doi: 10.7541/2021.2019.166

中国泥鳅属和副泥鳅属鱼类的分类整理

张 慧 王银肖 杨慧兰 谭慧敏 陈咏霞
(河北大学生命科学学院, 保定 071002)

摘要: 根据形态学特征及线粒体Cyt *b*和*CO* Ⅰ基因对我国泥鳅属(*Misgurnus*)和副泥鳅属(*Paramisgurnus*)鱼类进行了分类整理。结果表明: 泥鳅属和副泥鳅属鱼类在鳞焦大小, 须长及基枕骨末端愈合程度等特征上存在差异。基于联合基因分析, 泥鳅属和副泥鳅属属间遗传距离(15.2%—17.5%)接近于泥鳅属种间遗传距离(10.7%—18.4%); 分子系统树显示我国泥鳅属鱼类未构成单系, 副泥鳅属嵌套分布于泥鳅属中; 北方泥鳅(*Misgurnus bipartitus*)和泥鳅(*Misgurnus anguillicaudatus*)亲缘关系近, 其次是大鳞副泥鳅(*Paramisgurnus dabryanus*), 黑龙江泥鳅(*Misgurnus mohoity*)位于系统树的基部。结合形态特征与分子数据, 副泥鳅属应作为泥鳅属同属异名, 大鳞副泥鳅应归入泥鳅属; 北方泥鳅曾为黑龙江泥鳅的同物异名, 与黑龙江泥鳅存在明显的形态差异, 且两者亲缘关系较泥鳅远, 北方泥鳅为有效种。

关键词: 鳅科; 泥鳅属; 副泥鳅属; 鉴别特征; 线粒体Cyt *b*; *CO* Ⅰ基因
中图分类号: Q959.46 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3207(2021)02-0414-14

泥鳅属(*Misgurnus*)、副泥鳅属(*Paramisgurnus*)隶属于鲤形目(Cypriniformes)、鳅科(Cobitidae), 喜栖息于静水或缓流水底部淤泥中。世界上泥鳅属鱼类有8种, 副泥鳅属有1种[1]。在中国泥鳅属分布有3种, 即泥鳅(*Misgurnus anguillicaudatus*)、黑龙江泥鳅(*Misgurnus mohoity*)和北方泥鳅(*Misgurnus bipartitus*)[2, 3]。副泥鳅属有大鳞副泥鳅(*Paramisgurnus dabryanus*)。历年来关于北方泥鳅的有效性以及副泥鳅属的有效性存在争议。李雅娟等[4, 5]基于微卫星标记及形态测量学分析, 认为北方泥鳅为有效种, 且与泥鳅亲缘关系较近, 而与黑龙江泥鳅亲缘关系较远。而Perdices等[6]利用Cyt *b*和*Rag*1作为分子标记对鳅属(*Cobitis*)与泥鳅属的研究中, 认为北方泥鳅是黑龙江泥鳅的次定同物异名, 副泥鳅属为泥鳅属的次定同属异名。Yi 等[7]基于形态测量学与DNA条形码对泥鳅属鱼类及其邻近种的研究中, 认为北方泥鳅应为有效种。为了理清中国泥鳅属鱼类的物种多样性以及副泥鳅属鱼类的分类地位, 本研究基于外部形态特征及内部解剖特征, 结合线粒体基因(Cyt *b*和*CO* Ⅰ)序列, 对中国的泥鳅属及副泥鳅属鱼类进行了分类整理。

1 材料与方法

1.1 实验材料

2017年8—10月, 采用地笼捕捞方式, 采自重庆市丰都县(29°86′N, 107°69′E)、江西省南昌市(28°89′N, 116°01′E)、广东省东莞市(23°04′N, 113°74′E)、内蒙古自治区赤峰市(42°34′N, 118°72′E)、河北省易县(39°43′N, 115°18′E)、河北省雄安新区(38°87′N, 116°05′E)、湖南省平江县(29°41′N, 113°13′E)、湖北省通城县(29°26′N, 113°83′E)、辽宁省岫岩县(40°26′N, 123°31′E)、浙江省杭州市(30°25′N, 119°73′E)、辽宁省凤城市(40°46′N, 124°06′E)、辽宁省沈阳市(41°72′N, 123°31′E)、黑龙江省塔河县(52°32′N, 124°67′E)及宝清县(46°34′N, 132°25′E), 共计96尾, 标本浸泡于95%的乙醇中, 于–20℃低温保存在河北大学博物馆。

收稿日期: 2019-07-26; **修订日期:** 2020-10-27
基金项目: 国家自然科学基金(31372166); 河北省自然科学基金(C2016201055); 河北省淡水养殖创新团队项目(HBCT2018180203)资助 [Supported by the National Natural Science Foundation of China (31372166), the Natural Science Foundation of the Hebei Province of China (C2016201055); the Innovation Team of Freshwater Aquaculture in the Hebei Province (HBCT2018180203)]
作者简介: 张慧(1994—), 女, 硕士研究生; 研究方向为鱼类分类以及生物地理学研究。E-mail:sxbosszhang@qq.com
通信作者: 陈咏霞, E-mail: chenyongxia@hbu.edu.cn

1.2　形态学分析

常规方法制作骨骼标本, 共解剖标本16尾, 其中泥鳅、北方泥鳅及黑龙江泥鳅各3尾, 大鳞副泥鳅7尾。采用数字游标卡尺测量(精确到0.1 mm)了23个可量性状, 测量方法参照陈咏霞等[8]的方法。使用连接到Leica M205A立体显微镜的Leica DFC295数码摄像头拍摄标本的脑颅骨骼、鳞片以及口唇结构等形态特征。

文中使用的英文缩写: HU (Hebei University, HU), 河北大学博物馆; SL (Standard Length, SL), 体长; HL (Head Length, HL), 头长; ML (Maximum Likelihood, ML), 最大似然法; BI (Bayesian Inferences, BI), 贝叶斯; sec (Supraethmoid-ethmoid complex), 上筛骨-中筛骨复合体; pv (Vomer), 梨骨; fr (Frontal), 额骨; pa (Parietal), 顶骨; so (Supraoccipital, 上枕骨; fon (Frontoparietal), 囟门; eo (Exoccipital), 外枕骨; oc (occipital condyle), 枕髁; bo (basioccipital), 基枕骨; ps (Parasptenoid), 副蝶骨。

1.3　DNA的提取、序列扩增及测定

采用天根生化科技有限公司生产的细胞/组织基因组DNA提取试剂盒(离心柱型)提取纯化基因组DNA。扩增线粒体Cyt *b*的引物为L (5′-GACTTGAAAAACCACCGTTG-3′) 和 H (5′-CTCCGATCTCCGGATTACAAGAC-3′)[9]。线粒体*CO* Ⅰ的引物为F (5′-TCAACCAACCACAAAGACATTGGCAC-3′)和R (5′-TAGACTTCTGGGTG GCCAAAGAATCA-3′)。扩增体系为: 1.0 μmol/L的正反引物各2 μL, DNA模版2 μL, 2×*Taq* Master Mix Loading Dye 25 μL, ddH_2O 17 μL。PCR反应条件为: 95℃预变性2min, 95℃变性30s, 55/51℃退火30s, 72℃延伸30s, 循环35次; 72℃延伸10min, 4℃终止反应。PCR产物经质量分数1.2%的琼脂糖凝胶电泳检测后, 由安徽通用生物系统有限公司进行双向测通。

1.4　基因序列信息及数据分析

从GenBank下载泥鳅、北方泥鳅、黑龙江泥鳅、俄罗斯泥鳅(*Misgurnus mohoity*)及大鳞副泥鳅的同源序列, 其中*CO* Ⅰ基因18条, Cyt *b* 47条(表 1和表 2)。外类群的选取参考文献[6], 选取与泥鳅属亲缘关系较近的潘鳅属(*Pangio*)为外类群。使用BioEdit7.2.5软件进行同源序列拼接、排列及手动矫正。利用MEGA5.0[10]软件对序列进行比对, 去除两端冗余序列。用DnaSP5.10[11]软件确定序列单倍型, 采用最大似然法(ML)和贝叶斯法(BI)构建系统进化树, 用jModelTest2.1.4[12]软件选择最适合的进化模型, 替代模型为GTR+G+I。运用RAxML[13]软件构建ML分子系统树, 用MrBayes3.0软件[14]构建BI分子系统树。

2　结果

2.1　中国泥鳅属(*Misgurnus*)鱼类检索表

1a. 基枕骨末端分叉或愈合不完全; 额骨细、长; 口角须末端未达鳃盖后缘; 鳞片小.....2

1b. 基枕骨末端愈合完全; 额骨宽、短; 口角须末端延伸至鳃盖后缘; 鳞片大.....大鳞副泥鳅*M. dabryanus*

2a. 腹鳍起点与背鳍第2—3根分枝鳍条相对; 鳞焦小; 上筛骨-中筛骨复合体前端尖锐; 梨骨呈蝶形.....3

2b. 腹鳍起点与背鳍起点相对或稍后; 鳞焦大; 上筛骨—中筛骨复合体前端钝圆; 梨骨呈梨形.....黑龙江泥鳅 *M. mohoity*

3a. 须长, 口角须末端延伸至或超过眼前缘; 尾柄短, 雄性, 尾柄长为尾柄高的1.3—1.7倍(平均1.6), 雌性为1.2—1.7倍(平均1.6).....泥鳅*M. anguillicaudatus*

3b. 须短, 口角须末端不达眼前缘; 尾柄长, 雄性, 尾柄长为尾柄高的2.3—3.4倍(平均2.9), 雌性为2.2—3.5倍(平均2.9).....北方泥鳅*M. bipartitus*

泥鳅属*Misgurnus* Lacépède, 1803

Mesomisgurnus Fang, 1935, 6(2): 128—146.

Ussuria Nikolskii, 1903: 362.

