

## 利用耳石日轮技术研究长江中游草鱼幼鱼的孵化期及生长

管兴华<sup>1,2</sup> 曹文宣<sup>1</sup>

(1. 中国科学院水生生物研究所, 武汉 430072; 2. 中国科学院上海生命科学信息中心 上海 200031)

**摘要:**根据耳石日轮对 2004 年采自洞庭湖和新滩口江段的草鱼幼鱼进行日龄(D)鉴定, 孵化时间推算以及生长的研究。草鱼幼鱼所有样品体长(BL, mm)生长方程为  $BL = -53.4195 + 3.1650D$ , 体重(W, g)生长方程为  $W = 0.9816 e^{0.0633D}$ , 体长体重相关方程为  $W = 0.00001BL^{3.1003}$ 。孵化时间最早为 5 月 14 日, 最晚为 7 月 11 日, 主要集中在 5 月下旬和 6 月份。研究发现三峡大坝在 139m 水位运行后长江中游仍有草鱼产卵, 最早繁殖时间稍晚于历史记录。

**关键词:**长江中游; 草鱼; 耳石日轮; 生长; 孵化期

**中图分类号:**Q958.8 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-3027(2007)01-0018-06

草鱼 (*Ctenopharyngodon idellus*) 是我国重要的经济鱼类, 长江干流是其主要的繁殖场所。已有研究表明, 家鱼产卵的下限水温为 18<sup>[1]</sup>, 另外江面上涨使产卵场流速的适当提高是刺激亲鱼产卵的主要外界条件<sup>[2]</sup>, 因此, 长江中游的水文变化情况对草鱼的繁殖是十分重要的。2003 年 6 月三峡水库蓄水至 135 米, 11 月初水位提升至 139 米运行, 长江中游江段的水文条件因此发生了一定的变化, 这是否会影响到草鱼的繁殖产生影响值得深入研究。

耳石是鱼体中最先骨化的组织且沉积稳定<sup>[3]</sup>, 是鉴定鱼类年龄的最佳材料<sup>[4]</sup>。自从 1971 年 Pannella<sup>[5]</sup>证实了鱼类耳石上存在日轮结构以来, 国内外有关日轮的研究大量开展<sup>[6-10]</sup>, 发现大多数硬骨鱼类的耳石上都存在日轮。常剑波等<sup>[11]</sup>在研究中证实了草鱼仔幼鱼微耳石中的生长轮也具有日周期性, 可以用来对草鱼的孵化时间进行推算。

本研究通过对野生草鱼幼鱼日龄与生长的研究, 探讨三峡水库蓄水后 2004 年草鱼的繁殖时间的变动情况, 希望能够为客观评价三峡工程对草鱼繁殖的影响提供参考。

### 1 材料与方法

#### 1.1 采样及耳石保存 草鱼幼鱼为 2004 年 7 月 11

日和 8 月 26 日在洞庭湖, 8 月 28 日在长江新滩口江段采集, 网具为网簏。样品采集后测量体长(精确至 1mm)、体重(精确至 1g), 然后取出左右微耳石, 用酒精清洗晾干后置于离心管中保存。总样品量为 348 尾, 其中 222 尾草鱼的耳石成功打磨后用于日龄鉴定。

**1.2 耳石样品的制备及孵化期推算** 微耳石用热熔胶包埋于载玻片上, 凸面朝上, 使所需打磨面与玻片平行。用 1000<sup>#</sup> 的耐水砂纸进行打磨, 要不时在显微镜下观察, 当磨到接近耳石中心时换用 1500<sup>#</sup> 的砂纸, 直至显示耳石中心。翻转耳石, 使凹面朝上, 同样方法打磨, 磨至中心后, 用酒精清洗耳石表面, 然后直接用无色指甲油封片。

将制备好的耳石样品置于 Olympus BH2 显微镜下观察并用尼康 4500 数码相机拍摄照片, 在电脑显示器上计数耳石日轮数。计数参照 Campana 等<sup>[12]</sup>的方法, 每一样品至少计数三次, 当几次计数结果的误差在 10% 以内时, 取其平均值; 误差大于 10% 的样品则摒弃。由于草鱼在孵化后第 2d 形成第一个日轮<sup>[11]</sup>, 计数得到的日轮数加 1 即为草鱼幼鱼的日龄。通过采样日期和日龄可以推算得到孵化日期。

