鱼肉的质构特性受肌肉营养成分的影响比较大,尤其是与肌肉中的水分和粗脂肪含量具有明显的相关性^[4]。网湖放养组鱼肉的弹性、内聚性均高于池塘养殖组,而硬度却显著低于池塘养殖组。两种模式的咀嚼性并无显著性差异,但网湖放养鳊的粗脂肪含量显著高于池塘养殖组,表明鱼肉的硬度与脂肪含量呈负相关^[39]。这可能是由于养殖水环境因子和饵料生物对鱼类的摄食、生长有较大影响,从而影响鱼类的肌肉品质^[40-41]。网湖水体的环境要优于池塘养殖水体, TN、TP 含量要显著低于周边池塘,这与本研究中基于浮游生物的水质生物学评价结果一致。此外,网湖水域环境范围广、更接近自然水体,水体中浮游动物含量丰富,鳊通过滤食浮游动物而有更多的营养摄入。因而,网湖放养的鳊具有较好的形体特征,同时鱼肉及鱼皮色泽较好。

3.2 网湖放养和池塘养殖模式下鳊的营养成分分析

鱼肉营养成分受诸多因素的影响,其中水分、蛋白质、脂肪和矿物质等成分的种类和含量在评价鱼类肌肉品质中起着重要作用。肌肉品质与水分具有一定的关联性,水分含量越低,其营养水平越高^[2]。网湖放养鳊背部肌肉的水分含量显著低于池塘养殖组,粗脂肪含量却显著高于池塘养殖组,表明鱼肉中的水分含量与脂肪含量呈反比^[23-24]。这可能是由于网湖放养环境为鳊提供了良好的天然饵料,使得肌肉脂肪含量更易累积^[42]。与之相比较,池塘养殖鱼类通常依赖人工饲料的营养,饲料中添加了大量蛋白质导致鱼肉中的粗

蛋白含量较高^[43]。

氨基酸的构成比例和含量高低是评价鱼肉营养价值的重要指标。网湖放养鳊的非必需氨基酸、必需氨基酸及总氨基酸含量均显著高于池塘组,而对于半必需氨基酸,网湖放养鳊的组氨酸含量同样显著高于池塘组,这与对兴凯湖翘嘴鲌(*Culter alburnus*)的研究结论相似^[44]。网湖放养鳊的必需氨基酸评分均高于池塘养殖组,且以 AAS 为标准下,网湖放养组各必需氨基酸评分更接近于 FAO/WHO 模式值,说明网湖放养鳊的氨基酸含量更能满足人类机体的需求^[45]。此外,网湖放养组和池塘养殖组中鳊的人体必需氨基酸的比例(EAA/TAA)分别为 41.24%和 40.84%,与 FAO/WHO 理想模式标准(约 40%)一致,且必需氨基酸占非必需氨基酸的比例(EAA/NEAA)分别为 84.18%和 83.03%,比 FAO/WHO 推荐的参考蛋白模式(60%)高,这表明网湖放养鳊具有更加优质的动物蛋白源。

网湖放养鳊的总脂肪酸(TFA)、饱和脂肪酸(SFA)、单不饱和脂肪酸(MUFA)和多不饱和脂肪酸(PUFA)含量要显著高于池塘养殖组,两者的相对含量均表现为多不饱和脂肪酸>饱和脂肪酸>单不饱和脂肪酸,这与贾成霞等^[46]对鳊肌肉中脂肪酸相对含量的研究结果一致。此外,脂肪酸中对人体最为重要的为 EPA 和 DHA,能有效预防人类心血管疾病,对人体健康具有十分重要的营养作用。网湖放养组的 EPA 和 DHA 含量显著高于池塘养殖组,表明网湖放养鳊的不饱和脂肪酸(UFA)具有较高的营养价值,可作为优良的 UFA 膳食来源。

两种模式下的鳊肌肉均富含人体所需的 K、Ca、Mg 等常量元素和 Fe、Zn、Cu、Cr 等微量元素,常量元素含量最高的均为 K,微量元素均以 Fe 含量最高。其中,网湖放养鳊肌肉的 Mg 含量要显著低于池塘养殖组,而 Ca、Zn 元素含量要高于池塘养殖组,这可能与两者的养殖模式的差异有关。对人体而言,除 Mg 以外,两种模式下鳊肌肉其他矿物元素含量并无显著的差异,这表明两种模式下的鳊都有助于人体补充必需的矿物质元素^[47]。

