

# 对虾综合养殖围隔中浮游细菌生产力的研究

刘国才\*, 李德尚, 董双林

(青岛海洋大学水产学院, 青岛 266003)

**摘要:**用 5 个养虾实验围隔研究了对虾综合养殖生态系浮游细菌的生产力。结果表明,生产量( $\mu\text{gC/L} \cdot \text{d}$ )变动在 90~909 之间,平均为  $292 \pm 141$ 。对虾-罗非鱼-缙蛭混养及对虾-扇贝混养生态系细菌生产量相对稳定;对虾单养及对虾-缙蛭、对虾-罗非鱼混养生态系细菌生产量却变化较大。细菌生产量与水温、细菌生物量及浮游生物群落呼吸量均呈现显著相关性。细菌的日 P/B 系数变化在  $0.22 \sim 1.67(\text{d}^{-1})$  之间,平均为  $0.93 \pm 0.37(\text{d}^{-1})$ 。细菌生产量与浮游植物毛生产量比值平均为 0.15。

**关键词:**细菌生产力;实验围隔;对虾池

## A study on bacterioplankton productivity of experimental shrimp polyculture enclosures

LIU Guo-Cai, LI De-Shang, DONG Shuang-Lin (Fisheries College, Ocean University of Qingdao, Qingdao, 266003, China)

**Abstract:** Bacterial productivity of shrimp polycultural ecosystems was studied with five experimental enclosures. The results showed that the bacterial production fluctuated from 90 to 909  $\mu\text{gC/L} \cdot \text{d}$ , with an average of  $292 \pm 141 \mu\text{gC/L} \cdot \text{d}$ . The bacterial productivity was stable in the enclosures stocked with a combination of shrimp (*Penaeus chinensis*)-tilapia (*Oreochromis mossambicus*-*O. niloticus*)-tagelus (*Sinonovacula constricta*), and those of shrimp-scallop (*Argopecten irradians*), while it was more changeable in the enclosures stocked only with shrimp or with a combination of shrimp-tagelus and of shrimp-tilapia. Bacterial production correlated significantly with water temperature, bacterial biomass and the rates of plankton community respiration. The bacterial daily P/B coefficient fluctuated from 0.22 to 1.67 ( $\text{d}^{-1}$ ), with an average of  $0.93 \pm 0.37 (\text{d}^{-1})$ . The average ratio of bacterial production to phytoplankton gross production was measured as 0.15.

**Key words:** bacterial productivity; experimental enclosure; shrimp pond

文章编号:1000-0933(2000)01-0124-05 中图分类号:Q938.8 文献标识码:A

天然水体中异养浮游细菌生产量是该系统生物群落生产量的重要组成部分,细菌生产及其对腐质碳的矿化作用在水体碳循环中有着重要作用。以往的研究表明,天然水域有时高达 86.5% 的初级生产量被细菌所消耗并投入再循环<sup>[1]</sup>。细菌利用溶解有机碳转化为菌体生物量(微生物的次级生产力),并为上层营养级提供可利用的颗粒有机碳,同时细菌对腐质碳的矿化分解又提供了无机营养元素供浮游植物的生长需要。因此,研究细菌生产力对评价水域生态系的物质循环和能量流动都是非常重要的。随着水域生态系统营养结构理论研究的深入,细菌生产力的研究愈加显示其重要意义。

虾池是人工控制的小生态系,群落生物量高,有机负荷大,这决定了虾池细菌生产在虾池养殖生态系

基金项目:国家自然科学基金重点基金(编号:39430150)、国家教委博士点专项基金(编号:9542304)、国家攀登计划 B(PD-B6-7-3 专题)及国家九五攻关计划(编号:96-922-02-02)资助项目。

\* 现在上海华东师范大学生物系,邮编:200062,电话:021-62601433, e-mail: liugc@ public 7. sta. net. cn

收稿日期:1999-04-16

统的运转中更具重要意义。研究虾池细菌生产情况有助于评价养殖系统的运转情况及生态功能,为对虾养殖的池塘管理提供依据。

当前有关虾池细菌生产力的研究资料不多<sup>[2~4]</sup>,对虾综合养殖生态系细菌生产力的研究迄今尚未见报道。本文采用原位实验生态学方法,用 5 个养虾实验围隔研究了该生态系细菌的生产力,并初步分析了细菌生产力与虾池主要水质环境因子的关系。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验围隔、放养搭配及水质管理

