第42卷第3期　　水生态学杂志　　Vol.42,No.3
2021年　5月　　Journal of Hydroecology　　May　2021

DOI:10.15928/j.1674-3075.201906120153

白缘鉠的年龄结构与生长特征及生活史类型

王　崇,梁银铨

(水利部中国科学院水工程生态研究所,水利部水工程生态效应与生态修复重点实验室,湖北 武汉　430079)

摘要:为丰富白缘鉠(*Liobagrus marginatus*)的基础生物学资料,在金沙江支流黑水河采集白缘鉠244尾,分析其年龄结构、生长特性和生活史类型,并通过脊椎骨进行其年龄鉴定。结果显示,黑水河白缘鉠由5个年龄组构成,其中以2龄个体为主,占50.4%。全长与体重的关系式为 $W=3\times10^{-5}L^{2.78}$ ($R^2=0.947$),全长与体重的Von Bertalanffy生长方程分别为 $L_t=133.13[1-e^{-0.24(t+1.92)}]$ 和 $W_t=24.02[-e^{-0.24(t+1.92)}]^{2.78}$。体重生长速度和加速度均具有拐点,拐点年龄为2.34龄,拐点体长85.19 mm,拐点体重6.30 g。通过模糊聚类法分析,确认白缘鉠属于r-选择鱼类。研究表明,白缘鉠的种群结构呈现低龄化,水电开发和过度捕捞是影响其种群结构的主要因素;白缘鉠的捕捞规格应该高于其拐点年龄,即体长大于85.19 mm,体重大于6.30 g。

关键词:白缘鉠;年龄结构;生长特征;生活史类型;黑水河

中图分类号:Q145　　**文献标志码**:A　　**文章编号**:1674-3075(2021)03-0093-06

白缘鉠(*Liobagrus marginatus*)隶属于鲇形目、钝头鮠科、鉠属,分布于长江上游及其支流水域中,是我国青藏高原东部地区和横断山脉地区特有的小型、无鳞、冷水性底栖鱼类;因其肉味鲜美、营养丰富、无肌间刺而深受大众喜爱,在当地的食用价值和经济价值很高。白缘鉠具有抗逆性强、染色体少、有异型性染色体、性别比例接近1∶1等一系列生物学特性(龙华等,2005)。有学者在细胞和分子水平开展了原代细胞培养、血清转铁蛋白多态性、基因克隆等研究(李康等,1985;龙华和汪登强,2004;孙效文等,2006);在年龄和生长(王怀林,2011)、繁殖(刘小红等,2007;于学颖等,2018)、血液指标(龙华等,2007)方面也有相关的研究报道。目前,其人工驯养已获得成功(龙华等,2005),尚未见人工繁殖已获成功的相关报道。

黑水河是金沙江左岸的一级支流(102°20′~102°53′E,26°48′~28°7′N),流域面积3 603 km²,全长192 km。本文以黑水河采集的白缘鉠为研究对象,采用脊椎骨作为年龄鉴定材料,分析其生长特征,并结合已有的文献资料,分析其生活史类型,为白缘鉠资源保护提供理论依据。

收稿日期:2019-06-12　　**修回日期**:2020-11-18

基金项目:国家自然科学基金(51709188)。

作者简介:王崇,1981年生,女,副研究员,主要从事鱼类生态学研究。E-mail:wangchong@mail.ihe.ac.cn

1　材料与方法

1.1　样品获取

2014年7月,在金沙江黑水河下游老木河水电站下游以电捕(科研调查,申请获批)和钩钓方法采集白缘鉠244尾,测量其全长和体重后,保存于10%的甲醛溶液中。采取脊椎骨鉴定年龄,鉴定方法参照申严杰等(2005)。取白缘鉠脊椎骨1~5节,用4%的氢氧化钠浸泡约2 d后剔除肌肉,将脊椎骨折节、烘干、观察。

