

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2019.18340

新疆 3 种雅罗鱼的多元形态

王业宁¹, 李胜忠¹, 刘长龙²

1. 新疆农业大学动物科学学院, 新疆 乌鲁木齐 830052;
2. 福海县海富特种鱼养殖有限责任公司, 新疆 阿勒泰 836400

摘要: 为了揭示高体雅罗鱼(*Leuciscus idus*)、贝加尔雅罗鱼(*Leuciscus baicalensis*)和准噶尔雅罗鱼(*Leuciscus merzbacheri*)的形态信息和规律, 指导新疆雅罗鱼物种的识别、资源保护和良种选育。本研究运用主成分分析、聚类分析及判别分析, 对 3 种鱼的 11 个可量指标和 18 个框架指标进行了多元形态差异分析。主成分分析结果提取 3 个主成分, 贡献率分别为 57.71%、9.019%、6.502%, 累积贡献率为 73.23%; 主成分 1 的贡献指标主要集中于头部和尾柄部, 头部指标主要包括 HL/BL、ML/BL、SL/BL、 L_{1-2} /BL、 L_{1-3} /BL 和 L_{2-3} /BL 共计 6 个指标, 尾柄部包括 CL/BL、 L_{6-8} /BL、 L_{6-9} /BL、 L_{7-8} /BL 和 L_{8-9} /BL 共计 5 个指标。聚类分析结果显示, 高体雅罗鱼和贝加尔雅罗鱼亲缘关系较近, 高体雅罗鱼、贝加尔雅罗鱼与准噶尔雅罗鱼亲缘关系较远。判别分析筛选出 11 个指标(集中于头部和尾柄部), 建立了新疆 3 种雅罗鱼的形态判别函数, 将 3 种鱼的数据代入函数, 得到高体雅罗鱼与贝加尔雅罗鱼之间相互判错的概率大, 与准噶尔雅罗鱼之间判错的概率均较小; 高体雅罗鱼与贝加尔雅罗鱼的个体判别准确率(P_1 、 P_2)均为 80% 以上, 准噶尔雅罗鱼的个体判别准确率(P_1 、 P_2)达到 95% 以上; 非交互验证综合判别率为 91.2%, 交互验证综合判别率为 89.4%, 两种综合判别率均高且接近, 认为判别公式是可信的。新疆 3 种雅罗鱼被分为两支群体, 彼此之间形态差异主要体现在头部和尾柄部, 且能够用多元回归函数进行判别。

关键词: 高体雅罗鱼; 贝加尔雅罗鱼; 准噶尔雅罗鱼; 形态差异; 多元分析

中图分类号: S962

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2019)04-0636-10

生物形态是物种多个性状的集合, 受到环境和遗传因素的双重影响^[1]。传统分类方法是单一地比较物种形态的可数性状和可量性状。例如雅罗鱼的传统分类主要是依据侧线鳞、脊椎骨数及鳃耙等可数形状以及体长体高比例进行分类^[2-4], 这些识别指标主要集中于雅罗鱼的横轴和纵轴, 不能全面反映雅罗鱼的形态信息, 传统分类方法在形态信息揭示方面存在一定局限性。结合传统形态分类和框架结构数据^[5-7]的多元分析法, 近年来在国内外鱼类形态识别中被广泛运用^[8], 如鲤科(Cyprinidae)^[9-11]、鲑科(Salmonidae)^[12]、鲭科(Scombridae)^[13]等鱼类的多元形态分析。

雅罗鱼类隶属鲤科、雅罗鱼属(*Leuciscus*), 是

国内外的中小型淡水经济鱼类。雅罗鱼类栖息于欧洲、亚洲西部和北部, 及美洲水域中的江河和湖泊^[14], 全世界范围内有 20 余种(亚种)^[3]; 在中国有 7 种雅罗鱼^[15], 主要分布于黄河及其以北的水系, 其中高体雅罗鱼、贝加尔雅罗鱼和准噶尔雅罗鱼分布于新疆。新疆的 3 种雅罗鱼在 20 世纪 50—90 年代初是新疆地区重要的经济鱼类。之后, 受到水利工程兴建、过度捕捞和外来鱼类引入等类活动的影响, 新疆雅罗鱼类的种群数量急剧减少, 甚至已到濒危。自 1998 年以来, 新疆雅罗鱼类逐步被列为保护对象^[16-17], 其中准噶尔雅罗鱼被列为国家级 II 级保护动物^[18]。因此, 开展新疆雅罗鱼类的相关研究意义重大。目前国内外关于

收稿日期: 2018-09-10; 修订日期: 2018-10-09.

基金项目: 新疆维吾尔自治区大学生创新项目(201710758152); 新疆维吾尔自治区科研项目(201700904).

作者简介: 王业宁(1994-), 女, 硕士研究生, 从事水产动物增殖与繁殖生理学研究. E-mail: wangyeningwtyxl@163.com

通信作者: 李胜忠, 副教授, 硕士生导师, 从事水产动物增殖与繁殖生理学研究. E-mail: xndlishengzhong@sina.cn

雅罗鱼类研究主要在进化分类、生理、人工养殖等方面^[19-23],关于新疆雅罗鱼类多元形态差异研究未见报道。

本研究采用非参数检验方法和相关性分析筛选指标,进行主成分分析、判别分析等多元分析,比较新疆 3 种雅罗鱼的形态差异,建立新疆雅罗鱼类的形态判别函数,旨在为新疆雅罗鱼类的种间识别、种质资源的保护和良种选育提供理论依

据和技术支持。

1 材料与方法

1.1 材料

95 尾高体雅罗鱼和 83 尾贝加尔雅罗鱼分别采自新疆额尔齐斯河和乌伦古河,95 尾准噶尔雅罗鱼采自新疆奎屯河甘家湖,样品详细信息见表 1。

表 1 新疆 3 种雅罗鱼的采样资料
Tab. 1 Sampling details of three species of *Leuciscus* in Xinjiang

物种 species	贝加尔雅罗鱼 <i>L. baicalensis</i>		高体雅罗鱼 <i>L. idus</i>		准噶尔雅罗鱼 <i>L. merzbacheri</i>	
数量 number	43	52	33	50	41	54
采集时间 sampling date	2017-4	2018-5	2017-4	2018-5	2017-4	2018-5
样本体长/cm sample body length	范围 range	9.2–27.0	9.7–25.4	9.8–22.9	9.5–27.7	6.8–26.4
	平均值 mean value	17.4±5.6	17.5±4.5	16.6±3.8	17.5±4.4	20.6±7.3
采集地 sampling location	准噶尔盆地北部			准噶尔盆地西南部		
	吉力湖(JLL) (乌伦古河水系)		北屯镇(BTT) (额尔齐斯河水系)		甘家湖(GJL) (奎屯河流域)	
经纬度 longitude and latitude	47°00′10.80″N, 87°21′24.52″E		47°22′18.36″N, 87°48′41.54″E		44°57′30.58″N, 83°42′35.98″E	
水环境条件 condition of water environment	水质清澈,湖底多为砂质淤泥,水生生物饵料资源稳定,陆地植物高大茂盛.		河水含沙量少,水生生物饵料资源稳定,陆地植物高大茂盛.		水资源沙化、盐渍化严重,水生生物饵料变化幅度大,陆地植物矮小稀疏.	