**1.3 数据处理** 用 STATISTICA 6.0 软件, 分析体长体重的关系, 并对体长、体重与日龄的关系进行回归

收稿日期: 2005-4-14; 修订日期: 2006-06-15

基金项目: 国务院三峡工程建设委员会办公室 (SX2004-12) 资助

作者简介: 管兴华 (1979—), 男, 山东莱西人; 硕士研究生; 主要从事鱼类生态学研

通讯作者: 曹文宣, Tel: 027-68780728

分析,对样品孵化期分布情况作图。

## 2 结果

### 2.1 耳石微结构及日轮特征

草鱼幼鱼微耳石一端钝圆,一端稍尖。耳石矢状面磨片在透射光下,由中央暗区和外部亮区组成(图1)。耳石生长中心(core)偏向钝圆的一端,中心外为近同心圆排列的日轮。耳石在不同方向上生长速度不同,在快生长轴上,日轮排列较疏并且存在轮纹不清的区域,而慢生长轴上日轮沉积均匀、轮纹清晰,所以通常以慢生长轴计数日轮。

每一个完整的日轮是由一条明带和一条暗带组成。在生长的不同阶段,日轮的宽度也不相同,常常形成由一个或者几个深色环纹形成的标记轮(图2)。

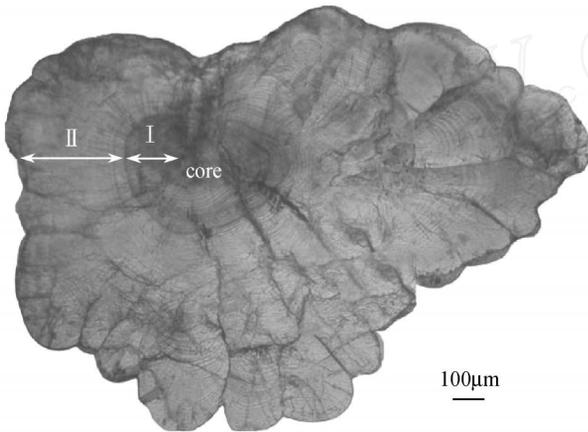


图1 草鱼微耳石矢状面结构

Fig. 1 Sagittal plane structure of the lapillus from juvenile grass carp  
( : optically dense zone; : low optically dense zone)

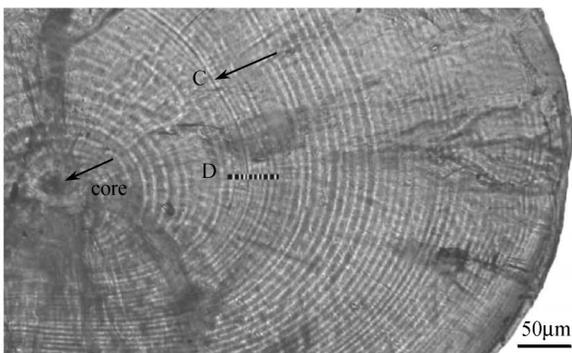


图2 草鱼微耳石的日轮特征

Fig. 2 Core, check (C) and daily increments (D) in the lapillus from juvenile grass carp  
core. 中心核; C. 标记轮; D. 日轮

### 2.2 体长生长

回归分析表明,体长与日龄呈显著的线性关系( $p < 0.00001$ ) (图3),体长平均生长率为3.165 mm/d。洞庭湖草鱼体长生长率为3.547 mm/d,新滩口草鱼为2.9313 mm/d,可见,洞庭湖草鱼生长速度要显著快于新滩口草鱼(ANCOVA,  $F_{1,218} = 7.69, p < 0.05$ )。因此,把两地样品混合后得出的体长生长方程并不能代表两地草鱼的体长生长情况。

