

中国东南沿海日本鳗鲡幼体的日龄及其孵化时间

郭弘艺^{1,2}, 魏凯^{1,2,3}, 谢正丽^{1,2}, 唐文乔^{1,2*}, 吴嘉敏^{1,2}, 陈文银^{1,2}

(1. 上海海洋大学水产与生命学院, 鱼类研究室, 上海 201306;

2. 上海海洋大学水产种质资源发掘与利用教育部重点实验室, 上海 201306;

3. 北京市水生野生动物救治中心, 北京 102100)

摘要: 测定了2008年1—3月来自中国广东至江苏沿海9个河口的538尾线鳗的体长和矢耳石长轴半径, 分析了其中107尾线鳗矢耳石的日龄结构。结果表明, 线鳗的体长在47.40~62.34 mm, 平均(54.77±2.21) mm, 各采样点的平均体长存在极显著差异(ANOVA, $P < 0.001$)。矢耳石长轴半径为133.22~175.95 μm, 平均(154.55±9.09) μm, 各采样点之间无显著差异($P > 0.05$)。线鳗的日龄为124~158 d, 平均(135.78±6.84) d, 呈现出从南到北逐渐增加的趋势, 其中最北部的大丰较最南部的新会大了15.9 d。根据日龄和采集时间推断, 这些标本的孵化时间在9月6日—10月20日, 主要集中在10月中旬, 85.98%个体符合孵化时间的新月假设。分析表明, 孵化较早的个体到达河口的时间也较早, 生长速度快的个体也比生长慢的个体到达河口的时间要早。

关键词: 线鳗; 日龄分布; 孵化日期; 中国东南沿海

中图分类号: S 917.4

文献标志码: A

日本鳗鲡(*Anguilla japonica*)是一种具有重要经济价值的降海洄游鱼类(catadromous fishes), 分布于日本北海道至菲律宾之间的西太平洋淡水水域, 其产卵场位于与其育肥的淡水河流相距数千公里的北太平洋马里亚纳群岛以西的海域(15°N, 140°E)^[1-6]。刚孵化的仔鱼称柳叶鳗(leptocephali), 随北赤道洋流和黑潮暖流(Kuroshio)漂流至中国、朝鲜、日本的大陆架, 变态为玻璃鳗(glass eels), 玻璃鳗被淡水吸引进入河口、接触淡水后, 体表色素细胞逐渐发育, 称为线鳗(elver)。在河川成长的阶段称为黄体鳗(yellow eels), 性成熟的黄体鳗在降海洄游过程中逐渐变成银色鳗(silver eels), 返回产卵场产卵后即死亡^[7-10]。由于这种复杂的生活史特征, 使得日本鳗鲡的人工繁殖一直停留在试验阶段。探明其生活史特征, 不仅对人工繁育和天然幼鳗采样具有指导意义, 也是深受学者关注的科学

问题^[11-12]。

TSUKAMOTO等^[12]发现, 日本鳗鲡在4—11月间的新月夜产卵, 线鳗到达河口的时间与产卵场的距离呈正相关。李勃等^[13]测定的辽东半岛线鳗矢耳石日龄在128~166 d, 平均为146.8 d。李城华^[14-15]发现中国大陆沿岸的白仔鳗(相当于早期线鳗)日龄为138.2~155.2 d。本文通过对来自中国南方9个河口的线鳗样本分析, 弄清线鳗到达中国东南沿海的日龄分布格局, 揭示日本鳗鲡的繁殖季节及其持续时间, 探讨其幼体阶段体长生长与迁移地域的可能关系, 为探明其早期生活史特征提供基础资料, 也为我国天然鳗苗的采捕提供生态学资料。

1 材料与方法

1.1 样本采集

2008年1—3月, 在广东新会(St. 1, 潭江口)

收稿日期:2011-03-04 修回日期:2011-03-30

资助项目:国家自然科学基金项目(30771650);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(S30701)

通讯作者:唐文乔, E-mail:wqtang@shou.edu.cn

和汕头(St. 2, 榕江口), 福建福清(St. 3, 闽江口附近)和宁德(St. 4, 霍童溪口), 浙江温州(St. 5, 瓯江口)、台州(St. 6, 灵江口)和慈溪(St. 7, 钱塘江口), 上海九段沙(St. 8, 长江口), 江苏大丰(St. 9)等中国南部和东部沿海河口地区(图 1), 从当地用定置张网捕捞鳗苗的渔船上采集日本鳗鲡幼鳗, 每个采集点收集不少于 50 尾。装入 50 cm × 30 cm 双层封口保鲜袋内, 用冰块保存, 放入泡沫箱中带回实验室, 用数显卡尺测量鱼体全长(文中体长均为线鳗全长), 精确至 0.01 mm。电子分析天平称量标本体质量, 精确至 0.001 g(表 1)。据体表色素分布, 鉴定幼鳗发育的时相均为线鳗阶段^[16]。

