

# 中国少足动物分类及其分布

钱昌元 郭 华 孙红英\*

南京师范大学生命科学学院 江苏省生物多样性与生物技术重点实验室 南京 210023

**摘要:** 我国对少足动物的研究起步较晚,直到近 10 年才渐有起色。目前,国际上对少足动物的研究仍集中于形态分类学,不过,随着物种描述和系统分类研究成果的积累,也陆续有区域性少足动物区系和分布的报道。本实验室自 2006 年起开展少足动物形态分类学研究,已报道少足动物 1 新属、19 个新种和 16 个中国新纪录种。迄今,已记录和描述分布于我国的少足动物共计 36 种(包括 3 个未定名种),隶属于 1 目 4 科 11 属,即四少足目(Tetramerocera),少足科(Pauropodidae)、广少足科(Eurypauropodidae)、短少足科(Brachypauropodidae)和球少足科(Sphaeropauropodidae),少足属(*Pauropus*)、别少足属(*Allopaupopus*)、十别少足属(*Decapauropus*)、东泽络少足属(*Donzelotauropus*)、针少足属(*Stylopaupopus*)、宋氏少足属(*Songius*)、广少足属(*Eurypauropus*)、三宝垄少足属(*Samarangopus*)、婆罗洲少足属(*Borneopauropus*)、短少足属(*Brachypauropus*)以及球少足属(*Sphaeropauropus*)。本文对我国现有少足动物的形态特征、分类和分布进行了综述,以期促进我国少足动物新种和新类群的发现,普及我国少足纲的系统分类学知识。

**关键词:** 少足纲; 土壤动物; 形态分类; 分布; 中国

**中图分类号:** Q959.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263 (2015) 03-477-13

## The Taxonomy and Distribution of the Pauropoda in China

QIAN Chang-Yuan GUO Hua SUN Hong-Ying\*

Jiangsu Key Laboratory for Biodiversity and Biotechnology, College of Life Sciences, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China

**Abstract:** The research of the Pauropoda in China started lately, and has been stagnated until the recent decade. However, current studies on Pauropoda in the global scale still focused on the morphological taxonomy. With the increasing accumulation of known species and higher taxa, the fauna and geographic distribution of pauropods are addressed gradually. The studying on pauropods in our lab started in 2005, totally 1 new genus, 19 new species and 16 new record species has been reported. In this paper, we summarized the morphological taxonomy and distributions of 36 species (including 3 unidentified species) known in China, which belonging to 1 order, 4 families and 11 genera. We hope this will promote the new taxa discovery, and popularize the systematic classification of the Pauropoda in China as well.

**基金项目** 国家自然科学基金项目 (No. 30470236), 教育部博士点基金项目 (No. 20093207110005), 新疆大学新疆生物资源基因工程重点实验室开放基金项目, 江苏省普通高校研究生科研创新项目 (No. CXZZ13\_0410);

\* 通讯作者, E-mail: sunhongying@njnu.edu.cn;

**第一作者介绍** 钱昌元, 男, 博士研究生; 研究方向: 少足动物系统分类学; E-mail: qiancynj@126.com。

收稿日期: 2014-07-05, 修回日期: 2015-03-23 DOI: 10.13859/j.cjz.201503020

**Key words:** Pauropoda; Soil zoology; Taxonomic; Distribution; China

少足动物 (pauropods) 是一类古老的、土壤隐居动物区系 (edaphic cryptozoic fauna) 的组成成分 (Scheller 1988, Scheller et al. 2002), 隶属节肢动物门 (Arthropoda) 多足亚门 (Myriapoda) 少足纲 (Pauropoda), 分属于六少足目 (Hexamerocerata Remy, 1950) 和四少足目 (Tetramerocerata Remy, 1950)。它们的身体小型或微型, 长期适应隐蔽的土壤生活。成虫体长一般为 0.3 ~ 2.0 mm, 体型多呈圆柱形或梭形, 体色呈白色或浅灰色, 角皮 (cuticle, 也称角质膜或外骨骼) 薄而柔软、透明。这种微小而柔软的体躯极为适于顺着植物的根系或土壤的孔隙钻动, 其活动范围遍及距地表 100 ~ 300 mm, 甚至 1 m 深的地下, 或者在地表的凋落物层、苔藓或树皮底下。其眼退化, 仅具有感光的伪眼区; 触角发达, 分成 2 支。成体具有 11 个躯干节和 1 个尾节, 6 ~ 12 个背板, 8 ~ 11 对足, 每对足分成 5 ~ 6 节。生殖孔位于第 3 体节。仅六少足目动物保留有循环系统和气管 (Scheller 2011a, Scheller et al. 2012)。

国际上对少足动物的分类学研究起步较早, 但长期以来未受到足够的重视。我国对少足动物的分类学研究相对滞后, 迄今仍未受到足够的关注。为推动我国的少足动物研究, 本文对少足动物的研究历史、形态特征、分类和分布予以综述, 并建立了我国已记录 36 种 (包括 3 个未定名种) 少足动物的检索表, 对我国少足动物的地理分布进行综合分析。

## 1 少足动物研究的历史沿革

少足动物相比于其他多足动物类群, 其栖息地的生态类型多样。然而, 人们对它们的关注却相对较少 (Scheller 2011a)。1867 年, John Lubbock 在伦敦附近首次发现了少足动物, 并描述了 2 个种。它们都具有 9 对足, 因此, Lubbock (1867) 将这一类群命名为少足动物 (pauropus, 源于希腊语, *pauros* 的含义为很

少的, *pous* 的含义为足)。他认为“少足动物是一种看上去行为活跃、动作灵巧, 又十分洁净的小动物。相对于那些看起来愚蠢、迟钝的倍足类和让人感到惊恐、生性凶猛的唇足类来说, 少足动物看起来让人愉快很多。” (Scheller 2011a)。但由于当时将其归属于唇足纲 (Chilopoda), 这一类群并未受到进一步的关注。

大约在 20 世纪初, 北美 (Packard 1870) 和瑞士 (Humbert 1872) 的研究者开始涉足少足动物的标本采集和分类研究。当时出版了两份到目前仍有价值的形态分类学资料 (Hansen 1901, Silvestri 1902), 但所记录的少足动物物种不到 30 种 (Scheller 2011a)。截止到 2014 年 12 月, 全世界被发现并描述的少足动物物种达到了 871 种。其中, 法国的 Remy、瑞典的 Ulf Scheller 以及日本 Yasunori Hagino 等学者为少足动物分类学做出了重要贡献。

