

鳙仔—幼鱼耳石日轮与生长的研究^{*}

解玉浩 李勃 富丽静 解涵

(辽宁省淡水水产研究所, 辽阳 111000)

摘要 催产获得受精卵, 从胚胎发育后期到秋季鱼种出塘的孵化饲养过程中, 连续取样剖出鳃耳石, 其制片在光镜下观察耳石形态、大小、轮纹排列及其间距变化, 部分耳石在扫描电镜下观察轮纹的细微结构。用实测体长体重和日轮推算体长及计算体重比较研究了生长特性。耳石形态经历了由圆形、椭圆形、菱形到梨形的变化过程。耳石直径与全长呈线性相关, 其关系式为 $y = -0.1944 + 0.0388x$ 。孵出后第二天出现第一个日轮, 之后每日形成一轮, 日轮间距变化与鱼体生长及生态条件变化有关。以实测和推算数据用高次方程描绘的生长曲线基本一致, 经 t 检验, 无显著差异。

关键词 鳙, 仔鱼, 幼鱼, 耳石, 日轮, 生长

自 Pannella 于 1971 年首先证明鱼类耳石上存在日生长轮以来, 国外已在近百种海淡水鱼类上作过研究报导^[4,7,12]。我国近年也先后对鲤、鲢鱼、鳊鱼、梭鱼、黑鲷、香鱼耳石日轮进行过研究^[1~3,5,6]。表明耳石上日生长轮的沉积是鱼类普遍存在的现象。耳石日轮生长的研究, 可为更精细地研究鱼类的生长、生命史和种群生态学特征等提供新的途径, 故该研究不仅具有一定理论意义, 而且也有较广泛的应用价值。

材 料 和 方 法

(一) 研究材料来源与取样

研究材料取自辽阳天鹅鱼种场。1992年6月14日人工催产获得鳙受精卵, 室内用8升容积的玻璃缸装卵, 自然温度下充气孵化。仔鱼孵出后, 每缸装水4升, 放仔鱼200—400尾, 用日产鲑鱼开口饲料投喂, 饲养25—30天。饲养期间水温变化于18.8—24.6℃之间, 水中溶氧5.46—9.17毫克/升, pH8.0—8.5, 鱼生长发育正常。耳石取样从胚胎发育到耳囊内出现耳石开始, 每天1次(孵出后第一周每天4次)连续取样观察耳石形态变化和轮纹形成。

1992年7—10月份从天鹅鱼种场406号鱼池, 每隔20天取样1次, 每次随机取50尾进

收稿日期: 1994—03—29。

* 国家自然科学基金资助项目(39170607号)。

中国医科大学电镜室李家滨先生协助工作, 谨致谢意。

行有关生物学测定和耳石制片观察。同时在鱼种饲养的早、中、后期测定了池水的理化、生物状况。

(二) 耳石的剖取、制片、观察

胚胎发育后期剖出耳囊直接压片观察矢耳石。仔、稚鱼样品在 Olympus VM 或 SZ 型解剖镜和 TG328A 分析天秤进行全长、体长(从头端至脊椎末端)测量, 体重称量后, 镜下剖出 1 对矢耳石(Sagitta), 用中性树脂胶封片。幼鱼在测鱼板和天秤上测记体长体重后, 直接剖出耳石, 浸入 75% 酒精中保存, 然后在 40—60 纳米细磨石上或 700# 粒金相砂纸上两面磨制成耳石中心所在的平面薄片, 经清洗后用中性树脂胶封片。耳石制片在 JENA MeD-2 型或 Olympus C-35AD-2 型透射光镜(配有 0.05 毫米刻度的测微尺)下, 测记形态、大小、轮纹数量、轮纹间距, 并拍制照片。部分耳石经包埋, 磨制成通过中心的矢切面, EDTA 饱和液蚀刻、清洗、镀金, 在 HATACHI S-450 型扫描电镜下观察并拍制照片, 与光镜照片比较研究。

