

研究简报

## 云南倒刺鲃的年轮特征

李 旻<sup>1,2</sup> 姚景龙<sup>1,2</sup> 陈毅峰<sup>1</sup>

(1. 中国科学院水生生物研究所, 武汉 430072; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

### ANNULI CHARTACTERS OF SPINIBARBUS YUNNANENSIS IN LAKE FUXIAN

LI Kun<sup>1,2</sup>, YAO Jing-Long<sup>1,2</sup> and CHEN Yi-Feng<sup>1</sup>

(1. Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072;

2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049)

关键词: 年轮特征; 云南倒刺鲃; 土著鱼类; 抚仙湖; 云南

Key words: Annuli chartacters; *Spinibarbus yunnanensis*; Endemic fish; Lake Fuxian; Yunnan

中图分类号: Q174 文献标识码: A 文章编号: 1000-3207(2008)01-0120-05

抚仙湖位于云南中部的澄江盆地(102°47'—102°57' E, 24°17'—24°37' N), 是云南高原湖泊中的典型代表之一, 为我国第二深水湖泊。湖泊海拔 1721m, 面积 211km<sup>2</sup>, 容积 185bm<sup>3</sup>, 最大水深 155m, 平均水深 87m, 属于贫营养型湖泊, 水温年变化小<sup>[1,2]</sup>。

云南倒刺鲃(*Spinibarbus yunnanensis* Tsü) 隶属于鲤形目、鲤科、倒刺鲃属<sup>[3]</sup>, 是我国的特有鱼类, 曾分布于云南抚仙湖、异龙湖、阳宗海和星云湖, 是云贵高原特有的经济鱼类。目前云南倒刺鲃在异龙湖已经绝灭, 在阳宗海和星云湖也已濒临灭绝或已经灭绝, 仅在抚仙湖尚存一定的种群数量。

已有的研究集中于云南倒刺鲃的分类学、生物学特性<sup>[4-7]</sup>和遗传多样性<sup>[8,9]</sup>。本文以鳞片、背鳍条和耳石为材料, 对云南倒刺鲃的年轮特征进行了研究。

## 1 材料和方法

**1.1 标本采集** 2002 年 8 月到 2004 年 7 月逐月用三层刺网从云南抚仙湖共采集 564 尾标本, 标本全长 72—453mm, 体重 10.6—1056.8g。在野外进行全长(精确到 1mm)、体重(精确到 0.1g)等常规生物学测量后, 用 10% 福尔马林固定保存。在这些标本中, 依据不同体长和体重大小随机收集了 461 尾标本的鳞片、背鳍条和耳石作为年龄鉴定的材料。

## 1.2 材料及其处理

**1.2.1 鳞片** 采集部位为背鳍前部下方至侧线上方之间。鳞片用 1% NaOH 溶液浸泡 1h 以上, 再清除表面的结缔组织, 漂洗干净后封片观察。沿鳞焦到后区最长处的连线进行轮径的测量和计数<sup>[10,11]</sup>。

**1.2.2 背鳍条** 取背鳍最末一根不分支鳍条, 在 1% NaOH 溶液中煮沸 5—10min, 刷洗干净, 用 1% 双氧水漂白。在靠近基底部截取一长约 1mm 的小段, 用热熔胶固定于载玻片上, 在型号为 1000# 的水砂纸上双面磨至厚 0.1—0.3mm, 二甲苯透明后, 用中性树胶封片观察。年轮的计数与轮径的测量以背侧(相对于背鳍条的前缘)为准<sup>[12]</sup>。

**1.2.3 耳石** 取微耳石(Lapilli), 漂洗干净后, 用热熔胶固定于载玻片上(取横截面), 在 2000# 水砂纸上打磨, 并随时在解剖镜下观察, 磨至中心时, 换另一面磨至厚 0.1—0.2mm, 用二甲苯透明, 中性树胶封片观察<sup>[13]</sup>。

