

doi: 10.7541/2019.16

河南省淮河流域鳊鱼亚科5种鱼形态差异分析

王景龙 陈启豪 陆文泽 袁淑琴 胡清霞 岑双双 周传江 孟晓林
聂国兴 顾钱洪

(河南师范大学水产学院, 新乡 453007)

摘要: 为进一步从可量性状比较中华鳊鱼(*Rhodeus sinensis*)、越南鳊鱼(*Acheilognathus tonkinensis*)、大鳍鳊鱼(*A. macropterus*)、兴凯鳊鱼(*A. chankaensis*)和斑条鳊鱼(*A. taenianalis*)的种间形态差异, 丰富鳊鱼亚科鱼类的形态分类特征, 研究采用多变量形态度量学方法对河南省淮河流域这5种鱼的形态进行比较分析。结果表明: 这5种鱼在体宽/体长、头长/体长、吻长/体长、尾柄长/体长、背鳍基底长/体长、腹鳍长/体长、臀鳍长/体长和头长/吻长8个比值性状上存在极显著性差异($P < 0.01$), 在全长/体长、体高/体长2个比值性状上存在显著性差异($P < 0.05$), 这些差异主要集中在鱼体的头部、尾部和鳍等部位。主成分分析、聚类分析和判别分析显示5种鱼存在显著性形态差异, 斑条鳊鱼与越南鳊鱼的差异程度最大, 与大鳍鳊鱼差异程度最小。判别分析获得的判别准确率在82.35%—100.00%变化, 可以从一定的角度区分这5种鱼。

关键词: 鳊鱼亚科; 形态差异; 单因素方差分析; 主成分分析; 判别分析; 聚类分析

中图分类号: Q959.46⁺8

文献标识码: A

文章编号: 1000-3207(2019)01-0123-10

鳊鱼亚科(Rhodeinae)鱼类是小型鱼类, 食性杂, 喜在浅水区群游, 是其他肉食性鱼类和鸟类的天然饵料, 具有重要的生态价值。另外, 因其个体小, 且成体色彩鲜艳, 是我国著名的原生观赏鱼类^[1]。鳊鱼亚科又称鳊亚科, 隶属于鲤形目(Cypriniformes)鲤科(Cyprinidae), 分布较广。按照Arai和Akai(1988)提出的包括鳊属(*Acheilognathus*)、鳊鱼属(*Rhodeus*)和田中鳊鱼属(*Tanakia*)3个属分类方式^[2], 各属间体型相仿, 大多具有非常相似的形态特征, 不易区分。为此, 一些学者对鳊鱼亚科鱼类的外部形态特征和内部解剖结构做了大量比较研究^[3-7], 但对鳊鱼亚科鱼类的分类存在分歧, 没有统一论。为了进一步厘清鳊鱼亚科常见种类的形态分类特征, 本研究通过形态度量学方法, 对分布在淮河流域的鳊鱼亚科常见种类进行形态比较研究, 为鳊鱼亚科种类鉴定提供基础数据。根据相关调查, 河南省淮河流域鳊鱼亚科常见种类主要是中华鳊鱼(*R. sinensis*)、越南鳊鱼(*A. tonkinensis*)、大鳍鳊鱼(*A. macropterus*)、兴凯

鳊鱼(*A. chankaensis*)和斑条鳊鱼(*A. taenianalis*)^[8-11], 对这5种鱼进行形态比较分析, 为鳊鱼亚科鱼类的分类学研究提供依据。

1 材料与方法

1.1 样本采集地点及时间

2015年8—10月, 我们采集淮河干流及其主要支流的野生鱼类样本, 并用10%的福尔马林溶液固定。其中中华鳊鱼51尾、越南鳊鱼42尾、大鳍鳊鱼39尾、兴凯鳊鱼40尾、斑条鳊鱼17尾, 共采集189尾。具体采样点信息见表1和图1。保存的标本带回实验室进行形态测量。标本的分类鉴定采用纳尔逊分类系统(5种鳊鱼亚科鱼的主要鉴定依据见表2), 并参考《中国动物志硬骨鱼纲鲤形目》和《中国淡水鱼类检索》等国内权威出版物^[12, 13]。

1.2 数据测量和分析

形态测量 选取全长(TL)、体长(BL)、体高(BD)、体宽(BW)、头长(HL)、吻长(SNL)、腹

收稿日期: 2018-01-25; 修订日期: 2018-04-20

基金项目: 河南省重点科技攻关项目(182102110237、182102110046、172102310751); 河南省水产动物营养与健康养殖创新型科技团队(CXTD2016043)资助 [Supported by the Key Technology Research Project of Henan Province (182102110237, 182102110046, 172102310751); Innovation Scientists and Technicians Troop Construction Projects of Henan Province (CXTD2016043)]

作者简介: 王景龙(1995—), 男, 蒙古族, 河南南阳人; 本科生; 主要研究方向为水产养殖。E-mail: 1559777925@qq.com

通信作者: 顾钱洪(1984—), 男, 湖北咸宁人; 博士; 主要研究方向为渔业资源与保护。E-mail: qianhong_g@163.com

表 1 鱼类样本采集样点信息
Tab. 1 Sampling locations of specimens

编号 No.	采样点(代码) Location (code)	河流 River	经纬度Coordinates
1	南湾水库(NWR)	颍河	N 32°06'33.09" E 114°00'20.50"
2	土门村(TM)	谭家河	N 31°56'11.14" E 113°55'32.67"
3	小龙山水库(XLSR)	小潢河	N 32°10'30.70" E 114°30'14.40"
4	观庙乡郭庙村(GM)	紫泥河	N 31°47'27.30" E 115°11'23.70"
5	双椿铺乡灌河(SCP)	灌河	N 31°57'29.84" E 115°25'04.98"
6	金刚台峡谷(JGT)	石槽河	N 31°44'34.70" E 115°33'52.31"
7	苏仙石乡琉璃河(LL)	琉璃河	N 31°47'15.45" E 115°35'08.64"
8	长竹园乡汪冲村(WC)	灌河	N 31°30'43.00" E 115°17'10.58"

鳍基末端到臀鳍基起点的距离(PV)、眼径(OD)、眼间距(IW)、尾柄长(CPL)、尾柄高(CPD)、背鳍基底长(DL)、胸鳍长(PFL)、腹鳍长(PVL)、臀鳍基底长(AL)共15项可量性状,具体测量指标见图2,并以游标卡尺(精确度0.01 mm)测量。

数据处理和分析方法 为消除样品大小规格差异对形态参数值所造成的影响,每尾鱼的所有实测长度数据均采用除以体长的方法予以校正^[14],并将吻长值除以对应的头长值(HL/SNL),得到共15项比值性状(其中体长用于数据的标准化校正,

