

DOI:10.14188/j.ajsh.2024.02.007

贵州省青菜河水库坝下细肢新米虾(*Neocaridina gracilipoda*) 的体长-体重关系研究

张书海¹, 何浩宇¹, 王芳², 项涛³, 居涛⁴, 石磊⁵, 甘雷¹, 王桢璐¹, 安苗^{1*},
董响红^{1*}

(1. 贵州大学 动物科学学院 高原山地动物遗传育种与繁殖教育部重点实验室, 贵州 贵阳 550025;

2. 团风县和谐路北侧城东学校, 湖北 黄冈 438000;

3. 图卢兹第三大学(UPS) 进化与生物多样性实验室, 法国 图卢兹 31062;

4. 广西海洋科学院 广西科学院, 广西 南宁 530007;

5. 云南大学 生态与环境学院 高原湖泊生态与治理研究院, 云南 昆明 650504)

摘要: 细肢新米虾(*Neocaridina gracilipoda*)是中国常见淡水虾类之一,在水域生态系统中起重要的作用(如在物质循环和能量流动中起链接作用),但有关其基础生物学方面的研究目前却鲜见报道。有鉴于此,于2022年秋季在赤水河流域青菜河水库坝下(106°07'52"E, 27°36'12"N)采集细肢新米虾490尾,通过对样本体长与体重的测定,掌握了此虾的体长和体重分布并报道了该物种的体长-体重关系。研究结果如下,青菜河水库坝下细肢新米虾:(1)体长介于10.60~32.13 mm(19.67 ± 2.54 mm)之间,优势体长集中在16.50~22.50 mm($n = 390$, 占总丰度的79.59%);(2)体重介于0.01~0.44 g(0.11 ± 0.04 g)之间,优势体重集中在0.05~0.15 g($n = 415$, 占总丰度的84.69%);(3)体长-体重的关系为 $W = 4 \times 10^{-5} L^{2.66}$ ($R^2 = 0.78$, $n = 490$), b 值($b = 2.66$)与3存在显著性差异($P < 0.05$),即表明青菜河水库坝下细肢新米虾种群呈负异速生长。

关键词: 细肢新米虾; 青菜河水库; 体长-体重关系; 生长式型

中图分类号: S932.5+1

文献标志码: A

文章编号: 2096-3491(2024)02-0164-08

Studies on the body length-weight relationship of *Neocaridina gracilipoda* under the Qingcaihe Reservoir Dam in Guizhou Province

ZHANG Shuhai¹, HE Haoyu¹, WANG Fang², XIANG Tao³, JU Tao⁴, SHI Lei⁵, GAN Lei¹,

WANG Zhenlu¹, AN Miao^{1*}, DONG Xianghong^{1*}

(1. Key Laboratory of Animal Genetics, Breeding and Reproduction in the Plateau Mountainous Region, Ministry of Education, College of Animal Science, Guizhou University, Guiyang 550025, Guizhou, China;

2. Chengdong School in North Harmony Road, Tuanfeng County, Huanggang 438000, Hubei, China;

3. Laboratoire Evolution et Diversité Biologique (EDB), UMR5174, Université Toulouse 3 Paul Sabatier, CNRS, IRD, Toulouse 31062, France;

4. Guangxi Academy of Marine Sciences, Guangxi Academy of Sciences, Nanning 530007, Guangxi, China;

5. Institute for Ecological Research and Pollution Control of Plateau Lakes, School of Ecology and Environmental Science, Yunnan University, Kunming 650504, Yunnan, China)

收稿日期: 2023-07-26 修回日期: 2023-12-26 接受日期: 2024-04-08

作者简介: 张书海(1999-),男,硕士生,研究方向为渔业资源。E-mail:15286385541@163.com

*通讯联系人: 安苗(1970-),男,硕士,副教授,主要从事水生动物增殖与鱼类种质资源研究, E-mail:gzuam@163.com; 董响红(1990-),男,博士,主要从事渔业资源方面的研究, E-mail:xhdong@gzu.edu.cn

基金项目: 仁怀市林业局项目(H2022343); 贵州大学博士基金(贵大人基合字[2021]65号)

引用格式: 张书海, 何浩宇, 王芳, 等. 贵州省青菜河水库坝下细肢新米虾(*Neocaridina gracilipoda*)的体长-体重关系研究[J]. 生物资源, 2024, 46(2): 164-171.

Zhang S H, He H Y, Wang F, et al. Studies on the body length-weight relationship of *Neocaridina gracilipoda* under the Qingcaihe Reservoir Dam in Guizhou Province [J]. Biotic Resources, 2024, 46(2): 164-171.

Abstract: *Neocaridina gracilipoda* is one of the common freshwater shrimps in China and plays an important role in aquatic ecosystems, e. g. in linking matter cycling and energy flow, but there are few reports on its basic biological aspects. In light of that, by collecting 490 individuals under the Qingcaihe Reservoir Dam (106°07'52"E, 27°36'12"N) in the autumn of 2022 and measuring the body length (L) and weight (W), we obtained L and W distribution of this shrimp and reported for the first time the L - W relationship of this species. The results were as follows: (1) L range was 10.60 – 32.13 mm (19.67 ± 2.54 mm), while the dominant L range was 16.50 – 22.50 mm ($n = 390$, accounting for 79.56% of the total abundance); (2) W range was 0.01–0.44 g (0.11 ± 0.04 g), while the dominant W range was 0.05–0.15 mm ($n = 415$, 84.69% of the total abundance); (3) L - W relationship was expressed in the equation $W=4 \times 10^{-5}L^{2.66}$ ($R^2 = 0.78$, $n=490$), and there was a significant difference ($P<0.05$) between the value of b ($b = 2.66$) and 3, indicating that this species under the Qingcaihe Reservoir Dam exhibited negative allometric growth.

