

机敏异漏斗蛛体表超微感受器的扫描电镜观察

刘洋洋 荆奇 周琼*

湖南师范大学生命科学学院 长沙 410081

摘要: 为了阐明机敏异漏斗蛛 (*Allagelena difficilis*) 对外界刺激的感受机制, 利用扫描电镜对其体表的超微感受器进行了观察。机敏异漏斗蛛的体表感受器多样, 毛状感受器的种类和数目最多, 包括触毛、听毛、味觉毛、毛状刺、羽状毛、棘, 广泛分布在体表各部; 三明治状感受器分布于蜘蛛腹部背面和腹面以及步足等处; 半球状感受器分布于蜘蛛的步足; 单裂缝感受器和琴形器也主要分布于步足。

关键词: 机敏异漏斗蛛; 扫描电镜; 毛状感受器; 裂缝感受器; 机械感受器

中图分类号: Q954 文献标识码: A 文章编号: 0250-3263 (2016) 03-455-11

Observations on Microreceptors on the Surface of the Funnel-web Spider (*Allagelena difficilis*)

LIU Yang-Yang JIN Qi ZHOU Qiong*

College of Life Science, Hunan Normal University, Changsha 410081, China

Abstract: Aiming to determine the mechanisms by which the funnel-web spider (*Allagelena difficilis*) reacts to multiple external stimuli, the sensilla on its body surface were studied by scanning electronic microscope (SEM). Six male and female spiders that are fixed in 70% alcohol solution were rinsed several times with distilled water. Having been dehydrated in alcohol of different concentrations, they are displaced with tert-butyl alcohol. Finally, the sample was observed after critical point drying and metal films. The investigation found that there are several types of sensilla on the body surface of *Allagelena difficilis*. Hair sensilla, which include trichobothrium (Fig. 1), gustatory hairs (Fig. 2), tactile hairs (Fig. 3), sigmoidal setae (Fig. 4), spines (Fig. 8 and Fig. 10) and plumose hairs (Fig. 9), are dominant and found on various parts of the body surface. The sandwich-like mechanosensory organs (Fig. 6) are the second most common in amount and distribute widely over the dorsal and ventral surfaces of the spider's abdomen as well as the legs. The cell half-ball-like mechanosensory sensilla (Fig. 7), single slit sensilla and the lyriform organs (Fig. 5) mainly disperse over the surface of the spider's legs.

Key words: Funnel-web spider *Allagelena difficilis*; Scanning electronic microscope; Hair sensilla; Slit sensilla; Mechanosensory sensilla

基金项目 国家自然科学基金项目 (No. 31172107), 湖南省自然科学基金项目 (No. 14JJ5029);

* 通讯作者, E-mail: zhoujoan@hunnu.edu.cn;

第一作者介绍 刘洋洋, 女, 硕士研究生; 研究方向: 生物学科教学; E-mail: 472023987@qq.com.

收稿日期: 2015-05-10, 修回日期: 2015-11-11 DOI: 10.13859/j.cjz.201603013

动物在长期的进化过程中会形成许多与环境相适应的独特行为模式,蜘蛛也不例外,如织网、捕食、求偶、携卵等,这些行为活动离不开感觉系统的支持。蜘蛛感受外界的各种刺激,包括来自猎物的信息以及种内个体间的信息,都需要其体表感受器的感受,研究其体表感受器的类型、结构和分布,对于研究蜘蛛的生态学适应性及其进化关系有重要意义。尽管关于蜘蛛体表感器形态结构和功能的研究没有对脊椎动物和昆虫的深入,但已有诸多研究报道(Uetz et al. 1983, Jiang et al. 2006)。蜘蛛的感受器类型多样,各种体毛遍布体表,根据功能的不同可以分为触毛、听毛、味觉毛、刺和化学感觉毛(Witt et al. 1982, Lachmuth et al. 1984, Foelix 1996, Tichy et al. 2001)。很多体毛都是由三合神经(triple innervations)控制的,这些体毛就是蜘蛛的部分感觉器官(Foelix 1996)。其次,蜘蛛体表还分布着各种非毛状感受器,包括裂缝感受器(slit sensilla)、三明治状感受器(sandwich-like mechanosensory organs)及半球状感受器(cell half-ball-like mechanosensory organs)。裂缝感受器可以感受由基质震动、其他动物运动及重力作用产生的机械应力(Barth 1985),三明治状感受器和半球状感受器也是蜘蛛体表的机械感受器(Jiang et al. 2006)。在我国,蜘蛛的体表超微感受器仅有零星报道(于春林等 1987, 赵敬钊 2001, 肖永红等 2011)。

机敏异漏斗蛛(*Allagelena difficilis*)是蜘蛛目(Araneae)漏斗蛛科(Agelenidae)一种结漏斗状网的蜘蛛。其分布广泛,在经济作物区的茶树(*Camellia sinensis*)、柑橘(*Citrus* spp.)、竹林(Bambusoideae)、棉花(*Gossypium* spp.)、粮食作物区的玉米(*Zea mays*)、高粱(*Sorghum bicolor*)、大豆(*Glycine max*)、水稻(*Oryza sativa*),以及桅子花(*Gardenia jasminoides*)、蔷薇(*Rosa multiflora*)、构骨(*Ilex cornuta*)、水杉(*Metasequoia glyptostroboides*)、剑麻(*Agave sisalana*)、女贞(*Ligustrum*

lucidum)、冬青(*Ilex chinensis*)等园林植物上均有分布(陈樟福等 1980, 颜亨梅等 1994),是经济作物、园林和农业害虫的一种重要天敌。有关机敏异漏斗蛛的体表感受器,目前仅有赵敬钊(2001)对其听毛进行过描述,其他感器及其分布尚未见报道。我们在前期研究机敏异漏斗蛛的捕食行为和控虫效能以及对猎物感觉(荆奇等 2012, 2014)的基础上,对机敏异漏斗蛛的体表超微感受器进行了观察分析,为进一步研究蜘蛛与猎物间以及蜘蛛种内个体间的信息联系提供依据。

