

苏晓静,唐茂刚,熊皓,等.金沙江流域黄石爬鮡的年龄与生长特性[J].华中农业大学学报,2026,45(2):9-17.
DOI:10.13300/j.cnki.hnlkxb.2026.02.002

金沙江流域黄石爬鮡的年龄与生长特性

苏晓静¹,唐茂刚²,熊皓²,余宗泽¹,杨瑞斌¹,马徐发¹,杨学芬¹

1. 华中农业大学水产学院,武汉 430070; 2. 华电金沙江上游水电开发有限公司叶巴滩分公司,甘孜 627153

摘要 为评估金沙江流域黄石爬鮡(*Euchiloglanis kishinouyei*)种质资源的长期变化趋势,以脊椎骨为年龄鉴定材料,对2004年从金沙江流域采集的208尾黄石爬鮡样本的年龄组成与生长特性进行初步分析,并与后期同水域种群数据进行比较。结果显示:(1)样本种群体长为114~286 mm,体质量为25.0~470.0 g;共鉴定出115尾鱼的年龄,年龄范围4~14龄,其中以8~11龄为主。体长(L)与体质量(W)的拟合关系式为 $W=3\times 10^{-5}L^{2.8838}$ ($R^2=0.9188$, $n=208$),属匀速生长方式; von Bertalanffy拟合的体长和体质量生长方程分别为: $L_t=248.3[1-e^{-0.089(t+2.495)}]$ 、 $W_t=242.0[1-e^{-0.089(t+2.495)}]^{2.8838}$,拐点年龄为9.38龄,此时的体长和体质量分别为 $L_t=162.2$ mm、 $W_t=70.9$ g,表明金沙江流域黄石爬鮡生长缓慢。(2)与后期同水域种群生长参数比较,本研究中黄石爬鮡群体的最大体长、体质量和年龄均较大,且其大个体与高龄个体占比较多;体长与体质量关系式中 b 值更高,为匀速生长类型,与2018-2019年同水域黄石爬鮡的异速生长类型($b=2.4596<3$)明显不同;拐点年龄较大,且拐点年龄后的个体比例较高;渐近体长 L_∞ 、渐近体质量 W_∞ 和表观生长指数 ϕ 均较大。结果表明,随时间推移黄石爬鮡种群存在显著低龄化和小型化现象,需尽快开展相关保护工作,以保护金沙江流域黄石爬鮡重要种质资源。

关键词 黄石爬鮡; 年龄; 生长; 脊椎骨; 金沙江

中图分类号 S917.4 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2026)02-0009-09

金沙江作为长江的上游河段,地处青藏高原东南缘,是我国重要的生态屏障和水电能源基地。其独特的高原河谷地貌与寒冷激流的水文特征,孕育了丰富而独特的淡水鱼类资源,其中许多是适应激流、低温环境的特有种^[1-2]。在这些类群中,鮡科鱼类因其高度特化的形态结构,成为激流生态系统中适应性进化与生态敏感性的重要指示类群。

黄石爬鮡(*Euchiloglanis kishinouyei*)隶属于鮡形目(Siluriformes)、鮡科(Sisoridae)、石爬鮡属(*Euchiloglanis*),是长江上游特有的小型底栖鱼类,主要分布于长江上游金沙江和岷江水系的干支流^[3-4],在维持水域生态系统生物多样性方面具有重要作用。近年来,金沙江流域高强度多梯级水电的开发和建设导致流域内河流生态系统发生了改变^[5],致使许多依赖激流生境完成生活史的珍稀特有种类种群呈现衰退趋势^[6-7]。受梯级电站建设等人类活动的影响,黄石爬鮡野生种群数量急剧下降,2015年已被列为《中国脊椎动物红色名录》中的濒危级保护动物^[8]。

在此背景下,科学评估黄石爬鮡的种群现状、揭示其对生境变化的生物学响应,已成为制定有效保护策略的迫切需求。

鱼类年龄与生长研究是渔业资源生物学和生态学研究的核心内容,也是评估种群动态、资源潜力和制定有效保护策略的基础^[9]。目前已有学者对黄石爬鮡的分类学^[10-12]、生长繁殖^[13-16]、生理生化^[17-20]和遗传特征^[21-23]等方面开展了研究,但针对金沙江流域黄石爬鮡年龄与生长的系统性研究仍较为不足,缺乏长期监测数据,导致难以准确评估该水域黄石爬鮡种群资源的动态变化,严重制约了其针对性资源保护工作的科学制定和有效开展。因此,本研究基于2004年采集的黄石爬鮡样本,以脊椎骨为年龄鉴定材料,研究金沙江流域黄石爬鮡的年龄组成与生长特性,并结合现有研究对金沙江流域黄石爬鮡野生资源变化进行评估,旨在为黄石爬鮡资源管理提供基础数据,并为其保护策略的制定提供理论依据。

收稿日期: 2025-03-21

基金项目: 华电集团金沙江上游远期放流鱼种人工繁育技术研究(T-2022-04)

苏晓静, E-mail: 18533534570@163.com

通信作者: 杨学芬, E-mail: xfy@mail.hzau.edu.cn

1 材料与方法

1.1 样本采集

于2004年5月在雅砻江流域雅江县段采集黄石爬鮡样本208尾。经性别鉴定后,测量全长、体长和体质量等生物学指标(长度精确至1 mm,体质量精确至0.1 g)。解剖取其第5~10节脊椎骨,编号后密封,-20℃保存备用。

1.2 年龄材料处理

获取的脊椎骨置于水中煮沸3 min左右,冲洗,剔除附着的肌肉和结缔组织。避光干燥48 h后,放入1%的KOH溶液中浸泡1 d,再次干燥48 h后放入30% H₂O₂溶液中漂白,取出晾干,二甲苯透明30 min,在解剖镜下用入射光观察年轮并拍照。

1.3 数据处理与分析

使用幂函数模型拟合体长与体质量相关关系, t 检验比较 b 值与“3”的显著性差异;采用线性函数和幂函数拟合黄石爬鮡脊椎骨半径与体长的相关关系,以相关系数(R^2)最大者为最佳回归方程,用于体长退算;von Bertalanffy生长方程拟合体长、体质量的生长,一阶求导和二阶求导得到生长速度方程和加速度方程;计算表观生长指数和体长、体质量的各项生长指标。相关公式参照文献[9,24]。数据经Microsoft Excel 2016进行整理与初步计算,再使用SPSS 26.0进行统计分析,统计检验的显著性水平设定为0.05。图表采用Microsoft Excel和Origin 2024绘制。

