

雅鲁藏布江中游东方高原鳅的年龄与生长特性

李亮涛 杨学芬 杨瑞斌 樊启学 魏开建 蒋浩

华中农业大学水产学院/农业部淡水生物繁育重点实验室/
淡水水产健康养殖湖北省协同创新中心, 武汉 430070

摘要 利用微耳石对雅鲁藏布江中游东方高原鳅的年龄与生长特征进行研究。结果发现, 东方高原鳅由7个年龄组组成, 其中4~6龄占80.87%; 体长和微耳石的半径长呈直线正相关关系, 雌雄群体间没有显著差异, 表达式为 $L = 253.81R_0 - 26.725$; t 检验结果表明, 各年龄组雌、雄的实测体长的均值和推算体长的均值没有显著性的差异; 体长与体质量的关系呈幂函数, 但雌、雄之间差异较显著, 东方高原鳅雌、雄群体的体长-体质量关系表达式分别为 $W = 0.00001L^{2.9797}$ (♀), $W = 0.00002L^{2.8475}$ (♂); 比较后发现 von Bertalanffy 方程能更准确地表达东方高原鳅的生长, 其表达式分别为: $L_t = 151.65[1 - e^{-0.133(t + 0.01786)}]$, $W_t = 31.496[1 - e^{-0.133(t + 0.01786)}]^{2.9797}$ (♀); $L_t = 125.19[1 - e^{-0.177(t + 0.0695)}]$, $W_t = 18.787[1 - e^{-0.177(t + 0.0695)}]^{2.8475}$ (♂); 雌、雄东方高原鳅的生长拐点年龄分别为8.19和5.83, 对应的体长和体质量分别为100.77 mm、9.32 g以及81.13 mm、5.46 g。

关键词 东方高原鳅; 年龄结构; 生长特性; 雅鲁藏布江

中图分类号 Q 959.46⁺8 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2016)06-0117-07

东方高原鳅 (*Triplophysa orientalis*), 隶属于鲤形目 (Cypriniformes)、鳅科 (Cobitidae)、条鳅亚科 (Noemacheilinae)、高原鳅属 (*Triplophysa*), 主要分布在西藏雅鲁藏布江中上游、甘肃的洮河和弱水、青海的当曲 (通天河上游)、久治的麻尔柯河上游、大通河和诺木河、洪河等地。鱼类年龄结构对确定其种群生长率、死亡率以及生产力等具有重要的作用, 可以作为评价鱼类种群资源状况的一个重要指标^[1-2], 然而东方高原鳅年龄和生长的研究至今未见相关报道。本文以微耳石为年龄鉴定材料, 对东方高原鳅的年龄结构和生长特征进行研究, 旨在丰富其生物学资料, 并为制定雅鲁藏布江东方高原鳅资源的保护措施, 合理开发、利用及其人工增殖提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 样本采集

东方高原鳅于2015年6月用网目为0.5 cm的地笼采自西藏雅鲁藏布江与年楚河的交汇处回水区, 共200尾, 用10%福尔马林溶液保存后带回实

验室。

1.2 材料处理及检测

在实验室对保存的200尾东方高原鳅标本进行基础生物学测量, 体长、全长等均精确到0.1 cm, 体质量、空壳质量等则都精确到0.1 g。取出微耳石并保存在离心管中, 用于后续的年龄鉴定。

将选取的微耳石用中性树胶包埋在洁净的载玻片上, 用1500#~2000#砂纸将微耳石打磨, 直到能较清楚地看到生长中心后, 再重复上述操作打磨另一面, 打磨时随时用解剖镜观察直至轮纹清晰。纯乙醇清洗干净后, 以中性树胶将耳石封于洁净的载玻片上, 用二甲苯透明后在解剖镜下检查耳石的年轮特征并进行年轮计数。年轮确认及计数方法参照邓中焱等^[1], 1龄为第1个年轮未形成至刚形成阶段, 2龄为第1个年轮外有新轮至第2个年轮刚形成阶段, 以此类推。每个耳石均由同一研究者盲检2次 (间隔时间在15 d以上), 如果2次判读结果一致, 则可以采用此年龄作为鉴定结果; 如果2次判读结果不一致, 则必须再进行第3次判读, 如果第3次年龄判读与前2次中的任何一次结果一致, 则采用

收稿日期: 2016-04-09

基金项目: 农业公益性行业专项(201403012)

