

# 高原湖泊鱼类生长特性与形态差异研究\*

费骥慧<sup>1</sup> 邵晓阳<sup>1,2</sup>

(1. 杭州师范大学生命与环境科学学院 杭州 310036; 2. 中国科学院水生生物研究所 武汉 410012)

**提要** 根据 2009 年 8—11 月洱海流域采集的 2991 尾鱼类样本, 研究了其生长特性与形态差异。结果表明, 洱海流域大部分鱼类表现为匀速生长或近匀速生长, 但有两种鱼类(中华青鳉、大理裂腹鱼)呈现强异速生长。肥满度以肉食性鱼类最高(鲫、鲤、团头鲂), 滤食性鱼类次之(鲢、鳙)。对主要优势种——麦穗鱼、鲫的形态分析表明, 洱海麦穗鱼、鲫种群与西湖、茈碧湖、海西海三个湖泊的麦穗鱼、鲫种群在形态上均无显著差异。西湖、茈碧湖、海西海三个湖泊的麦穗鱼种群之间以及鲫种群之间均存在种群间差异( $C.D < 1.28$ ), 其中茈碧湖、海西海两个湖泊的鲫种群在眼径/头长性状上的差异达到亚种水平( $C.D = 1.5$ )。

**关键词** 高原湖泊, 洱海, 生长特性, 形态差异, 肥满度

**中图分类号** Q959.4

自上世纪以来, 有许多学者对云南高原湖泊的鱼类进行过研究, 主要涉及鱼类分类(Regan, 1906; 成庆泰, 1958; 褚新洛等, 1989, 1990)、区系组成及其生物学特征(李树深, 1982; 杨君兴, 1994; Kong *et al.*, 2006)、资源状况与多样性保护(高礼存等, 1981; 陈银瑞等, 1998; 杜宝汉等, 2001)、引种与繁养殖(徐伟毅等, 2006)等方面, 产生了较多的研究成果。诸如云南高原湖泊鱼类受空间隔离影响, 彼此间基因交流贫乏, 特有种类多(李树深, 1982); 近年来外来鱼类入侵严重, 鱼类区系改造巨大, 土著鱼类资源逐渐衰竭(陈银瑞等, 1998; 杜宝汉等, 2001; 熊飞等, 2006)等结论与观点, 已被同行研究者们所广泛接受和认可。但就目前来看, 关于高原湖泊鱼类生长问题的研究相对较少(吴庆龙, 1998; 李秀启等, 2006)。特别是近年来洱海等高原湖泊鱼类区系逐渐被长江中下游鱼类区系所取代, 针对外来鱼类进入到高原湖泊后, 其生长特性的问题尚未开展过系统的研究。本文以云南洱海为例, 根据 2009 年对洱海进行鱼类资源调查所采集的样本资料, 对当前洱海流域主要鱼类的生长特性和形态特征进行了研究, 初步探讨和分析了高原地理环境和气候条件下鱼类的生长特性及其种群

间形态差异, 旨在为高原湖泊外来鱼类的适应性机理研究、多样性保护以及渔业生产提供些许参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区域概况

洱海位于 100.08—100.28°N, 25.60—25.97°N, 北起云南洱源邓川, 南至下关, 海拔 1972m, 全湖南北长 42km, 东西宽 3—9km, 湖岸线长 117km, 面积约为 250km<sup>2</sup>; 平均水深 10.5m, 最深 21.5m, 蓄水量 28.8 亿 m<sup>3</sup>。西湖位于云南洱源县右所镇西面, 海拔 1972m, 湖面面积 4.7km<sup>2</sup>, 东西宽 2.5km, 湖岸线长 13km, 平均水深 1.8m, 最深 3.3m。茈碧湖位于洱源县城东北部, 海拔 2055m, 湖面面积 8.5km<sup>2</sup>, 湖岸线长 17km, 平均水深 11m, 最深 32m。海西海位于洱源县牛街乡龙门坝, 海拔 2015m, 湖面面积 2.6km<sup>2</sup>, 湖岸线长 10km, 平均水深 10m, 最深 16m。西湖、茈碧湖、海西海、洱海同属洱海流域、澜沧江水系, 均为断裂陷落湖泊, 湖泊生态系统相对封闭。流域内气候湿润, 为典型的亚热带高原季风气候, 常年吹西南风, 干湿季明显, 年平均气温 15.1℃, 年平均降水量 1048mm。

\* 国家水体污染控制与治理科技重大专项, 2008ZX07526-002-07 号。费骥慧, 硕士研究生, E-mail: jh\_fei@163.com

通讯作者: 邵晓阳, 副教授, E-mail: shaoxyhz@sohu.com

收稿日期: 2011-12-29, 收修改稿日期: 2012-03-05

## 1.2 研究方法

研究所用样本均采自洱海、西湖、茈碧湖和海西海(于2009年8—11月采集,共检测鱼类样本2991尾)。采样所用网具主要为三层挂网[网长20—330m,网高1.2—4.5m、5—15m,网目规格(12—20)×(3—9)×(12—20)cm、(60—70)×(12—17)×(60—70)cm]、单层挂网(网长20—100m,网高1.2—8m,网目规格1.8—3cm、7—17cm)和甄网(网长8—10m,笼箱35cm×50cm、60cm×80cm,网目规格0.4cm)。对采集到的鱼种主要参照《云南鱼类志》(褚新洛等,1989,1990)进行鉴定分类;采用精确到0.1g的电子天平称量体重;使用精确到0.01mm的MarCal16EX卡尺测定全长(TL)、体长(BL)、体高(BD)、体宽(BW)、头长(HL)、头高(HD)、头宽(HW)、吻长(ML)、眼径(ED)9个形态度量因子(表1)。

