

doi: 10.7541/2023.2022.0177

池塘循环水养殖对混养草鱼食用品质的影响

温利¹ 李温蓉¹ 陶玲² 安玥琦^{1,3} 刘茹^{1,3} 李谷² 熊善柏^{1,3}

(1. 华中农业大学食品科学技术学院/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, 武汉 430070; 2. 中国水产科学研究院长江水产研究所, 武汉 430223; 3. 国家大宗淡水鱼加工技术研发分中心, 武汉 430070)

摘要: 为探究养殖模式对草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)鱼肉品质的影响, 实验对两种养殖模式下(传统池塘养殖和池塘循环水养殖)草鱼的食用品质进行了差异比较。结果表明, 循环水养殖草鱼肌肉白度和弹性高于传统池塘养殖的草鱼, 且其不饱和脂肪酸和必需氨基酸含量均显著高于传统池塘养殖; 其中, n-3和n-6系列不饱和脂肪酸含量显著高于传统池塘养殖草鱼, 是其1.2倍, 使得草鱼的肌肉品质和营养品质更佳。此外, 循环水养殖可降低草鱼中带有土腥味和青草味的己醛、庚醛和1-辛烯-3-醇等物质的含量, 且鲜味核苷酸(IMP)含量高于传统池塘养殖草鱼, 使得草鱼的风味更鲜美、浓厚。研究表明, 循环水养殖草鱼的肌肉品质和营养特性均优于传统池塘养殖。

关键词: 循环水养殖; 肌肉品质; 营养品质; 食用品质; 风味; 混养草鱼

中图分类号: S964.3

文献标识码: A

文章编号: 1000-3207(2023)08-1353-10



草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)是我国特色的淡水经济养殖鱼类, 其肉质鲜美, 因其富含不饱和脂肪酸和人体所需的必需氨基酸而具有较高营养价值^[1]。而草鱼肌肉的营养品质和食用品质受到饲养环境^[2]、饲料喂养^[3, 4]和养殖方式^[5]的影响。目前, 关于饲养环境和饲料喂养方面的研究众多, 关于池塘循环水养殖模式对混养草鱼食用品质的影响的研究鲜少。因此, 探究池塘循环水养殖模式对混养草鱼品质的影响, 以提升草鱼的经济价值。

草鱼养殖方式众多, 目前我国常见的养殖方式包括: 传统养殖、种青养殖和循环水养殖等。循环水养殖(Recirculation aquaculture system, RAS)是一种节水、高产和环保的养殖模式^[6], 因此, 受到了鱼类养殖界的广泛关注。黄爱霞等^[7]研究了池塘内循环跑道对青鱼形体指数和肌肉营养价值的影响, 结果显示循环水养殖能提高青鱼肌肉营养价值。研究表明混养模式不但可以提高鱼体品质, 还可以提高其经济效益, 且循环水养殖模式可净化水质, 提高鱼体营养价值, 因此本实验采用黄颡鱼与草鱼混养模式, 在池塘循环水中进行养殖。此外,

关于黄颡鱼与草鱼混养模式下草鱼品质的研究较少, 因此, 本研究选择循环水养殖的混养草鱼作为研究对象, 对传统池塘养殖和池塘循环水养殖2种养殖方式下草鱼肌肉品质和营养特性差异进行比较, 将为现代鱼类的加工质量调控奠定理论依据和技术支持。

1 材料与方法

1.1 实验材料

组合湿地-池塘循环水养殖系统组成和运行

组合湿地-池塘循环水养殖系统由养殖池塘和组合湿地两部分构成, 池塘进行鱼类养殖, 人工湿地作为池塘养殖尾水净化单元, 二者有机结合组成复合循环水养殖系统(图1)。组合湿地由进水区、上行流湿地Ⅰ区、汇水区、上行流湿地Ⅱ区和出水区组成, 各部分之间均由不透水墙隔开。湿地进水端设置前置区, 前置区由1台水泵和过滤池组成。池塘养殖尾水在前置区经水力提升后进入组合湿地进行净化处理, 再回流到养殖池塘进行循环利用。组合湿地采取间歇进水的方式运行, 水力负荷

收稿日期: 2022-04-25; 修订日期: 2022-08-11

基金项目: 国家现代农业产业技术体系(CARS-45-28)资助 [Supported by China Agriculture Research System of MOF and MARA (CARS-45-28)]

作者简介: 温利(1998—), 女, 硕士; 主要从事水产品加工与贮藏方向。E-mail: wen_li@webmail.hzau.edu.cn

通信作者: 熊善柏(1963—), 教授; E-mail: xionsb@mail.hzau.edu.cn

5.54 m³/(m²·d), 平均运行时间为4h, 池塘日换水量为8.44%—9.49%。

池塘主养品种为黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*), 放养规格(27.12±19.37) g/尾, 放养密度6670尾/667 m²; 配养品种为草鱼, 放养规格(204.61±32.54) g/尾, 密度130尾/667 m²。

以传统养殖模式为对照, 其池塘面积、鱼苗放养及生产管理与循环水养殖池塘完全一致, 养殖管理按常规方式进行。在两种模式池塘养殖期间不换水, 只补充因蒸发、渗漏等损失的池水, 补充水体为地下水 and 自然降雨。

试验用鱼 于2021年11月29日从洪湖传统池塘养殖(简称传统养殖)和洪湖循环水养殖(简称循环水养殖)2种不同养殖模式的池塘中随机采取各10尾草鱼[重量为(1350±50) g]。

投喂模式 采用荆州益农饲料有限公司的黄颡鱼专用膨化饲料进行投喂, 其主要营养成分为: 蛋白含量40%, 粗纤维400 g, 氨基酸≥18%, 磷0.7%, 钾10000 mg, 钙0.5%, 镁2000 mg, 锌29 mg, 铁100 mg, 灰分6%, 水分15%。采用定时定点投喂模式, 在固定漂浮食台进行投喂, 每天上午9点和下午5点各投喂1次。

主要试剂 甲醇、正己烷、乙醇、乙腈、环己酮均为色谱纯, 上海源叶生物科技有限公司; 氨基酸标品、脂肪酸标品和核苷酸及鸟苷酸(GMP)标品为色谱级, 美国Sigma公司。

1.2 实验主要仪器

BS210Z型电子分析天平, 德国赛多利斯公司; CR-400色度仪日本柯尼卡公司; TA-Xt.Plus 型物

性测定仪, 英国Stable-Micro Systems 公司; 1260型高效液相色谱仪, 7890A/5975C型气相色谱仪, 美国安捷伦公司; U3000型液相色谱仪, 美国赛默飞公司。

1.3 物理特性测定

形体指标测定 参考邵俊杰等^[8]方法并作修改。按养殖方式分别随机采集10尾草鱼, 先称量草鱼体重、体长, 解剖去除内脏并称重, 然后称量空壳重量。去皮后取鱼体背部肌肉(不包括红肉部分)带回实验室贮藏于-80℃冰箱中, 实验时于4℃完全解冻。脏体指数(VSI)=(内脏重/体重)×100; 空壳率(SR, %)=(躯壳重/体重)×100; 肥满度(CF, g/cm³)=(体重/体长³)×100。

