

徐聚臣, 杜红春, 王晓宁, 等. 2017—2020 年汉江干流水生生物资源现状及变化趋势[J]. 华中农业大学学报, 2021, 40(5): 126-137.

DOI: 10.13300/j.cnki.hnlkxb.2021.05.016

2017—2020 年汉江干流水生生物资源现状及变化趋势

徐聚臣¹, 杜红春^{1,3}, 王晓宁¹, 覃剑晖¹,
夏成星¹, 侯杰^{1,2}, 范泽宇¹, 吴虎¹, 王洁¹, 何绪刚^{1,2}

1. 华中农业大学水产学院, 武汉 430070;

2. 长江经济带大宗水生生物产业绿色发展教育部工程研究中心, 武汉 430070;

3. 中国水产科学研究院长江水产研究所, 武汉 430223

摘要 为研究汉江水生生物资源现状和长时间变化趋势, 2017—2020 年间, 对汉江干流汉中、老河口和钟祥江段鱼类、浮游生物和水生高等维管束植物等生物资源进行季节性调查分析。共采集鱼类 98 种, 其中经济鱼类以鲤、鲫、鲢、鳙、草鱼等为主; 共镜检浮游植物 7 门 71 属 116 种, 其中绿藻门种类最多(共 46 种); 优势种 12 种, 以硅藻门为主。浮游动物共镜检出 55 属 86 种, 其中轮虫最多(共 48 种); 优势种 8 种, 以原生动物为主。水生高等维管束植物 16 科 24 属 29 种, 呈明显的地带性特征。与过去监测数据相比, 汉江干流鱼类种类减少 38 种, 主要以珍稀小型鱼类为主, 如峨眉后平鳅、中华纹胸鮡等。新增鱼类 27 种, 总体种类数下降、渔获物小型化趋势明显, 渔业资源呈衰退趋势; 浮游植物种类、密度和生物量呈上升趋势; 浮游动物种类增多, 密度和生物量呈上升趋势; 水生高等维管束植物种类呈下降趋势。上述变化与南水北调中线工程、汉江梯级开发等水利工程建设, 下泄水量减少、径流量的人为调节、下泄水的温度降低、部分江段水流变缓等水文情势变化和水体富营养化进程加快等因素相关, 建议通过实施流域污染治理、实施人工增殖放流活动做好生态流量的管控等具体措施, 加大汉江渔业资源与环境的保护力度。

关键词 汉江干流; 渔业资源; 浮游植物; 浮游动物; 长江禁捕; 水生生物资源

中图分类号 S 932 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2021)05-0126-12

汉江是长江最大支流, 发源于陕西省汉中市, 于湖北省武汉市汇入长江, 全长约 1 570 km。丹江口以上上游江段河道狭窄, 丹江口至钟祥中游江段河谷较宽, 多沙滩; 钟祥以下下游江段流经江汉平原, 于汉口汇入长江。汉江干流鱼类资源丰富, 是我国“四大家鱼”和鳊(*Parabramis pekinensis*)等多种经济鱼类的盛产地、主要产卵场和重要栖息地^[1]。

1973 年横跨湖北、河南两省的丹江口水库的建成, 以及近 40 年来南水北调中线工程、汉江中下游梯级开发等水利工程建设, 破坏了河流生态系统的完整性以及水生生物多样性, 使得汉江干流生态环境处于强烈或明显负影响状态^[2-5]。因此, 为研究汉江水生生物资源现状和长时间变化趋势, 有必要对汉江干流水生生物资源开展常年监测, 同时还可

水利工程建设生态学效应及水生生物对环境变化的响应机制分析提供必要的基础资料。

汉江干流流经陕西、湖北两省, 对两省尤其是湖北省经济发展有着重要的作用。因此, 20 世纪 70 年代就已经开展汉江鱼类资源调查, 但已有调查主要集中在某一江段或区域, 如许涛清等^[6]对汉江陕西段早期鱼类资源进行了全面的调查, 后续学者也对其进行了追踪报道^[7-8]。此外, 在汉江中下游研究者也重点对于鱼类的资源进行了详细的研究^[9-10]。随着汉江一系列水利工程的修建, 许多学者开展了一系列关于水利工程建设对鱼类群落和繁殖影响的研究^[11-13]。其余研究或只针对鱼类或浮游生物等某一特定生物类群^[14-15]。单一类群和部分江段的研究既不能系统反映汉江生物资源量也无法全面反映水

收稿日期: 2021-03-22

基金项目: 农业财政专项“长江渔业资源与环境调查”(CJDC-2017-18); 中央高校基本科研业务费专项(2662020SCP Y001)

徐聚臣, E-mail: 2338726961@qq.com

通信作者: 何绪刚, E-mail: xgh@mail.hzau.edu.cn

利工程对生态的影响,因此全江段生物资源调查尚待进行。

本研究于2017年至2020年系统调查和分析了汉江干流江段水生生物资源现状和变动趋势,以期对汉江及长江禁捕的生态效益评价、长江水生生物资源养护、长江污染防治和生态保护决策等提供必要的基础资料。

1 材料与方法

1.1 采样时间及点位分布

根据汉江干流中生境尺度的形态特征、支流汇入情况和交通便利性等因素设置了3个站点、15个断面。2017年7月、10月在汉江干流15个断面,2018—2020年1月(冬季)、5月(春季)、8月(夏季)和11月(秋季)在汉中(S1、S2、S3)、老河口(S7、S8、S9)和钟祥(S11、S12、S13)3个站点9个断面(图1)进行了鱼类资源调查;2018年8月(夏季)、11月(秋季)和2019年1月(冬季)、5月(春季)在汉中(S1、S2、S3)、老河口(S7、S8、S9)和钟祥(S11、S12、S13)3个站点9个断面(图1)调查分析了浮游动植物,每个断面设置3个采样点。2017—2018年在汉中、老河口和钟祥3个站点进行了水生高等维管束植物种类调查。

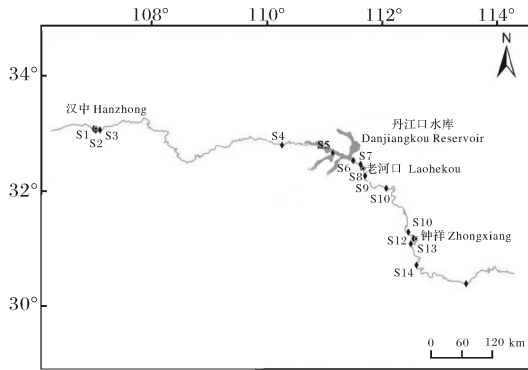


图1 汉江干流调查采样断面地理信息

Fig.1 Geographic information of sampling sections in main stream of Hanjiang River

1.2 采样

鱼类调查工具为地笼和刺网,在每个断面均采取规格、数量相同的刺网和地笼。刺网网目规格为1~14 cm;地笼采用45 cm×45 cm×1.5 m和50 cm×50 cm×2.0 m两种规格。每个断面均放置3张刺网和2个地笼。统计分析了单船渔获量、种类、

体长、体质量等。浮游植物定性样品采用25号浮游生物网采集、鲁哥氏液固定;根据断面水深在上、中、下层用采水器采等量的水样,混合均匀后量取水样1 L,加入鲁哥氏液固定。浮游动物的采集使用13号浮游生物网在水下0.5 m处以适当速度按“∞”形状拖动1~3 min,定量样品采集水下0.5 m处水样5 L经13号浮游生物网过滤后加入4%甲醛固定。浮游生物的鉴定参照相关资料^[16-19]进行。挺水植物、漂浮植物主要采用收割和抄网的方法进行采集,沉水植物、浮叶植物的采集通过采样夹将其连根拔起。野外采集的样本放入标本夹后带回室内进行鉴定,水生高等维管束植物的种类、区系的鉴定参照相关资料^[20-21]进行。

1.3 数据分析

文中所有的数据处理和图表制作均在Excel 2010、ArcGIS 10.5、OriginPro 2021和SPSS 25软件中完成。

具体数据的计算分析如下。

1)多样性指数。Margalef丰富度指数:

$$D = (S - 1) / \ln N \quad (1)$$

Shannon-Wiener多样性指数:

$$H' = - \sum (P_i \ln P_i) \quad (2)$$

Pielou均匀度指数:

$$J' = - \sum (P_i \ln P_i) / \ln S = H' / \ln S \quad (3)$$

式(1)~(3)中, S 为一个取样中的物种总数, N 为1个取样中总尾数, P_i 为第*i*种占总尾数的比例。

2)单位捕捞努力渔获量。单位捕捞努力渔获量(catch per unit effort, CPUE)计算方法为:

