

<Note>

## 익수류 4종의 음경골 형태에 관한 기초연구

전영신 · 김성철 · 한상훈<sup>1</sup> · 정철운\*

동국대학교 생명과학과, <sup>1</sup>국립생물자원관

### Morphological Characteristics of Baculum in Four Bats

Young-Shin Jeon, Sung-Chul Kim, Sang-Hoon Han<sup>1</sup> and Chul-Un Chung\*

Department of Life Science, Dongguk University, Gyeongju 38127, Republic of Korea

<sup>1</sup>National Institute of Biological Resources, Incheon 22689, Republic of Korea

**Abstract** - The morphological characteristics of the baculum were compared among *Rhinolophus ferrumequinum*, *Hypsugo alaschanicus*, *Vespertilio sinensis*, and *Murina hilgendorfi*. Their bacula were located at the distal end but their shapes were differed among species. *V. sinensis* had the longest baculum (mean = 7.27 mm), followed by *R. ferrumequinum* (mean = 5.02 mm), *H. alaschanicus* (mean = 2.60 mm) and *M. hilgendorfi* (mean = 2.15 mm). The baculum of *R. ferrumequinum* was Y-shaped, with a pointed tip and that of *V. sinensis* was long and conical. However, the baculum of *H. alaschanicus* was I-shaped, with the widths of proximal and distal ends larger than that of the shaft. The baculum of *M. hilgendorfi* was small, and oval shaped. The shaft of the baculum of *R. ferrumequinum* and *H. alaschanicus* was linear in shape, whereas that of *V. sinensis* was curved towards the distal end, and that of *M. hilgendorfi* was bent upward. The results showed that the baculum morphology differed among these four species. These findings can be utilized as an identification key for these species, and they can be used as baseline data for studying the phyletic relationships of bats.

**Key words** : baculum morphology, *Hypsugo alaschanicus*, *Murina hilgendorfi*, *Rhinolophus ferrumequinum*, *Vespertilio sinensis*

## 서 론

음경골(baculum)은 익수목(Chiroptera), 식충목(Insectivora), 식육목(Carnivora), 설치목(Rodentia) 등에서 확인되는 구조로(Hill and Harrison 1987; Herdina *et al.* 2010), 지난 수십 년 동안 음경골의 형태는 포유동물의 분류에 사용되어져 왔다(Didier 1954; Baryshnikov and Abramov 1997; Benda and Tsytsulina 2000). 박쥐의 경우, 음경골은 일반적으

로 짧고(Sinha 1976) 귀두의 안쪽에 위치하고 있으며, 교미 기관의 주변 조직을 지원하는 것으로 알려져 있다(Smirnov and Tsytsulina 2003). 음경골에 관한 연구는 초기 Thomas (1915)에 의해 음경골의 가치를 분류학적 특징으로 이용한 이래 Krutzsch (1959), Lanza (1969)가 대익수아목(Suborder Megachiroptera)의 상관관계에 대한 평가에 이용하였으며, Heller and Volleth (1984)는 *Pipistrellus*속과 *Eptesicus*속에 대한 연관관계 지표로서 음경골을 이용하였다. 또한 Genoways and Jones (1969)는 북아메리카 *Myotis*속에 대해서 근연관계에 있는 종간의 구분에 음경골의 특징을 이용하였고, LaVal (1973)도 형태적으로 유사한 *Myotis*속의 음경골 특징에 관

\* Corresponding author: Chul-Un Chung, Tel. 054-774-7615, Fax. 054-774-7616, E-mail. batman424@naver.com