**1.3 数据处理与分析** 在没有预知标本对应全长的情况下, 对不同年龄材料的年轮数进行两次判读, 两次判读之间的间隔为三星期。如果两次的读数相同, 表示其结果是可取的; 如果读取结果有差异, 则进行第三次判读, 以两次相同的读数作为年轮数; 如果三次的读数都不相同, 则视其年龄是不确定的<sup>[14]</sup>。鳞片年龄的判读采用邓中奎等的方法<sup>[15]</sup>, 耳石和鳍条磨片以边缘亮带的出现(透射光下)作为新年轮形

收稿日期: 2006-01-19; 修订日期: 2006-10-03

基金项目: 中国科学院知识创新工程重大项目(KSCX1-SW-13-04); 国家 973 计划(2003CB415103)资助

作者简介: 李旻(1973—), 男, 安徽合肥人; 博士研究生; 研究方向为鱼类学。E-mail: likun@ihb.ac.cn

通讯作者: 陈毅峰, E-mail: Chenyf@ihb.ac.cn

成的标志。年轮形成时间采用耳石、鳍条和鳞片的边缘增长率(MIR)来确定,计算公式为: $MIR = (R - r_n) / (r_n - r_{n-1})$  [16], 式中, $R$ —耳石半径、鳍条半径或鳞径,mm; $r_n$ 和 $r_{n-1}$ 分别为耳石、鳍条或鳞片上倒数第一个年轮和第二个年轮之间的距离(mm)。MIR 值接近 0 时表示新轮刚刚形成;MIR 值接近 1 时表示新轮即将出现。

轮径的测量与年轮的计数采用环纹图像分析系统,Leica-GZ6 解剖镜下观察,Leica DC180 数码相机照相。数据分析与制图采用 Microsoft Excel 软件和 Statistica 6.0 软件。

## 2 结 果

### 2.1 年龄材料特征

**鳞片** 云南倒刺鲃的鳞片为大型圆鳞,近六边形,其形态在不同着生位置和个体中都没有显著差异。鳞片骨质层薄而透明,环片和辐射沟清晰。各区都分布有从鳞焦向外辐射的辐射沟,在后区和侧区排列规则,后区尤其明显,前区和侧区辐射沟较少且主要是次生性辐射沟。鳞片后区有许多瘤状突起,但在与侧区切割环相连处凹陷成细密的环纹(图 1a)。

鳞片上的年轮为普通切割型,表现为环片的增生是上一年环片的自然延续。在反射光下,明亮的切割环纹很窄,偶见环纹断裂现象。从年轮构成的形式上看,鳞片后区的环纹与前区和两个侧区的环纹共同构成同心圆,环绕中心的鳞焦平行排列,构成生长年带。鳞片上的年轮环片在生长过程中是不均衡的,一般第 2—4 条年轮的轮径最宽,随着年龄的增长,轮径逐渐变窄。

鳞片上除了正常的年轮外,还存在副轮。副轮有以下两种情况:(1)无规律的副轮,表现为在有规律的年轮之间的环片区又出现切割环,这种副轮一般不连续,位置不规则(图 1b);(2)有规律出现的副轮,表现为在正常的年轮外出现一个切割环,通常仅在一边侧区有,或不完整(图 1c),一般在第 1—3 个年轮之间出现,其中在第 1—2 个年轮间出现的占 0.75%,在第 2—3 年轮间出现的占 34.64%,合计占总数的 35.39% ( $n = 461$ )。

**背鳍条** 从背鳍条基部开始每 2mm 锯取一个样品进行比较观察,可以发现靠近基部的样品年轮数目较多,轮纹平滑连续而且较清晰,能读取稳定的年轮数;而远离基部的材料年轮数目有逐渐减少的趋势。在透射光下,生长标记(环纹)存在于所有背鳍条磨片中。鳍条上有一个骨化中心,中心为一亮“核”,截面呈椭圆形,从中心至边缘透明的亮带和不透明的暗带相间排列,形成同心的环带。这些环带与背鳍截面的边缘轮廓相平行,暗带明显较宽。紧靠骨化中心的轮纹在不同个体之间轮径各异,有的较宽,有的则明显窄于其他年轮,呈椭圆形,不与截面边缘平行,即是初轮。暗带和亮

