

亚东鲑的年龄与生长的研究

豪富华^{1,2} 陈毅峰^{1,2} 唐卫星^{1,2} 蔡斌³

(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 100039; 3. 西藏自治区农牧厅, 拉萨 850000)

摘要:首次报道了亚东鲑在青藏高原河流中的生长特点。对1999—2002年间在亚东河共采集的462尾亚东鲑(体长范围为93—364mm)进行了年龄与生长的研究。通过鳞片对其中302尾进行年龄鉴定并建立Von Bertalanffy生长方程: 雌性(♀) $L_t = 709.44[1 - e^{-0.1656(t - 0.0845)}]$ ($R^2 = 0.9993$, $n = 132$) 和 $W_t = 6017.46[1 - e^{-0.1656(t - 0.0845)}]^2.9724$ ($R^2 = 0.9845$, $n = 132$); 雄性(♂) $L_t = 797.82[1 - e^{-0.1428(t - 0.0058)}]$ ($R^2 = 0.9994$, $n = 170$) 和 $W_t = 8566.72[1 - e^{-0.1428(t - 0.0058)}]^2.9822$ ($R^2 = 0.9724$, $n = 170$)。亚东河中的亚东鲑群体由1—4龄组成, 种群年龄趋于低龄化, 雌雄性比为1:1.29, 生长指标为9.05—14.23(♀)和10.76—19.22(♂), 雌雄鱼的平均标准体长分别为(192.60 ± 69.92)mm和188.91 ± 53.18mm。根据Von Bertalanffy方程的估算表明雌雄两性在体长、体重生长上有显著的差异; 雄鱼比雌鱼有更大的渐近体长和渐近体重, 两性个体均未达到最大体长和体重; 雄鱼比雌鱼生长更快, 寿命更长。

关键词:亚东鲑; 年龄; 生长; 西藏; 亚东河

中图分类号: Q959.4 文献标识码: A 文章编号: 1000-3207(2007)05-0731-07

亚东鲑(*Salmo trutta fraio* Linnaeus) 又名河鲑, 是棕鳟(Brown trout)的一个亚种, 属于冷水性经济鱼类。棕鳟原产于欧洲、非洲北部和西亚一些地区^[1]。亚东鲑在我国仅见于西藏海拔约3000m的亚东河中, 为国外引进种类^[2]。自张春霖和王文滨在1962年报道了亚东鲑在亚东河的分布以后, 武云飞等^[3]和彭仕盛等^[4]进一步对其形态学特征进行了研究, 1992年被列入西藏自治区二级重点保护水生动物^[4]。吴万荣等曾对国内鲑鳟鱼类年龄生长做了相关的报道^[5-7], 国外鲑鳟鱼类相关的研究较多^[8-14]。近些年来, 亚东河的亚东鲑种群数量已经明显减少。我们自1999年开始对亚东鲑的生物学进行研究。本文以鳞片为材料鉴定亚东鲑的年龄, 并对其年龄组成进行了分析, 进而探讨了亚东鲑在亚东河中的生长情况, 以期亚东鲑的生物学及增殖提供基础资料和理论依据。

1 材料和方法

1.1 材料收集和处理 1999年8月至2002年12月份间共从西藏亚东河中采集标本462尾, 捕捞网具为10mm网目大小的撒网。野外进行常规生物学

测量, 包括全重(Total weight, TW) (精确至0.5g)、全长(total length, TL)、体长(Standard length, SL) (精确至0.1mm)等。对302尾标本进行了解剖并记录其雌雄和性腺发育时期, 性腺称重(精确至0.5g), 然后将其用10%的甲醛溶液固定。鳞片取自背鳍下方与侧线之间, 每尾取5—10枚较为完好的鳞片, 测量各年轮之间的距离, 以推算它们的生长状况。

将鳞片放入4%的NaOH溶液中浸泡4—24h, 然后擦去附在鳞片上的污物等, 经清水冲洗后, 拭干, 夹入两片载玻片中。在解剖镜下进行观察、拍照。材料的观察均在Leica-GZ6解剖镜和Leica-CD180摄像头下进行。鳞片上年轮的确认和计数采用常规方法^[15], 0⁺龄被列入1龄鱼, 1⁺龄被列入2龄鱼……, 依次类推。选取鳞焦到鳞片前区最长的部分作为鳞径的长度(scale radius, SR)。

1.2 统计方法 数据处理使用的公式(方程)及统计软件包括:

体长退算公式: 通过对所得数据进行拟合, 选取最佳的体长退算方程为 $\log_e L = a + b \log_e R$ 。L为实测体长(mm), R为实测鳞径(mm), a、b为常数。

