

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

王峰¹, 雷霖霖^{2*}

(1. 青岛农业大学海洋科学与工程学院, 渔业养殖工程实验室, 山东 青岛 266109;

2. 中国水产科学研究院黄海水产研究所, 青岛市海水鱼类种子工程与生物技术重点实验室, 山东 青岛 266071)

摘要: 为半滑舌鳎的集约化养成提供基础数据, 设定开放流水和循环水两种养殖模式, 以处于快速生长期的大规格鱼种(0.640 ± 0.063) kg 为研究对象, 检测半滑舌鳎的生长及肉质相关指标, 实验共进行7个月, 结果显示: ①半滑舌鳎在两种养殖模式下的成活率分别为79.89%和90.38%, 月增重率分别是0.1547和0.1109 kg, 肥满度分别是0.920和0.838, 生长激素分泌量分别是2.812和2.706 $\mu\text{g/L}$ 。循环水养殖模式组在成活率、增重率、肥满度和生长激素分泌量上分别高于开放流水养殖模式组13.13%、39.5%、9.8%和3.92%。②两种养殖模式, 开放流水养殖模式组在粗蛋白、氨基酸、PUFA上更占优势, 但在粗脂肪、MUFA上循环水养殖模式明显占优势, 分别高于开放流水养殖模式组41.732%和16.912%。实验表明, 循环水养殖模式优越的水质环境更适合半滑舌鳎的育肥。本实验说明, 半滑舌鳎在循环水养殖模式下具有很好的适应性, 其生长处于较好的状态, 营养品质上也能够得到保证。同时, 也说明循环水养殖模式可以极大地发掘半滑舌鳎的养殖潜力, 是一种适合半滑舌鳎集约化养殖的具有优势的养殖模式。

关键词: 半滑舌鳎; 开放流水养殖; 循环水养殖; 养殖模式

中图分类号: S 965

文献标志码: A

循环水养殖是水产养殖诸多模式中工业化程度最高的一种生产模式, 它与开放流水型养殖模式相比, 可节水90%以上, 节地高达99%, 是未来水产养殖的发展方向^[1-2]。我国的循环水养殖虽然起步较晚, 鲆鲽类循环水养殖起步则相对较早、基础较好, 因此, 鲆鲽类循环水养殖模式是最有可能首先获得推广应用的养殖产业模式^[3-11]。

半滑舌鳎又名半滑三线舌鳎(*Cynoglossus semilaevis* Günther), 隶属于鲆形目(Pleuronectiformes)、舌鳎科(Cynoglossidae)。半滑舌鳎具有海产鱼类在营养上显著的优点, 含有较高的不饱和脂肪酸, 蛋白质容易消化吸收, 是海产鱼类中的珍贵品种^[5]。半滑舌鳎适应性强, 生长速度快, 6 cm的苗种经过一年的生长, 体质量可以达到500 g左右, 开展人工养殖具有广阔的前景^[7]。

目前, 半滑舌鳎的养殖模式有开放流水和循环水两种, 普遍认为循环水养殖模式下半滑舌鳎生长状况要优于普通开放流水养殖模式, 但究竟达到什么程度并没有相关的研究报告。本实验通过设定开放流水和循环水养殖模式, 以进入快速生长期的大规格半滑舌鳎作为研究对象, 通过比较两种养殖模式下的生长状况和测定鱼体的水分、灰分、粗脂肪、粗蛋白、氨基酸、脂肪酸等肌肉肉质指标从而判断半滑舌鳎在这两种养殖模式下的优劣。

1 材料与方法

1.1 实验设计与分组

设计工厂化开放流水和封闭式循环水两种养殖模式, 选用同样规格的养殖池和放养购自同一

收稿日期:2014-10-27 修回日期:2015-01-04

资助项目:国家鲆鲽类产业技术体系建设专项(CARS-50);农业公益性行业科研专项(nyhyzx07-046);农业公益性行业科研专项(201003024);青岛农业大学博士基金(6631446)

通信作者:雷霖霖, E-mail:leijl@ysfri.ac.cn

批相同规格的处于快速生长期的大规格成鱼,共设置 3 个水平(表 1)。实验用鱼购自潍坊昌邑个体养殖户,平均体质量 0.629 kg,放养后适应驯化 7 d 待其状态稳定、摄食正常后开始实验。

表 1 半滑舌鳎开放流水和循环水养殖模式分组情况

Tab.1 Breeding density group of *C. semilaepis* in open flow through and recirculating aquaculture mode

组别 grouping	循环水 recirculating	流水 open flow through
个体质量/kg individual quality	0.64 ± 0.063	0.64 ± 0.063
放养数量/尾 stocking quantity	195	76
养殖密度/(kg/m ³) breeding density	8.32	7.68

1.2 养殖条件

养殖实验在莱州明波水产有限公司进行,首先进行循环水设备间的改造,健全弧形筛过滤、气泡分离、紫外线消毒、臭氧消毒、生物滤池等水质处理环节,并进行生物滤池生物滤膜的培育。

