

贝类对对虾养殖池塘沉积物中小型底栖动物的影响

申屠基康, 林霞, 赵亚波, 徐永健*

(宁波大学海洋学院, 浙江宁波 315211)

摘要: 通过分析凡纳滨对虾单养及其与泥蚶混养实验的沉积物的理化特性、小型底栖动物种类组成及其生物量的变化, 研究贝类对对虾池中小型底栖动物的影响。实验中对虾放养密度均为 17×10^4 个/hm², 泥蚶密度分别为0粒/m² (S)、60粒/m² (SC1)、120粒/m² (SC2)和180粒/m² (SC3)。结果显示, 随养殖时间增加: ①沉积物中有机物含量呈上升趋势, pH与氧化还原电位逐渐下降; 随贝类放养密度增加, 底质环境恶化程度趋缓; ②小型底栖动物的丰度和生物量呈下降趋势, 随着贝类放养密度增加, 小型底栖动物的群落结构变化逐渐减少; ③回归分析表明, 介形类与线虫比值与对虾产量呈较好的相关性, 一定密度贝类混养有利于底泥中介形类与线虫比值的提高, 初步结果为养殖过程中该比值平均要达到6, 单次值不低于3.5。研究表明, 对虾与泥蚶混养有利于底质的改善和小型底栖动物的生长, 较高密度的泥蚶(80~140个/m²)有明显净化底质的作用。

关键词: 凡纳滨对虾; 泥蚶; 底栖动物; 沉积物质量; 介形类与线虫比

中图分类号: S 966.1

文献标志码: A

小型底栖动物(meiofauna)指分选时能通过0.5 mm孔径网筛但被0.031 mm孔径网筛截留的底栖动物部分, 是许多经济鱼、虾和贝类幼体阶段的优质饵料^[1], 包括自由生活的海洋线虫、底栖桡足类、介形类、涡虫等。在养殖系统中, 除作为养殖生物饵料外, 它还可以加速沉积物中有机物降解, 促进营养物质再矿化与再循环^[2]。小型底栖动物在池塘中的分布与有机质、营养盐含量具有高度相关性^[3-4], 因此, 其群落结构、多样性和丰度变化将直接影响生态系统的生产力。此外, 小型底栖动物的生活周期短、无浮游生活史, 也使这类生物成为环境质量的重要指示生物^[3, 5-7], 常把该类生物作为环境监测和对生态系统健康评估的理想指示类群, 尤其适于用来测定人类扰动对水域生态系统的影响评价^[5-6]。

海水养殖池塘是人工生态系统, 受到一系列养殖活动的影响, 不可避免会产生污染, 导致沉积物中有机物升高, 影响底质质量。目前

对底栖动物的研究主要集中于自然生态系统^[8-9], 对人工生态系统, 尤其是池塘养殖系统中小型底栖动物的研究较少^[10]。本研究选择沉积物中的小型底栖动物作为养殖池塘的指标生物, 监测养殖过程中该类动物的种类组成及丰度的动态变化, 分析沉积物的环境质量及养殖系统的健康状况, 进而比较不同养殖模式对养殖沉积环境的影响, 并从理论上尝试进行海水健康养殖模式的分析与探讨。

1 材料与方 法

1.1 泥蚶、对虾及实验围隔

实验地点位于浙江宁海双盘涂水产养殖公司(29°13'23"N, 121°32'45"E)。在该公司的一个2 hm²海水池塘内建设12个陆基围隔, 围隔大小为15 m×15 m×2 m, 用彩条布构建, 竹木框架(图1)。彩条布底下有30 cm压到底泥中, 防止养殖对虾逃逸以及漏水。

收稿日期: 2016-06-02 修回日期: 2016-09-20

资助项目: 国家现代农业产业技术体系建设项目(CARS-48)

通信作者: 徐永健, E-mail: xuyongjian@nbu.edu.cn

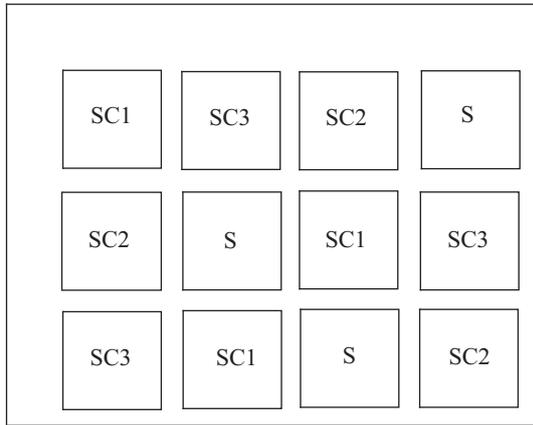


图1 养殖实验位置示意图

Fig. 1 Geographic sketch maps of experiment

1.2 实验设计与养殖实验

实验分2种养殖模式: 虾单养(S)、虾贝混养(SC)。虾为凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*), 所有处理中虾的初始放养密度均为 17×10^4 个/hm², 虾苗购自宁波双盘涂育苗厂, 体长为0.7~0.8 cm; 混养模式中的贝类为泥蚶(*Tegillarca granosa*), 购自附近养殖池塘, 体质量为(2.42±0.47) g/粒。混养共3个密度梯度, 分别为60粒/m²(SC1)、120粒/m²(SC2)、180粒/m²(SC3), 4个处理, 每个处理3个重复, 共12个围隔。放养时, 泥蚶仅撒播在围隔的一半面积(泥蚶密度计算中, 面积以围隔面积计算)。泥蚶放养的时间为5月6—7日, 对虾的放养时间为6月3日。

