

长江口降海洄游鳗鲡的年龄结构与生长特征

谢正丽¹, 郭弘艺¹, 唐文乔^{1*}, 魏凯¹, 沈林宏², 吴嘉敏¹, 陈文银¹

(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. 江苏省靖江市渔政管理站, 江苏 靖江 214500)

摘要:日本鳗鲡是亚洲具有重要经济价值的降海洄游鱼类,长江口是我国鳗苗的主产区和仅存的成鳗渔业水域。研究分析了2008年9-11月采自江苏靖江段(31°30'N,120°42'E)的153尾银色鳗样本的年龄和生长参数。结果显示,长江口降海洄游的鳗鲡群体雌性由3~7(平均5.52)龄组成,雄性由3~5(平均4.38)龄组成,雌性群体的年龄结构高且多于雄性群体。雌雄鳗鲡的最大年增长均出现在4龄,但雌性个体的生长拐点年龄 $t_i = 5.20$ 、拐点体长 $l_r = 683.05$ mm、拐点体重 $W_r = 546.37$ g、平均渐近体长 $L_\infty = 1011.03$ mm和体重 $W_\infty = 1830.16$ g,均显著大于雄性个体的生长拐点年龄 $t_i = 4.91$ 、拐点体长 $l_r = 517.15$ mm,拐点体重 $W_r = 216.15$ g、平均渐近体长 $L_\infty = 750.30$ mm和体重 $W_\infty = 715.90$ g。研究还表明,长江口降海洄游鳗鲡的群体平均年龄比我国其他地区 and 日本的均要低,但平均渐近体长却明显要大于其他分布地,预示着长江更适合于鳗鲡的生长和性腺成熟。

关键词:日本鳗鲡; 银色鳗; 矢耳石; 年龄组成; 生长参数; 长江口

中图分类号:Q 958.8; S 917

文献标识码:A

日本鳗鲡(*Anguilla japonica*)为鳗鲡目(Anguilliformes)、鳗鲡科(Anguillidae)的一种降海洄游(catadromous)鱼类,分布于日本北海道至菲律宾之间的西太平洋水域,其产卵场位于菲律宾东部的Mariana海沟^[1-2]。初孵仔鱼称柳叶鳗(leptocephali),随北赤道洋流和黑潮暖流漂流至中国、朝鲜、日本的大陆架,在沿岸变态成玻璃鳗(glass eels),并在河口水域变成线鳗(elvers)^[3]。线鳗进入河流后变成黄体鳗(yellow eels),后在淡水中生活至性成熟。成熟后的黄体鳗在降海洄游途中逐渐变成银色鳗(silver eels),返回产卵场产卵后即死亡^[2,4]。线鳗、黄体鳗和银色鳗在我国通海的河流均有分布。

日本鳗鲡是亚洲具有重要经济价值的名贵鱼类,自然水体中的鳗鲡成体日渐稀少^[5],目前人工养殖的鳗苗也完全靠天然采捕,弄清生物学特征被认为是突破人工繁殖难题的基础^[6-7]。自二

十世纪中后期开始,许多学者即对日本和我国珠江口、福建木兰溪及台湾高屏溪等鳗鲡的生物学特征展开研究^[8-17]。

长江口是我国鳗苗的主产区和目前仅存的成鳗渔业水域,每年秋季有专业渔民捕捞降海洄游途中的成鳗(银色鳗)。有关成鳗生物学特征的研究目前尚未见任何报道,本文对长江河口生殖洄游途中的日本鳗鲡年龄结构和生长特征作了分析,旨在弄清长江鳗鲡的这些生物学特征并为人工繁殖的取材提供一些基础性资料。

1 材料与方法

1.1 材料

在长江河口上端的江苏靖江段(31°30'N,120°42'E),在当地渔民传统的成鳗捕捞季节(2008年9-11月),利用鳗鱼张网采集到银色鳗153尾。张网为组合式,网口宽10~11 m,高4.5

收稿日期:2009-09-04 修回日期:2009-11-09

资助项目:国家自然科学基金项目(30771650);高校博士点基金(20070264001);上海高校优秀项目(SSC-07005);上海市科委重点项目(08391910200);上海市教委E-研究院项目(E03009);上海市重点学科建设项目(J50701)

通讯作者:唐文乔,E-mail:wqtang@shou.edu.cn

m, 整个网长 20 ~ 25 m, 网目由网口的 3 cm × 3 cm 逐渐缩小至网底的 1 cm × 1 cm。采集位置固定在长江北岸离岸 2 km 左右的水域, 张网底纲放在水下 4.5 m 处, 上網与水面持平。

1.2 方法

将活体标本带回实验室后, 经 MS-222 鱼用麻醉剂麻醉后作生物学测量, 包括体长 (body length) (精确至 1 mm)、体重 (body weight) (精确至 0.5 g)。解剖并根据雌雄鳊鲂性腺的解剖学特征: 呈皱缩状长飘带形的生殖腺为卵巢, 有“叶状器官” (lobes) 的生殖腺即精巢为依据, 确定其雌雄性别^[12]。

