

黄海鲮鱼年龄和生长的初步研究*

陈万青 赵维谦

(山东海洋学院)

摘要 用黄海鲮鱼的耳石和鳞片相对照,对其年龄进行了鉴定。分析了不同年龄组的体长和体重分布。分别计算出雌雄各龄组的体长与体重、鳞长与体长的关系式,并用幂函数关系和直线回归方程进行计算和比较,鲮鱼生长适合于 V. Bertalanffy 生长方程。还分析了其阶段生长情况。

主题词 鲮鱼、年龄、生长

鱼的年龄与生长是研究和分析渔业资源情况、编制渔情预报的重要依据之一,也是研究鱼类种群生理、生态不可缺少的重要基础工作。鲮鱼(*Platycephalus indicus* Linnaeus)分布很广,我国各海区均产,属次要经济鱼类,在渔获物中占有一定的比例。黄海中部鲮鱼的年龄与生长的研究,尚未见专题报导,本文是对黄海中部鲮鱼年龄与生长的初步观察。

材 料 和 方 法

本文所用的资料是 1966 年 2 月至 5 月初从青岛水产供销公司的小港码头分批采集的。渔获物捕自黄海中部(即石岛渔场以南至连青石以北之间的海域)。除对大型或过小型标本稍留意加以选取外,其他都是随机取样。收集与测定的标本总数为 742 尾。

年龄是根据耳石轮纹鉴定的,耳石不作磨片处理,用 20 倍或 30 倍双目解剖镜在入射光线下直接进行观察,即能正确读出年轮数,并以鳞片进行对照鉴定。

鳞片取自鱼体背鳍前端两侧与胸鳍以上的部位,用 10% 的氢氧化钾溶液和水洗净后夹入载玻片,使用 20 或 30 倍双目解剖镜,在透射光下进行观察。经比较,用鳞片和耳石鉴定的结果是一致的。生长逆算使用鳞片上测量的数据。

年 龄

耳石轮纹特征 鲮鱼的耳石呈片状,颇似一被针形树叶(图 1)。有些标本前端中部内凹,左右侧耳石对称,彼此呈背向排列。耳石腹缘较厚而平滑,背缘薄而凸出,且具有不规则波形缺刻。背缘观前后两端向外弯曲,正个耳石成弧形。早年形成的耳石部分位于

* 承蒙徐恭昭先生热情指导和赵立奇同志代为绘图,借此一并致谢。

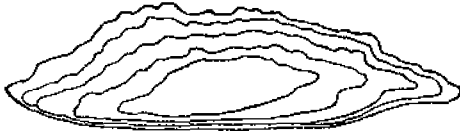


图1 鲮鱼耳石年轮特征
Fig. 1 Otolith of *P. indicus*

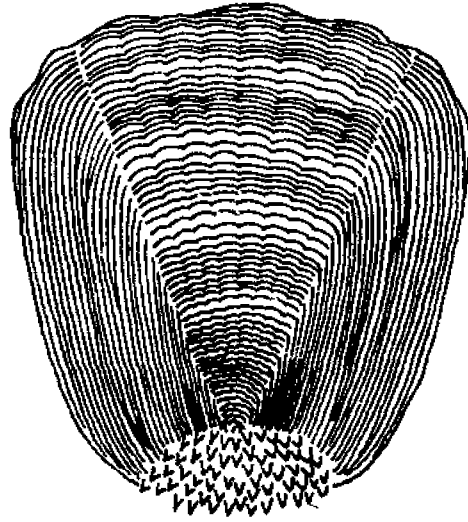


图2 鲮鱼鳞片年轮特征
Fig. 2 Scale of *P. indicus*

中央,次年形成者在耳石内面加厚一层,周围增宽一圈,故耳石当中敦厚。每年加宽的部分构成形状大体一致的同心轮纹。但耳石下缘增宽较小,轮纹排列紧密。高龄鱼的耳石腹缘后端轮纹几相重叠,耳石前后两端增长较大,轮纹间距较宽。背缘增宽居于前二者之间。在透射光线下观察,可看到颜色浅淡的宽带和颜色浓深的窄带呈规律性交替排列。

