

## 长江口银色鳗的形态指标体系及其雌雄鉴别

郭弘艺<sup>1</sup>, 魏凯<sup>1,2</sup>, 谢正丽<sup>1</sup>, 唐文乔<sup>1\*</sup>, 沈林宏<sup>3</sup>,  
顾树信<sup>3</sup>, 吴嘉敏<sup>1</sup>, 陈文银<sup>1</sup>

(1. 上海海洋大学鱼类研究室, 水产种质资源发掘与利用教育部重点实验室, 上海 201306;

2. 北京市水生野生动物救治中心, 北京 102100;

3. 江苏靖江市渔政管理站, 江苏 靖江 214500)

**摘要:**测定和分析了2007年和2008年的10-11月间采自长江江苏靖江段(32°01'27"N, 120°25'56"E)的153尾银色鳗的形态学性状,建立了雌雄个体的判别模型。对16个直接测量性状的主成分分析和17项标准化比例性状的R-聚类分析,均显示长江口银色鳗的个体差异主要集中在体形大小和头部特征,吻部前端细部特征,以及眼径和胸鳍大小等3个方面。在此基础上,通过逐步判别法从75尾样本的17项标准化比例性状中筛选出5个比例性状,即丰满度、垂直眼径/头长、体高/体长、水平眼径/头长和吻形,所建立的判别方程,对群体识别的正确率为89.3%。利用其余78尾银色鳗样本对这一判别方程进行识别验证,识别的正确率达88.5%。ANOVA分析显示,除了吻形,组成判别方程的其他4个标准化性状在两性群体间均存在着极显著的差异( $P < 0.001$ ),表明长江口银色鳗的雌性个体比雄性更为丰满,体型较高,但眼较小。

**关键词:**日本鳗鲡;两性形态差异;判别分析;长江口

**中图分类号:**Q 178.1; S 917

**文献标识码:**A

日本鳗鲡(*Anguilla japonica*)是一种降海洄游鱼类,分布于日本至菲律宾间的西太平洋水域,产卵场位于菲律宾东部 Mariana 岛海域附近(约15°N, 140°E)<sup>[1-2]</sup>。初孵仔鱼即柳叶鳗随洋流漂至中国、朝鲜、日本的大陆架,在沿岸变态成玻璃鳗和线鳗<sup>[3-4]</sup>,进入河流后变成黄体鳗。肥育后的黄体鳗在降海洄游途中逐渐发育成为银色鳗,产卵后即死亡<sup>[2-4]</sup>。日本鳗是亚洲地区的名贵鱼类和重要养殖对象,但养殖用鳗苗还完全靠天然采捕,突破人工繁殖是发展鳗鲡养殖业的根本技术措施<sup>[5-7]</sup>。自然条件下,银色鳗在河口的性腺成熟度多处于I期、II期<sup>[7]</sup>,到达产卵场产卵的洄游时间需要8~10月,开展人工繁殖的催产和培育也需要较长的时间<sup>[8-11]</sup>。随着自然水体中成体鳗鲡数量的日渐稀少,识别亲鱼的雌雄性别以及发育时相,不仅可以降低亲鱼培育的饲养成

本,也能减少亲鱼采捕的数量和费用,是人工育苗的重要前提之一<sup>[5-6]</sup>。林鼎等<sup>[7]</sup>对珠江口下海鳗鲡的雌雄性状差异和鉴别方法作过研究,指出体长和头部特征可以作为辨别雌雄的特征。长江口是我国目前唯一的具有专业渔民和渔具渔法的成鳗捕捞场所,也是生长良好的分布水域<sup>[12-14]</sup>。本文对这一水域的银色鳗作了形态学分析,旨在从外形特征上为雌雄性别的鉴定提供一套简易便捷的判别方法。

### 1 材料与方 法

#### 1.1 材 料

2007年和2008年的10-11月,利用当地传统的鳗鱼张网在长江江苏靖江至如皋段(北纬32°01'27",东经120°25'56",距长江口约160 km)(图1),采集到降海洄游中的银色鳗153尾,样本

收稿日期:2010-09-25 修回日期:2010-11-10

资助项目:高等学校博士点科研项目(20070264001);国家自然科学基金项目(30771650);上海市科委重点项目(08391910200);上海高校优秀项目(B-8101-08-0016);上海市教委E-研究院项目(E03009);上海市重点学科建设项目(S30701)