选取矢耳石 (sagitta) 作为年龄鉴定材料。取出矢耳石, 用超声波清洗仪洗净表面粘液, 凉干后放入塑料磨具盒, 缓慢倒入调配好的冷埋树脂 (acrylic resin powder and liquid) 进行包埋, 静放至硬化。沿矢耳石横断面 (transverse plane) 方向, 先在研磨机上用 240 目的粗防水耐磨砂纸向内快速研磨, 再以 600 目、1 200 目、1 500 目防水耐磨砂纸逐渐研磨至接近耳石核心 (primordium)。研磨过程中要不断在显微镜下观测, 以免磨过核心。一侧研磨完成后, 重复以上过程研磨另外一侧。待两侧都研磨至接近核心, 再用 2 000 目砂纸, 加 0.3 μm 氧化铝粉湿磨抛光, 直至两侧核心、轮纹清晰可见。在 OLYMPUS BX41 型体视镜下观察磨片结构并照相记录 (图 1)。选取中心核到最大的长轴边缘作为矢耳石长轴半径 (sagitta radius, R), 用 ProImage 测量软件沿着矢耳石长轴半径测量耳石中心核到 n 年轮 (遮光带边缘) 间的距离即轮径 (r_n) (精确到 0.001 mm)^[14]。耳石上年轮的确认和计数采用常规方法^[18-19], 0^+ 龄被列入 1 龄, 1^+ 龄被列入 2 龄, 依次类推。

相关计算方法依文献^[19], 包括: (1) 年增积量, 为一年中体长增长量与体重增长量的乘积; (2) 根据 Keys 公式 $W = aL^b$ 计算体长和体重相关关系, W 为体重 (g), L 为实测体长 (mm), a 、 b 为常数; (3) 依照关系式 $L = a + bR$ 拟合体长与矢耳石长轴半径关系, L 为实测体长 (mm), R 为矢耳石长轴半径 (mm), a 、 b 为常数; (4) 根据公式 $L_n = a + br_n$ 推算体长, a 、 b 为常数, L_n 是 n 年的推算体长 (mm), r_n 为中心核到 n 年轮的距离 (mm); (5) 计算 von Bertalanffy 生长方程: $L_t = L_\infty (1 -$

$e^{-k(t-t_0)})$ 、 $W_t = W_\infty (1 - e^{-k(t-t_0)})^b$, t 为年龄, L_t 和 W_t 为 t 龄时的平均体长和体重, L_∞ 和 W_∞ 是平均渐近体长和体重, k 为生长系数, t_0 是理论生长起点的年龄, b 即上述体长与体重关系式 $W = aL^b$ 中的 b 。

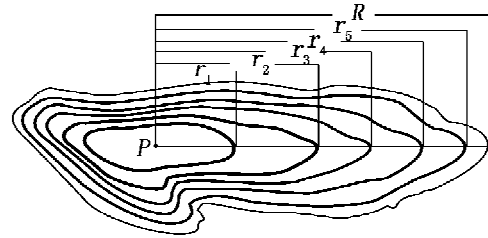


图 1 日本鳊鲂的矢耳石横断面结构及术语

P 为核心; R 为长轴半径; r_1 为中心核到第 1 个年轮的距离, r_2, r_3, r_4, r_5 依次类推。

Fig. 1 Description of structure and annuli on sagitta transverse plane of *A. japonica*

P represents primordium; R represents radius; $r_1 - r_5$ represents the distance between primordium and annuli.

应用 Excel 2007 和 SPSS 13.0 软件对相关结果进行分析, 绘制曲线。体长与体重关系采用 Chen 等^[20] 剩余平方和 (residual sum of squares, RSS) 来确定雌雄之间的差异性。

2 结果

2.1 年轮特征和年龄组成

在低倍显微镜下观察矢耳石磨片, 可见较为清晰的耳石核心及环同心圆排列、明暗相间的粗环纹。粗环纹由可透光的透光带 (translucent zone) 和不易透光的遮光带 (opaque zone) 组成。透光带为亮色, 遮光带为暗色。一条透光带和一条遮光带组成一个生长层组 (growth layer group, GLG), 即一个年轮标志 (图 2)。

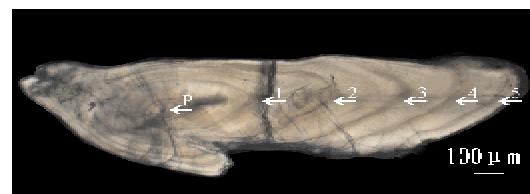


图 2 日本鳊鲂矢耳石横断面的结构和年轮

P 为耳石核心; 1, 2, 3, 4, 5 表示矢耳石年轮。

Fig. 2 Structure and annuli on sagitta transverse plane of *A. japonica*

P represents primordium of sagitta; 1, 2, 3, 4, 5 represents annuli of sagitta.

所分析的 153 尾银色鳊标本中,有雌鱼 85 尾,雄鱼 68 尾。能鉴定出年龄的雌鳊 79 尾,占全部雌鳊的 92.94%,包含 3~7 龄 5 个年龄组(表 1)。其中,3 龄 2 尾,4 龄 3 尾,5 龄 36 尾,6 龄 28 尾,7 龄 10 尾,可见 5 龄和 6 龄是优势年龄组,占全部雌鱼的 81.01%。

能鉴定出年龄的雄鳊 57 尾,占全部雄鳊的 83.82%,只有 3~5 龄 3 个年龄组(表 1)。其中,3 龄 6 尾,4 龄 23 尾,5 龄 28 尾,4 龄和 5 龄是优势年龄组,占全部雄鱼的 89.47%。具体的年龄结构见图 3。