鳞片轮纹特征 鲮鱼鳞片为栉鳞,环片呈后端开放的同心圆状,由稀疏的宽带和致密的窄带相间排列。此致密的窄带即为年轮,鳞片侧区年轮稍宽,似相邻两环片合并(图2)。

据所采集标本鉴定,雄鱼的最高年龄是9龄,雌鱼是12龄。

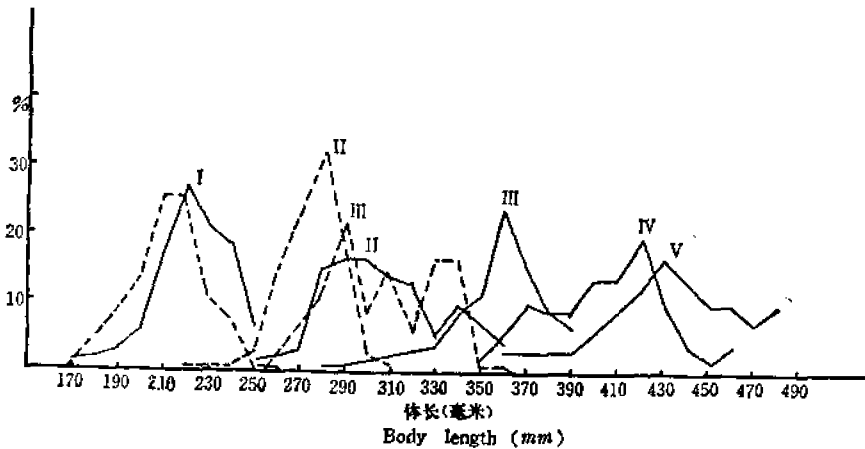


图3 鲮鱼各龄组体长分布图
Fig. 3 Standard length frequencies of *P. indicus*
—♀ ♂

生 长

1. 体长的分布 鲮鱼 I-V 龄各年龄组的体长分布如表 1、图 3 所示, 同一年龄组内的的体长有较大的变动幅度, 尤以 III 龄鱼(雄)和 III、IV 龄鱼(雌)为最甚, 其最小值为 260 毫米, 最大 415 毫米, 大小相差 155 毫米。这表明, 标本不是在同一时间取自同一批鱼, 会造成显著差异, 再者由于各个体的体质等内部先天性差异, 及捕食能力的不同和不同海域饵料生物多寡的不同而引起个体间生长的差异。这种差异随时间或年龄的推移而日趋显著, 至 III 龄显示得最充分; 所以 III 龄鱼个体体长差异大。但随年龄的进一步增长, 同龄鱼个体体长差异减少, 是因为生长快的个体一般性成熟也早, 成熟后生长速度降低, 而生长慢的个体性成熟也晚, 生长速度变化不大, 从而二者的差异得以减小。从图 3 看, I 龄组体长分布频数的高峰雌雄都处在 210—220 毫米之间, II 龄组以 280—290 毫米长度组的个体占优势, III 龄组则雌雄有所不同, 雌雄是 360 毫米长度组, 雄性仍以 290 毫米长度组居多。雌鱼 IV、V 龄组长度分布高峰分别为 420 和 430 毫米。I 龄组雌性平均体长 217 毫米, 与长度分布的众数体长组相一致。表 2 是 I 龄组鲮鱼雌性体长的频数分布,

表 1 鲮鱼各龄组体长频率分布

Table 1 Body length frequency distribution of *P. indicus* for different age-group

性 别 Sex	龄 组 Age group	标 本 数 No. of sample	平均体长 Mean body length (mm)	标准离差 S. D.	最小体长 Minimum body length (mm)	最大体长 Maximum body length (mm)	最大最小体长之差 Differences between Max. and Min. body length (mm)
雌 Female	I	165	217.6	16.17	167	247	80
	II	75	306.5	25.3	250	376	126
	III	96	358.1	21.7	280	415	135
	IV	49	404.6	26.8	250	486	136
	V	30	435.3	26.5	354	480	126
	VI	10	454.7	29.6	417	500	83
雄 Male	I	117	207	16.9	171	230	59
	II	139	274.4	14.2	236	307	71
	III	29	310.3	30	260	367	107
	IV	7	356	8.6	340	366	26

表2 鲮鱼(雌) I 龄组体长频率表

Table 2 Body length frequencies for female *P. indicus* for one age group

体长组 Body length group (mm)	频 数 Frequency	频 率 Frequency (%)	理 论 频 率 Theoretical frequency
—180	4	0.024	0.0099
180—190	5	0.030	0.0331
190—200	8	0.048	0.0943
200—205	14	0.085	0.0798
205—210	14	0.085	0.1015
210—215	17	0.103	0.1172
215—220	27	0.164	0.1232
220—225	18	0.109	0.1172
225—230	18	0.109	0.1022
230—235	13	0.079	0.0806
235—240	13	0.079	0.0566
240—245	10	0.061	0.0476
245—	4	0.024	0.0137

并据此对其体长的理论分布作了检验,在显著性水平 10%时, I 龄雌鱼体长的分布是均值为 217.6、方差为 16.168² 的正态分布。

2. 体重的分布 鲮鱼各年龄组的体重(除去内脏的纯体重)变动幅度同样很大,雌性是 IV 龄组者最甚,最大与最小个体间的差距为 602 克。雄性以 III 龄组最甚。其原因与同龄体长组产生差异的原因相似。I 龄组雌性是以体重 70—75 克的个体占优势,雄性是体

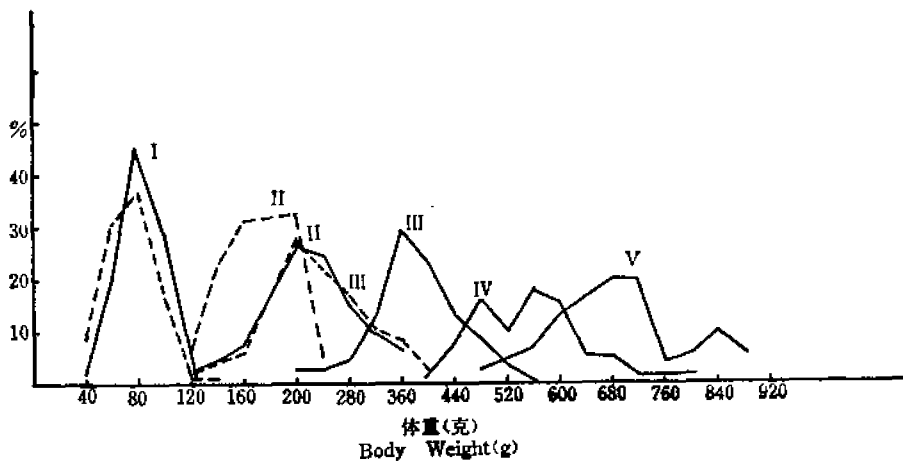


图4 鲮鱼各年龄组体重分布图

Fig. 4 Body weight (Excluding gut and gonads) frequencies of *P. indicus*

—♀,♂

表 3 鲈鱼各龄组体重频率分布

Table 3 Body weight frequency distribution of *P. indicus* for different age-group

性 别 Sex	龄 组 Age-group	标本数 No. of Sample	平均体重 Mean body weight	均 方 差 Mean square error	最小体重 Minimum body weight (g)	最大体重 Maximum body weight (g)	最大最小体重之差 Differences between Max. and Min. body weight (g)
雌 Female	I	165	72.8	16.4	29	115	86
	II	75	221.3	55.6	130	350	220
	III	167	364	65.6	167	509	342
	IV	49	532.3	115.1	330	932	602
	V	30	670.7	115	359	861	502
	VI	10	783.2	149	585	971	386
雄 Male	I	117	64.7	18	29	129	99
	II	139	158.8	28.1	101	242	141
	III	29	246.3	82.1	118	445	327
	IV	7	370.3	44.9	300	412	112

