

doi: 10.7541/2025.2024.0250

CSTR: 32229.14.SSSWXB.2024.0250

瘦身养殖模式对草鱼肌肉品质的影响

王刘永 刘德露 邓 婷 郭海燕

(重庆市水产科学研究所, 重庆 400020)

摘要: 为探究瘦身养殖模式对草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)肌肉品质的影响, 研究比较了对照鱼和经8个月瘦身养殖后的瘦身鱼的形体数据、质构特性、一般营养成分、异味物质、氨基酸和脂肪酸等指标。结果显示, 瘦身鱼肥满度、脏体指数、肝体指数及腹脂指数均显著低于对照鱼($P<0.05$); 瘦身鱼肌肉硬度、弹性、胶黏性、咀嚼性和剪切力均显著大于对照鱼($P<0.05$); 瘦身鱼肌肉中粗脂肪和粗蛋白显著低于对照鱼($P<0.05$), 灰分与对照鱼无显著差异($P>0.05$), 但水分显著高于对照鱼($P<0.05$); 瘦身鱼和对照鱼肌肉中均未检出土臭素(GSM)和2-甲基异茨醇(2-MIB); 瘦身鱼肌肉中氨基酸总量(TAA)、必需氨基酸总量(TEAA)及鲜味氨基酸总量(TDAA)均显著高于对照鱼($P<0.05$); 瘦身鱼肌肉中多不饱和脂肪酸(PUFA)、 $n-3$ PUFA、 $n-6$ PUFA、EPA和DHA占脂肪酸总量的百分比均显著高于对照鱼($P<0.05$)。研究表明, 瘦身养殖模式能有效改善草鱼体型, 提高其肌肉品质。相关研究结果可为草鱼瘦身养殖模式的探索提供基础资料, 为养殖生产实践提供参考。

关键词: 瘦身鱼; 养殖模式; 肌肉品质; 草鱼

中图分类号: S965 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3207(2025)04-042503-09



瘦身养殖就是选择无病、无伤、体质健壮、达到上市规格的池塘精养成鱼放入优质水源中进行一段时间的零饲料养殖, 通过饥饿和运动提高淡水鱼肌肉品质的养殖模式^[1]。经过瘦身养殖的商品鱼称之为瘦身鱼, 也称“吊水鱼”“生态鱼”^[2]。大量研究表明, 瘦身养殖模式能够提高商品鱼肌肉品质^[3-5]。钟金香等^[6]发现, 随着饥饿时间延长, 斑点叉尾鲷(*Ictalurus punctatus*)的肥满度、脏体指数、肝体指数及肌肉中粗脂肪含量呈显著下降趋势, 表明适当的饥饿时间有利于改善商品鱼体态。Zhou等^[7]对黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*)进行饥饿处理20d后发现其体重、肥满度和腹脂指数均显著下降, 且肌肉中与品质相关的氨基酸含量显著升高, 而与异味相关的醛类、酮类等含量减少。鲁强等^[8]发现经过清水池塘吊水养殖后的大口黑鲈(*Micropterus salmoides*)肌肉硬度和咀嚼性显著提升, 不饱和脂肪酸种类增加, 鲜味氨基酸含量显著增加, 而具有

苦味的组氨酸显著下降, 表明暂养处理能够提高鱼肉品质。

草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)属鲤形目(Cypriniformes)、鲤科(Cyprinidae), 雅罗鱼亚科(Leuciscinae), 草鱼属(*Ctenopharyngodon*), 是我国四大家鱼之一, 因其饲料来源广、产量高和肉质鲜等优点, 深受我国养殖户和消费者喜爱, 具有较高的经济价值^[9]。但传统池塘精养草鱼肉质松散、腥味重, 已不符合当下的消费需求^[10]。为解决这一矛盾, 人们开始不断探索提高草鱼肌肉品质的方法。研究发现, 不同养殖模式对草鱼的肌肉品质影响较大。例如, 循环水养殖和种植青草养殖的草鱼肌肉品质均高于传统池塘养殖^[11, 12]。Xu等^[13]研究发现, 相较于传统池塘养殖, 循环水养殖的草鱼肌肉中天冬氨酸、谷氨酸等鲜味氨基酸含量增加。此外, 有报道表明, 短期禁食能够降低草鱼粗脂肪含量, 增加肌肉弹性及咀嚼性^[14, 15]。Lü等^[16]将达到商品规格的

收稿日期: 2024-06-20; 修订日期: 2024-09-27

基金项目: 江津区生态瘦身鱼养殖技术模式研究(C20230106); 生态草鱼血浆生化、脂质代谢及肠道微生物的研究(C20240111)资助 [Supported by the Research on the Technical Model of Ecological Lean Fish Culture in Jiangjin District (C20230106); Plasma Biochemistry, Lipid Metabolism, and Gut Microbiology of Ecological Grass Carp (*Ctenopharyngodon idellus*) (C20240111)]

作者简介: 王刘永(1998—), 女, 硕士研究生; 研究方向为鱼类种子工程与健康养殖。E-mail: 1245285126@qq.com

通信作者: 郭海燕(1975—), 女, 博士, 高级工程师; 研究方向为水产品质量安全与品质研究。E-mail: 18187033@qq.com

草鱼运至天然湖泊中进行停食养殖, 研究结果显示, 养殖50d后草鱼肌肉硬度、弹性、黏着性和内聚性等物理特性显著增加, 肌肉中水溶性蛋白和游离氨基酸含量增加, 异味挥发性化合物(如壬醛和己醛)含量显著减少。因此, 短期瘦身养殖一定程度上能够提高草鱼的肌肉品质。

但长期瘦身养殖对草鱼肌肉品质的影响目前研究还较少, 仅曹英楠等^[17]、曹涵锦等^[18]等对瘦身养殖过程中草鱼肌肉的营养成分、气味特征和质构品质变化进行了研究, 实际生产还需要更多资料以供参考。本研究以草鱼为研究对象, 分析对照鱼和经8个月瘦身养殖后的瘦身鱼的形体数据、质构特性、一般营养成分、氨基酸和脂肪酸等指标, 探讨瘦身养殖对草鱼肌肉品质的影响, 以期对瘦身养殖模式在生产实践的应用提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 样品采集