肌肉颜色测定 参考Jin等^[9]的方法。去皮取鱼体背部肌肉, 将其切成长宽高均为3 cm×3 cm×3 cm的正方体, 使用色度计对鱼肉颜色进行测定, 包括L*值和a*值和b*值。

白度(W)的计算:

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

蒸煮损失测定 参照温利等^[10]的方法。蒸煮损失(%)=(蒸前质量-蒸后质量)/蒸前质量×100

肌肉质构测定 参考李温蓉等^[11]方法, 并稍作修改。测试探头为P/36R。

1.4 营养成分及风味测定

感官评价 参考蔡礼彬等^[12]的感官评价方法。

营养成分测定 水分测定: 取2.0 g样品在105℃烘箱中烘至恒重(GB/T 5009.3-2016), 减少质量为水分质量; 粗蛋白: 采用凯氏定氮法测定(GB/T

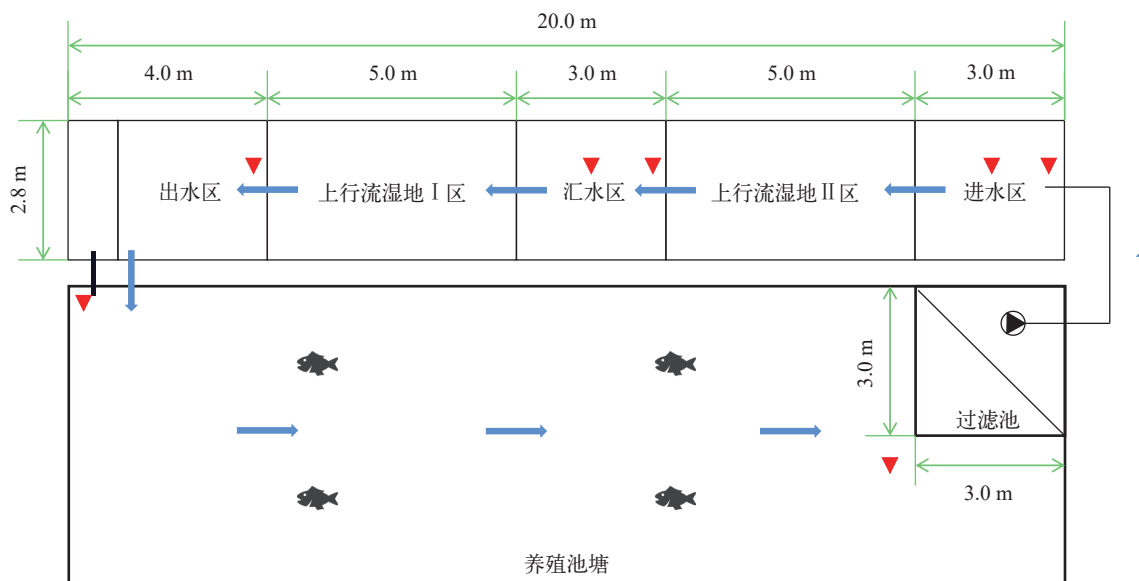


图1 组合湿地-池塘循环水养殖系统示意图

Fig. 1 Schematic diagram of combined wetland-pond recirculating aquaculture system

5009.5-2010); 粗灰分: 在马弗炉中进行550℃高温灼烧(GB/T 5009.4-2010); 粗脂肪: 采用索氏抽提(GB/T 5009.6-2010)。

氨基酸含量的测定 测定方法参考Gheshlaghi等^[13]并作修改。总氨基酸测定为取0.50 g去皮后鱼体背部肌肉于50 mL水解管中, 加入20 mL的盐酸溶液($V_{\text{盐酸}}:V_{\text{纯水}}=1:1$), 放入110℃烘箱中水解22h, 取出后冷却再转移至25 mL比色管中定容, 等待上机。游离氨基酸测定为在1.00 g草鱼肌肉中加入5 mL盐酸溶液(0.02 mol/L), 样品超声20min后, 于6000 r/min离心5min, 保留上清液过C18固相萃取柱。取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30min, 加入0.45 mL流动相A(pH为6.5的0.1mol/L 无水乙酸钠及乙腈混合液)进行衍生反应, 其余参数不变。

脂肪酸组成及含量的测定 参考GB 5009.168-2016《食品安全国家标准 食品中脂肪酸的测定》。总脂肪酸测定为称取0.50 g去皮后鱼体背部肌肉到50 mL比色管中, 加入2 mL 95%乙醇和4 mL水, 混匀。(游离脂肪酸测定时增加这一步骤: 加入盐酸溶液10 mL, 混匀。将比色管放入70—80℃水浴中, 水解40min。在水解完成后, 取出比色管冷却至室温)。加入10 mL 95%乙醇, 混匀。加入30 mL乙醚石油醚混合液($V_{\text{乙醚}}:V_{\text{石油醚}}=1:1$), 加盖。振摇5min, 静置10min。将醚层提取液收集到250 mL烧瓶中。按照以上步骤重复提取水解液3次, 将醚层水浴蒸干, 残留物为脂肪提取物。脂肪酸甲酯化为向烧瓶中加入4 mL 0.5 mol/L甲醇钠, 45℃水浴加热20min, 将烧瓶中样液移入20 mL比色管中, 加入4 mL 14%三氟化硼甲醇溶液, 45℃水浴加热20min。冷却至室温, 加入3 mL正己烷萃取2min, 静置分层后取正己烷层待测。

脂肪酸含量测定: 均采用外标法定量检测脂肪酸甲酯含量, 依据脂肪酸甲酯含量和转换系数计算出样品中脂肪酸的含量。样品中脂肪酸含量的计算如下:

$$C_0 = \frac{X \times F_2}{X_{\text{总}}}$$

式中, C_0 为样品中单个脂肪酸占甘油三酯总含量的比例, g/g_{脂肪}; F_2 为脂肪酸甘油三酯转换为脂肪酸的转换系数;

$$C = X_0 \times C_0 \times 100$$

式中, C 为样品中单个脂肪酸的含量, g/100g。样品中脂肪酸总含量计算如下:

$$X = \frac{c \times v \times F_1}{1000}$$

式中, X 为样品中单个脂肪酸的含量, mg; c 为在仪器标曲上计算出的进样浓度, $\mu\text{g/mL}$; v 为萃取用正己烷的体积, mL; F_1 为脂肪酸甲酯转换成相当于单个脂肪酸甘油三酯(1/3)的转换系数;

$$X_{\text{总}} = \sum X$$

式中, $X_{\text{总}}$ 为样品中甘油三酯总质量, mg。

核苷酸及其降解产物含量的测定 参考高琴等^[14]的方法进行测定, 并稍作修改。将储藏于-80℃冰箱的草鱼肌肉取出置于4℃冰箱解冻12h, 称取5.00 g样品置于离心管中并加入5 mL 10%高氯酸溶液, 冰浴超声30min, 在4℃ 1000 r/min冷冻离心机中离心10min, 取上清液, 用NaOH调节pH为6.5, 用高纯水定容至100 mL后经0.22 μm 滤膜过滤, 取1 mL置于液相进样瓶中待测。含量测定采用超高压液相色谱进行测定, 主要参数不变。