表 4 鲈鱼(雌) I 龄组体重频率

Table 4 Body weight frequencies of female *P. indicus* for one age-group

体 重 组 Body weight group (g)	频 数 Frequency	频 率 Frequency (%)	理 论 频 率 Theoretical frequency
0—40	4	0.024	0.0228
40—50	6	0.036	0.0595
50—55	9	0.0545	0.0578
55—60	14	0.0848	0.0716
60—65	17	0.1030	0.1075
65—70	19	0.1152	0.1133
70—75	22	0.1333	0.1231
75—80	19	0.1152	0.1144
80—85	18	0.1091	0.1003
85—90	12	0.0727	0.0828
90—95	10	0.0606	0.0599
95—105	9	0.0545	0.0619
105—	6	0.0364	0.0230

重 80 克的个体占优势。II 龄组内雌雄都是以体重 200 克的最多,III 龄以后雌雄有所不同,雄性仍以重 200 克的个体居多,雌性则是重 360 克者最多(表 3,图 4)

表 4 列出 I 龄鲮鱼(雌)体重的理论分布,计算表明,它服从均值为 72.770,方差为 16.389² 的正态分布。

3. 复合生长指标 $\sqrt{\text{体长} \times \text{体重}}$ 所谓复合生长指标是指鱼体体长(L)与体重(W)乘积的平方根而言,它是反映鱼在生长过程中机体物质在量上的积累指标。如表 5 所示,III 龄组以前增加较快,IV 龄以后增加缓慢。复合生长指标的变动幅度同样很大,大小相差 90 之多。从图 5 看,I 龄鱼累积频率最高者是复合生长指标为 35(雄)和 45(雌)的个体,II 龄组雄性为 65,雌性 80,雄性 III 龄组和雌性 V 龄组以后就不够规则,反映出个体间生长差异很大。(表 5,图 5)

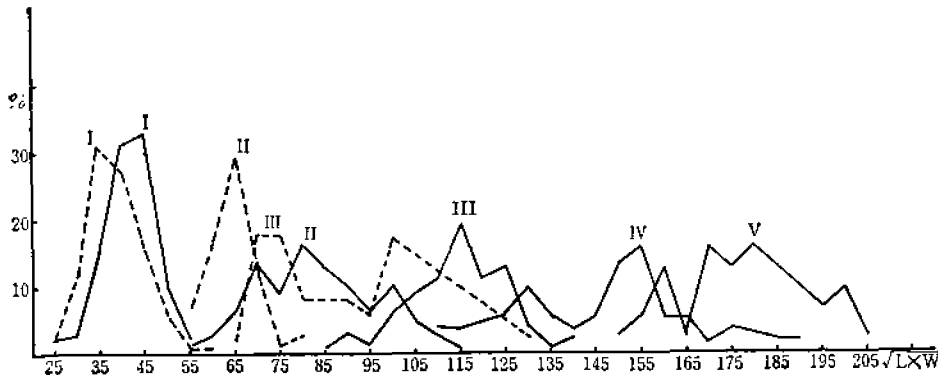


图 5 鲮鱼各龄组复合生长指数分布图

Fig. 5 $\sqrt{\text{length} \times \text{weight}}$ frequencies of *P. indicus*

— ♀ ♂

表 5 鲮鱼各龄组的复合生长指标

Table 5 Compound growth index ($\sqrt{L \times W}$) of *P. indicus* for different age-group

龄 组 Age-group	中 值 Mid-Value	最 小 值 Min. value	最 大 值 Max. value
I	48	25	60
II	85	55	115
III	123	65	140
IV	148	105	190
V	160	115	205
VI	185	150	220

4. 体长与体重的关系 鱼体的体长和体重是生物生长的两个变量,体长的增长和体重的增加是密切相关的,这是研究鱼类群体变动的两个重要指标,而体重则是渔业生产考虑的重要因素,不掌握体长增长的规律性,便不能进行合理的捕捞。体长是按线性长度增加,体重一般则是按体长的立方幂次增加,多用 $W = gL^b$ 的关系式表示。式中的 g 和 b

为两个参数，指数 b 通常在 3 左右。V. Bertalanffy 生长方程是根据这一假定条件推导出来的。黄海鲷鱼的体长与体重的关系也完全符合这一方程，其回归曲线为幂函数类型。根据这一方程求得黄海鲷鱼的体长与体重的关系是：

$$W = 0.248 \times 10^{-5} L^{3.1959} \quad (1)$$

其中 L 为体长(毫米)， W 为体重(克)， b 值接近于 3，表明鲷鱼的体长与体重的关系近似于 $W = gL^3$ 的假设条件，基本上可看作均匀生长。但如表 6 所示，雌雄各龄组鱼的 b 值虽都接近 3，但略有差异，I 龄鱼较大，II 龄鱼最小，III 龄鱼后又增大。且同是 I 龄组，雄性大于雌性，这反映出雌雄性间及各年龄组间体长和体重关系上的微小差异。I 龄鱼较肥胖，故其 b 值较大，II-III 龄鱼的体长增长率大于体重增加率，故 b 值变小。以后体长增长率降低，鱼体增肥，故 b 值又增大。表 6 对雌雄各龄鱼的 b 值都进行估计，与这种现象相吻合。我们认为，同龄同性别的鱼，由于水质污染程度及饵料供应情况的不同，会引起鱼体肥瘦的不同。因此 b 值的大小，在评价水质污染状况及环境条件好坏上，将是一个可以利用的重要指标。(图 6, 表 6)

另外，若假设鲷鱼的体长和体重为线性关系式： $W = a + bL$ ，对雌雄各龄组及雌雄混合组分别进行线性回归，求得各自的 a 、 b 估计值，并分别在显著性水平 $\alpha = 0.05$ 下，作了线性假设检验。结果如表 7。

