

# 南黄海秋季浮游病毒丰度分布及其与宿主和环境因子的相关性研究\*

王艳<sup>1</sup> 汪岷<sup>1</sup> 杨琳<sup>1,2</sup> 卢龙飞<sup>1</sup> 王健<sup>1</sup> 孙辉<sup>1</sup>

(1. 中国海洋大学 海洋生物遗传学与基因资源利用教育部重点实验室 青岛 266003;

2. 中国海洋大学 海洋生物多样性与进化研究所 青岛 266003)

**提要** 利用流式细胞仪对南黄海秋季浮游病毒丰度在水平分布和垂直分布上的特征进行了研究,并分析了浮游病毒丰度与异养细菌、微微型浮游植物等宿主丰度以及环境因子的相关性。结果表明,该海区秋季浮游病毒丰度在 $(2.22 \times 10^6)$ — $(1.60 \times 10^7)$  ind/ml 之间,平均值  $8.32 \times 10^6$  ind/ml。病毒丰度在调查海域的东北和中南部海域出现高值区,在西南部出现低值区,且浮游病毒丰度与异养细菌丰度的平面分布趋势较一致。在表层、中层和底层水体,浮游病毒丰度平均值分别为  $8.63 \times 10^6$ 、 $7.83 \times 10^6$ 、 $8.49 \times 10^6$  ind/ml,表层和底层丰度无显著差异,但均高于中层( $P < 0.05$ )。相关性分析表明,浮游病毒丰度与异养细菌丰度、VBR 呈显著正相关( $P < 0.01$ ),与微微型真核浮游植物丰度呈显著负相关( $P < 0.05$ ),与聚球藻、水深、水温、盐度、溶氧、叶绿素 *a* 浓度无明显相关性( $P > 0.05$ )。

**关键词** 浮游病毒, 异养细菌, 微微型浮游植物, 流式细胞仪

**中图分类号** Q958.885.3

浮游病毒(Virioplankton)是对悬浮于水体中的各类群病毒的总称,包括噬菌体、真核藻类病毒、动物病毒、人类病毒等在内的各种病毒。浮游病毒在微食物环、生源要素的循环及控制宿主多样性等方面都具有重要作用(Fuhrman, 1999; Bergh *et al.*, 1989; 王斐等, 1998),对海洋生态动力学和海水养殖产业均具有重要影响。对重点海域和水体开展病毒的丰度、种类等的调查,掌握海洋浮游病毒的生态背景在预测大时空系统的海洋生物量、生物多样性评估等方面都具有重要意义(李娟等, 2005; 王丹等, 2005)。

南黄海是我国海洋生态研究的重要海域,李洪波等(2004)在 2001—2002 年研究了南黄海潮汐锋断面的叶绿素 *a* 浓度和浮游细菌生物量的分布,阐明了潮汐锋的存在对浮游细菌生物量分布的影响;屈佩等(2010)利用流式细胞仪测定了南黄海微微型浮游植物丰度,并结合理化环境因子,分析了它们在夏季南黄海的分布特征。为了阐述南黄海浮游病毒的丰度分

布特点和规律,本文利用流式细胞技术对南黄海秋季浮游病毒及异养细菌、微微型浮游植物进行同步检测,对浮游病毒在水平分布和垂直分布的特征进行了分析,并探讨浮游病毒丰度与异养细菌和微微型浮游植物等宿主丰度、环境因子间的相关性。本文的研究结果有助于全面了解南黄海生物群落结构,为该海域的生态环境评价等提供基础数据。

## 1 材料与方法

### 1.1 站位设定

于 2011 年 11 月对南黄海  $35.97$ — $31.97^\circ\text{N}$ ,  $120.34$ — $124.50^\circ\text{E}$  海区进行了浮游病毒、异养细菌和微微型浮游植物丰度的检测。共布设 18 个观测站(图 1),各观测站总水深在 17—76m 之间不等,每个站位采集表层、中层以及底层(底层以上 2m)水样。

### 1.2 环境理化参数的测定

水深、水温、盐度、叶绿素 *a* 和溶氧资料由船载

\* 国家自然科学基金项目资助, 41076088 号。王 艳, E-mail: yan\_wang\_729@yahoo.cn

通讯作者: 汪 岷, 博士, 教授, E-mail: mingwang@ouc.edu.cn, wangmin30@hotmail.com

收稿日期: 2011-12-21, 收修改稿日期: 2012-02-23

CTD 测得。

### 1.3 样品采集、储存及测定方法

CTD 所采水样经戊二醛溶液固定, 置于-80℃避光储存, 用于浮游病毒和异养细菌的测定; 测定时, 将样品置于 37℃水浴中迅速解冻, 将经 0.22μm 过滤的水样, 用制备的稀释液稀释 100 倍后取 0.5ml, 加入贴好标签的流式细胞测定管中。用终浓度为  $1 \times 10^{-4}$  SYBR Gold 避光染色 15min, 利用流式细胞仪(BD FACSCalibur)测定其丰度。

