

# 大渡河上游麻尔柯河高原鳅的年龄与生长

张雪飞 何春林 宋昭彬\*

(四川大学生命科学学院 四川省濒危野生动物保护生物学重点实验室 成都 610064)

**摘要:**研究了采自大渡河上游麻尔柯河及其支流则曲的 129 尾麻尔柯河高原鳅 (*Triplophysa markehenensis*) 的年龄结构和生长特性。结果表明,耳石和脊椎骨都可作为年龄鉴定的材料,其中耳石是进行年龄鉴定的最适材料,脊椎骨则可作为辅助材料;背鳍条不适合用于年龄鉴定。这批麻尔柯河高原鳅的年龄范围为 2~8 龄,以 3~6 龄居多,占总数的 83.5%;体长体重呈幂函数关系:  $W = 0.000\ 015\ L^{2.951\ 931}$ ; Von Bertalanffy 生长方程为:  $L_t = 173.124\ 1 [1 - e^{-0.159\ 7(t+0.532\ 8)}]$ ,  $W_t = 60.753\ 1 [1 - e^{-0.159\ 7(t+0.532\ 8)}]^{2.951\ 9}$ ; 体重生长曲线的拐点为  $t = 6.25$ , 拐点时体长为 114.5 mm, 体重为 17.9 g。

**关键词:**耳石;脊椎骨;年龄;生长

中图分类号:Q958 文献标识码:A 文章编号:0250-3263(2010)04-11-10

## Age and Growth of *Triplophysa markehenensis* from the Markehe River in Upper Reaches of the Dadu River

ZHANG Xue-Fei HE Chun-Lin SONG Zhao-Bin\*

(Sichuan Key Laboratory of Conservation Biology on Endangered Wildlife, College of Life Sciences, Sichuan University, Chengdu 610064, China)

**Abstract:** Age structure and growth characters of 129 *Triplophysa markehenensis* collected from the Markehe River and its tributary, Zequ, in upper reaches of the Dadu River were investigated and analyzed. The characteristics of three kinds of age identification materials of *T. markehenensis*, otolith, vertebra and last unbranched dorsal-fin ray, had been described and compared. The results showed that both otolith and vertebra could be used for age identification of the species, and otolith is more appropriate compared with vertebra, which could be used as accessory identification material. However, the unbranched dorsal-fin ray is not suitable for age identification in this species. Age of the fishes was identified to seven age classes (2–8 years old), and individuals of 3–6 years old were dominated with a frequency of 83.5%. The regressed equation between body weight ( $W$ ) and body length ( $L$ ) is  $W = 0.000\ 015\ L^{2.951\ 931}$  ( $R^2 = 0.967\ 3$ ). Growth model of the species was described using Von Bertalanffy equation:  $L_t = 173.124\ 1 [1 - e^{-0.159\ 7(t+0.532\ 8)}]$ ,  $W_t = 60.753\ 1 [1 - e^{-0.159\ 7(t+0.532\ 8)}]^{2.951\ 9}$ . Growth inflexion occurred at 6.25 years, when body length is 114.5 mm and body weight is 17.9 g.

**Key words:** Otolith; Vertebra; Age; Growth

基金项目 教育部留学回国人员科研启动基金项目 (No. 2008890-49-43);

\* 通讯作者, E-mail: zhsong@scu.edu.cn;

第一作者介绍 张雪飞,男,硕士研究生;研究方向:保护生物学;E-mail: zxf84311@126.com。

收稿日期:2009-12-15, 修回日期:2010-04-24

麻尔柯河高原鳅 (*Triplophysa markehenensis*) 隶属鲤形目 (Cypriniformes) 爬鳅科 (Balitoridae) 条鳅亚科 (Nemacheilinae) 中的高原鳅属, 与拟硬刺高原鳅 (*T. pseudoscleroptera*) 相似, 曾被报道为条鳅属一新亚种<sup>[1]</sup>, 即麻尔柯河拟硬刺条鳅 (*Nemachilus pseudoscleropterus markehenensis*)。后来朱松泉将其提升为种, 并归入高原鳅属<sup>[2]</sup>。麻尔柯河高原鳅后室退化呈小泡状, 肠绕成 5~7 个螺旋, 这些特征与拟硬刺高原鳅严格区别。麻尔柯河高原鳅体型较小, 种群数量大, 具有一定的经济价值, 较广泛的分布于大渡河上游的干、支流中, 分布海拔达 3 000~4 000 m<sup>[3]</sup>。

高原鳅属鱼类的系统分类和地理分布已见较多报道, 但其生物学资料较为有限, 仅涉及少数几个物种<sup>[4-14]</sup>。过去关于高原鳅属鱼类生物学的研究一般包括其体长体重关系、繁殖特征和食性等, 对其年龄特征和生长特性并未深入分析, 特别是对年龄鉴定方法及年轮特征等交代较为简单, 且没有进行生长方程拟合, 无法准确了解该属鱼类的生长特征。2007 年分别从青海省果洛州班马县麻尔柯河 (大渡河上游) 和四川省阿坝州壤塘县则曲 (麻尔柯河支流) 获得两批麻尔柯河高原鳅, 本文对其年龄特征和生长特性等进行了研究, 旨在通过对不同的年龄鉴定材料进行系统比较, 确立高原鳅属鱼类的年龄鉴定方法, 并为我国高原鳅属鱼类的基础研究积累资料。

目前, 四川西部山区河流上正在大力兴建水电站, 拦河筑坝将导致河流的片段化及水文条件的极大改变, 将严重威胁主要分布在这些区域内的高原鳅等鱼类的生存。因此, 及时开展高原鳅属鱼类的基础生物学研究, 对其资源的保护与合理利用也具有重要意义。