1.2 方法

1.2.1 形态指标测定 选取体长(body length, BL)、头长(head length, HL)、口裂长(mouth crack length, ML)、吻长(snout length, SL)、体高(body height, BH)、体宽(body width, BW)、尾柄长(caudal peduncle length, CL)、胸鳍前缘周长(pectoral fin circumference, PC)、背鳍前缘周长(dorsal fin circumference 1, DC1)、背鳍后缘周长(dorsal fin circumference 2, DC2)和臀鳍前缘周长(anal fin circumference, AC)11 个可量指标。选取 9 个解剖位点^[24],获得 18 个框架结构指标,分别记作 L_{1-2} 、 L_{1-3} 、 L_{2-3} 、 L_{2-4} 、 L_{2-5} 、 L_{3-4} 、 L_{3-5} 、 L_{4-5} 、 L_{4-6} 、 L_{4-7} 、 L_{5-6} 、 L_{5-7} 、 L_{6-7} 、 L_{6-8} 、 L_{6-9} 、 L_{7-8} 、 L_{7-9} 、 L_{8-9} (图 1),数据结果精确至 0.1 mm。

1.2.2 参数选择 对 28 个比例指标数据进行正态性检验、齐性检验、非参数检验及相关性分析,筛选出本研究的多元分析指标^[25]。

1.2.3 多元分析 运用主成分分析法进行分析,绘制主成分散点图。利用聚类分析,绘制聚类树

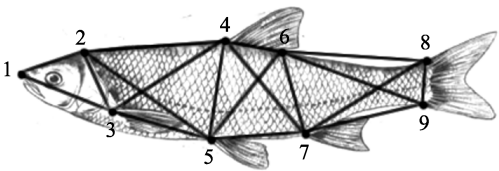


图 1 雅罗鱼框架结构示意图
1: 吻前端; 2: 头背部末端; 3: 胸鳍起点; 4: 背鳍起点; 5: 腹鳍起点; 6: 背鳍末端; 7: 臀鳍起点; 8: 尾鳍背部起点; 9: 尾鳍腹部起点。
Fig. 1 Truss network of distant measures assessed of *Leuciscus* in Xinjiang
1: Tip of snout; 2: Terminal at dorsal of head; 3: Start point of pectoral fin; 4: Start point of dorsal fin; 5: Start point of ventral fin; 6: Start point of terminal of dorsal fin; 7: Start point of anal fin; 8: Start point at dorsal of caudal fin; 9: Start point at ventral of caudal fin.

状图。采用逐步判别分析,建立新疆 3 种雅罗鱼的线性判别函数。相关计算公式如下:

判别准确率 $P_1(\%) = \frac{\text{某雅罗鱼判别正确的尾数}}{\text{该鱼类实际尾数}} \times 100$

判别准确率 $P_2(\%) = \frac{\text{某雅罗鱼判别正确的尾数}}{\text{判入该群体尾数}} \times 100$

综合判别率 = $\sum_{i=1}^k A_i / \sum_{i=1}^k B_i$

式中, A_i 为第 i 个群体判别正确的尾数, B_i 为第 i 个群体的实际尾数, k 为群体数。

2 结果与分析

2.1 参数选择

正态性检验结果显示, 28 个比例参数均不满

足正态分布($P<0.05$); 齐性检验结果显示, 有 26 个比例参数均不满足方差齐性($P<0.05$) (表 2)。非参数检验结果显示, 28 个比例参数在 3 种雅罗鱼上均存在显著差异(表 1)。Spearman 相关分析获得 HL/BL、ML/BL、SL/BL、CL/BL、BH/BL、BW/BL、 L_{1-2} /BL、 L_{1-3} /BL、 L_{2-3} /BL、 L_{3-5} /BL、 L_{4-6} /BL、 L_{5-7} /BL、 L_{6-8} /BL、 L_{6-9} /BL、 L_{7-8} /BL 和 L_{8-9} /BL16 个多元分析指标(表 3)。

表 2 新疆 3 种雅罗鱼比例性状标准化的平均值及正态性检验和齐性检验结果
Tab. 2 The mean values of standardized data of proportional parameter for three species of *Leuciscus* in Xinjiang

形态比例参数 proportional parameter	高体雅罗鱼 <i>L. idus</i>	贝加尔雅罗鱼 <i>L. baicalensis</i>	准噶尔雅罗鱼 <i>L. merzbacheri</i>	正态性检验 test of normality (P)	齐性检验 homogeneity test (P)	非参数检验 nonparametric test	
						卡方值 χ^2	P
HL/BL	0.251±0.032	0.220±0.028	0.289±0.066	0.000	0.000	71.725	0.000
ML/BL	0.082±0.015	0.072±0.011	0.097±0.029	0.000	0.000	77.022	0.000
SL/BL	0.060±0.006	0.059±0.008	0.078±0.018	0.000	0.000	76.532	0.000
PC/BL	0.639±0.076	0.525±0.074	0.648±0.141	0.000	0.000	62.787	0.000
BC1/BL	0.662±0.079	0.627±0.605	0.660±0.167	0.000	0.127	43.467	0.000
BC2/BL	0.564±0.059	0.481±0.056	0.540±0.147	0.000	0.000	43.334	0.000
AC/BL	0.499±0.056	0.432±0.044	0.474±0.137	0.000	0.000	37.112	0.000
CL/BL	0.205±0.017	0.209±0.018	0.329±0.189	0.000	0.000	15.562	0.000
BH/BL	0.258±0.040	0.215±0.020	0.230±0.038	0.003	0.000	56.685	0.000
BW/BL	0.108±0.019	0.113±0.026	0.136±0.034	0.000	0.000	40.466	0.000
L_{1-2} /BL	0.154±0.021	0.146±0.013	0.190±0.015	0.000	0.000	155.038	0.000
L_{1-3} /BL	0.224±0.023	0.208±0.019	0.257±0.030	0.000	0.000	110.353	0.000
L_{2-3} /BL	0.158±0.023	0.132±0.014	0.166±0.039	0.000	0.000	72.602	0.000
L_{2-4} /BL	0.346±0.033	0.317±0.027	0.376±0.055	0.000	0.000	67.033	0.000
L_{2-5} /BL	0.366±0.038	0.334±0.027	0.402±0.041	0.000	0.000	108.052	0.000
L_{3-5} /BL	0.240±0.027	0.266±0.289	0.280±0.020	0.000	0.054	112.836	0.000
L_{3-4} /BL	0.321±0.039	0.293±0.026	0.346±0.046	0.000	0.000	58.915	0.000
L_{4-5} /BL	0.222±0.034	0.195±0.023	0.230±0.039	0.000	0.000	45.576	0.000
L_{4-6} /BL	0.105±0.022	0.103±0.013	0.120±0.018	0.004	0.011	50.234	0.000
L_{4-7} /BL	0.259±0.030	0.239±0.017	0.302±0.031	0.001	0.000	130.485	0.000
L_{5-6} /BL	0.244±0.037	0.216±0.021	0.261±0.053	0.000	0.000	42.131	0.000
L_{5-7} /BL	0.192±0.021	0.184±0.020	0.226±0.030	0.000	0.000	91.813	0.000
L_{6-7} /BL	0.197±0.033	0.173±0.016	0.220±0.033	0.000	0.000	91.238	0.000
L_{6-8} /BL	0.275±0.022	0.269±0.024	0.323±0.046	0.000	0.000	99.161	0.000
L_{6-9} /BL	0.304±0.024	0.291±0.025	0.366±0.029	0.000	0.002	153.271	0.000
L_{7-8} /BL	0.251±0.022	0.236±0.021	0.307±0.038	0.000	0.000	145.589	0.000
L_{7-9} /BL	0.214±0.022	0.209±0.022	0.264±0.028	0.000	0.000	136.498	0.000
L_{8-9} /BL	0.091±0.012	0.079±0.007	0.107±0.024	0.000	0.000	89.581	0.000

