

<https://doi.org/10.3799/dqkx.2018.158>



南澜沧江带中三叠世叶肢介化石的发现及形态学研究

罗 亮¹, 王冬兵¹, 楚道亮², 吴庆杰³, 李开成³

1. 中国地质调查局成都地质调查中心, 四川成都 610081

2. 中国地质大学地球科学学院, 湖北武汉 430074

3. 成都理工大学地球科学学院, 四川成都 610059

摘要: 三叠纪火山—沉积岩是南澜沧江带的重要组成部分, 长期缺乏可靠的生物地层学研究。首次报道了该地区忙怀组叶肢介化石, 包括3个种和1个未定种: *Euestheria minuta*、*Euestheria yipinglangensis*、*Euestheria dazhuensis* 和 *Euestheria* sp.。对保存较好的叶肢介个体进行了8个特征参数的测量, 并对叶肢介化石进行了定量和半定量描述。将获得的壳体长度和宽度进行压轴回归(RMA)线性拟合, 发现二者具有明显的线性相关性。简单线性测量数据主成分分析和壳体轮廓傅里叶系数主成分分析结果均表明, *E. minuta*、*E. sp.*、*E. yipinglangensis* 和 *E. dazhuensis* 有较大幅度的种内变化。结合化石组合和同位素测年结果, 认为南澜沧江带忙怀组上部时代已延伸至中三叠世拉丁期。

关键词: 叶肢介化石; 形态分析; 生物地层意义; 忙怀组; 南澜沧江带; 古生物学。

中图分类号: P52

文章编号: 1000-2383(2018)08-2833-15

收稿日期: 2018-03-08

Biostratigraphy and Geometric Morphometrics of Conchostracans from the Middle Triassic in Southern Lancangjiang Zone

Luo Liang¹, Wang Dongbing¹, Chu Daoliang², Wu Qingjie³, Li kaicheng³

1. Chengdu Center of China Geological Survey, Chengdu 610081, China

2. School of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

3. College of Earth Sciences, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China

Abstract: The Triassic volcanic and sedimentary rocks are the important components in the geological records of the southern Lancangjiang zone. However, little is known about the biostratigraphic correlation in this area. In this study, three species and one indeterminate species in one genera of conchostracans were recognized for the first time from the Manghuai Formation of the study area, including *Euestheria minuta*, *Euestheria yipinglangensis*, *Euestheria dazhuensis* and *Euestheria* sp.. For the purpose of the comparison, quantitative and semi-quantitative descriptions of the specimens, we took eight standard linear measurements from each well-preserved specimen. A reduced major axis (RMA) regression line has been fitted to the scatter of carapace length versus carapace height, showing a significant linear correlation between them. In addition, the principal component analysis of the linear measurements and fourier coefficients for the outlines of the conchostracan specimens indicates a great deal of intraspecific variations among these four species. Finally, it is suggested that the upper part of the Manghuai Formation in the southern Lancangjiang zone is the Middle Triassic (Ladinian) depositions according to the fossils assemblage and isotopic dating evidences.

Key words: conchostracans; morphological analysis; biostratigraphic significance; Manghuai Formation; southern Lancangjiang zone; paleontology.

基金项目: 中国地质调查局项目(No. DD20160016).

作者简介: 罗亮(1987—), 男, 工程师, 主要从事地层学、沉积学与微体古生物学研究. ORCID: 0000-0002-4693-1482.

E-mail: lianglgs@126.com

引用格式: 罗亮, 王冬兵, 楚道亮, 等, 2018. 南澜沧江带中三叠世叶肢介化石的发现及形态学研究. 地球科学, 43(8): 2833-2847.

三江构造带位于青藏高原东南缘,是东特提斯构造域的重要组成部分,是由特提斯洋向东俯冲消减、印度与欧亚大陆在新生代从初始碰撞到陆内汇聚形成的复杂构造带,因发生了特征的成岩和成矿事件而受到地质学者们的广泛关注(Dewey *et al.*, 1988; Sengör *et al.*, 1993; Metcalfe, 2009; 冷秋峰等, 2016; 许志琴等, 2016; 王二七, 2017; 张志等, 2017).南澜沧江带位于三江构造带南部,主要由西部的花岗岩带和东部的火山—沉积岩带组成,前人对二者的形成时代、成因机制和构造背景均进行了深入研究(刘昌实等, 1989; 李兴林, 1996; 彭头平等, 2006; 张彩华等, 2006; Peng *et al.*, 2008, 2013; 范蔚茗等, 2009; Hennig *et al.*, 2009; Jian *et al.*, 2009; Wang *et al.*, 2010; 朱维光等, 2011; 孔会磊等, 2012; 王硕, 2012; Dong *et al.*, 2013).然而前人在限定该火山岩的形成时限,多是利用火山岩的锆石 U-Pb 年龄,并未对火山岩上下层位的沉积岩开展生物地层研究(彭头平等, 2006; 王硕等, 2012; 韦城等, 2016),致使该套火山—沉积地层长期缺乏有效的生物地层学证据.研究区内中三叠统忙怀组研究程度不高,不仅缺乏精确的锆石 U-Pb 年代学资料,而且缺乏有效的生物地层学证据,以致其时代归属一直存在争议;1:20 万景谷幅将该套地层定为 T₃ (云南省地质矿产局, 1981. 中华人民共和国 1:20 万景谷幅区域地质调查报告),而 1:25 万临沧幅(云南省地质调查院, 2003. 中华人民共和国 1:25 万临沧县幅区域地质调查报告)将其划归到新建的就康组,时代属早侏罗世.

本次研究对澜沧江南带中部忙怀组出露较好的盆河地区开展了详细地质调查和剖面实测,在忙怀组上部粉砂岩、粉砂质泥岩中首次报道了叶肢介化石.叶肢介化石从泥盆纪开始出现,石炭纪快速发展成为一个非常重要的非海相水生动物群(Jones, 1863).现生叶肢介作为一种小型的节肢动物,个体一般在 2 cm 以下,多数为 2~10 mm,具有几丁质的双瓣壳,并且同一水体中数量较大,这些特点都有利于叶肢介的壳瓣在地质历史时期中保存成为化石(Astrop *et al.*, 2015).叶肢介化石在生物地层学和生物古地理学上的应用潜力巨大,已经被多次证实并且得到广泛应用,如石炭纪与二叠纪(Jones and Chen, 2000; Kozur and Weems, 2010; Scholze and Schneider, 2015; Schneider and Scholze, 2016)、三叠纪(Kozur and Weems, 2010; Morton *et al.*, 2017)、侏罗纪(Shen *et al.*, 2004; 牛绍武等, 2005, 2010; 王思恩和

李罡, 2008; 廖焕宇和黄迪颖, 2014)和白垩纪(李罡等, 2004; 席党鹏等, 2009; 陈丕基, 2012).

然而,叶肢介化石的鉴定一直存在诸多问题,个人主观描述导致大量同种异名的出现,大大阻碍了叶肢介化石在生物地层学上的应用(Kozur and Weems, 2010).这主要是由于化石保存时受到压实作用的影响,给单纯通过壳体形态或壳饰特征来鉴定叶肢介化石带来了巨大困难.在叶肢介化石鉴定上笔者采用 Scholze and Schneider(2015)提出的定量和半定量的描述术语,旨在利用统一的标准来度量描述所得的化石材料,从而减小主观描述对鉴定结果的影响.研究区忙怀组叶肢介化石的发现为其时代的确定提供了生物地层学证据,同时笔者将叶肢介化石的轮廓几何形态数据与简单线性测量数据相结合,为叶肢介化石的鉴定与分类学研究提供新思路.

1 区域地质背景及剖面概况

南澜沧江构造带位于青藏高原东南缘,西侧以临沧复式花岗岩体与昌宁—孟连结合带分开,东侧以澜沧江逆冲断层带与兰坪—思茅地块为界,主体由临沧花岗岩和火山—沉积岩系组成(图 1a, 1b).多数研究者认为临沧花岗岩岩性主要为(似斑状)黑云母二长花岗岩,其次为黑云母花岗闪长岩、英云闪长岩,具有 S 型花岗岩特征,侵位时代为 210~230 Ma,形成于同碰撞或碰撞后伸展环境(刘昌实等, 1989; 彭头平, 2006; Hennig *et al.*, 2009; Dong *et al.*, 2013; Peng *et al.*, 2013).

南澜沧江带火山岩分布于临沧岩体东缘,起于云县以北经中部临沧、景谷向南至景洪一带,呈狭长带状分布(图 1a).带内火山岩主体时代为中—晚三叠世,仅有少部分石炭纪—二叠纪火山岩出露于酒房断裂以东的大凹子和龙洞河一带.中—晚三叠世火山岩自下向上依次分为忙怀组、小定西组和芒汇河组(王硕等, 2012; 韦诚等, 2016).由于区域上该套火山—沉积岩系岩性变化较大,其所含火山岩类型和厚度、碎屑岩夹层数和厚度以及露头的风化和出露情况差异明显,使得该套地层的区域划分和对比存在诸多问题.本次研究系建立在 1:5 万填图工作的基础之上,选取南澜沧江带内前人研究程度不高、且在地层划分与对比方面存在争议的中部地区(临沧、景谷地区)为研究区,东部为兰坪—思茅盆地的侏罗纪—白垩纪红层沉积,主要包括中侏罗统花开

