

文章编号:1005-8737(2000)03-0061-06

对虾池不同水质调控围隔中浮游物的研究

卢 静,李德尚,董双林

(青岛海洋大学 水产学院, 山东 青岛 266003)

摘 要:于1998年6~9月在山东海阳养虾场运用陆基围隔实验生态学方法,通过搅底、接种光合细菌、接种硅藻和充气4种水质调控措施,研究了虾池中浮游物的变动情况。结果表明,浮游物中无机部分占49.1%~64.1%,有机部分占35.9%~50.9%,有机颗粒(POM)中,颗粒腐质:浮游细菌:浮游植物:浮游动物为0.60:0.24:0.11:0.05;随着养殖时间的延长,浮游物及其各组分的干重都有所增加,但各组分的百分比变化较大;搅底和接种硅藻2组中浮游植物的生物量都有所增加,但颗粒腐质的百分比减少;充气和搅底使围隔中无机颗粒含量增加,透明度降低;光合细菌对水体中浮游物的影响较小。

关键词:浮游物;对虾池;水质调控;陆基围隔

中图分类号:S968.22

文献标识码:A

虾池是一个人工调控的养殖生态系统。悬浮于水体中的颗粒物质统称为浮游物(seston),由浮游生物、浮游细菌、颗粒腐质和无机颗粒几部分组成。浮游物是这个生态系统最主要的碳库和氮库,在物质循环和能量流动中起关键作用。有关虾池生态系中浮游物的报道尚少,尚有待深入研究。本实验采取不同的水质调控措施,研究围隔中浮游物各组成部分的比例及其随养殖季节的变化规律,并从浮游物的角度初步探讨了4种水质调控措施的合理性和有效性。

1 材料与方法

1.1 围隔构造

以高密度两面涂塑的聚乙烯织布作为围隔幔,架设于虾池中,规格5m×5m×2.2m,其中40cm埋于地下。围隔幔相对两边上、下分设1m长的垂直尼龙拉链,用以进排水。围隔中央设一搅水机,以模拟池塘水的自然涡动与混合。围隔内实行封闭式养殖,仅适时补充蒸发和渗漏的水分。

收稿日期:1999-06-04

基金项目:国家“九五”攻关专题资助项目(96-922-02-02)

作者简介:卢 静(1975-),女,山东潍坊人,现为全国水产技术推广总站副主任科员,硕士,从事水产病害防治技术推广工作。

1.2 实验设计

虾池水质调控方法共设4个实验组和1个空白对照组,每组设3个重复,共计用15个围隔。

(1)充气 每个围隔用1台160kW的电动充气泵,带10个气石配软塑料管。每隔1小时充气1次,30min。6月份,每天4:00~6:00共2次;7月份,每天1:00~6:00共4次;8~9月份,晴天22:00~6:00共6次,阴雨天每天20:00~8:00共8次。

(2)搅底 用两条竹竿撑双股铁链来回拖曳,同时开动搅水机。每3天1次,每天14:00开始,拖曳至表层水发浑为止。

(3)接种光合细菌(PBS) PBS为球形红假单胞菌、沼泽红假单胞菌和桃红英硫菌的混合菌液。菌浓度 $(10\sim15)\times10^8/\text{ml}$,以 $10\sim15\text{ml}/\text{m}^2$ 的标准,用长管均匀撒布于池底(沉积物上)。6月下旬~7月底每半月1次,8~9月每7天1次。

(4)接种硅藻 6~7月接种牟氏角毛藻(*Chaetoceros muelleri*),8~9月接种中肋骨条藻(*Skeletonema costatum*)。接种前先对围隔施肥,调节围隔内的化学条件(N、P等)与培养液的比例相同,而水平为培养液的1/10左右。接种后要跟踪观察,根据该硅藻密度的变化,调整接种密度及频度,

以该藻密度保持在 $(5 \sim 10) \times 10^6/L$ 为准。并且根据有效N、P的变化及该藻数量的消长,以适当配比(施肥后水中主要成分达到该藻所要求比例)和适当质量浓度(以水中有效N达到 $0.3 \sim 1 \text{ mg/L}$ 为准)的无机肥(尿素及磷酸二氨)施肥。

