

文章编号: 1674-5566(2016)01-0025-09

长江口降海洄游日本鳗鲡的生长特性

汪德海, 龚小玲, 鲍宝龙, 刘利平

(上海海洋大学 省部共建水产种质资源发掘与利用教育部重点实验室, 上海 201306)

摘要: 日本鳗鲡(*Anguilla japonica*)广泛分布于亚洲东部,具有重要的经济价值。但是对于降海洄游的日本鳗鲡年龄、生长特性等的研究有限,以至于不能有效管护。本研究于 2012 年 10 月在长江靖江段捕得 121 尾降海洄游日本鳗鲡,并对其年龄和生长特性进行了分析,结果显示:(1)雌性个体要明显多于雄性,雌雄比例为 78:43;(2)雌雄鳗鲡年龄、生长等存在着显著的差异,雌鳗的平均年龄、体长、体质量以及平均生长速度 [(5.50 ± 1.18) 龄、 (654.9 ± 67.6) mm、 (522.1 ± 176.2) g、 (110.48 ± 12.76) mm/a]均显著大于雄鳗 [(5.00 ± 1.23) 龄、 (527.8 ± 40.1) mm、 (249.8 ± 63.7) g、 (96.46 ± 16.75) mm/a];(3)整个生活史中生长速度存在很大变化,随着年龄的增加,体长生长速度逐渐趋于 0,而体质量生长速度存在拐点,雌鳗出现在 4.80 龄,雄鳗出现在 2.63 龄;(4)与其他水域相比,长江口降海洄游日本鳗鲡的年龄结构较小,而体长、体质量、渐进体长和渐进体质量则较大,这表明长江水域可能更适合日本鳗鲡的生长;(5)雌、雄个体生长的差异可能源于生长策略的差异。

关键词: 日本鳗鲡; 长江口; 年龄; von Bertalanffy 生长方程

中图分类号: S 917 **文献标志码:** A

日本鳗鲡(*Anguilla japonica*)是一种典型的降海洄游性鱼类,广泛分布于东亚各国,是国际市场上十分畅销的水产品之一^[1]。过度捕捞导致鳗鲡资源不断减少,且日趋严重^[2]。因此需要对其进行更深入地了解和保护。但日本鳗鲡的产卵场位于西马里亚纳海岭附近,生活史复杂,很难对整个生活阶段进行跟踪调查^[3]。因此,通过分析生长规律,能掌握它的生长特性,从而进行有效的管护。

有关鱼类生长规律的研究,大多数是通过 von Bertalanffy 生长方程^[4]来拟合的,从而确定最适捕捞时间,评估鱼类资源变化情况。然而有关日本鳗鲡生长的研究大多是通过 von Bertalanffy 生长方程描述体长与年龄的关系,仅谢正丽等^[5]对长江口日本银鳗的生长特性进行了较为深入地分析。为了研究长江中日本鳗鲡近几年的生长变化情况,我们再次对长江口降海洄游日本鳗

鲡的生长特性进行分析,以期能够为长江中日本鳗鲡的资源评估和渔业管理提供有效的信息。

1 材料与方法

1.1 材料

2012 年 10 月,朔月期,气温突然下降,并伴随降雨、刮风、气压下降,日本鳗鲡开始洄游^[6],在距长江入海口约 162 km 的靖江段(31°55' N, 120°12' E),用张网(全长 20~25 m,宽 10~11 m,高 4.5 m)捕捞降海洄游日本鳗鲡。

1.2 方法

1.2.1 测量及性别判断

将捕获的样本活体运回实验室,用 100 mg/L 的丁香油酚溶液麻醉后进行形态学测量,包括体长(L_T , mm)、体质量(M_T , g)。然后解剖取部分性腺于 Bouin's 液(饱和苦味酸水溶液:30%~40% 甲醛液:冰醋酸 = 15:5:1)中固定 12~24

收稿日期: 2015-05-06 修回日期: 2015-09-29

基金项目: 国家自然科学基金(31201995);上海市农委专项(2013 2-2);上海市科委崇明科技专项(13231203504);鳗鲡现代产业技术教育部工程研究中心开放基金(RE201501)

作者简介: 汪德海(1988—),男,硕士研究生,研究方向为进化生物学。E-mail:wangdehai08@126.com

通信作者: 龚小玲, E-mail: xlgong@shou.edu.cn

h,制作石蜡切片并判断性别。

1.2.2 年龄鉴定

取出矢耳石,用75%乙醇清洗干净后晾干,环氧树脂(奥斯邦,美国特拉华州)包埋。待完全凝固后用切割机(Dremel,美国威斯康星州)沿矢耳石横断面方向切掉多余树脂。用由粗到细的砂纸(400、1500、3000目,MATADOR,德国)进行打磨,至接近耳石核心(P)。抛光液(株式会社,日本东京)抛光后,于显微镜下拍照并鉴定年龄(T)。在照片上可以清晰地看到耳石核心及同心圆排列、明暗相间的轮纹。一条明带(颜色较浅)和一条暗带(颜色较深)组成一个生长组,即为一个年轮标志。

