

DOI: 10.19663/j.issn2095-9869.20210522002

http://www.yykxjz.cn/

蔡丽君, 郭全友, 马东林, 王海华, 杨絮, 马本贺, 黄海潮, 郑尧. 池塘和稻田养殖模式对泥鳅营养品质的影响. 渔业科学进展, 2022, 43(3): 196–206

CAI L J, GUO Q Y, MA D L, WANG H H, YANG X, MA B H, HUANG H C, ZHENG Y. Effects of pond-cultivation and paddy-cultivation modes on nutritional quality of loach. Progress in Fishery Sciences, 2022, 43(3): 196–206

池塘和稻田养殖模式对泥鳅营养品质的影响*

蔡丽君^{1,2} 郭全友^{2①} 马东林² 王海华^{3,4,5} 杨絮²
马本贺^{3,4,5} 黄海潮² 郑尧²

(1. 上海海洋大学食品学院 上海 201306; 2. 中国水产科学研究院东海水产研究所 上海 201306;
3. 江西省水产科学研究所 江西 南昌 330039; 4. 农业农村部湖泊渔业资源环境科学观测实验站
江西 南昌 330039; 5. 南昌市特种水产繁育与健康养殖重点实验室 江西 南昌 330039)

摘要 为探究不同养殖模式对台湾泥鳅(*Paramisgurnus dabryanus* ssp.)和泥鳅(*Misgurnus anguillicaudatus*)营养品质的影响,本研究分析了池塘和稻田养殖模式下,台湾泥鳅和泥鳅的形体性状、营养成分和品质差异,并探讨了这些指标间的相关性。结果显示,台湾泥鳅的肥满度显著高于泥鳅,其中,池塘养殖模式下的台湾泥鳅(*P. dabryanus* ssp. pond-cultivated, PPOC)肥满度(1.00±0.01)显著高于池塘养殖模式下的泥鳅(*M. anguillicaudatus* pond-cultivated, MPOC) (0.50±0.01) ($P<0.05$)。泥鳅的粗蛋白含量显著高于台湾泥鳅($P<0.05$),而粗脂肪含量显著低于台湾泥鳅($P<0.05$),其中,稻田养殖模式下的泥鳅(*M. anguillicaudatus* paddy-cultivated, MPAC)粗蛋白含量最高,达(21.09±0.57)%。除内聚性外,台湾泥鳅的质构特性显著高于泥鳅($P<0.05$);养殖模式对2种泥鳅的形体性状有显著影响,PPOC肥满度显著高于稻田养殖模式下的台湾泥鳅(*P. dabryanus* ssp. paddy-cultivated, PPAC) ($P<0.05$),MPOC肥满度显著低于MPAC ($P<0.05$)。池塘养殖模式下2种泥鳅的致动脉粥样化指数和血栓形成指数显著低于稻田养殖的相同品种($P<0.05$),硬度(PPOC)>硬度(PPAC),弹性(MPOC)<弹性(MPAC) ($P<0.05$),稻田养殖模式的2种泥鳅的谷氨酸、精氨酸、组氨酸、缬氨酸和甲硫氨酸高于池塘模式的相同品种(TAV>1)。主成分分析结果显示,形体性状与营养品质密切相关,肥满度与体长体高比呈负相关(-0.996),与质构特征、粗脂肪含量呈正相关,与水分、灰分、粗蛋白含量呈负相关。基于肥满度、质构等指标,PPOC最适合作为泥鳅加工原料。

关键词 台湾泥鳅; 泥鳅; 养殖模式; 形体特征; 营养品质

中图分类号 TS254.2 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2022)03-0196-11

台湾泥鳅(*Paramisgurnus dabryanus* ssp.)和泥鳅(*Misgurnus anguillicaudatus*)均隶属于鲤形目(Cypriniformes)、鳅科(Cobitidae)、花鳅亚科

(Cobitinae),是药食同源的美味佳肴,素有“水中人参”的美誉,广泛分布于中国、日本和朝鲜等地(Wang *et al.*, 2018; 张晓霞, 2019)。作为经济型淡水养殖鱼

* 国家重点研发计划(2018YFD0901704)和中国水产科学研究院基本科研业务费(2020TD68)共同资助 [This work was supported by the National Key Research and Development Program of China (2018YFD0901704), and Central Public-Interest Scientific Institution Basal Research Fund, CAFS (2020TD68)]. 蔡丽君, E-mail: Leahclj@163.com

① 通讯作者: 郭全友, 研究员, E-mail: dhsguoqy@163.com

收稿日期: 2021-05-22, 收修改稿日期: 2021-06-11

类, 泥鳅 2019 年产量为 35.69 万 t, 其中, 我国江西产量最多, 达 7.91 万 t, 占全国泥鳅产量的 22.17% (农业农村部渔业渔政管理局, 2020)。目前, 常见泥鳅品种有泥鳅(俗称青鳅、真泥鳅)、台湾泥鳅和中华沙鳅(*Botia supercilialis*)等(张晓霞, 2019)。台湾泥鳅生长快、肥满度高, 而泥鳅体形较小、营养价值高, 二者已成为我国主养的泥鳅品种。

养殖泥鳅品质受环境的影响较大。目前, 泥鳅养殖有池塘、稻田和套养(莲藕塘、虾蟹塘、蛙池等)等模式(Yang *et al.*, 2018、2019), 以池塘和稻田养殖模式为主(张晓霞, 2019)。其中, 稻田养殖模式作为由水稻和泥鳅 2 部分组成的典型综合养殖系统, 与池塘模式相比, 其饵料更为丰富, 养殖密度低, 生存环境更接近于野生。Yang 等(2017、2018)研究表明, 稻田养殖模式下泥鳅酮体增重更多, 前肠的超氧化物歧化酶和中肠溶菌酶活性更高, 肠道消化酶活性水平有所提高。除此之外, 不同品种泥鳅其生长速率、形体、质构、营养和风味等存在差异(Johnston *et al.*, 2006; 张殿福等, 2020)。黄菊等(2015)研究发现, 台湾泥鳅生长性能优于真泥鳅和大鳞副泥鳅(*P. dabryanus*)。大鳞副泥鳅油润多汁、肉质鲜美, 北方泥鳅(*Misgurnus bipartitus*)肉质细嫩(许元峰等, 2020)。目前, 许多学者分析了野生泥鳅(韩光明等, 2016)、亲本杂交泥鳅(尤宏争等, 2017)、池养台湾泥鳅及大鳞副泥鳅(韩光明等, 2016; 戴璐怡等, 2021)等品质的差异性, 但对泥鳅、台湾泥鳅在不同养殖模式下肌肉的营养品质差异鲜有报道。

本研究以台湾泥鳅和泥鳅为对象, 分析其在池塘和稻田 2 种典型养殖模式下的营养品质差异, 并采用多元统计分析解析其潜在原因, 以期筛选适宜的泥鳅加工原料提供基础数据, 服务于泥鳅加工业。

1 材料与方法

1.1 实验材料

池塘养殖模式下的台湾泥鳅(*P. dabryanus* ssp. pond-cultivated mode, PPOC)源自江西省水产科学研究所泥鳅黄鳝科研究实验基地, 稻田养殖模式下的台湾泥鳅(*P. dabryanus* ssp. paddy-cultivated, PPAC)源自江西省龙泰水产养殖有限公司, 池塘养殖模式下的泥鳅(*M. anguillicaudatus* pond-cultivated, MPOC)源自江西省上饶市玉山县淑山家庭农场, 稻田养殖模式下的泥鳅(*M. anguillicaudatus* paddy-cultivated, MPAC)源自江西省上饶市信州区朝晖苗木种植农民专业合作社。

