

# 东海 6 种石首鱼的年龄鉴定与生长特性的研究\*

兰永伦 罗秉征

(中国科学院海洋研究所, 青岛 266071)

**提要** 利用 1985 年 9 月—1988 年 10 月长江口近海采集到的 6 种石首鱼的标本, 以及 1981 年和 1982 年东海作业区收集到的部分石首鱼标本, 用耳石切片机, 对 6 种石首鱼的耳石进行切片试验, 以确定 6 种石首鱼耳石的最佳切片方法; 并进行年龄鉴定。运用幂函数方程、von Bertalanffy 生长方程和季节生长方程对 6 种石首鱼的生长特性进行分析和比较。结果表明, 体长和体重的相关参数在不同种之间差异性显著, 生长速度与极限体长 ( $L_{\infty}$ ) 和极限体重 ( $W_{\infty}$ ) 成正相关, 生长速度的时间分布由  $K$  值决定。季节生长的冬滞点 (WP) 和耳石暗带的形成时间是一致的。

**关键词** 东海 石首鱼 年龄 生长

有关经济石首鱼类单鱼种年龄和生长的研究, 国内许多学者已作过大量的工作(王尧耕等, 1962; 毛锡林, 1962; 何宝全等, 1988; 罗秉征, 1966; 周开基等, 1962; 徐恭昭等, 1962)。但是对于东海皮氏叫姑鱼和棘头梅童鱼的年龄和生长问题, 至今国内外均未见到正式报道。何宝全等(1988)曾利用 ELEFAN I 和 II 技术分析珠江口棘头梅童鱼的逐月体长资料, 推算了生长参数  $L_{\infty}$ ,  $K$ , 提出了该区域的棘头梅童鱼生命周期短, 不易鉴定年龄, 在鳞片和耳石上均未见年轮的结论。本文报告 6 种石首鱼的年龄鉴定以及种间生长特性的差异, 以期研究东海石首鱼类种群结构和生长特性提供依据。

## 1 材料和方法

所用的生物学测定材料主要取自于中国科学院海洋研究所于 1985—1988 年长江口近海的拖网试捕标本; 还选用了部分 1981 和 1982 年在东海作业区拖网渔业的标本。标本总数为 7 688 尾。各种鱼的标本数以及采样时间和地点见表 1。

鱼体长度均系测自吻端至最后一节尾椎末端的标准体长(单位: mm)。鱼体重量采用除去消化道、生殖腺及耳石后的纯重(单位: g)。依据内耳球囊内矢耳石上的年轮鉴定年龄。对各种鱼的耳石首先进行 3 种不同方向(即垂直于前后轴、左右轴和背腹轴)的切割试验, 以确定最佳切片位置和方向。大黄鱼(徐恭昭等, 1962)、小黄鱼、黄姑鱼、白姑鱼、棘头梅童鱼 5 种鱼的耳石均以外侧面最高凸起点进刀, 以刀片与耳石长轴(前后轴)约成  $85^{\circ}$  角方向切割, 切片轮纹最清晰。皮氏叫姑鱼耳石则以外侧中央进刀, 刀片与长轴平行

\* 国家自然科学基金资助项目, 3880153 号。兰永伦, 男, 出生于 1959 年 2 月 10 日, 副研究员。

收稿日期: 1994 年 5 月 12 日, 接受日期: 1994 年 6 月 29 日。

切出的薄片轮纹最为清晰。切片厚度约 0.8mm 为最佳, 成功率高而且轮纹清晰。棘头梅童鱼的耳石较小, 切片轮纹清晰度差, 采用磨片的方法进行对照。将切片和磨片经二甲苯透明, 置 Olympus 双筒解剖镜下, 入射光下观察。以目微尺上读取的格数统计耳石的半径及轮纹半径。

表 1 6 种石首鱼样品采集的时间和地点

Tab. 1 Sampling time and location of the six sciaenid fishes (Sciaenidae)

