

莱州湾大型砂壳纤毛虫丰度的水平分布*

陈雪^{1,3} 吴强² 栾青杉² 张武昌^{1①} 徐剑虹¹ 肖天¹

(1. 中国科学院海洋研究所 海洋生态与环境重点实验室 青岛 266071;

2. 农业部海洋渔业可持续发展重点实验室 中国水产科学研究院黄海水产研究所 青岛 266071;

3. 中国科学院大学 北京 100049)

摘要 根据2011年5–11月及2012年3–4月在莱州湾进行的每月1次共9个航次的调查资料,通过解剖镜下镜检浮游生物网拖网样品,分析莱州湾3–11月大型砂壳纤毛虫丰度的水平分布。结果显示,砂壳纤毛虫总丰度的水平分布在不同时间呈现不同的特点:3–5月砂壳纤毛虫总丰度在湾底较高,向湾口递减;6–11月砂壳纤毛虫总丰度在湾中及湾口较高,湾底近岸海区较低。各月砂壳纤毛虫丰度较大的区域温度、盐度比较相似,表明砂壳纤毛虫可能有一定的适温性和适盐性。其中,6月砂壳纤毛虫丰度的分布与同期调查的鱼卵和仔稚鱼的分布较一致,表明砂壳纤毛虫可能是仔稚鱼的开口饵料,对鱼类仔稚鱼的成活和发育有帮助。3–11月砂壳纤毛虫种丰富度的变化范围是5–20种,有17个种在不同月份成为优势种。优势种种类数最多的是7、8月(10种),4月最少(2种)。各航次中不同优势种的最大丰度为 489×10^3 个/m³(运动类铃虫 *Codonellopsis mobilis*, 5月);较小的丰度仅为 4×10^3 个/m³(半旋拟铃虫 *Tintinnopsis hemispiralis*, 11月)。主要优势种(连续3个月或3个月以上为优势种的种类)有运动类铃虫(*C. mobilis*)、白领细壳虫(*Stenosemella nivalis*)、根状拟铃虫(*Tintinnopsis radix*)、妥肯丁拟铃虫(*T. tocaninensis*)和半旋拟铃虫(*T. hemispiralis*)。8月在黄河入海口附近的3个站位发现河口拟铃虫(*Tintinnopsis estuariensis*),这是在长江口海域发现的砂壳纤毛虫新种。

关键词 砂壳纤毛虫; 优势种; 水平分布; 莱州湾

中图分类号 S932 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2015)02-0011-12

海洋浮游纤毛虫是一类营浮游生活的单细胞真核原生动物(粒径在10–200 μm),是海洋微型浮游动物(Microzooplankton)的重要组成类群,主要摄食微型(pico-级)和微型(nano-级)浮游生物,同时又是中型浮游动物和仔鱼的饵料,是水体微食物环的重要组成部分,在浮游生态系统的能量流动和物质循环中占重要地位(Azam *et al.*, 1983; Pierce *et al.*, 1992)。根据虫体外有无异质的壳层,浮游纤毛虫可分为无壳纤毛虫和砂壳纤毛虫,其中砂壳纤毛虫隶属于旋毛纲(Spirotrichea)下的环毛亚纲(Choreotrichia),种数在1000种左右。根

据壳表面是否有黏着颗粒,可将砂壳纤毛虫分为黏着壳种类和透明壳种类。

砂壳纤毛虫很早(Lebour, 1918)就被发现是鱼类仔鱼和幼鱼的饵料,至今已报道27科48属鱼类幼鱼摄食砂壳纤毛虫(Dolan *et al.*, 2013)。砂壳纤毛虫在海湾和近岸海区丰度较大,例如在挪威的Flodevigen Bay砂壳纤毛虫的最大丰度可达到729000个/L(Dale *et al.*, 1987)。因此在近岸海湾地区砂壳纤毛虫作为鱼类饵料的重要性不容忽视。

莱州湾是渤海三大海湾之一,位于渤海南部,山

* 中国科学院战略性先导科技专项(XDA11020103.1),国家重点基础研究发展计划项目(2011CB409804)和国家自然科学基金(41306160, 41306161)共同资助。陈雪, E-mail: chn_xchen@163.com

① 通讯作者: 张武昌, 研究员, E-mail: wuchangzhang@163.com

收稿日期: 2014-05-02, 收修改稿日期: 2014-06-04

东半岛北部,地处北温带,是黄渤海鱼、虾、蟹等经济生物的主要繁育场(金显仕等, 2000)。莱州湾的浮游纤毛虫丰度水平分布的调查较少,只有在1997年7月一航次中采水样(1L)研究了莱州湾浮游纤毛虫和桡足类六足幼体的分布(张武昌等, 2002);在1998年6月调查了莱州湾水样(1L)中浮游纤毛虫和桡足类六足幼体的丰度、生物量、群落分布(Zhang *et al*, 2000)。这些资料研究的是浮游纤毛虫丰度的水平分布情况,针对砂壳纤毛虫丰度水平分布的报道目前还没有。本研究报道2011年5-11月及2012年3、4月莱州湾砂壳纤毛虫丰度的水平分布及其季节变化,以期为莱州湾渔业资源评估以及合理开发利用提供科学依据。

1 调查与方法

1.1 调查海区和样品采集

于2011年5月6-11日、6月9-12日、7月8-12日、8月1-5日、9月6-11日、10月19-23日、11月25-26日及2012年3月21-27日、4月19-23日搭乘“鲁昌渔4193号”船在莱州湾进行了9个航次的调查,共设站位18个,覆盖了湾底、湾中及湾口(图1),水深范围为3-24 m。根据天气、海况等实际情况,各航次的站位略有不同,4月调查11个站位(缺湾口站位4934, 5051, 5151, 5251, 5262),5月调查17个站位(缺湾口站位4934),7月调查17个站位(缺湾底站位7342),11月调查10个站位(缺湾底站位4934, 5051, 5151, 5251, 5262, 5274, 5293及湾中站位6351)。

在各站位用YSI ProPlus水质分析仪测定温度、盐度,用浅海III型浮游生物网(网口面积0.1 m²,网孔直径76 μm)由底至表垂直拖网采集砂壳纤毛虫,样品用5%甲醛(终浓度)固定,保存。

1.2 样品处理和数据分析

把样品浓缩至80 ml左右(V_w),用定量移液枪从

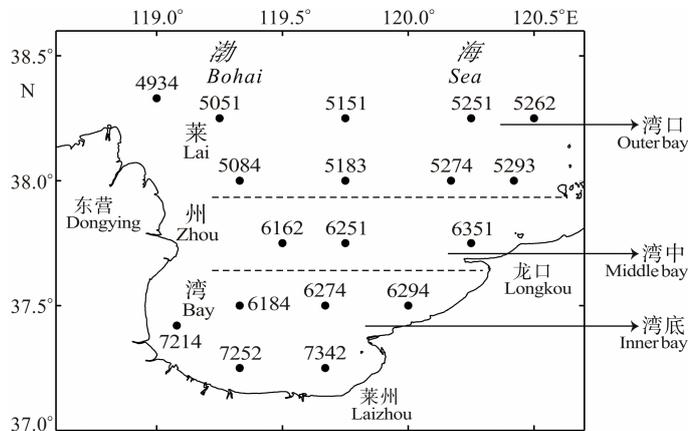


图1 调查站位

Fig.1 Locations of the sampling stations

混合均匀的样品中取出1 ml (V_s)样品,装入浮游生物计数框中,用Olympus SZX16解剖镜计数砂壳纤毛虫的个数(C),取出部分壳体于Olympus BX51显微镜下测量尺寸并拍照。依据壳的形状和尺寸,参照分类学文献(Kofoed *et al*, 1929、1939; 张武昌等, 2012)进行种类鉴定。

砂壳纤毛虫的丰度(A , $\times 10^3$ ind/m³)通过下列公式计算: $A=C \times (V_w/V_s)/(d \times S \times 1000)$ 。式中, d 为水深,单位:m; S 为网口面积,单位:m²。

每个月各种的优势度(Y)采用公式: $Y=(n_i/N) \times f_i$ 。式中, n_i 为每个月所有站位第*i*种出现的个体数; N 为每个月所有站位出现的总个体数; f_i 为第*i*种在所有站位出现的频率。当 $Y > 0.02$ 时,该种为优势种(徐兆礼等, 1989)。有的优势种连续3个月或以上为优势种,被定义为主要优势种。

