



中国四川省峨眉山特有小鲵类（两栖纲，有尾目） 龙洞山溪鲵（*Batrachuperus londongensis* Liu and Tian, 1978）正模标本骨骼 μ CT 三维数据集

贾佳^{1,2*}, 张美华³, 高克勤¹, 江建平³

1. 北京大学地球与空间科学学院, 北京 100871
2. 中国科学院资源地层学与古地理学重点实验室, 中国科学院南京地质古生物研究所, 南京 210008
3. 中国科学院成都生物研究所, 成都 610041

文献 DOI:

10.11922/csdata.2018.0005.zh

数据 DOI:

10.11922/sciencedb.557

文献分类: 生物科学

收稿日期: 2018-03-01

开放同评: 2018-03-23

发表日期: 2018-06-22

摘要: 小鲵科蝾螈类是有尾两栖类的一个原始类群, 对了解蝾螈类的早期演化具有重要意义。由于该科化石稀少、对现存属种骨骼形态研究不足、基于分子数据的分支分析结果不一致以及缺少利用形态特征构建分支演化树的原因, 该科在起源、某些特征演化和内部谱系关系存在诸多分歧。龙洞山溪鲵生活于中国四川峨眉山龙洞河, 是现存小鲵类中唯一具有兼性童体型的蝾螈。该属种自发现至今已有 40 年, 然而未有对其骨骼系统的详细研究。本文利用中国科学院成都生物研究所高精度 CT 扫描成像系统 (Quantum GX microCT Imaging System) 对龙洞山溪鲵的正模标本 (CIB 14380) 进行了分段扫描, 所得分辨率在 67.1~144 μ m 之间。扫描结果揭示出童体型的多个特殊形态特征, 如舌器骨化程度较高、腕骨和跗骨完全骨化。这是 μ CT 扫描技术在中国现存小鲵类形态研究中的首次应用。本数据集包括正模标本的 μ CT 扫描原始数据、扫描参数、头骨和全身骨骼的三维重建图和视频、头部的 3D pdf 和可用于 3D 打印的 stl 文件。扫描所获取的骨骼结构在任意截面上轮廓清晰可辨, 读者可利用常用三维软件, 如 VG Studio 读取并使用该数据。以上文件的共享为相关科研人员提供了可供参照对比的原始数据, 对小鲵科我国特有属种的形态学研究具有一定价值。

关键词: 四川省; 峨眉山; 小鲵科; 龙洞山溪鲵; μ CT; 3D pdf; 3D 打印

数据库（集）基本信息简介

数据库（集）名称	中国四川省龙洞山溪鲵正模标本（CIB 14380）高精度 μ CT 扫描源数据集
数据作者	贾佳、张美华、高克勤、江建平
数据通信作者	贾佳 (jia_jia@pku.edu.cn)
标本采集时间	龙洞山溪鲵的正模标本采集于1965年3月23日
地理区域	龙洞山溪鲵的正模标本发现于中国四川省峨眉山龙洞河, 地理坐标为北纬29°34'42.85", 东经103°17'5.61", 海拔1300米。

* 论文通信作者

贾佳: jia_jia@pku.edu.cn

扫描分辨率	正模标本分为8段进行扫描，分辨率介于90~144 μ m，其中第一段（即头部）通过Quantum GX高精度扫描仪的插值法运算功能将分辨率提升至67.1 μ m
数据量	2.84 GB
数据格式	*.jpg, *.pdf, *.rmvb, *.stl, *.tif, *.xml
数据服务系统网址	http://www.sciencedb.cn/dataSet/handle/557
基金项目	中国国家自然科学基金（41702002、41072007、41272016），中国科学院资源地质学与古地理学重点实验室（中国科学院南京地质古生物研究所）开放基金（2017KF03），国家重点研发计划项目（2017YFC0505202）
数据库（集）组成	本数据集由两部分数据组成，其一为龙洞山溪鲵正模标本（CIB 14380）的8段μCT扫描数据以及第一段（即头部）通过插值法运算提升分辨率后的原始数据，其二是正模浸制标本的照片、3D重建骨骼图像、视频、头骨3D pdf文件以及头骨可用于3D打印的stl文件。数据集共包括12个数据文件，它们分别为： (1) skull90um.zip是头骨μCT扫描后的断层图片，包括512张tiff图片和一个包含扫描参数的文本文件skull90um.xml，数据量256 MB；(2) skull67_1um.zip是头骨μCT扫描后在skull90um.zip数据的基础上经过插值法运算提升分辨率后的断层图片，包括512张tiff图片，数据量256 MB；(3) forelimb120um.zip是前肢部分μCT扫描后的断层图片，包括512张tiff图片和一个包含扫描参数的文本文件forelimb120um.xml，数据量256 MB；(4) trunk120um.zip是躯干部分μCT扫描后的断层图片，包括512张tiff图片和一个包含扫描参数的文本文件trunk120um.xml，数据量256 MB；(5) hindlimb144um.zip是后肢部分μCT扫描后的断层图片，包括512张tiff图片和一个包含扫描参数的文本文件hindlimb144um.xml，数据量256 MB；(6) tail_1_120um.zip是尾部前端部分μCT扫描后的断层图片，包括512张tiff图片和一个包含扫描参数的文本文件tail_1_120um.xml，数据量256 MB；(7) tail_2_120um.zip是尾部中部μCT扫描后的断层图片，包括512张tiff图片和一个包含扫描参数的文本文件tail_2_120um.xml，数据量256 MB；(8) tail_3_120um.zip是尾部中后部μCT扫描后的断层图片，包括512张tiff图片和一个包含扫描参数的文本文件tail_3_120um.xml，数据量256 MB；(9) tail_4_120um.zip是尾部末端μCT扫描后的断层图片，包括512张tiff图片和一个包含扫描参数的文本文件tail_4_120um.xml，数据量256 MB；(10) pics.zip是正模标本的照片和骨骼3D重建图，数据量84.1 MB；(11) videos.zip是正模标本头部和整体骨骼的rmvb视频，数据量38.5 MB；(12) pdf_stl.zip是正模标本的头部3D pdf文件和头部每块骨骼可用于3D打印的stl文件，数据量484 MB。

引言

蝾螈类又称有尾两栖类，是一类四肢与尾巴正常发育的中小型滑体两栖动物。作为现存最为原始的四足动物，蝾螈类与其他滑体两栖动物（蛙类与蟾蜍、蚓螈类）相比在形态上与已经绝灭的原始两栖动物更为相似，因此对了解脊椎动物由水生环境向陆地环境的过渡、四