我国少足动物的物种发现和分类学研究, 始于 1988 年, 由中国科学院动物研究所张崇州和陈中平 (1988) 两位先生报道了采自我国浙江和西藏的 7 个物种, 其中包括少足科 (Pauropodidae Lubbock, 1867) 的 4 个新种和 1 个新纪录种, 以及球少足科 (Sphaeropauropodidae Verhoeff, 1934) 和广少足科 (Eurypauropodidae Ryder, 1879) 各 1 个属, 但都未定名。此后将近 20 年, 我国少足动物的新种发现和分类研究处于长期停滞的状态。直到 2006 年, 南京师范大学课题组在我国著名动物分类学家宋大祥院士的提议和推动下, 开始展开少足动物的野外调查和分类研究工作 (Gai et al. 2006, Shen et al. 2007)。除已报道的采样地点外, 本课题组在我国跨西北、东北、华中、华东、西南和华南的 16 个省 (自治区) 进行了少足动物野外调查和标本采集 (图 1), 获得了大量的少足动物标本。相继发现和报道了 1 新属、19 个新种 (Shen et al. 2007,

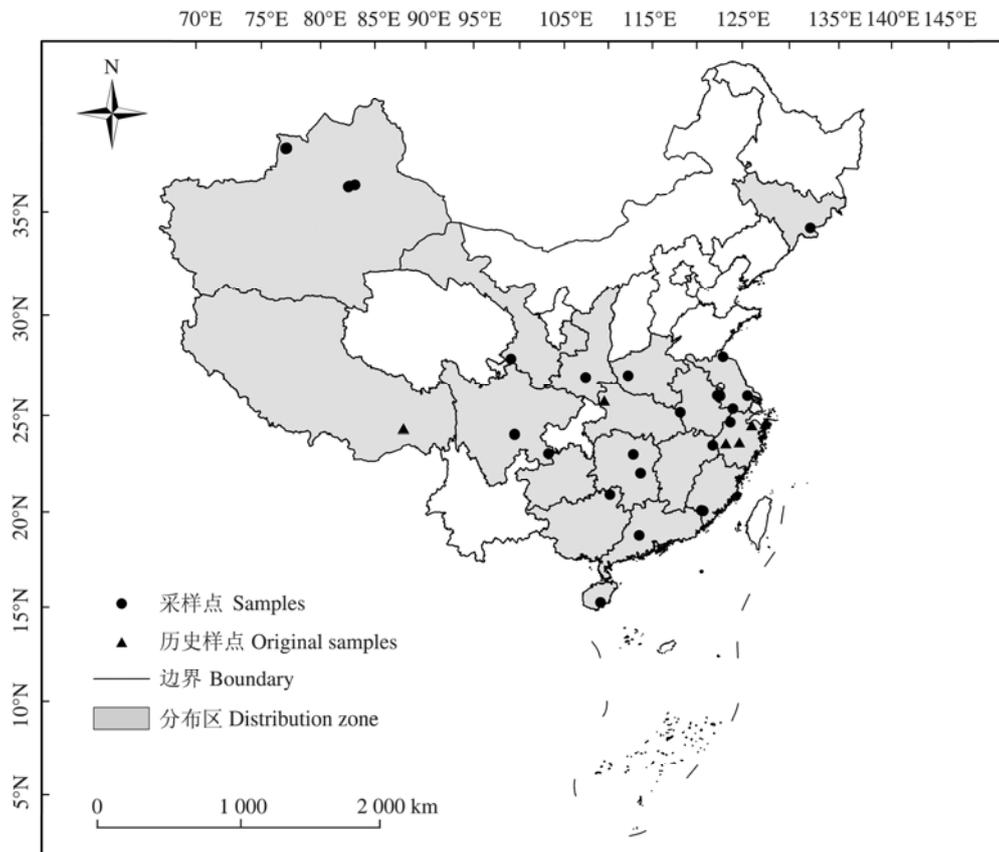


图 1 目前我国已调查发现少足动物分布的地区和样点

Fig. 1 Approximate distribution of the known pauropods in China and the site with pauropods

Guo et al. 2010 a, b, Qian et al. 2013, 钱昌元等 2013, Qian et al. 2014), 并发现和记录了 9 个新纪录种。此外, 瑞典学者 Ulf Scheller 鉴定了藏于瑞典隆德大学动物博物馆的少足动物标本, 发现了 1995 年采集于湖北省神农架自然保护区的球少足科 1 新种 (Scheller 2014)。至此, 已描述的我国少足动物新种达到 24 种; 加上发现的新纪录种 (包括未定名种), 我国已知的少足动物物种总数已达到 36 种, 隶属于 1 目 (四少足目) 4 科 [即少足科、广少足科、短少足科 (Brachypauropodidae Silvestri, 1902) 和球少足科] 11 属。

## 2 少足动物的分类学特征、栖息地和生活史

### 2.1 少足动物基本的形态分类特征

**头部** 背面呈三角形, 其上分布有多排刚毛, 刚毛的形状、长度及排列方式是种类鉴定的重要依据。一般而言, 在两触角基部中间有单根刚毛, 其余的则形成 4 横排, 以头背部中线为对称轴, 呈两侧对称排列: 第 1 排每侧各有 2 根; 第 2 排每侧各有 3 根; 第 3 排每侧各有 2 根; 第 4 排每侧各有 4 根。在颞器官 (temporal organs) 下方各有 3 根纵向排列的刚毛。颞器官略微突起, 近似卵形, 有时还带有一个附属器官, 位于外侧的称为花蕊结构 (pistil) 或者位于内侧的称泡状器官 (vesicular organ) (图 2)。

**触角** 1 对, 结构特殊; 每个触角由 4 个或 6 个基节组成主干, 主干末端再分出 2 个分

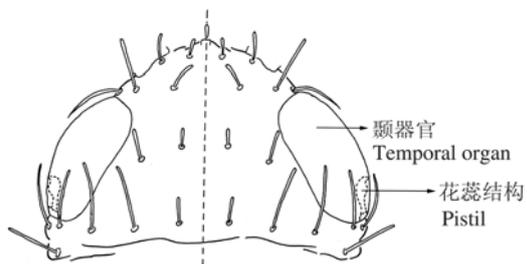


图 2 少足动物头部背面观 (仿 Scheller 1988)

Fig. 2 Dorsal view of the head of pauropods (from Scheller 1988)