通讯作者:唐文乔, E-mail: wqtang@shou.edu.cn

的具体信息见表1。解剖并根据性腺的形态特征确定雌雄<sup>[7-8]</sup>：皱缩状呈长飘带形的为卵巢，有“叶状器官”的为精巢。

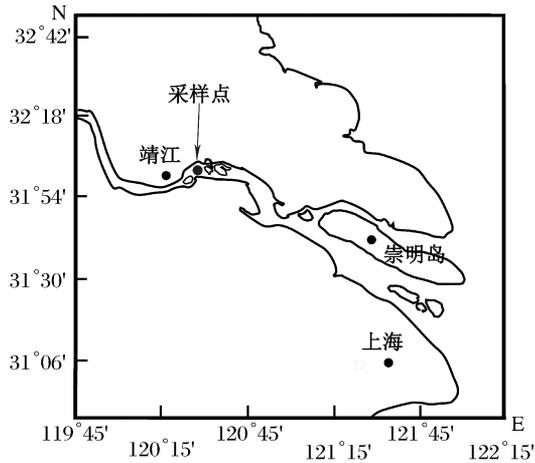


图1 标本采集点

Fig.1 Sampling site

Eels were captured at Jingjiang Reach of the Yangtze River which is at the upper area of estuary in Jiangsu Province (32°01' 27" N, 120° 25' 56" E; approximately 162 km away from the Yangtze River Estuary)

## 1.2 样品测量

用钢卷尺和游标卡尺测量体长(1:吻端至尾鳍基部的长度, body length)、躯干长(2:吻端至肛门的长度, trunk length)、头长(3:从吻端至鳃盖后缘的长度, head length)、口裂深(4:下颌前端至口角的长度, mouth depth)、水平眼径(5:眼眶

前缘至后缘的距离, horizontal eye diameter)、垂直眼径(6:眼眶上缘至眼眶下缘的距离, vertical eye diameter)、头高(7:头部背面至腹面的最大高度, head depth)、胸鳍长(8:胸鳍基起点至胸鳍末端的长度, pectoral fin length)、体高(9:鱼体背腹面之间的最大高度, body depth)、体宽(10:鱼体左右体侧之间最大的宽度, body breadth)、头宽(11:头部左右侧面之间最大的宽度, head breadth)、眼眶后缘宽度(12: breadth of posterior orbital)、眼间距(13:两眼内侧间的距离, eye distance)、吻宽(14:吻部的最大宽度, snout breadth)、吻端至眼眶后缘垂直距离(15: vertical distance from snout to posterior orbital)和吻长(16:眼眶前缘至吻端的距离, snout length)<sup>[7]</sup>, 精确至0.1 mm(图2)。电子天平称量内脏及性腺重量, 精确至0.1 g。

表1 标本的采集时间和数量

Tab.1 Sampling time and number of the silver eels

采样时间 sampling time	性别 sex	样本数 no. of fish	体长(mm) body length	体重(g) body weight
2007-10	♀	18	717.2 ± 76.50	700.1 ± 275.80
	♂	2	480.0 ± 14.14	190.0 ± 19.79
2007-11	♀	18	663.7 ± 65.61	492.4 ± 160.64
	♂	9	500.2 ± 32.09	182.9 ± 34.13
2008-10	♀	16	677.2 ± 104.49	595.9 ± 301.13
	♂	15	527.1 ± 64.57	252.5 ± 88.45
2008-11	♀	33	633.4 ± 72.43	464.9 ± 144.69
	♂	42	520.5 ± 49.30	240.8 ± 75.82

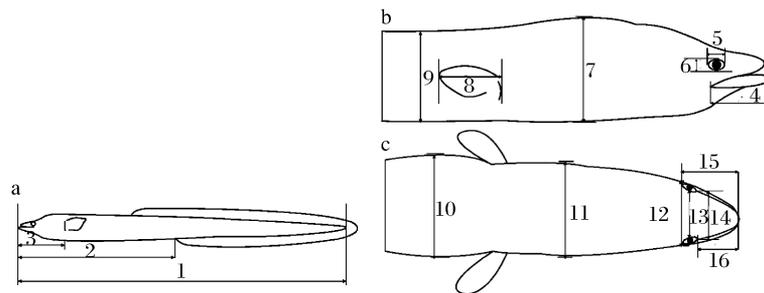


图2 特征测量示意图

a: 整体侧面观. 1. 体长; 2. 躯干长; 3. 头长. b: 体前段侧面观. 4. 口裂深; 5. 水平直眼径; 6. 垂直眼径; 7. 头高; 8. 胸鳍长; 9. 体高. c: 体前段背面观. 10. 体宽; 11. 头宽; 12. 眼眶后缘宽度; 13. 眼间距; 14. 吻宽; 15. 吻端至眼眶后缘垂直距离; 16. 吻长。

Fig.2 Schematic diagram of morphometrical characteristics

a: The whole lateral view. 1. Body length (BL); 2. Trunk length (TL); 3. Head length (HL). b: The lateral view of the anterior body. 4. Mouth depth (MD); 5. Horizontal eye diameter (HED); 6. Vertical eye diameter (VED); 7. Head depth (HD); 8. Pectoral fin length (PFL); 9. Body depth (BD). c: The dorsal view of the anterior body. 10. Body breadth (BB); 11. Head breadth (HB); 12. Breadth of posterior orbital (BOP); 13. Eye distance (ED); 14. Snout breadth (SB); 15. Vertical distance from snout to posterior orbital (VDSOP); 16. Snout length (SL).