挥发性风味物质的测定 参考杨姣等^[15]的方法并作修改。取2.0 g斩碎的鱼肉放入30 mL顶空气相瓶中, 加入1 μL 内标环己酮(1000 $\mu\text{g/kg}$), 再加入8 mL饱和氯化钠溶液混合后, 准备上机。气相色谱柱参数与质谱条件不变。

1.5 数据处理

通过Excel 2007和SPSS Statistics 21.0软件对实验结果进行数据分析, 采用软件中的独立样本 t -检验(t -Test)进行两组之间比较, 统计值以“平均值 $\pm$ 标准差”(mean $\pm$ SD)表示, 不同指标根据要求采用的观测值不同, $P < 0.05$ 即有显著差异。

2 结果

2.1 养殖模式对草鱼形体指标及一般营养成分的影响

由表1可知, 循环水养殖草鱼肌肉中的粗蛋白含量显著高于传统养殖草鱼($P < 0.05$), 传统养殖草鱼肌肉的水分、粗脂肪含量、脏器指数和肥满度均显著高于循环水养殖草鱼($P < 0.05$), 两种养殖模式下灰分和空壳率无显著差异($P > 0.05$)。

2.2 养殖模式对草鱼肌肉色泽、质构特性和蒸煮损失的影响

由表2可知, 循环水养殖草鱼其 L^* 值(亮度)和 W 值(白度)均显著高于传统养殖草鱼($P < 0.05$), 而传统养殖草鱼的 b^* 值显著高于循环水养殖草鱼($P < 0.05$)。循环水养殖草鱼肌肉弹性显著高于传统养殖草鱼($P < 0.05$), 而在两种养殖模式下硬度、内聚性、咀嚼性和回复性均无显著性差异($P > 0.05$)。且

传统养殖草鱼蒸煮损失率显著高于循环水养殖草鱼($P<0.05$),而蒸煮损失率与草鱼肉持水性成反比,表明循环水养殖草鱼肌肉持水力更高。

2.3 养殖模式对草鱼总氨基酸组成及含量影响

本研究发现,在循环水养殖模式下,草鱼鱼肉中氨基酸总量和必需氨基酸总量均显著高于传统养殖($P<0.05$)。在7种必需氨基酸中,循环水养殖草鱼中Val、Ile、Leu、Phe、Lys和Thr含量显著高于传统养殖($P<0.05$),FAO/WHO提出当EAA/TAA和EAA/NEAA的比值分别为0.4左右和0.6以上时为优

表 1 养殖模式对草鱼形体指标和一般营养成分的影响(湿基)
Tab. 1 Influence of aquaculture mode on body indexes and general nutrients of grass carp (wet basis)

项目 Items	传统养殖 Traditional pond	循环水养殖 Recirculating aquaculture
肌肉组成Muscle composition		
水分 Moisture (g/100g)	77.34±0.39 ^a	75.61±0.32 ^b
粗蛋白 Crude protein (g/100g)	17.29±0.51 ^b	19.21±0.26 ^a
粗脂肪 Crude lipid (g/100g)	4.26±0.05 ^a	4.01±0.03 ^b
灰分 Ash (g/100g)	1.16±0.08	1.11±0.06
形体指标 Morphological parameters		
肥满度 Condition factor (g/cm ³)	1.40±0.03 ^a	1.26±0.15 ^b
脏体指数 Viscerosomatic index (%)	12.65±0.36 ^a	10.50±0.31 ^b
空壳率 Shell rate (%)	48.17±0.59	48.59±2.71

注:表中同一指标中含有不同英文字母表示有显著差异($P<0.05$);下同

Note: Different letters in the same index indicate significant difference ($P<0.05$); the same applies below

表 2 不同养殖模式草鱼肌肉色泽、质构特性和蒸煮损失差异
Tab. 2 Differences of muscle color, texture characteristics and cooking loss under different aquaculture modes of grass carp

项目 Items	传统养殖 Traditional pond	循环水养殖 Recirculating aquaculture
肌肉色泽 Muscle color		
<i>L</i> *	63.21±0.73 ^b	63.84±2.24 ^a
<i>a</i> *	5.37±0.66 ^b	6.31±0.78 ^a
<i>b</i> *	8.94±0.44 ^a	8.34±0.64 ^b
<i>W</i>	60.16±0.93 ^b	61.50±0.43 ^a
质构特性 Texture characteristics		
硬度 Hardness (g)	2026.47±333.05	2141.18±856.57
弹性 Springiness	0.41±0.04 ^b	0.58±0.13 ^a
内聚性 Cohesiveness	0.27±0.11	0.37±0.07
咀嚼性 Chewing (g)	451.46±189.57	375.46±155.68
回复性 Resilience	0.19±0.04	0.17±0.05
蒸煮损失率 Cooking loss rate (%)	14.93±1.45 ^a	12.45±0.93 ^b

质理想蛋白质^[16]。由表 3 结果可知,在两种养殖模式下,草鱼蛋白质均为优质蛋白。

2.4 养殖模式对草鱼总脂肪酸含量及其营养价值的影响

由表 4 结果可知,循环水养殖草鱼中总脂肪酸含量显著高于传统养殖($P<0.05$)。在循环水养殖草鱼肌肉中,除硬脂酸、二十碳一烯酸、芥酸和二十碳三烯酸外,其余脂肪酸含量均显著高于传统养殖草鱼($P<0.05$),其中循环水养殖草鱼中不饱和脂肪酸含量是传统养殖的1.4倍。此外,循环水养殖草鱼中DHA、EPA、油酸、亚油酸和亚麻酸含量均显著高于传统养殖($P<0.05$),分别是传统养殖草鱼的1.4倍、1.1倍、1.8倍、1.3倍和1.3倍;且循环水养殖草鱼中 $\sum$ n-3 PUFA和 $\sum$ n-6 PUFA含量显著高于传

表 3 不同养殖模式下草鱼的总氨基酸组成与含量(湿基)
Tab. 3 Total amino acid composition and content of grass carp under different aquaculture modes (wet basis)