收稿日期: 2005-06-16; 修订日期: 2006-11-03

基金项目: 中国科学院知识创新重要方向性项目(KSCX2-SW-125); 国家自然科学基金(471345); 西藏自治区资助

作者简介: 豪富华(1978—), 男, 河南沈丘人; 博士研究生; 主要从事鱼类生物学、生物入侵和适应性进化研究。E-mail: haofuhua@ihb.ac.cn

通讯作者: 陈毅峰, E-mail: chenyp@ihb.ac.cn

线性方程: $y = a + bx$ 。

生长指标^[15]: $\mu = (\log_e L_2 - \log_e L_1) \times L_1 / 0.4343$ 。
 L_1 和 L_2 表示相邻两个年龄的平均体长(mm)。

生长性能指数^[16]: $= 2\log_e L_\infty + \log_e k$ 。 L_∞ 为渐近体长(mm), k 表示生长系数。

体长与体重关系方程: $W = aL^b$ 。式中 W 为体重(g), L 为体长(mm), a 为常数, b 表示指数^[17, 18]。

Von Bertalanffy 生长方程: $L_t = L_\infty [1 - e^{-k(t-t_0)}]$ 和 $W_t = W_\infty [1 - e^{-k(t-t_0)}]^b$ 。其中 t 表示

年龄, L_t 和 W_t 分别表示 t 龄时的平均体长(mm)和体重(g), L_∞ 和 W_∞ 分别表示渐近体长和体重, k 表示生长系数, t_0 表示假设的理论生长起点年龄。

