

刺参养殖池塘水体中浮游病毒的丰度

姜 北, 周遵春*, 邓 欢, 陈 仲, 徐晓虹, 谭克非

(辽宁省海洋水产科学研究院, 辽宁省海洋环境监测总站, 辽宁省海洋水产分子生物学重点实验室, 辽宁大连 116023)

摘要:运用荧光显微技术,于 2007 年 3~11 月,对大连市附近 4 个地区的刺参养殖池塘及相应的海域进行了浮游病毒丰度的监测和分析,对刺参养殖池塘生态系统的浮游病毒丰度在时间、空间分布上的变化进行了探讨。荧光显微观察结果显示,刺参养殖池塘浮游病毒在时间和空间分布上均存在极显著差异($P < 0.01$),8 月中旬平均丰度达到峰值,为 2.54×10^{10} 个/L,7 月下旬浮游病毒的平均丰度最低,为 1.43×10^9 个/L。复州湾海域的浮游病毒丰度显著高于其他地区,该地区浮游病毒丰度平均达到 1.17×10^{10} 个/L,夏家河子地区浮游病毒丰度最低,平均为 3.89×10^9 个/L。同一刺参养殖池塘中部区域的浮游病毒丰度高于进水和排水口。刺参养殖池塘水体中浮游病毒丰度与养殖池塘所处的海区位置、养殖池塘的密度密切相关。

关键词:养殖池塘;病毒丰度;时空分布

文章编号:1000-0933(2008)11-5506-07 中图分类号:Q142,Q145 文献标识码:A

Virioplankton abundance in *Apostichopus japonicus* culture ponds

JIANG Bei, ZHOU Zun-Chun*, DENG Huan, CHEN Zhong, XU Xiao-Hong, TAN Ke-Fei

Liaoning Ocean and Fisheries Science Research Institute, Liaoning Marine Environmental Monitoring General Station, Liaoning Key Laboratory of Marine Fishery Molecular Biology, Dalian 116023, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(11): 5506 ~ 5512.

Abstract: We examined the virioplankton abundance in the cultured ponds of *Apostichopus japonicus* at four areas, namedly Xietun, Fuzhouwan, Xiajiahezi and Dazheng, near the Dalian coast using fluorescence microscopy during the period of March to November in 2007. As a comparison, we also examined the virioplankton abundance in the surrounding seawater of the cultured ponds. It was found that virioplankton abundance varied significantly ($P < 0.01$) in different areas and periods. Virioplankton on average was between 1.43×10^9 and 2.54×10^{10} per liter with the highest in August and lowest in July. Virioplankton was the most abundant in Fuzhouwan area with an average of 1.17×10^{10} per liter, while it was the least abundant in Xiajiahezi area with an average of 3.89×10^9 per liter. In single cultured pond, virioplankton showed the higher abundance in the middle area of the pond than the water inlet and water outlet areas. Virioplankton abundance was closely related to the location and the density of the cultured ponds of *Apostichopus japonicus*.

Key Words: culture ponds; virioplankton abundance; temporal and spatial distributions

病毒是海洋表层水中丰度最高的微生物群体,同时也是微生物食物链的重要组成部分,在海水中的浓度

基金项目:国家海洋局海洋公益专项资助项目(200705007),辽宁省科技计划资助项目(2004203001),大连市科技计划资助项目(2004BINS030)

收稿日期:2008-04-27; 修订日期:2008-06-27

作者简介:姜北(1982~),男,辽宁大连人,主要从事海洋生态学研究. E-mail: satan.p@163.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zunchunz@hotmail.com

Foundation item: The project was financially supported by the commonweal program of State Oceanic Administration of China (No. 200705007), science and technology project of Liaoning Province (No. 2004203001) and science and technology project of Dalian City (No. 2004BINS030)