用Surfer 8.0软件绘制温度、盐度和丰度的水平分布图。

用Grapher 5.0软件绘制砂壳纤毛虫平均丰度和优势种平均丰度的时间变化图。

2 结果

2.1 水文环境

各月表层温度、表层盐度的范围及平均值见表1。表层温度在8月最高,平均值为(25.1±1.7)°C;在3月最低,平均值为(3.5±1.4)°C。3-9月表层温度水平分布在湾底近岸海区高于湾口远岸海区,10-11月则远岸高于近岸(图2)。表层盐度各月的平均值变化范围为30.09-33.03,各月湾内外有差异,除7月外其他月均为远岸高于近岸,在湾底西南部的近岸海区,由于受淡水注入的影响始终有一片盐度的低值区(图3)。

2.2 砂壳纤毛虫种丰富度和优势种

9个航次共发现砂壳纤毛虫7属,30种(表2),其中黏着壳砂壳纤毛虫4属27种(拟铃虫属*Tintinnopsis* 22种,包括3个仅鉴定到属的种类*Tintinnopsis* sp.1、*Tintinnopsis* sp.2、*Tintinnopsis* sp.3;类铃虫属*Codonellopsis*、薄铃虫属*Leprotintinnus*各2种;领细壳虫属*Stenosemella* 1种);透明壳砂壳纤毛虫3属3种(类瓮虫属*Amphorellopsis*、真铃虫属*Eutintinnus*、网纹虫属*Favella*各1种)。各种砂壳纤毛虫的壳体长度较大,在37-200 μm之间。

3-11月种丰度的变化范围是5-20种,种丰度的整体变化趋势为3-5月逐渐减小,随后开始增大,到8月达到峰值,而后又逐渐减小。黏着壳种类3-11月

表 1 各月表层温度、盐度、砂壳纤毛虫总丰度范围及总丰度最大值出现的站点
 Tab.1 Surface temperature, surface salinity, total tintinnids abundances during the 9 cruises,
 and the station with the largest abundance

月 Month	表层温度 Surface temperature (°C)*	表层盐度 Surface salinity*	砂壳纤毛虫总丰度 Total tintinnids abundance ($\times 10^3$ ind/m ³)*	总丰度最大值的站点 Station with the largest abundance
3	2.3–7.7(3.5±1.4)	28.44–38.19(31.24±2.10)	0–5(1±2)	6294(湾底)
4	7.9–13.4(10.2±1.5)	28.56–33.63(30.58±1.64)	0–18(5±7)	7214(湾底)
5	7.9–16.6(12.3±2.5)	29.64–33.57(32.06±1.21)	0–494(63±150)	7342(湾底)
6	16.4–24.1(19.4±2.2)	31.94–34.00(33.03±0.70)	0–63(13±17)	4934(湾口)
7	21.7–27.1(24.3±1.5)	28.43–33.62(31.75±2.00)	0–224(56±65)	5051(湾口)
8	22.7–28.5(25.1±1.7)	31.06–33.8(32.70±0.79)	0–77(20±22)	5151(湾口)
9	21.2–26.0(24.1±1.3)	29.48–33.45(32.48±1.19)	0–34(6±9)	5051(湾口)
10	15.5–18.3(17.3±0.7)	28.85–33.39(31.78±1.68)	0–20(5±6)	5151(湾口)
11	7.7–12.3(10.6±1.4)	27.51–33.21(30.09±1.87)	2–13(7±3)	6251(湾中)

*: 括号内为平均值±标准差 Mean±SD

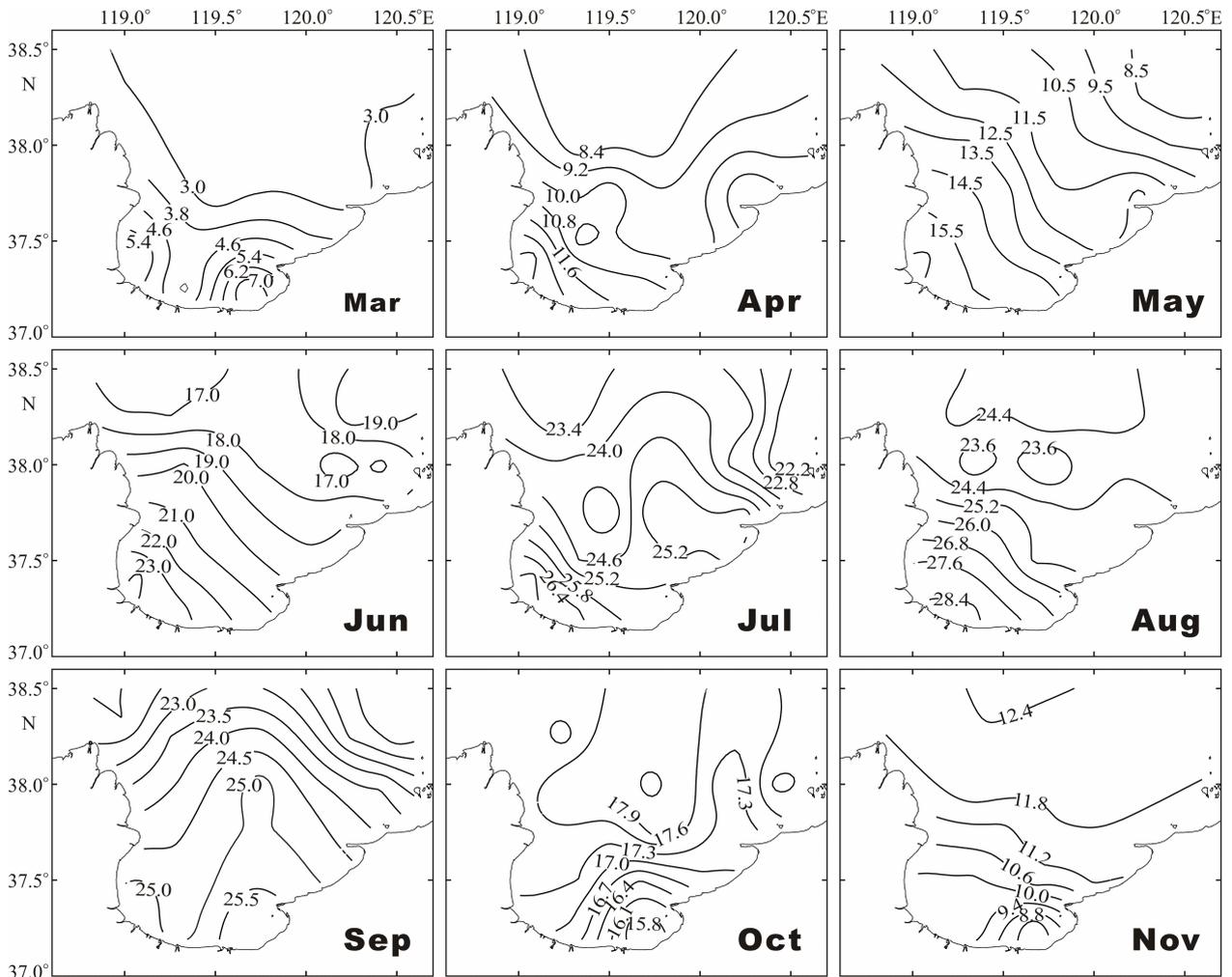


图 2 莱州湾 3–11 月表层温度(°C)水平分布

Fig.2 The horizontal distribution of surface temperature (°C) in Laizhou Bay from March to November