2 结果与分析

2.1 黄石爬鮡的年轮特征

黄石爬鮡的脊椎骨呈典型的双凹结构,其凹面中心有一小孔相通。从椎体的中心向外延伸至边缘之间,可观察到明暗相间的透明亮带与不透明暗带交替分布,并呈现出与椎体外缘大致平行的同心环纹特征。在反射光下,亮带的宽度显著大于暗带,年轮的划分以暗带向亮带过渡的交界为标志。由椎体中心到脊椎骨边缘为脊椎骨轮径,相邻2个年轮的间距呈现逐渐减小的趋势(图1)。

2.2 样本组成

1) 体长、体质量分布。本研究所采集的208尾样本中雄鱼有101尾,雌鱼有107尾,雌雄性比为1.059:1。总体体长范围是114~286 mm,平均体长为(162.1±27.0) mm;雌鱼体长范围为127~284 mm,其中125~170 mm的个体占雌鱼样本的

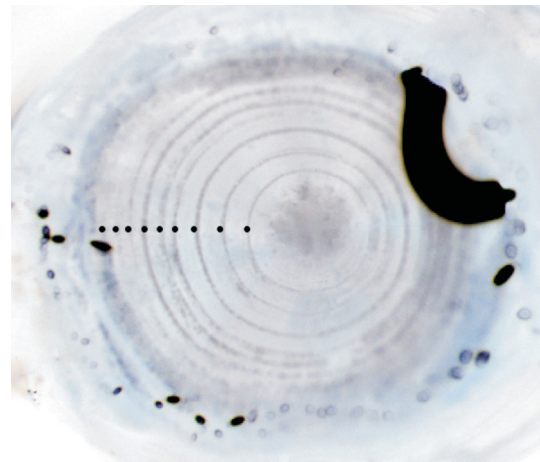


图1 黄石爬鮡脊椎骨的轮纹特征(圆点表示年轮)
Fig. 1 Annuli characteristics of vertebrae of *E. kishinouyei* (the dots indicate annual rings)

80.37%;雄鱼体长范围为114~286 mm,其中140~185 mm范围内的个体占雄鱼样本的77.23%(图2)。总体体质量范围是25.0~470.0 g,平均体质量为(79.6±58.9) g;雌鱼体质量范围为34.0~415.0 g,其中30.0~75.0 g的个体占雌鱼样本的76.64%,超过120.0 g的个体占雌鱼样本的5.61%;雄鱼体质量范围为25.0~470.0 g,其中45.0~90.0 g的个体占雄鱼样本的61.39%,低于45.0 g的个体占8.91%,超过120.0 g的个体占雄鱼样本的6.93%(图3)。

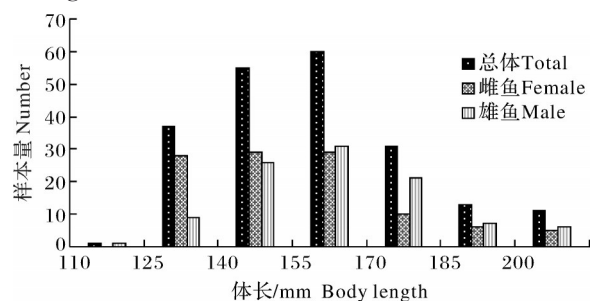


图2 金沙江流域黄石爬鮡样本体长组成分布
Fig. 2 Body length composition of sampled *E. kishinouyei* from the Jinsha River Basin

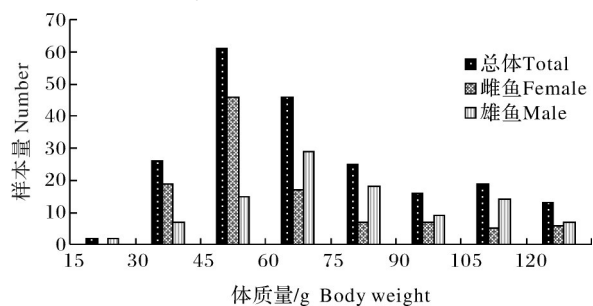


图3 金沙江流域黄石爬鮡样本体质量组成分布
Fig. 3 Body weight composition of sampled *E. kishinouyei* from the Jinsha River Basin

2) 年龄组成。对208尾样本进行年龄鉴定,其中115尾年轮清晰,用于年龄分析。结果显示:黄石爬鮡个体由4~14龄共11个年龄组成,以8~11龄个体为主,分别占年龄鉴定样本的13.91%、22.61%、19.13%和13.04%,4~7龄的个体占总体的12.17%,12龄、13龄和14龄的个体分别占总体的6.09%、5.22%和7.83%(图4)。

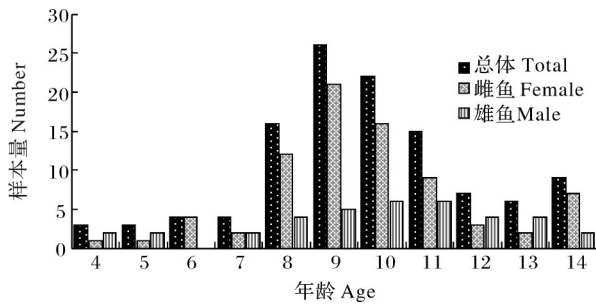


图4 金沙江流域黄石爬鮡样本年龄组成

Fig. 4 Age composition of sampled *E. kishinouyei* from the Jinsha River Basin

2.3 黄石爬鮡的生长特性

1) 体长与体质量的相关关系及雌雄个体的生长差异分析。基于幂函数模型,对雌、雄黄石爬鮡样本的实测体长与体质量数据分别进行模型回归拟合,回归方程分别为

$$W_{\text{♀}} = 5 \times 10^{-5} L^{2.7828} \quad (R^2 = 0.9111; n = 107)$$

$$W_{\text{♂}} = 3 \times 10^{-5} L^{2.9013} \quad (R^2 = 0.9248; n = 101)$$

以实测体长为协变量进行协方差分析,结果显示黄石爬鮡体质量和性别无关 ($F = 0.613, P = 0.435 > 0.05$),故采用雌雄群体合并的方程:

$$W = 3 \times 10^{-5} L^{2.8838} \quad (R^2 = 0.9188; n = 208)$$

其中 b 值 (2.8838) 与“3”之间差异不显著 ($t = 1.88 < t_{0.05} = 1.96$),表明金沙江水系黄石爬鮡呈现匀速生长的方式,见图5。