中国对虾(*Penaeus chinensis*)体长 $(3.60 \pm 0.33)\text{cm}$,6月16日放养,密度280尾/围隔;罗非鱼密度为4尾/围隔6月23日放养。

1998年6月28日起开始水质调控实验。

1.3 测定项目及方法

实验时间为1998年6月14日~9月9日,每14天采1次水样。

1.3.1 浮游生物干重的测定 按常规计数框视野计数法进行浮游植物分类、定量和纤毛虫的定量。用浮游动物计数框全片计数法进行浮游动物分类(主要是桡足类、多毛类幼体和轮虫)及定量的计数中分别抽测优势种的体积,并转换为生物量,即湿重。分别按干湿比 $1:7^{[1]}$ 和 $1.2:10^{[2]}$ 推算出浮游动物、浮游植物的干重。

1.3.2 浮游物干重的测定 定量取各实验围隔水样,在直径25 mm,孔径 $0.7 \mu\text{m}$ 的玻璃纤维滤膜(用前经 450°C 灼烧2 h以除去有机质)上过滤。将截留有浮游物的滤膜在 60°C 下烘干,称重。再经 550°C 灼烧2 h,冷却后再称重。据空白滤膜重、样品滤膜烘干重、灼烧减重及过滤水样体积分别计算出单位水样的浮游物、有机物和无机物的干重^[3]。

1.3.3 浮游细菌数量、湿重及干重的测定 采用吡啶橙染色荧光显微计数法(AODC法)^[4]计数细菌数量。取5 ml水样用0.01%吡啶橙(AO)染色3 min,之后以低度真空($<0.03 \text{ mPa}$)在直径25 mm、孔径 $0.2 \mu\text{m}$ 的核孔滤膜(Nuclepore filter)上抽滤。滤膜事先在以2%醋酸溶液配制的0.2% Irgalan black(美国Ciba-Geigy公司产品)溶液中浸泡24 h,以消除滤膜的自发荧光。将滤膜置于载玻片上,滴1滴无菌水,加盖玻片,加低度荧光显微镜专用油,在落射光荧光显微镜下计数视野中细菌数。每个样品至少10个视野,计数细菌在200个以上。显微镜光源为100 kW汞灯,激发光滤光片为450~490 nm、光束分离滤光片为510 nm、阻挡滤光片为520 nm。

每个水样分别用目微尺随机测10个杆菌的长、宽和球菌的直径,杆菌体积 $V = 1/4\pi d^2 h$,球菌体积 $V = 1/6\pi D^3$,密度以等于水计算,得到细菌生物量。按细菌湿重的15%计算细菌干重。

1.3.4 颗粒腐质干重的计算 按下式计算:

颗粒腐质 = 总有机物 - 浮游生物 - 浮游细菌(以干重计)

2 结果

2.1 浮游物干重的变动情况

实验期间各围隔浮游物总干重的变化见图1。

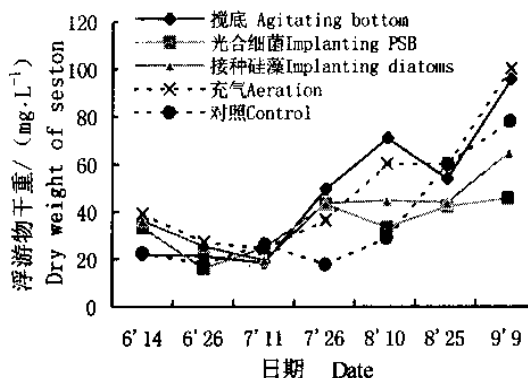


图1 实验期间浮游物干重的变化情况

Fig.1 Variations of seston in dry weight in the experiment

从图1曲线显示,随着养殖时间的推移,各围隔的浮游物干重都有所增长。养殖实验前期,即7月26日以前,各围隔浮游物的量相差不大,变动也较为平缓。之后其干重迅速增加,搅底、充气和对照3组增长幅度最大,接种硅藻和光合细菌的2组围隔虽有所增加,但在幅度上小于前3者。