### 1.3 数据分析

丰满度由全重/体长<sup>3</sup> × 100% 求出,吻形为吻长与吻宽之比,吻角为吻端至眼眶后缘垂直距离除以眼眶后缘宽度(图3)<sup>[7]</sup>。

对2008年11月采集的75尾标本的16个直接测量的上述性状,进行主成分分析,分析形态指标间的相互关系。为消除个体大小对参数值的影响,将躯干部量度性状除以体长、头部量度性状除以头长,

转化为标准化性状,连同吻形、吻角及丰满度等共计17个性状(表2),进行R-聚类分析和逐步判别分析。进一步分析筛选出雌雄群体间具有显著差异的性状,建立鳗雌雄判别方程。根据所建立的方程,判别2007年和2008年采集的其余78尾标本性别,对照实际解剖的性别信息,检验方程的有效性。

应用Excel 2007和SPSS 16.0统计软件对相关结果进行分析,绘制曲线。

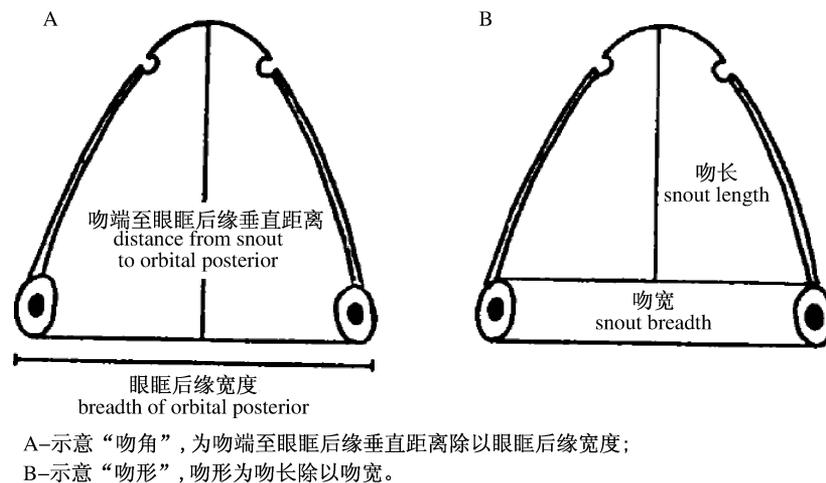


图3 吻形和吻角

Fig. 3 The shape of snout and angle of snout

表2 R-聚类分析的标准化性状

Tab. 2 Standardization characteristics of R-cluster analysis

标准化性状(%) standardization characteristic		
$X_1$ = 体高/体长(BD/BL)	$X_2$ = 体宽/体长(BB/BL)	$X_3$ = 躯干长/体长(TL/BL)
$X_4$ = 头高/头长(HD/HL)	$X_5$ = 头宽/头长(HB/HL)	$X_6$ = 眼间距/头长(ED/HL)
$X_7$ = 水平眼径/头长(HED/HL)	$X_8$ = 垂直眼径/头长(VED/HL)	$X_9$ = 吻长/头长(SL/HL)
$X_{10}$ = 吻宽/头长(SB/HL)	$X_{11}$ = 吻端至眼眶后缘垂直距离/头长(VDSOP/HL)	$X_{12}$ = 眼眶后缘宽度/头长(BOP/HL)
$X_{13}$ = 口裂深/头长(MD/HL)	$X_{14}$ = 胸鳍长/头长(PFL/HL)	$X_{15}$ = 吻长/吻宽(SL/SB)
$X_{16}$ = 吻端至眼眶后缘垂直距离/眼眶后缘宽度(VDSOP/BOP)	$X_{17}$ = 体重/体长 <sup>3</sup> (BW/BL <sup>3</sup> )	

## 2 结果

### 2.1 银色鳗两性群体的体长和体重

153尾银色鳗的体长在367.0~910.0 mm,体重117.5~1506.0 g,2007年与2008年样本间在体长和体重上有显著性差异( $P < 0.001$ )。所有样本中,雌性的体长476.0~910.0 mm,体重245.5~1506.0 g;雄性的体长367.0~634.0 mm,体重117.5~434.5 g,雌雄群体间的差异明显。但在体长476.0~634.0 mm、体重245.5~434.5 g,两者存在着一定程度的重叠(图4-A,

B)。85尾雌性个体的GSI为0.97~2.05(均值 $1.45 \pm 0.29$ ),68尾雄性个体的GSI为0.18~0.52(均值 $0.28 \pm 0.091$ )。虽然雌性的GSI要显著大于雄性( $P < 0.001$ ),但2007年和2008年间同一性别的GSI并无显著差异( $P = 0.158 > 0.05$ )。

### 2.2 形态指标体系分析

主成分分析 表4列出了76尾银色鳗16个直接测量的长度性状经主成分分析后,得到的前3个主成分的贡献率和各指标在这3个主成分上的负荷量。由于前3个主成分的累积贡献率已达87.36%,可舍去其余的主成分。