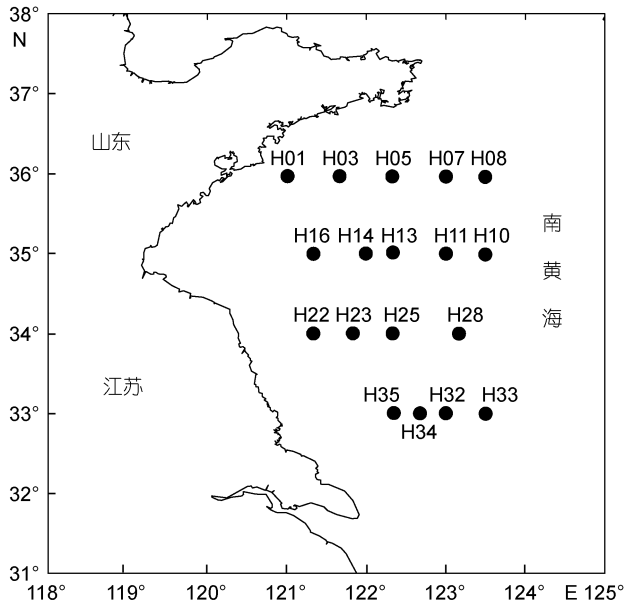


图 1 南黄海采样站位

Fig.1 Sampling stations in south Yellow Sea

CTD 所采水样经多聚甲醛溶液固定, 置于-80℃避光储存, 用于微小型浮游植物的测定; 测定时, 将样品从-80℃超低温冰箱取出后, 置于 37℃水浴锅中融化。融化后的水样经 2μm 滤膜过滤, 利用流式细胞仪(BD FACSCalibur)测定其丰度。

### 1.4 数据处理与分析方法

用 Surfer 7.0 软件分析各水层浮游病毒、异养细菌和微小型浮游植物丰度的水平分布趋势; 用独立样本均值的差异性检验, 分析各水层浮游病毒、异养细菌和微小型浮游植物丰度在垂直分布上的差异; 利用 Pearson 相关系数法分析了浮游病毒丰度与异养细菌丰度、微小型浮游植物丰度、环境因子的相关性。

## 2 结果

### 2.1 浮游病毒的分布特征

2.1.1 水平分布 浮游病毒丰度在  $(2.22 \times 10^6)$ — $(1.60 \times 10^7)$  ind/ml 之间, 平均值  $8.32 \times 10^6$  ind/ml。从浮

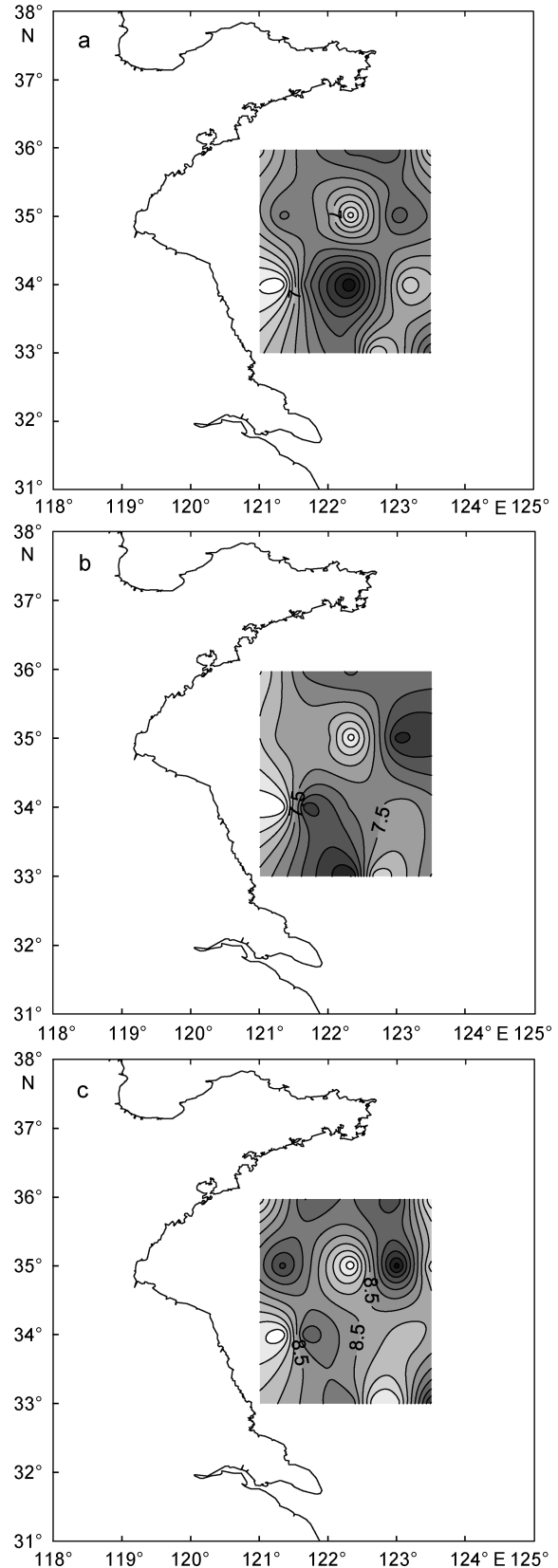


图 2 南黄海秋季浮游病毒丰度平面分布( $10^6$  ind/ml)