### 2.3 体重生长

草鱼体重与日龄呈显著的指数关系( $P < 0.00001$ ) (图4),总样品的体重特定生长率为6.33%,洞庭湖样品体重特定生长率为6.89%,新滩口为5.73%。与体长生长相似,洞庭湖草鱼生长速度要显著快于新滩口(ANCOVA,  $F_{1,218} = 6.12, p < 0.05$ )。同样,两地样品合并后的体重生长方程并不能代表两地样品的体重生长情况。

### 2.4 体长体重的关系

草鱼幼鱼的体长体重呈显著的幂函数相关( $p < 0.00001$ ) (图5)。体长和体重的关系还可以转换为以下形式:

$$\text{洞庭湖: } \ln W = -11.5129 + 3.1077 \ln BL \quad (n = 125, r^2 = 0.9939, p < 0.00001)$$

$$\text{新滩口: } \ln W = -11.5129 + 3.1112 \ln BL \quad (n = 97, r^2 = 0.9888, p < 0.00001)$$

$$\text{总样品: } \ln W = -11.5129 + 3.1003 \ln BL \quad (n = 222, r^2 = 0.9916, p < 0.00001)$$

协方差分析表明,两地样品回归方程的斜率( $F_{1,218} = 0.04, p = 0.8359$ )和截距( $F_{1,219} = 1.34, p < 0.2475$ )之间差异不显著,可以对其合并后研究体长体重的关系。相关方程的斜率接近于3,为等速生长。

### 2.5 孵化期

每一批草鱼样品中都存在不同日龄的个体,新滩口样品间日龄差异最大(表1)。

对孵化期作图(图6)发现,所有样品中孵化时间最早的为5月14日,最晚的为7月11日。其中在5月中旬孵化的草鱼占8.11%,下旬占28.83%,6月上中下旬分别为18.02%,21.17%和17.12%,7月份孵化的草鱼占6.76%。可见,草鱼孵化期主要集中在5月下旬和6月份。

