

四川自贡地区晚侏罗世剑龙类皮肤印痕化石新观察

邢立达¹, 彭光照², 舒纯康²

XING Li-da¹, PENG Guang-zhao², SHU Chun-kang²

1. 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037; 2. 自贡恐龙博物馆, 四川 自贡 643013

1. *Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;*

2. *Zigong Dinosaur Museum, Zigong 643013, Sichuan, China*

摘要:重新观察了四川自贡晚侏罗世上沙溪庙组巨棘龙皮肤印痕化石。化石材料清楚地显示了巨棘龙体被鳞片。这些鳞片总体镶嵌排列成网状。大多数鳞片呈五边形,少数呈四边形或六边形。鳞片之间以沟缝相接。小鳞片散布有少量五边形或六边形的大鳞片,每枚大鳞片被13~14枚鳞片所环绕。鳞片表面粗糙,不存在“瘤状小突”,有条索状隆突。条索状隆突可降低环境光线造成的眩光,降低鳞片表面整体亮度水平。据原始埋藏的位置和鳞片的分布推测,四川巨棘龙皮肤印痕化石的身体位置可能为前肢的肘关节及其邻近的上臂、体侧的皮肤。

关键词:剑龙类皮肤印痕化石;巨棘龙;上沙溪庙组;晚侏罗世;四川自贡

中图分类号:P534.52;Q915.86

文献标志码:A

文章编号:1671-2552(2008)07-1049-05

Xing L D, Peng G Z, Shu C K. Stegosaurian skin impressions from the Upper Jurassic Shangshaximiao Formation, Zigong, Sichuan, China: A new observation. *Geological Bulletin of China*, 2008, 27(7):1049-1053

Abstract: A skin impression fossil of *Gigantspinosaurus sichuanensis* was found in the Upper Jurassic Shangshaximiao Formation in Zigong, Sichuan. The fossil, preserved on the dorsal face of the left shoulder, clearly shows scales of *Gigantspinosaurus sichuanensis*. These scales are generally arranged as a net, and most of them are pentagonal, a few being quadrilateral and hexagonal. The maximum inner radius of most scales range from 5.7 to 9.2 mm. The scales are connected with each other by grooves. Scattered within small scales are a few pentagonal or hexagonal large scales, with each large scale surrounded by 13-14 scales. The surface of the scales is rough with string-like ridges. The stringy ridge on the scales made the surface of the scales uneven and thus may reduce the glare caused by reflected light. Based on the primary burial location and distribution of the scales, the authors believe that the skin impression fossil of *Gigantspinosaurus sichuanensis* is from the elbow of the forelimb, relevant upper arm and lateral area of the body.

Key words: Stegosaurian skin impression; *Gigantspinosaurus*; Shangshaximiao Formation; Upper Jurassic; Zigong, Sichuan

恐龙皮肤及其印痕化石非常珍贵,对认识恐龙体表特征、生理机能和重建恐龙有着重要的作用。第一件恐龙皮肤化石由Beckles发现于1852年^[1],此后世界各地皆有发现。迄今,除中国外,在美国、加拿大、英国、蒙古等地已知的恐龙皮肤及其印痕化石标本至少包括蜥脚类(Sauropods)的*Diplodocus* sp.^[2]、*Pelorosaurus becklesii*^[1]、Titanosaur embryos^[3];兽脚类

(Theropods)的*Allosaurus*^[4];鸟脚类(Ornithopods)的Hadrosaur^[5]、*Anatotitan copei*^[6]、*Brachylophosaurus canadensis*^[7]、*Corythosaurus casuarius*^[8-7]、*Gryposaurus incurvimanus*^[7]、*Gryposaurus notabilis*^[7]、*Lambeosaurus lambei*^[7]、*Parasaurolophus walkeri*^[7]、*Edmontosaurus annectens*^[9-12]、*Saurolophus angustirostris*^[13];覆盾甲龙类(Thyreophorans)的*Scelidosaurus harrisonii*^[14];剑龙类

