

# 澜沧江多鳞荷马条鳅种群间形态差异的比较

车星锦<sup>1</sup>, 郭艺<sup>1</sup>, 刀微<sup>1</sup>, 周伟<sup>1,2</sup>, 李旭<sup>1,3</sup>

(1. 西南林业大学生物多样性保护学院, 云南昆明 650224;

2. 云南省高校极小种群野生动物保育重点实验室, 云南昆明 650224;

3. 云南省高原鱼类育种重点实验室, 云南昆明 650223)

**摘要:**为探讨澜沧江水系不同采集地的多鳞荷马条鳅(*Homatula pycnolepis*)形态差异, 将168尾多鳞荷马条鳅标本按采集地分为5组; 将9尾拟鳗荷马条鳅(*Homatula anguillioides*)和19尾无量荷马条鳅(*Homatula wuliangensis*)作为对照组, 共计196尾荷马条鳅标本做多变量形态度量学研究。测量了13个框架特征和23个常规特征, 经3次主成分分析, 澜沧江多鳞荷马条鳅不同地理种群间的形态差异超出了多鳞荷马条鳅分别与拟鳗荷马条鳅和无量荷马条鳅之间的形态差异; 除多鳞荷马条鳅地模标本以外, 仍有3个与同属鱼类形态特征不同的种群。经进一步对比, 该3个种群应是荷马条鳅属未被描述的新种。

**关键词:**多鳞荷马条鳅; 种群; 形态差异; 主成分分析; 澜沧江

**中图分类号:**Q959.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-3075(2021)01-0064-08

荷马条鳅属(*Homatula*)是以Nichols(1925)分布于四川岷江的*Nemacheilus potanini* Günther(1896)为模式种建立的, 仅作为条鳅属*Barbatula*的一个亚属。因*Homatula*尾柄具有明显的软鳍褶, 与分布于西亚的副鳅属*Paracobitis*极为相似, 所以, 许多研究者将*Homatula*视为*Paracobitis*的异名。自20世纪80年代以来, 中国学者描述了一系列分布于中国南部、尾柄具有鳍褶的物种, 并把这些种类均归入副鳅属(*Paracobitis*) (朱松泉和王似华, 1985; 朱松泉, 曹文宣, 1988; 朱松泉, 1989; 丁瑞华和邓其祥, 1990; 周伟和何纪昌, 1993), 但*Paracobitis*作为属级阶元实际上是仅分布于西亚的一个特有类群, 与中国归为*Paracobitis*的种类具有较远的地理隔离, 应是两个不同的类群(Kottelat, 1990; Nalbant & Bianco, 1998)。因此荷马条鳅属(*Homatula*)应该作为分布于中国、尾柄具有鳍褶的这一

群条鳅类的有效属名, 为中国的一个特有类群。

澜沧江水系目前已记录5种荷马条鳅, 分别为尖头荷马条鳅*H. acuticephalus*、拟鳗荷马条鳅*H. anguillioides*、洱海荷马条鳅*H. erhaiensis*、多鳞荷马条鳅*H. pycnolepis* (Hu & Zhang, 2010)和无量荷马条鳅*H. wuliangensis* (Min et al., 2012a); 其中, 尖头荷马条鳅与洱海荷马条鳅仅分布于洱海湖体, 拟鳗荷马条鳅仅分布于云南省大理州洱源县境内, 无量荷马条鳅仅分布于云南省普洱市景东县境内; 多鳞荷马条鳅是目前分布最广的物种, 包括云南省大理州云龙县、漾濞县、剑川县、云南省怒江州兰坪县等地区 (Hu & Zhang 2010; Min et al., 2012b)。

Min等(2012b)采用线粒体Cyt *b*基因与核基因RAG 1联合数据集构建贝叶斯树(Bayesian tree), 采自云南澜沧江水系不同采集点的多鳞荷马条鳅分为了不同的支, 但统一的被认定为同一种。通过检视西南林业大学动物标本室(SWFC)保存的澜沧江水系不同采集点的多鳞荷马条鳅, 发现形态特征存在明显不同, 由此产生疑问, 这些采集地的标本到底是否为多鳞荷马条鳅? 鉴于此, 本研究对比了云南省澜沧江水系5个采集点的多鳞荷马条鳅, 其目的在于探讨澜沧江水系多鳞荷马条鳅的形态差异, 以及它们间的形态差异是种内差异还是已经达到种的水平。

收稿日期: 2019-07-31

基金项目: 国家自然科学基金(31860603); 云南省教育厅科学研究基金项目(2018Y116); 云南省重点学科野生动植物保护与利用(XKZ200904); 云南省林学一流学科建设项目(51600625)。

