

利用耳石微结构研究西南大西洋阿根廷滑柔鱼的 日龄、生长与种群结构

陆化杰¹, 陈新军^{1,2,3*}

(1. 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306;

2. 上海海洋大学大洋生物资源可持续开发和利用上海市高校重点实验室, 上海 201306;

3. 上海海洋大学大洋渔业可持续开发省部共建教育部重点实验室, 上海 201306)

摘要: 根据我国鱿钓船 2007、2008 和 2010 年在西南大西洋作业期间采集的 3 462 尾阿根廷滑柔鱼样本(其中 2007 年 308 尾、2008 年 262 尾、2010 年 2 892 尾), 利用耳石微结构研究了西南大西洋阿根廷滑柔鱼的日龄、生长和种群结构。结果表明, 阿根廷滑柔鱼生命周期大约为 1 年, 渔获物主要由冬生群(6—7 月)和秋生群(3—5 月)组成, 不同年份捕捞群体有差异。不同产卵群体、不同性别的阿根廷滑柔鱼胴长和体质量生长均存在显著性差异。冬生群, 雌、雄个体胴长的生长方程分别用指数和线性函数来拟合为最适, 体质量生长方程则分别用幂函数和指数函数来拟合最适; 秋生群, 雌、雄个体的胴长生长方程分别用指数和对数函数拟合为最适, 体质量生长方程分别用指数和对数函数拟合为最适。随着日龄增加, 阿根廷滑柔鱼胴长和体质量相对生长呈现下降趋势, 绝对生长率则呈增加趋势, 同一日龄段内, 雌性个体的胴长与体质量生长率都稍大于雄性个体生长率。

关键词: 阿根廷滑柔鱼; 耳石; 日龄与生长; 种群结构; 西南大西洋

中图分类号: Q 346; S 917.4

文献标志码: A

阿根廷滑柔鱼(*Illex argentinus*)广泛分布在西南大西洋巴塔哥尼亚大陆架海域, 资源丰富^[1-2], 是乌拉圭、阿根廷、巴西等沿岸国重要的渔业资源^[3], 同时在海洋生态系统中扮演着重要的角色^[4]。中国大陆于 1997 年开始到西南大西洋捕捞阿根廷滑柔鱼, 目前该种类已经是我国远洋鱿钓渔业的重要捕捞对象^[5]。尽管国内外对阿根廷滑柔鱼的渔业生物学进行了很多的研究^[6-9], 但是针对我国鱿钓船捕捞的群体结构及其日龄与生长的研究还是甚少。头足类耳石储存信息丰富、耐腐蚀、结构稳定^[10], 被广泛用于研究头足类日龄与生长及生活史^[11-13]等。为此, 本实验根据 2007 年、2008 年和 2010 年中国大陆鱿钓船在西南大西洋海域生产期间采集的阿根廷滑柔鱼样本, 利用耳石微结构方

法对公海海域我国鱿钓船所捕获的阿根廷滑柔鱼日龄、生长和种群结构进行了研究, 为有效、科学管理该资源提供依据。

1 材料与方 法

1.1 样本采集海域和时间

样品来自“新世纪 52 号”和“浙远渔 807 号”专业鱿钓船。时间为 2007 年 2—5 月、2008 年 3—5 月和 2010 年 1—3 月, 采集海域为 40°02'S~46°53'S、57°55'W~60°43'W; 45°03'S~46°57'S、60°02'W~60°47'W 和 45°17'S~47°14'S、60°0'5W~60°47'W。每个站点渔获中随机抽取 10~15 尾, 获得的样本经冷冻保藏运回实验室, 共采集样本 3 462 尾(其中 2007 年 308 尾、2008 年 262 尾、2010

收稿日期: 2011-07-30 修回日期: 2011-12-07

资助项目: 国家“八六三”高技术研究发展计划(2012AA092303); 教育部博士点基金(20093104110002); 曙光计划跟踪项目(08GG14); 上海市捕捞学重点学科建设项目(S30702)

通讯作者: 陈新军, E-mail: xjchen@shou.edu.cn

<http://www.scxuebao.cn>

年 2 892 尾)。

1.2 生物学测量及耳石提取

实验室解冻后对阿根廷滑柔鱼进行生物学测定, 包括胴长(mantel length, ML)、体质量(body weight, BW)、性别、性成熟度等。胴长测定精确至 0.1 cm, 体质量精确至 0.1 g。

从头部平衡囊提取耳石, 最后得到完整耳石样本 3 450 对(雌 2 019 对、雄 1 431 对), 雌、雄阿根廷滑柔鱼的胴长范围分别为 267~350 mm、122~266 mm。对取出的耳石进行编号并存放于盛有 95%乙醇溶液的 1.5 mL 离心管中, 以便清除包裹耳石的软膜和表面的有机物质。