1.2　生长方程

全长与体重关系方程:

$$W=aL^{b} \quad ①$$

式中:a,b为常数;W 为体重;L 为全长(殷名称,1995)。通过 t 检验法检验b与3之间的偏离程度。

采用Von Bertalanffy(1957)生长方程描述白缘鉠的生长特性:

$$L_t=L_\infty[1-e^{-k(t-t_0)}] \quad ②$$

$$W_t=W_\infty[1-e^{-k(t-t_0)}]^{b} \quad ③$$

式中:L_t 和 W_t 分别表示 t 龄时的理论体长和体重;L_∞ 和 W_∞ 分别表示极限体长和体重,k 为生长系数,t_0 为理论生长起点,t 表示时间(以年为单位)。参数 L_∞、k 和 t_0 值通过FISAT-Ⅱ软件计算获得。分别对生长方程求一阶、二阶导数,得出生长速度和加速度方程。

1.3 生长指标

白缘鰑的生长指标计算公式如下：

$G=[(V_n - V_{n-1})/V_{n-1}] \times 100$ ④

$C_v=(\ln V_n - \ln V_{n-1})/(t_n - t_{n-1})$ ⑤

$C_{vt}=(\ln V_n - \ln V_{n-1}) \times (t_n + t_{n-1})/2$ ⑥

$C_{lt}=(\ln V_n - \ln V_{n-1}) \times V_{n-1}$ ⑦

式中：G 表示年相对增长率；C_v 表示生长比速；C_{vt}表示生长常数；C_{lt}表示生长指标；V_n、V_{n-1}分别为对应的相邻年龄 t_n 时的全长 L_n（或体重 W_n）、t_{n-1}龄时的全长 L_{n-1}（或体重 W_{n-1}）；t_n 表示计算生长比速的结束时间，t_{n-1}表示计算生长比速的开始时间（张雪飞等，2010）。

1.4 生活史类型

白缘鰑生活史类型划分通过模糊聚类分析法，选取包括白缘鰑在内共计 15 种鱼的渐进体长（L_∞）、渐进体重（W_∞）、生长系数（k）、初次性成熟年龄（T_m）、瞬时自然死亡率（M）和最大年龄（T_{max}）6 个生态学参数，数据分析在 Excel 2012 和 SPSS 16.0 中进行。

2 结果

2.1 年龄组成

黑水河白缘鰑由 5 个年龄组构成，从数据分析的结果可见，2 龄和 3 龄个体占优势。白缘鰑全长范围 58～110 mm，体重范围 2.60～26.70 g。各年龄阶段全长与体重均值详见表 1。

表 1 黑水河白缘鰑全长和体重均值

Tab.1 Mean values of total length and body weight of *L. marginatus* in Heishui River

年龄	样本/尾	占比/%	全长均值/mm	体重均值/g
1	26	10.61	66.7±6.4	4.87±1.75
2	123	50.40	80.5±8.4	8.50±2.95
3	78	32.00	91.8±9.7	12.11±3.67
4	12	4.92	101.2±5.3	15.23±3.22
5	5	2.04	107.6±1.8	20.88±3.94

2.2 全长与体重的关系

根据白缘鰑的渔获物实测全长和体重，采用公式 $W=aL^b$拟合，白缘鰑全长（L）与体重（W）关系为：$W=3\times10^{-5}L^{2.78}$（$R^2=0.947$），幂指数 b=2.78，t 检验表明，b 值与 3 差异显著，表明白缘鰑属于异速增长类型（图 1）。

2.3 生长方程

采用 FISAT－Ⅱ软件计算得到白缘鰑的渐进体长 $L=133.13$ mm，生长系数 $k=0.24$，$t_0=-1.92$。

全长生长方程为：

$L_t=133.13[1-e^{-0.24(t+1.92)}]$

由公式 $W=aL^b$ 求得 $W=24.02$ g，从而获得体重生长方程：

$W_t=24.02[1-e^{-0.24(t+1.92)}]^{2.78}$

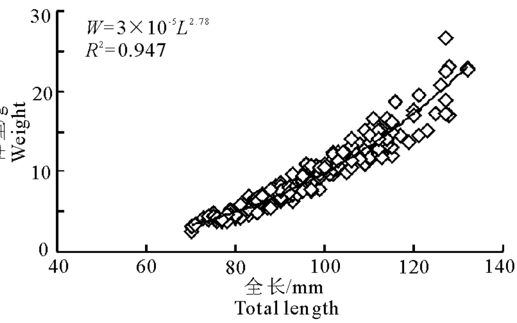

图 1 黑水河白缘鰑全长和体重关系

Fig.1 Relationship of total length and body weight of *L. marginatus* in Heishui River

