

三种盐度对叶硝水母不同阶段生长和消化酶活性的影响

杨翠华, 张安琪, 江玉立, 齐继光

(青岛海洋科技馆, 山东 青岛 266003)

摘要: 盐度是影响水母生长、繁殖和家庭饲养的重要因素, 全球变暖、海水温度上升、极端天气和气候异常已被证明会影响盐度。本研究为探讨叶硝水母(*Phyllorhiza chinensis*)对盐度的应激响应机制, 设置 12、22 和 32 共 3 个盐度梯度, 对钵状体、育成体和成体的生长和消化酶活性进行了检测和分析。结果显示人工条件下盐度可引起叶硝水母生活史各阶段生长和消化生理的变化, 在 3 种盐度条件下钵状体均能正常存活和无性繁殖, 体内 4 种消化酶活性均极显著高于育成体和成体($P < 0.01$), 说明钵状体对外界盐度变化表现出较强的适应性, 其细胞的渗透调节能力较强, 可进一步人工淡水驯化。盐度 12 有利于育成体和成体的进一步淡化, 可作为内陆水族馆和家庭观赏水母用钵状体的保种盐度。盐度 22 叶硝水母无性繁殖、生长和活力状态较好, 4 种消化酶活力最高, 可作为人工饲养的适宜盐度。各盐度组 3 个生长阶段胃蛋白酶含量均最高, 说明该水母对蛋白质具有较强的消化能力, 试验结果为叶硝水母饵料的调整、解析对环境的应激和适应机制及商业养殖开发提供理论依据。

关键词: 叶硝水母(*Phyllorhiza chinensis*); 盐度; 消化酶; 钵状体; 水母体

中图分类号: Q959.132.2 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2023)3-0097-09

DOI: 10.11759/hyxx20211116003

盐度是水生动物生活环境中重要的理化因子, 盐度的变化会导致动物产生不同程度的应激反应, 引发机体一系列生理变化进而影响内环境的稳定。除了生活在等渗环境中, 盐度对水生生物产生的影响首先是对其渗透压的胁迫。目前国内外盐度对水生生物的影响研究主要集中在鱼、虾、贝等海洋动物^[1-4], 未见对水母生长和消化酶活性影响机制方面的报道。鱼类渗透压的主动调节过程需要肝脏和肾脏等器官的参与, 消耗大量的能量, 从而影响鱼类消化生理活动。鱼类对营养物质的消化吸收需要消化酶的参与, 酶活性的高低可以反映鱼类消化吸收能力^[5], 鱼类赖以生存水体中的盐度能够影响其消化器官中消化酶活性, 最终影响鱼类对食物的消化吸收^[6]。胃蛋白酶由胃部主细胞分泌的胃蛋白酶原激活产生, 可以将食物中的蛋白质分解为小的肽片段或者氨基酸, 纤维素酶是一组能够降解纤维素生成葡萄糖的酶的总称, 有的动物能自身分泌纤维素酶, 有的动物是以消化系统共生生物分泌的纤维素酶来消化纤维素。脂肪酶存在于消化系统的多个部位主要通过消化分解脂肪为机体运动提供能量, 淀粉酶活性的大小与生物的食性有很大的关系^[7-8]。在水母养殖过程中, 水体盐度改变常引起多种生理应激反

应, 盐度主要通过渗透调节影响水母的新陈代谢等生理活动和各项生理机能。渗透压调节相关蛋白及 NKA 酶活性在海月水母(*Aurelia coerulea*)钵状体横裂前期基本保持稳定, 在横裂间期和横裂期显著上升^[9]。盐度能显著影响沙蜚(*Nemopilema nomurai*)有性繁殖阶段的早期发育, 进而影响沙蜚对其钵状体种群数量的补充^[10]。

叶硝水母(*Phyllorhiza chinensis*)隶属于刺细胞动物门(Cnidaria)、钵水母纲(Scyphozoa)、根口水母目(Rhizostomeae)、硝水母科(Mastigiidae)、叶硝水母属(*Phyllorhiza*), 目前世界范围内记录的叶硝水母属有产于澳大利亚的澳洲斑点水母(*Phyllorhiza punctata*)和产于中国南海的叶硝水母两种^[11-13]。叶硝水母具有外观优雅、生长速度较快、养殖产量高等优点, 适宜于人工繁育和观赏饲养, 已成为中国水母的主要养殖品种之一。但叶硝水母繁育及养殖技术研究在中国刚

收稿日期: 2021-11-16; 修回日期: 2022-01-14

基金项目: 青岛市南区科技发展资金项目(2018-4-011-ZH)

[Foundation: Science and Technology Development Project of Qingdao Shinan District, No. 2018-4-011-ZH]

作者简介: 杨翠华(1978—), 女, 山东寿光人, 高级工程师, 博士, 主要从事观赏性海洋动物繁育研究, E-mail: ycuihua@hotmail.com; 齐继光(1968—), 通信作者, E-mail: qjgl11@vip.sohu.com