李亮涛, 硕士研究生。研究方向: 鱼类生态学。E-mail: tao605117@163.com

通信作者: 杨瑞斌, 博士, 副教授。研究方向: 水产健康养殖。E-mail: rbyang@mail.hzau.edu.cn

第 3 次的结果作为最后的年龄鉴定;如果 3 次结果都不一致,则直接将此样本舍去^[2];用 Photoshop 软件处理测量耳石半径和轮径(测定方向见图 1)。

分别对体长和体质量的关系、体长和耳石半径的关系进行分析,并通过修正后的 Lee 方程^[3]进行东方高原鳅的体长退算,采用 Васнецов 公式计算生长指数^[4],分别用 von Bertalanffy(VBGF)、Logistic(LGF)、Gompertz(GGF)以及 Decimal Cubic Formula(DCF)4 个生长方程对体长生长拟合并筛选出最佳拟合方程用于生长分析^[5]。所获得的东方高原鳅相关数据用 Excel 2010 进行统计分析,并通过 SPSS 20.0 和 Origin 8.0 进行图表的制作。

2 结果与分析

2.1 耳石年轮特征

图 1 所示,东方高原鳅的微耳石磨片呈不规则的椭圆形,在解剖镜的透射光下,发现微耳石的磨片明显分成 2 个区域:位于耳石中心偏下方的核暗区与核暗区之外的年轮排列区。核暗区为呈近似圆形的暗区域^[6];年轮排列区内宽的暗带和窄的亮带呈同心圆交替出现,一个宽暗带和窄亮带是一个生长年带,两生长年带的窄亮带与宽暗带的交界处就是年轮(图 1)。耳石上年轮间距逐渐缩小,越接近耳石中心区域间距越大,反之间距则变小,但在观察部分磨片时其间会有突然的跳跃。在解剖镜透射光下观察,耳石磨片在颜色上也呈现出一定的变化规律,暗带的颜色随着间距的增大而变浅。

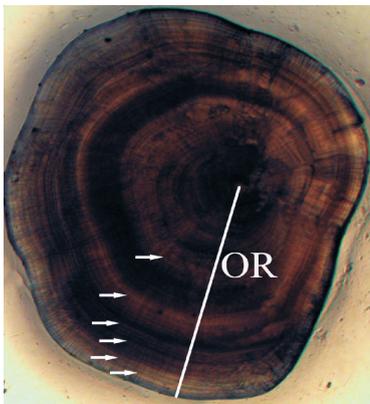


图 1 雅鲁藏布江东方高原鳅的鳞片(箭头示年轮)
Fig.1 Scale of *T. orientalis* collected in Yarlung Tsangpo River (arrows show scale annuli)

2.2 体长体质量分布及年龄分组

由于部分样品的耳石碎裂或轮纹杂乱无法判断等原因,实际用于年龄数据分析为 183 尾。雌雄东

方高原鳅体长和体质量的关系如图 2 所示。将 183 尾渔获物的体长体质量分布进行分析得出,体长范围为 49~130 mm,平均体长为(75.4±12.0) mm,其中 60~100 mm 的东方高原鳅个体占绝大多数,占 93.44%。渔获物的体质量范围为 2.1~23.5 g,其中 10 g 以下的个体占 90.6%。本研究中,性比为 1.00:0.75(♀:♂),雌性多于雄性,且最小性成熟年龄为 3 龄。由表 1 可知,渔获物中 4~6 龄所占比例高达 80.87%,为优势年龄组;其中 5 龄鱼所占的比例最大,占 32.79%。

2.3 体长与体质量的关系

协方差分析(ANCOVA)结果表明,东方高原鳅♀、♂个体间的体长—体质量关系呈现显著差异($F=5.838, P<0.05$),故将♀、♂数据分开进行拟合。

体长(L)和体质量(W)的关系为幂函数,♀、♂的体长—体质量方程分别为

$$\hat{\sigma}: W=0.00002L^{2.8475}, n=82, R^2=0.9234;$$

$$\hat{\sigma}: W=0.00001L^{2.9797}, n=101, R^2=0.9448;$$

$$\hat{\sigma} + \hat{\sigma}: W=0.00002L^{2.9296}, n=183, R^2=0.9397.$$

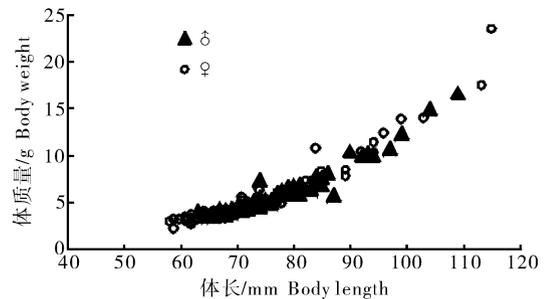


图 2 雅鲁藏布江东方高原鳅体长—体质量关系图
Fig.2 Length-body weight relationships of *T. orientalis* collected in Yarlung Tsangpo River

