

工厂化循环水养殖模式放养密度对半滑舌鳎成鱼生长和肌肉营养成分的影响

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(*Cynoglossus semilaevis* Günther)的集约化养成提供基础数据,在工厂化循环水养殖模式下,以处于快速生长期的大规格鱼种(0.64±0.063) kg为研究对象,设置4个密度梯度组,检测半滑舌鳎的生长及肉质相关指标,结果表明:a. 实验共进行7个月,半滑舌鳎在循环水养殖模式下的总成活率为88.01%~93.34%,总增重率为139.69%~191.09%,且随着养殖密度降低,其成活率呈下降趋势,生长速度、肥满度呈上升趋势,半滑舌鳎生长激素分泌浓度为2.522~2.862 4 μg/L,各养殖密度组的生长激素随养殖密度下降前期呈升高趋势,后期呈下降趋势;b. 各养殖密度组水分、灰分、粗蛋白、粗脂肪、氨基酸和脂肪酸含量随养殖密度变化均没有规律性变化;c. 本实验条件下,循环水养殖模式X2组即初始放养210条的处理组取得了最佳的养殖效果,月平均成活率为98.72%,月增重为0.152 6 kg/条,经7个月的养殖,可达到23.03 kg/m³的单位产量。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,其生长及营养成分均处于较好的状态,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,是适合半滑舌鳎集约化养殖的一种具有优势的养殖模式。

[关键词] 半滑舌鳎;循环水养殖;放养密度;生长;营养成分

[中图分类号] S965 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2015)01-0019-08

1 前言

循环水养殖是诸多水产养殖模式中工业化程度最高的一种生产模式,它与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,但鲆鲽类循环水养殖起步相对较早、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^[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,体重可以达到500 g左右,开展人工养殖具有广阔的前景^[7]。

半滑舌鳎循环水高密度养殖,合适的放养密度

[收稿日期] 2014-11-07

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

[作者简介] 雷霖霖,1935年出生,男,福建宁化县人,中国工程院院士,研究员,博士生导师,主要从事海水鱼类生态、繁殖和增养殖理论与技术研究;E-mail:leijl@ysfri.ac.cn

是关键,本文研究探讨半滑舌鳎成鱼在4种放养密度下的生长、生理及发育特点,以期半滑舌鳎工厂化循环水养殖模式标准化提供相应的数据和参考。

2 材料与方法

2.1 实验设计与分组

设计工厂化封闭式循环水养殖模式,选用同样

规格的养殖池并放养购自同一批相同规格的处于快速生长期的大规格成鱼,共设置4个循环水养殖密度水平。具体分组情况见表1。实验用鱼购自潍坊昌邑个体养殖户,平均体重为0.629 kg。实验场地为莱州明波水产有限公司循环水南七实验间。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 半滑舌鳎各养殖密度组分组情况

Table 1 Condition of different stocking density groups of *Cynoglossus semilaevis* Günther

组别	X1	X2	X3	X4
个体重量/kg	0.64±0.063	0.64±0.063	0.64±0.063	0.64±0.063
放养数量/条	240	210	180	150
养殖密度/(kg·m ⁻²)	10.24	8.96	7.68	6.4

2.2 养殖条件

养殖实验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。正式养殖实验共持续216 d。养殖池为圆形,底面积为15 m²,水深保持1 m,养殖期间水温保持在18.5~20 ℃,日水温变化不超过0.5 ℃。盐度控制在26±1。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 ℃左右。

2.3 饲料与日常管理

定期投喂鲕类商品饲料(丹麦产爱乐5号料),粒径5 mm,主要营养成分为粗蛋白47%、粗脂肪14%、粗灰分10%。日投喂3次,投喂时间分别为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,投喂后0.5 h进行换水,以排除残饵和粪便,保持水质清新。每天6次巡池,及时记录观测鱼体活动、身体各部位有无异常情况,捞出死鱼并准确计数。月末统计各池鱼的成活率、个体重量。如发现死亡病鱼,当详细记录,并分析判断其死亡原因。