Key words: *Neocaridina gracilipoda*; Qingcaihe Reservoir; body length-weight relationship; growth pattern

0 引言

赤水河系长江上游唯一干流未修建大坝的大型一级支流,发源自云南省镇雄县安家坝,流经云南、贵州以及四川三省,于四川省合江县注入长江,干流全长436.50 km^[1],为长江上游水生生物资源最为丰富的河流之一。该河除是中国特有鱼类长江鲟(*Acipenser dabryanus*)、长鳍吻鲋(*Rhinogobio ventralis*)与胭脂鱼(*Myxocyprinus asiaticus*)等^[2]的重要栖息地以外,还生活着丰富的底栖动物,如各种水生昆虫、软体动物、寡毛类和甲壳动物等^[3]。然而,目前赤水河多条支流(仁怀段)已先后建成银水库、流沙岩水库、青菜河水库等一系列水利设施,其中青菜河水库为仁怀市一典型的小型水库,该库兼具饮水、灌溉、发电(早期)等功能。但是,水库的建设破坏了河流的连通性,改变了河流的水文状况,对流域内水生动物的生长可能造成了一定程度的影响^[4-7]。

细肢新米虾(*Neocaridina gracilipoda*),俗称“草虾”,隶属于节肢动物门(Arthropoda)甲壳纲(Crustacea)十足目(Decapoda)匙指虾科(Atyidea)新米虾属(*Neocaridina*),为一种杂食性淡水虾类,主要摄食藻类、有机碎屑以及轮虫等,喜在湖泊、水库、池塘、沼泽、河流等水草较多的环境中栖息,适应能力较强,主要分布于中国四川省、福建省和广东省^[8]。有研究发现,新米虾属物种在众多自然水体中的丰富度较大^[9,10],且通常易被肉食性鱼类或其他动物捕食。因此,新米虾属物种不仅是一种优良的动物性饵料,还促进了生态系统中的物质循环和能量流动^[11,12]。同时,新米虾属物种作为一类大型底栖动物,具有活动场所相对固定、繁殖能力强、生长周期短与对污染物敏感等特点,因而常作为毒理学、生态学和基因组学等研究的良好素材^[13-16]。

虾类的基础生物学对把握其繁殖、选育、生长及生活史等具有重要意义^[17],且体长-体重关系是虾类

生活史研究的重要内容^[18]。然而,对有关新米虾属物种的研究进行总结梳理后,不难发现,既往研究主要集中在如下几个方面:(1)新种的记录及其形态描述^[19-21]; (2)胚胎和性腺发育^[22,23]; (3)生物多样性与种群动态分析^[24-27]; (4)农药或是其他污染物胁迫下的生理响应机制^[28,29]等。截止当前,细肢新米虾基础生物学方面的相关研究却依旧鲜见报道,尤其是人类活动影响下这一物种的基础生物学资料极其匮乏,这在一定程度上限制了赤水河相关保护措施完善的。

有鉴于此,本研究拟通过传统资源调查,尝试查清贵州省青菜河水库坝下细肢新米虾种群的体长与体重分布特征,并对其体长-体重关系进行估算,以期丰富该物种的基础生物学资料,为赤水河流域的生物多样性保护和种质资源利用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究地点

青菜河水库位于赤水河右岸支流九仓河上游,地处贵州省仁怀市后山乡冷水村与金沙县石场镇唐家寨的两岔河交汇处。该库于1958年兴建,1986年建成,随后便投入运行。总库容 7.24×10^7 m³,有效库容 6.16×10^7 m³^[5];夏秋多雨,水量充沛,所在区域年降雨量1 170.03 mm^[30]。坝下(采样点几乎紧靠大坝,106°07'52"E,27°36'12"N,图1)海拔914 m,两面环山,为山涧小溪,水温17.7℃,水体较浅且清澈见底。