表 3 银色鳗雌雄群体的体长和体重比较  
Tab. 3 Comparison of body length and body weight for silver eels between male and female

性别 sex	no. of fish	体长 (mm) body length		体重 (g) body weight	
		mean $\pm$ SD	range	mean $\pm$ SD	range
♀	85	668.54 $\pm$ 80.01	476.0 ~ 910.0	555.46 $\pm$ 229.05	245.5 ~ 1 506.0
♂	68	518.10 $\pm$ 50.93	367.0 ~ 634.0	234.24 $\pm$ 76.23	117.5 ~ 434.5
total	153	601.17 $\pm$ 101.52	367.0 ~ 910.0	412.69 $\pm$ 239.16	117.5 ~ 1 506.0

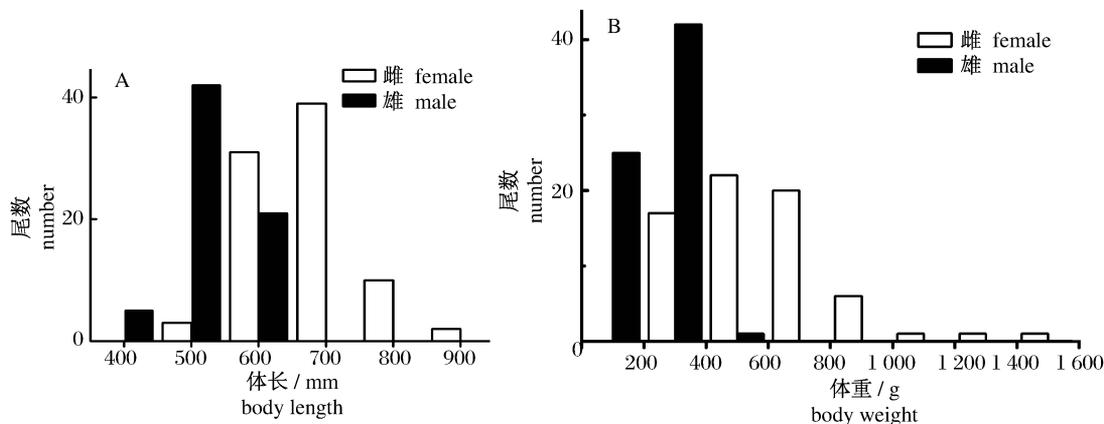


图 4 银色鳗雌性和雄性群体的体长 (A) 和体重 (B) 频布图

Fig. 4 Body length (A) and body weight (B) of silver eels sampled from Jingjiang Reach

表 4 前 3 个主成分的贡献率和各指标的负荷量  
Tab. 4 Contribution rate of the first three principal components and load capacity of each factor

指标 characteristic	主成分 principal components		
	I	II	III
体长 body length	0.755	0.475	0.393
躯干长 trunk length	0.739	0.429	0.138
体高 body depth	0.809	0.345	0.379
体宽 body breadth	0.862	0.288	0.351
头长 head length	0.607	0.623	0.415
眼间距 eye distance	0.488	0.689	0.320
水平眼径 horizontal eye diameter	0.356	0.378	0.772
垂直眼径 vertical eye diameter	0.257	0.251	0.864
吻长 snout length	0.293	0.858	0.219
吻端到眼眶后缘距离 vertical distance from snout to orbital posterior border	0.348	0.807	0.374
吻宽 snout breadth	0.418	0.736	0.427
眼眶后缘宽度 breadth of orbital posterior border	0.538	0.661	0.408
口裂深 mouth depth	0.546	0.697	0.270
头宽 head breadth	0.684	0.502	0.344
头高 head depth	0.745	0.417	0.416
胸鳍长 pectoral fin length	0.486	0.398	0.603
特征值 eigenvalues	5.541	5.116	3.320
贡献率 (%) contribution rate	34.63	31.98	20.75
累积贡献率 (%) cumulative contribution rate	34.63	66.61	87.36

其中,主成分 I 的贡献率为 34.63%,负荷量较大的主要是体长、躯干长、体高、体宽、头长、头高、头宽等 7 个性状,反映的主要是体型和头部特征。主成分 II 的贡献率为 31.98%,负荷量较大的主要为眼间距、吻长、吻宽、吻端到眼眶后缘距离、

眼眶后缘宽度和口裂长等 6 个性状,反映的主要是头部前端的细部特征;主成分 III 的贡献率为 20.75%,反映的主要是垂直眼径、水平眼径和胸鳍长这 3 项指标,主要描写的是眼径和胸鳍的大小。

可见,银色鳗的直接测量形态指标大致可归纳为体形大小和头部特征,吻部特征和眼间距大小,以及眼径和胸鳍大小等三个方面。

相对性状的 R-聚类分析 对 76 尾银色鳗的 17 个相对比例性状所作的 R-聚类分析结果见图 5,可见,这些标准化后的相对性状可分为两大类。第 I 类为体高、体宽、头高、头宽的标准化性状以及丰满度,即反映头部形态和体形肥瘦的特征参数。第 II 类为胸鳍长、眼径、眼间距以及吻部量度的标准化性状,反映了头部和胸鳍的细部量度特征;这一大类又可细分为 3 小类,即由水