2.4 实验方法

2.4.1 水质监测

每日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、化学需氧量(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,其色度与氨氮的含量成正比,通常可在波长410~425 nm范围内测其吸光度,计算其含量。本方法的最低检出浓度为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测定采用碱性高锰酸钾法。细菌总数、鳃弧菌总数测定均采用营养琼脂培养基培养法。

2.4.2 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:

$$\text{鱼的成活率}=(N-n)/N \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{生长率} \approx (\sum(g/20 \times N_i) - G) / G \times 100\% \quad (2)$$

$$\text{鱼的肥满度} R = m/L^3 \times 100\% \quad (3)$$

式(1)~式(3)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 为鱼体重量; L 为鱼体长。GH含量测定采用鱼类GH酶联免疫试剂盒。

2.4.3 食物转化率和饵料系数

在实验开始之初和结束之时测出鱼体重量,并在整个过程中记录所消耗的饵料的量,从而计算出食物转化率和饵料系数。

$$\text{食物转化率} = 100 \times (W_2 - W_1) / C \quad (4)$$

$$\text{饵料系数} = C/b = m' / (m_i - m_0) \quad (5)$$

式(4)和式(5)中, W_1 为实验初始时鱼体湿重, g; W_2 为实验结束时鱼体湿重, g; C 为实验期间鱼摄食量, 该值经实测饵料流失率校正后得到, g; b 为鱼体的增重量; m' 为投喂饵料量, g; m_t 为 t 时刻的鱼体重量, g; m_0 为实验初始时的鱼体重量, g。

2.4.4 半滑舌鲷体组成、脂肪酸、氨基酸的测定

粗蛋白测定采用凯氏定氮法;粗脂肪测定采用索氏抽提法(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;水分测定采用烘干法;脂肪酸测定采用气相色谱/氢火焰离子化检测器(GC/FID)测定方法,利用日本岛津(Shimadzu)GC-2010 色谱仪测定;氨基酸测定采用 JY/T 019—1996、GB/T 5009.124—2003 规定的食品中氨基酸的测定方法,利用 Agilent 1100 高效液相色谱仪测定。

2.5 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 Tukey 法检验组间差异。然后绘制曲线图分析,以便观察其变化规律。

3 结果与分析

3.1 生长适应性

3.1.1 成活率

由表2和图1可知,在本实验条件下,循环水养殖模式下4个密度组每月成活率为94.29%~100%。实验结束后总成活率按照密度高低分别为93.34%、91.35%、88.77%和88.01%,由此可见,本实验条件下,随着养殖密度降低,其成活率呈下降趋势。

表2 半滑舌鲷各密度组的成活率

Table 2 Survival rate of *Cynoglossus semilaevis* Günther in different density groups

组别	X1	X2	X3	X4
第1月	99.17	98.57	98.89	98
第2月	99.16	99.03	99.44	99.32
第3月	100	100	99.44	99.32
第4月	99.15	99.43	99.43	99.31
第5月	97.86	98.04	94.29	98.61
第6月	98.25	97	99.39	95.78
第7月	99.56	98.97	97.42	97.06
总成活率	93.34	91.35	88.77	88.01

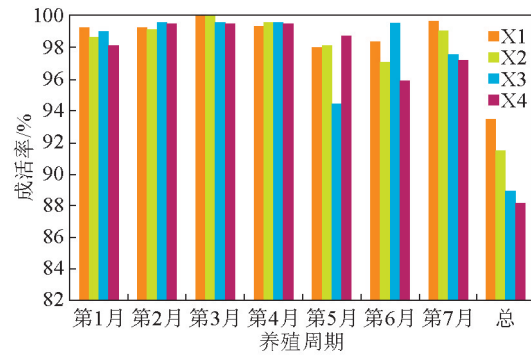


图1 半滑舌鲷各密度组的成活率比较

Fig. 1 Contrast of survival rate of *Cynoglossus semilaevis* Günther in different density groups