Paramisgurnus Dabry de Thiersant, 1872: 191

模式种: *Misgurnus fossilis* Linnaeus

体延长; 须3对, 其中吻须2对, 口角须1对; 颏叶发达, 通常呈须状; 体被细鳞, 位于皮下, 头部无鳞。体鳞小, 鳞焦小, 位于基部; 眼间距大于眼径。腹鳍起点与背鳍起点相对或靠后; 基枕骨末端在背大动脉的腹面分叉或愈合。

泥鳅 *Misgurnus anguillicaudatus* (Cantor, 1842) (图 1—3)

检视标本: HU1810435、1708195和1708196, 3尾(1尾雄性, 2尾雌性), 体长97.8—108.2 mm, 采自重庆市丰都县名山长江流域; HU1810450、1810452、1810451和1810453, 4尾(2尾雄性, 2尾雌性), 体长66.8—71.4 mm, 采自江西省南昌市赣江; HU1608505、1204021、1204026、1608506和1708244, 5尾(3尾雄性, 2尾雌性), 体长61.4—79.3 mm, 采自广东省东莞市东莞运河。

鉴别特征: 区别与泥鳅属其它物种的特征为: 体略粗壮, 颏叶发达, 呈须状, 内颏叶长度约为外颏叶的1/2, 内颏叶长度略小于眼径(图 2A); 须较长,

表 1 本研究中用到*CO*Ⅰ的数据来源

Tab. 1 Source of data for *CO*Ⅰ used in this study

物种名Scientific name	登录号 Accession No.	地点Locality	物种名Scientific name	登录号 Accession No.	地点Locality
泥鳅*Misgurnus anguillicaudatus*	KM610772	China: Yunnan	**北方泥鳅*Misgurnus bipartitus***	**MN127934**	**China: Liaoning**
泥鳅*Misgurnus anguillicaudatus*	KX224162	Canada: Ontario	**北方泥鳅*Misgurnus bipartitus***	**MN127935**	**China: Hebei**
泥鳅*Misgurnus anguillicaudatus*	KP112322	China: Hubei	**北方泥鳅*Misgurnus bipartitus***	**MN127932**	**China: Liaoning**
泥鳅*Misgurnus anguillicaudatus*	KP112319	China: Hubei	**北方泥鳅*Misgurnus bipartitus***	**MN127936**	**China: Liaoning**
泥鳅*Misgurnus anguillicaudatus*	KX224173	Canada: New Brunswick	黑龙江泥鳅*Misgurnus mohoity*	KX505211	China: Yunnan
泥鳅*Misgurnus anguillicaudatus*	KX224170	Canada: New Brunswick	黑龙江泥鳅*Misgurnus mohoity*	KX505212	China
泥鳅*Misgurnus anguillicaudatus*	**MN127925**	**China: Chongqing**	黑龙江泥鳅*Misgurnus mohoity*	KX505208	Russia: River Ilya
泥鳅*Misgurnus anguillicaudatus*	**MN127926**	**China: Chongqing**	黑龙江泥鳅*Misgurnus mohoity*	KX505217	China
泥鳅*Misgurnus anguillicaudatus*	**MN127923**	**China: Hubei**	黑龙江泥鳅*Misgurnus mohoity*	KX505215	China
泥鳅*Misgurnus anguillicaudatus*	**MN127924**	**China: Zhejiang**	黑龙江泥鳅*Misgurnus mohoity*	KX505213	China
泥鳅*Misgurnus anguillicaudatus*	**MN127927**	**China: Guangdong**	黑龙江泥鳅*Misgurnus mohoity*	**MN127944**	**China: Heilongjiang**
泥鳅*Misgurnus anguillicaudatus*	**MN127921**	**China: Hubei**	**黑龙江泥鳅*Misgurnus mohoity***	**MN127945**	**China: Heilongjiang**
北方泥鳅*Misgurnus bipartitus*	KX505268	China	**黑龙江泥鳅*Misgurnus mohoity***	**MN127946**	**China: Heilongjiang**
北方泥鳅*Misgurnus bipartitus*	KX505264	China	**黑龙江泥鳅*Misgurnus mohoity***	**MN127947**	**China: Heilongjiang**
北方泥鳅*Misgurnus bipartitus*	KX505270	China	大鳞副泥鳅*Misgurnus dabryanus*	JN027250	USA
北方泥鳅*Misgurnus bipartitus*	KX505274	China	**大鳞副泥鳅*Misgurnus dabryanus***	**MN127940**	**China: Jiangxi**
北方泥鳅*Misgurnus bipartitus*	KX505266	China	**大鳞副泥鳅*Misgurnus dabryanus***	**MN127942**	**China: Guangdong**
北方泥鳅*Misgurnus bipartitus*	**MN127928**	**China: Hebei**	**大鳞副泥鳅*Misgurnus dabryanus***	**MN127941**	**China: Jiangxi**
北方泥鳅*Misgurnus bipartitus*	**MN127929**	**China: Hebei**	**大鳞副泥鳅*Misgurnus dabryanus***	**MN127943**	**China: Hebei**
北方泥鳅*Misgurnus bipartitus*	**MN127931**	**China: Liaoning**	**大鳞副泥鳅*Misgurnus dabryanus***	**MN127938**	**China: Hunan**
北方泥鳅*Misgurnus bipartitus*	**MN127933**	**China: Liaoning**	**大鳞副泥鳅*Misgurnus dabryanus***	**MN127939**	**China: Hunan**
北方泥鳅*Misgurnus bipartitus*	**MN127937**	**China: Inner Mongolia**	库勒潘鳅*Pangio kuhlii*	KU568954	South Africa
北方泥鳅*Misgurnus bipartitus*	**MN127930**	**China: Liaoning**			

表 2 本研究中用到Cyt *b*的数据来源

Tab. 2 Source of data for Cyt *b* used in this study

物种名 Scientific name	登录号 Accession No.	地点 Locality	物种名 Scientific name	登录号 Accession No.	地点 Locality
泥鳅*Misgurnus anguillicaudatus*	EF595982	China: Shandong	**北方泥鳅*Misgurnus bipartitus***	**MN127894**	**China: Liaoning**
泥鳅*Misgurnus anguillicaudatus*	EF376188	China: Tianmen	**北方泥鳅*Misgurnus bipartitus***	**MN127898**	**China: Liaoning**
泥鳅*Misgurnus anguillicaudatus*	EF424604	China: Hubei	**北方泥鳅*Misgurnus bipartitus***	**MN127899**	**China: Liaoning**
泥鳅*Misgurnus anguillicaudatus*	EF595979	China: Hunan	**北方泥鳅*Misgurnus bipartitus***	**MN127903**	**China: Hebei**
泥鳅*Misgurnus anguillicaudatus*	EU145022	China: Poyang Lake, Jiangxi	**北方泥鳅*Misgurnus bipartitus***	**MN127897**	**China: Hebei**
泥鳅*Misgurnus anguillicaudatus*	EU145023	China: Poyang Lake, Jiangxi	**北方泥鳅*Misgurnus bipartitus***	**MN127896**	**China: Liaoning**
泥鳅*Misgurnus anguillicaudatus*	EU145024	China: Poyang Lake, Jiangxi	**北方泥鳅*Misgurnus bipartitus***	**MN127900**	**China: Liaoning**