刚起步,有关养殖生物学方面的研究很少,尚未见其环境适应机理方面的报道。本研究以叶硝水母为材料,通过检测和分析3种盐度对螅状体无性繁殖率和胃蛋白酶、纤维素酶、脂肪酶和淀粉酶活性及幼体和成体的生长速度和消化酶活性影响,研究不同盐度条件下叶硝水母各个阶段的生长发育,为深入认识该水母对环境的应激和适应机制提供基础资料,为水母的人工淡化饲养和饵料调整提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

试验用动物为2021年在青岛海洋科技馆繁育的螅状体和水母体。低盐度螅状体在稳定盐度条件下饲养3个月以上,水母体由同盐度螅状体分裂产生,试验期间水温22~24℃,每天投喂孵化24h的卤虫(*Artemia*)无节幼体。低盐度组采用自然海水(盐度32)加曝气24h的自来水调节。

1.2 试验方法

1.2.1 螅状体的无性增殖能力

随机裁剪聚乙烯波纹板上的10个螅状体,饲养于(23±1)℃恒温箱内的1L烧杯中,每天换水时计数已附着的新增螅状体、水中胞芽和分裂碟状体的数量,同时清除聚乙烯波纹板上新附着的螅状体。饲养30d,计算单个螅状体每天的增殖速度和横裂能力。

$$\text{增殖速度} = \frac{\text{新增附着螅状体数} + \text{游离胞芽数}}{10}$$

$$\text{横裂能力} = \frac{\text{分裂碟状体数量}}{10}$$

1.2.2 育成体和成体的培育

3种盐度人工饲养的螅状体,同时饲养在(23±1)℃的恒温培养箱内,收集两天内分裂的碟状体100只,移入同等盐度的气泡带动水流的水浴缸内,饲养15d,计数水母总数,随机测定30只育成体的伞直径、体质量,同时制备组织上清液。剩余育成体移入水泵带动水流的循环缸内,饲养25d,计数水母总数,随机测定40日龄成体的伞直径、体质量,并制备组织上清液。

$$\text{存活率} = \frac{\text{现有水母数量}}{\text{移入水母数量}} \times 100\%$$

1.2.3 消化酶样品制备及检测

螅状体取整只,实验前饥饿处理48h,试验时各盐度随机选取螅状体300只,随机分为6组,用灭

菌海水清洗,吸干多余水分,冰浴研磨。

随机捞取育成体30只,分为6组,剔除水母的伞盖和口腕,保留胃囊内容物和下伞面的胃囊外壁,每5只样品组织为一组,混合后放入研磨管内冰浴研磨。

随机捞取成体30只,剔除水母的伞盖和口腕,保留胃囊内容物和下伞面的胃囊外壁,放入研磨管内冰浴研磨。组织研磨液5000 r/min离心5 min,取上清液备用。

1.2.4 使用试剂及仪器

使用上海纪宁实业有限公司生产的昆虫胃蛋白酶ELISA检测试剂盒、昆虫纤维素酶ELISA检测试剂盒、昆虫脂肪酶ELISA检测试剂盒与昆虫淀粉酶ELISA检测试剂盒对样品进行处理,使用HBS-1096A酶标仪检测450 nm吸光度,根据标准曲线计算每毫升或每升样品中的消化酶活性。

1.3 数据分析统计

使用SPSS19.0软件的单因素方差分析(One-way ANOVA)和Duncan's多重比较进行分析和处理。图表数据均表示为平均值±标准差(Mean±SD)。T-test检验方法分析,取 $P < 0.05$ 为差异显著标准, $P < 0.01$ 为极显著差异标准。

2 结果

2.1 盐度对螅状体无性增殖能力的影响

叶硝水母螅状体在3种盐度条件下均能生长和无性繁育(表1),产生的碟状体健康无畸形。盐度32螅状体增殖速度最快,在23℃能产生最多的胞芽,从而繁育更多的螅状体。盐度22时螅状体具有最强的横裂能力,每个螅状体每天能产生0.55个碟状体,极显著高于盐度12组0.12个($P < 0.01$),但与自然海水组相比,差异不显著($P > 0.05$)。

表1 3种盐度条件下单个螅状体的无性增殖能力
Tab. 1 Asexual reproduction capacity of each polyp under three salinity conditions

繁殖能力	盐度 12	盐度 22	盐度 32
增殖速度/个	0.82±0.16 ^a	1.02±0.33 ^b	1.09±0.11 ^b
分裂碟状体数量/个	0.12±0.04 ^a	0.55±0.17 ^B	0.41±0.19 ^B

注:肩标字母相同表示差异不显著($P > 0.05$),小写字母表示差异显著($P < 0.05$),大写字母表示差异极显著($P < 0.01$),下表同

2.2 盐度对育成体和成体生长的影响

叶硝水母育成体在12、22、32盐度条件下均能

健康生长(表 2), 成活率分别为 92%、100%和 100%。水母在盐度 12 条件下伞直径增长最快, 15 日龄可达 23.16 mm, 但是体色较盐度 22 和 32 浅、口腕更短、体型更加扁平(图 1—图 3), 因此盐度 12 组虽然水母伞直径显著高于盐度 22 组($P<0.05$), 极显著高于盐度 32 组($P<0.01$), 但三者体质量无显著差异($P>0.05$)。