表1 不同水质调控围隔浮游物中POM和PIM的平均干重及其占浮游物的百分比

Table 1 Mean dry weight of POM, PIM and their percentage in seston in the enclosures treated by different treatment

组别 Treatment	有机颗粒(POM) Organic matter		无机颗粒(PIM) Inorganic matter	
	质量浓度/ ($\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	百分比/%	质量浓度/ ($\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	百分比/%
对照 Control	17.31 ± 6.75	45.5	20.71 ± 17.62	54.5
搅底 Agitating bottom	19.27 ± 9.15	40.6	28.20 ± 20.85	59.4
接种光合细菌 Implanting PSB	14.17 ± 5.89	39.8	21.42 ± 9.33	60.2
接种硅藻 Implanting diatoms	20.25 ± 7.67	50.9	19.56 ± 7.84	49.1
充气 Aeration	17.89 ± 4.87	35.9	31.89 ± 23.71	64.1

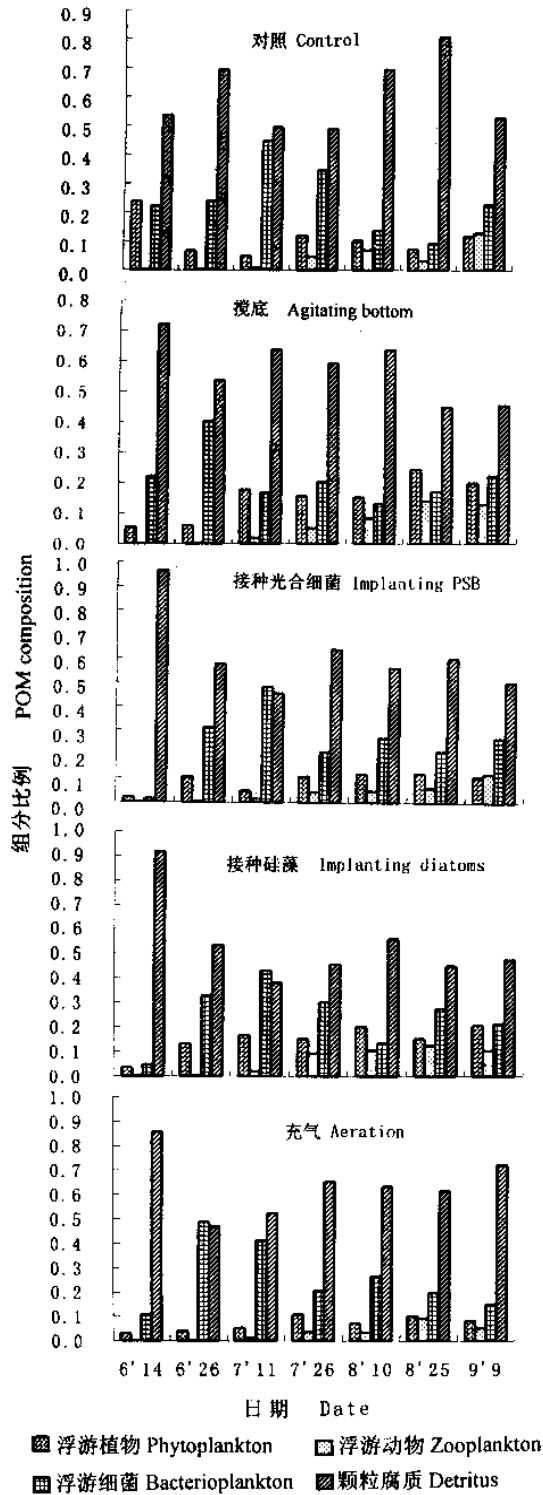


图2 不同水质调控措施下POM组成动态

Fig.2 Variation of each component in POM

2.2 浮游物中有机物和无机物含量的比较

表1将4种调控措施下无机颗粒(PIM)和有机颗粒(POM)的干重及其百分比作了比较。

从表1的数据可以看出,除接种硅藻的围隔中PIM和POM的含量基本持平外,其它围隔的无机物干重均高于有机物。在整个浮游物中无机物占49.1%~64.1%,有机物占35.9%~50.9%。就有机物干重而言,接种光合细菌组低于对照组,而搅底和接种硅藻2组的情况则相反。搅底和充气组围隔浮游物中无机物的干重要高于对照组。

