

刘崇万, 朱晓华, 孟 勇, 等. 池塘循环水槽养殖模式对斑点叉尾鲴鱼肉营养品质的提升作用[J]. 江苏农业学报, 2021, 37(2): 418-425.

doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2021.02.019

池塘循环水槽养殖模式对斑点叉尾鲴鱼肉营养品质的提升作用

刘崇万^{1,2}, 朱晓华^{1,2}, 孟 勇^{1,2}, 徐志华^{1,2}, 沈美芳^{1,2}, 陈校辉¹, 边文冀¹

(1. 江苏省淡水水产研究所/江苏省渔业产品质量安全重点实验室, 江苏 南京 210017; 2. 江苏省水产质量检测中心/农业农村部渔业产品质量监督检验测试中心(南京), 江苏 南京 210017)

摘要: 为探究池塘循环水槽(In-pond raceway system, IPRS)养殖模式对斑点叉尾鲴(*Letaurus punetaus*)肌肉营养品质的影响,以传统池塘养殖(Traditional pond system, TPS)模式为对照,随机采集两种模式下的养殖水及斑点叉尾鲴,测定其养殖水质及基础营养成分,同时对氨基酸及脂肪酸的组成及含量进行比较分析。结果显示,IPRS 模式养殖水溶解氧含量极显著高于 TPS 模式($P < 0.01$),铵态氮、悬浮物、总氮、溶解性总氮、总磷及高锰酸盐指数均显著或极显著低于 TPS 模式($P < 0.05$ 或 $P < 0.01$);且 IPRS 模式斑点叉尾鲴肌肉粗蛋白质含量极显著高于 TPS 模式($P < 0.01$),粗脂肪含量极显著低于后者($P < 0.01$);两种养殖模式下氨基酸及脂肪酸种类无显著差异,但 IPRS 模式总氨基酸、总必需氨基酸、总非必需氨基酸及总呈鲜味氨基酸含量均显著高于 TPS 模式,尤其是谷氨酸、天冬氨酸及缬氨酸,同时,总多不饱和脂肪酸也显著高于 TPS 模式,以亚油酸及 DHA 两种物质含量尤为突出。说明,与 TPS 模式相比,IPRS 模式能够有效改善养殖水质,并可显著提高斑点叉尾鲴肌肉粗蛋白质含量并降低粗脂肪含量,养殖模式对于斑点叉尾鲴肌肉氨基酸与脂肪酸组成无显著影响,但 IPRS 模式可显著提高部分氨基酸及脂肪酸的含量,从而提高斑点叉尾鲴肌肉营养品质。IPRS 模式作为一种新兴的健康生态养殖模式,适合斑点叉尾鲴集约化、高密度养殖。

关键词: 斑点叉尾鲴; 池塘循环水槽养殖; 肌肉营养品质

中图分类号: S965.199 文献标识码: A 文章编号: 1000-4440(2021)02-0418-08

Improvement of in-pond raceway system on the nutritional quality in the muscle of *Letaurus punetaus*

LIU Chong-wan^{1,2}, ZHU Xiao-hua^{1,2}, MENG Yong^{1,2}, XU Zhi-hua^{1,2}, SHEN Mei-fang^{1,2}, CHEN Xiao-hui¹, BIAN Wen-ji¹

(1. Jiangsu Provincial Institute of Freshwater Fisheries/Jiangsu Provincial Key Laboratory for Quality and Safety of Fishery Products, Nanjing 210017, China; 2. Aquatic Products Analysis & Testing Center of Jiangsu Province/Quality Control & Inspection Center for Domestic Fishery Products(Nanjing), Ministry of Agricultural and Rural Affairs, Nanjing 210017, China)

Abstract: To investigate the effect of in-pond raceway system (IPRS) culture mode on the muscle nutritional quality

收稿日期: 2020-07-06

基金项目: 江苏现代农业产业技术体系建设项目[JATS(2020)329]; 现代农业产业技术体系专项(CARS-46); 2020 年度江苏省第五期“333 工程”科研资助项目(BRA2020374)

作者简介: 刘崇万(1988-), 男, 江苏盐城人, 硕士, 助理研究员, 研究方向为水产品质量安全检测与研究。(E-mail) liuchong-wan@126.com

通讯作者: 朱晓华, (E-mail) xhz824@sina.com

of *Letaurus punetaus*, the traditional pond system (TPS) was selected as control and the culture water and *L. punetaus* of two modes were collected randomly to detect the quality and basic nutritional components of the culture water, while the composition and contents of amino acids and fatty acids of *L. punetaus* were compared and analyzed. The results showed that, the dissolved oxygen content in the culture water of IPRS mode was very significantly high-

er than that of TPS mode ($P<0.01$), the ammonia nitrogen content, suspended matter content, total nitrogen content, total dissolved nitrogen content, total phosphorus content and the permanganate index of IPRS mode were significantly or very significantly lower than that of TPS mode ($P<0.05$ or $P<0.01$). The crude protein content in *L. punetaus* of IPRS mode was very significantly higher than that of TPS mode ($P<0.01$), while the crude fat content was very significantly lower than that of TPS mode ($P<0.01$). There was no significant difference in amino acids and fatty acids varieties between the two culture modes, but the content of total amino acids, total essential amino acids, total non-essential amino acids and total delicious amino acids of the IPRS mode were significantly higher than that of TPS mode, especially for the contents of glutamic acid, aspartic acid and valine. Meanwhile, the content of total polyunsaturated fatty acid (PUFA) of IPRS mode was also significantly higher than that of TPS mode, especially for the contents of linoleic acid and docosahexaenoic acid (DHA). In conclusion, the quality of culture water of IPRS mode was effectively improved compared with TPS mode, and the crude protein content in the muscle of *L. punetaus* was significantly improved, while the crude fat content was decreased. The culture modes had no significant effect on the composition of amino acids and fatty acids in the muscle of *L. punetaus*, but the IPRS mode could significantly increase part of the contents of amino acids and fatty acids, thus improve the nutritional quality of muscle in *L. punetaus*. As a new healthy and ecological culture mode, IPRS mode is suitable for intensive and high-density cultivation of *L. punetaus*.