表 2 盐度对水母育成体的生长影响

Tab. 2 Effects of salinity on the growth of juveniles

生长	伞直径/mm	体质量/g	成活率/%
盐度 12	23.16±1.73 ^a	6.34±1.41 ^a	92
盐度 22	21.45±1.81 ^b	7.07±1.13 ^a	100
盐度 32	18.29±1.67 ^B	5.72±1.36 ^a	100



图 1 盐度 12 叶硝水母育成体
Fig. 1 Juveniles in salinity 12



图 2 盐度 22 叶硝水母育成体
Fig. 2 Juveniles in salinity 22

叶硝水母成体在盐度 12、22 和 32 的成活率分别为 79.0%、94.3%和 91.4%(表 3)。水母在盐度 22 条件下伞直径和体质量增长最快, 40 日龄两者分别为 95.89 mm 和 172.30 g, 并且体色和活力最好, 伞直径显著高于盐度 12 和 32 组($P<0.05$), 体质量极显著高于盐度 12 和 32 组($P<0.01$)。盐度 12 组水母较



图 3 盐度 32 叶硝水母育成体
Fig. 3 Juveniles in salinity 32

表 3 盐度对水母成体的生长影响

Tab. 3 Effects of salinity on the growth of adults

生长	伞直径/mm	体质量/g	成活率/%
盐度 12	83.43±5.48 ^a	126.80±21.65 ^a	79.0
盐度 22	95.89±8.12 ^b	172.30±16.24 ^B	94.3
盐度 32	81.20±6.38 ^a	121.55±13.73 ^a	91.4

盐度 32 组生长更快, 外伞刺胞囊更少, 但随着日龄增加, 两者形态差异变小, 40 日龄时伞径和体质量差异均不显著($P>0.05$)。

2.3 盐度对 3 个阶段叶硝水母胃消化酶活性的影响

本试验采用双抗体一步夹心法酶联免疫吸附试验(表 4), 标准品线性回归与浓度相关系数 $R^2=0.9999$, 得到标准品线性回归二项式曲线 $y=220.28x^2+584.89x-42.341$ 。叶硝水母螅状体的胃蛋白酶活性高于育成体和成体, 3 种形态不同盐度组间差异均极显著($P<0.01$), 其中螅状体盐度 22 组最高, 为 830.41 U/mL。随着水母的成长, 单位体积内胃蛋白酶的活性逐渐降低, 成体盐度 32 组仅为 20.52 U/mL。

表 4 盐度对 3 个阶段叶硝水母胃蛋白酶活性的影响(单位: U/mL)

Tab. 4 Effects of salinity on pepsin activity in three stages (unit: U/mL)

盐度/‰	螅状体	育成体	成体
12	487.56±34.68 ^A	75.33.64±5.43 ^A	43.22±6.91 ^A
22	830.41±41.16 ^B	174.37±8.57 ^B	64.50±9.82 ^B
32	186.17±33.21 ^C	37.42±3.22 ^C	20.52±7.16 ^C

2.4 盐度对 3 个阶段叶硝水母纤维素酶活性的影响

本试验标准品线性回归与浓度相关系数 $R^2=$

0.999 9, 得到标准品线性回归二项式曲线 $y=154.67x^2+432.36x-25.123$ 。叶硝水母螅状体的纤维素酶活性高于育成体和成体, 随着日龄增长, 纤维素酶活性在不同盐度组间的差异变小(表 5)。盐度对螅状体纤维素酶活性的影响最大, 各组间差异均极显著($P<0.01$)。成体各盐度组间差异变小, 口腕部位单位体积内盐度 12 组的纤维素酶活力最小, 仅为 13.63 U/L, 低于盐度 32 组, 并极显著低于盐度 22 组($P<0.01$)。纤维素酶活力与胃蛋白酶活性类似, 纤维素酶活性最高出现在螅状体盐度 22 组, 为 928.75 U/L, 远高于盐度 32 组。

表 5 盐度对 3 个阶段叶硝水母纤维素酶活性的影响(单位: U/L)

Tab. 5 Effects of salinity on cellulase activity in three stages (unit: U/L)

盐度/%	螅状体	育成体	成体
12	501.41±44.87 ^A	44.52±5.63 ^a	13.63±2.17 ^a
22	928.75±38.45 ^B	61.99±3.26 ^B	24.62±3.21 ^B
32	98.006±18.917 ^C	34.377±5.227 ^C	17.194±4.786 ^{ab}

2.5 盐度对 3 个阶段叶硝水母脂肪酶活性的影响

本试验标准品线性回归与浓度相关系数 $R^2=0.999 1$, 得到标准品线性回归二项式曲线 $y=89.852x^2+697.94x-58.809$ 。叶硝水母各盐度组脂肪酶活性均是螅状体最高, 其次为育成体, 而成体单位体积内浓度最低(表 6)。最高出现在螅状体盐度 22 组, 为 1 478.39 U/L, 最低出现在成体盐度 32 组, 为 7.14 U/L。除成体盐度 12 和 22 组间差异不显著外($P>0.05$), 其余各组间差异均极显著($P<0.01$)。

