

王博文, 郭东晖. 九龙江口伪镖水蚤科一新种——沈氏伪镖水蚤[J]. 海洋学报, 2019, 41(6): 93—102, doi: 10.3969/j.issn.0253-4193.2019.06.009

Wang Bowen, Guo Donghui. *Pseudodiaptomus sheni* sp. nov., one new species of Pseudodiaptomidae from the Jiulong River Estuary, Fujian[J]. Haiyang Xuebao, 2019, 41(6): 93—102, doi: 10.3969/j.issn.0253-4193.2019.06.009

九龙江口伪镖水蚤科一新种 ——沈氏伪镖水蚤

王博文¹, 郭东晖^{1, 2, 3}

(1. 厦门大学 海洋与地球学院, 福建 厦门 361102; 2. 厦门大学 海洋生物多样性与全球变化研究中心, 福建 厦门 361102; 3. 福建省海陆界面生态环境重点实验室, 福建 厦门 361102)

摘要: 记述了采自九龙江口桡足类 1 个新种——沈氏伪镖水蚤 (*Pseudodiaptomus sheni* Guo & Wang, sp. nov.), 对其形态特征进行了拍照、绘图和描述。形态上, 新种头部钝尖, 雌性胸部后侧角内缘乳状突起明显、生殖腺末端突起呈长倒刺状、尾叉外侧第 2 和第 3 尾刚毛基部膨大、第 5 胸足外肢第 1 节内末角突起尖细, 雄性第 5 胸足左足第 2 基节后缘中部三角形突起狭尖, 与火腿伪镖水蚤 [*P. poplesia* (Shen, 1955)] 存在显著的形态差异; 两者基于线粒体细胞色素氧化酶亚基 I (*mtCOI*) 基因片段的遗传差异为 17.4%~19.5%。沈氏伪镖水蚤的命名旨在纪念中国科学院动物研究所甲壳动物分类学家沈嘉瑞 (1902—1975) 研究员, 模式标本保存于厦门大学海洋科技博物馆。

关键词: 伪镖水蚤科; 新种; 沈氏伪镖水蚤; *mtCOI* 基因; 九龙江口

中图分类号: Q959

文献标志码: A

文章编号: 0253-4193(2019)06-0093-10

1 引言

伪镖水蚤隶属于节肢动物门 (Arthropoda von Siebold, 1848)、甲壳动物亚门 (Crustacea Brünlich, 1772)、六肢幼虫纲 (Hexanauplia Oakely, Wolfe, Lindgren & Zaharof, 2013)、桡足亚纲 (Copepoda Milne-Edwards, 1840)、哲水蚤目 (Calanoida G O Sars, 1903)、伪镖水蚤科 (Pseudodiaptomidae G O Sars, 1902)、伪镖水蚤属 (*Pseudodiaptomus* Herrick, 1884)。它们大多数是低盐种类, 广泛分布于近岸、河口及淡水水域^[1-2]。

伪镖水蚤是一种优质的动物性饵料生物, 在经济鱼类和虾蟹苗种培育中取得了良好的应用效果^[3-5]。本研究对九龙江口桡足类进行了形态学和分子生物学研究, 发现九龙江口的火腿伪镖水蚤 (袜型 *saccupodus* type) 雌雄个体与火腿伪镖水蚤 [*P. poplesia* (Shen, 1955)] 模式种在形态和遗传上存在明显的差异, 应是一个新种, 将其命名为沈氏伪镖水蚤, 新种 (*P. sheni* Guo & Wang, sp. nov.)。本研究不仅丰富了南方主要水产饵料生物种质数据库, 而且可为桡足类物种多样性研究提供参考。

收稿日期: 2018-07-01; 修订日期: 2018-10-18。

基金项目: 国家重点研发计划资助 (2018YFC1406301); 国家自然科学基金 (NFSC 41476114); 厦门市海洋经济发展专项资金项目 (14CZY042HJ16); 自然资源部全球变化与海气相互作用专项 (生物系统分类研究)。

作者简介: 王博文 (1994—), 男, 江西省景德镇市人, 主要从事海洋浮游动物研究。E-mail: wongbw@qq.com

* 通信作者: 郭东晖 (1973—), 男, 副教授, 博士, 主要研究方向为海洋浮游生物学。E-mail: guodh@xmu.edu.cn

2 材料与方法

2.1 样品采集与保存

2013年9月至2017年9月期间,用浅水I型和II型浮游生物网在九龙江河口(24°24'N,117°55'E)采集桡足类样品。2018年4月于广州南沙区(22°48'N,113°32'E)采集珠江口的桡足类进行补充研究。用于比对研究的火腿伪镖水蚤则于2016年采自长江口上海和江苏近岸(30°30'~32°00'N,121°20'~123°00'E)。形态学观察的样品采用5%中性福尔马林溶液固定,分子生物学分析的样品则保存在无水乙醇中。

2.2 形态观察

在体视显微镜(Motic SMZ-168)下对样品进行观察及解剖,通过多功能显微镜(Olympus, BX51)及荧光立体显微镜(Leica, MDG41)拍摄光镜照片并测量体长数据。电镜照片则是采用叔丁醇冻干法^[6]对样品进行干燥后,用台式扫描电子显微镜(Hitachi, TM-1000)进行拍摄。

2.3 线粒体细胞色素氧化酶(*mtCOI*)基因序列扩增与分析

使用微量基因组DNA试剂盒(北京全式金生物技术有限公司, EasyPure Micro Genomic DNA Kit)对单只伪镖水蚤的基因组DNA进行提取,具体方法参照试剂盒说明书。采用热循环仪(杭州晶格科学仪器有限公司, K960)进行*mtCOI*基因片段的扩增,PCR反应体系总体积50 μL,其中基因组DNA模板5 μL,正反向引物各0.6 μL(50 μmol/L),Taq DNA聚合酶(TaKaRa Premix Taq)25 μL,纯水18.8 μL。PCR反应的程序为:94℃预变性4 min;94℃变性1 min,40℃退火1 min,72℃延伸1 min,循环35次;最后72℃充分延伸10 min。PCR产物经电泳检测后,交由上海生物工程技术服务公司以Sanger法进行正反向测序。所采用的引物序列^[7]如下:LCO-1490(5'-GGTCAACAAAT-CATAAAGATATTGG-3')和HCO-2198(5'-TAAACTTCAGGGTGACCAAAAAATCA-3')。