养殖池圆形,底面积 15 m²,水深保持 1 m,养殖期间水温保持 18.5 ~ 20 °C,日水温变化不超过 0.5 °C。盐度控制在 26 ± 1。开放流水养殖模式的水温、盐度及养殖池规格与循环水养殖模式条件相同。正式养殖实验共持续 216 d。实验车间为全封闭环境,顶棚采用遮光保温材料,室温维持在 20 °C 左右。

1.3 饲料与日常管理

定期投喂鲷类商品饲料(丹麦产爱乐 5 号料),粒径 5 mm,主要营养成分:粗蛋白 47%,粗脂肪 14%,粗灰分 10%。日投喂 3 次,投喂时间:7:30、16:30 和 21:30;投喂前 20 min 调高室内光线并进行换水,刺激鱼轻微运动,进入摄食状态,投喂半小时后进行换水,以排除残饵和粪便,保持水质清新。每天 6 次巡池,及时观测并记录鱼体活动、身体各部位的异常情况,捞出死鱼并准确计数。月末统计各池鱼的成活率、个体质量。如发现死亡病鱼,当详细记录,并分析判断其死亡原因。

1.4 实验方法

水质监测 每日早晨 7:30 在各养殖池固定位置用美国产 YSI556MPS 型水质多参数仪器测定水温、电导率、总溶解固体(TDS)、盐度、溶氧、pH、氧化还原电位(ORP)等水质指标。

氨氮、亚硝酸氮、COD、细菌总数、鳃弧菌总

数每 3 天检测 1 次,检测时用灭菌后的水样瓶迅速取样,并立即送化验室化验。

氨氮测定方法:碘化汞和碘化钾的碱性溶液与氨反应生成淡黄棕色胶态化合物,吸光度与氨氮含量成正比,可在波长 410 ~ 425 nm 范围内测其吸光度,计算其含量。本法最低检出浓度为 0.025 mg/L(光度法),测定上限为 2 mg/L。亚硝酸盐氮测定方法:盐酸萘乙胺比色法^[12]。COD 采用碱性高锰酸钾法。细菌总数、鳃弧菌总数均采用营养琼脂培养基培养法。

成活率、生长率、肥满度、生长激素(GH)含量的计算 鱼的成活率、生长率、肥满度每月统计一次,相关计算公式如下:

$$\text{成活率(survival rate, SR, \%)} = (N - n) / N \times 100$$

$$\text{生长率(weighth gain rate, WGR, \%)} = [\sum (g / 20 \times N_i) - G] / G \times 100$$

$$\text{鱼的肥满度(condition factor, CF, g/cm}^3\text{)} R = M / L^3 \times 100$$

式中, N 为月初鱼的总数量; n 为本月死亡鱼数量; g 为月末 20 尾鱼的总重量; N_i 为各养殖池鱼数量; G 为上月末鱼总重量; M 为鱼体质量; L 为鱼体长。

生长激素含量测定采用鱼生长激素(GH)酶联免疫试剂盒

食物转化率和饵料系数 分别在实验开始和结束时测出鱼体质量,并在整个过程中记录所消耗的饵料量,从而计算出食物转化率和饵料系数。

$$\text{食物转化率(food conversion rate, FCR, \%)} = 100 \times (W_2 - W_1) / C$$

$$\text{饵料系数(food coefficient, FC)} = C / b = m' / (m_t - m_0)$$

式中, W_1 为实验初始时鱼体湿重; W_2 为实验结束时鱼体湿重; C 为所吃饵料的重量,该值经实测饵料流失率校正后得到; b 为鱼体的增重量, m' 为投喂饵料量(g), m_t 为 t 时的鱼体质量(g), m_0 为实验初始鱼体质量(g)。

半滑舌鳎体组成、脂肪酸、氨基酸的测定 粗蛋白采用凯氏定氮法;粗脂肪采用索氏抽提法(托普仪器有限公司 SZF-06 粗脂肪测定仪);粗灰分采用灼烧质量法;水分采用烘干法;脂肪酸采用 GC/FID 测定方法,利用日本岛津(Shimadzu)

GC-2010 色谱仪测定;氨基酸采用 JY/T 019 - 1996、GB/T 5009.124 - 2003 食品中氨基酸的测定方法,利用 Agilent 1100 高效液相色谱仪测定。

1.5 数据处理

所有指标数据用 SPSS 19.0、Excel 2010 处理,进行方差分析,以 Duncan 氏法检验组间差异。然后做曲线图分析,以便观察其变化规律。

2 结果与分析

2.1 生长对比

成活率 本实验循环水养殖模式下成活率显著高于开放流水养殖模式,循环水养殖模式每月成活率在 97.20%~99.69% 变动,比较稳定,而开放流水养殖模式的变动区间较大,为 94.51%~98.68% (表 2)。说明循环水养殖模式下的生产安全更有保障。实验结束后循环水和开放流水养殖模式下总成活率分别为 90.38% 和 79.89%,循环水养殖模式较开放流水养殖模式高 13.13%。