续表 2

物种名 Scientific name	登录号 Accession No.	地点 Locality
泥鳅*Misgurnus anguillicaudatus*	AY625700	China: Hejiang, Sichuan
泥鳅*Misgurnus anguillicaudatus*	DQ105240	China: Hubei
泥鳅*Misgurnus anguillicaudatus*	EF424604	China: Hebei
泥鳅*Misgurnus anguillicaudatus*	EF595979	China: Hunan
泥鳅*Misgurnus anguillicaudatus*	AY625700	China: Sichuan
泥鳅*Misgurnus anguillicaudatus*	EF595982	China: Shandong
泥鳅*Misgurnus anguillicaudatus*	EU131138	China: Jiangxi
泥鳅*Misgurnus anguillicaudatus*	**MN127886**	**China: Zhejiang**
泥鳅*Misgurnus anguillicaudatus*	**MN127892**	**China: Hebei**
泥鳅*Misgurnus anguillicaudatus*	**MN127887**	**China: Chongqing**
泥鳅*Misgurnus anguillicaudatus*	**MN127888**	**China: Chongqing**
泥鳅*Misgurnus anguillicaudatus*	**MN127889**	**China: Chongqing**
泥鳅*Misgurnus anguillicaudatus*	**MN127890**	**China: Guangdong**
泥鳅*Misgurnus anguillicaudatus*	**MN127891**	**China: Jiangxi**
北方泥鳅*Misgurnus bipartitus*	AB473407	Japan: Miyazaki
北方泥鳅*Misgurnus bipartitus*	AB473282	Japan: Kumamoto
北方泥鳅*Misgurnus bipartitus*	AB473402	Japan: Nagasaki
北方泥鳅*Misgurnus bipartitus*	AB899684	Japan: Fukui, Obama, Katsumi
北方泥鳅*Misgurnus bipartitus*	AB473405	Japan: Kumamoto
北方泥鳅*Misgurnus bipartitus*	AB473406	Japan: Kumamoto
北方泥鳅*Misgurnus bipartitus*	AB473281	Japan: Aomori
北方泥鳅*Misgurnus bipartitus*	LC260168	Japan: Fukui, Echizen, Hirose
北方泥鳅*Misgurnus bipartitus*	LC260167	Japan: Fukui, Echizen, Hirose
北方泥鳅*Misgurnus bipartitus*	LC260166	Japan: Fukui, Echizen, Hirose
北方泥鳅*Misgurnus bipartitus*	JN585852	Russia: Lower Amur drainage, at Susanino village
北方泥鳅*Misgurnus bipartitus*	EF508565	Russia
北方泥鳅*Misgurnus bipartitus*	JN858853	Russia
北方泥鳅*Misgurnus bipartitus*	HQ454372	China: Liaoning
北方泥鳅*Misgurnus bipartitus*	HQ454369	China: Liaoning
北方泥鳅*Misgurnus bipartitus*	DQ105237	China: Hubei
北方泥鳅*Misgurnus bipartitus*	DQ105239	China: Heilongjiang
北方泥鳅*Misgurnus bipartitus*	DQ886940	China: Liaoning
北方泥鳅*Misgurnus bipartitus*	**MN127904**	**China: Liaoning**
北方泥鳅*Misgurnus bipartitus*	**MN127895**	**China: Inner Mongolia**
北方泥鳅*Misgurnus bipartitus*	**MN127893**	**China: Liaoning**
北方泥鳅*Misgurnus bipartitus*	**MN127901**	**China: Liaoning**
北方泥鳅*Misgurnus bipartitus*	**MN127902**	**China: Liaoning**
黑龙江泥鳅*Misgurnus mohoity*	JN858864	Russia: Grishka' channel
黑龙江泥鳅*Misgurnus mohoity*	JN858861	Russia: Lotos Lake
黑龙江泥鳅*Misgurnus mohoity*	JN858868	Russia: Mramornaya Bay
黑龙江泥鳅*Misgurnus mohoity*	JN858866	Russia: Grishka' channel
黑龙江泥鳅*Misgurnus mohoity*	JN858867	Russia: Mramornaya Bay
黑龙江泥鳅*Misgurnus mohoity*	JN858870	Russia: Maloye Vavayskoye Lake
黑龙江泥鳅*Misgurnus mohoity*	**MN127919**	**China: Heilongjiang**
黑龙江泥鳅*Misgurnus mohoity*	**MN127920**	**China: Heilongjiang**
黑龙江泥鳅*Misgurnus mohoity*	**MN127921**	**China: Heilongjiang**
黑龙江泥鳅*Misgurnus mohoity*	**MN127916**	**China: Heilongjiang**
黑龙江泥鳅*Misgurnus mohoity*	**MN127917**	**China: Heilongjiang**
黑龙江泥鳅*Misgurnus mohoity*	**MN127918**	**China: Heilongjiang**
俄罗斯泥鳅*Misgurnus nikolskyi*	JN858859	Russia: Maloye Vavayskoye Lake
俄罗斯泥鳅*Misgurnus nikolskyi*	JN858858	Russia: Maloye Vavayskoye Lake
大鳞副泥鳅*Misgurnus dabryanus*	KM576226	North Korea
大鳞副泥鳅*Misgurnus dabryanus*	KM576222	South Korea
大鳞副泥鳅*Misgurnus dabryanus*	KF732663	North Korea
大鳞副泥鳅*Misgurnus dabryanus*	AB674742	Japan: Gifu, Hashima, Takehana
大鳞副泥鳅*Misgurnus dabryanus*	AB898262	Japan: Fukui, Echizen City, Kataya
大鳞副泥鳅*Misgurnus dabryanus*	AY625701	China: Huangshan, Anhui
大鳞副泥鳅*Misgurnus dabryanus*	JQ011401	Australia
大鳞副泥鳅*Misgurnus dabryanus*	**MN127906**	**China: Hunan**
大鳞副泥鳅*Misgurnus dabryanus*	**MN127907**	**China: Hunan**
大鳞副泥鳅*Misgurnus dabryanus*	**MN127908**	**China: Hunan**
大鳞副泥鳅*Misgurnus dabryanus*	**MN127905**	**China: Liaoning**
大鳞副泥鳅*Misgurnus dabryanus*	**MN127915**	**China:Liaoning**
大鳞副泥鳅*Misgurnus dabryanus*	**MN127914**	**China: Jiangxi**
大鳞副泥鳅*Misgurnus dabryanus*	**MN127909**	**China: Hebei**
大鳞副泥鳅*Misgurnus dabryanus*	**MN127910**	**China: Hebei**
大鳞副泥鳅*Misgurnus dabryanus*	**MN127911**	**China: Hebei**
大鳞副泥鳅*Misgurnus dabryanus*	**MN127912**	**China: Guangdong**
大鳞副泥鳅*Misgurnus dabryanus*	**MN127913**	**China: Guangdong**
库勒潘鳅*Pangio* cf. *kuhlii*	EU670382	Ornamental fish trade

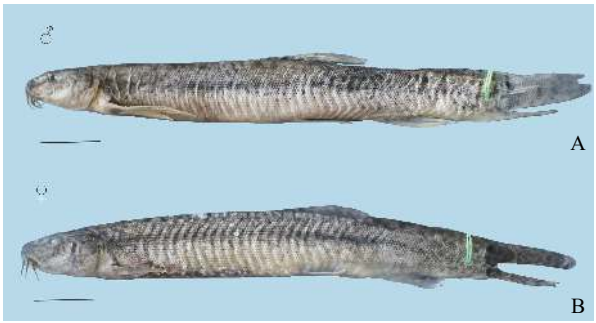


图 1 泥鳅(A. HU1810451 ♂, 66.8 mm; B. HU1810452 ♀, 76.5 mm; 采自江西省南昌市；比例尺: A、B=1cm)

Fig. 1 *Misgurnus anguillicaudatus* (A. HU1810451 ♂, 66.8 mm; B. HU1810452 ♀, 76.5 mm. China: Nanchang City, Jiangxi Prov.; Scale bars: A, B=1 cm)

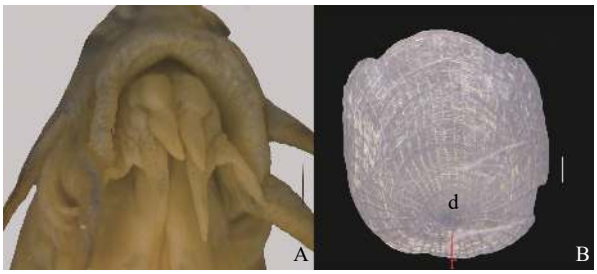


图 2 泥鳅(A、B. HU1810451, ♂, 66.8 mm; 采自江西省南昌市. d. 鳞焦直径, r. 基部环片到鳞焦的长度.比例尺: A=1 mm; B=0.1 mm)

Fig. 2 *Misgurnus anguillicaudatus* (A, B. HU1810451, ♂, 66.8 mm. China: Nanchang City, Jiangxi Prov.; d. length of scale focal; r. length of base scale ridges to scale focal. Scale bars: A=1 mm; B=0.1 mm)

口角须末端延伸至或超过眼后缘; 尾柄短, 雄性尾柄长为尾柄高的1.3—1.7(平均1.6)倍, 雌性为1.2—1.7(平均1.6)倍; 鳞焦极小, 鳞焦直径小于基部环片到鳞焦的距离, 具22—24个初生辐射沟(图 2B)。

形态描述: 测量数据见表 3。背鳍Ⅳ, 6—8; 臀鳍Ⅲ, 5; 胸鳍Ⅰ, 8—9, 腹鳍Ⅰ, 5—6。

骨骼特征: 如图 3所示, 上筛骨-中筛骨复合体(sec)侧面观前端延伸, 呈尖锐状; 梨骨(pv)腹面观呈蝶形; 额骨(fr)前端细长, 后端宽、短; 由额骨、顶骨(pa)及上枕骨(so)围成的囟门(fon)细、长; 外枕骨(eo)腹后缘未完全覆盖于枕髁(oc)上方; 副蝶骨(ps)近中央的两翼侧突前端略宽大, 与纵轴的夹角为较小的钝角; 基枕骨(bo)末端在背大动脉的腹面分叉。

分布范围: 在我国除西部高原外,各大水系均有分布。

北方泥鳅 *Misgurnus bipartitus* (Sauvage & Dabry de Thiersant, 1874)(图 4—6)

检视标本: HU1608613、1609183、1708191、1708149、1608610、1609178、1708190、1708192和1708150, 9尾(2尾雄性, 7尾雌性), 体长54.2—109.5 mm, 采自辽宁省鞍山市岫岩县大洋河; HU1708178、1708176、1708177、1708181、1609422、1609399、1608601、1608606、1708182、1609403和1609423, 11尾(4尾雄性, 7尾雌性), 体长72.0—128.7 mm, 采自内蒙古赤峰, 西辽河上游阴河; HU1806804、1806836和1806825, 3尾(1尾雄性, 2尾雌性), 体长85.3—94.8 mm, 采自河北省易县紫金关拒马河。

鉴别特征: 区别于泥鳅属其他物种的特征: 体纤细, 颏叶不发达, 内颏叶短小, 呈纽扣状; 外颏叶略长(图 5A); 须短, 口角须末端不达眼前缘; 尾柄长, 雄性尾柄长为尾柄高的2.3—3.4(平均2.9)倍, 雌性为2.2—3.5(平均2.9)倍; 鳞焦较小, 鳞焦直径约等于基部环片到鳞焦的距离, 具有23—24个初生辐射沟(图 5B)。

形态描述: 测量数据见表 4。背鳍Ⅳ, 6; 臀鳍Ⅲ, 5; 胸鳍Ⅰ, 8—9, 腹鳍Ⅰ, 5—6。

骨骼特征: 如图 6所示, 上筛骨–中筛骨复合体侧面观前端延伸, 呈尖锐状; 梨骨腹面观呈蝶形; 额骨前端细长, 后端宽、短; 囟门细、长; 外枕骨腹后

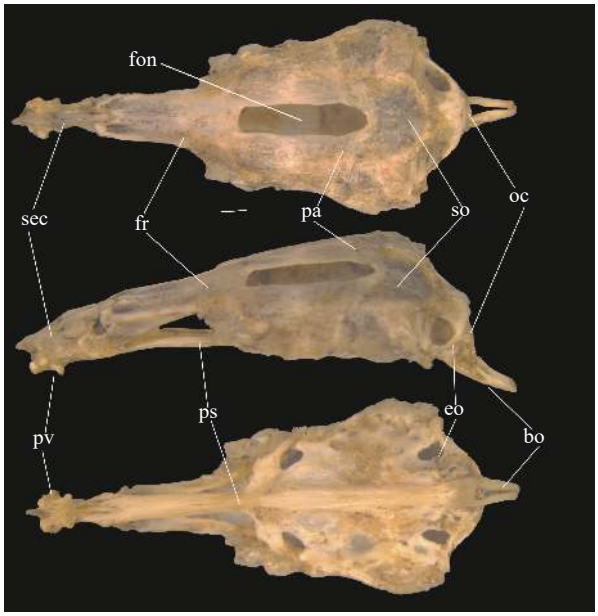


图 3 泥鳅脑颅, 从上到下依次为背面观、侧面观、腹面观

Fig. 3 Cerebral cranium of *Misgurnus anguillicaudatus*, from top to bottom, the dorsal view, the lateral view and the ventral view

比例尺= 1 mm. sec. 上筛骨-中筛骨复合体; fr. 额骨; pa. 顶骨; fon. 囟门; so. 上枕骨; bo. 基枕骨; v. 前梨骨; ps. 副蝶骨; eo. 外枕骨; oc. 枕髁

