

夏 华,陈阿琴,戴习林,等. 团头鲂生长及免疫酶活性与水体理化因子的关系[J]. 江苏农业科学,2013,41(5):203-207.

# 团头鲂生长及免疫酶活性与水体理化因子的关系

夏 华,陈阿琴,戴习林,徐国成,何 琳,吕为群

(上海海洋大学水产与生命学院,上海 201306)

**摘要:** 探讨了团头鲂生长率和组织中超氧化物歧化酶(SOD)、碱性磷酸酶(ALP)、酸性磷酸酶(ACP)活性与水质因子的关系。结果显示:在检测的水体理化因子中,水温逐步升高有利于团头鲂生长和提高机体免疫力,而总氨氮和亚硝酸盐氮浓度是影响团头鲂免疫力的关键因子;第Ⅳ、Ⅴ阶段(6月30日至8月17日)为团头鲂最适生长阶段。

**关键词:** 团头鲂;生长;超氧化物歧化酶;碱性磷酸酶;酸性磷酸酶;理化因子

**中图分类号:** S917 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2013)05-0203-05

团头鲂(*Megalobrama amblycephala*)别名团头鳊、武昌鱼,属硬骨鱼纲、鲤形目、鲤科、鲴亚科,自然分布于长江中游的一些湖泊中,是我国特有的优良淡水养殖品种,现已推广至全国养殖。团头鲂具有食性广、生长快、成活率高、繁殖简单等优点,也是我国池塘混养的首选品种之一。池塘养殖团头鲂通常搭配鲫鱼(*Carassius auratus*)、白鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*)、鳊鱼(*Aristichthys nobilis*)等鱼类<sup>[1-2]</sup>,通过确定适宜的混养品种<sup>[3]</sup>和养殖密度<sup>[4-5]</sup>,可实现团头鲂的高效、高产养殖。在水产养殖过程中,由于鱼类经常会受到水温剧变、水质恶化以及细菌和病毒感染等不良水环境因子的干扰,往往会造成鱼类生长迟缓<sup>[6]</sup>,免疫机能下降,甚至死亡<sup>[7-9]</sup>。因此,探讨水体理化因子与养殖鱼类生长和免疫力的关系,找出并调控养殖环境中的关键因子,对提高其生长率和机体免疫力有重要意义。目前有关实验室条件下鱼类免疫机能<sup>[10-12]</sup>以及环境因子对鱼类生长<sup>[13-15]</sup>和免疫力<sup>[16-18]</sup>的研究较多,但环境因子对鱼类的影响是综合性的,各种水环境因子对生物的影响相互联系,在实验室进行单因子研究不能完全模拟鱼类的生存环境。本研究选择上海市郊区3口混养池塘,分析团头鲂养殖过程中生长率及免疫组织中超氧化物歧化酶(SOD)、

碱性磷酸酶(ALP)和酸性磷酸酶(ACP)活性与水体理化因子的关系,旨在探明影响团头鲂生长和免疫力的关键理化因子,为团头鲂健康养殖提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 混养池塘养殖概况

试验于2011年4月7日—8月17日在上海市松江水产良种厂进行。以A、B、C等3口池塘作为混养平行鱼塘。各试验塘养殖主体为2龄团头鲂,配养鱼种为白鲢、鳊鱼、鲫鱼、青鱼(*Mylopharyngodon piceus*)、鲈鱼(*Lateolabrax japonicus*),各池塘放养密度和比例见表1。

为降低苗种在放养过程中的发病率和死亡率,提早于2011年1月24日投放鱼苗,于4月7日起养殖管理,同年8月17日上市。试验期间,各池塘平均水深1.5 m,每口池塘配备功率3.0 kW的增氧机1台和自动投饵机1台。于每日14:00、22:00开启增氧机1 h,8:30、13:00、15:00自动投饵,根据天气变化、鱼体情况随时调节饲料投喂量。采样前10 d和采样后10 d各换水1次,换水量为50 cm。

表1 混养池塘放养品种、规格、密度

池塘编号	混养数目(尾/hm <sup>2</sup> )					
	团头鲂(99 g/尾)	鲢鱼(111 g/尾)	鳊鱼(181 g/尾)	鲫鱼(76 g/尾)	青鱼(1 675 g/尾)	鲈鱼(1 000 g/尾)
池塘 A(0.373 hm <sup>2</sup> )	21 975	765	450	1 500	45	90
池塘 B(0.335 hm <sup>2</sup> )	21 975	750	450	1 515	45	90
池塘 C(0.318 hm <sup>2</sup> )	21 990	765	435	1 500	60	105