通过分子生物综合应用软件DNAMAN 7对获得的序列进行正反向拼接后,共同导入分子进化分析软件MEGA 5软件进行多重比对,将两端截齐后获得634 bp的*mtCOI*基因片段。使用MEGA 5软件,以朱-坎模型(Jukes-Cantor model),同时考虑转换和颠换,计算遗传差异^[8];以塔-内模型(Tamura-Nei model)构建邻接(Neighbor-Joining,

N-J)树,各分支的置信度经过重复抽样分析(bootstrap test)1 000次检验^[9];其中,以GenBank数据库中伪镖水蚤属叶状群(Lobus group)采自韩国的火腿伪镖水蚤(序列号:AF536521)和采自中国的球状伪镖水蚤[*P. forbesi* (Poppe & Richard, 1890)](采集地及序列号参见表1)的序列为近缘参照,同科哲足水蚤(*Calanipeda aquaedulcis* Krichagin, 1873)的序列为外源参照。

3 结果与分析

3.1 沈氏伪镖水蚤,新种 *Pseudodiptomus sheni* Guo & Wang, sp. nov.(图1,图2)

Schmackeria poplesia Chen and Zhang, 1965 (in part): p. 81, pl. 31, figs. 7-12^[10]; Shen, 1979 (in part): p. 74, figs. 30^[11]

non *Schmackeria poplesia* Shen, 1955: 78-80, pl. 2, figs. 7-9^[12]; Chen & Zhang, 1965: p. 81, pl. 31, figs. 1-6^[10]; Shen, 1979: pp.72-74, fig. 29^[11]

non *Pseudodiptomus poplesia* Soh et al., 2001: pp.203-215, figs.2A-F, 3A-B, 4A-C, 5A-E, 6A-D^[13]

non *Pseudodiptomus inopinus* var. *gordioides* Brehm, 1952: 122-124, fig. 1^[14]

non *Schmackeria gordioides* Dang et al. 1980: pp. 270-273, fig.162^[15]; Nguyen, 1994: pp. 79-80, fig. 58^[16]; Dang and Ho, 2001: pp. 188-190, fig. 5^[17]

non *Pseudodiptomus gordioides* Phan et al., 2015: 122-123, fig. 84^[18]

模式标本:正模(XOB-PC-PS 001 ♀),配模(XOB-PC-PS 002~003 ♂);副模(XOB-PC-PS 004~030, 9♀18♂)。郭东晖等采自九龙江口(24°24'N,117°55'E)和珠江口(22°48'N,113°32'E),模式标本保存于厦门大学海洋科技博物馆。

雌性:体长(1.89±0.23)mm(1.53~2.33 mm, $n=33$)。额部前端钝尖,背面观呈子弹头状,侧面观头部前端隆起小,呈弧形(图1a,图2a)。头部和第1胸节、第4和第5胸节愈合(图2a)。头胸部后侧角外缘具1排细刚毛,内缘具向后的乳状突起,突起上方背面各有1个小刺(图2d)。腹部分4节,前3节背末缘均具小齿(图2a)。生殖节腹面具发达的生殖突起,生殖臀末端延长形成2根长倒刺,其长度不超过生殖节(图1a,图2e)。尾叉宽大,左叉较肥厚;尾叉中央尾刚毛膨大,外侧第2根刚毛基部膨大(图2c)。

第1触角分22节,向后伸展时约达生殖节中部(图2a)。第5胸足无内肢,单肢型,左右对称,分5节(含外肢3节)(图2b)。第1节粗短,末端有数根小刺;第2节最粗,外侧近末缘具1排小刺,内末缘至腹面有小刺列。外肢第1节长约为宽的1.5倍,内缘中

部具3~4根刺毛,内末角延伸为尖锐的突起,外侧末端有1根外缘刺和1排小刺;第2和第3节不完全愈合,第2节较短,有1小的外侧刺,末端有1长棘刺;第3节短,与顶端刺愈合成1根长刺,长刺基部内侧有1较短的棘刺。



图1 沈氏伪镖水蚤,新种侧面观

Fig.1 Lateral view of *Pseudodiaptomus sheni* Guo & Wang, sp. nov.

a.雌性; b.雄性返祖型; c.雄性普通型

a. Female; b. atavistic form of male; c. normal form of male

雄性:普通型体长(1.37 ± 0.17)mm(1.09~1.79 mm, $n=30$)。头胸部的形状与雌性相似,但后侧角钝圆且无小刺(图1c,图2f)。腹部分5节;第1节短小,左右稍不对称,左侧缘突起;第2~4节背后缘均具小齿(图2k)。尾叉长度约为宽度的3倍,尾刚毛基部均不膨大(图2k)。

第1右触角特化为执握触角,分20节,向后伸展时可超过末胸节,第13~18节膨大,第18、19节之间为活动关节(图2g)。第5胸足不对称。右足第1基节内缘呈弧状突起,第2基节内侧有1个大的锥形突起和1个小的三角形突;外肢分3节,第1节末端有1根与本节愈合的长刺,第2节较粗,内缘中部生有1细毛,第3节细长,内缘近基部有1细毛,节中部有1三角形膜状突,膜状突的内侧有1细毛,节末端为1根长的钩状刺(图2h)。左足内肢与第2基节愈合,形成镰刀状长突起,末端为三角形尖突,尖突基部有1微突;后缘中部三角形突起狭尖。左足外肢分2节,第1节长度约为宽度的2倍;第2节有1个外缘刺,内侧的突起弯曲,基