实验用鱼采集于重庆市江津区瘦身鱼养殖示范场。养殖池塘1000 m², 水深1.5 m, 池塘边坡使用水泥硬化, 底部为土壤。将购于江津本地, 已达上市规格的草鱼放入池塘中暂养2周。在暂养结束后, 于2022年12月采集对照鱼[体重(1262.67±173.88) g, 体长(40.90±2.05) cm] 12尾, 剩余草鱼在该池塘中进行8个月的瘦身养殖, 养殖期间不投饵, 于2023年8月采集瘦身鱼[体重(1197.33±150.00) g, 体长(42.33±2.05) cm] 12尾。将活鱼充氧带水运输到实验室后进行后续取样工作。

1.2 测定方法

测量体重、体长、内脏团重、肝胰脏重和腹腔脂肪重等形体数据, 计算出肥满度、脏器指数、肝体指数和腹脂指数。形体指标计算公式:

肥满度(Condition factor, CF, g/cm³)=体重/体长³×100

脏器指数(Viscerosomatic index, VSI)=内脏团重/体重×100

肝体指数(Hepatosomatic index, HSI)=肝胰脏重/体重×100

腹脂指数(Intraperitoneal fat index, IPF)=腹腔脂肪重/体重×100

肌肉质构特性使用质构仪(TMS-PRO)进行测定, 质构仪力量感应元最大量程为250 N。取每尾草鱼背部两侧相同位置各1块1 cm³左右的正方体肌肉块, 使用TPA全质分析专用探头(直径75 mm圆盘)对草鱼肌肉度、黏附性、内聚性、弹性、胶黏性和咀嚼性进行测定, 检测速率为100 mm/min, 触

发压力为0.38 N, 形变百分比为30%。另取每尾草鱼背部两侧相同位置各1块1 cm³左右的正方体肌肉块, 使用单刀综合剪切刀头对草鱼肌肉剪切力进行测定, 回程距离30 mm。

将剩余草鱼肌肉去皮去骨后放入样品袋中, 于-20℃冰箱中保存备用。将草鱼肌肉放入组织粉碎机中粉碎并混合均匀后用于后续肌肉异味物质、一般营养成分、氨基酸、脂肪酸等指标的测定。

肌肉土臭素和2-甲基异茨醇参照《生活饮用水臭味物质 土臭素和2-甲基异茨醇检验方法》(GB/T 32470-2016)进行测定。

肌肉一般营养成分、氨基酸、脂肪酸参照《食品安全国家标准》(GB 5009-2016)进行测定, 具体为:

水分参照《食品安全国家标准 食品中水分的测定》(GB 5009.3-2016)的第一法(直接干燥法)进行测定; 粗灰分参照《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》(GB 5009.4-2016)的第一法(食品中总灰分的测定)进行测定; 粗蛋白参照《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》(GB 5009.5-2016)的第一法(凯氏定氮法)进行测定; 粗脂肪参照《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》(GB 5009.6-2016)的第一法(索氏抽提法)进行测定。

氨基酸参照《食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定》(GB 5009.124-2016)的方法进行测定。

脂肪酸参照《食品安全国家标准 食品中脂肪酸的含量测定》(GB 5009.168-2016)的第三法(归一化法)进行测定。

1.3 营养价值评价方法

营养价值评价依据联合国粮农组织/世界卫生组织(FAO/WHO)建议的每g氨基酸评分模式^[19]和中国疾病预防控制中心提出的鸡蛋蛋白模式^[20]进行比较评价。氨基酸评分(Amino acid score, AAS)、化学评分(Chemical score, CS)及必需氨基酸指数(Essential amino acid index, EAAI)计算方式:

$$AAS = aa/AA_{FAO/WHO}$$

$$CS = aa/AA_{Egg}$$

$$EAAI = [(100 \times a/ae) \times (100 \times b/be) \times (100 \times c/ce) \times \dots \times (100 \times j/je)]^{1/n}$$

样品氨基酸含量(mg/g)=[样品中某种氨基酸含量(g/100 g)/样品中粗蛋白含量(g/100 g)]×6.25。

式中, aa表示样品中某种氨基酸含量; AA_{FAO/WHO}表示FAO/WHO标准模式中同种氨基酸含量;

AA_{Egg}表示全鸡蛋蛋白质中同种氨基酸含量; a、b、c、……、j为待评价蛋白质中某种必需氨基酸(Essential amino acid, EAA)含量; ae、be、ce、……、je为全鸡蛋蛋白质中同种必需氨基酸含量; *n*为必需氨基酸个数。

1.4 统计分析

通过Excel 2019和SPSS 26软件对实验结果进行数据分析, 采用独立样本 t -检验(t -Test)对两组进行比较, 统计值以“平均值 $\pm$ 标准差”(mean $\pm$ SD, $n=12$)表示, $P<0.05$ 表示显著差异, $P>0.05$ 表示差异不显著。

2 结果

2.1 瘦身养殖模式对草鱼形体指标的影响

瘦身养殖模式下的草鱼体态更加优美, 腹部线条更加流畅, 肌肉更加紧实。从数据来看(表 1), 瘦身鱼的肥满度、脏体指数、肝体指数及腹脂指数均显著低于对照鱼($P<0.05$)。

2.2 瘦身养殖模式对草鱼肌肉质构特性的影响

由表 2可知, 瘦身鱼肌肉硬度、弹性、胶黏性、咀嚼性和剪切力均显著高于对照鱼($P<0.05$); 瘦身鱼和对照鱼肌肉黏附性和内聚性无显著差异($P>0.05$)。

表 1 瘦身鱼与对照鱼形体指标比较

Tab. 1 Comparison of morphological indices between lean and control fish

项目Item	瘦身鱼Lean fish	对照鱼Control fish
肥满度CF (g/cm ³)	1.57 $\pm$ 0.05 ^b	1.84 $\pm$ 0.05 ^a
脏体指数VSI	4.49 $\pm$ 0.99 ^b	8.78 $\pm$ 0.64 ^a
肝体指数HSI	0.84 $\pm$ 0.06 ^b	2.88 $\pm$ 0.43 ^a
腹脂指数IPF	0.65 $\pm$ 0.19 ^b	2.38 $\pm$ 0.71 ^a

注: 同行肩标不同小写字母表示差异显著($P<0.05$), 无字母表示差异不显著($P>0.05$); 下表同

Note: Different lowercase letters in the same row indicate significant differences ($P<0.05$), and no letter indicates no significant differences ($P>0.05$); The same applies below

