

海水池塘鱼贝施肥混养生态系中贝类与浮游生物的相互影响

卢敬让 李德尚 杨红生 徐 宁 张鸿雁

(青岛海洋大学水产学院, 266003)

摘 要 于 1995 年 6~9 月间在施肥鱼贝混养生态系中, 实验研究了搭配养殖菲律宾蛤仔对浮游生物的效应和浮游生物对菲律宾蛤仔养殖的影响。在浮游生物群落构成方面, 菲律宾蛤仔使蓝藻、甲藻和浮游桡足类显著减少。对生物量和初级生产力的影响程度与养殖密度有关, 而浮游生物丰度和初级生产力在时间上的变化又与营养盐有关。贝类对浮游生物群落结构和初级生产力的影响可以在一定程度上改善水质。浮游生物丰度和初级生产力与菲律宾蛤仔生产量和养殖生物对氮的利用率呈显著的正相关关系。此结果也表明, 在该生态系中贝类生产主要依靠牧食链。

关键词 浮游生物, 菲律宾蛤仔, 海水池塘, 混养

由于传统的海水池塘养殖模式存在投入物质利用率低、污染水质和易发生流行性传染病等缺陷, 因此, 封闭式的综合养殖方式越来越受到重视, 并正成为海水池塘养殖业的发展趋势。其中, 研究和实践较多的综合养殖方式是滤食性贝类与鱼或对虾的混养。浮游生物在该养殖生态系统中具有重要的功能作用, 既可作为贝类的饵料, 又能影响水质。以往对滤食性贝类与浮游生物关系的了解主要限于某几种贝类的摄食机制和滤食率 [Owen 1974, Smaal 等 1989, Shpigel 等 1989, Shpigel 和 Blaylock 1991, Riisgard 1991], 以及有害藻类对贝类的毒害作用 [Kuenster 和 Bricely 1988, Lesser 和 Sumway 1988, Tracey 和 Steel 1988] 两方面。而用实验生态学方法在原位条件下较系统地研究贝类与浮游生物的相互影响, 本研究尚属首次。本文目的是探讨封闭式施肥养殖条件下浮游生物与配养贝类、配养密度及其生长等的关系, 以为优化生态系结构提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 实验地点和时间

实验于 1995 年 6~9 月, 在受控围隔生态系中进行, 围隔设置于山东省海阳县黄海水产集团公司养虾场 19 号虾池 (约 3 hm²), 该虾池位于丁字湾畔 (北纬 36°40', 东经 120°48')。

1.2 实验围隔、肥料、施肥方法和围隔管理

由高密度涂塑聚乙烯编织布围成中尺度实验围隔 (5 m × 5 m × 1.5 m), 水深 1.4 m。涉及 4 个鱼贝混养实验围隔 (FB1 ~ FB4) 和用作比较的鱼虾 (FS)、虾贝 (SB) 混养实验围隔各一个。

为使实验数据有可比性,FS 中的非鲫放养量与 FB 相等,而 SB 中的对虾放养量又与 FS 相等。放养鱼种为红非鲫(杂交种:*Oreochromis mossambicus* (♀) × *O. niloticus* (♂)),放养量都是 12 000 ind·hm⁻²,圈养在围隔内的 0.7 m × 0.7 m × 1 m 浮式网箱中,网目大小 2.5cm。4 个实验围隔(FB1 ~ FB4)和对照围隔 SB 底播养殖菲律宾蛤仔 [*Venerupis* (*Amygdala*) *philippinarum*],放养量见表 1。对照围隔 FS 和 SB 都混养中国对虾 (*Penaeus chinensis*) 24 000 ind·hm⁻²。6 个围隔排成一列,间距 3 m。实行封闭式养殖,第一次灌水后,只注水补充因蒸发和渗透失去的水量,每日用叶片式搅水机搅水,防止水柱上下分层,每个围隔施肥量及养殖结果见表 1。

