

朱书礼,李新辉,李跃飞,等.珠江中下游广东鲂种群结构及生长的空间差异[J].华中农业大学学报,2023,42(1):75-81.
DOI:10.13300/j.cnki.hnlkxb.2023.01.010

主持人语:“七大水系”“五大淡水湖泊”、青藏高原河流与湖泊等水体孕育了丰富的渔业资源,规模化的池塘养殖大幅度提高了水产品产量,这为我国国民提供了丰富而健康的水产动物蛋白。然而,由于过度捕捞、环境污染、水利工程建设、城市化、粗放式养殖等人类活动的影响,水生生物的栖息地与水生生态环境遭到破坏,大水面渔业资源衰退,池塘养殖面临环境保护和健康养殖等挑战。习近平总书记提出“长江大保护”“绿水青山就是金山银山”等生态文明建设理念和“大食物观”,倡导向江河湖海要热量、要蛋白,这不仅要求我们渔业科技工作者服务新的产业需求,同时要迎接生态环境保护的挑战。鉴于此,本期专栏以“渔业资源与生态环境保护”为题,面向我国渔业资源与生态环境领域的科技工作者征稿,共采纳研究论文8篇,内容涵盖大水面生态渔业、长江“十年禁渔”、池塘健康养殖模式、河湖生态环境保护等方面,以期为大水面渔业资源与生态环境保护、池塘健康高效养殖提供理论与技术支撑,推动我国渔业资源与水生态环境保护的发展。

珠江中下游广东鲂种群结构及生长的空间差异

朱书礼,李新辉,李跃飞,刘亚秋,武智,夏雨果,李捷

中国水产科学研究院珠江水产研究所/国家渔业资源环境广州观测实验站/农业农村部珠江中下游渔业资源环境科学观测实验站/广东省水产免疫技术重点实验室,广州510380

摘要 鱼类种群结构和个体生长受水文、水环境和渔业捕捞等因素影响存在空间上差异,为了解珠江中下游广东鲂(*Megalobrama terminalis*)在不同水域(河口、坝上和坝下)种群结构和生长现状,2020年7—8月在珠江中下游共采集228尾广东鲂样本,测量体长、体质量,利用鳞片测定年龄,应用 von Bertalanffy 生长方程、Beverton-Holt 模型和 Pauly 经验公式估算生长、死亡参数。比较分析结果显示,河口、坝下和坝上广东鲂优势体长分别为 17.0~27.2、18.9~28.7 和 28.6~40.0 cm;优势体质量分别为 93.0~447.9、148.8~480.0、39.5~1 420.8 g;年龄组成分别主要为 3⁺(32.14%)、2⁺(24.11%)、3⁺(32.14%)、2⁺(24.11%)和 4⁺(31.58%)、5⁺(26.32%)。河口、坝下和坝上广东鲂年龄生长方程分别为 $L=47.2(1-e^{-0.177(t+0.387)})$ 、 $L=42.9(1-e^{-0.199(t+0.377)})$ 和 $L=53.7(1-e^{-0.155(t+0.401)})$ 。河口、坝下和坝上开发率 E 分别为 0.410、0.373 和 0.248;临界体长 L_c 分别为 25.1、23.0 和 28.4 cm。以上结果表明,广东鲂体长、体质量和年龄频率分布以及生长方程均存在空间上的差异。

关键词 广东鲂;生长特征;种群结构;空间差异;珠江;十年禁渔;种质资源保护;渔业资源评估

中图分类号 S931.5 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2023)01-0075-07

广东鲂(*Megalobrama terminalis*)是珠江中下游重要经济鱼类之一,具有产卵洄游习性,在郁南罗旁和封开青皮塘分布有2个重要的广东鲂产卵场^[1],每年有大量广东鲂产卵群体洄游至产卵场进行产卵繁殖^[2]。20世纪60年代,仅广东封开江段广东鲂年捕

捞量约20 t,但至80年代初广东鲂年捕捞量已降至5 t左右^[3]。近年来,随着闸坝建设、航道清礁、疏浚、水体污染、过度捕捞等人类活动影响进一步加剧,广东鲂野生资源持续衰退^[4]。目前,珠江干流已基本完成水利梯级开发规划,平均每约120 km分布有1个

收稿日期:2022-06-27

基金项目:广东省基础与应用基础研究基金区域联合基金重点项目(2019B1515120064);珠江渔业资源调查与评估创新团队项目(9020220020);国家渔业资源广州观测实验站观测任务数据采集项目(2022SJ-JC1)