支, 即背支 *t* (tergal branch) 和胸支 *s* (sternal branch)。背支末端有一根鞭状体 *F* (flagella), 而在胸支末端有 2 根鞭状体, 并且还有 1 个或 2 个特殊的球状感觉体 *g* (globulus)。触角主干上的刚毛以及鞭状体的形状、长度、粗细等都是少足动物分类的依据 (图 3)。

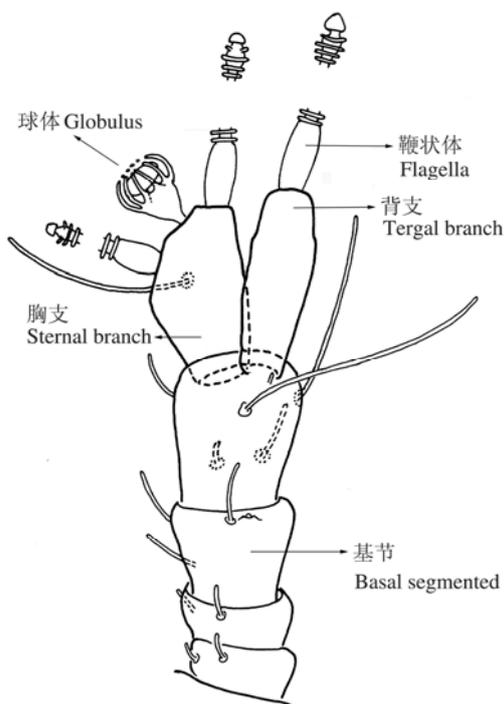


图 3 四少足目动物左侧触角结构 (仿 Scheller 1988)

Fig. 3 The left antenna of the order Tetramerocerata (from Scheller 1988)

躯干 一般分为 11 个体节和 1 个肛节

(pygidium)。第 2 至第 9 体节各具有 1 对步足; 第 1 体节的附肢发育不全; 第 11 体节, 或第 10 和 11 两体节的附肢退化消失 (图 4), 前者见于十别少足属 (*Decapauropus* Remy, 1931), 后者见于除十别少足属之外的其他四少足目动物。背板很薄或者轻微骨化, 通常少足动物只有 6 块背板。背板的形状, 骨化程度是鉴定科级阶元的依据, 而是否分割出骨片是进行属级阶元分类鉴定的重要依据。背板上存在刚毛。小棘或者其他的突起物, 它们的数量, 形状以及排列对于鉴定物种都是很有用的特征。在第 2 至第 6 块背板上各有 1 根感觉触毛 (bothriotrich), 触毛上还带有短毛, 这些感觉触毛尤其是第 3 根对于鉴定物种很重要。

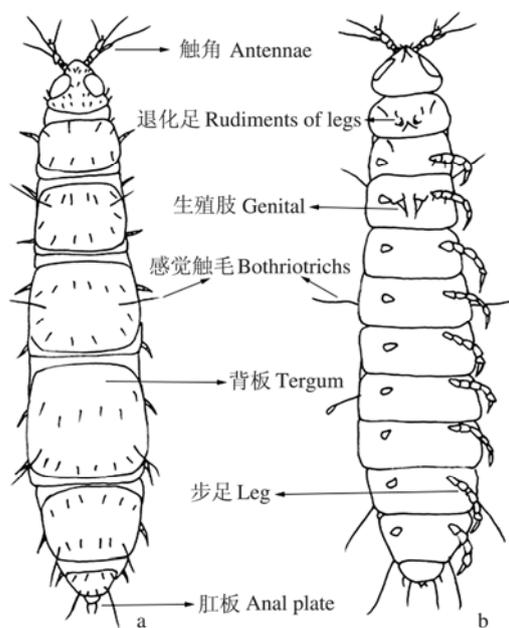


图 4 典型少足纲动物外部形态 (仿 Scheller 2011a)

Fig. 4 Morphology of a typical member of the class Pauropoda (from Scheller 2011a)

a. 背面观; b. 腹面观 (雄性)。

a. Dorsal view; b. Ventral view (male).

尾节 胸板和背板上都有一定数量的刚毛, 它们的长度、形状、排列方式是属级水平分类的重要依据。腹面后方靠近肛板 (anal

plate) 的地方, 往往有一对尾针 *st* (styli)。肛板 (图 5) 位于背板后方中轴线上, 向后突出。它是一块很小的骨化板, 往往带有分支或/和多样的附肢。基本上每个种的肛板都不相同, 它们有各自不同的形状、尺寸, 以及附肢数量、长度、宽度、方向和着生位置等。肛板的这些特征是鉴定物种的重要依据。

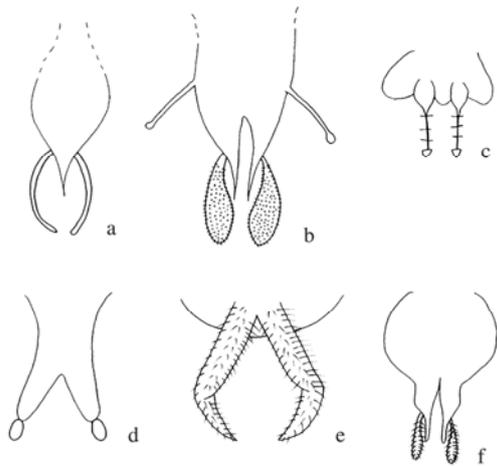


图 5 几种少足动物肛板形态(引自 Scheller 2001, Qian et al. 2013, 2014)

Fig. 5 The shape of several kinds of anal plates of paupods (From Scheller 2001, Qian et al. 2013, 2014)

a. 尖叶婆罗洲少足; b. 膨大三宝垄少足; c. 双刚毛针少足; d. 双叉双谷粒十别少足; e. 双镰刀形十别少足; f. 毛刷球少足。

a. *Borneopauropus acutifolius* Qian, 2014; b. *Samarangopus dilatata* Qian, 2014; c. *Stylopauropus biaristatus* Qian, 2014; d. *Decapauropus bifurcodicoccus* Qian, 2013; e. *Decapauropus bidrepanoides* Qian, 2013; f. *Sphaeropauropus penicillius* Scheller, 2001.

