中国北鳅属新纪录种及北鳅属鱼类系统发育关系

王敏^{1,2}, 谭慧敏^{1,2}, 杨银盆^{1,2}, 陈咏霞^{1,2*}

1. 河北大学生命科学学院, 保定 071002;

2. 河北大学生命科学与绿色发展研究院, 保定 071002

* 联系人, E-mail: chenrongxia@hbu.edu.cn

收稿日期: 2021-05-20; 接受日期: 2021-06-15; 网络版发表日期: 2021-09-15

河北省自然科学基金(批准号: C2016201055)和白洋淀水生生物资源调查及水域生态修复示范项目(批准号: 2130135)资助

摘要 本研究基于形态学鉴别特征和线粒体d-loop序列描记了采自吉林省延边图们江水系的中国新记录种——史氏北鳅(*Lefua pleskei*, Herzenstein, 1888), 并对北鳅属鱼类的系统发育关系进行了分析. 史氏北鳅区别于其他同源物种的鉴别特征为: 体纤细, 成熟雄鱼体侧有明显纵条纹, 雌鱼尾鳍基部有圆形黑斑, 背鳍位置靠后(背鳍前长为体长的64.33%), 眼间距窄(眼间距为头长的32.06%), 上唇薄、光滑, 下唇薄、中央无乳突. 基于最大似然法(maximum likelihood, ML)和贝叶斯法(Bayesian inference, BI)构建的系统发育树显示, 史氏北鳅与短体北鳅(*L. nikkonis*, Jordan & Fowler, 1903)构成姐妹群, 然后再与北鳅(*L. costata*, Kessler, 1876)聚为一支, 系统发育关系反映了北鳅属鱼类地理关系的远近.

关键词 史氏北鳅, 新记录, 形态特征, d-loop序列, 系统发育关系

北鳅属鱼类隶属于鲤形目(Cypriniformes)条鳅科(Nemacheilinae), 主要分布于东亚古北区, 包括蒙古、俄罗斯东部、中国东北部、韩国、朝鲜和日本^[1]. 该类群为一群冷水性鱼类, 多栖息于山区河流或高原湖泊和水库等水域. 北鳅属鱼类身体延长, 尾柄较高, 背部和腹部近似平行; 头部扁平, 顶部宽平; 前鼻孔与后鼻孔分开, 前鼻孔顶部延长形成鼻须; 各鳍短小, 尾鳍圆弧形^[2]. Kottelat^[1]记录该属6个物种, 其中我国有3个物种, 即北鳅(*L. costata*, Kessler, 1876)、沙北鳅(*L. sayu*, Herre & Lin, 1936)和广东北鳅(*L. hoffmanni*, Herre, 1932). Ito等人^[3]记录该属有7个物种, 其中我国有2个物种, 即北鳅和沙北鳅. 然而, 目前我国学者均认

为我国北鳅属仅有北鳅1个物种^[2,4-8].

史氏北鳅(*L. pleskei*, Herzenstein, 1888)是Herzenstein根据采自黑龙江流域兴凯湖(Khanka)尼古拉耶夫卡(Nikolajewka)列富河(Lefu)的标本描述的物种, 主要分布于俄罗斯东部河流^[9]. 早期史氏北鳅曾被认为是北鳅的同物异名^[2,10], 后来Naseka等人^[11]基于形态学特征的研究, 认为史氏北鳅背鳍位置较靠后、前背脊椎骨数较多、吻较长以及眼径较小等特征区别于北鳅, 因而恢复了史氏北鳅的物种有效性. Shedko等人^[12]基于mtDNA基因序列的分析显示, 史氏北鳅与短体北鳅的亲缘关系比北鳅近, 该研究为史氏北鳅的分类地位提供了分子依据. 然而, 在形态鉴别特征上, Oh-

引用格式: 王敏, 谭慧敏, 杨银盆, 等. 中国北鳅属新纪录种及北鳅属鱼类系统发育关系. 中国科学: 生命科学, 2021, 51: 1319–1327

Wang M, Tan H M, Yang Y P, et al. A novel record species of the genus *Lefua* from China and phylogenetic relationships of the genus *Lefua* (in Chinese). Sci Sin Vitae, 2021, 51: 1319–1327, doi: 10.1360/SSV-2021-0264

gita和Matsunuma^[13]对北鳅、短体北鳅和史氏北鳅形态特征进行了比较,认为史氏北鳅与北鳅在吻长、眼径、背鳍前长、背鳍后长等可量性状上,以及脊椎骨数、纵列鳞数等可数性状上,2个物种的数据存在一定程度的重叠,不能有效区分。

