

## A comprehensive evaluation of the aculear sensory structures in scorpions (Arachnida: Scorpiones)

### Сравнительная оценка сенсорных структур жала скорпионов (Arachnida: Scorpiones)

Melek Erdek<sup>1\*</sup>, Ersen Aydın Yağmur<sup>2</sup>  
М. Эрдек<sup>1\*</sup>, Э.А. Ягмюр<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup> Hakkari University, Vocational School of Health Services, Department of Medical Services and Techniques, Hakkari, Turkey.

<sup>2</sup> Manisa Celal Bayar University Alaşehir Vocational School, Alaşehir, Manisa, Turkey.

Melek Erdek melekerdek@hakkari.edu.tr ORCID 0000-0003-1060-4265

Ersen Aydın Yağmur ersen.yagmur@gmail.com ORCID 0000-0002-0396-3975

\*Corresponding author

**KEY WORDS:** scorpions, telson, stinger, aculeus, aculear peg sensilla, slit sensilla, contact chemoreceptor.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** скорпионы, тельсон, жало, aculeus, кольчатые сенсиллы жала, щелевидные сенсиллы, контактный хеморецептор.

**ABSTRACT.** The scorpion telson is composed of a bulbous shaped base with two venom glands and an aculeus with two venom channels that open to the exterior. The cuticular surface of the aculeus is covered with aculear peg sensilla and pore holes. These sensillar pegs are located on the aculeus surface of the telson and function as contact chemoreceptors. Data on aculear peg sensilla are presented from both parvorders, four families, 15 genera and 15 species of extant scorpions. Although all aculear peg sensilla have a similar structure in all species and sexes in terms of their general morphology, their location and frequency on the surface of the aculeus cuticle varies. The shape of these sensilla is similar in all species, and the distribution density on the cuticle surface differs from species to species. The single slit sensilla were observed at various intervals and numbers in the aculeus-bulb connection area of the telson.

How to cite this paper: Erdek M., Yağmur E.A. 2024. A comprehensive evaluation of the aculear sensory structures in scorpions (Arachnida: Scorpiones) // Arthropoda Selecta. Vol.33. No.3. P.355–374. doi: 10.15298/arth-sel.33.3.05

**РЕЗЮМЕ.** Тельсон скорпионов состоит выпуклого основания (основного членика) с двумя ядовитыми железами и жала с двумя ядовитыми каналами, открывающимися наружу. Кутикулярная поверхность жала покрыта кольчатыми сенсиллами и поровыми отверстиями. Кольшки сенсилл расположены на поверхности жала и функционируют как контактные хеморецепторы. Приведены данные о кольчатых сенсиллах жала 15 видов современных скорпионов, относящихся к 15 родам, 4 семействам и обоим парвотрядам этого отряда. Хотя по общей морфологии все кольчатые сенсиллы жала у обоих полов всех изученных видов имеют сходную структуру, их расположение и частота размещения на поверхности

кутикулы жала варьируют. Форма этих сенсилл сходна у всех видов, а плотность их размещения различается между видами. В области сочленения основного членика и жала тельсона обнаружены щелевидные сенсиллы, представленные разным количеством и размещенные с разнообразными интервалами.

### Introduction

Scorpiones is the world's fifth most diverse arachnid order, after spiders, mites, harvestmen and pseudoscorpions. Extant scorpions include 22 families, 232 genera, and 2765 species [Rein, 2023]. The scorpion telson is a bulb-shaped structure at the end of the metasoma that includes venom glands and a needle-like aculeus containing musculature [Hjelle, 1990; Foelix *et al.*, 2014]. The latter authors described the fine structures of the aculeus of *Euscorpion flavicaudis* (DeGeer, 1778). They indicated that the surface of the distal aculeus is smooth, although it has small pits with tiny club-shaped hairs. These are probably contact chemoreceptors. By contrast, the proximal bulb has numerous long sensory hairs. The benefit of having such submerged sensory hairs is undoubtedly the stinger's ability to enter prey, or an enemy, while still being able to sense chemical or mechanical stimuli. Furthermore, the aculeus has several tiny pores of unidentified purpose, as well as multiple slit sensilla. Thus, in addition to being a well-adapted injection device, the aculeus has sensory components that offer chemical and mechanical information [Foelix *et al.*, 2014]. Zhao *et al.* [2020] indicated, via experimental and numerical results, that through a long history of natural selection, the load-bearing capacity of a scorpion's venom apparatus, along with its flexible segmented tail, important biological functions (e.g., venom storage and transportation), and superb sting strategy, has been optimized.

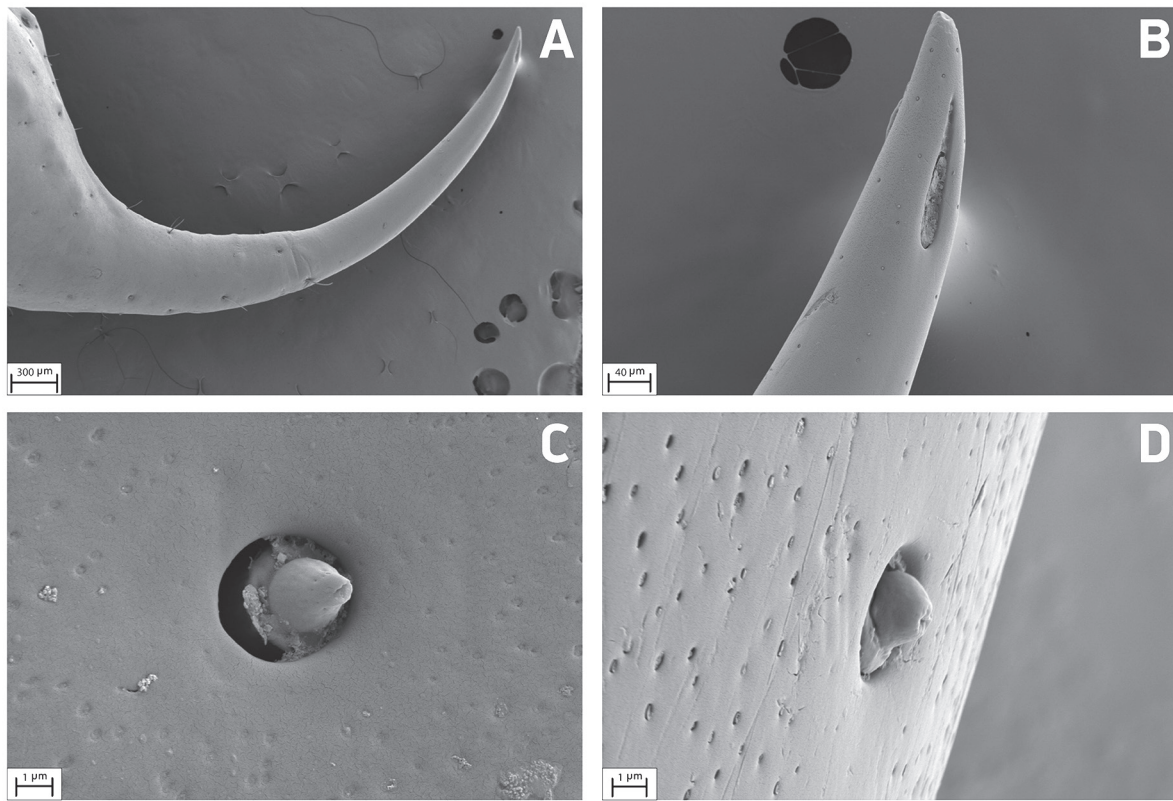


Fig. 1. *Aegaeobuthus gibbosus* (Schenkel, 1947), ♀. A — aculeus part of the telson, B — tip of the aculeus, aculear peg sensilla and venom pore, C–D — aculear peg sensillum in detail and pore holes on the cuticular surface of the aculeus.

Рис. 1. *Aegaeobuthus gibbosus* (Schenkel, 1947), ♀. А — жалящая часть тельсона, В — вершина жала, кольчатые сенсиллы и отверстие ядовитой железы, С–D — кольчатая сенсилла детально и поровые отверстия на поверхности кутикулы жала.

## Material and Methods

EXAMINED MATERIAL (♂ and ♀ for all species).

**Parvorder Buthida, superfamily Buthoidea**, family Buthidae: *Aegaeobuthus gibbosus* (Schenkel, 1947), Muğla Province, Sakar Tepe, Yangın Kulesi, 11.viii.2021, 37°07'N, 28°33'E, 875 m. *Androctonus turkiyensis* Yağmur, 2021, Şanlıurfa Province, Central District, Eyyubiye Neighborhood, 10.vi.2019, 37°09'01.29"N 38°46'29.37"E, 562 m. *Buthacus tadmorensis* (Simon, 1892), Şanlıurfa Province, Birecik District, Mezra Village, 2 km South, 27.vii.2014, 36°57'35"N, 38°00'43"E, 387 m. *Compsobuthus matthiesseni* (Birula, 1905), Şanlıurfa Province, Central District, Kızılburç Village, 18.viii.2018, 37°10'33"N, 38°35'46"E, 839 m. *Leiurus abdullahbayram* Yağmur, Koç et Kunt, 2009, Gaziantep Province, Oğuzeli District, Çaybaşı Village, 2 km E, 8.viii.2013, 37°00'29"N, 37°31'06"E, 817 m. *Mesobuthus eupeus* (C.L. Koch, 1839), Iğdır Province, Aralık District, Yenidoğan Village, 17.vi.2007, 39°47'12"N, 44°23'36"E, 1563 m. *Olivierus caucasicus* (Nordmann, 1840), Iğdır Province, Central District, Suveren Village, 18.vii.2023, 39°48'10"N, 44°03'42"E, 1210 m. **Parvorder Iurida, superfamily Chactoidea**, family Euscorpidae: *Alpiscorpius mingrelicus* (Kessler, 1874), Artvin Province, Hatila Valley, 12.viii.2013, 41°11'58"E, 41°45'12"E, 447 m. *Euscorpium avcii* Tropea, Yağmur, Koç, Yeşilyurt et Rossi,

2012, Aydın Province, Kuşadası District, Dilek Peninsula, 22.10.2021, 37°41'22"N, 27°13'32"E, 310 m. **Parvorder Iurida, superfamily Iuroidea**, family Iuridae: *Anatolius kraepelini* (von Ubisch, 1922), Antalya Province Alanya District, Taşatan Plateau, 1122 m, 22.viii.2013. *Iurus kinzelbachi* Kovarik, Fet, Soleglad et Yağmur, 2010, Aydın Province, Kuşadası District, Dilek Peninsula National Park, 23.vi.2021, 37°41'22"N, 27°13'32"E, 310 m. *Letoiurus rhodiensis* (Soleglad, Fet, Kovarik et Yağmur, 2012), Muğla Province, Fethiye District, road of Katrancı Bay, 20.ii.2017, 36°42'44"N, 29°02'03"E, 56 m. *Neocalchas gruberi* (Fet, Soleglad et Kovarik, 2009), Antalya Province, Kemer District, Çıralı Road, 36°25'26"N, 30°27'08"E, 66 m, pitfall trap, 17.iv.2017–5.viii.2018. *Calchas birulai* Fet, Soleglad et Kovarik, 2009, Adıyaman, Province, Gerger District, Aydınlar Village, 5.iv–31.vii.2018, 38°03'44"N, 39°06'28"E, 1676 m, pitfall trap. **Parvorder Iurida, superfamily Scorpionidea**, family Scorpionidae: *Scorpio kruglovi* Birula, 1910, Adana Province, Kozan District, Eskimantaş Village, 9.vii.2022, 37°32'02"N, 35°55'00"E, 435 m.

For Scanning Electron Microscopy (SEM), the telson portions of specimens were maintained overnight in 99.9% ethanol. Specimens were gold-coated in a Quorum SC7620 sputter coater after dehydration. Morphological structures were analyzed and photographed using a ZEISS



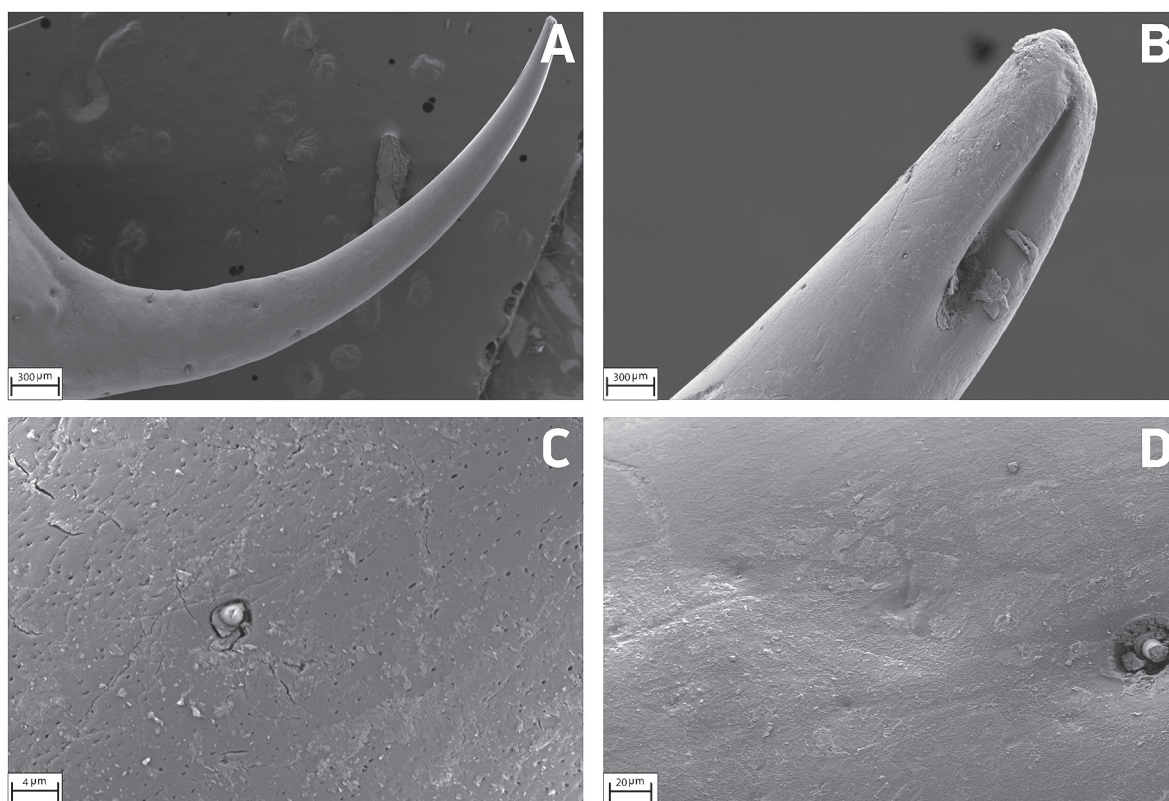


Fig. 2. *Aegaobuthus gibbosus* (Schenkel, 1947), ♂. A — aculeus part of telson, B — tip of aculeus, aculear peg sensilla and venom pore, C — aculear peg sensillum in detail and pore holes on the cuticular surface of aculeus, D — cuticular pits on the surface of the proximal part of the aculeus.