上述 4 种样品为 18 月龄鲜活泥鳅, 养殖期间每日投喂 2 次人工饲料, 每日手撒投喂量为养殖泥鳅总重的 3% (根据天气及摄食情况略有增减), 并每 15 d 消毒、检查水质和泼洒 1 次微生态制剂调水, 做好病害防治, 于 2020 年 11 月 1 日活体运至实验室。

1.2 实验方法

1.2.1 形体指标测定 将鲜活泥鳅进行 24 h 饥饿处理后, 加入适量冰块和水, 静置 15~20 min, 泥鳅进入休眠状态后, 测量其体长、体高和体重, 计算体长体高比(ratio of body length to height, RLH)及肥满度(condition factor, CF)(GB/T 18654.4-2008), 见式(1)和式(2)。重复 6 次, 取平均值。

$$RLH=L/H \quad (1)$$

$$CF=(W/L^3)\times 100 \quad (2)$$

式中, L 为体长(cm); H 为体高(cm); W 为体重(g)。

1.2.2 营养指标测定 基本营养成分测定: 水分采用 105℃ 恒重法测定(GB 5009.3-2016); 灰分测定采用马弗炉 550℃ 高温灼烧法(GB 5009.4-2016); 粗蛋白质含量测定采用微量凯氏定氮法测定(GB 5009.5-2016); 粗脂肪含量测定采用索氏抽提法(GB 5009.6-2016)。重复 3 次, 取平均值。

脂肪酸含量测定根据 GB 5009.168-2016《食品中脂肪酸的测定》中水解法提取, 并利用 37 种脂肪酸甲酯混标(Sigma 公司, 美国)等试剂, 通过 Agilent 7890A 气相色谱(安捷伦科技(中国)有限公司), 测定脂肪酸甲酯含量, 经转换系数计算得出。测试参数如下: 毛细管色谱柱(柱长为 100 m, 内径为 0.25 mm, 膜厚为 0.2 μm); 进样器温度为 270℃, 检测器温度为 280℃; 进样体积为 1 μL, 分流比为 100:1; 升温程序: 初始温度为 100℃, 保持 13 min, 以 10℃/min 升温至 180℃, 保持 6 min, 再以 1℃/min 升温至 200℃, 保持 20 min, 最后以 4℃/min 升温至 230℃, 保持 10.5 min。重复 2 次, 取平均值。

1.2.3 品质指标测定 质构测定: 泥鳅经去头、去皮、去内脏后, 沿脊柱切取完整肉块(图 1)。分别取 10 mm×7 mm×4 mm 和 30 mm×7 mm×4 mm 的泥鳅背部肌肉(中部), 采用 TMS-PRO 质构仪(FTC 公司, 美国)进行质构剖面分析模式(TPA)下的挤压和剪切试验。挤压试验参数: 测试速度为 30 mm/min, 形变量为 50%, 回程距离为 30 mm; 剪切试验参数: 测试速度为 30 mm/min, 回程距离为 30 mm。重复 6 次, 取平均值。

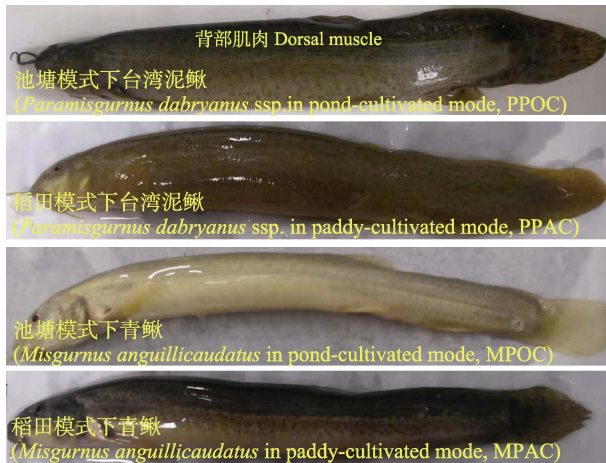


图1 泥鳅质构测量位置示意图

Fig.1 Schematic diagram of texture measured positions of loach TPA

游离氨基酸测定参考周纷等(2019)的方法,称取样品 2.0 g,加入 15 mL 质量分数为 5%的三氯乙酸溶液并匀浆,样品超声 5 min 后静置 2 h,然后离心(10 000 r/min、4℃、10 min)并移取上清液 5 mL 于烧杯中,用 6 mol/L NaOH 溶液和 1 mol/L NaOH 溶液调节 pH 值至 2.0,最后用超纯水定容至 10 mL,用 0.22 μm 水相滤膜过滤后打入进样瓶待上机测定。采用 Agilent 1260 高效液相色谱仪(安捷伦科技(中国)有限公司)测试参数如下:分离柱(4.6 mm×60.0 mm),树脂为阳离子交换树脂;分离柱温度为 57℃;1 通道流速为 0.4 mL/min;2 通道流速为 0.35 mL/min;流动相: pH 为 3.2、3.3、4.0、4.9 的柠檬酸钠和柠檬酸的混合缓冲液以及质量分数为 4%的茚三酮缓冲液。重复 2 次,取平均值。

1.2.4 脂肪酸和游离氨基酸的评价方法 致动脉粥样化指数(index of atherogenic, IA)、血栓形成指数(index of thrombogenic, IT) (楼乔明等, 2016)用于评估养殖泥鳅对人类心血管疾病发生的影响, 见式(3)和式(4); 滋味强度值(taste activity value, TAV) (周纷等, 2019)用于评价养殖泥鳅的呈味特性, 见式(5)。

$$IA = (C_{12:0} + C_{14:0} + C_{16:0}) / (\Sigma MUFA + \Sigma PUFA) \quad (3)$$

$$IT = (C_{14:0} + C_{16:0} + C_{18:0}) / [0.5 \times \Sigma MUFA + 0.5 \times n-6 \Sigma PUFA + 3 \times n-3 \Sigma PUFA + (n-3 \Sigma PUFA / n-6 \Sigma PUFA)] \quad (4)$$

$$TAV(\text{mg/mL}) = C/T \quad (5)$$

式中, $C_{12:0}$ 、 $C_{14:0}$ 、 $C_{16:0}$ 和 $C_{18:0}$ 为月桂酸、肉豆蔻酸、棕榈酸、硬脂酸分别占总脂肪酸含量的比例(%); $\Sigma MUFA$ 为单不饱和脂肪酸占总脂肪酸含量的总和(%); $\Sigma PUFA$ 为多不饱和脂肪酸占总脂肪酸含量的总和(%); $n-3 \Sigma PUFA$ 为多不饱和脂肪酸中 $n-3$ 的总和;

$n-6 \Sigma PUFA$ 为多不饱和脂肪酸中 $n-6$ 的总和; C 为滋味物质的绝对含量(mg/100 g); T 为该滋味物质的味道阈值(mg/100 mL)。

1.3 数据处理

数据采用平均值±标准差表示,由 SPSS 22.0 软件进行统计学分析,采用单因素方差分析(one-way ANOVA)和 Duncan's 多重比较检验进行显著性评价($P < 0.05$);将 PPOC、PPAC、MPAC 和 MPOC 的 12 个指标标准化处理后进行主成分分析(马龙等, 2013);通过 Graphpad Prism 7.0 软件制作游离氨基酸热图以及 Origin 2021 软件制作载荷图。

