

河南省高原鳅属鱼类分类厘定

汤永涛,胡博,闫雪朦,刘如垚,丁琪琪,孟晓林,周传江,聂国兴

(河南师范大学 水产学院,河南 新乡 453007)

摘要:高原鳅属鱼类广泛分布于青藏高原及其邻近地区,由于种间形态差异较小,高原鳅属鱼类一直是物种鉴定的难点类群.早期相关鱼类志和本课题组近期研究显示河南省分布有赛丽高原鳅、贝氏高原鳅、达里湖高原鳅和粗壮高原鳅,但早期文献野外调查范围较小,所用标本较少,描述也较为简单.在前期详细野外调查的基础上,通过形态学和分子系统学相结合的方法,对河南省以上 4 种高原鳅属鱼类进行鉴定和整理,补充详细的形态描述,明确该属四种鱼类在我省的分布情况.

关键词:河南省;高原鳅属;形态学;分类

中图分类号:Q959

文献标志码:A

高原鳅属(*Triplophysa*)隶属于鲤形目(Cypriniformes)鳅科(Cobitidae)条鳅亚科(Noemacheilinae),是条鳅亚科中最大的类群,也是分化最明显的属^[1].RENDAHL 最初以忽吉图高原鳅(*Triplophysa hutjertjuensis*)为模式种建立了高原鳅亚属^[2].BĂNĂRESCU 等将高原鳅分为赫氏鳅属(*Hedinichthy*)和高原鳅属^[3].朱松泉依据高原鳅雄性第二性征的结构特点,将高原鳅属设置成 2 个相应的亚属,即高原鳅亚属和赫氏鳅亚属^[4].何德奎等通过分子系统学研究发现高原鳅亚属是一个单系群^[5],而赫氏鳅亚属的种类嵌入到其他条鳅亚科鱼类分支中.侯飞侠等认为仅依据雄性个体第二性征将高原鳅属划分为高原鳅亚属和赫氏鳅亚属的有效性值得商榷^[7].由于高原鳅属鱼类鉴别难度较大,目前大多数学者仍将高原鳅属分为高原鳅亚属和赫氏鳅亚属^[5-7].迄今全世界已知的高原鳅属约有 100 多个种和亚种,其中分布在中国的物种数量占全世界总数的 85%.高原鳅属鱼类作为青藏高原最重要的类群之一,对高原地区的极寒和低氧环境表现出了很强的适应性.由于该属种类较多且分布范围较为广泛,所以近年来有大量的新种文章报道,但该属鱼类并没有被系统分类整理,相应的检索系统也没有得到完善,这导致了该属鱼类的分类仍存在一些争议和混乱^[8-10].高原鳅属鱼类在形态特征上相似性很高,使用传统的形态学方法很难将其区分开来.

据《河南鱼类志》记载,在河南分布的高原鳅属鱼类为赛丽条鳅(*Nemachilus sellaefer*),分布在三门峡灵宝市弘农涧河^[11],此后,又在境内陆续采集到一批样本,经鉴定是河南省鱼类新纪录种.许涛清等又对《河南鱼类志》进行了补充,其中就有贝氏高原鳅(*Triplophysa bleekeri*),分别采集于西峡和栾川等地^[12],但河南鱼类补遗上对贝氏高原鳅的形态特征描述较为简单.所以本研究使用形态学测量、解剖学鉴定和分子生物学验证相结合的方法对河南省分布的高原鳅属鱼类进行分类厘定和补充.

1 材料与方法

1.1 材料

河南省鱼类资源调查队在 2012 年至 2020 年间,在河南省范围内采集到大量高原鳅属鱼类标本,本研究

收稿日期:2021-03-17;修回日期:2021-04-07.

基金项目:国家自然科学基金(U2004146;31872199);河南省科技攻关重点项目(182102110007;182102110046);河南省创新型科技团队支持计划(CXTD2016043);2019 年度河南省高等学校青年骨干教师培养计划项目(2019GGJS063);河南师范大学博士科研启动费支持课题(5101229170141).

作者简介:汤永涛(1987—),男,河南新乡人,河南师范大学讲师,博士,主要从事鱼类分类和系统演化研究.

通信作者:聂国兴,河南师范大学教授,博士生导师,E-mail:niegx@htu.cn.

从 11 个样点选取 80 尾进行分析(表 1),根据形态和分子分析结果,鉴定为 4 种高原鳅,分别是赛丽高原鳅、达里湖高原鳅、贝氏高原鳅和粗壮高原鳅(见结果部分),其中每个物种各 20 尾,无水乙醇保存 10 尾,用于分子生物学分析,体积分数 10% 甲醛保存 10 尾,用于形态分析.另外,还包括 3 尾达里湖高原鳅模式产地(内蒙古达里诺尔湖)的酒精样品,用于分子系统学分析.所有样品均存放于河南师范大学水产学院鱼类标本室.