1 材料与方法

1.1 机敏异漏斗蛛的采集和饲养

机敏异漏斗蛛的雌雄亚成蛛和成蛛于 2013 年 11 月至 12 月采自湖南长沙麓山南路岳王亭地区,单头装于玻璃试管(内径 26 mm, 高 148 mm)中,置于室内饲养。试管底部放有用纯净水沾湿的棉球,以保持管内湿润。室内的温度维持日间(22 ± 2) $^{\circ}\text{C}$,夜间温度(16 ± 2) $^{\circ}\text{C}$,光周期 11L:13D,即光照 11 h,黑暗 13 h。所有的蜘蛛均以黄粉虫(*Tenebrio molitor*)饲养,每周投喂 1~2 头/只,取成蛛用于扫描电镜观察。

1.2 样品的制备和观察

取健康雌雄成蛛各 3 头,用 70%的乙醇溶液杀死并保存。用蒸馏水对保存的成蛛体表进行清洗,在解剖镜下切取所需观察部位,并再次用蒸馏水清洗;梯度脱水法(30%、50%、70%、80%、90%、100%的乙醇溶液)逐级脱水,每个浓度维持 15~20 min,其中 100%浓度的乙醇进行 2 次脱水;用 100%的叔丁醇置换乙醇;液态 CO_2 临界点干燥法使样品干燥;JFC-1600 型金属镀膜仪进行金属镀膜后置于扫描电子显微镜(JEOL JSM-5 600LV)下观察蜘蛛体表超微结构并拍照。

1.3 各种感受器的判断依据

听毛的一个显著特点是比较细软,几乎垂直着生在体表的一个较大的毛窝内,易于与其

他毛区别 (Foelix 1982)。

蜘蛛的味觉毛有几个显著特点: 具有有孔的钝头末端; 毛干中具有两个腔; 多神经组成的机械感受器末端位于毛干的基部, 一些化学感受器伸入毛干的腔内; 化学感受的神经限制在一个腔内, 没有分支, 并且在孔的末端处暴露于外部 (Foelix et al. 1973b)。

蜘蛛的触毛形态多样, 数量最多, 遍布整个身体表面。触毛毛干一般比较粗长, 上有许多突起, 且毛干与体表呈锐角着生于毛窝之内。有些部位触毛周围还常着生有羽状毛或三明治状机械感受器。

裂缝感受器最先是由 Barth 和 Libera (1970) 研究狼蛛 (*Lycosa*) 时描述和命名的, 它包括单个的裂缝感受器和聚集而成的琴形器。裂缝感受器最显著的特征就是由蜘蛛体表的裂缝组成, 其分布广泛, 包括分布在附肢各节末端的内侧面。

2 结果

扫描电镜观察, 机敏异漏斗蛛的体表感受器主要分为毛状、裂缝状、三明治状、半球状感受器及其他如毛状刺、羽状毛、棘。

2.1 毛状感受器

2.1.1 听毛 机敏异漏斗蛛的听毛丝状, 毛干基部和端部的直径基本相同, 与体表基本垂直 (图 1a)。毛干基部有一个膨大、类似水井围口的毛囊, 毛囊中央是一个较大的腔窝, 腔窝的内径大约是毛干基部的 1.2 倍, 腔窝内壁有数条环状圈纹。毛干上有很多绒毛状突起 (图 1b), 环绕毛干, 但毛干的基部无绒毛, 只有一些纵脊状突起 (图 1c)。

2.1.2 味觉毛 机敏异漏斗蛛的味觉毛与体表成一定角度着生, 基部有一个坛状毛囊, 毛囊中央腔窝的直径略大于毛干基部 (图 2a), 但是远不及听毛。味觉毛毛干基部的直径与毛干端部的直径基本相当, 毛干下部约 1/3 光滑, 往上开始在单侧分布有绒毛状突起, 继续往上绒毛开始环绕整个毛干着生 (图 2b)。味觉毛

的末端稍膨大, 略呈抹刀状, 且没有绒毛着生, 有纵向脊状突起 (图 2c)。味觉毛近端半部的绒毛末端呈钩状 (图 2d)。

2.1.3 触毛 机敏异漏斗蛛的触毛长, 可以分为 I 和 C 两种类型。

I 型触毛着生于步足, 数量众多, 与体表约成 45° 角 (图 3a), 毛囊似拖鞋状, 包裹于毛干基部 (图 3b)。其毛干较粗长, 末端的直径明显小于毛干基部, 整个毛干上有很多绒毛状突起 (图 3c)。

机敏异漏斗蛛雄蛛的触肢上分布着一些 C 型触毛 (图 4), 其毛干着生于一个较扁平的毛窝中 (4a), 且毛干弯曲呈 C 型 (4b), 其上密布短小的刺状突起。

2.2 裂缝感受器

机敏异漏斗蛛的体表分布有单个的裂缝感受器 (单裂缝感受器) 和由多个裂缝感受器聚集而成的竖琴器 (图 5)。单裂缝感受器散布在步足表面 (图 5a), 竖琴器主要分布在机敏异漏斗蛛附肢各节末端的内侧面, 在步足的跗节、膝节和胫节末端的内侧面各发现 1 或 2 个 (图 5b ~ d)。

2.3 三明治状机械感受器

机敏异漏斗蛛的腹部发现有大量的三明治状机械感受器 (图 6)。

2.4 半球状感受器

在机敏异漏斗蛛步足的腿节和转节上还发现了半球状的机械感受器 (图 7)。

2.5 其他

机敏异漏斗蛛的体表除了有各种毛状感受器之外, 还有许多其他类型的毛状体。

2.5.1 毛状刺 在机敏异漏斗蛛的腿节有许多毛状刺, 垂直于步足表面着生。刺比较短小, 末端尖细, 基部有一半球状小毛囊, 紧包着毛干基部 (图 8a)。毛干上没有绒毛, 但其上有许多纵向的脊状突起 (图 8b)。在机敏异漏斗蛛的腿节分布着几列排列整齐的刺 (图 8c)。