1.2 样本采集

虾类样本于2022年秋季在青菜河水库坝下通过手抄网收集,共捕获490尾。渔获物现场经4%的甲醛溶液固定,随后带回实验室进行分类学鉴定、全长测定与称重。

1.3 样本鉴定和处理

基于《中国动物志 无脊椎动物 第三十六卷 甲

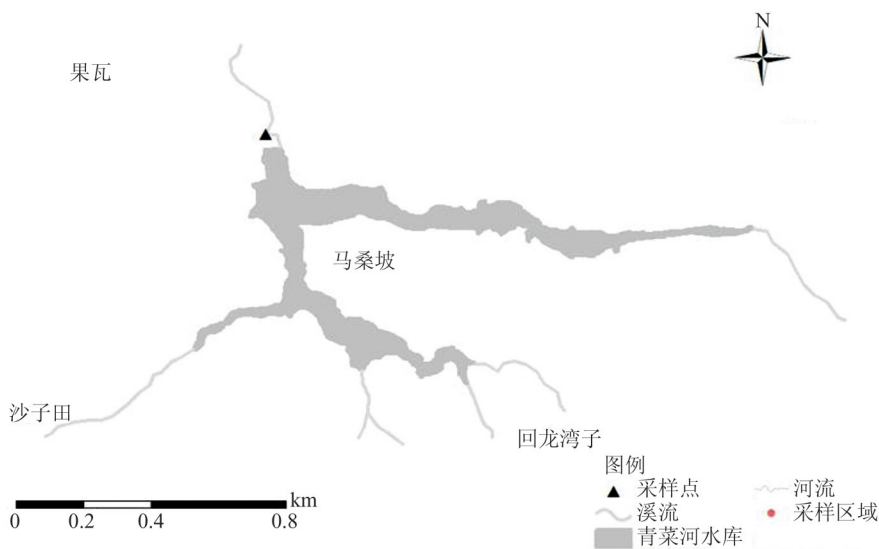


图1 青菜河水库坝下采样点分布图

Fig. 1 Distribution map of the sampling site under the Qingcaihe Reservoir Dam

壳动物亚门匙指虾科》^[8]将渔获物鉴定至种,即确定其分类学地位。利用游标卡尺和高精度分析天平测量样本体长(精确到0.01 mm)和体重(精确到0.0001 g)。体长定义为头胸甲额剑前端到尾扇末端的直线距离;体重为虾体表面的水分被吸干后的湿重^[31]。

1.4 数据统计与分析

利用幂函数对青菜河水库坝下细肢新米虾体长-体重关系进行拟合,即: $W = aL^b$, 其中, W 表示体重(g); L 表示体长(mm); a 为条件因子; b 为异速生长因子。

采用单个样本的 t 检验判断 b 与 3 之间是否存在显著性差异,据此评估细肢新米虾的生长状况。若差异不显著,即表现为匀速生长;若差异显著,则表现为异速生长。具体说来,当 $b > 3$ 时,为正异速生长;当 $b < 3$ 时,为负异速生长^[32]。

使用 Excel 2016、SPSS 23.0、ArcGIS 10.8 以及 GraphPad Prism 8.0 进行统计分析和制图;显著性水平(α)设定为 0.05;如无特别说明,统计量均用平均值 $\pm$ 标准差($\bar{x} \pm SD$)来表示。

2 结果

2.1 细肢新米虾的体长与体重分布

结果发现,青菜河水库坝下细肢新米虾体长介于 10.60~32.13 mm (19.67 ± 2.54 mm) 之间,优势体长集中在 16.50~22.50 mm ($n = 390$, 占总丰度的 79.59%), 呈单峰右偏态分布。体长低于 16.50 mm 的个体较少,仅占总样本量的 8.78%。相较之下,体长高于 22.50 mm 个体稍多,占总样本

量的 11.63% (图 2)。体重范围是 0.01~0.44 g (0.11 ± 0.04 g), 优势体重集中在 0.05~0.15 g ($n = 415$, 占总丰度的 84.69%), 亦呈单峰右偏态分布。体重 0.05 g 以下的个体比例很低,仅为总样本量的 3.88%。相比之下,体重 0.15 g 以上的个体比例稍高,占样本总量的 11.43% (图 3)。

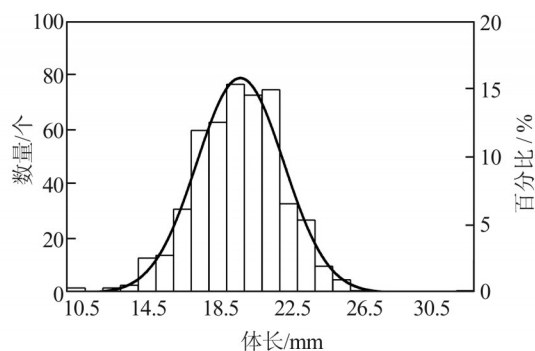


图2 青菜河水库坝下细肢新米虾体长的分布

Fig. 2 Distributions of the body length of *N. gracilipoda* under the Qingcaihe Reservoir Dam

2.2 细肢新米虾体长-体重关系

虾类体长-体重关系在其基础生物学中占有重要地位,描述虾类体长-体重的数学表达式有线性关系式、指数关系式、幂函数关系式等^[33,34]。经比较分析发现,幂函数式对青菜河水库坝下细肢新米虾体长-体重关系拟合的决定系数最大(表 1),能较好地反映这一关系,这与以往相关研究结论相符^[35~37]。

经回归拟合分析,得到细肢新米虾体长-体重的

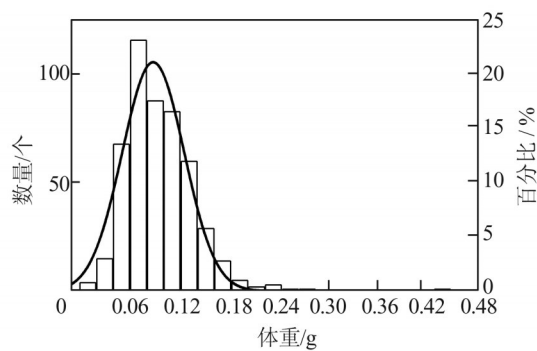


图3 青菜河水库坝下细肢新米虾体重的分布
Fig. 3 Distributions of the weight of *N. gracilipoda* under the Qingcaihe Reservoir Dam