### 1.2 样品采集与处理

采样日期分别为4月7日、5月5日、6月1日、6月30日、7月28日、8月17日。在每口养殖池塘取体质健壮的团头鲂12尾,用YP100001型便携式电子天平称量其质量(精

确到0.01 g),并迅速解剖,取肝脏、脾脏、肾脏,将每5~6尾鱼的免疫组织合并成1个样本,放入液氮中带回实验室,用作免疫指标测定。此外,现场采用pHB-3型便携式pH计测定池塘水pH值,用YSI550便携式溶氧仪测定溶解氧(DO)及水温。同时在池塘4个角处采集表层水样带回实验室,采用分光光度法检测总氨氮(TNH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N)、亚硝酸盐氮(NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N)。

### 1.3 生长率计算

以相邻2次采样时间间隔为1个生长阶段,试验期间共分为5个生长阶段,分别为Ⅰ(4月7日—5月5日)、Ⅱ(5月6日—6月1日)、Ⅲ(6月2日—6月30日)、Ⅳ(7月1日—7月28日)、Ⅴ(7月29日—8月17日)。通过式(1)和式(2)

收稿日期:2012-10-26

基金项目:上海市农委科技兴农重点攻关项目[编号:沪农科攻字(2010)第1-6];上海高校东方学者计划(编号:P2009030)。

作者简介:夏 华(1986—),男,江苏盐城人,硕士研究生,研究方向为鱼类环境适应。E-mail: xiahua20062006@163.com。

通信作者:吕为群,博士,教授。E-mail: wqlv@shou.edu.cn。

计算各生长阶段的绝对生长率 (absolute growth rate, AGR) 和特定生长率 (specific growth rate, SGR)。

$$AGR = (m_t - m_0) / t \times 100\%$$
 (1)

$$SGR = (\ln m_t - \ln m_0) / t \times 100\%$$
 (2)

式中: AGR 为绝对生长率; SGR 为特定生长率;  $m_0$ 、 $m_t$  分别为团头鲂各生长阶段初、末重量;  $t$  为养殖时间。

1.4 免疫指标检测

剔除组织上的结缔组织、脂肪后, 加入生理盐水, 用电动玻璃匀浆机 2 000 r/min 上下研磨 2 min 成 10% 组织匀浆液, 43 000 r/min 4 ℃ 离心 10 min, 取上清液。采用双缩脲法测定样品上清液中蛋白质 (TP) 含量; 采用黄嘌呤氧化酶法测定 SOD 活性; 采用 AMP 缓冲液法测定 ALP 活性; 采用磷酸苯二钠法测定 ACP 活性。SOD、ACP 试剂盒均购自南京建成生物工程研究所, 相关操作按试剂盒说明书进行。利用迈瑞 BS200 系列生化分析仪测定 TP、ALP, 所需盒装试剂购自迈瑞试剂公司。SOD 活力单位为 U/mg; ALP、ACP 活力单位为 U/g。

1.5 数据分析

试验数据以平均值 ± 标准差表示。利用 SPSS 17.0 软件对数据进行单因素方差分析 (One-way ANOVA), 若差异显著, 再用 Duncan's 多重比较,  $P < 0.05$  表示差异显著,  $P < 0.01$

表示差异极显著。

2 结果与分析

2.1 水体理化因子变化

由图 1 可见, 3 口池塘的 DO 值在 4 月 7 日和 6 月 30 日略有差异, 而在整个养殖过程中基本保持平稳, 试验期间 DO 均值为 6.00 ~ 7.29 mg/L。3 口池塘的 pH 值在养殖过程中均呈波动变化, 在 5 月 5 日出现谷值, 在 6 月 30 日出现峰值, 试验期间平均 pH 值为 8.10 ~ 8.73。3 口池塘水温均值从 4 月 7 日的 13 ℃ 持续递增至 7 月 28 日的 31 ℃, 在 8 月 17 日略微下降到 27.3 ℃。3 口池塘  $\text{TNH}_4^+ - \text{N}$  和  $\text{NO}_2^- - \text{N}$  浓度在养殖初期均保持较低水平, 分别在 6 月 30 日和 5 月 5 日之后呈递增趋势, 均在 8 月 17 日达最大值, 均值分别为 1.71、0.43 mg/L。