部很细,末部膨大为火腿状(图2i)。

返祖型体长(1.64 ± 0.14)mm(1.42~1.88 mm, $n=14$),个体相对雄性普通型更大(图1b)。第5胸足大于普通型,左足镰刀状长突起末端分叉,左足外肢第2节内侧的突起宽大,呈袜状,其余特征与普通型相近(图2j)。

词源:新种以拉丁词 *sheni* 为种名,旨在纪念火腿伪镖水蚤的定种人——我国著名的甲壳动物分类学家沈嘉瑞(1902—1975)研究员。

生物学:雌性个体带2个卵囊,每个卵囊含31枚卵(18~42, $n=4$);半咸淡水种,种群密集于九龙江和南溪交汇处,具有明显的潮汐移动现象^[19]。

地理分布:中国九龙江口(福建)和珠江口(广东)。

3.2 基于 *mtCOI* 基因片段的3种伪镖水蚤的亲缘关系

比较3种伪镖水蚤 *mtCOI* 基因片段的遗传差异(表1),结果表明采自九龙江口和珠江口的沈氏伪镖水蚤不同个体种内遗传差异为0.3%~4.7%,采自长江口和韩国的火腿伪镖水蚤不同个体种内遗传差异为0.8%~3.3%,采自长江口、九龙江口、漳江口和珠

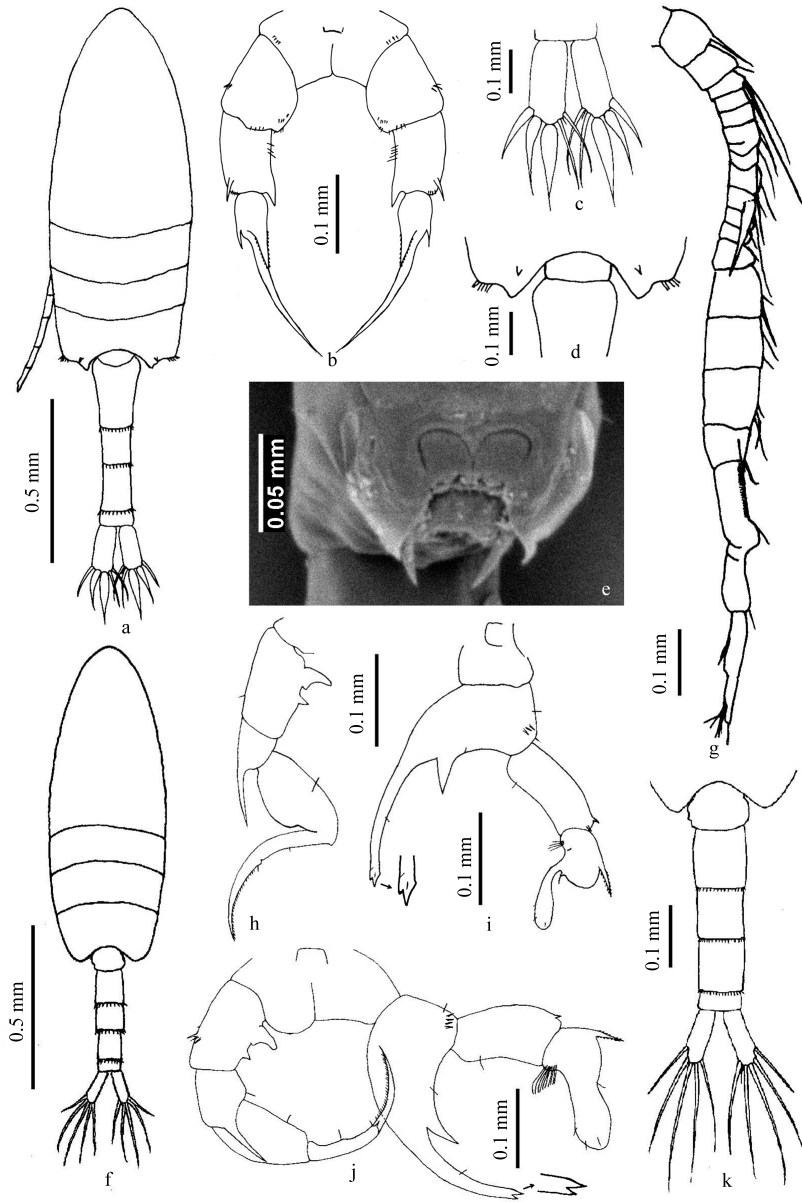


图2 沈氏伪镖水蚤, 新种

Fig.2 *Pseudodiptomus sheni* Guo & Wang, sp. nov.

雌性(a-e); 雄性(f-k); 背面观(a); 第5胸足(b); 尾叉(c); 后侧角(d); 生殖节腹面观(e); 背面观(f); 第1右触角(g); 普通型第5右胸足(h); 普通型第5左胸足(i); 返祖型第5胸足(j); 后体部背面观(k)

Female (a-e); male (f-k); dorsal view (a); leg 5 (b); caudal rami (c); posterolateral corner (d); ventral view of genital double somite (e); dorsal view (f); right antennule (g); right leg 5 of normal form (h); left leg 5 of normal form (i); leg 5 of atavistic form (j); dorsal view of urosome (k)

江口的球状伪镖水蚤不同个体种内遗传差异为 1.9%~3.4%。沈氏伪镖水蚤与火腿伪镖水蚤、球状伪镖水蚤的种间遗传差异分别为 17.4%~19.5%和 18.2%~19.7%;火腿伪镖水蚤与球状伪镖水蚤的遗传差异则为 19.7%~20.9%。

基于 *mtCOI* 基因序列构建的 N-J 树(图 3)显

示:3 种伪镖水蚤彼此间以 100%的置信度独立成群。沈氏伪镖水蚤的雌性、普通型雄性和返祖型雄性聚为同一群。此外沈氏伪镖水蚤与火腿伪镖水蚤聚为一支,表明两者亲缘关系较近;采自不同河口的球状伪镖水蚤单独聚为一支;而哲足水蚤作为外缘参照在 N-J 树的最外层。