平眼径、垂直眼径和胸鳍长标准化性状组成的第一小类,吻形、吻角以及口裂长、吻长、吻端至眼眶后缘的垂直距离的标准化性状组成的第二小类;吻宽、眼间距、眼眶后缘宽度标准化性状组成的第三小类。

R-聚类划分的第 I 类标准化性状,与主成分分析所得的第 I 主成分的组分相对应,均反映头部形态和体形肥瘦;第 II 类标准化性状也可与主成分分析所得的第 II 和第 III 组组分相对应。两者所得的结果大体一致。

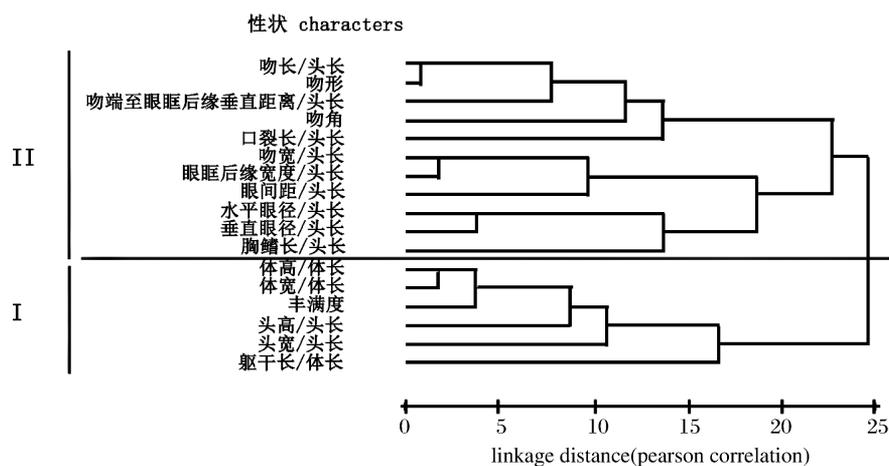


图 5 银色鳗标准化形态指标 R-聚类分析图

Fig. 5 R-Cluster dendrogram of standardization morphological index for silver eels

### 2.3 银色鳗雌雄个体的判别模型

用 SPSS 16.0 软件对 2008 年 11 月采集的 75 尾银色鳗个体的 17 项标准化性状(表 2)进行逐步判别分析,根据各变量对模型的贡献大小,逐步剔除不相关变量,最终筛选出 5 个变量,即丰满度  $X_{17}$ 、垂直眼径/头长  $X_8$ 、体高/体长  $X_1$ 、水平眼径/头长  $X_7$  和吻形  $X_{15}$ (变量的单位均为%)。所建立的判别模型方程为

$$\text{雌: } F_1 = 109.743 \times X_{17} + 23.015 \times X_8 + 22.365 \times X_1 - 1.799 \times X_7 + 1.625 \times X_{15} - 233.497$$

$$\text{雄: } F_2 = 35.524 \times X_{17} + 24.877 \times X_8 + 20.466 \times X_1 - 0.846 \times X_7 + 1.733 \times X_{15} - 241.975$$

这几个指标反映了雌雄个体间在眼径大小( $X_7$ 、 $X_8$ )、吻部形态( $X_{15}$ )和体形肥瘦( $X_{17}$ 、 $X_1$ )方面的差异。

判别函数的显著性检验显示,  $P < 0.001$ ,表明判别函数达到了显著性水平。用软件直接计算每尾个体的判别分数值,得到的频布图(图 6),可

见该模型可有效区分银色鳗的两性群体。

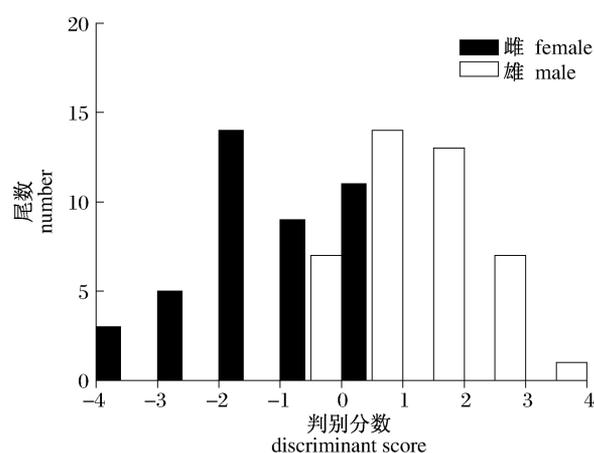


图 6 判别分数的频布图

Fig. 6 Frequency distributions of discriminant scores obtained from male and female eels