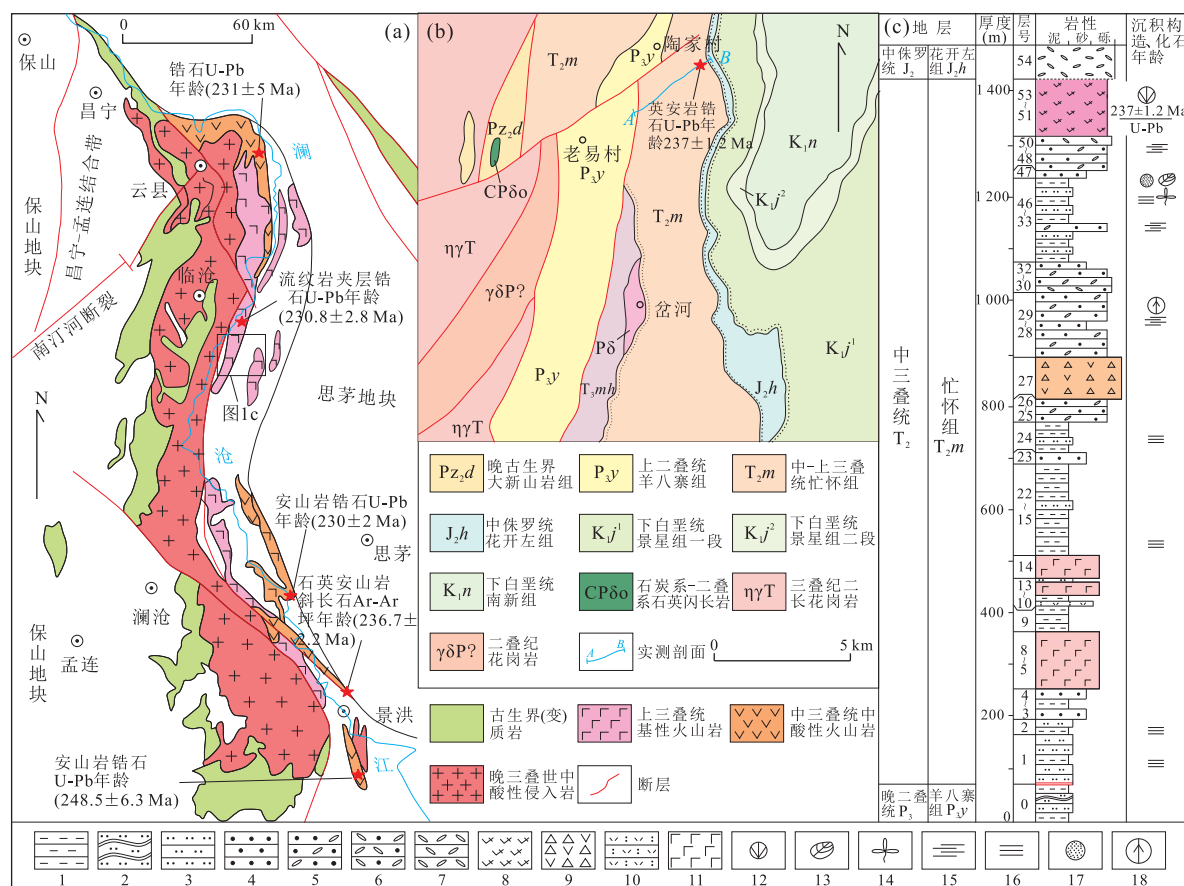


图1 南澜沧江带区域地质简图

Fig.1 Simplified geological map for the southern Lancangjiang zone

图a为南澜沧江带三叠纪岩浆岩分布,据Wang *et al.* (2010)修改;图b为研究区地质简图及剖面位置;图c为陶家村剖面柱状图。图a中231±5 Ma年龄据彭头平等(2006);230.8±2.8 Ma年龄据韦诚等(2016);236.7±2.2 Ma年龄据王硕等(2012);248.5±6.3 Ma年龄据Peng *et al.* (2008);230±2 Ma年龄据Peng *et al.* (2013)。1.泥岩;2.粉砂质板岩;3.粉砂岩;4.砂岩;5.含砾砂岩;6.砂质砾岩;7.砾岩;8.英安岩;9.火山角砾岩;10.凝灰岩;11.玄武岩;12.同位素年龄;13.叶肢介化石;14.植物化石;15.水平层理;16.平行层理;17.雨痕;18.正粒序层理

左组、下白垩统景星组 and 南星组,为一套粗—细粒碎屑岩沉积。西部从老到新依次出露上二叠统羊八寨组、上三叠统芒汇河组以及临沧复式岩体(图1b)。

笔者在景谷县永平镇边江公路上测制了陶家村剖面(PM301;图1b, 1c),该剖面总厚度为1498 m,其中忙怀组厚度为1455 m,下部与羊八寨组呈断层接触,上部与花开左组呈平行不整合接触。忙怀组自下向上共分为53层,中下部(1~24层)为细碎屑岩夹火山碎屑岩,泥岩和粉砂岩中发育水平层理。中上部(25~53层)为粗碎屑岩夹细碎屑岩、火山岩角砾岩和英安岩,砂岩和含砾砂岩中发育平行层理和正粒序层理。在43层的灰绿色薄层粉砂岩、粉砂质泥岩中采获大量叶肢介化石。在53层英安岩中获得锆石U-Pb LA-ICP-MS加权平均年龄为237±1.2 Ma。本文报道的叶肢介化石都采集自剖面的第43层,保存好且数量多,并伴生有植物碎屑和介形虫化石等。

2 材料和方法

2.1 化石材料

笔者在测区开展1:5万地质调查时,在详实的野外路线地质调查和剖面实测基础上,首次在南澜沧江带忙怀组内发现了丰富的中三叠世叶肢介化石。第43层内叶肢介化石丰度非常高,保存较为完整。大部分化石保存为印模,仅个别化石还保存了原始的几丁质成分。本次工作采集了100余块化石标本,鉴定出*Euestheria dazuensis*、*Euestheria* sp.、*Euestheria yipinglangensis*和*Euestheria minuta*,共计3个种和1个未定种。

2.2 线性数据测量

目前对叶肢介化石的形态描述大都是对其壳体的形状、大小、生长线数量以及纹饰类型的定性描述,往往都受到主观观察结果的影响。本研究利用

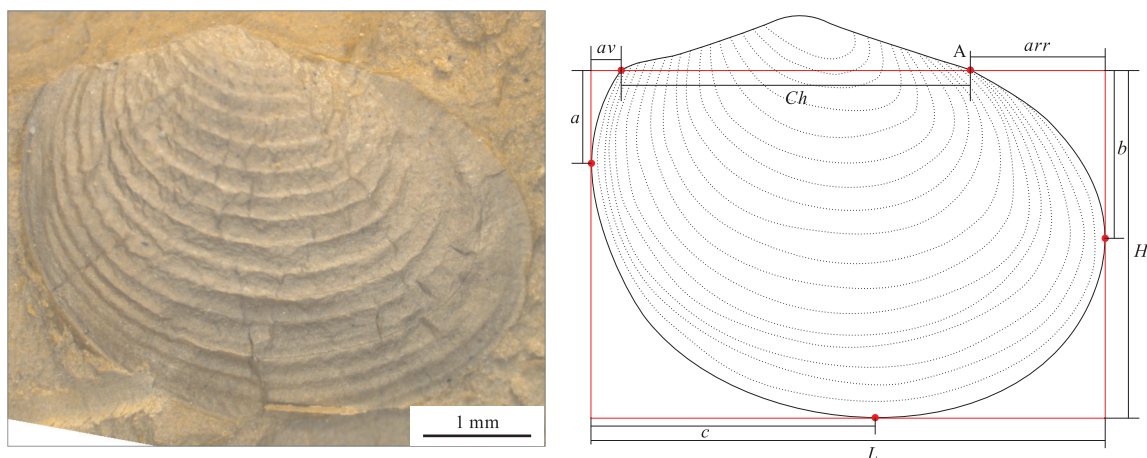


图 2 叶肢介化石线性数据测量示意图

Fig.2 The schematic diagram of linear data measurements of the conchostracans

据 Scholze and Schneider (2015), Hethke *et al.* (2016) 修改。 L . 标本的总长, 取最前缘和最后缘点之间的直线距离; H . 高度, 是腹缘最下部点到背缘前后端点水平连线之间的垂直距离; arr . 背缘最后端点到后缘最大弯曲点的切线的垂直距离; av . 背缘前端点到前缘切线的垂直距离; a . 壳体前缘最大弯曲点到背缘前后端点水平连线间的直线距离; b . 壳体后缘最大弯曲点到背缘前后端点水平连线间的直线距离; c . 腹缘最大弯曲点到前缘最大弯曲点切线之间的垂直距离; Ch . 背缘的长度

Scholze and Schneider (2015) 报道的对叶肢介化石壳体形态的定量和半定量数据化测量方法, 尽可能多地获得叶肢介壳体的形态指标数据, 包括长度 (L)、高度 (H)、背缘的长度 (Ch)、弯曲参数 (a, b, c, av, arr) 等 (图 2), 最后计算 H/L 、 Ch/L 、 av/a 、 arr/b 比值。

2.3 几何形态分析

由于叶肢介壳体没有足够的遗传学上同源点作为固定鉴定标志, 为了更好地从统计学上对比壳体的详细信息, 笔者选择壳体的整体轮廓来进行叶肢介化石的形态分析, 即轮廓法。利用数字化软件 tpsDig2 (Rohlf, 2016) 将其轮廓转换为 1 500 个相对应的二维坐标 (X, Y), 得到这些数据的傅里叶级数, 并对傅里叶级数进行统计分析。利用化石统计学软件 PAST 对数据进行主成分分析 (PCA), 从而得出数据之间的远近和大致的分组关系。所有化石轮廓的起始位置统一使用背缘的最末端 (图 2 中的 A 点)。

3 结果

3.1 化石组成

笔者共采集 200 余块叶肢介化石, 包括 *Euestheria minuta*、*Euestheria yipinglangensis*、*Euestheria dazuensis* 和 *Euestheria sp.*, 其中 *E. dazuensis* 具相对优势, 占总数的 43%; *E. yipinglangensis* 和 *E. sp.* 相差不大, 各占 27% 和 30%; *E. minuta* 数

量则相对较少, 占 13%。壳体形态上, *E. yipinglangensis* 明显偏圆, H/L 值较大; *E. dazuensis* 则发育典型的后背角; *E. sp.* 的前缘弯曲强度明显比另两者大。总体上该叶肢介化石组合丰度较高, 分异度低, 保存较好, 个体差异较大, 最大的壳长达 7.7 cm, 最小的约 2.7 cm, 总体偏大 (基本大于 5 mm)。叶肢介壳体保存较为完整, 表明其未经搬运、原地埋藏, 沉积环境水体较安静。

3.2 简单线性数据测量

笔者分别对保存较好的 14 个 *Euestheria sp.*、11 个 *Euestheria yipinglangensis*、15 个 *Euestheria dazuensis*、6 个 *E. minuta* 以及 10 个英国的 *E. minuta* 标本进行了图 2 所示的数据测量。将 *E. minuta*、*E. sp.*、*E. yipinglangensis*、*E. dazuensis* 壳体的长和高进行压轴回归方法 (RMA) 线性拟合, 笔者发现 *E. yipinglangensis* 长和高的相关性最强, 相关系数为 0.89 (图 3b); *E. sp.* 长和高的相关系数为 0.85 (图 3a); *E. dazuensis* 壳体长和高的相关性相对最差, 相关系数仅为 0.80 (图 3c)。英国的 *E. minuta* 壳体长和高的相关性明显较本文获得的 *E. minuta* 强, 表现为更集中分布在拟合线两侧 (图 3d), 总体上 *E. minuta* 的长和高相关性较强, 相关系数为 0.86。综上所述, 本次发现的叶肢介化石壳体长和高有明显的线性相关性 (图 3), 在使用最小二乘法回归时, 仅有少数点落到 95% 的置信区间外。

