

王玉龙, 周 玮. 盐度对池塘养殖影响的研究进展[J]. 江苏农业学报, 2022, 38(1): 278-284.

doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2022.01.033

盐度对池塘养殖影响的研究进展

王玉龙, 周 玮

(大连海洋大学水产与生命学院 辽宁 大连 116023)

摘要: 盐度是水产养殖的重要参数之一。近年来,随着池塘养殖业的快速发展,由盐度变化所引起的养殖问题备受关注。本文系统地总结了盐度变化对池塘养殖环境以及对养殖生物的影响,并基于此提出了未来需要关注的研究方向,以期对盐度对池塘养殖影响的研究提供参考。

关键词: 盐度; 池塘养殖; 养殖生物

中图分类号: S964.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2022)01-0278-07

Research progress in the effects of salinity on pond culture

WANG Yu-long, ZHOU Wei

(College of Fisheries and Life Sciences, Dalian Ocean University, Dalian 116023, China)

Abstract: Salinity is a critical parameter in aquaculture. In recent years, with the rapid development of pond culture, the problems caused by salinity changes have been of considerable concern. In this paper, the effects of salinity changes on pond aquaculture environment and aquaculture organisms were systematically summarized, and the future research direction were proposed to provide reference for the study of the effects of salinity on pond culture.

Key words: salinity; pond culture; aquaculture organisms

中国池塘养殖早在3 000多年前就已开始,是中国重要的水产品养殖方式之一。2019年池塘养殖产量占全年总产量的48.8%以上,其中,2019年海水池塘养殖产量超过 2.50×10^6 t,淡水池塘养殖产量超过 2.23×10^7 t^[1]。随着海洋渔业资源的衰退和人口的增长,获得优质的动物蛋白质主要靠养殖获取。根据2020年,经济合作与发展组织(OECD)和联合

国粮食及农业组织(FAO)共同发布的《农业前景:2020-2029》中预测,到2024年全球水产养殖产量将超过捕捞渔业,到2029年水产养殖产量占渔业总产量的52%,其中全球水产养殖产量的56%来自中国。自1989年起中国一直是世界水产品总产量第一的国家,并且是唯一一个养殖产量超过捕捞产量的国家。因此,对中国池塘养殖的持续研究,对保障水产品供应有重要的作用。

盐度作为水产养殖的重要参数,许多现象和过程都与其分布和变化息息相关。近岸海洋水体盐度往往受到陆地淡水河流的径流量、淡水通量和结冰融冰等影响^[2-4],但其主要离子组分之间的含量比例却几乎恒定。面对盐度变化带来的环境变化,生物可以选择适应或逃离。但对于养殖池塘相对狭小而又封闭的环境,养殖生物很难逃离。因此,盐度的变

收稿日期:2021-04-30

基金项目:辽宁省科学计划项目(2018104009);辽宁省“兴辽英才”项目(XLYC1808029);大连市2020年度科技特派团项目;大连市重点领域创新团队支持计划项目(2019RT11);大连市第二批领军人才项目

作者简介:王玉龙(1993-),男,辽宁大连人,硕士研究生,主要从事水产相关研究。(E-mail) ylwang93@yeah.net

通讯作者:周 玮,(E-mail) zhouwei@dlou.edu.cn

化往往会对池塘养殖生物产生较大的影响。

1 盐度概述

1.1 盐度定义

海水中的含盐量是海水浓度的标志,海洋中的许多现象和过程都与其分布和变化相关。但对海水中绝对盐量的精确测量难度较大,所以引入了“盐度”进行近似的表示^[5]。最初盐度被定义为测量给定质量海水中的溶解盐的质量^[6]。随着电导率的问世,1969年国际“海洋学常用表和标准联合专家小组”推荐使用公式 $S = -0.089\ 96 + 28.297\ 20 R_{15} + 12.808\ 32 R_{15}^2 - 10.678\ 69 R_{15}^3 + 5.986\ 24 R_{15}^4 - 1.323\ 11 R_{15}^5$ 作为海水盐度的新定义(R_{15} :15℃ 101 325 Pa下,水样的电导率与标准海水电导率的比值)。该国际小组于1978年又提出实用盐度标度^[5]。但随着科学技术的不断发展,其定义将会不断地更新^[7]。

1.2 盐度变化分析

在养殖池塘中无曝气设备对水体扰动的情況下,水体混合只有在风的作用下才能完成。但不同的季节外界环境的变化不同,会导致水体纵断面上出现盐度梯度,使得水体易出现盐度分层现象。这种盐度分层现象的出现具有明显的季节特征。