作者简介: 车星锦, 男, 1993年生, 硕士研究生, 研究方向为野生动植物保护与利用。E-mail: chexingjin@163.com

通信作者: 李旭, 男, 1981年生, 副教授, 研究方向为野生动植物保护与利用。E-mail: lixu.swfu@hotmail.com

## 1 材料与方法

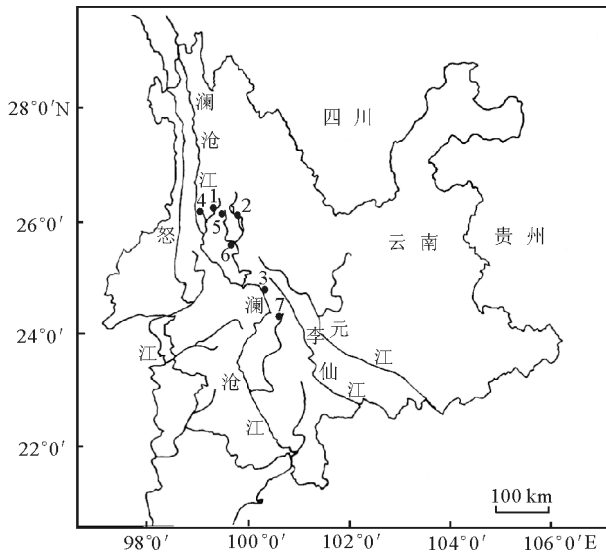
目前多鳞荷马条鳅主要通过背鳍前体覆有细密的鳞片、体侧存在更多的垂直条纹等特征与同属其他鱼类区分,澜沧江水系5个采集点的多鳞荷马条鳅均符合此特征。本研究拟运用形态度量学(Morphometrics)从多维度空间识别类群(张鹞等,2004),进一步对比不同类群间的差异,以此发现新的鉴别特征。选用澜沧江水系7个采集点的荷马

条鳅属标本共196尾,其中拟鳗荷马条鳅9尾,无量荷马条鳅19尾。为避免同一物种因体型上的差异而导致形态度量学分析结果存在较大偏差,因此选择以上2个地模标本作为对照群。其余168尾标本中,多鳞荷马条鳅地模标本15尾,大理云龙县检槽乡、洱源县乔后镇、漾濞县平坡乡、镇沅县勐大镇等4个采集地的标本153尾(表1)。将单一采集点的标本按组编号,便于在分析结果中识别类群(图1)。

表1 检视标本信息汇总

Tab.1 Information on the examined specimens

组号	物种	采集地	采集人	采集时间	标本量/尾
1	多鳞荷马条鳅	云南省大理州云龙县象图乡(地模标本)	付嵩、李凤莲、白冰	2003年9月	15
2	拟鳗荷马条鳅	云南省大理州洱源县右所镇(地模标本)	周伟	2017年7月	9
3	无量荷马条鳅	云南省普洱市景东县景福乡(地模标本)	权锐昌	1998年4月	19
4		云南省大理州云龙县检槽乡	付嵩、李凤莲、白冰	2006年12月	74
5		云南省大理州洱源县乔后镇	杨颖	2003年9月	40
			杨颖、贺佳飞	2004年11月	4
6		云南省大理州漾濞县平坡乡	杨颖、贺佳飞	2003年9月	12
7		云南省普洱市镇沅县勐大镇	王强、周伟	2003年9月	23



1. 云南省大理州云龙县象图乡; 2. 云南省大理州洱源县右所镇; 3. 云南省普洱市景东县景福乡; 4. 云南省大理州云龙县检槽乡; 5. 云南省大理州洱源县乔后镇; 6. 云南省大理州漾濞县平坡乡; 7. 云南省普洱市镇沅县勐大镇

图1 标本采集点分布

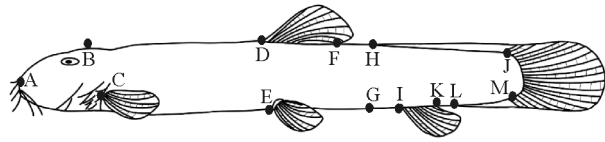
1. Xiangtu Town, Yunlong Co., Dali Pref., Yunnan Prov. 2. Yousuo Town, Eryuan Co., Dali Pref., Yunnan Prov. 3. Jingfu Town, Jingdong Co., Puer City, Yunnan Prov. 4. Jiancao Town, Yunlong Co., Dali Pref., Yunnan Prov. 5. Qiaohou Town, Eryuan Co., Dali Pref., Yunnan Prov. 6. Pingpo Town, Yangbi Co., Dali Pref., Yunnan Prov. 7. Mengda Town, Zhenyuan Co., Puer City, Yunnan Prov.

Fig.1 Distribution of the seven specimen groups

检视过程中发现各组之间的尾柄上、下软鳍褶长特征存在明显差异,特此增加为测量特征。结合荷马条鳅属分类常使用的鉴别特征和多变量形态度量学研究的方法(Bookstein,1982;郭宪光等,2004;谷金辉,2012),选用13个解剖学坐标点(landmarks of anatomy)(图2),共测量了13个框架结构特征(frame characters)和23个常规特征(general characters),共计36个特征(表2)。所有特征均采用电子数显游标卡尺(electronic digital caliper)点对点测量,精确到0.01 mm。