通过线性数据测量, 笔者发现叶肢介化石种内存在着较大变化, 最大变化体现在参数 av 和 arr ,

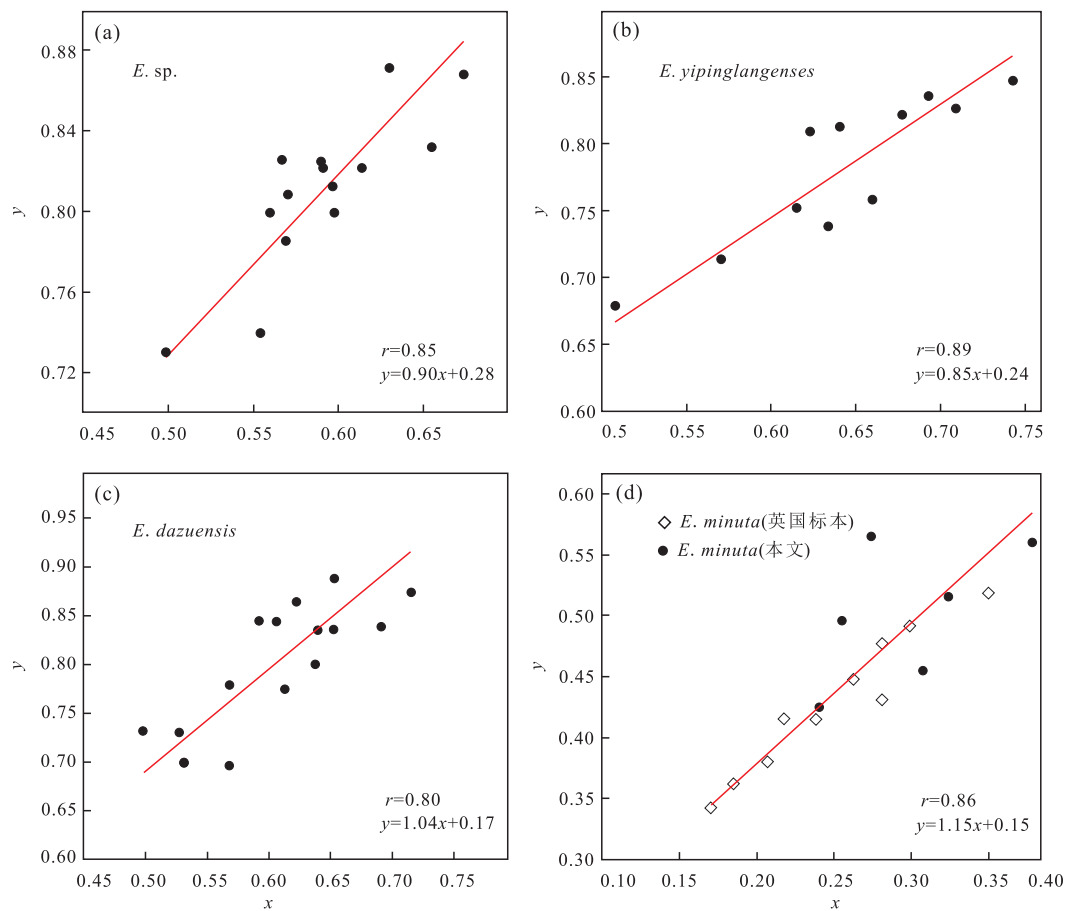


图 3 叶肢介化石壳体长与高线性拟合图

Fig.3 Linear fit map of length and width of conchostracans

图中 $x = \lg H, y = \lg L$

表 1 南澜沧江带忙怀组叶肢介化石简单线性测量数据的平均值和标准差

Table 1 Mean and standard deviation for linear measurements of conchostracans from Manghuai Formation in the southern Lancangjiang zone

平均值	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>arr</i>	<i>av</i>	<i>Ch</i>	<i>H</i>	<i>L</i>	<i>H/L</i>	<i>Ch/L</i>	<i>av/a</i>	<i>arr/b</i>
<i>Euestheria</i> sp.	1.57	2.09	3.24	2.45	1.39	2.65	3.91	6.48	0.61	0.41	0.88	1.17
<i>Euestheria yipinglangensis</i>	1.70	2.18	2.86	1.96	1.11	2.91	4.36	5.98	0.73	0.49	0.64	0.91
<i>Euestheria dazuensis</i>	1.53	2.06	3.40	2.04	0.90	3.46	4.09	6.40	0.64	0.54	0.58	1.02
<i>Euestheria minuta</i>	0.72	0.99	1.58	0.91	0.37	1.92	1.99	3.20	0.62	0.60	0.38	0.93
<i>Euestheria minuta</i> (英国)	0.69	0.90	1.48	0.78	0.38	1.54	1.79	2.70	0.66	0.57	0.43	0.88
标准差	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>arr</i>	<i>av</i>	<i>Ch</i>	<i>H</i>	<i>L</i>	<i>H/L</i>	<i>Ch/L</i>	<i>av/a</i>	<i>arr/b</i>
<i>Euestheria minuta</i>	0.24	0.21	0.28	0.44	0.45	0.55	0.40	0.58	0.03	0.09	0.24	0.17
<i>Euestheria</i> sp.	0.47	0.39	0.34	0.46	0.39	0.62	0.68	0.80	0.05	0.10	0.13	0.16
<i>Euestheria franconica</i>	0.29	0.45	0.49	0.42	0.38	0.70	0.57	0.91	0.06	0.08	0.17	0.27
<i>Euestheria minuta</i>	0.17	0.14	0.21	0.26	0.09	0.38	0.24	0.41	0.07	0.08	0.09	0.23
<i>Euestheria minuta</i> (英国)	0.10	0.11	0.26	0.15	0.09	0.34	0.23	0.36	0.02	0.07	0.14	0.19

壳体的长度和高度变化相对较小.不论是英国的还是本文获得的 *Euestheria mimuta* 壳体长和高明显小于 *Euestheria yipinglangensis*、*Euestheria* sp.和 *Euestheria dazuensis*,本文获得的 *E.mimuta* 长度仅为 3.20 mm,较英国标本长(2.70 mm;表 1).

Euestheria yipinglangensis 壳体长度小于 *Euestheria* sp.和 *Euestheria dazuensis*,但高度却明显偏大(表 1),说明 *Euestheria yipinglangensis* 壳体形状偏圆.*Euestheria yipinglangensis*、*Euestheria* sp.和 *Euestheria dazuensis* 后缘弯曲度明显大于前

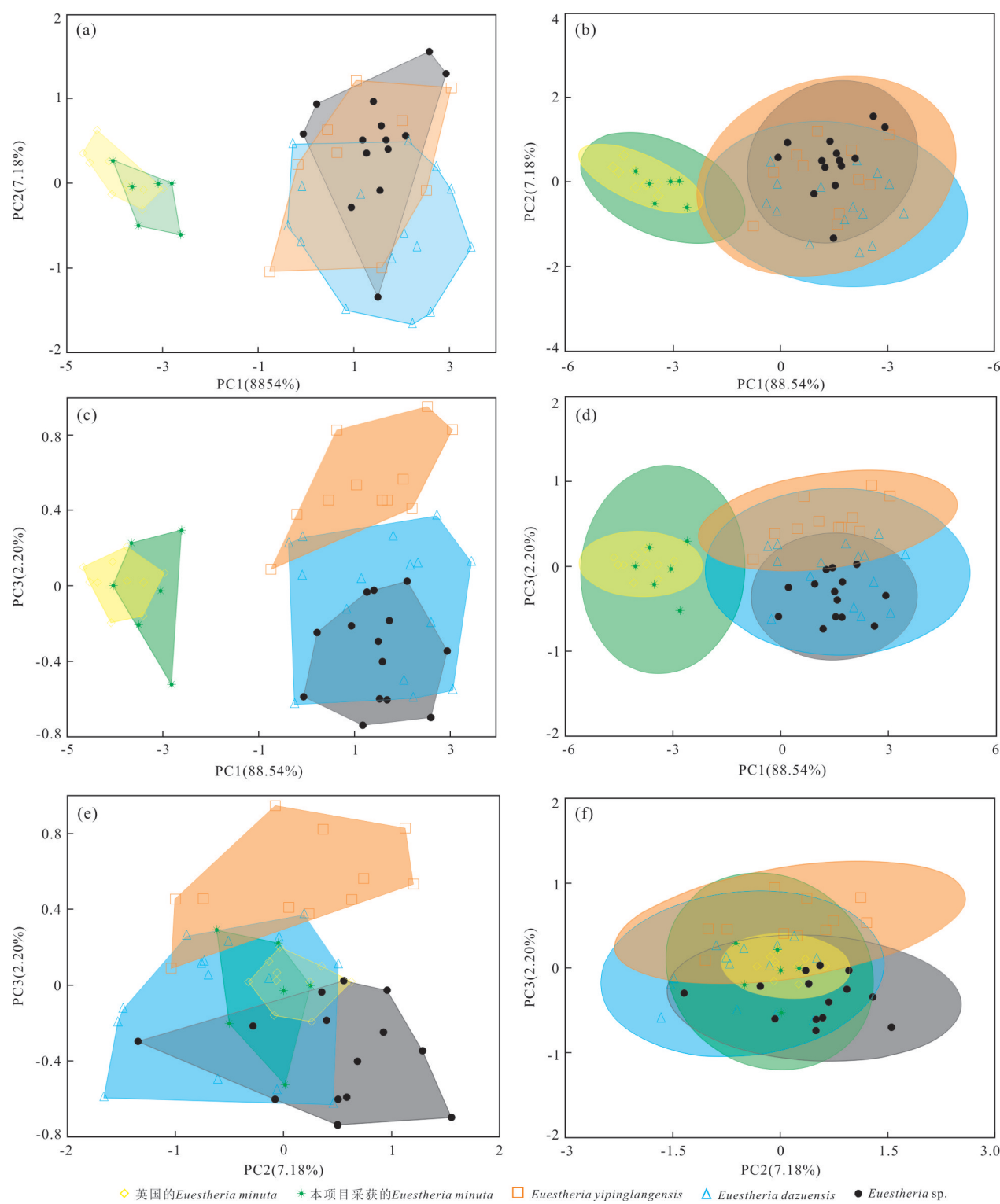


图 4 壳体线性测量数据的主成分分析

Fig.4 Principal components analysis of linear measurement data for the conchostracans

缘,其中 *Euestheria yipinglangensis* 后缘弯曲强度稍弱.前缘的弯曲强度从 *Euestheria dazuensis*、*Euestheria yipinglangensis* 到 *Euestheria sp.*依次增强,*Euestheria dazuensis* 的 *L*、*b*、*c*、*Ch*、*arr/b* 等值变化均较大,在处理时应尤为注意,可能是由于保

存不好导致背缘前后端点的定位不准造成的.