Рис. 2. *Aegaobuthus gibbosus* (Schenkel, 1947), ♂. А — жалящая часть тельсона, В — вершина жала, кольчатые сенсиллы и отверстие ядовитой железы, С — кольчатая сенсилла детально и поровые отверстия на поверхности кутикулы жала, D — ямки кутикулы на поверхности проксимальной части жала.

Sigma 300 scanning electron microscope at Van Yüzüncü Yıl University's Science Application and Research Centre, Van, Türkiye at a 10kV accelerating voltage.

## Results

Detailed morphology of telson structures in male and female individuals belonging to both parvorders, represented by four families, 15 genera, and 15 species is illustrated in Figs 1–30. Each aculeus (stinger) contains a pair of venom pores located in the subapical region. The remarkable sensory structure, the *aculear peg sensillum*, is defined and illustrated in both scorpion sexes (Figs 1–30). Aculear peg sensilla have a wide, oval socket. Each aculear peg sensillum is cylindrical at the base, narrowing near the cuticular surface of the aculeus, and shifts to an oval-conical shape towards the apex. The apex of each peg sensillum has distal pores (Figs 1C–D, 3D, 4D, 5C–D, 7C–D, 8C–D, 9C–D, 10C–D, 15C–D, 16C–D, 19D, 21E–F, 22D, 23C, 25C, 26C–D, 27D, 29C–D). The surface and the shaft of the peg sensillum is more prominently indented longitudinally in some species (Figs 7C–D, 8C–D, 9D, 25C, 26C–D, 27D) than in others.

Average diameters of the sockets of the aculear peg sensilla are 2.88 µm in males (Min. = 1.71 µm in *Calchas birulai* and Max. = 4.2 µm in *Letoiurus rhodensis*) and

3.03 µm in females (Min. = 2.04 µm in *Calchas birulai* and Max. = 4.38 µm in *Letoiurus rhodensis*). The peg sensilla stand erect or incline inwards. Average cylindrical base widths of the aculear peg sensilla are 2.04 µm in males (Min. = 1.05 µm in *Calchas birulai* and Max. = 2.66 µm in *Letoiurus rhodensis*) and 2.16 µm in females (Min. = 1.17 µm in *Calchas birulai* and Max. = 2.52 µm in *Letoiurus rhodensis*). Average lengths of the oval-shaped distal part of the aculear peg sensilla are 1.53 µm in males (Min. = 1.02 µm in *Calchas birulai* and Max. = 2.26 µm in *Letoiurus rhodensis*) and 1.65 µm in females (Min. = 2.04 µm in *Calchas birulai* and Max. = 4.38 µm in *Letoiurus rhodensis*). These measurements show that these structures are smaller in small species, as compared to larger species, and also show that they are smaller in male individuals of the same species as compared to female individuals.

The aculeus surface is covered with pore holes in both female and male individuals of all examined species (Figs 1–30). There are single slit sensilla with varying numbers and spacing at the junction of the distal part of the bulb and the proximal part of the aculeus. Each slit features a thick lip-like protrusion in the middle and a line at both ends (Figs 11E, 17B, 18D, 19B, 21B, 25D, 27C). The longitudinal line slit lengths in some males are 43.57 µm (*Neocalchas gruberi*), 35.7 µm (*Alpiscorpius mingreli-*

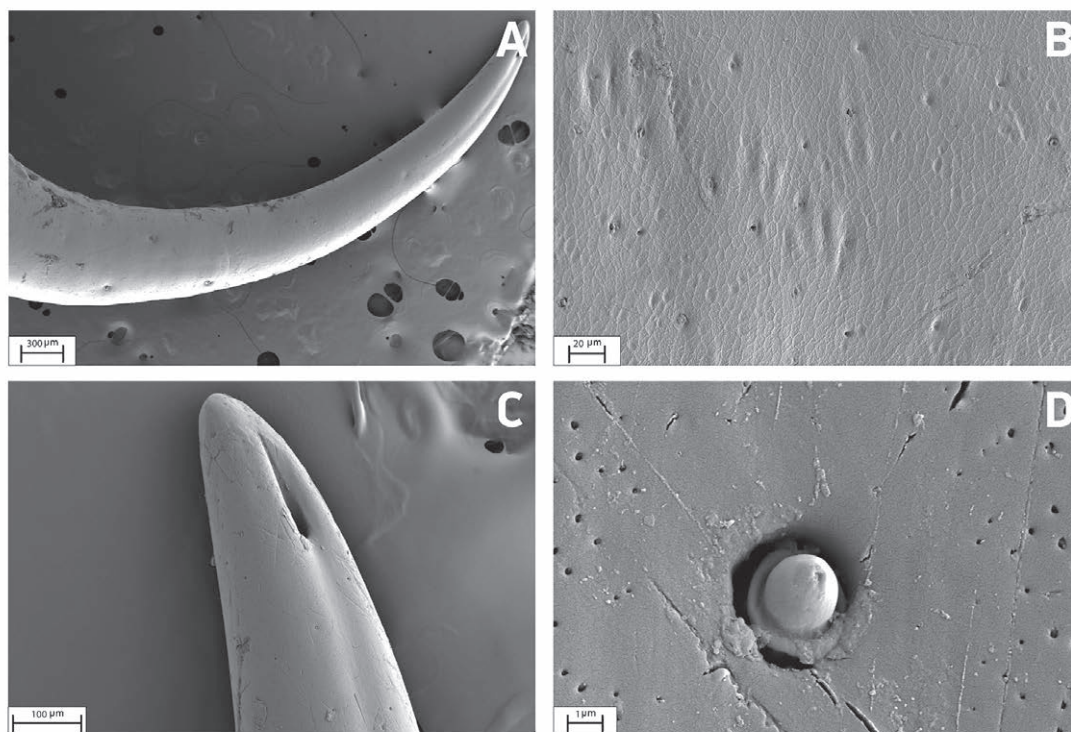


Fig. 3. *Androctonus turkiyensis* Yagmur, 2021, ♀. A — aculeus part of the telson, B — cuticular surface of the proximal part of the aculeus, C — tip of the aculeus, aculear peg sensilla and venom pore, D — aculear peg sensillum in detail and pore holes on the cuticular surface of the aculeus.

Рис. 3. *Androctonus turkiyensis* Yagmur, 2021, ♀. А — жалящая часть тельсона, В — кутикулярная поверхность проксимальной части жала, С — вершина жала, кольчатые сенсиллы и отверстие ядовитой железы, D — кольчатая сенсилла детально и поровые отверстия на поверхности кутикулы жала.

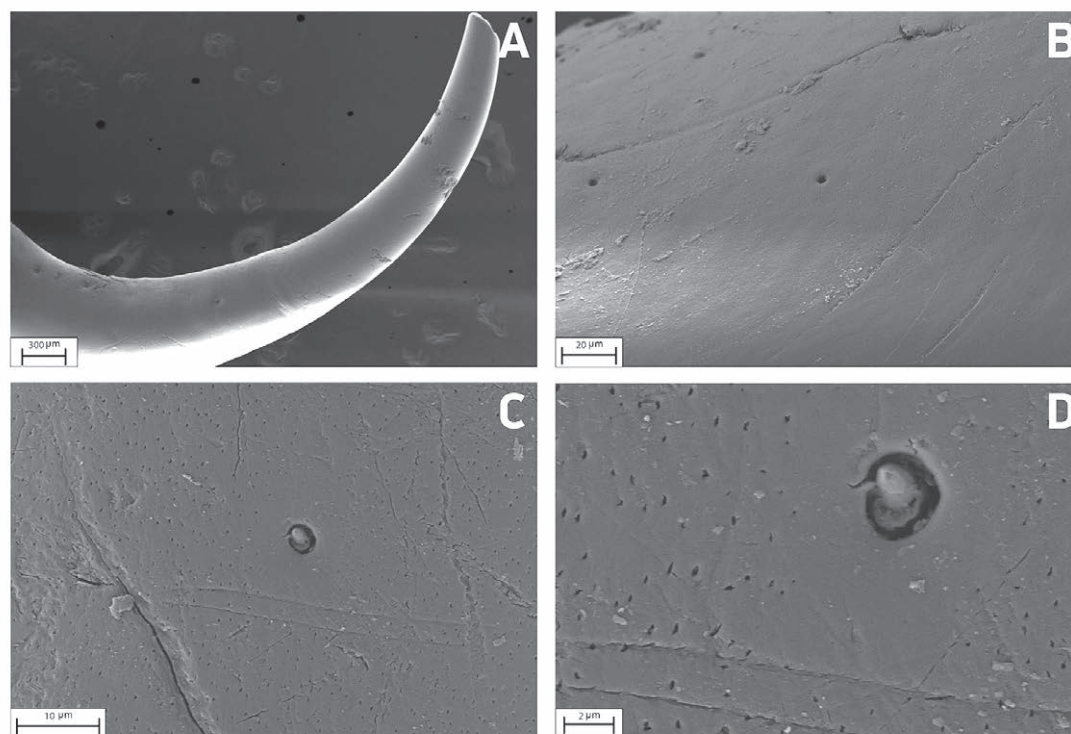


Fig. 4. *Androctonus turkiyensis* Yagmur, 2021, ♂. A — aculeus part of the telson, B — cuticular surface of the proximal part of the aculeus, C–D — aculear peg sensillum in detail and pore holes on the cuticular surface of the aculeus.

Рис. 4. *Androctonus turkiyensis* Yagmur, 2021, ♂. А — жалящая часть тельсона, В — кутикулярная поверхность проксимальной части жала, С–D — кольчатая сенсилла детально и поровые отверстия на поверхности кутикулы жала.



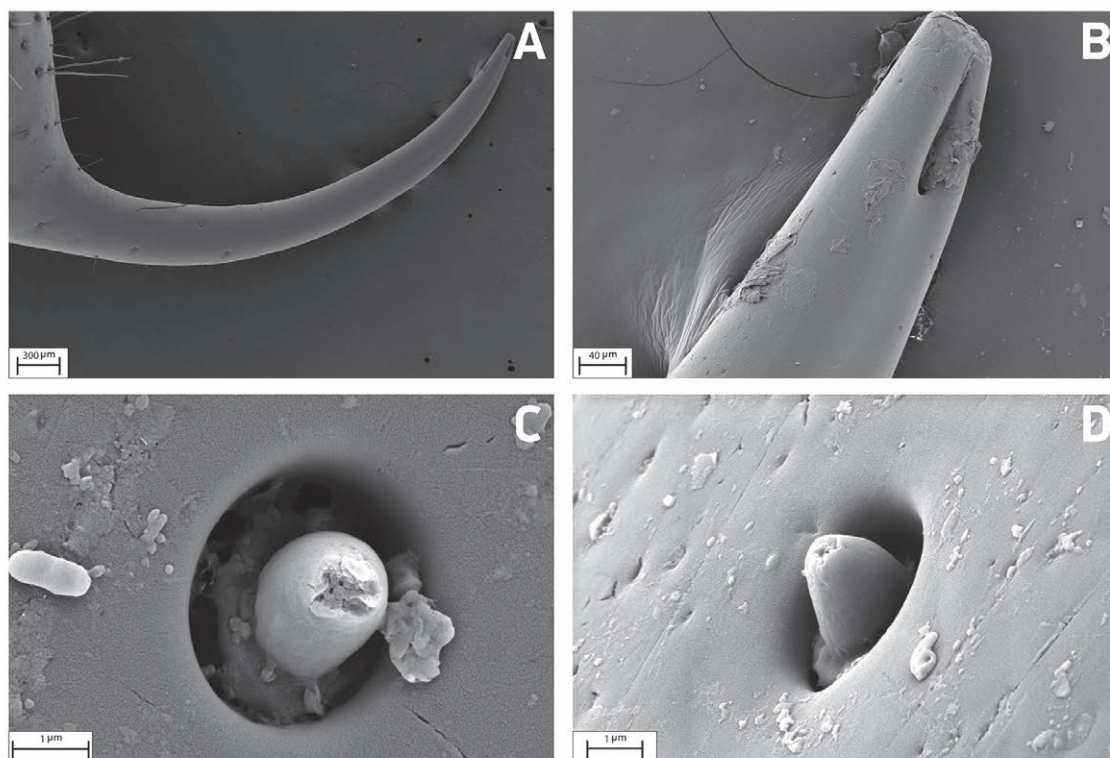


Fig. 5. *Buthacus tadmorensis* (Simon, 1892), ♀. A — aculeus part of the telson, B — tip of the aculeus, aculear peg sensilla and venom pore, C–D — aculear peg sensillum in detail and pore holes on the cuticular surface of the aculeus.

Рис. 5. *Buthacus tadmorensis* (Simon, 1892), ♀. А — жалящая часть тельсона, В — вершина жала, кольчатые сенсиллы и отверстие ядовитой железы, С–D — кольчатая сенсилла детально и поровые отверстия на поверхности кутикулы жала.

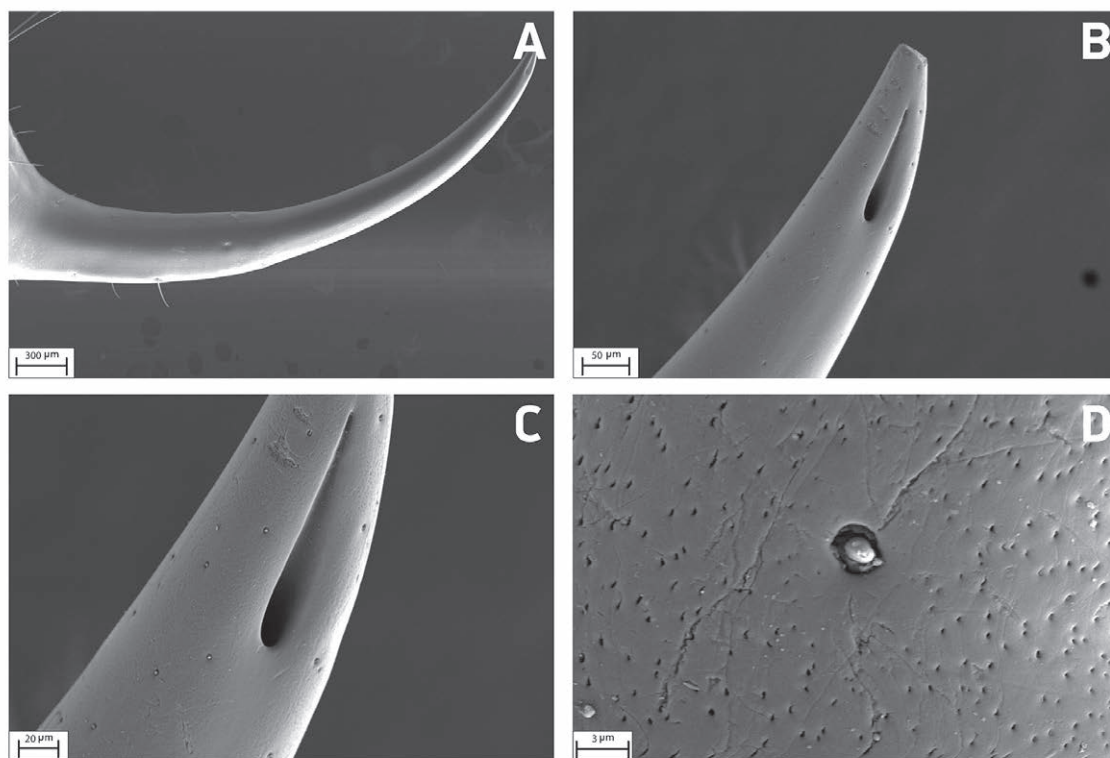


Fig. 6. *Buthacus tadmorensis* (Simon, 1892), ♂. A — aculeus part of the telson, B — tip of the aculeus, aculear peg sensilla and venom pore, C–D — aculear peg sensillum in detail and pore holes on the cuticular surface of the aculeus.