Key words: channel catfish (*Letaurus punetaus*); in-pond raceway system (IPRS) culture; muscle nutritional quality

养殖模式与水产品生长性能、营养品质之间的关系已被广泛研究与报道^[1-10]。目前水产品主要养殖模式有网箱、围栏、池塘循环水槽(In-pond raceway system, IPRS)、传统大池塘(Traditional pond system, TPS)等,其中,IPRS是近年来新兴的一种以“小槽养鱼,大池养水,鱼水兼顾”为特色的生态养殖模式^[11-13]。目前已有大量关于IPRS应用于不同品种鱼类养殖的研究,如青鱼(*Mylopharyngodon piceus*)^[14]、斑点叉尾鲷(*Letaurus punetaus*)^[15]、黑鲈(*Micropterus salmonides*)^[1]、半滑舌鲷(*Cynoglossus semilaevis*)^[16]、鳗鲡(*Anguilla japonica*)^[17]等,这些研究结果表明IPRS不仅可达到高密度养殖、节水环保的目的,同时可有效改善与提升不同水产品的生长性能、肌肉质构特性及营养成分、风味等营养品质。

斑点叉尾鲷是中国从美国引进的大型特色淡水鱼品种,因其适应性强、养殖方式多样(精养、混养、轮捕轮放皆可),且味道鲜美、无肌间刺、营养丰富,加上近年来斑点叉尾鲷出口及国内消费市场被逐步打开,带动其养殖形势逐年向好,尤其是近2年大宗鱼养殖形势较差,使得斑点叉尾鲷逐渐成为池塘养殖与市场消费的新兴品种^[18-19],2018年,全国斑点叉尾鲷产量达到 2.30×10^5 t^[20]。因此,在保障产量、控制病害的前提下,如何提高斑点叉尾鲷的营养价值是确保斑点叉尾鲷产业可持续发展的重要研究内容。

目前,国内以斑点叉尾鲷为研究对象,分析不同养殖模式对其影响的切入点主要是从斑点叉尾鲷生

长、肌肉质构特性及持水力等,而关于营养品质相关研究涉及的较少,已有的关于不同养殖模式对斑点叉尾鲷营养品质的影响的相关研究主要是集中于水分等4种肌肉基础营养成分及矿物元素^[9,15],并未涉及到氨基酸和脂肪酸等评价食物营养价值和风味优劣的重要指标^[1,3-4,6-7]。基于此,在研究IPRS及TPS两种养殖模式对斑点叉尾鲷养殖水质及基础营养成分影响的基础上,本研究着重比较分析两种养殖模式下斑点叉尾鲷肌肉氨基酸与脂肪酸的组成及含量上的差异,初步判断IPRS模式对斑点叉尾鲷肌肉营养品质的影响,以期为IPRS模式的推广及斑点叉尾鲷营养品质的提升提供一定的理论基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验所用的水质样品及斑点叉尾鲷样品均采自江苏苏渔水产科技有限公司(江苏省宿迁市湖滨新区黄墩现代渔业产业园),水样采集时间为2020年4月13日9:00-11:30。IPRS模式斑点叉尾鲷样品采自池塘循环水槽(N34°7'33", E118°3'14"), TPS模式斑点叉尾鲷样品采自池塘(N34°7'33", E118°2'51"),平均鱼体质量分别为 $(1\ 320\pm 133)$ g及 $(1\ 170\pm 275)$ g。两种养殖模式投喂饵料一致,且均按正常管理模式养殖。

1.2 仪器与设备

主要包括便携式采水器(WB-PM,北京普力特

仪器有限公司产品)、便携式水质测定仪(YSI PRO-PLUS 公司产品)、电热恒温干燥箱(上海一恒科学仪器有限公司产品)、气相色谱仪(日本岛津 GC-2010 气相色谱仪)、氨基酸自动分析仪(日立 L-8800 氨基酸分析仪)、高效液相色谱仪(1260 型,上海艾本德公司产品)、冷冻干燥机(2.5 L, Triad 美国 Labconco 公司产品)、电感耦合等离子体质谱仪(ELAN DRC-e 型)等。

1.3 方法

1.3.1 样品采集与处理 水质样品:使用便携式采水器在不同采集点分别采集水样 3 份(饲料投喂后 1 h 采样),每份 3 000 ml。水质样品的采集及样品管理参照 HJ 494-2009^[21]、HJ 495-2009^[22] 及 HJ 493-2009^[23] 等相关标准要求进行。一部分水样用微孔滤膜过滤后用于溶解性总磷及溶解性总氮的检测。

斑点叉尾鲴样品:两种养殖模式下均是在 3 个水槽(池塘)内随机各取 10 尾健康斑点叉尾鲴作为平行样。样品采集后,低温保存,尽快在鲜活状态下运到实验室,各选取 6 尾规格整齐的斑点叉尾鲴进行体质量称量及样品制备,每个水槽(池塘)所制备的样品混合均匀形成 1 个样。一部分肌肉样品进行冷冻干燥处理用于脂肪酸及氨基酸的分析,其余样品置于冰箱中 4 ℃ 冷藏待检,用于其他参数的分析。