春季池塘内冰层开始融化或夏季降雨量增多,都会造成池塘表层盐度低于底层盐度。加之风的强度相对较弱,不易打破池塘的盐度分层。而在秋季,随着气温的降低,养殖池塘的表层水温相对底层水温下降要快,这使得表层水体的密度相对底层水体的密度要大,此时养殖池塘内的水体会形成密度环流,加之外界环境中的风力在逐渐增强,使得养殖水体表层和底层水体的混合加强,这会抑制养殖水体盐度分层的出现^[8]。

2 盐度对养殖环境的影响

盐度对养殖环境的影响,主要体现在养殖池塘盐度分层时期。水体的分层会阻碍表层和底层水体的交换和养殖池塘内的物质循环。另外,盐度分层现象的出现,往往伴随着养殖池塘内的溶氧分层。由于养殖水体表层和底层水体混合受阻,使得表层溶氧较多的水体无法及时补充到底层,导致底层水体处于缺氧状态。沉积物中的有机质在缺氧的环境下分解释放出大量氨、硫化氢、甲烷等有害物质,引起水质恶化。

在养殖池塘中藻类光合作用产生的氧气是水体中溶氧增加的主要来源之一。而盐度又是藻类光合作用产生氧气的重要影响因子。有研究表明,高盐度或较大的盐度变化,会使藻类叶绿素a含量下降,导致光合速率下降^[9],对藻类的生长和繁殖都会产生限制作用^[10]。此外,盐度的变化还会影响水体中重金属的含量。谢国樑等^[11]研究发现,潮湖盐度的增加会使重金属(Cu、Zn和Ni)的释放量增加1倍左右。吕杰等^[12]研究乌梁素海盐度变化对沉积物重金属释放的影响发现,随着盐度的增加,沉积物中重金属(Zn、Cu和Pb)释放量增加。虽然沉积物中重金属释放量较小,但在盐度变化较大时其释放量增幅较大。因此,盐度的变化对池塘养殖环境的影响不容忽视。

3 盐度对养殖生物的影响

盐度是限制养殖生物生长的重要因子之一。对于不同的养殖生物有着不同的盐度适宜生存范围,一部分养殖生物通过渗透调节机制去适应环境的变化,另一部分养殖生物,可能出现细胞膨胀或产生质壁分离,导致代谢失调甚至死亡^[13]。盐度通过影响养殖生物的渗透压,间接影响养殖生物的生长、免疫、消化、代谢和生殖生理。

3.1 盐度对养殖生物生长的影响

盐度对养殖生物生长的影响,一般以存活率、特定生长率或增质量率等作为衡量指标^[13-14]。养殖环境中盐度发生变化,养殖生物会增加能量的消耗,调节自身的渗透压维持体内环境的相对稳定。因此,盐度变化会对养殖生物的生长产生一定的影响。将刺参(*Apostichopus japonicus*)暴露在不同盐度梯度下,发现3.00%^[15]、3.15%^[16]和3.20%^[17]为刺参生长最适盐度。最适盐度的差异可能跟养殖环境状况和试验选取的试验样品的规格有关。刺参在等渗点处维持渗透压平衡消耗的能量最少,有利于提高生物能转化效率,生长速率达到最大。当盐度为2.6%,偏离刺参的等渗点时,其生长速度将减少50%以上^[18]。在其他养殖生物中同样存在类似的现象,如,暗纹东方鲀(*Takifugu obscurus*)^[19]、军曹鱼(*Rachycentron canadum*)^[14]、刀鲚(*Coilia nasus*)^[20]、脊尾白虾(*Exopalaem carinicauda*)^[21]、凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)^[22]等都表现出盐度高于或低于等渗点其生长率出现下降趋势。这是因为

盐度的变化导致养殖生物的渗透压调节器官发生了相应的变化。鳃是鱼类重要的渗透压调节器官,通过观察花鲈(*Lateolabrax maculatus*)暴露在不同盐度下的鳃丝结构,发现随着盐度的增加鳃丝宽度缩小^[23]。此外,鳃中 $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATP}$ 酶的活性发生改变,通过 ATP 的水解提供动能,并且,在等渗点处该酶的活性最低^[24]。综上,等渗状态是养殖生物的一种特殊生理状态,机体代谢耗能最少,有利于生长。

3.2 盐度对养殖生物非特异性免疫的影响

水产养殖生物的非特异性免疫在防御病原体侵入的过程中起到了重要的作用。其中,抗氧化系统发挥着重要的作用。通常以超氧化物歧化酶(SOD)、氧化氢酶(CAT)和碱性磷酸酶(AKP)等酶的活性反映机体的免疫水平^[25-26]。在养殖环境盐度发生变化时,会使养殖生物体内产生大量的超氧阴离子自由基(O_2^-),使养殖生物免疫受到损害。养殖生物体的 SOD 能够清除自由基(O_2^-),将其转化为 H_2O_2 ,之后被 CAT 等酶分解成水,恢复机体免疫^[27-30]。

尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)在急性盐度和慢性盐度胁迫下,盐度的升高对尼罗罗非鱼体内的 SOD、CAT 和 KAP 等活性产生一定抑制作用,并且当盐度高于 2.0% 时,会增加尼罗罗非鱼对无乳链球菌(*Streptococcus agalactiae*)的感染风险^[31]。其他的研究者发现,盐度降低会增加赤点石斑鱼(*E. coioides*)对溶藻弧菌(*V. alginolyticus*)的感染风险^[32]、盐度降低会增加浅纹鳗鲡(*Pangasianodon hypophthalmus*)对爱德华氏菌(*Edwardsiella ictaluri*)的感染风险^[33]。说明盐度变化会增加养殖生物的感染风险^[31]。但对于甲壳类动物,盐度在一定范围内的变化对其免疫酶活性有促进作用。李志辉等^[21]对脊尾白虾(*Exopalaemon carinicauda*)的研究发现,其肌肉组织 SOD 酶活性随盐度的增加而增强。李玉全等^[34]对脊尾白虾(*Exopalaemon carinicauda*)的研究发现,在盐度渐变过程中,SOD 酶活性随盐度的升高,先升高后下降。出现这样的情况,可能与试验环境的温度和试验对象的规格等因素有关。虽然,盐度变化对不同养殖生物的免疫酶活性的影响不同,但都能看出盐度的变化对其免疫系统具有一定的影响。因此,对养殖环境中盐度的调控,可以提高养殖生物的非特异性免疫,有利于提高养殖生物的存活率。

3.3 盐度对养殖生物生理状态的影响

水体盐度是影响养殖生物生理状态的重要环境因子之一,盐度发生变化时养殖生物通过渗透压的调节来响应这种环境变化^[35-36]。而养殖生物适应盐度变化的过程都会对其生理状态产生一定的影响。

3.3.1 盐度对养殖生物消化生理的影响 养殖生物的消化生理变化是以消化酶的活性为主要指标^[23]。养殖环境中盐度的变化会对消化酶的活性产生显著的影响^[37]。对消化酶的研究主要集中在蛋白酶、淀粉酶和脂肪酶^[38]。有研究发现,盐度对养殖生物体内消化酶的活性影响大致可以分为 3 种,激活、抑制和没有显著影响^[39]。如,在鱼类中,盐度突变组的鼠龙斑鱼(*Cromileptes altivelis* × *Epinephelus lanceolatus*)胃蛋白酶和脂肪酶活性呈现先上升后下降的变化,而淀粉酶一直处于下降趋势^[40]。在甲壳类中,凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)在不同盐度的养殖环境中,其蛋白酶、脂肪酶和淀粉酶活性随盐度升高不断降低^[41]。在棘皮动物中,刺参(*Apostichopus japonicus*)在 2.3% ~ 3.5% 的盐度水平下,盐度对其消化酶活性有显著影响^[42]。此外,温久福等^[43]对花鲈(*Lateolabrax maculatus*)幼鱼消化酶的研究发现,随着盐度的升高同样的酶在不同的组织中其酶活性变化是不同的。 α -淀粉酶在胃组织和幽门盲囊中的活性变化是截然相反的。出现这样的现象,有学者认为是海水中无机离子对酶作用的结果^[44];但也有学者认为是海水引起消化器官中 pH 变化导致的^[45]。因此,盐度对养殖生物的消化生理变化还需进一步深入研究。

3.3.2 盐度对养殖生物代谢生理的影响 盐度对养殖生物代谢的影响,主要以耗氧率、和排氮率或排氨率为指标。养殖生物对盐度变化所导致的代谢变化趋势大致可以分为 2 种。一种是随着盐度的升高其代谢变化趋势呈“U 型”,代谢在养殖生物等渗点处于最低点。另一种是随着盐度的升高其代谢呈倒“U 型”变化。

第一种变化趋势主要以狭盐性养殖生物为主,如云龙石斑鱼(*Epinephelus groupers*)幼鱼在盐度为 3.30% 时,其耗氧率和排氮率最低,当盐度高于或低于 3.3% 时耗氧率和排氮率升高^[46];在 2.20% ~ 3.60% 养殖环境中,不同规格的刺参(*Apostichopus japonicus*)都表现出排氮率先降低后升高的变化趋