## 1 材料与方法

**1.1 样本采集** 2007 年 9 月, 从四川省阿坝州壤塘县上壤塘乡则曲康龙村河段采集麻尔柯河高原鳅 56 尾, 用 10% 福尔马林溶液保存。2007 年由青海省川陕哲罗鲑保护中心在麻尔

柯河上游班马县境内的麻尔柯河林场河段采集麻尔柯河高原鳅 73 尾, 冰冻保存。

**1.2 材料处理及检测** 标本带回实验室后, 进行常规生物学测量, 其中长度精确到 0.1 cm, 重量精确到 0.1 g。取出耳石、部分脊椎骨和背鳍不分枝鳍条用于年龄鉴定。

选取微耳石, 用 Krazy 胶包埋在载玻片上, 1 500# 砂纸将耳石双面打磨到生长中心, 无水酒精清洗, 二甲苯透明后, 用中性树胶封于载玻片上, 在解剖镜下检查年轮特征, 进行年轮计数, 每个耳石均由同一研究者盲检 3 次, 每次检测和计数的间隔时间至少 15 d 以上, 取计数的平均值作为该条鱼的年龄。将靠近背鳍前端的几枚脊椎骨取出, 在 NaCl 溶液中煮沸 1~2 min, 脱去肌肉和结缔组织, 再沿纵轴切为两半, 在解剖镜下计数深色环纹 (年轮) 数 (入射光), 至少统计 3 个椎体上的环纹数, 取最多者作为该鱼的年轮数。取背鳍末根不分枝鳍条, 沿横轴切为薄片, 用伊红染色后 (部分切片未经染色而直接用于检测) 置于解剖镜下检测年轮。比较每种材料的计数结果与优缺点, 确定年龄鉴定的最佳材料。

用与解剖镜和计算机相连的 Leica DFC 280 数码相机对耳石、脊椎骨和鳍条上的年轮特征拍照, 用图像分析软件<sup>[15]</sup>测量耳石最大半径 (测定方向见图 1a), 以及各年轮间的距离, 每个耳石测定 3 次, 取其平均值用于统计分析。

本文从 107 尾麻尔柯河高原鳅标本中摘取微耳石, 每尾标本选取一颗完整的耳石进行打磨后检测, 发现 103 粒耳石上有明显的年轮标记, 并可以用于年龄鉴定; 另外 4 粒由于打磨方向等原因无法准确判读年轮数, 年龄的鉴定率为 96.26%。多数耳石样本都在耳石边缘部位形成了下一个生长年带的暗带, 则这些个体都被认为是进入下一个生长年季, 记录时采用整数记录, 如 1<sup>+</sup> 个体记录为 2 龄, 2<sup>+</sup> 个体被记录为 3 龄, 以此类推。

**1.3 数据分析** 分别进行体长-体重关系, 体长-耳石半径关系分析, 以相关系数最大的拟合方程作为最佳相关方程; 体长-体重关系分别按

雌鱼、雄鱼、雌鱼 + 雄鱼进行分析。体长退算采用修正后的 Lee 方程<sup>[16]</sup>,生长分析时采用 von Bertalanffy 生长方程,生长指数计算采用 Васнецов 公式<sup>[17]</sup>。用 Excel 2007、Statistica 6.0 和 SPSS 13.0 进行数据分析。

## 2 结 果

**2.1 年轮特征** 对制备样品的检测表明,耳石和脊椎骨上均具有年轮,而染色和未染色的鳍条切片上都没有可以识别的年轮特征。

**2.1.1 耳石年轮特征** 在解剖镜下用透射光观察时,微耳石磨片中央为一近椭圆形的暗区,暗区外宽的暗带 (opaque zone) 与窄的亮带 (translucent zone) 交替出现,每一暗带与亮带组成一个生长年带,上一生长年带的亮带与下一生长年带的暗带的交界处即为年轮 (annuli) (图 1b)。用入射光观察时,暗带为窄带,亮带为宽带,暗带和亮带的交界处为年轮 (图 1c)。在显微镜下检测,耳石中央有一个生长原基 (primordium),其外为按同心圆排列的生长轮 (growth increment) (图 1d);宽的暗带和窄的亮带 (指在解剖镜下用透射光观察到的部分) 内生长轮特征存在明显差异,暗带内生长轮非常清晰,而亮带内生长轮很窄,且清晰度差,不易分辨 (图 1e)。

耳石上年轮间距呈现有规律的递减趋势,靠近中心核的年轮间距较大,而远离中心核的年轮间距逐渐减小,但减小趋势变缓。由于微耳石磨片呈不规则的椭圆形,耳石磨片上的颜色也呈一定的有规律变化,离中心越远的暗带,颜色越浅,同时在磨片的长短径上年轮的清晰程度也不相同,短径上暗带清晰,但明暗带往往聚集在一起,较难分辨,导致无法准确判读年龄,而长径边缘的暗带往往颜色较浅,在透射光下观察时暗带极不明显。

**2.1.2 脊椎骨年轮特征** 麻尔柯河高原鳅的脊椎骨呈双凹型,直接从椎体的正面观察时仅能隐约见到一些明暗交替的环纹。在解剖镜下用入射光观察椎体的纵切面时,多数脊椎骨上能检测到环纹,浊白色的宽带与暗色的狭带组

成一个生长年带,暗色狭带与浊白宽带的交界处即是年轮 (图 1f);少数样品上未能检测到明暗交替的环纹。脊椎骨上的年轮对比度较低,清晰度差,各轮间距变化较大,靠近脊椎骨中央和边缘的年轮很难识别,以致无法准确判读年轮数。通过脊椎骨对体长范围为 70 ~ 135 mm 的 20 尾麻尔柯河高原鳅的年龄鉴定显示,能鉴定出 19 尾的年龄,鉴定率为 95%。

