

珠江下游广东鲂体长-体重关系和肥满度的年间变化

刘亚秋^{①②} 李跃飞^② 李新辉^② 李捷^{②*} 张辉^{①*}

① 农业农村部淡水生物多样性保护重点实验室, 中国水产科学研究院长江水产研究所 武汉 430223;

② 中国水产科学研究院珠江水产研究所, 农业农村部珠江中下游渔业资源环境科学观测实验站 广州 510380

摘要: 本研究通过对 2010 至 2018 年珠江下游肇庆江段广东鲂 (*Megalobrama terminalis*) 的生物资料调查, 探究了其体长-体重关系以及肥满度及年龄结构年间变化趋势。结果表明, 2010 至 2018 年珠江下游肇庆段广东鲂种群的体长及 5+ 龄以上个体占比率总体呈现下降趋势。2010 至 2018 年珠江下游广东鲂种群体长-体重幂函数相关的条件因子 a 为 0.011 ~ 0.004, 异速生长因子 b 为 2.816 ~ 3.261。广东鲂种群在 2010、2011 和 2014 年呈现负异速生长, 而在 2013 及 2015 至 2018 年份表现出正异速生长。2010 至 2018 年珠江下游广东鲂种群肥满度总体呈现出上升趋势。此外, 2010 至 2018 年珠江下游肇庆段日平均水温 20 °C 以上天数占比率呈现逐渐上升趋势, 而洪峰数量减少且相对集中。本研究发现广东鲂异速生长因子与日平均水温和径流量呈现一定线性正相关关系, 揭示栖息地环境与广东鲂生长潜在的关联性。持续的高捕捞压力加快了广东鲂种群生长速度, 并导致了该种群负异速生长。珠江禁渔期制度实施及其栖息地水温变化, 可能是珠江下游广东鲂种群肥满度逐渐升高的原因。

关键词: 珠江; 广东鲂; 保护; 生长

中图分类号: Q958 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263 (2022) 05-732-10

Inter-annual Variation of Body Length-weight Relationship and Condition Factors of the Black Amur Bream (*Megalobrama terminalis*) in the Downstream of the Pearl River

LIU Ya-Qiu^{①②} LI Yue-Fei^② LI Xin-Hui^② LI Jie^{②*} ZHANG Hui^{①*}

① *Key Laboratory of Freshwater Biodiversity Conservation, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Yangtze River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuhan 430223;* ② *Pearl River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, 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, Guangzhou 510380, China*

基金项目 广州市科技计划项目 (No. 202201010762), 农业农村部淡水生物多样性保护重点实验室开放课题 (No. LFBC1006), 广东省基础与应用基础研究基金区域联合基金重点项目 (No. 2019B1515120064), 国家重点研发计划“蓝色粮仓科技创新”重点专项 (No. 2018YFD0900903);

* 通讯作者, E-mail: Zhanghui@yfi.ac.cn, lijie1561@163.com;

第一作者介绍 刘亚秋, 男, 助理研究员; 研究方向: 渔业资源保护与应用; E-mail: liuyq1990@foxmail.com.

收稿日期: 2022-01-12, 修回日期: 2022-07-11 DOI: 10.13859/j.cjz.202205009

Abstract: [Objectives] The black Amur bream (*Megalobrama terminalis*) is an indigenous fish species, which has been identified to hold an important position in fishery production in the lower reaches of the Pearl River. This study aims to investigate the inter-annual variation on body length-weight relationship, Fulton's condition factors (K) and age structure of *M. terminalis* population in the course of 2010-2018 in the downstream of Pearl River. **[Methods]** From 2010 to 2018, 1 785 specimens of *M. terminalis* were collected. Body mass and body length of all the samples were measured. In this study, we investigated the growth pattern of *M. terminalis*, basing on the body length, weight and age structure of *M. terminalis*. The power function of the body length and body weight relation equation: $W = aL^b$ was used to compare the variation trend of *M. terminalis* from 2010 to 2018. SPSS software (version 19.0) was used for data processing. We examined significant differences between allometric growth parameters b and 3 by t test. Descriptive statistics was presented as mean \pm standard deviation (Mean \pm SD). **[Results]** The results indicated that there was a decreasing trend in body length and proportion of individuals over 5+ years of *M. terminalis* population in Zhaoqing section of the Lower Pearl River from 2010 to 2018. Meanwhile, the body length-weight power function correlation condition factors (a) ranged from 0.011 to 0.004, and the value of allometric factor (b) ranged from 2.816 to 3.261 in the present study. *M. terminalis* population showed negative allometric growth in 2010, 2011 and 2014, while positive allometric growth in 2013, 2015-2018. The fatness of *M. terminalis* population presented a gradually increasing trend during 2010 to 2018. In addition, the proportion of daily average water temperature above 20 °C in Zhaoqing section of the Pearl River gradually increase, while the number of flood peaks decreased significantly and the distribution of flood peaks turned into intensively. Moreover, there was a positive relationship between allometric factor and water temperature and discharge, verifying the relevance between fish growth and habitat environment. **[Conclusion]** In general, high fishing pressure might be responsible to accelerate growth rate of *M. terminalis* population in the downstream of the Pearl River, causing negative allometric growth of *M. terminalis* population. Furthermore, implement of the fishery ban management and variation of water temperature in the lower reaches of the Pearl River might lead to the ascent in fatness of *M. terminalis* population.