$CPUE = \text{捕捞产量} / \text{捕捞努力量} = \text{捕捞产量} / \text{使用渔船数} / \text{作业天数}$ 。

3)浮游生物密度和优势度。浮游植物密度计算公式如下:

$$N = \frac{C}{S_F \times n_F} \times \frac{V}{U} \times n_p \quad (4)$$

式(4)中: N 为1 L水样中浮游植物的个体数, C 为计数框的面积,mm²; S_F 为每个视野的面积,mm²; n_F 为视野个数, V 为每升水样浓缩后的体积,mL; U 为计数框的体积,mL; n_p 为每个计数框计数到的浮游植物细胞数。

浮游动物密度的计算公式如下:

$$N = (V_s \times n) / (V \times V_s) \quad (5)$$

式(5)中: N 为1 L水样中浮游动物的个体数,

V 为采集样品的体积, V_s 为样品浓缩后的体积, V_a 为计数体积, n 为计数的个体数。

浮游生物优势度的计算采用如下公式:

$$Y = n_i / N \times f_i \quad (6)$$

式(6)中: N 为各采样点所有物种总个数, n_i 为第 i 种物种个体的总数, f_i 为该物种在各采样点的出现频率。 Y 值大于 0.02 的种类定为优势种。

4) 显著性差异分析。LSD 方法称为最小显著性差异 (least significant difference) 法, 其检验统计量定义为:

$$\text{LSD} = t_{\alpha/2} \sqrt{\text{MSE} \left(\frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_j} \right)} \quad (7)$$

式(7)中: $t_{\alpha/2}$ 为 t 分布的临界值, 通过查 t 分布表得到, 其自由度为 $n - k$, n 为样本总数, k 为因素中不同水平的水平个数; MSE 为组内方差; n_i 和 n_j 分别为第 i 个样本和 j 个样本的样本量。

2 结果与分析

2.1 鱼类

1) 种类。2017—2020 年, 汉江流域共采集鱼类 98 种, 其中含散鳞镜鲤 (*Cyprinus carpio*)、斑点叉尾鲷 (*Ictalurus punctatus*)、大口黑鲈 (*Micropterus salmoides*) 和食蚊鱼 (*Gambusia affinis*) 4 种外来鱼类。隶属于 8 目 19 科 57 属, 其中鲤形目 2 科 36 属 64 种, 占总种数 65.31%, 鲇形目 4 科 7 属 14 种, 占总种数 14.29%, 鲈形目 6 科 7 属 13 种, 占总种数 13.27%, 合鳃鱼目、鲱形目各 2 科 2 属 2 种, 各占总种数的 2.04%, 鲱形目、鲑形目、颌针鱼目各 1 科 1 属 1 种, 各占总种数的 1.02%。此外, 调查发现杂交鲟 1 尾, 不列入鱼类名录。

从时间上来看, 2017 年采集鱼种类最多 (77 种), 2020 年最少 (58 种)。2018 年和 2019 年分别采集到 63 和 67 种。从空间上来看, 钟祥站点采集鱼种类最多 (71 种), 老河口站点次之 (69 种), 汉中采集鱼种类数最少, 为 59 种。对渔获物总质量和数量的分析结果显示, 2017 年至 2020 年期间渔获物生物量前 10 的物种为鲤 (*Cyprinus carpio*)、鲢 (*Hypophthalmichthys molitrix*)、鲫 (*Carassius auratus*)、鳊 (*Hypophthalmichthys nobilis*)、草鱼 (*Ctenopharyngodon idellus*)、鳊、细鳞鲷 (*Xenocypris microlepis*)、鲇 (*Silurus asotus*)、蛇鲷 (*Sau-*

rogobio dabryi) 和团头鲂 (*Megalobrama amblycephala*), 全区域渔获物数量比前 10 的物种为鲫、蛇鲷、鲤、中华鲮 (*Rhodeinae sinensis*)、子陵吻鲈 (*Rhinogobius giurinus*)、黄颡鱼 (*Pelteobagrus fulvidraco*)、嘉陵颌须鲷 (*Gnathopogon herzensteini*)、麦穗鱼 (*Pseudorasbora parva*)、华鳊 (*Sinibrama wuitypus*) 和鲮 (*Hemiculter leucisculus*)。

2) 基础生物学。2017—2020 年汉江干流全区域渔获物体长范围为 0.6~84.2 cm, 体质量范围为 0.1~13 860.0 g。其中体长和体质量最大和最小的渔获物均出现在老河口站点。汉中站点渔获物体长范围为 1.5~69.5 cm, 体质量范围为 0.1~5 450.0 g, 钟祥站点渔获物体长范围 4.1~66.6 cm, 体质量范围 1.2~7 050.0 g。主要鱼类的生物学数据见表 1。

3) 多样性。2017—2020 年调查期间, 3 个监测站点的鱼类多样性依次为钟祥 > 汉中 > 老河口。从年份来看, 除 2017 年各站点多样性和丰富度较低外, 其余 3 a 无较大差异 (表 2)。

4) 主要渔获物和单位捕捞努力渔获量。调查期间, 年平均捕捞努力渔获量汉中站点最低, 为每船 2 899.10 g/d, 老河口最高, 为每船 18 183.14 g/d (表 3)。汉中站点的主要渔获物为细鳞鲷、鲫、鲤、似鳊、黄颡鱼; 老河口主要为鲫、鳊、草鱼、鲤、鲢; 钟祥站点主要渔获物为鳊、蛇鲷、鲢、鲤、鲫。

2.2 浮游植物

1) 种类。汉江干流 9 个断面共镜检浮游植物 116 种, 隶属于 7 门 71 属, 以绿藻门、硅藻门和蓝藻门种类最多, 三者合计占种类总数的 89.66%, 其中绿藻门有 28 属 46 种, 硅藻门 21 属 43 种, 蓝藻门 13 属 15 种, 三者分别占种类总数的 39.66%、37.07% 和 12.93%。其余各门的种类占比均不超过 10%, 由多到少分别为裸藻门 5 属 6 种、隐藻门 2 属 3 种、甲藻门 1 属 2 种、金藻门 1 属 1 种, 分别占种类总数的 5.17%、2.59%、1.72% 和 0.86%。浮游植物种类时空分布有所不同。时间上, 夏季种类最多 (有 83 种), 冬季最低 (有 62 种), 春秋两季差距不大, 分别有 70 种和 71 种。全年的种类组成均以硅藻和绿藻为主, 除夏季外, 其余 3 个季节硅藻门的种类数都大于绿藻门; 空间上, 汉中站点 S1 断面共有浮游植物 72 种, 为所有采样断面中种类数最多。老河口站点的 S5 断面种类数最少, 有 43 种。

表1 2017—2020年汉江干流主要鱼类的生物学指标
Table 1 Biological indexes of main fishes in the main stream of Hanjiang River from 2017 to 2020