1.3.2 样品检测 (1)水质参数检测:在样品采集现场,使用便携式水质测定仪检测并记录水质水温、pH、溶解氧、铵态氮共 4 个参数。总氮及溶解性总氮测定参照 HJ 636-2012^[24],硝酸盐氮测定参照 GB/T 7480-1987^[25],亚硝酸盐氮测定参照 GB/T 7493-1987^[26],总磷及溶解性总磷测定参照 GB/T 11893-89^[27],高锰酸盐指数测定参照 GB 11892-89^[28],悬浮物测定参照 GB 11901-89^[29]。铜、锌测定采用电感耦合等离子体质谱仪,参照 HJ 700-2014^[30]。(2)营养品质参数检测:水分含量测定参照 GB 5009.3-2016 第一法^[31],粗灰分含量测定参照 GB 5009.4-2016 第一法^[32],粗蛋白质含量测定参照 GB 5009.5-2016 第一法^[33],粗脂肪含量测定参照 GB 5009.6-2016 第一法^[34]。氨基酸含量测定:色氨酸的水解及含量测定采用高效液相色谱仪,参照 GB/T 15400-2018^[35];半胱氨酸的水解及含量测定采用氨基酸自动分析仪,参照 GB/T 15399-2018^[36];其他 16 种氨基酸的水解及含量测定采用氨基酸自动分析仪,参照 GB 5009.124-2016^[37]。脂

肪酸含量测定采用气相色谱仪,参照 GB 5009.168-2016^[38]。

1.3.3 营养品质评价 参照高露娇等^[7]方法进行营养品质评价,计算氨基酸评分(AAS)、化学评分(CS)。

1.3.4 数据统计与处理 采用 Excel 及 SPSS 19.0 统计分析软件进行数据分析,运用单因素方差分析 Duncan's 检验进行显著性方差分析, $P<0.05$ 为差异显著, $P<0.01$ 为差异极显著,结果以平均值 \pm 标准差形式表示。

2 结果与分析

2.1 养殖模式对斑点叉尾鲴养殖水质的影响

IPRS、TPS 模式水质检测结果如表 1 所示。结果显示两种养殖模式下水温、pH、硝酸盐氮、溶解性总磷及铜、锌等水质参数无显著性差异($P>0.05$),亚硝酸盐氮均未检出。比较其他水质参数发现,IPRS 模式溶解氧极显著高于 TPS 模式($P<0.01$),铵态氮、悬浮物、总氮、溶解性总氮、总磷及高锰酸盐指数均显著或极显著低于 TPS 模式($P<0.05$ 或 $P<0.01$)。

表 1 不同养殖模式下斑点叉尾鲴养殖水质检测结果

Table 1 Detection results of the culture water quality of *Letaurus Punetaus* under different culture modes

水质参数	IPRS 模式	TPS 模式
水温(℃)	14.6 \pm 0.20	14.3 \pm 0.10
pH	8.41 \pm 0.03	8.34 \pm 0.01
悬浮物(mg/L)	4.50 \pm 0.13 **	5.51 \pm 0.27
溶解氧(mg/L)	10.01 \pm 0.15 **	8.12 \pm 0.09
铵态氮(mg/L)	0.47 \pm 0.02 **	0.64 \pm 0.06
总氮(mg/L)	1.82 \pm 0.15 **	2.70 \pm 0.31
溶解性总氮(mg/L)	0.92 \pm 0.31 **	1.72 \pm 0.15
硝酸盐氮(mg/L)	0.15 \pm 0.01	0.19 \pm 0.02
亚硝酸盐氮(mg/L)	—	—
总磷(mg/L)	0.16 \pm 0.03 *	0.23 \pm 0.02
溶解性总磷(mg/L)	0.09 \pm 0.02	0.10 \pm 0.01
高锰酸盐指数(mg/L)	7.42 \pm 1.06 *	8.61 \pm 0.88
铜(mg/L)	0.004 \pm 0.001	0.007 \pm 0.002
锌(mg/L)	0.015 \pm 0.002	0.015 \pm 0.003

IPRS 表示池塘循环水槽养殖模式;TPS 表示传统池塘养殖模式;* 表示两种模式间差异显著($P<0.05$);** 表示两种模式间差异极显著($P<0.01$);—表示未检出。

2.2 养殖模式对斑点叉尾鲷肌肉基础营养成分的影响

IPRS、TPS 养殖模式斑点叉尾鲷肌肉基础营养成分检测结果如表 2 所示。结果显示两种养殖模式下斑点叉尾鲷肌肉水分含量及粗灰分含量无显著差异 ($P>0.05$), 但 IPRS 模式斑点叉尾鲷肌肉粗蛋白含量极显著高于 TPS 模式 ($P<0.01$), 高于后者 18.9%, 同时, 粗脂肪含量极显著低于后者 ($P<0.01$), 仅为后者的 63.9%。

表 2 不同养殖模式下斑点叉尾鲷肌肉基础营养成分

Table 2 Composition of basic nutrients in muscle of *Letaurus punetaus* under different culture modes

养殖模式	水分含量 (%)	粗蛋白质含量 (%)	粗脂肪含量 (%)	粗灰分含量 (%)
IPRS	69.61±2.87	20.14±1.35 **	2.05±0.86 **	0.92±0.86
TPS	71.32±3.01	16.91±1.99	3.21±1.10	0.88±0.35