收稿日期:2008-03-17;修订日期:2008-04-16

科技项目:自贡恐龙博物馆恐龙精确复原项目(编号:20071201)和北京龙图阁(Yoqpoooqpoe)古生物重建项目成果之一。

作者简介:邢立达(1982-),男,从事中生代爬行动物研究。E-mail:dinosaur@vip.163.com

(Stegosaur)的*Stegosaurus stenops*^[15];角龙类(Ceratopsians)的*Centrosaurus apertus*^[16]、*Chasmosaurus belli*^[16]、*Psittacosaurus* sp.^[17]、*Monoclonius nasicornis*^[18]等类型。

中国目前所发现的恐龙皮肤印痕化石仅5例,它们是四川宜宾晚侏罗世鸟脚类的宜宾扬子足迹(*Yangtzeopus yipingensis*)^[19-20]、四川自贡晚侏罗世剑龙类的四川巨棘龙(*Gigantspinosaurs sichuanensis*)皮肤印痕化石^[21]、四川自贡晚侏罗世蜥脚类的杨氏马门溪龙(*Mamenchisaurus youngi*)皮肤印痕化石^[22]、辽宁北票早白垩世鸟脚类的鸚鵡嘴龙类(*Psittacosaurid*)的皮肤印痕化石^[23]和辽宁凌源早白垩世的鸚鵡嘴龙类的皮肤印痕化石^[24]。此外,中国辽西发现的原始中华龙鸟(*Sinosauropteryx prima*)^[25]、粗壮原始祖鸟(*Protarchaeopteryx robusta*)^[26]、顾氏小盗龙(*Microraptor gui*)^[27]等兽脚类恐龙保存有皮肤衍生物及原始羽毛。

1985年4月,自贡恐龙博物馆在沿滩区仲权乡银河村采掘到一具近乎完整的剑龙类骨架标本,欧阳辉^[28]取名为四川巨棘龙。1985年11月,在该标本的修理过程中,在其左侧肩棘上发现了皮肤印痕化石。这是中国发现的首例剑龙类皮肤印痕化石。欧阳辉^[21]对该皮肤印痕化石曾进行过观察与描记。最近笔者在对四川巨棘龙进行精确复原的工作中,重新观察了皮肤印痕化石,发现一些新的特征,故本文对该标本再次进行较为详细的描述和比较讨论。

机构缩写:DMNH=Denver Museum of Nature & Science,UW=University of Wyoming,ZDM=自贡恐龙博物馆(Zigong Dinosaur Museum)。

1 系统记述

剑龙亚目Stegosauria Marsh, 1880

剑龙科Stegosauridae Marsh, 1880

华阳龙亚科Huayangosaurinae Dong et al., 1982

巨棘龙属*Gigantspinosaurs* Ouyang, 1992

四川巨棘龙*Gigantspinosaurs sichuanensis*

Ouyang, 1992

产地和层位:四川自贡仲权乡银河村四组彭塘,上沙溪庙组,晚侏罗世。

皮肤印痕化石特征:鳞片总体排列成网状。大多数鳞片呈五边形,少数呈四边形或六边形。散布有大鳞片,呈五边形与六边形,被13~14枚鳞片所环绕。鳞片表面粗糙,有条索状隆突。鳞片之间镶嵌排列,以

浅沟状缝隙相间(图1)。

标本描述:四川巨棘龙为一具单独保存的个体骨架(ZDM 0019),整体基本完整,标本各部位关联性较好,相互之间没有发生大的位移。应为离群或独居的恐龙正常或非正常死亡后迅速埋藏于低能环境中^[29]。从原始埋藏情况看,四川巨棘龙的右肩棘与右肩胛骨连接,位于肩带原始位置,背面向上。而左肩棘则脱离左肩胛骨,且腹面向上,表明经过了移动。