种类 Species	调查全区域 Whole area			汉中站点 Hanzhong site			老河口站点 Laohekou site			钟祥站点 Zhongxiang site		
	体长/cm Body length	体质量/g Body weight	体长/cm Body length	体质量/g Body weight	体长/cm Body length	体质量/g Body weight	体长/cm Body length	体质量/g Body weight	体长/cm Body length	体质量/g Body weight	体长/cm Body length	体质量/g Body weight
鲫 <i>Carassius auratus</i>	13.23±14.04 (0.6~50.0)	76.59±466.67 (0.1~3 400.0)	10.71±5.22 (2.5~24.6)	63.57±77.61 (0.3~358.6)	14.52±16.95 (0.6~29.0)	76.33±565.17 (0.1~686.4)	9.93±5.46 (4.1~50.0)	105.41±238.71 (2.7~3 400.0)	9.93±5.46 (4.1~50.0)	105.41±238.71 (2.7~3 400.0)	9.93±5.46 (4.1~50.0)	105.41±238.71 (2.7~3 400.0)
蛇鲻 <i>Saurogobio dabryi</i>	11.44±5.21 (3.2~20.6)	15.37±142.95 (0.4~115.0)	9.90±4.15 (3.2~20.6)	18.19±16.77 (0.4~88.4)	4.40 —	0.80 —	11.72±5.32 (6.0~17.6)	14.89±153.97 (6.0~115.0)	11.72±5.32 (6.0~17.6)	14.89±153.97 (6.0~115.0)	11.72±5.32 (6.0~17.6)	14.89±153.97 (6.0~115.0)
中华鲮 <i>Rhodeinae sinensis</i>	6.62±1.96 (2.1~11.7)	10.06±13.53 (0.4~54.9)	3.90±0.61 (2.1~6.0)	1.91±3.00 (0.4~42.6)	3.82±2.15 (2.5~7.3)	2.59±8.70 (0.4~10.7)	7.42±1.26 (5.0~11.7)	12.44±9.89 (2.7~54.9)	7.42±1.26 (5.0~11.7)	12.44±9.89 (2.7~54.9)	7.42±1.26 (5.0~11.7)	12.44±9.89 (2.7~54.9)
鲤 <i>Cyprinus carpio</i>	22.00±20.42 (2.5~65.0)	519.48±1 314.78 (0.8~4 580.0)	14.00±8.56 (3.2~48.0)	162.07±390.22 (0.8~4 580.0)	21.75±19.58 (2.5~56.0)	433.93±1 502.64 (0.8~5 800.0)	41.88±24.65 (22.8~65.0)	1 883.0±1 077.46 (346.5~3 200.0)	41.88±24.65 (22.8~65.0)	1 883.0±1 077.46 (346.5~3 200.0)	41.88±24.65 (22.8~65.0)	1 883.0±1 077.46 (346.5~3 200.0)
嘉陵颌须鲈 <i>Gnathopogon herzensteini</i>	8.98±1.20 (3.3~13.7)	20.89±15.74 (0.48~42.1)	—	—	7.06±2.11 (3.3~10.7)	10.71±15.48 (0.48~32.1)	9.13±1.00 (4.5~13.7)	11.95±12.89 (1.2~40.1)	7.06±2.11 (3.3~10.7)	10.71±15.48 (0.48~32.1)	9.13±1.00 (4.5~13.7)	11.95±12.89 (1.2~40.1)
子陵吻鲈虎鱼 <i>Rhinogobius giurinus</i>	5.03±1.78 (2.4~10.7)	2.54±8.96 (0.2~10)	5.04±0.83 (3.1~7.6)	2.39±13.24 (0.3~6.3)	5.02±2.01 (2.4~10.7)	2.59±11.68 (0.2~10.0)	6.50 —	5.10 —	5.02±2.01 (2.4~10.7)	2.59±11.68 (0.2~10.0)	6.50 —	5.10 —
麦穗鱼 <i>Pseudorasbora parva</i>	5.81±3.18 (2.3~10.1)	4.30±12.38 (0.1~22.9)	4.93±0.88 (2.5~7.8)	2.25±3.08 (0.3~7.26)	5.23±1.36 (2.3~9.6)	3.24±9.66 (0.1~16.4)	8.48±5.87 (6.1~10.1)	9.48±2.97 (5.6~22.9)	5.23±1.36 (2.3~9.6)	3.24±9.66 (0.1~16.4)	8.48±5.87 (6.1~10.1)	9.48±2.97 (5.6~22.9)
华鲮 <i>Sinibrama wuii</i>	9.96±2.85 (3.8~15.9)	20.12±82.07 (0.77~235.7)	8.54±2.26 (3.8~15.4)	13.54±11.34 (0.77~80.5)	15.90 —	44.60 —	11.02±2.69 (7.2~24.1)	25.12±108.82 (6.2~235.7)	15.90 —	44.60 —	11.02±2.69 (7.2~24.1)	25.12±108.82 (6.2~235.7)
泥鳅 <i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	10.58±2.77 (3.3~23.5)	11.78±7.68 (0.7~36.5)	11.72±3.12 (3.3~17.5)	15.33±8.11 (0.9~34.4)	10.25±2.62 (4.6~23.5)	10.78±5.88 (0.7~36.5)	—	—	10.25±2.62 (4.6~23.5)	10.78±5.88 (0.7~36.5)	—	—
细鳞鲷 <i>Xenocypris microlepis</i>	18.66±5.76 (6.6~26.1)	112.94±69.55 (4.9~291.3)	18.66±3.97 (6.6~26.1)	112.94±66.49 (4.9~291.3)	—	—	—	—	—	—	—	—
高体鲮 <i>Rhodeus ocellatus</i>	4.50±0.77 (2.3~8.1)	2.47±6.47 (0.4~15.52)	4.51±0.69 (2.3~8.1)	2.45±8.54 (0.4~15.5)	3.80±1.22 (2.5~5.1)	1.71±2.34 (0.4~4.2)	6.77±0.16 (6.4~7.1)	7.43±2.19 (5.7~9.0)	3.80±1.22 (2.5~5.1)	1.71±2.34 (0.4~4.2)	6.77±0.16 (6.4~7.1)	7.43±2.19 (5.7~9.0)
似鲮 <i>Pseudobrama simoni</i>	12.81±7.64 (6.2~17.5)	45.97±30.07 (3.5~114.0)	14.44±9.20 (6.2~17.5)	60.48±25.08 (3.5~114.0)	10.47±3.27 (6.5~12.4)	19.45±17.62 (4.4~24.5)	—	—	10.47±3.27 (6.5~12.4)	19.45±17.62 (4.4~24.5)	—	—
鲮 <i>Hemiculter leucisculus</i>	11.17±5.91 (1.8~39.5)	17.90±31.36 (0.74~108.8)	12.31±1.97 (8.2~18.0)	24.65±11.16 (6.86~66.1)	16.48±13.47 (1.8~17.5)	19.45±17.62 (4.4~24.5)	10.75±6.76 (7.3~39.5)	14.62±36.29 (4.9~108.8)	16.48±13.47 (1.8~17.5)	19.45±17.62 (4.4~24.5)	10.75±6.76 (7.3~39.5)	14.62±36.29 (4.9~108.8)
黄颡鱼 <i>Pelteobagrus fulvidraco</i>	13.64±11.13 (4.2~19.8)	42.37±30.33 (1.5~158.7)	10.99±4.00 (4.2~19.8)	32.42±30.20 (1.5~158.7)	—	—	9.66±11.97 (7.9~14.7)	15.38±30.03 (7.6~65.5)	10.99±4.00 (4.2~19.8)	32.42±30.20 (1.5~158.7)	9.66±11.97 (7.9~14.7)	15.38±30.03 (7.6~65.5)
黄鲂 <i>Hypseleotris swinhonis</i>	3.99±0.70 (1.6~5.7)	1.59±1.09 (0.1~8.7)	3.41±0.36 (3.0~4.0)	0.74±0.26 (0.4~1.2)	4.01±0.69 (1.6~5.7)	1.62±1.53 (0.1~8.7)	—	—	4.01±0.69 (1.6~5.7)	1.62±1.53 (0.1~8.7)	—	—
中华花鲈 <i>Cobitis sinensi</i>	7.94±1.85 (4.2~15.3)	6.03±25.68 (0.2~53.0)	7.25±0.89 (6~8.1)	3.20±1.53 (1.6~5.3)	7.82±1.50 (4.2~12.8)	5.46±38.64 (0.2~113.0)	13.56±2.59 (11.9~15.3)	31.38±17.76 (11.9~53.0)	7.82±1.50 (4.2~12.8)	5.46±38.64 (0.2~113.0)	13.56±2.59 (11.9~15.3)	31.38±17.76 (11.9~53.0)
蒙古鲈 <i>Gutter</i>	11.45±7.87 (8~28.7)	24.06±180.50 (6.5~251.9)	—	—	21.75±5.34 (19.6~24.7)	198.98±135.30 (91.8~401.0)	—	—	21.75±5.34 (19.6~24.7)	198.98±135.30 (91.8~401.0)	—	—
圆筒吻鲈 <i>Rhinogobio-cylindricus</i>	10.78±2.76 (4.9~19.1)	17.73±12.25 (1.6~111.9)	9.01±3.62 (4.9~19.1)	16.52±19.13 (1.6~111.9)	—	—	—	—	—	—	—	—
彩鲮 <i>Rhodeus lighti</i>	4.14±0.64 (2.6~5.9)	1.87±0.83 (0.4~4.6)	4.61±0.77 (3.4~5.5)	2.24±0.89 (0.9~3.7)	4.09±0.62 (2.6~5.9)	1.82±0.97 (0.4~4.6)	—	—	4.09±0.62 (2.6~5.9)	1.82±0.97 (0.4~4.6)	—	—
鲃 <i>Silurus asotus</i>	20.31±7.70 (2.3~54.0)	96.27±573.91 (1.5~1516.7)	15.37±5.85 (6~38.9)	40.52±58.30 (2.1~349.7)	23.41±7.60 (2.3~54.0)	131.32±674.81 (1.5~1 517.0)	—	—	23.41±7.60 (2.3~54.0)	131.32±674.81 (1.5~1 517.0)	—	—

注: 数据表示为平均数±标准差; 括号中数据表示范围。Note: Data are expressed as the means±the standard deviation; data in parentheses indicate the scope.