3.3 网湖放养和池塘养殖模式下鳊的风味特征分析

不同的游离氨基酸和脂肪酸具有不同的滋味特性,可增强鱼蟹类的风味,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^[15,24]。TAV>1 意味着该物质对鱼肉滋味有显著影响。本研究中,网湖放养鳊的组氨酸 TAV>1,池塘养殖鳊的组氨酸及精氨酸 TAV>1,组氨酸呈现苦味或酸味,精氨酸呈现苦味或甜味,这说明池塘养殖鳊具有更加复杂和强烈的滋味特征。但鱼肉滋味为多种呈味物质的综合感觉。鱼肉的味道与鲜味的氨基酸(甘氨酸、谷氨酸、丙氨酸和天门冬氨酸)的含量密切相关^[24]。网湖放养鳊的鲜味氨基酸含量显著高于池塘养殖组,苦味氨基酸含量显著少于池塘养殖组。此外,网湖放养鳊的多不饱和脂肪酸含量显著高于池塘养殖组,尤其是 EPA 和 DHA 含量是池塘组的 2.14 倍。这说明两种模式下的鳊滋味特性方面存在差异,类似的结果在团头鲂(*Megalobrama amblycephala*)^[24]、草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)^[48]等品种的研究中也有类似报道。

挥发性物质的气味特性不仅与含量和数量有关,还受其感官阈值比例的影响^[14]。本研究中,网湖放养组的气味物质种类要多于池塘养殖组,两种模式下鳊的挥发性气味物质均以醛类、醇类和酮类为主,通过相对气味活性值(ROAV)分析,网湖放养组关键气味物质数量也多于池塘养殖组。其中,己醛、1-辛醛是两种模式共有的关键气味物质,且网湖放养和池塘养殖鳊的最高气味度值(OAV)分别是呈青草味的己醛和油脂味的 1-辛醛。己醛的青草味相较于 1-辛醛的油脂味更为令人愉悦,并且更能有效地减弱鱼腥味。此外,网湖放养组的关键气味物质中还包括戊醛的杏仁味、丙醛的辛辣味、庚醛的柠檬味以及壬醛的油脂味。这些多样化的气味成分使得其网湖放养鳊的口感更加丰富,风味层次更加分明。在醇类物质中,呈蘑菇味的 1-辛烯-3-醇因其较低的阈值在两种养殖模式下均被视为关键气味物质,对鱼肉的气味有较大贡献。与池塘养殖组相比,网湖放养组中呈蘑菇味的顺-2-戊烯-1-醇含量丰富,这使得它

成为关键气味物质之一,为网湖放养鳊增添了更为浓郁的蘑菇味特征。而 1-戊烯-3-醇、1-戊醇、1-己醇对鱼肉的整体风味贡献相对较低。在酮类物质方面,网湖放养组的关键气味物质为呈焦糖味的 2,3-戊二酮,而池塘养殖组中则有呈花香味的 2-辛酮和呈丙酮味的 3-戊酮。此外,网湖放养的鳊中呈负面气味的 1-己醇、3-戊酮等挥发性化合物的含量及相对气味活性值(ROAV)更低,使得其整体气味更能吸引消费者。观察到的两种模式下气味特性差异,可能与鳊的运动强度与天然饵料的摄食水平不同,引起多不饱和脂肪酸(PUFA)沉积差异所致^[21]。这与笔者研究中的水解多不饱和脂肪酸(PUFA)与游离多不饱和脂肪酸(PUFA)含量的显著差异相一致。

4 结论

本研究中,网湖的水质条件要优于周边池塘,且水体中浮游动物的优势种分布及含量也更加丰富(原生动物和轮虫)。网湖放养鳊的表观特性及肌肉的营养成分、风味特征均要优于池塘养殖组,具有表观优、氨基酸与不饱和脂肪酸丰富、矿物元素丰富、风味更佳的营养和品质特点。

致谢: 湖北省黄石市阳新县水产服务中心柯青霞、赵丽爽、蔡细香、李明月、王志等人提供技术支持,并协助完成野外样品的采集工作,谨致谢意。

参考文献:

- [1] Gao M, Chen J, Yao Z. Green development of freshwater aquaculture in China: Improving quality and increasing efficiency and the future path[J]. Journal of Huazhong Agricultural University (Natural Science Edition), 2022, 41(3): 96-106. [高鸣, 陈洁, 姚志. 中国淡水养殖业绿色发展: 提质增效与未来路径[J]. 华中农业大学学报(自然科学版), 2022, 41(3): 96-106.]
- [2] Gao X, Shi L D, Ren T J, et al. A review of research advances on nutrition and quality differences between wild and cultured fishes[J]. Chinese Journal of Fisheries, 2023, 36(1): 108-117. [高欣, 石立冬, 任同军, 等. 野生与养殖鱼类营养与品质差异研究进展[J]. 水产学杂志, 2023, 36(1): 108-117.]
- [3] Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China. Circular of the General Office of the

- Ministry of Agriculture and Rural Affairs on printing and distributing the specific action plan to promote “GAP Agro-products, Green Food, Organic Agro-products and Geographical Indication Agro-products”[J]. Gazette of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China, 2022(10): 33-48. [中华人民共和国农业农村部. 农业农村部办公厅关于印发农业生产“三品一标”提升行动有关专项实施方案的通知[J]. 中华人民共和国农业农村部公报, 2022(10): 33-48.]
- [4] Hu F. Research progress in comprehensive nutritional evaluation of freshwater fish[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2011. [胡芬. 淡水鱼营养综合评价体系的建立[D]. 武汉: 华中农业大学, 2011.]
- [5] Claret A, Guerrero L, Ginés R, et al. Consumer beliefs regarding farmed versus wild fish[J]. Appetite, 2014, 79: 25-31.
- [6] Zhang W B, Ma R, Sun R J, et al. Research advance in evaluation indexes for fish quality[J]. Feed Industry, 2017, 38(24): 1-10. [张文兵, 马睿, 孙瑞健, 等. 养殖鱼类品质评价指标体系的研究进展[J]. 饲料工业, 2017, 38(24): 1-10.]
- [7] Freitas J, Vaz-Pires P, Câmara J S. From aquaculture production to consumption: Freshness, safety, traceability and authentication, the four pillars of quality[J]. Aquaculture, 2020, 518: 734857.
- [8] Xu D G. Comparative study on morphological characteristics and flesh quality of *Aristichthys nobilis* in four feeding modes[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2016. [许德高. 四种投喂方式下鳊形态特征及肌肉品质的比较研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2016.]
- [9] Zhang Y Y, Song L P, Hu B, et al. Effect of curcumin on growth performance and protective effect of liver injury induced by carbon tetrachloride in *Oreochromis niloticus*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2018, 25(6): 1271-1280. [张媛媛, 宋理平, 胡斌, 等. 饲料中添加姜黄素对尼罗罗非鱼幼鱼生长和四氯化碳诱导肝损伤的影响[J]. 中国水产科学, 2018, 25(6): 1271-1280.]
- [10] Zhao Y Q, Li N, Li L H, et al. Research advancements in assessment indicators and measurement methods of fish freshness: A review[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2016, 31(4): 456-462. [赵永强, 李娜, 李来好, 等. 鱼类鲜度评价指标及测定方法的研究进展[J]. 大连海洋大学学报, 2016, 31(4): 456-462.]
- [11] Liu J Y, Zhao Q C, Cheng S F, et al. Research progress on the influencing factors and determination methods of fish muscle texture[J]. Journal of Food Safety and Quality, 2020, 11(9): 3035-3043. [刘婧懿, 赵前程, 程少峰, 等. 鱼肉质构的影响因素及测定方法研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(9): 3035-3043.]
- [12] Xu Y J, Wang K J, Jiang Y, et al. Comparative analysis of the muscle texture characteristics and nutrient compositions among three *Seriola* fishes[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2022, 29(7): 1022-1032. [徐永江, 王开杰, 姜燕, 等. 三种鲷属鱼类肌肉质地特性及营养成分比较分析[J]. 中国水产科学, 2022, 29(7): 1022-1032.]
- [13] Xu Q, Yuan J L, Ni M, et al. Researching progress on ecological depuration improves muscle quality of farmed freshwater fish[J]. Fisheries Science, 2024, 43(1): 152-162. [胥晴, 原居林, 倪蒙, 等. 生态净养对淡水养殖鱼类肌肉品质影响的研究进展[J]. 水产科学, 2024, 43(1): 152-162.]
- [14] Xiao N Y, Huang H Y, Liu J Y, et al. Comparison of different edible parts of bighead carp (*Aristichthys nobilis*) flavor[J]. Journal of Food Biochemistry, 2021, 45(11): e13946.
- [15] 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. [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.]
- [16] Gu S Q, Wu H, Zhang J J, et al. Analysis of volatile components in gonad of *Eriocheir sinensis* by monolithic material sorptive extraction coupled with gas chromatography and mass spectrometry[J]. Modern Food Science and Technology, 2013, 29(12): 3019-3025, 3058. [顾赛麒, 吴浩, 张晶晶, 等. 固相萃取整体捕集剂-气相色谱-质谱联用技术分析中华绒螯蟹性腺中挥发性成分[J]. 现代食品科技, 2013, 29(12): 3019-3025, 3058.]
- [17] Lü H B. Influences of environmental factors and dietary fat content on growth, nutrient composition and fillet quality of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*)[D]. Shanghai: East China Normal University, 2020. [吕宏波. 环境因子与饲料脂肪水平对尼罗罗非鱼生长、营养组成和肌肉品质的影响[D]. 上海: 华东师范大学, 2020.]
- [18] Ge J M, Zi F Z, Wang X Y, et al. A comparative study on fish growth and nutritional composition under pond ecological farming in Xinjiang[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2023, 30(5): 559-572. [葛建民, 訾方泽, 王新月, 等. 新疆盐碱水湖塘生态养殖模式下鱼类生长及肌肉营养品质[J]. 中国水产科学, 2023, 30(5): 559-572.]
- [19] Mu H, Wei Z H, Yi L N, et al. Dietary fishmeal levels affect the volatile compounds in cooked muscle of farmed large yellow croaker *Larimichthys crocea*[J]. Aquaculture Research, 2017, 48(12): 5821-5834.
- [20] Sun S M, Ge X P, Su Y L, et al. Effects of pond monoculture pattern with expanded feed on morphological indices,