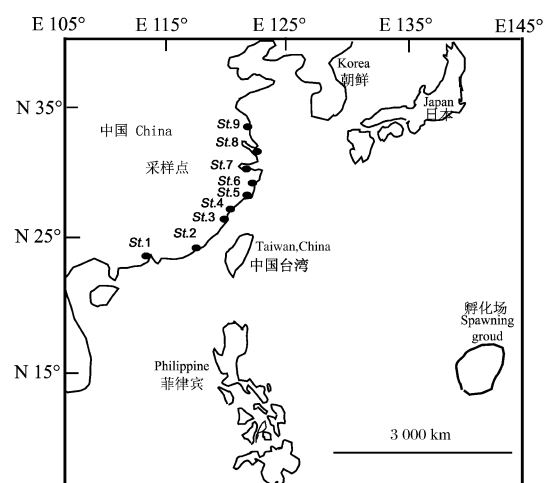


图 1 线鳗采样点分布图

Fig. 1 Distribution on sampling sites of elvers

表 1 线鳗采样地点、时间、数量及其它相关信息

Tab. 1 Sampling sites, collection date and individuals of elver and other informations

采样点 sampling sites	采样时间 collection date	平均体长 ± 标准差/mm average total length ± SD	体长测量数/尾 measurement of total length	矢耳石测量数/尾 measurement of sagitta otolith	日龄分析数/尾 analysis of daily age
新会 St. 1	2008-02-20	54.30 ± 2.04	54	54	9
汕头 St. 2	2008-01-23	54.89 ± 2.06	77	77	11
福清 St. 3	2008-02-20	56.16 ± 2.31	80	80	14
宁德 St. 4	2008-02-22	54.98 ± 2.16	52	52	11
温州 St. 5	2008-02-27	54.88 ± 2.01	50	50	7
台州 St. 6	2008-02-25	53.20 ± 2.34	53	53	12
慈溪 St. 7	2008-01-26	54.05 ± 1.64	46	46	14
九段沙 St. 8	2008-01-25	54.06 ± 1.68	66	66	15
大丰 St. 9	2008-03-11	55.74 ± 1.96	60	60	14

1.2 日龄计数和数据处理

从耳囊中取出矢耳石, 去离子水将包裹于耳石外部的包膜和粘液清洗干净, 再用无水酒精脱水, 二甲苯透明后, 用香柏油将耳石固定于载玻片。在 OLYMPUS BX-41 型体视显微镜下观察矢耳石的微结构(图 2)。

依据文献^[17-19]的描述和日龄计数方法, 沿矢耳石最长轴, 测量耳石原基(primordium, P)至耳石边缘(edge, E)的最大距离, 记为耳石长轴半径(otolith radii, R)。由 2 名观测者分别对耳石半径上的日轮数独立计数, 记作日龄。当两者误差小于 2% 时, 取均值。误差大于 2% 时, 重新计数, 并由第 3 名研究者补充核对, 如三者的误差小于 2%, 取均值, 否则舍去。由于孵化后约 5 日的卵黄囊阶段尚未沉积日轮^[17-18, 20-21], 因此, 将计数日龄增加 5 日校正为线鳗的实际日龄, 用于结

果分析。

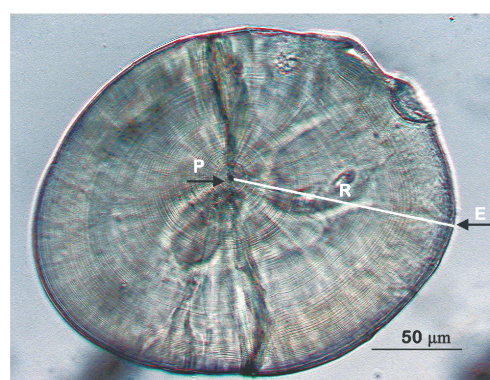


图 2 矢耳石形态特征

P. 耳石原基; E. 耳石边缘; R. 耳石长轴半径。

Fig. 2 Morphological character of sagitta otolith

P. primordium; E. edge; R. radii were measured from the primordium to the otolith edge.

据日龄和采样时间推算孵化时间。

体长日增长率 (G_L , mm/d) 为体长与日龄的比值, 耳石长半径日增长率 (G_R , $\mu\text{m}/\text{d}$) 为耳石长轴半径与日龄的比值, 两者用以描述鳎早期生活史阶段的生长速率和相应的耳石沉积情况^[19]。