不作数据分析用)。对这些比值性状分别进行单因素方差分析、主成分分析、判别分析和聚类分析。单因素方差分析采用LSD法并进行多重比较,以检验不同种形态比值性状间的差异显著性;主成分分析得5个可以代表形态综合指标的相互独立的主成分,获取各主成分对应的载荷系数、特征值、贡献率,并绘制主成分得分散点图;根据15个比值性状进行聚类分析,采用欧式距离的最短系统聚类法;采用逐步判别法对鲢鳊亚科5种鱼进行判别分析,计算筛选出对区分5种鱼有较大贡献率的5个指标并建立相应的判别方程,计算判别准确率和综合判别准确率。

判别准确率 $P(\%)=(\text{判别准确的尾数}/\text{实判尾数})\times 100\%$

$$\text{综合判别率}=\sum_{i=1}^n A_i \sum_{i=1}^n B_i^{[15]}$$

式中: A_i 为第*i*个体中判别正确的尾数, B_i 为第*i*个物种的实判尾数, n 为物种数。使用Microsoft Excel 2010对数据进行校正整理,所有分析在STATISTICA 10.0软件包中进行。

2 结果

2.1 单因素方差分析

对5种鱼比值性状的比较结果显示,大鳍鲮与兴凯鲮在TL/BL、BD/BL、BW/BL、HL/BL、SNL/BL、OD/BL、IW/BL、CPL/BL、CPD/BL、DL/BL和AL/BL上存在极显著差异;越南鲮和斑条鲮在

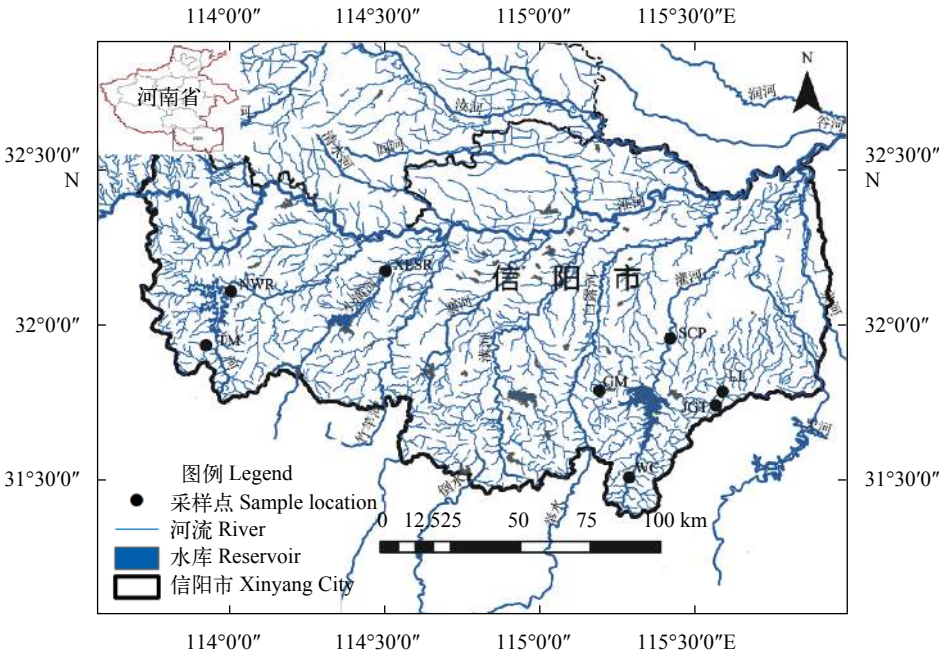


图 1 河南省淮河流域鱼类采样点分布图

Fig. 1 Sample locations of fish in Huaihe River Basin in Henan Province

表 2 五种鳊亚科鱼的主要分类特征
Tab. 2 Taxonomic characteristics of five species in Rhodeinae

种类Species	形态特征Taxonomic characteristics				
	吻须Barbel	侧线Lateral line	背鳍分支鳍条 Branching fin in dorsal fin	臀鳍分支鳍条 Branching fin in anal fin	咽齿Pharyngeal teeth
中华鳊 <i>R. sinensis</i>	无	不完全	9—10	9—11	咽齿侧面无锯齿
大鳍鳊 <i>A. macropterus</i>	有	完全	15—18	12—13	咽齿侧面有锯齿
兴凯鳊 <i>A. chankaensis</i>	无	完全	12—14	9—11	咽齿侧面有锯齿
斑条鳊 <i>A. taenianalis</i>	无	完全	15—18	12—15	咽齿侧面有锯齿
越南鳊 <i>A. tonkinensis</i>	有	完全	12—14	9—10	

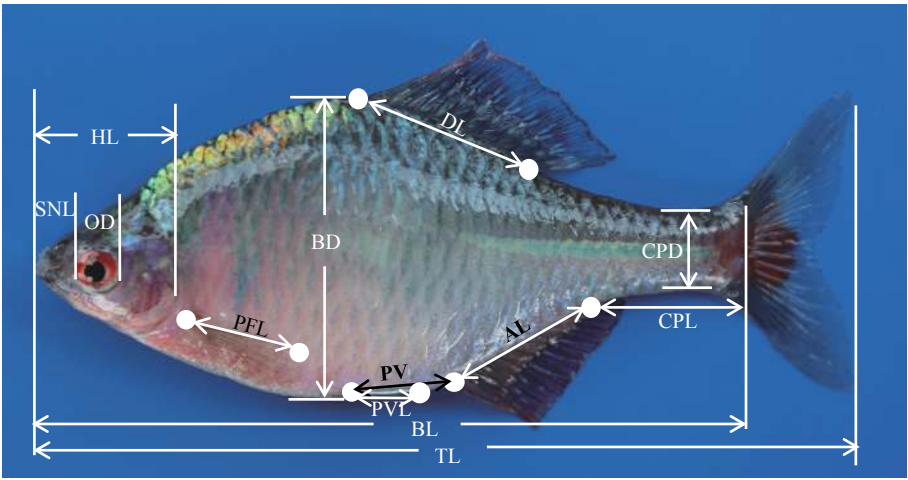


图 2 鳊亚科鱼类形态测量示意图(体宽和眼间距没表示出来)

Fig. 2 Morphological measurement plot for Rhodeinae species [the body width (BW) and interorbital distance (IW) are absent]