Рис. 6. *Buthacus tadmorensis* (Simon, 1892), ♂. А — жалящая часть тельсона, В — вершина жала, кольчатые сенсиллы и отверстие ядовитой железы, С–D — кольчатая сенсилла детально и поровые отверстия на поверхности кутикулы жала.

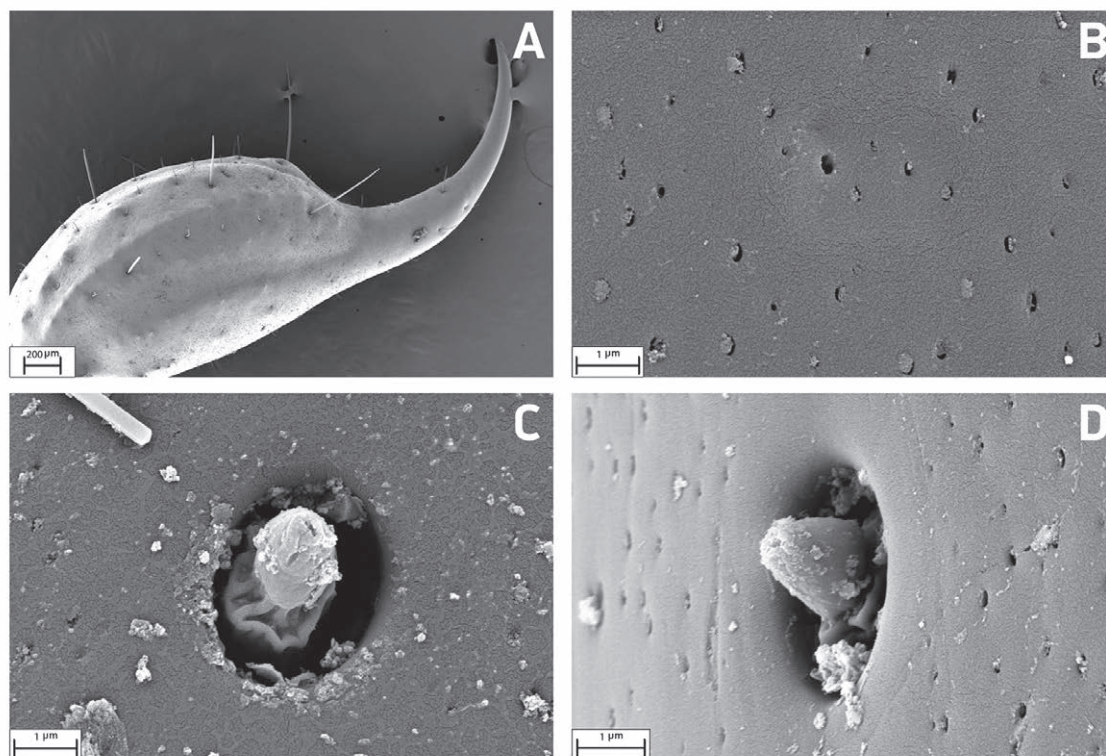


Fig. 7. *Compsobuthus matthiesseni* (Birula, 1905), ♀. A — aculeus part and bulb of the telson, B — pore holes on the cuticular surface of the aculeus, C–D — aculear peg sensillum in detail and pore holes on the cuticular surface of the aculeus.

Рис. 7. *Compsobuthus matthiesseni* (Birula, 1905), ♀. А — жалящая часть и основной членик тельсона, В — поровые отверстия на поверхности кутикулы жала, С–D — кольчатая сенсилла детально и поровые отверстия на поверхности кутикулы жала.

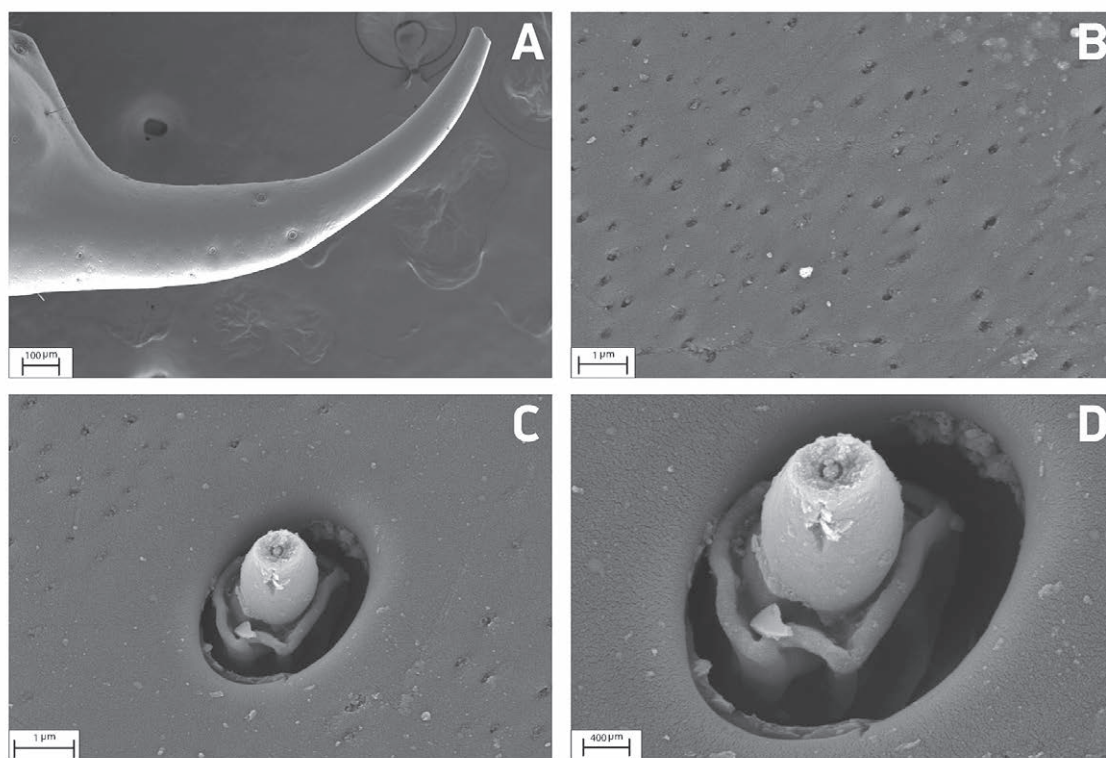


Fig. 8. *Compsobuthus matthiesseni* (Birula, 1905), ♂. A — aculeus part of the telson, B — pore holes on the cuticular surface of the aculeus, C–D — aculear peg sensillum in detail.

Рис. 8. *Compsobuthus matthiesseni* (Birula, 1905), ♂. А — жалящая часть тельсона, В — поровые отверстия на поверхности кутикулы жала, С–D — кольчатая сенсилла детально.



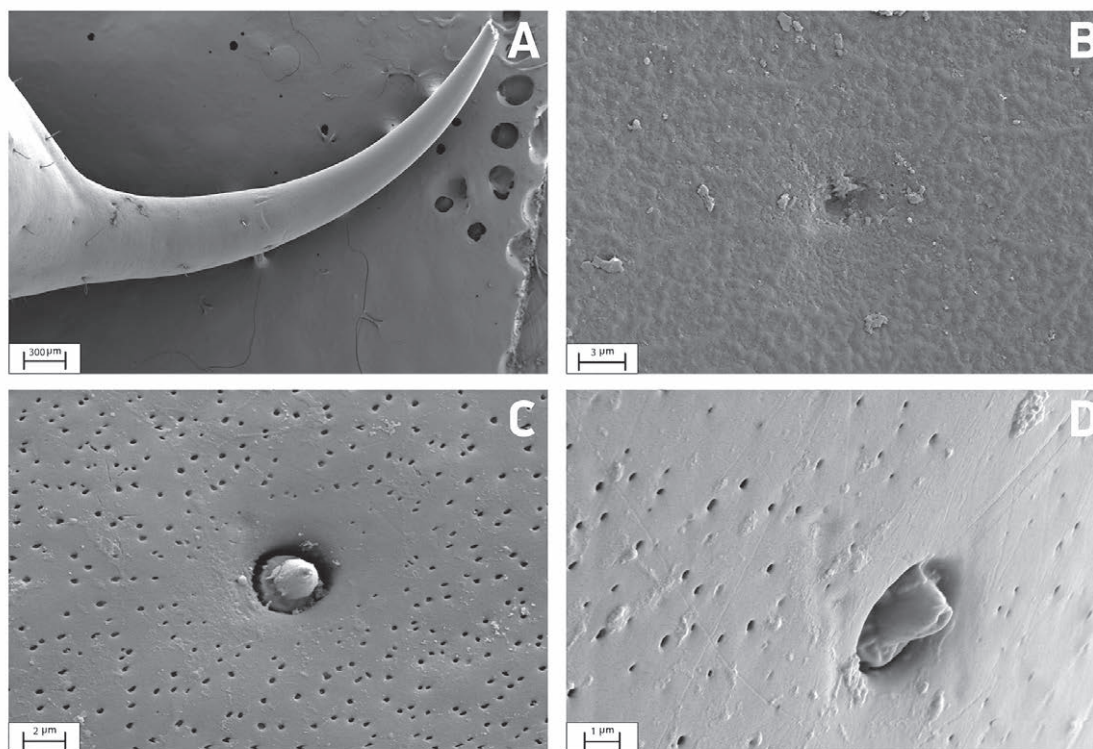


Fig. 9. *Leiurus. abdullahbayrami* Yagmur, Koc et Kunt, 2009, ♀. A — aculeus part and bulb of the telson, B — pore holes on the cuticular surface of the aculeus, C–D — aculear peg sensillum in detail and pore holes on the cuticular surface of the aculeus.

Рис. 9. *Leiurus. abdullahbayrami* Yagmur, Koc et Kunt, 2009, ♀. А — жалящая часть и основной членик тельсона, В — поровые отверстия на поверхности кутикулы жала, С–D — кольчатая сенсилла детально и поровые отверстия на поверхности кутикулы жала.

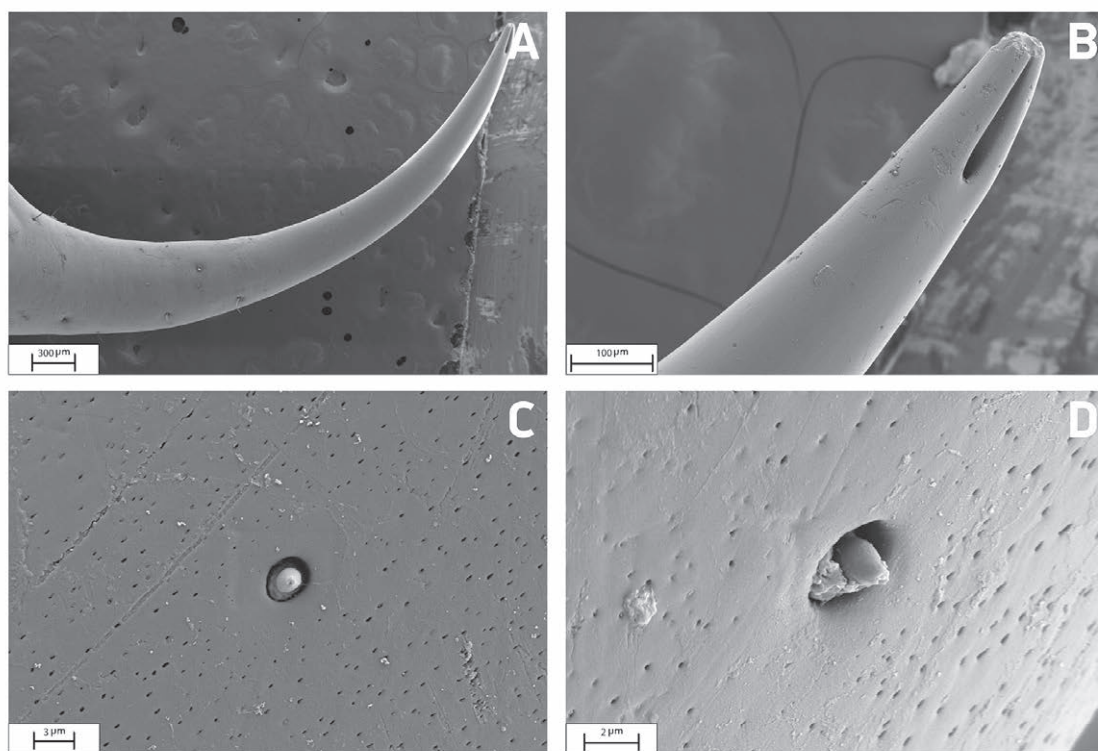


Fig. 10. *Leiurus. abdullahbayrami* Yagmur, Koc et Kunt, 2009, ♂. A — aculeus part and bulb of the telson, B — tip of the aculeus, aculear peg sensilla and venom pore, C–D — aculear peg sensillum in detail and pore holes on the cuticular surface of the aculeus.

Рис. 10. *Leiurus. abdullahbayrami* Yagmur, Koc et Kunt, 2009, ♂. А — жалящая часть и основной членик тельсона, В — вершина жала, кольчатые сенсиллы и отверстие ядовитой железы, С–D — кольчатая сенсилла детально и поровые отверстия на поверхности кутикулы жала.

