

DOI: 10.3724/SP.J.1035.2010.00286

新疆乌伦古湖拟鲤生长退算材料和方法的比较研究

李 鸿^{1,2,3} 沈建忠^{1,3} 刘 宇^{1,3} 赵永晶^{1,3} 王炬光^{1,3}
马徐发^{1,3} 刘其根⁴ 刘 军⁵ 李周永⁵

(1. 华中农业大学水产学院, 武汉 430070; 2. 湖南省水产科学研究所, 长沙 410153; 3. 农业部淡水生物多样性保护和利用重点开放实验室, 武汉 430070; 4. 上海海洋大学生命科学学院, 上海 200090; 5. 新疆福海水产局, 福海 836400)

摘要: 研究以鳞片和微耳石为生长退算材料, 用 4 种常用的鱼类生长退算方法(Dahl-Lea、Regression、Fraser-Lee 和 BPH 方法)对新疆乌伦古湖拟鲤(*Rutilus rutilus* Linnaeus, 1758)的生长进行了退算, 比较分析了退算材料和方法对退算全长的影响, 以此确定适宜的生长退算材料和方法。结果显示, 无论采用哪种退算方法, 用微耳石退算拟鲤生长的结果均好于鳞片, 表现为退算全长更接近实测全长, 与实测体长之间的差异百分比更小。用鳞片退算时, Dahl-Lea 方法退算全长远小于实测全长, 整体差异百分比高达-26.0%, 与其他方法之间的差异也较大, 效果最差; Regression、Fraser-Lee 和 BPH 三种方法退算全长与实测全长之间的差异相近, 差异百分比分别为-6.7%、7.0%和 7.0%。用微耳石退算时, Dahl-Lea 方法退算全长最接近实测全长, 退算全长与实测全长之间的差异百分比最小, 总体仅为-1.9%, 效果最好; Fraser-Lee 和 BPH 方法各龄退算全长与实测全长之间的差异百分比相等, 在-1.4%— -3.2%之间, 总体均为-2.6%, 效果次之; Regression 方法与 Fraser-Lee 和 BPH 方法之间虽然无显著差异, 但退算全长与实测全长之间的差异百分比最大, 总体为-4.5%, 效果最差。

关键词: 拟鲤; 生长退算方法; 鳞片; 微耳石; 乌伦古湖

中图分类号: S911 文献标识码: A 文章编号: 1000-3207(2010)02-0286-07

鱼类的生长退算是研究鱼类生长的重要方法, 在鱼类的生长研究中得到了广泛应用。生长退算可用于估计难以观察到的某些年龄的体长、年轮或日轮鉴定的准确性判定, 以及鱼类个体生活史的建立和种群特征的比较研究^[1-3]等。鱼类生长退算材料有多种, 轮径与鱼体长之间的关系也表现出多种相关关系, 因此, 鱼类生长退算的方法也有多种。最常用的生长退算方法主要有 Dahl-Lea、Regression、Fraser-Lee、BPH (Body proportional hypothesis)和 SPH (Scale proportional hypothesis)^[4,5]。各公式的假设条件和含义如下:

(1) Dahl-Lea 公式: 假设 $\frac{L_1}{S_1} = \frac{L_2}{S_2} = \dots = \frac{L_n}{S_n} = \frac{L_c}{S_c}$,

则 $L_i = \frac{S_i}{S_c} \cdot L_c$, 其中 $L_1, L_2, \dots, L_n, L_c$ 分别为第 1、2、 \dots 、 n 、 c 龄样本的体长, $S_1, S_2, \dots, S_n, S_c$ 分别为第 1、2、 \dots 、 c 、 n 龄样本的测量轮径, L_i 为第 i 龄样本的退算体长, 下同。

(2) Regression 公式: 假设 $L_c = a + b \cdot S_c$, 则 $L_i = a + b \cdot S_i$ 。

(3) Fraser-Lee 公式: 假设 $\frac{L_2 - L_1}{S_2 - S_1} = \frac{L_3 - L_2}{S_3 - S_2} = \dots = \frac{L_n - L_{n-1}}{S_n - S_{n-1}}$, 则 $L_i = \frac{S_i}{S_c} \cdot (L_c - c) + c$ 。

(4) SPH (scale proportional) 公式: 假设 $f(L_i) = \frac{S_i}{S_c} \cdot f(L_c)$, 其中 $f(L)$ 是鱼体长 L 时平均鳞片

