DOI:10.15928/j.1674-3075.202103020054

怒江上游热裸裂尻鱼年龄结构与生长特性

陈一竹[1,2],朱峰跃[2],刘明典[2],段辛斌[2],刘绍平[2],陈大庆[2],汪登强[2]

(1.上海海洋大学水产科学国家级实验教学示范中心,上海 201306;
2.中国水产科学研究院长江水产研究所,农业农村部长江中上游渔业资源环境科学观测实验站,湖北 武汉 430223)

摘要:热裸裂尻鱼(*Schizopygopsis thermalis*)是怒江上游鱼类的优势种之一,为了更好地保护裂腹鱼类,分析其年龄结构和生长特征对种群资源现状及保护有重要意义。2019年3-5月和9-11月,在西藏自治区怒江干流八宿至那曲江段设置7个采样点,共计采集热裸裂尻鱼245尾,以微耳石为年龄鉴定材料,初步探讨怒江上游热裸裂尻鱼年龄结构与生长特征。结果显示,所采集热裸裂尻鱼体长为3.1~35.5 cm,体重为1.28~504.42 g。体长(L)与微耳石半径(r)长轴呈正相关,其表达式为:L=22.537r-5.469(R^2=0.9518,n=229)。体长(L)与体重(W)表达式为:$W=2\times10^{-5}L^{2.8833}$($R^2$=0.9915,$n$=229),生长系数$k$值为0.099,生长指标$\varphi$为4.22,生长指数$b$为2.8833,拐点年龄$t_i$为11.62龄,拐点体长$L_i$为26.74 cm,拐点体重$W_i$为260.4 g,表明热裸裂尻鱼为异速缓慢生长类型。样本中共发现16个年龄组(2~17龄),各采样点间年龄结构存在差异,高海拔地区热裸裂尻鱼种群年龄范围和个体平均年龄均大于低海拔地区。

关键词:热裸裂尻鱼;耳石;年龄结构;生长特征;怒江

中图分类号:S931 **文献标志码**:A **文章编号**:1674-3075(2022)04-0111-08

裂腹鱼亚科鱼类是青藏高原三大鱼类类群之一,已经适应高原地区江河和湖泊的急流和静水水体生活,与平原地区淡水鱼类相比,裂腹鱼类具有生长缓慢、性成熟晚等特点(武云飞和吴翠珍,1992);这些生物学特性导致其种群资源十分脆弱,一旦遭到破坏,将很难恢复(代应贵和肖海,2011)。为了更好地保护裂腹鱼类资源,确定其种群的年龄结构和生长特征是重要的前置研究之一(Campana & Thorrold,2001)。目前已有学者利用耳石、脊椎骨等年龄鉴定材料对分布于高原地区的裂腹鱼类年龄和生长进行研究,如雅鲁藏布江拉萨裸裂尻鱼(*Schizopygopsis younghusbandi*)(Chen et al,2009)及其他3种裂腹鱼(陈毅峰等,2002;陈大庆等,2006)、青海湖裸鲤(*Gymnocypris przewalskii*)(李飞等,2016)、色林错裸鲤(*G. selincuoensis*)(Liu et al,2016)、拉萨河双须叶须鱼(*Ptychobarbus dipogon*)(Duan et al,2016)等,为裂腹鱼类的资源保护提供了一些基础数据。

热裸裂尻鱼(*Schizopygopsis thermalis*)别名温泉裸裂尻鱼,隶属鲤科(Cyprinidae)、裂腹鱼亚科(Schizothoracinae),主要分布在唐古拉山及怒江水系上游干支流及湖泊等高海拔内陆水域(武云飞和吴翠珍,1992),是怒江上游鱼类的优势种之一,具有重要渔业利用价值,在怒江上游水生生态系统中具有重要地位(西藏自治区水产局,1995),而有关热裸裂尻鱼年龄与生长的研究还未见报道。随着近年来西藏地区经济的快速发展,水能资源开发和水利设施不断兴建,人类活动强度逐年增大,随之带来的是过度捕捞、外来物种入侵及环境污染等问题,给当地渔业资源造成了显著的不利影响(杨汉运等,2010;范丽卿等,2016)。为了充分掌握当前形势下怒江上游热裸裂尻鱼种群的年龄与生长现状,本研究在怒江西藏段开展采样调查,以耳石作为年龄鉴定材料,分析其种群年龄结构和生长特征,旨在为热裸裂尻鱼的物种资源管理及保护提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 样本采集

于2019年3-5月和9-11月在怒江干流八宿至那曲江段设置7个采样点,其中比如县、那曲县目前均已建设大坝,故在大坝上下游分别设置采样点,采样点位置见图1。各采样点经纬度、海拔高度、样本量等信息见表1。每个采样点均选用三层流刺网(内网目5.5 cm,外网目18 cm)、特制多网目复合刺网(Prchalová et al, 2009)、地笼(网目1 cm)等进行同步捕捞,共采集热裸裂尻鱼249尾。