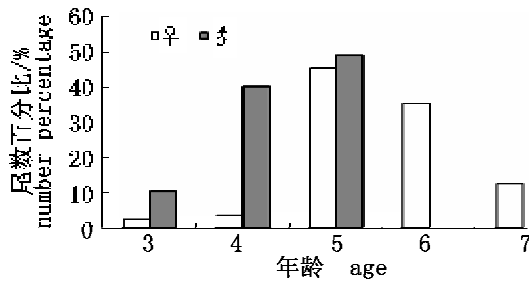


图 3 长江口降海洄游日本鳊鲡的年龄结构

Fig.3 Age structure of *A. japonica* in the Yangtze River Estuary

2.2 生长指标与年增积量

已鉴定出年龄的 79 尾雌鳊体长为 476~910 mm,体重为 245.5~1 506.0 g,最大的生长指标

和年增长出现在 4 龄,最大的年增重出现在 7 龄。57 尾雄鳊的体长为 424~634 mm,体重为 107.5~435.5 g,最大的生长指标、年增长和年增重均出现在 4 龄(表 1)。

雌鳊的年增积量在 7 龄时最大,为 15 662.92 mm·g。而雄鳊的最大年增积量出现在 4 龄,为 2 418.73 mm·g。因此,长江口雌雄鳊鲡的最大生长指标、年增长均在 4 龄,但雌鳊的最大年增积量明显要晚于雄鳊(表 1)。

2.3 体长与体重的关系

鳊鲡的体长(L)和体重(W)呈幂函数关系,可用 $W = aL^b$ 表示(a, b 为拟合的关系参数)。所拟合的体长与体重关系参数见表 2。雌雄混合的体长与体重关系式是: $W = 3.51 \times 10^{-7} L^{3.2465}$ ($n = 153, R^2 = 0.959$);雌鱼的体长与体重关系式是: $W_{\text{♀}} = 1.03 \times 10^{-6} L^{3.0826}$ ($n = 85, R^2 = 0.908$);雄鱼的体长与体重关系式是: $W_{\text{♂}} = 4.14 \times 10^{-7} L^{3.2181}$ ($n = 68, R^2 = 0.905$)。

用 Pauly^[21]的 t 检验法检验体长与体重回归方程的幂指数 b 与 3 之间的差异,雌性和雄性的 t 值均小于 $t_{0.05} = 1.96$,为等速生长。而种群总体则有明显的差异($t = 4.515 > t_{0.05} = 1.96$),为异速生长。用剩余平方和^[20]检验,表明群体的雌雄个体之间具有显著的生长差异($F = 23.385, P < 0.001$)。

表 1 长江口降海洄游日本鳊鲡的生长参数

Tab.1 Growth measurement on *A. japonica* in the Yangtze River Estuary

性别 sex	年龄 age group	样本数 no. of fish	实测体长(mm) observed body length (range, mean \pm SD)	年增长(mm) annual gain in length	生长指标 indices of growth	实测体重(g) observed body weight (range, mean \pm SD)	年增重(g) annual gain in weight	年增积量(mm·g) product on annual increments of length and weight
♀	3	2	476~570 (523.00 \pm 66.46)	-	97.91	310.0~340.50 (325.25 \pm 21.57)	-	-
	4	3	568~663 (630.67 \pm 54.28)	107.67	8.80	286.5~528.0 (414.83 \pm 121.46)	89.58	9 645.08
	5	36	514~760 (639.53 \pm 65.01)	8.86	42.63	245.5~832.0 (471.86 \pm 169.77)	57.03	505.29
	6	28	548~886 (683.61 \pm 71.16)	44.08	69.80	283.3~1264.0 (596.87 \pm 205.85)	125.01	5 510.44
	7	10	645~910 (757.10 \pm 84.29)	73.49	-	430.0~1506.0 (810.0 \pm 324.41)	213.13	15 662.92
合计 total		79	476~910 (666.75 \pm 81.68)	-	-	245.5~1506.0 (553.09 \pm 233.21)	-	-

· 续表 1 ·

性别 sex	年龄 age group	样本数 no. of fish	实测体长(mm) observed body length (range, mean ± SD)	年增长(mm) annual gain in length	生长指标 indices of growth	实测体重(g) observed body weight (range, mean ± SD)	年增重(g) annual gain in weight	年增积量(mm·g) product on annual increments of length and weight
♂	3	6	424 ~ 513 (474.67 ± 32.17)	—	38.79	107.5 ~ 216.0 (165.33 ± 35.78)	—	—
	4	23	453 ~ 593 (515.09 ± 39.95)	40.42	22.27	139.0 ~ 301.0 (225.17 ± 55.62)	59.84	2 418.73
	5	28	446 ~ 634 (537.85 ± 46.84)	22.77		122.0 ~ 434.5 (262.77 ± 80.01)	37.59	855.92
	合计 total	57	424 ~ 634 (522.02 ± 46.51)			107.5 ~ 435.5 (237.34 ± 73.19)		

注:生长指标 = $(LgI_2 - LgI_1/0.4343) \cdot L_1$ 。
Notes: The indices of the growth = $(LgI_2 - LgI_1/0.4343) \cdot L_1$.

