

# 海南岛西北沿岸海域浮游桡足类的分布及群落特征

孙柔鑫 王彦国 连光山 林 茂\*

(国家海洋局第三海洋研究所, 福建厦门 361005)

**摘要:** 为了解昌江沿岸海域生态系统的现状, 探讨海域环境因素对浮游动物的生存环境造成的影响。本文根据2008年11月至2009年7月在海南西部昌江沿岸水域21个测站、4个季度月调查所获的浮游桡足类样品数据, 对该海域浮游桡足类群落结构、分布、季节变化及影响因素进行了分析。本调查共鉴定出桡足类44种, 隶属4目17科24属, 其中秋季25种, 冬季23种, 春季22种, 夏季23种。本次调查共发现优势种6种, 分别是微刺哲水蚤(*Canthocalanus pauper*)、亚强次真哲水蚤(*Subeucalanus subcrassus*)、锥形宽水蚤(*Temora turbinata*)、刺尾纺锤水蚤(*Acartia spinicauda*)、椭圆形长足水蚤(*Calanopia elliptica*)和精致真刺水蚤(*Euchaeta concinna*), 优势种以近岸暖水种居多。浮游桡足类丰度季节变化明显: 冬季最高, 达409 ind./m<sup>3</sup>; 秋季次之, 为144 ind./m<sup>3</sup>, 春季为55 ind./m<sup>3</sup>, 夏季最低仅为17 ind./m<sup>3</sup>。其丰度的平面分布显示: 秋、冬季节分别在海区中部和南部形成明显密集区, 春、夏季节则大致呈现由外向近岸逐渐递减的趋势。浮游桡足类的多样性指数(*H'*)表现为夏季>春季>秋季>冬季, 春、夏季的均匀度指数(*J'*)明显高于秋、冬季。本调查反映出该海域的桡足类群落具有热带—亚热带区系特征, 种类组成季节更替明显, 桡足类种群受海域水温和硅藻的影响明显, 受盐度影响不明显。

**关键词:** 浮游桡足类, 海南岛西部, 种类组成, 丰度分布, 季节变化, 环境因子

## Distribution and community characteristics of planktonic copepods in the northwest coastal waters off Hainan Island

Rouxin Sun, Yanguo Wang, Guangshan Lian, Mao Lin\*

Third Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Xiamen, Fujian 361005

**Abstract:** We analyzed the structure, distribution, and seasonal changes of planktonic copepod communities, as well as their relationships with environmental factors using data collected from 21 stations in the northwest coastal waters off Hainan Island between November 2008 and July 2009. A total of 44 species of planktonic copepods was identified, with 25, 23, 22, and 23 species found in autumn (November), winter (January), spring (April) and summer (July), respectively. The dominant species were mainly warm water species, such as *Canthocalanus pauper*, *Subeucalanus subcrassus*, *Temora turbinata*, *Acartia spinicauda*, *Calanopia elliptica* and *Euchaeta concinna*, etc. There were significant changes in copepod abundance among seasons; total copepod abundance was highest in winter with 409 ind./m<sup>3</sup>, followed by autumn with 144 ind./m<sup>3</sup>, spring with 55 ind./m<sup>3</sup> and summer with 17 ind./m<sup>3</sup>, respectively. Distributional data showed that an area of high copepod density appeared in the southern portion of the study area in winter, while there was an area of high copepod density in the center of the survey area in autumn. Copepod abundance was higher in deeper waters, and lower in the coastal areas in spring and summer. Species diversity index was highest in summer and followed by spring, autumn and winter in turn. The evenness index of spring and summer copepod communities was higher than those of autumn and winter. The structure of these planktonic copepod communities reflects tropical and subtropical floristic characteristics. Species composition varied significantly with season, and copepod abundance was noticeably affected by water temperature and diatom cell abundance. We

收稿日期: 2013-06-08; 接受日期: 2014-04-24

基金项目: 海洋生物样品库升级与改扩建(GASI-01-02-02); 海洋公益性行业科研专项经费项目(201005015)

\* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: lm3011@126.com

detected no obvious correlationship between copepod abundance and salinity.

**Key words:** planktonic copepod, western Hainan Island, species composition, abundance distribution, seasonal variation, environmental factors

海洋浮游桡足类是一类低等的小型(一般体长0.3–8 mm)甲壳动物, 具有种类多、丰度高、分布广的特点, 在海洋食物网中起着承上启下的重要作用(王荣等, 2002)。有关海洋浮游桡足类群落结构、时空分布等的研究已有许多(陈清潮等, 1980; Rezai *et al.*, 2005; 李少菁等, 2006; Shimode *et al.*, 2006; 王荣等, 2007)。对于桡足类种群数量变动与海域的环境变化、鱼类种群变动的相关关系也有不少报道。已有研究结果表明, 海洋生态系统中桡足类与环境之间存在着相互依赖、相互制约的关系, 海洋环境因子决定着桡足类群落的变化趋势, 而桡足类的群落特征也在一定程度上反映了环境的状况。如桡足类可作为仔稚鱼的饵料(Liu & Xu, 2009)并对海流或水团有指示作用(王荣等, 2007), 另外, 桡足类的生长繁殖与海域的理化因素也息息相关(Xu & Gao, 2011; Zhang *et al.*, 2011)。因此可通过分析桡足类的群落结构及其变化规律来评价海洋环境的质量状况。

近年来海南岛经济迅速发展, 位于西部的昌江更是吸引了一些大型工业进驻, 随着经济的快速发展, 环境污染与保护问题更加严峻, 昌江周边水域的环境与生态问题也愈加引发关注。有关该水域桡足类的种类组成、数量及其时空分布已有报道(郭东晖等, 2008; 廖秀丽等, 2011; 潘非斐等, 2011), 但以上研究涉及的海域较广且站点设置偏北部湾东侧海域, 有关昌江沿岸水域浮游桡足类的生态研究至今未见专题报道。为了探讨工业发展对昌江周边水域的影响, 了解该水域生态系统的现状以及海洋生物的生存环境, 掌握该海域浮游动物生态学研究的基础资料, 本文选取了浮游动物中重要的生态类群桡足类进行研究, 根据2008–2009年在昌江沿岸海域21个测站、4个季度月海洋生态调查资料, 报道浮游桡足类种类组成、丰度分布、季节变化及群落多样性, 并讨论了浮游桡足类与温度、盐度和浮游植物的相关性。