利用所建立的判别方程,对所建立方程的 75 尾个体进行性别回判。将每尾个体的 5 个特征参

数值代入方程,分别计算  $F_1$  和  $F_2$ 。如  $F_1 > F_2$ , 则为雌性,反之为雄性(表 5)。可见,仅有 8 尾被错判为其它性别,错判率为 10.7%,也即判别成功

率高达 89.3%。其中雌性的判别成功率达 93.9%,雄性的判别成功率为 85.7%。

表 5 判别函数对银色鳎雌雄群体识别的准确率

Tab. 5 Predicted classification of discriminant functions and the accuracy for observed specimen

性别 sex	解剖鉴定(ind) identified sex	判别结果(ind) predicted sex		判别准确率(%) identification accuracy	综合判别率(%) total discriminant accuracy
		♀	♂		
♀	33	31	2	93.9	89.3
♂	42	6	36	85.7	

用上述方程对 2008 年和 2009 年采集的其余 78 尾银色鳎个体进行雌雄识别,比对解剖性别,

群体识别正确率为 88.5%,其中雌性为 94.2%,雄性为 76.9%(表 6)。

表 6 判别方程对其余银色鳎个体的性别判别结果

Tab. 6 Discriminant results for other silver eels

性别 sex	解剖鉴定(ind) identified sex	判别结果(ind) predicted sex		判别准确率(%) identification accuracy	综合判别率(%) total discriminant accuracy
		♀	♂		
♀	52	49	3	94.2	88.5
♂	26	6	20	76.9	

对模型筛选出的用于建立判别函数的 5 个标准化性状进行 ANOVA 分析,结果显示除了吻形,其他 4 个标准化性状在银色鳎两性群体间差异均

极显著( $P < 0.001$ )。这表明雌性个体的体形较丰满,体较高,但眼较小(表 7)。

表 7 特征性状的 ANOVA 分析及银色鳎的雌雄形态差异

Tab. 7 ANOVA analysis of characteristics and morphological differences between female and male silver eels

性状 characteristic	尾数(ind) number	均值 ± 标准差 mean ± SD	ANOVA		雌雄个体的形态差异 morphological differences between female and male eels	
			F	Sig.		
$X_{17}$ (丰满度) fatness	♀ ♂	33 42	0.19 ± 0.023 0.16 ± 0.014	41.704	0.000	雌性体型显著丰满
$X_{15}$ (吻形) snout shape	♀ ♂	33 42	74.90 ± 8.24 76.17 ± 8.29	0.435	0.512	雌性吻形略短,但两者差异不显著
$X_7$ (水平眼径/头长) HED/HL	♀ ♂	33 42	8.71 ± 1.01 9.66 ± 0.84	19.508	0.000	雌性眼径显著较小
$X_8$ (垂直眼径/头长) VED/HL	♀ ♂	33 42	8.39 ± 0.62 9.34 ± 0.74	35.297	0.000	
$X_1$ (体高/体长) BD/BL	♀ ♂	33 42	6.50 ± 0.49 5.89 ± 0.48	29.642	0.000	雌性体形显著较高

### 3 讨论

雌雄鉴别是鱼类生物学研究的重要内容,也是鱼类人工繁殖和增殖的关键技术之一。虽然大多数硬骨鱼类在非繁殖时期没有直观可辨的雌雄外形差别,但有些种类在繁殖期间具有两性异形现象(heteromorphism),特别是由于精巢和卵巢的发育会造成身体不同程度的外形改变<sup>[15]</sup>。因此,即使在性腺发育的早期,也可以通过详细的外形

测量和统计分析,找到一些可资鉴别雌雄个体的外形特征<sup>[16-18]</sup>。

银色鳎是在河流中长成的黄体鳎在降海产卵洄游过程中的一个生活史阶段。黄体鳎变态为银色鳎即银化(silvering process)是一个缓慢的渐变过程<sup>[19]</sup>,银化程度可通过体色和性腺发育状况等进行判断<sup>[5]</sup>。HAN 等<sup>[13]</sup>依据台湾的标本,将产卵洄游到河口的日本鳎分为黄色(yellow)、银色前期(pre-silver)和银色(silver)鳎 3 个阶段。

OKAMURA 等<sup>[5]</sup>依据日本的标本,将产卵洄游到海湾的日本鳗分为 4 个阶段,即 Y1(黄色鳗)、Y2(后期黄色鳗)和 S1(银色鳗)及 S2(后期银色鳗),并给出了各个发育阶段的相应体色特征和 GSI 指标。

