

胶州湾浮游纤毛虫丰度和生物量的周年变化*

于莹^{1,3} 张武昌¹ 赵楠^{1,3} 孙晓霞² 张翠霞^{1,3}
丰美萍^{1,3} 肖天¹

(1. 中国科学院海洋研究所海洋生态与环境科学重点实验室 青岛 266071; 2. 山东胶州湾海洋生态系统国家野外科学观测研究站 青岛 266071; 3. 中国科学院研究生院 北京 100049)

提要 于 2007 年 1—12 月在胶州湾搭载“创新号”考察船完成了 12 个航次的浮游纤毛虫丰度和生物量调查。结果表明,胶州湾纤毛虫丰度的范围为 41—31077 ind/L, 生物量范围为 0.06—99.37 μg C/L。表层纤毛虫平均丰度于 6 月达到全年最高值(6065 ind/L), 12 月为最低值(843 ind/L); 平均生物量 8 月达全年最高值(18.5 μg C/L), 6 月为最低值(0.6 μg C/L)。除 6 月和 8 月外, 湾内站位纤毛虫的平均丰度比湾外的高。砂壳纤毛虫种数于 8 月达到最高值(25 种), 1 月种数最少(6 种)。砂壳纤毛虫丰度在纤毛虫丰度中的比例全年平均为 25%, 分别于 1 月和 8 月达到最低(8%)和最高值(57%)。断面资料显示, 纤毛虫的分布表层高于底层。表层砂壳纤毛虫生物量及表层纤毛虫的生物量均与表层温度呈极显著正相关, 与盐度呈极显著负相关; 表层砂壳纤毛虫的生物量及表层纤毛虫生物量与 Chl.a 浓度都没有明显的相关性。

关键词 纤毛虫, 丰度, 生物量, 胶州湾
中图分类号 Q958.885.3

海洋浮游纤毛虫是营浮游生活的一类单细胞原生动动物, 粒径大小在 5—200 μm 之间, 是微型浮游动物和海洋微食物环的重要组成部分(Azam *et al.*, 1983)。纤毛虫是连接微食物环和经典食物链的重要中介(Laval-Pento *et al.*, 1986; Pierce *et al.*, 1994), 是 pico-和 nano-级生产者的初级消费者和营养再生者, 也是 meso-级浮游动物和鱼类幼虫的食物来源(Pierce *et al.*, 1992)。由于纤毛虫也摄食各种粒级的细菌、大型的硅藻、腰鞭毛虫和它的纤毛虫, 因此它们在食草生物环也起着很重要的作用(Urrutxurtu *et al.*, 2003)。

胶州湾位于 35°38′—36°18′N, 120°04′—120°23′E, 面积 374.4 km² (孙松等, 2005; 王倩等, 2010), 是一个中型的半封闭浅水海湾, 平均水深 7m, 湾内最大水深 64m, 0—5m 的浅水区占 52.7%, 而水深大于 20m

的区域仅占总面积的 5.4%。水域生产力高, 生物物种多, 是北太平洋西岸温带半封闭型海湾生态系统的代表。胶州湾的生态学研究有多年的历史资料, 山东胶州湾海洋生态系统国家野外科学观测研究站(生态站)每年都对胶州湾的固定站位定期调查。但是, 胶州湾纤毛虫的生态学资料较少, 20 世纪 50 年代, 尹光德(1952, 1956)研究了胶州湾的砂壳纤毛虫, 共鉴定种类 34 种。张武昌等(2001)用采水 1L、Lugol's 试剂固定的方法调查了胶州湾浮游纤毛虫的丰度, Sun 等(2004)于 2002 年 6—7 月用同样方法对湾内和港口两个站位砂壳纤毛虫丰度的研究, 姜勇等(2010)于 2007 年 6 月—2008 年 5 月曾经在胶州湾内的 5 个站位调查了纤毛虫丰度。本文于 2007 年 1—12 月每月 1 次在生态站的固定站位上采样研究纤毛虫丰度和生物量的周年变化, 为胶州湾海洋浮游生态研究提供本

* 国家自然科学基金资助项目, 40876085 号; 国家重点基础研究规划项目(973)资助, 2011CB409804 号; 国家海洋公益性行业科研专项, 200805066 号。于莹, 博士研究生, E-mail: yuyingxl001@163.com

通讯作者: 张武昌, 博士, 研究员, E-mail: wuchangzhang@163.com

收稿日期: 2011-01-21, 收修改稿日期: 2011-06-26

底资料。

1 材料与方法

2007 年 1—12 月乘“创新号”考察船每月 1 次共 12 个航次采集纤毛虫样品(具体采样日期见表 1)。共设 14 个观测站(图 1), 分为湾外(D6、D7、D8)、湾口(D5)和湾内(剩余的 10 个站)。断面 A 包括 D7、D5、C3、A5 四个站, 分别位于湾外、湾口、湾中心和有淡水河注入的地点, 是一个贯穿湾外和湾内的断面。

在各站用 CTD(SBE25-02)测定温度和盐度垂直剖面。用 Niskin 采水器采水, 在断面 A 各站采集各层的样品, 采样水层根据水深设定: 水深<10m 的采 0m 和底层; 水深 10—20m 的采 0m、10m 和底层; 水深 20—30m 的采 0m、10m、20m 和底层; 水深>30m 的采 0m、10m、20m、30m 及底层。其它各站仅采集表层水样。

各站仅测定表层叶绿素 *a* (Chl.*a*)浓度。在表层取 500ml 水样 GF/F 滤膜过滤, 滤膜置于黑暗-20℃保存。滤膜带回实验室用 90%丙酮在黑暗中-20℃下萃取 24h 后, 用 Turner II 荧光光度计测量 Chl.*a* 浓度。

表 1 胶州湾 12 个航次采样日期

Tab.1 Sampling time during January—December in 2007 in the Jiaozhou Bay

| 月份 | 日期 | 月份 | 日期 |
|----|-----------|----|------------|
| 1 | 9—11 | 7 | 11—12 |
| 2 | 5, 7, 9 | 8 | 14—15 |
| 3 | 13—15 | 9 | 12—13 |
| 4 | 16, 17 | 10 | 15—17 |
| 5 | 10, 11—14 | 11 | 13, 16, 19 |
| 6 | 11—12 | 12 | 17—18 |

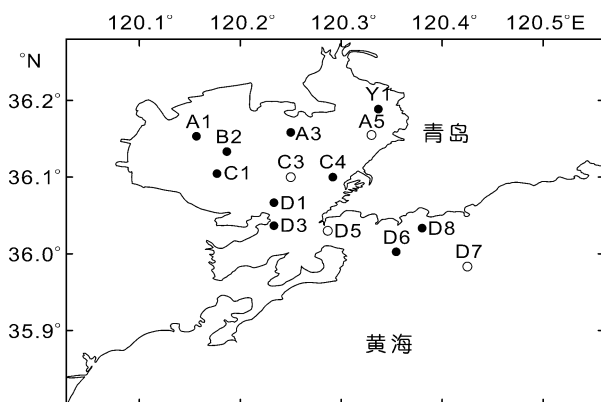


图 1 胶州湾站位图

Fig.1 Map of sampling stations in the Jiaozhou Bay
表示仅采表层水站位; 表示分层次采样站位

纤毛虫样品取水样 1L 装入塑料样品瓶内, 立即用 Lugol's 液固定, 终浓度为 1% (V/V), 颠倒瓶子几次使固定剂和水样混合均匀。样品置于阴凉处保存直至分析, 一般在航次结束后的两个月内分析完毕。样品分析按照 Utermöhl(1958)的方法进行。样品自然沉淀至少 48h 后, 用虹吸管将水样上层清液小心吸出, 浓缩至 100ml, 倒入小瓶中, 于阴凉处保存直至分析。分析时取 16ml 放于沉降杯内, 在 Olympus IX51 倒置显微镜 100 倍下镜检计数。记录砂壳纤毛虫、无壳纤毛虫的丰度, 砂壳纤毛虫根据文献鉴定到种(Nie, 1934; Hada, 1937, 1938; Nie *et al.*, 1947; 尹光德, 1952, 1956)。测量纤毛虫虫体的体长、体宽, 按最接近的几何形状(柱体、球体和锥体)计算体积。生物量由体积乘转换系数(0.19pgC/μm³)(Putt *et al.*, 1989)得来, 砂壳纤毛虫的肉体体积按照壳体积的 1/3 近似。

