

ZJZZZZ

DOI: 10.11964/jfc.20191112069



嘉陵江不同江段蛇鉤的形态差异比较

肖 瑾¹, 曾 燏^{1*}, 张富斌², 彭 艳¹, 张 臣¹, 张 倩¹, 舒秋贵¹

(1. 西华师范大学生命科学学院,国家淡水渔业工程技术研究中心西南分中心,四川南充 637000;2. 西华师范大学环境科学与工程学院,四川南充 637009)

摘要: 为探讨嘉陵江不同江段蛇鉤群体的形态表型特征及其差异性,实验对采自嘉陵江 上游、中游和下游共120尾样本进行了传统形态测量和地标点几何形态学测量分析。形 态分析结果发现,嘉陵江不同江段蛇鉤群体间形态表型存在显著差异。差异主要集中于 头部、鳍和尾柄;其中上游群体的蛇鉤最为纤长(叉长、胸腹距、躯干距最大),眼间距、 背鳍基长、头高和口角须长也最长;中游群体的胸鳍、腹鳍、尾鳍最长,尾柄也最为粗 壮(尾柄宽,尾柄高最大),头长、体宽、胸鳍前距最大;下游群体的肛臀距和头宽最大。 主成分分析结果发现,无法有效将不同江段蛇鉤群体区分。研究表明,不同江段蛇蚼群 体形态表型差异均属于种内差异,这些表型差异可能是蛇鉤对嘉陵江不同江段环境(如 流速、水温、饵料类型)多样性的适应性表现。

关键词:蛇鉤; 生态适应; 多变量形态测量学; 地标点法

中图分类号:Q958.11; S917.4

生态适应 (ecological adaptation) 是指生物自 身的形态、结构以及生理生化功能在面对异质 生境时产生适应性进化反应的过程^[1-2],研究生 态适应可以了解生物在不同环境中差异性的适 应策略,揭示生境中物种种群分化和生态物种 形成等进化过程,因此生态适应历来是进化生 物学家关注的热点问题之一^[3-4]。形态表型差异 是生物生态适应最直接的外在体现^[5],其在鱼类 中普遍存在^[6-8],如 Brinsmead 等^[9]的研究发现, 同栖息在缓流生境中的太阳鱼 (*Lepomis gibbosus*) 类群相比,在激流环境中生活类群的胸鳍更加 靠前,身体也更为延长; Kapralova 等^[10]比较不 同食性的冰岛嘉鱼 (*Salvelinus alpinus*) 群体也观 察到类似的现象: 同以浮游生物及上升的摇蚊 文献标志码:A

蛹为食的冰岛嘉鱼群体相比,以底栖无脊椎动 物为主要食物的群体的体色更暗,身体更粗壮, 胸鳍也较长。

传统的形态表型差异分析方法主要是运用 多变量统计分析来描述数值化的形态变量,对 种间及种以上水平的鉴定有效,因其不能将形 状和大小分开分析,在种内表型差异比较应用 中的效果较差^[11]。基于地标点的几何形态学分析 方法通过量化坐标空间中形态测量点的变形, 可深入描述形态结构特征,解释生物体形态和 大小多维度的形态差异^[12]。如Lostrom等^[13]运用 几何形态测量法对西部彩虹鱼(*Melanotaenia australis*)进行分析发现,雌性比雄性个体更倾向于 拥有子弹型身体,头也更为朝上。

通信作者: 曾燏, E-mail: zengyu@cwnu.edu.cn

收稿日期: 2019-11-18 修回日期: 2020-03-26

资助项目: 国家自然科学基金 (51779210, 31901219); 西华师范大学 (19C007, 18Q035, 17YC121); 中国科学院水生生物多样 性与保护重点实验室开放基金

嘉陵江系长江水系中流域面积最大的一级 支流,其鱼类资源丰富,是重要的水产种质资 源库[13]。近年来,由于梯级航电工程的建设,嘉 陵江水生生态环境发生极大改变,许多鱼类的 生存和生活受到严重影响,有些鱼类甚至已难 觅踪迹^[14]。蛇鉤(Saurogobio dabryi)隶属于鲤科 (Cyprinidae)、鉤亚科 (Gobioninae)、蛇鉤属 (Saurogobio),别称船钉子,是广泛分布于嘉陵江各江 段的重要河流性鱼类,如今也面临着小型化、资 源量下降等问题[15]。目前有关嘉陵江蛇鉤的研究 主要集中在食性组成差异[16]、繁殖生物学特性[17]、 耳石形态差异[18]等方面,而有关形态表型差异 的报道则较为少见。因此,本实验同时运用传 统的形态分析方法和基于地标点的几何形态学 分析方法,分析嘉陵江不同江段蛇鉤的形态表型 差异,以探讨其对异质环境差异性的适应规律。

1 材料与方法

1.1 样本采集

实验所用嘉陵江蛇鉤样本共120尾,于2016 年10月—2017年10月采自上游广元江段(32°24′~ 32°26′N,105°46′~105°49′E)、中游蓬安江段 (31°01′~31°03′N,106°22′~106°23′E)、下游合 川江段(29°59′~30°00′N,106°16′~106°17′E) 这3个采样区域(图1)。采集方式为向渔民购买 以及利用流刺网(网墙长16m,高4m;网目大 小0.5 cm)等捕捞。采集期都处于蛇鉤的非繁殖 季节,鱼类样本一旦收集后,立即处死(MS-222), 并保存于8%甲醛溶液中,随后带回实验室进行 测量、拍照。所有实验标本存放于西华师范大 学生命科学院鱼类标本室(CWNU)。

1.2 数据获取

使用 ALC210.3 电子天平 (Acculab 公司,精确 度 0.01 g) 和数显游标卡尺 (BOSITOOLS 公司, 精确度 0.01 mm) 测量样本的 34 个可量性状 (图 2)。

使 NIKON 700D 对鱼类标本进行拍照,拍 摄时将相机固定,保持焦距和拍摄角度不变。

1.3 数据处理

传统的形态测量法 为消除样品大小差 异对形态参数的影响,全部可量性状用 Microsoft Excel 进行数据转换,然后用 SPSS 20.0 软件进行 中国水产学会主办 sponsored by China Society of Fisheries



Fig. 1 Sampling sites

单因素方差分析 (One-Way ANOVA) 和多重比较 (P>0.05 时用 LSD法, P<0.05 时用 Dunnett法), 最后参照 Mayr 等^[20] 计算差异系数 $CD_i = |\bar{X}_i - \bar{X}_j|/(\sigma_i + \sigma_j)$,式中, $X_i 和 X_j$ 表示均值, $\sigma_i \pi \sigma_j$ 表示 标准差。

基于地标点的几何形态分析 用 tpsUtil 软件和 tpsDig 2 软件先后对拍照所得标准图像进 行处理,建立 18 个地标点^[21](图 2)。利用 tpsSmall 软件检验地标点有效性^[22];用 tpsRelw 软件对每 个样本的坐标点进行处理,评估平均坐标,进行 相对扭曲 (relative warps)和局部扭曲 (partial warps) 主成分分析,并生成相对扭曲指数 (relative warps scores)矩阵和分析报告;使用 tpsRegr 软件绘制 3 个江段蛇鉤群体的网格变形图,观察其形变可视性。

2 结果

2.1 外观形态

蛇鉤体甚细长,呈圆筒状,尾柄极长;头 较长,吻向前突出。本次实验中共分析蛇鉤 120尾,平均体长为(115.44±14.48)mm,体质量 为(16.25±6.60)g,其中上游蛇鉤群体体质量为 11.30~32.92g,体长为104.12~148.03mm;中游 群体体质量为5.92~35.91g,体长为84.97~144.01



44 卷



图 2 蛇鉤形态特征和 18 个地标点位置¹⁹

形态特征: 1. 全长, 2. 体长, 3. 头长, 4. 躯干长, 5. 吻长, 6. 眼径, 7. 眼后头长, 5-8. 背吻距, 9~10. 背尾距, 11. 尾鳍长, 12. 体高, 13. 尾柄长, 14. 尾柄高, 15. 胸鳍前距, 16. 腹鳍前距, 17. 头高。A. 胸鳍起点, B. 背鳍起点, C. 背鳍第一根硬刺末端, D. 背鳍末端, E. 腹鳍起点, G. 腹鳍第一根硬刺末, H. 肛门, I. 臀鳍起点, J. 臀鳍末, K. 臀鳍第一根硬刺末, L. 尾椎末端, M. 胸鳍第一根硬刺, AE. 胸腹距, AM. 胸鳍长, BD. 背鳍基长, BC. 背鳍高长, EG. 腹鳍长, IK. 臀鳍基长, IJ. 臀鳍高长, FI. 腹鳍臀鳍间距, HI. 肛臀距。18 个地标点位置: ① 吻端, ② 枕骨后末端, ③: 背鳍起点, ④ 背鳍基部末端, ⑤ 尾鳍基部上端, ⑥ 鳍最凹点, ⑦ 尾鳍基部下端, ⑧ 臀鳍起点, ⑩ 腹鳍起点, ⑪ 胸鳍起点, ⑫ 眼前缘, ⑬ 眼后缘, ⑭ 鳃盖后缘, ⑮ 鳃盖上缘, ⑯ 前鳃盖骨腹侧起点, ⑰ 下颌末端, ⑱ 尾柄末端