用 Microsoft Excel 2003 和 SPSS 16.0 统计软件进行数据分析和绘图。

2 结果

2.1 线鳎体长、矢耳石长轴半径分布

538 尾线鳎的体长 47.40 ~ 62.34 mm, 平均为 (54.77 ± 2.21) mm。各采样点的体长在 53.20 ~ 56.16 mm, 其中以福清的最大, 台州的最小, 各采样点之间有极显著差异 (ANOVA, $P < 0.001$) (图 3-a)。

538 尾线鳎的矢耳石长轴半径为 133.22 ~ 175.95 μm , 平均 (154.55 ± 9.09) μm 。各采样点的平均矢耳石半径在 147.12 ~ 159.64 μm , 其中以汕头的最小, 大丰的最大, 但各采样点之间无显著性差异 (ANOVA, $P > 0.05$) (图 3-b)。

2.2 线鳎的日龄及其孵化日期

对 107 尾线鳎矢耳石日轮的计数显示, 中国东南部沿海线鳎日龄范围为 124 ~ 158 d, 有接近 70% 的个体集中在 130 ~ 145 d (图 4), 平均 (135.78 ± 6.84) d。

9 个采样点的日龄分布及其平均值列于表 2。可见, 其平均日龄大致呈由南向北逐步增大的趋势, 最北部的大丰较最南部的新会大 15.9 d。

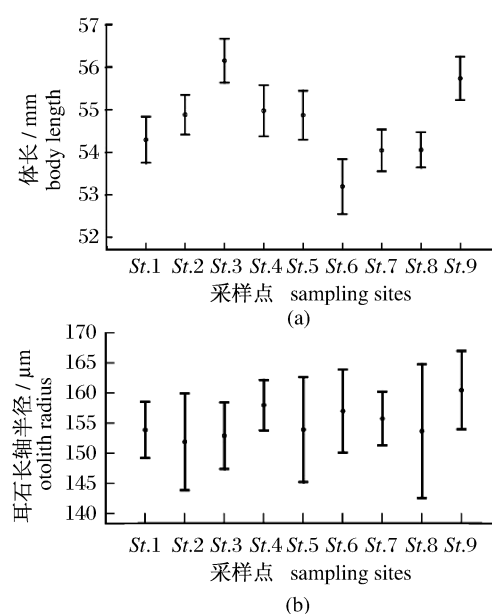


图 3 各采样点线鳎体长 (a) 和矢耳石长轴半径 (b) 分布
Fig. 3 Distribution on total length and long radius of otolith of elvers in each sampling site

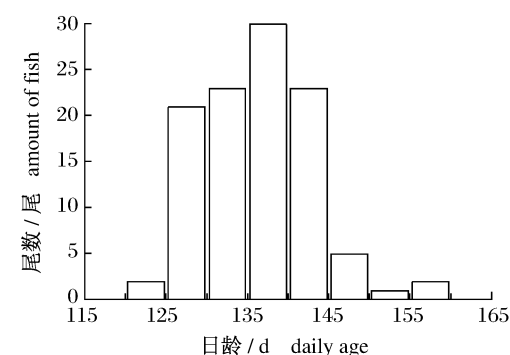


图 4 线鳎的日龄分布
Fig. 4 Distribution on daily age of elvers

表 2 各采样点线鳎的日龄分布和平均孵化时间
Tab. 2 Distribution on daily age and average hatching time of elvers in each sampling sites

采样点 site	日龄/d daily age								标本数/ 尾 samples	平均日龄/d mean daily age	平均孵化日期 average hatching time	农历平均孵化日期 average hatching time (Lunar calendar)
	120 ~ 125	125 ~ 130	130 ~ 135	135 ~ 140	140 ~ 145	145 ~ 150	150 ~ 155	155 ~ 160				
新会 St.1	2	5	2						9	127.0 ± 2.87 (124 ~ 132)	2007-10-16	2007-09-06
汕头 St.2		10	1						11	127.8 ± 1.40 (126 ~ 130)	2007-09-17	2007-08-07
福清 St.3		2	10	2					14	132.1 ± 2.71 (127 ~ 137)	2007-10-11	2007-09-01
宁德 St.4		3	3	5					11	133.3 ± 4.50 (125 ~ 140)	2007-10-11	2007-09-01
温州 St.5			3	4					7	135.4 ± 1.99 (133 ~ 138)	2007-10-14	2007-09-04
台州 St.6		1	3	7	1				12	135.2 ± 4.24 (126 ~ 142)	2007-10-12	2007-09-02
慈溪 St.7				4	8	2			14	141.2 ± 3.09 (135 ~ 146)	2007-09-06	2007-07-25
九段沙 St.8				5	9	1			15	141.0 ± 3.40 (136 ~ 147)	2007-09-07	2007-07-26
大丰 St.9			4	1	3	2	2	2	14	142.9 ± 8.91 (131 ~ 158)	2007-10-20	2007-09-01