表1 鱼类形态指标测量方法

Tab.1 Measuring methods of morphological characteristics of fish

形态指标	代码	测量方法
全长 Total length	TL	从吻端到尾鳍末端的直线距离
体长 Body Length	BL	从吻端到最后一节尾椎骨的距离
体高 Body depth	BD	背鳍起点的垂直高度
体宽 Body width	BW	背鳍左右两侧的最大距离
头长 Head length	HL	从吻端到鳃盖后缘的最大距离
头高 Head depth	HD	从头部最顶端到底端的距离
头宽 Head width	HW	鳃盖中部左右两侧的最大距离
吻长 Mouth length	ML	从吻前端到眼前缘的距离
眼径 Eye diameter	ED	眼水平方向前、后缘间的距离

## 1.3 数据分析

采用EXCEL2003和Statistic6.0软件对所测定到的鱼类数据进行整理和统计分析。体长与体重的关系采用Keys公式 $W = bL^a$ 进行拟合(Liu, 1990; 战培荣等, 2005); 肥满度采用公式 $K = 100W/L^3$ 进行计算(李星颀等, 1983); 湖泊间鱼类的形态差异比较采用差异系数(明俊超等, 2009)  $C.D = (M_1 - M_2) / (S_1 + S_2)$ 和主成分分析法(PCA)(蔡鸣俊等, 2001)进行。根据差异系数, 参照识别和划分亚种的75%规则(Mayr *et al.*, 1953), 若C.D大于1.28, 则差异达到亚种水平, C.D小于1.28, 则属于种群间差异。为消除规格对实验结果的影响, 将全长(TL)、体高(BD)、体宽(BW)、头长(HL)与体长(BL)的比值作为体型因子; 将头高(HD)、头宽(HW)、吻长(ML)、眼径(ED)与头长(HL)的比值作为头部因子, 得到TL/BL、BD/BL、BW/BL、HL/BL、

HD/HL、HW/HL、ML/HL、ED/HL 8个比例形状。

以上公式中, K为肥满度, W为体重(g), W'为去内脏体重(g), L为体长(cm),  $M_1$ 和 $M_2$ 分别为两个比较群体某形态性状平均值,  $S_1$ 和 $S_2$ 为对应的标准差。

## 2 结果

### 2.1 样本种类组成及体长、体重分布

本次调查共采集到鱼类23种(表2, 另还记录到青鱼 *Mylopharyngodon piceus*、黄鳝 *Monopteras albus*、高体鳊 *Rhodeus ocellatus*, 因样本量较少, 未做统计), 其中平均体重低于100g的鱼类15种, 占65.2%; 100—500g的3种, 占13.0%; 500—1000g的2种, 占8.7%; 1000g以上的3种, 占13.0%。对样本中主要经济鱼类的体长、体重分布进行检测发现, 鲢的体长分布主要在150—500mm, 占测量样本数的93.9%, 体重分布主要在50—1500g, 占测量样本数的84.8%, 最大体重2750g; 鳙的体长分布主要在300—500mm, 占测量样本数的89.0%, 体重分布主要在500—2500g, 占测量样本数的90.4%, 最大体重6000g; 鲤的体长分布主要在100—400mm, 占测量样本数的94.3%, 体重分布主要在50—1500g, 占测量样本数的91.4%, 最大体重2750g; 团头鲂的体长分布主要在150—350mm, 占测量样本数的96.8%, 体重分布主要在50—500g, 占测量样本数的74.2%, 最大体重1050g; 太湖新银鱼体长分布主要在48—80mm, 占测量样本数的94.5%, 体重分布主要在0.4—2.5g, 占测量样本数的89.1%, 所采集到的最大个体体重为3.2g。

总体来看, 洱海渔获物在种类组成上以小型鱼类为主, 大中型鱼类渔获个体体重的主要分布范围相对偏小, 但也在调查中采集到一尾鲫, 个体体重达785g。

### 2.2 体长与体重的关系

根据keys公式 $W = bL^a$ 拟合得到洱海主要鱼类的体长-体重关系式(表3)。结果表明, 洱海各鱼种的体长与体重均呈幂函数正相关增长, 其中, 中华青鳉和大理裂腹鱼两种鱼类呈强异速生长: 中华青鳉的参数a值接近于2, 表现为体长增长速度大于体重增长速度; 大理裂腹鱼的参数a值接近于4, 表现为体重增长速度大于体长增长速度。鳙、太湖新银鱼、波氏栉鰕虎鱼、子陵栉鰕虎鱼、麦穗鱼、食蚊鱼、中华鳊表现为近匀速生长。其余各鱼种的参数a值接近于3(范围为2.872—3.155), 呈匀速生长。

表 2 鱼类样本体长、体重分布  
Tab.2 The distribution of body length and body weight of fish samples

