

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20240813003

引用格式: 王扬, 李思敏, 张毅, 等. 生态净化养殖时间对中华鳖肌肉营养成分和品质的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(1): 102–110.

WANG Y, LI SM, ZHANG Y, *et al.* Effects of ecological purification breeding time on the nutrient composition and quality of *Trionyx sinensis* muscle [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(1): 102–110. (in Chinese with English abstract).

生态净化养殖时间对中华鳖肌肉营养成分和品质的影响

王 扬¹, 李思敏¹, 张 毅², 周秀珍², 郑团建³, 柯庆青¹, 马文君^{1*}

(1. 浙江省水产技术推广总站, 杭州 310023; 2. 浙江海洋大学食品与药学学院, 舟山 316022;
3. 淳安千岛湖清水鳖养殖有限公司, 杭州 311700)

摘 要: **目的** 比较中华鳖在不同生态净化养殖阶段其肌肉营养成分和品质指标变化。**方法** 测定在净化第 0、15、30 d 中华鳖形态指标、肌肉和裙边中蛋白质、脂肪、氨基酸和脂肪酸等营养成分, 并结合质构特性比较其营养与品质变化。**结果** 随着生态净化养殖时间延长, 中华鳖的粗脂肪呈现先快速下降后微上升的趋势, 粗蛋白呈现先上升后下降的趋势, 总氨基酸含量呈现下降趋势。整个生态净化养殖中, 中华鳖肌肉中的粗蛋白、粗脂肪含量和裙边的水分、灰分有显著变化($P<0.05$)。饱和脂肪酸、单不饱和脂肪酸、多不饱和脂肪酸含量在净化前后都有显著差异($P<0.05$), 且饱和脂肪酸和多不饱和脂肪酸在 15 d 时含量上升。除了缬氨酸、脯氨酸外, 其他氨基酸均有所下降, 且净化 30 d 的肌肉中半胱氨酸、赖氨酸、谷氨酸、组氨酸、天冬氨酸、甘氨酸和丙氨酸与未净化的有显著性下降($P<0.05$)。在全质构模式下, 净化 15 d 的中华鳖肌肉的硬度、胶着性、咀嚼性与净化前的有明显提升($P<0.05$)。**结论** 相比传统池塘养殖中华鳖的粗蛋白含量、必需氨基酸以及鲜味氨基酸总量都明显提高, 最佳净化时间为 15 d。生态净化养殖能改善中华鳖的品质, 较好地符合消费者的需求, 是一种值得运用在生产实践中的净化养殖方法, 有利于增加优质优价中华鳖供给, 为高品质水产品的品质提升提供研究数据。

关键词: 中华鳖; 生态净化养殖; 营养成分; 质构特性

Effects of ecological purification breeding time on the nutrient composition and quality of *Trionyx sinensis* muscle

WANG Yang¹, LI Si-Min¹, ZHANG Yi², ZHOU Xiu-Zhen²,
ZHENG Tuan-Jian³, KE Qing-Qing¹, MA Wen-Jun^{1*}

(1. Zhejiang Fisheries Technical Extension Center, Hangzhou 310023, China;
2. College of Food and Pharmacy, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316022, China;
3. Chun'an Qiandao Lake Qingshui Turtle Breeding Co., Ltd., Hangzhou 311700, China)

收稿日期: 2024-08-13

基金项目: 浙江省“三农六方”科技协作计划项目(2021SNLF025); 浙江省“三农九方”科技协作计划“揭榜挂帅”项目(2023SNJF072)

第一作者: 王扬(1973—), 女, 硕士, 正高级工程师, 主要研究方向为水产品质量安全和加工。E-mail: 1752315020@qq.com

*通信作者: 马文君(1974—), 男, 高级工程师, 主要研究方向为水产养殖技术。E-mail: mwj8890@163.com

ABSTRACT: Objective To compare the changes in muscle nutritional components and quality indicators of *Trionyx sinensis* at different stages of ecological purification breeding. **Methods** Nutritional parameters such as morphological index and protein, fat, amino acid and fatty acid in muscle and skirt were measured during the 0th, 15th and 30th d of purification, and the nutritional and quality changes of *Trionyx sinensis* were compared with the textural and structural characteristics. **Results** With the extension of ecological purification breeding time, the crude fat of *Trionyx sinensis* showed a trend of rapid decline followed by a slight increase, while the crude protein showed a trend of initial increase followed by a decrease. The total amino acid content showed a decreasing trend. In the entire ecological purification breeding process, there were significant changes in the crude protein and crude fat content in the muscles of *Trionyx sinensis* ($P<0.05$), as well as in the moisture and ash content of their skirts. There were significant differences in the content of saturated fatty acids, monounsaturated fatty acids, and polyunsaturated fatty acids before and after purification ($P<0.05$), and the content of saturated fatty acids and polyunsaturated fatty acids increased at 15 days. Except for valine and proline, all other amino acids decreased, and there was a significant decrease in cysteine, lysine, glutamate, histidine, aspartic acid, glycine, and alanine in the purified muscles after 30 days compared to the untreated ones ($P<0.05$). In the whole texture mode, the hardness, adhesion and mastication of the muscle of *Trionyx sinensis* purified for 15 days were significantly improved ($P<0.05$) compared with that of the muscle before purification. **Conclusion** Compared with traditional pond aquaculture of *Trionyx sinensis*, the crude protein content, essential amino acids, and total umami amino acids are significantly increased, and the optimal purification time is 15 d. Ecological purification breeding can improve the quality of *Trionyx sinensis* and better meet the needs of consumers. It is a purification breeding method worth applying in production practice, which is conducive to increasing the supply of high-quality and cost-effective *Trionyx sinensis* and providing research data for improving the quality of high-quality aquatic products.

KEY WORDS: *Trionyx sinensis*; ecological purification breeding; nutritional composition; textural properties

0 引 言

中华鳖(*Trionyx sinensis*), 别名王八、团鱼等, 属爬行纲、龟鳖目、鳖科、鳖属, 是效益高、发展快的主要养殖水产品之一^[1]。中华鳖作为传统滋补食材, 鳖肉嫩弹, 鳖汤鲜香, 有着很高的营养价值^[2-3], 肌肉中含有丰富的蛋白质^[4-5], 同时还富含磷、铁等矿物质^[6]以及维生素 B₁、维生素 B₂ 等维生素^[7], 深受消费市场欢迎。

随着中华鳖养殖产业的不断发展, 养殖技术也在不断进步, 目前对中华鳖养殖技术研究主要集中在养殖模式^[8-10]、饲料配方^[11-14]、养殖周期^[15-16]等因素差异对其营养成分和品质的影响。然而养殖者为了追求利益最大化, 对养殖鳖采取集约化高密度养殖方式, 导致中华鳖品质降低、压价现象常有发生。净化养殖可以提升水产品肌肉营养品质^[17]。目前净化养殖方式主要应用于多种水产鱼类以提高鱼类肌肉品质, 如王扬等^[18]将净养 40 d 后的乌鳢与传统养殖乌鳢进行比较, 发现前者的水分、粗蛋白、肥满度、必需氨基酸、鲜味氨基酸含量以及质构硬度、回复性、咀嚼性均比后者的高。崔雁娜等^[19]探究发现大口黑鲈暂净化后肌肉土腥味减少。周秀珍等^[20]比较了大口黑鲈肌肉在净化养殖前

