

浮游生物与拟穴青蟹溞状幼体间关联分析 ——以宁波地区一生态育苗池为例

王扬才¹, 金中文¹, 吴仲宁²

(1.宁波市海洋与渔业研究院, 浙江 宁波 315010; 2.宁波市鄞州区渔业技术管理服务站, 浙江 宁波 315100)

摘要:为进一步明确青蟹生态育苗池中浮游生物对青蟹溞状幼体的影响, 在8口池塘中开展拟穴青蟹池塘生态育苗生产试验, 通过对育苗期内池塘浮游动、植物调查, 采用非线性多维标度排序分析方法了解育苗池中浮游植物的结构特点, 利用多元逐步回归法揭示溞状幼体与浮游动物的数量关系, 再运用冗余分析方法探讨浮游植物对青蟹溞状幼体的影响. 结果表明: (1)青蟹生态育苗池浮游植物可分为4个群组, 分别是早期丰度优势的硅藻群组、由绿藻为主组成的绝对优势群组、由甲藻组成后期发展的群组以及丰度和出现率均低的群组. (2)逐步回归分析结果显示, 青蟹溞状幼体数量与轮虫、无节幼体、丰年虫相关, 并主要受轮虫和丰年虫影响. (3)通过冗余分析发现, 与青蟹溞状幼体正相关的浮游植物为硅藻群组的种类, 而负相关的为甲藻群组的种类.

关键词:拟穴青蟹; 池塘; 浮游植物; 浮游动物; 溞状幼体

中图分类号: S917

文献标志码: A

文章编号: 1001-5132 (2019) 05-0001-06

拟穴青蟹(*Scylla paramamosain*, 以下简称青蟹)是我国南方沿海主要养殖经济蟹类, 作为青蟹养殖基础的苗种, 由于来源以海区天然苗为主, 苗种供应非常不稳定, 制约了青蟹养殖产业的进一步发展. 我国及东南亚多国先后开展过青蟹工厂化人工育苗研究及生产试验^[1], 人工苗在伤残率及变态成活率方面比天然苗有优势^[2]. 但由于工厂化育苗设备、技术要求、生产成本低, 苗种总产量低等原因, 苗种生产还不能实现产业化^[3]. 而开发青蟹室外土池育苗技术, 是改变当前青蟹养殖苗种来源的有效途径^[4]. 与青蟹室内工厂化育苗方式相比, 土池生态育苗方式在池塘中进行, 具有生产成本低、易于普及推广等明显优势^[5]. 同时, 池塘中浮游植物组成丰富、结构复杂, 轮虫、桡足类等浮游动物可在池塘中自然繁殖, 这种由藻类、轮虫组成的生物饵料营养全面, 在青蟹溞状幼体阶段不可或缺^[6]. 但青蟹育苗池塘中藻类、轮虫及桡足类等生物饵料消长变动规律还需探明, 苗种培育过程依然存在诸多不确定因素.

本研究以青蟹生态育苗池内单细胞藻类、轮虫、桡足类及青蟹溞状幼体为研究对象, 综合应用非线性多维标度排序分析(NMDS)、多元回归分析、冗余分析(RDA)等方法, 探讨育苗池内浮游性饵料生物的生态功能、变动规律及其与不同发育阶段溞状幼体的关系, 旨在为青蟹土池育苗生产过程中水质及饵料生物管理积累基础资料.

1 材料与方法

1.1 塘口条件与育苗方式

选择浙江省宁波市咸祥丹艳水产养殖场, 池塘8口, 育苗池形状为长方形, 每个池塘面积300~500 m², 池深1.2~1.5 m, 坡比1:2. 每口池塘安装水车式增氧机. 育苗前对池塘彻底暴晒、清塘, 用漂白粉对蓄水池水进行处理, 沉淀24 h后抽入育苗池备用.

