

文章编号: 1000-0615(2017)08-1256-08

DOI: 10.11964/jfc.20161210643

## 不同养殖模式对斑点叉尾鲴生长和肌肉品质特性的影响

邵俊杰<sup>1</sup>, 张世勇<sup>1,3</sup>, 朱昱璇<sup>2</sup>, 王明华<sup>1,3\*</sup>,  
张美琴<sup>1\*</sup>, 陈校辉<sup>1,3</sup>, 边文冀<sup>1,3</sup>

(1. 江苏省淡水水产研究所, 江苏 南京 210017;

2. 环境保护部南京环境科学研究所,

国家环境保护农药环境评价与污染控制重点实验室, 江苏 南京 210042;

3. 江苏省农业种质资源保护与利用平台, 江苏 南京 210014)

**摘要:** 为探究不同养殖模式下斑点叉尾鲴的生长性能和肌肉品质特性, 随机选取传统池塘(TP)、高密度循环水系统(HD-RAS)和水泥池塘(CP)养殖模式下的鲜活斑点叉尾鲴, 测定其生长状况, 以及肌肉营养成分、颜色、持水力和质构特性。结果显示, TP和HD-RAS的斑点叉尾鲴的增重率和特定生长率差异不显著, 但均高于CP; CP的肝体比(2.35%±0.22%)显著高于TP和HD-RAS; 与TP相比, HD-RAS和CP肌肉的粗脂肪含量更低, 粗蛋白和灰分含量更高; HD-RAS肌肉的亮度值(L\*)(58.18±3.56)、红度值(a\*)(6.05±1.08)最高, CP最低, 分别为48.15±6.04和4.81±0.84; 传统池塘养殖的斑点叉尾鲴熟肉率最低, 离心损失、滴水损失和失水率最高, HD-RAS和CP之间差异不显著; HD-RAS和CP肌肉的硬度、咀嚼性和弹性显著高于TP, 但3处理组间的内聚性和回复性没有显著差异。研究表明, 与传统池塘养殖模式相比, 水泥池塘养殖模式易造成斑点叉尾鲴生长减慢, 而高密度循环水养殖模式对斑点叉尾鲴生长性能没有显著影响, 并且在该养殖模式下肌肉具有更高的持水力、质构特性, 同时呈现高蛋白、低脂肪的营养特点。

**关键词:** 斑点叉尾鲴; 高密度循环水养殖; 生长性能; 营养成分; 肌肉品质

**中图分类号:** S 965.1

**文献标志码:** A

针对传统池塘养殖中存在的废水排放、周期性藻类水华暴发、劳动力需求大、鱼肉土腥味影响品质及装备水平低下等一系列问题, 高密度循环水养殖模式应运而生, 作为一种以养殖用水净化后循环利用为主要特征的高效养殖模式, 其养殖密度是传统池塘养殖的数倍, 具有节地、节电、节水的优势<sup>[1-4]</sup>。与传统池塘养殖相比, 高密度循环水养殖符合目前国家提出的节能减排、循环经济的战略需求。

斑点叉尾鲴(*Ictalurus punctatus*)又称美洲鲶、沟鲶, 属鲶形目(Siluriformes)、鲶科(Ictaluridae), 是一种重要的水产经济类物种, 具有适应范围广、肉质鲜嫩、生长快、易捕捞、抗病力

强、食性杂等特点<sup>[5]</sup>。20世纪80年代, 斑点叉尾鲴由美国引入中国, 现已成为我国重要的淡水经济鱼类。目前传统池塘养殖作为斑点叉尾鲴的主要养殖模式, 已无法满足市场需求, 因此为提高斑点叉尾鲴产量, 解决供需矛盾, 高密度循环水养殖模式是未来养殖业的发展方向<sup>[3]</sup>。

养殖模式能显著影响鱼类的生长状况、肌肉品质和营养成分<sup>[6-8]</sup>。研究发现高密度循环水养殖系统能降低水体中氮、磷含量, 净化水质<sup>[9-10]</sup>, 但目前关于该养殖模式对鱼类生长和肌肉品质的影响还不清楚。因此, 本实验以斑点叉尾鲴为研究对象, 比较传统池塘(TP)、高密度循环水系统(HD-RAS)和水泥池塘(CP)3种养殖模式对斑点

收稿日期: 2016-12-14 修回日期: 2017-04-01

资助项目: 现代农业产业技术体系专项(CARS-46); 江苏省农业科技自主创新资金[CX(16)1004]

