

九孔鲍育苗池附着基上底栖微藻群落及其多样性

李振华¹, 杜琦², 梁君荣¹, 陈月忠²

(1. 厦门大学生命科学学院, 福建 厦门 361005; 2. 福建省水产研究所, 福建 厦门 361012)

摘要: 2006年9月14至10月26日对福建省漳浦县下蔡九孔鲍(*Haliotis diversicolor supertexta*)育苗池进行定点采样。检测结果共鉴定底栖微藻24属62种, 其中硅藻21属59种, 绿藻、蓝藻和褐藻各1种。附着基上底栖微藻的优势种有12种, 全部为硅藻, 如盾卵形藻微小变种(*Cocconeis scutellum var. parva*)、小形舟形藻(*Navicula parva*)、咖啡双眉藻(*Amphora coffeaformis*)、琴式菱形藻(*Nitzschia panduriformis*)等。优势种的优势度突出。常见种有25种, 少见种有27种。优势种和常见种多是能够适应底栖环境的种类。附着基上底栖微藻种类及多样性指数育苗早期波动大, 后期逐渐稳定, 底栖微藻多样性指数平均为0.980~1.959, 结果表明, 底栖微藻群落结构的演变与鲍幼体摄食活动有很大的相关性。[中国水产科学, 2008, 15(6): 999-1007]

关键词: 九孔鲍; 鲍育苗池; 底栖微藻; 群落结构; 生物多样性

中图分类号: S96 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-8737-(2008)06-0999-09

近几年, 中国台湾、福建、广东以及海南等省发生大规模九孔鲍(*Haliotis diversicolor supertexta*)苗“脱板症”, 即九孔鲍幼体自附着后在附着基上以摄食底栖硅藻为主的40多天期间, 在附着基上发生鲍苗大量脱落、死亡的现象。

关于“脱板症”的病因, 许多学者从不同的角度分析和探讨, 王国福^[1]认为是饵料硅藻欠缺引起的, 宋振荣等^[2]、王江勇等^[3]则怀疑为病毒感染所致, 李国浩等^[4]、陈志胜等^[5]则认为溶藻弧菌为致病因子, 但至今尚未发现确切病因。同时徐力文等^[6]推测可能与鲍幼体附着基(聚乙烯透明薄膜, 以下类同)上生物膜的微生态环境有关, 特别是与作为鲍幼体附着诱导物质与饵料的底栖硅藻有密切联系^[6,7]。目前国内研究主要集中在鲍幼体对底栖硅藻的摄食选择性和硅藻的饵料价值的研究^[9-11]方面, 而从生态方面探索如何预防鲍幼体“脱板病”的报道尚不多见^[7,11]。

本研究对福建省漳浦县下蔡林场鲍育苗池附着基上的底栖微藻群落结构及变动进行调查, 并分析了鲍育苗池附着基上底栖微藻群落组成及多样性的基本特征和动态, 旨在有效解决目前鲍养殖业出现的“脱板症”现象提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 实验池

研究地点选在福建省旧镇湾沿岸的漳浦县下蔡顺兴鲍养殖场。鲍苗培养池用纱网遮阳, 每池水体积为18.6 m³, 培养用海水为海滩砂层2 m下的沙井过滤水, 实验期间水温为23~28℃, 盐度为28~32。用聚乙烯塑料薄膜作为微藻以及幼虫和幼鲍的附着基, 膜面积大约为1.0 m²/片。每池分别投300张左右, 实验使用了4口育苗池。

1.2 样品的采集

从九孔鲍浮游幼虫放入育苗池的当天开始, 每隔3 d采样1次, 采样时, 在每个育苗池四角及中央5个不同的位置分别剪取面积(S)为5 cm×5 cm的聚乙烯塑料薄膜, 用刀片刮下薄膜上附着的微藻, 放入塑料样品瓶中, 混匀, 样品用甲醛溶液固定, 最终质量分数为5%。在采集底栖微藻的同时, 塑料薄膜上的鲍幼体装入另一个样品瓶中, 也用福尔马林溶液固定, 最终质量分数为10%。

1.3 样品处理

将采集的样品置于培养皿中, 加10% HCl处理, 以去除硅藻的色素, 然后加入30% H₂O₂去除多

收稿日期: 2008-01-03; 修订日期: 2008-04-21.

基金项目: 福建省重大技术装备研制和重大产业技术开发专项(2005)87号-9; 福建省自然科学基金项目(B0510005).