Fig.2 The horizontal distribution ( $10^6$  ind/ml) of virioplankton abundance in autumn in south Yellow Sea

注: a. 表层; b. 中层; c. 底层

游病毒丰度平面分布图(图 2)中可以看出,在调查海域的东北部和中南部海域出现高值区,在西南部出现丰度低值区。

**2.1.2 浮游病毒丰度的垂直分布** 表层、中层和底层水体浮游病毒丰度平均值分别为  $8.63 \times 10^6$ 、 $7.83 \times 10^6$ 、 $8.49 \times 10^6$  ind/ml。利用独立样本的均值差异性检验得出,表层和底层的丰度显著高于中层( $P < 0.05$ ),表层和底层丰度并无显著差异( $P > 0.05$ )。

**2.2 异养细菌的分布特征**

**2.2.1 水平分布** 异养细菌丰度在( $2.88 \times 10^5$ )—( $1.12 \times 10^6$ ) ind/ml 之间,平均值  $6.38 \times 10^5$  ind/ml。从异养细菌丰度平面分布图(图 3)中可以看出,调查区的东北部附近海域和中南部海域都出现了丰度较高区域;西南部海域出现了丰度低值区。

**2.2.2 异养细菌丰度的垂直分布** 表层、中层和底层水体异养细菌丰度平均值分别为  $8.51 \times 10^5$ 、 $7.89 \times 10^5$ 、 $7.75 \times 10^5$  ind/ml。利用独立样本的均值差异性检验得出,表层的丰度显著高于中层( $P < 0.05$ ),其它各水层丰度并无显著差异( $P > 0.05$ )。

**2.3 微型浮游植物的分布特征**

**2.3.1 聚球藻的分布特征**

**2.3.1.1 水平分布** 聚球藻丰度在( $3.70 \times 10^2$ )—( $1.06 \times 10^4$ ) ind/ml 之间,平均值  $2.82 \times 10^3$  ind/ml。从聚球藻丰度平面分布图(图 4)中可以看出,三水层丰度分布特点较为一致,高值区分布在调查区的东北部海域,低值区分布在南部海域。

**2.3.1.2 垂直分布** 表层、中层和底层水体聚球藻丰度平均值分别为  $3.40 \times 10^3$ 、 $3.34 \times 10^3$ 、 $1.72 \times 10^3$  ind/ml。利用独立样本的均值差异性检验得出,表层和中层的丰度显著高于底层( $P < 0.05$ )。表层和中层丰度并无显著差异( $P > 0.05$ )。

**2.3.2 微型真核浮游植物的分布特征**

**2.3.2.1 水平分布** 微型真核浮游植物丰度在( $1.20 \times 10^2$ )—( $4.03 \times 10^3$ ) ind/ml 之间,平均值  $1.41 \times 10^3$  ind/ml。从微型真核浮游植物丰度平面分布图(图 5)中可以看出,三水层的丰度分布特征较为一致,在调查海域的中西部和中东部海域出现高值区,在北部和南部出现低值区。

**2.3.2.2 垂直分布** 表层、中层和底层水体微型真核浮游植物丰度平均值分别为  $1.54 \times 10^3$ 、 $1.67 \times 10^3$ 、 $1.03 \times 10^3$  ind/ml。利用独立样本的均值差异性检验得出,表层和中层的丰度显著高于底层( $P < 0.05$ )。表层和中层丰度并无显著差异( $P > 0.05$ )。

