



池塘两种养殖方式下草鱼的营养差异

况文明¹, 唐仁军², 薛洋³, 周月朗¹,
钟云飞¹, 陈拥军¹, 林仕梅^{1*}

(1. 西南大学水产学院, 西南大学淡水鱼类资源与生殖发育教育部重点实验室,
水产科学重庆市重点实验室, 重庆 400716;
2. 重庆市梁平区农业农村委员会, 重庆 400020;
3. 重庆市水产技术推广总站, 重庆 401147)

摘要: 为了解传统池塘养殖和池塘内循环系统养殖草鱼的营养差异, 对 2 种养殖方式草鱼的营养成分及营养品质进行了比较研究。结果显示, 池塘养殖草鱼肌肉水分、粗脂肪含量、脏体比以及 pH 降低值和滴水损失高于循环养殖系统的草鱼, 而肌肉粗蛋白含量和抗氧化能力低于循环养殖系统的草鱼。池塘养殖和循环系统养殖草鱼肌肉必需氨基酸构成比例均符合 FAO/WHO 的标准, 必需氨基酸均是赖氨酸 (Lys) 含量最高; 池塘养殖草鱼氨基酸总量 (Σ TAA)、鲜味氨基酸总量 (Σ DAA) 和甜味氨基酸总量 (Σ SAA) 低于循环养殖系统; 根据氨基酸评分 (AAS) 和化学评分 (CS), 2 种模式的第一限制性氨基酸均为缬氨酸 (Val)。循环养殖系统草鱼肌肉 Σ n-3PUFA 和 Σ n-6PUFA 含量显著低于池塘养殖, 但肌肉 EPA + DHA 含量是池塘养殖的 1.5 倍。研究表明, 草鱼营养组成合理, 池塘内循环系统养殖的草鱼在营养成分及鲜甜味方面优于池塘养殖。

关键词: 草鱼; 养殖模式; 营养成分; 品质

中图分类号: S 965

文献标志码: A

草鱼 (*Ctenopharyngodon idella*) 是我国重要的大宗淡水养殖鱼类, 2018 年我国草鱼养殖产量达 5.50×10^6 t, 位列淡水鱼养殖产量第 1 位^[1]。草鱼因肉质肥嫩、味道鲜美, 而深受消费者喜爱。但近年来, 由于池塘养殖强度和环境问题, 导致养殖水产品品质下降。目前草鱼品质问题也已引起人们广泛关注与重视。

研究表明, 饲料和环境会影响养殖鱼类的营养品质^[2]。我国因地域、环境以及人们的习惯差异而形成了多种地方特色的水产养殖模式或方式, 在促进水产业发展的同时, 也促进了当地社会经济的发展。那么, 这些不同的养殖方

式除了影响鱼类的生长性能外, 是否会对养殖鱼类的营养品质产生影响? 尤其是当前发展势头较好的池塘内循环养殖系统^[3], 目前还不清楚。为此, 本实验以草鱼为研究对象, 比较池塘养殖和池塘内循环系统养殖 2 种方式对养殖草鱼品质的影响, 以期对池塘健康养殖和鱼类品质调控提供参考数据。

1 材料与方法

1.1 实验材料及样品处理

在重庆市梁平区水产养殖场选取 2 种相邻的池塘, 1 种为传统的精养池塘 (面积约为 4 300

收稿日期: 2020-04-03 修回日期: 2020-06-08

资助项目: 重庆市生态渔业产业技术体系; 豆渣的应用和池塘养殖鱼品质的评价; 重庆市研究生科研创新项目 (CYS19109)

通信作者: 林仕梅, E-mail: linsm198@163.com

m²), 另 1 种为设有池塘内循环系统的实验池塘(养殖槽面积约为 120 m²)。在传统池塘和养殖槽中放入同一批草鱼苗种[初始体质量(45±1.5) g]进行养殖(2019 年 4 月—2019 年 11 月), 放养密度分别为 6 和 90 尾/m³, 养殖期间, 均投喂同品牌同质量的商品配合饲料。投饲率为鱼体质量的 3%~5%, 每天 7:30、12:30 和 18:30 各投喂 1 次, 循环系统每 5 天自动收集残饵粪便 1 次。饲养期间, 水温 18~29 °C, pH 值 6.7~7.2, 溶解氧 5.8~6.9 mg/L, 氨氮小于 0.67 mg/L。于 2019 年 11 月 8 日在池塘和养殖槽中各随机取样 20 尾(体质量为 1 460~1 620 g), 鲜鱼运输至实验室分析。

测量每尾鱼的体长、体质量, 解剖取其肝脏、内脏, 并称重, 计算肥满度、肝体比和脏体比。去皮取其背部肌肉(不含侧线鳞下红色肉), 取部分肌肉用于肌肉物理特性检测。剩余肌肉研碎混匀后取样, 新鲜肌肉用于 pH 测定; 剩余部分肌肉 60 °C 烘干, 用于氨基酸和脂肪酸含量测定。每个样品重复取样 3 次, 取平均值进行分析。

肝体比(hepatosomatic index, HSI, %)= $W_h/W \times 100\%$

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

肥满度(condition factor, CF, g/cm³)= $W/L^3 \times 100$
式中, W_h 为鱼肝脏重(g), W_v 为鱼内脏重(g), W 为鱼体质量(g), L 为鱼体长(cm)。