对36个特征测量数据做Kolmogorov-Smirnov Z检验,双侧渐近显著性 $P$ 均 $>0.05$ ,符合正态分布;以体长为固定变量,用其余35个变量与体长做双变量相关性分析,两者在0.01水平(双侧)上均显著相关(35次双变量相关性 $P=0.000<0.01$ )。所有形态测量数据经对数(log10)转换消除由于检视标本大小差异对分析结果的影响,增强主成分分析后标本散点的聚群效果,呈现同组标本不同个体的连续分布(Schaefer,1991;Xie et al. 2003;杨秀平等,2003;李旭等,2008)。主成分分析(Principal component analysis)在SPSS 19.0 for Windows上完成,使用因子分析(factor analysis)中的默认设置对数据标准化(Schaefer,1991;杨秀平等,2003);为避免主成分分析结果中标本体长对PC1的主要贡献作用,选择协方差矩阵(covariance matrix)和

Varimax 正交旋转法协助因子分析(杨琴等,2011;杨熙等,2013;何茜等,2013);初次分析后逐步剔除呈现显著差异的类群,余下类群再次做主成分分析,以期呈现各类群间清晰的形态差异(杨琴等,2011);选取各主成分中负荷值 $>0.7$ 且位于前5位的特征(若无特征负荷值 $>0.7$ ,则取负荷值 $>0.6$ 的特征),进一步对比各组间的形态差异(杨熙等,2013;何茜等,2013)。图像处理在 Sigma Plot 12.0 上完成。



A. 吻端; B. 上枕骨末端; C. 胸鳍起点; D. 背鳍起点; E. 腹鳍起点; F. 背鳍基末端; G. 肛门; H. 上软鳍褶起点; I. 臀鳍起点; J. 尾鳍基上缘; K. 臀鳍基末端; L. 下软鳍褶起点; M. 尾鳍基下缘

图2 荷马条鳅属形态度量学框架结构形状

A. snout tip; B. supraoccipital terminal; C. pectoral fin origin; D. dorsal fin origin; E. pelvic fin origin; F. dorsal fin base terminal; G. anus; H. dorsal adipose keel origin; I. anal fin origin; J. caudal fin base dorsal origin; K. anal fin base terminal; L. ventral adipose keel origin; M. caudal fin base ventral origin

Fig.2 Morphometric frame for genus *Homatula*

## 2 结果

### 2.1 主成分分析

第1次主成分分析的  $KMO=0.986>0.7$ ,表明变量间相关性强; $P=0.000<0.01$ ,显示因子分析的差异性显著;前3个主成分的累积贡献率达96.20%(表2)。196尾标本的分值散点沿PC1轴呈连续分布,即PC1代表的主成分仅呈现标本体型特征的连续变化,对类群区分没有贡献。拟鳊荷马条鳅(组2)与组4在三维体系形成散点聚集体(群2),多鳞荷马条鳅(组1)与组5、6、7在三维体系中亦形成散点聚集体(群3)(图3B)。无量荷马条鳅(组3)分值散点与群2和群3在PC2轴区分(图3A),与群3在PC3轴区分(图3B);即PC2和PC3代表的主成分对区分无量荷马条鳅起到主要的贡献作用,PC3对区分群2和群3起到主要的贡献作用(图3B)。因此将拟鳊荷马条鳅(组2)与组4标本做第2次主成分分析,多鳞荷马条鳅(组1)与组5、6、7标本做第3次主成分分析。

拟鳊荷马条鳅(组2)与组4的标本作第2次主成分分析, $KMO=0.977>0.7$ ,表明变量间相关性强; $P=0.000<0.01$ ,显示因子分析的差异性显著;前3个主成分的累积贡献率达97.98%(表2)。拟

鳊荷马条鳅(组2)与组4的分值散点沿PC3轴呈连续分布,即PC3代表的主成分对类群区分亦没有贡献。拟鳊荷马条鳅(组2)与组4基于PC1和PC2轴形成2个散点聚集体(图4A),即PC1和PC2代表的主成分对区分拟鳊荷马条鳅(组2)与组4起到主要的贡献作用。

多鳞荷马条鳅(组1)与组5、6、7标本做第3次主成分分析, $KMO=0.971>0.7$ ,表明变量间相关性强; $P=0.000<0.01$ ,显示因子分析的差异性显著;前3个主成分的累积贡献率达96.91%(表2)。组7的分值散点基于PC3轴与多鳞荷马条鳅(组1)、组5、组6区分,但多鳞荷马条鳅(组1)、组5、组6在PC3轴呈连续分布(图4B),即PC3代表的主成分仅对区分组7起到主要的贡献作用。多鳞荷马条鳅(组1)与组5、组6基于PC1和PC2轴形成2个散点聚集体,即PC1和PC2代表的主成分对区分多鳞荷马条鳅(组1)起到主要贡献作用。组5与组6分值散点聚集(群4),不可进一步区分。

### 2.2 特征组合差异

第1次主成分分析中,PC2起主要贡献作用的特征为“上软鳍褶长 DAKL”和“臀鳍起点-尾鳍基上缘距 I-J”,PC3起主要贡献作用的特征为“下软鳍褶长 VAKL”(表2);3个特征组合后体现了尾柄及软鳍褶的形态差异。无量荷马条鳅尾柄相对其他6组鱼类更为粗短,上、下软鳍褶更为发达。群2下软鳍褶较群3更为发达(表3)。