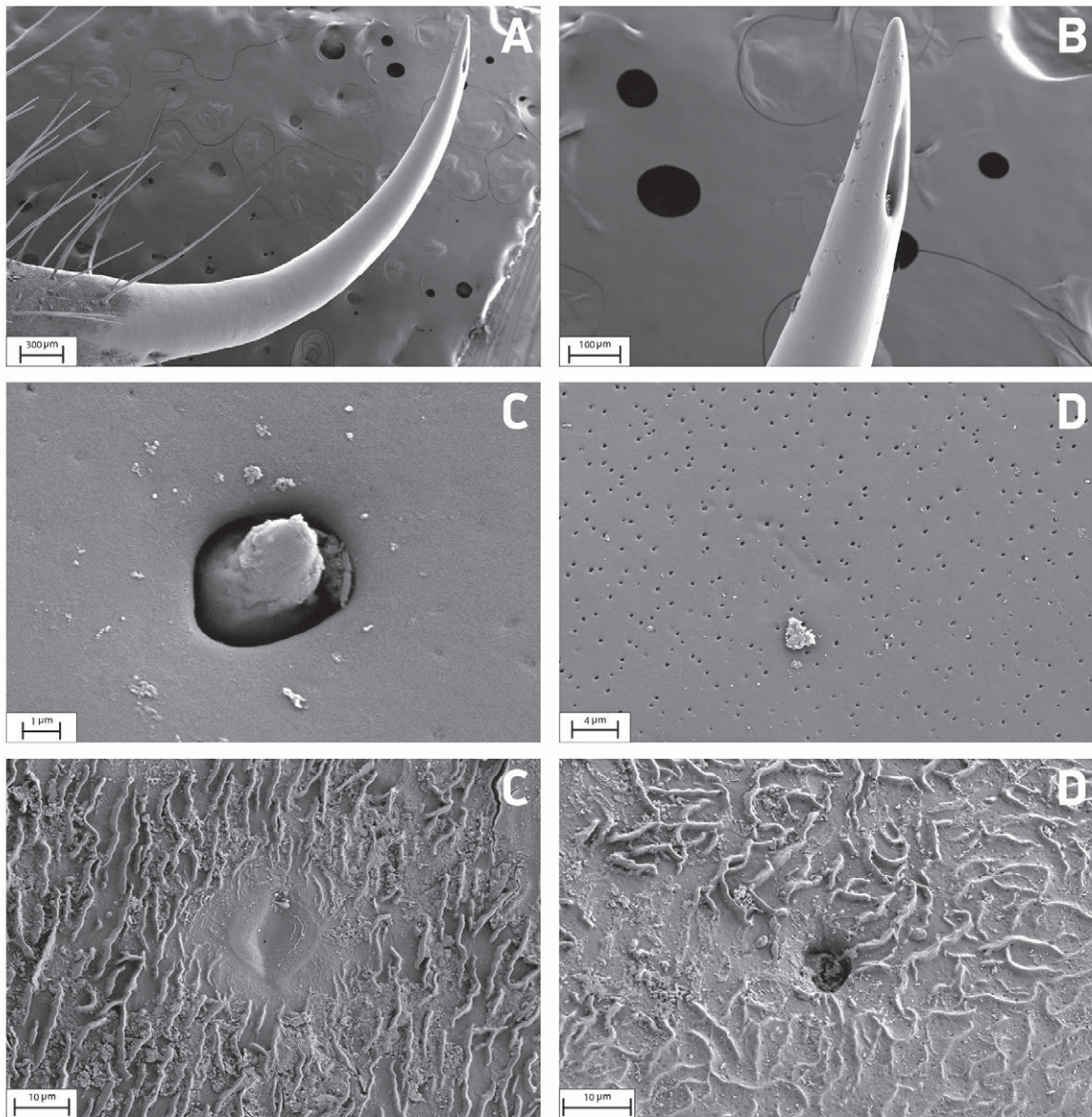


Fig. 11. *Letoiurus rhodiensis* (Soleglad, Fet, Kovarik et Yagmur, 2012), ♀. A — aculeus part of the telson, B — tip of aculeus, aculear peg sensilla and venom pore, C — aculear peg sensillum in detail, D — pore holes on the cuticular surface of the aculeus, E — single slit sensillum on the proximal surface of the aculeus and the cuticular pattern, F — opening of the dermal gland on the proximal surface of the aculeus and cuticular pattern.

Рис. 11. *Letoiurus rhodiensis* (Soleglad, Fet, Kovarik et Yagmur, 2012), ♀. А — жалящая часть тельсона, В — вершина жала, кольчатые сенсиллы и отверстие ядовитой железы, С — кольчатая сенсилла детально, D — поровые отверстия на поверхности кутикулы жала, E — простая щелевидная сенсилла на проксимальной поверхности жала и паттерн кутикулы, F — отверстие дермальной железы на проксимальной поверхности жала и паттерн кутикулы.

*cus*), 27.58 µm (*Euscorpis avcii*), and in some females they are 18.4 µm (*Calchas birulai*), 18.67 µm (*Letoiurus rhodensis*), 25.44 µm (*Euscorpis avcii*), 35.7 µm (*Alpiscorpius mingrelicus*), 38.31 µm (*Anatoliurus kraepelini*) and 40.88 µm (*Neocalchas gruberi*).

The widths of the transverse lip-like protrusions in some males are 7.99 µm (*Euscorpis avcii*), 20.6 µm (*Neocalchas gruberi*), 13.43 µm (*Alpiscorpius mingrelicus*), and in some females are 15.14 µm (*Calchas birulai*), 17.82 µm (*Letoiurus rhodensis*), 11.16 µm (*Euscorpis*

*avcii*), 10.27 µm (*Alpiscorpius mingrelicus*), 17.08 µm (*Anatoliurus kraepelini*) and 17.79 µm (*Neocalchas gruberi*). Based on these measurements, single slit sensillum size is not directly related to the size and sex of the species. Additionally, a pore was observed in the flat area in the middle of the slit sensillum of the female *Letoiurus rhodensis* (Fig. 11E).

The openings of a dermal gland (Figs 11F, 12D, 18D, 21F, 23D, 24D, 29B) and various cuticular patterns (Figs 11E–F, 13D, 21F) were also documented in several species.



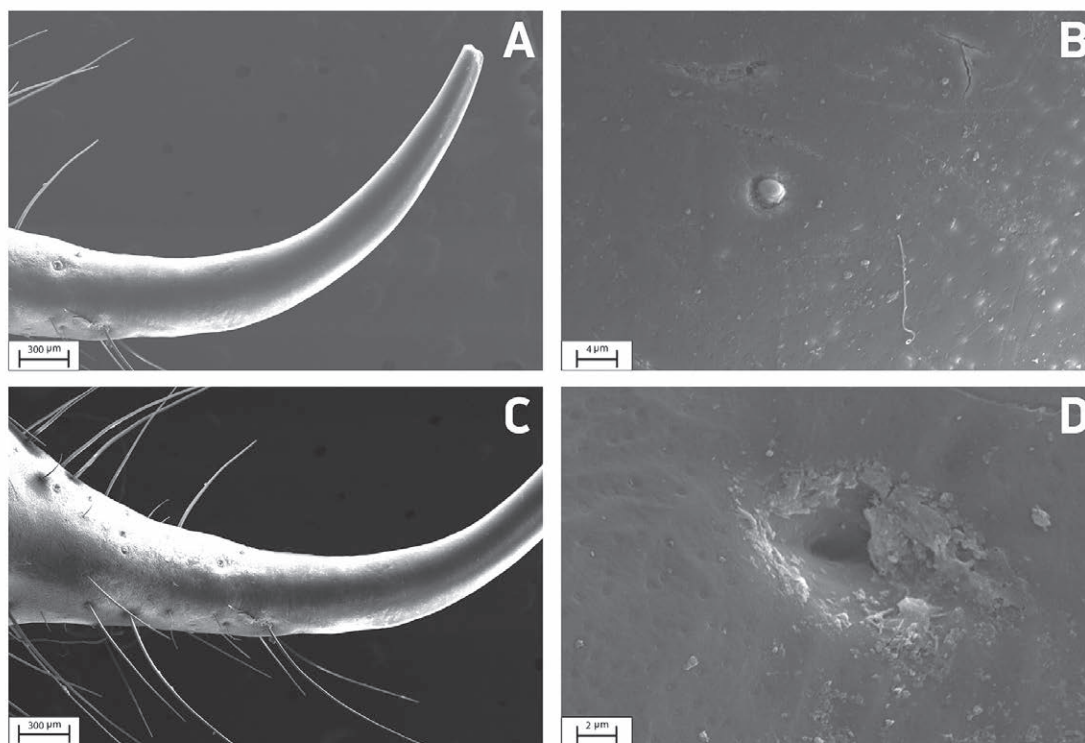


Fig. 12. *Letoiurus rhodiensis* (Soleglad, Fet, Kovarik et Yagmur, 2012), ♂. A — aculeus part of the telson, B — aculear peg sensillum, C — proximal part of the aculeus, D — opening of the dermal gland.

Рис. 12. *Letoiurus rhodiensis* (Soleglad, Fet, Kovarik et Yagmur, 2012), ♂. А — жалящая часть тельсона, В — кольчатая сенсилла жала, С — проксимальная часть жала, D — отверстие дермальной железы.

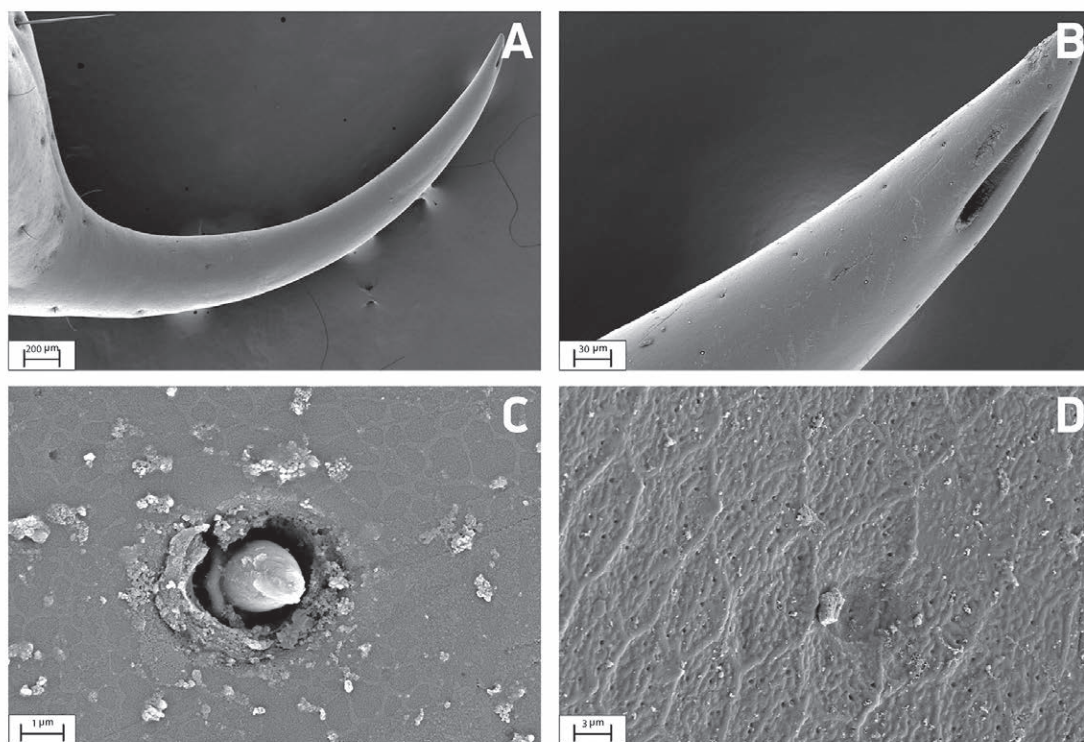


Fig. 13. *Mesobuthus eupeus* (C.L. Koch, 1839), ♀. A — aculeus of the telson, B — tip of the aculeus, aculear peg sensilla and venom pore, C — aculear peg sensillum, D — cuticular pattern and pore holes on the cuticular surface of the aculeus with a cuticular pit.

Рис. 13. *Mesobuthus eupeus* (C.L. Koch, 1839), ♀. А — жалящая часть тельсона, В — вершина жала, кольчатые сенсиллы и отверстие ядовитой железы, С — кольчатая сенсилла жала, D — паттерн кутикулы и поровые отверстия на поверхности кутикулы жала с ямкой кутикулы.

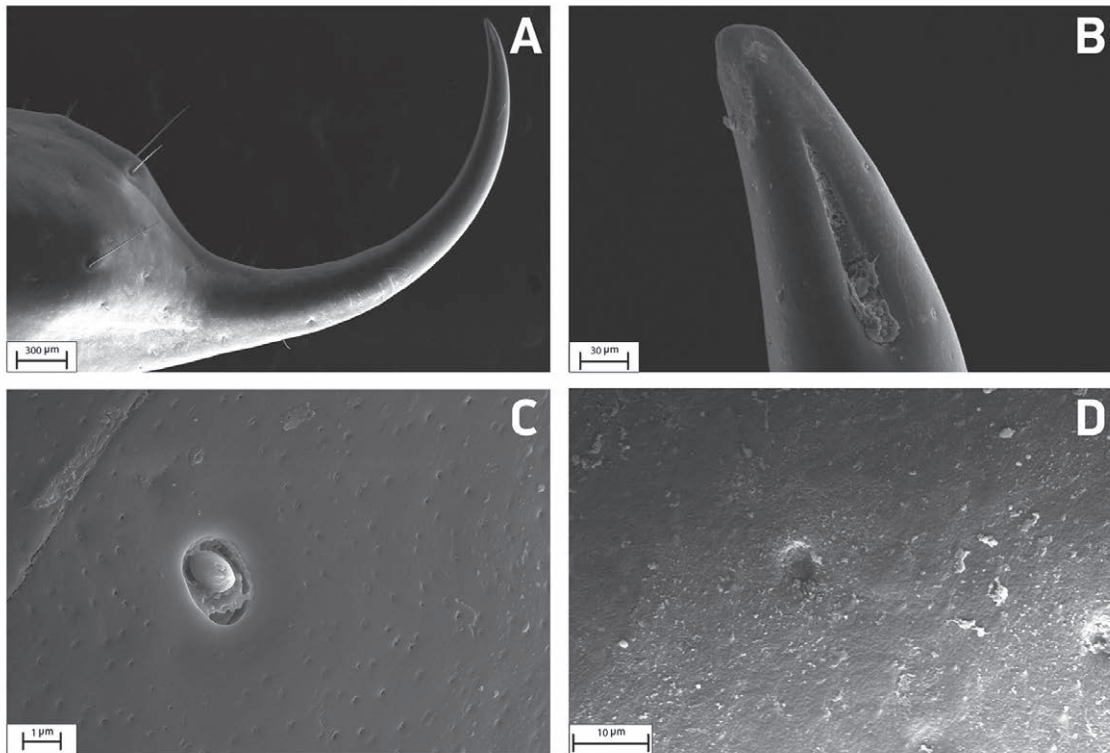


Fig. 14. *Mesobuthus eupeus* (C.L. Koch, 1839), ♂. A — aculeus and bulb of the telson, B — tip of the aculeus, aculear peg sensilla and venom pore, C — aculear peg sensillum pore holes on the cuticular surface of the aculeus, D — cuticular pit on the surface of the aculeus.

Рис. 14. *Mesobuthus eupeus* (C.L. Koch, 1839), ♂. А — жалящая часть и основной членик тельсон, В — вершина жала, кольчатые сенсиллы и отверстие ядовитой железы, С — поровые отверстия на поверхности кутикулы жала, D — ямка кутикулы на поверхности жала.