表1 几种关系式描述青菜河水库坝下细肢新米虾体长-体重关系的决定系数

决定系数	线性	对数	指数	幂函数
R^2	0.71	0.66	0.76	0.78

幂关系为： $W = 4 \times 10^{-5} L^{2.66}$ ($R^2 = 0.78, n = 490$ ；图4)。单个样本的 t 检验表明， b 值与 3 存在显著性差异 ($P < 0.05$)，这说明青菜河水库坝下细肢新米虾种群呈负异速生长。

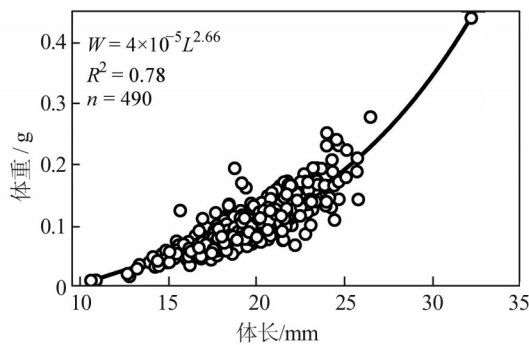


图4 细肢新米虾体长-体重关系图
Fig. 4 Relationship between body length and weight of *N. gracilipoda*

3 讨论

3.1 细肢新米虾的体长和体重分布

3.1.1 体长分布

物种的生物学参数对追溯其生活史至关重要^[38]，同一物种的不同地理种群可能会表现出不同的生物学特征^[39]。青菜河水库坝下的细肢新米虾体长介于 10.60~32.13 mm，这与四川省和福建省的

细肢新米虾体长记载 (18.00~23.00 mm^[8]) 存在差异。这种差异可能是由于采样时间不同所引起的，新米虾属物种抱卵时间为 4—10 月^[40]，后者的采样时间均在春季，该时期细肢新米虾才开始抱卵；而本研究采样时间正处秋季，正是细肢新米虾世代交替阶段，因此增加了幼虾的捕获概率。其次，造成这种差异的原因可能是采样工具和采样时长不同，本次采样所用工具为小孔径手抄网，可更好地防止小体长个体穿过网目逃逸，且收集样本时间较长，获得的目标样本量较大^[41]。此外，这种差异又或者可能是遗传和环境差异共同导致^[42,43]——不同海拔种群的遗传多样性和栖息环境不尽相同^[44]，本研究采样点海拔较高 (914 m)，而四川和福建采样点海拔较低 (均低于 500 m)。一般而言，同一物种在高海拔低温环境体长更大，而在低海拔温度相对较高环境体长更小^[45]。

3.1.2 体重分布

细肢新米虾的生长表现为体重与外部形态等数量性状的增长，体重具有直观性和可度量性，在物种的遗传育种与定向培育工作中具有重要指导意义^[46]。本研究首次给出了细肢新米虾的体重分布 (0.01~0.44 g)，填补了该物种体重数据上的空白，为细肢新米虾的后续相关研究奠定了基础。

3.2 细肢新米虾生长状况分析

b 值可反映虾类在不同环境中的生长特征，通常介于 2.5~4.0 之间^[47]。本研究中 b 值为 2.66，与 3 存在显著性差异，表明该种群为负异速生长，即青菜河水库坝下细肢新米虾的全长增长速率快于体重增长速率，体型呈细长型，说明采样时间段 (11 月) 该虾种群的生长状况较差，这与以往其他研究的结论一致^[31, 48, 49]。

然而，有研究指出，水生生物外部形态变化与诸多因素有关。新米虾属物种是典型的变温动物，其调节自身体温的能力较弱，低温环境会直接抑制其能量的代谢^[50]。有研究表明，虾类最适生长水温为 25℃，而本研究采样时间段的环境水温 (17.7℃) 明显低于其最适生长温度，细肢新米虾的生长代谢受到抑制^[51~53]。其次，低温还抑制藻类的增长，减少其食物来源^[54]。此外，赤水河流域鱼类生物多样性非常丰富^[55]，且小型鱼虾是鲇 (*Silurus asotus*) 和鳊 (*Siniperca chuatsi*) 等掠食性鱼类的主要食物来源^[11]，由此推测该细肢新米虾种群正持续遭受较大的被捕食压力，这亦可能是该群体平均体长偏小、体长频率呈右偏态分布、 b 值较小的主要原因之一。综上所述，细肢新米虾呈异速生长的主要原因可能

是栖息环境水温、饵料丰度和被捕食压力三者的共同作用^[56~58]。

4 总 结

基于2022年秋季采集的样本,本研究首次对贵州省青菜河水库坝下细肢新米虾的基础生物学展开研究,描述了其体长与体重分布并首次报道了该物种的体长-体重关系。研究相关结论如下:

(1)体长介于10.60~32.13 mm(19.67 ± 2.54 mm)之间,体重介于0.01~0.44 g(0.11 ± 0.04 g)之间;

(2)体长-体重的关系为: $W = 4 \times 10^{-5} L^{2.66}$ ($R^2 = 0.78, n = 490$), b 值($b = 2.66$)与3存在显著性差异($P < 0.05$),即表明这一细肢新米虾种群生长状况较差。