收稿日期:2021-03-02 **修回日期**:2022-05-09

基金项目:农业农村部财政专项"西藏水域渔业资源与环境调查";中国水产科学研究院创新团队项目(2020TD09)。

作者简介:陈一竹,1994年生,男,硕士研究生,研究方向为渔业资源与环境。E-mail: 18738573160@163.com

通信作者:汪登强,1973年生,男,博士,研究员,主要从事鱼类保护研究。E-mail: wdq@yfi.ac.cn

图 1　怒江上游热裸裂尻鱼采样点设置

Fig.1　Location of *S. thermalis* sampling sites in the upper Nujiang River

表 1　热裸裂尻鱼采样点信息

Tab.1　Information on *S. thermalis* sampling sites

序号	采样地点	地理坐标		海拔/m	样本量/尾
1	八宿	28°26′55″N	98°27′37″E	2661	44
2	洛隆	30°05′59N	97°14′09″E	3103	24
3	边坝	30°48′40″N	96°19′25″E	3605	22
4	比如坝下	31°29′10″N	93°46′36″E	3839	23
5	比如坝上	31°29′36″N	93°45′06″E	3841	35
6	那曲坝下	31°27′45″N	93°24′45″E	4289	53
7	那曲坝上	31°19′33″N	91°47′13″E	4472	48

1.2　样本处理

标本采集后，现场采用电子数显游标卡尺（ASIMETO307）测量样本体长，精确到 0.1 mm；采用电子天平（FZ-50002）测量样本体重，精确到 0.01 g。解剖后用镊子挑取微耳石，自然晾干保存后带回实验室用于年龄鉴定。

首先将微耳石洗净晾干后用中性树脂固定于载玻片上，放置 24 h 晾干，然后使用 1 000 号砂纸初步打磨，再使用 3 000 号砂纸细磨，最后使用 5 000 号砂纸进行抛光处理，直至在 Olympus 显微镜下微耳石原基与轮纹清晰可见；将微耳石翻面，然后再次重复上述工作，最后使用 MG514 成像探头对耳石磨片进行图像采集（精度 0.01 μm）（刘飞等，2019）。耳石上具有生长中心，称为中心核，也叫耳石原基，其年轮由明暗相间的轮纹构成，一个明暗相间的轮纹组成一年的生长层，记录年龄时以核心区外清晰可辨的第一轮暗纹边缘为一龄开始向外鉴别，至最外环轮为止。统计轮纹数记为年龄数，并测量耳石中心沿 n1 方向至耳石边缘的距离作为耳石长轴长度。为保证年龄鉴定准确，由同一鉴定者每隔半月读取年轮 1 次，共读取 3 次，若 3 次鉴定结果相同则采用，反之则舍去（杨鑫等，2015）。

1.3　统计分析

参考相关文献拟合体长与耳石轮径和体重方程，求出体长与体重的生长方程、生长指数、生长速度和生长加速度方程（殷名称，1995；詹秉义，1995）。采用 Microsoft Excel 2016、SPSS19.0、Photoshop6.0 进行数据分析及图像处理。

体长与耳石轮径和体重之间的关系通过线性、多项式、指数、幂函数 4 种回归模型拟合，选取拟合时 R^2 最大回归方程进行下一步生长退算。体长与体重拟合公式如下：

$$W=aL^b \quad ①$$

式中：W 为实测体重(g)，L 为实测体长(cm)，a、b 为常数。

生长退算使用 Rosa Lee，计算公式如下（Pauly et al,1988）：

$$G_L=(L_{t+1}-L_t)/L_t\times 100\% \quad ②$$

$$G_W=(W_{t+1}-W_t)/W_t\times 100\% \quad ③$$

$$C_L=(\ln L_{t+1}-\ln L_t)\times L_t \quad ④$$

$$\varphi=\lg(k)+2\lg(L_\infty) \quad ⑤$$

式中：G_L 为体长相对增长率，G_W 为体重相对增长率，C_L 为生长指数，φ 为生长特征指数，L_t、W_t 分别表示 t 龄时的体长和体重，k 表示生长系数，L_∞ 表示渐近体长。

采用 von Bertalanffy、Logistic GF 以及 3 次方程（DCF）分别对热裸裂尻鱼生长方程进行拟合，并对其生长特征进行描述。根据剩余平方和（RSS）与 R^2 进行筛选，RSS 值越小，表示拟合曲线越精确；R^2 越接近 1，表示拟合曲线吻合程度越高。

2　结果

2.1　体重与体长的关系

各采样点所获样本体长见图 2。在怒江干流那曲至八宿江段（海拔由高到低），其体长逐渐变小。本研究所获样本体长为 3.10~35.50 cm，平均(15.67±8.59) cm；体重 1.28~504.42 g，平均(90.92±128.60) g（表 2）。

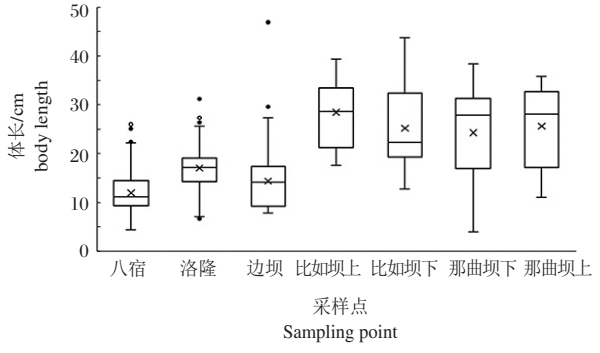

图 2　怒江上游各样点热裸裂尻鱼体长分布

Fig.2　Body length distribution of *S. thermalis* at sampling sites on the upper Nujiang River