2) 体长与脊椎骨半径的关系及生长退算。拟合黄石爬鮡体长 (L) 和对应脊椎骨半径 (R) 关系时发现

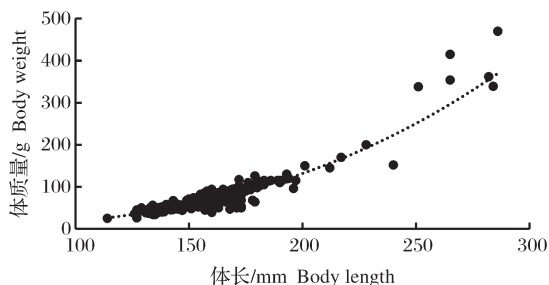


图5 黄石爬鮡样本体长-体质量关系特征

Fig. 5 Body length-weight relationship characteristics of sampled *E. kishinouyei*

幂函数的相关系数更高,其拟合关系式为: $L = 73.29R^{0.7631} \quad (R^2 = 0.8440; n = 115)$ (图6)。根据关系式进行体长退算得出各年龄的退算体长(表1),经配对 t 检验发现各龄实测体长与平均退算体长之间差异不显著 ($t = -1.429, P = 0.183 > 0.05$),可用来计算生长参数。

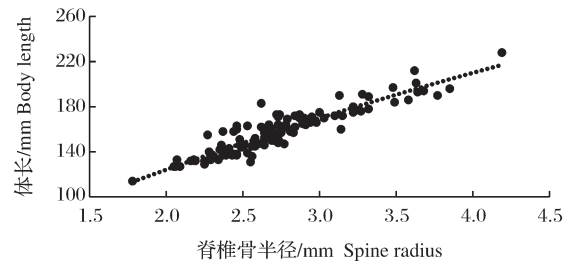


图6 黄石爬鮡样本体长与脊椎骨半径的对应关系特征

Fig. 6 Correspondence between body length and vertebral radius in sampled *E. kishinouyei*

3) 生长方程。分别以黄石爬鮡的实测体长与体质量为协变量进行协方差分析,结果显示黄石爬鮡雌雄群体间的年龄均无显著差异 ($F_L = 2.030, P_L = 0.154 > 0.05; F_W = 1.286, P_W = 0.259 > 0.05$)。因此,在拟合其生长方程时不区分雌雄。根据最小二乘法,黄石爬鮡生长方程式中各参数分别为: $L_{\infty} = 248.3 \text{ mm}, k = 0.089, t_0 = -2.495$ 龄。将 L_{∞} 代入体长-体质量关系式求出 $W_{\infty} = 242.0 \text{ g}$,根据以上数据求得黄石爬鮡的表观生长指数为3.739。据此得到黄石爬鮡的体长、体质量生长方程分别为:

$$L_t = 248.3 [1 - e^{-0.089(t+2.495)}]$$

$$W_t = 242.0 [1 - e^{-0.089(t+2.495)}]^{2.8838}$$

4) 生长速度方程和生长加速度方程。基于已建立的体长与体质量生长方程,通过对其进行一阶和二阶求导,得到黄石爬鮡体长与体质量随年龄变化的生长速度方程及生长加速度方程,分别为:

体长生长速度方程:

$$dL/dt = 22.1e^{-0.089(t+2.495)}$$

体质量生长速度方程:

$$dW/dt = 62.2e^{-0.089(t+2.495)} [1 - e^{-0.089(t+2.495)}]^{1.8838}$$

体长生长加速度方程:

$$d^2L/dt^2 = -2.0e^{-0.089(t+2.495)}$$

体质量生长加速度方程:

$$d^2W/dt^2 = 5.5e^{-0.089(t+2.495)} [1 - e^{-0.089(t+2.495)}]^{0.8838} [2.8838e^{-0.089(t+2.495)} - 1]$$

基于体长和体质量的生长模型及其对应的生长速度与生长加速度模型,绘制黄石爬鮡的生长变化曲线(图7~图9)。结果表明:黄石爬鮡的体长随年

表1 黄石爬鮡不同年龄组样本个体实测体长与推算体长特征

年龄 Age	样本数/尾 Samples	推算体长 Back-calculated body length												
		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}
4	3	62.0	85.3	105.7	122.8									
5	3	68.9	90.0	106.7	119.8	132.5								
6	4	66.7	86.1	102.1	116.9	130.0	141.4							
7	4	57.7	76.6	93.6	108.6	122.0	133.4	143.6						
8	16	65.7	82.2	96.7	108.9	119.7	129.8	139.1	147.2					
9	26	61.4	78.0	91.9	104.2	115.5	125.5	135.2	143.4	150.9				
10	22	60.7	76.8	90.8	103.1	114.4	124.4	134.2	142.8	150.8	157.7			
11	15	63.5	79.8	93.5	104.6	115.3	124.8	133.5	141.6	149.1	156.0	161.9		
12	7	66.4	82.5	96.6	109.1	120.7	130.9	140.9	149.8	158.1	165.8	172.9	179.5	
13	6	60.7	76.5	90.8	104.0	115.6	126.4	136.5	145.9	154.6	162.7	169.9	176.9	183.0
14	9	63.5	80.3	93.8	106.3	117.4	128.1	138.1	146.9	155.6	163.7	171.7	178.7	185.2
推算平均体长 Average of back-calculated body length		63.4	81.3	96.6	109.8	120.3	129.4	137.6	145.4	153.2	161.2	169.1	178.4	184.1
实测平均体长 Average of measured body length		—	—	—	124.7	137.3	140.3	146.8	147.5	148.8	158.7	165.7	180.9	181.2
差值 Differentials		—	—	—	14.9	17.0	10.9	9.2	2.1	-4.4	-2.5	-3.4	2.5	-2.9

