

调水调沙影响下黄河山东段鱼类群落格局及多样性

丛旭日 李秀启 董贯仓 孙鲁峰 客涵 任一平

FISH COMMUNITY PATTERN AND DIVERSITY AFFECTED BY WATER AND SEDIMENT REGULATION IN SHANDONG SECTION OF THE YELLOW RIVER

CONG Xu-Ri, LI Xiu-Qi, DONG Guan-Cang, SUN Lu-Feng, KE Han, REN Yi-Ping

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.7541/2024.2023.0148>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

基于Miseq测序技术分析黄颡鱼不同养殖模式下池塘微生物群落结构多样性

BACTERIAL DIVERSITY OF POND WATER AND SEDIMENT IN DIFFERENT CULTURE SYSTEMS OF YELLOW CATFISH (*PELTEOBAGRUS FULVIDRACO*) REVEALED BY MISEQ SEQUENCING

水生生物学报. 2020, 44(4): 781–789 <https://doi.org/10.7541/2020.094>

浙江沿岸产卵场春、夏季鱼类资源密度和群落多样性研究

STUDY ON FISH RESOURCES AND COMMUNITY DIVERSITY DURING SPRING AND SUMMER IN THE COASTAL SPAWNING GROUND OF ZHEJIANG PROVINCE, CHINA

水生生物学报. 2018, 42(5): 984–995 <https://doi.org/10.7541/2018.121>

渭河陕西段鱼类群落结构组成及变化研究

CHARACTERISTICS OF FISH COMMUNITY STRUCTURE IN THE WEIHE RIVER OF SHAANXI SECTION

水生生物学报. 2019, 43(6): 1311–1320 <https://doi.org/10.7541/2019.155>

珠江浮游真核微型生物分子多样性及其与水环境的关系

MOLECULAR DIVERSITIES OF PLANKOTIC MICROBIAL EUKARYOTES IN THE PEARL RIVER AND THEIR RELATIONSHIP WITH WATER ENVIRONMENT

水生生物学报. 2020, 44(1): 187–196 <https://doi.org/10.7541/2020.022>

中国东部沿海中小型河流鱼类的整体遗传多样性评价——以曹娥江为例

EVALUATION OF GENERAL GENETIC DIVERSITY OF FISHES FROM MIDDLE AND SMALL RIVERS ON THE EAST CHINA—TAKING CAO’ E RIVER AS AN EXAMPLE

水生生物学报. 2020, 44(1): 67–74 <https://doi.org/10.7541/2020.009>



关注微信公众号，获得更多资讯信息

doi: 10.7541/2024.2023.0148

调水调沙影响下黄河山东段鱼类群落格局及多样性

丛旭日^{1,2,3} 李秀启^{1,2} 董贯仓^{1,2} 孙鲁峰^{1,2} 客涵^{1,2} 任一平³

(1. 山东省淡水渔业研究院, 济南 250013; 2. 农业农村部黄河下游渔业资源环境科学观测实验站, 济南 250117;
3. 中国海洋大学水产学院, 青岛 266003)

摘要: 文章于2019—2021年调水调沙前后利用多种网具对黄河山东段4个站位开展鱼类资源调查, 研究了黄河山东段鱼类群落的种类组成、生态类型、优势种、生物多样性及环境影响因子等。结果表明, 山东段共采集鱼类59种, 隶属于10目20科, 调水前优势种为鲫(*Carassius auratus*)、鳊(*Parabramis pekinensis*)、鲤(*Cyprinus carpio*)、赤眼鲮(*Squaliobarbus curriculus*)、翘嘴鲇(*Culter alburnus*)、草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)、鲮(*Mugil cephalus*)、鲟(*Liza haematocheilus*), 调水后优势种为鲫、鳊、鲤、赤眼鲮。多样性指数方面Shannon-Wiener指数、丰富度指数差异较显著($0.01 < P < 0.05$), 均匀度指数差异不显著($P > 0.05$)。聚类分析表明, 调水调沙前后黄河山东段鱼类群落结构在相似水平为45%时可以划分为2组, 调水调沙后东阿断面(AH2)与其他断面相比具有较强的差异性; 相似水平为60%时可以划分为4组, 分别为A组群(AH3、BH3和BH2)、B组群(AH1和BH1)、C组群(AH4和BH4)、D组群(AH2)。SIMPER分析显示, A组群平均相似率为60.66%, 特征种包括鳊、翘嘴鲇、赤眼鲮、鲟、似鳊(*Pseudobrama simoni*)、鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*), B组群平均相似率为66.38%, 特征种包括鳊、鲫、鲇(*Silurus asotus*)、鲤、鲮(*Hemiculter leucisculus*), C组群平均相似率为68.48%, 特征种包括鲤、鲫、翘嘴鲇、鳊、鲟。RDA分析表明径流量、总磷是影响群落结构的主要因子。基于以上结果, 研究对比黄河各河段鱼类群落结构特征, 分析调水调沙对黄河山东段鱼类群落格局及多样性的影响, 发现庞口湾作为鱼类栖息地的重要性并提出保护建议。研究可为黄河山东段渔业资源保护和可持续发展提供理论依据和技术支撑。