依据日龄及线鳗采集时间所推断的线鳗孵化时间也列于表 2。可见,孵化最早的是九段沙和慈溪的样本,平均孵化时间分别为 9 月 6 日和 9 月 7 日;最迟的是大丰,为 10 月 20 日;福清、宁德、温州、台州 4 个点的孵化时间非常接近,均集中在 10 月中旬。

对孵化时间进行 ANOVA 多重比较,结果显示,可将 9 个采集点归为 4 个组别,组别间的孵化时间存在极显著差异 ($P < 0.01$),但组别内无显著差异 ($P > 0.05$)。九段沙和慈溪为第 1 组,孵化时间集中在下弦月至新月之间,平均为农历 7 月 25—26 日。汕头为第 2 组,孵化时间集中在新月至上弦月之间,平均为农历 8 月 7 日。第 3 组为福清、宁德、台州、温州、新会,孵化时间集中在下弦月至新月,以及新月至上弦月,平均在农历 9 月 1 日—9 月 6 日。第 4 组为大丰,孵化时间较为分散,在下弦月的前 4 天和上弦月的后 4 日这一时间段内均有,平均为农历 9 月 10 日(图 5)。从全部 107 尾线鳗个体的分析可见,集中在下弦月与上弦月之间孵化的个体占 85.98% (图 6)。

2.3 线鳗日龄与体长和矢耳石长半径日增长率的关系

计算所得 4 个组别线鳗体长日增长率 (G_L) 和矢耳石长半径日增长率 (G_R) 见表 3。相关性分析表明,在同一组别内,日龄 (T_D) 与其体长的日增长率 (G_L) 及与耳石长半径的日增长率 (G_R) 均呈显著的负相关(图 7 和图 8),而在不同的组别间,线鳗日龄与其体长日增长率 ($P = 0.412 > 0.05$) 和矢耳石长半径日增长率 ($P = 0.145 >$

0.05) 无显著的负相关关系。这表明在孵化时间相近的同一个组别内,日龄较小的个体,其体长的日增长率和矢耳石长半径的日增长率反而较大。也即体长日增长率和矢耳石长半径日增长率较快的个体,其到达河口的时间要比生长较慢的个体早。

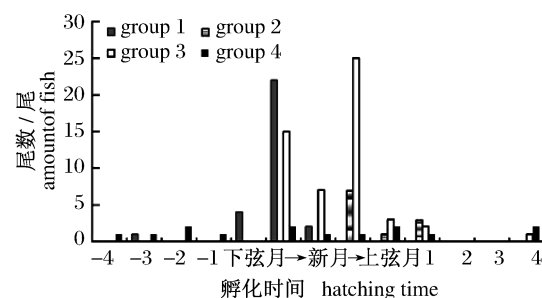


图 5 各组别线鳗孵化时间分布

Fig. 5 The frequency distribution on hatching time of each elver group

group 1. (慈溪 St. 7, 九段沙 St. 8); group 2. (汕头 St. 2); group 3. (新会 St. 1, 福清 St. 3, 宁德 St. 4, 温州 St. 5, 台州 St. 6); group 4. (大丰 St. 9)。

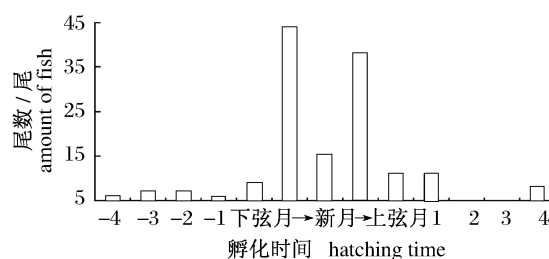


图 6 全部线鳗个体孵化时间分布

Fig. 6 The frequency distribution on hatching time of elvers

表 3 4 个组别的线鳗平均日龄、体长日增长率和矢耳石长半径日增长率

Tab. 3 Mean daily age, daily growth rates of total length and long radius of otolith on four groups of elvers