带自中心向边缘逐渐变宽,一般第 2—4 条暗带最宽,其后暗带生长减缓的现象明显,亮带则不再变宽(图 d)。

背鳍条磨片上的副轮也有两种形式:(1)只出现在少数个体上,没有规律,其特点是环带的宽窄不均匀,长短无规律,在局部区域出现,不形成闭合环,一般仅存在于背鳍条的某段截面。这种副轮较少见(图 1e)。(2)有规律出现的副轮,表现在个体发育早期的年轮外环绕着一窄带,一般不完整成环,在长径上表现明显,短径上不明显(图 1f)。这种副轮一般在第 1—4 个年轮之间出现,其中在第 1—2 个年轮间出现的占 2.83%,在第 2—3 个年轮间出现的占 38.49%,在第 3—4 个年轮间出现的占 1.32%,合计占总数的 42.64% ( $n = 461$ )。背鳍条磨片长径方向上的年轮最明显而且轮间距宽,部分短径方向上的年轮有重叠现象,判读年龄时我们以长径方向上的年轮读数为准。

**耳石** 云南倒刺鲃的微耳石外观上呈长椭圆形,前端尖突,后部圆钝,中央微凹。耳石磨片呈不规则的椭圆形,生长标记(环纹)存在于所有耳石磨片中。耳石核(Nucleus)不透明,且颜色明显比轮纹深,近似椭圆形,其边缘并不与耳石截面边缘平行。从中心至边缘由亮带和暗带相间排列,形成环绕耳石核的同心环带,这些环带与耳石截面的边缘轮廓相平行,暗带宽而不透明,亮带窄而透明。紧靠核的轮纹明显窄于其他年轮,近似椭圆形,与核的边缘平行,即是初轮。在耳石磨片中,除紧靠核的一组暗带和亮带明显较窄外,其他暗带和亮带宽度基本一致,轮纹特征明显、清晰且排列规则、有序(图 1g)。

**年轮形成时间** 耳石、鳍条和鳞片边缘增长率的周年变化都表现为在秋冬季急剧下降,春夏季逐渐上升(图 2)。这表明云南倒刺鲃耳石、鳍条和鳞片上年轮形成周期为 1 年,当年 4—9 月形成宽带,10 月—翌年 3 月形成窄带。不同材料的边缘增长率最大值出现的月份略有差别,耳石为 10 月,鳍条为 11 月,鳞片为 12 月。

### 2.2 鳞径(R)—全长(TL)关系

鳞径与全长呈直线关系。雌雄性的回归方程分别为

雌性:  $TL = 35.698R + 7.254$  ( $n = 229, r = 0.9222$ ,

$p < 0.0001$ )

雄性:  $TL = 33.79R + 16.212$  ( $n = 209, r = 0.8958$ ,

$p < 0.0001$ )

单因子方差分析显示雌雄间的鳞径(R)—全长(TL)关系方程差异不显著(ANCOVA,  $p > 0.05$ )。合并后总的回归方程为:  $TL = 34.932R + 10.725$  ( $n = 461, r = 0.9115, p < 0.0001$ )。

经测量,鳞片上有规律出现的副轮距鳞焦的距离为 2.76—7.56mm,平均 4.76mm。分别代入以上方程,可知有规律出现的副轮在鳞片上形成时的全长为 107.3—275.1mm,平均 176.9mm。