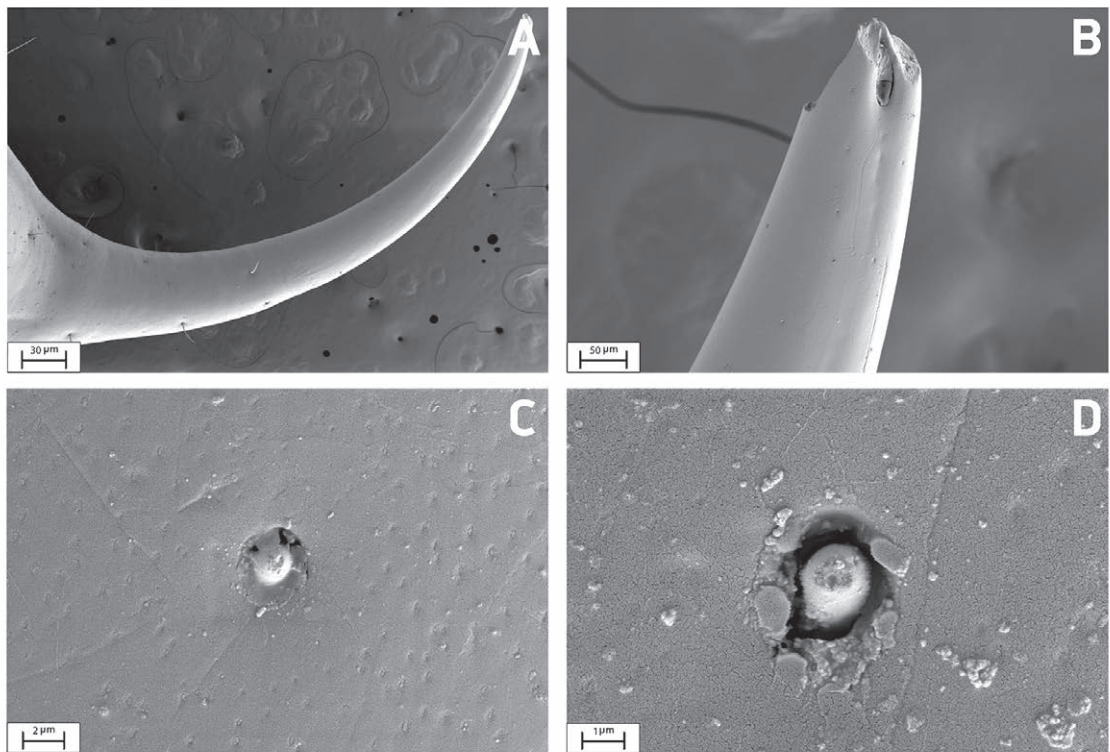


Fig. 15. *Olivierius caucasicus* (Nordmann, 1840), ♀. A — aculeus part of the telson, B — tip of the aculeus (broken), aculear peg sensilla and venom pore, C–D — aculear peg sensillum pore holes on the cuticular surface of the aculeus.

Рис. 15. *Olivierius caucasicus* (Nordmann, 1840), ♀. А — жалящая часть тельсона, В — вершина жала (сломано), кольчатые сенсиллы и отверстие ядовитой железы, С–D — поровые отверстия на поверхности кутикулы жала.



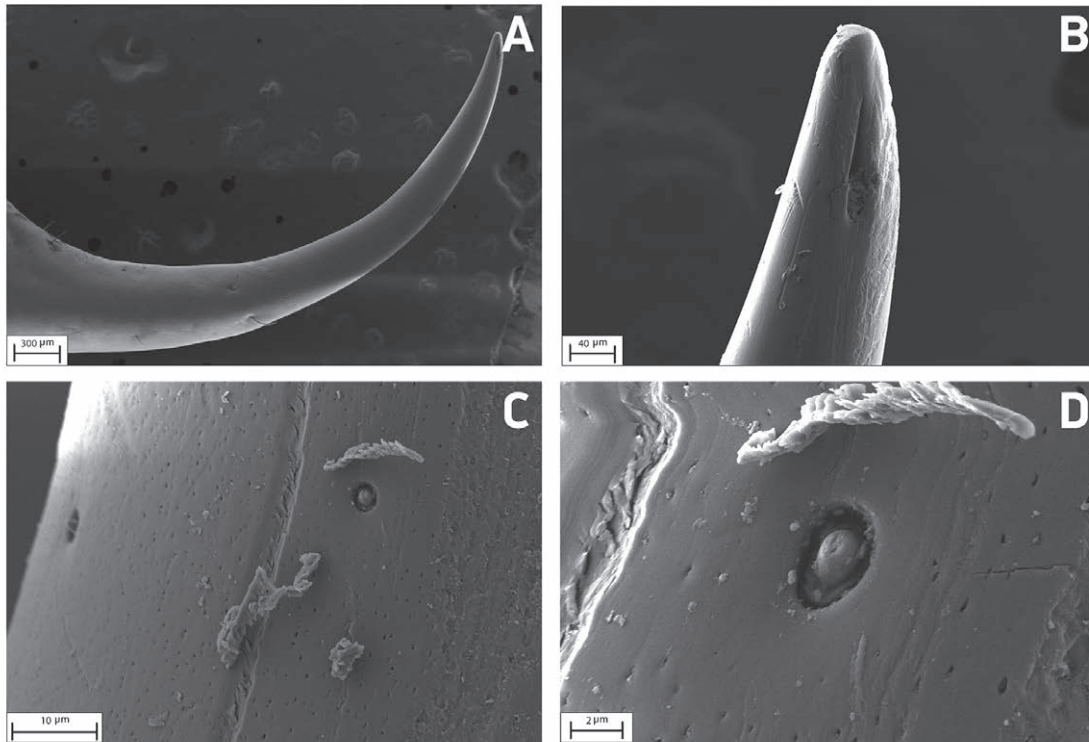


Fig. 16. *Olivierius caucasicus* (Nordmann, 1840), ♂. A — aculeus part of the telson, B — tip of the aculeus, aculear peg sensilla and venom pore, C–D — aculear peg sensillum and pore holes on the cuticular surface of the aculeus.

Рис. 16. *Olivierius caucasicus* (Nordmann, 1840), ♂. А — жалящая часть тельсона, В — вершина жала, кольчатые сенсиллы и отверстие ядовитой железы, С–D — кольчатая сенсилла жала и поровые отверстия на поверхности кутикулы жала.

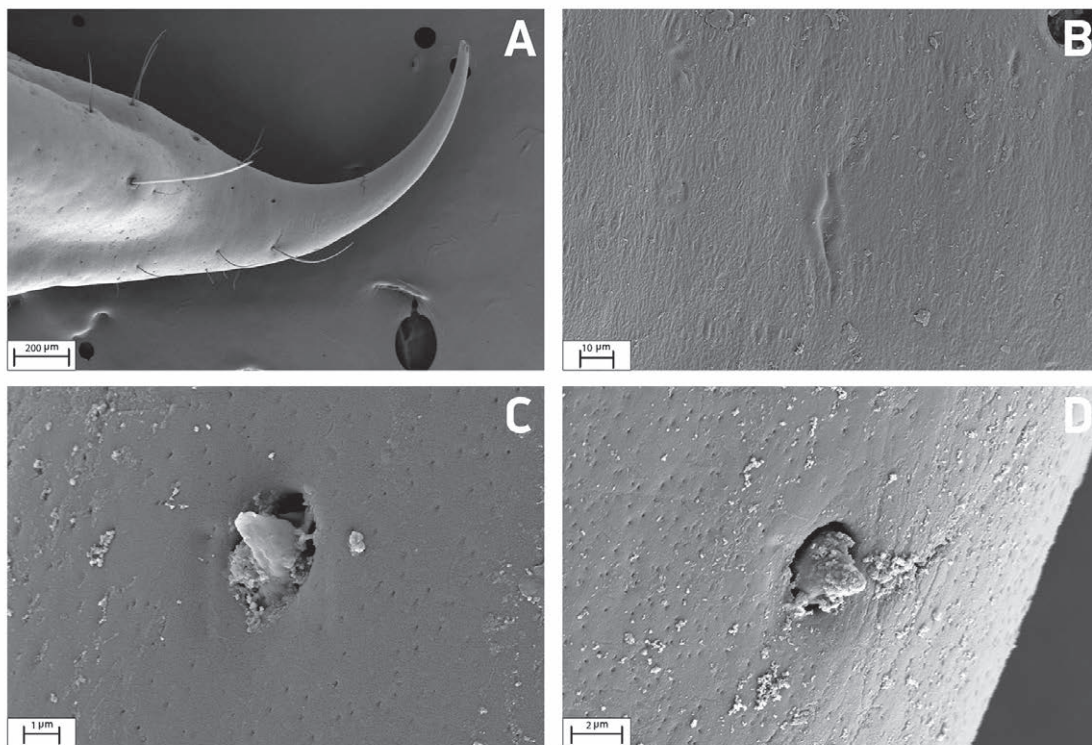


Fig. 17. *Alpiscorpilus mingrelicus* (Kessler, 1874), ♀. A — telson, B — single slit sensillum on the proximal part of the aculeus, C–D — aculear peg sensillum and pore holes on the cuticular surface of the aculeus.

Рис. 17. *Alpiscorpilus mingrelicus* (Kessler, 1874), ♀. А — тельсон, В — единичная щелевидная сенсилла в проксимальной части жала, С–D — кольчатая сенсилла жала и поровые отверстия на поверхности кутикулы жала.

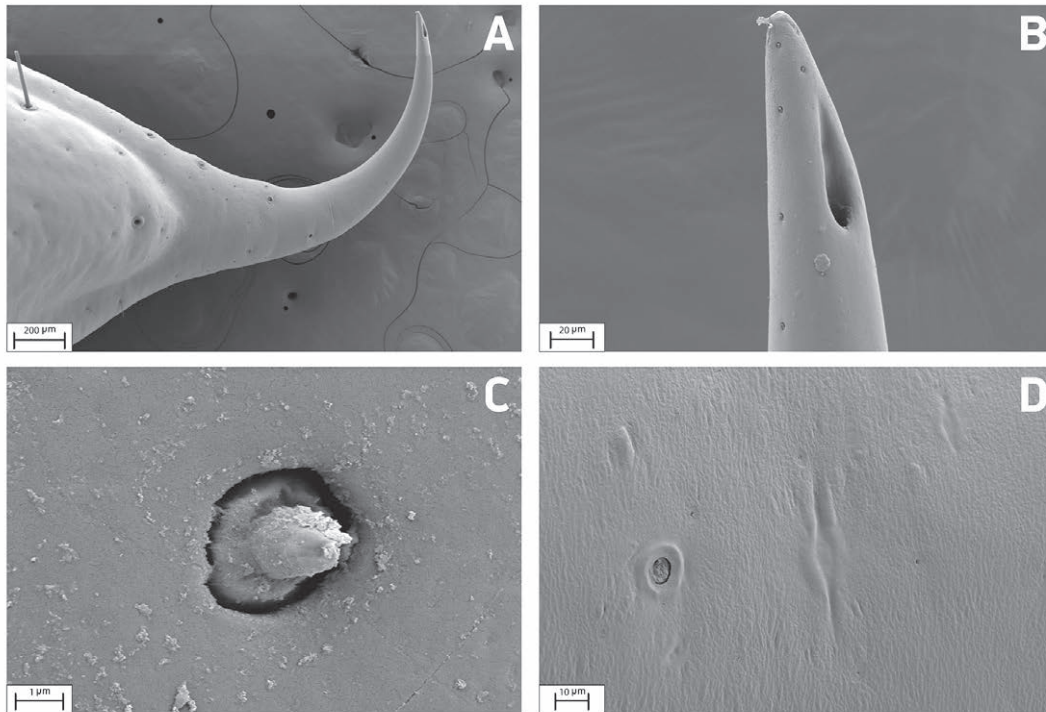


Fig. 18. *Alpiscorpilus mingrelicus* (Kessler, 1874), ♂. A — telson, B — tip of the aculeus, aculear peg sensilla and venom pore, C — aculear peg sensillum on the cuticular surface of the aculeus, D — single slit sensillum on the proximal part of the aculeus and the opening of the dermal gland (left side).

Рис. 18. *Alpiscorpilus mingrelicus* (Kessler, 1874), ♂. А — тельсон, В — вершина жала, кольчатые сенсиллы и отверстие ядовитой железы, С — кольчатая сенсилла на поверхности кутикулы жала, D — единичная щелевидная сенсилла в проксимальной части жала и отверстие дермальной железы (слева).

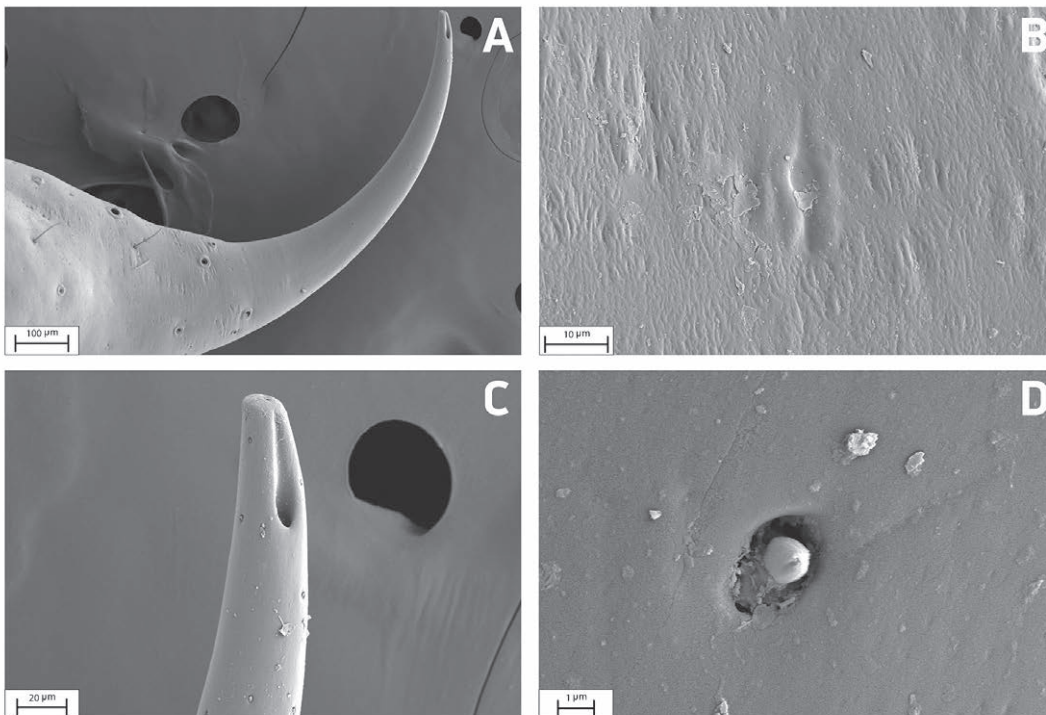


Fig. 19. *Euscorpilus avcii* Tropea, Yagmur, Koc, Yesilyurt et Rossi, 2012, ♀. A — aculeus part of the telson, B — single slit sensillum on the proximal part of the aculeus, C — tip of the aculeus, aculear peg sensilla and venom pore, D — aculear peg sensillum and pore holes on the cuticular surface of the aculeus.