通信作者: 王明华, E-mail: w19731224@sina.com; 张美琴, E-mail: 1792147490@qq.com

叉尾鲷生长性能和肌肉品质的影响, 旨在为斑点叉尾鲷推广养殖以及提高肌肉品质提供理论依据和技术支持。

### 1 材料与方 法

#### 1.1 实验设计与分 组

本研究所用斑点叉尾鲷来自江苏省淡水水

产研究所浦口试验基地, 实验鱼初始体质量为30 g 左右。传统池塘的养殖面积为1700 m<sup>2</sup>, 养殖密度为90 g/m<sup>3</sup>; 高密度循环水系统的养殖面积为80 m<sup>2</sup>, 养殖密度为4800 g/m<sup>3</sup>; 水泥池塘的养殖面积为30 m<sup>2</sup>, 养殖密度为300 g/m<sup>3</sup>。实验从2016年4月开始, 养殖120 d。期间每10 d测定1次池塘水质。3种养殖模式下养殖池水质指标见表1。

表 1 养殖过程中的池塘主要水质指标  
Tab. 1 The principal water parameters of ponds during the aquaculture period

养殖模式 aquaculture mode	高锰酸盐 permanganate	氨氮 ammonia nitrogen	亚硝酸盐氮 nitrite nitrogen	总氮 total nitrogen	总磷 total phosphorus
TP	6.48±0.71	1.22±0.34	0.03±0.01	4.24±0.63	0.30±0.05
HD-RAS	5.90±0.40	0.88±0.21	0.02±0.00	3.02±0.41	0.21±0.02
CP	6.82±0.36	1.41±0.33	0.04±0.01	4.58±0.66	0.35±0.04

#### 1.2 高密度循环水养殖系统构建与养殖设备配置

养殖设备主要包括4个养殖槽(每个养殖槽长10 m, 宽2 m)、增氧机、进排水管、涌浪机、固液分离机、轴流泵、生物滤器和泡沫分离器等。系统工艺流程见图1, 循环水池中的废水经养殖池塘底部排水管排至固液分离器, 使用不锈钢网筛过滤掉废水中的残饵、粪便等固形污物后, 固形污物进入沉淀池, 经沉淀后进入集污池, 最终排出循环系统。经固液分离后的水体通过轴流泵依次进入生物滤池和泡沫分离器, 在此过程中水体中的有机物和溶解性的氨氮等被分解、净化, 净化后的水体通过配水池流回养殖池塘, 最终实现水的循环利用。

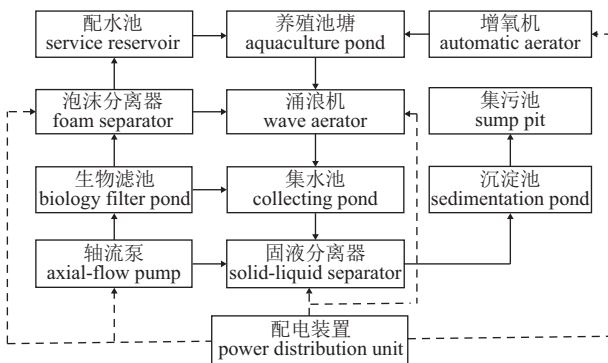


图 1 高密度循环水养殖系统工艺流程图  
Fig. 1 Process flow chart of the high density recirculating aquaculture system

#### 1.3 饲养管理

饲料购于江苏金大地饲料有限公司, 其成分分析保证值: 水分≤12%, 粗蛋白≥32%, 粗脂肪≥4.0%, 粗纤维≤8%, 灰分≤15%, 总磷≥0.8%, 赖氨酸≥1.5%, 钙0.5%~2.5%, 氯化钠0.3%~2.0%。日投喂3次, 投喂时间依次为7:30、16:30和19:30。

#### 1.4 实验方法

生长测定 实验结束后, 按养殖方式分别随机采集40尾斑点叉尾鲷, 先称体质量、测体长, 然后去掉内脏, 称空壳质量, 采集肝脏并称重。生长性能指标测定:

$$\text{空壳率}(\%) = W_e / W_f \times 100;$$

$$\text{肥满度}(\text{g}/\text{cm}^3) = 100 \times W_f / L^3;$$

$$\text{肝体比}(\%) = W_l / W_f \times 100;$$

$$\text{增长率}(\%) = (W_f - W_0) / W_0 \times 100;$$

$$\text{特定增长率}(\%/d) = 100 \times (\ln W_f - \ln W_0) / t$$

式中, W<sub>0</sub>为实验开始时斑点叉尾鲷的体质量(g), W<sub>f</sub>、W<sub>e</sub>、L、W<sub>l</sub>分别为实验结束时鱼的体质量(g)、空壳质量(g)、体长(cm)和肝脏质量(g), t为实验时间(d)。

营养组成分析 水分含量参照GB 5009.3—2010《食品安全国家标准 食品中水分的测定》中常压干燥法测定<sup>[11]</sup>; 灰分含量参照GB 5009.4—2010《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》测定<sup>[12]</sup>; 总蛋白含量参照GB 5009.5—2010《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》中的凯