表 1 基于 *mtCOI* 序列 3 种伪镖水蚤的相对遗传差异 (%)

Tab.1 Pairwise genetic differences (%) of *mtCOI* sequences between three species of *Pseudodiaptomus*

序号	种类*	GenBank 序列号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
1	<i>P. sheni</i> XM-f	(MH548372)																					
2	<i>P. sheni</i> XM-f	(MH548373)	0.8																				
3	<i>P. sheni</i> XM-f	(MH548374)	2.3	2.1																			
4	<i>P. sheni</i> XM-f	(MH548375)	0.6	0.5	1.9																		
5	<i>P. sheni</i> XM-mn	(MH548376)	1.6	1.1	2.6	1.3																	
6	<i>P. sheni</i> XM-mn	(MH548377)	1.6	1.5	1.3	1.3	2.3																
7	<i>P. sheni</i> XM-mn	(MH548378)	1.3	1.1	2.6	1.0	1.0	1.9															
8	<i>P. sheni</i> XM-mn	(MH548379)	1.5	1.3	2.8	1.1	2.1	1.8	1.8														
9	<i>P. sheni</i> XM-ma	(MH548380)	0.6	0.5	1.6	0.3	1.3	1.0	1.0	1.1													
10	<i>P. sheni</i> XM-ma	(MH548381)	0.8	0.6	2.1	0.5	1.5	1.1	1.1	1.0	0.5												
11	<i>P. sheni</i> GZ-f	(MH548382)	4.5	4.3	4.5	4.1	4.8	3.8	4.1	4.3	3.8	3.9											
12	<i>P. poplesia</i> JS-f	(MH548383)	17.4	18.0	18.0	18.2	18.4	17.6	18.4	17.4	18.2	17.8	18.4										
13	<i>P. poplesia</i> JS-f	(MH548384)	18.4	19.1	19.5	19.3	19.1	18.6	19.1	18.6	19.3	18.8	19.1	3.1									
14	<i>P. poplesia</i> SH-f	(MH548385)	18.4	19.1	19.1	19.3	19.1	18.6	19.1	18.2	19.3	18.8	18.2	1.6	2.3								
15	<i>P. poplesia</i> SH-f	(MH548386)	18.6	19.3	19.3	19.5	19.5	18.8	19.5	18.6	19.5	19.1	18.8	1.9	2.3	1.6							
16	<i>P. poplesia</i> SH-mn	(MH548387)	18.6	19.3	19.3	19.5	19.5	18.8	19.5	18.6	19.5	19.1	19.3	1.9	2.4	1.6	0.8						
17	<i>P. poplesia</i>	(AF536521)	17.4	18.0	18.2	18.2	18.8	18.2	18.8	17.8	18.2	18.2	18.8	1.9	3.3	2.3	2.6	2.6					
18	<i>P. forbesi</i> SH-f	(MG544179)	18.8	18.6	19.1	19.1	18.2	18.8	18.6	18.8	18.6	18.8	19.3	19.7	19.9	20.1	20.1	20.7	20.3				
19	<i>P. forbesi</i> XM-m	(MG544185)	19.3	18.6	19.1	19.1	18.4	18.8	18.8	18.8	18.6	18.8	19.5	19.9	19.9	20.3	20.3	21.4	20.5	1.9			
20	<i>P. forbesi</i> ZZ-f	(MG544186)	19.3	19.1	19.7	19.5	18.8	18.8	19.1	18.8	19.1	18.8	19.1	20.1	19.7	20.5	19.9	20.9	21.2	2.6	3.3		
21	<i>P. forbesi</i> GZ-f	(MH548388)	18.6	18.4	18.8	18.8	18.2	18.6	18.6	19.1	18.4	18.6	19.3	20.5	20.3	20.9	21.2	21.8	21.2	1.5	1.5	3.4	