(三) 生长特性研究

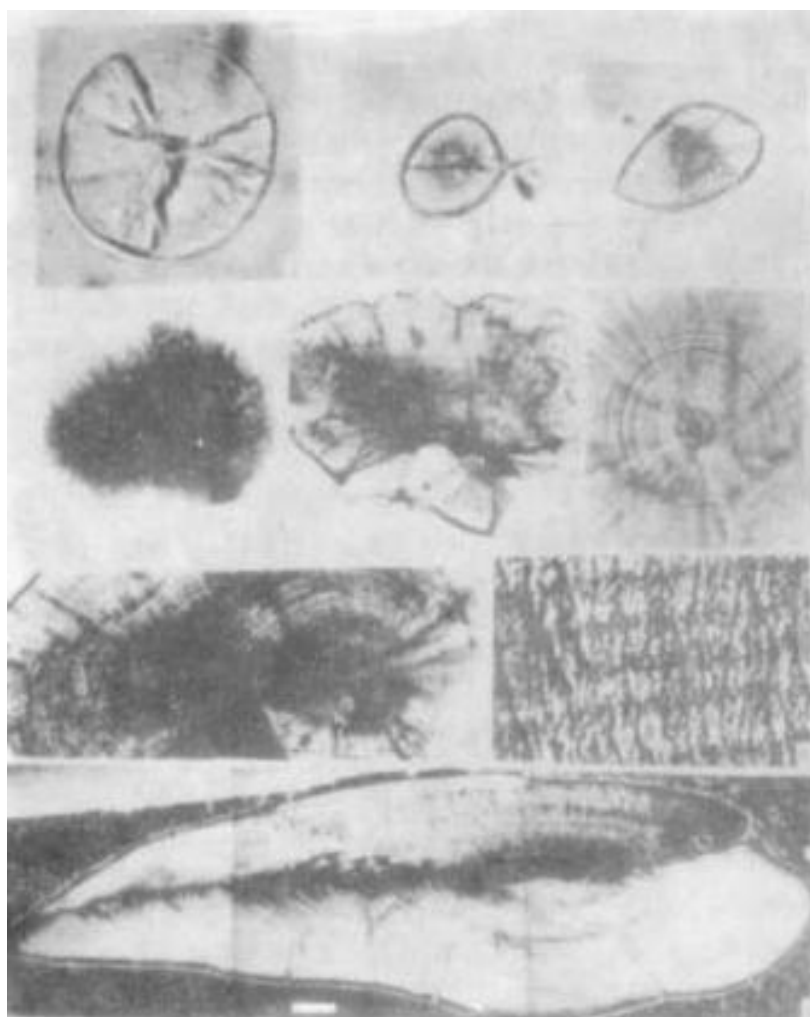
利用实测体长体重和依耳石日轮推算体长及计算体重, 采用生长方程式: $L_t = \sum_{i=0}^n \alpha_i t^i$, $W_t = \sum_{i=0}^n \alpha_i t^i$ (L_t 为 t 日龄时的平均体长, W_t 为 t 日龄时的平均体重, α_i 为回归系统, t 为日龄), 在 Sharp pc1500 型微机上拟合运算, 比较研究了鱮从孵出到 110 日龄(秋季鱼种出塘)期间的生长方程。并用日龄和体长资料计算分析了其阶段生长。

结 果

(一) 耳石形态变化和直径增长

鱮的矢耳石在发育过程中产生形态变化, 由最初的圆形变成最后的一端较尖另一端圆钝的梨形。尖端为前部, 钝端为后部, 从尖端至钝端的前后轴为长径, 通过中心垂直于长径的轴为短径。