表 6 盐度对 3 个阶段叶硝水母脂肪酶活性的影响(单位: U/L)

Tab. 6 Effects of salinity on lipase activity in three stages (unit: U/L)

盐度/%	螅状体	育成体	成体
12	707.97±135.68 ^A	58.13±15.67 ^A	13.13±2.45 ^a
22	1478.39±285.81 ^B	86.31±23.17 ^B	14.49±3.97 ^a
32	433.196±188.908 ^C	38.453±13.909 ^C	7.14±4.42 ^C

2.6 盐度对 3 个阶段叶硝水母淀粉酶活性的影响

本试验标准品线性回归与浓度相关系数 $R^2=0.999 6$, 得到标准品线性回归二项式曲线 $y=265.17x^2+393.67x-34.483$ 。叶硝水母淀粉酶活性在 3 种形态,

均为盐度 22 组最高, 其中螅状体淀粉酶活性为 609.64 U/L(表 7)。淀粉酶活性与纤维素酶表现趋势类似, 在螅状体和育成体盐度 12 组极显著高于盐度 32 组, 但成体淀粉酶活性盐度 32 组略高于盐度 12 组。螅状体和育成体组内混合多个个体, 各组内数据差异小, 符合正态分布, 而成体酶活性均来自于单个个体, 淀粉酶活性在盐度 32 组出现较大波动, 标准差大于平均值, 可能与个体差异和淀粉酶活性低有关。

表 7 盐度对 3 个阶段叶硝水母淀粉酶活性的影响(单位: U/L)

Tab. 7 Effects of salinity on amylase activity in three stages (unit: U/L)

盐度/%	螅状体	育成体	成体
12	346.07±17.06 ^A	16.89±1.73 ^A	3.15±1.85 ^a
22	609.64±21.33 ^B	26.81±2.93 ^B	4.38±1.47 ^a
32	72.89±7.34 ^C	7.50±2.68 ^C	3.38±6.851 ^a

3 讨论

3.1 盐度对叶硝水母 3 个阶段生长的影响

盐度是影响水生动物生长、代谢等各种生理活动的重要环境因素, 其变化能迫使机体自身通过一系列生理变化, 来调整体内渗透压的动态平衡, 致使其生长、存活与摄食、呼吸代谢、酶和激素水平与发育等相关生理指标产生相应变化。盐度对鱼类生态、生理作用的直接效应是引起有渗透调节能力的鱼体进行渗透压的调节, 而无渗透调节能力的鱼体表现为不适、麻醉、昏迷或死亡, 间接影响则表现为对鱼体与环境间物质交换与能量流动的影响^[13]。在低盐或高盐度水体中, 对虾需要消耗体内储存的能量以维持机体的离子浓度和渗透压水平, 因此对虾的生理代谢或能量供给在低盐水体中受到抑制, 有可能导致生长率及存活率下降^[14]。在盐度 16~24 范围内, 刺参特定生长率随盐度升高而增大^[15]。

盐度会直接影响水母的渗透压调节, 在水母的生长发育过程中起重要作用。研究表明低盐条件有利于海月水母浮浪幼虫的附着、变态以及螅状体无性繁殖^[16], 在盐度 18~33 范围内, 盐度越低, 海月水母浮浪幼虫的存活时间越长, 浮浪幼虫变态成螅状体的数量越高^[17-18]。本试验螅状体经长时间低盐度驯化, 螅状体在 3 种盐度条件下采食正常, 并能进行无性繁殖和横裂, 说明本试验条件能满足叶硝水母的生长繁育。盐度 32 组螅状体增殖最多, 盐度 22 组

螅状体具有最强的横裂能力,可见 22~32 均为叶硝水母螅状体正常生长的适宜盐度环境,水母螅状体对外界盐度变化表现出较强的适应性,其细胞的渗透调节能力较强,能进一步人工淡水驯化。盐度 12 组能横裂产生碟状体,碟状体在相同盐度下生长最快,15 日龄育成体伞直径可达 23.16 mm,随着日龄增长,盐度 22 组伞直径和体质量增长最快,体色和活力最好。叶硝水母对不同盐度的适应及不同盐度下生长速度的差异,可能与其机体代谢、离子转运及能量合成能力有关。

3.2 盐度对叶硝水母 3 种形态消化酶活性的影响

消化酶是由消化系统分泌的具有消化作用的酶类,不同消化酶在不同消化器官中分布不均,它主要通过消化分解食物为动物运动、生长和繁育提供能量。除与动物种类相关外,消化酶的活性与食物、温度、盐度及投喂方式等外界因素密切相关。盐度变化会导致水体无机离子含量的变化,进而影响到消化酶活性。盐度对鱼类蛋白酶、淀粉酶和脂肪酶等活性影响显著^[19-21]。在盐度 16~24 范围内,刺参消化道内蛋白酶、淀粉酶、脂肪酶活性变化趋势一致,随盐度的升高而升高,当盐度高于 24 时 3 种消化酶活性随盐度升高而降低^[15]。盐度 25~35 单环刺螠 (*Urechis unicinctus*) 肠蛋白酶、淀粉酶、纤维素酶和脂肪酶活力较高,而低盐度 15~20 消化酶活力和免疫能力明显降低^[4]。