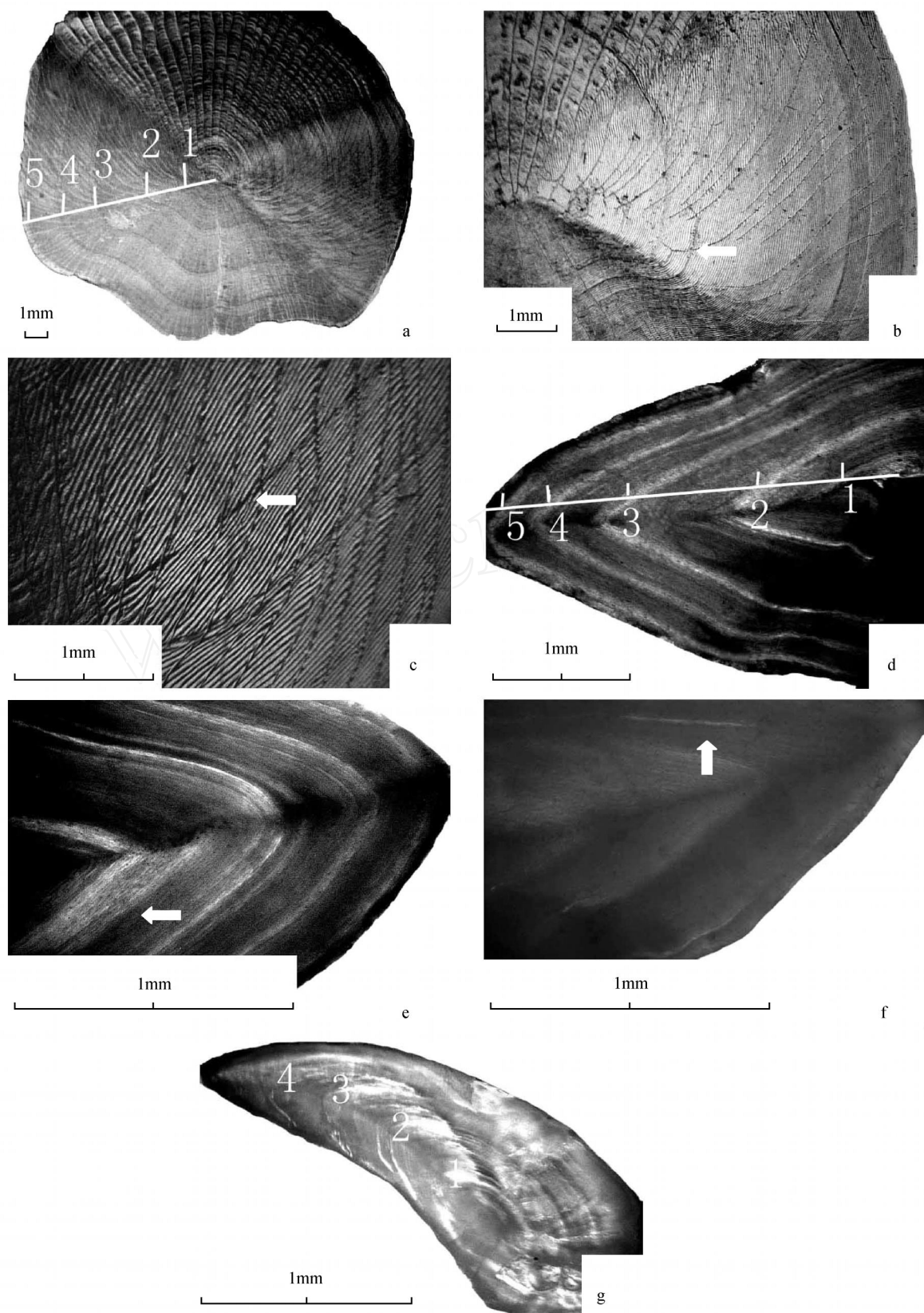


图1 a. 示鳞片年轮;b. 示鳞片副轮;c. 示鳞片上有规律出现的副轮;d. 示背鳍条年轮;e. 示背鳍条副轮;f. 示背鳍条上有规律出现的副轮;g. 示耳石年轮

Fig. 1 a. Showing annuli of scale, b. Showing false annuli of scale, c. Showing regular arisen false annuli of scale, d. Showing annuli of sectioned dorsal fin spine, e. Showing false annuli of sectioned dorsal fin spine, f. Showing regular arisen false annuli of sectioned dorsal fin spine, g. Showing annuli of sectioned otolith

