

文章编号: 1000-0615(2019)08-1821-09

DOI: 10.11964/jfc.20181111534

LED光谱对舌齿鲈幼鱼摄食、生长和能量分配的影响

任纪龙^{1,2}, 魏平平^{1,2}, 费凡^{1,2}, 代明允^{1,2}, 马贺^{1,2},
高东奎^{1,2}, 宋昌斌³, 陈涛⁴, 刘鹰^{1,2,5*}

(1. 大连海洋大学海洋科技与环境学院, 辽宁大连 116023;

2. 辽宁省水产设施养殖与装备工程研究中心, 辽宁大连 116023;

3. 中国科学院半导体研究所, 北京 100083;

4. 深圳市超频三科技股份有限公司, 广东深圳 518000;

5. 青岛海洋科学与技术国家实验室, 山东青岛 266071)

摘要: 在海水循环水养殖系统中, 分别设置白光($\lambda_{400-780\text{ nm}}$)、红光($\lambda_{630\text{ nm}}$)、黄光($\lambda_{595\text{ nm}}$)、绿光($\lambda_{530\text{ nm}}$)、蓝光($\lambda_{455\text{ nm}}$)5组不同LED光谱处理组, 研究5种不同LED光谱对舌齿鲈幼鱼[(29.91±0.39) g、(13.78±0.35) cm]摄食、生长和能量分配的影响。结果显示, 不同LED光谱对舌齿鲈幼鱼摄食、生长和能量分配具有显著性影响。红光光谱下舌齿鲈幼鱼生长较好(41.09±5.70) g, 蓝光光谱下舌齿鲈幼鱼生长较差(36.02±4.18) g; 蓝光光谱下舌齿鲈幼鱼DGC(daily growth coefficient)显著低于其他各组, 其他各组之间差异不显著; 5组LED光谱处理组舌齿鲈幼鱼摄食率存在显著性差异, 其中红光光谱摄食率最高。类胰岛素生长因子IGF-1和IGF-2测定结果表明, 白光光谱下IGF-1的mRNA表达量最高; 黄光谱下IGF-2的mRNA表达量最高。能量分配方面, 红光光谱下舌齿鲈幼鱼排粪能和代谢能较低, 摄食能和生长能较高; 蓝光光谱下舌齿鲈幼鱼排粪能较高, 摄食能和代谢能较低, 生长能最低。对舌齿鲈幼鱼肌肉和肝脏RNA/DNA比值测定结果表明, 蓝光光谱下, 舌齿鲈幼鱼肝脏RNA/DNA比值显著高于其他各组; 蓝光光谱和白光谱下舌齿鲈幼鱼肌肉中RNA/DNA比值存在显著性差异, 其他各组之间不具有显著性差异。研究表明, 红光光谱下舌齿鲈幼鱼摄食、生长均表现较好, 且红光光谱下舌齿鲈幼鱼具有较高的摄食能和生长能; 蓝光光谱下舌齿鲈幼鱼摄食、生长表现较差, 排粪能较高, 生长能较低。因此, 红光光谱对舌齿鲈幼鱼摄食、生长具有积极影响; 蓝光光谱对舌齿鲈幼鱼摄食、生长具有不利影响。

关键词: 舌齿鲈; LED光谱; 生长; 摄食; 能量分配; DNA/RNA

中图分类号: S 965

文献标志码: A

光是水生生物生长发育的关键环境要素, 光要素(光谱、光强、光周期)对鱼类的生长、发育、繁殖、行为等方面具有重要影响, 其影响机制较为复杂^[1-2]。鱼类由于其长期生活习性, 会逐渐形成与其生活环境相适应的生存机制, 对其所处的光谱环境也存在一定适应机制。已有研究表明, 不同光谱环境对鱼类生长发育具有一定的抑制或促进作用^[3-11], 对鱼体体色变化

也具有一定影响^[9-10,12]。但Stefansson等^[13]研究发现, 光谱对大西洋鲑(*Salmo salar*)生长不具有显著性影响。因此, 光谱对鱼类的影响具有种属特异性。目前, 鱼类陆基工厂化循环水养殖生产主要在封闭室内进行, 需要人为进行补充照明。针对这一现象, 在养殖生产过程中通过调控光谱, 给不同种类、不同发育阶段的养殖鱼类创造一个更加适宜的光谱环境, 对促进养殖

收稿日期: 2018-11-14 修回日期: 2018-12-28

资助项目: 国家重点研发计划(2017YFB0404000)

通信作者: 刘鹰, E-mail: yingliu@dlou.edu.cn

对象生长、提高生产效率具有重要意义。

舌齿鲈(*Dicentrarchus labrax*), 又名欧鲈, 隶属鲈形目(Perciformes)、狼鲈科(Moronidae), 是欧洲商业化养殖的第一个非鲑科(Salmonidae)海水鱼类, 也是目前地中海地区最重要的商业养殖鱼类^[14]。目前国内外养殖实践表明, 舌齿鲈适合工厂化养殖, 由于其味道鲜美、营养价值高而受到消费者青睐。随着人工繁育技术的突破^[15], 舌齿鲈在国内的养殖规模越来越大。国外已有研究表明, 光谱对舌齿鲈生长、行为、发育等方面具有重要的影响。Villamizar等^[7]研究结果表明, 蓝光对舌齿鲈仔稚鱼的发育具有促进作用, 蓝光更利于舌齿鲈仔稚鱼的存活和眼部、鱼鳍等部位的发育。Marchesan等^[16]研究发现蓝光和绿光对舌齿鲈具有强烈的消极影响。在我国, 张磊等^[14]研究了不同盐度和温度对舌齿鲈幼鱼生长发育的影响, 而关于光谱对舌齿鲈生长发育的影响研究尚未见报道。本研究针对循环水养殖条件下, 不同LED光谱(白光、红光、黄光、绿光、蓝光)对舌齿鲈幼鱼摄食、生长和能量分配的影响进行分析, 以期为我国工厂化循环水养殖舌齿鲈提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验对象