维持正常的生理代谢水平在水母适应盐度变化的过程中发挥着重要作用,当水母体液与外界水体的渗透压相等时,机体消耗自身能量最少。本试验以人工养殖条件下的叶硝水母螅状体、育成体和成体 3 个阶段为研究对象,在饲养温度(23±1) °C、每天固定时间投喂孵化 24 h 卤虫无节幼体等条件下,根据水母与昆虫具有相同的变态反应、开放式循环系统及其类似作用的液流循环等特点,利用昆虫 Elisa 试剂盒测定了 3 种盐度水平下水母不同阶段体内胃蛋白酶、纤维素酶、脂肪酶和淀粉酶活性的变化。本研究中螅状体体内 4 种酶活性均显著高于育成体和成体,一方面因为育成体和成体的含水量远高于螅状体,另一方面因为水母的螅状体采食和消化能力更强,更容易适应环境变化。日常水母螅状体全年仅饲喂卤虫无节幼体,导致了个体变小、性状退化等许多饲养难题,本试验显示螅状体 4 种消化酶活性很高,也

为螅状体饵料的调整提供理论依据。胃蛋白酶在 4 种消化酶中含量最高,除与投喂的卤虫无节幼体含有较高的蛋白质相关外,也与水母本身对蛋白质需求较高相关。而纤维素酶、脂肪酶和淀粉酶含量较低,盐度 12 组成体淀粉酶活性仅为 3.15 U/L,大大低于盐度 22 组螅状体胃蛋白酶活性 830.41 U/mL,说明该水母对蛋白质具有较强的消化能力,建议在配制日常饵料时可适当提高蛋白质比例,以降低饲料成本。纤维素酶能将饵料外壳等纤维素降解为可消化吸收的葡萄糖,本试验检测到叶硝水母消化腔内含有一定的纤维素酶,是因为该水母具有完整的纤维素酶体系产生内源性纤维素酶,还是该水母体内除虫黄藻外存在共生的真菌和细菌能够产生外源性纤维素酶,需要进一步研究。

本试验中,盐度 22 组水母存活率和 4 种消化酶活性均最高,育成体和成体的体质量增长也最快,可能是因为盐度过高或者过低抑制了消化酶活性,也影响了营养物质的消化吸收,造成螅状体横裂能量不足,水母体存活和生长受限。海水中部分无机离子对蛋白酶具有激活或抑制作用,无机离子直接作用于蛋白酶是盐度影响蛋白酶活力的主要原因^[20],结合本研究结果分析,可能是因为高盐度环境中,某些无机离子进入水母体内达到了一定的浓度进而抑制了蛋白酶的活性,而盐度降低对蛋白酶有激活作用的离子含量相对减少,影响了蛋白酶的活性。

消化酶活力的大小与生物的食性有很大的关系,一般杂食性或草食性动物的淀粉酶活性较高^[22],硬骨鱼类胃蛋白酶活性较高^[23]。影响消化酶活性的因素还有很多,包括温度、pH 及离子浓度等^[24]。本研究分析了 3 种盐度对叶硝水母生长和 4 种消化酶活性的影响,观察到叶硝水母对外界盐度变化表现出较强的适应性,自然海水盐度 22 是叶硝水母生存和无性繁殖的适宜盐度,亦能较快适应盐度 12,盐度对 4 种消化酶活性均有不同程度影响,试验结果为解析叶硝水母对环境的应激和适应机制及商业养殖开发提供理论依据。

3.3 水母调节盐度变化的可能机制及其生态影响

刺胞动物门动物体壁由外胚层和内胚层组成,组织分化简单,以上皮组织为主,两细胞层间为厚薄不一、具含或不含细胞的中胶层,内部空腔为消化循环腔,兼具消化和循环功能。发生盐度胁迫时,水

母会产生一系列的响应机制,以减少盐度胁迫对机体的损伤,如收缩触手、封闭辐管阻止水盐交换及通过调节中胶层水分来适应盐度的变化。分布范围广的水母种类例如海月水母属(*Aurelia*)、霞水母属(*Cyanea*)和金黄水母属(*Chrysaora*)对环境条件表现出高度耐受^[25]。DONG 等^[26]发现,盐度 10 和 40 分别是霞水母螅状体存活的下限和上限。RATO 等^[27]研究了 15~40 6 种盐度对澳洲斑点水母的影响,认为螅状体的存活率与盐度极显著相关,试验 1 周后盐度 40 组螅状体的存活率低于 50%,极显著低于盐度 15、20 和 25 组($P<0.001$),而螅状体重新固着需要时间不受盐度影响。螅状体在盐度 15 水温 21℃ 条件下 18 d 可以观察到口盘完全收缩,但在 21 d 试验结束时存活率 100%。