Key words: Pearl River; *Megalobrama terminalis*; Conservation; Growth

近年来,随着人类活动不断加剧,如水利工程、航道疏浚、水体污染及过度捕捞等,造成鱼类种群及其栖息地正在发生显著变化。有研究表明,气温和不断变化的降水模式,改变了河流的水温和流量状态,从而影响鱼类栖息地环境(Barbarossa et al. 2021)。通过长时间序列下鱼类群落结构的调查,有学者发现温度和径流量的变化能够显著影响河流鱼类多样性(Comte et al. 2021)。此外,捕捞强度的增加会加大鱼类幼鱼补充失败的风险(李跃飞等 2018)。体长-体重关系(length-weight relationship)是鱼类生活史研究的重要内容。黄真理等(1999)

论证了体长-体重幂函数关系式($W = aL^b$)的意义和合理性。 b 为异速生长因子(allometric factor),能有效反映鱼类的生长模式,等速生长 $b = 3$,异速生长 $b < 3$ 或 $b > 3$,也间接反映了鱼类的栖息地质量(Froese et al. 2011, Ma et al. 2017),并被认为是鱼类资源评估模型不可或缺的组成部分,对资源评估和管理至关重要(Vicky et al. 2000, Froese 2006)。肥满度(Fulton's condition factors, K)与体长-体重的关系密切,能反映鱼类个体的生理和营养状况及其栖息地环境(戴强等 2006)。在渔业管理过程中,查明鱼类种群肥满度变化,有助于确

定其开捕时间以获得更大产量 (Froese 2006, Froese et al. 2014)。

广东鲂 (*Megalobrama terminalis*) 是我国南方水系重要经济鱼类之一 (李跃飞等 2014, Liu et al. 2020)。由于珠江干流长洲水利枢纽截流及航道扩能升级工程对广东鲂栖息水域的生态环境有显著的影响 (刘亚秋等 2021), 与历史记录相比, 广东鲂的繁殖策略及早期资源补充机制均已出现适应性变化 (李跃飞等 2014, 刘亚秋等 2019, 2021)。李跃飞等 (2018) 研究发现, 珠江广东鲂长期处于过度捕捞状态。因此, 本研究通过分析 2010 至 2018 年珠江下游肇庆江段广东鲂种群生物学资料, 探究广东鲂种群体长-体重关系参数及肥满度的年间变化特征并结合水温 and 径流量动态变化分析, 以期为广东鲂的评估、渔业管理和保护提供数据支持。

1 材料与方法

1.1 渔获物采样

2010 至 2018 年每年的 4 到 9 月期间通过

流刺网 (直径 10~15 m, 网目尺寸 2~4 cm) 的捕捞方式对肇庆江段广东鲂资源量进行定期监测, 累积获得 1 785 尾广东鲂标本。监测采样区域见图 1。每尾个体, 测量体重 (精度 1 g) 和体长 (精度 1 mm)。对所采集广东鲂样本年龄, 根据 $L_t = 420.175 (1 - e^{-0.217(t + 0.371)})$, 进行推算, 式中, t 为年龄, L_t 为对应体长 (何美峰等 2007)。

1.2 径流量和水温数据调查

在肇庆江段设置温度记录仪器 (101Bio-DS1921G, DALLAS, 美国), 2010 至 2018 年每年 4 至 9 月逐日记录水温数据, 掌握该江段水温变化规律。径流量数据来自于水利部全国水雨情势信息网站 (<http://xxfb.Hydroinfo.gov.cn/ssIndex.html>)。

1.3 数据统计与分析

本研究依据体长-体重关系及年龄结构分析了广东鲂的生长特征。采用幂函数的体长体重关系方程 (Keys 1928), 并假设其误差为对数正态分布, $W = aL^b$, 式中, W 为个体体重 (g), L 为标准体长 (cm), a 为条件因子, b 为异