种类	尾数(ind)	体长范围(mm)	体重范围(g)	平均体重(g)
鲢 <i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	66	120.74—510	40.4—2750	798.6
鳙 <i>Aristichthys nobilis</i>	73	212.49—740	177.7—6000	1439.6
鲤 <i>Cyprinus carpio</i>	35	121.57—480	51.1—2750	626.8
团头鲂 <i>Megalobrama amblycephala</i>	31	136.31—335	55.4—1050	433.9
棒花鱼 <i>Abbottina rivularis</i>	60	23.96—87.95	0.2—13.1	2.7
鲮 <i>Hemiculter leucisculus</i>	782	42.11—176.53	0.9—97.2	17.9
草鱼 <i>Ctenopharyngodon idella</i>	23	43.30—535	39.6—2650	1077.9
长身鱊 <i>Acheilognathus elongatus</i>	202	31.18—91.58	0.6—18.9	6.5
黄魮 <i>Hypseleotris swinhonis</i>	208	17.17—56.22	0.1—3.7	0.8
麦穗鱼 <i>Pseudorasbora parva</i>	402	21.34—93.62	0.05—15.8	3.9
太湖新银鱼 <i>Neosalanx taihuensis</i>	55	43.46—82.4	0.2—3.2	1.1
中华鲮 <i>Rhodeus sinensis</i>	70	18.84—46.77	0.1—2.3	1.0
子陵栉鰕虎鱼 <i>Ctenogobius giurinus</i>	213	17.16—64.09	0.1—6.3	1.4
波氏栉鰕虎鱼 <i>Ctenogobius cliffordpopei</i>	85	21.81—44.48	0.1—1.8	0.5
鲫 <i>Carassius auratus</i>	452	28.40—290	0.6—785	71.1
泥鳅 <i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	174	46.07—144.3	0.9—30.6	6.4
食蚊鱼 <i>Gambusia affinis</i>	16	25.75—36.04	0.4—1.1	0.7
乌鳢 <i>Ophiocephalus argus</i>	22	38.05—338	0.9—513.8	108.6
中华青鲮 <i>Oryzias latipes sinensis</i>	10	28.76—40.88	0.6—1.4	0.9
大理裂腹鱼 <i>Schizothorax taliensis</i>	5	206.44—286.7	124.6—438.9	228.6

表 3 洱海鱼类体长-体重关系式  
Tab.3 The body length-body weight equation of the fish in Erhai Lake

种类	体长-体重关系式	相关系数 <i>R</i>	样本数 <i>N</i>
鲢 <i>H. molitrix</i>	$W = 0.0248L^{2.922}$	0.995	66
鳙 <i>A. nobilis</i>	$W = 0.0627L^{2.695}$	0.982	73
鲤 <i>C. carpio</i>	$W = 0.0422L^{2.872}$	0.993	35
团头鲂 <i>M. amblycephala</i>	$W = 0.0177L^{3.113}$	0.980	31
棒花鱼 <i>A. rivularis</i>	$W = 0.012L^{3.142}$	0.965	60
鲮 <i>H. leucisculus</i>	$W = 0.0093L^{3.155}$	0.976	782
草鱼 <i>C. idella</i>	$W = 0.0274L^{2.904}$	0.998	23
长身鱊 <i>A. elongatus</i>	$W = 0.0201L^{3.074}$	0.992	202
黄魮 <i>H. swinhonis</i>	$W = 0.0159L^{3.115}$	0.965	208
麦穗鱼 <i>P. parva</i>	$W = 0.0119L^{3.206}$	0.992	402
太湖新银鱼 <i>N. taihuensis</i>	$W = 0.0018L^{3.448}$	0.974	55
中华鲮 <i>R. sinensis</i>	$W = 0.0163L^{3.247}$	0.960	70
子陵栉鰕虎鱼 <i>C. giurinus</i>	$W = 0.013L^{3.252}$	0.976	213
波氏栉鰕虎鱼 <i>C. cliffordpopei</i>	$W = 0.0097L^{3.585}$	0.934	85
鲫 <i>C. auratus</i>	$W = 0.0273L^{3.083}$	0.998	452
泥鳅 <i>M. anguillicaudatus</i>	$W = 0.0103L^{2.909}$	0.892	174
食蚊鱼 <i>G. affinis</i>	$W = 0.0197L^{3.235}$	0.913	16
乌鳢 <i>O. argus</i>	$W = 0.0147L^{2.947}$	0.999	22
中华青鲮 <i>O. latipes sinensis</i>	$W = 0.0585L^{2.285}$	0.901	10
大理裂腹鱼 <i>S. taliensis</i>	$W = 0.0012L^{3.805}$	1.000	5

与平原地区 6 种鱼类(鲫、泥鳅、鲤、草鱼、鲮、乌鳢, 样本于 2010 年 7 月采自太湖流域)的体长-体重拟合方程进行比较发现, 该 6 种鱼类的体长-体重均呈幂指数正相关增长, 且相关曲线对比图形均呈现为“y 字型”, 即随着体长的增大, 两湖间鱼类体重的增长差异越明显(图 2A)。但就曲线方程来看, 鲫、鲤、鲮、草鱼、乌鳢 5 种鱼类的参数  $a$  值在两个地区之间无显著差异, 且均接近于 3, 表现为匀速生长, 其中洱海鲫、鲤、鲮 3 种鱼类的体重增长率与体长增长率的比值要相对略高一些(参数  $a$  值略高于太湖); 草鱼、乌鳢 2 种鱼类则相对略低一些。泥鳅的体长-体重曲线在两个地区间表现出明显差异: 洱海泥鳅的参数  $a$  值约等于 3, 呈匀速生长; 太湖泥鳅的参数  $a$  值接近于 4, 呈异速生长, 说明洱海泥鳅的体重增长