表 1 本研究所用样品信息表

Tab. 1 Detailed information of samples used in this study

物种	样点编号	地点	水系
赛丽高原鳅 <i>Triplophysa sellaefer</i>	1	济源市邵原镇黄棟树村	东阳河-黄河水系
	2	洛阳市洛宁县赵村镇薛桥村	马营河-黄河水系
	3	三门峡市卢氏县官坡镇兰东村	兰草河-黄河水系
	4	三门峡市灵宝市朱阳镇鱼仙河村	西涧河-黄河水系
	5	三门峡市卢氏县官坡镇磨上村	洛河-黄河水系
达里湖高原鳅 <i>Triplophysa dalaica</i>	6	安阳市林州市石板岩镇石板岩村	露水河-卫河水系
	7	安阳市林州市任村镇古城村	漳河-卫河水系
	8	焦作市博爱县青天风景区观音峡 内蒙古赤峰市达里诺尔湖	丹河-黄河水系 内陆自流水体
贝氏高原鳅 <i>Triplophysa bleekeri</i>	2	洛阳市洛宁县赵村镇薛桥村	马营河-黄河水系
	1	济源市邵原镇黄棟树村	东阳河-黄河水系
	9	洛阳市栾川县秋扒乡鸭石村	伊河-黄河水系
	10	三门峡市卢氏县双槐树乡大河西村	老灌河-丹江水系
粗壮高原鳅 <i>Triplophysa robusta</i>	6	安阳市林州市石板岩镇石板岩村	露水河-卫河水系
	11	济源市邵原镇东西山村	铁山河-黄河水系
	6	安阳市林州市石板岩镇石板岩村	露水河-卫河水系

1.2 形态学测量

以《中国条鳅志》为主要参考^[4],对 40 尾福尔马林标本进行形态测量,精确到 0.01 mm.解剖观察肠道的形态特征,测量的指标有体长(BL),体高(BD),尾柄长(CPL),尾柄高(CPD),头长(HL),吻长(SNL),眼径(OD),眼间距(IW),胸鳍长(PFL),背吻距(SD),胸、腹鳍基部起点之间的距离(PV)等 12 项指标,并计算 BL/BD, BL/HL, BL/CPL, HL/SNL, HL/OD, HL/IW, IW/OD, CPL/CPD, PFL/PV, SD/BL 的比值,同时在体视镜下观察并计数各鳍的分枝鳍条数目.

1.3 分子生物学鉴定

1.3.1 DNA 提取

在无水乙醇固定的标本上取约 0.2 g 的鳍条或者肌肉组织,置于 1.5 mL 的离心管中,用无菌滤纸残留的酒精吸干后,用酚-氯仿法提取基因组 DNA^[13].提取的基因组 DNA 进行电泳检测,检测基因组完整性,用 Nanodrop 2 000 超微量分光光度计检测浓度和纯度,保存于 -20 °C 冰箱用于后续分析.

1.3.2 PCR 扩增目的基因

本研究选取线粒体 *Cyt b* 基因进行 PCR 扩增,引物序列如下^[14]:

FL14724: 5'-GACTTGAAAAACCACCGTTG-3',

H15915: 5'-CTCCGATCTCCGGATTACAAGAC-3'.

PCR 反应体系为 25 μ L,包括 Mix 酶 12 μ L,正反引物各 0.5 μ L,基因组 DNA 1 μ L,灭菌双蒸水 11 μ L. PCR 反应条件为:95 °C 预变性 5 min;94 °C 变性 40 s,52 °C 退火 1 min,72 °C 延伸 1 min,设置循环 35 次;然后 72 °C 延伸 7 min,4 °C 保存.将扩增后获得的 PCR 产物进行琼脂糖凝胶电泳检测,经检测合格后送往武汉天一辉远生物科技公司进行双向测序.

1.4 数据分析

用 Lasergene 软件包中 Seqman 软件^[15]对测序得到的正向序列和反向序列进行组装及矫正,将组装之

后的一致序列在 NCBI(<https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>)网站上进行 BLAST 比对,以确认扩增所得到的序列是否为目的基因.为确定河南省高原鳅属鱼类的系统发育位置,从 NCBI 下载 48 种高原鳅共 77 条 Cyt *b* 序列^[16-21],将本研究获得序列与下载序列合并后用 Bioedit 软件进行多重比对分析,剪切后得到一致序列,用于后期构建系统发育树.以叶尔羌高原鳅为外类群,在 MrBayes3.2.8 中构建贝叶斯树(BI),共进行 10 000 000 代运算,取样频率为 1 000 代;在 RAxML 软件中构建最大似然树(ML),进行 1 000 次 bootstrap 重复来获取节点支持率.最后,根据系统发育树的结果,在 MEGA5.0 软件中计算种间平均 Kimura 双参数遗传距离(Kimura 2-parameter distance, K2P).

2 结果

2.1 高原鳅属物种鉴定

参考《中国条鳅志》的形态描述和鉴别特征^[4],根据本研究形态测量和分子系统学结果,将 80 尾高原鳅鉴定为 4 个物种,分别是赛丽高原鳅、贝氏高原鳅、达里湖高原鳅和粗壮高原鳅.表 2 为形态测量结果,主要特征均符合相应物种描述,具体形态描述见 2.2 部分.

