

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2016.15438

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

赵宁宁^{1,2,3}, 周邦维^{1,2,3}, 李勇^{1,2,3}, 张静^{1,2,3}, 马骏^{1,2,3}, 于学权⁴

1. 中国科学院 海洋研究所, 山东 青岛 266071;

2. 中国科学院大学, 北京 100049;

3. 中国科学院实验海洋生物学重点实验室, 海洋生态养殖技术国家地方联合工程实验室, 山东 青岛 266071;

4. 天津市海发珍品实业发展有限公司, 天津 300452

摘要: 为探究环境光色对工业化养殖豹纹鳃棘鲈(*Plectropomus leopardus*)幼鱼生长、肤色和生理指标的影响, 本试验设计了红色光、蓝色光、黑暗和昼夜 4 种养殖光照环境处理, 进行豹纹鳃棘鲈幼鱼(64.2g±1.1g) 94 d 动物实验及其相关指标检测。结果表明: 1) 试验鱼增重率, 昼夜组较黑暗组和红光组分别显著和极显著提高 28.6%和 39.2% ($P<0.05$, $P<0.01$), 与蓝光组差异不显著; 而蓝光组比红光组显著提高 31.2% ($P<0.05$)。2) 试验鱼皮肤胡萝卜素含量, 昼夜组分别显著高于蓝光组和黑暗组 45.7%和 68.5% ($P<0.05$), 与红光组的差异不显著。同时新发现, 各处理组试验鱼皮肤胡萝卜素和黑色素含量出现增减同时进行, 但增减量前者较大后者较小的“同步异幅”现象。3) 昼夜组试验鱼胃蛋白酶活性较其他组显著提高 48.0%~88.5% ($P<0.05$), 血清 SOD 和 LZM 活力极显著提高 20.4%~39.7%和 140.4%~161.2% ($P<0.01$); 蓝光组试验鱼胰蛋白酶活力显著高于红光组和昼夜组($P<0.05$); 红光组试验鱼 Na^+ , K^+ -ATP 酶活力极显著高于蓝光组和黑暗组($P<0.01$)。总之, 豹纹鳃棘鲈幼鱼在昼夜组光照下, 生长、肤色及生理等指标都表现出显著优势; 蓝色光提高蛋白质消化能力、促进生长; 红色光提高皮肤胡萝卜素含量和吸收能力; “同步异幅”新发现, 对调控和优化鱼类肤色具有重要价值。

关键词: 光色; 工业化养殖; 豹纹鳃棘鲈幼鱼; 生长; 肤色; 消化吸收; 免疫

中图分类号: S917.4

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2016)04-0976-09

豹纹鳃棘鲈(*Plectropomus leopardus*)俗称东星斑, 属鲈形目(Perciformes), 鲷科(Serranidae), 石斑鱼亚科(Epinephelinae), 鳃棘鲈属。其肉质细嫩、营养丰富, 经济价值高, 肤色艳丽, 观赏价值高, 故市场前景广阔^[1]。近年来, 豹纹鳃棘鲈人工养殖在中国广东、海南、福建等南方沿海地区已获得成功, 成为中国沿海地区重要海珍品养殖对象之一^[2]。国内外对豹纹鳃棘鲈的研究主要集中在其生态、繁育、分类等方面^[3-7], 针对其养殖光照的研究甚少。

光照是一种比较复杂的外部生态因子, 包括光色、光强和光周期, 其对水生生物的各种生命活动有着直接或者间接的影响。其中光色对不同品种的鱼存在不同的外界刺激, 不同的光色会引起鱼类耗氧量和代谢的不同, 导致其摄食和活动受到影响^[8]。Villamizar 等^[9]研究了光色与光周期对欧洲鲈(*Perca fluviatilis*)仔鱼摄食与活动行为的影响, 结果表明, 红光组及黑暗组游泳时间短, 摄食时间长, 且仔鱼和卤虫都有明显的聚集趋势。仇登高等^[10]研究了不同光色(白光、蓝光、红

收稿日期: 2015-11-24; 修订日期: 2016-01-11.

基金项目: 十二五国家科技支撑计划项目(2011B3AD13B07); 中国科学院院地合作项目(Y12530101L).

作者简介: 赵宁宁(1990-), 女, 硕士研究生; 研究方向: 水产动物营养与饲料科学. E-mail: 958677705@qq.com

通信作者: 李勇, 研究员, 博士生导师; 研究方向: 水产动物营养与饲料科学. E-mail: liyong@qdio.ac.cn

光)、光周期和光强对大西洋鲑(*Salmo salar*)摄食和生长的影响,结果表明,在红光、光周期为 12L:12D 和光强 8.60 W/m² 条件下,大西洋鲑的成活率最高,摄食率、饲料转化效率也最佳。Georgios 等^[11]在白光、蓝光和红光 3 种光色下培养金头鲷(*Sparus aurata*)和虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)的研究表明,蓝光显著降低虹鳟生长性能,红光显著增加金头鲷脑内多巴胺活性,并有降低生长趋势。目前仅见光周期^[12]、光强^[13]对豹纹鳃棘鲈仔鱼影响的研究,但尚未见有光色对其影响的研究报道。