第2次主成分分析仅拟鳊荷马条鳅与组4对比,PC1和PC2起主要贡献作用的特征分别为“体高(背鳍起点处)BD”“体高(肛门处)BDA”和“尾柄高CPD”(表2),3个特征组合后体现鱼体侧形态差异;“头宽HW”“头高HD”“吻长SNL”和“眼间距IW”4个特征组合后体现鱼类头部的形态差异。基于测量数据,拟鳊荷马条鳅与组4相比,体型更为粗短,头部更为宽大(表3)。

第3次主成分分析中,组7仅凭借“尾鳍长CFL”和“下软鳍褶长 VAKL”的特征组合显著区别于“多鳞荷马条鳅+群4”(表2),特征组合后体现为尾鳍下叶及鳍褶的形态差异,组7尾鳍下叶及下软鳍褶结构相对于“多鳞荷马条鳅+群4”更为发达(表3)。多鳞荷马条鳅与群4区分时,呈现显著贡献作用的特征有10个(表2),虽然特征测量数据未呈现明显的间断(表3),但实质表现为多鳞荷马条鳅体型相对于群4更为纤细。具体表现为多鳞荷马条鳅体型更为平直,头部较小,体型更长(表3);胸

表2 荷马条鳅属形态特征及主成分

Tab.2 Morphometric characteristics and principal components molecular load of *Homatula*

特征	第1次			第2次			第3次		
	PC1	PC2	PC3	PC1	PC2	PC3	PC1	PC2	PC3
体长 SL	0.650	0.595	0.470	0.743	0.620	0.249	0.732	0.585	0.347
体高(背鳍起点处) BD	0.878	0.338	0.272	0.611	<b>0.751</b>	0.201	0.543	<b>0.755</b>	0.330
体高(肛门处) BDA	0.845	0.393	0.292	0.590	<b>0.767</b>	0.217	0.597	0.657	0.431
头长 HL	0.785	0.475	0.382	0.751	0.607	0.243	0.608	0.716	0.321
头宽 HW	0.863	0.403	0.209	<b>0.881</b>	0.391	0.214	0.533	<b>0.758</b>	0.338
头高 HD	0.873	0.434	0.158	<b>0.815</b>	0.510	0.230	0.505	<b>0.780</b>	0.315
吻长 SNL	0.744	0.343	0.319	0.217	<b>0.940</b>	0.160	0.521	0.711	0.385
眼径 ED	0.742	0.313	0.257	<b>0.839</b>	0.239	0.212	0.356	0.556	<b>0.648</b>
眼间距 IW	0.867	0.405	0.146	<b>0.858</b>	0.396	0.242	0.486	0.740	0.390
尾柄长 CPL	0.662	0.593	0.436	0.732	0.621	0.256	0.739	0.508	0.418
尾柄高 CPD	0.748	0.339	0.521	<b>0.833</b>	0.495	0.164	0.574	0.651	0.430
胸鳍长 PFL	0.761	0.530	0.313	0.746	0.609	0.243	0.437	<b>0.814</b>	0.324
臀鳍长 AFL	0.768	0.490	0.366	0.756	0.575	0.278	0.472	<b>0.770</b>	0.388
尾鳍长 CFL	0.703	0.578	0.336	0.759	0.587	0.230	0.443	0.637	<b>0.605</b>
背鳍长 DFL	0.717	0.501	0.463	0.795	0.547	0.241	0.632	0.651	0.396
腹鳍长 PEL	0.749	0.552	0.278	0.709	0.634	0.251	0.389	0.739	0.517
背鳍前长 ADFL	0.668	0.587	0.449	0.705	0.663	0.244	0.702	0.631	0.319
腹鳍前长 APEL	0.679	0.571	0.449	0.736	0.629	0.247	0.696	0.665	0.255
胸鳍前长 APFL	0.799	0.468	0.335	0.734	0.614	0.261	0.611	0.753	0.196
臀鳍前长 AAFL	0.634	0.606	0.476	0.735	0.629	0.250	0.738	0.592	0.318
肛门前长 AAL	0.658	0.596	0.456	0.748	0.615	0.247	0.731	0.589	0.339
上软鳍褶长 DAKL	0.498	<b>0.741</b>	0.423	0.733	0.622	0.243	0.716	0.488	0.482
下软鳍褶长 VAKL	0.099	0.357	<b>0.919</b>	0.688	0.648	0.260	0.625	0.326	<b>0.660</b>
胸鳍起点-背鳍起点距 C-D	0.620	0.612	0.473	0.672	0.693	0.242	0.725	0.611	0.296
胸鳍起点-腹鳍起点距 C-E	0.636	0.592	0.479	0.740	0.616	0.254	0.731	0.621	0.261
腹鳍起点-臀鳍起点距 E-I	0.524	0.697	0.479	0.715	0.634	0.272	<b>0.781</b>	0.455	0.412
腹鳍起点-背鳍起点距 E-D	0.873	0.423	0.183	0.694	0.665	0.234	0.542	0.741	0.355
腹鳍起点-肛门距 E-G	0.540	0.664	0.487	0.748	0.609	0.220	<b>0.788</b>	0.372	0.461
腹鳍起点-尾鳍基上缘距 E-J	0.614	0.627	0.475	0.734	0.628	0.253	0.737	0.523	0.422
腹鳍起点-尾鳍基下缘距 E-M	0.622	0.628	0.464	0.740	0.619	0.258	0.727	0.533	0.428
背鳍起点-尾鳍基上缘距 D-J	0.633	0.602	0.481	0.761	0.594	0.256	<b>0.756</b>	0.526	0.386
背鳍起点-尾鳍基下缘距 D-M	0.637	0.595	0.483	0.768	0.586	0.253	0.751	0.537	0.377
臀鳍起点-背鳍起点距 I-D	0.634	0.580	0.499	0.725	0.635	0.250	<b>0.768</b>	0.497	0.391
臀鳍起点-肛门距 I-G	0.636	0.655	0.379	0.603	0.479	0.636	<b>0.786</b>	0.416	0.185
臀鳍起点-尾鳍基上缘距 I-J	0.394	<b>0.846</b>	0.268	0.744	0.613	0.253	0.702	0.582	0.397
臀鳍起点-尾鳍基下缘距 I-M	0.709	0.541	0.442	0.765	0.590	0.247	0.719	0.564	0.393
贡献率 Variance(%)	48.36	30.14	17.70	53.76	37.47	6.75	41.97	38.94	16.00
累积贡献率 Cumulative(%)	48.36	78.50	96.20	53.76	91.23	97.98	41.97	80.91	96.91