组别 group	平均日龄/d mean daily age	体长日增长率/(mm/d) mean daily growth rate	矢耳石长半径日增长率/($\mu\text{m}/\text{d}$) mean daily growth rate of otolith
1	141.1 \pm 3.23 (135 ~ 147)	0.40 \pm 0.02 (0.36 ~ 0.47)	1.11 \pm 0.09 (0.92 ~ 1.23)
2	127.8 \pm 1.40 (126 ~ 130)	0.46 \pm 0.03 (0.42 ~ 0.52)	1.20 \pm 0.08 (1.09 ~ 1.36)
3	133.9 \pm 3.72 (126 ~ 142)	0.42 \pm 0.03 (0.33 ~ 0.47)	1.15 \pm 0.09 (0.96 ~ 1.31)
4	142.9 \pm 8.91 (131 ~ 158)	0.39 \pm 0.03 (0.35 ~ 0.45)	1.13 \pm 0.10 (0.91 ~ 1.29)

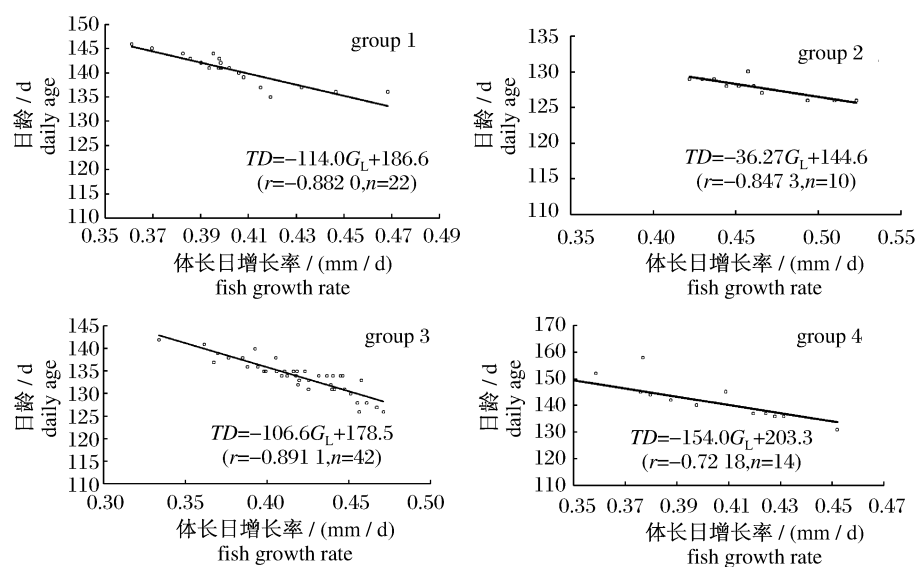


图7 线鳎体长日增长率和日龄的相关性

Fig. 7 Correlation between daily growth rate of total length and daily age of elvers

group 1. (慈溪 *St.* 7, 九段沙 *St.* 8); group 2. (汕头 *St.* 2); group 3. (新会 *St.* 1, 福清 *St.* 3, 宁德 *St.* 4, 温州 *St.* 5, 台州 *St.* 6); group 4. (大丰 *St.* 9)。