本研究对我国北鳅属鱼类进行系统分类研究时发现,采自于吉林省延边图们江水系的一批北鳅属鱼类应为我国的新纪录种——史氏北鳅。由于史氏北鳅和北鳅在外部形态上相似,物种鉴别较为困难,本文基于形态学和线粒体基因序列相结合的方法,对分布于我国的北鳅和史氏北鳅进行系统的形态特征比较,并对北鳅属鱼类的系统发育进行分析。

1 材料与方法

1.1 样品来源

样本于2019年9月采自图们江水系吉林延边朝鲜族自治州延吉地区(42°87'N, 129°50'E)。样品用95%的乙醇溶液固定,置于-20℃冰箱保存。样本鉴定后保存于河北大学博物馆水生生物标本室,样本编号为HUYB495, HUYB498。

1.2 形态学研究

选取22个可量性状进行形态测量,测量依照Chen等人^[14]的方法,剔除了胸鳍前长、腹鳍前长、臀鳍前长等3个性状。使用电子游标卡尺测量标本左侧,精确度为0.01 mm。口唇结构、鳞片结构等使用徕卡立体显微镜M205A(上海徕卡显微系统贸易有限公司)观察并拍照。各鳍条数使用徕卡立体显微镜M205A计数。体色斑纹使用徕卡相机DFC295(上海徕卡显微系统贸易有限公司)拍照。

1.3 基因组DNA提取、PCR扩增和序列测序

取样本左侧胸鳍剪碎,用组织基因组提取试剂盒DP304(北京天根生化科技有限公司)提取该样本基因组DNA。d-loop序列PCR扩增引物为DL1(3'-AC-CCCTGGCTCCGAAAGC-5')和DH2(3'-ATCTTAG-CATCTTCAGTG-5'),反应体系为25 μL^[4]。PCR反应条件为:95℃预变性3 min,95℃变性30 s,55℃退火30 s,72℃延伸40 s,30次循环,最后72℃延伸10 min,4℃停止反应。用1%琼脂糖凝胶电泳检测PCR产物,扩增产

物送通用生物系统有限公司完成基因组DNA双向测序。

1.4 北鳅属鱼类系统发育分析

用BioEdit 7.0.9软件^[15]对测序片段进行人工矫正和正反向拼接,将组装好的序列与NCBI数据库中的序列进行BLAST比对,并从数据库中下载同源序列23条,包括史氏北鳅、北鳅、短体北鳅(*L. nikkonis*, Jordan & Fowler, 1903)、斑北鳅(*L. echigonia*, Jordan & Richardson, 1907)、东海北鳅(*L. tokaiensis*, Ito, Hosoya & Miyazaki, 2019)和激流北鳅(*L. torrentis*, Hosoya, Ito & Miyazaki, 2018)以及外类群细尾高原鳅(*Tripiophysa stenura*, Herzenstein, 1888)和董氏须鳅(*Barbatula toni*, Dybowski, 1869)各1条序列(表1)。利用MEGA7.0软件^[16]对齐全部序列,并对碱基组成进行分析,最后使用Kimura双参数模型(Kimura-2-parameter, K2P)对遗传距离进行计算。

采用贝叶斯法(Bayesian inference, BI)^[17]和最大似然法(maximum likelihood, ML)^[18]构建系统发育树。运行PhyloSuite软件包^[19]中ModelFinder程序^[20]选择最佳进化模型为HKY+F+G4,然后使用此软件包中MrBaye程序构建BI系统发育树,设置4条链马尔科夫链、3条热链、1条冷链同时运行 2×10^6 代,对每100代系统树进行抽样,每个节点统计支持度,通过后验概率(posterior probability)来评估。ML系统发育树采用PhyloSuite的IQ-Tree程序^[19],替代模型为HKY+F+G4,通过具有1000个重复的bootstrap值分析评估每个节点的可信度。最后使用Fig-Tree和Adobe Illustrator软件对系统发育树进行处理和美化。