## 1 材料与方法

### 1.1 样品采集与鉴定方法

在海南西部昌江近岸(108.7°–109.2° E, 19.3°–

19.7° N)布设21个采样站位(图1), 测站水深0–28 m。分别于2008年11月(秋)、2009年1月(冬)、4月(春)和7月(夏)采样。样品的采集参照《海洋调查规范》(GB/T-2007)进行, 采用浅水I型浮游生物网(网口直径50 cm, 网长145 cm, 筛绢孔径0.505 cm)从底至表垂直拖曳获取, 现场用5%福尔马林海水溶液固定保存。样品在实验室内用解剖镜和显微镜进行鉴定和计数。物种鉴定主要参考郑重等(1984, 1992)、黄宗国和林茂(2012)等。温度、盐度等环境参数用美国YSI水质监测系统现场测定。

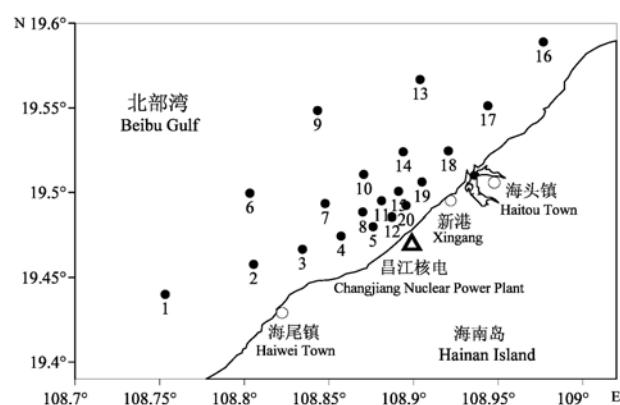


图1 海南西部昌江沿岸海域浮游桡足类采样测站  
Fig. 1 Sampling sites of planktonic copepods in Changjiang coastal waters off western Hainan Island

### 1.2 数据分析

分别采用Shannon多样性指数( $H'$ )(Shannon & Weaver, 1949)和Pielou均匀度指数( $J'$ )(Pielou, 1966)计算浮游动物的多样性和均匀度:

$$H' = -\sum_{i=1}^S p_i \log_2 p_i \quad (1)$$

$$J' = \frac{H'}{\log_2 S} \quad (2)$$

式中 $S$ 为样品中总物种数,  $p_i$ 为第 $i$ 种的个体数在样品总个体数中的比例,  $n_i$ 为第 $i$ 种的个体数,  $N$ 为样品中所有种的个体总数。

优势度( $Y$ )的计算公式为(徐兆礼和陈亚瞿, 1989):

$$Y = \frac{n_i}{N} f_i$$

(3)

式中 $f_i$ 为第 $i$ 种在各站位出现的频率,以 $Y \geq 0.02$ 作为优势种。

季节更替率( $R$ )的计算公式为(赵志模和周新远, 1984):

$$R = \frac{m}{M}$$

(4)

式中 $m$ 为两个季节间不相同的物种数,  $M$ 为两个季节总物种数。

群落特征值与环境因子相关分析采用 SPSS16.0 中的 Correlate(Pearson) 程序, 并且采用 Surfer 软件绘制站位图和等值线分布图。

2 结果

2.1 浮游桡足类的种类组成和生态类群

2.1.1 种类组成

该海域在调查期间共出现桡足类 44 种, 隶属于 4 目 17 科 24 属, 其中哲水蚤目 12 科 18 属 35 种, 占总种类数的 79.5%; 剑水蚤目 3 科 4 属 7 种, 占总种类数的 15.9%; 猛水蚤目和怪水蚤目均为 1 科 1 属 1 种, 各占总种类数的 2.3% (附表 1)。种类最多的是唇角水蚤属(*Labidocera*)、纺锤水蚤属(*Acartia*)和胸刺水蚤属(*Centropages*), 各 4 种; 其次是宽水蚤属(*Temora*)和长腹剑水蚤属(*Oithona*), 各 3 种。秋季鉴定出桡足类 25 种, 冬季和夏季各 23 种, 春季 22 种。各季节间共有种数在 12–14 种之间, 季节更替率变化范围均在 60% 左右(表 1), 表明本海域桡足类群落组成的季节更替较明显。

本次调查的优势种主要有微刺哲水蚤(*Canthocalanus pauper*)、亚强次真哲水蚤(*Subeucalanus subcrassus*)、锥形宽水蚤(*Temora turbinata*)、刺尾纺锤水蚤(*Acartia spinicauda*)、椭圆形长足水蚤(*Calanopia elliptica*)和精致真刺水蚤(*Euchaeta*

*concinna*)等 6 种, 均为哲水蚤目的种类。其中亚强次真哲水蚤和微刺哲水蚤为 4 个季节的优势种, 并且 4 个季节优势度最大的均为亚强次真哲水蚤, 优势种的季节更替不明显(表 2)。两种共有优势种的季节平面分布见图 2 和图 3。

2.1.2 生态类群

本调查区的浮游桡足类多为暖水种, 并以广高盐暖水种占绝对优势。根据生态属性与分布特点, 本海区浮游桡足类大致可分为 2 个生态类群: (1) 暖水性类群。该类群种类通常能适应较高的温度, 根据其对盐度适应范围的不同可分为以下两种类型: 一是暖水近岸种。本类群主要代表种有微刺哲水蚤、锥形宽水蚤、异尾宽水蚤(*Temora discaudata*)和刺尾纺锤水蚤等。二是暖水广布种。该类群均由暖水广高盐种组成, 代表种有亚强次真哲水蚤、普通波水蚤(*Undinula vulgaris*)、叉胸刺水蚤(*Centropages furcatus*)、精致真刺水蚤等。(2) 热带性类群。该类群主要有椭圆形长足水蚤、驼背隆哲水蚤(*Acrocalanus gibber*)、奥氏胸刺水蚤(*Centropages orsinii*)、伯氏平头水蚤(*Candacia bradyi*)、红纺锤水蚤(*Acartia erythraea*)等。

2.2 浮游桡足类丰度的季节平面分布

调查海区四个季节浮游桡足类丰度的平面分布有较大差异。秋季 10 号站位最高, 7 号站位次之, 21 号站位最低, 在海区的中部有一较明显的密集区。冬季 2 号站位最高, 1 号站位次之, 21 号站位最低, 在调查海区最南部形成密集区。春季 9 号站位最高, 4 号站位最低, 由外海向近岸有逐渐递减的趋势。夏季整个海区的桡足类丰度的分布与春季相似, 也呈现出由外海向近岸递减的趋势, 其中 10 号站位最高, 9 号次之, 21 号站位最低(图 4)。

2.3 群落多样性

调查区浮游桡足类的物种多样性指数( $H'$ )和均匀度( $J'$ )的年平均值分别为 1.17 和 0.64。其中多样性

表1 2008–2009年海南昌江近岸浮游桡足类季节更替率  
Table 1 Seasonal change rate of planktonic copepods in Changjiang coastal waters off Hainan Island between 2008 and 2009