한 연구를 수행하였다. 최근에는 3차원 마이크로 단층촬영을 통한 미세구조 분석(Herdina *et al.* 2010) 및 기능에 관한 연구(Herdina *et al.* 2015)에 이르기까지 다양한 연구가 이루어지고 있다. 반면 음경골의 기원과 기능에 관해서는 현재까지 명확하지 않은데, Jellison (1945)은 박쥐의 음경골은 골격의 부수적인 뼈일 뿐이라고 하였으며, Ottow (1955) 및 Nickel (1973)는 음경 해면체의 일부가 석화된 결과라고 하였다. 반면 Dyck *et al.* (2004)은 음경골은 음경의 형태에 영향을 주거나 물리적인 지원을 함으로써 삽입되어 있는 시간 동안 간접적인 교미지원 기능을 하는 등 여러 가지 복합적인 기능을 가지고 있다고 보고한 바 있다. 이처럼 비록 음경골의 기능에 대한 의견은 다양하지만, 박쥐를 포함한 포유동물에 있어서 음경골의 형태학적 특징은 종의 분류에 광범위하게 이용되고 있다(Herdina *et al.* 2015). 특히 박쥐목(Chiroptera)에 있어서 음경골은 여러 계통학적 수준에서 종의 분류특성을 지닌 요소로 이용되어져 왔는데(Hill and Harrison 1987), Hamilton (1949)은 북아메리아 애기박쥐과의 음경골에 대한 연구결과 애기박쥐과의 음경골은 두개골 특성과 함께 종의 분류에 유용하게 이용될 수 있다는 것을 확인하였으며, Krutzsch and Vaughan (1955)은 음경골의 유연관계는 종을 구분하는 데 있어서 형태적으로 구분되는 특징이 부족한 종들의 판단에 있어서 도움을 준다는 것을 확인하였다. 결과적으로 이전의 많은 연구결과에서의 공통적인 결론은 음경골은 형태적으로 유사한 특징을 가지고 있는 종간의 분류 및 계통발생학적 연구에 있어서 중요한 역할을 할 수 있으며(Thomas *et al.* 1994), 특히 *Myotis*속과 같이 형태학적으로 매우 유사한 특징을 가지는 종의 분류에 효과적으로 이용될 수 있다는 것이다(Benda and Tsytsulina 2000; Smirnov and Tsytsulina 2003; Herdina *et al.* 2015).

한국의 경우 20종 이상의 박쥐가 서식하고 있지만 일부 종들은 외부형태학적으로 매우 유사한 특징을 보인다. 박쥐의 보호와 관리를 위해서는 종의 생태학적 특징에 대한 이해가 이루어져야 하지만 이를 위해서는 선제적으로 종의 명확한 분류와 형태 특징에 대한 자료구축이 필요하다. 지금까지 국내에서 일부 박쥐에 대한 행동권(Chung *et al.* 2013), 반향정위(Chung *et al.* 2010; Chung and Han 2015) 등과 같은 생태학적 특징에 대한 연구는 이루어졌으나, 외부 형태학적 특성에 근거한 종의 기초자료는 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 대표적으로 관박쥐(*Rhinolophus ferrumequinum*), 안주애기박쥐(*Vespertilio sinensis*), 관코박쥐(*Murina hilgendorfi*), 검은집박쥐(*Hypsugo alaschanicus*) 등 4속 4종에 대하여 음경골의 형태학적 차이 및 특징을 비교하여 음경골을 이용한 종의 동정 및 특징에 관한 기초자료 구축을 목적으로 하였다.

## 재료 및 방법

본 연구에는 관박쥐, 안주애기박쥐, 관코박쥐, 검은집박쥐 등 서로 다른 속(Genus)의 4종이 각각 종별로 5개체씩 이용되었으며, 음경은 박쥐의 사체 및 직접 포획을 통하여 수집하였다. 샘플수집 및 포획은 박쥐의 동면기를 포함하여 2015년부터 2016년까지 경북 영덕, 충북 단양, 강원도 영월 일원의 동굴 및 폐광 그리고 인근의 산림지역에서 확보한 개체를 이용하였다. 박쥐의 음경골이 종의 특성을 나타낼 수 있지만 생후 초기부터 단독 비행이 가능한 시기까지는 미숙한 발달상태 또는 지속적인 성장이 일어난다(Smirnov and Tsytsulina 2003). 따라서 성체의 특징을 반영할 수 없는 어린 개체는 분석에서 제외하였으며, 종별 음경골의 미성숙 가능성을 고려하여 당해년도 출생 개체 또한 본 연구에서 제외하였다. 분리된 음경은 70% 에탄올에 보관하였으며, 음경골 분리는 육안으로 1차 조직 제거 후 6% KOH 용액을 이용하여 잔여 연조직(soft tissues)을 제거하였다. 음경골의 부분 촬영 및 미세형태 확인은 고배율 광학현미경(Leica DM500, Germany)을 이용하였으며, 측정은 0.01 mm digital calipers (CD-15cpx; Mitutoyo, Japan)를 이용하였다.

