

汉江中下游生态环境变化特征及其影响因素

李晶晶, 邹朝望, 乔梁, 熊红明

湖北省水利水电规划勘测设计院有限公司生态建筑院, 湖北 武汉

收稿日期: 2025年9月12日; 录用日期: 2025年10月15日; 发布日期: 2025年10月23日

摘要

水利工程对于汉江中下游水文情势有着广泛的影响, 在南水北调工程实施后, 汉江中下游的水生态环境面临着极大的挑战。在独特的区位背景和复杂水文情势的双重影响下, 汉江中下游流量、水位、流速、水质、鱼类资源、产卵场、水华特性时空都会发生不同程度的变化。基础现状的调查及趋势分析, 对于研究汉江中下游生态变化的影响意义重大。汉江中下游的流量和水位在丹江口水库蓄水后均出现不同程度的下降, 由于水体自净能力、汉江来水水质较好及周边城市采取的大力截污控污措施, 汉江中下游水质基本保持稳定。由于汉江中下游存在众多水利调控工程、过度捕捞、流速下降等因素的多重影响, 汉江中下游分隔的江段鱼类种群及产卵量逐年下降。由于汉江中下游梯级日益增加, 下游流量及流速都产生了较大影响, 水华暴发频率也逐年增加, 水华暴发时期主要集中在春季枯水期(1~3月)。汉江水华波及钟祥以下约400 km的所有下游江段, 有从汉江干流向汉江支流蔓延的趋势。汉江全年浮游藻类主要由硅藻、绿藻、蓝藻和隐藻构成, 硅藻在全年都是绝对优势种。从时间特性来看, 水华暴发年份大部分为汉江枯水年, 水文特征成为水华年份差异的主控因子。

关键词

汉江中下游, 水质, 鱼类产卵量, 水华

Characteristics and Influencing Factors of Ecological Environment Changes in the Middle and Lower Reaches of the Han River

Jingjing Li, Chaowang Zou, Liang Qiao, Hongming Xiong

Ecological Architecture Institute, Hubei Institute of Water Resources Survey and Design Co., Ltd., Hubei Wuhan

Received: September 12, 2025; accepted: October 15, 2025; published: October 23, 2025

文章引用: 李晶晶, 邹朝望, 乔梁, 熊红明. 汉江中下游生态环境变化特征及其影响因素[J]. 环境保护前沿, 2025, 15(10): 1457-1467. DOI: 10.12677/aep.2025.1510160

Abstract

Hydraulic engineering has a wide-ranging impact on the hydrological situation in the middle and lower reaches of the Han River. After the implementation of the South-to-North Water Diversion Project, the aquatic ecological environment in the middle and lower reaches of the Han River faces great challenges. Under the dual influences of unique geographical background and complex hydrological situation, the flow, water level, flow velocity, water quality, fish resources, spawning grounds, and water bloom characteristics in the middle and lower reaches of the Han River will undergo varying degrees of change in space and time. The investigation of the current situation and trend analysis are of great significance for studying the impact of ecological changes in the middle and lower reaches of the Han River. After the impounding of the Danjiangkou Reservoir, the flow and water level in the middle and lower reaches of the Han River have experienced varying degrees of decline. However, due to the self-purification capacity of the water body, the good quality of water from the Han River, and the vigorous measures taken by surrounding cities to intercept and control pollution, the water quality in the middle and lower reaches of the Han River has remained basically stable. Due to the multiple impacts of numerous water conservancy regulation projects, overfishing, and decreased flow velocity in the middle and lower reaches of the Han River, the fish population and spawning volume in the separated river sections have been declining year by year. Due to the increasing number of cascade dams in the middle and lower reaches of the Han River, the downstream flow and velocity have been greatly affected, and the frequency of water bloom outbreaks has also increased year by year. The outbreak period of water blooms is mainly concentrated in the dry season of spring (January to March). The water blooms in the Han River affect all downstream river sections about 400 kilometers below Zhongxiang, with a trend of spreading from the main stream to tributaries. The planktonic algae in the Han River throughout the year are mainly composed of diatoms, green algae, cyanobacteria, and cryptophytes, with diatoms being the absolute dominant species throughout the year. From the perspective of temporal characteristics, most of the years with water bloom outbreaks are dry years in the Han River, and hydrological characteristics become the main controlling factor for the differences in water bloom years.

Keywords

Middle and Lower Reaches of the Han River, Water Quality, Fish Spawning, Water Blooms

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

汉江作为长江的最大的支流，人口聚集，产业发达，经济发展都不可避免对汉江的水质、水生态环境带来变化及影响。随着汉江上以丹江口水库为代表的一系列梯级建设的相继投入使用，也极大地改变了汉江中下游的水文情势[1][2]。在南水北调工程实施后，为向汉江兴隆以下河段补充因南水北调中线一期工程调水而减少的水量，改善该河段的生态、灌溉、供水、航运用水条件[3][4]，新建了引江济汉工程，该工程是从长江荆江河段引水至汉江高石碑镇兴隆河段的大型输水工程，属于南水北调中线一期汉江中下游治理工程之一[5][6]。为了更好地识别汉江中下游生态环境制约因子，应对汉江中下游生物环境变化特征进行详细的系统评估，通过调查研究汉江中下游水文情势的变化、水环境质量状况、鱼类资源、产卵场、水华时空特征及影响因素，分析汉江中下游水环境水生态存在的主要问题，筛选对生态环境保护