表 2 采用 Keys 公式 $W = aL^b$ 拟合的
日本鳗鲡体长与体重的关系参数
Tab.2 Parameters of the length-weight
relationship ($W = aL^b$) of *A. japonica*

性别 sex	a	b	n	R ²	t
雌性 female	1.03×10^{-6}	3.082 6	85	0.908	0.764
雄性 male	4.14×10^{-7}	3.218 1	68	0.905	1.702
总体 all fish	3.51×10^{-7}	3.246 5	153	0.959	4.515

2.4 体长—石长轴半径的关系

从体长与矢耳石长轴半径的散点图(图 4)中可以看出,鳗鲡的矢耳石长轴半径与体长有着密切的相关性。雌鱼体长与矢耳石长轴半径的相关关系式为 $L_{\text{♀}} = 439.92R + 169.36$ ($n = 79, r = 0.8196$),雄鱼体长与矢耳石长轴半径的相关关

系式为 $L_{\text{♂}} = 301.87R + 242.55$ ($n = 57, r = 0.8037$)。可见,雌、雄群体的矢耳石长轴半径均与体长呈直线相关性,但同样体长的矢耳石长轴半径,雄鳗明显要大于雌鳗。

2.5 各年龄组的体长退算

根据上述体长与矢耳石长轴半径的线性关系,退算得到的雌、雄各年龄组的体长(表 3,表 4)。虽然退算体长与实测平均体长略有差异,但雌鱼和雄鱼的实测体长与退算体长一一配对进行 t 检验,所得出的 P 值分别为 0.505 和 0.136 ($P > 0.05$),显示实测体长与退算体长间均无显著性差异,也表明上述雌雄鱼体长与矢耳石长轴半径的关系是恰当的。

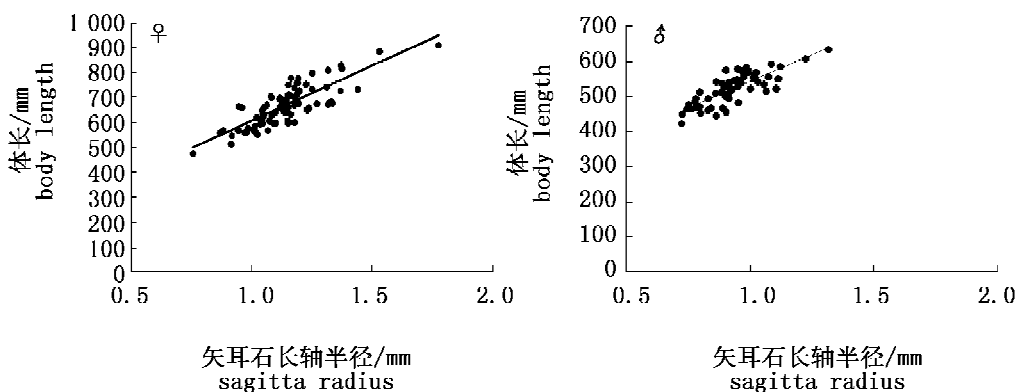


图 4 长江口降海洄游日本鳗鲡的矢耳石长轴半径与体长的关系

Fig.4 Relationship between sagitta radius and body length of *A. japonica* in the Yangtze River Estuary

表 3 长江口降海洄游日本鳊鱼雌鱼的实测体长与退算体长

Tab. 3 Observed body length and back calculated body length of female *A. japonica* in the Yangtze River Estuary

年龄 age	实测平均体长 (mm) observed average body length	各龄鱼退算体长 (mm) back calculated body length of every age group					差值 difference value	标本数 no. of fish
		1	2	3	4	5		
3	523.00	336.48	479.35				+0.02	2
4	630.67	333.42	443.40	577.70			-24.45	3
5	639.53	327.40	426.02	524.15	609.93		+32.30	36
6	683.61	320.98	422.09	516.43	601.91	674.12	+34.80	28
7	757.10	327.84	435.98	521.00	604.96	665.42	718.41	10
	平均 mean value	325.639	427.898	523.02	606.224	671.831	718.41	

表 4 长江口降海洄游日本鳊鱼雄鱼的实测体长与退算体长

Tab. 4 Observed body length and back calculated body length of male *A. japonica* in the Yangtze River Estuary

年龄 age	实测平均体长 (mm) observed average body length	各龄鱼退算体长 (mm) back calculated body length of every age group				差值 difference value	标本数 no. of fish
		1	2	3	4		
3	474.67	353.92	430.10			-15.64	6
4	515.09	336.36	401.90	467.79		-24.30	23
5	537.86	334.64	390.34	435.44	490.79		28
	平均 mean value	337.36	399.19	459.03	490.79		

2.6 生长方程与生长参数

由于实测体长与体重方程的回归系数 b 接近 3,故可用 von Bertalanffy 生长方程对体长的生长进行描述。根据表 3、4 退算的各龄平均体长,用最小二乘法 and 生长性能指数求得雌鱼和雄鱼的 L_{∞} , K 值和 t_0 值见表 5。由体长与体重关系式求得雌鱼的 W_{∞} 为 1830.16 g;雄鱼的 W_{∞} 为 715.90 g。可见,雌鱼的平均渐近体长 L_{∞} 和渐近体重 W_{∞} ,均明显要大于雄鱼的平均渐近体长和渐近体重。