朱书礼, E-mail: zshuli2009@126.com

通信作者:李捷, E-mail: lijie1561@163.com

梯级,最下游的长洲水利枢纽于2007年实施截流蓄水^[5],阻隔了广东鲂的洄游通道,尽管建设了鱼道来缓解对鱼类洄游阻隔的影响,但对于广东鲂的洄游并未起到作用^[6],导致长洲水利枢纽上游江段广东鲂资源量急剧下降^[7]。为了保护广东鲂资源,渔业主管部门采取了多项资源养护措施,在封开青皮塘和郁南罗旁江段分别建立了西江珍稀鱼类省级自然保护区和广东鲂国家级水产种质资源保护区,2011年起在珠江流域实施禁渔期制度,并开展增殖放流活动,使得广东鲂资源有所恢复^[8]。

目前对广东鲂生物学、种群资源利用和遗传结构等方面已有大量研究^[8-10],但关于长洲水利枢纽建成后广东鲂种群的年龄与生长的空间差异鲜有报道。鱼类种群年龄结构和生长受环境条件影响,不同环境下鱼类的生长规律可能存在差异^[11]。鱼类年龄和生长研究是渔业资源评估、管理和可持续利用的基础^[12]。2019年11月位于珠江中游的桂平江段的大藤峡水利枢纽截流蓄水,这不可避免地进一步改变中下游河流的连通性和水文节律,进而对广东鲂的生长造成影响。因此,笔者对珠江不同江段的广东鲂年龄与生长特征进行比较,以期为广东鲂的种质资源保护和管理提供更丰富的数据资料。

1 材料与方法

1.1 样本采集

长洲水利枢纽位于珠江干流梧州江段,为干流梯级开发的最后一级水坝。2020年7—8月在长洲水利枢纽坝上的桂平(E110°5'7.63",N23°24'2.45")江段、坝下的封开(E111°31'8.14",N23°25'48.40")、肇庆(E112°28'17.50",N23°3'13.31")江段和珠江口的九江(E113°2'34.09",N22°49'8.41")、斗门(E113°18'30.41",N22°12'55.42")水域采集广东鲂样本。广东鲂样本从各采样点渔民捕捞的渔获物中随机抽取,捕捞网具为流刺网(网长150 m,网宽6 m,网目尺寸为2 cm×4 cm×6 cm)、抛网(网高12 m,网目尺寸为6 cm)和张网(长100 m,宽30 m,网目尺寸为6 cm),每个采样点每种网具均选择1条渔船进行捕捞,每种网具作业时间约4 h。将采集的样本进行记录编号,在新鲜状态下测量体长和体质量,体长精确到1 mm,体质量精确到0.1 g。

1.2 年龄鉴定

采集样本时,在鱼体的背鳍起点下方至侧线鳞

区域取5~8枚鳞片,保存并做好标记,用于年龄鉴定。将鳞片置于4% KOH溶液浸泡5~10 min后用清水洗去表面胶质及污物,置于载玻片,使用奥林巴斯(SZX16)体视镜进行年龄的鉴定和鳞径(R)、轮径(r)的测量(精确到0.01 mm)。鳞片还未形成第1个年轮,用 0^+ 表示;已形成第1个年轮,用 1^+ 表示;依此类推,如 $2^+, 3^+, \dots$ ^[11]。

1.3 生长特征分析

参照文献^[11]的方法,体长与体质量关系采用幂函数方程进行拟合;体长与鳞径关系采用Rasa Lee线性方程进行拟合;广东鲂的个体生长规律利用von Bertalanffy方程(VBGF)进行拟合,并对样本体长进行推算。

1.4 死亡参数估算

总死亡系数(Z)根据Beverton-Holt模型,用平均体长进行估算^[13];自然死亡系数(M)采用Pauly经验公式计算^[14],其中水温取2020年实测平均值,河口、坝下和坝上水温分别为23.89、23.89和23.43℃。捕捞死亡系数(F)和开发率(E)根据 $F=Z-M$ 和 $E=F/Z$ 计算。

1.5 临界年龄和拐点年龄

临界年龄(T_c)^[15]是鱼类的一个世代群体在没有捕捞的理想状态下生物量达到最大时的年龄,根据公式 $T_c=(k \times t_0 - \ln M + \ln(3 \times k + M)) \div k$ 计算;临界体长(L_c)通过von Bertalanffy生长方程和 T_c 值进行计算。

生长拐点年龄(t_i)^[11]是指体质量达到最大或体质量生长加速度为0时对应的年龄,根据公式 $t_i = \ln b \div k + t_0$ 计算。

1.6 数据处理

数据的整理、统计分析和图形制作使用Excel 2010和R 4.0.0软件完成。

2 结果与分析

2.1 体长、体质量及年龄分布

2020年在长洲水利枢纽坝上、坝下和珠江河口水域共采集广东鲂样本228尾,其中河口、坝下和坝上分别为112、97和19尾。河口广东鲂体长范围为12~33 cm,优势体长为17.0~27.2 cm,占比64.3%;坝下样本体长范围为10.8~34 cm,优势体长为18.9~28.7 cm,占比70.1%;坝上样本体长范围为27.8~47 cm,优势体长为28.6~40.0 cm,占比