BD/BL、BW/BL、HL/BL、SNL/BL、HL/SNL、OD/BL、IW/BL、CPL/BL、DL/BL和AL/BL上存在极显著差异; 其次是越南鳊与大鳍鳊在BD/BL、BW/BL、HL/BL、SNL/BL、HL/SNL、OD/BL、CPL/BL、DL/BL、PVL/BL和AL/BL上存在极显著差异; 中华鳊与大鳍鳊在BD/BL、HL/BL、SNL/BL、PV/BL、OD/BL、CPL/BL、CPD/BL、DL/BL、PVL/BL和AL/BL上存在极显著差异; 中华鳊与斑条鳊在BD/BL、BW/BL、HL/BL、HL/SNL、CPL/BL、CPD/BL、DL/BL、PFL/BL、PVL/BL和AL/BL上存在极显著差异; 越南鳊与兴凯鳊TL/BL、BW/BL、SNL/BL、HL/SNL、CPL/BL、CPD/BL、DL/BL、PVL/BL和AL/BL上存在极显著差异; 中华鳊与越南鳊在BW/BL、HL/BL、SNL/BL、HL/SNL、IW/BL、CPD/BL、PVL/BL和AL/BL上存在极显著差异; 中华鳊与兴凯鳊在TL/BL、HL/BL、HL/SNL、PV/BL、CPL/BL、DL/BL、PFL/BL和PVL/BL上存在极显著差异; 兴凯鳊与斑条鳊在

BD/BL、HL/BL、HL/SNL、IW/BL、CPL/BL、CPD/BL、DL/BL和AL/BL上存在极显著差异; 大鳍鳊与斑条鳊在SNL/BL、HL/SNL、IW/BL和PVL/BL上存在极显著差异; 这些差异主要集中在鱼体的头部、躯干部、尾部、鳍等部位, 具体见表3。

2.2 主成分分析

主成分分析结果(表4)显示, 前五个主成分的贡献率分别为25.80%、15.10%、11.60%、9.30%和7.30%, 累计贡献率为69.20%。第一主成分中, 有主要贡献的是CPL/BL、DL/BL和AL/BL; 对第二主成分有主要贡献的是BW/BL、SNL/BL和HL/SNL; 对第三主成分有主要贡献的是TL/BL和BD/BL; 对第四主成分有主要贡献的是SNL/BL和OD/BL; 对第五主成分有主要贡献的是HL/BL和PV/BL。前五个主成分中有主要贡献的变量共12个, 这些变量分布在鱼体的前、中、后各部位, 表明这5种鱼的差异纵贯全身, 并不是集中在某一特定部位, 但根据第一主成分, 鳊亚科5种鱼形态上的差异主要体现在尾柄长、背鳍基底长和臀鳍长的比值性状上

表 3 鲮鱼亚科五种鱼比值性状均值、标准差及方差分析

Tab. 3 Mean, standard deviation and variance analysis of morphometric characteristics for five species in Rhodeinae

性状 Character	中华鲮 <i>R. sinensis</i>			越南鲮 <i>A. tonkinensis</i>			大鳍鲮 <i>A. macropterus</i>			兴凯鲮 <i>A. chankaensis</i>			斑条鲮 <i>A. taenialis</i>		
	范围 Range	平均值±标准差 Mean±SD	范围 Range	范围 Range	平均值±标准差 Mean±SD	范围 Range	范围 Range	平均值±标准差 Mean±SD	范围 Range	范围 Range	平均值±标准差 Mean±SD	范围 Range	范围 Range	平均值±标准差 Mean±SD	范围 Range
TL/BL	1.204—1.297	1.252±0.027 ^a	1.201—1.322	1.252±0.027 ^a	1.264±0.028 ^c	1.202—1.311	1.205—1.343	1.282±0.030 ^b	1.236—1.302	1.266±0.016 ^{ac}					
BD/BL	0.367—0.462	0.420±0.019 ^{ac}	0.384—0.451	0.420±0.019 ^a	0.447±0.032 ^b	0.376—0.515	0.359—0.455	0.408±0.026 ^c	0.407—0.507	0.466±0.031 ^d					
BW/BL	0.109—0.174	0.159±0.012 ^{ac}	0.128—0.186	0.159±0.012 ^b	0.144±0.014 ^a	0.100—0.187	0.108—0.177	0.135±0.017 ^c	0.092—0.154	0.136±0.013 ^c					
HL/BL	0.202—0.245	0.238±0.010 ^a	0.224—0.260	0.238±0.010 ^b	0.247±0.013 ^c	0.201—0.270	0.206—0.286	0.239±0.018 ^b	0.234—0.268	0.249±0.010 ^{cd}					
SNL/BL	0.062—0.090	0.083±0.005 ^b	0.071—0.091	0.083±0.005 ^a	0.077±0.009 ^c	0.065—0.115	0.054—0.086	0.072±0.009 ^{bd}	0.058—0.083	0.070±0.006 ^{bd}					
HL/SNL	2.404—3.733	2.879±0.133 ^c	2.624—3.216	2.879±0.133 ^b	3.225±0.323 ^{ac}	2.148—3.742	2.700—4.057	3.337±0.373 ^a	3.068—4.087	3.583±0.276 ^b					
PV/BL	0.094—0.177	0.136±0.013 ^a	0.104—0.160	0.136±0.013 ^c	0.145±0.015 ^b	0.123—0.186	0.109—0.177	0.142±0.018 ^{bc}	0.114—0.162	0.135±0.011 ^c					
OD/BL	0.070—0.098	0.076±0.009 ^{bc}	0.060—0.096	0.076±0.009 ^b	0.093±0.028 ^a	0.068—0.253	0.060—0.107	0.083±0.012 ^c	0.080—0.097	0.089±0.005 ^{ac}					
IW/BL	0.093—0.120	0.109±0.009 ^{ac}	0.089—0.126	0.109±0.009 ^b	0.108±0.011 ^b	0.088—0.129	0.071—0.132	0.107±0.012 ^{ab}	0.091—0.122	0.099±0.007 ^c					
CPL/BL	0.181—0.240	0.206±0.015 ^a	0.178—0.236	0.206±0.015 ^a	0.168±0.016 ^b	0.120—0.194	0.120—0.229	0.192±0.025 ^c	0.132—0.203	0.163±0.019 ^{bd}					
CPD/BL	0.110—0.140	0.131±0.007 ^b	0.117—0.148	0.131±0.007 ^b	0.129±0.008 ^{bc}	0.117—0.148	0.105—0.135	0.123±0.008 ^a	0.120—0.143	0.134±0.006 ^b					
DL/BL	0.234—0.298	0.277±0.018 ^a	0.240—0.312	0.277±0.018 ^a	0.357±0.022 ^b	0.308—0.403	0.261—0.381	0.303±0.027 ^c	0.290—0.398	0.365±0.028 ^b					
PFL/BL	0.171—0.200	0.195±0.012 ^a	0.163—0.217	0.195±0.012 ^b	0.193±0.012 ^{ab}	0.170—0.222	0.149—0.395	0.199±0.035 ^b	0.172—0.221	0.202±0.013 ^b					
PVL/BL	0.141—0.186	0.170±0.011 ^a	0.149—0.190	0.170±0.011 ^b	0.179±0.012 ^c	0.148—0.207	0.146—0.202	0.181±0.013 ^{cd}	0.163—0.214	0.187±0.012 ^d					
AL/BL	0.191—0.237	0.186±0.015 ^a	0.163—0.235	0.186±0.015 ^d	0.235±0.014 ^{bc}	0.208—0.283	0.156—0.239	0.207±0.016 ^a	0.203—0.250	0.232±0.012 ^b					