本研究采样点数量和采样时间均比较单一,致使本文存在一定的局限性。未来还应针对其开展不同时空分布状况、依性别和不同的生活史阶段的体长-体重关系等内容的专项研究。

参考文献

- [1] 刘飞,刘定明,袁大春,等. 近十年来赤水河不同江段鱼类群落年际变化特征[J]. 水生生物学报, 2020, 44(1): 122-132.
Liu F, Liu D M, Yuan D C, *et al.* Interannual variations of fish assemblage in the Chishui River over the last decade [J]. Acta Hydrobiol Sin, 2020, 44(1): 122-132.
- [2] 郭宁宁,沈梅,肖能文,等. 基于环境DNA技术的赤水河秋季鱼类多样性分布特征[J]. 生态学报, 2023, 43(4): 1676-1690.
Guo N N, Shen M, Xiao N W, *et al.* Distribution characteristics of autumn fish diversity in Chishui River based on environmental DNA metabarcoding technology [J]. Acta Ecol Sin, 2023, 43(4): 1676-1690.
- [3] 龚昱田,池世运,常剑波,等. 基于底栖动物指标的赤水河流域水质生物学评价[J]. 水利水电快报, 2012, 33(1): 39-44.
Gong Y T, Chi S Y, Chang J B, *et al.* Water quality assessment for Chishui River Basin using macro-invertebrates as bio-indicators [J]. Express Water Resour Hydropower Inf, 2012, 33(1): 39-44.
- [4] 刘刚,彭峰. 水库岸危岩体稳定评价及其治理[J]. 科技创新导报, 2007, 4(33): 45-47, 49.
Liu G, Peng F. Stability evaluation and treatment of reservoir bank dangerous rock mass [J]. Sci Technol Innov Her, 2007, 4(33): 45-47, 49.
- [5] 欧阳志国,归然,黄远良. 贵州省志:(1978—2010)卷十六,水利[M]. 贵阳:贵州人民出版社,2020: 1-776.
Ouyang Z G, Gui R, Huang Y L. Guizhou Provincial Chronicles: (1978—2010) Volume 16, Water Conservancy [M]. Guiyang: Guizhou People's Publishing House, 2020: 1-776.
- [6] 胡飞飞,李佳荫,李学梅,等. 汉江支流堵河梯级水库马口鱼年龄与生长研究[J]. 水产科学, 2023, 42(3): 424-431.
Hu F F, Li J Y, Li X M, *et al.* Age and growth characteristics of Chinese hook snout carp *Opsariichthys bidens* in Duhe cascade reservoirs of the Hanjiang River [J]. Fish Sci, 2023, 42(3): 424-431.
- [7] 梁小青,纪昌明,俞洪杰,等. 1962年—2015年堵河流域径流变化特征分析[J]. 水力发电, 2019, 45(1): 4-8, 31.
Liang X Q, Ji C M, Yu H J, *et al.* Analysis on runoff change characteristics of Duhe River Basin during 1962—2015 [J]. Water Power, 2019, 45(1): 4-8, 31.
- [8] 梁象秋. 中国动物志:无脊椎动物,第三十六卷,甲壳动物门,十足目,匙指虾科[M]. 北京:科学出版社, 2004: 1-375.
Liang X Q. Zoology of China: Invertebrates, Volume 36, Crustacea, Decapoda, Atyidea [M]. Beijing: Science Press, 2004: 1-375.
- [9] 郑小壮. 广西喀斯特洞穴虾类资源及开发利用探讨[D]. 佛山: 佛山科学技术学院, 2020: 1-85.
Zheng X Z. On Shrimp Resources and Utilization from Karst Cave of Guangxi, Southwestern China [D]. Foshan: Foshan University, 2020: 1-85.
- [10] Levitt-Barmats Y, Yanai Z, Cohen T, *et al.* Life-history traits and ecological characteristics of the ornamental shrimp *Neocaridina denticulata* (De Haan, 1844), recently introduced into the freshwater systems of Israel [J]. Aquat Invasions, 2019, 14(4): 684-702.
- [11] 杨瑞斌,谢从新,杨学芬. 梁子湖6种凶猛鱼食物组成的研究[J]. 水利渔业, 2002, 23(3): 1-3.
Yang R B, Xie C X, Yang X F. Study on the food composition of six species of fierce fish in liangzi lake [J]. Reserv Fish, 2002, 23(3): 1-3.
- [12] Weber S, Traunspurger W. Influence of the ornamental red cherry shrimp *Neocaridina davidi* (Bouvier, 1904) on freshwater meiofaunal assemblages [J]. Limnologia, 2016, 59: 155-161.
- [13] 陈弘成. 米虾作为水生环境毒物侦测之研究[C]//第六届世界华人虾蟹类养殖研讨会论文摘要集. 广州: 2008.
Chen H C. Research on the detection of *Neocaridina denticulata* as a poison in the aquatic environment [C].