养殖模式见表 1 注。** 表示两种养殖模式间差异极显著 ($P<0.01$)。

2.3 养殖模式对斑点叉尾鲷肌肉氨基酸组成及含量的影响

IPRS、TPS 模式斑点叉尾鲷肌肉氨基酸组成及含量检测结果如表 3 所示。结果显示 18 种常见氨基酸中, 除半胱氨酸均未检测到, 其他 7 种非必需氨基、2 种半必需氨基酸及 8 种必需氨基酸均检测到。IPRS 模式斑点叉尾鲷肌肉总氨基酸含量 $19.5\% \pm 3.69\%$ 、总必需氨基酸含量 $8.48\% \pm 0.98\%$ 、总非必需氨基酸含量 $9.42\% \pm 2.31\%$ 均极显著高于 TPS 模式 ($P<0.01$), 只有总半必需氨基酸含量两者之间无显著差异 ($P>0.05$)。

IPRS、TPS 模式斑点叉尾鲷肌肉单个氨基酸含量存在显著性差异的为天冬氨酸 (Asp)、谷氨酸 (Glu) 及缬氨酸 (Val), 且均是 IPRS 模式显著或极显著高于 TPS 模式。

IPRS 模式总呈鲜味氨基酸 [天冬氨酸 (Asp)、谷氨酸 (Glu)、甘氨酸 (Gly) 及丙氨酸 (Ala)] 含量 $7.67\% \pm 2.09\%$ 显著高于 TPS 模式 ($5.97\% \pm 1.74\%$), 其中甘氨酸 (Gly) 含量及丙氨酸 (Ala) 含量两种模式间无显著差异 ($P>0.05$), 天冬氨酸含量 ($2.32\% \pm 0.79\%$) IPRS 模式显著高于 TPS 模式 ($1.96\% \pm 0.53\%$) ($P<0.05$), 谷氨酸含量 ($3.36\% \pm 1.01\%$) 极显著高于 TPS 模式 ($2.13\% \pm 0.92\%$) ($P<0.01$)。

2.4 养殖模式对斑点叉尾鲷肌肉脂肪酸组成及含量的影响

IPRS、TPS 模式斑点叉尾鲷肌肉脂肪酸组成及

含量检测结果如表 4 所示。结果显示: 在检测的 C4~C24 脂肪酸中, IPRS 模式斑点叉尾鲷肌肉中检测到 7 种饱和脂肪酸 (SFA), TPS 模式检测到 6 种, 其中 C17:0 (正十七碳酸, 即珠光脂酸) 和 C23:0 (正二十三碳酸) 只在 IPRS 模式中检测到, C20:0 (正二十碳酸) 只在 TPS 模式中检测到; IPRS 模式斑点叉尾鲷肌肉中检测到 4 种单不饱和脂肪酸 (MUFA), TPS 模式检测到 5 种, C24:1 (二十四碳一烯酸) 只在 TPS 模式检测到; 两个模式中均检测到 6 种多不饱和脂肪酸 (PUFA)。

表 3 不同养殖模式下斑点叉尾鲷肌肉氨基酸组成及含量

Table 3 Composition and contents of amino acids in muscle of *Letaurus punetaus* under different culture modes

氨基酸		氨基酸含量 (%)	
		IPRS 模式	TPS 模式
非必需氨基酸 (NEAA)	天冬氨酸 (Asp [#])	2.32±0.79 *	1.96±0.53
	丝氨酸 (Ser)	0.53±0.02	0.51±0.01
	谷氨酸 (Glu [#])	3.36±1.01 **	2.13±0.92
	甘氨酸 (Gly [#])	0.87±0.10	0.80±0.08
	脯氨酸 (Pro)	0.41±0.09	0.39±0.01
	丙氨酸 (Ala [#])	1.12±0.19	1.08±0.21
半必需氨基酸 (HEAA)	酪氨酸 (Tyr)	0.81±0.11	0.70±0.10
	半胱氨酸 (Cys)	—	—
	组氨酸 (His)	0.54±0.03	0.56±0.09
	精氨酸 (Arg)	1.01±0.01	1.04±0.02
	苏氨酸 (Thr)	0.72±0.11	0.75±0.06
	缬氨酸 (Val)	1.52±0.44 **	1.02±0.03
必需氨基酸 (EAA)	甲硫氨酸 (Met)	0.40±0.03	0.39±0.09
	苯丙氨酸 (Phe)	0.91±0.03	0.87±0.05
	亮氨酸 (Leu)	1.17±0.07	0.88±0.06
	异亮氨酸 (Ile)	1.59±0.04	1.02±0.05
	赖氨酸 (Lys)	1.86±0.21	1.92±0.01
	色氨酸 (Trp)	0.31±0.05	0.35±0.07
总必需氨基酸 (ΣEAA)		8.48±0.98 **	7.20±0.42
总非必需氨基酸 (ΣNEAA)		9.42±2.31 **	7.57±1.86
总半必需氨基酸 (ΣHEAA)		1.55±0.04	1.60±0.11
总氨基酸 (ΣAA)		19.5±3.69 **	16.4±2.39
总呈鲜味氨基酸 (ΣDAA)		7.67±2.09 *	5.97±1.74
ΣEAA/ΣAA (%)		43.49	43.90
ΣEAA/ΣNEAA (%)		90.02	95.11

[#]表示呈鲜味氨基酸。* 表示两种模式间差异显著 ($P<0.05$); ** 表示两种模式间差异极显著 ($P<0.01$)。

比较 SFA、MUFA 及 PUFA 三者总量,发现 IPRS、TPS 模式斑点叉尾鲴肌肉的总饱和脂肪酸(Σ SFA)含量之间无显著差异($P>0.05$),IPRS 模式斑点叉尾鲴肌肉总单不饱和脂肪酸(Σ MUFA)含量($28.30\%\pm 8.08\%$)显著低于 TPS 模式($34.10\%\pm 6.67\%$)($P<0.05$),IPRS 模式总多不饱和脂肪酸(Σ PUFA、 $\Sigma \omega-3$ 及 $\Sigma \omega-6$)均显著高于 TPS 模式($P<0.05$)。