注：同一列数据后标注不同字母表示数据间差异极显著 ($P<0.01$)，标注字母相同则表示数据间差异不显著 ($P>0.05$)Note: The data in the same column is marked with different letters indicate the significant difference between the data ($P<0.01$), and the same letters indicate the significant difference between the data ($P>0.05$)

(表 3)。由主成分得分的散点图(图 3)表明, 第一主成分和第二主成分得分能有效区分中华鳊鲂、越南鳊、南鳊、斑条鳊和大鳊, 兴凯鳊与大鳊有部分重叠, 与其他3种能明显区别。

表 4 鳊鲂亚科5种鱼比值性状主成分前五个主成分载荷系数、特征值、贡献率及累计贡献率

Tab. 4 Road coefficients, eigenvalues, contributions and cumulative contributions of the first five principle components of morphometric characteristics in five Rhodeinae species

性状Character	第一主成分 1	第二主成分 2	第三主成分 3	第四主成分 4	第五主成分 5
TL/BL	0.1572	0.0005	0.4257	-0.0072	0.0226
BD/BL	0.2786	-0.1390	-0.3313	0.1583	-0.0189
BW/BL	-0.1358	-0.3568	-0.2072	0.1517	0.2418
HL/BL	0.2544	-0.1907	0.2170	-0.1618	-0.3194
SNL/BL	-0.1153	-0.4190	0.0586	-0.3197	-0.1414
HL/SNL	0.2715	0.3117	0.0732	0.2398	-0.0493
PV/BL	0.1064	-0.1751	-0.0336	0.2532	0.5622
OD/BL	0.1560	0.0250	0.1335	-0.3897	-0.1663
IW/BL	-0.0669	-0.2800	0.2500	-0.2411	0.1268
CPL/BL	-0.3574	0.0222	0.0786	0.0787	0.0143
CPD/BL	0.1661	-0.2606	-0.1877	0.2634	-0.1602
DL/BL	0.3886	-0.0557	-0.1191	-0.0742	0.0656
PFL/BL	0.1004	-0.1332	0.2681	0.1894	-0.0868
PVL/BL	0.2952	-0.1480	0.2374	0.1600	0.0475
AL/BL	0.3018	0.1514	-0.2111	-0.2431	0.1423
特征值	5.1647	3.0181	2.3242	1.8645	1.4676
贡献率	25.82%	15.09%	11.62%	9.32%	7.34%
累计贡献率	25.82%	40.91%	52.53%	61.85%	69.19%

注: 有主要贡献的变量用黑体注明(负荷值>30%)
Note: Variables with major contributions are indicated in bold (>30%)

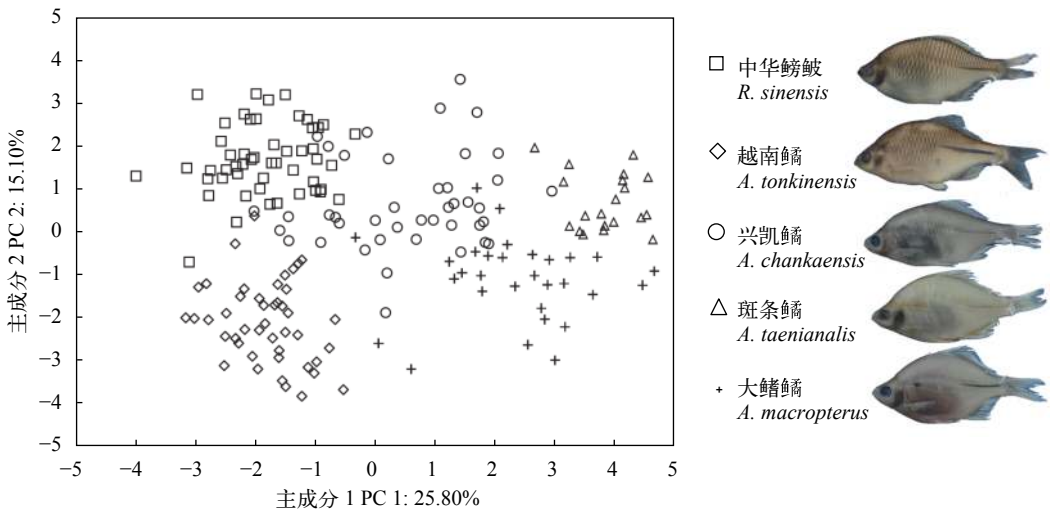


图 3 鳊鲂亚科5种鱼第一、二主成分得分散点图

Fig. 3 The scatter plot of the scores on the first two principle components for five Rhodeinae species

2.3 聚类分析

对15项形态比值性状的聚类分析得到水平聚类树状图。如图4所示这5种鱼聚为明显的2大簇,中华鲮与越南鲮聚为一簇,斑条鲮、大鳍鲮和兴凯鲮聚为一簇,在主成分分散点图中,主成分一可以明显区别中华鲮与越南鲮、大鳍鲮和兴凯鲮,以及斑条鲮和兴凯鲮,但不能区分中华鲮和越南鲮;主成分二能明显区别中华鲮和越南鲮,及斑条鲮和大鳍鲮。该结果与主成分散点图结果基本一致。

2.4 判别分析

对鲮亚科5种鱼的15项形态比值性状用逐步判别法进行判别分析,根据鲮亚科5种鱼判别分析盒形图(图5),5个比值性状SNL/BL、CPD/BL、DL/BL、AL/BL和PVL/BL在判别中华鲮、越南鲮、大鳍鲮、兴凯鲮和斑条鲮形态差异上有主要贡献。利用这5个指标建立5种鱼的判别方程为:

中华鲮 $Y=1729.1X_1+1886.2X_2+259.1X_3+754.3X_4+746.1X_5-354.2$;

越南鲮 $Y=1948.8X_1+2029.1X_2+319.8X_3+822.8X_4+568.1X_5-382.1$;

大鳍鲮 $Y=1872.2X_1+1893.2X_2+442.5X_3+852.9X_4+737.3X_5-438.2$;

兴凯鲮 $Y=1732.9X_1+1802.1X_2+345.8X_3+924.0X_4+656.6X_5-379.2$;