将上述方程求一阶、二阶微分，得到白缘鰑全长和体重的生长速度和生长加速的方程：

全长生长速度方程：

$dL/dt=3.19e^{-0.24(t+1.92)}$

全长生长加速度方程：

$d^2L/dt^2=-7.67e^{-0.24(t+1.92)}$

体重生长速度方程：

$dW/dt=16.03e^{-0.24(t+1.92)}[1-e^{-0.24(t+1.92)}]^{1.78}$

体重生长加速度方程：

$d^2W/dt^2=3.84e^{-0.24(t+1.92)}[1-e^{-0.24(t+1.92)}]^{0.78}\times[2.78e^{-0.24(t+1.92)}-1]$

根据白缘鰑全长、体重的生长速度和加速度方程绘制相关生长曲线（图 2～图 4）。其体长生长速度和加速度不存在拐点，随着年龄的增加，生长速度递减，生长的加速度始终为负值。体重生长速度和加速度均具有拐点，拐点年龄为 2.34 龄，拐点体长 85.19 mm，拐点体重 6.30 g。

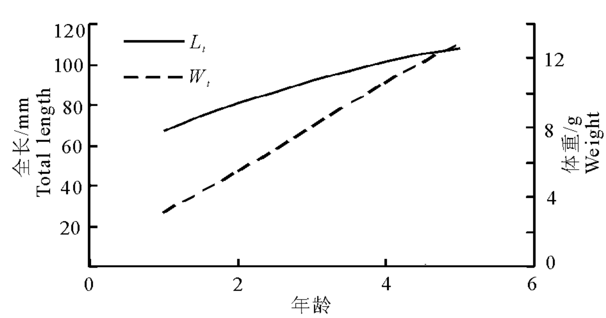

图 2 黑水河白缘鰑全长和体重生长曲线

Fig.2 Von Bertalanffy growth curve of total length and body weight of *L. marginatus* in Heishui River

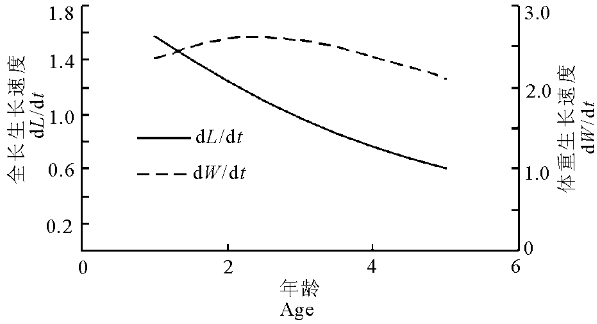

图 3　黑水河白缘鱼央全长和体重生长速度曲线

Fig.3　Growth rate curve of total length and body weight of *L. marginatus* in Heishui River

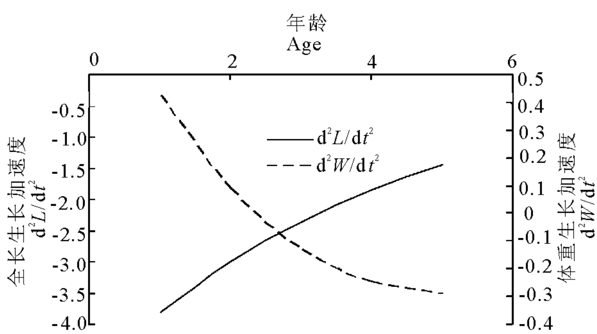

图 4　黑水河白缘鱼央全长和体重生长加速度曲线

Fig.4　Growth acceleration curves for total length and body weight of *L. marginatus* in Heishui River