相对较慢(图 1)。

### 2.3 肥满度

根据  $K = 100W/L^3$  计算肥满度显示, 洱海主要鱼类的平均肥满度变幅较大(0.968—3.571)。其中, 以肉食性鱼类肥满度最大(鲫 3.571、鲤 3.106、团头鲂 2.609、草鱼 1.128); 滤食性鱼类次之(鲢 2.097、鳙 1.936), 表明洱海饵料丰富, 养殖鱼类摄食旺盛; 相对而言, 泥鳅的肥满度最低(0.968), 这与其体长-体重关系的分析结果相一致, 表明洱海泥鳅生长相对缓慢(表 4)。

### 2.4 洱海流域内四个湖泊间主要优势种的形态学比较

**2.4.1 麦穗鱼(*Pseudorasbora parva*)** 麦穗鱼在洱海地区俗称“三角嘴”, 喜营浅水区生活, 杂食性, 主食浮游动物, 体型小, 生命周期短, 繁殖快, 在生态

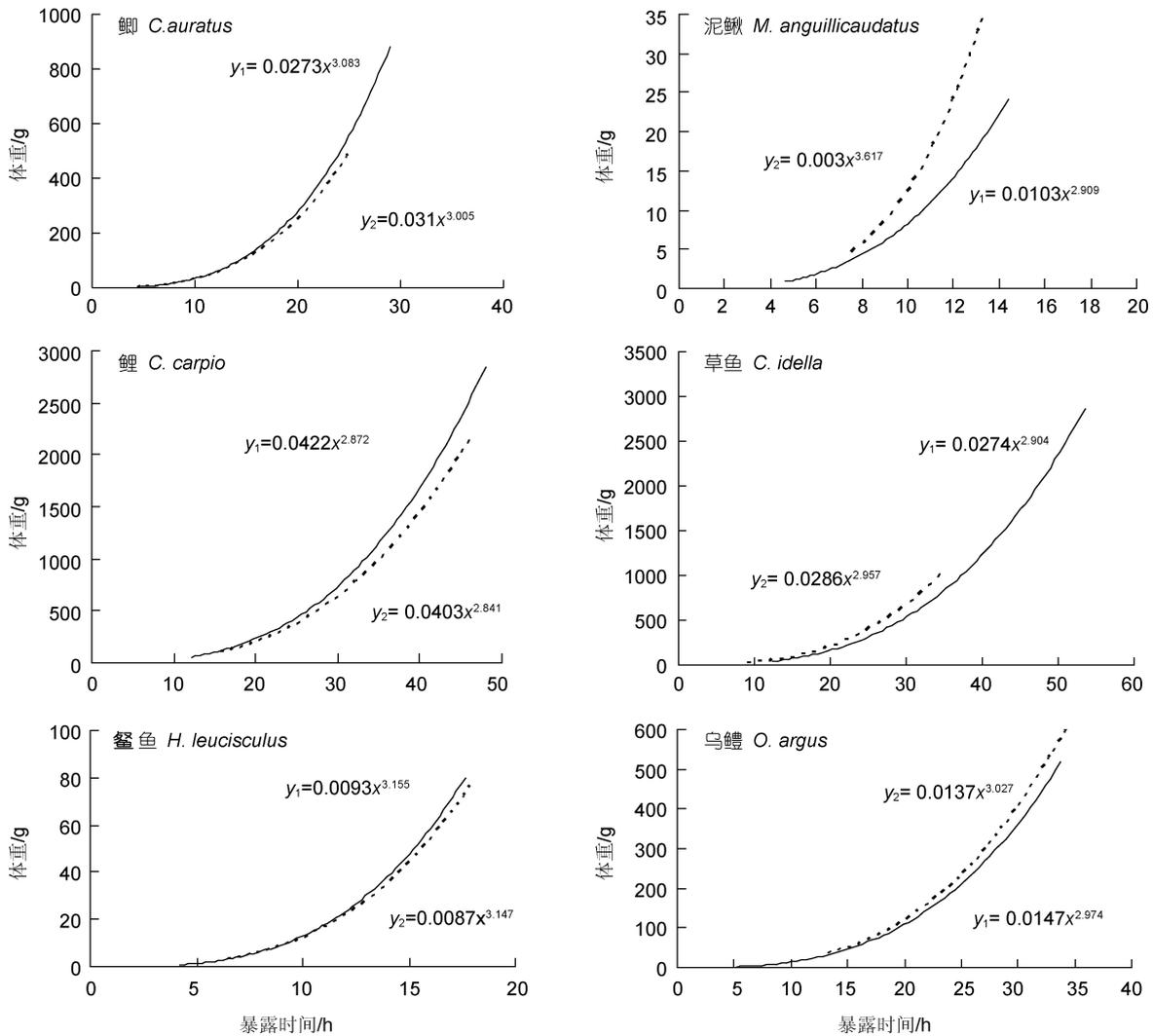


图 1 鱼类体长-体重关系曲线比较(洱海流域与太湖流域)

Fig.1 Comparison of fish body length-weight relation curves (between Erhai Lake basin and Taihu Lake basin)  
注:  $y_1$  为洱海流域鱼类体长-体重关系曲线(实线),  $y_2$  为太湖流域鱼类体长-体重关系曲线(虚线)