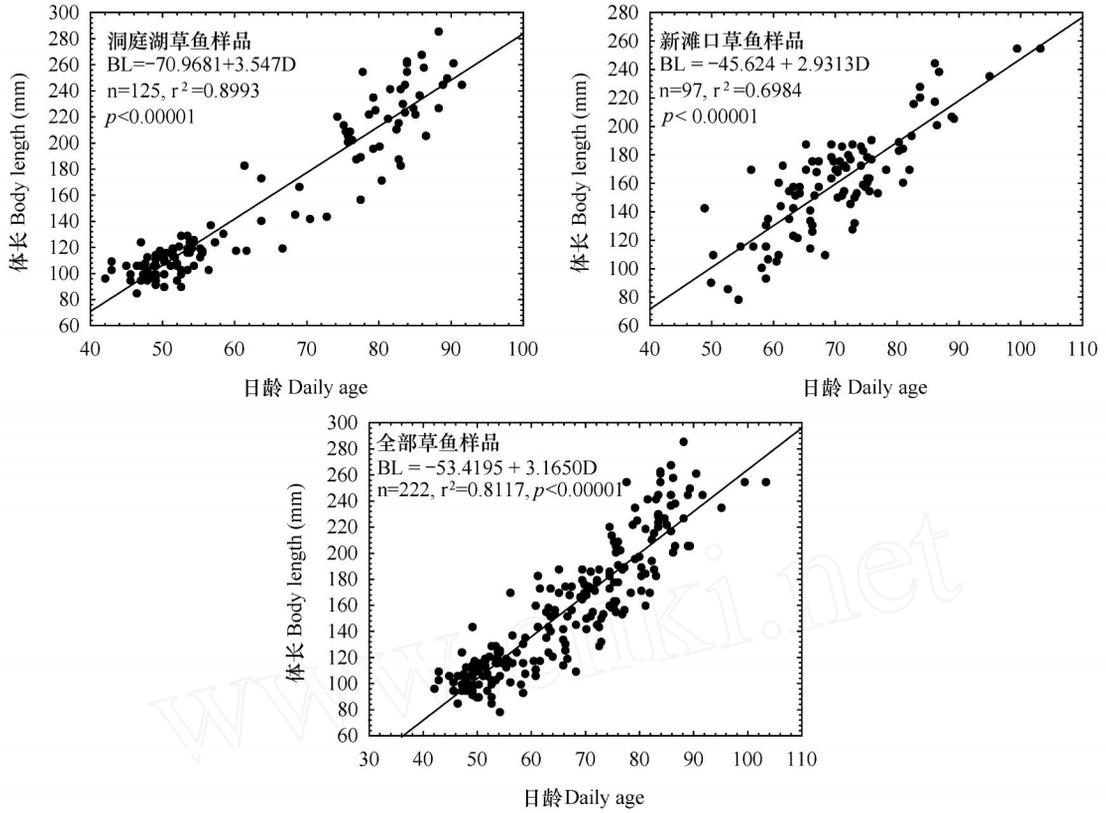


图3 草鱼幼鱼体长与日龄的关系

Fig. 3 Relationship between body length and daily age of juvenile grass carp

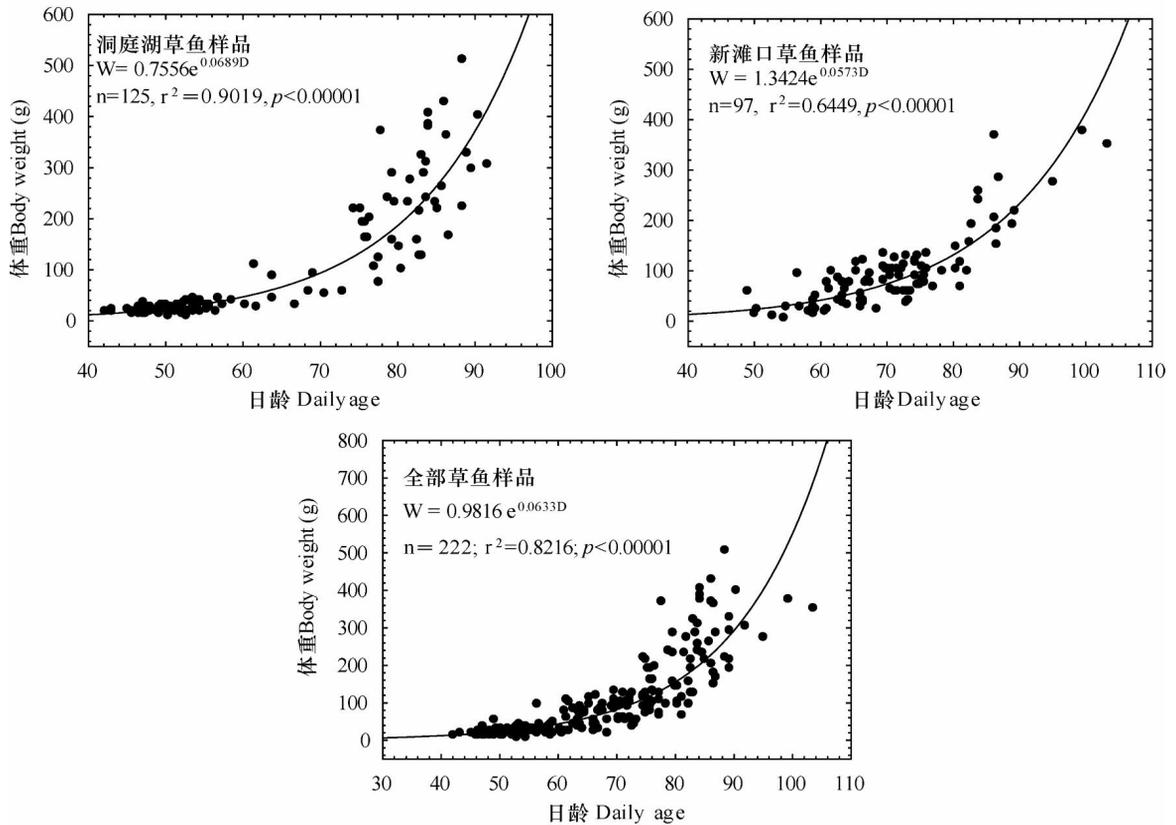


图4 草鱼幼鱼体重与日龄的关系

Fig. 4 Relationship between body weight and daily age of juvenile grass carp

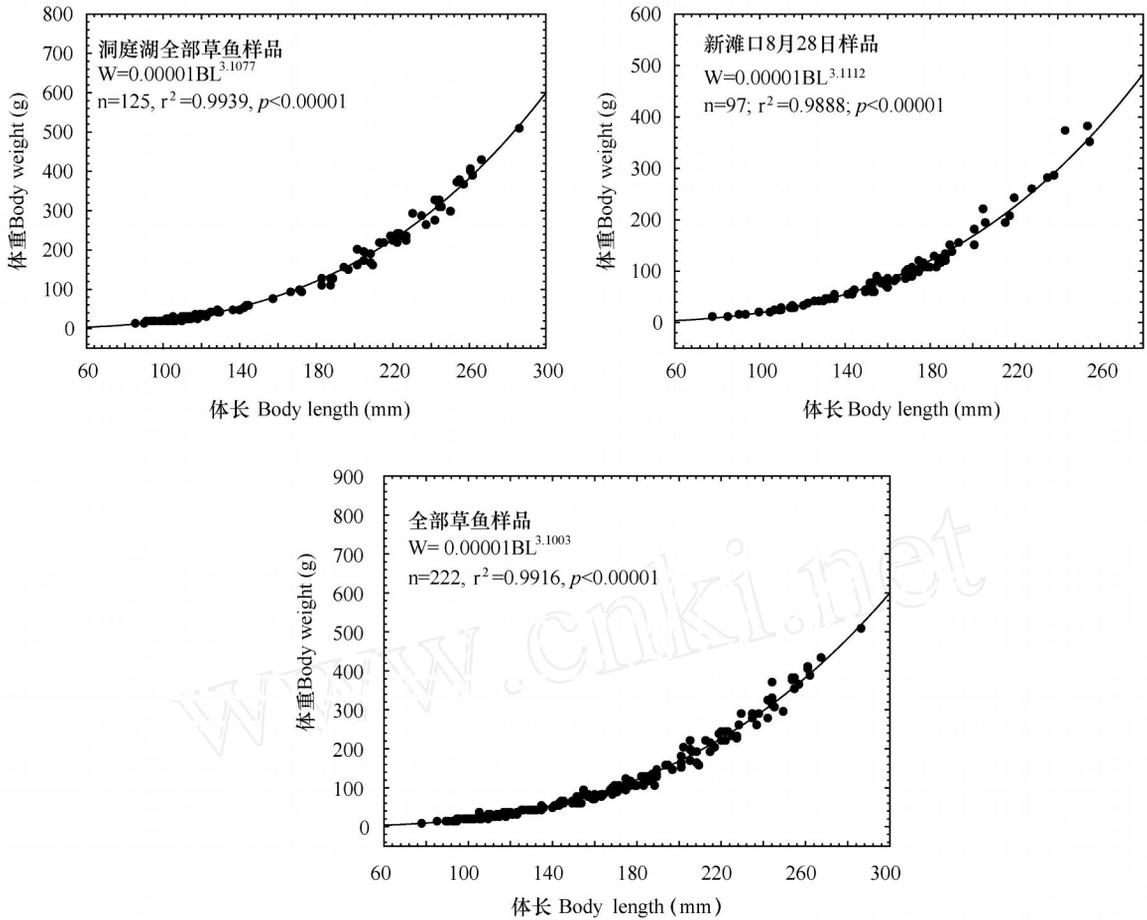


图5 草鱼幼鱼体长与体重的关系

Fig. 5 Relationship between body length and body weight of juvenile grass carp

表1 用于耳石检测样本的采集地点、采样时间及日龄

Tab. 1 Sampling place, sampling date and daily age of the juvenile grass carp used in the study

地点 Place	时间 Date	日龄 Daily age			样本数 Number of specimen
		范围 Range	平均 Average	标准差 SD	
洞庭湖	7月11日	42—58	50.4	3.38	72
洞庭湖	8月26日	57—92	78.5	8.40	53
新滩口	8月28日	49—99	70.7	10.46	97