表3 新疆3种雅罗鱼不同测量性状之间的Spearman相关分析结果
Tab. 3 The Spearman correlations among different measured characters for three species of *Leuciscus* in Xinjiang

	HL/BL	ML/BL	SL/BL	PC/BL	BCI/BL	BC/BL	AC/BL	CL/BL	BH/BL	BW/BL	L ₁₂ /BL	L ₁₃ /BL	L ₂₃ /BL	L ₂₄ /BL	L ₂₅ /BL	L ₃₄ /BL	L ₃₅ /BL	L ₄₅ /BL	L ₄₆ /BL	L ₅₆ /BL	L ₆₇ /BL	L ₇₈ /BL	L ₈₉ /BL					
HL/BL	1	0.768**	0.562**	0.780**	0.624**	0.611**	0.630**	0.530**	0.552**	0.406**	0.462**	0.556**	0.573**	0.420**	0.571**	0.232**	0.347**	0.403**	0.546**	0.470**	0.417**	0.380**	0.459**	0.303**	0.447**	0.489**	0.476**	0.593**
ML/BL	0.768**	1	0.596**	0.644**	0.492**	0.477**	0.480**	0.486**	0.476**	0.446**	0.485**	0.576**	0.504**	0.417**	0.574**	0.312**	0.350**	0.386**	0.534**	0.547**	0.393**	0.467**	0.486**	0.372**	0.486**	0.532**	0.481**	0.545**
SL/BL	0.562**	0.596**	1	0.435**	0.385**	0.318**	0.307**	0.461**	0.352**	0.494**	0.491**	0.552**	0.394**	0.410**	0.538**	0.370**	0.332**	0.382**	0.489**	0.602**	0.353**	0.467**	0.512**	0.331**	0.511**	0.497**	0.471**	0.541**
PC/BL	0.780**	0.644**	0.435**	1	0.886**	0.864**	0.840**	0.430**	0.766**	0.472**	0.337**	0.429**	0.655**	0.535**	0.594**	0.208**	0.525**	0.629**	0.452**	0.486**	0.627**	0.363**	0.554**	0.229**	0.345**	0.406**	0.334**	0.650**
BCI/BL	0.624**	0.492**	0.385**	0.886**	1	0.915**	0.826**	0.416**	0.773**	0.418**	0.220**	0.298**	0.566**	0.469**	0.511**	0.137**	0.502**	0.659**	0.304**	0.396**	0.619**	0.239**	0.502**	0.200**	0.242**	0.263**	0.218**	0.556**
BC/BL	0.611**	0.477**	0.318**	0.864**	0.915**	1	0.902**	0.400**	0.777**	0.438**	0.119**	0.295**	0.581**	0.458**	0.463**	0.0066	0.467**	0.633**	0.216**	0.311**	0.577**	0.188**	0.445**	0.190**	0.173**	0.211**	0.163**	0.505**
AC/BL	0.630**	0.480**	0.307**	0.840**	0.826**	0.902**	1	0.476**	0.728**	0.379**	0.0081	0.278**	0.590**	0.460**	0.435**	0.0002	0.433**	0.545**	0.269**	0.286**	0.518**	0.207**	0.432**	0.0113	0.150**	0.237**	0.172**	0.477**
CL/BL	0.530**	0.486**	0.461**	0.430**	0.416**	0.400**	0.476**	1	0.288**	0.368**	0.173**	0.384**	0.283**	0.290**	0.290**	0.0072	0.120**	0.134**	0.355**	0.251**	0.0106	0.306**	0.212**	0.222**	0.331**	0.367**	0.409**	0.281**
BH/BL	0.552**	0.476**	0.352**	0.766**	0.773**	0.777**	0.728**	0.288**	1	0.398**	0.0116	0.219**	0.519**	0.358**	0.461**	0.0113	0.374**	0.586**	0.246**	0.359**	0.503**	0.142**	0.486**	-0.013	0.130**	0.162**	0.007	0.434**
BW/BL	0.406**	0.446**	0.494**	0.472**	0.418**	0.438**	0.379**	0.368**	0.398**	1	0.357**	0.295**	0.284**	0.377**	0.419**	0.312**	0.400**	0.493**	0.371**	0.496**	0.444**	0.420**	0.501**	0.324**	0.383**	0.371**	0.347**	0.443**
L ₁₂ /BL	0.462**	0.485**	0.491**	0.337**	0.220**	0.119**	0.0081	0.173**	0.0116	0.357**	1	0.721**	0.503**	0.485**	0.695**	0.642**	0.556**	0.458**	0.561**	0.701**	0.510**	0.596**	0.640**	0.569**	0.718**	0.661**	0.671**	0.583**
L ₁₃ /BL	0.556**	0.576**	0.552**	0.429**	0.298**	0.295**	0.278**	0.384**	0.219**	0.295**	0.721**	1	0.734**	0.602**	0.729**	0.538**	0.450**	0.526**	0.662**	0.429**	0.584**	0.560**	0.615**	0.629**	0.699**	0.608**	0.608**	
L ₂₃ /BL	0.573**	0.504**	0.384**	0.655**	0.566**	0.581**	0.590**	0.283**	0.519**	0.284**	0.503**	0.734**	1	0.662**	0.762**	0.405**	0.623**	0.656**	0.522**	0.603**	0.666**	0.522**	0.664**	0.416**	0.479**	0.533**	0.461**	0.687**
L ₂₄ /BL	0.420**	0.417**	0.410**	0.535**	0.469**	0.458**	0.460**	0.290**	0.358**	0.377**	0.485**	0.602**	0.662**	1	0.838**	0.644**	0.892**	0.766**	0.292**	0.718**	0.773**	0.639**	0.756**	0.524**	0.626**	0.672**	0.555**	0.735**
L ₂₅ /BL	0.571**	0.574**	0.538**	0.594**	0.511**	0.463**	0.435**	0.290**	0.461**	0.419**	0.695**	0.729**	0.762**	0.838**	1	0.783**	0.815**	0.770**	0.516**	0.850**	0.758**	0.635**	0.847**	0.575**	0.728**	0.724**	0.624**	0.775**
L ₃₄ /BL	0.232**	0.312**	0.370**	0.208**	0.137**	0.066**	0.0002	0.072**	0.0113	0.312**	0.642**	0.538**	0.405**	0.644**	0.783**	1	0.689**	0.550**	0.363**	0.744**	0.538**	0.551**	0.649**	0.594**	0.665**	0.672**	0.567**	0.572**
L ₃₅ /BL	0.347**	0.350**	0.332**	0.525**	0.502**	0.467**	0.433**	0.120**	0.374**	0.400**	0.556**	0.450**	0.623**	0.892**	0.815**	0.689**	1	0.855**	0.296**	0.713**	0.888**	0.614**	0.803**	0.499**	0.584**	0.592**	0.506**	0.723**
L ₄₅ /BL	0.403**	0.386**	0.382**	0.629**	0.659**	0.633**	0.545**	0.134**	0.586**	0.493**	0.458**	0.450**	0.656**	0.766**	0.770**	0.550**	0.855**	1	0.275**	0.722**	0.941**	0.502**	0.829**	0.417**	0.444**	0.461**	0.315**	0.729**
L ₄₆ /BL	0.546**	0.534**	0.489**	0.452**	0.304**	0.216**	0.269**	0.355**	0.246**	0.371**	0.561**	0.526**	0.522**	0.292**	0.516**	0.363**	0.296**	0.275**	1	0.561**	0.390**	0.590**	0.431**	0.299**	0.466**	0.558**	0.567**	0.559**
L ₆₇ /BL	0.470**	0.547**	0.602**	0.486**	0.396**	0.311**	0.286**	0.251**	0.359**	0.496**	0.701**	0.662**	0.603**	0.718**	0.850**	0.744**	0.713**	0.722**	0.561**	1	0.693**	0.748**	0.912**	0.631**	0.796**	0.728**	0.594**	0.767**
L ₆₈ /BL	0.417**	0.393**	0.353**	0.627**	0.619**	0.577**	0.518**	0.0106	0.503**	0.444**	0.510**	0.429**	0.666**	0.773**	0.758**	0.538**	0.888**	0.941**	0.390**	0.693**	1	0.599**	0.801**	0.394**	0.460**	0.486**	0.386**	0.726**
L ₅₇ /BL	0.380**	0.467**	0.363**	0.239**	0.188**	0.207**	0.306**	0.142**	0.420**	0.596**	0.584**	0.522**	0.639**	0.635**	0.551**	0.614**	0.502**	0.590**	0.748**	0.599**	1	0.654**	0.552**	0.685**	0.617**	0.574**	0.634**	
L ₆₉ /BL	0.459**	0.486**	0.512**	0.554**	0.502**	0.445**	0.432**	0.212**	0.486**	0.501**	0.640**	0.560**	0.664**	0.756**	0.847**	0.649**	0.803**	0.829**	0.431**	0.912**	0.801**	0.654**	1	0.537**	0.741**	0.644**	0.535**	0.772**
L ₆₀ /BL	0.303**	0.372**	0.331**	0.229**	0.200**	0.190**	0.0113	0.222**	-0.013	0.324**	0.569**	0.615**	0.416**	0.524**	0.575**	0.594**	0.499**	0.417**	0.299**	0.631**	0.394**	0.552**	0.537**	1	0.773**	0.713**	0.665**	0.490**
L ₆₉ /BL	0.447**	0.486**	0.511**	0.345**	0.242**	0.173**	0.150**	0.331**	0.130**	0.383**	0.718**	0.629**	0.479**	0.626**	0.728**	0.665**	0.584**	0.444**	0.466**	0.796**	0.460**	0.685**	0.741**	0.773**	1	0.798**	0.849**	0.620**
L ₇₈ /BL	0.489**	0.532**	0.497**	0.406**	0.263**	0.211**	0.237**	0.367**	0.162**	0.371**	0.661**	0.699**	0.533**	0.672**	0.724**	0.672**	0.592**	0.461**	0.558**	0.728**	0.486**	0.617**	0.644**	0.713**	0.798**	1	0.886**	0.692**
L ₇₉ /BL	0.476**	0.481**	0.471**	0.334**	0.218**	0.163**	0.172**	0.409**	0.007	0.347**	0.671**	0.608**	0.461**	0.555**	0.624**	0.567**	0.506**	0.315**	0.567**	0.594**	0.386**	0.574**	0.535**	0.665**	0.849**	0.886**	1	0.577**
L ₈₉ /BL	0.593**	0.545**	0.541**	0.650**	0.556**	0.505**	0.477**	0.281**	0.434**	0.443**	0.583**	0.608**	0.687**	0.735**	0.775**	0.572**	0.723**	0.729**	0.559**	0.767**	0.726**	0.634**	0.772**	0.490**	0.620**	0.692**	0.577**	1