种 名	尾数	采集地点	采集时间(年·月)
大黄鱼 ( <i>Pseudosciaena crocea</i> )	540	长江口近海	1985.9—1988.8
	537	东海	1982.4—1982.5
黄姑鱼 ( <i>Nibea albiflora</i> )	231	长江口近海	1985.9—1988.8
白姑鱼 ( <i>Argyrosomus argentatus</i> )	983	长江口近海	1985.9—1988.8
	532	东海	1981.5—1981.7
小黄鱼 ( <i>Pseudosciaena polyactis</i> )	2 006	长江口近海	1985.9—1988.8
皮氏叫姑鱼 ( <i>Johnius belengerii</i> )	1 691	长江口近海	1985.9—1988.8
棘头梅童鱼 ( <i>Collichthys lucidus</i> )	1 168	长江口近海	1985.9—1988.8

## 2 年龄鉴定

**2.1 轮纹特征** 观察 6 种石首鱼的左右耳石切片结果表明, 左右耳石同位置同方向切取的切片轮纹完全一致, 并成镜相对称。不同方向切片轮纹数目一致。切片与磨片的轮纹数目一致, 说明切片方向的偏差不会给耳石轮纹数目统计带来误差。大黄鱼、小黄鱼、黄姑鱼、白姑鱼、棘头梅童鱼的耳石切割方法相同, 切片的轮纹特征也完全相似 (见图 1b)。与该 5 种鱼相比, 由于切片方向不同, 皮氏叫姑鱼耳石切片的轮纹, 呈现出较大的差异 (见图 1a)。在入射光下, 可以看到皮氏叫姑鱼耳石切片从中心向内侧伸出的 6 条辐射线, 其中第一和第六条伸到前后两缘, 将耳石断面分为内外侧两部分。第三和第五条辐射线之间为一羽状区, 位于其中间的第四辐射线两侧排列着羽枝状轮纹并在第四辐射线上形成交点。与其他各区相比较, 羽状区的轮纹最为清晰, 而且规律性强, 因此确定以该区作为年龄鉴定的标准。

**2.2 轮纹形成周期及年龄鉴定** 利用  $S = (R - r_n) / (r_n - r_{n-1})$  计算耳石上的轮纹变化率, 以确定轮纹的形成周期和时间。其中,  $R - r_n$  代表耳石的增长幅度,  $r_n - r_{n-1}$  代表耳石最后两轮的间距。S 的变化区间为 (0, 1)。当 S 接近 1 时标志着新的一轮暗带完全形成; 当 S 接近 0 时, 标志透明带开始生长。经逐月计算各种鱼耳石切片的 S 值之后, 发现 6 种石首鱼的 S 值在 12—5 月增长幅度很小, 趋近于 1; 6—11 月增长幅度很大, 从 0 增加到 1; 增长周期为一年。逐月观察耳石轮纹的变化, 发现大黄鱼、小黄鱼、黄姑鱼和白姑鱼的暗带从出现到完全形成大都在 1—6 月, 集中形成时期在 4—5 月; 而皮氏叫姑鱼和棘头梅童鱼的暗带从出现到完全形成, 跨越时间较长, 大都在 12—6 月, 集中形成时期也在 4—5 月。6 种石首鱼的透明带形成时期大都在 6—11 月完成。因此, 从透明黑带到暗带的形成时间也为一年。从生殖习性来看, 大黄鱼和小黄鱼的生殖高峰在 4—5 月; 白姑鱼、黄姑鱼、棘头梅童鱼和皮氏叫姑鱼在 6—7 月。因此, 耳石轮纹的暗带可作为石首鱼类的周年标志, 即年轮。鉴定鱼的年龄的关键在于从耳石年轮谱系上确定第一条年轮。