表 2 瘦身鱼与对照鱼肌肉质构特性比较

Tab. 2 Comparison of muscle textural properties between lean and control fish

项目Item	瘦身鱼Lean fish	对照鱼Control fish
硬度Hardness (N)	23.81 $\pm$ 1.22 ^a	17.60 $\pm$ 0.84 ^b
黏附性Adhesiveness (MJ)	0.03 $\pm$ 0.00	0.03 $\pm$ 0.01
内聚性Cohesiveness (%)	0.59 $\pm$ 0.03	0.51 $\pm$ 0.04
弹性Springiness (mm)	2.23 $\pm$ 0.03 ^a	1.96 $\pm$ 0.10 ^b
胶黏性Gumminess (N)	13.96 $\pm$ 0.50 ^a	8.98 $\pm$ 0.99 ^b
咀嚼性Chewiness (MJ)	31.18 $\pm$ 1.40 ^a	17.67 $\pm$ 2.76 ^b
剪切力Shearing force (N)	20.01 $\pm$ 1.92 ^a	14.18 $\pm$ 0.71 ^b

2.3 瘦身养殖模式对草鱼肌肉一般营养成分及异味物质的影响

由表 3可知, 瘦身鱼肌肉中粗脂肪和粗蛋白显著低于对照鱼($P<0.05$), 瘦身鱼肌肉灰分与对照鱼无显著差异($P>0.05$), 但瘦身鱼肌肉水分显著高于对照鱼($P<0.05$)。瘦身鱼和对照鱼肌肉中均未检出土霉素和2-甲基异茨醇。

表 3 瘦身鱼与对照鱼肌肉一般营养成分比较

Tab. 3 Comparison of muscle common nutrient contents between lean and control fish

项目Item	瘦身鱼Lean fish	对照鱼Control fish
水分Moisture (g/100 g)	83.46 $\pm$ 0.33 ^a	79.01 $\pm$ 0.97 ^b
粗脂肪Crude fat (g/100 g)	0.44 $\pm$ 0.00 ^b	1.21 $\pm$ 0.01 ^a
粗蛋白Crude protein (g/100 g)	15.47 $\pm$ 0.25 ^b	18.57 $\pm$ 0.23 ^a
粗灰分Ash (g/100 g)	1.23 $\pm$ 0.00	1.28 $\pm$ 0.03

2.4 瘦身养殖模式对草鱼肌肉氨基酸组成及含量的影响

由表 4可知, 瘦身鱼肌肉中共检测到16种氨基酸, 其中必需氨基酸7种, 对照鱼肌肉中共检测到14种氨基酸, 其中必需氨基酸6种。除苯丙氨酸、甘氨酸和脯氨酸外, 瘦身养殖模式下草鱼肌肉其他氨基酸含量均显著高于对照鱼 ($P<0.05$)。瘦身鱼肌肉氨基酸总量(TAA)、必需氨基酸总量(TEAA)及鲜味氨基酸总量(TDAA)均显著高于对照鱼 ($P<0.05$)。瘦身鱼肌肉中必需氨基酸总量占非必需氨基酸总量的百分比(TEAA/TNEAA)为87.82%, 必需氨基酸总量占总氨基酸量的百分比(TEAA/TAA)为42.44%; 对照鱼肌肉中必需氨基酸总量占非必需氨基酸总量的百分比(TEAA/TNEAA)为56.91%, 必需氨基酸总量占氨基酸总量的百分比(TEAA/TAA)为34.98%。营养价值评价结果如表 5所示, 瘦身鱼肌肉氨基酸评分(AAS)、化学评分(CS)及必需氨基酸指数(EAAI)均高于对照鱼, 其中瘦身鱼EAAI是对照鱼的2.4倍。

2.5 瘦身养殖模式对草鱼肌肉脂肪酸含量的影响

瘦身鱼和对照鱼肌肉脂肪酸组成结果如表 6所示, 在瘦身鱼肌肉中共检测到21种脂肪酸, 其中饱和脂肪酸(SFA) 7种, 单不饱和脂肪酸(MUFA) 5种, 多不饱和脂肪酸(PUFA) 9种; 在对照鱼肌肉中共检测到26种脂肪酸, 其中饱和脂肪酸(SFA) 8种, 单不饱和脂肪酸(MUFA) 8种, 多不饱和脂肪酸(PUFA) 10种。瘦身鱼肌肉中饱和脂肪酸占比和多不饱和脂肪酸占比均显著高于对照鱼($P<0.05$), 其中瘦身鱼 $n-3$ 系多不饱和脂肪酸($n-3$ PUFA)占比为13.05%, 是对照鱼的2.5倍。

3 讨论

3.1 瘦身养殖模式对草鱼形体指标的影响

形体指标能够直观反映鱼类的自身营养储备消耗情况及鱼体的肥瘦程度^[21-24]。本研究结果显示,瘦身养殖模式对草鱼的形体指标产生了较大影响,瘦身鱼肥满度、脏体指数、肝体指数和腹脂指数均显著低于对照鱼,表明在瘦身养殖模式下,草鱼内脏储备脂肪被消耗,外观由肥变瘦,体态更加优美。

3.2 瘦身养殖模式对草鱼肌肉质构特性的影响

质构分析是通过力学测试方法对食品质地进

行量化的一种方式,能够减少因主观判断差异造成的误差,具便捷、客观和重复性好的优点^[25]。鱼肉的质构特性是评价鱼类肌肉品质的指标之一,包括硬度、黏附性、内聚性、弹性、胶黏性和咀嚼性等^[26]。有报道表明,硬度和弹性是反映肌肉质构特性的主要因素^[25]。硬度越大,表明肌肉纤维直径小且排列更紧密;弹性越大,表明肌肉中肌动蛋白、肌球蛋白及弹性蛋白的含量越高^[27]。胶黏性和咀嚼性都是与硬度及弹性有关的特性^[28]。本研究中瘦身鱼肌肉硬度、弹性、胶黏性和咀嚼性均显著高于对照鱼,表明瘦身鱼肌肉的肉质更硬,弹性更好,口感更佳,这与曹锦涵等^[18]的研究结果一致。剪切力是指在特定条件下,剪断肌肉所需的力量,与肌肉组织结构、脂肪含量等有关^[29]。剪切力与肌肉中脂肪含量存在一定的负相关关系,这与本研究结果相符^[30]。一般来说,剪切力越大,肌肉就越紧实^[31]。本研究中瘦身鱼肌肉剪切力显著高于对照鱼,进一步表明瘦身养殖模式下的草鱼肌肉更加紧实。