2.4　生长指标

1～2 龄白缘鱼央全长和体重相对增长率明显大于此后各龄，属性成熟前的快速生长阶段；2～4 龄全长和体重增长相对稳定，属成鱼生长稳定阶段；4 龄之后逐渐进入生长缓慢阶段，生长迟缓(表 2)。

2.5　生活史类型

将中华鲟等 15 种鱼的 6 个生活史参数(渐进体长 L_∞、渐进体重 W_∞、生长系数 k、初次性成熟年龄 T_m、瞬时自然死亡率 M 和最大年龄 T_{max})列于表 3。通过模糊聚类分析法得到树状图(图 5)。可以看出，白缘鱼央属于偏 r-选择类型。

表 2　黑水河白缘鱼央全长和体重的生长指数

Tab.2　Growth indices for total length and body weight of *L. marginatus* in Heishui River

指　标	年龄 2	年龄 3	年龄 4	年龄 5
全长年相对生长率/%	20.90	13.58	10.87	5.88
全长生长比速	0.19	0.13	0.10	0.06
全长生长常数	0.28	0.32	0.36	0.26
全长生长指标	1.27	1.03	0.95	0.58
体重年相对生长率/%	69.47	42.47	33.22	17.22
体重生长比速	0.53	0.35	0.29	0.16
体重生长常数	0.79	0.89	1.00	0.72
体重生长指标	1.88	2.14	2.47	1.82

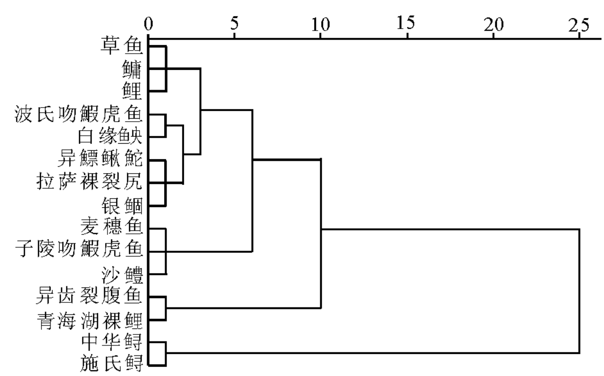

图 5　15 种鱼生活史类型的聚类分析

Fig.5　Dendrogram of life-history patterns of 15 fish species

表 3　15 种鱼的生态学参数比较

Tab.3　Comparison of ecological parameters for 15 fish species

鱼　名	L_∞/cm	W_∞/kg	k	M	T_{max}	T_m	参考文献
中华鲟 *Acipenser sinensis*	345.90	529.70	0.07	0.12	43.70	14.00	叶富良和陈刚，1996
史氏鲟 *Acipenser schrenckii*	413.40	540.60	0.06	0.09	51.20	15.00	叶富良和陈刚，1996
异齿裂腹鱼 *Schizothorax oconnori*	57.70	2.67	0.08	0.05	50.00	10.00	马宝珊等，2014
青海湖裸鲤 *Gymnocypris przewalskii*	59.00	3.10	0.07	0.07	42.72	6.00	刘军，2005
草鱼 *Ctenopharynodon idellus*	150.00	45.00	0.16	0.16	21.00	2.00	Froese & Pauly，2017
鳙 *Aristichthys nobilis*	146.00	40.00	0.17	0.14	20.00	4.00	Froese & Pauly，2017
银鲴 *Xenocypris argentea*	34.60	902.00	0.16	0.51	13.70	2.00	Froese & Pauly，2017
鲤 *Cyprinus carpio*	85.00	19.17	0.17	0.15	14.50	2.00	陈大庆等，2002
异鳔鳅鮀 *Xenophysogobio boulengeri*	17.90	0.13	0.25	0.35	11.72	2.01	王生等，2005
沙鳢 *Odontoburis obscura*	20.00	0.15	0.39	0.87	7.30	1.20	叶富良和陈刚，1998
麦穗鱼 *Pseudorasbora parva*	12.57	19.20	0.46	1.07	6.00	1.00	唐剑锋，2013
子陵吻鰕虎鱼 *Rhinogobius giurinus*	7.23	6.40	0.42	1.24	1.45	0.39	郭志强，2013
波氏吻鰕虎鱼 *Rhinogobius cliffordpopei*	5.16	3.30	0.28	0.69	1.23	0.33	郭志强，2013
拉萨裸裂尻 *Schizopygopsis younghusbandi*	33.80	525.90	0.23	0.37	12.00	4.40	段友健，2015
白缘鱼央 *Liobagrus marginatus*	16.80	0.04	0.26	0.74	10.78	1.00	本文