养虾时间为103 d, 养殖实验前进行清淤和漂白粉消毒, 之后纳水冲洗。进水浸泡1个月后, 底播泥蚶。然后, 逐渐增加水位, 至放虾苗时, 各处理围隔中水深约1.0 m。养殖期间, 仅少量换水, 主要以补充新鲜水为主。每天8:00和17:00向围隔内投喂对虾配合饲料(海大牌), 泥蚶不投喂。

1.3 沉积物柱样的采集与样品处理

每一围隔中设柱状沉积物采样点1个(位于无贝区)。实验期间每15天采样1次, 用直径为5 cm PVC管采集。采样后, 以0~2、2~5和5~10 cm分割成3层。取每层的1/3泥样作小型底栖动物分析用, 用5%福尔马林固定, 经虎红染色, 用1.0和0.1 mm套筛清洗, 分别在解剖镜下分类鉴定并计数, 本实验中1.0~0.1mm者为小型底栖动物; 其余样品用于分析有机物含量等。

对刚采集的泥样还需及时测定各层沉积物的氧化还原电位(ORP)、pH值和有机物含量。其中, ORP、pH值采用WTW多功能参数测定仪现场测定(WTW公司, 德国); 沉积物中有机物含量测定方法: 取风干样, 研磨为粉末, 去除大颗粒不能磨碎的杂质后, 称取5.0 g, 550 °C下灼烧至恒重。前后重量差视为沉积物中的有机物含量, 用失重的百分率(%)表示。

1.4 数据处理与分析

生物量估算按照类群个体平均干重乘以各类群丰度(个/10 cm²)方法^[11]; 主要类群的平均个体干重依据^[12], 即线虫: 0.4 μg; 多毛类: 14 μg; 双壳类: 4.2 μg; 动吻类: 2.0 μg; 介形类: 26 μg; 其他: 3.5 μg。桡足类参照McIntyre^[13]以1.86 μg计算。

由于底栖桡足类对环境胁迫更加敏感, 常以底泥中N/C(线虫与桡足类密度比)作为海洋环境污染的指标^[14-15]。但是, 在受养殖活动的影响池塘中, 沉积物中的有机物含量较高, 影响底质质量, 其污染程度远高于海洋、湖泊等水生生态系统, 使桡足类密度极低或检测不到。介形虫作为另一种指示水质指标的生物, 其动态变化也能很好地反映环境质量^[16-17]。本研究将利用介形虫与线虫密度比作为养殖池塘底泥污染程度的评价指标, 比值越大, 代表水质污染程度越小。

数据分析采用SPSS软件, 单养处理与混养处理以及混养处理间的理化与生物指标的差异比较采用T检验。

2 结果分析

2.1 各处理的产量及沉积物理化特性变化

泥蚶在各混养处理中, 由于放养的密度不同, 养殖收获的产量不一样(表1)。主要比较各处理间的成活率及生长速率, 成活率相似, 但生长速率不一样造成收获的泥蚶规格有一定的差异, 其中SC3与SC2处理间差异显著($P < 0.05$)。对虾在不同处理间的产量与成活率都存在差异, SC2和SC3的产量最高, 并与S及SC1间差异显著($P < 0.05$), 成活率也有类似的结果($P < 0.05$)。

各处理间, 初始的有机物含量、ORP及pH均无差异($P > 0.05$); 随着养殖时间的延长, 至实验结束时, 各处理的指标基本上都呈现显著

表 1 各处理养殖生物的收获产量与规格

Tab. 1 Harvest yields and specifications for each treatment of cultured animals

处理 treatment	对虾 <i>L. vannamei</i>			泥蚶 <i>T. granosa</i>		
	体长/cm body length	产量/(kg/hm ²) yield	收获率/% ratio	重量/g body weight	产量/(kg/hm ²) yield	收获率/% ratio
S	13.22±3.32	1673.3±342.67 ^a	55.06±7.71 ^a			
SC1	12.87±1.73	1788.9±172.89 ^a	63.13±4.67 ^a	8.99±0.16 ^{ab}	1753.3±86.67	75.36±8.21
SC2	12.55±1.17	2500.0±151.56 ^b	88.23±5.34 ^b	9.14±0.19 ^b	2912.9±328.89	78.66±6.47
SC3	12.62±1.05	2388.9±78.67 ^b	84.31±3.79 ^b	8.50±0.33 ^a	4121.3±280.44	75.10±9.44

差异, 不管是处理间($P<0.05$), 还是同一处理与初始时相比($P<0.05$)(图2)。各指标的变化略有差异, 其中, 0~5 cm层, pH值在S和SC1中的变化较大, 降到6.5以下; 中高密度混养处理相对降低的幅度稍小。沉积物中有机质含量与pH值相反, 在S和SC1中含量升高明显, 另两处理略有