足动物的早期演化和滑体两栖动物的起源具有重要的研究意义^[1]。

小鲵科 (Hynobiidae) 是一类小型蝾螈 (体长约 70~260 毫米)^[2], 包括 9~11 属, 67~68 个现存物种, 主要分布在东亚地区, 仅有个别属种分布在中亚 (副趾鲵属 *Paradactylodon*) 和欧洲东部的俄罗斯境内 (极北鲵属 *Salamandrella*)^[3-4]。该科成员的幼年个体生活在水中, 具有外鳃和尾鳍; 成年个体通常经过变态发育之后, 外鳃和尾鳍通常消失, 可生活在水中或陆地上。唯一的特例是龙洞山溪鲵: 它们的某些个体不经过变态发育, 却成为了保留幼体特征 (如鳃裂) 并终生生活在水中的童体类型^[2]。小鲵科因其具有多个原始特征, 如体外受精、较高的染色体数目 (40 个以上)、具有小染色体、脊神经由椎体之间穿过 (第一条脊神经除外)、下颌中隅骨不与前关节骨愈合等, 被广泛认为是现存蝾螈类中的一个原始类群^[5-7], 对蝾螈类的起源研究至关重要。

然而, 前人对小鲵科的起源时间和地点^[8-12]、某些特征的演化历史^[13-14]和内部谱系分支关系^[11,15-17]存在较大分歧。小鲵科曾一度被认为是一个并系类群 (paraphyletic group^[18]) 或复系类群 (polyphyletic group^[14]); 而它的单系性, 即包括同一共同祖先演化而来的所有后裔的演化分支, 直到最近才得到分支系统学研究的支持 (参见^[11,15])。造成以上争议的原因可分为以下四点: 第一, 该科化石记录稀缺。目前仅发现 5 个新生代 (6600 万年至今) 化石属种, 而且它们多保存为零散的脊椎和肢骨, 鲜有可靠的形态特征信息^[12]。近年来, 中国辽西、冀北和内蒙古东部地区中侏罗世到早白垩世 (距今 1.25~1.65 亿年前) 地层中产出了 6 个在形态特征上与现存小鲵类极为相似的化石属种, 即东方塘蝾 (*Laccotriton orientalis*)、凤山中华蝾 (*Sinerpeton fengshanensis*)、钟健辽西蝾 (*Liaoxitriton zhongjiani*)、道虎沟辽西蝾 (*Liaoxitriton daohugouensis*)、围场皇家蝾 (*Regalerpeton weichangensis*) 和北方诺敏蝾 (*Nuominerpeton aquilonaris*)^[19-20]。这些化石保存完整, 为探讨小鲵科的起源提供了珍贵材料, 然而它们与现存小鲵类的分支关系并不明确 (见下文), 仅有钟健辽西蝾和北方诺敏蝾被认为是小鲵科的基干属种^[20-22]; 第二, 对小鲵科的现存属种, 特别是对较为进步的中国特有小鲵类 (如山溪鲵类) 的骨骼形态学研究不足, 加重了从充盈原始特征的小鲵类中寻找近裔共性 (synapomorphy) 的难度。第三, 基于分子数据对该科的分支分析结果不一致。随着基因测序技术的突飞猛进, 现存小鲵类的分子数据正以愈加低廉的成本快速地积聚。独立演化的基因位点为探讨小鲵类的分支关系提供了大量有效信息。但是前人根据线粒体 DNA^[11,23]、细胞核 DNA^[17]以及结合二者^[15-16,24-25]所得出的分支分析结果依然存在差别, 不能提供一致的小鲵科内部支系演化关系。第四, 目前还没有基于形态特征数据对小鲵科进行分支分析的研究。前人曾对小鲵科具有演化和分类意义的形态特征有过总结^[10,26-27], 然而却并未严格地按照分支分析理论^[28]进行研究, 而且所得结果与基于分子数据得到的分支分析结果差异悬殊。

如上所述, 尽管分子数据以其骤增的体量占较大优势, 现生小鲵科成员的形态特征依然是研究小鲵类支系演化相关问题不可或缺的组成部分。另一方面, 大部分小鲵类化石仅保存了骨骼信息, 只有少数情况下较好地保存了软体信息。因此形态特征, 尤其是骨骼形态特征, 是唯一能够链接化石与现存属种的桥梁, 对探讨化石属种与现存小鲵类支系演化关系至关重要。此前, 对现存小鲵类的形态特征研究主要依靠双染色法 (参见^[29-31])。该方法通过使用染色试剂将硬骨和软骨分别染成红色和蓝色, 因而能够很好地呈现出骨骼 (软骨和硬骨) 的轮廓^[32], 不足之处在于无法获取标本内部的三维结构信息, 而且对标本造成了不可逆的

损坏。高精度计算机断层扫描（high-resolution X-ray tomography, 或 μ CT 扫描）是利用高能 X 光射线扫描标本并在短时间内获取标本三维结构的技术。该技术可以完好无损地获取重要标本的骨骼虚拟信息，方便研究人员的观察。

针对上述问题，本文选取栖息于中国四川省峨眉山龙洞河地区的龙洞山溪鲵 (*Batrachuperus londongensis*) 为研究对象，对其正模标本 (CIB 14380) 进行了 μ CT 扫描。这是 μ CT 扫描技术在中国现存小鲵类骨骼研究中的首次应用，也是我们利用 μ CT 扫描技术实现对现存小鲵类骨骼系统研究的一系列结果之一^[33]。如前所述，龙洞山溪鲵同时具有变态发育和兼性童体型现象，在发育方式上有别于其他所有现存小鲵类。然而，该属种从被正式确立^[34]至今已有 40 年，此前却并未有针对其骨骼系统的详细研究。 μ CT 扫描揭示出龙洞山溪鲵在头骨、舌器和肢骨上存在多个特殊的骨骼形态特征（见 2 数据样本描述）。

本数据集提供了龙洞山溪鲵正模标本 (CIB 14380) 的 μ CT 扫描原始数据、三维重建图片和视频、头部的 3D pdf 文件和可用于 3D 打印的 stl 文件。以上原始数据的共享旨在为相关科研工作者提供可用于对比研究的龙洞山溪鲵的原始资料，同时也为公众了解龙洞山溪鲵的骨骼信息提供了渠道。