3.1.2 生长率

如图2、图3所示,4个密度组中养殖密度最大的X1组生长速度最慢,养殖密度最小的X4组生长速度最快。实验结束后,X1~X4实验组的平均体重分别为1.534 kg、1.708 kg、1.786 kg和1.863 kg,总产量分别为303.75 kg、319.13 kg、276.012 kg和233.376 kg;最终养殖密度分别为21.6 kg/m³、23.03 kg/m³、20.196 kg/m³和17.16 kg/m³。由数据可知,X2即初始放养210条的处理组取得了最佳养殖效果,经半年的养殖,单位产量可达到23.03 kg/m³。实验共进行7个月,总增重率分别为139.69%、166.88%、179.06%和191.09%。各密度组平均月增重为0.1277 kg、0.1526 kg、0.1637 kg和0.1747 kg。

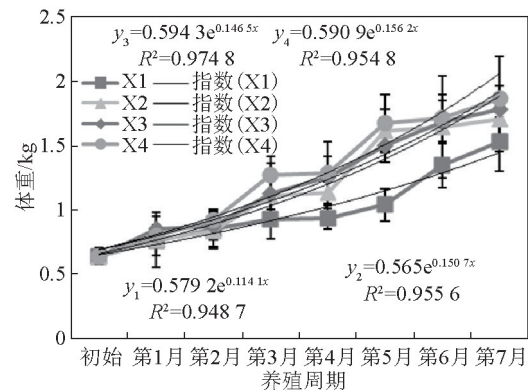


图2 半滑舌鲷各密度组的增重率变化

Fig. 2 The rate of gaining in weight of *Cynoglossus semilaevis* Günther in different density groups

注:图中4个公式分别对应于4个养殖密度组的增重率变化曲线

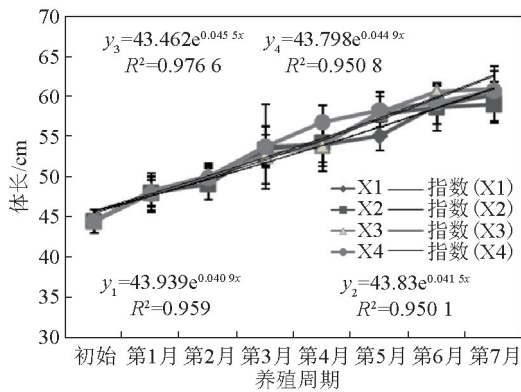


图3 半滑舌鲷各密度组的增长率变化

Fig. 3 The rate of gaining in length of *Cynoglossus semilaevis* Günther in different density groups

注:图中4个公式分别对应于4个养殖密度组的增长率变化曲线

3.1.3 饲料转化率和饵料系数

如图4所示,各养殖密度组随着养殖周期的延长,饵料系数呈现先下降后升高的趋势,说明在进入快速生长期后,各密度组均能较好地生长,从而提高饲料转化效果,而后期当养殖对象长至1.5 kg、度过快速生长期时,各密度组饵料系数又呈增大趋势;各养殖密度组在快速生长期基本呈现随密度减小饵料系数降低的趋势,而养殖后期随着达到生长速度拐点,密度最小组又率先呈饵料系数增大的状态。

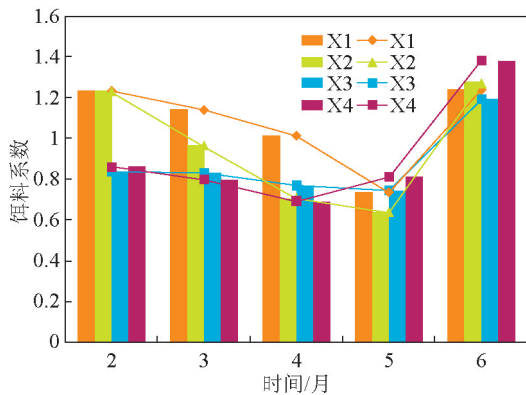


图4 半滑舌鲷各密度组的饵料系数对比

Fig. 4 Contrast of food coefficient of *Cynoglossus semilaevis* Günther in different density groups