### 3 讨论

#### 3.1 关于草鱼的生长

草鱼幼鱼的体长、体重与日龄的关系分别呈显著的线性关系和指数关系,这与宋昭彬等<sup>[13]</sup>的研究结果一致。洞庭湖草鱼的生长速度要快于新滩口草鱼,这可能与其生活环境中的饵料资源状况有关。

与长江干流相比,洞庭湖属于静水环境,水流速度缓慢,饵料资源比较丰富,适合草鱼生长。

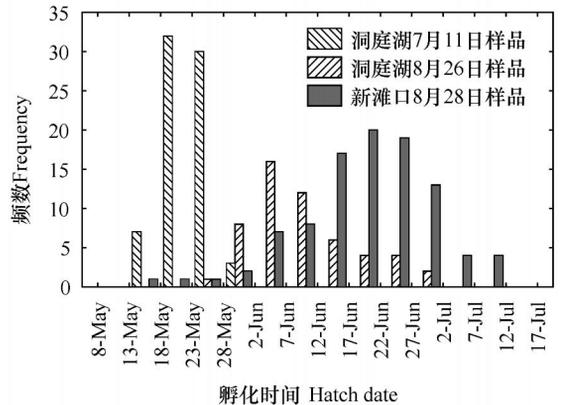


图6 草鱼幼鱼孵化期分布

Fig. 6 Frequency distribution of hatch date of juvenile grass carp

鱼类体长体重方程  $W = aL^b$  是广泛应用于描述鱼体体重随体长变化的相关关系式,  $b$  值为反映不同发育阶段和生长环境中生长发育的特征参数。采

自洞庭湖和新滩口的草鱼幼鱼的  $b$  值都大于 3,说明鱼体生长状况良好,体内营养物质能够正常积累。

### 3.2 孵化时间及三峡大坝蓄水对草鱼繁殖时间的影响

鱼类耳石沉积稳定,即使是在鱼体生长缓慢,甚至停止的情况下都有日轮形成<sup>[14]</sup>,所以可以利用耳石日轮准确鉴定鱼的日龄,并推算鱼类孵化时间。Arrhenius 等<sup>[15]</sup>曾依据耳石日轮推算了 1993 年大西洋鲱 (*Clupea harengus*) 幼鱼的孵化期集中在 3 月至 6 月,比往常的孵化时间略提前,并指出这是由于当年暖春来得比较早的原因。Morales-Nin 和 Aldebert<sup>[16]</sup>根据日龄及捕捞时间推算出了欧洲无须鳕 (*Merluccius merluccius*) 主要繁殖时间为每年 3 月份以及 11 至 12 月份,与实际繁殖日期相符。本研究发现,三峡水库初期蓄水后,长江中游江段仍有草鱼产卵;草鱼的孵化期主要集中在 5 月下旬与 6 月份,最早孵化时间为 5 月 14 日。

大型水库的调节作用可以改变江河原有的水文条件,对草鱼等产漂流性卵鱼类的繁殖时间产生一定的影响<sup>[17]</sup>。汉江干流丹江水库大坝建成以后,由于下泄水水温偏低,使坝下部分江段经济鱼类的产卵时间滞后<sup>[18]</sup>。由于葛洲坝枢纽是一座低水头径流式电站,不具备蓄洪能力,所以坝下的长江中游的水温、水位等水文状况变化不大。研究表明,葛洲坝的蓄水对家鱼繁殖时间没有明显影响<sup>[17]</sup>。但三峡水库则是一座高坝,具有明显的调蓄功能,将使长江的水文条件发生变化,对家鱼的繁殖产生影响。2003 年 11 月以后,水库在 139 米水位运行,可能有一定削峰作用,对草鱼的繁殖时间是否会产生不利影响是大家普遍关心的问题。