1 数据采集和处理方法

1.1 标本与数据采集

1.1.1 标本采集

龙洞山溪鲵的正模标本于 1965 年 3 月 23 日由刘承钊等人采集。采集地点位于四川省乐山市峨眉山零公里附近龙洞河 (N29°34'42.85"、E103°17'5.61")，海拔 1300 米。此后该标本浸泡在福尔马林溶液中，并保存在成都生物研究所两栖爬行动物标本馆模式标本室，野外编号为 CIB 65I0013，正式馆藏编号为 CIB 14380。该标本为一雄性成年个体，全长 265 毫米，吻臀距（吻端至肛孔后缘的长度）129 毫米，头长（吻端至枕髁后缘之间的长度）27.5 毫米，头宽（头部两侧的最大距离）23.8 毫米。头部后外侧保留鳃裂，属于童体型个体。我们将该标本从福尔马林溶液中取出，使用佳能 (Canon EOS 5D) 单反相机对其进行照相（见图 1）。

1.1.2 μ CT 数据采集

龙洞山溪鲵正模标本的 μ CT 扫描工作依托成都生物研究所的扫描仪 Quantum GX microCT Imaging System (PerkinElmer®, Massachusetts, USA) 进行。

把拍照之后的正模标本移入密封袋，小心将其尽量缕直并卷成长条状。将标本固定在扫描仪的小动物床 (Small Bed) 上，并保持标本的长轴与动物床的长轴平行。设置电压为 50 千伏，电流为 60 毫安，通过调整扫描视域 (Field of View) 下的采集 (Acquisition) 和重建 (Reconstruction) 两个参数，使标本尽可能充满扫描区域。在预览 (Live) 模式下，通过调整 X 光射线源的旋转角度 (Rotation Control) 来确保所扫描的结构在任意角度均处于扫描范围之内。之后，选择高精度扫描模式 (High Resolution) 下的 57 分钟档位对标本的每一段进行扫描。由于龙洞山溪鲵的正模标本较长，为了获取较高的分辨率，需要分段对其进行扫

描（图 1）：通过调整动物床的位置将标本沿其长轴进行水平移动，待移动到下一段后，重复上述设置对其进行高精度扫描。移动过程中，确保相邻两段扫描存在一定重叠区域，以便后续的图像拼接。

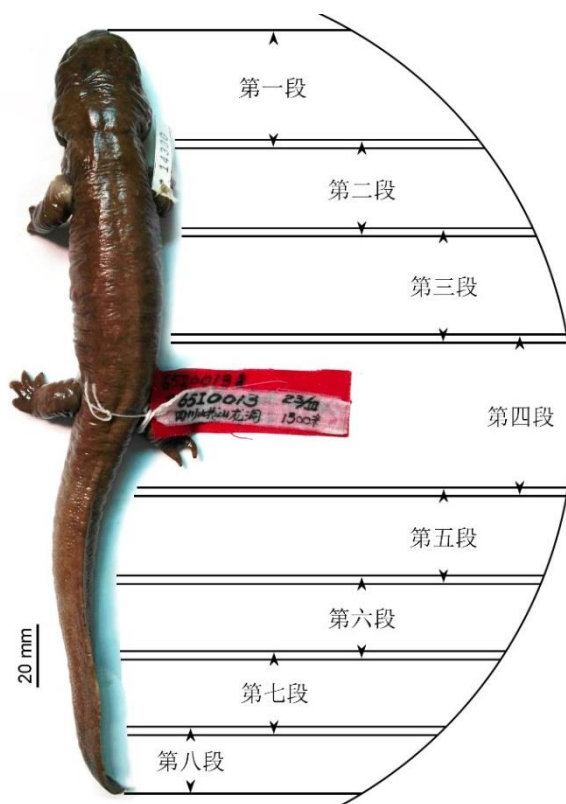


图 1 龙洞山溪鲵正模标本 CIB 14380 照片及 μ CT 分段扫描设计方案

结束每段扫描后，扫描仪生成 10.3 GB 的原始数据，包括 803 张 raw 格式的文件。通过扫描仪配套软件（Quantum GX microCT software）将每一段扫描之后的原始数据导出成横切标本长轴的 512 张 16 位 tiff 格式图片，总大小为 256 MB，即本数据集第一部分数据的以下 8 个文件：skull90um.zip，forelimb120um.zip，trunk120um.zip，hindlimb144um.zip，tail_1_120um.zip，tail_2_120um.zip，tail_3_120um.zip 和 tail_4_120um.zip。

值得注意的是，该扫描仪（Quantum GX microCT Imaging System）与其他常用扫描仪（如 GE Phoenix v|tome|x s Industrial High-Resolution CT & X-Ray System 或 Nikon XT H 系列等）相比具有两处不同：首先，该扫描仪在运行过程中标本保持静止，而 X 光射线源和 X 光感受器围绕标本旋转 360 度；这与其他扫描仪的扫描过程恰好相反。其次，该扫描仪具有分体积重建功能（Subvolume Reconstruction），可以在原始扫描数据的基础之上通过人为选择感兴趣区（Region of Interest），并将所选区域进行插值法运算，从而提高该区域的分辨率（Voxel Size）。本文对龙洞山溪鲵正模标本的头骨，即第一段的原始扫描数据（文件 skull90um.zip）进行了分体积重建，其分辨率由原来的 90 μ m 提升至 67.1 μ m，即本数据集第一部分数据的第 9 个文件，skull67_1um.zip。