关键词: 黄河山东段; 调水调沙; 鱼类群落; 多样性; 环境因子

中图分类号: S932.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3207(2024)06-0889-09



黄河山东段长628 km, 占黄河总长度的11.5%, 由东明县入境, 流经菏泽、济宁、泰安、聊城、济南、德州、滨州、淄博和东营9市, 在东营市垦利区注入渤海, 《黄河高质量发展和生态保护规划纲要》的发布赋予了黄河生态保护新的历史地位, 其中多次提到鱼类多样性的保护问题。山东是黄河流域唯一一河海交汇区, 重要的湖河交汇区, 南水北调东线的生态联通区, 但有关黄河流域山东境内鱼类的基础资料较少。刘晓峰等^[1]对黄河宁蒙段渔业资源的研究显示宁蒙段渔业资源量呈下降趋势并分析了主要原因, 崔松林等^[2]对黄河山西段鱼

类群落结构的研究显示其种类组成与多样性水平存在空间差异, 此外黄河陕西段^[3]、河南段^[4]、入海口^[5-7]及其支流^[8]针对鱼类群落结构及生态健康^[9-10]的研究也已有见报, 黄河山东段的研究较为滞后。调水调沙是防止黄河下游泥沙淤积的重要工程, 自2002年以来每年6月下旬到7月上旬上游水库开闸放水^[9], 利用径流量瞬时增大对主河槽的泥沙进行冲刷, 从而改善黄河水沙时空的不平衡, 这一措施一方面使黄河口附近水域营养盐含量、浮游生物密度增大从而改变了鱼类群落结构。针对调水调沙对黄河口海域鱼类群落影响研究已较为广泛; 陈

收稿日期: 2023-05-12; 修订日期: 2023-10-26

基金项目: 农业农村部“黄河专项”课题(HHDC-2022-0403); 山东省自然科学基金(ZR2020MC193)资助 [Supported by the Special Project of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs on the Yellow River (HHDC-2022-0403); Shandong Natural Science Foundation (ZR2020MC193)]

作者简介: 丛旭日(1990—), 男, 博士; 主要从事渔业资源管理与渔业生态学研究。E-mail: congxuri90@126.com

通信作者: 李秀启(1967—), 男, 博士; 主要从事渔业资源生态学研究。E-mail: xiuqili@sina.com

宁等^[5]的研究表明径流量、营养盐变化可能是引起调水调沙前后渔业资源种类组成、资源量变化的重要原因;郑亮等^[6]研究表明黄河调水调沙导致的泥沙沉降对底层鱼类产生了不利影响,而营养盐的注入对中上层鱼类特别是浮游生物食性鱼类则产生了有利影响。另一方面,泥沙含量及径流量瞬时增加将导致鱼类应激反应,鱼类的外源性输入也将对鱼类群落结构产生影响,此类影响主要集中在河道。而针对调水调沙对黄河山东段鱼类群落结构影响研究尚未见报,基础资料较为匮乏。本研究利用2019—2021年调水调沙前后共6个航次调查,结合2013—2015年数据,对黄河山东段渔业资源种类组成、优势种、多样性、环境影响因子等进行了研究,分析了调水调沙影响下黄河山东段鱼类群落结构以及主要影响因子,以期对黄河山东段鱼类多样性保护提供基础数据,为黄河流域渔业高质量发展可持续发展提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 数据来源

本文样品于2013—2015、2019—2021年夏季黄河调水调沙前(6月)、后(7月)采自黄河山东段水域,调水调沙每年6月份自小浪底水库开始放水,瞬时流量开始逐步提高,至6月底7月上旬达到顶峰再缓慢回落,具体采样日期及调水调沙日期见表1。设置鄆城(H1)、东阿(H2)、高青(H3)、垦利(H4)4个采样站点(图1),表2为各采样点坐标及与小浪底水库的距离,其中东阿站点为东平湖与黄河的交界处,文中BW代表调水调沙前,AW代表调水调沙后。2013—2015数据收集自渔民渔获物,仅做定性

表1 调水调沙、各站位采样的具体日期

Tab. 1 Specific date of water and sediment regulation (WSR) and sampling at each spot

采样点 Sampling spot	调水调沙日期 Date of WSR	采样日期 Sampling date
鄆城Juancheng	2019.7.3—20	2019.6.15—17; 2019.7.22—23
	2020.7.8—24	2020.6.10—12; 2020.8.1—2
	2021.6.22—7.10	2021.6.8—9; 2021.7.13—14
东阿Dong'e	2019.7.4—20	2019.6.17—19; 2019.7.23—24
	2020.7.9—24	2020.6.12—14; 2020.8.3—4
	2021.6.20—7.10	2021.6.9—10; 2021.7.14—15
高青Gaoqing	2019.7.6—20	2019.6.19—21; 2019.7.24—25
	2020.7.10—24	2020.6.14—16; 2020.8.5—6
	2021.6.25—7.10	2021.6.10—11; 2021.7.15—16
垦利Kenli	2019.7.7—20	2019.6.21—23; 2019.7.25—26
	2020.7.11—24	2020.6.16—18; 2020.8.7—8
	2021.6.26—7.10	2021.6.11—12; 2021.7.16—17