目前全球变暖、海洋温度上升、极端天气和气候异常等现象都会改变水体盐度,影响海洋和河口种群动态平衡,为有害物种的入侵和增殖提供机会。本试验从螅状体和碟状体开始驯化,可以使叶硝水母获得较大的盐度适应能力,而适应低盐度的个体,即使突然回到原来的环境,也能很快适应,表明该水母对水环境变化耐受性较强,气候变化可能促进该水母通过在河口地区的繁殖,进而影响局部区域的生态平衡。

3.4 低盐度驯化水母对观赏水族动物的重要意义

水生动物在不同的发育和生长时期,对盐度的需求不同,为了满足其生长发育的需要,在养殖过程中会人工调节盐度,使养殖的动物达到最佳的生长状态。在经济动物养殖过程中,低盐养殖能够减少疾病的产生、促进动物的生长,因而在育苗和养殖中,常常利用加淡水来降低盐度,以提高生产收益。但是渗透压的调节是耗能过程,高渗或低渗的水环境都会导致水生生物用于生长的能量减少,甚至当渗透压变化幅度超出自身调节能力时,会引起动物死亡,开展水母盐度耐受性的研究对于养殖生产具有重要的指导意义。

随着社会不断地发展,人们对观赏类生物的需求也与日俱增。水母作为一种新兴的观赏性动物,深受游客青睐的同时,也在家庭饲养市场中逐渐崭露头角。然而水母的淡水种类很少,并且均为寿命仅有数月的水螅纲水母,不能完全满足市场与日俱增的需求。因此,解决海水水母盐度淡化养殖的技术成为

了亟待解决的难题。这一技术难题的攻破,将有利于开发水母更多的展示形式,解决用于饲养海洋生物的海水配制工序多、成本高、海水易结晶、易生长藻类影响观赏效果等问题,满足更多文教产品开发、内陆水族馆和家庭饲养要求,最大程度地降低生产和维护成本。

目前许多海洋经济动物已经以淡化养殖的方法提高经济效益,但是淡化特性很难在下一代遗传。水母具有世代短、子代多、遗传背景清楚、容易获得子代的特点,且在人工条件下可以对其进行饲养、驯化和实验操作,螅状体一方面能无性繁殖,永久保持淡水养殖的特性,另一方面能在特定的条件下横裂,产生低盐度养殖的水母体,同时低盐度养殖水母避免了养殖缸内藻类、病菌寄生虫的繁衍,并为作为大众观赏动物走入家庭提供了可行性。

参考文献:

- [1] 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.
WEN Jiufu, LAN Junnan, ZHOU Hui, et al. Effects of salinity on digestive enzymes and antioxidant system of juvenile *Lateolabrax maculatus*[J]. Chinese Journal of Zoology, 2019, 54(5): 719-726.
- [2] 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.
LI Yuquan, LI Yongsheng, ZHAO Fazhen. Effect of salinity changes on osmotic-, metabolic-, and immune-related enzyme activities in *Exopalaemon carinicauda*[J]. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(21): 7229-7235.
- [3] 谭春明,赵旺,吴开畅,等. 盐度胁迫对方斑东风螺免疫酶活性的影响[J]. 水产科学, 2020, 39(5): 677-684.
TAN Chunming, ZHAO Wang, WU Kaichang, et al. Effects of salinity stress on activities of enzymes related to immune of snail *Babylonia areolata*[J]. Fisheries Science, 2020, 39(5): 677-684.
- [4] 许星鸿,朱晓莹,阙义进,等. pH、温度和盐度对单环刺螠消化酶和溶菌酶活力的影响[J]. 水产科学, 2017, 36(2): 138-142.
XU Xinghong, ZHU Xiaoying, QUE Yijin, et al. Effects of pH, water temperature and salinity on activities of intestinal digestive[J]. Fisheries Science, 2017, 36(2): 138-142.
- [5] 罗鸣钟,关瑞章,靳恒. 盐度对花鳗鲡和太平洋双色鳗鲡幼鳗生长性能及消化酶活力的影响[J]. 水生生物学报, 2015, 39(4): 653-660.
LUO Mingzhong, GUAN Ruizhang, JIN Heng. Effects