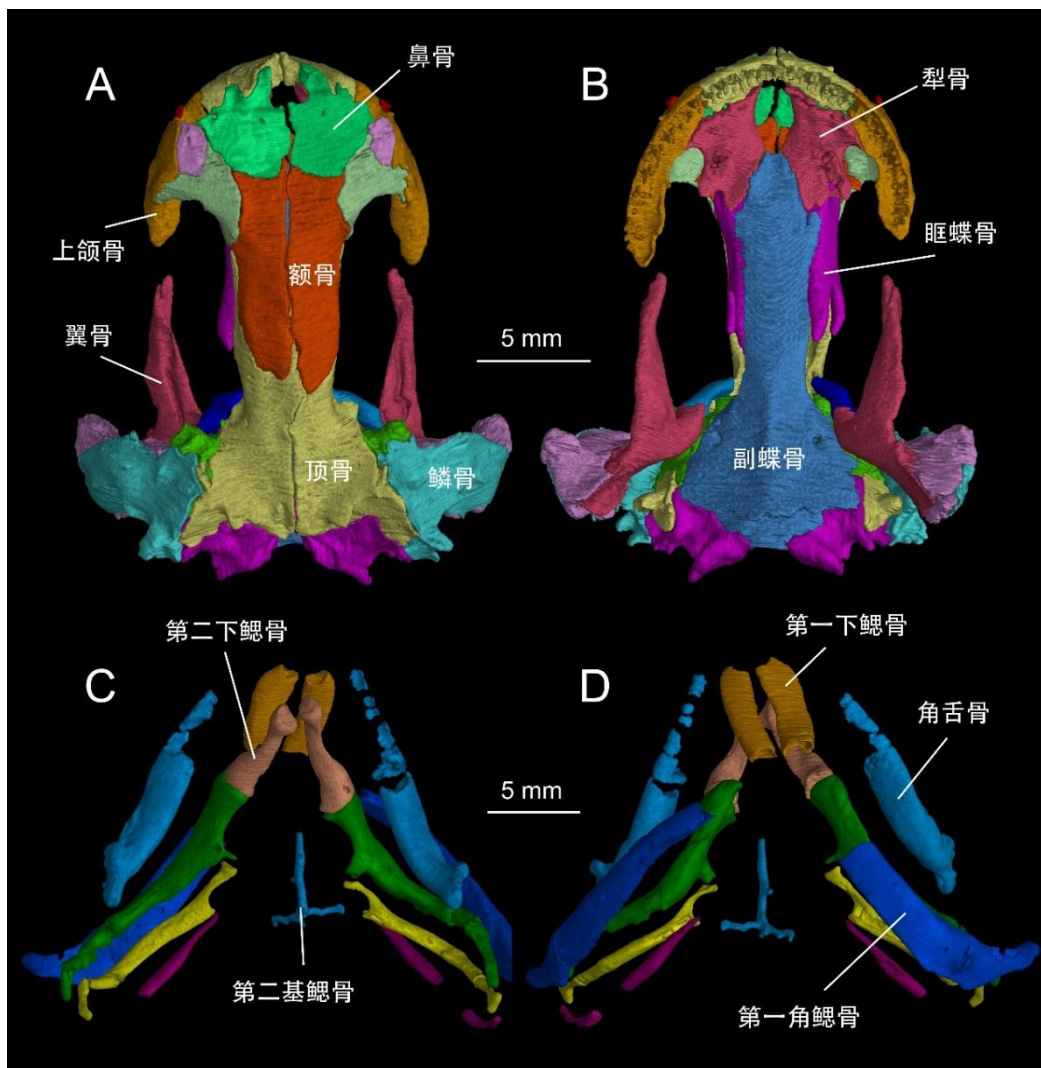
1.2 数据预处理

对正模标本进行的图像拼接（Merge）、图像分割（Segmentation）、三维重建（3D

Reconstruction)、图像和视频生成和 stl 文件导出均利用软件 VG Studio Max 2.2 (Volume Graphics, Heidelberg, Germany) 进行。

第一步图像拼接。首先将每一段扫描生成的 512 张 tiff 格式图像堆栈分别导入软件 VG Studio Max 2.2 中, 并分别保存为单独的 vgl 格式文件。打开 VG Studio Max 软件的一个空白文件, 使用该软件的拼接功能 (Merge) 将以上 vgl 格式文件依次导入。按照龙洞山溪鲵的解剖结构, 并结合扫描时相邻两段之间的重叠区域将所有 vgl 文件拼接起来, 最终得到完整的骨骼虚拟模型。

第二步图像分割和三维重建。以龙洞山溪鲵的头骨为例, 在 VG Studio Max 软件的二维窗口中, 将头骨的每一块骨骼单独建立感兴趣区, 并将每一块骨骼在所有截面中的轮廓画入相应的感兴趣区。对感兴趣区进行平滑 (Smooth) 或修正 (Refine) 处理, 将感兴趣区提取 (Extract ROI)、渲染 (Render) 便得到相应头骨骨骼的三维结构模型 (图 2)。



A. 头骨背视; B. 头骨腹视; C. 舌器背视; D. 舌器腹视

图 2 龙洞山溪鲵正模标本 CIB 14380 头部骨骼三维重建图

第三步图像、视频和 stl 文件制作。仍以头骨为例, 在 VG Studio Max 软件的三维窗口中, 将渲染后的头骨放大并旋转到相应角度 (如顶视、腹视、侧视等), 选择文件选项卡并

保存图像(文件 pics.zip)。同样地,在三维窗口中,通过软件自带的键帧(Keyframer mode)功能,将头骨保存为沿某一轴向旋转的视频文件(文件 videos.zip)。将每一个提取出来的文件进行表面测定(Surface Determination),进而导出 stl 文件(pdf_stl.zip)。

2 数据样本描述

2.1 数据集文件命名格式

龙洞山溪鲵正模标本(CIB 14380)高精度 μ CT 扫描源数据集的命名规则如下:

(1) 该数据集第一部分包括 9 个文件。以第一个文件 skull90um.zip 和第五个文件 tail_1_120um 为例,它们的命名规则如下:skull 表明该文件包括了对头部的高精度扫描,90um 代表该段的扫描分辨率为 90 μ m。tail_1 表明该文件包括了对尾部第一段的高精度扫描,120um 代表该段的扫描分辨率为 120 μ m。每个文件夹下包括一个 xml 参数文本文件和 512 个 tiff 格式文件。所有 tiff 格式文件均分别添加了连续的后缀 p001–p512。读者利用三维软件(如 VG Studio Max 等)导入以上 tiff 文件时,务必按顺序连续读取,以确保骨骼结构的完整性。

(2) 该数据集第二部分包括三个文件,分别为 pics.zip, videos.zip 和 pdf_stl.zip,包括了三维重建的图像、视频以及 3D pdf 和 stl 文件。读者可用任意版本的 Adobe Reader 软件打开 3D pdf,激活内容并查看龙洞山溪鲵的头部骨骼。如果需要制成实体模型,可将 stl 文件进一步处理,并利用 3D 打印机按照同一比例打印即可。

2.2 数据样本

龙洞山溪鲵的系统分类信息如下:

两栖纲 Amphibia Linnaeus, 1758

滑体两栖亚纲 Lissamphibia Haeckel, 1866

有尾超目 Caudata Scopoli, 1777

有尾目 Urodela Duméril, 1806

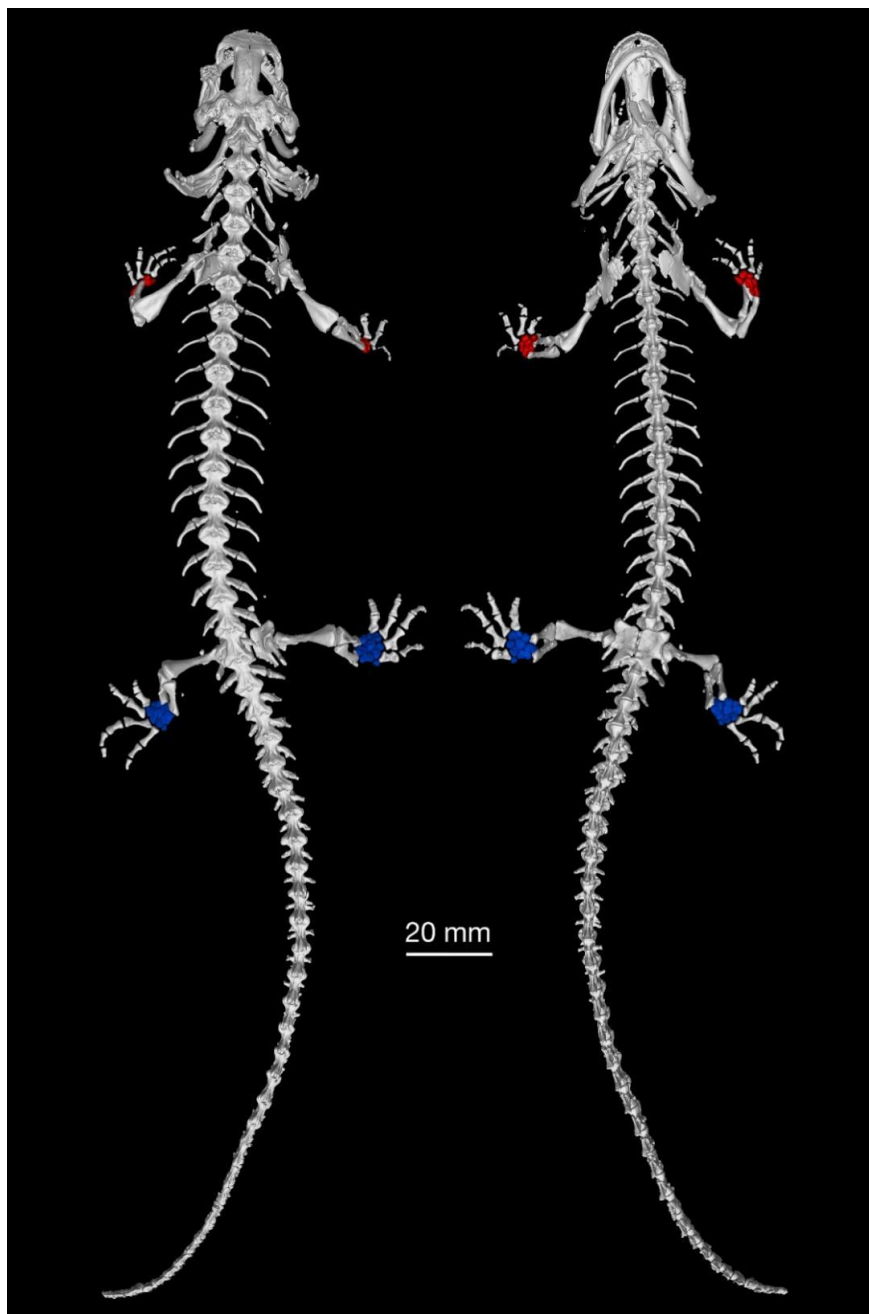
隐鳃鲵亚目 Cryptobranchioidea Dunn, 1922

小鲵科 Hynobiidae, 1859

龙洞山溪鲵 *Batrachuperus londongensis* Liu and Tian, 1978

龙洞山溪鲵是小鲵科中较为独特的一种,因其既有完全变态发育的成体也有保留鳃裂等幼体特征的童体类型。正模标本(CIB 14380)具有鳃裂,属于童体类型。 μ CT 扫描揭示出正模标本的舌器骨化程度较高,包括成对的第一下鳃骨(hypobranchial I)、第二下鳃骨(hypobranchial II)、第一到第四角鳃骨(ceratobranchial I–IV)、角舌骨(ceratohyal)和第二基鳃骨(basibranchial II)(图 2)。与龙洞山溪鲵的变态发育个体和其他小鲵类中通常仅有第二下鳃骨和第二角鳃骨骨化的情况相比,骨化程度显然更高^[33-34]。

图 3 展示了正模标本的整体骨骼结构。可以看出,龙洞山溪鲵正模标本具有 17 枚荐前椎,而且前肢的腕骨(carpal, 红色)和后肢的跗骨(tarsal, 蓝色)骨化较高,与其他童体型蝶螈类(如鳗螈、两栖螈科等)腕、跗骨通常为软骨的情况形成鲜明对比。



A. 背视; B 腹视

图3 龙洞山溪鲵正模标本 CIB 14380 整体骨骼三维重建图

3 数据质量控制和评估

本数据集包括利用高精度 μ CT 扫描获取龙洞山溪鲵正模标本的所有原始文件和参数。读者可利用常用的三维软件（Amira、Dragonfly、ImageJ、Mimics、VG Studio 等）按照参数文本中的分辨率读取。