作者简介: 李振华(1984-), 男, 硕士研究生, 从事海洋硅藻学研究. E-mail: lzhsy0759@126.com

通讯作者: 杜琦. E-mail: duqi@vip.sina.com

余的有机质,处理好的样品经水洗 4~5 遍, pH 调至中性,并浓缩至一定体积^[12]。

1.4 鉴定计数

1.4.1 藻类的鉴定、计数 将样品混合均匀,取 0.1 mL 注入浮游植物计数框中,样品在 OLYMPUS (BH-2) 光学显微镜下鉴定并计数。每个浮游植物样品中计数 2~3 次,结果取其平均值。

1.4.2 鲍苗种的计数和测量 统计每张塑料薄膜上的鲍苗种个数,随机取 20 粒鲍幼体,逐粒用游标卡尺测量壳长(前 6 天在显微镜下观察统计计数)。

1.5 数据处理

物种多样性指数的计算采用 Shannon-wiener 指数 H' ^[13], 其计算公式为 $H' = -\sum_{i=1}^S P_i \log_2 P_i$,

Simpson 优势度 D ^[13], $D = \sum_{i=1}^S (P_i)^2$, 上述式中 $P_i = n_i/N$, n_i 为物种 i 的个体数, N 为群落样本个体总数, P_i 为第 i 种个体数占总个体数的比例, S 为群落中物种数。

实验数据均以平均值 ± 标准差 ($\bar{x} \pm SD$) 表示,经 SPSS 10.0 软件中 Duncan 多重比较。当 $P < 0.05$ 时认为差异显著。

2. 结果与分析

2.1 鲍苗生长状况及变化过程

鲍受精卵孵化后,经各期游泳幼体至匍匐幼体、围口壳幼体时结束游泳生活降落于育苗池内的附着基上,转入匍匐生活,舔食附着基上附着的硅藻(图1)。鲍幼体匍匐幼体在附着初期,4 口池内附着基上鲍幼体的附着数量逐渐增加,至培养的第 9 天达到最大密度,分别为 (1.8 ± 0.3) 个/cm²、 (1.9 ± 0.2) 个/cm²、 (2.4 ± 0.2) 个/cm² 和 (2.6 ± 0.1) 个/cm²。随后附着密度都有不同程度的减少,直至从聚乙烯薄膜附着基上刷下为止,分别降到 (0.1 ± 0.1) 个/cm²、 (0.5 ± 0.2) 个/cm²、 (1.2 ± 0.3) 个/cm² 和 (1.5 ± 0.1) 个/cm²。经 Duncan 多重比较检验表明,各池间附着密度差异显著 ($P < 0.05$)。此时,4 口鲍育苗池内鲍幼体壳长平均都达到 3.38 cm。3 号和 4 号池鲍幼体的密度在整个培养时间阶段都高于 1 号池。2 号池除了在培养时间前 9 天内鲍幼体的密度低于 1 号池外,其余时间则一直高于 1 号池。另外,从图 1 还可以看出,4 口育苗池内的鲍幼体生长状况在培育阶段的变化趋势相似。经 Duncan 多重比较检验表明,各池间生长速率差异并不显著 ($P > 0.05$)。也就是说,在早期育苗的整个阶段,不同微藻群落培养的鲍幼体生长速率并没有明显的差异。

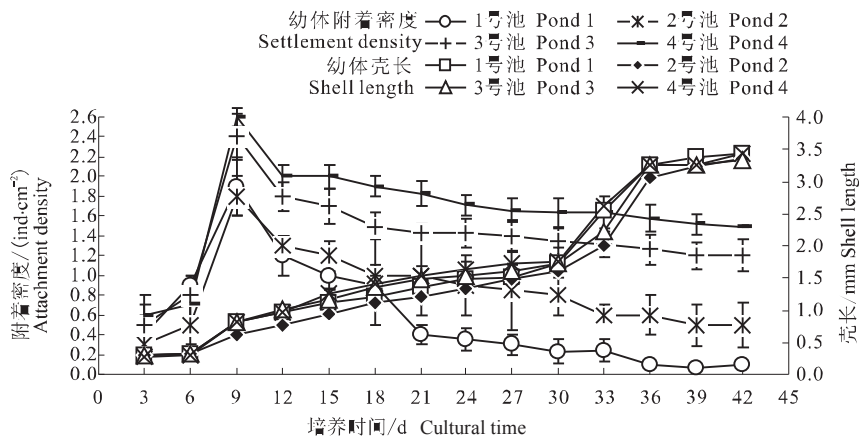


图 1 鲍幼体生长及密度变化

Fig. 1 Growth and density change during young abalone cultivation

2.2 育苗池附着基上底栖微藻群落结构

2.2.1 种类组成 经鉴定,4 口育苗池附着基上底栖微藻分属于 4 门 24 属,共 62 种,其中硅藻门 21 属 59 种,绿藻门 1 属 1 种,蓝藻门 1 属 1 种,褐藻门 1 属 1 种(表 1)。种类最多的为硅藻门,占总类数的 95.16 %。而绿藻门、蓝藻门和褐藻门各占

1.61%。总之,附着基上底栖藻类不仅种类丰富,而且很有特色。特别是中小型硅藻种群占明显优势,且都具有一定的附着能力。绿藻、蓝藻、褐藻均为少见种。附着基上的优势种和常见种,以平卧附着形式为主。

表 1 鲍育苗池附着基上底栖微藻群落的组成

Tab. 1 Composition of benthic microalgae species attaching to abalone substrate in breeding ponds