2 结果

2.1 形态描述

鉴别特征:史氏北鳅在外部形态上相似于北鳅和短体北鳅,3种鱼类的雄鱼在体侧均具有1条自头后至尾鳍基的深褐色纵纹(图1)(vs.斑北鳅、激流北鳅和东海北鳅雄鱼体侧无纵纹^[3,21]);雌鱼在尾鳍基具1近似圆形斑点(vs.斑北鳅、激流北鳅和东海北鳅雌鱼尾鳍基无斑点^[3,21]);眼侧上位(图1)(vs.激流北鳅和东海北鳅眼近头顶部^[3,21])。

史氏北鳅和北鳅在体型上很容易区别于短体北

表 1 物种名录、标本号/登录号及标本来源

Table 1 Species, numbers of samples or Genbank accessions and locations

物种名	拉丁名	标本号/登录号	采集地点
北鳅	<i>Lefua costata</i>	HUYB493	中国: 延吉市
北鳅	<i>Lefua costata</i>	HUYB494	中国: 延吉市
北鳅	<i>Lefua costata</i>	HUYB505	中国: 延吉市
北鳅	<i>Lefua costata</i>	HUYB506	中国: 延吉市
北鳅	<i>Lefua costata</i>	AB102814	韩国
北鳅	<i>Lefua costata</i>	AB177661	韩国: 扬州市
北鳅	<i>Lefua costata</i>	AB177663	韩国: 横溪市
斑北鳅	<i>Lefua echigonia</i>	AB102823	日本: 新潟市
斑北鳅	<i>Lefua echigonia</i>	AB102843	日本: 岐阜市
斑北鳅	<i>Lefua echigonia</i>	AB177682	日本: 福岛市
斑北鳅	<i>Lefua echigonia</i>	AB177695	日本: 福井市
斑北鳅	<i>Lefua echigonia</i>	AB177708	日本: 须坂市
短体北鳅	<i>Lefua nikkonis</i>	AB102810	日本: 北海道
短体北鳅	<i>Lefua nikkonis</i>	AB177654	日本: 北海道
短体北鳅	<i>Lefua nikkonis</i>	AB177655	日本: 北海道
短体北鳅	<i>Lefua nikkonis</i>	AB177657	日本: 北海道
史氏北鳅	<i>Lefua pleskei</i>	EU150377	日本海
史氏北鳅	<i>Lefua pleskei</i>	EU150376	日本海
史氏北鳅	<i>Lefua pleskei</i>	EU150375	乌苏里江
史氏北鳅	<i>Lefua pleskei</i>	EU150374	兴凯湖
史氏北鳅	<i>Lefua pleskei</i>	EU150380	日本海
史氏北鳅	<i>Lefua pleskei</i>	HUYB495	中国: 延吉市
史氏北鳅	<i>Lefua pleskei</i>	HUYB498	中国: 延吉市
东海北鳅	<i>Lefua tokaiensis</i>	AB251876	日本: 爱知县
东海北鳅	<i>Lefua tokaiensis</i>	AB251871	日本: 爱知县
东海北鳅	<i>Lefua tokaiensis</i>	AB251870	日本: 爱知县
激流北鳅	<i>Lefua torrentis</i>	AB177669	日本: 冈山市
激流北鳅	<i>Lefua torrentis</i>	AB599739	日本: 京都市
激流北鳅	<i>Lefua torrentis</i>	AB468998	日本: 冈山市
董氏须鳅	<i>Barbatula toni</i>	AB177653	日本: 北海道
细尾高原鳅	<i>Tripiophysa stenura</i>	KJ650397	中国: 云南

鳅, 史氏北鳅和北鳅体型纤细, 体高分别为体长的 9.45%~11.20%(平均10.33%)和12.49%~16.48%(平均15.31%)(vs.短体北鳅身体粗壮, 体高为体长的14.31%~20.34%(平均17.32%)^[13]); 纵列鳞多余100枚(vs.纵列鳞少于100枚^[13])。史氏北鳅区别于北鳅的主要特征: 背鳍靠后, 背鳍前长为体长的64.28%~64.39%(平均64.33%)(vs.背鳍靠前, 背鳍前长为体长的60.06%