1.2.3 生长速度

利用体长和年龄计算年平均生长速度,并计算体长和体质量关系以及 von Bertalanffy 生长方程^[7]。

平均生长速度(Growth rate, G_r):

$$G_r = (L_T - 60) T^{-1} \quad (1)$$

式中: L_T 为体长(mm);60为幼鳎到达河口时的平均体长(mm)^[8];T为年龄。

$$M_T = aL_T^b \quad (2)$$

式中: M_T 为体质量; L_T 为体长,a和b为系数。

von Bertalanffy 生长方程:

$$L_t = L_\infty [1 - e^{-k(t-t_0)}] \quad (3)$$

$$M_t = M_\infty [1 - e^{-k(t-t_0)}]^b \quad (4)$$

式中:t为年龄; L_t 和 M_t 为t龄时的体长和体质量; L_∞ 和 M_∞ 是渐近体长和体质量;k为生长系数; t_0 是理论生长起始年龄;b即方程(2)中的系数b。

用软件 Excel 2013 和 SPSS 22.0 对相关结果进行分析,并用 OriginPr 分析绘图。用 Mann-Whitney U-test^[9]进行显著性检验。

2 结果

2.1 性比与年龄

在捕获的121尾样本中,雌鳎78尾(64.5%),雄鳎43尾(35.5%)。从耳石照片上可以看到,由核心(P)向外依次为变形轮(由柳叶鳎变为玻璃鳎,MC)、幼鳎轮(当幼鳎到达河口时,EC)和年轮^[10](图1)。

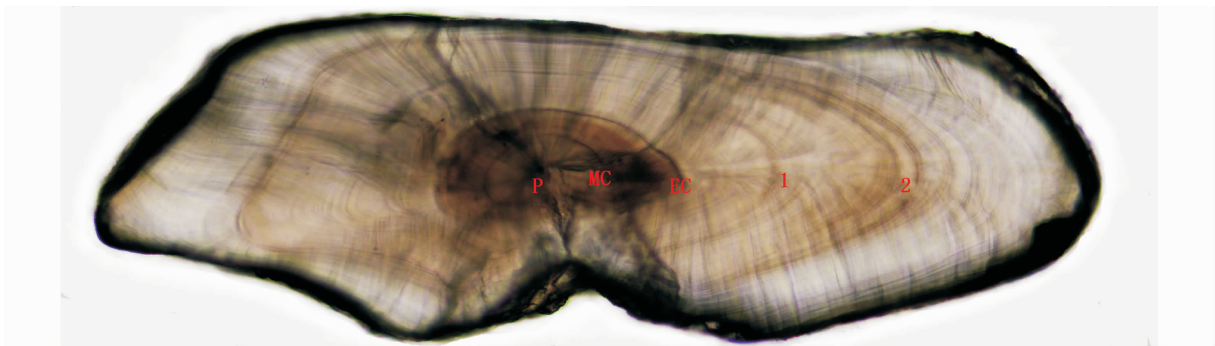


图1 日本鳎矢耳石横断面结构

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

1、2为年轮;P为核心;MC为变形轮;EC为幼鳎轮。

1,2 represent annulus; P represents primordium; MC represents metamorphosis check; EC represents elver check.

经鉴定,雌鳎(3~9龄)主要集中在5、6龄,雄鳎(3~8龄)主要集中在4、5龄。通过比较,雌鳎平均年龄(5.50±1.18)显著大于雄鳎(5.05±1.23, $P < 0.05$)。

2.2 生长指标与年增积量

对不同年龄鳎体长、体质量进行统计发现,随着年龄的增长,体长和体质量也在生长,而平均生长速度显著下降($P < 0.05$)。雌鳎平均生长速度[(110.48±12.76)mm/a]显著大于雄鳎

[(96.46±16.75)mm/a]。雌鳎最大年增长和生长指标均出现在4龄,最大年增重和年增积量出现在6龄;雄鳎则均在6龄达到最大(表1)。

2.3 体长与体质量

通过分析发现此批洄游鳎中,雌鳎的平均体长为(653.9±67.6)mm(492~820mm),平均体质量为(522.1±176.2)g(245.5~1005.4g)。与雌鳎相比,雄鳎体型显著偏小($P < 0.05$),平均体长、体质量分别为(527.8±40.1)mm

(455 ~ 600 mm)、(249.8 ± 63.7) g (131.3 ~ 404.3 g)。雌鳗体长主要分布于 550 ~ 750 mm, 体质量集中于 300 ~ 800 g。而雄鳗体长主要分布于 490 ~ 580 mm, 体质量集中于 160 ~ 320 g(图 2)。

表 1 长江口不同年龄降海洄游日本鳗鲡的生长特征
Tab. 1 Growth characteristics of catadromous Japanese eels collected in the Yangtze River Estuary

性别 sex	年龄 age	数量 N	体长/mm Length mean + SD	年增长/mm annual gain in length	生长指标 indices of growth	体质量 mass/g mean + SD	年增长/g annual gain in weight	年增积量 product on annual increments of length and weight	体长平均 生长速度 growth rate/ (mm/year) mean + SD
♀	3	1	492			245.5			144
♀	4	16	573.9 ± 26.3	81.9	75.79	331.2 ± 36.8	85.7	7 023.6	128.5 ± 6.6
♀	5	23	621.4 ± 16.5	47.5	45.63	428.2 ± 50.7	97.0	4 605.1	112.3 ± 3.3
♀	6	24	691.2 ± 23.9	69.7	66.09	597.6 ± 92.4	169.5	11 817.3	105.2 ± 4.0
♀	7	10	728.1 ± 19.8	36.9	35.98	738.2 ± 78.3	140.5	5 189.4	95.4 ± 2.8
♀	8	3	783.3 ± 4.2	55.2	53.24	867.4 ± 55.3	129.2	7 138.9	90.4 ± 0.5
♀	9	1	820	36.7	35.83	1 005.4	138.0	5 060.0	84.4
♂	3	3	462.7 ± 10.0			147.3 ± 24.2			134.2 ± 3.3
♂	4	13	498.3 ± 17.3	35.6	34.33	199.0 ± 14.9	52.0	1 852.7	109.6 ± 4.3
♂	5	13	522.5 ± 20.5	24.2	23.66	245.6 ± 21.8	46.6	1 129.3	92.5 ± 4.1
♂	6	9	568.8 ± 19.2	46.2	44.31	298.9 ± 19.2	53.3	2 464.0	84.8 ± 3.2
♂	7	3	577.3 ± 11.7	8.6	8.56	346.6 ± 11.0	47.7	408.0	73.9 ± 1.7
♂	8	2	593.0 ± 9.9	15.7	15.67	394.8 ± 13.5	48.2	754.3	66.6 ± 1.2
total		121	609.1 ± 84.5			425.3 ± 196.2			105.5 ± 15.7