2.4 耳石半径和体长的关系

经比较发现,线性回归的相关系数最大,因此选用线性关系来拟合体长(L)与耳石半径(R_0)的关系,协方差分析结果表明:♀、♂之间无显著性差异($F=0.014, P>0.05$)。因此,体长—耳石半径之间的关系用合并的群体来拟合,其表达式为: $L=253.81R_0-26.725, n=183, R^2=0.97, P<0.05$ 。

2.5 体长退算

运用已得到的体长和耳石半径的关系式,选择修正后的 Lee 方程对各年龄组进行体长退算,获得的退算体长结果如表 2 所示。 t 检验结果显示,实测体长和退算体长之间无显著性差异($P>0.05$),且同一年龄、雌雄之间的退算体长也无显著性差异

表 1 雅鲁藏布江东方高原鳅不同年龄组的样本数量和标准体长、体质量

Table 1 Numbers of samples and standard length (SL) and standard weight (SW) in different stages of *T. orientalis* collected in Yarlung Tsangpo River

年龄/a Age	样本数/尾 Sample number	标准体长/mm SL		标准体质量/g SW	
		范围 Range	均值±标准差 Mean±SD	范围 Range	均值±标准差 Mean±SD
3	16	60.0~66.0	63.0±4.2	3.1~3.9	3.5±0.6
4	50	59.0~77.0	65.7±4.2	2.1~5.9	3.6±0.8
5	60	61.0~84.0	72.8±5.2	3.1~7.9	4.9±1.0
6	38	71.0~109.0	79.4±7.2	4.5~10.7	6.3±1.5
7	8	74.0~115.0	91.7±14.0	5.1~13.8	9.0±3.2
8	8	93.0~107.0	100.1±4.7	10.2~23.5	13.9±4.5
9	3	94.0~130.0	106.3±20.5	10.0~32.4	19.9±11.4

表 2 雅鲁藏布江东方高原鳅各年龄组的实测体长和推算体长

Table 2 The observed body length and back calculated body length in different stages of *T. orientalis* collected in the Yarlung Tsangpo River

年龄/a Age	推算体长/mm Back-calculated body length							
	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	L_6	L_7	L_8
3	20.70	36.08						
4	23.16	40.36	52.34					
5	23.72	41.33	53.60	63.93				
6	22.49	39.19	50.83	60.62	70.32			
7	25.34	44.16	57.27	68.30	79.24	88.45		
8	22.92	39.95	51.81	61.79	71.67	80.00	90.16	
9	22.54	39.28	50.94	60.75	70.48	78.67	88.65	93.81
加权平均值/mm Weighted mean	23.22	40.47	52.68	62.91	72.15	83.83	89.75	93.81
实测体长/mm Average of measured body length	—	—	63	66	73	79	92	100

($P>0.05$), 这表明推算体长可信, 而且推算体长可以看成是实足年龄的平均体长^[7]。

2.6 生长指数

采用 Васнецов 公式计算生长指数, 结果如表 3 所示, 以生长常数和生长指标来划分东方高原鳅的生长阶段能更好地反映其生长特点。从表 3 得出, 东方高原鳅明显被分为以下 3 个生长阶段: 1 龄时体长体质量的生长比速和年相对增长率都最大, 体

长生长指标为 12.90, 体质量生长指标 0.36, 表明此阶段东方高原鳅应为生长旺盛的幼鱼阶段, 摄取的能量主要用于个体的生长; 2~5 龄体长体质量的生长比速和年相对增长率变化不大, 体长生长指标为 9.87, 体质量生长指标为 1.23, 表明该阶段为稳定生长阶段; 5 龄以后体长体质量的年相对增长率和生长比速都较小, 体长生长指标为 4.84, 体质量生长指标为 1.17, 表明该阶段为生长衰老阶段, 鱼体生长趋

表 3 雅鲁藏布江东方高原鳅不同年龄组的体长和体质量生长指数比较

Table 3 The comparison of growth index of body length and body weight in different age stages of *T. orientalis* collected in the Yarlung Tsangpo River

年龄/a Age	体长 Body length				体质量 Body weight			
	a / %	b	c	d	a / %	b	c	d
1	74.28	0.56	0.83	12.90	334.44	1.47	2.20	0.36
2	30.18	0.26	0.66	10.67	100.84	0.70	1.74	0.74
3	19.42	0.18	0.62	9.35	59.90	0.47	1.64	1.00
4	14.68	0.14	0.62	8.62	43.64	0.36	1.63	1.24
5	16.20	0.15	0.83	10.83	48.73	0.40	2.18	1.95
6	7.06	0.07	0.44	5.72	19.75	0.18	1.17	1.32
7	4.52	0.04	0.33	3.97	12.41	0.12	0.88	1.02

注: a: 年相对增长率; b: 生长比速; c: 生长常数; d: 生长指标。Note: a: Relative growth rate of body length; b: Specific speed of growth; c: Growth constant; d: Growth index.