将上述参数代入 von Bertalanffy 生长方程,得到体长、体重的生长方程分别为

$$\begin{aligned} \text{雌鱼: } L_{t\text{♀}} &= 1011.03 \cdot [1 - e^{-0.1674 \cdot (t+1.5284)}]; \\ W_{t\text{♀}} &= 1830.16 \cdot [1 - e^{-0.1674 \cdot (t+1.5284)}]^{3.0826} \\ \text{雄鱼: } L_{t\text{♂}} &= 750.30 \cdot [1 - e^{-0.1655 \cdot (t+2.8226)}]; \\ W_{t\text{♂}} &= 715.90 \cdot [1 - e^{-0.1655 \cdot (t+2.8226)}]^{3.2181} \end{aligned}$$

根据以上生长方程绘制出的体长和体重生长曲线见图 5。可见,体长生长为一条不具拐点的曲线,早期上升较快,随年龄增加而逐渐减慢,并且逐渐趋向渐近体长 ($L_{\text{♀}} = 1\ 011.03\ \text{mm}$; $L_{\text{♂}} = 750.30\ \text{mm}$)。体重生长为一条不对称的 S 型具有拐点的曲线,随年龄增加由慢到快再减慢,并趋向渐近体重 ($W_{\text{♀}}$ 为 1 830.16 g; $W_{\text{♂}}$ 为 715.90 g)。

表 5 长江口降海洄游日本鳊鱼的 von Bertalanffy 生长参数

Tab. 5 Growth parameters based on von Bertalanffy of *A. japonica* in the Yangtze River Estuary

参数 parameters	L_{∞} (mm)	k	t_0	n
♀	1 011.03	0.1674	-1.528 4	79
♂	750.30	0.165 5	-2.822 6	57

2.7 生长速度和加速度

用体长、体重生长方程对 t 求一阶、二阶导数,得到的体长、体重生长速度和加速度方程来探讨各生长过程的变化特征。

$$\begin{aligned} \text{雌性: } \frac{dl}{dt} &= 169.25 \cdot e^{-0.1674 \cdot (t+1.5284)}; \\ \frac{d^2l}{dt^2} &= -28.33 \cdot e^{-0.167 \cdot (t+1.5284)}; \\ \frac{dW}{dt} &= 944.41 \cdot e^{-0.1674 \cdot (t+1.5284)} \cdot [1 - e^{-0.1674 \cdot (t+1.5284)}]^{2.0826}; \\ \frac{d^2W}{dt^2} &= 158.09 \cdot e^{-0.1674 \cdot (t+1.5284)} \cdot [1 - e^{-0.1674 \cdot (t+1.5284)}]^{1.0826} \cdot [3.0826e^{-0.1674 \cdot (t+1.5284)} - 1]; \\ \text{雄性: } \frac{dl}{dt} &= 124.17 \cdot e^{-0.1655 \cdot (t+2.8226)}; \end{aligned}$$

$$\frac{d^2l}{dt^2} = -20.55 \cdot e^{-0.1655 \cdot (t+2.8226)};$$

$$\frac{dW}{dt} = 381.29 \cdot e^{-0.1655 \cdot (t+2.8226)} \cdot [1 - e^{-0.1655 \cdot (t+2.8226)}]^{2.2181};$$

$$\frac{d^2W}{dt^2} = 63.10 \cdot e^{-0.1655 \cdot (t+2.8226)} \cdot [1 - e^{-0.1655 \cdot (t+2.8226)}]^{1.2181} \cdot [3.2181 \cdot e^{-0.1655 \cdot (t+2.8226)} - 1].$$