**2.1.3 年龄鉴定材料比较** 对脊椎骨上年轮多次判读的误差为 0 ~ 3 轮,对耳石上年轮多次判读的误差为 0 ~ 1 轮。通过耳石鉴定出麻尔柯河高原鳅的年龄范围为 2 ~ 8 龄,利用脊椎骨鉴定的年龄范围为 3 ~ 7 龄,最大年龄值较耳石鉴定结果稍低。在年龄较低时 ( $t < 6$ ) 脊椎骨上年轮的平均读数要高于耳石,而在年龄较大时 ( $t \geq 6$ ) 脊椎骨上年轮的平均读数则小于耳石 (图 2)。耳石和脊椎骨的年龄鉴定率均高达 95% 以上,且两者间的年龄鉴定结果差异较小,都可以用于麻尔柯河高原鳅的年龄鉴定。但是,由于脊椎骨边缘和双内凹椎体中心区的年轮通常很模糊,容易造成错误的判读;而耳石边缘和中心核区的年轮特征则较稳定,在年轮判读上更准确。同时,同一条鱼的多个脊椎骨上的年轮读数往往不一致;对相同脊椎骨的不同判读间差异较大;部分脊椎骨上没有清晰的年轮特征,无法进行年龄鉴定,因而脊椎骨的选取可能对年龄鉴定结果也有一定的影响。综合考虑认为,耳石是进行年龄鉴定的最佳材料,而脊椎骨可作为年龄鉴定的辅助材料。本文用于麻尔柯河高原鳅的年龄结构分析和生长退算的年龄数据均是依据耳石鉴定的结果。读数结果主要依据耳石长径上的年轮数 (图 1a),同时利用短径进行辅助判读。

**2.2 年龄结构** 由于采样工具和采样时间等原因,此次实验所用两批标本没有 1 龄鱼。依据耳石磨片上的年轮特征对 103 尾鱼的年龄鉴定表明,两批样本由 7 个年龄组组成,其中 3 ~ 6 龄居多,占总数的 83.5%。各年龄组的体长、体重分布见表 1。

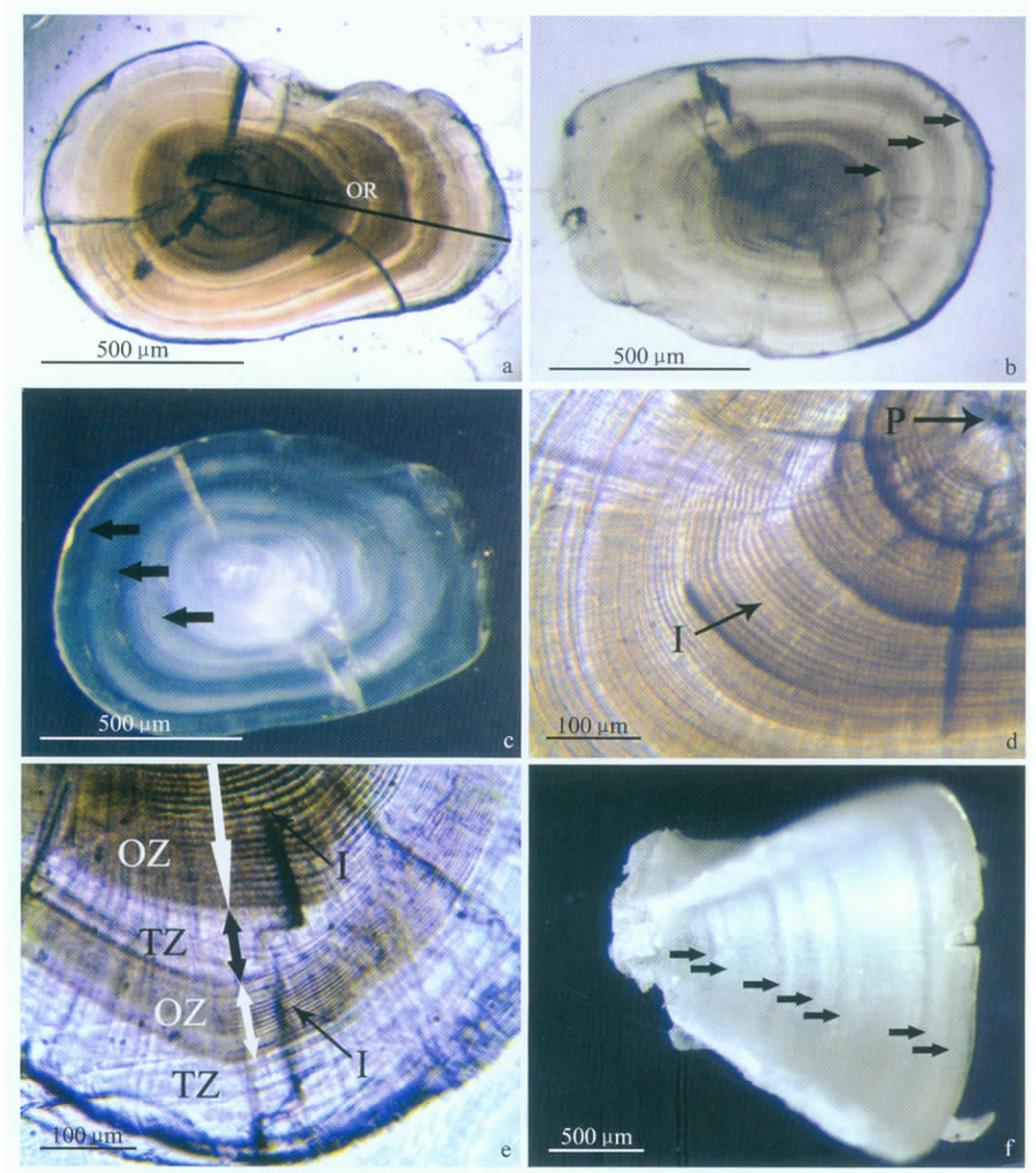


图 1 麻尔柯河高原鳅耳石和脊椎骨上的年轮特征及耳石半径测定方向

Fig. 1 Annuli characters on otolith and vertebra of *Triplophysa markehenensis* and measuring orientation of its otolith radius

a. 微耳石 ,解剖镜下透射光观察 ,示耳石半径(OR)测定方向; b. 微耳石 ,解剖镜下透射光观察 ,箭头示年轮; c. 微耳石 ,解剖镜下入射光观察 ,箭头示年轮; d. 微耳石 ,显微镜下观察 ,示生长轮(I)和生长原基(P); e. 微耳石 ,显微镜下观察 ,示暗带(OZ)、明带(TZ)和生长轮(I); f. 脊椎骨纵切面 ,解剖镜下入射光观察 ,箭头示年轮。

a. Sagittal section of lapillus examined under a dissecting microscope with transmitted light , showing measuring orientation of otolith radius (OR) ; b. Lapillus examined under a dissecting microscope with transmitted light , showing annuli (arrows) ; c. Lapillus examined under a dissecting microscope with incident light , showing annuli (arrows) ; d. Lapillus examined under a compound microscope , showing growth increment (I) and primordium (P) ; e. Lapillus examined under a compound microscope , showing opaque zone (OZ) , translucent zone (TZ) , and growth increment (I) ; f. Longitudinal section of vertebra examined under a dissecting microscope with incident light , showing annuli (arrows) .

