

大黄鱼耳石、体长与年龄的关系*

兰永伦 罗秉征

(中国科学院海洋研究所, 青岛 266071)

提要 运用1960年3月—1960年4月由中国科学院海洋研究所采集于洞头、吕泗渔场大黄鱼标本513尾, 利用耳石切片确定大黄鱼的年龄。通过分析大黄鱼的耳石和体长的生长规律, 证明大黄鱼的耳石生长不仅仅与鱼体生长成简单的直线相关, 而且大黄鱼的耳石生长、体长生长和年龄三者之间密切相关, 并推导出了数学方程式。拟合计算结果表明, 两各方程式能够较准确地表达三者之间的相关关系。

关键词 耳石 年龄 生长 关系

鱼类的耳石同鱼类的年轮和生长规律存在着密切的联系, 然而就其相互关系问题, 不同的学者之间却一直存在分歧。大多数人认为鱼类的耳石生长与鱼的体长生长成正的直线关系而与年龄无关。而另一些学者认为鱼类的耳石大小与鱼的年龄密切相关; Secor等(1989), 通过对条纹鲈(*Poecilia reticulata*)幼鱼的饲养对比实验发现, 条纹鲈幼鱼的耳石生长同年龄和鱼体生长速度都有关系。对于自然种群中, 鱼的整个生命过程中, 体长、耳石年轮半径和年龄三者之间的综合关系至今尚无定论, 更没有一个量的表达式。本文旨在测定和分析大黄鱼耳石和体长随其年龄生长的规律, 确定三者之间的定量关系。

1 材料和测定方法

大黄鱼(*Pseudosciaena crocea*)资源已遭受到严重破坏, 目前的自然种群中已捕不到高龄个体。为此本文采用1960年3月—1960年4月由中国科学院海洋研究所采集于洞头、吕泗渔场的大黄鱼标本513尾¹⁾。鱼体长度(l)均系测自吻端至最后一节尾椎骨末端的标准体长, 单位为mm。耳石为内耳球囊内矢耳石。为了避免在鉴定年龄及测量年轮时造成误差, 全部测定左耳石。耳石切片均在耳石切片机上进行。切片位置均以外侧面最高凸起点进刀, 刀片与耳石长轴(前后轴)约成85度角方向切割。为避免切片时切割位置的偏离而造成切片失真, 将切好的薄片再进行研磨成约0.8mm。经二甲苯透明置Olympus双筒解剖镜上入射光下观察。以耳石切片年轮的暗带数作为鱼的年龄(t)。耳石的半径(r)是自耳石中心到内侧面边缘的垂直距离, 其量值为年轮和耳石边缘对应的目微尺上的格数(徐恭昭等, 1962)。

2 结果与讨论

2.1 大黄鱼耳石生长过程

* 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, 硕士, 副研究员。

收稿日期: 1995年8月5日, 接受日期: 1996年2月8日。

1) 标本和资料由中国科学院海洋研究所鱼类生态组提供。

大黄鱼年龄、体长和耳石半径测量统计结果列入表 3, 从中可以明显的看出, 虽然体长和耳石半径都随年龄的增大而增大, 而且增长的幅度也都随着年龄的增大而减小, 但是二者的生长规律却存在着明显的差异。大黄鱼的平均体长增长期集中在 1—10 龄, 10 龄以后的平均体长的变化主要表现为不同世代之间的差异, 随年龄增长的趋势很不明显。然而, 10 龄以后耳石随年龄的增加而增长的幅度仍然很大。

将测得的数据按年龄排序 (表 1)。发现同年龄的鱼, 其体长并不一定相同, 耳石半径也不相同, 但在相同年龄情况下, 鱼的耳石半径和体长呈正相关。再将该数据按体长排序 (表 1), 又发现在相同体长的鱼中, 年龄和耳石半径差异也非常大, 耳石半径和年龄也呈正相关。由此可见, 耳石生长同鱼体生长和年龄增大都有关系。说明了仅仅利用鱼的耳石半径来估算鱼的体长, 忽略年龄因素的影响, 必定产生很大的误差。

直接分析一尾鱼的耳石生长同它的体长和年龄的关系, 是难以做到的。首先, 对于一尾鱼来讲, 无法取得耳石相对于体长和年龄的系列数据。其次, 即使取得这样的数据

表 1 雌性大黄鱼体长—耳石半径与年龄—耳石半径对照

Tab.1 Comparison of body length with otolith radius and age with otolith radius of some female *Pseudosciaena crocea*