表 2　怒江上游热裸裂尻鱼各年龄组的体长和体重

Tab.2　Body length and body weight of *S. thermalis* from different age groups in the upper Nujiang River

年龄	体长		体重		占比/%
	均值/cm	范围/cm	均值/g	范围/g	
2	5.34±1.16	3.17~6.10	2.34±1.15	1.28~4.19	9.6
3	7.88±1.03	6.91~10.39	6.83±3.08	3.55~12.97	15.3
4	10.99±1.49	7.78~13.71	18.30±6.65	6.13~38.42	17.5
5	14.19±1.60	11.22~16.82	39.39±14.55	17.34~63.34	9.6
6	15.07±1.31	13.20~16.51	46.21±12.13	33.23~76.93	5.7
7	17.81±1.28	16.05~20.26	9.76±15.59	53.14~106.97	6.1
8	18.82±1.94	16.51~22.95	80.30±22.06	55.54~129.72	4.1
9	22.13±2.37	19.70~25.84	131.91±46.36	83.25~208.36	2.6
10	24.45±5.76	23.56~25.99	155.72±19.82	140.72~169.59	4.4
11	26.72±3.10	23.39~33.21	231.51±96.32	141.24~439.90	3.9
12	28.30±2.56	26.13~34.01	269.31±76.98	204.86~432.80	4.4
13	28.74±2.16	26.20~30.69	276.48±55.41	200.26~401.79	5.7
14	28.83±2.10	27.21~31.80	285.83±59.56	251.57~369.6	2.6
15	32.33±3.33	26.90~35.80	392.34±104.52	231.87~504.42	4.4
16	30.99±2.53	28.21~34.55	339.43±10.67	258.84~461.54	2.6
17	32.10±3.10	29.01~35.20	387.95±93.58	294.37~481.53	0.9

将所有样本作为一组数据分析，所得到的体长与体重表达式：$W=2\times10^{-5}L^{2.8833}$（$R^2=0.9915$，$n=249$）。将幂函数指数2.8833与$b$值3进行独立样本$T$检验，发现两者之间存在显著性差异（$t=2.275$，$P<0.05$），表明怒江上游热裸裂尻鱼的生长为异速增长（图3）。

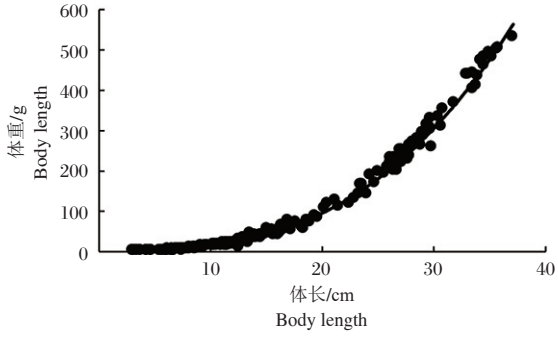

图 3　怒江上游热裸裂尻鱼体长与体重的关系

Fig.3　Body length-weight relationship of *S. thermalis* in the upper Nujiang River

2.2　耳石年轮特征与年龄鉴定

热裸裂尻鱼耳石磨片结构见图4。可见由明暗相间的轮纹组成，呈不规则的椭圆形，轮纹由原基向外层发散，暗纹与亮纹分别对应着其快速生长与缓慢生长期。亮纹明显较暗纹宽，一个明暗相间的轮纹组成一年的生长层，轮纹清晰，年轮特征显著。

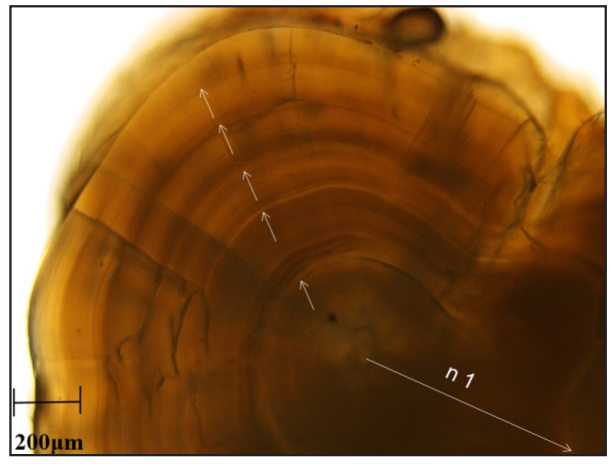

图 4　怒江上游热裸裂尻鱼耳石磨片局部

Fig.4　Characteristic growth rings of *S. thermalis* in the upper Nujiang River

本次共采集样本249尾，其中采集到耳石并鉴定成功样本为229尾。总样本年龄鉴定结果显示，所采集样本共有16个年龄组（2~17龄），其中4龄鱼比例最高，为17.5%，17龄最低，只占0.9%（表2）。不同江段样本年龄组成不完全一致，八宿和洛隆以低龄为主，最大年龄为8龄；边坝、比如江段发现一定数量的7~10龄个体，最大年龄为16龄；那曲江段出现较大年龄的群体，其中11龄以上热裸裂尻鱼（52.9%）、个体数量比例大（表3）。