不难看出，鲷鱼的体长为正线性相关，相关系数多在 0.9 以上，在显著水平 $\alpha = 0.05$ 下，作线性假设检验，都符合线性假设，线性关系十分密切。这个结果与前述体长体重的幂函数关系并不矛盾，因所取样品都在 I—XII 龄范围内抽取的， L 分布在 167—539 毫米的范围内。就相应的幂函数图形来看，在这相应的范围内的一段体长体重关系近似于一条直线，故在此范围内为线性关系且十分密切。我们的计算结果与此吻合。因此我们认为，如果在此范围内研究体长体重的关系，用线性关系式即可以且甚为简便。但如果研究 $L=0$ 附近的的关系，这属于线性外推的情况，用线性关系描述则误差较大。一种极端的情况是当 $L=0$ 时，得 W 都为负值，这显然与实际不相符。总之，若在体长的均值附近 L 范围内研究体长体重的关系时，用所得线性关系式是简单易行的；如果是在整个体长范围内，尤其是重点在讨论 $L=+0$ 附近的情况时，不能用线性关系式而用上面所得的幂函数关系就更为恰当合适。(图 6)

5. 体长与鳞长的关系 体长与鳞长的相关关系，是研究鱼类生长、进行鱼体逆算的

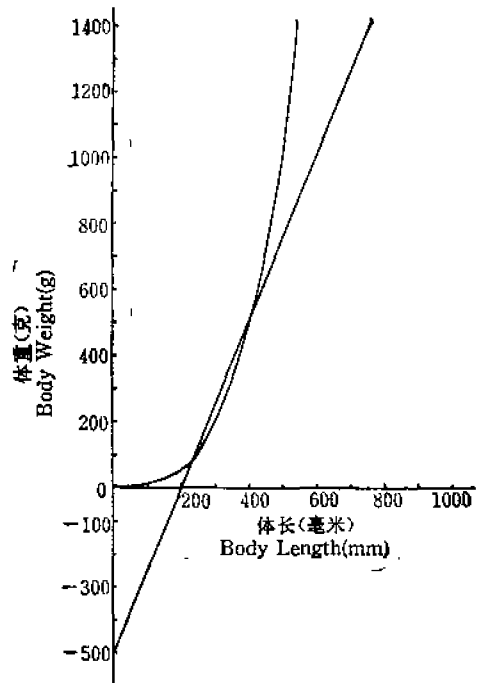


图 6 鲷鱼体长、体重的线性关系曲线和幂函数关系曲线

Fig. 6 The curves of linear relation and power functions relation between body length and body weight

表6 鲮鱼体长体重关系中各参数表

Table 6 Parameters in body length-weight relationship for *P. indicus*

性别 Sex	年龄 Age	a	b	标准离差 S. D.	相关系数 r	$W = qL^b$
雌 Female	I	-11.58797	2.945691	0.0994	0.9152	$W = 0.9277 \times 10^{-5} L^{2.945691}$
	II	-10.7513	2.817188	0.0989	0.9195	$W = 0.21416 \times 10^{-4} L^{2.817188}$
	III	-10.8881	2.851729	0.0866	0.8995	$W = 0.18678 \times 10^{-4} L^{2.851729}$
	IV	-11.70866	2.993556	0.0798	0.9284	$W = 0.8222 \times 10^{-5} L^{2.993556}$
	I-XII	-13.01068	3.211485	0.0927	0.9949	$W = 0.2236 \times 10^{-5} L^{3.211485}$
雄 Male	I	-13.33733	3.276852	0.1037	0.9343	$W = 0.1613 \times 10^{-5} L^{3.276852}$
	II	-11.18344	2.891963	0.0844	0.8721	$W = 0.13902 \times 10^{-4} L^{2.891963}$
	III	-14.01213	3.3953	0.0682	0.9796	$W = 0.821 \times 10^{-4} L^{3.3953}$
	I-IX	-13.12208	3.237213	0.0930	0.9833	$W = 0.2 \times 10^{-5} L^{3.237213}$
雌+雄 Female+male	I-XII	-12.90688	3.195266	0.0969	0.9935	$W = 0.248 \times 10^{-5} L^{3.195266}$

表7 鲮鱼体长体重假定为线性关系时的a、b估计值

Table 7 Estimate on a and b under assuming linear relation between body length and body weight for *P. indicus*

性别 Sex	年龄组 Age-group	a的估计值 Estimate on a	b的估计值 Estimate on b	均方差 s	相关系数 R	原假设 $H_0: H_0: b=0$ 检验统计量 t值 Test t	$t_{\alpha}^{(n-2)}$ 之值 Value of $t_{\alpha}^{(n-2)}$	H_0 成立与否
雌 Female	I	-124.895	0.908	7.407	0.893	25.392	$t_{0.05}^{(13)} = 1.96$	否
	II	-395.728	2.013	22.570	0.915	19.409	$t_{0.05}^{(13)} = 2$	否
	III	-608.947	2.715	29.629	0.894	19.383	$t_{0.05}^{(13)} = 2$	否
	IV	-1080.332	3.985	43.509	0.927	17.007	$t_{0.05}^{(13)} = 2.02$	否
	I-XII	-549.017	2.706	73.922	0.954	66.788	$t_{0.05}^{(43)} = 1.96$	否
雄 Male	I	-137.060	0.974	7.124	0.919	24.971	$t_{0.05}^{(15)} = 1.98$	否
	II	-813.136	1.718	13.795	0.872	20.010	$t_{0.05}^{(17)} = 1.96$	否
	I-IX	-336.788	1.871	30.415	0.948	51.069	$t_{0.05}^{(43)} = 1.96$	否
雌+雄 Female+male	I-XII	-513.864	2.583	64.658	0.953	85.66	$t_{0.05}^{(83)} = 1.96$	否

基础。根据鲮鱼的体长和鳞半径长作图,看出体长和鳞长是直线性关系,可用线性关系式 $L = a + bR$ 来表示,其中 L 为体长(毫米), R 为鳞片各年轮的轮距。经计算其结果是:

$$L = 71.4992 + 80.881R \quad (2)$$

除用直线回归方程外,也可以幂函数形式表达,

$$L = gR^b$$

$$L = 132.9148R^{0.7863} \quad (3)$$

从以上两种关系式回归的结果来看，在描述体长与鳞长的关系上都是较好的。但研究年幼鱼的体长与鳞长的关系，则以直线回归描述为好，因为它在 $R=0$ 附近更加接近于实际(图7)。