表 2 半滑舌鲷开放流水养殖模式和循环水养殖模式的成活率

Tab.2 The survival rate of *C. semilaevis* in open flow through and recirculating aquaculture mode %

组别 grouping	开放流水 open flow through	循环水 recirculating
第 1 月 first month	94.51 ± 2.03	98.66 ± 0.502
第 2 月 second month	96.92 ± 1.686	99.24 ± 0.12
第 3 月 third month	97.68 ± 0.69	99.69 ± 0.361
第 4 月 fourth month	97.62 ± 1.174	99.33 ± 0.133
第 5 月 fifth month	95.12 ± 0.945	97.20 ± 1.966
第 6 月 sixth month	97.44 ± 1.239	97.61 ± 1.56
第 7 月 seventh month	98.68 ± 1.278	98.25 ± 1.203
总成活率 total survival rate	79.89	90.38

生长率 循环水养殖模式下半滑舌鲷生长速度明显优于开放流水养殖模式。尤其是体质量增长方面,循环水养殖始终优于开放流水养殖(图 1,图 2)。通过本实验数据,得到循环水养殖模式和开放流水养殖模式的生长方程。实验结束后,两种养殖模式的平均体质量分别是 1.723 和 1.416 kg。月增重率分别是 0.154 7 和 0.110 9 kg/条。循环水养殖模式的增重率高于开放流水养殖模式(39.5%),从生长周期上,此一阶段循环水养殖模式相对于开放流水养殖模式可以缩短生长周期 2 个月。实验共进行 7 个月,循环水养殖模式组和开放流水养殖模式组总增重率为 169.18%

和 121.25%。最终养殖密度分别为 20.497 和 16.992 kg/m³。由数据可知,循环水养殖模式组取得了最佳的养殖效果,经半年的养殖,可达到 20.497 kg/m³ 的单位产量。

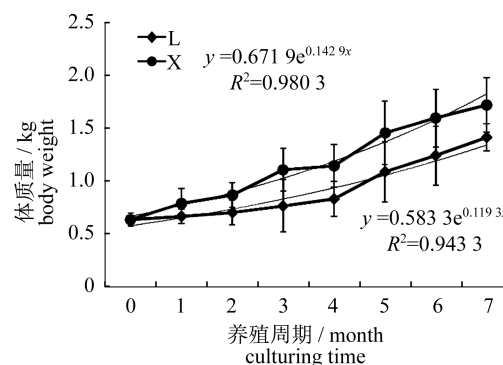


图 1 半滑舌鲷开放流水养殖模式和循环水养殖模式的增重率变化

L. 流水养殖模式; X. 循环水养殖模式; 下同

Fig.1 The weight gain rate of *C. semilaevis* in open flow through and recirculating aquaculture mode

L. open flow through; X. recirculating; the same as the following

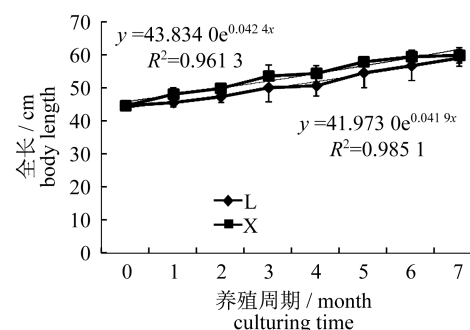


图 2 半滑舌鲷开放流水养殖模式和循环水养殖模式的生长率变化

Fig2 The length gain rate of *C. semilaevis* in open flow through and recirculating aquaculture mode

饲料转化率和饵料系数 循环水养殖模式饵料系数始终小于开放流水养殖模式,说明循环水养殖模式下饲料转化效果要优于开放流水养殖模式(图 3);两种养殖模式组随着养殖周期的延长均呈现饵料系数先降低又增大的趋势,说明随着养殖对象对养殖环境的适应且快速生长期的到来,其对饵料的利用达到较佳的效果,而养殖后期,养殖对象普遍达到或接近 1 500 g,这时已度过最佳生长期,饵料系数会随之增大。

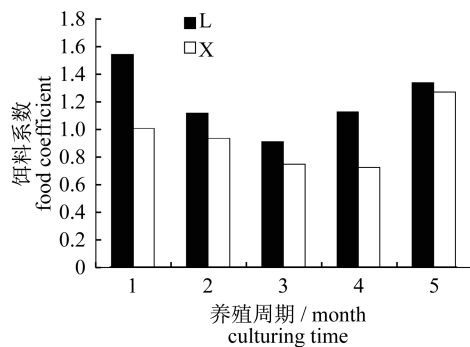


图 3 半滑舌鳎开放流水养殖模式和循环水养殖模式的饵料系数对比

Fig.3 The contrast of food coefficient of *C. semilaevis* in open flow through and recirculating aquaculture mode

肥满度 循环水养殖模式组和开放流水养殖模式组在养殖过程中均呈现肥满度先下降再升高的趋势。说明养殖初期养殖对象体长的增加占优势,后期体质量的增加占优势(图 4)。这种变化趋势在开放流水养殖模式组更明显,且循环水养殖组的肥满度在养殖过程中始终大于开放流水养殖组,说明循环水养殖模式能更好地为养殖对象提供适宜的生长环境,使其生长潜力能更好地表现出来,保持身体各部位匀质生长。至实验结束,其肥满度分别是 0.920 和 0.838。