表 1 实验(FB1 ~ FB4)与对照围隔(FS 和 SB)菲律宾蛤仔放养量、成活率、产量、施肥量、水中总氮、总磷、COD 平均浓度、细菌总数及小型底栖生物生物量

Table 1 Stocking density, survival rate and daily production of *Venerupis* (*Amygdala*) *philippinarum*, total nitrogen, total phosphorus, COD and total bacteria in the water column, and the biomass of microbenthos in the sediments in 4 experimental enclosures (FB1 ~ FB4) and 2 contrast enclosures (FS & SB)

围隔	FB1	FB2	FB3	FB4	FS	SB
放养量(10 ⁴ ind·hm ⁻²)	20	40	50	120		40
成活率(%)	97.4	94.2	91.6	89.4		95.4
日产量(g·m ⁻² ·d ⁻¹)	0.67	0.83	0.53	0.36		0.75
施 鸡粪(kg·hm ⁻² ·d ⁻¹)	14.40	15.16	16.21	16.89	10.64	8.92
肥 尿素(kg·hm ⁻² ·d ⁻¹)	2.54	2.67	2.79	3.03	2.87	2.05
量 (NH ₄) ₂ HPO ₄ (kg·hm ⁻² ·d ⁻¹)	0.53	0.58	0.66	0.71	0.68	0.46
TN(mg·L ⁻¹)	3.59 ± 0.07	3.51 ± 0.39	3.32 ± 0.22	3.26 ± 0.13	3.56 ± 0.32	3.23 ± 0.36
TP(μg·L ⁻¹)	201 ± 94	192 ± 100	140 ± 71	165 ± 76	190 ± 126	203 ± 113
COD(mg·L ⁻¹)	4.84 ± 0.53	5.01 ± 0.88	4.49 ± 0.59	4.22 ± 0.40	4.86 ± 0.48	3.64 ± 0.84
细菌总数(10 ⁹ ind·L ⁻¹)	5.83 ± 6.49	16.88 ± 5.47	12.19 ± 5.10	10.35 ± 4.77	17.64 ± 11.06	9.96 ± 7.30
小型底栖生物(干重:g·m ⁻²)	1.36 ± 0.67	1.48 ± 0.74	1.07 ± 1.00	0.65 ± 0.25	4.12 ± 7.39	0.80 ± 1.16

1.3 圆管原位实验

为了查明现场养殖情况下配养滤食性贝类对浮游生物群落的影响,专门设计了一实验装置——实验圆管。该装置由高为 1.45 m、内径为 0.12 m 的透明有机玻璃管和密接于底部的高为 0.10 m 的不锈钢环构成。钢环可插入底质中,管内是与围隔相同的含有浮游生物而无养殖动物的水柱,水不与外界交换。分别于 7 月 24 ~ 26 日在围隔 FB2 ~ FB3 中连续进行了两次实验。每次实验开始时取一水样;在实验末将管内水用手动无油塑料真空泵抽出,混匀后再取样固定和计测浮游生物。同时也取管外水样进行同样的计测。

1.4 采样和分析方法

每隔 1 周(实验后期 8 ~ 10 天)采样一次,在上午 8:00 ~ 11:00 进行。采样和测定内容包括浮游植物、浮游动物、叶绿素 a、细菌总量、初级生产力和营养盐。在围隔中心用灭菌的半自动有机玻璃采水器采表层和中下层水样,混匀后,先取出数毫升水样并立即用无颗粒甲醛固定,作为计数细菌之用;再取出 2 000 mL 水样用于测定 Chla 和营养盐;然后取出 1 L 水样用 Rodhe 氏碘液固定为计数微型浮游生物之用;最后用孔径为 62 μm 的筛绢过滤 15 L 水样,用缓冲甲醛溶液固定为计数小型浮游生物之用。按常规方法分析测定。初级生产量用黑白瓶测氧法测定,在 4 个围隔中分三层挂瓶,每月挂瓶 2 ~ 3 次,每次 4 ~ 6 h(9:00 ~ 15:00),所得初级生产量与昼夜测定的生产量进行校正得出日生产量;同时测定 Chla,统计分析 Chla 与初级生产