3.1.4 最终养殖密度和产值估算

本实验条件下,780条实验鱼,经7个月的养殖周期,共投喂饲料535 kg,初始重量为596.12 kg,终

产量为1 132.27 kg,总增重为536.15 kg,总饲料转化率为100.22%,总饵料系数为0.9979。

实验结束后,最终养殖密度分别为21.6 kg/m³、23.03 kg/m³、20.196 kg/m³和17.16 kg/m³(见表3)。由数据可知,X2即初始放养210条的处理组取得了最佳的养殖效果,经半年的养殖,单位产量可达到23.03 kg/m³。X1~X4实验组的产量分别为303.75 kg、319.13 kg、276.012 kg和233.376 kg,总产量为1 132.268 kg。

表3 半滑舌鲷各密度组密度变化

Table 3 The density change of *Cynoglossus semilaevis* Günther in different density groups

组别	X1	X2	X3	X4
初始密度	10.24	8.96	7.68	6.4
第1月	12.08	10.6	9.12	7.83
第2月	13.41	11.47	10.33	8.95
第3月	14.59	14.23	13.21	11.27
第4月	15.52	15.4	14.62	12.34
第5月	17.86	21.52	16.51	14.89
第6月	20.25	21.28	18.40	15.56
第7月	21.6	23.03	20.196	17.16

3.1.5 肥满度

如图5所示,各养殖密度组随着养殖密度的下降其肥满度基本呈上升趋势,且这种养殖效果的差异性在养殖前3个月会呈现放大趋势,在后3个月这种差异性将保持相对稳定。至实验结束,其肥满度由大到小的顺序是X4、X2、X3和X1,数值分别是0.966、0.96、0.929和0.825。

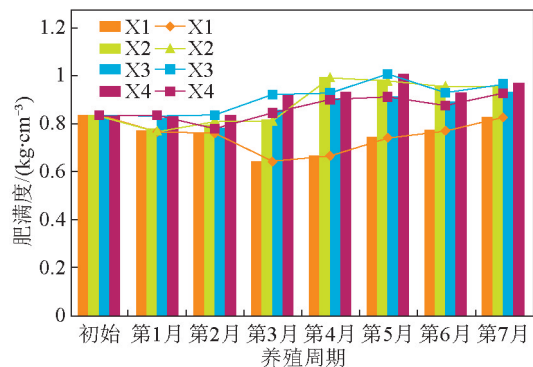


图5 半滑舌鲷各密度组的肥满度对比

Fig. 5 Contrast of fatness of *Cynoglossus semilaevis* Günther in different density groups

3.1.6 GH含量

如图6所示,本实验循环水养殖模式下,半滑舌鲷GH分泌浓度为2.522~2.862 4 μg/L,前期各养殖密度组随养殖密度下降GH呈升高趋势,后期各养殖密度组随养殖密度下降GH呈下降趋势。

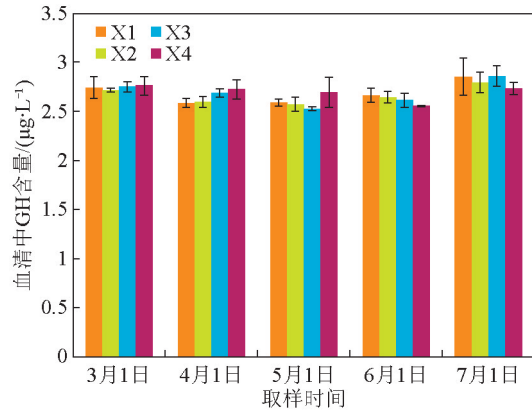


图6 半滑舌鲷各密度组的GH含量对比

Fig. 6 Contrast of GH content of *Cynoglossus semilaëvis* Günther in different density groups

3.2 肉质分析评价

3.2.1 肉质基本成分

本实验条件下,经过7个月的养殖,检测各养殖密度组半滑舌鲷的肉质基本组成(见图7),各组肌肉水分含量变化范围为67.763~80.95 g/100 g,灰分含量为0.699~0.896 g/100 g,粗蛋白含量为16.49~20.24 g/100 g,粗脂肪含量为3.659~5.22 g/100 g,各组分随养殖密度变化没有规律性变化。