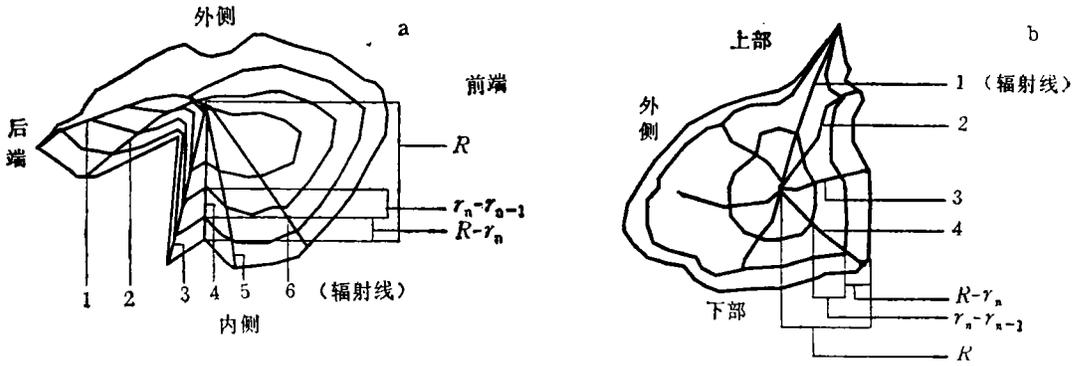


图1 皮氏叫姑鱼左耳石切片 (a) 和其它5种石首鱼左耳石切片 (b)  
 Fig. 1 Diagrammatic sketch of otolith slices of *Johnius belengerii* (a) and other five sciaenid fishes (b)

比较逐月标本资料,发现最小体长组出现在9月份,根据幼鱼资料推算确定其为当年生群体。从该体长组的耳石切片上看到第一条暗带尚未出现。逐月观察该体长组的耳石切片可以看到在次年5—6月形成了第一条暗带,这样便肯定了第一条暗带即为第一年轮。

### 3 生长特性分析

**3.1 体长体重关系** 利用幂函数方程  $w = Al^B$  表达6种石首鱼的体长和体重的关系。其中  $A$  为肥满度系数;  $B$  为异速生长系数(陈大刚等,1984)。利用线性回归的方法分别对6种石首鱼雄鱼和雌鱼的全部年龄组和全年的体长、体重资料求得参数  $A$  和  $B$ ,见表2。由于本文没有考虑年龄和季节变化对参数的影响,因此所得结果仅仅是各种鱼某一性别的平均概念。可以看到6种鱼的  $B$  值都接近于3。将雄性和雌性鱼的  $A, B$  值作比较,发现雄性鱼的  $A$  值较小而  $B$  值较大。再结合表2和3,又可以看到,除棘头梅童鱼外6种石首鱼的  $A, B$  值有明显的种间差异,  $A$  值随着  $L_{\infty}$  和  $W_{\infty}$  的增大而增大;  $B$  则随着  $L_{\infty}$  和  $W_{\infty}$  的增大而减小。

表2 体长和体重的相关参数

Tab. 2 Relationship between length and weight of the six sciaenid fishes

种名	性别	样本数	$A(\times 10^{-3})$	$B$	$r$	$s$	$f$
大黄鱼	♂	582	5.1624	2.7689	0.9718	0.1690	9 843.19
	♀	495	7.2792	2.7061	0.9791	0.1352	11 415.64
黄姑鱼	♂	97	2.3908	2.9559	0.9705	0.1549	1 542.56
	♀	134	5.3562	2.7996	0.9578	0.1743	1 464.87
白姑鱼	♂	735	1.3327	3.0968	0.9914	0.1178	42 454.37
	♀	780	1.9329	3.0129	0.9720	0.2119	13 314.49
小黄鱼	♂	1 029	0.8883	3.1124	0.9608	0.1394	12 345.84
	♀	977	1.1345	3.0587	0.9653	0.1487	13 317.68
皮氏叫姑鱼	♂	767	0.1979	3.4608	0.9689	0.1665	11 718.01
	♀	924	0.3622	3.3261	0.9705	0.1584	14 952.04
棘头梅童鱼	♂	570	0.9856	3.1255	0.9753	0.1292	11 076.69
	♀	598	1.3522	3.0560	0.9808	0.1127	15 095.89

$r$  为相关系数;  $s$  为体长和体重对数值的直线回归标准差;  $f$  为  $f$  检验值。

**3.2 体长和体重的生长特性比较** 描述鱼类生长规律的模式最常用的为 von Bertalanffy 生长方程。这一表达式是从新陈代谢的观点出发,关于成年鱼在一定的假设条件下归纳导出的  $l$  和  $w$  的数学表达式,分别表示为:

$$l = L_{\infty}[1 - e^{-K(t-T_0)}] \quad (1)$$

$$w = W_{\infty}[1 - e^{-K(t-T_0)}]^B \quad (2)$$

对(1),(2)二式求一阶导数得体长和体重的生长速度方程,分为:

$$\frac{dl}{dt} = KL_{\infty}e^{-K(t-T_0)} \quad (3)$$

$$\frac{dw}{dt} = BKW_{\infty}[1 - e^{-K(t-T_0)}]^{B-1}e^{-K(t-T_0)} \quad (4)$$

将(3)(4)两边分别除以  $L_{\infty}$  和  $W_{\infty}$  得体长和体重生长速度对时间的分布式称作相对生长速度方程,分别表示为:

$$\frac{dl}{dt} \cdot \frac{1}{L_{\infty}} = Ke^{-K(t-T_0)} \quad (5)$$

$$\frac{dw}{dt} \cdot \frac{1}{W_{\infty}} = BK[1 - e^{-K(t-T_0)}]^{B-1}e^{-K(t-T_0)} \quad (6)$$