收稿日期: 2009-02-23; 修订日期: 2009-12-03

基金项目: 新疆福海县政府课题“乌伦古湖渔业资源调查与规划”; 国家科技支撑计划“湖泊优质高效增养殖技术研究示范”课题(2006BAD03B02)资助

作者简介: 李鸿(1982—), 男, 湖南邵阳人; 硕士研究生; 研究方向为鱼类生态学。E-mail: lihongfish@163.com

通讯作者: 沈建忠, E-mail: jzhsh@mail.hzau.edu.cn

半径, $f(L) = a + bL$, 则 $L_i = -\frac{a}{b} + \frac{S_i}{S_c} \cdot \left(L_c + \frac{a}{b} \right)$ 。

(5) BPH (body proportional) 公式: 假设 $\frac{g(S_1)}{L_1} = \frac{g(S_2)}{L_2} = \dots = \frac{g(S_n)}{L_n} = \frac{g(S_c)}{L_c}$, 其中 $g(S)$ 是鱼鳞片半径 S 时的鱼体平均长度, $g(S) = c + d \cdot S$, 则 $L_i = \frac{c + dS_i}{c + dS_c} \cdot L_c$ 。

各公式的含义和适用条件均有所不同, 渔业工作者对这些方法的使用观点也各不相同。Ricker^[6]推荐使用 Fraser-Lee 方法; Francis^[4]则认为 Fraser-Lee 没有明确的假设条件, 所以不推荐使用, 而推荐使用 BPH 和 SPH 方法; Pierce, *et al.*^[7]发现 Fraser-Lee、SPH 和 BPH 方法退算结果间没有差异; 而 Smedstad 和 Holm^[8]根据耳石退算鳕鱼体长的结果表明, BPH 比 SPH 更准确; Klumb, *et al.*^[9]比较了 Dahl-Lea 和 Fraser-Lee 方法, 发现 Fraser-Lee 方法比 Dahl-Lea 方法更精确。国内有关鱼类生长退算方法的研究报道较少, 也未见有关不同生长退算材料间比较研究的报道, 最常用的生长退算方法为 Dahl-Lea 和 Regression, 其次为 Fraser-Lee, 少数采用 BPH 方法, 而没有采用 SPH 方法的。

拟鲤 (*Rutilus rutilus* Linnaeus, 1758) 是广泛分布于欧洲各水域的鱼类, 在我国原仅分布于新疆额尔齐斯河流域, 后引入乌伦古湖, 是乌伦古湖渔获物主要种类之一^[10]。研究确定其适宜的生长退算材料和方法, 对准确评估其生长, 以及种群其他相关参数十分重要。在拟鲤的年龄鉴定和生长退算中使用较广的材料是鳞片, 也有用鳃盖骨和匙骨的, Horppila 和 Nyberg^[11]采用鳞片和匙骨, 比较了 BPH、Fraser-Lee 和 SPH 三种方法退算拟鲤体长之间的差异, 发现 BPH 方法与实测体长差异最小, 退算结果最可靠, Fraser-Lee 次之, SPH 差异最大, 效果最差。而我们发现微耳石比鳞片鉴定年龄更为精确^[12]。所以本文以鳞片和微耳石作为退算材料, 采用国外常用的 Fraser-Lee 和 BPH 法, 以及国内常用的 Dahl-Lea 和 Regression 法对新疆乌伦古湖拟鲤的全长进行了退算, 比较分析这两种材料和四种方法对其退算全长的影响, 以期确定适宜的生长退算材料和方法。

1 材料与方法

1.1 样本采集与处理

研究用拟鲤样本于 2007 年 1 月至 2008 年 5 月在新疆乌伦古湖采集。样本均在鲜活状态下进行全长、体重的测定, 全长精确到 1 mm, 体重精确到 0.1 g。解剖后肉眼直接观察性腺以确定性别。所有样本均采用鳞片和微耳石鉴定年龄。鳞片取自背鳍基部起点下方, 侧线鳞上方 2—3 行, 保证每尾鱼有 5—10 片鳞片作对照分析。鳞片经浸泡、清洗后, 夹于两载玻片内, 留待观测。中心部分轮纹较清晰的微耳石直用二甲苯透明观察, 较厚而看不清中心部分轮纹的微耳石, 于 1200# 的砂纸上加水打磨至能清晰见到核, 之后用中性树脂封片观测。