种类 Species	丰度 Abundance	种类 Species	丰度 Abundance
硅藻门 Bacillariophyta		柠檬曲壳藻 <i>Achnanthes citronella</i>	+++
盾卵形藻 <i>Cocconeis scutellum</i>	++	东方曲壳藻 <i>Achnanthes orientalis</i>	++
盾卵形藻微小变种 <i>Cocconeis scutellum</i> var. <i>parva</i>	+++	爪哇曲壳藻 <i>Achnanthes javanica</i>	++
扁圆卵形藻 <i>Cocconeis placentula</i>	+	爪哇曲壳藻亚缢变种 <i>Achnanthes javanica</i> var. <i>subconstricta</i>	++
透明卵形藻 <i>Cocconeis pellucida</i>	+	海生斑条藻 <i>Grammatophora marina</i>	+
双眉藻 <i>Amphora</i> sp.	++	小沟斑条藻 <i>Grammatophora hamulifera</i>	+
咖啡双眉藻 <i>Amphora coffeaeformis</i>	+++	楔形藻 <i>Licmophora</i> sp.	+
双凸双眉藻 <i>Amphora bigibba</i>	++	爱氏楔形藻 <i>Licmophora ehrenbergii</i>	+
咖啡双眉藻微尖变种 <i>Amphora coffeaeformis</i> var. <i>acutiuscula</i>	+	针杆藻 <i>Synedra</i> sp.	++
变异双眉藻 <i>Amphora commutata</i>	+	平片针杆藻小形变种 <i>Synedra tabulata</i> var. <i>parva</i>	+
舟形藻 <i>Navicula</i> sp.	++	华丽针杆藻 <i>Synedra formosa</i> Hantzsch ex	+
舟形藻 <i>Navicula</i> spp.	++	桥弯藻 <i>Cymbella</i> sp.	+
柔软舟形藻 <i>Navicula mollis</i>	++	菱形海线藻 <i>Thalassionema nitzschioides</i>	+
多枝舟形藻 <i>Navicula ramosissima</i>	+++	菱形海线藻微小变种 <i>Thalassionema nitzschioides</i> var. <i>parva</i>	+
盔状舟形藻 <i>Navicula corymbosa</i>	++	新月筒柱藻 <i>Cylindrotheca closterii</i>	++
小形舟形藻 <i>Navicula parva</i>	+++	海洋曲舟藻 <i>Pleurosigma pelagicum</i>	+
羽状舟形藻 <i>Navicula pinna</i>	++	直链藻 <i>Melosira</i> sp.	+
琴状舟形藻 <i>Navicula lyra</i>	++	念珠直链藻 <i>Melosira moniliformis</i>	++
菱形藻 <i>Nitzschia</i> sp.	++	佛氏海毛藻 <i>Thalassiothrix frauenfeldii</i>	++
菱形藻 <i>Nitzschia</i> spp.	++	奇异棍形藻 <i>Bacillaria paradoxa</i>	++
二列菱形藻 <i>Nitzschia didyma</i>	+	丹麦细柱藻 <i>Leptocylindrus danicus</i>	+
琴式菱形藻 <i>Nitzschia panduriformis</i>	++	正盒形藻 <i>Biddulphia biddulphiana</i>	+
舟形菱形藻 <i>Nitzschia navicularis</i>	+	串株梯楔藻 <i>Climacosphenia moniliger</i>	+
柔弱菱形藻 <i>Nitzschia delicatissima</i>	+	小环藻 <i>Cyclotella</i> sp.	+
长菱形藻 <i>Nitzschia longissima</i>	+	峰腰双臂藻 <i>Diploneis bombus</i>	++
缢缩菱形藻 <i>Nitzschia constricta</i>	++	绿藻门 Cyanophyta	
弯菱形藻 <i>Nitzschia sigma</i>	+	颤藻 <i>Oscillatoriales</i> sp.	+
曲壳藻 <i>Achnanthes</i> sp.	++	蓝藻门 Cyanophyta	
短柄曲壳藻 <i>Achnanthes brevipes</i>	++	螺旋藻 <i>Spirulina</i> sp.	+
短柄曲壳藻变狭变种 <i>Achnanthes brevipes</i> var. <i>angustata</i>	++	褐藻门 <i>Phaeophyta</i>	
长柄曲壳藻 <i>Achnanthes longipes</i>	+	浒苔 <i>Enteromorpha</i> sp.	+

注: “+” 少见种, <10² cell/cm²; “++” 常见种, 10² ~ 10⁴ cell/cm²; “+++” 优势种, >10⁴ cell/cm².

Note: “+” Rare species, <10² cell/cm²; “++” Common species, 10²-10⁴ cell/cm²; “+++” Dominant species, >10⁴ cell/cm².