数据用 Excel 和 Statistic 6.0 软件进行处理。

2 结 果

2.1 年轮特征

鳞片的形态特征 亚东鲑鳞片属圆鳞, 细小而薄; 埋入皮肤囊内的部位为前区或者基区, 裸露于皮

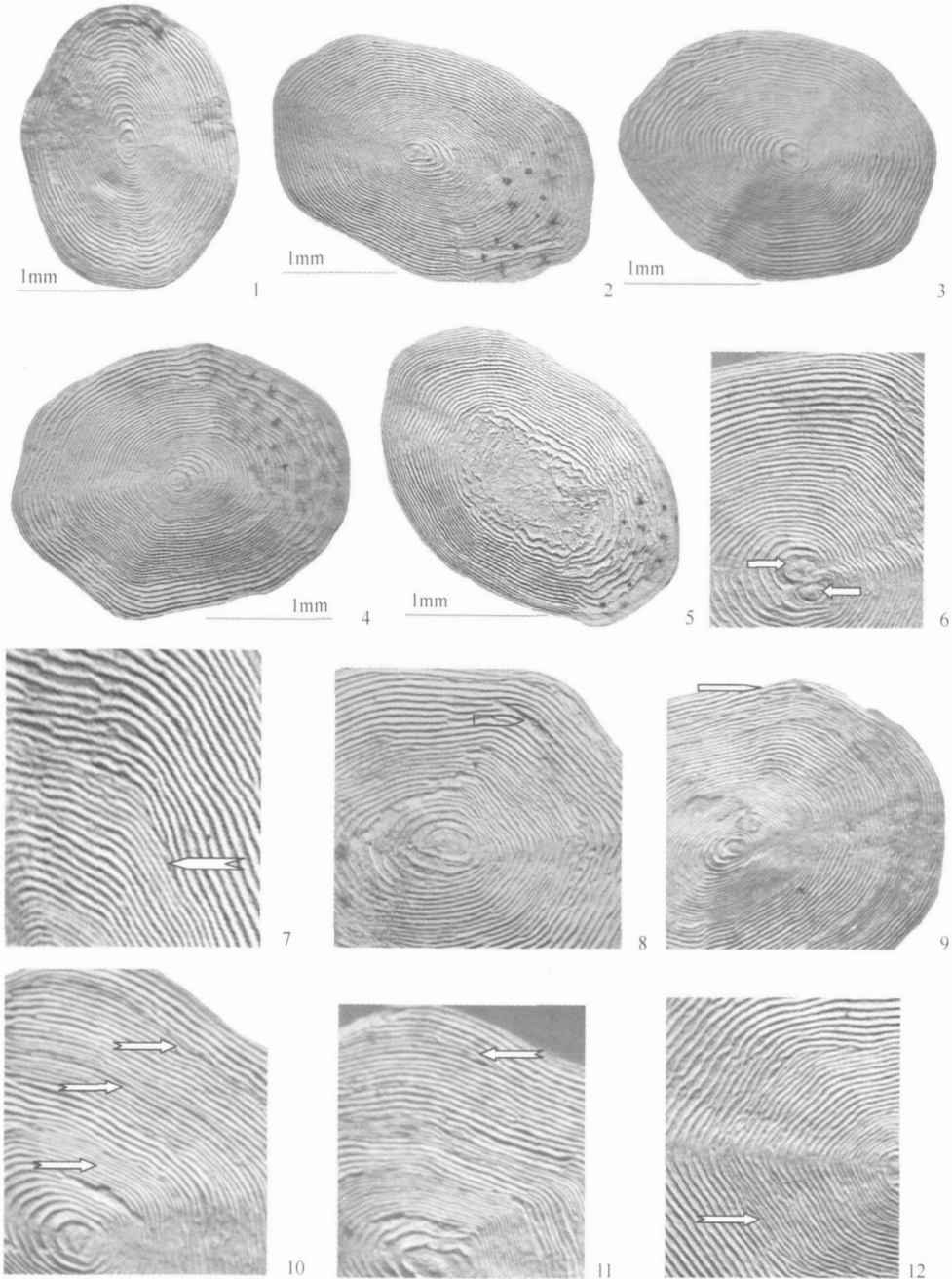


图 1 亚东鲑鳞片上的年轮特征

Fig. 1 Annuli characters of scales of *Salmo trutta fario* L. from Yadong River

肤之外的部位为后区或称顶区, 被上下鳞片覆盖的部分为侧区。鳞片分上下两层, 上为骨质层, 下为基片, 由纤维组织构成。亚东鲑身体不同部位鳞片的形状略有差异, 主要有圆形、长圆形、椭圆形、卵圆形等(图 1: 1-4); 鳞片没有辐射沟; 大多数鳞焦的位置接近鳞片中心, 少数鳞焦的位置偏于顶区或者基区, 个别鳞焦较大(图 1: 5), 也有双鳞焦的鳞片出现(图 1: 6); 鳞片上环片的排列方式均为同心圆状。

年轮 亚东鲑鳞片上的年轮主要表现为普通切割型(图 1: 7): 即次年的环片和上一年的环片在侧区呈切割, 有的在前侧区或后侧区, 亦有些切割呈现一连续的过程, 有时也伴随着其他的一些特征, 如环片断裂、稀疏, 甚至有 1—2 个环片消失等(图 1: 8-9)。此外, 鳞片上的年轮也有疏密切割型(图 1: 10-11)。

生殖轮 生殖轮通常出现在鳞片侧区, 有时前区和侧区同时连续出现(图 1: 12)。表现为环片断裂、缺损(或溶蚀)、扭曲和不规则排列, 这与一般生长年带的环片在侧区终止后所表现出来的切割是不同的。

2.2 种群结构和性比

亚东鲑渔获物的分布(462 尾)如图 2。在解剖并进行雌雄鉴别的 302 尾标本中, 雌鱼 132 尾, 雄鱼 170 尾, 雌雄性比为 1: 1.29($\chi^2=1.5203, p>0.05$), 差异不显著。多数雄鱼体长在 150—250mm 之间; 雌雄鱼的平均标准体长分别为 $192.60 \pm 69.92\text{mm}$

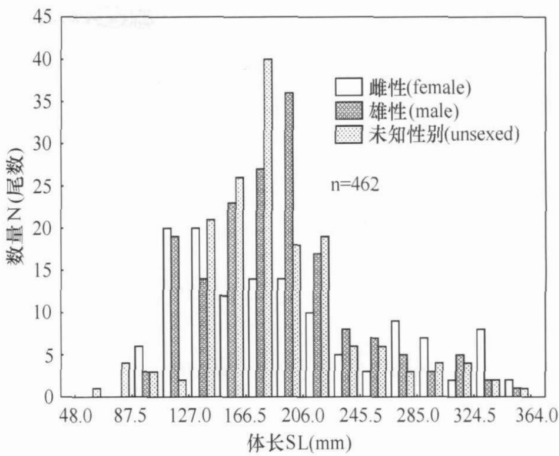


图2 1999—2002 年间亚东鲑渔获物体长分布直方图
Fig 2 SL frequency histogram of catches of *Salmo trutta fario* L. from Yadong River, 1999—2002

和 $188.91 \pm 53.18\text{mm}$ 。

渔获物中以 2 龄鱼所占的比例最大, 分别占雌雄鱼总数的 55% 和 71%; 年增量均为第一年最多, 第二年有所下降, 至第三年和第四年又有所增加。两者的生长指标分别是 $9.05-14.23$ (♀) 和 $10.76-19.22$ (♂) (表 1)。从生长指标来看, 1—4 龄的个体基本上都处于一个递增的阶段, 且雄鱼比雌鱼生长更快。