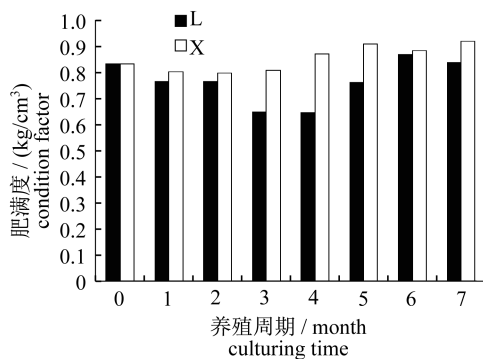


图 4 半滑舌鳎开放流水养殖模式和循环水养殖模式的肥满度对比

Fig.4 The contrast of condition factor of *C. semilaevis* in open flow through and recirculating aquaculture mode

生长激素(GH)含量 本实验条件下,两种养殖模式组半滑舌鳎生长激素呈现一种先降低后增高的趋势,体现了养殖对象对生长环境的一种先适应后快速生长的过程(图 5)。养殖初期,循环水养殖模式组半滑舌鳎生长激素含量明显高于开放

流水养殖模式组,中期开放流水养殖模式组激素分泌含量阶段性大于循环水养殖模式组,推断是因为补偿生长的缘故。至实验结束,两种养殖模式半滑舌鳎生长激素分泌分别为 2.812 和 2.706 $\mu\text{g/L}$ 。

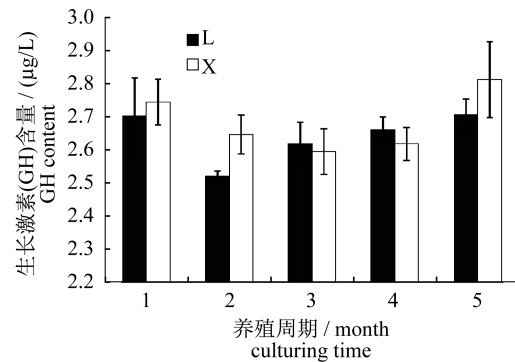


图 5 半滑舌鳎开放流水养殖模式和循环水养殖模式的生长激素(GH)含量对比

Fig.5 The contrast of GH content of *C. semilaevis* in open flow through and recirculating aquaculture mode

2.2 肉质分析评价

肉质基本成分 经过 7 个月的养殖,检测两种养殖模式下半滑舌鳎的肉质基本组成(图 6),开放流水养殖模式组水分、灰分、粗蛋白含量均大于循环水养殖模式组,而粗脂肪含量,循环水养殖模式组超过开放流水养殖模式组 41.732%。可见循环水养殖模式优越的水质环境更适合半滑舌鳎的育肥。

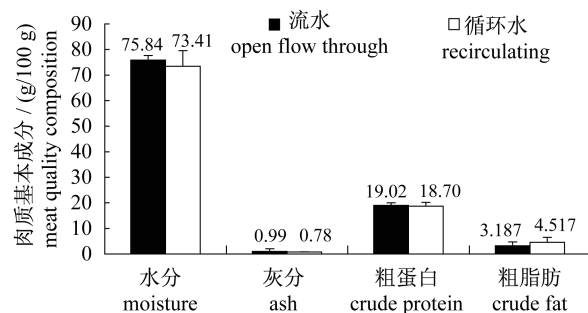


图 6 半滑舌鳎开放流水和循环水养殖模式肉质基本组成

Fig.6 The contrast of meat quality composition of *C. semilaevis* in open flow through and recirculating aquaculture mode

氨基酸组成 检测两种养殖模式下半滑舌鳎的氨基酸组成如表 3 所示,开放流水养殖模式组总氨基酸比循环水养殖模式组高 5.87%,开放

流水养殖模式组 EAA 比循环水养殖模式组高 5.17%, 但 EAA/TAA 循环水养殖模式组比开放流水养殖模式组高 0.69%, EAA/NEAA 循环水养殖模式组比开放流水养殖模式组高 1.42%。

表 3 半滑舌鳎开放流水养殖模式和循环水养殖模式的氨基酸组成

Tab. 3 The composition of amino acids of *C. semilaevis* in open flow through and recirculating aquaculture mode g/100 g

项目 items	开放流水 open flow through	循环水 recirculating
总氨基酸 total amino acids	79.93	75.50
天门冬氨酸 asparaginic acid	8.29	7.72
谷氨酸 glutamic acid	13.84	12.93
丝氨酸 serine	3.24	3.05
组氨酸 histidine	1.87	1.85
甘氨酸 glycine	4.01	3.74
苏氨酸 threonine	3.61	3.40
精氨酸 arginine	5.08	4.85
丙氨酸 alanine	4.59	4.38
酪氨酸 tyrosine	2.83	2.63
胱氨酸 cystine	0.29	0.34
缬氨酸 valine	4.54	4.27
蛋氨酸 methionine	2.74	2.60
苯丙氨酸 phenylalanine	3.63	3.43
异亮氨酸 isoleucine	4.16	3.91
亮氨酸 leucine	6.71	6.28
赖氨酸 lysine	8.17	7.94
脯氨酸 proline	2.33	2.21
EAA	40.51	38.52
EAA/TAA	0.506 8	0.510 3
EAA/NEAA	1.027 7	1.042 3

