光周期对尖吻鲈仔稚鱼消化酶活性的影响

周胜杰[1,2], 胡　静[1,2], 于　刚[1,2], 杨其彬[1], 杨　蕊[1], 刘亚娟[1,3], 马振华[1,2]

(1. 中国水产科学研究院 南海水产研究所 热带水产研究开发中心, 海南 三亚 572018; 2. 农业部南海渔业资源开发利用重点试验室, 广东 广州 510300; 3. 天津农学院, 天津 300384)

摘要: 为研究不同光照时长对尖吻鲈(*Lates calcarifer*)消化酶活力的影响, 作者采用生物化学方法系统测定不同光周期(光照时长分别为 13、16、19 和 24 h)下, 对尖吻鲈仔鱼阶段和稚鱼阶段 3 种消化酶(胃蛋白酶 PP、淀粉酶 AMS、脂肪酶 LPS)活性变化进行对比研究。结果表明, 16 h 光照时长 PP 的活力最高, 过长的光照时长会抑制 PP 的活性; 增加光照时长对 AMS 的活性有抑制作用, 而对于 LPS 的活性呈现先抑制后促进的现象。在 24 h 光照时长时 LPS 活性增加; 在 19 h 光照时长时对 PP 活性抑制; 对淀粉酶影响不明显。16 h 光照时长能有效提高尖吻鲈仔、稚鱼的生长速度, 更长的光照时长反而抑制其生长。研究表明, 不同光照周期对尖吻鲈同种消化酶的影响不同; 同一光照周期对不同消化酶产生的影响不同; 尖吻鲈稚鱼阶段消化酶对光照时长变化的反应小于仔鱼期, 适当地延长光照时长有助于提高尖吻鲈的生长速度。研究结果有助于选择特定的光周期促进某消化酶的活性, 达到提高对特定营养物质的消化吸收能力, 提高生产实践中仔、稚鱼的生长速度。

关键词: 尖吻鲈(*Lates calcarifer*); 消化酶; 光周期; 酶活

中图分类号: S917.4　　**文献标识码**: A　　**文章编号**: 1000-3096(2018)06-0063-07

DOI: 10.11759/hykx20180201003

在鱼类胚后发育过程中环境因子对仔、稚鱼生长发育的影响尤为巨大, 其中光周期的影响不可忽视。研究鱼类生理生化对环境因子变化的应对措施对水产养殖学的发展有很重要的作用。鱼类生理生化的相关知识为了解与掌握其不同发育阶段的功能趋势和环境偏好提供了重要的依据。目前对于抗氧化酶方面的研究可以为环境因子胁迫提供有力证据, 同时可以为改善鱼类养殖环境提供指示性指标。在对建鲤(*Cyprinus carpio*)、克氏双锯鱼(*Amphiprion clarkii*)、日本沼虾(*Macrobrachium nipponense*)、银鲳(*Pampus argenteus*)、团头鲂(*Megalobrama amblycephala*)、大菱鲆(*Scophthalmus maximus*)、刺参(*Apostichopus japonicus*)等的研究中, 已经开展了环境因子胁迫对于鱼消化酶和抗氧化酶活性影响变化的研究[1-7]。

尖吻鲈(*Lates calcarifer*)隶属于鲈形目(Perciformes)、尖吻鲈科(Latidae)、尖吻鲈属(*Lates*)的大型食用和游钓鱼, 系咸、淡水养殖的一种重要经济鱼类, 主要分布于中国南海、东海南部、印度、缅甸、印度尼西亚、菲律宾、大洋洲[8]。尖吻鲈是中国、东南亚各国和澳大利亚重要的养殖和捕捞物种, 迄今已成功进行了苗种繁育。近年来对于尖吻鲈的研究主要集中在消化系统早期发育、形态学、摄食、疾病、营养和养殖等方面[9-14]。光是地球上最大的能量来源, 对于光照研究最多的是光照对植物的发芽率、生长速度、结实率等的影响[15-17], 对于动物的影响相对较少, 例如: 光照对人体钙吸收的影响[18]; 光照对鸡、蛋鸭生长和产蛋率的影响[19-20]等。目前光照对鱼类的仔、稚鱼的生长发育的影响的研究极少, 光周期对尖吻鲈生长速度及摄食能力的影响的研究已初步开展, 结果表明适当地延长光照时长有利于促进尖吻鲈的生长或增加摄食量[21-22], 但具体影响的方式及内在机理有待进一步研究, 理论知识亟待丰富。作者采用人造光源严格控制光照周期, 研究不同光照周期对尖

收稿日期: 2018-02-01; 修回日期: 2018-05-24

基金项目: 中国水产科学研究院南海水产研究所中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金资助(2017ZD01; 2018ZD01); 海南省重点研发计划(ZDYF2017036, ZDYF2018096)