注: 生长指标 = $\frac{\lg L_2 - \lg L_1}{0.4343} \times L_1$ 。

Notes: The indices of the of the growth = $\frac{\lg L_2 - \lg L_1}{0.4343} \times L_1$.

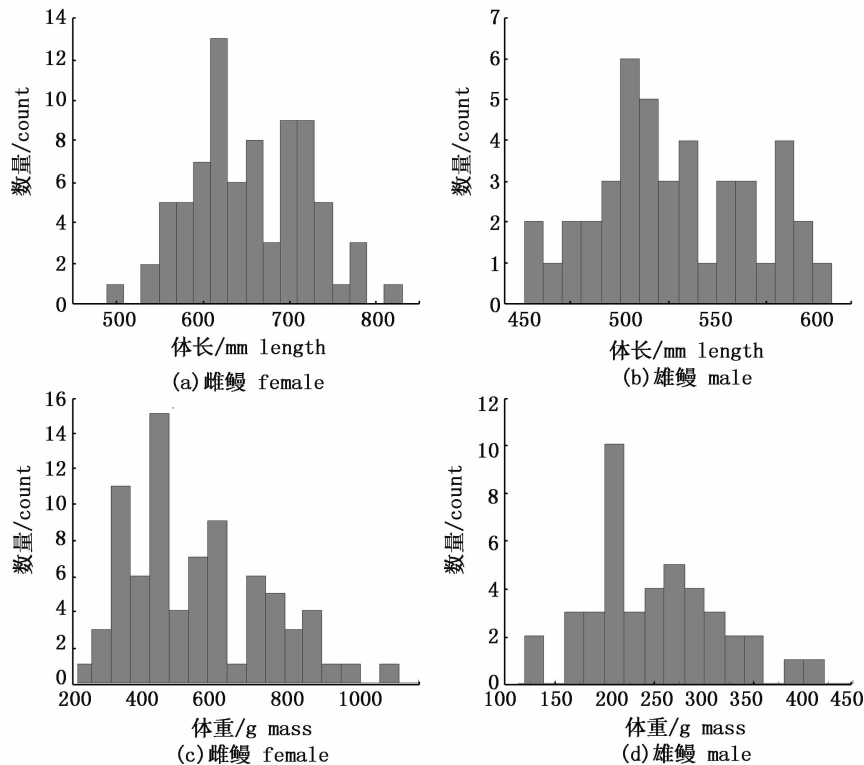


图 2 降海洄游日本鳗鲡体长分布(a:雌,b:雄)和体质量分布(c:雌,d,雄)
Fig. 2 Length (a: female, b: male) and mass (c: female, d: male) distribution of catadromous Japanese eels collected from Yangtze River Estuary

将根据方程(2)拟合出的参数代入方程得到体长与体质量关系式:

$$\text{全部样本: } M = 3.66 \times 10^{-7} L^{2.22} \quad (5)$$

$$\text{雌鳎: } M = 1.13 \times 10^{-6} L^{3.07} \quad (6)$$

$$\text{雄鳎: } M = 5.64 \times 10^{-7} L^{3.17} \quad (7)$$

用 Pauly 的 t 检验法^[11] 检验体长与体质量回归方程的幂指数 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。而总群体则有明显的差异($t = 5.541 > t_{0.05}$), 为异速生长。体长体质量关系曲线见图 3。

2.4 von Bertalanffy 生长方程

由于雌鳎和雄鳎均为等速生长,因此可以用 von Bertalanffy 生长方程对其体长和年龄关系进行描述。发现雌鳎渐近体长和体质量明显大于雄鳎,得到方程结果如下:

$$\text{雌鳎: } L_t = 918.88 \times [1 - e^{-0.22 \times (t+0.37)}] \quad (8)$$

$$W_t = 1432.89 \times [1 - e^{-0.22 \times (t+0.37)}]^{3.07} \quad (9)$$

$$\text{雄鳎: } L_t = 610.04 \times [1 - e^{-0.40 \times (t+0.29)}] \quad (10)$$

$$W_t = 385.87 \times [1 - e^{-0.40 \times (t+0.29)}]^{3.17} \quad (11)$$

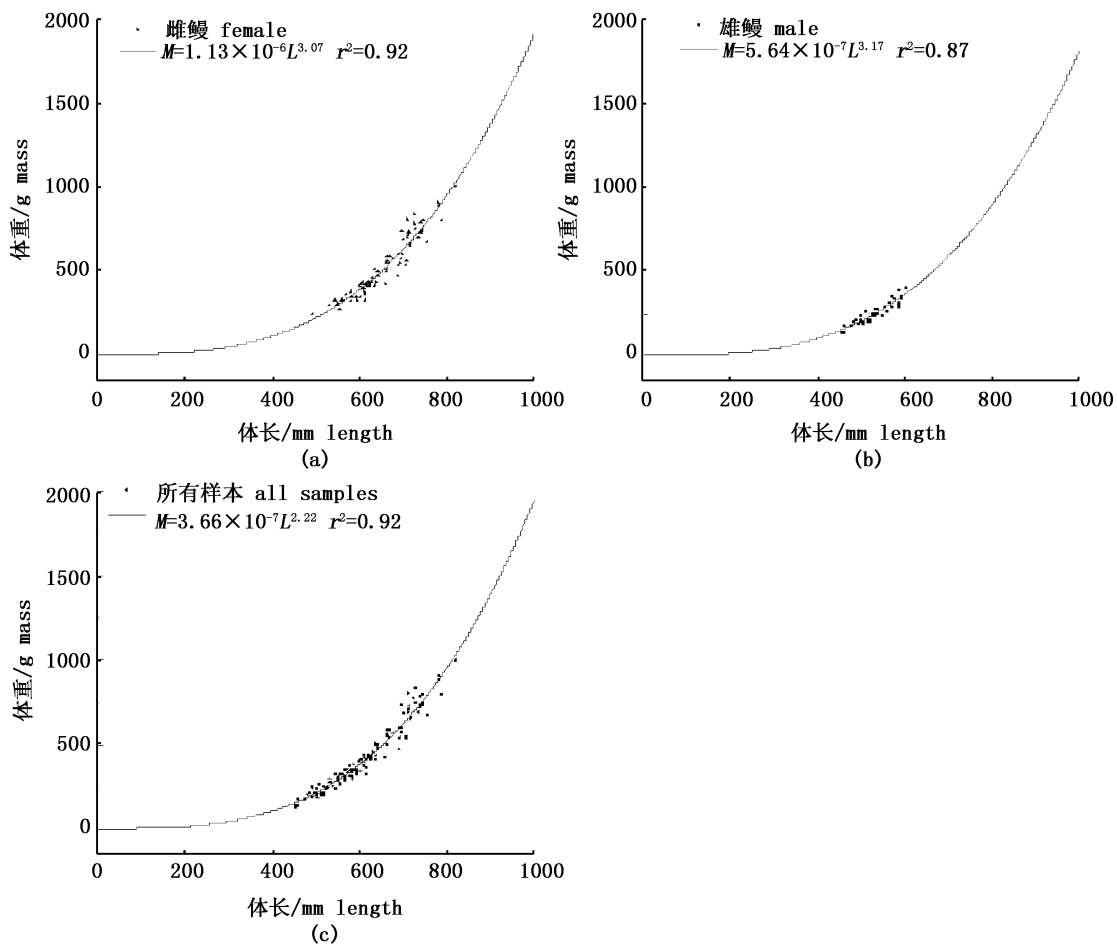


图 3 鳎体长和体质量关系曲线 (a) 雌鳎; (b) 雄鳎; (c) 所有样本

Fig. 3 The relation curves between length and mass of eels (a) female, (b) male and (c) all samples

根据以上生长方程绘制出体长和体质量生长曲线,可以明显地看到随着年龄的增长,体长和体质量的增加速度逐渐减小,并趋向渐近体长

和体质量。雌鳎体长、体质量要大于雄鳎,且随着年龄的增长其差异程度越来越大(图 4a,b)。

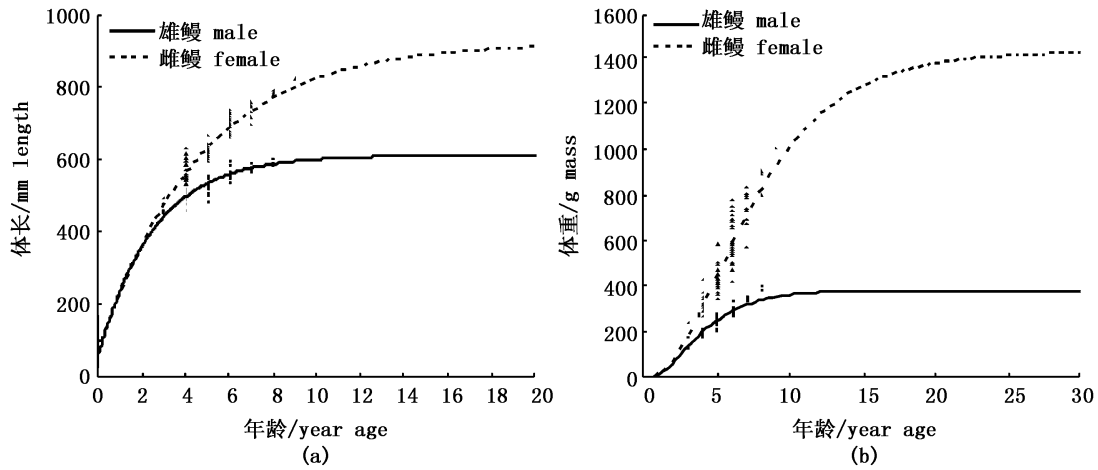


图 4 体长 (a) 和体质量 (b) von Bertalanffy 生长曲线图

Fig. 4 The von Bertalanffy growth curves, length (a) and mass (b)