3 讨论

3.1 黑水河白缘鱼央小型化和低龄化特征明显

年龄结构是鱼类生活史研究的重要内容之一。鉴定鱼类年轮的材料包括鳞片、耳石、脊椎骨、鲍盖骨、鳍条等(Baker & Timmons, 1991;Robillard & Marsden, 1996)。由于水域环境、物种、生长部位以及自身生长方式的差异性,不同钙化组织对鱼类年龄的解读能力存在差异性。因此,针对特定鱼类需开展比较研究,选择最适的年龄鉴定材料(李文静等,2007)。白缘鱼央是无鳞鱼,参照王怀林(2011)的方法,采用脊椎骨鉴定其年龄,发现黑水河白缘鱼央由1～5龄组成,2龄(50.40%)和3龄个体(32.0%)占优势,4龄占4.92%,5龄仅占2.04%,即高龄个体占的比例很低。本次调查中,渔民介绍白缘鱼央曾经在金沙江中游广泛分布,但近几年数量逐渐减少。黑水河是金沙江的一个支流,采样点老木河电站上游分布3个坝高在5.0～18.0 m的首尾相连的小水电站,导致鱼类生境片段化,栖息地范围萎缩,加上过度捕捞,白缘鱼央的资源量在逐年减少,趋于小型化、低龄化。

3.2 生长特征指标表明白缘鱼央为异速生长型

鱼类的生长方式是其自身生长潜力与生长环境之间相互作用的结果,在不同的环境条件下,同种鱼不仅生长速度不同,性成熟的年龄和大小也不同(殷名称,1995)。依据全长-体重关系式,可以得出白缘鱼央属于异速生长类型,这与王怀林(2011)的研究结果有所不同。

在本研究中,采用白缘鱼央的实测全长和年龄进行生长方程的拟合,生长系数 k 为0.24,k 表示生长曲线接近渐进值的速率,在鱼类资源评估时具有重要意义(殷名称,1995)。通常情况下,生长缓慢、寿命较长的鱼类 k 值小于0.1,如拉萨裂腹鱼 *Schizothorax waltoni*(周贤君,2014)、圆口铜鱼 *Coreius guichenoti*(杨志等,2011);而一些小型鱼类生长速度快、寿命短,其 k 值大于0.2,如泉水鱼 *Semilabeo prochilus*(熊美华等,2016),蛇鮈 *Saurogobio dabryi*(王崇等,2018)等。白缘鱼央的 k 值为0.24,表明其属于快速生长类型。结合白缘鱼央的生长指标,发现其2龄以前的生长速度最快。随着年龄的增长,白缘鱼央的全长、体重增长率均有不同程度的下降,4龄之后逐渐进入生长缓慢阶段,其体重生长的拐点年龄为2.34龄,滞后于性成熟年龄2龄(于学颖等,2018)。

3.3 不同鱼类的生活史类型比较及种群影响因素

通过模糊聚类分析法,将15种鱼的6个生活史参数(包括渐进体长 L_∞、渐进体重 W_∞、生长系数 k、初次性成熟年龄 T_m、瞬时自然死亡率 M 和最大年龄 T_{max})标准化后,并消除量纲的影响。结果表明,15种鱼聚为K-选择和r-选择两大类型。中华鲟、达氏鳇等都属于K-选择类型,这种类型的鱼类个体较大、性成熟晚、繁殖力低、寿命较长;而白缘鱼央与沙鳢、麦穗鱼距离较近,属于r-选择类型,与K-选择类型相反,其个体相对较小、寿命短、世代交替快,种群在遭受破坏后可以很快恢复,但容易受环境影响,资源稳定性差。黑水河上修建了多个小型电站,并有多个采砂场,多数河段底质受采砂活动影响严重,从而影响鱼类的生长和繁殖。因此,应减少人类活动对其生境的扰动。

