

DOI: 10.7524/j.issn.0254-6108.2019090401

王璞, 马旭洲, 张文博, 等. 中华绒螯蟹天然海水土池生态育苗水环境因子变化特征初步研究[J]. 环境化学, 2020, 39(12): 3425-3435.

WANG Pu, MA Xuzhou, ZHANG Wenbo, et al. Preliminary study on the variation characteristics of water quality factors of natural soil culture of *Eriocheir Sinensis* [J]. Environmental Chemistry, 2020, 39(12): 3425-3435.

中华绒螯蟹天然海水土池生态育苗水环境 因子变化特征初步研究*

王 璞 马旭洲** 张文博** 王高龙 杨永超
陈军伟 温 旭 张 勇 周 桢

(上海海洋大学, 水产科学国家级实验教学示范中心/农业农村部淡水水产种质资源重点实验室/
上海水产养殖工程技术研究中心/水产动物遗传育种中心上海市协同创新中心, 上海, 201306)

摘 要 2013—2016 年育苗期, 在江苏射阳中华绒螯蟹良种“江海 21”育苗基地选取 3 口育苗池塘与蓄水池, 进行水温、溶解氧、盐度、pH、氮、磷、COD 等指标的监测和蟹苗产量统计, 研究中华绒螯蟹天然海水土池生态育苗水环境因子的变化特征。四年育苗期, 年均水温 17.0 °C 以上, 随育苗天数增加呈上升趋势。溶解氧高于 5.0 mg·L⁻¹, 溶解氧饱和度变化范围为 110.47%—70.12%, 随育苗天数增加呈下降趋势。盐度为 23.2—26.5, 育苗池盐度始终略高于蓄水池, 二者无显著差异 ($P>0.05$)。pH 值为 8.34—8.68。氨氮为 0.013—0.078 mg·L⁻¹、亚硝态氮为 0.003—0.023 mg·L⁻¹、硝态氮为 0.016—0.110 mg·L⁻¹、总氮为 0.218—0.860 mg·L⁻¹、无机磷为 0.010—0.038 mg·L⁻¹、总磷为 0.103—0.339 mg·L⁻¹。营养盐变化随育苗天数增加呈上升趋势, 但均处于较低水平。COD 为 0.897—2.793 mg·L⁻¹, 随育苗天数增加呈上升趋势, 育苗后期符合二类海水标准 (COD<3 mg·L⁻¹)。育苗池单位面积产量为 437.70—717.00 kg·hm⁻², 呈逐年上升趋势。结果表明, 射阳中华绒螯蟹育苗基地天然海水水温、盐度、pH 适宜, 溶氧充足, 氮、磷和 COD 均满足河蟹育苗要求。结合产量分析, 射阳育苗基地现有生产模式下的育苗产量尚有提高潜力。

关键词 中华绒螯蟹, 生态育苗, 水环境因子。

Preliminary study on the variation characteristics of water quality factors of natural soil culture of *Eriocheir Sinensis*

WANG Pu MA Xuzhou** ZHANG Wenbo** WANG Gaolong
YANG Yongchao CHEN Junwei WEN Xu ZHANG Yong ZHOU Zhen

(National Demonstration Center for Experimental Fisheries Science Education/Key Laboratory of Freshwater Aquatic
Germplasm Resources, Ministry of Agriculture and Rural Affairs/Shanghai Engineering Research Center of Aquaculture/
Shanghai Collaborative Innovation for Aquatic Animal Genetics and Breeding, Shanghai Ocean University, Shanghai, 201306, China)

Abstract: Three seedling-raising ponds and water storage ponds were selected for the experiment during the seedling-raising period from 2013 to 2016. The experimental site was the seedling-raising base of *Eriocheir sinensis* in Sheyang County, Jiangsu Province, China. The improved variety “Jianghai 21” was bred in the seedling-raising base of *Eriocheir sinensis*. This experiment monitored

2019 年 9 月 4 日收稿 (Received: September 4, 2019).

* 上海市现代农业产业技术体系 [沪农科产字 (2018) 第 4 号] 和水产动物遗传育种中心上海市协同创新中心项目 (ZF1206) 资助。

Supported by Shanghai Modern Agricultural Industry Technology System [Chinese characters of Shanghai Agricultural Sciences (2018) No. Four] and Aquatic Animal Genetics and Breeding Center Shanghai Collaborative Innovation Center Project (ZF1206).

* * 通讯联系人, Tel: 15692165975, 15692165023, E-mail: xzma@shou.edu.cn; wb-zhang@shou.edu.cn

Corresponding author, Tel: 15692165975, 15692165023, E-mail: xzma@shou.edu.cn; wb-zhang@shou.edu.cn

water quality indexes such as water temperature, dissolved oxygen, salinity, pH, nitrogen, phosphorus and COD, and counted the yield of crab seedlings, so as to study the changes of water quality factors of natural sea water soil pond of *Eriocheir sinensis*. The average annual water temperature of seedling-raising period was above 17.0 °C, and increased with the number of days of seedling-raising. The dissolved oxygen content was higher than 5.0 mg·L⁻¹, and the saturation of dissolved oxygen was 110.47%—70.12%. It decreased with the days of seedling raising. Salinity was 23.2—26.5, and the salinity of nursery pond was always slightly higher than that of storage pond, there was no significant difference between them ($P > 0.05$). The pH was 8.34—8.68. Ammonia nitrogen was 0.013—0.078 mg·L⁻¹, nitrite nitrogen was 0.003—0.023 mg·L⁻¹, nitrate nitrogen was 0.016—0.110 mg·L⁻¹, total nitrogen was 0.218—0.860 mg·L⁻¹, inorganic phosphorus was 0.010—0.038 mg·L⁻¹ and total phosphorus was 0.103—0.339 mg·L⁻¹. Nutrient increased with the number of days of seedling raising, but all were at a lower level. COD was 0.897—2.793 mg·L⁻¹, it increased with the number of days of seedling raising. At the later stage of seedling growth, COD was in line with the second class seawater standard (COD < 3 mg·L⁻¹). The yield of seedling pond was 437.70—717.00 kg·hm⁻², showing an upward trend year by year. The results showed that all water quality indexes of the test site met the requirements of crab breeding. Combining the change of water quality index with the yield, it was concluded that the seedling yield under the current production mode in this area still had the potential to improve.

Keywords: *eriocheir sinensis*, ecological nursery, water environmental factors.