势,在盐度为 3.15% 时其排氮率最低^[16]。广盐性养殖生物符合第二种变化趋势,如褐菖鲉(*Sebastes marmoratus*) 幼鱼,在 1.50% 和 2.00% 时耗氧率和排氮率分别达到最大值,之后呈下降趋势^[47];毛蚶(*Scapharca subcrenata*) 在 6 组不同盐度梯度下,其耗氧率和排氮率随着盐度的增加,呈现出先增加后降低的变化趋势,在盐度为 2.80% 时达到最大值^[48]。因此,在池塘养殖中可以根据养殖池塘水体盐度周年变化范围,选择最适盐度,在此范围内养殖生物可以获得更多的能量用于生长。

3.3.3 盐度对养殖生物生殖生理的影响 养殖生物生殖过程是一个需要消耗大量能量的过程。盐度高于或低于养殖生物的渗透压,都会减少用于生殖生理的能量。龙晓文等^[49] 研究发现,三疣梭子蟹(*Portunus trituberculatus*) 雌蟹在 1.0%~2.5% 盐度梯度中,高盐度有利于其性腺发育,这主要是因为高盐度接近雌蟹的等渗点盐度。卡拉白鱼(*Chalcalburnus chalcoides aralensis*) 的精子在盐度为 0~0.5% 时,随着盐度的增加精子寿命会延长,其中在 0.3% 时受精率最高^[50]。此外,盐度过高或过低会导致养殖生物孵化率和畸形率上升^[51-52]。因此,盐度变化对养殖生物生殖生理的影响不容忽视。

3.4 盐度对养殖生物行为的影响

池塘养殖生物在其生命全周期内,会面临着盐度、温度和溶氧等养殖环境的变化,这些养殖环境的变化都会对养殖生物行为产生影响^[53-55]。养殖生物面对盐度胁迫,会增加能量消耗,进而对正常的活动能力产生影响^[56-57],如对摄食和运动行为产生影响。

3.4.1 盐度对养殖生物摄食行为的影响 养殖环境中盐度的变化会对养殖生物能量消耗结构产生影响。在盐度突变的情况下,养殖生物体内需要消耗更多的能量来平衡渗透压的改变,进而对养殖生物摄食行为产生影响^[58]。

在设置的 0.7%~5.2% 10 个盐度梯度的试验中,条纹锯鲈(*Centropomus striata*) 仔鱼的摄食强度随盐度的增加先增强后减弱,在 3.2% 附近达到最大值^[59]。海洋青鲷鱼(*Oryzias melastigma*) 摄食速率随着盐度的升高,呈现出先增加后减少的趋势,其中在盐度为 2.5% 时达到最大,在盐度小于 3.5% 时雄鱼和雌鱼摄食速率有明显的差异^[60]。在甲壳类中,脊尾白虾(*Exopalaemon carinicauda*) 的摄食强度

随着盐度的升高,呈现出先升高后降低的趋势,盐度为 2.0% 和 3.0% 时其摄食行为正常^[61]。在不同盐度的对比试验中发现,随着盐度的升高,罗氏沼虾(*Macrobrachium rosenbergii*) 寻找食物的时间延长,但其摄食的时间却下降^[62]。

因此,通过盐度指标来预测养殖生物的摄食量,可以相对有效地减少饵料的浪费,避免养殖池塘底泥中有机质的积累导致水质恶化。此外,也可以通过改变养殖环境中的盐度,提高养殖生物的摄食率,进而促进养殖生物的生长。

3.4.2 盐度对养殖生物运动行为的影响 盐度变化对养殖生物运动能力的影响,是通过对其血浆离子浓度、渗透压和组织中水分的改变产生间接影响^[63-64]。

在鱼类中,随着盐度的升高,红鳍东方鲀(*Takifugu rubripes*) 幼鱼的最大游速呈现出先降低后升高的变化,在盐度为 2.0% 时达到最小值。其临界游速呈下降-上升-下降的变化,在盐度为 3.2% 时达到最大值,在 1.0% 和 4.0% 时为最小值^[65]。在甲壳类中,在设置的 2.0%~4.0% 5 个盐度梯度试验中发现,凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*) 的弹跳速度随着盐度的增加,呈现出先增加后减少的趋势。在盐度为 3.254% 时速度达到最大^[66]。这与姜令绪等^[61] 对脊尾白虾(*Exopalaemon carinicauda*) 的研究结果一致,其中盐度在 2.0% 和 3.0% 时其行为正常。在棘皮类中,刺参(*Apostichopus japonicus*) 在盐度为 3.2% 时活动最积极,在大于或小于该盐度时其活动均不活跃,并且在 2.3% 时几乎停止活动^[17]。