表 3　怒江上游各龄热裸裂尻鱼的样本鉴定尾数

Tab.3　Distribution of *S. thermalis* individuals at different ages in the upper Nujiang River

年龄	八宿	洛隆	边坝	比如坝下	比如坝上	那曲坝下	那曲坝上
2		1		4	10		7
3	6	12	1	4	11	1	
4	6	5		10	10	7	2
5	9		1		4	7	1
6	6				2	2	3
7	2	2	5		2	3	
8	2	1	3	1	3	3	1
9				1	1	2	1
10				2		2	6
11						4	5
12						2	3
13						7	7
14						6	3
15						3	8
16			1			2	2
17							2

2.3 生长特征

2.3.1 体长与耳石长轴半径关系 采用直线、多项式、指数、幂函数4种模型，对怒江上游热裸裂尻鱼体长(L)与耳石长轴半径(r)进行回归分析，发现直线模型R^2最大(0.9518)，于是选用直线相关模型进行拟合，其表达式为：L=22.537r−5.469(n=229)(图5)，并利用拟合的直线关系式进行生长退算。

2.3.2 生长退算及生长指标 根据体长与耳石长轴半径表达式及年龄结果测算出各龄鱼对应的退算体长见表4，体长、体重相对增长率及生长指标见表5。可见退算体长均小于实测体长，这是由于本次测量样本的实测体长为热裸裂尻鱼在生长到足龄后又生长一段时间的缘故。

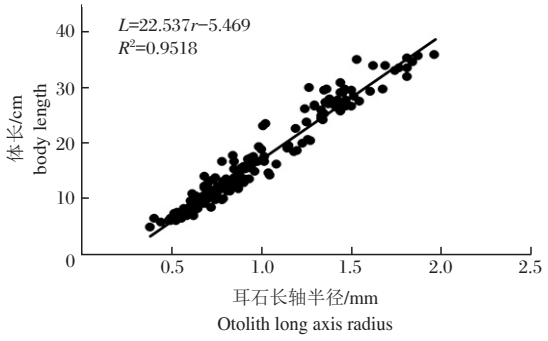

图5 怒江上游热裸裂尻鱼体长与耳石长轴半径的关系

Fig.5 Relationship between body length and otolith long axis radius of *S. thermalis* in the upper Nujiang River

表4 怒江上游热裸裂尻鱼实测体长与退算体长

Tab.4 Measured body length and back calculated body length of *S. thermalis* in the upper Nujiang River

年龄	实测体长/cm	退算体长/cm															
		L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	L_6	L_7	L_8	L_9	L_{10}	L_{11}	L_{12}	L_{13}	L_{14}	L_{15}	L_{16}
2^+	5.34	4.23															
3^+	7.88	4.22	7.67														
4^+	10.99	4.15	7.34	10.29													
5^+	14.19	4.87	7.46	10.08	13.94												
6^+	15.07	4.32	7.10	8.97	13.88	14.88											
7^+	17.81	4.31	7.77	9.98	13.83	14.84	17.67										
8^+	18.82	4.60	7.27	10.55	14.01	15.01	16.77	18.05									
9^+	22.13	4.10	7.45	9.68	13.94	14.98	16.24	18.15	22.04								
10^+	24.45	4.88	7.56	9.20	13.76	14.96	16.83	18.23	21.66	24.11							
11^+	26.72	4.98	7.32	10.28	13.88	14.90	16.90	17.85	21.85	24.01	26.04						
12^+	28.30	4.03	7.21	9.12	13.74	14.86	17.01	18.58	21.63	24.13	26.11	27.92					
13^+	28.74	4.01	7.26	9.68	13.11	14.61	16.08	18.01	21.77	23.87	25.97	27.27	28.61				
14^+	28.83	3.81	7.48	10.08	13.25	14.34	15.86	17.53	21.11	23.53	26.09	27.02	27.95	28.82			
15^+	32.33	4.14	7.22	9.63	13.78	15.03	16.84	17.66	21.61	23.63	26.13	27.01	28.04	29.50	30.74		
16^+	30.99	3.88	6.95	9.82	13.10	14.59	15.99	17.33	21.07	22.86	25.86	26.68	27.52	28.51	30.05	30.98	
17^+	32.10	4.14	7.35	9.84	13.88	15.00	16.54	17.65	21.66	24.01	26.12	27.18	28.22	29.03	31.98	31.09	31.97
推算均值		4.29	7.33	9.78	13.70	14.84	16.61	17.90	21.60	23.77	26.05	27.18	28.07	28.96	30.92	31.03	31.97

表5 怒江上游热裸裂尻鱼体长和体重生长指数

Tab.5 Growth index of body length and body weight of *S. thermalis* in the upper Nujiang River

年龄	理论体长/cm	体长相对生长/%	生长指标	理论体重/cm	体重相对生长率/%
2	4.23	-	-	1.28	-
3	7.68	44.93	2.52	7.14	167.69
4	10.80	28.93	2.62	19.10	95.66
5	13.64	20.77	2.51	37.36	64.39
6	16.20	15.84	2.35	61.42	47.19
7	18.53	12.55	2.17	90.40	36.40
8	20.63	10.21	1.99	123.31	29.05
9	22.54	8.47	1.82	159.14	23.75
10	24.27	7.12	1.67	196.93	19.76
11	25.83	6.06	1.52	235.85	16.67
12	27.25	5.21	1.38	275.16	14.21
13	28.54	4.51	1.26	314.28	12.23
14	29.70	3.92	1.14	352.70	10.59
15	30.76	3.43	1.04	390.06	9.23
16	31.72	3.01	0.94	426.05	8.08
17	32.58	2.66	0.85	460.48	7.10