2.5.2 羽状毛 机敏异漏斗蛛的体表密布着具羽状分支的毛 (图 9), 几乎贴着体表, 毛干基

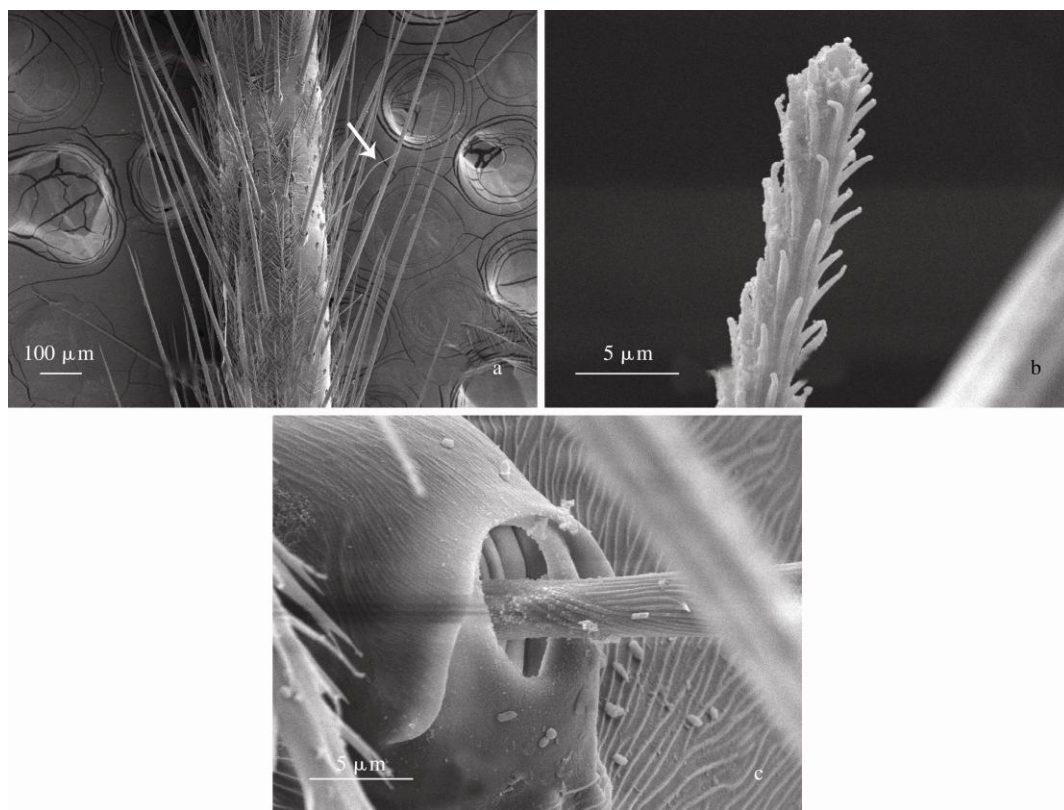


图 1 机敏异漏斗蛛的听毛

Fig. 1 Trichobothrium of the funnel-web spider

a. 雌蛛第四步足听毛整体观, 箭头指向听毛; b. 雄蛛第一步足跗节听毛毛干(折断); c. 雄蛛第二步足听毛毛干基部, 示大的腔窝及其内壁的环状圈纹, 毛干基部无绒毛。

a. The trichobothrium on the female leg IV, the arrow indicating to the trichobothrium; b. The shaft of trichobothrium on the male leg I; c. Base of the trichobothrium on the male leg II, showing the large cavity, the ring-like grains on its inner wall and the base of the trichobothrial shaft.

部直径略小于毛窝直径, 表面无突起。羽状毛的末端及各分支的末端尖细, 其直径小于毛干基部。机敏异漏斗蛛的步足和腹部表面均有羽状毛分布, 尤其腹部有密集的羽状毛。

2.5.3 棘 机敏异漏斗蛛的体表还有一种特别粗大而长的毛状体——棘, 在体视镜下就能清楚地看到。机敏异漏斗蛛的棘与体表约成 45° 角着生(图 10a), 其毛干末端直径明显小于基部的直径, 毛干上有许多细小的斜刺状的突起(图 10b)。

3 讨论

听毛是蜘蛛附肢司听觉功能的感觉毛, 拥

有感知气流和低频空气振荡的所谓远距离触感(Witt et al. 1982), 毛干粗糙, 以增大与空气的接触(Reissland et al. 1978), 是研究得比较多的一种蜘蛛超微感受器。蜘蛛的听毛形态多样, 其结构、数目和分布在不同的蜘蛛类群中会有一些的差异性, 而这种差异性可以为分类学提供一定的依据。赵敬钊(2001)等选用了新蛛类的9种蜘蛛作为研究对象, 通过电镜观察探讨听毛在不同类群的差异, 发现机敏异漏斗蛛的听毛数目较多, 从步足膝节到跗节的背腹两侧皆有分布。其中胫节和后跗节的听毛数目要多于膝节和跗节的, 背侧的听毛数目要多于腹侧的。本研究发现, 在机敏异漏斗蛛步足的