皮肤印痕化石保存于左肩棘背面,岩性为灰绿色砂岩中夹着极薄的紫红色泥岩。皮肤印痕化石面积约414 cm²,与左肩棘化石间充填有3~6 cm厚的砂岩。皮肤印痕化石按原始区位可分左上、左下、右上、右下4个区域,其鳞片大小、排列方式等要素都有差异。

左上区域面积188 cm²,鳞片印痕保存较好,中部保存最为清晰。大多数鳞片呈五边形,少数呈四边形,边角皆圆化。鳞片表面粗糙,条索状隆突不明显。鳞片从右侧至左侧有稍增大的趋势。单枚鳞片面积为42~46 mm²,直径(最长内径)为6.7~8.4 mm。鳞片镶嵌排列,不重叠覆压。鳞片相互之间以浅沟状缝隙相间,沟缝宽0.5~0.8 mm,深0.5~1 mm。鳞片从基底沿沟缝边缘往上略有收缩,个别鳞片边缘存在数道棱脊。鳞片之间可观察到一些散布的小鳞片,形状呈五边形或四边形,面积约为普通鳞片的1/2。左上区域的中部有一较大的、不规整的鳞片,面积为154.5 mm²,可能为受伤后愈合的错甲。左上区域的下部保存有2个大鳞片(Large scales)或结节(tubercles),面积为210.7~266.8 mm²。其中最下缘的大鳞片保存较好,呈六边形,被13枚鳞片所环绕。大鳞片最长边13.8 mm,直径为19.4 mm。鳞片总体排列成网状,但不规整。

左下区域面积59 cm²,鳞片印痕保存差。大多数鳞片呈五边形,边角皆圆化。单枚鳞片面积为43~45 mm²,直径为7.5~8 mm。鳞片镶嵌排列,相互之间以沟缝相间。鳞片表面粗糙,条索状隆突不明显。鳞片从上方至下方有稍减小的趋势。距离左上区域最下缘的大鳞片下方14 mm处有1枚大鳞片,保存较好,呈六边形,被14枚鳞片所环绕。大鳞片面积为274.7 mm²,最长边16.7 mm,直径为23.9 mm。

右上区域面积71 cm²,鳞片印痕保存较好,尤其左侧的鳞片保存最为清晰(图2)。大多数鳞片呈五边形,少数呈六边形或四边形,边角皆圆化。单枚鳞片面积为22.9~29.1 mm²,直径为5.7~7 mm。鳞片镶嵌排

列,相互之间以沟缝相间。鳞片表面粗糙,在靠近上缘处有1道条索状隆突。鳞片大小无变化。右上区域与左上区域连接处的上缘保存有17枚负型(凹)鳞片(图3)。单枚鳞片面积为 $21.7\sim 23.3\text{ mm}^2$,直径为 $4.9\sim 5.7\text{ mm}$ 。推测为鳞片脱落之后的皮肤印痕。

右下区域面积 96 cm^2 ,鳞片印痕保存较差。大多数鳞片呈五边形,少数呈六边形,边角皆圆化。单枚鳞片面积为 $46.6\sim 54.2\text{ mm}^2$,直径为 $8.5\sim 9.2\text{ mm}$ 。鳞片镶嵌排列,相互之间以沟缝相连。鳞片表面粗糙,条索状隆突不明显。中部有1排大鳞片,每枚大鳞片面积为 $161.3\sim 117.9\text{ mm}^2$,直径为 $14.8\sim 16.9\text{ mm}$ 。中间2枚大鳞片明显重叠覆压,上面有2道划痕。划痕长 14.6 mm 、 29.9 mm ,最宽处 2 mm 。划痕中部深入,两端较浅。划痕推测为巨棘龙所受之创伤,可能为兽