3.3 瘦身养殖模式对草鱼肌肉一般营养成分及异味物质的影响

肌肉中的一般营养成分含量在一定程度上能够体现鱼类的营养价值^[32]。本研究发现,瘦身鱼肌肉中粗脂肪和粗蛋白含量均显著低于对照鱼,推测在瘦身养殖模式下,草鱼能量消耗大,体内脂肪被逐渐分解消耗,在长时间饥饿状态下一部分蛋白质被用于能量供应^[1, 33]。灰分是肌肉经高温灼烧后的无机物总含量,本研究中瘦身鱼和对照鱼肌肉粗灰分无显著差异,表明瘦身养殖模式对草鱼肌肉中矿物质和微量元素的含量影响较小。瘦身鱼肌肉中水分显著高于对照鱼,这与柳敏海等^[33]、朱占英等^[34]的研究结果相似,推测与饥饿效应有关^[35]。鱼肉的土腥味主要来自其中的土臭素(Compounds geosmin, GSM)和2-甲基异茨醇(2-methylisoborneol, 2-MIB),这两个物质在鱼体中的积累与养殖水体中一些藻类及放线菌的次级代谢产物的释放有关^[36]。本研究中瘦身鱼和对照鱼肌肉中均未检测到二甲基异茨醇和土臭素,表明在瘦身养殖过程中这两种异味物质均未在草鱼肌肉中积累,间接说明该养殖场水质较优。

3.4 瘦身养殖模式对草鱼肌肉氨基酸组成及含量的影响

鱼肉中氨基酸的含量及组成是评价其营养价值和风味的重要指标之一^[37, 38]。由于必需氨基酸无法在人体内合成,只能从食物中获取,因此食物中必需氨基酸含量的高低可作为判断其营养价值

表 4 瘦身鱼与对照鱼肌肉氨基酸组成比较

Tab. 4 Comparison of muscle amino acid composition between lean and control fish

氨基酸Amino acid	氨基酸含量 Amino acid content (g/100 g)	
	瘦身鱼 Lean fish	对照鱼 Control fish
苏氨酸Thr [△]	0.79±0.07 ^a	0.50±0.00 ^b
亮氨酸Leu [△]	1.57±0.13 ^a	0.47±0.01 ^b
蛋氨酸Met [△]	0.46±0.03 ^a	0.00 ^b
缬氨酸Val [△]	0.92±0.08 ^a	0.50±0.02 ^b
异亮氨酸Ile [△]	1.14±0.10 ^a	0.32±0.00 ^b
苯丙氨酸Phe [△]	0.74±0.06	0.50±0.02
赖氨酸Lys [△]	1.86±0.16 ^a	0.74±0.01 ^b
组氨酸His [◇]	0.54±0.05 ^a	0.31±0.01 ^b
精氨酸Arg [◇]	1.10±0.12 ^a	0.00 ^b
天门冬氨酸Asp [*]	1.88±0.14 ^a	1.10±0.05 ^b
丝氨酸Ser [*]	0.67±0.07 ^a	0.52±0.01 ^b
谷氨酸Glu [*]	3.00±0.34 ^a	1.50±0.08 ^b
甘氨酸Gly [*]	0.89±0.14	0.69±0.01
丙氨酸Ala [*]	0.98±0.10 ^a	0.75±0.01 ^b
酪氨酸Tyr [*]	0.62±0.05 ^a	0.44±0.01 ^b
脯氨酸Pro [*]	0.50±0.08	0.38±0.01
鲜味氨基酸总量TDAA	6.75±0.71 ^a	4.04±0.14 ^b
必需氨基酸总量TEAA	7.49±0.64 ^a	3.06±0.05 ^b
半必需氨基酸总量THEAA	1.64±0.18 ^a	0.31±0.01 ^b
非必需氨基酸总量TNEAA	8.55±0.91 ^a	5.38±0.14 ^b
氨基酸总量TAA	17.67±1.721 ^a	8.76±0.17 ^b
必需氨基酸总量占非必需氨基酸总量的百分比TEAA/TNEAA	87.82±1.79 ^a	56.91±1.16 ^b
必需氨基酸总量占氨基酸总量的百分比TEAA/TAA	42.44±0.50 ^a	34.98±0.39 ^b
非必需氨基酸总量占氨基酸总量的百分比TNEAA/TAA	48.34±0.45 ^b	61.47±0.58 ^a
鲜味氨基酸总量占氨基酸总量的百分比TDAA/TAA	38.18±0.34 ^b	46.14±0.73 ^a

注: [△]必需氨基酸; [◇]半必需氨基酸; ^{*}非必需氨基酸; ^{*}鲜味氨基酸

Note: [△]essential amino acid; [◇]semi-essential amino acid; ^{*}non-essential amino acid; ^{*}delicious amino acid

表 5 瘦身鱼与对照鱼肌肉AAS、CS及EAAI比较

Tab. 5 Comparison of muscle AAS, CS, and EAAI between lean and control fish

必需氨基酸 Essential amino acid	FAO/WHO模式 (mg/g pro)	全鸡蛋蛋白质模式 (mg/g pro)	瘦身鱼 (mg/g pro)	对照鱼 (mg/g pro)	氨基酸评分AAS		化学评分CS	
					瘦身鱼	对照鱼	瘦身鱼	对照鱼
苏氨酸Thr	40.00	54.00	32.04	17.83	0.80	0.45	0.59	0.33
亮氨酸Leu	70.00	86.00	63.44	15.82	0.91	0.23	0.74	0.18
蛋氨酸+半胱氨酸Met+Cys	35.00	57.00	18.59	—	0.53	—	0.33	—
缬氨酸Val	50.00	50.00	37.06	16.86	0.74	0.34	0.74	0.34
异亮氨酸Ile	40.00	54.00	46.19	10.77	1.15	0.27	0.86	0.20
苯丙氨酸+酪氨酸Phe+Tyr	60.00	93.00	55.20	31.67	0.92	0.53	0.59	0.34
赖氨酸Lys	55.00	70.00	75.28	24.90	1.37	0.45	1.08	0.36
必需氨基酸总量ΣEAA	350.00	464.00	327.80	117.78				
必需氨基酸指数EAAI			66.54	28.11				