1.2 样品分析

常规营养成分分析 全鱼样品均在 105 °C 烘干至恒重(GB/T 14769—1993), 损失的重量为水分; 粗灰分含量测定采用马弗炉 550 °C 高温灼烧法(GB/T 5009.4—2010); 粗蛋白质含量采用微量凯氏定氮法测定(GB/T 5009.5—2010); 粗脂肪含量采用索氏抽提法(GB/T 5009.6—2010)。

氨基酸分析 烘干后肌肉样品采用 GB/T 15399—1994 中的氧化酸解法进行处理, 然后按照 GB/T 5009.124—2003 方法使用日立 L-8800 型氨基酸自动分析仪测定肌肉中氨基酸的含量。

脂肪酸分析 肌肉脂肪提取采用氯仿-甲醇法^[4], 脂肪甲酯化处理后含脂肪酸的甲酯溶液供色谱分析。采用 Sigma 公司标准脂肪酸进行定性分析鉴定脂肪酸组分, 脂肪酸组成用面积归一化方法计算。色谱分析条件: 气相色谱仪为 Agilent 7820A GC, 色谱柱为 100 m×0.32 mm×0.25

μm, 柱箱温度为 180 °C, 以 8 °C/min 程序升温至 240 °C 直至所有组分全部流出, 进样口离子源温度 230 °C, 载气为高纯 N₂, 流量 30 mL/min, 氢气 40 mL/min, 空气 450 mL/min。

肉质分析 pH 测定: 测量前 pH 计用 pH=4 和 pH=7 标准液校正(精确到 0.01)。在鱼死后 2 h 内, 取草鱼背部肌肉, 用剪刀剪碎, 加入 10 mL 的 0.15 mol/L 氯化钾(KCl)溶液, 用高速组织捣碎机捣碎匀浆, 再用数字式酸度计直接测定, 读取 pH1; 4 °C 冰箱中储存 24 h 后, 用同样方法测其 pH2。

滴水损失测定: 取草鱼背部肌肉切成 3 cm×1 cm×1 cm 小块, 称重后置于充气的塑料袋中(使肉片悬于中心不接触薄膜), 在 4 °C 冰箱中吊挂 48 h 后称重, 以样品重量损失百分比表示滴水损失。

滴水损失(drip loss, %)= $(W_0 - W_t)/W_0 \times 100\%$
式中, W_0 为贮前质量(g), W_t 为贮后质量(g)。

熟肉率测定: 鱼死后 2 h 内测定。取草鱼背部肌肉切成 1 cm×1 cm×1 cm 小块, 称重后置于蒸格上用沸水蒸 30 min, 取出晾 15 min 后称重。

熟肉率(cooking rate, %)= $W_t/W_0 \times 100\%$
式中, W_0 为蒸煮前肉样质量(g), W_t 为蒸煮后肉样质量(g)。

抗氧化能力测定 草鱼肌肉中丙二醛(MDA)含量、过氧化氢酶(CAT)和总超氧化物歧化酶(T-SOD)活性, 采用南京建成生物工程研究所的试剂盒测定。

1.3 营养品质评价方法

根据联合国粮农组织(FAO)和世界卫生组织(WHO)1973 年建议的氨基酸评分标准模式^[5]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)和必需氨基酸指数(EAAI)^[6]:

$$\text{AAS} = \frac{aa}{AA_{(\text{FAO/WHO})}} \quad \text{CS} = \frac{aa}{AA_{(\text{Egg})}}$$

$$\text{EAAI} = \sqrt[n]{\frac{100A}{AE} \times \frac{100B}{BE} \times \frac{100C}{CE} \times \dots \times \frac{100H}{HE}}$$

式中, aa 为实验样品中某氨基酸含量(mg/g N), $AA_{(\text{FAO/WHO})}$ 为 FAO/WHO 评分模式中同种氨基酸含量(mg/g N), $AA_{(\text{Egg})}$ 为全鸡蛋蛋白质中同种氨基酸含量(%), n 为比较的氨基酸个数; $A, B, C, \dots, H$ 为草鱼肌肉蛋白质的各种必需氨基酸含

量 (mg/g N, dry); *AE*, *BE*, *CE*..., *HE* 为全鸡蛋蛋白质中对应的各种必需氨基酸含量 (mg/g N, dry)。其中, 氨基酸含量 (mg/g N) = 鱼肉中氨基酸含量 (% DM) × 10 × 6.25 / 鱼肉中蛋白质含量 (% DM)。

支/芳值 (*E/TN*) 为支链氨基酸与芳香族氨基酸的比值, 按照以下公式计算:

$$E/TN = \frac{A_{(\text{Val}+\text{Leu}+\text{Ile})}}{A_{(\text{Phe}+\text{Tyr})}}$$

式中, $A_{(\text{Val}+\text{Leu}+\text{Ile})}$ 为缬氨酸、亮氨酸与异亮氨酸的含量之和 (mg/g), $A_{(\text{Phe}+\text{Tyr})}$ 为苯丙氨酸与酪氨酸的含量之和 (mg/g)。

1.4 数据处理

数据采用 SPSS 22.0 软件统计分析, 使用软件中的独立样本 *t*-检验 (*t*-Test) 进行 2 组间比较, 描述性统计值使用平均值 ± 标准误 (mean ± SE) 表示, $P < 0.05$ 为具有显著性差异。

2 结果

2.1 一般营养成分

池塘养殖模式下, 草鱼全鱼水分和粗脂肪含量显著高于循环系统养殖的, 而粗蛋白含量显著低于循环系统养殖的 ($P < 0.05$)。此外, 池塘养殖模式下草鱼肥满度显著低于循环系统养殖的, 而脏体比和肝体比显著高于循环系统养殖的 ($P < 0.05$) (表 1)。