2.2.2 育苗池附着基上底栖微藻细胞密度的变化情况 4口育苗池附着基上的底栖微藻的细胞密度总的变化趋势是育苗前期变化幅度较大,后期则具有逐渐减少的趋势(图2)。育苗开始的前3 d,1号池、2号和3号池附着基上底栖微藻的总细胞密度几乎没发生变化,4号池则有一定程度的增长。从第3天开始,附着基上底栖微藻细胞密度都呈现稳步增长的势头。且从育苗的第9天开始,1号、3号

池和4号池内的附着基上底栖微藻总细胞密度开始急剧增加,然后又逐步下降。而1号池在育苗的第9天和第21天期间细胞总密度变化幅度远大于3号池和4号池;相对的2号池附着基上底栖微藻总细胞密度增加不显著,高峰出现在第27天,接着逐渐下降。第42天4口鲍育苗池附着基上底栖硅藻细胞密度都降到最低。育苗后期,1号池附着基上底栖微藻的细胞密度远远少于其他3个育苗池。

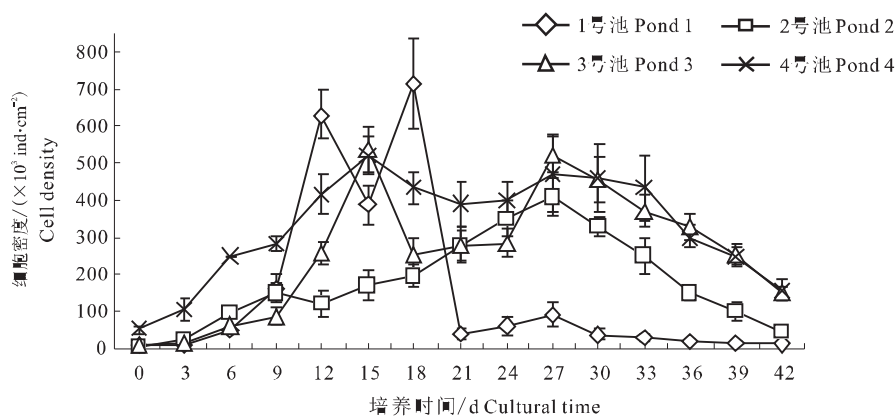


图2 鲍育苗池附着基上底栖硅藻的密度变化

Fig.2 Density of benthic diatom attaching to the substrata in *Haliotis diversicolor supertexta* breeding ponds

2.2.3 种类数量及变化 4口育苗池附着基上底栖微藻群落种类数量变化趋势是育苗初期种类相对较少,随着育苗时间延长,种类增多,育苗后期则有下降趋势,种类数量及变化见图3。不同育苗池附着基上的底栖微藻,由于附着基处理方式以及调控培育藻类方式不同,群落组成和变化不同。4号池种

类最丰富,其次是1号和3号池,2号池种类最少;同时1号池和4号池附着基上种类数量相对稳定,4个育苗池附着基上的微藻种类在育苗的第21天取样中都有所下降。主要是因为育苗15~21 d期间有一次大规模的“倒池”,清除了附着基上一些老化的和附着能力弱的微藻及其鲍幼体的粪便残留物。

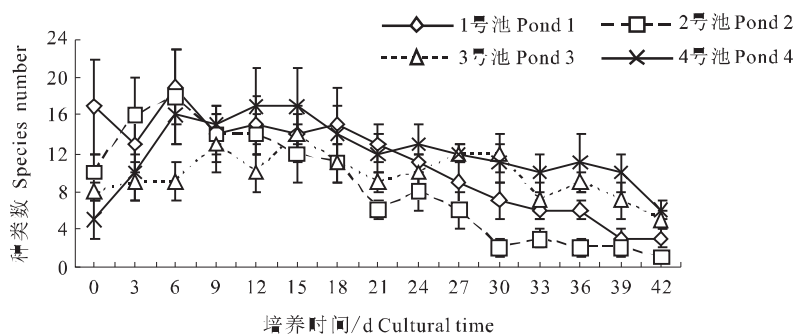


图3 鲍育苗池附着基上底栖微藻种类数变化

Fig.3 Change of microalgae species numbers attaching to the substrate in *Haliotis diversicolor supertexta* breeding ponds

2.2.4 优势种及其变化 1号池附着基上优势种为盾卵形藻微小变种(*Cocconeis scutellum* var. *parva*)、咖啡双眉藻(*Amphora coffeaeformis*)、琴式菱形藻(*Nitzschia panduriformis*)、多枝舟形藻(*Navicula ramosissima*)、羽状舟形藻(*Navicula pinna*)、小形舟形藻(*Navicula parva*)、正盒形藻(*Biddulphia biddulphiana*)、舟形藻(*Navicula* sp.) 共计 8 个种。每次取样中, 一般有 2 个以上优势种, 优势种越少, 其优势度越高, 动态演替过程见图 4。在育苗前、中期, 附着基上的优势种的种类变化频繁, 后期优势种种类单一(仅剩盾卵形藻微小变种)、优势度高, 且因其个体小, 附着能力强, 对维持生物膜微环境的稳定性起主导作用。其他优势种尽管在育苗期间有时密度相对也很高, 但因鲍幼体摄食活动能力的增强及其藻种自身的特点, 对维持