本试验根据前人的研究^[9-11]以及豹纹鳃棘鲈在野生环境中白天一直进食,晚上不活跃的摄食规律^[14],在工业化封闭循环水养殖条件下,设计红光、蓝光和黑暗作为处理因素,初步探寻光色对豹纹鳃棘鲈幼鱼生长性能和肤色的作用,及对消化吸收和免疫相关生理因子的影响,确定其合适的养殖光色环境,以生产出生长性能高、皮肤

鲜亮的豹纹鳃棘鲈,旨在为其工业化养殖的光色调控提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验在工业化养殖条件下,采用单因素随机试验设计,设计了 3 个试验组,即红光(光谱值 630 nm)、蓝光(450 nm)、黑暗(0 nm)(表 1),前二者水面光强均为(20±3) lx、24 h 光照,后者 24 h 黑暗。对照组为昼夜组,与生产车间光照一致,即早 7:00 至晚 19:00 提供白光,水面光强为(20±3) lx,晚 19:00 至早 7:00 为黑暗,水面光强为 0 lx。共形成 4 个处理组,每处理 4 个重复,每重复 30 尾鱼。试验用鱼由天津市海发珍品实业发展有限公司提供,从同一生产车间养殖池的同源同批豹纹鳃棘鲈幼鱼中,挑选规格整齐、体格健壮、体重在(64.2±1.1) g 的幼鱼 480 尾,随机分配到 16 个养殖桶中。试验期 94 d。

表 1 试验设计
Tab. 1 Design of the test

参数 index	处理 treatments			
	红光 red light	蓝光 blue light	黑暗 black	昼夜 day-night
光谱值/nm spectrum	630	450	0	380~750
光强/lx light intensity	20±3	20±3	0	day 20±3-night 0
光周期 photoperiod	24 h	24 h	24 h	12L:12D

1.2 试验饲料

试验所用的饲料均采用同一种配合饲料,其组成成分和营养水平见表 2。

1.3 饲养管理

养殖试验在封闭循环水条件下进行,试验桶为内径 1 m,高度 0.5 m 的圆形桶。24 h 循环水,循环量为 480 L/h,水温(25.4±1.0)℃,盐度 22~23, pH 7.2~7.5,溶氧范围 12.05~12.25 mg/L。试验期间,每天 07:20、11:00、15:00、19:00 进行投喂,每次投喂至出现少许残饵视为饱食,残饵及粪便虹吸清除,黑暗组的投喂等管理需要带头灯操作。每天记录投喂量、残饵量和采食量,出现死鱼及时捞出并称重记录。试验期为 94 d。

1.4 样品采集与测定

试验结束时停食 24 h,称重,每个重复随机

选取 3 条鱼,经 40 mg/kg MS-222 麻醉剂后抽血,并解剖取得皮肤、肝、肠胃组织,血液于 4℃冷藏保存 12 h 后离心取上清,组织样品-20℃保存待测。

1.5 检测指标及方法

1.5.1 生长指标的测定

存活率=100%×实验结束时鱼尾数/实验开始时鱼尾数;

增重率=100%×(末体重-初始体重)/初始体重;

每尾日均增重(g·d⁻¹·ind⁻¹)=(平均末体重-平均初体重)/试验天数;

每尾日均采食量=(总投喂量-总残饵质量)/试验天数/尾数;

饲料系数=摄食量/(末体重-初始体重)。

表 2 试验饲料组成及营养水平(风干基础)
Tab. 2 Composition and nutrient levels of experimental diets (air-dry basis)

		%	
成分 ingredient	含量 content	营养水平 nutrient level ³⁾	含量 content
鱼粉 fish meal	50.0	干物质 day matter	90.6
面粉 wheat flour	11.39	粗蛋白 crude protein	49.8
大豆粕 soybean meal	19.01	钙 calcium	1.59
玉米蛋白粉 corn protein meal	5	总磷 total phosphorus	1.515
棉籽蛋白粉 cottonseed protein meal	5	粗纤维 crude fiber	1.3
优质鱼油 fish oil	5.1	粗脂肪 crude fat	10.2
卵磷脂 lecithin	2	粗灰分 ash	9.0
黏合剂 binder	1.5		
复合维生素 ¹⁾ multi-vitamin ¹⁾	0.5		
复合矿物元素 ²⁾ multi-mineral ²⁾	0.5		
合计 total	100		

注: 1) 复合维生素为每千克饲料提供: VA 9500 IU, VD₃ 1700 IU, VK₃ 45 mg, VB₁ 10 mg, VB₂ 10 mg, VB₆ 15 mg, VB₁₂ 0.5 mg, VE 200 mg, VC 650 mg, 烟酸胺 150 mg, 泛酸钙 100 mg, 叶酸 10 mg, 生物素 3 mg, 肌醇 500 mg, 氯化胆碱 100 mg.
2) 复合矿物元素为每千克饲料提供: CuO 45 mg, ZnSO₄ 250 mg, MnO 30 mg, FeSO₄ 340 mg, ICl 0.2 mg, Na₂SeO₄ 0.3 mg, CoCl₂ 2 mg, MgSO₄ 790 mg.
3) 实测值.
Note: 1) Multi-vitamin provided the following per kg of diets: VA 9500 IU, VD₃ 1700 IU, VK₃ 45 mg, VB₁ 10 mg, VB₂ 10 mg, VB₆ 15 mg, VB₁₂ 0.5 mg, VE 200 mg, VC 650 mg, niacinamide 150 mg, calcium pantothenate 100 mg, folic acid 10 mg, biotin 3 mg, inositol 500 mg, choline chloride 100 mg.
2) Multi-mineral provided the following per kg of diets: CuO 45 mg, ZnSO₄ 250 mg, MnO 30 mg, FeSO₄ 340 mg, ICl 0.2 mg, Na₂SeO₄ 0.3 mg, CoCl₂ 2 mg, MgSO₄ 790 mg.
3) Measured values.