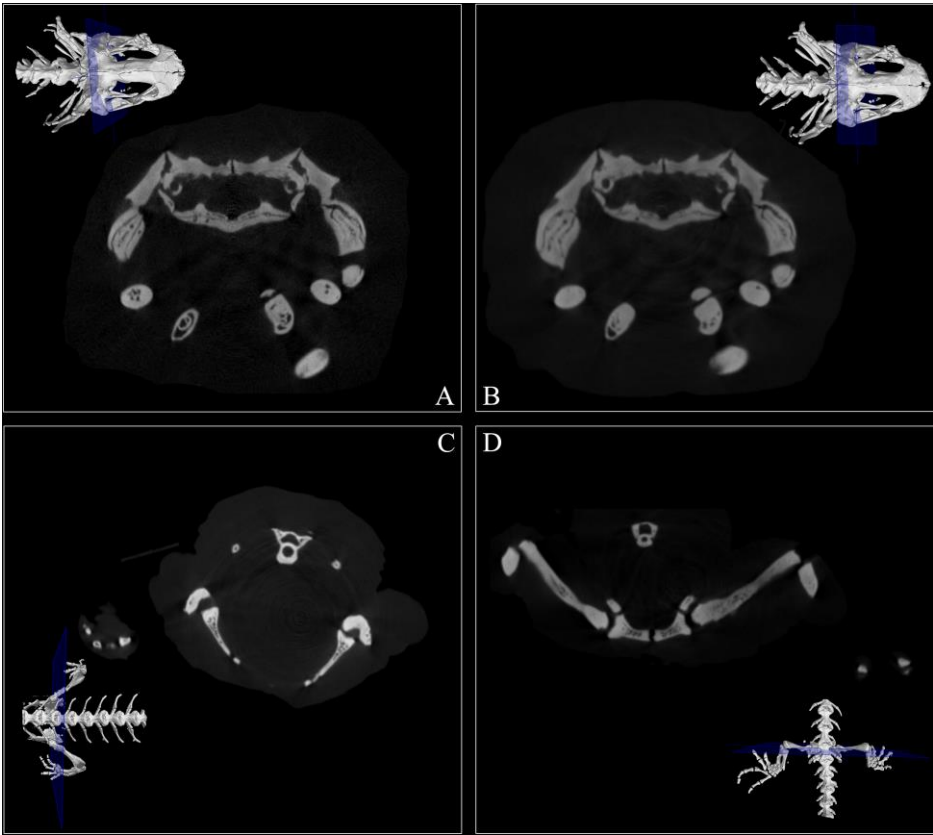
μ CT 扫描所得的骨骼分辨率受以下两方面因素的影响：第一，扫描仪 Quantum GX microCT Imaging System 所得到的分辨率取决于扫描视域（Field of View）的大小，而后者受限于采集（Acquisition）和重建（Reconstruction）两个参数的设定（表1）。其中，采集有 36 和 72 两个数值选项（无单位），相应的重建有 36、25、10、5 和 72、60、45 几个固定值

（无单位）。

表 1 Quantum GX 高精度扫描系统小动物床的视域与分辨率大小对照表

视域（Field of View）		分辨率（Voxel Size） 单位： μm	正模标本分段
采集（Acquisition）	重建（Reconstruction）		
36	5	10	-
36	10	20	
36	25	50	-
36	36	72	-
72	45	90	第 1 段
72	60	120	第 2, 3, 5, 6, 7, 8 段
72	72	144	第 4 段

第二，正模标本的不同部位由于宽度不同导致分辨率不同。该标本浸泡于福尔马林溶液中已有 50 余年，其肌肉和软体组织僵化，使得标本早已形成固定姿势。后肢部分由于向两侧伸展，只能在最大视域范围内，即采集和重建参数均为 72 的情况下进行扫描，因此所得分辨率（144 μm ）最低。尽管如此，该标本每一段的骨骼结构在任意扫描截面上的轮廓均清晰可辨（图 4）。



A. 第一段（头部）分体积重建后的截面（67.1 μm ）；B. 第一段（头部）原始扫描截面（90 μm ）；C. 前肢部分原始扫描截面（120 μm ）；D. 后肢部分原始扫描截面（144 μm ）。未按比例

图 4 龙洞山溪鲵正模标本 CIB 14380 分段扫描截面示意图

4 数据价值

本数据集共享了中国四川省峨眉山地区特有小鲵类蝾螈龙洞山溪鲵的正模标本（CIB 14380）高精度 μ CT 骨骼数据，这是目前 μ CT 扫描技术在我国现存小鲵科蝾螈类骨骼研究中的首次应用。本数据集所包含的数据便于处理，为相关科研人员提供了可供对比参照的原始数据。我们注意到国外类似共享扫描数据集的网站如 DigiMorph 等已提供了蝾螈类部分属种的扫描数据，但是缺少中国特有属种的信息。龙洞山溪鲵骨骼数据的共享为我国建立相关的数据网站提供了基础数据材料，对我国小鲵科蝾螈类的形态演化研究具有重要价值。

致 谢

感谢中国科学院成都生物研究所两栖爬行动物标本馆王跃招馆长的支持和同意标本检测。感谢该研究所李玉龙对龙洞山溪鲵的部分标本进行扫描。

数据作者分工职责

贾佳（1987—），男，山东人，博士，博雅博士后，主要研究方向为化石两栖类的分类与演化。主要承担工作：文本撰写与修改，CT 扫描方案设计和数据处理，龙洞山溪鲵三维虚拟模型重建，绘图和视频及 3D pdf 文件制作。

张美华（1990—），女，河南人，博士研究生，主要研究方向为两栖类系统发生与进化。主要承担工作：文本撰写与修改，龙洞山溪鲵照相、扫描和双染色处理，CT 扫描方案设计和数据处理。

高克勤（1955—），男，河北人，博士，长江特聘教授，研究方向为中生代四足动物化石的分类与演化。主要承担工作：文本修改，CT 扫描方案设计。

江建平（1967—），男，四川人，博士，研究员，研究方向为进化与系统生物学、两栖动物资源保护与利用。主要承担工作：文本修改，CT 扫描方案设计。

参考文献

- [1] SCHOCH R. Amphibian Evolution: the Life of Early Land Vertebrates[M]. West Sussex, UK: Wiley-Blackwell, 2014.
- [2] FEI L, HU S, YE C, et al. Fauna Sinica Amphibia Volume 1: General Accounts of Amphibia Gymnophiona and Urodela[M]. Beijing: Science Press, 2006.
- [3] FEI L, YE C. Amphibians of China (Volume I)[M]. Beijing: Science Press, 2016.
- [4] AmphibiaWeb: Information on amphibian biology and conservation[EB/OL]. (2010) [2017-11-15]. <http://amphibiaweb.org/>.
- [5] DUNN E. The sound-transmitting apparatus of salamanders and the phylogeny of the Caudata[J]. American Naturalist, 1922, 56: 418-427.
- [6] NOBLE G. The Biology of the Amphibia[M]. New York and London: McGraw-Hill Book Company, 1931.