表 1 亚东鲑各年龄级的数量、平均体长、年增量以及生长指标

雄性 Male						雌性 Female				
年	数量	幅度(mm)	平均数±标准差	年增长 (mm)	生长指标	数	幅度(mm)	平均数(±标准差)	年增长(mm)	生长指标
龄	数量	Range of	Average value ±	Yearly	Growth	量	Range of	Average value ±	Yearly	Growth
Age	Number	SL	SD	increment	index	N	SL	SD	increment	index
1	12	100– 123	110.33±8.29	110.33		4	103– 116	109.75±6.70	109.75	
2	72	93– 274	157.53±34.59	47.20	9.05	121	104– 227	168.03±31.89	58.28	10.76
3	33	174– 338	243.79±44.46	86.26	15.84	37	174– 315	238.57±38.86	70.54	13.56
4	15	245– 362	314.13±31.14	70.34	14.23	8	270– 364	314.50±29.89	75.93	19.22

2.3 体长-鳞径关系和体长退算

对体长-鳞径相关数据进行不同方程的拟合比较(表 2), 表明在 4 种方程中, 直线方程的 R^2 最小, 而对数值的线性方程的 R^2 值最大, 且拟合的参数值均达到了显著水平。因此确定对数值的线性方程为最佳相关方程, 从而得到亚东鲑体长的退算方程为:

雌性: $\log_e L = 5.1424 + 0.7913 \log_e R$ ($n = 132, p < 0.001$) (1)

雄性: $\log_e L = 5.1247 + 0.7441 \log_e R$ ($n = 170,$

$p < 0.001$) (2)

根据体长退算方程(1)和(2), 同时结合测得各龄以往各年份的轮径资料, 得到相应年份的退算体长(表 3)。

2.4 体长-体重关系

根据渔获物的实测体长和体重, 经过点图分析可以看出亚东鲑的体重(g)和体长(mm)呈幂函数相关(图 3); 用 Keys 公式 $W = aL^b$ 进行拟合, 得到亚东鲑体重与体长的关系式:

表 2 不同数学公式拟合的亚东鲑体长与鳞径关系的参数值和适合度(R^2)

Tab. 2 Parameters and fitness of the different fitted functions between SL and SR of *Salmo trutta fario* L. from Yadong River

相关数学公式 Mathematics formula	雌性 Female			雄性 Male		
	参数值 Parameter value	p	R^2	参数值 Parameter value	p	R^2
直线方程(Linear equation)						
$L_i = a + bR_i$			0. 7258			0. 5717
参数 a (Parameter a)	25. 469	< 0. 001		41. 041	< 0. 001	
参数 b (Parameter b)	145. 16	0. 4100		127. 7	0. 2172	
df	131			169		
二项式方程(Binomial equation)						
$L_i = a + b_1 R_i + b_2 R_i^2$			0. 7261			0. 575
参数 a (Parameter a)	33. 616	0. 0154		11. 167	0. 0002	
参数 b_1 (Parameter b_1)	129. 47	< 0. 001		182. 88	< 0. 001	
参数 b_2 (Parameter b_2)	6. 6413	< 0. 001		- 23. 636	< 0. 001	
df	130			168		
三项式方程(Trinomial equation)						
$L_i = a + b_1 R_i + b_2 R_i^2 + b_3 R_i^3$			0. 7474			0. 5876
参数 a (Parameter a)	195. 55	0. 1524		154. 61	0. 6970	
参数 b_1 (Parameter b_1)	- 357. 01	0. 0031		- 244. 76	0. 0004	
参数 b_2 (Parameter b_2)	441. 22	0. 696		368. 19	0. 2636	
参数 b_3 (Parameter b_3)	- 118. 54	0. 6312		- 111. 9	0. 2893	
df	129			167		
对数值的方程(Logarithm equation)						
$\log_e L_i = a + b \log_e R_i$			0. 7736			0. 6443
参数 a (Parameter a)	5. 1424	< 0. 001		5. 1247	< 0. 001	
参数 b (Parameter b)	0. 7913	< 0. 001		0. 7441	< 0. 001	
df	131			169		

注: L_i 表示体长(Standard length, SL); R_i 表示鳞片半径(Scale radius, SR)

表 3 亚东鲑的退算体长

Tab. 3 The back-calculated SL of *Salmo trutta fario* L. from Yadong River

年龄 Age	雌鱼 Female				雄鱼 Male			
	实测平均体长 Average value (mm)	退算体长 Back-calculated SL(mm)	差值 Difference	标本数 N	实测平均数体长 Average value (mm)	退算体长 Back-calculated SL(mm)	差值 Difference	标本数 N
1	110. 33	100. 66	- 9. 67	12	109. 75	104. 24	- 5. 51	4
2	157. 53	196. 20	+ 38. 67	72	168. 03	199. 18	+ 31. 15	121
3	243. 79	268. 40	+ 24. 61	33	238. 57	272. 85	+ 34. 28	37
4	314. 13	339. 20	+ 25. 07	15	314. 50	346. 11	+ 31. 61	8