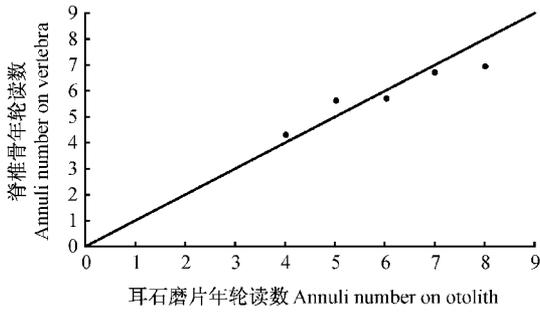


图 2 用耳石和脊椎骨鉴定麻尔柯河高原鳅年龄的比较

Fig. 2 Comparison of age determinations according to otolith and vertebra of *Triplophysa markehenensis*

表 1 麻尔柯河高原鳅的年龄结构及对应体长与体重

Table 1 Age composition and corresponding body length and body weight of *Triplophysa markehenensis*

年龄 Age	样本数 Sample number	比例 Percentage (%)	体长 Body length (mm)		体重 Body weight (g)	
			范围 Range	平均值 Mean ± SD	范围 Range	平均值 Mean ± SD
2	8	7.8	34.3 ~ 49.5	42.2 ± 5.0	0.6 ~ 1.8	1.0 ± 0.3
3	15	14.6	48.2 ~ 73.0	61.9 ± 5.9	1.6 ~ 4.0	2.9 ± 0.6
4	22	21.4	57.5 ~ 103.0	79.0 ± 8.9	2.7 ~ 9.5	5.7 ± 1.9
5	26	25.2	70.5 ~ 124.0	100.2 ± 9.5	6.6 ~ 30.7	13.4 ± 4.8
6	23	22.3	109.0 ~ 125.5	117.4 ± 4.0	12.3 ~ 26.4	19.7 ± 3.2
7	5	4.9	113.0 ~ 135.0	125.2 ± 7.0	16.4 ~ 29.1	24.0 ± 5.1
8	4	3.9	113.5 ~ 145.0	129.1 ± 8.4	17.8 ~ 32.0	24.1 ± 5.4

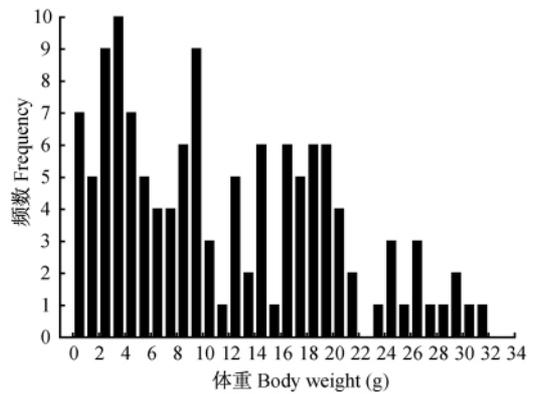
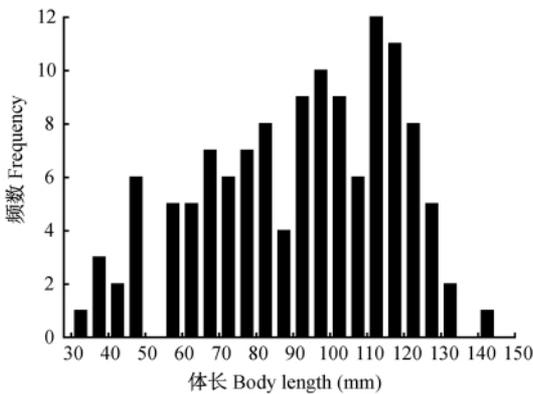


图 3 麻尔柯河高原鳅体长和体重频数分布

Fig. 3 Frequency distribution of body length and body weight of *Triplophysa markehenensis*

雌性 ♀ :  $W = 0.000\ 021\ L^{2.881\ 659}$  ,  $n = 90$  ,  $R^2 = 0.970\ 6$  ,  $P < 0.001$  ;

全体 ♀ + ♂ :  $W = 0.000\ 015\ L^{2.951\ 931}$  ,  $n = 127$  ,  $R^2 = 0.967\ 3$  ,  $P < 0.001$  .

2.3 体长与体重的关系 129 尾标本中有 2 尾不完整,未用作统计分析,其余 127 尾标本中,雌鱼 90 尾,雄鱼 37 尾,雌雄比例为 2.43 : 1。体长范围为 34.3 ~ 145.0 mm, 55.0 ~ 130.0 mm 的个体占总数的 88.2% ; 体重范围为 0.6 ~ 32.0 g, 0.6 ~ 21.0 g 的个体占总数的 87.4% (图 3)。

体长 ( $L$ ) 和体重 ( $W$ ) 呈显著的幂函数关系 (图 4), 相关方程分别为,

雄性 ♂ :  $W = 0.000\ 005\ L^{3.180\ 663}$  ,  $n = 37$  ,  $R^2 = 0.969\ 5$  ,  $P < 0.001$  ;

2.4 耳石半径与体长的关系 回归分析表明体长 ( $L$ ) 与耳石半径 ( $OR$ ) 呈显著的线性相关 (图 5), 回归方程为:  $L = 148.843\ 164\ OR - 1.815\ 184$  ,  $n = 103$  ,  $R^2 = 0.636\ 851$  ,  $P < 0.001$  .