龄的增长未出现明显的生长拐点,其体长生长速度随年龄增长持续下降但衰减速率减缓,体长随年龄递增逐渐趋于渐近值(图7、图8)。黄石爬鮡体质量的生长过程出现明显拐点,该拐点对应的年龄为 $t_i=9.38$,此时黄石爬鮡个体体长和体质量分别为 $L_i=162.2$ mm, $W_i=70.9$ g。 $t < 9.38$ 龄时,体质量生长加速度逐渐减小且在 $t=9.38$ 龄时减小为0,体质量生长速度达到最大值; $t > 9.38$ 龄时,体质量生长加速度随年龄增加逐渐减小,体质量生长速度逐渐减小,表明随年龄的增加递增的体质量逐渐减小(图7、图9)。

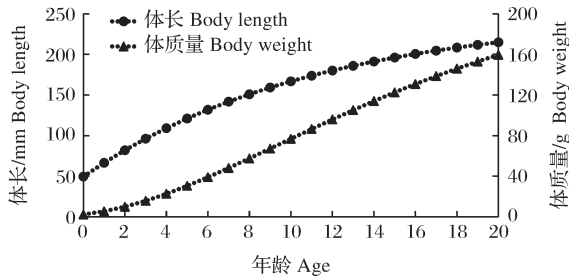


图7 黄石爬鮡的体长与体质量生长曲线

Fig. 7 The body length and body weight growth curves of *E. kishinouyei*

5)生长指标。根据黄石爬鮡各龄的平均推算体长和体质量数据计算黄石爬鮡的生长指标,结果显示:黄石爬鮡体长和体质量的相对生长率、瞬时生长率、生长比速和体长生长指标均随年龄增加呈减小

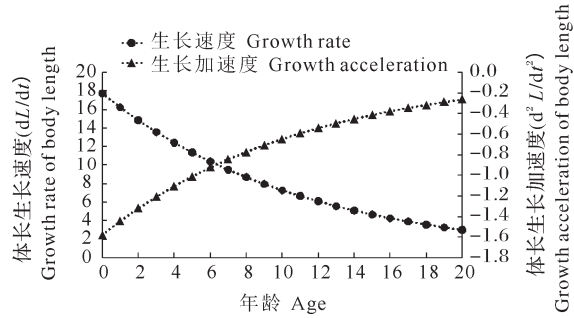


图8 黄石爬鮡体长生长速度与生长加速度的年龄变化特征
Fig. 8 Age-related variation in body length growth rate and growth acceleration of *E. kishinouyei*

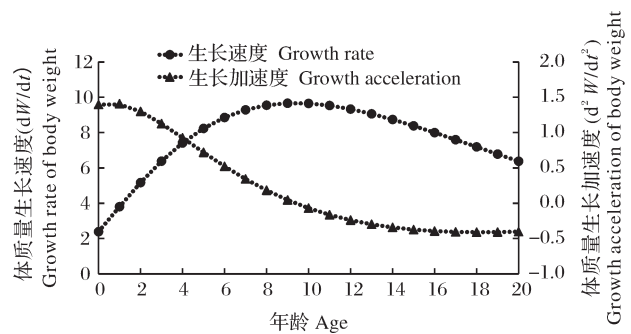


图9 黄石爬鮡体质量生长速度与生长加速度的年龄变化特征

Fig. 9 Age-related variation in body weight growth rate and growth acceleration of *E. kishinouyei*

趋势,但减小幅度逐渐减小;其体长和体质量的生长常数在6龄时增加到最大,之后随年龄增加而逐渐减

小,且减小幅度随年龄逐渐增大;体质量生长指标随年龄逐渐增大,但增加幅度逐渐减小,在11龄时体质量生长指标增加到最大值,随后体质量生长指标逐年减小,但减小幅度增大(表2)。

表2 黄石爬鮡体长和体质量的生长指标

Table 2 The growth index of body length and body weight of *E. kishinouyei*

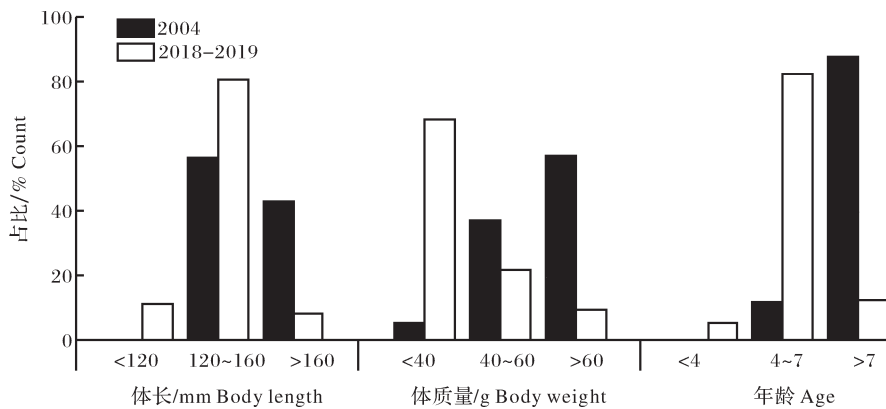
年龄 Age	体长 Body length						体质量 Body weight					
	推算体长/mm Calculate body length	G/a	M/(%/d)	C_V	C_{Vt}	C_{Lt}	推算体质量/g Calculate body weight	G/a	M/(%/d)	C_V	C_{Vt}	C_{Lt}
4	109.2	—	—	—	—	—	22.62	—	—	—	—	—
5	121.0	0.109	0.028	0.103	0.465	11.27	30.46	0.35	0.082	0.30	1.340	6.73
6	131.9	0.090	0.024	0.086	0.473	10.40	39.03	0.28	0.068	0.25	1.363	7.55
7	141.8	0.075	0.020	0.073	0.472	9.58	48.12	0.23	0.057	0.21	1.361	8.17
8	150.9	0.064	0.017	0.062	0.466	8.81	57.55	0.20	0.049	0.18	1.343	8.62
9	159.2	0.055	0.015	0.054	0.456	8.09	67.17	0.17	0.042	0.15	1.314	8.90
10	166.8	0.048	0.013	0.047	0.443	7.43	76.84	0.14	0.037	0.13	1.278	9.03
11	173.8	0.042	0.011	0.041	0.429	6.81	86.44	0.12	0.032	0.12	1.236	9.05
12	180.1	0.037	0.010	0.036	0.413	6.25	95.88	0.11	0.028	0.10	1.192	8.96
13	185.9	0.032	0.009	0.032	0.397	5.73	105.09	0.10	0.025	0.09	1.146	8.79
14	191.3	0.029	0.008	0.028	0.381	5.25	113.99	0.08	0.022	0.08	1.098	8.55

注：“—”表示无数据;G为相对增长率;M为瞬时增长率; C_V 表示生长比速; C_{Vt} 表示生长常数; C_{Lt} 表示生长指标。Note:“—”denotes no data; G represents relative growth rate; M represents instantaneous growth rate; C_V represents specific speed of growth; C_{Vt} represents growth constant; C_{Lt} represents growth index.