注: 斜体加粗的数字表示相关性大于或等于0.80; **表示显著相关。

Note: The correlations larger than or equal to 0.80 are shown in italic and bold; **means significant correlation.

2.2 主成分分析

KMO 和 Bartlett's 球度检验结果显示, KMO 值为 0.902, P 值为 0.000 ($P<0.05$), 表明本研究所筛选的多元分析指标适合主成分分析。主成分分析结果显示, 前 3 项主成分的特征值大于 1, 其贡献率分别为 57.71%、9.019%、6.502%, 累积贡献率为 73.23% (表 4)。

在主成分 1 中, HL/BL、ML/BL、SL/BL、CL/BL、 L_{1-2} /BL、 L_{1-3} /BL、 L_{2-3} /BL、 L_{5-7} /BL、 L_{6-8} /BL、 L_{6-9} /BL、 L_{7-8} /BL 和 L_{8-9} /BL 的负荷值均高于 0.700^[11], 表明这 12 个比例参数对主成分 1 有主要贡献作用, 新疆 3 种雅罗鱼的差异主要体现在头部和尾柄部; 在主成分 2 中, BH/BL (>0.700) 起主要作用, 反映了躯体纵向大小差异。

表 4 新疆 3 种雅罗鱼主成分载荷矩阵和对总变异的贡献率
Tab. 4 Principal component matrix and contribution rates for three species of *Leuciscus* in Xinjiang

形态比例参数 proportional parameter	主成分 principal component		
	1	2	3
HL/BL	0.854	0.304	-0.078
ML/BL	0.751	0.249	-0.066
SL/BL	0.840	0.098	-0.202
CL/BL	0.848	0.147	-0.365
BH/BL	0.348	0.781	0.267
BW/BL	0.676	0.183	-0.325
L_{1-2} /BL	0.710	-0.327	0.401
L_{1-3} /BL	0.867	-0.141	0.047
L_{2-3} /BL	0.846	0.189	0.160
L_{3-5} /BL	0.086	-0.298	0.216
L_{4-6} /BL	0.628	0.079	0.621
L_{5-7} /BL	0.839	-0.201	0.029
L_{6-8} /BL	0.721	-0.416	-0.226
L_{6-9} /BL	0.830	-0.316	0.043
L_{7-8} /BL	0.907	-0.203	-0.062
L_{8-9} /BL	0.912	0.039	0.012
特征值 characteristic value	9.234	1.443	1.04
贡献率/% contribution rate	57.71	9.019	6.502
累积贡献率/% cumulative contribution	57.71	66.728	73.23

注: 斜体加粗的数字表示贡献率的绝对值大于 0.700。
Note: The number of contribution rates' absolute value which is over 0.700 are in italic and bold face.