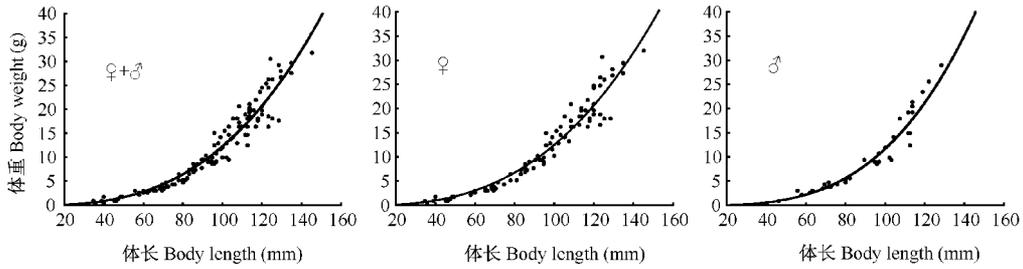


图 4 麻尔柯河高原鳅体长与体重的关系

Fig. 4 Relationship between body length and body weight of *Triplophysa markehenensis*

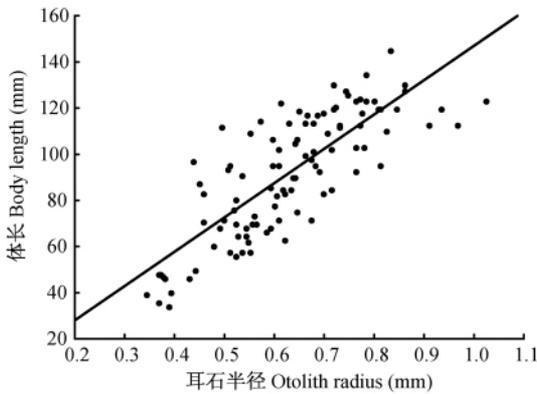


图 5 麻尔柯河高原鳅耳石半径与体长的关系

Fig. 5 Relationship between body length and otolith radius of *Triplophysa markehenensis*

2.5 体长退算 根据体长-耳石半径关系退算各龄的体长,退算时采用修正后的 Lee 方程: $L_i = [(\alpha + \beta \times OR_i) / (\alpha + \beta \times OR)] \times L$ ,式中  $L$  为实测体长,  $OR$  为耳石半径,  $L_i$  为  $i$  时的体长,  $OR_i$  为  $i$  时的耳石半径;  $\alpha$  是  $L-OR$  回归的截距,  $\beta$  是  $L-OR$  回归的斜率。将 103 尾麻尔柯河高原鳅的实测体长和耳石半径代入公式获得的退算体长见表 2。经  $t$ -检验,实测体长与退算体长差异不显著,说明退算体长可信。

2.6 生长指数 生长指数计算采用 Васнецов 公式:年相对增长率 =  $[(V_n - V_{n-1}) / V_{n-1}] \times 100$ ,生长比速 =  $(\ln V_n - \ln V_{n-1}) / (t_n - t_{n-1})$ ,生长常数 =  $(\ln V_n - \ln V_{n-1}) \times (t_n + t_{n-1}) / 2$ ,生长

表 2 麻尔柯河高原鳅各龄组实测体长与退算体长

Table 2 Measured body length and back-calculated body length at each age class of *Triplophysa markehenensis*

年龄组 Age class	样本数 Sample number	实测体长平均值 Average of measured body length (mm)	退算体长 Back-calculated body length (mm)							
			L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	
2	8	42.16	32.89							
3	15	61.86	33.72	51.83						
4	22	79.02	39.34	56.95	68.95					
5	26	100.22	44.12	61.14	74.79	87.98				
6	23	117.40	43.26	62.81	78.00	93.96	106.66			
7	5	125.20	51.51	67.22	82.00	94.47	107.36	116.61		
8	4	129.13	43.33	66.01	78.86	91.99	103.51	113.86	122.09	
		加权平均值 Weighted mean (mm)	40.85	59.63	74.76	91.19	106.38	115.39	122.09	

指标 =  $(\ln V_n - \ln V_{n-1}) \times V_{n-1}$ 。式中  $V_n$  和  $V_{n-1}$  分别为对应相邻两龄  $t_n$ 、 $t_{n-1}$  的体长  $L_n$ 、 $L_{n-1}$  或体重  $W_n$ 、 $W_{n-1}$ ,  $L_n$  为  $n$  龄鱼体长,  $L_{n-1}$  为  $n-1$  龄鱼体长;  $t_n$  为计算生长比速的结束时间,  $t_{n-1}$

为计算生长比速的开始时间,  $W_n$  为  $n$  龄鱼体重,  $W_{n-1}$  为  $n-1$  龄鱼体重。生长指数计算结果显示,麻尔柯河高原鳅的生长可以分为 3 个阶段:2 龄以前生长速度最快,其体长和体重的年

相对生长率和生长比速都最大,体长生长指标为 15.45,体重生长指标为 0.96;2 龄至 5 龄的生长速度较快,其体长和体重的年相对生长率和生长常数较大,体长平均生长指标为 14.13,

体重平均生长指标为 2.96;5 龄以后生长速度变缓趋于稳定,表现为体长和体重年相对生长率变化较小,体长平均生长指标为 7.33,体重平均生长指标为 3.37(表 3)。

表 3 麻尔柯河高原鳅体长与体重生长指数

Table 3 Growth indexes of body length and body weight in *Triplophysa markehenensis*