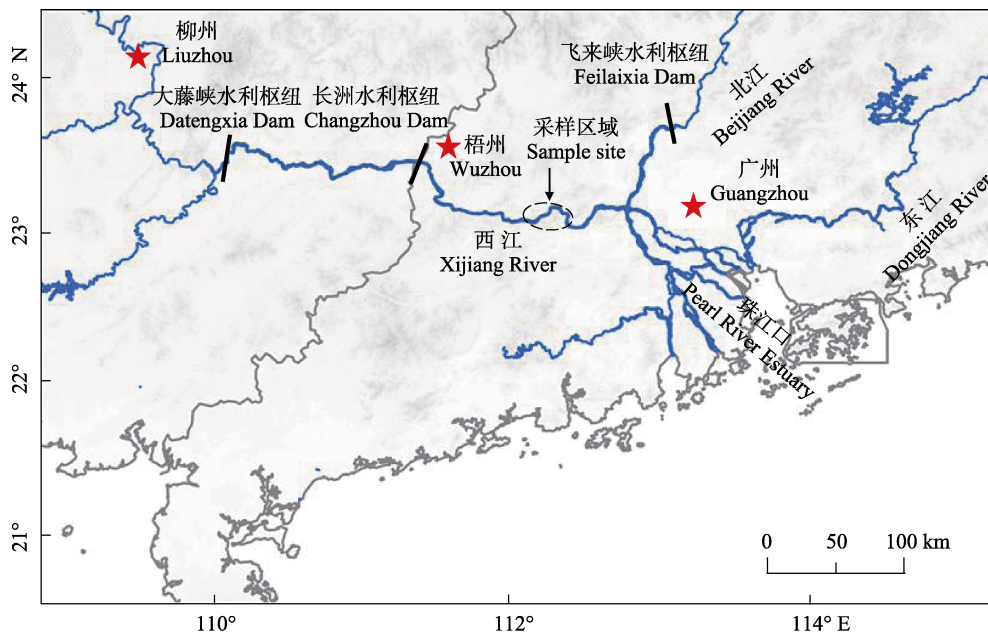


图 1 珠江下游广东鲂采样站位

Fig. 1 Sample sites of *Megalobrama terminalis* stock in the downstream of the Pearl River

速生长参数。肥满度 (K), $K = W/L^3$, 比较广东鲂肥满度年间变化趋势。利用 SPSS 19.0 软件对数据进行相关统计分析, 不同年间广东鲂体长频率分布偏斜度进行 Shapiro-Wilk 检验, 异速生长参数 b 与 3 的差异使用 t 检验 (李忠炉等 2011), 所有统计值均用平均值 \pm 标准差 (Mean \pm SD) 表示。

2 结果与分析

2.1 体长、体重及年龄年间分布

本研究采集到的珠江下游广东鲂体长范围为 9.2 ~ 39.3 cm, 体重范围为 12 ~ 1 940 g。其中, 2012 年广东鲂体长变异系数最高 (表 1)。与 2011 年比较, 2012 年广东鲂优势体长为 13.0 ~ 17.0 cm, 优势体重为 40 ~ 200 g。2013 至 2016 年 4 年的优势体长分别为 25 ~ 33 cm、23 ~ 31 cm、21 ~ 29 cm 和 23 ~ 29 cm (图 2), 优势体重分别为 360 ~ 520 g、200 ~ 520 g、200 ~ 600 g 和 120 ~ 520 g (图 3)。2010 至 2018 年珠江下游广东鲂种群的体长和体重处于波动状态。广东鲂体长频率分布的偏斜度反应了其种群结构, 2013 和 2015 年广东鲂体长频率通常表现为正态分布; 2012 年的广东鲂样本体长为右偏分布, 该年份广东鲂群体包含 0+ 至 9+ 全部 10

个年龄组; 其余年份广东鲂群体表现为左偏分布。比较 2010 至 2018 年珠江下游肇庆段广东鲂年龄结构, 发现 5+ 龄以上个体占比率总体呈现下降趋势, 而 3+ 龄以下的个体占比率在 2012 年以后总体呈现上升趋势 (图 4)。

2.2 体长-体重关系和肥满度年间的变化

基于广义线性模型, 2010 至 2018 年采自珠江下游广东鲂种群样本体长-体重幂函数关系中条件因子 a 的估计均值为 0.018, 95%置信区间 (confidence interval, CI) 为 0.016 ~ 0.020。异速生长因子 b 的估计均值为 3.05, 95%置信区间为 3.02 ~ 3.08 ($r^2 = 0.957$)。本文求得了不同年份广东鲂种群的条件因子 a 和异速生长因子 b 的估计值, a 值的范围从 0.023 到 0.011, 而 b 的值范围从 2.816 到 3.261 (图 5)。2010、2011 和 2014 年异速生长因子 b 显著小于 3 ($P < 0.05$), 2012 以及 2015 至 2018 年异速生长因子 b 显著大于 3 ($P < 0.05$) (图 5)。比较不同年度异速生长因子 b 差异, b 呈现先上升 2014 年下降到最低值后逐渐呈上升趋势 (图 6)。在 2010 年、2011 年和 2014 年, 广东鲂呈现负异速生长, 而在 2015 至 2018 年份表现出正异速生长。2010 至 2018 年珠江下游广东鲂种群肥满度总体呈现出逐渐上升的趋势 (图 6)。

表 1 广东鲂体长和体重分布特征

Table 1 Distribution characteristics of body length and weight of *Megalobrama terminalis*