1.3 耳石制备和日龄读取

耳石各区及研磨平面见图 1, 具体研磨方法参考文献[10-11]的方法。将制备好的耳石切片置于 Olympus 光学显微镜(物镜×4, ×10, ×40, 目镜×10)×400 下, 采用 CCD 拍照, 并通过数据线将照片传入电脑, 然后利用 Photoshop 8.0 图像处理软件处理, 并计数轮纹数目。计数过程中, 每一个耳石的轮纹计数两次, 每次计数的轮纹数目与均值的差值低于 5%, 则认为计数准确, 否则再计数两次取 4 次平均值^[11]。经对不同胴长组的样本进行随机抽样和研磨, 最后得到有效耳石 531 枚(2007 年 160 枚, 2008 年 125 枚, 2010 年 302 枚)。

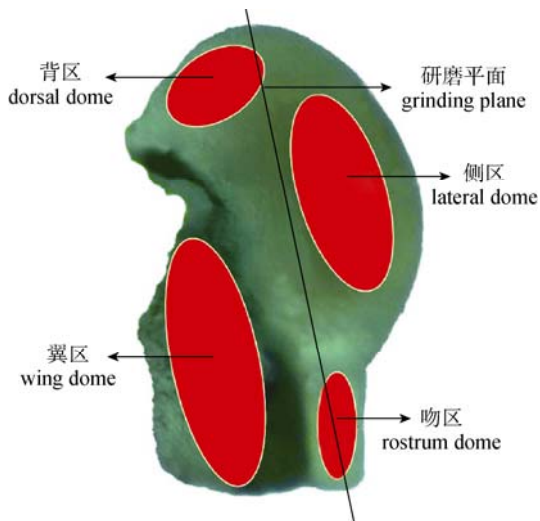


图 1 耳石各区分布及研磨平面示意图
Fig. 1 Scheme of each dome of statolith and grinding plane

1.4 孵化群体划分

通过判读样本的耳石获得日龄数据, 结合捕

捞日期, 逆算其孵化日期, 并根据不同的孵化日期, 划分不同的产卵群体^[11]。

1.5 生长模型选取

(1) 利用协方差分析不同年分、不同性别间日龄与胴长、日龄与体质量是否存在显著性差异。

(2) 采用线性生长模型、指数生长模型、幂函数生长模型、对数函数模型、Logistic、von Bertalanffy、Gompertz 生长模型^[11,13-14]分别拟合阿根廷滑柔鱼的生长方程:

$$\text{线性方程: } L=a+bt \tag{1}$$

$$\text{指数方程: } L=ae^{bt} \tag{2}$$

$$\text{幂函数方程: } L=at^b \tag{3}$$

$$\text{对数函数方程: } L=a\text{Ln}(t)+b \tag{4}$$

$$\text{Logistic 生长方程: } L_t = \frac{L_\infty}{1 + \exp[-K(t_i - t_o)]} \tag{5}$$

$$\text{von Bertalanffy: } L_t = L_\infty \times \{1 - \exp[-K(t_i - t_o)]\} \tag{6}$$

$$\text{Gompertz: } L_t = L_\infty \times \exp\{1 - \exp[-K(t_i - t_o)]\} \tag{7}$$

式中, L 为胴长(或体质量)(mm, g); t 为日龄(d); a 、 b 、 K 为常数; t_0 为 $L = 0$ 时的理论日龄; L_∞ 为渐近体长。

(3) 采用最大似然法^[15-16]估计模型生长参数, 其公式:

$$L(\tilde{L}|L_\infty, K, t_o, \sigma^2) = \prod_{i=1}^N \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{[L_i - f(L_\infty, K, t_o, t_i)]^2}{2\sigma^2}\right\} \tag{8}$$

式中, σ^2 为误差项方差^[17], 其初始值设定为总体样本平均体长的 15%^[18]。最大似然法取自然对数后估算求得^[19], 生长参数在 Excel 2003 中利用规划求解拟合求得。

(4) 应用(Akaike's information criterion, AIC) 进行生长模型比较^[15-16], 其计算公式:

$$AIC = -2\text{Ln}L(p_1, \dots, p_m, \sigma^2) + 2m \tag{9}$$

式中, $L(p_1, \dots, p_m)$ 为日龄体长数据的最大似然值, 为模型参数的最大似然估计值, m 为模型中待估参数的个数。7 个生长模型中, 取得最小 AIC 值的模型为最适生长模型。

1.6 增长率估算

采用瞬时相对增长率 IRGR(instantaneous relative growth rate)和绝对增长率 AGR(absolute growth rate)来分析阿根廷滑柔鱼的生长, 计算方程^[5]:

$$IRGR(\%) = \frac{\text{Ln}(R_2) - \text{Ln}(R_1)}{t_2 - t_1} \times 100 \tag{10}$$

式中, R_2 为 t_2 龄时体质量(BW)或胴长(ML); R_1 为 t_1 龄时体质量(BW)或胴长(ML); G 为相对增长率。

$$AGR = \frac{R_2 - R_1}{t_2 - t_1} \quad (11)$$

式中, R_2 为 t_2 龄时体质量(BW, g)或胴长(ML, mm); R_1 为 t_1 龄时体质量(BW)或胴长(ML); AGR 单位 mm/d 或 g/d。