育苗采取前期室外, 后期室内的方式, 即青蟹溞状幼体Ⅰ期到Ⅴ期末发育将进入大眼幼体时在室外生态育苗池进行, 之后幼体转移至室内进行

收稿日期: 2019-01-22.

宁波大学学报(理工版) 网址: <http://journalg.nbu.edu.cn/>

基金项目: 浙江省宁波市科技局农业重大项目(2016c11003).

*第一作者: 王扬才(1969-), 男, 安徽繁昌人, 高级工程师, 主要研究方向: 水生生物及水域生态. E-mail: wangyangcai@126.com

下一步培育。亲蟹为池塘越冬育肥的青蟹,抱卵蟹胚胎发育成熟,移至生态育苗池中孵化,每池放入抱卵蟹 5~7 只。每池青蟹幼体密度掌握在 $1.5 \sim 2.5 \times 10^4 \text{ ind} \cdot \text{m}^{-3}$ 。由于生产过程中抱卵蟹胚胎发育并不完全同步,育苗起始时间和结束时间也不一致,池塘生态育苗时间从 2014 年 5 月 22 日到 6 月 9 日,水温为 $23.7 \sim 26.6^\circ\text{C}$,盐度为 23.6~25.7。

青蟹池塘育苗采取布幼前接种轮虫,青蟹溞状幼体 I 期(Z1)和 II 期(Z2)酌情补充轮虫,III 期(Z3)后添加卤虫无节幼体(以下简称丰年虫)。

1.2 浮游生物采样

在 5 月 22 日第一批亲蟹移至池塘当天第一次采样,蟹苗移出池塘(6 月 9 日)最后一次采样,采样间隔为 5 d,共有 4 个批次样品。在池塘四边采用 2.5 L 采水器采得水样 10 L,充分混合后,浮游植物样品取水样 1 L,采得后立即加入 15 mL 鲁哥氏液固定。浮游动物样品另取混合水样 10 L,现场用 25 号浮游植物网过滤,浓缩集中于 500 mL 的塑料瓶中,加入 7 mL 甲醛固定。青蟹溞状幼体 Z1 到 IV 期(Z4)数量在浮游动物样品中同步计数, V 期(Z5)溞状幼体数量以实际移出至室内培育的数量计数。浮游生物在室内显微镜下鉴定,并计数^[7-8]。

1.3 数据分析

浮游植物聚类分析前,首先对数据进行平方根转换(Hellinger 转化),再计算欧氏距离,对浮游植物种类建立距离矩阵,采用最小方差聚类法,通过 CH 指标(Calinski and Harabasz Index)进行最佳聚类数判定,在此基础上进行非线性多维标度排序分析。采用胁迫系数(I_{stress})检验 NMDS 结果,通常认为 $I_{\text{stress}} < 0.2$ 时,可用 NMDS 的二维点图表示,其图形有一定的解释意义; $I_{\text{stress}} < 0.1$ 时,认为是一个好的排序^[9]。数据分析前剔除样品中出现次数少于 5 的稀有种^[10]。

多元回归分析采用逐步回归法,建立的模型参考赤池信息准则(AIC)和贝叶斯信息准则(BIC)。对转换后的浮游植物数据矩阵进行去势对应分析(DCA),若 DCA 分析结果中最大梯度长度大于 4.0,则使用典范对应分析(CCA)单峰模型分析群落数据和环境变量之间的关系;若小于 3.0,则使用 RDA 线性模型;介于 3.0~4.0 之间两者均可^[11]。

用 R 语言进行多元数据分析,并作图。

2 结果

2.1 浮游植物种类组成及丰度

鉴定出浮游植物 27 种,其中硅藻门 12 种,甲藻门 9 种,绿藻门 4 种,隐藻门 2 种。硅藻种类在 Z1 期最多(10 种),随着养殖进展,到 Z5 期只有 5 种;甲藻种类由溞状幼体 Z1 期的 4 种增加到 Z5 期的 7 种;隐藻只在 Z4 和 Z5 期水样中出现。