Scale bars=1 mm. sec. supraethmoid-ethmoid complex; fr. frontal; pa. parietal; fon. frontoparietal; so. supraoccipital; bo. basioccipita; v. vomer; ps. parasptenoid; eo. exoccipital; oc. occipital condyle

表 3　泥鳅的形态测量数据

Tab. 3　Morphometric data of *Misgurnus anguillicaudatus*

特征Character	雄性Male (*n*=6)			雌性Female (*n*=6)		
	范围Range	平均值Mean	方差*SD*	范围Range	平均值Mean	方差*SD*
体长Standard length (SL)	61.4—97.8	73.2	12.1	70.9—108.2	86.4	14.8
头长Head length (HL)	10.8—16.3	13.1	1.8	12.9—18.0	15.1	1.7
占体长的百分比Percentage of standard length (%)						
头长/体长HL/SL	16.7—19.2	18.0	0.9	15.1—19.9	17.7	1.4
体高/SL Body depth/SL	11.0—16.0	14.0	1.6	12.5—15.2	14.0	1.0
背鳍前长/SL Pectoral fin length/SL	57.3—65.3	60.9	3.3	54.8—62.0	59.5	2.3
胸鳍前长/SL Prepectoral length/SL	18.6—21.0	20.0	0.8	17.3—19.9	18.6	1.0
腹鳍前长/SL Prepelvic length/SL	60.3—66.8	63.5	2.0	57.0—62.7	60.9	2.0
臀鳍前长/SL Preanal length/SL	77.8—86.3	81.2	2.7	76.4—81.1	78.8	1.6
尾柄长/SL Caudal peduncle length/SL	13.7—18.8	16.1	1.6	13.3—17.7	15.9	1.5
尾柄高/SL Caudal peduncle depth/SL	9.1—12.3	10.4	1.0	9.0—11.0	10.1	0.7
背鳍长/SL Dorsal fin length/SL	15.2—19.7	17.8	1.7	12.7—17.9	15.2	1.9
胸鳍长/SL Pectoral fin length/SL	12.4—21.5	16.7	2.8	10.7—13.0	12.1	0.8
腹鳍长/SL Ventral fin length/SL	9.6—11.9	10.9	0.7	8.4—9.5	8.9	0.3
臀鳍长/SL Anal fin Length/SL	13.2—17.2	15.0	1.2	12.0—14.8	13.5	1.0
尾鳍长/SL Caudal fin length/SL	14.3—20.7	17.9	2.2	17.1—19.1	17.9	0.8
占头长的百分比Percentage of head length (%)						
头高/HL Head depth/HL	52.1—57.7	54.4	2.2	50.7—61.6	56.7	3.4
头宽/HL Head width/HL	42.6—49.9	47.6	2.5	44.6—52.5	49.2	2.5
吻长/HL Snout length/HL	30.1—37.6	34.1	2.8	30.6—40.5	34.9	3.5
眼后头长/HL Postorbital length/HL	45.0—58.3	52.1	4.7	49.6—61.5	56.6	4.6
眼径/HL Eye diameter/HL	8.3—17.5	12.6	4.0	7.7—13.2	10.0	2.0
眼间距/HL Interorbital width/HL	14.6—23.3	19.8	2.9	18.2—26.6	23.1	3.1
内吻须长/HL Inner rostral barbel/HL length/HL	30.5—39.8	36.2	2.9	30.9—37.8	36.0	2.4
外吻须长/HL Outer rostral barbel length/HL /HL	34.0—38.5	37.1	2.9	33.8—38.8	36.4	2.0
口角须长/HL Maxillary barbel length/HL	30.5—44.9	38.1	5.6	32.7—45.6	38.9	5.5

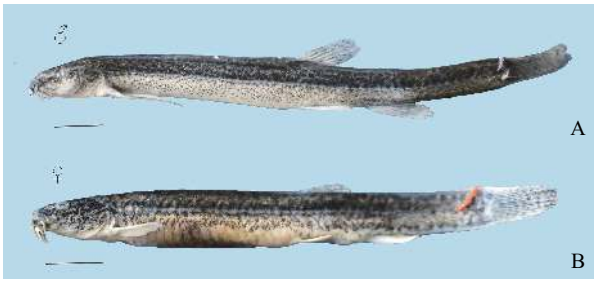


图 4　北方泥鳅(A. HU1708176 ♂, 96.5 mm; B. HU1608601 ♀, 72.0 mm; 采自内蒙古自治区赤峰.比例尺: A、B=1 cm)

Fig. 4　*Misgurnus bipartitus* (A. HU1708176 ♂, 96.5 mm; B. HU1608601 ♀, 72.0 mm. China: Chifeng City, Inner Mongolia. Scale bars: A, B=1 cm)

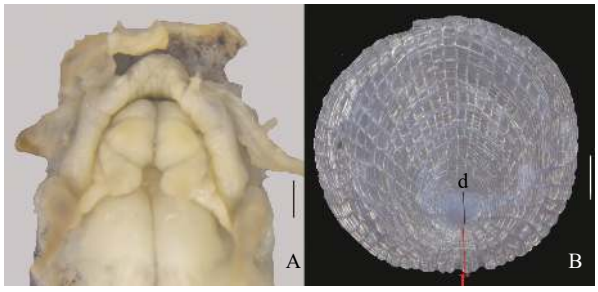


图 5　北方泥鳅(A、B. HU1708176 ♂, 96.5 mm; 采自内蒙古自治区赤峰.比例尺: A= 1 mm, B= 0.1 mm)

Fig. 5　*Misgurnus bipartitus* (A, B. HU1708176 ♂, 96.5 mm. China: Chifeng City, Inner Mongolia. Scale bars: A=1 mm, B= 0.1 mm)

缘完全覆盖于枕髁上方; 副蝶骨的两翼侧突前端窄小, 与纵轴的夹角近似直角; 基枕骨末端在背大动脉的腹面分叉。

分布范围: 分布于海河以北的大部分水系。

黑龙江泥鳅 *Misgurnus mohoity* (Dybowski, 1869)(图 7—9)

检视标本: HU1609381、1708194、1708147、1690385、1609382、1608457、1608388、1608463、

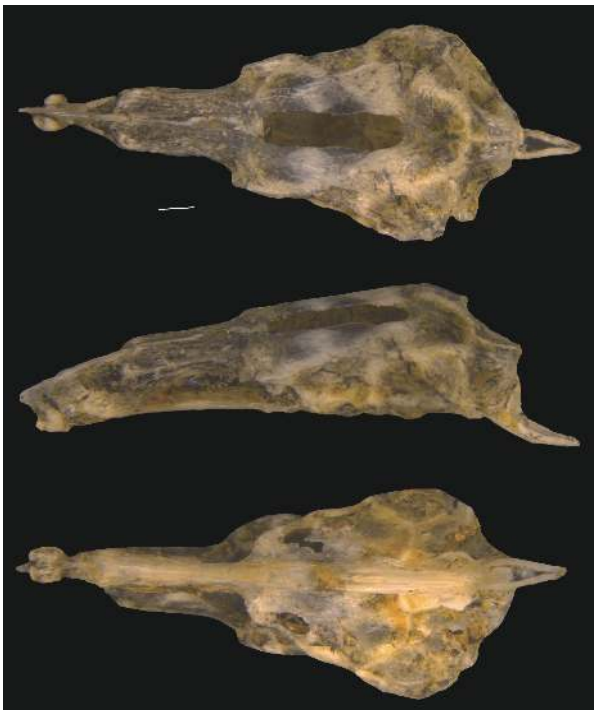


图 6 北方泥鳅脑颅 (从上到下依次为背面观、侧面观、腹面观.比例尺=1 mm)

Fig. 6 Cerebral cranium of *Misgurnus bipartitus* (from top to bottom, the dorsal view, the lateral view and the ventral view. Scale bars=1 mm)

1609387、1708160、1708102、1804029、1608385、1708148、1708163、1708159和1609386, 17尾(7尾雄性, 10尾雌性), 体长84.6—152.6 mm, 采自黑龙江塔河县的呼玛河; HU1609387、1608453、1708163、1608454、1608462、1608452、1608455、1804032、1804028、1804031、1608456、1608387和1708161, 13尾(4尾雄性, 9尾雌性),体长68.9—143.8 mm, 采自黑龙江宝清县的饶力河。

鉴别特征: 区别于泥鳅属其他物种的特征: 体中等, 颏叶略发达, 呈须状, 内颏叶长度大于眼径(图 8A); 腹鳍起点与背鳍起点相对或略靠后; 体鳞, 鳞焦较大, 鳞焦直径大于基部环片至鳞焦的距离, 具有28—29个初生辐射沟(图 8B); 梨骨呈梨形; 基枕骨末端在背大动脉的腹面愈合不完全。

形态描述: 测量数据见表 5。背鳍Ⅳ, 6; 臀鳍Ⅲ, 5; 胸鳍Ⅲ, 8—10; 腹鳍Ⅰ, 5—6。

骨骼特征: 如图 9所示, 上筛骨-中筛骨复合体侧面观前端短, 未延伸, 呈钝圆; 梨骨腹面观呈梨形; 额骨前端细长, 后端宽、短; 囟门细、长; 外枕骨腹后未覆盖于枕髁前上方; 副蝶骨的两翼侧突前端略宽大, 与纵轴的夹角为较大的钝角; 基枕骨末端在背大动脉的腹面愈合不完全。