附着基上的生物膜微环境的稳定并不能持续很久。特别是育苗中后期更是明显, 这也可能是 1 号池育苗效果不好的原因所在。

2 号池附着基上优势种为盾卵形藻微小变种、小形舟形藻及菱形藻。在整个育苗过程中, 盾卵形藻微小变种一直存在于整个育苗阶段, 而小形舟形藻在育苗第 21 天(即倒池前后) 消失。优势种的动态演替见图 4。

3 号池附着基上优势种为盾卵形藻微小变种、小形舟形藻、咖啡双眉藻及新月筒柱藻。变化趋势与 2 号池大致相同。优势种的动态演替见图 4。

4 号池附着基上优势种为盾卵形藻微小变种、咖啡双眉藻及琴式菱形藻, 但盾卵形藻微小变种一直以绝对优势存在于早期整个育苗过程中。附着基上优势种的演替见图 4。

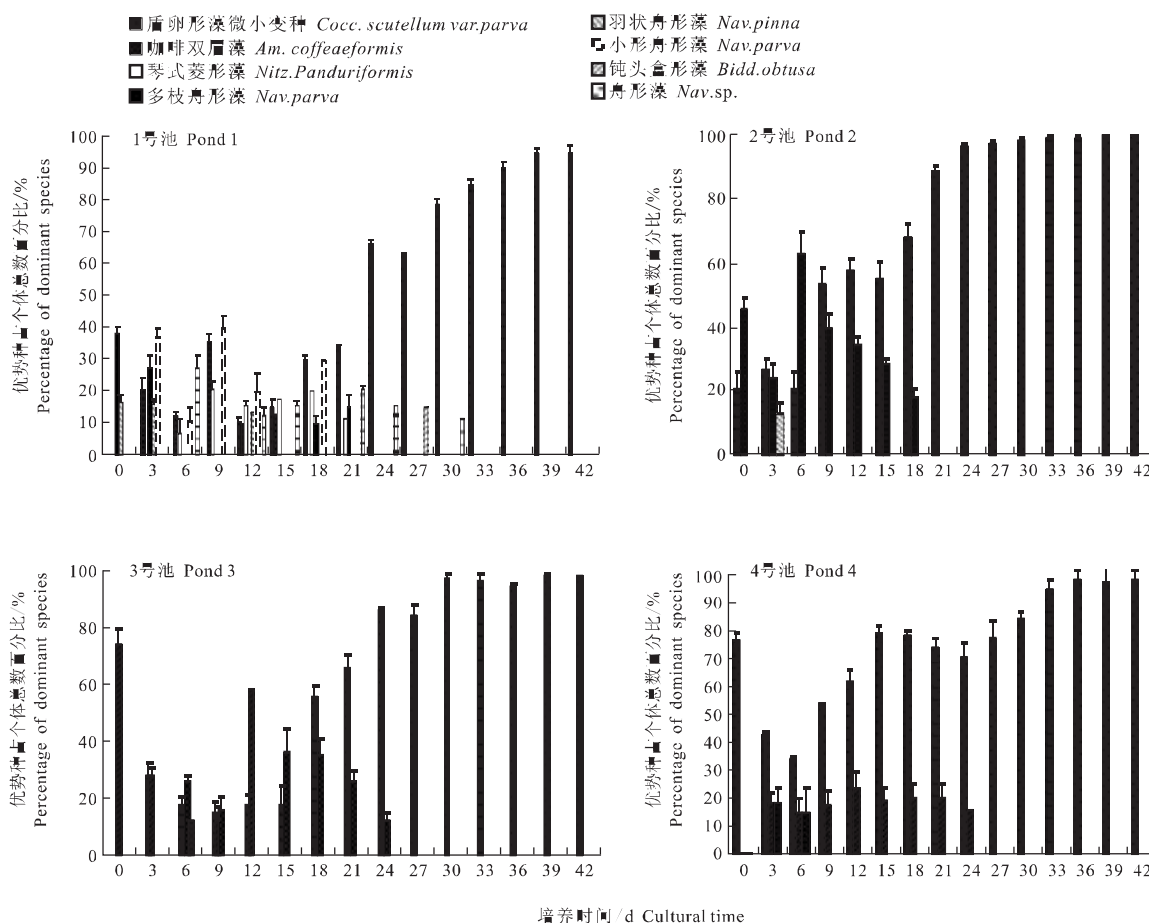


图 4 鲍育苗池附着基上底栖微藻优势种动态

Fig. 4 Variations of dominant species of benthic microalgae attaching to the substrate in abalone breeding ponds