~63.03%(平均61.66%))(图1); 眼间距稍窄, 眼间距为头长的31.36%~32.76%(平均32.06%)(vs.眼间距宽, 眼间距为头长的30.81%~41.69%(37.78%)); 上唇薄, 光滑(vs.上唇厚, 具细小褶皱); 下唇薄, 中央乳突不明显(vs.下唇厚, 中央具4个明显的乳突)(图2)。

形态特征: 背鳍iii-6~7, 胸鳍i-10~12, 腹鳍iii-6, 臀鳍条ii-5~7。测量数据见表2。体延长、侧扁, 背部轮廓

图 1 背面观和侧面观, 比例尺=1 cm. A和B: 史氏北鳅; C: 北鳅, 采自吉林延吉图们江
Figure 1 Dorsal and lateral views, scale bars=1 cm. A and B: *Lefua pleskei*; C: *Lefua costata* from the Tumen River in Yanji City

与腹侧轮廓平行, 尾柄高为体高的85.39%~100%(平均92.69%), 体自腹鳍至尾鳍逐渐变窄, 臀鳍后略有凹陷. 头部平扁, 头宽大于头高, 头高为头宽的72.02%~84.16%(平均78.09%). 吻钝, 吻长小于眼后头长. 每侧各具鼻孔2个, 前后鼻孔分开一短距, 前鼻孔位于管状突起中, 距吻端较距眼前缘近, 其顶端延长成鼻触须并延伸至眼前缘, 后鼻孔位于眼前缘. 眼小, 侧上位, 眼间距窄, 眼间距为头长的31.36%~32.76%(平均32.06%). 口下位, 上颌呈弧形, 下颌呈匙状. 上唇薄, 光滑, 无细小褶皱; 下唇薄, 中央乳突不明显. 须3对, 外吻须较长, 末端延伸至眼睛中部; 内吻须短, 末端不达

表 2 史氏北鳅和北鳅测量数据
Table 2 Morphometric characters of *Lefua pleskei* and *Lefua costata*

可量性状	史氏北鳅			北鳅	
	HUYB498	HUYB495	平均值	范围	平均值
体长(mm)	47.60	49.71	48.69	46.80~54.94	51.10
头长(mm)	10.44	10.97	10.70	10.18~12.98	11.45
占体长百分比(%)					
头长	21.90	22.07	21.98	20.80~23.73	22.41
背鳍前长	64.28	64.39	64.33	60.06~63.03	61.66
背鳍后长	30.00	30.05	30.03	28.68~35.14	31.96
胸腹鳍起点距离	37.38	29.37	33.56	35.79~42.45	38.63
腹臀鳍起点距离	19.61	20.70	20.16	19.33~27.31	23.40
肛门到臀鳍距离	3.00	5.43	4.22	2.40~5.35	3.43
体高	11.20	9.45	10.33	12.49~16.84	15.31
尾柄长	19.74	15.51	17.62	13.13~20.05	17.92
尾柄宽	4.17	4.30	4.24	2.88~7.37	4.62
尾柄高	9.57	9.68	9.62	8.65~12.16	10.09
胸鳍长	15.73	15.57	15.56	12.88~17.85	15.54
背鳍长	16.72	17.62	17.17	15.69~21.85	17.45
腹鳍长	12.48	—	—	10.72~15.79	12.96
臀鳍长	13.80	15.26	14.51	13.14~16.75	14.92
尾鳍长	17.47	16.46	16.94	18.23~20.28	19.04
占头长百分比(%)					
头高	47.32	39.65	43.49	39.08~56.06	45.34
头宽	56.23	55.06	55.64	49.5~62.67	54.91
吻长	31.51	34.37	32.94	29.72~35.76	32.62
眼后头长	53.26	55.61	54.43	48.24~56.97	52.51
眼径	24.62	20.24	22.43	15.96~21.41	18.50
眼间距	32.76	31.36	32.06	30.81~41.69	37.78

图 2 口唇结构, 比例尺=1 mm. A: 史氏北鳅; B: 北鳅

Figure 2 Ventral view of the mouth, scale bars=1 mm. A: *Lefua pleskei*; B: *Lefua costata*

图 3 鳞片结构, 比例尺=0.1 mm. A: 史氏北鳅; B: 北鳅

Figure 3 Scale structure, scale bars=0.1 mm. A: *Lefua pleskei*; B: *Lefua costata*

