

厦门港表层水体磷周转的生物学过程 : 桡足类对浮游植物的摄食压力*

杨位迪¹ 杨青¹ 林元烧^{1,2,*} 曹文清¹

(¹厦门大学海洋与环境学院, 福建厦门 361005; ²近海海洋环境科学国家重点实验室, 福建厦门 361005)

摘要 为了解桡足类在磷的生物地球化学循环中的作用,于2005年5、8、11月和2006年3月分别在厦门时间序列站(XMTS)采用肠道色素法,研究了桡足类对浮游植物的现场摄食率,同步分析了桡足类的种类组成和数量变化,进而得到桡足类群体对浮游植物的摄食率.结果表明:厦门港桡足类对浮游植物的年平均摄食率为 $55.53 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$;其中秋季最高,为 $108.98 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$,夏季最低,为 $7.18 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$.根据试验数据估算,厦门港桡足类对浮游植物现存量的摄食压力四季平均为1.81%,春、夏、秋、冬分别为3.22%、0.06%、3.52%和0.46%.

关键词 桡足类 摄食 肠道色素法 厦门港

文章编号 1001-9332(2008)12-2774-05 **中图分类号** Q958.88 **文献标识码** A

Biological process of phosphorus turnover in surface water body of Xiamen Harbor : Grazing pressure of copepod on phytoplankton. YANG Wei-di¹, YANG Qing¹, LIN Yuan-shao^{1,2}, CAO Wen-qing¹ (¹College of Oceanography and Environment Science, Xiamen University, Xiamen 361005, Fujian, China; ²State Key Laboratory of Marine Environmental Science, Xiamen 361005, Fujian, China). *Chin. J. Appl. Ecol.*, 2008, 19(12): 2774-2778.

Abstract: To understand the roles of copepod in the biogeochemical cycling of phosphorus, gut fluorescence method was applied to examine *in situ* the grazing rate of copepod on the phytoplankton in Xiamen Time Station (XMTS) in May, August and November 2005 and March 2006. In the meanwhile, the abundance and species composition of copepod were investigated, and the grazing pressure of copepod on the phytoplankton was estimated. The results showed that the annual average grazing rate of copepod was $55.53 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$, being the highest ($108.98 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$) in autumn and the lowest ($7.18 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$) in summer. Based on the estimation from our experimental data, the daily grazing rate of copepod populations on the phytoplankton in Xiamen Harbor was, on annual average, about 1.81% of the phytoplankton's standing stock, with the values in spring, summer, autumn, and winter being 3.22%, 0.06%, 3.52% and 0.46%, respectively.

Key words: copepod; grazing; gut pigment method; Xiamen Harbor

海洋浮游动物在海洋生态系统能流、物流中起着承上启下的作用,其种类分布和数量变动一直备受关注.海洋浮游桡足类,作为浮游动物的一个重要类群,其种类多、数量大、分布广,繁殖盛季往往超过其他种类而在浮游动物中占据优势^[1];而且浮游桡足类是海洋食物网的一个重要环节,“浮游植物—桡足类—鱼类”一直被认为是水层中的经典食物链模式.因此,探讨桡足类对浮游植物的摄食压力,对于了解浮游动物在海洋生态系统中的功能和地位具有

重要意义.

目前研究浮游动物摄食的主要方法有:肠道色素法、饵料浓度差减法、色素收支法及稀释法^[2],其中肠道色素法在研究桡足类现场摄食率方面比较成功,因而受到推崇.王荣等^[3]、李超伦^[4]分别在中国东海及莱州湾、潍河口等水域,应用肠道色素法研究了桡足类群体对浮游植物的摄食压力,均得到了较好的结果.本文在分析厦门港周年浮游动物及其优势类群——桡足类的组成和生物量变动的基础上,应用肠道色素法估算了厦门港桡足类群体对浮游植物的摄食压力,旨在为进一步研究沿岸海域磷在浮游植物和浮游动物之间的转化和传递效率提供科学依据.

*国家自然科学基金资助项目(40376021).

**通讯作者. E-mail: yslin@xmu.edu.cn

2008-03-12收稿,2008-09-22接受.