Received date: 2008-04-27; **Accepted date:** 2008-06-27

Biography: JIANG Bei, mainly engaged in marine ecology. E-mail: satan.p@163.com

能达到 $10^4 \sim 10^8$ 个/ml^[1~3], 病毒可以影响许多生化过程和生态学过程, 包括微生物食物链中的碳循环、营养物质循环、颗粒大小分布和沉积率、细菌和浮游植物的多样性以及微生物的群落结构^[2,4~8], 海洋生物种群内和种群间的充分接触, 为病毒传播及变异创造了条件, 使海洋系统成为极富多样性的原始病毒库, 病毒通过对浮游生物、浮游细菌等重要海洋初级生产力和次级生产力相关的种群的感染而影响整个海洋生态系统。与海洋生态系统相比, 养殖池塘生态系统中病毒的变化更为复杂, 近些年来由病毒引起的病毒性传染疾病给水产养殖业带来了严重的危害^[9~11]。明显的例子是在对虾养殖过程中出现的白斑综合症病毒病曾给对虾养殖业带来毁灭性的打击, 造成了巨大的经济损失^[12]。刺参是继中国对虾之后我国北方地区又一最重要的池塘养殖品种, 刺参养殖现已发展成为山东和辽宁的水产养殖支柱产业。研究刺参养殖池塘的生态环境变化, 对开展刺参的健康养殖具有重要意义。病毒对刺参养殖池塘生态环境的影响目前未见报道, 本文主要通过选取不同环境条件的刺参养殖池塘, 对刺参养殖池塘浮游病毒丰度的时空分布特征进行研究, 了解病毒对刺参养殖池塘生态环境的影响。

1 试验材料与方法

1.1 采样地点

在渤海东部和黄海北部的大连市沿岸刺参养殖地区, 共设置 4 个采样池塘, 分别位于谢屯、复州湾、夏家河子以及大郑等地区(图 1)。其中前 3 个地区位于辽东湾的东部, 大郑地区位于黄海北部。采样各池塘所在海域水交换条件各不相同, 养殖池塘密度也不相同。

1.2 采样方法

自 2007 年 3 月 ~ 11 月, 每 10 ~ 20d 分别采集各个池塘不同位置(进水口、中部、出水口)和附近外海的表层海水各 50ml。海水样品用预先处理无菌采样器采取, 采集的水样立即加入甲醛溶液 2.5ml(甲醛在样品中的质量浓度为 2.5%), 装入便携式冷藏箱并在冷藏避光条件下 24h 内送回实验室进行分析。

1.3 检测和分析方法

水样病毒检测采用 SYBR Green I 直接计数法, 并稍加改进^[13~16]: 水样用孔径为 $0.45 \mu\text{m}$ 的微孔滤膜过滤后, 再经无菌去离子水稀释, 取 1ml(每毫升含有样品量 $50 \mu\text{l}$) 经孔径为 $0.02 \mu\text{m}$ 氧化铝滤膜(whatman)过滤, 在负压(15 ~ 20kPa)条件下把样品抽滤至干, 将病毒滤于膜上, 用 10% 的 SYBR Green I 染色剂工作液置冰浴、避光染色 15min。干燥后, 制片。在荧光显微镜蓝色激发光道, 油镜下观察计数, 病毒粒子数呈针孔状、亮绿色。随机取 10 ~ 20 个视野, 计算病毒颗粒数, 每个样品至少计数 200 个病毒。

$$\text{计算样品中含病毒颗粒数的套用公式: } VN = \frac{Na \cdot S}{Sf \cdot (1 - 0.05) \cdot V}$$

式中, VN 为样品含病毒数(个/升); Na 为各视野平均病毒数(个); S 为滤膜实际过滤面积(mm^2); Sf 为显微镜视野面积(mm^2); V 为过滤样品量(式中 0.05 为加入 37% ~ 40% 甲醛占固定样品总体积的比例)(L)。

采用 SPSS13.0 统计软件中 Univariate 程序分析比较结果之间的差异性。

2 试验结果

病毒粒子经 SYBR Green I 核酸染料染色后, 在荧光显微镜下发明亮的黄绿色荧光(图 2)。

2.1 谢屯地区浮游病毒丰度的变化情况

荧光显微计数结果表明(表 1), 在谢屯地区当年的 8 月上旬 ~ 10 月下旬期间的浮游病毒丰度高于其他月份, 刺参养殖池塘中的浮游病毒丰度主要在 $2.09 \times 10^9 \sim 2.96 \times 10^{10}$ 个/L 之间变化, 浮游病毒在刺参养殖池

