湖北早三叠世鱼龙前肢化石新材料及对比讨论

邹亚锐¹⁾,赵璧¹⁾,陈刚¹⁾,李姜丽¹⁾,程龙^{2,3)},阎春波^{2,3)},谭秋明¹⁾

1) 湖北省地质科学研究院,武汉,430034; 2) 中南地质科技创新中心,武汉,430205;

3) 中国地质调查局武汉地质调查中心,武汉,430205

内容提要:杨钟健和董枝明曾在 1972 年指出中国发现的早三叠世鱼龙 Chaohusaurus geishanensis 与欧洲的 Grippia 前肢和头部相似,具有系统关系。但后来中国该时代鱼龙类化石大多前肢特化或不完整,难以进一步对比 研究。本文记述了湖北下三叠统嘉陵江组中发现的 2 件较完整的鱼龙前肢化石新材料,对中国的古老鱼龙类相关 信息进行了补充。通过形态学对比,认为湖北被归入 Chaohusaurus 的早三叠世鱼龙前肢总体特征与同属的 Ch. geishanensis 接近而与 Ch. chaoxianensis 有明显差别,而且其以相对较大的个体、间中骨挤压变形以及豌豆骨 发育等特征表现出与 Grippia、Utatsusaurus、Parvinatator 等其他早三叠世鱼龙类前肢的相似性。据此分析推测, 早三叠世鱼龙类可能存在两个演化方向。即在二叠纪末大灭绝(EPME)事件后不久,鱼龙类起源并在奥伦尼克期 出现分化,一部分个体相对较大、前肢未特化、运动能力较强的鱼龙类实现了跨区交流,另一些个体相对较小、前肢 特化、运动能力较弱的鱼龙类则成为地方性(东特提斯区)的独立演化分支。但两者之间的系统发生关系以及 Chaohusaurus 的单系性还有待进一步研究揭示。

关键词:湖北;早三叠世;嘉陵江组;鱼龙超目;前肢

鱼龙是繁盛于中生代,高度适应水生生活的海 洋爬行动物(Motani, 2010),最早出现于早三叠世 奥伦尼克期斯帕斯亚期(Fu Wanlu et al., 2016),但 由于该时期鱼龙化石证据严重不足,其起源演化过 程仍未得到很好解答。中国是早三叠世鱼龙 Chaohusaurus 的重要化石产地,也是近年来鱼龙起 源研究的热点地区(Stone,2010)。杨钟健和董枝明 在1972年根据安徽省巢县(今巢湖市)龟山地区发 现的一块不完整化石命名了龟山巢湖龙并建立 Chaohusaurus 属(Yang Zhongjian et al., 1972),随 后又陆续在安徽巢县马家山地区、安徽芜湖县百胜 地区和湖北远安县河口地区发现了新的 Chaohusaurus 化石及与 Chaohusaurus 同层位且亲 缘关系非常紧密的动物 Cartorhynchus lenticarpus (Motani et al., 2015a), Sclerocormus parviceps (Jiang Dayong et al., 2016)等,相关化石材料累计 达百余件,且多为原地完好保存。因化石材料相对 丰富和完整, Chaohusaurus 及其伴生化石群长期吸 引国内外学者关注,从90年代中期开始,在其比较 解剖、系统发生、个体发育、性双形、古生态以及综合 地层学等研究方面取得一系列令学界瞩目的重要认 识(Motani et al., 1996, 1998a, 1998b; Motani, 1999; Maisch et al., 2001; McGowan et al., 2003; Motani, 2005; Motani, 2014, 2015b, 2015c; Ji Cheng et al. ,2015;Fu Wanlu et al. ,2016;Jiang Dayong et al., 2016; Zhou Min et al., 2017; Motani et al., 2017,2018),极大地推动了鱼龙起源和早期演化研 究进程。迄今为止, Chaohusaurus 已研究确认 3 个 有效种,即龟山巢湖龙 Chaohusaurus geishanensis (Yang Zhongjian et al., 1972)、巢县巢湖龙 Chaohusaurus chaoxianensis (Chen Liezu, 1985; Mazin, 1991; Motaniet al., 1998a; Motani, 2015b)和 张家湾巢湖龙 Chaohusaurus zhangjiawanensis (Chen Xiaohong et al., 2013)。但绝大多数化石发

引用本文:邹亚锐,赵璧,陈刚,李姜丽,程龙,阎春波,谭秋明. 2020. 湖北早三叠世鱼龙前肢化石新材料及对比讨论. 地质学报,94 (4):1017~1026, doi: 10.19762/j. cnki. dizhixuebao. 2020028.
 Zou Yarui, Zhao Bi, Chen Gang, Li Jiangli, Cheng Long, Yan Chunbo, Tan Qiuming. 2020. New forefin specimens and comparison of Early Triassic Ichthyopterygia from the Hubei Province. Acta Geologica Sinica, 94(4):1017~1026.