## 결과 및 고찰

4종의 음경골 외부형태를 분석한 결과 종에 따라서 크기와 모양이 큰 차이를 보였다. 조사대상종 가운데 안주애기박쥐의 음경골 길이가 평균 7.27 mm로 가장 길었으며, 다음으로 관박쥐(평균 5.02 mm), 검은집박쥐(평균 2.60 mm), 관코박쥐(평균 2.15 mm) 순으로 나타났다. 일반적으로 포유류의 음경골은 해면체 말단부와 밀접하게 연관되어 있으며(Herdina *et al.* 2010), 그 길이는 매우 짧은 것으로 알려져 있다(Sinha 1976). 본 연구에서도 관찰된 음경골은 모두 음경의 말단부에 위치해 있었으며, 종별 음경골의 길이는 음경의 길이와 같은 순으로(안주애기박쥐 9.63 mm, 관박쥐 6.34 mm, 검은집박쥐 5.66 mm, 관코박쥐 5.25 mm), 음경의 길이에 대한 음경골의 비율은 관박쥐 약 79%, 안주애기박쥐 약 75%, 관코박쥐 약 41%, 검은집박쥐 약 45%로 음경의 길이와 같은 결과를 보였다. 반면 음경골의 길이는 몸의 크기(head and body)와는 차이를 보였는데 두동장의 크기는 관박쥐가 평균 63.7 mm로 가장 크고 다음으로 안주애기박쥐 평균 63.08 mm, 관코박쥐 평균 55.0 mm, 검은집박쥐 평균 52.2 mm인 반면 음경골의 길이는 안주애기박쥐가 가장 컸으며, 검은집박쥐보다 상대적으로 두동장의 길이가 긴 관코박쥐가 가장 작은 것으로 나타났다.

**1. 관박쥐 (*Rhinolophus ferrumequinum*)**

관박쥐의 음경골 형태는 Y자의 대칭 형태로 전체 길이는 평균 5.02 mm였다. 기부(基部)의 형태는 두 갈래로 나뉘는 V자 형태를 보였다. 근위부의 갈라진 지골(branches) 길이는 약 1.0 mm에 조금 못미쳤으며, 기부(基部)의 최대폭은 평균 1.90 mm였다. 중심축(shaft)은 폭이 넓고 얇은 형태이며, 말단부로 갈수록 삼각형의 뾰족한 형태를 보였다(Fig. 1a). 그러나 중심축의 최대폭은 말단부의 끝을 기준으로 약 20% 지점에서 확인되었으며, 중심축의 최대폭은 평균 1.24 mm를 보였다. 측면에서 보면 중심축의 높이는 평균 0.4 mm인 반면 기부(基部)의 높이는 평균 1.12 mm로 기부(基部)와 말단부의 높이 차이가 뚜렷하게 나타났으며, 기부는 아래를 향하여 약 45도의 둔각 형태를 보였다(Fig. 1b). 기부(基部) 지골의 말단 내부는 원통형의 비어 있는 형태로(Fig. 1c) 이는 여러 개의 영양 도관(nutrient canals)이 수강(medullary cavity)으로 연결되는 역할을 하기 때문에 판단된다(Herdina *et al.* 2010).

**2. 검은집박쥐 (*Hypsugo alaschanicus*)**

음경골 형태는 I자 형으로 전체 길이는 평균 2.60 mm였다(Fig. 2a). 기부는 두 갈래의 지골로 나뉘어졌으나 지골의 길

이는 약 0.15 mm로 매우 약하게 표현되었으며(Fig. 2c), 기부(基部)의 최대폭은 평균 0.81 mm였다. 말단부는 폭 1.08 mm의 반타원형으로 조사대상 중 가운데 유일하게 말단부의 폭이 기부(基部)의 폭보다 컸다(Fig. 2b). 중심축의 폭은 기부(基部)에서 말단으로 갈수록 좁아졌으며, 중심축 중앙부 폭은 평균 0.41 mm로 기부 및 말단부의 약 50%를 차지했다.

**3. 안주애기박쥐 (*Vespertilio sinensis*)**

안주애기박쥐의 음경골 길이는 평균 7.27 mm로 본 연구에 이용된 4종 가운데 가장 길었다. 기부(基部)의 폭과 높이는 각각 평균 1.33 mm, 1.15 mm, 말단부의 폭과 높이는 각각 평균 0.25 mm, 0.32 mm로 기부가 넓은 원뿔 형태를 보였다(Fig. 3a). 측면에서 보면 기부(基部)에서 말단부로 갈수록 아래를 향하여 휘어져 있으며(Fig. 3b), 기부(基部)의 끝부분은 아래에서 봤을 때 V자 형으로 홈이 파여져 있다(Fig. 3c).