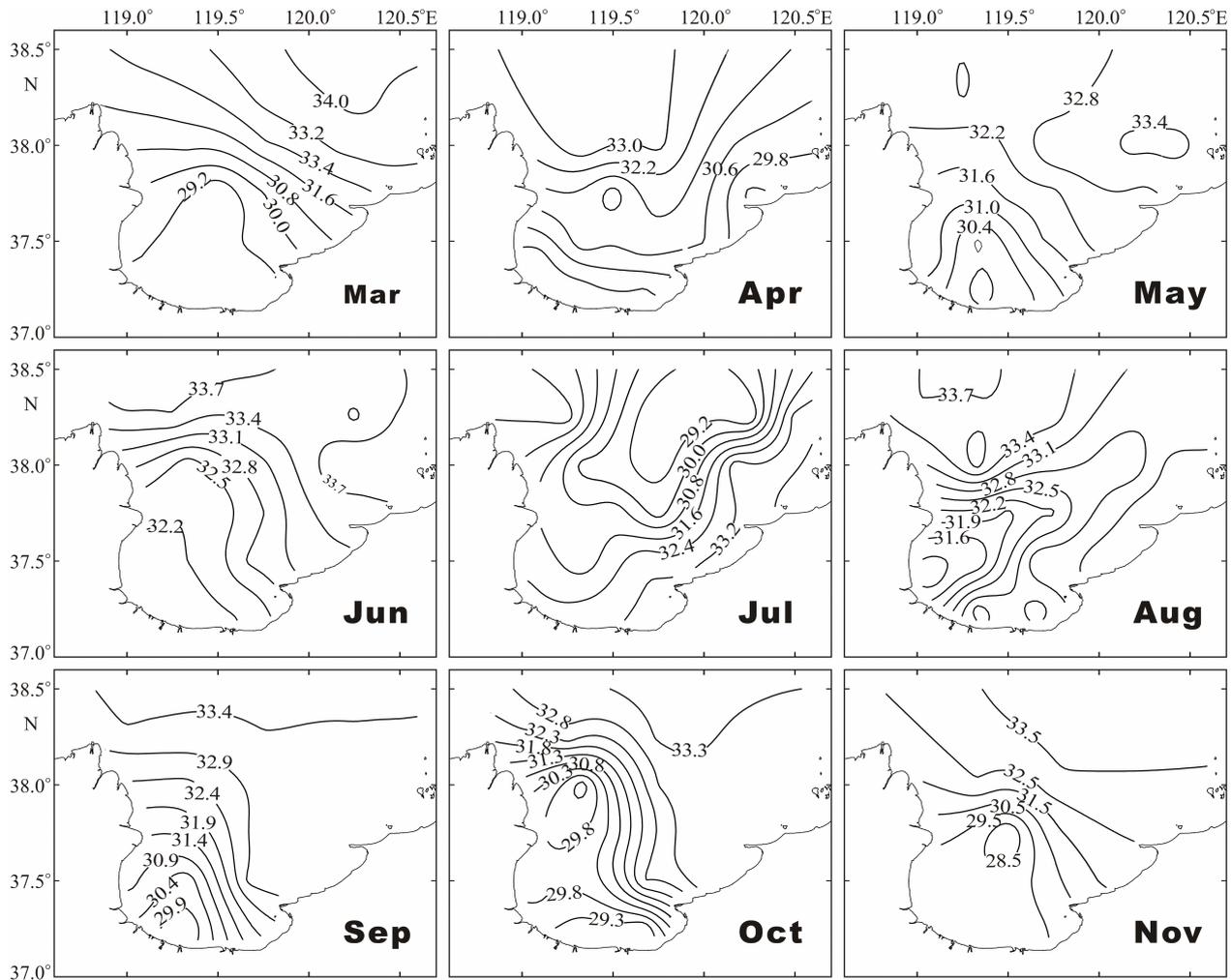


图3 莱州湾3-11月表层盐度水平分布

Fig.3 The horizontal distribution of surface salinity in Laizhou Bay from March to November

都有出现,透明壳种类出现在温度较高($>15^{\circ}\text{C}$)的6-10月。

有17个种在不同的月份成为优势种(表2)。各航次中不同优势种的最大丰度差别很大,运动类铃虫(*C. mobilis*)是5月的优势种之一,最大丰度可达到 489×10^3 个/ m^3 ; *Tintinnopsis* sp.1也是5月的优势种,其最大丰度仅有 50×10^3 个/ m^3 ;半旋拟铃虫(*T. hemispiralis*)在7-11月均为优势种,其最大丰度仅有 4×10^3 个/ m^3 。各优势种持续的时间不同,有的在很长的一段时间内一直为优势种,如运动类铃虫(*C. mobilis*)在除9月之外的其他月都是优势种,白领细壳虫(*S. nivalis*)在7-11月为优势种;有的仅在1个月为优势种,如尖底类瓮虫(*A. acuta*)和罗氏拟铃虫(*Tintinnopsis lohmanni*)仅在8月为优势种。各月优势种的种类数也有所变化,优势种类最多的是7、8月,各有10种;4月优势种最少,仅有2种。

主要优势种有运动类铃虫、白领细壳虫、根状拟

铃虫、妥肯丁拟铃虫和半旋拟铃虫(图4)。

2.3 砂壳纤毛虫总丰度和主要优势种丰度

3-11月莱州湾砂壳纤毛虫总丰度的变化范围是 $0-494 \times 10^3$ 个/ m^3 ,最大值出现在5月。各月砂壳纤毛虫平均丰度差异较大,最大值(63×10^3 个/ m^3)出现在5月,最小值(1×10^3 个/ m^3)出现在3月(表1)。

砂壳纤毛虫总丰度的水平分布存在明显的变化。3-5月砂壳纤毛虫总丰度的高值区主要分布在湾底近岸海区;6-10月砂壳纤毛虫总丰度的高值区分布在湾中及湾口,其中7月砂壳纤毛虫总丰度的水平分布较均匀,在湾底西南和东南的近岸海区也有次高值的出现;11月高值区位于湾中和湾底近岸海区(图5)。

各月优势种的丰度在总砂壳纤毛虫丰度中所占比例范围为62.69%(3月)-99.13%(5月),除3月外,其他月份均高于90%;主要优势种的丰度在总砂壳纤毛虫的丰度中所占比例范围为9.96%(3月)-98.14%(5月)

表 2 莱州湾 9 个航次中的砂壳纤毛虫种类、各种类的最大丰度和出现时间、各种类成为优势种的时间
Tab.2 Species list, the largest abundance, and dominant species of tintinnids in Laizhou Bay during nine cruises

透明壳 种类	黏着壳 种类	种名 Species	最大丰度 Largest abundance ($\times 10^3$ ind/m ³)	3 月 Mar.	4 月 Apr.	5 月 May	6 月 Jun.	7 月 Jul.	8 月 Aug.	9 月 Sep.	10 月 Oct.	11 月 Nov.
		尖底类瓮虫 <i>Amphorellopsis acuta</i>	29									*0.03△
		卢氏真铃虫 <i>Eutintinnus lusus-undae</i>	3	△								
		巴拿马网纹虫 <i>Favella panamensis</i>	4				*0.03△					
		鲁西塔尼亚类铃虫 <i>Codonellopsis lusitanica</i>	4					△				
		运动类铃虫 <i>Codonellopsis mobilis</i>	489	*0.05	*0.30	*0.98△	*0.38	*0.52	*0.05	*0.50	*0.18	
		诺氏薄铃虫 <i>Leprotintinnus nordqvisti</i>	<1					△				
		简单薄铃虫 <i>Leprotintinnus simplex</i>	8					*0.06△				
		白领细壳虫 <i>Stenosemella nivalis</i>	22					*0.11	*0.22△	*0.23	*0.29	*0.37
		百乐拟铃虫 <i>Tintinnopsis beroidea</i>	<1	△								
		巴西拟铃虫 <i>Tintinnopsis brasiliensis</i>	1	*0.04△								
		布氏拟铃虫 <i>Tintinnopsis butschlii</i>	1					△				
		清兰拟铃虫 <i>Tintinnopsis chinglanensis</i>	66					*0.09△	*0.10			
		有角拟铃虫 <i>Tintinnopsis corniger</i>	4					*0.02△		*0.03		
		河口拟铃虫 <i>Tintinnopsis estuariensis</i>	4						△			
		指状拟铃虫 <i>Tintinnopsis digita</i>	9					*0.04	*0.03△			*0.06
		直颈拟铃虫 <i>Tintinnopsis directa</i>	<1					△				
		半旋拟铃虫 <i>Tintinnopsis hemispiralis</i>	4							*0.03	*0.04	*0.26△
		日本拟铃虫 <i>Tintinnopsis japonica</i>	14		*0.22	*0.62△			*0.02			*0.03
		卡拉直克拟铃虫 <i>Tintinnopsis karajacensis</i>	<1	△								
		罗氏拟铃虫 <i>Tintinnopsis lohmanni</i>	6					△	*0.04			
		梅氏拟铃虫 <i>Tintinnopsis mayeri</i>	9									
		苍白拟铃虫 <i>Tintinnopsis pallida</i>	<1	△								
		细小拟铃虫 <i>Tintinnopsis parvula</i>	<1	△								
		根状拟铃虫 <i>Tintinnopsis radix</i>	29						*0.20	*0.06	*0.08	
		圆锥拟铃虫 <i>Tintinnopsis rapa</i>	<1	△								
		斯氏拟铃虫 <i>Tintinnopsis schotti</i>	25									*0.07△
		妥肯丁拟铃虫 <i>Tintinnopsis tocantinensis</i>	13						*0.15	*0.07△	*0.03	
		未定种 1 <i>Tintinnopsis</i> sp.1	50			*0.05	*0.28△					
		未定种 2 <i>Tintinnopsis</i> sp.2	15									*0.03△
		未定种 3 <i>Tintinnopsis</i> sp.3	4									△