2.2 团头鲂生长率变化

各生长阶段的 AGR、SGR 如表 2 所示。随着生长阶段的推移, AGR、SGR 呈显著递增趋势 ( $P < 0.05$ ), 并在第 IV、V 阶段 (7 月 1 日—8 月 17 日) 极显著高于其他生长阶段 ( $P < 0.01$ ), 因此第 IV、V 阶段为团头鲂最适生长阶段, 说明水温逐渐升高有利于团头鲂生长。

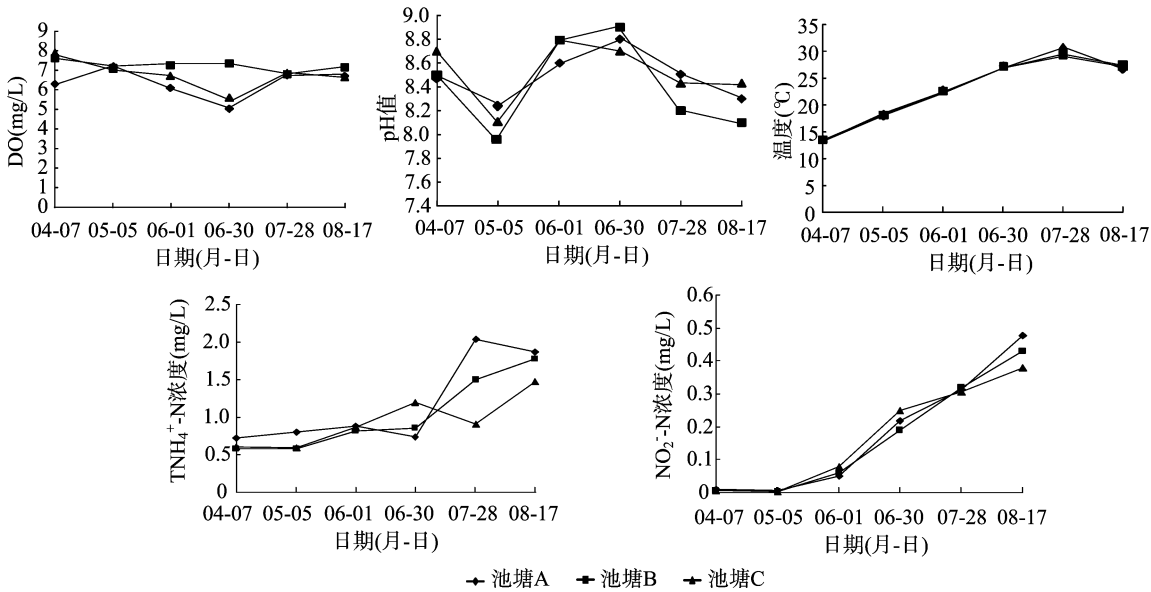


图1 混养池塘水体理化因子的变化

表 2 各生长阶段团头鲂 AGR、SGR 值

生长阶段	AGR (g/d)	SGR (%/d)
I	0.71 ± 0.42a	0.48 ± 0.27a
II	1.85 ± 0.75b	0.99 ± 0.29b
III	1.20 ± 0.72ab	0.51 ± 0.28a
IV	5.45 ± 0.34c	1.74 ± 0.26c
V	9.88 ± 0.62d	2.02 ± 0.24d

注: 同列数据后不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。

2.3 团头鲂 SOD、ALP、ACP 活性变化

2.3.1 SOD 活性 SOD 在团头鲂的肝脏、肾脏中均有分布, 在脾脏中分布相对较少 (相关数据未列出), SOD 活性大小分布为肝脏 > 肾脏 > 脾脏。由图 2 可见, 在养殖过程中团头鲂肝脏、肾脏 SOD 活性均呈显著递增趋势 ( $P < 0.05$ ), 8 月 17