Fig. 2 Morphological characteristics and positions of 18 landmarks of S. dabryi

Morphological characteristics: 1. total length, 2. body length, 3. head length, 4. trunk length, 5. snout length, 6. eye diameter, 7. postorbital head length, 5-8. length between dorsal fin and rhynchodaeum, 9-10. length between tall fin and rhynchodaeum, 11. caudal fin length, 12. body depth, 13. caudal peduncle length, 14. caudal peduncle depth, 15. length between pectoral fin and rhynchodaeum, 16. length between ventral fin and rhynchodaeum, 17. head depth. A. origin of pectoral fin, B. origin of dorsal fin, C. end of the first sharp fishbone in dorsal fin, D. posterior end of dorsal fin, E. origin of ventral fin, G. end of the first sharp fishbone in ventral fin, H. anus, I. origin of anal fin, J. posterior end of anal fin, K. end of the first sharp fishbone in anal fin, L. posterior end of coccygeal vertebra, M. end of the first sharp fishbone in pectoral fin, AE. length between pectoral fin and ventral fin, AM. pectoral fin length, BD. dorsal fin coxal length, BC. dorsal fin coxal depth, EG. ventral fin length, IK. anal fin coxal length, IJ. anal fin coxal depth, FI. length between ventral fin and anal fin, HI. length between anus and anal fin. Positions of 18 landmarks: ① tip of snout, ② distal tip of occiput, ③ origin of dorsal fin, ④ posterior end of dorsal fin base, ⑤ upper insertion of caudal fin base, ⑥ the pits of caudal fin, ⑦ lower insertion of caudal fin base, @ posterior end of anal fin base, ⑨ origin of anal fin, ⑩ origin of pelvic fin, ⑪ origin of pectoral fin, ⑫ the anterior margin of the eye, ③ the posterior margin of the eye, ④ the posterior margin of the operculum, ⑤ the upper end of operculum, ⑥ origin of the preopercle on the ventral, ⑪ distal tip of mandible, ⑧ distal tip of caudal peduncle

mm; 下游群体体质量为 4.83~32.24 g, 体长为 83.21~146.01 mm。且 t 检验表明, 不同江段蛇鉤 两两之间均无显著性差异。

2.2 蛇鉤不同江段形态表型差异及地标点变 形分析

单因素方差分析及多重比较 在传统的 形态测量学方法中,首先运用单因素方差分析 及多重比较,来分析各江段蛇鉤的形态学比例性 状差异,结果显示有17个形态特征的平均值在 不同江段群体间存在显著差异(P<0.05)(表1), 且主要集中于头部(FL/BL、IW/HL、HW/HL、HL/ BL、HD/HL、BAL/HL)、鳍(DFCL/BL、PFL/BL、 VFL/BL、CFL/BL)和尾柄(CPW/BL、CPD/BL)上, 其中FL/BL、IW/HL、TL/BL、LBPV/BL、DFCL/BL 等5个形态特征表现为上>中>下;HW/HL为下> 上>中;HD/HL、BAL/HL为上>下>中;HL/BL、 BW/BL、 PFL/BL、 LBPR/BL、 VFL/BL、 CPW/ BL、 CPD/BL、 CFL/BL 为中>上>下; LBAA/BL 为下>中>上。

几何形态分析和网格变形分析 在基于 地标点的几何形态分析中,其回归系数均大于 0.99,则本研究所选取的所有地标点都是有效的。 利用 tpsRelw 软件计算获得不同江段蛇鉤平均形 图和所有地标点矢量化之后的重叠效果图 (图 3)。 基于 tpsRegr 软件的网格变形分析结果可知 (图 4), 嘉陵江不同江段蛇鉤群体的形态差异主要体现在 头部 (地标点 1、11、17)、背鳍 (地标点 3、4)、 尾鳍 (地标点 5、6、7、18)、臀鳍 (地标点 9)和 腹鳍上 (地标点 10),形态表型差异分析结果与传 统分析方法结果相似。

2.3 主成分分析

表1 蛇鉤不同江段群体间形态表型差异

Tab. 1 Differences of the phenotypic morphological parameters of S. dabryi among each section