- [7] HECHT M, EDWARDS J. The methodology of phylogenetic inference above the species level. In: Hecht M, Goody P, Hecht B (eds.). Major Patterns in Vertebrate Evolution[M]. New York and London: Plenum Press, 1977.
- [8] MILNER A. The biogeography of salamanders in the Mesozoic and Early Caenozoic: a cladistic-vicariance model. In: Sims R, Price J, Whalley P (eds.). Evolution, Time and Space: the Emergence of the Biosphere[M]. London: Academic Press, 1983.
- [9] FEI L, YE C. On the geographical distribution, center of differentiation and phylogenetic relationships of the different genera of Hynobiidae (Amphibia: Salamandriformes)[J]. Acta Zoologica Sinica, 1984, 30: 385–392.
- [10] ZHAO E, HU Q. Studies on Chinese Tailed Amphibians[M]. Chengdu, Sichuan, China: Sichuan Scientific and Technical Publishing House, 1984.
- [11] ZHANG P, CHEN Y, ZHOU H, et al. Phylogeny, evolution, and biogeography of Asiatic salamanders (Hynobiidae)[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2006, 103: 7360–7365.
- [12] VASILYAN D, ZAZHIGIN V, BÖHME M. Neogene amphibians and reptiles (Caudata, Anura, Gekkota, Lacertilia, and Testudines) from the south of Western Siberia, Russia, and Northeastern Kazakhstan[J/OL]. PeerJ, 2017, 5: e3025. DOI: 10.7717/peerj.3025.
- [13] DUNN E. The salamanders of the family Hynobiidae[J]. Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences, 1923, 58: 445–523.
- [14] BOISVERT C. Vertebral development of modern salamanders provides insights into a unique event of their evolutionary history[J]. Journal of Experimental Zoology Part B: Molecular Developmental Evolution, 2009, 312B: 1–29.
- [15] WEISROCK D, HARMON L, LARSON A. Resolving deep phylogenetic relationships in salamanders: analysis of mitochondrial and nuclear genomic data [J]. Systematic Biology, 2005, 54: 758–777.
- [16] ZHENG Y, PENG R, KURO-O M, et al. Exploring patterns and extent of bias in estimating divergence time from mitochondrial DNA sequence data in a particular lineage: a case study of salamanders (Order Caudata)[J]. Molecular Biology and Evolution, 2011, 28: 2521–2535.
- [17] CHEN M, MAO R, LIANG D, et al. A reinvestigation of phylogeny and divergence times of Hynobiidae (Amphibia, Caudata) based on 29 nuclear genes[J]. Molecular Phylogenetics and Evolution, 2015, 83: 1–6.
- [18] TRUEB L, CLOUTIER R. A phylogenetic investigation into the inter- and intrarelationships of the Lissamphibia (Amphibia: Temnospondyli). In: Schultze H, Trueb L (eds.). Origins of the Higher Groups of Tetrapods: Controversy and Consensus[M]. Ithaca and London: Cornell University Press, 1991.
- [19] GAO K, CHEN J, JIA J. Taxonomic diversity, stratigraphic range, and exceptional preservation of Juro-Cretaceous salamanders from northern China[J]. Canadian Journal of Earth Sciences, 2013, 50: 255–267.
- [20] JIA J, GAO K. A new hynobiid-like salamander (Amphibia, Urodela) from Inner Mongolia,

China, provides a rare case study of developmental features in an Early Cretaceous fossil urodele[J/OL]. PeerJ, 2016, 4:e2499. DOI: 10.7717/peerj.2499.

[21] DONG Z, WANG Y. A new urodele (*Liaoxitriton zhongjiani* gen. et sp. nov.) from the Early Cretaceous of western Liaoning Province, China[J]. Vertebrata Palasiatica, 1998, 36: 159–172. (in Chinese with English abstract).

[22] CHEN J, GAO K. Early Cretaceous hynobiid *Liaoxitriton zhongjiani* (Amphibia: Caudata) from Liaoning, China, and the monophyly of the Hynobiidae[J]. Journal of Vertebrate Paleontology, 2009, 29(supplement to No.3): 76A.

[23] WEISROCK D, MACEY J, MATSUI M, et al. Molecular phylogenetic reconstruction of the endemic Asian salamander family Hynobiidae (Amphibia, Caudata)[J/OL]. Zootaxa, 2013, 3626: 77–93. DOI: 10.11646/Zootaxa.3626.1.3.

[24] PENG R, ZHANG P, XIONG J, et al. Rediscovery of *Protohynobius puxiongensis* (Caudata: Hynobiidae) and its phylogenetic position based on complete mitochondrial genomes[J]. Molecular Phylogenetics and Evolution, 2010, 56: 252–258.

[25] PYRON A, WIENS J. A large-scale phylogeny of Amphibia including over 2800 species, and a revised classification of extant frogs, salamanders, and caecilians[J]. Molecular Phylogenetics and Evolution, 2011, 61: 543–583.

[26] SATO I. Monograph of the Tailed Batrachians of Japan[M]. Osaka, Japan: Nippon Shuppan-sha, 1943.

[27] THORN R. Les Salamanders d'Europe, d'Asie et d'Afrique du Nord[M]. Paris, France: Paul Lechevalier, 1968.

[28] HENNIG W. Phylogenetic Systematics[M]. Urbana: University of Illinois Press, 1966.

[29] LEBEDKINA N. Evolution of the Amphibian Skull[M]. Sofia, Moscow, Russia: Pensoft Publishers, 2004.

[30] ZHANG H, LIU S, ZHAO Y, et al. Skeletal system of *Batrachuperus pinchonii*[J]. Sichuan Journal of Zoology, 2009, 28: 412–416.

[31] VASSILIEVA A, LAI J, YANG S, et al. Development of the bony skeleton in the Taiwan salamander, *Hynobius formosanus* Maki, 1922 (Caudata: Hynobiidae): heterochronies and reductions[J]. Vertebrate Zoology, 2015, 65: 117–130.

[32] HANKEN J, WASSERSUG R. The visible skeleton: a new double-stain technique reveals the nature of the “hard” tissues[J]. Functional Photography, 1981, 16: 22–26.

[33] JIANG J, JIA J, ZHANG M, et al. Osteology of *Batrachuperus londongensis* (Urodela, Hynobiidae): study of bony anatomy of a facultatively neotenic salamander from Mount Emei, Sichuan Province, China[J/OL]. PeerJ, in press.

[34] LIU C, HU S, TIAN W, WU G. Four new amphibian species from Sichuan and Guangxi[J]. Materials for Herpetological Research, Chengdu, 1978, 4: 18–19.

论文引用格式

贾佳, 张美华, 高克勤, 江建平. 中国四川省峨眉山特有小鲵类（两栖纲，有尾目）龙洞山溪鲵 (*Batrachuperus londongensis* Liu and Tian, 1978) 正模标本骨骼 μ CT 三维数据集[J/OL]. 中国科学数据, 2018, 3(2). (2018-06-22). DOI: 10.11922/csdata.2018.0005.zh.

数据引用格式

贾佳, 张美华, 高克勤, 江建平. 中国四川省龙洞山溪鲵正模标本 (CIB 14380) 高精度 μ CT 扫描源数据集[DB/OL]. Science Data Bank, 2018. (2018-01-16). DOI: 10.11922/sciencedb.557.