Рис. 19. *Euscorpilus avcii* Tropea, Yagmur, Koc, Yesilyurt et Rossi, 2012, ♀. А — жалящая часть тельсона, В — единичная щелевидная сенсилла в проксимальной части жала, С — вершина жала, кольчатые сенсиллы и отверстие ядовитой железы, D — кольчатая сенсилла и поровые отверстия на поверхности кутикулы жала.



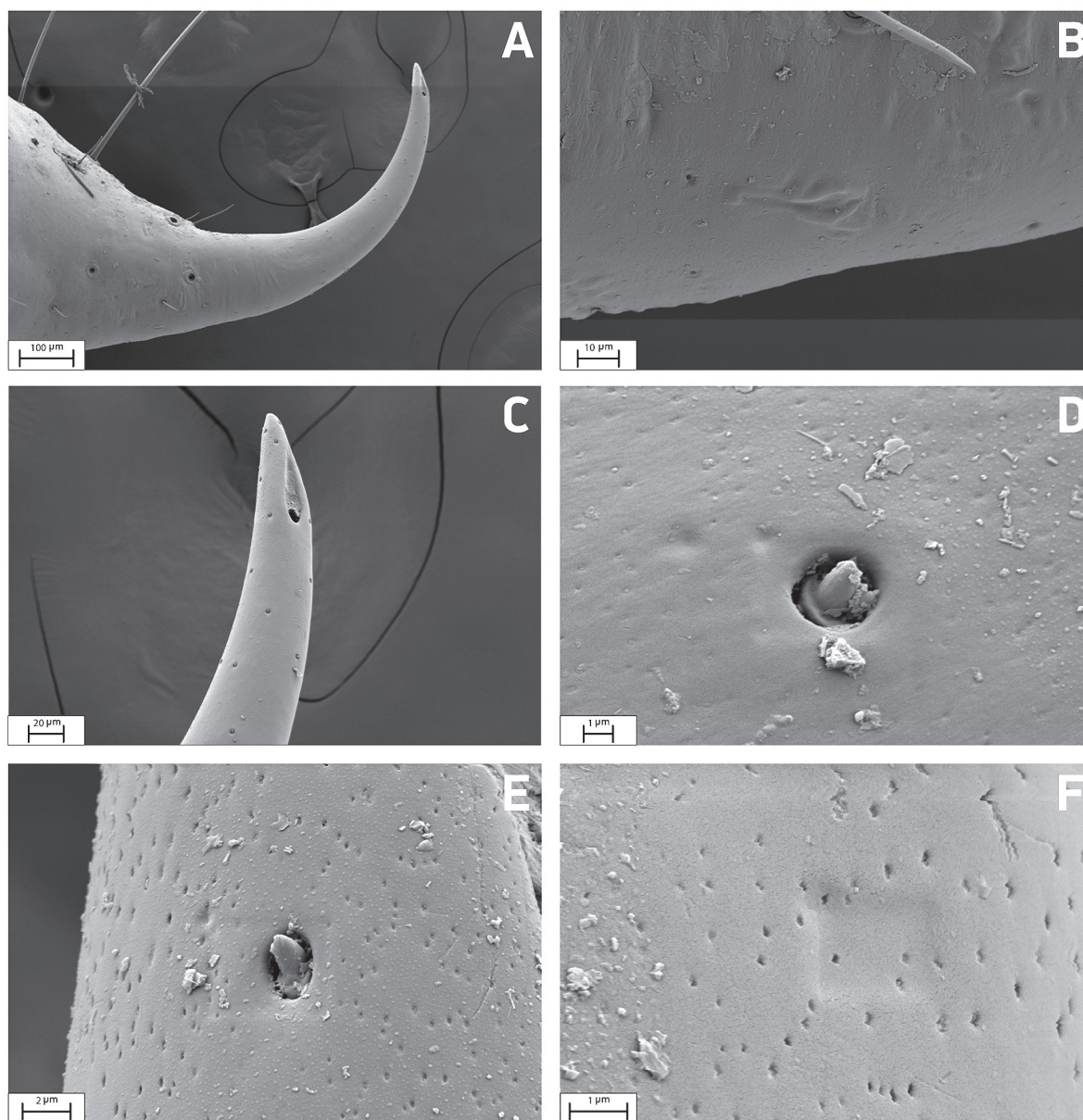


Fig. 20. *Euscorpium avcii* Tropea, Yagmur, Koc, Yesilyurt et Rossi, 2012, ♂. A — aculeus part of the telson, B — single slit sensilla on the proximal part of the aculeus, C — tip of the aculeus, aculear peg sensilla and venom pore, D–E — aculear peg sensillum and pore holes on the cuticular surface of the aculeus, F — cuticular pore holes in detail.

Рис. 20. *Euscorpium avcii* Tropea, Yagmur, Кос, Yesilyurt et Rossi, 2012, ♂. А — жалящая часть тельсона, В — единичные щелевидные сенсиллы в проксимальной части жала, С — вершина жала, кольчатые сенсиллы и отверстие ядовитой железы, D–E — кольчатая сенсилла и поровые отверстия на поверхности кутикулы жала, F — поровые отверстия кутикулы детально.

## Discussion

All arachnids have cuticular sense organs. Short, curving chemosensory setae are found across the scorpion body. However, observations of these setae were infrequent, focusing primarily on the leg tarsi with their contact chemosensory setae [Fet *et al.*, 2003]. They also proposed that the ventral/lateral surfaces of the posterior metasomal segments in the genus *Orthochirus* and related species could be used as a chemosensory array, similar to insect antennae, despite the fact that

the structures examined appear to be falciform hairs, which are structures placed on the hard cuticle. Scorpions have long piqued the interest of humans, owing to their ability to deliver painful and occasionally fatal stings. Since photographs of the sting are usually taken from only one side, the venom opening appears to be a single structure, but in reality, there are two openings. Today, most studies covering the scorpion telson focus on venom and the venom glands, and there are almost no studies on the telson itself and especially on the sting morphology.

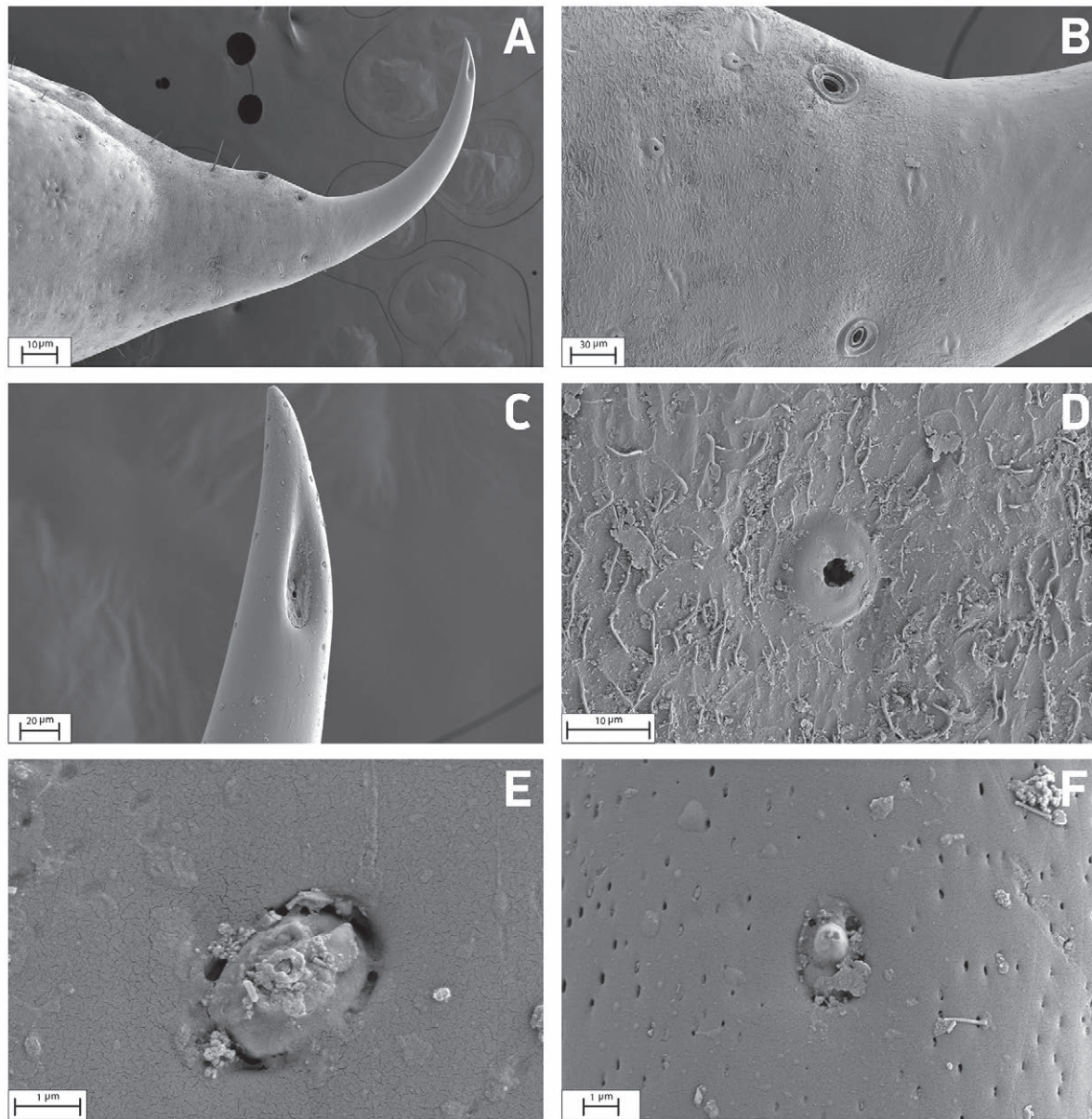


Fig. 21. *Calchas birulai* Fet, Sogleglad et Kovarik, 2009, ♀. A — aculeus part of the telson, B — single slit sensilla on the proximal part of the aculeus, C — tip of the aculeus, aculear peg sensilla and venom pore, D — opening of the dermal gland and cuticular pattern of the proximal part of the aculeus, E–F — aculear peg sensillum and pore holes on the cuticular surface of the aculeus.

Рис. 21. *Calchas birulai* Fet, Sogleglad et Kovarik, 2009, ♀. А — жалящая часть тельсона, В — единичные щелевидные сенсиллы в проксимальной части жала, С — вершина жала, кольчатые сенсиллы и отверстие ядовитой железы, D — отверстие дермальной железы и паттерн кутикулы в проксимальной части жала, E–F — кольчатая сенсилла жала и поровые отверстия на поверхности кутикулы жала.

Telson length, aculeus length and aculeus curvature vary according to species size and hence from species to species. Aculear peg sensilla include a broad socket and a blunt tip. According to Foelix, Erb & Braunwalder [2014], they may serve as contact chemoreceptors. During the stinging action, the entire aculeus portion is inserted into the victim's tissue. The aculeus is also believed to function as a contact chemoreceptor, detecting changes in tissue temperature, depth, and tightness either prior to or during venom release. Foelix, Erb & Braunwalder [2014] also claimed that the aculeus bears a number of single slit

sensilla that are implanted in the cuticle and offer data on mechanical strain. Farley [1999] also indicated that the aculeus is more than just an injection tool; it may also respond to both chemical and mechanical stimuli.

Dermal glands were defined by Foelix, Erb & Braunwalder [2014] as relatively short sensory hairs on the proximal aculeus that do not extend onto the distal tip region, but rather project from a separate socket. Male scorpions frequently strike the female in her joint membranes during the initial stages of courtship, where the aculeus can remain for up to ten minutes [Francke,



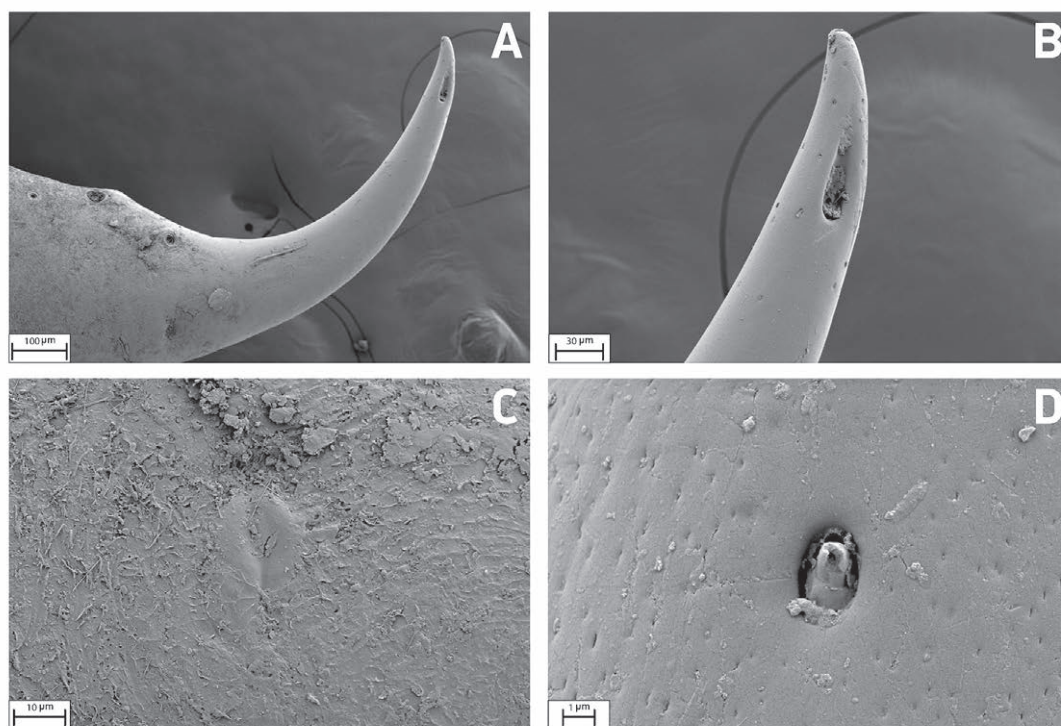


Fig. 22. *Calchas birulai* Fet, Soleglad et Kovarik, 2009, ♀. A — aculeus part of the telson, B — tip of the aculeus, aculear peg sensilla and venom pore, C — single slit sensilla on the proximal part of the aculeus, D — aculear peg sensillum and pore holes on the cuticular surface of the aculeus.

Рис. 22. *Calchas birulai* Fet, Soleglad et Kovarik, 2009, ♀. А — жалящая часть тельсона, В — вершина жала, кольчатые сенсиллы и отверстие ядовитой железы, С — единичные щелевидные сенсиллы в проксимальной части жала, D — кольчатая сенсилла жала и поровые отверстия на поверхности кутикулы жала.