氏定氮法测定<sup>[13]</sup>；脂肪含量参照GB/T 5009.6—2003《食品中脂肪的测定》中索氏抽提法测定<sup>[14]</sup>。

**肌肉颜色测定** 使用美能达色差计CR-400(日本Konica公司)测量斑点叉尾鲷背部肌肉颜色。测量前使用CR-A43校准白板进行校正。 $L^*$ 代表亮度值； $a^*$ 代表红绿值，正值为红度值，负值为绿度值； $b^*$ 代表黄蓝值，正值为黄度值，负值为蓝度值。数值越大，说明肌肉越偏向相应颜色。每组6尾鱼，同时为避免在每次重复实验过程中出现偶然因素，每尾鱼取3个平行。

**肌肉持水力测定** 持水力测定参数包括滴水损失、离心损失、失水率、贮存损失、冷冻渗出率和熟肉率。滴水损失测定方法是将10 g形状规则的肌肉放进充气塑料袋中，肉样与塑料袋不接触，悬挂于4 °C冰箱中48 h后称重，滴水损失(%)=(滴水前质量-滴水后质量)/滴水前质量×100；离心损失的测定方法为取10 g肌肉在4 °C离心(15 000×g, 15 min)后称重，离心损失(%)=(离心前质量-离心后质量)/离心前质量×100；失水率的测定方法是将15 g肌肉放在72 °C水浴锅中煮30 min后冷却，称重，失水率(%)=(煮前质量-煮后质量)/煮前质量×100；贮存损失的测定方法是将10 g肌肉放进自封袋中，在4 °C贮存24 h后称重，贮存损失(%)=(贮存前质量-贮存后质量)/贮存前质量×100；冷冻渗出率的测定方法是将10 g肌肉放进自封袋中，在-20 °C冻存24 h后称重，冷冻渗出率(%)=(冷冻前质量-冷冻后质量)/冷冻前质量×100；熟肉率的测定方法是将10 g肌肉放在蒸格上蒸15 min，取出自然冷却15 min后称重，熟肉率(%)=蒸后质量/蒸前质量×100。每组6尾鱼，每尾鱼取3个平行。

**肌肉质构测定** 取斑点叉尾鲷背部肌肉，切成1.0 cm×1.0 cm×1.0 cm的小块。使用TA-XT plus质构仪(英国Stable Micro System公司)，以质构剖面分析(texture profile analysis, TPA)方法

测定肌肉的硬度、咀嚼性、弹性、内聚性和回复性等指标。选择探头：P/50；测前速度：1.0 mm/s，测中速度：2.0 mm/s；侧后速度：5.0 mm/s；压缩比：70%；2次下压间隔时间：5 s；负载类型：Auto-5 g。每组8尾鱼，每尾鱼取3个平行。

## 1.5 数据统计分析

实验数据用SAS (statistics analysis system, Version 9.2)统计软件进行相关性分析和方差分析，使用ANOVA (analysis of variance)进行方差分析，并用Duncan's法进行多重比较， $P<0.05$ 表示差异显著。

## 2 结果与分析

### 2.1 养殖模式对斑点叉尾鲷生长性能的影响

TP和HD-RAS斑点叉尾鲷的终末体质量与体长之间差异不显著( $P>0.05$ )，但都显著高于CP ( $P<0.05$ )；HD-RAS和CP的空壳率为85.50%左右，TP最低，仅为81.79%( $P<0.05$ )；养殖模式对肥满度没有显著影响( $P>0.05$ )；TP和HD-RAS的肝体比差异不显著( $P>0.05$ )，CP肝体比最高( $P<0.05$ )(表2)。

3种养殖模式下斑点叉尾鲷的增重率和特定生长率分别为409%~728%和(1.38~1.77)%/d，其中CP的增重率和特定生长率最低( $P<0.05$ )，TP和HD-RAS之间差异不显著( $P>0.05$ )(图2)。

### 2.2 养殖模式对斑点叉尾鲷肌肉营养成分的影响

3种养殖模式下斑点叉尾鲷肌肉水分含量为79.50%左右，差异不显著( $P>0.05$ )；TP肌肉的粗脂肪含量最高，粗蛋白和灰分含量最低( $P<0.05$ )；HD-RAS和CP肌肉中各营养成分含量没有显著差异( $P>0.05$ )(表3)。

表2 不同养殖模式下斑点叉尾鲷的生长性能

Tab. 2 Growth performance of *I. punctatus* cultured under different aquaculture modes (mean±SD)