日团头鲂肝脏、肾脏的 SOD 活性分别为 4 月 7 日的 1.50、1.44 倍, 说明水温逐渐升高有利于提高团头鲂机体抗氧化能力。

2.3.2 ALP 活性 ALP 在团头鲂的肝脏、肾脏中均有分布, 在脾脏中分布相对较少 (相关数据未列出), ALP 活性大小分布为肾脏 > 肝脏 > 脾脏。由图 3 可见, 在养殖过程中团头鲂肝脏和肾脏 ALP 活性均呈先显著递增 ( $P < 0.05$ )、后显著下降 ( $P < 0.05$ ) 的趋势, 分别在 6 月 30 日和 6 月 1 日达最大值, 分别是 4 月 7 日的 3.70、1.28 倍。在第 IV、V 阶段, 肝脏 ALP 活性降到与 4 月 7 日相当的水平, 肾脏 ALP 活性显著低于 4 月 7 日 ( $P < 0.05$ )。这说明水温逐渐升高有利于提高团头鲂机体营养代谢能力, 而氨氮和亚硝酸含量逐渐升高会降低机体 ALP 活性。

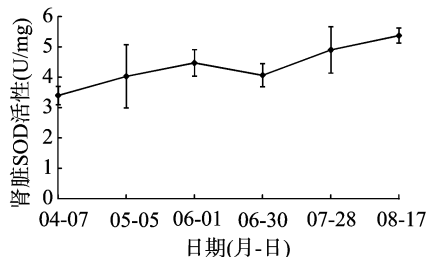
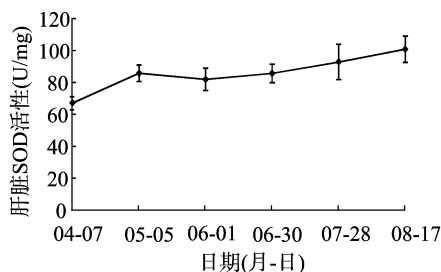


图2 团头鲂肝脏、肾脏SOD活性变化

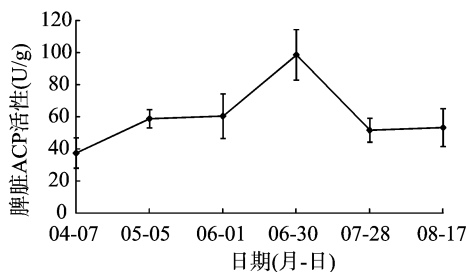
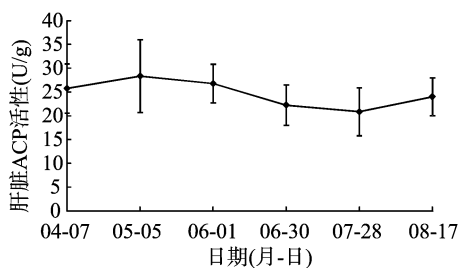


图4 团头鲂肝脏、脾脏、肾脏ACP活性变化

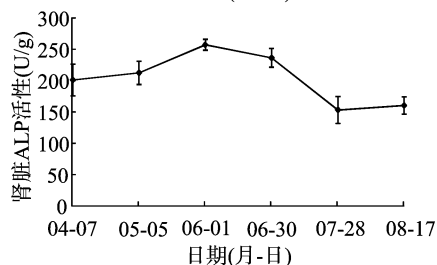
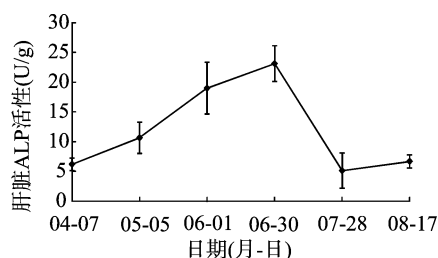
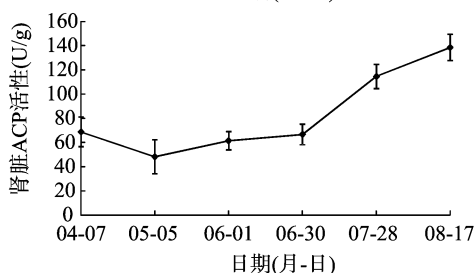


图3 团头鲂肝脏、肾脏ALP活性变化

**2.3.3 ACP 活性** ACP在团头鲂的肝脏、脾脏、肾脏中均有分布,ACP活性大小分布为肾脏>脾脏>肝脏。由图4可见,在养殖过程中团头鲂肝脏中ACP活性呈先上升、后下降、再上升的趋势,但变化趋势不显著( $P>0.05$ )。在脾脏中,ACP活性呈先显著上升( $P<0.05$ )、后显著下降( $P<0.05$ )的趋势,在6月30日达最大值,是4月7日的2.65倍,在第Ⅳ、Ⅴ阶段又降到与4月7日相当的水平。在肾脏中,ACP活性在第Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ阶段的递增趋势不显著( $P>0.05$ ),而在第Ⅳ、Ⅴ阶段显著递增( $P<0.05$ ),在8月17日达最大值,是4月7日的2.03倍。