影响较大的关键因子,为汉江干流生态环境需水计算提供依据。

2. 材料与方法

2.1. 水质数据调查与收集

汉江中下游干流共设置 20 个监测断面。汉江中下游干流断面设置布局图见图 1。本次收集了汉江郧西县、郧县、丹江口市、老河口市、襄阳市、宜城市、钟祥市、荆门市、潜江市、天门市、仙桃市、汉川市和武汉市的干流江段水质监测断面的 2005~2017 年水质监测数据。用单因子评价法对 2005~2017 年上半年历年实测的监测因子(高锰酸盐指数、氨氮、总磷)进行评价。

对汉江干流丹江口、襄阳、皇庄、沙洋、潜江、仙桃和汉川 7 个断面 2015~2019 年的水质补充监测数据(共计丰水期 4 次、平水期 6 次、枯水期 3 次采样)进行了整理和分析。并对 7 个断面的总氮(TN)、总磷(TP)、氨氮($\text{NH}_4\text{-N}$)、高锰酸盐指数、溶解氧等指标进行了年际变化分析。

用单因子评价法对 2005~2017 年上半年历年实测的监测因子(高锰酸盐指数、氨氮、总磷)进行评价。

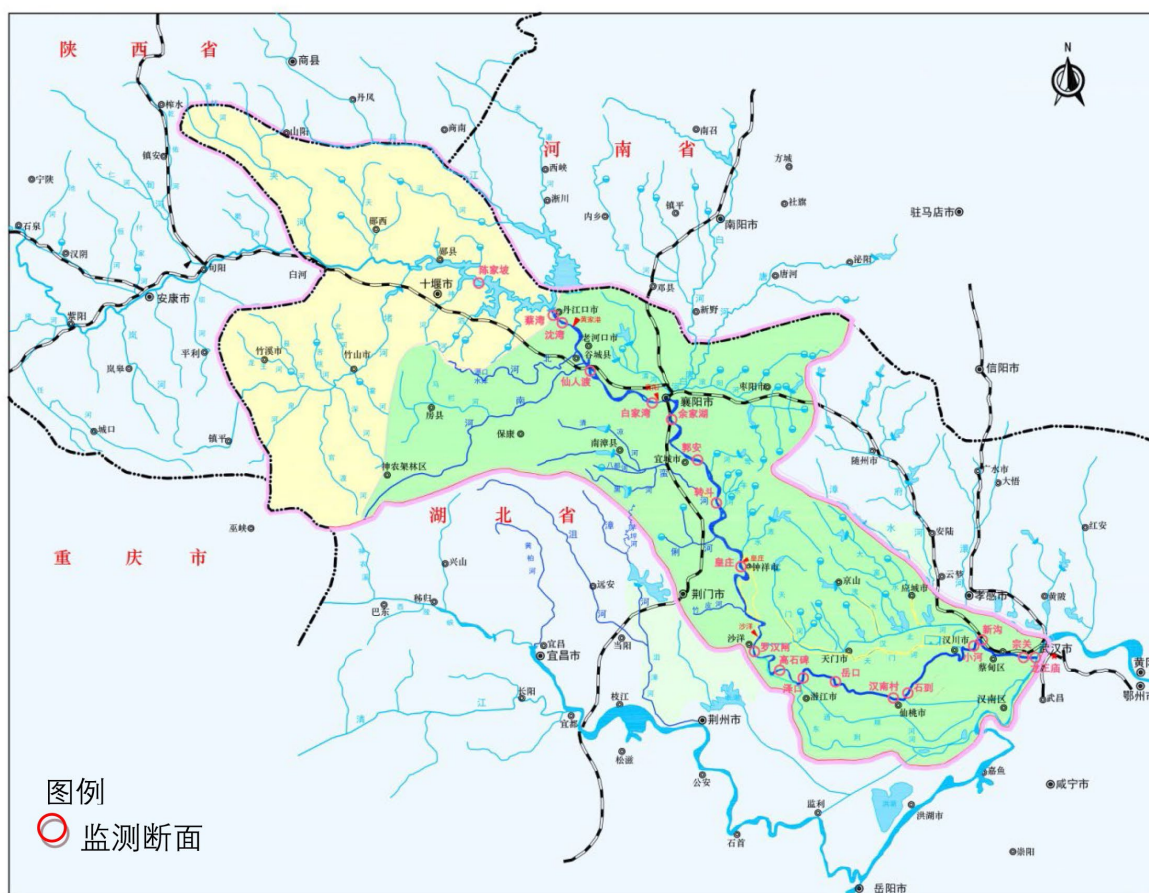


Figure 1. Geographic location map of Hanjiang River

图 1. 汉江中下游干流断面设置布局图

2.2. 鱼类资源调查

本次收集了汉江中下游 1974 年鱼类资源调查资料; 2003~2004 汉江中下游渔获物资料; 2013~2014 年连续 2 年六批次对汉江中下游鱼类资源现场调查数据; 1976 年、2004 年、2009 年鱼类产卵场调查结

果; 2013~2014 年汉江中游原有干流的茨河、襄阳、宜城、钟祥、马良以及支流唐河、白河等 7 处产卵场调查资料(湖北省水产科学研究所现场调查报告)。所有鱼类名称已按照《长江鱼类志》等资料进行了统一。

2.3. 水华基础数据收集与分析

为详细分析汉江中下游水华时空特征及影响因素, 本次收集了汉江干流 1992~2018 年水华发生资料, 包括水华发生时间、持续天数、水华发生地点及影响范围、环境温度、河道流量及流速、水华暴发时的主要群落组成及密度值等。