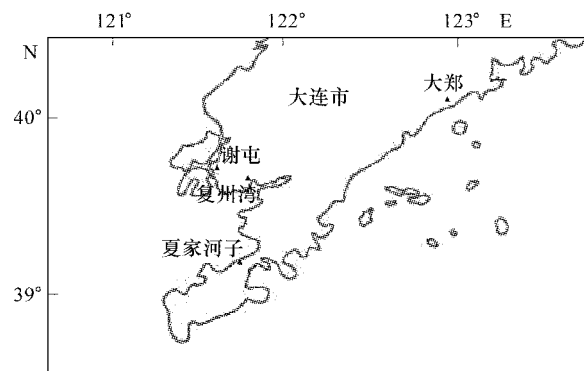


图 1 调查地区及采样点

Fig. 1 Location of survey and sampling sites

塘中的年均丰度为 8.86×10^9 个/L, 两个峰值出现在 8 月中旬的中部区和出水口, 分别是 3.32×10^{10} 个/L 和 2.80×10^{10} 个/L。谢屯地区浮游病毒年均丰度的分析比较, 由高到低的顺序依次是中部区、出水口、进水口、外海水, 且养殖池塘中的浮游病毒年均丰度显著高于附近外海水中的浮游病毒年均丰度。

2.2 复州湾地区浮游病毒丰度的变化情况

荧光显微计数结果表明(表 2), 复州湾地区在当年的 8 月上旬~10 月下旬期间的浮游病毒丰度高于其他月份, 池塘中的浮游病毒丰度主要是在 $1.34 \times 10^9 \sim 3.87 \times 10^{10}$ 个/L 之间变化, 浮游病毒在池塘中的年均丰度为 1.17×10^{10} 个/L, 两个峰值分别出现在 8 月中旬的中部区和进水口, 分别是 4.25×10^{10} 个/L 和 3.98×10^{10} 个/L。复州湾地区浮游病毒年均丰度由高到低的顺序

依次是中部区、外海水、进水口、出水口, 养殖池塘中的浮游病毒年均丰度显著高于附近外海水中的浮游病毒的年均丰度。

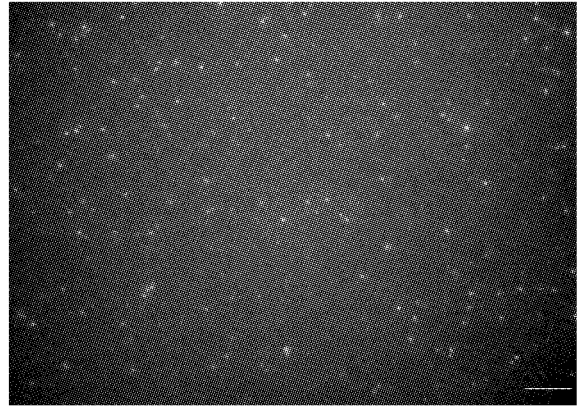


图 2 刺参养殖池塘浮游病毒的荧光照片(标尺, 2 μ m)

Fig. 2 The fluorescence picture of viroplankton in *Apostichopus japonicus* culture ponds (bar 2 μ m)

表 1 谢屯地区刺参养殖池塘浮游病毒丰度

Table 1 Viroplankton abundance in *Apostichopus japonicus* culture pond of Xietun

时间 Time (月-日) (Month-day)	浮游病毒丰度 Viroplankton abundance ($\times 10^9$ 个 \cdot L $^{-1}$)				
	进水口 Water inlet	中部 Middle area	出水口 Water outlet	外海 Outer sea	池塘内病毒平均 Average
03-26	2.10 \pm 0.35	6.34 \pm 0.89	6.93 \pm 0.44	2.18 \pm 0.65	5.12 \pm 2.27
05-14	2.15 \pm 0.26	2.43 \pm 0.39	2.34 \pm 0.53	3.20 \pm 0.45	2.31 \pm 0.41
06-05	5.58 \pm 0.48	5.15 \pm 0.85	6.31 \pm 0.88	0.83 \pm 0.15	5.68 \pm 0.86
06-19	11.2 \pm 0.47	1.54 \pm 0.24	1.79 \pm 0.30	7.67 \pm 0.26	4.84 \pm 4.65
07-02	2.18 \pm 0.31	2.95 \pm 0.36	1.64 \pm 0.39	1.86 \pm 0.36	2.26 \pm 0.63
07-12	2.68 \pm 0.33	5.18 \pm 0.40	5.78 \pm 0.50	2.70 \pm 0.36	4.55 \pm 1.44
07-23	1.96 \pm 0.25	2.07 \pm 0.22	2.24 \pm 0.38	0.74 \pm 0.16	2.09 \pm 0.31
08-15	27.7 \pm 3.01	33.2 \pm 4.88	28.0 \pm 2.44	10.5 \pm 1.23	29.6 \pm 4.41
08-28	8.74 \pm 0.77	15.4 \pm 1.39	12.3 \pm 1.36	9.15 \pm 0.83	12.1 \pm 2.99
09-14	20.2 \pm 2.26	20.3 \pm 1.18	18.5 \pm 1.31	12.0 \pm 1.19	19.7 \pm 1.82
10-17	11.1 \pm 0.90	11.4 \pm 0.72	11.1 \pm 0.79	11.0 \pm 0.73	11.2 \pm 0.78
11-06	6.91 \pm 0.63	6.79 \pm 0.21	5.98 \pm 0.40	4.81 \pm 0.53	6.56 \pm 0.59
11-23	8.88 \pm 1.07	10.9 \pm 0.90	7.69 \pm 1.71	7.50 \pm 0.72	9.16 \pm 1.81
平均值 Average	8.57 \pm 7.29	9.51 \pm 9.01	8.51 \pm 7.31	5.70 \pm 4.13	8.86 \pm 7.90