注: *表示优势种, 后面的数字为优势度; △表示出现最大值
Note: *Dominant species and dominance degree; △Maximum value

(图 6)。因此优势种和主要优势种丰度的水平分布可以较好的反映总砂壳纤毛虫丰度的分布情况。运动类铃虫在 3-11 月的水平分布与砂壳纤毛虫总丰度的水平分布变化情况非常一致,其丰度的高值区在 3-5 月集中在近岸海区,在 6-10 月分布在湾中及湾口的远岸海区,在 11 月高值区回到湾底近岸海区(图 7)。白领细壳虫在 7 月的高值区集中在湾底西南近岸海区,随后高值区逐渐顺时针移动,8、9 月分布在湾口,10、11 月分布在湾底东南近岸海区,整体分布情况也与总丰度的高值区分布一致(图 8)。根状拟铃虫和妥肯丁拟铃虫的分布在 7-9 月从湾底逆时针向湾口移动(图 9、图 10)。半旋拟铃虫在 9-11 月的水平分布也从湾底逆时针向湾口移动(图 11)。

综合来看,7、8、9 月莱州湾砂壳纤毛虫的优势种类比较多,各优势种的丰度不大,分布较分散;3-6 月和 10-11 月砂壳纤毛虫的优势种类较少,优势种占总丰度的比例较大,分布或集中在湾底或集中在湾口,对总丰度的分布影响较大。

2.4 透明壳种类和河口拟铃虫的分布

调查中发现的透明壳种类有 3 种:尖底类瓮虫,

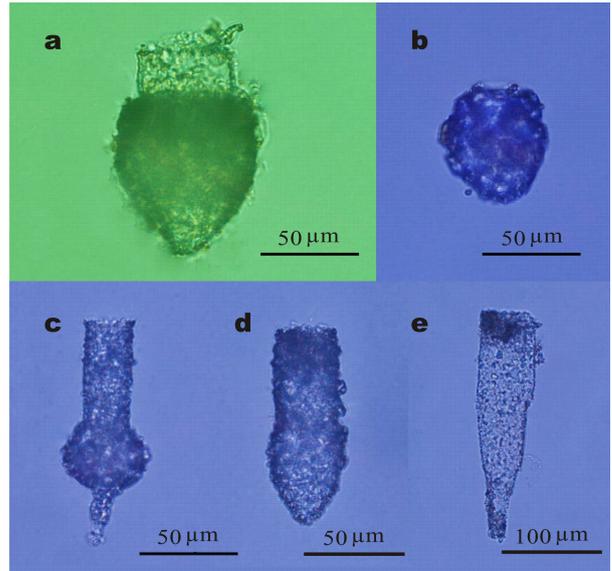


图 4 莱州湾的主要优势种
Fig.4 Main dominant species in Laizhou Bay

- a. 运动类铃虫; b. 白领细壳虫; c. 妥肯丁拟铃虫;
- d. 半旋拟铃虫; e. 根状拟铃虫
- a. *Codonellopsis mobilis*; b. *Stenosemella nivalis*; c. *Tintinnopsis tocantinensis*; d. *Tintinnopsis hemispiralis*; e. *Tintinnopsis radix*

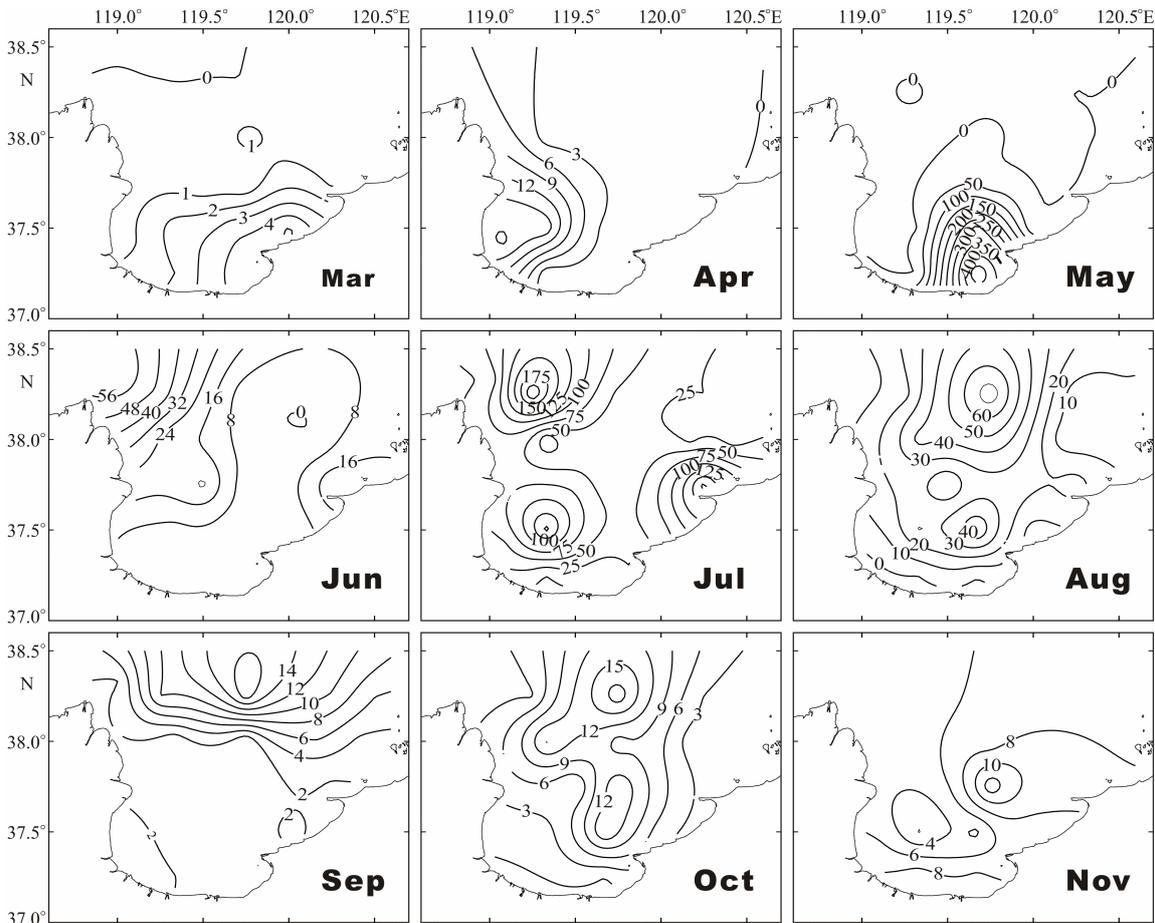


图 5 莱州湾 3-11 月砂壳纤毛虫总丰度($\times 10^3$ 个/ m^3)水平分布
Fig.5 The horizontal distribution of total tintinnid abundance ($\times 10^3$ ind/ m^3) in Laizhou Bay from March to November

巴拿马网纹虫和卢氏真铃虫。透明壳种类仅在 6–10 月出现, 其丰度的变化范围为 1×10^3 个/ m^3 (9 月、10 月)– 44×10^3 个/ m^3 (8 月), 主要分布在远岸海区, 近岸海区仅有少量分布(图 12)。

8 月发现河口拟铃虫(*Tintinnopsis estuariensis*), 出现该种类的站位的表层温度为 $23.1\text{--}25.6^\circ\text{C}$, 表层盐度为 $31.82\text{--}33.80$, 其丰度的变化范围为 $2\text{--}4 \times 10^3$ 个/ m^3 , 主要分布在湾底西南部有淡水注入的海区(图 13)。