2 结果与分析

2.1 池塘和稻田养殖模式下台湾泥鳅和泥鳅的形体特征

由表 1 可知,除体长和体高比外,台湾泥鳅形体指标均显著大于泥鳅。肥满度与体长体高比呈负相关,可能与品种、养殖密度和投喂量等密切相关,即 PPOC 肥满度最大(1.00 ± 0.01),而体高体长比最小(6.53 ± 0.16),相比 MPOC 肥满度大 2 倍。PPOC 体重、体高和肥满度均显著高于 PPAC ($P < 0.05$),体长体高比则相反;MPOC 肥满度(0.50 ± 0.01)显著低于 MPAC (0.73 ± 0.03) ($P < 0.05$),MPOC 体长体高比显著高于 MPAC ($P < 0.05$)。

2.2 池塘和稻田养殖模式下台湾泥鳅和泥鳅的营养差异

2.2.1 基本营养成分差异 池塘和稻田养殖模式下台湾泥鳅、泥鳅的营养成分差异较为明显(表 2)。台湾泥鳅水分、灰分和粗蛋白含量显著低于泥鳅 ($P < 0.05$),粗脂肪则相反($P < 0.05$),其中,MPAC 粗蛋白含量最高为(21.09 ± 0.57)%,PPOC 粗蛋白含量最低为(17.00 ± 0.28)%。从养殖模式上看,台湾泥鳅除粗脂肪外,其水分、灰分和粗蛋白含量趋势均为 PPOC < PPAC ($P < 0.05$),而泥鳅除水分和灰分外 ($P > 0.05$),粗蛋白含量呈 MPAC < MPOC ($P < 0.05$),表明稻田模式泥鳅的营养成分含量高于池塘。

2.2.2 脂肪酸差异 池塘和稻田养殖模式下台湾泥鳅和泥鳅共检测出 22 种脂肪酸,其中 8 种饱和脂肪酸(SFA)、5 种单不饱和脂肪(MUFA)和 9 种多不饱和脂肪酸(PUFA)(表 3)。PPOC 的 $\Sigma PUFA$ 显著高于 MPOC ($P < 0.05$),PPAC 的 $\Sigma PUFA$ 显著低于 MPAC ($P < 0.05$),不饱和脂肪酸含量(UFA)也呈现相同趋势。

表 1 池塘和稻田养殖模式下台湾泥鳅和泥鳅的形体比较
Tab.1 Body comparison of *P. dabryanus* ssp. and *M. anguillicaudatus* respectively pond-cultivated and paddy-cultivated

样品 Sample	指标 Index				
	体重 Weight/g	体长 Length/cm	体高 Height/cm	体长体高比 Ratio of body length to height	肥满度 Condition factor
PPOC	67.45±2.22 ^a	18.47±0.62 ^a	2.83±0.13 ^a	6.53±0.16 ^d	1.00±0.01 ^a
PPAC	51.50±2.22 ^b	18.50±0.50 ^a	2.34±0.11 ^b	7.58±0.23 ^c	0.84±0.03 ^b
MPOC	8.66±0.69 ^c	11.99±0.23 ^b	1.15±0.06 ^c	10.82±0.38 ^a	0.50±0.01 ^d
MPAC	10.52±0.26 ^c	11.52±0.18 ^b	1.33±0.04 ^c	8.65±0.32 ^b	0.73±0.03 ^c

注: 同列数据上标不同表示组间存在显著差异($P<0.05$), 下同

Note: Values in each column with different superscripts are significantly different ($P<0.05$), the same as below

表 2 池塘和稻田养殖模式下台湾泥鳅和泥鳅的基本营养成分含量(湿基, %)
Tab.2 Nutritional comparisons of muscle of *P. dabryanus* ssp. and *M. anguillicaudatus* respectively pond-cultivated and paddy-cultivated (wet mass, %)

样品 Sample	指标 Index			
	水分 Moisture	灰分 Ash	粗蛋白 Crude protein	粗脂肪 Crude fat
PPOC	70.90±0.55 ^c	1.51±0.01 ^c	17.00±0.28 ^d	3.33±0.12 ^a
PPAC	73.14±0.49 ^b	1.87±0.08 ^b	18.60±0.24 ^c	3.43±0.10 ^a
MPOC	77.21±0.21 ^a	2.61±0.08 ^a	19.67±0.68 ^b	0.85±0.03 ^b
MPAC	76.23±0.44 ^a	1.77±0.04 ^b	21.09±0.57 ^a	1.14±0.04 ^b

PPOC 脂肪酸种类为 18 种, PPAC 脂肪酸种类为 22 种, MPOC 脂肪酸种类为 11 种, MPAC 脂肪酸种类为 20 种, 表明稻田养殖模式下 2 种泥鳅的脂肪酸种类多于池塘养殖的相同品种。PPOC 的 Σ UFA 显著高于 PPAC ($P<0.05$), MPOC 的 Σ UFA 显著低于 MPAC ($P<0.05$)。PPOC 的 EPA+DHA (9.69±0.09)% 显著高于 PPAC (6.50±0.00)% ($P<0.05$), MPOC 的 EPA+DHA (13.76±0.12)% 显著高于 MPAC (5.70±0.06)% ($P<0.05$); PPAC 的 n-3 Σ PUFA/n-6 Σ PUFA 是 PPOC 的 3.05 倍, MPOC 的 n-3 Σ PUFA/n-6 Σ PUFA 是 MPAC 的 1.37 倍。PPOC 的 IA 和 IT 显著低于 PPAC ($P<0.05$), MPOC 的 IA 和 IT 显著低于 MPAC ($P<0.05$)。

2.3 池塘和稻田养殖模式下台湾泥鳅和泥鳅的品质差异

2.3.1 质构特性差异 表 4 为池塘和稻田养殖模式对台湾泥鳅与泥鳅肌肉质构特性的影响。除内聚性外, 台湾泥鳅的 5 项质构指标均显著高于泥鳅 ($P<0.05$)。PPOC 硬度、内聚性和弹性等 6 个指标均显著高于 PPAC ($P<0.05$), 而 MPOC 弹性、咀嚼性、内聚性和剪切力均显著低于 MPAC ($P<0.05$), 内聚性规律与之相反($P<0.05$)。此外, 弹性、咀嚼性和剪切力的规律一致, 即 PPOC>PPAC>MPAC>MPOC

($P<0.05$); 硬度与胶黏性规律一致, 即 PPOC>PPAC>MPOC~MPAC。整体来看, 养殖模式对台湾泥鳅差异显著, PPOC 的质构特性显著高于 PPAC ($P<0.05$), 而泥鳅此规律并不明显。

2.3.2 游离氨基酸差异 如图 2 所示, 每种泥鳅样品都检测出 17 种游离氨基酸, 且每种游离氨基酸含量都呈现出 MPAC>PPAC>MPOC>PPOC, 表明同一养殖模式下, 泥鳅肌肉的游离氨基酸含量大于台湾泥鳅; 稻田养殖模式下 2 种泥鳅肌肉游离氨基酸含量高于池塘养殖的相同品种。然而, 游离氨基酸含量越高不一定对食品的味道贡献越大, 通常利用滋味强度值 (TAV) 表示某一滋味物质对整体滋味的贡献程度。当某一游离氨基酸的 TAV>1 时, 表明该物质有滋味活性, 且对整体滋味具有显著贡献(周纷等, 2019; Chen *et al.*, 2007)。MPOC、MPAC、PPAC 与 PPOC 的呈味物质分别为 5、5、5 和 4 种, 表明泥鳅的滋味贡献物质多于台湾泥鳅。4 种样品的呈味物质中均有 Glu、Arg、His 和 Met (TAV>1), 其中, Glu 的 TAV 值最大 (2.61~4.27) 且呈现鲜味, Arg、His 和 Met 呈现苦味。