表 4 北方泥鳅的形态测量数据

Tab. 4 Morphometric data of *Misgurnus bipartitus*

特征Character	雄性(*n*=7)Male (*n*=7)			雌性(*n*=16)Female (*n*=16)		
	范围Range	平均值Mean	方差*SD*	范围Range	平均值Mean	方差*SD*
体长Standard length (SL)	80.2—98.9	91.4	6.4	54.2—136.9	90.4	27.3
头长Head length (HL)	12.6—18.3	15.2	1.7	9.5—20.4	14.7	3.7
占体长的百分比Percentage of standard length (%)						
头长/体长HL/SL	15.7—19.3	16.6	1.2	14.8—18.8	16.5	1.3
体高/SL Body depth/SL	8.6—14.6	10.2	1.9	7.9—14.0	9.8	1.7
背鳍前长/SL Pectoral fin length/SL	56.1—58.6	57.1	0.9	53.0—65.4	58.8	2.7
胸鳍前长/SL Prepectoral length/SL	16.7—19.7	18.3	1.0	15.9—20.2	17.7	1.1
腹鳍前长/SL Prepelvic length/SL	56.5—60.0	58.8	1.2	54.5—61.9	59.1	1.8
臀鳍前长/SL Preanal length/SL	70.6—74.5	72.9	1.2	66.6—77.8	74.3	2.4
尾柄长/SL Caudal peduncle length/SL	15.8—22.9	21.0	2.3	16.8—22.9	20.4	1.5
尾柄高/SL Caudal peduncle depth/SL	6.8—10.5	7.8	1.2	6.1—9.2	7.2	1.0
背鳍长/SL Dorsal fin length/SL	13.9—15.7	14.6	0.6	11.1—15.3	12.9	1.2
胸鳍长/SL Pectoral fin length/SL	14.6—16.6	15.9	0.7	7.8—11.4	9.6	0.9
腹鳍长/SL Ventral fin length /SL	9.8—11.9	10.8	0.7	6.6—9.3	7.8	0.8
臀鳍长/SL Anal fin length/SL	12.9—15.7	14.3	0.9	9.2—13.4	11.6	1.1
尾鳍长/SL Caudal fin length/SL	14.0—16.9	15.6	1.1	5.7—16.7	13.5	2.9
占头长的百分比Percentage of head length (%)						
头高/HL Head depth/HL	47.3—54.9	50.9	2.5	45.6—63.7	52.0	5.3
头宽/HL Head width/HL	39.6—46.6	42.0	2.2	37.3—52.9	45.5	4.6
吻长/HL Snout length/HL	33.4—41.8	37.3	2.6	29.6—40.1	34.2	2.5

续表 4

特征Character	雄性(*n*=7)Male (*n*=7)			雌性(*n*=16)Female (*n*=16)		
	范围Range	平均值Mean	方差*SD*	范围Range	平均值Mean	方差*SD*
眼后头长/HL Postorbital length/HL	46.4—57.2	52.9	3.2	47.6—59.1	52.2	2.7
眼径/HL Eye diameter/HL	7.4—12.7	9.2	1.7	8.2—15.7	11.4	2.1
眼间距/HL Interorbital width/HL	16.2—21.0	18.5	1.5	16.5—23.1	19.2	1.7
内吻须长/HL Inner rostral barbel length/HL	15.8—29.9	22.7	5.1	15.7—30.3	22.9	6.1
外吻须长/HL Outer rostral barbel length/HL	17.1—30.4	23.7	5.1	16.7—30.6	23.7	5.2
口角须长/HL Maxillary barbel length/HL	17.9—30.6	24.4	5.2	17.9—31.9	24.7	6.5



图 7　黑龙江泥鳅(A. HU1708103 ♂, 116.4 mm; B. HU1608387 ♀, 143.8 mm; 采自黑龙江省宝清县和塔河县; 比例尺: A、B=1 cm)

Fig. 7　*Misgurnus mohoity* (A. HU1708103 ♂, 116.4 mm; B. HU1608387 ♀, 143.8 mm. China: Baoqing and Tahe County, Heilongjiang Prov.; Scale bars: A, B=1 cm)

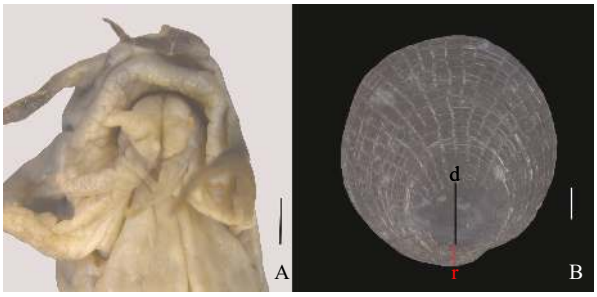


图 8　黑龙江泥鳅(A、B. HU1608457 ♂, 132.4 mm; 采自黑龙江省宝清县和塔河县. 比例尺: A=1mm, B=0.1 mm)

Fig. 8　*Misgurnus mohoity* (A, B. HU1608457 ♂, 132.4 mm. China: Baoqing and Tahe County, Heilongjiang Prov.; Scale bars: A=1 mm, B=0.1 mm)

分布范围: 分布于黑龙江流域。

大鳞副泥鳅 *Misgurnus dabryanus* (Dabry de Thiersant, 1872)(图 10—12)

检视标本: HU1810438、1708239、1708238、1810443、1810444、1810445、1810446、1810449、1708240、1810433、1810439、1810447、1800448和1608421, 14尾(9尾雄性, 5尾雌性), 体长54.8—111.4 mm, 采自雄安新区白洋淀(38°87′N, 116°05′E); HU1608424、1608425和1608423, 3尾(1尾雄性, 2尾雌性), 体长79.9—80.4 mm, 采自湖南省岳阳市平江县湘江; HU1608425、1608423、1608448和1608435, 4尾(1尾雄性, 3尾雌性), 体长79.9—102.1 mm, 采自湖北省咸宁市通城陆水; HU1810436、1810437、1810434、1608605、1708151和1609189, 6尾(1尾雄性, 5尾雌性), 体长42.4—107.0 mm, 采自辽宁省鞍山市岫岩县大洋河。

鉴别特征: 体粗壮, 颏叶发达, 呈长须状, 内颏叶长度大于眼径(图 11A); 须长, 口角须末端延伸至鳃盖后缘; 吻短, 雄性吻长为头长的26.4%—55.8%(平均34.0%), 雌性为29.8%—41.7%(平均34.6%); 尾柄长, 雄性尾柄长为尾柄高的1.3—1.8(平均1.6)倍, 雌性为1.2—2.0(平均1.5)倍; 皮质棱发达; 体鳞大, 鳞焦小, 鳞焦直径小于基部环片至鳞焦距离的1/2, 具有28—30个初生辐射沟(图 11B); 基枕骨末端在

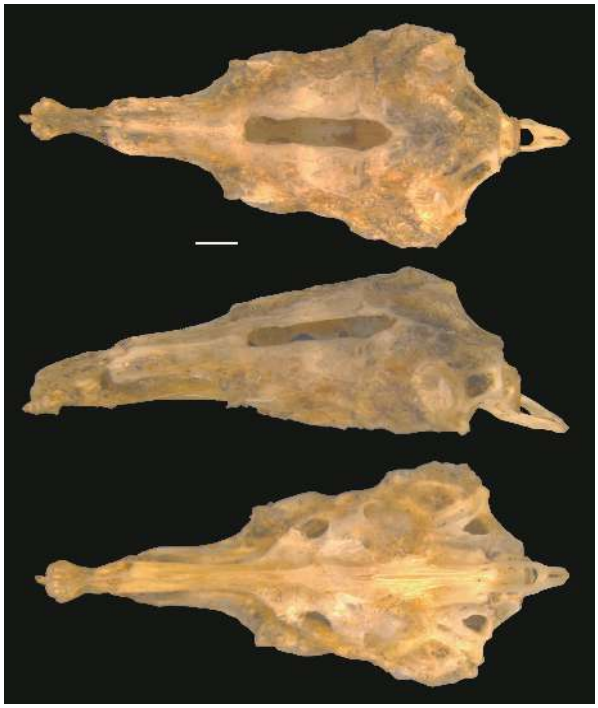


图 9　黑龙江泥鳅脑颅 (从上到下依次为背面观、侧面观、腹面观；比例尺=1 mm)

Fig. 9　Cerebral cranium of *Misgurnus mohoity* (from top to bottom, the dorsal view, the lateral view and the ventral view; Scale bars=1 mm)

表 5 黑龙江泥鳅的形态测量数据

Tab. 5 Morphometric data of *Misgurnus mohoity*

特征Character	雄性(*n*=17)Male (*n*=17)			雌性(*n*=17)Female (*n*=17)		
	范围Range	平均值Mean	方差*SD*	范围Range	平均值Mean	方差*SD*
体长Standard length (SL)	104.1—132.5	119.2	10.6	90.6—152.7	128.2	16.8
头长Head length (HL)	17.1—22.4	19.6	1.8	14.5—23.8	20.3	2.6
占体长的百分比Percentage of standard length (%)						
头长/体长HL/SL	15.8—17.3	16.4	0.5	14.7—16.9	15.8	0.6
体高/SL Body depth/SL	8.9—12.7	10.9	1.0	8.10—12.9	10.8	1.2
背鳍前长/SL Pectoral fin length/SL	55.9—63.3	60.0	2.3	54.8—62.6	59.9	2.5
胸鳍前长/SL Prepectoral length/SL	15.8—19.9	18.1	1.2	15.8—18.7	17.0	0.7
腹鳍前长/SL Prepelvic length/SL	58.1—63.9	60.6	1.7	55.8—62.4	59.4	2.1
臀鳍前长/SL Preanal length/SL	69.2—76.7	73.5	2.3	68.0—76.4	73.1	2.4
尾柄长/SL Caudal peduncle length/SL	14.2—19.5	16.9	1.6	13.6—21.8	16.4	1.9
尾柄高/SL Caudal peduncle depth/SL	6.7—10.4	8.2	1.3	6.5—11.2	8.2	1.2
背鳍长/SL Dorsal Fin length/SL	10.3—14.6	12.1	1.4	7.0—13.0	11.6	1.6
胸鳍长/SL Pectoral fin length/SL	12.3—16.5	14.3	1.5	7.2—16.3	9.0	2.4
腹鳍长/SL Ventral fin length /SL	6.6—9.5	8.0	0.8	5.0—7.9	6.0	0.7
臀鳍长/SL Anal fin length/SL	11.0—15.2	13.6	1.2	7.1—13.8	11.4	1.9
尾鳍长/SL Caudal fin length/SL	9.7—19.1	14.5	2.6	8.9—15.5	13.4	1.8
占头长的百分比Percentage of head length (%)						
头高/HL Head depth/HL	48.5—60.8	55.3	3.1	51.9—60.2	54.9	2.1
头宽/HL Head width/HL	36.4—53.8	45.7	4.3	43.9—54.9	47.7	2.8
吻长/HL Snout length/HL	32.5—44.5	37.1	3.5	33.0—42.1	37.1	2.7
眼后头长/HL Postorbital length/HL	50.6—57.9	54.8	2.5	47.2—64.4	55.1	4.3
眼径/HL Eye diameter/HL	5.2—12.5	7.9	2.5	4.7—13.7	8.3	3.2
眼间距/HL Interorbital width/HL	20.9—30.5	24.3	3.1	21.2—29.4	23.7	2.4
内吻须长/HL Inner rostral barbel length/HL	21.3—31.7	28.2	3.7	22.4—29.0	24.5	2.5
外吻须长/HL Outer rostral barbel length/HL	23.8—32.6	28.7	2.7	20.9—29.2	24.6	3.1
口角须长/HL Maxillary barbel length/HL	25.2—34.1	31.6	3.2	22.9—33.9	27.4	4.0