3. 结果与分析

3.1. 水环境变化特征

由图 2 可以看出汉江干流主要水质指标年际变化波动不大, 除了 2016 年 8 月总氮明显偏低、氨氮明显偏高、2016 年 4 月和 2017 年 11 月总磷明显偏低, 其余水质指标在年际间变化趋势较为平缓。水质指标在年际尺度上存在一定的周期性, 如丰水期总氮整体偏低而氨氮偏高, 总磷平水期较低而丰枯水期较高, DO 枯水期较高而平丰水期较低。

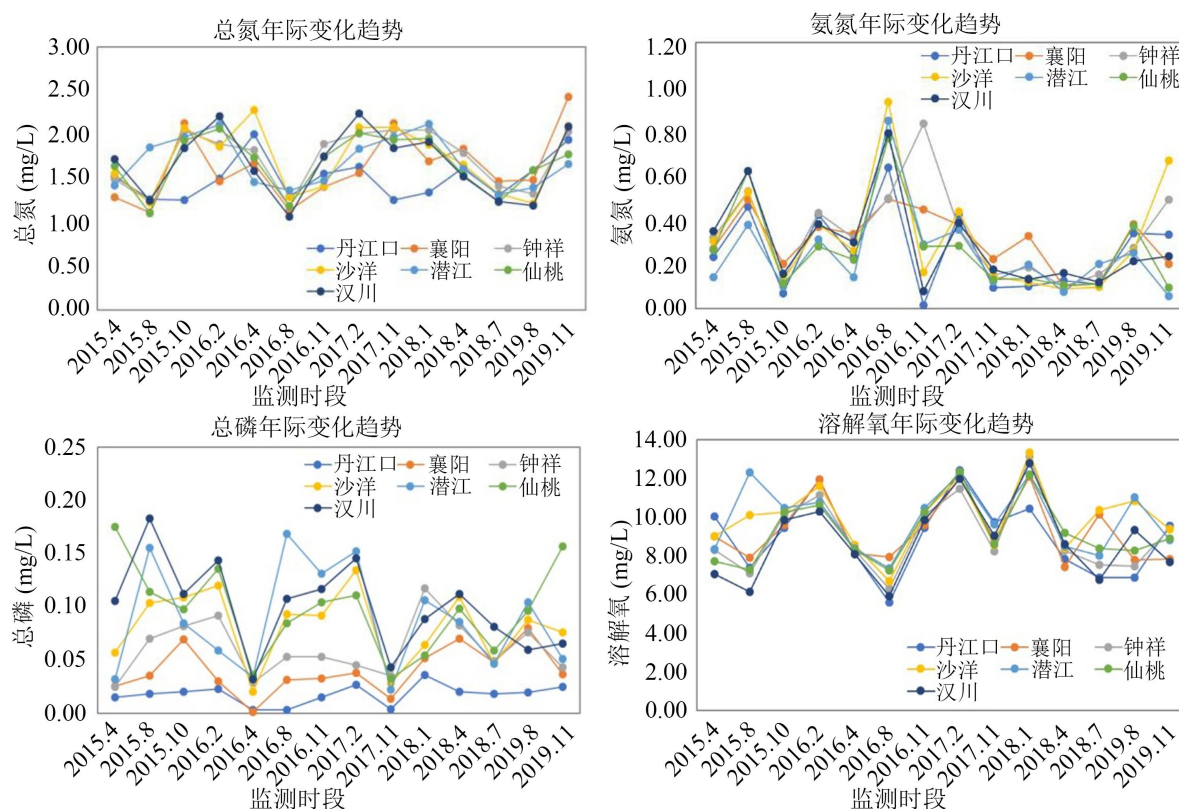


Figure 2. Time variation law of water quality indicators of main sections in the middle and lower reaches of the Hanjiang River in the current level year

图 2. 现状水平年汉江中下游干流主要断面水质指标时间变化规律

根据汉江中下游 2005~2017 年水质监测数据, 2005 年至今, 汉江干流水质总体处于优。2010 年以来, 所有水质监测断面水质类别以Ⅱ、Ⅲ类水质为主, 汉江干流水质保持稳定。少数水质不达标的年份出现多为枯水期。

丹江口市蔡湾断面 2006~2007 年和 2009 年水质类别达到Ⅰ类。2008 年~2017 年所有水质监测断面水质类别均未发生显著变化,以Ⅱ、Ⅲ类水质为主。部分断面 2005~2007 年及 2013 年水质达Ⅳ类。

总体而言,汉江干流水质基本保持稳定,各断面 2005~2017 多年平均达标率为 71.3%。到 2017 年,汉江干流监测断面与 2005 年相比,襄阳市余家湖、荆门市罗汉寺、潜江市泽口、天门市岳口,汉川市石剅,汉川市小河等 6 个监测断面水质有所提升;郧县羊尾水质小幅下降;其余断面水质变化不大。

在空间上,不同水期 TN、NH₄-N、TP 和高锰酸盐指数沿汉江干流存在比较明显的变化趋势。TN 自上游断面至下游断面变化不大,在枯水期襄阳断面下游 TN 较上游大,在平水期和丰水期,整个河段 TN 变化不大;NH₄-N 在三个水期变化趋势不同,在丰水期自上游至下游逐渐增大,枯水期逐渐减小,而平水期在钟祥断面最大,向下游又减小;TP 浓度枯水期大于丰水期,丰水期大于平水期;各时期,TP 整体沿水流方向呈升高趋势,其中丰水期在潜江断面附近出现峰值,而平水期和枯水期峰值均出现在仙桃断面以下;高锰酸盐指数在三个水期均自上游至下游不断增大。汉江干流水质断面达标情况见表 1。