注: GZ—广州珠江口, JS—江苏长江口, SH—上海长江口, XM—厦门九龙江口, ZZ—漳州漳江口; f—雌性, mn—雌性普通型, ma—雌性返祖型。

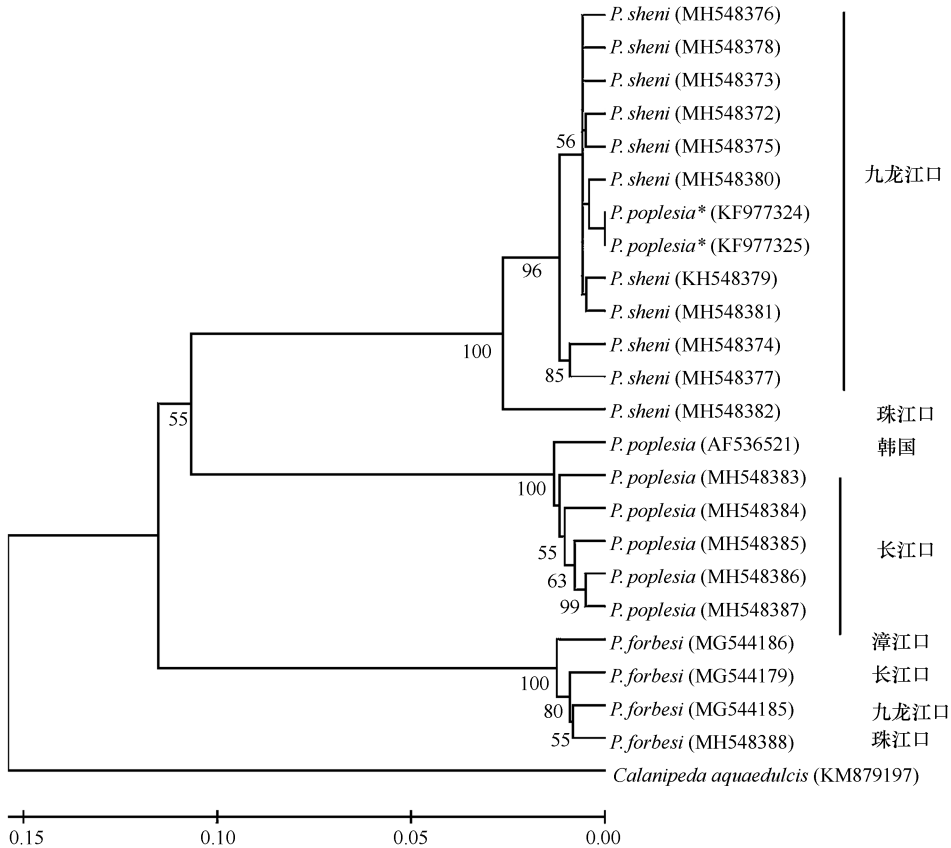


图3 基于 *mtCOI* 基因片段序列构建的 3 种伪镖水蚤的邻接(Neighbor-Joining, N-J)系统发育树

Fig.3 Neighbor-Joining (N-J) phylogenetic tree of three species of *Pseudodiaptomus* based on the *mtCOI* sequences

KF977324 和 KF977325 采自九龙江口,订为火腿伪镖水蚤,根据其序列及本文聚类结果,应订正为沈氏伪镖水蚤

KF977324 and KF977325 were collected from the Jiulong River Estuary, and misidentified as *P. poplesia*, which should be corrected as

P. sheni according to their *mtCOI* sequences and the result of phylogenetic tree in this study

4 讨论

目前伪镖水蚤属已记录有效种 80 种(不包括变种和沈氏伪镖水蚤新种)^[20-21],印度-太平洋有 59 种^[21-26],中国有记录 28 种^[21, 27-28]。本新种雄性第 5 胸足左足内肢与第 2 基节愈合,形成一个镰刀状长突起(图 2i);雌性第 5 胸足外肢第 1 节内侧角呈三角形突起(图 2b),因此属于伪镖水蚤属叶状群(Lobus group)福氏亚群(*forbesi* subgroup)^[29]。福氏亚群目前已知 16 种(不含 2 个变种),沈氏伪镖水蚤雄性普通型的第 5 胸足在形态上与火腿伪镖水蚤、指状伪镖水蚤铁线变种(*P. inopinus* var. *gordiodes* Brehm, 1952)较相似(图 2i,图 4h,图 4a)。

指状伪镖水蚤铁线变种模式种采自越南海阳省的太平河,由于 Brehm^[14]的原始描述过于简单,仅提供了雄性第 5 胸足的插图;虽然越南学者将其提

升为种——铁线伪镖水蚤 [*P. gordiodes* (Brehm, 1952)],并将火腿伪镖水蚤视为铁线伪镖水蚤的同物异名^[15-18],但上述观点尚未得到国际的认同^[13, 20]。指状伪镖水蚤铁线变种雄性第 5 胸足左足第 2 基节镰刀状长突起的末端圆,分 2 叶(图 4a),形似铁线虫(Gordiidae)雄虫尾部,这与沈氏伪镖水蚤、火腿伪镖水蚤雄性普通型的第 5 胸足明显不同(图 2i,图 4h);而且指状伪镖水蚤铁线变种雌性 2 个卵囊各含 10 枚卵,远低于沈氏伪镖水蚤;从生态分布上看,指状伪镖水蚤铁线变种分布于热带河流,属于淡水种;而沈氏伪镖水蚤则分布于亚热带河口区域,属半咸淡水种。

火腿伪镖水蚤模式种采自上海奉贤东门港,因其雄性第 5 左胸足末端突出呈火腿状而得名^[12]。沈氏伪镖水蚤在形态上和火腿伪镖水蚤极为相似,曾被视为火腿伪镖水蚤的袜型个体^[10, 11],但它们在雌雄个

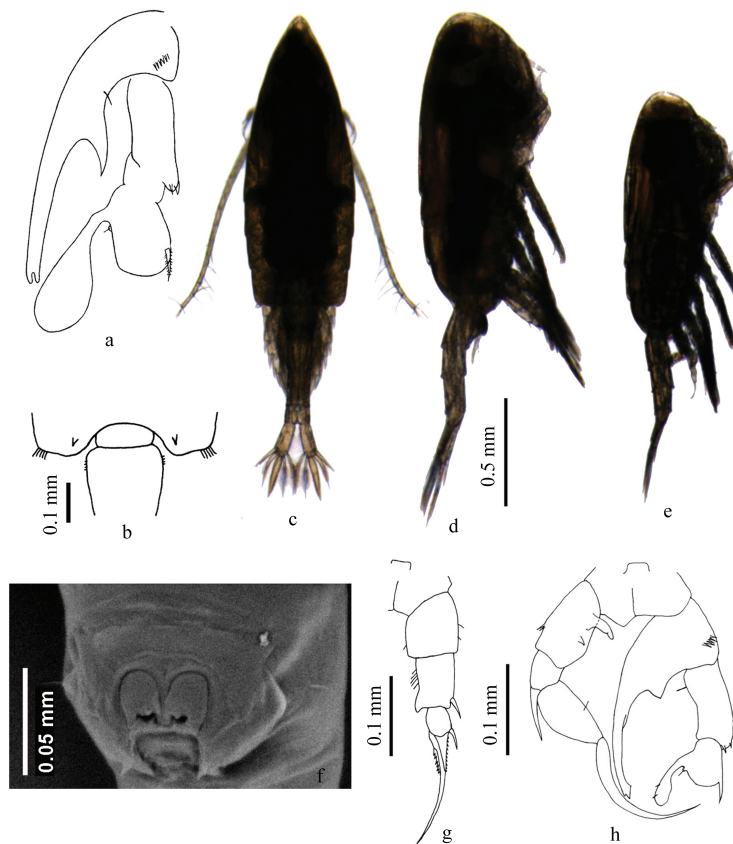


图4 指状伪镖水蚤铁线变种(a)和火腿伪镖水蚤(b-h)