表 4 不同养殖模式下斑点叉尾鲴肌肉脂肪酸组成及含量

Table 4 Composition and contents of fatty acids in muscle of *Letau-rus punetaus* under different culture modes

脂肪酸组成		脂肪酸含量(%)	
		IPRS 模式	TPS 模式
饱和脂肪酸(SFA)	C14:0	1.61±0.27	2.49±0.31
	C15:0	0.21±0.01	0.24±0.02
	C16:0	22.07±5.01 *	34.18±6.32
	C17:0	0.11±0.01	-
	C18:0	10.98±1.26 *	8.14±2.21
	C20:0	-	2.08±0.02 *
	C22:0	1.21±0.02 *	2.81±0.01
	C23:0	0.13±0.03	-
单不饱和脂肪酸(MUFA)	C16:1	3.13±1.59	2.77±2.01
	C17:1	0.39±0.11	0.32±0.09
	C18:1 ω -9	22.21±4.42 *	18.15±3.55
	C20:1	2.57±1.96 *	2.25±1.02
	C24:1	-	10.61±2.58 *
多不饱和脂肪酸(PUFA)	C18:2 ω -6	17.21±3.81 **	10.15±1.99
	C18:3 ω -3	1.57±0.75	2.01±0.82
	C20:3 ω -6	1.68±0.46	1.55±0.75
	C20:5 ω -3	2.01±0.57	1.94±0.39
	C22:2	0.31±0.07	0.32±0.12
	C22:6 ω -3	13.23±1.27 *	10.55±1.24
总饱和脂肪酸(Σ SFA)		36.32±6.61	38.94±8.89
总单不饱和脂肪酸(Σ MUFA)		28.30±8.08 *	34.10±6.67
总多不饱和脂肪酸(Σ PUFA)		35.01±6.93 *	26.52±5.31
$\Sigma \omega-3$		16.81±2.59 *	14.50±2.45
$\Sigma \omega-6$		18.89±4.27 *	11.70±2.74

* 表示两种模式间差异显著($P<0.05$) ; ** 表示差异极显著($P<0.01$)。

从整体上看,SFA 中 C16:0(正十六碳酸,即棕

桐酸)、C18:0(正十六碳酸,即硬脂酸)、MUFA 中 C18:1 ω -9(十八碳一烯酸,即油酸)、C24:1(二十四碳一烯酸,只在 TPS 模式斑点叉尾鲴肌肉中检测到)及 PUFA 中 C18:2 ω -6(十八碳二烯酸,即亚油酸)、C22:6 ω -3(二十二碳六烯酸,即 DHA)这 6 种脂肪酸含量相对较高,达到 8.14%~34.18%。

IPRS 模式斑点叉尾鲴肌肉 C16:0、C20:0(未检出)、C22:0 及 C24:1(未检出)这 4 种脂肪酸含量显著低于 TPS 模式($P<0.05$),而 C18:0、C18:1 ω -9 及 C22:6 ω -3 这 3 种脂肪酸含量均显著高于 TPS 模式($P<0.05$),同时 C18:2 ω -6 含量极显著高于 TPS 模式($P<0.01$)。

3 讨论

水质是水产养殖过程中的关键环节,是保证水产品品质的重要因素^[39-40]。养殖水体中氮磷类物质含量过高是水质富营养化的主要原因,控制氮磷类物质含量是池塘养殖水质日常管理的重要环节^[41]。同时,池塘养殖过程中未被养殖生物利用的过量饲料、排泄物以及各种微生物分解所产生的还原性无机物和有机物的浓度过高会对水体造成污染,生产中常用高锰酸盐指数来反映水体受污染的程度^[42]。本研究中,IPRS 模式溶解氧的水质参数极显著高于 TPS 模式($P<0.01$),同时,IPRS 模式悬浮物的水质参数极显著低于 TPS 模式($P<0.01$),两种模式下亚硝酸盐氮均未检出,IPRS 模式硝酸盐氮质量浓度略低于 TPS 模式,但二者无显著差异($P>0.05$),而 IPRS 模式铵态氮、总氮及可溶性总氮含量极显著低于 TPS 模式($P<0.01$),IPRS 模式总磷及高锰酸盐指数均显著低于 TPS 模式($P<0.05$)。这是因为 IPRS 模式通过建造流水养殖槽和安装推水曝气设备,使原有的静态开放式池塘形成动态循环流水“生态圈养”模式,进而产生高溶解氧含量,且通过高速循环流水可及时清除池塘底部的过量饵料、排泄物及死亡残骸等杂质^[42-43]。TPS 模式因无法及时将上述杂质及时清除,形成持续的污染源,导致整个养殖水域系统生态失衡、病害滋生,加剧水体环境的恶化^[44-45]。因此,加快池塘标准化改造,大力推广 IPRS 等生态健康养殖新模式,是确保水产养殖业可持续发展的必然要求。