研究在山东省海阳市黄海集团公司养虾场进行。

实验围隔为面积 25m<sup>2</sup>(5m×5m)、水深 1.0m 的陆基围隔。以高密度两面涂塑的聚乙烯编织布做围隔幔,围隔幔下部埋入池塘底泥 0.5m,以木桩和青竹为支架架设于池塘中。为了模拟池塘水体的自然涌动混合,在围隔中央架设了一台 90W 微型叶轮式搅水机,每天在早、中午各搅水 0.5h。

研究在对虾单养(Y4)及对虾-扇贝(Y5)、对虾-缢蛭(Y6)、对虾-罗非鱼(Y7)、对虾-罗非鱼-缢蛭混养(T5)5 个实验围隔中进行。各围隔对虾放养密度均为 7.2 尾/m<sup>2</sup>。前 3 个混养围隔中扇贝、缢蛭及罗非鱼的放养密度依次为 1.54 粒/m<sup>2</sup>、20 粒/m<sup>2</sup> 及 0.24 尾/m<sup>2</sup>。对虾-罗非鱼-缢蛭混养围隔罗非鱼、缢蛭的放养密度为 0.12 尾/m<sup>2</sup> 及 10 粒/m<sup>2</sup>。罗非鱼都在设于围隔中的网箱内圈养。养殖期间仅为对虾投喂人工饲料,两个饵料台分别设在围隔两对角位置,每天投喂 4 次;混养生物不专门投喂,仅以腐屑及浮游生物为食。各围隔都在放养前施足基肥(鸡粪)以培养饵料生物,放养后据透明度、Chl. a 及营养盐情况适当追施化肥。

### 1.2 细菌生产量测定

细菌生产量的研究参照 Fuhrman, 等<sup>[5]</sup>方法进行。取实验围隔中层(0.5m 水层)水样,经 3μm 核孔滤膜(nuclepore filter)过滤(目的是排除摄食细菌的浮游动物并使细菌受伤害程度最小),滤液按 50mg/L 浓度加入放线菌酮杀死真核生物<sup>[6]</sup>,之后将过滤液置于 150mL 的酸洗、灭菌玻璃瓶内,在围隔原位(0.5m)挂瓶培养 24h,测定培养前后瓶内细菌现存量。细菌生产量由计算原位培养期间实验瓶内细菌细胞数目的增量得出。细菌细胞体积对生物量的转换系数取  $5.6 \times 10^{-13} \text{gC}/\mu\text{m}^3$ <sup>[7]</sup>。

### 1.3 细菌生产量与主要有关因子的关系

在细菌生产量测定中,同时对实验围隔水温、细菌生物量及浮游生物群落呼吸量进行测定,据以统计分析细菌生产量与这些因子的相关性。

### 1.4 细菌计数方法

采用吡啶橙染色荧光显微计数法(AODC 法)<sup>[8]</sup>;取细菌定量水样用 0.01%吡啶橙(AO)染色 3min,之后用低度真空(<0.03MPa)抽滤在直径为 25mm、孔径 0.2μm 的核孔滤膜上。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 24h,以消除滤膜的自发荧光。将滤膜置于载玻片上,滴一滴无菌水,盖上盖玻片,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。每个样品至少计数 10 个视野,共计数细菌 200 个以上。显微镜为大型研究用显微镜,光源为 100W 汞灯,激发光滤光片为 450~490nm、光束分离滤光片为 510nm、阻挡滤光片为 520nm。

## 2 结果

### 2.1 细菌生产量

原位培养期间各实验围隔细菌生产量见图 1。从图 1 看出,实验前期(6/6~20/7)5 个实验围隔细菌生产量呈现较为一致的波动趋势,不同实验围隔间数值相近,变异系数(图 2)差距较小(30%~49%)。实验中后期(20/7~24/8),不同实验围隔细菌生产量各有其波动趋势,变异系数(图 2)差距较大(6%~66%),此期间对虾单养(Y4)及对虾-罗非鱼(Y7)、对虾-缢蛭(Y6)混养围隔细菌生产量的变异系数(图 2)明显高于对虾-罗非鱼-缢蛭(T5)及对虾-扇贝(Y5)混养围隔。5 个实验围隔细菌生产量变化在 90~909μgC/L·d 之间,平均为  $292 \pm 141 \text{UgC}/\text{L} \cdot \text{d}$ 。由细菌生产量及表 1 细菌生物量计算出细菌的日 P/B 系数(d<sup>-1</sup>)为  $0.22 \sim 1.67$ 。平方数据  $3 \pm 0.37$ 。

### 2.2 细菌生产量与主要有关因子的关系

研究期间实验围隔水温见图 3, 细菌生物量、日  $P/B$  系数及浮游生物群落呼吸量见表 1。图 1 中细菌生产量与水温 ( $r=0.4688, n=40$ )、细菌生物量 ( $r=0.5451, n=40$ ) 及浮游生物群落呼吸量 ( $r=0.4567, n=39$ ) 均呈显著正相关。