用生长方程对 t 求一阶二阶导数,得到的生长速度和加速度方程如下,

雌鳊:

$$\frac{dl}{dt} = 199.32 \times e^{-0.22 \times (t+0.37)} \quad (12)$$

$$\frac{d^2l}{dt^2} = -43.24 \times e^{-0.22 \times (t+0.37)} \quad (13)$$

$$\frac{dm}{dt} = 954.85 \times e^{-0.22 \times (t+0.37)} \times [1 - e^{-0.22 \times (t+0.37)}]^{2.07} \quad (14)$$

$$\frac{d^2m}{dt^2} = 132.83 \times e^{-0.22 \times (t+0.37)} \times [1 - e^{-0.22 \times (t+0.37)}]^{1.07} \times [3.07 \times e^{-0.22 \times (t+0.37)} - 1] \quad (15)$$

雄鳊:

$$\frac{dl}{dt} = 241.31 \times e^{-0.40 \times (t+0.29)} \quad (16)$$

$$\frac{d^2l}{dt^2} = -95.45 \times e^{-0.40 \times (t+0.29)} \quad (17)$$

$$\frac{dm}{dt} = 484.16 \times e^{-0.40 \times (t+0.29)} \times [1 - e^{-0.40 \times (t+0.29)}]^{2.17} \quad (18)$$

$$\frac{d^2m}{dt^2} = 302.77 \times e^{-0.40 \times (t+0.29)} \times [1 - e^{-0.40 \times (t+0.29)}]^{1.17} \times$$

$$[3.07 \times e^{-0.40 \times (t+0.29)} - 1] \quad (19)$$

式中: $\frac{dl}{dt}$ 为体长生长速度, $\frac{dm}{dt}$ 为体质量生长速度, $\frac{d^2l}{dt^2}$ 为体长生长加速度, $\frac{d^2m}{dt^2}$ 为体质量生长加速度。

根据上述方程绘制曲线图,从图 5 中可以发现体长生长速度和加速度曲线平滑,不存在拐点(图 5)。早期雄鳊体长生长速度比雌鳊大,在年龄为 0.87 时相等,此后雌鳊大于雄鳊,且雌鳊生长速度接近 0 时的年龄要远大于雄鳊(图 5a)。雌、雄鳊体长生长加速度开始都小于 0,随着年龄的增大,逐渐趋于 0,且在 4.26 龄时达到相等,在此之前雄鳊要小于雌鳊(图 5b)。

然而体质量生长速度和加速度在雌雄鳊中都不存在拐点,最开始生长速度和加速度都增大,然后下降。雌鳊体质量生长速度拐点出现在 4.80 龄,此时生长加速度减小到 0,体长为 624.24 mm,体质量为 427.46 g;而雄鳊出现在 2.63 龄,此时体长为 420.32 mm,体质量为 115.86 g。雌、雄鳊体质量生长速度最后都趋于 0,而生长加速度下降到 0 时会继续下降,然后再上升趋向 0(图 6)。

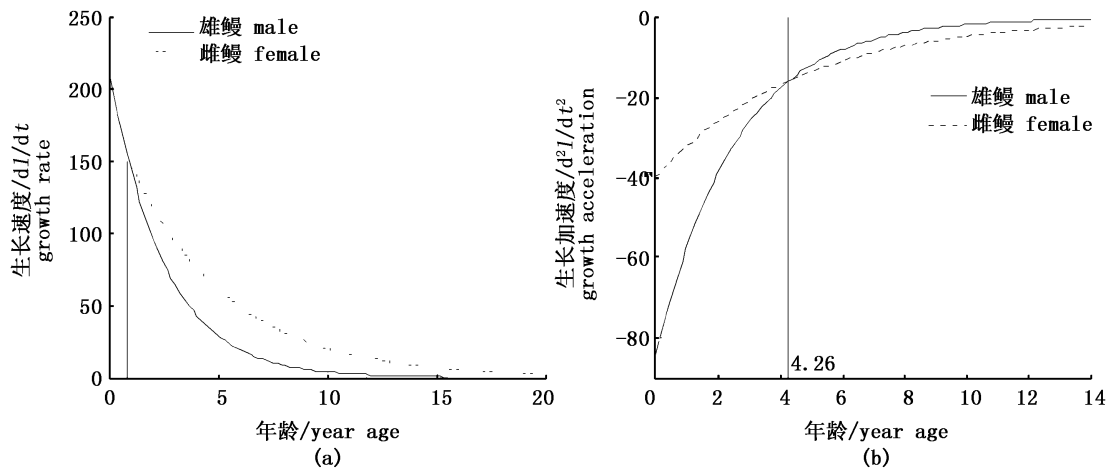


图5 雌、雄鳗鲡体长生长速度 (a) 与加速度 (b)