表 2 2017—2020 年汉江各站点鱼类多样性指数

Table 2 Fish diversity index of each site in Hanjiang River from 2017 to 2020

年份 Year	汉中 Hanzhong			老河口 Laohekou			钟祥 Zhongxiang		
	SW	M	P	SW	M	P	SW	M	P
2017	1.981	2.525	0.886	2.701	2.817	0.762	2.224	3.147	0.828
2018	4.221	3.450	0.860	3.281	3.607	0.621	4.302	4.654	0.783
2019	4.342	4.312	0.758	3.211	3.198	0.578	3.810	4.460	0.645
2020	3.527	4.139	0.862	3.340	2.874	0.703	3.643	3.691	0.833

注:SW 为 Shannon-Wiener 多样性指数, M 为 Margalef 丰富度指数, P 为 Pielou 均匀性指数。Note: SW is Shannon-Wiener diversity index, M is Margalef richness index, and P is Pielou evenness index.

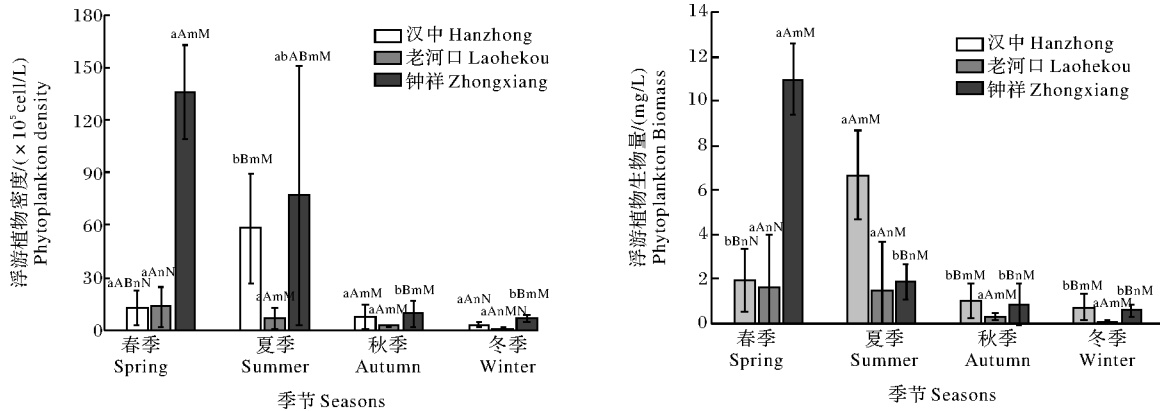
表 3 2017—2020 年汉江干流各站点单位捕捞努力渔获量

Table 3 CPUE at various sites in the main stream of Hanjiang River from 2017 to 2020

站点 Sites	季节 Seasons	CPUE/ (g/d)	年平均 CPUE/(g/d) Mean annual CPUE
汉中 Hanzhong	春季 Spring	2 384.92	2 899.10
	夏季 Summer	3 413.27	
老河口 Laohekou	春季 Spring	15 133.71	18 183.14
	夏季 Summer	21 232.60	
钟祥 Zhongxiang	春季 Spring	10 078.64	6 604.41
	夏季 Summer	3 130.17	

注:捕捞用的网具为流刺网和定置刺网。Note: Drift gillnet and set gillnet are used for fishing.

2) 密度及生物量。2018 年 8 月至 2019 年 5 月, 汉江干流浮游植物密度波动为 $1.05 \times 10^5 \sim 1.36 \times 10^7$ cell/L(图 2)。春季钟祥站点浮游植物密度最高, 冬季老河口站点最低。各季节中, 春季浮游植物密度最高, 夏季次之, 冬季浮游植物密度最低。通过方差分析发现, 3 个采样站点除老河口外, 均存在季节间的极显著性差异 ($P < 0.01$); 夏季和秋季各站点无显著性差异 ($P > 0.05$), 春季老河口站点和其他两站点存在极显著差异 ($P < 0.01$), 冬季则 3 个站点的浮游植物密度均存在极显著差异 ($P < 0.01$)。



不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 不同大写字母表示差异极显著 ($P < 0.01$)。字母 a, b, A, B 表示不同季节间的显著性差异, m, n, M, N 表示不同断面间的显著性差异。Different lowercase letters indicate significant difference ($P < 0.05$), and different capital letters indicate extremely significant difference ($P < 0.01$). The letters a, b, A and B indicate the significant difference between different seasons, and m, n, M and N indicate the significant difference between different sections.

图 2 2018—2019 年汉江各站点浮游植物密度和生物量

Fig. 2 Phytoplankton density and biomass in different sites of Hanjiang River from 2018 to 2019

浮游植物的生物量变化范围为 $0.111 \sim 10.969$ mg/L(图 2)。生物量最大值出现的站点与其密度一致, 最大值和最小值分别出现在春季钟祥站点和冬季老河口站点。生物量的季节变化也与其密度一致, 春季生物量最高, 夏季次之, 冬季最低。通过方差分析发现, 只有夏季汉中站点和春季钟祥站点存在季节间的极显著性差异 ($P < 0.01$), 其余

并无季节间的显著性差异 ($P > 0.05$)。不同站点之间, 同样只有春季钟祥站点和夏季汉中站点之间出现显著性差异 ($P < 0.05$)。

3) 优势种。汉江干流的浮游植物优势度分析结果(表 4)显示, 优势浮游植物共有 12 种, 分布在硅藻门、蓝藻门和绿藻门, 分别有 6 种、3 种和 3 种。各优势种的优势度范围在 $0.022 \sim 0.392$ 。其中链形

小环藻(*Cyclotella catenata*)、颗粒直链藻(*Melosira granulata*)、肘状针杆藻(*Synedra ulna*)和伪鱼腥藻(*Pseudoanabaena* sp.)为全年优势种。春秋两

季优势度最高的均为颗粒直链藻,夏冬两季优势度最高的分别为细小平裂藻(*Merismopedia minima*)和链形小环藻。

表 4 2018—2019 年汉江干流浮游植物优势度

Table 4 Phytoplankton dominance in the main stream of Hanjiang River from 2018 to 2019

优势种 Dominant species	优势度 Dominant index				
	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	冬季 Winter	
硅藻门 Bacillariophyta	链形小环藻 <i>Cyclotella catenata</i>	0.217	0.037	0.063	0.392
	梅尼小环藻 <i>Cyclotella meneghiniana</i>	0.048	—	—	—
	颗粒直链藻 <i>Melosira granulata</i>	0.334	0.036	0.205	0.068
	变异直链藻 <i>Melosira varians</i>	—	—	0.036	—
	肘状针杆藻 <i>Synedra ulna</i>	0.026	0.052	0.034	0.073
	喙头舟形藻 <i>Navicula rhynchocephals</i>	—	—	0.025	0.027
绿藻门 Chlorophyta	球衣藻 <i>Chlamydomonas globosa</i>	0.026	—	—	—
	卵形衣藻 <i>Chlamydomonas oualis</i>	0.045	—	—	—
	双对栅藻 <i>Scenedesmus bijuga</i>	0.045	0.022	—	—
蓝藻门 Cyanophyta	伪鱼腥藻 <i>Pseudoanabaena</i> sp.	0.026	0.058	0.132	0.067
	小形色球藻 <i>Chroococcus minor</i>	—	—	—	0.028
	细小平裂藻 <i>Merismopedia minima</i>	—	0.206	—	—

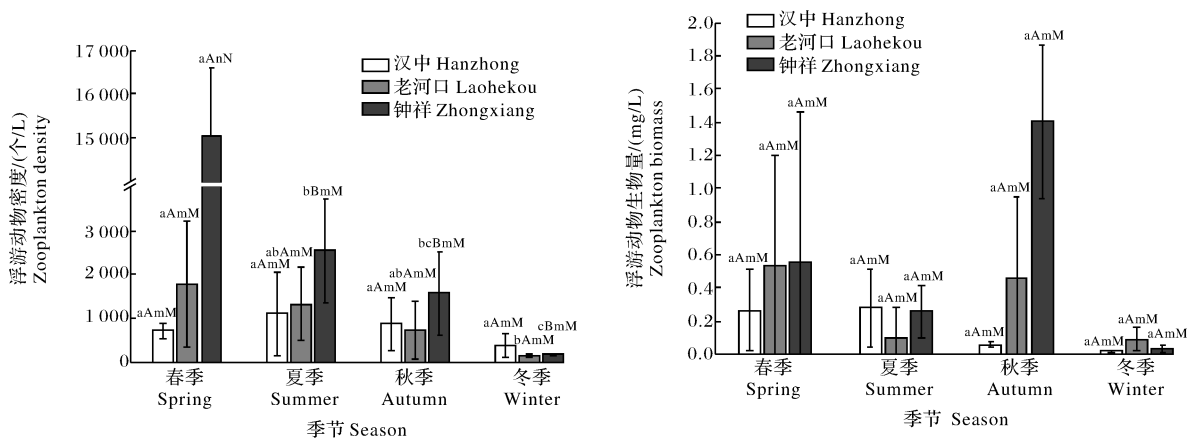
注：“—”表示该物种在该季节不是优势物种。下同。Note:“—” indicates this specie is not the dominant specie in this season. The same as below.