4 盐度对养殖生物品质的影响

养殖生物在达到商品规格上市时,其经济价值的高低很大程度上取决于养殖生物品质的优劣。随着人民生活水平的提高,人们越来越多地从营养价值和味觉上的鲜美度来综合评判养殖生物品质。有研究发现,野生黄鳝的呈味氨基酸与粗脂肪含量高于养殖的黄鳝,其咀嚼性同样也更好^[67];中华绒螯蟹在 11 月份食用滋味最佳^[68]。但盐度变化对养殖生物品质的影响同样不可忽略。

在鱼类中,吉富罗非鱼(*Oreochromis niloticus*) 在盐度为 1.8% 和 3.6% 中养殖与在淡水中养殖相比较发现,其肌肉内鲜味氨基酸含量与盐度呈正相关关系,并且盐度的升高,对其脂肪酸、单不饱和脂肪

酸和多不饱和脂肪酸含量均有提升作用,有助于提高其营养价值^[69]。分别在 0、1.5% 和 2.5% 盐度条件下养殖斑节对虾(*Penaeus monodon*),对其品质进行分析发现,低盐度下斑节对虾的鲜味最差,土腥味最重,随着盐度的增加其甜味提高而土腥味降低,并且盐度的增加会使其硬度、弹性和紧密度等都有所提升^[70]。戴习林等^[71]对凡纳滨对虾的研究也有类似的结果,随着盐度的增加鲜味氨基酸含量也随之增加,在盐度为 3.0% 时达到最大值随后呈下降趋势。中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)虽然是淡水养殖品种,但有研究发现,将雌性中华绒螯蟹在 0.8% 的盐度养殖环境中暂养 7~14 d,其肌肉主要由丙氨酸、甘氨酸、精氨酸和脯氨酸等 4 种游离氨基酸构成,甜味氨基酸含量占 50% 以上,鲜味氨基酸含量随暂养时间延长而增加^[72]。由此可见,盐度变化不仅对海水养殖品种的品质产生影响,而且对淡水养殖品种的品质具有一定的提升作用。因此,对养殖环境中的盐度精准化调控有助于提升养殖水产品的品质,增加养殖户的经济收益。

5 研究展望

盐度是池塘养殖的重要参数之一,不仅对养殖水体环境产生影响,而且会对养殖生物产生影响,这使其在池塘养殖中备受关注。目前,由于池塘养殖管理方式相对粗犷,主要依靠人工测量取得相关的盐度数据。这造成池塘数据的获得缺乏连续性,数据采集位置随机,不具有全面性,无法通过采集的数据进行预测,无法对实际池塘生产管理进行科学的指导。

(1) 养殖池塘水体盐度数据采集智能化。随着网络技术的不断发展,可以在养殖池塘水体多个水层,布置盐度传感器采集相应水层的盐度数据,通过网络实时传送到后台。这样可以有效地降低人工测量强度,节约人力资本。采集的数据可以与往年的数据对比,进行盐度变化趋势预报,为实际生产提供参考。

(2) 养殖池塘水体盐度分层的预警。通过现有的观测手段,很难及时发现养殖池塘的盐度分层。大多数时候都是凭借养殖管理人员的经验,或养殖生物的反应等现象进行判断,进而采取相应的补救措施,但此时往往已经给养殖生物造成了损伤。因此,借助多水层盐度传感器实时数据采集、实现数据

的网络传输以及采用相应软件对数据进行处理,预判盐度分层的发生,可以及时做出应对措施。

(3) 养殖池塘水体去盐度分层设备研发。目前,养殖池塘水体去盐度分层设备主要是以曝气的形式,其在实际使用过程中暴露出一些问题,加之使用不规范,实际去水体盐度分层的效果并不理想。因此,研发操作相对简单的养殖池塘去水体盐度分层的设备十分必要。

参考文献:

- [1] 农业农村部渔业渔政管理局. 中国渔业统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2020.
- [2] 王玉琦, 林霄沛. 东中国海 1976–1996 年上层海洋盐度变化趋势及机制初步探讨[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2018, 48(11): 11–18.
- [3] 吕翠兰. 渤海和北黄海盐度的年代际变化特征及其对环流结构的影响[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2008.
- [4] 徐江玲. 渤海盐度的变化特征及其成因分析[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2007.
- [5] 冯士琚, 李凤岐, 李少菁. 海洋科学导论[M]. 北京: 高等教育出版社, 1999.
- [6] MILLERO F J. 化学海洋学[M]. 广州: 中山大学出版社, 2019.
- [7] 包万友, 刘喜民, 张 昊. 盐度定义狭义性与广义性[J]. 海洋学报(中文版), 2001(2): 52–56.
- [8] 雷衍之. 养殖水环境化学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2004.
- [9] 余锦兰, 夏建荣, 邹永东. 小新月菱形藻碳酸酐酶活性和光合作用对高盐度胁迫的响应[J]. 水产学报, 2011, 35(4): 515–523.
- [10] 郭赣林, 徐 静, 赵艳景, 等. 盐度变化对黑藻生长和光合作用的影响[J]. 淮海工学院学报(自然科学版), 2010, 19(4): 83–86.
- [11] 谢国樑, 卢其明, 魏小铎, 等. 咸潮对重污染底泥中重金属释放的影响[J]. 水土保持学报, 2009, 23(1): 137–140.
- [12] 吕 杰, 李畅游, 贾克力, 等. 乌梁素海盐度变化对沉积物重金属有效性的影响[J]. 生态环境学报, 2017, 26(9): 1547–1553.
- [13] 曹丹煜, 刘付柏, 张 野, 等. 军曹鱼幼鱼盐度适应性研究[J]. 暨南大学学报(自然科学与医学版), 2020, 41(3): 283–288.
- [14] 张世勇, 邵俊杰, 陈校辉, 等. 盐度对斑点叉尾鲷幼鱼生长性能、肌肉持水力和营养组成的影响[J]. 生物学杂志, 2018, 35(3): 57–61.
- [15] 王国利, 祝文兴, 李兆智, 等. 温度与盐度对刺参(*Apostichopus japonicus*)生长的影响[J]. 山东科学, 2007(3): 6–9.
- [16] 袁秀堂, 杨红生, 周 毅, 等. 盐度对刺参(*Apostichopus japonicus*)呼吸和排泄的影响[J]. 海洋与湖沼, 2006, 37(4): 348–354.
- [17] 陈 勇, 高 峰, 刘国山, 等. 温度、盐度和光照周期对刺参生长及行为的影响[J]. 水产学报, 2007(5): 687–691.