2.3.3 生长方程和生长参数 由体长−体重表达式可知，怒江上游热裸裂尻鱼种群为异速增长，根据实际测量数据，运用 von Bertalanffy、Logistic GF、DCF 方程分别进行生长曲线拟合(表6)，可见DCF拟合曲线的RSS值最小，von Bertalanffy次之，但 von Bertalanffy方程R^2与1最为接近，且DCF仅为一个纯粹的数学模拟公式，只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，于是选用 von Bertalanffy方程拟合其生长曲线。

表6 不同的方程拟合热裸裂尻鱼生长曲线

Tab.6 Values for the fitness of *S. thermalis* body length with different growth equations

生长方程	公式	RSS	R^2
von Bertalanffy	L_t=40.9 [1-e$^{-0.099\ (t-0.89)}$]	12.55	0.994
Logistic GF	L_t=33.55/(1+7.401e$^{-0.291t}$)	15.05	0.991
DCF	L_t=-0.0021t^3-0.0189t^2+2.8547t-0.2055	8.76	0.955

运用最小二乘法求得热裸裂尻鱼生长方程中各参数，渐近体长 L_∞=40.9 cm，渐近体重 W_∞=889.1 g，生长系数 k=0.099，生长指数 b=2.8833，理论生长起点年龄 t_0=0.89。将参数带入 von Bertalanffy 方程可得：

$$L_t=40.9\ [1-e^{-0.099\ (t-0.89)}]$$

$$W_t=889.1\ [1-e^{-0.099(t-0.89)}]^{2.8833}$$

根据上述 von Bertalanffy 方程求得生长速度与生长加速度如下：

体长生长速度方程：

$$dL/dt=4.04e^{-0.099\ (t-0.89)}$$

体重生长速度方程：

$$dW/dt=535.55e^{-0.099\ (t-0.89)}\ [1-e^{-0.099\ (t-0.89)}]^{1.8833}$$

体长生长加速度方程：

$$d^2L_t/dt^2=-3.99\ e^{-0.099\ (t-0.89)}$$

体重生长加速度方程：

$$d^2W/dt^2=52.86e^{-0.099(t-0.89}[1-e^{-0.099(t-0.89)}]^{0.8833}[4.21e^{-0.099(t-0.89)}-1]$$

式中：L_t、W_t 分别表示 t 龄时的体长和体重。

根据上述方程，求出各年龄组热裸裂尻鱼的理论体长、体重并绘制体长、体重曲线如图 6。体长生长轨迹呈抛物线形，不具明显的年龄拐点，随着年龄的增加其体长逐渐与渐进体长接近。体长生长速度与加速度曲线如图 7，随着年龄的增长，其生长速度变慢（dL/dt 曲线逐步递减），但始终为正；其体长加速度随着年龄的增长逐渐上升（d^2L/d^2t 曲线逐步上升），但始终为负值，表明随着热裸裂尻鱼生长速度的下降，其递减速度慢慢变缓。

热裸裂尻鱼体重增长具有明显拐点，体重的生长速度与生长加速度曲线如图 8，均为不对称的“S”形曲线，其体重生长拐点处 $dW/dt=0$；当体重生长加速度为 0 时，将 von Bertalanffy 方程式中各参数带入求得 t_i=11.62，即热裸裂尻鱼的体重生长拐点年龄为 11.62，此时其体长 L_i=26.74 cm、体重 W_i=260.4 g。

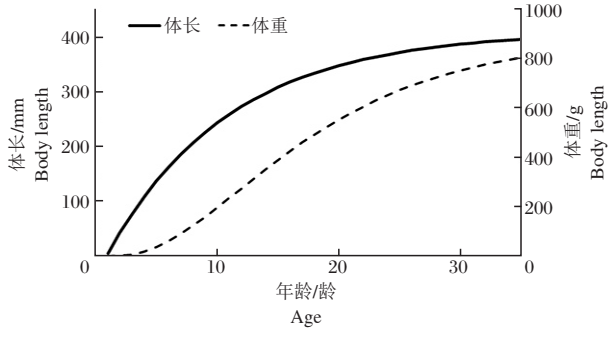

图 6　怒江上游热裸裂尻鱼体长和体重生长曲线

Fig.6　Growth curve of body length and weight of *S. thermalis* in the upper Nujiang River

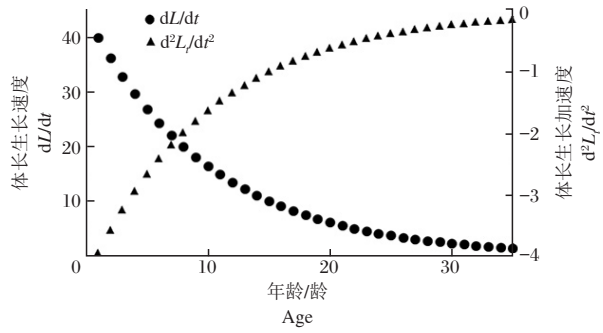

图 7　怒江上游热裸裂尻鱼体长生长速度与加速度

Fig.7　Growth rate curve and growth acceleration curve of body length of *S. thermalis* in the upper Nujiang River