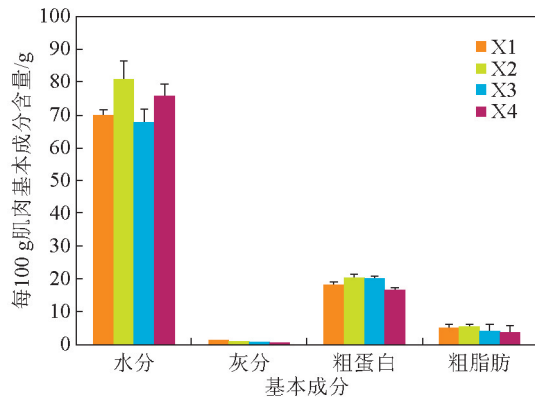


图7 半滑舌鲷不同密度组肉质基本组成

Fig. 7 Contrast of the basic composition of meat of *Cynoglossus semilaëvis* Günther in different density groups

3.2.2 氨基酸组成

检测4个不同养殖密度组下半滑舌鲷的氨基酸组成如表4所示,总氨基酸(TAA)含量范围是72.18~78.01 g/100 g,必需氨基酸(EAA)含量范围为37.05~39.53 g/100 g, EAA/TAA为50.572%~51.52%, EAA/NEAA(非必需氨基酸)为1.023 1~1.062 6。各指标随养殖密度变化没有规律性变化。

表4 半滑舌鲷各密度组的氨基酸组成

Table 4 The composition of amino acids of *Cynoglossus semilaëvis* Günther in different density groups

组别	X1	X2	X3	X4
总氨基酸	73.84	77.95	72.18	78.01
天门冬氨酸	7.48	7.91	7.43	8.05
谷氨酸	12.4	13.49	12.33	13.49
丝氨酸	2.95	3.17	2.93	3.13
组氨酸	1.93	1.82	1.77	1.86
甘氨酸	3.69	3.93	3.42	3.9
苏氨酸	3.31	3.48	3.34	3.48
精氨酸	4.72	5.06	4.62	5
丙氨酸	4.25	4.54	4.1	4.63
酪氨酸	2.49	2.76	2.49	2.76
胱氨酸	0.41	0.28	0.32	0.33
缬氨酸	4.17	4.34	4.09	4.47
蛋氨酸	2.56	2.7	2.46	2.68
苯丙氨酸	3.34	3.51	3.29	3.56
异亮氨酸	3.81	4.01	3.74	4.08
亮氨酸	6.11	6.48	6.02	6.52
赖氨酸	8.09	8.13	7.72	7.8
脯氨酸	2.14	2.31	2.11	2.28
EAA	38.04	39.53	37.05	39.45
EAA/TAA	0.515 2	0.507 12	0.513 3	0.505 72
EAA/NEAA	1.062 6	1.028 9	1.054 7	1.023 1

3.2.3 脂肪酸组成

4个不同养殖密度组下半滑舌鲷的脂肪酸组成如表5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。二十碳五烯酸(EPA)+二十二碳六烯酸(DHA)的范围为21.418 35~24.196 2,多不饱和脂肪酸(PUFA)的范围为30.802 05~37.554 35,单不饱和脂肪酸(MUFA)的范围为27.550 75~34.112 6,各指标随养殖密度变化没有规律性变化。

表5 半滑舌鲷各密度组的脂肪酸组成

Table 5 The composition of fatty acids of *Cynoglossus semilaevis* Günther in different density groups