总氨基酸 Total amino acid	总氨基酸含量Total amino acid content (mg/g)	
	传统养殖 Traditional pond	循环水养殖 Recirculating aquaculture
天冬氨酸Asp [#]	16.40±0.21 ^b	19.62±0.05 ^a
谷氨酸Glu [#]	24.12±0.30 ^b	28.47±0.06 ^a
丝氨酸Ser [#]	5.91±0.08 ^b	6.71±0.01 ^a
甘氨酸Gly [#]	8.34±0.10 ^a	7.57±0.04 ^b
组氨酸His ^{#**}	3.99±0.05 ^b	5.05±0.02 ^a
精氨酸Arg ^{#**}	8.50±0.11 ^b	10.04±0.06 ^a
苏氨酸Thr [*]	5.42±0.09 ^b	6.54±0.01 ^a
丙氨酸Ala [#]	6.91±0.08 ^b	7.64±0.02 ^a
脯氨酸Pro [#]	5.34±0.07 ^b	5.36±0.02 ^a
酪氨酸Tyr [#]	4.65±0.06 ^b	5.87±0.02 ^a
缬氨酸Val [*]	6.31±0.07 ^b	7.64±0.03 ^a
蛋氨酸Met [*]	3.01±0.04 ^a	1.71±0.01 ^b
异亮氨酸Ile [*]	5.92±0.13 ^b	7.17±0.08 ^a
亮氨酸Leu [*]	10.91±0.14 ^b	13.48±0.03 ^a
苯丙氨酸Phe [*]	6.07±0.08 ^b	7.10±0.02 ^a
赖氨酸Lys [*]	13.51±0.16 ^b	16.48±0.07 ^a
非必需氨基酸NEAA	71.66±0.89 ^b	81.23±0.21 ^a
半必需氨基酸HEAA	12.49±0.16 ^b	15.10±0.08 ^a
必需氨基酸EAA	51.14±0.70 ^b	60.12±0.19 ^a
氨基酸总量TFAA	135.29±1.76 ^b	156.44±0.47 ^a
EAA/TAA	0.38	0.38
EAA/NEAA	0.71	0.74
HEAA/TAA	0.09	0.10

注: [#]人体非必需氨基酸; ^{*}人体半必需氨基酸; ^{*}人体必需氨基酸

Notes: [#]human non-essential amino acids; ^{*}semi-essential amino acid of human body; ^{*}essential amino acids

统($P<0.05$)。

2.5 感官评价

由图2的感官评分结果可知, 循环水养殖草鱼的总体得分显著高于传统养殖($P<0.05$), 其中气味、滋味和质地得分均显著高于传统养殖($P<0.05$)。此外, 循环水养殖草鱼的鱼肉气味清淡, 无腥味, 有一定鲜味; 色泽亮白且肉质纤维感强, 口感更好。而传统养殖草鱼腥味较重, 肉质弹性差。

2.6 养殖模式对草鱼滋味的影响

本研究结果表明, 虽然在两种养殖模式下草鱼肌肉中氨基酸总量无显著差异($P>0.05$), 但循环水养殖草鱼中苦味氨基酸总含量显著高于传统养殖($P<0.05$), 尤其是呈苦味的精氨酸和组氨酸, 分别为传统养殖的3倍和2倍(表5)。循环水养殖草鱼中甜

味氨基酸丝氨酸的含量约为传统养殖草鱼的4倍。

味精当量(Equivalent umami concentration, EUC)是谷氨酸等鲜味氨基酸与肌苷酸等呈味氨基酸的相互作用下的协同效应^[17]。味精阈值为0.03 g/100 mL, 而在循环水养殖草鱼中味精当量达到15.96 g MSG/100 g, 比传统养殖更高, 使得循环水养殖草鱼肉更具有鲜味。

由表6可知, 循环水养殖草鱼中总脂肪酸含量显著高于传统养殖($P<0.05$)。其中, 单不饱和脂肪酸和多不饱和脂肪酸含量均显著高于传统养殖, 分别显著提升了73%和80%。此外, 循环水养殖草鱼中 α -亚麻酸和油酸含量显著高于传统养殖($P<0.05$), 不饱和脂肪酸中 C20:3n6 和 EPA 仅在循环水养殖草鱼中检出。

肉类中的滋味物质包括肽类、氨基酸和核苷酸等, 其中核苷酸及其降解产物不仅是鲜味的主要成分之一, 还可以和氨基酸产生协同效应, 从而提升肉制品的整体风味^[18, 19]。研究表明, 在循环水养殖草鱼肌肉中腺嘌呤核苷酸(Adenosine triphosphate, ATP)、二磷酸腺苷(ADP)、鸟苷酸(Guanosine monophosphate, GMP)和肌苷酸(Hypoxanthine nucleotide, IMP)、次黄嘌呤核苷(Inosine, HxR)及次黄嘌呤(Hypoxanthine, Hx)含量均显著高于传统养殖($P<0.05$; 表7)。且在草鱼肌肉中 IMP 含量最高, 其次是Hx。

2.7 养殖模式对草鱼特征气味物质的影响

食品气味的产生受到气味活性物质的阈值和含量的影响^[20, 21], 鱼肉中主要的挥发性成分包括醇、醛、酮和芳香类化合物^[22]。本研究结果表明, 除十二醛和1-己醇外, 所检测的其他特征气味物质的含量在循环水养殖草鱼肌肉中显著低于传统养

表4 不同养殖模式下草鱼的总脂肪酸组成与含量(湿基)

Tab. 4 Composition and content of total fatty acids of grass carp under different cultivation modes (wet basis)

脂肪酸 Fatty acid	总脂肪酸含量Total fatty acid content (mg/100g)	
	传统养殖 Traditional pond	循环水养殖 Recirculating aquaculture
C14:0	98.09±0.38 ^b	116.73±1.15 ^a
C15:0	21.33±0.10 ^b	21.98±0.01 ^a
C16:0	744.40±2.52 ^b	1042.15±12.28 ^a
C17:0	25.78±0.29 ^b	26.15±0.38 ^a
C18:0	198.02±1.11	261.88±0.09
C20:0	57.49±0.26 ^b	61.96±0.99 ^a
C22:0	68.21±0.63 ^b	72.38±0.84 ^a
C16:1	166.40±1.54 ^b	257.17±1.43 ^a
C18:1n9c	1025.29±4.88 ^b	1797.44±1.31 ^a
C20:1	33.96±0.35	44.50±1.42
C22:1n9	16.72±0.08	20.38±0.07
C18:2n6c	971.60±3.43 ^b	1305.10±3.17 ^a
C18:3n6	28.86±0.11 ^b	29.40±0.39 ^a
C18:3n3	136.92±2.72 ^b	136.14±3.00 ^a
C20:2	68.12±0.07 ^b	77.79±0.58 ^a
C20:3n6	75.04±0.38	83.44±0.17
C20:3n3	23.80±0.20 ^b	23.24±0.26 ^a
C20:4n6	86.63±0.31 ^b	101.71±0.20 ^a
C20:5n3	77.11±0.64 ^b	85.14±0.78 ^a
C22:6n3	127.17±3.79 ^b	180.83±6.70 ^a
ΣSFA	1213.32±3.08 ^b	1603.24±15.54 ^a
ΣMUFA	1242.37±6.85 ^b	2119.48±1.47 ^a
ΣPUFA	1595.26±10.67 ^b	2022.80±6.57 ^a
Σn-3 PUFA	365.01±7.34 ^b	425.35±9.18 ^a
Σn-6 PUFA	1162.13±3.25 ^b	1519.65±3.19 ^a
The proportion of PUFA(%)	0.39	0.35
TFA	4050.95±14.44 ^b	5745.52±7.50 ^a