2.4 池塘与稻田养殖模式下台湾泥鳅和泥鳅的特征主成分分析

主成分分析是利用降维原理, 将多个指标转化成

表3 池塘和稻田养殖模式下台湾泥鳅和泥鳅的脂肪酸组成及含量
Tab.3 Amino acid composition of muscle of *P. dabryanus* ssp. and *M. anguillicaudatus* respectively pond-cultivated and paddy-cultivated (%)

脂肪酸 Fatty acid	PPOC	PPAC	MPOC	MPAC
C6:0	—	—	1.83±0.07 ^a	0.56±0.01 ^b
C12:0	—	0.35±0.01	—	—
C14:0	1.38±0.00 ^b	3.43±0.04 ^a	—	1.46±0.01 ^b
C15:0	0.35±0.00 ^c	2.32±0.01 ^a	—	0.93±0.00 ^b
C16:0	15.74±0.01 ^d	19.87±0.05 ^a	17.75±0.01 ^c	18.93±0.12 ^b
C17:0	—	2.27±0.08 ^a	—	0.83±0.01 ^b
C18:0	2.54±0.00 ^d	4.38±0.02 ^b	6.26±0.02 ^a	4.02±0.05 ^c
C23:0	0.92±0.00 ^d	5.18±0.01 ^a	4.20±0.01 ^b	1.72±0.02 ^c
C16:1n7	7.67±0.02 ^b	12.26±0.10 ^a	3.38±0.02 ^d	6.48±0.04 ^c
C17:1n7	0.39±0.00 ^c	2.60±0.00 ^a	—	0.63±0.00 ^b
C18:1n9c	21.41±0.03 ^a	17.43±0.03 ^c	19.26±0.15 ^b	21.54±0.00 ^a
C20:1	0.75±0.00 ^b	0.44±0.01 ^c	—	1.41±0.05 ^a
C22:1n9	0.42±0.00 ^c	—	1.21±0.00 ^a	0.96±0.01 ^b
C18:2n6c	30.53±0.02 ^a	10.20±0.06 ^d	27.81±0.00 ^b	25.48±0.29 ^c
C18:3n6	0.99±0.01 ^b	0.62±0.01 ^c	—	1.32±0.12 ^a
C18:3n3	3.97±0.06 ^c	7.79±0.01 ^a	1.70±0.00 ^d	5.15±0.08 ^b
C20:3n6	2.01±0.01 ^b	1.07±0.00 ^d	2.83±0.05 ^a	1.52±0.02 ^c
C20:2	0.77±0.00 ^d	1.34±0.00 ^a	—	0.92±0.01 ^b
C20:3n3	—	0.59±0.01	—	—
C22:2n6	0.47±0.01 ^a	0.50±0.00 ^a	—	—
C20:5n3(EPA)	1.79±0.01 ^b	3.08±0.00 ^a	—	1.54±0.01 ^c
C22:6n3(DHA)	7.90±0.08 ^b	3.41±0.00 ^d	13.76±0.12 ^a	4.16±0.05 ^c
EPA+DHA	9.69±0.09 ^b	6.50±0.00 ^c	13.76±0.12 ^a	5.70±0.06 ^d
ΣSFA	20.93±0.00 ^d	37.80±0.01 ^a	30.04±0.07 ^b	28.44±0.13 ^c
ΣMUFA	30.63±0.03 ^c	32.74±0.06 ^a	23.85±0.13 ^d	31.01±0.10 ^b
ΣPUFA	48.44±0.03 ^a	28.62±0.07 ^d	46.11±0.06 ^b	40.10±0.23 ^c
n-3 ΣPUFA	13.67±0.03 ^c	14.88±0.02 ^b	15.46±0.12 ^a	10.85±0.14 ^d
n-6 ΣPUFA	31.99±0.01 ^a	11.33±0.05 ^d	27.81±0.00 ^b	26.80±0.41 ^c
n-3 ΣPUFA/n-6 ΣPUFA	0.43±0.00 ^c	1.31±0.00 ^a	0.56±0.00 ^b	0.41±0.01 ^d
ΣUFA	79.07±0.00 ^a	61.36±0.01 ^d	69.96±0.07 ^c	71.11±0.13 ^b
致动脉粥样化指数 IA	0.27±0.00 ^c	0.55±0.00 ^a	0.25±0.00 ^d	0.35±0.00 ^b
血栓形成指数 IT	0.27±0.00 ^d	0.41±0.00 ^a	0.33±0.00 ^c	0.39±0.00 ^b

注：同行不同小写字母表示显著差异($P<0.05$)

Note: Different small letters in the same row denote significantly different ($P<0.05$)

少数几个互不相关的综合指标,并可反映较多的原来变量信息(马龙等, 2013)。目前,主成分分析方法已运用于分析鱼类形体或品质间相关性,韩慧宗等(2016)运用该方法发现,12、15、18月龄许氏平鲂(*Sebastes schlegeli*)的8个形体指标间具有密切联系。胡芬等(2011)采用主成分分析方法研究不同季节湖北5种淡水鱼的质构特性与基本成分间的相关性。本研

究中,泥鳅形体性状、质构特性和营养成分存在密切的相关性(相关系数绝对值 >0.5),说明各指标之间存在信息上的重叠,适合进行主成分分析。图3中水分(X_9)在PC1上具有最大的载荷,其特征值(λ)为10.018($\lambda \geq 1$),方差贡献率为83.485%,内聚性(X_4)在PC2上具有较大的载荷,特征值(λ)为1.143($\lambda \geq 1$),方差贡献率为9.522%,二者累计方差贡献率为93.01%

表 4 池塘和稻田养殖模式下台湾泥鳅和泥鳅的质构特性比较
Tab.4 Comparison of texture properties of *P. dabryanus* ssp. and *M. anguillicaudatus* respectively pond-cultivated and paddy-cultivated

样品 Sample	指标 Index					
	硬度 Hardness/N	内聚性 Cohesiveness/Ratio	弹性 Springiness/mm	胶粘性 Gumminess/N	咀嚼性 Chewiness/mj	剪切力 Shear force/N
PPOC	40.00±1.16 ^a	0.46±0.01 ^a	0.97±0.02 ^a	18.35±0.37 ^a	18.32±0.26 ^a	25.61±0.71 ^a
PPAC	38.04±0.07 ^b	0.27±0.00 ^d	0.52±0.02 ^b	11.45±0.24 ^b	5.92±0.06 ^b	22.47±0.82 ^b
MPOC	17.85±0.25 ^c	0.31±0.01 ^c	0.20±0.00 ^d	5.39±0.14 ^c	1.05±0.03 ^d	8.09±0.37 ^d
MPAC	16.39±0.37 ^c	0.35±0.01 ^b	0.31±0.00 ^c	5.81±0.11 ^c	1.80±0.05 ^c	9.69±0.14 ^c