养殖模式 aquaculture mode	初始体质量/g staring weight	终末体质量/g final weight	体长/cm length	空壳率/% shell rate	肥满度/(g/cm <sup>3</sup> ) condition factor	肝体比/% hepatomatic index
TP	30.45±1.81	252.00±25.88 <sup>a</sup>	26.18±1.62 <sup>a</sup>	81.79±2.43 <sup>b</sup>	1.40±0.18	1.69±0.37 <sup>b</sup>
HD-RAS	29.85±1.56	244.00±16.40 <sup>a</sup>	25.54±1.54 <sup>a</sup>	85.61±2.13 <sup>a</sup>	1.46±0.13	1.77±0.27 <sup>b</sup>
CP	31.60±2.10	160.88±21.92 <sup>b</sup>	21.86±1.28 <sup>b</sup>	85.33±1.27 <sup>a</sup>	1.54±0.31	2.35±0.22 <sup>a</sup>

注：同列中不同上标字母表示差异显著( $P<0.05$ )，下同

Notes: values with different letter superscripts in the same column are significantly different ( $P<0.05$ ), the same below

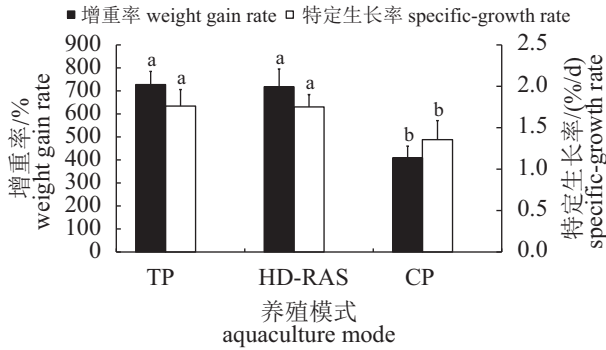


图2 不同养殖模式下斑点叉尾鲷的增重率和特定生长率

不同字母表示存在显著差异( $P<0.05$ )

Fig. 2 Weight gain rate and specific-growth rate of *I. punctatus* cultured under different aquaculture modes  
Different letters represent significant difference among different treatments ( $P<0.05$ )

2.3 养殖模式对斑点叉尾鲷肌肉颜色的影响

HD-RAS肌肉的 $L^*$ 值最高, 达到58.18, 显著高于CP (48.15) ( $P<0.05$ ), 但与TP (55.49)差异不显著( $P>0.05$ ), 说明HD-RAS肌肉更加鲜亮, 而CP颜色偏暗, 无光泽; HD-RAS肌肉的 $a^*$ 值与TP差异不显著( $P>0.05$ ), CP的 $a^*$ 值最低( $P<0.05$ ); 肌肉 $b^*$ 值三者间略有差别, 但不显著( $P>0.05$ ), 表明养殖模式对斑点叉尾鲷肌肉抗氧化能力无显著影响(表4)。

2.4 养殖模式对斑点叉尾鲷肌肉持水力的影响

TP肌肉的离心损失、滴水损失和失水率显

表3 不同养殖模式下斑点叉尾鲷肌肉的营养成分

Tab. 3 Composition in muscle of *I. punctatus* cultured under different aquaculture modes (mean±SD, %)

养殖模式 (Aqua. mode)	水分 (moisture)	粗脂肪 (crude fat)	粗蛋白 (crude protein)	灰分 (ash)
TP	79.79±1.14	2.43±0.23 <sup>a</sup>	15.83±0.96 <sup>b</sup>	1.46±0.10 <sup>b</sup>
HD-RAS	79.35±1.57	2.01±0.15 <sup>b</sup>	16.74±0.71 <sup>a</sup>	1.78±0.18 <sup>a</sup>
CP	79.24±2.05	2.09±0.18 <sup>b</sup>	16.67±1.06 <sup>a</sup>	1.75±0.14 <sup>a</sup>

表5 不同养殖模式下斑点叉尾鲷肌肉的持水力

Tab. 5 Water holding capacity of muscle from *I. punctatus* cultured under different aquaculture modes (mean±SD, %)

养殖模式 (Aqua. mode)	离心损失 (centrifugal loss)	滴水损失 (drip loss)	失水率 (liquid loss)	贮存损失 (stored loss)	冷冻渗出率 (frozen leakage rate)	熟肉率 (cooked rate)
TP	13.02±1.64 <sup>a</sup>	50.33±7.73 <sup>a</sup>	29.99±0.91 <sup>a</sup>	2.70±0.48	5.27±0.74	70.06±2.04 <sup>b</sup>
HD-RAS	10.07±2.14 <sup>b</sup>	37.00±3.87 <sup>b</sup>	26.26±1.06 <sup>b</sup>	2.66±0.31	5.98±0.46	72.99±1.46 <sup>a</sup>
CP	8.96±1.50 <sup>b</sup>	34.04±4.00 <sup>b</sup>	25.22±1.93 <sup>b</sup>	2.63±0.30	5.22±0.62	74.06±2.42 <sup>a</sup>

表4 不同养殖模式下斑点叉尾鲷肌肉的颜色

Tab. 4 Colour of muscle from *I. punctatus* cultured under different aquaculture modes (mean±SD)