[Foundation: Special Scientific Research Funds for Central Non-profit Institutes, South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences (2017ZD01; 2018ZD01); Hainan Province Key R&D Plan (ZDYF2017036, ZDYF2018096)]

作者简介: 周胜杰, (1990-), 男, 山东济宁人, 硕士, 研究实习员, 主要从事海水鱼类繁育与发育学研究, 电话: 17733199494, E-mail: zhousj_1704@126.com; 马振华, 通信作者, 电话: 13580518971, E-mail: zhenhua.ma@hotmail.com

吻鲈仔、稚鱼消化酶活性的影响进行研究，研究结果有助于揭示光周照时长对尖吻鲈不同发育阶段消化酶活性影响的特点，为环境因素中重要因子光周期对仔鱼和稚鱼的影响研究奠定了基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

尖吻鲈受精卵购于陵水黎族自治县新村镇，运至中国水产科学研究院南海水产研究所热带水产研究开发中心育苗车间。首先将受精卵在水温 29.5℃下平衡 20 min，之后轻缓地加入到 500 L 的孵化器中。至仔鱼 2 日龄(孵化后天数)时，将其从孵化器中分别转移到 12 个相同的 800 L 的育苗池中，自此进入了仔、稚鱼饲养阶段，保持桶内鱼苗密度为 20 尾/L。过滤水(5 μm 孔径纱网进行过滤)从水泥池底部向内通入，育苗桶中部由导管连接排水管，用 180 μm 孔径纱网拦截幼苗，以防逃逸。通过调节入水管阀门，实现日换水量为苗桶容量的 1.5 倍。每日定时清理排水口过滤网，保证出水口不被排泄物堵塞。日常培育中光照度为 2 000 lx，盐度 31±0.8，水温为(29.5±1.0)℃，pH 为 7.7±0.2，溶氧(7.5±0.7)mg/L。

1.2 试验设计

试验设计了 4 个不同光照时长 13、16、19 和 24 h，其中 13 h 组为对照组即日光时长组，各组光照开始时间统一为 6:00(太阳初升的时间)，各组光照结束时间分别为 19:00、22:00、次日 1:00 和不关灯，光照强度为 600~1 000 lx，每 1 个光照时长设置 3 个平行，共 4 个组(12 个育苗池)。每个育苗池上均有 1 个独立的光源，用电子定时开关准确控制光照时长，每个水泥池上均有遮光板防止试验组之间互相干扰。该试验分为两个小试验：仔鱼期光照时长对尖吻鲈总蛋白和抗氧化酶活性的影响；稚鱼期光照时长对尖吻鲈总蛋白和抗氧化酶活性的影响。

仔鱼期试验从 3 日龄——尖吻鲈仔鱼开口摄食开始，至 16 日龄进入稚鱼期结束；从尖吻鲈 3 日龄开始投喂轮虫，轮虫密度保持于 15 个/mL 到 16 日龄时停止投喂。9 日龄起开始投喂桡足类幼体，初始密度为 5 个/mL，之后逐渐转为桡足类成虫。试验结束后采集样品，每个池随机取 5 条鱼，–80℃冻存，备用。

稚鱼期试验从 17 日龄开始，至 24 日龄——进入幼鱼期结束。17 日龄—24 日龄持续投喂桡足类，保证数量为 5 个/mL，20 日龄起开始驯化尖吻鲈进食微颗粒饲料，每日 8:30~19:00 期间每隔 4 h 加入适口的浮性颗粒饲料(Otohime A1 Marubeni Nisshin Feed Co., Ltd. Tokyo, Japan)，并在两次投喂浮性颗粒饲料之间投喂桡足类保证鱼苗有充足的营养摄入，根据鱼苗对微颗粒饲料的进食情况酌情增减投喂量，直到试验结束。试验结束时采集样品每个实验池随机取 5 尾鱼，–80℃冻存，备用。

1.3 样品处理及数据分析

由于仔、稚鱼个体较小取全鱼进行试验，各试验组所取样品称量体质量后，按比例加入与 0.2 mol/L 生理盐水进行研磨，研磨液 2℃、15 000 r/min 离心 10 min，取上清，置于–80℃冰箱备测，各抗氧化酶活性测定分别采用相关试剂盒进行测定(南京建成生物工程研究所)。本试验中酶活性以 U/mg 可溶解蛋白(U/mg 蛋白)或 U/克可溶解蛋白(U/g 蛋白)表示。本试验中采用酶标仪进行测量(型号：WD-2012B，北京六一生物科技有限公司)，测量结果使用 spss19 进行数据分析。