本研究采用的时间间隔为 30 d。研究过程中, 某一日龄段只有一个样本时, 为了减小误差, 该日龄段增长率不作分析。

2 结果

2.1 胴长和体质量组成

通过分析, 2007 年样本胴长范围为 178~346 mm, 平均胴长为 231.72 mm, 优势胴长组为 180~270 mm, 占总数的 87.95%, 其次为 270~300 mm, 占总数的 9.45%; 2008 年样本胴长范围为 193~364 mm, 平均胴长为 266.88 mm, 优势胴长组为 210~330 mm, 占总数的 89.35%, 其次为 150~180 mm, 占总数的 7.06%, 小于 150 mm 的个体很少; 2010 年样本胴长范围为 93~335 mm, 平均胴长为 207 mm, 优势胴长组为 180~240 mm, 占总数的 84.33%, 其次为 150~180 mm, 占总数的 10.14%(图 2-a)。

2007 年样本体质量范围为 102~802 g, 平均体质量为 275.25 g, 优势体质量组为 100~350 g, 占总数的 82.84%, 其次为 350~500 g, 占总数的 11.08%; 2008 年样本体质量范围为 145~900 g, 平均体质量为 440.86 g, 优势体质量组为 150~300 g 和 450~700 g, 分别占总数的 30.74% 和 51.75%, 其次为 350~500 g, 占总数的 11.08%; 2010 年体质量范围为 70~425 g, 平均体质量为 187.11 g, 优势体质量组为 100~300 g,

占总数的 91.51%, 其次为 50~100 g 和 300~350 g, 分别占总数的 4.74% 和 4.54%(图 2-b)。

2.2 日龄组成

耳石微结构判读表明(图 3), 2007 年样本日龄范围为 207~370 d, 平均日龄为 286.5 d, 优势日龄组为 240~330 d, 占总数的 83.19%, 其次分别为 210~240 d 和 330~360 d, 分别占总数的 7.96% 和 7.07%; 2008 年样本日龄范围为 208~359 d, 平均日龄为 293.8 d, 优势日龄组为 240~330 d, 占总数的 91.72%, 其次为 210~240 d, 占总数的 6.91%; 2010 年样本日龄范围为 173~400 d, 平均日龄为 300 d, 优势日龄组为 240~360 d, 占总数的 88.68%, 其次分别为 210~240 d 和 360~390 d, 均占总数的 4.53%(图 4)。

2.3 孵化期推断及群体划分

根据日龄和捕捞日期推算的结果显示, 2007 年阿根廷滑柔鱼孵化日期分布于 2006 年的 3—12 月, 几乎遍布全年, 但主要集中在 6—7 月, 占总数的 84.91%; 2008 年阿根廷滑柔鱼孵化日期分布于 2007 年的 5—12 月, 主要集中在 6—8 月, 占总数的 90.94%。2010 年阿根廷滑柔鱼孵化日期分布在 2009 年 1—12 月, 遍布全年(图 5), 但是孵化高峰期出现在 3—5 月, 占总数的 74.77%, 其次为 6—8 月, 占总数的 13.59%。

根据阿根廷滑柔鱼孵化期的推算, 可以认为样本由秋季和冬季两个产卵群体组成, 其中 2007、2008 年阿根廷滑柔鱼属于冬生群(6—7 月), 即布宜诺斯艾利斯-巴塔哥尼亚北部种群(BNS), 而 2010 年样本则主要为秋生群(3—5 月), 即南部巴塔哥尼亚种群(SPS)。

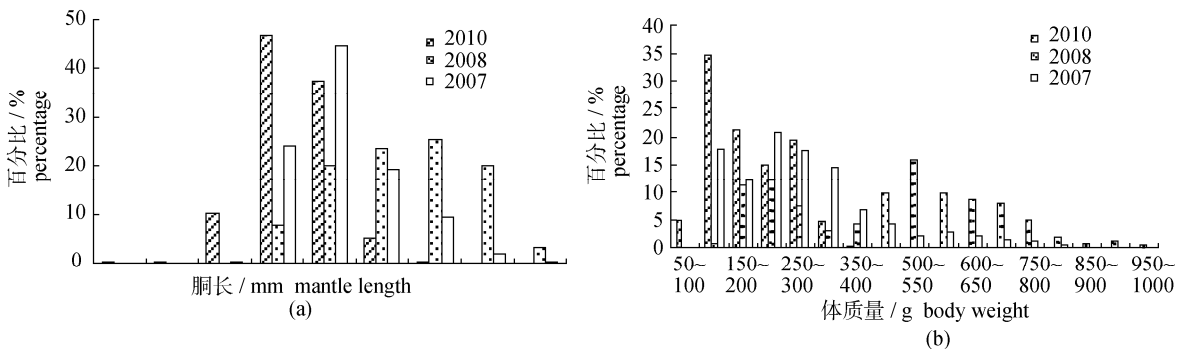


图 2 阿根廷滑柔鱼不同年份的渔获物胴长(a)与体质量(b)分布
Fig. 2 Distribution of mantle length (a) and body weight (b) for *I. argentinus* in different years