1 材料与方法

1.1 样品采集

分别于 2005 年 5、8、11 月和 2006 年 3 月 (各代表春、夏、秋、冬季 4 个季节) 在位于九龙江径流与厦门西港南端潮流交汇区的厦门时间序列站 (XMTS, 24°25.61' N, 118°04.96' E) 进行周年四季调查。采用浅水浮游生物型和型网分别由底层至表层垂直拖网, 拖曳时速约 $0.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。样品于现场保存于 5% 福尔马林海水溶液中。型网采集的样品用作浮游动物定性分析, 型网用作定量分析。实验室内进行种类鉴定和计数, 浮游动物丰度用 $\text{ind} \cdot \text{m}^{-3}$ 表示, 生物量 (含水母类和被囊类) 用湿生物量 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 表示。

采样期间, 同步测定表层水的温度、盐度及叶绿素 a 浓度等。测定方法根据海洋调查有关规程进行。

1.2 肠道色素含量 (G) 分析

于上述时间、站位采用浅水浮游生物型和型网另行垂直采样, 拖网速度 $< 0.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 拖网结束时不冲洗网具。收集网底管中所有浮游动物后, 立即用 $177 \mu\text{m}$ 孔径的筛绢过滤, 置于冻存管内, 铝箔包裹, 液氮保存。此样品用于桡足类肠道色素含量 (脱镁叶绿素 a 和叶绿素 a 之和) 的分析。

肠道色素含量的分析和测定参考 Harris 等^[5] 和李超伦等^[6] 的方法。主要过程如下: 实验室内解冻样品, 快速漂洗到培养皿中, 在暗光条件下用体视显微镜挑取本航次数量较多的桡足类各 30~50 只作为一个样品, 每种桡足类设 3 个平行样。用荧光分光光度计 (岛津 RF-5301PC 型) 测定桡足类样品叶绿素 a 和脱镁叶绿素 a 的含量, 参照王荣^[7] 的计算方法, 得到每种桡足类肠道色素含量 G ($\text{ng} \cdot \text{ind}^{-1}$)。

1.3 摄食压力计算

$$I_i = G_i \cdot r; I_{pi} = I_i \cdot A_i; I_c = \sum_{i=1}^n I_{pi} \cdot \frac{A_c}{A_i}$$

式中: I_i 为第 i 种桡足类的个体摄食率; G_i 为第 i 种桡足类的个体肠道色素含量; r 为桡足类肠道排空率, 数据引用自李超伦等^[8] 在黄、东海区浮游桡足类摄食研究结果, 取其平均值 (0.025 min^{-1}); I_{pi} 为第 i 种桡足类的种群摄食率; A_i 为第 i 种桡足类的丰度; I_c 为桡足类的群体摄食率; A_c 为桡足类总丰度。

2 结果与分析

2.1 厦门港表层水体主要环境参数

周年调查期间, 厦门港表层水温变化范围为

表 1 XM TS 测站表层水体主要环境参数

Tab 1 Main environmental parameters in surface water body in XM TS

采样时间 Sampling time	水深 Water depth (m)	表层水温 Surface water temperature ($^{\circ}\text{C}$)	表层盐度 Surface water salinity	表层叶绿素 a Surface water Chl-a ($\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)
2005-05	24	25.0	25.5	3.02
2005-08	28	27.0	30.0	11.26
2005-11	22	21.0	-	3.10
2006-03	22	16.0	29.0	1.90

16.0~27.0 $^{\circ}\text{C}$, 表层盐度变化范围为 25.5~30.0, 表层叶绿素 a 含量变化范围为 1.90~11.26 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ (表 1)。