## 2.2 少足动物的生活环境

少足动物生活在土壤中, 从土壤腐殖质中获取营养。在浅层土壤中, 它们往往与弹尾纲 (Collembola)、双尾纲 (Diplura)、昆虫纲幼虫、综合纲 (Symphyla) 以及蛛形纲 (Arachnida) 等类群的动物生活在一起; 而在较深层的土壤, 它们则与蠕虫、原尾纲 (Protura) 等类群的动物生活在一起 (Scheller 2011a)。

在地表, 少足动物可以生活在落叶以及正在腐烂的原木、树皮或苔藓层里。由于无法挖洞, 它们的栖息之所必须松散、透气。有时, 它们会在距地表 10~20 cm 土质松散且湿度、温度和亮度适宜, 通风性良好且富含有机质的区域内大量聚集。人们对少足动物食性的了解并不多, 通常认为它们以腐殖质、土壤微生物, 以及吸食植物的根或菌丝中的汁液为生 (Brusca et al. 2003)。最近的研究指出, 六少足目动物由于口器相对发达, 多以真菌菌丝、孢子、植物组织以及细小的矿物质为食; 而四少足目类群其口器发育不完全, 则主要以刺破细胞吸取其中液体的方式来取食 (Scheller et al. 2010, Scheller 2011a)。

虽然随着纬度的升高, 少足动物的物种数量逐渐减少。但仍然有些种类能够生活在中纬度甚至高纬度地区, 渡过寒冷的冬季。它们往往能够在入冬前迁移到无霜冻的深层土壤中, 以便顺利越冬。

大多数少足动物可以生活在不同植被类型和不同土壤类型的环境中, 甚至见于耕种的田地。但是, 在极干燥, 多泥、多煤, 或者特别潮湿的土壤环境中它们几乎无法生存。少数类群, 如广少足科, 尤其是球少足科的动物对于干旱有一定的耐受能力。这很可能与其体背面被覆的角皮较厚, 可以起到防止体内水分蒸发散失的作用有关。而球少足科的动物能够将躯体蜷曲成一个完整、全封闭的球体, 借以抵御干旱等恶劣环境。此外, 据 Scheller (2011a) 研究记载, 在沙土中也曾发现有十别少足属 (*Decapauropus* Remy, 1931) 的 2 个种。相反, 双少足属 (*Amphipauropus* Scheller, 1984) 的动物则相对更依赖湿度饱和的环境, 通常生活在接近地下水界面的土层中。总的说来, 土壤湿度对少足动物在土层中垂直分布的影响要大于土壤温度。

另外, Meyer 等 (1992) 认为, 在大多数环境中, 少足动物个体的分布较为分散, 种群数量稀少。通常少足动物的种群密度会随着当

地的湿度、温度和光线的变化而变化。但在有些环境中，例如潮湿的落叶林，甚至环境条件适宜的农田，少足动物会大量聚集，在局部的土壤生境种群密度能高达每平方米数百只 (Hågvar et al. 1998)。

### 2.3 少足动物的生活史

少足动物的发育经卵期、蛹期、幼体期和成体期 4 个阶段。胚后发育有形变 (表 1)。

卵期：卵 (单个或成团) 产于土壤砂砾或腐殖质中，呈球形，乳白色，直径约为 0.05 ~ 0.15 mm。大约两周以后，卵膜破裂，胚胎进入蛹期。

蛹期：一般持续数日。蛹的角皮上有很多刚毛，其上能隐约看见将来长出触角及前 3 对足的位置。

幼体期：通常划分为 4 个时期，蛹期之后进入第 1 幼体期。Scheller (2011a) 发现，少足科的某些属在第 4 幼体期发育生殖肢 (genital papillae)，具有亚成体 (subadult) 阶段。各发育时期的形态变化见表 1。

## 3 少足动物的地理分布

少足动物的分布范围较广，除了南极洲外，在全世界都有分布。由于积极寻找少足类新分布区的努力极为有限，迄今对于一些特有种的分布区仍知之甚少。目前，仅局限于对广布性的科、属在全球的地理分布进行粗略地估计 (Scheller 2011a)。

### 3.1 少足动物的分类及全球分布

目前世界已知少足动物有六少足目和四少足目两大类群，前者仅有千少足科 (Millotauropodidae Remy, 1950) 1 科，千少足属 (*Millotauropus* Remy, 1950) 1 属，8 种，主要分布在古北界 (Palearctic region)、新热带 (Neotropical region) 和旧热带界 (Ethiopian region)；后者则有 11 科，49 属，863 种，包括少足科、科林那少足科 (*Colinauropodidae* Scheller, 1985)、列少足科 (*Eirmopauropodidae* Scheller, 2010)、聚少足科 (*Polypauropodidae* Remy, 1932)、双少足科 (*Amphipauropodidae* Scheller, 2008)、倍少足科 (*Diplopauropodidae* Scheller, 1988)、南半球少足科 (*Antichtopauropodidae* Scheller, 2010)、短少足科、汉氏少足科 (*Hansenauropodidae* Remy, 1954)、广少足科和球少足科 (Scheller 2008, Guo 2010a, b, Scheller 2011 a, b, Scheller et al. 2012, Qian et al. 2013, Scheller 2013, Qian et al. 2014, Scheller 2014)。四少足类的地理分布广泛，除南极洲外均有分布。

少足科是目前调查研究最全面的一个科，其物种多样性极为丰富，已描述的物种数达到 708 种 (隶属 25 属)，并且在全球几乎所有适合少足动物生活的环境中都有分布。其中，十别少足属和别少足属 (*Allopauropus* Silvestri, 1902) 为近全球分布，已描述的物种数分别为

表 1 四少足目动物胚后期发育各阶段的主要形态特征

Table 1 Morphological characters of post-embryonic developmental stages of pauropus of the Tetramerocerata

	步足数 (对) Number of leg (pair)	触角基节个数 Number of antennal shaft segment	体节个数 Number of trunk segment	背板个数 Number of tergite	感觉触毛数 (对) Number of botriotrich (pair)
第 1 幼体期 First instar larva	3	2	7	3	2
第 2 幼体期 Second instar larva	5	3	8	4	3
第 3 幼体期 Third instar larva	6	3	10	5	4
第 4 幼体期 Fourth instar larva	8	4	11	5	4
成体期 Adult	8 - 10*	4	12	6	5

\* 步足的数目在不同少足类各异。\* The number of legs differed in various pauropods.