6. 相对增长率和生长指标 为了比较不同大小的鱼的增长情况，不用增长的绝对值而用相对值来表示，即用增长值和鱼在年初时的长度或重量之间的百分率来表示，以 $\Delta L/L$ 表示体长的相对增长情况，以 $\Delta W/W$ 示体重的相对增长情况。以下式计算相对增长率：

鲷鱼体长的相对增长率

$$C_L = \frac{L_2 - L_1}{L_1} \times 100 \quad (4)$$

鲷鱼体重的相对增长率

$$C_W = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100 \quad (5)$$

$$\text{鲷鱼的生长指标} = \frac{\lg L_2 - \lg L_1}{0.4343} \times L_1 \quad (6)$$

式中的 L_1 和 L_2 分别为 I 龄鱼和 II 龄鱼的平均体长(逆算体长)， W_1 和 W_2 分别为 I 龄鱼和 II 龄鱼的平均体重(即纯体重)(表8)。

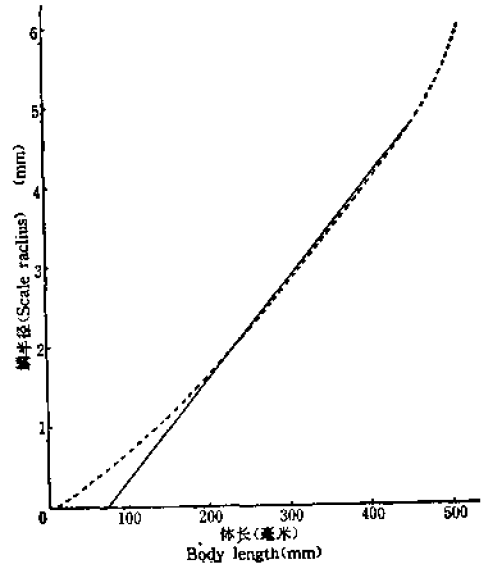


图7 鲷鱼体长与鳞长的线性关系曲线和幂函数关系曲线

Fig. 7 The curves of linear relation and power functions relation between body length and scale length

$$\text{—— } L = 71.4992 + 80.80E$$

$$\text{----- } L = 132.9148E^{0.7863}$$

表8 鲷鱼的阶段生长

Table 8 Stage growth of *P. indicus*

龄组 Age-group	体长 Body length (mm)	体长增长量 Increment of body length (mm)	体长相对增长率 Relative increase rate of body length (%)	生长指标 Growth index	体重 Body weight (g)	体重相对增长率 Relative increase rate of body weight (%)
I	235.7	71.4	23.25	62.37	69.4	61.53
II	307.1	48.5	13.64	45.03	180.4	47.95
III	355.6	33.1	8.52	31.65	346.6	32.32
IV	388.7	22.5	5.47	21.87	512.1	22.40
V	411.2	15.3	3.59	15.02	660	13.16
VI	426.5	10.8	2.46	10.37	760	
VII	437					

鲮鱼有25%的个体在I龄达性成熟,而大部(75%)的个体是在II龄时达性成熟。在性成熟前鲮鱼生长旺盛。所以II龄前的生长指标最高,其体长和体重的相对增长率都较高,III龄以后逐渐降低,V龄以后生长显著缓慢,进入老年阶段。

7. 一般生长型 鲮鱼生长的一般规律主要是研究鱼体的体长、体重等随时间的增长而变化的规律,可以用曲线图和方程表达。假设它满足 von Bertalanffy 方程,即有机体的体重与体长的立方成正比,则导出体长和体重的方程为。

$$L_t = L_{\infty}[1 - e^{-k(t-t_0)}] \quad (7)$$

式中, L_t 示瞬时体长; L_{∞} 为鱼的渐近长度; k 为曲率参数; t_0 是常数即理论上体长和体重等于0时的年龄。

计算方法如下:

- 1) 利用各 i 龄鱼的鳞长的平均值 \bar{R}_i , 代入 $L-R$ 的关系式, 算出 i 龄鱼的理论平均体长 L_i , 以消除年龄 i 的波动性。
- 2) 利用 Wolford 方法定出 L_{∞} ,
- 3) 再按最小二乘法估计 k 和 t_0 ,
- 4) 研究该方程所具有的性质, 以揭示生长规律。

令 $L_i = x_i$, $L_{i+1} = y_i$, 估计 $L_{i+1} = a + bL_i$ 式中即 $y = a + bx$ 中的 a, b 。然后求 $y = \hat{a} + \hat{b}x$ 与 $y = x$ 的联立解 x 为 L_{∞} 。

$$y = 183.9711 + 0.5994x$$

$$L_{\infty} = \frac{\hat{a}}{1 - \hat{b}} = 459.1696$$

k, t_0 的估计:

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

$$L_{\infty} - L_t = L_{\infty}e^{-k(t-t_0)}$$

令 $y = \log(L_{\infty} - L_t)$, $x = t$, $b = -k$, $a = \log L_{\infty} + kt_0$,

则 $y = a + bx$,

得 $\hat{a} = 5.7941$, $\hat{b} = -0.3848$, $r = -0.9542$,

$$\log L_{\infty} = 6.1294, \hat{k} = -\hat{b} = 0.3848,$$

$$t_0 = \hat{a} - \log \hat{L}_{\infty} / k = -0.8715$$

$$L_t = L_{\infty}[1 - e^{-k(t-t_0)}] = 459.1696[1 - e^{-0.3848(t+0.8715)}] \quad (7)$$

表9 鲮鱼各龄组的理论体长与实测体长

Table 9 Theoretical and measured body length of *P. indicus* for different age-group

龄组 Age-group	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
理论体长 Theoretical body length (mm)	236.7	307	355.6	388.7	411.2	426.5	437	444	449	452	454	456
实测体长 Measured body length (mm)	228	296	339	398	420	436	425	466	399	512	460	496