part motphological variable upstream modstream downstream comparison significance 失滞 head 火长/本长 HL/BL 0.2126-60.0021* 0.230840.0061* 0.230740.0019* 中⇒上>下 0.000*** 火電/水长 HW/HL 0.5381±0.0057* 0.5154±0.0084* 0.5392±0.0057* T>上>T> 0.024* 火電/水长 HD/HL 0.5601±0.0067* 0.2596±0.0087* 0.5404±0.0063* L>T>+P 0.009*** (0.510-0.0596) (0.273-0.596) (0.146-0.249) L>T>+P 0.009*** (0.154-0.245) (0.166-0.294) (0.127-0.248) L>T>+P 0.009*** (0.166-0.255) (0.117-0.255) (0.175-0.294) L>+P>F 0.029* 287.## trunk 又长/本长 FL/BL 1.1004±0.0041* 1.069±0.0047* 1.0644±0.0036* L>+P>F 0.000*** 287.## trunk 又长/本长 FL/BL 1.107±0.011* 1.069±0.0047* 1.0644±0.0036* L>+P>F 0.000*** 20.016-0.024 0.0167-1.165 (1.0175-0.012* 0.022±0.013* (1.017+0	部位	形态变量	上游(31尾)	中游(40尾)	下游(39尾)	比较	P值
実部 head 失核/体长 HL/BL 0.2126+00021* 0.230840.0061* 0.205740.0019 中国上⇒下 0.000*** 火葱/头长 HW/HL 0.538140.0057' 0.515440.0084* 0.539240.0057' Г>上>中 0.024* 火葱/头长 HW/HL 0.538140.0057' 0.515440.0084* 0.539240.0037' L>下>中 0.00*** 火箭/头长 HD/HL 0.581140.00657' 0.529640.0087* 0.540340.0039 L>下>中 0.00*** 「月糸浜大 HD/HL 0.181140.0045' 0.213240.0037' 0.176740.0063'' L>下>中 0.00*** 酸同胞/头长 IW/HL 0.2314740.0038' 0.220140.0049' 0.1767-02490 L>下>中 0.00*** 酸目胞/头长 IW/HL 0.234740.0038' 0.220140.0049' 0.11594.0013' L>中>下 0.00*** 酸化 (1.055-1.165) (1.018-1.14) (1.010-1.109) L>中>下 0.00*** 酸生/体长 BW/BL 0.11674.0011' 0.109400.012' 1.5+P>下 0.00*** (0.301-0.375) (0.279-0.383) (0.214-0.361) L>中>下 0.000***	part	morphological variable	upstream	midstream	downstream	comparison	significance
東窓/头桜 HW/HL 0.5381±0.0057 (0.159-0.149) (0.159-0.149) 大窓/头桜 HW/HL 0.5381±0.0057 (0.519±0.0083) (0.5392±0.018) (0.5392±0.018) 大窓/头桜 HD/HL 0.5601±0.0067 (0.2596±0.0087) (0.5403±0.0039) L>下>中 0.009** ロ角须长/头长 BAL/HL 0.5601±0.0067 (0.2213±0.0037) (0.1767±0.0063) L>下>中 0.009** 服用距/头长 IW/HL 0.2347±0.0038 0.2195±0.0040 ⁹ L>下>中 0.009*** (0.196-0.295) (0.117-0.265) (0.175-0.294) L>中>下 0.029* タビ/体长 FL/BL 1.1004±0.0041 ⁷ 1.064±0.0014 ⁷ 1.064±0.0036 ⁶ L>中>下 0.009*** (0.09-0.133) 0.1217±0.0016 ⁶ 0.1159±0.0013 ⁷ 1.>19±>F 0.005** (0.009-0.133) (0.101-0.139) 0.0224±-0.361) L>=P>下 0.005** (0.168-0.235) (0.117-0.235) (0.117±0.0014 ⁷ 1.064±0.0015 ⁷ 0.029* 小屋 パードレ 0.316±0.0017 ⁷ 0.3103±0.0039 L>=P>下 0.005** (0.09-0.207) 0.310±0.0016 ⁷ 0.115±0.0011 ⁸ 0.115±0.0011 ⁸	头部 head	头长/体长 HL/BL	0.2126 ± 0.0021^{a}	0.2308 ± 0.0061^{b}	$0.2057 \pm 0.0019^{\circ}$	中>上>下	0.000***
$\chi_{20}^{\circ}\chi_{5}$ HW/HL 0.538 14:0.005 ?* (0.491-0.654) 0.515 44:0.008 4' (0.286-0.608) 0.5404-0.639) $\mathbb{P} > \mathbb{L} > \mathbb{P} > \Phi$ 0.009** $\chi_{50}/_{5}$ K HD/HL 0.56014:000 6'' 0.52964:000 8'' 0.5403-00039' $\mathbb{L} > \mathbb{P} > \Phi$ 0.009*** Π_{50} K/ ₅ K BAL/HL 0.1811=0.0045' 0.2132±0.0037' 0.1767±0.0063'' $\mathbb{L} > \mathbb{P} > \Phi$ 0.009*** \mathbb{R} mplifi/5 K BM/HL 0.2134±0.0038' 0.2201=0.0049' 0.177-0.248) $\mathbb{L} > \Phi > \mathbb{P}$ 0.029* \mathbb{R} fill 0.134-0.245) 0.117-0.265) 0.117-0.265) 0.017-0.265) 0.017-0.265) 0.017-0.265) 0.007*** 0.009*** \mathbb{R} fill 1.1004±0.0041' 1.0699±0.0047'' 1.0644±0.0036'' $\mathbb{L} > \Phi > \mathbb{P} > \mathbb{P}$ 0.000**** \mathbb{R} fill 0.1690=0.014'' 1.0699±0.0047'' 0.1509±0.0036'' $\mathbb{L} > \Phi > \mathbb{P} > \mathbb{P}$ 0.000**** \mathbb{R} fill 0.3164±0.0027'' 0.308±0.0039'' 0.2329±0.0042''' $\mathbb{L} > \Phi > \mathbb{P} > \mathbb{P}$ 0.000**** \mathbb{R} fill 0.3104±0.0027''' 0.308±0.0039'''' 0.2329±0.0030''''' $\mathbb{L} > \Phi > \mathbb{P} > \mathbb{P}$ 0.000**** 0.000**** 0.000**** 0.			(0.163~0.226)	(0.193~0.446)	(0.185~0.249)		
20.491-0.684) (0.286-0.089) (0.240-0.690) (0.240-0.690) (0.240-0.690) 2<万人长 HD/HL		头宽/头长 HW/HL	0.5381±0.0057 ^a	0.5154±0.0084 ^b	0.5392±0.0057ª	下>上>中	0.024*
実気法 HD/HL 0.560 140.0067" 0.529 64.00.087" 0.540 340.0039' 上>下>中 0.009*** □角気长/头长 BAL/HL 0.510-0.6961 0.213 2±0.0037" 0.1767±0.0063" 上>下>中 0.009*** 服同距/头长 BAL/HL 0.181 1±0.0045' 0.213 2±0.0037" 0.1767±0.0063" 上>下>中 0.009*** 服同距/头长 IW/HL 0.234 7±0.0038" 0.220 1±0.0049' 0.127-0.234) 上>中>下 0.029* 躯干部 trunk 又长/体长 FL/BL 1.100 4±0.0041" 1.069 9±0.0047" 1.064 4±0.0036' 上>中>下 0.000*** 修覚/体长 BW/BL 0.1167±0.0011" 0.1217±0.0016' 0.1159±0.0013" 中>上>下 0.005** 服鹿距/体长 LBPV/BL 0.2110±0.0017" 0.0308±0.0039' 0.3229±0.0042" 上>中>下 0.000*** 胸腹距形/体长 LBPV/BL 0.210±0.027' 0.3308±0.0039' 0.3229±0.0042" 上>中>下 0.000*** 胸腹距形/体长 LBPV/BL 0.210±0.027' 0.3308±0.0039' 0.3229±0.0014" 1.>+>下 0.000*** 10642-0.231 0.116*-0.235 0.116*-0.234 1.>+>下 0.000*** 0.017*-0.242 1.>+>下 0.000*** 10			(0.491~0.654)	(0.286~0.608)	(0.464~0.639)		
(0.510-0.696) (0.273-0.596) (0.482-0.606) 日角類长/头长 BAL/HL 0.181 1±0.0045° 0.2132±0.0037° (0.176-7±0.0063°) 上>下>中 0.000*** 服同距/头长 IW/HL 0.2132±0.0236° 0.2195±0.0040° 上>中>下 0.029* 躯干部 trunk 又长/体长 FL/BL 1.1004±0.0041° 1.0699±0.0047° 1.064±0.0036° 上>中>下 0.000*** 像:: (1.055-1.165) (1.0181.14) 1.010-410013° 0.1159±0.0013° 中>上>下 0.000*** (0.099-0.133) (0.101-0.139) (0.024-0.361) -1.>+>下 0.000*** 級干部 trunk 双长/体长 TL/BL 0.210±0.0024° 0.197±0.0013° +>+>下 0.000*** (0.099-0.133) (0.101-0.139) (0.244-0.361) -1>+>下 0.000*** (0.168-0.236) (0.148-0.233) (0.172-0.234) -1>+>下 0.001**		头高/头长 HD/HL	$0.5601{\pm}0.0067^a$	$0.5296{\pm}0.0087^{\rm b}$	$0.5403{\pm}0.0039^{\text{b}}$	上>下>中	0.009**
日角领长/头长 BAL/HL 0.181 1±0.0045° (0.154-0.245) 0.213 2±0.0037° (0.106-0.294) 0.176 7±0.0063° (0.127-0.248) 上>下>中 0.000*** 駆用軍/少头长 IW/HL 0.234 7±0.0038° (0.196-0.295) 0.210 ±0.0049° (0.177-0.248) L>中>下 0.029* 躯干部 Trunk 又长/体长 FL/BL 1.100±0.0041° (1.065-1.165) 1.064±0.0037° (1.018-1.14) 1.064±0.0037° (1.010-1.109) L>+>>下 0.000*** 修定/体长 BW/BL 0.1167±0.0011° (0.099-0.133) 0.1217±0.0016° (0.101-0.139) 0.1159±0.0013° (0.006-0.134) +>±>F 0.000*** 魔王軍//体长 TL/BL 0.3504±0.0027° (0.0160-0.236) 0.3229±0.0042° (0.224-0.361) L>+>F 0.000*** 胸腹眶//体长 LBPV/BL 0.2110±0.0024° (0.168-0.236) 0.1994±0.0032° (0.172-0.234) L>+>F 0.000*** 胸鰭市//体长 LBPV/BL 0.2152±0.0012° (0.185-0.235) 0.1886±0.0030° (0.112-0.213) +>±>F 0.000*** 胸鰭市//体长 LBPR/BL 0.2152±0.0012° (0.126-0.158) 0.1499±0.0014° (0.125-0.162) L>+>F 0.000*** 腹鰭K//体长 VFL/BL 0.1556±0.0014° (0.126-0.158) 0.1499±0.0014° (0.125-0.152) L>+>F 0.000*** 腹鰭K//体长 VFL/BL 0.1556±0.0014° (0.126-0.158) 0.140+0.0162) L>+>F </td <td rowspan="2"></td> <td></td> <td>(0.510~0.696)</td> <td>(0.273~0.596)</td> <td>(0.482~0.606)</td> <td></td> <td></td>			(0.510~0.696)	(0.273~0.596)	(0.482~0.606)		
(0.154-0.245) (0.106-0.294) (0.127-0.248) 服問題/头长 IW/HL 0.234 7±0.0038" 0.220 1±0.0049" 0.219 5±0.0040" 上>中>下 0.029" 2数干部 trunk 又长/体长 FL/BL 1.100 4±0.0041" 1.069 4±0.0047" 1.064 4±0.003 6" 上>中>下 0.000*** 体宽/体长 BW/BL 0.116 5±0.0011" 0.121 7±0.0016" 0.115 9±0.0013" 中>上>下 0.005*** 施定/体长 BW/BL 0.151 7±0.0011" 0.121 7±0.0016" 0.115 9±0.0013" 中>上>下 0.000*** 施定/体长 BW/BL 0.350 4±0.002 7' 0.330 8±0.003 9" 0.322 9±0.0042" 上>中>下 0.000*** 施度距/体长 LBPV/BL 0.211 0±0.002 4" 0.199 4±0.002 3" 0.197 8±0.003 0" 上>中>下 0.000*** 原糖能/体长 PFL/BL 0.215 2±0.001 2" 0.239 ±0.0013" 0.215 1±0.002 3" 0.197 8±0.003 0" 上>中>下 0.000*** 原糖能/体长 DFCL/BL 0.216 0±0.0014" 0.148 0±0.233 0.0172-0.234 中>上>下 0.000*** [mishimEr/体长 LBPR/BL 0.215 2±0.0012" 0.225 7±0.0021" 0.215 1±0.0023" 中>上>下 0.000*** [mishimEr/体长 LBPR/BL 0.147 0±0.0014"		口角须长/头长 BAL/HL	0.1811±0.0045ª	$0.2132{\pm}0.0037^{b}$	0.1767 ± 0.0063^{b}	上>下>中	0.000***