本研究共测序获得 43 条 Cyt *b* 序列,其中河南省高原鳅 40 条,模式产地达里湖高原鳅 3 条,比对后一致序列长度为 1 112 bp. BI 法和 ML 法构建的系统发育树得到一致的结果,因此仅显示 BI 树.系统发育树(图 1)显示与形态鉴定一致的结果,河南省高原鳅属鱼类被分为 4 支,各支分别与形态鉴定的物种聚为 1 支.种间 K2P 遗传距离的计算结果显示,河南省赛丽高原鳅与 NCBI 数据库中赛丽高原鳅的组间距离为 0.004,河南省贝氏高原鳅与 NCBI 数据库中贝氏高原鳅的组间距离为 0.014,河南省达里湖高原鳅与模式产地达里湖高原鳅的遗传距离为 0.003,与 NCBI 数据库中达里湖高原鳅序列的组间遗传距离为 0.004,河南省粗壮高原鳅与数据库中粗壮高原鳅的组间距离为 0.014,均小于常用种间遗传距离 0.02.同时,河南省的高原鳅属鱼类与数据库中其他高原鳅属鱼类的组间遗传距离均大于 0.02,再次证实物种鉴定的准确性.

表 2 河南省 4 种高原鳅形态测量结果

Tab. 2 Morphometric results of four Triplophysa species in Henan province

指标	赛丽高原鳅 $n=10$		贝氏高原鳅 $n=10$		达里湖高原鳅 $n=10$		粗壮高原鳅 $n=10$	
	范围	平均值±标准差	范围	平均值±标准差	范围	平均值±标准差	范围	平均值±标准差
BL/BD	5.45~6.96	6.27±0.46	5.24~6.28	5.73±0.32	4.81~6.42	5.37±0.44	6.19~8.38	7.08±0.69
BL/HL	3.72~4.72	4.30±0.29	4.16~5.10	4.46±0.25	3.87~4.31	4.04±0.14	3.81~4.96	4.43±0.31
BL/CPL	4.61~6.02	5.23±0.37	4.25~5.34	4.91±0.37	4.25~5.19	4.70±0.33	4.76~6.33	5.33±0.47
HL/SNL	2.00~2.36	2.22±0.09	1.82~2.27	2.10±0.13	2.33~3.03	2.54±0.19	1.91~2.44	2.17±0.15
HL/OD	5.23~7.34	6.39±0.65	5.88~7.33	6.50±0.52	4.92~7.05	6.01±0.53	5.62~8.31	7.12±0.94
HL/IW	3.01~4.40	3.57±0.38	2.39~3.38	3.06±0.25	3.09~3.66	3.30±0.17	2.72~3.60	3.13±0.33
IW/OD	1.54~2.25	1.80±0.19	1.83~2.58	2.14±0.25	1.59~2.08	1.82±0.14	1.81~2.67	2.28±0.28
CPL/CPD	1.47~2.25	1.82±0.21	1.54~2.14	1.83±0.15	1.91~2.63	2.20±0.24	1.97~2.56	2.25±0.18
SD/BL	0.52~0.57	0.54±0.02	0.50~0.53	0.52±0.01	0.49~0.55	0.49±0.55	0.48~0.54	0.51±0.02
PFL/PV	0.49~0.73	0.65±0.08	0.46~0.67	0.55±0.07	0.50~0.66	0.58±0.06	0.30~0.49	0.38±0.06

2.2 物种形态描述

2.2.1 赛丽高原鳅形态学分析

赛丽高原鳅的形态特征(甲醛标本)如图 2 示,本研究中测量标本 10 尾,体长 53.75~85.58 mm.背鳍条 III-7~8,臀鳍条 III-5,胸鳍条 I-10~11,腹鳍条 II-7,尾鳍分枝鳍条 16.体长为体高的 5.45~6.96 倍,为头长的 3.72~4.72 倍,为尾柄长的 4.61~6.02 倍.头长为吻长的 2.00~2.36 倍,为眼径的 5.23~7.34 倍,为眼间距的 3.01~4.40,眼间距为眼径的 1.54~2.25 倍.尾柄长为尾柄高的 1.47~2.25 倍,背吻距即背鳍基部起点

至吻端的距离为体长的 52~57%。胸鳍长约为胸、腹鳍基部起点之间距离的 65%。身体细长型,体表裸露无鳞,侧线完全,吻部较尖,口下位,须较短,腹鳍基部起点相对于背鳍基部起点或稍前,尾鳍后缘凹入。

体色(福尔马林浸泡标本)呈浅黄色,背鳍前后各有 3~6 个褐色横斑,背鳍有 1 列斑点,尾鳍斑点成列或不成列,肠短,自“U”字形的胃发出向后,绕折成“Z”字形。分布在本省灵宝市、卢氏县、济源市和洛宁县等地。