表 10 鲮鱼各龄组的理论体重与实测体重

Table 10 Theoretical and measured body weight of *P.indicus* for different age-group

龄 组 Age-group	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
理论体重 Theoretical body weight (g)	69.4	180	347	512	660	760	724	806	829	920	11998	1185
实测体重 Measured body weight (g)	41	142	282	433	574	698	800	882	947	996	1034	1063

按 $y = 183.9711 + 0.5994x$ 计算的直线与从原点出发的 45° 的直线的交点为 L_∞ 值, 计算结果为 $L_\infty = 459.1696$ 毫米(图 8)。

将 k 和 t_0 值代入生长方程式。求得各龄鱼的理论体长, 以此值作图则是一条不具拐点的上部接近渐近值的曲线。(图 9)

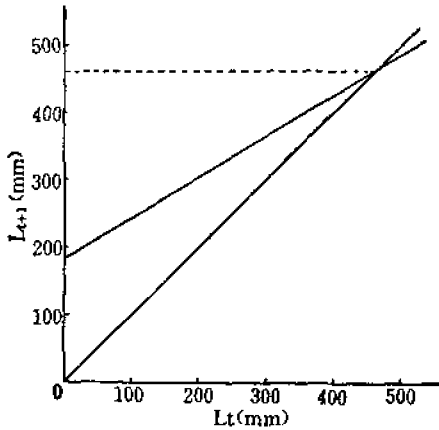


图 8 鲮鱼体长 L_t 与 L_{t+1} 相关
Fig. 8 Standard length L_t is interrelated to L_{t+1}

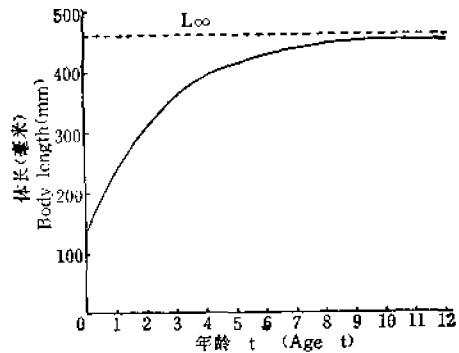


图 9 鲮鱼体长生长曲线
Fig. 9 The mean growth curve of *P. indicus* in body length

重量生长方程:

$$W_t = W_\infty [1 - e^{-k(t-t_0)}]^b \quad (8)$$

式中, W_t 为瞬时的体重, W_∞ 为鱼的渐近体重; k 为曲率参数; t_0 为假定常数, 即当 $W_t = 0$ 时的年龄。

用鲮鱼各龄的平均体重, 以直线回归式计算, 在已知鲮鱼有机体与体长 b 次方成正比的条件下, 体重的生长方程导出如下:

$$\text{因} \quad W_t = W_\infty [1 - e^{-k(t-t_0)}]^b$$

$$\text{所以} \quad W_t^{\frac{1}{b}} = W_\infty^{\frac{1}{b}} [1 - e^{-k(t-t_0)}]$$

$$W_{t+1}^{\frac{1}{b}} = W_\infty^{\frac{1}{b}} [1 - e^{-k(t+1-t_0)}] = W_\infty^{\frac{1}{b}} [1 - e^{-k(t-t_0)} e^{-k}]$$

$$\frac{W_{t+1}^{\frac{1}{b}}}{W_t^{\frac{1}{b}}} = \frac{1 - e^{-k(t-t_0)}e^{-k}}{1 - e^{-k(t-t_0)}} = e^{-k} + \frac{1 - e^{-k}}{1 - e^{-k(t-t_0)}}$$

$$W_{t+1}^{\frac{1}{b}} = (1 - e^{-k})W_{\infty}^{\frac{1}{b}} + e^{-k}W_t^{\frac{1}{b}}$$

令 $w = W_t^{\frac{1}{b}}$, $y = W_{t+1}^{\frac{1}{b}}$, $e^{-k} = B$,

$A = (1 - e^{-k})W_{\infty}^{\frac{1}{b}}$, 得 $\bar{y} = A + Bx$,

由此用线性回归求得参数 $k = 0.301$,

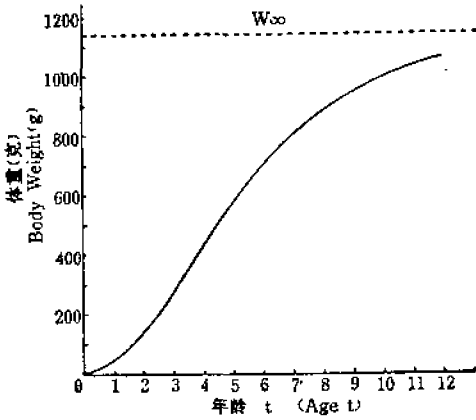


图 10 鲮鱼体重生长曲线

Fig. 10 The mean growth curve of *P. indicus* in body weight

$W_{\infty} = 1147.36$ 克, $t_0 = -0.441$, 代入重量生长方程〔式 8〕求得各龄鱼的理论体重。以此作图, 所得是一条不对称的 S 形曲线。拐点的坐标位置是 $t = 3.4233$, $W = 345.92$, 约相当于 $0.3015W_{\infty}$ 处, 与一般鱼类拐点位置相吻合。它表示鲮鱼重量生长发生重大变化。随着年龄的增大, 生长由慢到快再到慢。(图 10)

8. 生长速度和加速度 体重生长曲线 ($W_t = f(t)$ 曲线) 和体长生长曲线 ($L_t = f(t)$ 曲线) 都是积分曲线, 它们只是反映生长过程的总和。为了研究生长过程的变化特征, 将方程(7)和(8)对 t 求导数, 得出生长速度曲线(一次微分)和生长加速度曲线(二次微分)

$$\frac{dL_t}{dt} = k_{\infty}e^{-k(t-t_0)} \text{ 此为体长生长速度。} \tag{9}$$

$$\begin{aligned} \frac{dW_t}{dt} &= W_{\infty}b[1 - e^{-k(t-t_0)}]^{b-1}k_0e^{-k(t-t_0)} \\ &= W_{\infty}kb[1 - e^{-k(t-t_0)}]^{b-1}e^{-k(t-t_0)} \end{aligned} \tag{10}$$