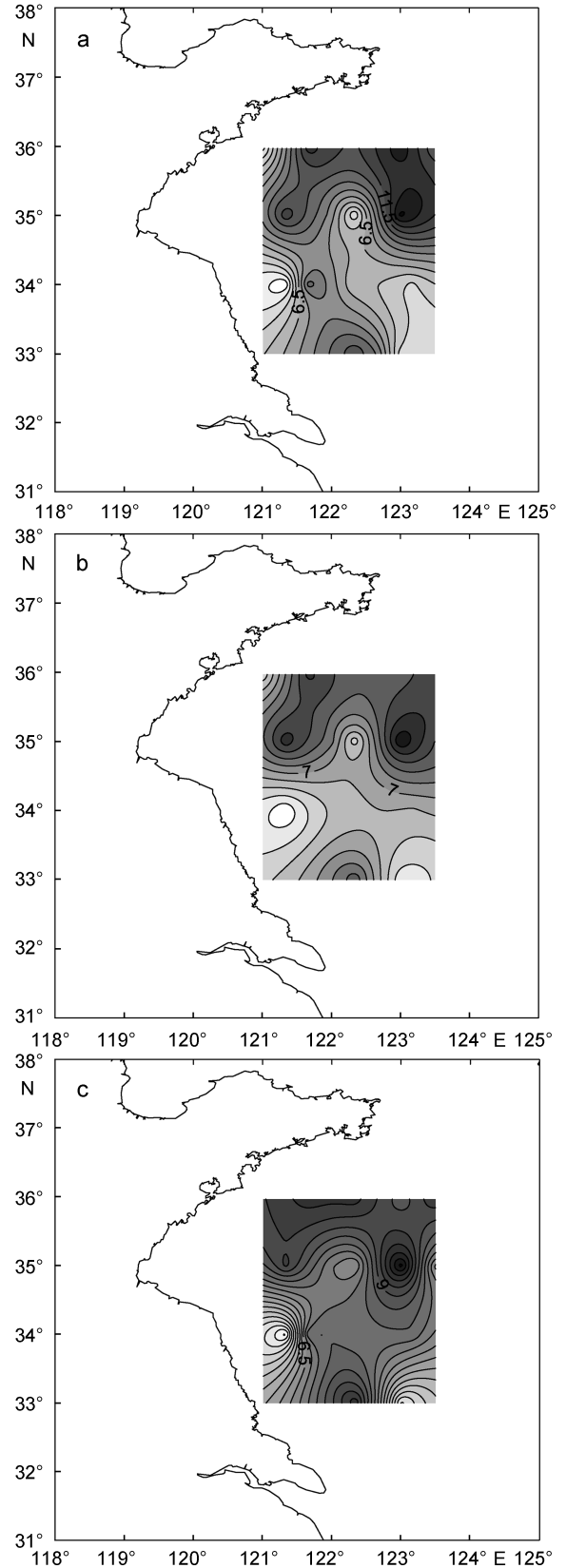


图 3 南黄海秋季异养细菌丰度平面分布( $10^5$  ind/ml)  
 Fig.3 The horizontal distribution ( $10^5$  ind/ml) of heterotrophic bacteria abundance in autumn in south Yellow Sea  
 注: a. 表层; b. 中层; c. 底层

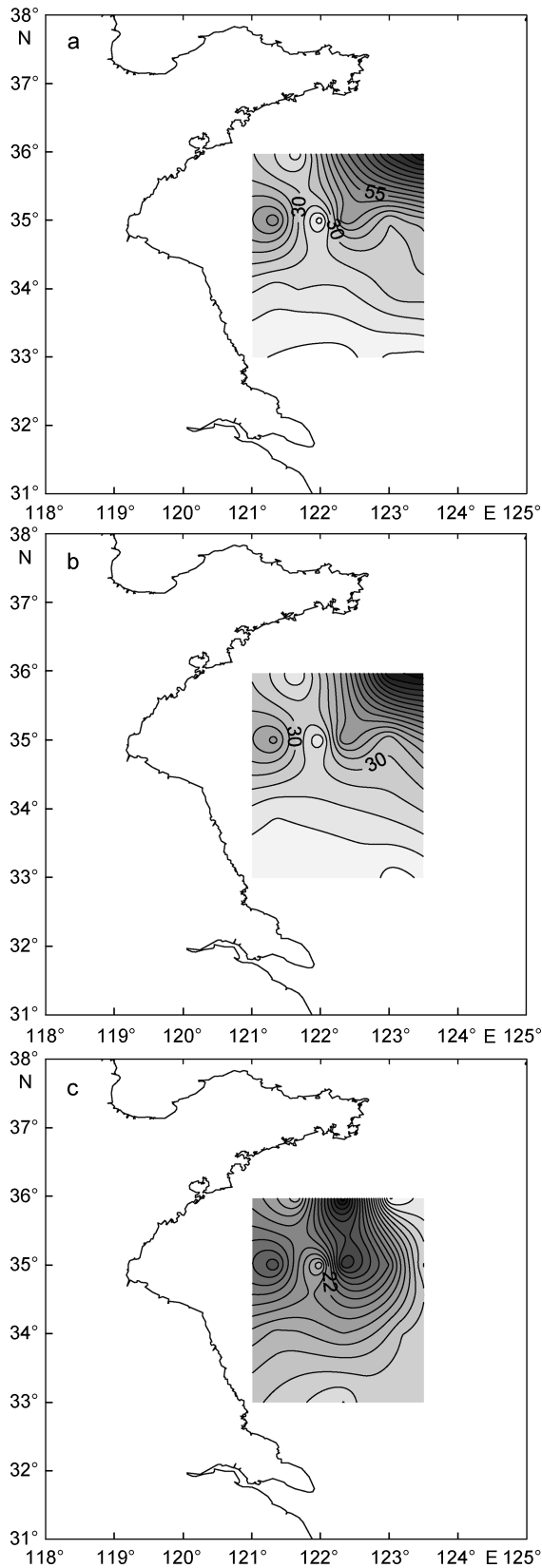


图 4 南黄海秋季聚球藻丰度平面分布( $10^2$  ind/ml)  
 Fig.4 The horizontal distribution ( $10^2$  ind/ml) of Syn abundance in autumn in south Yellow Sea  
 注: a. 表层; b. 中层; c. 底层