2.2 氨基酸组成及营养品质评价

池塘养殖和循环系统养殖 2 种模式养殖的

草鱼肌肉中共测出 16 种常见氨基酸, 包括 7 种人体必需氨基酸 (EAA: Lys、Met、Thr、Val、Phe、Leu 和 Ile), 2 种人体半必需氨基酸 (HEAA: Arg 和 His) 和 7 种人体非必需氨基酸 (NEAA: Asp、Glu、Ser、Ala、Gly、Tyr 和 Pro) (表 2)。结果显示, 养殖模式显著影响草鱼肌肉氨基酸含量。池塘养殖草鱼肌肉氨基酸总量 (ΣTAA)、必需氨基酸总量 (ΣEAA) 和非必需氨基酸总量 (ΣNEAA) 显著低于循环系统养殖的 ($P < 0.05$)。组间肌肉半必需氨基酸总量 (ΣHEAA)、 $\Sigma\text{EAA}/\Sigma\text{TAA}$ 和 $\Sigma\text{HEAA}/\Sigma\text{TAA}$ 比值均差异不显著。池塘和循环系统养殖草鱼肌肉中 16 种氨基酸均以 Glu 含量最高, 分别是 12.94% 和 13.89%, 其次是 Asp、Lys、Leu 和 Arg, 而 Met 含量最少。此外, 池塘组肌肉 Asp、Lys、Gly、Ala、His、Val 和 Phe 含量显著低于循环养殖系统 ($P < 0.05$)。

2 种养殖模式草鱼肌肉的鲜味、甜味、苦味和呈味氨基酸含量均无显著差异 ($P > 0.05$)。但循环系统养殖草鱼风味氨基酸 (鲜味、甜味、苦味和呈味氨基酸) 含量均高于池塘养殖 (表 3)。

循环养殖系统草鱼肌肉支链氨基酸 (ΣBCAA) 含量高于池塘养殖的 ($P < 0.05$)。而 2 种养殖模式草鱼肌肉含硫和芳香族氨基酸含量以及支链氨基酸/芳香族氨基酸 (BC/A) 比值均无显著差异 ($P > 0.05$) (表 4)。

将表 2 中的数据换算成每 g 蛋白质中含氨基酸 mg 数后, 同 FAO/WHO 建议的氨基酸评分标准模式和全鸡蛋蛋白质的氨基酸模式进行比较, 并分别计算出池塘组和循环系统养殖草鱼

表 1 不同养殖模式对草鱼体组成及形体指标的影响

Tab. 1 Effects of different culture models on body composition and body index of *C. idella*

项目 items	池塘 traditional pond	循环系统 recirculating water system
肌肉组成 / (g/100 g) muscle composition		
水分 moisture	76.68 ± 0.16 ^b	73.10 ± 0.75 ^a
粗蛋白 crude protein	18.28 ± 0.03 ^a	20.16 ± 0.31 ^b
粗脂肪 crude lipid	6.80 ± 0.40 ^b	5.39 ± 0.11 ^a
形体指标 morphological parameters		
肥满度 / (g/cm ³) CF	1.38 ± 0.10 ^a	2.02 ± 0.11 ^b
脏体比 / % VSI	12.48 ± 0.65 ^b	11.30 ± 0.49 ^a
肝体比 / % HSI	3.83 ± 0.15 ^b	2.25 ± 0.06 ^a

注: 同行数值中上标不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 下同

Notes: values in the same row with different superscripts show significant difference ($P < 0.05$), the same below

表 2 不同养殖模式草鱼肌肉中氨基酸组成及含量(干物质)
Tab. 2 Amino acids composition in muscles of *C. idella* from two different culture models (dry matter)

氨基酸 amino acid	池塘 traditional pond	循环系统 recirculating water system
天冬氨酸 Asp [△]	9.10±0.33 ^a	10.36±0.44 ^b
谷氨酸 Glu [△]	12.94±0.44	13.89±0.69
丝氨酸 Ser [△]	3.21±0.11	3.38±0.17
甘氨酸 Gly [△]	3.49±0.12 ^a	4.12±0.21 ^b
苏氨酸 Thr [*]	3.24±0.12	3.46±0.17
丙氨酸 Ala [△]	4.44±0.16 ^a	4.90±0.25 ^b
脯氨酸 Pro [△]	2.61±0.08 ^a	2.87±0.14 ^b
组氨酸 His ^{△※}	2.31 ±0.08 ^a	2.61 ±0.13 ^b
精氨酸 Arg ^{△※}	5.05±0.21	5.41±0.27
酪氨酸 Tyr [△]	2.57±0.08	2.75±0.14
蛋氨酸 Met [*]	2.22±0.08	2.41±0.12
苯丙氨酸 Phe [*]	3.03±0.13 ^a	3.31±0.17 ^b
异亮氨酸 Ile [*]	2.91±0.11	3.17±0.16
亮氨酸 Leu [*]	5.76±0.24	6.28±0.31
赖氨酸 Lys [*]	6.21±0.22 ^a	6.87±0.34 ^b
缬氨酸 Val [*]	3.18±0.12 ^a	3.49±0.17 ^b
氨基酸总量 ΣTAA	72.26±2.62 ^a	79.28±3.96 ^b
必需氨基酸总量 ΣEAA	26.54±1.01 ^a	28.48±0.82 ^b
非必需氨基酸总量 ΣNEAA	38.35±1.33 ^a	41.53±1.19 ^b
半必需氨基酸总量 ΣHEAA	7.36±0.29	7.88±0.23
ΣEAA/ΣTAA	0.37	0.36
ΣEAA/ΣNEAA	0.69	0.69
ΣHEAA/ΣTAA	0.102	0.099