57.9%。不同水域广东鲂体长累积频率分布见图1。

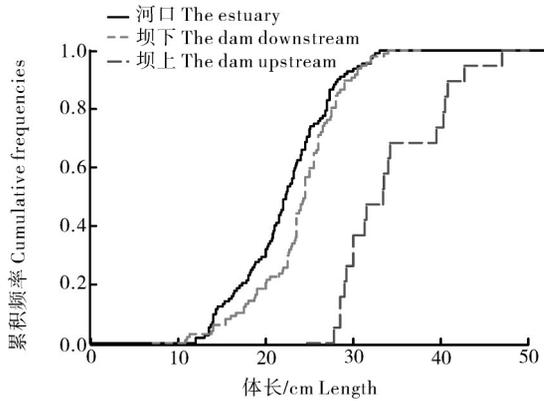


图1 不同水域广东鲂体长累积频率分布

Fig. 1 Cumulative frequency distribution of the body length for *M. terminalis* in different waters

河口广东鲂体质量范围为35.4~829.9 g, 优势体质量为93.0~447.9 g, 占比67.9%; 坝下广东鲂体质量范围为23~786.6 g, 优势体质量为148.8~480.0 g, 占比69.1%; 坝上广东鲂体质量范围为397.6~2 088.8 g, 优势体质量为439.5~1 420.8 g, 占比73.7%。不同水域广东鲂体质量累积频率分布见图2。

河口采集的广东鲂年龄为1⁺~6⁺, 各年龄个体

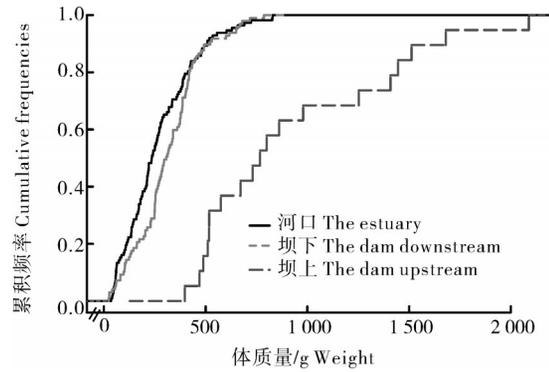


图2 不同水域广东鲂体质量累积频率分布

Fig. 2 Cumulative frequency distribution of the body weight for *M. terminalis* in different waters

数量占比从大到小依次为3⁺、2⁺、1⁺、4⁺、5⁺、6⁺; 坝下广东鲂年龄为1⁺~7⁺, 各年龄个体数量占比从大到小依次为3⁺、2⁺、4⁺、5⁺、1⁺、6⁺和7⁺; 坝上采集19尾, 年龄为4⁺~12⁺, 各年龄个体数量占比从大到小依次为4⁺、5⁺、9⁺、6⁺、8⁺、10⁺和12⁺, 见表1。不同水域广东鲂年龄累积频率分布见图3。

不同水域广东鲂体长、体质量和年龄频率分布用Kolmogorov-Smirnov (K-S) 双样本检验进行比较, K-S检验常用于确定累积频率分布在两组之间是否相同, 并可以检测到位置(如中位数)、离散度(如

表1 不同水域广东鲂各年龄组体长和体质量

Table 1 Body length and weight from different age groups of *M. terminalis* in different waters

水域 Water area	年龄/a Age	体长/cm Body length	体长范围/cm Range	体质量/g Body weight	体质量范围/g Range	数量百分比/% Quantity number
河口 Estuary	1 ⁺	14.4±1.5	12.0~18.2	62.1±19.2	35.4~112.2	17.86
	2 ⁺	19.9±1.9	16.3~22.5	175.5±50.5	101.7~269.6	24.11
	3 ⁺	22.9±1.8	18.8~26.0	266.3±69.6	135.9~397.5	32.14
	4 ⁺	27.1±1.0	25.0~29.0	434.8±59.2	334.2~534.7	17.86
	5 ⁺	30.6±1.0	29.3~32.0	659.0±122.4	509.0~829.9	4.46
	6 ⁺	32.4±0.4	32.0~33.0	682.9±112.1	555.8~827.3	3.57
坝下 Dam downstream	1 ⁺	14.4±2.4	10.8~17.5	62.8±29.9	23.0~103.9	12.37
	2 ⁺	20.6±2.1	17.7~24.5	181.5±57.4	102.8~287.1	16.49
	3 ⁺	23.9±1.2	21.5~26.5	301.9±63.3	202.8~418.3	32.99
	4 ⁺	26.1±0.9	25.0~28.0	367.6±43.7	294.4~454.0	16.49
	5 ⁺	28.9±1.3	27.0~31.5	494.3±95.1	386.3~717.3	16.49
	6 ⁺	32.0±1.2	30.5~33.5	649.7±25.9	616.7~680.0	4.12
	7 ⁺	34.0	34.0	786.6	786.6	1.03
坝上 Dam upstream	4 ⁺	29.2±1.3	27.8~31.5	530.6±138.7	397.6~799.8	31.58
	5 ⁺	31.5±1.9	29.2~33.5	671.1±134.8	516.7~860.8	26.32
	6 ⁺	34.1±0.1	34.0~34.2	873.5±149.8	767.5~979.4	10.53
	8 ⁺	40.3	40.3	1 512.1	1 512.1	5.26
	9 ⁺	40.3±0.7	39.5~40.8	1 369.0±102.7	1 252.4~1 445.9	15.79
	10 ⁺	42.7	42.7	1 680.0	1 680.0	5.26
12 ⁺	47.0	47.0	2 088.8	2 088.8	5.26	