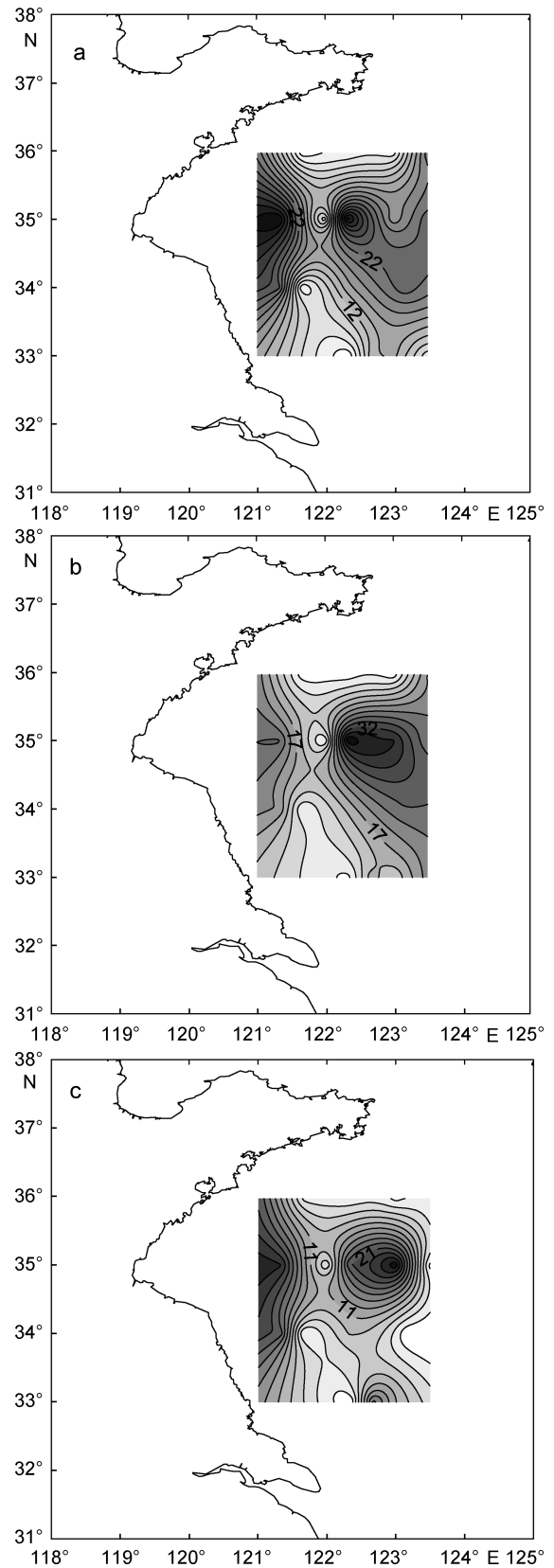


图 5 南黄海秋季微型真核浮游植物丰度平面分布( $10^2$  ind/ml)  
 Fig.5 The horizontal distribution ( $10^2$  ind/ml) of Euk abundance in autumn in south Yellow Sea  
 注: a. 表层; b. 中层; c. 底层

## 2.4 浮游病毒和细菌的比值(Virus-to-Bacterium Ratio, VBR)

VBR 常被用来研究病毒与细菌间的关系。本海域 VBR 在 4.73—31.15 之间, 平均值为 11.72。

## 2.5 浮游病毒丰度与宿主丰度、环境因子的相关性

利用 Pearson 相关分析的方法对浮游病毒丰度与宿主丰度、环境因子间的相关性进行分析(表 1)。浮游病毒丰度与异养细菌丰度、VBR 显著正相关(分别为  $r = 0.540$ ;  $r = 0.361$ ,  $P < 0.01$ ), 与微微型真核浮游植物丰度呈显著负相关( $r = -0.289$ ,  $P < 0.05$ ), 与聚球藻丰度、水深、水温、盐度、溶氧浓度、叶绿素  $a$  浓度无显著相关性( $P > 0.05$ )。异养细菌丰度与 VBR、聚球藻丰度呈显著负相关(分别为  $r = -0.533$ ;  $r = -0.358$ ,  $P < 0.01$ ), 与微微型真核浮游植物丰度、水深、水温、盐度、溶氧浓度、叶绿素  $a$  浓度无显著相关性( $P > 0.05$ )。聚球藻丰度与微微型真核浮游植物丰度呈显著正相关( $P < 0.05$ ,  $r = 0.270$ ), 且两者与叶绿素  $a$  浓度呈显著正相关( $P < 0.05$ ,  $r = 0.288$ ;  $P < 0.01$ ,  $r = 0.738$ ), 与水深、水温、盐度、溶氧浓度无显著相关性( $P > 0.05$ )。