2.3 有机颗粒各组成部分的数量关系

POM是虾池重要的碳库和氮库,其各组分比例直接显示了虾池生态系的营养及物质循环状况,具体情况见表2。

根据表2可以算出,实验围隔中POM组分的比例为,颗粒腐质:浮游细菌:浮游植物:浮游动物为0.60:0.24:0.11:0.05。颗粒腐质是POM的主要部分,占其总量的3/5,活体生物部分仅占2/5,而浮游细菌又占了后者的60%,因此,浮游生物对虾池中POM的贡献很小。比较4种水质调控措施下POM各组分比例可以看出,浮游植物的干重比例在搅底和接种硅藻2组高于对照组,而另2组情况相反。浮游动物和浮游细菌在各种调控措施下差别不大。颗粒腐质在搅底和接种硅藻2组中比例低于对照组,而在另2组中比对照组高。

2.4 有机颗粒各组分随养殖时间的变动

随着养殖时间的推移,有机颗粒各组分也有较大的变动,图2显示了其变动情况。

从图2中可以看出,随着养殖时间的延长,浮游生物在POM中所占的比例有所增加。其中在搅底和接种硅藻2组最为明显。6月26日采样以后,浮游细菌在POM中所占的比例形成一个高峰,到养殖后期有所下降。颗粒腐质所占的比例并无明显的变动规律,但它受浮游细菌数量的影响较大,因为二者是POM中最主要的组成部分,故在比例上基本呈负相关。

2.5 颗粒腐质在各种水质调控措施下的变化

颗粒腐质作为POM的主要组成部分,其干重受水质调控措施影响较大,表3详细列出了每次采样中颗粒腐质的平均干重。

表 2 POM 中各组成部分的比例

Table 2 Composition of POM

组 成 Component	组 别 Treatment				
	对照 Control	搅底 Agitating bottom	接种光合细菌 Implanting PSB	接种硅藻 Implanting diatoms	充气 Aeration
浮游植物 Phytoplankton	0.11 ± 0.06	0.15 ± 0.07	0.09 ± 0.04	0.15 ± 0.06	0.07 ± 0.03
浮游动物 Zooplankton	0.04 ± 0.05	0.06 ± 0.06	0.04 ± 0.04	0.06 ± 0.05	0.03 ± 0.03
浮游细菌 Bacterioplankton	0.24 ± 0.12	0.22 ± 0.09	0.25 ± 0.14	0.25 ± 0.13	0.26 ± 0.14
颗粒腐质 Detritus	0.61 ± 0.12	0.58 ± 0.10	0.62 ± 0.17	0.54 ± 0.18	0.64 ± 0.13

表 3 每次采样中颗粒腐质的干重

Table 3 Dry weight of particulate detritus in each sampling

日期 Date	组 别 Treatment				
	对照 Control	搅底 Agitating bottom	接种光合细菌 Implanting PSB	接种硅藻 Implanting diatoms	充气 Aeration
6 月 14 日 14th Jun	7.06 ± 4.78	9.12 ± 4.77	8.96 ± 5.98	8.16 ± 9.71	10.49 ± 8.79
6 月 26 日 26th Jun	9.61 ± 9.16	11.33 ± 10.96	5.34 ± 5.47	8.33 ± 6.95	12.46 ± 3.53
7 月 11 日 11th Jul	10.57 ± 7.78	13.32 ± 5.38	7.29 ± 7.60	12.91 ± 1.27	6.98 ± 4.29
7 月 26 日 26th Jul	15.01 ± 3.37	20.97 ± 21.18	19.92 ± 15.36	19.77 ± 17.41	13.16 ± 2.27
8 月 10 日 10th Aug	29.72 ± 2.86	23.14 ± 21.90	8.22 ± 2.68	10.58 ± 4.99	11.39 ± 4.42
8 月 25 日 25th Aug	21.07 ± 8.15	24.32 ± 2.74	16.36 ± 2.96	18.16 ± 8.43	12.68 ± 4.75
9 月 9 日 9th Sep	23.26 ± 2.81	25.20 ± 11.41	18.79 ± 7.07	23.50 ± 10.55	13.52 ± 11.79
平均 Mean	16.61 ± 8.32	18.20 ± 6.73	12.13 ± 6.02	14.49 ± 6.03	11.53 ± 2.26