后的品质变化, 发现净化养殖后的鱼肉硬度、内聚性、咀嚼性、弹性、胶黏性均有若在销售前通过选择合适的净化养殖条件优化中华鳖品质, 从而提高中华鳖经济效益。ZAJIC 等^[21]研究发现鲤鱼在为期 70 d 的清水禁食饲养期间, 不饱和脂肪酸含量持续增加, 脂肪含量持续减少。LV 等^[22]将商业养殖草鱼放到天然湖泊中净化养殖并且停止投食, 发现净化后的鱼肉的弹力、硬度、胶黏性显著增加, 壬醛、己醛等腥味物质显著降低。虽然净化养殖方式对水产品品质影响的研究较多, 但主要以鱼类为主, 鲜少有对于净化养殖对中华鳖品质影响的相关研究^[23]。

本研究通过对中华鳖在生态净化养殖不同阶段形态指标的测量和比较, 同时对蛋白质、粗脂肪、氨基酸、脂肪酸等营养成分含量和质构指标的测定与对比, 研究在不同生态净化养殖时间下中华鳖的形态和营养品质变化情况, 为优化中华鳖养殖模式和提升产品品质提供新的可行性方案, 助力中华鳖养殖产业和加工产业实现高质量发展。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

中华鳖日本品系, 越冬 3 龄, 雄雌各半, 淳安千岛湖

清水鳖养殖有限公司提供。

五水合硫酸铜、硫酸钾、氢氧化钠、硅油消泡剂、焦性没食子酸、氯化钠、无水硫酸钠(分析纯,上海阿拉丁生化科技股份有限公司);硫酸、盐酸、硼酸、石油醚、无水乙醚、甲醇、正己烷、95%乙醇(分析纯,上海凌峰化学试剂有限公司);酚酞、甲基红、甲基蓝、三氯化硼甲醇(分析纯,上海麦克林生化科技有限公司)。

1.2 仪器与设备

DGG-9070A 电热恒温鼓风干燥箱(上海东麓仪器设备有限公司);AFF11/18/3216D 小型焚烧炉(英国 Carbolite 科技有限公司);K-370 凯氏定氮仪(瑞士 BUCHI 公司);L-8900 全自动氨基酸分析仪(日本日立公司);DB-23 色谱柱(60 m×0.250 mm, 0.15 μm)、8900N 气相色谱仪、6890-7000B 气相色谱-三重四极杆串联质谱仪(美国安捷伦科技有限公司);TA-TXplus 质构仪(英国 SMS 公司);XPE205DR 电子天平(精度 0.0001 g, 杭州康迪仪器设备有限公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 样品处理

中华鳖从池塘中转入恒定水温的塑料水槽(30 cm×30 cm)单独净化养殖,停止投喂,微流水循环系统网格内水位保持在 10 cm 左右,水温保持在 2~5 °C,隔天换水,监控调节水体 pH、亚硝酸盐及氨氮含量,保持良好健康的生存环境,全程无菌操作。样品分别在净化养殖时间为 0、15、30 d 取样检测。

1.3.2 形态指标测定

不同净化时间随机选取 30 只中华鳖,雌雄各 15 只,根据 GB/T 21044—2007《中华鳖》的方法,按照图 1 标注,测量活体中华鳖的质量、体高、体长、颈宽、颈长、背甲长、背甲宽、后侧裙边宽、腹甲宽、腹甲长、前肢长、体宽,按照肖凤芳^[24]的方法计算其长宽比。从中随机选取 3 只中华鳖,自然光照活体常温运回实验室,解剖后将肝脏、内脏完好取出,用干净纱布吸净血渍,称取肝脏质量、内脏脂肪团质量,计算肝体比、脏体比、空壳率;将背甲、裙边整齐剪下,用干净纱布吸净血渍,称取背甲质量、裙边重量,计算背甲指数、裙边指数、背甲比值、裙边比值。根据蒋迪等^[25]的方法进行各指标测量及计算。

各项指标计算如公式(1)~(8):

$$\text{长宽比} = \frac{\text{体长/cm}}{\text{体宽/cm}} \quad (1)$$

$$\text{肝体比} = \frac{\text{肝脏质量/g}}{\text{体质量/g}} \quad (2)$$

$$\text{脏体比} = \frac{\text{内脏脂肪团质量/g}}{\text{体质量/g}} \quad (3)$$

$$\text{空壳率/\%} = \frac{\text{去除内脏后的质量/g}}{\text{体质量/g}} \times 100\% \quad (4)$$

$$\text{背甲指数/\%} = \frac{\text{背甲质量/g}}{\text{体质量/g}} \times 100\% \quad (5)$$

$$\text{裙边指数/\%} = \frac{\text{裙边质量/g}}{\text{体质量/g}} \times 100\% \quad (6)$$

$$\text{背甲比值} = \frac{\text{背甲长/cm}}{\text{体长/cm}} \quad (7)$$

$$\text{裙边比值} = \frac{\text{裙边长/cm}}{\text{体长/cm}} \quad (8)$$

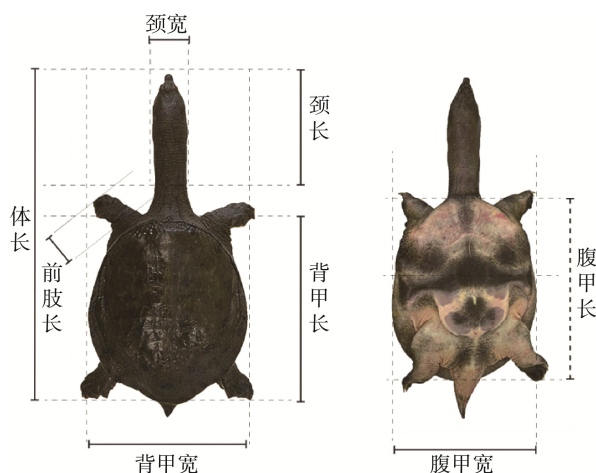


图1 甲鱼形态性状测量平面图

Fig.1 Measurement map of morphological characters *Trionyx sinensis*

1.3.3 肌肉和裙边中常规营养成分测定

水分含量测定按照 GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》的第一法—直接干燥法;

粗灰分含量测定按照 GB 5009.4—2016《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》的第一法—食品中总灰分的测定;

粗蛋白含量测定按照 GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》的第二法—全自动凯氏定氮法;

粗脂肪含量测定按照 GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》的第一法—索氏抽提法。

1.3.4 脂肪酸测定

脂肪酸组成和含量测定按照 GB 5009.168—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪酸的测定》的第一法—气相色谱法。

1.3.5 氨基酸测定和评价

氨基酸组成和含量按照 GB 5009.124—2016《食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定》,用全自动氨基酸分析仪测定。根据联合国粮农组织/世界卫生组织(United Nations Food and Agriculture Organization/World Health Organization, FAO/WHO)建议的全鸡蛋蛋白氨基酸和氨基酸评分标准^[18],按照公式(9)~(10)计算中华鳖氨基酸评分(amino acid score, AAS)、化学评分(chemical score, CS)。