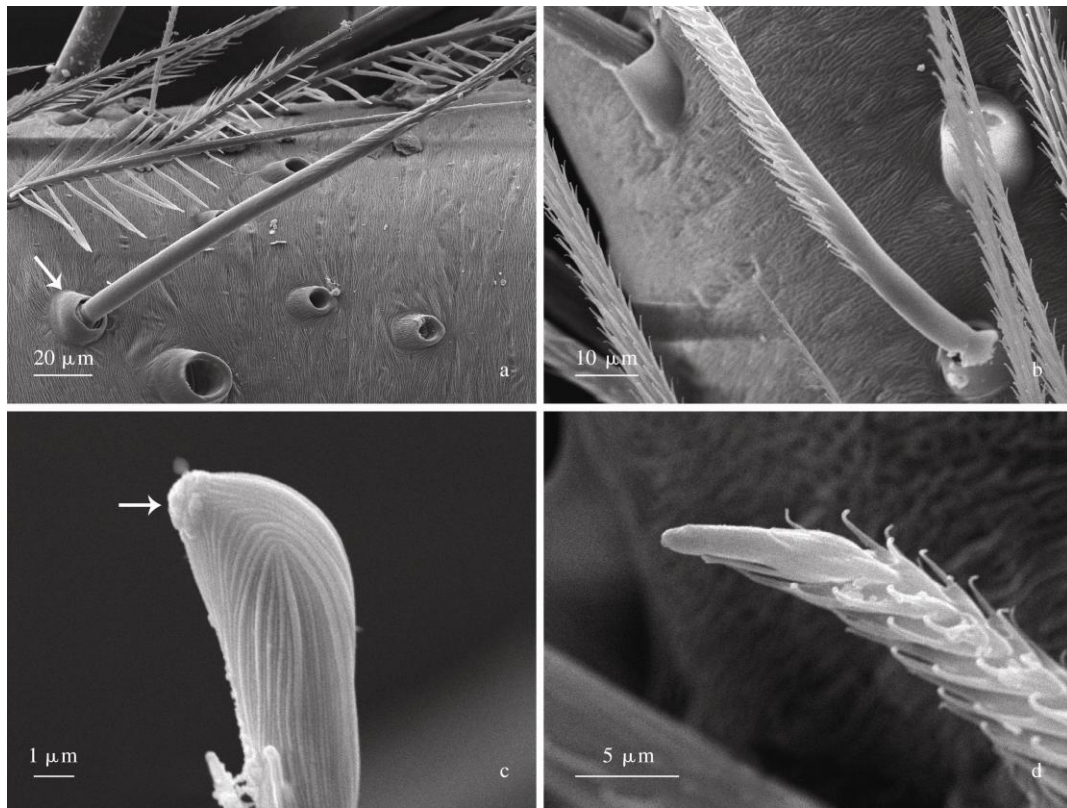


图2 机敏异漏斗蛛的味觉毛

Fig. 2 Gustatory hair of the funnel-web spider

a. 雌蛛第二步足味觉毛毛囊（箭头）及毛干下部；b. 雄蛛第一步足味觉毛下半部；c. 雄蛛第一步足味觉毛末端（箭头指向疑似开口）；d. 雌蛛第二步足味觉毛毛尖。

a. Socket and basepart of gustatory hair on the female leg II; b. Basepart of the gustatory hair on the male leg I; c. End of gustatory hair on the male leg I (The arrow pointing to a suspected pore); d. Tip of gustatory hair on the female leg II.

后跗节与跗节背腹两侧均有听毛分布，至于其他各节听毛的分布情况及数量需继续研究。

触毛是蜘蛛体表数目最多的机械感受器 (Lachmuth et al. 1984)，它们是由 3 种二极神经元控制的 (Foelix 1970, Eckweiler et al. 1988)。触毛主要由毛干和表皮上的毛窝组成，毛窝内柔软关节膜将触毛分为两个活动臂，外部的活动臂接受外来的刺激，内部的活动臂将刺激能传递给特化的拥有管状体的神经末梢，3 个神经末梢固定在体表毛窝上，多神经使它可以感知运动中与方向有关的信息 (Foelix et al. 1973a, Foelix 1985)。根据我们的观察，机敏异漏斗蛛体表触毛的形态多样，

而这种形态的差异有可能是因其着生部位、功能以及触毛的生长时期不同而产生的 (Jiang et al. 2006)。

C 型触毛可能是机敏异漏斗蛛的接触化学感受器，兼具化学感受和机械感受的功能 (Talarico et al. 2008)。Tietjen 等 (1980) 发现接触化学感受器与雄蛛沿着雌蛛的拖线追寻其踪迹有关，此种感受器在雄蛛触肢跗节的内侧面分布最多。于春林等 (1987) 在研究老狡蛛 (*Dolomedes snilis simon*) 时发现，在其雄蛛触肢舟状物近尖端有化学感觉毛，该毛毛干上有沿长轴螺旋排成的棘状突起，毛干顶端粗钝，未见开放孔，但具有一根较粗的刺，该化学感

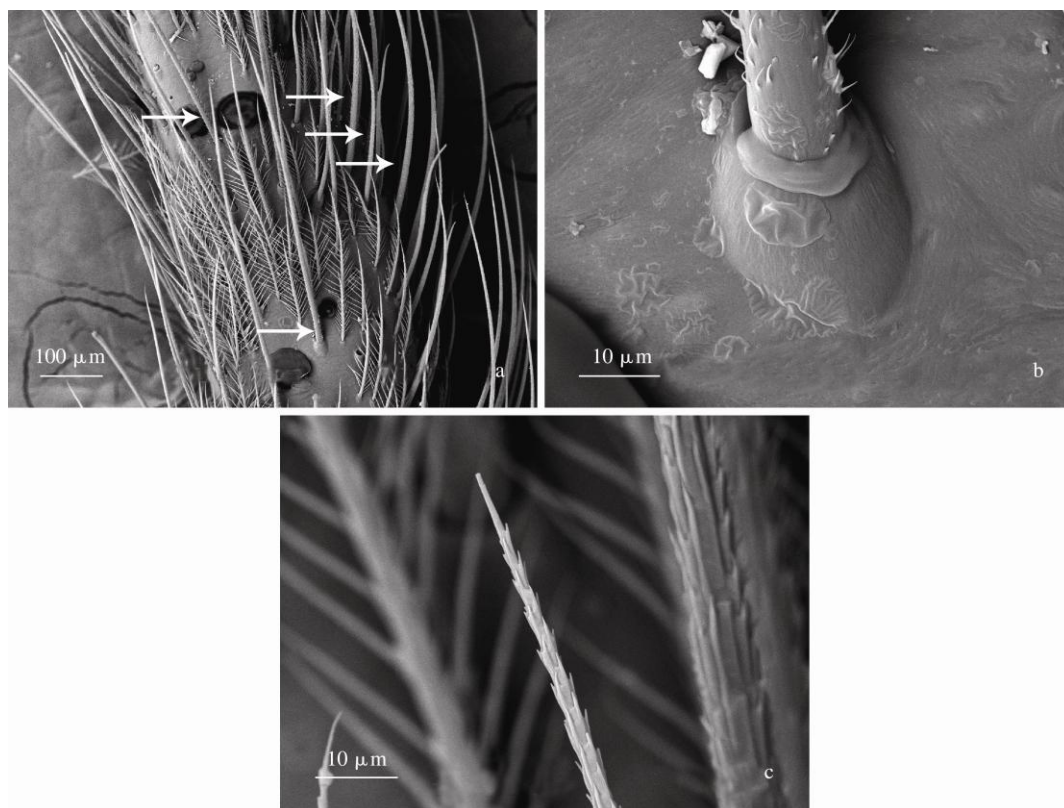


图 3 机敏异漏斗蛛触肢的 I 型触毛

Fig. 3 Tactile hair I of the funnel-web spider

a. 雌蛛触肢触毛整体 (箭头所指); b. 雌蛛触肢触毛毛囊; c. 雌蛛触肢触毛末端。

a. Tactile hair I on the surface of the female pedipalp; b. Socket of the tactile hair on the female pedipalp; c. Tip of tactile hair on the female pedipalp.