2.3 夏家河子地区的病毒丰度的变化情况

荧光显微计数结果表明(表 3), 夏家河子地区在当年的 8 月中旬~9 月中旬期间的浮游病毒丰度较高于其他月份, 池塘中的病毒丰度主要在 $3.60 \times 10^8 \sim 7.89 \times 10^9$ 个/L 之间变化, 病毒在池塘中的年均丰度为 3.89×10^9 个/L, 两个峰值分别出现在 9 月下旬的进水口和出水口, 分别是 8.32×10^9 个/L 和 7.80×10^9 个/L。夏家河子地区浮游病毒年均丰度由高到低的顺序依次是出水口、进水口、中部区和外海水, 养殖池塘中的浮游病毒年均丰度显著高于附近外海水中的浮游病毒年均丰度。

2.4 大郑地区的病毒丰度的变化情况

荧光显微计数结果表明(表 4), 大郑地区在当年的 8 月下旬~9 月下旬期间的病毒丰度高于其他月份,

池塘中的浮游病毒丰度主要在 $2.62 \times 10^9 \sim 3.94 \times 10^{10}$ 个/L 之间变化,浮游病毒在池塘中的年均丰度为 1.45×10^{10} 个/L,两个峰值分别出现在9月下旬的出水口和8月下旬的中部,分别是 4.38×10^{10} 个/L 和 4.13×10^{10} 个/L。大郑地区浮游病毒年均丰度由高到低的顺序依次是中部、进水口、出水口和外海水,养殖池塘中的浮游病毒年均丰度显著高于附近外海水中的浮游病毒年均丰度。

表2 复州湾地区刺参养殖池塘浮游病毒丰度

Table 2 Virioplankton abundance in *Apostichopus japonicus* culture pond of Fuzhouwan

时间 Time (月-日) (Month-day)	浮游病毒丰度 Virioplankton abundance ($\times 10^9$ 个 $\cdot L^{-1}$)				
	进水口 Water inlet	中部 Middle area	出水口 Water outlet	外海 Outer sea	池塘内病毒平均 Average
04-13	2.01 \pm 0.22	11.9 \pm 1.01	1.99 \pm 0.24	2.72 \pm 0.17	5.30 \pm 4.48
05-11	6.10 \pm 1.13	12.1 \pm 0.93	2.91 \pm 0.47	1.39 \pm 0.24	7.04 \pm 4.02
05-31	5.12 \pm 0.42	2.33 \pm 0.48	2.32 \pm 0.32	0.31 \pm 0.09	3.26 \pm 1.41
06-19	5.79 \pm 0.69	7.88 \pm 0.61	10.7 \pm 0.40	13.0 \pm 0.69	8.12 \pm 2.13
07-03	3.74 \pm 0.66	4.01 \pm 0.75	2.44 \pm 0.41	0.93 \pm 0.24	3.4 \pm 0.98
07-12	6.03 \pm 0.63	9.91 \pm 1.17	4.70 \pm 0.78	3.79 \pm 0.44	6.88 \pm 2.40
07-23	0.64 \pm 0.13	1.03 \pm 0.28	2.36 \pm 0.25	0.41 \pm 0.10	1.34 \pm 0.79
08-15	39.8 \pm 5.08	42.5 \pm 3.30	33.7 \pm 3.78	20.5 \pm 1.70	38.7 \pm 5.44
08-28	9.58 \pm 1.27	15.3 \pm 1.29	9.16 \pm 1.39	12.1 \pm 1.20	11.3 \pm 3.12
09-14	27.2 \pm 2.82	35.3 \pm 2.45	27.5 \pm 1.59	30.1 \pm 2.70	30.0 \pm 4.57
10-17	12.3 \pm 0.89	16.9 \pm 1.46	14.5 \pm 1.81	23.9 \pm 1.50	14.6 \pm 2.35
11-06	11.9 \pm 1.15	15.7 \pm 1.36	12.4 \pm 1.04	17.2 \pm 1.20	13.3 \pm 2.13
11-23	8.29 \pm 0.40	9.22 \pm 0.80	7.94 \pm 0.24	16.4 \pm 0.52	8.48 \pm 0.77
平均值 Average	10.6 \pm 10.30	13.7 \pm 11.5	9.95 \pm 9.10	10.98 \pm 9.84	11.7 \pm 10.50