1.5.2 皮肤色素含量的测定 选择测定皮肤中的总胡萝卜素、叶黄素和黑色素 3 个指标。使用南京建成生物工程研究所提供的 RD Fish Carotene Elisa、RD Fish Lutein Elisa、RD Fish Melanin Elisa 试剂盒, 根据试剂盒说明书上的步骤进行测定。

1.5.3 生理指标 生理指标包括: 胃肠消化吸收指标和血清免疫指标。前者主要测定脂肪酶(lipase, LPS)、淀粉酶(amylase, AMS)、胃蛋白酶(pepsin)、胰蛋白酶(trypsin)、碱性磷酸酶(alkaline phosphatase, AKP)及 Na⁺, K⁺-ATP 酶(Na⁺, K⁺-ATPase)活力; 后者主要测定血清过氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)、溶菌酶(lysozyme, LZM)活力及丙二醛(methane dicarboxylic aldehyde, MDA)含量。均采用南京建成生物工程研究所的标准试剂盒测定。

1.6 统计分析

使用 SPSS 16.0 统计软件对试验测定数据进行单因素方差分析, LSD 法多重比较, 以“平均值±标准差”表示结果数值。

2 结果与分析

2.1 生长性能结果

由表 3 可以看出, 在不同光色下, 各处理组试验鱼的生长性能指标情况。其中, 增重率表现出显著性差异($P<0.05$)或极显著性差异($P<0.01$), 昼夜组试验鱼增重率比黑暗组显著提高 28.6% ($P<0.05$), 比红光组极显著提高 39.2% ($P<0.01$), 蓝光组比红光组显著提高 31.2% ($P<0.05$)。饲料系数虽没有显著差异, 但昼夜组和蓝光组的偏低。

2.2 皮肤色素含量结果

由表 4 可以看出, 光色对试验鱼皮肤色素含量的影响显著。昼夜组和红光组试验鱼皮肤胡萝卜素和黑色素含量均显著高于蓝光组和黑暗组 ($P<0.05$)。昼夜组较蓝光组和黑暗组, 胡萝卜素含量分别提高 45.7%和 68.5%, 黑色素含量提高 34.0%和 33.4%; 红光组试验鱼皮肤胡萝卜素较蓝光组和黑暗组提高 18.0%和 36.2%, 黑色素含量提高 23.0%和 22.8%。同时发现各组的胡萝卜素含量与黑色素含量呈现“同步异幅”性。

表 3 不同光色对豹纹鳃棘鲈生长性能结果的影响
Tab. 3 Effects of different light on growth performances of *Plectropomus leopardus*

n=4; $\bar{x}\pm SD$

项目 item	处理 treatment				P
	红光 red light	蓝光 blue light	黑暗 black	昼夜 day-night	
末体重/g final body weight	110.69±9.50 ^a	123.27±6.80 ^a	112.25±6.68 ^a	123.16±9.71 ^a	0.104
日均摄食/(g·d ⁻¹) average daily feed intake	0.74±0.04 ^a	0.87±0.07 ^a	0.80±0.07 ^a	0.85±0.09 ^a	0.087
日增重/(g·d ⁻¹) average daily gain	0.50±0.09 ^a	0.63±0.06 ^a	0.52±0.06 ^a	0.62±0.10 ^a	0.078
增重率/% weight gain rate	66.82±10.87 ^c	87.67±8.43 ^{ab}	72.35±7.17 ^{bc}	93.02±8.70 ^a	0.013
饲料系数/% feed coefficient rate	1.51±0.19 ^a	1.39±0.08 ^a	1.55±0.07 ^a	1.38±0.08 ^a	0.186
存活率/% survival rate	90.83±5.69 ^a	94.17±3.19 ^a	95.83±5.00 ^a	93.33±5.77 ^a	0.567

注: 同栏数据右上角的相同字母表示差异不显著, 相邻字母表示差异显著($P<0.05$), 相间字母表示差异极显著($P<0.01$).
Note: In the same column, values with the same letter superscripts are not significantly different, while with adjacent letters are significantly different ($P<0.05$), and with interphase letters are significantly different ($P<0.01$).