升高, 幅度要小于前两处理($P<0.05$)。ORP的反应最为敏感, S和SC1在结束时都已为负值, SC2和SC3也降幅明显。对于5 cm以下沉积物的理化指标比较发现, 有机物含量、ORP、pH值的变化范围分别为10.4%~11.3%、33.2~45.0 mV、7.2~7.4, 各处理间的差异不显著($P>0.05$)。

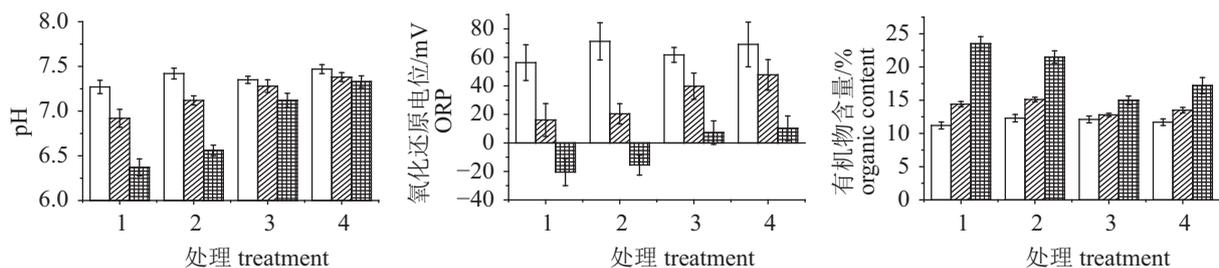


图 2 各处理0~5 cm层沉积物中几个理化指标的变化

1. S; 2. SC1; 3. SC2; 4. SC3

Fig. 2 Variations of several factors of surface sediment (0-5 cm) in different treatments

1. S; 2. SC1; 3. SC2; 4. SC3

2.2 小型底栖动物的丰度与生物量变化

初始丰度与生物量 池塘经清淤、消毒和肥水后, 放养贝类前池塘底泥中的小型底栖动物类群见表2。初始小型底栖生物有线虫、介形类、桡足类、多毛类等, 各类群的丰度和生物量及其所占比例见表2。从丰度上看, 主要优势类群为线虫和介形类, 两者占总丰度的97.42%, 其中线虫占绝对优势(84.07%); 从生物量上看, 主要是介形类, 占总生物量的85.88%; 线虫为第二大类, 占8.32%。而桡足类等其余类群的丰度和生物量都很低。

养殖过程中丰度变化 养殖过程, 各处理中小型底栖动物的丰度都发生了较大的变化。其中线虫和介形类从初始到结束都是主要的和重要的小型底栖动物(因此把其他的简化归

为一类)。不同处理间存在非常明显的差异, S和SC1的变化趋势略为相似, 线虫丰度在养殖前期有所上升, 养殖中期保持在较低数量, 而后在养殖后期再次上升。而在这个过程中, S处理中的介形类, 在中前期的丰度变化不大; SC1处理, 前期有所上升, 至中期下降, 在两处理的后期介形类丰度都很低(图3)。SC2和SC3处理, 整个养殖过程中线虫的丰度一直在下降, 至养殖中后期保持在较低水平; 介形类丰度先有大幅上升, 成为主要类群, 而后在SC2处理中快速下降至最低值, 后丰度略有上升至养殖结束都保持较高丰度, 在SC3处理, 其丰度上升后到养殖中期丰度略有降低, 然后保持在较高的稳态运行。

养殖过程中生物量变化 由于各个类群换算系数的关系, 各处理中主要的生物量是介

表 2 实验初始时养殖池塘沉积物中小型底栖生物的丰度与生物量

Tab. 2 Abundance and biomass of main groups of meiofauna at the beginning of experiment

类群 group	丰度 abundance		生物量 biomass	
	密度/(个/10 cm ²) density	比例/% percentage	密度/(μg/10 cm ²) density	比例/% percentage
线虫 nematoda	163.67±21.22	84.07	65.47±8.49	8.32
介形类 ostracoda	26.00±9.54	13.35	676.00±248.04	85.88
桡足类 copepoda	2.00±1.00	1.03	3.72±1.86	0.47
多毛类 polychaeta	3.00±1.41	1.54	42.00±19.74	5.34
其他 others	0.00	0.00	0.00	0.00
总数 total	194.67±1.53	100	787.19±103.56	100