斑条鲮 $Y=1735.4X_1+1952.0X_2+455.7X_3+904.1X_4+$

$702.5X_5-442.7$

式中 X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 和 X_5 将待判定个体的5个形态性状特征值分别代入5个判别方程, Y 值最大者即为该个体所属种群。对所有测定样本按上述方程进行预测分类,中华鲮判别准确率最高,为100%,而斑条鲮判别准确率最低,为82.35%,本次研究判别分析的综合判别率高达90.47%,说明各种间在可量性状上存在较大的差异,采用判别分析具有较好的效果(表5)。

3 讨论

物种形态表现型差异主要由基因型决定^[16,17],也受环境因子的影响,是物种鉴别和分类的重要依据。相关研究表明,对鱼类物种、居群乃至选育品系的可数性状、可量性状、框架数据等形态信息进行聚类分析、判别分析和主成分分析等手段,可有效地进行类群的判别^[18-24]。本文采用传统的外部形态测量方法,根据15项形态学比值性状,用单因素方差分析、主成分分析、聚类分析以及判别分析对鲮亚科5种鱼(中华鲮、越南鲮、大鳍鲮、兴凯鲮和斑条鲮)的外部形态进行了系统比较研究,为形态相似,难以区分的鲮亚科鱼类的种类鉴定提供基础数据。研究结果表明,中华鲮与其他4种鲮属鱼在头长、腹鳍长上均存在极显著性差异($P<0.01$),在HL/BL性状指标上,从中华鲮、越南鲮、兴凯鲮、大鳍鲮、斑条鲮依次增大;在

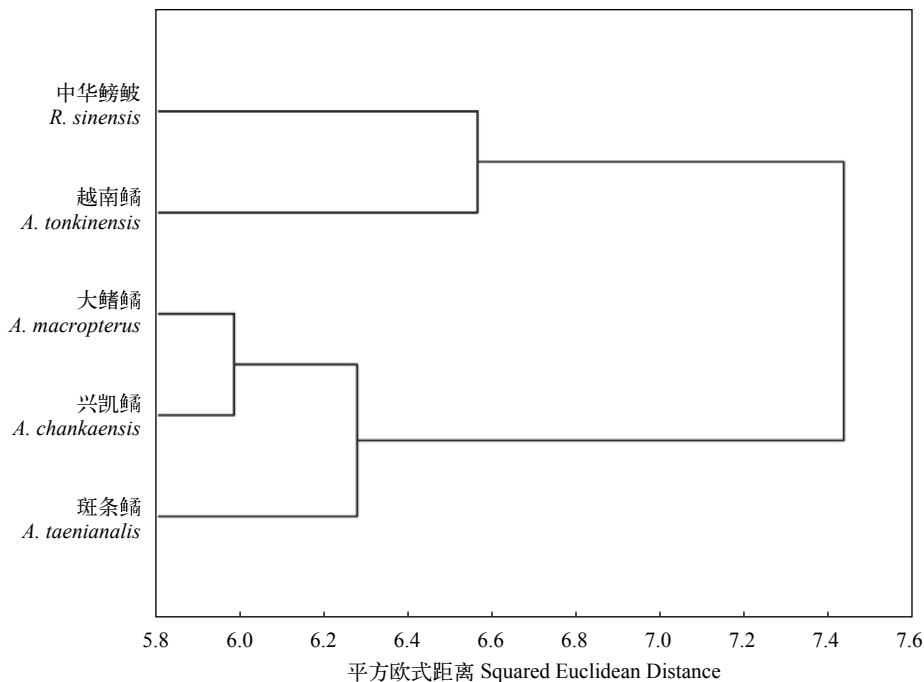


图4 基于鲮亚科5种鱼平方欧式距离的聚类分析图

Fig. 4 Cluster dendrogram of five Rhodeinae species according to the squared Euclidean distance

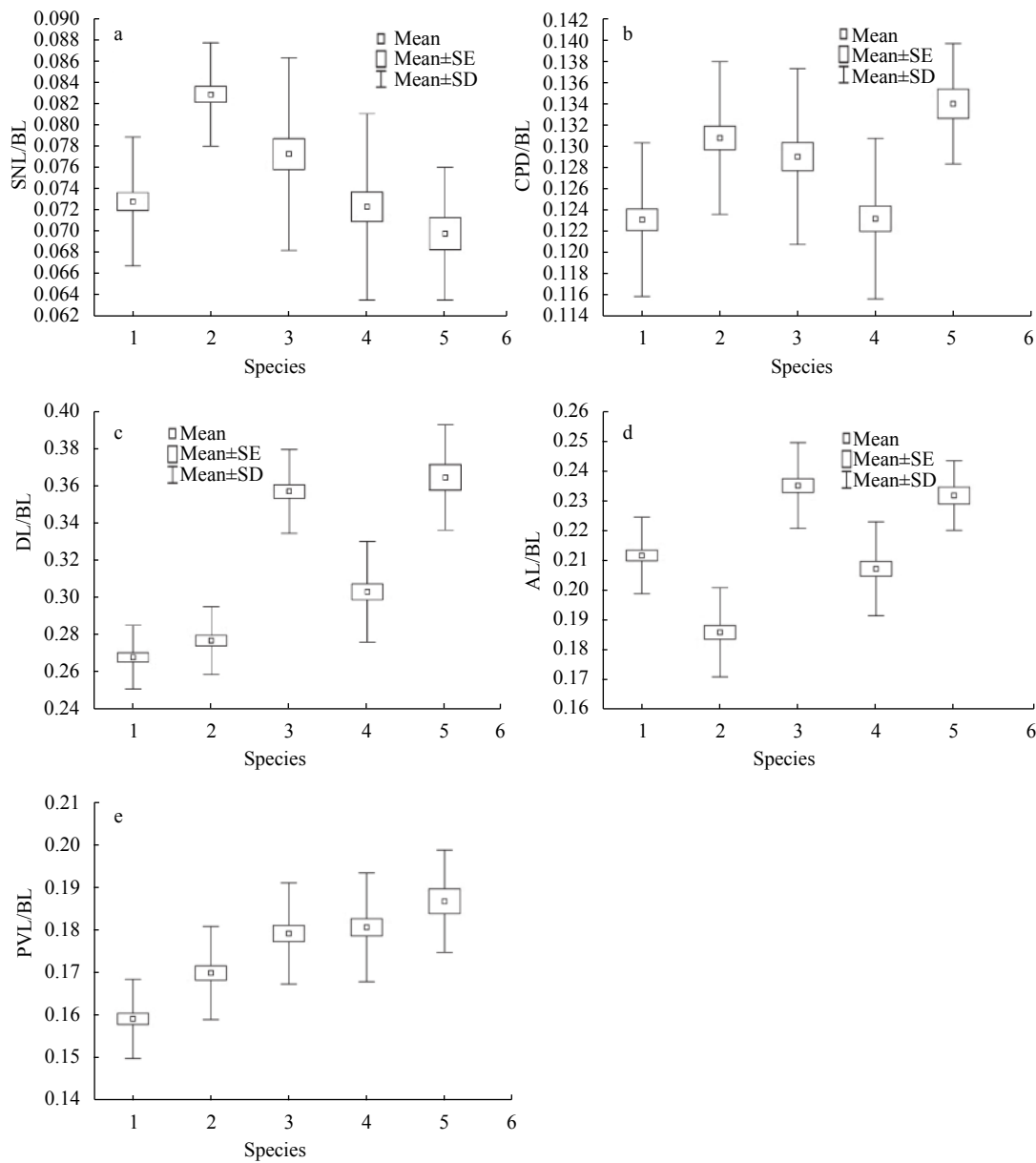


图 5 鳊亚科5种鱼5个判别比值性状的差异

Fig. 5 The differences of five morphometric characteristics in discriminant analysis for five Rhodeinae species