注:本文为湖北省地质局科技项目(编号 KJ2018-02)、湖北省地质勘查基金项目(编号 DTCG-190401)、国家自然科学基金项目(编号 41402005&41972014)和中国地质调查局地质调查项目(编号 DD20190823)资助。

收稿日期:2019-02-25;改回日期:2019-09-22;网络发表日期:2019-12-05;责任编委:任东;责任编辑:黄敏。

作者简介:邹亚锐,女,1989年生。工程师,主要研究方向为古生物学与地层学。Email:569007425@qq.com。

2020 年

现于安徽马家山地区,且被鉴定为 Ch. chaoxianensis(Motani et al., 2018),其他两种 化石则相对罕见且已报道的材料不够完整 (WHGMR V26001、WHGMR V26025)或保存不佳 (IVPP V4001)。作为世界上化石材料总量最丰富 的早三叠世鱼龙类, Chaohusaurus 的种级分异研究 还有待加强,其作为单系类群目前还存在一些疑点, 这是当前制约全球早三叠世鱼龙类研究深入的重要 原因之一(Zhou Min, 2016)。

湖北是除安徽外唯一的早三叠世 Chaohusaurus 化石产地。2013年,来自武汉地质调 查中心和德国波恩大学的研究者对征集自湖北远安 一关停石灰岩采场的两件化石材料进行了研究,报 道了张家湾巢湖龙 Ch. zhang jiawanensis (Chen Xiaohong et al., 2013)。近年来, 出于保护和开发 珍贵化石资源的需要,远安县委托笔者团队在有关 化石点开展多次实地调查(图 1)。并于近期在 2013 年发现 Ch. zhang jiawanensis 化石的采石场采获了 1件新的鱼龙前肢化石,另通过走访调查掌握了1 件同产自该地的鱼龙类前肢化石信息,在相关主管 部门许可下,对化石材料进行了修复与观察研究。 新材料许多解剖学特征与前人报道的 Ch. zhangjiawanensis 相一致,应属同种动物。但 相比之下,新材料保留了新的形态学信息,本文予以 记述并就其与其他同时期鱼龙类前肢化石的对比进 行讨论。

1 材料与方法

本文记述的前肢化石材料 YGM-Y4701 为一侧 向压扁、左侧暴露的不完整标本,其为 2018 年在上 述采石场内实地采集,现保存于远安地质博物馆内。 另一块前肢化石材料 YAYG2010V1 为一近完整、 背腹向压扁保存的标本,其是在 2010 年左右在同一 采石场采石过程中发现,目前由当地原住民保管,并 由远安国家级重点保护化石主管部门按照相关法规 进行登记管理。

本文主要对两件化石材料的前肢部分进行修复 观察测量和形态学对比研究。主要使用德国 HARDY WINKLER小型气动针、凿设备对化石进 行修理,骨缝等细节部分在 Olympus 体视显微镜下 用剔针进行手动精细修理,使用毫米级数显游标卡 尺参考前人方法(Motani et al.,2015b)对标本进行 测量数据采集,主要测量前肢长度,肱骨、桡骨及尺 骨长度,腕骨最大及最小直径,使用 Canon 5D mark3 单反相机进行大景深拍照,结合实际观察,在 计算机上使用 Illustrator 软件对照片进行骨骼轮廓 描绘和解剖学标注。并通过资料收集和对前人研究 中涉及的有关标本进行线条重绘和对比研究,对不 同早三叠世鱼龙类的系统关系进行讨论。通过文献 重绘和对比研究的化石标本包括 IVPP V4001 (Yang Zhongjian et al., 1972); IGPS 95941 (Shikama et al., 1978; Motani, 1997); AGM-P45-H85-20 和 AGM-P45-H85-25(Chen Liezu, 1985); RTMP89.127.3 (Brinkman et al., 1992; Cuthbertson et al., 2013); RTMP89.127.8 (Brinkman et al., 1992; Nicholls et al., 1995); IVPP V11361 和 IVPP V11362 (Motani et al., 1998b); PMU R472 (Motani et al., 1998c); WHGMRV26025 (Chen Xiaohong et al., 2013); AGM-CH-628-16 (Motani et al., 2015b); AGM-MT10010、AGM-CH-628-19 和 AGM-CH-628-22 (Motani et al., 2015b); GMPKU-P-3101, GMPKU-P-1106、GMPKU-P-3093 和 GMPKU-P-1118(Zhou Min, 2016); AGB6265 (Jiang Dayong et al., 2016)等。

机构缩写:AGM(AGB),安徽省地质博物馆, 中国合肥;IVPP,中国科学院古脊椎动物与古人类 研究所,中国北京;GMPKU,北京大学地质博物馆, 中国北京;WHGMR,武汉地质调查中心,中国武 汉;YGM,远安地质博物馆,中国宜昌;IGPS,东京 大学地质古生物研究所,日本东京;PMU,乌普萨拉 大学古生物馆,瑞典乌普萨拉;RTMP,皇家泰勒古 生物博物馆,加拿大德姆海勒。

骨骼名词缩写: Sc-Scapula,肩胛骨;H-Humerus,肱骨;R-Radius,桡骨;U-Ulna,尺骨; r-radiale,桡腕骨;u-ulnare,尺腕骨;i-intermedium, 间中骨;p-pisiform,豌豆骨;dc(1-5)-distal carpal(1-5),(第一至第五)远端腕骨; |-V,(第一至第五) 掌骨。

2 系统古生物学

双孔亚纲 Diapsida Osborn,1903

鱼龙超目 Ichthyopterygia Owen,1840

巢湖龙属 Chaohusaurus Young and Dong,1972 张家湾巢湖龙 Chaohusaurus zhangjiawanensis

Chen, Sander, Cheng and Wang, 2013

正型标本:武汉地质调查中心标本 WHGMR V26001。为1件背腹向保存的近完整的骨架标本。



图 1 湖北远安区域地质简图

Fig. 1 Geological sketch map in Yuan'an, Hubei

1-白垩系;2-侏罗系;3-上三叠统;4-中三叠统巴东组;5-下三叠统嘉陵江组;6-下三叠统;7-二叠系;8-二叠系-志留系;

9—奥陶系;10—元古界-寒武系;11—断层;12—角度不整合界线;13—研究区位置

1-Cretaceous system; 2-Jurassic Systerm; 3-Upper Triassic; 4-Middle Triassic Badong Formation;

5—Lower Triassic Jialingjiang Formation; 6—Lower Triassic; 7—Permian System; 8—Permian-Silurian System; 9—Ordovician System; 10—Proterozoic-Cambrian System; 11—fault; 12—angle unconfonnity boundary; 13—location of study area