种类补充处理,2019—2021年调查数据采用统一网具规格和流程,每个采样点设置2张定置三层多目刺网(下称刺网)和2条定置(串联)倒须笼壶(下称笼壶),静置24h。刺网规格:网高2 m,全长100 m,分5种网目,分别为1、2、3、4和7 cm网目各20 m。笼壶规格:中间部分为20个30 cm×32 cm的钢筋框,进鱼口纵深25 cm,网目规格9 mm,全长10 m。现场对所采集的渔获物进行鉴定分类,并对样品进行计数、称体重(电子秤精确到0.1 g)和测量体长(精确到0.1 cm)。数据处理参考《淡水渔业资源调查规范(河流)》,将每条刺网和笼壶的渔获物作为一个样本进行数据处理,分析前对原始数据标准化为[g/次]和[ind./次],将2019—2021渔获量汇总,重量及尾数数据见表3。鱼类的学名及分类地位以《山东鱼类志》^[11]《黄河流域鱼类图志》^[12]为主要依据。利用YSI-MP556型水质仪现场测定pH、水温(T)、溶解氧(DO)等指标,参照《水与废水监测分析方法》^[13],将水样固定冷藏带回实验室测定总氮(TN)、总磷(TP)、叶绿素a(Chl.a)、径流量(Flow.V)参照发布数据。

1.2 数据处理

种类组成和优势种 采用Jaccard群落的相似性指数(Jaccard, 1912)^[14]表示两个或多个研究对象的多样性相似程度。

$$SI = C / (A + B - C)$$

式中, A 和 B 分别为两个河段和时间段的物种数, C 为共有的物种数, SI 在0—0.25为极不相似, 0.25—0.5中等不相似, 0.5—0.75为中等相似, 0.75—1为极相似。

采用相对重要性指数(IRI)^[15]分析群落优势种成分。公式如下:

$$IRI = (N + W) \times F$$

式中, N 为渔获物中某一种类的数量占总数量百分比; W 为某一种类的重量与总重量的百分比; F 为某一种类出现的站点与总站点之比(%)。定义 $IRI > 1000$ 的种类为优势种, $100 \leq IRI < 1000$ 的种类为重要种, 优势种和重要种统称主要种。

多样性和群落结构分析 采用Shannon-Wiener指数(H')、Margalef种类丰富度指数(R)和Pielou均匀度指数(J')表征调查区域鱼类生物多样性^[16]。

Margalef种类丰富度指数: $R = (S - 1) / \ln N$;

Shannon-Wiener多样性指数: $H' = -\sum_{i=1}^S P_i \ln P_i$;

Pielou均匀度指数: $J' = H' / \ln S$;

式中, S 为种类数, N 为总尾数, P_i 为第 i 种种类尾数占

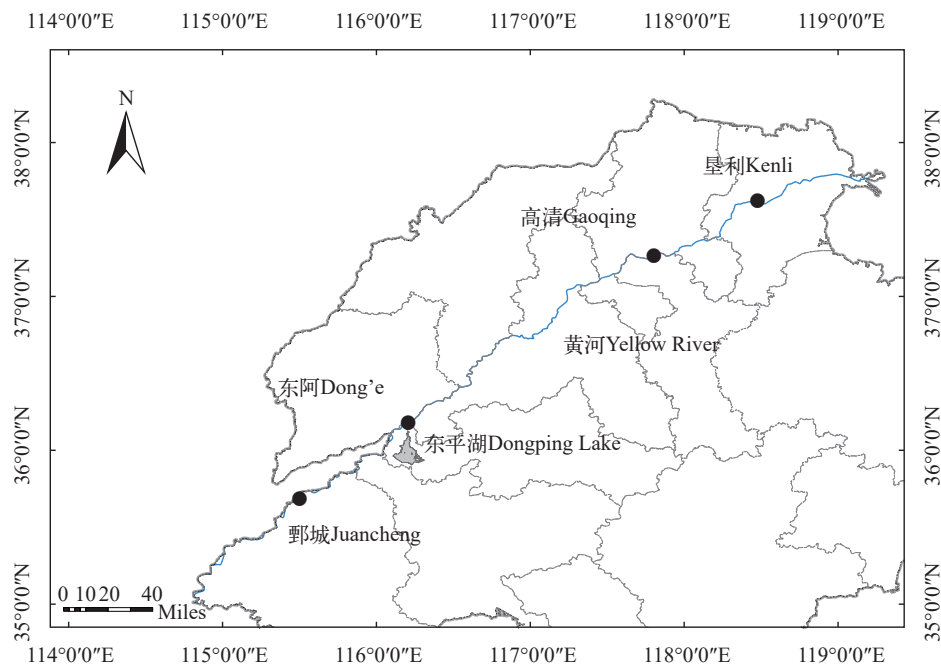


图 1 黄河山东段调查站位图

Fig. 1 Sampling spots in Shandong section of the Yellow River

表 2 采样点分布

Tab. 2 Distribution of sampling spots

采样点 Sampling spot	编号 Serial number	经度 Longitude (E)	纬度 Latitude (N)	与小浪底 水库距离 Distance from Xiaolangdi Reservoir (km)
鄄城 Juancheng	H1	115°27' 16.092"E	35°39' 44.508"N	309.5
东阿Dong'e	H2	116°13' 13.444"E	36°10' 18.013"N	413.3
高清Gaoqing	H3	117°48' 44.949"E	37°16' 14.781"N	584.8
垦利Kenli	H4	118°30' 56.705"E	37°36' 34.816"N	676.8