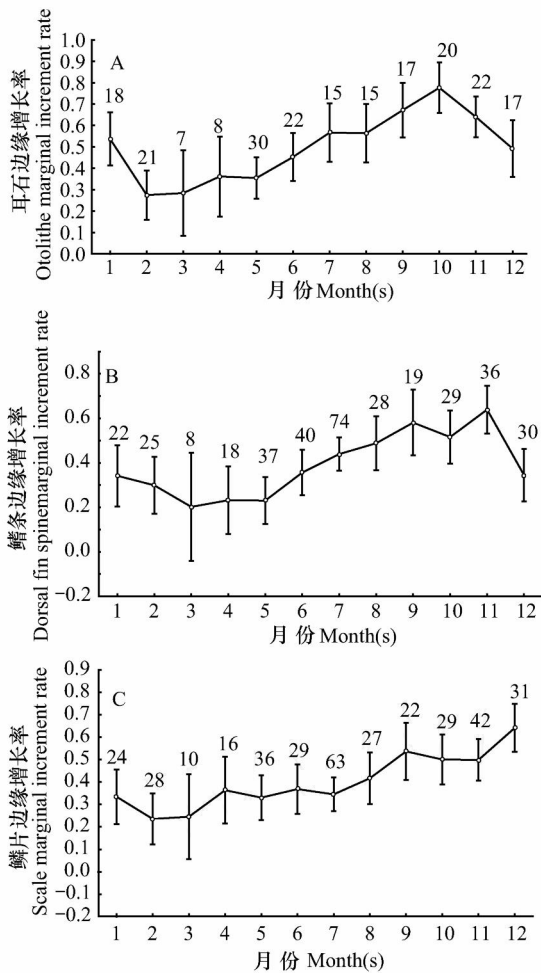


图2 云南倒刺鲃耳石、鳍条和鳞片边缘增长率的月变化

Fig. 2 Monthly variations of marginal increment ratio of *S. yunnanensis* (showing time of annulus formation)

竖线表示 95 % 的置信限; A: 耳石 (n = 212); B: 背鳍条 (n = 366); C: 鳞片 (n = 357)

Vertical lines mean 95 % confidence limit; A: otoliths (n = 212); B: dorsal fin spines (n = 366); C: scales (n = 357)

### 3 讨论

#### 3.1 年轮形成时间

3 种年龄材料中,鳞片的边缘增长率最大值出现的最晚,可能与鳞片上的年轮形式和对其识别的能力有关。云南倒刺鲃鳞片年轮为普通切割型,只有当“o”形环片出现时,才能确认它为新的年轮。一般来说,一个年轮从出现到形成要经过几个月,在大多数情况下当年轮的窄带已经形成时才能识别它。而在耳石和鳍条上,致密的窄带与疏松的宽带之间的差异更为明显,当半透明的窄带在边缘一经出现即能识别。同时,鱼类耳石中  $\text{CaCO}_3$  的含量在 95 % 以上<sup>[17]</sup>,而鳍条和鳞片的有机物含量较高。年轮的形成过程在不同组织上的表现是不同的,耳石上的年轮一旦沉积,不易被重新吸收和改变<sup>[18]</sup>。

#### 3.2 副轮

鱼类副轮一般是在正常生长季节,由于饵料不足、水温突然变化、疾病或意外受伤等原因而形成的<sup>[19]</sup>。如导致饲养或自然状态下的幼龄鲢鱼 (*Coregonus clupeaformis*) 的鳞片上形成副轮的原因是饥饿<sup>[20]</sup>;而实验发现,只有那些禁食 10 天或 10 天以上的蓝色太阳鱼 (*Lepomis macrochirus*) 的鳞片才出现副轮,且鳞片上副轮形成的时间和实验鱼的禁食时间是一致的,由此认为副轮的形成可能与阶段性饵料缺乏有关<sup>[21]</sup>;而无序的进食方式也可以扰乱鱼类钙质组织的正常形成,进而导致了副轮的出现<sup>[22,23]</sup>。