脂肪酸组成 两种养殖模式下半滑舌鳎的脂肪酸组成如表 4 所示,共检测到 14 种脂肪酸,其中饱和脂肪酸 6 种,不饱和脂肪酸 8 种。对于 PUFA,开放流水养殖模式组比循环水养殖模式组高 12.308%, 而 MUFA,循环水养殖模式组比开放流水养殖模式组高 16.912%,EFA 循环水养殖模式组比开放流水养殖模式组高 10.904%。

3 讨论

3.1 两种养殖模式的主要差异

给养殖对象建立适宜其生存生长状态的最优化环境,满足其营养需求,隔绝病害发生,能最大限度地发掘养殖对象的生长潜力^[13]。几百年

表 4 半滑舌鳎开放流水养殖模式和循环水养殖模式的脂肪酸组成

Tab. 4 The composition of fatty acid of *C. semilaevis* in open flow through and recirculating aquaculture mode g/100 g

项目 items	开放流水 open flow through	循环水 recirculating
月桂酸 C12:0 lauric acid	0.028 4	0.034 9
肉豆蔻酸 C14:0 myristic acid	3.741 95	4.271
C15:0 pentadecylic acid	0.381 6	0.408 313
棕榈酸 C16:0 palmitic acid	21.763 3	22.246 81
C16:1 palmitic acid	6.349 7	8.116 138
硬脂酸 C18:0 stearic acid	4.381 05	3.365 838
油酸 C18:1 oleic acid	17.876 5	20.789 75
亚油酸 C18:2 linoleic acid*	5.606 65	6.187 563
α -亚麻酸 C18:3 linolenic acid*	0.706 9	0.814 388
花生酸 c20:0 arachidic acid	0.114 7	0.110 475
C21:1 heneicosanoic acid	1.702 6	1.408 025
C20:5 EPA	7.668 2	7.551 375
C22:5 DPA	5.264 1	4.687 338
C22:6 DHA	19.577 9	15.328 44
EPA + DHA	27.246 1	22.879 81
SAFA	30.411	30.437 34
MUFA	25.928 8	30.313 91
PUFA	38.823 75	34.569 1
EFA	6.313 55	7.001 95

来,我国围绕这一主题做了大量的研究工作。南方的“鱼塭”和北方的“港养”方式已经延续了数百年,我国的池塘养殖、低坝高网、湖泊网围、近海网箱均是行之有效的尝试^[14-15]。

20 世纪末,“温室大棚 + 深井海水”工厂化流水养殖模式以其灵活高效、不受季节控制、经济适用,焕发了巨大的生命力,迅速地推动了以大菱鲆 (*Scophthalmus maximus* Linnaeus) 为首的鲆鲽鱼类产业的发展,并掀起了国内第 4 次水产养殖浪潮^[16-17]。但发展至今,面临水质资源破坏、病害逐年增多、食品安全需求、沿海工业用地挤压和国家倡导节能减排等压力,其发展已经面临一个瓶颈,其养殖模式亟待转变^[18]。工厂化循环水养殖模式是以养殖用水净化后循环利用为核心特征,将纯氧增氧、恒温调控、水净化设备、水质监测系统整合入工业化水产养殖系统。节电、节水、节地,符合当前国家提出的循环经济、节能减排、转变经济增长方式的战略需求。同时,工厂化循环水养殖模式集外部环境调控之大成,为养殖对象提供最优良的生长环境,从而最大地发掘养殖对

象的生长潜力,实现高效、安全生产^[16-19]。

3.2 两种养殖模式下养殖效果分析

本实验中,所有实验鱼均来自于同一养殖群体相同规格的鱼,随机分配至开放流水养殖模式组和循环水养殖模式组,保持投喂与管理一致,遗传因子对其影响较小。所以,本实验中所得数据可较好地表现出养殖模式差异对养殖对象的养殖效果影响。