Dataset of μ CT scan of the holotype specimen of *Batrachuperus londongensis* Liu and Tian, 1978, an endemic hynobiid (Amphibia, Urodela) from Mount Emei, Sichuan Province, China

Jia Jia^{1,2*}, Zhang Meihua³, Gao Keqin¹, Jiang Jianping³

1. School of Earth and Space Sciences, Peking University, Beijing 100871, P. R. China;
2. Key Laboratory of Economic Stratigraphy and Palaeontology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Nanjing 210008, P. R. China
3. Chengdu Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, P. R. China

*Email: jia_jia@pku.edu.cn

Abstract: As a primitive clade of tailed amphibians, hynobiids are significant in understanding the early evolutionary history of salamanders. However, no consensus has been reached in regard to the time and location of origin, evolutionary history of certain characters, and phylogenetic relationships of Hynobiidae, due to several factors including: poor fossil records, insufficient morphological investigations of living taxa, inconsistent results of cladistic analyses using molecular data, and lack of morphology-based phylogenetic analyses. *Batrachuperus londongensis*, living in the Longdong River area at Mount Emei, Sichuan Province, China, features as the single living hynobiid species that is facultatively neotenic. Despite that the species has been known to scientific community for 40 years, its osteology has not been thoroughly investigated. This paper provides the technical procedures of employing high resolution CT scan (μ CT) technique in

investigating the osteology of the holotype (CIB 14380) of *Batrachuperus londongensis*. μ CT scan of the holotype specimen (CIB 14380) of *B. londongensis* was completed using the Quantum GX microCT Imaging System at Chengdu Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences. The voxel size derived from these scans ranges between 67.1–144 μ m. Several distinctive osteological traits characterizing the neotenic individuals of *B. londongensis* were revealed, such as the highly ossified hyobranchial apparatus and wholly ossified carpals and tarsals in the limb. This study represents the first attempt of applying μ CT scanning techniques in the osteological research of living hynobiids endemic in China. The dataset includes μ CT source data of the holotype and associated parameter files; reconstructed images and videos displaying the cranial part and the whole skeleton; and a 3D pdf and 3D printable stl files for the cranial part of the holotype. The source data files created from the μ CT scan display a clear outline of the skeleton and can be easily read by software, like VG Studio. This dataset benefits researchers and the public interested in the osteology of the facultatively neotenic *Batrachuperus londongensis*, and is valuable for investigating the morphology of hynobiids endemic in China.

Keywords: μ CT scan; *Batrachuperus londongensis*; Hynobiidae; Mount Emei; Sichuan Province; 3D pdf; 3D printing

Dataset Profile

Title	μCT source dataset of the holotype (CIB 14380) of <i>Batrachuperus londongensis</i> from Sichuan Province, China
Data authors	Jia Jia, Zhang Meihua, Gao Keqin , Jiang Jianping
Data corresponding author	Jia Jia (jia_jia@pku.edu.cn)
Time of collection	The holotype of <i>B. londongensis</i> was collected on March 23, 1965.
Geographical scope	The holotype of <i>B. londongensis</i> was found from the Longdong Stream (N29°34'42.85"/E103°17'5.61"), at an elevation of 1300 m, Mount Emei, Sichuan Province, China.
CT scan resolution	Eight sections of the holotype of <i>B. londongensis</i> were separately μ CT scanned, and the resolution of the resulted images ranges between 90 – 144 μ m. A higher resolution (67.1 μ m) of the first section was later achieved through the subvolume reconstruction option of the Quantum GX μ CT imaging system.
Data volume	2.84 GB
Data format	*.jpg, *.pdf, *.rmvb, *.stl, *.tif, *.xml
Data service system	< http://www.sciencedb.cn/dataSet/handle/557 >
Sources of funding	National Natural Science Foundation of China (41702002, 41072007, 41272016); Key Laboratory of Economic Stratigraphy and Palaeogeography, Chinese Academy of Sciences (Nanjing Institute of Geology and Palaeontology) (2017KF03); The National Key Research and Development Program of China, Ministry of Science and Technology (2017YFC0505202)

Dataset composition	This dataset consists of two subsets in total. The first subset comprises the source data generated from μCT scan of the eight sections of the holotype of <i>B. londongensis</i>, and the source data of the skull portion at a higher resolution produced through the subvolume reconstruction at the Quantum GX μCT imaging system. The second subset comprises the photographs, 3D reconstructed images, and videos of the holotype, the 3D pdf and stl files for the cranium. The dataset consists of the following 12 documents: (1) skull90um.zip stores the μCT source data for the skull portion, including 512 tiff images and a text file skull90um.xml containing all scanning parameters, with a data volume of 256 MB; (2) skull67_1um.zip stores the μCT source data for the skull portion at a higher resolution achieved through the subvolume reconstruction function implanted in the Quantum GX μCT imaging system, including 512 tiff images, with a data volume of 256 MB; (3) forelimb120um.zip stores the μCT source data for the forelimb portion, including 512 tiff images and a text file forelimb120um.xml containing all scanning parameters, with a data volume of 256 MB; (4) trunk120um.zip is the μCT source data for the trunk portion, including 512 tiff images and a text file trunk120um.xml containing all scanning parameters, with a data volume of 256 MB; (5) hindlimb144um.zip is the μCT source data for the hindlimb portion, including 512 tiff images and a text file hindlimb144um.xml containing all scanning parameters, with a data volume of 256 MB; (6) tail_1_120um.zip stores the μCT source data for the anterior portion of the tail, including 512 tiff images and a text file tail_1_120um.xml containing all scanning parameters, with a data volume of 256 MB; (7) tail_2_120um.zip stores the μCT source data for the middle part of the tail, including 512 tiff images and a text file tail_2_120um.xml containing all scanning parameters, with a data volume of 256 MB; (8) tail_3_120um.zip stores the μCT source data for the posterior part of the tail, including 512 tiff images and a text file tail_3_120um.xml containing all scanning parameters, with a data volume of 256 MB; (9) tail_4_120um.zip stores the μCT source data for the tail tip, including 512 tiff images and a text file tail_4_120um.xml containing all scanning parameters, with a data volume of 256 MB; (10) pics.zip stores the photographs and 3D reconstructed images of the holotype, including 2 jpg and 9 tiff files, with a data volume of 84.1 MB; (11) videos.zip stores the videos of the 3D reconstructed cranium and whole skeleton of the holotype in rmvb format, with a data volume of 38.5 MB; (12) pdf_stl.zip contains a 3D pdf file of the cranium and 3D printable stl files for each bone of the cranial portion of the holotype, with a data volume of 484 MB.
---------------------	---