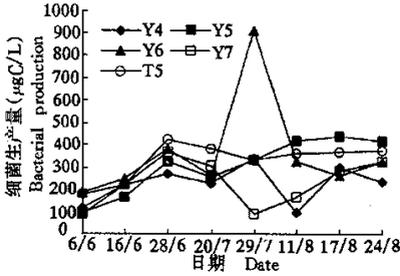


图 1 实验围隔细菌的生产量  
Fig. 1 Bacterial production in the experimental enclosures

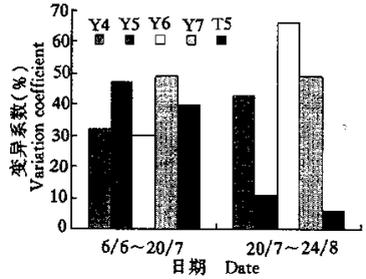


图 2 实验围隔细菌生产量的变异系数  
Fig. 2 Variation coefficients of bacterial production in the experimental enclosures

表 1 各实验围隔细菌的生物量、 $P/B$  系数 ( $d^{-1}$ ) 及浮游生物群落的呼吸量\*

Table 1 Bacterial biomass,  $P/B$  coefficient and plankton community respiration in the experimental enclosures

日期 Date	Y4			Y5			Y6			Y7			T5		
	B	$P/B$	CR												
6/6	142	0.81	791	110	0.91	495	122	1.53	—	68	1.32	413	169	1.05	480
16/6	199	1.12	1174	271	0.62	851	201	1.23	1335	162	1.35	1184	348	0.64	1283
28/6	364	0.74	1268	405	0.80	1313	441	0.87	983	358	1.02	979	561	0.76	1084
20/7	260	0.89	494	334	0.76	963	586	0.45	618	637	0.48	821	557	0.69	327
29/7	386	0.89	1297	488	0.69	1075	713	1.27	1822	212	0.42	642	439	0.75	482
11/8	459	0.22	735	260	1.59	469	319	1.02	608	354	0.48	461	252	1.43	199
17/8	431	0.69	910	265	1.65	983	275	0.97	668	322	0.89	1041	332	1.11	871
24/8	673	0.35	1274	252	1.67	1378	400	0.81	1352	217	1.49	1450	407	0.93	1032

\* B: 细菌生物量 Bacterial biomass ( $\mu\text{gC/L}$ ); CR 浮游生物群落呼吸量 Plankton community respiration ( $\mu\text{gC/L} \cdot \text{d}$ )

研究期间各实验围隔浮游植物毛生产量平均为  $1.89 \pm 0.74 \text{mgC/L} \cdot \text{d}$  (表 2), 与细菌生产量的比值平均为  $1/0.15$ 。假定浮游植物净生产量为毛生产量的  $80\%$  [9], 则求出浮游植物净生产量与细菌生产量的比值平均为  $1/0.19$ 。

### 3 讨论

#### 3.1 不同混养系统细菌的生产量

细菌生产量受控于系统内的基质浓度、可利用性及环境中理化、生物因子的综合作用。上述诸因子的不断变化也必然导致细菌生产量的相应波动。本研究 5 个实验围隔在实验前期, 细菌生产量呈现上升趋势, 此趋势与实验开始后水温升高及施肥投饵而导致的水体有机基质增加有关。5 个实验围隔实验前期细菌生产量数值相近且呈现相似的变化规律, 反映了围隔实验初始条件的一致性, 另外也同时说明, 实验前期由于混养生物个体较小, 其对

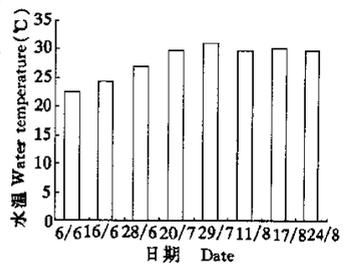


图 3 实验围隔水温变化情况  
Fig. 3 Variation of water temperature in the experimental enclosures

万方数据

细菌生产所产生的直接及间接的影响尚不明显。

表 2 各实验围隔浮游植物的毛生产量(mgC/L·d)

Table 2 Phytoplankton gross production in the experimental enclosures

	Y4	Y5	Y6	Y7	T5
11/6	2.54	1.59	2.93	2.72	2.80
21/6	2.04	1.68	0.78	0.91	1.65
27/6	1.95	1.86	1.80	2.94	1.63
17/7	1.67	1.97	1.78	3.37	1.88
25/7	2.72	2.40	2.73	1.52	2.33
6/8	1.17	2.00	1.82	0.61	0.52
16/8	0.86	1.69	1.02	1.26	1.22
23/8	2.07	2.92	1.19	3.37	1.84