肩带和腰带以及前、后肢和尾端缺或保存不全。标本保存长度 63cm。

参考标本:武汉地质调查中心标本 WHGMR V26025。为1件背部揭露,仅保存绝大部分躯干和一半左前肢的不完整骨架标本。

修订标本:远安地质博物馆标本 YGM-Y4701: 侧向压扁、左侧暴露、叠置和稍微变形的前肢标本; 远安国家化石产地标本 YAYG2010V1:背腹向压扁 保存的右前肢骨架标本。

产地和层位:中国湖北远安河口乡落星村。产

于嘉陵江组三段上部纹层灰岩,纹层灰岩上覆火山 灰锆石年龄 246.7 \pm 1.2Ma(Cheng Long et al., 2015),另参考岩石地层和生物地层综合对比 (Zhang Zhenlai et al.,1987;Li Jinling et al.,2002; Yin Hongfu et al.,2001; Tong Jinnan et al., 2018),确定化石层时代为早三叠世奥伦尼克期斯帕 斯亚期末,与安徽巢湖龙动物群时代接近或略晚。

修订特征:中小型鱼龙,身长 1m 左右,眼眶大, 不规则;后额骨不参与上颞孔的形成;眶后骨近三角 形;2 对荐肋,第一对荐肋远端明显扩展,第二对荐 肋远端不扩展,形态上与尾肋相似,但小于尾肋;股 骨发育明显的背突;前肢腕骨骨化完全,发育豌豆 骨,间中骨呈五边形;前肢第一远端腕骨缺失,腕骨、 掌骨及指骨均排列较紧密,其近远端间隙较小。

3 描述

YGM-Y4701 左右前肢叠置, 左侧视保存, 为原 始四足类指式(Romer et al., 1977),具有明显的五 指,并向远端汇聚,呈鳍状肢,其照片及素描图见图 2a、2b。左前肢在上,除肱骨被肩胛骨少部分遮挡外 几乎完全暴露,但受右前肢挤压,肱骨及部分腕骨、 掌骨、指骨等移位。右前肢在下,肱骨、尺骨、桡骨被 左前肢和肩胛骨部分遮挡,桡腕骨远端、第2远端腕 骨、第2掌骨、第3掌骨、第4掌骨远端和豌豆骨未 保存,但均保存清晰负模轮廓。左前肢肱骨长 4.10cm,近端宽度 1.85cm,远端宽度 1.98cm,逆时 针位移明显,前缘发育具凹口的凸缘,可能具有关节 面,分别连接桡骨和尺骨,但不明显。左前肢桡骨长 3.10cm,近端宽度 1.81cm,远端宽度 1.24cm,较肱 骨略短,与尺骨长度接近,但较尺骨更宽和更粗壮, 发育近端前突,近端明显宽于远端,外缘近端存在突 起,具有明显的生长纹。左前肢尺骨长 2.52cm,近 端宽度 0.86cm,远端宽度 1.44cm,远端较近端宽, 呈扇形。右前肢肱骨、桡骨、尺骨大部分被遮挡,从 轮廓看形态尺寸与左前肢基本类似。左右前肢腕骨 均7枚,包括近端腕骨4枚(桡腕骨、间中骨、尺腕 骨、豌豆骨各 1), 远端腕骨 3 枚(第 2, 第 3 和第 4 (或5)远端腕骨)。左右前肢的腕骨形态基本一致, 最大的为间中骨,均呈标志性五边形,左前肢间中骨 最大直径为 1.28cm,最小直径为 0.98cm,右前肢分 别为 1.16cm 和 0.84cm。最小的腕骨均为第 2 远 端腕骨,最大直径左前肢为 0.35cm,右前肢为 0.28cm。桡腕骨、尺腕骨和3枚远端腕骨近圆形, 豌豆骨为椭圆形,第1远端腕骨缺失,第3远端腕骨 最大,第4(或5)远端腕骨可能与其他腕骨愈合。左 右前肢掌骨、指骨形态也基本一致,掌骨5枚,两端 扩展,轴部收缩,第五掌骨为半月形,缺口位于外侧。 指骨形态与掌骨相似,为扁柱状,左右前肢均存在指 骨缺失现象,不能确定指骨分配模式。腕骨、掌骨及 指骨均排列较紧密,其近远端间隙较小。

YAYG2010V1为右前肢,同为五指型鳍状肢, 背腹向保存,其照片及素描图见图 2c、2d。含化石 岩块沿尺骨、间中骨、第2远端腕骨、第3掌骨及部 分指骨一线裂开,并对裂缝边缘化石造成一定损坏。 前肢化石总长 11.08cm。最大的骨块为肱骨,长 4.66cm,近端宽度 2.46cm,远端宽度 2.58cm,前缘 发育两个明显的关节面,分别连接桡骨和尺骨,桡骨 关节面较大。桡骨长 3.86cm,近端宽度 2.51cm,远 端宽度 1.65cm, 较肱骨略短, 近端明显宽于远端。 尺骨长 3.62cm, 近端宽度 1.30cm, 远端宽度 1.75cm,远端明显宽于近端,并呈扇形。肱骨、尺 骨、桡骨生长纹发育。腕骨7枚,包括近端腕骨4枚 (桡腕骨、间中骨、尺腕骨、豌豆骨各1),远端腕骨3 枚「第2,第3和第4(或5)远端腕骨]。间中骨最 大,呈五边形,最大直径为1.89cm,最小直径为 1.28cm,其次为尺腕骨,最大直径为1.42cm,最小 直径为1.18cm,最小的为第2远端腕骨,最大直径 为1.02cm。桡腕骨、尺腕骨和3枚远端腕骨近圆 形,豌豆骨不太清晰,可能为近椭圆形。第1远端腕 骨缺失,第3远端腕骨最大,第4(或5)远端腕骨可 能与其他腕骨愈合。掌骨、指骨形态相似,掌骨5 枚,两端扩展,轴部收缩,第五掌骨为半月形,缺口位 于外侧。指骨形态与掌骨相似,为扁柱状,左右前肢 均存在指骨缺失现象,不能确定指骨分配模式。腕 骨、掌骨及指骨均排列较紧密,其近远端间隙较小。