池塘浮游植物丰度为 $4.07 \times 10^5 \sim 1.52 \times 10^7 \text{ cell} \cdot \text{L}^{-1}$,平均 $4.03 \times 10^6 \text{ cell} \cdot \text{L}^{-1}$,其中硅藻、绿藻、甲藻和隐藻分别占藻类总丰度的 17.92%、70.33%、11.63% 和 0.12%,绿藻门丰度最高。

2.2 浮游植物聚类及 NMDS 空间排序

采用层次聚类法中的最小方差聚类对浮游植物进行聚类分析,当聚类组数为 4 时,CH 值为 4.12,达到最大值。同时,依据距离矩阵与代表分组的二元矩阵 Pearson 相关,分组数为 4 时,相关系数为 0.75(最高),因此确定最优聚类簇数为 4。通过 NMDS 对浮游植物进行空间排序,结果如图 1 所示,其 I_{stress} 为 0.14,说明空间排序结果可靠。

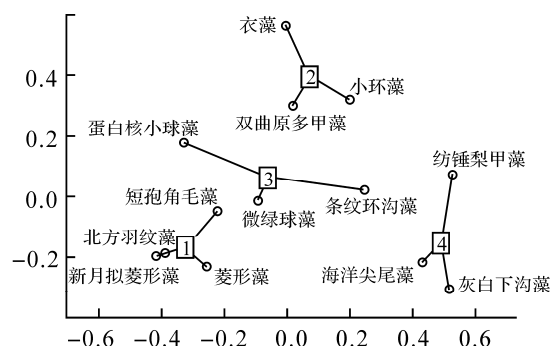


图 1 浮游植物群组 NMDS 排序

图 1 中第 1 组由新月拟菱形藻(*Nitzschia closterium*)、菱形藻(*Nitzschia* sp.)、北方羽纹藻(*Pinnularia borealis*)和短孢角毛藻(*Chaetoceros brevis*)等 4 种硅藻组成,为育苗池塘中早期的主要藻类,在 Z1 期的丰度为 $(2.16 \pm 1.49) \times 10^6 \text{ cell} \cdot \text{L}^{-1}$,占比达 46.39%(图 2),这一组的特点是丰度和出现率前期高后期低。第 2 组由衣藻(*Chlamydomonas* sp.)、小环藻(*Cyclotella* sp.)和双曲原多甲藻(*Peridinium conicoides*) 3 种藻类组成,特点是丰度较低,相对丰度分别为 0.69%、0.80% 和 0.73%,且池塘分布不均。第 3 组由微绿球藻(*Nannochloris oculata*)、蛋白核小球藻(*Chlorella pyrenoidosa*)和条

纹环沟藻(*Gyrodinium instriatum*)组成, 是育苗池浮游植物的主要组成, 特点是丰度高、持续时间长、分布广, 平均丰度为 $2.58 \times 10^6 \text{ cell} \cdot \text{L}^{-1}$. 第 4 组由灰白下沟藻(*Katodinium glaucum*)、海洋尖尾藻(*Oxyrrhis marina*)和纺锤梨甲藻(*Pyrocystis fusiformis*) 3 种甲藻组成, 丰度前低后高, 且池塘分布不均.

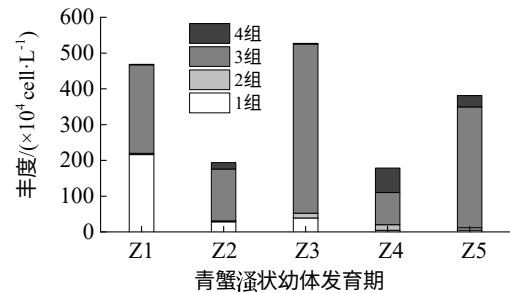


图 2 浮游植物组成与丰度

2.3 浮游动物种类组成及密度变化

池塘育苗期间浮游动物有 8 种, 主要有褶皱臂尾轮虫(*Brachionus plicatilis* 以下简称轮虫)、短角长腹剑水蚤(*Oithona brevicornis*)、小拟哲水蚤(*Paracalanus parvus*)、克氏纺锤水蚤(*Acartia clausi*)、尖额真猛水蚤(*Eutерpe acutifrons*)及桡足类无节幼体(以下简称无节幼体)、丰年虫及青蟹溞状幼体. 水体中数量最多的浮游动物是轮虫(图 3).