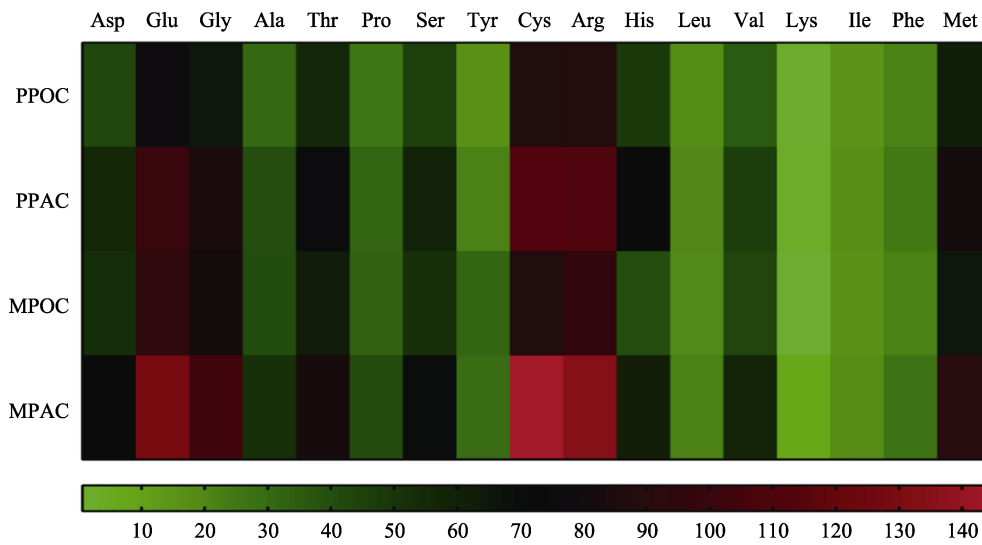


图 2 池塘与稻田养殖模式下台湾泥鳅和泥鳅的游离氨基酸热图
Fig.2 Free amino acid heatmap of *P. dabryanus* ssp. and *M. anguillicaudatus* pond-cultivated and paddy-cultivated

(>85%), 较好地反映了泥鳅形体性状与营养品质间的差异性, 有望作为优选泥鳅适合养殖模式的评价依据。而且弹性、肥满度和粗脂肪等 7 者间正相关程度高, 水分含量、体长体高比、粗蛋白及灰分四者间正相关程度高, 这二者间存在负相关(图 3)。每个指标

的主成分特征向量是载荷矩阵除以对应主成分(PC1、PC2)特征值的平方根(马龙等, 2013)。其特征向量为对应指标(X_i)前的系数, 将每项特征向量与其标准化数据相乘后相加, 可构建出主成分(F_1 、 F_2)与所列 12 个指标间的表达式(6)(7):

$$F_1 = -0.30X_1 + 0.30X_2 + 0.29X_3 + 0.19X_4 + 0.31X_5 + 0.31X_6 + 0.30X_7 + 0.31X_8 - 0.31X_9 - 0.25X_{10} - 0.27X_{11} + 0.29X_{12} \quad (6)$$

$$F_2 = -0.04X_1 + 0.09X_2 - 0.36X_3 + 0.7X_4 + 0.14X_5 + 0.02X_6 + 0.2X_7 - 0.24X_8 + 0.07X_9 - 0.29X_{10} + 0.18X_{11} - 0.37X_{12} \quad (7)$$

3 讨论

3.1 池塘和稻田养殖模式下台湾泥鳅和泥鳅的形体特征

形体性状作为生物的宏观表型特征, 是水产动物分类的依据之一(韩慧宗等, 2016)。台湾泥鳅和泥鳅

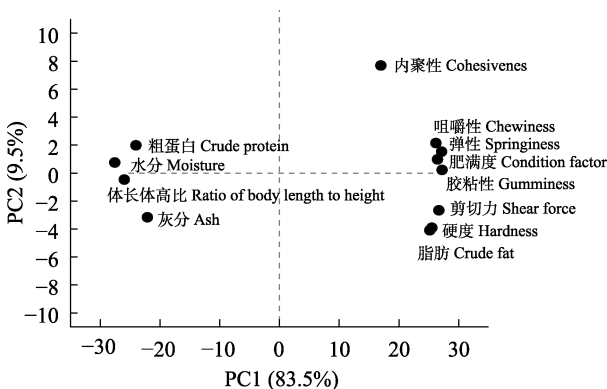


图 3 主成分载荷图
Fig.3 Load of principal component analysis

体形均为前端圆筒型和后端侧扁型,眼小且头部光滑、无鳞片,须 5 对,体表易分泌黏液,耐低温。与此同时,种间和个体间体色差异较大,通常台湾泥鳅腹部偏黄,泥鳅则偏白,该现象除品种外,还与生存环境有关(张晓霞, 2019),尤其受土质颜色影响。本研究测得台湾泥鳅的肥满度与冯彬彬等(2019)研究 3~6 月龄的台湾泥鳅相一致,但其体长为(11.60±1.68) cm、体高为(1.80±0.29) cm,与本研究测得数值差别较大,其原因可能为台湾泥鳅生长快,在 3~6 月龄时已达到最佳的肥满度,因此,随着体长、体高的增长,肥满度变化不明显。PPAC 体长体高比大于 PPOC,提高了 13.85%,可能与这 2 种养殖模式食物供给及捕获难易程度不同有关,稻田模式更贴近野生环境(Shin *et al.*, 2018),小部分食物可从稻田中直接获取(如虫、植物碎屑等),而大部分通过食物竞争,提高泥鳅的运动能力并使能量消耗增加,因而 PPAC 的体形较 PPOC 瘦长,验证了鱼类摄食与运动代谢存在相关性。泥鳅形体比台湾泥鳅更小而瘦长,与其泥鳅游泳能力和钻土能力均强于台湾泥鳅有关(Wang *et al.*, 2018)。黄菊等(2015)研究发现,真泥鳅肥满度为 0.63±0.01,与本研究结果相似且其进一步研究了真泥鳅、大鳞副泥鳅及台湾泥鳅的生长性能与营养成分间的相关性,3 种泥鳅都具有较好营养价值,其中,真泥鳅最高,台湾泥鳅最低,但台湾泥鳅生长速度显著快于另外 2 种,表明营养价值和生长性能存在内在联系。以上表明,不同养殖模式不仅影响形体,且对其营养成分造成一定影响。

3.2 池塘和稻田养殖模式下台湾泥鳅和泥鳅的营养差异

通常认为,营养成分是水产品品质的重要指标,粗蛋白和粗脂肪含量可反映其营养价值高低(张殿福等, 2020)。本研究中,台湾泥鳅粗蛋白含量低于泥鳅;台湾泥鳅脂肪含量处于正常范围(2%~4%)(尤宏争等, 2017; 戴璐怡等, 2021),泥鳅脂肪含量(0.8%~1.5%)与韩光明等(2016)研究一致,2 种泥鳅肌肉水分和粗脂肪含量呈负相关,该结论与张殿福等(2020)研究结果一致。不同养殖模式也会造成营养品质的差异(韩光明等, 2016)。本研究中,除粗脂肪外,PPAC 肌肉水分、灰分及粗蛋白含量显著高于 PPOC ($P<0.05$);除水分、粗脂肪外,MPAC 粗蛋白含量显著高于 MPOC ($P<0.05$),灰分反之($P<0.05$),说明稻田模式养殖环境可能使其自身粗蛋白含量增加。