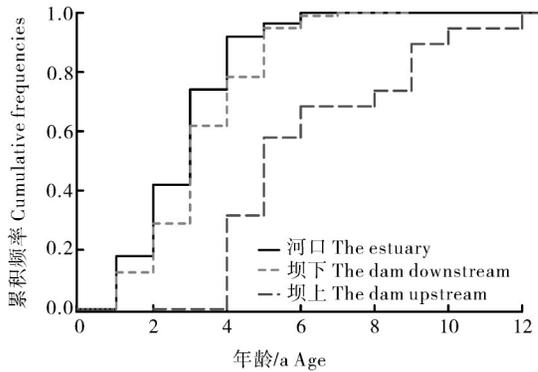


图3 不同水域广东鲂年龄累积频率分布

Fig.3 Cumulative frequency distribution of the age for *M. terminalis* in different waters

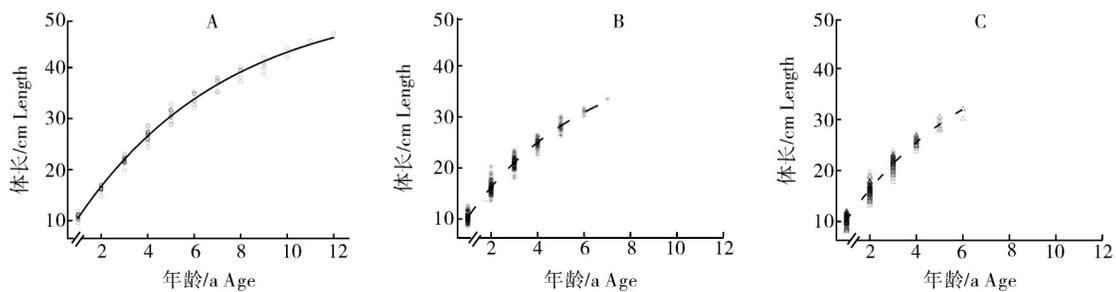
方差)和分布形状的差异。分析结果显示,不同水域广东鲂体长、体质量频率分布差异显著($P < 0.01$);坝上广东鲂年龄显著大于坝下和河口($P < 0.01$),河口广东鲂和坝下广东鲂年龄结构无显著差异($P > 0.05$)。

2.2 体长与体质量关系

根据幂函数 $W = aL^b$ 对体长与体质量关系进行拟合。河口、坝下和坝上广东鲂体长-体质量关系式分别为 $W = 0.0186L^{3.05}$ ($R^2 = 0.98, P < 0.01$)、 $W = 0.0155L^{3.09}$ ($R^2 = 0.98, P < 0.01$)和 $W = 0.0187L^{3.04}$ ($R^2 = 0.95, P < 0.01$) (图4)。方差分析显示体长-体质量关系的幂函数系数 b 在河口、坝下和坝上均无显著差异,且幂函数系数 b 与 3.0 无显著差异 ($t = 1.676, df = 226, P = 0.095$),说明 3 个水域广东鲂均为匀速生长。生长条件因子 a 在河口和坝下之间有显著差异,表明河口和坝下的栖息地环境状况存在一定的差异。

2.3 体长与鳞径关系

广东鲂体长 (L, cm) 与鳞径 (R, cm) 关系采用



A. 坝上 The dam upstream; B. 坝下 The dam downstream; C. 河口 The estuary.

图5 不同水域广东鲂体长生长曲线

Fig. 5 Growth curve of the body length for *M. terminalis* in different waters

2.5 死亡参数估算

根据平均体长估算总死亡系数 Z , 河口、坝下和坝上广东鲂 Z 值分别为 0.798、0.832 和 0.549。根据

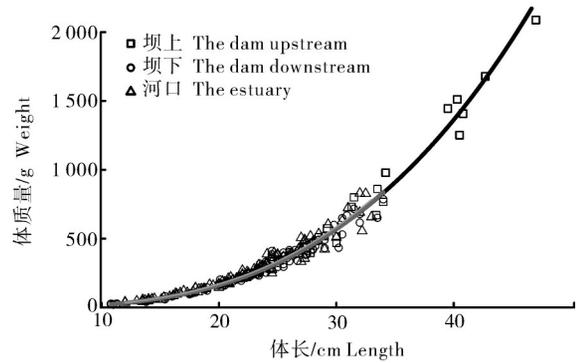


图4 不同水域广东鲂体长-体质量关系

Fig. 4 Relationship between the body length and weight for *M. terminalis* in different waters