表 4 不同光色对豹纹鳃棘鲈皮肤色素含量的影响
Tab. 4 Effects of different light on skin pigments of *Plectropomus leopardus*

n=4; $\bar{x}\pm SD$; ng/(100g)

项目 item	处理 treatments				P
	红光 red light	蓝光 blue light	黑暗 black	昼夜 day-night	
胡萝卜素 carotene	109.03±17.15 ^{ab}	92.58±22.25 ^b	80.08±17.37 ^b	134.92±24.04 ^a	0.043
叶黄素 lutein	0.61±0.14 ^a	0.68±0.18 ^a	0.71±0.14 ^a	0.86±0.14 ^a	0.345
黑色素 melanin	31.63±1.66 ^a	25.65±3.82 ^b	25.76±3.57 ^b	34.37±1.39 ^a	0.015

注: 同栏数据右上角的相同字母表示差异不显著, 相邻字母表示差异显著($P<0.05$), 相间字母表示差异极显著($P<0.01$).
Note: In the same column, values with the same letter superscripts are not significantly different, while with adjacent letters are significantly different ($P<0.05$), and with interphase letters are significantly different ($P<0.01$).

2.3 生理指标结果

2.3.1 胃肠消化吸收指标结果 由表 5 可见, 光色对试验鱼胃肠消化指标的影响。胃蛋白酶活性方面, 昼夜组显著高于其他组, 并且较其他组提高了 48.0%~88.5%($P<0.05$); 胰蛋白酶活性方面, 蓝光组显著高于红光组和昼夜组, 分别提高 34.3%和 21.8%($P<0.05$); Na^{+} , K^{+} -ATP 酶活性方面, 红光组和昼夜组均极显著高于蓝光组和黑暗组, 均值提高了 78.1%($P<0.01$)。

2.3.2 血清免疫指标结果 由表 6 可见, 昼夜组试验鱼血清免疫指标优于其他组, 其中血清 SOD 和 LZM 活力均极显著高于其他组, 分别提高了 20.4%~39.7%和 140.4%~161.2%($P<0.01$); MDA 含量极显著低于红光组 44.2%($P<0.01$), 显著低于黑暗组 24.7%($P<0.05$)。

3 讨论

3.1 光色对豹纹鳃棘鲈幼鱼生长性能的影响

光谱成分对鱼的生长性能的影响有种间差异,

不同鱼对光的敏感波段不同^[15]。根据光谱理论, 当太阳光穿过水层时, 由于水的吸收和散射, 长波长的光在水中的穿透力小于短波长。故中上层水体为复合光谱, 既有长波长光又有短波长的光, 背景光照较亮; 下层水体主要以短波长的光为主, 即以绿色、蓝色光为主, 背景光照较弱^[16]。已有学者探究光周期^[12]、光照强度^[13]对豹纹鳃棘鲈仔鱼(孵化后 0~5 d)的影响, 但目前尚未见有环境光色对豹纹鳃棘鲈幼鱼影响的研究报道。

本研究结果显示, 豹纹鳃棘鲈幼鱼增重率以昼夜光照(即复合光谱)组最高, 蓝色光组次之, 黑暗组第三, 红光组最低。分析原因可能与其生活水层有关。例如, 生活在底层水体的瓦氏黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*)喜爱黑暗和蓝色环境^[17]; 中上层的蓝圆鲹(*Decapterus maruadsi*)对蓝光和绿光的趋光强烈和稳定^[18]; 上层的鳊(*Siniperca chuats*)对黄光反应最强^[19]。一般生活在浅海的黄鲈(*Diploprion bifasciatum*)在红光和复合光下比在蓝光下生长的快^[20]。豹纹鳃棘鲈在天然状态下主

表 5 不同光色对豹纹鳃棘鲈消化吸收指标的影响

Tab. 5 Effects of different light on digestion and absorption index of *Plectropomus leopardus*

n=4; $\bar{x}\pm SD$

项目 item	处理 treatments				P
	红光 red light	蓝光 blue light	黑暗 black	昼夜 day-night	
碱性磷酸酶(金氏单位·gprot ⁻¹) AKP	16.10±5.08 ^a	23.61±5.44 ^a	21.99±5.66 ^a	23.77±2.47 ^a	0.313
脂肪酶/(U·gprot ⁻¹) LPS	18.66±3.18 ^a	15.51±3.29 ^a	18.33±0.82 ^a	22.81±3.08 ^a	0.115
淀粉酶/(U·mgprot ⁻¹) AMS	0.75±0.20 ^a	0.51±0.11 ^a	0.71±0.06 ^a	0.83±0.11 ^a	0.121
胃蛋白酶(U·mgprot ⁻¹) pepsin	5.62±0.84 ^b	4.42±0.62 ^b	5.63±0.97 ^b	8.33±0.85 ^a	0.008
胰蛋白酶(U·mgprot ⁻¹) trypsin	1491.74±186.50 ^b	2005.53±237.85 ^a	1801.14±219.73 ^{ab}	1646.33±71.51 ^b	0.032
Na ⁺ , K ⁺ -ATP 酶/(U·mgprot ⁻¹) Na ⁺ , K ⁺ -ATPase	18.56±1.49 ^a	11.47±1.95 ^c	8.74±1.89 ^c	17.43±1.76 ^a	0.000

注: 同栏数据右上角的相同字母表示差异不显著, 相邻字母表示差异显著($P<0.05$), 相间字母表示差异极显著($P<0.01$).
Note: In the same column, values with the same letter superscripts are not significantly different, while with adjacent letters are significantly different ($P<0.05$), and with interphase letters are significantly different ($P<0.01$).