各航次各站表层纤毛虫平均丰度和平均生物量是所有站位的表层纤毛虫丰度和生物量的平均值; 湾内及湾外的纤毛虫平均丰度和平均生物量由各航次湾内站及湾外站的表层纤毛虫丰度和生物量取平均值得出。纤毛虫生物量与环境因子的相关性分析采用统计软件 SPSS 16.0。

2 结果

2.1 表层温度、盐度及 Chl.*a* 浓度分布

表层温度变化范围为 1.94 (1 月, Y1 站)—27.95℃ (8 月, C3 站), 表层盐度变化范围为 11.43(8 月, A1 站)—32.49(1 月, D6 站), 表层 Chl.*a* 浓度变化范围为 0.02μg/L(3 月, A1 站)—38.24μg/L(3 月, Y1 站)。

7、8、9 三个月各站表层平均温度达到全年最高值; 3—9 月湾内各站平均温度要比湾外各站平均温度高, 其余月则较湾外低。湾内、湾口和湾外的平均盐度在 8 月突然降低, 其余月平均盐度变化不大; 全年湾内平均盐度比湾外平均盐度要低。Chl.*a* 平均浓度全年有 2 个峰值, 分别在 3 月及 7 月, 全年湾内 Chl.*a* 平均浓度明显高于湾外(图 2)。

2.2 纤毛虫丰度和生物量的周年变化

1 月: 丰度较大的是 A3 站(3150ind/L)和 Y1 站(2310ind/L), 均是小型无壳纤毛虫(宽 15μm, 长 25μm)占优势。砂壳纤毛虫丰度不大(0—140ind/L), 种类较少, *Tintinnopsis* spp.居多。生物量最高值出现在 C1 站(1.3μg C/L), 其次为 Y1 站(1.15μg C/L)(图 3、图 4)。

2 月: 丰度较大的站位是 A5、Y1、C1、A3 四个站(>3312ind/L), 尤其是 Y1 站, 丰度高达 8056ind/L。

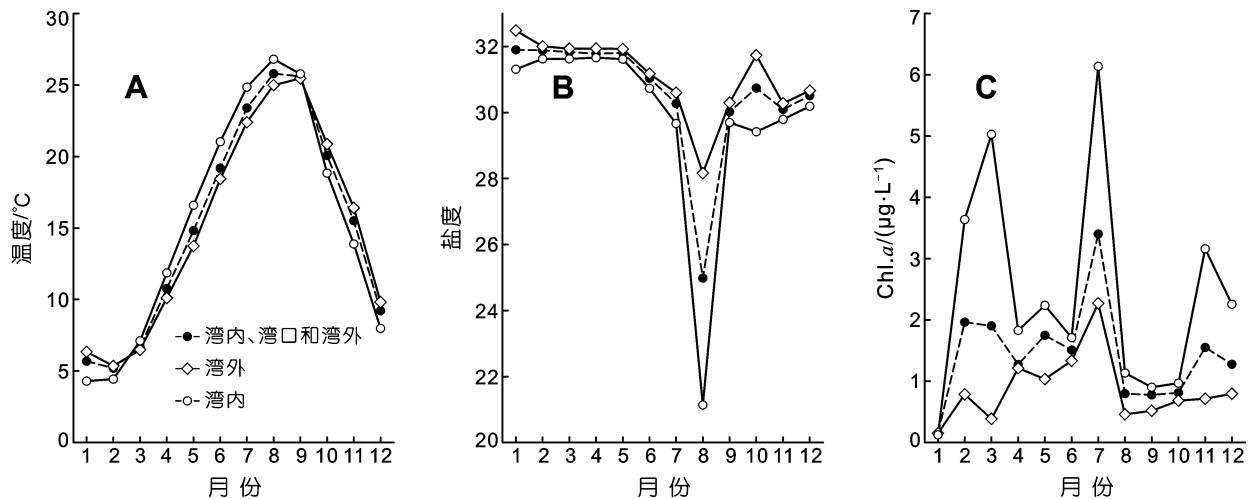


图2 胶州湾湾内、湾外和全湾表层温度、盐度及 Chl.a 浓度的周年变化

Fig.2 Annual dynamics of average temperature, salinity and Chl.a concentration in the surface layer of the inner, outer, and the entire Jiaozhou Bay in 2007

其中 *Tintinnopsis amoyensis* 占砂壳纤毛虫丰度的90%。该种也出现在 A5 站, 丰度较大。各站砂壳纤毛虫种类较单一, 不超过 3 种, 主要是 *Tintinnopsis rapa*。无壳纤毛虫以小型锥体、球体纤毛虫占优势。生物量较 1 月有所增加, 最高值出现在 Y1 站(16.1µg C/L)(图 3、图 4、图 5)。

3 月: 在 A5、Y1 两站, 砂壳纤毛虫丰度比无壳纤毛虫丰度高或近似相等。无壳纤毛虫以小型球体和锥体纤毛虫为主, 这两个站位砂壳纤毛虫优势种为 *Tintinnopsis rapa*。砂壳纤毛虫种类较单一, 在 D5、D7、D3 站出现 *Codonellopsis mobilis*。生物量最高值出现在 C3 站(3.3µg C/L)(图 3、图 4)。

4 月: Y1、A3、C1 三个站丰度较大, 分别为 13982ind/L、4269ind/L 和 3278ind/L。砂壳纤毛虫种类发现 8 种。*Codonellopsis mobilis* 仅在 B2 站出现, 丰度不大(14 µg C/L)。*Tinnopsis orientalis* 在各站均有分布, 在 C1、A3 站最多(300—600ind/L)。无壳纤毛虫以中小型纤毛虫为主。平均生物量最高值仍旧出现在 Y1 站(9.7µg C/L)(图 3、图 4、图 5)。

5 月: Y1 站和 A5 站丰度较大, 分别为 17176ind/L 和 10856ind/L。*Codonellopsis mobilis* 几乎在(除了 Y1 站和 A5 站)各站均有分布, 但是丰度不大(28—170ind/L)。出现了 *Favella campanula*、*Favella taraikaensis*、*Tintinnopsis radix*。本月多以 *Tintinnopsis* spp. 为主。无壳纤毛虫以球体和小型锥体纤毛虫为主。生物量最高值出现在 Y1 站(99.3µg C/L)和 A5 站(45.5µg C/L)(图 3、图 4)。

6 月: 各站表层纤毛虫平均丰度为全年最高值(6065ind/L)。D7 站成为丰度最高站(31076ind/L)。Y1 站和 A5 站紧随其后, 分别为 27130ind/L 和 10563ind/L。无壳纤毛虫以小型锥体纤毛虫为主。砂壳纤毛虫以 *Tinnopsis orientalis* 为主, 各站均有分布。*Codonellopsis mobilis* 仅在 A3 和 C3 站有分布。*Stenosemella pacifica* 分布于湾口 D5 站。在 Y1 站出现了 *Tintinnopsis nucula*。生物量高值仍是 Y1 站(8.2µg C/L)和 A5 站(5.2µg C/L)(图 3、图 4、图 5)。

7 月: 砂壳纤毛虫有 *Favella* sp.、*Tintinnopsis butschlii*、*Codonellopsis mobilis*、*Tintinnopsis radix*、*Tintinnopsis tubulosa*、*Tinnopsis orientalis*、*Tintinnopsis tubulosoide*、*Leprotintinnus nordqvisti* 等。其中布氏拟铃虫仅在 D6、D7 的表层有少许分布(16ind/L)。在 Y1、A5 和 A3 站表层出现红色中缢虫(*Mesodinium rubrum*)大爆发, 丰度分别为 98578ind/L、36660ind/L、8989ind/L。而这三个站表层纤毛虫丰度不是很高(1440—2015ind/L)。表层生物量最高值出现在 D7 站(17.4µg C/L), 原因是该站砂壳纤毛虫多为个体较大的 *Tintinnopsis radix*、*Leprotintinnus nordqvisti*、*Codonellopsis mobilis* 和 *Favella* sp.(图 3、图 4、图 5)。

8 月: 由于天气原因, 没有采集 D6 站样品。表层纤毛虫平均丰度(1622ind/L)虽不是全年最高值, 但平均生物量却达到全年最高值(18.5µg C/L)。无壳纤毛虫以中大型纤毛虫为主(宽 40—50µm, 长 80—100µm)。*Tintinnopsis radix*、*Eutintinnus tenuis*、*Leprotintinnus simplex*、*Favella* sp. 在湾口和湾外丰度比湾内大,