AAS=

待测样品中必需氨基酸含量/(mg/g)

FAO/WHO评分标准模式相对应的必需氨基酸含量/(mg/g) (9)

CS=

待测样品中必需氨基酸含量/(mg/g)

鸡蛋蛋白中相对应的必需氨基酸含量/(mg/g) (10)

式中: mg/g 表示每 g 氮中氨基酸的 mg 量(肌肉氨基酸含量×62.5/肌肉蛋白质的百分含量)。

1.3.6 裙边的质构特征测定

将 1.3.2 取得的裙边, 用剪刀剪取裙边中段, 剪成 2 cm×2 cm 的正方形, 放于水中煮沸 20 min, 冷却至室温平整地摆放于测量台上, 安装 2 mm 直径的 P/6 柱形探头, 参照程小飞等^[13]的质地剖面分析, 又被称为两次咀嚼测试(texture profile analysis, TPA)测试实验, 调整测前、测中、侧后速度为 1 mm/s, 形变距离 3 mm, 测定时间 2 s, 触发力 5 g, 测定硬度、弹性、内聚性、胶着性、咀嚼性和回复性。

1.4 数据处理

实验重复 3 次测定, 用 Excel 2016 归纳整理所得的实验数据, 用 SPSS 27 软件对所有数据做统计分析和显著性差异分析, 以平均值±标准偏差形式表示结果, $P<0.05$ 表示显著性差异。

2 结果与分析

2.1 形体指标分析

中华鳖的形体指标是判断其生长状况和营养状况的表观指标^[7-8]。表 1 显示, 中华鳖在 3 个净化养殖的测量时间节点中, 体高在 30 d 时最低, 颈长在 15 d 时最短, 后侧裙边宽、前肢长在未净化前最短。背甲长/体高、背甲宽/体高比值越小, 表明相同体高条件下, 看起来更高更圆, 从视觉效果上显得形体相对圆润, 在消费市场上更受欢迎。根据形体测量结果计算, 发现中华鳖净化养殖过程中背甲长/体高、背甲宽/体高逐渐变大, 随着净化养殖时间延长, 逐渐呈现出相对圆润的视觉感受^[7-8]。中华鳖裙边越宽大厚实, 吃起来越有胶质感, 可以补充胶原蛋白, 是消费者在选购时除了观察外形、活力、背壳和脚趾之外的重要考虑因素, 因此裙边宽厚程度会直接影响消费者购买行为。从表 1 结果来看, 后侧裙边在整个净养过程中有逐渐增宽的趋势, 且 15 d 和 30 d 之间没有显著性差异($P>0.05$)。综合来看, 净化养殖 15 d 的中华鳖的外观更符合消费者购买倾向。

表 1 中华鳖在净化养殖过程中形体指标变化情况				
Table 1 Changes in morphological indicators of <i>Trionyx sinensis</i> during ecological purification breeding process				
形体指标		0 d	15 d	30 d
解剖前	体质量/g	608.67±97.33	610.00±105.47	608.70±106.19
	体高/cm	4.95±0.38 ^a	4.90±0.48 ^a	4.58±0.44 ^b
	体长/cm	30.83±3.73	30.43±2.54	30.41±2.80
	体宽/cm	13.54±1.14	13.52±1.16	13.56±1.24
	颈宽/cm	2.82±0.27	2.76±0.28	2.74±0.28
	颈长/cm	11.23±1.39 ^a	10.12±1.18 ^b	10.32±1.79 ^a
	背甲长/cm	16.36±1.93	16.71±1.66	16.83±1.84
	背甲宽/cm	13.45±1.44	14.48±1.17	13.77±1.46
	后侧裙边宽/cm	2.36±0.49 ^b	2.66±0.62 ^a	2.77±0.65 ^a
	腹甲宽/cm	12.79±1.17	12.89±1.12	12.75±1.19
	腹甲长/cm	12.57±0.80	12.50±0.67	12.47±0.81
	前肢长/cm	6.45±0.98 ^b	7.00±1.06 ^a	7.19±1.03 ^a
	长宽比	2.27±0.18	2.25±0.11	2.24±0.09
	背甲比值	0.53±0.04	0.56±0.02	0.55±0.03
解剖后	裙边长/mm	31.94±5.22	25.00±4.51	30.40±6.03
	裙边质量/g	32.89±15.54	19.59±4.86	26.08±16.77
	背甲质量/g	119.28±18.73	95.78±25.51	96.22±18.72
	肝脏重/g	15.85±0.95 ^a	11.51±1.33 ^b	17.87±1.70 ^a
	空壳/g	558.83±148.67	478.24±141.72	504.92±145.97
	内脏脂肪团重/g	39.59±4.09 ^a	28.78±7.55 ^b	43.89±6.98 ^a
	背甲指数/%	16.64±0.02	17.81±0.29	16.26±0.10
	裙边指数/%	4.41±1.33	3.65±0.00	4.15±1.55
	裙边比值	0.11±0.01	0.09±0.02	0.11±0.01
	肝体比	0.02±0.00	0.02±0.01	0.03±0.01
	脏体比	0.06±0.01	0.05±0.02	0.07±0.00
	空壳率/%	76.95±0.80	88.50±0.35	84.06±0.70

注: 不同字母表示组间具有显著性差异($P<0.05$), 表 2~4、6 同。

中华鳖的空壳率、内脏脂肪团重量、肝体比、脏体比等是衡量中华鳖品质的重要形体指标。空壳率是指去除背甲后的可食部分与体重的比值,空壳率越高,说明中华鳖的可食用比例越大;内脏脂肪团是中华鳖摄能力消耗不掉时贮存的形式,脂肪过多或者过少都会影响中华鳖烹饪后的口感;肝体比和脏体比能反映中华鳖的健康状况^[9]。表 1 中形体指标结果显示,中华鳖在净化养殖 15 d 时内脏脂肪团重是最低的,空壳率是最高的。分析原因可能是盒式养殖环境和无食物投喂的养殖方法限制了中华鳖的生长,且随着未进食时间的延长,短时间内中华鳖先消耗内脏和肝脏周围的营养物质以供日常代谢活动,使得其体高、壳重、内脏脂肪团重量等在净化养殖的 15 d 的测量时间节点上相比未净化养殖时呈现出下降的趋势,但净化养殖 15 d 后可能由于自身代谢系统的调整和对环境的逐渐适应,各个参数又有所回升,但整

体比未净化养殖时要有所降低。

2.2 肌肉和裙边的常规性营养成分分析

中华鳖净化过程中肌肉和裙边的一般营养成分含量变化如表 2 所示。对于中华鳖肌肉而言,整个净化养殖过程中,水分、粗脂肪含量随着净化时间的延长先下降后上升,灰分、粗蛋白含量随着净化养殖时间的延长呈现出先上升后下降的趋势。在 0、15、30 d 这 3 个净化养殖时间点上,净化养殖 15 d 时肌肉中水分、粗脂肪含量最低,灰分、粗蛋白含量最高。对于中华鳖裙边而言,整个净化养殖过程中,水分含量整体呈下降趋势,灰分含量随着净化养殖时间的延长呈现出先上升后下降的趋势,粗蛋白含量整体呈现上升趋势,粗脂肪含量基本保持不变。在 0、15、30 d 这 3 个净化养殖时间点上,养殖 15 d 时中华鳖肌肉的灰分、粗蛋白含量均为最高。