年份 Year	样本量 Sample size n	体长 Body length (cm)			体重 Weight (g)			
		范围 Range	均值 Mean	变异系数 Coefficient variation CV (%)	偏斜度 Skewness	范围 Range	均值 Mean	变异系数 Coefficient variation CV (%)
2010	198	10.9 ~ 37.0	26.6	15.8	-0.985 ^{ls}	36 ~ 904	481	37.6
2011	182	17.0 ~ 35.2	27.7	13.0	-0.269 ^{ls}	16 ~ 920	382	48.3
2012	334	9.2 ~ 39.3	22.4	30.8	0.110 ^{rs}	12 ~ 1 022	288	49.3
2013	185	13.5 ~ 35.6	26.7	21.7	-0.826 nd	56 ~ 908	458	55.9
2014	180	14.0 ~ 34.7	25.3	17.8	-0.110 ^{ls}	54 ~ 780	360	47.5
2015	166	15.8 ~ 34.5	25.2	15.1	-0.130 nd	79 ~ 922	370	45.9
2016	191	11.0 ~ 34.5	23.6	18.6	-0.440 ^{ls}	25 ~ 1 149	327	46.2
2017	165	12.0 ~ 34.5	24.6	17.1	-0.731 ^{ls}	36 ~ 1 149	358	48.0
2018	184	11.9 ~ 34.0	24.7	17.9	-0.652 ^{ls}	28 ~ 783	368	51.1

ls. 左偏分布; rs. 右偏分布; nd. 正态分布。

ls represents left skewed distribution of body length frequency, rs represents right skewed distribution of body length frequency, nd represents normal distribution of body length frequency.

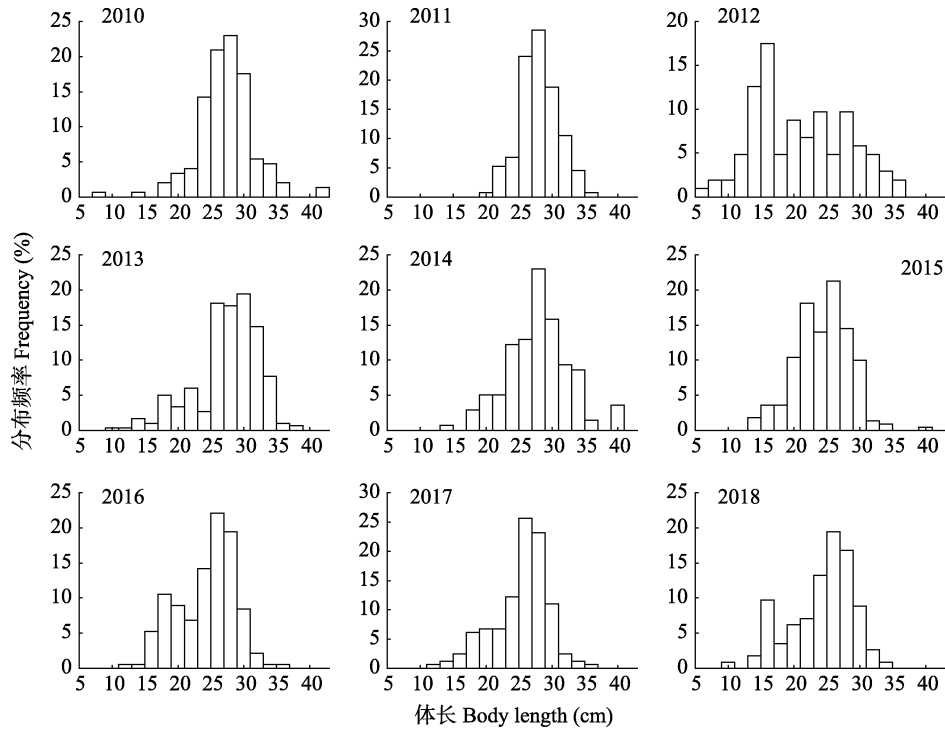


图 2 2010 至 2018 年间珠江下游广东鲂体长频率的分布

Fig. 2 Body Length distribution of *Megalobrama terminalis* in the downstream of the Pearl River from 2010-2018