- of the salinity on the growth performance and digestive enzyme activities of *Anguilla marmorata* Elver and *A. bicolor* Pacifica elver[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2015, 39(4): 653-660.
- [6] 邓平平, 施永海, 汪洋, 等. 盐度对长江刀鲚幼鱼非特异性免疫酶和消化酶活力的影响[J]. *大连海洋大学学报*, 2016, 31(5): 533-537.
DENG Pingping, SHI Yonghai, WANG Yang, et al. Effects of salinity on activities of non-specific immune and digestive enzymes in juvenile estuarine tapertail anchovy *Coilia nasus*[J]. *Journal of Dalian Ocean University*, 2016, 31(5): 533-537.
- [7] AGRAWAL V P, SASTRY K V, KAUSHAB S K. Digestive enzymes of three teleost fishes[J]. *Acta Physiologica Academiae Scientiarum Hungaricae*, 1975, 46: 93-98.
- [8] DAS K M, TRIPATHI D. Studies on the digestive enzymes of *Ctenopharyngodon idella* (Val)[J]. *Aquaculture*, 1991, 165: 311-312.
- [9] 邢永泽, 乔莹, 米铁柱, 等. 海月水母螅状体横裂生殖过程中渗透压调节基因表达及酶活性变化分析[J]. *中国海洋大学学报(自然科学版)*, 2021, 51(增 1): 19-23, 127.
XING Yongze, QIAO Ying, MI Tiezhu, et al. Expression of osmoregulation genes and enzyme activity in strobilation process of *Aurelia coerulea* polyps[J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2021, 51(S1): 19-23, 127.
- [10] 柴雨, 董婧, 段妍, 等. 盐度对沙蜚有性繁殖阶段早期发育的影响[J]. *生态学报*, 2020, 40(13): 4383-4391.
CHAI Yu, DONG Jing, DUAN Yan, et al. Effects of salinity on early development in sexual reproduction stage of the scyphozoan *Nemopilema nomurai* Scyphozoa Rhizostomeae[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2020, 40(13): 4383-4391.
- [11] MAYOR A G. *Medusae of the world(III)*[M]. Washington: Carnegie Institution of Washington, 1910: 684-685.
- [12] 洪惠馨. *中国海域钵水母生物学及其与人类的关系*[M]. 北京: 海洋出版社, 2014: 59.
HONG Huixin. *The relationship between scyphomedusae biology and human beings in China Seas*[M]. Beijing: China Ocean Press, 2014: 59.
- [13] 水柏年, 赵盛龙, 韩志强. *鱼类学*[M]. 上海: 同济大学出版社, 2015: 280-283.
SHUI Bonian, ZHAO Shenglong, HAN Zhiqiang. *Ichthyology*[M]. Shanghai: Tongji University Press, 2015: 280-283.
- [14] ALLAN E L, FRONEMAN P W, HODGSON A N. Effects of temperature and salinity on the standard metabolic rate(SMR)of the caridean shrimp *Palaemon peringueyi*[J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2006, 337(1): 103-108.
- [15] 赵斌, 胡炜, 李成林, 等. 低盐环境对 3 种规格刺参 (*Apostichopus japonicus*)幼参生长与消化酶活力的影响[J]. *渔业科学进展*, 2015, 36(1): 91-96.
ZHAO Bin, HU Wei, LI Chenglin, et al. The effects of low salinity on the growth and activities of digestive enzymes in sea cucumber *Apostichopus japonicus*[J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2015, 36(1): 91-96.
- [16] 龚先宇, 米铁柱, 甄毓, 等. 关键环境因子对海月水母浮浪幼虫附着变态的影响[J]. *海洋环境科学*, 2021, 40(4): 562-567.
GONG Xianyu, MI Tiezhu, ZHEN Yu, et al. Effects of key environmental factors on the settlement of moon jellyfish (*Aurelia coerulea*) planula[J]. *Marine Environmental Science*, 2021, 40(4): 562-567.
- [17] CONLEY K, UYE S I. Effects of hyposalinity on survival and settlement of moon jellyfish (*Aurelia aurita*) planulae[J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2015, 462: 14-19.
- [18] 孙婷婷, 董志军, 梁丽琨. 盐度对海月水母幼体行为、附着和无性生殖的影响[J]. *应用海洋学学报*, 2018, 37(1): 53-59.
SUN Tingting, DONG Zhijun, LIANG Likun. Effects of salinity on swimming, settlement and asexual reproduction of the moon jellyfish *Aurelia aurita* larvae[J]. *Journal of Applied Oceanography*, 2018, 37(1): 53-59.
- [19] MOZANZADEH M T, SAFARI O R, OOSOOLI R, et al. The effect of salinity on growth performance, digestive and antioxidant enzymes, humoral immunity and stress indices in two euryhaline fish species: Yellowfin seabream (*Acanthopagrus latus*) and Asian seabass (*Lates calcarifer*)[J]. *Aquaculture*, 2021, 534(15): 736329.
- [20] 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, 6: 895-901.
TIAN Xiangli, REN Xiaowei, DONG Shuanglin, et al. Studies on the specific activities of digestive enzymes of *Cynoglossus semilaevis* Günther at different salinities and temperatures[J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2008, 6: 895-901.
- [21] 史宝, 柳学周, 刘永山, 等. 盐度渐变对黄条鰺消化酶和超氧化物歧化酶活力及甲状腺激素的影响[J]. *中国海洋大学学报(自然科学版)*, 2020, 50(1): 48-56.
SHI Bao, LIU Xuezhou, LIU Yongshan, et al. Effect of gradual salinity change on digestive enzyme, superoxide dismutase activities and thyroid hormone content of Yellowtail Kingfish (*Seriola aureovittata*)[J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2020, 50(1): 48-56.
- [22] 沈永龙, 戈贤平, 黄金田, 等. 盐度对瘤背石磺 (*Onchidium struma*)消化酶活性的影响[J]. *动物营养学报*, 2012, 24(9): 1839-1846.