实验用舌齿鲈幼鱼取自大连海洋大学水产设施养殖与装备工程研究中心实验室循环水实验系统, 并在实验室搭建的小型循环水实验系统中进行驯化养殖。驯化处理1周, 驯化期间采用加州鲈专用浮性饲料(广东越群海洋生物研究开发有限公司), 每日中午12:00饱食投喂1次。

1.2 实验设计

实验采用自行搭建的海水循环水养殖系统, 置于遮光布搭建的封闭暗室内, 光源为定制LED灯具(深圳市超频三科技股份有限公司)。养殖桶采用灰白色PE材质圆型桶(直径80 cm, 水深60 cm, 水体约260 L), 每个水桶配置一个净水机(HW-304B, 森森集团股份有限公司)。每个养殖桶采用曝气泵不间断曝气, 以确保溶解氧维持在(5.5±0.3) mg/L。海水水温利用恒温加热棒控制在(19±1) °C; 海水盐度为31~32, pH值为7.5±0.1。在养殖桶底部设置排水阀, 以便于收集粪便。采用定制LED灯具控制光谱, 实验设置5个光谱处理组, 分别为白

光($\lambda_{400-780}$ nm)、红光(λ_{630} nm)、黄光(λ_{595} nm)、绿光(λ_{530} nm)、蓝光(λ_{455} nm), 每个处理组设4个重复, 每个养殖桶养殖35尾经过驯化的舌齿鲈幼鱼[(29.91±0.39) g、(13.78±0.35) cm]。实验光强为(274.89±33.88) mW/m², 每日早晨8:00用SRI-2000-UV光谱照度计(尚泽股份有限公司)测定光照强度并校准。光照周期为16L:8D(通过定时器进行控制)。

养殖期间, 每日中午12:00饱食投喂1次, 1 h后收集残饵、粪便。每2天换1次水, 换水量为水体20%。实验开始前24 h停止投喂, 测量每组幼鱼的体长、体质量, 作为初始值。

1.3 样品的收集、处理与保存

能量实验 为准确获得舌齿鲈幼鱼摄食量, 实验开始时, 将饲料浸泡于养殖海水中, 测定其1 h溶失系数, 矫正投喂饲料重量。投喂1 h后, 收集残饵和粪便, 在65 °C条件下烘干至恒重, 测定消化率。实验开始前, 随机选取9尾鱼, 用于初始鱼体(全鱼)成分测定。在实验过程中, 每2周进行1次鱼体总长和鱼体质量测定。实验结束后, 每个养殖桶随机选取6尾鱼, 每个处理组共选取24尾鱼(全鱼), 用以鱼体成分测定。

肝脏和肌肉样品 实验开始前共随机选取6尾鱼; 实验结束时, 从每个处理组中随机选取9尾鱼, 共180尾幼鱼, 麻醉后, 立即解剖鱼体, 取肝脏和肌肉组织样品于-80 °C冰箱保存备用。

1.4 样品的测定与分析

能量实验 实验收集的鱼体、饲料、残饵、粪便等样品于65 °C下烘干后, 用小型粉碎机(CS-2000武义海纳电器有限公司)粉碎, 置于封口袋中, 于-20 °C冰箱保存备用。样品氮含量测定采用国标^[17]方法进行, 粗蛋白含量用氮含量乘以6.25进行换算。总能量采用自动量热仪(湖南华德电子有限公司HDC6000自动量热仪)进行测定。粪便和饲料酸不溶灰分测定参照国标^[18]方法进行, 将其作为内源性指示剂计算消化率。每个样品重复测定3次, 取平均值作为测定值。

总RNA提取和生长相关基因表达量的测定 将冻存的肝脏样品按照UNIQ-10柱式Trizol总RNA抽提试剂盒的操作说明进行总RNA的提取。利用微量分光光度计(SMA4000, merinton)测定RNA样品OD₂₆₀及OD₂₈₀值并确定其浓度, 根据

OD₂₆₀/OD₂₈₀比值判断总 RNA 纯度, 1.5%琼脂糖凝胶电泳检测RNA 质量。

根据 RevertAid Premium Reverse Transcriptase 试剂盒操作说明, 将提取的总 RNA 进行反转录扩增获得 cDNA。反转录产物于-20 °C保存备用。

参照 SG Fast qPCR Master Mix(2×)试剂盒说明及 LightCycler480 II(Roche罗氏)对实验各组样品目的基因和β-actin 基因 cDNA 进行定量测定。PCR (引物序列见表1)反应条件: 95 °C预变性 3 min, 95 °C变性 3 s, 60 °C退火/延伸 30 s, 共 45 个循环。