2.2.5 底栖微藻群落多样性与优势度 底栖微藻群落多样性随着育苗池附着基及其育苗时间的不同而不同。总体上育苗早期附着基上底栖微藻多样性较高,随着育苗时间的延长,底栖微藻群落的多样性逐渐下降,群落结构趋于简单和稳定(图5)。微藻多样性指数在 0.980 ~ 1.959,1 号池多样性指数总体较高,平均值为 1.959,育苗前期与后期差别较大,说明藻相及其不稳定,2 号、3 号和 4 号 3 个池多样性指数在 0.980 ~ 1.365,其多样性指数变化

规律大体一致。且在整个育苗过程中,多样性指数变化幅度很小。经 Duncan 多重比较检验表明,各组间差异不显著($P > 0.05$)。底栖微藻群落优势度的变化总体规律与多样性指数相反,早期优势度低,后期高(图6)。最明显的是 3 号和 4 号池,初始附着基上优势种虽然比较突出,但育苗的前 15 d 内并不明显。整个育苗阶段,优势度最高的是 4 号鲍育苗池,平均值仅为 0.698,最低的是 1 号鲍育苗池,

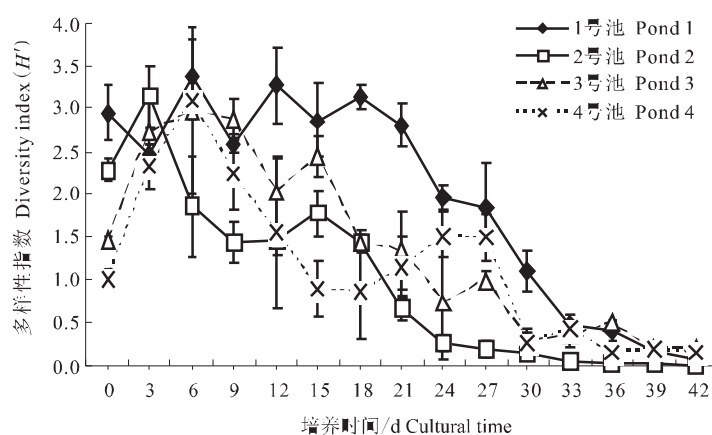


图5 鲍育苗池附着基上底栖微藻多样性的变化情况

Fig. 5 Variations of diversity index of benthic microalgae attaching the substrata in abalone breeding ponds

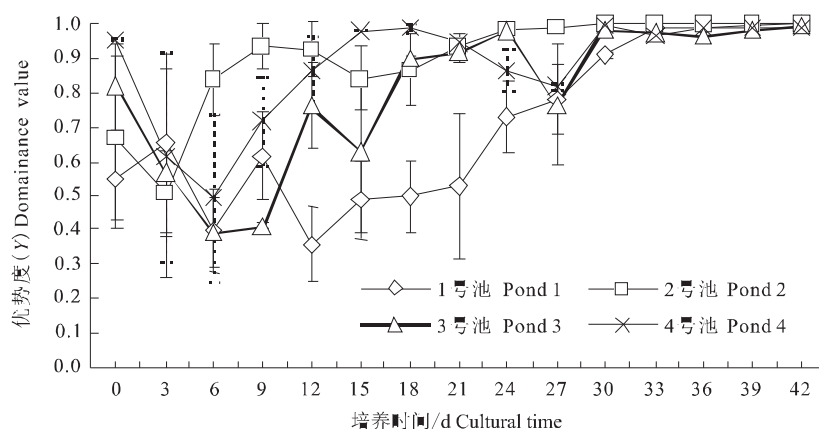


图6 鲍池附着基上底栖微藻优势度的变化情况

Fig. 6 Variations of dominancy index of benthic microalgae attaching the substrata in both abalone ponds

3 讨论

3.1 底栖微藻种类组成及其变化特点

鲍育苗池是一种比较独特的养殖环境,鲍幼体是唯一培育对象。育苗前,经过清池消毒,投放预先处理的附着基于育苗池内,先进行藻类培养,再投放幼体受精卵开始鲍苗培育。育苗初期,附着基上藻类组成一般为舟形藻和卵形藻,种类丰度较低,生物量也较少,随着育苗时间的增加,微藻种类增多,生物量增加,此时藻类组成出现多种优势种共存的局面。同时部分藻类也开始出现老化、部分脱落的现象,主要是生物的种间作用产生的^[14],用手摸上去发黏^[15]。

育苗过程中,清除附着基上残留的粪便以及部分老化藻类的行为(俗称“倒池”),往往会使育苗早期附着基上底栖微藻群落结构出现大的变化即种类以及密度都出现减少的现象,特别是对于附着强度弱以及运动能力较强的微藻种类更明显。而在育苗后期,随着鲍幼体摄食活动的增强,附着基上微藻群落的种类组成逐渐减少。优势种的组成也由育苗初期的几个种共存逐渐变成仅有盾卵形藻微小变种1种,且其占微藻群落的总细胞数量的百分比越来越高,部分样品甚至接近100%。优势种有数量优势种和生物量优势种^[16],本研究仅统计分析微藻群落的数量优势种。