主成分分析散点图结果显示, 高体雅罗鱼与贝加尔雅罗鱼之间重叠面积较大, 说明两种鱼之

间的形态差异较小, 两种鱼与准噶尔雅罗鱼重叠面积均较小, 说明这两种雅罗鱼与准噶尔雅罗鱼之间在形态上均存在较为明显的差异。准噶尔雅罗鱼主要集中分布于 $F_1=0$ 的右侧, 而高体雅罗鱼和贝加尔雅罗鱼主要集中在 $F_1=0$ 的左侧, 可认为准噶尔雅罗鱼的头部比另外两种鱼较大, 尾柄部较长(图 2)。

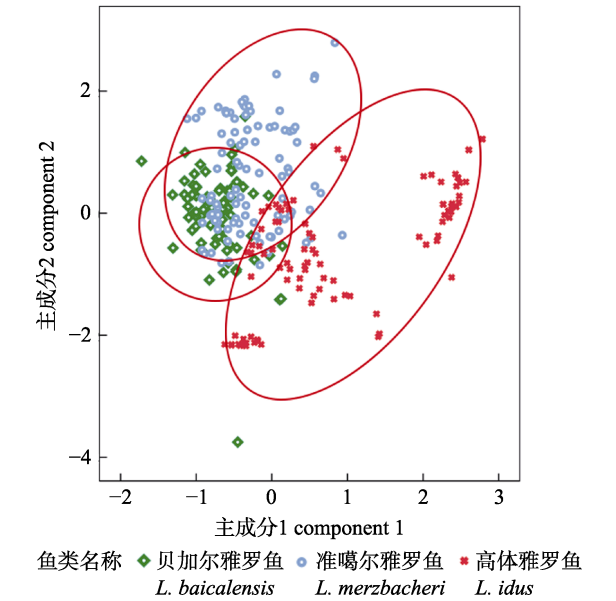


图 2 新疆 3 种雅罗鱼主成分 1 与主成分 2 散点图
Fig. 2 Scatter diagram of first and second principle components for PCA of three species of *Leuciscus* in Xinjiang

2.3 聚类分析

聚类分析结果显示, 高体雅罗鱼与贝加尔雅罗鱼间的欧氏距离为 0.005; 两者与准噶尔雅罗鱼欧氏距离分别为 0.034、0.043 (表 5)。因此, 新疆雅罗鱼类可以分为两大类群, 高体雅罗鱼与贝加尔雅罗鱼为一大类群, 准噶尔雅罗鱼为另一类群(表 5、图 3)。

表 5 新疆 3 种雅罗鱼平方 Euclidean 距离
Tab. 5 The average Euclidean distance for three species of *Leuciscus* in Xinjiang

群体 population	平均 Euclidean 距离 the average Euclidean distance		
	1	2	3
1 高体雅罗鱼 <i>L. idus</i>	0	0.005	0.034
2 贝加尔雅罗鱼 <i>L. baicalensis</i>		0	0.043
3 准噶尔雅罗鱼 <i>L. merzbacheri</i>			0

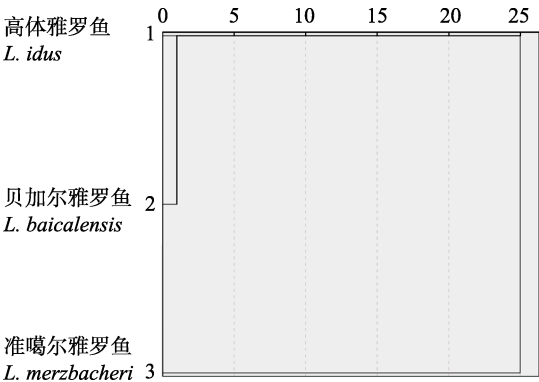


图 3 新疆 3 种雅罗鱼的聚类树状图
Fig. 3 Clustering dendrogram of three species of *Leuciscus* in Xinjiang

2.4 判别分析

逐步判别分析结果筛选出了 11 个比例指标 (表 6), 建立了新疆 3 种雅罗鱼的判别函数。新疆雅罗鱼类的判别公式如下:

高体雅罗鱼

$$Y_1 = -151.312 + 108.25X_1 + 333.624X_2 - 151.498X_3 + 235.175X_4 + 10.45X_5 + 513.96X_6 - 315.211X_7 - 341.806X_8 + 312.781X_9 + 176.326X_{10} + 460.821X_{11}$$

贝加尔雅罗鱼

$$Y_2 = -133.499 + 71.418X_1 + 367.891X_2 - 119.747X_3 + 180.486X_4 + 50.973X_5 + 538.505X_6 - 412.538X_7 - 229.982X_8 + 274.108X_9 + 186.955X_{10} + 434.242X_{11}$$

准噶尔雅罗鱼

$$Y_3 = -206.196 + 95.669X_1 + 488.439X_2 - 130.885X_3 + 176.621X_4 + 53.731X_5 + 756.09X_6 - 562.207X_7 - 295.633X_8 + 301.286X_9 + 236.935X_{10} + 555.376X_{11}$$

表 6 新疆 3 种雅罗鱼的 Fisher 的线性判别式函数表
Tab. 6 Linear discriminated functions of three species of *Leuciscus* in Xinjiang

形态比例参数 proportional parameter	高体雅罗鱼 <i>L. idus</i>	贝加尔雅罗鱼 <i>L. baicalensis</i>	准噶尔雅罗鱼 <i>L. merzbacheri</i>
HL/BL (X_1)	108.250	71.418	95.669
SL/BL (X_2)	333.624	367.891	488.439
ML/BL (X_3)	-151.498	-119.747	-130.885
BH/BL (X_4)	235.175	180.486	176.621
BW/BL (X_5)	10.450	50.973	53.731
L_{1-2} /BL (X_6)	513.960	538.505	756.090
L_{2-3} /BL (X_7)	-315.211	-412.538	-562.207
L_{4-6} /BL (X_8)	-341.806	-229.982	-295.633
L_{5-7} /BL (X_9)	312.781	274.108	301.286
L_{6-9} /BL (X_{10})	176.326	186.955	236.935
L_{7-8} /BL (X_{11})	460.821	434.242	555.376
常量 constant	-151.312	-133.499	-206.196

非交叉预判结果显示, 高体雅罗鱼判别准确率 P_1 为 85.3%, P_2 为 89.0%; 贝加尔雅罗鱼判别准确率 P_1 为 86.7%, P_2 为 83.9%; 准噶尔雅罗鱼 P_1 为 100%, P_2 为 99.0%; 综合判别率为 91.2% (表 7)。

交叉预判结果显示, 高体雅罗鱼判别准确率 P_1 为 83.2%, P_2 为 88.8%; 贝加尔雅罗鱼判别准确率 P_1 为 86.7%, P_2 为 80.0%; 准噶尔雅罗鱼 P_1 为 97.9%, P_2 为 99.0%; 综合判别率为 89.4% (表 7)。

表 7 新疆 3 种雅罗鱼的判别分析结果
Tab. 7 Discriminant results of three species of *Leuciscus* in Xinjiang