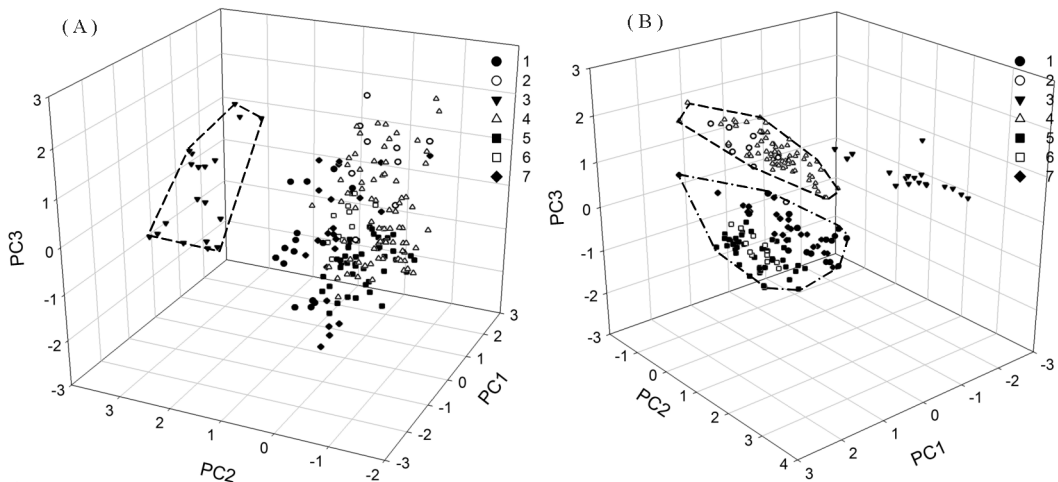


图3 第1次主成分分析分值散布(分组号同表1)

Fig.3 Scatter plots for the fist analysis by principal components (Group numbers are the same as in Table 1)



表3 主成分分析显著贡献特征对比

Tab.3 Comparison table for significant contribution characteristics from principal component analysis

特征组合	特征 /%SL	无量荷马条鳅	拟鳗荷马条鳅	组4	组7	多鳞荷马条鳅	组5和组6
尾柄及软	上软鳍褶长 DAKL	28.14~30.76	20.54~24.68	19.58~22.84	23.30~25.96	22.16~24.88	21.05~24.12
鳍褶的	臀鳍起点-尾鳍基上缘距 I-J	26.40~28.57	27.63~31.43	28.07~30.82	29.28~31.59	28.08~30.70	28.09~30.92
形态差异	下软鳍褶长 VAKL	12.25~14.89	10.33~12.78	11.02~13.92	7.97~9.82	6.71~8.48	6.28~8.99
第2次							
体高形态差异	体高(背鳍起点处) BD		11.06~14.23	13.00~15.86		12.18~14.42	13.29~16.88
	体高(肛门处) BDA		9.09~11.61	11.26~12.95			
	尾柄高 CPD		8.20~9.37	6.09~8.84			
第3次							
体长形态差异	臀鳍起点-背鳍起点距 I-D					27.32~29.51	26.01~28.43
	腹鳍起点-臀鳍起点距 E-I					22.30~24.98	20.99~23.94
	腹鳍起点-肛门距 E-G					17.49~19.71	15.15~18.39
	背鳍起点-尾鳍基上缘距 D-J					52.10~54.92	50.14~53.53
形态差异	臀鳍起点-肛门距 I-G					4.12~5.97	4.33~6.40
	尾鳍长 CFL				17.36~19.67	12.22~14.85	15.51~17.84
	胸鳍长 PFL					13.10~15.40	14.83~18.91
	臀鳍长 AFL					12.04~14.48	15.07~17.64
/%HL							
头部形态差异	头宽 HW	66.14~73.99	46.77~62.40			52.81~60.93	53.57~67.17
	头高 HD	46.55~53.06	37.64~49.03			43.34~51.69	45.53~56.58
形态差异	吻长 SNL	22.73~26.63	37.63~50.02				
	眼间距 IW	26.89~31.56	20.22~29.21				