分析结果表明, 轮虫占浮游动物总数的 54.71%,

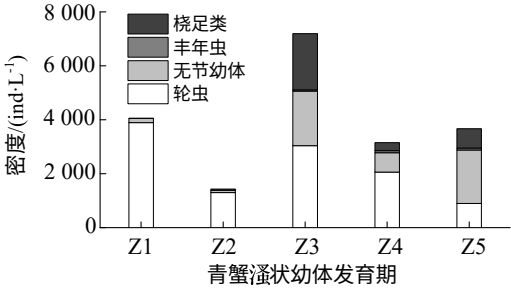


图 3 浮游动物组成与密度

密度在 $110 \sim 6925 \text{ ind} \cdot \text{L}^{-1}$ 之间, Z1 期密度最高, 平均达 $3891 \text{ ind} \cdot \text{L}^{-1}$, Z2 期明显下降, Z3 期密度回升到 $3034 \text{ ind} \cdot \text{L}^{-1}$, 之后数量逐渐减少. 无节幼体数量次之, 占浮游动物总数的 25.99%. 桡足类在育苗 Z1 和 Z2 期数量较少, Z3 期由于短角长腹剑水蚤和无节幼体的迅速繁殖数量达最高, 其中无节幼体密度为 $2026 \text{ ind} \cdot \text{L}^{-1}$, 而成体的密度也达 $2085 \text{ ind} \cdot \text{L}^{-1}$. 丰年虫只出现在 Z3~Z5 期样品中, 平均密度分别为 42.83、75.00、74.80 $\text{ind} \cdot \text{L}^{-1}$. 青蟹溞状幼体 Z1 期的平均密度为 $14.44 \text{ ind} \cdot \text{L}^{-1}$, Z5 期平均密度为 $1.09 \text{ ind} \cdot \text{L}^{-1}$.

2.4 青蟹溞状幼体与浮游动物关系

浮游动物种间相关分析显示(图 4), 青蟹溞状幼体与轮虫、无节幼体和丰年虫呈明显相关 ($P < 0.05$), 相关系数分别为 0.42、0.46 和 0.51. 以青蟹溞