4 讨论

两件前肢新材料的总体形态与较大骨块(肱骨、 尺骨、桡骨)的轮廓,以及腕骨-掌骨-指骨较紧密的 排列组合特征与 Ch. geishanensis 正型标本 IVPP V4001 和 Ch. zhangjiawanensis 参考标本 WHGMR V26025(图 2e,2f)非常相似。从细节看, 如肱骨前缘不扩展,桡骨远端扩张,第一远端腕骨缺 失,单列指骨不超过四个,生长纹发育方式等特征在 这几件化石材料中都表现基本一致。这说明新材料 和之前报道的湖北鱼龙类应属同种,且与 Ch. geishanensis 有较近的亲缘关系。但一些差异 仍存在,如:IVPP V4001 中没有发现豌豆骨,间中



图 2 湖北远安早三叠世张家湾巢湖龙各标本前肢

Fig. 2 Forefins of the specimens of *Chaohusaurus zhangjiawanensis*, Early Triassic, Yuan'an, Hubei (a,b)—YGM-Y4701;(c,d)—YAYG2010V1;(e,f)—WHGMR V26025(参考标本,据(Chen et al.,2013)重绘);蓝色,左前肢;黄色,右前肢 (a,b)—YGM-Y4701;(c,d)—YAYG2010V1;

(e,f)-WHGMR V26025(referred specimen, redraw after Chen et al. ,2013); bule, left forefin; yellow, right forefin

骨较圆化而非五边形,第五掌骨的缺口方向不同; WHGMR V26025 豌豆骨较小等。但如前所述,其 总体形态的相似性是不可否认的。对比而言,新材 料同 Ch. Chaoxianensis 已报道的多件前肢化石差 异则非常显著,最主要有两点,一是新材料前肢各骨 块骨化较好,并且紧密排列,而 Ch. chaoxianensis

表 1	湖	出:	远	安张	家	湾乡	削減	龙	前刖	支部	分	测	量娄	女据	(m	m)
Table	e 1	I	Mea	asur	emo	ents	; (i	n n	nm)	of	the	hi	ind	lim	ıbs	of
Cha	h				nan	σii	awa	no	ncic	in	Vn	an	'an	н	íuh	oi

	nuonusuurus znungjiu	wunensis m	Tuan an, I	ruber
		YGM-Y4701	YGM-Y4701	YAYG
		(L)	(R)	2010V1
总长		1108		
肱骨	长度	410		466
	近端宽度	185		246
	远端宽度	198		258
桡骨	长度	310	_	386
	近端宽度	181		251
	远端宽度	124		165
尺骨	长度	252		362
	近端宽度	86		130
	远端宽度	144	—	175
	数量	7	7	7
腕骨	近端数量	4	4	4
	远端数量	3	3	3
	间中骨最大/小直径	128/98	116/84	189/128
	尺腕骨最大/小直径			142/118
	第2远端腕骨最大直径	34	28	102

通常只有少量腕骨完全骨化,并且腕骨一掌骨一指 骨之间间隔较大;第二,新材料 YAYG2010V1 的前 肢总长度达到 11.08cm, 推测鱼龙个体总长度近 1m,与 2013 年报道的 Ch. zhang jiawanensis 个体 大小近似,明显比安徽地区发现的 Ch. chaoxianensis 要大。由于 2013 年报道的 Ch. zhangjiawanensis 正型标本 WHGMR V26001 未保存前肢,参考标本 WHGMR V26025 指骨未保 存,新材料因此补充了湖北早三叠世鱼龙类重要的 形态学信息及其与"安徽近亲"之间的重要关联和鉴 别特征,这对 Chaohusaurus 内群系统发生关系的确 定将具有重要意义。根据新材料与 WHGMR V26025的同产地和层位特征以及形态学总体相似 性,本文将新材料归入 Ch. zhang jiawanensis 并对 其特征进行修订和补充,但新材料与早期材料之间 是否存在其他差异或关联还有待头骨及其他部位化 石的研究确认。

包括新材料在内的湖北早三叠世鱼龙化石标本 前肢尺寸与其他早三叠世鱼龙如 Grippia 标本 PMU R472 和 Utatusasaurus 标本 IGPS 95941 大 小相近,且上述标本均发育豌豆骨,腕骨、掌骨及指 骨均排列较紧密,其近远端间隙较小。 Utatsusaurus hataii 正型标本 IGPS 95941 与 YAYG2010V1 在五边形的间中骨(北美发现的 Parvinatator wapitiensis 正型标本 TMP89.127.8 也有此特征)、第一远端腕骨缺失等特征方面尤其类 似。因此,湖北早三叠世鱼龙类很有可能与上述其 他地区的早三叠世鱼龙类有较近的亲缘关系。较大 个体可以为海洋脊椎动物提供更强的游泳和迁徙能 力,如长度可达3米的Utatusasaurus化石在东特 提斯区的日本和东太平洋区的北美均被发现,更晚 和进步的大型鱼龙类如Cymbospondylidae、 Shastasauridae等以及现代海洋的大型鱼型动物鲸 类也多呈全球分布。据此推测,湖北早三叠世鱼龙 类也可能具有跨地区交流能力。