雌性: $W= 0. 0000202 L^{2. 9724}$ ($R^2= 0. 9845$, $n= 132$,
 $p < 0. 01$) (3)

雄性: $W= 0. 0000190 L^{2. 9822}$ ($R^2= 0. 9724$, $n= 170$,
 $p < 0. 01$) (4)

用 Chen 等^[19]提出的剩余平方和(Residual sum of squares, RSS)检验表明雌雄个体之间有显著的生

长差异($F= 0. 6144$, $p < 0. 01$)。(3)和(4)式中的幂指数 b 均接近于 3, 说明亚东鲑雌雄鱼都接近于均匀生长类型。

2. 5 生长参数和生长方程

根据推算的各年龄平均体长, 用最小二乘法^[15]分别求得渐近体长 L_{∞} 、生长系数 k 和理论起始生

长年龄 t_0 等生长参数(表 4), 按照 Von Bertalanffy 生长方程对亚东鲑的体长生长进行描述, 得出亚东鲑体长生长方程:

雌性: $L_t = 709.44[1 - e^{-0.1656(t - 0.0845)}]$ (5)

雄性: $L_t = 797.82[1 - e^{-0.1428(t - 0.0058)}]$ (6)

然后由体长和体重关系式求得渐近体重 W_∞ , 则体重的生长方程为:

雌性: $W_t = 6017.46[1 - e^{-0.1656(t - 0.0845)}]^{2.9724}$ (7)

雄性: $W_t = 8566.72[1 - e^{-0.1428(t - 0.0058)}]^{2.9822}$ (8)

对(5)、(6)和(7)、(8)进行检验, 表明雌雄两性个体在体长生长($F = 0.9807, p < 0.01$)和体重生长($F = 0.8764, p < 0.01$)方面也存在显著差异。雄鱼比雌鱼有更大的渐近体长和渐近体重, 两性个体均远未达到最大体长和体重; 雄鱼比雌鱼生长更快, 寿命更长。

表 4 不同性别亚东鲑 Von Bertalanffy 生长参数

Tab. 4 Von Bertalanffy growth parameters for each sex of *Salmo trutta fario* L. from Yadong River

参数 Parameter	L_∞ (mm)	k	t_0	R^2	n
雌性 Female	709.44	4.1656	4.0845	4.9945	132
雄性 Male	797.82	0.1428	0.0058	0.9950	170

对 Von Bertalanffy 生长方程求一阶导数(生长速度)和二阶导数(生长加速度), 得到亚东鲑体长、体重生长速度和生长加速度的相关方程:

雌性: $dL/dt = 117.55 e^{-0.1656(t - 0.0845)}$

$d^2L/dt^2 = -19.47 e^{-0.1656(t - 0.0845)}$

$dW/dt = 2961.97 e^{-0.1656(t - 0.0845)} (1 - e^{-0.1656(t - 0.0845)})^{1.9724}$

$d^2W/dt^2 = 490.50 e^{-0.1656(t - 0.0845)} (1 - e^{-0.1656(t - 0.0845)})^{0.9724} (2.9724 e^{-0.1656(t - 0.0845)} - 1)$

雄性: $dL/dt = 113.92 e^{-0.1428(t - 0.0058)}$

$d^2L/dt^2 = -16.27 e^{-0.1428(t - 0.0058)}$

$dW/dt = 3468.21 e^{-0.1428(t - 0.0058)}$

$(1 - e^{-0.1428(t - 0.0058)})^{1.9822}$

$d^2W/dt^2 = 520.96 e^{-0.1428(t - 0.0058)} (1 - e^{-0.1428(t - 0.0058)})^{0.9822} (2.9822 e^{-0.1428(t - 0.0058)} - 1)$

2. 6 亚东鲑产卵类型、初始性成熟及繁殖力

亚东鲑在秋季产卵, 卵较大, 为沉性卵, 卵埋在砂砾下孵化, 孵化期长达 3.5—4 个月。在调查中发现最小性成熟个体, 雄鱼体重为 50g, 体长为 168mm, 年龄为 2 龄; 雌鱼体重为 261g, 体长为 242mm, 年龄为 3 龄。通过对 12 尾雌鱼怀卵量进行测定, 亚东鲑的绝对繁殖力为 312—1501 粒, 平均(982±451.3)