表 6 不同光色对豹纹鳃棘鲈血清免疫指标的影响

Tab. 6 Effects of different light on immune index in serum of *Plectropomus leopardus*

n=4; $\bar{x}\pm SD$

项目 item	处理 treatments				P
	红光 red light	蓝光 blue light	黑暗 black	昼夜 day-night	
超氧化物歧化酶/(U·mL ⁻¹) SOD	57.31±4.69 ^b	49.40±4.27 ^c	50.91±4.39 ^c	69.01±5.82 ^a	0.003
丙二醛/(nmol·mL ⁻¹) MDA	17.27±1.81 ^a	9.38±1.37 ^c	12.79±1.93 ^b	9.63±0.43 ^c	0.001
溶菌酶/(U·mL ⁻¹) LZM	28.82±5.97 ^c	29.41±5.88 ^c	31.37±6.79 ^c	75.29±6.66 ^a	0.000

注: 同栏数据右上角的相同字母表示差异不显著, 相邻字母表示差异显著($P<0.05$), 相间字母表示差异极显著($P<0.01$).
Note: In the same column, values with the same letter superscripts are not significantly different, while with adjacent letters are significantly different ($P<0.05$), and with interphase letters are significantly different ($P<0.01$).

要生活在 3~100 m 水深的珊瑚礁海域区, 属于中上层水域。本试验表明, 豹纹鳃棘鲈幼鱼在昼夜光(即复合光谱光)下增重率最高, 同黄鲈对光色反应部分的结果是一致的。Tsutsumi 等^[21]研究表明, 一般生活在水深 0~100 m 海水中的蓝鳍金枪鱼(*Thunnus thynnus*)幼鱼在红光条件下增长率慢, 故其幼鱼适宜在短波长光养殖。有研究发现, 海水中层鱼类的视色素适于接受蓝色的短光谱波段, 视觉细胞大部分由视杆细胞组成^[22]。本试验结果显示, 蓝色光组试验鱼的增重率仅次于昼夜组, 红光组的增重率最低。证明了试验鱼对蓝色光敏感, 蓝光有提高其生长性能的趋势。即豹纹鳃棘鲈幼鱼比较倾向于在短波长光照下生长。也有研究表明, 过弱的光线会降低鱼类对饵料的察觉, 从而影响其生长性能^[23]。黑暗组的日均摄食率偏低、增重率显著降低, 也可能是因为光线较弱影响了试验鱼的摄食。

3.2 光色对豹纹鳃棘鲈幼鱼肤色的影响

鱼类肤色的形成, 是因为其皮肤和鳞片中含有大量色素细胞以及色素物质^[24]。鱼体多彩的肤色很大程度上取决于类胡萝卜素, 还受黑色素、鸟嘌呤的影响。正常情况下, 鱼体肤色的形成受遗传、神经分泌和内分泌的严格调控和控制^[24]。当环境颜色发生改变时, 鱼体的颜色也会随之改变, 这就是鱼体自身神经与内分泌调控的结果^[24]。豹纹鳃棘鲈的肤色对其市场价格影响较大, 鲜亮的肤色可在很大程度上提高其经济价值。工厂化养殖条件下, 豹纹鳃棘鲈由于皮肤中的叶黄素、类胡萝卜素等沉积不足, 导致鱼肤色普遍发暗, 不够鲜红。

本试验探究光色对豹纹鳃棘鲈幼鱼皮肤色素物质的影响, 结果发现, 光色对皮肤色素含量的影响显著, 昼夜组胡萝卜素含量最高, 显著高于蓝光组和黑暗组($P<0.05$), 红光组含量次之。表明复合光谱光和红光对豹纹鳃棘鲈幼鱼着色效果显

著高于蓝光和黑暗。由于鱼体肤色受内分泌调控^[24], 出现这一结果的可能原因分析为, 昼夜组胃蛋白酶活性显著高于其他组, 该组和红光组的 Na^+ , K^+ -ATP 酶活性也均极显著高于蓝光组和黑暗组。 Na^+ , K^+ -ATP 酶是一种可帮助肠上皮细胞吸收营养物质的金属酶, 与脂类、葡萄糖、钙和无机磷的吸收存在正相关性^[25]。由于类胡萝卜素的脂溶性特征, 脂肪含量不足会阻碍鱼类对其的吸收^[24]。因此笔者认为, 昼夜组和红光组 Na^+ , K^+ -ATP 酶活性高, 促进了试验鱼对脂类及胡萝卜素的吸收。但具体原因和机理有待今后重复或深入研究来说明。

本试验同时新发现“同步异幅”现象, 即各处理组试验鱼皮肤胡萝卜素和黑色素含量出现增减同步而增减幅度不同现象。如红光组和昼夜组的两者含量同步增长, 但提高幅度差异较大; 蓝光组和黑暗组同步减少, 减少幅度也差异较大(详见结果 2.2 及表 4)。这一发现与之前课题组研究的主要营养素源对豹纹鳃棘鲈幼鱼肤色影响^[26]结果一致。充分说明, 豹纹鳃棘鲈皮肤胡萝卜素和黑色素含量变化是一种对立统一的规律, 并不随外因刺激的不同而随意变化。这种稳定的自我调控功能, 保证了动物在任何应激状态下都可以通过不同色素的变化来保护自己。Ruane 等^[27]研究表明, 塞内加尔鲷(*Solea senegalensis*)仔稚鱼在应激状态下, 皮肤黑色素含量增加。说明皮肤黑色素也是一种保护色素, 其机理有待进一步研究。这一新发现揭示, 通过外因优化或调控豹纹鳃棘鲈等鱼类肤色时, 企图单独增减某种色素含量, 或增加一种的同时减少另一种色素含量的设想, 都是难以实现的, 可在鱼类肤色“同步异幅”变化的生理或生物学特征基础上进行适宜性调控。