2.3 浮游动物

1) 种类。调查共发现浮游动物 55 属 86 种,其中种类数最多的为轮虫,共 24 属 48 种,占种类总数的 55.81%;其他种类依次为原生动物 18 属 21 种、桡足类 8 属 11 种和枝角类 5 属 6 种,分别占种类总数的 24.42%、12.79%和 6.98%。

2) 密度及生物量。调查期间汉江干流浮游动物密度范围为 155.1~15 062.3 个/L(图 3)。其中春

季钟祥站点浮游动物密度最高,冬季老河口站点密度最低。方差分析结果显示,汉中站点各季节间无显著性差异($P>0.05$)。老河口站点除夏季与秋季间无显著性差异外,其余各季节间均存在显著性差异($P<0.05$)。而钟祥站点,不同季节间均存在显著性差异($P<0.05$);除春季钟祥站点外,其余季节各站点之间无显著性差异($P>0.05$)。



不同的小写字母表示差异显著($P<0.05$),不同的大写字母表示差异极显著($P<0.01$)。字母 a, b, c, A, B 表示不同季节间的显著性差异, m, n, M, N 表示不同断面间的显著性差异。Different lowercase letters indicate significant difference ($P<0.05$), and different capital letters indicate extremely significant difference ($P<0.01$). The letters a, b, c, A, and B indicate the significant difference between different seasons, and m, n, M and N indicate the significant difference between different sections.

图 3 2018—2019 年汉江各站点浮游动物密度和生物量

Fig.3 Zooplankton density and biomass in different sites of Hanjiang River from 2018 to 2019

汉江干流浮游动物生物量变化范围在 0.019 0~1.402 7 mg/L(图 3),秋季钟祥站点浮游动物生物量最高,冬季汉中站点生物量最低。方差分析结果显示,浮游动物生物量之间无站点间及季节间的显著性差异($P>0.05$)。

3)优势种。汉江干流的浮游动物优势度分析(表 5)显示,浮游动物优势种共有 8 种,其中原生动物 7 种、轮虫 1 种。所有浮游动物优势度介于

0.022~0.412。急游虫(*Strombidium viride* Muller)为全年优势种,并且在每个季节优势度也最大(冬季与雷殿拟铃壳虫(*Tintinnopsis leidy*)的优势度同为最大)。

2.4 水生高等维管束植物

1)种类。2017—2018 年,对汉江部分河段的水生高等维管束植物进行调查发现,汉江共有水生高等维管束植物 16 科 24 属 29 种(表 6)。

表 5 2018—2019 年汉江干流浮游动物优势度

Table 5 Dominance of zooplankton in Hanjiang River from 2018 to 2019

优势种 Dominant species	优势度 Dominant index			
	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	冬季 Winter
急游虫 <i>Strombidium viride</i> Muller	0.381	0.412	0.406	0.046
多变斜板虫 <i>Plagiocampa longis</i>	—	0.068	—	—
月形刺泡虫 <i>Acanthocystis</i> sp.	—	—	—	0.031
原生动物 Protozoa				
毛板壳虫 <i>Coleps hirtus</i>	0.081	—	—	—
滚动焰毛虫 <i>Askenasia volvox</i>	0.050	—	0.097	—
雷殿拟铃壳虫 <i>Tintinnopsis leidy</i>	—	—	—	0.046
淡水薄铃虫 <i>Leprotintinnus fluviatile</i>	0.022	—	—	—
轮虫 Rotifera				
角突臂尾轮虫 <i>Brachionus angularis</i> Gosse	—	0.027	—	—

表 6 2017—2018 年汉江水生高等维管束植物的种类组成

Table 6 The species composition of aquatic macrophytes in the Hanjiang River from 2017 to 2018

科 Family	属 Genus	物种 Species	生活型 Life form
苋科 Amaranthaceae	莲子草属 <i>Alternanthera</i>	喜旱莲子草 <i>Alternanthera philoxeroides</i>	E
菊科 Asteraceae	蒿属 <i>Artemisia</i>	萎蒿 <i>Artemisia selengensis</i>	E
满江红科 Azollaceae	满江红属 <i>Azolla</i>	满江红 <i>Azolla imbricate</i>	F
金鱼藻科 Ceratophyllaceae	金鱼藻属 <i>Ceratophyllum</i>	金鱼藻 <i>Ceratophyllum demersum</i>	S
莎草科 Cyperaceae	蔗草属 <i>Scirpus</i>	水毛花 <i>Scirpus triangulatus</i>	E
莎草科 Cyperaceae	蔗草属 <i>Scirpus</i>	荆三棱 <i>Scirpus yagara</i>	E
禾本科 Gramineae	稗属 <i>Echinochloa</i>	稗 <i>Echinochloa crusgalli</i>	E
禾本科 Gramineae	菰属 <i>Zizania</i>	菰 <i>Zizania latifolia</i>	E
禾本科 Gramineae	芦苇属 <i>Phragmites</i>	芦苇 <i>Phragmites australis</i>	E
禾本科 Gramineae	牛鞭草属 <i>Hemarthria</i>	牛鞭草 <i>Hemarthria altissima</i>	E
禾本科 Gramineae	雀稗属 <i>Paspalum</i>	双穗雀稗 <i>Paspalum paspaloides</i>	E
小二仙草科 Haloragidaceae	狐尾藻属 <i>Myriophyllum</i>	穗状狐尾藻 <i>Myriophyllum spicatum</i>	S
水鳖科 Hydrocharitaceae	黑藻属 <i>Hydrilla</i>	轮叶黑藻 <i>Hydrilla verticillata</i>	S
水鳖科 Hydrocharitaceae	苦草属 <i>Vallisneria</i>	苦草 <i>Vallisneria natans</i>	S
水鳖科 Hydrocharitaceae	水鳖属 <i>Hydrocharis</i>	水鳖 <i>Hydrocharis dubia</i>	F
水鳖科 Hydrocharitaceae	伊乐藻属 <i>Elodea</i>	伊乐藻 <i>Elodea nuttallii</i>	S
浮萍科 Lemnaceae	紫萍属 <i>Spirodela</i>	紫萍 <i>Spirodela polyrrhiza</i>	F
茨藻科 Najadaceae	茨藻属 <i>Najas</i>	大茨藻 <i>Najas marina</i>	S
睡莲科 Nymphaeaceae	莲属 <i>Nelumbo</i>	莲 <i>Nelumbo nucifera</i>	E
蓼科 Polygonaceae	蓼属 <i>Polygonum</i>	水蓼 <i>Polygonum hydropiper</i>	E
蓼科 Polygonaceae	酸模属 <i>Rumex</i>	水生酸模 <i>Rumex aquaticus</i>	E
眼子菜科 Potamogetonaceae	眼子菜属 <i>Potamogeton</i>	菹草 <i>Potamogeton crispus</i>	S
眼子菜科 Potamogetonaceae	眼子菜属 <i>Potamogeton</i>	竹叶眼子菜 <i>Potamogeton malaianus</i>	S
眼子菜科 Potamogetonaceae	眼子菜属 <i>Potamogeton</i>	微齿眼子菜 <i>Potamogeton maackianus</i>	S
眼子菜科 Potamogetonaceae	眼子菜属 <i>Potamogeton</i>	篦齿眼子菜 <i>Potamogeton pectinatus</i>	S
眼子菜科 Potamogetonaceae	眼子菜属 <i>Potamogeton</i>	穿叶眼子菜 <i>Potamogeton perfoliatus</i>	S
槐叶萍科 Salviniaceae	槐叶萍属 <i>Salvinia</i>	槐叶萍 <i>Salvinia natans</i>	F
菱科 Trapaceae	菱属 <i>Trapa</i>	菱 <i>Trapa bispinosa</i>	FL
香蒲科 Typhaceae	香蒲属 <i>Typha</i>	香蒲 <i>Typha orientalis</i>	E

注: E、F、FL 和 S 分别表示挺水植物、漂浮植物、浮叶植物和沉水植物。Note: E, F, FL and S denote emergent plants, floating plants, floating leaf plants and submerged plants respectively.