### 3 结论与讨论

#### 3.1 团头鲂生长和水体理化因子的关系

在养殖水环境中,温度是影响鱼类活动和生长的关键因子,不仅影响鱼类的摄食量<sup>[19]</sup>、饲料转化率<sup>[20]</sup>,而且会影响鱼类消化酶的活性<sup>[21]</sup>。齐遵利等证实,适度增温会加快白斑狗鱼的发育和生长<sup>[22]</sup>。李勇等也发现,在特定温度范围内,

大菱鲆摄食量随温度的增加而增大<sup>[23]</sup>。本研究结果证明了以上结论,分析得出随着养殖时间的推移,水温逐步升高有利于团头鲂的生长。

鱼类的最适生长水温是指在生态和营养条件良好的情况下,鱼类生长最快,相对增重最快时的水温<sup>[24-25]</sup>。鱼类生长对水温有较强的依赖性,不同种类的鱼有各自的最适温度,其最适生长温度范围也各不相同<sup>[25-27]</sup>。本研究中,团头鲂的生长率在第Ⅳ、Ⅴ阶段(7月1日—8月17日)极显著高于其他生长阶段,此阶段养殖水温为27~31℃,这与早前研究中提出团头鲂最适生长温度为32℃<sup>[26]</sup>相吻合。研究表明,第Ⅳ、Ⅴ阶段为团头鲂最适生长阶段,最适生长温度在27~31℃。

许多研究表明,鱼类的摄食和生长随氨氮、亚硝酸盐氮浓度增加而显著下降<sup>[13,28-29]</sup>。本研究发现,在Ⅳ、Ⅴ阶段团头鲂生长率和氨氮、亚硝酸盐氮浓度均表现出较高水平,这可能是由于氨氮和亚硝酸盐氮浓度未能达到抑制团头鲂生长的水平,但可以推测氨氮和亚硝酸盐氮浓度持续升高最终会影响团头鲂生长。本研究中DO均值保持在6.00~7.29 mg/L,平均pH值保持在8.10~8.73,均在健康养殖范围内<sup>[1,30]</sup>,这些理化因子不会对团头鲂生长产生明显影响。

#### 3.2 团头鲂 SOD、ALP、ACP 活性与水体理化因子的关系

水环境因素对鱼类免疫防御能力影响较大,导致鱼类免疫发生变化的环境因素主要有水质恶化、水温变化以及养殖密度过高造成的拥挤胁迫<sup>[9]</sup>。鱼类没有像高等脊椎动物一样的特异性免疫系统,但其非特异性免疫防御系统能够维持正常的免疫功能。SOD、ALP、ACP在免疫抗病力方面起着重

要作用,其活性的高低常被用作衡量鱼类免疫力的参照指标。

SOD 是机体防御过氧化损害系统的关键酶,可有效清除超氧阴离子自由基( $O_2^-$ ),体内 SOD 酶活性下降,标志着机体清除自由基的能力下降<sup>[31]</sup>。因此,动态监测 SOD 活性的变化,能够评判机体免疫力的变化,对判断机体健康状况具有重要价值。本研究中,团头鲂 SOD 活性大小分布为肝脏>肾脏>脾脏,这可能是由生物体各组织具有不同的生理功能所引起。肝脏是鱼体内主要解毒器官,能够有效将有毒物质转化为无毒的代谢产物排出体外,因此肝脏 SOD 活性较高。在众多水体理化因子中,水温能直接影响鱼体内的抗氧化体系<sup>[32]</sup>。曾有研究表明,长期低温胁迫可以使机体抗氧化能力下降<sup>[33-35]</sup>。本研究表明,养殖过程中肝脏、肾脏 SOD 活性随着养殖水温的升高呈显著递增趋势。随着养殖时间的推移,养殖水温逐渐升高有利于完善团头鲂机体抗氧化功能,使机体抗氧化能力逐渐增强。养殖水体中氨氮和亚硝酸盐氮也是影响鱼类抗氧化防御系统的重要因子,由于试验对象以及其抗氧化能力不同,导致研究结论有所差异。陈昌生等研究发现,氨氮浓度在 5~6 mg/L 时,九孔鲍内脏囊内 SOD 活力下降<sup>[36]</sup>。谭树华等发现,鲫鱼抗氧化能力的抑制程度与亚硝酸盐氮的浓度和暴露时间呈正相关<sup>[37]</sup>。本试验在Ⅳ、Ⅴ阶段,水体中氨氮和亚硝酸盐氮未对团头鲂机体 SOD 活性起抑制作用,这也许是因为氨氮和亚硝酸盐氮浓度未能达到抑制团头鲂抗氧化防御能力的水平。本试验由于受养殖时间限制,故池塘水体理化因子对团头鲂抗氧化系统的影响有待进一步研究。