Fig. 5 Growth rates (a) and growth accelerations (b) of length

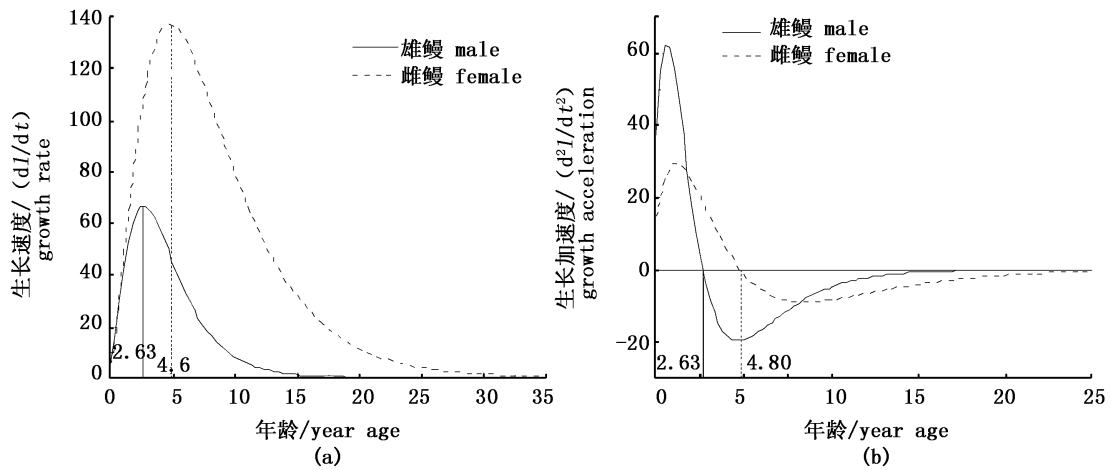


图6 雌雄鳗鲡体质量生长速度 (a) 与加速度 (b)

Fig. 6 Growth rates (a) and growth accelerations (b) of mass

3 讨论

3.1 雌、雄鳗鲡生长的差异

通过对比雌、雄鳗鲡生长参数,发现雌鳗渐进体长和体质量都大于雄鳗,但生长系数(k)却相反。这与其他地区降海洄游日本鳗鲡以及其他种类鳗鲡相似(表2)。然而同是长江口样本,本研究中的渐进体长却明显小于谢正丽等的研究结果^[5],这可能是她在拟合 von Bertalanffy 生长方程时没有考虑玻璃鳗的体长。

从体长和体质量生长速度曲线图可以发现,雌鳗生长速度趋于0时的年龄明显大于雄鳗,表明雌鳗比雄鳗要花更多的时间来进行生长,这同样符合 HELFMAN 等提出的假设^[18],假设认为雄鳗会利用“时间最短化策略”尽可能早地进行繁殖洄游,而雌鳗则会利用“时间最长化策略”,以至于在产卵洄游时能获得最佳的体型大小。另外雌鳗体质量生长速度拐点年龄(4.80)要大于雄鳗(2.63)也证实了这种假设。

表 2 不同地点日本鳗鲡以及其它 2 种鳗鲡 von Bertalanffy 生长方程参数
 Tab. 2 Comparison of von Bertalanffy growth parameters for
 A. japonica and other eels collected in different regions

采样点 site	采样时间 time	性别 sex	n	L_{∞}	k	t_0	参考文献 reference
长江口 靖江段	2012	♀	78	918.88	0.22	-0.37	本研究
		♂	43	610.04	0.40	-0.29	
长江口 靖江段	2008	♀	79	1 011.0	0.17	-1.53	谢正丽等 ^[5]
		♂	57	750.3	0.17	-2.82	
日本 滨名湖	2003 - 2007	♀	78	677.9	0.42	-0.22	YORKOUCHI 等 ^[12]
		♂	71	528.1	0.76	-0.16	
中国台湾 高平河	1998 - 2003	♀	55	1 023.7	0.12	-0.69	LIN 等 ^[13]
		♂	37	758.7	0.17	-0.50	
中国 珠江	1996	♀	30	775.0	0.14	-0.60	TZENG 等 ^[22]
		♂	32	557.0	0.21	-0.55	
美国 美洲鳗	1998	♀	26	862.8	0.04	-0.66	JESSOP 等 ^[14]
		♂	35	491.5	0.07	-0.82	
叙利亚 欧洲鳗	1997 - 2003	♀	68	737.3	0.38	0.49	YALCIN - OZDILEK 等 ^[15]
		♂	28	630.5	0.28	-0.77	

注:数量(N)、渐进体长(L_{∞})、生长系数(k)、初始参数(t_0)、雄鳗(♂)以及雌鳗(♀)。

Note: Number of *A. japonica* (n), asymptotic length (L_{∞}), growth coefficient (k), initial condition parameter (t_0), male (♂) and female (♀).

3.2 雌雄降海洄游的“二态现象”

通过对长江口降海洄游日本鳗鲡的年龄、体长、体质量以及生长模式的综合分析,雄鳗与雌鳗相比,在较小的年龄和体型尺寸时开始洄游繁殖。这种二态性现象在鳗鲡属中普遍存在^[16-17]。为了解释二态性现象,HELFMAN 等提出了一个相关的假设^[18],假设认为雄鳗会利用“时间最短化策略”尽可能早地进行繁殖洄游;而雌鳗则会利用“时间最长化策略”,以至在产卵洄游时,能获得最佳的体型。利用不同生长策略是为了满足雌、雄鳗在性腺发育过程中对能量的

不同需求:由于精子发育所需能量相对较少,较小的体型就能满足洄游时能量的消耗;相反,雌鳗要提高繁殖力(即产卵量),就需要使其体型最大化^[19]。

本研究与 2008 年谢正丽等对长江口降海洄游日本鳗鲡(银鳗)生长的研究结果差异不大^[5],这可能是缘于两次研究时间间隔短,生活水域变化较小。与其他地区降海洄游日本鳗鲡相比,大体上本研究样本的年龄结构偏小,而体型偏大,这表明长江水域可能更适合日本鳗鲡的生长(表 3)。

表 3 不同地区降海洄游日本鳗鲡的性别、年龄、体长和体质量
 Tab. 3 Migration age and body size of *A. japonica* at different areas