表 5 性成熟雌鱼的性腺重、卵径、绝对繁殖力和相对繁殖力

Tab. 5 Gland weight, egg diameters, absolute fecundity and relative fecundity of *Salmo trutta fario* L. from Yadong River

体重(g) Total Weight	261	266	282	321.5	488	506.5	544.5	549	549	592	636	676.5	平均值 Average±S.D.
性腺重(g) Gland Weight	40	52.5	45	52.5	122	99	84	110.5	103	149	132.5	110.5	91.7±36.6
卵径*(mm) Egg Diameter	3.3	3.8	3.6	3.2	3.8	4.0	4.2	4.4	4.3	4.4	4.5	4.4	4.0±0.45
绝对繁殖力(粒) Absolute Fecundity	312	483	506	472	920	1088	1012	1246	1132	1655	1457	1501	982±451.3
相对繁殖力 Relative Fecundity	1.20	1.82	1.79	1.47	1.89	2.15	1.86	2.27	2.06	2.80	2.30	2.22	1.99±0.42

* 表示随机选择 20 粒卵所测量的平均值 Asterisk indicates the average value of the diameters of twenty eggs selected randomly

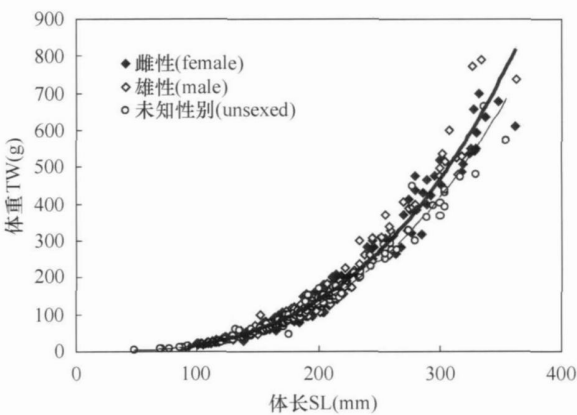


图 3 亚东鲑体长-体重生长曲线

Fig. 3 Growth curve between SL and TW of *Salmo trutta fario* L. from Yadong River

粒,绝对繁殖力和性腺重随体重的增加而增加;卵径为 3.3—4.5mm,平均(4.0 ± 0.45)mm;相对繁殖力为 1.20—2.80,平均 1.99 ± 0.42 ,较低(表 5)。

3 讨 论

鳞片上环片的排列方式实际上是鱼类对外界环境变化和物种生活史特征的综合表现。亚东鲑年轮主要表现为普通切割型,通常在前区和侧区年轮结构比较清晰,应作为年龄判断时的依据。由于亚东鲑属于秋冬产卵,春天孵化;其仔鱼上浮时有较为充足的饵料提供保障,能够快速生长,因此在亚东鲑鳞片上并没有显示出副轮和幼轮的标志。而在其繁殖阶段正是食物相对缺乏的时期,繁殖活动等生理变化影响鱼体生长而形成生殖轮。生殖轮在 2 龄以上的鱼的鳞片上较为常见,这与其性成熟年龄为 2—3 龄相吻合。有时生殖轮刚好与年轮相重叠,影响对年轮的正确判断和轮径的准确测量,需要仔细辨别。

亚东鲑渔获物种群由 1 到 4 龄组成,大部分个体都处在 150—250mm 之间。1 龄鱼的个体在渔获物中所占的比例比较小,表明其资源受到影响,补充群体数量不足^[15]。从渔获物样本来看,亚东鲑雄鱼的初始性成熟年龄为 2—3 龄,雌鱼的初始性成熟年龄为 3—4 龄,雌鱼平均性成熟年龄比雄鱼大。棕鲢是一个广泛分布的物种^[20],不同的地理种群在生活史方面显示出较大的变化^[21]。亚东鲑在 3 龄时的平均体长雌性为 243.79mm,雄性为 238.57mm。这与 Thomas^[22] 和 Bembo^[14] 分别在 Welsh 和 Usk 河的报道不一致。Bembo 的研究结果还显示出在主河流与支流之间的个体体长也有差异。这可能是与所处的环境、水域中饵料的丰富程度以及与其他鱼类的竞争有关。亚东鲑生长在海拔 3000 米左右的亚东河,由于缺少其他凶猛鱼类,亚东鲑的饵料资源相对丰富,这种环境可能对亚东鲑的生长更为有利。Olsen 和 Villemstad^[23] 研究发现有竞争对手花足杜父鱼 (*Cottus poecilopus*) 存在时棕鲢的存活及密度似乎是降低的。在英国,注入 Windermere 河流上游中生活的棕鲢能够性成熟和繁殖,但体重很少超过 50g,而在一些湖泊中,棕鲢个体能达 5kg,显示了棕鲢生长有很大的可塑性^[24]。与青藏高原的其他鱼类相比^[25,26],亚东鲑具有性成熟年龄较早和生长速度快的特点,这样就能较快地建立种群,是发展该类渔业成功的重要因素之一。