鱮受精卵在水温 21.2—22.5℃ 条件下, 约经 26—30 小时的发育, 耳囊内出现一对圆形矢耳石。刚孵出的仔鱼全长 5.5—6.0 毫米, 透射光镜观察矢耳石圆形, 直径 26—28 微米, 中心呈星花状, 有 4—8 条辐射纹由中心向外散射, 尚未出现轮纹。调焦后可见到耳石中央有一个不规则圆形的核, 其直径 12—18 微米; 核的中心为暗黑色的耳石原基, 直径 4 微米左右。孵出后第 4 天的仔鱼耳石, 已有 3 个轮纹(图版 I-1)。孵出后第 12 至第 15 天, 仔鱼全长 7.6—9.9 毫米, 耳石变为椭圆形(图版 I-2), 耳石长径 128—172 微米。孵出后第 16 至第 30 天, 稚鱼全长 8.2—11.3 毫米, 耳石变成中部圆凸两端较尖的菱形(图版 I-3), 耳石长径(前后轴)144—278 微米。1 月龄之后的稚幼鱼耳石逐渐变成前端稍尖、后端圆钝、中间呈卡腰状的稳定的梨形(图版 I-4, 5)。



图版 I 鳊仔——幼鱼耳石的形态及日轮的光镜和扫描电镜观察
 Plate I Morphological development and observation of daily growth increments in otolith of big head fry—young by LM and SEM

1. 4日龄仔鱼(全长8.0毫米)的圆形矢耳石,直径82微米,×562
 The round-shaped sagittal otolith(diameter 82 μ m) of a 4-day-old larva(TL 8.0mm)×562
2. 12日龄仔鱼(全长8.8毫米)的椭圆形矢耳石,长直径170微米,×141
 The oval-shaped sagittal otolith(long-diameter 170 μ m) of a 12-day-old larva (TL 8.8mm)×141
3. 24日龄稚鱼(全长11.0毫米)的菱形矢耳石,长直径236微米,×142
 The rhombic-shaped sagittal otolith(long-diameter 236 μ m) of a 24-day-old larva (TL 11.0mm)×142
4. 44日龄稚鱼(体长57.0毫米)的梨形矢耳石,长直径516微米,×103
 The pear-shaped sagittal otolith(long-diameter 516 μ m) of a fingerling at age 44 days(SL 57mm)×103

5. 幼鱼(体长 80.0 毫米)的梨形矢耳石,长直径 1105 微米,×61
The pear-shaped sagittal otolith(long-diameter 1105 μ m) of young fish (SL 80mm),×61
6. 稚鱼矢耳石的中心部分,示耳石中央的核(不规则的黑色圆圈)和核中心的耳石原基(中心的黑点)×575
The central part of sagittal otolith from a larva, showing a core(unregular open circles) and primordium(central solid dot) in center of otolith,×575
7. 与图 5 同一耳石,示耳石长半径上的日轮排列,×110
Same otolith with fig. 5, showing to range of growth increments in otolith,×110
8. 幼鱼(体长 61.0 毫米)矢耳石部分日轮的高倍扫描电镜照片,×5840
Scanning electron micrograph of high magnification from a part daily growth increments of a young fish (SL 61.0mm) otolith,×5840
9. 与图 8 同一耳石的矢断面扫描电镜照片,标尺=65 微米
Scanning electromicrograph of a EDTA-etched sagittal section, same otolith with fig. 8, scale bar=65 μ m

随机取样的幼鱼耳石大小及长短径比值列表 1。由表 1 可见耳石直径随体长的增长而增大,但短直径与长直径的比值以及长直径上的短半径与长半径比值基本稳定。

表 1 鱮耳石大小及长短径比例

Table 1 Size and ratio between short and long radius of otolith of big head

采样日期 Collection date	采样地点 Sampled place	样品数 Sample number	体长 St. length (mm)		耳石大小及长短径比例 Size and ratio between short and long radius of otolith					
			范围 Range	平均 M \pm m	长径 Long diameter (mm)		短径/长径 Short diam. / long diam.		长径的短半径/长半径 Short rad. /long rad. (at long diam.)	
					范围 Range	平均 M \pm m	范围 Range	平均 M \pm m	范围 Range	平均 M \pm m
1992. 8. 18 Aug, 18, 1992	辽阳 天鹅鱼场	30	54.0— 87.0	72.40 \pm 1.44	0.936— 1.344	1.176 \pm 0.020	0.640— 0.730	0.690 \pm 0.013	0.355— 0.463	0.386 \pm 0.018
1992. 10. 5 Oct, 5, 1992	辽阳 天鹅鱼场	30	62.0— 119.0	90.03 \pm 2.02	1.160— 1.620	1.434 \pm 0.026	0.620— 0.740	0.670 \pm 0.015	0.350— 0.450	0.386 \pm 0.013