表 1 Real-time PCR 引物序列

Tab. 1 Primer sequence for real-time quantitative PCR

基因 gene	序列 sequence(5'-3')	GenBank登录号 GenBank accession no.
IGF-1	F:TTGTGGACGAGTGCTGCTT R:CTGTGTTTTTGTCTTGTCTGGC	AY800248.1
IGF-2	F:AAGTCCCAAGGAAGCAGCAT R:CCGCTGTCTCCGATACTTT	AY839105.1
β-actin	F:GAGAGGGAAATCGTGCGTG R:GAGGAAGGAAGGCTGAAAA	AJ537421.1

RNA/DNA测定 将置于-80 °C冰箱保存的肝脏和肌肉样品用研磨棒磨碎, 然后提取总RNA和DNA。其中, 总RNA提取方法见“总RNA提取和生长相关基因表达量的测定”。DNA提取采用海洋动物组织基因组DNA提取试剂盒(天根生化科技有限公司)进行提取。RNA和DNA浓度采用微量分光光度计(SMA4000,merinton)测定。

1.5 数据计算

$$\text{日生长系数}(DGC, \%) = \left(W_{Ft2}^{1/3} - W_{Ft1}^{1/3} \right) \times 100\% / (t_2 - t_1)$$

式中, W_{Ft2} 和 W_{Ft1} 分别为时间 t_2 和 t_1 鱼的体质量(g)。

摄食率($FR_w, \%$)和饲料转化效率($FCE_w, \%$):

$$FR_w = I / [(W_{t2} + W_{t1}) / 2] / (t_2 - t_1) \times 100\%$$

$$FCE_w = (W_{t2} - W_{t1}) / I \times 100\%$$

式中, t_1 和 t_2 分别为某个实验阶段的开始时间(d)和结束时间(d), W_{t1} 和 W_{t2} 分别为某一实验阶段鱼的初始体质量(g)和终末体质量(g), I 为实验阶段内鱼的摄食量(g)。

鱼体能量计算参考崔奕波^[19]在1989年提出的鱼体能量转换模型及唐启升等^[20]在2003年测定的7种海洋鱼类生物能量学模式。能量收支计算方程:

$$C_e = G_e + F_e + U_e + R_e$$

$$C_e = I \times GE_F$$

$$G_e = FF_e - IF_e$$

$$F_e = C_e \times (100 - DR_e) / 100$$

$$U_e = U_N \times 24.83$$

$$R_e = C_e - G_e - F_e - U_e$$

式中, C_e 、 G_e 、 F_e 、 U_e 、 R_e 分别为摄食能(energy intake)、生长能(growth energy)、排粪能(energy of feces)、排泄能(energy of excretion)、代谢能(ener-

gy of metabolism), GE_F 、 FF_e 、 IF_e 、 DR_e 、 U_N 分别为饲料能量含量(kJ/g)、实验结束时鱼体能量含量(kJ/g)、实验开始时鱼体的能量含量(kJ/g)、能量消化率(%)、氨氮排泄量(g), 每排泄1 g氨氮的能量消耗为24.83 J/(mg N)^[19]。

1.6 数据分析

采用SPSS 24.0对实验数据进行单因素方差分析(ANOVA), 利用Duncan氏多重比较分析不同处理组之间的差异; 以 $P < 0.05$ 作为差异显著性的标准。所有数据采用平均值±标准差的方式表示。分析所得数据用Origin 8.6软件进行绘图。

2 结果

2.1 舌齿鲈幼鱼体质量(BW)变化和日生长系数(DGC)

实验结果显示, 不同光谱处理对舌齿鲈幼鱼BW的影响具有显著性差异。由表2可知, 在实验周期第50天时, 红光组和蓝光组鱼体质量存在显著性差异($P < 0.05$)。各处理组鱼体质量由高至低依次为红光组>白光组>绿光组>黄光组>蓝光组。红光组舌齿鲈幼鱼生长最好(41.09±5.70)g、蓝光组舌齿鲈幼鱼生长最差(36.02±4.18)g。在29~50 d实验周期内, 红光组、白光组和黄光组幼鱼的DGC存在显著性差异($P < 0.05$) (表3)。在整个养殖周期内, 蓝光组DGC均显著低于其他各组($P < 0.05$), 各组DGC依次为红光组>白光组>绿光组>黄光组>蓝光组。

2.2 生长相关因子基因表达量

白光组IGF-1的mRNA表达量显著高于黄光

表 2 不同光谱条件下舌齿鲈幼鱼的体质量变化
Tab. 2 Body weight of *D. labrax* cultured in different LED spectra

时间/d time	光谱 LED spectra				
	白光 white light	红光 red light	黄光 yellow light	绿光 green light	蓝光 blue light
0	29.75±1.98	29.98±2.00	29.79±1.98	29.61±1.99	30.49±2.08
14	32.28±2.90 ^a	32.46±3.62 ^a	31.43±3.25 ^c	31.94±3.12 ^{ab}	30.78±2.89 ^{bc}
28	37.01±3.97 ^a	37.12±4.83 ^a	36.36±4.30 ^a	34.90±3.88 ^b	34.26±3.60 ^b
42	39.23±4.84 ^b	40.63±5.74 ^a	39.05±5.29 ^b	37.52±4.59 ^c	36.09±4.30 ^d
50	40.10±4.63 ^{ab}	41.09±5.70 ^a	38.77±5.07 ^b	39.51±5.33 ^{ab}	36.02±4.18 ^c

注: 同行数据上标字符不同表示组间存在显著差异($P<0.05$), 下同
Notes: values in the same row with different superscripts are significantly different ($P<0.05$), the same below