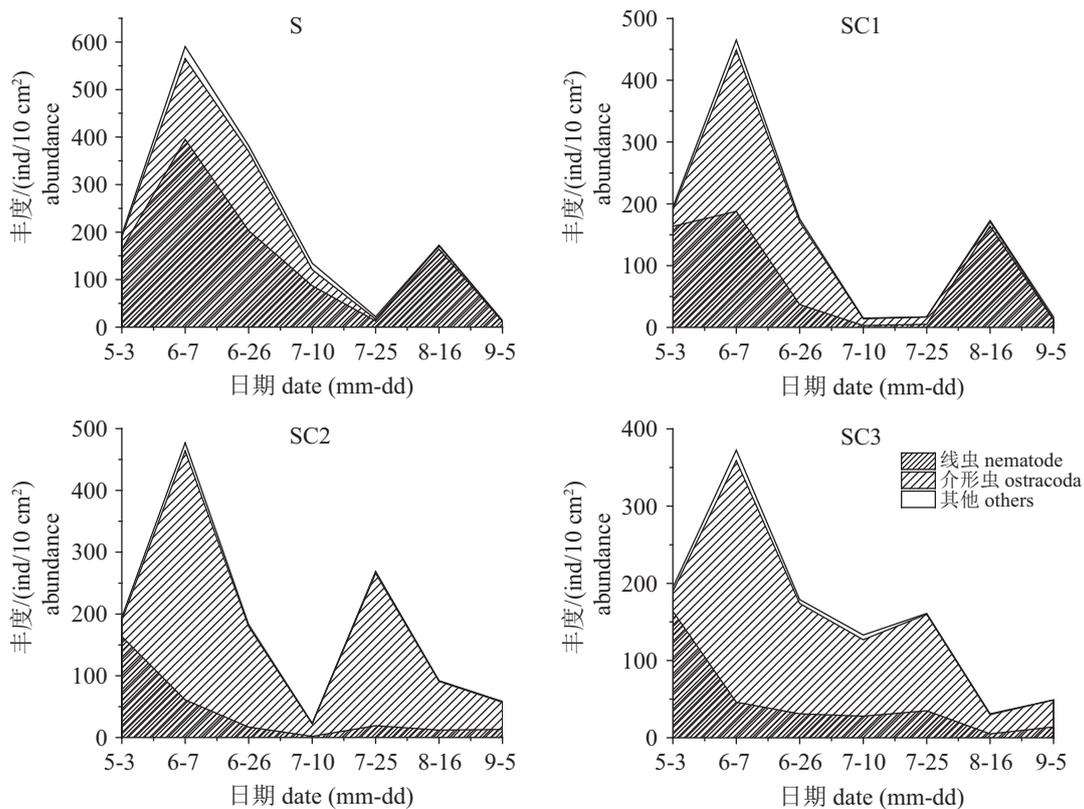


图 3 小型底栖动物丰度的变化

Fig. 3 Variations of the abundance of benthic animals during experiment

形类。从介形类的生物量变化看, S和SC1处理为前中期较高, 而到中后期下降, 并一直保持在较低水平; SC2和SC3也类似在前中期高, 但中后期却处于较高的水平状态(图4)。后两者与前两者在中后期的差异是非常明显的。

小型底栖动物的垂直分布变化 图5为实验结束时各处理中各层沉积物中小型底栖动物的丰度与生物量占整个柱状沉积物样的比例变

化, 并与初始时的数值对比。从图中看, 丰度比例与生物量比例的变化趋势相似。而与初始时比较(初始表、中、下层小型底栖动物的平均丰度和生物量比例分别为54%、21%、25%和67%、24%、9%), 各层的比例变化差异是非常明显的。在S、SC1和SC2处理中, 小型底栖动物在表层(0~2 cm)所占比例大大增加, 中层(2~5 cm)和下层(5~10 cm)比例大幅缩小, S处理甚至在