2.2.2 贝氏高原鳅形态学分析

贝氏高原鳅的形态特征如图 3 示,本研究中测量标本 10 尾,体长 63.99~81.82 mm,背鳍条 III-7~8,臀鳍条 III-5~6,胸鳍条 I-10~11,腹鳍条 II-7,尾鳍分枝鳍条 16~17。体长为体高的 5.24~6.28 倍,为头长的 4.16~5.10 倍,为尾柄长的 4.25~5.34 倍。头长是吻长的 1.82~2.27 倍,是眼径的 5.88~7.33 倍,是眼间距的 2.39~3.38,眼间距是眼径的 1.83~2.58 倍。尾柄长为尾柄高的 1.54~2.14 倍,背吻距即背鳍基部起点至吻端的距离为体长的 50%~53%。胸鳍长约为胸、腹鳍基部起点之间距离的 55%。身体粗壮,前躯近似圆筒型,后躯侧扁,体表裸露无鳞,侧线完全,口下位,口裂较宽,唇光滑或有浅褶皱,下颌匙状露出于唇外,腹鳍基部起点相对于背鳍基部起点或稍后,腹鳍末端伸达肛门,尾鳍后缘凹入。

体色(福尔马林浸泡标本)呈浅黄色,背部略暗,背鳍前后各有 3~6 块褐色横斑,沿侧线有 1 列约 8~10 块褐色圆斑块,头部和体侧分布有较多褐色小斑点,背鳍有 2~3 列斑点,尾鳍有 1~3 列斑点,肠自“U”字形的胃发出向后,绕折成“Z”字形。此类群分布在本省的卢氏县、栾川县、济源市和洛宁县等地。

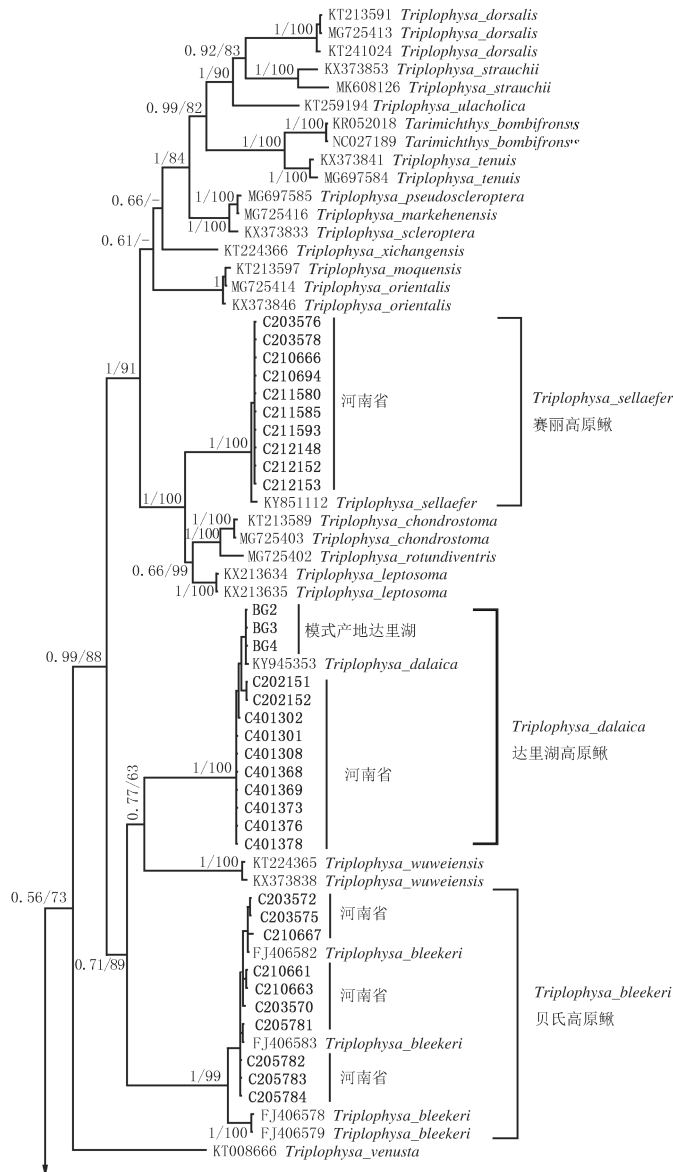
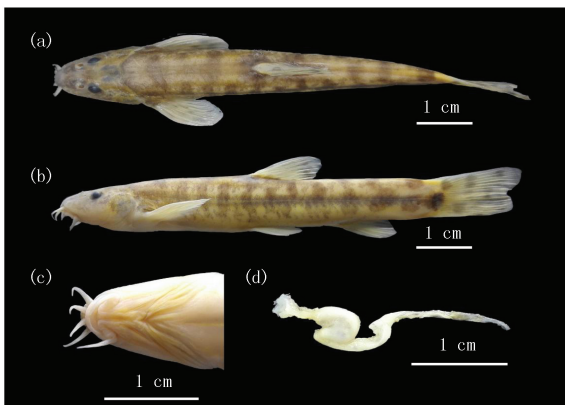