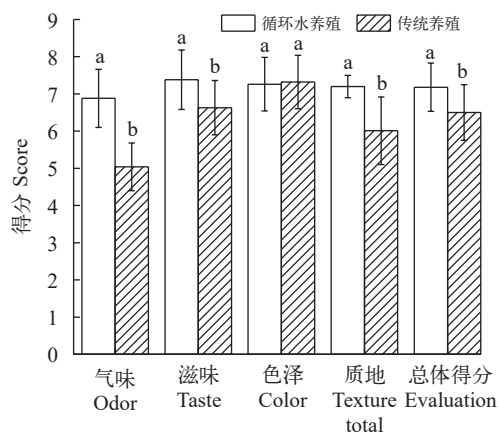


图2 不同养殖模式下草鱼的感官评价

Fig. 2 Sensory evaluation of grass carp under different aquaculture modes

殖草鱼($P<0.05$), 均大约减少了50%的含量(表 8)。

3 讨论

3.1 养殖模式对草鱼形体指标的影响

草鱼肌肉的形体指标、色泽、质构特性和持水性都将影响草鱼的肌肉品质, 并对其商业价值产生影响。本研究结果显示, 循环水养殖草鱼肌肉的肥满度和脏体指数均更低。其原因可能是, 在循环水养殖模式下, 草鱼运动量提高, 运动速度的提升

表 5 不同养殖模式草鱼的游离氨基酸组成与含量(湿基)

Tab. 5 Composition and content of free amino acids of grass carp under different cultivation modes (wet basis)

游离氨基酸 Free amino acid	游离氨基酸含量Content of free amino acids (mg/100 g)	
	传统养殖 Traditional pond	循环水养殖 Recirculating aquaculture
天冬氨酸Asp	1.92±0.04	1.99±0.01
谷氨酸Glu	10.74±0.20	10.97±0.02
丝氨酸Ser	0.28±0.01 ^b	1.32±0.03 ^a
甘氨酸Gly	69.70±1.41 ^a	49.91±0.60 ^b
组氨酸His	30.62±0.57 ^b	60.81±0.13 ^a
精氨酸Arg	0.53±0.01 ^b	1.79±0.00 ^a
苏氨酸Thr	1.41±0.02 ^b	4.44±0.03 ^a
丙氨酸Ala	23.57±0.36 ^b	24.97±0.03 ^a
脯氨酸Pro	13.60±0.21 ^a	11.64±0.03 ^b
酪氨酸Tyr	36.03±0.51 ^a	15.02±0.00 ^b
缬氨酸Val	5.45±0.10	6.03±0.20
蛋氨酸Met	4.03±0.04 ^a	3.51±0.03 ^b
异亮氨酸Ile	2.36±0.10 ^a	1.81±0.01 ^b
亮氨酸Leu	5.61±0.07 ^a	4.47±0.06 ^b
苯丙氨酸Phe	10.71±0.33 ^a	8.09±0.06 ^b
赖氨酸Lys	7.31±0.17 ^b	13.20±0.08 ^a
氨基酸总量 TFAA	223.86±3.55	219.94±0.47
鲜味氨基酸 UMAA	12.65±0.24	12.96±0.03
甜味氨基酸 SWAA	115.87±1.79 ^a	105.47±0.46 ^b
苦味氨基酸 BIAA	95.34±1.51 ^b	101.51±0.05 ^a
酸味氨基酸 SOAA	43.28±0.81 ^b	73.76±0.16 ^a
EUC(g MSG/100 g)	13.40	15.96

注: 鲜味氨基酸包括天冬氨酸和谷氨酸; 甜味氨基酸包括甘氨酸、丙氨酸、丝氨酸、苏氨酸、赖氨酸和脯氨酸; 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、组氨酸和精氨酸; 酸味氨基酸包括天冬氨酸、谷氨酸和组氨酸

Note: 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; Different letters in the same row represent significant difference ($P<0.05$)

达到一定程度时将会消耗鱼体内部大部分脂肪^[23,24], 从而降低其肥满度, 这符合高蛋白、低脂肪的营养学要求; 且其脏体指数更低, 表明循环水养殖可提高草鱼鱼肉的加工利用率。此外, 循环水养殖草鱼肌肉的亮度值和白度值均更高, 有研究表明循环水养殖模式下, 可以有效地调控养殖池塘的水质因子^[25], 净化养殖水质, 从而改善草鱼体色的形成。

持水力是评价肉制品品质的重要指标, 持水力较弱时, 水分流失的同时会使一些可溶性蛋白和风味物质含量降低^[27]。循环水养殖草鱼的弹性更高, 肉质更弹嫩, 这与感官评价中得分一致, 其原因可能是循环水养殖下水流速度更大, 草鱼需更多的能量来维持生命活动, 其运动能力更强^[28], 肌纤维密

表 6 不同养殖模式草鱼的游离脂肪酸组成与含量(湿基)

Tab. 6 Composition and content of free fatty acids of grass carp under different aquaculture modes (wet basis)

脂肪酸 Fatty acid	游离脂肪酸含量Content of free fatty acids (mg/100 g)	
	传统养殖 Traditional pond	循环水养殖 Recirculating aquaculture
C14:0	N.D.	4.90±0.28 ^a
C16:0	61.35±4.74 ^b	102.95±9.55 ^a
C18:0	11.75±0.07 ^b	19.75±0.07 ^a
C16:1	12.00±0.00 ^b	20.45±0.21 ^a
C18:1n9c	82.10±1.27 ^b	141.95±4.17 ^a
C22:1n9	6.35±0.07 ^b	11.30±0.14 ^a
C18:2n6c	69.20±3.68 ^b	116.95±7.14 ^a
C18:3n3	8.15±0.21 ^b	15.60±0.00 ^a
C20:3n6	N.D.	4.35±0.07 ^a
C20:4n6	5.00±0.14	6.25±1.20
C20:5n3	N.D.	3.85±0.07 ^a
C22:6n3	7.45±0.07 ^b	13.95±0.49 ^a
ΣSFA	73.10±4.81 ^b	127.60±9.90 ^a
ΣMUFA	100.45±1.34 ^b	173.70±4.53 ^a
ΣPUFA	89.80±4.10 ^b	160.95±8.84 ^a
TFA	263.35±10.25 ^b	462.25±23.26 ^a

表 7 不同养殖模式草鱼的核苷酸组成与含量(湿基)

Tab. 7 Nucleotide composition and content of grass carp in different aquaculture modes (wet basis)

核苷酸 Nucleotide	含量 Content (μmol/g)	
	传统养殖 Traditional pond	循环水养殖 Recirculating aquaculture
ATP	0.13±0.00 ^b	0.13±0.00 ^a
ADP	0.01±0.00 ^b	0.06±0.00 ^a
AMP	0.24±0.01	0.28±0.04
GMP	0.07±0.00 ^b	0.10±0.00 ^a
IMP	2.72±0.01 ^b	3.04±0.03 ^a
HxR	0.46±0.02 ^b	0.91±0.04 ^a
Hx	1.03±0.11 ^b	1.88±0.10 ^a