- The 6th World Chinese Symposium on Shrimp and Crab Farming, Guangzhou, 2008.
- [14] 李典宝. 锯齿新米虾对水体污染状况的生态响应研究[D]. 上海: 上海海洋大学, 2015: 1-65.
- Li D B. Research on the ecological response of *Neocaridina Denticulate* to the situation of water pollution [D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2015: 1-65.
- [15] 朱岩, 曹莹, 张亚辉, 等. 有机磷农药对锯齿新米虾的毒性及敏感性分析[J]. 中国环境科学, 2017, 37(2): 745-753.
- Zhu Y, Cao Y, Zhang Y H, *et al.* Toxicity of organophosphorus pesticides to *Neocaridina denticulate* and species sensitivity analysis [J]. China Environ Sci, 2017, 37(2): 745-753.
- [16] Xing K F, Liu Y J, Yan C C, *et al.* Transcriptome analysis of *Neocaridina denticulate sinensis* under copper exposure [J]. Gene, 2021, 764: 145098.
- [17] Froese R. Cube law, condition factor and weight-length relationships: history, meta-analysis and recommendations [J]. Appl Ichthyol, 2006, 22(4): 241-253.
- [18] 吴晓睿, 宋大德, 熊瑛, 等. 海州湾中国毛虾(*Acetes chinensis*)种群生物学特征和资源开发状态研究[J]. 海洋与湖沼, 2023, 54(2): 573-582.
- Wu X R, Song D D, Xiong Y, *et al.* Population biological characteristics and exploitation status of *Acetes chinensis* in Haizhou Bay [J]. Oceanol Limnol Sin, 2023, 54(2): 573-582.
- [19] 梁象秋, 郭照良, 唐凯娥. 湖南匙指虾新属新种记述[J]. 水产学报, 1999, 23(S1): 69-73.
- Liang X Q, Guo Z L, Tang K E. Description of new genus and species of keyfinger shrimp in Hunan Province [J]. J Fish China, 1999, 23(S1): 69-73.
- [20] 梁象秋. 匙指虾新种记述[J]. 海洋与湖沼, 2002, 33(2): 167-173.
- Liang X Q. On new species of atyid shrimps (Decapoda, Caridea) from China [J]. Oceanol Limnol Sin, 2002, 33(2): 167-173.
- [21] 梁象秋, 陈会明, 李维贤. 贵州荔波洞穴匙指虾三新种[J]. 动物分类学报, 2005, 30(3): 529-534.
- Liang X Q, Chen H M, Li W X. Three new species of atyid shrimps (Decapoda, Caridea) from caves of Guizhou, China [J]. Acta Zootaxonomica Sin, 2005, 30(3): 529-534.
- [22] 薛俊增, 郑璐, 陈樟福. 中华新米虾胚胎发育的初步研究[J]. 杭州师范学院学报(社会科学版), 1995, 17(6): 79-83.
- Xue J Z, Zheng L, Chen Z F. Primary study of the embryo development of *Neocaridina denticulata sinensis* [J]. J Hangzhou Norm Univ Humanit Soc Sci, 1995, (6): 79-83.
- [23] Cheung M K, Yip H Y, Nong W Y, *et al.* Rapid change of microbiota diversity in the gut but not the hepatopancreas during gonadal development of the new shrimp model *Neocaridina denticulata* [J]. Mar Biotechnol (NY), 2015, 17(6): 811-819.
- [24] 秦海明, 张堂林, 李钟杰, 等. 扁担塘虾类群落组成、空间分布和生物量估算[J]. 水生生物学报, 2005, 29(4): 379-384.
- Qin H M, Zhang T L, Li Z J, *et al.* Species composition, spatial distribution and biomass of shrimp community in the Biandantang Lake [J]. Acta Hydrobiol Sin, 2005, 29(4): 379-384.
- [25] 江晶, 温芳妮, 邓山, 等. 胡家溪中华新米虾种群动态、周年生产量及营养基础分析[J]. 水生生物学报, 2010, 34(3): 569-574.
- Jiang J, Wen F N, Deng S, *et al.* Population dynamics, annual production and trophic basis analysis of the dominant species *Neocaridina denticulata sinensis* (Kemp) in Hujiayi stream [J]. Acta Hydrobiol Sin, 2010, 34(3): 569-574.
- [26] 郑小壮, 陈清华, 陈文坚, 等. 基于线粒体CO I 基因序列的掌肢新米虾7个自然群体遗传多样性分析[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2019, 45(5): 522-528.
- Zheng X Z, Chen Q H, Chen W J, *et al.* The genetic diversity of 7 natural populations of *Neocaridina palmata* (Crustacea: Decapoda: Atyidae) based on sequency analysis of mitochondrial CO I gene [J]. J Hunan Agric Univ Nat Sci, 2019, 45(5): 522-528.
- [27] 沙蒙. 苯氧威对掌肢新米虾(*Neocaridina palmata*)种群及相关群落的影响[D]. 杭州: 浙江大学, 2021: 1-81.
- Sha M. Effects of Fenoxycarb on *Neocaridina palmata* Population and Related Communities [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2021: 1-81.
- [28] 王建霞, 李林锋, 赵文博, 等. 壬基酚对中华新米虾几种生化指标的影响[J]. 河北渔业, 2017(3): 27-28, 36.
- Wang J X, Li L F, Zhao W B, *et al.* Effects of nonylphenol on several biochemical indexes of new rice shrimp [J]. Hebei Fish, 2017(3): 27-28, 36.
- [29] 孙健. 苯醚甲环唑和咯菌腈对稻田周边水生生态底栖生物的毒性效应[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2020: 1-110.
- Sun J. Effects of difenoconazole and fludioxonil on aquatic benthic organisms in surrounding paddy fields [D]. Hangzhou: Zhejiang A&F University, 2020: 1-110.
- [30] 李文芳. 基于遥感生态指数的贵州赤水河流域生态环境质量变化与影响因素研究[D]. 贵阳: 贵州师范大学, 2022: 1-72.
- Li W F. Research on the ecological environment quality