采样点 site	采样时间 time	性别 sex	年龄/age (mean ± SD)	L_T (mean ± SD)	M_T (mean ± SD)	参考文献 reference
长江口靖江段	2012	♀	5.5 ± 1.2	654 ± 68	522.1 ± 176.2	本研究
		♂	5.0 ± 1.2	528 ± 40	249.8 ± 63.7	
日本 滨名湖	2006 - 2008	♀	7.0 ± 1.7	685 ± 51	529.5 ± 112.2	SUDO 等 ^[20]
		♂	5.4 ± 0.9	538 ± 59	232.1 ± 76.4	
长江口 靖江段	2008	♀	5.5 ± 0.9	667 ± 82	553.2 ± 233.3	谢正丽等 ^[5]
		♂	4.4 ± 0.7	522 ± 47	237.1 ± 73.2	
日本 四国岛	2007 - 2008	♀	8.0 ± 2.1	670 ± 77	463.1 ± 175.2	CHINO 等 ^[21]
		♂	5.0 ± 0.6	492 ± 54	172.1 ± 54.3	
中国台湾 高平河	1999 - 2003	♀	5.2 ± 0.8	614 ± 71	398.5 ± 155.5	LIN 等 ^[10]
		♂	5.1 ± 0.9	573 ± 59	290.4 ± 75.2	
中国 珠江	1996	♀	8.3 ± 1.6	614 ± 405	384.1 ± 70.9	TZENG 等 ^[22]
		♂	6.4 ± 1.6	483 ± 448	145.6 ± 38.9	

注: L_T 全长、 M_T 体质量、雄鳗(♂)以及雌鳗(♀)。

Note: Total length (L_T), mass (M_T), male (♂) and female (♀).

3.3 生长速度对雌、雄幼鳗性别分化的影响

从体长生长速度曲线(图 4a)可以发现,鳗鲡的理论生长速度随着年龄的增大逐渐减小,这与平均生长速度(Gr)的变化相似。这种变化趋势也存在于其他的研究中,包括其他地区日本鳗鲡和鳗鲡属的其他物种^[23-25]。同时可以看到,雌、雄鳗鲡的生长速度存在很大的差异,这种现象在鳗鲡中普遍存在^[22-27]。本研究中,通过 von Bertalanffy 生长速度方程曲线可以发现,当年龄小于 0.87 时,雄鳗的生长速度要大于雌鳗;0.87 龄以后,雌鳗则要大于雄鳗。对于这种现象,有研究^[26,28]认为生长速度快的幼鳗将发育成雄鳗,生长速度慢的将会发育成雌鳗。本研究显示当雌性和雄性幼鳗的理论体长生长速度相等时(即幼鳗到达河口时),雌雄鳗鲡的理论体长分别为 219.36 mm 和 226.44 mm,正好是幼鳗性别分化时的体长^[29-30],表明早期生长速度快慢对鳗鲡性别的决定具有重要作用^[26-27]。

综上所述,日本鳗鲡的生长过程非常复杂,雌、雄鳗鲡的生长式型存在着很大差异。因此通过对日本鳗鲡降海洄游阶段的生长规律进行研究,分析其生长特性,能够为人们对其整个生活史的了解提供帮助,这也为日本鳗鲡的保护、人工养殖以及渔业管理提供了理论基础。

参考文献:

- [1] 娄甜甜, 齐兴柱, 尹绍武, 等. 鳗鲡种质资源的研究进展[J]. 水产科学, 2007, 26(6): 366-369.
LOU T T, QI X Z, YIN S W, et al. Recent research on germplasm resources in eels (*Genus Anguilla*)[J]. Fisheries Science, 2007, 26(6): 366-369.
- [2] 刘凯, 段金荣, 徐东坡, 等. 长江口日本鳗鲡苗汛特征及捕捞量时空变动[J]. 上海海洋大学学报, 2010, 19(6): 814-821.
LIU K, DUAN J R, XU D P, et al. Studies on distribution characteristics and catching indexes fluctuation in fishing season of elvers of Japanese eel in the Yangtze River Estuary [J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2010, 19(6): 814-821.
- [3] AOYAMA J, WATANABE S, MILLER M J, et al. Spawning sites of the Japanese eel in relation to oceanographic structure and the West Mariana ridge[J]. PloS One, 2014, 9(2): e88759.
- [4] VON BERTALANFFY L. A quantitative theory of organic growth (inquiries on growth laws. II)[J]. Human Biology, 1938, 10(2): 181-213.
- [5] 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.
XIE Z L, GUO H Y, TANG W Q, et al. Age structure and growth characteristics at seaward migrating periods of *Anguilla japonica* in the Yangtze River Estuary [J]. Journal of Fisheries of China, 2010, 34(2): 245-254.
- [6] OKAMURA A, YAMADA Y, TANAKA S, et al. Atmospheric depression as the final trigger for the seaward migration of the Japanese eel *Anguilla japonica*[J]. Marine Ecology Progress Series, 2002, 234: 281-288.
- [7] VON BERTALANFFY L. Quantitative laws in metabolism and growth[J]. The Quarterly Review of Biology, 1957, 32(3): 217-231.
- [8] TSUKAMOTO K, OTAKE T, MOCHIOKA N, et al. Seamounts, new moon and eel spawning: The search for the spawning site of the Japanese eel[J]. Environmental Biology of Fishes, 2003, 66(3): 221-229.
- [9] SOKAL R R, ROHLF F J. Biometry[M]. 3rd ed. New York: WH Freeman and Company, 1995.
- [10] 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]. Environmental Biology of Fishes, 2009, 84(1): 79-87.
- [11] PAULY D. Fish population dynamics in tropical waters: A manual for use with programmable calculators[M]. Manila, Philippines: International Center for Living Aquatic Resources Management, 1984.
- [12] YOKOUCHI K, SUDO R, KAIFU K, et al. Biological characteristics of silver-phase Japanese eels, *Anguilla japonica*, collected from Hamana Lake, Japan[J]. Coastal Marine Science, 2009, 33: 54-63.
- [13] LIN Y J, TZENG W N. Modelling the growth of Japanese eel *Anguilla japonica* in the lower reach of the Kao-Ping River, southern Taiwan: An information theory approach [J]. Journal of Fish Biology, 2009, 75(1): 100-112.
- [14] JESSOP B M, SHIAO J C, LIZUKA Y, et al. Variation in the annual growth, by sex and migration history, of silver American eels *Anguilla rostrata*[J]. Marine Ecology Progress Series, 2004, 272: 231-244.
- [15] YALCIN-OZDILEK S, GUMUS A, DEKKER W. Growth of European eel in a Turkish river at the south-eastern limit of its distribution [J]. The Bulletin of the European Ichthyological Society, 2006, 2: 55-64.
- [16] TODD P R. Size and age of migrating New Zealand freshwater eels (*Anguilla* spp.) [J]. New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research, 1980, 14(3): 283-293.
- [17] LAFFAILLE P, ACOU A, GUILLOUËT J, et al. Patterns of silver eel (*Anguilla anguilla* L.) sex ratio in a catchment [J]. Ecology of Freshwater Fish, 2006, 15(4): 583-588.
- [18] HELFMAN G S, FACEY D E, HALES L S JR, et al. Reproductive ecology of the American eel[M]// DADSWELL M J, KLAUDA R L, MOFFITT C M, et al, eds. Common Strategies of Anadromous and Catadromous Fishes. Maryland;