群体 population	预测分类 prediction category					
	非交叉预判结果 result of no cross-validated			交叉预判结果 result of cross-validated		
	1	2	3	1	2	3
1 高体雅罗鱼 <i>L. idus</i>	81	10	0	79	10	0
2 贝加尔雅罗鱼 <i>L. baicalensis</i>	14	72	0	16	72	2
3 准噶尔雅罗鱼 <i>L. merzbacheri</i>	0	1	95	0	1	93
判别准确率/% discriminant accuracy	85.3	86.7	100	83.2	86.7	97.9
综合判别率/% comprehensive discrimination rate	91.2			89.4		

3 讨论

鱼类多元形态分析所反映出的信息内容更丰富、信息的广度深度更高, 是对传统分类研究的补充和完善, 因此在鱼类种间种内识别、鱼类资源保护和良种选育等方面得到了广泛的应用。如 Ruiz-Campos 等^[12]采用多变量分析方法, 证实了 3 种鲑科鱼类种间种内的形态差异; 李忠利等^[26]利用多变量分析方法得到四川裂腹鱼和重口裂腹鱼是两个独立的种群, 认可了两种鱼的有效性; 关文志等^[27]利用多元分析方法获得了团头鲂、三角鲂、长春鳊相应杂交组后代的基础形态信息。

主成分分析共提取了 3 个主成分, 贡献率分别为 57.71%、9.019%、6.502%, 累积贡献率为 73.23%。通常情况下所提取主成分的累计贡献率大小应当在 80%以上, 表示提取的主成分可比较

全面的描述群体之间的差异,如罗鸣钟等^[28]关于鳗鲡科(Anguillidae)鱼类的研究和 Ruiz-Campos 等^[12]关于鲑科鱼类种间的描述。关于所提取主成分的累积贡献率低于 80%的报道^[25-26, 29],其原因可能有两点:(1)研究对象在分布地域上存在一定的重叠;(2)生存环境具有相似之处,使得它们在形态特征、生理生化特性等方面的出现趋同^[30]改变的现象。本研究中提取的主成分累积贡献率低可能是由上述原因造成的。主成分分析所提取的主成分 1 中其主要贡献作用的是,HL/BL、ML/BL、SL/BL 等 12 个比例指标,贡献率范围在 0.71~0.912,可见 3 种雅罗鱼的差异主要体现在头部和尾柄部;主成分散点图显示,准噶尔雅罗鱼主要分布在 $F_1=0$ 轴的右边,表明其头部较大,尾柄部较长;高体雅罗鱼和贝加尔雅罗鱼主要分布在 $F_1=0$ 轴的左边,表明这两种鱼的头部较小,尾柄部较短。本研究所揭示的新疆雅罗鱼类在头部的多元形态差异规律,与陈宜瑜等^[2]、董崇智等^[3]和郭焱等^[4]所著的书籍中描述的形态基本一致。

聚类分析结果显示,高体雅罗鱼与贝加尔雅罗鱼的欧氏距离较近,形态差异较小,亲缘关系相近;高体雅罗鱼、贝加尔雅罗鱼均与准噶尔雅罗鱼的欧氏距离较远,形态差异较大,亲缘关系较远。Cheng 等^[31]对鲚属两种鱼类形态差异进行研究发现,地理上接近的不同种类群会比在地理上距离较远的同种类群在形态上更为相似。本研究结果符合上述研究规律,本研究中贝加尔雅罗鱼采集地吉利湖距高体雅罗鱼采集地额尔齐斯河较近,因此这两种与形态差异较小,亲缘关系较近;两者与准噶尔雅罗鱼采集地甘家湖均较远,因而准噶尔雅罗鱼与前两种鱼形态差异较大,亲缘关系较远。聚类分析分类情况与主成分散点图分类结果一致,认为高体雅罗鱼和贝加尔雅罗鱼合为一支,准噶尔雅罗鱼独立为一支。这与胡文革等^[32-33]从雅罗鱼线粒体 DNA 控制区序列角度对新疆雅罗鱼类研究的结果一致。胡文革等^[34]从雅罗鱼线粒体 DNA 细胞色素 *b* 序列差异分析研究结果显示贝加尔雅罗鱼独立成一支,高体雅罗鱼和准噶尔雅罗鱼聚成一支,这与本文研究结果不一致。鱼类形态性状的改变与鱼类内部遗传物质

的改变有很大的关系。鱼类分子内部快速的变异可能会体现在鱼类个体形态的改变上,那么出现上述新疆雅罗鱼类分类情况不完全一致的原因,是否是形态上的变异与新疆雅罗鱼类线粒体 DNA 在细胞色素 *b* 基因序列和线粒体 DNA 的种间控制区自身进化速度快慢及变异程度有关,有待于更深入的研究。

逐步判别法筛选出 11 个指标,这 11 个对判别效果显著的比例指标主要集中与头部和尾柄部,这与主成分贡献作用大的指标集中在头部和尾柄部一致。判别分析建立了新疆 3 种雅罗鱼类的识别判别方程,判别结果显示,高体雅罗鱼与贝加尔雅罗鱼相互判错的概率较高;新疆 3 种雅罗鱼的判别准确率均高于 80%,其中准噶尔雅罗鱼判别率高达 97%以上,高体雅罗鱼与贝加尔雅罗鱼判别率较为接近。表明贝加尔雅罗鱼和高体雅罗鱼形态上许多相似之处;高体雅罗鱼、贝加尔雅罗鱼同准噶尔雅罗鱼形态上存在较大的差异。这与本研究主成分分析和聚类分析得到的结果一致。

本研究 3 种多元分析的结果显示,高体雅罗鱼和贝加尔雅罗鱼为一支群体,形态上差异较小;准噶尔雅罗鱼为另一支群体,与贝加尔雅罗鱼和高体雅罗鱼形态差异较大,主要体现在头部和尾柄部。这种结果与 3 种鱼所处的生活环境有着很大的关系。本研究中高体雅罗鱼采集地北屯镇和贝加尔雅罗鱼采集地吉利湖分别位于准噶尔盆地北部的额尔齐斯河水系和乌伦古河水系,两种水系相距较近,水体较深,水体含沙量少,水质清澈,水体饵料生物量较稳定,陆地多为高大茂盛型植物;准噶尔雅罗鱼的采集地甘家湖,水体浅、水资源沙化,盐渍化情况严重,水体饵料生物变化幅度大,陆地多为矮小稀疏型植物。生存环境的相似使得高体雅罗鱼和贝加尔雅罗鱼的形态特征上呈现出一定的趋同性,生存环境的不同可能导致准噶尔雅罗鱼形态上与其他两种鱼类呈现出较大的趋异性。甘家湖的水体条件可能导致了准噶尔雅罗鱼出现较大的头部和较长的尾柄部,目的是使其能够获得较多的食物以及较强的游泳能力。