照何距/头长 IW/HL 0.2347±0.0038' (0.196-0.295) 0.220 1±0.0049' (0.117-0.255) 0.219 5±0.0040' (0.175-0.294) 上>中>下 0.029* 駆干部 trunk 又长/体长 FL/BL 1.1004±0.0041' (1.065-1.165) 1.0699±0.0047' (1.018-1.14) 1.064±0.0036' (1.010-1.109) 上>中>下 0.000*** 修宠/体长 BW/BL 0.1167±0.0011' (1.065-1.165) 0.1217±0.0016' (0.1010-1.109) 0.1159±0.0042' (1.006-0.134) th>-b>下 0.005** 服干距/体长 TL/BL 0.3504±0.0027' (0.301-0.375) 0.3328±0.0039' (0.127-0.234) 0.3229±0.0042' (0.127-0.234) L>中>下 0.000*** 胸腹距/体长 LBPV/BL 0.2110±0.0024' (0.168-0.236) 0.1994±0.0022' (0.188-0.233) 0.1978±0.0030' (0.172-0.234) L>中>下 0.000*** 胸鰭前距/体长 LBPV/BL 0.2152±0.0012' (0.168-0.236) 0.1886±0.0030' (0.182-0.213) th>-b>T 0.000*** 胸鰭前距/体长 LBPR/BL 0.2152±0.0012' (0.168-0.236) 0.1886±0.0030' (0.112-0.213) th>-b>T 0.000*** 腹鰭形/体长 DFCL/BL 0.1476±0.0014' (0.126-0.158) 0.2257±0.0021'b (0.125-0.162) 0.1429±0.0016'b (0.125-0.159) th>-b=>T 0.000*** 腹鰭K/体长 VFL/BL 0.1556±0.0014'b (0.126-0.158) 0.1604±0.0015'b (0.126-0.159) 0.1499±0.0010'b (0.126-0.159) th>-b=>T<			(0.154~0.245)	(0.106~0.294)	(0.127~0.248)		
0.196-0.295 $(0.117-0.265)$ $(0.175-0.294)$ $$$ $$ $$ $$ $$ $$ $$ $$ $$ $$ $$ $$ $$$		眼间距/头长 IW/HL	0.2347±0.0038ª	0.2201±0.0049 ^b	0.2195±0.0040 ^b	上>中>下	0.029*
聖干部 trunk 又长/体长 FL/BL 1.1004±0.0041* 1.0699±0.0047* (1.016-1.109) 上>中>下 0.000*** 0.009*** (1.016>-1.165) (1.016>-1.14) 1.0644±0.0036° 上>中>下 0.000*** 0.009*** (1.016>-1.165) 1.105 ±0.0013* 中>上>下 0.005** 0.009*** (0.099-0.133) 0.1217±0.0016° (0.096-0.134) 中>上>下 0.005** 0.000*** 0.009*** 0.010+K TL/BL 0.3504±0.0027* 0.3308±0.0039° 0.3229±0.0042° 上>中>下 0.000*** 0.000*** 0.001** 0.0172-0.234) 上>中>下 0.000*** 0.000*** 0.018* 0.018* 0.018* 0.0299±0.0018° 0.112-0.213) P>±>下 0.000*** 0.018* 0.018* 0.018* 0.0185* 0.0299±0.0018° 0.112-0.213) P>±>下 0.000*** 0.016** 0.016+C.0290 0.195+0.0018° 0.112-0.213 P>±>下 0.000*** 0.018* 0.0209±0.0018° 0.0185-0.235 0.0112-0.213 P>±>下 0.000*** 0.018* 0.022-0.230 0.197±0.0030° ±>=>±>F 0.000*** 0.018* 0.018* 0.0209±0.0018° 0.0185-0.235 0.0112-0.213 P>±>下 0.000*** 0.018* 0.0160+0.2091 0.015* 0.015* 0.0112-0.213 P>±>下 0.000*** 0.016+0.0220 0.015* 0.0112-0.213 P>±>下 0.000*** 0.016+0.0220 0.0105* 0.015* 0.0112-0.213 P>±>下 0.000*** 0.0125-0.0221 P>±>F P>±>F 0.000*** 0.0125-0.0231 P>±>F P>±>F 0.000*** 0.0125-0.0231 P>±>F P>±>F 0.000*** 0.0125-0.0231 P>±>F P>±>F 0.000*** 0.0125-0.0231 P>±>F P>±>F 0.000*** 0.0125-0.159 P=±>F 0.000*** 0.0125-0.0129 P=±>F 0.000*** 0.0125-0.0129 P=±>F 0.000*** 0.015* 0.0120-0.021 P=±>F 0.000*** 0.015* 0.0125-0.0129 P=±>F 0.000*** 0.015* 0.0120-0.0121 P=±>F 0.000*** 0.015* 0.0120-0.021 P=±>F 0.000*** 0.015* 0.0000** 0.022-0.0033 P=±>F 0.000*** 0.000*** 0.022-0.0033 P=±>F 0.000*** 0.000*** 0.022-0.0033 P=±>F 0.000*** 0.000*** 0.000*** 0.0025-0.0039 P=±>F 0.000*** 0.000*** 0.0025-0.0039 P=0.0000** 0.000*P 0.0030-0.0059 P=±>F 0.000*** 0.000*** 0.000*** 0.0005* 0.0005* 0.0006* P=±>F 0.000*** 0.000*** 0.0005* 0.0006* 0.0126-0.0220 P=±>F 0.000*** 0.000*** 0.001** 0.0			(0.196~0.295)	(0.117~0.265)	(0.175~0.294)		
単本・Warm Prevent per labor (1.065-1.165) (1.018-1.14) (1.010-1.109) L + 1 + 1 0.000 体宽/体长 BW/BL 0.116 7±0.001 1* 0.121 7±0.001 6* 0.115 9±0.001 3* ψ>L> ψ> 0.005** 躯干距/体长 TL/BL 0.350 4±0.002 7* 0.330 8±0.003 9* 0.322 9±0.004 2* L> ψ> L> ψ> 0.000*** 胸腹距/体长 LBPV/BL 0.211 0±0.002 4* 0.199 4±0.002 2* 0.197 8±0.003 0* L> ψ> L> ψ> 0.001*** (0.168-0.236) (0.148-0.233) (0.172-0.234) ±> ψ> 0.001*** (0.169-0.209) (0.185-0.025)* 0.197 8±0.003 0* ±> ψ> 0.00**** (0.169-0.230) (0.185-0.235) 0.188 6±0.003 0* ±> ψ> 0.00**** (0.169-0.230) (0.185-0.235) 0.112-0.213) ψ> ±> ψ> 0.000**** (0.202-0.230) (0.197-0.257) (0.175-0.242) ψ> ψ> ±> ψ> 0.041* μ μ μ ψ 0.143 ± 0.001 5* 0.149 ± 0.001 4* ±> ψ> ψ> ±> ψ> 0.000**** (0.125-0.162)	躯干部 trunk	叉长/体长 FL/BL	1 1004±0 004 1 ^a	$1.069.9\pm0.004.7^{b}$	1.0644 ± 0.0036^{b}	上>中>下	0 000***
体宽/体长 BW/BL 0.1167±0.0011* (0.099-0.133) 0.1217±0.0016* (0.101-0.139) 0.1159±0.0013* (0.096-0.134) 中>上>下 0.005** 躯干距/体长 TL/BL 0.3504±0.0027* (0.301-0.375) 0.3308±0.0039* (0.279-0.383) 0.3229±0.0042* (0.244-0.361) L>中>下 0.000*** 胸腹距/体长 LBPV/BL 0.2110±0.0024* (0.168-0.236) 0.1994±0.0022* (0.148-0.233) 0.1978±0.0030* (0.172-0.234) L>中>下 0.001** 胸鰭前距/体长 LBPR/BL 0.2152±0.0012* (0.202-0.230) 0.2257±0.0021* (0.197-0.257) 0.1886±0.0030* (0.112-0.213) 中>上>下 0.000*** 背鰭基长/体长 DFCL/BL 0.1476±0.0014* (0.126-0.158) 0.2151±0.0023* (0.125-0.162) 1.429±0.0014* (0.125-0.159) L>中>下 0.001*** 腹鰭长/体长 VFL/BL 0.1556±0.0014* (0.126-0.158) 0.1430±0.0016* (0.125-0.162) 0.1429±0.0014* (0.140-0.162) L>P>下 0.00*** 尾鰭长/体长 LBAA/BL 0.1878±0.0025* (0.167-0.224) 0.2014±0.0026* (0.171-0.238) 0.0330±0.0008* (0.180-0.239) T>+>上>下 0.00*** 尾鰭 和a/l 尾楠高/体长 CPU/BL 0.0358±0.0006* (0.025-0.043) 0.0330±0.0008* (0.022-0.043) +>L>下 0.00*** 尾鰭 水体长 CPL/BL 0.1925±0.0018* (0.025-0.043) 0.0558±0.0006* (0.037-0.069) 0.0550±0.0006* (0.049-0.			(1.065~1.165)	(1.018~1.14)	(1.010~1.109)		0.000
Ref (ref K) DW/LL0.110 + 0.0001 (0.099 - 0.133)0.111 / 0.001 (0.0130)0.110 + 0.139 $(0.099 - 0.134)$ $M = TEI/FK K TL/BL0.350 4±0 002 7*(0.301 - 0.375)0.330 8±0 003 9*(0.279 - 0.383)0.322 9±0 004 2*(0.244 - 0.361)L > \Phi > F0.000***M = M = M = M = M = M = M = M = M = M =$		休啻/休长 BW/BI	$0.1167+0.0011^{a}$	0 1217+0 0016 ^b	0.1159 ± 0.0013^{a}	山、トッ下	0.005**
			(0.099~0.133)	(0.101~0.139)	(0.096~0.134)	1 - 1 - 1	0.005
\mathbb{R}^{3} #21% K1DBL0.3304±0.002 / (0.301-0.375)0.3304±0.002 / (0.279-0.383)0.322 94±0.002 / (0.244-0.361)12×4> F0.000***mggEp/4k KLBPV/BL0.2110±0.0024 / (0.168-0.236)0.1994±0.0022 / (0.172-0.234)1.>=>>> 0.001**mgfK/4k KPFL/BL0.193 8±0.018 / (0.168-0.236)0.1994±0.002 / (0.172-0.234)1>>=>>> 0.000***mfffmfE/4k LBPR/BL0.193 8±0.018 / (0.169-0.209)0.0185-0.018 / (0.112-0.213)1>>=>>>>0.000***mffffmfE/4k LBPR/BL0.215 2±0.001 / (0.125-0.021 / (0.175-0.242))1>>=>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>>		飯工 <u>馬/休</u> 尼 TL/DL	0.250.4+0.002.74			L \ H \ T	0.000***
内護距/体长 LBPV/BL 0.211 0±0.0024° (0.168~0.236) 0.199 4±0.0022 ^b (0.197 8±0.003 0 ^b (0.172~0.234) 上>中>下 0.001** 胸鰭长/体长 PFL/BL 0.193 8±0.001 8° (0.169~0.209) 0.209 9±0.001 8 ^b (0.185~0.235) 0.188 6±0.003 0 ^b (0.112~0.213) +>-上>下 0.000*** 胸鰭前距/体长 LBPR/BL 0.215 2±0.001 2 ^a (0.202~0.230) 0.225 7±0.002 1 ^b (0.197~0.257) 0.215 1±0.002 3 ^a (0.175~0.242) +>-上>下 0.000*** 背鰭基长/体长 DFCL/BL 0.147 6±0.001 4 ^a (0.126~0.158) 0.143 0±0.001 6 ^a (0.125~0.162) 0.142 9±0.001 0 ^b (0.125~0.159) ±>+P> 0.001** 腹鰭长/体长 VFL/BL 0.155 6±0.001 4 ^a (0.139~0.172) 0.160 4±0.001 5 ^a (0.140~0.184) 0.149 9±0.001 0 ^b (0.140~0.162) +>-b> 0.000*** 肛臀距/体长 LBAA/BL 0.187 8±0.002 5 ^a (0.177~0.224) 0.201 4±0.002 6 ^b (0.140~0.184) 0.202 0±0.002 1 ^b (0.140~0.162) +>-b> 0.000*** 尾部 tail 尾柄宽/体长 CPW/BL 0.033 6±0.000 9 ^a (0.025~0.043) 0.033 0±0.000 8 ^b (0.022~0.043) 0.033 0±0.000 8 ^b (0.022~0.043) +>-b> 0.000*** 尾部 tail 尾柄宽/体长 CPD/BL 0.055 8±0.000 6 ^a (0.049~0.063) 0.055 6±0.0000 8 ^b (0.037~0.069) <td>犯丁吧/冲下 IL/BL</td> <td>$(0.3004 \pm 0.002)^{-0.002}$</td> <td>$(0.279 \sim 0.383)$</td> <td>$(0.3229\pm0.0042)$</td> <td>1242 F</td> <td>0.000***</td>		犯丁吧/冲下 IL/BL	$(0.3004 \pm 0.002)^{-0.002}$	$(0.279 \sim 0.383)$	(0.3229 ± 0.0042)	1242 F	0.000***