- [18] 王吉桥,张筱墀,姜玉声,等. 盐度骤降对幼仿刺参生长、免疫指标及呼吸树组织结构的影响[J]. 大连水产学院学报,2009, 24(5): 387-392.
- [19] 边平江,邱成功,徐善良,等. 盐度对暗纹东方鲀生长、非特异性免疫和抗氧化酶活力的影响[J]. 水生生物学报,2014, 38(1): 108-114.
- [20] 鲜博,高建操,徐钢春,等. 盐度对刀鲚生长、抗氧化应激和渗透压调节能力的影响[J]. 海洋湖沼通报,2020(2): 152-159.
- [21] 李志辉,王玉,李光光,等. 温度和盐度对脊尾白虾生长和非特异性免疫的影响[J]. 海洋湖沼通报,2019(6): 78-82.
- [22] 董甜甜,崔彦婷,王忠凯,等. 高盐胁迫对凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)生长、代谢和抗氧化酶活力的影响[J]. 海洋与湖沼,2020, 51(5): 1239-1245.
- [23] 温久福,蓝军南,曹明,等. 盐度对花鲈幼鱼鳃、脾及肌肉组织结构的影响[J]. 渔业科学进展,2020,41(1): 112-118.
- [24] 张晓燕,温海深,张凯强,等. 花鲈等渗点分析及海水淡化对 $\text{Na}^+/\text{K}^+/\text{Cl}^-$ 度、 Na^+-K^+ -ATP酶活性及基因表达的影响[J]. 水产学报,2018,42(8): 1199-1208.
- [25] 陈家长,臧学磊,孟顺龙,等. 亚硝酸盐氮胁迫对罗非鱼(*GIFT Oreochromis niloticus*)血清非特异性免疫酶活性的影响[J]. 生态环境学报,2012,21(5): 897-901.
- [26] JIA X, DING S, WANG F, et al. A comparative study on the non-specific immunity of juvenile *Litopenaeus vannamei* ever inhabiting freshwater and seawater[J]. Journal of Ocean University of China, 2014,13(3): 472-478.
- [27] SCHIEBER M, CHANDEL N S. ROS function in redox signaling and oxidative stress[J]. Current biology: CB., 2014, 24(10): 453-462.
- [28] SINHA A K, ABDELGAWAD H, ZINTA G, et al. Nutritional status as the key modulator of antioxidant responses induced by high environmental ammonia and salinity stress in European Sea Bass (*Dicentrarchus labrax*) [J]. PLoS One, 2015, 10(8): e0135091.
- [29] SUI Y M, HUANG X Z, KONG H, et al. Physiological responses to salinity increase in blood parrotfish (*Cichlasoma synspilum* × *Cichlasoma citrinellum*) [J]. Springer Plus, 2016, 5(1): 1246.
- [30] 胡益鸣,李琪,刘士凯,等. 温度和盐度急性胁迫对岩牡蛎存活及免疫指标的影响[J]. 中国水产科学,2020, 27(3): 286-294.
- [31] 蔡然,陈立敏,辛颖,等. 盐度胁迫对尼罗罗非鱼免疫相关指标的影响[J]. 水产学报,2020, 44(6): 978-986.
- [32] CHEN Y Y, CHENG A C, CHENG S A, et al. Orange-spotted grouper *Epinephelus coioides* that have encountered low salinity stress have decreased cellular and humoral immune reactions and increased susceptibility to *Vibrio alginolyticus* [J]. Fish and Shellfish Immunology, 2018, 80: 392-396.
- [33] SCHMITZ M, ZIV T, ADMON A, et al. Salinity stress, enhancing basal and induced immune responses in striped catfish *Pangasianodon hypophthalmus* (Sauvage) [J]. Journal of Proteomics, 2017, 167: 12-24.
- [34] 李玉全,李永生,赵法箴. 盐度渐变与骤变对脊尾白虾渗透、代谢及免疫相关酶活力的影响[J]. 生态学报,2015, 35(21): 7229-7235.
- [35] LONG X W, WU X G, ZHAO L, et al. Effects of salinity on gonadal development, osmoregulation and metabolism of adult male Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis* [J]. PLoS One, 2017, 12(6): e0179036.
- [36] 孔杰,栾生,罗坤,等. 不同盐度下凡纳滨对虾生长和存活性状遗传评估[J]. 水产学报,2017, 41(4): 573-579.
- [37] 欧志联. 鱼类消化酶研究及其在水产养殖中的应用[J]. 江西水产科技,2018(3): 27-28.
- [38] 黄丽聪. 硬骨鱼类对盐度变化的适应及其渗透压调节机制的研究进展[J]. 科技创新导报,2016,13(9): 87-88.
- [39] MOUTOU K A, PANAGIOTAKI P, MAMURIS Z. Effects of salinity on digestive protease activity in the euryhaline sparid *Sparus aurata* L.: a preliminary study [J]. Aquaculture Research, 2004, 35(9): 912-914.
- [40] 刘玲,陈超,李炎璐,等. 短期温度胁迫对驼背鲈×鞍带石斑鱼杂交子代幼鱼抗氧化及消化酶活性的影响[J]. 渔业科学进展,2018, 39(2): 59-66.
- [41] 李娜,赵玉超,王仁杰,等. 高盐胁迫对凡纳滨对虾消化及免疫相关酶活力的影响[J]. 生态学报,2018, 38(4): 1411-1417.
- [42] 李刚,唐学玺,窦勇,等. 盐度对刺参(*Apostichopus japonicus*)消化酶活力的影响[J]. 海洋环境科学,2011, 30(1): 61-63.
- [43] 温久福,蓝军南,周慧,等. 盐度对花鲈幼鱼消化酶和抗氧化系统的影响[J]. 动物学杂志,2019,54(5): 719-726.
- [44] 田相利,任晓伟,董双林,等. 温度和盐度对半滑舌鳎幼鱼消化酶活性的影响[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版),2008,38(6): 895-901.
- [45] 汤保贵,陈刚,张健东,等. pH、底物浓度及暂养盐度对红鳍鲢消化道淀粉酶活力的影响[J]. 动物学杂志,2004(2): 70-73.
- [46] 邢道超,宋协法,彭磊,等. 温度与盐度对云龙石斑鱼幼鱼耗氧率和排氨率的影响[J]. 渔业现代化,2017, 44(3): 7-14.
- [47] 严银龙,袁新程,施永海,等. 盐度对褐菖鲉幼鱼生长、耗氧率和排氨率的影响[J]. 大连海洋大学学报,2019, 34(4): 545-551.
- [48] 王冲,孙同秋,王玉清,等. 温度和盐度对毛蚶耗氧率和排氨率的影响[J]. 海洋湖沼通报,2018(1): 111-115.
- [49] 龙晓文,吴仁福,侯文杰,等. 水体盐度对雌性三疣梭子蟹生长、卵巢发育、渗透压调节、代谢和抗氧化能力的影响[J]. 水产学报,2019, 43(8): 1768-1780.
- [50] 王信海,姜爱兰,蔺玉华,等. 不同盐度和碱度对卡拉白鱼精子活力和受精率的影响[J]. 江西农业学报,2020, 32(5): 93-98.
- [51] 徐永江,柳学周,马爱军,等. 半滑舌鳎胚胎发育及仔鱼生长与盐度的关系[J]. 海洋科学,2005,29(11): 39-43.
- [52] 赵玉超,王仁杰,沈敏,等. 高盐和温度对凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)生长、代谢和免疫相关酶活力的影响[J]. 生态学报,2018, 38(4): 1411-1417.