综上所述,本研究得到了新疆 3 种雅罗鱼 3

个方面的形态信息与结论: (1) 新疆3种雅罗鱼差异主要表现头部和尾柄部; (2) 新疆3种雅罗鱼群体分为两支, 准噶尔雅罗鱼为独立的一支, 其余两种为一支; (3) 新疆3种雅罗鱼的判别方程能较准确地对其进行区分。以上形态信息和结论的获得, 在新疆雅罗鱼种间种内识别鉴定方面, 可以为有关部门提供更多的形态指标数据, 丰富识别鉴别的内容; 在新疆雅罗鱼资源保护方面, 可以为鱼类增殖保护站提供野生雅罗鱼判别的方法、依据, 指导基层单位科学开展野生雅罗鱼苗种的增殖与放流; 在雅罗鱼良种选育方面, 可以为良种场提供新疆3种雅罗鱼亲本、子代形态指标数据库的建立方法, 指导良种场有效开展良种选育工作。

参考文献:

- [1] Motta P J, Kotschal K M. Correlative, experimental, and comparative evolutionary approaches in ecomorphology[J]. Netherlands Journal of Zoology, 1992, 42(2-3): 400-415.
- [2] Chen Y Y, Luo Y L, Cheng W, et al. Fauna Sinica-Osteichthyes-Cypriniformes II [M]. Beijing: Science Press, 1998: 63-71. [陈宜瑜, 罗云林, 陈炜, 等. 中国动物志-硬骨鱼纲-鲤形目(中卷)[M]. 北京: 科学出版社, 1998: 63-71.]
- [3] Dong C Z, Li H M, Mou Z B, et al. Cold Fresh-Water Fishes in China[M]. Harbin: Heilongjiang Science and Technology Press, 2001: 90-98. [董崇智, 李怀明, 牟振波, 等. 中国淡水冷水性鱼类[M]. 哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社, 2001: 90-98.]
- [4] Guo Y, Zhang R M, Cai L G. Fishes of Xinjiang[M]. Urumqi: Xinjiang Science and Technology Press, 2012: 77-83. [郭焱, 张人铭, 蔡林钢. 新疆鱼类志[M]. 乌鲁木齐: 新疆科学技术出版社, 2012: 77-83.]
- [5] Mohaddasi M, Shabanipour N, Abdolmaleki S. Morphometric variation among four populations of Shemaya (*Alburnus chalcoides*) in the south of Caspian Sea using truss network[J]. The Journal of Basic & Applied Zoology, 2013, 66(2): 87-92.
- [6] Kaouèche M, Bahri-Sfar L, Hammami I, et al. Morphometric variations in white seabream *Diplodus sargus* (Linnaeus, 1758) populations along the Tunisian coast[J]. Oceanologia, 2017, 59(2): 129-138.
- [7] Khayyami H, Movahedinia A, Zolgharnein H, et al. Morphological variability of *Liza aurata* (Risso, 1810), along the southern Caspian Sea[J]. The Journal of Basic & Applied Zoology, 2014, 67(3): 100-107.
- [8] Cadrin S X. Advances in morphometric identification of fishery stock[J]. Reviews in Fish Biology and Fisheries, 2000, 10(1): 91-112.
- [9] Li S F, Wang C H, Cheng Q Q. Morphological variations and phylogenesis of four strains in *Cyprinus carpio*[J]. Journal of Fisheries of China, 2005, 29(5): 606-611.
- [10] Bagherian A, Rahmani H. Morphological discrimination between two populations of shemaya, *Chalcalburnus chalcoides* (Actinopterygii, Cyprinidae), using a truss network[J]. Animal Biodiversity and Conservation, 2009, 32(1): 1-8.
- [11] Chen J, Li F G, Huang C X, et al. Morphological variations of genera *Parabramis* and *Megalobrama* teleost populations[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2014, 23(3): 388-394. [陈杰, 李福贵, 黄创新, 等. 不同鲃属鱼类群体的形态差异分析[J]. 上海海洋大学学报, 2014, 23(3): 388-394.]
- [12] Ruiz-Campos G, Camarena-Rosales F, Varela-Romero A, et al. Morphometric variation of wild trout populations from northwestern Mexico (Pisces: Salmonidae)[J]. Reviews in Fish Biology and Fisheries, 2003, 13(1): 91-110.
- [13] Murta A G. Morphological variation of horse mackerel (*Trachurus trachurus*) in the Iberian and North African Atlantic: Implications for stock identification[J]. ICES Journal of Marine Science, 2000, 57(4): 1240-1248.
- [14] Никольский Г В. Частная ихтиология[M]. Beijing: Higher Education Press, 1958: 167-169. [尼科里斯基 Г В. 分门鱼类学[M]. 缪学祖, 等译. 北京: 高等教育出版社, 1958: 167-169.]
- [15] Lei D J. Isolation of micro-satellite makers for *Leuciscus baicalensis* from the Ertixhe River in Xinjiang and analysis of its genetic diversity[J]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2017. [雷杜娟. 额尔齐斯河贝加尔雅罗鱼微卫星标记筛选及其遗传多样性分析[D]. 武汉: 华中农业大学, 2017.]
- [16] Wang J J. Study on karyotype and banding pattern of *Leuciscus merzbacher* (Zugmayer)[D]. Shihezi: Shihezi University, 2011. [王佳君. 准噶尔雅罗鱼的核型和带型研究[D]. 石河子: 石河子大学, 2011.]
- [17] Wu X C. Data of Assembly Based on National Aquatic Germplasm Resources Conservation Area IV[M]. Beijing: China Environmental Press, 2014: 101-102. [吴晓春. 国家级水产种质资源保护区资料汇编(第四批)[M]. 北京: 中国环境出版社, 2014: 101-102.]
- [18] Yue P Q, Chen Y Y. China Red Data Book of Endangered Animals: Fish Pisces[M]. Beijing: Science Press, 1998: 79-80. [乐佩琦, 陈宜瑜. 中国濒危动物红皮书: 鱼类[M]. 北京: 科学出版社, 1998: 79-80.]