## 3 讨论

本文检测到南黄海秋季浮游病毒丰度在  $(2.22 \times 10^6) - (1.60 \times 10^7)$  ind/ml 之间, 平均值  $8.32 \times 10^6$  ind/ml。Marie 等(1999)对地中海浮游病毒丰度的检测结果为

$10^6$  ind/ml, 对英吉利海峡浮游病毒丰度的检测结果为  $10^6 - 10^7$  ind/ml。Yang 等(2002)对东海浮游病毒丰度的检测结果为  $(3.4 \times 10^5) - (2.3 \times 10^6)$  ind/ml。本实验室对北黄海秋季浮游病毒丰度的检测结果在  $(1.81 \times 10^6) - (6.75 \times 10^7)$  ind/ml 之间, 平均值  $8.91 \times 10^6$  ind/ml, 对青岛近海秋季浮游病毒丰度检测的平均值为  $1.25 \times 10^7$  ind/ml (本实验室未发表的数据)。本文检测的南黄海病毒丰度高于东海病毒丰度, 和北黄海与青岛近海秋季病毒丰度一致。

比较浮游病毒、异养细菌和微微型浮游植物的水平分布图, 可以看出浮游病毒与异养细菌分布特征较一致。此外, 通过相关性分析显示, 浮游病毒丰度与异养细菌丰度、VBR 显著正相关。由于病毒具有专性寄生的特点, 这些都表明南黄海浮游病毒的主要来源是异养细菌的裂解释放, 这与之前大量文献报道的结果相一致(Boehme *et al.*, 1993; Paul *et al.*, 1993; Hobbie, 1994; Hennes *et al.*, 1995; Weinbauer *et al.*, 1993, 1995; Tuomi *et al.*, 1997)。VBR 常被用来研究病毒与细菌间的关系, 在大部分的水体中, 病毒丰度高于细菌丰度, 一般在 3—10 之间(Wommack *et al.*, 2000; Sawstrom *et al.*, 2002; 白晓歌, 2007<sup>1)</sup>; 梁彦韬, 2008<sup>2)</sup>)。本文检测到, 秋季南黄海水体中 VBR 在 4.73—31.15 之间, 平均值为 11.72。VBR 一般在营养水平和生产力较高的水体中较高, 这主要是因为

表 1 南黄海秋季浮游病毒丰度与宿主丰度、环境因子间的 Pearson 相关系数

Tab.1 Pearson correlation coefficients between viroplankton abundance and hosts abundance, environmental parameters in autumn in the south Yellow Sea

相关影响因子	病毒	细菌	VBR	Euk	Syn
细菌	0.540**				
VBR	0.361**	-0.533**			
Euk	-0.289*	-0.171	-0.097		
Syn	0.02	-0.358**	-0.327*	0.270*	
水深	0.028	0.061	-0.142	-0.159	-0.149
水温	-0.045	-0.176	0.227	-0.014	0.178
盐度	0.079	0.111	-0.076	-0.027	-0.084
溶氧	0.014	0.132	-0.118	0.234	-0.037
叶绿素 $a$	0.067	0.216	-0.084	0.738**	0.288*

注: VBR 为病毒/细菌比值; Syn 为聚球藻; Euk 为微微型真核浮游植物。\* $P < 0.05$  水平的显著相关性(双尾  $t$  检验), \*\* $P < 0.01$  水平的显著相关性(双尾  $t$  检验)

1) 白晓歌, 2007. 北黄海浮游病毒的丰度变化及与微微型浮游植物、异养细菌相关性研究. 青岛: 中国海洋大学硕士学位论文, 9—10, 46—47

2) 梁彦韬, 2008. 青岛近海浮游病毒、浮游病毒、异养细菌的丰度变化及其与环境相关性研究. 青岛: 中国海洋大学硕士学位论文, 16—17

较高的营养条件下, 细菌生长繁殖迅速, 能产生更多的病毒颗粒(白晓歌, 2007<sup>1)</sup>; 梁彦韬, 2008<sup>2)</sup>)。相关性分析显示异养细菌丰度与 VBR 呈显著负相关, 许多文献也得到类似的结果(Jiang *et al*, 1994; Maranger *et al*, 1995; Tuomi *et al*, 1995), Wommack 等(2000)认为可能是高的 VBR 值代表高的病毒生产力, 也就代表高的细菌裂解值, 因此导致异养细菌丰度与 VBR 呈显著负相关。此外, 抗性菌的产生也可能导致二者负相关。Maranger 等(1994)检测到南冰洋春季浮游植物爆发期间, VBR 最高可达 72, 随着细菌丰度的增加, VBR 迅速减小, 可能是由于在浮游植物大量繁殖期间, 病毒的选择压力导致抗噬菌体的细菌大量生长, 在浮游植物大量繁殖的末期, 抗性菌成为浮游细菌群落中的优势种群, 所以, 当细菌丰度增加时, VBR 值迅速减小。