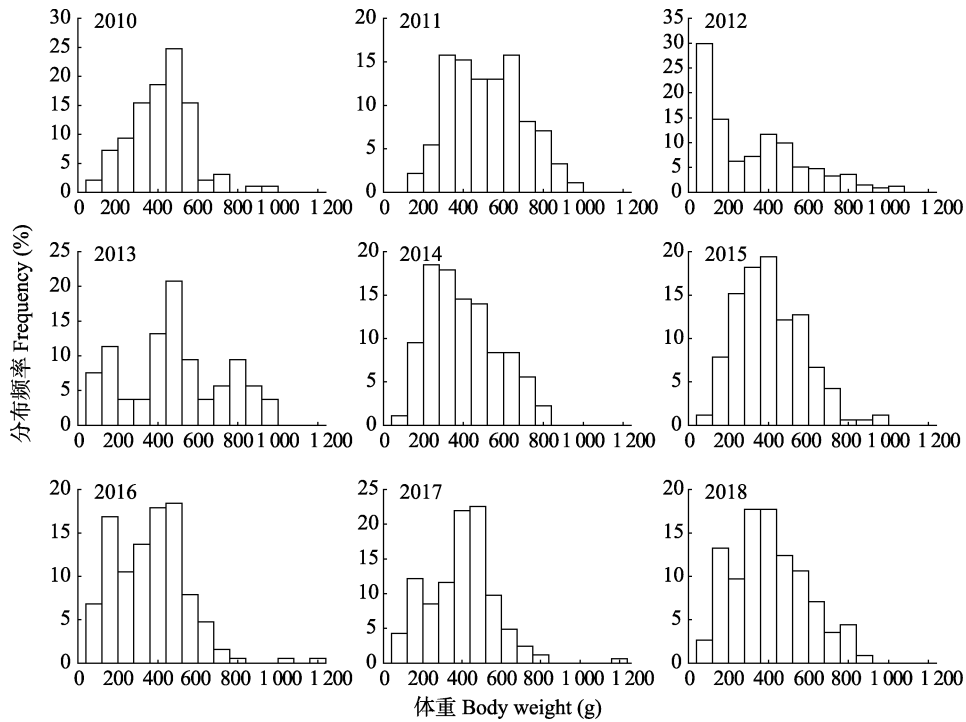


图 3 2010 至 2018 年间珠江下游广东鲂体重频率的分布

Fig. 3 Body weight distribution of *Megalobrama terminalis* in the downstream of the Pearl River from 2010-2018

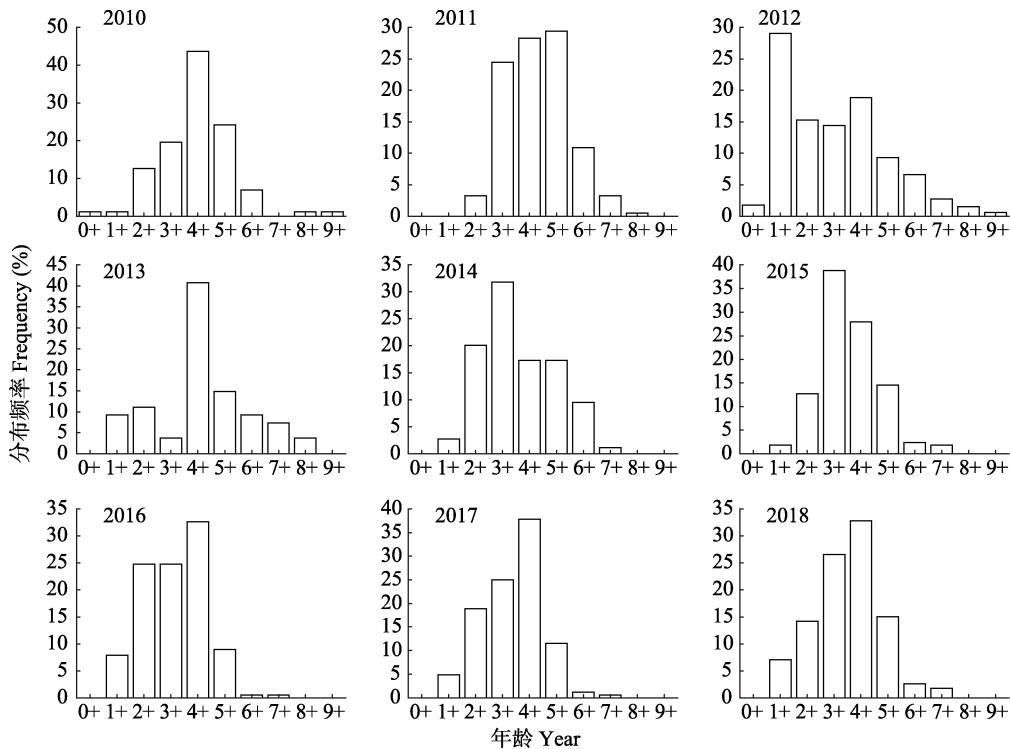


图 4 2010 至 2018 年间珠江下游广东鲂年龄组频率的分布

Fig. 4 Age distribution of *Megalobrama terminalis* in the downstream of the Pearl River from 2010-2018

2.3 异速生长因子与水文环境因子关系

小提琴图 (violin plot) 是用来展示多组数据的分布状态以及概率密度。这种图结合了箱形图和密度图的特征, 主要用来显示数据的分布形状。通过小提琴图反映出珠江下游肇庆段水温以及径流量日变化特征, 2010 至 2018 年平均水温总体呈现出一定上升的趋势, 日平均水温 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上天数占比呈现逐年上升趋势 (图 7a)。2010 至 2018 年珠江下游肇庆段平均径流量呈现波动变化, 年径流量变化趋势变小, 流量峰值相对集中 (图 7b)。构建异速生长因子与径流量关系, 发现广东鲂异速生长因子与水温呈现一定线性相关关系 ($r=0.476$, $P<0.05$), 而与径流量线性相关关系较低 ($r=0.407$, $P<0.05$) (图 8)。

3 讨论

本研究发现, 2010 至 2018 年珠江肇庆段广东鲂种群的体长以及 5+ 龄以上个体占比率

总体呈现下降趋势, 表明该江段广东鲂种群出现一定程度小型化和低龄化的现象。这种现象可能是由于其栖息生境显著改变及捕捞强度增加所致。2007 年珠江干流长洲水利枢纽实施截流蓄水, 加剧了下游干流水文节律的变化, 2014 年西江航道扩能升级工程的主要建设区域位于广东鲂重要产卵栖息地, 其栖息水域生境显著改变, 饵料生物丰度显著下降。大量研究表明鱼类生长和繁殖易受到其所在栖息环境的影响 (Sinovic et al. 2008, Vieira et al. 2016, Neves et al. 2018)。已有研究报道表明饵料生物减少会显著影响鱼类生长状况 (Ma et al. 2017)。20 世纪 80 年代以来, 珠江下游广东鲂种群一直处于较大捕捞压力之下 (陆奎贤 1990, 王金潮等 1990, 李跃飞等 2018)。在对小黄鱼 (*Larimichthys polyactis*) 的研究中发现, 随着捕捞压力的增加, 鱼类更多的能量被用来增加体长和促进性腺发育 (Trippel 1995, 李忠炉等 2011)。长期高强度捕捞及栖息生境显著改变可能是导致