抚仙湖水温年变化小,月平均水温为 12.1—22.4<sup>[2]</sup>,云南倒刺鲃的幼鱼和成鱼的生活水域空间无明显差别<sup>[4,7]</sup>,但是在食性上却有较大差别:200mm 以下的云南倒刺鲃以丝状藻类为主;而 300mm 以上的个体则以水草为主<sup>[7]</sup>。鱼类食性的转化在个体发育的过程中非常普遍,受生境改变、饵料生物组成以及摄食策略等因素的影响:大型个体的鱼类相对于小个体来说,能够捕食和消耗更大的饵料生物,从而获得更多的能量来降低摄食风险<sup>[24,25]</sup>。本研究中,抚仙湖浮游动物、植物的数量少;而水生植物分布较多和集中<sup>[2]</sup>。根据最适饵料理论,鱼类倾向于同化能量最大的食物种类。因此,鱼类食性的转变可能与饵料易得性有关,并受遗传生态习性的影响<sup>[25,26]</sup>。随着个体体长的增加,对摄食饵料的易得性也增强<sup>[27]</sup>,个体的生长速度也相应加快。在个体发育早期,部分云南倒刺鲃鳞片和背鳍条的年轮出现有规律性的副轮 (> 35 %, n = 461)。根据全长—鳞径关系式计算出有规律出现的副轮在鳞片上形成时的云南倒刺鲃全长为 107.3—275.1mm,因此我们认为其个体发育早期较规律地出现副轮的现象与其食性的转换有关。

#### 参考文献:

- [1] Li S H, Yu M J, Li Z G, et al. Investigation of the plateau lake in Yunnan province [J]. *Oceanography and Limnology*, 1963, 5(2): 87—113 [黎尚豪,俞敏娟,李正光,等. 云南高原湖泊调查. 海洋与湖沼, 1963, 5(2): 87—113]
- [2] Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences. Lake Fuxian [M]. Beijing: The Maritime Press of China. 1990, 87—99 [中国科学院南京地理与湖泊研究所. 抚仙湖. 北京: 海洋出版社. 1990, 87—99]
- [3] Yue P Q, et al. Fauna sinica osteichthyes cypriniformes [M]. Beijing: Science Press. 2000, 38—46 [乐佩琦,等. 中国动物志硬骨鱼纲. 鲤形目(下卷). 北京: 科学出版社. 2000, 38—46]
- [4] Yang J X, Chen Y R. The biology and resource utilization of the fishes of Fuxian Lake, Yunnan [M]. Kunming: Yunnan Science and Technology Press. 1995, 66—67 [杨君兴,陈银瑞. 抚仙湖鱼类生物学和资源利用. 昆明: 云南科技出版社. 1995, 66—67]
- [5] Yang J X, Chen Y R. Systematic revision of *Spinibarbus* fishes (Cypriniformes: Cyprinidae) [J]. *Zoological Research*, 1994a, 15(4): 1—10 [杨君兴,陈银瑞. 倒刺鲃属鱼类的系统分类研究. 动物学研究, 1994a, 15(4): 1—10]