脚类恐龙之攻击所致。而受创后愈合则可能是大鳞片发育覆压的原因,是一种错甲。右侧缘有1枚大鳞片,为ZDM 0019标本中最大的鳞片,呈六边形,面积为 415.8 mm^2 ,最长边 18.3 mm ,直径为 24.4 mm 。右下缘有1枚负型(凹)大鳞片,呈五边形,面积为 131.7 mm^2 ,最长边 10.9 mm ,直径为 14.3 mm 。

2 比较与讨论

剑龙类皮肤及其印痕化石最早由Marsh^[30]于1881年描述,以后亦有数次发现。在这些标本中,

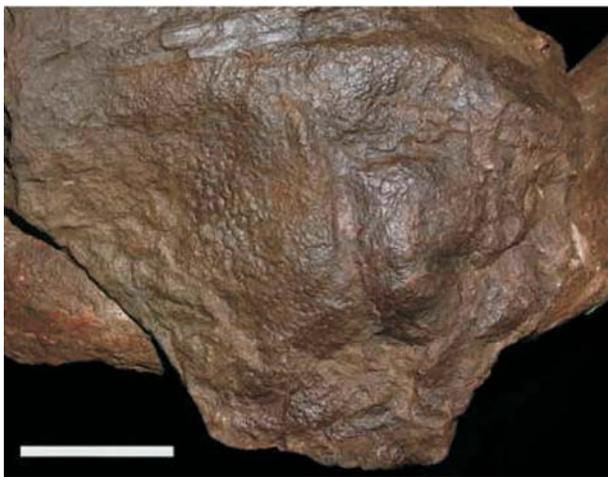


图1 四川巨棘龙皮肤印痕化石(ZDM0019,比例尺=10cm)
Fig. 1 Photograph of skin impressions of *Gigantspinosaurus sichuanensis*



图2 四川巨棘龙皮肤印痕化石右上区域左部的鳞片(比例尺为5cm)
Fig. 2 Scales on the left of the upper right part of skin impressions of *Gigantspinosaurus sichuanensis*

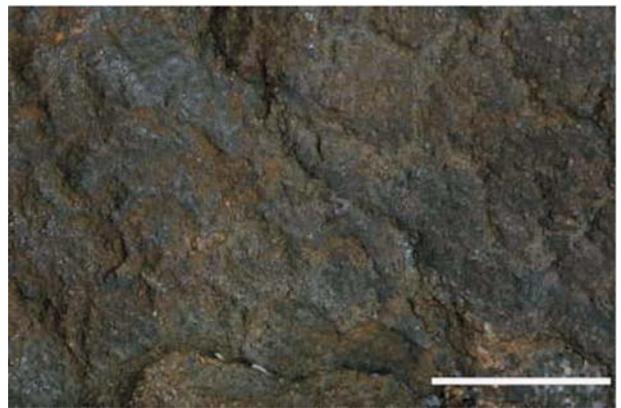


图3 四川巨棘龙皮肤印痕化石右上区域与左上区域连接处的负型鳞片(比例尺为1cm)
Fig. 3 Negative scales at the connecting site of the upper right and upper left parts of skin impressions of *Gigantspinosaurus sichuanensis*



图4 四川巨棘龙皮肤印痕鳞片特写(比例尺为5cm)
Fig. 4 Close-up of the scale of skin impressions of *Gigantspinosaurus sichuanensis*

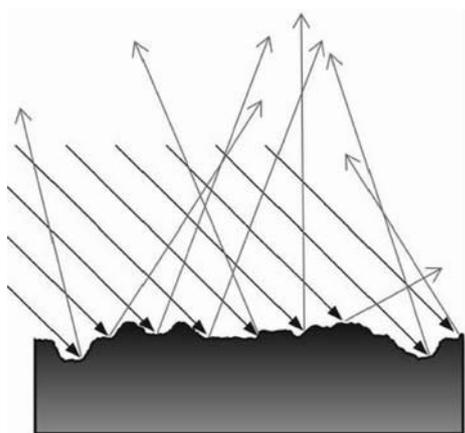


图5 四川巨棘龙鳞片横截面漫反射示意图
Fig. 5 Schematic map of diffuse reflections of the scale cross section of skin impressions of *Gigantspinosaursichuanensis*