东特提斯区中国发现的早三叠世鱼龙 Ch. geishanensis 与西特提斯区斯瓦巴尔群岛发现 的Grippia (Wiman, 1910, 1929, 1933) 相似性以及 两种动物间可能存在的古地理交流其实很早被研究 者提及(Yang Zhongjian et al., 1972)。但由于后来 发现的中国早三叠世鱼龙绝大多数是前肢特化的 Ch. chaoxianensis (Motani et al., 2018), Ch. geishanensis 与 Ch. zhangjiawanensis 则长期 缺乏除正型标本外的更多化石材料,相关对比研究 因此难以开展。通过对新材料的研究,在上述认识 基础上,我们汇总了目前已知的绝大部分已报道早 三叠世鱼龙前肢化石资料,通过综合对比研究发现, 已发现的早三叠世鱼龙前肢化石可明显被划分成两 种类型(图 3)。即 TYPE A:前肢较大,腕骨-掌 骨一指骨骨化程度高并且较紧密排列;TYPE B:前 肢较小,腕骨骨化差,通常只保留少数腕骨化石,腕 骨一掌骨一指骨之间具有较大空隙。结合前人观点 (Motani et al., 2015b),从骨骼形态功能学角度分 析,具有 TYPE A 型前肢的鱼龙类个体较大,前肢 骨块紧密排列,形态已接近具有跨区交流能力的进 步型鱼龙类的紧密排列圆点状多指带式鳍状肢,坚 强有力,应具有较强游泳能力,可能是远洋生活的类 型;具有 TYPE B 型前肢的鱼龙类前肢各骨块间具 有明显的空隙,宽大灵活,在游泳时可提供更好的制 动能力,可能是在较局限的栖息地生活动物的适应 性特征,其骨块之间的空隙很可能是被大量软骨质 充填, 这被认为是适应水陆两栖生活的脊椎动物重 要特征,此外,在TYPE B型鱼龙化石层位还发现 具有类似前肢结构的 Cartorhynchus lenticar pus、 Sclerocormus parviceps 等动物,似乎暗示它们的生 存环境可能与其特化的前肢结构具有演化关联,它 们很可能是适应特殊生境的地方物种。前肢化石的 古地理分布也支持上述形态功能分析,即游泳能力 可能较强的 TYPE A 化石鱼龙类在早三叠世各大 地理区都有发现,而游泳能力弱的 TYPE B 化石鱼 龙类则集中发现于安徽巢湖的外缓坡一深水盆地区



图 3 早三叠世鱼龙型类化石产地及前肢标本

Fig. 3 Early Triassic Ichthyosauromorpha fossil sites and specimens of forefin

1—AGM-MT10010(Chaohusaurus); 2—GMPKU-P-1118(Chaohusaurus); 3—TMP89.127.3(Gulosaurus helmi, 正型); 4—IVPP V4001 (Chaohusaurus geishanensis, 正型); 5—YGM-Y4701(Chaohusaurus zhangjiawanensis, 左); 6—YGM-Y4701(Chaohusaurus zhangjiawanensis, 右); 7—TMP89.127.8(Parvinatator wapitiensis, 正型); 8—YAYG2010V1(Chaohusaurus zhangjiawanensis); 9— WHGMR V26025(Chaohusaurus zhangjiawanensis,参考); 10—PMU R472(Grippia longirostris); 11—IGPS 95941(Utatsusaurus hataii, 正 型, 左, Motani, 1998,复原); 12—IGPS 95941(Utatsusaurus hataii, 正型, 右, Motani, 1998复原); 13—AGB6265(Sclerocormus parviceps, 正 型); 14—AGM-CH-628-19(Chaohusaurus); 15—AGM-CH-628-22(Chaohusaurus); 16—GMPKU-P-3101(Chaohusaurus); 17—AGM-P45-H85-25(Chaohusaurus chaoxianensis, 正型, 右); 18—AGM-P45-H85-25(Chaohusaurus chaoxianensis, 正型, 左); 19—GMPKU-P-1106 (Chaohusaurus); 20—IVPP V11362(Chaohusaurus); 21—AGM-CH-628-16(Cartorhynchus lenticarpus, 正型); 22—IVPP V11361 (Chaohusaurus); 23—GMPKU-P-3093(Chaohusaurus); 24—AGM-P45-H85—20(Anhuisaurus faciles, 正型). TYPE A—腕骨化良好, 且 腕骨、掌骨、指骨紧密排列的类型; TYPE B—部分腕骨未骨化, 且腕骨、掌骨、指骨间距较明显的类型。古地理图据 Ron Blakey(http:// www2. nau. edu/rcb7/240moll. jpg)修改。为便于比较, 均调整为右前肢腹视图。