注: △. 人体非必需氨基酸; *. 人体必需氨基酸; ※. 半必需氨基酸。ΣTAA为氨基酸总量, ΣEAA为必需氨基酸总量, ΣNEAA为非必需氨基酸总量, ΣHEAA为半必需氨基酸总量。同列数据(平均值±标准误)肩标字母相同表示差异不显著($P<0.05$)

Notes: △. non-essential amino acids; *. essential amino acids; ※. semi-essential amino acids. ΣTAA is total content of amino acids (TAA), ΣEAA is total content of essential amino acids (EAA), ΣNEAA is total content of nonessential amino acids (NEAA), ΣHEAA is total content of semiessential amino acids. means ± SE having the same letter in the same column are not significantly different at $P<0.05$

的 AAS、CS 和 EAAI (表 5)。

池塘和循环系统养殖草鱼肌肉中的ΣEAA 含量依次升高, 分别为 2 290.57 和 2 760.39 mg/g N,

均高于 FAO/WHO 模式 (2 190 mg/g N), 而都低于全鸡蛋蛋白质的氨基酸模式 (2 960 mg/g N)(表 5)。此外, 赖氨酸含量(分别为 469.45 和 572.93 mg/g N)均超出了 FAO/WHO 模式 (340 mg/g N) 和全鸡蛋蛋白质的氨基酸模式 (441 mg /g N), 而蛋氨酸+胱氨酸含量(分别为 257.03 和 314.40 mg/g N)均超出 FAO/WHO 模式 (220 mg/g N)。

实验结果表明, 2 种养殖模式草鱼肌肉中 EAA 的 AAS 均接近或大于 1, CS 均大于 0.5, 且循环系统养殖草鱼肌肉中 EAA 的 AAS 和 CS 基本上都大于池塘养殖 (表 5)。由 AAS 可以看出, 池塘和循环系统养殖都是 Lys 最高, 其次是 Met+Cys, 最低是 Val 和 Ile。因而根据 AAS, 2 种养殖模式的第一、第二限制性氨基酸都分别是 Val 和 Ile。另外, 根据 CS, 二者都是 Lys 最高, 其次是 Thr, 最低为 Val 和 Ile。根据 CS, 2 种养殖模式的第一、第二限制性氨基酸也都分别是 Val 和 Ile。此外, 循环系统养殖草鱼肌肉 EAAI 大于池塘养殖。

2.3 脂肪酸组成

池塘和循环系统 2 种养殖模式下草鱼的肌肉脂肪酸组成除 C16:0、C18:1n-9、C20:1n-9 和 C20:2 这 4 种脂肪酸外, 其余 14 种脂肪酸含量差异显著 ($P<0.05$)。2 种养殖模式ΣSFA 和ΣMUFA 含量差异不显著 ($P>0.05$), 分别是 22.03% 和 24.67%, 48.05% 和 51.32%。然而, 池塘养殖组 ΣPUFA 含量 (29.15%) 显著高于循环系统养殖组 (23.33%) ($P<0.05$)(表 6)。

池塘养殖草鱼肌肉中 C18:3n-3、C20:4n-6 (ARA)、Σn-3PUFA 和Σn-6PUFA 含量显著高于循环系统养殖 ($P<0.05$)。而循环系统养殖的草鱼肌肉 C20:5n-3 (EPA)、C22:6n-3 (DHA) 以及 EPA + DHA 含量显著高于池塘养殖 ($P<0.05$), 且是池塘养殖的 1.5 倍左右。组间肌肉 n-3/n-6 比值无显著差异 ($P>0.05$)。

2.4 肌肉的理化特性

2 种养殖模式草鱼的熟肉率分别为 75% 和 73%, 差异不显著 ($P>0.05$)。池塘养殖草鱼的 pH 降低值和滴水损失显著高于循环系统养殖 ($P<0.05$)(表 7)。

2.5 肌肉的抗氧化能力

循环系统养殖的草鱼肌肉 T-SOD 活性显著

表 3 不同养殖模式草鱼肌肉中风味氨基酸含量 (干物质)
Tab. 3 Flavor amino acids in muscles of *C. idella* from different culture models (dry matter) g/100 g

氨基酸 amino acid	池塘 traditional pond		循环系统 recirculating system	
	含量/(g·h/g)	百分率/%	含量/(g·h/g)	百分率/%
氨基酸总量 ΣTAA	72.26	100.00	79.28	100.00
鲜味氨基酸 ΣSOAA	22.04	30.50±0.00	24.24	30.58±0.01
甜味氨基酸 ΣSWAA	16.99	23.51±0.01	18.73	23.63±0.01
苦味氨基酸 ΣBIAA	24.45	33.84±0.01	26.68	33.65±0.01
呈味氨基酸 ΣFAA	35.02	48.46±0.01	38.68	48.78±0.01

注: 鲜味氨基酸: Asp和Glu; 甜味氨基酸: Thr、Ala、Gly、Pro和Ser; 苦味氨基酸: Ile、Leu、Met、Phe、Val、His和Arg; 呈味氨基酸: Asp、Glu、Arg、Ala和Gly
Notes: umami amino acids: Asp and Glu; sweet amino acids: Thr, Ala, Gly, Pro and Ser; bitter amino acids: Ile, Leu, Met, Phe, Val, His and Arg; taste amino acid: Asp, Glu, Arg, Ala and Gly

表 4 不同养殖模式草鱼肌肉中含硫、支链及芳香族氨基酸含量 (干物质)