2.2 厦门港浮游动物组成及桡足类优势种季节变化

厦门港浮游动物生物量年平均 398.11 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$, 变化范围 111.88~925.63 $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$, 秋季最高, 冬季最低; 丰度年平均 4 229 $\text{ind} \cdot \text{m}^{-3}$, 变化范围在 1 486~8 278 $\text{ind} \cdot \text{m}^{-3}$, 变化趋势与生物量相同。周年各季节浮游动物种类组成均以桡足类为主, 丰度百分比平均为 75.7%, 范围在 57.2%~89.6%; 四季桡足类丰度 (春、夏、秋、冬) 分别为 3 960、1 414、7 041 和 850 $\text{ind} \cdot \text{m}^{-3}$, 平均为 3 316 $\text{ind} \cdot \text{m}^{-3}$ (图 1)。

从表 2 可以看出, 厦门矮隆哲水蚤 (*Bestiolina anoyensis*)、强额孔雀哲水蚤 (*Pavocalanus crassirostris*)、小拟哲水蚤 (*Paracalanus parvus*)、太平洋纺锤水蚤 (*Acartia pacifica*)、真刺唇角水蚤 (*Labidocera euchaeta*)、瘦尾胸刺水蚤 (*Centropages tenuirostris*) 等为本海区的优势浮游桡足类 ($Y > 0.02$)。其中冬、春季以小拟哲水蚤、太平洋纺锤水蚤为主; 夏、秋季以强额孔雀哲水蚤、厦门矮隆哲水蚤为主。

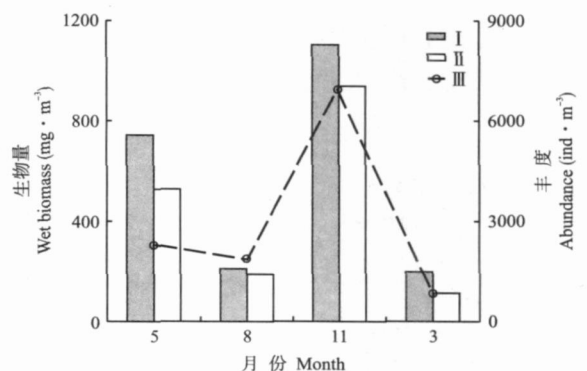


图 1 浮游动物总生物量、总丰度和桡足类丰度的季节变化
Fig 1 Seasonal variation of zooplankton biomass, abundance and copepod abundance

□: 浮游动物总丰度 Abundance of zooplankton; ○: 桡足类丰度 Copepod abundance; ▒: 浮游动物总生物量 Wet biomass of zooplankton

表 2 厦门港桡足类优势种的优势度 (Y) 比较
Tab 2 Comparison of dominance (Y) of dominant copepod species in Xiamen Harbor

优势种 Dominant species	采样时间 Sampling time			
	2005-05	2005-08	2005-11	2006-03
强额孔雀哲水蚤 <i>Pavocalanus crassirostris</i>	0.04	0.46	0.26	-
厦门矮隆哲水蚤 <i>Bestiolina amoyensis</i>	+	0.18	0.44	-
瘦尾胸刺水蚤 <i>Centropages tenuiremis</i>	0.05	+	+	0.08
驼背隆哲水蚤 <i>Acrocalanus gibber</i>	+	0.08	-	-
小拟哲水蚤 <i>Paracalanus parvus</i>	0.29	-	-	0.23
真刺唇角水蚤 <i>Labidocera euchaeta</i>	+	0.04	0.03	+
针刺拟哲水蚤 <i>P. aculeatus</i>	-	-	0.05	-
太平洋纺锤水蚤 <i>Acartia pacifica</i>	0.14	0.03	+	0.11
中华哲水蚤 <i>Calanus sinicus</i>	-	-	-	0.02
筒长腹剑水蚤 <i>Oithona simplex</i>	+	+	0.03	+
细长腹剑水蚤 <i>O. attenuata</i>	0.06	0.02	-	+
绿大眼剑水蚤 <i>Corycaeus virens</i>	0.03	+	+	-
平大眼剑水蚤 <i>C. dahlī</i>	-	-	-	0.03
拟长腹剑水蚤 <i>O. similis</i>	-	-	-	0.05
尖额谐猛水蚤 <i>Euterpina acutifrons</i>	0.05	+	+	-

+: $Y < 0.02$; -: 未出现 No occurring

2.3 厦门港桡足类肠道色素含量

挑拣保存于液氮罐中的桡足类,根据桡足类个体数量情况,分别测定了 10 种主要桡足类肠道色素含量 ($G, n = 30 \sim 50$),结果如表 3 所示.从中可以看出,这 10 种桡足类的肠道色素含量平均为 $1.05 \text{ ng} \cdot \text{ind}^{-1}$,变化范围为 $0.05 \sim 4.17 \text{ ng} \cdot \text{ind}^{-1}$.对同期

采集的型网定量样品进行分析,得到这 10 种主要桡足类的丰度 (表 3).