由于雌雄个体间全长与耳石半径之间关系存在差异^[13], 而雌性个体各龄样本较为齐全, 所以退算时全部采用雌性个体。用于生长退算的雌性个体共 207 尾, 退算各龄体长的样本数(表 1)。以各年轮刚形成时的全长为各龄实测全长, 其样本数(表 1)。

表 1 用于生长退算的雌性个体各龄样本数和实测体长样本数
Tab. 1 The number of female roach for growth back-calculation and growth observation at ages

年龄 Age (years)	用作退算的样本数 No. of samples for back-calculation	刚形成年轮的样本数 No. of samples with newly formed annulus
1	207	4
2	198	15
3	150	14
4	75	16
5	14	3
6	2	1

1.2 轮径的测量

在 Leica MZ75 体视解剖镜下观测鳞片和耳石上年轮, 并用 Leica DFC300FX 数码拍照系统对鳞片和微耳石拍照。然后采用软件 Fish BC 3.0.1 对拟鲤鳞片鳞径和微耳石半径进行测量。由于鳞片侧区轮纹最清晰, 测量时以侧区为轴。微耳石则选耳石中心到后区的最长直线为轴(图 1)。

1.3 数据处理与分析

采用的退算方法有 Dahl-Lea、Regression、Fraser-Lee、BPH。将各方法退算全长与刚形成年轮个体的实测全长进行比较, 以差异百分比为指标, 差异百分比的计算公式为: $(TL_i - TL_0) / TL_0 \times 100\%$ ^[14],

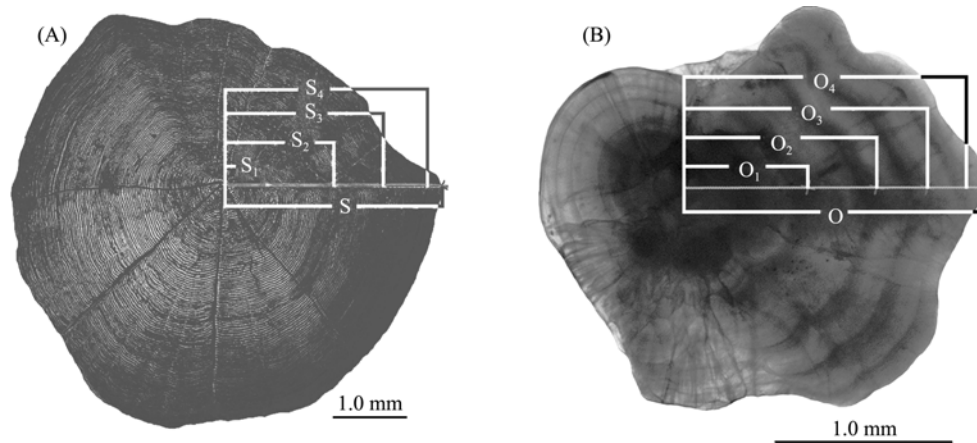


图 1 拟鲤鳞片(A) 和微耳石 (B) 轮径的测量

Fig. 1 Measurement of the annuli radii and annual increments on scales (A) and lapilli (B) of roach in Ulungur Lake

其中 TL_i 为各方法退算全长平均值, TL_0 为刚形成年轮个体的实测全长平均值。采用 Microsoft Excel 2003 制作差值百分比图, SPSS 13.0 软件对各方法退算全长进行配对 t -检验, Photoshop CS3 软件对图片进行剪切以及文字和测量轴的添加等处理。

2 结果

2.1 实测全长与鳞片鳞径和耳石轮径的关系

采用直线、幂函数、指数函数和二次函数拟合拟鲤全长(TL , mm)与鳞片鳞径(R , mm)和耳石轮径(O , mm)之间的关系, 结果显示直线和幂函数方程相关系数最高(表 2), 且这两种方程的相关系数非常接近, 所以均采用直线方程进行拟合。