量关系,用所得的关系式计算出每次采样所对应的初级生产量值。浮游生物丰度以浮游生物生物量指数式表示,其计算方法见李德尚等[1995]。

2 结果

2.1 配养菲律宾蛤仔对围隔内浮游生物群落的影响

从以下实验的测定结果可以显示出所配养的贝类对浮游生物群落构成、生物量和初级生产力所产生的效应。

2.1.1 配养菲律宾蛤仔的效应

表2列出的是所测定项目的平均值(FB2与SB放养贝类相等使之有可比性)。将3个围隔各项目值进行对比可以看出,FB2与SB相近,而与FS相异甚大的项目,是由养殖贝类所致。差异表现在群落构成和生物量两方面。在浮游生物构成方面,有贝类的围隔中蓝藻、甲藻和桡足类成体-桡足类幼体的比值(FB2为1.70,SB为0.33)明显低于鱼虾混养的FS围隔。在生物量方面,虽然FB2施肥量不低于FS,但前者浮游植物和浮游动物的生物量都显著低于后者;从时间变化上,蓝藻、甲藻和沟环鞭毛虫在FB中仅出现于实验的初始阶段,养殖中后期很少出现;而在FS围隔中则一直有出现(图1)。

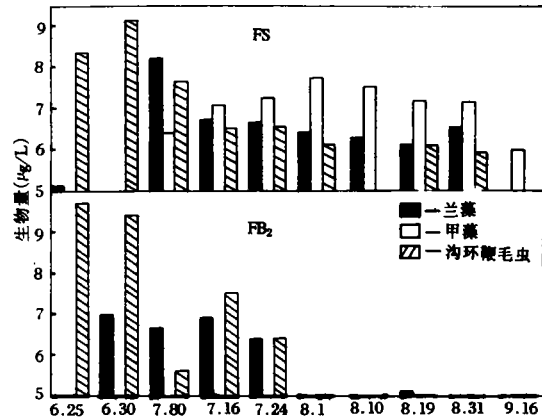


图1 实验(FB2)和对照围隔(FS)中,蓝藻、甲藻和沟环鞭毛虫生物量随时间的变化

Fig.1 Changes of biomass of cyanophyta, pyrophyta and flagellates with time in experimental enclosure (FB2) and control enclosure (FS)

表2 浮游生物及其组成类群生物量在实验围隔(FB2)与2个对照围隔(FS和SB)中的比较

Table 2 Comparisons of biomass of total plankton and its components among experimental enclosure (FB2) and 2 contrast enclosures (FS & SB)

围隔	总浮游植物	蓝藻	金藻	硅藻	甲藻	隐藻	绿藻
FB2(µg·L ⁻¹)	2403 ± 2262	400 ± 467	496 ± 534	1106 ± 2006	55 ± 144	320 ± 326	26 ± 34
(%)		16.64	20.64	46.03	2.29	13.32	1.08
FS(µg·L ⁻¹)	4294 ± 2707	1203 ± 450	556 ± 415	1216 ± 398	1041 ± 851	249 ± 329	29 ± 87
(%)		28.02	12.95	28.32	24.24	5.80	0.01
SB(µg·L ⁻¹)	1096 ± 826	0	506 ± 464	247 ± 498	0	107 ± 108	236 ± 553
(%)		0	46.17	22.54	0	9.76	21.53
围隔	总浮游动物	纤毛虫	沟环鞭毛虫	轮虫	多毛类幼体	桡足类成体-桡足类幼体	无节幼体
FB2(µg·L ⁻¹)	6418 ± 4281	987 ± 1523	1783 ± 3839	0	1480 ± 1537	1343 ± 1586	787 ± 720
(%)		15.38	27.78	0	23.06	20.98	12.26
FS(µg·L ⁻¹)	8736 ± 8926	480 ± 520	1600 ± 3822	3393 ± 9371	421 ± 378	2431 ± 2556	410 ± 561
(%)		5.49	18.32	38.84	4.82	27.83	4.69
SB(µg·L ⁻¹)	2053 ± 1331	393 ± 548	0	0	122 ± 99	380 ± 607	1158 ± 1325
(%)		19.14	0	0	5.94	18.51	56.41