389 和 102 种。少足属 (*Pauropus* Lubbock, 1867) 也有近似的分布特征, 已描述 54 种, 目前仅在南美洲的亚马逊雨林以及少数有过深入调查研究的热带岛屿地区 (如加拉帕格斯群岛、塔希提岛、塞舌尔群岛等) 未发现该属物种。针少足属 (*Stylopauropus* Cook, 1896) 已记录 24 种, 其地理分布也非常广泛, 分布范围从全北界 (Holarctic region) 的温带地区延伸至亚洲南部、马达加斯加和澳洲界 (Australian region)。东泽络少足属 (*Donzelotauropus* Remy, 1957) 已记录 29 种, 其地理分布特点与针少足属近似, 主要分布于全北界, 也有部分种类向南延伸至中国的中部和东部地区 (Guo et al. 2010b, Scheller 2011a)。其他一些分布范围较广的属还包括考维特少足属 (*Cauvetauropus* Remy, 1952), 该属在古北界的西南部、新热带界、旧热带界和东洋界 (Oriental region) 都有分布; 拉波德少足属 (*Rabaudauropus* Remy, 1953) 常见于除新北界 (Nearctic region) 以外的地区; 半少足属 (*Hemipauropus* Silvestri, 1902) 主要见于温带地区 (Scheller 2008, 2011a, b, 2013, 2014)。

广少足科已记录 4 属 64 种。其中三宝垄少足属 (*Samarangopus* Verhoeff, 1934) 在全球分布最为广泛, 已知物种有 36 种, 多数种类见于东洋界, 在澳洲界、旧热带界和古北界以东的大部分地区也有分布; 广少足属 (*Eurypauropus* Ryder, 1879) 仅记录了 5 种, 主要分布于全北界 (Scheller 2008, 2013)。

短少足科 (Brachypauropodidae Silvestri, 1902) 已知的物种较少 (30 种), 其中短少足属 (*Brachypauropus* Latzel, 1884)、类短少足属 (*Brachypauropoides* Remy, 1952) 和婆罗洲少足属 (*Borneopauropus* Scheller, 2008) 是该科已记录物种较多的类群, 分别为 9 种、7 种和 6 种。短少足属分布于全北界, 类短少足属分布于旧热带界和澳洲界, 而婆罗洲少足属则见于东洋界和澳洲界 (Scheller 2008, 2014)。

球少足科 (Sphaeropauropodidae Verhoeff,

1934) 目前仅发现球少足属 (*Sphaeropauropus* Silvestri, 1930) 1 属 15 种, 大部分种类分布于东洋界, 但在古北界也有少量发现 (Scheller, 2008, 2011a, 2014)。Scheller (2011a) 认为, 少足动物在热带地区的特有化现象很可能比目前已知情况更加普遍。

### 3.2 我国少足动物的分类及其分布

本实验室在我国 16 个省 (自治区) 的 24 个采样地开展了少足动物标本采集和分类鉴定, 加上前人的工作, 在我国境内共获得少足动物采样点 30 个, 分布于我国的 18 个省 (自治区) 内 (图 1)。尽管已有采样地点远不能代表我国 18 个省区的地域特点, 但这些调查发现有助于我们在全中国范围初步了解少足动物的分布情况。经调查、鉴定, 分布在我国少足动物类群有四少足目的 4 科, 即少足科、广少足科、短少足科和球少足科, 包括了 11 属 32 种, 加之 2014 年 Scheller 报道了采集于我国湖北省神农架自然保护区的球少足属 1 新种, 另有广少足属 *Eurypauropus* (*Latzellipus*) sp. Zhang et Chen, 1988, 球少足属 *Sphaeropauropus* sp. Zhang et Chen, 1988 和短少足属 *Brachypauropus* sp. (本文报道) 未鉴定到种 (表 2)。本文对我国已记录的 4 科 11 属 36 种少足动物的形态特征进行了比较, 并建立了少足动物的科、属和种检索表 (见附录)。

我国的少足动物已记录少足科 6 属, 广少足科和短少足科各 2 属, 球少足科 1 属。少足科物种多样性最高。其中, 十别少足属已知物种达 15 种, 占我国已知少足动物物种数的 40% 以上, 是目前我国已知少足动物中物种多样性最高的属。十别少足属分布范围广, 北起吉林长白山, 南至海南岛, 西自新疆伊犁, 东达江浙一带 (钱昌元等 2013)。其次是别少足属, 已报道 7 种, 在我国适合少足动物生存的环境中几乎都能采集到该属的物种。少足属在分布上与别少足属类似, 但已知物种仅 2 种。宋氏少足属 (*Songius* Sun et Guo, 2010) 目前仅见于我国的东部地区, 该属的命名是为纪念已故



尖端十别少足 <i>D. apicalis</i> Gai and Scheller, 2007†	+								
里氏十别少足 <i>D. ribauti</i> Remy, 1937#		+							
<i>D. infurcatus</i> Hagino, Y., 1991†	+		+						+
<i>D. mahicus</i> Scheller, 1982†	+			+					
<i>D. suppediatus</i> Scheller, 2005†	+								
<i>D. phakoides</i> Scheller, 2005†	+								
<i>D. leptotarsus</i> Scheller, 2004†	+								
双瓣形十别少足 <i>D. bidrepanoides</i> Qian, 2013†	+								
双双叉谷粒十别少足 <i>D. bifurcodicoccus</i> Qian and Dong, 2013†	+								
双乳突十别少足 <i>D. duomamillatus</i> Qian and Dong, 2013†	+								
刀形十别少足 <i>D. cutellatus</i> Qian, 2014†									+
东泽洛少足属 <i>Donzelotauropus</i>									
紫金东泽洛少足 <i>D. zijinensis</i> Shen and Zhou, 2007†	+								
矛形东泽洛少足 <i>D. lanceus</i> Guo, 2010†	+								
少足属 <i>Pauropus</i>									
长支少足 <i>P. longiramus</i> Zhang and Chen, 1988#†	+								+
背肢少足 <i>P. dorsappendix</i> Shen and Sun, 2007†	+								
宋氏少足属 <i>Songius</i>									
褶皱宋氏少足 <i>S. rugosus</i> Sun and Guo, 2010†	+								
双双叉宋氏少足 <i>S. bicurvis</i> Guo and Sun, 2010†	+								
针少足属 <i>Stylopauropus</i>									
双双叉针少足 <i>S. bifurcus</i> (Zhang and Chen, 2014)#†	+								+
双刚毛针少足 <i>S. biatistatus</i> Qian, 2014†									

\* 未鉴定到种; † 标本保存于南京师范大学生命科学学院; # 标本保存于中国科学院动物研究所; ※ 标本保存于瑞典隆德大学动物博物馆; + 有少足动物分布。

- 新疆 (灰褐土); 2. 西藏 (红壤); 3. 甘肃 (棕壤); 4. 陕西 (棕壤); 5. 河南 (棕壤); 6. 安徽 (黄棕壤); 7. 江苏 (黄棕壤); 8. 浙江 (黄棕壤); 9. 四川 (黄棕壤); 10. 湖北 (黄棕壤); 11. 湖南 (红壤); 12. 江西 (红壤); 13. 福建 (红壤); 14. 贵州 (黄壤); 15. 广西 (赤红壤); 16. 广东 (赤红壤); 17. 海南 (砖红壤); 18. 吉林 (暗棕壤)。

\* Unidentified species; † Specimen was deposited in college of life sciences, Nanjing normal university; # Specimen was keep in institute of zoology, Chinese academy of sciences; ※ Specimen deposited in the zoological museum, university of Lund, Sweden; + The site with pauropods.