2.2 两种材料和四种退算方法的退算体长与实测体长的比较

两种材料和四种退算方法所得拟鲤各龄退算全长与实测体长的结果(表 3), 其差异百分比(图 2)。

用鳞片退算时, Dahl-Lea 方法退算全长与实测全长之间的差异最大, 退算全长远小于实测全长(表

3), 差异百分比在第 1 龄高达-52.0%, 随着年龄的增大, 差异百分比逐渐减小(图 2), 但在第 6 龄仍达-12.0%, 平均值为-26.0%; Regression、Fraser-Lee 和 BPH 三种方法退算全长与实测全长之间的差异较接近, 总体差异百分比平均值分别为-6.7%、-7.0%和-7.0%, 退算全长在第 1 龄最接近实测全长, 差异百分比最小, 在 1%左右, 在 2—6 龄有所增加, 在-4.9%— -13.1%之间。用微耳石退算时, Dahl-Lea 方法退算全长最接近实测全长, 差异百分比最小, 在-1.1%— -3.6%之间, 平均值为-1.9%; Regression 方法退算全长与实测全长之间的差异最大, 差异百分比在-2.5%— -7.6%之间, 平均值为-4.5%; Fraser-Lee 和 BPH 方法退算全长与实测全长之间的差异均较小, 差异百分比在各年龄组都相等, 在-1.4%— -3.2%之间, 平均值均为-2.6%。比较而言, 微耳石四种退算方法的退算结果与实测全长之间的差异均较鳞片小, 且与鳞片的退算结果有显著或极显著差异(表 4), 因此微耳石用于拟鲤生长退算较鳞片为佳。

表 2 拟鲤实测全长与鳞片鳞径和耳石半径的关系

Tab. 2 The relationships between the radius of scales and lapilli and the observed total lengths of roach in Ulungur Lake

拟合方程 Model	鳞片 Scale		耳石 Otolith	
	关系式 Function	R^2	关系式 Function	R^2
直线 Linear model	$TL = 33.416S + 62.767$	0.89	$TL = 118.64O - 3.4309$	0.72
幂函数 Power model	$TL = 80.999S^{0.6411}$	0.91	$TL = 113.86O^{1.0428}$	0.75
指数函数 Exponential model	$TL = 87.15e^{0.2025S}$	0.85	$TL = 59.449e^{0.708O}$	0.71
二次函数 Quadratic model	$TL = -2.5616S^2 + 50.859S + 34.926$	0.86	$TL = -12.515O^2 + 156.04O - 30.831$	0.70

表 3 不同方法以及不同退算材料所得拟鲤的退算全长(标准差)

Tab. 3 Mean (S.D.) back-calculated total lengths of roach in Ulungur Lake by Dahl-Lea, Regression, Fraser-Lee and BPH methods using scale and lapilus

方法 Method	退算材料 Structure	退算全长 Back-calculated total length (mm)					
		TL_1	TL_2	TL_3	TL_4	TL_5	TL_6
Dahl-Lea	Scale	41.4(9.3)	81.3(16.3)	122.1(18.9)	150.1(23.0)	164.2(11.5)	192.3(7.3)
	Otolith	87.0(13.7)	123.0(16.2)	151.8(17.2)	173.5(17.7)	198.4(13.5)	214.6(32.0)
Regression	Scale	89.1(6.2)	115.3(11.5)	143.1(14.4)	166.8(20.7)	175.1(10.1)	206.3(8.1)
	Otolith	85.6(13.6)	121.8(15.4)	151.5(16.4)	171.1(15.1)	186.0(11.8)	203.2(8.1)
Fraser-Lee	Scale	89.0(6.1)	115.6(10.9)	144.1(14.5)	166.0(19.4)	177.4(10.3)	198.3(2.4)
	Otolith	85.3(14.0)	121.9(16.4)	151.2(17.4)	173.1(17.8)	198.0(13.7)	214.2(32.1)
BPH	Scale	89.1(7.0)	115.8(11.2)	144.3(14.5)	166.0(19.4)	177.5(10.6)	198.0(2.9)
	Otolith	85.3(14.0)	121.9(16.4)	151.2(17.4)	173.0(17.8)	198.0(13.7)	214.2(32.0)
实测全长 Observed total length		88.0(5.3)	125.9(8.4)	157.6(16.4)	175.5(18.7)	201.4(13.8)	218.5