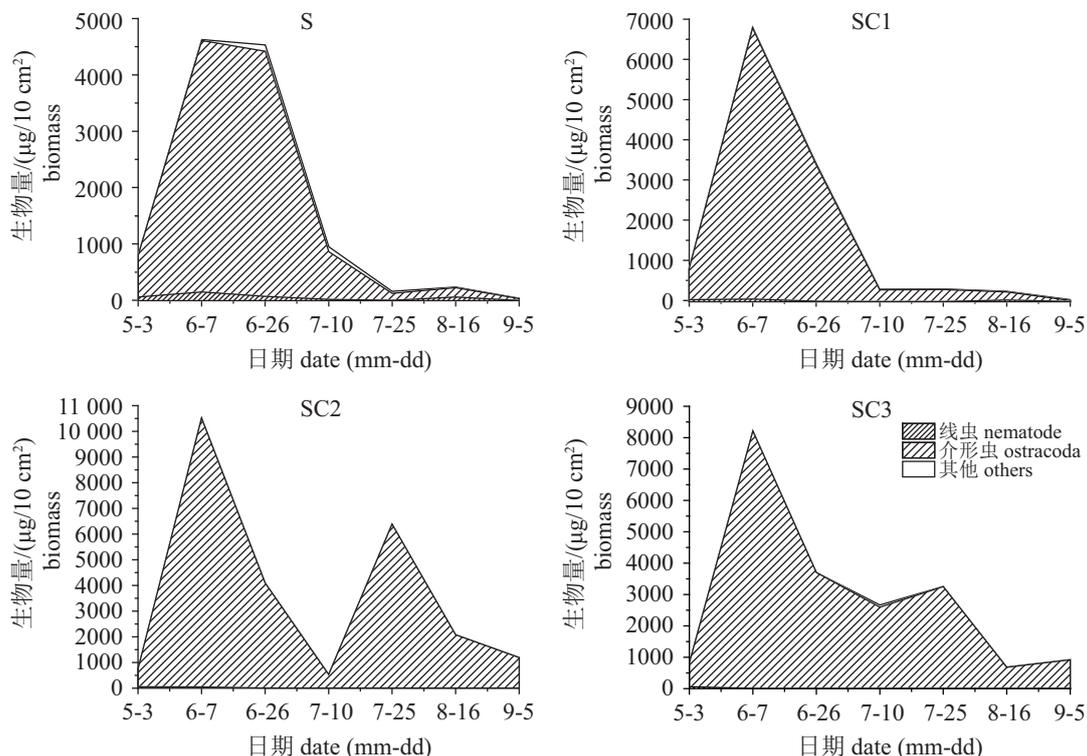


图 4 小型底栖动物生物量随时间的变化

Fig. 4 Variations of the biomass of benthic animals during experiment

下层镜检不到任何生物；仅SC3处理，各层的比例与初始接近，差异不明显($P>0.05$)。

2.3 养殖生物产量与介形类与线虫丰度比的关系

养虾池塘底泥中的小型动物主要为介形类与线虫，对各处理中两者间的数量比作图6。混养处理中两者的比值显著高于单养($P<0.05$)，而在混养处理中，又以SC2处理在养殖中间阶段的比例较高($P<0.05$)；而SC1与SC3处理在养殖中期阶段(6月26日—7月25日)的差异不大($P>0.05$)，只是到养殖后期，后者系统中的介形类与线虫的比值才显著高于前者($P<0.05$)。

对各围隔的对虾产量及其对应的围隔底泥中介形类与线虫比值的平均值间的关系进行相关性分析，结合各围隔底泥中环境质量各因素(有机物含量、ORP、pH值)的变化及其在各处理间的差异，从小型底栖动物的丰度和生物量变化看，显然混养的环境效益较好，尤其是混养较高密度贝类处理(SC2、SC3)(图7)。从养殖效益看，SC3处理中泥蚶的规格略逊于SC1和SC2，即生长速率不如后两者(表1)。综合本实验结果看，SC2处理较为理想，平均对虾产量为2500

kg/hm²、泥蚶放养密度是120粒/m²。经计算，该处理整个养殖过程中介形类与线虫数量比波动范围为3.5~10，平均值为6(图6)。在本实验中，推测相应的贝类(泥蚶)适宜放养密度约为80~140粒/m²。

3 讨论与结论

3.1 介形类与线虫丰度比反映底质环境变化

小型底栖动物种类多、数量大、分布广，对底栖生态系统的物质循环和能量流动有非常重要的意义^[6-7]。其种类组成和变化可反映底质环境的污染状况^[14-15, 18]，在近海等较洁净的环境，小型底栖动物主要以海洋线虫为主，通常以桡足类为第二大类群，桡足类对水质的变化最为敏感^[19]。因此，常用线虫与桡足类的丰度比值变化来反映底质环境污染^[8-9]。而养殖系统中，小型底栖动物不但与环境污染有关，养殖水体营养较为丰富，底质中有机质含量高，而养殖前后各成分含量变化大(图2)，加上桡足类对环境变化太敏感^[20]，造成养殖系统中尤其是沉积物中的桡足类少(表2)，难以套用线虫与桡足类的关系进行养殖环境质量分析；小型底栖动

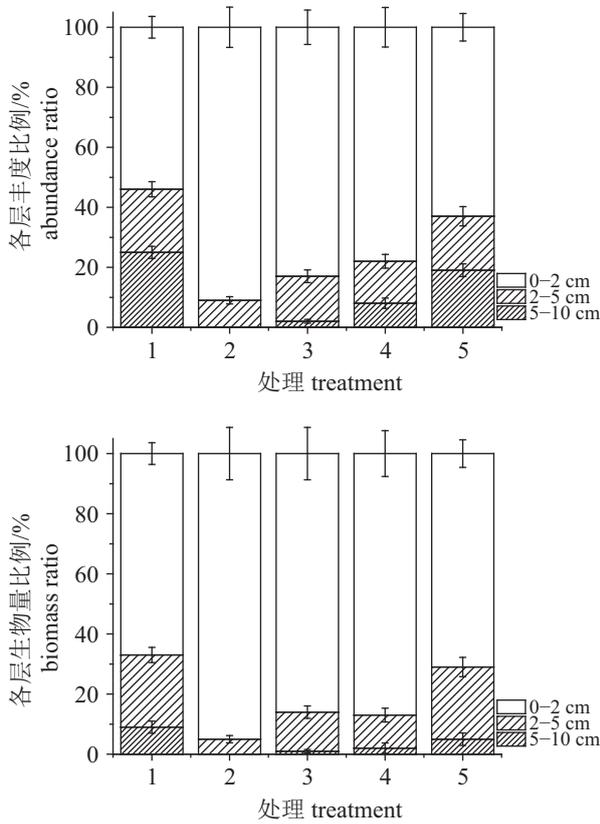


图5 实验前后各处理小型底栖动物垂直分布及与初始比较

1. 初始值; 2. S; 3. SC1; 4. SC2; 5. SC3

Fig. 5 Ratios of abundance and biomass with meiofauna in every layer before and after experiment