本实验条件下,循环水养殖模式组半滑舌鳎生长速度明显优于开放流水养殖模式组。实验结束后,两种养殖模式的平均体质量分别是 1.723 和 1.416 kg,循环水养殖优于开放流水养殖 39.5%,从生长周期上,此一阶段循环水养殖相对于开放流水养殖可缩短生长周期 2 个月。傅雪军等^[20]循环水养殖半滑舌鳎实验平均增重率为 2.85 g/d,饵料系数为 1.08。李勇等^[21]做了循环水养殖模式下不同饲料蛋白水平的半滑舌鳎养殖实验,其增重率为 1.319 ~ 2.016 g/d,饵料系数 0.780 ~ 1.075。而本实验开放流水养殖实验组增重率 3.741 g/d,饵料系数为 1.163 6;循环水养殖实验组增重率 4.106 g/d,饵料系数为 0.899 5。赵霞^[22]养殖模式对比实验封闭循环水养殖半滑舌鳎增重率 4.00 g/d,明显高于开放流水养殖模式(1.73 g/d)。循环水养殖所展现的优良养殖效果说明,循环水养殖模式能够提供优质、稳定的水质环境,能够保证半滑舌鳎较好地发挥其生长性能。另一方面,傅雪军等^[20]养殖对象平均体质量为(28.28 ± 3.90)g,李勇等^[21]养殖对象(110 ± 25)g,赵霞^[22]养殖对象 366 g,而本实验养殖对象为(640 ± 63)g。从取得的养殖效果上看,本实验日增重率 3.54 g/d 要远远高于前三者,这说明,循环水养殖模式更适合进入快速生长期的大规格鱼种的集约化养殖。

检测两种养殖模式下半滑舌鳎的肉质基本组成,开放流水养殖模式组水分、灰分、粗蛋白含量均大于循环水养殖模式组,而粗脂肪含量,循环水养殖模式组超过开放流水养殖模式组 41.732%。可见循环水养殖模式优越的水质环境更适合半滑舌鳎的育肥。检测两种养殖模式下半滑舌鳎的氨基酸组成,开放流水养殖模式组总氨基酸比循环水养殖模式组高 5.87%,EAA 比循环水养殖模式组高 5.17%,但 EAA/TAA 循环水养殖模式组比开放流水养殖模式组高 0.69%,EAA/NEAA 比

开放流水养殖模式组高 1.42%。测定了两种养殖模式半滑舌鳎的脂肪酸组成,共检测到 14 种脂肪酸,其中饱和脂肪酸 6 种,不饱和脂肪酸 8 种。对于 PUFA,开放流水养殖模式组比循环水养殖模式组高 12.308%,而 MUFA,循环水养殖模式组比开放流水养殖模式组高 16.912%,EFA 循环水养殖模式组比开放流水养殖模式组高 10.904%。

3.3 工厂化循环水养殖模式的优越性

工厂化循环水养殖模式是集工程化、工厂化、设施化、标准化、规模化、数字化、信息化之大成于一体的一种现代化养殖产业新模式。它是将设施、设备、工程引入到养殖对象生命过程中,运用工业化、标准化、规模化的管理思维,采用数字化、信息化的管理手段,优化环境、提高效率,从而建立可控性强的高度集约化的可持续运转的人工生态型养殖模式。

工厂化循环水养殖模式优势特征明显,主要表现在:可以摆脱季节气温限制,实现全天候不间断生产;管理高度可控,多种水处理措施和质量监管,保障食品安全;单位养殖产量即生产力大幅提高,是普通开放养殖的数倍;实现节水、节电、节地,符合国家“节能减排”,转变经济增长方式的要求。

鱼类是水生低等变温脊椎动物,易受外界环境因子的影响。工厂化养殖过程中温度、盐度、溶氧、酸碱度、氨氮和亚硝酸盐等因素是影响鱼类生存状态的主要胁迫因子。胁迫会打破鱼类与环境之间的平衡和协调,引起鱼体内正常生理状态的紊乱,尽管此种刺激能引发鱼体的自我保护屏障加以抵御,但长时间地处于生理紧张状态,鱼体耗能过多,生长速度会减慢,机体特异性和非特异性免疫防御体系的功能会受到抑制,疾病抵抗力会下降^[23-24]。

赵霞^[22]分析认为,两种养殖模式下水质指标存在极显著的差异。循环水和开放流水养殖模式水质对比显示,循环水养殖水体中氨氮浓度极显著低于开放流水养殖水体中氨氮浓度($P < 0.01$),但是亚硝酸盐浓度高于开放流水养殖池;循环水养殖模式氨氮平均浓度 0.036 mg/L,是开放流水养殖模式的 0.237 倍;亚硝氮平均浓度为 0.114 mg/L,是开放流水养殖模式 7.125 倍。而本实验条件下循环水养殖模式氨氮平均浓度

0.15 mg/L,是开放流水养殖模式的0.369倍,亚硝酸氮0.039 mg/L,是开放流水养殖模式的2.44倍。

封闭式循环水养殖模式通过对养殖水环境的精密调控,对养殖过程中有可能出现的温度、盐度、溶氧、酸碱度、氨氮和亚硝酸氮等主要胁迫因子加以杜绝和防范^[25],从而为养殖对象提供适宜生长环境,在一定程度上降低和减弱了养殖过程中环境胁迫发生的概率,保证了养殖对象正常的生理状态,减少了病害的发生。

4 结论

循环水养殖模式较开放流水养殖模式更具优势,同等条件下,成活率能提升约10%,生长速度能提升20%,大规模养殖鱼种养殖周期可缩短两个月以上。

两种养殖模式,开放流水养殖模式组在粗蛋白、氨基酸、PUFA上更占优势,但在粗脂肪、MUFA上循环水养殖模式组明显占优势,分别高于开放流水养殖模式组41.732%和16.912%,说明循环水养殖模式优越的水质环境更适合半滑舌鳎的育肥。