笔者将英国的 *Euestheria minuta* 和本文采获的 *Euestheria minuta*、*Euestheria sp.*、*Euestheria yipinglangensis*、*Euestheria dazuensis* 共计 57 组测量数据进行了主成分分析(图 4),每组包括 *a*、*b*、

c、av、arr、Ch、H、L 八个数据,结果显示:(1)前 3 个主成分分别为 PC1(88.54%)、PC2(7.18%)、PC3(2.20%),总占比达 97.92%。(2)PC1 和 PC2 的主成分分析结果(图 4a,4b)显示,本文采获的和英国的 *Euestheria minuta* 标本与其他种的标本占据了完全不同的位置,位于左侧;本文采获的 *Euestheria minuta* 标本 95% 的置信椭圆将英国的完全覆盖(图 4b),表明本文采获的 *Euestheria minuta* 具有更大的种内变化量。*E. sp.*、*E. yipinglangensis*、*E. dazhuensis* 有大量的重叠区域,标绘了 95% 置信椭圆的图 4b 表明三者较为相似,*E. sp.* 更是被 *E. yipinglangensis* 的 95% 置信椭圆覆盖,然而 *E. sp.* 和 *E. dazhuensis* 的 95% 置信椭圆部分重叠,表明 PC1 对其有一定区分作用。(3)PC1 和 PC3 的主成分分析结果(图 4c)和标明了 95% 置信椭圆的图 4d 展示出了类似的规律,本文的和英国的 *Euestheria minuta* 标本能够与另外 3 个种的标本显著区分,同时 *E. sp.* 与 *E. yipinglangensis* 区分明显,*E. sp.* 占据的位置明显在 *E. yipanglangensis* 之下。*E. sp.* 占据的位置较小,其 95% 置信椭圆更是包裹于 *E. dazhuensis* 之内,表明在 PC1 和 PC3 代表变量范围内,*E. dazhuensis* 的变化量大于 *E. sp.*。(4)PC2 和 PC3 的主成分分析结果(图 4e,4f)显示出与 PC1 和 PC3 相似的规律。*E. sp.* 占据的位置明显在

E. yipanglangensis 之下,区分为两群。虽然 *E. dazhuensis* 分别与 *E. sp.* 和 *E. yipinglangensis* 占据的位置部分重叠,但是 *E. dazhuensis* 的 95% 置信椭圆明显位于后两者的左侧。*Euestheria minuta* 主要位于 *E. yipanglangensis* 和 *E. sp.* 之间,与 *E. dazhuensis* 有大部分重叠。

3.3 几何形态分析

线性测量数据的主成分分析能够较好地地将 *Euestheria minuta* 与其他 3 个种区分,为了更好地从统计学上对比其他 3 个种的壳体详细信息,笔者将 *Euestheria sp.*、*Euestheria yipinglangensis*、*Euestheria dazhuensis* 进行壳体轮廓傅里叶系数主成分分析(PCA)。笔者重点关注前面 3 个主成分,分别为 PC1=65.99%、PC2=12.34%、PC3=3.91%,合计覆盖的变化量达 82.24%。图 5a 显示 *E. sp.* 明显位于 *E. yipinglangensis* 和 *E. dazhuensis* 之下,尤其与 *E. dazhuensis* 差别较大,而 *E. yipinglangensis* 与 *E. dazhuensis* 有大量的交集。*E. sp.*、*E. yipinglangensis*、*E. dazhuensis* 的 95% 置信椭圆有部分重叠(图 5b),但是 *E. sp.* 明显位于 *E. dazhuensis* 之下。

图 5c 显示,*E. sp.*、*E. yipinglangensis*、*E. dazhuensis* 三者之间均有相当大的重叠。95% 置信椭圆也显示出近乎相同的结果,*E. dazhuensis* 的 95% 置信椭圆与 *E. sp.* 和 *E. yipinglangensis* 有部分重叠,

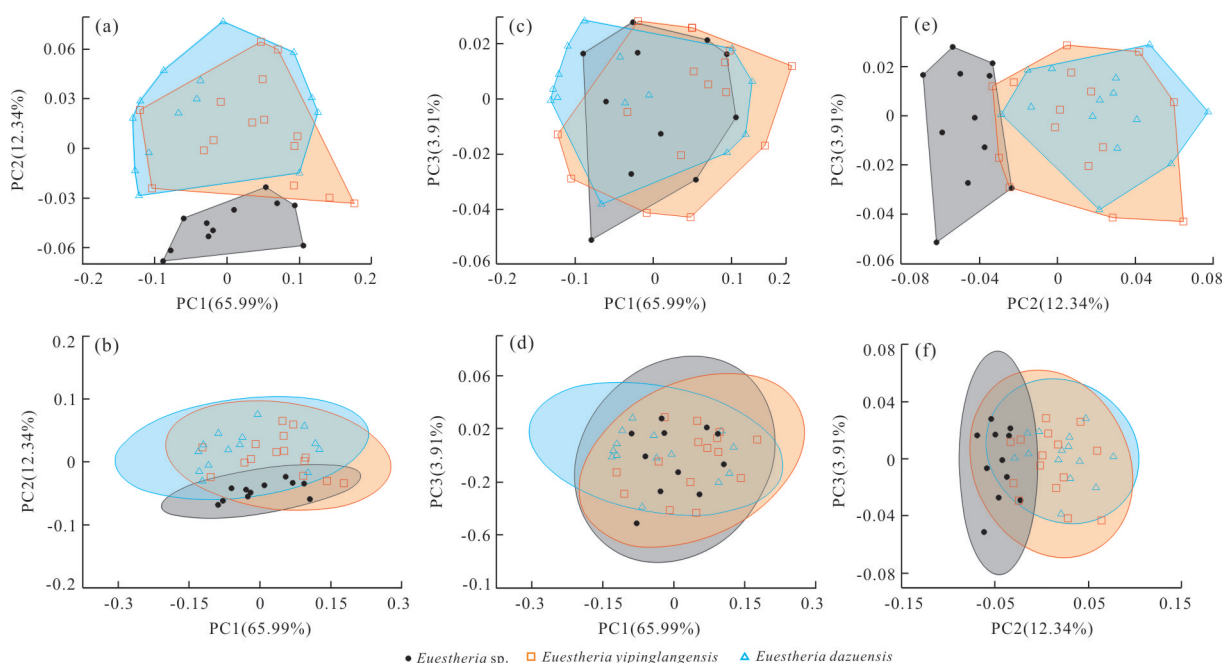


图 5 *E. sp.*、*E. yipinglangensis* 和 *E. dazhuensis* 轮廓傅里叶系数的主成分分析

Fig.5 Principal components analysis of Fourier coefficients for carapace profile, comparison of the three groups (*E. sp.*, *E. yipinglangensis* and *E. dazhuensis*)

但稍靠左(图 5d)。图 5e 的规律与图 5a 相似, *E.sp.* 位于左侧, 明显区别于 *E.yipinglangensis* 和 *E.dazuensis*, *E.yipinglangensis* 和 *E.dazuensis* 有大部分重叠。95% 置信椭圆显示出相似的规律(图 5f), *E.sp.* 明显位于 *E.yipinglangensis* 和 *E.dazuensis* 左侧, 易于区分。

3.4 叶肢介化石系统描述

叶肢介化石在保存时受到压实作用而变形时有发生以及种内个体之间本身存在差异, 导致了部分同种异名的出现。Scholze and Schneider (2015) 提出了系列定量—半定量的叶肢介描述术语, 并进行了明确定义, 大量客观、可重复的测量数据和描述使叶肢介化石的鉴定和分类更加清晰。笔者进行了数据测量(图 2), 并对鉴定结果进行了详细描述, 采用 Martin and Davie (2001) 提出的系统分类方案。本文

所采获的化石标本均保存在中国地质调查局成都地质调查中心。

Class Branchiopoda Latreille, 1817

Order Diplostraca Gerstaecker, 1866

Suborder Spinicaudata Linder, 1945

Superfamily Eosestherioidea Zhang and Chen, 1976

Family Euestheriidae Defretin-Lefranc, 1965

Genus Euestheria Depéret and Mazeran, 1912

Type species: *Posidonia minuta* von Zieten, 1833

***Euestheria minuta* von Zieten, 1833**

(图 6a~6f)

1833 *Posidonia minuta*, von Zieten, P.72, Pl.5, Fig.5

1862 *Estheria minuta* Alberti sp., Jones, P.42—57, Pl.1, Figs.28—29

1912 *Estheria (Euestheria) minuta*, Depéret and Mazeran, P.169—173

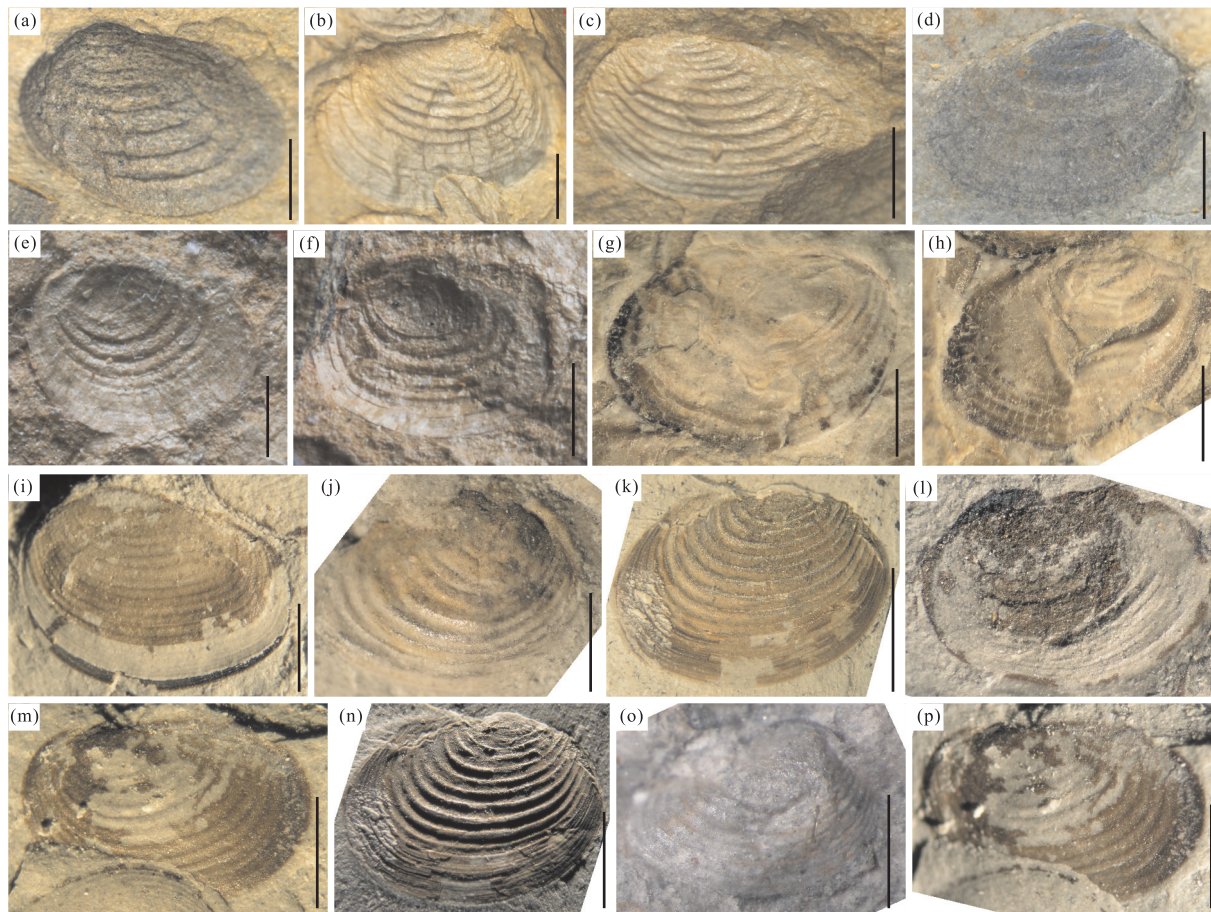


图 6 南澜沧江带中三叠统忙怀组 *Euestheria minuta* (a~f) 和英国的 *Euestheria minuta* (g~p)