根据作 Walford 定差图的方法,应用实测体长作一元线性回归求得  $K$ ,  $L_{\infty}$  和  $T_0$ ,再根据已有的  $l$  和  $w$  的相关参数  $A$  和  $B$  求得  $W_{\infty}$ ,结果见表 3。

可见体长和体重的生长速度分别与  $L_{\infty}$  及  $W_{\infty}$  成正比例。大黄鱼和黄姑鱼体型较大其生长速度也较大。皮氏叫姑鱼和棘头梅童鱼的体型较小,其生长速度较小。生长的相对速度表达了不同鱼种在各自的生命过程中生长量的时间分布,其主要由  $K$  值决定。大黄鱼和黄姑鱼的  $K$  值较小,其相对生长速度曲线较为平缓,生长期较长。体型较小的皮氏叫姑鱼和棘头梅童鱼的  $K$  值较大,相对生长速度衰减很快,体长与体重的生长期都很短。

体重生长曲线具有拐点 (inflection point),拐点前生长速度随年龄单调增加,拐点后生长速度随年龄单调降低。到达拐点时的年龄 (Tip) 为:  $\text{Tip} = \ln B/K + T_0$ ,由于 6 种石首鱼的  $B$  值都接近于 3,因此 Tip 的大小主要由  $K$  值决定而且与  $K$  值呈负相关。六种石首鱼的 Tip 值见表 3。

**3.3 体长的季节生长** 鱼类的生长与其生活的自然环境条件是密切联系的。生物性的和非生物性的自然环境条件的季节变化直接和间接影响着鱼类的生长过程。同时鱼类本身的生理过程也存在着以一年为周期的节律性,它是影响鱼类生长过程的内在因素。因此,鱼类的生长过程应该呈周期性季节变化规律。Pauly 等(1979)在 von-Bertalanffy 方程的基础上,总结了前人的工作,提出了鱼类的季节生长方程

$$l = L_{\infty}[1 - e^{-K(t-T_0) - \frac{CK}{2\pi} \sin 2\pi(t-T_s)}] \quad (7)$$

式中  $L$ 、 $L_{\infty}$ 、 $K$ 、 $T_0$  与 von-Bertalanffy 方程中的意义相同,  $C$  表示季节性周期波动的强度,  $T_s$  表示每年发生的正弦性周期波动的开始点。由(7)式得季节生长的速度方程为:

$$\frac{dl}{dt} = KL_{\infty}[1 + C \cos 2\pi(t - T_s)]e^{-K(t-T_0) - \frac{CK}{2\pi} \sin 2\pi(t-T_s)} \quad (8)$$

根据(8)式,当  $t = n + 0.5 + T_s$  时 ( $n$  代表年龄), 生长速度最小, 此刻称为季节生长的冬滞点 (Winter point), 一般用  $W_p = 0.5 + T_s$  表示每年的冬滞点。本文利用逐月的体长和年龄数据对(7)式进行了拟合。计算出的六种石首鱼的季节生长参数列为表3。六种石首鱼的生长冬滞点大都在  $0.17-0.35a$  内。即在 2—5 月之间。棘头梅童鱼和皮氏叫姑鱼较早, 大黄鱼和小黄鱼较晚。快速生长期为 6—9 月份。这与耳石的暗带和透明带的形成时间是一致的。