脂肪酸含量在合理范围内,能对人体产生积极作用,尤其是不饱和脂肪酸,具有降低高密度脂蛋白血

清胆固醇的作用,能大大降低高血压、心脏病、中风等高发疾病的发病率,因而备受关注(宋红梅等, 2020)。本研究发现,脂肪酸主要成分有 C16:0、C18:1n9c 和 C18:2n6c,分别是 SFA、MUFA 和 PUFA 中主要的成分,该结果与戴璐怡等(2021)一致。根据 FAO/WHO 推荐的日常膳食 n-3 Σ PUFA/n-6 Σ PUFA 值为 0.1~0.2(刘庆华等, 2017),本研究中,PPAC 的 n-3 Σ PUFA/n-6 Σ PUFA (1.31±0.00)%显著高于 MPAC (0.41±0.01)% ($P<0.05$),PPOC 的 n-3 Σ PUFA/n-6 Σ PUFA (0.43±0.00)%显著低于 MPOC (0.56±0.00)% ($P<0.05$)。IA、IT 值越小,表明不饱和脂肪酸含量越高,对人体越有益,通常牛肉的 IA、IT 分别为 0.72、1.06,羊肉的 IA、IT 分别为 1.00、1.58(楼乔明等, 2016)。本研究中,PPOC 和 MPOC 的 IA 分别为 0.27±0.00、0.25±0.00,表明 MPOC 能更好的抑制动脉粥样硬化;PPOC 和 MPOC 的 IT 分别为 0.27±0.00、0.33±0.00,表明 PPOC 能更好的防止血栓形成。另外,稻田养殖模式下 2 种泥鳅脂肪酸种类多于池塘养殖的相同品种,可能由于泥鳅属于杂食性淡水鱼类,PPAC 和 MPAC 更易摄入各种食物,通过消化吸收,产生更多种脂肪酸。本研究中, n-3 Σ PUFA/n-6 Σ PUFA_(PPOC)<n-3 Σ PUFA/n-6 Σ PUFA_(PPAC); n-3 Σ PUFA/n-6 Σ PUFA_(MPOC)>n-3 Σ PUFA/n-6 Σ PUFA_(MPAC),说明不同品种泥鳅可能因适合的养殖环境不同而造成 n-3 Σ PUFA/n-6 Σ PUFA 值差异较大。DHA 有助于增强学习和思维能力,EPA 具有一定的抗炎和免疫调节作用(Johnston *et al.*, 2006),因而,EPA+DHA 常作为反映其营养功效的指标之一。本研究中, EPA+DHA_(MPOC)>EPA+DHA_(PPOC)>EPA+DHA_(PPAC)>EPA+DHA_(MPAC)($P<0.05$),与黄菊等(2015)结论不一致,由此可推测,同一养殖 EPA+DHA 含量不仅与泥鳅年龄、肥满度等有关,且和养殖模式有关,即池塘养殖模式可能更易合成 EPA 和 DHA。IA_(PPAC)>IA_(PPOC), IA_(MPAC)>IA_(MPOC),IT 规律与之相同,表明泥鳅与禽类相比,不饱和脂肪酸含量高,对调节血脂、抑制动脉粥样硬化和阻止血栓形成起到积极作用。综上所述,泥鳅的营养价值高于台湾泥鳅,PPOC 和 MPOC 肌肉更易合成 DHA、EPA。

3.3 池塘和稻田养殖模式下台湾泥鳅和泥鳅的品质差异

质构特性会影响消费者的购买行为和食用者的直观感受,通过 TPA 模拟人嘴巴的咬合动作对样品进行 2 次压缩以探究样品被咀嚼时的变化,综合分析食品结构及其所含营养成分间的相关性,可弥补感官

评分的不足(Nishinari *et al.*, 2018; Ma *et al.*, 2020; Larsen *et al.*, 2016)。本研究中, 台湾泥鳅的硬度、弹性、胶黏性、咀嚼性和剪切力远大于泥鳅($P<0.05$), 说明质构与其品种、遗传、摄食运动等内在因素有关(Periago *et al.*, 2005), 其中, 泥鳅质构的实验结果与袁向阳等(2017)的结果一致, 且硬度和弹性最能影响鱼肉品质(吴永祥等, 2021)。PPOC 硬度是 MPOC 的 2.24 倍, PPOC 弹性是 MPOC 的 4.85 倍; PPAC 硬度是 MPAC 的 2.32 倍, PPAC 弹性是 MPAC 的 1.68 倍。陈伟等(2021)研究发现, 弹性与鱼肉中的水分、脂肪存在一定的相关性。台湾泥鳅弹性比泥鳅高, 这与台湾泥鳅体重、体长、肥满度显著高于泥鳅有关, 该结论与 Wang 等(2018)发现一致。此外, 硬度_(PPOC)>硬度_(PPAC) ($P<0.05$), 而 MPOC 略大于 MPAC ($P>0.05$), 弹性_(PPOC)>弹性_(PPAC) ($P<0.05$), 弹性_(MPOC)<弹性_(MPAC) ($P<0.05$), 表明 PPOC 和 MPAC 硬度较大, 抵抗牙齿挤压力较强, 肌肉纤维断裂力也随之增强, 胶黏性大, 肉质紧实, 耐咀嚼, 口感更佳。

游离氨基酸是氨基酸中一类可增强食品滋味的物质, 根据其氨基酸呈味特性不同, 主要分为甜味、鲜味、苦味和硫味(周纷等, 2019; Zhang *et al.*, 2016)。本研究发现, 每种游离氨基酸都具有 MPAC>PPAC, MPOC>PPOC, 这可能与泥鳅钻土能力强有关, 因泥鳅作为杂食性鱼类, 在淤泥层中可汲取丰富的营养, 通过肠道的消化、蠕动, 更好地吸收从而转化成更多滋味物质。MPOC 呈味物质 5 种, 即 Glu、Arg、His、Val 和 Met (TAV>1), 分别为 3.12、1.90、1.98、1.07、2.44 和 2.17 mg/mL, PPOC 呈味物质 4 种, 即 Glu、Arg、His、Met (TAV>1), 分别为 2.16、1.75、2.37 和 2.05 mg/mL, 表明与台湾泥鳅相比, 泥鳅的呈味特征更明显。稻田养殖模式下 2 种泥鳅的 17 种游离氨基酸含量均显著高于池塘养殖的相同品种, 表明稻田养殖模式下的泥鳅, 其肌肉风味比池塘养殖的更加突出, 该结论与池塘和稻田养殖模式下建鲤(*Cyprinus carpio* var. jian)(赵柳兰等, 2021)的研究结果一致。稻田模式下泥鳅的呈味物质多于池塘(TAV>1), 表明稻田模式的营养种类更加丰富, 合成更多的游离氨基酸, 产生较多滋味物质。本研究中, 2 种泥鳅主要由苦味氨基酸占主导地位, Arg 虽呈苦味, 但具有提高呈味复杂性及鲜度的作用, His 可增强某些海产品中的“肉香”风味特征(张秀洁等, 2019), 且 2 种泥鳅的苦味氨基酸含量虽较高, 但其不具有味觉活性, 易被甜味和鲜味物质所掩盖(周纷等, 2019; Chen *et al.*, 2007), 可能具有较好的鲜味和相应特征风味, 可为

后续在实际烹调与产品开发时风味调控提供参考。

4 结论

本研究以池塘与稻田养殖模式下台湾泥鳅和泥鳅为研究对象, 分析其形体特征、营养成分和品质差异的影响, 结果得出, 台湾泥鳅的肥满度大于泥鳅, 其中, PPOC 肥满度(1.00±0.01)显著高于 MPOC (0.50±0.01) ($P<0.05$), 与台湾泥鳅相比, 泥鳅粗蛋白含量更高, 粗脂肪含量更低, 其中 MPAC 粗蛋白含量最高, 达(21.09±0.57)%, 除内聚性外, 台湾泥鳅的质构特性显著高于泥鳅; 其次, PPOC 肥满度显著高于 PPAC, MPOC 肥满度显著低于 MPAC, 池塘养殖模式下 2 种泥鳅的 IA、IT 显著低于稻田养殖的相同品种, 稻田养殖泥鳅的肌肉比池塘养殖泥鳅的肌肉更具有呈味特性。本研究可为筛选适宜的泥鳅加工原料提供基础数据。