2.4 厦门港桡足类摄食率估算

表 4 为经计算得到的厦门港几种优势桡足类的摄食率和对浮游植物的群体摄食率.进一步推算得到各季节 (春、夏、秋、冬)桡足类群体对浮游植物的群体摄食率分别为 $97.13, 7.18, 108.98$ 和 $8.82 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$,四季平均为 $55.53 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$;而各季节 (春、夏、秋、冬)桡足类群体对浮游植物现存量的摄食压力分别为 $3.22\%, 0.06\%, 3.52\%$ 和 0.46% ,四季平均为 1.81% .

表 3 厦门港主要桡足类肠道色素含量及其丰度
Tab 3 Gut pigment contents ($G, \text{ng} \cdot \text{ind}^{-1}$) and abundance ($A, \text{ind} \cdot \text{m}^{-3}$) of copepods in Xiamen Harbor

种类 Species	2005-05		2005-08		2005-11		2006-03	
	G	A	G	A	G	A	G	A
小拟哲水蚤 <i>P. parvus</i>	0.46	1240	-	-	-	-	0.08	338
太平洋纺锤水蚤 <i>A. pacifica</i>	0.52	556	-	42	-	63	0.40	163
瘦尾胸刺水蚤 <i>C. tenuiremis</i>	4.17	229	-	16	-	-	0.75	113
真刺唇角水蚤 <i>L. euchaeta</i>	2.50	11	-	63	1.53	263	-	25
精致真刺水蚤 <i>Euchaeta concinna</i>	-	-	0.55	16	-	1	-	-
厦门矮隆哲水蚤 <i>B. amoyensis</i>	-	30	0.24	292	0.30	3663	-	-
强额孔雀哲水蚤 <i>P. crassirostris</i>	-	18	0.05	729	-	2175	-	-
亚强真哲水蚤 <i>Euacalanus subcrassus</i>	-	-	-	1	3.55	63	-	-
驼背隆哲水蚤 <i>A. gibber</i>	-	-	0.42	120	-	-	-	-
中华哲水蚤 <i>C. sinicus</i>	-	-	-	-	-	-	0.29	31

-: 未出现或未测定 No occurring or measuring 下同 The same below.

表 4 优势桡足类对浮游植物的群体摄食率

Tab 4 Ingestion rate of dominant copepods on phytoplankton

种类 Species	摄食率 Ingestion rate ($\text{ng} \cdot \text{ind}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$)				群体摄食率 Ingestion rate of population ($\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$)			
	2005-05	2005-08	2005-11	2006-03	2005-05	2005-08	2005-11	2006-03
小拟哲水蚤 <i>P. parvus</i>	16.53	-	-	3.00	20.50	-	-	1.01
太平洋纺锤水蚤 <i>A. pacifica</i>	18.56	-	-	14.28	10.31	-	-	2.32
瘦尾胸刺水蚤 <i>C. tenuiremis</i>	150.17	-	-	26.85	34.31	-	-	3.02
真刺唇角水蚤 <i>L. euchaeta</i>	90.18	-	55.14	-	0.95	-	14.48	-
精致真刺水蚤 <i>E. concinna</i>	-	19.93	-	-	-	0.31	-	-
厦门矮隆哲水蚤 <i>B. amoyensis</i>	-	8.54	10.72	-	-	2.49	39.25	-
强额孔雀哲水蚤 <i>P. crassirostris</i>	-	1.74	-	-	-	1.27	-	-
亚强真哲水蚤 <i>E. subcrassus</i>	-	-	127.70	-	-	-	7.98	-
驼背隆哲水蚤 <i>A. gibber</i>	-	15.03	-	-	-	1.80	-	-
中华哲水蚤 <i>C. sinicus</i>	-	-	-	10.44	-	-	-	0.33