Tab. 4 Sulfur, branched and aromatic amino acids in muscles of *C. idella* from different culture models (dry matter) g/100 g

氨基酸 amino acid	池塘 traditional pond	循环系统 recirculating system
含硫氨基酸 SAA	2.22±0.04	2.41±0.07
支链氨基酸 ΣBCAA	11.85±0.23 ^a	12.94±0.37 ^b
芳香族氨基酸 ΣAAA	5.59±0.10	6.06±0.18
支链氨基酸/芳香族氨基酸 BC/A	2.12±0.04	2.13±0.06

注: 含硫氨基酸: Met; 支链氨基酸: Val、Ile和Leu; 芳香族氨基酸: Phe和Tyr
Notes: sulfur-containing amino acids: Met; branched chain amino acids: Val, Ile and Leu; aromatic amino acids: Phe and Tyr

高于池塘养殖, 而MDA含量显著低于池塘养殖 ($P<0.05$)。而2种养殖模式下草鱼肌肉CAT活性无显著差异 ($P>0.05$) (表8)。

3 讨论

3.1 一般营养成分

本实验结果显示, 循环系统养殖草鱼的形体指标优于池塘养殖, 这说明循环系统养殖方式可以改善草鱼的商品价值。此外, 草鱼肌肉常规营养组成 (粗蛋白、粗脂肪和水分) 也是循环系统养殖方式优于池塘养殖, 表明循环水系统养殖草鱼因水体流速加快导致脂肪优先作为能量被消耗, 降低了鱼体脂肪的沉积, 符合现

表 5 池塘和循环系统养殖草鱼肌肉氨基酸评分、化学评分及必需氨基酸指数

Tab. 5 Comparative analysis of AAS, CS and EAAI in muscles of *C. idella* between the pond and recirculating system

必需氨基酸 EAA	FAO/ WHO	全鸡蛋 蛋白质 egg protein	池塘 traditional pond			循环系统 recirculating water system		
			氨基酸含量/(mg/g N) amino acids content	氨基酸评分 AAS	化学评分 CS	氨基酸含量/(mg/g N) amino acids content	氨基酸评分 AAS	化学评分 CS
苏氨酸 Thr	250	292	244.93	0.98	0.84	288.55	1.15	0.99
缬氨酸 Val	310	411	240.40	0.78*	0.58*	291.05	0.94*	0.71*
蛋氨酸+胱氨酸 Met+Cys	220	386	257.03	1.17	0.67	314.40	1.43	0.81
异亮氨酸 Ile	250	331	219.99	0.88 [#]	0.66 [#]	264.36	1.06 [#]	0.80 [#]
亮氨酸 Leu	440	534	435.44	0.99	0.82	523.72	1.19	0.98
赖氨酸 Lys	340	441	469.45	1.38	1.06	572.93	1.69	1.30
苯丙氨酸+酪氨酸 Phe+Tyr	380	565	423.34	1.11	0.75	505.38	1.33	0.89
ΣEAA	2 190	2 960	2 290.57			2 760.39		
必需氨基酸指数 EAAI				75.55			90.99	

注: *第一限制性氨基酸; #第二限制性氨基酸
Notes: * first limiting amino acid; # second limiting amino acid

表 6 不同养殖模式草鱼肌肉的脂肪酸组成及含量(干物质)

Tab. 6 Fatty acid contents in muscles of *C. idella* from two different culture models

(dry matter)		g/100 g
项目 items	池塘 traditional pond	循环系统 recirculating water system
C14:0	0.83±0.06 ^a	1.46±0.07 ^b
C16:0	17.24±0.86	18.20±0.91
C18:0	3.25±0.31 ^a	4.25±0.41 ^b
C20:0	0.32±0.04 ^b	0.20±0.01 ^a
C21:0	0.39±0.02 ^a	0.56±0.03 ^b
ΣSFA	22.03±1.28	24.67±1.43
C16:1	3.55±0.18 ^a	6.20±0.31 ^b
C18:1n-9	42.95±2.15	43.56±2.18
C20:1n-9	1.26±0.06	1.40±0.07
C22:1	0.29±0.01 ^b	0.16±0.01 ^a
ΣMUFA	48.05±2.40	51.32±2.57
C18:3n-3	2.26±0.11 ^b	1.58±0.08 ^a
C20:3n-3	0.17±0.03 ^b	0.14±0.01 ^a
C20:5n-3 (EPA)	0.14±0.01 ^a	0.17±0.02 ^b
C22:6n-3 (DHA)	0.49±0.02 ^a	0.78±0.04 ^b
Σn-3 PUFA	3.06±0.15 ^b	2.67±0.13 ^a
C18:2n-6	22.18±1.11 ^b	17.34±0.87 ^a
C18:3n-6	0.31±0.06 ^b	0.19±0.04 ^a
C20:3n-6	1.01±0.05 ^b	0.84±0.04 ^a
C20:4n-6(ARA)	1.82±0.09 ^b	1.53±0.08 ^a
Σn-6 PUFA	25.32±1.27 ^b	19.9±0.99 ^a
C20:2	0.77±0.04	0.76±0.05
ΣPUFA	29.15±1.46 ^b	23.33±1.17 ^a
EPA+DHA	0.63±0.06 ^a	0.95±0.05 ^b
n-3/n-6	0.12	0.13