表 2 中华鳖在净化养殖过程中肌肉、裙边的基本营养成分变化情况(g/100 g)
Table 2 Changes in basic nutritional components of muscles and calipash of *Trionyx sinensis* during ecological purification breeding process (g/100 g)

指标	肌肉			裙边		
	0 d	15 d	30 d	0 d	15 d	30 d
水分	79.28±0.78	78.95±0.65	79.02±0.78	74.00±0.49 ^a	72.29±0.38 ^b	70.40±0.28 ^c
灰分	1.03±0.03	1.05±0.04	1.01±0.03	0.74±0.09 ^{ab}	0.89±0.13 ^a	0.60±0.04 ^b
粗蛋白	19.03±0.74 ^b	21.39±0.79 ^a	19.46±0.47 ^a	27.41±0.21 ^c	28.34±0.50 ^b	30.21±0.17 ^a
粗脂肪	0.39±0.10 ^a	0.11±0.08 ^b	0.17±0.05 ^b	0.04±0.02	0.04±0.03	0.04±0.03

养殖方式会影响水生动物的营养成分^[27]。本研究结果显示,在净化养殖过程中,中华鳖脂肪营养成分变化趋势与李虹辉^[23]的研究结果基本一致。在评价中华鳖营养价值时,蛋白质含量和脂肪含量是较为常用的两项重要指标^[28-29]。中华鳖的肌肉在净化 15 d 时表现出蛋白含量显著增加、脂肪含量显著减少($P<0.05$),裙边的蛋白质含量呈现增长趋势,可能是由于在低温的盒式单体养殖条件下,中华鳖活动空间变小、环境温度较低,加之净化养殖开始后停止投喂,在食物短缺情况下,使得中华鳖优先消耗脂肪来供能。同时降低活跃度,减缓新陈代谢,从而能更好地适应现有的生存条件。此外,在净化养殖 15 d 时,中华鳖肌肉、裙边的粗蛋白比原生态养殖(18.37 g/100 g, 27.36 g/100 g)、池塘养殖(17.05 g/100 g, 24.92 g/100 g)、温室养殖(17.41 g/100 g, 24.35 g/100 g)^[1]的要略高,而肌肉和裙边所测得的粗脂肪含量比原生态养殖(0.77 g/100 g, 0.22 g/100 g)、池塘养殖(0.71 g/100 g, 0.30 g/100 g)、温室养殖(0.54 g/100 g, 0.56 g/100 g)^[1]的要略低。因此从常规营养成分角度而言,中华鳖在盒式单体净化养殖模式下,适宜的净化养殖时间为 15 d。

2.3 肌肉中脂肪酸组成及含量分析

净化养殖过程中中华鳖肌肉脂肪酸测定结果如表 3 中显示,整个净化过程中中华鳖的脂肪酸组成未减少,共有

27 种,包括 10 种 SFA 和 17 种不饱和脂肪酸(MUFA 8 种、PUFA 9 种)。但随着净化时间的延长,SFA、PUFA 的含量呈现先上升后下降的趋势,MUFA 的含量呈现先下降后上升的趋势。净化 15 d 的肌肉中 MUFA、PUFA 含量与黄鳍金枪鱼(24.0%, 23.2%)^[30]、养殖大黄鱼(35.6%、29.9%)^[31]、鸡蛋(40.0%~45.0%、20.0%~25.0%)^[32]的含量情况相近,这说明净化养殖 15 d 的中华鳖在脂肪酸组成方面仍然具有营养价值。

表 3 显示,不同净化时间中华鳖肌肉中脂肪酸相对含量变化。从脂肪酸含量来看,净化 15 d 后肌肉中 SFA 总相对含量相比未净化的有显著性提高($P<0.05$);净化 15 d 和 30 d 后的肌肉中 C14:0 相对含量比未净化的有显著性下降($P<0.05$);未净化的肌肉中 C18:0 相对含量与 15 d 的有显著性差异($P<0.05$);净化 15 d 后的肌肉中 C20:0 相对含量净化相比 30 d 有显著性下降($P<0.05$);净化 15 d 的肌肉中 C22:0 相对含量显著性提高($P<0.05$)。不饱和脂肪酸方面,净化 15 d 后的肌肉中 MUFA 与 C20:1 相对含量比未净化的、30 d 的有显著性下降($P<0.05$);净化 15 d 后的肌肉中 C17:1n7、C18:1n9c、C22:1n9 比未净化的有显著性下降($P<0.05$)。PUFA 方面,肌肉中的 SFA 相对含量在净化 0、15、30 d 均有显著性差异($P<0.05$),净化 15 d 后的肌肉中

C18:2n6c、C20:3n6 比未净化的有显著性提高($P<0.05$), 净化 15 d 后的肌肉中 C22:2n6 比未净化的、净化 30 d 有显著性降低($P<0.05$)。

表3 中华鳖在净化养殖过程肌肉中的脂肪酸组成及含量变化情况(%)
Table 3 Changes in fatty acid composition and content in the muscles of *Trionyx sinensis* during ecological purification breeding process (%)

脂肪酸	0 d	15 d	30 d
C12:0	0.02±0.00	0.03±0.01	0.03±0.01
C14:0	1.06±0.03 ^a	0.63±0.05 ^b	0.77±0.16 ^b
C15:0	0.26±0.06	0.20±0.02	0.20±0.02
C16:0	11.48±0.09	10.56±0.23	10.92±0.82
C17:0	0.27±0.04	0.20±0.02	0.22±0.04
C18:0	5.39±0.09 ^b	6.49±0.15 ^a	6.17±0.68 ^{ab}
C20:0	0.14±0.01 ^a	0.08±0.01 ^b	0.12±0.01 ^a
C21:0	0.22±0.01	0.36±0.12	0.24±0.03
C22:0	9.21±0.41 ^c	12.89±0.12 ^a	10.24±0.74 ^b
C24:0	0.39±0.04	0.48±0.08	0.51±0.10
SFA	28.47±0.39 ^b	31.90±0.63 ^a	29.43±0.76 ^b
C14:1n5	0.11±0.03	0.07±0.03	0.10±0.01
C16:1n7	8.17±0.12	6.15±1.32	7.73±1.06
C17:1n7	0.26±0.02 ^a	0.16±0.02 ^b	0.22±0.03 ^a
C18:1n9c	19.70±0.48 ^a	14.92±0.09 ^b	19.69±0.43 ^a
C18:1n9t	5.73±0.46	5.78±0.72	5.94±0.25
C20:1	1.46±0.04 ^a	0.85±0.06 ^c	1.08±0.12 ^b
C22:1n9	0.37±0.06 ^a	0.27±0.05 ^b	0.33±0.02 ^{ab}
C24:1n9	12.42±0.35	12.53±0.36	10.88±2.09
MUFA	48.22±0.41 ^a	40.73±0.29 ^c	45.64±0.58 ^b
C18:2n6t	0.23±0.01 ^a	0.18±0.04 ^{ab}	0.16±0.03 ^b
C18:2n6c	15.93±0.24 ^b	17.86±1.22 ^a	17.09±0.23 ^{ab}
C18:3n3	0.14±0.02	0.15±0.04	0.14±0.03
C18:3n6	1.02±0.09	0.84±0.21	0.97±0.14
C20:2	0.28±0.05	0.37±0.10	0.29±0.05
C20:3n6	3.38±0.67 ^b	5.71±0.40 ^a	4.27±0.87 ^b
C20:5n3	0.07±0.02	0.09±0.01	0.07±0.02
C22:2n6	0.20±0.02 ^a	0.14±0.02 ^b	0.18±0.01 ^a
C22:6n3	2.05±0.46	2.03±0.16	1.77±0.21
DHA+EPA	2.13±0.02 ^a	2.13±0.16 ^a	1.83±0.23 ^b
PUFA	23.29±0.07 ^c	27.36±0.39 ^a	24.94±0.84 ^b