线性方程进行拟合,协方差分析显示不同水域(河口、坝下和坝上)广东鲂体长与鳞径关系无显著差异($P > 0.05$)。广东鲂体长-鳞径关系拟合线性方程为: $L = 39.03R + 3.78$ 。

2.4 体长与体质量生长方程

根据广东鲂体长-鳞径关系方程式和轮径长度计算各年龄退算体长,然后利用 von Bertalanffy 生长方程拟合生长规律,获得生长方程参数。河口、坝下和坝上广东鲂渐近体长 L_{∞} 分别为 47.2、42.9 和 53.7 cm,生长系数 k 分别为 0.177、0.199 和 0.155, t_0 分别为 -0.387、-0.377 和 -0.401。对不同水域广东鲂生长方程参数进行方差分析,结果显示坝上与坝下之间存在显著差异 ($P < 0.05$),坝上和河口存在极显著差异 ($P < 0.001$),坝下和河口之间无显著差异 ($P = 1$)。将各参数代入公式中,分别得到体长生长方程:河口 $L = 47.2(1 - e^{-0.177(t+0.387)})$;坝下 $L = 42.9(1 - e^{-0.199(t+0.377)})$;坝上 $L = 53.7(1 - e^{-0.155(t+0.401)})$,绘制体长生长曲线如图5所示。

Pauly 经验公式估算自然死亡系数 M , 河口、坝下和坝上广东鲂的 M 值分别为 0.467、0.518 和 0.413; 捕捞死亡系数 F 分别为 0.331、0.314 和 0.136; 开发率 E 分

别为0.415、0.377和0.248。

2.6 临界年龄和拐点年龄

根据 k 、 t_0 和 M 值计算临界年龄 T_c ，河口、坝下和坝上广东鲂 T_c 分别为3.90、3.48和4.46龄。根据体长生长方程计算临界体长 L_c ，河口、坝下和坝上分别为25.1、23.0和28.4 cm。根据 b 、 k 和 t_0 值计算拐点年龄 t_i ，河口、坝下和坝上广东鲂 t_i 分别为5.91、5.29和6.77龄；对应的拐点体长分别为31.7、29.1和36.0 cm。

3 讨论

3.1 广东鲂种群结构特征

不同水域广东鲂体长频率分布存在显著差异，坝上广东鲂体长范围和优势体长均大于坝下和河口，坝上缺乏广东鲂幼鱼群体。长洲水利枢纽于2007年实施截流蓄水后，坝上形成水域宽阔的库区，有利于广东鲂的个体生长。坝下广东鲂优势体长大于河口，这可能与广东鲂的洄游习性有关，每年河口有大量性成熟的广东鲂洄游至位于坝下的产卵场进行产卵繁殖。广东鲂初次性成熟年龄为2~3龄，初次性成熟体长21.5~25.4 cm^[3]。坝下广东鲂优势体长较2009—2015年(24~32 cm)^[8]有所减小，补充群体比例有所增加，表明珠江禁渔期制度和渔业资源养护对广东鲂幼鱼补充产生了有益的效果。坝下和河口广东鲂年龄组成与1981—1983年(1~8龄)^[3]、2006年(1~7龄)^[16]基本一致，均以低龄鱼为主；坝上广东鲂则以高龄鱼为主，并且缺少3龄以下个体，补充群体占数量百分比小，表明坝上广东鲂渔业生产量小，这与长洲水利枢纽的修建有一定关系。谭细畅等^[7]对长洲水利枢纽鱼道过鱼效果的研究结果表明，长洲水利枢纽的鱼道对广东鲂洄游过坝没有作用。长洲水利枢纽阻隔了广东鲂的洄游通道，导致坝下广东鲂无法洄游至坝上水域产卵繁殖。Liu等^[2]对西江广东鲂繁殖生物学研究发现，长洲水利枢纽改变了干流水文节律，导致坝下广东鲂产卵时间滞后，产卵次数减少。有资料记载，位于长洲水利枢纽上游的郁江和浔江江段也有广东鲂产卵场分布^[17]。广东鲂生殖洄游需要特定的水文条件刺激，长洲水利枢纽坝上形成库区，水流缓慢，对广东鲂产卵繁殖造成负面影响，因此缺少低龄补充群体。

3.2 广东鲂生长、死亡参数

在鱼类体长-体质量幂函数关系中，幂指数 $b=3$ 时为匀速生长， $b \neq 3$ 时为变速生长^[13]，河口、坝下和坝上广东鲂的 b 值与3之间无显著差异，表明各水域