- SHEN Yonglong, GE Xianping, HUANG Jintian, et al. Effects of salinity on digestive enzyme activities of *Onchidium struma*[J]. *Acta Zoonutrimenta Sinica*, 2012, 24(9): 1839-1846.
- [23] 李培伦, 刘伟, 王继隆, 等. 盐度对马苏大麻哈鱼血液生化指标及消化酶活力的影响[J]. *湖南农业大学学报(自然科学版)*, 2020, 46(4): 466-471.
- LI Peilun, LIU Wei, WANG Jilong, et al. Effects of salinity on blood biochemical parameters and digestive enzyme activities of *Oncorhynchus masou*[J]. *Journal of Hunan Agricultural University(Natural Sciences)*, 2020, 46(4): 466-471.
- [24] 辛碧芬, 谢进金, 庄巧阳. 几种金属离子对鲢肝胰脏淀粉酶的影响[J]. *水生态学杂志*, 2009, 30(3): 91-95.
- XIN Bifen, Xie Jinjin, ZHUANG Qiaoyang. Effects of metal ions on activities of amylase from silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) hepatopancreatic[J]. *Journal of Hydroecology*, 2009, 30(3): 91-95.
- [25] SOKOLOWSKI A, BRULINSKA D, OLENYCZ M, et al. Does temperature and salinity limit asexual reproduction of *Aurelia aurita* polyps (Cnidaria: Scyphozoa) in the Gulf of Gdańsk (southern Baltic Sea): An experimental study[J]. *Hydrobiologia*, 2016, 773: 49-62.
- [26] DONG J, SUN M, PURCELL J E, et al. Effect of salinity and light intensity on somatic growth and podocyst production in polyps of the giant jellyfish *Nemopilema nomurai* (Scyphozoa: Rhizostomeae)[J]. *Hydrobiologia*, 2015, 754: 75-83.
- [27] RATO L D, PINTO C, DUARTE I M, et al. Euryhalinity and thermal tolerance of *Phyllorhiza punctata* (Scyphozoa)scyphostomae: life history and physiological trade-offs[J]. *Marine Biology*, 2021, 168: 158.

Effects of three levels of salinities on the growth and digestive enzyme activities of *Phyllorhiza chinensis* at different stages

YANG Cui-hua, ZHANG An-qi, JIANG Yu-li, QI Ji-guang
(Qingdao Marine Science and Technology Museum, Qingdao 266003, China)

Received: Nov. 16, 2021

Key words: *Phyllorhiza chinensis*; salinity; digestive enzyme; scyphistoma; medusa

Abstract: Salinity is one of the most important factors affecting the growth, reproduction, and family rearing of jellyfish. Phenomena, such as global warming, rising sea temperatures, and extreme weather and climate anomalies such as floods and heatwaves, have been shown to alter absolute salinity values. However, the effect of salinity on the growth and reproduction of jellyfish remains largely unknown. This study aimed to assess whether culture salinity levels affected the growth and digestive enzyme activities of *Phyllorhiza chinensis*. Three salinity levels (12‰, 22‰ and 32‰) were used at three stages (polyp, juvenile, and adult) of cultured jellyfish. Results suggested that salinity affected the growth and digestion of cultured jellyfish. Polyps were capable of growth and asexual reproduction in the three salinity levels. Additionally, polyps had significantly higher digestive enzyme activities (pepsin, cellulase, lipase, and amylase) compared with juveniles and adults ($P < 0.01$). Results showed that appropriate salinity levels improved growth, survival, and digestive enzyme expression under artificial conditions. For example, salinity 12 was beneficial to juvenile and adult breeding and further desalination, and it is suitable for maintaining jellyfish in inland and home aquariums. Salinity 22 also provided the jellyfish with good conditions for asexual reproduction, growth, and vitality. The activities of four digestive enzymes were also highest in this level, suggesting good suitability for artificial breeding. Among the four digestive enzymes, pepsin content was the highest because of the high protein from *Artemia nauplii* and the high protein demands. Since *P. chinensis* can degrade protein better than cellulose, dietary fats, and starches, appropriately increasing the ratio of protein in daily bait can reduce the feeding cost. Results also revealed that polyps showed strong adaptability against external salinity changes, and their osmoregulation was stronger than that of juveniles and adults. Further desalination could be used in inland and home aquariums. In the future freshwater aquaculture was possible to improve the economic benefits due to fewer animal diseases, lower feeding costs, more breeders, and so on. Polyps could reproduce asexually to permanently maintain their feeding characteristic in fresh water and can undergo strobilation under a certain condition to produce medusa, which could be fed in freshwater. This study provided a theoretical basis for the adjustment of bait, the activation and adaptation mechanism of *P. chinensis* to the environment, and its commercial cultivation and development. Our tests detected a certain cellulase in the digestive cavity. However, this requires further study to determine whether *P. chinensis* has a complete cellulase system or a symbiotic relationship with a fungus or bacteria, such as *zooxanthellae*, that could produce exogenous cellulose.

(本文编辑: 谭雪静)