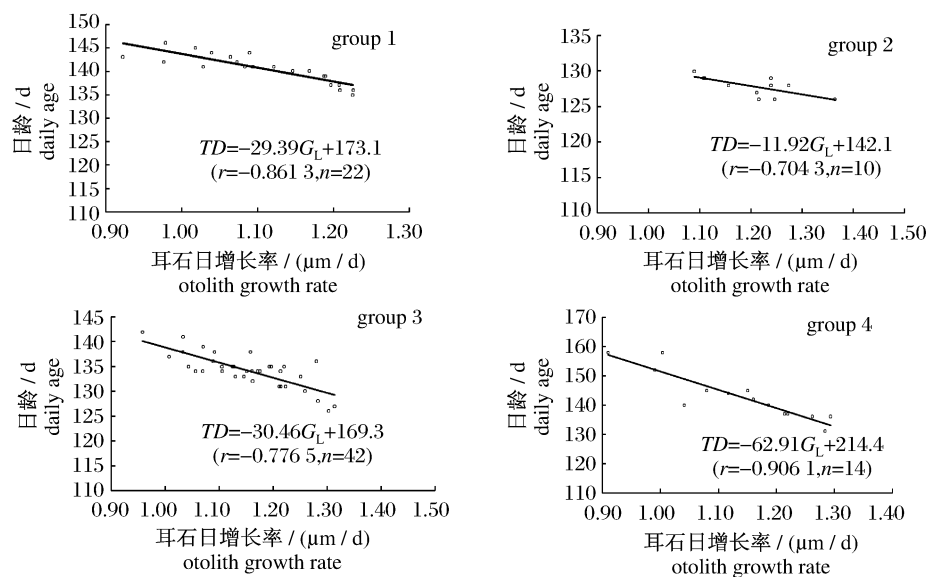


图8 线鳎矢耳石长半径日增长率和日龄的相关性

Fig. 8 Correlation between daily growth rate of otolith and daily age of elvers

group 1. (慈溪 *St.* 7, 九段沙 *St.* 8); group 2. (汕头 *St.* 2); group 3. (新会 *St.* 1, 福清 *St.* 3, 宁德 *St.* 4, 温州 *St.* 5, 台州 *St.* 6); group 4. (大丰 *St.* 9)。

3 讨论

研究分析表明,中国东南部沿海的线鳎日龄为124 ~ 158 d,平均(135.78 ± 6.84) d。这与1981年采自台湾北部石碇溪^[22]、1985年采自台

湾东北部双池河口^[23]、李勃等^[13] 1990年采自辽东半岛,以及李城华^[14] 1994年湛江至东港6个点采集的线鳎样本日龄比较接近,但较1982年采自日本鹿儿岛^[24]和1990年和1992年采自台湾的线鳎日龄小了约1个月^[27-28](表4)。

表 4 日本鳗鲡幼体的孵化时间及到达各个河口的日龄比较
Tab. 4 Comparison on hatching time and daily age of reaching each estuary of Japanese eel larvae

采集点 sampling site	日龄/d daily age	尾数/尾 num of fish	农历孵化时间 hatching time (Lunar calendar)	文献 reference
中国台湾北部石碇溪 Shihding river, Taiwan, China	130.75 ± 10.9 (120 ~ 144)	4	1981-06-07	曾万年等 ^[22]
日本九州鹿儿岛 Kagoshima, Japan	158.50 ± 8.6 (151 ~ 172)	8	1981-06-12	TABETA 等 ^[24]
	112.8 ± 9.4 (95 ~ 135)	14	1985-05-27	
中国台湾东北部双池河口	120.0 ± 10.4 (100 ~ 135)	18	1985-07-01	TZENG 等 ^[27]
Shuang-Chi river estuary, Taiwan, China	129.9 ± 9.7 (105 ~ 150)	14	1985-07-21	
	156.5 ± 13.5 (135 ~ 175)	15	1985-07-23	
中国台湾东、西部河口 Eastern and Western coasts of Taiwan, China	170.4 ± 21.02 (154 ~ 197)	25	1989-06-28	WANG 等 ^[28]
东港 Donggang	155.2 ± 9.0	20	1993-10-09	
胶州湾 Jiaozhou Bay	147.0 ± 13.2	36	1993-10-23	
长江口 Yangtze River Estuary	141.2 ± 12.5	17	1993-09-27	李城华 ^[14]
中国大陸 China	温州 Wenzhou	138.2 ± 6.7	1993-08-25	
	云霄 Yunxiao	143.0 ± 10.7	1993-08-22	
	湛江 Zhanjiang	150.2 ± 12.3	1993-08-08	
	辽东半岛黄海北部沿岸 river estuary in the north of the Huanghai Sea	146.3 (128 ~ 166)	1989-10-23	李勃 ^[13]
中国台湾东港溪 Tung-Kang river, Taiwan, China	156.86 ± 17.4	16	1992-06-27	
中国大陸钱塘江 Chyan-Tang river, China	176.49 ± 11.3	23	1992-07-26	
中国大陸岷江 Ming-Chiang river, China	162.87 ± 8.6	20	1992-08-23	CHENG 等 ^[19]
朝鲜鸭绿江 Yalu river, Korea	178.35 ± 9.9	23	1992-10-11	
日本 Ichinomiya Ichinomiya river, Japan	182.06 ± 12.43	10	1992-06-12	

李城华^[14]分析了湛江至东港 6 个采集点线鳗的日龄,平均为 138.2 ~ 155.2 d,发现以长江口和温州的日龄最低,向南、北两侧的日龄逐渐增大。我们的研究显示,中国东南部沿海线鳗的平均日龄,自南部的珠江口到北部的大丰有逐步增大的趋势,两者相差 15.9 d。这与 CHENG 等^[25]对采自日本、台湾和中国线鳗日龄的研究结果基本一致。