广东鲂均为匀速生长。本研究中广东鲂的 b 值与2009—2015年(3.051)^[8]一致，但小于1981—1983年(3.334)^[3]，这与不同时期广东鲂获得的营养条件差异有关。鱼类生长方程中 k 值一般用来反映种群生长速度的快慢，本研究中广东鲂均为中等速度生长类型(0.1~0.2)^[18]，坝下广东鲂群体生长最快，坝上群体最慢，这可能由于不同水域的生存环境状况如饵料资源、捕捞压力等因素的差异造成的^[19-20]。渐近体长是鱼类按照生长方程生长的极限体长，坝上广东鲂渐近体长明显大于坝下和河口；坝上广东鲂的生长拐点年龄(6.77)也大于河口(5.91)和坝下(5.29)，这可能与采集的样本数量和个体规格有关，具体原因有待进一步研究。

鱼类的死亡是影响资源群体数量变动的主要因素，对有关死亡参数的测算是渔业资源评估的重要内容之一^[21-22]。本研究中坝下广东鲂的自然死亡系数(0.518)和总死亡系数(0.832)均为最高，坝上广东鲂的自然死亡系数(0.413)、总死亡系数(0.549)和捕捞死亡系数(0.136)均为最低，这可能与坝上广东鲂群体个体数量总量少有关，并且坝上广东鲂低龄个体数量占比小。基于耿平等^[21]发现已有文献在使用Pauly经验公式评估 M 时存在单位错误问题，将李跃飞等^[8]评估的2009—2015年广东鲂的 M 值(0.29)修正为0.56，相应的捕捞死亡系数和开发率也进行修正。本研究河口和坝下广东鲂的总死亡系数和自然死亡系数与1981—1983年^[3]($Z=0.87$, $M=0.46$)比较接近，捕捞死亡系数则略小于1981—1983年^[3]($F=0.41$)；河口和坝下广东鲂相应的死亡系数均小于2009—2015年^[8]($Z=1.56$, $M=0.56$, $F=1.0$)，说明目前广东鲂的生存环境和捕捞压力有所缓解。Gulland^[23]指出开发率 E 在0~0.5，渔业处于轻度开发状态，0.5为鱼类的一般最适开发率，若高于0.5则表征为过度开发。目前河口、坝下和坝上广东鲂群体的开发率分别为0.410、0.373和0.248，均小于0.5，为轻度开发状态，而相较于2009—2015年(0.641)^[8]为过度开发状态，说明西江禁渔期制度和广东鲂资源养护工作取得了积极的成效。

3.3 广东鲂资源保护策略

鱼类个体生物学和种群结构研究是渔业资源评估的重要内容，可为渔业管理和可持续利用提供参考依据^[24]。临界年龄是渔业资源评估和渔业可持续利用的一个重要参数，本研究获得的河口、坝下和坝上广东鲂临界年龄分别为3.90、3.48和4.46 a；对应的临界体长分别为25.1、23.0和28.4 cm。制定合

理的开捕体长在渔业资源养护中易于操作且效果好,综合考虑广东鲂生长和渔业管理需要,建议河口、坝下和坝上广东鲂开捕体长统一设定为25 cm。虽然坝上广东鲂开发率较低,但坝上广东鲂总体资源量小,且低龄鱼个体占数量百分比小,种群生产量小。建议在坝上实施广东鲂增殖放流,改善种群结构,提高渔业资源利用效率。此外,需进一步加强坝上广东鲂个体生物学和种群结构监测研究。