葛洲坝建坝以前 1963—1968 年间,宜昌至城陵矶江段“头江”鱼苗出现时间在 4 月 25 日至 5 月 6 日之间<sup>[17]</sup>。中国科学院水生生物研究所对三峡大坝蓄水前的监测数据显示,1998 年湖口草鱼苗最早孵化时间为 5 月 5 日,1999 年在纱帽采集的第一批草鱼鱼苗的孵化时间为 5 月 2 日,2001 年宜昌江段头江草鱼鱼苗的孵化时间为 5 月 8 日(内部资料)。可见与 20 世纪 60 年代相比,2004 年草鱼孵化时间明显推迟,与近几年的记录相比则孵化时间偏晚。由于坝下江段水文条件是自然水文情势年际变化与三峡水库调蓄共同作用的结果,因此需要对多个断面多年的水位、水温等资料进行分析后,才能确定三峡水库在 139 米运行是否对草鱼繁殖时间造成了影响。

### 参考文献:

- [1] Yi B L, Yu Z T, Liang Z X, et al. The distribution, natural conditions and breeding production of the spawning grounds of four famous freshwater fishes on the main stream on the Yangtze River [A]. In Yi B L, Yu Z T, Liang Z X, et al. (Eds), Gezhouba water control project and four famous fishes in Yangtze River [C]. Hubei: Hubei Science Technology Press, 1988, 1—46 [易伯鲁, 余志堂, 梁秩, 等, 长江干流草、青、鲢、鳙四大家鱼产卵场的分布、规模和自然条件. 见: 易伯鲁, 余志堂, 梁秩, 等, 葛洲坝水利枢纽与长江四大家鱼. 湖北: 湖北科学技术出版社, 1988, 1—46]
- [2] Yi B L, Liang Z S. Natural conditions of the spawning grounds of the “domestic fishes” in Yangtze River and essential external factor for spawning [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1964, 5(1): 1—15 [易伯鲁, 梁秩. 长江家鱼产卵场的自然条件和促使产卵的主要外界因素. 水生生物学集刊, 1964, 5(1): 1—15]
- [3] Marshall S L, Parker S S. Pattern identification in the microstructure of sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) otoliths [J]. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 1982, 39: 542—547
- [4] Six L D, Horton H F. Analysis of age determination methods for yellowtail rockfish, canary rockfish, and black rockfish off Oregon [J]. *Fish. Bull. U. S.*, 1977, 75: 405—414
- [5] Pannella G. Fish otoliths: daily growth layers and periodical patterns [J]. *Science*, 1971, 173: 1124—1127
- [6] DiCenzo V J, Bettoli P W. Verification of daily ring deposition in the otoliths of age-0 spotted bass [J]. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 1995, 114: 304—306
- [7] Xie Y H, Li B, Fu L J, et al. On daily growth-increment of otolith and growth of ayu fish of Yalujiang River [J]. *Zoologica Sinica*, 1995, 41(2): 125—132 [解玉浩, 李勃, 富丽静, 等. 鸭绿江香鱼耳石日轮与生长的研究. 动物学报, 1995, 41(2): 125—132]
- [8] Chen W Z, Li C S. A primary observation and study on the daily increment in otolith for juvenile mackerel *Pneumatophorus japonicus* [J]. *Journal of Fisheries of China*, 1996, 20(2): 139—143 [陈卫忠, 李长松. 鲈鱼幼鱼耳石日轮的初步观察与研究. 水产学报, 1996, 20(2): 139—143]
- [9] Cieri M D, McCleave J D. Validation of daily otolith increments in glassphase American eels *Anguilla rostrata* (Lesueur) during estuarine residency [J]. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 2001, 257(2): 219—227
- [10] Moreno T, Morales-Nin B. Age determination and validation on otoliths of the sand-smelt *Atherina presbyter* (Cuvier, 1829) (Pisces: Atherinidae) From the central-east Atlantic [J]. *Fisheries Research*, 2003, 62(1): 77—87
- [11] Chang J B, Deng Z L, Sun J Y, et al. Daily increments of otoliths in larvae and juveniles of grass carp, *Ctenopharygodon idellus* [A]. In Chen Y Z, Wang Z W, et al. (Eds) Sixtieth Anniversary of the Founding of China Zoological Society Memorial Volume Dedicated to the Hundredth Anniversary of the Birthday of the Late Prof. Sisan CHEN [C]. Chinese Technology Press, 1994, 323—329 [常剑波, 邓中, 孙建贻, 等. 草鱼仔幼鱼耳石日轮及日龄研究. 见: 中国动物学会成立 60 周年: 纪念陈桢教授诞辰 100 周年论文