养殖模式 (Aqua. mode)	$L^*$	$a^*$	$b^*$
TP	55.49±6.39 <sup>ab</sup>	6.01±1.03 <sup>a</sup>	7.22±0.94
HD-RAS	58.18±3.56 <sup>a</sup>	6.05±1.08 <sup>a</sup>	6.40±0.73
CP	48.15±6.04 <sup>b</sup>	4.81±0.84 <sup>b</sup>	6.60±1.27

著高于HD-RAS和CP ( $P<0.05$ ), 而后二者之间差异不显著( $P>0.05$ ); 肌肉的贮存损失和冷冻渗出率分别为2.63%~2.70%和5.22%~5.98%, 3种养殖模式间差异不显著( $P>0.05$ ); HD-RAS与CP的熟肉率分别为72.99%和74.06%, 差异不显著( $P>0.05$ ), 但都高于TP ( $P<0.05$ ), 说明与传统池塘养殖相比, 高密度循环水和水泥池塘养殖模式能够改善斑点叉尾鲷肌肉加工特性, 提高出品率(表5)。

2.5 养殖模式对斑点叉尾鲷肌肉质构特性的影响

质构特性是水产品极为重要的品质指标, 其结果能够反映出肌肉的组织结构和触感。斑点叉尾鲷肌肉的硬度、咀嚼性和弹性分别为(6654.97~7984.59)g、(383.45~911.64)g和0.28~0.43, 其中HD-RAS和CP肌肉硬度、咀嚼性、弹性差异不显著( $P>0.05$ ), 但显著高于TP ( $P<0.05$ )。虽然HD-RAS的内聚性和回复性略高于TP和CP, 但三者间没有显著性差异( $P>0.05$ )(表6)。

3 讨论

养殖环境或条件对鱼类生长有显著影响<sup>[15]</sup>。有研究认为较高的养殖密度会造成鱼类生长缓慢<sup>[16]</sup>, 但本研究表明, 与传统池塘养殖相比, 高密度循环水养殖模式不会降低斑点叉尾鲷的增重率、特定生长率和肥满度等生长指标, 而且能显著提高空壳率( $P<0.05$ )。这可能是因为整个循

表 6 不同养殖模式下斑点叉尾鲷肌肉的质构特性

养殖模式 aquaculture mode	硬度/g hardness	咀嚼性/g chewiness	弹性 springiness	内聚性 cohesiveness	回复性 resilience
TP	6654.97±813.76 <sup>b</sup>	383.45±60.58 <sup>b</sup>	0.28±0.04 <sup>b</sup>	0.22±0.03	0.13±0.02
HD-RAS	7610.05±639.72 <sup>a</sup>	874.85±160.09 <sup>a</sup>	0.36±0.03 <sup>a</sup>	0.26±0.03	0.17±0.04
CP	7984.59±856.26 <sup>a</sup>	911.64±145.69 <sup>a</sup>	0.43±0.04 <sup>a</sup>	0.25±0.02	0.14±0.02

环水系统使用了较为先进的水处理工艺,使水体中的亚硝酸盐氮、氨氮等保持在较低的水平(表1),鱼类因此不易受到不良影响<sup>[17]</sup>。王峰等<sup>[1]</sup>也发现循环水养殖模式提供了优越的水质环境,更加适合半滑舌鳎(*Cynoglossus semilaevis*)的育肥。在水泥池塘中,虽然斑点叉尾鲷养殖密度较低,但没有良好的水循环系统,水体交换缓慢,池塘内粪便、饵料不断累积,导致水质恶化,因此鱼的增重率和特定生长率低( $P<0.05$ )。肝体比反映鱼类在一定时期内的营养状况,当鱼体营养不良时,肝体比会发生显著变化,一般鱼类的肝体比为1%~2%。在本研究中TP和HD-RAS的肝体比显著低于CP( $P<0.05$ ),说明在相同饲料来源下,TP和HD-RAS的斑点叉尾鲷营养状况要优于CP。故总体而言,高密度循环水养殖模式能提供优质、稳定的水质环境,从而保证斑点叉尾鲷较好地发挥其生长性能。

营养组成状况对肌肉加工特性和食用品质有重要影响,蛋白质和脂肪作为肌肉中重要营养成分,受到鱼的种类、生长阶段以及饲料等因素的影响<sup>[18-19]</sup>。研究发现鲑鳟鱼肉的蛋白质含量主要受品种、遗传等因素的影响,而养殖模式对其影响不大<sup>[20]</sup>,但本研究发现,高密度循环水和水泥池塘养殖模式能显著提高斑点叉尾鲷蛋白质含量( $P<0.05$ )。HD-RAS和CP肌肉中脂肪含量显著低于TP,可能是因为HD-RAS和CP的斑点叉尾鲷密度大,活动空间小,需要消耗更多的能量相互竞争,导致体内脂肪积累减少,而TP与之相反。因此,高密度循环水系统和水泥池塘养殖的斑点叉尾鲷肌肉表现出高蛋白、低脂肪的特点,营养价值更高。