研究显示,107 尾线鳗的孵化时间在 9 月初至 10 月下旬,9 个采集点的平均孵化时间可归为 4 个组别。较早的是 group 1(九段沙和慈溪)和 group 2(汕头),分别在 9 月上旬和中旬,较迟的是 group 3(福清、宁德、台州、温州、新会)和 group 4(大丰),分别为 10 月中旬和下旬。如果按农历分析,全部 107 尾线鳗中,有 85.98% 个体的孵化时间均在下弦月与上弦月之间(图 6)。其中 group 1、2、3 的孵化时间主要集中在弦月至新月之间,只有组别 4 的孵化时间略为分散(图 5)。

TSUKAMOTO 等^[12]认为日本鳗鲡的产卵时间仅在 4 至 11 月间的新月夜,并提出了新月夜假设。而对线鳗日龄的研究显示,大部分个体的孵化时间在下弦月至上弦月这一段时间,也有部分

个体的孵化时间在满月前后^[22-24]。本研究显示,除了大丰,其他地点的孵化时间均集中在农历的下弦月至上弦月之间,基本符合新月假设。

李城华等^[14]获得的采集自湛江至东港 6 个点线鳗体长日增长率为 0.34 ~ 0.42 mm/d。TZENG 等^[23]获得的采自台湾东北部的线鳗体长日增长率为 0.35 ~ 0.60 mm/d,矢耳石长半径日增长率为 0.8 ~ 1.4 μm/d。研究发现,体长日增长率和矢耳石长半径日增长率较大的个体,可能要比生长较慢的个体到达河口的时间要早,这一现象在欧洲鳗鲡和美洲鳗鲡的相关研究中也得到验证^[23]。本研究通过对线鳗日龄与其体长日增长率(范围为 0.33 ~ 0.52 mm/d)和矢耳石长半径日增长率(范围为 0.91 ~ 1.36 μm/d)所作的分析,在孵化时间相近的同一群体内也得到了类似的结果(图 7 和图 8),但在孵化时间差距较大的不同群体间不存在这样的规律。

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: 929.
- [3] TSUKAMOTO K, AOYAMA J. Migration, speciation and the evolution of diadromy in anguillid eels [J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 2002, 59: 1989 – 1998.
- [4] LIAO I C, KUO C L, TZENG W N, *et al.* The first time of leptocephali of Japanese eel *Anguilla japonica* collected by Taiwanese researchers [J]. Journal of Taiwan Fisheries Research, 1996, 4: 107 – 116.
- [5] LIAO I C. A general review on aquaculture in Asia: A focus on anguillid eel [C] // Liao I C. The 5th and 6th Asian Fisheries Forums. AFS Special Publication, 2001, 11: 39 – 54.
- [6] LIAO I C, LIAU S G, TZENG W N, *et al.* Investigation on *Anguilla japonica* leptocephali by Fisheries Researcher 1 [C] // AIDA K, TSUKAMOTO K, eds. Studies on the life cycle of eel. Kaiyo Monthly, Special Issue, 1999, 18: 27 – 33.
- [7] TSUKAMOTO K, LEE T W. Synchronized spawning of *Anguilla japonica* inferred by otolith daily ring of the leptocephali [J]. Ichthyological Research, 1998, 45: 208 – 211.
- [8] TESCH R W. The Eel. Biology and management of anguillid eels [M]. London: Chapman & Hall, 1977.
- [9] 郭弘艺, 魏凯, 谢正丽, 等. 长江口银色鳗的形态指标体系及其雌雄鉴别 [J]. 水产学报, 2011, 35 (1): 1 – 9.
- [10] 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.
- [11] TZENG W N. Modern research on the natural life history of the Japanese eel *Anguilla japonica* [J]. Journal of Fisheries Society of Taiwan, 2003, 31 (2): 73 – 84.
- [12] TSUKAMOTO K, OTAKE T. Seamounts, new moon and eel spawning: the search for the spawning site of the Japanese eel [J]. Environmental Biology of Fishes, 2003, 66: 221 – 229.
- [13] 李勃. 鳗鲡幼鱼耳石日轮的研究. 动物学研究 [J]. 1992, 24 (4): 345 – 349.
- [14] 李城华. 日本鳗鲡补充群体的日龄, 全长, 出生时间及耳石生长的变化 [J]. 海洋学报, 1998, 20 (4): 107 – 113.
- [15] 李城华. 日本鳗鲡早期阶段耳石显微结构的研究 [J]. 科学通报, 1995, 40 (14): 1326 – 1328.
- [16] BERTIN L. Eels-a biological study [M]. London: Cleaver-Hume Press, 1956.
- [17] TZENG W N. Relationship between growth rate and age at recruitment of *Anguilla japonica* elvers in a Taiwan estuary as inferred from otolith growth increments [J]. Marine Biology, 1990, 107: 75 – 81.
- [18] TZENG W N, TSAI Y C. Changes in otolith microchemistry of the Japanese eel, *Anguilla japonica*, during its migration from the ocean to the rivers of Taiwan [J]. Journal of Fish Biology, 1994, 45: 671 – 684.
- [19] CHENG P W, TZENG W N. Timing of metamorphosis and estuarine arrival across the dispersal range of the Japanese eel *Anguilla japonica* [J]. Marine Ecology Progress Series, 1996, 131: 87 – 96.
- [20] YAMAMOTO K, YAMAUCHI K. Sexual maturation of Japanese eel and production of eel larvae in the aquarium [J]. Nature, 1974, 251: 220 – 222.
- [21] YAMAUCHI K, NAKAMURA M, TAKAHASHI H, *et al.* Cultivation of larvae of Japanese eel [J]. Nature, 1976, 263: 412.
- [22] 曾万年. 由耳石的日周轮推算日本鳗 (*Anguilla japonica*) 之仔鳗从产卵场漂游到河口域所需要的时间 [J]. 生物科学, 1985, 20: 15 – 31.
- [23] TZENG W N. Relationship between growth rate and age at recruitment of *Anguilla japonica* elvers in a Taiwan estuary as inferred from otolith growth increments [J]. Marine Biology, 1990, 107 (1): 75 – 81.
- [24] TABETA O, TANAKA K, YAMADA J, *et al.* Aspects of the early life history of the Japanese eel *Anguilla japonica* determined from otolith microstructure [J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 1987, 53 (10): 1727 – 1734.
- [25] CHENG P W, TZENG W N. Timing of metamorphosis and estuarine arrival across the dispersal range of the Japanese eel *Anguilla japonica* [J]. Marine Ecology Progress Series, 1996, 131: 87 – 96.
- [26] 倪勇, 伍汉霖. 江苏鱼类志 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2007.
- [27] TZENG W N, YU S Y. Otolith microstructure and daily age of *Anguilla japonica*, Temminck & Schielgel elvers from the estuaries of Taiwan with reference to unit stock and larval migration [J]. Journal of Fish Biology, 1992, 40: 845 – 857.
- [28] WANG C H. The timing of metamorphosis and growth rates of American and European eel leptocephali: A mechanism of larval segregative migration [J]. Fish Research, 2000, 46: 191 – 205.