于缓慢。

2.7 生长方程

1) 生长方程的选择。由于本研究中 $b = 2.9296 < 3$, 是非匀速生长, 因此, 分别用 von Bertalanffy(VBGF)、Logistic(LGF)、Gompertz(GGF)以及 Decimal Cubic Formula(DCF)这 4 个生长方程对东方高原鳅的体长生长进行拟合以筛选出适合该鱼的最佳拟合方程, 各生长方程具体的拟合结果及

lanffy(VBGF)、Logistic(LGF)、Gompertz(GGF)以及 Decimal Cubic Formula(DCF)这 4 个生长方程对东方高原鳅的体长生长进行拟合以筛选出适合该鱼的最佳拟合方程, 各生长方程具体的拟合结果及

相关系数 R^2 如表 4 所示。比较相关系数 R^2 得出, 4 种生长方程的 R^2 值差异不显著 ($P > 0.05$), 且均能较好地拟合东方高原鳅的生长过程; 其中 DCF 的 R^2 值最高 (0.998 8), LGF 的 R^2 最低 (0.981 8); DCF 的 RSS (剩余平方和) 最低 (7.303), LGF 的 RSS 最高 (176.165)。回归方程的选择是基于陈毅峰等^[7] 提出的最小剩余平方和, 拟合度则用相关系数 R^2 来

衡量, 以上 4 种方程中, DCF 对东方高原鳅的体长生长描述最好, 而 LGF 的拟合效果最差。然而, DCF 生长方程作为一个单纯的数学模拟公式, 仅仅能反映体长不断累积的过程, 无法得到渐进体长, 不具有生物学意义; 因此, 本研究采用相关系数大小仅次于 DCF 生长方程且更具有生物学意义的 VBGF 生长方程。

表 4 不同生长方程对东方高原鳅体长生长的拟合结果及相关系数

Table 4 Result and correlation index of fitted back-calculated increments by varied body length growth models of *T. orientalis*

年龄/a Age	推算体长/mm Back-calculated body length	a	b	c	d
1	23.22	21.87	21.05	24.63	24.02
2	40.47	38.44	36.27	38.02	38.99
3	52.68	52.25	53.47	51.60	52.27
4	62.91	63.74	67.76	63.98	63.89
5	72.15	73.31	76.90	74.43	73.88
6	83.83	81.28	81.81	82.79	82.28
7	89.75	87.92	84.20	89.23	89.11
8	93.81	93.45	85.31	94.06	94.40
RSS		18.127	176.165	16.909	7.303
R^2		0.998 6	0.981 8	0.998 1	0.998 8

注: a: VBGF 计算值; b: LGF 计算值; c: GGF 计算值; d: DCF 计算值。Note: a: The calculated value of VBGF; b: The calculated value of LGF; c: The calculated value of GGF; d: The calculated value of DCF.

2) 体长和体质量生长方程。通过 VBGF 生长方程拟合东方高原鳅体长、体质量的生长过程, 得到的雌雄生长方程分别为:

$$L_t = 151.65[1 - e^{-0.133(t + 0.01786)}],$$

$$W_t = 31.496[1 - e^{-0.133(t + 0.01786)}]^{2.9797} (\text{♀});$$

$$L_t = 125.19[1 - e^{-0.177(t + 0.0695)}],$$

$$W_t = 18.787[1 - e^{-0.177(t + 0.0695)}]^{2.8475} (\text{♂}).$$

由图 3 可知, 东方高原鳅雌雄的体长和年龄的生长曲线均为非线性, 而都是一条向上且不具拐点的渐近线, 起初上升幅度较快而后变为缓慢, 最后逐渐趋于平缓 (图 3A); 而东方高原鳅雌雄群体质量与年龄的生长曲线则都是一条向上但具有拐点且呈不对称“S 型”的渐近线 (图 3B)。