2.4 同水域不同时期黄石爬鮡种群组成及生长参数比较

1)样本组成对比。对比分析同水域2004年(本研究)与2018—2019年^[14]种群的样本组成,结果显示:2004年种群体长范围(114~286 mm)与体质量范围(25~470 g)的上限均远高于2018—2019年(体长54~215 mm,体质量3.3~129.3 g)。种群的优势年龄组从2004年的8~11龄下降为2018—2019年的4~7龄;同时最大年龄从14龄降至11龄。比较2个时期不同体长组、体质量组和年龄组的个体百分比

(图10),在年龄结构上,2004年种群中7龄以上(>7)组占有很高比例,而4龄以下(<4)组极为罕见或未被发现;与之相反,2018—2019年种群在4龄以下(<4)组比例很高,而7龄以上(>7)的高龄组比例极低。在体长分布中,2004年种群中体长“<120 mm”的个体比例显著低于2018—2019年,而2004年种群中体长“>160 mm”的个体比例显著高于2018—2019年。在体质量分布上,2004年表现为随体质量等级增加,个体占比也随之上升;而2018—2019年则呈现相反趋势,随体质量等级增加,个体占比逐渐



2004年为本研究数据;2018—2019数据来自文献[14]。Data of 2004 are the data of this study; data of 2018—2019 are the data from reference [14].

图10 不同时期金沙江流域黄石爬鮡样本的体长、体质量与年龄分布

Fig. 10 The distribution of body length, body weight and age at different periods of *E. kishinouyei* in Jinsha River Basin

下降。

2) 生长参数对比。对比分析同水域2004年(本研究)与2018—2019年^[14]种群的生长参数,结果显示:从2004年到2018—2019年,同水域黄石爬鮡种群的体长-体质量生长关系式中指数 b 从2.883 8(等速生长)降至2.459 6(异速生长);生长系数 k 保持相对稳定,从0.089变为0.091;理论渐近体长 L_{∞} 从248.3 mm降至209.3 mm;理论渐近体质量 W_{∞} 从242.0 g急剧降至79.6 g;表观生长指数 φ 从3.719略微下降至3.601;理论生长拐点年龄 t_i 从9.38龄略降至8.75龄。

3 讨论

3.1 黄石爬鮡的生长特性

生长方程中生长系数 k 表示鱼类个体生长接近渐近值的速度,根据 k 值的划分准则,可将生长系数作为物种生长特性的重要生态适应性指标^[25]。福建纹胸鮡(*Glyptothorax fukiensis*)^[26]生长系数大于0.2,为快速生长型鱼类;而本研究黄石爬鮡的生长系数为0.089,属生长缓慢型的鱼类,与栖息地水温常年较低、水流湍急、饵料资源与空间资源匮乏的环境条件^[27-32]相吻合。

渐近体长 L_{∞} 反映物种的理论最大体长潜力,表观生长指数 φ 则综合表征个体的生长速率和体型特征,两者均为评估鱼类生长特性的关键参数^[24]。综合现有文献数据,鮡类的渐近体长 L_{∞} 的分布范围为140.2~460.2 mm,表观生长指数 φ 的分布范围为3.467~4.271^[13-14,26,33-37],本研究黄石爬鮡的 L_{∞} 值为248.3 mm,明显小于黑斑原鮡(*Glyptosternum maculatum*)^[33]和大鳍异鮡(*Creteuchiloglanis macropterus*)^[35]的 L_{∞} 值; φ 值为3.739,与其他鮡的 φ 值差异不大,表明黄石爬鮡为体型偏小、生长速率缓慢的鮡类。拐点年龄标志着鱼类从快速生长期转入缓慢生长期,是评估种群生长潜力和资源恢复能力的重要指标,本研究中黄石爬鮡的拐点年龄为9.38,明显比黑斑原鮡(*G. maculatum*)^[33]雌性群体、福建纹胸鮡(*G. fukiensis*)^[26]和扁头鮡(*Pareuchiloglanis kamenensis*)^[36]雌性群体的拐点年龄滞后,且样本年龄多在拐点年龄之后,表明黄石爬鮡具有生长缓慢、生命周期较长的生活史特征,在稳定的激流环境中,该种群较稳定,生长潜力较高。然而,此类生活史策略也意味着种群遭受破坏后的自然恢复能力较弱,资源一旦遭到破坏将难以在短期内有效恢复。

3.2 金沙江流域黄石爬鮡的种群动态变化

鱼类的种群结构和生长参数是评估种群动态变化的重要生物学指标。种群结构能够直观反映种群的补充状况和生存压力,本研究中黄石爬鮡群体年龄结构更复杂,优势年龄组更高且性成熟个体比例高达87%;最大体长、最大体质量及大体型样本占比均呈现显著优势,表明本研究中黄石爬鮡种群结构更稳定,具有更强的种群补充能力和生产潜力。而2018—2019年,黄石爬鮡种群中高龄个体比例急剧下降,优势年龄组向低龄偏移;个体体长和体质量范围的上限及大体型个体占比显著降低(图10)^[14]。生长参数能够揭示种群对环境变化的适应性响应,本研究中黄石爬鮡种群体长与体质量关系式中 b 值更大,为匀速生长类型, k 值偏低,拐点年龄更高,且拐点年龄后的个体比例较高;渐近体长 L_{∞} 、渐近体质量 W_{∞} 和表观生长指数 φ 均较大,表明本研究中黄石爬鮡种群具有更显著的体型发育潜力和更优的生长性能。而2018—2019年^[14]黄石爬鮡种群体长与体质量关系式中 b 值下降,转变为异速生长类型; L_{∞} 、 W_{∞} 和 φ 值均显著减小,揭示了其个体饱满度降低、理论最大体型缩小和整体生长性能的衰退。生长系数 k 值略有上升,但在 L_{∞} 急剧下降的背景下,这可能是种群在遭受干扰后密度降低所致的个体快速生长响应。