表 3 调水调沙前后渔获量数据汇总

Tab. 3 Summary of catch data before and after WSR

站位 Spot	采样时间 Sampling time	重量 Weight (kg)	数量(尾) No. (ind.)
H1	BW	22.73	122
	AW	32.71	165
H2	BW	46.36	178
	AW	75.46	558
H3	BW	19.08	101
	AW	26.26	120
H4	BW	37.01	76
	AW	36.77	92

注: AW代表调水调沙后; BW代表调水调沙前(下表同)

Note: AW stands for after WSR; BW stands for before WSR (the same applies bellow)

总个体数的比例。

对调查鱼类的生物量进行4次方根转换, 并计

算Bray-Curtis相似性系数矩阵, 采用非度量多维标度分析(MDS)与等级聚类分析(CLUSTER)来研究群落结构的空间差异。同时用胁迫系数(Stress)来衡量MDS二维点图的优劣, 一般认为: 当 $0.1 < stress < 0.2$ 时, 可用MDS二维点图表示, 具有一定解释意义; 当 $0.05 < stress < 0.1$ 时, 排序效果基本可信; 当 $stress < 0.05$ 时, MDS二维点图对群落结构排序具有很好的代表性^[17, 18]。采用相似性百分比分析(SIMP)研究造成不同组群间群落结构相异的分歧种与造成组群内群落结构相似的典型种^[19]。多样性计算及聚类分析采用PRIMER5.0和EXCEL2010软件完成, 多样性指数之间的差异采用单因素方差分析(Oneway-ANOVA), 单因素方差分析分析使用R语言中Vegan包进行, 图片绘制应用ARCGIS10.2及PRIMER5.0完成。

环境影响因子分析 对鱼类调查生物量数据进行去趋势分析(DCA)显示, 进入分析的物种须为 $IRI > 500$, 根据各轴梯度长(Lengths of gradient)选取模型。若4个轴最大梯度值小于3选用线性模型(Linear model), 若大于等于4选用单峰模型(Unimodal model)^[20]。结果显示各排序轴最大值为1.1 (小于3), 故选用线性约束分析模型RDA。为保证数据的正态性, 所有数据均进行 $lg(x+1)$ 转换, RDA分析中, 先对环境变量进行预选(Forward selection), 并检验各环境变量贡献率的显著性(蒙特卡洛置换检验, Monte Carlo permutation test, 499 次)^[20], DCA、RCA均采用Canoco5.0进行。

2 结果

2.1 种类组成及生态类型

黄河山东段共监测到鱼类10目20科59种(见附件)。其中,鲤形目鱼类35种,占60.3%;鲈形目9种,占15.5%;鲇形目4种,占6.9%;鲑形目3种,占5.2%;鲴形目2种,占3.4%;其他各目均为1种,分别占1.7%。按栖息水层可分为:中上层鱼类,如刀鲚(*Coilia nasus*)、鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*)、鳊(*Aristichthys nobilis*)等,占总种类数的39%;中下层鱼类,如鳊(*Parabramis pekinensis*)等,占23%;底层鱼类,如鲫(*Carassius auratus*)、鲤(*Cyprinus carpio*)等占38%。按食性可分为:肉食性,如乌鳢(*Channa argus*)等,占总种类数的37%;植食性,如草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)、鳊等,占14%;杂食性,如鲫、鲤等,占45%。按产卵类型可分为:产沉性卵,如黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*)等,占52%;产黏性卵,如鲫、鲤等,占19%;产浮性卵,如刀鲚、乌鳢等,占7%;产漂流性卵,如鲢、草鱼等,占22%。此外,黄河山东段鱼类区系组成相对复杂,主要为中国江河平原复合体鱼类,如草鱼、鳊、鲢、鳊等,第三季早期复合体鱼类,如鲫、鲤等,此外还有南方平原复合体、北方平原复合体等。渔获物相对重要指数见表4。

2.2 优势种

综合来看,调水调沙前、后优势种种类差别不大,调水调沙前优势种为鲫、鳊、鲤、赤眼鲮(*Squaliobarbus curriculus*)、翘嘴鲮(*Culter alburnus*)、草鱼、鲴(*Mugil cephalus*)、鲢(*Liza haematocheilus*),重要种为鲇(*Silurus asotus*)、鳊、红鳍原鲮(*Culterichthys erythropterus*)、鲢、乌鳢、鲢(*Hemiculter leucisculus*)、似鳊(*Pseudobrama simoni*)、光泽黄颡鱼(*Tachysurus nitidus*)。调水调沙后优势种为鲫、鳊、鲤、赤眼鲮,重要种为鲇、红鳍原鲮、鲴、翘嘴鲮、鳊、草鱼、鲢、乌鳢、鲢、乌苏里拟鲮(*Tachysurus ussuriensis*)、似鳊、光泽黄颡鱼。