	春/夏 Spring /Summer	夏/秋 Summer/Autumn	秋/冬 Autumn/Winter	冬/春 Winter/Spring
种数 Species richness	22/23	23/25	25/23	23/22
共有种数 Number of common species	12	14	14	12
季节更替率 Seasonal change rate	63.6%	58.8%	58.8%	63.6%

表2 2008–2009年海南昌江近岸浮游桡足类主要优势种的季节变化  
Table 2 Seasonal variation of dominant species of planktonic copepods in Changjiang coastal waters off Hainan Island between 2008 and 2009

季节 Season	优势种类 Dominant species	出现频度 Frequency	平均丰度 Average abundance (ind./m <sup>3</sup> )	丰度变化范围 Abundance range (ind./m <sup>3</sup> )	优势度 Dominancy
秋季 (11月) Autumn (Nov.)	微刺哲水蚤 <i>Canthocalanus pauper</i>	1.00	34	3–155	0.11
冬季 (1月) Winter (Jan.)	亚强次真哲水蚤 <i>Subeucalanus subcrassus</i>	1.00	72	21–147	0.24
	刺尾纺锤水蚤 <i>Acartia spinicauda</i>	0.86	16	2–36	0.02
春季 (4月) Spring (Apr.)	微刺哲水蚤 <i>Canthocalanus pauper</i>	0.95	17	1–45	0.23
	亚强次真哲水蚤 <i>Subeucalanus subcrassus</i>	0.95	22	1–51	0.31
	精致真刺水蚤 <i>Euchaeta concinna</i>	0.38	12	1–34	0.03
夏季 (7月) Summer (July)	微刺哲水蚤 <i>Canthocalanus pauper</i>	0.86	4	1–14	0.05
	椭圆形长足水蚤 <i>Calanopia elliptica</i>	0.95	5	1–24	0.08
	亚强次真哲水蚤 <i>Subeucalanus subcrassus</i>	0.95	7	1–28	0.13

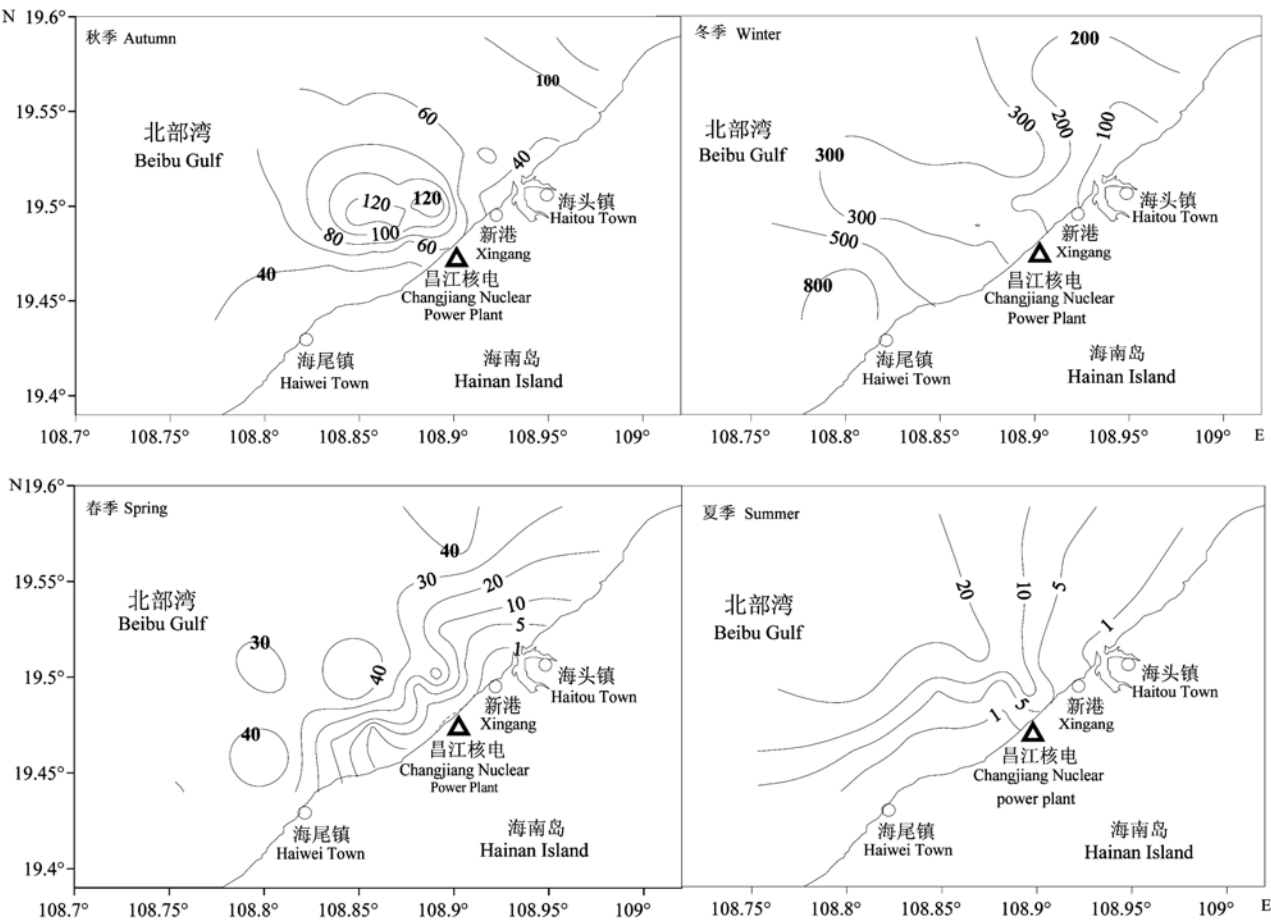


图2 2008–2009年海南昌江近岸亚强次真哲水蚤平面分布(ind./m<sup>3</sup>)  
Fig. 2 Horizontal distribution of *Subeucalanus subcrassus* in Changjiang coastal waters off Hainan Island between 2008 and 2009 (ind./m<sup>3</sup>)