鳍和臀鳍相对较短,亦是体型相对纤细的表现。

虽然“眼径 ED”分别在后两次主成分分析中对区分拟鳗荷马条鳅与组4、组7与“多鳞荷马条鳅+

群4”起到贡献作用,但因荷马条鳅属眼相对较小,测量过程会产生较大误差,因此“眼径 ED”并不能反映不同类群间的差异。

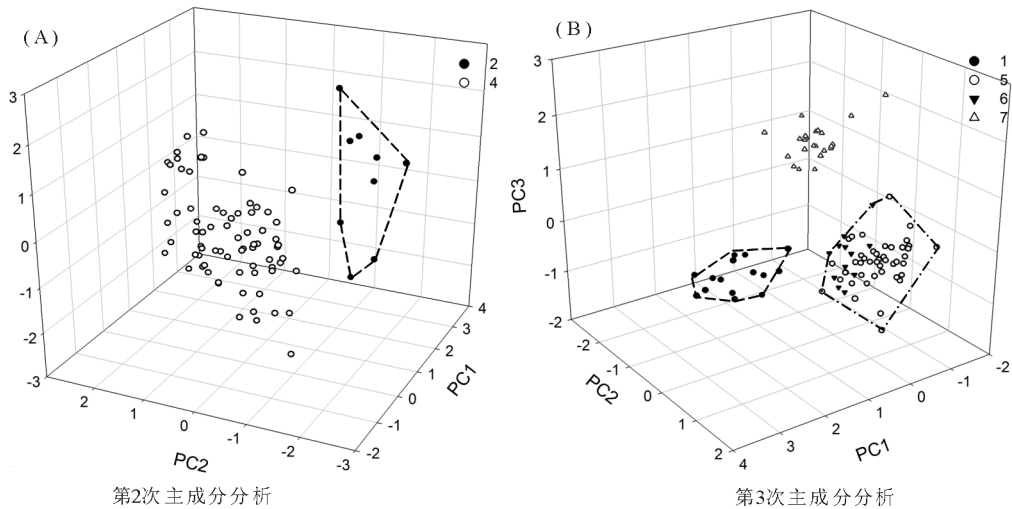


图4 第2次和第3次主成分分析分值散布(分组号同表1)

A. Second principal component analysis; B. Third principal component analysis

Fig.4 Scatter plots for the second and the third analysis of principal components (Group numbers are the same as table 1)

### 3 讨论

#### 3.1 形态特征演化

荷马条鳅口下位,鳃前室包于骨质鳃囊中,鳃后室退化,是对底栖的适应;身体被小鳞,背鳍之前的

前驱鳞片稀疏,有利于增加身体的柔韧性,便于在溪流石砾缝隙间穿梭往来(周伟和何纪昌,1993),属于适应流水生境的小型底栖鱼类。荷马条鳅属与鲇形目(Siluriformes) 鲶科(Sisoridae) 中适应急流的底栖鱼类不同,身体没有形成专门的口吸盘和胸部吸

附器官(谷金辉,2012);与鲤科(Cyprinidae)和爬鳅科(Balitoridae)的底栖鱼类亦不相同(陈宜瑜,1978),头部略呈圆锥状,偶鳍未向体侧展开形成吸附面,并未形成利于吸附的形态结构。但标本采集时,荷马条鳅却多与鲇形目鮡科、鲤科和爬鳅科的种类呈狭同域分布,表明荷马条鳅对急流特征的适应并非表现在“岩石表面上吸附”,而是在“岩石或砾石缝隙间躲避”。所以,荷马条鳅在适应急流底栖的演化过程中的趋势是体型趋于纤细,背腹轮廓趋于笔直,胸腹趋于无鳞,以利于顺应急流并在石砾缝隙间穿梭;尾柄趋于宽厚,背鳍和尾鳍趋于宽大,上下软鳍褶趋于发达,以利于在底栖过程中移动及调整体位。

### 3.2 多鳞荷马条鳅种群间形态差异

经系统整理荷马条鳅属,发现澜沧江水系5种

荷马条鳅和李仙江水系的美斑荷马条鳅 *Homatula change* (Endruweit, 2015)、红河荷马条鳅 *Homatula coccinocola* (Endruweit et al. 2018) 具有共同的特征,以上7种荷马条鳅均除了头部以外全身密被鳞片(VS.体前无鳞或者全身裸露无鳞),侧线完全(VS.侧线完全或不完全),构成稳定的特征组合,与同属的其他物种显著区分。Min等(2012)鉴定为多鳞荷马条鳅的组4、组5+组6和组7这3个地理种群,也符合此特征组合。