2 结果与分析

2.1 光照时长对尖吻鲈仔、稚鱼胃蛋白酶(CPP)活性的影响

由图 1 分析得出，尖吻鲈仔鱼期光照时长对 PP 活性的影响较大，并随着光照时长的增加呈现先上升

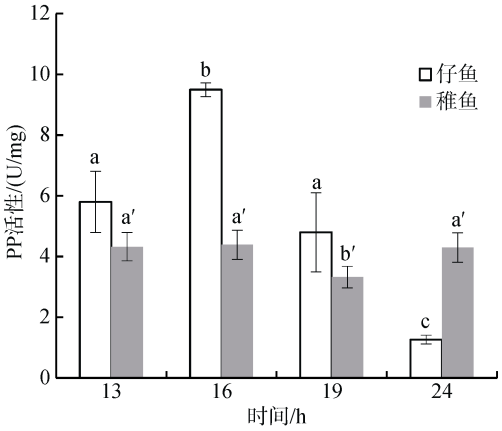

图 1 仔、稚鱼期光周期对胃蛋白酶活性的影响

Fig. 1 Effect of photoperiod on pepsase activity of larval and juvenile barramundi

图中字母 a、b、c 和 a′、b′如两组字母相同则表示差异不显著，如字母不同则表示差异显著，下图同

The letters a, b, c and a′, b′ in the figure indicate that the difference is not significant if two groups of letters are the same, and the difference is significant if the letters are different, the same as Fig.2-Fig.4

后下降的趋势。在光照时长为 16 h 时 PP 活性最高，显著(P<0.05)高于对照组和其余各组。24 h 光照时长组活性最低，显著(P<0.05)低于对照组和其余各组。而 19 h 组与对照组基本持平不存在显著差异(P>0.05)。尖吻鲈稚鱼期，仅 19 h 光照组显著小于对照组和其余各组，其余组与对照组之间胃蛋白酶活性基本持平差异不显著(P>0.05)。

2.2 光照时长对尖吻鲈仔、稚鱼脂肪酶(LPS)活性的影响

图 2 中，尖吻鲈仔鱼期 LPS 活性随着光照时长的增加呈现先下降，后上升的趋势。在光照时长为 16 h 时，LPS 活性最低显著(P<0.05)低于对照组和其余各组，24 h 光照时活性显著(P<0.05)，高于对照组和其余各组。尖吻鲈稚鱼期，各组见 LPS 活性差别相对较小，试验组 LPS 活性均大于对照组，在 24 h 光照时长时活性最强。

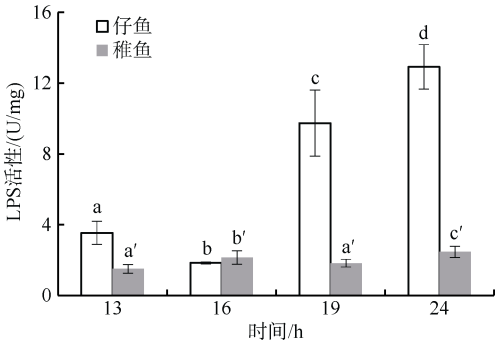

图 2 仔、稚鱼期光周期对脂肪酶活性的影响

Fig. 2 Effect of photoperiod on lipase activity of larval and juvenile barramundi

2.3 光照时长对尖吻鲈淀粉酶(AMS)活性的影响

由图3 分析可知尖吻鲈仔鱼期，试验组 AMS 活性均小于对照组，且 AMS 活性随着光照时长的增加逐渐降低。在 24 h 光照时长时最低且显著(P<0.05)低于对照组和其余各组。在稚鱼期光照时长对 AMS 的活性影响较小，虽呈逐渐下降趋势在 24 h 达到最低，但各试验组与对照组之间差异不显著(P>0.05)，且试验组之间差异不显著(P>0.05)。

2.4 光照时长对尖吻鲈生长速度的影响

由图 4 可以看出，尖吻鲈仔鱼期光照时长延长至 16 h 时，全长达到最大值，但与正常光照组差异不显著(P>0.05)，随着光照时长的增加，其全长平均

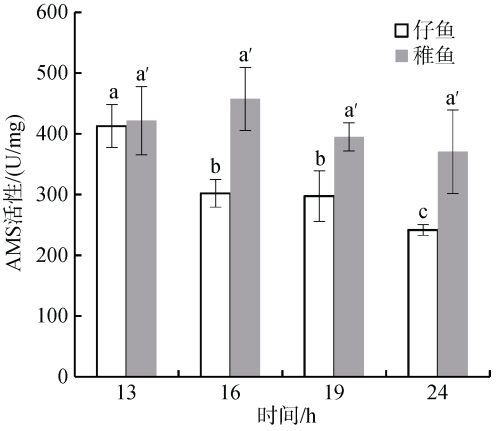

图 3 仔、稚鱼期光周期对淀粉酶活性的影响

Fig. 3 Effect of photoperiod on amylase activity of larval and juvenile barramundi