- naeus vannamei*) 受精卵孵化及幼体发育的影响[J]. 海洋与湖沼, 2019, 50(2): 347-354.
- [53] CLAIREAUX, WEBBER, KERR, et al. Physiology and behaviour or free-swimming Atlantic cod (*Gadus morhua*) facing fluctuating temperature conditions[J]. Journal of Experimental Biology, 1995, 198(1): 49-60.
- [54] WEI L Z, ZHANG X M, JIAN L, et al. Compensatory growth of Chinese shrimp, *Fenneropenaeus chinensis* following hypoxic exposure[J]. Aquaculture International, 2008, 16(5): 455-470.
- [55] CLAIREAUX G, DUTIL J D. Physiological response of the Atlantic cod (*Gadus morhua*) to hypoxia at various environmental salinities [J]. Journal of Experimental Biology, 1992, 163: 97-118.
- [56] SAUNDERS R L. Respiration of the Atlantic cod[J]. Ann Arbor Michigan Umi Dissertation Services, 1963, 20(2): 373-386.
- [57] NELSON J A, TANG Y, BOUTILIER R G. The effects of salinity change on the exercise performance of two Atlantic cod (*Gadus morhua*) populations inhabiting different environments[J]. Journal of Experimental Biology, 1996, 199(6): 1295-1309.
- [58] 刘海映, 张 嵩, 邢 坤, 等. 盐度对口虾蛄仔虾摄食、存活和掘穴的影响[J]. 海洋科学, 2016, 40(11): 121-128.
- [59] 张春禄, 陈 超, 李炎璐, 等. 盐度对条纹锯鲷(*Centropristis striata*) 仔鱼的活力、开口、摄食的影响[J]. 渔业科学进展, 2017, 38(2): 77-82.
- [60] 王润萍, 戴铃灵, 陈雅飞, 等. 短期温度、盐度胁迫对海洋青鲈鱼(*Oryzias melastigma*) 摄食行为及抗氧化的影响[J]. 海洋与湖沼, 2019, 50(2): 378-387.
- [61] 姜令绪, 王仁杰, 周 莉, 等. 脊尾白虾在不同盐度条件下的行为变化[J]. 南方农业学报, 2011, 42(12): 1564-1567.
- [62] 何竺柳, 王如鹁, VICTOR H, 等. 低盐度胁迫对罗氏沼虾行为的影响[J]. 浙江海洋大学学报(自然科学版), 2018, 37(1): 20-24.
- [63] BRAUNER C J, SHRIMPSON J M, RANDALL D J. Effect of short-duration seawater exposure on plasma ion concentrations and swimming performance in Coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) parr [J]. Journal Canadien Des Sciences Halieutiques Et Aquatiques, 1992, 49(11): 2399-2405.
- [64] MCKENZIE D J, CATALDI E, ROMANO P, et al. Effects of acclimation to brackish water on tolerance of salinity challenge by young-of-the-year Adriatic sturgeon (*Acipenser naccarii*) [J]. Canadian Journal of Fisheries & Aquatic Sciences, 2001, 58(6): 1113-1121.
- [65] 于晓明, 崔闻达, 陈 雷, 等. 水温、盐度和溶氧对红鳍东方鲀幼鱼游泳能力的影响[J]. 中国水产科学, 2017, 24(3): 543-549.
- [66] 段 妍. 凡纳滨对虾游泳行为生理生态学实验研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2012.
- [67] 吴秀林, 丁炜东, 曹哲明, 等. 三种体色野生黄鳝肌肉营养成分的分析[J]. 食品工业科技, 2016, 37(1): 351-355.
- [68] 赵 樑, 吴 娜, 王锡昌, 等. 不同生长阶段下中华绒螯蟹滋味成分差异研究[J]. 现代食品科技, 2016, 32(7): 261-269.
- [69] 郭 振, 梁拥军, 杨 广. 改变水体盐度对吉富罗非鱼肌肉营养和呈味的影响[J]. 淡水渔业, 2014, 44(4): 77-82.
- [70] 周 伟, 王 洋, 孙学亮, 等. 养殖盐度对斑节对虾肌肉品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(22): 7-14.
- [71] 戴习林, 张立田, 臧维玲, 等. Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、盐度对凡纳滨对虾存活、生长及风味的影响[J]. 水产学报, 2012, 36(6): 914-921.
- [72] 王丹青, 张 龙, 吴旭干, 等. 8‰低盐度海水暂养对中华绒螯蟹雌蟹肌肉滋味品质的影响[J]. 食品工业科技, 2018, 39(5): 1-6.

(责任编辑: 陈海霞)