耳石直径(长短径平均值)与全长呈线性关系,704 尾仔稚鱼全长与耳石平均直径的关系式为 $y = -0.1944 + 0.0388x$ (y 为耳石直径,毫米; x 为体长,毫米)。相关系数 $r = 0.941$, α 在 0.001 水平上显著(图 1)。

(二) 耳石日轮生长及间距变化

耳石中央为一个中心核(圆版 I—6 中间不规则的黑色圆圈),核的中心是耳石原基(Primordium)(图版 I—6 中心的黑点),核外为同心排列的轮纹。8 日龄的仔鱼全长 7.6—8.7 毫米,平均 8.24 ± 0.10 毫米,耳石直径 115.5—132.2 微米,平均 125.26 ± 1.58 微米。耳石核直径 13.22—15.14 微米,平均 14.34 ± 0.18 微米。一条完整的日轮是由 1 条透明带和 1 条暗色带组成(图版 I—6、7、9)。高倍扫描电镜下可见透明带较宽,多为不规则柱状结晶,间有暗色有机沉积物;暗带较窄,为不连续的暗色有机沉积带,间有柱状结晶穿插(图版 I—8)。

刚孵出的仔鱼耳石上没有轮纹。孵出后第 2 天形成第 1 个轮纹,孵出后第 4 天,耳石上已有 3 个轮纹(图版 I—1)。这表明耳石上的轮纹是在仔鱼孵出之后开始形成的。正常条件下,第 1 个日轮形成之后,每天形成 1 轮。鱼的日龄可用耳石轮纹数加一表示,其表达式为

$D=N+1$ 。

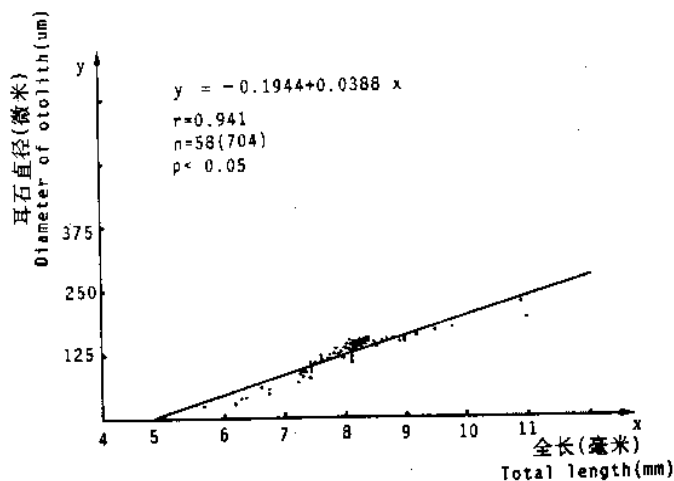


图1 鳊仔稚鱼耳石直径与全长关系

Fig. 1 Relationship between otolith diameter and total length of fry—fingerline of big head