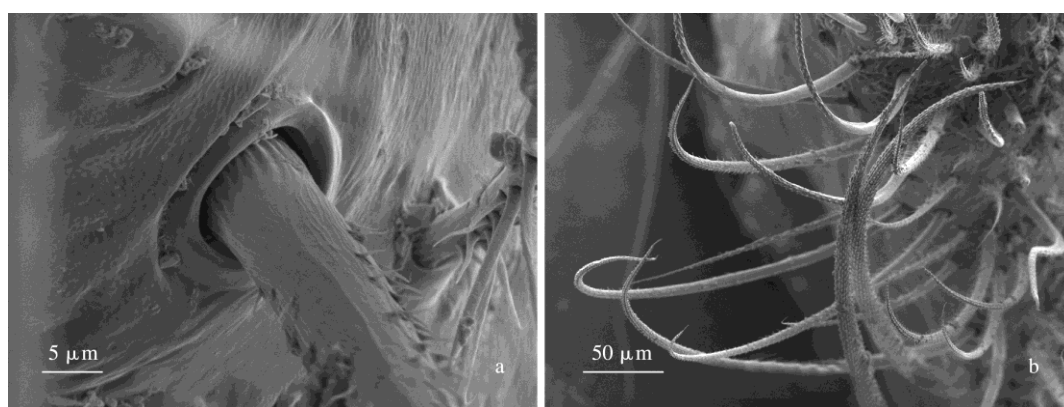


图 4 雄性机敏异漏斗蛛触肢上的 C 型触毛

Fig. 4 Sigmoidal setae on the male pedipalp of the funnel-web spider

a. 毛干基部的毛窝; b. 弯曲的毛干。

a. Socket of sigmoidal seta on the male pedipalp; b. The curved shaft of the male pedipalp.

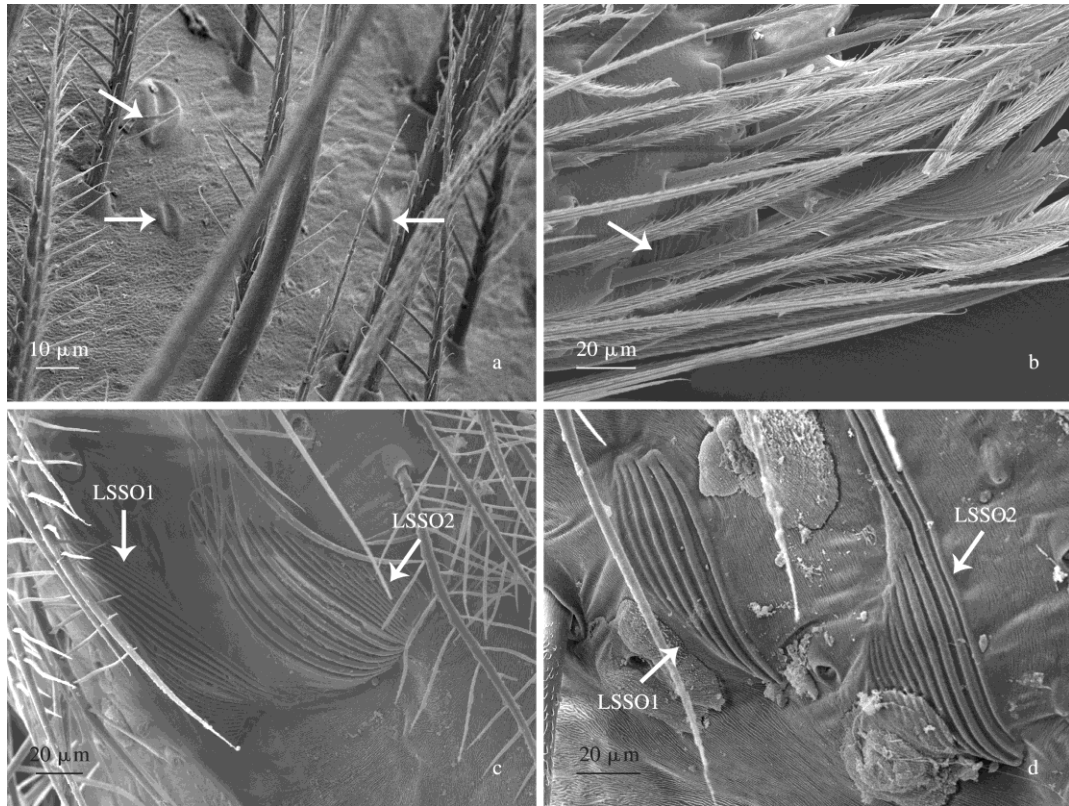


图 5 机敏异漏斗蛛的裂缝感受器和琴形器

Fig. 5 Slit sensilla and lyriform organs of the funnel-web spider

a. 雌蛛第一步足跗节单裂缝感受器 (箭头); b. 雌蛛第一步足跗节竖琴器 (箭头所指); c. 雄蛛第二步足膝节竖琴器; d. 雄蛛第二步足胫节竖琴器。

a. Single slit sensilla on the female tarsus of leg I ; b. Lyriform organs on the female tarsus of leg I ; c. Lyriform organs on the male patella of leg II ; d. Lyriform organs on the male tibia of leg I .

LSSO1. 竖琴器 1; LSSO2. 竖琴器 2. LSSO1. Lyriform organ 1; LSSO2. Lyriform organ 2.

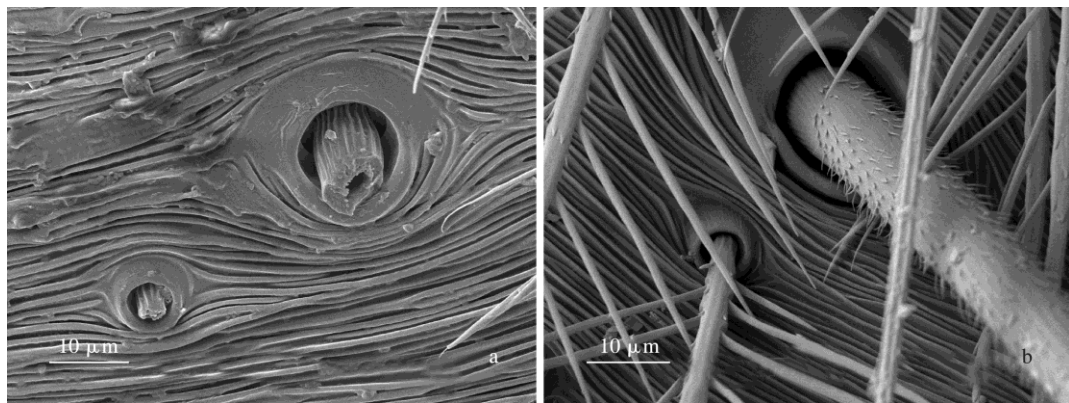


图 6 机敏异漏斗蛛腹部的三明治状机械感受器

Fig. 6 Sandwich-like mechanosensory organs on the abdomen of the funnel-web spider

a. 雄蛛腹部三明治状感受器; b. 雄蛛腹部背面的三明治状感受器。

a. Sandwich-like structures on the male abdomen; b. Sandwich-like structures on the dorsum of the male abdomen.