参考文献 References

- [1] 谭细畅,李新辉,林建志,等.基于水声学探测的两个广东鲂产卵群体繁殖生态的差异性[J].生态学报,2009,29(4):1756-1762. TAN X C, LI X H, LIN J Z, et al. Ecological differentiation between two breeding populations of *Megalobrama hoffmanni* in the Pearl River based on hydro-acoustic research[J]. Acta ecologica sinica, 2009, 29(4): 1756-1762 (in Chinese with English abstract).
- [2] LIU Y Q, LI X H, LI Y F, et al. Reproductive biology and strategy of *Megalobrama terminalis* of Xijiang River [J]. Journal of lake sciences, 2021, 33(1): 232-241.
- [3] 王金潮,黄毅文.珠江广东鲂的年龄、生长及其最大持续渔获量[J].水产学报,1990,14(4):313-320. WANG J C, HUANG Y W. The age and growth of Guangdong bream (*Megalobrama hoffmanni*) in the Pearl River with reference to its maximum sustaining yield [J]. Journal of fisheries of China, 1990, 14(4): 313-320 (in Chinese with English abstract).
- [4] 李跃飞,李新辉,谭细畅,等.西江肇庆江段渔业资源现状及其变化[J].水利渔业,2008,29(2):80-83. LI Y F, LI X H, TAN X C, et al. Studies on present situation and change trend of Zhaoqing section fishery resources in Xijiang River [J]. Reservoir fisheries, 2008, 28(2): 80-83 (in Chinese).
- [5] 陈锋,雷欢,郑海涛,等.珠江干流梯级开发对鱼类的影响与减缓对策[J].湖泊科学,2018,30(4):1097-1108. CHEN F, LEI H, ZHENG H T, et al. Impacts of cascade reservoirs on fishes in the mainstream of Pearl River and mitigation measures [J]. Journal of lake sciences, 2018, 30(4): 1097-1108 (in Chinese with English abstract).
- [6] 谭细畅,黄鹤,陶江平,等.长洲水利枢纽鱼道过鱼种群结构[J].应用生态学报,2015,26(5):1548-1552. TAN X C, HUANG H, TAO J P, et al. Fish population structure in the fishway of Changzhou hydro-junction [J]. Chinese journal of applied ecology, 2015, 26(5): 1548-1552 (in Chinese with English abstract).
- [7] 谭细畅,陶江平,黄道明,等.长洲水利枢纽鱼道功能的初步研究[J].水生生态学杂志,2013,34(4):58-62. TAN X C, TAO J P, HUANG D M, et al. A preliminary assessment of fish migration through the Changzhou fishway [J]. Journal of hydroecology, 2013, 34(4): 58-62 (in Chinese with English abstract).
- [8] 李跃飞,李策,朱书礼,等.基于单位补充量模型的西江广东鲂种群资源利用现状评价[J].水生生物学报,2018,42(5):975-983. LI Y F, LI C, ZHU S L, et al. Exploitation status of *Megalobrama terminalis* based on analysis of sbr and ypr models in Xijiang River [J]. Acta hydrobiologica sinica, 2018, 42(5): 975-983 (in Chinese with English abstract).
- [9] CHEN W T, LI C, CHEN F C, et al. Phylogeographic analyses of a migratory freshwater fish (*Megalobrama terminalis*) reveal a shallow genetic structure and pronounced effects of sea-level changes [J/OL]. Gene, 2020, 737: 144478 [2022-06-27]. https://doi.org/10.1016/j.gene.2020.144478.
- [10] XIA Y G, LI J, LI Y F, et al. Small-subunit ribosomal DNA sequencing analysis of dietary shifts during gonad maturation in wild black Amur bream (*Megalobrama terminalis*) in the lower reaches of the Pearl River [J]. Fisheries science, 2017, 83(6): 955-965.
- [11] 殷名称. 鱼类生态学 淡水渔业、海水养殖、水生生物和鱼类资源专业用 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2003. YIN M C. Fish ecology: freshwater fishery, mariculture, aquatic life and fish resources. [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2003 (in Chinese).
- [12] 陈新军,刘必林. 渔业资源生物学 [M]. 北京: 科学出版社, 2017. CHEN X J, LIU B L. Fishery resources biology [M]. Beijing: Science Press, 2017 (in Chinese).
- [13] 詹秉义. 渔业资源评估 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1995. ZHAN B Y. Fish stock assessment [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1995 (in Chinese).
- [14] PAULY D. On the interrelationships between natural mortality, growth parameters, and mean environmental temperature in 175 fish stocks [J]. ICES journal of marine science, 1980, 39(2): 175-192.
- [15] 唐渝. 太湖湖鲢生长特征和临界年龄的研究 [J]. 生态学杂志, 1986, 5(3): 5-9, 13. TANG Y. Study on the growth character and critical age of *Coilia ectenes taihuensis* (Yuan et Lin) [J]. Chinese journal of ecology, 1986, 5(3): 5-9, 13 (in Chinese with English abstract).
- [16] 何美峰,李新辉,谭细畅,等.西江广东鲂的年龄鉴定及生长研究 [J]. 淡水渔业, 2007, 37(3): 54-58. HE M F, LI X H, TAN X C, et al. Age determination and the growth of *Megalobrama hoffmanni* in Xijiang River [J]. Freshwater fisheries, 2007, 37(3): 54-58 (in Chinese with English abstract).
- [17] 林书颜. 西江鱼苗调查报告 [J]. 广东建设, 1933, 1(6): 9-35. LIN S Y. Investigation report of fish fry in Xijiang River [J]. Guangdong construction, 1933, 1(6): 9-35 (in Chinese).
- [18] BRANSTETTER S. Age and growth estimates for blacktip, *Carcharhinus limbatus*, and spinner, *C. brevipinna*, sharks from the northwestern gulf of Mexico [J]. Copeia, 1987, 1987(4): 964-974.
- [19] 王茂元. 闽江中游鲢的年龄与生长 [J]. 中国农学通报, 2020, 36(11): 124-129. WANG M Y. Age and growth of *Hypophthalmichthys molitrix* in the middle of the Minjiang River [J]. Chinese agricultural science bulletin, 2020, 36(11): 124-129 (in Chinese with English abstract).
- [20] 陈朋,马燕武,谢春刚,等. 博斯腾湖草鱼生长特征的研究 [J]. 淡水渔业, 2016, 46(4): 38-43. CHEN P, MA Y W, XIE C G, et al. The growth of *Ctenopharyngodon idellus* in bositeng lake in Xinjiang [J]. Freshwater fisheries, 2016, 46(4): 38-43 (in Chi-