林鼎等<sup>[7-8]</sup>解剖发现,珠江口下海洄游途中的银色鳗卵巢成熟度多处于 I 期和 II 期,发育最好的为 III 期。日本 Mikawa Bay 的银色鳗卵巢 GSI 在 1.4~4.3,精巢在 0.1~0.7<sup>[5]</sup>。本实验标本的雌性 GSI 为 0.97~2.05(均值  $1.45 \pm 0.29$ ),雄性的 GSI 为 0.18~0.52(均值  $0.28 \pm 0.091$ ),目测法判断成熟度多处于 II 期和 III 期。按照 OKAMURA 等<sup>[5]</sup>划分银色鳗发育阶段的体色和 GSI 指标判断,本实验标本大多处于 S1 期。林鼎等<sup>[7]</sup>发现,珠江口体长 600 mm 以上的个体全为雌性,400 mm 以下的全为雄性,而 400~600 mm 的两者均有。TZENG 等<sup>[20]</sup>也发现珠江口银色鳗的体长,雄性在 420~590(平均 483)mm,雌性在 505~705(平均 614)mm。本研究发现,长江口体长 650 mm 以上的个体全为雌性,450 mm 以下的全为雄性,476.0~634.0 mm 两者均有。雌鳗的银化个体较雄鳗的大,这一现象在欧洲鳗(雌鳗 540~610 mm,雄鳗 350~410 mm)<sup>[21]</sup>和美洲鳗(雌鳗 400~940 mm,雄鳗 350~470 mm)<sup>[22]</sup>中也普遍存在。这可能是由于鳗为长距离洄游的一次性产卵鱼类,为了增加子代的产出量,雌鳗采用了体型最大化策略(size-maximizing strategy)以增加怀卵量,而雄鳗则采用了小体型的时间最小化策略(time-minimizing strategy)<sup>[23-25]</sup>。这也表明日本鳗鲡在银色鳗阶段,在个体大小上即存在明显的两性异形现象,因此可在一定程度上仅依据个体的大小即能判别性别。

松井魁<sup>[26]</sup>发现,分布在日本的鳗鲡雌雄个体间在吻角上存在着差异,但吻形上无差别。林鼎等<sup>[7]</sup>则认为吻形是识别珠江口雌雄鳗鲡个体的重要特征之一,但吻角不存在明显的两性差异。我们用主成分分析和 R-聚类分析均显示,长江口银色鳗的个体差异主要集中在头部形态特征、眼径大小和鱼体肥瘦等 3 个方面。逐步判别法所建立的判别方程,综合识别率达 89.3%,表明依据所筛选出的 5 个外形特征可以判别银色鳗个体的性别。ANOVA 分析表明,长江口银色鳗雌雄个体间外形的显著差异主要集中在丰满度、眼径、

体高等方面。导致上述研究结果不一致的原因,可能是由于不同分布区的银色鳗确实存在着一定的形态差异,也可能是由于发育时相存在着一些差异所造成的,因为在银色鳗的这一生活史阶段,由于性腺的快速发育也可以造成两性体型的明显异速生长<sup>[5]</sup>。

#### 参考文献:

- [1] TSUKAMOTO K. Discovery of the spawning area for Japanese eel[J]. Nature, 1992, 356: 789-791.
- [2] TSUKAMOTO K. Oceanic biology: spawning of eels near a seamount[J]. Nature, 2006, 439(7079): 929.
- [3] TZENG W N, IIZUKA Y, SHIAO J C, et al. Identification and growth rates comparison of divergent migratory contingents of Japanese eel (*Anguilla japonica*) [J]. Aquaculture, 2003, 216: 77-86.
- [4] TZENG W N. Modern Research on the natural life history of the Japanese eel *Anguilla japonica* [J]. Fish Soc Taiwan, 2004, 31(2): 73-84.
- [5] OKAMURA A, YAMADA Y, YOKOUCHI K, et al. A silvering index for the Japanese eel *Anguilla japonica* [J]. Environ Biol Fish, 2007, 80: 77-89.
- [6] OKAMURA A, ZHANG H, MIKAWA N, et al. Decline in non-native freshwater eels in Japan: ecology and future perspectives [J]. Environ Biol Fish, 2008, 81: 347-358.
- [7] 林鼎, 林浩然, 黄奕华, 等. 鳗鲡 (*Anguilla japonica* Temminck & Schlegel) 繁殖生物学研究 I. 下海鳗鲡雌雄性状差异和鉴别 [J]. 水生生物学集刊, 1977, 6(2): 177-190.
- [8] 林鼎, 林浩然. 鳗鲡繁殖生物学研究 III. 鳗鲡性腺发育组织学和细胞学研究 [J]. 水生生物学集刊, 1984, 8(2): 157-170.
- [9] 邓岳松, 林浩然. 鳗鲡繁殖生物学和人工育苗研究概况 [J]. 湛江海洋大学学报, 2001, 21(2): 77-82.
- [10] 谢刚, 祁宝崙, 余德光. 鳗鲡某些繁殖生物学特性的研究 [J]. 大连水产学院学报, 2002, 17(4): 267-271.
- [11] 张洁明, 柳凌, 郭峰, 等. 人工诱导日本鳗鲡性腺发育组织学研究 [J]. 中国水产科学, 2007, 14(4): 593-601.
- [12] GUAN R Z, WANG X H, KE G Z. Age and growth of eels *Anguilla japonica* in a Chinese river [J]. Fish Biol, 1994, 45(4): 653-660.
- [13] HAN Y S, TZENG W N, HUANG Y S, et al. The