Table 1. Table of water quality standards of main stream of Hanjiang River from 2005 to 2017

表 1. 2005~2017 年汉江干流水质断面达标情况表

序号	断面所在地	监测断面	规划类别	2005 年水质类别	2006 年水质类别	2007 年水质类别	2008 年水质类别	2009 年水质类别	2010 年水质类别	2011 年水质类别	2012 年水质类别	2013 年水质类别	2014 年水质类别	2015 年水质类别	2016 年水质类别	2017 年水质类别
1	郧西县	羊尾	Ⅱ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅲ
2	郧县	陈家坡	Ⅱ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅲ
3	丹江口市	蔡湾	Ⅱ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ
4	老河口市	沈湾	Ⅱ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ
5		仙人渡	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ
6	襄阳市	白家湾	Ⅱ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅲ
7		余家湖	Ⅲ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅳ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ
8	宜城市	郭安	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅲ
9	钟祥市	转斗	Ⅱ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅲ
10		皇庄	Ⅱ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅲ
11	荆门市	罗汉闸	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅳ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅱ
12	潜江市	高石碑	Ⅱ	-	-	-	-	-	-	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅲ
13		泽口	Ⅱ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ
14	天门市	岳口	Ⅱ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ
15	仙桃市	汉南村	Ⅱ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅲ
16	汉川市	石剅	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅳ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅱ
17		小河	Ⅱ	Ⅳ	Ⅳ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅲ
18		新沟	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ
19	武汉	宗关	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ
20		龙王庙	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ

3.2. 鱼类资源与产卵场变化特征及影响因素

(1) 流域鱼类结构变化特征

1974 年汉江中下游鱼类资源调查收集到鱼类种群 92 种，隶属 8 目 20 科 58 属；2003~2004 年，汉江中游江段渔获物中共采集到鱼类 78 种，隶属 8 目 20 科 63 属；2013~2014 年，在汉江中下游江段水域断面点现场调查捕捞的渔获物中采集到鱼类 79 种，隶属 8 目 20 科 63 属。汉江中下游调查现存与历年调查种类组成数量比较情况见图 3。

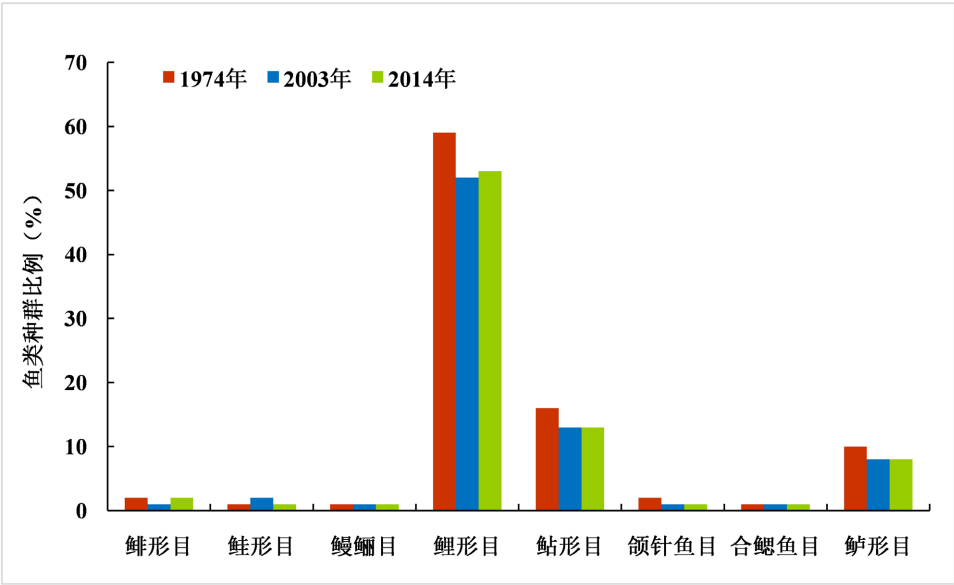


Figure 3. Fish population composition in the main stream of the middle and lower reaches of the Han River
图 3. 汉江中下游干流河道鱼类种群组成结构图

从图 3 可知，2013~2014 年相比 1974 年，汉江中下游水域鱼类种群数量减少了 14 种。按 1974 年丹江口大坝建成后中下游鱼类种群调查的结果比较，鲤形目减少 12%，鲇形目减少 21%，鲈形目减少 2.2%。但是汉江中下游目前已分隔成四个江段其种群数量变化较大，汉江中下游鱼类资源种群数量减少 25%，只有兴隆大坝下至武汉汇入长江口这个江段基本上维系在 79 种鱼类的种群数量，汉江下游减少 14.2%。根据目前汉江中下游干流梯级规划建设情况来看，汉江将来只能维系分隔水域自然增殖的鱼类种群，洄游与半洄游性鱼类可能出现减少与消失。

汉江中下游水域中渔获物产量鲤鱼变化较大，1974 年渔获物统计中为 8.5%，而 2003 至 2004 年调查渔获物统计中鲤鱼为 47.1%，2013 至 2014 年调查渔获物统计中鲤鱼 24.48%。四大家鱼的渔获物产量统计下降 6.8%，铜鱼渔获物产量下降 36.45%，鳊鱼类与其他鱼类调查渔获物统计产量中基本处于同等量，鲫鱼调查渔获物产量上升 14.5%。1976~1978 年的调查渔获物中主要经济鱼类为草鱼、铜鱼、长春鳊等鱼类，占渔获物总量的 48%，主要经济鱼类的组成发生了较大变化。这说明，随着汉江中下游梯级建成，干流流速逐渐变缓，鱼类资源逐渐从以产漂流性卵的鱼类为主发展成以产黏性或沉性卵为主的定居性鱼类组成，以及小型经济性鱼类组成为主。