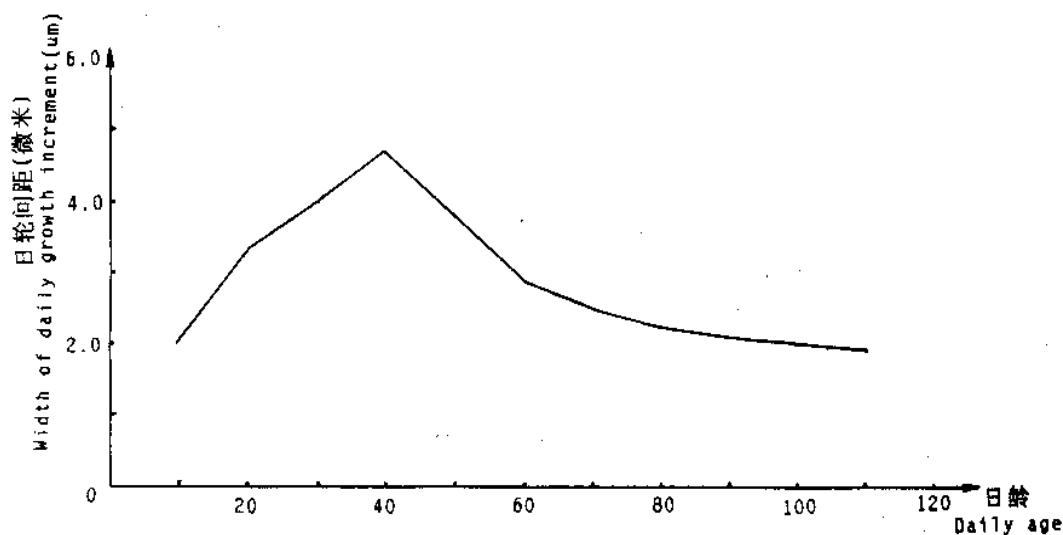


图2 鳊仔——幼鱼耳石每10个连续轮纹的平均间距变化(n=34)

Fig. 2 Change of the mean width of per ten consecutive increments in the otolith of fry—young fish of big head(n=34)

1992年10月5日从天鹅鱼种场鱼池随机采集一批鳊秋季鱼种,生物学测定后取出矢耳石磨片,在250倍光镜下,用0.05毫米刻度测微尺测定求出每10个日轮的平均间距。结果表明前10个日轮平均间距为1.94微米,之后间距逐渐增大,40日龄平均值最高,为4.66微米。而后间距渐次减少,至边缘110日龄平均为1.83微米(见图2)。日轮间距的这种变化,反映了与生长条件相对应的鱼的生长变化。

(三) 生长特性

1. 体长与体重关系 自6月18日仔鱼孵出后至10月5日秋季鱼种出塘期间共8次随机取样848尾,以实测体长体重平均值,按 $W_t = \alpha L_t^b$ 公式计算,求得 $W_t = 0.327 \times 10^{-6} L_t^{4.063}$, 相关系数 $r = 0.998$, α 在0.001水平上显著。

2. 体长生长方程 依据实测体长(12组202尾样品)和日龄资料,采用高次方程式在计算机上拟合,得出方程式 $L_{t-3} = 0.5336 + 1.2887t - 4.9360 \times 10^{-3}t^2 - 7.0107 \times 10^{-8}t^3$, 相关系数 $r = 0.984$, α 在0.001水平上显著。

采用34尾幼鱼的日龄推算体长与日龄资料,用上述同样方法计算得方程式:

$L_{t-3} = -1.4627 + 1.2026t - 3.5033 \times 10^{-3}t^2 + 1.1438 \times 10^{-7}t^3$, 相关系数 $r = 0.997$, α 在0.001水平上显著。依上两方程作成生长曲线如图3,经 t 检验, $t = 0.734$, 查 t 值表 $t_{(11)0.05} = 2.201$, 即 $t < t_{0.05}$, $p > 0.05$, 差别无显著意义。

3. 体重生长方程 实测平均体重(12组202尾样品)与日龄经计算拟合,得生长方程:

$W_{t-3} = -7.4149 \times 10^{-1} + 8.7960 \times 10^{-2}t + 6.1244 \times 10^{-4}t^2 + 2.7030 \times 10^{-9}t^3$, 相关系数 $r = 0.942$, α 在0.001水平上显著。依此方程作成的体重生长曲线如图4。曾检验了理论体重的生长方程与此实测体重生长方程没有显著差异。