图1 基于Cyt b基因构建的贝叶斯树

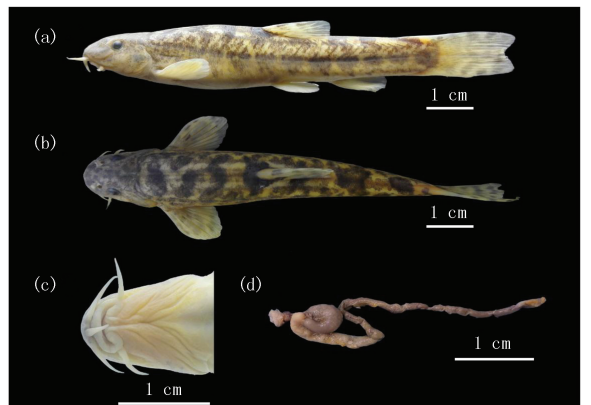
Fig.1 The Bayesian tree inferred from Cyt b gene



(a)背面观;(b)侧面观;(c)头部腹面观;(d)肠道。

图2 赛丽高原鳅主要形态鉴别特征

Fig.2 The main diagnostic morphological characteristics of Triplophysa sellaefer



(a)背面观;(b)侧面观;(c)头部腹面观;(d)肠道。

图3 贝氏高原鳅主要形态鉴别特征

Fig.3 The main diagnostic morphological characteristics of Triplophysa bleekeri

2.2.3 达里湖高原鳅形态学分析

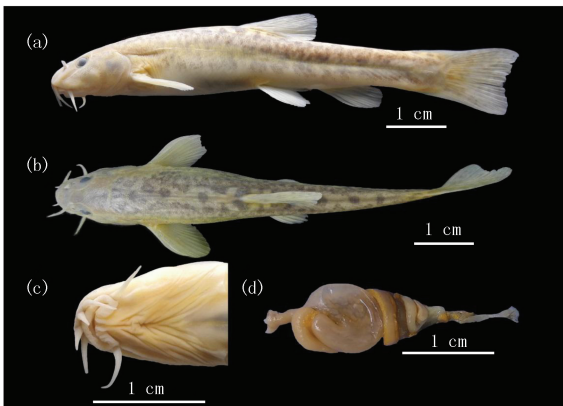
达里湖高原鳅的形态特征如图4,本研究中测量标本10尾,体长51.64~95.00 mm,背鳍条Ⅲ-7~8,臀鳍条Ⅲ-5,胸鳍条Ⅰ-10~12,腹鳍条Ⅱ-7,尾鳍分枝鳍条16~17.体长为体高的4.81~6.42倍,为头长3.87~4.31倍,为尾柄长的4.25~5.19倍.头长为吻长的2.33~3.03倍,为眼径的4.92~7.05倍,为眼间距的3.09~3.66,眼间距为眼径的1.59~2.08倍.尾柄长为尾柄高的1.91~2.63倍,背吻距即背鳍基部起点至吻端的距离为体长的49%~55%.胸鳍长约为胸、腹鳍基部起点之间距离的58%.身体粗壮,前躯近似圆筒型,后躯侧扁,无鳞,侧线完全,口下位,口裂较宽,唇面有短乳突或有皱褶,下颌匙状,腹鳍位置稍后,腹鳍末端伸达肛门或达到臀鳍基部起点,尾鳍后缘微凹.

体色(福尔马林浸泡标本)呈浅黄色,皮肤光滑,腹部颜色较浅,背部和侧面呈浅棕色,体侧有短横条和不规则的斑点,背鳍前后有4~6块褐色斑块,沿侧线有1列约8~10块褐色圆斑块,头部和体侧分布有较多褐色小斑点,胸鳍、背鳍和尾鳍均有不规则排列的小斑点.肠自“U”字形的胃发出向后,绕折成螺旋型,有3~5个环.此类群分布在本省安阳和焦作均有分布.

2.2.4 粗壮高原鳅形态学分析

粗壮高原鳅的形态特征如图5,本研究中测量标本10尾,体长62.21~96.68 mm,背鳍条Ⅲ-7~8,臀鳍条Ⅲ-5,胸鳍条Ⅰ-9~12,腹鳍条Ⅱ-7,尾鳍分枝鳍条14~16.体长为体高的6.19~8.38倍,为头长的3.81~4.96倍,为尾柄长的4.76~6.33倍.头长为吻长的1.91~2.44倍,为眼径的5.62~8.31倍,为眼间距的2.72~3.60倍,眼间距为眼径的1.81~2.67倍.尾柄长为尾柄高的1.97~2.56倍,背吻距即背鳍基部起点至吻端的距离为体长的48%~54%.胸鳍相对较短,胸鳍长约为胸、腹鳍基部起点之间距离的38%.身体粗壮,前躯较宽,后躯逐渐侧扁,头宽大于头高,无鳞,侧线完全,口下位,唇面光滑或有皱褶,下颌匙状,腹鳍位置稍后,尾鳍后缘深凹入.