参考文献:

- [1] Timmons M B, Ebeling J M. Recirculating Aquaculture [M]. New York: Cayuga Aqua Ventures, LLC Press, 2007: 1-118.
- [2] Blancheton J P. Developments in recirculation systems for Mediterranean fish species [J]. Aquaculture engineering, 2000, 22(1-2): 17-31.
- [3] Lei J L. Marine fish culture theory and techniques [M]. Beijing: China agriculture Press, 2005: 524-591. [雷霖. 海水鱼类养殖理论与技术. 北京: 中国农业出版社, 2005: 524-591.]
- [4] Lei J L. Turbot culture techniques [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 2005: 1-143. [雷霖. 大菱鲆养殖技术. 上海: 上海科学技术出版社, 2005: 1-143.]
- [5] Teng Y, Guo X H, Yuan D S, et al. The comparison of biochemical compositions and nutritional value of flatfish [J]. Progress in Fishery Sciences, 2010, 31(4): 120-125. [滕瑜, 郭晓华, 苑德顺, 等. 不同规格鲆类的生化组成及营养价值比较. 渔业科学进展, 2010, 31(4): 120-125.]
- [6] Ni Q, Lei J L, Zhang H S, et al. Developing progress and status analysis on flatfishes recirculating aquaculture system in China [J]. Fishery Modernization, 2010, 38(4): 1-9. [倪琦, 雷霖, 张和森, 等. 我国鲆类循环水养殖系统的研制和运行现状. 渔业现代化, 2010, 38(4): 1-9.]
- [7] Gong C G. Factory culture technology of *Cynoglossus semilaevis* Günther [J]. Shandong Fisheries, 2006, 23(8): 17-18. [宫春光. 半滑舌鳎工厂化养殖技术. 齐鲁渔业, 2006, 23(8): 17-18.]
- [8] Qu K M, Du S E, Zhu J X. Optimized engineering design of a seawater recirculation fish culture system for *Cynoglossus semilaevis* [J]. Fishery Modernization, 2009, 36(5): 10-13. [曲克明, 杜守恩, 朱建新. 节能型半滑舌鳎循环水养殖车间优化设计. 渔业现代化, 2009, 36(5): 10-13.]
- [9] Nijhof M, Bovendeur J. Fixed film nitrification characteristics in sea-water recirculation fish culture systems [J]. Aquaculture, 1990, 87(2): 133-143.
- [10] Xin N H, Yu X Q, Lv Z M, et al. Setup and operation of recirculation aquaculture system for Malabar grouper and half-smooth tongue-sole [J]. Fishery Modernization, 2009, 36(3): 21-25. [辛乃宏, 于学权, 吕志敏, 等. 石斑鱼和半滑舌鳎封闭循环水养殖系统的构建与运用. 渔业现代化, 2009, 36(3): 21-25.]
- [11] Xu H. Industrialization and recirculating culture techniques of flatfishes in China [J]. Fisheries Advance Magazine, 2010(11): 25-27. [徐皓. 我国鲆类产业工业化与循环水养殖技术. 海洋与渔业: 水产前沿, 2010(11): 25-27.]
- [12] State Oceanic Administration People's Republic of China. GB 17378.4-2007, Ocean monitoring fourth part: Seawater analysis [S]. Beijing: Chinese standards Press, 2008. [国家海洋局. GB 17378.4-2007 海洋监测规范第4部分: 海水分析. 北京: 中国标准出版社, 2008.]
- [13] Moss J H, Beauchamp D A, Cross A D, et al. Bioenergetic model estimates of interannual and spatial patterns in consumption demand and growth potential of juvenile pink salmon (*Oncorhynchus gorbuscha*) in the Gulf of Alaska [J]. Deep-Sea Research-Part II: Topical Studies in Oceanography, 2009, 56(24): 2553-2559.
- [14] Chen Y S. Studies on pond pisciculture modes optimization and exterior nitrogen-Phosphorus pollution control in zhangduhu wetland [D]. Wuhan: Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of