2)区系分析。本次调查仅发现2科2属蕨类植物,为满江红科满江红属和槐叶萍科槐叶萍属,均为世界分布类型。种子植物共有16科24属,对其分布类型进行统计分析。结果(图4)显示,汉江水生种子植物主要以世界分布类型为主,共12属,达到总属数的50.00%;其次是泛热带分布6属,北温带分布3属,东亚和北美洲间断分布2属,外来种1属。从图4中看出,汉江水生高等维管束植物总体

以世界广布型的挺水植物和沉水植物为主,如芦苇属、蔗草属、香蒲属、眼子菜属、金鱼藻属、狐尾藻属、蓼属等。区系的特征与汉江所处的地理位置和气候特点相符,具有明显的地带性特征。同时还具有泛热带分布、东亚和北美洲间断分布,这也说明了汉江水生高等维管束植物区系来源是多方面的,多种分布区系类型在汉江汇合,并在独特的环境中演化。

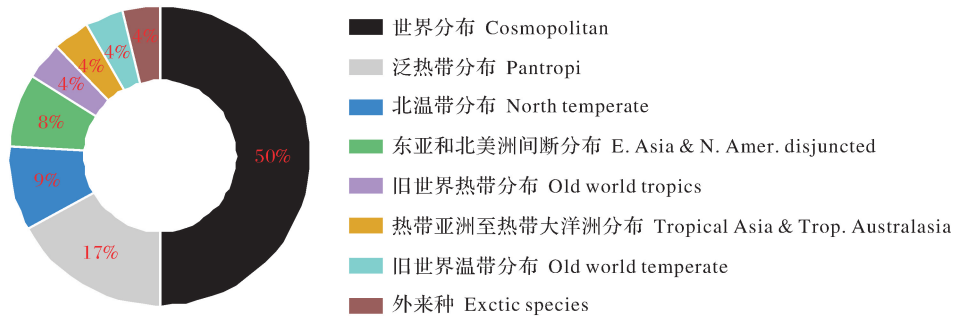


图4 2017—2018年汉江水生高等维管束植物属的分布区类型统计

Fig.4 Distribution type statistics of aquatic macrophytes in Hanjiang River from 2017 to 2018

3 讨论

本次汉江干流调查共采集到98种鱼类,该数目少于早期许涛清等^[6]和张海斌等^[7]调查的105种。其中减少38种,主要以珍稀小型鱼类为主,比如峨眉后平鳅(*Metahomaloptera omeiensis*)、中华纹胸鲃(*Glyptothorax sinensis*)等。新增鱼类27种,包括短颌鲚(*Coilia brachygnathus*)、白河刺鲃(*Acanthorhodeus peihoensis*)和无须鲮(*Acheilognathus gracilis*)等。对比2002年至2005年间李修峰等^[22]对汉江下游和何力等^[1]对汉江中下游主要经济鱼类的调查结果,本次调查的主要渔获物鲤的体长从32.5 cm下降到22.0 cm,体质量从10 420 g下降到519.48 g,黄颡鱼等鱼类的体长、体质量也均有明显的降低,而且高体鲃(*Rhodeus ocellatus*)、子陵吻鰕虎鱼、麦穗鱼、黑鳍鲈(*Sarcocheilichthys nigripinnis*)、黄鱼幼(*Hypseleotris swinhonis*)等小型鱼类的数量和质量百分比增大,整体渔获物呈现小型化趋势^[12]。汉江鱼类种类的减少和渔获物的小型化趋势表明汉江鱼类资源呈衰退趋势。渔业资源上述变化可能主要是由于过度捕捞造成的,这与汉江沿江人口增加、经济社会发展等因素密切相关。此外,南水北调中线工程、汉江梯级开发

等水利工程全面建设引起的下泄水量减少、径流量的人为调节、下泄水温的降低、部分江段水流变缓等水文情势变化也对汉江的渔业资源造成了一定影响,譬如,库区中下层水的下泄导致水温降低,使得鱼类性腺发育迟缓,干扰了汉江中下游“四大家鱼”和赤眼鳟等产漂流性卵鱼类的繁殖生态条件等^[13,23]。

2017年到2020年采集到的鱼种类由77种下降到58种,这可能与采样点位选取有关,2017年采样点位选取了15个断面,而之后的2018—2020年仅针对3个站点的9个断面取样,因此导致了2017年采集鱼种类数高于其余3 a。此外,老河口站点鱼类高于其余2个站点,可能是由于钟祥站点河道蜿蜒,沙洲和砾石滩众多,是鱼类的天然栖息场所和产卵场,汉中与钟祥站点相似。而老河口地处丹江口水库坝下,河道冲刷严重,河道整治和水位变化导致生境破坏严重,相比钟祥站点其鱼类多样性较小。

此次浮游植物镜检出种类116种,密度波动于 $1.05 \times 10^5 \sim 1.36 \times 10^7$ cell/L,生物量范围为0.111 5~10.969 2 mg/L。与2001年调查结果(汉江浮游植物共53种,密度为 $8.84 \times 10^4 \sim 114.00 \times 10^4$ /L,生物量为0.060~1.312 mg/L)^[24]相比,汉江浮游植物从多样性到密度和生物量都显著增加。浮

游植物作为水体富营养化的评价指标,反映了汉江近些年的富营养化趋势加剧。此前汉江水质调查结果也表明了这种趋势,2011—2014年汉江中下游总氮、总磷在空间上均有上升趋势,并且2011年后水体有机污染加重,氨氮和磷几乎已无环境容量,大部分水体处于Ⅳ类~劣Ⅴ类^[25]。同时,不同站点间浮游植物密度和生物量也反映了其水质差异,汉江中下游流经江汉平原,沿岸经济发展水平高于上游^[26-27],导致了中下游水体的富营养程度较高,因此下游钟祥站点浮游植物的密度和生物量均高于其余2个站点。

本次镜检出浮游动物55属86种,密度波动于155.1~15 062.3个/L,生物量为0.019 0~1.402 7 mg/L。与2004年调查结果(汉江浮游动物共53种,密度为116.0~939.0个/L,生物量为0.019 4~0.257 2 mg/L)^[28]相比,种类数增多,密度和生物量显著升高。相关研究表明,水体富营养化会导致浮游生物的密度和生物量的增加^[29]。同时,富营养化也会导致浮游生物的小型化,导致轮虫在群落中占居主导地位^[30],这与汉江浮游动物中轮虫种类最多这一结果相符。此外,不同站点之间,下游钟祥站点浮游动物生物量均高于其余两站点,其原因也与不同江段水体富营养化程度相关。

本次调查汉江高等水生维管束植物共有29种。相比于1998年前后对汉江源头段(水生维管植物40种)和汉江上游(水生维管植物69种)的调查结果^[31-32],可以发现汉江在过去的30多年间,水生高等维管束植物种类明显减少。水位被认为是影响水生植物的重要因素,河流的汛期和某些水生植物的花期时间相吻合导致植物的繁殖受到影响,而且水位的波动也会对水生植物的光合作用以及一些定居于水体底质中的植物造成威胁^[33-34]。相关研究表明2002—2017年汉江水位存在增加趋势,而库区的淹没频率在梯级水库建成后增长幅度更为明显^[35]。这可能是导致水生高等维管束植物种类下降的重要原因。

除环境因素外,各物种间的相互作用也是导致生物资源变化的重要因素。相关研究表明,浮游植物和水生高等维管束植物作为水体中的初级生产者存在着竞争关系^[36]。底栖藻类和挺水植物及沉水植物作为浮游植物和高等水生维管束植物的优势物种,由于其不同的分布特征,会竞争沉积物营养盐和

光^[37-38]。汉江由于水文环境的变化,导致水生高等维管束植物的种类资源下降,浮游生物竞争压力下降使得其种群资源上升,种类、生物量等增加。同时,由于浮游植物生物量的上升,且外部环境导致鱼类资源的衰退,食物链中处于两者之间的浮游动物食物来源增多且被捕食压力减少,使得浮游动物生物量也出现了增加^[39]。