3.3 光色对生理指标的影响

Yoseda 等^[12]研究了光周期对豹纹鳃棘鲈仔鱼消化酶的影响, 发现 24 h 持续光照(自然光和荧光灯)能够提高其胰蛋白酶活力。有研究表明大西洋鲑(*Salmo salar*)在黄光条件下 Na^+ , K^+ -ATP 酶活性减弱^[28], 但光色对其生长性能没有显著影响^[29]。本试验中昼夜组的胃蛋白酶活性显著高于其他组, Na^+ , K^+ -ATP 酶活性也极显著高于蓝光组和黑暗

组。该结果与 Yoseda 等^[12]研究结果有部分(自然光照)一致性。与大西洋鲑的研究不一致, 分析原因是不同种鱼对不同颜色光的反应是不同的^[30]。但是两种研究均显示光色对鱼的生理指标是有一定影响的。本试验结果表明昼夜组试验鱼的蛋白消化能力较强, 同时营养物质吸收能力也较强, 此结果与生长指标中昼夜组的增重率最高相一致。从生理生化角度分析, 蓝光组的胰蛋白酶活性显著高于红光组和昼夜组, 表明蓝色光谱能提高试验鱼胰蛋白酶的活性, 从而促进了蛋白质的消化和分解, 但 Na^+ , K^+ -ATP 酶极显著低于昼夜组, 营养物质吸收能力较弱, 故其增重率居于第二位。红光组 Na^+ , K^+ -ATP 酶活性最高, 但胰蛋白酶活性最低, 说明红光组试验鱼的吸收力高, 但消化能力低, 故其增重率还是低的。

本研究发现, 昼夜组试验鱼血清 SOD 和 LZM 活力均显著或极显著高于其他组, MDA 含量均极显著或显著低于红光组和黑暗组。说明昼夜组试验鱼血清主要免疫指标显著优于其他组。与其增重指标最佳相对应即该组, 即较佳的免疫力对应较好的生长状态。红光组的 SOD 显著高于蓝光组和黑暗组, MDA 含量显著或极显著高于其他组。分析原因可能是在红光条件下, 试验鱼的应激反应较大, 产生了较多自由基, 故 SOD 含量增高。但同时也产生了较多脂质氧化终产物, 组织氧化损伤较大。这一结果也与其最低增重率相一致。具体作用机制有待今后深入研究。

4 小结

(1) 生长试验表明, 昼夜光色组试验鱼增重率显著或极显著高于黑暗组和红光组, 与蓝色光组差异不显著; 蓝色光组试验鱼增重率显著高于红光组。饲料系数各处理组间差异不显著, 但以昼夜光色和蓝色光组较低。表明, 昼夜光照适宜于促进豹纹鳃棘鲈幼鱼生长性能, 蓝色光照较适宜, 而黑暗色和红色光照不适宜。

(2) 肤色指标测试表明, 昼夜光色组和红色光组试验鱼皮肤的胡萝卜素和黑色素含量显著高于蓝光组和黑暗组。同时新发现, 各处理组试验

鱼皮肤胡萝卜素和黑色素含量出现增减同步、而幅度前者较大后者较小的“同步异幅”现象,对优化或调控豹纹鳃棘鲈幼鱼及其他鱼类肤色具有重要意义。

(3) 生理指标测试表明,昼夜光色组有利于豹纹鳃棘鲈幼鱼对营养物质消化吸收和改善生理免疫指标,该组极显著提高试验鱼血清 SOD 和 LZM 活力,显著降低 MDA 含量。蓝色光显著提高试验鱼的胰蛋白酶活力,红色光显著提高其胃肠 Na^+ , K^+ -ATP 酶活性。

总之,昼夜光照对豹纹鳃棘鲈幼鱼生长、肤色及生理等指标都表现出显著优势;蓝色光照显著提高试验鱼生长性能和蛋白质消化能力;红色光照显著增加试验鱼皮肤胡萝卜素含量和营养吸收能力;同时新发现了试验鱼肤色相悖色素含量变化的“同步异幅”现象。养殖实践中,可根据本试验结果的特征规律和新发现,针对豹纹鳃棘鲈幼鱼生长、肤色、生理等的生产和市场需要,调节和控制养殖光照。

参考文献:

- [1] You H Z, Sun Z J, Zhang Q, et al. Effects of salinity on feeding, growth and body composition in juvenile leopard coraltrout *Plectropomus leopardus*[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2013, 28(1): 89–93.[尤宏争, 孙志景, 张勤, 等. 盐度对豹纹鳃棘鲈幼鱼摄食生长及体成分的影响[J]. 大连海洋大学学报, 2013, 28(1): 89–93.]
- [2] Fu S Y, Wang Y B, Zheng F. Experiment of high-elevation artificial breeding pond of *Plectropomus leopardus*[J]. Scientific Fish Farming, 2009(12): 26–27.[符书源, 王永波, 郑飞. 豹纹鳃棘鲈高位池人工育苗试验[J]. 科学养鱼, 2009(12): 26–27.]
- [3] Light P R, Jones G P. Habitat preference in newly settled coral trout (*Plectropomus leopardus* Serranidae)[J]. Coral Reefs, 1997, 16(2): 117–126.
- [4] Frisch A J, Anderson T A. The response of coral trout (*Plectropomus leopardus*) to capture, handling and transport and shallow water stress[J]. Fish Physiol Biochem, 2000, 23(1): 23–34.
- [5] Frisch A J, McCormick M I, Pankhurst N W. Reproductive periodicity and steroid hormone profiles in the sex-changing coral reef fish, *Plectropomus leopardus*[J]. Coral Reefs, 2007, 26(1): 189–197.
- [6] Matthew T C, Philip A H. A molecular phylogeny of the groupers of the subfamily *Epinephelinae* (Serranidae) with a revised classification of the *Epinephelini*[J]. Ichthyol Res, 2007, 54(1): 1–17.
- [7] Zhu Z Y, Yue G H. The complete mitochondrial genome of red grouper *Plectropomus leopardus* and its applications in identification of grouper species[J]. Aquaculture, 2008, 276(1–4): 44–49.
- [8] 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.[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.]
- [9] Villamizar N, Garcia-Mateos G, Sanchez-Vazquez F J. Behavioral responses of European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) larvae and *Artemia* sp. exposed to constant light or darkness vs. light/dark cycles of white, red or blue wavelengths[J]. Aquaculture, 2011, 317(1–4): 197–202.
- [10] Qiu D G, Xu S H, Li Y, et al. Effects of different types of environment light on the growth performance and feeding of Atlantic salmon(*Salmo salar*) in recirculating aquaculture systems[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2015, 22(1): 68–78.[仇登高, 徐世宏, 刘鹰, 等. 光环境因子对循环水养殖系统中大西洋鲑生长和摄食的影响[J]. 中国水产科学, 2015, 22(1): 68–78.]
- [11] Georgios T A, Aristeidis T A, Stella C B, et al. Effects of light spectrum on growth and physiological status of gilthead seabream *Sparus aurata* and rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* reared under recirculating system conditions[J]. Aquacult Eng, 2007, 36 (3): 302–309.
- [12] Yoseda K, Dan S, Fujii A, et al. Effects of different photoperiods on first-feeding success, early survival and digestive enzyme activity in coral trout (*Plectropomus leopardus*) larvae[J]. Suisan Zoshoku, 2003, 51(2): 179–188.
- [13] Yoseda K, Yamamoto K, Asami K, et al. Influence of light intensity on feeding, growth, and early survival of leopard coral grouper (*Plectropomus leopardus*) larvae under mass-scale rearing conditions[J]. Aquaculture, 2008, 279(1–4): 55–62.
- [14] Goeden G B. A monograph of the coral trout, *Plectropomus leopardus* (Lacepède)[J]. Res Bull Queensland Fish Serv, 1978(Suppl 1): 1–42.
- [15] Gehrke P C. Influence of light intensity and wavelength on phototactic behaviour of larval silver perch *Bidyanus bidyanus* and golden perch *Macquaria ambigua* and the effectiveness of light traps[J]. Fish Biol, 1994, 44(5): 741–751.
- [16] Volpato G L, Barreto R E. Environmental blue light prevents