表3 夏家河子地区刺参养殖池塘浮游病毒丰度

Table 3 Virioplankton abundance in *Apostichopus japonicus* culture pond of Xiajiahezi

时间 Time (月-日) (Month-day)	浮游病毒丰度 Virioplankton abundance ($\times 10^9$ 个 $\cdot L^{-1}$)				
	进水口 Water inlet	中部 Middle area	出水口 Water outlet	外海 Outer sea	池塘内病毒平均 Average
03-26	4.54 \pm 0.48	3.22 \pm 0.80	2.46 \pm 0.38	1.40 \pm 0.13	3.41 \pm 0.16
05-14	0.86 \pm 0.12	2.45 \pm 0.25	0.58 \pm 0.13	0.55 \pm 0.17	1.30 \pm 0.80
05-31	0.61 \pm 0.14	2.42 \pm 0.09	0.22 \pm 0.06	0.75 \pm 0.16	0.36 \pm 0.22
07-02	2.03 \pm 0.38	1.72 \pm 0.34	7.05 \pm 0.67	1.74 \pm 0.42	3.60 \pm 2.36
08-27	6.75 \pm 0.93	6.25 \pm 0.95	7.29 \pm 0.21	7.52 \pm 0.19	6.76 \pm 1.64
09-20	8.32 \pm 0.76	7.56 \pm 0.24	7.80 \pm 0.64	7.02 \pm 0.58	7.89 \pm 1.80
平均值 Average	3.85 \pm 2.84	3.57 \pm 2.52	4.23 \pm 3.19	3.16 \pm 2.66	3.89 \pm 2.86

表4 大郑地区刺参养殖池塘浮游病毒丰度的分布

Table 4 Virioplankton abundance in *Apostichopus japonicus* culture pond of Dazheng

时间 Time (月-日) (Month-day)	浮游病毒丰度 Virioplankton abundance ($\times 10^9$ 个 $\cdot L^{-1}$)				
	进水口 Water inlet	中部 Middle area	出水口值 Water outlet	外海 Outer sea	池塘内病毒平均 Average
04-02	2.45 \pm 0.31	3.43 \pm 0.41	1.99 \pm 0.23	2.00 \pm 0.13	2.62 \pm 0.76
05-08	8.10 \pm 0.48	10.9 \pm 1.05	8.18 \pm 0.49	3.19 \pm 0.62	9.06 \pm 2.18
06-06	5.00 \pm 0.47	2.49 \pm 0.30	2.51 \pm 0.17	2.45 \pm 0.28	3.33 \pm 1.37
06-18	11.4 \pm 0.54	20.2 \pm 1.01	11.2 \pm 0.46	4.00 \pm 0.26	14.27 \pm 4.92
07-04	6.81 \pm 0.42	1.94 \pm 0.33	2.00 \pm 0.17	1.72 \pm 0.26	3.58 \pm 2.30
08-16	32.8 \pm 5.26	41.3 \pm 1.90	14.2 \pm 2.20	5.11 \pm 0.56	29.43 \pm 13.0
09-19	37.8 \pm 4.05	36.6 \pm 2.90	43.8 \pm 2.42	6.00 \pm 0.45	39.40 \pm 9.22
平均值 Average	14.9 \pm 12.2	16.7 \pm 14.0	11.9 \pm 13.0	3.50 \pm 1.50	14.5 \pm 13.2

2.5 浮游病毒时空分布差异

对浮游病毒丰度进行多因素方差分析(表5),结果表明浮游病毒丰度在空间分布上存在着极显著性差异($P < 0.01$),夏家河子地区的浮游病毒丰度最低,大郑和复州湾地区浮游病毒丰度明显高于其他地区;浮游病毒丰度在各地区的采样位置中也存在极显著差异($P < 0.01$),养殖池塘中部区的浮游病毒丰度普遍较高,外海较低。浮游病毒丰度在时间上的分布呈极显著性差异($P < 0.01$),各地区的浮游病毒丰度均在8月中旬达到较高水平,总的平均丰度达到峰值,为 2.54×10^{10} 个/L,7月下旬浮游病毒的平均丰度最低,为 1.43×10^9 个/L。