- muscular nutrient composition and quality characteristic of bighead carp (*Aristichthys nobilis*)[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2020, 32(5): 2379-2386. [孙盛明, 戈贤平, 苏艳丽, 等. 池塘投喂膨化饲料主养模式对鳊形体指标、肌肉营养成分和品质特性的影响[J]. 动物营养学报, 2020, 32(5): 2379-2386.]
- [21] Xiao X, Lin S Q, Wu X F, et al. Volatile flavor compounds on the skin and scales of *Pseudosciaena crocea* cultured using three different methods[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2017, 24(2): 341-354. [肖雄, 林淑琴, 吴雄飞, 等. 三种不同养殖模式下大黄鱼鱼皮、鱼鳞挥发性风味成分分析[J]. 中国水产科学, 2017, 24(2): 341-354.]
- [22] Hu B J, Zhou J, Qiu H M, et al. Comparison of nutritional quality and volatile flavor compounds among bighead carp from three aquaculture systems[J]. Saudi Journal of Biological Sciences, 2021, 28(8): 4291-4299.
- [23] 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. [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.]
- [24] Li W R, Tian M L, An Y Q, et al. Effects of pond culture and lake culture on fish quality of *Megalobrama amblycephala* “Huahai No.1”[J]. Journal of Fisheries of China, 2022, 46(7): 1220-1234. [李温蓉, 田明礼, 安玥琦, 等. 池塘养殖和大湖养殖对“华海 1 号”团头鲂鱼肉品质的影响[J]. 水产学报, 2022, 46(7): 1220-1234.]
- [25] Liu Z F, Li F, Xia J J. Research on development status, issues and countermeasures for ecological fishery of large-scale water[J]. Ecological Economy, 2022, 38(3): 142-148. [刘子飞, 李飞, 夏佳佳. 大水面生态渔业发展的现状、困境与对策[J]. 生态经济, 2022, 38(3): 142-148.]
- [26] Liu J K, Xie P. Direct control of microcystis bloom through the use of planktivorous carp-closure experiments and lake fishery practice[J]. Ecological Science, 2003, 22(3): 193-198. [刘建康, 谢平. 用鲢鳊直接控制微囊藻水华的围隔试验和湖泊实践[J]. 生态科学, 2003, 22(3): 193-198.]
- [27] Wang S, Li M Y, Le Z Q, et al. Analysis on the brand construction of bighead carp in Wang Lake[J]. China Fisheries, 2023, 569(4): 62-64. [王森, 李明月, 乐梓琪, 等. 浅析网湖鳊鱼产业发展与品牌建设[J]. 中国水产, 2023, 569(4): 62-64.]
- [28] Wang M C, Liu X Q, Zhang J H. Evaluate method and classification standard on lake eutrophication[J]. Environmental Monitoring in China, 2002, 18(5): 47-49. [王明翠, 刘雪芹, 张建辉. 湖泊富营养化评价方法及分级标准[J]. 中国环境监测, 2002, 18(5): 47-49.]
- [29] National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. National food safety standard determination of moisture in food: GB 5009.3—2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016. [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, 2016.]
- [30] National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. Determination of ash content in food according to the national food safety standard: GB 5009.4—2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016. [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, 2016.]
- [31] National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, National Food and Medical Products Administration. National food safety standard determination of protein in food: GB 5009.5—2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016. [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, 2016.]
- [32] National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, National Food and Medical Products Administration. National food safety standard determination of fat in food: GB 5009.6—2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016. [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, 2016.]
- [33] National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, National Food and Medical Products Administration. Determination of amino acids in food safety national standards: GB 5009.124—2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016. [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 食品中氨基酸的测定: GB 5009.124—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.]
- [34] National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, National Food and Medical Products Administration. National food safety standards determination of fatty acids in food: GB 5009.168—2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016. [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 食品中脂肪酸的测定: GB 5009.168—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.]