JMBED/#KELBPV/BL $0.2110\pm0.0024^{*}$ $0.1994\pm0.0022^{*}$ $0.1978\pm0.0036^{*}$ $\bot > P > F$ $0.001**$ JMBED/WE $0.1938\pm0.0018^{*}$ $(0.148-0.233)$ $(0.172-0.234)$ $P > \bot > F$ $0.001**$ JMBED/WE $P = L > F$ $0.1938\pm0.0018^{*}$ $0.2099\pm0.0018^{*}$ $0.1886\pm0.0036^{*}$ $P > \bot > F$ $0.000***$ JMBED/WE $LBPR/BL$ $0.2152\pm0.0012^{*}$ $0.2297\pm0.0021^{*}$ $0.2151\pm0.0023^{*}$ $P > \bot > F$ $0.000***$ JMBED/WE $LBPR/BL$ $0.2152\pm0.0012^{*}$ $0.2257\pm0.0021^{*}$ $0.2151\pm0.0023^{*}$ $P > \bot > F$ $0.000***$ JMBED/WE $D = 152\pm0.0012^{*}$ $0.2257\pm0.0021^{*}$ $0.2151\pm0.0023^{*}$ $P > \bot > F$ $0.000***$ JMBED/WE $D = 152\pm0.0012^{*}$ $0.1430\pm0.0016^{*}$ $0.1429\pm0.0014^{*}$ $1 > P > T > P$ $0.001**$ JMBED/WE $D = 1556\pm0.0014^{*}$ $0.1430\pm0.0016^{*}$ $0.1499\pm0.0010^{*}$ $1 > P > L > F$ $0.000***$ JMBED/WE $D = 1556\pm0.0014^{*}$ $0.160\pm0.0015^{*}$ $0.1499\pm0.0010^{*}$ $P > L > F$ $0.000***$ JMBED/WE $D = 1556\pm0.0014^{*}$ $0.160\pm0.0026^{*}$ $0.202\pm0.0021^{*}$ $T > P > L > F$ $0.000***$ JMBED/WE $D = 1576\pm0.0025^{*}$ $0.201\pm0.0026^{*}$ $0.149-0.010^{*}$ $T > P > L > F$ $0.000***$ JMBED/WE $D = 0.0336\pm0.0009^{*}$ $0.0330\pm0.0008^{*}$ $0.180\pm0.0007^{*}$ $0.0330\pm0.0008^{*}$ $P > L > F$ $0.000***$ JMBED/WE $D = 0.558\pm0.0006^{*}$ $0.0558\pm0.0006^{*}$ $0.0550\pm0.0006^{*}$ $0.022-0.043$ P				(0.27) 0.505)	(0.211 0.501)		
pist tail $[0,146-0.230]$ $(0,146-0.23)$ $(0,172-0.234)$ minimize the tail $[0,1938\pm0.0018^{\circ}]$ $0.2099\pm0.0018^{\circ}$ $0.1886\pm0.0030^{\circ}$ $p>\pm>F$ 0.000^{***} minimize tail $[0,169-0.209]$ $(0,185-0.235)$ $(0,112-0.213)$ $p>\pm>F$ 0.000^{***} minimize tail $[0,126-0.230)$ $(0,125-0.162)$ $(0,112-0.213)$ $p>\pm>F$ 0.000^{***} minimize tail $[0,126-0.158]$ $(0,126-0.158)$ $(0,125-0.162)$ $(0,125-0.162)$ $(0,125-0.159)$ $p>\pm>F$ 0.000^{***} minimize tail $[0,139-0.172)$ $(0,140-0.184)$ $(0,140-0.162)$ $p>\pm>F$ 0.000^{***} 0.000^{***} minimize tail $[0,176-0.224)$ $[0,171-0.238)$ $(0,126-0.239)$ $p>\pm>F>$ 0.000^{***} minimize tail $[0,167-0.224)$ $(0,000^{*})$ $(0,022-0.043)$ $p>\pm>F>$ 0.000^{***} minimize tail $[0,0558\pm0.0006^{\circ}]$ $(0,028-0.046)$ $(0,022-0.043)$ $p>\pm>F>$ 0.000^{***} minimize tail $[0,075-0.224)$ $(0,000^{*})$ $(0,030\pm0.0008^{*})$ $(0,022-0.043)$ $p>\pm>F>$ 0.000^{***} minimize tail $[0,075-0.224)$ $[0.000^{*}]$ $[0.033\pm0.0008^{*}]$ $(0.022-0.043)$ $p>\pm>F>$ 0.000^{***} minimize tail $[0,075-0.224)$ $[0,000^{*}]$ $[0.037-0.069]$ $[0.033\pm0.0006^{*}]$ $p>\pm>F>$ 0.001^{**} minimize tail $[0,0170-0.214)^{*}]$ $[0,018\pm0.002^{*}]$ $[0,019\pm0.002^{*}]$ $p>\pm>F>$ 0.001^{**} minimize tail $[0,019\pm0.000^{*}]$ <		胸腹距/体长 LBPV/BL	$0.2110\pm0.0024^{\circ}$	$0.1994\pm0.0022^{\circ}$ (0.148-0.233)	$0.1978\pm0.0030^{\circ}$ (0.172-0.234)	上>甲>下	0.001**
胸鳍长/体长PFL/BL $0.193 \pm 0.001 8^{\circ}$ (0.169~0.209) $0.209 9\pm 0.001 8^{\circ}$ (0.185~0.235) $0.188 6\pm 0.003 0^{\circ}$ (0.112~0.213) $\pm > F$ 0.000^{***} 胸鳍前距/体长LBPR/BL $0.215 \pm 0.001 2^{\circ}$ (0.202~0.230) $0.225 7\pm 0.002 1^{\circ}$ (0.197~0.257) $0.215 1\pm 0.002 3^{\circ}$ (0.175~0.242) $\pm > F$ 0.000^{***} 背鳍基长/体长DFCL/BL $0.147 6\pm 0.001 4^{\circ}$ (0.126~0.158) $0.143 0\pm 0.001 6^{\circ}$ (0.125~0.162) $0.142 9\pm 0.001 4^{\circ}$ (0.125~0.159) $L > \Phi > F$ 0.000^{***} 腹鳍长/体长VFL/BL $0.155 6\pm 0.001 4^{\circ}$ (0.139~0.172) $0.160 4\pm 0.001 5^{\circ}$ (0.140~0.184) $0.149 9\pm 0.001 0^{\circ}$ (0.140~0.162) $\pm > F > 0.000^{***}$ 肛臀距/体长LBAA/BL $0.187 8\pm 0.002 5^{\circ}$ (0.167~0.224) $0.201 4\pm 0.002 6^{\circ}$ (0.171~0.238) $0.202 0\pm 0.002 1^{\circ}$ (0.180~0.239) $F > \Phi > L > F$ 0.000^{***} 尾部tail尾柄宽/体长CPW/BL $0.033 6\pm 0.000 9^{\circ}$ (0.025~0.043) $0.038 0\pm 0.000 7^{\circ}$ (0.022~0.043) $\Phi > L > F$ 0.001^{***} 尾崎长/体长CFL/BL $0.192 5\pm 0.001 8^{\circ}$ (0.049~0.063) $0.055 0\pm 0.000 6^{\circ}$ (0.049~0.062) $\Phi > L > F$ 0.001^{***} 尾崎长/体长CFL/BL $0.192 5\pm 0.001 8^{\circ}$ (0.170~0.214) $0.200 6\pm 0.002 0^{\circ}$ (0.025~0.043) 0.008^{**} $\Phi > L > F$ 0.008^{**}			(0.108-0.250)	(0.146-0.255)	(0.172-0.254)		
$(0.169-0.209)$ $(0.185-0.235)$ $(0.112-0.213)$ might merical matrix (0.169-0.029) $(0.185-0.235)$ $(0.112-0.213)$ might merical matrix (0.169-0.029) $0.215 2\pm 0.001 1^a$ $0.225 7\pm 0.002 1^b$ $0.215 1\pm 0.002 3^a$ $p > L > F$ 0.000^{***} Tight metrix (0.122-0.139)Tight metrix (0.122-0.230) $(0.197-0.257)$ $(0.175-0.242)$ $L > p > F$ 0.000^{***} Tight metrix (0.126-0.158) $0.143 0\pm 0.001 6^a$ $0.1429 \pm 0.001 4^b$ $L > p > F$ 0.041^* Tight metrix (0.139-0.172) $(0.160 \pm 0.001 5^a)$ $0.1499 \pm 0.001 0^b$ $p > L > F$ 0.000^{***} Tight metrix (0.139-0.172) $(0.140-0.184)$ $(0.140-0.162)$ $P > L > F$ 0.000^{***} Tight metrix (0.167-0.224) $0.201 4\pm 0.002 6^b$ $0.202 0\pm 0.002 1^b$ $F > p > L > F$ 0.000^{***} Tight metrix (0.167-0.224) $(0.171-0.238)$ $(0.180-0.239)$ $F > p > L > F$ 0.000^{***} Tight metrix (0.167-0.224) $0.038 0\pm 0.000 7^b$ $0.033 0\pm 0.000 8^a$ $p > L > F$ 0.000^{***} Tight metrix (0.167-0.224) $0.038 0\pm 0.000 7^b$ $0.033 0\pm 0.000 8^a$ $p > L > F$ 0.000^{***} Tight metrix (0.167-0.224) $0.038 0\pm 0.000 7^b$ $0.033 0\pm 0.000 8^a$ $p > L > F$ 0.000^{***} Tight metrix (0.167-0.224) $0.055 8\pm 0.000 6^a$ $0.055 8\pm 0.000 6^a$ $0.055 0\pm 0.000 6^a$ $p > L > F$ 0.000^{***} Tight metrix (0.167-0.224) $0.058 8\pm 0.000 6^a$ $0.055 0\pm 0.000 6^a$ $p > L > F$ 0.001^{***} Tight metrix (0.167-0.224) $0.058 8\pm$		胸鳍长/体长 PFL/BL	0.1938 ± 0.0018^{a}	0.2099 ± 0.0018^{b}	0.1886 ± 0.0030^{a}	中>上>下	0.000***
胸鳍前距/体长 LBPR/BL 0.2152 ± 0.0012^{a} 0.2257 ± 0.0021^{b} 0.2151 ± 0.0023^{a} 中>上>下 0.000^{***} 背鳍基长/体长 DFCL/BL 0.1476 ± 0.0014^{a} 0.1430 ± 0.0016^{a} 0.1429 ± 0.0014^{b} $L>中>$ 下 0.041^{*} 腹鳍长/体长 VFL/BL 0.1556 ± 0.0014^{a} 0.1604 ± 0.0015^{a} 0.1499 ± 0.0010^{b} $L>+>$ 下 0.041^{*} 0.000^{***} $0.125\sim0.159$ 0.1499 ± 0.0010^{b} $L>+>$ 下 0.041^{*} 0.1499 ± 0.0010^{b} $D=L>$ 下 0.000^{***} 0.1499 ± 0.0010^{b} $D=L>$ 下 0.000^{***} 0.1499 ± 0.0010^{b} $D=L>$ 下 0.000^{***} $0.140\sim0.184$ $0.140\sim0.162$ 0.2020 ± 0.0021^{b} $D=L>$ 下 0.000^{***} 0.000^{***} 0.000^{***} $0.0171\sim0.238$ 0.000^{**} 0.0330 ± 0.0008^{a} $D=L>$ 下 0.000^{***} 0.000^{***} 0.000^{***} 0.000^{***} 0.000^{***} 0.000^{***} 0.000^{**} 0.000^{**} 0.0550 ± 0.0008^{a} $D=L>$ 下 0.000^{***} 0.000^{*} 0.000^{*} 0			(0.169~0.209)	(0.185~0.235)	(0.112~0.213)		