注: SFA. 饱和脂肪酸(saturated fatty acids); MUFA. 单不饱和脂肪酸(monounsaturated fatty acids); PUFA. 多不饱和脂肪酸(polyunsaturated fatty acids); DHA. 二十二碳六烯酸(docosahexaenoic acid); EPA. 二十碳五烯酸(eicosapentaenoic acid)。

从脂肪酸组成来看, 硬脂酸(C18:0)具有减少皮肤自由基损伤、抗衰老、修复胰岛素敏感度和抗炎症等作用^[33]。神经酸(C24:1n9)具有能够促进神经元生长、提高脑神经, 调节血压血脂、保护心脏血管, 促进免疫细胞修复、增强免疫力等作用^[33-34]。亚油酸(C18:2n6c)具有保护心脑血管、预防动脉硬化、促进脑补发育、延缓衰老等作用; 亚麻酸(C18:3n3)对儿童智力、生长发育、视力保护具有促进作用;

花生二烯酸(C20:2)有助于帮助降低血液中胆固醇含量、改善血液循环; 二十碳三烯酸(C20:3n6)受热容易生成庚醛、4-庚烯醛等挥发性化合物, 对中华鳖肌肉风味具有重要贡献^[35-36], EPA 和 DHA 被认为是生长发育的脂肪酸, 有预防心血管疾病等作用^[33-35]。本研究中, 净化 15 d 的中华鳖肌肉中硬脂酸的相对含量比未净化的有显著性增加($P<0.05$), 神经酸、亚油酸、亚麻酸、花生二烯酸、二十碳三烯酸的相对含量比未净化的有所增加, DHA 和 EPA 总相对含量没有明显减少。

此外, 脂肪酸是鳖肉在加热时形成香气的重要成因之一, 特别是肌肉里的 PUFA 含量, 不仅与香味浓度成正比相关, 也在一定程度上反映了鳖肉的多汁程度^[36]。本研究中, 净化 15 d 的中华鳖肌肉中 PUFA 总相对含量比未净化的有所增加, 且与 0 d、30 d 有着显著差异($P<0.05$), 这说明, 净化 15 d 左右的中华鳖肌肉多汁性相对可能更好。从脂肪酸组成和含量角度来看, 净化养殖 15 d 可以较好提升中华鳖的脂肪酸营养价值。

2.4 肌肉中氨基酸组成分析与评价

人类之所以日常需要摄入蛋白质, 本质上是为了补充自身缺乏的小分子肽和氨基酸^[37]。因此, 分析中华鳖肌肉中所含必需氨基酸多少的变化趋势, 不仅是判断蛋白质营养的重要决定指标之一^[36-37], 也能用于评价不同净化养殖阶段里中华鳖的营养价值高低, 初步判断生态净化养殖效果的好坏^[33,37]。表 4 显示, 中华鳖肌肉的 TAA 随着净化时间延长而下降, 净化 30 d 的肌肉中 TAA 的含量最低; EAA 中, 除了缬氨酸外, 其他氨基酸均有所下降, 且净化 30 d 的肌肉中半胱氨酸、赖氨酸含量比未净化的有显著性下降($P<0.05$); NEAA 中, 净化 30 d 的肌肉中的 NEAA 含量也显著性下降($P<0.05$), 净化 30 d 的肌肉中谷氨酸、组氨酸、天冬氨酸、甘氨酸和丙氨酸与未净化的有显著性下降($P<0.05$)。氨基酸的这一变化趋势可能是饥饿时间过久, 导致肌肉抗氧化能力受损产生氧化应激反应^[23]。

缬氨酸能促进脑细胞代谢, 增强抗氧化能力, 改善血管功能增强兴奋性神经功能。蛋氨酸具有促进肝脏代谢和排毒, 改善记忆力, 降低心脏病风险, 提高免疫力等功效。苏氨酸能促进肌肉生长、脂肪代谢、保护肝脏。丝氨酸会加快体内脂肪分解、代谢, 刺激肌肉生长。脯氨酸具有促进免疫细胞发育、增强免疫力、促进肌肉生长等作用^[33,37]。由表 4 可知, 净化 15 d 的肌肉中缬氨酸、蛋氨酸、苏氨酸、丝氨酸、脯氨酸含量相对未净化的有所上升, 此时的蛋氨酸、苏氨酸这两个必需氨基酸含量比原生态养殖鳖(0.49 g/100 g、0.93 g/100 g)、池塘养殖鳖(0.50 g/100 g、0.91 g/100 g)、温室养殖鳖(0.48 g/100 g、0.88 g/100 g)^[1] 中的含量要高。

另外, 净化养殖 30 d 的中华鳖肌肉中, 呈鲜味的谷氨酸和天冬氨酸、呈甘味的甘氨酸、丙氨酸、丝氨酸均比未净化养殖的有较大幅度地减少, 而在净化养殖 15 d 变化相对

表 4 中华鳖在净化养殖过程肌肉中氨基酸组成及含量变化情况(g/100 g)

Table 4 Changes in amino acid composition and content in the muscles of *Trionyx sinensis* during ecological purification breeding process (g/100 g)