其中 $\frac{dw}{dt}$ 为体重对年龄 t 的变化率即体重的生长速度

$$\begin{aligned} \frac{d^2w}{dt^2} &= W_{\infty}k^2b(b-1)[1 - e^{-k(t-t_0)}]^{b-2}e^{-2k(t-t_0)} \\ &\quad - W_{\infty}k^2be^{-k(t-t_0)}[1 - e^{-k(t-t_0)}]^{b-1} \\ &= W_{\infty}k^2be^{-k(t-t_0)}[1 - e^{-k(t-t_0)}]^{b-2}[be^{-k(t-t_0)} - 1] \end{aligned} \tag{11}$$

其中的 $\frac{d^2w}{dt^2}$ 为其体重的生长速度对年龄 t 的变化率, 即体重的生长加速度。

将各参数值代入公式, 计算与年龄 t 的函数关系, 如表 11, 并以此作图(图 11、12、13)。

从图 11、12 和 13 看, 体长生长速度随年龄而递减, 并渐趋近于零, 而体重增长速度和加速度是, 当鲮鱼的年龄 $t < 3.423$ 时, 体重生长速度曲线上升, 而体重生长加速度却下降, 但位于 t 轴上方 ($\frac{d^2w}{dt^2}$ 为正值), 表明 3.423 龄以前, 是鲮鱼体重生长速度的递增

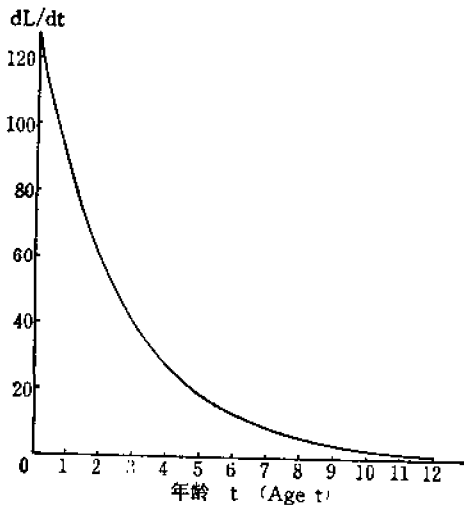


图 11 鲷鱼体长生长速度曲线
Fig. 11 Growth speed curve of *P. indicus* in body length

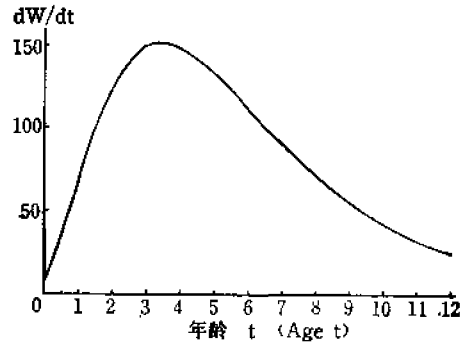


图 12 鲷鱼体重生长速度曲线
Fig. 12 Growth speed curve of *P. indicus* in body weight

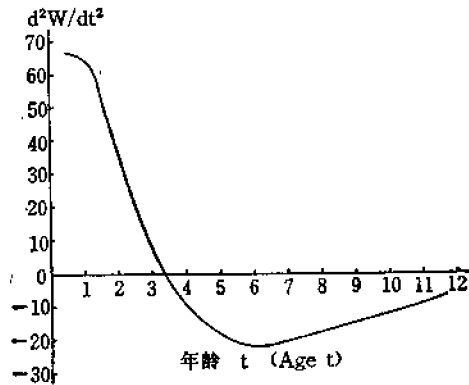


图 13 鲷鱼体重生长加速度曲线
Fig. 13 Growth acceleration curve of *P. indicus* in body weight

阶段,但其递增的速度却逐渐下降 (d^2w/dt^2 值递减),当年龄 $t = 3.423$ 时,体重生长曲线处于拐点,体重生长速度曲线达极大值,而体重生长加速度曲线与 t 轴相交 ($d^2w/dt^2 = 0$),表明此时鲷鱼生长速度达到最大值。当年龄 $t > 3.423$ 时,体重生长速度曲线下降,体重生长加速度曲线则在 t 轴下方 (d^2w/dt^2 为负值),表明自 3.423 龄以后是鲷鱼生长速度的递减阶段。从年龄 $t = 6$ 时,体重生长加速度曲线逐渐上升,生长速度的递减速度却下降。以后,其体重生长曲线趋于渐近值,生长速度和加速度趋近于 0。

但雌雄性间生长的速度和加速度也有差别,计算结果分别列入表 12 和 13。

可以看出当鲷鱼雌性年龄 t 为 2.541,雄性为 0.382 时为其拐点,这和其达性成熟时的年龄差别相一致,雄性 I 龄鱼有 45% 个体达性成熟,雌性仅 4%。I 龄雄鱼的生长速度大于雌鱼,但雄性的生长速度和加速度都猛烈降低。

表 11 鳙鱼的生长速度和加速度对年龄 t 的函数关系
 Table 11 Functional relation of growth speed and acceleration relative to t for *P. indicus*

年 龄 Age	0	0.5	1	1.5	2	3	3.4233	4	5	6	7	8	9	10	11	12
dW/dt	9.86	38.29	71.99	102.48	125.95	149.52	151.45	148.49	138.53	112.98	91.86	72.70	56.47	43.29	32.87	24.79
d^2W/dt^2	48.01	68.29	66.11	54.66	38.96	9.48	0	-9.66	-18.85	-21.43	-20.40	-17.77	-14.68	-11.74	-9.18	-7.06
dL/dt	126.4	104	86	71	58.5	39.8	33.5	27	18.4	12.5	8.5	5.8	4	2.7	1.8	1.2

表 12 鳙鱼(雌)生长速度和加速度对年龄 t 的函数关系
 Table 12 Functional relation of growth speed and acceleration relative to t for female *P. indicus*