(2) 鱼类产卵场现状

1976 年汉江中游有王甫洲、茨河、襄阳、宜城、钟祥、马良以及支流唐河、白河的郭滩和埠口等 8 处产卵场；1999 年王甫州水利枢纽大坝截流后，2004 年汉江中游干流王甫洲产卵场淹没消失，只保留了

茨河、襄阳、宜城、关家山、钟祥、马良、陈家口等 6 个鱼类产卵场；2009 年在崔家营水利枢纽大坝的建成蓄水发电前，汉江中下游干流区域监测到的产漂流性卵仅有宜城、钟祥、马良 3 个鱼类产卵场。

2013 年，汉江干流襄阳、支流南河、唐白河等的产卵场已被崔家营水利枢纽大坝蓄水后淹没，水体流速基本上处于静止状态，水文条件不能满足鱼类产卵场基本要求，原有的鱼类产卵场江段基本上不能再形成鱼类产卵场。2014 年 3 处产卵场仅有部分其它产漂流性卵的经济鱼类产卵，监测期内四大家鱼没有产卵，有可能汉江中游产漂流卵的鱼类产卵场中四大家鱼的产卵生态条件有可能消失，其汉江中游产卵场的数量变化见图 4。

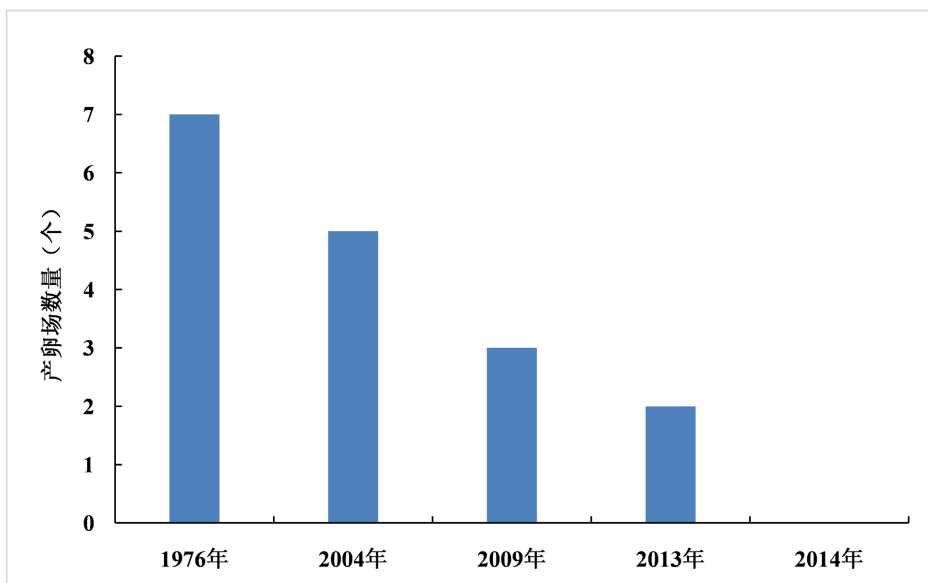


Figure 4. Changes in spawning grounds of four big family fishes in the middle reaches of Hanjiang River
图 4. 汉江中游四大家鱼产卵场变化情况

从图 4 可知，1976 年汉江中下游 8 个鱼类产卵场至 2014 年四大家鱼的产卵场基本上处于消失的状态，其主要原因：2013 年监测到四大家鱼时间为 5 月 22 日至 7 月 10 日，水温为 18.5℃~23.5℃，水域流量平均为 981 m³/s，流速平均为 83.5 cm/s 的水文条件有四大家鱼产卵，但是 2014 年 5 月中旬至 7 月 12 日流量下降至平均为 391 m³/s，流速平均 42.8 cm/s，丹江口水库 2013 年下泄水流量为 97.81 亿 m³，而 2014 年水库下泄水流量仅 49 亿 m³，下降率为 49.91%，其产卵期间因水域水文条件不能满足鱼类产卵的要求未形成产卵洪峰未监测到四大家鱼鱼卵。

(3) 鱼类产卵时空变化

1976~1978 年统计汉江中下游干支流鱼类产漂流性鱼卵 31.4 亿粒，其中四大家鱼 9.28 亿粒，其他经济鱼类为 22.12 亿粒；2004 年 16.85 亿粒，其中四大家鱼 0.98 亿粒，其他经济鱼在为 15.86 亿粒；2009 年汉江中下游产卵总量 5.66 亿粒，其中四大家鱼 0.11 亿粒，其他经济鱼在为 5.55 亿粒。

2013 年在崔家营大坝汉江中游干流、钟祥干流与支流蛮河汇合处水域、汉江干流马良江段有三个产卵场收集鱼卵培育至鉴定鱼苗后数量分析，产漂流性卵的鱼类 9 种白鲢、花鲢、草鱼、青鱼、长春鳊、赤眼鳟、吻鲈、蛇鲈、细尾蛇鲈。其鱼类产卵量 98723 粒，换算为汉江干流中的产卵量 5.14 亿粒，四大家鱼为 0.32 亿粒占 0.061%，其他经济鱼类 0.87 万粒占 0.17%，其他小型鱼类 3.96 亿粒占 99.77%。