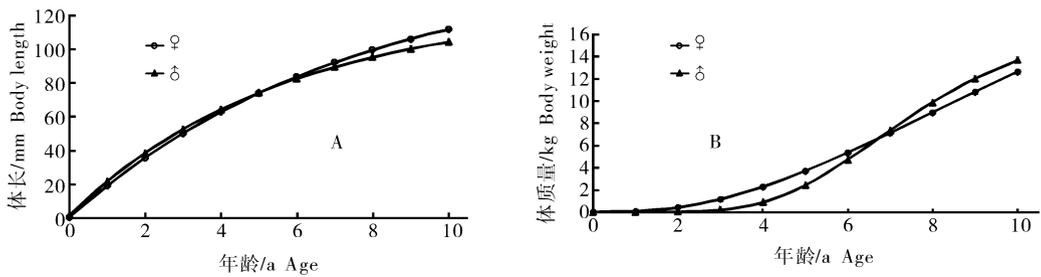


图 3 雅鲁藏布江东方高原鳅雌雄鱼的体长(A)和体质量(B) von Bertalanffy 生长曲线

Fig.3 The von Bertalanffy growth curve with body length(A) and body weight(B) in different stages of female and male *T. orientalis* collected in the Yarlung Tsangpo River

3) 体长和体质量生长速度方程。对已获得的体长、体质量生长方程分别求一阶导数, 得到东方

高原鳅雌雄群体的体长、体质量生长速度方程分别为:

$$dL/dt = 20.16e^{-0.133(t + 0.0179)} (\text{♀}); dL/dt = 22.2e^{-0.177(t + 0.0695)} (\text{♂}).$$

$$dW/dt = 12.478e^{-0.133(t + 0.0179)} [1 - e^{-0.133(t + 0.0179)}]^{1.9797} (\text{♀});$$

$$dW/dt = 9.489e^{-0.177(t + 0.0695)} [1 - e^{-0.177(t + 0.0695)}]^{1.8475} (\text{♂}).$$

♀的体长和体质量生长速度变化趋势与♂类似, 体长生长速度方程的曲线是一条不具有拐点且

下凹的渐近线, 这表明东方高原鳅的体长生长速度会随着它的年龄的增大而呈现出逐渐减缓的趋势;

体质量生长方程的曲线则是一条具拐点的曲线,其雌雄的拐点分别为 8.19 和 5.83,在生长拐点之前东方高原鳅体质量增长速度随年龄增大而增大,并在生长拐点时其体质量增长速度为最大值,生长拐点

之后体质量增长速度逐渐降低(图 4A、B)。雌、雄东方高原鳅拐点年龄的体长和体质量分别为 100.8 mm、9.3 g(♀)及 81.1 mm、5.5 g(♂)。

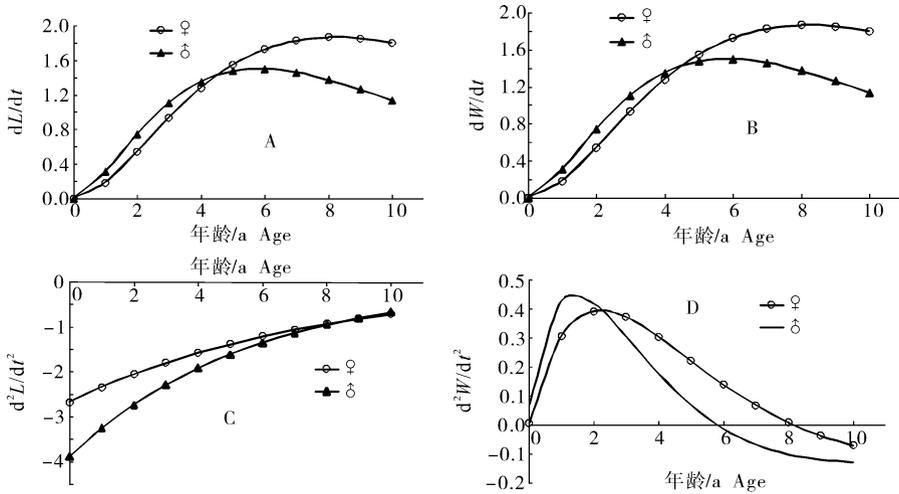


图 4 雅鲁藏布江东方高原鳅雌雄鱼体长、体质量生长速度(A,B)和加速度(C,D)曲线
Fig.4 Growth rate and acceleration curve of body length and body weight of female and male