(0.202-0.230) $(0.197-0.257)$ $(0.175-0.242)$		胸鳍前距/体长 LBPR/BL	$0.2152{\pm}0.0012^a$	$0.2257{\pm}0.0021^{\rm b}$	$0.2151{\pm}0.0023^{a}$	中>上>下	0.000***
背鰭基长/体长 的FCL/BL $0.147 6 \pm 0.001 4^{\circ}$ $(0.126 - 0.158)$ $0.143 0 \pm 0.001 6^{\circ}$ $(0.125 - 0.162)$ $0.142 9 \pm 0.001 4^{\circ}$ $(0.125 - 0.159)$ $L > h > F$ 0.041^{*} 腹鳍长/体长VFL/BL $0.155 6 \pm 0.001 4^{\circ}$ $(0.139 - 0.172)$ $0.160 4 \pm 0.001 5^{\circ}$ $(0.140 - 0.184)$ $0.149 9 \pm 0.001 0^{\circ}$ $(0.140 - 0.162)$ $h > L > F$ 0.000^{***} 肛臀距/体长LBAA/BL $0.187 8 \pm 0.002 5^{\circ}$ $(0.167 - 0.224)$ $0.201 4 \pm 0.002 6^{\circ}$ $(0.171 - 0.238)$ $0.202 0 \pm 0.002 1^{\circ}$ $(0.180 - 0.239)$ $F > h > L$ 0.000^{***} 尾部tail尾柄宽/体长CPW/BL $0.033 6 \pm 0.000 9^{\circ}$ $(0.025 - 0.043)$ $0.033 0 \pm 0.000 7^{\circ}$ $(0.028 - 0.046)$ $0.033 0 \pm 0.000 8^{\circ}$ $(0.022 - 0.043)$ $h > L > F$ 0.000^{***} 尾尾柄高/体长CPD/BL $0.055 8 \pm 0.000 6^{\circ}$ $(0.049 - 0.063)$ $0.055 0 \pm 0.000 6^{\circ}$ $(0.037 - 0.069)$ $0.055 0 \pm 0.000 6^{\circ}$ $(0.049 - 0.062)$ $h > L > F$ 0.008^{**} 尾尾 $0.192 5 \pm 0.001 8a^{\circ}$ $(0.170 - 0.214)$ $0.200 6 \pm 0.002 0^{\circ}$ $(0.181 - 0.236)$ $h > L > F$ 0.008^{**}			(0.202~0.230)	(0.197~0.257)	(0.175~0.242)		
(0.126~0.158)(0.125~0.162)(0.125~0.159)腹鰭长/体长VFL/BL $0.155 6\pm 0.001 4^{a}$ (0.139~0.172) $0.160 4\pm 0.001 5^{a}$ (0.140~0.184) $0.149 9\pm 0.001 0^{b}$ (0.140~0.162) $\mathbf{P} > \mathbf{L} > \mathbf{F}$ 0.000^{***} 肛臀距/体长LBAA/BL $0.187 8\pm 0.002 5^{a}$ (0.167~0.224) $0.201 4\pm 0.002 6^{b}$ (0.171~0.238) $0.202 0\pm 0.002 1^{b}$ (0.180~0.239) $\mathbf{F} > \mathbf{P} > \mathbf{L}$ 0.000^{***} 尾部tail尾柄宽/体长CPW/BL $0.033 6\pm 0.000 9^{a}$ (0.025~0.043) $0.038 0\pm 0.000 7^{b}$ (0.028~0.046) $0.033 0\pm 0.000 8^{a}$ (0.022~0.043) $\mathbf{P} > \mathbf{L} > \mathbf{F}$ 0.000^{***} 尾鰭长/体长CPD/BL $0.055 8\pm 0.000 6^{a}$ (0.049~0.063) $0.058 6\pm 0.000 8^{b}$ (0.037~0.069) $0.055 0\pm 0.000 6^{a}$ (0.049~0.062) $\mathbf{P} > \mathbf{L} > \mathbf{F}$ $0.001 **$ 尾鰭长/体长CFL/BL $0.192 5\pm 0.001 8a^{c}$ (0.170~0.214) $0.200 6\pm 0.002 0^{b}$ $0.191 4\pm 0.002 8^{c}$ (0.126~0.222) $\mathbf{P} > \mathbf{L} > \mathbf{F}$ $0.008 **$		背鳍基长/体长 DFCL/BL	$0.1476{\pm}0.0014^{a}$	0.1430 ± 0.0016^{a}	0.1429 ± 0.0014^{b}	上>中>下	0.041*
腹鳍长/体长VFL/BL $0.155 6\pm 0.001 4^{\circ}$ $(0.139-0.172)$ $0.160 4\pm 0.001 5^{\circ}$ $(0.140-0.184)$ $0.149 9\pm 0.001 0^{b}$ $(0.140-0.162)$ $+> \bot > 下$ 0.000^{***} 肛臀距/体长LBAA/BL $0.187 8\pm 0.002 5^{\circ}$ $(0.167-0.224)$ $0.201 4\pm 0.002 6^{b}$ $(0.171-0.238)$ $0.202 0\pm 0.002 1^{b}$ $(0.180-0.239)$ $T>+> \bot >$ 0.000^{***} 尾部tail尾柄宽/体长CPW/BL $0.033 6\pm 0.000 9^{\circ}$ $(0.025-0.043)$ $0.038 0\pm 0.000 7^{b}$ $(0.028-0.046)$ $0.033 0\pm 0.000 8^{\circ}$ $(0.022-0.043)$ $+> \bot > T$ 0.000^{***} 尾楠高/体长CPD/BL $0.055 8\pm 0.000 6^{\circ}$ $(0.049-0.063)$ $0.058 6\pm 0.000 8^{b}$ $(0.037-0.069)$ $0.055 0\pm 0.000 6^{\circ}$ $(0.049-0.062)$ $+> \bot > T$ $0.001 **$ 尾鳍长/体长CFL/BL $0.192 5\pm 0.001 8a^{\circ}$ $(0.170-0.214)$ $0.200 6\pm 0.002 0^{b}$ $(0.181 \sim 0.236)$ $0.191 4\pm 0.002 8^{\circ}$ $(0.126 \sim 0.222)$ $+> \bot > T$ $0.008 **$			(0.126~0.158)	(0.125~0.162)	(0.125~0.159)		
$(0.139-0.172)$ $(0.140-0.184)$ $(0.140-0.162)$ 肛臀距/体长LBAA/BL $0.1878\pm0.0025^{\circ}$ $(0.167-0.224)$ 0.2014 ± 0.0026^{b} $(0.171-0.238)$ 0.2020 ± 0.0021^{b} $(0.180-0.239)$ $\overline{P}>\pm>$ 0.000^{***} 尾部tail尾柄宽/体长CPW/BL $0.0336\pm0.0009^{\circ}$ $(0.025\sim0.043)$ 0.0380 ± 0.0007^{b} $(0.028\sim0.046)$ $0.0330\pm0.0008^{\circ}$ $(0.022\sim0.043)$ $+>\pm>$ 0.000^{***} 尾柄高/体长CPD/BL $0.0558\pm0.0006^{\circ}$ $(0.049\sim0.063)$ 0.0586 ± 0.0008^{b} $(0.037\sim0.069)$ $0.0550\pm0.0006^{\circ}$ $(0.049\sim0.062)$ $+>\pm>$ 0.001^{**} 尾鰭长/体长CFL/BL $0.1925\pm0.0018a^{\circ}$ $(0.170\sim0.214)$ 0.2006 ± 0.0020^{b} $(0.181\sim0.236)$ $0.1914\pm0.0028^{\circ}$ $(0.126\sim0.222)$ $+>\pm>$ 0.008^{**}		腹鳍长/体长 VFL/BL	0.1556 ± 0.0014^{a}	0.1604 ± 0.0015^{a}	0.1499 ± 0.0010^{b}	中>上>下	0.000***
肛臀距/体长 LBAA/BL 0.1878 ± 0.0025^{a} 0.2014 ± 0.0026^{b} 0.2020 ± 0.0021^{b} 下>中>上 0.000^{***} 尾部 tail 尾柄宽/体长 CPW/BL 0.0336 ± 0.0009^{a} 0.0380 ± 0.0007^{b} 0.0330 ± 0.0008^{a} $p>L>下$ 0.000^{***} 尾柄高/体长 CPD/BL 0.0558 ± 0.0006^{a} 0.0586 ± 0.0008^{b} 0.0550 ± 0.0006^{a} $p>L>T$ 0.001^{**} 尾鰭长/体长 CFL/BL $0.1925\pm0.0018a^{c}$ 0.2006 ± 0.0020^{b} 0.1914 ± 0.0028^{c} $p>L>T$ 0.008^{**}			(0.139~0.172)	(0.140~0.184)	(0.140~0.162)		
尾部 tail 尾柄宽/体长 CPW/BL $(0.167-0.224)$ $(0.171-0.238)$ $(0.180-0.239)$ 尾部 tail 尾柄宽/体长 CPW/BL $0.033 6\pm 0.000 9^{a}$ $(0.038 0\pm 0.000 7^{b}$ $0.033 0\pm 0.000 8^{a}$ 中>上>下 0.000^{***} $(0.025-0.043)$ $(0.028-0.046)$ $(0.022-0.043)$ 中>上>下 0.001^{***} 尾柄高/体长 CPD/BL $0.055 8\pm 0.000 6^{a}$ $0.058 6\pm 0.000 8^{b}$ $0.055 0\pm 0.000 6^{a}$ 中>上>下 0.001^{***} 尾鰭长/体长 CFL/BL $0.1925\pm 0.001 8a^{c}$ $0.200 6\pm 0.002 0^{b}$ $0.191 4\pm 0.002 8^{c}$ 中>上>下 0.008^{**}		肛臀距/体长 LBAA/BL	0.1878 ± 0.0025^{a}	0.2014 ± 0.0026^{b}	0.2020±0.0021 ^b	下>中>上	0.000***
尾部 tail 尾柄宽/体长 CPW/BL 0.0336 ± 0.0009^{a} 0.0380 ± 0.0007^{b} 0.0330 ± 0.0008^{a} 中>上>下 0.000^{***} 尾柄高/体长 CPD/BL 0.0558 ± 0.0006^{a} 0.0586 ± 0.0008^{b} 0.0550 ± 0.0006^{a} 中>上>下 0.001^{**} 尾鰭长/体长 CFL/BL $0.1925\pm0.0018a^{c}$ 0.2006 ± 0.0020^{b} 0.1914 ± 0.0028^{c} 中>上>下 0.008^{**}			(0.167~0.224)	(0.171~0.238)	(0.180~0.239)		
アビボラシュード・ビーマーマーン 0.055 0±0.0005 (0.025-0.043) 0.055 0±0.0006 (0.022-0.043) 尾柄高/体长 CPD/BL 0.055 8±0.000 6 ^a 0.058 6±0.000 8 ^b 0.055 0±0.000 6 ^a 中>上>下 0.001 ** 尾鳍长/体长 CFL/BL 0.192 5±0.001 8a ^c 0.200 6±0.002 0 ^b 0.191 4±0.002 8 ^c 中>上>下 0.008** (0.170-0.214) (0.181~0.236) (0.126~0.222) 0.192 4±0.002 8 ^c 中>上>下 0.008**	尾部 tail	尾柄宽/休长 CPW/BL	$0.0336+0.0009^{a}$	0.0380 ± 0.0007^{b}	0.0330 ± 0.0008^{a}	中>上>下	0.000***
尾柄高/体长 CPD/BL 0.055 8±0.000 6 ^a 0.058 6±0.000 8 ^b 0.055 0±0.000 6 ^a 中>上>下 0.001 ** (0.049~0.063) にの49~0.069) にの49~0.062) になっていた。 尾鰭长/体长 CFL/BL 0.192 5±0.001 8 ^a 0.200 6±0.002 0 ^b 0.191 4±0.002 8 ^c 中>上>下 0.008** (0.170~0.214) (0.181~0.236) (0.126~0.222)			(0.025~0.043)	(0.028~0.046)	(0.022~0.043)		0.000
尾鰭长/体长 CFL/BL 0.1925±0.0018 0.037<0.069) (0.049~0.062) 尾鰭长/体长 CFL/BL 0.1925±0.0018a ^c 0.2006±0.0020 ^b 0.1914±0.0028 ^c 中>上>下 0.008**		尾枥宫/休长 CDD/DI	0.0558 ± 0.0006^{a}	0 058 6±0 000 8 ^b	0.055.0±0.000.6ª	山、トヘ下	0.001 **
尾鳍长/体长 CFL/BL 0.1925±0.0018a ^c 0.2006±0.0020 ^b 0.1914±0.0028 ^c 中>上>下 0.008** (0.170~0.214) (0.181~0.236) (0.126~0.222)		/Eqmini/件区 CID/DL	(0.049~0.063)	(0.037~0.069)	(0.049~0.062)	T-T-1.	0.001
毛町広/沖広 CFL/BL 0.1925±0.0018a 0.2006±0.0020 0.1914±0.0028 甲>上>ト 0.008** (0.170~0.214) (0.181~0.236) (0.126~0.222)		B.够化化化 OFL PL	0.1025+0.001.0.5	0.200 (1.0.002 ob	0.101.410.002.05	山、し、丁	0.000**
		毛蜎ጚ/仲甙 UFL/BL	$(0.1925\pm0.0018a^{\circ})$	$(0.181 \sim 0.236)$	(0.1914 ± 0.0028)	甲>工>下	0.008**