与2018—2019年^[14]同水域黄石爬鮡的种群结构及生长参数等数据的对比分析结果表明随时间推移,金沙江流域黄石爬鮡的种群可能发生了严重退化,出现低龄化和小型化现象。研究表明,人类活动对鱼类的种质资源产生了极大影响。过度捕捞导致长江上游多种珍稀鱼类种群数量下降且小型化现象严重^[38]。水电开发导致金沙江流域流速减缓、坝下水温升高并产生“滞温”效应,影响了鱼类的生存与繁殖^[39-40];且流域内激流生境减少、栖息地破碎化加剧^[41],使喜流水性鱼类和洄游型鱼类种类减少,种群数量急剧下降^[42]。作为长江上游典型激流冷水代表物种,黄石爬鮡的年龄结构与生长特性对环境变化表现出高度敏感性,水电开发引起的水文情势、水质变化及栖息地的改变,势必对其种群动态产生深远影响。

3.3 金沙江流域黄石爬鮡种质资源保护对策

在过度捕捞与梯级水电开发的双重压力下,亟需采取科学的保护措施,以应对金沙江流域黄石爬鮡种质资源的衰退问题。基于种群生态学研究,建议实施以下科学保护策略:加快完善渔业资源管理

体系,降低捕捞力度;开展黄石爬鮡产卵场、索饵场等关键栖息地的水文-生态综合调查,划定核心保护区;定期检测黄石爬鮡种群数量、年龄结构和资源分布,评估其资源状况和变化趋势;清理整改小水电,在适宜支流建立“阶梯-深潭”系统,恢复生境连通性,并建立人工产卵场;开展梯级水电联合生态调度,通过分层取水和脉冲泄流,维持黄石爬鮡生长繁殖所需水文条件;深入研究黄石爬鮡的生态习性、繁殖生物学,为其人工驯养与繁殖技术提供理论指导,以增加其种质资源量;在适宜栖息地开展增殖放流活动,补充其自然种群数量,提高其遗传多样性。

参考文献 References

- [1] 张春光,杨君兴,赵亚辉,等.金沙江流域鱼类[M].北京:科学出版社,2019:1-607. ZHANG C G, YANG J X, ZHAO Y H, et al. Fishes in the Jinsha River Basin, the upper reaches of the Yangtze River[M]. Beijing: Science Press, 2019: 1-607 (in Chinese).
- [2] 吴江,吴明森.金沙江的鱼类区系[J].四川动物,1990,9(3):23-26. WU J, WU M S. Fish fauna of Jinsha River[J]. Sichuan journal of zoology, 1990, 9 (3): 23-26 (in Chinese).
- [3] 褚新洛,郑葆珊,戴定远.中国动物志:硬骨鱼纲鲇形目[M].北京:科学出版社,1999:162-163. CHU X L, ZHENG B S, DAI D Y. Fauna sinica, Osteichthys, Siluriformes [M]. Beijing: Science Press, 1999: 162-163 (in Chinese).
- [4] 武云飞,吴翠珍.青藏高原鱼类[M].成都:四川科学技术出版社,1992:544-546. WU Y F, WU C Z. The fishes of the Qinghai-Xizang Plateau [M]. Chengdu: Sichuan Scientific & Technical Publishers, 1992: 544-546 (in Chinese).
- [5] 周扬,杨珺.梯级水电开发对金沙江干流生态环境的累积影响[J].人民珠江,2024,45(12):39-47. ZHOU Y, YANG J. Cumulative effect of cascade hydropower development on ecological environment of main stream of Jinsha River[J]. Pearl River, 2024, 45(12): 39-47 (in Chinese with English abstract).
- [6] 方艳红,崔磊,熊满堂,等.金沙江中游鱼类资源变化及保护建议[J].人民长江,2025,56(1):48-57. FANG Y H, CUI L, XIONG M T, et al. Changes in fish resources and conservation recommendations in middle reaches of Jinsha River[J]. Yangtze River, 2025, 56(1): 48-57 (in Chinese with English abstract).
- [7] 熊飞,郭祺,张伟,等.金沙江下游向家坝库区鱼类群落结构空间格局[J].水生态学杂志,2024,45(4):82-91. XIONG F, GUO Q, ZHANG W, et al. Spatial pattern of fish community structure in Xiangjiaba Reservoir on the lower Jinsha River[J]. Journal of hydroecology, 2024, 45(4): 82-91 (in Chinese with English abstract).
- [8] 蒋志刚,江建平,王跃招,等.中国脊椎动物红色名录[J].生物多样性,2016,24(5):501-551. JIANG Z G, JIANG J P, WANG Y Z, et al. Red list of China's vertebrates[J]. Biodiversity science, 2016, 24(5): 501-551 (in Chinese with English abstract).
- [9] 殷名称.鱼类生态学[M].北京:中国农业出版社,2000:11-63. YIN M C. Fishery ecology [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2000: 11-63 (in Chinese).
- [10] 郭宪光.中国鮡科鱼类分子系统发育和石爬鮡属物种有效性的研究[D].重庆:西南师范大学,2003. GUO X G. Study on the molecular phylogenetic development and the validity of the genus *Eriocheir* in China [D]. Chongqing: Southwest University, 2003 (in Chinese with English abstract).
- [11] ZHOU W, LI X, THOMSON A W. Two new species of the Glyptosternine catfish genus *Euchiloglanis* (Teleostei: Sisoridae) from southwest China with redescription of *E. davidi* and *E. kishinouyei* [J]. Zootaxa, 2011, 2871(1): 1-18.
- [12] 杨颖.中国鮡科鳅群的系统分类[D].昆明:西南林学院,2006. YANG Y. Study on systematics of catfish Glyptosternoid (Sisoridae) in China [D]. Kunming: Southwest Forestry College, 2006 (in Chinese with English abstract).
- [13] 王永明,曹敏,谢碧文,等.大渡河流域黄石爬鮡的年龄与生长[J].动物学杂志,2016,51(2):228-240. WANG Y M, CAO M, XIE B W, et al. Age and growth of *Euchiloglanis kishinouyei* in Dadu River [J]. Chinese journal of zoology, 2016, 51(2): 228-240 (in Chinese with English abstract).
- [14] 胡航,刘小帅,高阔,等.雅砻江中游段黄石爬鮡年龄及生长特性分析[J].农业与技术,2024,44(10):105-110. HU H, LIU X S, GAO K, et al. Age and growth characteristics of *Euchiloglanis kishinouyei* in the middle reaches of Yalong River [J]. Agriculture and technology, 2024, 44(10): 105-110 (in Chinese).
- [15] 黄奇夔,杜军,王春,等.黄石爬鮡的繁殖生境、两性系统和繁殖行为研究[J].西南农业学报,2003,16(4):119-121. HUANG J K, DU J, WANG C, et al. Reproduction environment, sexual system and reproduction behavior of *Euchiloglanis kishinouyei* Kimura [J]. Southwest China journal of agricultural sciences, 2003, 16(4): 119-121 (in Chinese with English abstract).
- [16] 史晋绒,罗冬梅,梁灵玥,等.足木足河黄石爬鮡个体生殖力研究[J].四川动物,2019,38(3):305-310. SHI J R, LUO D M, LIANG L Y, et al. Individual fecundity of *Euchiloglanis kishinouyei* in the Zumuzu River [J]. Sichuan journal of zoology, 2019, 38(3): 305-310 (in Chinese with English abstract).
- [17] 李杰.黄石爬鮡呼吸能力的研究[D].雅安:四川农业大学,2015. LI J. Study on respiratory capacity of *Euchiloglanis kishinouyei* [D]. Yaan: Sichuan Agricultural University, 2015 (in Chinese with English abstract).
- [18] 王永明,申绍祎,史晋绒,等.黄石爬鮡消化系统组织学观察[J].重庆师范大学学报(自然科学版),2015,32(6):42-45. WANG Y M, SHEN S Y, SHI J R, et al. Histological observation of the digestive system of *Euchiloglanis kishinouyei* [J]. Journal of Chongqing Normal University (natural science edition), 2015, 32(6): 42-45 (in Chinese with English abstract).