Fig.4 *Pseudodiaptomus inopinatus* var. *gordiodes* (a) and *P. poplesia* (b-h)

雄性第5胸足(仿 Brehm, 1952)(a);雌性后侧角(b);雌性背面观(c);雌性侧面观(d);雄性普通型侧面观(e);雌性生殖节腹面观(f);
雌性第5右胸足(g);雄性普通型第5胸足(h)

Male leg 5 (after Brehm, 1952) (a); female posterolateral corner (b); dorsal view of female (c); lateral view of female (d); lateral view of normal form of male (e); ventral view of female genital double somite (f); right leg 5 of female (g); leg 5 of normal form male (h)

体的体形、第5胸足、雌性后侧角、生殖腺、卵囊和尾叉刚毛等方面存在明显的不同(表2)。

表2 沈氏伪镖水蚤与火腿伪镖水蚤主要形态特征的比较

Tab.2 Comparison of morphological characteristics between *Pseudodiaptomus sheni* and *P. poplesia*

特征	火腿伪镖水蚤 [<i>P. poplesia</i> (Shen, 1955)]	沈氏伪镖水蚤, 新种 (<i>P. sheni</i> sp. nov.)
雌性		
体长	2 mm ^[12] (2.19±0.05) mm (2.10~2.30 mm, n = 20) ^[13] (2.12±0.17) mm (1.87~2.45 mm, n = 30)	(1.89±0.23) mm (1.53~2.33 mm, n = 33)
头部	尖锐, 背面观呈三角形(图4c), 侧面观头部前端隆起明显(图4d)	钝尖, 背面观呈子弹头状(图2a), 侧面观头部前端隆起呈弧形(图1a)
胸部后侧角	内缘乳状突不明显(图4b)	内缘乳状突显著(图2d)
生殖节	生殖腺末端突起呈短倒刺状(图4f)	生殖腺末端突起呈长倒刺状(图2e)
尾叉	尾叉刚毛不膨大或仅中央尾刚毛膨大(图4c)	中央尾刚毛膨大, 外侧第2根尾刚毛基部膨大(图2c)

续表 2

特征	火腿伪镖水蚤 [<i>P. poplesia</i> (Shen, 1955)]	沈氏伪镖水蚤, 新种 (<i>P. sheni</i> sp. nov.)
第 5 胸足	外肢第 1 节内缘刺较多, 内末角突起大而钝圆(图 4g)	外肢第 1 节内缘刺较少, 内末角突起较尖细(图 2b)
卵囊	长(0.58±0.09)mm(0.43~0.71 mm, n=7), 长宽比 2.32, 每个卵囊含 25 枚卵(24~26, n=2)	长(0.65±0.07)mm(0.57~0.74 mm, n=7), 长宽比 2.56, 每个卵囊含 31 枚卵(18~42, n=4)
雄性		
体长	1.86 mm ^[12] (1.74±0.04)mm (1.60~1.80 mm, n = 20) ^[13] 普通型(1.64±0.13)mm (1.38~1.80 mm, n=22)	普通型(1.37±0.17) mm (1.09~1.79 mm, n=30) 返祖型(1.64±0.14)mm (1.42~1.88 mm, n=14)
头部	较尖锐, 侧面观头部前端隆起明显(图 4e)	较钝尖, 侧面观头部前端隆起较小(图 1b, 图 1c)
第 5 胸足	左足镰刀状长突起的后缘中部三角形突起短(图 4h)	左足镰刀状长突起的后缘中部三角形突起狭尖(图 2i, 图 2j)

与细胞核 DNA 相比, 动物线粒体 DNA 进化速率快, 其 *mtCOI* 片段是研究海洋桡足类种间分化的理想条形码基因^[30]。韩国 5 种伪镖水蚤 *mtCOI* 种间差异在 17.6%~26.7% 之间^[31]; 南西伪镖水蚤 (*P. nansei* Sakaguchi & Ueda, 2010) 与采自韩国和日本的指状伪镖水蚤 (*P. inopinus*) 种间差异分别为 23%~25% 和 26%~27%^[24]; 韩国伪镖水蚤 (*P. koreanus* Soh, Kwon, Lee & Yoon, 2012) 与采自韩国和日本的指状伪镖水蚤种间差异分别为 14%~22% 和 14%~17%^[25]。本研究中九龙江口和珠江口沈氏伪镖水蚤与长江口火腿伪镖水蚤的种间差异为 17.4%~19.5%, 与长江口、九龙江口、漳江口和珠江口球状伪镖水蚤的种间差异为 18.2%~19.7% (表 1), 达到了上述研究报道的伪镖水蚤种间差异水平, 支持沈氏伪镖水蚤为 1 个独立的新种。

沈氏伪镖水蚤雄性的返祖型个体与普通型个体虽然在体长和第 5 胸足的形态上存在差别, 但两者遗传差异仅为 1.0%~1.5% (表 1), N-J 树中也能聚为同一群 (图 3), 表明两者是同一物种的不同表现型, Soh 等^[25] 对韩国伪镖水蚤的研究也得到类似的结果。

伪镖水蚤“袜型”(saccupodus type) 狭义上特指雌性返祖型 (atavistic form)^[32], 即雄体第 5 左胸足的末

节形状特别; 但广义上, “袜型”个体涵盖了雌性和雄性, 其中雄性包括了普通型 (也称正常型, normal form) 和返祖型 2 种类型^[10-11, 33]。据报道, 火腿伪镖水蚤的袜型个体在黄河口、长江口、杭州湾、厦门杏林湾、广东虎门均有出现^[10, 11]。本研究发现厦门和广东的伪镖水蚤袜型雌、雄个体与长江口的火腿伪镖水蚤在形态和遗传上均存在明显差异, 特将其订为沈氏伪镖水蚤新种。黄河口、长江口和杭州湾的袜型个体是火腿伪镖水蚤还是沈氏伪镖水蚤? 火腿伪镖水蚤是否存在雄性返祖型? 火腿伪镖水蚤是否分布到福建和广东? 上述问题都仍有待于进一步研究。