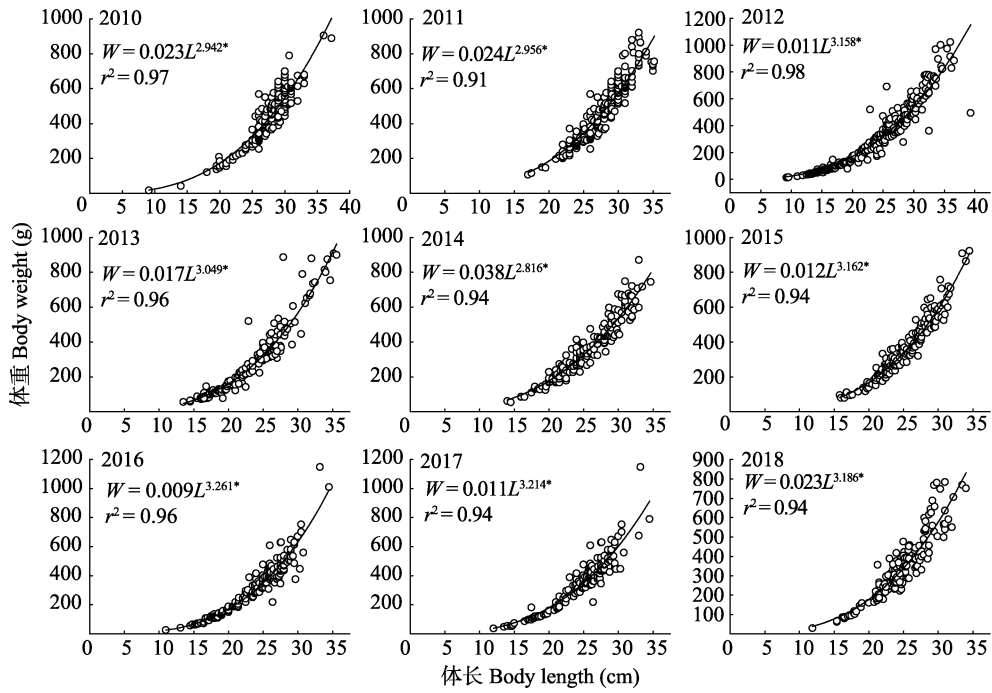


图 5 2010 至 2018 年间珠江下游广东鲂的体长-体重关系图

Fig. 5 Body length-weight power function correlation for *Megalobrama terminalis* among 2010-2018 in the downstream of the Pearl River

表示 b 与 3 比较差异显著 ($P < 0.05$)。 donates significant difference between b and 3 ($P < 0.05$).

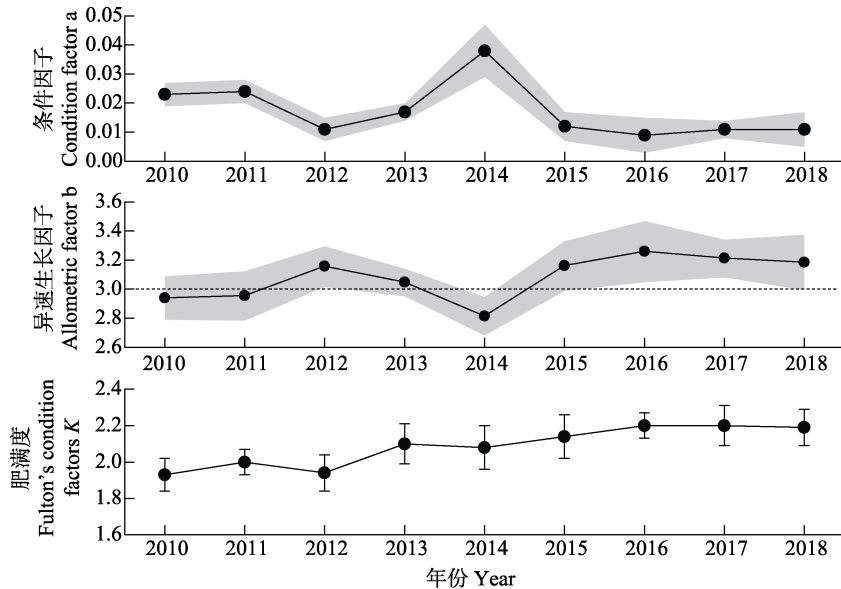


图 6 广东鲂体长-体重幂函数相关的参数 a、b (置信区间 95%) 以及肥满度的年间变化

Fig. 6 Inter-annual changes of condition factor a, allometric factor b (confidence interval, CI 95%) and Fulton's condition factors K of *Megalobrama terminalis* in the downstream of the Pearl River