眼前缘; 颌须长, 末端可达眼后缘。除头部外, 体被密集小鳞。鳞小, 呈扇形, 鳞焦较大, 位于中央, 环片几乎呈同心圆排列, 约30~32个辐射沟(图3)。侧线不完全, 止于胸鳍上方。背鳍位置较靠后, 位于身体的后1/2处, 背鳍前长约为体长的64.33%。腹鳍基起点位于背鳍基起点之前。臀鳍基起点位于腹鳍基起点与尾鳍基起点中间。肛门位于臀鳍前, 肛门到臀鳍基起点的距离小于

眼径。尾鳍圆形。

乙醇浸泡标本体背部呈灰色, 体侧呈灰白色, 腹部呈白色。体背中央具一条自枕骨后端至尾鳍基部的黑色条纹。体侧雄鱼具1条自头后至尾鳍基部的黑褐色条纹, 条纹宽约与眼径等宽; 雌鱼仅在尾柄基部具1圆形斑点。背鳍、尾鳍具有不规则斑点, 其他各鳍均无斑点。

2.2 北鳅属鱼类d-loop序列特征及系统发育关系

本研究共获得北鳅属鱼类29条线粒体d-loop序列, 全长903 bp。简约信息位点196个, 占序列全长22.71%; 保守位点622个, 约占68.89%; 变异位点数281个, 约占31.12%。T, C, A, G含量分别为32.87%, 19.02%, 34.64%, 13.47%, A+T(67.51%)含量高于C+G(32.49%)含量。

以细尾高原鳅和董氏须鳅为外类群, 基于BI法和ML法构建的系统发育树拓扑结构一致。系统发育树显示, 北鳅属鱼类6个物种以高置信度聚为一支(BI=1.00, ML=96)(图4), 分为两大类群(分支I和分支II), 分支I包含史氏北鳅、短体北鳅、北鳅和激流北鳅(BI=0.57, ML=59); 分支II包含斑北鳅和东海北鳅(BI=1.00, ML=100)。在分支I中, 激流北鳅位于系统树的基部(BI=1.00, ML=100); 史氏北鳅、北鳅和短体北鳅以高置信度聚为一支(BI=1.00, ML=90), 其中史氏北鳅与短体北鳅首先构成姐妹群(BI=1.00, ML=96), 然后再与北鳅聚为一支。史氏北鳅的样本中, 采自吉林省延吉图们江水系的样本与来自俄罗斯水系的样本以较高的置信度聚为一支(BI=0.66, ML=87), 表明它们具有较

表 3 基于d-loop序列的北鳅属鱼类物种间的K2P遗传距离

Table 3 Interspecific genetic distances of *Lefua* based on the d-loop sequence under the Kimura-2 parameter model

物种名	史氏北鳅 (HUYB495)	史氏北鳅 (HUYB498)	史氏北鳅	北鳅	短体北鳅	斑北鳅	激流北鳅
史氏北鳅(HUYB495)							
史氏北鳅(HUYB498)	0.000						
史氏北鳅	0.001	0.001					
北鳅	0.038	0.038	0.040				
短体北鳅	0.016	0.016	0.018	0.040			
斑北鳅	0.129	0.129	0.131	0.124	0.122		
东海北鳅	0.114	0.114	0.116	0.124	0.014	0.060	
激流北鳅	0.145	0.145	0.148	0.149	0.189	0.189	0.187

图4 基于d-loop序列通过贝叶斯法和最大似然法构建的系统发育树合一树, 分支上方是BI法置信度, 分支下方是ML法后验概率

Figure 4 Bayesian and ML tree inferred from mitochondrial d-loop sequences. Clade credibility values were assigned for nodes with bootstrap support for ML (lower branch) and posterior probability for Bayesian inferences (upper branch)

近的亲缘关系, 为同一物种。

基于Kimura双参数模型计算北鳅属鱼类种间遗传距离(表3), 6个物种间遗传距离介于0.016~0.189之间, 最小遗传距离为史氏北鳅与短体北鳅; 最大遗传距离为斑北鳅与激流北鳅。来自吉林省图们江的个体与来自俄罗斯的史氏北鳅个体之间遗传距离为0.001, 属于种内遗传距离; 与其他物种之间的遗传距离均大于0.016, 属于种间遗传距离。