3 讨论

3.1 砂壳纤毛虫的种类

本研究报道的 7 属 30 种砂壳纤毛虫中, 有 14 个是莱州湾海区新纪录种: 尖底类瓮虫(*A. acuta*)、鲁西塔尼亚类铃虫(*C. lusitanica*)、卢氏真铃虫(*E. lusus-undae*)、简单薄铃虫(*L. simplex*)、白领细壳虫(*S. nivalis*)、有角拟铃虫(*T. corniger*)、直径拟铃虫(*T. directa*)、河口拟铃虫(*T. estuariensis*)、半旋拟铃虫(*T. hemispiralis*)、梅氏拟铃虫(*T. mayeri*)、斯氏拟铃虫

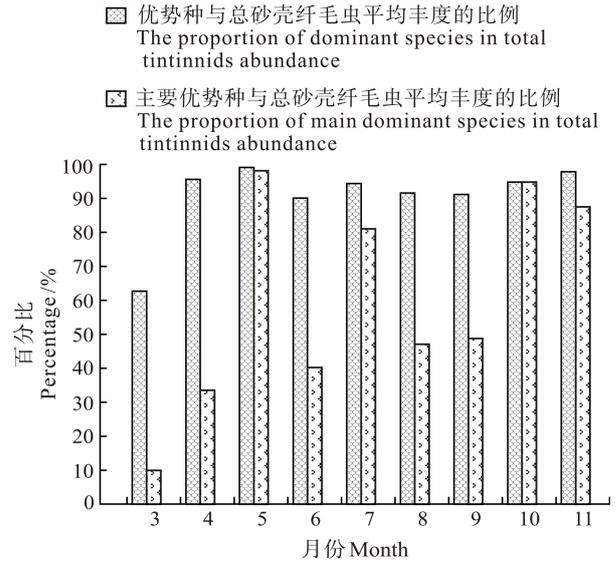


图 6 莱州湾 3–11 月总砂壳纤毛虫中优势种和主要优势种平均丰度所占的比例

Fig.6 The percentage of dominant species and main dominant species in total tintinnids abundance in Laizhou Bay from March to November

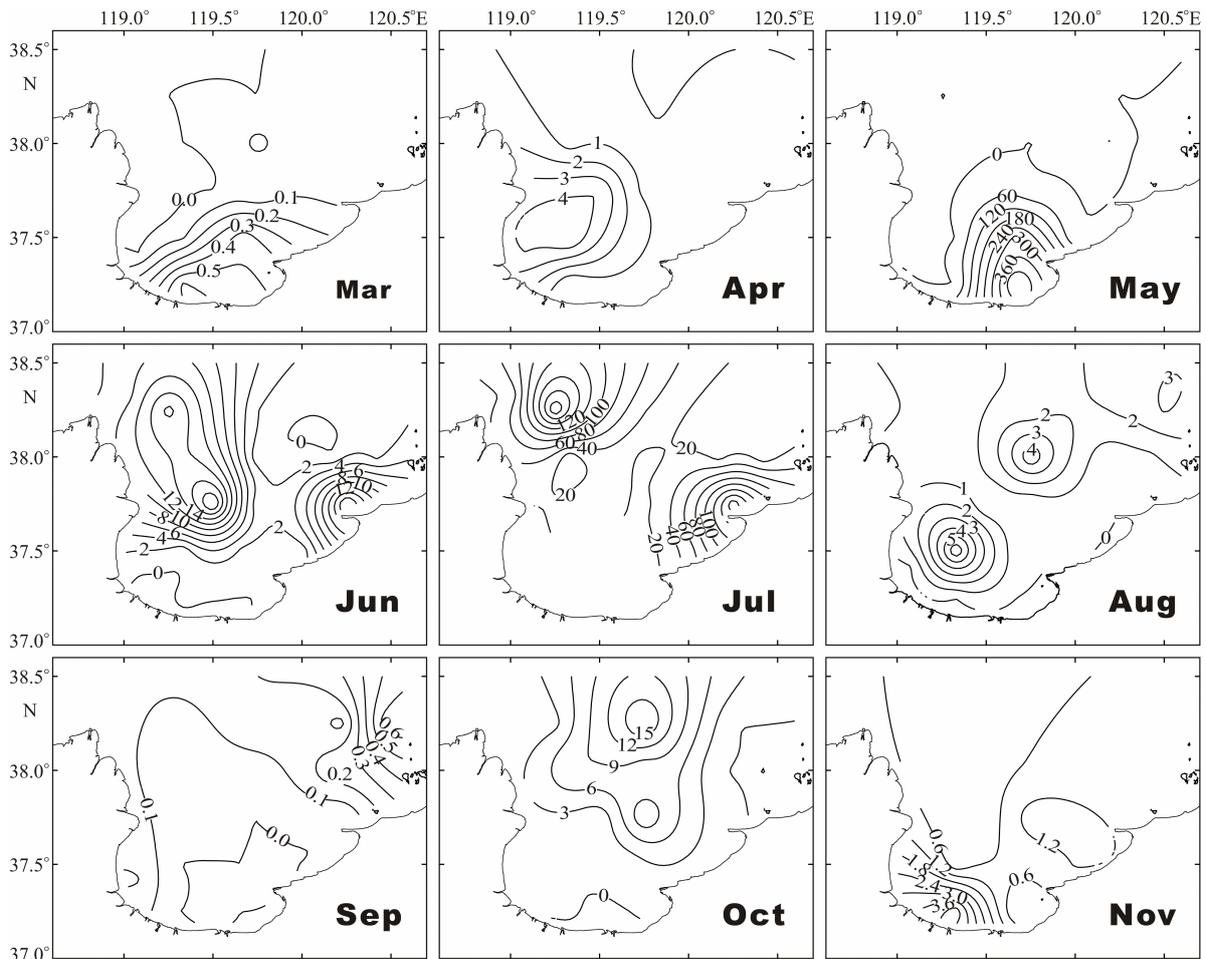


图 7 莱州湾 3–11 月砂壳纤毛虫主要优势种: 运动类铃虫丰度($\times 10^3$ 个/ m^3)水平分布

Fig.7 The horizontal distribution of main dominant species: *Codonellopsis mobilis* ($\times 10^3$ ind/ m^3) in Laizhou Bay from March to November

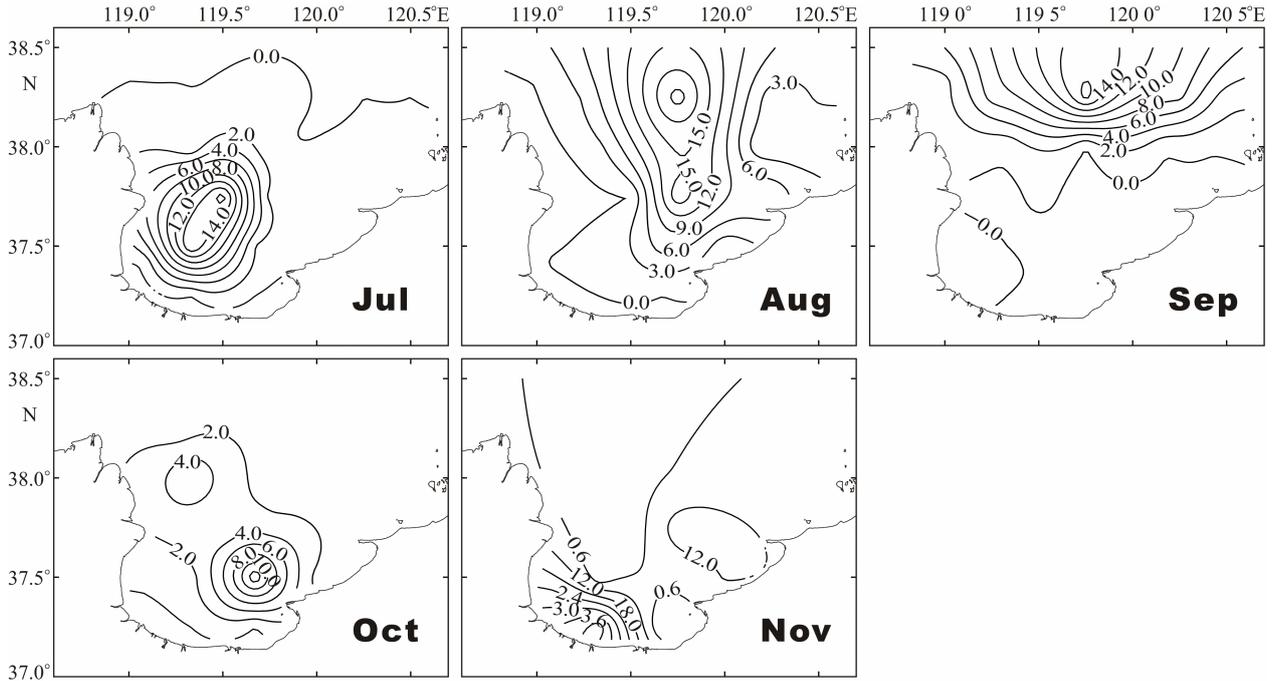


图8 莱州湾7-11月砂壳纤毛虫主要优势种：白领细壳虫丰度($\times 10^3$ 个/ m^3)水平分布
 Fig.8 The horizontal distribution of main dominant species: *Stenosemella nivalis* ($\times 10^3$ ind/ m^3) in Laizhou Bay from July to November