注:数据采用平均值±标准误,*为显著程度,不同小写字母表示差异显著(P<0.05),参数经由对数转换(lg)以消除异速生长及体型差异对分析结果的影响。表中"上"表示上游,"中"表示中游,"下"表示下游。下同

Notes: the data were presented by the mean \pm SE, the significance characters were in *, and the different letters meant significant difference (*P*<0.05). Using logarithmic transformation (lg) to remove the effects on analytic results by allometry and body size. The same below



图 3 蛇鉤平均形和重叠的地标点矢量化

(a) 蛇鉤平均形图; (b) 蛇鉤重叠的地标点矢量化图

Fig. 3 Mean shape and the superimposed landmarks vectorization of S. dabryi

(a) mean shape of S. dabryi; (b) the superimposed landmarks vectorization of S. dabryi



图 4 3 个蛇鉤群体的网格变形图与变异可视化 (变异扩大 10 倍)

(a) 平均形; (b) 上游; (c) 中游; (d) 下游

Fig. 4 Grid deformation and variation visualization of three *S. dabryi* populations (variation are enlarged 10 times) (a) mean; (b) upstream; (c) midstream; (d) downstream

表 2 前 11 个相对扭曲主成分的特征值和贡献率

Tab. 2	Eigenvalues and contribution rates of
	the first 11 relative warps

主成分 principal component	特征值 eigenvalue	贡献率/% contribution rate	累积贡献率% cumulative contribution rate
1	0.264	39.34	39.34
2	0.159	14.26	53.60
3	0.131	9.68	63.28
4	0.111	6.94	70.22
5	0.099	5.54	75.76

分,其中前5个主成分的特征值分别为0.264、0.159、0.131、0.111和0.099,总贡献率分别为39.34%、14.26%、9.68%、6.94%和5.54%,累积贡献率为75.76%(表2)。以贡献率较大的PC1和PC2建立X-Y坐标轴,以江段为类别,可得到



主成分分析散点图(图 5)。散点图显示不同江段 蛇鉤个体相互重叠,无法从 PC1 和 PC2上区分 各江段蛇鉤群体。18个地标点在相对扭曲主成 分分析的贡献率结果显示,地标点15、14、18、 2和13(鳃盖上缘、鳃盖后缘、尾柄末端、枕骨 后末端和眼后缘)贡献较大,五者合计贡献率 80.11%(图 5),表明头部的鳃盖、枕骨、眼以及 尾柄等形态差异是不同江段蛇鉤主要的形态差异 特征。

2.4 性状差异性分析

对不同江段蛇鉤群体的 17 项显著性形态特 征进行差异分析,差异系数比较结果(表 3)显示, 不同江段蛇鉤群体的所有显著性形态特征的差异 系数均小于 1.28,表明嘉陵江不同江段蛇鉤群体 间的形态差异应属于不同地理种群内的差异,



图 5 各个地标点的相对扭曲贡献率图和相对扭曲第 1、第 2 主成分分析散点图 (主成分得分×10³) Fig. 5 Relative warp contribution of each land mark and scatter diagram of relative warp scores on the 1st and 2nd (principal component scores are enlarged 10³ times)

表 3 蛇鉤3 个种群间的差异系数

Tab. 3 Difference coefficient for morphometric characters of three *S.dabryi* populations

	上	下	
形态变量	unstream-	midstream-	unstream-
morphological variable	midstream	downstream	downstream
叉长/体长 FL/BL	0.21	0.13	0.53
躯干距/体长 TL/BL	0.23	0.16	0.58
头长/体长 HL/BL	0.30	0.30	0.10
头宽/头长 HW/HL	0.17	0.19	0.09
头高/头长 HD/HL	0.12	0.26	0.28
眼间距/头长 IW/HL	0.07	0.28	0.33
口角须长/头长 BAL/HL	0.30	0.17	0.57
背鳍基长/体长 DFCL/BL	0.04	0.00	0.09
体宽/体长 BW/BL	0.11	0.27	0.32
胸鳍长/体长 PFL/BL	0.24	0.43	0.35
胸鳍前距/体长 LBPR/BL	0.12	0.27	0.31
胸腹距/体长 LBPV/BL	0.24	0.09	0.54
腹鳍长/体长 VFL/BL	0.04	0.38	0.54
肛臀距/体长 LBAA/BL	0.17	0.12	0.08
尾柄高/体长 CPD/BL	0.18	0.26	0.18
尾柄宽/体长 CPW/BL	0.32	0.42	0.18
尾鳍长/体长 CFL/BL	0.10	0.25	0.29
平均数 mean value	0.17	0.23	0.32

还未达到亚种水平。

3 讨论

本研究结合传统的形态测量分析方法和基 于地标点的几何形态学测量分析方法,对嘉陵 江不同江段蛇鉤的形态表型特征及差异进行了分 析。两种形态表型差异分析方法结果均显示嘉 陵江不同江段蛇鉤形态表型差异主要集中在头部 和不同类型的鳍(图4,图5,表1)上。相对扭 曲主成分分析的贡献率结果显示,5个地标点的 累积贡献率高达80.11%,表明头部的鳃盖、枕 骨、眼以及尾部的尾柄等区域的部分性状变异 是导致不同江段蛇鉤种群形态表型差异的重要因 素。嘉陵江不同江段环境差异较大,上游河谷 多陡峭深切,中游河道迂回绵长,下游河床质 地广阔且常为沙卵石,多漫滩^[15],蛇鉤种群的形 态表型差异可能是对嘉陵江不同江段多样性环

中国水产学会主办 sponsored by China Society of Fisheries

境(如流速、水温、饵料类型等)的差异性适应。

流速是影响鱼类的大小和形态的关键因素^[23-24]。 de Barros 等^[25]研究发现,栖息在高流速环境下 的鱼类具有共同的特征:体型小,身体纤长, 这样可以有助于鱼类减少水流对自身运动的影 响,适应激流环境中长时间、稳定的运动需求。 本研究中,嘉陵江蛇鉤也呈现相似的现象,生活 在水流速度较高的上游江段的蛇鉤群体拥有更长 的躯干距、叉长和胸腹距,可使鱼体拉长,体 型更接近流线型,从而能减少流水的阻力。同 时,上游蛇鉤的背鳍基也更长,这可能有助于其 在高流速水流中保持稳定的游泳姿态,进一步 增强其适应激流环境的能力^[26]。随着嘉陵江水流 速度从上游到下游逐渐降低^[18],生活于中游和下 游江段的蛇鮈则在头部、背鳍、尾鳍、臀鳍和腹 鳍上呈现出相适应的形态特征。

捕食方式和食物类型也与鱼类种群表型差 异密切相关^[27-28],如 Kristjánsson等^[29]认为通过头 长的增加能够使红点鲑进食更多食物,提高有 效饮食的效率,从而适应更高的摄食强度。嘉陵 江中游动物饵料资源丰富,且水温相对较高^[15,17], 需要中游蛇鉤群体通过增加头长等方式来提高摄 食频率,获取足够的饵料食物。另外,中游蛇鉤 群体所具备的更长尾鳍和粗壮尾柄(尾柄宽、尾 柄高较大)也能够帮助其产生强大的瞬间推动力, 增强急速性游泳能力,从而可以更高效地、主 动搜寻肉食性饵料食物^[30-32]。

基于地标点的几何形态学是近几十年来发 展迅速的形态学分析方法,在生物形态差异分 析、物种地理类群划分和物种形态鉴定等方面 均有成功的应用。如借助基于地标点的几何形 态学分析方法, Lostrom 等^[13] 准确区分出西部彩 虹鱼在同一河流上3个不同的地理群体,并量化 了它们间的形态变异水平; 彭艳等[18]发现嘉陵 江不同江段(上游和中—下游)蛇鉤群体的耳石 差异主要体现在基叶与耳石中心间的偏离角度 上; Langerhans 等^[28]认为,同栖息在泄湖环境中 的种群相比,栖息在河道的两种新热带鱼(Brvconops caudomaculatus 和 Biotodoma wavrini) 的鱼 体更高,口位也更偏上。本研究中,从形态特 征差异分析结果而言,基于地标点的几何形态 学和传统分析方法结果基本一致,但前者能以 图形方式更直观地呈现形态差异及其变化趋势[33], 因此在形态学研究中,应重视和加强基于地标

点的几何形态学方法的运用,同时也不能忽略 传统形态测量分析方法的辅助作用。

形态表型差异是鱼类适应环境的直接体现, 也是物种分类和物种鉴定的重要依据,其受环 境因子和遗传因子共同影响。本研究中,不同 江段蛇鉤显著性形态差异具体表现为上游群体的 鱼体最为纤细,眼间距、背鳍基长、头高和口 角须长也最长;中游群体的胸鳍、腹鳍、尾鳍 最长,尾柄也最为粗壮,头长、体宽、胸鳍前 距最大;下游群体的肛臀距和头宽最大。但是 其差异系数的分析结果显示,所有显著性形态 表型特征的差异系数值均未超过亚种分类的阈 值,表明虽然不同江段蛇鉤群体存在一定程度的 形态表型差异,但其仍属于不同地理种群内的 差异,还未达到亚种水平。当然,嘉陵江不同 江段蛇鮈种群间在遗传多样性上是否存在差异, 有待于进一步研究。

参考文献 (References):

- Roff D A. The evolution of life histories: theory and analysis[M]. New York: Chapman & Hall, 1992.
- [2] Winemiller K O. The evolution of life histories[J]. Transactions of the American Fisheries Society, 1994, 123(5): 835-839.
- [3] Whitney J L, Donahue M J, Karl S A. Niche divergence along a fine-scale ecological gradient in sympatric color morphs of a coral reef fish[J]. Ecosphere, 2018, 9(1): 1-18.
- [4] Chown S L, Klok C J. Altitudinal body size clines: Latitudinal effects associated with changing seasonality[J]. Ecography, 2003, 26(4): 445-455.
- [5] Landy J A, Travis J. Shape variation in the least killifish: Ecological associations of phenotypic variation and the effects of a common garden[J]. Ecology and Evolution, 2015, 5(23): 5616-5631.
- [6] Schlichting C D, Pigliucci M. Phenotypic evolution: a reaction norm perspective[M]. Sunderland, MA: Sinauer Associates Inc, 1998.
- [7] Ghalambor C K, McKay J K, Carroll S P, et al. Adaptive versus non-adaptive phenotypic plasticity and the potential for contemporary adaptation in new environments[J]. Functional Ecology, 2007, 21(3): 394-407.
- [8] Weiss K M. Phenotypic evolution: a reaction norm perhttps://www.china-fishery.cn

spective[J]. American Journal of Physical Anthropology, 1999, 109(1): 144-146.