组别	X1	X2	X3	X4
C12:0(月桂酸)	0.040 2	0.032 15	0.039 75	0.027 5
C14:0(肉豆蔻酸)	4.633 05	4.376 7	4.691 2	3.383 05
C15:0	0.405 45	0.406 45	0.380 4	0.440 95
C16:0(棕榈酸)	22.851 15	22.306	21.927 45	21.902 65
C16:1	9.538 85	7.325 45	8.766	6.834 25
C18:0(硬脂酸)	3.044 35	3.525 95	3.176 75	3.716 3
C18:1(油酸)	23.617 15	18.855 15	21.608 15	19.078 55
C18:2(亚油酸)*	4.874 9	6.186 3	7.067 45	6.621 6
C18:3(α -亚麻酸)*	0.790 45	0.781 95	0.943 35	0.741 8
C20:0(花生酸)	0.116 95	0.113 5	0.101 2	0.110 25
C21:1	0.956 6	1.770 95	1.266 6	1.637 95
C20:5(EPA)	7.914 85	7.741 15	8.174 55	6.374 95
C22:5(DPA)	3.179 5	5.279 65	4.046 75	6.243 45
C22:6(DHA)	14.042 35	16.455 05	13.243 8	17.572 55
EPA+DHA	21.957 2	24.196 2	21.418 35	23.947 5
SAFA	31.091 15	30.760 75	30.316 75	29.580 7
MUFA	34.112 6	27.951 55	31.640 75	27.550 75
PUFA	30.802 05	36.444 1	33.475 9	37.554 35
EFA	5.665 35	6.968 25	8.010 8	7.363 4

注: DPA为二十二碳五烯酸甲酯; SAFA为饱和脂肪酸; EFA为必需脂肪酸; 表中EFA的数据来自两个*标记的数据相加

4 讨论

4.1 循环水养殖模式下半滑舌鲷的生长

鱼类的生长受到遗传因子和环境因子的共同影响^[13], 遗传因子在其中起决定作用。现代生物育种技术已经发展到利用功能基因、基因组技术来选择育种, 从而筛选或创造出生长速度快的优质鱼种^[14]。但实现这一步还需要很长的一段路要走, 而且即使做到这一步, 也需要为其提供最优的养殖环境才能最大地发掘其生长潜力。陆基循环水养殖模式将纯氧增氧、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。其核心内容是对养殖水环境的精密调控, 为养殖对象提供最佳的生长环境, 从而最大地发掘养殖对象的生长潜力, 实现高效、安全生产。

本实验中, 所有实验鱼均来自同一养殖群体相

同规格的鱼, 随机分配至4个循环水养殖密度水平, 保持投喂与管理一致, 遗传因子相对于环境因子影响较小。因此可以认为本实验所得数据可较好地表现出养殖密度差异对养殖对象养殖效果的影响。本实验持续时间216 d, 共投喂饲料535 kg, 初始重量为596.12 kg, 终产量为1 132.27 kg, 总增重为536.15 kg, 平均每条鱼日增重3.54 g, 饵料系数为0.997 9。傅雪军等^[15]的循环水养殖半滑舌鲷实验日平均增重达2.85 g, 饵料系数为1.08。李勇等^[16]做了循环水养殖模式下不同饲料蛋白水平的半滑舌鲷养殖实验, 其日增重为1.319~2.016 g/d, 饵料系数为0.78~1.075。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, 能够保证半滑舌鲷较好地发挥其生长性能。

另外, 傅雪军等^[15]的养殖对象平均体重为(28.28±3.9) g, 李勇等^[16]的养殖对象平均体重为(110±25) g, 而本实验养殖对象平均体重为(640±63) g。从取得的养殖效果上看, 本实验日增重率为3.54 g/d要远远高于前二者, 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。

4.2 循环水养殖模式下半滑舌鲷的肌肉营养成分

蛋白质是生命体组成的基本物质, 也是判别评定水产食品最为重要的指标之一。水产食品的蛋白质营养实际上就是氨基酸营养组成。因此, 衡量比较不同放养密度半滑舌鲷肌肉的品质, 蛋白质含量的高低和氨基酸的组成是很重要的指标。根据联合国粮农组织/世界卫生组织(FAO/WHO)的理想模式, 质量较好的蛋白质其组成氨基酸中EAA占TAA的比值为40%左右, EAA与NEAA的比值高于60%^[17]。本实验中各放养密度组半滑舌鲷EAA/TAA为50.572%~51.52%, EAA/NEAA为1.023 1~1.062 6, 说明循环水养殖模式下的半滑舌鲷具有较高的蛋白质品质。