3 讨 论

3.1 桡足类优势种的种类组成及其季节演替

本调查周年各季节浮游动物种类组成均以桡足类为主,其平均丰度为 75.7%。调查结果与以往报道的厦门港浮游动物组成基本相同^[9-10]。对桡足类优势种的优势度(表 2)分析表明,其优势种群有明显的季节演替,冬、春季均以小拟哲水蚤为主,太平洋纺锤水蚤次之;夏季以强额孔雀哲水蚤为主,厦门矮隆哲水蚤次之;秋季则以厦门矮隆哲水蚤领先,强额孔雀哲水蚤次之。值得指出的是,由于本调查桡足类丰度的定量分析采用浮游生物型网的样品,型网网目孔径较小,溢流作用较大,造成结果中一些较大型的种类(如中华哲水蚤、真刺唇角水蚤等)数量较型网偏少,因此,那些较大型的种类的生物量可能被低估。

3.2 桡足类对浮游植物的摄食压力

本文测定了厦门港 10 种桡足类肠道色素含量,其变化范围在 $0.05 \sim 4.17 \text{ ng} \cdot \text{ind}^{-1}$,比陈钢等^[11]在厦门港得到的结果 ($0.112 \sim 2.798 \text{ ng} \cdot \text{ind}^{-1}$) 范围更大些。同时,肠道色素含量结果还显示:个体较大的种类的肠道色素含量(瘦尾胸刺水蚤 $4.17 \text{ ng} \cdot \text{ind}^{-1}$,真刺唇角水蚤 $2.50 \text{ ng} \cdot \text{ind}^{-1}$,亚强真哲水蚤 $3.55 \text{ ng} \cdot \text{ind}^{-1}$)明显高于个体小的种类(小拟哲水蚤 $0.46 \text{ ng} \cdot \text{ind}^{-1}$,太平洋纺锤水蚤 $0.52 \text{ ng} \cdot \text{ind}^{-1}$),即肠道色素含量与个体大小呈正相关关系。但究竟是大型桡足类还是中、小型桡足类对浮游植物的摄食压力大?尚需结合海区中不同体长组桡足类的实际丰度来考虑^[3,6]。厦门港中、小型桡足类的丰度远大于大型桡足类(表 3),因此,中、小型桡足类对浮游植物的摄食压力可能超过大型桡足类。

除了肠道色素含量外,采用肠道色素法计算桡足类的摄食率的另一个重要参数是桡足类的肠道排空率,即肠道中食物团块的移动速度。李超伦等^[8]在黄、东海区浮游桡足类摄食研究中,测定了春、秋季 3 个体长组 ($200 \sim 500 \mu\text{m}$ 、 $500 \sim 1\,000 \mu\text{m}$ 、 $>1\,000 \mu\text{m}$)桡足类的肠道排空率,结果发现:肠道排空率与实验动物的个体大小以及实验温度没有相关性,春季平均肠道排空率 [$(0.0223 \pm 0.0053) \text{ min}^{-1}$]略低于秋季 [$(0.0277 \pm 0.0055) \text{ min}^{-1}$]。他们在淮河口对小拟哲水蚤、双毛纺锤水蚤 (*Acartia bifilosa*)和太平洋纺锤水蚤的排空率进行了测定,结果与黄、东海区得到的结果相近,为 $0.0187 \sim 0.0295 \text{ min}^{-1}$ ^[12]。谭焯辉等^[13]在研究秋季三亚湾桡