1. initial value; 2. S; 3. SC1; 4. SC2; 5. SC3

物的群落变化还与养殖生物摄食有关, 本实验的前中期, 单养处理中线虫的数量下降较缓慢, 混养处理线虫数量下降非常明显, 这可能是因为虾对线虫的捕食与泥蚶对环境的改善所导致^[21]。随着虾体长变大, 食物也在发生变化, 从线虫转到介形类等^[22], 在实验中表现为线虫数量先减少而后在某一时期数量增加(S、SC1组最为明显)。在养殖后期, 线虫数量没有进一步增长, 可能是与较高密度泥蚶对氧的消耗有关^[23]。因此, 在养殖条件下, 底栖动物的密度既取决于初始时密度和比例的分配^[4], 也与水柱有机物的沉降有密切关系^[24]及养殖动物有关^[25]。它们之间存在着相互制约、相互促进的有机关系。介形类作为另一种指示水质指标的小型底栖动物, 其动态变化也能很好地反映环境质量^[16-17], 且比桡足类耐污, 在养殖沉积物中有大量分布, 是养殖动物在幼稚期的主要食物。其数量变化

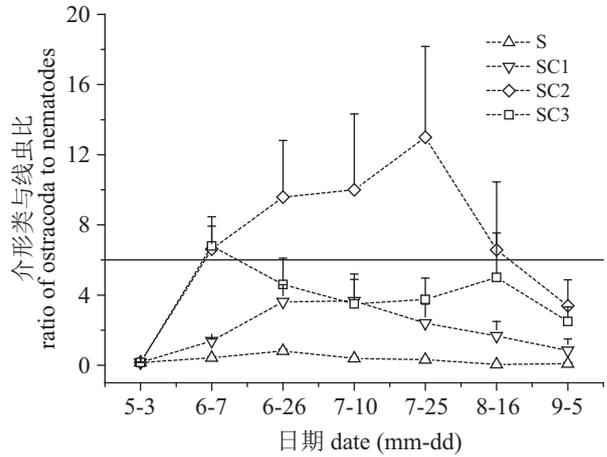


图6 各处理介形类和线虫数量比变化

Fig. 6 Ratios of ostracoda to nematodes with abundance during experiment

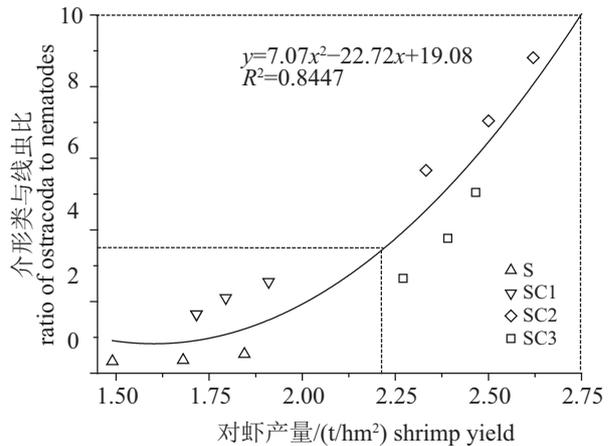


图7 各围隔中介形类/线虫丰度比值与对虾产量间的关系

Fig. 7 Relationship between ratios of ostracoda to nematodes and shrimp yields in each enclosure

不但能反映环境状况, 还能指示养殖生物的生长特性。因此, 采用介形类与线虫密度比来反映养殖环境质量是可行的。且该比值越高, 表明养殖环境质量状况越好。

3.2 贝类对对虾养殖环境质量的调节

贝类通过滤水作用, 能净化水质, 常被用作修复生物^[26]。从本实验的单养与混养处理看, 沉积物中的有机物含量、pH值以及ORP等都有很大程度的变化说明贝类对底质质量的控制是相当明显的。对虾养殖过程中的残饵、养殖生物的排泄物以及其他进入池塘中的有机物等都会沉积在底质上而造成底质的污染, 可通过贝

类的滤食作用起到调节和控制池塘水质^[27]的作用。何种混养贝类密度较适宜,既能稳定养殖池塘的水质,又能保持适宜的小型底栖动物密度。从上述分析看,养殖系统内的虾、贝、底栖动物间存在着相互制约、相互促进的有机关系。虾的生长要摄食小型底栖动物,小型底栖动物与贝类存在着一定的营养竞争关系,贝类能调控水质保持养殖环境稳定有利于虾的生长。从实验看,贝类密度控制是其中的关键,数量不足难以起到稳定水质的作用,太多有机物(残饵、排泄物等)沉积到底上,造成DO、pH、ORP下降,小型底栖动物通过迁徙集中于表层,改变各层的分布比例^[19, 23, 28-29]。如本实验中S、SC1处理的垂直分布表现,这种情况显然不利于养殖。贝类数量太高,一是贝类生长难以保证,经济效益不佳;二是贝类的高强度滤食造成养殖环境中有机质太小,本实验SC3处理养殖结束时底泥中pH、ORP和有机物含量与初始相似,对环境无影响,但是却造成养殖中后期介形类等丰度下降,难以保证养殖对虾的天然饵料需求,影响养殖效益。