- [35] FAO/WHO/UNU. Energy and protein requirements[R]. Geneva: WHO, 1973: 40-73.
- [36] 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.
- [37] Bjørnevik M, Karlsen Ø, Johnston I A, et al. Effect of sustained exercise on white muscle structure and flesh quality in farmed cod (*Gadus morhua* L.)(J). Aquaculture Research, 2003, 34(1): 55-64.
- [38] 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.
- [39] Lü H, Hu W H, Xiong S B, et al. Depuration and starvation improves flesh quality of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*)(J). Aquaculture Research, 2018, 49(9): 3196-3206.
- [40] Yin Y H, Jiang W S, Pan X F, et al. Recent progress in growth trait of aquaculture fish[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2020, 27(4): 463-484. [殷艳慧, 蒋万胜, 潘晓赋, 等. 水产养殖鱼类生长性状研究进展[J]. 中国水产科学, 2020, 27(4): 463-484.]
- [41] Zhang J M, Yu E M, Sun J H. Effects of water environmental factors on the quality of cultured fish[J]. Journal of Tianjin Agricultural University, 2022, 29(2): 69-75. [张峻铭, 郁二蒙, 孙金辉. 水体生态因子对养殖鱼类品质影响研究进展[J]. 天津农学院学报, 2022, 29(2): 69-75.]
- [42] Fu S J, Cao Z D, Xie X J. Feeding metabolism and locomotion metabolism in fishes[J]. Chinese Journal of Zoology, 2008, 43(2): 150-159. [付世建, 曹振东, 谢小军. 鱼类摄食代谢和运动代谢研究进展[J]. 动物学杂志, 2008, 43(2): 150-159.]
- [43] Nguyen H Y N, Trinh T L, Baruah K, et al. Growth and feed utilisation of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed different protein levels in a clear-water or biofloc-RAS system[J]. Aquaculture, 2021, 536: 736404.
- [44] Wang K, Cheng B J, Liu B, et al. Analysis on nutritive composition of muscle in wild and cultured *Culter alburnus* populations in Xingkai Lake at different ages[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2012, 19(5): 906-912. [王琨, 程宝晶, 刘斌, 等. 不同年龄野生和养殖兴凯湖翘嘴鲌肌肉营养成分分析[J]. 中国水产科学, 2012, 19(5): 906-912.]
- [45] Yuan J 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. [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.]
- [46] Jia C X, Qu J Q, Li Y G, et al. Nutritional compositions in muscles of silver carp *Hypophthalmichthys molitrix* and bighead carp *Aristichthys nobilis* in Miyun Reservoir[J]. Fisheries Science, 2019, 38(1): 40-47. [贾成霞, 曲疆奇, 李永刚, 等. 密云水库鲢鱼、鳙鱼营养成分分析与评价[J]. 水产科学, 2019, 38(1): 40-47.]
- [47] Zhou L J, Shen D X, Zhan H X. Studies on the nutritional components of fish muscles and human health[J]. Animal Husbandry and Feed Science, 2013, 34(5): 69-71. [周礼敬, 沈东霞, 詹会祥. 鱼类肌肉营养成分与人体健康研究[J]. 畜牧与饲料科学, 2013, 34(5): 69-71.]
- [48] Cao Y N, Li H, Yang C, et al. Study of the changes of nutrition and flavor quality of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) during lean culture[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2023, 30(2): 178-193. [曹英楠, 李虹, 杨超, 等. 草鱼瘦身养殖过程中营养与风味品质变化规律研究[J]. 中国水产科学, 2023, 30(2): 178-193.]