足类对浮游植物现存量的摄食压力过程中,测定了几种桡足类的肠道排空率,变化范围为 $0.020 \sim 0.036 \text{ min}^{-1}$,平均为 0.029 min^{-1} 。本文就桡足类的排空率进行了相关验证试验,测定了 2005 年 6 月和 12 月真刺唇角水蚤的肠道排空率,分别为 0.0242 和 0.0224 min^{-1} ,结果同以上相关研究数据相近。因此,本研究选用了李超伦等^[8]在黄、东海春、秋季桡足类肠道排空率的平均值作为参数,计算了桡足类的摄食率和对浮游植物的摄食压力。厦门港桡足类群体对浮游植物现存量的摄食压力四季平均为 1.81%,春、夏、秋和冬季分别为 3.22%、0.06%、3.52%和 0.46%。以往一些研究表明,浮游动物群体的日摄食压力通常小于浮游植物现存量的 5%,小于初级生产力的 10%^[3,13-14],本文在厦门港的研究也得到了与此一致的结果。

夏季航次桡足类群体对浮游植物现存量的摄食压力仅为 0.06%,这与以下几个因素有关:首先,夏季浮游植物生物量达到全年高峰,远高于其他三季^[15];其次,夏季浮游动物的总生物量和总丰度均处于低谷,与冬季航次相当;同时桡足类的肠道色素含量也相对较低(表 3)。夏季浮游植物生物量大幅增加,过高的浮游植物生物量限制了浮游动物的增加。一方面,浮游植物为桡足类提供食物的同时,在夜间也大量消耗水体中的溶解氧,低浓度溶解氧对桡足类种群增殖和摄食都会产生不良影响;另一方面,夏季浮游植物多样性(1.82)、均匀度(0.36)全年最低^[15],少数几个种类构成了浮游植物生物量的主要部分,如中肋骨条藻 (*Skeletonema costatum*)占 59.8%,热带骨条藻 (*S. tropicum*)占 24.9%,而桡足类对食物又具有一定选择性^[16],较单一的浮游植物对桡足类摄食会产生不利影响;第三方面,浮游植物高密度集中时可能对多数浮游动物种群产生不良影响。据 Poulet 等^[17-18]报道,中肋骨条藻能够使克氏纺锤水蚤 (*Acartia clausi*)的生殖力和卵的孵化率下降,降低海哥兰哲水蚤 (*Calanus helgolandicus*)的生殖力。虽然硅藻为桡足类生长繁殖提供了能量和食物来源,但它们分泌的代谢产物也常常会降低桡足类的生殖力、产卵率及卵的孵化率^[19]。这使得桡足类群体的生物量下降,从而降低其对浮游植物的摄食压力。

3.3 桡足类对浮游植物摄食的季节变化

本试验通过推算得到桡足类群体对浮游植物的摄食率,平均为 $55.53 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$,变化范围为 $7.18 \sim 108.98 \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$;桡足类群体对浮游植

物现存量的摄食压力,平均为 1.81%,变化范围为 0.06% ~ 3.52%。二者在季节变化上同步:春季、秋季出现摄食高峰,夏季和冬季处于低谷,呈明显的双峰型,这与浮游动物生物量的季节变化一致(图 1)。春季随着温度的上升,浮游植物开始增殖,桡足类进入第一个摄食高峰;夏季浮游植物生物量大幅增加,对桡足类种群和摄食产生抑制;秋季水温下降,桡足类进入新一个增长期,摄食水平大幅上升;冬季水温进一步下降,浮游植物、桡足类生物量下降到全年最低点,桡足类的摄食水平也随之降低。