值逐步降低，显著(P<0.05)低于正常光照组，表明在仔鱼阶段，过度地延长光照时长会抑制尖吻鲈的生长。尖吻鲈稚鱼期，16 h 光照组全长显著(P<0.05)大于其余各组，19 h 组略低于正常光照时长组，差异不显著(P>0.05)，24 h 组全长显著(P<0.05)小于正常光照组，表明在稚鱼阶段 16 h 组的生长速度最快，之后随着光照时长的增加，生长速度逐步减缓，过度延长光照时长会抑制尖吻鲈的生长。

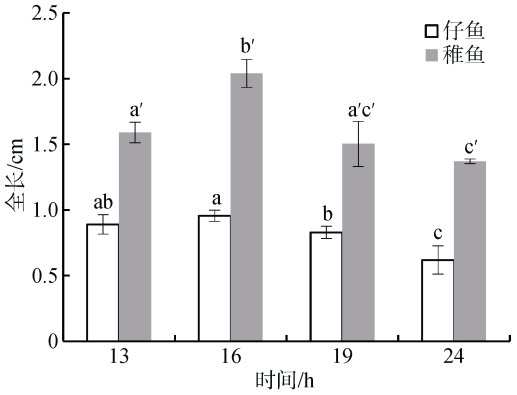

图 4 仔、稚鱼期光周期对全长的影响

Fig. 4 Effect of photoperiod on total length of larval and juvenile barramundi

3 讨论

消化酶的活力能反映水产动物消化生理的基本特征。环境因子的改变引发机体比正常代谢消耗更多的能量，在一定程度上这就要求消化酶活性更高，用来消化食物以保证能量供给[23]。目前研究方向主要为饲料添加剂、肠道菌群、环境因子(氨氮、盐度、

温度等)胁迫因子对消化酶的影响[4-6, 24-28]。环境因子中光周期对消化酶活性影响的研究极少[2]。

有研究表明，环境因子对消化酶活性的影响较大[23, 28]，本试验结果也显示环境因子光周期对消化酶有影响，但是对不同的消化酶影响程度不同；本试验中仔鱼期随着光照时长的增加，PP 的活性先增加后减少，在 16 h 组达到最高的 9.50 U/mg 蛋白显著高于其余各组，说明光照时长的增加在一定程度上促进 PP 的活力。PP 的活力影响到消化道对蛋白的吸收效率和代谢水平[29-30]，说明机体在光照时长增加时 PP 的活力增加，提高了分解肠道内的蛋白类物质的能力，从侧面反映了蛋白质类食物摄入量有所增加。研究发现延长光照时间可以延长鱼类的摄食时间提高摄食率，从而提高鱼类生长率，如大西洋鳕鱼(*Gadus morhua*)[31]、金鲷(*Pagrus auratus*)[32]、三斑海马(*Hippocampus trimaculatus*)[33]等。本试验中光照时长为 16 h 时，仔鱼期平均全长达到 0.95 cm，高于其余各组，但差异不显著；稚鱼期平均全长达到 2.04 cm，显著(P<0.05)高于其余各组。适当地延长光照时长促进了尖吻鲈的生长，与前人的研究结果一致，这种光周期和摄食协同作用影响仔鱼生长的作用在鱼类早期发育中显得很重要，仔鱼在其开始外源摄食前就受光照周期的影响。但是过长的光照时长会抑制尖吻鲈的生长，同时抑制 PP 的分泌，其原因有待研究。

有研究表明，摄食不同的饵料会引起 AMS、LPS 等消化酶活性的变化[1, 6, 26, 34-35]，并且饥饿也会导致消化酶活性发生较大的改变[36]。本试验中仔鱼期增加光照时长对 AMS 的活性呈现抑制作用，在 24 h 光照时长时达到活力最低值 241.65 U/mg 蛋白，而 LPS 的活性呈现先抑制后促进的现象，在 16 h 时达到最低值 1.84 U/mg 蛋白，24 h 时达到最高值 12.92 U/mg 蛋白，说明光周期对不同消化酶有不同的作用(促进或抑制)。同时光照时长的改变导致了尖吻鲈仔鱼摄食饵料种类和数量发生变化，最终导致了不同消化酶活性发生改变。光照时长的变化对稚鱼期尖吻鲈消化酶活性变化影响相对较小，只有在特定的时长对某种消化酶有促进或者抑制作用，如在 24 h 光照时长时 LPS 活性增加活力达到 2.46 U/mg，而 19 h 光照时长时对为蛋白酶活性抑制活力值降为 3.32 U/mg，而对 AMS 影响不明显。说明在稚鱼期尖吻鲈的饮食结构比较固定，通过改变光照时长改变饮食结构的方式对消化酶活性影响较小。但是同时证明尖吻鲈稚鱼期特定光照时长可能促进或抑制某一种或者几种消化酶的活性。可以在生产实践中通过调节特定的光周期增强对某一种物质的吸收速率。