鲜味氨基酸是决定肌肉风味品质的一项重要指标。谷氨酸鲜味最强, 天门冬氨酸其次, 丙氨酸和甘氨酸是呈甘味的氨基酸。本实验中半滑舌鲷谷氨酸含量范围为12.33~13.49 g/100 g, 天门冬氨酸含量范围为7.48~8.05 g/100 g, 丙氨酸含量范围

为 4.1~4.63 g/100 g, 甘氨酸含量范围为 3.42~3.93 g/100 g。各密度组 4 种鲜味氨基酸总量依次为 27.82 g/100 g、29.87 g/100 g、27.28 g/100 g 和 30.07 g/100 g, 其中 X4 组含量最多, 其次为 X2 组。这与梁萌青等^[18]所测半滑舌鲷 4 种鲜味氨基酸含量为 28.65 g/100 g 的结果相符, 说明循环水养殖模式下半滑舌鲷具有较高的鲜味氨基酸, 具有可口的风味。

EFA 主要包含亚麻酸、亚油酸、EPA 和 DHA, 是人体自身不能合成的脂肪酸, 对人体发育和生理活动非常重要, 因此 EFA 含量是鱼类肌肉营养评价的一项重要指标。粗脂肪质量还取决于脂肪酸的不饱和度, 而 DHA 和 EPA 属 n-3 长链高不饱和脂肪酸, 是鱼类肌肉营养价值评价的重要指标, 近年的研究发现, 不饱和脂肪酸有降血脂、抑制血小板凝集、降血压、提高血液流动性、抗肿瘤、抗炎和免疫调节等作用, 可以预防人的心血管疾病, 有助于人脑的发育^[19]。各放养密度组肌肉中亚麻酸、亚油酸和 EPA 含量均最高的是 X3 放养密度组, 而 DHA 含量最高的为 X4 放养密度组。EFA 含量随放养密度变化并没有呈现规律性变化。

5 结语

1) 本实验条件下, 循环水养殖模式 X2 组即初始放养 210 条的处理组取得了最佳的养殖效果, 月平均成活率为 98.72%, 月增重为 0.152 6 kg/条, 经 7 个月的养殖, 单位产量可达到 23.03 kg/m³。

2) 循环水养殖模式 4 个密度组月成活率为 94.29%~100%, 月增重均在 0.125 kg/条之上。实验用鱼初始体重为 0.64 kg, 经 7 个月养殖, 体重均在 1.534 kg 之上。说明循环水养殖模式提供的水质环境可以极大地挖掘半滑舌鲷的生长潜力, 尤其是处于快速生长期的大规格鱼种, 在循环水养殖模式下, 其养殖周期会被大大缩短, 且其产量可以提高一倍。