表 3 不同光谱条件下舌齿鲈幼鱼的日生长系数
Tab. 3 Daily growth coefficient of *D. labrax* cultured in different LED spectra

时间/d time	光谱 LED spectra				
	白光 red light	红光 red light	黄光 yellow light	绿光 green light	蓝光 blue light
1~14	0.61±0.20 ^a	0.59±0.17 ^a	0.40±0.11 ^a	0.59±0.16 ^a	0.08±0.08 ^b
15~29	1.05±0.20 ^a	1.04±0.09 ^a	1.06±0.08 ^a	0.64±0.08 ^b	0.80±0.09 ^b
29~50	0.45±0.12 ^b	0.53±0.11 ^{ab}	0.36±0.10 ^{bc}	0.62±0.12 ^a	0.25±0.06 ^c
1~50	0.66±0.12 ^a	0.69±0.08 ^a	0.57±0.16 ^a	0.62±0.12 ^a	0.36±0.04 ^b

组, 其他各组之间不具有显著性差异($P>0.05$), mRNA 表达量从高到低依次为白光组>蓝光组>绿光组>红光组>黄光组; 黄光组 IGF-2 的 mRNA 表达量最高, 其次依次为白光组>红光组>绿光组>蓝光组, IGF-2 在蓝光组、绿光组表达量相近, 黄光组与蓝光组具有显著性差异($P<0.05$)(图 1)。

2.3 摄食率

实验结果显示, 实验前期, 不同 LED 光谱处理组之间摄食率(feeding rate, FR)差异不显著($P>0.05$)(表 4)。整个实验周期内, 红光组、白光组和黄光组 3 个处理组之间摄食率差异不显著($P>0.05$)。红光组摄食率最高, 绿光组和蓝光组摄食率最低, 各处理组摄食率由高至低依次为红光组>黄光组>白光组>蓝光组>绿光组。

2.4 饲料转化率

不同 LED 光谱对舌齿鲈幼鱼饲料转化率具有显著性影响($P<0.05$)。蓝光组饲料转化率与红光组、白光组和绿光组存在显著性差异($P<0.05$)。黄光组饲料转化率与其他各组差异不显著($P>0.05$)(表 5)。各组饲料转化率从高到低依次为绿光组>红光组>白光组>黄光组>蓝光组。

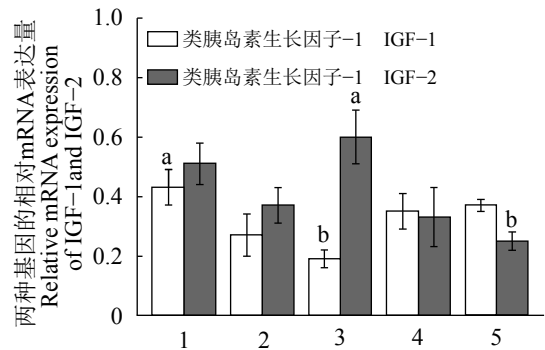


图 1 不同光谱对舌齿鲈类胰岛素生长激素因子-1(IGF-1)和类胰岛素生长激素因子-2(IGF-2)表达量的影响

1. 白光组, 2. 红光组, 3. 黄光组, 4. 绿光组, 5. 蓝光组

Fig. 1 Effects of different spectra on levels of IGF-1 and IGF-2 mRNA of *D. labrax*

1. white light, 2. red light, 3. yellow light, 4. green light, 5. blue light

2.5 能量分配

红光组和白光组舌齿鲈幼鱼与其他 3 个处理组在摄食能和生长能上呈现显著性差异($P<0.05$), 红光组摄食能最大、白光组生长能最大, 红光组和白光组摄食能和生长能均不存在显著性差

表 4 不同光谱对舌齿鲈摄食率的影响

Tab. 4 Feeding rate of *D. labrax* cultured in different LED spectra

时间/d time	光谱 LED spectra				
	白光 white light	红光 red light	黄光 yellow light	绿光 green light	蓝光 blue light
1~14	0.31±0.03 ^a	0.33±0.04 ^a	0.31±0.02 ^a	0.30±0.05 ^a	0.32±0.04 ^a
15~29	0.46±0.06 ^c	0.37±0.03 ^{ab}	0.40±0.02 ^{bc}	0.34±0.03 ^a	0.35±0.03 ^{ab}
29~50	0.44±0.05 ^b	0.46±0.06 ^b	0.44±0.03 ^b	0.35±0.02 ^a	0.40±0.01 ^a
1~50	0.32±0.02 ^a	0.33±0.03 ^a	0.32±0.01 ^a	0.27±0.03 ^b	0.30±0.02 ^b

表 5 不同光谱对舌齿鲈饲料转化率的影响

Tab. 5 Feed conversion efficiency of *D. labrax* cultured in different LED spectra

时间/d time	光谱 LED spectra				
	白光 white light	红光 red light	黄光 yellow light	绿光 green light	蓝光 blue light
1~14	0.019±0.007 ^a	0.017±0.005 ^a	0.012±0.003 ^a	0.019±0.007 ^a	0.002±0.002 ^b
15~29	0.019±0.007 ^{ab}	0.017±0.005 ^a	0.012±0.003 ^a	0.019±0.007 ^b	0.002±0.002 ^{ab}
29~50	0.014±0.005 ^{bc}	0.016±0.003 ^b	0.011±0.003 ^{bc}	0.025±0.004 ^a	0.009±0.002 ^c
1~50	0.019±0.003 ^a	0.019±0.003 ^a	0.016±0.001 ^{ab}	0.021±0.005 ^a	0.011±0.002 ^b