3 讨论

Kottelat^[1]在其专著《世界鳅超科鱼类目录》中将沙北鳅和广东北鳅记录为北鳅属鱼类, 而我国学者均

认为, 沙北鳅和广东北鳅不属于北鳅属而为平鳅属(*Oreonectes*)鱼类^[2,6,7]。沙北鳅是Herre和Lin^[5]根据采自于浙江省钱塘江的标本描记的平鳅属鱼类, Prokofiev^[22]将其改归为北鳅属, Kottelat采用了Prokofiev的分类观点。广东北鳅是Herre根据采自广东省珠江流域的标本描记的北鳅属鱼类, 后来, 郑慈英^[7]将其改归为平鳅属, 作为平头平鳅(*Oreonectes platycephalus*, Günther, 1868)的同物异名。通过查阅文献, 本团队发现这2个物种的描述仅为早期的原始描述, 之后文献出现的仅为名录, 未有标本检视信息。因此, 本文采用我国学者的分类观点: 沙北鳅和广东北鳅为平鳅属鱼类, 我国北鳅属目前共计2个物种, 即北鳅和史氏北鳅。

北鳅属鱼类为冷水性小型底栖鱼类, 其栖息环境

相似, 对环境依存度高, 物种产生趋同进化, 北鳅属鱼类近缘种间外部形态表现出较高的相似性, 导致该族群的分类与鉴定较为困难. 史氏北鳅与北鳅的外部形态最为相似, 以致于出现曾将史氏北鳅作为北鳅同物异名的情况^[2,10]. 本文通过对我国北鳅和史氏北鳅形态特征比较, 发现史氏北鳅在口唇结构上明显区别于北鳅, 史氏北鳅上唇薄且光滑, 无褶皱; 下唇薄, 中央无明显乳突; 而北鳅上唇厚, 具细小褶皱; 下唇厚, 中央具4个明显的乳突. 除了口唇结构外, 在体型上史氏北鳅纤细、背鳍位置靠后、眼间距稍窄而区别于北鳅, 这些特征差异与Naseka等人^[11]的研究结果一致. Ohgita和Matsunuma^[13]认为, 这些测量性状在北鳅和史氏北鳅中存在一定程度的重叠, 根据图1B显示, 在背鳍前长这个测量性状上, 除个别北鳅与史氏北鳅数值接近外, 总体上史氏北鳅与北鳅位于两个不同的区间. 本文测量的北鳅和史氏北鳅均采自吉林延吉附近的图们江, 2个物种可能同域分布同一水体中, 但是在口唇结构及体型上的差异, 表明2个物种的栖息环境不同. 史氏北鳅栖息于具有一定流速的水域中, 对栖息环境依存度更高; 北鳅的适应能力比史氏北鳅更广, 在缓流水或静水中也能生存. 目前, 史氏北鳅的分布范围主要在亚洲东部图们江以北, 在我国图们江流域与北鳅同域分布, 为史氏北鳅分布的南界; 北鳅则广泛分布于日本、韩国、蒙古、俄罗斯东部, 以及我国淮河以北东部河流中^[4].

北鳅属鱼类的6个物种中, 除了北鳅具有较广范的分布范围外, 其他5个物种的分布具有明显的地域性. 如短体北鳅分布于日本的北海道以及本州岛北部^[3,21];

斑北鳅分布于本州岛中北部^[3,21]; 激流北鳅分布于本州岛西部、四国岛和九州岛^[3,21]; 东海北鳅分布于本州岛的爱知县和静冈县^[3].

基于线粒体d-loop序列构建的系统发育树中, 北鳅属鱼类物种间系统发育关系在一定程度上反映了地理关系的远近, 地理距离较近或相邻水系的物种亲缘关系更近. 史氏北鳅和短体北鳅是北鳅属鱼类分布靠北的2个物种, 它们具有较近的亲缘关系, 其次是与北鳅亲缘关系较近, 北鳅在黑龙江流域、图们江流域均有分布, 其分布水系邻近史氏北鳅; 同样地理关系更近的东海北鳅和斑北鳅具有较近的亲缘关系. 形态特征上也在一定程度上反映了地理关系的远近, 地理距离较近的物种或邻近水系的物种外部形态特征上也更为相似. 史氏北鳅、北鳅和短体北鳅在外部形态上相似, 正如文中鉴别特征中所述, 3个物种在体侧和尾鳍基部的斑纹上区别于斑北鳅、激流北鳅和东海北鳅. 而同域分布的史氏北鳅和北鳅外部形态较短体北鳅更为相似, 这表明北鳅属鱼类在相似的环境中产生了趋同进化.