参 考 文 献

- Bureau of Fishery and Fishery Administration, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, National Aquatic Technology Promotion Station, China Fisheries Society. 2020 China fisheries statistics yearbook. Beijing: China Agriculture Press, 2020 [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. 2020 年中国渔业统计年鉴. 北京: 中国农业出版社, 2020]
- CHEN D W, ZHANG M. Non-volatile taste active compounds in the meat of Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*). Food Chemistry, 2007, 104(3): 1200–1205
- CHEN W, CHEN J S. Food texture and properties. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2021, 21(1): 377–384 [陈伟, 陈建设. 食品的质构及其性质. 中国食品学报, 2021, 21(1): 377–384]
- DAI L Y, LIN S L, YE J Y, *et al.* Effects of different lipid diets on the growth, fatty acid composition and texture of muscle from *Paramisgurnus dabryanus* ssp. Freshwater Fisheries, 2021, 51(1): 76–82 [戴璐怡, 林胜利, 叶建勇, 等. 不同脂肪源饲料对台湾泥鳅生长、肌肉脂肪酸组成和质构的影响. 淡水渔业, 2021, 51(1): 76–82]
- FENG B B, ZHANG Q K, GAO X M, *et al.* Growth characteristics of large-sized fingerlings *Paramisgurnus dabryanus* ssp. in pond culture. Journal of Ningbo University (Natural Science and Engineering), 2019, 32(6): 43–48 [冯彬彬, 张清科, 高心明, 等. 池塘养殖条件下台湾泥鳅大规模鱼种的生长特性. 宁波大学学报(理工版), 2019, 32(6): 43–48]
- HAN G M, BI J H, TANG H J, *et al.* Nutritional component analysis in muscles of *Misgurnus anguillicaudatus* and *Paramisgurnus dabryanus* from Shaobo Lake. Journal of

- Jimei University (Natural Science), 2016, 21(5): 330–337 [韩光明, 毕建花, 唐鹤军, 等. 邵伯湖区泥鳅与大鳞副泥鳅肌肉营养组成分析. 集美大学学报(自然科学版), 2016, 21(5): 330–337]
- HAN H Z, JIANG H B, WANG F, *et al.* Principal component and path analysis of morphological traits of selective groups at different month ages of *Sebastes schlegeli*. Journal of Fisheries of China, 2016, 40(8): 1163–1172 [韩慧宗, 姜海滨, 王斐, 等. 许氏平鲈不同月龄选育群体形态性状的主成分与通径分析. 水产学报, 2016, 40(8): 1163–1172]
- HU F, LI X D, XIONG S B, *et al.* Texture properties of freshwater fish and their correlation with nutritional components. 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. 食品科学, 2011, 32(11): 69–73]
- HUANG J, CHU Z J, DENG S G, *et al.* Comparison of growth performance and nutritive value of three species of loach (*Misgurnus anguillicaudatus*, local *Paramisgurnus dabryanus* and Taiwan *Paramisgurnus dabryanu*). Journal of Zhejiang Ocean University (Natural Science), 2015, 34(1): 32–35, 44 [黄菊, 储张杰, 邓尚贵, 等. 三种泥鳅生长性能及营养成分的比较. 浙江海洋学院学报(自然科学版), 2015, 34(1): 32–35, 44]
- JOHNSTON I A, LI X J, VIEIRA V L A, *et al.* Muscle and flesh quality traits in wild and farmed Atlantic salmon. Aquaculture, 2006, 256(1): 323–336
- LARSEN D, TANG J Y, FERGUSON L, *et al.* Textural complexity is a food property—shown using model foods. International Journal of Food Properties, 2016, 19(7): 1–33
- LIU Q H, HUANG S, YUE W C, *et al.* Effects of *Elodea nuttallii* on growth and nutritional quality of Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis*. Journal of Fishery Sciences of China, 2017, 24(1): 91–99 [刘庆华, 黄姝, 岳武成, 等. 伊乐藻对中华绒螯蟹生长和营养品质的影响. 中国水产科学, 2017, 24(1): 91–99]
- LOU Q M, ZHANG W, LIU L L, *et al.* Analysis and nutritional evaluation of fatty acids in fish skin of *Theragra chalcogramma*. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2016, 30(2): 332–337 [楼乔明, 张问, 刘连亮, 等. 狭鳕鱼皮脂肪酸组成分析及其营养评价. 核农学报, 2016, 30(2): 332–337]
- MA H F, LIU Y J, TU X H, *et al.* Optimization of test conditions for TPA texture properties of avocado flesh. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2020, 526(1): 1–8
- MA L, WU J, WU L L, *et al.* Principal component analysis of texture profile properties of spiced beef. Science and Technology of Food Industry, 2013, 34(8): 111–113, 117 [马龙, 武杰, 吴玲玲, 等. 酱牛肉质构特性主成分分析. 食品工业科技, 2013, 34(8): 111–113, 117]
- NISHINARI K, FANG Y P. Perception and measurement of food texture: Solid foods. Journal of Texture Studies, 2018, 49(2): 160–201
- PERIAGO M J, AYALA M D, LÓPEZ-ALBORS O, *et al.* Muscle cellularity and flesh quality of wild and farmed sea bass, *Dicentrarchus labrax* L. Aquaculture, 2005, 249(1): 175–188
- SHIN H S, SONG Y J, KWON S I, *et al.* Monthly change of the length-weight relationship of the loach (*Misgurnus anguillicaudatus*) population in paddy fields by farming practices. Korean Journal of Environmental Biology, 2018, 36(1): 1–10
- SONG H M, QU Z W, WANG X J, *et al.* Analysis and assessment for nutritional components of the muscle of *Danio rerio*. Progress in Fishery Sciences, 2020, 41(5): 177–184 [宋红梅, 屈政委, 汪学杰, 等. 印尼拟松鲷肌肉营养成分分析与评价. 渔业科学进展, 2020, 41(5): 177–184]
- WANG J Q, FU G H, LI W Y, *et al.* The effects of two free-floating plants (*Eichhornia crassipes* and *Pistia stratiotes*) on burrow morphology and water quality characteristics of pond loach (*Misgurnus anguillicaudatus*) habitat. Aquaculture and Fisheries, 2018, 3(1): 22–29
- WANG J, PEI X L, LIU H Y, *et al.* Extraction and characterization of acid-soluble and pepsin-soluble collagen from skin of loach (*Misgurnus anguillicaudatus*). International Journal of Biological Macromolecules, 2018, 106: 544–550
- WANG L, WU L, LIU Q, *et al.* Improvement of flesh quality in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed supranutritional dietary selenium yeast is associated with the inhibited muscle protein degradation. Aquaculture Nutrition, 2018, 24(4): 1351–1360
- WU Y X, WANG T T, ZHANG M T, *et al.* Microbial diversity and quality characteristics of Huizhou stinky mandarin fish and the antioxidant activity of its enzymolysis products. Food Science, 2021, 42(2): 128–134 [吴永祥, 王婷婷, 张梦婷, 等. 徽州臭鳃鱼微生物多样性、品质特性及其酶解产物抗氧化能力分析. 食品科学, 2021, 42(2): 128–134]
- XU Y F, HU W. The analysis of the meat quality of *Paramisgurnus dabryanus*, *Misgurnus anguillicaudatus* and *Misgurnus bipartitus*. Acta Hydrobiologica Sinica, 2020, 44(6): 1–8 [许元峰, 胡炜. 大鳞副泥鳅、泥鳅和北方泥鳅肉质比较分析. 水生生物学报, 2020, 44(6): 1–8]
- YANG S, DU J, DUAN Y L, *et al.* Differences in the digestive enzyme activity, intestinal mucosa and microbial community in loach cultivated in two separate environments. BMC Microbiology, 2018, 18: 113–125
- YANG S, DU J, LUO J, *et al.* Effects of different diets on the intestinal microbiota and immunity of common carp (*Cyprinus carpio*). Journal of Applied Microbiology, 2019, 127(5): 1327–1338
- YANG S, DUAN Y L, ZHANG J, *et al.* Observational comparisons of intestinal microbiota characterizations, immune enzyme activities, and muscle amino acid compositions of loach in paddy fields and ponds in Sichuan