4. 阶段生长 根据研究鱼类阶段生长的一般公式* 计算得出的鱮仔——幼鱼的相对增长率、生长比速、生长常数、生长指标列于表2。由表2可见各项指标基本上随着日龄的增长而递减。

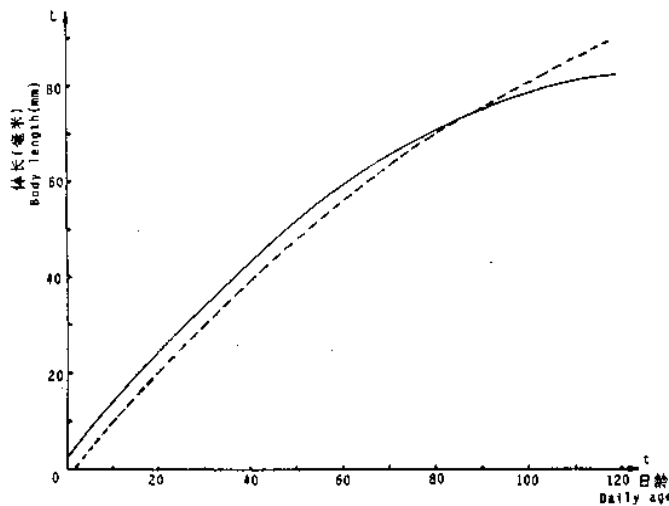


图3 鱮仔——幼鱼体长生长曲线(实线为实测体长, $n=202$; 虚线为推算体长 $n=34$)

Fig. 3 Growth curve of body length (SL) for fry-young fish of big head
(solid line, measured, $n=202$; dot line, back calculated, $n=34$)

* 易伯鲁, 1982. 鱼类生态学, 128—136. 华中农学院出版。

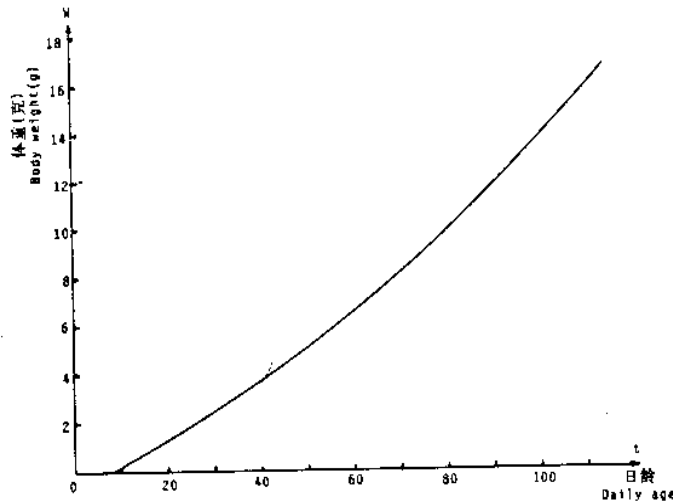


图4 鳙仔——幼鱼体重生长曲线(n=202)

Fig. 4 Growth curve of weight for fry-young fish of big head(n=202)

表2 鳙仔——幼鱼阶段生长

Table 2 Stage growth of fry-young fish of big head

日龄 Daily age	平均体长 Body length (ST) mean(mm)	相对增长率 Relatively growth rate	平均 相对增长率 Relatively growth rate mean	生长比速 Comparative growth rate	平均 生长比速 Comparative growth rate mean	生长常数 Growth constant	平均 生长常数 Growth constant mean	生长指标 Growth target	平均 生长指标 Growth target mean
10	8.06								
20	17.12	112.41		0.075		1.130		0.607	
30	28.95	69.10		0.053		1.313		0.899	
40	41.42	43.07	74.86	0.036	0.055	1.253	1.232	1.036	0.847
50	52.14	25.88		0.023		1.035		0.953	
60	59.80	14.69		0.014		0.754		0.714	
70	66.54	11.27	17.28	0.011	0.016	0.694	0.828	0.639	0.769
80	72.45	8.88		0.009		0.638		0.566	
90	78.08	7.77		0.007		0.636		0.542	
100	83.53	6.98		0.007		0.637		0.523	
110	88.06	5.42	7.26	0.005	0.007	0.554	0.616	0.441	0.518