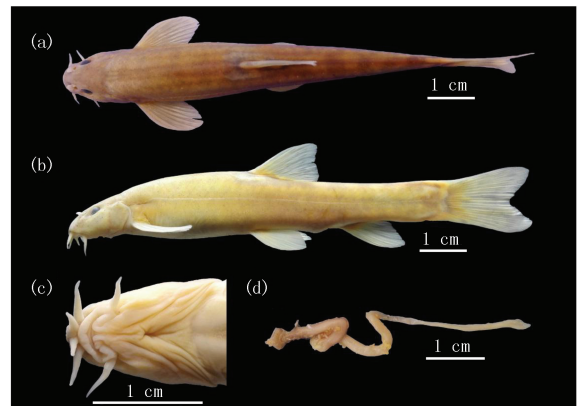
体色(福尔马林浸泡标本)呈浅黄色,皮肤光滑,腹部颜色较浅,体侧无明显斑纹,背鳍前后有4~6块褐色斑块,头部和体侧分布有较多褐色小斑点,胸鳍和背鳍有斑点,尾鳍成列或不成列的小斑点.肠自“U”字形的胃发出向后,在胃的后方绕折成“Z”字形.此类群在本省安阳和济源均有分布.



(a) 背面观; (b) 侧面观; (c) 头部腹面观; (d) 肠道.

图4 达里湖高原鳅主要形态鉴别特征

Fig.4 The main diagnostic morphological characteristics of *Triplophysa dalaica*



(a) 背面观; (b) 侧面观; (c) 头部腹面观; (d) 肠道.

图5 粗壮高原鳅主要形态鉴别特征

Fig.5 The main diagnostic morphological characteristics of *Triplophysa robusta*

3 讨论

3.1 高原鳅属鱼类的形态特征比较及分类厘定

综合前面形态测量、解剖观察和系统发育树的结果,参考现有资料^[4,11],本研究认为河南省内确定分布的有四种高原鳅,即赛丽高原鳅(*Triplophysa sellaefer*)、贝氏高原鳅(*Triplophysa bleekeri*)、达里湖高原

鳅(*Triplophysa dalaica*)和粗壮高原鳅(*Triplophysa robusta*)。

赛丽高原鳅,别名赛丽条鳅(*Nemachilus sellaefer*)(Nichols)^[22],在《河南鱼类志》^[11]中隶属于条鳅属(*Nemachilus*),物种名为赛丽条鳅。这与当时高原鳅属的概念以及定属特征尚未被国内学者广泛知晓或接受有关,因此在早期文献和著作中,我国鱼类分类学者普遍将高原鳅归入了条鳅属。此后武云飞和吴翠珍最先采用高原鳅属这一属名^[23],随后的《秦岭鱼类志》^[24]和《中国条鳅志》^[4]均采用这一属名。目前,早期条鳅属中的大部分种类被调整到高原鳅属,所以本研究将《河南鱼类志》中的赛丽条鳅调整到高原鳅属,订正为赛丽高原鳅。

河南省四种高原鳅形态差别主要存在以下几个方面,赛丽高原鳅相比其他3种高原鳅,身体更加细长,腹鳍起点与背鳍起点相对或稍靠前。对于贝氏高原鳅来说,其下颌边缘露出,背鳍和尾鳍分别有2~3列和1~3列斑点,沿侧线有1列约8~10块深褐色斑块,而其他3种高原鳅的下颌边缘未露出,背鳍和尾鳍仅有1列或不成列的小斑点。达里湖高原鳅的肠自“U”字形的胃发出后,在胃的后方绕折成3~5个环的螺旋状,明显区别于其他3种高原鳅的肠盘曲成较为简单的“Z”字形,另外达里湖高原鳅的尾鳍微凹,两叶圆,其他3种高原鳅的尾鳍后缘深凹入。粗壮高原鳅腹鳍较短,末端不伸达肛门,身体前躯粗壮近圆筒型,区别于其他3种高原鳅。

3.2 河南省高原鳅属鱼类检索

为了方便鉴定河南省4种高原鳅属鱼类的物种,制定检索表如下:

- 1(2)肠自“U”型胃发出后,在胃的后方绕折成螺旋型(腹面观),有3~5个环…………… 达里湖高原鳅
- 2(1)肠自“U”型胃发出后,在胃的后方折向前,在胃后方绕折成“Z”字形
- 3(4)腹鳍末端伸达肛门,或接近臀鳍起点…………… 贝氏高原鳅
- 4(3)腹鳍末端不伸达肛门
- 5(6)身体细长,腹鳍基部起点的位置与胸鳍基部起点相对或者稍靠前…………… 赛丽高原鳅
- 6(5)身体前躯近圆筒型,腹鳍基部起点的位置与胸鳍基部起点相对或者稍靠后,尾鳍基部颜色较深 ……………… 粗壮高原鳅