从表 3 可以看出,随着养殖时间的延长,颗粒腐质在各围隔的平均干重都有所增加。其中以对照、搅底和接种硅藻 3 组最为明显,到实验结束时颗粒腐质的干重几乎是刚开始时的 3 倍。在接种光合细菌、接种硅藻和充气 3 组中,颗粒腐质的总平均含量都低于对照组,而搅底组的情况则与之相反。

3 讨论

3.1 浮游物中各组分数量关系

目前对水体中尤其是养虾池中浮游物各组分数量关系的报道很少。谢平^[5]报道东湖颗粒悬浮物的灰分含量约为 45%;郑铁民^[6]等对南黄海夏季海水中悬浮体的研究表明,表层悬浮体的烧失重(有机物含量)均在 60% 以上,而底层一般在 20% 以下。而本实验围隔中 PIM 的百分比要高于 POM,前者占 49.1%~64.1%,后者占 35.9%~50.9%。这一结果与自然水体有一定差距。这可能与养虾池较浅,养殖生物的活动及水质调控措施有关。本研究中浮游生物干重占浮游物干重的 6.8%,与东湖的 2.5%~7.1% 有很好的可比性^[5]。浮游细菌在 POM 中所占的地位是不可忽视的,Visser P T 等^[7]在对虾池的研究中发现细菌在 POM 中的干重超过浮游植物几倍。本实验结果表明,浮游细菌的

干重占 POM 的 24%,而浮游生物仅占 16%,与李文权^[8]对海水养殖生态系统的研究所得出的细菌碳:浮游生物碳为 1.36:1 较为一致。本研究中细菌占 POM 活体部分的 60%,它在整个物质代谢中起重要作用。颗粒腐质作为生态系统营养结构的一个主要组成部分,其重要性已成为许多学者的共识^[9]。据本实验数据,颗粒腐质占 POM 的 3/5,成为虾池中最主要的碳库。在浮游生物占 POM 不足 1/5 的情况下,其残骸、粪便不能成为颗粒腐质的主要来源。残饵和底质中积累的有机物的再悬浮可能是颗粒腐质形成的重要途径,这也是虾池做为养殖生态系统与自然水体的区别。

3.2 浮游物中各组分随养殖时间的变化规律

随着养殖时间的延长,浮游物的总量有明显的增加(图 1)。虽然到后期无机物和有机物的含量都有所增长,但 PIM 的变动受不同水质调控措施的影响很大,而 POM 的含量却是不断增加的。

3.2.1 浮游生物 浮游生物在实验初期的平均生物量为 4.49 mg/L(湿重),到实验后期增长到 10.02 mg/L,发挥的作用也有所增强。

3.2.2 浮游细菌 细菌随着养殖时间的延长其数量的增长十分显著。高尚德等^[10]报道,中国对虾养成期间,9 月份水体中的细菌数比 6 月份增加了 17.

8~71.9 倍。郭平等^[11]报道,对虾养殖池水域环境细菌的数量变化与水温的变化趋势相同,8 月中旬达到全年的最高值,增长量为百倍以上。本实验中细菌数量在实验初期平均为 $1.53 \times 10^6 \text{ ml}^{-1}$,8 月份达到高峰,为 $7.35 \times 10^7 \text{ ml}^{-1}$ 。从其在 POM 中占的比例来看,实验初期一般为 1.4%~22.2%,到 6 月底,突增到 23.8%~48.7%,这种状态维持 1 个月后,其比例有所下降。由此看来,细菌的增长受气温的影响是显著的,进入高温期后,细菌先于浮游生物大量繁殖。到养殖后期,浮游生物的增长和颗粒腐质的积累使细菌在 POM 中的比例有所下降。