Amphorellopsis acuta 仅在 D8 站发现。B2 站和 Y1 站检测到 *Tintinnopsis chinglanensis*, 丰度不大(5—19ind/L)(图 3、图 4、图 5)。

9 月: 表层纤毛虫平均丰度(2855ind/L)较 8 月有所增加, 平均生物量($10\mu\text{g C/L}$)有所降低。无壳纤毛虫以中小型纤毛虫为主, 除了常见的 *Tintinnopsis radix*、*Favella sp.*、*Tintinnopsis tubulosoide* 外, 还有 *Metacylis jorgensen*、*Tintinnopsis directa* 和 *Tintin-*

nopsis loricata。 *Metacylis jorgensen* 主要出现在湾外和湾口各站, *Tintinnopsis directa* 分布于 D5 站, *Tintinnopsis loricata* 分布于 A5 和 C3 站的底层(图 3、图 4、图 5)。

10 月: 纤毛虫平均丰度比 9 月略有降低(1891ind/L)。无壳纤毛虫以小型锥体纤毛虫为主, 砂壳纤毛虫是胶州湾常见种, 种类较 8, 9 月有所减少, 但 *Tintinnopsis beroidea* 在 A5 站有个爆发(5375

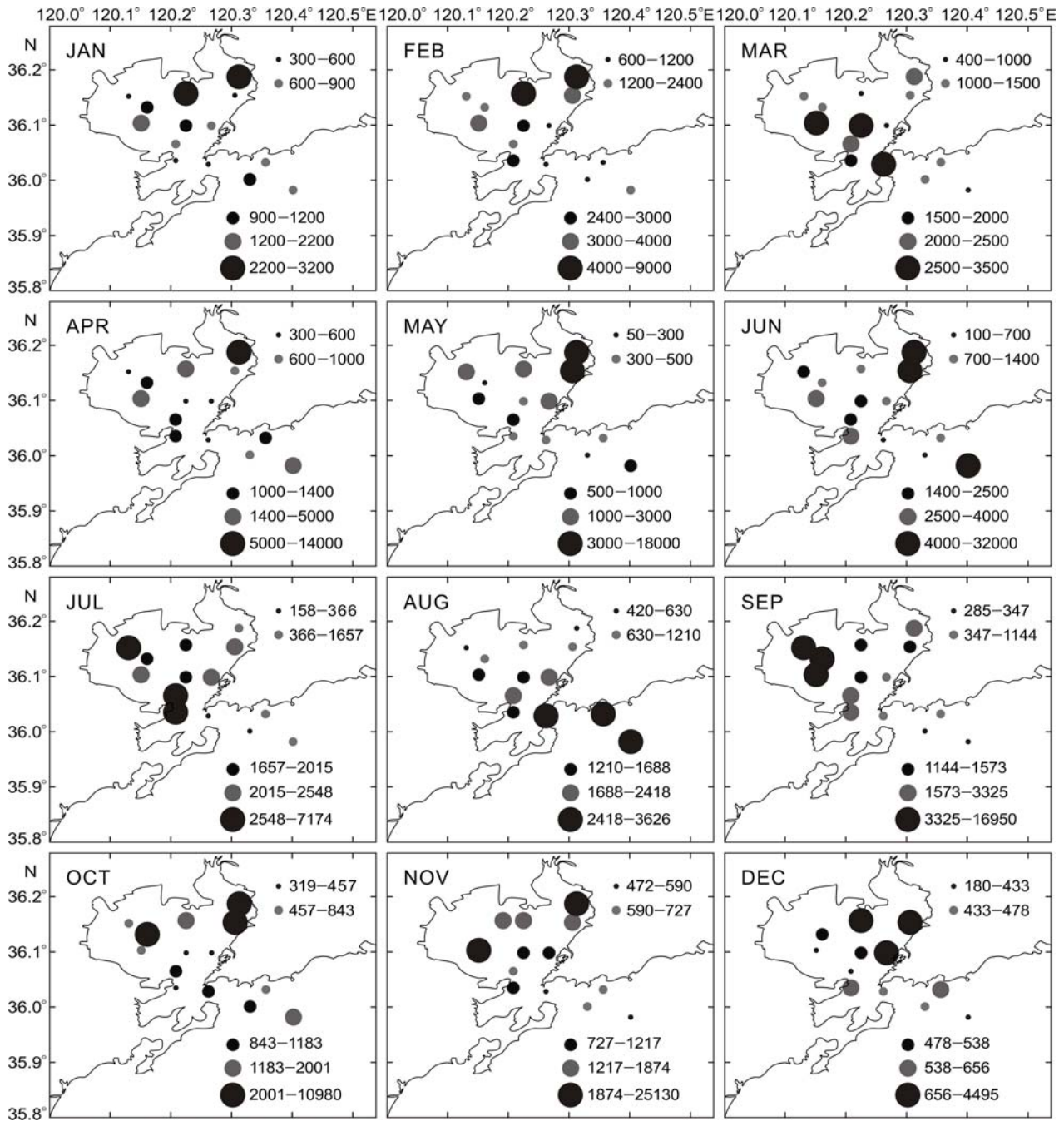


图 3 2007 年 1—12 月胶州湾表层纤毛虫丰度(ind/L)的水平分布
Fig.3 Monthly spatial distribution of ciliate abundance (ind/L) in surface layer in 2007

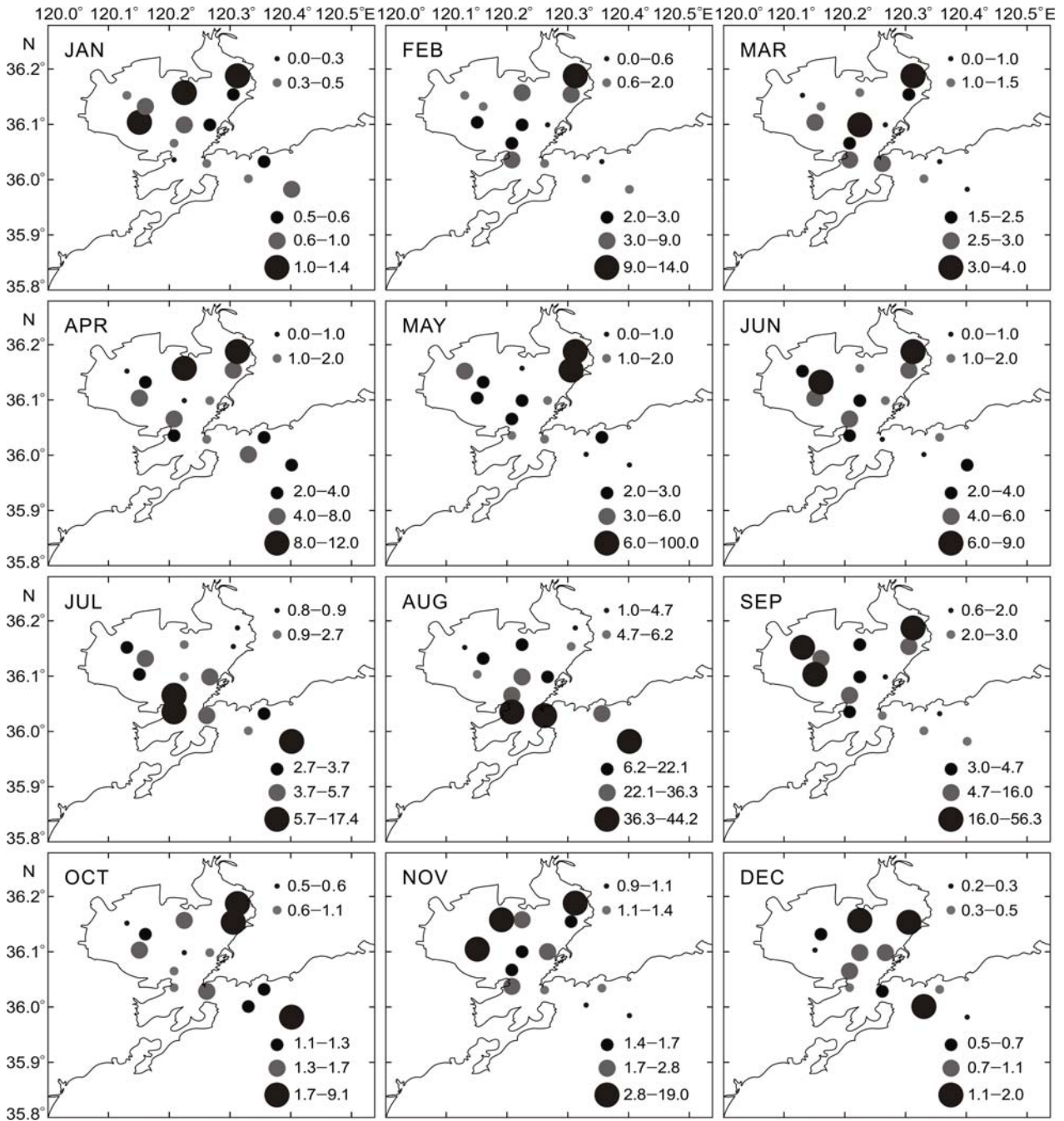


图4 2007年1—12月表层纤毛虫生物量(µg C/L)的水平分布

Fig.4 Monthly spatial distribution of ciliate biomass (µg C/L) in surface layer in 2007