亚东鲑是西藏重要的鱼类资源,目前种群数量日趋减少,年龄结构趋于低龄化,其主要原因是由于

捕捞压力过大。由于亚东鲑在秋冬季产卵繁殖,建议秋冬季(11—3月)作为亚东鲑的禁渔期,以减少捕捞压力。同时,为了保护和合理利用亚东鲑鱼类资源,提高渔获量,应加强渔业管理,严禁不合理的渔具渔法,并开展人工繁殖放流。

参考文献:

- [1] MacCrimmon H R, Marshall T L, Gotos B L. World distribution of brown trout, *Salmo trutta*: further observations [J]. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 1970, **27**: 811—818
- [2] Zhang C L, Wang W B. A preliminary report on the fishes from Tibet [J]. *Acta Zoologica Sinica*, 1962, **14**(4): 529—536[张春霖, 王文滨. 西藏鱼类初篇. 动物学报, 1962, **14**(4): 529—536]
- [3] Wu Y F, Wu C Z. The fishes of the Qinghai-Xizang plateau [M]. Siduan: Sichuan Publishing House of Science and Technology. 1992, 128—130[武云飞, 吴翠珍. 青藏高原鱼类. 四川科学技术出版社. 1992, 128—130]
- [4] Peng S S. Fishes and fish resources in Xizang, China [M]. Beijing: Agricultural press of China. 1995, 32—33[彭仕盛. 西藏鱼类及其资源. 北京: 中国农业出版社. 1995, 32—33]
- [5] Wu W R. On the age and growth of *Hucho bleekeri* Kimura [J]. *J Fish China*, 1987, **11**(1): 37—44[吴万荣. 布氏哲罗鲑年龄与生长的初步研究. 水产学报, 1987, **11**(1): 37—44]
- [6] Dong C Z, Xia Z Z, Jiang Z F, et al. Studies on the population ecological characteristic and resource preservation of *Brachymystax lenok* (Pallas) from Huma River [J]. *Chinese Journal of Fisheries*, 1997, **10**: 77—81[董崇智, 夏重志, 姜作发, 等. 呼玛河细鳞鱼种群生态学特征及资源保护. 水产学杂志, 1997, **10**: 77—81]
- [7] Huang Q, Sun Z H. Studies on age, growth, feeding habits and reproduction of the *Salvelinus malma* in the upper reaches of the Yalu River [J]. *Journal of Fisheries of China*, 1998, **22**(1): 1—8[黄权, 孙兆和. 鸭绿江上游花羔红点鲑的年龄、生长、食性和繁殖的研究. 水产学报, 1998, **22**(1): 1—8]
- [8] Milner N J, Gee A S, Hemsworth R J. Recruitment and turnover of populations of brown trout, *Salmo trutta*, in the upper River Wye, Wales [J]. *Journal of Fish Biology*, 1979, **15**: 211—222
- [9] Elliott J M. The growth rate of brown trout *Salmo trutta* L. fed on maximum rations [J]. *Journal of Animal Ecology*, 1975, **44**: 805—821
- [10] Elliott J M. Growth, size, biomass and production in contrasting populations of trout *Salmo trutta* in a Lake District stream [J]. *Journal of Animal Ecology*, 1988, **57**: 49—60
- [11] Elliott J M. The natural regulation of numbers and growth in contrasting populations of brown trout, *Salmo trutta*, in two Lake District streams [J]. *Freshwater Biology*, 1989, **21**: 7—19
- [12] Hunt P C, Jones J W. Trout in Llyn Alaw, North Wales II Growth [J]. *Journal of Fish Biology*, 1972, **4**: 409—424
- [13] Maisse G, Baglini re J L. The biology of brown trout, *Salmo trutta* L., in the River Scorff, Brittany: a synthesis of studies from 1973 to 1984 [J]. *Aquaculture and Fisheries Management*, 1990, **21**: 95—106
- [14] Bembo D G, Beverton R J H, Weightman A J, et al. Distribution,