3.3 高原鳅属鱼类的生存现状及保护意义

早期文献记录高原鳅属鱼类在河南省的分布范围仅限于灵宝市、栾川县、西峡县和安阳林州等地,分布范围较小,经过河南省鱼类资源调查队长期详细地调查后,新增该属鱼类在河南省的新分布区,包括济源市、洛宁县、卢氏县、博爱县等地,这为高原鳅属鱼类的保护及后期的利用提供了基础资料和数据。在实地采样过程中发现该属鱼类大多生活在海拔较高、温度较低、多砂石的水域,是冷水性底栖小型鱼类。但是近年来随着工业化程度提高和人类活动不断加剧,全球气候变暖,水体污染,河流断流等问题对高原鳅属鱼类的生存环境带来一系列不利影响,提示应尽早开展该类群相关的生物学研究,并及早采取一定的保护措施。另外,在查验标本时发现,部分标本和目前已命名的高原鳅属鱼类存在一定的形态差异,有待进一步通过更加详尽的形态和分子方法确定其是否为新物种,或是已知鱼类的种内形态变异。

参 考 文 献

- [1] 陈宜瑜,陈毅峰.青藏高原动物地理区的地位和东部界线问题[J].水生生物学报,1996,20(2):97-103.
CHEN Y Y, CHEN Y F. The status of the Qinghai-Tibet Plateau animal geographic area and the eastern boundary[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 1996, 20(2): 97-103.
- [2] RENDALHL H. Studien über innerasiatische Fische[J]. Ark Zool, 1933, 25(11): 1-51.
- [3] BĂNĂRESCU P, NALBANT T. A collection of Cyprinoidei from Afghanistan and Pakistan with description of a new species of Cobitidae (Pisces, Cypriniformes)[J]. Mitt Hamburg Zool Mus Inst, 1975, 72: 241-248.
- [4] 朱松泉. 中国条鳅志[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1989.
ZHU S Q. The loaches of the subfamily Nemacheilinae in China (Cypriniformes: Cobitidae)[M]. Nanjing: Jiangsu Science and Technology Press, 1989.
- [5] 何德奎,陈咏霞,陈毅峰,等.高原鳅属 *Triplophysa* 鱼类的分子系统发育和生物地理学研究[J].自然科学进展,2006,16(11):1395-1404.
HE D K, CHEN Y X, CHEN Y F, et al. Molecular phylogeny and biogeography of genus *Triplophysa*[J]. Progress in Natural Science, 2006, 16(11): 1395-1404.

- [6] 杨君兴,褚新洛.南盘江水系三种高原鳅的分化(鲤形目:鳅科)[J].动物分类学报,1990,15(3):377-383.
YANG J X, CHU X L. Differentiation of three Loaches of The genus *Triplophysa* in Nanpan Basin, Yunnan[J]. Zoological Systematics, 1990, 15(3): 377-383.
- [7] 侯飞侠,何春林,张雪飞,等.高原鳅属鱼类雄性第二性征[J].动物分类学报,2010,35(1):101-107.
HOU F X, HE C L, ZHANG X F, et al. Secondary sexual characters in males of *Triplophysa* fishes[J]. Zoological Systematics, 2010, 35(1): 101-107.
- [8] FROESE R, PAULY D. FishBase. World Wide Web electronic publication[EB/OL]. [2021-01-15]. <http://www.fishbase.org>, version(01/2005).
- [9] CHEN X, YANG J. *Triplophysa rosa* sp. nov.; a new blindloach from China[J]. Journal of Fish Biology, 2005, 66(11): 599-608.
- [10] 何春林,宋昭彬,张鸷,等.中国高原鳅属鱼类及其分类研究现状[J].四川动物,2011,30(01):150-155.
HE C L, SONG Z B, ZHANG E, et al. *Triplophysa* fishes in China and the status of its taxonomic studies[J]. Sichuan Journal of Zoology, 2011, 30(1): 150-155.
- [11] 新乡师范学院生物系.河南鱼类志[M].郑州:河南科技出版社,1984.
Department of Biology, Xinxing Normal University. The Fish History in Henan[M]. Zhengzhou: Henan Science and Technology Press, 1984.
- [12] 许涛清,李仲辉.河南鱼类补遗[J].河南师范大学学报(自然科学版),1991,19(1):81-83.
XU T Q, LI Z H. Supplement of Fishes from Henan[J]. Journal of Henan Normal University(Natural Science Edition), 1991, 19(1): 81-83.
- [13] 黄培堂.分子克隆实验指南精编版[M].北京:科学出版社,2008.
- [14] XIAO W, ZHANG Y, LIU H. 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.
- [15] SWINDELL S R, PLASTERER T N. Seqman; contig assembly[J]. Methods in Molecular Biology, 1997, 70(6): 75-89.
- [16] WANG Y, SHEN Y, FENG C, et al. Mitogenomic perspectives on the origin of Tibetan loaches and their adaptation to high altitude[J]. Scientific reports, 2016, 6(1): 29690.
- [17] BOHLEN J, DVORAK T, VLASTIMILŠ, et al. Sea water shaping the freshwater biota: Hidden diversity and biogeographic history in the *Paracanthocobitis zonalternans* species complex(Teleostei: Nemacheilidae) in western Southeast Asia[J]. Molecular Phylogenetics and Evolution, 2020, 148: 106806.
- [18] LEI D, KANU U C, ZHAO G, et al. The complete mtDNA genome of *Triplophysa dorsalis*(Cypriniformes, Balitoridae, Cobitoidea): genome characterization and phylogenetic analysis[J]. Mitochondrial DNA Part A, 2016, 27(5): 3745-3746.
- [19] TANG Q Y, LIU H Z, MAYDEN R, et al. Comparison of evolutionary rates in the mitochondrial DNA cytochrome b gene and control region and their implications for phylogeny of the Cobitoidea(Teleostei: Cypriniformes)[J]. Molecular Phylogenetics and Evolution, 2006, 39(2): 347-357.
- [20] WANG C, LIANG Y Q, LI M, et al. Complete mitochondrial DNA genome of *Triplophysa venusta*(Cypriniformes: Cobitida)[J]. Mitochondrial DNA Part A, 2015, 27(6): 4617-4619.
- [21] GONG X L, XU H B, XIANG W, et al. Complete mitochondrial genome of Kashgarian loach, *Triplophysa yarkandensis*(Day, 1877) in the Tarim river[J]. Mitochondrial DNA Part A, 2015, 27(5): 3192-3193.
- [22] 李思忠.黄河鱼类区系的探讨[J].动物学杂志,1965,7(5):217-222.
LI S Z. Discussion on the fish fauna of the Yellow River[J]. Chinese Journal of Zoology, 1965, 7(5): 217-222.
- [23] 武云飞,吴翠珍.青海省逊木措的鱼类及高原鳅属一新种的描记[J].动物分类学报,1984,9(3):326-329.
WU Y F, WU C Z. Notes on Fishes from lake Sunm Cuo of Qinghai Province, China[J]. Zoological Systematics, 1984, 9(3): 326-329.
- [24] 陕西省动物研究所等.秦岭鱼类志[M].北京:科学出版社,1987.
Institute of Zoology, Shanxi Province. Fishes of Qingling Mountain Region[M]. Beijing: Science Press, 1987.