粗蛋白质、粗脂肪、粗灰分及水分 4 种基础营养成分含量是评价鱼肉品质的重要指标^[4,6-7]。本研

究中,两种养殖模式下水分及粗灰分含量无显著差异($P>0.05$),但IPRS模式粗蛋白质含量极显著高于TPS模式($P<0.01$),同时,粗脂肪含量极显著低于TPS模式($P<0.01$)。两种养殖模式下所用饲料基础营养成分一致,说明在本试验条件下,粗蛋白质和粗脂肪含量受养殖模式影响较大,IPRS模式可显著提高斑点叉尾鲷粗蛋白质含量并降低粗脂肪含量。有研究者指出养殖模式对蛋白质含量影响较小,而受水产品品种和遗传因素影响较大^[4,46-47]。这可能是由于IPRS模式养殖水质较好,更加适合斑点叉尾鲷的生长,此外IPRS模式养殖密度大,活动空间较小,同时一直在高速水流环境中生长,斑点叉尾鲷的活跃度较高,在相互竞争中无疑要消耗更多的能量,导致脂肪含量较低,同时,也可能是养殖饲料的生物差异所造成。

氨基酸及脂肪酸组成及含量是评价鱼类等水产品营养及风味价值的重要指标^[7,47]。本研究中两种养殖模式下均检测到18种常见氨基酸中的17种(半胱氨酸均未检测到),但IPRS模式的 ΣAA 、 ΣEAA 及 $\Sigma NEAA$ 均极显著高于TPS模式($P<0.01$)。从氨基酸组成来看,两种养殖模式下含量最高的3种氨基酸均为谷氨酸(Glu)、天冬氨酸(Asp)、赖氨酸(Lys),但IPRS模式的Glu及Asp含量均显著高于TPS模式($P<0.01$)。Glu在脑组织生化代谢中发挥重要作用,参与多种活性物质的合成^[1]。Asp是多种必需氨基酸的合成前体,具有改善心肌收缩,降低氧消耗等功效^[3]。在4种呈鲜味氨基酸中,IPRS模式的 ΣDAA 显著高于TPS模式($P<0.05$),同时,IPRS模式的Glu及Asp含量均显著高于TPS模式($P<0.01$),而甘氨酸(Gly)和丙氨酸(Ala)含量两种模式无显著差异($P>0.05$)。另外,研究发现,IPRS模式的缬氨酸(Val)含量极显著高于TPS模式($P<0.01$)。Val是蛋白质合成的重要原料,作为一种支链氨基酸,具有促进氮存储和抑制蛋白质分解的作用,并可最终进入三羧酸循环,生成ATP^[6-7]。

化学评分(CS)结果显示,两种养殖模式下第一及第二限制性氨基酸均保持一致[第一限制性氨基酸均为甲硫氨酸+半胱氨酸(Met+Cys),第二限制性氨基酸均为亮氨酸(Leu)]。两种养殖模式下Met+Cys及Leu含量之间也无显著差异($P>0.05$),说明在本试验条件下,斑点叉尾鲷肌肉限制性氨基酸种

类及含量不受养殖模式的影响。由氨基酸评分(AAS)结果可以看出,IPRS模式下AAS得分为0.11~0.34,TPS模式下AAS得分为0.11~0.37,两种养殖模式下AAS得分基本一致,但整体得分偏低。程亚美等^[3]研究发现,除甲硫氨酸+半胱氨酸(Met+Cys)含量较低外,其他氨基酸的AAS得分均接近或大于1。高露娇等^[7]在研究红鳍东方鲀中发现,除缬氨酸(Val)、苏氨酸(Thr)及亮氨酸(Leu)的AAS略低于1以外,其余都大于1。这可能是由于品种、生长阶段、生长环境和饵料差异所致。

值得注意的是,从中国水产养殖的大环境来看,一些传统养殖水产品近几年效益不太好,原来养殖四大家鱼的养殖户转养斑点叉尾鲷的意愿比较强烈。与四大家鱼进行比较发现,IPRS模式斑点叉尾鲷的粗蛋白含量为 $20.14\%\pm 1.35\%$ 高于青鱼的 $19.77\%\pm 0.77\%$ ^[14]、草鱼(*Grass carp*)的 $16.65\%\pm 0.16\%$ ^[48]、鲢鱼的 $15.62\%\pm 0.21\%$ ^[48]、鳙鱼的 $16.63\%\pm 0.28\%$ ^[48]。根据世界卫生组织(WHO)和联合国粮农组织(FAO)对优质蛋白质的定义($\Sigma EAA/\Sigma AA$ 为40%以上, $\Sigma EAA/\Sigma NEAA$ 在60%以上)^[7,48],本研究中斑点叉尾鲷这两个值分别为43.49%及90.02%,说明斑点叉尾鲷肌肉蛋白质为优质蛋白质,且含量高于常见的四大家鱼,营养价值较高,适合进行转养。

两种模式下脂肪酸组成差别较小,其中不饱和脂肪酸(PUFA)均检测出6种。两种养殖模式下总饱和脂肪酸(ΣSFA)之间无显著差异($P>0.05$),而IPRS模式总单不饱和脂肪酸($\Sigma MUFA$)显著低于TPS模式($P<0.05$),但IPRS模式的 $\Sigma PUFA$ 、 $\Sigma \omega-3$ 及 $\Sigma \omega-6$ 均显著高于TPS模式($P<0.05$),以亚油酸及DHA两种物质含量尤为突出。亚油酸具有降低血脂、软化血管等功效^[10]。DHA更被称为脑黄金,对婴幼儿脑部发育具有重要影响^[3-4,7]。说明养殖模式对于斑点叉尾鲷脂肪酸组成的影响较小,但IPRS模式可提升斑点叉尾鲷肌肉脂肪酸含量,特别是PUFA含量。PUFA具有多种营养及生理功能,如降血脂、降血压等,并有助于人脑的发育,高含量的多不饱和脂肪酸还能显著增加肉质香味^[3-4,7]。