氨基酸	0 d	15 d	30 d
异亮氨酸	5.52±1.62	5.16±0.35	4.67±1.85
亮氨酸	9.28±2.65	8.98±0.69	7.88±0.58
半胱氨酸	11.87±0.39 ^a	10.81±0.24 ^b	10.11±0.29 ^c
酪氨酸	5.44±0.23	5.20±1.19	4.68±0.98
缬氨酸	0.38±0.05	0.40±0.02	0.44±0.11
赖氨酸	10.90±0.50 ^a	10.56±0.24 ^a	9.11±0.14 ^b
蛋氨酸	3.19±0.90	3.29±0.20	2.76±0.32
苯丙氨酸	3.67±1.05	3.64±0.35	3.05±1.22
苏氨酸	4.71±1.32	4.78±0.94	3.94±0.68
色氨酸	ND	ND	ND
ΣEAA	61.99±10.55	58.96±1.92	51.77±5.30
天冬氨酸	10.68±0.55 ^a	10.64±0.50 ^a	9.08±0.89 ^b
谷氨酸	18.52±0.47 ^a	16.22±0.44 ^b	5.72±0.81 ^c
丙氨酸	6.63±0.54 ^a	5.74±0.28 ^b	5.26±0.36 ^b
精氨酸	7.65±0.46	7.35±1.41	6.29±0.70
丝氨酸	3.78±0.44	3.99±0.86	2.99±0.82
甘氨酸	5.31±0.18 ^a	5.09±0.13 ^a	4.39±0.54 ^b
组氨酸	16.69±0.29 ^a	14.80±0.04 ^b	13.32±1.04 ^c
脯氨酸	4.24±1.55	4.54±1.57	4.90±0.79
ΣNEAA	44.91±2.31 ^a	41.67±2.35 ^a	27.45±1.96 ^b
TAA	128.45±15.88 ^a	121.18±6.06 ^a	98.92±10.08 ^b
EAA/TAA	0.49±0.02 ^b	0.49±0.02 ^b	0.52±0.00 ^a
鲜味氨基酸	29.20±0.83 ^a	26.86±0.29 ^b	14.80±0.74 ^c
甜味氨基酸	15.71±1.50	14.81±2.06	12.65±1.34
苦味氨基酸	51.82±10.33	48.82±3.31	43.07±6.98

注: ND. 未检测出; ΣEAA. 必需氨基酸(essential amino acid, EAA)的含量之和; ΣNEAA. 非必需氨基酸(nonessential amino acid, NEAA)的含量之和; TAA. 总氨基酸(total amino acid)。

表 5 中华鳖在净化养殖过程中的营养价值评价(mg/g)

Table 5 Nutritional value evaluation of *Trionyx sinensis* during ecological purification breeding process (mg/g)

必需氨基酸	FAO/WHO 模式	鸡蛋蛋白 模式	AAS			CS		
			0 d	15 d	30 d	0 d	15 d	30 d
异亮氨酸	250	331	0.73	0.60	0.60	0.55	0.46	0.45
亮氨酸	440	534	0.69	0.59	0.58	0.57	0.49	0.47
赖氨酸	340	441	1.05	0.91	0.86	0.81	0.70	0.66
蛋氨酸+半胱氨酸	220	386	2.25	1.87	1.88	1.28	1.07	1.07
苯丙氨酸+酪氨酸	380	565	0.78	0.68	0.65	0.53	0.46	0.44
苏氨酸	250	292	0.62	0.56	0.51	0.53	0.48	0.43
缬氨酸	310	411	0.04	0.04	0.05	0.03	0.03	0.03
总量	2190	/	6.17	5.26	5.12	4.30	3.68	3.57

注: /表示无此项。

表 6 中华鳖在净化养殖过程裙边质构变化

Table 6 Changes in texture of *Trionyx sinensis* calipash during ecological purification breeding process

净化时间	硬度/g	弹性/%	内聚性/g	胶着性/g	咀嚼性/g	回复性/g
0 d	7301.51±201.60 ^b	2.59±0.47	0.71±0.24	5172.42±337.80 ^b	11878.30±448.86 ^b	0.75±0.09
15 d	8306.82±335.68 ^a	2.55±0.44	0.46±0.00	6272.37±379.61 ^a	13728.85±256.17 ^a	0.78±0.00
30 d	8613.38±248.33 ^a	3.01±0.35	0.74±0.24	3822.07±253.96 ^c	9611.85±932.24 ^c	0.77±0.05

未净化的要缓慢,这反映了净养时间过长反而会降低中华鳖肌肉的滋味和风味。同时净化 15 d 的中华鳖肌肉中蛋氨酸、苏氨酸、丝氨酸、脯氨酸含量比稻田鳖(2.00 g/100 g、3.36 g/100 g、2.76 g/100 g、3.61 g/100 g)^[38]、野生鳖(1.85 g/100 g、3.12 g/100 g、2.44 g/100 g、3.30 g/100 g)^[38]、温室鳖(1.97 g/100 g、3.23 g/100 g、2.33 g/100 g、3.10 g/100 g)^[38]要略高。因此,从氨基酸的含量与组成变化情况来看,中华鳖生态净化养殖时间不宜超过 30 d。

根据 WHO/FAO 提出的评分标准,计算出中华鳖在不同净化时间下的 AAS 和 CS 评分变化情况。从表 5 中氨基酸评分的得分可知,整个生态净化养殖阶段,第一限制性氨基酸和第二限制性氨基酸都是缬氨酸和苏氨酸。

2.5 裙边质构变化分析

中华鳖的裙边是除了肌肉外的主要可食用部位,裙边占比关乎中华鳖的食用价值,同时裙边的感官品质也会影响消费者的选购行为^[7]。通过 TPA 模式模拟食物被咀嚼过程,使用硬度、弹性等质构特性量化反映了食用的口感。硬度是质地剖面分析法中是常见且重要的指标,它能反映蒸煮后的裙边的内部结合力,硬度低的裙边煮完后容易散开,影响口感,弹性能反映蒸煮后的裙边被压缩后恢复原状的能力,一般来说,裙边硬度大、弹性强会更富有劲道^[7,25]。净化养殖过程中华鳖裙边质构测定结果如表 6 显示,裙边硬度随着净化养殖时间延长逐渐上升,内聚性随着净化养殖时间延长呈现先下降后上升的趋势,回复性、胶着性、咀嚼性随净化养殖时间延长呈现先上升后下降的趋势。净化养殖 15 d 的中华鳖裙边的硬度、胶着性、咀嚼性比未净化的有显著提升($P<0.05$),说明净化养殖 15 d 的中华鳖裙边口感比未净化时更硬更脆更有劲道。

3 讨论与结论

本研究比较了无进食状态的单独净养方式下对中华鳖品质的改善作用,并通过0、15、30 d 3个净化养殖时间点上中华鳖肌肉和裙边营养品质的变化情况对净化养殖效果和时间进行初步探讨。在此期间,净化养殖使得中华鳖外观形体更趋向于圆润(在净化养殖15 d 时后侧裙边宽增加,内脏脂肪团重是最低的,空壳率是最高的),改善了中华鳖肌肉营养品质(在净化养殖15 d 时,灰分、粗蛋白、PUFA、蛋氨酸、苏氨酸含量均有所提高,粗脂肪、苦味氨基酸含量有所降低),改善了中华鳖裙边的口感(净化15 d 的中华鳖裙边的硬度、胶着性、咀嚼性比未净化的有所提升,肌肉更多汁、鲜嫩和紧实),且中华鳖肌肉的土腥味也比未净化时的有所减轻。在净化养殖期间,中华鳖的形体指标、肌肉营养成分、裙边营养成分和质构都较净化前有所改善。综合来看,盒式单体净化养殖对中华鳖的较佳的净化时间至少15 d 以上,不宜超过30 d。