生鲜鱼肉的色泽状况能显著影响消费者的购买欲。HD-RAS肌肉的 $L^*$ 值、 $a^*$ 值都显著高于CP,宏观表现为HD-RAS肌肉色泽更加鲜亮、饱满。这可能是由于在不同养殖模式下,水质、

鱼的运动强度不同造成鱼肉中肌红蛋白和血红蛋白含量存在差异<sup>[21]</sup>。

持水力是评价肌肉品质特性的重要指标,指当肌肉受到外力作用(加热、冷冻、切碎、加压等)时保持原有水分的能力。当肌肉拥有较强的持水力时,肌肉蛋白的降解速率将会显著降低,肉或肉制品的货架期也将明显延长;相反,当肌肉持水力较弱时,水分流失的同时伴随着肌肉中可溶性蛋白和风味物质含量的降低,这将显著影响肌肉品质和加工特性<sup>[22-23]</sup>。离心损失、滴水损失、失水率、贮存损失和冷冻渗出率与持水力呈负相关,熟肉率与持水力呈正相关<sup>[24]</sup>。本实验结果表明,与TP相比,HD-RAS和CP的离心损失、滴水损失和失水率更低,熟肉率更高,说明高密度循环水和水泥池塘养殖模式有利于提高斑点叉尾鲷肌肉的持水力。

质构特性是食品的重要品质要素之一,受到宰杀过程、储藏条件、加工方式等因素的影响<sup>[25-27]</sup>。硬度、咀嚼性和弹性是反映肌肉质构特性的主要指标。HD-RAS和CP肌肉的硬度、咀嚼性和弹性无显著差异,但均高于TP( $P<0.05$ )。由于HD-RAS和CP斑点叉尾鲷在狭小的空间内需释放更多的能量来维持其生命活动,导致运动能力提高,肌肉细胞间的结合力增强,肌纤维直径变得小而紧密,肌纤维密度增加<sup>[21]</sup>,因此肌肉硬度、咀嚼性和弹性更高。同时,由于肌细胞间相互作用的增强,更多的水分子被束缚在肌肉中<sup>[28-29]</sup>,使得HD-RAS和CP的肌肉持水力高于TP(表5)。此外,HD-RAS和CP肌肉中较低的脂肪含量也有助于提高肌肉硬度<sup>[30]</sup>。弹性与肌动蛋白、肌球蛋白和弹性蛋白含量呈正相关<sup>[21]</sup>,因此HD-RAS和CP肌肉中较高的蛋白含量也有利于弹性的提升。内聚性是指肌肉抵抗外力的能力,反映肌细胞间结合能力的大小;回复性表示肌肉受外力压缩后迅速恢复的性质<sup>[31]</sup>。本研究中HD-RAS和CP肌细胞间的相互作用增强,受外力

压缩后恢复的能力也提高,从而表现出肌肉内聚性、回复性稍高于TP,但这种优势并不明显。

综上所述,与传统池塘和水泥池塘养殖模式相比,高密度循环水系统提供了优越的水质环境,不会影响斑点叉尾鲴生长性能,而且能够改善肌肉营养组成,提高肌肉的持水力和质构特性,最终达到改善肌肉品质、提高产量的目的。因此,高密度循环水养殖模式更加适合斑点叉尾鲴集约化养殖。