图 10 大鳞副泥鳅(A. HU1810444 ♂, 86.2 mm; B. HU1810448 ♀, 62.6 mm; 采自河北省安新县白洋淀.比例尺: A、B=1 cm)

Fig. 10 *Misgurnus dabryanus* (A. HU1810444 ♂, 86.2 mm; B. HU1810448 ♀, 62.6 mm. China: Baiyangdian, Hebei Prov.; Scale bars: A, B=1 cm)

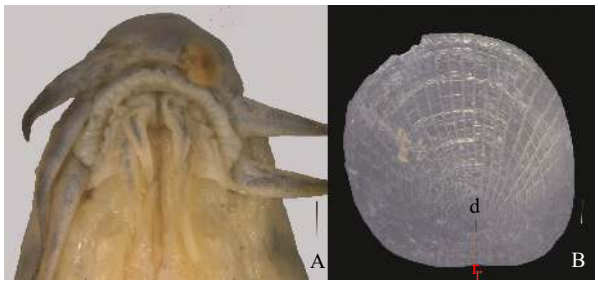


图 11 大鳞副泥鳅(A、B. HU1810444 ♂, 86.2 mm; 采自河北省安新县白洋淀.比例尺: A=1 mm, B=0.1 mm)

Fig. 11 *Misgurnus dabryanus* (A, B. HU1810444 ♂, 86.2 mm. China: Baiyangdian, Hebei Prov.; Scale bars: A=1 mm, B=0.1 mm)

背大动脉的腹面愈合完全。

形态描述: 测量数据见表 6。背鳍Ⅳ, 6—8; 臀鳍Ⅲ, 5; 胸鳍Ⅰ, 9—10, 腹鳍Ⅰ, 5—6。

骨骼特征: 如图 12所示, 上筛骨-中筛骨复合体侧面观前端延伸, 呈尖锐状; 梨骨腹面观呈梨形; 额骨宽、短, 前端窄于后端; 囟门宽、短, 呈长方形; 外枕骨腹后缘未覆盖于枕髁前上方; 副蝶骨的两翼侧突前端宽大, 与纵轴的夹角近似直角; 基枕骨末端在背大动脉的腹面末端愈合完全。

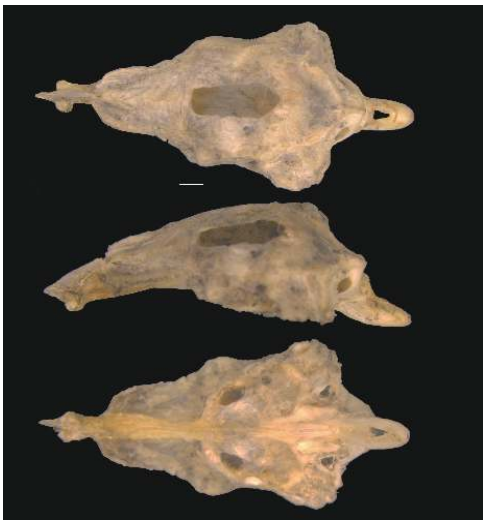


图 12　大鳞副泥鳅脑颅(从上到下依次为背面观、侧面观、腹面观；比例尺=1 mm)

Fig. 12　Cerebral cranium of *Misgurnus dabryanus* (from top to bottom, the dorsal view, the lateral view and the ventral view; Scale bars=1 mm)

分布范围: 在我国除西部高原外,各大水系均有分布。

2.2　基于*CO* Ⅰ与Cyt *b*基因的系统进化分析

将GenBank下载的18条*CO* Ⅰ序列与实验所得数据一并分析, 共88条, 单倍型44个, 单倍型多样性H_d=0.9711。*CO* Ⅰ基因序列长度为632 bp,其中, 保守位点(446)个, 占序列全长的70.6%, 变异位点(*V*)186个, 占29.4%, 简约信息位点(P_i)157个, 占24.8%。序列的平均碱基组成为T=32.3, C=26.6, A=23.5, G=17.7, 碱基组成表现出明显的T偏倚; 转换位点50个, 颠换位点19个, 转换与颠换的比值为(T_s/T_v)2.59。基于Kimura双参数进化模型计算的遗传距离显示, 泥鳅属和副泥鳅属属间遗传距离为14.4%—18.6%, 泥鳅属种间遗传距离10.4%—19.6%; 在4个物种中, 泥鳅与北方泥鳅遗传距离最小, 为10.4%; 泥鳅与黑龙江泥鳅遗传距离最大, 为19.6%(表 7)。基于*CO* Ⅰ基因构建的贝叶斯树(BI)和最大

表 6　大鳞副泥鳅的形态测量数据

Tab. 6　Morphometric data of *Misgurnus dabryanus*

特征Character	雄性(*n*=13)Male (*n*=13)			雌性(*n*=12)Female (*n*=12)		
	范围Range	平均值Mean	方差*SD*	范围Range	平均值Mean	方差*SD*
体长Standard length (SL)	54.8—99.9	77.4	12.7	62.6—111.4	84.3	14.5
头长Head length (HL)	10.4—15.6	12.9	1.6	8.6—18.2	14.5	1.7
占体长的百分比Percentage of standard length (%)						
头长/体长HL/SL	15.7—19.0	16.9	1.0	15.9—20.2	17.4	1.2
体高/SL Body depth/SL	12.9—15.2	14.0	0.8	11.1—16.5	14.5	1.5
背鳍前长/SL Pectoral fin length/SL	56.7—60.5	58.3	0.9	55.4—61.8	58.9	2.3
胸鳍前长/SL Prepectoral length/SL	15.7—20.0	17.9	1.1	16.1—21.1	18.3	1.6
腹鳍前长/SL Prepelvic length/SL	56.7—76.5	61.4	5.5	57.5—62.9	60.8	1.0
臀鳍前长/SL Preanal length/SL	60.8—80.7	75.2	5.1	72.7—82.2	78.3	1.8
尾柄长/SL Caudal peduncle length/SL	13.6—19.5	16.8	1.7	12.9—19.7	17.0	1.7
尾柄高/SL Caudal peduncle depth/SL	9.6—11.9	10.6	0.7	7.8—13.6	11.4	1.4
背鳍长/SL Dorsal fin length/SL	14.5—21.2	18.3	2.0	13.3—18.6	15.7	1.7
胸鳍长/SL Pectoral fin length/SL	15.4—20.0	17.8	1.5	9.3—15.8	12.6	1.8
腹鳍长/SL Ventral fin length /SL	9.8—14.8	12.7	1.6	7.6—11.5	9.6	1.4
臀鳍长/SL Anal fin length/SL	14.6—18.4	16.5	1.2	11.8—16.5	14.3	1.5
尾鳍长/SL Caudal fin length/SL	14.7—23.2	18.0	2.4	13.5—20.9	16.6	2.3
占头长的百分比Percentage of head length (%)						
头高/HL Head depth/HL	57.7—70.8	65.4	4.1	54.9—69.8	64.3	4.7
头宽/HL Head width/HL	43.3—55.1	49.0	3.3	38.2—55.7	50.6	3.2
吻长/HL Snout length/HL	26.4—55.8	34.0	8.0	28.9—41.7	34.6	3.3
眼后头长/HL Postorbital length/HL	11.3—61.1	52.4	14.1	45.8—55.4	51.3	3.0
眼径/HL Eye diameter/HL	8.8—25.6	13.3	4.7	6.2—18.0	13.0	4.0
眼间距/HL Interorbital width/HL	21.2—55.4	28.0	9.7	20.7—31.2	24.5	3.1
内吻须长/HL Inner rostral barbel length/HL	44.0—56.6	51.5	5.2	40.8—55.4	47.3	6.8
外吻须长/HL Outer rostral barbel length/HL	44.6—55.4	52.1	4.8	40.9—59.0	49.0	5.5
口角须长/HL Maxillary barbel length/HL	44.5—62.8	56.1	5.7	51.9—63.3	59.4	3.8

似然树(ML)拓扑结构一致(图 13), 泥鳅、北方泥鳅、黑龙江泥鳅及大鳞副泥鳅的个体均以高置信度聚为一枝, 其中泥鳅与北方泥鳅构成姐妹群, 再与黑龙江泥鳅聚在一起, 大鳞副泥鳅位于树的根部。

表 7 基于*CO*Ⅰ基因泥鳅属种间遗传距离与种内遗传距离

Tab. 7 Genetic distance between species of *Misgurnus* based on the *CO*Ⅰ gene

物种名Scientific name	1	2	3	4
1大鳞副泥鳅*M. dabryanus*	2.5%			
2北方泥鳅*M. bipartitus*	18.2%	0.7%		
3泥鳅*M. anguillicaudatus*	18.6%	**10.4%**	2.4%	
4黑龙江泥鳅*M. mohoity*	14.4%	18.1%	**19.6%**	2.2%

Cyt *b*序列共94条, 单倍型80个, 单倍型多样性H_d=0.9945. Cyt *b*基因序列长度为1113 bp,其中, 保守位点(C)697个, 占序列全长的62.6%, 变异位点(V)416个, 占37.4%, 简约信息位点(P_i)439个, 占39.4%, 序列的平均碱基组成为T=31.2, C=26.8, A=27.0, G=14.9, 碱基组成表现出明显的T偏倚; 转换位点92个, 颠换位点32个, 转换与颠换的比值为(T_s/T_v)2.7。基于Kimura双参数进化模型计算的遗