致谢: 本研究得到了福建省海陆界面生态环境重点实验室“海陆界面生态环境长期观测计划 I 期 (2017—2026)”九龙江河口—厦门湾共享航次的采样支持; 实验过程得到了自然资源部第三海洋研究所林茂研究员、王春光副研究员和陈小银助理研究员的诸多帮助, 厦门大学海洋与地球学院吴鼎勋老师和杨位迪老师协助完成标本的显微摄影, 越南科学技术研究院生态和生物资源研究所 Tran Duc Luong 博士为本文提供了部分参考文献, 特此致谢。

参考文献:

- [1] Boxshall G A, Halsey S H. An Introduction to Copepod Diversity[M]. London: Ray Society, 2004.
- [2] 郑重, 张松踪, 李松, 等. 中国海洋浮游桡足类—上卷[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1965.
Zheng Zhong, Zhang Songzong, Li Song, et al. Marine Planktonic Copepods of China—Vol. 1[M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1965.
- [3] 刘卓. 桡足类的培养与利用[J]. 海洋科学, 1989(6): 65—66.
Liu Zhuo. The cultivation and utilization of copepods[J]. Marine Sciences, 1989(6): 65—66.
- [4] 徐东晖. 海洋伪镖水蚤 (*Pseudodiaptomus marinus* Sato) 培养及应用的初步研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2006.

- Xu Donghui. Laboratory rearing of *Pseudodiaptomus marinus* (Copepoda: Calanoida) and application as live food marine fish larvae[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2006.
- [5] 刘光兴, 徐东晖, 邱旭春, 等. 火腿许水蚤对牙鲆仔稚鱼成活、生长及脂肪酸组成的影响[J]. 中国海洋大学学报, 2007, 37(2): 259—265.
Liu Guangxing, Xu Donghui, Qiu Xuchun, et al. Study on the growth, survival and fatty acids composition of larvae and juvenile of *Paralichthys olivaceus* raised with *Schmackeria poplesia* (Copepoda: Calanoida)[J]. Periodical of Ocean University of China, 2007, 37(2): 259—265.
- [6] 李向党. 单用叔丁醇的扫描电镜样品制备法[J]. 第四军医大学学报, 1993, 14(5): 383—384.
Li Xiangdang. A method of using tert-butanol for preparation scanning electron microscopic specimens[J]. Journal of the Fourth Military Medical University, 1993, 14(5): 383—384.
- [7] Folmer O, Black M, Hoeh W, et al. DNA primers for amplification of mitochondrial cytochrome c oxidase subunit I from diverse metazoan invertebrates[J]. Molecular Marine Biology and Biotechnology, 1994, 3(5): 294—299.
- [8] Bucklin A, Frost B, Bradford-Grieve J, et al. Molecular systematic and phylogenetic assessment of 34 calanoid copepod species of the Calanidae and Clausocalanidae[J]. Marine Biology, 2003, 142(2): 333—343.
- [9] Saitou N, Nei M. The neighbor-joining method: a new method for reconstructing phylogenetic trees[J]. Molecular Biology and Evolution, 1987, 4(4): 406—425.
- [10] 陈清潮, 章淑珍. 黄海和东海的浮游桡足类: I. 哲水蚤目[J]. 海洋科学集刊, 1965, 7: 20—137.
Chen Qingchao, Zhang Shuzhen. The planktonic copepods of the Yellow Sea and the East China Sea I. Calanoida[J]. Studia Marina Sinica, 1965, 7: 20—137.
- [11] 中国科学院动物研究所甲壳动物研究组. 中国动物志—节肢动物门 甲壳纲 淡水桡足类[M]. 北京: 科学出版社, 1979.
Crustacean Research Group, Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences. Fauna Sinica Arthropoda Crustacea Freshwater Copepoda[M]. Beijing: Science Press, 1979.
- [12] 沈嘉瑞. 江苏奉贤近海甲壳类动物的研究[J]. 动物学报, 1955, 7(2): 75—94.
Shen Chiajui. On some marine crustaceans from the coastal water of Fengsien, Kiangsu Province[J]. Acta Zoologica Sinica, 1955, 7(2): 75—94.
- [13] Soh H Y, Suh H L, Yu O H, et al. The first record of two demersal calanoid copepods, *Pseudodiaptomus poplesia* and *P. nihonkaiensis* in Korea, with remarks on morphology of the genital area[J]. Hydrobiologia, 2001, 448(1/3): 203—215.
- [14] Brehm V. Ein *Pseudodiaptomus* aus Südostasien[J]. Anzeiger der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Klasse, 1952, 89(10): 122—124.
- [15] Dang N T, Thai T B, Pham V M. Identification of Freshwater Invertebrate in Northern Vietnam[M]. Hanoi: Natural Science Publishers, 1980.
- [16] Nguyen V K. Subclass Copepoda in the Gulf of Tokin[M]. Hanoi: Science and Technics Publishing House, 1994.
- [17] Dang N T, Ho T H. Fauna of Vietnam. Vol. 5: Freshwater Crustacea[M]. Hanoi: Science and Technics Publishing House, 2001.
- [18] Dang P D, Van Khoi N, Nga L T N, et al. Identification Handbook of Freshwater Zooplankton of the Mekong River and its Tributaries[M]. Vientiane: Mekong River Commission, 2015.
- [19] Shang Xu, Wang Guizhong, Li Shaojing, et al. Preliminary study of the retention mechanism of planktonic copepods in the Jiulong Estuary in China[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2007, 26(4): 156—163.
- [20] Walter T C, Boxshall G. World of Copepods database. *Pseudodiaptomus* Herrick, 1884[EB/OL]. [2018—07—01]. <http://marinespecies.Org/aphia.Php?p=taxdetails&id=157680>.
- [21] 王博文, 郭东晖. 厦门湾伪镖水蚤科一新种——郑氏伪镖水蚤[J]. 厦门大学学报: 自然科学版, 2019, doi: 10.6043/j.issn.0438-0479.201806017.
Wang Bowen, Guo Donghui. *Pseudodiaptomus zhengi* sp. nov., a new species of Pseudodiaptomidae from Xiamen Bay[J]. Journal of Xiamen University: Natural Science, 2019, doi: 10.6043/j.issn.0438-0479.201806017.
- [22] Walter T C. A redescription of *Pseudodiaptomus salinus* (Giesbrecht, 1896) and a new species from the Arabian Sea (Copepoda, Calanoida, Pseudodiaptomidae)[J]. Journal of Marine Systems, 1998, 15(1/4): 451—456.
- [23] Walter T C, Ohtsuka S, Castillo L V. A new species of *Pseudodiaptomus* (Crustacea: Copepoda: Calanoida) from the Philippines, with a key to pseudodiaptomids from the Philippines and comments on the status of the genus *Schmackeria*[J]. Proceedings of the Biological Society of Washington, 2006, 119(2): 202—221.
- [24] Sakaguchi S O, Ueda H. A new species of *Pseudodiaptomus* (Copepoda: Calanoida) from Japan, with notes on the closely related *P. inopinus* Burckhardt, 1913 from Kyushu Island[J]. Zootaxa, 2010, 2623(1): 52—68.
- [25] Soh H Y, Kwon S W, Lee W, et al. A new *Pseudodiaptomus* (Copepoda, Calanoida) from Korea supported by molecular data[J]. Zootaxa, 2012, 3368: 229—244.
- [26] Srinui K, Nishida S, Ohtsuka S. A new species of *Pseudodiaptomus* (Crustacea, Copepoda, Calanoida, Pseudodiaptomidae) from the Prasae river estuary, gulf of Thailand[J]. Zookeys, 2013, 338: 39—54.
- [27] 沈嘉瑞, 戴爱云. 珠江三角洲淡水桡足类哲水蚤目 8 个新种的描述[J]. 动物学报, 1964, 16(2): 225—246.
Shen Chiajui, Tai Aiyun. Description of eight new species of freshwater Copepoda (Calanoida) from the delta of the Pearl River, South China[J]. Acta Zoologica Sinica, 1964, 16(2): 225—246.
- [28] 黄宗国, 林茂. 中国海洋物种多样性[M]. 北京: 海洋出版社, 2012.