年龄 Age class	体长 Body length				体重 Body weight			
	年相对生长率 Relative growth rate of body length (%)	生长比速 Specific speed of growth	生长常数 Growth constant	生长指标 Growth index	年相对生长率 Relative growth rate of body length (%)	生长比速 Specific speed of growth	生长常数 Growth constant	生长指标 Growth index
2	45.97	0.38	0.57	15.45	205.44	1.12	1.67	0.96
3	25.37	0.23	0.57	13.48	94.94	0.67	1.67	1.74
4	21.98	0.20	0.70	14.85	79.76	0.59	2.05	2.99
5	16.66	0.15	0.69	14.05	57.59	0.45	2.05	4.16
6	8.47	0.08	0.45	8.65	27.12	0.24	1.32	3.46
7	5.81	0.06	0.37	6.51	18.13	0.17	1.08	3.06

## 2.7 生长方程

**2.7.1 体长和体重生长方程** 用 Von Bertalanffy 生长方程拟合麻尔柯河高原鳅体长、体重与年龄的关系,得到生长方程为:  $L_t = 173.1241 [1 - e^{-0.1597(t+0.5328)}]$ ,  $W_t = 60.7531 [1 - e^{-0.1597(t+0.5328)}]^{1.9519}$ 。麻尔柯河高原鳅的体长生长曲线是一条不具拐点且向上的渐近线,而体重生长曲线是一条不对称的 S 型渐近线(图 6)。

**2.7.2 体长和体重生长速度方程** 对体长、体重生长方程求一阶导数,得到麻尔柯河高原鳅

的体长、体重生长速度方程。体长生长速度方程:  $dL/dt = 24.6479e^{-0.1597(t+0.5328)}$ ; 体重生长速度方程:  $dW/dt = 28.6404e^{-0.1597(t+0.5328)} [1 - e^{-0.1597(t+0.5328)}]^{1.9519}$ 。体长生长速度曲线为一条不具拐点且下凹的渐近线,说明麻尔柯河高原鳅的体长生长速度随年龄的增大而逐渐减缓;体重生长曲线为一条具拐点的曲线,拐点年龄为 6.25 龄,在 6.25 龄之前麻尔柯河高原鳅体重随年龄增大而快速增长,6.25 龄之后体重增长速度逐渐降低(图 7)。拐点年龄的体长为 114.5 mm,体重为 17.9 g。

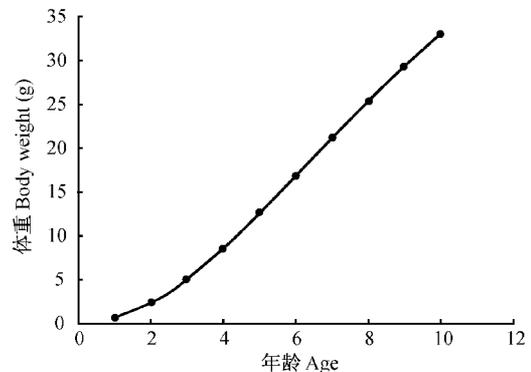
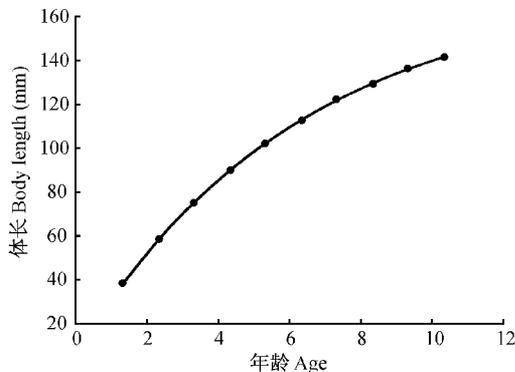


图 6 麻尔柯河高原鳅 Von Bertalanffy 生长曲线

Fig. 6 Von Bertalanffy growth curve of body length and body weight in *Triplophysa markehenensis*

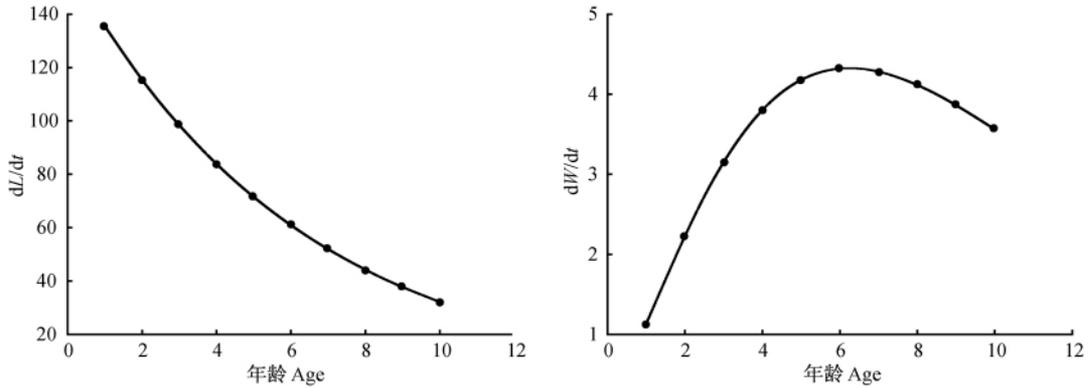


图7 麻尔柯河高原鳅体长和体重增长速度曲线

Fig. 7 Growth rate curve of body length and body weight in *Triplophysa markehenensis*

2.7.3 体长和体重加速度方程 对体长、体重生长方程求二阶导数,得到其相应的体长、体重加速度方程。体长加速度方程:  $d^2L/dt^2 = -4.4129 e^{-0.1597(t+0.5328)}$ ; 体重加速度方程:  $d^2W/dt^2 = 4.5739 e^{-0.1597(t+0.5328)} [1 - e^{-0.1597(t+0.5328)}]^{0.9519} [2.9519 e^{-0.1597(t+0.5328)} - 1]$ 。体长生长加速度曲线位于年龄  $t$  轴下

方,是一条不具拐点且向上的渐近线,表明体长生长加速度在体长生长速度下降的同时,其递减速度逐渐减缓。体重生长加速度曲线表明在生长拐点之前,体重生长速度虽递增,但递增速度逐渐减缓;在生长拐点以后,体重生长速度递减,但递减速度逐渐减缓(图8)。