2014 年在崔家营大坝汉江中游干流、钟祥干流与支流蛮河汇合处干流、马良干流江段三个产卵场收集鱼卵培育至鉴定鱼苗后数量分析，产漂流性卵的鱼类 6 种鲤鱼、长春鳊、赤眼鳟、吻鲈、蛇鲈、细尾

蛇鮈。收集鱼类产卵量 2.12 万粒，换算为汉江干流中的产卵量 3.02 亿粒，四大家鱼未收集到鱼卵，主要是其他经济鱼类产卵占 100%。汉江中下游产漂流性卵总数量、四大家鱼产卵数量、其他经济鱼类产卵数量的变化规律分别见图 5~7。

从图 5~7 可知，在汉江中下游鱼类产漂流性卵总数量处于下降趋势，其下降幅度变化较大，四大家鱼下降至 2014 年基本上产卵场消失，其他经济鱼类 2009 年至 2013 年处于平衡状态，但在 2014 年下降 35%。

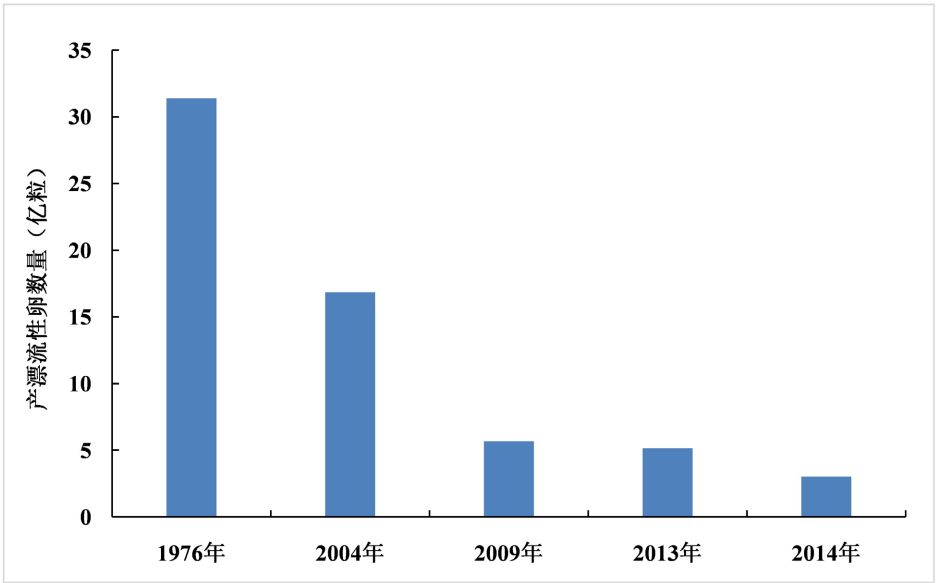


Figure 5. Changes in the total number of drifting eggs produced in the middle and lower reaches of the Han River from 1976 to 2014

图 5. 汉江中下游 1976~2014 年产漂流性卵总量变化情况

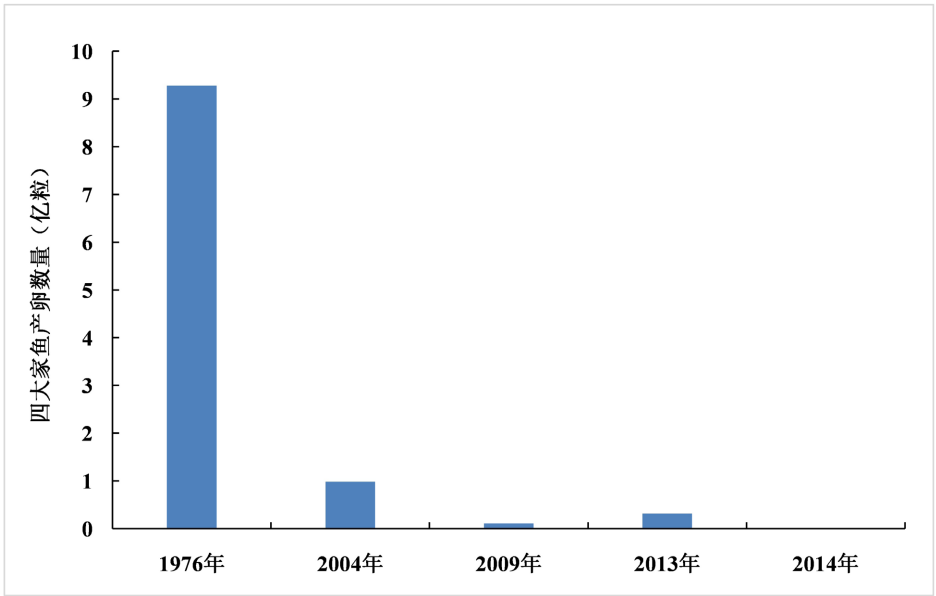


Figure 6. The change of spawning amount of four big fish in the middle and lower reaches of Hanjiang River from 1976 to 2014