参考文献

- [1] Zheng Z (郑重), Li S-J (李少菁), Xu Z-Z (许振祖). Marine Planktology. Beijing: Ocean Press, 1984 (in Chinese)
- [2] Zhang W-C (张武昌). Methods for estimating *in situ* zooplankton grazing pressure. *Marine Sciences* (海洋科学), 1998, **22**(5): 17-19 (in Chinese)
- [3] Wang R (王荣), Fan C-L (范春雷). Copepods feeding activities and its contribution to downwards vertical flux of carbon in the East China Sea. *Oceanologia et Limnologia Sinica* (海洋与湖沼), 1997, **28**(6): 579-587 (in Chinese)
- [4] Li C-L (李超伦). Feeding ecology of marine copepods and their grazing impacts on phytoplankton. PhD Thesis Qingdao: Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, 2001 (in Chinese)
- [5] Harris RP, Wiebe PH, Lenz J, *et al*. Zooplankton Methodology Manual. San Diego, California: Academic Press, 2000
- [6] Li C-L (李超伦), Wang R (王荣). Copepods feeding activities in the Laizhouwan Bay, Bohai Sea, in summer. *Oceanologia et Limnologia Sinica* (海洋与湖沼), 2000, **31**(1): 15-22 (in Chinese)
- [7] Wang R (王荣). Correction of the formula to convert fluorescence measurement to phaeophorbide a concentration in acidification method. *Marine Sciences* (海洋科学), 1986, **10**(3): 1-5 (in Chinese)
- [8] Li C-L (李超伦), Wang R (王荣), Zhang F (张芳), *et al*. A study on grazing of planktonic copepods in the Yellow Sea and East China Sea. Ingestion rate and grazing impact. *Oceanologia et Limnologia Sinica* (海洋与湖沼), 2002, Special Issue: Zooplankton population dynamics (浮游动物研究专辑): 111-119 (in Chinese)
- [9] Cai B-J (蔡秉及), Lian G-S (连光山), Lin M (林茂), *et al*. Ecological study on zooplankton in Xiamen Harbor and its adjacent waters. *Acta Oceanologica Sinica* (海洋学报), 1994, **16**(4): 137-142 (in Chinese)
- [10] Chen R-X (陈瑞详), Lin J-H (林景宏), Lin M (林茂), *et al*. Ecological study on zooplankton in western Xiamen Harbor. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait* (台湾海峡), 1998, **17**(3): 294-298 (in Chinese)
- [11] Chen G (陈钢), Huang J-Q (黄加祺), Xu Z-Z (许振祖). Gut pigment contents analysis of some marine zooplankton in Xiamen Harbor. *Journal of Xiamen University (Natural Science)* (厦门大学学报·自然科学版), 1994, **33**(Suppl): 141-144 (in Chinese)
- [12] Li C-L (李超伦), Wang K (王克), Wang R (王荣). The gut pigment contents of the dominant zooplankton species and their grazing pressure on the phytoplankton in the Weihe Estuary. *Marine Fisheries Research* (海洋水产研究), 2000, **21**(2): 27-33 (in Chinese)
- [13] Tan Y-H (谭焯辉), Huang L-M (黄良民), Dong J-D (董俊德), *et al*. Species composition of copepods and feeding impact on phytoplankton. *Journal of Tropical Oceanography* (热带海洋学报), 2004, **23**(5): 17-24 (in Chinese)
- [14] Atkinson A, Ward P, Murphy EJ. Diel periodicity of subantarctic copepods: Relationships between vertical migration, gut fullness and gut evacuation rate. *Journal of Plankton Research*, 1996, **18**: 1387-1405
- [15] Yang W-D (杨位迪). Studies of zooplankton grazing impacts on phytoplankton in Xiamen Harbor. Master Thesis Xiamen: Xiamen University, 2007 (in Chinese)
- [16] Zheng Z (郑重). On the feeding ecology of planktonic Crustacea// Zheng Z (郑重), ed. Collected Papers of Zheng Zhong (continuous). Beijing: Ocean Press, 1993 (in Chinese)
- [17] Poutet SA, Laabir M, Ianora A, *et al*. Reproductive response of *Calanus helgolandicus*. Abnormal embryonic and naupliar development. *Marine Ecology Progress Series*, 1995, **129**: 85-95
- [18] Poutet SA, Ianora A, Maralto A, *et al*. Do diatoms arrest embryonic development in copepods. *Marine Ecology Progress Series*, 1994, **111**: 79-86
- [19] Xing X-L (邢小丽), Gao Y-H (高亚辉), Lin R-C (林荣澄). Advances of research on effects of red tide algae on the feeding, egg production and hatching of copepods. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait* (台湾海峡), 2003, **22**(3): 369-376 (in Chinese)

作者简介 杨位迪,男,1982年生,硕士,助理工程师。主要从事海洋浮游生物生理生态学研究。E-mail: wdyang@xmu.edu.cn

责任编辑 肖红