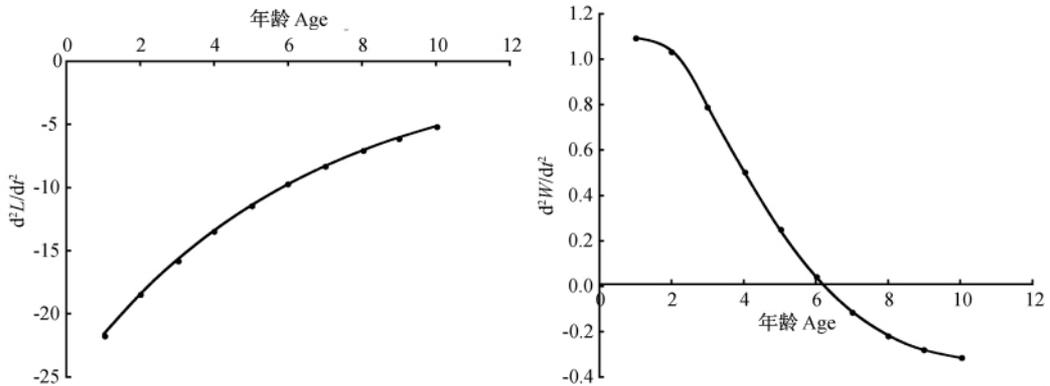


图8 麻尔柯河高原鳅体长和体重生长加速度曲线

Fig. 8 Growth acceleration curve of body length and body weight in *Triplophysa markehenensis*

### 3 讨论

3.1 年龄鉴定材料选择 以往有关高原鳅的生物学研究几乎都是采用脊椎骨进行年龄鉴定<sup>[4,8,11-12]</sup>,鉴定出的最大年龄为4~5龄,显示高原鳅是一种低寿命鱼类,这些结果与本文中用耳石(年龄  $t=8$ )与脊椎骨(年龄  $t=7$ )的鉴定结果有一定差异。脊椎骨边缘和中心部分

的年轮特征不清晰,容易造成错误的判读。高原鳅的脊椎骨为双凹型,如果检测椎体的正面,将很难对椎体中央部分的轮纹准确判读;如果对椎体进行横切,将使材料不完整,部分轮纹可能被切除,不能观察到完整的年轮特征,容易造成年轮的漏读,使判读结果偏小。本文研究显示,如果对脊椎骨进行纵切,切面上的年轮比较清晰,能较好地鉴定年龄,且与用耳石鉴定的结

果差距较小。当然,由于脊椎骨上的年轮特征在不同椎体间存在差异,同一椎体的边缘和中央轮纹较模糊,使得其在年轮鉴定的准确性上仍不及耳石。因此,在高原鳅属鱼类的年龄鉴定中,最好使用耳石,脊椎骨可以作为辅助材料,但最好是对其纵切面进行检测。

在西溪高原鳅(*T. xiqiensis*)生物学的研究中,耳石上未发现年轮标记,认为脊椎骨是该种鱼类的最佳年龄鉴定材料<sup>[8]</sup>,这一结果与本实验恰好相反,可能是由于样本经过长时间的福尔马林溶液浸泡后,发生了脱钙现象,致使耳石轮纹特征不再明显。可见,在选用耳石作为年龄鉴定材料时,应当尽量从新鲜鱼类标本中摘取耳石,然后进行打磨并用于年龄鉴定。当不具备现场摘取耳石的条件时,也应当在回到实验室后尽快从福尔马林保存的标本中取出耳石,以避免其被酸蚀,从而影响年轮特征;或者采用酒精浸泡标本,以便较好地保存耳石。

**3.2 耳石年轮表现形式** 耳石上的年轮表现形式在鱼类的不同类群间存在差异,特别是有关亮带和暗带的形成时间问题。Beckman等在研究许多温带地区的鱼类耳石时发现,在透射光下,耳石由窄而不透明的暗带和宽而透明的亮带组成,而不透明带形成于生长缓慢的季节,透明带的沉积则发生在生长快速的季节<sup>[18]</sup>。本文对麻尔柯河高原鳅的耳石检测发现,在透射光下宽而不透明的暗带形成于生长快速季节,窄而透明的亮带则形成于生长缓慢的季节。麻尔柯河高原鳅属于高原冷水性鱼类,繁殖季节为6~7月份。本文对生长轮的统计表明,耳石中央暗区内的轮纹数为55~80,假定这些轮纹为日轮,则表明繁殖后2~3个月耳石上开始形成第一条窄而透明的亮带(透射光下),对应的月份为9~10月,此时麻尔柯河高原鳅栖息的高海拔地区开始进入秋冬季节,其生长速度开始减缓,耳石上沉积亮带内的生长轮对比度和清晰度均很差,轮纹间距很小,难于清晰识别。可见,麻尔柯河高原鳅耳石上亮带确是在生长缓慢季节形成的,其年轮的沉积形式与大多数温带鱼类存在明显差异。通常,在大多数

鱼类中将耳石上暗带与下一个亮带的分界处定为年轮,但在麻尔柯河高原鳅中,则应将亮带与下一个暗带的分界处定为年轮。

麻尔柯河高原鳅耳石上年轮的表现形式与色林错裸鲤(*Gymnocypris selincuoensis*)<sup>[19]</sup>相似,这可能提示,高原冷水性鱼类耳石上年轮的沉积机理可能与大多数温带鱼类不同,这种差异取决于其生长的特殊自然环境,食物和水温的季节性巨幅波动。耳石的透明度变化可能受水温和饥饿的影响,温度越低,沉积的耳石透明度越低;在饥饿状态下沉积的耳石透明度较高<sup>[20]</sup>。高原冷水性鱼类在水温较低的秋冬季沉积的耳石透明度反而较高,这可能是由于水温太低,水体中饵料生物极其贫乏,鱼类获取食物比较困难,期间受到一定程度的饥饿,各种活动也减少,生长缓慢,耳石沉积速度大大下降,形成的生长带窄,但透明度较高,在进行年轮判读时表现为窄的亮带。