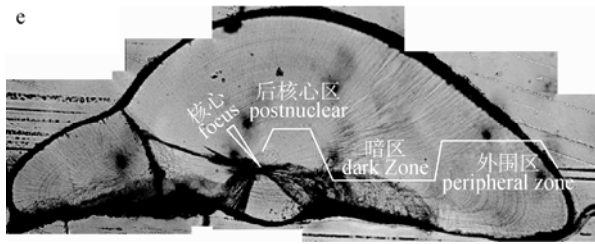


图3 研磨后阿根廷滑柔鱼耳石微结构叠加示意图
雌性, 胴长 255 mm, 体质量 258 g, 日龄 315 d。

Fig. 3 Statolith microstructure of *I. argentinus* female, mantle length 255 mm, body weight 258 g, age 315 d

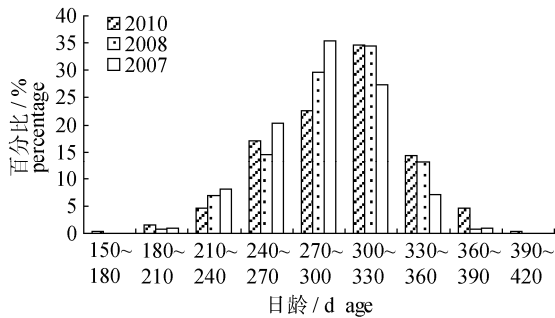


图4 阿根廷滑柔鱼不同年间日龄分布
Fig. 4 Distribution of age for *I. argentinus* in different years

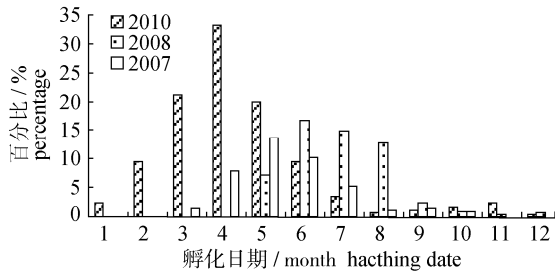


图5 阿根廷滑柔鱼孵化日期分布
Fig. 5 Distribution of hatching date for *I. argentinus*

2.4 日龄和胴长的关系

协方差分析表明, 2007、2008 年间阿根廷滑柔鱼日龄与胴长之间的关系不存在显著性差异($F=0.597, P=0.082>0.05$), 2007 与 2010 年($F=227.33, P=0.001<0.05$)、2008 与 2010 年($F=264.44, P=0.001<0.05$)年间则都存在显著性差异, 由于 2007、2008 年阿根廷滑柔鱼样本属于冬生群, 2010 年阿根廷滑柔鱼则属于秋生群, 不同年份间存在的胴长生长差异性, 可以解释为不同群体间胴长生长的差异性。通过协方差分析, 冬季群体($F=161.36, P=0.003<0.05$)和秋季群体间($F=65.56, P=0.001<0.05$)阿根廷滑柔鱼胴长的生长都存在性别间差异, 因此, 将 2007、2008 年样本合并, 而将 2010 年样

本独立并分不同性别研究阿根廷滑柔鱼日龄与胴长之间的关系。通过方程的拟合、最大似然法则的优化及 AIC 的比较, 得到阿根廷滑柔鱼胴长最佳生长方程 (图 6)。

冬生群:

雌性 $ML=106.9955 \times e^{0.0032Age}$ ($R^2=0.7082, n=152$)

雄性 $ML=0.6705 \times Age + 43.101$ ($R^2=0.5756, n=109$)

秋生群:

雌性 $ML=116.65 \times e^{0.0021Age}$ ($R^2=0.5582, n=141$)

雄性 $ML=129.6903 \times \ln(Age) - 531.0295$ ($R^2=0.6478, n=127$)

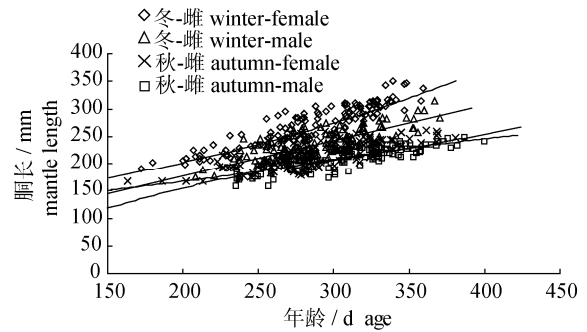


图6 阿根廷滑柔鱼日龄与胴长关系
Fig. 6 Relationship between age and mantle length for *I. argentinus*