表3列出7月24~29日分别在FB2~FB4围隔中进行的48h和24h原位实验结果。通过比较管内和管外浮游生物及各类群的生物量,得出较一致的结果是:实验管内外的蓝藻、甲藻

和隐藻及桡足类成体-桡足类幼体差别显著;前3类浮游植物在管外极少甚或没出现;而管内外的桡足类经t检验($t_{n=6} = 3.6 > t_{0.01} = 3.17$),差异极显著。

表3 在围隔FB2~FB4中进行的菲律宾蛤仔对浮游生物影响的原位实验结果(管内:I,管外:O)

Table 3 Results of *in situ* experiments on effects of *Venerupis (Amygdala)*

philippinarum on plankton in enclosures (FB2~FB4), (Inside tube:I, outside tube:O) ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)

培养时间(h)	围隔	实验管	浮游植物生物量	蓝藻	金藻	硅藻	甲藻	隐藻	浮游动物生物量	纤毛虫	多毛类幼体	桡足类成体-桡足类幼体	无节幼体
48	FB2	I	581	127	14	2	400	38	8381	180	6165	2015	17
		O	800	0	52	643	100	0	11969	803	10997	152	17
48	FB3	I	233	0	204	5	0	24	483	346	38	96	3
		O	45	0	0	45	0	0	803	232	534	0	37
48	FB4	I	70	35	0	35	0	0	2121	166	137	1798	20
		O	58	0	0	46	0	12	600	167	364	56	13
24	FB2	I	585	159	155	46	0	124	15030	282	12767	1864	10
		O	828	0	96	682	0	59	23454	297	22848	68	64
24	FB3	I	361	245	0	20	0	96	6028	642	975	4230	48
		O	172	83	0	89	0	0	1185	835	247	0	37
24	FB4	I	694	645	0	49	0	0	2635	343	21	1998	28
		O	335	260	0	75	0	0	374	248	119	0	7

2.1.2 菲律宾蛤仔放养密度的效应

从不同放养密度四个围隔的浮游生物总生物量、各组成类群的生物量(表4)及浮游细菌数量(表1)可看出,从FB2起各项测定数值大都随放养贝类的密度增加呈下降趋势。下降显著的为蓝藻、甲藻和沟环鞭毛虫,在养殖贝类的高密度组生物量极低,甚或不出现。在4个围隔中,轮虫只出现过2次,数量极少;桡足类成体和桡足类幼体仅占该类群总生物量的53%。在动态变化方面,各实验围隔的浮游生物也有较一致变化的特点:浮游生物丰度和初级生产量在养殖初期增加,中期在低水平上呈平衡状态,后期下降(图2)。

表4 浮游生物及其组成类群生物量在实验围隔(FB1~FB4)中的比较

Table 4 Comparisons of biomass of total plankton and its components among experimental enclosures (FB1~FB4) ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)

围隔	总浮游植物	蓝藻	金藻	硅藻	甲藻	隐藻	绿藻
FB1	1698 ± 1099	375 ± 568	333 ± 274	586 ± 1512	14 ± 43	347 ± 455	43 ± 102
FB2	2403 ± 2262	400 ± 467	496 ± 534	1106 ± 2006	55 ± 144	320 ± 326	26 ± 34
FB3	963 ± 696	47 ± 99	284 ± 403	266 ± 571	0	185 ± 165	181 ± 273
FB4	792 ± 606	59 ± 105	115 ± 120	164 ± 226	0	288 ± 419	166 ± 251
围隔	总浮游动物	纤毛虫	沟环鞭毛虫	轮虫	多毛类幼体	桡足类成体	无节幼体
FB1	2654 ± 1516	765 ± 662	299 ± 714	10 ± 51	452 ± 561	384 ± 626	744 ± 686
FB2	6411 ± 4281	987 ± 1523	1783 ± 3839	31 ± 89	1480 ± 1537	1343 ± 1586	787 ± 720
FB3	2718 ± 1720	879 ± 1252	42 ± 89	0	264 ± 222	678 ± 911	762 ± 905
FB4	2316 ± 1753	423 ± 484	0	0	287 ± 298	920 ± 1548	686 ± 539