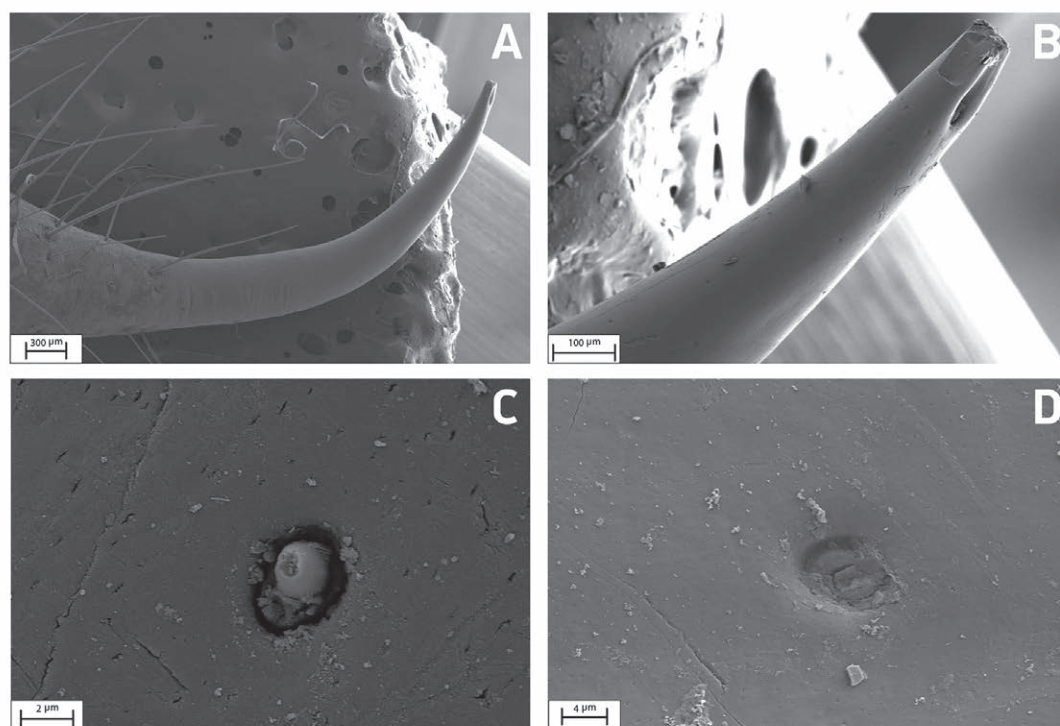


Fig. 23. *Iurus kinzelbachi* Kovarik, Fet, Soleglad et Yagmur, 2010, ♀. A — aculeus part of the telson, B — tip of the aculeus, aculear peg sensilla and venom pore, C — aculear peg sensillum and pore holes on the cuticular surface of the aculeus, D — opening of the dermal gland on the proximal part of the aculeus.

Рис. 23. *Iurus kinzelbachi* Kovarik, Fet, Soleglad et Yagmur, 2010, ♀. А — жалящая часть тельсона, В — вершина жала, кольчатые сенсиллы и отверстие ядовитой железы, С — кольчатая сенсилла жала и поровые отверстия на поверхности кутикулы жала, D — отверстие дермальной железы в проксимальной части жала.

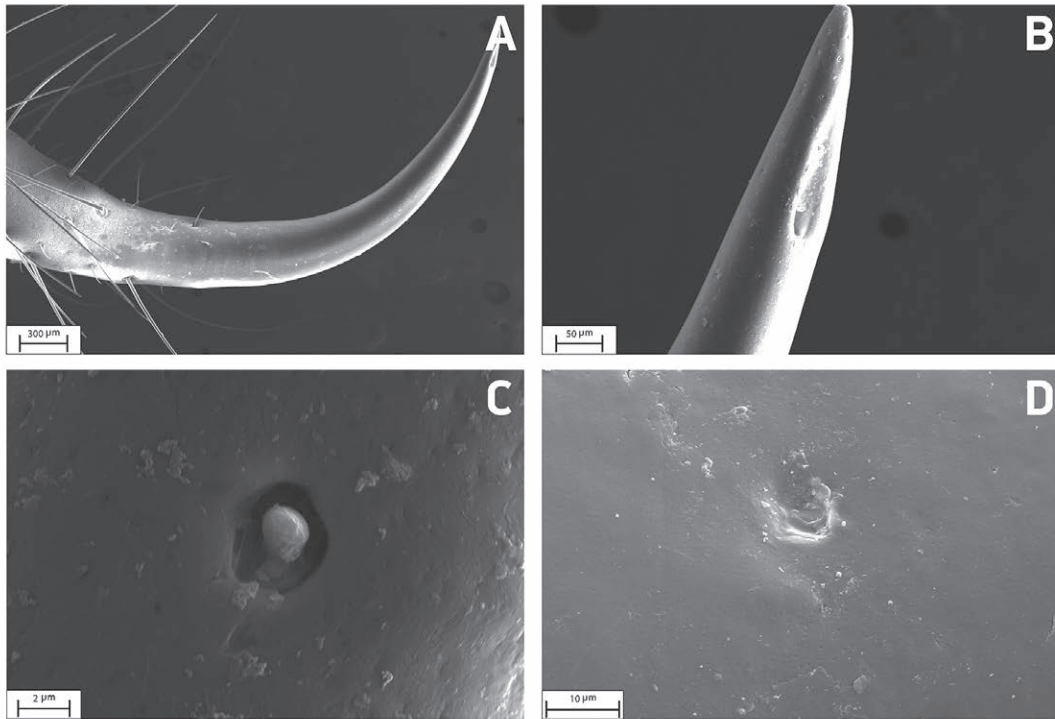


Fig. 24. *Iurus kinzelbachi* Kovarik, Fet, Soleglad et Yagmur, 2010, ♂. A — aculeus part of the telson, B — tip of the aculeus, aculear peg sensilla and venom pore, C — aculear peg sensillum and pore holes on the cuticular surface of the aculeus, D — opening of the dermal gland on proximal part of the aculeus.

Рис. 24. *Iurus kinzelbachi* Kovarik, Fet, Soleglad et Yagmur, 2010, ♂. А — жалящая часть тельсона, В — вершина жала, кольчатые сенсиллы и отверстие ядовитой железы, С — кольчатая сенсилла жала и поровые отверстия на поверхности кутикулы жала, D — отверстие дермальной железы в проксимальной части жала.

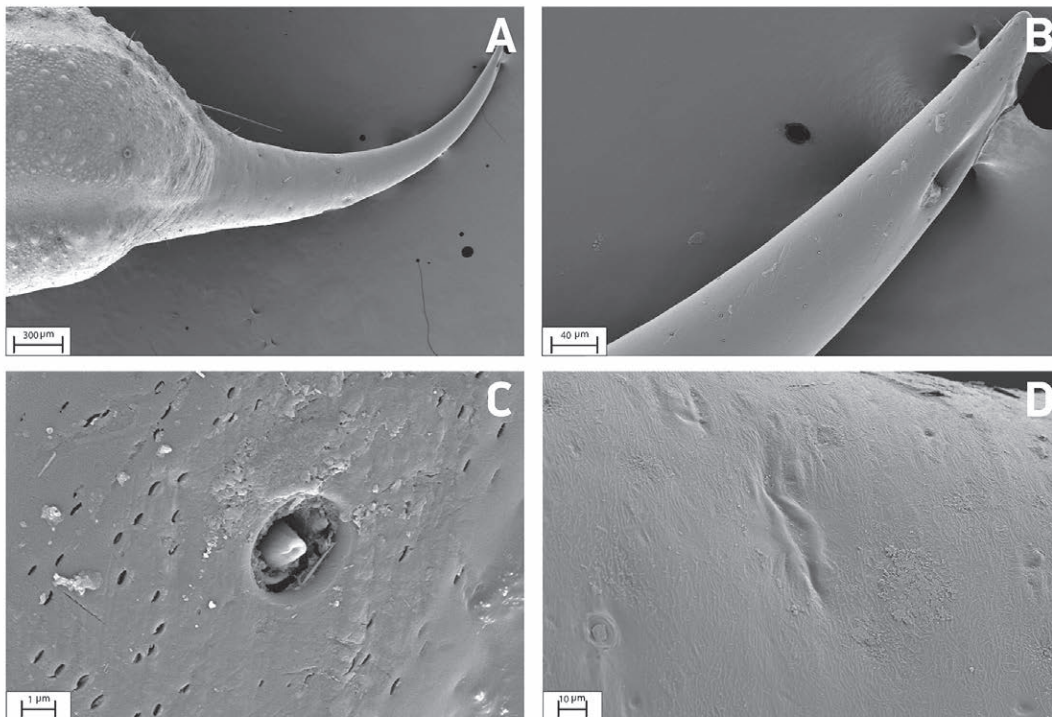


Fig. 25. *Neocalchas gruberi* (Fet, Soleglad et Kovarik, 2009), ♀. A — aculeus part of the telson, B — tip of the aculeus, aculear peg sensilla and venom pore, C — aculear peg sensillum and pore holes on the cuticular surface of the aculeus, D — single slit sensilla on the proximal part of the aculeus.

Рис. 25. *Neocalchas gruberi* (Fet, Soleglad et Kovarik, 2009), ♀. А — жалящая часть тельсона, В — вершина жала, кольчатые сенсиллы и отверстие ядовитой железы, С — кольчатая сенсилла жала и поровые отверстия на поверхности кутикулы жала, D — единичные щелевидные сенсиллы в проксимальной части жала.



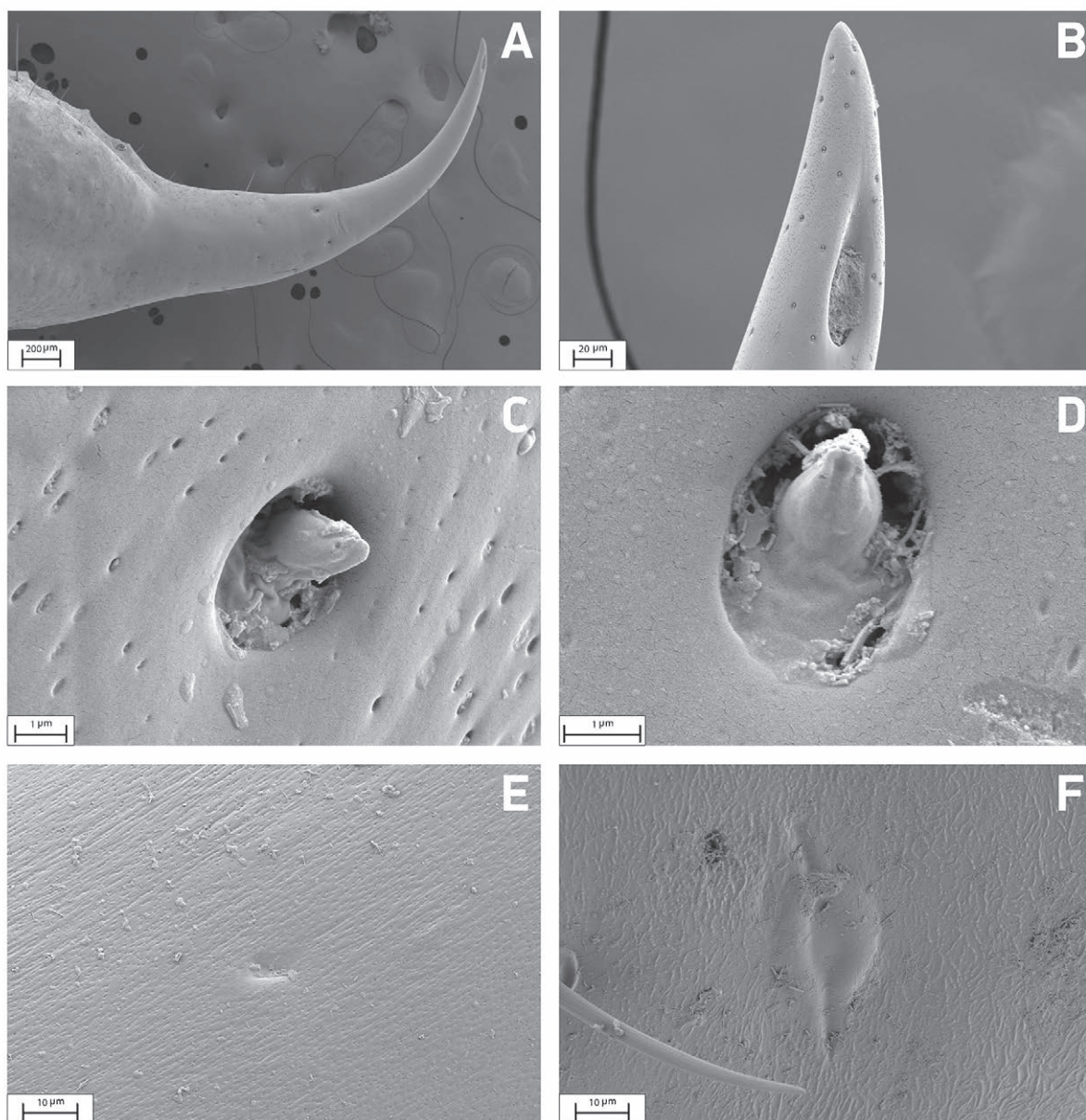


Fig. 26. *Neocalchas gruberi* (Fet, Soleglad et Kovarik, 2009), ♂. A — aculeus part of the telson, B — tip of the aculeus, aculear peg sensilla and venom pore, C–D — aculear peg sensillum and pore holes on the cuticular surface of the aculeus, E — single slit sensilla on the proximal part of the aculeus, F — single slit sensilla on the proximal part of the aculeus.

Рис. 26. *Neocalchas gruberi* (Fet, Soleglad et Kovarik, 2009), ♂. А — жалящая часть тельсона, В — вершина жала, кольчатые сенсиллы и отверстие ядовитой железы, С–D — кольчатая сенсилла жала и поровые отверстия на поверхности кутикулы жала, Е — ямка кутикулы в проксимальной части жала, F — единичные щелевидные сенсиллы в проксимальной части жала.

1979; Foelix *et al.*, 2014]. Jiao & Zhu [2010] observed that *Tityus trinitatis* exhibits clear sexual dimorphism in the size and colour of the metasoma, and that the male preferentially grips the female's tail upon first contact. This implies that sex recognition depends on sexual variations in the metasoma. It's unclear if other species use anatomical distinctions in sexual behaviour to identify potential mates. During mating, the male and female individuals touch their telsons against each other and stimulate each other by sticking their stingers into each

other (second author, pers. obs.). Therefore, we suggest that dermal glands may release sexual pheromones.