年 龄 Age	0	0.5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
dW/dt	44.16	87.61	125.15	166.4	171.21	168.4	121.7	94.9	71.8	53.2	38.8	28.1	20.2	14.5
d^2W/dt^2	85.6	83.9	64.7	18.9	0	-11.7	-25.1	-25.3	-20.9	-16.4	-12.4	-9.2	-6.7	-4.9

表 13 鳙鱼(雄)生长速度和加速度对年龄 t 的函数关系
 Table 13 Functional relation of growth speed and acceleration relative to t for male *P. indicus*

年 龄 Age	0	0.1	0.2	0.382	0.5	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
dW/dt	168.9	177.8	183.7	187.6	186.2	159.7	86.4	39.5	17.0	7.15	2.97	1.23	0.51	0.21	0.09
d^2W/dt^2	105.6	73.6	44.4	0	-22.6	-72.4	-62.7	-32.5	-14.6	-6.2	-6.0	-1.1	-0.45	-0.19	-0.08

结 论 与 讨 论

1. 用耳石和鳞片鉴定出黄海中部鲷鱼雌雄最高年龄分别为 12 龄和 9 龄。

2. 用以下两个公式计算黄海中部鲷鱼体长和体重的关系：

$$\text{幂函数方程： } W = 0.248 \times 10^{-5} L^{3.1153}$$

$$\text{直线回归方程： } W = -513.864 + 2.583L$$

经比较，在整个体长范围内，尤其重点讨论 $L=0$ 附近的情况时，用幂函数关系更为适合。

3. 用以下两个公式计算其体长与鳞长的关系：

$$\text{直线回归方程： } L = 71.4992 + 80.881R$$

$$\text{幂函数方程： } L = 132.9148R^{0.7603}$$

经比较，在处理年幼标本时，以直线回归方程更为合适。

4. 黄海中部鲷鱼的生长适合于方程

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

$$W_t = W_{\infty}[1 - e^{-k(t-t_0)}]^3$$

$$L_{\infty} = 459.2 \text{ 毫米}$$

$$W_{\infty} = 1147.36 \text{ 克}$$

$$k = 0.301; t_0 = -0.441$$

拐点的座标为 $t = 3.4233$, $w = 345.9$ 克，约相当于 $0.3015W_{\infty}$ 处。

鱼类生长速度的快慢，直接影响到性成熟的早晚。因为决定鱼性成熟早晚的主要因素是生长，即鱼的体长和体重的大小。只有达到一定体长和体重的个体才第一次达性成熟。鲷鱼雌性第一次达性成熟的最小体长是 218 毫米，最小体重是 80 克；雄性是 190 毫米，60 克。而体长 250—270 毫米(雌)和 230—250 毫米(雄)、雌雄体重分别为 140 和 120 克的个体都全部性成熟。但从图 3 看，在 II 龄组内体长 280—290 毫米，体重 160—200 克的个体占优势，说明大部个体是 I 龄末、II 龄初内达性成熟的，也说明鲷鱼的生长速度是很快的。生长速度快性成熟就早，而成熟早就能使鲷鱼以较快的速度获得补充。

从繁殖保护、合理利用资源上考虑，以捕捞 II 龄、体长 260 毫米、体重 140 克以上者为宜，即个体大小和年龄以大量性成熟时各界限指标。

参 考 文 献

- [1] 中国科学院海洋研究所主编, 1964。中国经济动物志(海产鱼类)。科学出版社。
- [2] 张春霖等, 1955。黄渤海鱼类调查报告。科学出版社。
- [3] 刘建康等译, 1956。鱼类年龄和生长的研究方法。科学出版社。
- [4] 徐恭昭等, 1959。烟台外海鲈鱼生殖鱼群的分析。中国科学院海洋研究所。
- [5] 张其永等, 1981。厦门杏林湾鲷鱼年龄和生长的研究。水产学报, 5(2): 121—131。
- [6] 叶昌臣等, 1961。辽东海小黄花鱼生长的研究。1. 生产特性的研究。辽宁省海洋水产研究所调查研究报告, 19。
- [7] 陈万青, 1982。黄海鲷鱼性成熟特性的初步观察。海洋湖沼通报, (1): 36—40。
- [8] 尼可里斯基, T. B., 1982。鱼类种群变动理论。农业出版社。

AGE AND GROWTH OF THE FLATHEAD FISH (*PLATYCEPHALUS INDICUS* LINNAEUS) IN YELLOW SEA

Chen Wanqin and Zhao Weiqian

(Shandong College of Oceanography)

ABSTRACT Altogether 742 specimens of flathead fish were studied by examining the otoliths and scales for age determination. The specimens were collected from a small harbour of Qingdao from February to early May in 1966. Both the otoliths and scales were identical in age determination. Growth studies were made by means of scales method.

Two commonly formulae $W = bL^a$ and $W = a + bL$ were applied to compute the length-weight relationship of flat head fish. The following expressions were derived:

$$W = 0.248 \times 10^{-5} L$$

$$W = -513.864 + 2.583L^{2.1953}$$

These formulae were also used to calculate the relationship between body length and scale length of flat head fish. We obtain:

$$L = a + bR = 71.4992 + 80.881R$$

$$L = qR^b = 132.9148R^{0.7888}$$

where W , L , and R respectively represent body weight (without gut and gonads), standard length and scale length. The results indicate that both formulae of power series and linear are suitable in such calculations. But the formula of power series seems to be better for calculating length-weight relationship and the formula of linear seems to be better for back calculation of body length, especially when dealing with juvenile specimens.

The growth of the flat head fish in Yellow Sea corresponds to von bertalanffy's growth equation. The results are as follows:

$$W_t = 1147.36[1 - e^{-0.801(t+0.441)}]^{2.2}$$

$$L_t = 459.1696[1 - e^{-0.8248(t+0.8719)}]$$

where W_t is body weight (excluding gut gonads) in grams at the age of t , and L_t is standard length in mm at the age of t . The growth rate was calculated in relation to age of this fish.

KEY WORDS *Platycephalus indicus*, Age, Growth