ind/L)。Y1站红色中缢虫较多。纤毛虫生物量最高值出现在A5站(9.1µg C/L)(图3、图4、图5)。

11月: 天气原因, 没有采集B2站样品。表层纤毛虫平均丰度和平均生物量均达到冬季高峰(分别为3709ind/L和3.2µg C/L)。Y1站和C1站丰度比较高, 分别为25122ind/L和11501ind/L。无壳纤毛虫以小型锥体纤毛虫为主, 砂壳纤毛虫优势种比较明显, 是 *Tintinnopsis beroidea*, 它在Y1站达到最大丰度

(18046ind/L)。其余种类为胶州湾常见种: *Tinnopsis orientalis* 和 *Tintinnopsis tubulosoide* 几乎每站均有分布, *Amphorellopsis acuta* 分布于D7、D5站, *Codonellopsis mobilis* 分布于D3、C4、C3、C2和C1站(图3、图4、图5)。

12月: 天气原因, 没有采集Y1站样品。纤毛虫平均丰度为全年最低值(843ind/L), A5站达到最高值(4494 ind/L)。平均生物量也低于1µg C/L(图3、图4、图5)。

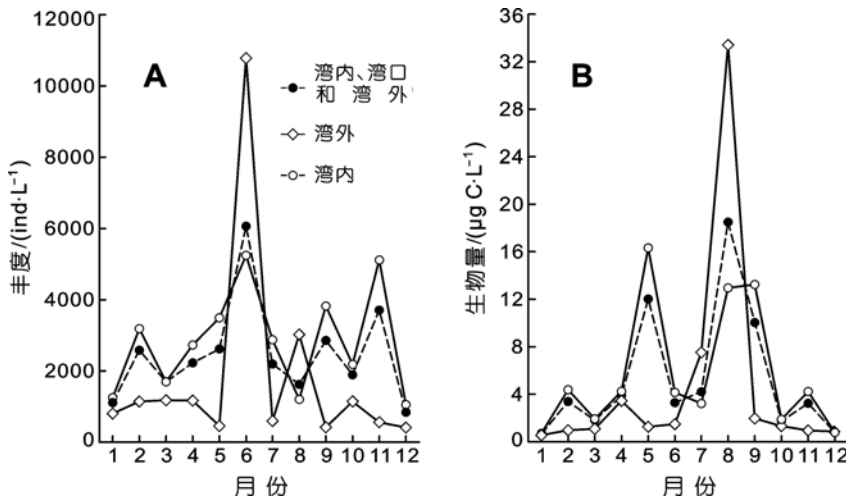


图 5 胶州湾不同区域(湾内、湾外和全湾)表层纤毛虫平均丰度(A)和平均生物量(B)的周年变化

Fig.5 Average abundance (A) and biomass (B) of ciliates in surface layer in different areas (inner, outer, and the entire Jiaozhou Bay) during 2007

各站表层纤毛虫平均丰度在 2 月、6 月、9 月、11 月较高(>2000ind/L), 6 月平均丰度最高(6065ind/L)。各站表层纤毛虫平均丰度夏秋季高, 冬春季低。表层纤毛虫丰度的周年变化在湾内和湾外表现不一致, 湾内有两个峰值(6 月和 11 月), 而湾外只有一个峰值(6 月)(图 5A)。各站表层纤毛虫平均生物量于 2 月、5 月、8 月和 11 月分别达到各季度最高值(3—18.5µg C/L), 也呈现夏秋季高, 冬春季低的趋势, 8 月平均生物量达全年最高值。表层纤毛虫生物量的周年变化在湾内和湾外表现也不一致, 湾内有两个峰值(5 月和 8、9 月), 而湾外只有一个峰值(8 月)(图 5B)。

表层纤毛虫平均丰度(图 5A)全年(除 6 月和 8 月)

呈现湾内—湾口—湾外逐步降低的趋势, 平均生物量(图 5B)(除 8 月)亦如此。6 月湾内站位的纤毛虫以小型无壳纤毛虫为主, 湾外表层平均丰度(10783ind/L)高于湾内(5244ind/L), 湾内表层平均生物量(4.16µg C/L)高于湾外(1.5µg C/L)。8 月砂壳纤毛虫占优势, 平均丰度表现为湾外(3022 ind/L)高于湾内(1202ind/L), 平均生物量也是湾外(33µg C/L)高于湾内(13µg C/L)。

2.3 砂壳纤毛虫种数的周年变化

共鉴定出砂壳纤毛虫 11 属 38 种, 其中 *Tintinnopsis* 属的种最多(表 2)。

1—3 月砂壳纤毛虫种类比较少(<8 种), 4 月、5 月种类逐渐增多(13 种), 8 月种类最多(25 种), 9 月开始种类逐

渐减少到 8 种(图 6)。砂壳纤毛虫在纤毛虫丰度中的比例(图 6)较小, 平均为 25%, 范围为 8%—57%, 分别于 1 月和 8 月达到最低和最高值。

2.4 纤毛虫丰度和生物量的断面分布

纤毛虫丰度(图 7)表现为表层多, 底层少。湾内的 A5、C3 站丰度高于湾口的 D5 和湾外的 D7 站。丰度最大值出现在 6 月的 D7 表层(31076ind/L), 5 月、6 月和 10 月的 A5 表层丰度均超过 10000ind/L, 且无壳纤毛虫占有绝对优势。生物量(图 8)也表现为表层多于底层, 且湾内的 A5、C3 站丰度高于湾口的 D5 和湾外的 D7 站。生物量最高值出现在 5 月 A5 站的表层(45µg C/L)。

表 2 胶州湾 2007 年砂壳纤毛虫种类分布

Tab.2 Occurrence of the tintinnid species in the Jiaozhou Bay in 2007

| 种名 | 出现的月份 | 种名 | 出现的月份 | 种名 | 出现的月份 |
|----------------------------------|---------------|-----------------------------------|-----------------|-----------------------------------|-------------|
| <i>Amphorellopsis acuta</i> | 2, 8, 11, 12 | <i>Tintinnopsis acuminata</i> | 3, 4 | <i>Tintinnopsis mayeri</i> | 1, 8 |
| <i>Codonellopsis mobilis</i> | 3—8, 11 | <i>Tintinnopsis amoyensis</i> | 2, 6, 8, 10, 11 | <i>Tintinnopsis minima</i> | 8 |
| <i>Codonellopsis morchella</i> | 5, 10, 11 | <i>Tintinnopsis beroidea</i> | 4—7, 10, 11, 12 | <i>Tintinnopsis nucula</i> | 6 |
| <i>Coxliella annulata</i> | 5 | <i>Tintinnopsis brasiliensis</i> | 2—6 | <i>Tintinnopsis orientalis</i> | 4—7, 11, 12 |
| <i>Eutintinnus tenuis</i> | 8 | <i>Tintinnopsis brevicollis</i> | 3, 8 | <i>Tintinnopsis radix</i> | 3, 5, 7—10 |
| <i>Favella campanula</i> | 5, 7 | <i>Tintinnopsis butschlii</i> | 7, 8 | <i>Tintinnopsis rapa</i> | 1—5 |
| <i>Favella taraikaensis</i> | 5, 6, 8, 9 | <i>Tintinnopsis chinglanensis</i> | 8 | <i>Tintinnopsis schotti</i> | 6 |
| <i>Leprotintinnus nordqvisti</i> | 7, 8 | <i>Tintinnopsis dadayi</i> | 8 | <i>Tintinnopsis tocaninensis</i> | 8 |
| <i>Leprotintinnus simplex</i> | 6, 8, 10, 12 | <i>Tintinnopsis directa</i> | 5, 8, 9 | <i>Tintinnopsis tsingtaoensis</i> | 1, 8 |
| <i>Metacylis jorgensen</i> | 9 | <i>Tintinnopsis elongata</i> | 12 | <i>Tintinnopsis tubulosa</i> | 2, 7, 8 |
| <i>Petalotricha pacifica</i> | 6, 8 | <i>Tintinnopsis kofoidi</i> | 5 | <i>Tintinnopsis tubulosoide</i> | 7—12 |
| <i>Stenosemella nivalis</i> | 8, 10, 11, 12 | <i>Tintinnopsis lohmanni</i> | 4, 7, 8, 11, 12 | <i>Tintinnopsis turgida</i> | 12 |
| <i>Tintinnidium primitivum</i> | 1, 8—12 | <i>Tintinnopsis loricata</i> | 9, 10 | | |