21 世纪以来,随着中华绒螯蟹(*Eriocheir Sinensis*)土池生态育苗技术的日趋完善和普及推广,蟹苗生产成本逐渐降低,蟹苗产量逐年增加,生产能力不断提高,2016 年全国中华绒螯蟹蟹苗产量已达 812103 kg^[1].江苏省射阳县沿海养殖区不仅是“江海 21”等多个中华绒螯蟹良种生态育苗的主要基地,而且蟹苗产量占全国总产量的七成^[2],在土池生态育苗方面具有较强的代表性.纵观全国情况,中华绒螯蟹土池生态育苗正在逐渐超过工厂化育苗,成为中华绒螯蟹人工育苗的主要方式,土池生态育苗生产的蟹苗约占养殖育苗需求量的 95%以上^[3].中华绒螯蟹生态育苗不仅保证了中华绒螯蟹产业链的蟹苗供应,同时带动了沿海地区的经济发展.在生态育苗过程中,生产技术及养殖水体环境的生物、理化指标对育苗的影响同等重要,目前关于中华绒螯蟹育苗的研究虽较多^[4-6],但均集中于对生产技术和养殖水体环境中微生物变化等方面,而关于天然海水土池生态育苗相关水质变化规律的研究较少.也没有系统地对中华绒螯蟹生态育苗池塘各种因子进行检测和分析,从而对生态育苗水质多年变化规律进行全面的归纳和总结.

本实验主要研究了 2013—2016 年江苏射阳地区中华绒螯蟹天然海水土池生态育苗相关水质因子的变化特征,以期对中华绒螯蟹土池生态育苗环境负荷进行合理评价,促进中华绒螯蟹土池生态育苗的可持续发展.

1 材料与方法(Materials and methods)

1.1 实验地点

实验地点位于江苏省盐城市射阳县黄三水产苗种培育有限公司(33°52′3.79″N、120°27′12.12″E).该公司是射阳地区较大的中华绒螯蟹蟹苗繁育基地之一.

1.2 实验材料

1.2.1 亲本选择

实验选择上海市中华绒螯蟹产业技术体系选育的“江海 21”中华绒螯蟹为亲本.亲蟹选择时间为实验前一年的 11 月下旬,均为膏脂丰满,步足坚硬,活力强的绿蟹.雌蟹体重大于 250 g,雄蟹大于 200 g,雌雄比例为(2.5—3.0):1.0.

1.2.2 实验池塘

2013—2016 年实验池塘均为 3 口面积为 0.253 hm^2 , 南北走向, 长方形的人工土池. 塘深 2.5 m, 育苗期间水深控制在 2.0 m. 以养殖场蓄水池作为对照组. 每口实验池挂笼亲蟹数量为 320 只.

1.2.3 育苗用水、初始水质指标及试验期水质指标评价参照标准

育苗用水均为当年 1 月储备的大潮水, 在实验开始前 2 周左右, 进行常规消毒和去除重金属离子, 在实验开始前 1 周左右向育苗池中加入 $225.00 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 藻水, 并且按中华绒螯蟹人工育苗技术规范 (SC/T 1099—2007)^[7] 的水质要求控制水质指标, 使其达到养殖用水标准 (该标准规定了温度、盐度、pH 值、氨氮及亚硝态氮的标准范围, 其中盐度和 pH 两项按适宜范围计), 用抽水机将养殖池塘水加注到 2.0 m.

试验期水质指标参照中华绒螯蟹人工育苗技术规范 (SC/T 1099—2007)^[7] 与 GB 3097—1997 海水水质标准^[8] (由于该标准将海水划分为五类, 本试验选取其中第二类即养殖用水标准进行评价, 该标准规定了溶解氧、无机磷及化学需氧量的标准范围).

1.3 实验设计

1.3.1 产前培育

亲蟹产前培育对育苗成功至关重要. 亲蟹培育池条件与蟹苗培育池类似, 且要求池底必须为泥沙质, 否则会导致雌蟹交配后无法抱卵. 为了促进所有雌蟹同时受精产卵, 在交配之前, 将雌雄蟹分开进行亲本营养强化培养. 营养强化饲料主要为新鲜的海水贝类、海味鲜杂鱼类等富含动物蛋白的饵料, 日投饵料量为亲蟹体重的 0.5%—1.0%. 亲蟹经过一段时间的育肥暂养后, 体力逐渐从运输过程的损伤中恢复. 在实验前一年 12 月—实验年 3 月, 水温 $\geq 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 将雌雄蟹按照 3:1 比例混养在一起, 持续半个月时间, 将雄蟹取出, 已经抱卵雌蟹继续培养. 抱卵蟹经过自然越冬后, 在实验年 4 月中旬将所有抱卵蟹移入面积为 0.002 hm^2 的水泥池, 取样用显微镜观察胚胎发育状态. 胚胎心跳频率达 $150 \text{ bpm} \cdot \text{min}^{-1}$, 将发育成熟度一致的亲蟹放入蟹笼, 蟹笼挂入育苗池表层 20.0 cm 处.

1.3.2 挂笼及孵化后培育

按照《河蟹生态养殖 (第二版)》, 在挂笼前 3 周, 使用 $3.0 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ 敌百虫, 杀死育苗池桡足类; 挂笼前约 2 周, 使用 $90.0 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ 漂白粉, 杀灭育苗池微生物, 确保安全的生长环境^[1]. I—M 期幼体为肉食性, 一般均以轮虫 (*Brachionus plicatilis*) 和卤虫 (*Brine Shrimp*) 无节幼体为饵料. 中华绒螯蟹 I 期溞状幼体主要摄食单胞藻类, 但由于育苗前期水温较低, 单胞藻类较难维持, 所以同时投喂酵母与替代料虾片. 虾片通过发酵, 可以促进幼体摄食. 进入 II、III 期溞状幼体以投喂轮虫为主; IV、V 期溞状幼体和大眼幼体轮虫、卤虫皆可摄食^[9]. 射阳地区育苗采用清水育苗的技术路线, 由于 I 期溞状幼体主要摄食育苗池的浮游藻类, 所以土池育苗水质调控遵循“前肥后清”的原则. 前肥不是增加水体有机物和浮游动物的生物量, 而是维持一定数量的浮游藻类作为 I、II 期溞状幼体的适口饵料. 进入 II 期溞状幼体时期后, 每天投喂轮虫, 每一天观察前一天的摄食情况, 投喂量以刚好摄食完为原则. 总之投喂饲料以轮虫为主, 进入 M 期 (即大眼幼体) 可辅冰鲜卤虫.

1.3.3 育苗期间池塘环境条件

本实验为天然海水土池生态育苗, 池塘环境尽量保持和天然环境一致, 在养殖全程中不进行注、换、排水, 育苗池用塑料软管连接罗茨鼓风机和大型气泡石进行 24 h 不间断增氧, 每个育苗池配备 2 台罗茨鼓风机 (4 kW) 和 8 套气泡石, 蓄水池不增氧.