1—AGM-MT10010(Chaohusaurus); 2—GMPKU-P-1118(Chaohusaurus); 3—TMP89. 127. 3(Gulosaurus helmi, holotype); 4—IVPP V4001 (Chaohusaurus geishanensis, holotype); 5—YGM-Y4701 (Chaohusaurus zhangjiawanensis, left); 6—YGM-Y4701 (Chaohusaurus zhangjiawanensis, right); 7—TMP89. 127. 8(Parvinatator wa pitiensis, holotype); 8—YAYG2010V1(Chaohusaurus zhangjiawanensis); 9— WHGMR V26025(Chaohusaurus zhangjiawanensis, paratype); 10—PMU R472(Grippia longirostris); 11—IGPS 95941(Utatsusaurus hataii, holotype, 定, Motani, 1998, reconstruction); 12—IGPS 95941 (Utatsusaurus hataii, holotype, right, Motani, 1998, reconstruction); 13—AGB6265(Sclerocormus parviceps, holotype); 14—AGM-CH-628-19(Chaohusaurus); 15—AGM-CH-628-22(Chaohusaurus); 16—GMPKU-P-3101 (Chaohusaurus); 17—AGM-P45-H85-25 (Chaohusaurus chaoxianensis, holotype, right); 18—AGM-P45-H85-25 (Chaohusaurus chaoxianensis, holotype, right); 18—AGM-P45-H85-25 (Chaohusaurus chaoxianensis, holotype, right); 12—AGM-CH-628-16 (Cartorhynchus lenticarpus, holotype); 22—IVPP V11361(Chaohusaurus); 23—GMPKU—P-3093(Chaohusaurus); 24—AGM-P45-H85-20 (Anhuisaurus faciles, holotype). TYPE A—Carpals ossificate well, carpals, metacarpals and phalanges are closely arranged.; TYPE B—Some carpals are not ossified, and the distance between carpals, metacarpals and phalanges is more obvious. Global paleogeography map courtesy of Ron Blakey (http://www2. nau. edu/rcb7/240moll.jpg). All adjuste to the right forefin in ventral views for better comparison

(Zhang Yuying et al.,2016),另在同属东特提斯区的泰国甲米地区有少量存疑化石报道(Mazin et al.,1991)。据此分析推测,中国的早三叠世鱼龙类有可能存在两个演化方向,即在 EPME(End

Permian Mass Extinction)事件后不久,鱼龙类起源 并分化,一部分前肢未特化、个体相对较大、运动能 力较强的鱼龙类成功实现了跨区交流,另一些前肢 特化、运动能力较弱、不具备跨洋迁徙能力的的鱼龙 类则成为地方性的独立发展分支。

5 结论

新的鱼龙前肢材料近端骨骼形态与 2013 年报 道的 Ch. zhang jiawanensis 基本吻合,并发现于同 样的产地和层位,暂将其归为同种,通过研究,对前 人总结的 Ch. zhang jiawanensis 形态学特征进行了 部分补充,主要包括指骨特征及前肢骨块接触关系。 新材料和之前报道的标本说明湖北早三叠世鱼龙类 较 Ch. chaoxianensis 更大, 与 Utatusasaurus、 Grippia 等大小相近,并且在前肢骨骼形态与组合 方面也十分相像。对比 Ch. chaoxianensis 十分特 化的前肢以及其局限的地理分布特性,推测湖北的 早三叠世鱼龙类以及 Ch. geishanensis 很有可能是 具备较强游泳能力,能够跨区交流的类群, Ch. chaoxianensis 则是游泳能力不强,十分特化的 地方物种。因此, Chaohusaurus 可能并非单系类 群。但由于暂时没有发现新的其他部位化石,用于 讨论 Ch. geishanensis 和 Ch. zhangjiawanensis 以 及其他鱼龙类系统关系材料尚嫌不足,尤其是很关 键的可从不同方位观察的头骨化石对比材料缺乏, 上述初步认识因此还待进一步检验。

致谢:远安县国土资源局、远安地质博物馆曹 阳、孙永新、李佑刚等同志在调查和研究工作中提供 了大力支持和帮助,关岭国家地质公园李刚老师指 导化石修复工作,谨此表示诚挚谢意!同时,感谢审 稿专家提出的修改意见和建议。

References

- Brinkman D B, Zhao Xijin, Nicholls E L. 1992. A primitive ichthyosaur from the Lower Triassic of British Columbia, Canada. Palaeontology, 35: 465~474.
- Chen Liezu. 1985. Ichthyosaurs from the Lower Triassic of Chao County, Anhui. Regional Geology of China, 15: 139~146. (in Chinese).
- Chen Xiaohong, Sander P M, Cheng Long, Wang Xiaofeng. 2013. A new Triassic primitive Ichthyosaur from Yuanan, South China. Acta Geologica Sinica-English Edition, 87 (3): 672 ~677.
- Cheng Long, Yan Chunbo, Chen Xiaohong, Zeng Xiongwei, Motani R. 2015. Characteristics and significance of Nanzhang/Yuanan Fauna, Hubei Province. Geology in China, 42(2): 676~684. (in Chinese with English abstract).
- Cuthbertson R S, Russell A P, Anderson J S. 2013. Cranial morphology and relationships of a newGrippidian (Ichthyopterygia) from the Vega-Phroso Siltstone Member (Lower Triassic) of British Columbia, Canada. Journal of Vertebrate Paleontology, 33(4): 831~847.
- Fu Wanlu, Jiang Dayong, Isabel P, Montañez, Meyers S R, Montani R, Tintori A. 2016. Eccentricity and obliquity paced carbon cycling in the Early Triassic and implications for postextinction ecosystem recovery. Scientific Reports, 6: 27793,

doi: 10.1038/srep27793.