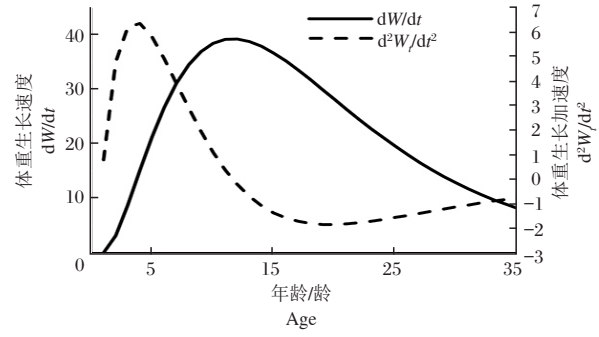

图 8　怒江上游热裸裂尻鱼体重生长速度与生长加速度

Fig.8　Growth rate curve and growth acceleration curve of body weight of *S. thermalis* in the upper Nujiang River

3　讨论

3.1　热裸裂尻鱼耳石轮纹特征

有研究表明，裂腹鱼类年龄鉴定中，耳石一般优于脊椎骨、背鳍条等（杨军山等，2002），因此一些研究者通常选用耳石作为裂腹鱼类的年龄鉴定材料（陈大庆等 2006；Chen et al，2009；Duan et al，2014）。本研究观察表明，热裸裂尻鱼微耳石透明带窄而透亮，生长特征不明显；暗带透光性差，条带较宽，往往可以观察到较清晰的生长阻断，其轮文结构清晰，易于判断，是年龄鉴定的良好材料。热裸裂尻鱼耳石轮纹特征与双须叶须鱼（Li & Chen,2009）、异齿裂腹鱼（*Schizothorax oconnori*）（Ma et al，2010）拉萨裸裂尻鱼（Duan et al,2018）应着热裸裂尻鱼缓慢生长与快速生长期，亮纹在鱼体代谢旺盛的春夏季节形成，此时饵料相对丰富，水温较高；暗纹在生长相对缓慢的秋冬季节形成（龚君华等，2017）暗纹明显较亮纹宽，说明怒江上游热裸裂尻鱼每年的快速生长期短，周年水温较低时段长，与怒江上游气候特征吻合。

3.2 怒江上游热裸裂尻鱼年龄结构

本次所获热裸裂尻鱼样本中，共发现16个年龄组（2~17龄），各江段群体年龄结构有所差异。从各采样河段的位置和海拔来看，从下游至上游（海拔由低到高），热裸裂尻鱼年龄组成中的高龄个体占比出现了明显的增加趋势。这与热裸裂尻鱼的生活习性相一致，表明热裸裂尻鱼是一种高度适应高海拔水体生境条件的鱼类，高海拔江段拥有更为广泛的世代分布（武云飞和吴翠珍，1992）；同时，由于怒江源头地区本地居民出于宗教信仰和传统生活习惯而对鱼类资源的自发保护，这与下游外来人口迁入较多的地区存在明显不同，因此也不能排除捕捞强度对不同江段热裸裂尻鱼种群的年龄结构存在一定的影响，造成下游江段低龄个体更多；此外，需要指出的是，调查范围中2座大坝上下游热裸裂尻鱼群体的年龄结构特征没有出现明显区别，表明大坝的阻隔可能尚未导致热裸裂尻鱼种群年龄结构出现差异，这一现象还需要更多研究佐证。

3.3 热裸裂尻鱼为异速缓慢生长类型

由热裸裂尻鱼体长体重关系式可知，其b值与3之间存在显著差异，即怒江西藏段热裸裂尻鱼为异速生长鱼类。不同年龄组的热裸裂尻鱼的体长范围有一定程度的重叠（表2），这种现象在裂腹鱼类中较为典型，在双须叶须鱼的研究中也发现了这一现象（Li & Chen，2009），是热裸裂尻鱼种群的个体年际生长速度与个体间生长速度差异共同作用产生的结果。因此，在样本量受限的情况下，当个体间生长速度的差异程度大于个体年际生长速度时，将可能出现低龄个体体长大于高龄个体的现象，这也是导致本研究中16龄鱼个体体长异常的原因。本研究中热裸裂尻鱼的体长沿怒江干流那曲至八宿江段（海拔由高到低）逐渐变小，是其年龄组成随海拔降低而更趋向于以低龄鱼为主的潜在原因，可认为导致体长由高海拔向低海拔逐渐缩小的现象应与年龄结构的成因相一致。

von Bertalanffy方程式中的k值可用于分析生活史策略（Pratt & Casey，1990；Branstetter，1987），慢速生长种群k值为0.05~0.10，中速生长种群k值为0.10~0.20，快速生长种群k值为0.20~0.50。本研究中k值为0.099，表明怒江上游的热裸裂尻鱼属于慢速生长种群。横向比较裂腹鱼亚科其他鱼类的生长特征可以发现（表7），大多数裂腹鱼类k值处于0.1左右，说明大多数裂腹鱼类属于生长缓慢类型。这一类型特别容易受到过度开发的影响，其资源一旦遭到破坏，恢复时间需要更长。生长指标φ值能够综合反映鱼类的生长性能（Pauly et al，1988），怒江热裸裂尻鱼φ值为4.22，与其他裂腹鱼类相似，说明其生长性能处于中等水平。