2.5 日龄和体质量的关系

协方差分析表明, 2007、2008 年阿根廷滑柔鱼日龄与体质量之间的关系不存在显著性差异($F=13.3274, P=0.08>0.05$), 2007 与 2010 年($F=220.64, P=0.001<0.05$)、2008 与 2010 年($F=515.26, P=0.001<0.05$)则都存在显著性差异。通过协方差分析, 冬生群($F=70.54, P=0.003<0.05$)和秋生群($F=1.748, P=0.001<0.05$)间阿根廷滑柔鱼存在性别间差异, 因此, 将 2007、2008 年样本合并, 而将 2010 年样本独立并分不同性别研究阿根廷滑柔鱼日龄与体质量之间的关系。通过方程的拟合、最大似然法则的优化及 AIC 的比较, 得到阿根廷滑柔鱼体质量最适生长方程(图 7)。

冬生群:

雌性 $BW=9.09 \times 10^{-5} Age^{2.7062}$ ($R^2=0.6959, n=152$)

雄性 $BW=15.5689 \times e^{0.0101Age}$ ($R^2=0.6319, n=$

109)

秋生群:

雌性 $BW = 34.3861 \times e^{0.0061Age}$ ($R^2 = 0.5413, n=$

141)

雄性 $BW = 404.3661 \times Ln(Age) - 2101.6$ ($R^2 =$

0.5407, $n=127$)

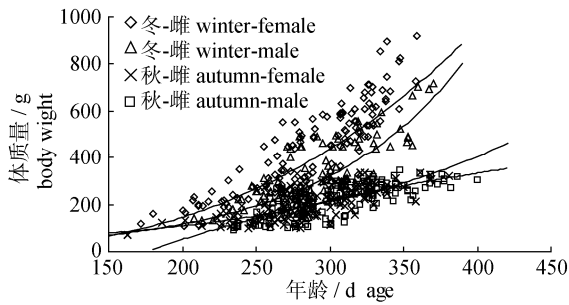


图 7 阿根廷滑柔鱼日龄与体质量关系

Fig. 7 Relationship between age and body weight for *L. argentinus*

2.6 生长率分析

研究表明, 阿根廷滑柔鱼生长比较迅速。按胴长计算, 对于冬生群, 雌性胴长平均相对和绝对生长率分别为 0.29 %/d 和 0.73 mm/d, 最大相对生长率(0.39 %/d)和绝对生长率(1.09 mm/d)均出现在 300~330 d; 最小相对生长率(0.14 %/d)和绝对生长率(0.37 mm/d)出现在 270~300 d(图 8); 雄性胴长平均相对和绝对生长率分别为 0.20 %/d 和 0.50 mm/d, 最大相对生长率(0.35 %/d)和绝对生长率(0.84 mm/d)均出现在 300~330 d; 最小相对生长率(0.04 %/d)和绝对生长率(0.09 mm/d)出现在 210~240 d(图 8)。秋生群雌性胴长平均相对和绝对生长率分别为 0.19%/d 和 0.41 mm/d, 最大相对生长率(0.29 %/d)和绝对生长率(0.65 mm/d)均出现在 300~330 d; 最小相对生长率(0.07 %/d)和绝对生长率(0.15 mm/d)出现在 240~270 d(图 8); 雄性胴长平均相对和绝对

生长率分别为 0.19 %/d 和 0.38 mm/d, 最大相对生长率(0.70 %/d)和绝对生长率(0.38 mm/d)均出现在 240~270 d; 最小相对生长率(0.05 %/d)和绝对生长率(0.12 mm/d)出现在 390~420 d(图 8)。总体而言无论是冬生群和秋生群, 无论是相对生长率还是绝对生长率, 同一日龄段内, 雌性样本都比雄性样本大, 并且, 随着日龄的增加, 两个群体胴长的相对生长率总体上呈现下降趋势, 绝对生长率总体上则呈现上升趋势。

按体质量计算, 冬生群雌性体质量平均相对和绝对生长率分别为 0.91 %/d 和 3.25 g/d, 最大相对生长率(1.28 %/d)和绝对生长率(6.35 g/d)分别出现在 300~330 d 和 330~360 d; 最小相对生长率(0.56 %/d)和绝对生长率(1.08 g/d)出现在 210~240 d(图 9); 冬生群雄性体质量平均相对和绝对生长率分别为 0.89 %/d 和 3.35 g/d, 最大相对生长率(1.81 %/d)和绝对生长率(5.94 g/d)分别出现在 300~300 d 和 360~390 d; 最小相对生长率(0.69 %/d)和绝对生长率(1.08 g/d)出现在 210~240 d(图 9); 秋生群雌性体质量平均相对和绝对生长率分别为 0.50%/d 和 1.04 g/d, 最大相对生长率(0.56 %/d)和绝对生长率(1.62 g/d)均出现在 330~360 d; 最小相对生长率(0.34 %/d)和绝对生长率(0.45 g/d)出现在 210~240 d(图 9); 雄性体质量平均相对和绝对生长率分别为 0.59 %/d 和 1.45 g/d, 最大相对生长率(0.89 %/d)和绝对生长率(1.91 g/d)均出现在 300~300 d; 最小相对生长率(0.06 %/d)和绝对生长率(0.18 g/d)出现在 390~420 d(图 9)。总体而言无论是冬生群和秋生群, 无论是相对生长率还是绝对生长率, 同一日龄段内雌性样本基本都比雄性样本大, 并且, 随着日龄的增加, 两个群体体质量的相对生长率呈现下降趋势, 绝对生长率呈现上升趋势。