<i>t</i>	2	3	4	5	7	14	17	21
年 龄 相 同	<i>l</i> <i>r</i>	<i>l</i> <i>r</i>	<i>l</i> <i>r</i>	<i>l</i> <i>r</i>	<i>l</i> <i>r</i>	<i>l</i> <i>r</i>	<i>l</i> <i>r</i>	<i>l</i> <i>r</i>
	226 24	256 29	290 34	305 38	321 49	346 66	365 73	355 84
	228 25	268 31	302 35	305 40	339 50	380 71	368 76	380 83
	240 26	283 32	302 36	310 42	340 51	412 72	378 76	385 85
	246 28	298 32	315 35	340 43	350 50	445 74	380 79	388 90
	254 27	304 33	320 37	346 43	358 51	450 78	390 82	395 92
		371 34	328 37	354 44	411 53	475 80	431 83	400 94
			343 41	358 44	430 53		436 85	420 100
			354 41	441 50	442 53		438 88	
							448 90	
<i>l</i>	310	345	358	370	385	390	400	420
体 长 相 同	<i>t</i> <i>r</i>	<i>t</i> <i>r</i>	<i>t</i> <i>r</i>	<i>t</i> <i>r</i>	<i>t</i> <i>r</i>	<i>t</i> <i>r</i>	<i>t</i> <i>r</i>	<i>t</i> <i>r</i>
	3 30	3 32	5 44	7 49	12 70	10 57	8 57	12 66
	4 39	4 37	6 43	9 56	13 72	12 67	10 63	15 80
	5 42	6 43	7 51	12 61	16 78	13 68	13 70	17 90
		11 58	8 53	13 68	18 82	14 80	16 75	21 100
		15 80	12 61	16 76	20 93	17 86	17 88	
			15 72	25 100	21 95	20 90	21 89	
			20 85		25 104	22 93		
						24 107		

t 为年龄; *l* 为体长; *r* 为耳石半径。

也无法确定体长和年龄二因素分别对耳石生长产生多大的影响。因此, 本文把一尾鱼的耳石生长过程看作一个二维随机过程, 一个种群中每个个体的耳石半径的实测值则作为该随机变量的一个实现, 从而利用一个种群的耳石半径增量的统计值作为该随机变量增量的估计。设想把一个种群中鱼的耳石半径的增量过程分两个阶段进行。第一阶段不受体长差异的影响, 仅仅依赖于年龄的变化。设想一个理想种群, 鱼的年龄只要相同, 体长一定相同。在 Δt 时间内, 耳石半径的增量为 Δr_t , 由于耳石生长于鱼的体内, 鱼体停止生长后, 耳石生长必然存在一极限值, 因此耳石生长速度必然是一减函数。而且从表 2 中也明显看到耳石半径的增长幅度随着耳石半径的增大而逐步减少, 故而耳石在 Δt 时间内的增量可表达为: $\Delta r_t = (b - cr)\Delta t$, 其中, b, c 为常数。第二阶段, 设想耳石半径增量仅仅依赖于体长增量。从一个种群中取一年龄为 t 的世代, 假设其中有两个个体的体长差异为 Δl , 并由此引起了耳石的差异 Δr_t , 考虑到二者的关系应该随着 l 和 t 的变化而变化, 构造一待定函数 $A(l, t)$ 使得 $\Delta r_t = A(l, t)\Delta l$ 。一个种群中, 当个体之间体长和年龄分别有 Δl 和 Δt 的增量时, 耳石的总增量应该是上述两过程之和, $\Delta r = A(l, t)\Delta l + (b - cr)\Delta t$, 取其微分型式并移项得标准法夫 (Pfaff) 方程:

$$A(l, t) dl + (b - cr) dt - dr = 0 \quad (1)$$

根据 Pfaff 方程可积的充分必要条件得: $A(l, t)c + \frac{\partial A(l, t)}{\partial t} = 0$

解得:
$$A(l, t) = ae^{-ct} \quad (2)$$

将 (2) 代入 (1) 得:

$$dr = ae^{-ct} dl + (b - cr) dt \quad (3)$$

取:
$$r(l_0, 0) = r_0 \quad (4)$$

对 (3) 积分一次并对变量 t 作拉氏变换得:

$$\begin{aligned} \int (r) &= \frac{al}{p+c} + \int \left[\int_0^t (b-cr) dt \right] = \frac{al}{p+c} + \frac{1}{p} \int (b-cr) \\ &= \frac{al}{p+c} + \frac{b}{p^2} - \frac{c}{p} \int (r) = \frac{alp}{(p+c)^2} + \frac{b}{p(p+c)} \end{aligned}$$