有研究表明，不同的生长发育阶段消化酶活性有所变化，与本研究中尖吻鲈仔、稚鱼阶段消化酶活性不同结果一致。Munilla-Morán 等[37]对大菱鲆消化酶进行研究，发现 AMS 活性和蛋白酶活性的比值随着年龄的不同而不同，与年龄成负相关。真鲷(*Pagrosomus major*)仔鱼出膜后 15~23 d 内，胃腺原基出现，但从开口到孵化后 23 d 内，PP 活性都处于较低水平，该时期仔鱼死亡率很高，进入稚鱼期后，胃腺形成，PP 活性增强，死亡率下降，生长加快[38]。在仔、稚、幼鱼发育过程中，真鲷蛋白酶、AMS 和 LPS 3 种主要消化酶活性变化趋势基本一致，即 3 种消化酶活性在仔、稚鱼期逐渐下降，在幼鱼期酶活性上升[38]。体质量为 30~500 g 的大黄鱼(*Arimichthys crocea*)对蛋白的整体消化能力始终较强，PP 和类胰蛋白酶活性逐渐降低，而 AMS 活性呈上升趋势。但随着体质量的变化，比酶活力遵循一定的规律，即蛋白比酶活力随体质量的增加而降低，而后趋于水平，淀粉比酶活力随体质量的增加而升高，而后趋于水平，150 g 左右为大黄鱼生长的转折点[39]。而王宏田等[40]认为随着牙鲆的生长，蛋白酶活性增强，AMS 活性减弱。尖吻鲈仔鱼的胃在孵化后 15 d 初步形成，25 d 胃腺已具雏形，并且在该发育阶段可以检测到 PP 的活性[41]。本研究中尖吻鲈仔鱼期和稚鱼期均可检测出 PP，并且各种消化酶活性也有所不同，通过对比对照组消化酶活性发现，PP 和 LPS 活性稚鱼期有所下降，而 AMS 活性基本不变，与前人的研究结果基本一致。

4 结论

研究表明，不同光照周期对尖吻鲈仔、稚鱼消化酶的影响不同；不同生长阶段的消化酶对同一光照时长的反应不同；适当地延长光照时长能促进尖吻鲈的生长；生产实践中可以有针对性的通过选定某一特定光周期促进或者抑制一种或几种消化酶的活性，提高或抑制对某种营养成分的吸收。

参考文献:

[1] 李贵锋, 蒋广震, 刘文斌, 等. 不同蛋白质和能量水平对建鲤幼鱼生长性能、体组成和消化酶活性的影响[J]. 上海海洋大学学报, 2012, 21(2): 225-232.
Li Guifeng, Jiang Guangzhen, Liu Wenbin, et al. Effects of dietary protein and energy levels on growth performance,

body composition and digestive enzyme activities of juvenile Jian carp (*Cyprinus carpio*)[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2012, 21(2): 225-232.

[2] 叶乐, 胡静, 王雨, 等. 光周期和光照强度对克氏双锯鱼仔鱼存活、生长和发育的影响[J]. 琼州学院学报, 2014, 21(5): 78-86.
Ye Le, Hu Jing, Wang Yu, et al. Effects of light on survival, development and growth of larvae of *Amphiprion clarkii*[J]. Journal of Hainan Tropical Ocean University, 2014, 21(5): 78-86.

[3] 余德光, 关胜军, 谢骏, 等. 海水养殖鱼类消化酶研究进展[J]. 水产科技, 2009, 2: 1-5.
Yu Deguang, Guan Shengjun, Xie Jun, et al. Advance in the digestive enzyme of marine fish[J]. Aquatic science and technology, 2009, 2: 1-5.

[4] 王维娜, 孙儒泳, 王安利, 等. 环境因子对日本沼虾消化酶和碱性磷酸酶的影响[J]. 应用生态学报, 2002, 13(9): 1153-1156.
Wang Weina, Sun Ruyong, Wang Anli, et al. Effect of different environmental factors on the activities of digestive enzymes and alkaline phosphatase of *Macrobrachium nipponense*[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2002, 13(9): 1153-1156.

[5] 高权新, 谢明媚, 彭士明, 等. 急性温度胁迫对银鲳幼鱼代谢酶、离子酶活性及血清离子浓度的影响[J]. 南方水产科学, 2016, 12(2): 59-66.
Gao Quanxin, Xie Mingmei, Peng Shiming, et al. Effect of acute temperature stress on metabolic enzymes, ion enzymes and concentration of ion in serum of juvenile *Pampus argenteus*[J]. South China Fisheries Science, 2016, 12(2): 59-66.

[6] 任鸣春, 贾文锦, 戈贤平, 等. 饲料不同淀粉水平对团头鲂成鱼生长性能、消化酶活性及肌肉成分的影响[J]. 水产学报, 2014, 38(9): 1494-1502.
Ren Mingchun, Jia Wenjin, Ge Xianping, et al. Effects of dietary starch levels on growth performance, digestive enzyme activities and muscle composition of adult blunt snout bream (*Megalobrama amblycephala*)[J]. Journal of Fisheries of China, 2014, 38(9): 1494-1502.