代营养学要求，这进一步证实了池塘循环系统养殖草鱼的可行性和条件优势。同样，有研究发现养殖方式也会影响匙吻鲟(*Polyodon spathula*)^[7]和大黄鱼(*Larimichthys crocea*)^[8-9]机体营养素的含量，但实验结果因品种和生长阶段不同而有所差异。众所周知，动物机体营养成分与其饵料来源、组成以及生长阶段密切相关^[10]。尽管水体中含有一定的天然饵料(如浮游动植物)，但高密

表 7 不同养殖模式下草鱼肌肉的理化特性

Tab. 7 Physico-chemical characters comparison of *C. idella* grown in different culture models

项目 items	池塘 traditional pond	循环系统 recirculating water system
pH降低值 pH decreased value	0.46±0.05 ^b	0.39±0.05 ^a
滴水损失/% drip loss	4.71±0.55 ^b	3.89±0.28 ^a
熟肉率/% cooking rate	0.75±0.04	0.73±0.05

表 8 不同养殖模式草鱼肌肉的抗氧化指标

Tab. 8 Different culture modes antioxidant index of *C. idella*

项目 items	池塘 traditional pond	循环系统 recirculating water system
T-SOD/(U/mg prot)	98.36±2.27 ^a	125.85±1.25 ^b
CAT/(U/mg prot)	5.28±0.09	4.79±0.06
MDA/(nmol/mg prot)	53.13±0.53 ^b	16.57±0.08 ^a

度循环系统的营养供应状况致使草鱼采取“饱食寡动型”的摄食对策，草鱼摄食的浮游生物较少，因此，浮游生物对鱼体组成的影响相对较小，这还有待进一步研究。除生活环境外，其余实验条件一致，因此可以认为，生存环境是造成2种养殖方式草鱼营养成分含量不同的主要原因。

3.2 肌肉蛋白质营养评价

FAO/WHO 提出蛋白质中 EAA/TAA 的比值在 0.40 左右，EAA/NEAA 达到 0.60 以上属于优质蛋白质^[11]。2 种养殖模式草鱼肌肉氨基酸含量和比例基本一致，池塘和循环系统养殖草鱼 EAA/TAA 分别为 0.37 和 0.36，EAA/NEAA 均为 0.69，表明 2 种养殖模式下的草鱼肌肉氨基酸平衡效果较好，属于优质蛋白质。

从草鱼肌肉氨基酸的组成特点来看，2 种养殖模式下必需氨基酸以赖氨酸含量最为丰富，超过 FAO/WHO 氨基酸标准模式。这对以谷物为主的膳食者来说，它可以弥补谷物食品中赖氨酸的不足，从而提高人体对蛋白质的利用率^[12]。此外，赖氨酸参与体蛋白的合成，与动物生长密切相关^[13]。造成以上差异的原因可能是由于循环养殖系统草鱼的食物远比池塘养殖的更加充足，从而保证了各项营养物质的均衡和积累，这也可能是循环养殖系统草鱼肌肉中 TAA 和 EAA 含量均高于池塘养殖的原因。

动物蛋白质的鲜美程度取决于呈味氨基酸的组成和含量。研究表明, Glu 和 Asp 为呈鲜味的特征性氨基酸, Ala 和 Gly 为呈甜味的特征性氨基酸, 而 Phe 为呈苦味的特征性氨基酸^[7]。Glu 的鲜味最强, 是脑组织和肠黏膜生长代谢的重要氨基酸, 参与多种生理活性物质的合成^[14]。也有研究指出谷氨酸是对鱼风味起重要作用的物质^[15]。本实验中草鱼肌肉非必需氨基酸以 Glu 和 Asp 含量最为丰富, 但循环系统养殖中草鱼风味氨基酸(鲜味和甜味氨基酸)含量均高于池塘养殖, 表明饵料种类的不同可以影响鱼体氨基酸的含量。由此可见, 养殖方式可以改善养殖鱼类的风味, 体现循环系统养殖草鱼的优势。此外, 2 种养殖模式草鱼肌肉的支/芳值(支链氨基酸/芳香族氨基酸)为 2.12, 较为接近正常人和哺乳动物的支/芳值(3.0~3.5), 符合人体饮食健康标准, 可以作为优质保健食品。

通常用氨基酸评分(AAS)和化学评分(CS)反映被测蛋白质所缺必需氨基酸的程度, 分值最小的为第一限制性氨基酸。根据 AAS, 2 种养殖方式草鱼的第一、第二限制性氨基酸评分均大于 0.7; 根据 CS, 2 种养殖方式草鱼第一、第二限制性氨基酸评分均大于 0.5, 反映出 2 种方式养殖草鱼必需氨基酸含量均比较丰富。2 种模式养殖草鱼肌肉的必需氨基酸指数(EAAI)分别为 75.55 和 90.99, 明显高于野生黄斑篮子鱼(*Siganus oramin*)^[16](61.07) 和野生星斑篮子鱼(*Siganus guttatus*)^[17](69.77) 等经济鱼类。以上结果显示, 2 种养殖模式草鱼肌肉必需氨基酸组成相对比较平衡, 且含量丰富, 但循环系统草鱼 AAS、CS 和 EAAI 优于池塘养殖, 可能是由于循环系统养殖草鱼消耗脂肪供能导致蛋白质相对含量增加所致。因此, 循环系统养殖草鱼的蛋白质品质优于池塘养殖的, 是一种值得推广的养殖模式。

3.3 脂肪酸组成

本研究结果显示, 传统池塘和循环系统 2 种养殖模式草鱼肌肉的脂肪酸相对含量差异显著, 表明养殖模式会影响养殖鱼类的脂肪酸含量, 这可能是草鱼耗能时所利用的脂肪酸种类不同所致。不同的饵料种类, 造成营养状况不同也是草鱼的脂类组成差异的原因之一。在匙吻鲟^[7]、红鳍东方鲀(*Takifugu rubripes*)^[18] 和大黄鱼^[9, 19] 上也有类似的发现。而池塘养殖草鱼肌肉