实验中后期,不同实验围隔细菌生产量波动较大(图 1)。此波动与不同混养动物的食性差别以及各混养动物对系统所产生的不同混养效应的影响有关。据观察,贝类能根据生活水体中可利用颗粒大小来改变对食物颗粒大小的选择,在浮游细菌较多的水体,贝类表现出有效滤食浮游细菌的能力<sup>①</sup>。此外,贝类还具有较高的滤水效率,研究表明,海湾扇贝一天滤水的体积达 100L<sup>[10]</sup>。这种滤取细菌颗粒的能力及有效的滤水量使得海湾扇贝一方面不断消耗水体中的浮游细菌,同时对浮游细菌的繁殖也必将会起到有效的刺激作用,此消耗-刺激的过程在一个相对稳定的系统中应处于动态平衡。对虾-海湾扇贝混养围隔细菌生产量变异系数较小,推断与所混养海湾扇贝有效的滤食调节作用有关。

相对于吊养于水层中的海湾扇贝而言,缢蛭为底理性贝类,其摄取食物主要限于泥-水界面及底泥内部的微生物与腐质颗粒,对水层浮游细菌的生产起的调节作用较小。从本研究实验结果看出,对虾-缢蛭混养围隔细菌生产量有较大变化,甚至在研究期间(7月29日)还出现极高数值(909 $\mu$ gC/L·d,见图 1)情况。

罗非鱼主要滤食浮游动物和粒径大于 25 $\mu$ m 的浮游植物<sup>①</sup>,滤食规格远高出浮游细菌。另外由于对虾养殖水体悬浮颗粒上的附着细菌数量较小(仅占浮游细菌总量的 1.47% $\pm$ 1.41%)<sup>[11]</sup>,因而罗非鱼的滤食作用对浮游细菌所造成的直接影响必然很小。从本研究实验结果看出,对虾-罗非鱼混养系统浮游细菌生产量波动较大。

虽然缢蛭、罗非鱼分别与对虾混养的两种系统细菌生产量波动较大,但对虾-罗非鱼-缢蛭三元混养系统细菌生产量却相对稳定。这种稳定性当然不能从罗非鱼、缢蛭的直接滤食调节作用进行解释,但却与此三元混养而促成的生态系统的良性运转有关。罗非鱼属杂食兼滤食性的鱼类,既可以清除池底残饵,又可以滤除水体中悬浮的有机颗粒及大的浮游生物等,还可以使水中的氮、磷等营养物质的循环与再生速率加快<sup>[12]</sup>;而缢蛭为沉积食性(deposit-feeder)兼滤食性,可利用泥-水界面附近的较小型浮游生物及水层沉淀下来的有机质,减少底质中的有机质含量,降低底质污染<sup>[13]</sup>,有助于改善、保持水质、提高物质的利用率。所以,罗非鱼、缢蛭与对虾三元混养,罗非鱼、缢蛭在食物成分上可以在浮游动物与浮游植物之间和不同粒径的浮游植物与有机腐屑之间发挥互补作用。同时,缢蛭的掘穴及摄食活动能够搅动泥水界面,会加强沉积物与上覆水之间的物质交换<sup>①</sup>,所以,此混养系统可达到多层次、多方位利用水体栖息位、营养位的目的,使水质保持稳定。因而,罗非鱼、缢蛭混养对浮游细菌生产的影响是间接的,本系统浮游细菌生产量的相对稳定是通过罗非鱼、缢蛭与对虾三元混养的综合生态效应——提高系统物质和能量利用率、维持系统良性运转实现的。

对虾单养系统生物群落结构最为简单,系统自身调节能力小、稳定性减弱,因而细菌生产量也呈现较大波动。

上面仅是针对不同对虾养殖系统细菌生产量变动所作初步分析,有关对虾养殖系统中混养的罗非鱼、

## 万方数据

① 张鸿雁.对虾池混养的滤食性动物对浮游生物群落的影响.青岛海洋大学硕士论文.1997

缢蛏及扇贝对细菌生产作用的机制还需进行深入研究。

5 个实验围隔细菌生产量为  $90\sim 909\mu\text{gC/L}\cdot\text{d}$ , 低于国外虾池的研究结果 ( $430\sim 2100\mu\text{gC/L}\cdot\text{d}$ , 采用的是甲基胸腺嘧啶脱氧核苷示踪法)<sup>[4]</sup>, 这可能与所研究系统的具体条件不同以及研究方法不同有关 (甲基胸腺嘧啶脱氧核苷示踪法研究细菌生产量结果明显高于排除浮游动物后水样细菌数量增加法所得的细菌生产量)<sup>[5]</sup>。但与国内虾池的研究结果 ( $58\sim 137\mu\text{gC/L}\cdot\text{d}$ <sup>[2]</sup>;  $69\sim 275\mu\text{gC/L}\cdot\text{d}$ <sup>[3]</sup>) 具有一定的可比性 (研究方法相同)。