主成分分析结果显示,多鳞荷马条鳅(组1)与组4、组5+组6和组7体型明显存在不同,且多鳞荷马条鳅以其下颌中部前缘“V”字型缺刻等特征区别于组4、组5+组6和组7(表4),这3个地理群明显不是多鳞荷马条鳅。组4荷马条鳅头部较小,肛门约位于腹鳍基和臀鳍起点距离的后1/3位置;组

表4 澜沧江及李仙江荷马条鳅形态特征比较

Tab.4 Comparison of morphological characteristics of *Homatula* in Lancang River and Lixian River

物种名	水系	形态特征					
		下颌形态	腹鳍骨板	腹鳍腋鳞	体侧斑纹类型	鳃孔上角位置	背鳍基长/背鳍最长分枝鳍条
组4	澜沧江	匙状	在体表形成游离突起	有	密横纹型	与眼下缘平齐	小于
组5+组6	澜沧江	匙状	在体表形成游离突起	有	密横纹型	与眼中点平齐	小于
组7	澜沧江	匙状	无游离突起	有	密横纹型	与眼中点平齐	大于
尖头荷马条鳅	澜沧江	前缘v型缺刻	无游离突起	无	稀横纹型	与眼中点平齐	大于
拟鳊荷马条鳅	澜沧江	前缘v型缺刻	无游离突起	无	密横纹型	与眼中点平齐	大于
洱海荷马条鳅	澜沧江	匙状	无游离突起	有	稀横纹型	与眼中点平齐	大于
多鳞荷马条鳅	澜沧江	前缘v型缺刻	在体表形成游离突起	有	密横纹型	与眼中点平齐	小于
无量荷马条鳅	澜沧江	匙状	无游离突起	有	密横纹型	与眼下缘平齐	大于
美斑荷马条鳅	李仙江	前缘v型缺刻	无游离突起	有	密横纹型	与眼下缘平齐	小于
红河荷马条鳅	李仙江	前缘v型缺刻	无游离突起	有	稀横纹型	与眼中点平齐	小于

注:密横纹型:体侧通过中轴线的横纹条多于或等于25条;稀横纹型:体侧通过中轴线的横纹条少于或等于20条

Note: Dense-stripe type: 25 or more stripes across the axle wire from the body side; Sparse-stripe type: 20 or less stripes across the axle wire from the body side.

5+组6荷马条鳅颌须较长,末端后伸过眼后缘的垂直下方;组7荷马条鳅体侧具36~38条通过中轴线的黑色横斑,其宽度大于条纹间隙,相邻条纹在体背相连,成对状规则排列。组4、组5+组6和组7这3个种群在形态特征上,均表现出了与同属鱼类不同的差异,这3个种群是荷马条鳅属未被描述的新种。

志谢:衷心感谢中国科学院昆明动物研究所(KIZ)杨君兴研究员提供查验保存的标本;感谢杜丽娜博士协助检查标本;感谢中国科学院水生生物研究所(IHB)张鹤研究员帮助验证多鳞荷马条鳅及洱海荷马条鳅模式标本。

### 参考文献

- 陈宜瑜,1978. 中国平鳍鳅科鱼类系统分类的研究 I. 平鳍鳅亚科鱼类的分类[J]. 水生生物学报, (3): 331-348.
- 丁瑞华, 邓其祥, 1990. 四川省条鳅亚科鱼类的研究: I 副鳅, 条鳅和山鳅属鱼类[J]. 动物学研究, 11(4): 285-290.
- 谷金辉, 2012. 荷马条鳅属鱼类系统分类学研究[D]. 武汉: 中国科学院水生生物研究所.
- 郭宪光, 张耀光, 何舜平, 2004. 中国石爬鳅属鱼类的形态变异及物种有效性研究[J]. 水生生物学报, 28(3): 260-268.
- 何茜, 李旭, 周伟, 等, 2013. 缺须墨头鱼不同地理群居的形态分化[J]. 广西师范大学学报(自然科学版), 31(4): 117-12.