Fig.6 *Euestheria minuta* from the Middle Triassic Manghuai Formation, southern Lanchangjiang zone (a—f) and United Kingdom (g—p)

a.左瓣印模, 标本号 PM301-49-1; b.右瓣印模, 标本号 PM301-56-1; c.左瓣印模, 标本号 PM301-56-3; d.右瓣印模, 标本号 PM301-58-5; e.左瓣印模, 标本号 PM301-63-1; f.左瓣印模, 标本号 PM301-63-2; g~h.右瓣印模; i.左瓣印模; j~k.右瓣; l~m.左瓣; n.右瓣; o.右瓣外模; p.左瓣。图中比例尺均为 1 mm

1955 *Euestheria minuta* von Zieten, Kobayashi, P.54, 97, 131

1987 *Cyzicus (Euestheria) minuta* von Zieten, Tasch, P.67, Pl.11, Fig.7

1974 *Euestheria minuta* von Zieten, 西南地区地层古生物图册, 318 页, 图版 170, 图 4~5

1976 *Euestheria minuta* von Zieten, 张文堂等, 120 页, 图版 16, 图 12~16, 图版 17, 图 4~10

描述 *Euestheria minuta* 壳体小到中等($L = 3.20\text{ mm}$, $H = 1.99\text{ mm}$), 椭圆形($H/L = 0.62$), 背缘短且较弯曲($Ch/L = 0.60$); 壳顶靠前部(水平方向), 壳顶略突出于背缘(垂直方向). 生长线为 13~22 条, 前缘大幅弯曲($av/a = 0.38$), 后缘强烈弯曲($arr/b = 0.93$), 后缘较前缘弯曲强烈.

讨论 Morton *et al.* (2017) 指出 *Euestheria minuta* 种内线性测量数据具有较大变化, 主要体现在 av 、 arr 、 H 、 L 等参数上. *E. brodieana* 与 *E. minuta* 非常相似(Jones, 1863), *E. brodieana* 似乎以壳体更小、生长带之间有大量网格的特征与 *E. minuta* 相区别.

产地及层位 本研究中该种出现在南澜沧江带陶家村剖面忙怀组上部. 该种也出现在四川上三叠统须家河组、云南上三叠统一平浪组(张文堂等, 1976)、芬迪盆地 Wolfville 组下部(Kozur and Weems, 2010)、澳大利亚西部雷德布拉夫下三叠统(Tasch, 1987)、阿根廷门多萨和圣胡安拉丁期上部(Gallego, 1992).

Euestheria dazhuensis Chen, 1974

(图 7a~7i)

1974 *Euestheria dazhuensis* Chen, 西南地区地层古生物手册, 318 页, 图版 170, 图 6

1976 *Euestheria dazhuensis* Chen, 张文堂等, 120 页, 图版 19, 图 12~15

描述 *Euestheria dazhuensis* 壳体非常大($L = 6.40\text{ mm}$, $H = 4.09\text{ mm}$), 椭圆形($H/L = 0.64$), 背缘平直且短($Ch/L = 0.54$); 壳顶位于前部(水平方向), 壳顶突出于背缘(垂直方向). 生长线为 20~38 条, 前缘大幅到强烈弯曲($av/a = 0.58$), 后缘强烈弯曲($arr/b = 1.02$), 后缘较前缘弯曲强烈, 后缘与背

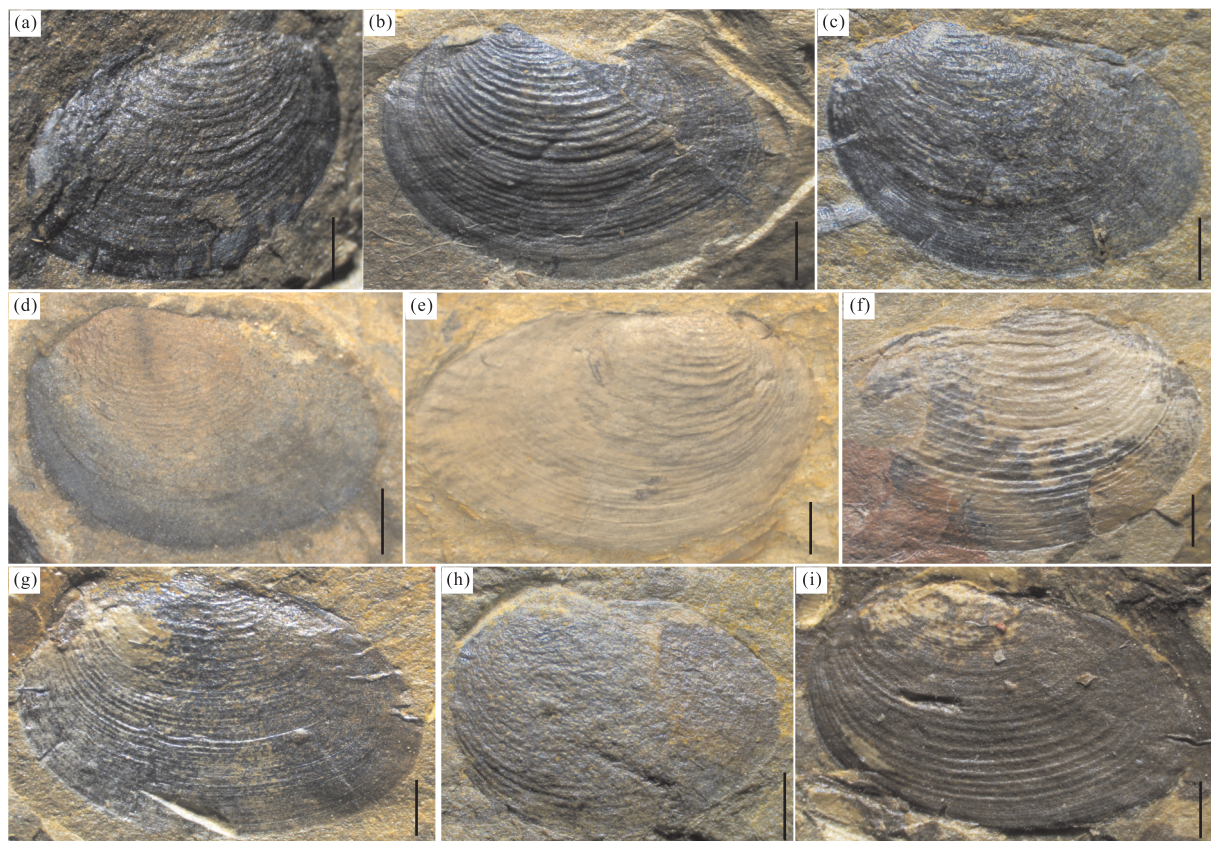


图 7 南澜沧江带中三叠统忙怀组 *Euestheria dazhuensis*

Fig.7 *Euestheria dazhuensis* from the Middle Triassic Manghuai Formation, southern Lanchangjiang zone

a. 右瓣, 标本号 PM301-1; b. 左瓣, 标本号 PM301-3-2; c. 左瓣, 标本号 PM301-18-3; d. 左瓣外模, 标本号 PM301-39; e. 右瓣外模, 标本号 PM301-36-1; f. 右瓣, 标本号 PM301-3-3; g. 左瓣, 标本号 PM301-7-1; h. 左瓣, 标本号 PM301-14-3; i. 左瓣, 标本号 PM301-10. 图中比例尺均为 1 mm

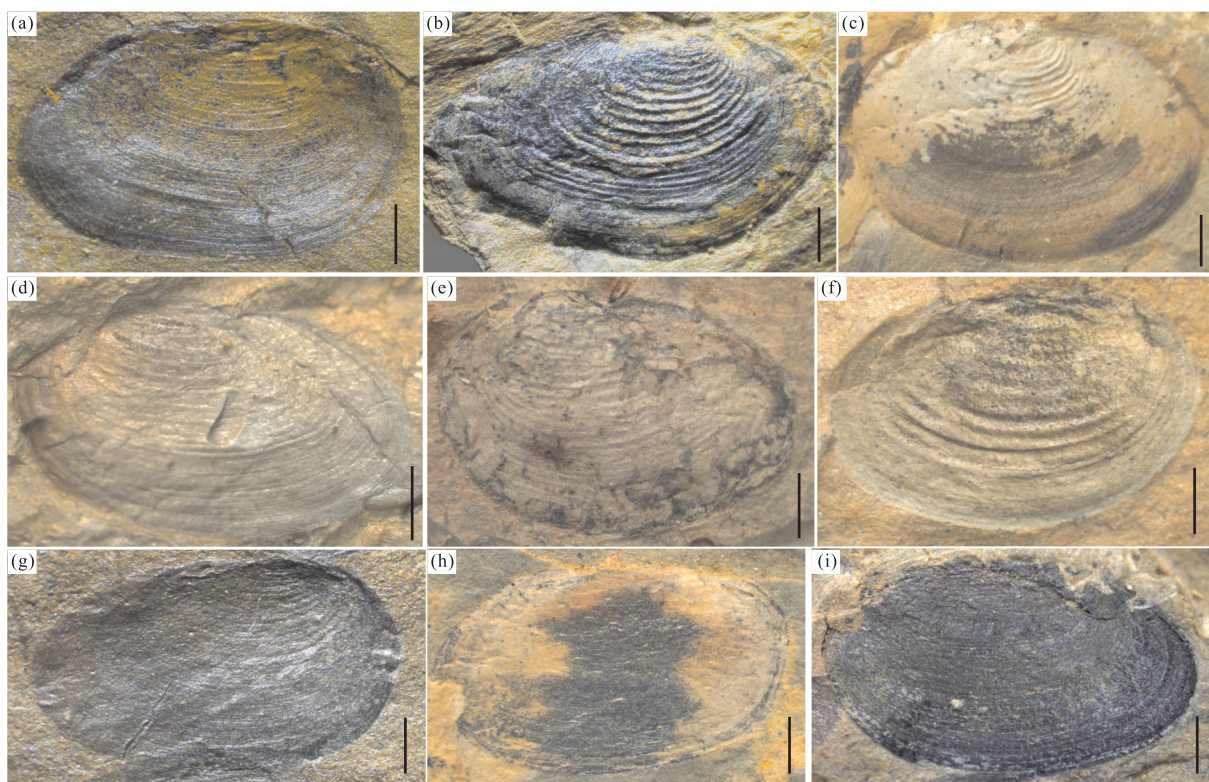


图 8 南澜沧江带中三叠统忙怀组 *Euestheria* sp.