- Xinjiang (grey-cinnamon soils); 2. Tibet (red soil); 3. Gansu (red soil); 4. Shanxi (brown soil); 5. He nan (brown soil); 6. Anhui (yellow-brown soil); 7. Jiangsu (yellow-brown soil); 8. Zhejiang (yellow-brown soil); 9. Sichuan (yellow-brown soil); 10. Hubei (yellow-brown soil); 11. Hu' nan (red soil); 12. Jiangxi (red soil); 13. Fujian (red soil); 14. Guizhou (yellow soil); 15. Guangxi (yellow soil); 16. Guangdong (latosolic red soil); 17. Hainan (laterite); 18. Jilin (dark brown soil).

的宋大祥院士, 已描述 2 个物种 (Guo et al. 2010a)。广少足科、球少足科以及发现的新纪录科——短少足科, 这 3 科目前在我国记录的物种数均较少。但根据文献记载 (Scheller 2008, 2011a), 这 3 科已知物种的主要分布区位于全北界和东洋界, 恰好与我国所在的地理区域有重叠。因此可以推断, 我国仍有大量少足动物新种, 特别是广少足、球少足和短少足新种期待后继研究者的发现。少足动物的种群密度一般在腐殖质较厚的土壤中较高。根据我国土壤类型的分布情况, 我们将所有的采样地按照土壤类型进行划分。伊犁地区土壤主要为灰钙土, 属于草原土壤。徐州地区土壤主要为潮土和盐土, 属于耕作土壤和盐成土。这两个地区的土壤均不适合少足动物生活, 采集获得的标本量很少, 甚至完全没有采集到标本。而其余 28 个采样地的土壤均属于森林土壤, 主要类型有灰褐土、棕壤、暗棕壤、黄棕壤、红壤、黄壤、赤红壤以及砖红壤。初步调查发现, 在上述 8 种森林土壤中主要见有少足科的种类; 在黄棕壤和红壤森林土壤中主要是广少足科种类; 在棕壤、红壤和黄壤的森林土壤中主要为短少足科种类; 由于调查区域的局限性, 目前只在森林红壤土中发现球少足科类群。这进一步表明少足科物种更具有广布性。另外, 不同林中少足动物的种群密度差异较大。在竹林中, 少足动物的种群密度较高, 其次是乔木、灌木林, 而在针叶林中则未见少足动物分布。这可能与松树根部分泌的刺激性物质不利于少足动物的生活有关, 尚待进一步考证和研究。

### 3.3 总结和展望

少足动物分类研究长期以来在国际上鲜有关注, 人们对少足动物的物种多样性现状亦知之甚微, 这种境遇在我国尤为突出。因此, 亟待开展我国少足动物的物种多样性调查。我国疆域辽阔, 地跨古北界与东洋界两大动物地理区, 涵盖温带、亚热带和热带三个气候带, 具有丰富的森林土壤资源。在我国开展少足动物的区系调查和系统分类学研究, 将成为该类群

系统分类学和物种多样性研究的关键, 这也是世界少足动物区系和分类学研究不可或缺的部分。其研究结果将对世界少足动物多样性研究起到积极的促进作用, 同时也将推动我国少足动物生物多样性研究的整体发展, 从而缩小我国在这一研究领域与世界水平的差距。并且, 可以为多足亚门的进化和动物地理学研究等提供坚实的基础。

**致谢** 感谢上海生命科学研究院植物生理生态研究所尹文英院士和谢荣栋先生、新疆大学张富春教授和彭永玉教授、兰州大学刘迺发教授、江苏大学孙文敬教授、陕西师范大学于晓平教授、中国科学院动物研究所孟凯·巴依尔实习研究员、南京师范大学周开亚教授、赵强高级工程师, 以及广东鼎湖山国家级自然保护区管理局郭希梅女士等在本文分类研究、野外调查和标本采集工作中给予的指导和帮助。南京师范大学盖永华博士、董艳博士、殷稼雯博士, 硕士研究生沈宏、王安、潘达、徐娟娟、楚克林等协助采集标本, 沈宏和董艳协助鉴定部分标本, 谨致谢忱。贵刊编辑委员会和 3 位评审专家审阅原稿并提出宝贵修改意见, 在此深表谢意。

### 参 考 文 献

- Brusca R C, Brusca G J. 2003. Chapter 18: Phylum Arthropoda: The Myriapods (Centipedes, Millipedes, and their Kin)// Brusca R C, Brusca G J. *Invertebrates*. 2nd ed. USA: Sinauer Associates, 644.
- Gai Y H, Song D X, Sun H Y, Zhou K Y. 2006. Myriapod monophyly and relationships among Myriapod classes based on nearly complete 28S and 18S rDNA sequences. *Zoological Science*, 23, 1101–1108.
- Guo H, Sun H Y, Qian C Y, et al. 2010a. A new genus and two new species of the subfamily Pauropodinae (Myriapoda: Pauropoda: Pauropodidae) from China. *Zoological Science*, 27(11): 895–899.
- Guo H, Dong Y, Jin Y, et al. 2010b. Four new species of Pauropodidae (Myriapoda: Pauropoda) from Zhejiang and