- Ji Cheng, Jiang Dayong, Motani R, Pieppel O, Sun Zuoyu. 2015. Phylogeny of the Ichthyopterygia incorporating recent discoveries from South China. Journal of Vertebrate Paleontology, 36(1): e1025956, doi: 10.1080/02724634.
- Jiang Dayong, Motani R, Huang Jiandong, intori A, Hu Yuanchao, Rieppel O, Nicholas C. Fraser, Ji Cheng, Kelley N P, Fu Wanlu, Zhang Rong. 2016. A large aberrant stem ichthyosauriform indicating early rise and demise of ichthyosauromorphs in the wake of the end-Permian extinction. Sci Rep, 6: 26232, doi: 10.1038/ srep26232.
- Li Jinling, Liu Jun, Li Chun, Huang Zhaoxian. 2002. Tic Horzion and Age of Tic Marine Reptiles From Hubei Province, China. Vertebrata Palasiatica, $40(3): 241 \sim 244$. (in Chinese with English abstract).
- Maisch M W. 2001. Observations on Triassic ichthyosaurs. Part VII. New data on the osteology of *Chaohusaurus geishanensis* Young and Dong, 1972 from the Lower Triassic of Anhui (China). Neues Jahrbuch fur Geologie und Palaontologie, Abhandlungen, 219: $305 \sim 327$.
- Mazin J M, Suteethorn V, Buffetaut E, Jaeger J J, Ingavat R.
 1991. Preliminary description of *Thaisaurus chonglakmanii*n. g., n. sp., a new ichthyopterygian(Reptilia) from the Early Triassic of Thailand. Comptes Rendus de I' Academie des Sciences, Paris, Serie II, 313: 1207~1212.
- McGowan C, Motani R. 2003. Ichthyopterygia. in H.-D. Sues (ed.), Handbook of Paleoherpetology, Part 8. Verlag Dr. Friedrich Pfeil, München, 1~175.
- Motani R, You Hailu, Mcgowan C. 1996. Eel-like swimming in the earliest ichthyosaurs. Nature, 382(6589): 347~348.
- Motani R. 1997. Redescription of the dentition of *Grippia longirostris* (Ichthyosauria) with a comparison with *Utatsusaurus* hataii. Journal of Vertebrate Paleontology, 17 (1): 39-44.
- Motani R, You Hailu. 1998a. Taxonomy and limb ontogeny of Chaohusaurus geishanensis (Ichthyosauria), with a note on the allometric equation. Journal of Vertebrate Paleontology, 18(3): $533 \sim 540$.
- Motani R, You Hailu. 1998b. The forefin of *Chensaurus chaoxianensis* (Ichthyosauria) shows delayed mesopodial ossification. Journal of Paleontology, 72(01): 133~136.
- Motani R, Minoura N, Ando T. 1998c. Ichthyosaurian relationships illuminated by new primitive skeletons from Japan. Nature, 393(6682): 255~257.
- Motani R. 1999. Phylogeny of the Ichthyopterygia. Journal of Vertebrate Paleontology, 19(3): 473~496.
- Motani R. 2005. Evolution of fish-shaped reptiles (Reptilia: Ichthyopterygia) in their physical environments and constraints. Annual Review of Earth & Planetary Sciences, 33(1): 395-420, doi: 10.1146/annurev.earth.33.092203.122707.
- Motani R. 2010. Warm-blooded "sea dragons"?. Science, 328:1361 $\sim\!\!1362.$
- Motani R, Jiang Dayong, Tintori A, Rieppel O, Chen Guanbao. 2014. Terrestrial origin of viviparity in Mesozoic marine reptiles indicated by Early Triassic embryonic fossils. Plos One, 9(2): e88640, doi: 10.1371/journal.pone.0088640.
- Motani R, Jiang Dayong, Chen Guanbao, Tintori A, Rieppel O, Ji Cheng, Huang Jiandong. 2015a. A basal ichthyosauriform with a short snout from the Lower Triassic of China. Nature, 517 (7535): 485~488.
- Motani R, Jiang Dayong, Tintori A, Rieppel O, Chen Guanbao, You Hailu, 2015b. Status of *Chaohusaurus Chaoxianensis* (Chen, 1985). Journal of Vertebrate Paleontology, 35 (1): e892011, doi: 10.1080/02724634.2014.892011.
- Motani R, Jiang Dayong, Rieppel O, Xue Yifan, Tintori A. 2015c. Adult sex ratio, sexual dimorphism and sexual selection in a Mesozoic reptile. Proceedings of the Royal Society B, Biological Sciences, 282(1815), doi: 10.1098/rspb.2015.1658.
- Motani R, Jiang Dayong, Tintori A, Ji Cheng, Huang Jiandong.

2017. Preversus post-mass extinction divergence of Mesozoic marine reptiles dictated by time-scale dependence of evolutionary rates. Proc Biol Sci, 284 (1854), doi: 10. 1098/rspb. 2017.0241.

- Motani R, Huang Jiandong, Jiang Dayong, Tintori A, Rieppel O, You Hailu, Hu Yuanchao, Zhang Rong. 2018. Separating sexual dimorphism from other morphological variation in a specimen complex of fossil marine reptiles (Reptilia, Ichthyosauriformes, *Chaohusaurus*). Scientific Reports, 8(1), doi: 10.1038/s41598-018-33302-4.
- Nicholls E L, Brinkman D B. 1995. A new ichthyosaur from the Triassic of Sulphur Mountain Formation of British Columbia. In Sarjeant W A S(ed.). Vertebrate Fossils and the evolution of scientific concepts, 521~535. Gordon and Breach, Switzerland.
- Romer A S, Parsons T S. 1977. The Vertebrate Body. 5th ed. Saunders, Philadelphia. (6th ed. 1985).
- Shikama T, Kamei T, Murata M. 1978. Early Triassic Ichthyosaurus, Utatsusaurus hataii gen. et sp. nov., from the Kitakami Massif, North-east Japan. Science Reports of the Tohoku University, Sendai, Second Series (Geology), 48: 77~ 97.
- Stone R. 2010. Paleontology. Excavation yields tantalizing hints of earliest marine reptiles. Science, 330(6008):1164~1165.
- Tong Jinan, Chu Daoliang, Liang Lei, Shu Wenchao, Song Haijun, Song Ting. 2018. Triassic integrative stratigraphy and timescale of China. Science China: Earth Sciences, 49(1):194~226. (in Chinese with English abstract).
- Wiman C. 1910. Ichthyosaurier aus der Trias Spitzbergens. Bulletin of the Geological Institution of the University of Uppsala, 10: 124~148.
- Wiman, C. 1929. Eine neue marine Reptilien-Ordnung aus der Trias Spitzbergens. Bulletin of the Geological Institution of the University of Uppsala, 22: 183~196.
- Wiman C. 1933. über Grippia longirostris. Nova Acta Regiae Societatis Scientiarum Upsaliensis, 9:19pp.
- Yang Zhongjian, Dong Zhiming. 1972. Aquatic reptiles from the Triassic of China. Peking: Academia Sinica. (in Chinese).
- Yin Hongfu, Zhang Kexin, Tong Jinnan, Wu Shunbao, Yang Zhunyi. 2001. The Global Stratotype Section and Point (GSSP) of the Permian-Triassic Boundary. China Basic Science, (10):12 ~25. (in Chinese with English abstract).
- Zhang Yuying, Jiang Dayong, He Zhiliang, Gaobo, Liu Zhongbao, Nie Haikuan. 2016. Micreofacies and palaeoenvironment analyses of the middle-upper member of the Nanlintghu