ALP、ACP 是低等脊椎动物溶酶体酶的重要组成部分,直接参与磷酸化代谢和转移,加速物质的摄取和转运,形成水解酶体系,破坏和消除侵入体内的异物,在免疫反应中发挥极其重要的作用<sup>[38-39]</sup>。本研究在第Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ阶段(4月7日—6月30日),当养殖水温逐渐接近最适生长水温时,各组织 ALP、ACP 活性逐渐增强,且肾脏 ACP 活性在整个养殖过程中逐渐递增。丁小丰等认为,偏离最适生长水温引起机体 ALP、ACP 水平下降<sup>[40]</sup>,这与本研究结果一致。分析表明,水温是影响团头鲂机体磷酸酶的关键因子,当水温接近最适生长水温时,团头鲂机体营养代谢明显增强,导致机体磷酸酶活性提升。本研究在第Ⅳ、Ⅴ阶段,部分组织 ALP、ACP 活性显著降低,且肾脏 ALP 活性显著低于 4 月 7 日的水平,这是由养殖水体总氨氮、亚硝酸盐氮浓度在第Ⅳ、Ⅴ阶段逐渐升高所引起的,这与陈家长等关于罗非鱼的研究<sup>[41]</sup>和沈文英等关于三角鲂蚌的研究<sup>[42]</sup>相一致。笔者推断水体总氨氮、亚硝酸盐氮浓度在养殖后期逐渐增加,团头鲂体内氨氮、亚硝酸盐氮浓度积累增强了毒性效应,引起机体生理代谢失调,导致部分组织磷酸酶活力降低。因此在团头鲂池塘养殖后期,若水环境中氨氮、亚硝酸盐氮浓度维持在较高水平,要及时采取措施降低其浓度。

溶解氧和 pH 值也是影响鱼类生理状态和免疫力的重要因子<sup>[43-44]</sup>。但在本研究条件下,溶解氧和 pH 值等水体理化因子变化较小,且均在健康养殖范围内<sup>[1,30]</sup>,不会对团头鲂免疫产生明显影响。

综上所述,水温、总氨氮浓度和亚硝酸盐氮浓度是影响团头鲂生长及 SOD、ALP、ACP 的关键理化因子。当养殖水温逐

渐升高时,团头鲂表现出较高的生长率、抗氧化能力、物质代谢能力;当水体总氨氮、亚硝酸盐氮浓度在养殖后期逐渐升高时,团头鲂部分组织磷酸酶活性显著下降,表明此时物质代谢能力减弱。因此在实际生产中要合理选择养殖地域,尽可能使该地域水温接近或维持在团头鲂的适宜生长水温。此外,通过加注新水、增加溶解氧和控制残饵等方式控制水体中总氨氮、亚硝酸盐氮的含量。