Fig.8 *Euestheria* sp. from the Middle Triassic Manghuai Formation, southern Lanchangjiang zone

a.左瓣,标本号 PM301-19;b.右瓣,标本号 PM301-18-2;c.左瓣外模,标本号 PM301-30;d.左瓣印模,标本号 PM301-56-2;e.左瓣印模,标本号 PM301-43;f.左瓣印模,标本号 PM301-55;g.左瓣外模,标本号 301-7-7;h.右瓣印模,标本号 PM301-38-1;i.左瓣外模,标本号 PM301-42-1.图中比例尺均为 1 mm

缘形成明显后背角。

讨论 *E.dazuensis* 与 *E.minuta* 最大区别是前者壳瓣大,尤其是生长线明显较多。

产地及层位 本研究中该种出现在南澜沧江带陶家村剖面忙怀组上部。该种也出现在四川威远须家河组、云南禄丰一平浪组(张文堂等,1976)。

Euestheria sp.

(图 8a~8i)

描述 *Euestheria* sp. 壳体非常大 ($L = 6.48$ mm, $H = 3.91$ mm),长椭圆形—椭圆形 ($H/L = 0.61$),背缘弯曲且非常短 ($Ch/L = 0.41$);壳顶靠中部(水平方向),壳顶低于背缘(垂直方向)。生长线为 15~28 条,前缘强烈弯曲 ($av/a = 0.88$),后缘强烈弯曲 ($arr/b = 1.17$),腹缘轻微弯曲。

讨论 *Euestheria* sp. 与 *E.dazuensis* 相比壳瓣尺寸相差不大,但前者前缘弯曲明显较强烈,前后高近乎相等。

产地及层位 南澜沧江带陶家村剖面忙怀组上部。

Euestheria yipinglangensis Chen, 1974

(图 9a~9i)

1974 *Euestheria yipinglangensis* Chen, 西南地区地层古生物手册, 319 页, 图版 170, 图 3

1976 *Euestheria yipinglangensis* Chen, 张文堂等, 121 页, 图版 19, 图 8~11

描述 *Euestheria yipinglangensis* 壳体非常大 ($L = 5.98$ mm, $H = 4.36$ mm),椭圆—近圆形 ($H/L = 0.73$),背缘较平直且非常短 ($Ch/L = 0.49$);壳顶靠中部(水平方向),壳顶突出于背缘(垂直方向)。生长线为 30~43 条,前缘强烈弯曲 ($av/a = 0.64$),后缘也强烈弯曲 ($arr/b = 0.91$) 且较前缘弯曲强烈。

讨论 本次获得的标本壳体多呈圆形,与 *Euestheria dazuensis* 和 *Euestheria* sp. 不同。

产地及层位 本研究中该种出现在南澜沧江带陶家村剖面忙怀组上部。该种也出现在云南祥云、禄丰一平浪组和祥云组,四川会理益门、峨眉荷叶湾、合川炭坝白果湾组和须家河组(张文堂等,1976)。

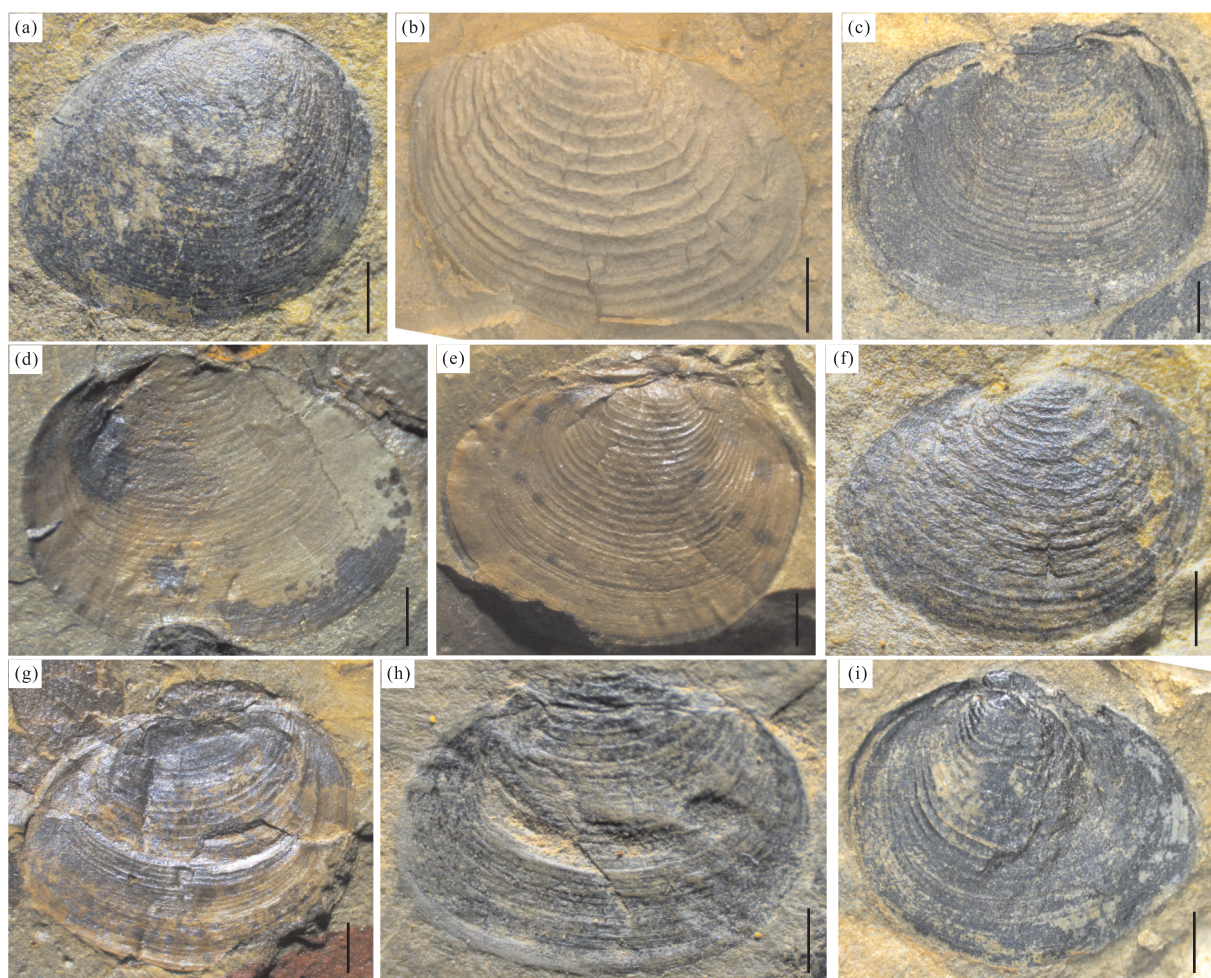


图 9 南澜沧江带中三叠统忙怀组 *Euestheria yipinglangensis*

Fig.9 *Euestheria yipinglangensis* from the Middle Triassic Manghuai Formation, southern Lanchangjiang zone

a.右瓣,标本号 PM301-14-1;b.左瓣印模,标本编号 PM301-32;c.左瓣,标本号 PM301-52;d.右瓣印模,标本号 PM301-7-6;e.右瓣印模,标本号 PM301-12;f.右瓣外模,标本号 PM301-14-2;g.左瓣,标本号 PM301-7-5;h.左瓣印模,标本号 PM301-2-2;i.左瓣,标本号 PM301-52.图中比例尺均为 1 mm

4 讨论

4.1 叶肢介化石的鉴定依据

在生物地层学尤其是三叠纪陆相地层中,叶肢介化石是最实用且最有效的化石之一,其属种的准确鉴定是其发挥巨大生物地层学和古地理学作用的基础.笔者发现利用壳体的线性测量数据进行叶肢介化石属种的鉴定具有一定的效果.在 PC1 与 PC2、PC1 与 PC3 关系图中,本文的和英国的 *E.minuta* 标本明显位于其他种左侧,本文采集的 *E.minuta* 的 95% 置信椭圆较英国标本大,且将其包裹,表明本次采集的 *E.minuta* 具有更大的种内变化量,可能是由两性异形、保存不完整、差异压实作用等多种因素造成的.*E.sp.* 和 *E.dazuensis* 长度的平均值近乎相等,与 *Euestheria yipinglangensis* 相比略大.

而高度上 *Euestheria yipinglangensis* 却大于 *E.sp.* 和 *E.dazuensis*,笔者通过比较前后缘的弯曲率发现 *Euestheria yipinglangensis* 圆度明显更高. *Euestheria yipinglangensis* 标本的 95% 置信椭圆将 *E.sp.* 覆盖(图 4b),表明前者的变化量大于后者.而 *E.dazuensis* 与 *Euestheria yipinglangensis* 和 *E.sp.* 仅有部分重叠,有一定的区分效果. PC1 与 PC3 以及 PC2 与 PC3 的关系显示了明显的规律,占据的位置从上到下依次为 *Euestheria yipinglangensis*、*E.dazuensis*、*E.sp.*,表明 *Euestheria yipinglangensis* 与 *E.sp.* 区别最明显,未见任何重叠(图 4c,4e),绘制的 95% 置信椭圆也仅有少部分重叠(图 4d,4f). *E.dazuensis* 标本连线图和 95% 置信椭圆都显示其与 *E.sp.* 有大部分重叠,而与 *Euestheria yipinglangensis* 重叠较少.

另一方面,笔者发现利用化石壳体轮廓几何形态分析对叶肢介化石鉴定有比较明显的效果。*E. sp.* 占据的位置与 *Euestheria yipinglangensis* 和 *E.dazuensis* 基本没有重叠,具有较好的区分效果(图 5),绘制的 95% 置信椭圆也显示出类似的规律。相反,在运用轮廓的傅里叶系数主成分分析时, *Euestheria yipinglangensis* 和 *E.dazuensis* 的位置有大部分重叠(图 5),区分不太显著。Morton *et al.* (2017) 认为仅利用叶肢介轮廓形态学分析很多时候不足以区分不同的种,因为外形可能受到压实作用而变形,导致三维形态学特征的丢失。另外有的标本由于背缘的保存情况不好,背缘的前后端点丢失或掩盖,它们的位置如果不能被重建,那这个标本的对比研究就没有意义了,因此在进行形态学分析时要对本标本仔细甄别,选择保存较好的标本。

综上所述,笔者发现 *E.minuta*、*E.sp.*、*Euestheria yipinglangensis* 和 *E.dazuensis* 均有较大程度的种内变化。通过简单线性测量数据的主成分分析,能将 *E.minuta* 与其他 3 个种显著地区别开,而 *E.sp.*、*E.yipinglangensis*、*E.dazuensis* 个体形成的置信椭圆有大部分重叠,但利用化石轮廓傅里叶系数的主成分分析对这 3 个种的鉴定有较明显效果和指示意义。

4.2 忙怀组时代

忙怀组在区域上以发育大量酸性火山岩为特征,为一套流纹岩夹碎屑岩、火山碎屑岩组合,火山岩内发育铜多金属矿,以民乐宋家坡铜矿为代表。该套地层时代的精确限定不仅能为铜多金属矿床形成地质背景研究提供基础资料,而且对南澜沧江带乃至东特提斯构造域构造演化研究具有重要意义。