从地理起源上看, 我国北鳅属鱼类是由日本南部经朝鲜半岛迁徙而来^[4]. 在系统发育关系上, 本文研究结果支持这一观点, 分布于日本南部的激流北鳅与分布于我国的北鳅、史氏北鳅亲缘关系近, 这与Miyazaki等人^[23]的研究结果基本一致. 结合物种的地理分布, 短体北鳅和史氏北鳅是北鳅属鱼类分布最北的2个物种, 且亲缘关系最近, 推测在第四纪时北鳅属鱼类在迁徙过程中产生了分化, 短体北鳅和史氏北鳅是在较短时间内快速种化的类群.

参考文献

- 1 Kottelat M. Conspectus Cobitinae: an inventory of the loaches of the world (Teleostei: Cypriniformes: Cobitoidei). *Raffles Bull Zool*, 2012, 26: 1–199
- 2 Zhu S Q. The Loaches of the Subfamily Nemacheilinae in China (Cypriniformes: Cobitidae) (in Chinese). Nanjing: Jiangsu Science and Technology Publishing House, 1989. 20 [朱松泉. 中国条鳅志. 南京: 江苏科学技术出版社, 1989. 20]
- 3 Ito T, Hosoya K, Miyazaki J I. *Lefua tokaiensis*, a new species of nemacheilid loach from central Japan (Teleostei: Nemacheilidae). *Ichthyol Res*, 2019, 66: 479–487
- 4 Yang Y P, Yang H L, Wang Y X, et al. Phylogeography of *Lefua costata* in China (in Chinese). *Acta Hydrobiol Sin*, 2021, 2: 1–9 [杨银盆, 杨慧兰, 王银肖, 等. 中国北鳅谱系地理学分析. 水生生物学报, 2021, 2: 1–9]
- 5 Herre A W, Lin S Y. Fishes of the Tsien Tang River System (in Chinese). *Tinghai: Bulletin of the Chekiang Provincial Fisheries Experiment Station*, 1936: 19–20 [阿尔伯特·赫尔, 林书颜. 钱塘江鱼类志. 宁海: 浙江省水产试验站公报, 1936. 19–20]
- 6 Cheng Q T, Zheng B S. The system retrieval of fishes in China (in Chinese). Beijing: Science Press, 1987. 185 [成庆泰, 郑葆珊. 中国鱼类系统