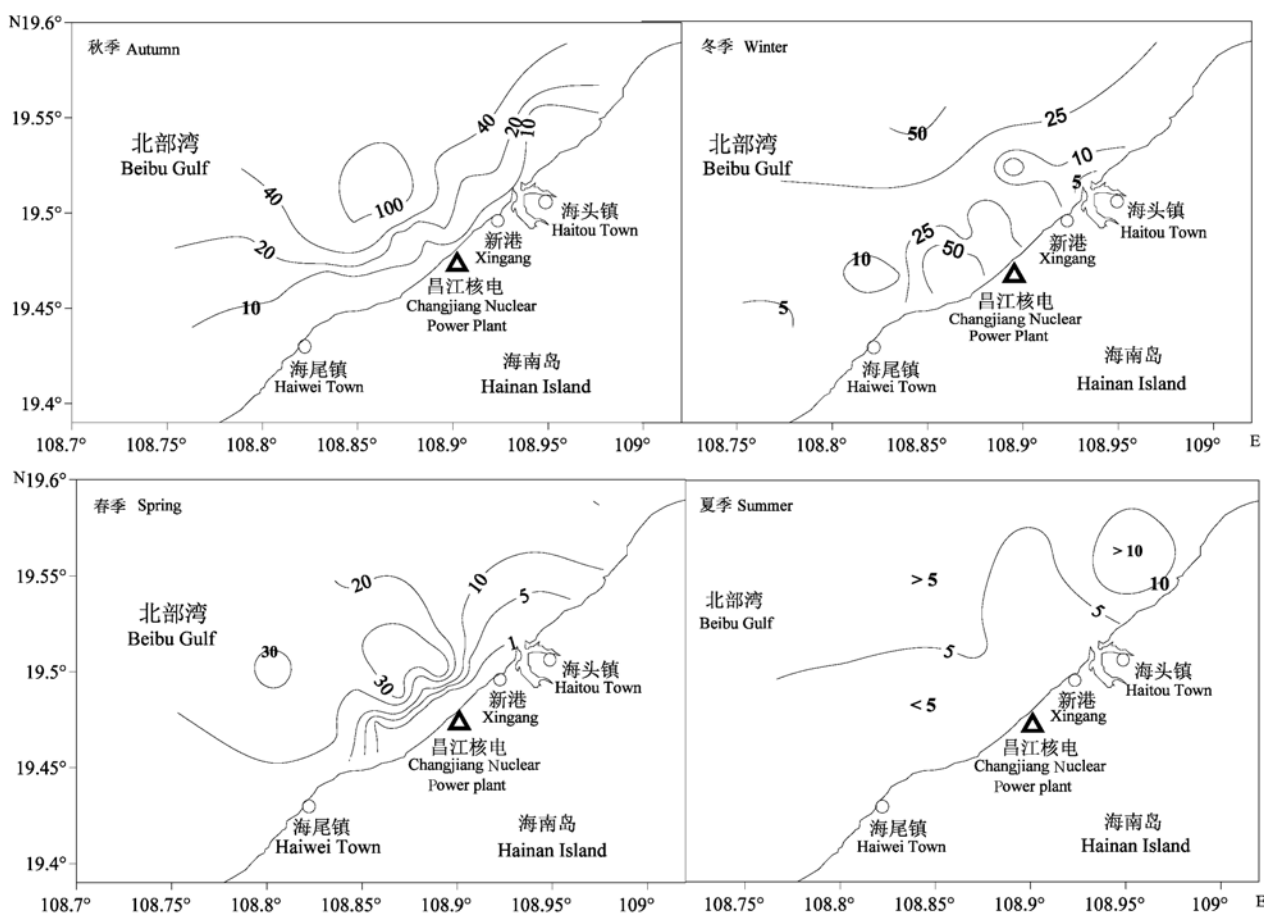


图3 2008–2009年海南昌江近岸微刺哲水蚤平面分布(ind./m<sup>3</sup>)

Fig. 3 Horizontal distribution of *Canthocalanus pauper* in Changjiang coastal waters off Hainan Island between 2008 and 2009 (ind./m<sup>3</sup>)

指数( $H'$ )表现为夏季最高, 为1.33, 而冬季最低, 为0.96。这是由于冬季优势种较为突出, 亚强次真哲水蚤的优势度高达0.59, 致使物种多样性下降。春、夏季的均匀度( $J'$ )指数分别为0.73和0.75, 高于秋、冬季的0.57和0.51(图5)。

#### 2.4 群落特征值与温度和盐度的相关性分析

桡足类群落的丰度( $N$ )及多样性指数( $H'$ )同海区同步调查的温度和盐度的相关性分析结果如表3所示。结果显示, 秋季、春季和夏季桡足类的丰度与海域水温均呈现非显著性负相关, 只有冬季呈正相关。4个季节桡足类丰度与盐度均呈正相关, 但相关性均不显著。群落多样性指数四季均与水温呈非显著性负相关, 多样性指数秋、冬季与盐度为非显著性负相关, 春、夏季为正相关, 其中春季呈现极显著正相关。

### 3 讨论

#### 3.1 调查水域浮游桡足类的群落结构特征

本次调查中桡足类的群落多样性指数( $H'$ )和均匀度( $J'$ )均表现为春、夏季大于秋、冬季。这主要是由于春季海区受南海高盐水团的影响(王芳, 2000), 为海域带进许多外海种, 加之琼州海峡海流西行受阻造成沿岸上升流(王雨等, 2012), 海域的暖水种类也增多, 物种多样性增大, 因此春季的物种多样性指数与海域盐度也呈极显著正相关。夏季, 南海高盐水团的影响达到最盛, 物种多样性达最高。秋冬季均匀度指数较低主要是由于浮游动物种类间的数量分布不均匀: 冬季, 亚强次真哲水蚤的优势度高达0.59, 远大于第二优势种锥形宽水蚤(0.09); 秋季亚强次真哲水蚤的优势度(0.24)也比居第二位的