Formation (Lower Triassic), Chaohu, Anhui Province. Journal of Stratigraphy, 40(3): 290 ~ 296. (in Chinese with English abstract).

- Zhang Zhenlai, Meng Fansong. 1987. Biostratigraphy of the Yangtze Gorges Area(4): Triassic and Jurassic. In: Yichang Institute of Geology and Mineral Resources, Chinese Academy of Geology Sciences (ed.), Beijing: Geological Publishing House, 3~90. (in Chinese with English abstract).
- Zhou Min. 2016. Comparison of the forefin of Chaohusaurus and its taxonomy meaning, Early Triassic, Anhui Province. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 52(2):227~ 233. (in Chinese with English abstract).
- Zhou Min, Jiang Dayong, Motani R, et al. 2017. The Cranial Osteology Revealed by Three-Dimensionally Preserved Skulls of the Early Triassic Ichthyosauriform Chaohusaurus chaoxianensis (Reptilia: Ichthyosauromorpha) from Anhui, China. Journal of Vertebrate Paleontology, 37 (4): e1343831, doi: 10.1080/ 02724634.2017.1343831.

参考文献

- 陈烈祖. 1985. 安徽巢县早三叠世鱼龙化石. 中国区域地质, 15: 139~146.
- 程龙, 阎春波, 陈孝红, 曾雄伟, Motani R. 2015. 湖北省南漳/远 安动物群特征及其意义初探. 中国地质, 42(2): 676~684.
- 李锦玲,刘俊,李淳,黄照先. 2002. 湖北三叠纪海生爬行动物的层 位及时代.古脊椎动物学报,40(3);241~244.
- 童金南, 楚道亮, 梁蕾, 舒文超, 宋海军, 宋婷. 2018. 中国三叠纪 综合地层和时间框架. 中国科学:地球科学, 49(1):194~226.
- 杨钟健,董枝明. 1972. 中国三迭纪水生爬行动物.北京:科学出版社.
- 殷鸿福,张克信,童金南,吴顺宝,杨遵义. 2001. 全球二叠系-三叠 系界线层型剖面和点. 中国基础科学,(10):12~25.
- 张钰莹,江大勇,何治亮,高波,刘忠宝,聂海宽.2016.安徽巢湖 下三叠统南陵湖组中上段微相及古环境初探.地层学杂志,40 (3):290~296.
- 地质矿产部宜昌地质矿产研究所,张振来,孟繁松. 1987. 长江三 峡地区 生物地层学(4) 三叠纪 侏罗纪分册. 北京:地质出 版社.
- 周敏. 2016. 安徽早三叠世巢湖龙前肢比较及分类学意义. 北京大 学学报(自然科学版),52(2):227~233.

New forefin specimens and comparison of Early Triassic Ichthyopterygia from the Hubei Province

ZOU Yarui $^{*\,1,2)}$, ZHAO Bi $^{1,2)}$, CHEN Gang $^{1,2)}$, LI Jiangli $^{1,2)}$, CHENG Long $^{2,3)}$,

YAN Chunbo^{2,3)}, TAN Qiuming^{1,2)}

1) Hubei Institute of Geosciences, Wuhan, 430038;

2) Central South China Innovation Center for Geosciences, Wuhan, 430205;

3) Wuhan Center of China Geological Survey, Wuhan, 430205

* Corresponding author: 569007425@qq.com

Abstract

Chaohusaurus geishanensis, an Early Triassic ichthyopterygia found in China, shares similar forefin and skull structures and reveals a systematic relationship to Grippia in Europe. However, further intercomparison was difficult because specimens subsequently discovered in China were either highly specialized in forelimb or incomplete. Here, two nearly complete and non-specialized forelimbs of Chaohusaurus found in the Lower Triassic Jialingjiang Formation in Hubei Province are described with related information on basal ichthyopterygians in China. Morphological comparison reveals that the general features of the Early Triassic Chaohusaurus in the Hubei Province were close to Ch. geishanensis of the same genus, but distinctly different from Ch. chaoxianensis. Its features such as relatively large individual size, intermediate squeezing and deformation and pisiform development shares some similarities with Grippia, Utatsusaurus, Parvinatator and other Early Triassic ichthyopterygians. Based on these results we propose that there were possibly two directions for evolution of the Early Triassic ichthyopterygians. After the end-Permian mass extinction (EPME), ichthyopterygians appeared and soon differentiated during the Olenekian. Some large individuals without specialized forelimbs but with strong motor ability migrated between different regions. However, other small individuals with specialized forelimbs and weak motor ability became a local (eastern Tethys) independently evolving branch. However, the clarification of the phylogenetic relationship between them, and the monophyly of Chaohusaurus needs to be tested by future studies.

Key words: Hubei; Early Triassic; Jialingjiang Formation; Ichthyopterygia; forelimb