表3 6种石首鱼的生长参数

Tab. 3 Growth parameters of the six sciaenid fishes

鱼名	性别	$L_{\infty}$	$W_{\infty}$	$K$	$T_0$	$T_s$	$C$	$W_p$	Tip
大黄鱼	♂	539.04	3262.25	0.2372	-0.5794	-0.27	0.7825	0.23	4.2987
	♀	608.05	3329.30	0.2368	-0.4392	-0.28	0.8930	0.22	4.1071
黄姑鱼	♂	432.32	1485.98	0.3142	-0.5278	-0.29	0.9998	0.21	2.9276
	♀	447.46	1508.73	0.3129	-0.4609	-0.32	1.0000	0.18	2.8801
白姑鱼	♂	283.60	492.83	0.4160	-0.6826	-0.33	0.9978	0.17	1.9430
	♀	290.45	503.41	0.4008	-0.6657	-0.32	0.9795	0.18	2.0625
小黄鱼	♂	272.64	353.91	0.4530	-0.4754	-0.15	1.2930	0.35	2.0500
	♀	283.07	360.11	0.4388	-0.6665	-0.18	1.2830	0.32	1.8495
皮氏叫姑鱼	♂	182.56	165.35	0.5588	-0.3229	-0.32	0.7800	0.18	2.0617
	♀	199.53	165.64	0.5337	-0.2148	-0.35	0.8121	0.15	2.0344
棘头梅童鱼	♂	138.82	46.63	0.8000	0.0725	-0.31	1.0616	0.19	1.4502
	♀	152.97	59.17	0.6566	0.1860	-0.33	0.7828	0.17	1.8103

## 4 讨论与结论

**4.1 耳石的轮纹成因与年龄鉴定** 耳石是由碳酸钙和有机基质逐渐沉积而成的。其中碳酸钙占主要部分。碳酸钙和有机基质的沉积是两个互为相逆的过程, 即碳酸钙的沉积高峰期对应于有机基质沉积率最低期(Mugiya, 1987)。耳石的增长速率和鱼体的代谢率乃至血钙含量成正相关。碳酸钙和有机基质的沉积比率和生长速度相关, 鱼体快速生长时, 耳石有机质沉积率增加, 使得耳石密度减小 (David Reznick et al., 1989)。耳石上这种疏密相间的沉积层便形成了耳石的轮纹。从六种石首鱼的季节生长规律来看, 2—5 月份是鱼体代谢率和体长生长速度的最低时期, 由于此时的碳酸钙沉积率较高, 沉积层密度大而且窄, 因而形成了耳石轮纹的暗带。6—9 月份是鱼体代谢率高而且是快速生长期, 耳石生长快而且有机基质成分高便形成了耳石的密度小且宽的透明带。因此耳石轮纹形成是鱼体代谢和生长的季节变化的结果。何宝全与李辉权(1988)对珠江河口棘头梅童鱼年龄与生长的研究表明, 该海区的棘头梅童鱼的耳石与鳞片上均无发现年轮。这说明在季节性差异很小的热带海区, 鱼类生长的季节差异也很小, 因此在耳石与鳞片上难以看到年轮。但是, 对于生活在具有明显季节变化的东海鱼类, 利用耳石年轮鉴定年龄是可靠的。

**4.2 生长特性与生态适应性** 每种生物在进化中都是力图去占有所有可利用的生境, 物种间的激烈竞争又通过自然选择使得同一环境中共存的物种各自占有不同的生态龛。这也是引起地域性的物种形成的主要因素 (E. P. Odum, 1952)。6 种石首鱼是地域性

的, 它们较近的亲缘关系决定其生长过程的相似性。然而, 生态隔离引起的生长差异性是非常明显的。在这 6 种石首鱼中, 大黄鱼和黄姑鱼体型较大, 生长速度快, 因而逃避敌害和捕食能力较强, 在自然环境中个体存活率高。与之相应它们的生长系数  $k$  值较小, 生命周期也长。它们的生态对策相对倾向于  $k$ - 对策者。而棘头梅童鱼和皮氏叫姑鱼是两种小型鱼, 生长速度慢, 防御敌害能力较弱。具有较大的  $k$  值, 生命周期短, 倾向于  $r$ - 对策者。小黄鱼和白姑鱼则介于前二者之间。既然各种鱼的生态特性是对环境条件适应的结果, 环境条件的改变也必然引起鱼类生态特性的改变。与 60 年代大黄鱼和小黄鱼的生长特性相比, 现在大黄鱼和小黄鱼的生长速度明显加快了。而且性成熟年龄也明显提前(罗秉征等, 1993)。这种生态对策向  $r$ - 对策方向演化的现象是由于人类对其捕捞过度导致了种群密度减少而使之不再为个体生长的限制因子, 还是由于这种环境压力的选择作用已改变了这些物种的遗传性状, 还有待于进一步探讨。