本文结果显示浮游病毒表层的丰度显著高于中层, 可能是由于表层水体含氧量较高且光照较充足, 有利于藻类的生长, 以藻类为食的微生物也随之生长, 宿主的较高丰度间接影响了病毒的丰度, 导致表层浮游病毒丰度较高。白晓歌(2007)<sup>1)</sup>对北黄海夏季浮游病毒的分析结果也显示, 表层丰度显著高于中层丰度。本文结果显示表层和底层病毒丰度无显著差异, 异养细菌表层和底层丰度也无显著差异。分析其原因可能是由于南黄海秋季底层有大量有机沉积物, 使异养细菌生长旺盛, 导致浮游病毒在底层也出现较高丰度。

本文检测的南黄海秋季病毒丰度与 Chl *a* 无显著相关性。据文献报道, 大多数情况下病毒丰度与 Chl-*a* 无显著相关性(Wommack *et al*, 2000; Alonso *et al*, 2001; Corinaldesi *et al*, 2003; Stopar *et al*, 2004)。但 Maranger 等(1995)报道加拿大魁北克淡水湖中病毒丰度与 Chl *a* 显著相关, 原因可能是在淡水生态系统中藻类丰度较高, 从而导致藻病毒的丰度较高。在地中海检测到病毒丰度与聚球藻的丰度有显著相关性(Bettarel *et al*, 2002)。Marie 等(1999)的研究表明, 影响浮游植物生物量的环境因素如水体营养水平也可对病毒丰度产生影响。Boehme 等(1993)对墨西哥湾近海岸到远海岸直线取样区的研究发现, 病毒丰度

与 Chl *a* 和细菌丰度有相关性, 但排除近海岸取样点的数据, 只对远海岸取样点的数据进行分析时发现, 结果只显示出病毒丰度和细菌丰度有相关性。该报道认为, 当取样范围较小时, 揭示的仅是细菌丰度与病毒丰度之间的关系, 当取样区域较大时, 揭示的是初级生产力水平上的所有生物因子之间的关系。病毒丰度与 Chl *a* 的相关性还有待进一步探讨。

## 参 考 文 献

- 王 丹, 孙 军, 汪 岷等, 2005. 海洋浮游植物病毒的研究进展. 海洋科学进展, 23: 105—112
- 王 斐, 郑天凌, 洪华生, 1998. 海洋病毒在微食物环中的重要作用. 海洋科学, 4: 41—43
- 李 娟, 黄 捷, 唐学玺, 2005. 病毒: 海洋生态动力学和疾病学研究的创新点. 海洋湖沼通报, 2: 79—87
- 李洪波, 肖 天, 刘桂梅等, 2004. 南黄海潮汐锋对浮游细菌生物量分布的影响. 生态学报, 24(11): 2608—2615
- 屈 佩, 张学雷, 王宗灵等, 2010. 南黄海夏季微微型浮游植物丰度的分布. 海洋学报, 32(4): 155—167
- Alonso M C, Jimenez-Gomez F, Rodriguez J *et al*, 2001. Distribution of virus-like particles in an oligotrophic marine environment (Alboran sea, Western Mediterranean). *Microbial Ecology*, 42: 407—415
- Bergh O, Borsheim K Y, Bratbak B G *et al*, 1989. High abundance of viruses found in aquatic environments. *Nature*, 340: 467—468
- Bettarel Y, Dolan J, Hornak K *et al*, 2002. Strong, weak, and missing links in a microbial community of the N.W. Mediterranean Sea. *FEMS Microbiol Ecol*, 42: 451—462
- Boehme J, Frischer M E, Jiang S C *et al*, 1993. Viruses, bacterioplankton, and phytoplankton in the southeastern Gulf of Mexico: distribution and contribution to oceanic DNA pools. *Mar Ecol Prog Ser*, 97: 1—10
- Corinaldesi C, Crevatin E, Del-Negro P *et al*, 2003. Large-scale spatial distribution of viroplankton in the Adriatic Sea: testing the trophic state control hypothesis. *Appl Environ Microbiol*, 69: 2664—2673
- Fuhrman J A, 1999. Marine viruses and their biogeochemical and ecological effects. *Nature*, 399: 541—548
- Hennes K P, Suttle C A, Chan A M, 1995. Fluorescently labeled virus probes show that natural virus populations can control the structure of marine microbial communities. *Appl Environ Microbiol*, 61: 3623—3627