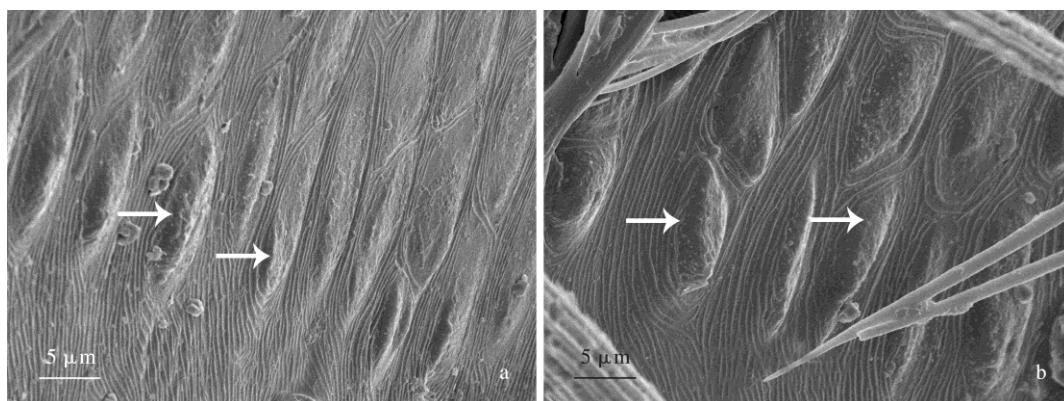


图 7 机敏异漏斗蛛的半球状机械感受器

Fig. 7 Cell half-ball-like mechanosensory organs of the funnel-web spider

箭头指示雌蛛第三步足的半球状感受器。Arrows pointing to cell half-ball-like structures on the female leg III.

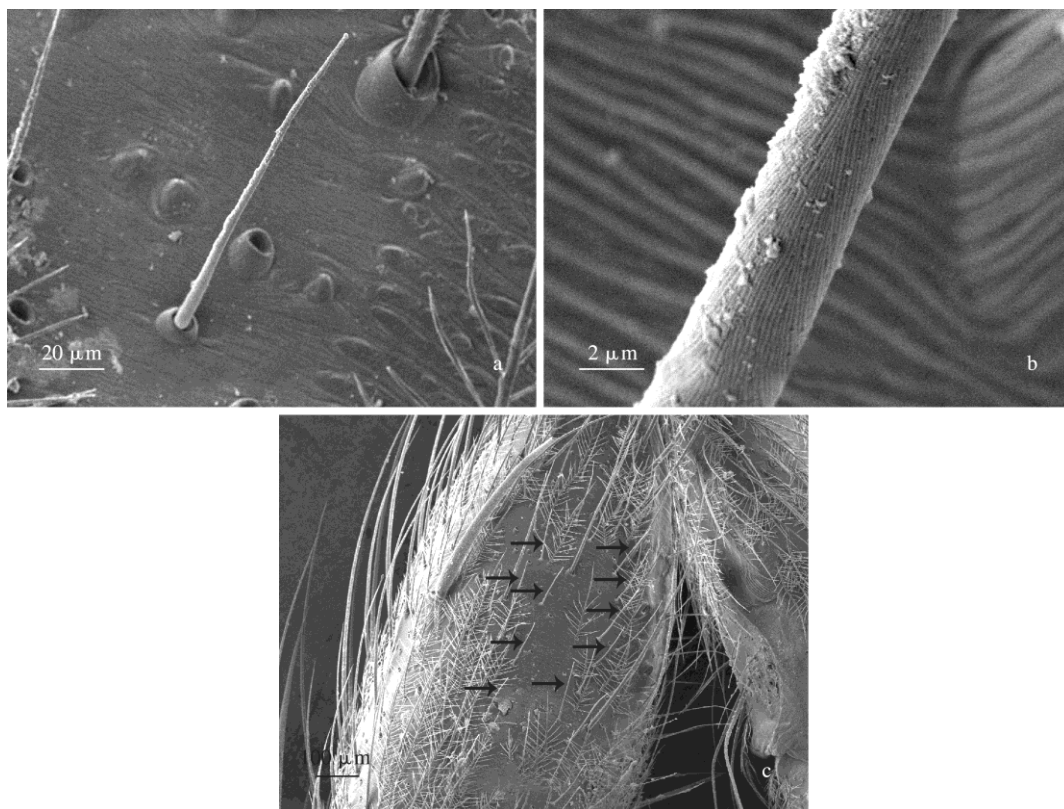


图 8 机敏异漏斗蛛的毛状刺

Fig. 8 Small spines of the funnel-web spider

a. 雄蛛右二步足腿节毛状刺全景图; b. 刺中段; c. 雄蛛右二步足腿节排列整齐的毛状刺 (箭头指向刺)。

a. A small spine on the femur of the male leg II; b. The impart of the spine; c. several small spines on the femur of the male leg II.