3.4 应多措并举保护黑水河白缘鱼央种群资源

研究认为,只有保持一定面积的自然生境,鱼类才能维持一定数量的种群规模并保持种群的延续(Benaka,2001)。杨志等(2018)调查表明,拆除黑水河的部分小型水坝,并对部分支流进行再自然化,可以维持黑水河现有的自然生境面积;邱阳凌(2018)认为拆坝对打通鱼类洄游通道及恢复鱼类种群具有重要作用。本次调查发现,当地渔民采用电捕、钩钓、丝网等多种渔具进行非法捕捞。因此,渔业部门应有针对性地制定更为合理的保护措施,如限制网具大小、禁止使用不合理的渔具渔法、防止幼鱼被捕捞。从鱼类资源保护的角度出发,建议白缘鱼央的捕捞规格应该高于拐点年龄时的规格,即体长大于85.19 mm,体重大于6.30 g;通过实行禁渔期、禁渔区来保护繁殖期的高龄个体;开展白缘鱼央繁殖生物学研究,为其增殖放流提供科学依据。

参考文献

陈大庆,刘绍平,段辛斌,等,2002. 长江中上游主要经济鱼类渔业生物学特征[J]. 水生生物学报,26(6):618-621.

段友健,2015. 拉萨裸裂尻鱼个体生物学和种群动态研究[D]. 武汉:华中农业大学.

郭志强,2013. 两种同属入侵鰕虎鱼生态位分化的研究[D]. 武汉:中国科学院大学.

李康,李渝成,周墩,1985. 白缘鱼央性别决定的细胞学证据[J]. 遗传,7(3):23-24.

李文静,王剑伟,谢从新,等,2007. 厚颌鲂的年龄结构及生长特性[J]. 中国水产科学,14(2):215-222.

刘军,2005. 青海湖裸鲤生活史类型的研究[J]. 四川动物,24(4):455-458.

刘小红，郭宇辉，王宝森，等，2007. 嘉陵江下游白缘䱀的个体生殖力研究[J]. 淡水渔业，37(2)：41－43.

龙华，汪登强，2004. 白缘䱀染色体核型分析[J]. 淡水渔业，34(2)：9－10.

龙华，刘江东，余其兴，等，2005. 白缘䱀的驯养与人工繁殖初试[J]. 渔业现代化，32(3)：21－23.

龙华，黄燕，陈建武，等，2007. 白缘䱀的血液指标测定与血细胞特点[J]. 水利渔业，27(5)：15－21.

马宝珊，谢从新，霍斌，2014. 雅鲁藏布江异齿裂腹鱼生活史对策和种群资源利用现状[J]. 长江流域资源与环境，23(11)：1558－1564.

邱阳凌，2018. 黑水河生态河貌模拟及鱼类替代生境评价[D]. 重庆：重庆交通大学.

申严杰，蒲德永，高梅，等，2005. 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)，27(1)：106－110.

孙效文，杨彦豪，龙华，等，2006. 白缘䱀微卫星分子标记的筛选[J]. 武汉大学学报(理学版)，52(4)：492－497.

唐剑锋，2013. 云南高原大型湖泊-洱海的渔业生态学[D]. 武汉：中国科学院大学.

王崇，王文君，黄晋，等，2018. 大渡河安谷库区蛇鮈生长特征和生活史类型[J]. 水产学杂志，31(4)：1－4.

王怀林，2011. 嘉陵江下游白缘䱀年龄与生长的研究[J].安徽农业科学，39(15)：9298－9301，9304.

王生，田辉伍，罗宏伟，2005. 异鳔鳅鮀年龄结构、生长特性与生活史类型[J]. 动物学杂志，47(3)：1－8.

熊美华，史方，郑海涛，等，2016. 乌江思南泉水鱼的年龄与生长研究[J].水生态学杂志，37(4)：78－83.