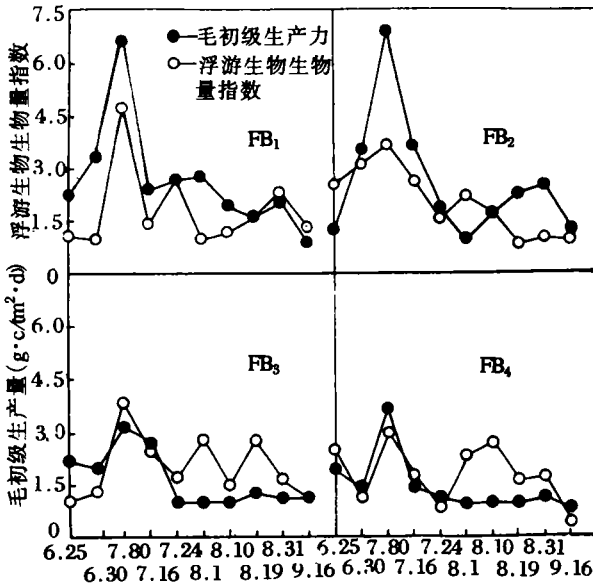


图2 在实验围隔(FB1~FB4)中初级生产量、浮游生物生物量指数在养殖期间的变动
 Fig.2 Changes of daily primary production and biomass indices of plankton in experimental enclosures (FB1~FB4) during culture season

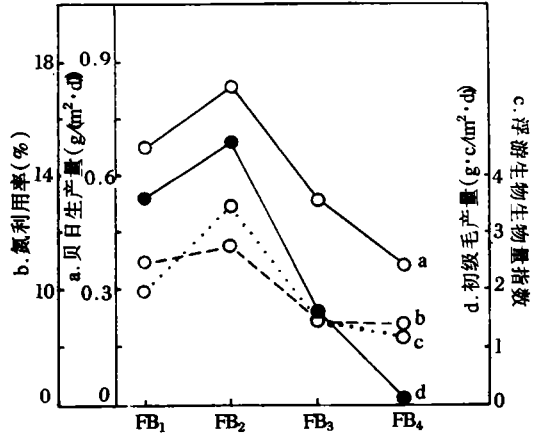


图3 实验围隔(FB1~FB4)中菲律宾蛤仔生产量和氮利用率与初级生产量和浮游生物生物量指数的关系
 Fig.3 Relationship between daily production and nitrogen utilization rate of *Venerupis (Amygdala) philippinarum* and primary production, and biomass indices of plankton

2.2 浮游生物丰度和初级生产量与菲律宾蛤仔生产量和氮利用率的关系

菲律宾蛤仔生产量和氮利用率与初级生产量呈正相关关系,相关系数分别为:0.953和0.979;它们与浮游生物生物量指数也呈正相关关系,相关系数分别为0.929和0.884。这些相关系数分别大于 $R_{0.05} = 0.878$ 和 $R_{0.01} = 0.959$ 。FB2浮游生物生物量指数及初级生产量最高,因而其生产量和氮利用率也最高,FB1次之(图3)。