在实验基础上对如何控制贝类密度进行初步推算,当底泥中介形类线虫数量比在6以上,尤其是养殖中后期单次采样的比值保持在3.5以上,都会有较好的环境效益和养殖效益。但要获得最佳的综合效益,SC2处理的搭配还需进一步的优化,可能在养殖过程中还会产生少量的污染,但这些污染我们可以在养殖的间隙期(如冬歇期),通过处理底泥等方式让污染得以释放,池塘底质重新恢复良好状态。

参考文献:

- [1] Higgins R P, Thiel H. Introduction to the study of meiofauna[M]. Washington D C: Smithsonian Institution Press, 1988: 1-3.
- [2] 郭玉清, 张志南, 慕芳红. 渤海小型底栖动物生物量的初步研究[J]. 海洋学报, 2002, 24(6): 76-83.
Guo Y Q, Zhang Z N, Mu F H. Biomass of meiofauna in the Bohai Sea, China[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2002, 24(6): 76-83(in Chinese).
- [3] 张志南, 周红. 国际小型底栖生物研究的某些进展[J]. 中国海洋大学学报, 2004, 34(5): 799-806.
Zhang Z N, Zhou H. Some progress on the study of meiofauna[J]. Periodical of Ocean University of China, 2004, 34(5): 799-806(in Chinese).
- [4] Koszałka J, Tucholski S. Zoobenthic assemblages of ponds supplied with biologically treated sewage[J]. Ecohydrology & Hydrobiology, 2009, 9(2-4): 313-318.
- [5] Rundle S D, Robertson A L, Schmid-Araya J M. Freshwater meiofauna: Biology and ecology[M]. Leiden: Backhuys Publishers, 2002: 369.
- [6] Giere O. Meiobentholog: The microscopic fauna in aquatic sediments[M]. Berlin, New York: Springer-Verlag, 1993: 327.
- [7] 吴昌文, 李志国, 夏武强. 小型底栖动物(Meiofauna)研究概况[J]. 现代渔业信息, 2008, 23(3): 9-12.
Wu C W, Li Z G, Xia W Q. Research outling on meiofauna[J]. Modern Fisheries Information, 2008, 23(3): 9-12(in Chinese).
- [8] Vizer A M. Zoobenthos of the drainage zone of Novosibirsk reservoir[J]. Contemporary Problems of Ecology, 2011, 4(1): 50-55.
- [9] 李佳, 华尔, 张志南. 青岛砂质潮间带小型底栖动物分布及季节动态[J]. 应用生态学报, 2012, 23(12): 3458-3466.
Li J, Hua E, Zhang Z N. Distribution and seasonal dynamics of meiofauna in intertidal zone of Qingdao sandy beaches, Shandong Province of East China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2012, 23(12): 3458-3466(in Chinese).
- [10] Kuk-Dzul J G, Gold-Bouchot G, Ardisson P L. Benthic infauna variability in relation to environmental factors and organic pollutants in tropical coastal lagoons from the northern Yucatan Peninsula[J]. Marine Pollution Bulletin, 2012, 64(12): 2725-2733.
- [11] 慕芳红, 张志南, 郭玉清. 渤海底栖桡足类群落结构的研究[J]. 海洋学报, 2001, 23(6): 120-127.
Mu F H, Zhang Z N, Guo Y Q. The study on the community structure of benthic copepods in the Bohai Sea[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2001, 23(6): 120-127(in Chinese).
- [12] Widbom B. Determination of average individual dry weights and ash-free dry weights in different sieve fractions of marine meiofauna[J]. Marine Biology, 1984, 84(1): 101-108.
- [13] McIntyre A D. The meiofauna and macrofauna of some tropical beaches[J]. Journal of Zoology, 1968, 156(3): 377-392.