1.4 采样方法

本实验使用有机玻璃采水器, 采取池塘 40.0 cm 的表层水样, 同一池塘分别选择 4 个固定点, 然后将 4 个点的水样共 1.0 L 混合均匀, 使用仪器现场测定温度、溶解氧 (DO) 和盐度. 溶解氧 (DO) 和水温采用美国 YSI PRO20i 型溶氧仪 (美国 YSI 公司) 测定, 盐度采用 ES-421 型盐度计 (ATAGO 爱拓公司) 测定. pH、氨氮、亚硝酸盐、硝酸盐和磷酸盐等其它指标带回实验室在 2 h 内开始测定, pH 值使用 PHS-2F 型酸度计 (上海雷磁仪器厂) 测定, 其他指标均按照 GB 17378.4—2007 海洋监测规范^[10] 的方法测定, 所用方法均使用 T6-新世纪紫外分光光度计 (上海元析仪器有限公司) 进行最终测定, 测定日程和频率为自挂笼开始至大眼幼体起捕放入淡化池为止, 每 4 d 测定 1 次 (最后 1 次根据养殖进程稍作调整), 每年测定

8次,结合实测温度盐度计算溶解氧饱和度。

1.5 数据处理与分析

利用 EXCEL2013 制作各水质指标标准曲线并结合各方法的计算公式用测得的吸光度值计算各项水质指标最终数值.利用 SPSS19.0 结合单样本 t 检验(One-Sample T Test)对每年育苗期蓄水池和育苗池的水质指标进行差异显著性分析.利用 ORIGIN9.0,以试验开始挂笼后天数为横坐标,各项水质指标数值为纵坐标,结合差异显著性分析结果制作水质指标折线图。

2 结果与讨论 (Results and discussion)

2.1 育苗池产量

2013—2016 年试验监测池平均产量和单位面积产量均逐年增加(表 1).说明中华绒螯蟹人工育苗技术在逐渐完善.2016 年试验监测池每 hm^2 达到 717.0 kg.而根据育苗基地生产记录,2016 年产量最高和次高的两个育苗池每 hm^2 分别达到了 1567.5 kg 和 1260.0 kg.根据监测试验池平均产量和育苗基地最高和次高产量证明射阳育苗基地在现有的生产模式下,尚有提高育苗池产量的潜力。

表 1 2013—2016 年试验监测池育苗产量

Table 1 Production data of seedling ponds from 2013 to 2016

年度 Year	面积 Area/ hm^2	平均产量 Average yield/kg	单产 Single production/($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)
2013	0.253	91.88	437.70
2014	0.253	143.07	564.75
2015	0.253	153.90	607.50
2016	0.253	181.64	717.00

2.2 水温

2013—2016 年育苗期,蓄水池和育苗池水温变化范围分别为 15.3—22.0 $^{\circ}\text{C}$ 和 15.5—22.2 $^{\circ}\text{C}$; 14.3—18.8 $^{\circ}\text{C}$ 和 14.4—19.1 $^{\circ}\text{C}$; 14.3—20.1 $^{\circ}\text{C}$ 和 14.9—20.4 $^{\circ}\text{C}$; 15.0—21.1 $^{\circ}\text{C}$ 和 15.1—21.1 $^{\circ}\text{C}$.2013 年育苗期平均水温 18.8 $^{\circ}\text{C}$,养殖末期超过 22.0 $^{\circ}\text{C}$;2014 年育苗期平均水温较低,为 17.0 $^{\circ}\text{C}$.2015 年育苗期平均水温为 17.4 $^{\circ}\text{C}$;2016 年平均水温 18.3 $^{\circ}\text{C}$.育苗池水温略高于蓄水池,一直呈波动上升趋势(图 1).蓄水池与育苗池水温差异均不显著($P>0.05$).

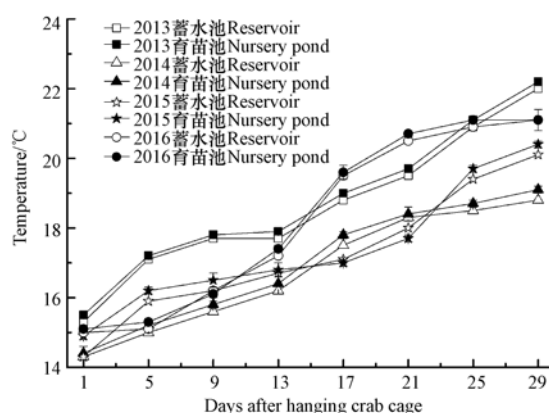


图 1 2013—2016 年育苗期温度变化趋势图

Fig.1 Trends in temperature during nursery period from 2013 to 2016

温度是变温动物生长发育的重要环境因素,朱小明等认为^[11],温度主要通过影响酶活性而影响新陈代谢的方式来影响生物发育.俞宁宁等的研究表明^[12],在中华绒螯蟹生活史中温度始终是蜕皮和蜕壳的制约因素之一.育苗期间水温对蚤状幼体的生长和变态时间有显著影响,在适宜温度范围内,幼体的生长发育随温度升高而加快^[11,13].相反,如果育苗温度过高,虾蟹类幼体生长速度快,成活率也

低^[11,14].郑天伦认为幼体发育最佳水温为 20.0 ℃^[15].庞璞敏 1999 年做了土池不同温度河蟹幼体变态时间实验,表明 13.0 ℃ 水温仍能正常发育,只是变态时间加长^[16].本试验监测过程中,2014 年育苗池平均水温较低为 17.0 ℃,2015 年为 17.4 ℃,2013 和 2016 年均高于 18.0 ℃.育苗池水深保持在 1.5 m 以上,可以有效保持水温稳定性.温度的高低和稳定性影响到育苗的时间,平均温度低的年份,发育到大眼幼体要晚 2—3 d,但对育苗产量影响不大.

2.3 溶解氧、pH 值、盐度

2.3.1 溶解氧含量与育苗池溶解氧饱和度

2013—2016 年育苗期、蓄水池和育苗池 DO 变化范围分别为 6.66—8.57 mg·L⁻¹和 6.34—8.49 mg·L⁻¹、7.94—9.51 mg·L⁻¹和 7.12—9.27 mg·L⁻¹、7.55—9.66 mg·L⁻¹和 6.29—9.49 mg·L⁻¹;6.75—9.86 mg·L⁻¹和 5.35—9.60 mg·L⁻¹(图 2).育苗池和蓄水池 DO 变化趋势虽随挂笼天数增加而不断下降,但一直高于国家海水二类标准(DO>5.0 mg·L⁻¹).育苗池溶解氧均随着养殖时间逐渐下降,是由于随着蟹苗的生长,耗氧量增大.监测养殖期各年度大部分时间基本稳定在 6.0 mg·L⁻¹以上.只有 2016 年挂笼 21 日—29 日,低于 6.0 mg·L⁻¹,最低点 5.35 mg·L⁻¹.4 年挂笼后前 3 次试验,水源 DO 显著高于蓄水池($P < 0.05$),其后差异均不显著($P > 0.05$).