异($P>0.05$)(表6)。排粪能方面, 5个不同LED光谱处理组均存在显著性差异($P<0.05$), 排粪能从高到低依次为蓝光组>白光组>黄光组>红光组>绿光组。排泄能方面, 5个处理组舌齿鲈幼鱼均没有表现出显著性差异($P<0.05$), 排泄能从高到低依次为白光组>红光组>蓝光组>黄光组>绿光组。代谢能方面, 红光组显著高于其他各组, 绿光组与黄光组不存在显著性差异($P>0.05$), 代谢能从高到低依次为红光组>黄光组>绿光组>白光组>蓝光组($P<0.05$)。

2.6 肝脏和肌肉RNA/DNA比值

不同LED光谱条件下, 幼鱼肌肉和肝脏RNA/DNA比值具有显著性差异($P<0.05$)。蓝光组肝脏RNA/DNA显著高于其他各组($P<0.05$), 其他各组间差异不显著($P>0.05$), RNA/DNA比值从高到低依次为蓝光组>黄光组>红光组>绿光组>白光组。肌肉中的RNA/DNA比值, 白光组显著高于其他各组($P<0.05$), 其余各组RNA/DNA比值从高到低依次为黄光组>绿光组>红光组>蓝光组(表7)。

3 讨论

3.1 不同光谱对舌齿鲈幼鱼摄食和生长的影响

本实验中, 不同LED光谱对舌齿鲈幼鱼摄食、生长具有不同影响。红光组舌齿鲈幼鱼生长

最好(41.09±5.70) g、蓝光组生长最差(36.02±4.18) g。这可能是由于在红光环境下, 舌齿鲈幼鱼具有较高的摄食率和饲料转化率。在实验周期前期(15~29 d), 白光组舌齿鲈幼鱼摄食率最高, 到实验中后期, 红光组舌齿鲈摄食率最高, 这种差异转变可能是由于实验周期前期, 舌齿鲈幼鱼对不同光环境存在适应阶段, 随着实验的进行, 舌齿鲈幼鱼在适宜光谱环境下摄食率增高, 在不适宜光谱环境下摄食率降低。这与Marchesan等^[16]研究人工光源对舌齿鲈的影响时, 发现蓝光和绿光对舌齿鲈具有强烈的消极影响的结果一致。光谱对水生动物生长和摄食的影响随着个体发育阶段不同而不同^[2]。Villamizar等^[7]的研究结果表明, 在光周期为12L:12D条件下, 蓝光对舌齿鲈仔稚鱼的发育具有促进作用, 蓝光更利于舌齿鲈仔稚鱼的存活和眼部、鱼鳍等部位发育。二者研究结果不一致的原因可能是由于研究对象大小和发育程度不一样以及实验开展地域环境差异造成的。光谱对鱼类摄食生长的影响还具有种属特异性^[2]。陈婉情等^[4]研究发现, 绿光更有利于豹纹鳃棘鲈(*Plectropomus leopardus*)幼鱼的生长和存活。Karakatsouli等^[8]在研究光谱对鲤(*Cyprinus carpio*)生长性能的影响时发现, 红光对鲤生长具有促进作用。陈明卫^[9]等研究表明, 蓝光条件下中华绒螯蟹

表 6 不同光谱对舌齿鲈幼鱼能量分配的影响
Tab. 6 Effects of different LED spectra on the energy distribution of *D. labrax* kJ/(g·d)

能量 energy	光谱 LED spectra					
	白光 white light	红光 red light	黄光 yellow light	绿光 green light	蓝光 blue light	
摄食能 C_e	289.95±17.12 ^a	303.20±26.90 ^a	290.88±11.13 ^a	245.79±20.66 ^b	258.80±10.12 ^b	
生长能 G_e	5.25±0.53 ^a	4.96±0.18 ^a	3.81±0.31 ^c	4.32±0.17 ^b	2.37±0.23 ^d	
排粪能 F_e	152.27±8.99 ^b	104.23±9.25 ^d	129.39±4.95 ^c	89.85±7.55 ^c	188.70±7.34 ^a	
排泄能 U_e	12.29±1.69 ^a	11.12±2.66 ^a	10.93±1.10 ^a	9.74±2.04 ^a	11.06±1.00 ^a	
代谢能 R_e	120.16±6.30 ^c	182.89±15.01 ^a	146.75±4.96 ^b	141.88±11.15 ^b	56.67±1.85 ^d	

表 7 不同光谱对舌齿鲈幼鱼肌肉和肝脏RNA/DNA比值的影响
Tab. 7 Effects of different spectra on RNA/DNA ratio in liver and muscle

组织 tissues	光谱 LED spectra					
	白光 white light	红光 red light	黄光 yellow light	绿光 green light	蓝光 blue light	
肝脏 liver	1.46±0.32 ^b	1.72±0.10 ^b	2.18±0.78 ^b	1.59±0.36 ^b	4.20±0.81 ^a	
肌肉 muscle	0.93±0.39 ^a	0.44±0.02 ^{bc}	0.61±0.21 ^b	0.50±0 ^{bc}	0.23±0.10 ^c	

(*Eriocheir sinensis*)幼体具有更好的摄食表现。Nafsika等^[12]研究表明,红光更有利于虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)生长和发育。而Heydarnejad等^[21]研究却发现黄光条件下养殖的虹鳟幼鱼生长更好。