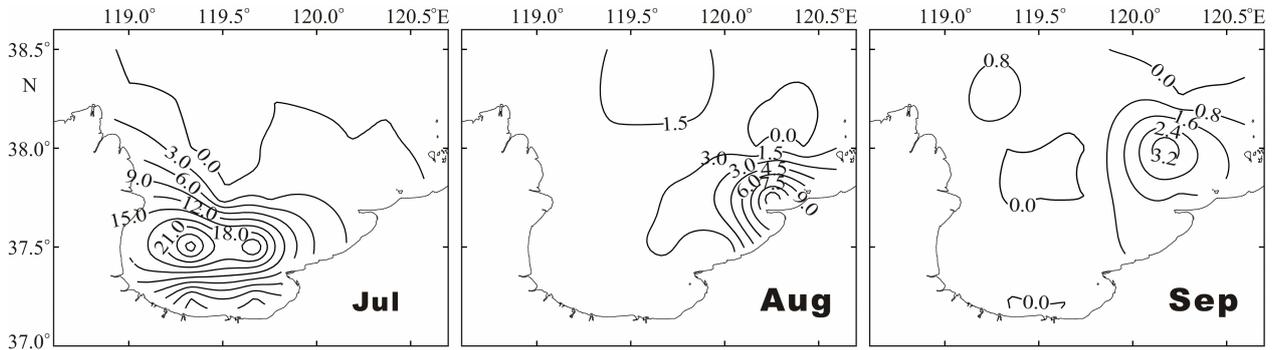


图9 莱州湾7-9月砂壳纤毛虫主要优势种：根状拟铃虫丰度($\times 10^3$ 个/ m^3)水平分布
 Fig.9 The horizontal distribution of main dominant species: *Tintinnopsis radix* ($\times 10^3$ ind/ m^3) in Laizhou Bay from July to September

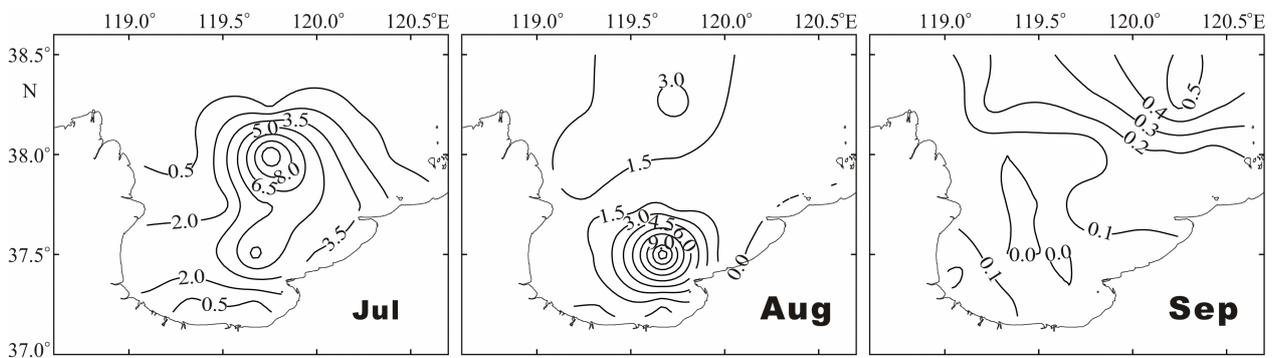


图10 莱州湾7-9月砂壳纤毛虫主要优势种：妥肯丁拟铃虫丰度($\times 10^3$ 个/ m^3)水平分布
 Fig.10 The horizontal distribution of main dominant species: *Tintinnopsis tocantinensis* ($\times 10^3$ ind/ m^3) in Laizhou Bay from July to September

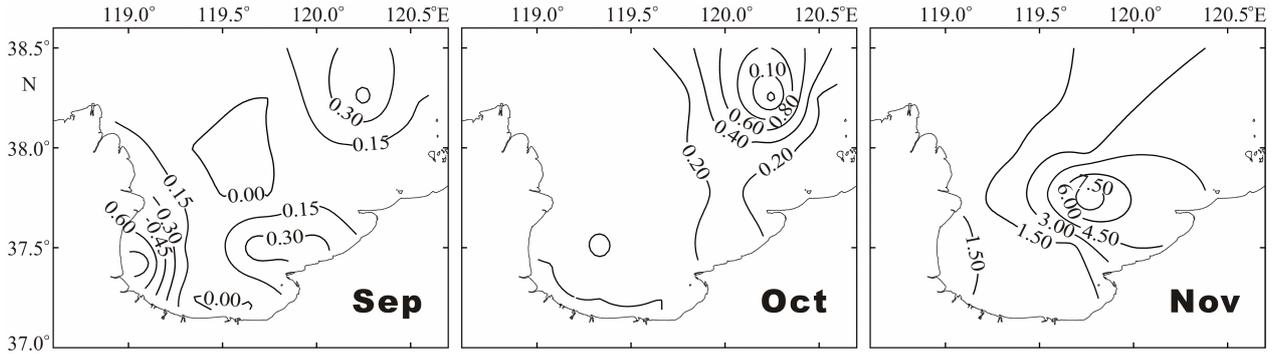


图 11 莱州湾 9-11 月砂壳纤毛虫主要优势种: 半旋拟铃虫丰度($\times 10^3$ 个/ m^3)水平分布

Fig.11 The horizontal distribution of main dominant species: *Tintinnopsis hemispiralis* ($\times 10^3$ ind/ m^3) in Laizhou Bay from September to November