### 参 考 文 献

- 王尧耕等, 1962, 黄海南部、东海北部小黄鱼生长特性的研究, 海洋渔业资源论文集, 农业出版社(北京), 72—80。
- 毛锡林, 1962, 浙江近海低龄大黄鱼年龄和生长的初步研究, 海洋渔业资源论文集, 农业出版社(北京), 149—158。
- 何宝全、李辉权, 1988, 珠江河口棘头梅童鱼的资源评估, 水产学报, 12(2): 125—134。
- 陈大刚、刘长安, 1984, 黄渤海牙鲆的年龄与生长的初步研究以及关于 von Bertalanffy 生长函数的修改和讨论, 山东海洋学院学报, 14(1): 101—110。
- 罗秉征, 1966, 浙江近海大黄鱼的季节生长, 海洋与湖沼, 8(2): 121—139。
- 罗秉征等, 1993, 中国近海主要鱼类种群变动与生活史型的演变, 海洋科学集刊, 34: 123—137。
- 周开基等, 1962, 江苏沿海小黄鱼幼鱼的初步研究, 海洋渔业资源论文集, 农业出版社(北京), 20—33。
- 徐恭昭等, 1962, 大黄鱼耳石的轮纹形成周期及其年龄鉴定问题, 海洋科学集刊, 2: 1—13。
- Odum, E. P., 1952, 孙儒泳等译, 1982, 生态学基础, 人民教育出版社(北京), 228—243。
- Mugiya, Y., 1987, Phase difference between calcification and organic matrix formation in the diurnal growth of otoliths in the rainbow trout (*Salmo gairdneri*), *Fish. Bull. U. S.*, 85: 395—401。
- Pauly, D., 1987, Length-based methods in fisheries research, *ICLARM Confer. Pro.*, 13: 7—34。
- Reznick D. and E. Lindbeck and H. Bryga, 1989, Slower growth result in larger otoliths: an experimental test with cuppies (*Poecilia reticulata*) *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 46: 108—112。
- Secor, D. H. and Dean, J. M., 1989, Somatic growth effects on the otolith-fish size relationship in young pond-reared striped bass (*Morone saxatilis*), *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 46: 113—121。

## AGE AND GROWTH OF SIX SCIAENID FISHES (SCIAENDAE) IN THE EAST CHINA SEA

Lan Yonglun, Luo Bingzheng

(*Institute of Oceanology, Academia Sinica, Qingdao 266071*)

### ABSTRACT

To compare the growth characteristics of sciaenid fishes, 7688 individuals of 6 sciaenid fishes were collected. 6619 of them were caught in Aug. 1985 to Oct. 1988 with trawl in the Changjiang Estuary and adjacent waters. The others were in 1981 to 1982 caught with trawl by commercial fishing boat in the East China Sea. The big and thick otoliths of different sciaenid fishes were different in shape and structure. Through cutting experiment with otolith slicer, the optimum location and direction of cutting was determined. The results of linear regression analysis based on an exponential equation showed that body length of these 6 sciaenid fishes had close relationship to their body weight, but the  $A$  and  $B$  for these species were remarkably different. The value of  $A$  of females was larger than that of males of the same species and had positive relationship with  $L_{\infty}$  and  $W_{\infty}$ ; but was the contrary with the value of  $B$ .

By means of Walford's graphical method and method of least squares and basing on von Bertalanffy growth equation, the growth parameters,  $K$ ,  $L_{\infty}$ ,  $W_{\infty}$  and  $T_0$ , of the six sciaenid fishes were calculated. The result showed that the value of  $K$  was negatively correlated to  $L_{\infty}$ . The species with larger  $L_{\infty}$  and less  $K$  had larger growth rate and longer period of growth.

With seasonal growth model:  $l = L_{\infty}[1 - e^{-K(t-T_0) - \frac{CK}{2\pi} \sin 2\pi(t-T_s)}]$ , the seasonal growth patterns of the six species were also simulated. It indicated that the body growth in winter and spring was much slower than that in summer and autumn. WP (winter point) of each species appeared in different time but appeared simultaneously with the opaque zone of their own otoliths respectively.

**Key words** East China Sea Sciaenid fish Age Growth