表 4 洱海鱼类肥满度  
Tab.4 Condition factor the Fish in Erhai Lake

种类	尾数(ind)	平均体长(cm)	平均体重(g)	肥满度 $K(\%)$
鲢 <i>H. molitrix</i>	64	32.027	689.047	2.097
鳙 <i>A. nobilis</i>	66	38.340	1091.017	1.936
鲤 <i>C. carpio</i>	33	24.864	477.464	3.106
团头鲂 <i>M. amblycephala</i>	29	24.225	370.841	2.609
棒花鱼 <i>A. rivularis</i>	17	6.345	4.474	1.751
鲈 <i>H. leucisculus</i>	185	11.519	19.512	1.277
草鱼 <i>C. idella</i>	21	35.483	950.524	2.128
长身鱊 <i>A. elongatus</i>	42	7.493	8.705	2.069
黄魮 <i>H. swinhonis</i>	19	3.952	1.053	1.707
麦穗鱼 <i>P. parva</i>	100	6.651	5.185	1.762
子陵栉鰕虎鱼 <i>C. giurinus</i>	33	4.702	1.997	1.921
鲫 <i>C. auratus</i>	196	14.540	109.767	3.571
泥鳅 <i>M. anguillicaudatus</i>	39	8.870	6.754	0.968
乌鳢 <i>O. argus</i>	16	19.669	137.113	1.802
大理裂腹鱼 <i>S. taliensis</i>	2	20.645	109.400	1.243

学上是典型的“r”生存者。麦穗鱼于 20 世纪 60 年代随人工放养“四大家鱼”鱼苗而带入洱海, 现已形成较大的种群规模, 与经济鱼类争食饵料, 吞噬鱼卵, 是云贵高原较为典型的外来入侵种之一。

对采自洱海、西湖、茈碧湖、海西海四个湖泊的 402 尾麦穗鱼的 8 个形态比例性状进行主成分分析, 得到每个比例性状在前三个主成分的信息量和特征值(表 5)。结果显示, 前三个主成分的累计贡献率为 69.895%, 分别解释其性状变异的 34.807%, 22.739% 和 12.349%。其中, 主成分 1 起主要作用的是  $HW/HL$ 、 $HD/HL$ 、 $ML/HL$ 、 $ED/HL$ 、 $HL/BL$ , 主要为鱼体头部方面的性状; 主成分 2 起主要作用的是  $BW/BL$ 、

$BD/BL$ , 主要为鱼体体形纵轴方面的性状; 主成分 3 起主要作用的是  $TL/BL$ , 为鱼体体形横轴性状。

根据前三个主成分绘制的散点图(图 2A、B)可以看出, 对于主成分 1, 四个湖泊的麦穗鱼彼此重叠, 其中, 茈碧湖与海西海之间表现为小部分重叠, 表明这两个湖的麦穗鱼在主成分 1 代表的相关性状上存在差异; 对于主成分 2, 西湖麦穗鱼与洱海、茈碧湖、海西海麦穗鱼间表现为部分重叠, 其中与茈碧湖麦穗鱼重叠最小, 表明西湖麦穗鱼与另外三个湖在主成分 1 代表的相关性状上存在差异; 主成分 3 将海西海麦穗鱼与茈碧湖麦穗鱼划分为相对独立的两簇, 仅有少数个体重叠, 表明这两个湖的麦穗鱼在主成分 3 代表的相关性状上存在较大差异。总体来看, 西湖、茈碧湖、海西海三个湖泊的麦穗鱼在形态上彼此既有相似性又有差异性, 差异性主要表现在鱼体体形性状方面; 洱海麦穗鱼与西湖、茈碧湖、海西海麦穗鱼均有重叠, 彼此间无明显差异。

经计算, 四个麦穗鱼群体的 8 个比例形状差异系数均小于 1.28, 属于种群间差异, 其中, 西湖麦穗鱼与洱海、茈碧湖麦穗鱼在  $BD/BL$ , 以及茈碧湖麦穗鱼与海西海麦穗鱼在  $ED/HL$  上的变异系数接近于 1.28, 性状分化明显(表 6)。

**2.4.2 鲫 (*Carassius auratus*)** 鲫, 营沿岸或近岸生活, 杂食性, 适应性强, 为洱海原有种之一。

对采自洱海、西湖、茈碧湖、海西海四个湖泊的

表 5 麦穗鱼 8 个比例性状的主成分载荷和特征值  
Tab.5 Principle component loadings and eigenvalues of eight ratio traits of *P. parva*

比例性状	主成分 1	主成分 2	主成分 3
$TL/BL$	0.2989	-0.2807	-0.8800
$BD/BL$	-0.6676	-0.5790	-0.1066
$BW/BL$	-0.5208	-0.6829	0.0181
$HL/BL$	0.6337	-0.6081	-0.0471
$HD/HL$	-0.6486	0.3546	-0.3053
$HW/HL$	-0.7945	0.2727	-0.1474
$ML/HL$	-0.5167	-0.5621	0.2697
$ED/HL$	0.5079	-0.2298	0.1091
特征值	2.7846	1.8191	0.9879
累计贡献率(%)	34.8073	57.5461	69.8948