- change and influencing factors of Chishui River Basin in Guizhou based on remote sensing ecological index [D]. Guiyang: Guizhou Normal University, 2022: 1-72.
- [31] 孙悦,王广军,张军旺,等. 广东地区稻田养殖克氏原螯虾体长与体重的关系分析[J]. 安徽农业科学, 2019, 47(4):105-106, 109.
- Sun Y, Wang G J, Zhang J W, *et al.* Relationship analysis between the body length and body weight of *Procambarus clarkia* cultured in paddy field in Guangdong Province [J]. Anhui Agric Sci, 2019, 47(4): 105 - 106, 109.
- [32] 王普泽,宋聘,张尹哲,等. 博斯腾湖鱼类资源组成、体长与体重关系及生长状况[J]. 生物资源, 2020, 42(2): 181-187.
- Wang P Z, Song D, Zhang Y Z, *et al.* Resource composition, length-weight relationship and condition factor of fishes [J]. Biotic Resour, 2020, 42(2): 181-187.
- [33] 詹秉义. 渔业资源评估[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995: 18-22.
- Zhan B Y. Fishery resources assessment [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1995: 18-22.
- [34] 张灵侠,沈琪,胡超群,等. 两个凡纳滨对虾家系体重与体长的关系[J]. 热带海洋学报, 2006, 25(1):23-26.
- Zhang L X, Shen Q, Hu C Q, *et al.* Relationship between body weight and length of two *Litopenaeus vannamei* families [J]. J Trop Oceanogr, 2006, 25(1): 23-26.
- [35] 王渊源,陈世希,方丽珊. 池养长毛对虾体长与体重的关系[J]. 台湾海峡, 1996, 15(1):25-31.
- Wang Y Y, Chen S X, Fang L S. Relationship between body weight and length of pond-cultured *Penaeus penicillatus* [J]. J Oceanogr in Taiwan Strit, 1996, 15 (1): 25-31.
- [36] 黄忠,林黑着,黄建华,等. 5个斑节对虾家系体长和体重的关系[J]. 广东农业科学, 2011, 38(4):116-119.
- Huang Z, Lin H Z, Huang J H, *et al.* Relationship between body length and weight of five *Penaeus monodon* families [J]. Guangdong Agric Sci, 2011, 38(4): 116-119.
- [37] 席丽萍,王居安,邱雨燕,等. 池塘养殖凡纳滨对虾幼虾到成虾阶段生长差异研究[J]. 上海海洋大学学报, 2017, 26(5): 691-698.
- Xi L P, Wang J A, Qiu Y Y, *et al.* Investigation and analysis of the growth differences of larvae to adult stage of *Litopenaeus vannamei* [J]. J Shanghai Ocean Univ, 2017, 26(5): 691-698.
- [38] Rigby C, Simpfendorfer C A. Patterns in life history traits of deep-water chondrichthyans [J]. Deep-Sea Res II-Topi Stud in Oceanogr, 2015, 115: 30-40.
- [39] 韩晓磊,马强,李小蕊,等. 不同地区克氏原螯虾群体的形态差异分析[J]. 水生态学杂志, 2011, 32(3):82-87.
- Han X L, Ma Q, Li X R, *et al.* Morphological variations analysis of different geographic populations of *Procambarus clarkii* [J]. J Hydroecology, 2011, 32(3): 82-87.
- [40] 王战芳. 中华锯齿米虾繁殖及蜕皮特征的研究[D]. 保定: 河北大学, 2014: 1-51.
- Wang Z F. Study on the Characteristics of reproduction and molting in *Neocaridina denticulata sinensis* [D]. Baoding: Hebei University, 2014: 1-51.
- [41] 夏辉,许柳雄,朱国平等. 南极半岛周边南极大磷虾群体体长组成研究[J]. 水生生物学报, 2012, 36(5):998-1004.
- Xia H, Xu L X, Zhu G P, *et al.* Research on length composition of Antarctic krill (*Euphausia superba*) groups around the Antarctic peninsula [J]. Acta Hydrobiol Sin, 2012, 36(5): 998-1004.
- [42] Yu Y, Wang Q C, Zhang Q, *et al.* Genome scan for genomic regions and genes associated with growth trait in Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* [J]. Mar Biotechnol (NY), 2019, 21(3): 374-383.
- [43] Mayr E. Methods and principles of systematic zoology [M]. New York, USA: McGraw-Hill, 1953.
- [44] 金龙,钟茂君,罗怡,等. 隆肛蛙体长及其两性异形海拔变异研究[J]. 首都师范大学学报(自然科学版), 2018, 39(5): 40-44.
- Jin L, Zhong M J, Luo Y, *et al.* Study for altitudinal variation and sexual size dimorphism of body size for *Feirana quadranus* [J]. J Cap Norm Univ Nat Sci Ed, 2018, 39(5): 40-44.
- [45] Lindsey C C. Body sizes of poikilotherm vertebrates at different latitudes [J]. Evolution, 1966, 20(4): 456-465.
- [46] 鲍虞园,叶国玲,颀晓勇. 中国鲎人工繁育及1龄稚鲎形态性状对体质量的影响[J]. 渔业科学进展, 2020, 41 (4): 77-84.
- Bao Y Y, Ye G L, Xie X Y. Effects of morphological characters on body weight of artificially bred the first instars of horseshoe crabs (*Tachypleus tridentatus*) [J]. Prog Fish Sci, 2020, 41(4): 77-84.
- [47] 盛东峰,郭翠红. 建鲤苗种体长与体重间相互关系的分析[J]. 河北渔业, 2009, (7): 6-7, 32, 63.
- Sheng D F, Guo C H. An analysis of relation between Jian carp's length and body weight [J]. Hebei Fish, 2009, (7): 6-7, 32, 63.
- [48] 庄平,宋超,章龙珍,等. 全人工繁殖西伯利亚鲟仔稚鱼发育的异速生长[J]. 生态学杂志, 2009, 28(4): 681-687.
- Zhuang P, Song C, Zhang L Z, *et al.* Allometric growth of artificial bred Siberian sturgeon *Acipenser baeri* larvae and juveniles [J]. Chin J of Ecol, 2009, 28 (4): 681-687.