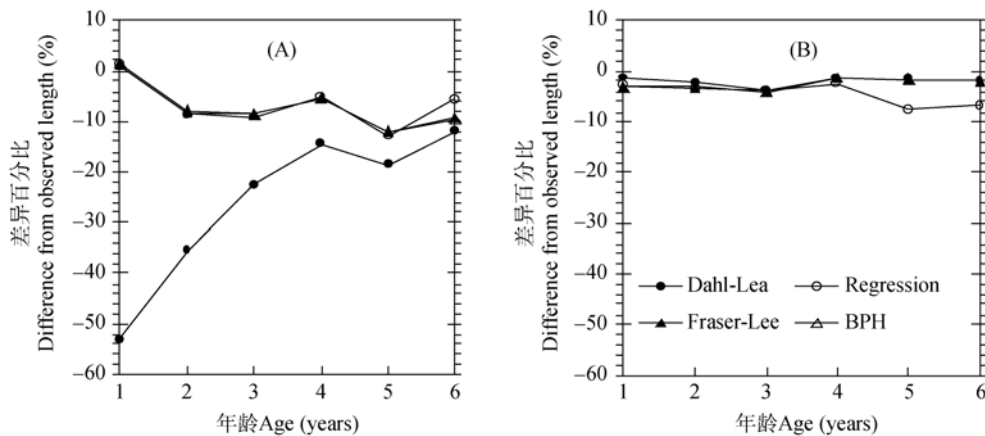


图 2 拟鲤用鳞片(A)和微耳石(B)及四种方法退算全长与实测全长差异百分比

Fig. 2 Percent differences of back-calculated total lengths of roach in Ulungur Lake given by Dahl-Lea, Regression, Fraser-Lee and BPH methods from observed total lengths using scales (A) and lapilli (B)

四种退算方法中, Dahl-Lea 与其他三种方法退算全长之间差异均较大, 无论用鳞片退算还是用微耳石退算, 整体差异均极显著; 用鳞片退算时, 除第 6 龄差异不显著外, 其他各龄均显著($P < 0.05$)或极显著($P < 0.01$); 以耳石退算时, 与 Regression 方法退算全长之间差异主要存在于第 1 和第 5 龄, 差异极显著; 而与 Fraser-Lee 和 BPH 方法退算全长之间差异较大, 除第 6 龄与 Fraser-Lee 方法之间差异不显著外, 其他各龄差异均显著或极显著(表 4)。Regression 与 Fraser-Lee 和 BPH 方法退算全长之间仅个别龄组(以鳞片为材料时第 3 龄组, 以耳石为材料时第 5 龄组)有显著差异, 整体差异则均不显著(表 4)。Fraser-Lee 和 BPH 方法退算全长之间也只有两个龄组(鳞片第 2、第 3 龄组, 耳石第 4 和第 5 龄组)有显著差异, 而整体差异均不显著(表 4)。

综合上述分析, 可以认为: 微耳石作生长退算

材料, 结果较鳞片为佳。如以鳞片为材料, Dahl-Lea 方法生长退算与实际差异最大, 不宜采用; Regression 与 Fraser-Lee 和 BPH 方法之间退算结果除个别或少数龄组外, 无显著差异, 均可采用。以耳石为材料, 则 Dahl-Lea 方法退算结果与实际最为接近, Fraser-Lee 和 BPH 方法次之, Regression 效果最差。

3 讨论

生长退算是鱼类生长研究的重要方法。一个经过确证的退算方法所得出的鱼类生长数据才是可靠的, 以此观测到的鱼类生长的差异才可认为不是由不合理的退算方法造成的, 而是由于不同的生态系统中鱼类生长的差异性 or 人类对其种群的管理和控制所造成的^[9]。通过比较分析不同钙化组织以及不同退算方法, 选择适宜的材料和方法, 才能提高鱼类种群生长参数估计的准确性。

表 4 各方法推算全长之间配对 *t*-检验Tab. 4 Results of paired *t*-tests of back-calculated lengths at ages obtained by Dahl-Lea, Regression, Fraser-Lee and BPH methods based on scales and lapilli of roach