如前所述,笔者鉴定出 3 个种及 1 个未定种,分别为 *E.minuta*、*Euestheria yipinglangensis*、*E.dazuensis* 和 *E.sp.*。其中 *Euestheria yipinglangensis* 和 *E.dazuensis* 国际上未见报道,主要见于我国四川威远、大足和云南禄丰—平浪,张文堂等(1976)认为其时代属上三叠统。*E.minuta* 则为全球广布种,出现在欧亚大陆、德国盆地、中国、南非、阿根廷、加拿大东北边的芬迪盆地等(Kozur and Weems, 2010)。Kozur and Weems(2010)建立了 *Euestheria minuta* 带,认为该化石带既出现在整个北半球又出现在部分冈瓦纳大陆(南非和阿根廷),其主要时代属拉丁晚期。

近年来随着同位素测年技术的发展,不少学者亦对该套火山地层的形成时代进行了报道,通过对

中酸性火山熔岩进行锆石 U-Pb LA-ICP-MS/SHRIMP 和 Ar-Ar 年龄测试,获得其主体年龄在 230~236 Ma 之间(彭头平等,2006;王硕等,2012;Peng *et al.*, 2013;韦诚等,2016),为晚三叠世卡尼期。前人在进行地层清理和大区域地层对比与沉积盆地演化研究时均将忙怀组归于中三叠世(张远志等,1996;罗亮等,2014;张克信等,2017)。但是 Peng *et al.* (2008) 在景洪县南边获得了安山岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 248.5 ± 6.3 Ma,指出该套火山岩的形成时代是早三叠世而非之前认为的中—晚三叠世。笔者在陶家村剖面忙怀组顶部叶肢介化石层位之上 50~80 m 发现了一套英安岩,挑选了锆石进行 U-Pb LA-ICP-MS 同位素定年,获得了 22 个分析点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值为 237 ± 1.2 Ma。

综上所述,忙怀组上部时代意义较强的 *E.minuta* 的发现,结合高精度锆石 U-Pb 年代学数据,笔者认为忙怀组上部属拉丁期。

5 结论

(1) 本文首次报道了研究区忙怀组叶肢介化石,包括 3 个种和 1 个未定种: *Euestheria minuta*、*Euestheria yipinglangensis*、*Euestheria dazuensis* 和 *Euestheria sp.*, 其主体时代为拉丁期。

(2) 笔者采用简单线性测量数据对获得的叶肢介化石进行了定量和半定量的描述,为 *E.minuta*、*E.sp.*、*E.dazuensis* 和 *Euestheria yipinglangensis* 提供了客观的可重复的分类学依据。

(3) 形态分析对叶肢介化石鉴定具有较直观的效果。笔者将获得的壳体长和宽进行压轴回归(RMA)线性拟合,发现二者具有明显的线性相关性。简单线性测量数据主成分分析和壳体轮廓傅里叶系数主成分分析结果均表明, *E.minuta*、*Euestheria sp.*、*E.yipinglangensis* 和 *E.dazuensis* 有较大幅度的种内变化,2 种方法对叶肢介化石鉴定均有一定的效果和指示意义。

致谢:英国兰卡斯特大学(Lancaster University) Mark Hounslow 博士提供英国的叶肢介化石标本照片,中国地质大学(武汉)的张雄华老师、寇晓虎老师、黄兴博士在叶肢介化石鉴定上做出了较大贡献,在化石拍照过程中缪雪硕士给予了帮助,审稿人提出了较多宝贵修改意见,在此一并表示衷心感谢!

References

- Astrop, T. I., Sahni, V., Blackledge, T. A., et al., 2015. Mechanical Properties of the Chitin-Calcium-Phosphate “Clam Shrimp” Carapace (Branchiopoda: Spinicaudata): Implications for Taphonomy and Fossilization. *Journal of Crustacean Biology*, 35(2): 123–131. <https://doi.org/10.1163/1937240x-00002332>
- Chen, P. J., 2012. Cretaceous Conchostracan Biostratigraphy of China. *Journal of stratigraphy*, 36(2): 300–313 (in Chinese with English abstract).
- Defretin-Lefranc, S., 1965. Étude et révision de Phyllopoda Conchostracés en provenance U. R. S. S. *Annales de la Société Géologique du Nord*, 85: 15–48.
- Depéret, C., Mazeran, P., 1912. Les Estheria du Permien d'Autun. *Société d'Histoire Naturelle d'Autun Bulletin*, 25: 165–173.
- Dewey, J. F., Shackleton, R. M., Chang, C. F., et al., 1988. The Tectonic Evolution of the Tibetan Plateau. *Philosophical Transactions of the Royal Society B Biological Sciences*, 327(1594): 379–413.
- Dong, G. C., Mo, X. X., Zhao, Z. D., et al., 2013. Zircon U-Pb Dating and the Petrological and Geochemical Constraints on Lincang Granite in Western Yunnan, China: Implications for the Closure of the Paleo-Tethys Ocean. *Journal of Asian Earth Sciences*, 62: 282–294. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2012.10.003>
- Fan, W. M., Peng, T. P., Wang, Y. J., 2009. Triassic Magmatism in the Southern Lincangjiang zone, Southwest China and Its Constraints on the Tectonic Evolution of Paleo-Tethys. *Earth Science Frontiers*, 16(6): 291–302 (in Chinese with English abstract).
- Gallego, O. F., 1992. Conchostracos Triasicos de Mendoza y San Juan, Argentina. *Ameghiniana*, 29(2): 159–175.
- Gerstaecker, A., 1866. Crustacea (Erste Halfe). In: Bronn, H. G., ed., *Die Klassen und Ordnungen der Thier-Reichs*, 5 (Part 1: Arthropoda). Akeademic Verlag, Leipzig.
- Hennig, D., Lehmann, B., Frei, D., et al., 2009. Early Permian Seafloor to Continental Arc Magmatism in the Eastern Paleo-Tethys: U-Pb Age and Nd-Sr Isotope Data from the Southern Lincangjiang Zone, Yunnan, China. *Lithos*, 113(3–4): 408–422. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2009.04.031>
- Hethke, M., Fürsich, F. T., Schneider, S., et al., 2016. Sex Determination of the Early Cretaceous Clam Shrimp *Eos-estheria Middendorffii* (Yixian Formation, China). *Le-ethaia*, 50(1): 105–121. <https://doi.org/10.13039/501100002347>
- Jian, P., Liu, D. Y., Kröner, A., et al., 2009. Devonian to Permian Plate Tectonic Cycle of the Paleo-Tethys Orogen in Southwest China (II): Insights from Zircon Ages of Ophiolites, Arc/Back-Arc Assemblages and within-Plate Igneous Rocks and Generation of the Emeishan CFB Province. *Lithos*, 113(3–4): 767–784. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2009.04.006>
- Jones, P. J., Chen, P. J., 2000. Carboniferous and Permian Leaoidea (Branchiopoda: Conchostraca) from Australia: Taxonomic Revision and Biostratigraphic Implications. *Records of the Australian Museum*, 52(2): 223–244. <https://doi.org/10.3853/j.0067-1975.52.2000.1315>
- Jones, T. R., 1863. On Fossil Estheriae and Their Distribution. *Quarterly Journal of the Geological Society*, 19(1–2): 140–157. <https://doi.org/10.1144/gsl.jgs.1863.019.01-02.20>
- Kong, H. L., Dong, G. C., Mo, X. X., et al., 2012. Petrogenesis of Lincang Gneisses in Sanjiang Area of Western Yunnan Province: Constraints from Geochemistry, Zircon U-Pb Geochronology and Hf Isotope. *Acta Petrologica Sinica*, 28(5): 1438–1452 (in Chinese with English abstract).
- Kozur, H. W., Weems, R. E., 2010. The Biostratigraphic Importance of Conchostracans in the Continental Triassic of the Northern Hemisphere. *Geological Society, London, Special Publications*, 334(1): 315–417. <https://doi.org/10.1144/sp334.13>
- Latreille, P. A., 1817. Le Règne Animal, Tome III, Contenant les Crustacés, les Arachnides et les Insectes. A. Bedin, Paris.
- Leng, Q. F., Tang, J. X., Zheng, W. B., et al., 2016. Geochronology, Geochemistry and Zircon Hf Isotopic Compositions of the Ore-Bearing Porphyry in the Lakang'e Porphyry Cu-Mo Deposit, Tibet. *Earth Science*, 41(6): 999–1015 (in Chinese with English abstract). <https://doi.org/10.3799/dqkx.2016.083>
- Li, G., Chen, P. J., Wan, X. Q., et al., 2004. Stratotype of the Basal Boundary of the Nen Jiang Gneiss Stage, Cretaceous. *Journal of stratigraphy*, 28(4): 297–299, 335 (in Chinese with English abstract).
- Li, X. L., 1996. Basic Characteristics and Formation Structural Environment of Lincang Composite Granite Batholith. *Yunnan Geology*, 15(1): 1–18 (in Chinese with English abstract).
- Liao, H. Y., Huang, D. Y., 2014. Jurassic Fossil Conchostracans from Bawangou, Qinglong County, Hebei Province. *Journal of Stratigraphy*, 38(4): 433–438 (in Chinese with English abstract).
- Linder, F., 1945. Affinities within the Branchiopoda with Notes on Some Dubious Fossils. *Arkiv for Zoologi*, 37A: 1–28.
- Liu, C. S., Zhu, J. C., Xu, X. S., 1989. Study on the Characteris-