表7 部分裂腹鱼类生长参数比较

Tab.7 Growth characters of several Schizothoracinae species

种名	性别	b	k	L_∞/mm	W_∞/g	φ	数据来源
青海湖裸鲤 *G. przewalskii*	♀	2.499	0.071	551.90	1237.34	4.355	陈大庆等，2006
	♂	2.754	0.053	682.90	2567.32	4.393	
色林错裸鲤 *G. selincuoensis*	♀	2.407	0.071	485.33	1439.48	4.223	陈毅峰等，2002
	♂	2.530	0.068	484.19	1336.99	4.205	
裸腹叶须鱼 *P. kaznakovi*	♀&♂	2.880	0.066	668.35	2807.60	4.470	李飞等，2016
软刺裸裂尻 *S. malacanthus*	♀&♂	2.970	0.106	382.10	949.06	4.189	胡睿等，2012
大渡裸裂尻 *S. malacanthus*	♀	2.859	0.087	323.20	439.17	1.958	胡华锐等，2012
	♂	2.793	0.213	232.0	169.31	2.859	
热裸裂尻 *S. thermalis*	♀&♂	2.883	0.099	409.34	889.12	4.220	本研究
四川裂腹鱼 *S. kozlovi*	♀&♂	2.951	0.093	598.39	3134.63	4.520	李忠利，2015
异齿裂腹鱼 *S. oconnori*	♀&♂	2.828	0.094	554.00	1816.00	4.460	贺舟挺，2005

3.4 怒江热裸裂尻鱼保护建议

热裸裂尻鱼主要分布在怒江水系上游干支流等高海拔内陆水域，是怒江上游生态系统中的关键物种。本研究显示，热裸裂尻鱼属于典型的k-对策者，生长缓慢，性成熟年龄较大，种群一旦遭到破坏，恢复将十分困难。目前，怒江下游捕捞强度仍比较大，并存在非法捕捞行为。建议进一步加强怒江沿线渔政管理力度，重点加强八宿至洛隆江段非法捕捞行为的监察打击，建立建全相应渔政管理制度，对民众做好保护怒江渔业资源和生态环境的宣传教育工作；同时，还要加强热裸裂尻鱼等怒江鱼类的基础生物学研究，查找限制其种群资源补充的关键因子，科学定位其产卵场等重要生境，并在重点区域合理规划保护区，以保证其种群可持续发展。

参考文献

陈大庆,张信,熊飞,等,2006. 青海湖裸鲤生长特征的研究[J]. 水生生物学报, 30(2):47−53.

陈毅峰,何德奎,曹文宣,等,2002. 色林错裸鲤的生长[J]. 动物学报, 48(5):667−676.

代应贵,肖海,2011 裂腹鱼类种质多样性研究综述[J]. 中国农学通报, (32):38−46.

范丽卿,刘海平,林进,等,2016. 拉萨河流域外来鱼类的分布、群落结构及其与环境的关系[J]. 水生生物学报, (5):958−967.

龚君华,王继隆,李雷,等,2017. 西藏布裙湖全唇裂腹鱼年龄与生长的初步研究[J]. 淡水渔业,47(6):26−31.

贺舟挺,2005. 西藏拉萨河异齿裂腹鱼年龄与生长的研究[D]. 武汉:华中农业大学.

胡华锐,张家波,常毅,2012. 绰斯甲河大渡裸裂尻鱼的年龄与生长特性研究[J]. 淡水渔业,42(6):78−81

胡睿,王剑伟,谭德清,等, 2012. 金沙江上游软刺裸裂尻鱼年龄和生长的研究[J]. 四川动物,31(5):708−712.

李飞,杨德国,何勇凤,等,2016. 赠曲裸腹叶须鱼的年龄与生长[J]. 淡水渔业,46(6):39−44.

李忠利,2015. 乌江上游四川裂腹鱼的年龄结构与生长特性[J] 水生态学杂志,36(2):75−80.

刘飞, 牟振波, 张驰,等,2019 西藏浪错兰格湖裸鲤的年龄与生长[J]. 四川动物,38(4): 425−432.

武云飞,吴翠珍,1992. 青藏高原鱼类[M]. 成都:四川科学技术出版社.

西藏自治区水产局,1995. 西藏鱼类及其资源[M]. 北京:中国农业出版社.

杨汉运,黄道明,谢山,等,2010. 雅鲁藏布江中游渔业资源现状研究[J]. 水生态学杂志,3(6):120−126.

杨军山,陈毅峰,何德奎,等,2002. 错鄂裸鲤年轮与生长特征的探讨[J]. 水生生物学报,26(4):378−387.

杨鑫,霍斌,段友健,等,2015. 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,22(6):3−12.

殷名称,1995. 鱼类生态学[M]. 北京:中国农业出版社.