度增加,使得草鱼肌肉更富有弹性^[29],与胡建勇等^[30]循环水养殖草鱼实验结果一致。同时,循环水养殖草鱼肌肉蒸煮损失率更低,表明其肌肉持水性更高,其原因是肌细胞间相互作用加强,使更多的水分子被束缚在肌肉中^[8],从而提高了其持水性。

3.2 养殖模式对草鱼营养品质的影响

蛋白质中氨基酸含量、组成及必需氨基酸的含量及组成是评价草鱼营养特性的重要指标^[31]。人体所需的必需氨基酸必须由食物提供,这些氨基酸的缺乏将会影响人体的生长发育、代谢和健康^[32]。循环水养殖草鱼中Val、Ile、Leu、Phe、Lys和Thr这6种必需氨基酸含量显著高于传统养殖,推测是在循环水养殖模式下,混养草鱼运动能力增强,其体内代谢发生改变,从而影响了氨基酸含量^[33, 34]。此外,在喂养过程中,循环水混养模式下,由于投喂饲料浮于池塘表面,草鱼抢食十分活跃,导致其食用大部分饲料,使得其营养成分含量更高。

除了氨基酸,脂肪酸含量及其组成也是影响鱼类营养价值和品质的重要因素^[35]。其中,不饱和脂肪酸可以调控血糖、降低胆固醇和抗心血管疾病^[36],特别是DHA、EPA、亚油酸和亚麻酸等人体不能自身合成的脂肪酸,对人体的生长发育有着重要作用,必须从食物中摄取。结果表明,循环水养殖草鱼中DHA和EPA含量均显著更高,推测是不同养殖模式下饲料投饲量不同导致的,使循环水草鱼具有更高的食用价值和保健作用^[23]。且鱼肉是人类所需的n-3系列多不饱和脂肪酸的重要食物来源,能有效改善人体的健康和营养平衡。循环水养殖草鱼中 $\sum$ n-3 PUFA和 $\sum$ n-6 PUFA含量高于传统养殖,由此可见,循环水养殖模式能有效提高草鱼的营养特性。

3.3 养殖模式对草鱼风味的影响

风味包括滋味和气味,其中游离氨基酸、脂肪酸和核苷酸及其降解产物是影响鱼类滋味的重要物质^[14],气味主要包括挥发性风味物质。游离氨基酸对水产品的滋味强度有所影响,其中,苦味氨基酸的含量与呈味的浓厚、丰富呈正相关^[37]。循环水养殖草鱼中精氨酸和组氨酸含量更高,在和其他氨基酸的相互作用下,使得草鱼的滋味更加丰富。且循环水养殖草鱼肌肉中味精当量更高,即循环水养殖草鱼鱼肉具有强烈的鲜味。鸟苷酸(GMP)和肌苷酸(IMP)是水产品中常见的天然呈味核苷酸,在循环水养殖草鱼中其含量高于传统养殖,且肌苷酸通常被认为是鲜味最强的核苷酸^[38],可以与一些苦味氨基酸产生协同效应^[18],从而使得水产品风味更加鲜美、丰富。

不饱和脂肪酸氧化降解易产生大量醛、酮、醇等挥发性小分子物质,从而影响水产品的气味^[39]。本研究中,循环水养殖草鱼中己醛、庚醛和1-辛烯-3-醇等带有泥土味和青草味的物质含量显著降低,减少了鱼肉的异味产生,且循环水养殖在一定程度上可以净化水质^[25],从而影响鱼体风味,与邹礼根等^[40]和朱士臣等^[41]关于循环水养殖鱼类的研究结果趋势一致。这表明循环水养殖在一定程度上可以降低鱼类腥味物质的含量,更有益于草鱼的养殖。

综上所述,本研究结果表明,循环水养殖能改善草鱼的体色,提高其亮度、白度;同时可以提高不饱和脂肪酸和人体所需的必需氨基酸的含量,增加草鱼的营养价值,改善草鱼鱼肉的滋味特征,使其味道更鲜美;降低其带有土腥味和青草味的特征气味物质含量,从而达到提升其食用品质的目的。

表 8 不同养殖模式下草鱼特征挥发性风味成分

Tab. 8 Characteristic volatile flavor components of grass carp under different cultivation modes

保留指数 Retention index	特征气味物质 Characteristic odorous substance	气味 Odor	相对含量Relative amount (μg/kg)	
			传统养殖 Traditional pond	循环水养殖 Recirculating aquaculture
780	己醛Hexanal	青草味Grassy	2540.66±437.67 ^a	1107.68±250.09 ^b
900	庚醛Heptanal	油脂味Fatty	127.94±3.71 ^a	59.52±9.00 ^b
1007	辛醛Octanal	柑橘味Citrusy	181.37±10.95 ^a	70.23±1.00 ^b
1040	(E)-2-辛烯醛 2-Octenal, (E)-	青草味Green	152.62±6.74 ^a	89.77±4.93 ^b
1094	壬醛Nonanal	柑橘味Citrusy	281.77±15.81 ^a	116.69±9.54 ^b
1210	(E,E)-2,4-壬二烯醛 2,4-Nonadienal, (E,E)-	青草味Green	122.74±5.13 ^a	62.03±4.93 ^b
1411	十二醛Dodecanal	哈喇味Oily	30.79±2.22	23.63±4.93
855	(Z)-己烯-1-醇 2-Hexen-1-ol, (Z)-	刺激性Intense	46.43±5.28 ^a	26.22±4.93 ^b
858	1-己醇1-Hexanol	药片味Chemical	61.63±2.32	62.00±1.00
978	1-辛烯-3-ol 1-Octen-3-ol	蘑菇味Mushroom	597.34±88.56 ^a	349.23±7.58 ^b

因此,在未来草鱼的养殖模式选择上,循环水养殖可作为更优的养殖模式进行推广。

参考文献:

- [1] Guo W D, Zhou X R, Xu L N, *et al.* Effect of cold storage on metabolites and micro-structure of grass carp muscle [J]. *Food Science*, 2022: 1-13. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.ts.20220107.1757.034.html>. [郭薇丹,周湘人,徐莉娜,等.冷藏对草鱼肉微结构及代谢物的影响[J/OL].食品科学: 1-13. [2022-01-10]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.ts.20220107.1757.034.html>.]
- [2] Zhu B, Fan J J, Bai J J, *et al.* Comparison and analysis of nutritional composition in gold grass carp and grass carp muscle [J]. *Marine Fisheries*, 2017, **39**(5): 539-547. [朱冰,樊佳佳,白俊杰,等.金草鱼肌肉品质和营养成分分析及评价[J].海洋渔业,2017,39(5): 539-547.]
- [3] Ma S, Xu T. Study on growth and antioxidant immune function of grass carp by fermented feed [J]. *Scientific Fish Farming*, 2021(10): 68-69. [马嵩,徐涛.发酵饲料对草鱼生长及抗氧化免疫机能研究[J].科学养鱼,2021(10): 68-69.]
- [4] Bi X M, Yu E M, Wang G J, *et al.* Comparison and analysis of nutrition composition of grass carp raised with grass and artificial feed [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2011, **38**(1): 132-134. [毕香梅,郁二蒙,王广军,等.摄食青草和人工配合饲料的草鱼肌肉营养成分分析及比较[J].广东农业科学,2011,38(1): 132-134.]
- [5] Liu Y Y, Fu Z X, Zhang H J, *et al.* Quality comparison of grass carp cultured in containers and ponds [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2022, **27**(1): 193-202. [刘月月,傅子昕,张慧娟,等.集装箱式与池塘养殖草鱼营养品质的分析比较[J].中国农业大学学报,2022,27(1): 193-202.]
- [6] Zhang J, Wang M H, Jia G C, *et al.* Effect of structures on hydrodynamic characteristics of recirculating aquaculture pond [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2022, **53**(3): 311-320. [张俊,王明华,贾广臣,等.不同池型结构对循环水养殖池水动力特性研究[J].农业机械学报,2022,53(3): 311-320.]
- [7] Huang A X, Chen J M, Jiang J H, *et al.* Analysis of body morphological indexes and muscle nutritive value of black carp in the pond recirculating aquaculture [J]. *Scientific Fish Farming*, 2021(5): 73-74. [黄爱霞,陈建明,姜建湖,等.池塘内循环跑道养殖青鱼形体指数和肌肉营养价值分析[J].科学养鱼,2021(5): 73-74.]
- [8] 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. [邵俊杰,张世勇,朱昱璇,等.不同养殖模式对斑点叉尾鲟生长和肌肉品质特性的影响[J].水产学报,2017,41(8): 1256-1263.]
- [9] Jin S K, Choi Y J, Jeong J Y, *et al.* Effect of NaCl on physical characteristics and qualities of chicken breast surimi prepared by acid and alkaline processing [J]. *LWT - Food Science and Technology*, 2011, **44**(10): 2154-2158.
- [10] Wen L, Tian M L, An Y Q, *et al.* Effects of different aquaculture mode on nutritional quality and eating quality of grass carp [J]. *Journal of Huazhong Agricultural University* (Natural Science Edition), 2022, **41**(3): 244-251. [温利,田明礼,安玥琦,等.不同养殖模式对草鱼的营养与食用品质的影响[J].华中农业大学学报(自然科学版),2022,41(3): 244-251.]
- [11] 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.]
- [12] Cai L B, Ren Z R, Lyu H, *et al.* Effects of short-term micro-flowing water treatment on flesh quality of crucian carp (*Carassius auratus gibelio*) [J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2020, **39**(4): 128-136. [蔡礼彬,任章睿,吕昊,等.短时间微流水处理对异育银鲫肌肉品质的影响[J].华中农业大学学报,2020,39(4): 128-136.]
- [13] 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.
- [14] Gao Q, An Y Q, Chen Z, *et al.* The effect of short-term micro-flow water treatment on the muscle taste quality of bighead carp cultured in ponds [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2021, **45**(5): 1057-1066. [高琴,安玥琦,陈周,等.短时微流水处理对池塘养殖鳊鱼肌肉滋味品质的影响[J].水生生物学报,2021,45(5): 1057-1066.]
- [15] 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 and Technology*, 2020, **36**(8): 265-280. [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.]
- [16] FAO/WHO. Energy and Protein Requirements: Report of a Joint FAO/WHO Ad Hoc Expert Committee [R]. FAO Nutrition Meeting Reports Series, 1973(52): 40-73.
- [17] Zhang X J, Guo Q Y, Wang L M, *et al.* Composition and evaluation of flavor substances in the cultured large yellow croaker (*Larimichthys crocea*) [J]. *Food and Fermentation Industries*, 2019, **45**(20): 242-249. [张秀洁,郭全友,王鲁民,等.养殖大黄鱼滋味和气味物质组成及评价[J].食品与发酵工业,2019,45(20): 242-249.]
- [18] Cui Y C, Zhang H X, Wang A H, *et al.* Analysis and comparison of main taste compounds in three kinds of shellfish boiling liquid [J]. *China Condiment*, 2022, **47**(1): 1-7. [崔妍春,张化贤,王爱辉,等.三种贝类蒸煮液主要滋味化合物的分析与比较[J].中国调味品,2022,47(1): 1-7.]