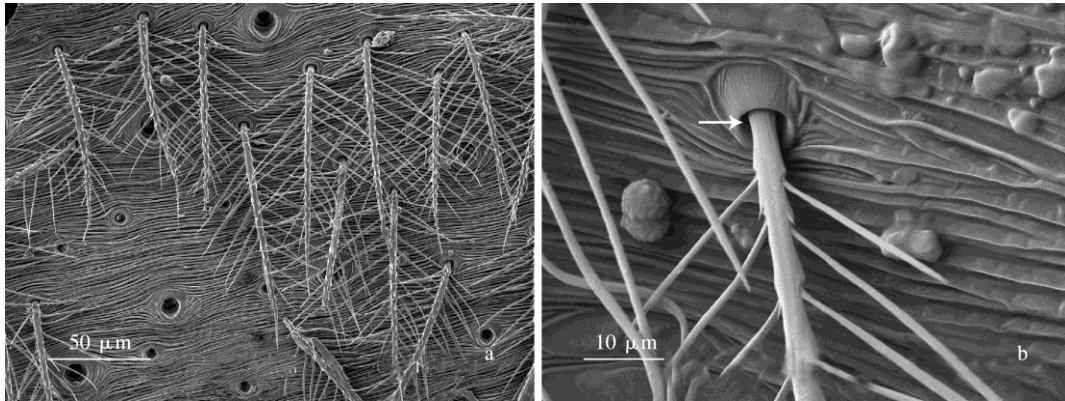


图 9 机敏异漏斗蛛的羽状毛

Fig. 9 Plumose hairs of the funnel-web spider

a. 雄蛛腹部的羽状毛；b. 羽状毛毛囊（箭头示毛囊）。

a. Plumose hairs on the male abdomen; b. Socket of the plumose hair (The arrow pointing to socket of the plumose hair).

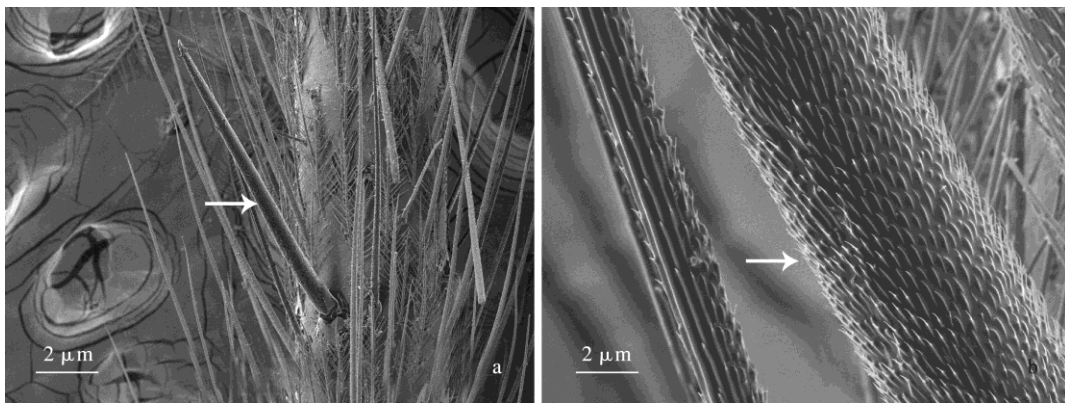


图 10 机敏异漏斗蛛的棘

Fig. 10 Large cuticular spines of funnel-web spider

a. 棘整体观（箭头所示）；b. 棘局部（箭头所示）。

a. A large cuticular spines (The arrow pointing to); b. Part of the large cuticular spines (The arrow pointing to).

觉毛可能就是老狡蛛的接触化学感受器。虽然机敏异漏斗蛛 C 型触毛上尚未发现明显可见的末端孔，但是根据其分布的部位和形态，可以推测其可能具有接触化学感受器的功能。

味觉毛是蜘蛛体表接触性或短距离的化学感受器，能够感知同种或异种个体释放的信息化学物质 (Tichy et al. 2001)。Foelix 等 (1973b) 在研究十字园蛛 (*Araneus diadematus*) 和小斑狼蛛 (*Lycosa punctulata*) 时发现，蜘蛛的化学感受器主要分布在步足的末端和触肢的某些体

节上，尤其是集中在第一步足的跗节上。尽管化学感受器的长度要短于触毛，但由于其着生于体表的角要大于触毛着生的角度，所以化学感受器能与触毛同时与物质接触，有时甚至能早于触毛。Tichy 等 (2001) 发现在味觉毛毛干的表面有许多刺状突起，但末端弯曲的毛干却是光滑的，且末端有开口，这个开口是位于毛干中央的神经鞘空腔的开口。肖永红等 (2011) 研究了北京幽灵蛛 (*Pholcus beijingensis*)，其味觉毛上的绒毛约占毛干的 2/3，且朝向一侧，

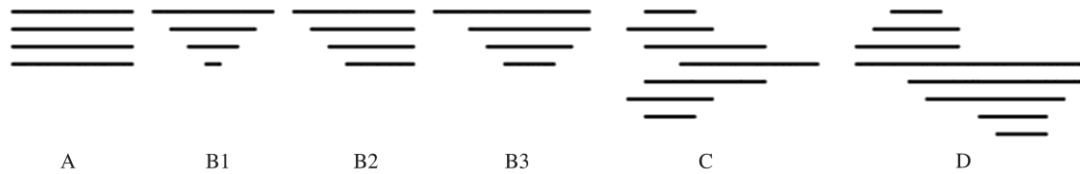


图 11 琴形器的类型 (引自 Barth 2002)

Fig. 11 Types of the lyriform organ (from Barth 2002)

毛干末端约成 90° 急剧弯曲, 且朝向与绒毛状突起一致, 其上也有开口。本研究发现, 机敏异漏斗蛛味觉毛的末端在放大 10 000 倍时, 可以清晰地看到表面的纵脊及其环状脊, 且其末端为抹刀状钝头末端。至于机敏异漏斗蛛味觉毛的分布还需要进一步观察。

蜘蛛可以感受由基质震动、其他动物运动及重力作用产生的机械应力, 而这些机械应力可以由裂缝感受器检测到 (Barth 1985)。French 等 (2004) 研究捕鸟蛛 (*Cupiennius salei*) 的琴形器时, 发现其位于每条步足的膝节, 由 7 至 8 条裂缝组成。每一条裂缝都由一对感觉神经元支配, 这对梭形的感觉神经元紧密排列在一起。神经元的胞体、树突和轴突皆有神经胶质细胞包裹, 并与结缔组织层一起构成了下皮组织。Barth (2002) 将触肢上的裂缝感受器分为几种类型, Patil 等 (2006) 又进行了补充 (图 11)。裂缝感受器的类型和形态在不同蜘蛛种之间有很大程度相似性 (Barth 2002)。我们研究发现, 机敏异漏斗蛛体表的琴形器随部位的不同而形态有差异, 雄蛛右边第二步足膝节左一竖琴器 (图 5c, LSSO1) 属于 D 类型, 而其右一竖琴器 (图 5c, LSSO2) 类似 B3 类型; 雄蛛右边第二步足胫节左一竖琴器 (图 5d, LSSO1) 类似 B2 类型, 而右一竖琴器 (图 5d, LSSO2) 类似 B3 类型。