1. 中华鳊; 2. 越南鳊; 3. 大鳍鳊; 4. 兴凯鳊; 5. 斑条鳊

1. *R. sinensis*; 2. *A. tonkinensis*; 3. *A. macropterus*; 4. *A. chankaensis*; 5. *A. taenianalis*

表 5 鳊亚科5种鱼逐步判别归类结果

Tab. 5 Classification results by stepwise discriminant analysis of five Rhodeinae species

种类Item	判入尾数(尾)Numbers discriminated					判别准确率 Discriminant rate(%)	综合判别准确率 Discriminant rate of synthesis(%)
	中华鳊 <i>R. sinensis</i>	越南鳊 <i>A. tonkinensis</i>	大鳍鳊 <i>A. macropterus</i>	兴凯鳊 <i>A. chankaensis</i>	斑条鳊 <i>A. taenianalis</i>		
中华鳊 <i>R. sinensis</i>	51	0	0	0	0	100	
越南鳊 <i>A. tonkinensis</i>	1	40	0	1	0	95.24	
大鳍鳊 <i>A. macropterus</i>	0	0	35	0	4	89.74	90.47
兴凯鳊 <i>A. chankaensis</i>	1	2	2	34	1	85	
斑条鳊 <i>A. taenianalis</i>	1	0	2	0	14	82.35	

PVL/BL性状指标上,从中华鲮、越南鲮、大鳍鲮、兴凯鲮、斑条鲮依次增大。而4种鲮属种间的差异主要集中在头长、吻长、体宽、尾柄长、背鳍基底长和臀鳍基底长等比值性状上,判别分析获得的判别准确率在82.35%—100.00%变化,综合判别率高达90.47%,说明这4种鲮形态可量性状差异较大。

我国鲮亚科(鲮亚科)鱼类的分类研究由来已久,但目前仍没有完全定论。王以康^[25]以侧线、下咽齿及鳍刺作为分类依据将其分成6属,分别为鲮属、副鲮属、刺鲮属、彩石鲮属、鲮属和副鲮属。孟庆闻^[5]根据侧线完全与否、背鳍和臀鳍是否具有鳍刺、咽齿齿面的特征等,又将其分为5属(鲮属、刺鲮属、彩石鲮属、鲮属和副鲮属)。成庆泰等^[26]和林人端^[27]根据侧线的完全或不完全,背鳍及臀鳍末根不分支鳍条的粗细等特征,将我国鲮亚科重新分成3属,分别为鲮属、鲮属和副鲮属。李国良^[28]重新检视我国鲮亚科的标本时,将鲮亚科重新划分成4属。杨晴^[29]对鲮亚科系统学研究认为该类群分为鲮属、鲮属和田中鲮属较为合理,并且该结论与日本学者Arai和Akai^[2]的观点一致。前期对鲮亚科的研究主要集中在形态特征的描述上,根据侧线鳞是否完全这一稳定特征区分鲮属和鲮属这两大类群已经被学术界普遍认可。通过外部形态可量性状比较研究,主成分分析和聚类分析表明中华鲮与越南鲮距离相对较近,单因素方差分析显示中华鲮与其他4种鲮属鱼在头长和腹鳍长比值性状上均存在极显著性差异($P<0.01$),且在这2个比值性状上,中华鲮的最小,斑条鲮的值最大。说明中华鲮与4种鲮属鱼除了侧线鳞外,外部可量性状上也存在明显差别。

进一步比较4种鲮属鱼的形态差异,斑条鲮、兴凯鲮和大鳍鲮形态相似,在比值性状上有部分重叠。在遗传学研究中,这3种鱼亲缘关系很近,韦萍和余其兴^[30]对鲮属鱼C-带的分析结果显示斑条鲮、兴凯鲮和大鳍鲮具有极其相似的C-带带型特征,对鲮属鱼染色体组型的研究也表明斑条鲮、兴凯鲮、大鳍鲮具有较近的亲缘关系^[31]。这说明形态学研究结果与遗传学研究结果较一致。朱玉蓉等^[32]的研究结果表明斑条鲮与大鳍鲮在主要性状比值上相互重叠,无明显差异,且其分子系统分析结果均支持有须个体(大鳍鲮)和无须个体(斑条鲮)被鉴定为同一物种,即两者为同物异名。但在本研究中斑条鲮和大鳍鲮在SNL/BL、IW/BL、HL/SNL和PVL/BL存在极显著性差异($P<0.01$)。通

过可数性状和描述性状区别鲮属不同鱼类的研究较多。如背鳍分枝鳍条的数量以及口角是否有须常作为区分鲮属不同种类的依据^[28,33];根据咽齿是否对称和后无齿突复面中段结节状突起的形状,以及咽齿锯纹的粗浅可以区分斑条鲮、兴凯鲮和大鳍鲮^[3-4]。在TL/BL、CPL/BL、CPD/BL、DL/BL和AL/BL上,兴凯鲮与其他鲮存在显著性差异;在BD/BL、BW/BL和SNL/BL上,大鳍鲮与其他鲮均存在显著性差异;在BD/BL、HL/SNL和IW/BL上,斑条鲮与其他鲮均存在显著性差异。虽然斑条鲮、兴凯鲮和大鳍鲮在形态上较相似,亲缘关系也很近,但结合这3种鲮属鱼的可量性状、描述特征和可数性状,支持斑条鲮、兴凯鲮和大鳍鲮为有效的分类阶元。在BW/BL、SNL/BL、HL/SNL、PVL/BL和AL/BL上,越南鲮与其他3种鲮属鱼均存在显著性差异($P<0.05$),主成分分析、聚类分析和判别分析结果也证实越南鲮与其他3种鲮属鱼在可量性状上存在明显差异,因此,本研究也支持越南鲮为有效的分类阶元。