**4. 관코박쥐 (*Murina hilgendorfi*)**

관코박쥐의 음경골 형태는 최대길이 평균 2.15 mm, 중앙부 폭 평균 0.95 mm로 U자형 또는 타원형으로 연구대상 4종 가운데 가장 짧은 길이를 보였다(Fig. 4a). 기부(基部)의 최대폭

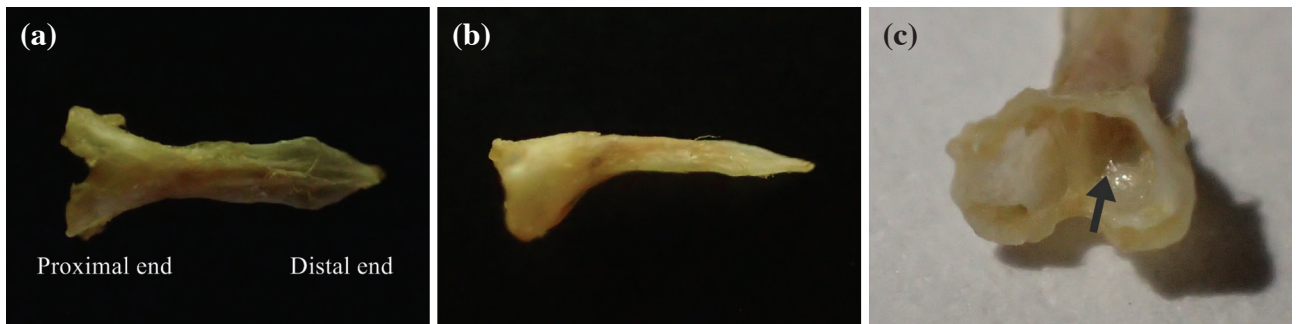


Fig. 1. Baculum of *Rhinolophus ferrumequinum*. (a) Dorsal, (b) lateral view, and (c) medullary cavity.

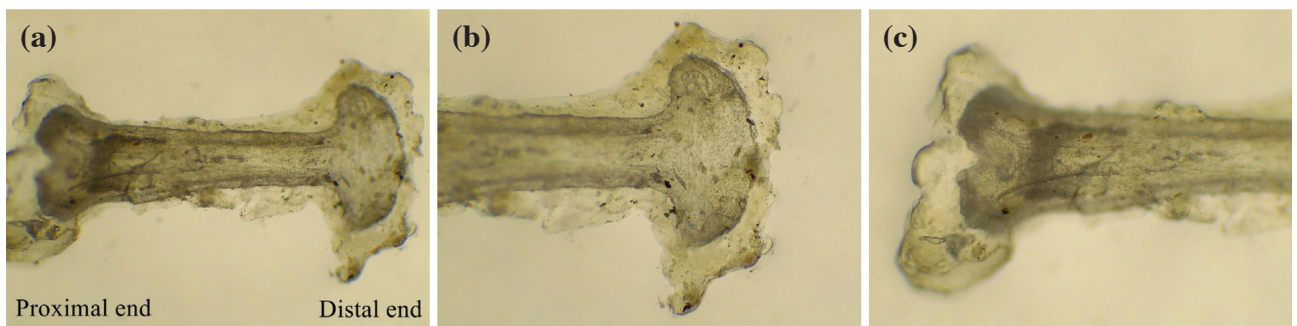


Fig. 2. Baculum of *Hypsugo alaschanicus*. (a) Dorsal, (b) magnified image of the distal end, and (c) magnified image of the proximal tip.