杨志，万力，陶江平，等，2011. 长江干流圆口铜鱼的年龄与生长研究[J]. 水生态学杂志，32(4)：46－52.

杨志，唐会元，龚云，等，2018. 产卵迁徙对金沙江黑水河下游鱼类群聚结构变动的影响[J]. 湖泊科学，30(3)：753－762.

叶富良，陈刚，1996. 3 种鲟科鱼类生活史类型的研究[J]. 湛江水产学院学报，16(1)：1－4.

叶富良，陈刚，1998. 19 种淡水鱼类的生活史类型研究[J]. 湛江水产学院学报，18(3)：11－17.

殷名称，1995. 鱼类生态学[M]. 北京：中国农业出版社.

于学颖，谭德清，但胜国，等，2018. 金沙江攀枝花江段白缘鱼央的繁殖生物学[J]. 四川动物，37(3)：291－297.

张雪飞，何春林，宋昭彬，2010. 大渡河上游麻尔柯河高原鳅的年龄与生长[J]. 动物学杂志，45(4)：11－20.

周贤君，2014. 拉萨裂腹鱼个体生物学和种群动态研究[D]. 武汉：华中农业大学.

Baker T T，Timmons L S，1991. Precision of ages estimated from five bony structures of Arctic char (Salvelinus alpinus) from the Wood River System，Alaska[J]. Can J Fish Aquat Sci，48：1007－1014.

Benaka L R，2001. Fish habitat：essential fish habitat and rehabilitation[J]. The Quarterly Review of Biology，76(1)：1288－1289.

Froese R，Pauly D，2017. Fish Base.World Wide Web electronic publication[DB/OL]. www.fishbase.org，version.

Robillard S R，Marsden J E，1996. Comparison of otolith and scale ages for yellow perch from Lake Michigan[J]. J Gt Lakes Res，22：429－435.

Von Bertalanffy L，1957. Quantitative laws in metabolism and growth[J]. Q Rev Biol，32：217－231.

（责任编辑　万月华）

Age Structure, Growth Characteristic and Life-history of *Liobagrus marginatus*

WANG Chong, LIANG Yin-quan

(Key Laboratory of Ecological Impacts of Hydraulic-Projects and Restoration of Aquatic Ecosystem of Ministry of Water Resources, Institute of Hydroecology, Ministry of Water Resources and Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430079, P.R.China)

Abstract: *Liobagrus marginatus*, inhabiting the upper Yangtze River and its tributaries, has high nutritional and economic value. In this study, the age structure, growth characteristics and life-history pattern of *L. marginatus* were analyzed, based on a field investigation carried out in the lower Heishui River in July, 2014. The objectives were to supplement the basic biological data for *L. marginatus* and provide a theoretical basis for resource conservation. A total of 244 *L. marginatus* specimens were collected from the Qiaojia reach of Heishui River, with a body length range of 58－110 mm and body weight range of 2.60－26.70 g. Vertebrae 1－5 were used to determine age. Results show that the *L. marginatus* specimens ranged in age from 1 year to 5 years and were dominated by two-year-olds, accounting for 50.4% of the total. The relationship between body weight (W) and total length (L) was described as $W=3\times10^{-5}L^{2.78}$ ($R^2=0.947$), indicating that *L. marginatus* growth is allometric. The Von Bertalanffy equations for total length and body weight in *L. marginatus* were $L_t=133.13[1-e^{-0.24(t+1.92)}]$ and $W_t=24.02[1-e^{-0.24(t+1.92)}]^{2.78}$. The growth inflexion point of *L. marginatus* was 2.34 years, with corresponding total length and body weight of 85.19 mm and 6.30 g. Based on fuzzy cluster analysis, the life-history pattern of *L. marginatus* belongs to r-selection. This study shows that the population structure of *L. marginatus* is tending towards younger, and hydropower development and overfishing were identified as the primary factors affecting the population structure. We recommended that the capture size should be larger than that at the inflection point, i.e., a length longer than 85.19 mm and weight heavier than 6.30 g.

Key words: *Liobagrus marginatus*; age structure; growth characteristic; life-history pattern; Heishui River