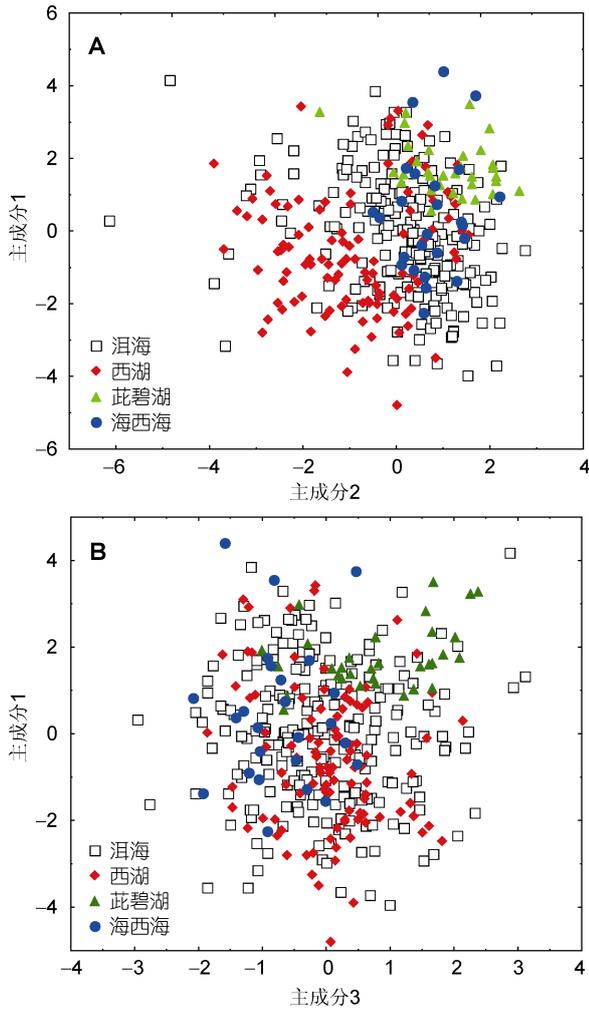


图 2 四个麦穗鱼种群主成分散点图

Fig.2 Scatter diagram between principle components of four *P. parva* populations  
A. 主成分 1、2 散点图, B. 主成分 1、3 散点图

452 尾鲫的 8 个形态比例性状进行主成分分析, 得到每个比例性状在前三个主成分的信息量和特征值(表 7)。结果显示, 主成分 1 和 2 的累计贡献率为 68.517%, 分别解释其性状变异的 46.526% 和 22.991%。其中, 主成分 1 起主要作用的是  $HW/HL$ 、 $ED/HL$ 、 $HL/BL$ , 主

要为鱼体头部方面的性状; 主成分 2 起主要作用的是  $BD/BL$ 、 $BW/BL$ 、 $ML/HL$ , 主要为鱼体体形和吻部方面的性状。

根据主成分 1 和主成分 2 绘制的散点图(图 3)可以看出, 主成分 1 将海西海鲫与西湖、茈碧湖鲫分为相对独立的两簇, 仅有少数个体重叠, 表明海西海鲫与西湖、茈碧湖鲫之间在主成分 1 代表的相关性状上存在较大差异; 主成分 2 将西湖鲫与茈碧湖、海西海鲫分为相对独立的两簇, 有部分个体重叠, 表明西湖鲫与茈碧湖、海西海鲫在主成分 2 代表的相关性状上存在差异; 洱海鲫与西湖、茈碧湖、海西海鲫均有重叠, 彼此间无明显差异。

从四个群体鲫的 8 个比例性状差异系数来看(表 8), 茈碧湖鲫与海西海鲫在  $ED/HL$  上的差异系数(1.50)大于 1.28, 差异达到亚种水平; 其余各性状差异系数均小于 1.28, 属于种群间差异。

### 3 结论与讨论

#### 3.1 生长特性浅析

本次研究揭示了洱海鱼类的一些基本生长特性: (1) 根据 keys 公式  $W = bL^a$  拟合的曲线方程的  $a$  值, 可以描述鱼类体长、体重生长的不均匀程度(Ricker, 1975), 由此判断鱼类是否匀速生长。本研究显示, 除大理裂腹鱼和中华青鳉两个原有种外, 洱海其它鱼类均表现为匀速生长或近匀速生长; (2) 肥满度可以最直接地反映鱼类的生长状况, 并进一步反映出鱼类所生长水域的环境状况。本研究表明, 洱海以鲫、鲤、团头鲂等肉食性鱼类肥满度最高, 表明洱海饵料丰富, 水质状况良好, 鱼类摄食旺盛; (3) 与太湖流域部分鱼类的体长-体重相关曲线比较显示, 鲫、鲤、鳊、草鱼、乌鳢以及太湖新银鱼(吴庆龙, 1998)等鱼类在生长均匀性方面无明显差异, 这在一定程度上表明, 洱海的外来鱼类已经对高原湖泊环境表现出了较好的适应性。(4) 与蠡湖鱼类研究(胡海彦等, 2010)

表 6 四个麦穗鱼种群 8 个比例性状差异系数  
Tab.6 Difference coefficients of eight ratio traits among four *P. parva* populations

差异系数	$TL/BL$	$BD/BL$	$BW/BL$	$HL/BL$	$HD/HL$	$HW/HL$	$ML/HL$	$ED/HL$
洱海/西湖 <i>C.D</i>	-0.029	-0.261	-0.236	-0.302	-0.044	-0.088	-0.556	0.030
洱海/茈碧湖 <i>C.D</i>	0.338	1.104	0.550	-0.194	0.321	0.201	0.397	-0.553
洱海/海西海 <i>C.D</i>	-0.327	0.339	0.298	-0.127	0.023	-0.003	0.248	0.512
西湖/茈碧湖 <i>C.D</i>	0.407	1.179	0.795	0.150	0.396	0.305	1.091	-0.564
西湖/海西海 <i>C.D</i>	-0.329	0.538	0.544	0.192	0.073	0.086	0.831	0.453
茈碧湖/海西海 <i>C.D</i>	-0.793	-0.701	-0.266	0.061	-0.342	-0.207	-0.108	1.150

表 7 鲫 8 个比例性状的主成分载荷和特征值  
Tab.7 Principle component loadings and eigenvalues of eight ratio traits of *C. auratus*