综上所述,与TPS模式相比,IPRS模式能够有效改善养殖水质,在一定程度上限制有害物质积累,更加适合斑点叉尾鲷生长,且IPRS模式可显著提高斑点叉尾鲷粗蛋白质含量并降低粗脂肪含量。养

殖模式对于斑点叉尾鲴肌肉氨基酸与脂肪酸组成无显著影响,但 IPRS 模式下 Σ AA、 Σ EAA、 Σ NEAA 及 Σ DAA 均显著高于 TPS 模式,尤其是谷氨酸 (Glu)、天冬氨酸 (Asp) 及缬氨酸 (Val),同时, Σ PUFA 也显著高于 TPS 模式,以亚油酸及 DHA 两种物质含量尤为突出。说明 IPRS 养殖模式可显著提高斑点叉尾鲴肌肉营养品质。因此,IPRS 模式作为一种新兴的生态养殖模式,适合斑点叉尾鲴集约化、高密度养殖。

本试验对斑点叉尾鲴养殖水质的研究是通过比较采集当天两种模式下水样 14 种常见的水质参数,而水质变化受光照、气候等多种因素影响,本研究也未充分考虑各参数在水质评价中的权重系数,另外本研究选择的采样点是江苏苏渔水产科技有限公司一个养殖基地。因此后续研究中拟按年度、季度等时间节点动态采集水样,并采用目前国内外应用较多的水质综合评价方法,如指数评价法、模糊综合评价法等^[43,49],以综合反映各指标共同作用下的水质状况,并确定主要污染物和主要污染类型。另外需扩大水样采集范围,以便更加客观反映不同养殖模式下的养殖水质状况。

本研究初步判断了 IPRS 模式对斑点叉尾鲴肌肉营养品质的影响,但是对于机理的研究较少。目前有研究结果表明调节肠道菌群可提升水产品的免疫力、抗病力及生长特性^[50]。本研究发现 IPRS 模式下斑点叉尾鲴肌肉氨基酸和脂肪酸含量得到显著改善,是否与肠道菌群有所关联值得进一步研究。

食品的 4 大品质要素包括外观、质构、营养及风味^[51-53]。本研究着重对不同养殖模式下营养品质进行了比较分析,而产品风味是决定消费者是否接受该产品的主要因素之一。因此,下一步拟采用顶空固相萃取结合气质连用技术对不同养殖模式下斑点叉尾鲴挥发性风味成分进行分析鉴定,并结合相对气味活度值 (ROAV) 确定主体风味成分,为斑点叉尾鲴养殖模式优化和斑点叉尾鲴深加工提供一定的参考。

参考文献:

- [1] 耿子蔚,张鑫宇,郑汉宇,等. 池塘工业化养殖与传统池塘养殖模式对大口黑鲈肌肉品质特性的比较研究[J]. 食品工业科技, 2018, 39(23): 95-122.
- [2] 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.
- [3] 程亚美,赵金良,唐守杰,等. 盐碱水和淡水养殖模式下尼罗罗非鱼肌肉品质比较[J]. 河南农业科学, 2019, 48(4): 125-134.
- [4] 王玉美,赵春龙,崔兆进,等. 鱼礁区与池塘养殖刺身体壁营养成分的分析与评价[J]. 大连海洋大学学报, 2015, 30(2): 190-195.
- [5] 夏秀华,李 晶,成玉梁,等. 池塘养殖和湖泊网围养殖河蟹风味品质比较研究[J]. 食品工业, 2015, 36(9): 172-175.
- [6] 王煜坤,郝淑贤,李来好,等. 不同地区、品种及养殖模式罗非鱼营养差异分析[J]. 食品工业科技, 2018, 39(12): 231-237.
- [7] 高露娇,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.
- [8] 陈 红,刘邦辉,方彰胜,等. 三种不同养殖模式对日本鳗鲡生长性能及其养殖水质的影响[J]. 广西农学报, 2015, 30(5): 46-50.
- [9] 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): 531-536.
- [10] 阮成旭,袁重桂,陶翠丽,等. 不同养殖模式对大黄鱼肉质的影响[J]. 水产科学, 2017, 36(5): 623-627.
- [11] 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.
- [12] 蔡 珀,周恩华. 美国低碳高效池塘循环水精养新技术[J]. 海洋与渔业, 2012(6): 68-72.
- [13] TIMMONS M B, EBELING J M. Recirculating aquaculture[M]. New York: Cayuga Aqua Ventures, LLC Press, 2007: 1-118.
- [14] 邹礼根,郭水荣,翁丽萍,等. 两种不同养殖模式对青鱼肌肉营养品质的影响[J]. 宁波大学学报(理工版), 2018, 31(4): 25-30.
- [15] 邵俊杰,张世勇,朱昱璇,等. 不同养殖模式对斑点叉尾鲴生长和肌肉品质特性的影响[J]. 水产学报, 2017, 41(8): 1256-1263.
- [16] 王 峰,雷霖霖. 半滑舌鳎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.
- [17] 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.
- [18] 钟立强,王明华,陈校辉,等. 世界斑点叉尾鲴产业近况 II: 中国斑点叉尾鲴产业发展与展望[J]. 水产养殖, 2018(9): 7-11.
- [19] 周 剑,赵 刚,李 强,等. 四川省斑点叉尾鲴产业现状及发展对策[J]. 四川农业科技, 2018(2): 55-56.
- [20] 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. 中国渔业统计年鉴[M]. 北京:中国农业出版社, 2019.
- [21] 中华人民共和国环境保护部. 水质-采样技术指导: HJ 494-2009[S]. 北京:中国环境科学出版社, 2009.
- [22] 中华人民共和国环境保护部. 水质 采样方案设计技术规范: HJ 495-2009[S]. 北京:中国环境科学出版社, 2009.