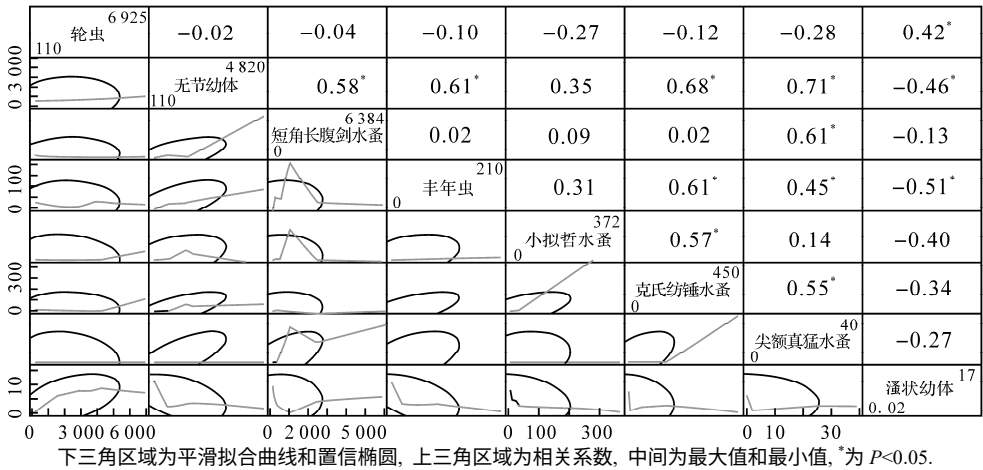


图 4 浮游动物分布与相关系数

表 1 回归模型拟合参数和检验参数

模型	轮虫	无节幼体	丰年虫	截距	P 值	调整后 R^2	AIC	BIC
1	0.0011*	-0.0011	-0.030	5.85**	0.0100	0.36	142.270	144.42
2	0.0011*	-0.0018*		5.35**	0.0081	0.32	141.370	143.69
3	0.0011*		-0.045*	5.31**	0.0060	0.34	140.677	142.99

注: *为显著性相关($P < 0.05$); **为极显著性相关($P < 0.01$).

状幼体为因变量, 其他浮游动物为自变量, 采用逐步回归法进行多元拟合, 得到 3 个回归模型(表 1)。从表 1 可知, 模型 1 在 5% 的显著性水平下显著, 而模型 2 和 3 在 1% 的显著性水平下显著, AIC 和 BIC 指数在模型 3 中最小, 表明模型 3 最优。

2.5 浮游植物与浮游动物的冗余分析

对浮游植物数据集进行 DCA 分析, 迭代次数为 4, 第一轴的梯度值为 2.69, 小于 3, 故选择冗余分析。利用向前引入法逐步筛选浮游动物变量, 蒙特卡罗置换检验结果显示, 对浮游植物分布的影响达到显著水平($P<0.05$)的浮游动物变量有轮虫、无节幼体、剑水蚤和青蟹溞状幼体。

将这 4 种浮游动物(响应变量)与浮游植物(解释变量)进行 RDA 分析, 结果经蒙特卡罗置换检验显示 RDA 总典型轴达显著水平($F=1.7506$, $P=0.029$), 第一轴检验为显著水平($F=4.2647$, $P=0.042$), 说明 RDA 排序效果理想。浮游动物变量矩阵的总方差中能被浮游植物变量解释的部分为 28.01%, 前两轴累计解释了 85.67% 的浮游植物-动物关系信息, 前 4 个典范轴的特征根及各变量在 4 个典范轴负载值见表 2。负载值越高, 表明变量与典范轴的关系越密切。在第一主轴上高负载值的变量有: 新月拟菱形藻、短孢角毛藻、菱形藻、小球藻和灰白下沟藻; 在第二主轴上高负载值的变量有: 微绿球藻和小球藻。

图 5 为 RDA 排序, 浮游植物与浮游动物变量

表 2 RDA 分析中各轴的重要值

统计值	轴 1	轴 2	轴 3	轴 4
特征值	0.059 7	0.024 2	0.010 2	0.003 8
物种变量累积方差	0.170 6	0.240 0	0.269 1	0.280 1
约束特征根	0.609 0	0.247 7	0.104 0	0.039 3

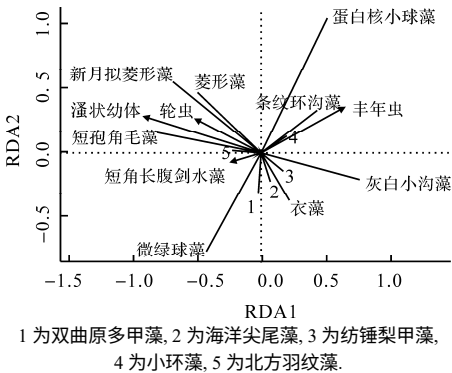


图 5 浮游植物与浮游动物的冗余分析排序

夹角的余弦值代表了两者的相关性^[12]。由图 5 可见, 轮虫、青蟹溞状幼体与浮游植物第一群组中的北方羽纹藻、菱形藻、新月拟菱形藻和短孢角毛藻呈正相关, 与第四群组中甲藻呈负相关, 与第二和第三群组中的微绿球藻等相关性较弱。