比例性状	主成分 1	主成分 2
<i>TL/BL</i>	-0.6754	0.0390
<i>BD/BL</i>	0.3295	0.8192
<i>BW/BL</i>	0.7372	0.5224
<i>HL/BL</i>	-0.8092	0.4099
<i>HD/HL</i>	0.6918	-0.3264
<i>HW/HL</i>	0.8965	-0.1556
<i>ML/HL</i>	-0.1793	0.6776
<i>ED/HL</i>	-0.8028	-0.2364
特征值	3.7221	1.7592
累计贡献率(%)	46.5259	68.5165

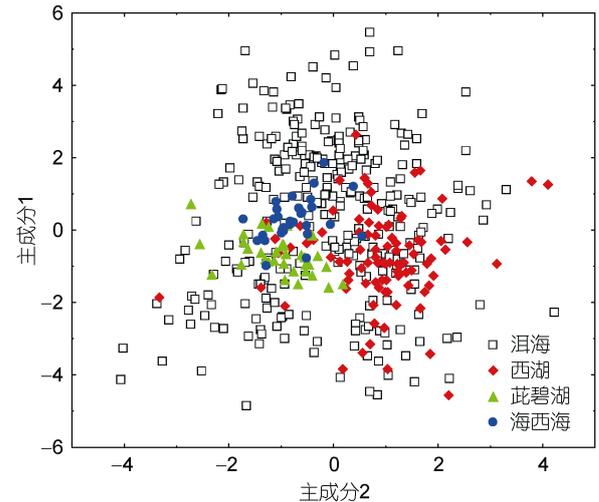


图 3 四个鲫种群主成分 1、2 散点图

Fig.3 Scatter diagram between the first and second principle components of four *C. auratus* populations

表 8 鲫 4 个种群 8 个比例性状差异系数  
Tab.8 Difference coefficients of eight ratio traits among four *C. auratus* populations

差异系数	<i>TL/BL</i>	<i>BD/BL</i>	<i>BW/BL</i>	<i>HL/BL</i>	<i>HD/HL</i>	<i>HW/HL</i>	<i>ML/HL</i>	<i>ED/HL</i>
洱海/西湖 <i>C.D</i>	-0.430	-0.276	-0.001	-0.458	0.094	0.407	-0.294	-0.080
洱海/茈碧湖 <i>C.D</i>	-0.324	0.339	0.533	-0.081	-0.197	0.244	0.222	-0.579
洱海/海西海 <i>C.D</i>	-0.179	0.390	0.257	0.331	-0.011	-0.033	0.020	0.214
西湖/茈碧湖 <i>C.D</i>	0.193	0.799	0.708	0.572	-0.402	-0.392	0.805	-0.632
西湖/海西海 <i>C.D</i>	0.396	0.794	0.337	1.201	-0.186	-0.890	0.535	0.408
茈碧湖/海西海 <i>C.D</i>	0.231	0.145	-0.496	0.720	0.357	-0.726	-0.358	1.500

比较, 蠡湖鲢、鳙体长-体重拟合方程的参数  $a$  值要略大于洱海鲢、鳙, 表现出蠡湖鲢、鳙更趋向于匀速生长, 其主要原因可能是蠡湖鲢、鳙研究样本的体重分布范围要大于本次洱海的研究样本。两者之间的差异反映出鱼类的生长具有阶段性, 即在幼鱼阶段, 体长-体重的参数  $a$  值多小于 3, 呈异速生长, 随着鱼的长大, 发育趋向均匀, 到成鱼阶段  $a$  值都接近或大于 3(黄真理等, 1999)。目前, 洱海的渔业主体主要是人工放养的外来鱼种, 以上结论仅初步反映了当前洱海鱼类的一些基本生长特征, 至于针对某一具体的外来鱼种在高原湖泊环境下生长特性的深入研究, 则需要在后续的工作中结合鱼龄、性别、环境等参数来进一步加以分析。

### 3.2 群体间形态差异探讨

鱼类的比例性状是分类的重要依据之一。麦穗鱼、鲫是洱海、西湖、茈碧湖以及海西海这四个湖泊共同的优势种类。其中麦穗鱼为外来入侵种, 鲫为原有种。研究结果显示: 西湖、茈碧湖、海西海三个湖泊的麦穗鱼种群彼此之间既有相似性, 又存在一定

的种群间差异, 而它们与洱海麦穗鱼之间无明显差异; 西湖、茈碧湖、海西海三个湖泊的鲫种群彼此之间同样既有相似性, 又存在种群间差异。其中, 茈碧湖鲫与海西海鲫种群在眼径/头长(*ED/HL*)性状上的差异达到了亚种水平, 而它们与洱海鲫之间则无明显差异。分析其原因, 种群间的形态差异可能主要是受湖泊间相对隔离环境的影响, 彼此间基因交流贫乏所致(李树深, 1982; 褚新洛等, 1989)。从本次研究来看, 无论是鲫、还是麦穗鱼, 在相对隔离的环境下, 都产生了一定的种群间差异, 而鲫作为洱海流域的原有种, 在环境的长期影响下, 所引起的种群间差异相对更显著一些; 洱海作为西湖、茈碧湖、海西海的最后汇入湖, 与三个湖泊间鱼类基因交流的机会相对较多, 其途径可能主要有两个, 一是自然途径, 即通过彼此间汇流的江河产生交流, 二是人为途径, 即在人工捕捞、放流的过程中有意或无意带入产生交流。当然, 引起种群间形态差异的原因是多方面的, 可以进一步通过遗传学的手段(罗静等, 1999; 张四明等, 2002)来研究种的纯度和遗传变异以进一步确认。