根据上述方程作出的曲线见图 6 和图 7。可

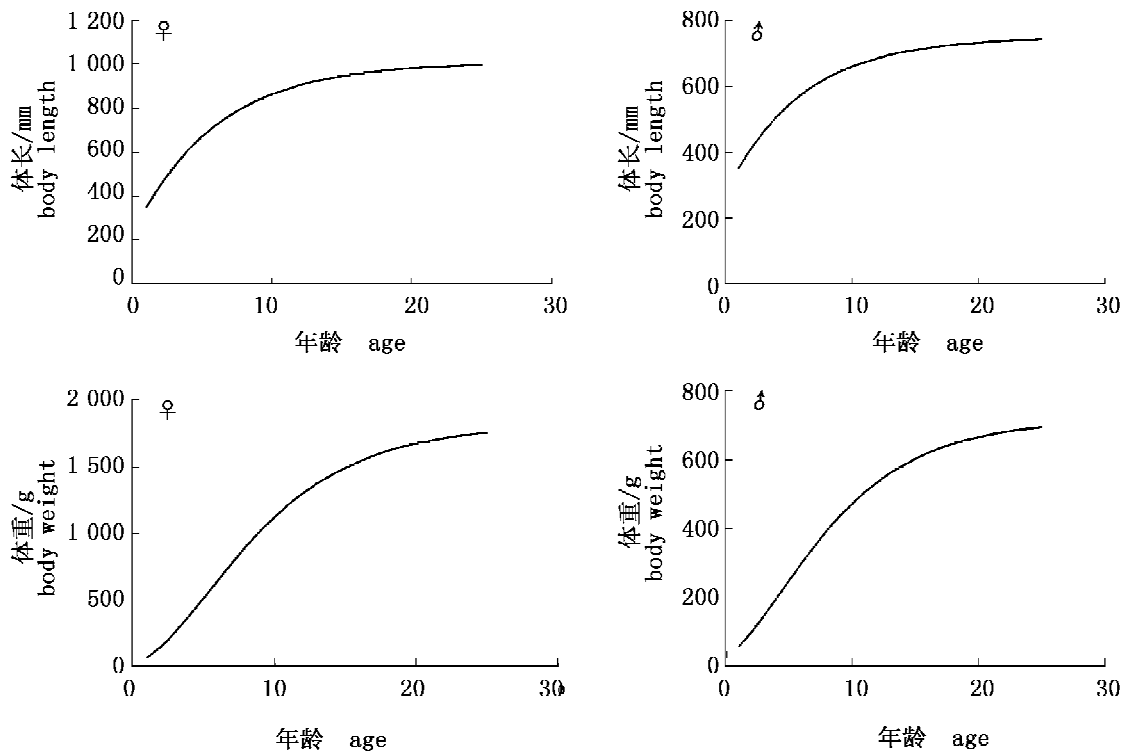


图 5 长江口降海洄游日本鳗鲡的体长与体重生长曲线

Fig. 5 Growth curve of body length and body weight of *A. japonica* in the Yangtze River Estuary

3 讨论

3.1 长江口降海洄游鳗鲡的年龄特征

日本鳗鲡是一种典型的降海产卵洄游鱼类,属于非重复产卵型(semelparous)鱼类,产卵后亲鱼即死亡。产卵群体全由初次性成熟个体组成,其年龄结构和体长反映了其对生活环境的适宜程度,因而受到了学者们的高度重视。

长江口降海洄游鳗鲡的雌性群体由 3~7 龄 5 个年龄组组成,而雄性群体只有 3~5 龄 3 个年龄组,雌性群体的年龄结构显著地高且多于雄性

见,体长的生长速度和加速度不具拐点,生长速度随年龄的增加而递减,逐渐减缓直到趋于 0;生长加速度始终为负值,并随年龄的增加而递减(图 6)。体重的生长速度和加速度都有拐点,雌鱼的拐点年龄为 $t_i = 5.20$,此时退算的拐点体长为 $l_r = 683.05$ mm,拐点体重 $W_r = 546.37$ g;雄鱼的拐点年龄 $t_i = 4.91$,此时退算的拐点体长 $l_r = 517.15$ mm,拐点体重 $W_r = 216.15$ g(图 7)。

群体。资料显示(表 6),我国珠江下游、台湾高屏溪下游、日本纪伊水道、三河湾、宍道湖、中海等地的降海洄游鳗鲡雌性的平均年龄在 6.1~8.3 龄,平均全长在 614~736 mm;雄性平均年龄在 5.0~6.4 龄,平均全长在 483~548 mm。而长江口鳗鲡的平均年龄和体长,雌性分别为 5.5 龄和 667 mm;雄性为 4.4 龄和 522 mm。可见,长江口降海洄游鳗鲡的平均年龄最低,但平均体长却相对较高。表明长江的环境更适合于鳗鲡的肥育和性腺成熟,也可能由于过度的捕捞造成了产卵群体年龄组成的小型化。

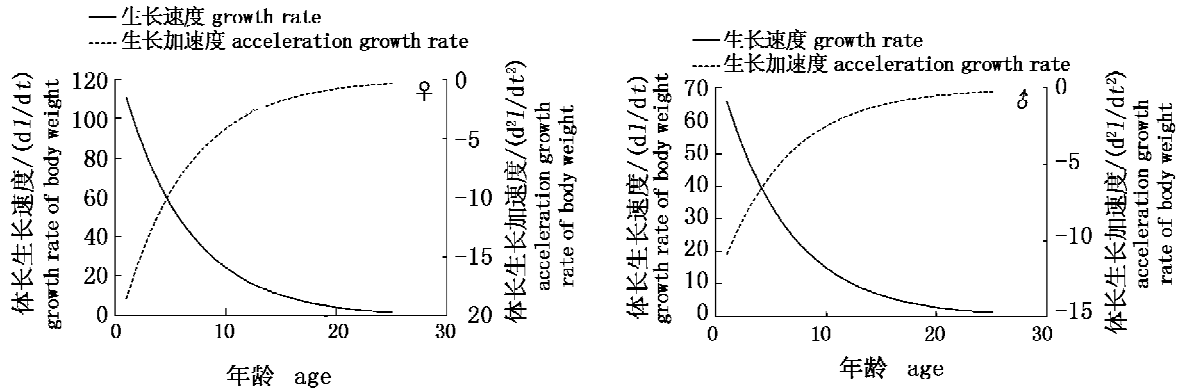


图 6 长江口降海洄游日本鳊鲈的体长生长速度和加速度曲线

Fig. 6 Growth rate and acceleration growth rate curve of body length of *A. japonica* in the Yangtze River Estuary