2.3 多样性指数

根据表5可知,各断面多样性指数(H')、丰富度指数(R)在调水后均高于调水前,调水调沙前 H' 、 J' 和 R 分别为1.84—2.18、0.66—0.73和2.53—3.52,调水后为2.07—2.57、0.62—0.73和2.85—6.28,调水后H2断面各项指数均达到最高值,单因素方差分析,调水前后 H' 差异较显著($0.01 < P < 0.05$), J' 差异不显著($P > 0.05$), R 差异较显著($0.01 < P < 0.05$)。

2.4 群落结构分析

根据主要物种的生物量聚类,图2为黄河山东

段鱼类群落结构CLUSTER聚类分析结果,调水调沙前后黄河山东段鱼类群落结构在相似水平为45%时可以划分为2组,调水调沙后东阿断面(AH2)与其他断面相比具有较强的差异性;相似水平为60%时可以划分为4组,分别为A组群(AH3、BH3和BH2)、B组群(AH1和BH1)、C组群(AH4和BH4)、D组群(AH2),SIMPER分析显示,A组群的平均相似率为

表4 渔获物相对重要指数

Tab. 4 Index of relative importance (IRI) of the main fishes

种类Species	调水调沙前 BW	调水调沙后 AW
鲫 <i>Carassius auratus</i>	1403	2148
鳊 <i>Parabramis pekinensis</i>	2698	1363
鲤 <i>Cyprinus carpio</i>	1297	1041
赤眼鲮 <i>Squaliobarbus curriculus</i>	2291	1028
鲇 <i>Silurus asotus</i>	936	996
红鳍原鲮 <i>Culterichthys erythropterus</i>	489	938
翘嘴鲮 <i>Culter alburnus</i>	1471	739
鳊 <i>Aristichthys nobilis</i>	386	711
草鱼 <i>Ctenopharyngodon idellus</i>	1596	679
鲢 <i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	589	618
鲴 <i>Mugil cephalus</i>	1122	865
鲢 <i>Liza haematocheilus</i>	1072	455
乌鳢 <i>Channa argus</i>	522	537
鲢 <i>Hemiculter leucisculus</i>	388	269
乌苏里拟鲮 <i>Tachysurus ussuriensis</i>	<100	494
似鳊 <i>Pseudobrama simoni</i>	323	395
光泽黄颡鱼 <i>Tachysurus nitidus</i>	212	331

表5 调水调沙前后鱼类群落多样性指数

Tab. 5 Diversity of fish community before and after WSR

多样性指数 Index of diversity	H1		H2		H3		H4	
	BW	AW	BW	AW	BW	AW	BW	AW
H'	1.98	2.19	2.18	2.57	1.87	2.07	1.84	2.23
J'	0.69	0.73	0.73	0.63	0.66	0.62	0.71	0.69
R	3.28	5.38	3.52	6.28	3.15	4.01	2.53	2.85

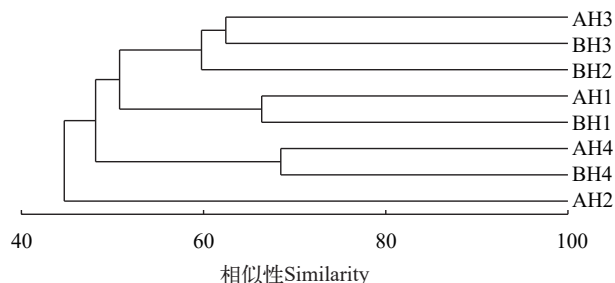


图2 调水调沙前后黄河山东段鱼类群落结构CLUSTER分析结果

Fig. 2 Results of CLUSTER analysis of fish community structure before and after WSR

60.66%, 特征种包括鳊、翘嘴鲌、赤眼鲮、鲮、似鳊、鲢, 这6种鱼类对组内平均相似性的累计贡献率为55.90%; B组群平均相似率为66.38%, 特征种包括鳊、鲤、鲇、鲤、鲮, 对组内平均相似性的累计贡献率为60.66%; C组群平均相似率为68.48%, 特征种包括鲤、鲤、翘嘴鲌、鳊、鲮, 对组内平均相似性的累计贡献率为65.58%。图3为相似度为60%下的MDS分析结果, 协强系数(stress=0.11)具有一定的解释意义。

2.5 环境影响因子分析

表6为调水调沙前后主要环境数据, 黄河各省河段调查关键结果对比见表7, 图4为主要环境因子与多样性指数、种类数、代表物种生物量及站位之间的RDA分析结果。共筛选出5个影响因子, 为 pH (15.1%)、TP (14.3%)、Flow.v (14.1%)、