推算方法 Back-calculation methods	年龄组 Age groups						整体 Total
	1	2	3	4	5	6	
DPM(S)-REG(S)	**	**	**	**	*	NS	**
DPM(S)-FRA(S)	**	**	**	**	**	NS	**
DPM(S)-BPH(S)	**	**	**	**	**	NS	**
REG(S)-FRA(S)	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS
REG(S)-BPH(S)	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS
FRA(S)-BPH(S)	NS	*	*	NS	NS	NS	NS
DPM(O)-REG(O)	**	NS	NS	NS	**	NS	**
DPM(O)-FRA(O)	**	**	**	**	**	NS	**
DPM(O)-BPH(O)	**	**	**	**	**	*	**
REG(O)-FRA(O)	NS	NS	NS	NS	**	NS	NS
REG(O)-BPH(O)	NS	NS	NS	NS	**	NS	NS
FRA(O)-BPH(O)	NS	NS	NS	*	*	NS	NS
DPM(S)-DPM(O)	**	**	**	**	*	*	**
DPM(S)-REG(O)	**	**	**	**	*	*	**
DPM(S)-FRA(O)	**	**	**	**	*	*	**
DPM(S)-BPH(O)	**	**	**	**	*	*	**
REG(S)-DPM(O)	*	**	**	NS	NS	NS	**
REG(S)-REG(O)	**	**	**	NS	NS	NS	**
REG(S)-FRA(O)	**	**	**	NS	NS	NS	**
REG(S)-BPH(O)	**	**	**	NS	NS	NS	**
FRA(S)-DPM(O)	*	**	**	NS	NS	NS	**
FRA(S)-REG(O)	**	**	**	NS	NS	NS	**
FRA(S)-FRA(O)	**	**	**	NS	NS	NS	**
FRA(S)-BPH(O)	**	**	**	NS	NS	NS	**
BPH(S)-DPM(O)	*	**	**	NS	NS	NS	**
BPH(S)-REG(O)	**	**	**	NS	NS	NS	*
BPH(S)-FRA(O)	**	**	**	NS	NS	NS	**
BPH(S)-BPH(O)	**	**	**	NS	NS	NS	**

Note: DPM, Dahl-Lea method; REG, Regression method; FRA, Fraser-Lee method; BPH, body proportional hypothesis method; S, scale; O, lapillus; **, $P < 0.01$; *, $0.01 < P < 0.05$; NS, $P > 0.05$

鱼类的生长退算是以鱼类的年龄鉴定为基础的, 而鱼类年龄鉴定材料有多种, 比如鳞片、耳石、鳃盖骨等, 不同年龄鉴定材料的生长规律及其对年龄解释的准确性和精确度均有所不同^[15], 因此, 鱼类的生长退算必将受到年龄鉴定材料的影响。苗志国在采用耳石和鳞片对中华间吸鳅的生长进行退算时发现, 两者所得退算体长结果之间存在显著性差异, 鳞片退算效果较好, 认为原因可能是用未磨耳石测量耳石半径时, 耳石核心的确定产生了偏差^[16]。而我们的观察发现, 相对鳞片而言, 拟鲤微耳石上年轮标志清晰可见, 容易判别, 是较好的年龄鉴定材

料^[12]。以微耳石退算时, 各方法退算全长平均值更接近实测全长平均值。虽然随着年龄的增加, 退算材料对退算结果的影响减小, 但微耳石和鳞片退算体长的整体差异显著。

鱼类的生长退算也受退算方法的影响。Klumb, *et al.*^[9]研究发现, 在用鳞片对蓝鳃太阳鱼和杂交太阳鱼进行退算时, Fraser-Lee 截距公式比 Dahl-Lea 比例公式误差更小, 更适合低龄个体生长退算, 但随鱼体增大, 截距的影响减弱, 高龄个体生长退算时两者均可用。而 Schramm, *et al.*^[17]的研究表明, 虽然用鳞片退算时, Dahl-Lea 方法不如 Fraser-Lee 方法

准确, 但用耳石退算时, Dahl-Lea 方法比 Fraser-Lee 方法更好。本研究发现, 用鳞片退算时, Dahl-Lea 方法退算全长平均值远小于实测全长平均值, 差异百分比比较大, 而用微耳石退算时, Dahl-Lea 方法退算全长平均值与实测全长平均值非常接近, 差异百分比也较小, 这与 Schramm, *et al.* 的观点是一致的。至于 Regression 方法, Carlander^[18]在 1981 年发表于 Fisheries 杂志上的文章中就提出应该弃用; Schramm, *et al.*^[17]的研究也显示, Regression 方法退算体长与实测体长之间差异很大, 因此也认为此方法不适合鱼类的生长退算。而本研究表明, Regression 方法与 Fraser-Lee 和 BPH 方法退算结果间无显著差异, 而且用鳞片退算时, Regression 方法退算全长与实测全长之间的差异最小。所以, 如用鳞片对拟鲤进行生长退算, Regression 方法与 Fraser-Lee 和 BPH 方法应该是一样可行的, 但用耳石退算时效果最差。由于 Fraser-Lee 和 BPH 方法基于同一回归方程, Johal, *et al.*^[14]的研究表明两者之间无显著差异。本研究结果也显示, 无论用鳞片还是微耳石退算, 虽然 Fraser-Lee 和 BPH 方法两者在个别年龄组中存在差异, 但整体差异并不显著, 退算全长平均值非常接近, 与实测全长之间的差异百分比几乎相等, 两者退算效果一致。