3.2.3 颗粒腐质 颗粒腐质作为 POM 中最主要的组成部分,至少占腐屑总干重的 70%^[12]。许多学者将颗粒腐质作为水体中重要的营养物质、生物饵料,甚至用它来估计鱼产力^[13]。然而,上述报道都是来自对湖泊的研究,其颗粒腐质也主要由浮游生物构成。对本实验的养殖池而言,浮游生物在 POM 中仅占 16% 左右,它对颗粒腐质的贡献很少。颗粒腐质主要来自残饵及底质中的有机物再悬浮。随养殖时间的推移,颗粒腐质的干重由 8.66 mg/L 增长到 22.91 mg/L。对于投饵养殖的虾池来说,颗粒腐质的饵料作用位居其次。腐屑的不断积累反而会污染水环境。因而宜设置饵料台并采用少量多次的投饵方式。

3.3 4 种水质调控措施对浮游物影响的比较

3.3.1 搅底 通过搅底来增加水体中 N、P 的含量,并促进 N、P 的再循环已有报道^[14]。搅底的围隔中浮游植物的生物量一直维持在较高的水平,与丰富的营养盐有关,同时无机颗粒在浮游物中的比例也得以增加。然而,底质中耗氧物质的再悬浮,使该组的溶氧状况在 4 种调控措施中最差,8、9 月份平均为 3.43 mg/L。

3.3.2 接种光合细菌 小林正泰^[15]报道光合细菌使水体有机质含量明显下降。虽然本研究中光合细菌并未降低水体中颗粒腐质的含量,但它的存在可能促进了溶解有机质的矿化,从而改良了水体中溶氧状况,使接种光合细菌的围隔在浮游植物生物量仅为接种硅藻组 3/5 的情况下,水体的溶解氧与后者相差不大。

3.3.3 接种硅藻 牟氏角毛藻和中肋骨条藻是某些海产动物幼体发育阶段的良好饵料生物,较耐高温,甚受水产养殖业界重视^[16]。在接种硅藻的围隔中,无机颗粒及颗粒腐质的含量都比对照组低,在 4

种调控措施中也是最低的,而浮游生物和浮游细菌的比例相对较高。随着对虾的生长,硅藻的饵料作用有所下降,但它在调节水质方面的功能逐渐增强,如降低有机污染和增加溶氧等方面。

3.3.4 充气 充气可直接提高水体溶氧含量,从而提高鱼产量和成活率。随着海水养虾病害的流行和封闭式养殖的兴起,充气增氧是取代以往大换水增氧的措施之一。本实验中,充气增氧的效果非常显著,在实验后期溶氧仍维持在 6~8 mg/L。同时,由于围隔水体较浅(仅 1 m 左右),充气也使水体的混浊度加大,无机颗粒和颗粒腐质占到浮游物的 87.1%,透明度很小(15~35 cm),从而限制了浮游植物的光合作用,使其生物量在 4 种调控措施下最低,仅占对照组的 60% 左右。虽然充气使围隔的溶氧状况良好,有利于对虾生长,但降低了生态系自身的调节能力。

参考文献:

- [1] Bernstedt V. Chemical composition and energy content in the biological chemistry of marine copepods[M]. Oxford: Clarendon Press, 1986. 1-58.
- [2] 王雄进,康洁生,李 松. 厦门港中华哲水蚤体长、体重和 C、N、H 含量的季节变化[J]. 台湾海峡, 1988, 7(2): 173-179.
- [3] 林婉莲,刘鑫洲. 武汉东湖生态系中浮游物的营养结构[J]. 海洋与湖沼, 1990, 21(5): 411-417.
- [4] Hobbie J E, Daley R J, Jasper S. Use of nucleopore filters for counting bacteria by fluorescence microscopy[J]. Appl Environ Microbiol, 1977, 33: 1 225-1 228.
- [5] 谢 平. 武汉东湖颗粒悬浮物的结构与元素组成. 水生生物学报[J], 1996, 20(3): 197-203.
- [6] 郑铁民,赵一阳,李 凡. 南黄海夏季海水中悬浮体的研究[J]. 海洋学报, 1990, 12(6): 649-757.
- [7] Visscher P T, et al. Water quality and microbiol dynamics in shrimp ponds receiving bagasse-based feed[J]. Journal of the World Aquaculture Society, 1991, 22(1): 65-76.
- [8] 李文权,李天凌,郑微云,等. 海水养殖碳循环的实验研究[J]. 海洋湖沼通报, 1992, (4): 32-39.
- [9] Odum E P, de la Cruz A A. Detritus as a major component of ecosystems[J]. Amer Inst Biol Sci Bulletin, 1963, 13(3): 39-40.
- [10] 高尚德,陈旭仁,吴以平,等. 中国对虾养成期间虾池水体和底质中细菌含量的变化[J]. 水产学报, 1994, 18(2): 138-142.
- [11] 郭 平,许美美. 对虾养殖池水域环境细菌的动态变化[J]. 海洋与湖沼, 1994, 25(6): 625-627.
- [12] Wangersky P J. The organic chemistry of sea water[J]. Awer Sci, 1965, 53: 358-374.
- [13] Panov D A, et al. Experimental research in the feeding of the