与四川巨棘龙皮肤化石最接近的是美国科罗拉多州晚侏罗世 Morrison Formation (Kimmeridgian - Tithonian) Garden Park 的 *Stegosaurus stenops* DMNH 2818 标本^[5]。DMNH 2818 保存了 *Stegosaurus stenops* 的喉甲 (Throat armor)。此前, Marsh^[30] 和 Gilmore^[31] 亦曾简单描述过 *Stegosaurus* 的喉甲。DMNH 2818 的喉甲保存非常完好, 稍偏移于下颌下方的原始位置。DMNH 2818 鳞片的形态与四川巨棘龙鳞片的形态非常接近, 大部分鳞片呈五边形, 小部分呈四边形、六边形。DMNH 2818 鳞片的直径为 4~27 mm, 鳞片相互之间以沟缝相间, 沟缝宽 5 mm。四川巨棘龙大部分鳞片介于 5.7~9.2 mm 之间, 小于 DMNH 2818 鳞片。DMNH 2818 鳞片的沟缝宽于四川巨棘龙鳞片之间的 0.5~0.8 mm。这些应属于爬行动物身体不同区域鳞片大小的差异。

依照 ZDM 0019 的原始埋藏位置, 四川巨棘龙皮肤印痕化石的身体位置可推测为前肢部位, 或为左肩棘背面的皮肤。剑龙类的前肢较后肢短^[32-33], 躯干前半部要承受相对大的重量。当剑龙类活动时, 其肘关节 (由肱骨下端和桡骨、尺骨上端构成) 的伸展活动幅度相对较大。肘关节弯曲时, 肘关节周围附近的皱褶都进行不同程度的拉伸或压缩。肘后区皮肤厚而松弛, 移动度较大, 浅筋膜 (Superficial fascia) 不甚发达。根据四川巨棘龙皮肤印痕化石的原始区位可分 4 个区域, 其中右下区皮肤的褶皱类似肘关节皮

肤。综合整体的鳞片大小、排列方式等要素, 四川巨棘龙皮肤印痕化石的身体位置可能为前肢的肘关节及其邻近的上臂、体侧的皮肤。

四川巨棘龙的鳞片间散布有大鳞片, 呈五边形或六边形, 被 13~14 枚鳞片所环绕。这种小鳞片之间散布有零星较大鳞片的现象, 在蜥脚类的 *Titanosaur embryos*^[3], 鸟脚类的 *Hadrosaurs*^[5], *Corythosaurus casuarius*^[8-7], *Edmontosaurus annectens*^[9-12], 角龙类的 *Chasmosaurus belli*^[16], *Monoclonius nasicornis*^[18], 鸚鵡嘴龙类^[24] 等的皮肤印痕化石上都有发现。这表明小鳞片散布大鳞片的构造已经成为一种植食性恐龙常见的皮肤样式, 有利于防御。

欧阳辉^[21] 在描述四川巨棘龙皮肤印痕化石时曾指出“鳞片表面…, 其上布满了瘤状小突”。笔者重新观察该标本后发现, 鳞片表面的“瘤状小突”数量多寡不一, 形态差异大, 无规律, 且在鳞片沟缝中也有发现。显微观察“瘤状小突”并无爬行动物鳞片常见的形态功能构造或感觉器官^[34]。结合上沙溪庙组的岩性, “瘤状小突”应为长石石英砂岩颗粒与杂色矿物。