三明治状感受器和半球状感受器是蜘蛛的压力感受器。Jiang 等 (2006) 研究发现北京幽灵蛛的三明治状感受器主要分布在头部和腹部, 而半球状感受器主要分布在头部。三明治

状感受器能够增加接触的面积从而增加摩擦力以及感应的范围。其工作原理为, 当蜘蛛体表感受到压力时, 三明治状感受器便会皱缩, 直至达到一定的平衡。而半球状感受器也能够增加接触面积从而增加缓冲的区域, 以保护头部某些器官, 如眼、体表毛等免受突然的冲击力的作用 (Jiang et al. 2006)。我们在机敏异漏斗蛛的腹部发现了大量三明治状感受器, 在其步足发现类似半球状感受器, 但是尚未在头部发现类似的半球状感受器。

刺是蜘蛛体表的一种血压感受器, 也是蜘蛛体表最短的一种感觉毛 (Foelix 1996)。机敏异漏斗蛛的步足腿节排列着几行排列整齐的类似刺的毛状体, 其功能还需要进一步研究。

机敏异漏斗蛛体表密布的羽状毛, 其功能尚未清楚。由于机敏异漏斗蛛是一类结网型蜘蛛, 其在捕食时, 主要依据蛛网振动的感受以及触觉、听觉判断捕捉猎物 (荆奇等 2014)。根据感器基部毛窝和感器的表面微观形态推测, 除了上述各种机械感受器, 羽状毛、毛状刺和棘可能均与感受基质振动有关, 并对蜘蛛体表起到保护和防水的作用。

致谢 承蒙徐湘教授鉴定蜘蛛标本, 在此表示衷心感谢。

参 考 文 献

- Barth F G. 1985. Neuroethology of spider vibration // Barth F G. Neurobiology of Arachnids. Berlin Heidelberg: Springer, 203-229.
- Barth F G. 2002. A Spider's World: Senses and Behavior. Berlin

- Heidelberg: Spriger, 394.
- Barth F G, Libera W. 1970. Ein Atlas der Spaltsinnesorgane von *Cupiennius Salei* Keys Chelicerata (Araneae). *Zeitschrift für Morphologie der Tiere*, 68(4): 343–368.
- Eckweiler W, Seyfarth E A. 1988. Tactile hairs and the adjustment of body height in wandering spiders: behavior, leg reflexes and afferent projections in leg ganglia. *Journal Comparative Physiology A*, 162(5): 611–621.
- Foelix R F, Chu-Wang I W. 1973a. The morphology of spider sensilla I. Mechanoreceptors. *Tissue & Cell*, 5(3): 451–460.
- Foelix R F, Chu-Wang I W. 1973b. The morphology of spider sensilla II. Chemoreceptors. *Tissue & Cell*, 5(3): 461–478.
- Foelix R F. 1970. Structure and function of tarsal sensilla in the spider *Aranues diadematus*. *Journal of Experimental Zoology Part B: Molecular and Developmental Evolution*, 175(1): 99–124.
- Foelix R F. 1982. *Biology of Spiders*. Cambridge: Harvard University Press, 1–306.
- Foelix R F. 1985. Mechano- and chemoreceptive sensilla // Barth F G. *Neurobiology of Arachnids*. Berlin Heidelberg: Spriger, 118–137.
- Foelix R F. 1996. *Biology of Spiders*. 2nd ed. New York: Oxford University Press, 1–336.
- French A S, Torkkeli P H. 2004. Mechanotransduction in spider slit sensilla. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*, 82(8/9): 541–548.
- Jiang H, Yang X J, Liu Y C, et al. 2006. Spider's microstructure for sensing. *Micron*, 37(2): 121–128.
- Lachmuth U, Grasshoff M, Barth F G. 1984. Taxonomische revision der Gattung *Cupiennius* Simon 1891 (Arachnida: Araneae). *Senckenbergiana Biologica*, 65: 329–372.
- Patil B, Prabhu S, Rajashekhar K P. 2006. Lyriform Slit sense organs on the pedipalps and spinnerets of spiders. *Journal of Biosciences*, 31(1): 75–84.
- Reissland A, Gomer P. 1978. Mechanics of trichobothria in orbweaving spiders. *Journal Comparative Physiology A*, 123(1): 59–69.
- Talarico G, Palacios-Vargas J G, et al. 2008. The pedipalp of *Pseudocellus pearsei* (Ricinulei, Arachnida) — ultrastructure of a multifunctional organ. *Arthropod Structure & Development*, 6(6): 511–521.
- Tichy H, Gingl E, Ehn R. 2001. Female sex pheromone of a wandering spider — identification and reception. *Journal Comparative Physiology A*, 187(1): 75–78.
- Tietjen W J, Rovner J S. 1980. Trall-following behaviour in two species of wolf spiders: Sensory and etho-ecological concomitants. *Animal Behaviour*, 28(3): 735–741.
- Uetz G W, Stratton G I. 1983. Communication in spiders. *Endeavour*, 7(1): 13–18.
- Witt P N, Rovner J S. 1982. *Spider Communication: Mechanisms and Ecological Significance*. Princeton: Princeton University Press, 1–442.
- 陈樟福, 宋大祥. 1980. 机敏漏斗蛛的生活习性. *动物学杂志*, 15(3): 14–15.
- 荆奇, 周琼, 杜军, 等. 2012. 机敏异漏斗蛛的捕食行为及其控虫效能评价. *环境昆虫学报*, 34(1): 75–79.
- 荆奇, 周琼, 欧丹霞, 等. 2014. 机敏异漏斗蛛不同感觉对捕食和趋向行为的影响. *应用昆虫学报*, 51(4): 1040–1045.
- 肖永红, 李枢强. 2011. 北京幽灵蛛体表微感受器的类型、结构和分布. *动物学杂志*, 46(3): 1–10.
- 颜亨梅, 王洪全, 尹长民. 1994. 中国桔园蜘蛛名录. *蛛形学报*, 3(1): 30–41.
- 于春林, 邢宝山, 王乃斌, 等. 1987. 蜘蛛某些化学感受器的扫描电镜观察. *东北师大学报: 自然科学版*, (4): 107–114.
- 赵敬钊, 卢宝廉, 宋大祥. 2001. 蜘蛛听毛的电镜观察. *蛛形学报*, 10(2): 8–11.