将净化养殖方法应用于中华鳖,能改善中华鳖的品质,提升净化养殖后中华鳖产品的经济价值和营养价值,为养殖户带来更好地收益。但本研究的净化养殖是处于无进食状态下,在整个净化养殖过程中中华鳖总体质量会出现下降,并且可能会出现因环境变化导致机体应激甚至发病死亡现象,需进一步研究其解决办法,同时更细化净化时间节点上中华鳖品质变化情况待进一步深入研究补充,为高品质农产品生产提供研究数据。

参考文献

- [1] 王璐明, 马晓, 王晓清, 等. 不同养殖模式对中华鳖营养品质的影响[J]. 南方农业学报, 2013, 44(9): 1571–1575.
WANG LM, MA X, WANG XQ, *et al.* Effects of different culture modes on nutrients of Chinese soft-shelled turtle (*Trionyx sinensis*) [J]. Journal of Southern Agriculture, 2013, 44(9): 1571–1575.
- [2] 王道尊, 汤峥嵘, 谭玉钧. 中华鳖生化组成的分析I. 一般营养成分的含量及肌肉脂肪酸的组成[J]. 水生生物学报, 1997, 21(4): 299–302, 304–305.
WANG DZ, TANG ZR, TAN YJ. Biochemical compositions of Chinese soft-shelled turtle (*Trionyx sinensis*) I. Contents of normal nutrients and composition of muscle fatty acids [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 1997, 21(4): 299–302, 304–305.
- [3] 汤峥嵘, 王道尊, 谭玉钧. 中华鳖生化组成的分析III. 肌肉氨基酸的组成[J]. 水生生物学报, 1998, 22(4): 307–313.
TANG ZR, WANG DZ, TAN YJ. Biochemical compositions of Chinese soft-shelled turtle (*Trionyx sinensis*) III. Composition of amino acids in muscle [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 1997, 21(4): 307–313.
- [4] 马梦娇, 荆慧娟, 符安卫, 等. 中华鳖腿肉蛋白的理化性质[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(22): 110–116.
MA MJ, JING HJ, FU ANW, *et al.* Physicochemical properties of Chinese soft-shelled turtle protein [J]. Food & Fermentation Industries, 2019, 45(22): 110–116.
- [5] 张丹, 王锡昌. 中华鳖肉蛋白质营养特征分析及评价[J]. 食品工业科技, 2014, 35(15): 356–359.
ZHANG D, WANG XC. Characteristics of protein from Chinese soft-shelled turtle meat (*Trionyx sinensis*) [J]. Science & Technology of Food Industry, 2014, 35(15): 356–359.
- [6] 王道尊, 汤峥嵘, 谭玉钧. 中华鳖生化组成的分析II. 背甲、肌肉中矿物元素的组成[J]. 水生生物学报, 1998, 22(2): 106–111.
WANG DZ, TANG ZR, TAN YJ. Biochemical compositions of Chinese soft-shelled turtle (*Trionyx sinensis*) II. Composition of mineral elements of carapace and muscle [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 1998, 22(2): 106–111.
- [7] 方燕, 过世东. 中华鳖肌肉和裙边基本品质的研究[J]. 食品工业科技, 2007, 28(7): 194–202.
FANG Y, GUO SD. Research on the basic quality of muscles and skirts of Chinese soft-shelled turtle [J]. Science & Technology of Food Industry, 2007, 28(7): 194–202.
- [8] 蒋晓妍. 不同养殖模式下相同规格中华鳖裙边特性研究[D]. 无锡: 江南大学, 2014.
JIANG XY. Study on calipash features of the same size Chinese *Trionyx sinensis* under different breeding modes [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2014.
- [9] 孙燃, 朱卫东, 赵蓓蓓, 等. 池塘专养模式中华鳖幼鳖形态性状对体质量和净体质量的影响效果分析[J]. 浙江海洋大学学报(自然科学版), 2019, 38(2): 113–120.
SUN R, ZHU WD, ZHAO BB, *et al.* Multivariate analysis of the effect phenotypic and morphometric traitson body weight and net weight of juvenile *Trionyx sinensis* (Wiegmann) in pond culture mode [J]. Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science), 2019, 38(2): 113–120.
- [10] WU BL, WU CC, HUANG L, *et al.* Adaptation and feeding preference of Chinese soft-shelled turtle (*Pelodiscus sinensis*) to different feeding levels in rice–turtle co-culture system [J]. Aquaculture Report, 2024, 38: 102281.
- [11] FU H, QI M, YANG QM, *et al.* Effects of dietary chito-oligosaccharide and β -glucan on the water quality and gut microbiota, intestinal morphology, immune response, and meat quality of Chinese soft-shell turtle (*Pelodiscus sinensis*) [J]. Frontiers in Immunology, 2023, 14: 1266997.
- [12] 王璐明, 马晓, 王晓清, 等. 投喂3种不同饲料的中华鳖品质比较分析及评价[J]. 广东农业科学, 2012, 39(16): 125–128.
WANG LM, MA X, WANG XQ, *et al.* Analysis and evaluation on nutritional composition in muscles of soft-shelled turtle, *Trionyx sinensis*, feeding with three kinds of food [J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2012, 39(16): 125–128.
- [13] 程小飞, 高金伟, 向劲, 等. 饲料中添加虾壳粉对中华鳖肌肉营养成分及质构特性的影响[J]. 中国饲料, 2021(11): 72–77.
CHENG XF, GAO JW, XIANG J, *et al.* Effects of dietary crawfish shell meal on muscle nutritional components and texture characteristics of Chinese soft-shell turtle (*Trionyx sinensis*) [J]. China Feed, 2021(11): 72–77.
- [14] 汪愈超, 杜鹃, 李阳, 等. 月桂酸单甘油酯对中华鳖生长、健康及营养品质的影响[J]. 动物营养学报, 2019, 31(1): 428–436.
WANG YC, DU J, LI Y, *et al.* Effects of glycerol monolaurate on growth, health and nutritional quality of chinese soft-shelled turtle (*pelodiscus sinensis*) [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2019, 31(1): 428–436.
- [15] SUN HR, ZHANG Y, RREN TC, *et al.* Comparative analysis of physiological responses and intestinal microbiota in Juvenile soft-shelled turtle (*Pelodiscus sinensis*) fed four types of dietary carbohydrates [J]. Animals, 2024, 14(12): 1781–1781.