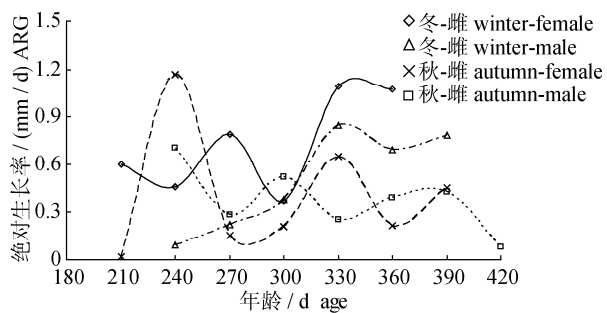
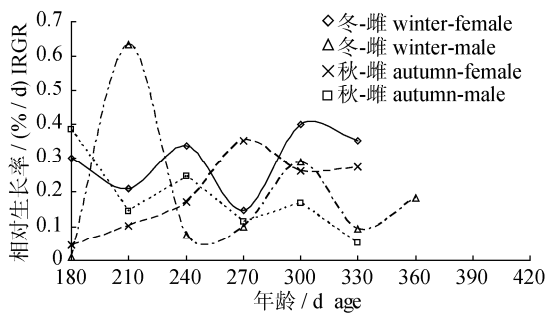
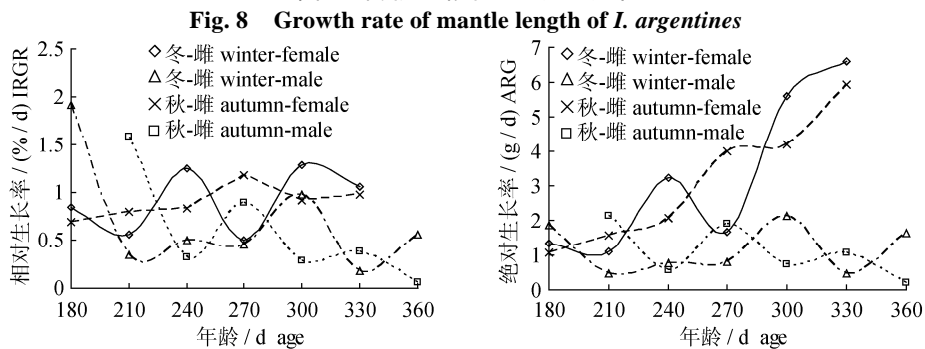


图 8 阿根廷滑柔鱼胴长增长率

图 9 阿根廷滑柔鱼体质量增长率
Fig. 9 Growth rate of body weight for *I. argentinus*

对增长率总体上则呈现上升趋势。

3 讨论

3.1 日龄组成

同其它柔鱼科头足类相似^[11-12,13-14], 阿根廷滑柔鱼是一个生态机会主义种类^[3], 生长速度快, 生命周期短^[4]。研究其日龄和生长的方法经历了长度频率分析法和耳石鉴别日龄法, 但两者的结论都相对统一, 都认为阿根廷滑柔鱼日龄为 1 年左右, 通常不会超过 12~18 个月^[7,9-11]。本研究结果表明, 2007 年样本最大日龄为 370 d, 2008 年为 359 d, 2010 年为 400 d, 基本上验证了其他学者的结论。同时, 由于本研究样本采集主要集中在 40°02'S ~ 46°53'S、57°55'W~ 60°43'W 阿根廷外海, 研究的结果与 Arkhipkin 等^[7]对阿根廷专属经济区 52°S、46°S 和 42°S 海域阿根廷滑柔鱼日龄与生长研究结果比较类似。

3.2 种群划分组

根据本研究的结果, 样本由两个不同群体的阿根廷滑柔鱼组成, 分别为冬生群和秋生群, 而且 2007、2008 年主要为冬生群, 2010 年则主要为秋生群。王尧耕等^[2]通过研究认为, 中国大陆在公海生产的阿根廷滑柔鱼主要为冬生群, 验证了 2007、2008 年的研究结果。本研究认为, 2010 年样本主要为秋生群, 并非为冬生群。相同海域, 不同时间捕获到的样本属于不同群体, 可能和阿根廷滑柔鱼洄游有关。秋生群于每年的 2—5 月聚集在 43°S~45°S 海域, 而此海域正是渔业的主要作业海域^[2], 同时 2010 年样本采集时间为 1—3 月, 因此 2010 年样本则主要为秋生群。冬生群通常为 5—6 月主要聚集