## 参 考 文 献

- 成庆泰, 1958. 云南的鱼类研究. 动物学杂志, 2(3): 153—165
- 杜宝汉, 李永安, 2001. 洱海鱼类多样性危机及解危对策. 环境科学研究, 14(3): 42—55
- 李秀启, 陈毅峰, 李 莹, 2006. 抚仙湖外来黄颡鱼种群的年龄和生长特征. 动物学报, 52(2): 263—271
- 李树深, 1982. 云南湖泊鱼类的区系及其类型分化. 动物学报, 28(2): 169—176
- 李星颢, 陈赛斌, 1983. 鱼类生长的数学描述. 浙江水产学院学报, 2(1): 29—39
- 杨君兴, 1994. 云南抚仙湖鱼类的若干生物学特性及其对湖泊环境的适应. 动物学研究, 15(2): 1—9
- 吴庆龙, 1998. 洱海产太湖新银鱼的生长特性及其渔业利用. 水产科学, 5(2): 110—113
- 张四明, 汪登强, 邓 怀等, 2002. 长江中游水系鲢和草鱼群体 mtDNA 遗传变异的研究. 水生生物学报, 26(2): 142—147
- 陈银瑞, 杨君兴, 李再云, 1998. 云南鱼类多样性和面临的危机. 生物多样性, 6: 272—277
- 明俊超, 董在杰, 梁政远等, 2009. 6 个不同鲤群体的形态差异分析. 广东海洋大学学报, 29(6): 1—6
- 罗 静, 张亚平, 朱春玲等, 1999. 鲫鱼遗传多样性的初步研究. 遗传学报, 26(1): 28—36
- 胡海彦, 张宪中, 曹晓东等, 2010. 蠡湖鲢鳙鱼生长的研究. 中国农学通报, 26(6): 337—339
- 战培荣, 赵吉伟, 董崇智等, 2005. 兴凯湖翘嘴鲌(*Culter al-barnus*)的生长特性. 海洋与湖沼, 36(2): 146—153
- 徐伟毅, 刘跃天, 冷 云等, 2006. 云南裂腹鱼繁殖生物学研究. 水利渔业, 26(3): 32—33
- 高礼存, 庄大栋, 张开翔等, 1981. 云南高原主要湖泊经济鱼类数量变动的初步调查. 动物学杂志, 1: 31—34
- 黄真理, 常剑波, 1999. 鱼类体长与体重关系中的分形特征. 水生生物学报, 23(4): 330—336
- 褚新洛, 陈银瑞, 1989. 云南鱼类志(上册). 北京: 科学出版社, 1—377
- 褚新洛, 陈银瑞, 1990. 云南鱼类志(下册). 北京: 科学出版社, 1—313
- 蔡鸣俊, 张敏莹, 曾青兰, 2001. 鲂属鱼类形态度量学研究. 水生生物学报, 25(6): 631—635
- 熊 飞, 李文朝, 潘继征等, 2006. 云南抚仙湖鱼类资源现状与变化. 湖泊科学, 18: 305—311
- Kong D P, Chen X Y, Yang J X, 2006. Fish fauna status in the Lugu Lake with preliminary analysis on cause and effect of human impacts. Zoological Research, 27(1): 94—97
- Liu C A, 1990. Biological concepts of the growth parameters. Transactions of Oceanology and Limnology, 4: 71—94
- Mayr E, Linsle E G, Usinger R L, 1953. Methods and principles of systematic zoology. New York: McGraw Hill, 125—154
- Regan C T, 1906. Descriptions of two new cyprinid fishes from Yunnan Fu, collected by Mr. John Graham. Annals and Magazine of Natural History, 17: 332—333
- Ricker W E, 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. Bulletin of the Fisheries Research Board of Canada, 191: 1—382

## STUDIES ON THE GROWTH CHARACTERISTICS AND MORPHOLOGICAL DIFFERENCES OF FISH IN PLATEAU LAKES

FEI Ji-Hui<sup>1</sup>, SHAO Xiao-Yang<sup>1,2</sup>

(1. College of Life and Environmental Science, Hangzhou Normal University, Hangzhou, 310036; 2. Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan, 430072)

**Abstract** We studied the growth characteristics and morphological variation based on the 2991 fish specimens sampled in Erhai Lake basin from August to November in the year of 2009. The result indicated that most fish showed even-pace growth or nearly even-pace growth, among which two kinds of fish (*Oryzias latipes sinensis*, *Schizothorax taliensis*) showed the rapid growth. Non-filter feeding fish (*Carassius auratus*, *Cyprinus carpio* and *Megalobrama amblycephala*) had the highest condition factor, and filter-feeding fish (*Hypophthalmichthys molitrix*, *Aristichthys nobilis*) took second place. Eight morphological characteristics (*TL/BL*, *BD/BL*, *BW/BL*, *HL/BL*, *HD/HL*, *HW/HL*, *ML/HL*, *ED/HL*) of four *Pseudorasbora parva* populations and four *C. auratus* populations were analyzed respectively. There was no significant difference between *P. parva* sampled in Erhai Lake and the others, so was *C. auratus*. But there were inter-population differences among three *P. parva* populations, which sampled in West Lake, Cibi Lake and Haixihai Lake respectively. So was *C. auratus*, and the difference coefficient of *ED/HL* between *C. auratus* sampled in Cibi Lake and Haixihai Lake was over 1.28 (1.50) reaching the subspecies level.

**Key words** Plateau Lake, Erhai Lake, Growth characteristics, Morphological variation, Relative fatness