- Province. *Applied Microbiology Biotechnology*, 2017, 101(11): 4775–4789
- YOU H Z, SHAO P, GAO J Z, *et al.* Comparative analysis of muscular nutrients in export-grade hybrid loach *Paramisgurnus dabryanus* ♀× Taiwan loach ♂ and their parent. *Journal of Dalian Ocean University*, 2017, 32(2): 198–204 [尤宏争, 邵蓬, 高建忠, 等. 出口级黄板鳅(♀)×台湾泥鳅(♂)杂交种及其亲本肌肉营养成分分析比较. 大连海洋大学学报, 2017, 32(2): 198–204]
- YUAN X Y, WANG Z Z, YANG C, *et al.* Comparison of the body color, texture, activities of viscera digestive enzymes, antioxidant enzymes and ATP enzymes of two cultured population of *Misgurnus anguillicaudatus*. *Progress in Fishery Sciences*, 2017, 38(2): 121–127 [袁向阳, 王志铮, 杨程, 等. 两种养殖模式下泥鳅养成品体色、质构及其脏器消化酶、抗氧化酶和 ATP 酶活力的差异. 渔业科学进展, 2017, 38(2): 121–127]
- ZHANG D F, WU L, ZHANG X Z, *et al.* Nutrient components and texture profiles in the flesh of Atlantic salmon, triploid rainbow trout, and golden trout. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2020, 27(2): 186–194 [张殿福, 吴雷, 张学振, 等. 大西洋鲑、三倍体虹鳟和金鳟的肌肉营养成分与品质特性. 中国水产科学, 2020, 27(2): 186–194]
- ZHANG K J, WU N, WANG X C, *et al.* Effects of 3 feeding modes on the volatile and nonvolatile compounds in the edible tissues of female Chinese mitten crab (*Eriocheir sinensis*). *Journal of Food Science*, 2016, 81(4): S968–S981
- 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*). *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. 食品与发酵工业, 2019, 45(20): 242–249]
- ZHANG X X. Study on the morphological characteristic and related physiological functions of *Misgurnus anguillicaudatus* cohort juvenile with different weight-gaining performance. Master's Thesis of Zhejiang Ocean University, 2019, 1–72 [张晓霞. 池养泥鳅同生群幼鱼中不同增重性能群体间形质与相关生理功能的差异研究. 浙江海洋大学硕士研究生学位论文, 2019, 1–72]
- ZHAO L L, LONG Y N, LUO J, *et al.* Analysis and comparison of intestinal microbiota, immune enzyme activities, and muscle flavor of Jian carp in two culture modes. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2021, 28(1): 48–56 [赵柳兰, 龙亚男, 罗杰, 等. 池塘和稻田两种养殖模式下建鲤肠道菌群、免疫酶活性及肌肉氨基酸比较分析. 中国水产科学, 2021, 28(1): 48–56]
- ZHOU F, ZHANG Y X, ZHANG L, *et al.* Differences in taste components in by-products of chilled large yellow croaker (*Pseudosciaena crocea*). *Food Science*, 2019, 40(16): 193–199 [周芬, 张艳霞, 张龙, 等. 冰鲜大黄鱼不同副产物中滋味成分差异分析. 食品科学, 2019, 40(16): 193–199]

(编辑 陈 辉)

Effects of Pond-Cultivation and Paddy-Cultivation Modes on Nutritional Quality of Loach

CAI Lijun^{1,2}, GUO Quanyou^{2①}, MA Donglin², WANG Haihua^{3,4,5}, YANG Xu²,
MA Benhe^{3,4,5}, HUANG Haichao², ZHENG Yao²

(1. College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

2. East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Shanghai 201306, China;

3. Jiangxi Fisheries Research Institute, Nanchang, Jiangxi 330039, China; 4. Scientific Observing and Experimental Station of Fishery Resources Environment in Poyang Lake, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Nanchang, Jiangxi 330039, China;

5. Nanchang Key Laboratory of Special Aquaculture Breeding and Healthy Aquaculture, Nanchang, Jiangxi 330039, China)

Abstract To explore the effects of different culture mode on the nutritional quality of loaches, differences in body characteristics, nutritional composition, and quality of *Paramisgurnus dabryanus* ssp. and *Misgurnus anguillicaudatus* pond-cultivated and paddy-cultivated were evaluated, and the correlation between body characteristics and nutritional quality were discussed. The results showed that the fatness of *P. dabryanus* ssp. pond-cultivated (PPOC) (1.00 ± 0.01) was significantly higher than that of *M. anguillicaudatus* pond-cultivated (MPOC) (0.50 ± 0.01) ($P<0.05$). The crude protein content of *M. anguillicaudatus* was significantly higher than that of *P. dabryanus* ssp. ($P<0.05$), while the crude fat content of *M. anguillicaudatus* was significantly lower than that of *P. dabryanus* ssp. ($P<0.05$). *M. anguillicaudatus* paddy-cultivated (MPAC) had the highest crude protein content (21.09 ± 0.57)%. The texture properties of *P. dabryanus* ssp. were significantly better than those of *M. anguillicaudatus* ($P<0.05$), except for cohesiveness. The culture model had a significant effect on the body characteristics of loaches. The fatness of PPOC was significantly higher than that of PPAC ($P<0.05$), and the fatness of MPOC was significantly lower than that of MPAC ($P<0.05$). The atherogenic and thrombogenic indices of the two pond-cultivated loaches were significantly lower than those paddy-cultivated ($P<0.05$). $\text{Hardness}_{(\text{PPOC})} > \text{hardness}_{(\text{PPAC})}$, and $\text{springiness}_{(\text{MPOC})} < \text{springiness}_{(\text{MPAC})}$ ($P<0.05$). Glutamate, arginine, histidine, valine, and methionine levels were higher in paddy-cultivated mode than those of in pond-cultivated mode ($\text{TAV}>1$). The results of principal component analysis showed that there was a close relationship between body characteristics and nutritional quality. Fatness was negatively correlated with the ratio of body length to height (-0.996), positively correlated with TPA characteristics and crude fat content, and negatively correlated with moisture content, ash content, and crude protein content. Based on the indexes of fatness and texture *et al*, PPOC is the most suitable raw material for loach processing.

Key words *Paramisgurnus dabryanus* ssp.; *Misgurnus anguillicaudatus*; Cultivation mode; Body characteristics; Nutritional quality

① Corresponding author: GUO Quanyou, E-mail: dhsguoqy@163.com