[7] 姜令绪, 杨宁, 李建, 等. 温度和 pH 对刺参(*Apostichopus japonicus*)消化酶活力的影响[J]. 海洋与湖沼, 2007, 38(5): 476-480.
Jiang Lingxu, Yang Ning, Li Jian, et al. Effect of temperature and pH on the activities of digestive enzymes in *Apostichopus japonicus*[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2007, 38(5): 476-480.

[8] 张邦杰, 梁仁杰, 毛大宁, 等. 池养尖吻鲈和花鲈的生长特性[J]. 水产科技情报, 1998, 2: 12-17, 21.
Hang Bangjie, Liang Renjie, Mao Daning, et al. Growth characteristics of pond-reared *Lates calcarifer* and *Lateolabrax japonicus*[J]. Fisheries Science & Technology Information, 1998, 2: 12-17, 21.

[9] Glencross B, Blyth D, Irvin S, et al. An evaluation of the complete replacement of both fishmeal and fish oil in diets for juvenile Asian seabass, *Lates calcarifer*[J]. Aquaculture, 2016, 451: 298-309.

[10] Nankervis L, Southgate P C. An integrated assessment of gross marine protein sources used in formulated microbound diets for barramundi (*Lates calcarifer*) larvae[J]. Aquaculture, 2006, 257(1-4): 453-464.

[11] Ribeiro F F, Forsythe S, Qin J G. Dynamics of intra-cohort cannibalism and size heterogeneity in juvenile barramundi (*Lates calcarifer*) at different stocking densities and feeding frequencies[J]. Aquaculture, 2015, 444: 55-61.

[12] Shiu Y L, Chiu S T, Lin Y S, et al. Improvement in non-specific immunity and disease resistance of barramundi, *Lates calcarifer* (Bloch), by diets containing Daphnia similis meal[J]. Fish & Shellfish Immunology, 2015, 44(1): 172-179.

[13] 袁丰华, 林黑着, 李卓佳, 等. 地衣芽孢杆菌对尖吻鲈血液生理生化指标的影响[J]. 南方水产, 2009, 5(2): 45-50.
Yuan Fenghua, Lin Heizhuo, Li Zhuojia, et al. Effects of dietary bacillus licheniform is on blood physiological-biochemical indices in cultured *Lates calarifer*[J]. South China Fisheries Science, 2009, 5(2): 45-50.

[14] 袁丰华, 林黑着, 李卓佳, 等. 凝结芽孢杆菌对尖吻鲈的生长、消化酶及非特异性免疫酶的影响[J]. 上海海洋大学学报, 2010, 19(6): 792-797.
Yuan Fenghua, Lin Heizhuo, Li Zhuojia, et al. Effects of Bacillus coagulans on growth performance, digestive enzymes and nonspecific immune enzymes of sea bass (*Lates calcarifer*)[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2010, 19(6): 792-797.

[15] 余意, 刘文科. 弱光条件下光质和光周期对水培生菜生长与品质的影响[J]. 中国农业气象, 2015, 6: 739-745.
Yu Yi, Liu Wenke. Influence of light quality and photoperiod on growth and nutritional quality of three leaf-color lettuce cultivars under weak light[J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2015, 6: 739-745.

[16] 马亚玲, 刘长仲. 光周期对两种色型豌豆蚜生长发育的影响[J]. 中国生态农业学报, 2014, 22(12): 1476-1483.
Ma Yaling, Liu Changzhong. Effect of photoperiod on growth and development of two color morphs of pea aphid (*Acyrthosiphon pisum*) [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2014, 22(12): 1476-1483.

[17] 陈晓, 李思远, 吴连成, 等. 光周期影响植物花时的分子机制[J]. 西北植物学报, 2006, 26(7): 1490-1499.
Chen Xiao, Li Siyuan, Wu Liancheng, et al. Molecular mechanisms of photoperiod actions on plant flowering[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2006, 26(7): 1490-1499.

[18] 秦曦. 光照时长对老年性骨质疏松疗效的临床观察[J]. 中国骨质疏松杂志, 2016, 22(2): 214-216.

Qin Xi. The clinical obse rvation of the e fficacy of sunshine on se nile oste oporosis[J]. Chinese Journal of Osteoporosis, 2016, 22(2): 214-216.

[19] 赵江平, 孔令华. LED 光色与光照时长对白羽鸡生长环境优化作用的探讨[J]. 当代畜禽养殖业. 2017, 2: 7-8.
Zhao Jiangping, Kong Linghua. Optimum effects of LED light color and light duration on growth environment of white chicken[J]. Modern Animal Husbandry. 2017, 2: 7-8.