综上,近些年汉江水生生物资源发生了显著的变化,鱼种类减少且小型化趋势明显;浮游植物种类、生物量等明显增多;浮游动物生物量虽然有所升高,但是其种类多样性却有明显降低;水生高等维管束植物种类较之前研究有明显减少。汉江的持续污染和水利工程修建导致水文情势的变化为造成上述变化的主要原因。这一系列的原因将持续导致汉江水生生物资源的衰退和污染加剧,汉江渔业资源的保护需要加大对污染的控制,尽快实施流域污染治理规划,加大工业污染治理力度,抓好流域内的生态环境建设;在做好人工增殖放流活动的同时,还要重点在主要经济鱼类的繁殖季节实行生态流量的合理管控,满足鱼类繁殖所需要的水温和水流。此外,建立长期稳定的监测机制可以为汉江资源恢复提供有效的支撑。

参考文献 References

- [1] 何力,张斌,刘绍平,等.汉江中下游水文特点与渔业资源状况[J].生态学杂志,2007,26(11):1788-1792. HE L, ZHANG B, LIU S P, et al. Hydrological characteristics and fishery resources status of mid-lower Hanjiang River[J]. Chinese journal of ecology, 2007, 26(11): 1788-1792 (in Chinese with English abstract).
- [2] 郭文献,夏自强,王乾.丹江口水库对汉江中下游水文情势的影响[J].河海大学学报(自然科学版),2008,36(6):733-737. GUO W X, XIA Z Q, WANG Q. Effects of Danjiangkou Reservoir on hydrological regimes in the middle and lower reaches of Hanjiang River[J]. Journal of Hehai University (natural sciences), 2008, 36(6): 733-737 (in Chinese with English abstract).
- [3] 高永年,高俊峰.南水北调中线工程对汉江中下游流域生态环境影响的综合评价[J].地理科学进展,2010,29(1):59-64. GAO Y N, GAO J F. Comprehensive assessment of eco-environment impact of the south-to-north water transfer middle route project on the middle-lower Hanjiang River Basin[J]. Progress in geography, 2010, 29(1): 59-64 (in Chinese with English abstract).
- [4] 窠明,谢平,夏军,等.南水北调中线工程对汉江水华影响研究

- [J].水科学进展,2002,13(6):714-718.DOU M,XIE P,XIA J, et al.Influence of the water transfer project from south to north(middle route) on algalbloom in Hanjiang River[J].Advances in water science,2002,13(6):714-718(in Chinese with English abstract).
- [5] 秦烜,陈君,向芳.汉江中下游梯级开发对产漂流性卵鱼类繁殖的影响[J].环境科学与技术,2014,37(S2):501-506.QIN X, CHEN J,XIANG F.Impact of cascaded hydroelectric on reproduction of fish with pelagic eggs in middle and lower reaches of Hanjiang River[J].Environmental science & technology,2014, 37(S2):501-506(in Chinese with English abstract).
- [6] 许涛清,范维端.陕西省汉江鱼类及渔业问题[J].淡水渔业,1987,17(5):3-7.XU T Q,FAN W D. Fish and fishery in Hanjiang River in Shaanxi Province [J]. Freshwater fisheries, 1987,17(5):3-7(in Chinese).
- [7] 张海斌,钟林,杨军严,等.汉江陕西段河流湿地鱼类物种多样性研究[J].陕西师范大学学报(自然科学版),2006,34(S1):60-66.ZHANG H B,ZHONG L,YANG J Y,et al.On fish species diversity of Hanjiang River in Shaanxi Province[J].Journal of Shaanxi Normal University (natural science edition),2006, 34(S1):60-66(in Chinese with English abstract).
- [8] 王晓臣.汉江(陕西段)鱼类种类与群落结构组成的时空变化研究[D].西安:西北大学,2013.WANG X C. Space-time changes of fish species and community structure in Hanjiang River (Shaanxi paragraph) [D]. Xi'an: Northwest University, 2013 (in Chinese with English abstract).
- [9] 杨文杰.汉江上游中段鱼类资源现状及保护对策[J].水利渔业,2002,23(1):40-41. YANG W J. Present situation and protection countermeasures of fish resources in the middle section of the upper reaches of Hanjiang River[J]. Water conservancy and fishery,2002,23(1):40-41(in Chinese).
- [10] 吴广兵.汉江中游上段渔业资源现状与鱼类保护对策研究[D].武汉:华中农业大学,2015.WU G B. Analysis of the status of fishery resources and protection measures in upper reaches of the middle of Hanjiang River[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University,2015(in Chinese with English abstract).
- [11] 余志堂.汉江中下游鱼类资源调查以及丹江口水利枢纽对汉江鱼类资源影响的评价[J].水库渔业,1982,3(1):19-22,26.YU Z T. Investigation of fish resources in the middle and lower reaches of Hanjiang River and evaluation of the impact of Danjiangkou Water Control Project on fish resources in Hanjiang River[J]. Reservoir fishery, 1982, 3(1): 19-22, 26 (in Chinese).
- [12] 谢文星,黄道明,谢山,等.丹江口水利枢纽建成后汉江中下游四大家鱼等早期资源及其演变[J].水生态学杂志,2009,30(2):44-49.XIE W X,HUANG D M,XIE S,et al.The early evolution of the four major Chinese carps resources in the middle and lower reaches of Hanjiang River after the construction and operation of Danjiangkou Reservoir[J].Journal of hydroecology,2009,30(2):44-49(in Chinese with English abstract).
- [13] 汪登强,高雷,段辛斌,等.汉江下游鱼类早期资源及梯级联合生态调度对鱼类繁殖影响的初步分析[J].长江流域资源与环境,2019,28(8):1909-1917.WANG D Q,GAO L,DUAN X B, et al.Preliminary analysis of the fish larvae and eggs and the effects of the eco-operation of cascade reservoirs on fish propagation in the lower Hanjiang River[J].Resources and environment in the Yangtze basin,2019,28(8):1909-1917(in Chinese with English abstract).
- [14] YANG B H,DOU M,XIA R,et al. Effects of hydrological alteration on fish population structure and habitat in river system:a case study in the mid-downstream of the Hanjiang River in China[J/OL]. Global ecology and conservation, 2020, 23: e01090[2021-03-22]. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01090>.
- [15] 杜红春.汉江干流浮游生物群落结构和功能群特征及水质评价[D].武汉:华中农业大学,2020.DU H C. Community structure and functional groups of plankton and water quality evaluation in Hanjiang River[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University,2020(in Chinese with English abstract).
- [16] 胡鸿钧,魏印心.中国淡水藻类—系统、分类及生态[J].北京:科学出版社,2006. HU H J,WEI Y X. Freshwater algae in China:systems,classification and ecology [J]. Beijing: Science Press,2006(in Chinese).
- [17] 周凤霞,陈剑虹.淡水微型生物图谱[M].北京:化学工业出版社,2005. ZHOU F X,CHEN J H. Micro biological Atlas of freshwater [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005 (in Chinese).
- [18] 王家楫.中国淡水轮虫志[J].北京:科学出版社,1961. WANG J J. Freshwater rotifers of China [J]. Beijing: Science Press, 1961(in Chinese).
- [19] 沈韞芬,顾曼如,龚循矩,等.微型生物监测新技术[J].北京:中国建筑工业出版社,1994. SHEN X F, GU M R,GONG X J, et al. New technology of microbiological monitoring [J]. Beijing:China Construction Industry Press, 1994(in Chinese).
- [20] 吴兆洪,秦仁昌.中国蕨类植物科属志[M].北京:科学出版社,1991. WU Z H,QIN R C. Pteridophytes of China [M]. Beijing: Science Press,1991(in Chinese).
- [21] 吴征镒.中国种子植物属的分布区类型[J].云南植物研究,1991(S4):1-139. WU Z Y.The areal-types of Chinese genera of seed plants[J].Acta botanica Yunnanica,1991(S4):1-139(in Chinese).
- [22] 李修峰,黄道明,谢文星,等.汉江中游鱼类资源现状[J].湖泊科学,2005,17(4):366-372. LI X F,HUANG D M,XIE W X, et al. Status of fisher resources in the middle reaches of the Hanjiang River[J]. Journal of lake science,2005,17(4):366-372(in Chinese with English abstract).
- [23] 张家波,余秋梅,王明学.南水北调中线工程对丹江口水库及汉江中下游生态环境和鱼类饵料生物影响的预测[J].水利渔业,