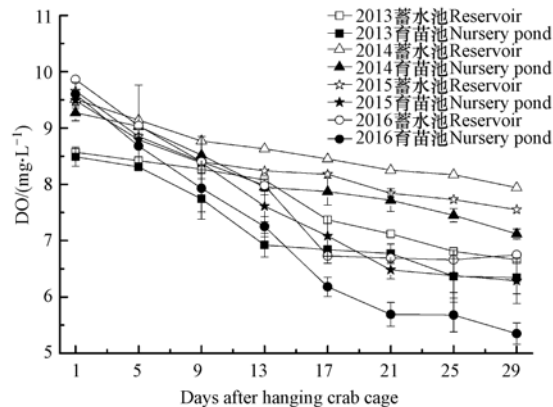


图 2 2013—2016 年育苗期 DO 变化趋势图

Fig.2 Trends in DO during the nursery period from 2013 to 2016

2013—2016 年育苗期间,溶解氧饱和度随挂笼后天数的增加而呈下降趋势,2013 年为 99.76%—83.49%,2014 年为 103.91%—89.34%,2015 年为 109.21%—80.85%,2016 年为 110.47%—74.44%.最高值 110.47%与最低值 70.12%均出现于 2016 年(表 2).

溶解氧是水产养殖的重要指标之一.有学者认为溶解氧低于 5.0 mg·L⁻¹^[9],会影响育苗质量与数量,但由于育苗过程中使用罗茨风机连接气泡石增氧,各年度育苗池溶解氧一直高于 6.0 mg·L⁻¹.在 2016 育苗后期,池水温度超过 20.0℃,随着蟹苗的生长,溶解氧消耗逐渐增加,溶氧有所下降,但仍在 5.0 mg·L⁻¹以上.溶解氧饱和度是养殖水体溶解氧含量的另一个直观体现,同时还可以表示溶氧和温度以及盐度的关系,从结果可知,溶解氧饱和度前期高后期低.但一直保持在 70%以上.监测育苗池 2016 年的最低溶氧是 5.35 mg·L⁻¹.667 m²单产达到 47.8 kg.育苗基地如果开发单池潜力,进一步提高单位面积产量,可适当增多气泡石数量.

2.3.2 pH 值和盐度

pH 值的变化反映水体酸碱物质动态平衡的调节过程.2013—2016 年育苗期,蓄水池和育苗池 pH 值变化范围分别为 8.39—8.54 和 8.41—8.60;8.49—8.58 和 8.59—8.62;8.40—8.51 和 8.48—8.50;8.29—8.41 和 8.45—8.51(图 3).4 年育苗期间一直呈较为平缓的变化趋势.育苗池 pH 在四年育苗期间和蓄水池差异均不显著($P > 0.05$).育苗池 pH 平均值 8.52,最高值 8.68,符合中华绒螯蟹育苗水质标准的适宜 pH 范围(7.0—9.0).

稳定的水体 pH 值是水质稳定的重要参考指标.长期生存在 pH 值突变的环境中,会增强甲壳动物的应激性反应,降低甲壳动物免疫力^[17],过高或过低的 pH 值会相应增加水体氨氮分子或硫化氢分子含

量,增加氨氮或硫化氢对甲壳动物的毒性^[18].曾媛媛等认为 pH 值在 7.5—9.0 之间拟穴青蟹免疫力最强^[19].曾丹霞等^[20]研究了 pH 值对中华绒螯蟹 II 期溞状幼体变态的影响,表明在 pH 值 5.5—9.6 时 II 期溞状幼体均能变态,7.0—9.1 为最适 pH 值.射阳基地育苗池采用当年 1 月储备的大潮水,pH 值变化范围在 8.34—8.68 之间,整个监测期育苗池的变化幅度为 0.3 左右,适宜中华绒螯蟹溞状幼体生长和变态.

表 2 育苗池溶解氧饱和度

Table 2 Dissolved oxygen saturation in seedling ponds

	挂笼后天数 Days after hanging crab cage/d	DO/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	水温 Temperature/ $^{\circ}\text{C}$	盐度 Salinity	饱和溶解氧 Saturated dissolving oxygen/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	溶解氧饱和度 Dissolved oxygen level
2013 年	1	8.49	16.0	24.0	8.51	99.76%
	5	8.31	17.0	24.0	8.34	99.64%
	9	7.74	18.0	25.0	8.13	95.20%
	13	6.92	18.0	25.0	8.13	85.12%
	17	6.84	19.0	25.0	7.97	85.82%
	21	6.77	20.0	25.0	7.82	86.57%
	25	6.37	21.0	26.0	7.63	83.49%
	29	6.34	22.0	27.0	7.46	84.99%
2014 年	1	9.27	14.0	23.0	8.93	103.81%
	5	9.03	15.0	24.0	8.69	103.91%
	9	8.52	16.0	24.0	8.51	100.12%
	13	7.95	16.0	24.0	8.51	93.42%
	17	7.87	18.0	24.0	8.18	96.21%
	21	7.72	18.0	25.0	8.13	94.96%
	25	7.45	19.0	25.0	7.97	93.48%
	29	7.12	19.0	26.0	7.97	89.34%
2015 年	1	9.49	15.0	24.0	8.69	109.21%
	5	8.79	16.0	24.0	8.51	103.29%
	9	8.38	17.0	24.0	8.34	100.48%
	13	7.61	17.0	24.0	8.34	91.25%
	17	7.08	17.0	25.0	8.29	85.40%
	21	6.48	18.0	25.0	8.13	79.70%
	25	6.38	20.0	25.0	7.82	81.59%
	29	6.29	20.0	26.0	7.78	80.85%
2016 年	1	9.6	15.0	24.0	8.69	110.47%
	5	8.48	15.0	24.0	8.69	97.58%
	9	7.93	16.0	24.0	8.51	93.18%
	13	7.25	17.0	25.0	8.29	87.45%
	17	6.18	20.0	25.0	7.82	79.03%
	21	5.69	21.0	25.0	7.68	74.09%
	25	5.68	21.0	26.0	7.63	74.44%
	29	5.35	21.0	26.0	7.63	70.12%

2013—2016 年育苗期,蓄水池和育苗池盐度变化范围分别为 24.0—26.3 和 24.3—26.5;23.2—25.5 和 23.3—25.6;23.5—25.7 和 23.6—25.8;24.1—26.3 和 24.2—26.4;各年度监测期盐度基本稳定,变化范围 23.2—26.5(图 3).符合中华绒螯蟹育苗水质标准.盐度变化趋势为随育苗池温度的升高稍有增高.海水在池塘中水分蒸发,是盐度上升的原因,育苗池的盐度始终略高于蓄水池,但二者差异均不显著($P > 0.05$).