- growth and movement of River Usk brown trout (*Salmo trutta*) [J]. *Journal of Fish Biology*, 1993, **43**: 45—52
- [15] Yin M C. Fish ecology [M]. Beijing: Agricultural Press of China. 1995, 14—62 [殷名称. 鱼类生态学. 中国农业出版社. 1995, 14—62]
- [16] Munro J L, Pauly D. A simple method for comparing growth of fishes and invertebrates [J]. *Ichthyology*, 1983, **1**(1): 5—6
- [17] Ricker W E. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations [M]. Bulletin of the Fisheries Research Board of Canada, 1975. (Fei H N, uan W W translated in 1984) Beijing: Science Press. 1984, 141—157 [W E 里克著, 费鸿年, 袁蔚文译. 鱼类种群生物统计量的计算和解析. 北京: 科学出版社. 1984, 141—157]
- [18] Hua Y Y, Hu C L. The biological connotation and the application of the weight-length correlation formula ($W = bL^a$) for fingerlings [C]. Transactions of the ichthyological society (No. 1), 1981, 125—132 [华元渝, 胡传林. 鱼种重量与长度相关公式($W = bL^a$)的生物学意义及其运用. 鱼类学论文集(第一辑), 1981, 125—132]
- [19] Chen Y, Jackson D A, Harvey H H. A comparison of Von Bertalanffy and polynomial functions in molding fish growth data [J]. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 1992, **49**: 1228—1235
- [20] Elliott J M. Quantitative ecology and the Brown trout [M]. Oxford: Oxford University Press. 1994
- [21] Villetstad L A, L'Abbe-Lund J H, Sæviig H. Dimensionless numbers and life history variation in Brown trout [J]. *Evolutionary Ecology*, 1993, **7**: 207—218
- [22] Thomas J D. The food and growth of brown trout (*Salmo trutta* L.) and its feeding relationships with the salmon parr (*Salmo trutta* L.) and the eel (*Anguilla anguilla* L.) in the River Teifi, West Wales [J]. *Journal of Animal Ecology*, 1962, **31**: 175—205
- [23] Olsen E M, Villetstad L A. Estimates of survival of stream-dwelling brown trout using mark-recaptures [J]. *Journal of Fish Biology*, 2001a, **59**: 1622—1637
- [24] Craig J J. Aging in fish [J]. *Can. J. Zool.*, 1985, **63**: 1—8
- [25] Chen Y F, He D K, Cao W X, et al. Growth of Selincuo Schizothoracini (*Gymnocypris selincuoensis*) in Selincuo Lake, Tibetan Plateau [J]. *Acta Zoologica Sinica*, 2002, **48**(5): 667—676 [陈毅峰, 何德奎, 曹文宣, 等. 色林错裸鲤的生长. 动物学报, 2002, **48**(5): 667—676]
- [26] Chen Y F, He D K, Cai B. Status and sustainable utilization of fishery resources of Selincuo Lake, Northern Tibet [J]. *Biodiversity Science*, 2001, **9**(1): 85—89 [陈毅峰, 何德奎, 蔡斌. 色林错渔业生产的现状和可持续利用的对策. 生物多样性, 2001, **9**(1): 85—89]

AGE AND GROWTH OF *SALMO TRUTTA FARIO* L. FROM YADONG RIVER, TIBET

HAO Fu-Hua^{1,2}, CHEN Yi-Feng^{1,2}, TANG Wei-Xing^{1,2} and CAI Bin³

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

2 The Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039;

3 Agriculture and animal husbandry Department of Xizang Autonomous Region, Lasa 850000)

Abstract: A total of 462 specimens of *Salmo trutta fario* L. were collected from Yadong River, Tibet, during the period from 1999 to 2002. The population structure and growth characteristics of *Salmo trutta fario* L. were studied in the present paper. Age of 302 individuals was determined with scales. The Von Bertalanffy growth model was fitted to mean lengths of estimated ages of individual fish and estimated growth parameters, female(♀) $L_t = 709.44[1 - e^{-0.1636(t - 0.0845)}]$ ($R^2 = 0.9993$, $n = 132$) and $W_t = 6017.46[1 - e^{-0.1636(t - 0.0845)}]^2$ ($R^2 = 0.9845$, $n = 132$); male(♂) $L_t = 797.82[1 - e^{-0.1428(t - 0.0038)}]$ ($R^2 = 0.9994$, $n = 170$) and $W_t = 8566.72[1 - e^{-0.1428(t - 0.0038)}]^2$ ($R^2 = 0.9724$, $n = 170$). Sex ratio of female and male was 1: 1.29. Growth index was 9.05—14.23 (♀) and 10.76—19.22 (♂); the mean standard length was 192.60 ± 69.92 mm (♀) and 188.91 ± 53.18 mm (♂). The results showed that the growth rate was significantly different between sexes ($p < 0.01$); male fish appeared to grow at a faster rate and had longer life-spans than females.

Key words: *Salmo trutta fario* L.; Age; Growth; Tibet; Yadong River