根据残数定理结合 (4) 式求得:
$$r = ale^{-ct} + \frac{b}{c} + \left(r_0 - \frac{b}{c} - al_0 \right) e^{-ct} \quad (5)$$

令:
$$A = a - al_0, \quad B = \frac{b}{c} - r_0, \quad C = r_0, \quad K = c$$

(5) 式化简为:
$$r = A/e^{-Kt} + B(1 - e^{-Kt}) + C \quad (6)$$

2.2 大黄鱼体长生长方程

与上述方法相似, 把一种群中造成鱼体生长个体差异的过程也分为两步, 即随着年龄的平均生长过程 Δl_t 和相同年龄下的个体差异过程 Δl_t 。由于鱼体生长与耳石生长成正相关, 因此可以反过来用耳石切片上年轮半径的增长幅度差异来反映鱼体生长速度的差异,

$$\text{即: } \Delta l_t = (b - cl) \Delta t, \quad \Delta l_r = A(r, t) \Delta r$$

$$\text{由此得到: } \Delta l = A(r, t) \Delta r + (b - cl) \Delta t$$

$$\text{同理得: } l = A r e^{-Kt} + B(1 - e^{-Kt}) + C \quad (7)$$

式(6)和(7)中的 K 分别代表鱼的体长和耳石半径随着年龄的增大各自的生长衰减率。

2.3 模拟计算结果

方程(6)和(7)具有4个待定常数 A , B , C 和 K 而且不能化为直线型。本文利用迭代法并分别以大黄鱼体长和耳石半径作为函数,以实测的体长、耳石半径和年龄三组数据作自变量值,进行拟合运算,求得4个常数的值。计算结果以及拟合的理论值分别

表2 大黄鱼体长和耳石半径的实测值与拟合值比较

Tab.2 The comparison of body length and otolith radius with their simulant values of *Pseudosciaena crocea*

性别	年龄	实测体长	拟合体长	实测耳石半径	拟合耳石半径	样本数
♀	1	184	186.4842	20	19.0013	6
	2	239	241.4146	26	26.0059	7
	3	293	285.7921	32	32.8051	42
	4	319	317.2339	37	37.7685	19
	5	346	342.3571	42	42.7015	16
	6	357	359.0423	46	46.6014	14
	7	372	374.9590	51	50.6710	15
	8	384	382.3201	54	54.5005	10
	9	381	390.0562	58	57.4200	7
	10	396	395.8042	62	61.3046	17
	11	402	396.5906	64	64.6295	8
	12	389	399.8129	68	66.8741	21
	13	396	400.6418	71	70.1664	12
	14	406	403.1680	76	73.5664	14
	15	399	400.7157	77	76.0283	29
	16	407	398.4399	78	79.2303	12
	17	404	397.8724	81	81.8262	36
	18	407	397.7697	85	84.6877	11
	19	398	396.1638	87	86.9174	11
	20	393	394.0867	88	89.3165	28
	21	390	392.6568	90	91.7814	11
	22	386	391.2891	92	94.1671	6
	23	392	389.9895	94	96.9877	4
	24	392	392.1841	107	99.4902	1
	25	383	388.1541	100	100.5511	3

续表

性别	年龄	实测体长	拟合体长	实测耳石半径	拟合耳石半径	样本数
♂	1	181	199.2876	21	19.1908	8
	2	238	239.3363	27	26.8861	10
	3	283	269.3564	32	33.5374	22
	4	320	300.3791	38	39.4705	8
	5	333	318.5049	42	43.5071	6
	6	353	338.3411	47	48.0076	12
	7	344	351.5827	51	50.3149	10
	8	359	362.8865	55	54.3450	8
	9					0
	10	355	374.2172	61	59.8241	3
	11	353	375.4388	63	62.5207	6
	12	374	381.6179	67	66.7852	6
	13	422	386.6445	71	72.8393	3
	14	370	383.5598	72	72.0035	2
	15	365	382.7265	74	74.3704	10
	16	427	402.1867	86	81.1623	3
	17	378	388.0305	82	80.5471	7
	18	380	378.9197	80	83.2851	2
	19	372	383.9825	86	85.3495	3
	20	373	384.9237	90	87.9682	8
	21	384	378.1463	89	91.1852	6
	22	386	377.3218	92	93.8002	4
	23	373	373.7634	93	95.4637	4
	24	400	379.7444	102	99.5472	2