- [16] QIU ZS, XU QY, XIE DZ, *et al.* Effects of the replacement of dietary fish meal with poultry by-product meal on growth and intestinal health of Chinese soft-shelled turtle (*Pelodiscus sinensis*) [J]. *Animals*, 2023, 13(5): 865–865.
- [17] EINEN O, THOMASSEN M. Starvation prior to slaughter in Atlantic salmon (*Salmo salar*) [J]. *Aquaculture*, 1998, 169: 37–53.
- [18] 王扬, 许晓军, 丁雪燕, 等. 生态净养和传统养殖乌鳢的营养品质研究[J]. *食品安全质量检测学报*, 2020, 11(22): 8290–8297.
- WANG Y, XU XJ, DING XY, *et al.* Study on nutritional quality of black snake in ecological purification culture and traditional pond [J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2020, 11(22): 8290–8297.
- [19] 崔雁娜, 徐磊, 郭水荣, 等. 暂养净化对池塘养殖大口黑鲈营养成分及挥发性风味物质的影响[J]. *食品安全质量检测学报*, 2023, 14(16): 94–103.
- CUI YN, XU L, GUO SR, *et al.* Effect of purification and temporary maintenance on the nutritional components and volatile flavor compounds of *Micropterus salmoides* in pond [J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2023, 14(16): 94–103.
- [20] 周秀珍, 张毅, 周钦, 等. 循环水净化养殖过程中大口黑鲈生长及肌肉品质变化[J]. *食品科学*, 2024, 45(11): 75–83.
- ZHOU XZ, ZHANG Y, ZHOU Q, *et al.* Changes in growth and muscle quality of Largemouth bass (*Micropterus salmoides*) reared in recirculating aquaculture system [J]. *Food Science*, 2024, 45(11): 75–83.
- [21] ZAJIC T, MRAZ J, SAMPOLS S, *et al.* Fillet quality changes as a result of purging of common carp (*Cyprinus carpio* L.) with special regard to weight loss and lipid profile [J]. *Aquaculture*, 2013, 400–401: 111–119.
- [22] LV H, HU W, XIONG SB, *et al.* Depuration and starvation improves flesh quality of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) [J]. *Aquaculture Research*, 2018, 49(9): 3196–3206.
- [23] 李虹辉. 营养胁迫下中华鳖肌肉品质变化及其适应性调控机制研究[D]. 广州: 华南农业大学, 2020.
- LI HH. Study on the changes in muscle quality and its adaptive regulation mechanism of *Pelodiscus sinensis* under nutrition stress [D]. Guangzhou: South China Agricultural University, 2020.
- [24] 肖凤芳. 中华鳖不同群体生长对比及形态性状对体质量的影响[D]. 南京: 南京农业大学, 2014.
- XIAO FF. Growth comparison and effects of morphometric traits on body weight for different populations of *Pelodiscus sinensis* [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2014.
- [25] 蒋迪, 吕富, 王爱民, 等. 蚕蛹粉替代鱼粉对中华鳖幼鳖形体指标、生长性能及体成分的影响[J]. *中国饲料*, 2017(7): 26–30, 39.
- JIANG D, LV F, WANG AIM, *et al.* The effect of silkworm pupa powder replacing fish meal on the physical indicators, growth performance, and body composition of young Chinese soft-shelled turtles [J]. *China Feed*, 2017(7): 26–30, 39.
- [26] 吴凡, 陆星, 文华, 等. 饲料蛋白质和脂肪水平对中华鳖生长性能、肌肉品质指标及肝脏相关基因表达的影响[J]. *淡水渔业*, 2018, 48(1): 47–54.
- WU F, LU X, WEN H, *et al.* Effects of different protein and lipid levels on the growth performance, muscle textural parameters, and genes expression in liver of *Pelodiscus sinensis* [J]. *Freshwater Fisheries*, 2018, 48(1): 47–54.
- [27] 冒树泉, 宋理平, 王爱英, 等. 野生、仿生、温室中华鳖形态特征与营养成分的比较研究[J]. *中国农学通报*, 2014, 30(2): 84–88.
- MAO SQ, SONG LP, WANG AIY, *et al.* Comparison of physical characteristics and nutritive components of wild, bionics and hothouse *Trionyx sinensis* [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2014, 30(2): 84–88.
- [28] CHU YM, WANG JF, XIE J. Foodomics in aquatic products quality assessment during storage: an advanced and reliable approach [J]. *Food Bioscience*, 2024, 58: 103734.
- [29] 王扬, 张海琪, 周凡, 等. 中华鳖产品种类及主要加工技术研究现状[J]. *食品安全质量检测学报*, 2014, 5(12): 4068–4072.
- WANG Y, ZHANG HQ, ZHOU F, *et al.* Research status of processing techniques of Chinese soft-shelled turtle products [J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2014, 5(12): 4068–4072.
- [30] 周成, 杨旭, 杨报国, 等. 基于脂肪酸分析的太平洋黄鳍金枪鱼营养生态位研究[J]. *中国水产科学*, 2023, 30(10): 1202–1213.
- ZHOU C, YANG X, YANG BG, *et al.* Nutritional ecological niche of Pacific yellowfin tuna based on fatty acid analysis [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2023, 30(10): 1202–1213.
- [31] 张艳霞. 养殖大黄鱼品质评价及冻藏过程中品质变化规律的研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2020.
- ZHANG YX. Quality evaluation of cultured pseudosciaena crocea and its quality changes during frozen storage [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2020.
- [32] 郑颜, 胥清翠, 范丽霞, 等. 鸡蛋营养品质评价的研究进展[J]. *中国食物与营养*, 2022, 28(1): 45–50.
- ZHENG Y, XU QC, FAN LX, *et al.* Research progress on nutritional evaluation of eggs [J]. *Food and Nutrition in China*, 2022, 28(1): 45–50.
- [33] 张丹, 王锡昌, 刘源. 中华鳖营养、风味及功能特性研究进展[J]. *食品工业科技*, 2013, 34(24): 392–395.
- ZHANG D, WANG XC, LIU Y. Research progress in the nutrition, flavor and functional properties of Chinese soft-shelled turtle (*Trionyx sinensis*) [J]. *Science & Technology of Food Industry*, 2013, 34(24): 392–395.
- [34] ZHAO ZM, WANG YS, LI Q, *et al.* Effects of the photovoltaic fishery culture model on muscle nutritional quality and volatile flavor compounds of *Litopenaeus vannamei* [J]. *Heliyon*, 2024, 10(15): e34797.
- [35] HAN QY, HU JJ, PAN WC, *et al.* Effects of rewilding aquaculture time on nutritional quality and flavor characteristics of grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) [J]. *Fishes*, 2024, 9(7): 275.
- [36] WANG F, CHEN Z, CHENG YS, *et al.* Nutritional Evaluation of two strains of Chinese soft-shelled turtle, *Pelodiscus sinensis* [J]. *Journal of Food Composition & Analysis*, 2021, 101(6): 103971.
- [37] 谢仲桂, 邓时铭, 程小飞, 等. 冬眠中华鳖的氨基酸营养评价[J]. *湖南农业大学学报(自然科学版)*, 2021, 47(2): 231–239.
- XIE ZG, DENG SM, CHENG XF, *et al.* Evaluation of amino acid nutrition of *Pelodiscus sinensis* during hibernation period [J]. *Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences)*, 2021, 47(2): 231–239.
- [38] 王福田, 赖年悦, 程华峰, 等. 比较分析三种不同环境下的中华鳖肌肉营养品质及其挥发性风味物质[J]. *食品与发酵工业*, 2019, 45(22): 253–261.
- WANG FT, LAI NY, CHENG HF, *et al.* Comparative analysis of the nutritional quality and volatile flavor constituents in the muscle of Chinese soft-shelled turtle from three different environments [J]. *Food & Fermentation Industries*, 2019, 45(22): 253–261.

(责任编辑: 韩晓红 安香玉)