4 小结

本研究通过可量性状比较了5种鲮亚科鱼的形态差异,形态差异主要集中于鱼体的头长、吻长、体宽、尾柄长、背鳍长和臀鳍长等比值性状上,因此,丰富了鲮亚科鱼类形态分类的基础资料,证实了聚类分析、主成分分析、判别分析等多元分析方法可以从不同角度对鲮亚科鱼类形态差异进行有效判断,为鲮亚科鱼类的种类鉴定,分类特征的识别提供有力支撑。

参考文献:

- [1] Zhao C Y, Jiang Y Z, Fang X Z, et al. Biological characteristics and ornamental value of Rhodeinae [J]. *Bulletin of Biology*, 2010, 45(4): 7—9 [赵朝阳, 姜彦钟, 方秀珍, 等. 鲮的生物学特性及观赏价值. *生物学通报*, 2010, 45(4): 7—9]
- [2] Arai R, Akai Y. *Acheilognathus melanogaster*, a senior synonym of *A. morioka*, with a revision of the genera of the subfamily Acheilognathinae (Cypriniformes, Cyprinidae) [J]. *Bulletin of the National Science Museum, Series A, Zoology*, 1998, 14: 199—213
- [3] Li Z H. The comparative studies of the pharyngeal bones and theirs teeth of Acheilognathinae (three) [J]. *Journal of Xinxiang Normal College*, 1982, 3: 56—62 [李仲辉. 河南鲤科鱼类咽骨咽齿的比较研究(三). *新乡师范学院学报*, 1982, 3: 56—62]
- [4] Chen Y R, Li Z Y. The Acheilognathinae in Yunnan [J]. *Zoological Research*, 1987, 8(1): 62—64 [陈银瑞, 李再

- 云. 云南鲢鳙亚科的鱼类. 动物学研究, 1987, 8(1): 62—64]
- [5] Meng Q W. Comparative Study on the Neurocrania Morphology of Cyprinidae in China [A]. In: Liu J K (Eds.), Proceedings of Ichthyography (forth episodes) [C]. Beijing: Science Press. 1985, 22—25 [孟庆闻. 中国鲤科鱼类脑颅的比较研究. 刘健康主编. 鱼类学论文集(第四辑). 北京: 科学出版社. 1985, 22—25]
- [6] Arai R, Kato K. Gross morphology and evaluation of the lateral line system and infraorbital bones in bitterlings (Cyprinidae, Acheilognathe), with an overview of the lateral line system in the family Cyprinidae [J]. *The University Museum the University of Tokyo Bulletin*, 2003, 40: 1—42
- [7] Chen X H, Ni Y, Wu H L. Fishes of genus *Rhodeus* Agassiz in Jiangsu Province, China [J]. *Marine Fisheries*, 2005, 27(2): 89—96 [陈校辉, 倪勇, 伍汉霖. 江苏省鲢鳙属鱼类的研究. 海洋渔业, 2005, 27(2): 89—96]
- [8] Meng X L, ZHOU C J, Gu Q H, *et al.* Investigation on fishery resources in Luoshan County of Xinyang [J]. *Hannan Fisheries*, 2016, 2: 22—25 [孟晓林, 周传江, 顾钱洪, 等. 信阳市罗山县鱼类资源调查. 河南水产, 2016, 2: 22—25]
- [9] Gu Q H, Meng X L, Zhou C J, *et al.* Investigation on fishery resources in Huangchuan County of Xinyang [J]. *Hannan Fisheries*, 2016, 2: 26—30 [顾钱洪, 孟晓林, 周传江, 等. 信阳市潢川县鱼类资源调查. 河南水产, 2016, 2: 26—30]
- [10] Gu Q H, Zhou C J, Meng X L, *et al.* The status quo and floristic characteristics of fishery resources in Shangcheng County of Xinyang [J]. *Hannan Fisheries*, 2016, 1: 22—25 [顾钱洪, 周传江, 孟晓林, 等. 信阳市商城县鱼类资源调查及区系组成特征分析. 河南水产, 2016, 1: 22—25]
- [11] Zhou C J, Meng X L, Gu Q H, *et al.* The status quo of fishery resources in Xin County [J]. *Hannan Fisheries*, 2016, 1: 27—30 [周传江, 孟晓林, 顾钱洪, 等. 信阳新县鱼类资源调查. 河南水产, 2016, 1: 27—30]
- [12] Chen Y Y. Fauna Sinica, Osteichthyes, Cypriniformes II. [M]. Beijing: Science Press. 1998, 413—454 [陈宜瑜. 中国动物志硬骨鱼纲鲤形目(中卷). 北京: 科学出版社. 1998, 413—454]
- [13] Zhu S Q. Synopsis of Freshwater Fishies of China [M]. Nanjing: Jiangsu Science and Technology Publishing House. 1995, 44—47 [朱松泉. 中国淡水鱼类检索. 南京: 江苏科学技术出版社. 1995, 44—47]
- [14] Li S F, Cai W Q, Zhou B Y. Morphological and biochemical genetic variations among population of blunt snout bream (*Megalobrama amblycephala*) [J]. *Journal of Fisheries of China*, 1991, 15(3): 204—211 [李思发, 蔡完其, 周碧云. 团头鲂种群间的形态差异和生化遗传差异. 水产学报, 1991, 15(3): 204—211]
- [15] Wang W. Study on population genetic diversity of *Culter alburnus* and phylogeny of Cultrinae [D]. Thesis for Doctor of Science. East China Normal University, Shanghai. 2007 [王伟. 翘嘴鲌(*Culter alburnus*)群体遗传多样性及鲌亚科鱼类系统发生的研究. 博士学位论文, 华东师范大学, 上海. 2007]
- [16] Susanna P, Jorma P. Morphological differentiation among local trout (*Salmo trutta*) populations [J]. *Biological Journal of the Linnean Society*, 2001, 72(2): 231—239
- [17] Salini J P, Milton D A, Rahman M J, *et al.* Allozyme and morphological variation throughout the geographic range of the tropical shad, hilsa *Temualosa ilisha* [J]. *Fisheries Research*, 2004, 66(1): 53—69
- [18] Gong X L, Li S F. Comparative descriminate analysis of morphological traits among six eels of *Anguilla* [J]. *Acta Zootaxonomica Sinica*, 2010, 35(3): 562—567 [龚小玲, 李思发. 鳗鲡属六种鱼类形态判别研究. 动物分类学报, 2010, 35(3): 562—567]
- [19] Cheng Q Q, Han J D. Morphological variations and discriminant analysis of two populations of *Coilia ectenes* [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2004, 16(4): 356—364 [程起群, 韩金娣. 鲢属两种群的形态变异及综合判别. 湖泊科学, 2004, 16(4): 356—364]
- [20] Gao T X, Zhang X M, Liu G D, *et al.* Principal component analysis on the morphology of ten *Eriocheir japonica* populations and *E. sinensis* [J]. *Journal of Dalian Fisheries University*, 2003, 18(4): 273—277 [高天翔, 张秀梅, 柳广东, 等. 10个日本绒螯蟹群体与中华绒螯蟹形态的主成分分析. 大连水产学院学报, 2003, 18(4): 273—277]
- [21] Yang H Y, L S F, Zou S M. A primary study on inheritance of morphological traits from *Megalobrama amblycephala*, *Megalobram aterminails* to their reciprocal hybrids (F1) [J]. *Journal of Shanghai Fisheries University*, 2002, 11(4): 305—309 [杨怀宇, 李思发, 邹曙明. 三角鲂与团头鲂正反杂交F1的遗传性状. 上海水产大学学报, 2002, 11(4): 305—309]
- [22] Liu J Y, Yang T B. Morphological variations of grey mullet *Mugil cephalus* in difference geographical populations along China coast [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2009, 40(5): 572—576 [刘建勇, 杨廷宝. 我国沿海鲢鱼不同地理群体形态差异研究. 海洋与湖泊, 2009, 40(5): 572—576]
- [23] Yang H R, Ouyang P H, Li G F, *et al.* Morphological differentiation among three wild populations of *Siniperca kneri* in Pearl River [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2016, 23(2): 447—457 [杨慧荣, 欧阳徘徊, 李桂峰, 等. 珠江流域3个野生大眼鲈群体的形态差异. 中国水产科学, 2016, 23(2): 447—457]
- [24] Hu H Y, Di Y, Zhao Y F, *et al.* Comparative study on the morphological characteristics of four species of *Culter* and *Culterichthys* in Lihu Lake [J]. *Journal of Yunnan Agricultural University*, 2011, 26(4): 488—494 [胡海彦, 狄瑜, 赵永峰, 等. 蠡湖4种鲌鱼形态特征的比较研究. 云南农业大学学报, 2011, 26(4): 488—494]
- [25] Wang Y K. Ichthyological Systematics [M]. Beijing: Science and Technology Press. 1958, 195—210 [王以康. 鱼类分类学. 北京: 科技卫生出版社. 1958, 195—210]