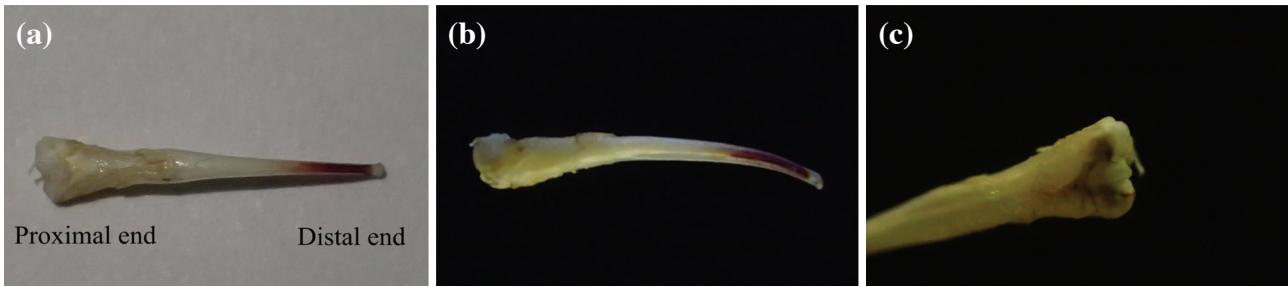


Fig. 3. Baculum of *Vespertilio sinensis*. (a) Dorsal, (b) lateral view, and (c) magnified image of the proximal tip.



Fig. 4. Baculum of *Murina hilgendorfi*. (a) Dorsal, (b) ventral, and (c) lateral view.

은 평균 0.93 mm로 중심축의 폭과 거의 같았으며, 말단부의 폭은 평균 0.56 mm로 기부보다 약 0.3 mm 이상 짧았다. 음경골을 위에서 보면 표면이 매우 매끈한 형태이며 말단부는 부드러운 타원형 그리고 기부는 세로축의 중심부가 약간 오목한 형태를 보였다. 반면 아래에서 보면 중심축을 기준으로 움푹 들어간 형태이며, 말단부를 기준으로 약 70% 위치까지 U자 형으로 추가적인 홈이 조성되어 있다(Fig. 4b). 측면에서 보면 중심부가 오목한 타원형으로 기부에서 말단으로 갈수록 위를 향하여 약하게 휘어져 있는 형태를 보였다(Fig. 4c).

## 적 요

음경골은 일반적으로 종 내에서는 동일한 형태를 보이는 것으로 알려져 있으며, 이를 이용해서 박쥐의 종 분류 및 유연관계 확인 등 다양한 연구가 이루어지고 있다. 본 연구에서는 국내에 서식하는 익수류를 대상으로 지금까지 전혀 연구가 이루어지지 않았던 박쥐 음경골의 형태학적 특징에 대하여 고찰하였다. 연구결과 4종의 음경골 형태는 종에 따라서 분명하게 다른 형태를 보였는데, 안주애기박쥐의 음경골 길이가 평균 7.27 mm로 가장 길었으며, 다음으로 관박쥐, 검은집박쥐, 관코박쥐 순으로 나타났다. 음경골의 형태는 관박

쥐가 Y자의 끝이 뾰족한 형태를 보였고, 안주애기박쥐는 길고 원뿔형의 형태를 나타냈다. 반면 검은집박쥐는 기부와 말단부의 폭이 중심축보다 더 넓은 형태를 보였고, 관코박쥐는 작고 타원형의 형태로 확인되었다. 형태 특징으로 볼 때 관박쥐, 안주애기박쥐, 관코박쥐는 정도의 차이는 있었으나 기부에서 말단으로 갈수록 폭이 좁아지는 형태를 보였다. 그러나 검은집박쥐는 말단부의 폭이 더 넓은 특징을 보였다. 또한 관박쥐와 검은집박쥐는 음경골의 중심축이 일직선 형태인 데 반하여 안주애기박쥐는 말단으로 갈수록 아래로 향하는 모습을 보였으며, 관코박쥐는 위를 향해서 휘어진 모습을 보였다. 결과적으로 본 연구에 이용된 4종의 음경골 형태는 종에 따라서 매우 특징적인 결과를 보였으며, 이는 향후 종별 동정키로의 이용 및 유연관계 파악을 위한 연구자료로 활용 가능할 것으로 판단된다. 또한 본 연구자료를 기초로 하여 외부 형태학적 유사성이 높은 *Myotis*속 내의 음경골 차이 비교와 같은 보다 심도 있는 연구가 연계되어야 할 것이다.