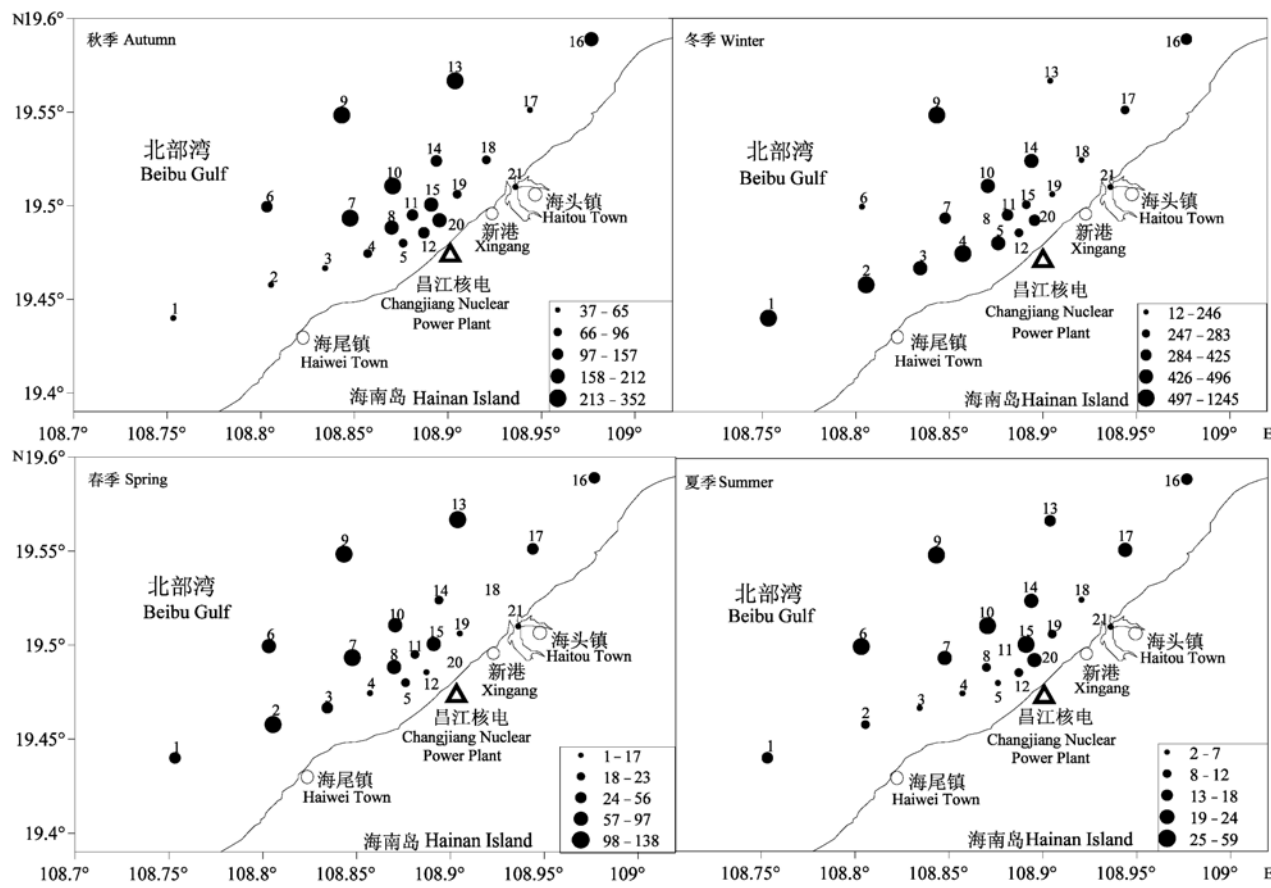


图4 2008–2009年海南昌江近岸桡足类丰度(ind./m<sup>3</sup>)的平面分布  
Fig. 4 Horizontal distribution of planktonic copepods abundance (ind./m<sup>3</sup>) in Changjiang coastal waters off Hainan Island between 2008 and 2009

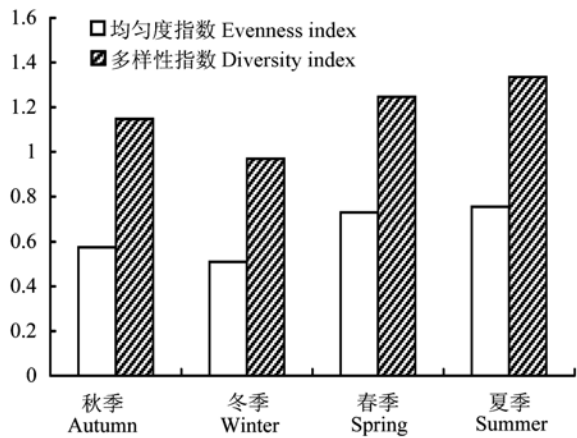


图5 2008–2009年海南昌江近岸浮游桡足类群落多样性指数( $H'$ )和均匀度( $J'$ )的季节变化  
Fig. 5 Seasonal variations of planktonic copepods species diversity index and evenness index in Changjiang coastal waters off Hainan Island between 2008 and 2009

微刺哲水蚤(0.11)高出许多, 不同种类间数量差异的增大导致了这两个季节均匀度的降低, 多样性水平也随之降低。

3.2 调查水域浮游桡足类的优势种类及其生态类型

本次海区调查中出现的桡足类以暖水性类群居多, 作为全年优势种的亚强次真哲水蚤和微刺哲水蚤也属于该类群, 这表明本海区桡足类群落有较为明显的热带、亚热带区系特征。亚强次真哲水蚤和微刺哲水蚤丰度的季节变化与该海域的温、盐条件密切相关。本调查区位于北部湾东部水域, 地处热带边缘, 海区内浮游桡足类的群落结构主要受外海水(南海水团)的影响, 而受大陆径流和低温低盐水影响较小, 故调查海域水温、盐度均较高, 同步监测显示11月、1月、4月和7月表层平均水温分别为28.06℃、23.58℃、28.17℃、30.14℃, 与之对应的盐度夏季最高为32.85, 春季为31.93, 秋季为

表3 2008–2009年海南昌江近岸桡足类丰度(N)和多样性指数(H')与温度和盐度的相关性分析  
Table 3 Regression analysis between abundance and diversity index of copepods and temperature and salinity in Changjiang coastal waters off Hainan Island between 2008 and 2009

环境因子 Environmental variable	秋季 Autumn		冬季 Winter		春季 Spring		夏季 Summer	
	N	H'	N	H'	N	H'	N	H'
水温 Temperature	-0.26	-0.02	0.39	-0.06	-0.04	-0.30	-0.06	-0.43
盐度 Salinity	0.25	-0.06	0.38	-0.25	0.28	0.69**	0.12	0.41

\*\* Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

30.77, 冬季最低为29.78。亚强次真哲水蚤为外海广高盐种类, 适宜水温在25℃左右, 而春、夏、秋季平均水温均高于28℃, 过高的水温反而使其存活率下降, 因而冬季丰度最高, 夏季最低(徐兆礼, 2006; 徐东晖, 2010)。微刺哲水蚤为高温低盐种类, 所适的水温一般高于20℃, 盐度范围在31–33之间(潘非斐等, 2011), 四个季节调查海域的水温均高于其最适生长温度, 因此其丰度的变化同样表现为夏季最低, 而冬季丰度并非全年最高值, 可能与冬季海域盐度低于微刺哲水蚤的最适盐度有关。此外, 在冬季的优势种类中还出现了沿岸河口低盐种类刺尾纺锤水蚤, 说明冬季调查海域也同时受到沿岸径流的影响。