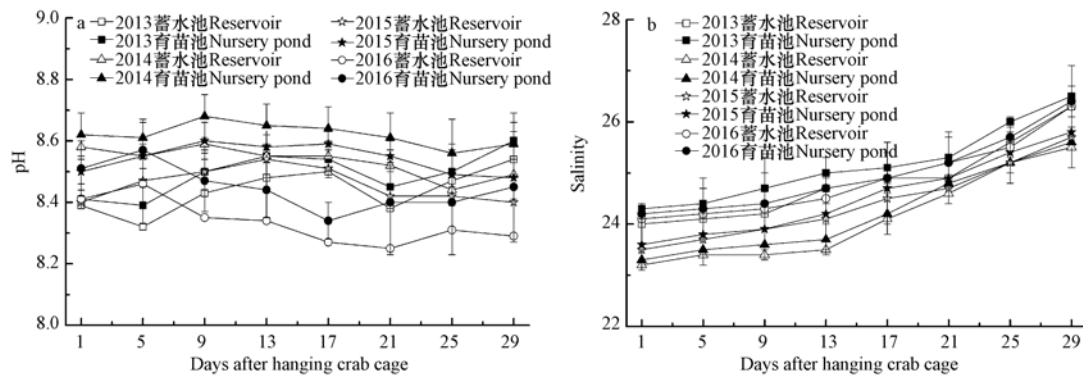


图3 2013—2016年育苗期pH(a)和盐度(b)变化趋势图

Fig.3 Trends in salinity during the nursery period from 2013 to 2016

河蟹对盐度变化的适应性较广,具有较强高渗调节能力^[21].甲壳动物在不同的盐度条件下,需通过渗透调节适应不同的盐度环境,盐度调节过程是一个消耗甲壳动物体能的过程^[22].急剧盐度变化能够影响甲壳动物体内免疫因子活动,引起甲壳动物免疫力异常,降低甲壳动物抗病力^[23-24].盐度的过高、过低和升降幅度都是影响溞状幼体成活率的重要因素.射阳基地各年度监测期盐度基本稳定,变化范围23.2—26.5.盐度随着育苗池温度的升高呈上升趋势.池塘中水分蒸发,是盐度上升的原因.

2.4 氮

养殖水体氮营养盐的存在形式有无机态氮(DIN)和有机态氮.本实验测定的是无机态氮(DIN),包括氨氮、亚硝态氮和硝态氮.

2.4.1 氨氮

2013—2016年育苗期,蓄水池和育苗池氨氮变化范围分别为0.012—0.020 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和0.013—0.038 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$;0.018—0.026 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和0.018—0.050 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$;0.021—0.028 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和0.021—0.060 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$;0.020—0.030 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和0.021—0.078 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ (图4).4年育苗期育苗池氨氮均随育苗时间延长有增加趋势,2016年最高达到0.078 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$,但仍远低于中华绒螯蟹人工育苗技术规范的水质要求($\text{NH}_4^+-\text{N} \leq 3 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$),不会影响溞状幼体的生长和变态.2013—2015年挂笼后,蓄水池和育苗池氨氮差异均不显著($P > 0.05$),2016年育苗池氨氮显著高于蓄水池($P < 0.05$).

2.4.2 亚硝态氮

2013—2016年育苗期,蓄水池和育苗池亚硝态氮变化范围分别为0.003—0.006 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和0.003—0.009 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$;0.006—0.008 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和0.006—0.015 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$;0.007—0.010 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和0.007—0.021 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$;0.008—0.010 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和0.009—0.023 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ (图4).从四年育苗期监测看,育苗池亚硝态氮含量随育苗时间延长稍有增加,但最高值也仅为0.023 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$,而蓄水池变化趋于平缓.远低于中华绒螯蟹人工育苗技术规范规定的含量($\text{NO}_2^--\text{N} \leq 0.1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$),对溞状幼体的生长发育不构成影响.2013—2015年挂笼后,蓄水池和育苗池亚硝态氮差异均不显著($P > 0.05$),2016年育苗池亚硝态氮显著高于蓄水池($P < 0.05$).

2.4.3 硝态氮

2013—2016年育苗期,蓄水池和育苗池硝态氮变化范围分别为0.016—0.030 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和0.016—0.045 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$;0.016—0.030 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和0.016—0.068 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$;0.018—0.034 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和0.018—0.082 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$;0.020—0.040 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和0.020—0.110 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ (图4).硝态氮是硝化反应的最终产物,结合前面指标来看,水体硝化反应效果较好.2013—2015年挂笼后,蓄水池和育苗池硝态氮差异均不显著($P > 0.05$),2016年育苗池硝态氮显著高于蓄水池($P < 0.05$).

2.4.4 总氮

2013—2016年育苗期,蓄水池和育苗池总氮变化范围分别为0.209—0.273 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和0.218—0.514 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$;0.220—0.280 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和0.224—0.564 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$;0.260—0.345 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和0.261—0.750 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$;0.278—0.387 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和0.280—0.860 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ (图4).四年育苗池总氮均呈上升趋势,

2016 年总氮最高为 $0.860 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 平均值为 $0.554 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 蓄水池总氮呈平缓上升趋势, 仍处于较低水平. 2013—2014 年挂笼后, 蓄水池和育苗池硝态氮差异均不显著 ($P > 0.05$), 2015—2016 年育苗池硝态氮显著高于蓄水池 ($P < 0.05$).