在本实验中,虽然在红光谱下舌齿鲈幼鱼饲料转化率不是最高的(仅次于绿光),但是红光谱更有利于舌齿鲈幼鱼摄食,因此,在红光谱条件下,舌齿鲈幼鱼生长表现最好。

3.2 不同光谱对舌齿鲈幼鱼类胰岛素生长因子的影响

类胰岛素生长因子-1(IGF-1)和类胰岛素生长因子-2(IGF-2)是动物生长和发育重要的促细胞分裂剂^[22]。本实验中,舌齿鲈幼鱼在不同光谱下,IGF-1的mRNA表达量在白光和黄光组中具有显著性差异,其中,白光组IGF-1基因表达量最高。IGF-2的mRNA在黄光组和蓝光组的表达量有显著性差异,且在黄光组中基因表达量最高。可以推测不同光谱对鱼生长基因表达量的影响不同。有研究表明,红鳍东方鲀(*Takifugu rubripes*)脑部的生长激素抑制素(somatostatin)mRNA在不同光谱中的表达量不同,且在蓝光下,SS3 mRNA(生长激素抑制激素-3)的表达量最高^[23]。IGFs mRNA表达量不同,可能是由于不同光谱环境对SS mRNA表达量产生影响,从而抑

制GH的表达,进而影响舌齿鲈幼鱼的生长,具体原因和机制还有待于进一步探究。

3.3 不同光谱对舌齿鲈幼鱼能量分配的影响

关于光谱对水生生物能量分配的影响已有许多研究。Gao等^[24]研究不同光谱对皱纹盘鲍(*Haliotis discus hannai*)能量收支的影响时发现,在蓝光或绿光条件下,皱纹盘鲍通过排泄、粪便和呼吸,损失的能量要高于从食物中获得的能量。在红光或者橙光条件下,鲍鱼具有更高的摄食能,并且通过排泄和粪便损失的能量更少。隋佳佳^[25]研究光谱对刺参(*Apostichopus japonicus*)能量分配的影响时发现,蓝光下刺参用于生长的能量(GE)是最低的,显著低于红、黄、橙3种光谱。

本实验中不同的光谱会对舌齿鲈幼鱼的能量分配产生影响。红光条件下,舌齿鲈幼鱼摄食能最高,而在绿光和蓝光条件下,摄食能最低。在蓝光条件下,舌齿鲈幼鱼通过粪便排泄损失的能量显著高于其他组($P<0.05$)。绿光和红光条件下,排粪能最低。不同的光谱对舌齿鲈幼鱼排泄能的影响无显著性差异($P>0.05$)。因此,虽然红光条件下舌齿鲈幼鱼的代谢能比其在蓝光条件下的代谢能更高,但是由于红光条件下,舌齿鲈幼鱼摄食能最高,且排粪能较低,因此,用于生长的能量要比其他光谱条件

下用于生长的能量高。同时实验结果也证实, 舌齿鲈在红光条件下具有较高的生长能, 且在5种不同的光谱处理中生长的最好, 而在蓝光条件下摄食能最低、排粪能最高, 因此用于生长的能量最少, 生长效果最差。实验结果与在实际养殖过程中通过肉眼观察的结果一致: 红光组中舌齿鲈幼鱼摄食更好, 且更加活跃。

3.4 不同光谱对舌齿鲈幼鱼肌肉和肝脏RNA/DNA比值的影响

RNA/DNA比值是反映营养状况的重要指标^[26]。Gwak等^[27]研究表明, RNA/DNA比值与牙鲆(*Paralichthys olivaceus*)幼鱼生长呈正相关, 但Imsland等^[28]认为RNA/DNA比值不能直接用作衡量鱼类的生长指标, 因为不同盐度会对鱼类的RNA/DNA比值产生重要影响。本研究表明, RNA/DNA比值与舌齿鲈幼鱼生长趋势并无关联, 这与黄国强等^[29]在研究牙鲆幼鱼RNA/DNA比值与生长的关系结果一致。

参考文献:

- [1] Villamizar N, Blanco-Vives B, Migaud H, *et al.* Effects of light during early larval development of some aquacultured teleosts: a review[J]. *Aquaculture*, 2011, 315(1-2): 86-94.
- [2] 周显青, 牛翠娟, 李庆芬. 光照对水生动物摄食、生长和存活的影响[J]. *水生生物学报*, 2000, 24(2): 178-181. Zhou X Q, Niu C J, Li Q F. Effects of light on feeding behavior, growth and survival of aquatic animals[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2000, 24(2): 178-181(in Chinese).
- [3] Boeuf G, Le Bail P Y. Does light have an influence on fish growth?[J]. *Aquaculture*, 1999, 177(1-4): 129-152.
- [4] 陈婉情, 刘志明, 吴亮, 等. 光色对豹纹鳃棘鲈(*Plectropomus leopardus*)幼鱼生长及血液生化指标的影响[J]. *生态学杂志*, 2016, 35(7): 1889-1895. Chen W Q, Liu Z M, Wu L, *et al.* The influences of light color on growth, haematological and biochemical indices of juvenile *Plectropomus leopardus*[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2016, 35(7): 1889-1895(in Chinese).
- [5] 吴亮, 吴洪喜, 马建忠, 等. 光色对豹纹鳃棘鲈幼鱼摄食、生长和存活的影响[J]. *海洋科学*, 2016, 40(11): 44-51. Wu L, Wu H X, Ma J Z, *et al.* Effect of light color on feeding, growth, and survival of *Plectropomus leopardus* juveniles[J]. *Marine Sciences*, 2016, 40(11): 44-51(in Chinese).
- [6] Downing G, Litvak M K. Effects of light intensity, spectral composition and photoperiod on development and hatching of haddock (*Melanogrammus aeglefinus*) embryos[J]. *Aquaculture*, 2002, 213(1-4): 265-278.
- [7] Villamizar N, García-Alcazar A, Sánchez-Vázquez F J. Effect of light spectrum and photoperiod on the growth, development and survival of European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) larvae[J]. *Aquaculture*, 2009, 292(1-2): 80-86.
- [8] Karakatsouli N, Papoutsoglou E S, Sotiropoulos N, *et al.* Effects of light spectrum, rearing density and light intensity on growth performance of scaled and mirror common carp *Cyprinus carpio* reared under recirculating system conditions[J]. *Aquacultural Engineering*, 2010, 42(3): 121-127.
- [9] 陈明卫, 高维玉, 姜玉声, 等. 光色对中华绒螯蟹幼体诱集与仔蟹摄食的影响[J]. *大连海洋大学学报*, 2016, 31(4): 362-367. Chen M W, Gao W Y, Jiang Y S, *et al.* Effects of color light on aggregation of larvae and food intake in juvenile Chinese mitten hand crab *Eriocheir sinensis*[J]. *Journal of Dalian Fisheries University*, 2016, 31(4): 362-367(in Chinese).
- [10] 马本贺, 孙志宾, 马爱军, 等. 环境光色对白条双锯鱼(*Amphiprion frenatus*)幼鱼生长和体色的影响[J]. *海洋与湖沼*, 2017, 48(1): 148-154. Ma B H, Sun Z B, Ma A J, *et al.* Effect of light color on growth and body color in tomato clownfish *Amphiprion frenatus* juvenile[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2017, 48(1): 148-154(in Chinese).
- [11] 赵宁宁, 周邦维, 李勇, 等. 环境光色对工业化养殖豹纹鳃棘鲈幼鱼生长、肤色及生理指标的影响[J]. *中国水产科学*, 2016, 23(4): 976-984. Zhao N N, Zhou B W, Li Y, *et al.* Effects of light color on growth, skin color, and physiological indices of juvenile *Plectropomus leopardus* in a recirculating aquaculture system[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2016, 23(4): 976-984(in Chinese).
- [12] Karakatsouli N, Papoutsoglou S E, Panopoulos G, *et al.* Effects of light spectrum on growth and stress response of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* reared under

- recirculating system conditions[J]. *Aquacultural Engineering*, 2008, 38(1): 36-42.
- [13] Stefansson S O, Hansen T J. The effect of spectral composition on growth and smolting in Atlantic salmon (*Salmo salar*) and subsequent growth in sea cages[J]. *Aquaculture*, 1989, 82(1-4): 155-162.
- [14] 张磊, 郑纪盟, 夏苏东, 等. 盐度和温度对欧洲舌齿鲈 (*Dicentrarchus labrax*) 幼鱼活动与存活的影响[J]. *安徽农业科学*, 2014, 42(34): 12121-12122.
- Zhang L, Zheng J M, Xia S D, *et al.* Effects of temperature and salinity on the activities and survival of *Dicentrarchus labrax*[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2014, 42(34): 12121-12122(in Chinese).
- [15] Sakata Y, Muto A, Uddin M A, *et al.* Influence of temperature, oxygen and salinity on the metabolism of the European sea bass[J]. *Journal of Sea Research*, 1999, 42(2): 157-168.
- [16] Marchesan M, Spoto M, Verginella L, *et al.* Behavioural effects of artificial light on fish species of commercial interest[J]. *Fisheries Research*, 2005, 73(1-2): 171-185.
- [17] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定: GB 5009.5-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- National Health and Family Planning Commission of PRC, China Food and Drug Administration. National food safety standard determination of protein in foods: GB 5009.5-2016[S]. Beijing: China Standard Press, 2017 (in Chinese).
- [18] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准 食品中灰分的测定: GB 5009.4-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- National Health and Family Planning Commission of PRC. National food safety standard determination of ash in foods: GB 5009.4-2016[S]. Beijing: China Standard Press, 2017 (in Chinese).
- [19] 崔奕波. 鱼类生物能量学的理论与方法[J]. *水生生物学报*, 1989, 13(4): 369-383.
- Cui Y B. Bioenergetics of fishes: theory and methods[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1989, 13(4): 369-383(in Chinese).
- [20] 唐启升, 孙耀, 张波. 7种海洋鱼类的生物能量学模式[J]. *水产学报*, 2003, 27(5): 443-449.
- Tang Q S, Sun Y, Zhang B. Bioenergetics models for seven species of marine fish[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2003, 27(5): 443-449(in Chinese).
- [21] Heydarnejad M S, Parto M, Pilevarian A A. Influence of light colours on growth and stress response of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) under laboratory conditions[J]. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 2013, 97(1): 67-71.
- [22] Terova G, Rimoldi S, Chini V, *et al.* Cloning and expression analysis of insulin-like growth factor I and II in liver and muscle of sea bass (*Dicentrarchus labrax*, L.) during long-term fasting and refeeding[J]. *Journal of Fish Biology*, 2007, 70(SB): 219-233.
- [23] Kim B H, Hur S P, Hur S W, *et al.* Relevance of light spectra to growth of the rearing tiger puffer *Takifugu rubripes*[J]. *Development & Reproduction*, 2016, 20(1): 23-29.
- [24] Gao X L, Zhang M, Li X, *et al.* Effects of LED light quality on the growth, metabolism, and energy budgets of *Haliotis discus discus*[J]. *Aquaculture*, 2016, 453: 31-39.
- [25] 隋佳佳. 光色对刺参(*Apostichopus japonicus*)行为、生长以及不同规格刺参代谢的影响[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2008.
- Sui J J. Effects of light color on the behavior, growth and metabolizability in different specifications of sea cucumber, *Apostichopus japonicus*[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2008 (in Chinese).
- [26] Buckley L J. Changes in ribonucleic acid, deoxyribonucleic acid, and protein content during ontogenesis in winter flounder, *Pseudopleuronectes americanus*, and effect of starvation[J]. *Fishery Bulletin*, 1980, 77(3): 703-708.
- [27] Gwak W S, Tanaka M. Developmental change in RNA:DNA ratios of fed and starved laboratory - reared Japanese flounder larvae and juveniles, and its application to assessment of nutritional condition for wild fish[J]. *Journal of Fish Biology*, 2001, 59(4): 902-915.
- [28] Imsland A K, Foss A, Bonga S W, *et al.* Comparison of growth and RNA:DNA ratios in three populations of juvenile turbot reared at two salinities[J]. *Journal of Fish Biology*, 2002, 60(2): 288-300.
- [29] 黄国强, 李洁, 唐夏, 等. 光照周期对褐牙鲈幼鱼生长、能量分配及生化指标的影响[J]. *水产学报*, 2014, 38(1): 109-118.
- Huang G Q, Li J, Tang X, *et al.* Effects of photoperiod