中 n-3PUFA 和 n-6PUFA 含量高于循环系统, 可能是池塘养殖草鱼摄食的天然饵料中 n-3PUFA 比例较高所致。可见, 养殖方式会影响草鱼肌肉的脂肪酸组成。此外, 循环养殖系统草鱼肌肉 EPA 和 DHA 含量明显高于池塘养殖, 可能是不同模式下饲料投饲量不同所致, 揭示循环系统养殖草鱼具有更高的食用价值和保健作用。而且草鱼肌肉 n-3/n-6 比值符合 FAO/WHO 的建议值(0.1~0.2)。因此可以认为草鱼是营养价值很高的动物蛋白源, 可以通过调整养殖方式来提高其营养价值。

3.4 肌肉品质

肌肉的 pH、滴水损失和熟肉率以及抗氧化能力是影响肌肉品质的重要因素。动物宰杀后肌肉 pH 值下降速度决定肌肉系水力以及货架寿命, 因此延缓肌肉 pH 下降速度将有助于降低营养损失。而滴水损失能够反映肉类保持其原有水分的能力, 肉品保持水分能力变差, 致使风味物质流失, 肉品质量降低。本实验结果显示, 循环系统养殖草鱼肌肉理化指标(pH 降低值和滴水损失)和抗氧化指标(T-SOD 和 MDA)均优于池塘养殖, 说明改变养殖方式可以改善草鱼肌肉的品质, 利于储存和加工。这进一步证实循环系统还可以通过提高机体的抗氧化能力, 改善养殖鱼类的品质, 提高其货架寿命。

综上所述, 相比传统池塘养殖, 循环系统养殖可以提高草鱼肌肉蛋白质、鲜味氨基酸和 EPA + DHA 含量, 降低脂肪含量, 改善草鱼肌肉的系水力和抗氧化能力, 同时还可提高草鱼产量, 而且对环境污染较小, 是一种健康的养殖模式, 值得推广使用。

参考文献(References):

- [1] 农业农村部渔业渔政管理局, 全国水产技术推广总站, 中国水产学会. 2019 中国渔业统计年鉴 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2019.
Fisheries and Fisheries Administration Bureau of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs, National Aquatic Technology Promotion Station, China Society of Fisheries. China fishery statistical yearbook 2019[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2019 (in Chinese).
- [2] 陈伟兴, 刘清振, 范兆廷. 鱼类肉质评价及影响因素研究进展[J]. 肉类研究, 2012, 26(10): 34-40.

- Chen W X, Liu Q Z, Fan Z T. Recent advances in research on meat quality evaluation and influencing factor of fish[J]. Meat Research, 2012, 26(10): 34-40(in Chinese).
- [3] 阴晴朗, 罗永巨, 郭忠宝, 等. 池塘循环水槽养殖模式研究进展[J]. 水产学杂志, 2019, 32(5): 76-82.
- Yin Q L, Luo Y J, Guo Z B, *et al.* Research advances on in-pond raceway system: a review novation of traditional[J]. Chinese Journal of Fisheries, 2019, 32(5): 76-82(in Chinese).
- [4] Folch J, Lees M, Sloane-Stanley G H. A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues[J]. The Journal of Biological Chemistry, 1957, 226(1): 497-509.
- [5] FAO/WHO. Energy and protein requirements[R]. Geneva: WHO, 1973: 40-73.
- [6] 沈硕, 周继成, 赵思明, 等. 匙吻鲟的营养成分及肌肉营养评价[J]. 营养学报, 2009, 31(3): 295-297.
- Shen S, Zhou J C, Zhao S M, *et al.* The nutritional composition and evaluation of muscle of *Polyodon spathula*[J]. Acta Nutrimenta Sinica, 2009, 31(3): 295-297(in Chinese).
- [7] 吉红, 孙海涛, 单世涛. 池塘与网箱养殖匙吻鲟肌肉营养成分及品质评价[J]. 水产学报, 2011, 35(2): 261-267.
- Ji H, Sun H T, Shan S T. Evaluation of nutrient components and nutritive quality of muscle between pond-and cage-reared paddlefish (*Polyodon spathula*)[J]. Journal of Fisheries of China, 2011, 35(2): 261-267(in Chinese).
- [8] 林利民, 王秋荣, 王志勇, 等. 不同家系大黄鱼肌肉营养成分的比较[J]. 中国水产科学, 2006, 13(2): 286-291.
- Lin L M, Wang Q R, Wang Z Y, *et al.* Comparison of biochemical compositions of muscle among three stocks and wild-caught large yellow croaker *Pseudosciaena crocea*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2006, 13(2): 286-291(in Chinese).
- [9] 颜孙安, 姚清华, 林香信, 等. 不同养殖模式大黄鱼肌肉营养成分比较[J]. 福建农业学报, 2015, 30(8): 736-744.
- Yan S A, Yao Q H, Lin X X, *et al.* Nutrient profile of large yellow croakers (*Pseudosciaena crocea* Richardson) grown under different aquacultural settings[J]. Fujian Journal of Agricultural Sciences, 2015, 30(8): 736-744(in Chinese).
- [10] 宋超, 庄平, 章龙珍, 等. 野生及人工养殖中华鲟幼鱼肌肉营养成分的比较[J]. 动物学报, 2007, 53(3): 502-510.
- Song C, Zhuang P, Zhang L Z, *et al.* Comparison of nutritive components in muscles between wild and farmed juveniles of Chinese sturgeon *Acipenser sinensis*[J]. Acta Zoologica Sinica, 2007, 53(3): 502-510(in Chinese).
- [11] 庄平, 宋超, 章龙珍. 舌虾虎鱼肌肉营养成分与品质的评价[J]. 水产学报, 2010, 34(4): 559-564.
- Zhuang P, Song C, Zhang L Z. Evaluation of nutritive quality and nutrient components in the muscle of *Glossogobius giuris*[J]. Journal of Fisheries of China, 2010, 34(4): 559-564(in Chinese).
- [12] 严安生, 熊传喜, 钱健旺, 等. 鳊鱼含肉率及鱼肉营养价值研究[J]. 华中农业大学学报, 1995, 14(1): 80-84.
- Yan A S, Xiong C X, Qian J W, *et al.* A study on the rate of flesh content of Mandarinfish and nutritonal quality of the flesh[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 1995, 14(1): 80-84(in Chinese).
- [13] Kim J D, Lall S P. Amino acid composition of whole body tissue of Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*), yellowtail flounder (*Pleuronectes ferruginea*) and Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*)[J]. Aquaculture, 2000, 187(3-4): 367-373.
- [14] 王秋菊, 许丽, 范明哲. 谷氨酸和谷氨酰胺转运系统的研究进展[J]. 动物营养学报, 2011, 23(6): 901-907.
- Wang Q J, Xu L, Fan M Z. Recent advances in transport systems of glutamate and glutamine[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2011, 23(6): 901-907(in Chinese).
- [15] Park J N, Watanabe T, Endoh K I, *et al.* Taste-active components in a Vietnamese fish sauce[J]. Fisheries Science, 2002, 68(4): 913-920.
- [16] 庄平, 宋超, 章龙珍, 等. 黄斑篮子鱼肌肉营养成分与品质的评价[J]. 水产学报, 2008, 32(1): 77-83.
- Zhuang P, Song C, Zhang L Z, *et al.* Evaluation of nutritive quality and nutrient components in the muscle of *Siganus oramin*[J]. Journal of Fisheries of China, 2008, 32(1): 77-83(in Chinese).
- [17] 赵峰, 章龙珍, 宋超, 等. 点篮子鱼肌肉的营养成分分析与评价[J]. 上海海洋大学学报, 2009, 18(3): 308-313.
- Zhao F, Zhang L Z, Song C, *et al.* Analysis and evaluation of the nutritional components of *Siganus guttatus* muscle[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2009,