3 讨论

3.1 浮游植物群落特征及与育苗的关系

青蟹生态育苗池塘前期浮游植物种类多、丰度大, 以硅藻、绿藻为主。养殖中后期, 海洋尖尾藻、灰白下沟藻等具鞭毛藻类逐渐增加, 而浮游植物种类有减少的趋势, 生态育苗池中浮游植物的变化符合养殖池塘浮游植物一般演变规律^[13]。浮游植物种群的变化受制于养殖环境的变迁、物种自身适应性差异等, 往往是多个因素协同作用的结果^[14]。由于池塘受人为因素影响, 环境波动剧烈, 池塘浮游植物通过自身的群落演替以维持水体生态平衡^[15]。不同生存策略的浮游植物忍受环境因子缺失的限制条件能力不同, 使得具备相应适应性功能的物种在相应环境中生存^[16]。根据生态育苗池中浮游植物不同种类育苗期间时空变化的数据, 利用聚类和排序分析, 将相似生态特征的物种归类, 形成 4 个不同群组, 反映了不同环境适应性功能的浮游植物对环境变化的响应。第 1 群组主要由硅藻组成, 为育苗池早期主要浮游植物种类, 由于这组硅藻的环境适应性不足以对抗育苗池环境的变化, 群组数量迅速下降; 第 2 群组由衣藻、小环藻和双曲原多甲藻组成, 在整个育苗期都处于较平缓的状态, 在各池塘分布不均且丰度低, 表明这是一类生态适应性强, 但竞争力弱的群组; 第 3 群组是育苗池中丰度最高的群组, 由微绿球藻、小球藻和条纹环沟藻组成, 这组中的绿藻类由于对盐度的耐受范围较宽, 是海水养殖池塘中常见种^[17], 生态适应性和竞争力强, 因此在育苗全程都能保持较高的丰度; 第 4 群组中的灰白下沟藻、海洋尖尾藻和纺锤梨甲藻全由甲藻组成, 是育苗中后期浮游植物的重要组成种类, 说明这群组生态适应能力不高, 当遇到适宜的环境条件, 群组能迅速增殖。

在青蟹生态育苗池塘中, 浮游植物作为生产者, 在维持池塘生态系统稳定的同时, 作为食物链的一环给浮游动物提供饵料, 促进饵料生物的营

养互补. 研究表明, 小型单细胞硅藻是轮虫的绝佳饵料, 也可被蟹类早期的幼体直接摄食, 这些藻类可通过直接或间接的途径为蟹类溞状幼体的生长发育提供所需的营养^[18], 因此, 生态育苗池内保持适宜的单细胞藻类密度对于提高蟹类幼体的成活率, 尤其是早期幼体的存活率具有重要作用. 采用 RDA 分析的优点是可以直接分析青蟹育苗池浮游动物和浮游植物的数据, 物种在群落中所占的地位都会直接影响到排序中的环境变量, 从 RDA 排序(图 5)可看出, 第 1 群组的硅藻与轮虫及青蟹溞状幼体存在明显的正相关, 表明这些硅藻可能通过食物链关系对轮虫和青蟹溞状幼体产生正向影响. 第 2 群组物种丰度低, 在图 5 中集中在中心附近, 对排序贡献值低, 与轮虫和青蟹溞状幼体相关性弱, 虽然群组中小环藻和衣藻也是浮游动物的适口饵料, 但较低的丰度可能限制了轮虫和青蟹溞状幼体对其食物的选择. 第 3 群组藻类丰度高, 其中微绿球藻也是轮虫的饵料, 但 RDA 分析显示, 这一群组与轮虫及青蟹溞状幼体没有明显的相关性, 其原因可能是由于群组增殖的速度受轮虫牧食压力的影响有限, 加之较强的生态适应性, 因而群组数量在整个育苗期都能保持较高的水平. 第 4 群组的甲藻与轮虫及青蟹溞状幼体是负相关关系, 这一群组为大型鞭毛甲藻, 其中丰度较高的灰白下沟藻和海洋尖尾藻运动速度较快, 属异养营养型的种类^[19], 在食物上与轮虫构成竞争关系, 因此, 这组的藻类组成对轮虫的生长不利, 从而影响溞状幼体的生长.