表5 单因变量(浮游病毒丰度):多因素方差分析结果

Table 5 Dependent Variable (Virioplankton abundance): Tests of Between-Subjects Effects

来源 Source	平方和 Type III Sum of Squares	自由度 df	均方 Mean Square	F	Sig.
采样地区 Sampling areas	7.78×10^{20}	3	2.59×10^{20}	8.738	0.000
采样位置 Sampling sites	9.00×10^{21}	12	7.50×10^{20}	25.270	0.000
采样时间 Sampling time	5.08×10^{20}	3	1.69×10^{20}	5.703	0.001
各地区外海 Outer sea	3.98×10^{20}	3	1.33×10^{20}	3.088	0.040

3 讨论

3.1 病毒丰度在空间分布上的分析比较

刺参养殖池塘中不同区域的病毒丰度比较结果表明,池塘的中部区较高,这可能与各池塘主要通过进水口或出水口与附近的外海水进行交换有关,另外海水潮汐、交换时间、交换容量及人工管理等不同因素的限制,循环不彻底导致池塘中部营养区的海水常常得不到彻底的交换,长此以往就会导致病毒数量的累积。而各地区外海水中的病毒丰度普遍偏低,一般情况下,沿岸水中的病毒丰度要高于外海^[17]。

夏家河子地区刺参养殖池塘中的病毒丰度最低,且外海水中的病毒丰度远低于其他地区,这与夏家河子地区的地理位置与周围的养殖池塘分布有关,夏家河子地区位于渤海东部沿岸,海岸带大部分地区属于浅水区,水深在两米以内,接受的光照充足,有研究表明充足的太阳光线会导致病毒数量的衰减,病毒不易大量繁殖^[18,19]。另外此地区养殖池塘少,海水循环较快,有利于海水的大量交换;这些都是夏家河子地区养殖池塘病毒丰度较低的原因。

复州湾地区池塘内部与附近外海水中的病毒丰度都普遍较高,且无显著差异。尤其是附近外海水中的病毒丰度显著高于其他地区的外海水,这与复州湾地区的海水主要来源于紧靠内陆的、较封闭的普兰店湾有关,池塘离海较远,海水循环相对缓慢,同时,附近的工业废水、废弃物、生活污水、污染物及周围大量的养殖池塘所排出的代谢物汇集到近岸海域内长期滞留,其中存在着大量有机物及营养物质,使附近海水富营养化,导致浮游植物、浮游细菌和浮游病毒的大量增殖^[20]。

大郑地区的养殖池塘中病毒丰度较高的原因很可能与人工管理有关,此地区的养殖池塘主要是利用原池塘的底泥向四周围堰而成,长年又不进行清池,导致池塘底部的大量细菌和代谢物质的累积,以致于病毒的不间断繁殖。

谢屯地区的刺参养殖池塘及附近外海水中的病毒丰度都普遍低于其他地区,此池塘最明显的特征是离海很近,池塘两侧紧靠外海沟渠,且池塘两侧即进出水口同时进行换水,海水循环方便、彻底,病毒不易大量滋生,故病毒丰度较低。

3.2 病毒丰度在时间分布上的分析比较

各地区养殖池塘中的病毒丰度及附近外海水中的病毒丰度都有着明显的季节性变化,多项研究表明,病毒数量在晚秋季节达到最高,也许是与春秋季节的浮游生物增殖有关,而在秋季,大量的浮游病毒和浮游细菌群体都开始大量增殖^[8,21~24]。8月到10月期间的病毒数量明显高于其他月份,可能与8月到10月期间的水

温较高有关,病毒含量和水温呈一定的正比例关系^[25],10 月份以后病毒数量又逐渐减少。但也有例外,大郑地区的外海水中的病毒丰度并没有明显的季节规律。

3.3 病毒丰度在数量变化上的分析比较

刺参养殖池塘中病毒的丰度为 $10^9 \sim 10^{10}$ 个/L,而一般海水中病毒的丰度为 $10^7 \sim 10^9$ 个/L,比其他湖泊、河流、海洋中所测得的病毒密度要高 1~3 个数量级^[1],如此高的病毒丰度只有在美国加利福尼亚州单湖和切萨匹克湾的等相关研究中曾有报道^[21,26~28],这可能与池塘中大量存在的浮游动植物尤其是各种藻类有关,当藻类旺发时,藻类浓度增大,与病毒碰撞的几率增大,感染的机会增加,同时以藻类为食的微生物也随之增长,寄生的病毒也随之大量复制并释放,导致病毒的含量升高,随着时间的推移,病毒含量越来越高,直至藻类生长开始衰退,病毒含量才会随之减少^[8,29,30]。