3 讨论

3.1 混养贝类对浮游生物的作用

贝类对浮游生物的作用是生态系统中的下行效应(Top-down effect)。以往的研究主要以贻贝和牡蛎为对象,以叶绿素和藻类数量为指标观察了贝类对藻类的滤食作用[Owen 1974, Smaal等 1989, Shpigel和Lee 1989, Shpigel和Blaylock 1991, Riisgard 1991]。Smaal等[1989]报告乌斯特车尔德河口区的贻贝种群每4~5天可对整个水体过滤一次;Shpigel等[1991]在对一个养殖池牡蛎滤取率的研究中发现,牡蛎能滤取新鲜海水中50%的藻类。但这些研究都未进行较深入的关于贝类在滤食过程中对浮游生物群落结构的作用。作者设计了三个实验方案涉及研究,结果均表明养殖蛤仔对浮游生物群落组成及生物量产生了很大的影响。本研究中所发现的蓝藻、甲藻和沟环鞭毛虫减少,似与营养盐的作用无关,因为各实验围隔中的TN与TP水平相差不显著,而与COD值的分布趋向一致,后者又与放养贝的密度反相关。很可能是该贝使有机质下降,因此,也就减少了这三类喜栖高有机质环境的生物的数量,也可能还有滤食

的协同作用。贝类对浮游生物群落的影响机制很复杂,既有直接滤食作用,也有间接抑制,又有反馈机制[Shpigel和Blaylock 1991]。桡足类成体和桡足类幼体生物量的降低以及轮虫的极少出现是因为贝滤食减少了浮游植物,恶化了桡足类的饵料条件,以及由于贝类的滤食造成的死亡。作者曾观察到珍珠蚌滤水后造成大量桡足类死亡。

浮游生物丰度和初级生产力随时间的变化主要是由营养盐的供应和养殖动物的摄食所决定的。6月20日开始施肥后浮游生物逐渐增多,1周后放贝,初期滤食水平较低,因此,维持了一个浮游生物数量的较高水平。随着贝滤食率的增加而营养盐并未显著增加(图3),这就造成后期浮游生物丰度和初级生产量的下降。Smaal等[1989]的研究也表明营养盐的变化决定了浮游植物动态。因此,在养殖实践中,中后期的施肥量应以浮游生物丰度为指标加以及时调整,以使其维持一个较高的水平。

上述结果表明,混养贝类有改善水质的作用。这不仅表现在实验期间虽然封闭不换水,但也未发生因浮游生物过量繁殖而引起的水华崩溃;而且还表现在沟环鞭毛虫、甲藻和蓝藻这些对养殖动物不利的生物[Kuenster和Bricely 1988, Lesser和Shumway 1988, Tracey和Steel 1988]未大量繁殖起来。另外,COD值、水中细菌总数及底质有机物沉积(以小型底栖生物生物量为指标,见表1)也都是鱼虾混养比鱼贝混养、低密度贝比高密度贝的围隔平均水平高。这也表明了混养贝类的净水作用。本研究从贝类对浮游生物群落组成及生物量的影响来阐明混养贝类的净水作用,这比以往的研究[Tantichodok和Lopez 1988, Smaal等 1989, Shpigel和Lee 1989, Shpigel和Blaylock 1991, Riisgard 1991]更前进了一步。实验除表明放养高密度的贝有降低浮游生物生物量、抑制有害藻类大量发生和改善水质外,似还有提高对虾成活率的作用。因在实验中发现,虾池单养的虾7月上旬即因暴发流行性虾病而几乎全部死亡;实验围隔混养的虾一直养至9月16日实验结束,成活率为68%。

3.2 浮游生物对所养贝类的作用

这是以往在生态学研究涉及最多的一个方面,即所谓的上行效应(Bottom-up effect)。在混养生态系统中除考虑到贝类的净水作用外,其直接的经济效益也是追求的目标。Tantichodok等[1988]研究指出贝类的食物源是浮游植物和有机碎屑,而对浮游植物的吸收高于有机碎屑。我们的实验结果显示初级生产力及浮游生物丰度与贝类生产量呈显著的正相关关系。这表明虽然围隔施有机肥,系统中碎屑丰富,但贝类还是主要直接和间接通过藻类为营养。贝类对系统中氮的利用率与浮游生物丰度及初级生产量呈显著正相关也说明了这一点。