图 6. 汉江中下游 1976~2014 年四大家鱼产卵量变化情况

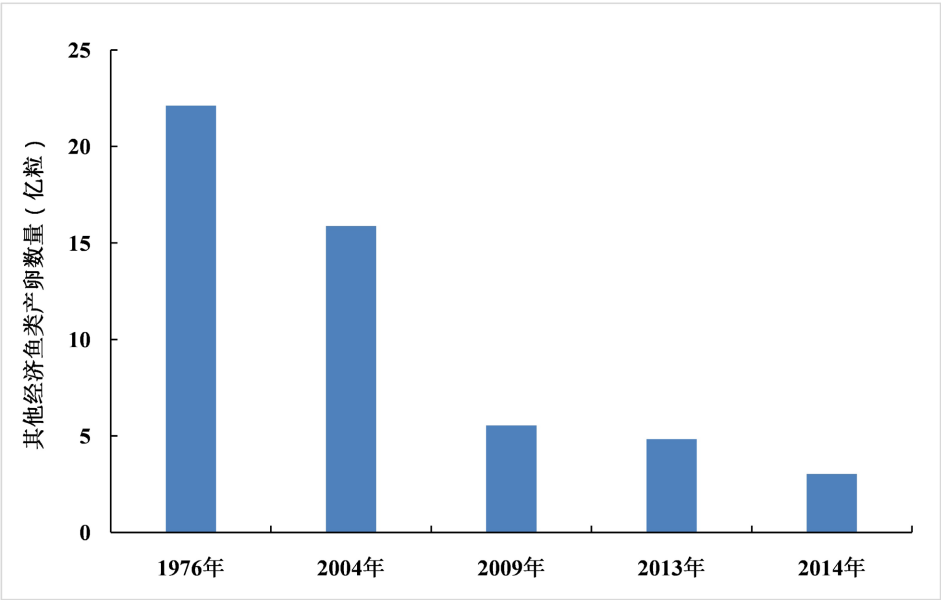


Figure 7. Changes of spawning amount of other economic fishes in the middle and lower reaches of Hanjiang River from 1976 to 2014
图 7. 汉江中下游 1976~2014 年其他经济鱼类产卵量变化情况

3.3. 水华时空特征及影响因素

(1) 水华发生时空特征

自 1992 年春季水华首次大规模暴发以来, 1992~2018 年间, 汉江中下游水华发生共 14 次, 时间长、范围大的水华有 5 次, 对沿江水体生态环境造成较大影响。暴发时期主要集中在春季枯水期(1~3 月), 2000 年以前以 2~3 月为主, 随着早春温度升高提前, 导致藻类生长活动提前达到活跃期, 2000 年以后时间有所提前, 1 月暴发水华现象开始增多。汉江中下游梯级的建设极大改变了下游水文情势, 汉江水华发生的频率呈现出增加的趋势。汉江中下游初次发生水华与第 2 次之间间隔长达 5 年, 后面水华发生频率逐渐增加, 间隔开始缩小为 2、3 年, 到 2007 年后几乎每年都会发生水华。除了暴发的频率越来越高以外, 发生水华的江段也开始不断地上移, 波及的区域也更加广泛。1992 年发生的水华波及仅仅为潜江以下 240 km 水域; 后面连续两次发生的水华都上移到钟祥段附近, 波及钟祥以下约 400 km 的所有下游江段, 最近的几次水华均波及几乎全部的下游江段, 有从汉江干流向汉江支流蔓延的趋势。

(2) 水华暴发时的群落结构特征

从藻类汉江全年群落特征来看, 优势种较为明显, 主要为硅藻、绿藻、蓝藻和隐藻 4 门, 其占比高达汉江所有藻类数量 98.5% 以上, 其中, 硅藻占比高达 40%~95%, 为汉江藻类全年的优势种。因此, 汉江藻类的生长高峰与硅藻的生长高峰高度一致; 隐藻由于其极强的温度及光照适应性, 分布季节也很广泛。藻类繁殖高峰出现在每年春季枯水季节, 一般为 2~3 月, 特点是生长快, 持续时间短; 90% 以上的细胞都是硅藻。1~2 月汉江浮游植物密度分布具有明显的空间差异性, 襄阳及以上各个站点浮游植物密度明显低于襄阳以下。3~5 月硅藻为优势种。虽然夏季的高温有利于绿藻及蓝藻的繁殖, 但由于受到营养条件及流速等多因素的制约, 硅藻仍为优势种。秋冬季藻类细胞密度相对较低。

(3) 水华的时空变化影响因素

早春是汉江水华暴发的主要时段, 历次水华均发生在该时段。从时间特性来看, 水华暴发年份大部

分为汉江枯水年,水文特征成为水华年份差异的主控因子,汉江水华暴发的主要原因是汉江中下游流量减小,水流速度减缓,水位降低;另一个主要因素是汉江水温的年际变化,不同年份下汉江下游水华敏感区的水温具有显著的差异,水温适宜的年份属于水华敏感年份,容易触发水华事件。从汉江水华的空间特征来看,由于汉江上众多梯级的建设,极大地改变了汉江中下游的自然径流条件,因此,水华主要暴发在汉江中下游。

4. 讨论

从丹江口库区历年水质分析来看,库区内水质保持稳中向好的趋势,分析原因为丹江口水库蓄水增加了水力停留时间,提高了水体自净能力,这与史方方等[7][8]的研究一致。2010年以来,汉江干流水质国控、省控断面基本保持稳定,主要监测断面水质良好,中下游干流以II、III类水质为主,部分断面部分时段水质超标,并多次出现“水华”现象,如不采取相应措施,将严重影响到江汉平原相对发达地区的经济社会发展。

可能受大坝阻隔与过度捕捞的影响,汉江中下游分隔的江段鱼类种群逐年数量下降,可能随着水流量小达不到四大家鱼产卵水文生态条件,鱼类产卵量急剧减小[9]。鉴于汉江中下游因建设大坝影响土著鱼类自然增殖种群数量与资源量逐渐衰竭的现状,加上南水北调下泄水量不足,汉江中游目前仅存3个鱼类产卵场,严重影响到汉江流域鱼类自然增殖种群的数量、结构比例、渔业资源量,以及滤食性鱼类生物净化维系水质平衡循环。