在附着基上的微藻群落中,具有数量优势种的种类往往个体较小、运动能力很弱甚至没有,推测可能是鲍幼体的摄食活动造成的^[17]。且对附着基微藻群落结构和生物膜微环境稳定性的维持起着决定性作用,如盾卵形藻微小变种、咖啡双眉藻等,而运动能力较强以及附着强度弱的种类在鲍幼体以及原生动动物活动影响下往往易出现密度大幅度变动,进而造成附着基整个微藻群落结构不太稳定。这可能是近些年造成鲍幼体发生“脱板”现象的原因之一。

3.2 底栖微藻群落多样性特点

底栖微藻群落多样性与育苗环境关系密切,同自然海区相比^[18-20],附着基上微藻群落组成相对简单,多样性较低。育苗初期附着基上生物种类少,多样性低,而后生物种类逐渐增多,多样性升高,中后期种类又逐渐减少,多样性降低。附着基上微藻群落多样性指数平均在0.980~1.959之间。从统计结果看,在整个鲍育苗期间,附着基上微藻群落

的多样性普遍较低,且群落的优势度较高,可能与育苗水体的外界环境有关。因育苗水体环境完全受人工调控,微藻优势种和群落的演替速度快,尤其是育苗过程中倒池、换水及施肥的影响。

3.3 底栖微藻与生物膜特性及其鲍育苗的关系

整个鲍育苗过程中,底栖微藻的组成以底栖硅藻为主,其他种类很少。底栖微藻与鲍幼体关系密切,不仅是鲍育苗阶段不可缺少的饵料,也是诱导鲍浮游幼体附着和变态的重要物质。同时,底栖微藻形成的生物膜还是鲍幼体早期生活主要环境。附着变态后的幼体平卧于生物膜上,其生活环境完全受生物膜微环境的影响^[21]。特别是与生物膜表面的界面层的厚度有关。而界面层的厚度又与底栖微藻的生长附着型式关系密切,研究表明附着类型为平卧式^[22]的硅藻形成的生物膜,其所形成的界面层较其它附着类型微藻形成的生物膜薄。膜面上氧的消长主要受光照、硅藻的密度等影响,在自然情况下,界面层基部溶氧(DO)的饱和度变幅在40%~400%,pH值在7.5~10.2间^[23]。且DO与pH的巨变推测可能与鲍育苗失败有关。此外,因年轻的生物膜产生中等水平的氧,夜间也消耗较少的氧^[23],所以保持附着基上微藻生物膜的年轻与健康是提高幼体成活率的重要措施。

鲍育苗期间,培育的饵料是天然混合底栖微藻,鲍的种属差异性^[24-27]表现并不显著($P>0.05$)。而实验后期附着率差异性却非常显著($P<0.05$)。原因可能是鲍育苗期间,底栖微藻优势种群交替频繁,微藻生物量有大幅度变化,伴有藻类的大量死亡,引起生物膜微环境恶化,特别是藻体死亡后体内蛋白质分解产生的羟胺、硫化氢等有毒物质造成的。因此,保持附着基上健康稳定的底栖微藻群落是鲍育苗成功的关键之一。

参考文献

- [1] 王国福. 九孔鲍育苗脱板问题的研究与探讨 [J]. 河北渔业, 2005, 139 (1): 21-21.
- [2] 宋振荣, 纪荣兴, 彦素芬, 等. 引起九孔鲍大量死亡的一种球状病毒 [J]. 水产学报, 2000, 24 (5): 463-467.
- [3] 王江勇, 陈毕生, 冯娟, 等. 杂色鲍裂壳病球状病毒的初步观察 [J]. 热带海洋, 2000, 19 (4): 82-85.
- [4] 李国浩, 黄之阳, 吴韦毅, 等. 九孔种苗培育过程之细菌学相关研究 [J]. 水产种苗月刊(台), 2004 (72).