在 37°S~43°S 海域^[2], 中国大陆生产船在西南大西洋生产时间主要集中在每年的 1—6 月^[5], 同时, 2007、2008 年样本采集时间为 3—5 月和 3—6 月, 因此主要采集的样本为冬生群。资料显示, 中国大陆 2010 年阿根廷滑柔鱼产量较 2007、2008 年产量明显偏低, 这种现象可能与捕捞不同群体有关。

3.3 性别差异

2007 年、2008 年与 2010 年阿根廷滑柔鱼胴长与体质量的生长均存在显著性差异, 这与其他学者的研究结果相似^[10,20]。Rodhouse 等^[21]认为雌性个体生长速度较雄性快, 并且成熟后个体比雄性大, 但是雄性个体性成熟较雌性个体早, 胴长和日龄最适合用线性模型表示, 也有学者认为^[20]阿根廷滑柔鱼未成熟前雄性和雌性个体的生长率基本相同, 成熟后雄性生长率比雌性小, 并推测个体生长在 200 d 以后, 雄性个体的生长率要比雌性慢 1/3。本研究表明, 无论是冬生群还是秋生群, 阿根廷滑柔鱼胴长和体质量的生长均存在显著性差异, 而且基本上是雌性样本生长速度大于雄性样本。

3.4 生长方程差异

阿根廷滑柔鱼冬生群胴长的生长雌、雄样本分别最适合用幂函数和线性函数表示, 秋生群则分别最适合用指数和对数函数表示; 冬生群体质量的生长雌、雄样本分别最适合用幂函数和对数函数表示, 秋生群则分别最适合用指数和对数函数表示。Hatanaka^[11]认为, von-Bertalanffy 生长模型用来研究阿根廷滑柔鱼冬生群的生长。Uozomi 等^[6]认为阿根廷滑柔鱼生长可能存在一个拐点, 拟采用逻辑斯蒂生长方程。另外一些学者则认为线性方程是描述阿根廷滑柔鱼的最佳方程^[20-22]。

本研究中, 雄性冬生群胴长的生长最适合用线性方程表示, 结果与 Rodhouse 等^[21]结果比较类似。目前为止, 针对阿根廷滑柔鱼日龄与胴长、体质量生长关系的研究并不完全一致, 可能和阿根廷滑柔鱼长距离洄游、大范围分布、多群体叠加及复杂的海洋环境等外部环境有关^[9]。同时, 由于柔鱼科耳石自身沉积和生长在不同海洋环境^[23]、不同性成熟时期也不完全均衡^[24], 另外, 个体大小等^[25]也可能也会对结果产生一些影响。

由于本研究样本采集方式为鱿钓作业, 渔具、渔法的限制难免会对样本个体大小的随机性造成一定的影响, 还需要在以后的研究中加以补充和完善。

感谢国家远洋渔业工程技术研究中心和农业部大洋渔业资源环境科学观测实验站的资助。

参考文献:

- [1] Castellanos Z A. Una nueva especie de calamar argentino *Ommastrephes argentinus* sp. nov. (Mollusca, Cephalopoda)[R]. Neotropica, 1960, 6(20): 55–58.
- [2] 王尧耕, 陈新军. 世界大洋性经济柔鱼资源及其渔业[M]. 北京: 海洋出版社, 2005: 190–194.
- [3] Brunetti N E. The evolution of the *Illex argentinus* (Castellanos, 1960) fishery. Informes Tecnicos de Investigación Pesquera, Consejo Superior de Investigaciones Cientificas[R]. Barcelona, 1990, 19: 155.
- [4] Santos R A, Haimovici M. The Argentine short-finned squid *Illex argentinus* in the food webs of southern Brazil[J]. Sarsia, 2000, 85(1): 49–60.
- [5] Chen X J, Liu B L, Chen Y. A review of the development of Chinese distant-water squid jigging fisheries[J]. Fisheries Research, 2008, 89(3): 211–221.
- [6] Uozumi T, Shiba C. Growth and age composition of *Illex argentinus* (Cephalopoda: Oegospida) based on daily increment counts in statoliths[J]. Fisheries Research, 1993, 16(7): 313–338.
- [7] Arkhipkin A, Laptikhovskiy V. Seasonal and interannual variability in growth and maturation of winter-spawning *Illex argentinus* (Cephalopoda, Ommastrephidae) in the Southwest Atlantic[J]. Aquatic Living Resources, 1994, 7: 221–232.
- [8] Hatanaka H. Growth and life span of short-finned squid, *Illex argentinus*, in the waters off Argentina[J]. Bulletin of the Japanese Society for the Science of Fish, 1986, 52(1): 11–17.
- [9] 陆化杰, 陈新军, 刘必林, 等. 西南大西洋阿根廷滑柔鱼渔业生物学研究进展[J]. 广东海洋大学学报, 2010, 30(4): 91–98.
- [10] 刘必林, 陈新军, 陆化杰, 等. 头足类耳石[M]. 北京: 科学出版社, 2010: 120–132.
- [11] Chen X J, Lu H J, Liu B L, et al. Age, growth and population structure of jumbo flying squid, *Dosidicus gigas*, based on statolith microstructure off the EEZ of Chilean waters [J]. Journal of Marine Biology Association of the UK, 2010, 91(1): 229–235.
- [12] 陈新军, 马金, 刘必林, 等. 基于耳石微结构的西北太平洋柔鱼群体结构、日龄与生长的研究[J]. 水产学报, 2011, 35(8): 1191–1198.
- [13] Miyahara K, Ota T, Goto T, et al. Age, growth and hatching season of the diamond squid *Thysanoteuthis rhombus* estimated from statolith analysis and catch data in the western Sea of Japan[J]. Fisheries Research, 2006, 80(2): 211–220.
- [14] Kazutaka M, Taro O. Age, growth and hatching season of the diamond squid *Thysanoteuthis rhombus* estimated from statolith analysis and catch data in the western Sea of Japan[J]. Fisheries Research, 2006, 80(23): 211–220.
- [15] Malcolm H. Modeling and quantitative methods in fisheries[M]. Florida: CHAPMAN&HALL/CRC, 2001: 227–232.
- [16] Hiramatsu K. Application of maximum likelihood method and AIC to fish population dynamics[J]// Matsu-miya Y, ed. Fish Population Dynamics and Statistical Models. Koseisha Koseikaku, Tokyo, 1993: 9–21(in Japanese).
- [17] Cerrato R M. Interpretable statistical tests for growth comparisons using parameters in the von Bertalanffy equation[J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 1990, 47(7): 1416–1426.
- [18] Imai C, Sakai H, Katsura K. Growth model for the endangered cyprinid fish *Tribolodon nakamurai* based on otolith analyses[J]. Fisheries Science, 2002, 68(4): 843–848.
- [19] Buckland S T, Anderson D R, Burnham K P, et al. Distance sampling: estimating abundance of biological populations[M]. London: Chapman and Hall, 1993.
- [20] Arkhipkin A I. Age and growth of the squid (*Illex argentinus*)[J]. Frente Marítimo, 1990, 6(A): 25–35.
- [21] Rodhouse P G, Hatfield E M C. Dynamics of growth and maturation in the Cephalopod *Illex argentinus* de Castellanos, 1960 (Teuthoidea: Ommastrephidae) [J]. Biological Sciences, 1990, 329(1254): 229–241.
- [22] Arkhipkin A I, Scherbich Z N. Intraspecific growth and structure of the squid, *Illex argentinus* (Ommastrephidae) in winter and spring in the Southwestern Atlantic [J]. Scientia Marina, 1991, 55(4): 619–627.
- [23] 陈新军, 陆化杰, 刘必林, 等. 性成熟和个体大小对智利外海茎柔鱼耳石生长的影响[J]. 水产学报, 2010, 34(4): 540–547.

- [24] 陆化杰, 陈新军, 刘必林. 个体差异对西南大西洋阿根廷滑柔鱼耳石形态的影响[J]. 水产学报, 2011, 35(2): 74–81
- [25] 陈新军, 马金, 刘必林, 等. 性成熟和个体大小对西北太平洋滑柔鱼耳石形态的影响[J]. 水产学报, 2010, 34(6): 928–934

Age, growth and population structure of *Illex argentinus* based on statolith microstructure in Southwest Atlantic Ocean

LU Hua-jie¹, CHEN Xin-jun^{1,2,3*}

- (1. College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;
2. Key Laboratory of Oceanic Fisheries Resources Exploitation of Shanghai Education Commission, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;
3. Key Laboratory of Sustainable Exploitation of Oceanic Fisheries Resources, Ministry of Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Abstract: Age and growth are two important biological characteristics of cephalopoda. According to the 3462 short-fin squid *Illex argentinus* samples collected by the Chinese jigging fishing fleet during 2007, 2008 and 2010, the age, growth and population structure of *Illex argentinus* were studied based on the microstructure of the statolith. The result indicated the life cycle of *Illex argentinus* is approximately one year, two hatching groups could be identified (austral winter group and austral autumn group), and there was a sexual dimorphism in the mantle length and body weight growth between different groups. The relationship between age and mantle length (ML) was best described by exponential and linear functions for females and males for austral winter group and exponential and logarithm functions for austral autumn group, respectively. The relationship between age and body weight (BW) was best described by exponential and logarithm functions for females and males for both two groups. The instantaneous relative growth rate of *Illex argentinus* tended to be high at young stages, and then decreased with the age increasing, however the absolute growth rate tended to be higher with the age increasing, and the growth rate was different between males and females in the same age stage.

Key words: *Illex argentinus*; statolith; age and growth; population structure; Southwest Atlantic Ocean

Corresponding author: CHEN Xin-jun. E-mail: xjchen@shou.edu.cn