- 集. 1994, 323—329]
- [12] Campana S E, Neilson J D. Daily growth increments in otoliths of starry flounder (*Platichthys stellatus*) and influence of some environmental variables in their production [J]. *Can. J. Fish Aquat. Sci.*, 1982, **39**: 937—942
- [13] Song Z B, Cao W X. Growth of juvenile grass carp from the Changjiang River [J]. *Freshwater Fisheries*, 2001, **31**(5): 45—48 [宋昭彬, 曹文宣. 长江草鱼幼鱼的生长研究. 淡水渔业, 2001, **31**(5): 45—48]
- [14] Molony B W, Choat J H. Otolith increment widths and somatic growth rate: the presence of a time-lag [J]. *J. Fish Biol.*, 1990, **37**: 541—551
- [15] Arrhenius F, Hansson S. Growth and seasonal changes in energy content of young Baltic Sea herring (*Clupea harengus* L.) [J]. *Ices Journal of Marine Science*, 1996, **53**: 792—801
- [16] Morales-Nin B, Aldebert Y. Growth of juvenile *Merluccius merluccius* in the Gulf of Lions (NW Mediterranean) based on otolith microstructure and length-frequency analysis [J]. *Fisheries Research*, 1996, **30**(1—2): 77—85
- [17] Yu Z T, Zhou C S, Deng Z L, et al. Spawning grounds of four Chinese farm fish in the River Changjiang damming at Gezhouba area [J]. *Transactions of the Chinese Ichthyological Society*, 1985, **4**: 1—11 [余志堂, 周春生, 邓中, 等. 葛洲坝水利枢纽截流后的长江家鱼产卵场. 鱼类学论文集, 1985, **4**: 1—11]
- [18] Zhou C S, Liang Z S, Huang H N. Ecological features of the spawning of certain fishes in the Hanjiang River of dams [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1980, **7**(2): 175—188 [周春生, 梁秩, 黄鹤年. 兴修水利枢纽后汉江产漂流性卵鱼类的繁殖生态. 水生生物学集刊, 1980, **7**(2): 175—188]

## STUDY ON THE HATCH DATE AND GROWTH OF JUVENILE GRASS CARP FROM MIDDLE REACHES OF THE YANGTZE RIVER USING DAILY INCREMENT TECHNOLOGY

GUAN Xing-Hua<sup>1,2</sup> and CAO Wen-Xuan<sup>1</sup>

(1. Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072; 2. Shanghai Information Center for Life Sciences, Shanghai 200031)

**Abstract:** Grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) is an important commercial fish species with great catches in China. Main stem of the Yangtze River is main reproduction ground of grass carp. Grass carp spends much of its time feeding in lakes where food is abundant and water is quiet. During spring, when the water levels rise, the adult fish migrate into the rivers to spawn. In June 2003, Three Gorges Reservoir began water storage and the water level reached 135 meters, then up to 139 meters in November. It is worthy to be studied that whether the water storage will affect the hydrological conditions and sequently spawning time of grass carp in the middle reaches of the Yangtze River.

The daily ages (D) of juvenile grass carps collected from the Dongting Lake and Xintankou section of the Yangtze River in July and August 2004 were determined by observing the daily increment, and the hatch dates were estimated. The body length (BL, mm) growth equation of all samples was  $BL = -53.4195 + 3.1650D$ , the weight (W, g) growth equation was  $W = 0.9816 e^{0.0633D}$  and the relationship between body length and body weight was  $W = 0.00001BL^{3.1003}$ .

Estimated hatch dates primarily distributed between mid-May and early July. The earliest hatch date was 14-May, which was a little later than the records before the water storage of Three Gorges Reservoir. It was thought that the hydrological conditions on the middle reaches of the Yangtze River might be changed after the water storage and then had affected on the hatch date of grass carp, which should be proved in the further study.

**Key words:** Middle reach of the Yangtze River; *Ctenopharyngodon idellus*; Daily growth increment in otolith; Growth; Hatch date