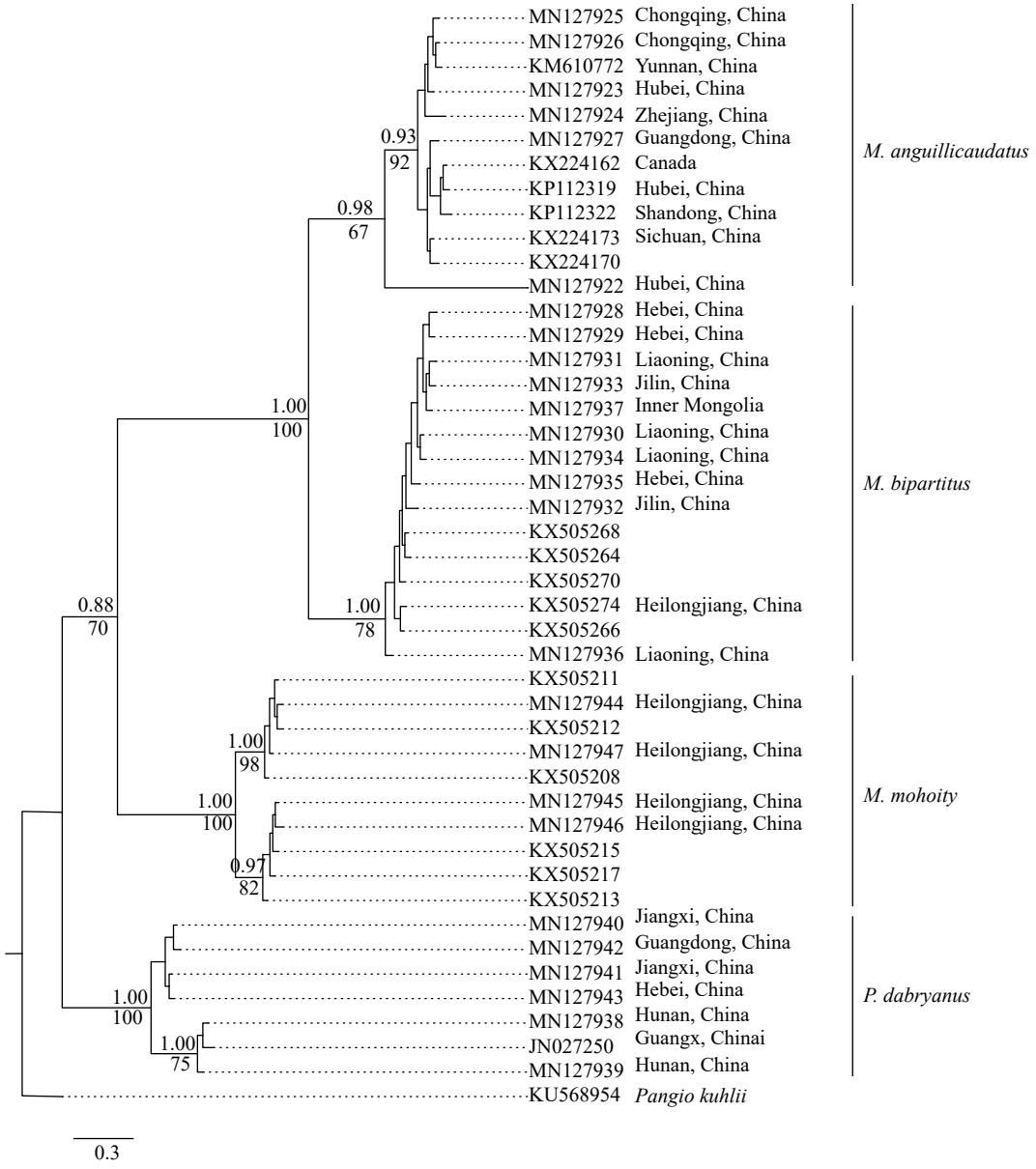


图 13 基于线粒体*CO*Ⅰ基因构建的BI树和ML树的合意树

Fig. 13 Bayesian tree for *Misgurnus* inferred from mitochondrial *CO*Ⅰ gene sequences

分支上的数字代表贝叶斯后验概率, 下方的数字代表ML的置信度

Clade credibility values were given for nodes with bootstrap support for ML (below branch) and posterior probability for Bayesian inferences (above branch)

传距离显示, 泥鳅属和副泥鳅属属间遗传距离为15.4%—19.5%, 泥鳅属种间遗传距离为 11.9%—19.3%; 4个物种间, 泥鳅与北方泥鳅的遗传距离最小, 为11.9%; 泥鳅与大鳞副泥鳅的遗传距离最大, 为19.5%(表 8)。基于Cyt *b*基因以及基因联合构建的贝叶斯树(BI)和最大似然树(ML)拓扑结构一致(图 14), 与*CO* Ⅰ基因进化树不同。泥鳅、北方泥鳅和大鳞副泥鳅亲缘关系近, 黑龙江泥鳅位于树的基部。

联合Cyt *b*和*CO* Ⅰ基因计算泥鳅属和副泥鳅属属间遗传距离为15.2%—17.5%, 泥鳅属种间遗传距离为10.7%—18.4%。基因联合基因构建的BI树和ML树与Cyt *b*基因树拓扑结构一致。

3　讨论

3.1　泥鳅属与副泥鳅属的分化及属的有效性

Mary等[15]认为属的主要特性是形态学上的独特性, 它与其他相似的单元之间存在着一个确定的间断。陈景星[2]认为在骨骼特征及外部形态特征上, 副泥鳅属区别于泥鳅属鱼类的特征为基枕骨末端在背大动脉腹下愈合, 须长, 鳞大, 尾柄皮质棱发达等。本文研究显示, 基枕骨末端在背大动脉腹下结构特征从分叉到愈合是一个逐渐演化的过程, 如北方泥鳅和泥鳅基枕骨末端分叉, 黑龙江泥鳅为不完全愈合, 大鳞副泥鳅为完全愈合。同样, 须的长度也是逐渐延长的过程, 北方泥鳅最短, 其次是黑龙江泥鳅、泥鳅和大鳞副泥鳅。虽然Nalbant[16]认为鳞片大小和形状, 鳞焦大小和位置, 及辐射沟特征等在鳅科不同属中存在差异, 但在泥鳅属和副泥鳅属4个物种中, 鳞片差异属于种间差异, 如泥鳅和大鳞副泥鳅鳞焦小, 北方泥鳅和黑龙江泥鳅鳞焦大。在鳅科鱼类中, 第二性征通常是属的主要鉴别特征, 如鳅属(*Cobitis*)在雄性胸鳍第二根鳍条基部具一骨质突起(Lamina circularis); 双须鳅(*Bibarba*)在雄性第二和第三根鳍条上具骨质突起; 萨瓦纳鳅属(*Sabanejewia*)在繁殖季节, 体侧垂直膨胀(Vertical swellings)。泥鳅属和副泥鳅属第二性征相同, 雄性胸鳍第二根鳍条变长变宽, 在繁殖季节, 雄性

表 8　基于Cyt *b*基因泥鳅属种间遗传距离与种内遗传距离

Tab. 8　Genetic distance between species of *Misgurnus* based on the Cyt *b* gene

物种名称Scientific name	1	2	3	4	5
1大鳞副泥鳅*M. dabryanus*	1.9%				
2北方泥鳅*M. bipartitus*	19.3%	3.9%			
3泥鳅*M. anguillicaudatus*	**19.5%**	12.0%	4.6%		
4黑龙江泥鳅*M. mohoity*	15.7%	19.3%	18.9%	2.1%	
5俄罗斯泥鳅*M. nikolskyi*	15.4%	19.3%	19.1%	**11.9%**	6.2%

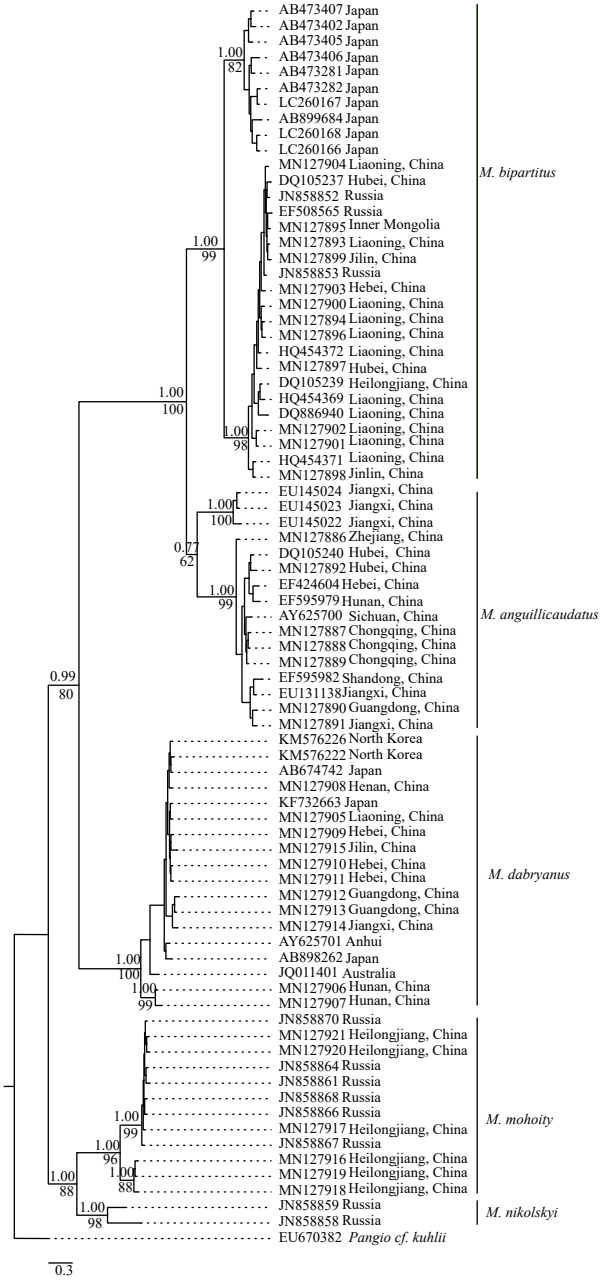


图 14　基于线粒体基因Cyt *b*构建的贝叶斯和ML的合一系统发育树

Fig. 14　Bayesian tree for *Misgurnus* inferred from mitochondrial Cyt *b* gene sequences