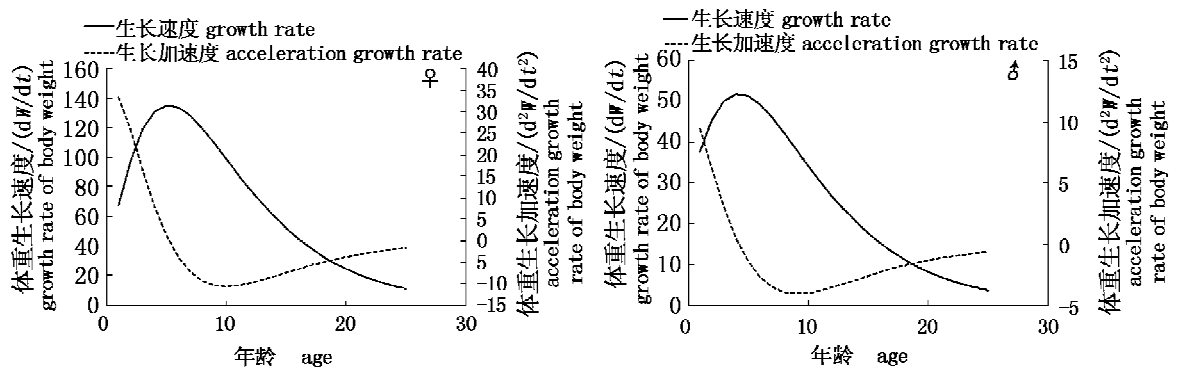


图 7 长江口降海洄游日本鳊鲈的体重生长速度和加速度曲线

Fig. 7 Growth rate and acceleration growth rate curve of body weight of *A. japonica* in the Yangtze River Estuary

3.2 长江口降海洄游鳊鲈的生长特征

鱼类不同物种、种群或性别间都可能表现出不同的生长式型 (growth pattern)。长江口雌雄鳊鲈的最大生长指标和年增长均出现在 4 龄,但同一龄组的体长雌性要显著大于雄性(表 1)。

分析表明,长江口鳊鲈雌性个体的生长拐点年龄 $t_i = 5.20$ 、拐点体长 $l_r = 683.05$ mm、拐点体重 $W_r = 546.37$ g 及平均渐近体长 $L_\infty = 1\ 011.03$ mm 和体重 $W_\infty = 1\ 830.16$ g 等生长参数,均显著性地大于雄性个体的拐点年龄 $t_i = 4.91$ 、拐点体

长 $l_r = 517.15$ mm,拐点体重 $W_r = 216.15$ g,及平均渐近体长 $L_\infty = 750.30$ mm 和体重 $W_\infty = 715.90$ g 等生长参数。

已有的分析显示(表 7),我国珠江下游、福建木兰溪、台湾高屏溪、日本纪伊水道、三河湾、穴道湖、中海等地的降海洄游鳊鲈,其平均渐近体长雌性为 775 ~ 982 mm,雄性为 557 ~ 594 mm。而长江口雌性和雄性降海洄游鳊鲈的平均渐近体长分别达到 1 011 mm 和 750 mm,均明显要大于上述分布地,也表明长江的环境更适合于鳊鲈的生长。

表 6 日本鳊鲈在不同河口的洄游年龄

Tab. 6 Migration age of *A. japonica* at different estuaries

文献来源 references	采样地点 collection site	采样时间 collection time	性别 sex	年龄组 age group (range, mean ± SD)	全长(mm) total length (range, mean ± SD)	体重(g) body weight (range, mean ± SD)
本研究 this paper	长江靖江段 (Jingjiang Reach of Yangtze River)	2008-09-2008-11	♀	3 ~ 7 (5.5 ± 0.9) (n = 79)	476 ~ 910 (667 ± 82) * (n = 79)	246 ~ 1506 (553 ± 233) (n = 79)
			♂	3 ~ 5 (4.4 ± 0.7) (n = 57)	424 ~ 634 (522 ± 47) * (n = 57)	108 ~ 436 (237 ± 73) (n = 57)

· 续表 6 ·

文献来源 reference	采样地点 collection site	采样时间 collection time	性别 sex	年龄组 age group (range, mean \pm SD)	全长 (mm) total length (range, mean \pm SD)	体重 (g) body weight (range, mean \pm SD)
[14]	中国珠江下游 (the lower Pearl River)	1996-10 - 1996-11	♀	5 ~ 10 (8.3 \pm 1.6) (n = 30)	505 ~ 705 (614 \pm 41) (n = 36)	160 ~ 490 (348 \pm 70) (n = 36)
			♂	4 ~ 10 (6.4 \pm 1.6) (n = 32)	420 ~ 590 (483 \pm 45) (n = 38)	95 ~ 250 (146 \pm 39) (n = 38)
[8]	日本纪伊水道 (the Kii Channel)	2007-11-20 和 2008-10-09	♀	5 ~ 16 (8.0 \pm 2.1) (n = 33)	484 ~ 845 (670 \pm 77) (n = 33)	224 ~ 1080 (463 \pm 175) (n = 33)
			♂	4 ~ 5 (5.0 \pm 0.6) (n = 4)	440 ~ 564 (492 \pm 54) (n = 4)	127 ~ 249 (172 \pm 54) (n = 4)
[11]	台湾高屏溪 (Kaoping River)	1998-11 - 1999-11	♀	6.7 \pm 0.3 (n = 166)	631.4 \pm 15.0 (n = 166)	437.4 \pm 41.8 (n = 166)
			♂	5.9 \pm 0.4 (n = 17)	548.2 \pm 18.4 (n = 17)	269.8 \pm 28.3 (n = 17)
[3]	日本三河湾 (the Mikawa Bay)	1998-06 - 1999-06	♀	6.1 \pm 2.1 (n = 42)	736 \pm 76.7 (n = 42)	
			♂	5.0 \pm 1.6 (n = 45)	528.8 \pm 72.9 (n = 45)	

注: * 表示本研究选用体长,其他参考文献均选用全长。

Notes: * indicates that body length was used in this study, but total length was used in other reference.