但是,对同属于高原冷水鱼类的软刺裸裂尻鱼(*Schizopygopsis malacanthus*)<sup>[21]</sup>的研究认为,宽的暗带为阻断带,而窄的透明带则为增长带,这可能是在年轮的判读上沿用了长期以来普遍认同的温带鱼类的年轮表现形式,而没有对明、暗带内的生长轮纹等进行仔细检测和析。我们补充检测了软刺裸裂尻鱼耳石磨片,结果表明宽的暗带内轮纹较宽且清晰,而窄的亮带内轮纹不清楚,与麻尔柯河高原鳅耳石上的特征类似,进而验证了亮带沉积于慢生长季节的推测。

对属于温带鱼类的暗纹东方鲀(*Takifugu obscurus*)<sup>[22]</sup>的研究却发现,其耳石年轮表现形式也与温带其他鱼类相反,而与麻尔柯河高原鳅和色林错裸鲤的耳石年轮表现形式类似,造成这一结果的原因可能是其实验所用的所有标本都是由养殖场内采集而来,而养殖场内不同于自然环境的多种条件,如温度、光照和食物等共同作用导致了这一结果。

**3.3 生长特征** 研究表明,当鱼类体长体重关系方程中的b值等于3时,说明鱼的体长与体重为等速生长,麻尔柯河高原鳅的体长体重关

系方程中  $b = 2.951931$ , 这一结果与以往高原鳅生物学研究中所得结果较为接近, 表明高原鳅属鱼类的体长体重生长模式为近等速生长。从生长方程及生长曲线上可以看出, 麻尔柯河高原鳅在低龄时(6龄以前)生长较快, 在老龄鱼时生长减缓。在与同属鱼类进行生长指标比较时发现, 高原鳅在3龄以前生长最快速, 之后进入较为平缓的生长阶段。同时, 此次采集样本的年龄集中在3~6龄, 多为成熟个体, 且处于生长较快的阶段, 种群结构较为合理。可见, 在当前过度捕捞和水电站建设的不利影响下麻尔柯河高原鳅的自然资源还没有遭到严重破坏。

致谢 青海省川陕哲罗鲑保护中心唐文家先生提供了部分研究标本, 特此致谢。

### 参 考 文 献

- [1] 朱松泉, 武云飞. 青海条鳅属鱼类一新种和一亚种的描述. 动物分类学报, 1981, 6(2): 221-224.
- [2] 朱松泉. 中国条鳅志. 南京: 江苏科学技术出版社, 1989.
- [3] 何春林. 四川高原鳅属鱼类分类整理. 成都: 四川大学硕士学位论文, 2007.
- [4] 郭焱, 蔡林钢, 吐尔逊, 等. 赛里木湖新疆高原鳅生物学研究. 水产学杂志, 2002, 15(2): 6-11.
- [5] 郭焱, 蔡林钢, 吐尔逊, 等. 赛里木湖新疆高原鳅种群结构研究. 水产学杂志, 2002, 15(2): 1-5.
- [6] 吐尔逊, 任波, 张入铭, 等. 阿克苏河长身高原鳅 *Triplophysa (Triplophysa) teunis* (Day) 生物学研究. 水产学杂志, 2005, 18(2): 65-69.
- [7] 任波, 马燕武, 吐尔逊, 等. 阿克苏河叶尔羌高原鳅 *Triplophysa (Hedinichthys) yarkandens* (Day) 生物学研究. 水产学杂志, 2004, 17(1): 47-52.
- [8] 宋昭彬, 杨晔, 岳碧松. 西溪高原鳅生物学研究. 水利渔业, 2005, 25(1): 27-29.
- [9] 何学福, 贺吉胜, 严天明. 马边河贝氏高原鳅繁殖特性的研究. 西南师范大学学报: 自然科学版, 1999, 24(1): 69-73.
- [10] 张大治, 张显理, 代仲春, 等. 似鲶高原鳅在宁夏永宁黄河段的形态变异. 宁夏农学院学报, 1998, 19(2): 24-26.
- [11] 王华, 郭延蜀, 戚文华, 等. 白龙江上游黑体高原鳅生物学研究. 水产学杂志, 2008, 21(1): 42-48.
- [12] 戚文华, 郭延蜀, 王华, 等. 四川辖曼自然保护区硬刺高原鳅生物学研究. 四川动物, 2008, 27(6): 1157-1162.
- [13] 郭焱, 蔡林钢, 阿达可白克, 等. 柴窝堡湖新疆高原鳅生物学特性研究. 水利渔业, 2008, 28(3): 49-50.
- [14] 贺刚, 何力, 许映芳, 等. 湘西盲高原鳅种质特征的研究. 水利渔业, 2008, 38(2): 64-67.
- [15] 朱旗, 夏立启, 常剑波. 鱼类耳石微结构的计算机自动识别. 水生生物学报, 2002, 26(6): 600-604.
- [16] Francis R I C C. Back-calculation of fish length: a critical review. J Fish Biol, 1990, 36: 883-902.
- [17] 殷名称. 鱼类生态学. 北京: 中国农业出版社, 1995, 54-55.
- [18] Beckman D W, Wilson C A. Seasonal timing of opaque zone formation in fish otoliths // Secor D H, Dean J M, Campana S E. Recent Development in Fish Otolith Research. Columbia: University of South Carolina Press, 1995, 27-43.
- [19] 陈毅峰, 何德奎, 段中华. 色林错裸鲤的年轮特征. 动物学报, 2002, 48(3): 384-392.
- [20] Volk E C, Schroder S L, Fresh K L. Inducement of unique otolith banding patterns as a practical means to mass-mark juvenile Pacific salmon. Am Fish Soc Symp, 1990, 7: 203-215.
- [21] 沈丹舟, 何春林, 宋昭彬. 软刺裸裂尻鱼的年龄鉴定. 四川动物, 2007, 26(1): 124-125.
- [22] 石黎军. 暗纹东方鲀的年龄和生长. 南京: 南京师范大学硕士学位论文, 2004.