分支上的数字代表贝叶斯后验概率, 下方的数字代表ML的置信度

Clade credibility values were given for nodes with bootstrap support for ML (below branch) and posterior probability for Bayesian inferences (above branch)

身体两侧水平膨胀(Horizontal swellings)。综上所述, 基于形态特征副泥鳅属的有效性并没有得到很好的支持。

基于分子标记分析副泥鳅属的有效性也没有得到很好的支持。Šlechtová等[17]利用Cyt *b*和*Rag*1

作为分子标记否定了副泥鳅属的有效性。Perdices等[6]利用Cyt *b*和*Rag*1作为分子标记支持这一结论, 认为其为泥鳅属的次定同属异名。本研究基于线粒体Cyt *b*和*CO* Ⅰ基因的分析中, 副泥鳅属的有效性也没有得到很好的支持。在遗传距离上, 副泥鳅属与泥鳅属的遗传距离与泥鳅属种间距离相似; 在分子进化树中, 副泥鳅属的进化关系并不稳定, 在*CO* Ⅰ基因树中, 副泥鳅属位于树的根部; 在Cyt *b*基因树中, 副泥鳅属嵌套分布于泥鳅属中。因此, 本研究认同将副泥鳅属作为泥鳅属同属异名的观点。

3.2 黑龙江泥鳅与北方泥鳅的鉴定及物种有效性

本研究基于形态和分子的研究均支持北方泥鳅的有效性。虽然北方泥鳅被多数学者否认其有效性, 将其认为是黑龙江泥鳅的次定同物异名[6]。然而, 在形态特征上, 北方泥鳅与黑龙江泥鳅的形态差异最为直观, 如陈景星[2]、朱松泉[3]和李雅娟等[4]均指出北方泥鳅体细长、尾柄细长、背鳍前躯短、须短和尾柄皮质棱不发达等。本研究认为北方泥鳅属区别于黑龙江泥鳅还有以下特征: 上筛骨-中筛骨复合体前端延伸呈尖锐状; 梨骨呈蝶形; 外枕骨腹后缘延长, 覆盖于枕髁上方; 基枕骨末端在背大动脉腹面分叉; 鳞焦小。易少奎[18]推测黑龙江泥鳅与北方泥鳅是泥鳅属物种进化过程中变化较为迅速的表型。在分子水平上, 北方泥鳅与黑龙江泥鳅的遗传距离介于18.1%—18.9%, 属于泥鳅属种级分化水平; 在系统进化上, 北方泥鳅与黑龙江泥鳅处于两个不同的分支, 且北方泥鳅与泥鳅具有较近的亲缘关系, 与黑龙江泥鳅亲缘关系较远。本文的分子结果与易少奎[18]的结论一致, 支持北方泥鳅为有效种。

基于Cyt *b*的系统发育关系表明, 分布于日本的泥鳅与北方泥鳅聚为一支, 其遗传距离为7.0%, 属于种内分化水平, 分布于日本的泥鳅应为北方泥鳅。我国的黑龙江泥鳅与分布于俄罗斯部分俄罗斯泥鳅(JN858864、JN858861、JN858868、JN858866、JN858867和JN858870)以高置信度(BI=1.00, ML=96%)聚为一支, 其遗传距离为11.9%, 属于种间分化水平。Perdices等[6]曾认为俄罗斯泥鳅应为两个物种, 本研究支持其观点, Perdices所分析的材料包含2个物种: 俄罗斯泥鳅与黑龙江泥鳅。

参考文献:

[1] Froese R, Pauly D. FishBase. World Wide Web electronic publication [OL]. www.fishbase.org, version (02/2019).

[2] Chen J X. A study on the classification of the subfamily Cobitinae of China [A]//Chen J X (Eds.), Transactions of the Chinese Ichthyological Society [C]. Beijing: Science Press, 1981: 21-32. [陈景星. 中国花鳅亚科鱼类系统分类的研究 [A]//陈景星. 鱼类学论文集 [C]. 北京: 科学出版社, 1981: 21-32.]

[3] Zhu S Q. Synopsis of Freshwater Fishes of China [M]. Nanjing: Jiangsu Science and Technology Publishing House, 1995: 128. [朱松泉. 中国淡水鱼类检索 [M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1995: 128.]

[4] Li Y J, Yu Z, Zhang M Z, *et al*. Genetic diversity in Chinese loach species analyzed by microsatellite DNA markers [J]. *Journal of Northeast Agricultural University*, 2010, **41**(12): 75-79. [李雅娟, 于卓, 张明昭, 等. 我国三种野生泥鳅遗传多样性的微卫星分析 [J]. 东北农业大学学报, 2010, **41**(12): 75-79.]

[5] Li Y J, Zhang M Z, Yu Z, *et al*. Morphological variations in Amur weather fish *Misgurnus mohoity*, northern weather fish *Misgurnus bipartitus* and oriental weather fish *Misgurnus anguillicaudatus* in China [J]. *Journal of Dalian Fisheries University*, 2010, **25**(5): 397-401. [李雅娟, 张明昭, 于卓, 等. 黑龙江泥鳅、北方泥鳅和泥鳅的形态差异分析 [J]. 大连海洋大学学报, 2010, **25**(5): 397-401.]

[6] Perdices A, Vasil'ev V, Vasil'eva E. Molecular phylogeny and intraspecific structure of loaches (genera *Cobitis* and *Misgumus*) from the far east region of Russia and some conclusions on their systematics [J]. *Ichthyological Research*, 2012, **59**(2): 113-123.

[7] Yi S K, Zhong J, Huang S Q, *et al*. Morphological comparison and DNA barcoding of four closely related species in the genera *Misgurnus* and *Paramisgurnus* (Cypriniformes: Cobitidae) [J]. *Biochemical Systematics and Ecology*, 2017(70): 50-59.

[8] Chen Y X, Chen Y F. *Bibarba bibarba*: A new genus and species of Cobitinae (Pisces: Cypriniformes: Cobitidae) from Guangxi Province (China) [J]. *Zoologischer Anzeiger*, 2007, **246**(2): 103-113.

[9] Xiao W H, Zhang Y P, Liu H Z. Molecular systematics of Xenocyprinae (Teleostei: Cyprinidae): Taxonomy, biogeography and coevolution of a special group restricted in East Asia [J]. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 2001, **18**(2): 163-173.

[10] Tamura K, Peterson D, Peterson N, *et al*. MEGA 5: molecular evolutionary genetics analysis using maximum likelihood, evolutionary distance, and maximum parsimony methods [J]. *Molecular Biology and Evolution*, 2011, **28**(10): 2731-2739.

[11] Librado P, Rozas J. DnaSP v5: a software for comprehensive analysis of DNA polymorphism data [J]. *Bioinformatics*, 2009(25): 1451-1452.

[12] Posad D. JModelTest: phylogenetic model averaging [J]. *Molecular Biology and Evolution*, 2008, **25**(7): 1253-1256.

[13] Tamatakis A. RAxML version 8: a tool for phylogenetic analysis and post-analysis of large phylogenies [J]. *Bioinformatics*, 2014, **30**(9): 1312-1313.

[14] Huelsenbeck J P, Ronquist F. MRBAYES: Bayesian inference of phylogenetic trees [J]. *Bioinformatics*, 2001, **17**(8): 754-755.

[15] Mary E, Linsley E G, Usinger R L. Methods and Principles of Systematic Zoology [M]. McGraw-Hill, 1953: 55. [麦尔. 动物分类学的方法和原理 [M] (郑作新 译). 北京: 科学出版社, 1965: 55.]

[16] Nalbant T T. A study of the genera of Botiinae and Cobitinae (Pisces, Ostariophysi, Cobitidae) [J]. *Travaux Museum D'histoire Naturelle "Grigore Antipa"*, 1963(4): 343-379.

[17] Šleahtova V. Molecular phylogeny of the freshwater fish family Cobitidae (Cypriniformes: Teleostei): Delimitation of genera, mitochondrial introgression and evolution of sexual dimorphism [J]. *Molecular Phylogenetics Evolution*, 2008, **47**(2): 812-831.

[18] Yi S K. The phylogeny population structure and adaptive evolution of *Misgurnus* species in China [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2017: 19-35. [易少奎. 我国泥鳅属鱼类系统发育、群体结构及其适应性进化研究 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2017: 19-35.]

TAXONOMIC REVISION OF CHINESE SPECIES OF THE GENERA *MISGURNUS* AND *PARAMISGUENUS* (CYPRINIFORMES: COBITIDAE)

ZHANG Hui, WANG Yin-Xiao, YANG Hui-Lan, TAN Hui-Min and CHEN Yong-Xia

(*College of Life Sciences*, *Hebei University*, *Baoding* 071002, *China*)

Abstract: A taxonomic revision of the Chinese loach fishes of the genera of *Misgurnus* and *Paramisgurnus* was made in this paper based on the morphology features and sequences of mitochondrial Cyt *b* and *CO* Ⅰ gene. The results indicated that the species of *Misgurnus* and *Paramisgurnus* can be distinguished from the size of the scale, the length of the beard, and the degree of healing of the end of the basioccipital. The genetic distance between *Misgurnus* and *Paramisgurnus* were 15.2%—17.5%, which was very close to those among species for *Misgurnus* (10.7%—18.4%). Molecular phylogenetic analysis showed that the genus *Misgurnus* was not monophyletic, and *Paramisgurnus* was nested within *Misgurnus*. *Misgurnus bipartitus* and *M. anguillicaudatus* clustered together, and then clustered with *Paramisgurnus dabryanus*, *M. mohoity* was located at the basal of the phylogenetic tree. Based on the results of the morphology features and molecular data, *Paramisgurnus* should be recognized as a junior synonym of *Misgurnus*; *M. bipartitus* is a valid species distinct from *M. mohoity*.

Key words: Cobitidae; *Misgurnus*; *Paramisgurnus*; Morphology; Mitochondrial genes Cyt *b*; *CO* Ⅰ