- 1998, 19(1): 3-5. ZHANG J B, YU Q M, WANG M X. Prediction of the impact of the Middle Route Project of South to North Water Diversion on the ecological environment and fish bait organisms of Danjiangkou Reservoir and the middle and lower reaches of Hanjiang River [J]. Water conservancy and fisheries, 1998, 19(1): 3-5 (in Chinese).
- [24] 邹红娟, 余秋梅, 沈蕴芬, 等. 汉江中下游河段生态系统结构特征及其沿程变化[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2005, 33(10): 99-101. WU H J, YU Q M, SHEN Y F, et al. A structure characteristics of ecosystem along the middle and lower reaches of Han River in spring[J]. Journal of Huazhong University of Science and Technology (natural science edition), 2005, 33(10): 99-101 (in Chinese with English abstract).
- [25] 景朝霞, 夏军, 张翔, 等. 汉江中下游干流水质状况时空分布特征及变化规律[J]. 环境科学研究, 2019, 32(1): 104-115. JING Z X, XIA J, ZHANG X, et al. Spatial and temporal distribution and variation of water quality in the middle and downstream of Hanjiang River[J]. Research of environmental sciences, 2019, 32(1): 104-115 (in Chinese with English abstract).
- [26] 杨瑛娟, 郭磊磊, 高妍. 汉江生态经济带经济发展质量测度[J]. 湖北农业科学, 2020, 59(20): 192-197. YANG Y J, GUO L L, GAO Y. Economic development quality evaluation of Han River Ecological Economic Belt [J]. Hubei agricultural science, 2020, 59(20): 192-197 (in Chinese with English abstract).
- [27] 李柏山. 水资源开发利用对汉江流域水生态环境影响及生态系统健康评价研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2013. LI B S. Study of influence on water ecoenvironment and ecosystem health assessment for water resources development and utilization in Hanjiang River basin [D]. Wuhan: Wuhan University, 2013 (in Chinese with English abstract).
- [28] 李修峰, 黄道明, 谢文星, 等. 汉江中游秋季浮游动物的初步研究[J]. 水利渔业, 2006, 27(2): 56-59. LI X F, HUANG D M, XIE W X, et al. Preliminary study on zooplankton in autumn in the middle reaches of Hanjiang River [J]. Water conservancy and fisheries, 2006, 27(2): 56-59 (in Chinese).
- [29] 杨宇峰, 黄祥飞. 武汉东湖浮游动物群落结构的研究[J]. 应用生态学报, 1994, 5(3): 319-324. YANG Y F, HUANG X F. Structure of zooplankton community in Donghu Lake of Wuhan [J]. Chinese journal of applied ecology, 1994, 5(3): 319-324 (in Chinese with English abstract).
- [30] 褚一凡, 赵闪闪, 李晨光, 等. 陈桥东湖浮游生物群落结构特征及水质评价[J]. 长江科学院院报, 2019, 36(8): 23-29. CHU Y F, ZHAO S S, LI G G, et al. Plankton community structure and evaluation of water quality in Chenqiao East Lake wetland [J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2019, 36(8): 23-29 (in Chinese with English abstract).
- [31] 赵桦, 王东, 杨培君. 陕西宁强汉江源头段水生维管植物种类及分布[J]. 汉中师范学院学报(自然科学), 2001, 19(6): 75-80. ZHAO H, WANG D, YANG P J. The species and distribution of the water vascular plants at the source of the Han River in Ningqiang County, Shaanxi Province [J]. Journal of Hanzhong Teachers College (natural science), 2001, 19(6): 75-80 (in Chinese with English abstract).
- [32] 赵桦, 王东. 汉中地区汉水流域水生维管植物种类及地理分布[J]. 西北植物学报, 2002, 22(6): 165-170. ZHAO H, WANG D. The species and distribution of the water vascular plants at the Han River Basin in Hanzhong, Shaanxi Province [J]. Acta botanica boreali-occidentalia sinica, 2002, 22(6): 165-170 (in Chinese with English abstract).
- [33] GACIA E, BALLESTEROS E. The effect of increased water level on *Isoetes lacustris* L. in Lake Baciver, Spain [J]. Journal of aquatic plant management, 1996, 34(2): 57-59.
- [34] 刘伟龙, 邓伟, 王根绪, 等. 洪泽湖水生植被现状及过去 50 多年的变化特征研究[J]. 水生态学杂志, 2009, 30(6): 1-8. LIU W L, DENG W, WANG G X, et al. Aquatic macrophyte status and variation characteristics in the past 50 years in Hongzehu Lake [J]. Journal of hydroecology, 2009, 30(6): 1-8 (in Chinese with English abstract).
- [35] 王焱成, 肖飞, 冯奇, 等. 汉江中下游消落区及水域面积时空变化分析[J]. 长江流域资源与环境, 2019, 28(11): 2727-2734. WANG Y C, XIAO F, FENG Q, et al. Spatio-temporal changes of the water-level fluctuation zone and inundation areas in middle and lower reaches of the Hanjiang River [J]. Resources and environment in the Yangtze Basin, 2019, 28(11): 2727-2734 (in Chinese with English abstract).
- [36] 刘正文, 张修峰, 陈非洲, 等. 浅水湖泊底栖-敞水生境耦合对富营养化的响应与稳态转换机理: 对湖泊修复的启示[J]. 湖泊科学, 2020, 32(1): 1-10. LIU Z W, ZHANG X F, CHEN F Z, et al. The responses of the benthic-pelagic coupling to eutrophication and regime shifts in shallow lakes: implication for lake restoration [J]. Journal of lake sciences, 2020, 32(1): 1-10 (in Chinese with English abstract).
- [37] RATTRAY M R, HOWARD-WILLIAMS C, BROWN J M A. Sediment and water as sources of nitrogen and phosphorus for submerged rooted aquatic macrophytes [J]. Aquatic botany, 1991, 40(3): 225-237.
- [38] VADEBONCOEUR Y, LODGE D M, CARPENTER S R. Whole-lake fertilization effects on distribution of primary production between benthic and pelagic habitats [J]. Ecology, 2001, 82(4): 1065-1077.
- [39] 卢慧斌, 陈光杰, 陈小林, 等. 上行与下行效应对浮游动物的长期影响评价——以滇池与抚仙湖沉积物象鼻溞 (*Bosmina*) 为例[J]. 湖泊科学, 2015, 27(1): 67-75. LU H B, CHEN G J, CHEN X L, et al. The long-term effects of bottom-up and top-down forcing on zooplankton: an example from sedimentary bosminid records of Lake Dianchi and Lake Fuxian [J]. Journal of lake sciences, 2015, 27(1): 67-75 (in Chinese with English abstract).

Current situation and changing trend of aquatic organisms resources in main stream of Hanjiang River from 2017 to 2020

XU Juchen¹, DU Hongchun^{1,3}, WANG Xiaoning¹, QIN Jianhui¹, XIA Chengxing¹,
HOU Jie^{1,2}, FAN Zeyu¹, WU Hu¹, WANG Jie¹, HE Xugang^{1,2}

1.College of Fisheries, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;

2.Engineering Research Center of Ministry of Education for Green Development of Aquatic
Biological Industry in Yangtze River Economic Belt, Wuhan 430070, China;

3.Yangtze River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of
Fishery Sciences, Wuhan 430223, China

Abstract From 2017 to 2020, the biological resources such as fish, plankton and aquatic macrophytes at Hanzhong, Laohekou and Zhongxiang sites in the main stream of Hanjiang River were investigated and analyzed seasonally. The results showed that 98 species of fishes were collected, among which the economic fish were mainly carp, crucian carp, silver carp, bighead carp, and grass carp, etc. A total of 116 species of phytoplankton belonging to 71 genera, 7 phyla were identified, among which 46 species were Chlorophyta, and 12 dominant species were Bacillariophyta. A total of 86 species of zooplankton belonging to 55 genera were detected, among which 48 species were rotifers, and 8 species were dominant, mainly protozoa. There are 29 species of aquatic macrophytes belonging to 24 genera and 16 families. Compared with the monitoring data in the past, there are 38 fewer fish species in the main stream of Hanjiang River, and the main species were rare and small fish, such as *Metahomaloptera omeiensis* and *Glyptothorax sinensis*. There were 27 new fish species, the total number of fish species decreased, the catch miniaturization was obvious, and the fishery resources declined. The species, density and biomass of phytoplankton increased; the species of zooplankton increased, and the density and biomass increased; and the species of aquatic macrophytes decreased. The above changes are related to the construction of water conservancy projects such as the Middle Route Project of South to North Water Diversion and the cascade development of Hanjiang River, the change of hydrological regime such as the decrease of discharge water, the artificial regulation of runoff, the decrease of discharge water temperature, the slowing down of water flow in some river sections, and the acceleration of water eutrophication. It is suggested that the protection of fishery resources and environment in Hanjiang River should be strengthened through the implementation of pollution control in the river basin, the implementation of artificial proliferation and release, and the management and control of ecological flow.

Keywords mainstream of Hanjiang River; fishery resources; phytoplankton; zooplankton; fishing banned in the Yangtze River; aquatic biological resources

(责任编辑:边书京)