- Jiangsu Provinces, east China. *Journal of Natural History*, 44(43/44): 2637–2648.
- Hågvar S, Scheller U. 1998. Species composition, developmental stages and abundance of Pauropoda in coniferous forest soils of southeast Norway. *Pedobiologia*, 42: 278–282.
- Hansen H J. 1901. On the Genera and Species of the Order Pauropoda. *Videnskabelige Meddelelser fra den naturhistoriske Forening i Kjöbenhavn*, 53: 323–424.
- Humbert A. 1872. *Etude sur les myriapodes* // Saussure H, Humbert A. *Recherches zoologiques publiées par M. Switzerland: Milne Edwards*, 6: 188.
- Lubbock J. 1867. On Pauropus, a new type of centipede. *Transactions of the Linnean Society of London*, 26: 181–190.
- Meyer E, Scheller U. 1992. Abundance and species composition of Pauropoda in forest soils of Western Austria (Vorarlberg, Tirol). *Berichte des naturwissenschaftlich-medizinischen Vereins in Innsbruck, Supplementum*, 10: 431–439.
- Packard A S. 1870. A remarkable myriapod. *American Naturalist*, 4: 2.
- Qian C Y, Chu K L, Liu X R, et al. 2014. Four new species of Pauropoda (Brachypauropodidae, Eurypauropodidae, Pauropodidae) from the Sanqingshan Mountains, Jiangxi Province, China. *Zootaxa*, 3764(1): 81–91.
- Qian C Y, Dong Y, Guo H, et al. 2013. Pauropods (Myriapoda: Pauropoda) from eastern China, descriptions of three new species and revision of *Pauropus bifurcus* Zhang & Chen, 1988. *Zootaxa*, 3608(2): 116–120.
- Scheller U. 1988. The Pauropoda (Myriapoda) of the Savannah River Plant Aiken, South Carolina // Savannah River Plant. USA: National Environmental Research Park Program, 1–99.
- Scheller U. 2001. Pauropoda (Myriapoda) from Sabah (East Malaysia) (Pauropoda and Symphyla of the Geneva Museum XI). *Revue Suisse de Zoologie*, 108 (4):949–986.
- Scheller U. 2008. A reclassification of the Pauropoda (Myriapoda). *International Journal of Myriapodology*, 1(1): 1–38.
- Scheller U. 2011b. New records of Pauropoda (Myriapoda) from north-western Thailand. *International Journal of Myriapodology*, 4: 51–77.
- Scheller U. 2011a. Pauropoda // Minelli A. *The Myriapoda (Treatise on Zoology-Anatomy, Taxonomy, Biology)*. Netherlands: Brill, 1, 467–508.
- Scheller U. 2013. Three new species of Pauropoda (Myriapoda) from Brazil with description of a new genus in Diplopauropodidae, *Adelphopauropus*. *Zootaxa*, 3664(1), 69–77.
- Scheller U. 2014. New records of Pauropoda (Myriapoda) with descriptions of new taxa. *Zootaxa*, 3866(3), 301–332.
- Scheller U, Adis J. 2002. *Symphyla* // Adis J. *Amazonian Arachnida and Myriapoda*. Moscow: Pensoft, 547–554.
- Scheller U, Barratt B I P. 2012. Pauropoda (Myriapoda) from indigenous high-country tussock grassland in New Zealand with descriptions of two new genera and eight new species. *Australian Journal of Entomology*, 51(1): 28–46.
- Scheller U, Minor M. 2010. New records of Pauropoda (Myriapoda) from New Zealand with descriptions of four new species and a new family Eirmopauropodidae. *New Zealand Journal of Zoology*, 37(4): 323–337.
- Shen H, Gai Y H, Song D X, et al. 2007. New species of Pauropodidae (Myriapoda: Pauropoda) from Nanjing, China. *Journal of Natural History*, 41(37/40): 2313–2329.
- Silvestri P. 1902. *Ordo Pauropoda* // Berlese A. *Acari, Myriopoda et Scorpiones Hucusque in Italia Reperta*. Italy: Portici, 1–84.
- 钱昌元, 郭华, 赵强, 等. 2013. 中国十别少足类的形态比较 [EB/OL]. 北京: 中国科技论文在线 [2013–01–23]. <http://www.paper.edu.cn/releasepaper/content/201301-970>.
- 张崇州, 陈中平. 1988. 我国新纪录蠃螈纲的初步研究(多足动物). *动物学集刊*, 6: 39–54.

附录 中国已知少足动物检索表 (4 科, 11 属, 33 种, 3 未定种)

Appendix The key of the described pauropods in China (4 families, 11 genera, 33 species, 3 unidentified species)

- 1 背板光滑, 被有未经修饰的刚毛.....少足科 *Pauropodidae*  
背板上的刚毛经过修饰.....2
- 2 第 I 背板完整, 至少在第 II ~ IV 背板上出现分裂的骨板 4 ~ 6 块.....短少足科 *Brachypauropodidae*  
第 I ~ VI 背板全部完整.....3
- 3 身体背腹平整, 第 I ~ VI 背板腹侧没有纵沟, 不能完全卷曲身体.....广少足科 *Eurypauropodidae*  
身体明显呈拱形, 第 II ~ V 背板腹侧有纵沟, 身体可以蜷缩成球形.....球少足科 *Sphaeropauropodidae*

少足科 *Pauropodidae* (6 属 30 种)

- 1 触角胸支 *s* 的前缘比后缘短.....2  
触角胸支 *s* 的前缘明显长于或近等长于后缘.....3
- 2 尾节背板表面光滑.....4  
尾节背板表面被四角或五角形的蜂窝状镂刻结构所修饰.....宋氏少足属 *Songius*
- 3 触角的 *g* 球体柄短.....少足属 *Pauropus*  
触角的 *g* 球体柄长.....5
- 4 尾节胸板有 3 对刚毛  $b_1 + b_2 + b_3$ .....别少足属 *Allopauropus*  
尾节胸板有 2 对刚毛  $b_1 + b_2$ .....十别少足属 *Decapauropus*
- 5 尾节胸板有 1 对刚毛  $b_1$ .....针少足属 *Stylopauropus*  
尾节胸板有 2 对刚毛  $b_1 + b_3$ .....东泽络少足属 *Donzelotauropus*

宋氏少足属 *Songius* (2 种)

- 1 肛板舌状, 表面具有短绒毛.....褶皱宋氏少足 *S. rugosus*  
肛板表面光滑, 后缘有 U 形浅缺刻使肛板后缘形成两个凸起, 两个圆柱状长附肢从上面向后突出.....  
.....双叉宋氏少足 *S. bicruris*

少足属 *Pauropus* (2 种)

- 1 肛板有 V 形缺刻, 形成的凸起部分的末端有一个杆状小附肢.....长支少足 *P. longiramus*  
肛板中部有一个 U 形缺刻。肛板的每一半又被一个 V 形缺刻所分开, 其中近中间的部分分裂形成两个等长的近柱状的分支, 每个分支上有短绒毛.....背肢少足 *P. dorsappendix*

别少足属 *Allopauropus* (7 种)