刺参养殖池塘是一个相对封闭的生态系统,浮游细菌、浮游病毒以及许多藻类和营养物质构成了刺参生活环境的重要组成部分。在海洋透光层中病毒的数量较大,并且随着海水深度增加丰度逐渐减少^[17],刺参养殖池塘的水深一般在 1.5~2m,大部分区域都属于透光层,因而养殖池塘特别适合浮游病毒的繁殖,可以说浮游病毒分布于养殖池塘的各个部位。大量研究表明 10%~50% 的浮游细菌死亡是由浮游病毒导致的,在营养丰富的水体中,浮游病毒引起的细菌死亡率会更高^[2]。另外,浮游病毒的裂解作用增强了细菌生物向可溶性有机物流动,从而影响微生物循环^[1,7]。病毒溶解所释放的物质,包括蛋白质、核酸、氨基酸、碳水化合物、脂肪、细胞壁成分以及其它各类成分,这些物质包括病毒颗粒本身,可以迅速进入海水营养物质的循环中,从而会影响海洋中营养和能量的流动^[8]。病毒丰度的变化同浮游细菌数量和浮游植物密度的关系密切,同时还与海水中叶绿素 a 的含量有很好的相关性^[31],这些都可以看出浮游病毒在刺参养殖池塘生态系统中起着至关重要的作用。

References:

- [1] Wommack K, Colwell R. Virioplankton: viruses in aquatic ecosystems. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 2000, 64:69—114.
- [2] Fuhrman J A. Marine viruses: biogeochemical and ecological effects. *Nature*, 1999, 399: 541—548.
- [3] Wilhelm S W, Suttle C A. Viruses and nutrient cycles in the sea-viruses play critical roles in the structure and function of aquatic food webs. *Bioscience*, 1999, 49: 781—788.
- [4] Bratbak G, Thingstad F, Heldal M. Viruses and the microbial loop. *Microb Ecol*, 1994, 28: 209—221.
- [5] Nagasaki K, Tomaru Y, Takao Y, *et al.* Previously unknown virus infects marine diatom. *Appl Environ Microbiol*, 2005, 71 (7):3528—3535.
- [6] Hennes K P, Suttle C A, Chan A M. Fluorescently labeled virus probes show that natural virus populations can control the structure of marine microbial communities. *Appl Environ Microbiol*, 1995, 61(10):3623—3627.
- [7] Fuhrman JA, Schwalbach M. Viral influence on aquatic bacterial communities. *Biol Bull*, 2003, 204:192—195.
- [8] Zhou Y H, Pan J M, Ye Y, *et al.* Relationship between bacterium, virus and phytoplankton and their effects to geochemical cycling in ocean. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait*, 2001, 20(3):340—345.
- [9] Zhang QY. Research status of the viral pathogens from the special aquaculture animals. *Modern Fisheries Information*, 1996, 11(4):1—7.
- [10] Zhang QY. A review of viral diseases of aquatic animal in China. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2002, 26 (1):89—101.
- [11] Daszak P, Cunningham A A, Hyatt A D. Anthropogenic environmental change and the emergence of infectious diseases in wildlife. *Acta Trop*, 2001, 78(2):103—116.
- [12] Yan D C. A review: Prevention and cure of shrimp white spot syndrome virus. *Fishers Science*, 2006, 25(4):202—204.
- [13] Noble R T, Fuhrman J A. Use of SYBR Green-I for rapid epifluorescence counts of marine viruses and bacteria. *Aquat Microb Ecol*, 1998, 14:113—118.
- [14] Bettarel Y, Ngando T S, Amblard C, *et al.* A comparison of methods for counting viruses in aquatic systems. *Appl Environ Microbiol*, 2000, 66 (6):2283—2289.
- [15] Danovaro R, Anno A D, Trucco A, *et al.* Determination of virus abundance in marine sediments. *Appl Environ Microbiol*, 2001, 67(3):1384—1387.
- [16] Chen F, Lu J R, Binder B J, *et al.* Application of digital image analysis and flow cytometry to enumerate marine viruses stained with SYBR Gold. *Appl Environ Microbiol*, 2001, 67(2):539—545.