综上所述, 对乌伦古湖拟鲤的进行生长退算时, 用微耳石退算的效果好于用鳞片。如用鳞片退算时, 应避免采用 Dahl-Lea 方法, 而可采用 Regression、Fraser-Lee 和 BPH 三种方法; 用微耳石退算时, Dahl-Lea 方法效果最好, Fraser-Lee 和 BPH 方法次之, Regression 方法最差。

参考文献:

- [1] Jearld A J. Age determination [M]. In Nielsen L A, Johnson D L (Eds.), Fisheries techniques. Bethesda: American Fisheries Society. 1983, 301—324
- [2] Carlander K D. A history of scale age and growth studies of North American freshwater fish [M]. In Summerfelt F J, Hall G S (Eds.), Age and growth of fish. Ames: Iowa State University Press. 1987, 3—14
- [3] Busacker G P, Adelman I A, Goolish E M. Growth [M]. In Schreck C B, Moyle P B (Eds.), Methods for fish biology. Bethesda: American Fisheries Society. 1990, 363—377
- [4] Francis R I C C. Back-calculation of fish length: a critical review [J]. *Journal of Fish Biology*, 1990, **36**: 883—902
- [5] Shen J Z. Comparative studies on life-history traits of *Carassius auratus* in Honghu Lake and Dongting Lake. [D]. Thesis for Doctor of Science. Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan. 2000 [沈建忠. 洪湖和洞庭湖鲫生活史特征的比较研究. 博士学位论文, 中国科学院水生生物研究所, 武汉. 2000]
- [6] Ricker W E. Back-calculation of fish lengths based on proportionality between scale and length increments [J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1992, **49**: 1018—1026
- [7] Pierce C L, Rasmussen J B, Leggett W C. Back-calculation of fish length from scales: empirical comparison of proportional methods [J]. *Transactions of the American Fisheries Society*, 1996, **125**: 889—898
- [8] Smedstad O M, Holm J C. Validation of back-calculation formulae for cod otoliths [J]. *Journal of Fish Biology*, 1996, **49**: 973—985
- [9] Klumb R A, Bozek M A, Frie R V. Validation of Dahl-Lea and Fraser-Lee back-calculation models by using oxytetracycline-marked bluegills and bluegill × green sunfish hybrids [J]. *North American Journal of Fisheries Management*, 1999, **19**: 504—514
- [10] Zuo C P, Jiang Z Y, Li S Z. The biology of the *Rutilus rutilus* in Ulungur Lake [J]. *Freshwater Fisheries*. 2001, **31**(2): 53—57 [左昌培, 姜正炎, 李胜忠. 布伦托海湖拟鲤的生物学研究. 淡水渔业, 2001, **31**(2): 53—57]
- [11] Horppila J, Hyberg K. The validity of different methods in the back-calculation of the lengths of roach—a comparison between scales and cleithra [J]. *Journal of Fish Biology*, 1999, **54**: 489—498
- [12] Li H, Shen J Z, Liu Q G, *et al.* Comparative studies on four calcified structures for age determination of roach *Rutilus rutilus* in Ulungur Lake, Xinjiang Uigur Autonomous Region, China [J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2009, **18**(3): 295—301 [李鸿, 沈建忠, 刘其根, 等. 新疆乌伦古湖拟鲤 4 种钙化组织鉴定年龄的比较. 上海海洋大学学报, 2009, **18**(3): 295—301]
- [13] Li H, Shen J Z, Ma X F, *et al.* Growth characteristics of Roach *Rutilus rutilus* (L.) in Ulungur Lake in Xinjiang Uigur Autonomous Region [J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2009, **28**(2): 202—206 [李鸿, 沈建忠, 马徐发, 等. 新疆乌伦古湖拟鲤的生长特征. 华中农业大学学报, 2009, **28**(2): 202—206]
- [14] Johal M S, Esmaeili H R, Tandon K K. A comparison of back-calculated lengths of silver carp derived from bony structures [J]. *Journal of Fish Biology*, 2001, **59**: 1483—1493
- [15] Campana S E. Accuracy, precision and quality control in age determination, including a review of the use and abuse of age validation methods [J]. *Journal of Fish Biology*, 2001, **59**: 197—242
- [16] Miao Z G. Preliminary studies on the diet, age and growth of *Hemimyzon Sinensis* [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1999, **23**: 604—609 [苗志国. 中华间吸鳅食性及年龄生长的初