- Sciences,2006. [陈宇顺. 涨渡湖湿地池塘鱼类养殖模式优化与外源性氮、磷污染控制的研究. 武汉:中国科学院研究生院(水生生物研究所),2006.]
- [15] Cheng Y X, He S S, Zhou Z G. The current situation of fisheris culture mode in China [C]. Beijing: China society of fisheries, World Aquaculture Society, 2002. [成永旭, 贺诗水, 周志刚. 我国鱼类养殖模式现状. 2002 年世界水产养殖大会论文交流. 北京: 中国水产学会、世界水产养殖学会, 2002.]
- [16] Lei J L. Strategy consideration for industry construction of Chinese marine culture [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2010, 17(3): 600 - 609. [雷霖. 中国海水养殖大产业架构的战略思考. 中国水产科学, 2010, 17(3): 600 - 609.]
- [17] Lei J L, Liu X F, Meng Z. Giving play to the advantages of industry technology system And stronger Flat fisheries industrial aquaculture [J]. China Fisheries, 2010, 6: 11 - 13. [雷霖, 刘新富, 孟振. 发挥产业技术体系优势做强鲆鲽类工厂化养殖. 中国水产, 2010, 6: 11 - 13.]
- [18] Wuxi Sino-future Bio-Technology Co., Ltd. Deteriorate and solution of breeding environment [J]. China Fisheries, 2004, 10: 85 - 86. [无锡中顺生物技术有限公司. 养殖环境的恶化及其解决方案. 中国水产, 2004, 10: 85 - 86.]
- [19] Lei J L. Welcome the new era of industrialization culture of flat fisheries—Strategic thinking of industrialization culture development road of falt fisheries [J]. Scientific Fish Farming, 2010(10): 1 - 4. [雷霖. 迎接鲆鲽类工业化养殖新时代——鲆鲽类走工业化养殖发展之路的战略思考. 科学养鱼, 2010(10): 1 - 4.]
- [20] Fu X J, Ma S S, Zhu J X, et al. Analysis of the efficiency of water treatment and the cultured effect of *Cynoglossus semilaevis* Günther in closed re-circulating aquaculture systems [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2011, 5(4): 745 - 751. [傅雪军, 马绍赛, 朱建新, 等. 封闭式循环水养殖系统水处理效率及半滑舌鳎养殖效果分析. 环境工程学报, 2011, 5(4): 745 - 751.]
- [21] Li Y, Wang M Q, Gao T T, et al. Effects of eco-nutrition requirement of protein on *Cynoglossus semilaevis* Günther in industrial culture with seawater quality and digestive enzyme [J]. Journal of Fisheries of China, 2010, 34(11): 1719 - 1727. [李勇, 王美琴, 高婷婷, 等. 封闭循环水养殖半滑舌鳎蛋白质的生态营养需要量. 水产学报, 2010, 34(11): 1719 - 1727.]
- [22] 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. [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. 青岛: 中国海洋大学, 2010.]
- [23] Xi F. Fish stress and its adaptive thermogenesis [J]. Feed Research, 2001(10): 10 - 12. [席峰. 鱼类应激及其适应性生热作用. 饲料研究, 2001(10): 10 - 12.]
- [24] Ishioka H. Live fish transportation, series of fisheries book 39 [M]. Tokyo: Kosesha Kosekaku Press, 1982, 52 - 69.
- [25] Ren X W. Effects of Environmental and nutritional factors on the activities of digestive enzymes in juvenile tongue-sole *Cynoglossus semilaevis* [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2008. [任晓伟. 环境因子和营养水平对半滑舌鳎消化酶活性的影响. 青岛: 中国海洋大学, 2008.]

Research on variance analysis of breeding and quality in muscles of *Cynoglossus semilaevis* adult fish in open flow through and recirculating aquaculture mode

WANG Feng¹, LEI Jilin^{2*}

(1. Fisheries Aquaculture Engineering Laboratory, Marine Science and Engineering College,
Qingdao Agriculture University, Qingdao 266109, China;

2. Qingdao Key Laboratory for Marine Fish Breeding and Biotechnology, Yellow Sea Fisheries Research Institute,
Chinese Academy of Fishery Science, Qingdao 266071, China)

Abstract: In order to collect more data of intensive aquaculture of *Cynoglossus semilaevis*, setting up two aquaculture modes of open flow through and recirculating aquaculture system, adult fish [(0.640 ± 0.063) kg] in rapid growth period were observed, the index of growth and quality in muscles were detected. The experiment continued 7 months and the results were as follows: 1) The survival rate of *C. semilaevis* in recirculating aquaculture and open flow through mode was 79.89% and 90.38%, weight gain rate was 0.1547 and 0.1109 kg/month, fatness was 0.920 and 0.838, growth hormone was 2.812 and 2.706 μg/L, respectively. There were respectively 13.13%, 39.5%, 9.8% and 3.92% higher in survival, weight gain, fatness and growth hormone of *C. semilaevis* in recirculating aquaculture mode than those in open flow through mode. 2) Comparing two kinds of aquaculture models, open flow through mode has obvious superiority in crude protein, amino acid and PUFA, while recirculating mode has obvious superiority in crude fat and MUFA, these were respectively 41.732% and 16.912% higher than those in open flow through mode, which means recirculating aquaculture mode was more suitable for *C. semilaevis*'s fattening. This study showed that *C. semilaevis* has a good adaptability in recirculating aquaculture mode, the growth and quality in muscles were all in a better condition, also showed that recirculating aquaculture mode can greatly develop the culture capacity of *C. semilaevis*. This was a preponderant culture mode for intensive culture of *C. semilaevis*.

Key words: *Cynoglossus semilaevis*; open flow through aquaculture; recirculating aquaculture; aquaculture mode

Corresponding author: LEI Jilin. E-mail: lejil@ysfri.ac.cn