3.3 调查海域环境因子对浮游桡足类分布的影响

3.3.1 温度的影响

桡足类的生长受海域水温、盐度、浮游植物丰度等因素的影响, 其中水温是主要因素之一。在适温范围内, 浮游桡足类的生长率随温度升高而增加, 而温度过高时, 新陈代谢加快, 耗氧量增加, 蛋白质消耗过多, 又会导致存活率下降(林元烧和李松, 1984; 黄加祺和郑重, 1986)。调查区地处热带边缘海域, 全年水温均在23℃以上, 夏季最高可达30.14℃, 春、秋季次之且温度相近, 平均水温均在28℃以上, 冬季最低。这一变化趋势对浮游桡足类的丰度季节变化产生了至关重要的影响, 其丰度变化表现为由秋季至冬季上升至最高值, 再从冬季至夏季下降到最低值的单峰型趋势。而桡足类最适生长温度在20℃左右(林元烧和李松, 1984; 黄加祺和郑重, 1986; 徐东晖, 2010), 所调查海域水温显然超出桡足类生长的适宜温度, 尤其夏季过高的水温可能对桡足类产生不利影响, 一些广高盐种类可能向外海深层水域迁移, 导致桡足类丰度明显降低。另外, 桡足类卵的孵化受温度影响较明显, 较高的温度有利于卵的孵化, 本调查中, 春、秋季节水温略

高于28℃, 该温度为桡足类孵化的适宜温度, 过高或过低则使其孵化率下降(林元烧和李松, 1984; 黄加祺和郑重, 1986; 徐东晖, 2010), 因此春、秋季节桡足幼体均占优势, 而冬、夏季桡足幼体明显减少。

3.3.2 盐度的影响

盐度变化较大也会影响桡足类的生存和发育。林利民等(1998)研究发现: 随着盐度升高, 刺尾纺锤水蚤幼体各期的成活率提高, 但当盐度大于23.7时, 各期的成活率反而降低, 过高或过低的盐度都会引起其幼体死亡。本次调查海域盐度各季节间相差较小, 因此对桡足类丰度影响并不明显。

3.3.3 其他因素的影响

浮游植物作为桡足类的重要饵料, 其分布及数量变动都会对桡足类丰度产生影响。调查区硅藻丰度在1月、11月处于绝对优势, 分别占95.27%和91.46%, 4月、7月相对减小, 分别为81.94%和75.69%(王雨等, 2012)。这一季节差异正与桡足类丰度的季节变化相符, 可见硅藻作为支撑浮游桡足类次级生产的重要能量来源, 其丰欠对浮游桡足类种群的丰度变化产生着重要影响。此外, 本次调查的21号站设于沿岸, 受陆地环境影响较大, 且处于浅水区, 水体透明度较低, 不利于浮游植物进行光合作用, 饵料减少使桡足类的丰度也相应降低, 因此21号站桡足类丰度的年均值最低。

海流与水团对桡足类的群落结构和丰度变化也会产生至关重要的影响。4月来自南海的高盐水自北部湾东部进入, 沿海南岛西岸北上, 而后朝向越南一侧, 向南流入南海, 此过程对调查海区外海影响明显, 加之琼州海峡海流西行受阻造成沿岸上升流(王芳, 2000; 王雨等, 2012), 使得该海域的外海种和暖水种增多, 丰度增大, 大致呈现由外海向近岸逐渐递减的趋势。夏季, 桡足类丰度的分布延续了春季的趋势, 此时南海高盐水团的影响达到最盛, 物种多样性上升, 但海区水温偏高(30.14℃),

表4 2008–2009年海南西部近岸浮游桡足类优势种与历史资料比较  
Table 4 Comparison of dominant species of planktonic copepods between the Changjiang coastal waters off Hainan Island and the historical data

时间 Time	海域 Sea area	种类数 Species richness	资料来源 Data source	优势种(优势度) Dominant species (Dominancy)
1998–1999年夏 The summer of 1998 and 1999	北部湾 Beibu Gulf	84	廖秀丽等, 2011	叉胸刺水蚤 <i>Centropages furcatus</i> (0.181)
				微刺哲水蚤 <i>Canthocalanus pauper</i> (0.069)
				异尾宽水蚤 <i>Temora discaudata</i> (0.038)
				亚强次真哲水蚤 <i>Subeucalanus subcrassus</i> (0.029)
				奥氏胸刺水蚤 <i>Centropages orsinii</i> (0.028)
				椭圆形长足水蚤 <i>Calanopia elliptica</i> (0.022)
				小唇角水蚤 <i>Labidocera minuta</i> (0.019)
1998–1999年冬 The winter of 1998 and 1999	北部湾 Beibu Gulf	67	廖秀丽等, 2011	长角隆哲水蚤 <i>Acrocalanus longicornis</i> (0.018)
				微刺哲水蚤 <i>Canthocalanus pauper</i> (0.154)
				亚强次真哲水蚤 <i>Subeucalanus subcrassus</i> (0.059)
				异尾宽水蚤 <i>Temora discaudata</i> (0.029)
				长角隆哲水蚤 <i>Acrocalanus longicornis</i> (0.024)
				驼背隆哲水蚤 <i>Acrocalanus gibber</i> (0.020)
				羽长腹剑水蚤 <i>Oithona plumifera</i> (0.019)
2006年夏 The summer of 2006	北部湾 Beibu Gulf	113	郭东晖等, 2008	亚强次真哲水蚤 <i>Subeucalanus subcrassus</i> (0.21)
				异尾宽水蚤 <i>Temora discaudata</i> (0.09)
				椭圆形长足水蚤 <i>Calanopia elliptica</i> (0.05)
				伯氏平头水蚤 <i>Candacia bradyi</i> (0.04)
				普通波水蚤 <i>Undinula vulgaris</i> (0.03)
2006年冬 The winter of 2006	北部湾 Beibu Gulf	84	郭东晖等, 2008	亚强次真哲水蚤 <i>Subeucalanus subcrassus</i> (0.43)
				精致真刺水蚤 <i>Euchaeta concinna</i> (0.32)
				微刺哲水蚤 <i>Canthocalanus pauper</i> (0.04)
				伯氏平头水蚤 <i>Candacia bradyi</i> (0.02)
				亚强次真哲水蚤 <i>Subeucalanus subcrassus</i> (0.13)
2008–2009年夏 The summer of 2008 and 2009	海南昌江沿岸 Changjiang coastal waters of Hainan Island	26	本研究 This study	椭圆形长足水蚤 <i>Calanopia elliptica</i> (0.08)
				微刺哲水蚤 <i>Canthocalanus pauper</i> (0.05)
2008–2009年冬 The winter of 2008 and 2009	海南昌江沿岸 Changjiang coastal waters of Hainan Island	27	本研究 This study	亚强次真哲水蚤 <i>Subeucalanus subcrassus</i> (0.59)
				锥形宽水蚤 <i>Temora turbinata</i> (0.09)
				微刺哲水蚤 <i>Canthocalanus pauper</i> (0.05)
				刺尾纺锤水蚤 <i>Acartia spinicauda</i> (0.02)