Classification of the genus *Triplophysa* in Henan Province

Tang Yongtao, Hu Bo, Yan Xuemeng, Liu Ruyao, Ding Qiqi, Meng Xiaolin, Zhou Chuanjiang, Nie Guoxing

(College of Fisheries, Henan Normal University, Xinxiang 453007, China)

Abstract: The genus *Triplophysa* is widely distributed in the Qinghai-Tibet Plateau and its adjacent areas. Due to the minute morphological differences, the genus *Triplophysa* has always been a difficult group for species identification. Early related taxonomic books and recent researches showed that there were four *Triplophysa* species in Henan province, namely *Triplophysa sellaefer*, *Triplophysa bleekeri*, *Triplophysa dalaica*, and *Triplophysa robusta*. However, the local field sur-

vey, the small amount of specimens used in morphological analysis and simple morphological description in early literatures made the basic data not clear for *Triplophysa* species in Henan province. Based on the detailed field investigation, this study comprehensively inspected the specimens, by using the method of morphology and molecular systematics to identify species and supplement the detailed morphological description, determined the range of *Triplophysa* in Henan Province. This study will contribute to the revision of Ichthyology of Henan Province.

Keywords: Henan Province; *Triplophysa*; morphology; taxonomy

[责任编辑 刘洋 杨浦]

(上接第 58 页)

Water quality evaluation of Daheiting reservoir based on principal component analysis and WQI_{\min}

Zhu Changjun^{1,2}, Zhao Fangxing¹, Li Budong³, Wang Shiyan³, Hao Wenlong¹

(1. College of Energy and Environmental Engineering, Hebei University of Engineering, Handan 056038, China;

2. State Key Laboratory of Hydrology, Water Resources and Hydraulic Engineering, Hohai University, Nanjing 210009, China;

3. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China)

Abstract: Daheiting reservoir is the source of the Luan River Diversion Project. The quality of water is related to the safety of drinking water in the surrounding area. The evaluation of water quality is still in the stage of single index and multi-index analysis. Principal component analysis (PCA) and WQI_{\min} (minimum water quality index) were combined to quantitatively evaluate the water quality of Daheiting reservoir based on the water quality monitoring data of different water periods in 2019. The results showed that the water quality of Daheiting reservoir was medium in 2019, and the water quality of high water period was slightly better than that of low water period, and the water quality of dam head was slightly better than that of reservoir tail. The main pollution types of Daheiting reservoir in this period are organic pollution and eutrophication pollution according to the water quality factors selected by principal component analysis. Taking the horizontal period as an example, the minimum water quality index (WQI_{\min}) based on principal component analysis has certain feasibility and reference value in the water environment comprehensive water quality evaluation under the premise of fully considering the weight of environmental factors.

Keywords: Daheiting reservoir; principal component analysis; WQI_{\min} ; water quality assessment

[责任编辑 赵晓华 陈留院]