3) 循环水养殖模式下, 半滑舌鲷 EAA、鲜味氨基酸、EFA 含量均处于较高指标, 其营养价值品质能够得到保障。

参考文献

- [1] Timmons M B, Ebeling J M. The role for recirculating aquaculture systems [J]. AES News, 2007, 10(1): 2-9.
- [2] Blancheton Jean Paul. Developments in recirculation systems for Mediterranean fish species [J]. Aquacultural Engineering, 2000, 22(1/2): 17-31.
- [3] 雷霖霖. 海水鱼类养殖理论与技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005.
- [4] 雷霖霖. 大菱鲆养殖技术[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2005.
- [5] 滕瑜, 郭晓华, 苑德顺, 等. 不同规格鲆鲽类的生化组成及营养价值比较[J]. 渔业科学进展, 2010, 31(4): 120-125.
- [6] 倪琦, 雷霖霖, 张和森, 等. 我国鲆鲽类循环水养殖系统的研制和运行现状[J]. 渔业现代化, 2010, 38(4): 1-9.
- [7] 宫春光. 半滑舌鲷工厂化养殖技术[J]. 齐鲁渔业, 2006, 23(8): 16-18.
- [8] 曲克明, 杜守恩, 朱建新. 节能型半滑舌鲷循环水养殖车间优化设计[J]. 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] 辛乃宏, 于学权, 吕志敏, 等. 石斑鱼和半滑舌鲷封闭循环水养殖系统的构建与运用[J]. 渔业现代化, 2009, 36(3): 21-25.
- [11] 徐皓. 我国鲆鲽类产业工业化与循环水养殖技术[J]. 海洋与渔业: 水产前沿, 2010(11): 25-27.
- [12] 国家海洋局. GB 17378.4—2007 海洋监测规范 第 4 部分: 海水分析[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [13] Ihssen P E, Booke H E, Casselman J M, et al. Stock identification: Materials and methods [J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 1981, 38(12): 1838-1855.
- [14] 楼允东. 鱼类育种学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2001.
- [15] 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鲷养殖效果分析[J]. 环境工程学报, 2011, 5(4): 745-751.
- [16] 李勇, 王美琴, 高婷婷, 等. 封闭循环水养殖半滑舌鲷蛋白质的生态营养需要量[J]. 水产学报, 2010, 34(11): 1719-1727.
- [17] Pellett P L, Young V R. Nutritional Evaluation of Protein Foods [M]. Tokyo: the United National University Press, 1980.
- [18] 梁萌青, 雷霖霖, 吴新颖, 等. 3 种主养鲆鲽类的营养成分分析及品质比较研究[J]. 渔业科学进展, 2010, 31(4): 113-119.
- [19] 杭晓敏, 唐涌濂, 柳向龙. 多不饱和脂肪酸的研究进展[J]. 生物工程进展, 2001, 21(4): 18-21.

Effect of stocking density on growth and quality in muscles of *Cynoglossus semilaevis* Günther adult fish in industrial recirculating aquaculture

Wang Feng¹, Lei Jilin²

(1. Fisheries Aquaculture Engineering Laboratory, Marine Science and Engineering College, Qingdao Agricultural University, Qingdao, Shandong 266109, China; 2. Qingdao Key Laboratory for Marine Fish Breeding and Biotechnology, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Science, Qingdao, Shandong 266071, China)

[Abstract] In order to collect more basic data of intensive aquaculture of *Cynoglossus semilaevis* Günther, 4 groups of different stocking densities were set up in industrial recirculating aquaculture system, the adult fish in rapid growth period (0.64 ± 0.063) kg were observed, the parameters of growth and quality in muscles were detected. The results were shown as follows. a. The experiment continued for 7 months, the survival rate of *Cynoglossus semilaevis* Günther in recirculating aquaculture mode was in 88.01 % ~ 93.34 %, weight gain rate was 139.69 % ~ 191.09 %. With the decrease of stocking density, survival rate was on a declining curve, while growth rate and fatness were on a rising trend. The concentration of growth hormone was 2.522 ~ 2.862 $\mu\text{g/L}$, which was on a rising trend in earlier stage and then on a declining curve in later stage with the decrease of stocking density. b. There is no regular change of moisture, ash content, crude protein, crude fat, amino acid and fatty acid with the change of stocking density. c. In this experimental condition, the group whose initial stocking density is 210 got the best culture effect; the average survival rate per month was 98.72 %; the average gaining in weight per month was 0.152 6 kg/pcs; after 7 months breeding, the specific yield reached 23.03 kg/m^3 . This study showed that *Cynoglossus semilaevis* Günther has a good adaptability in industrial recirculating aquaculture, and the growth and quality in muscles were all in a better condition. It also showed that industrial recirculating aquaculture can greatly develop the culture potential of *Cynoglossus semilaevis* Günther, which was a preponderant culture mode for intensive aquaculture of *Cynoglossus semilaevis* Günther.

[Key words] *Cynoglossus semilaevis* Günther; recirculating aquaculture; stocking density; growth; nutrient composition