不利于浮游桡足类生存、繁殖, 因而整个海区的桡足类丰度明显偏低。

3.4 与相关历史资料比较

将本次调查结果与毗邻海域北部湾的调查资料进行了比较(表4), 结果显示由于监测范围相差较大, 因此浮游桡足类种类数相差较多, 本次调查为海南西部近岸海域, 而1998–1999年(廖秀丽等, 2011)以及2006年(郭东晖等, 2008)均为北部湾广大海域, 其中2006年布设的站位更为密集, 种类数最多。各次调查的优势种更替较不明显, 3次调查中夏季均出现的优势种为椭圆形长足水蚤, 冬季均出现的为微刺哲水蚤, 均为近岸暖水种。在1998–1999年的优势种中还出现了奥氏胸刺水蚤、小唇角水蚤(*Labidocera minuta*)、长角隆哲水蚤(*Acrocalanus longicornis*)、驼背隆哲水蚤及叉胸刺水蚤等近岸暖水种, 这主要是由于1998年受厄尔尼诺影响, 南海北部南风较强, 干旱少雨, 外海水对北部湾的影响

增强, 陆地径流的影响减弱, 因而优势种较不突出, 由较多的暖水性外海种类组成(廖秀丽等, 2011)。本次调查中优势种则多为暖水性近岸低盐种, 与2006年监测结果基本一致。

参考文献

Chen QC (陈清潮), Chen YQ (陈亚瞿), Hu YZ (胡雅竹) (1980) Preliminary study on the plankton communities in the southern Yellow Sea and the East China Sea. *Acta Oceanologica Sinica* (海洋学报), **2**, 149–157. (in Chinese with English abstract)

Guo DH (郭东晖), Huang JQ (黄加祺), Li SJ (李少菁), Xu ZZ (许振祖) (2008) Ecological studies on zooplankton in Beibu Gulf during summer and winter. III. Copepods. In: *A Collection of Papers of Marine Science in Beibu Gulf, Vol. 1* (北部湾海洋科学研究论文集, 第一辑), pp. 243–248. China Ocean Press, Beijing. (in Chinese)

Huang JQ (黄加祺), Zheng Z (郑重) (1986) Effects of temperature and salinity on survival rate of copepods of Xiamen port. *Oceanologia et Limnologia Sinica* (海洋与湖沼), **17**,



- 161–167. (in Chinese with English abstract)
- Huang ZG (黄宗国), Lin M (林茂) (2012) *The Living Species in China's Seas* (中国海洋物种多样性). China Ocean Press, Beijing. (in Chinese)
- Li SJ (李少菁), Huang JQ (黄加祺), Guo DH (郭东晖), Xu ZZ (许振祖), Chen G (陈钢) (2006) Study on ecology of marine plankton in Taiwan Strait, China. *Journal of Xiamen University (Natural Science)*(厦门大学学报 (自然科学版)), **45**(S2), 25–31. (in Chinese with English abstract)
- Liao XL (廖秀丽), Du FY (杜飞雁), Li CH (李纯厚) (2011) Species composition and diversity of planktonic copepods in Beibu Gulf during El Nino /La Nina. *South China Fisheries Science* (南方水产科学), **7**(5), 1–8. (in Chinese with English abstract)
- Lin LM (林利民), Xu F (许峰), Lin J (林君) (1998) Effects of various salinities to growth and development of *Acartia spinicauda*. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait* (台湾海峡), **17**(S1), 53–55. (in Chinese with English abstract)
- Lin YS (林元烧), Li S (李松) (1984) A preliminary study on the life cycle of *Calanus sinicus* (Brodsky) in Xiamen harbour. *Journal of Xiamen University (Natural Science)* (厦门大学学报 (自然科学版)), **23**, 111–117. (in Chinese with English abstract)
- Liu GX, Xu DH (2009) Effects of calanoid copepod *Schmackeria poplesia* as a live food on the growth, survival and fatty acid composition of larvae and juveniles of Japanese flounder, *Paralichthys olivaceus*. *Oceanic and Coastal Sea Research*, **8**, 359–365.
- Pan FW (潘非斐), Cao WQ (曹文清), Lin YS (林元烧), Zheng LM (郑连明), Yang WD (杨位迪) (2011) Spatio-temporal variability of copepod composition in the eastern Beibu Gulf. In: *A Collection of Papers of Marine Science in Beibu Gulf, Vol. 3* (北部湾海洋科学研究论文集, 第三辑), pp. 36–54. China Ocean Press, Beijing. (in Chinese)
- Pielou EC (1966) The measurement of diversity in different types of biological collections. *Journal of Theoretical Biology*, **13**, 131–144.
- Rezai H, Yusoff FM, Arshad A, Ross O (2005) Spatial and temporal variations in calanoid copepod distribution in the straits of Malacca. *Hydrobiologia*, **537**, 157–167.
- Shannon CE, Weaver W (1949) *The Mathematical Theory of Communication*. University of Illinois Press, Urbana.
- Shimode S, Toda T, Kikuchi T (2006) Spatio-temporal changes in diversity and community structure of planktonic copepods in Sagami Bay. *Marine Biology*, **148**, 581–597.
- Wang F (王芳) (2000) Strategic concept review and development of marine resources and environment conditions in Beibu Gulf. *Resources and Industries* (资源·产业), **2**, 37–41. (in Chinese with English abstract)
- Wang R (王荣), Gao SW (高尚武), Wang K (王克), Zuo T (左涛) (2007) Zooplankton indication of the Yellow Sea warm current in winter. *Journal of Fisheries of China* (水产学报), **27**(Suppl.), 39–48. (in Chinese with English abstract)
- Wang R (王荣), Zhang HY (张鸿雁), Wang K (王克), Zuo T (左涛) (2002) Function performed by small copepods in marine ecosystem. *Oceanologia et Limnologia Sinica* (海洋与湖沼), **33**, 453–460. (in Chinese with English abstract)
- Wang Y (王雨), Lin M (林茂), Chen XQ (陈兴群), Lin GM (林更铭) (2012) Annual variation on phytoplankton in coastal waters of western Hainan Island and related affecting factors. *Acta Hydrobiologica Sinica* (水生生物学报), **36**, 724–733. (in Chinese with English abstract)
- Xu DH (徐东晖) (2010) *The Effects of Natural and Anthropogenic Factors on the Physiology of Some Dominant Copepods in the Yellow Sea and East China Sea* (自然和人为因子对黄、东海几种桡足类优势种生理活动的影响). PhD dissertation, Ocean University of China, Qingdao. (in Chinese)
- Xu ZL (徐兆礼) (2006) Ecological characters of the *Eucalanus subcrassus* population in the East China Sea. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **26**, 1151–1158. (in Chinese with English abstract)
- Xu ZL (徐兆礼), Chen YQ (陈亚瞿) (1989) Aggregated intensity of dominant species of zooplankton in autumn in the East China Sea and Yellow Sea. *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志), **8**(4), 13–15. (in Chinese with English abstract)
- Xu ZL, Gao Q (2011) Optimal salinity for dominant copepods in the East China Sea, determined using a yield density model. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, **29**, 514–523.
- Zhang DJ, Li SJ, Wang GZ, Guo DH (2011) Impacts of CO<sub>2</sub>-driven seawater acidification on survival, egg production rate and hatching success of four marine copepods. *Acta Oceanologica Sinica*, **30**(6), 86–94.
- Zhao ZM (赵志模), Zhou XY (周新远) (1984) *An Introduction to Ecology* (生态学引论). Scientific and Technical Documentation Press, Chongqing. (in Chinese)
- Zheng Z (郑重), Li SJ (李少菁), Xu ZZ (许振祖) (1984) *Marine Planktology* (海洋浮游生物学). China Ocean Press, Beijing. (in Chinese)
- Zheng Z (郑重), Li SJ (李少菁), Lian GS (连光山) (1992) *The Marine Copepod Biology* (海洋桡足类生物学). Xiamen University Press, Xiamen. (in Chinese)