- [ 6 ] Yang J X, Chen Y R. Phylogeny and zoogeography of the cyprinid genus *Spinibarbus* (Pisces: Cyprinidae) [J]. *Zoological Research*, 1994b, **15**(Supplement): 13—25 [杨君兴, 陈银瑞. 倒刺鲃属鱼类的系统发育及其动物地理学研究. 动物学研究, 1994b, **15**(增刊): 13—25]
- [ 7 ] Yang J X, Chen Y R. The biological characters and population status of *Spinibarbus yunnanensis* [J]. *Zoological Research*, 1994c, **15**(Supplement): 82—87 [杨君兴, 陈银瑞. 云南倒刺鲃生物学特性的研究. 动物学研究, 1994c, **15**(增刊): 82—87]
- [ 8 ] Zheng B R, Zhang Y P, Xiao H, et al. The hereditary variety of mtDNA D-loop of *Spinibarbus yunnanensis* [J]. *Water Conservancy and Fishery*, 2002a, **22**(3): 15—16 [郑冰蓉, 张亚平, 肖衡, 等. 云南倒刺鲃 mtDNA D-loop 区序列的遗传多样性研究. 水利渔业, 2002a, **22**(3): 15—16]
- [ 9 ] Zheng B R, Jiu R G, Xiao H, et al. Analysis for genetic diversity of mitochondrial DNA in *Spinibarbus yunnanensis* [J]. *Water Conservancy and Fishery*, 2002b, **22**(1): 14 [郑冰蓉, 咎瑞光, 肖衡, 等. 云南倒刺鲃线粒体 DNA 的遗传多态性分析. 水利渔业, 2002b, **22**(1): 14]
- [ 10 ] Leonardos I, Sinis A. Age, growth and mortality of *Atherina boyeri* Risso, 1810 (Pisces: Atherinidae) in the Mesolongi and Eolikon lagoons (W. Greece) [J]. *Fisheries Research*, 2000, **45**: 81—91
- [ 11 ] Engelhard G H, Dieckmann U, Gødø O R. Age at maturation predicted from routine scale measurements in Norwegian spring-spawning herring (*Clupea harengus*) using discriminant and neural network analyses [J]. *Journal of Marine Science*, 2003, **60**: 304—313
- [ 12 ] Rosangela L, Paulo D N. Age and growth of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the western equatorial Atlantic, using dorsal fin spines [J]. *Fisheries Research*, 2004, **69**: 157—170
- [ 13 ] Argüelles J, Rodhouse P G, Villegas P, et al. Age, growth and population structure of the jumbo flying squid *Dosidicus gigas* in Peruvian waters [J]. *Fisheries Research*, 2001, **54**: 51—61
- [ 14 ] Brouwer S L, Griffiths M H. Age and growth of *Argyrozona argyrozona* (Pisces: Sparidae) in a marine protected area: an evaluation of methods based on whole otoliths, sectioned otoliths and mark-recapture [J]. *Fisheries Research*, 2004, **67**: 1—12
- [ 15 ] Deng Z L, Yu Z T, Xu Y X, et al. On the age and growth of the main commercial fishes collected from Hanshui river [M]. Transactions of the Chinese ichthyological society (No. 1), 1981, 97—116 [邓中凌, 余志堂, 许蕴, 等. 汉江主要经济鱼类的年龄和生长. 鱼类学论文集(第一辑), 1981, 97—116]
- [ 16 ] Joung S J, Liao Y Y, Chen C T. Age and growth of sandbar shark, *Carcharhinus plumbeus*, in northeastern Taiwan waters [J]. *Fisheries Research*, 2004, **70**: 83—96
- [ 17 ] Campana S E. Chemistry and composition of fish otoliths: pathways, mechanisms and applications [J]. *Marine Ecology Progress Series*, 1999, **188**: 63—297
- [ 18 ] Campana S E, Neilson J D. Microstructure of fish otoliths [J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1985, **42**: 1014—1032
- [ 19 ] Yin M C. Fish ecology [M]. Beijing: Agricultural Publishing House of China. 1993, 15—23 [殷名称. 鱼类生态学. 北京: 中国农业出版社. 1993, 15—23]
- [ 20 ] Van O J. Formation of an accessory annulus on the scales of starved whitefish [J]. *Prog. Fish Cult.* 1961, **23**(3): 135
- [ 21 ] COBLE D W. False annulus formation in bluegill scales [J]. *Transactions of the American Fisheries Society*, 1970, **99**(2): 363—368
- [ 22 ] Griffiths M H, Hecht T. A preliminary study of age and growth of the monkfish *Lophius upsicephalus* (Pisces: ophiidae) on the Agulhas Bank, South Africa [J]. *Journal of Marine Science*, 1986, **4**: 51—60
- [ 23 ] Woodroffe D A, Wright P J, Gordon J D M. Verification of annual increment formation in the white anglerfish, *Lophius piscatorius* using the illicia and sagitta otoliths [J]. *Fisheries Research*, 2003, **60**: 345—356
- [ 24 ] Hughes R N. Diet selection. In: Gødin J G (Ed.), Behavioural Ecology of Teleost Fishes [M]. Oxford: Oxford University Press. 1997, 134—162
- [ 25 ] Gill A B. The dynamics of prey choice in fish: the importance of prey size and satiation [J]. *Journal of Fish Biology*, 2003, **63**(Supple. A): 105—116
- [ 26 ] Wootton R J. Ecology of teleost fishes (2th eds.) [M]. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. 1998
- [ 27 ] Garc ía Berthou E. Ontogenetic diet shifts and interrupted piscivory in introduced largemouth bass (*Micropterus salmoides*) [J]. *Internat. Rev. Hydrobiol.*, 2002, **87**: 353—363