表 6 瘦身鱼和对照鱼肌肉脂肪酸组成比较

Tab. 6 Comparison of muscle fatty acid composition between lean and control fish

脂肪酸Fatty acid	脂肪酸含量 Fatty acid content (%)	
	瘦身鱼Lean fish	对照鱼Control fish
己酸C6:0	0.05±0.01 ^a	0.01±0.00 ^b
十二碳酸C12:0	0.00 ^b	0.01±0.00 ^a
肉蔻酸C14:0	0.23±0.01 ^b	0.791±0.12 ^a
豆蔻烯酸C14:1	0.00 ^b	0.02±0.01 ^a
十五碳酸C15:0	0.07±0.00 ^b	0.16±0.00 ^a
棕榈酸C16:0	17.89±0.04	17.87±0.37
棕榈一烯酸C16:1	0.77±0.09 ^b	3.98±0.59 ^a
十七碳酸C17:0	0.18±0.01	0.20±0.04
十七烯酸C17:1	0.18±0.02	0.20±0.00
硬脂酸C18:0	10.51±0.01 ^a	4.46±0.44 ^b
反油酸 C18:1t	0.00 ^b	0.19±0.00 ^a
油酸C18:1c	13.72±0.02 ^b	29.73±1.95 ^a
亚油酸C18:2n-6c	17.73±0.02 ^b	26.93±0.54 ^a
α-亚麻酸C18:3n-3	0.94±0.02 ^b	1.97±0.05 ^a
γ-亚麻酸C18:3n-6	0.14±0.01 ^b	0.41±0.01 ^a
花生酸C20:0	0.20±0.01	0.20±0.00
花生一烯酸C20:1n-9	0.80±0.03 ^b	1.17±0.06 ^a
花生二烯酸C20:2	1.34±0.01	1.22±0.09
花生三烯酸C20:3	2.56±0.02 ^a	1.61±0.22 ^b
二十碳三烯酸C20:3n-3	0.22±0.00 ^a	0.17±0.01 ^b
花生四烯酸C20:4n-6	20.43±0.04 ^a	5.39±1.30 ^b
二十碳五烯酸 C20:5n-3	0.95±0.02 ^a	0.33±0.06 ^b
芥酸C22:1	0.16±0.02	0.20±0.01
二十二碳二烯酸C22:2	0.00 ^b	0.06±0.00 ^a
二十二碳六烯酸 C22:6n-3	10.95±0.04 ^a	2.69±0.74 ^b
神经酸C24:1	0.00 ^b	0.02±0.00 ^a
饱和脂肪酸SFA	29.12±0.04 ^a	23.69±0.28 ^b
单不饱和脂肪酸MUFA	15.63±0.07 ^b	35.52±2.58 ^a
多不饱和脂肪酸PUFA	55.24±0.05 ^a	40.79±2.50 ^b
n-3 PUFA	13.05±0.06 ^a	5.17±0.77 ^b
n-6 PUFA	38.29±0.07 ^a	32.74±1.47 ^b

高低的依据之一^[39]。本研究发现, 瘦身鱼肌肉中必需氨基酸种类及含量比对照鱼更丰富, 必需氨基酸总量(TEAA)是对照鱼的2.4倍, 表明瘦身养殖模式下的草鱼营养更丰富。本研究中瘦身鱼肌肉TEAA/TAA为42.44%, TEAA/TNEAA为87.82%, 而对照鱼肌肉TEAA/TAA为34.98%, TEAA/TNEAA为56.91%, 结果显示瘦身养殖模式下的草鱼更符合FAO/WHO建议的优质蛋白质模式(TEAA/TAA应为40%左右, TEAA/TNEAA比值应该大于0.6)。必需氨基酸指数(EAAI)越高代表氨基酸组成更平衡, 蛋白质质量更高, 本研究中瘦身鱼肌肉EAAI为对照鱼的2.4倍, 表明瘦身养殖模式下的草鱼肌肉品质更好。本研究发现, 瘦身鱼肌肉中的氨基酸种类比对照鱼多2种, 分别为蛋氨酸和精氨酸, 表明瘦身养殖模式下的草鱼氨基酸组成更丰富。鲜味氨基酸包括天冬氨酸、谷氨酸、甘氨酸和丙氨酸, 是鱼肉鲜味的主要来源, 本研究发现瘦身鱼肌肉中鲜味氨基酸总量显著高于对照鱼, 表明瘦身养殖模式下的草鱼味道更加鲜美^[40]。此外, 本研究发现谷氨酸是检测到的所有氨基酸中含量最高的。谷氨酸不仅是4种鲜味氨基酸中鲜味最强的氨基酸, 还参与多种生命活动^[41, 42]。因此, 瘦身养殖模式下草鱼肌肉的氨基酸组成更平衡, 品质更好, 风味更佳。

3.5 瘦身养殖模式对草鱼肌肉脂肪酸含量的影响

脂肪酸含量及组成是影响鱼类营养价值和风味的重要因素^[43]。本研究结果显示, 瘦身鱼肌肉中饱和脂肪酸(SFA)所占总脂肪酸含量的百分比要显著高于对照鱼, 主要原因是瘦身鱼肌肉中硬脂酸含量较高, 这与对斑点叉尾鲟(*Ictalurus punctatus*)^[6]、大口黑鲈(*Micropterus salmoides*)^[8]和淡水石首鱼(*Aplodinotus grunniens*)^[44]等的研究结果相似, 推测原因是硬脂酸在草鱼饥饿过程中因鱼体代谢速率下降而得到积累。油酸是硬脂酸代谢产物, 瘦身鱼

肌肉中油酸含量低于对照鱼从侧面印证了这一猜想。另外,油酸与花生四烯酸之间存在负反馈调节,降低油酸供应有利于增加肌肉中花生四烯酸含量,这与本研究结果相符^[45]。多不饱和脂肪酸(PUFA)具有调节免疫,促进生长发育等功能,对维持人体健康具有重要意义^[46]。PUFA不仅是机体生长发育必需的营养物质,还可以显著提高肉质香味^[47]。根据双键位置和功能不同,可将PUFA分为 $n-3$ 系和 $n-6$ 系^[48]。鱼肉是 $n-3$ PUFA重要食物来源,研究表明, $n-3$ PUFA具有抗氧化作用,能够减少内皮细胞和心肌细胞的损伤和死亡,在膳食中补充 $n-3$ PUFA有利于保护心血管系统,降低血液中甘油三酯水平^[49]。二十碳五烯酸(EPA)和二十二碳六烯酸(DHA)是 $n-3$ PUFA中重要的两种脂肪酸。研究表明,膳食补充EPA和DHA能够降低血清脂多糖、促进大脑神经发育、减少机体炎症因子等^[50, 51]。因此,DHA和EPA也可作为衡量肌肉脂肪酸品质的指标。本研究结果显示,瘦身鱼肌肉中PUFA、 $n-3$ PUFA、EPA和DHA占总脂肪酸的百分比均显著高于对照鱼,表明瘦身鱼具有更高的食用价值,瘦身养殖模式能够有效提高草鱼的营养价值。