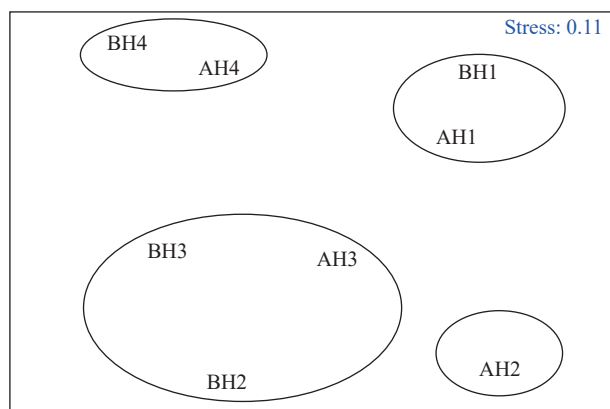


图3 MDS分析结果

Fig. 3 Results of MDS analysis

AH代表调水调沙后站位; BH代表调水调沙前站位

AH stands for the spot after WSR; BH stands for the spot before WSR

Chl.a (13.7%)、TN (12.8%)共同解释了70%信息。由图可知, pH与鲮生物量分布的关联性较高, TP、Flow.v贡献率高影响范围较大且与H'、R和种类数相关性较强, Chl.a与鲢、鳊、鳊的生物量关联性较强; 站位分布与环境因子关系角度分析, pH对高青、垦利站位的影响程度较大关联性强, 而鄄城、东阿站位受TP、Flow.V、Chl.a和TN的影响较大。

3 讨论

3.1 黄河山东段鱼类群落及多样性现状

本次调查黄河山东段共监测到鱼类10目20科59种, 高于2008年调查数据41种^[21], 增加记录的鱼类主要有乌苏里拟鲿、刀鲚、间下鲢(*Hyporhamphus intermedius*)、鲮等。多样性指数单因素方差分析相比, 调水前多样性指数与2011年调查数据^[4]相比不显著($P>0.05$)而调水后较显著($0.01<P<0.05$)。各省区河段横向比较显示, 本次调查种类数高于黄河陕西段(55种)、山西段(42种)、河南段(42种)、宁蒙段(26种)^[1-4], 其中刀鲚是黄河山东段特有种。各省河段多样性指数单因素方差分析显示, 山东段调水前后的多样性指数显著高于陕西段($0.01<P<0.05$), 与河南段相比, 调水前的多样性指数差异不显著($P>0.05$), 而调水后差异较显著高于河南段($0.01<P<0.05$)^[2-4]。从优势种的角度分析调水调沙前后黄河山东段共同优势种有鲤、鳊、鲤、赤眼鲮, 与陕西段(鲮、鲤、鲤、鲇)、山西段(鲤、鲇、鲤、麦穗鱼)、宁蒙段(鲤、鲤、瓦氏雅罗鱼)、河南段(鲤、鲤、鲇)相比^[2-4], 共同优势种为鲤、鲤, 这也表明鲤、鲤仍是黄河全河段的优势种。综合分析, 黄河山东段种类数、多样性指数均高于陕西段、河南段, 这也与2010和2011^[4]年调查数据一致,

表6 调水调沙前后环境因子数据

Tab. 6 Environmental factor data before and after WSR

站位Spot	时间Time	Flow.V (m/s)	T (°C)	pH	DO (mg/L)	TP (mg/L)	TN (mg/L)	Chl.a (μg/L)
H1	BW	1.07±0.31 ^a	18.5±0.2	8.1±0.09	6.12±2.03	0.11±0.005 ^a	3.8±1.7	2.76±0.74
	AW	3.85±1.31 ^b	18.4±0.3	7.8±0.11	6.68±2.21	0.035±0.01 ^b	3.97±1.5	2.12±0.65
H2	BW	1.03±0.23 ^a	18.8±0.3	8.1±0.12	6.44±2.13	0.056±0.02 ^a	2.8±1.31 ^a	2.94±1.01
	AW	3.92±1.32 ^b	18.6±0.1	7.7±0.13	6.56±1.98	0.032±0.01 ^b	7.26±2.4 ^b	2.23±0.66
H3	BW	0.87±0.26 ^a	18.1±0.1	8.7±0.23	6.61±2.23	0.031±0.01 ^a	2.4±1.0	3.16±1.13
	AW	3.68±1.43 ^b	18.2±0.1	8.1±0.11	6.13±1.89	0.028±0.01 ^b	3.1±1.2	3.11±1.05
H4	BW	0.84±0.11 ^a	18.3±0.2	8.2±0.12	6.63±1.13	0.025±0.01	2.4±0.9 ^a	2.88±0.88
	AW	3.65±0.12 ^b	18.1±0.2	7.7±0.11	6.79±1.89	0.024±0.01	10.7±2.3 ^b	1.17±0.65
变化范围	BW	0.84—3.85	18.1—18.8	8.1—8.7	6.12—6.63	0.025—0.11	2.4—3.8	2.76—3.16
Variation range	AW	3.65—3.85	18.1—18.6	7.7—8.1	6.13—6.79	0.024—0.035	3.1—10.7	1.17—3.11

注: 不同的字母上标表示调水调沙前后差异显著性($P<0.05$)

Note: Different letter superscripts indicate significant difference before and after WSR ($P<0.05$)