(责任编辑: 孙军 责任编辑: 闫文杰)

## 附录 Supplementary Material

### 附表1 昌江沿岸水域浮游桡足类种类名录

Table S1 Species checklist of planktonic copepods in Changjiang coastal waters off Hainan Island

<http://www.biodiversity-science.net/fileup/PDF/w2013-137-1.pdf>

附表1 昌江沿岸水域浮游桡足类种类名录

Table S1 Species checklist of planktonic copepods in Changjiang coastal waters off Hainan Island

物种 Taxa	秋季 Autumn	冬季 Winter	春季 Spring	夏季 Summer
哲水蚤科 Calanidae				
微刺哲水蚤 <i>Canthocalanus pauper</i>	+	+	+	+
普通波水蚤 <i>Undinula vulgaris</i>	+	+	+	+
真哲水蚤科 Eucalanidae				
强次真哲水蚤 <i>Eucalanus crassus</i>	+	+		
亚强次真哲水蚤 <i>Subeucalanus subcrassus</i>	+	+	+	+
拟哲水蚤科 Paracalanidae				
驼背隆哲水蚤 <i>Acrocalanus gibber</i>		+	+	
微驼隆哲水蚤 <i>A. gracilis</i>				+
厦门矮隆哲水蚤 <i>Bestiola amoyensis</i>	+			
小拟哲水蚤 <i>Paracalanus parvus</i>		+	+	
宽水蚤科 Temoridae				
锥形宽水蚤 <i>Temora turbinata</i>	+	+	+	+
异尾宽水蚤 <i>T. discaudata</i>	+		+	+
柱形宽水蚤 <i>T. stylifera</i>	+			+
胸刺水蚤科 Centropagidae				
瘦尾胸刺水蚤 <i>Centropages tenuiremis</i>	+	+	+	+
叉胸刺水蚤 <i>C. furcatus</i>	+			
背针胸刺水蚤 <i>C. dorsispinatus</i>		+		
奥氏胸刺水蚤 <i>C. orsinii</i>				+
真刺水蚤科 Euchaetidae				
精致真刺水蚤 <i>Euchaeta concinna</i>	+	+	+	+
光水蚤科 Lucicutiidae				
黄角光水蚤 <i>Lucicutia flavicornis</i>			+	
卵形光水蚤 <i>L. ovalis</i>	+		+	+
厚壳水蚤科 Scolecithricidae				
绿齿厚壳水蚤 <i>Scolecithrix nicobarica</i>	+	+	+	
平头水蚤科 Candaciidae				
伯氏平头水蚤 <i>Candacia bradyi</i>	+	+		
平头水蚤一种 <i>Candacia. sp.</i>			+	
角水蚤科 Pontellidae				
汤氏长足水蚤 <i>Calanopia thompsoni</i>			+	+
椭圆形长足水蚤 <i>C. elliptica</i>	+	+		+
双刺唇角水蚤 <i>Labidocera bipinnata</i>	+	+	+	+
小唇角水蚤 <i>L. minuta</i>	+	+	+	+
真刺唇角水蚤 <i>L. euchaeta</i>		+		
科氏唇角水蚤 <i>L. kroyeri</i>		+		
扩指筒角水蚤 <i>Pontellopsis inflatodigitata</i>	+			+
瘦尾筒角水蚤 <i>P. tenuicauda</i>	+	+		
纺锤水蚤科 Acartiidae				
太平洋纺锤水蚤 <i>Acartia pacifica</i>	+	+	+	
刺尾纺锤水蚤 <i>A. spinicauda</i>		+		
红纺锤水蚤 <i>A. erythraea</i>	+		+	+
小纺锤水蚤 <i>A. negligens</i>				+
歪水蚤科 Tortanidae				
钳形歪水蚤 <i>Tortanus forcipatus</i>	+	+	+	+
瘦歪水蚤 <i>T. gracilis</i>				+
长腹剑水蚤科 Oithonidae				
瘦长腹剑水蚤 <i>Oithona tenuis</i>	+			
短角长腹剑水蚤 <i>O. brevicornis</i>	+		+	
细长腹剑水蚤 <i>O. attenuata</i>				+
大眼剑水蚤科 Corycaidae				
大眼剑水蚤一种 <i>Corycaeus sp.</i>	+		+	
叶剑水蚤科 Sapphirinidae				

物种 Taxa	秋季 Autumn	冬季 Winter	春季 Spring	夏季 Summer
黑点叶剑水蚤 <i>Sapphirina nigromaculata</i>		+		
叶剑水蚤一种 <i>Sapphirina</i> sp.		+		
桨剑水蚤一种 <i>Copilia</i> sp.				+
长猛水蚤科 Ectinosomatidae				
挪威小星猛水蚤 <i>Microsetella norvegica</i>			+	
怪水蚤科 Monstrillidae				
怪水蚤一种 <i>Monstrilla</i> sp.				+