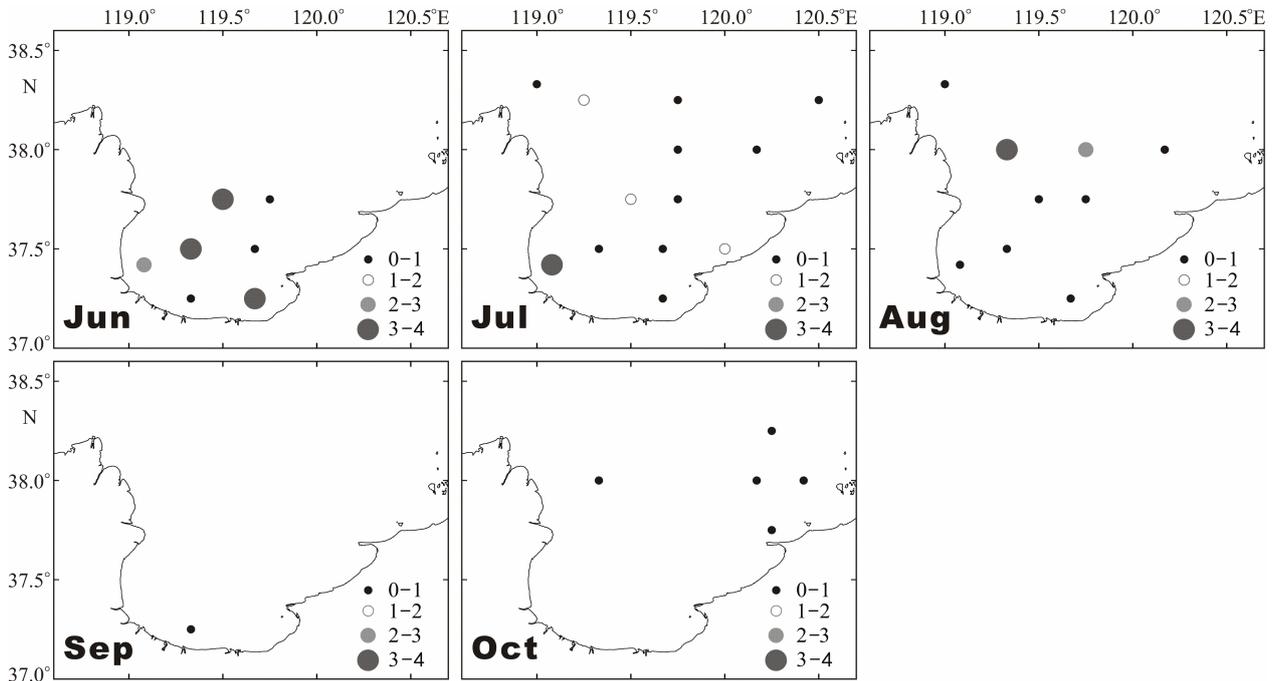


图 12 2011 年 6-10 月透明壳纤毛虫丰度($\times 10^3$ 个/ m^3)的水平分布

Fig.12 The horizontal distribution of hyaline tintinnid abundances ($\times 10^3$ ind/ m^3) in 2011 from June to October

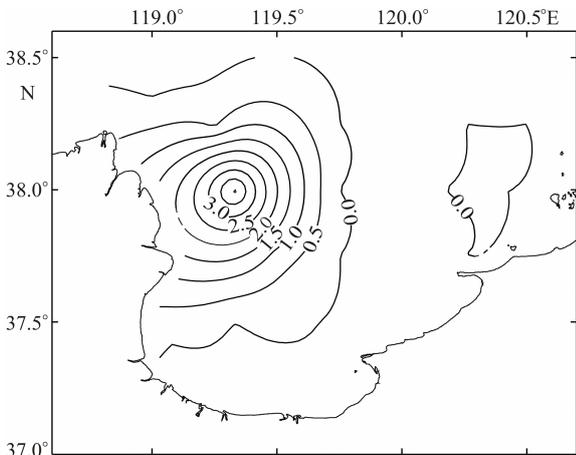


图 13 2011 年 8 月河口拟铃虫丰度($\times 10^3$ 个/ m^3)的水平分布

Fig.13 The horizontal distribution of *T. estuariensis* abundance ($\times 10^3$ ind/ m^3) in August, 2011

(*T. schotti*)以及 3 个未鉴定到种的拟铃虫属砂壳纤毛虫 (*Tintinnopsis* sp.1, *Tintinnopsis* sp.2, *Tintinnopsis* sp.3)。发现较多新纪录种类的原因可能有两个, 第一, 用浅海 III 型网由底层拖至表层采集样品, 比仅采集水样的方法得到更大体积海水中的砂壳纤毛虫, 采集到丰度较低的种类; 第二, 采样分 9 个航次, 采样时间较为连续, 因此可以采集到一些季节性发生的种类。

Dolan 等(2013)根据 Pierce & Turner(1993)研究的全球砂壳纤毛虫生物地理学, 将砂壳纤毛虫分为 5 种分布类型: 广布型(cosmopolitan)、近岸浅海型(neritic)、北半球型(boreal)、南半球型(austral)、暖水型(warm water)。本研究报道的 7 个属中, 拟铃虫属(*Tintinnopsis*)、领细壳虫属(*Stenosemella*)、薄铃虫属(*Leprotintinnus*)和网纹虫属(*Favella*)为近岸浅海型;

类铃虫属(*Codonellopsis*)、类瓮虫属(*Amphorellopsis*)和真铃虫属(*Eutintinnus*)为广布型。

莱州湾属于典型的近岸浅海海域,砂壳纤毛虫多数为黏着壳种类。黏着壳种类多在近岸浅海分布,与近岸浅海水体中含有其形成黏着壳所需的微型矿物质颗粒有关(Dolan *et al.*, 2013)。

3.2 砂壳纤毛虫的水平分布

纤毛虫丰度和生物量一般在饵料丰富、生产力高的海区较高。在温带海湾及河口区一般表现为近岸高于远岸,如西北太平洋的 Hiroshima Bay(Kamiyama *et al.*, 2003)及胶州湾(Chen *et al.*, 2009)纤毛虫丰度在湾底比湾口高。在本研究中,砂壳纤毛虫的水平分布在不同的时间呈现不同的特点:3-5月砂壳纤毛虫总丰度在湾底较高,向湾口递减;6-11月砂壳纤毛虫总丰度在湾中及湾口分布比较集中,湾底近岸海区分布较少。

纤毛虫的水平分布可能受到非生物(温度、盐度)和生物(如浮游植物、鞭毛虫、腰鞭毛虫、细菌及蓝细菌等饵料和桡足类等摄食者)两大因素的影响(于莹, 2013)¹⁾。首先,砂壳纤毛虫呈现的分布特点可能受莱州湾水文环境变化的影响。从表层温度和盐度的水平分布看,莱州湾湾底和湾口存在明显的温度和盐度梯度,各月份砂壳纤毛虫丰度较大的区域温度、盐度比较相似,温度大约为 18-24℃,盐度大约为 31-33。这个结果显示砂壳纤毛虫对温度和盐度有一定的适应范围。其次,纤毛虫饵料的可利用性可能影响了莱州湾砂壳纤毛虫的分布规律。有研究表明,纤毛虫丰度的水平分布常与浮游植物(Chl *a*)、细菌等饵料的水平分布一致,这是由于纤毛虫与浮游植物、细菌等之间摄食和被摄食的营养关系较为紧密(Montagnes *et al.*, 2012)。由于本研究缺少 Chl *a*、细菌等饵料的资料,因此无法用数据验证。

3.3 砂壳纤毛虫与渔业资源

在海洋食物网中,海洋浮游纤毛虫可以充分利用难以被桡足类和仔鱼等利用的 pico-级和 nano-级初级生产力(Sherr *et al.*, 1987; Kamiyama, 1994),然后再被桡足类和仔鱼等摄食(Stoecker *et al.*, 1990; Kleppel, 1993),因此是联系微食物环和后生动物的重要环节(Sherr *et al.*, 1986; Pierce *et al.*, 1992)。与本研究同期进行调查所得到的鱼类群落营养结构显示,莱州湾海域 7-10 月间浮游动物食性鱼类所占比例较高,且糠虾类和桡足类是莱州湾主要的浮游动物饵料(张波等,

2013)。本研究中砂壳纤毛虫在 6-9 月丰度较高且分布广泛,与同期调查所得桡足类的峰值出现时间和水平分布基本吻合(左涛,未发表数据),因此砂壳纤毛虫生物量可能通过被桡足类等中型浮游动物摄食从而传递到渔业资源生物。

目前已有大量研究在鱼类仔鱼和稚鱼的肠道内发现砂壳纤毛虫,证明砂壳纤毛虫是仔鱼和稚鱼的开口饵料(Dolan *et al.*, 2013)。实验室内用砂壳纤毛虫喂养仔鱼证明了用砂壳纤毛虫代替桡足类作为仔鱼的开口饵料,可以有效提高仔鱼(尤其是口较小的仔鱼)的成活率。例如 Nagano 等(2000)用不同浓度的尖底类瓮虫培养刺尾鱼(Surgeonfish, 热带鱼的一种)仔鱼,结果发现用高密度的尖底类瓮虫培养的刺尾鱼仔鱼成活率较高,且在其肠道内可检测到尖底类瓮虫的壳。由此可见,砂壳纤毛虫在仔鱼成功实现内-外源营养转换以及资源早期补充中有着重要的作用。本研究没有检查仔稚鱼的肠道的资料,也没有仔稚鱼分布的资料,因此提供的资料仅供渔业资源评估参考。

3.4 河口拟铃虫

河口拟铃虫(*Tintinnopsis estuariensis*)是首先在长江口海域发现的砂壳纤毛虫新种(Zhang *et al.*, 2014)。张武昌等(2014)报道该种在长江口出现的时间为 5 月、9 月和 11 月,而莱州湾河口拟铃虫出现在 8 月。本调查中出现该种时的表层温度范围(23.1-25.6℃)在长江口海域报道的范围(14-27℃)之内,表层盐度(31.82-33.80)高于长江口(3.9-29.8)出现站位,最大丰度(4×10^3 个/ m^3)则明显低于长江口的研究结果(9 月, 32×10^3 个/ m^3)。本调查中出现该种时的最高盐度高于在长江口海区出现时的最高盐度,表明该种可适应的最高盐度大于之前的报道结果。