- silvering of the Japanese eel *Anguilla japonica*: season, age, size and fat [J]. *Taiwan Fish Res*, 2000, 8:37-45.
- [14] 谢正丽, 郭弘艺, 唐文乔, 等. 长江口降海洄游鳗鲡的年龄结构与生长特征 [J]. *水产学报*, 2010, 34(2):245-254.
- [15] HAN Y S, LIAO I C, HUANG Y S, *et al.* Synchronous changes of morphology and gonadal development of silvering Japanese eel *Anguilla japonica* [J]. *Aquaculture*, 2003, 219:783-796.
- [16] 倪海儿, 陈欣. 鳗形态指标体系分析及雌雄鉴别模型 [J]. *生物数学学报*, 2003, 18(2):224-228.
- [17] 林植华, 雷焕宗, 林植云, 等. 花鳟的两性异形和雌体繁殖输出 [J]. *上海交通大学学报: 农业科学版*, 2005, 23(3):284-288.
- [18] 林植华, 雷焕宗. 黄颡鱼的两性异形和雌性繁殖特征 [J]. *动物学杂志*, 2004, 39(6):13-17.
- [19] VETTIER A, AMÉRAND A, CANN-MOISAN C, *et al.* Is the silvering process similar to the effects of pressure acclimatization on yellow eels [J]. *Respir Physiol Neurobiol*, 2005, 145:243-250.
- [20] TZENG W N, LIN H R, WANG C H, *et al.* Differences in size and growth rates of male and female migrating Japanese eels in Pearl River [J]. *China J Fish Biol*, 2000, 57:1245-1253.
- [21] TESCH F W. *The eel* [M]. Chapman & Hall, London, 1977:434.
- [22] JESSOP B M. Migrating American eels in Nova Scotia [J]. *Trans Amer Fish Soc*, 1987, 116:161-170.
- [23] DAVEY A J, JELLYMAN D J. Sex determination in freshwater eels and management options for manipulation of sex [J]. *Rev Fish Biol Fish*, 2005, 15:37-52.
- [24] PARKER G A. The evolution of sexual size dimorphism in fish [J]. *J Fish Biol*, 1992, 41:1-20.
- [25] PYRON M. Sexual size dimorphism and phylogeny in North American minnows [J]. *Biol Lin Soc*, 1996, 57:327-341.
- [26] 松井魁. 鳗学 [生物学研究篇] [M]. 东京: 恒星社厚生阁版, 1972:91-114.

## Analysis of morphological index system and discrimination of male and female silver eels (*Anguilla japonica*) collected at the Yangtze River Estuary

GUO Hong-yi<sup>1</sup>, WEI Kai<sup>1,2</sup>, XIE Zheng-li<sup>1</sup>, TANG Wen-qiao<sup>1\*</sup>,  
SHEN Lin-hong<sup>3</sup>, GU Shu-xin<sup>3</sup>, WU Jia-min<sup>1</sup>, CHEN Wen-yin<sup>1</sup>

(1. Laboratory of Ichthyology, Shanghai Ocean University, Key Laboratory of Exploration and Utilization of Aquatic Genetic Resources, Ministry of Education, Shanghai 201306, China;

2. The Saving Center for Aquatic Animals in Beijing, Beijing 102100, China;

3. Administration of Fishery of Jingjiang, Jingjiang 214500, China)

**Abstract:** *Anguilla japonica* is one of the most important commercial catadromous species in Asia. Yangtze River Estuary serves as the major production area of larval eels and the only fishery waters of adult eels in China. In this study, we analyzed biological information for 153 migrating silver eels collected at Jingjiang reach of Jiangsu Province (32°01'27"N, 120°25'56"E) from Oct. to Nov. in 2007 and 2008. Based on the analysis of the morphological index system of Japanese eels with Principal Components and R-cluster Analysis the results indicated that *A. japonica* could be classified by "body size and head feature", "detail characteristics about the anterior part of snout" and "eye diameter and pectoral fin size". On the basis of this analysis, 17 characteristics were normalized and further used for stepwise discriminant. And then 5 characteristics were picked out: fatness, vertical eye diameter/head length, body depth/body length, horizontal eye diameter/head length, snout shape. Thus the discriminant equations were built for classifying 75 samples and the accuracy rate was 89.3%. Furthermore, the other Japanese silver eels were also classified by this model and the success rate was 88.5%. ANOVA analysis showed that, apart from snout shape, the other four standardized characteristics between male and female populations were significantly different ( $P < 0.001$ ). Therefore, we concluded that the female silver eels collected from Yangtze River estuary were superior to males in the respect of fatness and body depth but smaller in eye diameter.

**Key words:** *Anguilla japonica*; sexual differences in morphology; discriminant analysis; the Yangtze River Estuary

**Corresponding author:** TANG Wen-qiao. E-mail: wqtang@shou.edu.cn