T. orientalis collected in the Yarlung Tsangpo River

4) 体长和体质量加速度方程。对已获得的体长、体质量生长方程分别求二阶导数,得到东方高原

鳅雌雄群体的体长、体质量生长加速度方程。♀、♂群体的体长、体质量加速度方程分别为:

$$d^2L/dt^2 = -2.68e^{-0.133(t + 0.0179)} (\text{♀}); d^2L/dt^2 = -3.939e^{-0.177(t + 0.0695)} (\text{♂});$$

$$d^2W/dt^2 = 1.659e^{-0.133(t + 0.0179)} [1 - e^{-0.133(t + 0.0179)}]^{0.9797} [2.9797e^{-0.133(t + 0.0179)} - 1] (\text{♀});$$

$$d^2W/dt^2 = 1.683e^{-0.177(t + 0.0695)} [1 - e^{-0.177(t + 0.0695)}]^{0.8475} [2.8475e^{-0.177(t + 0.0695)} - 1] (\text{♂}).$$

东方高原鳅雌雄群体体长生长加速度与年龄关系的曲线相近且均非线性,而是一条向上且不具有拐点但是始终位于 t 轴以下的渐近线,由图 4C、D 可得,体长生长加速度虽随着时间的推移而增大,但始终为负值,这表明体长生长速度随着时间的推移而递减的同时,其递减的趋势逐渐趋于平缓。体质量生长加速度与年龄的关系曲线表明东方高原鳅雌雄群体在体质量生长过程中都具有生长拐点;在达到生长拐点前,体质量生长速度随着时间的推移而递增,且越接近生长拐点其递增速度越小,在生长拐点体质量生长速度达到最大值。在生长拐点之后其体质量生长速度随着时间的推移而递减,且递减趋势逐渐趋于平缓。在体质量生长拐点上,雌性明显大于雄性(图 4C、D)。

趋势的重要参数^[1],年龄鉴定不准确将会对渔业资源的开发和利用造成较为严重的影响^[8]。鉴定鱼类年龄的常见材料有鳞片、鳍条、耳石、脊椎骨、鳃盖骨等,不同鉴定材料的可重复性以年龄鉴别能力、吻合率及平均变异系数等指标作为判断依据^[9]。东方高原鳅无鳞,曾霖对 2 种无鳞高原鳅的年龄鉴定材料的对比研究表明:鳍条和鳃盖骨均无明显可辨的年轮标志,脊椎骨的年龄判别能力和鉴定吻合率都不如耳石^[10]。陈毅峰等^[11]对色林错裸鲤(*Gymnocypris selincuoensis*)的研究也表明耳石较鳞片和鳍条的年龄鉴定更为准确,特别是在估计生长缓慢和相对长寿命群体或种群的年龄时更为准确。而且耳石作为硬骨鱼类最先钙化的组织受外界环境的影响较小,不存在重吸收现象^[12]。基于以上研究结果,并考虑到耳石样本更易保存的特点,本研究采用微耳石作为雅鲁藏布江东方高原鳅的年龄鉴定材料,并由同一人员在每次间隔至少 15 d 的时间对同一耳石磨片进行 2~3 次鉴定,最后对多次记录进行观察和分析从而确定该耳石的最终年龄^[2]。然而,仍

3 讨论

3.1 年龄鉴定材料的选择

精准的年龄鉴定是研究鱼类生物学和生态学特性的基础,同时也是分析及评价鱼类种群数量变动

有一部分耳石磨片因杂纹太多等原因而导致无法对其进行准确的年龄判读,因此,在以后的研究中有必要通过其他年龄材料来加以佐证。

3.2 生长方程的选择及吻合性

为了比较种间生长差异及开展科学的渔业资源管理和合理利用,通常需要选择并确定最佳的数学模型来表征鱼类的生长特征,并预测其生长趋势^[13]。一些常规模型(如 von Bertalanffy 方程等)已经被用来拟合体长数据与数学方程以定量研究鱼类生长参数和描述鱼类种群生长特性,有时仅仅根据一些经验就用这些生长方程来分析某种群鱼类个体的生长,然而,这些生长方程在表述同化和异化生理过程中还有一些理论上的偏差。因此,对于研究鱼类的年龄与生长,如何准确选择恰当的生长模型以用最准确的语言精确地描述鱼类的生长过程引起了很多研究人员的关注。