- 李旭,李凤莲,刘恺,等,2008. 中国伊洛瓦底江和怒江褶鮡属鱼类的形态差异及分类地位[J]. 动物学研究,29(1): 83-88.
- 杨琴,周伟,舒树森,2011. 云南盘鮡不同地理居群的形态变异分化[J]. 动物分类学报,36(1): 117-124.
- 杨熙,周伟,李旭,等,2013. 不同地理种群东方墨头鱼的形态分化[J]. 动物学研究,34(5): 471-474.
- 杨秀平,张敏莹,刘焕章,2003. 蛇鮡属鱼类的形态度量学研究[J]. 水生生物学报,26(3): 281-285.
- 张鸮,谢仲桂,谢从新,2004. 大眼华鳊和伍氏华鳊的形态差异及其物种有效性[J]. 水生生物学报,28(5): 511-518.
- 周伟,何纪昌,1993. 洱海地区的副鳊属鱼类[J]. 动物学研究,14(1): 5-9.
- 朱松泉,王似华,1985. 云南省的条鳊亚科鱼类(鲤形目: 鳊科)[J]. 动物分类学报,10(2): 98-110.
- 朱松泉,曹文宣,1988. 云南省条鳊亚科鱼类两新种和一新亚种(鲤形目: 鳊科)[J]. 动物分类学报,13(1): 95-100.
- 朱松泉,1989. 中国条鳊志[M]. 南京: 江苏科技出版社,1-134.
- Bookstein F L, 1982. Foundations of Morphometrics [J]. Annual Review of Ecology and Systematics, 1982, 13(13): 451-470.
- Endruweit M, 2015. *Homatula change*, a new nemacheilid loach from the upper Black River basin in Yunnan, China (Teleostei: Nemacheilidae) [J]. Ichthyological Exploration of Freshwaters, 26(1), 65-72.
- Endruweit M, Min R, Yang J X, 2018. A new species of *Homatula* from the Red River drainage in Yunnan based on morphological and genetic data (Teleostei: Nemacheilidae) [J]. Zootaxa, 4375(4), 555-566.
- Xie Z G, Xie C X, Zhang E, 2003. Morphological variations among the Chinese species of *Sinibrama* (Pisces: Teleostei: Cyprinidae), with comments on their species validities [J]. Zoological Research, 24(5): 321-330.
- Hu Y T, Zhang E, 2010. *Homatula pycnolepis*, A new species of Nemacheilinae loach from the upper Mekong drainage, South China (Teleostei: Balitoridae) [J]. Ichthyological Exploration of Freshwaters, 21: 51-62.
- Kottelat M, 1990. New Species and Populations of Cave Nemacheilines in South and Southeast Asia (Osteichthyes: Balitoridae) [J]. Mem Biospeol, 17: 49-56.
- Min R, Chen X Y, Yang J X, 2012a. *Homatula wuliangensis* (Teleostei: Nemacheilidae) a new loach from Yunnan, China [J]. Zootaxa, 3360(3586): 313-318.
- Min R, Chen X Y, Yang J X, et al, 2012b. Phylogenetic Relationships of the Genus *Homatula* (Cypriniformes: Nemacheilidae), with Special Reference to the Biogeographic History around the Yunnan-Guizhou Plateau [J]. Zootaxa, (3586): 78-94.
- Nalbant T T, Bianco P G, 1998. The loaches of Iran and adjacent regions with description of six new species (Cobitoidea) [J]. The Italian Journal of Zoology, 65: 109-125.
- Nichols J, 1925. *Nemacheilus* and related loaches in China [J]. American Museum Novitates, 171: 1-7.
- Schaefer S A, 1991. Morphometrics investigation [M]. London: Chapman and Hall, 55-82.

(责任编辑 张俊友 郑金秀)

## Morphological Comparison of *Homatula pycnolepis* (Teleostei: Nemacheilidae) Among Different Geographic Populations of Lancang River, China

CHE Xing-Jin<sup>1</sup>, GUO Yi<sup>1</sup>, DAO Wei<sup>1</sup>, ZHOU Wei<sup>1,2</sup>, LI Xu<sup>1,3</sup>

(1.College of biodiversity conservation, Southwest Forestry University, Kunming 650224, P.R.China;

2.Key Laboratory for Conserving Wildlife with Small Populations in

Yunnan, Kunming 650224, P.R.China;

3.Yunnan Key Laboratory of Plateau Fish Breeding, Kunming 650223, P.R.China)

**Abstract:** *Homatula* belongs to Nemacheilidae of Cypriniformes, a genus of fish peculiar to China. Five species of *Homatula* have been recorded in the Lancang River basin, among which *Homatula pycnolepis* is the most widely distributed species and is distinguished from other species of the same genus by an anterior dorsal-fin covered with scales and more bars on the flank. In this study, we explored the morphological variations of five *H. pycnolepis* topotypes (i.e., collected from five different areas) of Lancang River using the method of multivariate morphometry and the principal component analysis. The objective was to discover new identification traits by comparing the morphologies of the different *H. pycnolepis* populations. A total of 168 specimens of *H. pycnolepis* were collected from the Lancang River and placed in 5 groups based on collection location. Nine specimens of *H. anguillioides* and 19 specimens of *H. wuliangensis* were used as control groups. Thirteen frame characteristics and 23 morphometric parameters were measured using an electronic digital vernier caliper. The morphological variations among the different *H. pycnolepis* topotypes collected in Lancang River exceeded the variations observed between *H. pycnolepis* and the two species in the control groups. Except for topotype of *H. pycnolepis* group, the morphological characteristics of the other *H. pycnolepis* specimens collected in Lancang River fell into three groups. By further comparison, the three groups appear likely to be three heretofore undescribed species of *Homatula*.

**Key words:** *Homatula pycnolepis*; population; morphological difference; principal component analysis; Lancang River