讨 论

1. 关于第1个日轮形成的时间 鳙孵出之后第2天形成第1条日轮,以后每日形成一轮。这与在鳕鱼(*Gadus morhua*)、太平洋鲱(*Clupea harengus pallasi*)、大西洋鲱(*Clupea harengus*)、遮目鱼(*Chanos chanos*)上的观察结果是一致的^[8,9,12,14]。这表明孵出之后以卵黄为营养开始沉积第1个日轮,沉积过程似乎随时间增长逐渐进行的,具有24小时昼夜节律性。我们对室内饲养仔鱼的耳石昼夜定时剖察表明,通常在16—20点才可见新轮纹的出现,只有下一个

轮纹开始形成,才能衬托出前一轮纹的完整性。

2. 关于耳石形态变化 鳙的矢耳石形态,由初孵仔鱼的圆形,经过椭圆形、菱形、最后变成前端稍尖后端圆钝中间有卡腰的稳定的梨形(图版 I-1-5),其变化历时 50—60 天。这在其它鱼类也有类似报道,如金鱼的矢耳石经圆形、椭圆形、菱形、梨形,62 日龄后变成稳定的棒形^[11]。南极银鳕(*Pleuragramma antarcticum*)的矢耳石也经过从圆形、椭圆形、元宝形到梨形的形态变化^[14]。我们在公鱼(*Hypomesus olidus*)、香鱼(*Plecoglossus altivelis*)上也见到矢耳石的类似形态变化^{[6]*}。这种形态变化可能是鱼类矢耳石发育过程中普遍存在的现象。

耳石变成稳定的形态之后,其直径仍随体长的增长而增加,但耳石长径与短径比例及长径上的长半径与短半径的比例均保持基本稳定(表 1)。这表明耳石由中心向四周的增长是同步进行的,可选择任一轮纹清晰的半径进行体长生长推算。

3. 关于以日龄为时间单位研究生长特性 研究鱼类的生长特性,过去多以年或季节为时间单位,在自然状态下采样以日龄为时间单位精细地研究鱼类生长似难实现。近年来报导的依耳石日轮推算体长研究鱼类生长特性,为简捷、精细地研究鱼类生长开拓了途径。陈卫忠报导了美国墨西哥湾的红眼脂眼鲱(*Etrumens teres*)的日龄和推算体长的生长方程^{**}。Linkowski^[8]记载了两种角灯鱼属(*Ceratoscopelus*)鱼类的日龄与推算体长的生长方程;Radtko 等^[14]依据日龄和推算体长描述了 1.3—33 龄的南极银鳕的生长方程,均很好地揭示了其生长特性。我们用实测体长体重和依耳石日轮推算体长及理论体重,比较研究了鳙以日龄为时间单位的体长体重生长方程。体长生长曲线(图 3)反映了鱼的生长与环境条件的变化关系,及种群固有生长特性。这批鱼是 6 月 16 日孵出的,孵出后第 5 天下塘,饲养 24 天夏花分塘饲养,由于分塘后鱼的栖息密度相对减少,池塘施肥饵料生物较丰,且时值 7 月中旬至 8 月上旬,水温较高,所以 30—50 日龄体长生长最快。之后,一方面由于池中浮游动物量相对下降,另一方面由于鱼体增长,鱼的密度加大,体长增长逐渐下降。体重生长曲线(图 4)表明,在 60—70 日龄后即 8 月中旬之后的秋季增长较快。实测和计算数据的生长方程,经 t 检验差异不显著,均可客观地反映鳙的生长特性。