本研究采用耳石作为鉴定东方高原鳅的年龄材料,采用费鸿年等^[14]探讨过的一般的 von Bertalanffy 方程、Logistic 方程、Gompertz 方程及三次多项式方程这 4 种生长模型。对东方高原鳅生长过程进行拟合的结果表明,在样本量相同的情况下拟合的 4 种生长方程,依据陈毅峰等^[7]及张健东^[15]提出的剩余平方和(RSS)来选择回归方程并用相关系数 R^2 来衡量拟合度时,这 4 种生长方程均显示了较高的拟合度。但比较后发现 Logistic 生长方程的相关系数最小,且推导出后可发现 W_∞ 和 L_∞ 值偏小。本研究中 DCF 生长方程的 $R^2=0.9988$ 、 $RSS=7.303$,表现出相对较高的拟合度;并且已有多个报道表明多项式生长方程具有相对较高的拟合度,如陈毅峰等^[7]甚至建议直接用多项式生长方程来代替 von Bertalanffy 生长方程。但 DCF 生长方程只是作为一个纯粹的数学模拟方程,理论上没有渐进体长,并且发现其推导出的拐点也不具有生理学基础和任何生物学意义。从其生长指标来看(表 3),2~5 龄为东方高原鳅的生长平稳阶段,5 龄之后表现为生长衰退,这点与 VBGF 生长方程中得到的拐点基本吻合,而 GGF 方程可推导出的体长生长拐点明显偏小,其处于幼鱼生长阶段,无生物学意义;因此,最后选用 VBGF 方程来统计分析并描述东方高原鳅的生长规律。

3.3 年龄结构与生长参数

本研究中的东方高原鳅是由 3~9 龄个体组成的,经过比较得知,其中处于中间年龄段的 4~6 龄

为优势年龄组,而渔获物中 2 龄以下的个体数量较少,这极有可能与 2 龄以下个体规格较小而未能被渔具渔获有关。鱼类的生长是由其自身基因和所处的复杂环境共同作用的结果,因此,即使是同一物种的不同种群,也会因地理差异及所处环境的不同而表现出不同的种间差异^[16]。通过比较几种高原鳅属的生长参数 k 发现,东方高原鳅的 k 值(0.183)比分布在大渡河上游的麻尔柯河高原鳅(*T. markehenensis*)的 k 值(0.159)^[3]及分布在怒江的细尾高原鳅(*T. stenura*)的 k 值(0.0596)^[17]还有分布在塔里木河的叶尔羌高原鳅(*T. yarkandensis*)的 k 值(0.106)^[18]都大。很多研究均发现,分布在不同水域的同种或同属鱼类的生长参数 k 值有差异,原因除与不同的采样方法有关外,还与水域本身的生态环境、特有水体饵料种类和丰度以及种质资源差异等很多因素都有密切关系^[19-21],东方高原鳅的 k 值偏大可能与年楚河的入江湖泊中饵料相对丰富及水体中缺少饵料竞争者有关。

本研究发现,雅鲁藏布江中游的东方高原鳅的年龄结构相对合理,且 4~6 龄个体在渔获物中所占的比例达到 80.87%(表 1),说明在雅鲁藏布江水系愈发严重的渔业捕捞中,其承受的捕捞压力相对较小,这可能与高原鳅属鱼类与同水域栖息的裂腹鱼类等相比个体小,目前还未大量捕捞利用有关。然而由于其生长相对缓慢,生境较脆弱,一旦资源遭到破坏,种群恢复难度大。因此,在渔业捕捞、水电建设等人类活动中,对该鱼的保护与合理利用需要引起重视。

参 考 文 献

- [1] 邓中彝,余志堂,许蕴.汉江主要经济鱼类的年龄和生长:鱼类学论文集(第 1 辑)[M].北京:科学出版社,1981:97-112.
- [2] 杨鑫,霍斌,段友健,等.西藏雅鲁藏布江双须叶须鱼的年龄结构与生长特征[J].中国水产科学,2015,22(6):1085-1094.
- [3] 张雪飞,何春林,宋昭彬.大渡河上游麻尔柯河高原鳅的年龄与生长[J].动物学杂志,2010,45(4):11-20.
- [4] 殷名称.鱼类生态学[M].北京:中国农业出版社,1995.
- [5] 区又君,廖锐,李加儿,等.驼背鲈的年龄与生长特征[J].水产学报,2007,31(5):624-632.
- [6] 杨军山,陈毅峰,何德奎,等.错鄂裸鲤年轮与生长特征的探讨[J].水生生物学报,2002,26(4):378-387.
- [7] 陈毅峰,何德奎,曹文宣,等.色林错裸鲤的生长[J].动物学报,2002,45(5):667-676.