- nese with English abstract).
- [21] 耿平, 张魁, 徐姗姗, 等. 鱼类自然死亡系数评估研究进展[J]. 中国水产科学, 2018, 25(3): 694-704. GENG P, ZHANG K, XU S N, et al. Assessment of natural mortality coefficients in fish stocks: a review[J]. Journal of fishery sciences of China, 2018, 25(3): 694-704 (in Chinese with English abstract).
- [22] 高春霞, 麻秋云, 田思泉, 等. 浙江南部近海小黄鱼生长、死亡和单位补充量渔获量[J]. 中国水产科学, 2019, 26(5): 925-937. GAO C X, MA Q Y, TIAN S Q, et al. Growth, mortality and yield per recruitment of small yellow croaker in offshore waters of southern Zhejiang [J]. Journal of fishery sciences of China, 2019, 26(5): 925-937 (in Chinese with English abstract).
- [23] GULLAND J A. Fish stock assessment: a manual of basic methods[M]. Chichester: Wiley, 1983.
- [24] 张国政, 李显森, 金显仕, 等. 黄海南部小黄鱼生长、死亡和最适开捕体长[J]. 中国水产科学, 2010, 17(4): 839-846. ZHANG G Z, LI X S, JIN X S, et al. Growth, mortality and optimum catchable size of small yellow croaker (*Larimichthys polyactis* Bleeker) in the Southern Yellow Sea [J]. Journal of fishery sciences of China, 2010, 17(4): 839-846 (in Chinese with English abstract).

Population structure and growth differences of *Megalobrama terminalis* from different water areas in middle and lower reaches of Pearl River

ZHU Shuli, LI Xinhui, LI Yuefei, LIU Yaqiu, WU Zhi, XIA Yuguo, LI Jie

*Pearl River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Science/
Guangzhou Scientific Observing and Experimental Station of National Fisheries Resources and Environment/Scientific Observing and Experimental Station of Fishery Resources and Environment
in the Middle and Lower Reaches of Pearl River, Ministry of Agriculture and Rural Affairs/
Key Laboratory of Aquatic Animal Immune Technology of Guangdong Province, Guangzhou 510380, China*

Abstract There are spatial differences in fish population structure and individual growth, which are affected by hydrology, water environment, and fishing. In order to study the population structure and growth differences of *Megalobrama terminalis* in the estuary, dam downstream, and dam upstream in the middle and lower reaches of the Pearl River, a total of 228 fish samples were collected in the middle and lower reaches of Pearl River from July to August in 2020. The body length and weight of the samples were measured, and the scales were used to determine the age. The von Bertalanffy growth equation, Beverton-holt model, and Pauly empirical formula were applied to estimate the growth and death parameters of *M. terminalis*. The results of comparative analysis showed that the dominant body length of *M. terminalis* was 17.0-27.2 cm in the Pearl River estuary, 18.9-28.7 cm in the dam downstream, and 28.6-40.0 cm in the dam upstream. The dominant body weight was 93.0-447.9 g in the Pearl River estuary, 148.8-480.0 g in the dam downstream, and 39.5-1 420.8 g in the dam upstream. The dominant ages were 3⁺ (32.14%) and 2⁺ (24.11%) in the Pearl River estuary, 3⁺ (32.14%) and 2⁺ (24.11%) in the dam downstream, and 4⁺ (31.58%) and 5⁺ (26.32%) in the dam upstream. The von Bertalanffy equation of *M. terminalis* was $L=47.2(1-e^{-0.177(t+0.387)})$ in the Pearl River estuary, $L=42.9(1-e^{-0.199(t+0.377)})$ in the dam downstream, and $L=53.7(1-e^{-0.155(t+0.401)})$ in the dam upstream. The exploitation ratio (*E*) of *M. terminalis* was 0.410 in the Pearl River estuary, 0.373 in the dam downstream, and 0.248 in the dam upstream. The critical length (*L_c*) was 25.1 cm in the Pearl River estuary, 23.0 cm in the dam downstream, and 28.4 cm in the dam upstream. The results of comparative analysis showed that the frequency distribution of body length, body weight, age, and the growth equation of *M. terminalis* had spatial differences.

Keywords *Megalobrama terminalis*; growth characteristics; population structure; spatial difference; Pearl River; 10-year Yangtze Fishing Ban; conservation of germplasm resources; fisheries stock assessment

(责任编辑:边书京)