步研究. 水生生物学报, 1999, 23: 604—609]

- [17] Schramm H L, Malvestuto S P J and Hubert W A. Evaluation of procedures for back-calculation of lengths of large-mouth bass aged by otoliths [J]. *North American Journal of*

Fisheries Management, 1992, 12: 604—608

- [18] Carlander K D. Caution on the use of the regression method of back-calculating lengths from scale measurements [J]. *Fisheries*, 1981, 6(1): 2—4

COMPARISON OF FOUR METHODS USING SCALES AND LAPILLI FOR BACK-CALCULATION OF ROACH *RUTILUS RUTILUS* (LINNAEUS, 1758) IN ULUNGUR LAKE, XINJIANG UIGUR AUTONOMOUS REGION, CHINA

LI Hong^{1,2,3}, SHEN Jian-Zhong^{1,3}, LIU Yu^{1,3}, ZHAO Yong-Jing^{1,3}, WANG Ju-Guang^{1,3}, MA Xu-Fa^{1,3},
LIU Qi-Gen⁴, LIU Jun⁵ and LI Zhou-Yong⁵

(1. *The College of Fisheries, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070;*

2. *Fisheries Institute Science of Hunan Province, Changsha 410153;*

3. *Key Laboratory of Freshwater Biodiversity Conservation and Utilization, Ministry of Agriculture, Wuhan 430070;*

4. *College of Aqua-life Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 200090;*

5. *Aquatic Bureau of Fuhai of Xinjiang Uigur Autonomous Region, Fuhai 836400*)

Abstract: Back-calculation, which uses a set of measurements from the bony structures in the age determination and its current body length at one time to infer its length at an earlier time or times, is a very important tool in fisheries research and management. Because a lot of bony structures can be used in age determination, and the relationship between the chosen structure and the body length of fish also can be described with various linear or non-linear equations, several back-calculation models have been proposed. In order to expand confidence in estimation of growth parameters of a particular fish species, it is necessary to obtain a comparison of back-calculated lengths from different structures and models.

The present study dealt with the suitable calcified tissues and methods used for growth back-calculation of roach *Rutilus rutilus* (Linnaeus, 1758) from Ulungur Lake, the second largest lake of Xinjiang Uigur Autonomous Region, one of the tenth freshwater lakes in China. Two calcified tissues (scales and lapilli) and four common back-calculation methods (Dahl-Lea, Regression, Fraser-Lee and BPH) were utilized for growth back-calculation. The reliability was evaluated by comparing the back-calculated lengths at ages with observed lengths at the annuli formation. It was shown that the back-calculated lengths obtained by the lapilli were more reliable than those obtained by scales, with smaller differences from observed lengths. So, it was demonstrated that the lapilli were the better material both for age determination and back-calculation of roach. For scales, the Dahl-Lea method provided the most unreliable estimates of fish lengths at previous ages, with the largest differences from the observed length (−26.0%), it also had significant differences from the other three methods. The differences between the back-calculated lengths from the Regression, Fraser-Lee and BPH method and the observed lengths were very close, which was −6.7%, −7.0% and −7.0% respectively. It indicated that the three methods were equal for the back-calculation of roach. For lapilli, the Dahl-Lea was the best method for the back-calculation of roach with the smallest (−1.9%) difference from the observed lengths. The Regression method was the worst one with the largest difference from the observed lengths (−4.5%). The Fraser-Lee method provided the similar results with the BPH method and the differences from the observed lengths were both between −1.4% and −3.2%, averaged −2.6%. They were secondary for growth back-calculation of roach.

Key words: Roach *Rutilus rutilus* (Linnaeus, 1758); Growth back-calculation methods; Scale; Lapillus; Ulungur Lake