- tics of Lincang Composite Granite Batholith in West Yunnan. *Yunnan Geology*, 8(3-4): 189-204 (in Chinese with English abstract).
- Luo, L., An, X. Y., Wu, N. W., et al., 2014. Evolution of Neoproterozoic-Mesozoic Sedimentary Basins in Bangong-Shuanghu-Nujiang-Changning-Menglian Suture Zone. *Earth Science*, 38(8): 1169-1184 (in Chinese with English abstract).
- Martin, J. W., Davis, G. E., 2001. An Updated Classification of the Recent Crustacea. *Natural History Museum of Los Angeles County Contributions in Science*, 39: 1-124.
- Metcalfe, I., 2009. Late Palaeozoic and Mesozoic Tectonic and Palaeogeographical Evolution of SE Asia. *Geological Society, London, Special Publications*, 315(1): 7-23. <https://doi.org/10.1144/sp315.2>
- Morton, J. D., Whiteside, D. I., Hethke, M., et al., 2017. Biostratigraphy and Geometric Morphometrics of Conchostracans (Crustacea, Branchiopoda) from the Late Triassic Fissure Deposits of Cromhall Quarry, UK. *Palaeontology*, 60(3): 349-374. <https://doi.org/10.1111/pala.12288>
- Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Academia Sinica, 1974. A Brochure of Paleontology in the Southwest Region. Science Press, Beijing (in Chinese).
- Niu, S. W., Li, P. X., Cheng, Z. W., 2005. Upper Jurassic Conchostracan Fossils from Central Yunnan and Its Stratigraphic Significance. *Geological Bulletin of China*, 24(4): 329-340 (in Chinese with English abstract).
- Niu, S. W., Tian, S. G., Pang, Q. Q., 2010. Conchostracan Biostratigraphy of the Dadianzi Formation in the Luanping Basin, Northern Hebei, China and the Boundary of Continental Jurassic and Cretaceous Strata. *Geological Bulletin of China*, 29(7): 961-979 (in Chinese with English abstract).
- Peng, T. P., Wang, Y. J., Fan, W. M., et al., 2006. The SHRIMP Zircon U-Pb Dating of the Felsic Igneous Rocks from Southern Lancangjiang and Its Tectonic Implications. *Science in China (Series D)*, 36(2): 123-132 (in Chinese).
- Peng, T. P., Wang, Y. J., Zhao, G. C., et al., 2008. Arc-Like Volcanic Rocks from the Southern Lancangjiang Zone, SW China: Geochronological and Geochemical Constraints on Their Petrogenesis and Tectonic Implications. *Lithos*, 102(1-2): 358-373. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2007.08.012>
- Peng, T. P., Wilde, S. A., Wang, Y. J., et al., 2013. Mid-Triassic Felsic Igneous Rocks from the Southern Lancangjiang Zone, SW China: Petrogenesis and Implications for the Evolution of Paleo-Tethys. *Lithos*, 168-169: 15-32. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2013.01.015>
- Rohlf, J. F., 2016. tpsDIG2w64, v. 2. 26. Department of Ecology & Evolution, State University of New York, Stony Brook.
- Schneider, J. W., Scholze, F., 2016. Late Pennsylvanian-Early Triassic Conchostracan Biostratigraphy: A Preliminary Approach. *Geological Society, London, Special Publications*, 450(1): 365-386. <https://doi.org/10.1144/sp450.6>
- Scholze, F., Schneider, J. W., 2015. Improved Methodology of 'Conchostracan' (Crustacea: Branchiopoda) Classification for Biostratigraphy. *Newsletters on Stratigraphy*, 48(3): 287-298. <https://doi.org/10.1127/nos/2015/0065>
- Şengör, A. M. C., Natal'in, B. A., Burtman, V. S., 1993. Evolution of the Altaid Tectonic Collage and Palaeozoic Crustal Growth in Eurasia. *Nature*, 364(6435): 299-307. <https://doi.org/10.1038/364299a0>
- Shen, Y., Gallego, O. F., Martínez, S., 2004. The Conchostracan Subgenus Orthestheria (Migransia) from the Tacua-Rembó Formation (Late Jurassic-Early Cretaceous, Uruguay) with Notes on Its Geological Age. *Journal of South American Earth Sciences*, 16: 615-622. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2003.02.001>
- Tasch, P., 1987. Fossil Conchostraca of the Southern Hemisphere and Continental Drift. Geological Society of America Memoir, 165.
- von Zieten, C. H., 1833. Die Versteinerungen Württembergs. Unsere Zeit, Stuttgart.
- Wang, E. Q., 2017. Timing of the Initial Collision between the Indian and Asian Continents. *Science in China (Series D)*, 3(47): 284-292 (in Chinese).
- Wang, S., Dong, G. C., Mo, X. X., et al., 2012. Petrological and Geochemical Characteristics, Ar-Ar Geochronology Study and Their Tectonic Significance of Triassic Volcanic Rocks in Southern Lancangjiang Zone. *Acta Petrologica Sinica*, 28(4): 1148-1162 (in Chinese with English abstract).
- Wang, S. E., Li, G., 2008. New Fossil Clam Shrimps from the Tuchengzi Formation of Northern Hebei and Western Liaoning. *Acta Palaeontologica Sinica*, 47(3): 319-325 (in Chinese with English abstract).
- Wang, Y. J., Zhang, A. M., Fan, W. M., et al., 2010. Petrogenesis of Late Triassic Post-Collisional Basaltic Rocks of the Lancangjiang Tectonic Zone, Southwest China, and Tectonic Implications for the Evolution of the Eastern Paleotethys: Geochronological and Geochemical Constraints. *Lithos*, 120(3-4): 529-546. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2010.09.012>
- Wei, C., Qi, X. X., Chang, Y. L., et al., 2016. Identification on Age of Xiaodingxi Formation Volcanic Rocks in Central-Southern Lancangjiang Orogeny and Its Tectonic Implication. *Acta Geologica Sinica*, 90(11): 3192-3214 (in Chinese with English abstract).
- Xi, D. P., Li G., Wan, X. Q., et al., 2009. Yaojia-Lower Nen-

- jiang Formations and Lake Evolution of Southeastern Songliao Basin, NE China. *Acta Palaeontologica Sinica*, 48(3): 556—568 (in Chinese with English abstract).
- Xu, Z. Q., Wang, Q., Li, Z. H., et al., 2016. Indo-Asian Collision: Tectonic Transition from Compression to Strike Slip. *Acta Geologica Sinica*, 90(1): 1—23 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, C. H., Liu, J. S., Liu, D. L., 2006. Geological and Geochemical Characteristics and Tectonic Setting of Triassic Volcanic Suite in Guanfang Area along South Lancangjiang Belt. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 25(5): 377—386 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, K. X., He, W. H., Luo, M. S., et al., 2017. The Deposition Construction and Sedimentary Tectonic in China. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Zhang, W. T., Chen, P. J., Shen, Y. B., 1976. Fossil Conchostraca of China. Science Press, Beijing (in Chinese).
- Zhang, Y. Z., Zhang, D. H., Liu, S. R., et al., 1996. Lithology and Stratigraphy of Yunnan Province. China University of Geosciences Press, Wuhan (in Chinese).
- Zhang, Z., Song, J. L., Tang, J. X., et al., 2017. Petrogenesis, Diagenesis and Mineralization Ages of Galale Cu-Au Deposit, Tibet: Zircon U-Pb Age, Hf Isotopic Composition and Molybdenite Re-Os Dating. *Earth Science*, 42(6): 862—880 (in Chinese with English abstract). <https://doi.org/10.3799/dqkx.2017.523>
- Zhu, W. G., Zhong, H., Wang, L. Q., et al., 2011. Petrogenesis of the Basalts and Rhyolite Porphyries of the Minle Copper Deposit, Yunnan: Geochronological and Geochemical Constraints. *Acta Petrologica Sinica*, 27(9): 2694—2708 (in Chinese with English abstract).
- 廖焕宇, 黄迪颖, 2014. 河北省青龙县霸王沟侏罗纪叶肢介化石. 地层学杂志, 38(4): 433—438.
- 刘昌实, 朱金初, 徐夕生, 1989. 滇西临沧复式岩基特征研究. 云南地质, 8(3—4): 189—204.
- 罗亮, 安显银, 吴年文, 等, 2014. 班公湖—双湖—怒江—昌宁—孟连新元古代—中生代沉积盆地演化. 地球科学, 39(8): 1169—1184.
- 牛绍武, 李佩贤, 程政武, 等, 2005. 滇中地区上侏罗统叶肢化石及其地层学意义. 地质通报, 24(4): 329—340.
- 牛绍武, 田树刚, 庞其清, 2010. 冀北滦平盆地大店子组叶肢介生物地层特征与陆相侏罗系—白垩系界线. 地质通报, 29(7): 961—979.
- 彭头平, 王岳军, 范蔚茗, 等, 2006. 澜沧江南段早中生代酸性火成岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 定年及构造意义. 中国科学(D辑), 36(2): 123—132.
- 王二七, 2017. 关于印度与欧亚大陆初始碰撞时间的讨论. 中国科学(D辑), 3(47): 284—292.
- 王硕, 董国臣, 莫宣学, 等, 2012. 澜沧江南带三叠纪火山岩岩石学、地球化学特征、Ar-Ar 年代学研究及其构造意义. 岩石学报, 28(4): 1148—1162.
- 王思恩, 李罡, 2008. 冀北、辽西地区上侏罗统土城子组的新叶肢介化石. 古生物学报, 47(3): 319—325.
- 韦诚, 戚学祥, 常裕林, 等, 2016. 澜沧江构造带中南段小定西组火山岩形成时代的厘定及其构造意义. 地质学报, 90(11): 3192—3214.
- 席党鹏, 李罡, 万晓樵, 等, 2009. 松辽盆地东南区姚家组—嫩江组一段地层特征与湖泊演变. 古生物学报, 48(3): 556—568.
- 许志琴, 王勤, 李忠海, 等, 2016. 印度—亚洲碰撞: 从挤压到走滑的构造转换. 地质学报, 90(1): 1—23.
- 张彩华, 刘继顺, 刘德利, 2006. 滇西南澜沧江带官房地区三叠纪火山岩地质地球化学特征及其构造环境. 岩石矿物学杂志, 25(5): 377—386.
- 张克信, 何卫红, 骆满生, 等, 2017. 中国沉积岩建造与沉积大地构造. 北京: 地质出版社.
- 张文堂, 陈丕基, 沈炎彬, 1976. 中国的叶肢介化石. 北京: 科学出版社.
- 张远志, 张定辉, 刘世荣, 等, 1996. 云南省岩石地层. 武汉: 中国地质大学出版社.
- 张志, 宋俊龙, 唐菊兴, 等, 2017. 西藏嘎拉勒铜金矿床的成矿时代与岩石成因: 锆石 U-Pb 年龄、Hf 同位素组成及辉钼矿 Re-Os 定年. 地球科学, 42(6): 862—880. <https://doi.org/10.3799/dqkx.2017.523>
- 中国科学院南京地质古生物研究所, 1974. 西南地区地层古生物手册. 北京: 科学出版社.
- 朱维光, 钟宏, 王立全, 等, 2011. 云南民乐铜矿床中玄武岩和流纹斑岩的成因: 年代学和地球化学制约. 岩石学报, 27(9): 2694—2708.

附中文参考文献

- 陈丕基, 2012. 中国白垩纪叶肢介生物地层学. 地层学杂志, 36(2): 300—313.
- 范蔚茗, 彭头平, 王岳军, 2009. 滇西古特提斯俯冲—碰撞过程的岩浆作用记录. 地学前缘, 16(6): 291—302.
- 孔会磊, 董国臣, 莫宣学, 等, 2012. 滇西三江地区临沧花岗岩的岩石成因: 地球化学、锆石 U-Pb 年代学及 Hf 同位素约束. 岩石学报, 28(5): 1438—1452.
- 冷秋锋, 唐菊兴, 郑文宝, 等, 2016. 西藏拉抗俄斑岩 Cu-Mo 矿床含矿斑岩地球化学、锆石 U-Pb 年代学及 Hf 同位素组成. 地球科学, 41(6): 999—1015. <https://doi.org/10.3799/dqkx.2016.083>
- 李罡, 陈丕基, 万晓樵, 等, 2004. 嫩江阶底界层型剖面研究. 地层学杂志, 28(4): 297—299, 335.
- 李兴林, 1996. 临沧复式花岗岩基的基本特征及形成构造环境的研究. 云南地质, 15(1): 1—18.