爬行类皮肤的主要特点是表皮角质化程度高, 一般外被角质鳞, 皮肤干燥, 缺少腺体。角质鳞除了起保护作用之外, 还有利于防止体内水分散失。四川巨棘龙皮肤印痕亦符合本规律。四川巨棘龙鳞片表面粗糙, 有条索状隆突 (图 4)。美国怀俄明州晚白垩世 Lance Formation (Maastrichtian) 的鸭嘴龙 (*Hadrosaurs*) 下颌皮肤 (UW 39449) 标本也有类似的非重叠的多边形样式^[35]。这些结构都有利于减少眩光 (Glare)。当环境光线照射到恐龙平整的鳞片表面时, 会在某些方向形成比较强的散射 (Scattering), 形成眩光^[36], 不利于恐龙自身的隐蔽。而四川巨棘龙鳞片这种条索状隆突, 在鳞片上形成若干道嵴, 使鳞片表面形成明显的凹凸。凹凸构造将环境光线向不同方向进行漫反射 (Diffuse reflection), 从而降低鳞片表面整体的亮度水平 (图 5)。

致谢: 中国地质科学院地质研究所季强研究员和自贡恐龙博物馆周远明馆长为本项目提供指导与帮助, 姬书安、尤海鲁研究员提供部分参考资料并与笔者进行了有益的讨论, 赵闯和谢猛绘制示意图, Charles Damien Lu 教授和朱炜、胡晓东、张亮、连文峰协助工作, 陈立拍摄照片, 在此一并表示衷心的感谢。

参考文献:

- [1]Czerkas S A. The history and interpretations of sauropod skin impressions[J]. GAIA, 1995, 10:173-182.
- [2]Czerkas S A. Discovery of dermal spines reveals a new look for sauropod dinosaurs[J]. Geology, 1993, 20:1068-1070.
- [3]Chiappe L M, Coria R A, Dingus L, et al. Sauropod dinosaur embryos from the Late Cretaceous of Patagonia[J]. Nature, 1998, 396: 258-261.
- [4]Pinegar R T, Loewen M A, Cloward K C, et al. A juvenile allosaur with preserved integument from the basal Morrison Formation of central Wyoming[J]. Journal of Vertebrate Paleontology, 2003, 23: 87A-88A.
- [5]Anderson B G, Barrick R E, Lucas S G, et al. Dinosaur skin impressions from the Upper Cretaceous Ringbone Formation, southwestern New Mexico[J]. Journal of Vertebrate Paleontology, 1998, 18:739-745.
- [6]Lull R S, Wright N E. Hadrosaurian dinosaurs of North America[J]. Geological Society of America, Special Paper, 1942,40:1-242.
- [7]Schweitzer M H, Wittmeyer J L, Horner J R. Soft tissue and cellular preservation in vertebrate skeletal elements from the Cretaceous to the present[J]. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 2007, 274:183-197.
- [8]Brown B. *Corythosaurus casuarius*: skeleton, musculature and epidermis[J]. Bulletin of the American Museum of Natural History, 1916, 35:709-716.
- [9]Lambe L M. On the fore-limb of a carnivorous dinosaur from the Belly River Formation of Alberta, and a new genus of Ceratopsia from the same horizon, with remarks on the integument of some Cretaceous herbivorous dinosaurs[J]. Ottawa Nat, 1914, 27:129-135.
- [10]Osborn H F. Crania of *Tyrannosaurus* and *Allosaurus* [J]. Memoirs of the American Museum of Natural History, 1912, 1:33-54.
- [11]Morris W J. Hadrosaurian dinosaur bills: morphology and function [J]. Los Angeles County Museum Contributions in Science, 1970, 193:1-14.
- [12]Horner J R. A "segmented" epidermal tail frill in a species of hadrosaurian dinosaur[J]. Journal of Paleontology, 1984, 58:270-271.
- [13]Carpenter K. How to Make a Fossil: Part 2—Dinosaur mummies and other soft tissue[J]. The Journal of Paleontological Science, 2007, Issue 2:1-23.
- [14]Martill D M. Organically preserved dinosaur skin: Taphonomic and biological implications[J]. Modern Geology, 1991, 16:61-68.
- [15]Carpenter K. Amor of *Stegosaurus stenops*, and the taphonomic history of a new specimen from Garden Park, Colorado [J]. Modern Geology, 1998, 23:127-144.
- [16]Sternberg C M. Integument of *Chasmosaurus belli*[J]. Canadian Field Naturalist, 1925, 39:108-110.
- [17]Mayr G M, Peters D S, Plodowski G et al. Bristle-like integumentary structures at the tail of the horned dinosaur *Psittacosaurus* [J]. Naturwissenschaften, 2002, 89:361-365.
- [18]Brown B. A complete skeleton of the horned dinosaur *Monoclonius*, and description of a second skeleton showing skin impressions [J]. Bulletin of the American Museum of Natural History, 1917, 37: 281-306.
- [19]Young C C. Note on the skin imprint of *Yangtzeopus yipingensis* from Szechuan[J]. Vertebrata Palasiatica, 1961, 5:65-66.
- [20]Young C C. Fossil footprints from China[J]. Vertebrata Palasiatica, 1960, 4(2):53-66.
- [21]欧阳辉. 自贡发现的剑龙皮肤化石[J]. 成都地质学院学报, 1991, 18(3):38-39.
- [22]欧阳辉, 皮孝忠, 叶勇. 我国发现的首例蜥脚类恐龙皮肤化石[J]. 矿物岩石, 1998, 18(增刊): 146-149.
- [23]姬书安, 薄海臣. 鸚鵡嘴龙类皮肤印痕化石的发现及其意义[J]. 地质论评, 1998, 44(6): 603-606.
- [24]姬书安. 辽宁凌源义县组恐龙皮肤印痕化石[J]. 地质论评, 2004, 50(2):170-174.
- [25]Ji Q, Ji S. On discovery of the earliest bird fossil in China and the origin of birds[J]. Chinese Geology, 1996, 233:30-33.
- [26]Ji Q, Currie P J, Norell M A, et al. Two feathered dinosaurs from northeastern China[J]. Nature, 1998, 393:753-761.
- [27]Xu X, Zhou Z H, Wang X L, et al. Four-winged dinosaurs from China[J]. Nature, 2003, 421:335-340.
- [28]欧阳辉. 四川巨棘龙的发现及其肩棘的定向[J]. 自贡恐龙博物馆通讯, 1993, 2:20-21.
- [29]彭光照, 叶勇, 高玉辉, 等. 自贡地区侏罗纪恐龙动物群[M]. 成都: 四川省出版集团人民出版社, 2005: 1-236.
- [30]Marsh O C. Principal characters of American Jurassic dinosaurs. Pt. IV Spinal cord, pelvis, and limbs of *Stegosaurus* [J]. American Journal of Science, 1881, 21:167-170.
- [31]Gilmore C W. Osteology of the armored Dinosauria in the U.S. National Museum with special reference to the genus *Stegosaurus* [J]. U.S. National Museum Bulletin, 1914, 89:1-136.
- [32]Romer A S. Osteology of the Reptiles[M]. Chicago and London: The University of Chicago Press, 1956:632-634.
- [33]Galton P M, Upchurch P. "Stegosauria" [M]//Weishampel D B, Dodson P, Osmólska H. The Dinosauria (2nd Edition). University of California Press, 2004:343.
- [34]Bauer A M, Russell A P. The morphology of gekkonid cutaneous sensilla, with comments on function and phylogeny in the Carphodactylini[J]. Canadian Journal of Zoology, 1988, 66:1583-1588.
- [35]Wegweiser M D, Hartman S A, Lovelace D M. Duckbill dinosaur chin skin scales: ups, downs and arounds of surficial morphology of Upper Cretaceous Lance Formation dinosaur skin[J]. In: Late Cretaceous Vertebrates from the Western Interior. edited by Lucas S G, Sullivan R M. New Mexico Museum of Natural History & Science Bulletin, 2006, 35:105-113.
- [36]Alexander D R. Light Measurement Handbook[S]. Technical Publications Dept. International Light Inc., 1998: 1-64.