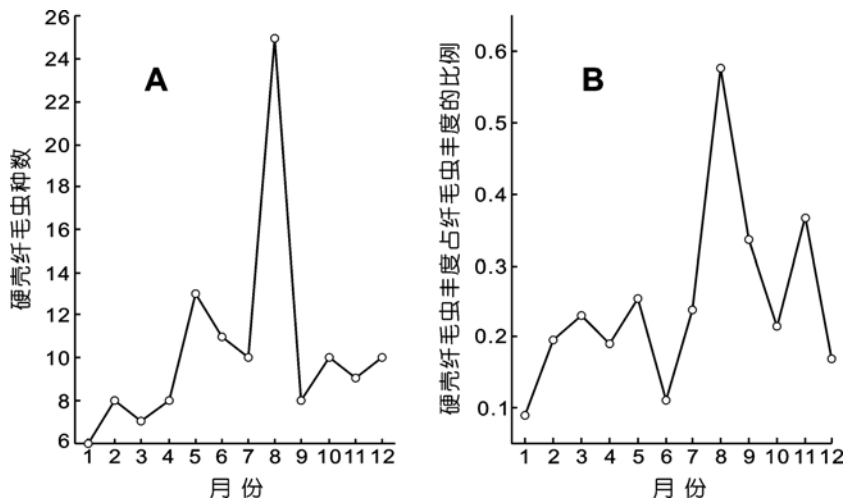


图6 胶州湾砂壳纤毛虫种数及砂壳纤毛虫丰度占纤毛虫丰度的比例各站平均值的周年变化

Fig.6 Variation of species richness of tintinnids and average tintinnid abundance in the Jiaozhou Bay

2.5 纤毛虫丰度、生物量与环境因子的相关性分析

表层无壳纤毛虫丰度、砂壳纤毛虫丰度及纤毛虫丰度与温度、盐度及 Chl.a 浓度都没有明显的相关性; 表层无壳纤毛虫生物量与温度呈显著相关($r = 0.175$, $P < 0.05$), 而与盐度和 Chl.a 浓度都没有明显的相关性; 表层砂壳纤毛虫生物量与温度呈极显著正相关($r = 0.288$, $P < 0.01$), 与盐度呈极显著负相关($r = -0.355$, $P < 0.01$); 表层纤毛虫生物量与温度呈极显著正相关($r = 0.290$, $P < 0.01$), 与盐度呈极显著负相关($r = -0.216$, $P < 0.01$), 而表层砂壳纤毛虫生物量和表层纤毛虫生物量与 Chl.a 浓度都没有显著的相关性(表 3)。

3 讨论

3.1 纤毛虫丰度和生物量的周年变化

本研究表层纤毛虫平均丰度于 6 月达到全年最高值, 12 月为全年最低值。纤毛虫丰度周年变化的研究主要集中在温带的海湾等近岸海域, 各个海域的周年变化情况很不一致。有些海区如缅因湾(Montagnes *et al.*, 1988)、卡特加特海峡南部水域(Nielsen *et al.*, 1994)、格丹斯克港(Witek, 1998)、卡斯特拉湾(Bojanic *et al.*, 2005)及西格尼岛近岸水域(Leakey *et al.*, 1994), 纤毛虫丰度一年之中出现两个峰值, 分别在春季和夏秋季, 冬季丰度较低。而有的海区如比斯开湾(Urrutxurtu *et al.*, 2003), 地中海西北部水域(Vaque *et al.*, 1997), 切萨皮克湾(Dolan, 1991)和南安普敦近岸水域(Leakey *et al.*, 1993), 纤毛虫丰度一年之中只出现一个峰值, 通常在晚春-夏季, 而冬季丰度较低。

本研究表层纤毛虫丰度的周年变化在湾内和湾外表现不一致, 湾内有两个峰值(6 月和 11 月), 湾外只有一个峰值(6 月)。本文湾内的研究结果与姜勇等(2010)的类似, 其表层纤毛虫丰度也呈现双峰型(4 月和 8 月), 但本文湾内出现两个峰值的时间相比姜勇等(2010)的研究均延后数月, 这可能是年际之间的正常波动。

本研究表明胶州湾表层纤毛虫生物量在 5 月和 8 月出现两个峰值, 而冬季则较低。纤毛虫生物量的周年变化与丰度的周年变化一样, 没有统一的规律。在缅因河口区(Sanders, 1987), 纤毛虫的生物量一年之中出现两个峰值, 分别在春季和秋季, 夏冬两季生物量较低; 在缅因湾(Montagnes *et al.*, 1988)和卡特

加特海峡(Levinsen *et al.*, 2002), 峰值分别出现在春季和夏季, 而有些海区如迪斯科湾(Levinsen *et al.*, 2002)和波罗的海北部水域(Johansson *et al.*, 2004)只在春季或夏季出现一个峰值。

3.2 砂壳纤毛虫的种数的周年变化

本研究共发现 38 种砂壳纤毛虫, 与其它海区相比, 胶州湾砂壳纤毛虫种类较多。在广岛湾, 共发现 32 种砂壳纤毛虫(Kamiyama *et al.*, 1996)。在卡斯特拉湾西部海域, 共发现 35 种砂壳纤毛虫(Bojanic, 2001); 在卡斯特拉湾东部海域, 共发现 36 种砂壳纤毛虫(Bojanic *et al.*, 2005)。在缅因河口区, 共发现 20 种砂壳纤毛虫(Sanders, 1987)。

本研究砂壳纤毛虫种数在夏秋最多, 与其它海区的季节变化类似。在广岛湾, 夏季砂壳纤毛虫种数最多(Kamiyama *et al.*, 1996); 在卡斯特拉湾的富营养化海区, 10 月种数最多(Bojanic *et al.*, 2005); 在波罗的海北部海区, 秋季砂壳纤毛虫种数达到最多(Johansson *et al.*, 2004)。

3.3 砂壳纤毛虫丰度占纤毛虫丰度比例的周年变化

本研究中砂壳纤毛虫丰度占纤毛虫丰度的比例平均为 25%, 与其它海区相比该比例较大。东海砂壳纤毛虫丰度与纤毛虫丰度之比 $< 9\%$ (Ota *et al.*, 2003)。在太平洋开阔海区砂壳纤毛虫丰度占纤毛虫丰度的 9%—17% (Gómez, 2007)。