- [19] 杨淞,符红梅,赵柳兰,等.黄石爬鮡外周血液指标特征的观察[J].动物学杂志,2015,50(6):922-930.YANG S,FU H M,ZHAO L L,et al.Characteristics of peripheral haematological parameters in *Euchiloglanis kishinouyei*[J].Chinese journal of zoology,2015,50(6):922-930 (in Chinese with English abstract).
- [20] 潘艳云,冯健,杜卫萍,等.黄石爬鮡含肉率及肌肉营养成分分析[J].水生生物学报,2009,33(5):980-985.PAN Y Y,FENG J,DU W P,et al.The study about rate of flesh in body and nutritional composition of muscle in *Euchiloglanis* spp.[J].Acta hydrobiologica sinica,2009,33(5):980-985 (in Chinese with English abstract).
- [21] 李树深,王蕊芳,刘光佐,等.黄石爬鮡和青鮡细胞核型的研究[M].鱼类学论文集(第2辑).北京:科学出版社,1981:153-155.LI S S,WANG R F,LIU G Z,et al.Studies on the karyotypes of *Euchiloglanis* and *Liobagrus*[M].Collected papers in ichthyology (volume 2).Beijing:Science Press,1981:153-155 (in Chinese).
- [22] LI Y,WANG J,ZHAO K,et al.Isolation and characterization of 16 polymorphic microsatellite loci for *Euchiloglanis kishinouyei*[J].Journal of fish biology,2014,85(3):972-977.
- [23] WANG H,YANG X F,LIU J S,et al.Telomere-to-telomere gap-free genome assembly of *Euchiloglanis kishinouyei*[J].Scientific data,2025,12(1):757[2025-03-21].https://doi.org/10.1038/s41597-025-05068-8.
- [24] 费鸿年,张诗全.水产资源学[M].北京:中国科学技术出版社,1990:146-158.FEI H N,ZHANG S Q.Aquatic resources science[M].Beijing:China Science and Technology Press,1990:146-158 (in Chinese).
- [25] BRANSTETTER S.Age and growth estimates for blacktip, *Carcharhinus limbatus*, and spinner, *C. brevipinna*, sharks from the northwestern Gulf of Mexico[J].Copeia,1987(4):964-974.
- [26] 申严杰,蒲德永,高梅,等.福建纹胸鮡年龄与生长的初步研究[J].西南农业大学学报(自然科学版),2005,27(1):106-110.SHEN Y J,PU D Y,GAO M,et al.Study on the relationship between the age and growth of *Glyptothorax fukiensis* in the Jialing River[J].Journal of Southwest University (natural science edition),2005,27(1):106-110 (in Chinese with English abstract).
- [27] 蒋红.雅砻江二滩库区及下泄水温分布规律[J].环境影响评价,2016,38(3):13-17.JIANG H.The study on water temperature distribution of discharge water at Ertan Reservoir on Yalong River[J].Environmental impact assessment,2016,38(3):13-17 (in Chinese with English abstract).
- [28] 邵骏,杜涛,郭卫,等.金沙江上游河段水温变化规律及其影响因素探讨[J].长江科学院院报,2022,39(8):17-22.SHAO J,DU T,GUO W,et al.Water temperature variation and its influencing factors in the upper Jinsha River[J].Journal of Yangtze River Scientific Research Institute,2022,39(8):17-22 (in Chinese with English abstract).
- [29] 陈媛,王文圣,陶春华,等.雅砻江流域气候变化对径流的影响分析[J].人民长江,2012,43(S2):24-29.CHEN Y,WANG W S,TAO C H,et al.Analysis on the impact of climate change on runoff in Yalong River Basin[J].Yangtze river,2012,43(S2):24-29 (in Chinese).
- [30] YANG Y,ZHOU Y Y,ZHANG L Q,et al.Water quality analysis of the Yalong River in Panzhihua,China[J].Desalination and water treatment,2020,198:53-60.
- [31] 吴乃成,唐涛,黎道丰,等.雅砻江(锦屏段)及其主要支流底栖藻类群落与环境因子的关系[J].生态学报,2009,29(4):1697-1703.WU N C,TANG T,LI D F,et al.Benthic algal communities in Jinping reach of Yalong River and its main tributaries in relation to environmental variables[J].Acta ecologica sinica,2009,29(4):1697-1703 (in Chinese with English abstract).
- [32] 马宝珊,徐滨,魏开金,等.安宁河中游着生藻类群落结构及其与环境因子的关系[J].淡水渔业,2020,50(6):30-39.MA B S,XU B,WEI K J,et al.Periphytic algal community and its relation to the environmental conditions in the middle Anning River,China[J].Freshwater fisheries,2020,50(6):30-39 (in Chinese with English abstract).
- [33] 李红敬.黑斑原鮡个体生物学及种群生态研究[D].武汉:华中农业大学,2008.LI H J.Studies on the biology and population ecology of *Glyptosternum maculatum* (Regan) in the Brahmaputra River,China[D].Wuhan:Huazhong Agricultural University,2008 (in Chinese with English abstract).
- [34] 金洪宇.雅鲁藏布江下游黄斑褶鮡年龄、生长、繁殖力及食性研究[D].上海:上海海洋大学,2020.JIN H Y.Study on the age,growth, fecundity and feeding habits of *Pseudecheneis sulcatus* in lower reaches of Yarlung Zangbo River[D].Shanghai:Shanghai Ocean University,2020 (in Chinese with English abstract).
- [35] 黄静,黄自豪,危起伟,等.大鳍异鮡年龄与生长[J].水生生物学报,2018,42(1):138-147.HUANG J,HUANG Z H,WEI Q W,et al.Age and growth of *Creteuchiloglanis macrop-terus*[J].Acta hydrobiologica sinica,2018,42(1):138-147 (in Chinese with English abstract).
- [36] 陈锋,马宝珊,谢从新,等.西藏扁头的年龄与生长特征[J].淡水渔业,2018,48(4):45-51.CHEN F,MA B S,XIE C X,et al.Age and growth characteristics of *Pareuchiloglanis kamengensis* in Tibet[J].Freshwater fisheries,2018,48(4):45-51 (in Chinese with English abstract).
- [37] CHEN J,ZHU X Y,YANG X,et al.Age,growth, and reproductive biology of *Euchiloglanis davidi* in the middle and lower Yalong River,China[J/OL].Fishes,2023,8(9):435[2025-03-21].https://doi.org/10.3390/fishes8090435.
- [38] 但胜国,张国华,苗志国,等.长江上游三层流刺网渔业现状的调查[J].水生生物学报,1999,23(6):655-661.DAN S G,ZHANG G H,MIAO Z G,et al.A survey on the commercial