- [26] Cheng Q T, Zheng B S. Systematic Synopsis of Chinese Fishes [M]. Beijing: Science Press. 1987, 137—139 [成庆泰, 郑葆珊. 中国鱼类系统检索. 北京: 科学出版社. 1987, 137—139]
- [27] Lin R D. Rhodeinae Subfamily [A]. Chen Y Y. Fauna Sinica, Osteichthyes, Cypriniformes II [M]. Beijing: Science Press. 1998, 444—453 [林人端. 鲮亚科, 陈宜瑜. 中国动物志硬骨鱼纲鲤形目(中卷). 北京: 科学出版社. 1998, 444—453]
- [28] Li G L. Study on classification of the Acheilognathinae in China [C]. Contribution from Tianjin Natural History Museum, 1990, 7: 80—83 [李国良. 中国鲮亚科Acheilognathinae分类的研究. 天津自然博物馆论文集, 1990, 7: 80—83]
- [29] Yang Q. Taxonomic Review and Molecular Phylogenetic Analysis of the Subfamily Acheilognathinae (Teleostei: Cypriniformes) [D]. Thesis for Doctor of Science. Huazhong Agricultural University, Wuhan. 2010 [杨晴. 鲮亚科鱼类分类整理及分子系统发育研究. 博士学位论文, 华中农业大学, 武汉. 2010]
- [30] Wei P, Yu Q X. Analysis of chromosome c—banding patterns in four species of acheilognathinae [J]. *Journal of Wuhan University*, 1991, 2: 107—110 [韦萍, 余其兴. 鲮亚科四种鱼的C—带研究. 武汉大学学报, 1991, 2: 107—110]
- [31] Hong Y H, Zhou M, Zhou D. Studies on the karyotypes of Chinese cyprinid fishes III. Comparative analysis of the chromosomes of seven species of *Acheilognathid* fishes [J]. *Journal of Wuhan University*, 1983, 2: 96—101 [洪云汉, 周密, 周瞰. 中国鲤科鱼类染色体组型的研究(III). 鲮亚科七种鱼的染色体的比较分析. 武汉大学学报, 1983, 2: 96—101]
- [32] Zhu Y R, Liu H Z. Genetic diversity and biogeographical process of *Acheilognathus macropterus* revealed by sequence variations mitochondrial cytochrome *b* gene [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2006, 30(2): 134—140 [朱玉蓉, 刘焕章. 大鳍鲮基于细胞色素*b*基因序列的遗传变异及生物地理过程. 水生生物学报, 2006, 30(2): 134—140]
- [33] Wu X W. Cyprinids of China [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technical Press. 1964, 199—221 [伍献文. 中国鲤科鱼类志(上卷). 上海: 上海科学技术出版社. 1964, 199—221]

MORPHOLOGICAL DIFFERENCES AMONG FIVE SPECIES IN RHODEINAE IN HUIHE RIVER BASIN IN HENAN PROVINCE

WANG Jing-Long, CHEN Qi-Hao, LU Wen-Ze, YUAN Shu-Qin, HU Qing-Xia, CEN Shuang-Shuang, ZHOU Chuan-Jiang, MENG Xiao-Lin, NIE Guo-Xing and GU Qian-Hong

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

Abstract: Different species of Rhodeinae have been widely distributed across China. Different species have shown very similar morphological characteristics, making their distinguish to be indeed difficult. In order to compare the morphological differences among *Rhodeus sinensis*, *Acheilognathus tonkinensis*, *A. macropterus*, *A. chankaensis* and *A. taenianalis* by the morphometric characteristics, and enrich the classification features, multivariate morphometrics were used to analyze the morphological variations of five Rhodeinae species in Huaihe River Basin (Henan province, China). The results showed that there were significant differences in the body's width/body's length, head's length/body's length, snout's length/body's length, caudal peduncle's length/body's length, dorsal fin base's length/body's length, pectoral fin's length/body's length, pelvic fin's length/body's length, and head's length/snout's length among the five species ($P < 0.01$), and there were significant differences in the total length/body's length and body's height/body's length ($P < 0.05$). Therefore, these differences mainly focus on the head, tail, fin, and so on. Principal component analysis, discriminant analysis, and cluster analysis showed that the five species had obvious morphological differences, the most significant difference between *A. taenianalis* and *A. tonkinensis* was found, and the most insignificant difference was observed between *A. taenianalis* and *A. macropterus*. The discriminant accuracy rate of the five species varied from 82.35% to 100%, effectively realizing the distinguish of the five Rhodeinae species.

Key words: Rhodeinae; Morphological difference; One-way analysis of variance; Principal component analysis; Discriminant analysis; Cluster analysis