本研究中砂壳纤毛虫丰度占纤毛虫丰度的比例分别于 1 月和 8 月达到最低(8%)和最高值(57%)。该

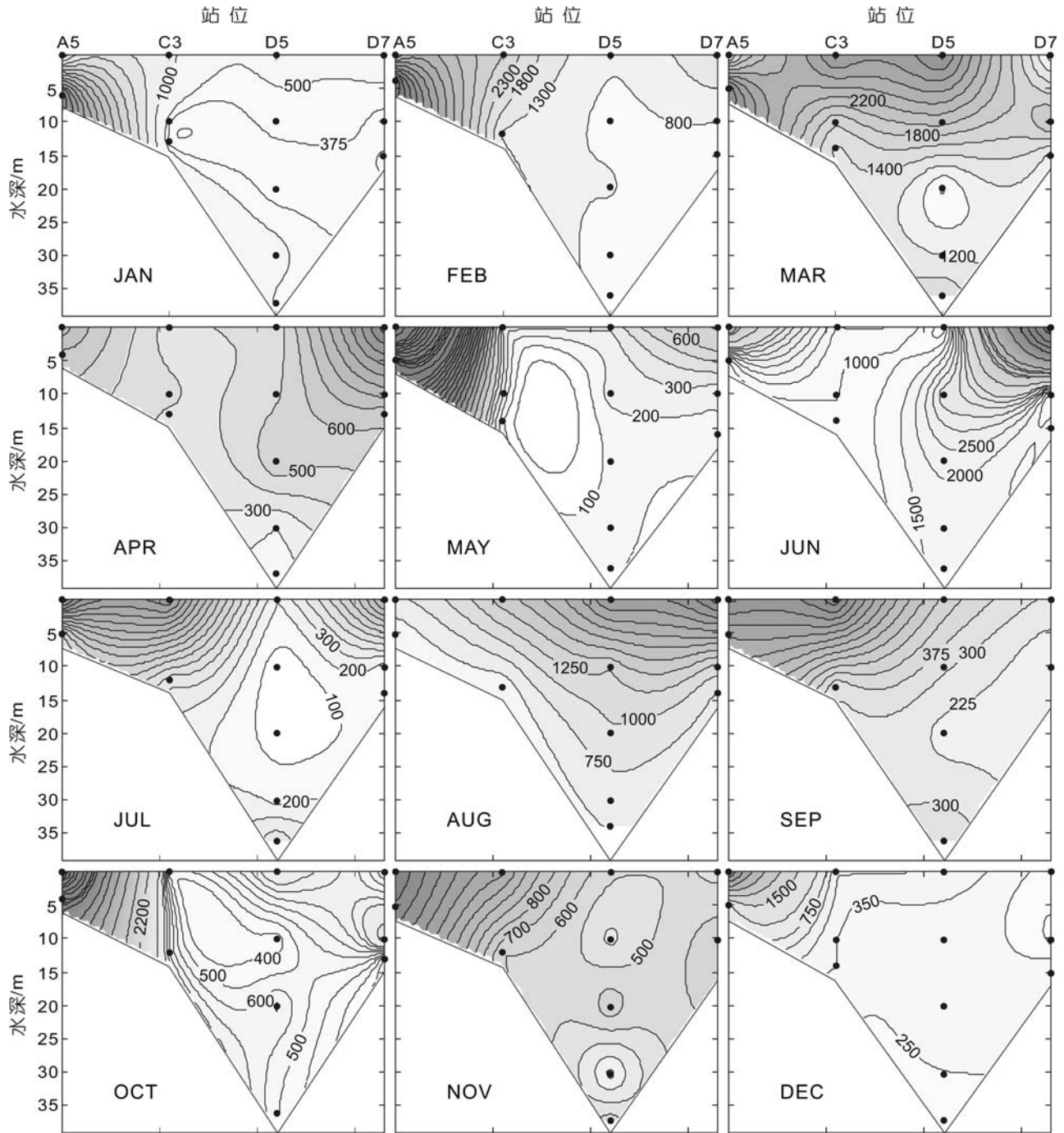


图 7 2007 年 1—12 月胶州湾断面 A 纤毛虫丰度(ind/L)的垂直分布

Fig.7 Vertical distribution of ciliate abundance (ind/L) along Transect A during January—December 2007 in the Jiaozhou Bay

比例的周年变化和其它海区的规律一致。一般情况下,在近岸水域,砂壳纤毛虫可能在夏季或者秋季占优势(Leakey *et al*, 1994)。如卡斯特拉湾,春季和夏初砂壳纤毛虫丰度占纤毛虫丰度的比例较小,10月砂壳纤毛虫丰度占纤毛虫丰度的65%(Bojanic *et al*, 2001);在南极洲近岸海区,冬季砂壳纤毛虫较少,而12月和1月(南半球的夏季),砂壳纤毛虫丰度占纤毛虫丰

度的一半以上(Leakey *et al*, 1994)。

3.4 纤毛虫丰度和生物量的空间分布

本研究中表层纤毛虫平均丰度和平均生物量一般呈现湾内—湾口—湾外降低的趋势(6月和8月除外)。这与Chen等(2009)在胶州湾的研究结果一致,究其原因,可能是饵料的可利用性问题,湾内由陆源输入带来大量营养盐,刺激浮游植物大量生长,从而给

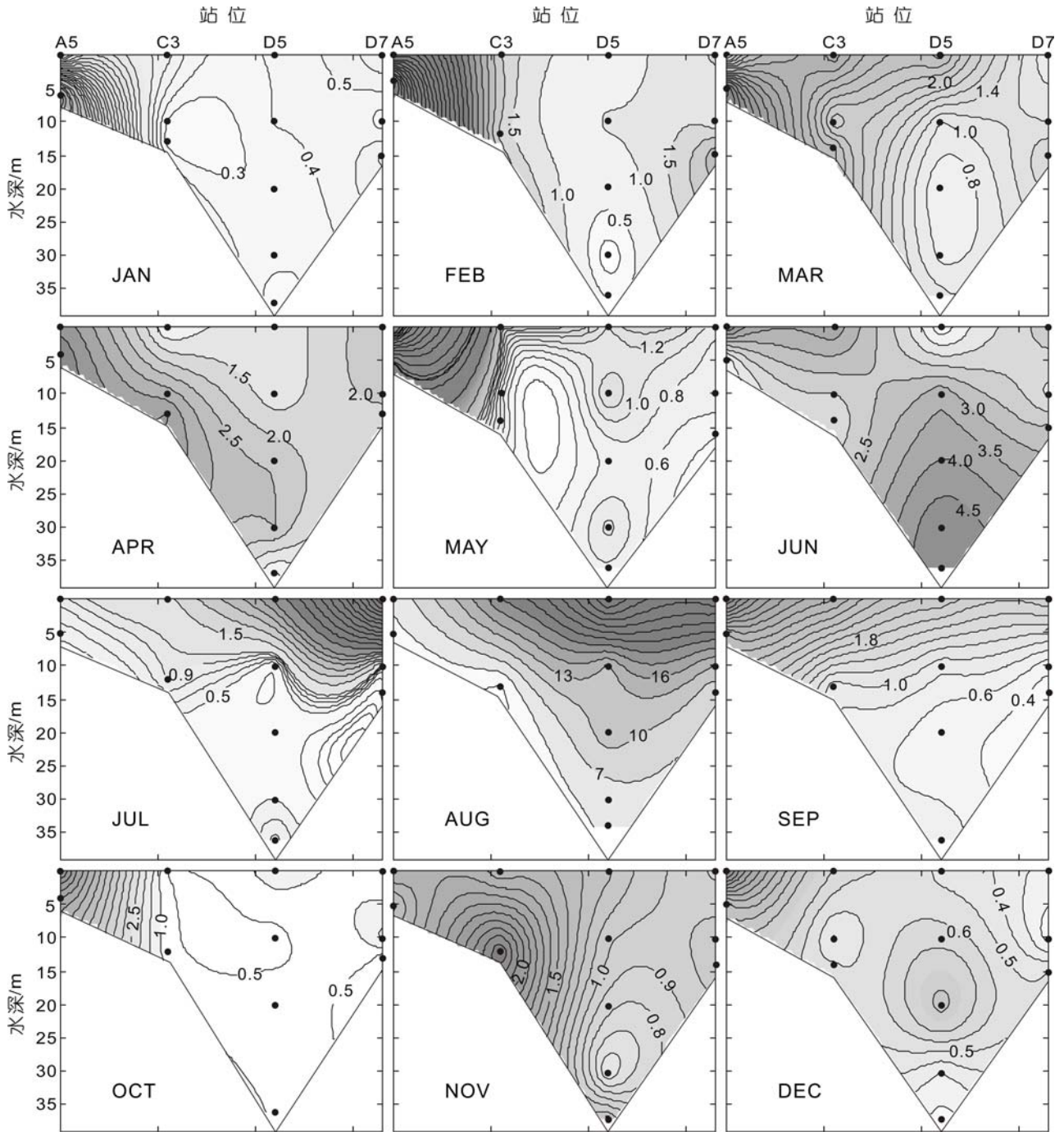


图8 2007年1—12月胶州湾断面A纤毛虫生物量(µg C/L)的垂直分布

Fig.8 Vertical distribution of ciliate biomass (µg C/L) along Transect A during January—December 2007 in the Jiaozhou Bay