Daily age and hatching time of Japanese eel elvers from southeast coastal estuaries of China

GUO Hong-yi^{1,2}, WEI Kai^{1,2,3}, XIE Zheng-li^{1,2}, TANG Wen-qiao^{1,2*},
WU Jia-min^{1,2}, CHEN Wen-yin^{1,2}

(1. Laboratory of Ichthyology, College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

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

3. The Saving Center for Aquatic Animals in Beijing, Beijing 102100, China)

Abstract: The Japanese eel, *Anguilla japonica*, is one of the most important cultured species, widely distributed in rivers of the northeastern Asian countries' Taiwan, China, Korea and Japan. The spawning grounds were recently discovered in the North Equatorial Current west of the Mariana Islands, 15°N, 140°E. From January to March 2008, there were 538 Japanese eel elvers collected from nine estuaries along Guangdong Province to Jiangsu Province which were measured on total length and long radius of sagitta otolith. Furthermore, observations were based on growth increments in sagittal otoliths of elvers collected at 9 sites. These results indicated that total length of elvers were 47.40 mm to 62.43 mm, the average value was (54.77 ± 2.21) mm and the mean total length of each site was significantly different (ANOVA, $P < 0.001$). As for long radius of sagitta otolith, it was from 133.22 μm to 175.95 μm , the average value was (154.55 ± 9.09) μm and there was no significant difference among each site (ANOVA, $P > 0.05$). Daily age of elvers ranged from 124 d to 158 d and the average value was (135.78 ± 6.84) d, indicating that migration of eel larvae from their oceanic spawning ground to the estuary requires 4 to 5 months. An obvious trend of daily age was increasing from southern to northern areas and the maximum difference was 15.9 d. Elver hatching dates, back-calculated from estimated daily ages, indicated that the spawning season lasted 2 months (from Sep. 6 to Oct. 20), mainly concentrated in middle of October and approximately 85.98% samples accorded with New Moon Hypothesis. Finally, the inverse correlation between daily age and mean daily growth rates of fish length and otolith radius indicated that the time taken on migration from oceanic spawning ground to the estuary was shorter for fast-growing larvae than fast-growing elvers which arrived at the estuary earlier than slow-growing ones.

Key words: elvers; distribution on daily age; hatching date; southeast coastal region in China

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