Comparative study on the muscle quality of *Hypophthalmichthys nobilis* between Wanghu Lake and its surrounding ponds

WANG Sen^{1,2}, MA Jishun^{1,2}, ZHONG Ke'er^{1,2}, XIONG Hao^{1,2}, ZHOU Qiong^{1,2}

1. College of Fisheries, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;

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

Abstract: To investigate potential variances in fish muscle quality under different culture modes and their causes, this study focused on the bighead carp (*Hypophthalmichthys nobilis*) as a target object. Samples were collected and observed in the Wanghu Lake (Wanghu Lake stocking group) and the surrounding culture ponds (pond culture group) in Hubei Province. The appearance, texture, nutritional value, and flavor characteristics of the back muscles of the two groups of bighead carp were compared. Additionally, the water quality and feed biological composition of the two groups were compared. Results showed that: (1) The intraperitoneal fat (IPF) and hepatopancreas somatic indices (HSI) of bighead carp raised in the Wanghu Lake stocking group were significantly lower than those in the pond culture group ($P<0.05$). However, there was no significant difference between the two groups in terms of condition factor (CF) and viscerosomatic index (VSI) ($P>0.05$). The luminance value (L^*) and whiteness value (W) of back skin and meat of bighead carp in the Wanghu Lake stocking group were significantly higher than those in the pond culture group ($P<0.05$). (2) The elasticity and cohesion of the bighead carp muscles in the Wanghu Lake stocking group were higher than those in the pond culture group ($P>0.05$), whereas hardness was significantly lower than that in the pond culture group ($P<0.05$). (3) The water and crude protein content of bighead carps in the Wanghu Lake stocking group were significantly lower than those in the pond culture group ($P<0.05$). The crude fat content was significantly higher than that in the pond culture group ($P<0.05$). The essential amino acid content and score of bighead carp in the Wanghu Lake stocking group were significantly higher than those in the pond culture group ($P<0.05$). The essential amino acid (EAA)/total amino acid (TAA) values of the Wanghu Lake stocking and pond culture groups were 41.24% and 40.84%, the ratio of EAA/nonessential amino acid (NEAA) was 84.18% and 83.03%, respectively, meeting the FAO/WHO ideal model standards. However, the levels of monounsaturated and polyunsaturated fatty acids in the Wanghu Lake stocking group were significantly higher than those in the pond culture group ($P<0.05$). The concentrations of Ca and Zn in the muscles of bighead carp in the Wanghu Lake stocking group were higher than those in the pond culture group ($P>0.05$). (4) The proportion of fresh amino acids was higher and the proportion of bitter amino acids was lower in the Wanghu Lake stocking group. The highest odor activity values were observed for the grassy odor hexanal and fatty odor 1-octanal in the Wanghu Lake stocking and pond culture groups, respectively. Additionally, the content of volatile compounds such as 1-hexanol and 3-pentanone in the Wanghu Lake stocking group was lower than that in the pond culture group, and the relative odor activity value (ROAV) of these volatile compounds in the pond culture group was lower than that in the pond culture group. The results showed that bighead carp reared in the Wanghu Lake stocking group had better morphological characteristics, muscle nutrition, and flavor quality than those reared in the pond culture group, associated with differences between the culture environment and natural bait. The conclusions of this study provide a theoretical reference for the development of large-scale ecological fisheries.

Key words: *Hypophthalmichthys nobilis*; large surface culture; lake stocking; pond culture; nutritional quality; water quality analysis; bait composition

Corresponding author: ZHOU Qiong. E-mail: hainan@mail.hzau.edu.cn