纤毛虫带来较多的饵料。湾内的 Chl.a 平均浓度较湾外的高可为上述推测提供证据。

3.5 纤毛虫丰度和生物量与环境因子的相关性分析

本研究中表层砂壳纤毛虫丰度和生物量及纤毛虫丰度和生物量与表层温度存在极显著的正相关关系,而与表层盐度存在极显著的负相关关系,但与表层 Chl.a 浓度之间的相关性不显著。纤毛虫丰度和生

物量与环境因子如温度、盐度和 Chl.a 浓度等的相关性研究很多,没有一致的结论。

有些海区如达马里斯科塔河河口区(Sanders, 1987),温度是影响纤毛虫分布的主要因素;有些海区如卡斯特拉湾(Bojanic, 2001),盐度对纤毛虫分布的影响更重要。本研究表明温度和盐度对纤毛虫的分布都很重要,温度可能影响砂壳纤毛虫的季节变化

表 3 胶州湾表层纤毛虫丰度、生物量与表层温度、盐度及 Chl-*a* 浓度的相关性分析

Tab.3 Relationships between the abundance and biomass of surface ciliates and surface temperature, salinity, and Chl-*a* concentration in the Jiaozhou Bay

| 参数 | 温度 | 盐度 | Chl- <i>a</i> 浓度 |
|----------|---------|----------|------------------|
| 无壳纤毛虫丰度 | 0.115 | 0.018 | 0.021 |
| 砂壳纤毛虫丰度 | 0.007 | -0.103 | 0.129 |
| 纤毛虫丰度 | 0.106 | -0.021 | 0.066 |
| 无壳纤毛虫生物量 | 0.175* | -0.052 | -0.024 |
| 砂壳纤毛虫生物量 | 0.288** | -0.355** | 0.068 |
| 纤毛虫生物量 | 0.290** | -0.216** | 0.008 |

注: *表示差异显著($P < 0.05$), **表示差异极显著($P < 0.01$)

而盐度影响地理分布(Kršinić, 1980)。

纤毛虫分布与 Chl-*a* 浓度的相关关系在各海区不一致。有的海区, 如那不勒斯湾(Modigh, 2001), 二者之间存在明显的正相关关系; 有的海区, 如广岛湾(Kamiyama *et al.*, 1996), 纤毛虫的丰度和生物量只与某一粒级范围内的 Chl-*a* 浓度存在相关性。本文与 Vidjak 等(2007)的研究结果一致, 纤毛虫与 Chl-*a* 浓度间的相关性不明显。上述不一致性可能是因为纤毛虫只选择性地摄食浮游植物的一部分, 主要是 nano-级和 pico-级浮游植物, Chl-*a* 浓度本身并不能很好地指示纤毛虫的饵料水平(Dolan *et al.*, 1990)。

由于纤毛虫与环境因子之间的相互作用复杂多变, 纤毛虫的分布特征是环境中各种因子包括生物因子及非生物因子共同作用的结果, 而相关性分析得到的结果只是在一定程度上来说明纤毛虫与环境因子的变化关系, 这可能是不同海区纤毛虫丰度与环境因子关系不确定的原因(Sanders, 1987)。

本文研究结果与姜勇等(2010)的研究结果相反, 其研究表明纤毛虫丰度与温度和盐度相关性不明显, 与 Chl-*a* 浓度之间呈显著正相关。而同一海区的研究出现这样的差异, 究其原因, 除了纤毛虫与环境因子间作用的复杂性及相关性分析本身的局限性外, 还可能是采样站位的不同导致。

3.6 红色中缢虫的分布

红色中缢虫是一种全世界广泛分布的赤潮原生动物, 在胶州湾、大连湾等均引发过赤潮(王璐等, 2008)。本研究中红色中缢虫大量出现在 7 月, 这与胶州湾红色中缢虫的繁殖盛期主要在 6、7 月(韩笑天等, 2004)相吻合。

红色中缢虫丰度和生物量的季节变动在世界各地没有统一的规律。在厦门西海域, 红色中缢虫丰

度没有明显的季节变化(曾祥波等, 2010); 而在有的海域有明显的季节变化, 但是没有一致规律, 如缅甸湾的红色中缢虫丰度冬季(12—4 月)较多, 而夏季(6—11 月)不见其分布(Sanders, 1995; Montagnes *et al.*, 1989), 相反, 地中海及南安普顿近岸水域红色中缢虫的生物量峰值出现在夏季(Kifle *et al.*, 1993, Bernard *et al.*, 1994)。

红色中缢虫丰度的变化受光照、水体稳定性、营养盐及上下行控制的影响(Sanders, 1995), 本研究中, 红色中缢虫主要出现在近岸站位, 可能是与近岸站受河流输入等影响较大, 营养盐比较丰富有关。

参 考 文 献

- 王 倩, 孙 松, 霍元子等, 2010. 胶州湾毛颚类生态学研究. 海洋与湖沼, 41(4): 639—644
- 王 璐, 韩笑天, 张洪亮等, 2008. 红色中缢虫的生物学特征及其爆发赤潮成因分析. 海洋科学, 32(2): 80—84
- 尹光德, 1952. 胶州湾砂壳纤毛虫之初步调查. 山东大学学报, 1(2): 36—56
- 尹光德, 1956. 胶州湾砂壳纤毛虫的三个新种. 山东大学学报, 2(4): 64—69
- 孙 松, 张永山, 吴玉霖等, 2005. 胶州湾初级生产力周年变化. 海洋与湖沼, 31(6): 481—486
- 张武昌, 王 荣, 2001. 胶州湾桡足类幼虫和浮游生纤毛虫的丰度和生物量. 海洋与湖沼, 32(3): 280—287
- 姜 勇, 许恒龙, 朱明壮等, 2010. 胶州湾浮游原生生物时空分布特征——丰度周年变化及与环境因子间的关系. 中国海洋大学学报(自然科学版), 40(3): 17—23
- 韩笑天, 邹景忠, 张永山, 2004. 胶州湾赤潮生物种类及其生态分布特征. 海洋科学, 28(2): 49—54
- 曾祥波, 黄邦钦, 2010. 厦门西海域微型浮游动物的丰度、生物量及其生产力的季节变动. 厦门大学学报(自然科学版), 49(1): 109—115
- Azam F, Fenchel T, Field J G *et al.*, 1983. The ecological role of water column microbes in the sea. Mar Ecol Prog Ser, 10: 257—263
- Bernard C, Rassouladegan F, 1994. Seasonal variations of mixotrophic ciliates in the northwest Mediterranean Sea. Mar Ecol Prog Ser, 108: 295—301
- Bojanic N, 2001. Seasonal distribution of the ciliated protozoa in Kastela Bay. J Mar Biol Assoc U K, 81: 383—390
- Bojanic N, Solic M, Krstulovic N *et al.*, 2001. Seasonal and vertical distribution of the ciliated protozoa and micrometazoa in Kastela Bay (central Adriatic). Helgoland Mar Res, 55: 150—159
- Bojanic N, Solic M, Krstulovic N *et al.*, 2005. Temporal variability in abundance and biomass of ciliates and copepods in the eutrophicated part of Kastela Bay (Middle Adriatic Sea). Helgoland Mar Res, 59: 107—120