- [9] Brinsmead J, Fox M G. Morphological variation between lake- and stream-dwelling rock bass and pumpkinseed populations[J]. Journal of Fish Biology, 2002, 61(6): 1619-1638.
- [10] Kapralova K H, Morrissey M B, Kristjánsson B K, et al. Evolution of adaptive diversity and genetic connectivity in Arctic charr (*Salvelinus alpinus*) in Iceland[J]. Heredity, 2011, 106(3): 472-487.
- [11] 张秀霞,朱巧莹,赵俊.利用几何形态测量学方法分析 唐鱼群体的形态变异[J].水产学报,2017,41(9):1365-1373.

Zhang X X, Zhu Q Y, Zhao J. Geometric morphometric analysis of body-form variability in populations of *Tanichthys albonubes*[J]. Journal of Fisheries of China, 2017, 41(9): 1365-1373(in Chinese).

- [12] Cadrin S X. Advances in morphometric identification of fishery stocks[J]. Reviews in Fish Biology and Fisheries, 2000, 10(1): 91-112.
- [13] Lostrom S, Evans J P, Grierson P F, et al. Linking stream ecology with morphological variability in a native freshwater fish from semi-arid Australia[J]. Ecology and Evolution, 2015, 5(16): 3272-3287.
- [14] 曾燏, 陈永柏, 李钟杰. 嘉陵江鱼类资源利用与保护现状[J]. 天津农业科学, 2014, 20(2): 60-62, 87.
 Zeng Y, Chen Y B, Li Z J. Utilization and protection status of fish resources in Jialing River[J]. Tianjin Agricultural Sciences, 2014, 20(2): 60-62, 87(in Chinese).
- [15] 张缓缓. 嘉陵江中游蓬安段鱼类群落结构及重要经济 鱼类种群生物学研究 [D]. 南充: 西华师范大学, 2016. Zhang H H. The study on community structure and population biology research of the main economic fish for the middle reaches of Jialing River Pengan[D]. Nanchong: China West Normal University, 2016 (in Chinese).
- [16] 吕振宇,曾燏,熊小琴,等.嘉陵江不同江段蛇鉤的食性分析[J].四川动物, 2019, 38(1): 68-76.
 Lyu Z Y, Zeng Y, Xiong X Q, *et al.* Analysis on the feeding habits of *Saurogobio dabryi* in different reaches of Jialing River[J]. Sichuan Journal of Zoology, 2019, 38(1): 68-76(in Chinese).
- [17] 刘玉莹, 曾燏, 熊小琴, 等. 嘉陵江梯级水利工程开发 中国水产学会主办 sponsored by China Society of Fisheries

下不同江段蛇鉤的繁殖生物学特性差异及适应[J]. 淡水渔业, 2019, 49(2): 3-8.

Liu Y Y, Zeng Y, Xiong X Q, *et al.* Difference and adaptation of reproductive biological characteristics of *Saurogobio dabryi* in Jialing River cascade water conservancy project[J]. Freshwater Fisheries, 2019, 49(2): 3-8(in Chinese).

- [18] 彭艳,曾燏,张臣,等. 嘉陵江不同江段蛇蛇鉤耳石形态特征及差异[J]. 水产学报, 2018, 42(12): 1896-1905.
 Peng Y, Zeng Y, Zhang C, *et al.* Otolith morphology of *Saurogobio dabryi* and the variance in different sections of Jialing River[J]. Journal of Fisheries of China, 2018, 42(12): 1896-1905(in Chinese).
- [19] 胡月,曾燏,蒋朝明,等.嘉陵江下游蛇鉤的两性异形 与雌性个体生殖力[J].应用生态学报,2017,28(2):658-664.

Hu Y, Zeng Y, Jiang Z M, *et al.* Sexual size dimorphism and female individual fecundity of *Saurogobio dabryi* in the lower reaches of the Jialing River[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2017, 28(2): 658-664(in Chinese).

- [20] Mayr E, Linsley E G, Usinger R L. Methods and principles of systematic zoology[M]. New York: McGraw Hill, 1953.
- [21] Zelditch M L, Swiderski D L, Sheets H D, et al. Geometric morphometrics for biologists: a primer[M]. Amsterdam: Elsevier Academic Press, 2004.
- [22] Rohlf F J. Morphometrics at SUNY stony brook[EB/ OL]. (2001-01-17). http://life.bio.sunysb.edu/morph/.
- [23] Meyers P J, Belk M C. Shape variation in a benthic stream fish across flow regimes[J]. Hydrobiologia, 2014, 738(1): 147-154.
- [24] Malato G, Shervette V R, Navarrete Amaya R, et al. Parallel body shape divergence in the Neotropical fish genus *Rhoadsia* (Teleostei: Characidae) along elevational gradients of the western slopes of the Ecuadorian Andes[J]. PLoS One, 2017, 12(6): 315-333.
- [25] de Barros T F, Louvise J, Caramaschi É P. Flow gradient drives morphological divergence in an Amazon pelagic stream fish[J]. Hydrobiologia, 2019, 833(1): 217-

229.

- [26] Haas T C, Blum M J, Heins D C. Morphological responses of a stream fish to water impoundment[J]. Biology Letters, 2010, 6(6): 803-806.
- [27] Araújo M S, Perez S I, Magazoni M J C, et al. Body size and allometric shape variation in the molly *Poecilia vivi*para along a gradient of salinity and predation[J]. BMC Evolutionary Biology, 2014, 14(251): 1-11.
- [28] Langerhans R B, Layman C A, Langerhans A K, et al. Habitat-associated morphological divergence in two neotropical fish species[J]. Biological Journal of the Linnean Society, 2003, 80(4): 689-698.
- [29] Kristjánsson B K, Skúlason S, Snorrason S S, et al. Finescale parallel patterns in diversity of small benthic Arctic charr (*Salvelinus alpinus*) in relation to the ecology of lava/groundwater habitats[J]. Ecology and Evolution, 2012, 2(6): 1099-1112.
- [30] Nauen J C, Lauder G V. Hydrodynamics of caudal fin locomotion by chub mackerel, *Scomber japonicus* (Scombridae)[J]. Journal of Experimental Biology, 2002, 205: 1709-1724.
- [31] 万安,张晓可,刘志刚,等.大别山区黑沟绿太阳鱼种 群的形态特征研究[J].水生生物学报,2017,41(1):194-200.

Wan A, Zhang X K, Liu Z G, *et al.* Morphological characteristics of the green sunfish (*Lepomis cyanellus*) in Heigou Creek, Ta-Pieh Mountains[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2017, 41(1): 194-200(in Chinese).

- [32] Kawabata Y, Yamada H, Sato T, et al. Pelvic fin removal modifies escape trajectory in a teleost fish[J].
 Fisheries Science, 2016, 82(1): 85-93.
- [33] 何锴, 白明, 万韬, 等. 白尾鼹(鼹科: 哺乳纲)下颌骨几 何形态测量分析及地理分化研究[J]. 兽类学报, 2013, 33(01): 7-17.
 He K, Bai M, Wan T, *et al.* Shape variation in mand-

ibles of *Parascaptor leucura* (Mammalia, Talpidae) based on geometric morphometrics: implication for geographic diversification[J]. Acta Theriologica Sinica, 2013, 33(01): 7-17(in Chinese).

Comparison of morphological differences of *Saurogobio dabryi* in different reaches of Jialing River

XIAO Jin¹, ZENG Yu^{1*}, ZHANG Fubin², PENG Yan¹, ZHANG Chen¹, ZHANG Qian¹, SHU Qiugui¹

(1. Southwest Branch of the National Freshwater Fishery Engineering Technology Research Center, College of Life Science, China West Normal University, Nanchong 637000, China;

2. College of Environmental Science and Engineering, China West Normal University, Nanchong 637009, China)

Abstract: This research was conducted to explore the morphological characteristics and difference of Saurogobio dabryi in different river sections of Jialing River. A total of 120 samples collected from upstream, midstream and downstream of Jialing River were analyzed, using the multivariate morphometric method and the landmark-based geometric morphometric method. The morphometric analysis illustrated that there were significant differences among populations of S. dabryi in different river sections. The morphological variations of the three populations were mainly observed on the head, fin and caudal peduncle. The body of S. dabryi in the upstream group was the most slender. Besides that, the fork length, length between pectoral fin and ventral fin, trunk length, the interorbital width, dorsal fin coxal length, head depth and beard length in this group were the largest. The midstream group of S. dabryi had the longest pectoral fin, ventral fin and caudal fin, the strongest caudal peduncle, the largest of the width of caudal stalk, the depth of caudal stalk, the longest head, the widest body and the largest length between pectoral fin and rhynchodaeum. For S. dabryi in the downstream, the length between anus and anal fin and head width of the lower reaches were the largest. However, the scatter diagram of relative warp scores analysis showed that S. dabryi population from different river sections of Jialing River cannot be distinguished. The variation coefficient of morphometric characters showed that the phenotypic differences of S. dabryi in the three river sections were intraspecific. We speculated that the morphological variations of S. dabryi in Jialing River should be the result of adaptive evolution to the diverse environments in Jialing River, such as the flow rate, water temperatures, and food types.

Key words: Saurogobio dabryi; ecological adaptation; geometric morphometrics; landmark method

Corresponding author: ZENG Yu. E-mail: zengyu@cwnu.edu.cn

Funding projects: National Natural Science Foundation of China (51779210, 31901219); China West Normal University (19C007, 18Q035, 17YC121); Open Fund of the Key Laboratory of Aquatic Biodiversity and Conservation, Chinese Academy of Sciences