表 7 不同分布地日本鳗鲡的生长参数比较

Tab. 7 Comparison of growth parameters for *A. japonica* collected in different regions

文献来源 reference	采样地点 collection site	采样时间 collection time	性别 sex	样本数 no. of fish	L_{∞} (mm)	K	t_0
本研究 this paper	长江靖江段 (Jingjiang Reach of Yangtze River)	2008-09 - 2008-11	♀	79	1011	0.17	-1.53
			♂	57	750	0.17	-2.82
[14]	中国珠江下游 (lower Pearl River)	1996-10 - 1996-11	♀	30	775	0.14	-0.60
			♂	32	557	0.21	-0.55
[15]	台湾高屏溪 (Kaoping River)	1998-11 - 2001-11	♀	14	797	0.17	-0.22
			♂	26	594	0.28	-0.08
[15]	日本三河湾 (Mikawa Bay) 穴道湖 (Shinjiko Lake) 中海 (Naka-umi Inland Sea)	1998-06 - 1999-06	♀	39	800	0.23	-0.28
			♂	40	564	0.28	-0.26
[10]	福建木兰溪 (Omlu River)	1987	未分性别	153	982	0.07	-1.94

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, 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] Chino N, Arai T. Relative contribution of migratory type on the reproduction of migrating silver eels, *Anguilla japonica*, collected off Shikoku Island, Japan[J]. Marine Biology, 2009, 156(4): 661 - 668.
- [9] Kotake A, Arai T, Ozawa T, et al. Variation in migratory history of Japanese eels, *Anguilla japonica*, collected in coastal waters of the Amakusa Islands, Japan, inferred from otolith Sr/Ca ratios [J]. Marine Biology, 2003, 142(5): 849 - 854.
- [10] 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.
- [11] 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(1-2): 37 - 45.
- [12] 林鼎, 林浩然, 黄奕华, 等. 鳗鲡(*Anguilla japonica*)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.
- [13] 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.
- [14] 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, China [J]. Fish Biol, 2000, 57(5): 1245 - 1253.
- [15] Tzeng W N, Han Y S, He J T. The sex ratios and growth strategies of wild and captive Japanese eels *Anguilla japonica* [C]//Small B, Mackinlay D. eds. Developments in understanding fish growth. Vancouver: International Congress on the Biology of Fish, 2002: 25 - 42.
- [16] 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.
- [17] Han Y S, Liao I C. Synchronous changes of morphology and gonadal development of silvering Japanese eel *Anguilla japonica* [J]. Aquaculture, 2003, 219: 783 - 796.
- [18] Lin Y J, Tzeng W N. Validation of annulus in otolith and estimation of growth rate for Japanese eel *Anguilla japonica* in tropical southern Taiwan [J]. Environ Biol Fish, 2009, 84(1): 79 - 87.
- [19] 殷名称. 鱼类生态学 [M]. 北京: 农业出版社, 1995: 11 - 63.
- [20] Chen Y, Jackson D A, Harvey H H. A comparison of von Bertalanffy and polynomial functions in modeling fish growth data [J]. Can J Fish Aquat Sci, 1992, 49: 1228 - 1235.
- [21] Pauly D. Fish population dynamics in tropical waters; a manual for use with programmable calculators [R]. ICLARM Studies and Reviews, 1984, 8: 1 - 325.

Age structure and growth characteristics at seaward migrating periods of *Anguilla japonica* in the Yangtze River Estuary

XIE Zheng-li¹, GUO Hong-yi¹, TANG Wen-qiao^{1*}, WEI Kai¹,
SHEN Lin-hong², WU Jia-min¹, CHEN Wen-yin¹

(1. Laboratory of Ichthyology, Shanghai Ocean University, Key Laboratory of
Exploration and Utilization of Aquatic Genetic Resources, Ministry of Education, Shanghai 201306, China;
2. Administration of Fishery of Jingjiang, Jingjiang 214500, China)

Abstract: *Anguilla japonica*, is one of the most important commercial catadromous fish species in Asia. Yangtze River estuary serves as the major production regions of larval eels and the only fishery waters of adult eels in China. In this study, we analyzed the age and growth characters for 153 migrating silver eels collected at Jingjiang reach of Jiangsu Province (31°30'N, 120°42'E) from Sept. to Nov. 2008. The results showed that the age of the females in Yangtze River estuary ranged from 3 – 7 years with a mean of 5.52 years while the age of males ranged from 3 – 5 years with a mean of 4.38 years. The age structure of female eels is higher and more than male eels. Max. annual gain in length of both female and male *A. japonica* appeared in the 4th year. The growth parameters of females such as the age of inflexion point, the growth inflexion point of body length, the growth inflexion point of body weight, the average asymptotic body length and the average asymptotic body weight were $t_i = 5.20$, $l_r = 683.05$ mm, $W_r = 546.37$ g, $L_\infty = 1011.03$ mm and $W_\infty = 1830.16$ g, respectively, which were significantly larger than those of males, $t_i = 4.91$, $l_r = 517.15$ mm, $W_r = 216.15$ g, $L_\infty = 750.30$ mm and $W_\infty = 715.90$ g. The results indicated that the average age of migrating *A. japonica* in the Yangtze River Estuary was smaller than those of other regions in China and Japan. However, the average asymptotic body length of migrating *A. japonica* in the Yangtze River Estuary was significantly larger than those of other regions.

Key words: Japanese eel; silver eels; sagitta; age structure; growth parameters; the Yangtze River Estuary

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