- [23] 中华人民共和国环境保护部.水质采样 样品的保存和管理技术规定;HJ 493-2009[S]. 北京:中国环境科学出版社, 2009.
- [24] 中华人民共和国环境保护部.水质 总氮的测定 碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法;HJ 636-2012 [S]. 北京:中国环境科学出版社, 2012.
- [25] 中华人民共和国环境保护总局.水质 硝酸盐氮的测定 酚二磺酸分光光度法;GB/T 7480-1987 [S]. 北京:中国标准出版社, 1987.
- [26] 中华人民共和国环境保护总局.水质 亚硝酸盐氮的测定 分光光度法;GB/T 7493-1987 [S]. 北京:中国标准出版社, 1987.
- [27] 中华人民共和国环境保护总局.水质 总磷的测定 钼酸铵分光光度法;GB/T 11893-1989 [S]. 北京:中国标准出版社, 1989.
- [28] 中华人民共和国环境保护总局.水质 高锰酸盐指数的测定;GB/T 11892-1989 [S]. 北京:中国标准出版社, 1989.
- [29] 中华人民共和国环境保护总局.水质 悬浮物的测定 重量法;GB/T 11901-1989[S]. 北京:中国标准出版社, 1989.
- [30] 中华人民共和国环境保护部.水质 65 种元素的测定 电感耦合等离子体质谱法;HJ 700-2014[S]. 北京:中国环境科学出版社, 2014.
- [31] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会.食品中水分的测定;GB 5009.3-2016 [S]. 北京:中国标准出版社, 2017.
- [32] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会.食品中灰分的测定;GB 5009.4-2016 [S]. 北京:中国标准出版社, 2017.
- [33] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会,国家食品药品监督管理总局.食品中蛋白质的测定;GB 5009.5-2016 [S]. 北京:中国标准出版社, 2017.
- [34] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会,国家食品药品监督管理总局.食品中脂肪的测定;GB 5009.6-2016[S]. 北京:中国标准出版社, 2017.
- [35] 国家市场监督管理总局,中国国家标准化管理委员会.饲料中色氨酸的测定;GB/T 15400-2018 [S]. 北京:中国标准出版社, 2018.
- [36] 国家市场监督管理总局,中国国家标准化管理委员会.饲料中含硫氨基酸的测定 离子减慢色谱法;GB/T 15399-2018 [S]. 北京:中国标准出版社, 2019.
- [37] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会,国家食品药品监督管理总局.食品中氨基酸的测定;GB 5009.124-2016 [S]. 北京:中国标准出版社, 2017.
- [38] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会,国家食品药品监督管理总局.食品中脂肪酸的测定;GB 5009.168-2016 [S]. 北京:中国标准出版社, 2017.
- [39] 尹宝全,曹闪闪,傅泽田,等.水产养殖水质检测与控制技术研究进展分析[J].农业机械学报, 2019, 50(2): 1-13.
- [40] 刘国锋,徐 跑,吴 霆,等.中国水产养殖环境氮磷污染现状及未来发展思路[J].江苏农业学报,2018,34(1):225-233.
- [41] 张 悦,夏桂敏,王铁良,等.沈阳市水功能区水质现状评价及水质变化趋势成因分析[J].水利水电技术,2018,49(7): 144-151.
- [42] 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.
- [43] 罗 琳,舒廷飞,温焱茂.水产养殖对近海生态环境的影响[J].水产科学, 2002, 21(3): 28-30.
- [44] LAI H T, HOU J H, SU C I, et al. Effects of chloramphenicol, florfenicol, and thiamphenicol on growth of algae *Chlorella pyrenoidosa*, *Isochrysis galbana*, and *Tetraselmis chui* [J]. Ecotoxicology & Environmental Safety, 2009, 72(2): 329-334.
- [45] MARINHO-SORIANO E, NUNES S O, CARNEIRO M A A, et al. Nutrients' removal from aquaculture wastewater using the macroalgae *Gracilaria birdiae* [J]. Biomass and Bioenergy, 2009, 33(2): 327-331.
- [46] SHEARER K D. Factors affecting the proximate composition of cultured fishes with emphasis on salmonids[J]. Aquaculture, 1994, 119(1): 63-88.
- [47] 王金娟,陈友明,邵俊杰,等.盱眙地区不同养殖模式下克氏原螯虾肌肉品质的比较分析[J].动物营养学报, 2020, 32(2): 965-972.
- [48] 湛 芳,刘晓娜,吉维舟,等.5种淡水鱼的肌肉及肝脏营养成分测定及比较[J].贵州农业科学, 2016, 44(1): 108-111.
- [49] 刘福兴,蒋 媛,王俊力,等.太湖贡湖湾(望虞河以西)主要河口区域水质状况评价[J].上海农业学报,2019,35(3):50-57.
- [50] 付保荣,刘梦琦,张润洁,等.短短芽孢杆菌(*Brevibacillus brevis*)对鲤鱼养殖水质及其生长特性的影响[J].生态科学, 2018, 37(5): 146-151.
- [51] 赵谋明,郑泽洋,刘小玲.食品中硒的总量及化学形态分析研究进展[J].南方农业学报,2019, 50(12):2787-2796.
- [52] 淮亚红,郭艳峰,张延杰,等.石岐鸽不同部位营养成分分析及评价[J].江苏农业科学,2019,47(23):246-248.
- [53] 唐 辉,陈 霖,曾玉伦,等.长沙臭豆腐上色工艺优化及卤水浸泡前后风味物质比较[J].南方农业学报,2019,50(4):831-837.

(责任编辑:张震林)