#### 参考文献:

- [1] 王峰,雷霖霖.半滑舌鲷成鱼开放流水与循环水养殖模式下生长及肌肉营养成分差异研究[J].水产学报,2015,39(4):520-528.  
Wang F, Lei J L. Research on variance analysis of breeding and quality in muscles of *Cynoglossus semilaevis* adult fish in open flow through and recirculating aquaculture mode[J]. Journal of Fisheries of China, 2015, 39(4): 520-528(in Chinese).
- [2] Blancheton J P. Developments in recirculation systems for Mediterranean fish species[J]. Aquacultural Engineering, 2000, 22(1-2): 17-31.
- [3] 王峰,雷霖霖,高淳仁,等.国内外工厂化循环水养殖研究进展[J].中国水产科学,2013,20(5):1100-1111.  
Wang F, Lei J L, Gao C R, et al. Review of industrial recirculating aquaculture research at home and abroad[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2013, 20(5): 1100-1111(in Chinese).
- [4] 齐巨龙,赖铭勇,王茂元,等.鳗鲡循环水高密度养殖试验研究[J].上海海洋大学学报,2012,21(2):212-217.  
Qi J L, Lai M Y, Wang M Y, et al. Research on the cultivating eel in a recirculating aquaculture system[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2012, 21(2): 212-217(in Chinese).
- [5] 张世勇,钟立强,秦钦,等.斑点叉尾鲴GHRH基因3个SNPs位点及其单倍型组合与生长性状的关联分析[J].水生生物学报,2016,40(5):886-893.  
Zhang S Y, Zhong L Q, Qin Q, et al. Three SNPs polymorphism of growth hormone-releasing hormone gene (GHRH) and association analysis with growth traits in channel catfish[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2016, 40(5): 886-893(in Chinese).
- [6] 马玲巧,亓成龙,曹静静,等.水库网箱和池塘养殖斑点叉尾鲴肌肉营养成分和品质的比较分析[J].水产学报,2014,38(4):538-544.  
Ma L Q, Qi C L, Cao J J, et al. Comparative study on muscle texture profile and nutritional value of channel catfish (*Ictalurus punctatus*) reared in ponds and reservoir cages[J]. Journal of Fisheries of China, 2014, 38(4): 538-544(in Chinese).
- [7] Ikonomou M G, Higgs D A, Gibbs M, et al. Flesh quality of market-size farmed and wild british columbia salmon[J]. Environmental Science & Technology, 2007, 41(2): 437-443.
- [8] 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).
- [9] 胡庚东,宋超,陈家长,等.池塘循环水养殖模式的构建及其对氮磷的去除效果[J].生态与农村环境学报,2011,27(3):82-86.  
Hu G D, Song C, Chen J Z, et al. Modeling of water circulating pond aquaculture system and its N & P removal effect[J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2011, 27(3): 82-86(in Chinese).
- [10] Davidson J, Good C, Welsh C, et al. Abnormal swimming behavior and increased deformities in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* cultured in low exchange water recirculating aquaculture systems[J]. Aquacultural Engineering, 2011, 45(3): 109-117.
- [11] 中华人民共和国卫生部. GB 5009.3-2010 食品安全国家标准,食品中水分的测定[S].北京:中国标准出版社,2010.  
The Ministry of Health of the People's Republic of China. GB 5009.3-2010 National food safety standard determination of moisture in foods[S]. Beijing: Standards Press of China, 2010 (in Chinese).
- [12] 中华人民共和国卫生部. GB 5009.4-2010 食品安全国家标准,食品中灰分的测定[S].北京:中国标准出版社,2010.  
The Ministry of Health of the People's Republic of China. GB 5009.4-2010 National food safety standard determination of ash in foods[S]. Beijing: Standards Press of China, 2010 (in Chinese).
- [13] 中华人民共和国卫生部. GB5009.5-2010食品安全国家标准,食品中蛋白质的测定[S].北京:中国标准出版社,2010.

- The Ministry of Health of the People's Republic of China. GB5009.5-2010 National food safety standard determination of protein in foods[S]. Beijing: Standards Press of China, 2010 (in Chinese).
- [14] 中华人民共和国卫生部. GB/T 5009.6-2003 食品中脂肪的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003.
- The Ministry of Health of the People's Republic of China. GB/T 5009.6-2003 Determination of fat in foods[S]. Beijing: Standard Press of China, 2003 (in Chinese).
- [15] 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.[J]. *Aquaculture*, 2005, 249(1-4): 175-188.
- [16] Irwin S, O'Halloran J, Fitzgerald R D. Stocking density, growth and growth variation in juvenile turbot, *Scophthalmus maximus* (Rafinesque)[J]. *Aquaculture*, 1999, 178(1-2): 77-88.
- [17] 赵霞. 不同养殖密度对两种鲆鲽鱼类生长及免疫指标的影响[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2010.
- Zhao X. Effect of stocking density on growth and immune in flounder reared in re-circulating and flow through rearing systems[D]. Qingdao: China Ocean University, 2010 (in Chinese).
- [18] 刘志东, 陈雪忠, 曲映红, 等. 南极冰鱼与南极磷虾营养成分分析及比较[J]. *现代食品科技*, 2014, 30(2): 228-233.
- Liu Z D, Chen X Z, Qu Y H, *et al.* Comparison and evaluation of the nutritional components of Antarctic icefish and krill[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2014, 30(2): 228-233(in Chinese).
- [19] 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).
- [20] Shearer K D. Factors affecting the proximate composition of cultured fishes with emphasis on salmonids[J]. *Aquaculture*, 1994, 119(1): 63-88.
- [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.
- 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(in Chinese).
- [22] 张玉伟, 罗海玲, 贾慧娜, 等. 肌肉系水力的影响因素及其可能机制[J]. *动物营养学报*, 2012, 24(8): 1389-1396.
- Zhang Y W, Luo H L, Jia H N, *et al.* Effect factors of water holding capacity of meats and its potential mechanism[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2012, 24(8): 1389-1396(in Chinese).
- [23] Shao J J, Zou Y F, Xu X L, *et al.* Effects of NaCl on water characteristics of heat-induced gels made from chicken breast proteins treated by isoelectric solubilization/precipitation[J]. *CyTA-Journal of Food*, 2016, 14(1): 145-153.
- [24] 程辉辉, 谢从新, 李大鹏, 等. 种青养鱼模式下的草鱼肌肉营养成分和品质特性[J]. *水产学报*, 2016, 40(7): 1050-1059.
- Cheng H H, Xie C X, Li D P, *et al.* The study of muscular nutritional components and fish quality of grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) in ecological model of cultivating grass carp with grass[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2016, 40(7): 1050-1059(in Chinese).
- [25] 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.
- 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(in Chinese).
- [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] Taskaya L, Chen Y C, Beamer S, *et al.* Texture and colour properties of proteins recovered from whole gutted silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) using isoelectric solubilisation/precipitation[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2009, 89(2): 349-358.
- [28] Li C B, Liu D Y, Zhou G H, *et al.* Meat quality and cooking attributes of thawed pork with different low field NMR T<sub>21</sub>[J]. *Meat Science*, 2012, 92(2): 79-83.
- [29] Han M Y, Wang P, Xu X L, *et al.* Low-field NMR study of heat-induced gelation of pork myofibrillar proteins and its relationship with microstructural characteristics[J]. *Food Research International*, 2014, 62: 1175-