- Chen Y H, Yang Y F, 2009. Characteristics of the microzooplankton community in Jiaozhou Bay, Qingdao, China. *Chin J Oceanol Limnol*, 27: 435—442
- Dolan J R, 1991. Guilds of ciliate microzooplankton in the Chesapeake Bay. *Estuar Coast Shelf Sci*, 33: 137—152
- Dolan J R, Coats D W, 1990. Seasonal abundances of planktonic ciliates and microflagellates in mesohaline Chesapeake Bay waters. *Estuar Coast Shelf Sci*, 31: 157—175
- Gómez F, 2007. Trends on the distribution of ciliates in the open Pacific Ocean. *Acta Oecol*, 32: 188—202
- Hada Y, 1937. The fauna of Akkeshi Bay IV. The pelagic ciliata. *J Fac Sci, Hokkaido Imp Univ, Series VI, Zoology*, 4: 143—216
- Hada Y, 1938. Studies on the Tintinnoinea from the western tropical Pacific. *J Fac Sci, Hokkaido Imp Univ, Series VI, Zoology*, 6: 87—190
- Johansson M, Gorokhova E, Larsson U, 2004. Annual variability in ciliate community structure, potential prey and predators in the open northern Baltic Sea proper. *J Plankton Res*, 26: 67—80
- Kamiyama T, Tsujino M, 1996. Seasonal variation in the species composition of tintinnid ciliates in Hiroshima Bay, the Seto Inland Sea of Japan. *J Plankton Res*, 18: 2313—2327
- Kifle D, Purdie D A, 1993. The seasonal abundance of the phototrophic ciliate *Mesodinium rubrum* in Southampton Water, England. *J Plankton Res*, 15: 823—833
- Kršinić F, 1980. Qualitative and quantitative investigations of the tintinnides along the eastern coast of the Adriatic. *Acta Adriat*, 21: 19—104
- Laval-Pento M, Heinbokel J F, Anderson O R *et al*, 1986. Role of micro- and nanozooplankton in marine food webs. *Insect Sci Applic*, 7: 387—395
- Leakey R J G, Burkill P H, Sleight M A, 1993. Planktonic ciliates in Southampton Water—quantitative taxonomic studies. *J Mar Biol Assoc U K*, 73: 579—594
- Leakey R J G, Fenton N, Clarke A, 1994. The annual cycle of planktonic ciliates in nearshore waters at Signy Island, Antarctica. *J Plankton Res*, 16: 841—856
- Levinsen H, Nielsen T G, 2002. The trophic role of marine pelagic ciliates and heterotrophic dinoflagellates in Arctic and temperate coastal ecosystems: A cross-latitude comparison. *Limnol Oceanogr*, 47: 427—439
- Modigh M, 2001. Seasonal variations of photosynthetic ciliates at a Mediterranean coastal site. *Aquat Microb Ecol*, 23: 163—175
- Montagnes D J S, Lynn D H, 1989. The annual cycle of *Mesodinium rubrum* in the waters surrounding the Isles of Shoals, Gulf of Maine. *J Plankton Res*, 11: 193—201
- Montagnes D J S, Lynn D H, Roff J C *et al*, 1988. The annual cycle of heterotrophic planktonic ciliates in the waters surrounding the Isles of Shoals, Gulf of Maine—an assessment of their trophic role. *Mar Biol*, 99: 21—30
- Nie D S, 1934. Notes on Tintinnoinea from the Bay of Amoy. *Third Ann Rep Mar Biol Assoc China*, 3: 71—80
- Nie D S, Cheng P S, 1947. Tintinnoinea of the Hainan Region. *Contr Biol Lab Sci Soc China Zoological Series*, 16: 41—86
- Nielsen T G, Kiorboe T, 1994. Regulation of zooplankton biomass and production in a temperate, coastal ecosystem. 2. ciliates. *Limnol Oceanogr*, 39: 508—519
- Ota T, Taniguchi A, 2003. Standing crop of planktonic ciliates in the East China Sea and their potential grazing impact and contribution to nutrient regeneration. *Deep-Sea Res II*, 50: 423—442
- Pierce R W, Turner J T, 1992. Ecology of planktonic ciliates in marine food webs. *Rev Aquat Sci*, 6: 139—181
- Pierce R W, Turner J T, 1994. Plankton studies in Buzzards Bay, Massachusetts, USA, IV. Tintinnids, 1987—1988. *Mar Ecol Prog Ser*, 112: 235—240
- Putt M, Stoecker D K, 1989. An experimentally determined carbon: volume ratio for marine “oligotrichous” ciliates from estuarine and coastal waters. *Limnol Oceanogr*, 34: 1097—1103
- Sanders R W, 1987. Tintinnids and other microzooplankton—seasonal distributions and relationships to resources and hydrography in a Maine estuary. *J Plankton Res*, 9: 65—77
- Sanders R W, 1995. Seasonal distributions of the photosynthesizing ciliates *Laboea strobila* and *Myrionecta rubra* (= *Mesodinium rubrum*) in an estuary of the Gulf of Maine. *Aquat Microb Ecol*, 9: 237—242
- Sun J, Dawson J, Liu D Y, 2004. Microzooplankton grazing on phytoplankton in summer in the Jiaozhou Bay, China. *Chin J Appl Ecol*, 15: 1245—1252
- Urrutxurtu I, Orive E, de la Sota A, 2003. Seasonal dynamics of ciliated protozoa and their potential food in an eutrophic estuary (Bay of Biscay). *Estuar Coast Shelf Sci*, 57: 1169—1182
- Utermöhl H, 1958. Zur Vervollkommnung der quantitativen phytoplanktonmethodik. *Mitteilungen der Internationalen Vereinigung für Limnologie*, 9: 1—38
- Vaque D, Blough H A, Duarte C M, 1997. Dynamics of ciliate abundance, biomass and community composition in an oligotrophic coastal environment (NW Mediterranean). *Aquat Microb Ecol*, 12: 71—83
- Vidjak O, Bojanic N, Kuspilic G *et al*, 2007. Zooplankton community and hydrographical properties of the neretva channel (eastern Adriatic Sea). *Helgoland Mar Res*, 61: 267—282
- Witek M, 1998. Annual changes of abundance and biomass of planktonic ciliates in the Gdansk Basin, southern Baltic. *Int Rev Hydrobiol*, 83: 163—182

ANNUAL VARIATIONS IN THE ABUNDANCE AND BIOMASS OF PLANKTONIC CILIATE IN THE JIAOZHOU BAY

YU Ying^{1,3}, ZHANG Wu-Chang¹, ZHAO Nan^{1,3}, SUN Xiao-Xia²,
ZHANG Cui-Xia^{1,3}, FENG Mei-Ping^{1,3}, XIAO Tian¹

(1. Key Laboratory of Marine Ecology and Environmental Sciences, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao, 266071; 2. Jiaozhou Bay Marine Ecosystem Research Station, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao, 266071; 3. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100049)

Abstract Abundance and biomass of planktonic ciliates were surveyed in the Jiaozhou Bay on 12 cruises from January to December in 2007. Ciliate abundance ranged from 41 ind/L (St. D5 in July) to 31077 ind/L (St. D7 in June) and its biomass ranged from 0.06 μg C/L (St. D6 in May) to 99.37 μg C/L (St. Y1 in May). Average ciliate abundance in surface layer of all stations was highest (6065 ind/L) in June and lowest (843 ind/L) in December. Average ciliate biomass in surface layer of all stations was highest (18.5 μg C/L) in August and lowest (0.6 μg C/L) in June. Ciliate abundance in the inner Jiaozhou Bay tended to be greater than in the outer Bay except in June and August. Species richness of tintinnids was highest (25) in August while lowest (6) in January. Tintinnid accounted for 8%—57% (on average 25%) of total ciliate abundance. Furthermore, more ciliates appeared in the surface layer than in the bottom layer. Biomass of both tintinnids and total ciliates were significantly correlated with temperature, salinity but not with Chl. *a* concentration.

Key words Ciliate, Abundance, Biomass, Jiaozhou Bay

中国海洋湖沼学会 2011 年理事会圆满召开

中国海洋湖沼学会 2011 年理事会, 于 2011 年 12 月 28 日在青岛中国科学院海洋研究所召开, 刘瑞玉院士、秦蕴珊院士、管华诗院士以及来自全国各地涉海单位的理事、常务理事、学会所属学术期刊编辑部主任、分支机构负责人等 60 余人参加了会议, 会议由学会副理事长兼秘书长孙松主持。

会议首先由相建海理事长作学会 2011 年工作总结报告, 随后李毅萍副秘书长作了学会 2011 年财务报告; 《湖泊科学》编辑部主任李万春、《水生生物学报》编辑部主任杜新征、《海洋与湖沼》编辑部主任陈溥远、《中国海洋湖沼学报》编辑部主任虞子冶, 分别就各自期刊的运行情况向理事们做了大会总结汇报。

会议就中国海洋湖沼学会换届选举及召开第十次会员代表大会等事宜进行了讨论, 并决定中国海洋湖沼学会第十次会员代表大会将于 2012 年 10 月中旬在青岛召开。

最后常务理事李乃胜就“曾呈奎海洋科技奖”评奖事宜做了通报, 2012 年“曾呈奎海洋科技奖”颁奖仪式将在中国海洋湖沼学会第十次会员代表大会上举行。