3.2 浮游动物与青蟹溞状幼体的关系

轮虫是青蟹溞状幼体 Z1 和 Z2 期适宜的饵料^[20], Z3 期以后主要以丰年虫为饵料. 青蟹溞状幼体与浮游动物相关分析结果显示, 青蟹溞状幼体只与轮虫和丰年虫显著相关, 揭示了青蟹溞状幼体与 2 种浮游动物的摄食关系.

回归分析结果显示, 育苗池中轮虫密度对青蟹溞状幼体密度产生正向指示, 而无节幼体、丰年虫密度与青蟹溞状幼体密度负相关. 轮虫是影响青蟹溞状幼体成活率的重要因子, 轮虫密度高的池塘青蟹溞状幼体密度也高, 但如果轮虫密度过大, 在进入 Z3 期, 由于青蟹幼体对轮虫的捕食率下降, 会造成轮虫自身过度繁殖, 给后期的育苗带来不

利影响. 因此, 本研究在 Z1 期将轮虫密度保持在 $3\,000\text{ ind}\cdot\text{L}^{-1}$ 左右, 在 Z2 期控制轮虫投喂添加量, 并未出现后期轮虫过度繁殖现象, 说明轮虫的密度设置基本合理. 青蟹溞状幼体密度随无节幼体密度增加而减少, 其原因可能是无节幼体的数量由育苗池中桡足类的数量决定, 而桡足类在蟹苗池中的摄食行为主要表现在干扰蟹苗变态, 争食浮游植物或轮虫及竞争空间和攻击蟹苗等方面^[21]. 桡足类数量越大对青蟹溞状幼体的负面影响也越大, 因此在回归分析中无节幼体在数量上与青蟹溞状幼体呈反比关系; 而青蟹溞状幼体密度与丰年虫密度负相关, 一方面是由于丰年虫全都为青蟹溞状幼体 Z3 期以后人工每日定量添加, 青蟹溞状幼体密度高的池塘对丰年虫的摄食强度高, 育苗池中丰年虫的数量少, 反之丰年虫的数量会增高; 另一方面育苗过程中丰年虫的投喂量可能超出了青蟹溞状幼体正常生长的需求.

4 结语

拟穴青蟹生态育苗池中的浮游植物可划分为 4 个群组, 早期丰度优势的硅藻群组对青蟹溞状幼体及轮虫的正向作用明显, 而后期的甲藻群组不利于青蟹的育苗生产. 轮虫和丰年虫是影响青蟹溞状幼体密度的主要浮游动物, 育苗过程中需强化对轮虫和丰年虫的投喂管理. 桡足类无节幼体与青蟹溞状幼体密度呈负相关, 育苗早期应严格把控.

参考文献:

- [1] 王桂忠, 李少菁, 陈志刚. 青蟹(*Scylla* spp.)养殖现状及拟穴青蟹(*S. paramamosain*)种群生物学研究[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 2016, 55(5):617-623.
- [2] 沈亦军, 金中文, 王扬才, 等. 拟穴青蟹天然和人工培育幼蟹的形态性状及变态成活率比较[J]. 科学养鱼, 2017(1):54-56.
- [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.
- [4] 金中文, 王扬才, 吴仲宁, 等. 青蟹池塘生态育苗试验[J]. 海洋科学, 2014, 11(38):68-74.
- [5] 齐计兵, 乔振国, 顾孝连, 等. 拟穴青蟹池塘育苗生物饵料的初步研究[J]. 江苏农业科技, 2015, 43(4):233-236.
- [6] 吕延红, 于忠利, 王建钢, 等. 几种营养强化材料应用于拟穴青蟹种苗培育的初步研究[J]. 海洋渔业, 2009,