- 1182.
- [30] Johnston I A, Li X J, Vieira V L A, *et al.* Muscle and flesh quality traits in wild and farmed Atlantic salmon[J]. *Aquaculture*, 2006, 256(1-4): 323-336.
- [31] 何其, 林向东, 鹿常胜, 等. 基于质构参数的低温保藏罗非鱼片品质评价方法[J]. *包装与食品机械*, 2013, 31(6): 1-6.
- He Q, Lin X D, Lu C S, *et al.* The quality estimation of refrigerate tilapia fillets based on texture parameters[J]. *Packaging and Food Machinery*, 2013, 31(6): 1-6(in Chinese).

## Comparative study on growth performance and meat quality characteristics of channel catfish (*Ictalurus punctatus*) cultured under different aquaculture modes

SHAO Junjie<sup>1</sup>, ZHANG Shiyong<sup>1,3</sup>, ZHU Yuxuan<sup>2</sup>, WANG Minghua<sup>1,3\*</sup>,  
ZHANG Meiqin<sup>1\*</sup>, CHEN Xiaohui<sup>1,3</sup>, BIAN Wenji<sup>1,3</sup>

(1. Freshwater Fisheries Research Institute of Jiangsu Province, Nanjing 210017, China;

2. Key Laboratory of Pesticide Environmental Assessment and Pollution Control, Nanjing Institute of Environmental Sciences, Ministry of Environmental Protection, Nanjing 210042, China;

3. The Jiangsu Provincial Platform for Conservation and Utilization of Agricultural Germplasm, Nanjing 210014, China)

**Abstract:** In order to investigate the growth performance and meat quality characteristics of *I. punctatus* cultured under traditional pond (TP), high density recirculating aquaculture system (HD-RAS) and cement pond (CP), the growth performance, nutritional composition, colour, water-holding capacity and texture of muscle from *I. punctatus* selected randomly were evaluated. The results showed that the weight gain rate and specific-growth rate between TP and HD-RAS groups had no significant difference, but higher than those of CP group which had the highest ratio of liver-somatic index (2.35%±0.22%). In comparison with TP group, the samples from HD-RAS and CP groups exhibited lower content of crude fat but higher content of crude protein and ash. The highest values of lightness ( $L^*$ ) (58.18±3.56) and redness ( $a^*$ ) (6.05±1.08) of HD-RAS group were obtained, and the lowest (48.15±6.04 and 4.81±0.84, respectively) were CP group. TP group exhibited lowest cooked rate, highest centrifugal loss, drip loss and liquid loss. Meanwhile, the difference between HD-RAS and CP groups was not statistically significant. The hardness, chewiness and springiness of HD-RAS and CP groups enhanced significantly compared with those of TP group. Additionally, no significant difference in cohesiveness and resilience was observed among the three groups. Given the results, the cement pond aquaculture mode resulted in a slower growth of *I. punctatus*. Compared to traditional aquaculture mode, the high density recirculating aquaculture system had no negative effect on the growth performance. Besides, the *I. punctatus* muscle from high density recirculating aquaculture pond exhibiting higher water-holding ability and better textural properties had characteristics of higher content of protein and lower content of fat.

**Key words:** *Ictalurus punctatus*; high density recirculating aquaculture; growth performance; nutritional composition; muscle quality

**Corresponding author:** WANG Minghua. E-mail: w19731224@sina.com;

ZHANG Meiqin. E-mail: 1792147490@qq.com

**Funding projects:** China Agriculture Research System (CARS-46); Fund for Independent Innovation on Agriculture Science and Technology of Jiangsu Province [CX(16)1004]