1) 白晓歌, 2007. 北黄海浮游病毒的丰度变化及与微微型浮游植物、异养细菌相关性研究. 青岛: 中国海洋大学硕士学位论文, 9—10, 46—47

2) 梁彦韬, 2008. 青岛近海浮游病毒、浮游病毒、异养细菌的丰度变化及其与环境相关性研究. 青岛: 中国海洋大学硕士学位论文, 16—17

- Hobbie J E, 1994. The state of the microbes: a summary of a symposium honoring Lawrence Pomeroy. *Microb Ecol*, 28: 113—116
- Jiang S C, Paul J H, 1994. Seasonal and diel abundance of viruses and occurrence of lysogeny/bacteriocinogeny in the marine environment. *Mar Ecol Prog Ser*, 104: 163—172
- Maranger R, Bird D F, 1995. Viral abundances in aquatic systems: a comparison between marine and fresh waters. *Mar Ecol Prog Ser*, 121: 217—226
- Maranger R, Bird D F, Juniper S K, 1994. Viral and bacterial dynamics in Arctic sea ice during the spring algal bloom near Resolute, N.W.T., Canada. *Mar Ecol Prog Ser*, 111: 121—127
- Marie D, Brussaard C P D, Thyrhaug R *et al*, 1999. Enumeration of marine viruses in culture and natural sample by flow cytometry. *Appl Environ Microbiol*, 65: 45—52
- Paul J H, Rose J B, Jiang S C *et al*, 1993. Distribution of viral abundance in the reef environment of Key Largo, Florida. *Appl Environ Microbiol*, 59: 718—724
- Sawstrom C, Mumford P, Marshall W *et al*, 2002. The microbial communities and primary productivity of cryoconite holes in an Arctic glacier. *Polar Biol*, 25: 591—596
- Stopar D, Eren A, Zigman M *et al*, 2004. Viral abundance and a high proportion of lysogens suggest that viruses are important members of the microbial community in the gulf of Trieste. *Microb Ecol*, 47: 1—8
- Tuomi P, Fagerbakke K M, Bratbak G *et al*, 1995. Nutritional enrichment of a microbial community: the effects on activity, elemental composition, community structure and virus production. *FEMS Microbiol Ecol*, 16: 123—134
- Tuomi P, Torsvik T, Haldal M *et al*, 1997. Bacterial population dynamics in a meromictic lake. *Appl Environ Microbiol*, 63: 2181—2188
- Weinbauer M G, Fuks D, Peuzzi P, 1993. Distribution of viruses and dissolved DNA along a coastal trophic gradient in the northern Adriatic Sea. *Appl Environ Microbiol*, 59: 4074—4082
- Weinbauer M G, Peduzzi P, 1995. Significance of viruses versus heterotrophic nanoflagellates for controlling bacterial abundance in the northern Adriatic Sea. *J Plankton Res*, 17: 1851—1856
- Wommack K E, Colwell R R, 2000. Virioplankton: viruses in aquatic ecosystems. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 64(1): 69—144
- Yang Y H, Jiao N Z, 2002. Distribution of virioplankton in the Kuroshio Current and the adjacent area in the East China Sea by flow cytometry. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 20(spiss): 26—32

## THE DISTRIBUTION OF VIRIOPLANKTON ABUNDANCE AND THE RELATIONSHIPS WITH THEIR HOSTS AND ENVIRONMENTAL FACTORS IN AUTUMN IN SOUTH YELLOW SEA

WANG Yan<sup>1</sup>, WANG Min<sup>1</sup>, YANG Lin<sup>1,2</sup>, LU Long-Fei<sup>1</sup>, WANG Jian<sup>1</sup>, SUN Hui<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Marine Genetics and Gene Resource Exploitation of Ministry of Education, Ocean University of China, Qingdao, 266003; 2. Institute of Evolution & Marine Biodiversity, Ocean University of China, Qingdao, 266003)

**Abstract** The distribution of virioplankton abundance in horizontal and vertical direction was studied by flow cytometry, and the relationships with their hosts such as heterotrophic bacteria and picoplankton and environmental factors were also analyzed. Result showed that the virioplankton abundance was  $(2.22 \times 10^6) - (1.60 \times 10^7)$  ind/ml in autumn in south Yellow Sea and  $8.32 \times 10^6$  ind/ml on average. In horizontal direction, virioplankton abundance showed higher abundance in the northeast and the central south of the survey sea area and lower abundance in the southwest. The trend in horizontal distribution of virioplankton abundance was similar with that of heterotrophic bacteria. In vertical direction, virioplankton abundance in surface water layer, middle-level layer and bottom layer was  $8.63 \times 10^6$ ,  $7.83 \times 10^6$  and  $8.49 \times 10^6$  ind/ml, respectively. The abundance in surface layer and bottom layer has no significant difference but higher than that in middle layer ( $P < 0.05$ ). The correlation analysis showed that virioplankton abundance has positively related to the abundance of heterotrophic bacteria and VBR ( $P < 0.01$ ), and negatively related to Euk abundance ( $P < 0.05$ ), and had no significant correlation with Syn, water depth, temperature, salinity, DO and Chl *a* ( $P > 0.05$ ).

**Key words** Virioplankton, Heterotrophic bacteria, Picoplankton, Flow cytometry