另外,FB1中的生物量、浮游生物丰度及初级生产量比FB2低,是由于FB1和FB2中放养贝类量尚未超过最大负载量,而施肥量是决定浮游生物水平高低的主要因素,FB1的施肥量低于FB2。

本研究得到如下项目资助:国家攀登计划(B PD-B6-7-3专题)、国家自然科学基金重点项目(39430102)和山东省科委项目(鲁科计(93)第42号)。硕士生赵刚贵同学参加部分实验工作,戴玉蓉女士协助资料整理,谨此致谢。

参 考 文 献

李德尚,焦念志,周春生等.1995.山东省大中型水库鱼产力的研究.水产学报,17(2):95~104.

卢敬让,李德尚.1995.浮游生物生物量指数作为水库营养状态和渔产力评估指标的作用.生态学报,15(2):223~228.

- Kuenster S H, Bricely V M. 1988. Effects of the "brown tide" alga on bivalve feeding. *J Shellfish Res*, 7(1):166.
- Lesser M P, Shumway S E. 1988. Effects of toxic dinoflagellates on feeding and mortality in juvenile bivalves; comparison of six commercially important species. *J shellfish Res*, 8(2):182.
- Owen G. 1974. Feeding and digestion in the Bivalvia. *Advances in Comparative Physiology and Biochemistry*, 5:1 ~ 35.
- Rüsgard H U. 1991. Filtration rate and growth in the blue mussel *Mytilus edulis* L. : Dependence on algal concentration. *J Shellfish Res*, 19: 29 ~ 36.
- Smaal A C, Vonck W, Prins T C. 1989. The functional role of mussels in the Oosterschelde Estuary. *J Shellfish Res*, 8(2):472.
- Shpigel M, Lee J J, Soohoo B. 1989. Fish-oyster polyculture in warm water marine ponds. *J Shellfish Res*, 8(2):481.
- Shpigel M, Blaylock R A. 1991. The picific oyster as a biological filter for a marine fish aquaculture pond. *Aquaculture*, 92(2 ~ 3):187 ~ 197.
- Tanichodok P, Lopez G R. 1988. Relative importance of phytoplankton and organic detritus as food source for the suspension-feeding bivalve, *Mytilus edulis*, in Long Island. *J Shellfish Res*, 7(1):178.
- Tracey G A, Steel R L. 1988. On the importance of photosynthetic picoplankton in the nutrition of bivalve molluscs, with specific reference to the summer 1985 Narragansett Bay "brown tide" and associated mass mortalities in blue mussel populations. *J Shellfish Res*, 7(1):178.

INTERACTIONS BETWEEN PLANKTON AND SHELLFISH IN FISH – SHELLFISH POLY CULTURE ECOSYSTEM OF FERTILIZED SEAWATER POND

LU Jing-Rang, LI De-Shang, YANG Hong-Sheng, XU Ning, ZHANG Hong-Yan
(Fisheries College, Ocean University of Qingdao, 266003)

ABSTRACT Studies on the interaction between *Venerupis (Amygdala) philippinarum* and plankton in fish-shellfish polyculture ecosystem with fertilizers was carried out from June to September 1995. The effects of the shellfish on plankton showed that the biomass of cyanophyta, pyrrophyta, copepods, copepod adult and rotifera decreased in community composition, primary production and biomass abundance of plankton decreased with the increase of shellfish density, and changes of those with the nutrition. The effect of the shellfish on community structure and biomass of plankton will improve seawater quality. Relationships between daily production and utilization ratio of nitrogen of *Venerupis (Amygdala) philippinarum* and primary production, and biomass of plankton were significant positive. The results indicate that the production of the shellfish depended mainly on algae-based grazing chain.

KEYWORDS Plankton, *Venerupis (Amygdala) philippinarum*, Seawater pond, Polyculture