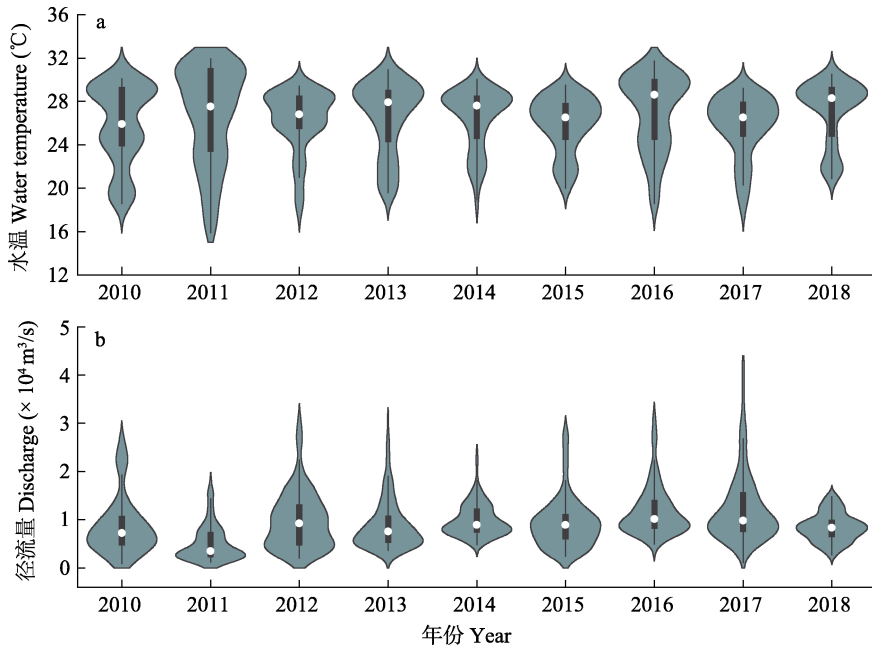


图 7 珠江下游肇庆江段水温 (a) 及径流量 (b) 年间变化

Fig. 7 Inter-annual variation of water temperature (a) and discharge (b) in the downstream of the Pearl River

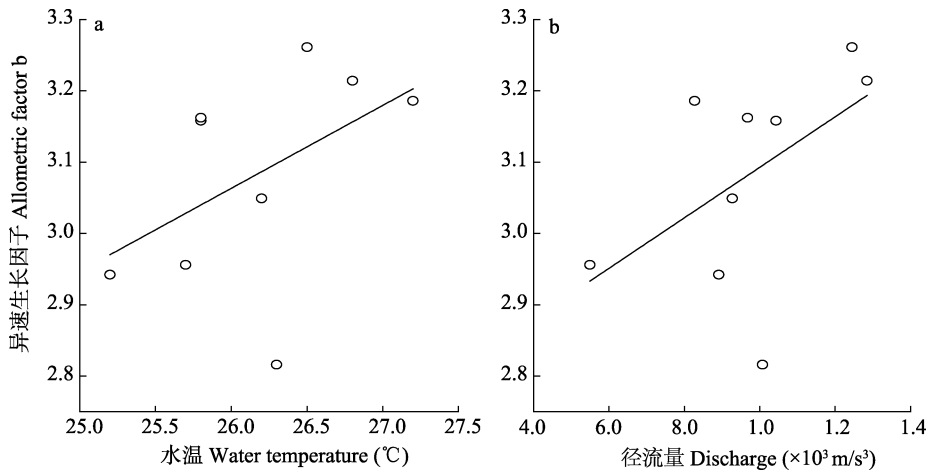


图 8 珠江下游广东鲂生长异速因子 b 与水温 (a) 及径流量 (b) 间相关性

Fig. 8 Scatter plots indicating the relationships between the allometric factor b and water temperature (a), discharge (b)

珠江下游广东鲂种群呈负异速生长的重要因素。原农业部于 2011 年颁布实施珠江水系禁渔期制度，广东鲂面临的捕捞压力有所下降，广东鲂产卵群体得到有效保护，对其种群补充和恢复产生了积极作用。有学者研究发现，实施禁渔期制度后，2012 年广东鲂补充群体的数量

显著增加（李跃飞等 2014）。这与本研究中观测的 2012 年广东鲂种群幼鱼占比显著上升结果相符。通过珠江下游肇庆江段 2010 至 2018 年水温以及径流量监测发现该江段平均水温 20 °C 以上占比呈现逐渐上升趋势，洪峰减少，且相对集中。本研究发现广东鲂异速生长因子