- stress in the fish Nile tilapia[J]. Braz J Med Biol Res, 2001, 34(8): 1041–1045.
- [17] Bai Y Q, Wang X, Liu D F, et al. The prefer able light intensity and color for Darkbarbel catfish and sliver carp[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2014, 38(2): 216–221.[白艳勤, 王雪, 刘德富, 等. 瓦氏黄颡鱼和鲢对光照强度和颜色的选择[J]. 水生生物学报, 2014, 38(2): 216–221.]
- [18] Yu W Z, He D R, Zheng Y S. Studies on the phototactic behavior of Round scad and Chub mackerel[J]. Acta Oceanologica Sinica, 1981, 3(1): 149–156.[俞文钊, 何大仁, 郑玉水. 蓝圆鲹和鲈鱼趋光行为的研究[J]. 海洋学报, 1981, 3(1): 149–156.]
- [19] Wei K J, Zhang H M, Zhang G R. Studies on the behavior of *Siniperca chuatsi* on different light color field[J]. Reservoir Fisheries, 2001(1): 4–6.[魏开建, 张海明, 张桂蓉. 鳊鱼苗在光场中反应行为的初步研究[J]. 水利渔业, 2001(1): 4–6.]
- [20] Head A B, Malison J A. Effects of lighting spectrum and disturbance level on the growth and stress responses of Yellow Perch *Perca flavescens*[J]. J World Aquac Sci, 2000, 31(1): 73–80.
- [21] Tsutsumi Y, Matsumoto T, Honryo T, et al. Effects of light wavelength on growth and survival rate in juvenile Pacific bluefin tuna, *Thunnus orientalis*[J]. Environ Biol Fish, 2014, 97(1): 53–58.
- [22] Li M D. Morphology and Biology of Fish[M]. Xiamen: Xiamen University Press, 2011: 111.[李明德. 鱼类形态与生物学[M]. 厦门: 厦门大学出版社, 2011: 111.]
- [23] Browan H J, Skifiesvik A B, Kuhn P. The relationship between ultraviolet and polarized light and growth rate in the early larval stages of turbot, Atlantic cod and Atlantic herring reared in intensive culture condition[J]. Aquaculture, 2006, 256(1–4): 296–301.
- [24] Ye Y T. Nutrition and Feed Preparation of Fish[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2013: 73–86.[叶元土. 鱼类营养与饲料配制[M]. 北京: 化学工业出版社, 2013: 73–86.]
- [25] Villanueva J, Vanacore R, Goicoechea O, et al. Intestinal alkaline phosphatase of the fish *cyprinus carpio*: regional distribution and membrane association[J]. J Exp Zool, 1997, 279(4): 347–355.
- [26] Zhou B W, Li Y, Gao T T, et al. Effect of main nutrient element and source on growth, skin color, digestion and absorption of *Plectropomus leopardus* in industrialized culture[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2014, 26(5): 1387–1401.[周邦维, 李勇, 高婷婷, 等. 主要营养素源对工业化养殖豹纹鳃棘鲈生长、肤色和消化吸收的影响[J]. 动物营养学报, 2014, 26(5): 1387–1401.]
- [27] Ruane N M, Makridis P, Balm P H M, et al. Skin darkness is related to cortisol, but not MSH, content in post-larval *Solea senegalensis*[J]. J Fish Biol, 2005, 67(2): 577–581.
- [28] Gaingnon I L, Quemener L, Roux A. Effects of a decreasing photoperiod on smolting in underyearling Atlantic salmon (*Salmo Salar*) reared under artificial photoperiod[J]. Knowl Manage Aqu Ecosyst, 1993(66): 307–315.
- [29] 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.
- [30] Ruchin A B. Influence of colored light on growth rate of juveniles of fish[J]. Fish Physiol Biochem, 2004, 30(2): 175–178.

Effects of light color on growth, skin color, and physiological indices of juvenile *Plectropomus leopardus* in a recirculating aquaculture system

ZHAO Ningning^{1,2,3}, ZHOU Bangwei^{1,2,3}, LI Yong^{1,2,3}, ZHANG Jing^{1,2,3}, MA Jun^{1,2,3}, YU Xuequan⁴

1. Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

3. Key Laboratory of Experimental Marine Biology, Chinese Academy of Sciences; National & Local Joint Engineering Laboratory for Ecological Mariculture, Qingdao 266071, China;

4. Tianjin Haifa Zhenpin Industrial Development Co., Ltd., Tianjin 300452, China

Abstract: *Plectropomus leopardus* has high economic value and vast market prospects because of its nutritional and delicious flesh and appealing body color. This experiment investigated the effects of light color on growth, skin color, and physiological indices of juvenile *P. leopardus* in a recirculating aquaculture system (RAS). The trial employed a single factor design of four light colors (red, blue, dark, and day-night) to raise juvenile *P. leopardus* (body weight, 64.2 g±1.1 g) for 94 d. As a result, the weight gain rate of fish in the day-night group increased by 28.6% and 39.2% compared with that in the dark and red light groups ($P<0.05$, $P<0.01$), but no difference was observed compared with the blue light group ($P>0.05$). The weight gain rate in the blue light group increased by 31.2% compared with that in the red light group ($P<0.05$). Skin carotene content of fish in the day-night group exceeded that in the blue and dark light groups by 45.7% and 68.5%, respectively ($P<0.05$), but no difference was observed compared with the red light group ($P<0.05$). Skin carotene and melanin contents of fish increased and decreased at the same time, but by different amounts in the four treatments. Therefore, we defined this phenomenon as “synchronous but different magnitude”. Pepsin activity of fish in the day-night group increased by 48.0%–88.5% ($P<0.05$) compared with that in the other groups. Fish in the day-night group had better immunity, assuperoxide dismutase and lysozyme activities were significantly higher than those in the other groups ($P<0.01$), whereas malondialdehyde level was lower than that in the dark and red groups ($P<0.05$, $P<0.01$). Na^+ , K^+ -ATPase activity increased by a mean of 78.1% in the day-night and red light groups ($P<0.01$). Trypsin activity was significantly higher in the blue light group than that in the red and day-night light groups by 34.3% and 21.8%, respectively ($P<0.05$). In conclusion, our data demonstrate that juvenile *P. leopardus* under day-night light had better growth, skin color, and physiological performance than those held under the other conditions. Blue light improved protein digestive ability and growth, and red light increased carotene content and nutrition absorption by fish. The “synchronous but different magnitude” phenomenon helped regulate and optimize fish skin color. These results suggest that the light color juvenile *P. leopardus* are exposed to in a RAS should be considered to optimize growth and skin color.

Key words: light color; industrialized culture; growth; juvenile *Plectropomus leopardus*; skin color; digestion and absorption; immunity

Corresponding author: LI Yong. E-mail: liyong@qdio.ac.cn