詹秉义,1995. 渔业资源评估[M]. 北京:中国农业出版社.

Branstetter S, 1987. Age, growth and reproductive biology of the silky shark, *Carcharhinus falciformis*, and the scalloped hammerhead, *Sphyrna lewini*, from the northwestern Gulf of Mexico[J]. Environmental Biology of Fishes, 19(3):161−173.

Campana S E, Thorrold S R, 2001. Otoliths, increments, and elements: keys to a comprehensive understanding of fish populations? [J]. Canadian Journal of Fisheries & Aquatic ences, 58(1):30−38.

Chen F, Chen Y F, He D K, 2009. Age and growth of *Schizopygopsis younghusbandi younghusbandi* in the Yarlung Zangbo River in Tibet China[J]. Environmental Biology of Fishes, 86(1):155−162.

Duan Y J, Xie C X, Zhou X J, et al, 2014. Age and growth characteristics of *Schizopygopsis younghusbandi* Regan, 1905 in the Yarlung Tsangpo River in Tibet, China[J]. Journal of Applied Ichthyology, 30(5):948−954.

Duan Y J, Ma B S, Yang X F, et al, 2016. Length−weight and length−length relationships of three fish species from the Yarlung Zangbo River in Tibet, China[J]. Journal of Applied Ichthyology, 32(6):1298−1299.

Duan Y J, Huo B, Ma B S, et al, 2018. Reproductive biology of *Schizopygopsis younghusbandi* Regan 1905 (Cyprinidae: Schizothoracinae) in the middle reaches of Yarlung Tsangpo River, China[J]. Journal of Oceanology & Limnology, 36(5):1825−1834.

Li X Q, Chen Y F, 2009. Age structure, growth and mortality estimates of an endemic *Ptychobarbus dipogon* (Regan, 1905) (Cyprinidae: Schizothoracinae) in the Lhasa River, Tibet[J]. Environmental Biology of Fishes, 86(1):97−105.

Liu H P, Ye S, Li Z, et al, 2016. Length−weight relationships of three schizothoracinae fish species from the Niyang River, a branch of the Yarlung Zangbo River, Tibet, China [J]. Journal of Applied Ichthyology, 32(5):982−985.

Ma B S, Xie C X, Huo B, et al, 2010. Age and Growth of a Long−Lived Fish *Schizothorax o´connori* in the Yarlung Tsangpo River, Tibet[J]. Zoological studies, 49(6):749−759.

Pauly D, Moreau J, Prein M, 1988. A comparison of overall growth performance of tilapia in open waters and aquaculture[C]//The Second International Symposium on Tilapia in Aquaculture.

Pratt H L, Casey J G, 1990. Shark reproductive strategies as a limiting factor in directed fisheries, with a review of Holden´s method of estimating growth parameters[J]. NOAA Tech Rep NMFS, 90:97−109.

Prchalová M, KubečKa J, Říha M, et al, 2009. Size selectivity of standardized multimesh gillnets in sampling coarse European species[J]. Fisheries Research, 96(1):51−57.

（责任编辑　万月华）

Age Structure and Growth Characteristics of *Schizopygopsis thermalis* in the Upper Nujiang River

CHEN Yi-zhu[1,2], ZHU Feng-yue[2], LIU Ming-dian[2], DUAN Xin-bin[2], LIU Shao-ping[2], CHEN Da-qing[2], WANG Deng-qiang[2]

(1. National Demonstration Center for Experimental Fisheries Science Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, P.R. China;
2. Yangtze River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Science, Wuhan 430223, P.R. China)

Abstract: Schizothoracinae is one of three important fish taxa on the Qinghai−Tibet Plateau. *Schizopygopsis thermalis* is a dominant species in the upper reaches of the Nujiang River with important ecological value. In this study, we explored the age structure and growth characteristics of *S. thermalis* in Nujiang River, aiming to provide scientific evidence for the management and protection of *S. thermalis*. From March to November 2019, *S. thermalis* specimens were collected at 7 sampling sites from the section between Basu and Naqu on the main stem of Nujiang River. A total of 245 specimens were collected during the survey. The body length and weight of each specimen were measured and the otolith was selected as the material for age identification. Results show that the body length and body weight of *S. thermalis* specimens were in the range of 3.1−35.5 cm and 1.28−504.42 g, with average values of (15.67±8.59) cm and (90.92±128.60) g. The relationship of body length (L) to body weight (W) was described as $W=2\times10^{-5}L^{2.8833}$ ($R^2=0.9912$), indicating allometric growth, and the growth coefficient (k) and growth index (φ) for *S. thermalis* were, respectively, 0.099 and 4.22. The body length (L) and otolith long axis radius (r) were positively correlated, described as, $L=22.537r-5.469$ ($R^2=0.9518, n=229$). The *S. thermalis* specimens consisted of 16 age groups (2−17 a), with dominance by the 4−year−old group (17.5%). Furthermore, age structure at different sampling sites varied, with high altitude populations having a broader age range and more older individuals. The growth inflection point age was 11.62 a, with a corresponding weight of 260.4 g and body length of 26.74 cm. We recommend strengthening natural resource protection in the river section from Basu to Luolong.

Key words: *Schizopygopsis thermalis*; otolith; age structure; growth characteristics; the Nujiang River