#### 参考文献:

- [1] 李建永. 团头鲂池塘健康养殖技术[J]. 河南水产, 2011(2): 18.
- [2] 杨学芬, 杨瑞斌, 丁振红. 精养池团头鲂青鱼混养技术[J]. 淡水渔业, 2003, 33(3): 59-60.
- [3] 杨成胜, 褚春. 池塘无公害高效养殖团头鲂技术总结[J]. 科学养鱼, 2010(7): 45-46.
- [4] 张雅莉, 卢景顺. 池塘主养团头鲂高产高效技术研究[J]. 内蒙古农业科技, 2011(5): 59-60.
- [5] 熊金林. 密养池塘团头鲂鱼种生长的研究[J]. 水利渔业, 1997(5): 33-35.
- [6] McCormick S D, Shrimpton J M, Carey J B, et al. Repeated acute stress reduces growth rate of Atlantic salmon parr and alters plasma levels of growth hormone, insulin-like growth factor I and cortisol[J]. Aquaculture, 1998, 168(1/2/3/4): 221-235.
- [7] 翁朝红, 谢仰杰. 环境因素对鱼类免疫功能的影响[J]. 集美大学学报: 自然科学版, 2001, 6(2): 184-189.
- [8] 王文博, 李爱华. 环境胁迫对鱼类免疫系统影响的研究概况[J]. 水产学报, 2002, 26(4): 368-374.
- [9] 陈苏维, 朱文东. 影响鱼类免疫防御能力的环境胁迫因素及机制[J]. 湖北农业科学, 2007, 46(6): 987-989.
- [10] Warr G W, DeLuca D, Marchalonis J J. Phylogenetic origins of immune recognition: lymphocyte surface immunoglobulins in the goldfish, *Carassius auratus*[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 1976, 73(7): 2476-2480.
- [11] Kreutz L C, Gil Barcellos L J, Marteninghe A, et al. Exposure to sublethal concentration of glyphosate or atrazine-based herbicides alters the phagocytic function and increases the susceptibility of silver catfish fingerlings (*Rhamdia quelen*) to *Aeromonas hydrophila* challenge[J]. Fish and Shellfish Immunology, 2010, 29(4): 694-697.
- [12] Bowden T J. Modulation of the immune system of fish by their environment[J]. Fish and Shellfish Immunology, 2008, 25(4): 373-383.
- [13] Foss A, Siikavuopio S I, Sæther B S, et al. Effect of chronic ammonia exposure on growth in juvenile Atlantic cod[J]. Aquaculture, 2004, 237(1-4): 179-189.
- [14] 吕富, 黄金田, 王爱民. 碱度对异育银鲫摄食、生长和存活的影响[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(22): 6789-6790.
- [15] 郭恩彦, 郭忠宝, 罗永巨. 吉富罗非鱼最适生长水温研究[J]. 广东海洋大学学报, 2011, 31(1): 88-93.
- [16] 李飞, 张其中, 赵海涛. 氨氮对南方鲢两种抗氧化酶和抗菌活力的影响[J]. 淡水渔业, 2005, 35(6): 11-15.
- [17] 韩英, 张辉, 王琨. 亚硝态氮对鲤鱼种血液 SOD 及 GSH-Px 的影响[J]. 淡水渔业, 2007, 37(1): 66-68.
- [18] Le Morvan C, Deschaux P, Troutaud D. Effects and mechanisms of