- [19] Romanov V I, Petlina A P, Karmanova O G, et al. Current state of ichthyofauna in river tom basin[J]. Вестник ТГПУ, 2011, 8(110): 102-108.
- [20] Pronina N M, Batuevaa M D, Sonduevaa L D, et al. Change in the numbers of dominating parasites as indicators of the condition of roach, *Rutilus rutilus lacustris*, and dace *Leuciscus Leuciscus baicalensis* (Pisces: Cyprinidae) populations in the transect Selenga River–River Delta–Lake Baikal[J]. Aquatic Ecosystem Health & Management, 2010, 13(1): 35-40.
- [21] Skovrind M, Olsen M T, Vieira F G, et al. Genomic population structure of freshwater-resident and anadromous ide (*Leuciscus idus*) in north-western Europe[J]. Ecology and Evolution, 2016, 6(4): 1064-1074.
- [22] Hu S F. Study on the mitochondrial genome and genetic diversity of *Leuciscus baicalensis* from Ertixhe River in Xinjiang[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2014. [胡思帆. 新疆额尔齐斯河贝加尔雅罗鱼线粒体基因组分析和遗传多样性研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2014.]
- [23] Han G C, Gao Y K, Feng J J, et al. Dali lake amur ide *Leuciscus waleckii* proliferation technique[J]. Inner Mongolia Agricultural Science and Technology, 2015, 43(6): 138-139. [韩国苍, 高玉奎, 冯俊杰, 等. 达里湖瓦氏雅罗鱼增殖技术探讨[J]. 内蒙古农业科技, 2015, 43(6): 138-139.]
- [24] Li S F. Study on Assembly of Main Cultured Fishes in Freshwater in China[M]. Shanghai: Shanghai Scientific & Technical Publishers, 1998: 148-152. [李思发. 中国淡水主要养殖鱼类种质研究[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1998: 148-152.]
- [25] Chen X W J, Guo J K, Yang Z, et al. Morphological differences among three wild populations of *Siniperca kneri* sampled from Guizhou Province[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2018, 25(1): 34-43. [陈薛伟杰, 郭健康, 杨志, 等. 贵州境内 3 个野生大眼鲈群体的形态差异[J]. 中国水产科学, 2018, 25(1): 34-43.]
- [26] Li Z L, Chen Y X, Hu S Y, et al. Multivariate analysis on the morphological differentiation of Kozlov's schizothoracin (*Schizothorax kozlovi*) and David's schizothoracin (*S. davidi*)[J]. Chinese Journal of Zoology, 2015, 50(4): 547-554. [李忠利, 陈永祥, 胡思玉, 等. 四川裂腹鱼和重口裂腹鱼形态差异的多元分析[J]. 动物学杂志, 2015, 50(4): 547-554.]
- [27] Guan W Z, Zheng G D, Wu C B, et al. Comparative analysis of growth and morphological variations among *Megalobrama amblycephala*, *M. terminalis*, *Parabramis pекinensis* and their hybrids[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2017, 24(1): 31-39. [关文志, 郑国栋, 吴成宾, 等. 团头鲂与三角鲂或长春鳊杂交后代的生长及形态对比分析[J]. 中国水产科学, 2017, 24(1): 31-39.]
- [28] Luo M Z, Guan R Z, Li Z Q, et al. Morphological variations analysis between *Anguilla bicolor pacifica* and the other three species of eels[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2013, 44(2): 389-395. [罗鸣钟, 关瑞章, 李忠琴, 等. 太平洋双色鳗鲡(*Anguilla bicolor pacifica*)与其它 3 种鳗鲡的形态差异分析[J]. 海洋与湖沼, 2013, 44(2): 389-395.]
- [29] Huo T B, Yuan M Y, Ma B, et al. Morphological variations and discrimination between northern pike *Esox lucius* and Amur pike *Esox reicherti*[J]. Journal of Dalian Ocean University, 2011, 26(3): 253-259. [霍堂斌, 袁美云, 马波, 等. 白斑狗鱼与黑斑狗鱼的形态差异与判别分析[J]. 大连海洋大学学报, 2011, 26(3): 253-259.]
- [30] Pouilly M, Lino F, Bretenoux J G, et al. Dietary- morphological relationships in a fish assemblage of the Bolivian Amazonian flood-plain[J]. Journal of Fish Biology, 2003, 62(5): 1137-1158.]
- [31] Cheng Q Q, Lu D R, Ma L. Morphological differences between close populations discernible by multivariate analysis: A case study of genus *Coilia* (Teleostei: Clupeiforms)[J]. Aquatic Living Resources, 2005, 18(2): 187-192.
- [32] Hu W G, Duan Z Y, Wang J F, et al. Divergence and systematical evolution of three *Leuciscus* species in Xinjiang based on mitochondrial DNA control region sequences[J]. Acta Genetica Sinica, 2004, 31(9): 970-975. [胡文革, 段子渊, 王金富, 等. 新疆 3 种雅罗鱼线粒体 DNA 控制区序列的差异和系统进化关系[J]. 遗传学报, 2004, 31(9): 970-975.]
- [33] Hu W G, Wang J F, Sheng J L, et al. Polymorphism and original analysis of mtDNA D-loop of three *Leuciscus* species in Xinjiang[J]. Hereditas, 2003, 25(4): 414-418. [胡文革, 王金富, 盛金良, 等. 新疆三种雅罗鱼属鱼类 mtDNA D-loop 多态性及起源分化分析[J]. 遗传, 2003, 25(4): 414-418.]
- [34] Hu W G, Duan Z Y, Wang J F, et al. Divergence and systematical evolution of three *Leuciscus* species in Xinjiang: Mitochondrial DNA cytochrome *b* sequences[J]. Chinese Journal of Zoology, 2005, 40(3): 6-11. [胡文革, 段子渊, 王金富, 等. 新疆 3 种雅罗鱼线粒体 DNA 细胞色素 *b* 序列的差异与系统进化[J]. 动物学杂志, 2005, 40(3): 6-11.]

Multivariate analysis on the morphological among three species of *Leuciscus* in Xinjiang

WANG Yening¹, LI Shengzhong¹, LIU Changlong²

1. College of Animal Science, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China;

2. Fuhai County Haifu Special Fish Breeding Limited Liability Company, Altay 836400, China

Abstract: The 11 measurable morphological indicators and 18 framework morphological indicators of *Leuciscus idus*, *Leuciscus baicalensis* and *Leuciscus merzbacheri* were studied by methods of principal component analysis, cluster analysis and discriminant analysis, in order to reveal their morphological information and laws which can guide the identification, resource conservation and fine variety breeding of *Leuciscus*. The results of principal component analysis showed that the contribution rates of three extracted principle components were 57.71%, 9.019%, 6.502% respectively and the cumulative contribution rate of them was 73.23%. The main proportional parameters of principle component 1 gathered in head and caudal peduncle. The parameter of head included six proportional parameters such as HL/BL, ML/BL, SL/BL, L_{1-2} /BL, L_{1-3} /BL and L_{2-3} /BL. And the parameter of caudal peduncle included five proportional parameters such as CL/BL, L_{6-8} /BL, L_{6-8} /BL, L_{7-8} /BL and L_{8-9} /BL. Cluster analysis revealed that the genetic relationship of *L. idus* and *L. baicalensis* was closed, and both of them had the father genetic relationship with *L. merzbacher*. A stepwise discriminant method selected eleven parameters which also gathered in head and caudal peduncle, in order to establish the characteristic discriminant function. The data of there kinds of fish were submitted into the characteristic discriminant function to validate. It showed that it is a little bit difficult to discriminate between *L. idus* and *L. baicalensis*, and *L. merzbacher* is easy to distinguish between them. The individual discrimination accuracy (P_1 , P_2) of *L. idus* and *L. baicalensis* are more than 80%, and the individual discrimination accuracy (P_1 , P_2) of *L. merzbacher* reached more than 95%. And the comprehensive discrimination rate of no cross-validated method was 91.2% and the one of cross-validated method was 89.4%. The comprehensive discrimination rate of no cross-validated method is high and very closed to the cross-validated method. It meant that the characteristic discriminant function is credible. Three species of *Leuciscus* in Xinjiang are divided into two branches. The morphological variation of them is mainly reflected on the part of head and caudal peduncle. And three species of *Leuciscus* in Xinjiang could be discriminated by multiple regression function.

Key words: *Leuciscus idus*; *L. baicalensis*; *L. merzbacheri*; morphological variation; multivariate analysis

Corresponding author: LI Shengzhong. E-mail: xndlishengzhong@sina.cn