- [49] 王雪辉,杜飞雁,邱永松. 南海北部主要经济鱼类体长与体重关系[J]. 台湾海峡, 2006, 25(2):262-266.
Wang X H, Du F Y, Qiu Y S. Length-weight relationships of important commercial fishes in northern South China Sea [J]. J Oceanogr in Taiwan Strit, 2006, 25 (2): 262-266.
- [50] 薛毓才,高逸鸣,黄旭雄. 不同温度下锯齿新米虾对低溶解氧胁迫的耐受能力及生理响应[J]. 中国水产科学, 2022, 29(5): 673-683.
Xue Y C, Gao Y M, Huang X X. Tolerance and physiological response to hypoxia in *Neocaridina denticulata* under different temperatures [J]. J Fish Sci China, 2022, 29(5): 673-683.
- [51] 邓杰文,陈婉怡. 观赏中华锯齿米虾的培育与养殖研究进展[J]. 乡村科技, 2022, 13(18): 80-83.
Deng J W, Chen W Y. Research progress on cultivation and culture of ornamental Chinese sawtooth shrimp [J]. Rural Sci Technol, 2022, 13(18): 80-83.
- [52] 陈孝煊,吴志新,胡立才. 水温对澳大利亚红螯螯虾摄食及生长的影响[J]. 华中农业大学学报, 1995, 14(5): 477-480.
Chen X X, Wu Z X, Hu L C. Effects of water temperature on ingestion and growth of *Cherax quadricarinatus* [J]. J Huazhong Agric, 1995, 14(5): 477-480.
- [53] 梁俊平,李健,李吉涛,等. 不同温度对脊尾白虾胚胎发育与幼体变态存活的影响[J]. 生态学报, 2013, 33(4): 1142-1152.
Liang J P, Li J, Li J T, et al. Effects of water temperature on the embryonic development, survival and development period of larvae of ridgetail white prawn (*Exopalaemon carinicauda*) reared in the laboratory [J]. Acta Ecol Sin, 2013, 33(4): 1142-1152.
- [54] 徐良,冯平,孙冬梅,等. 水温对藻类生长变化影响的数值模拟[J]. 安全与环境学报, 2013, 13(5): 76-81.
Xu L, Feng P, Sun D M, et al. Numerical simulation for the effect of temperature on the algae growth [J]. J Saf Environ, 2013, 13(5): 76-81.
- [55] 夏治俊,刘飞,余梵冬,等. 赤水河流域鱼类物种、功能和分类多样性研究[J]. 水生态学杂志, 2022, 43(5): 89-98.
Xia Z J, Liu F, Yu F D, et al. Species, functional and taxonomic diversity of fish in the Chishui River Basin [J]. J Hydroecology, 2022, 43(5): 89-98.
- [56] 李忠炉,金显仕,单秀娟,等. 小黄鱼体长-体质量关系和肥满度的年际变化[J]. 中国水产科学, 2011, 18(3): 602-610.
Li Z L, Jin X S, Shan X J, et al. Inter-annual changes on body weight-length relationship and relative fatness of small yellow croaker (*Larimichthys polyactis*) [J]. J Fish Sci China, 2011, 18(3): 602-610.
- [57] 莫介化,刘文瑜,陆丙乾,等. 池养条件下黄唇鱼幼鱼周年生长特性研究[J]. 广东农业科学, 2023, 50(3): 129-136.
Mo J H, Liu W Y, Lu B Q, et al. Study on annual growth characteristics of pond-culture *Bahaba taipingensis* juvenile [J]. Guangdong Agri Sci, 2023, 50(3): 129-136.
- [58] 王淼,周轩,洪波,等. 杭州湾北部安氏白虾体长与体重关系的季节变化特征[J]. 中国水产科学, 2020, 27(11): 1325-1332.
Wang M, Zhou X, Hong B, et al. Impact of seasonal changes on *Palaemon annandalei* length-weight relationships in northern Hangzhou Bay [J]. J Fish Sci China, 2020, 27(11): 1325-1332.

□

(编辑: 杨晓翠)