## REFERENCES

- Baryshnikov GF and AV Abramov. 1997. Structure of baculum (os penis) in Mustelidae (Mammalia, Carnivora). Commu-

- nication 1. Zoologicheskii Zhurnal. 76:1399-1410.
- Benda P and KA Tsytsulina. 2000. Taxonomic revision of *Myotis mystacinus* group (Mammalia: Chiroptera) in the western Palearctic. Acta Soc. Zool. Bohem. 64:331-398.
- Chung CU and SH Han. 2015. Characteristics of echolocation calls of the Parti-coloured bat, *Vespertilio sinensis*, in relation to environment type. J. Env. Sci. Inter. 24:353-358.
- Chung CU, SC Kim and SH Han. 2013. Diurnal roosts selection and home range size in the *Myotis aurascens* (Chiroptera: Vespertilionidae) inhabiting a rural area. J. Env. Sci. Inter. 22:1227-1234.
- Chung CU, SH Han, CW Lim, SC Kim, HJ Lee, YH Kwon, CY Kim and CI Lee. 2010. General patterns in echolocation call of Greater horseshoe bat *Rhinolophus ferrumequinum*, Japanese Pipistrelle bat *Pipistrellus abramus* and Large-footed bat *Myotis macrodactylus* in Korea. J. Env. Sci. Inter. 19:61-68.
- Didier R. 1954. Etude systematique de l'os penis des mammiferes. Mamm. 18:237-256.
- Dyck MG, JM Bourgeois and EH Miller. 2004. Growth and variation in the bacula of polar bears in the Canadian Arctic. J. Zool (London). 264:105-110.
- Genoways HH and JK Jones Jr. 1969. Taxonomic status of certain long-eared bats (genus *Myotis*) from the southwestern United States and Mexico. The south. Nat, Dallas. 14:1-13.
- Hamilton WJ. 1949. The bacula of some North American vespertilionid bats. J Mamm. 30:97-102.
- Helleer KG and M Volleth. 1984. Taxonomic position of '*Pipistrellus societatis*' Hill, 1972 and the karyological characteristics of the genus *Eptesicus* (Chiroptera: Vespertilionidae). Zeitschrift fur Zoologische Systematik und Evolutionsforschung. Frankfurt am Main. 22:65-77.
- Herdina AN, B Herzig-Straschil, H Hilgers, BD Metscher and H JR. 2010. Histomorphology of the Penis Bone (Baculum) in the Gray Long-Eared Bat *Plecotus austriacus* (Chiroptera, Vespertilionidae), The Anat. Record. 293:1248-1258.
- Herdina AN, DA Kelly, H Jahelkova, PHC Lina, H Horacek and BD Metscher. 2015, Testing hypotheses of bat baculum function with 3D models derived from microCT. J. Anat. 226:229-235.
- Hill JE and DL Harrison. 1987. The baculum in Vespertilioninae (Chiroptera, Vespertilionidae) with a systematic review, a synopsis of *Pipistrellus* and *Eptesicus*, and the descriptions of a new genus and subgenus. Bull. British Muse. Zool. 52: 225-305.
- Jellison W. 1945. A suggested homology of the os penis or os baculum of mammals. J. Mamm. 26:146-147.
- Krutzsch PH. 1959. Variation in the os penis of tropical fruit bats. J. Mamm. 40:387-392.
- Krutzsch PH and TA Vaughan. 1955. Additional data on the bacula of North American bats. J. Mamm. 36:96-100.
- Lanza B. 1969. The baculum of Pteropus and its significance for the phylogenesis of the genus (Mammalia, Megachiroptera). Moni. Zool. Ital. Firenze. 3:37-68.
- LaVal RK. 1973. A revision of the Neotropical bats of the genus *Myotis*. Sci. Bull. Nat. His. Muse. LA. 15:1-54.
- Nickel K, A Schummer and E Seiferie. 1973. The viscera of the domestic mammals. Paul Parey. Berlin. pp. 360.
- Ottow B. 1955. Biologische Anatomie der Genitalorgane und der Fortpflanzung der Säugetiere. Akademische Verlagsgesellschaft Geest, Jena. pp. 327.
- Sinha YP. 1976. Bacula of Rajasthan bats. Mamm. 40:97-103.
- Smirnov DG and K Tsytsulina. 2003. The ontogeny of the baculum in *Nyctalus noctula* and *Vespertilio murinus* (Chiroptera: Vespertilionidae). Acta Chiro. 5:117-123.
- Thomas NM, DL Harrison and PJJ Bates. 1994. A study of the baculum in the genus *Nycteris* (Mammalia, Chiroptera, Nycteridae) with consideration of its taxonomic importance. Bonn. Zool. Beitr. 45:17-31.
- Thomas O. 1915. The penis bone, or "baculum", as a guide to the classification of certain squirrels. Ann. Mag. Nat. Hist. 8:383-387.

Received: 27 March 2017  
Revision accepted: 28 March 2017