参 考 文 献

- [1] 李勃等,1992. 鳙幼鱼耳石日轮的研究. 动物学研究,13(3),201—207.
- [2] 李城华等,1993. 梭鱼仔鱼耳石日轮形成及自然种群日龄的鉴定. 海洋与湖沼,24(4),345—349.
- [3] 李城华等,1993. 黄海黑鲷仔鱼耳石的日轮以及光照对其形成的影响. 海洋与湖沼,24(5),511—515.
- [4] 董双林等,1989. 国外对鱼类耳石日轮生长的研究. 大连水产学院学报,(3—4),53—61.
- [5] 董双林等,1989. 鲤鱼仔、稚和幼鱼早期耳石上日轮的观察. 大连水产学院学报,4(1),58—62.
- [6] 解玉浩等,1995. 香鱼耳石日轮与生长的研究. 动物学报,41(2),125—133.
- [7] Jones,1986. Determining age of larval fish with the otolith increment technique. Fish Bull.,84(1),91—103.
- [8] Linkowski et al,1993. Otolith microstructure, age and growth of two species of *Ceratoscopelus*(Osteichthyes, Myctophidae) from the eastern North Atlantic. J. Exp. Mar. Biol. Ecol.,167,237—260.
- [9] Lough et al,1982. Age and growth of larval Atlantic herring, *Clupea harengus* L., in the Gulf of Maine—Georges Bank region based on otolith growth increments. Fishery Bull. U. S. 80,187—199.
- [10] Mc Gurk,1984. Ring deposition in the otolith of larval Pacific herring, *Clupea harengus pallas*. Fishery Bull. U. S. 82,

* 解玉浩等,1992,公鱼耳石日轮的观察研究(特刊稿)。

** 陈卫忠,1990,红眼脂眼鲱仔鱼日龄与生长的研究. 中国水产科学研究院学报,3(1),49—56

- 113—120.
- [11] Mugiya et al, 1992. Otolith development, increment formation, and uncoupling of otolith to somatic growth rates in larval and juvenile goldfish. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 58 (5): 845—851.
- [12] Pannella, 1971. Fish otolith, daily growth layers and periodical patterns. *Science*, 173, 1124—1127.
- [13] Radtke et al, 1980. Otolith formation and body shrinkage due to fixation in larval cod (*Gadus morhua*). *Can Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.*, 929, 3—10.
- [14] Radtke et al, 1993. Otolith structural and chemical analyses, the key to resolving age and growth of the Antarctic silverfish, *Pleuragramma antarcticum*. *Antarctic Science*, 5(1): 51—62.
- [15] W. —N. Tzeng and S. —Y. Yu, 1988. Daily growth increments in otoliths of milkfish, *Chanos chanos* (Forsskal), larvae. *J. Fish Biol.* 32: 495—504.

DAILY GROWTH INCREMENT IN OTOLITH AND GROWTH FOR FRY—YOUNG FISH OF BIGHEAD (*Aristichthys nobilis*)

Xie Yuhao Li Bo Fu LiJing Xie Han

(Research Institute for Freshwater Fisheries of Liaoning Province, Liaoyang, 111000)

ABSTRACT The samples from embryonic development (artificially fertilized eggs) of late stage to young fish of big head were collected continuously in June—October 1992. Both sagittal otolith were removed from the fish and its sections were examined for size, morphology, ring formation and width of daily growth increments by light microscope, and microstructure of otolith was observed under scanning electron microscope. Growing character, were studied from data on daily age, weight and length and back calculation based on the increments.

Morphology of otolith was undergoing changes from round, oval, rhombic, to pear—shape. Otolith radius (μm) were linearly related to fish length (TL, mm), the equation was $Y = -0.1944 + 0.0388x$. The initial daily growth increment in otolith was formed on the second day after hatching and continued on a daily schedule. The change of width of daily growth increment was closely related to growing and developing of fish and ecological condition. The data on the length (SL, mm) and weight (g.) obtained by measuring and back calculating based on growth increments in otolith agreed with the growth curve of equation by t -test ($P > 0.05$).

KEYWORDS Bighead carp, Fry fish, Young fish, Otolith, Daily growth increment, Growth