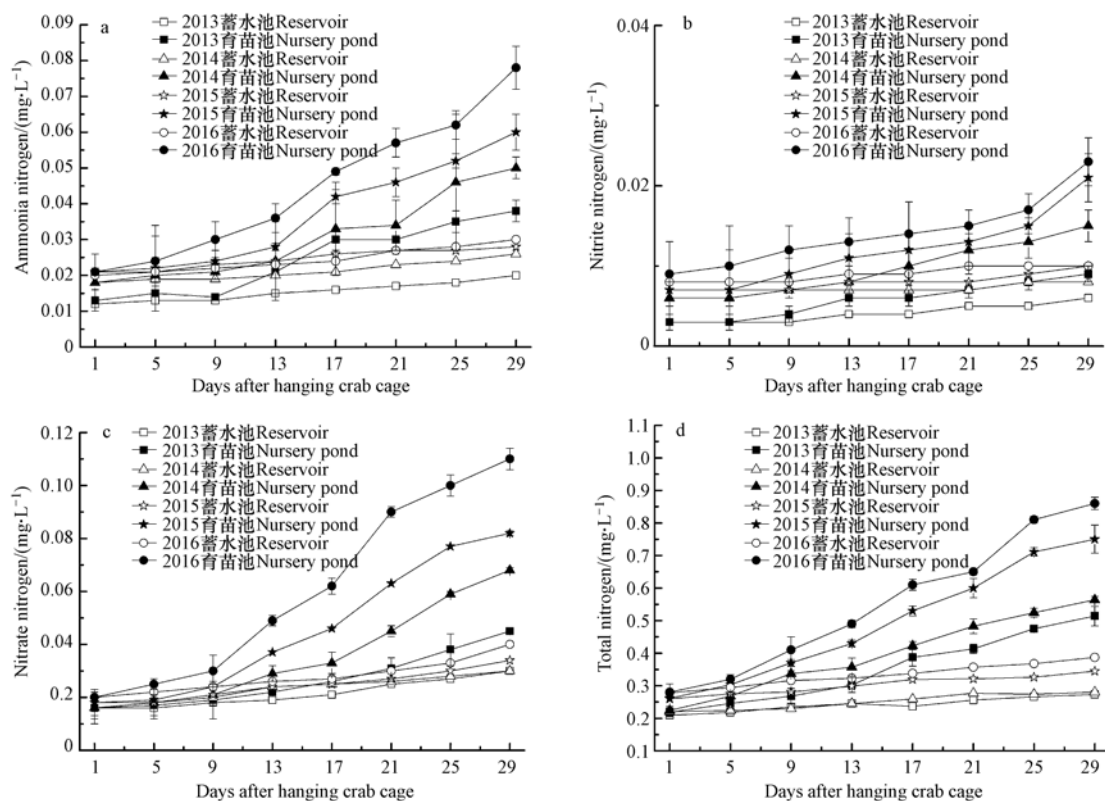


图 4 2013—2016 年育苗期氨氮(a)、亚硝态氮(b)、硝态氮(c)、总氮(d)变化趋势图

Fig.4 Trends in ammonia nitrogen changes during the nursery period from 2013 to 2016

一些高密度养殖水域环境的总氮主要以溶解性氮为主, 其中有机氮的占比较大, 无机氮的占比较小, 无机氮中氨氮占比较大^[25-26]. 一般自然水体的无机氮主要以硝酸盐的形式存在, 而氨氮和亚硝酸氮的比例相对较小. 本实验监测育苗池总氮呈逐渐增长趋势, 然而氨氮、硝酸氮、亚硝酸氮的监测数值较低, 说明育苗池中的总氮, 主要成分为可溶解性的有机氮. 同时育苗池水为前一年冬季海水, 冬季海水污染程度较低, 加之育苗之前使用 $50.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的漂白粉, 将育苗池的大量有机质、微生物、浮游生物全部清除, 沉入池底, 有助于降低水体氮磷含量.

2.5 磷

2013—2016 年育苗期, 蓄水池和育苗池无机磷变化范围分别为 $0.010\text{—}0.016 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $0.012\text{—}0.023 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$; $0.010\text{—}0.014 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $0.011\text{—}0.025 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$; $0.011\text{—}0.017 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $0.011\text{—}0.035 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$; $0.010\text{—}0.017 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $0.010\text{—}0.038 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ (图 5). 育苗池无机磷均随育苗时间增加而升高, 2013、2014 年上升趋势较之 2015、2016 年无机磷平缓. 蓄水池变化趋于平缓, 育苗前期处于海水水质标准一类水质标准范畴 ($\text{PO}_4^{3-} < 0.015 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$), 养殖末期处于海水水质标准二类水范畴 ($\text{PO}_4^{3-} < 0.03 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$). 2013 年挂笼后, 蓄水池与育苗池无机磷差异不显著 ($P > 0.05$), 2014—2016 年育苗池均显著高于蓄水池 ($P < 0.05$).

2013—2016 年育苗期, 蓄水池和育苗池总磷变化范围分别为 $0.101\text{—}0.134 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $0.103\text{—}0.259 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$; $0.112\text{—}0.163 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $0.124\text{—}0.289 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$; $0.128\text{—}0.171 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $0.132\text{—}0.310 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$; $0.150\text{—}0.212 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $0.156\text{—}0.339 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. 4 年监测总磷浓度变化趋势一致, 都是随育苗时间增加而有所升高 (图 5). 2013 年蓄水池与育苗池总磷差异均不显著 ($P > 0.05$), 2014—2015 年蓄水池均显著高于蓄水池 ($P < 0.05$).

磷酸盐和氮盐一样为浮游植物生长的必需元素.磷元素在水体或底泥含量较高,但多数以颗粒磷的形式存在,能够被浮游植物直接利用的可溶性磷含量较低^[27-28].育苗池的可溶性无机磷含量相对较低,但整个育苗期间,育苗池的总磷含量基本呈上升趋势.这可能与育苗池蚤状幼体排出的粪便中含有可溶性有机磷有关,可溶性有机磷在微生物的作用下,转化为可溶性无机磷.射阳蟹苗繁育基地在温度较高,蟹苗生长旺盛的年份,磷测定值高于低温年份,应该是投饵量和排泄物较多的原因.

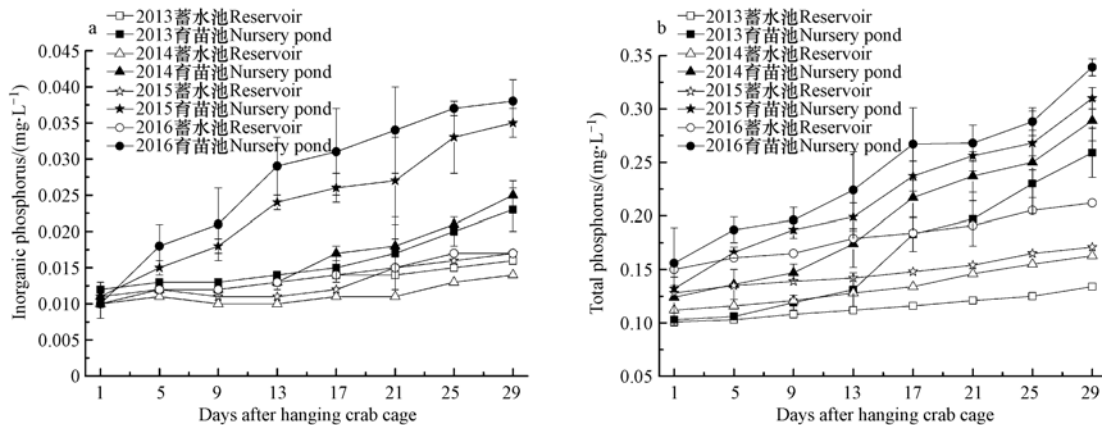


图 5 2013—2016 年育苗期无机磷(a)和总磷(b)变化趋势图

Fig.5 Trends in inorganic phosphorus growth during the nursery period from 2013 to 2016

2.6 COD

2013—2016 年育苗期,蓄水池和育苗池 COD 变化范围分别为 $0.847\text{—}1.103\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $0.897\text{—}1.613\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$; $1.161\text{—}1.593\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $1.176\text{—}2.583\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$; $1.009\text{—}1.508\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $1.054\text{—}2.287\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$; $1.308\text{—}1.608\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $1.333\text{—}2.793\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$.2013—2016 年 COD 变化趋势一致,均为随着育苗时间延长而升高(图 6).4 年中育苗池 COD 前中期均符合海水一类水质标准($\text{COD}<2\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$),2016 年后期最高 $2.793\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,但仍符合海水二类水质标准($\text{COD}<3\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$).2013—2014 年蓄水池与育苗池 COD 差异均不显著($P>0.05$),2015—2016 年育苗池均显著高于蓄水池($P<0.05$).