- [19] Zhou B B, Wu X J, Zhang L, *et al.* Effects of postripeness process on flavor components, amino acids and fatty acids of sealed bream [J]. *Food Science and Technology*, 2021, **46**(8): 118-127. [周蓓蓓, 吴向骏, 张雷, 等. 后熟过程对封鲢鱼风味物质及氨基酸、脂肪酸组成的影响 [J]. 食品科技, 2021, **46**(8): 118-127.]
- [20] Yimdee T, Wang X C. Comparison of odor and taste of commercial brand fish sauces from east and south east Asian countries [J]. *International Journal of Food Properties*, 2016, **19**(4): 873-896.
- [21] Tsuzuki S. Higher straight-chain aliphatic aldehydes: importance as odor-active volatiles in human foods and issues for future research [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2019, **67**(17): 4720-4725.
- [22] Chen J L, Chen S S, Shi W Z, *et al.* Study of water-soluble flavor components in fish meat of different size of grass carp [J]. *Food and Fermentation Industries*, 2017, **43**(1): 213-217. [陈剑岚, 陈舜胜, 施文正, 等. 大小草鱼肉呈味水溶性成分的比较 [J]. 食品与发酵工业, 2017, **43**(1): 213-217.]
- [23] Kuang W M, Tang R J, Xue Y, *et al.* Preliminary evaluation of nutritional differences of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) under two pond culture models [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2020, **44**(12): 2028-2036. [况文明, 唐仁军, 薛洋, 等. 池塘两种养殖方式下草鱼的营养差异 [J]. 水产学报, 2020, **44**(12): 2028-2036.]
- [24] Merino G E, Piedrahita R H, Conklin D E. Effect of water velocity on the growth of California halibut (*Paralichthys californicus*) juveniles [J]. *Aquaculture*, 2007, **271**(1/2/3/4): 206-215.
- [25] Yuan X C, Xie Y D, Shi Y H, *et al.* Comparative analysis of water quality factors and cultural benefit in three aquaculture modes of *Ctenopharyngodon idella* [J]. *Fishery Modernization*, 2021, **48**(6): 28-35. [袁新程, 谢永德, 施永海, 等. 草鱼3种池塘养殖模式水质因子及养殖效益的比较分析 [J]. 渔业现代化, 2021, **48**(6): 28-35.]
- [26] Yin X L, Xu Z J, Liu M H, *et al.* Influence of culture patterns on body shape and color of large yellow croaker (*Larimichthys crocea*) [J]. *Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science)*, 2019, **38**(5): 381-386. [殷小龙, 徐志进, 柳敏海, 等. 不同养殖模式对大黄鱼体形与体色的影响分析 [J]. 浙江海洋大学学报(自然科学版), 2019, **38**(5): 381-386.]
- [27] Zhang Y W, Luo H L, Jia H N, *et al.* Effect factors of water holding capacity of meats and its potential mechanism [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2012, **24**(8): 1389-1396. [张玉伟, 罗海玲, 贾慧娜, 等. 肌肉系水力的影响因素及其可能机制 [J]. 动物营养学报, 2012, **24**(8): 1389-1396.]
- [28] Zhou B, Tang H Y, Zhu C K, *et al.* Analysis on nutritional quality between grass carp cultured in circulating flume and intensive culture pond [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2020, **32**(2): 948-958. [周彬, 唐洪玉, 朱成科, 等. 循环流水槽养殖草鱼与池塘精养草鱼营养品质比较 [J]. 动物营养学报, 2020, **32**(2): 948-958.]
- [29] Bienfang P. Aquaculture water reuse systems: engineering design and management [J]. *Aquaculture*, 1996, **139**(1/2): 169-170.
- [30] Hu J Y, Li X D, Li L, *et al.* Comparative study on growth and muscle composition of *Ctenopharyngodon idella* under two aquaculture patterns [J]. *Feed Research*, 2021, **44**(15): 62-67. [胡建勇, 李晓东, 李林, 等. 两种养殖模式下草鱼幼鱼生长与肌肉组分的比较研究 [J]. 饲料研究, 2021, **44**(15): 62-67.]
- [31] Zhang A F, Zhang H X, Xiao J, *et al.* Comparison of nutritional components and amino acid composition in the muscles of grass carp under different pond culture models [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2019, **47**(6): 91-93. [张爱芳, 章海鑫, 肖俊, 等. 不同池塘养殖模式下草鱼肌肉营养成分及氨基酸组成的比较 [J]. 安徽农业科学, 2019, **47**(6): 91-93.]
- [32] Andersen S M, Waagbø R, Espe M. Functional amino acids in fish nutrition, health and welfare [J]. *Frontiers in Bioscience (Elite Edition)*, 2016, **8**(1): 143-169.
- [33] 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.]
- [34] Geng Z W, Zhang X Y, Zheng H Y, *et al.* Comparative on muscle quality characteristics of *Micropterus salmoides* between In-pond raceway system and traditional pond system [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2018, **39**(23): 95-98. [耿子蔚, 张鑫宇, 郑汉字, 等. 池塘工业化养殖与传统池塘养殖模式对大口黑鲈肌肉品质特性的比较研究 [J]. 食品工业科技, 2018, **39**(23): 95-98.]
- [35] Xue S. A review of the current knowledge of fatty acid contents, composition and physiological functions of animal-derived intramuscular phospholipids [J]. *Meat Research*, 2016, **30**(9): 40-44. [薛山. 动物源肌肉内磷脂及其脂肪酸含量、组成与生理功效研究进展 [J]. 肉类研究, 2016, **30**(9): 40-44.]
- [36] Feng D P, Dong J F, Zhang J P, *et al.* Comparison and quality evaluation of nutritive composition in muscle of *Schizothorax prenanti* reared in cages and flowing water [J]. *Chinese Journal of Fisheries*, 2017, **30**(4): 17-22. [冯德品, 董舰峰, 张金平, 等. 网箱与微流水养殖的齐口裂腹鱼肌肉营养成分的比较与分析 [J]. 水产学杂志, 2017, **30**(4): 17-22.]
- [37] Zhao J, Wang M, Xie J, *et al.* Volatile flavor constituents in the pork broth of black-pig [J]. *Food Chemistry*, 2017, **226**: 51-60.

- [38] Kim M J, Son H J, Kim Y, *et al.* Umami-bitter interactions: the suppression of bitterness by umami peptides via human bitter taste receptor [J]. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 2015, **456**(2): 586-590.
- [39] Qin X, Wang X C, Tao N P. Research progress on major influencing factors on flavor of aquatic products [J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2013, **15**(6): 27-34. [秦晓, 王锡昌, 陶宁萍. 水产品风味主要影响因素研究进展 [J]. *中国农业科技导报*, 2013, **15**(6): 27-34.]
- [40] Zou L G, Guo S R, Weng L P, *et al.* Effects of two different culture modes on muscle nutrients of black carp [J]. *Journal of Ningbo University* (Natural Science & Engineering Edition), 2018, **31**(4): 25-30. [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.]
- [41] Zhu S C, Feng Y, Peng J, *et al.* Comparison on nutrition quality of *Megalobrama terminalis* cultivated based on in-pond "raceway" aquaculture system and traditional pond system [J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2021, **12**(3): 1057-1065. [朱士臣, 冯媛, 彭建, 等. 池塘内循环水“跑道”系统与传统池塘养殖的三角鲂营养品质对比研究 [J]. *食品安全质量检测学报*, 2021, **12**(3): 1057-1065.]

RECIRCULATING AQUACULTURE POND ON EDIBLE QUALITY OF POLYCULTURE GRASS CARP (*CTENOPHARYNGODON IDELLUS*)

WEN Li¹, LI Wen-Rong¹, TAO Ling², AN Yue-Qi^{1,3}, LIU Ru^{1,3}, LI Gu² and XIONG Shan-Bai^{1,3}

(1. Engineering Research Center of Green development for Conventional Aquatic Biological Industry in the Yangtze River Economic Belt, Ministry of Education, College of Food Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China; 2. Yangtze River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuhan 430223, China; 3. National R & D Branch Center for Conventional Freshwater Fish Processing, Wuhan 430070, China)

Abstract: In order to explore the influence of farming mode on the quality of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*), a comparative study was conducted on edible quality of grass carp between traditional pond farming and recirculating aquaculture system. The results showed that the muscle quality and edible quality of grass carp farmed in recirculating water were better than those farmed in the traditional pond. The whiteness and springiness of recirculating aquaculture grass carp were higher than those of traditional pond farmed grass carp, the contents of unsaturated fatty acids and essential amino acids in recirculating water aquaculture grass carp were significantly higher than those in the traditional pond. The contents of n-3 and n-6 unsaturated fatty acids in recirculating water aquaculture grass carp were significantly higher than those in the traditional pond grass carp, indicating better nutritional characteristics and better muscle quality. Besides, the contents of the total amino acids in recirculating cultured grass carp was significantly higher than that of traditional cultured grass carp, which made grass carp have higher nutritional characteristics. The contents of protein in grass carp cultured by recirculating aquaculture was higher, in line with contemporary nutrition. Recirculating aquaculture could reduce the contents of hexanal, heptanal and 1-octen-3-ol in grass carp with off-odor, and the content of hypoxanthine nucleotide (IMP) was higher than that in the traditional pond, which made grass carp taste more delicious and dense. The results showed that the muscle quality and nutritional characteristics of grass carp farmed in recirculating water were better than those of the traditional pond.

Key words: Recirculating aquaculture; Muscle quality; Nutritional quality; Edible quality; Flavor; Polyculture *Ctenopharyngodon idellus*