- environmental temperature on carp (*Cyprinus carpio*) anti - DNP antibody response and non - specific cytotoxic cell activity; a kinetic study[J]. Developmental & Comparative Immunology, 1996, 20 (5): 331 - 340.
- [19] Buentello J A, Gatlin III D M, Neill W H. Effects of water temperature and dissolved oxygen on daily feed consumption, feed utilization and growth of channel catfish (*Ictalurus punctatus*) [J]. Aquaculture, 2000, 182(3/4): 339 - 352.
- [20] Likongwe J S, Stecko T D, Stauffer J R, et al. Combined effects of water temperature and salinity on growth and feed utilization of juvenile Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (Linnaeus) [J]. Aquaculture, 1996, 146(1/2): 37 - 46.
- [21] 王 辉, 强 俊, 李瑞伟. 温度对奥尼罗非鱼仔稚鱼生长、饲料利用和消化酶活力的影响[J]. 广东海洋大学学报, 2008, 28(6): 14 - 19.
- [22] 齐遵利, 张秀文, 韩 叙. 温度对白斑狗鱼早期发育和生长的影响[J]. 水产科学, 2010, 29(12): 708 - 710.
- [23] 李 勇, 孙国祥, 柳 阳, 等. 温度对高密度循环海水养殖大菱鲆摄食、生长及消化酶的影响[J]. 渔业科学进展, 2011, 32(6): 17 - 24.
- [24] 王 武, 余卫忠, 石张东. 江黄颡鱼适宜生长水温的研究[J]. 水产科技情报, 2003, 30(1): 13 - 15.
- [25] 刘家寿, 崔奕波, 刘建康. 鳊和乌鳢最适温度的研究[J]. 水生生物学报, 2002, 26(5): 433 - 437.
- [26] 汪锡钧, 吴定安. 几种主要淡水鱼类温度基准值的研究[J]. 水产学报, 1994, 18(2): 93 - 100.
- [27] 李大鹏, 庄 平, 严安生, 等. 施氏鲟幼鱼摄食和生长的最适水温[J]. 中国水产科学, 2005, 12(3): 294 - 299.
- [28] 强 俊, 徐 跑, 何 杰, 等. 氨氮与拥挤胁迫对吉富品系尼罗罗非鱼幼鱼生长和肝脏抗氧化指标的联合影响[J]. 水产学报, 2011, 35(12): 1837 - 1848.
- [29] Lemarie G, Dosdat A, Covès D, et al. Effect of chronic ammonia exposure on growth of European seabass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles[J]. Aquaculture, 2004, 229(1/2/3/4): 479 - 491.
- [30] 张 璐, 周文宗, 李洪涛, 等. 溶解氧对黄鳝摄食和生长的影响[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(6): 1664, 1667.
- [31] Sies H. Oxidative stress II: Oxidants and Antioxidants[M]. New York: Academic Press, 1991: 58 - 73.
- [32] Martinez - Alvarez R M, Morales A E, Sanz A. Antioxidant defenses in fish: Biotic and abiotic factors[J]. Reviews in Fish Biology and Fisheries, 2005, 15(1/2): 75 - 88.
- [33] 洪美玲, 陈立侨, 顾顺樟, 等. 不同温度胁迫方式对中华绒螯蟹免疫化学指标的影响[J]. 应用与环境生物学报, 2007, 13(6): 818 - 822.
- [34] 彭 婷, 胡庭俊, 林 勇, 等. 低温胁迫对罗非鱼血液生化、免疫及抗氧化指标的影响[J]. 水产科学, 2012, 31(5): 259 - 263.
- [35] 王晓燕, 常亚青, 丁 君, 等. 降温对刺参免疫酶、可溶性蛋白及可溶性糖影响的初步研究[J]. 农学学报, 2012, 2(4): 44 - 49.
- [36] 陈昌生, 王淑红, 纪德华, 等. 氨氮对九孔鲍过氧化氢酶和超氧化物歧化酶活力的影响[J]. 上海水产大学学报, 2001, 10(3): 218 - 222.
- [37] 谭树华, 罗少安, 梁 芳, 等. 亚硝酸钠对鲫鱼肝脏过氧化氢酶活性的影响[J]. 淡水渔业, 2005, 35(5): 16 - 18.
- [38] 陈清西, 陈素丽, 石 艳, 等. 长毛对虾碱性磷酸酶性质[J]. 厦门大学学报: 自然科学版, 1996, 35(2): 257 - 261.
- [39] 牟海津, 江晓路, 刘树青, 等. 免疫多糖对栉孔扇贝酸性磷酸酶、碱性磷酸酶和超氧化物歧化酶活性的影响[J]. 青岛海洋大学学报: 自然科学版, 1999, 29(3): 463 - 468.
- [40] 丁小丰, 杨玉娇, 金 珊, 等. 温度变化对锯缘青蟹免疫因子的胁迫影响[J]. 水产科学, 2010, 29(1): 1 - 6.
- [41] 陈家长, 臧学磊, 胡庚东, 等. 氨氮胁迫下罗非鱼(GIFT *Oreochromis niloticus*) 机体免疫力的变化及其对海豚链球菌易感性的影响[J]. 生态环境学报, 2011, 20(4): 629 - 634.
- [42] 沈文英, 谢优刚, 邵 琴. 铵态氮、亚硝酸盐氮对三角帆蚌免疫酶活性的影响[J]. 浙江农业学报, 2007, 19(5): 364 - 367.
- [43] Tomasso J K, Davis K B, Parker N C. Plasma corticosteroid dynamics in channel catfish, *Ictalurus punctatus* (Rafinesque), during and after oxygen depletion[J]. Journal of Fish Biology, 1981, 18(5): 519 - 526.
- [44] 李文祥, 谢 骏, 宋 锐. 水体 pH 胁迫对异育银鲫皮质醇激素和非特异性免疫的影响[J]. 水生生物学报, 2011, 35(2): 256 - 261.