[20] 和嘉荣, 李春平, 雷衡, 等. 光照时长和强度对蛋鸭生产性能的影响[J]. 养殖与饲料, 2014, 10: 7-10.
He Jiarong, Li Chunping, Lei Heng, et al. Effect of light duration and intensity on production performance of laying ducks[J]. Animals Breeding and Feed, 2014, 10: 7-10.

[21] Barlow C G, Pearce M G, Rodgers L J, et al. Effects of photoperiod on growth, survival and feeding periodicity of larval and juvenile barramundi Lates calcarifer (Bloch)[J]. Aquaculture, 1995, 138(1-4): 159-168.

[22] Worrall K L, Carter C G, Wilkinson R J, et al. The effects of continuous photoperiod (24L∶0D) on growth of juvenile barramundi (*Lates calcarifer*)[J]. Aquacult Int, 2011, 19(6): 1075-1082.

[23] 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[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2008: 3-5.
Ren Xiaowei. 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: 3-5.

[24] 王国霞, 黄燕华, 周晔, 等. 乳酸菌对凡纳滨对虾幼虾生长性能、消化酶活性和非特异性免疫的影响[J]. 动物营养学报, 2010, 22(1): 228-234.
Wang Guoxia, Huang Yanhua, Zhou Hua, et al. Effects of *Lactobacillus* on growth performance, digestive enzyme activities and non-specific immunity of *Litopenaeus vannamei*[J]. Acta Zoonutrimenta Sinica, 2010, 22(1): 228-234.

[25] 黄瑾, 熊邦喜, 陈洁, 等. 鱼类消化酶活性与全长、体重和水质的相关性研究[J]. 水生态学杂志, 2012, 33(2): 121-126.
Huang Jin, Xiong Bangxi, Chen Jie, et al. Correlation between body length, body weight, water quality and digestive enzyme activities of fish[J]. Journal of Hydroecology, 2012, 33(2): 121-126.

[26] 李卫芬, 沈涛, 陈南南, 等. 饲料中添加枯草芽孢杆菌对草鱼消化酶活性和肠道菌群的影响[J]. 大连海洋大学学报, 2012, 27(3): 221-225.
Li Weifen, Shen Tao, Chen Nannan, et al. Effects of dietary *Bacillus subtilis* on digestive enzyme activity andintestinal microflora in grass carp *Ctenopharyngodon idellus*[J]. Journal of Dalian Fisheries University, 2012, 27(3): 221-225.

[27] 汤江武, 孙宏, 姚晓红, 等. 芽孢杆菌在肉鸡肠道内的分布及对肠道菌群、消化酶活性的影响[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2011, 37(3): 319-325.
Tang Jiangwu, Sun Hong, Yao Xiaohong, et al. Fate, dissemination of *Bacillus subtilis* spores in gastrointestinal tract of broiler chicken and its effect on intestinal flora and digestive enzyme activities[J]. Journal of Zhejiang University (Agric & Life Sci.), 2011, 37(3): 319-325

[28] 白晓慧. 水环境对鱼类消化酶活性的影响[J]. 天津水产, 2009, 2: 19-23.
Bai Xiaohui. Effect of water environment on fish digestive enzyme activity[J]. Tianjin Fisheries, 2009, 2: 19-23.

[29] 徐武杰, 潘鲁青, 岳峰. 氨氮胁迫对三疣梭子蟹消化酶活力的影响[J]. 中国海洋大学学报, 2011, 41(6): 35-40.
Xu Wujie, Pan Luqing, Yue Feng. Effects of ammonia-N stress on digestive enzyme activities of swimming crab *Portunus trituberculatus*[J]. Periodical of Ocean University of China, 2011, 41(6): 35-40.

[30] 张龙岗, 安丽, 孙栋. 盐度胁迫对高体革鲷幼鱼消化酶活力的影响[J]. 水产学杂志, 2011, 24(3): 21-24.
Zhang Longgang, An Li, Sun Dong. Effects of salinity on digestive enzyme activities of juvenile Jade Perch *Scortum barcoo* [J]. Chinese Journal of Fisheries, 2011, 24(3): 21-24.

[31] Puvanendran V A, Brown J. Foraging, growth and survival of Atlantic cod larvae reared in different light intensities and photoperiods[J]. Aquaculture, 2002, 214(1-4): 131-151.

[32] Fielder D S, Bardsley W J, Allan G L, et al. Effect of photoperiod on growth and survival of snapper *Pagrus auratus* larvae[J]. Aquaculture, 2002, 211(1-4): 135-150.

[33] Murugan A, Dhanya S, Sreepada R A, et al. Breeding and mass-scale rearing of three spotted seahorse, *Hippocampus trimaculatus* Leach under captive conditions [J]. Aquaculture, 2009, 290(1-2): 87-96.