- 18(3): 308-313(in Chinese).
- [18] 高露姣, 黄艳青, 夏连军, 等. 不同养殖模式下红鳍东方鲀的品质比较[J]. 水产学报, 2011, 35(11): 1668-1676.
- Gao L J, Huang Y Q, Xia L J, *et al.* Comparison of flesh quality of farmed fugu, *Takifugu rubripes* from different culture models[J]. Journal of Fisheries of China, 2011, 35(11): 1668-1676(in Chinese).
- [19] 缪伏荣. 不同养殖模式大黄鱼品质的比较研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2008.
- Miao F R. A comparative study on quality of *Pseudosciaena crocea* under different culture mode[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2008 (in Chinese).

Preliminary evaluation of nutritional differences of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) under two pond culture models

KUANG Wenming¹, TANG Renjun², XUE Yang³, ZHOU Yuelang¹,
ZHONG Yunfei¹, CHEN Yongjun¹, LIN Shimei^{1*}

(1. Key Laboratory of Aquatic Science of Chongqing, Key Laboratory of Freshwater Fish Reproduction and Development, Ministry of Education, College of Fisheries, Southwest University, Chongqing 400716, China;
2. Agricultural and Rural Committee of Liangping District, Chongqing 400020, China;
3. Chongqing Aquatic Technology Promotion Station, Chongqing 401147, China)

Abstract: In order to understand the nutritional differences of grass carp cultured in traditional ponds and circulatory systems in ponds, a comparative study was conducted on nutritional components and nutritive quality between pond-and recirculating water system-reared grass carp; fish were fed with the same commercial diet. The results showed that pond group contained significantly higher moisture, crude fat, viscerosomatic index (VSI), pH reduction and drip loss, and lower crude protein and antioxidant function than the recirculating water system group. The constitutional ratio of essential amino acids met the Food and Agriculture Organization of the United Nations/World Health Organization (FAO /WHO) standards and the content of Lys was the highest in essential amino acids in two culture models. However, the content of total amino acids (Σ TAA), total delicious amino acids (Σ DAA) and total sweet amino acids (Σ SAA) in pond group were significantly lower than those of recirculating water system group. According to nutrition evaluation in amino acids score (AAS) and chemical score (CS), the first limiting amino acids were Val in two culture models. The contents of Σ n-3PUFA and Σ n-6PUFA in pond group were significantly higher than those of recirculating water system group, while contents of EPA + DHA in pond group were significantly lower than those of recirculating water system group. In conclusion, the nutritional composition of grass carp is reasonable; moreover, the recirculating water system culture is superior to pond culture in nutrition and flavor of grass carp.

Key words: *Ctenopharyngodon idella*; culture model; nutritional component; quality

Corresponding author: LIN Shimei. E-mail: linsm198@163.com

Funding projects: Chongqing Ecological Fishery Technology System; the Application of Soybean Residue and the Evaluation of Fish Quality in Pond Culture; Graduate Scientific Research and Innovation Foundation of Chongqing, China (CYS19109)