而近10年来黄河山东段的种类数增加,多样性指数也有较显著的提高,分析其原因:(1)调水调沙的径流量为中游的鱼类被动迁移到下游提供了外部条件,并在下游流速较缓慢的河湾栖息,如乌苏里拟鲿、大鼻吻鲈(*Rhinogobio nasutus*)等。(2)近几年东平湖与黄河的生态联通,使东平湖的鱼类有条件扩散到黄河干流中,如刀鲚、间下鱊等。

3.2 调水调沙对黄河山东段鱼类群落格局及多样性的影响

根据以上分析结果,调水调沙对黄河山东段鱼

类群落格局及多样性的影响主要体现在以下几个方面:(1)对优势种分布影响。调查发现仅有鳊、鲮、红鳍原鲈不是共同优势种,由此可见调水调沙并没有带来大量鱼群在山东段形成明显的更替。但调水调沙前后部分优势种的优势度差异较大,如鲫的数量、重量占比调水调沙后明显升高,而鳊、赤眼鲮等鱼类优势度下降,推测是调水调沙期间由于含沙量增幅较大而使部分应激性较强的中上层鱼类缺氧致死。项目组在针对黄河“流鱼”(含沙量增大使鱼类产生浮头缺氧的现象)的调查发现,黄

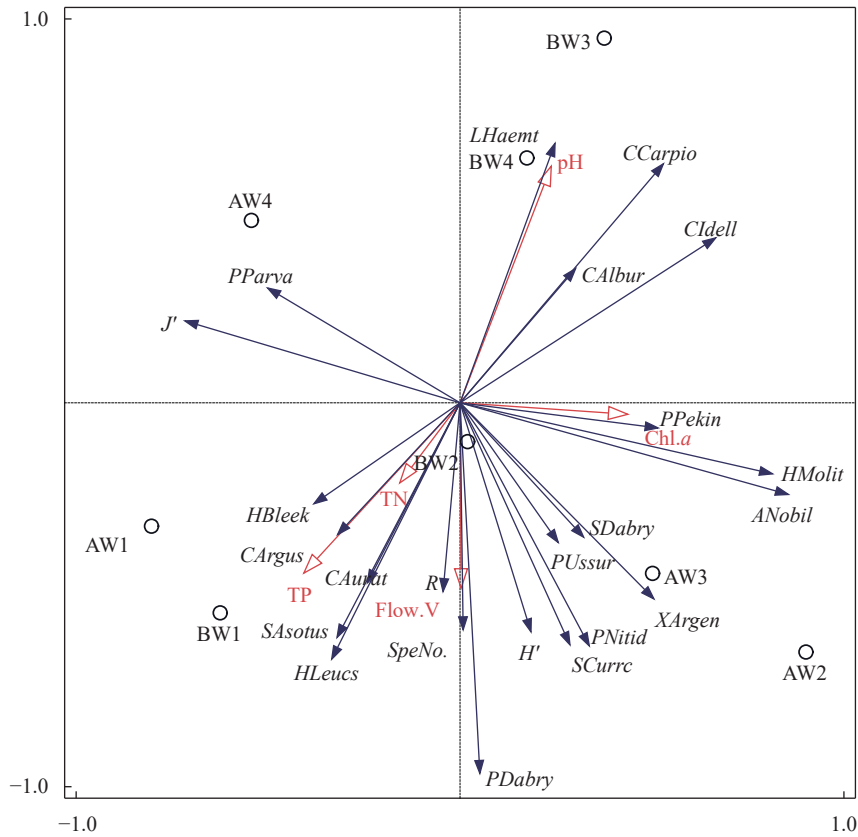


图4 物种信息与环境变量之间RDA排序图

Fig. 4 RDA ordination of species information and environmental factors of each sampling section

表7 黄河各省河段调查关键结果对比

Tab. 7 Comparison of key results of the Yellow River reach survey in different provinces

黄河河段 Section of Huang River	调查时间 Time	方法 Method	物种数 Species No.	稀有、特有鱼类 Rare and endemic species	优势种 IRI>1000	环境因子 Environmental factor
宁蒙段Ningxia section ^[1]	2019年4月、7月、 10月	刺网、笼壶、走访	26	瓦氏雅罗鱼	鲤、鲫、瓦氏 雅罗鱼	—
山西段Shanxi section ^[2]	2011年6月、8月	电捕、笼壶	42	彩石鲂	鲤、鲂、鲫、麦穗 鱼	—
陕西段Shaanxi section ^[3]	2013—2015每季度	电捕、刺网、网箔	58	兰州鲂	鲤、鲂、鲫、鲮	—
河南段Henan section ^[4]	2010年夏季、 2011年夏季	刺网、电捕、走访	39	—	鲫、鲂、黄颡鱼、 鲮	—
河口Estuary ^[9]	2013年6—8月	底拖网	53	松江鲈	矛尾虾虎鱼、 短吻红舌鲷	径流量、营养盐
山东段Shandong section	201—2021年6月、 7月	刺网、笼壶、走访	59	刀鲚、大鼻吻鲈	鲫、鳊、鲤、 赤眼鲮	径流量、总磷