综上所述,瘦身养殖能够改善池塘精养草鱼体态,提升肌肉口感,降低鱼体内脂肪含量,提高肌肉中必需氨基酸含量和不饱和脂肪酸比例,从而使草鱼肌肉营养更均衡,风味更佳,品质更好。

(作者声明本文符合出版伦理要求)

参考文献:

- [1] Zhou B. Different culture models of grass carp in Chongqing area and their effects on muscle quality [D]. Chongqing: Southwest University, 2020: 8-9. [周彬. 重庆地区草鱼不同养殖模式及其对肌肉品质的影响 [D]. 重庆: 西南大学, 2020: 8-9.]
- [2] Chen C, Lu S H, Gao Y Y. Problems and key technologies of marketable fish slimming processing and breeding [J]. *South China Agriculture*, 2021, **15**(7): 31-35. [陈畅, 卢生华, 高雅英. 商品成鱼瘦身加工养殖现状问题及关键技术 [J]. 南方农业, 2021, **15**(7): 31-35.]
- [3] Zhong J X, Li J W, Xie X Y, *et al.* Effects of short-term starvation on meat quality of *Trachinotus ovatus* [J]. *Journal of Jinan University* (Natural Science & Medicine Edition), 2018, **39**(5): 394-401. [钟金香, 李俊伟, 颀晓勇, 等. 短期饥饿处理对卵形鲳鲹鱼肉品质的影响 [J]. 暨南大学学报(自然科学与医学版), 2018, **39**(5): 394-401.]
- [4] Li Q Y, Huang Q B, Ye L, *et al.* Effects of starvation stress on the body weight and muscle nutrition composition of Nile tilapia [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2023, **39**(23): 109-115. [李庆勇, 黄秋标, 叶林, 等. 禁食处理对尼罗罗非鱼体重及肌肉营养成分的影响 [J]. 中国农学通报, 2023, **39**(23): 109-115.]
- [5] Guo X D, Lü H, Liu R, *et al.* Effect of depuration treatment before processing on the flesh quality of blunt snout bream (*Megalobrama amblycephala*) [J]. *Meat Research*, 2018, **32**(12): 1-7. [郭晓东, 吕昊, 刘茹, 等. 加工前净化处理对团头鲂肌肉品质的影响 [J]. 肉类研究, 2018, **32**(12): 1-7.]
- [6] Zhong J X, Li J W, Xie X Y, *et al.* Effects of short-term starvation on morphometrical, textural parameters and nutritional composition of channel catfish (*Ictalurus punctatus*) [J]. *South China Fisheries Science*, 2018, **14**(2): 90-95. [钟金香, 李俊伟, 颀晓勇, 等. 短期饥饿对斑点叉尾鲷形态、肌肉品质构成及营养组成的影响 [J]. 南方水产科学, 2018, **14**(2): 90-95.]
- [7] Zhou Y, Xiong Y, He X, *et al.* Depuration and starvation regulate metabolism and improve flesh quality of yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*) [J]. *Metabolites*, 2023, **13**(11): 1137.
- [8] Lu Q, Li K, Li Z C, *et al.* Effect of temporary rearing treatment in clear water pond on the quality improvement of largemouth bass (*Micropterus salmoides*) [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2023, **32**(3): 510-521. [鲁强, 李慷, 李征程, 等. 清水池塘吊水饥饿处理对大口黑鲈品质的提升效果 [J]. 上海海洋大学学报, 2023, **32**(3): 510-521.]
- [9] Le P Q. Chinese Zoology, Scleractinia, Cypriniformes (lower volume) [M]. Beijing: Science Press, 2000: 1-3. [乐佩琦. 中国动物志 硬骨鱼纲 鲤形目(下卷) [M]. 北京: 科学出版社, 2000: 1-3.]
- [10] 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.]
- [11] 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 & Medicine 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.]
- [12] Wen L, Li W R, Tao L, *et al.* Recirculating aquaculture pond on edible quality of polyculture grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2023, **47**(8): 1353-1362. [温利, 李温蓉, 陶玲, 等. 池塘循环水养殖对混养草鱼食用品质的影响 [J]. 水生生物学报, 2023, **47**(8): 1353-1362.]
- [13] Xu W, Yang Q, Wang Y, *et al.* The growth performance, antioxidative status and muscle quality of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) cultured in the recirculating