- 31(3):270-278.
- [7] 郑重, 张松踪, 李松, 等. 中国海洋浮游桡足类[M]. 上卷. 上海: 上海科学技术出版社, 1995:82-192.
- [8] 程兆第, 高亚辉. 中国海藻志[M]. 5 卷. 北京: 科学出版社, 2007:42-99.
- [9] Khalaf M A, Kochzius M. Changes in trophic community structure of shore fishes at an industrial site in the Gulf of Aqaba, Red Sea[J]. Marine Ecology Progress Series, 2002, 239:287-299.
- [10] Marchant R. Do rare species have any place in multivariate analysis for bioassessment?[J]. Journal of the North American Benthological Society, 2002, 21(2):311-313.
- [11] Legendre P, Gallagher E D. Ecologically meaningful transformation for ordination of species data[J]. Oecologia, 2001, 129(2):271-280.
- [12] Pierre L, Louis L. Numerical Ecology[M]. Amsterdam: Elsevier Science BV, 2012:640-642.
- [13] 麦贤杰, 黄伟健, 叶富良, 等. 对虾健康养殖学[M]. 北京: 海洋出版社, 2009:102-124.
- [14] 王扬才, 金中文, 柳海, 等. 拟穴青蟹土池育苗池塘中浮游植物的群落特征[J]. 水产研究, 2018, 5(4):181-187.
- [15] Padisak J, Crossetti L O, Naselli-Flores L. Use and misuse in the application of the phytoplankton functional classification: A critical review with updates[J]. Hydrobiologia, 2009, 621(1):1-19.
- [16] Reynolds C S, Huszar V, Kruk C, et al. Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton [J]. Journal of Plankton Research, 2002, 24(5):417-428.
- [17] 查广才, 周昌清, 黄建容, 等. 凡纳对虾淡化养殖虾池微型浮游生物群落及多样性[J]. 生态学报, 2004, 24(8): 1752-1759.
- [18] 李晓东. 河蟹生态养殖的理论与技术研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2007.
- [19] 孙军, 郭术津. 甲藻的异养营养型[J]. 生态学报, 2011, 31(20):6270-6286.
- [20] 朱小明, 姜晓东, 李少菁. 不同发育期锯缘青蟹幼体摄食的变化[J]. 海洋与湖沼, 2006, 37(2):125-130.
- [21] 张清靖, 李晓东, 朱华, 等. 生态育苗池中的桡足类与河蟹苗产量的关系[J]. 应用生态学报, 2007, 18(1):174-178.

Analysis of the correlation between plankton and zoea of *Scylla paramamosain*: An example of ecological breeding ponds of mud crab in Ningbo

WANG Yangcai¹, JIN Zhongwen¹, WU Zhongning²

(1.Ningbo Marine and Fisheries Research Institute, Ningbo 315010, China;

2.Yinzhou Fisheries Technology Service Station, Ningbo 315100, China)

Abstract: The current study was aimed to understand the effect of bioplankton on the zoea of the mud crab in ecological breeding pond of *Scylla paramamosain*. A total of 8 ecological breeding ponds were selected to discover the phytoplankton characteristics by Nonlinear Multidimensional Scaling Ranking Analysis and the effect of phytoplankton on the zoea by Redundancy Analysis. Phytoplankton and zooplankton were investigated during the breeding period. The results indicated that phytoplankton in crab ecological breeding pond can be divided into four groups: Diatom group with early abundance dominance, absolute dominance group with chlorophyta as the main component, later developed dinoflagellate group, low abundance and occurrence rate group. Furthermore, the abundance of zoea was related to rotifers, nauplii and artemia, and was mainly affected by rotifers and artemia. RDA analysis showed that the zoea of mud crab which was positively related to phytoplankton was the species in diatom group; whereas negatively related was the species in dinoflagellate group.

Key words: *Scylla paramamosain*; pond; phytoplankton; zooplankton; zoea larvar

(责任编辑 史小丽)