参 考 文 献

- 金显仕, 邓景耀. 莱州湾渔业资源群落结构和生物多样性的变化. 生物多样性, 2000, 8(1): 65-72
- 宋秀凯, 刘爱英, 杨艳艳, 等. 莱州湾鱼卵、仔稚鱼数量分布及其与环境因子相关关系研究. 海洋与湖沼, 2010, 41(3): 378-385
- 徐兆礼, 陈亚瞿. 东黄海秋季浮游动物优势种聚集强度与鲈鳕渔场的关系. 生态学杂志, 1989, 4: 13-15
- 张波, 吴强, 金显仕. 莱州湾鱼类群落的营养结构及其变化. 渔业科学进展, 2013, 34(2): 1-9
- 张武昌, 王荣. 1997年7月一航次中莱州湾自由生纤毛虫和桡足类幼虫的丰度. 海洋科学, 2002, 26(9): 20-21

1) 于莹. 我国海区浮游纤毛虫的时空分布. 2013. 中国科学院大学博士学位论文, 14-15

- 张武昌, 丰美萍, 于莹, 等. 砂壳纤毛虫图谱. 2012. 北京: 科学出版社, 1–488
- Azam F, Fenchel T, Field JG, *et al.* The ecological role of water column microbes in the sea. *Mar Ecol Prog Ser*, 1983, 10(3): 257–263
- Chen YH, Yang YF. Characteristics of the microzooplankton community in Jiaozhou Bay, Qingdao, China. *Chin J Oceanol Limn*, 2009, 27: 435–442
- Dale T, Dahl E. Mass occurrence of planktonic oligotrichous ciliates in a bay in southern Norway. *J Plankton Res*, 1987, 9(5): 871–879
- Dolan JR, Montagnes DJ, Agatha S, *et al.* The biology and ecology of tintinnid ciliates: models for marine plankton. 2013, UK: Wiley-Blackwell, 123–133
- Govoni JJ, Chester AJ. Diet composition of larval *Leiostomus xanthurus* in and about the Mississippi River plume. *J Plankton Res*, 1990, 12(4): 819–830
- Jenkins GP. Comparative diets, prey selection, and predatory impact of co-occurring larvae of two flounder species. *J Exp Mar Biol Ecol*, 1987, 110(2): 147–170
- Kamiyama T. The impact of grazing by microzooplankton in northern Hiroshima Bay, the Seto Inland Seam, Japan. *Mar Biol*, 1994, 119(1): 77–88
- Kamiyama T, Arima S, Tsujino M. Characteristics of the distribution of bacteria, heterotrophic nanoflagellates and ciliates in Hiroshima Bay in summer. *Fisheries Sci*, 2003, 69(4): 755–766
- Kleppel GS. On the diets of calanoid copepods. *Mar Ecol Prog Ser*, 1993, 99: 183–195
- Kofoed CA, Campbell AS. A conspectus of the marine and fresh-water Ciliata belonging to the suborder Tintinnoinea: with descriptions of new species principally from the Agassiz expedition to the eastern tropical Pacific 1904–1905. *Univ Calif Publ Zool*, 1929, 43: 1–403
- Kofoed CA, Campbell AS. The Ciliata: the Tintinnoinea. Reports on the scientific results of the expedition to the Eastern Tropical Pacific 1904–1905. Harvard: Bull Museum Comp Zool, 1939, 84: 1–473
- Lebour MV. The food of post-larval fish. *J Mar Biol Ass U K*, 1918, 11(4), 433–469
- Montagnes DJS, Allen J, Brown L, *et al.* Role of ciliates and other microzooplankton in the Irminger Sea (NW Atlantic Ocean). *Mar Ecol Prog Ser*, 2010, 411: 101–115
- Nagano N, Iwatsuki Y, Kamiyama T, *et al.* Effects of marine ciliates on survivability of the first-feeding larval surgeonfish, *Paracanthurus hepatus*: laboratory rearing experiments. *Hydrobiologia*, 2000, 432(1–3): 149–157
- Pierce RW, Turner JT. Ecology of planktonic ciliates in marine food webs. *Rev Aquat Sci*, 1992, 6: 139–181
- Sherr EB, Sherr BF. High rates of consumption of bacteria by pelagic ciliates. *Nature*, 1987, 325(6106): 710–711
- Sherr EB, Sherr BF, Fallon RD, *et al.* Small, aloricate ciliates as a major component of the marine heterotrophic nanoplankton. *Limnol Oceanogr*, 1986, 31: 177–183
- Stoecker DK, Capuzzo JM. Predation on protozoa: its importance to zooplankton. *J Plankton Res*, 1990, 12(5): 891–908
- Verity PG. Abundance, community composition, size distribution, and production rates of tintinnids in Narragansett Bay, Rhode Island. *Estuar Coast Shelf S*, 1987, 24(5): 671–690
- Watson W, Davis RL Jr. Larval fish diets in shallow coastal waters off San Onofre, California. *Fish Bull USA*, 1989, 87(3): 569–591
- Zhang WC, Wang R. Summertime ciliate and copepod nauplii distributions and microzooplankton herbivorous activity in the Laizhou Bay, Bohai Sea, China. *Estuar Coast Shelf S*, 2000, 51(1): 103–114
- Zhang WC, Feng MP, YuY, *et al.* A new tintinnid ciliate (Ciliophora: Spirotrichea) from Yangtze River Estuary, with notes on its habitat. *Zoological Systematics*, 2014, 39(3): 372–379

The Horizontal Distribution of Dominant Large Tintinnid (Ciliophora, Tintinnida) in Laizhou Bay

CHEN Xue^{1,3}, WU Qiang², LUAN Qingshan², ZHANG Wuchang^{1①}, XU Jianhong¹, XIAO Tian¹

(1. Key Laboratory of Marine Ecology and Environmental Sciences, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071; 2. Key Laboratory of Sustainable Development of Marine Fisheries, Ministry of Agriculture, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Qingdao 266071; 3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049)

Abstract Tintinnid is one of the major species of microzooplankton, and it has been suggested to be the food source of the first-feeding fish larvae in the marine environment. We studied a large number of large tintinnid in Laizhou Bay during 9 cruises from May to November in 2011 and from March to April in 2012. The study on the horizontal distribution of large tintinnids in Laizhou Bay from March to November enriched the basic data for the development and utilization of fish resources in Laizhou Bay. The total abundance of tintinnid was higher in the inner bay than in the outer bay from March to May. Most tintinnids concentrated in the inner or outer bay from June to November. The temperature and salinity related to the largest tintinnid abundance remained stable in different months, which suggested that tintinnid might be adapted to different temperatures and salinities within a certain range. The distribution of tintinnid in June was consistent with the distribution of fish eggs and larvae, which indicated that tintinnid was the seasonally advantageous for the first-feeding fish larvae as a food source. The richness of tintinnid species ranged from 5 to 20. A total of 17 species were identified as dominant species in the 9 different months. The maximum abundance of *Codonellopsis mobilis*, a dominant species, was 489×10^3 ind/m³ in May, but the maximum abundance of another dominant species, *Tintinnopsis hemispiralis*, was only 4×10^3 ind/m³ in November. The richness of the dominant species ranged from 2 (in April) to 10 (in July and August). In July and August, the abundances of dominant species were small, and the tintinnids were distributed. In other months, a large proportion of dominant species abundance concentrated in the inner or outer bay, and it dramatically affected the total abundance. *C. mobilis*, *Stenosemella nivalis*, *Tintinnopsis radix*, *Tintinnopsis tocantinensis*, and *T. hemispiralis* were the major dominant species that had been dominant for at least 3 months consecutively. *Tintinnopsis estuariensis* was found in August which appeared nearby the Yellow River estuary, although the salinity was higher than the previous records. It was a newly recorded species.

Key words Tintinnid; Dominant species; Horizontal distribution; Laizhou Bay

① Corresponding author: ZHANG Wuchang, E-mail: wuchangzhang@163.com