The single slit sensilla on the proximal surface of the aculeus presumably function as mechanoreceptors, and specifically as strain receptors [Erdek, Gharakloo, 2020]. In the present paper, the slit sensilla take the form of a group of single slits. A number of single slit sensilla embedded in the aculeus's cuticle also provide information on mechanical strain. Again, we emphasize that the aculeus is not just for injection; it may also detect both

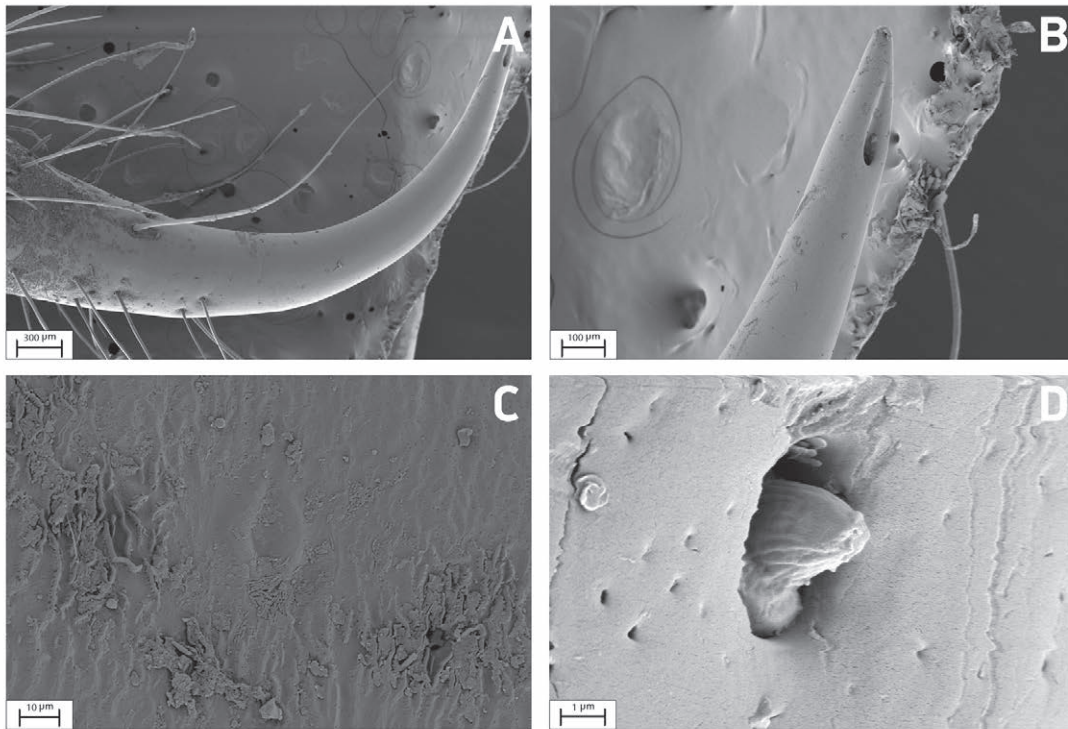


Fig. 27. *Anatoliurus kraepelini* (von Ubisch, 1922), ♀. A — aculeus part of the telson, B — tip of the aculeus, aculear peg sensilla and venom pore, C — single slit sensillum on the proximal part of the aculeus, D — aculear peg sensillum and pore holes on the cuticular surface of the aculeus.

Рис. 27. *Anatoliurus kraepelini* (von Ubisch, 1922), ♀. А — жалящая часть тельсона, В — вершина жала, кольчатые сенсиллы и отверстие ядовитой железы, С — единичная щелевидная сенсилла в проксимальной части жала, D — кольчатая сенсилла жала и поровые отверстия на поверхности кутикулы жала.

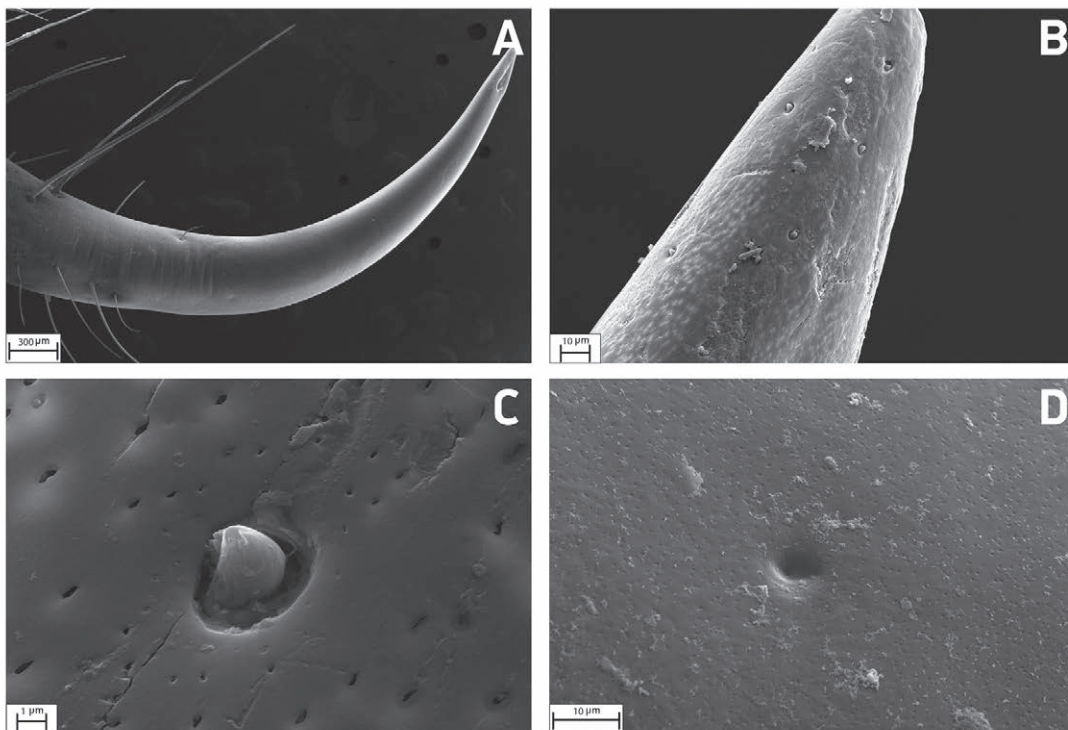


Fig. 28. *Anatoliurus kraepelini* (von Ubisch, 1922), ♂. A — aculeus part of the telson, B — tip of the aculeus, aculear peg sensilla and venom pore, C — aculear peg sensillum and pore holes on the cuticular surface of the aculeus, D — cuticular pit on the aculeus surface.

Рис. 28. *Anatoliurus kraepelini* (von Ubisch, 1922), ♂. А — жалящая часть тельсона, В — вершина жала, кольчатые сенсиллы и отверстие ядовитой железы, С — кольчатая сенсилла жала и поровые отверстия на поверхности кутикулы жала, D — ямка кутикулы на поверхности жала.



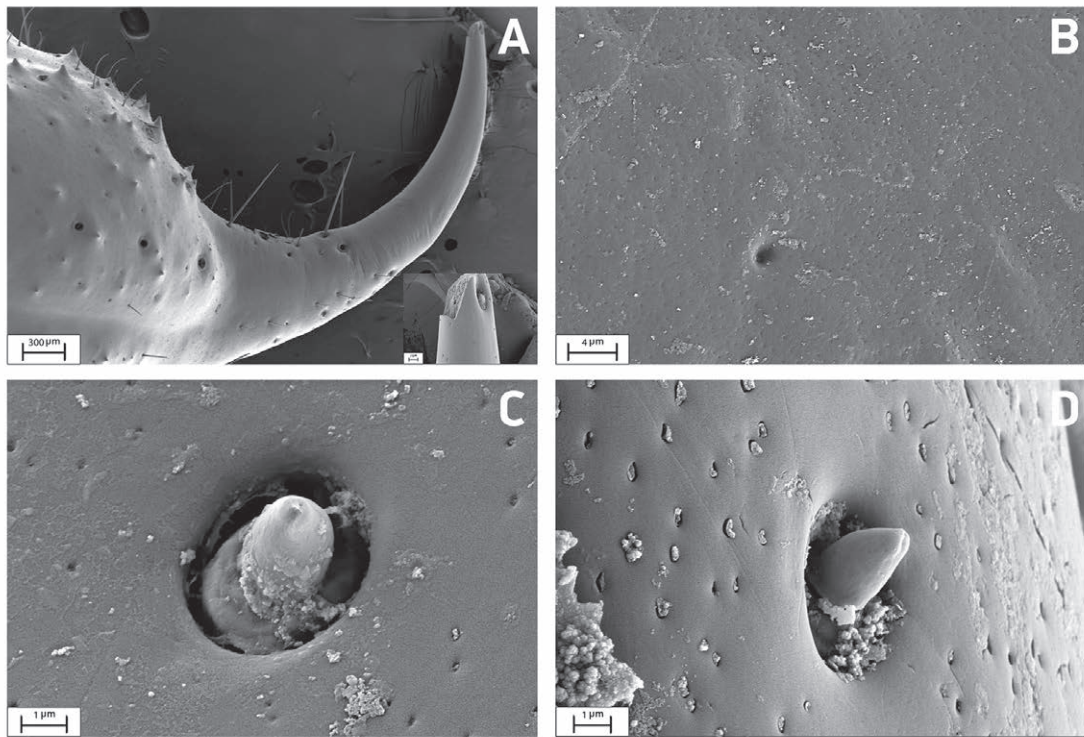


Fig. 29. *Scorpio kruglovi* Birula, 1910, ♀. A — aculeus part of the telson, B — opening of the dermal gland on the aculeus surface, C–D — aculear peg sensillum and pore holes on the cuticular surface of the aculeus.

Рис. 29. *Scorpio kruglovi* Birula, 1910, ♀. А — жалящая часть тельсона, В — отверстие дермальной железы на поверхности жала, С–D — кольчатая сенсилла жала и поровые отверстия на поверхности кутикулы жала.

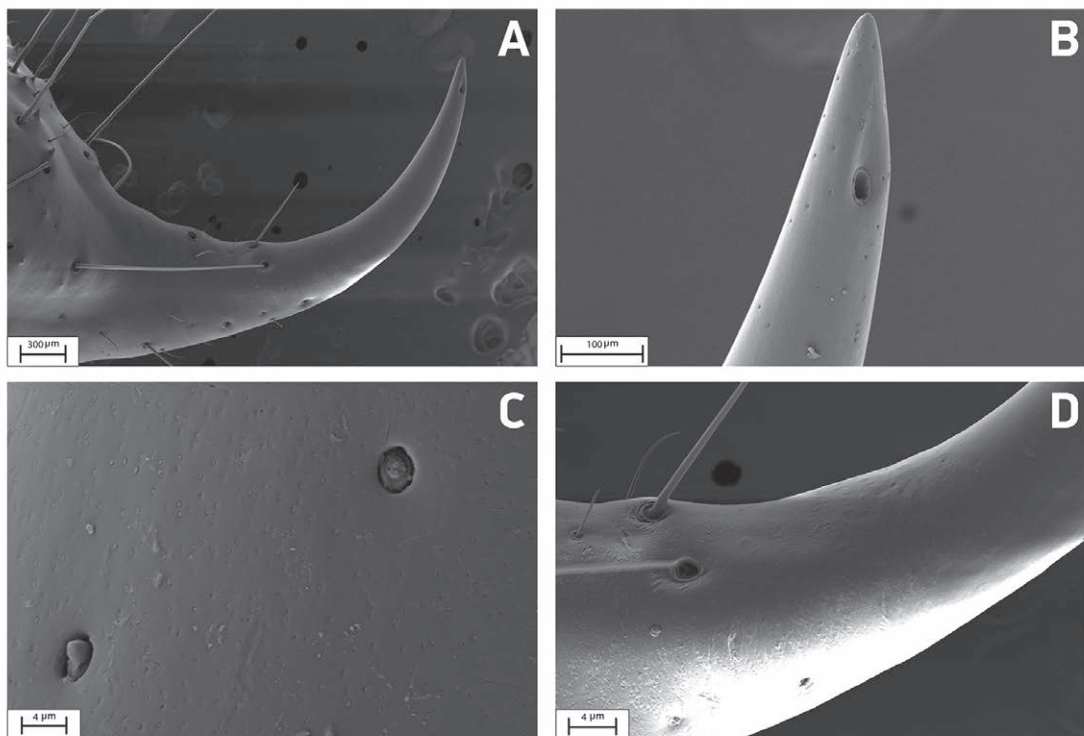


Fig. 30. *Scorpio kruglovi* Birula, 1910, ♂. A — aculeus part of the telson, B — cuticular pit on the aculeus surface, C–D — aculear peg sensillum and pore holes on the cuticular surface of the aculeus.

Рис. 30. *Scorpio kruglovi* Birula, 1910, ♂. А — жалящая часть тельсона, В — ямка кутикулы на поверхности жала, С–D — кольчатая сенсилла жала и поровые отверстия на поверхности кутикулы жала.

chemical and mechanical stimuli. The telson nerve, which runs between the two venom ducts, is another clue to this function [Farley, 1999; Foelix *et al.*, 2014].

#### Compliance with ethical standards

CONFLICT OF INTEREST: The authors declare that they have no conflict of interest.

**Ethical approval:** No ethical issues were raised during our research.

**Acknowledgements.** This study is funded by the Scientific Research Projects Coordination Unit of Hakkari University, Turkey. (Project number: FM22BAP19).

#### References

- Erdek M., Gharakhloo M.M. 2020. Comparison of the external morphology in males of *Rhagodes caucasicus* Birula 1905 and *Rhagodes eylandti* (Walter 1889) (Arachnida: Solifugae: Rhagodidae) // *Biharean Biologist*. Vol.14, No.2. P.72–79.
- Farley R.D. 1999. Scorpiones // F.W. Harrison, R.F. Foelix (eds.). *Microscopic Anatomy of Invertebrates*. Vol.8A: Chelicerate Arthropoda. New York: Wiley-Liss. P.117–222.
- Fet V., Fet E.V., Neff D., Graham M.R. 2003. Metasoma of *Orthochirus* (Scorpiones: Buthidae): are scorpions evolving a new sensory organ? // *Revista ibérica de aracnología*. Vol.8. P.69–72.
- Foelix R., Erb B., Braunwalder M. 2014. Fine structure of the stinger (aculeus) in *Euscorpius* // *Journal of Arachnology*. Vol.42. No.1. P.119–122.
- Francke O.F. 1979. Observations on the reproductive biology and life history of *Megacormus gertschi* Diaz (Scorpiones: Chactidae: Megacorminae) // *Journal of Arachnology*. Vol.7. No.3. P.223–230.
- Hjelle J.T. 1990. *Anatomy and Morphology* // G.A. Polis (ed.) *The Biology of Scorpions*. Stanford, CA, USA: Stanford University Press. P.5–30.
- Jiao G.B., Zhu M.S. 2010. Courtship and mating of *Scorpiops luridus* Zhu Lourenço & Qi, 2005 (Scorpiones: Euscorpiidae) from Xizang province, China // *Journal of Venomous Animals and Toxins including Tropical Diseases*. Vol.16. P.155–165.
- Rein J.O. 2023. *The Scorpion Files*. Trondheim: Norwegian University of Science and Technology. Available from <https://www.ntnu.no/ub/scorpion-files/>
- Zhao Z.L., Shu, T., Feng X.Q. 2016. Study of biomechanical, anatomical, and physiological properties of scorpion stingers for developing biomimetic materials // *Materials science and engineering*. Vol. C58. P.1112–1121.

*Responsible editor K.G. Mikhailov*