- American Fisheries Society Symposium 1, 1987.
- [19] GROSS M R. Sunfish, salmon, and the evolution of alternative reproductive strategies and tactics in fishes[M]//POTTS G W, WOOTTON R J, eds. Fish Reproduction: Strategies and tactics. London; Academic Press, 1984; 55–75.
- [20] SUDO R, FUKUDA N, AOYAMA J, et al. Age and body size of Japanese eels, *Anguilla japonica*, at the silver-stage in the Hamana Lake system, Japan [J]. Coastal Marine Science, 2013, 36(1): 13–18.
- [21] 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.
- [22] 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]. Journal of Fish Biology, 2000, 57(5): 1245–1253.
- [23] POOLE W R, REYNOLDS J D. Growth rate and age at migration of *Anguilla anguilla*[J]. Journal of Fish Biology, 1996, 48(4): 633–642.
- [24] HOLMGREN K, WICKSTRÖM H, CLEVESTAM P. Sex-related growth of European eel, *Anguilla anguilla*, with focus on median silver eel age[J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 1997, 54(12): 2775–2781.
- [25] KOTAKE A, ARAI T, OKAMURA A, et al. Ecological aspects of the Japanese eel, *Anguilla japonica*, collected from coastal areas of Japan [J]. Zoological Science, 2007, 24(12): 1213–1221.
- [26] HOLMGREN K, MOSEGAARD H. Implications of individual growth status on the future sex of the European eel [J]. Journal of Fish Biology, 1996, 49(5): 910–925.
- [27] YOSHIKAWA M. Sex differences in growth rates of early life stage Japanese eels *Anguilla japonica* under experimental conditions[J]. Journal of Fish Biology, 2013, 83(3): 588–597.
- [28] DAVEY A J, JELLYMAN D J. Sex determination in freshwater eels and management options for manipulation of sex [J]. Reviews in Fish Biology and Fisheries, 2005, 15(1/2): 37–52.
- [29] MATSUI I. Unagigaku: Eel biology[M]. Tokyo: Kosei-sha Kosei-Kaku Press, 1972.
- [30] COLOMBO G, GRANDIDR G. Histological study of the development and sex differentiation of the gonad in the European eel[J]. Journal of Fish Biology, 1996, 48(3): 493–512.

The growth characteristics of catadromous Japanese eels (*Anguilla japonica*) from the Yangtze River Estuary, China

WANG Dehai, GONG Xiaoling, BAO Baolong, LIU Liping

(Key Laboratory of Aquatic Genetic Resources and Aquacultural Ecology, Ministry of Agriculture, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: Japanese eel (*Anguilla japonica*) is a commercially important fishery species throughout eastern Asia. The effective management of this resource necessitates accurate information on the ecology of this migratory species, much of which is currently lacking. In this study, we investigated the demographic structure and growth of catadromous *Anguilla japonica* from the Yangtze River Estuary, China. We captured 121 individuals from the Jingjiang reach of the Yangtze River throughout October 2012. We found that males and females differed significantly in several key characteristics. Females, which were more numerous than males with an overall sex ratio of 78:43, were significantly older (5.5 ± 1.18 years) and larger (654.9 ± 67.6 mm, 522.1 ± 176.2 g) than males (5.0 ± 1.23 years, 527.8 ± 40.1 mm, 249.8 ± 63.7 g) and had on average faster growth rate (110.48 ± 12.76 mm year⁻¹) than males (96.46 ± 16.75 mm year⁻¹). Although males reached a smaller theoretical asymptotic length (918.88 mm) and mass (1432.89 g) than females (610.04 mm, 385.87 g). The sampled eels at our study site were on average younger and larger than those of other populations at other sites, suggesting that maybe this region is more suitable for the growth of *A. japonica*; (5) The growth difference between female and male may come from their different growth strategies.

Key words: Japanese eel; Yangtze River Estuary; age; von Bertalanffy growth curve