与平均水温和径流量呈现一定线性正相关关系,表明广东鲂生长与其栖息地环境存在关联性。

2010 和 2011 年广东鲂肥满度均处于相对较低水平,这可能由于广东鲂种群之前一直遭受过度捕捞所致。有研究表明,较大的捕捞压力加快鱼类个体体长增长速度,导致肥满度降低(李忠炉等 2011)。由于珠江下游禁渔期制度颁布实施,广东鲂捕捞强度下降,广东鲂种群肥满度总体呈上升趋势。此外,本研究发现珠江下游肇庆段广东鲂种群栖息地平均水温总体呈上升趋势。相关研究表明,在一定温度范围内,水温的升高可促进鱼类摄食强度的增大(李忠炉等 2011)。学者在对宽口裂腹鱼(*Schizothorax eurystomus*)研究中发现,其肥满度受到气候、饵料及鱼类自身因素叠加影响(曹希全等 2019)。当面对外界捕捞压力、食物来源、环境变化等因素改变,广东鲂种群生长模式表现出了一定程度的可塑性。此外,局部栖息地环境变化和广东鲂种群生长状况之间的潜在关联,可能决定广东鲂种群对外界环境变化的敏感性。

参 考 文 献

- Barbarossa V, Bosmans J, Wanders N, et al. 2021. Threats of global warming to the world's freshwater fishes. *Nature Communications*, 12(1): 1701.
- Comte L, Olden J D, Tedesco P, et al. 2021. Climate and land-use changes interact to drive long-term reorganization of riverine fish communities globally. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(27): e2011639118.
- Froese R. 2006. Cube law, condition factor and weight-length relationships: History, meta-analysis and recommendation. *Journal of Applied Ichthyology*, 22(4): 241–253.
- Froese R, Thorson J, Reyes R. 2014. A Bayesian approach for estimating length-weight relationships in fishes. *Journal of Applied Ichthyology*, 30(1): 78–85.
- Froese R, Tsikliras A, Stergiou K. 2011. Editorial note on weight-length relations of fishes. *Acta Ichthyologica et Piscatoria*, 41(4): 261–263.
- Keys A. 1928. The weight-length relationship in fishes. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 14(12): 922–925.
- Liu Y Q, Chen W, Li Y, et al. 2020. Growth and ontogenetic development of digestive functionality in black Amur bream (*Megalobrama terminalis*). *Aquaculture Research*, 52(4): 3593–3601.
- Ma Q, Jiao Y, Ren Y. 2017. Linear mixed-effects models to describe length-weight relationships for yellow croaker (*Larimichthys polyactis*) along the north coast of China. *PLoS One*, 12(2): 1–17.
- Neves A, Vieira A, Sequeira V, et al. 2018. Insight on reproductive strategy in Portuguese waters of a commercial protogynous species, the black sea bream, *Spondylisoma cantharus*, (Sparidae). *Fisheries Research*, 206: 85–95.
- Sinovic G, Kec V, Zorica B. 2008. Population structure, size at maturity and condition of sardine, *Sardina pilchardus* (Walb., 1792), in the nursery ground of the eastern Adriatic Sea (Krka River Estuary, Croatia). *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 76(4): 739–744.
- Trippel E A. 1995. Age at maturity as a stress indicator in fisheries. *Bioscience*, 45(11): 759–771.
- Vicky J, Richard A, Michael E, et al. 2000. Spatiotemporal Variation in Length-Weight Relationships of Endangered Humpback Chub: Implications for Conservation and Management. *Transactions of the American Fisheries Society*, 129(2): 419–428.
- Vieira A, Sequeira V, Neves A, et al. 2016. Reproductive strategy of forkbeard, *Phycis phycis*, from the Portuguese coast. *Helgolander Marine Research*, 70(3): 1–15.
- 曹希全, 李艳慧, 魏杰, 等. 2019. 宽口裂腹鱼体长-体质量关系和肥满度. *西北农业学报*, 28(8): 1380–1386.
- 戴强, 戴建洪, 李成, 等. 2006. 关于肥满度指数的讨论. *应用与环境生物学报*, 12(5): 715–718.
- 何美峰, 李新辉, 谭细畅, 等. 2007. 西江广东鲂的年龄鉴定及生长研究. *淡水渔业*, 37(3): 54–58.
- 黄真理, 常剑波. 1999. 鱼类体长与体重关系中的分形特征. *水生生物学报*, 23(4): 330–336.
- 李跃飞, 李策, 朱书礼, 等. 2018. 基于单位补充量模型的两江广东鲂种群资源利用现状评价. *水生生物学报*, 42(5): 975–983.
- 李跃飞, 李新辉, 杨计平, 等. 2014. 珠江禁渔对广东鲂资源补充群体的影响分析. *水产学报*, 38(4): 502–508.

- 李忠炉, 金显仕, 单秀娟, 等. 2011. 黄鱼体长-体质量关系和肥满度的年际变化. 中国水产科学, 18(3): 602-610
- 刘亚秋, 李新辉, 李跃飞, 等. 2019. 广东鲂性腺发育组织学研究. 南方水产科学, 15(1): 113-118.
- 刘亚秋, 李新辉, 李跃飞, 等. 2021. 西江广东鲂 (*Megalobrama terminalis*) 繁殖生物学及繁殖策略研究, 湖泊科学, 33(1): 232-241.
- 陆奎贤. 1990. 珠江水系渔业资源. 广东: 广东科技出版社.
- 王金潮, 黄毅文. 1990. 珠江广东鲂的年龄、生长及其最大持续渔获量. 水产学报, 14(4): 313-320.