on the growth, energy allocation, and biochemical parameters in juvenile brown flounder (*Paralichthys*

olivaceus)[J]. Journal of Fisheries of China, 2014, 38(1): 109-118(in Chinese).

Effects of LED spectrum on feeding, growth and energy distribution of juvenile *Dicentrarchus labrax*

REN Jilong^{1,2}, WEI Pingping^{1,2}, FEI Fan^{1,2}, DAI Mingyun^{1,2}, MA He^{1,2},
GAO Dongkui^{1,2}, SONG Changbin³, CHEN Tao⁴, LIU Ying^{1,2,5*}

(1. School of Marine Science and Environment Engineering, Dalian Ocean University, Dalian 116023, China;

2. Liaoning Aquaculture Facilities and Equipment Engineering Research Center, Dalian 116023, China;

3. Institute of Semiconductors, China Academy of Sciences, Beijing 100083, China;

4. LED Cooler Technology Co., Ltd., Shenzhen 518000, China;

5. Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266071, China)

Abstract: *Dicentrarchus labrax* is an important economic fish in aquaculture in China. In the process of industrialized recirculating aquaculture, different spectral environments have important implications for the effects of feeding and growth. In this study, five different LED spectral processing groups of white light ($\lambda_{400-780\text{ nm}}$), red light ($\lambda_{630\text{ nm}}$), yellow light ($\lambda_{595\text{ nm}}$), green light ($\lambda_{530\text{ nm}}$) and blue light ($\lambda_{455\text{ nm}}$) were set in the seawater circulating aquaculture experimental system. The effects of five different LED spectra on feeding, growth and energy distribution of juveniles [(29.91±0.39) g, (13.78±0.35) cm] were studied. The results showed that the effects of different LED spectra on the feeding, growth and energy distribution of juveniles were significantly different. The red light group had the best growth of the juveniles (41.09±5.70) g, and the blue group had the poorest growth of the juveniles (36.02±4.18) g; the DGC (daily growth coefficient) of the blue group was significantly lower than the other groups, and the difference between the other groups was not significant; there were significant differences in the feeding rate of the three groups of LED spectrum treatment groups, and the red light group had the highest feeding rate. The results of insulin-like growth factor IGF-1 and IGF-2 showed that the expression of IGF-1 mRNA was highest in the white light group; the mRNA expression level of IGF-2 was highest in the yellow light group. In terms of energy distribution, the red light group has lower fecal energy and metabolizable energy, and has the highest feeding energy and growth energy; the blue light group has the highest fecal energy, lower feeding energy and metabolic energy, and the lowest growth energy. The ratio of RNA/DNA in the muscle and liver of juvenile fish showed that the RNA/DNA ratio of the liver in the blue light group was significantly higher than that in the other groups; the RNA/DNA ratio in the muscles of the blue light group and the white light group displayed significant difference and no significant differences existed among the other groups. The results showed that the red light Eurasian larvae had better feeding and growth performance, and the blue-spectrum larvae had poor feeding and growth performance, and the red-spectrum larvae had higher feeding energy and growth energy. Therefore, the red spectrum has a better promoting effect on the growth of juveniles, and the blue spectrum has an adverse effect on the feeding growth of juveniles. This study provides a reference for the ground-based industrialized recirculating aquaculture of the *D. labrax*, creating a suitable spectral environment for growth.

Key words: *Dicentrarchus labrax*; LED light spectrum; growth; feeding; energy distribution; DNA/RNA

Corresponding author: LIU Ying. E-mail: yingliu@dlou.edu.cn

Funding projects: National Key R & D Program of China(2017YFB0404000)