- Huang Zongguo, Lin Mao. The Living Species in China's Seas[M]. Beijing: China Ocean Press, 2012.
- [29] Walter T C. New and poorly known Indo-Pacific species of *Pseudodiaptomus* (Copepoda: Calanoida), with a key to the species groups[J]. Journal of Plankton Research, 1986, 8(1): 129–168.
- [30] Bucklin A, Ortman B D, Jennings R M et al. A “Rosetta Stone” for metazoan zooplankton: DNA barcode analysis of species diversity of the Sargasso Sea (Northwest Atlantic Ocean)[J]. Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, 2010, 57(24/26): 2234–2247.
- [31] Eyun S I, Lee Y H, Suh H L, et al. Genetic identification and molecular phylogeny of *Pseudodiaptomus* species (Calanoida, Pseudodiaptomidae) in Korean waters[J]. Zoological Science, 2007, 24(3): 265–272.
- [32] Burckhardt G. Wissenschaftliche ergebnisse einer reise um die erde von M. Pernod und C. Schröter. III. Zooplancton aus ost- und südasiatischen Binnengewässern[J]. Zoologische Jahrbuecher, 1913, 34(4): 341–472.
- [33] 沈嘉瑞, 戴爱云. 江苏无锡五里湖的桡足类 I. 镖水蚤目[J]. 动物学报, 1962, 14(1): 99–118.
- Shen Chiajui, Dai Aiyüing. The Copepoda of the Wu-Li lake, Wu-Sih, Kiangsu province. I. Calanoida[J]. Acta Zoologica Sinica, 1962, 14(1): 99–118.

Pseudodiaptomus sheni sp. nov., one new species of Pseudodiaptomidae from the Jiulong River Estuary, Fujian

Wang Bowen¹, Guo Donghui^{1, 2, 3}

(1. College of Ocean and Earth Sciences, Xiamen University, Xiamen 361102, China; 2. Marine Biodiversity and Global Change Research Center, Xiamen University, Xiamen 361102, China; 3. Fujian Provincial Key Laboratory for Coastal Ecology and Environmental Studies, Xiamen 361102, China)

Abstract: The samples of copepods were collected from the estuary of Jiulong River during September 2013 to September 2017. One new species of Pseudodiaptomidae, *Pseudodiaptomus sheni* Guo & Wang, sp. nov., which had been identified as the saccupodus type of *P. poplesia* (Shen, 1955) by Chen and Zhang (1965) and Shen (1979), is described. The differences between this new species and *P. poplesia* are as follows: (1) cephalosome rounded anteriorly, while that of *P. poplesia* narrowly protruded in dorsal view; (2) female posterolateral corner with distinct bump posteromedially; (3) the posterior process of female genital operculum pointed and longer than that of *P. poplesia*; (4) the outer terminal 2nd and 3rd setae basally swollen on female caudal rami; (5) the first exopod segment of female fifth leg with distomedial acute projection, while that of *P. poplesia* with blunt one; (6) medial triangular projection on the endopod of male left fifth leg elongated and longer than that of *P. poplesia*. The mitochondrial cytochrome oxidase subunit I (*mtCOI*) gene sequences support the conclusion based on morphological data, with distinct divergence values 17.4% to 19.5% between *P. sheni* and *P. poplesia*. The new species is named in honor of Prof. Chia-jui Shen (1902-1975), a senior crustacean taxonomist of Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences. All type specimens are deposited in Museum of Marine Science and Technology, Xiamen University.

Key words: Pseudodiaptomidae; new species; *Pseudodiaptomus sheni*; *mtCOI* sequence; the Jiulong River Estuary