- [17] Cochlan W P, Wikner J, Steward G F, *et al.* Spatial distribution of viruses, bacteria, and chlorophyll a in neritic, oceanic and estuarine environments. *Mar Ecol Prog Ser*, 1993, 92: 77—87.
- [18] Noble R T, Fuhrman J A. Virus decay and its causes in coastal waters. *Appl Environ Microbiol*, 1997, 63(1): 77—83.
- [19] Suttle C A, Chen F. Mechanisms and Rates of Decay of Marine Viruses in Seawater. *Appl Environ Microbiol*, 1992, 58(11): 3721—3729.
- [20] Danovaro R, Manni E, Dell'Anno A. Higher abundance of bacteria than of viruses in deep Mediterranean sediments. *Appl Environ Microbiol*, 2002, 68(3): 1468—1472.
- [21] Wommack K E, Hill R T, Kessel M, *et al.* Distribution of viruses in the Chesapeake Bay. *Appl Environ Microbiol*, 1992, 58(9): 2965—2970.
- [22] Bai X G, Wang M, Ma J J, *et al.* Virioplankton abundance in winter and spring in Chang Jiang River estuary by fluorescence microscope counting. *Oceanologia ET Limnologia Sinica*, 2007, 38(4): 367—372.
- [23] Zhang Q Y. Virioplankton. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2002, 26(6): 691—695.
- [24] Sandaa R A, Larsen A. Seasonal variations in virus-host populations in Norwegian Coastal Waters: Focusing on the cyanophage community infecting Marine *Synechococcus* spp. *Applied and Environmental Microbiology*, 2006, 72: 4610—4618.
- [25] Bettarel Y, Bouvy M, Dumont C, *et al.* Virus-bacterium interactions in water and sediment of west african inland aquatic systems. *Applied and Environmental Microbiology*, 2006, 72: 5274—5282.
- [26] Bergh Ø, Børsheim K Y, Bratbak G, *et al.* High abundance of viruses found in aquatic environments. *Nature*, 1989, 340: 467—468.
- [27] Proctor L M, Fuhrman J A. Viral mortality of marine bacteria and cyanobacteria. *Nature*, 1990, 343: 60—62.
- [28] Jiang S, Steward G, Jellison R, *et al.* Abundance, distribution, and diversity of viruses in Alkaline, Hypersaline Mono lake, California. *Microb Ecol*, 2004, 47: 9—17.
- [29] Yang X R, Zheng T L, Su J Q, *et al.* Phenetic classification for photosynthetic characters of different sugarcane varieties. *Chin J Appl Environ Biol*, 2005, 11(5): 651—656.
- [30] Wang D, Sun J, Wang M, *et al.* Advances in researches on marine phytoplankton virus. *Advances in Marine Science*, 2005, 23(1): 105—113.
- [31] Boehme J, Frischer M E, Jiang S C, *et al.* Viruses, bacterioplankton, and phytoplankton in the southeastern Gulf of Mexico: distribution and contribution to oceanic DNA pools. *Mar Ecol Prog Ser*, 1993, 97: 1—10.

参考文献:

- [8] 周玉航, 潘建明, 叶瑛, 等. 细菌、病毒与浮游植物相互关系及其对海洋地球化学循环的作用. *台湾海峡*, 2001, 20(3): 340—345.
- [9] 张奇亚. 特种水产养殖动物病毒病原的研究现状. *现代渔业信息*, 1996, 11(4): 1—7.
- [10] 张奇亚. 我国水生动物病毒病研究概况. *水生生物学报*, 2002, 26(1): 89—101.
- [12] 阎冬春. 防治对虾白斑综合征病毒(WSSV)的主要措施. *水产科学*, 2006, 25(4): 202—204.
- [22] 白晓歌, 汪岷, 马晶晶, 等. 冬季和春季长江口及其近海水域浮游病毒丰度的分析. *海洋与湖泊*, 2007, 38(4): 367—372.
- [23] 张奇亚. 浮游病毒. *水生生物学报*, 2002, 26(6): 691—695.
- [29] 杨小茹, 郑天凌, 苏建强, 等. 海洋病毒——一种新的、潜力巨大的赤潮防治工具. *应用与环境生物学报*, 2005, 11(5): 651—656.
- [30] 王丹, 孙军, 汪岷, 等. 海洋浮游植物病毒的研究进展. *海洋科学进展*, 2005, 23(1): 105—113.