汉江中游建设电站基本目标是蓄水兼防洪、发电和航运效益的有效发挥,但可导致大坝上下江段水文情势的变化,产生上下游的反生态效应[10]。根据2013年至2014年对汉江中下游产漂流性卵的鱼类产卵场调查结果,产漂流性卵的鱼类产卵场均在崔家营与兴隆水利枢纽大坝之间的江段内[11],在雅口、碾盘山水利枢纽大坝未建立前,目前汉江中游江段是唯一的产漂流性鱼卵的鱼类产卵场,崔家营与兴隆大坝之间约为280 km,如能够维持该江段的宜城、鱼类产卵场产卵,漂流性鱼卵在该江段漂流孵化可以孵化出基本上能完成早期发育的鱼苗,能自由游动的鱼苗可以在该江段水域存活。当雅口、碾盘山2个水电站大坝建设后汉江中游的鱼类产卵场基本上消失,这样导致汉江中游产卵漂流的鱼类自然增殖渔业资源量下降或消失。因此,有必要开展生态调水,采取水域调控方式改善大坝下游鱼类的生活生长的环境,维系下游江段产漂流性卵的产卵场规模与鱼类产卵数量,如在汉江中游鱼类繁殖高峰期时,采取加大发电量的情况下采用调水模拟自然水情下泄水量,营造“人造洪峰”,以满足产漂流卵的鱼类繁殖时的流速与流量的需求[12][13]。

确定汉江水华暴发的时间特性对于水华预警具有重要意义,仅局限在冬末初春(一般为2月下旬至4月上旬)的汉江水华可以将预警关注的重点放在早春,由于水温对水华优势种营养摄取、光合活性、种群动力学等多个方面和多个层次的作用,基于前述汉江水华的时间特征及其与水温的联系,确认未来汉江的水华暴发时间依然在早春2~3月间。空间上,以硅藻为优势种群的汉江中下游流域,其水体营养物质常达到水华暴发的临界范围,未来汉江水华依然主要暴发在下游水域。汉江中下游众多的水利调控工程形成新的类湖泊的水体形态将可能导致水利调控工程坝上水域成为新的水华敏感区,兴隆坝上水域属于生态脆弱敏感水域,一旦其他环境条件适宜,水华的暴发难以避免;需通过相应的各级水利枢纽的生态水位调度联动,可能及时预防抑制汉江水华的暴发,缓解水华的影响程度。

基金项目

本研究得到了湖北省重点科研项目(HBSLKY202313)的大力支持。国家自然科学基金资助项目(U21A2002)。

参考文献

- [1] 包洪福, 孙志禹, 陈凯麒. 南水北调中线工程对丹江口库区生物多样性的影响[J]. 水生态学杂志, 2015, 36(4): 14-19.
- [2] 柏海霞. 长江宜都四大家鱼产卵场地形特征及生态水力因子分析[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国水利水电科学研究院, 2015.
- [3] 陈豪, 左其亭, 窦明, 马军霞. 闸坝调度对污染河流水环境影响综合实验研究[J]. 环境科学学报, 2014, 34(3): 763-771.
- [4] 陈求稳, 张建云, 陈宇琛, 张建云, 陈宇琛, 莫康乐, 王骏, 唐磊, 林育青, 陈磊, 高勇. 建坝河流鱼类繁殖的流速调控[J]. 工程(英文), 2021, 7(2): 178-186.
- [5] 高志强, 丁伟, 唐榕, 李昱, 张弛. 耦合水文情势及鱼类需求的生态调度研究[J]. 南水北调与水利科技, 2018, 16(2): 14-20.
- [6] 李瑞清, 许明祥, 宾洪祥, 别大鹏, 刘贤才, 孙国荣, 彭习渊, 雷新华, 周明, 翁朝晖, 常景坤, 等. 江汉平原水安全战略研究[M]. 武汉: 长江出版社, 2019.
- [7] 彭虹, 郭生练. 南水北调对汉江下游藻类生长的影响及对策研究[J]. 环境科学与技术, 2003(3): 1-3, 63.
- [8] 史方方, 黄薇. 丹江口水库对汉江中下游影响的生态学分析[J]. 长江流域资源与环境, 2009, 18(10): 954-958.
- [9] 万力, 蔡玉鹏, 唐会元, 杨志, 张晓敏, 郑海涛, 乔晔. 汉江中下游产漂流性卵鱼类早期资源现状的初步研究[J]. 水生态学杂志, 2011, 32(4): 53-57.
- [10] 夏瑞, 张远, 王璐, 等. 汉江下游河流型水华暴发的多影响要素特征识别[J]. 环境科学研究, 2020, 33(4): 911-920.
- [11] 张怡雅, 袁飞, 张利敏, 谢子琪. 南水北调中线工程调水前后汉江中下游干流水质变化特征[J]. 水利水电科技进展, 2022, 42(3): 14-19.
- [12] 赵楠楠, 李奎. 南水北调中线工程潜在水生态风险分析[J]. 北京水务, 2019(2): 49-52.
- [13] 周静, 苟婷, 张洛红, 蓝郁, 马千里, 梁荣昌, 赵学敏. 流速对不同浮游藻类的生长影响研究[J]. 生态科学, 2018, 37(6): 75-82.