- pond aquaculture system (RPAS) [J]. *Aquaculture*, 2023, **562**: 738829.
- [14] Zhang W L, Ye Y T, Du R X, *et al.* Short-term fasting and improvement the food quality of pond cultured grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2023, **47**(10): 184-196. [张玮岚, 叶元土, 杜瑞雪, 等. 短期禁食改善池塘养殖草鱼的食用品质 [J]. 水产学报, 2023, **47**(10): 184-196.]
- [15] Du R X, Ye Y T, Zhang W L, *et al.* Short-term fasting in the circulating water system improves the food quality of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) and channel catfish (*Ictalurus punctatus*) [J]. *Chinese Fishery Quality and Standards*, 2023, **13**(5): 17-30. [杜瑞雪, 叶元土, 张玮岚, 等. 循环水系统短期禁食改善草鱼和斑点叉尾鲷肌肉品质 [J]. 中国渔业质量与标准, 2023, **13**(5): 17-30.]
- [16] Lv H, Hu W, Xiong S, *et al.* Depuration and starvation improves flesh quality of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) [J]. *Aquaculture Research*, 2018, **49**(9): 3196-3206.
- [17] 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.]
- [18] Cao H J, Cao Y N, Ma L, *et al.* Patterns of texture quality changes in grass carp during slimming aquaculture process and their mechanisms [J]. *Food and Fermentation Industries*, 2024, **50**(19): 216-222. [曹涵锦, 曹英楠, 马良, 等. 瘦身养殖过程中草鱼质构品质变化规律及其机制 [J]. 食品与发酵工业, 2024, **50**(19): 216-222.]
- [19] WHO, FAO, UNU. Protein and Amino Acid Requirements in Human Nutrition [R]. WHO technical report series 935. Geneva, Switzerland: World Health Organization, 2007.
- [20] Yang Y X. Chinese Food Composition 2004 [M]. Beijing: Peking University Medical Press, 2005: 234-235. [杨月欣. 中国食物成分表 2004 [M]. 北京: 北京大学医学出版社, 2005: 234-235.]
- [21] 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, 96. [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, 96.]
- [22] Dai Q, Dai J H, Li C, *et al.* Discussion on relative fatness [J]. *Chinese Journal of Applied & Environmental Biology*, 2006, **12**(5): 715-718. [戴强, 戴建洪, 李成, 等. 关于肥满度指数的讨论 [J]. 应用与环境生物学报, 2006, **12**(5): 715-718.]
- [23] Li D W, Peng T, Liu J H, *et al.* Fatness of *Saurogobio dabryi* in the Mudanjiang River, Northeast China [J]. *Journal of Mudanjiang Normal University (Natural Sciences Edition)*, 2022(2): 54-56. [李殿伟, 彭婷, 刘佳慧, 等. 牡丹江流域蛇鮈肥满度研究 [J]. 牡丹江师范学院学报(自然科学版), 2022(2): 54-56.]
- [24] Gibson Gaylord T, Gatlin D M. Dietary protein and energy modifications to maximize compensatory growth of channel catfish (*Ictalurus punctatus*) [J]. *Aquaculture*, 2001, **194**(3/4): 337-348.
- [25] Liang M Q, Lei J L, Wu X Y, *et al.* Comparison of nutrient components and quality in muscles of *Scophthalmus maximus*, *Paralichthys olivaceus* and *Cynoglossus semilaevis* [J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2010, **31**(4): 113-119. [梁萌青, 雷霖霖, 吴新颖, 等. 3种主养鲆鲽类的营养成分分析及品质比较研究 [J]. 渔业科学进展, 2010, **31**(4): 113-119.]
- [26] Cheng J H, Sun D W, Han Z, *et al.* Texture and structure measurements and analyses for evaluation of fish and fillet freshness quality: a review [J]. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2014, **13**(1): 52-61.
- [27] 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. [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.]
- [28] Hu F, Li X D, Xiong S B, *et al.* Texture properties of freshwater fish and their correlation with nutritional components [J]. *Food Science*, 2011, **32**(11): 69-73. [胡芬, 李小定, 熊善柏, 等. 5种淡水鱼肉的质构特性及与营养成分的相关性分析 [J]. 食品科学, 2011, **32**(11): 69-73.]
- [29] Huff-Lonergan E, Lonergan S M. Mechanisms of water-holding capacity of meat: the role of postmortem biochemical and structural changes [J]. *Meat Science*, 2005, **71**(1): 194-204.
- [30] Aussanasuwannakul A, Kenney P B, Weber G M, *et al.* Effect of sexual maturation on growth, fillet composition, and texture of female rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) on a high nutritional plane [J]. *Aquaculture*, 2011, **317**(1/2/3/4): 79-88.
- [31] Xin X, Su L, Jin Y. The effect of muscle fibers and their related genes on meat quality [J]. *The Food Industry*, 2014, **35**(9): 217-221. [辛雪, 苏琳, 靳焯. 肌纤维及其相关基因对肉品质的影响 [J]. 食品工业, 2014, **35**(9): 217-221.]
- [32] Li Z Y, Ding H X, Zhang L, *et al.* Comparative analysis on the nutritional quality of grass carp muscle from different habitats [J]. *Food and Fermentation Industries*, 2021, **47**(17): 133-139. [李忠莹, 丁红秀, 张露, 等. 不同生境来源的草鱼肌肉营养品质比较 [J]. 食品与发酵工业, 2021, **47**(17): 133-139.]
- [33] Liu M H, Luo H Z, Fu R B, *et al.* Biochemical composi-