- 1 触角第四基节上有 4 根刚毛.....2  
触角第四基节上有 4 根以上刚毛.....3
- 2 触角第四基节上的四根刚毛形状相同.....4  
触角第四基节上的四根刚毛形状不同.....*A. bedanoi*
- 3 触角第四基节上有 5 根刚毛.....*A. fraterculus*  
触角第四基节上有 6 根刚毛.....*A. ipassaensis*
- 4 尾针 *st* 光滑.....毛被别少足 *A. lasiochlamis*  
尾针 *st* 被毛.....5
- 5 肛板表面光滑.....四分叉别少足 *A. tetrachotomous*  
肛板表面被毛.....6
- 6 肛板后缘平整没有凸起.....南京别少足 *A. nanjingensis*  
肛板后缘中部有梯形凸起.....三叉别少足 *A. tristylus*

十别少足属 *Decapauropus* (15 种)

- 1 头部表皮粗糙.....2  
头部表皮光滑.....3
- 2 触角第四基节上有 4 根刚毛.....*D. infurcatus*  
触角第四基节上有 5 根刚毛.....双球十别少足 *D. disphaeroides*
- 3 触角第四基节上有 5 根刚毛.....4  
触角第四基节上有 4 根刚毛.....5
- 4 尾针 *st* 光滑.....*D. leptotarsus*  
尾针 *st* 被毛或有环纹.....尖端十别少足 *D. apicalis*
- 5 尾针 *st* 光滑.....6  
尾针 *st* 被毛或有环纹.....7
- 6 尾针 *st* 末端钝圆.....8  
尾针 *st* 阔剑形或末端尖锐.....9
- 7 尾针 *st* 有环纹.....10  
尾针 *st* 被毛.....11
- 8 肛板后缘有缺刻.....12  
肛板后缘平整光滑.....*D. mahcicus*
- 9 肛板上有附肢.....13  
肛板上无附肢.....双镰形十别少足 *D. bidrepanoides*
- 10 肛板舌状.....*D. suppeditatus*  
肛板近圆形, 透镜状.....*D. phakoides*
- 11 肛板表面光滑.....卵节十别少足 *D. ovalapendicis*  
肛板表面被毛.....14

- 12 肛板后缘有 V 形缺刻.....  
.....双叉双谷粒十别少足 *D. bifurcodicoccus*  
肛板后缘有 U 形缺刻.....双乳突十别少足 *D. duomamillatus*
- 13 肛板上有 2 对附肢.....里氏十别少足 *D. ribauti*  
肛板上有 1 对附肢.....刀形十别少足 *D. cutellatus*
- 14 肛板呈半圆形.....毛球十别少足 *D. pilosisphaerus*  
肛板呈梯形.....棒形十别少足 *D. crassescens*

**针少足属 *Stylopaupopus* (2 种)**

- 1 肛板后缘有 1 个很深的缺刻使肛板形成两个很长的分叉，肛板  
和附肢表面光滑.....双叉针少足 *S. bifurcus*  
肛板近似于心形，后缘有 2 个浅缺刻，并且后缘外侧的转角  
圆润；附肢有环纹，末端部分呈钢盔状.....  
.....双刚毛针少足 *S. biatistatus*

**东泽络少足属 *Donzelotauropus* (2 种)**

- 1 肛板半圆形，后缘向后凸起有 4 个短附肢；外侧附肢圆柱形，  
内侧附肢短，呈三角形；每个内侧三角形附肢上向着生有  
1 个长附肢；长附肢分两节，近端圆柱形，表面光滑，远端  
梭形，被毛.....紫金东泽络少足 *D. zijinensis*  
肛板前缘宽，除后缘中部有 1 个近三角形的附肢外，没有其  
他附肢，附肢表面被浓密软毛.....  
.....矛形东泽络少足 *D. lanceus*

**短少足科 *Brachypaupodidae* (2 属, 1 种, 1 未定种)**

- 1 颚器官有 3 处向上凸起；大部分背板上的刚毛呈卵球形；尾  
板胸侧有 3 对刚毛  $b_1 + b_2 + b_3$ .....  
.....**婆罗洲少足属 *Borneopaupopus***  
颚器官至少有 1 个管状凸起；大部分背板上的刚毛呈戟形；  
尾板胸侧有 2 对刚毛  $b_1 + b_3$ .....**短少足属 *Brachypaupopus***

**婆罗洲少足属 *Borneopaupopus* (1 种)**

- 1 肛板舌状，侧缘有凸出，末端变窄形成一个三角形凸起；有  
1 对弓形的附肢向末端突出；肛板和附肢表面光滑.....  
.....尖叶婆罗洲少足 *B. acutifolius*

**短少足属 *Brachypaupopus* (1 未定种)**

- 1 肛板基部宽，后缘有尖锐凸起；2 个附肢从肛板近基部胸侧  
向后突出；附肢鞭毛状，向内弯曲；肛板和附肢表面光  
滑.....*Brachypaupopus* sp.

**广少足科 *Eurypaupodidae* (2 属, 1 种, 1 未定种)**

- 1 触角第四基节上有 3 根发育良好的刚毛.....  
.....**三宝垄少足属 *Samarangopus***  
触角第四基节上有 4 根发育良好的刚毛.....2
- 2 背部刚毛嵌入在圆形凹窝状的结构中.....  
.....**广少足属 *Eurypaupopus***

**三宝垄少足属 *Samarangopus* (1 种)**

- 1 肛板后端尖细；侧缘有 1 对细长的，末端膨大的分支，肛  
板正中有 1 个 U 形缺刻；1 对附肢附着于近肛板尾端，附  
肢像有个柄的气囊，表面密布小颗粒.....  
.....膨大三宝垄少足 *S. dilatata*

**广少足属 *Eurypaupopus* (1 未定种)**

- 1 肛板后中部凹陷呈深湾状，而后侧凹为明显的缺刻；中测  
支长，相互呈钳状，而侧支细小。尾针短小，呈棒  
状.....*Eurypaupopus* sp.

**球少足科 *Sphaeropaupodidae* (1 属, 1 种, 1 未定种)**

身体呈拱形，可完全卷曲，身体第 II ~ V 背板腹侧面有纵  
沟；第 I 背板与第 II ~ IV 背板等宽；背板表面布满细密  
的小棘、浓密短毛和丛生的毛状物.....

**球少足属 *Sphaeropaupopus***

- 1 肛板上半部近圆形，下半部具有 1 对附肢，其基部向内趋窄，  
末端呈圆柄状.....*Sphaeropaupopus* sp.
- 2 肛板盘状，具有 1 对向后的附肢，附肢呈圆柱形，每一个附  
肢上着生 1 个具柄被毛的囊状附属物.....  
.....*Sphaeropaupopus rotatilis*