列入表2—表3。可以看出大黄鱼的体长、耳石半径和年龄三者之间的相关性显著。从计算结果中还可以看到,耳石生长的 K 值要比鱼体生长的 K 值小得多。说明与鱼体相比,耳石生长速度衰减得较为缓慢。即使鱼体停止生长,耳石生长却仍在继续。

由于大黄鱼的体长生长和耳石的生长 K 值都很小,当 t 较小时 e^{-Kt} 约等于1, $1-e^{-Kt}$ 约等于0,(6),(7)两式可化为直线方程 $r=Al+C$ 和 $l=Ar+C$,因此,对于低龄大黄鱼运用直线方程表达耳石半径同体长的关系误差较小。

3 结语

本文提出的大黄鱼耳石生长方程和体长生长方程是在分析大黄鱼的耳石生长,体长生长和年龄三者之间的密切关系基础上推导出来的。模拟计算结果表明该方程能够较准确地表达大黄鱼体长,耳石半径和年龄三者之间的关系。利用该方程,就可以根据大黄鱼不同世代或者不同个体的耳石生长差异,较准确地计算出体长的差异。因此,该方程对

表 3 大黄鱼体长和耳石半径拟合计算结果

Tab.3 The results of simulation of body length and otolith radius of *Pseudosciaena crocea*

	$l = A e^{-kt} + B(1 - e^{-kt}) + C$		$r = A/e^{-kt} + B(1 - e^{-kt}) + C$	
	♀	♂	♀	♂
A	6.9280	6.2930	0.0640	0.0792
B	352.7969	246.6951	274.6615	315.3364
C	21.9422	59.3996	3.5935	1.5146
K	0.1293	0.0700	0.0139	0.0111
S	4.9924	15.4830	1.9300	1.1841
Ft	1855.3310	221.7060	3102.3980	2480.4340
Fl			3.1870	45.8060
Fr	479.6350	2.9290		
Rt	0.9941	0.9558	0.9965	0.9958
Rl			0.7755	0.8281
Rr	0.9778	0.8461		

S 为标准差; F 为 F 检验值; R 为偏相关系数。

于研究鱼类的生长变化具有重要价值。von Bertalanffy 生长方程揭示了鱼类的生长特性; 然而, 它仅仅反映了鱼体随着年龄的变化过程。对于现实鱼类种群中一些低龄世代的平均体长比另一些高龄世代的平均体长还要大的现象 (表 2), von Bertalanffy 生长方程就难以表达; 而本文提出的生长方程对于这种世代生长的差异现象就能够较准确地表达。

参 考 文 献

- 徐恭昭等, 1962, 海洋科学集刊, 2: 1—13.
 Secor, D. H. et al., 1989, *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 46: 113—121.

RELATIONSHIP AMONG BODY LENGTH, OTOLITH AND AGE OF THE LARGE CROAKER *PSEUDOSCIAENA CROCEA*

Lan Yonglun, Luo Bingzheng

(*Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071*)

Abstract In order to determine the relationship among the otolith radius, body length and age of fishes, the otolith of 513 large croakers *Pseudosciaena crocea* caught from the Dongtou and Lusi fishing ground in the East China Sea in March and April, 1960 were cut open for study and their ages were determined. Analysis of the growth patterns of otoliths and body lengths showed that otolith size was positively related to age of the fish, and that the otolith radii of the fishes of the same age were positively related to the fish lengths.

According to the stochastic process theory, otolith growth is divided into a first stage of otolith growth in pace with age and second stage of otolith growth in pace with body growth. This hypothesis relates otolith radius to the age and body length of large croacker as expressed in the formula, $r = Ate^{-Kt} + B(1 - e^{-Kt}) + C$, and according to a similar hypothesis, the relation of the body length of large croacker to that of the age and otolith radius can be deduced as $l = Ate^{-Kt} + B(1 - e^{-Kt}) + C$, where, l is body length, r is otolith radius, t is age, and A , B , C and K are empirical parameters. By means of the iteration method, we simulated the relationship of the body length, otolith radius and age of the large croacker. The results showed that the equation expressed the relationship very precisely.

Key words Otolith Age Growth Relationship