- tion, amino acid and fatty acid composition in juvenile of *Miichthys miiuy* under short-time starvation [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2009, **33**(2): 230-235. [柳敏海, 罗海忠, 傅荣兵, 等. 短期饥饿胁迫对鲢鱼生化组成、脂肪酸和氨基酸组成的影响 [J]. 水生生物学报, 2009, **33**(2): 230-235.]
- [34] Zhu Z Y, Hua X M, Yu N, *et al.* Response of lipid and protein metabolism of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) to starvation [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2012, **36**(5): 756-763. [朱站英, 华雪铭, 于宁, 等. 草鱼蛋白质和脂肪代谢对饥饿胁迫的响应 [J]. 水产学报, 2012, **36**(5): 756-763.]
- [35] Zhong J X, Li J W, Xie X Y, *et al.* Effects analysis of starvation on morphology and muscle nutrients composition of *Aristichthys nobilis* [J]. *Genomics and Applied Biology*, 2019, **38**(8): 3515-3520. [钟金香, 李俊伟, 颀晓勇, 等. 饥饿处理对鳙鱼形态和肌肉营养成分的影响分析 [J]. 基因组学与应用生物学, 2019, **38**(8): 3515-3520.]
- [36] Howgate P. Tainting of farmed fish by geosmin and 2-methyl-Iso-borneol: a review of sensory aspects and of uptake/deposition [J]. *Aquaculture*, 2004, **234**(1/2/3/4): 155-181.
- [37] Zhao W L, Zhang T, Li M J, *et al.* Comparative study on body parameters, colour and meat quality characteristics of crucian carp (*Carassius auratus*) cultured under two modes [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2023, **39**(36): 148-153. [赵蔚蓝, 张婷, 李梦娇, 等. 2种养殖模式下鲫鱼型体、体色和肌肉品质的比较研究 [J]. 中国农学通报, 2023, **39**(36): 148-153.]
- [38] Sun J L, Gan Z H, Chen Y Z, *et al.* Effect of electrodialysis desalination on the amino acid compositions and volatile flavor compounds of fish sauce [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2017, **33**(10): 133-141, 44. [孙金玲, 甘忠宏, 陈瑜珠, 等. 电渗析脱盐对鱼露氨基酸和挥发性风味物质组成的影响 [J]. 现代食品科技, 2017, **33**(10): 133-141, 44.]
- [39] Machado M, Moura J, Peixoto D, *et al.* Dietary methionine as a strategy to improve innate immunity in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) juveniles [J]. *General and Comparative Endocrinology*, 2021(302): 113690.
- [40] Ye B, Liang H Y, Peng J T, *et al.* Analysis and comparison of nutritional composition and meat quality of four species of *Mastacembelus armatus* [J]. *Feed Industry*, 2024, **45**(4): 76-85. [叶彬, 梁海燕, 彭进桃, 等. 4种不同大刺鲃的营养成分与肉质分析比较 [J]. 饲料工业, 2024, **45**(4): 76-85.]
- [41] Torii K, Uneyama H, Nakamura E. Physiological roles of dietary glutamate signaling via gut-brain axis due to efficient digestion and absorption [J]. *Journal of Gastroenterology*, 2013, **48**(4): 442-451.
- [42] Brosnan J T, Brosnan M E. Glutamate: a truly functional amino acid [J]. *Amino Acids*, 2013, **45**(3): 413-418.
- [43] 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.]
- [44] 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. [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.]
- [45] Høstmark A T, Haug A. The inverse association between relative abundances of oleic acid and arachidonic acid is related to alpha-linolenic acid [J]. *Lipids in Health and Disease*, 2014(13): 76.
- [46] Sun Y J, Chang C, Wu Z H, *et al.* Role and mechanism of polyunsaturated fatty acids on potassium ion channels [J]. *Progress in Biochemistry and Biophysics*, 2024, **51**(1): 5-19. [孙雨蕉, 常超, 吴振华, 等. 多不饱和脂肪酸对钾通道的调控作用及机理 [J]. 生物化学与生物物理进展, 2024, **51**(1): 5-19.]
- [47] Wang P, Zhang Y B, Jiang M L. Research advance in polyunsaturated fatty acid [J]. *China Oils and Fats*, 2008, **33**(12): 42-46. [王萍, 张银波, 江木兰. 多不饱和脂肪酸的研究进展 [J]. 中国油脂, 2008, **33**(12): 42-46.]
- [48] Yao Z H, Liu K Z, Hu Y H, *et al.* Research progress on application of unsaturated fatty acids in ruminant diets [J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2024, **36**(2): 708-715. [姚朝辉, 刘凯珍, 虎业浩, 等. 不饱和脂肪酸在反刍动物饲料中的应用研究进展 [J]. 动物营养学报, 2024, **36**(2): 708-715.]
- [49] Oppedisano F, Macri R, Gliozzi M, *et al.* The anti-inflammatory and antioxidant properties of n-3 PUFAs: their role in cardiovascular protection [J]. *Biomedicines*, 2020, **8**(9): 306.
- [50] Kaçar S, Başhan M, Oymak S A. Effect of seasonal variation on lipid and fatty acid profile in muscle tissue of male and female *Silurus triostegus* [J]. *Journal of Food Science and Technology*, 2016, **53**(7): 2913-2922.
- [51] Chen Z, Kong Y, Huang Z, *et al.* Exogenous alpha-linolenic acid and *Vibrio parahaemolyticus* induce EPA and DHA levels mediated by delta-6 desaturase to enhance shrimp immunity [J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2024(257): 128583.

LEAN AQUACULTURE PATTERN ON MUSCLE QUALITY OF GRASS CARP (*CTENOPHARYNGODON IDELLUS*)

WANG Liu-Yong, LIU De-Lu, DENG Ting and GUO Hai-Yan
(Chongqing Fishery Science Research Institute, Chongqing 400020, China)

Abstract: Lean aquaculture is the culture mode of selecting disease-free, injury-free, robust, and marketable adult fish into high-quality water source under a zero-feed regimen. This approach aims to improve the muscle quality of freshwater fish through periods of starvation and exercise. A large number of studies have demonstrated that short-term lean aquaculture can improve the muscle quality of freshwater fish to a certain extent. However, research on the long-term effect of lean aquaculture on the muscle quality of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) is limited, necessitating further information for practical applications in aquaculture. In order to investigate the effect of lean aquaculture pattern on the muscle quality of *C. idellus*, the present study compared the morphometric data, textural characteristics, general nutrients, odorants, amino acid, and fatty acid indices of control and lean fish after 8 months of lean aquaculture. The morphometric results showed that the condition factor, viscerosomatic index, hepatosomatic index, and intraperitoneal fat index of lean fish were significantly lower than those of control fish ($P < 0.05$). Additionally, muscle hardness, springiness, gumminess, chewiness, and shearing force were significantly greater in lean fish than that in control fish ($P < 0.05$). Comparison of general nutrients revealed that crude fat and crude protein content in lean fish muscle were significantly lower than those in control fish ($P < 0.05$). The ash content did not significantly differ between the two groups ($P > 0.05$), while the water content was significantly higher in lean fish ($P < 0.05$). Notably, geosmin (GSM) and 2-methylisotretinoin (2-MIB) were undetectable in the muscle of both lean and control fish. Comparison of amino acids showed that the total amino acids (TAA), total essential amino acid (TEAA), and total delicious amino acid (TDAA) in the muscle of lean fish were significantly higher than those in control fish ($P < 0.05$). The percentage of total essential amino acid to total non-essential amino acid (TEAA/TNEAA) and the percentage of total essential amino acid to total amino acid (TEAA/TAA) in lean fish muscle was 87.82% and 42.44%. The percentage of total essential amino acid to total non-essential amino acid (TEAA/TNEAA) and the percentage of total essential amino acid to total amino acid (TEAA/TAA) in the muscle of control fish was 56.91% and 34.98%. The results of amino acid nutritional evaluation showed that the amino acid score (AAS), chemical score (CS), and essential amino acid index (EAAI) were all higher in the muscle of lean fish than those in control fish. Fatty acid analysis showed that the percentages of polyunsaturated fatty acid (PUFA), *n*-3 PUFA, *n*-6 PUFA, EPA, and DHA to total fatty acid in lean fish muscle were significantly higher than those in control fish ($P < 0.05$). The study demonstrates that the lean aquaculture pattern can effectively enhance both the body shape and muscle quality of *C. idellus*. The results of the related research provide foundational information for the exploration of lean aquaculture practices for this species and serve as a reference for the aquaculture production practice.

Key words: Lean fish; Aquaculture pattern; Muscle quality; *Ctenopharyngodon idellus*