[34] 杨铿, 林黑着, 夏冬梅, 等. 饲料中海洋红酵母对尼罗罗非鱼幼鱼生长性能、消化酶及免疫酶活性的影响[J]. 南方水产科学, 2016, 12(6): 51-58.
Yang Jian, Lin Heizhuo, Xia Dongmei, et al. Effect of dietary *Rhodotorula mucilaginosa* on growth performance, digestive and immune enzymes activities of juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*)[J]. South China Fisheries Science, 2016, 12(6): 51-58.

[35] 徐维娜, 刘文斌, 沈美芳, 等. 饲料中不同蛋白质和脂肪水平对克氏螯虾(*Procambarus clarkii*)生长性能、体组成和消化酶活性的影响[J]. 海洋与湖沼. 2011, 42(4): 521-529.
Xu Weina, Liu Wenbin, Shen Meifang, et al. Effect of different dietary and lipid level on growth performance, body composition and digestive enzymes activities of red swamp Crayfish *Procambarus clarkii*[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2011, 42(4): 521-529.

[36] 单秀娟, 窦硕增. 短期饥饿胁迫下(鱼免)鱼(*Miichthys miiuy*)早期生活阶段的生长及消化酶活性研究[J]. 海洋与湖沼, 2011, 42(2): 213-220.
Shan Xiujuan, Dou Shuozeng. Effects of short - term food deprivation on the growth and activity of digestive enzymes of *Miiuy croaker Miichthys Miiuy* larvae and juveniles[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2011, 42(2): 213-220.

[37] Munilla–Morán R, Stark R J. Metabolism in marine-flatfish -VI. effect of utritional state on digestion in turbot, *Scophthalmus maximus*[J]. Biochemisty and Molecular Biology, 1990, 95(3): 625-634.

[38] 陈品健, 王重刚. 真鲷仔、稚、幼鱼期消化酶活性的变化[J]. 台湾海峡, 1997, 3: 245-246.
Chen Pinjian, Wang Chonggang. Variation of digestive enzyme activity in different development periods of *Pagrosomus major*[J]. Taiwan Strait, 1997, 3: 245-246.

[39] 席峰, 林利民, 王志勇, 等. 大黄鱼发育进程中消化酶的活力变化[J]. 中国水产科学, 2003, 8(4): 301-304.
Xi Feng, Lin Limin, Wang Zhiyong, et al. Activities of digestive enzymes during development period in *Pseudosciaena crocea*[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2003, 8(4): 301-304.

[40] 王宏田, 张培军. 牙鲆体内消化酶活性的研究[J]. 海洋与湖沼, 2002, 33(5): 472-476.
Wang Hongtian, Zhang Peijun. Activities of digestive enzyme in different tissues of *Paralichthys Olivaceus*[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2002, 33(5): 472-476.

[41] Walford J, Lam T J. Development of the digestive tractand proteolytic enzyme activity in seabass *Lares calcarifer* larvae and juveniles[J]. Aquaculture, 1993, 109: 187-205.

Effects of photoperiod on digestive enzyme activity in larval and juvenile barramundi *Lates calcarifer* (Bloch)

ZHOU Sheng-jie[1, 2], HU Jing[1, 2], YU Gang[1, 2], YANG Qi-bin[1], YANG Rui[1], LIU Ya-juan[1, 3], MA Zhen-hua[1, 2]

(1.Tropical Fisheries Research and Development Center, South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Sanya 572018, China; 2. Key Lab. of South China Sea Fishery Resource Exploitation & Utilization, Ministry of Agriculture, Guangzhou 510300, China; 3. Tianjin Agricultural University, Tianjin 300384)

Received: Feb. 1, 2018
Key words: barramundi; digestive enzymes; photoperiod; enzyme activity

Abstract: The activity of digestive enzymes can respond to the digestive ability of the larynboster (*Lates calcarifer*) to different nutrient components. When a certain condition changes, the digestive enzyme activity changes, so studying the effect of different light duration on the activity of digestive enzymes is necessary to understand The nature of digestive enzymes is of great significance. The study showed that prolonged light time had a great influence on the digestive enzyme activity of the larvae. The maximum activity of PP was in 16 h group, but longer photoperiod inhibited the activity of PP. The activity of AMS was inhibited by increasing the light time, while the activity of LPS was inhibited firstly and then promoted. The increase of light time showed little effect on the digestive enzyme activity of the juvenile fish. But specific light cycles have different effects on different digestive enzymes (promote or inhibit); LPS activity increased in 24 h light hours group; PP was inhibited during the illumination of 19 h group; The effect of amylase AMS was not obvious. The results showed that different light cycles had different effects on digestive enzymes. The digestive enzymes of different growth stages have different reactions to the same light. The results of the study can help to select the specific light cycle to promote the activity of certain digestive enzymes and to improve the digestion and absorption capacity of certain nutrients.

(本文编辑: 谭雪静)