- [14] Raffaelli D G, Mason C F. Pollution monitoring with meiofauna, using the ratio of nematodes to copepods[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 1981, 12(5): 158-163.
- [15] Findlay S E G. Small-scale spatial distribution of meiofauna on a mud- and sandflat[J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 1981, 12(4): 471-484.
- [16] Kùlköylüoglu O, Dügel M. Ecology and spatiotemporal patterns of Ostracoda (Crustacea) from Lake Gölcük (Bolu, Turkey)[J]. *Archiv Für Hydrobiologie*, 2004, 160(1): 67-83.
- [17] Ruiz F, Abad M, Borrego J, *et al.* Los ostrácodos comotrazadores ambientales en medios contaminados: el río Odiel (SO España)[J]. *Estudios Geológicos*, 2007, 63(1): 75-82.
- [18] Warwick R M. The nematode/copepod ratio and its use in pollution ecology[J]. *Marine Pollution Bulletin*, 1981, 12(10): 329-333.
- [19] 黄德铭, 刘晓收, 林明仙, 等. 污水排海对小型底栖生物丰度和生物量的影响[J]. *应用生态学报*, 2014, 25(10): 3023-3031.
Huang D M, Liu X S, Lin M X, *et al.* Effects of sewage discharge on abundance and biomass of meiofauna[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2014, 25(10): 3023-3031(in Chinese).
- [20] 史本泽, 于婷婷, 徐奎栋. 长江口及东海夏季小型底栖动物丰度和生物量变化[J]. *生态学报*, 2015, 35(9): 3093-3103.
Shi B Z, Yu T T, Xu K D. Abundance and biomass of meiofauna in the Yangtze estuary and east china sea in summer, with special reference to changes over the past ten years[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, 35(9): 3093-3103(in Chinese).
- [21] 袁伟, 张志南, 于子山. 胶州湾西部海域大型底栖动物多样性的研究[J]. *生物多样性*, 2007, 15(1): 53-60.
Yuan W, Zhang Z N, Yu Z S. Macrofaunal diversity in the western Jiaozhou Bay, Shandong[J]. *Biodiversity Science*, 2007, 15(1): 53-60(in Chinese).
- [22] Pihl L, Rosenberg R. Food selection and consumption of the shrimp *Crangon crangon* in some shallow marine areas in western Sweden[J]. *Marine Ecology Progress Series*, 1984, 15(1-2): 159-168.
- [23] 华尔, 李佳, 董洁, 等. 砂质潮间带自由生活海洋线虫对缺氧的响应——微型受控生态系研究[J]. *生态学报*, 2012, 32(13): 3975-3986.
Hua E, Li J, Dong J, *et al.* Responses of sandy beach nematodes to oxygen deficiency: microcosm experiments[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(13): 3975-3986(in Chinese).
- [24] Mirto S, Rosa T L, Gambi C, *et al.* Nematode community response to fish-farm impact in the western Mediterranean[J]. *Environmental Pollution*, 2002, 116(2): 203-214.
- [25] 于子山, 张志南. 虾池小型底栖动物的数量研究[J]. *青岛海洋大学学报*, 1994, 24(4): 519-526.
Yu Z S, Zhang Z N. A study on the abundance of meiofauna in shrimp culture pond[J]. *Journal of Ocean University of Qingdao*, 1994, 24(4): 519-526(in Chinese).
- [26] 申玉春, 陈文霞, 朱春华, 等. 流沙湾养殖结构优化与生态环境生物修复技术[J]. *水产学报*, 2010, 34(7): 1051-1061.
Shen Y C, Chen W X, Zhu C H, *et al.* The technology research on optimal culture structure and ecological environment bioremediation of Liusha Bay[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2010, 34(7): 1051-1061(in Chinese).
- [27] 张继红, 吴桃, 高亚平, 等. 5种滤食性贝类对牙鲆的粪便、残饵及网箱养殖区沉降物的摄食行为[J]. *水产学报*, 2013, 37(5): 727-734.
Zhang J H, Wu T, Gao Y P, *et al.* Feeding behavior of 5 species filter-feeding bivalves on *Paralichthys olivaceus* feed, fecal and sediment particulates in cage farming area[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2013, 37(5): 727-734(in Chinese).
- [28] Schratzberger M, Rees H L, Boyd S E. Effects of simulated deposition of dredged material on structure of nematode assemblages – the role of contamination[J]. *Marine Biology*, 2000, 137(4): 613-622.
- [29] Steyaert M, Moodley L, Vanaverbeke J, *et al.* Laboratory experiments on the infaunal activity of intertidal nematodes[J]. *Hydrobiologia*, 2005, 540(1-3): 217-223.

Effect of bivalve on meiofauna in the shrimp culture pond

SHENTU Jikang, LIN Xia, ZHAO Yabo, XU Yongjian*

(School of Marine Sciences, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

Abstract: To study the effect of bivalve on meiofauna in shrimp ponds, physical and chemical characteristics of sediment, abundance and biomass of meiofauna were analyzed both in monoculture and polyculture of shrimp (*Litopenaeus vannamei*) with bivalve (*Tegillarca granosa*). Four treatments with different stocking density of bivalve [0 ind/m² (S), 60 ind/m² (SC1), 120 ind/m² (SC2), 180 ind/m² (SC3)] were designed, and each treatment was stocked with 17×10⁴ ind/hm² of shrimp. The results showed that, with the increase of culture time, organic matter content showed an upward trend. pH value and ORP were gradually decreased; increase of bivalve stocking density is beneficial to slowing the progression of the deterioration of sediment environment. The abundance and biomass of meiofauna showed a downward trend; community structure of meiofauna was more stable with the increase of bivalve stocking density. Regression analysis showed that the ratio of ostracoda to nematodes had obviously positive correlation with the shrimp yield. A certain density of polyculture with bivalve was conducive to increasing the ratio of ostracoda to nematodes. A preliminary result showed that, to have a good yield, the average ratio was better to reach 6 during shrimp culture, and a single value was not less than 3.5. Therefore, shrimp polyculture with bivalve was conducive to sediment quality improvement and can increase growth of meiofauna, and higher density (80–140 ind/m²) of bivalve had a clear function of purification of the sediment.

Key words: *Litopenaeus vannamei*; *Tegillarca granosa*; sediment quality; ratio of ostracoda to nematodes;

Corresponding author: XU Yongjian. E-mail: xuyongjian@nbu.edu.cn

Funding projects: National Modern Agricultural Industry Technology System Construction Project (CARS-48)