COD 反应了水体还原性物质的量.水体中还原性物质涵盖了有机物和还原性的氮营养盐.在养殖水体中,残剩饵料和粪便是养殖水环境有机物重要来源.育苗池 COD 不断增加,与蚤状幼体饲养投喂的轮虫量不断增加有直接关系.如果饲养过程中投喂冰鲜轮虫,水体 COD 的增加速度会更快^[29].

3 结论 (Conclusion)

通过四年监测结果分析,射阳中华绒螯蟹育苗基地天然海水 pH 值、盐度、水温适宜,在土池仅使用漂白粉清塘、气泡石增氧,投喂鲜活单胞藻类和轮虫喂养,育苗池氨氮、亚硝态氮、符合河蟹人工育苗水质要求,COD、无机磷符合二类海水水质标准.监测结果表明,在育苗期内营养盐和 COD 指标都有一定幅度的上升趋势,但都未达到现有养殖模式的最大载荷.

土池育苗与工厂化育苗相比具有水环境稳定,生产投入低等特点.育苗池在挂笼之前,使用漂白粉清塘,杀死育苗池敌害生物和致病生物,减少池塘耗氧和有害氮积累,提高蟹苗成活率.蟹苗培育中的残

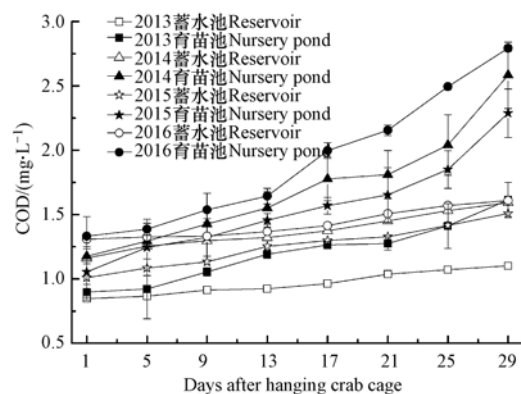


图 6 2013—2016 年育苗期 COD 变化趋势图

Fig.6 Trends in COD changes during the nursery period from 2013 to 2016

饵料和粪便,含有大量有机质,是整个育苗期间 COD 和氮、磷持续升高的原因.为了进一步提高育苗成活率,坚持使用鲜活轮虫投喂,是保持水质提高成活率的重要关键.随着蟹苗的成长和投喂量的增加,育苗池水质指标呈现逐渐变差的趋势.为了更好地利用沿海资源,进一步提高河蟹生态育苗单位面积产量,生态育苗池水质变化规律仍将需要今后深入探究,今后的研究可以从养殖池塘的多个环境和非环境因素入手,借助数学方法建立蟹苗产量的预测模型.

参考文献 (References)

- [1] 中国农村农业部渔业渔政管理局. 中国渔业统计年鉴[J]. 北京: 中国农业出版社, 2017:58.
Fisheries and Fisheries Administration Bureau of the Ministry of Rural Agriculture of China. China Fishery Statistics Yearbook[J]. Beijing: Chinese Agriculture Press, 2017:58 (in Chinese).
- [2] 郭开国. 射阳“一只蟹”撑起全国蟹种“七成天”[J]. 渔业致富指南, 2014(11):10.
GUO K G. The crab species produced in Sheyang account for 70% of the national output of crab species[J]. Fishery Guide to be Rich, 2014(11):10 (in Chinese).
- [3] 顾孝连, 乔振国. 我国蟹类土池育苗技术研究进展[J]. 海洋渔业, 2012, 34(1):110-116.
GU X L, QIAO Z G. Progress of the crab seed cultivation in earthen pond in China[J]. Marine Fisheries, 2012, 34(1):110-116 (in Chinese).
- [4] 万夕和, 彭友岐, 朱建一, 等. 江苏沿海河蟹育苗水体中细菌种群数量变化[J]. 江苏农业科学, 2004(3):63-65, 86.
WAN X H, PENG Y Q, ZHU J Y, et al. Changes of bacterial population in river crab nursery water in Jiangsu coastal area[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2004(3):63-65, 86 (in Chinese).
- [5] 江洪波, 陈立侨, 周忠良, 等. 不同饵料对中华绒螯蟹幼体发育和存活的影响[J]. 水产学报, 2000, 24(5):442-447.
JIANG H B, CHEN L Q, ZHOU Z L, et al. Effects of rotifer and Artemia nauplii on larval development and survival of *Eriocheir sinensis* [J]. Journal of Fisheries of China, 2000, 24(5):442-447 (in Chinese).
- [6] 吴旭干, 于智勇, 成永旭, 等. 4 组生物饵料对中华绒螯蟹 Z_4 到大眼幼体生长发育和脂肪酸组成的影响[J]. 中国水产科学, 2007, 14(6):911-918.
WU X G, YU Z Y, CHENG Y X, et al. Effect of four groups of live feeds on larval development, growth (from Z_4 to Megalopa) and fatty acid composition of *Eriocheir sinensis* [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2007, 14(6):911-918 (in Chinese).
- [7] 陈萍, 阎斌伦, 程坚, 等. SC/T 1099—2007. 中华绒螯蟹人工育苗技术规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
CHEN P, YAN B L, CHENG J, et al. SC/T 1099—2007. Technical specincations of artineid propagation for Chinese Mitten- Crab[S]. Beijing: Standards Press of China, 2007 (in Chinese).
- [8] 国家环境保护部. GB 3097—1997.海水水质标准[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2004.
State Environmental Protection Department of China. GB 3097—1997. Seawater Quality Standard[S]. Beijing: China Standards Press, 2004 (in Chinese).
- [9] 王武, 王成辉, 马旭洲. 河蟹生态养殖(第二版)[M]. 北京: 中国农业出版社, 2014:1-151.
WANG W, WANG C H, MA X Z. Ecological culture of Chinese Mitten Crab aquaculture (second edition) [M]. Beijing: Chinese Agriculture Press, 2014:1-151 (in Chinese).
- [10] 国家海洋环境监测中心. GB 17378.4-2007.海洋监测规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
China National Marine Environment Monitoring Center. GB 17378.4-2007. The specification for marine monitoring[S]. Beijing: Standards Press of China, 2008 (in Chinese).
- [11] 朱小明, 李少菁. 孵育温度对虾蟹幼体质量影响的初步研究[J]. 应用生态学报, 1998, 9(1):71-74.
ZHU X M, LI S J. Effect of brooding temperature on larval quality of shrimp and crab[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 1998, 9(1):71-74 (in Chinese).
- [12] 俞宁宁. 影响中华绒螯蟹生长关键因素的分析与研究[J]. 水产养殖, 2011, 32(8):4-7.
YU N N. Analysis and study on the key factors affecting the growth of *Eriocheir sinensis* [J]. Journal of Aquaculture, 2011, 32(8):4-7 (in Chinese).
- [13] 魏薇, 吴嘉敏, 魏华. 盐度对中华绒螯蟹性早熟生理机制的影响[J]. 中国水产科学, 2007, 14(2):275-280.
WEI W, WU J M, WEI H. Physiological mechanism of precociousness influenced by salinity in juvenile *Eriocheir sinensis* [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2007, 14(2):275-280 (in Chinese).
- [14] 李铭, 董卫军, 邢迎春, 等. 温度对克氏原螯虾幼体发育和存活的影响[J]. 水利渔业, 2006, 26(2):36-37.
LI M, DONG W J, XING Y C, et al. Effects of temperature on growth and survival of crayfish seedlings[J]. Journal of Hydroecology, 2006, 26(2):36-37 (in Chinese).
- [15] 郑天伦. 水质对中华绒螯蟹人工育苗的影响[J]. 淡水渔业, 2001, 31(4):20-21.
ZHENG T L. Effects of water quality on artificial breed of *Eriocheir sinensis* [J]. Freshwater Fisheries, 2001, 31(4):20-21 (in Chinese).
- [16] 庞璞敏. 中华绒螯蟹种苗静水池塘培育技术研究 II—水质对幼体变态率和成活率的影响[J]. 水产科学, 1999, 18(1):6-10.