- [8] CAMPANA S E. Accuracy, precision and quality control in age determination, including a review of the use and abuse of age validation methods[J]. *J fish biology*, 2001, 59(2): 197-242.
- [9] PHELPS Q E, EDWARDS K R, WILLIS D W. Precision of five structures for estimating age of common carp[J]. *N Am J Fish Manage*, 2007, 27(1): 103-105.
- [10] 曾霖, 唐文乔. 两种无鳞高原鳅年龄鉴定方法探讨[J]. *动物学杂志*, 2010, 45(1): 94-103.
- [11] 陈毅峰, 何德奎, 段中华. 色林错裸鲤的年轮特征[J]. *动物学报*, 2002, 48(3): 384-392.
- [12] 黄松钱, 王也可, 赵婷, 等. 河南地区大鳞副泥鳅和泥鳅的年龄与生长[J]. *华中农业大学学报*, 2014, 33(5): 93-98.
- [13] IMAI C, SAKAI H, KATSURA K, et al. Growth model for the endangered cyprinid fish *Tribolodon nakamurai* based on otolith analyses[J]. *Fisheries Sci*, 2002, 68(4): 843-848.
- [14] 费鸿年, 张诗全. 水产资源学[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1990.
- [15] 张健东. 中华乌塘鳢的生长、生长模型和生活史类型[J]. *生态学报*, 2002, 22(6): 841-846.
- [16] 段鹏翔, 杨志, 唐会元, 等. 小江拟尖头鲌的年龄、生长、繁殖及其资源开发状况研究[J]. *水生生物学报*, 2015, 39(4): 695-704.
- [17] 邓华堂, 岳兴建, 陈大庆, 等. 怒江细尾高原鳅生长特征与食性[J]. *淡水渔业*, 2010, 40(1): 26-33.
- [18] 陈生熬, 姚娜, 王智超, 等. 塔里木河叶尔羌高原鳅摄食和生长的研究[J]. *上海海洋大学学报*, 2014, 23(3): 374-381.
- [19] CHEN Y, JACKSON D A, HARVEY H H. A comparison of von Bertalanffy and polynomial functions in modelling fish growth data[J]. *Can J Fish Aquat Sci*, 1992, 49(6): 1228-1235.
- [20] 辛建峰, 杨宇峰, 刘焕章. 长江上游长鳍吻鲈年龄与生长的研究[J]. *四川动物*, 2010, 39(3): 352-356.
- [21] 王美荣, 杨少荣, 刘飞, 等. 长江上游圆筒吻年龄与生长的研究[J]. *水生生物学报*, 2012, 36(2): 262-269.

Age structure and growth characteristics of *Triplophysa orientalis* in the middle of the Yarlung Tsangpo River, Tibet

LI Liangtao YANG Xuefen YANG Ruibin FAN Qixue WEI Kaijian JIANG Hao

*College of Fisheries, Huazhong Agricultural University/
Key Laboratory of Freshwater Animal Breeding Certificated
by Ministry of Agriculture/Freshwater Aquaculture Collaborative
Innovation Center of Hubei Province, Wuhan 430070, China*

Abstract The age structure and growth characteristics of *Triplophysa orientalis*, collected in the middle of the Yarlung Tsangpo River, were investigated by examining otolith. The results indicated that there were 7 age groups of the collected *T. orientalis*, and the 4-6-year-old accounted for about 80.87% of the total. According to the comparison of coefficient among linear function, exponential function, polynomial function and power function, the relationship between body length (L) and otolith radius (R_o) could be expressed as $L = 253.81R_o - 26.725$ ($n = 183, R^2 = 0.97, P < 0.001$) and indicated no remarkable dissimilarity between females and males. According to the results of t -test, there was no remarkable difference between measured body length and back-calculated body length in each age group between females and males ($t = 1.313, P > 0.05$). However, the relationship between body length (L) and body weight (W) could be expressed as $W = 0.00001L^{2.9797}$ for female and $W = 0.00002L^{2.8475}$ for male, and indicated remarkable difference between females and males. Von Bertalanffy growth equation was more accurate than others to describe the growth of *T. orientalis* and the formula was $L_t = 151.65 [1 - e^{-0.133(t + 0.01786)}]$ and $W_t = 31.496 [1 - e^{-0.133(t + 0.01786)}]^{2.9797}$ for female, $L_t = 125.19 [1 - e^{-0.177(t + 0.0695)}]$ and $W_t = 18.787 [1 - e^{-0.177(t + 0.0695)}]^{2.8475}$ for male. In addition, the growth inflexion points were 8.19 years for females and 5.83 years for males, and the corresponding standard lengths and body weights were 100.77 mm and 9.32 g for females, and 81.13 mm and 5.46 g for males, respectively.

Keywords *Triplophysa orientalis*; age composition; growth; the Yarlung Tsangpo River

(责任编辑:边书京)