- [5] 陈志胜,吕军仪,吴金英. 杂色鲍溃疡症病原菌的研究 [J]. 热带海洋,2000,19 (3): 72-77.
- [6] 徐力文,刘广锋,王江勇. 鲍育苗生物学中饵料硅藻的相关研究进展 [J]. 海洋科学进展,2006,24 (4): 611-618.
- [7] 严正凜,关瑞章,胡家财,等. 九孔鲍苗种健康培育技术之探讨 [J]. 水产养殖,2006,27 (3): 14-16.
- [8] 郭峰,柯才煊,周时强. 不同单胞藻饵料培养九孔鲍早期稚贝的研究 [J]. 中国水产科,2007,14 (2): 263-269.
- [9] ROBERTS R. A review of settlement cues for larval abalone (*Haliotis* spp.) [J]. Shellfish Res,2001,20 (2): 571-586.
- [10] sawatpeera S, kruatrachue M, sonchaeng P, et al. Settlement and early growth of abalone larvae *Haliotis asinina* Linnaeus in response to the presence of diatoms [J]. Veliger,2004,47 (2): 91-99.
- [11] YANG X X. Sorted culture and purification of benthic diatoms in abalone breeding pond and their application to the abalone larvae culture [D]. Chilung: Ocean University of Taiwan, China.
- [12] 陈长平. 闽粤沿海几个红树林区硅藻的生态分布和6种重金属对底栖硅藻胞外产物的影响 [D]. 厦门: 厦门大学,2004.
- [13] Ma K P, Liu Y M. Measurement of biodiversity I α diversity measurement [J]. Chinese Biodiversity, 1994,2 (4): 231-239.
- [14] 李进道,胡晓燕,王庆论. 光强度对附着在玻片上的幼鲍饵料生物的影响 [J]. 海洋湖沼通报,1996 (2): 52-57.
- [15] 徐力文,王江勇,陈毕生. 中国南方鲍养殖业的困境与发展探讨 [J]. 湛江海洋大学学报,2006,26 (4): 100-104.
- [16] 查广才,周昌清,黄建荣,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.
- [17] Suzuki H, Ioriya T, Seki T. Changes of algal community on the plastic plates used for rearing the abalone *Haliotis discus hannai* [J]. Nippon Suosan Gakkaishi. 1987,53 (12): 2163-2167.
- [18] 矫晓阳. 东小磨虾池及其沿岸浮游植物群落物种多样性 [J]. 生物多样性,1996,4 (1): 7-13.
- [19] 孙耀,李锋,李键,等. 虾塘水体中浮游植物群落特征及其与营养状况的关系 [J]. 海洋水产研究,1998,19 (2): 45-51.
- [20] Tookwinas Siri, Songsangjinda Putth. Water quality and phytoplankton communities in intensiveshrimp culture ponds in Kung Krabaen Bay, Eastern Thailand [J]. Journal of the World Aquaculture Society,1999,30 (1): 36-45.
- [21] 聂宗庆,王素平. 鲍育苗生物学研究新进展 [J]. 湛江海洋大学学报,2002,22 (3): 78-82.
- [22] Kawamura T, Hirano R. Seasonal changes in benthic diatom communities colonizing glass slides in Aburatssubo Bay, Japan [J]. Diatom Res,1992,7: 227-239.
- [23] Roberts R, Kawamura T, Takami H. Diatom for abalone culture: a workshop for abalone farmers [R]. Cawthron Report, 2000,547: 1-28.
- [24] Daume S, Krsinich A, Farrell S, et al. Settlement, early growth and survival of *Haliotis rubra* in response to different algal species [J]. Appl Phycol,2000,12: 479-488.
- [25] Roberts R D, Nicholson C M. Variable response from abalone larvae (*Haliotis iris*, *H. virginea*) to a range of settlement cues [J]. Moll Res,1997,18: 131-142.
- [26] Roberts R. A review of settlement cues for larval abalone (*Haliotis* spp.) [J]. Shellfish Res,2001,20: 571-576.
- [27] Daume S, Brand-Gardner S, Woelkerling W J. Preferential settlement of abalone larvae: diatom film vs.non-geniculate coralline red algae [J]. Aquaculture,1999,174: 243-254.

Benthic microalgae community structure and biodiversity for larval abalone *Haliotis diversicolor supertexta* settlement in breeding ponds

LI Zhen-hua¹, DU Qi², LANG Jun-rong¹, CHEN Yue-zhong²

(1. School of Life Sciences, Xiamen University, Xiamen 361005, China; 2. Fisheries Research Institute of Fujian, Xiamen 361002, China)

Abstract: The samples were collected from the abalone aquaculture ponds in Fujian Province from 14 September to 26 October, 2006 and were observed under a light microscope. A total of 62 species of benthic microalgae were identified in four *Haliotis diversicolor supertexta* breeding ponds belonging to four phyla and 24 genera, including 59 *Bacillariophyta* species, one *Chlorophyta* species, one *Cyanophyta* species and one *Phaeophyta* species. All of the 12 dominant species belonged to the *Bacillariophyta*, including *Cocconeis scutellum* var. *parva*, *Navicula parva*, *Amphora coffeaeformis*, *Nitzschia panduriformis* and *Navicula ramosissima*. There were 30 common species, which belonged to *Chlorophyta*. There were 25 common species, which also belonged to *Bacillariophyta* and 27 species that were less common. The dominant and common species were those adapted to the benthic environment. The biodiversity index and species numbers of benthic microalgae attaching to the substrates increased with breeding time increasing. Succession of the benthic microalgae community and subrogation of the dominant species were rapid in the pre-breeding period and gradually stabilized in the late-breeding period. The mean biodiversity index of benthic microalgae were 0.980–1.959. The results showed that there was a great correlation between the succession of the benthic microalgae community and larva abalone feeding activities. [Journal of Fishery Sciences of China, 2008, 15 (6) : 999–1 007]

Key words: *Haliotis diversicolor supertexta*; abalone breeding pond; benthic microalgae; community structure; biodiversity

Corresponding author: DU Qi. E-mail: duqi@vip.sina.com