- 检索. 北京: 科学出版社, 1987. 185]
- 7 Zheng C Y. Fishes of the Zhujiang River (in Chinese). Beijing: Science Press, 1989. 46 [郑慈英. 珠江鱼类志. 北京: 科学出版社, 1989. 46]
 - 8 Nie G X, Wang X, Zhou C J, et al. Analysis of new fish record of *Lefua costata* in Henan Province based on morphological and molecular systematic data (in Chinese). J Henan Norm Univ (Nat Sci Ed), 2019, 47: 1–6 [聂国兴, 汪曦, 周传江, 等. 基于形态学和分子系统学数据分析河南省鱼类新纪录种—北鳅. 河南师范大学学报(自然科学版), 2019, 47: 1–6]
 - 9 Miyazaki J I, Tamura T, Hida S, et al. Local introgression of mitochondrial DNA in eight-barbel loaches of the genus *Lefua* (Balitoridae, Cypriniformes). *Zool Sci*, 2018, 35: 140–148
 - 10 Berg L S. Freshwater Fishes of the USSR and Adjacent Countries. Moskva: Guide to the Fauna of the U.S.S.R. Moscow-Leningrad: Izd. AN SSSR, 1949
 - 11 Naseka A M, Bogutskaya N G. Contribution to taxonomy and nomenclature of freshwater fishes of the Amur drainage area and the Far East (Pisces, Osteichthyes). *Zoosyst Rossica*, 2004, 12: 279–290
 - 12 Shedko S V, Miroshnichenko I L, Nemkova G A. On the systematics and phylogeography of eight-barbel loaches the genus *Lefua* (Cobitoidea: Nemacheilidae): mtDNA typing of *L. pleskei* (in Russian). *Genetika*, 2008, 44: 938–947
 - 13 Ohgita S, Matsunuma, M. Morphological comparisons of *Lefua costata* (Teleostei Nemacheilidae), *L. pleskei* and *L. nikkonis*, with notes on morphological variations in *L. costata* introduced to Japan. *Biogeography*, 2020, 22: 9–15
 - 14 Chen H, Zhang H, Chen Y, et al. A review of the *Barbatula loaches* (Teleostei: Nemacheilidae) from north-eastern China, with the description of four new species. *Zootaxa*, 2019, 4565: 1
 - 15 Huse S M, Huber J A, Morrison H G, et al. Accuracy and quality of massively parallel DNA pyrosequencing. *Genome Biol*, 2007, 8: R143
 - 16 Kumar S, Stecher G, Tamura K. MEGA7: molecular evolutionary genetics analysis version 7.0 for bigger datasets. *Mol Biol Evol*, 2016, 33: 1870–1874
 - 17 Ronquist F, Teslenko M, van der Mark P, et al. MrBayes 3.2: Efficient bayesian phylogenetic inference and model choice across a large model space. *Syst Biol*, 2012, 61: 539–542
 - 18 Nguyen L T, Schmidt H A, von Haeseler A, et al. IQ-TREE: A fast and effective stochastic algorithm for estimating Maximum-Likelihood phylogenies. *Mol Biol Evol*, 2015, 32: 268–274
 - 19 Zhang D, Gao F, Jakovlić I, et al. PhyloSuite: An integrated and scalable desktop platform for streamlined molecular sequence data management and evolutionary phylogenetics studies. *Mol Ecol Resour*, 2020, 20: 348–355
 - 20 Kalyaanamoorthy S, Minh B Q, Wong T K F, et al. Modelfinder: fast model selection for accurate phylogenetic estimates. *Nat Methods*, 2017, 14: 587–589
 - 21 Hosoya K, Ito T, Miyazaki J I. *Lefua torrentis*, a new species of loach from western Japan (Teleostei: Nemacheilidae). *Ichthyol Explor Freshwaters*, 2018: 1–9
 - 22 Prokofiev A M. Osteology of *Oreonectes platycephalus* Günther, 1868 (Balitoridae: Nemacheilinae) with remarks on the genus composition and its phylogenetic relations. *Vopr Ikhtiol*, 2005, 45: 460–474
 - 23 Miyazaki J I, Dobashi M, Tamura T, et al. Parallel evolution in eight-barbel loaches of the genus *Lefua* (Balitoridae, Cypriniformes) revealed by mitochondrial and nuclear DNA phylogenies. *Mol Phylogenets Evol*, 2011, 60: 416–427

A novel record species of the genus *Lefua* from China and phylogenetic relationships of the genus *Lefua*

WANG Min^{1,2}, TAN HuiMin^{1,2}, YANG YinPen^{1,2} & CHEN YongXia^{1,2}

¹ School of Life Sciences, Hebei University, Baoding 071002, China;

² Institute of Life Sciences and Green Development, Hebei University, Baoding 071002, China

Lefua pleskei (Herzenstein, 1888), a novel record species of the genus *Lefua*, collected from the Tumen River, Yanbian Korean Autonomous Prefecture, Jilin Province, China, was described based on morphology and mitochondrial d-loop sequence analyses. Meanwhile, phylogenetic relationships of *Lefua* species were researched. *Lefua pleskei* is distinguished from its congeners by the following characters: slender body shape, presence of a black longitudinal stripe on both body sides in mature males; the presence of circular-dark blotches on the middle of the caudal fin base in mature females; dorsal fin located much farther posteriad (the anterior length of the dorsal fin was 64.33% of the body length); narrow interorbital (interorbital width was 32.06% of the head length); eyes located dorsolaterally on the head; thin and smooth upper lip; thin lower lip, inconspicuous mastoid in the middle of the lower lip. The phylogenetic relationship constructed based on the maximum likelihood and Bayesian methods showed that *L. pleskei* (Kessler, 1876) and *L. nikkonis* (Jordan & Fowler, 1903) formed a sister group and a relationship with *L. costata*, indicating that the phylogenetic relationship is partially congruent with geographical patterns.

***Lefua pleskei*, novel record, morphological characteristics, d-loop, phylogenetic relationship**

doi: [10.1360/SSV-2021-0264](https://doi.org/10.1360/SSV-2021-0264)