### 3.2 细菌生产量与主要有关因子的关系

细菌生产量与水温及细菌生物量均呈现显著正相关, 与国外有关天然水体的研究结论一致<sup>[14,15]</sup>。细菌生产量与浮游生物群落呼吸量呈现显著正相关, 反映了细菌代谢在浮游生物群落代谢中的重要位置。Jensen 等<sup>[16]</sup>对河口的研究也得出了相同的结论。

本研究得出细菌生产量为浮游植物毛生产量的 15%, 低于高村等<sup>[17]</sup>对淡水鱼池的测定结果 (31%~39%)。细菌生产量为浮游植物净生产量的 19%, 低于 Morris 等<sup>[14]</sup>对湖泊的测定结果 (60%~66%)。细菌生产量与浮游植物生产量比值的偏低可能与实验围隔水浅 (平均仅 1.0m), 水层光照相对充裕, 单位体积水柱光合作用生产量较大有关。

### 参考文献

- [1] Hagstrom A, Azam F, Anderson A, *et al.* Microbial loop in an oligotrophic pelagic marine ecosystem. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 1988, **49**: 171~178.
- [2] LUJR, Li D S, Zhang H Y. Bacterioplankton secondary production estimates for artificially fertilized shrimp pond. *Chin J Oceanol. Limnol.*, 1997, **15**(1): 92~96.
- [3] 刘国才, 李德尚, 徐怀恕, 等. 海水养虾池细菌数量动态及细菌生产力的研究. *应用与环境生物学报*, 1997, **3**(4): 340~345.
- [4] Moriarty D J W. Bacterial productivity in ponds used for culture of Penaeid Prawns. *Microb Ecol.*, 1986, **12**: 259~269.
- [5] Fuhrman J E and Cole J J. Response of a detrital food web to eutrophication. *Bull Mar Sci.*, 1984, **35**: 357~363.
- [6] Coffin R B and Sharp J H. Microbial tropho-dynamics in the Delaware Estuary. *Mar Ecol Prog Ser.*, 1987, **41**: 253~266.
- [7] Bratbak G. Bacterial biovolume and biomass estimations. *Appl Environ Microbiol.*, 1985, **49**(6): 1488~1493.
- [8] Hobbie J E, Daley R J and Jasper S. Use of nucleopore filters for counting bacteria by fluorescence microscopy. *Appl Environ Microbiol.*, 1977, **33**: 1225~1228.
- [9] 何志辉. 吉林镇赉养鱼场鱼池生态系分析. *水产学报*, 1993, **17**(1): 24~35.
- [10] 大连水产学院主编. 贝类养殖学. 北京: 农业出版社, 1980. 20~22.
- [11] 刘国才, 李德尚, 徐怀恕, 等. 对虾池悬浮颗粒附着细菌的研究. *海洋学报*, 1999, **21**(1): 97~102.
- [12] 阮景荣. 罗非鱼对微生态系统浮游生物群落与初级生产力的影响. *应用生态学报*, 1993, **4**(1): 65~73.
- [13] Tsuchiya M. The feeding habits and food sources of the deposit-feeding polychaete, *Neanthes japonica* (Lzuka). *J. Exp. Mar. Bio. Ecol.*, 1979, **36**: 79~89.
- [14] Morris D P, Williams M and Lewis J. Nutrient limitation of bacterioplankton growth in Lake Dillon, Colorado. *Limnol Oceanogr.*, 1992, **37**(6): 1179~1192.
- [15] Kuosa H and Kivi K. Bacteria and heterotrophic flagellates in the pelagic carbon cycle in the northern Baltic Sea. *Mar Ecol Prog Ser.*, 1989, **53**: 93~100.
- [16] Jensen L M, Sand J K, Marcher S, *et al.* Plankton community respiration along a nutrient gradient in a shallow Danish estuary. *Mar Ecol Prog Ser.*, 1990, **61**: 75~85.
- [17] 高村典子. 细菌现存量与生产量. 若田胜哉. 中国综合养鱼生态生理学的研究. 文部省海外学术报告书, 1992. 13~18.