- trammel net fishery in the upper reaches of the Yangtze River [J]. *Acta hydrobiologica sinica*, 1999, 23(6): 655-661 (in Chinese with English abstract).
- [39] 王海秀, 尹正杰. 长江上游水文情势变化对保护区铜鱼产卵的影响[J]. *人民长江*, 2019, 50(12): 46-50. WANG H X, YIN Z J. Effects of hydrological regime variation in the upper Yangtze River on spawning of *Coreius heterodon* in the National Reserve [J]. *Yangtze River*, 2019, 50(12): 46-50 (in Chinese with English abstract).
- [40] 周扬, 王宁, 温潇雄, 等. 长江上游梯级水电开发的水温累积影响及生态效应[J]. *水力发电学报*, 2024, 43(11): 1-16. ZHOU Y, WANG N, WEN X X, et al. Cumulative influences and ecological effects of cascade hydropower development on water temperature in upper Yangtze River [J]. *Journal of hydroelectric engineering*, 2024, 43(11): 1-16 (in Chinese with English abstract).
- [41] CHENG F, LI W, CASTELLO L, et al. Potential effects of dam cascade on fish: lessons from the Yangtze River [J]. *Reviews in fish biology and fisheries*, 2015, 25(3): 569-585.
- [42] 李婷, 唐磊, 王丽, 等. 水电开发对鱼类种群分布及生态类型变化的影响: 以溪洛渡至向家坝河段为例[J]. *生态学报*, 2020, 40(4): 1473-1485. LI T, TANG L, WANG L, et al. Distribution characteristics and ecological types changes in fish communities under hydropower development from Xiluodu to Xiangjiaba reach [J]. *Acta ecologica sinica*, 2020, 40(4): 1473-1485 (in Chinese with English abstract).

Characteristics of age and growth of *Euchiloglanis kishinouyei* in Jinsha River Basin

SU Xiaojing¹, TANG Maogang², XIONG Hao², YU Zongze¹, YANG Ruibin¹, MA Xufa¹, YANG Xuefen¹

1. College of Fisheries, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;
2. Yebatan Branch of Huadian Jinshajiang Upstream Hydropower Development Co., Ltd., Ganzi 627153, China

Abstract To evaluate the long-term trends in the germplasm resources of *Euchiloglanis kishinouyei* in the Jinsha River Basin, the age composition and growth characteristics of 208 samples collected from the basin in 2004 were preliminarily analyzed, and then compared with the population data from the same water body in later periods. The results showed that: (1) The samples' body length ranged from 114 to 286 mm, and body weight ranged from 25.0 to 470.0 g; 115 fish ages were identified, ranging from 4 to 14 instars, primarily between 8 and 11 instars. The relationships between body length (L) and body weight (W) was $W = 3 \times 10^{-5} L^{2.8838}$ ($R^2 = 0.9188$, $n = 208$), indicating a consistent growth pattern. The body length and body weight growth were modeled using the von Bertalanffy growth equation were as follows: $L_t = 248.3 [1 - e^{-0.089(t+2.495)}]$, $W_t = 242.0 [1 - e^{-0.089(t+2.495)}]^{2.8838}$. The inflection point age was 9.38 years, with corresponding body length and body weight of $L_i = 162.2$ mm and $W_i = 70.9$ g, respectively, indicating slow growth of *E. kishinouyei* in the Jinsha River Basin. (2) Compared with the data from the late stage of the same water population, the maximum body length, maximum body weight, and maximum age of the *E. kishinouyei* in this study are greater, with a higher proportion of large and older individuals. The value of b in the body length-body weight relationship was higher, indicating an isometric growth pattern, which differs significantly from the allometric pattern observed previously ($b = 2.4596 < 3$) for *E. kishinouyei* in the same water area during 2018–2019. The inflection point age is delayed, and the proportion of individuals beyond this age is higher. Additionally, the asymptotic length L_∞ , asymptotic weight W_∞ and apparent growth index φ were all larger. It is showed that the populations of *E. kishinouyei* exhibit a significant trend of reduced age and miniaturization over time. Relevant conservation efforts should be implemented as soon as possible to protect the important germplasm resources of *E. kishinouyei* in the Jinsha River Basin.

Keywords *Euchiloglanis kishinouyei*; age; growth; vertebra; Jinsha River

(责任编辑:边书京)