- PANG P M. Seel culture techniques on artifical reproduction of Chinese Mitten Crab (*Eriocheir sinensis*) in still seawater earthern ponds II influence of water quality on metamorphic rates and survival rates of various larval stages[J]. Fisheries Science, 1999,18(1):6-10 (in Chinese).
- [17] 刘璐,杨玉娇,王国良. pH 突变对拟穴青蟹免疫因子的胁迫影响[J]. 宁波大学学报(理工版),2009,22(4):484-489.
LIU L, YANG Y J, WANG G L. Effect of sudden changes in pH on the immune factors of *Scylla paramamosain*[J]. Journal of Ningbo University(Natural Science and Engineering Edition), 2009,22(4):484-489 (in Chinese).
- [18] 顾顺樟,洪美玲,陈立侨等. 不同 pH 下硫化物胁迫对中华绒螯蟹亲体卵巢发育的影响[J]. 中国水产科学,2007,14(4):684-689.
GU S Z, HONG M L, CHEN L Q, et al. Effects of sulfide stress on ovary development of female Chinese Mitten-handed Crab (*Eriocheir sinensis*) under different ambient pH[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2007,14(4):684-689 (in Chinese).
- [19] 曾媛媛,艾春香,刘建国,等. pH 胁迫对拟穴青蟹体内几种免疫因子的影响[J]. 厦门大学学报(自然科学版),2008,47(3):413-418.
ZENG Y Y, AI C X, LIU J G, et al. Effects of pH stress on some immune factors of mud crab, *Scylla paramamosain*[J]. Journal of Xiamen University(Natural Science), 2008,47(3):413-418 (in Chinese).
- [20] 曾丹霞,金送笛,刘军,等. 中华绒螯蟹土池人工生态育苗水质调控的研究[J]. 大连水产学院学报,2003,18(3):210-215.
ZENG D X, JIN S D, LIU J, et al. Water quality and its control in artificially ecological breeding ponds of Chinese Mitten Crab[J]. Journal of Dalian Fisheries University, 2003,18(3):210-215 (in Chinese).
- [21] 李兰生,林洪,卢敬让等. 虾池生态系的氮平衡及氨水平的生物调控虾池中三氮的动态趋势(I) [J]. 海洋湖泊通报,1994(4):53-58.
LI L S, LIN H, LU J R, et al. Amonia-n balance and living beings adjusting and control in ecology system in shrimp farming pool there main inorganic variation tendency in shrimp farming pool (I) [J]. Transaction of Oceanology and Limnology, 1994(4):53-58 (in Chinese).
- [22] 曾朝曙,李少菁. 温度对锯缘青蟹幼体存活与发育的影响[J]. 水产学报,1992,16(3):213-221.
ZENG Z S, LI S J. Effects of emperature on survival and development of the larvae of *Scylla skrrata*[J]. Journal of Fisheries of China, 1992,16(3):213-221 (in Chinese).
- [23] 朱春华. 盐度对南美白对虾生长性能的影响[J]. 水产养殖,2002(3):25-27.
ZHU C H. Effects of salinity on growth performance of *Penaeus vannamei*[J]. Journal of Aquaculture, 2002(3):25-27 (in Chinese).
- [24] 马月钗,杨玉娇,王国良. 盐度变化对锯缘青蟹 *Scylla serrata* 免疫因子的胁迫影响[J]. 浙江农业学报,2010,22(4):479-484.
MA Y C, YANG Y J, WANG G L. Effects of salinity challenge on the immune factors of *Scylla serrata*[J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis, 2010,22(4):479-484 (in Chinese).
- [25] 赵卫红,焦念志,赵增霞. 烟台四十里湾养殖水域氮的存在形态研究[J]. 海洋与湖沼,2000,31(1):53-59.
ZHAO W H, JIAO N Z, ZHAO Z X. Forms of nitrogen in the Yantai Sishili Bay cultivated water[J]. Oceanologia Et Limnologia Sinica, 2000,31(1):53-59 (in Chinese).
- [26] 孙耀,赵俊,周诗赉等. 桑沟湾养殖海域的水环境特征[J]. 中国水产科学,1998,5(3):69-75.
SUN Y, ZHAO J, ZHOU S L, et al. Environmental features of cultural waters in Sanggou Bay[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 1998,5(3):69-75 (in Chinese).
- [27] 韦蔓新,童万平,何本茂,等. 北海湾无机磷和溶解氧的空间分布及其相互关系研究[J]. 海洋通报,2000,19(4):29-35.
WEI M X, TONG W P, HE B M, et al. Study on the spatial distribution of inorganic phosphorus and dissolved oxygen in the Beihai Bay and their correlation[J]. Marine Science Bulletin, 2000,19(4):29-35 (in Chinese).
- [28] 韦蔓新,童万平,何本茂,等. 北海湾磷的化学形态及其分布转化规律[J]. 海洋科学,2001,25(2):50-53.
WEI M X, TONG W P, HE B M, et al. The chemical formations of phosphorus in Beihai Bay and their rules of distribution and transformation[J]. Marine Sciences, 2001,25(2):50-53 (in Chinese).
- [29] WANG F I, CHEN J C. Effect of salinity on the immune response of tiger shrimp *penaeusmonodon* and its susceptibility to photobacterium *damselaesubsp damsela*[J]. Fish&Shellfish Immunology,2006,20(5):671-681.