- young bighead and silver carp[J]. Ichthyol Problems, 1969, 9 (1):138-152.
- [14] Davis C O. The importance understanding phytoplankton life strategies in the design of enclosure experiments[J]. Marine Mesocosms, 1982, (Springer-Verlag): 332-340.
- [15] 小林正泰. 养鱼和光合细菌[J]. 养殖, 1981, (8): 56-59.
- [16] 张立言, 向葆卿, 马志珍. 两种硅藻生长繁殖条件的研究[J]. 海洋水产研究, 1982, 4: 79-88.

Study on seston in enclosures treated by different water-quality regulating measures in shrimp pond

LU Jing, LI De-shang, DONG Shuang-lin

(College of Fisheries, Ocean University of Qingdao, Qingdao 266003, China)

Abstract: The study was conducted in the shrimp farm of Haiyang, Shandong Province from Jun. to Sep., 1998, with the enclosure-experimental method. Four regulating measures were used on water quality, which were aeration, agitating bottom, implanting photosynthetic bacteria or diatoms. The results show that in the seston particulate inorganic matter constituted 49.1%~64.1%, and particulate organic matter 35.9%~50.9%, and the composition ratios detritus:bacterioplankton:phytoplankton:ooplankton was 0.60:0.24:0.11:0.05, and detritus and bacterioplankton occupied important places. The dry weight of seston and its components increased with the prolonged cultural time. The percentage of components varied greatly. The biomass of phytoplankton increased and the percentage of detritus decreased in the enclosures treated by agitating bottom or implanting diatom. The measures of aeration and agitating bottom increased the quantity of particle inorganic matter, which reduced the water transparency, so the photosynthesis in those enclosures was restrained. The impact of implanting photosynthetic bacteria on the quantity of seston phytoplankton was not obvious.

Key words: seston; shrimp pond; water quality management; land-based enclosure

欢迎订阅《海洋科学》

《海洋科学》是由中国科学院海洋研究所主办、科学出版社出版的学术性和技术性期刊。是中国自然科学核心期刊，山东省优秀期刊，月刊，国内外公开发行，国际刊号：ISSN1000-3096；国内刊号：CN37-1151/P；国内邮发代号：2-655；国外发行代号：BM6666。定价：6.80 元/本，81.60 元/全年（含邮资）。

《海洋科学》以密切联系生产实际、服务于祖国现代化建设为宗旨，及时快速报道海洋学及其分支学科的新成果、新理论、新观点、新工艺及新进展等，对重大科研和应用性研究成果特别予以优先报道。读者对象主要是科技工作者、大专院校师生、从事海洋工程建设和水产生产的技术人员等。

主要刊载的内容有：海洋生物、海洋水产生产、海洋活性物质提取、海洋环境保护、海洋物理、物理海洋、海洋地质、海洋化学、海洋工程、海洋仪器研制等方面的学术论文、研究报告、研究简报、专题综述、学术讨论和争鸣、学术动态及新产品介绍（有偿刊登）等文章。

联系地址：山东省青岛市南海路 7 号 邮编：266071 电话及传真：(0532)2879062

E-mail: msj@ms.qdio.ac.cn