河东明段较为明显, 主要种类是鳊、鲮、赤眼鲮、红鳍原鲮等中上层鱼。此外, 由于6月份是鲮、鲮的繁殖期, 大量亲体回溯到河口附近进行产卵是其成为优势种的主要原因。(2)对群落结构影响。从种类及群落相似性的结果分析, 东阿断面调水调沙后的种类数增加了13种, 相似性指数最低(0.59)属中等相似水平, 鄄城断面距离小浪底水库最近, 相似性指数为0.65, 而距小浪底水库较远的高青断面(0.75)和垦利段面(0.84)为极相似, 聚类分析结果表明, 调水调沙后东阿站位较其他站位有显著性差异。由此可见, 黄河山东段鱼类群落结构对调水调沙的响应存在空间异质性, 产生上述结果主要原因是跟随调水调沙而来的大量鱼群在水流较缓、饵料丰富、含沙量较低的东平湖与黄河的缓冲连接处栖息。受益于近年来黄河径流量的稳定化、常态化, 此处之前干涸的河段现已水量丰沛, 形成河湾(以下简称庞口湾), 为鱼类提供了天然的栖息庇护场所, 少数种类会随调水至下游断面。另一方面东平湖不定期开闸放水, 不仅丰富了庞口湾的饵料生物, 而且为诸如刀鲚等鱼类进入黄河提供了环境条件, 丰富了黄河鱼类多样性。(3)对鱼类多样性的影响。对黄河山东段多样性指数的分析表明, 调水前 H' 、 R 显著低于调水后($0.01 < P < 0.05$), J' 差异不显著($P > 0.05$)。 H' 、 R 增幅最大的为H2站位, 原因同上所述, 饵料丰富、水流较缓、含沙量较低的庞口湾成为了鱼类调水调沙后的主要栖息地。但值得注意的是调水调沙后黄河山东段多样性较显著提高是由于鱼类种类及数量的外源性输入使多样性指数增加, 而不是基于黄河山东段栖息地保护和水环境质量改善, 亦无法证明黄河山东段鱼类群落的多样性对调水调沙的积极响应。(4)主要环境影响因子。RDA结果表明TP、Flow.V是最主要环境影响因子, 这也与陈宁对黄河口调查结果相同^[10]。pH虽然贡献率较高, 但主要是因为与鲮的关联性较强, 此外分析还表明鄄城、东阿站位的群落结构特征及多样性指数对调水调沙响应程度高于高青、垦利站位。综上所述, 调水调沙对黄河山东段鱼类群落结构空间格局影响较为明显但空间尺度有限, 主要原因是黄河中游跟随调水调沙径流而来的鱼类选择含沙量低、饵料生物丰富的庞口湾附近作为栖息地聚集, 只有少量鱼类随径流去往庞口湾下游水域。

本文讨论了调水调沙对黄河山东段鱼类群落结构及多样性影响并分析了主要影响因子, 但尚有以下问题需深入研究。首先受限于黄河资源调查条件较为有限, 部分站位和航次调查渔获物较少, 本文将2019—2021年调水调沙前后的调查数据分

别进行汇总分析, 此种处理方式平滑了时空变动特征, 在下一步的研究中应采取对调水调沙前后连续多次密集采样以更准确地评价对鱼类群落影响的实时性。其次, 调水调沙的主要功能是清淤减沙, 调度期间对下游河段鱼类影响体现在定居性鱼类、河海洄游性鱼类(刀鲚)和河口性鱼类(鲮、鲮、中国花鲈)的影响可能来自于水文情势季节性的变化, 下一步需聚焦其生活史及洄游生态学方面的研究以更好地判断调水调沙对此种鱼类的影响。最后, 调水调沙一方面通过鱼类外源性输入丰富了栖息地多样性, 另一方面泥沙含量增加也使部分河段产生“流鱼”现象, 此类影响也需更有针对性调查和细致地采样设计。

3.3 黄河山东段渔业资源保护建议

总体而言, 与20世纪80年代^[22]数据相比, 黄河山东段鱼类多样性指数下降是黄河流量不稳定并偶有断流、水质污染、水坝修建导致栖息地破坏等多因素影响的结果, 本研究针对鱼类多样性保护拟提出以下建议: (1)开展庞口湾栖息地环境修复。东平湖是黄河下游唯一湖泊, 历史上是刀鲚等鱼种的重要产卵场, 但现阶段东平湖与黄河联通被水闸阻断, 鱼类无法正常进入东平湖。这更加凸显了庞口湾的重要性, 有关部门应加强对庞口湾的渔业管理, 取缔一切捕捞活动, 进行水生植物、湿地修复, 加大对黄河下游唯一的鱼类栖息地的保护力度, 恢复东平湖历史上作为黄河鱼类重要产卵场及黄河山东段“一通道”的生态地位。(2)加强对稀有物种和特有物种的保护研究。《黄河高质量发展和生态保护规划纲要》中提到土著鱼类、濒危鱼类的保护问题, 根据项目组多年来对黄河山东段鱼类监测调查, 黄河消失已久的刀鲚再次出现在黄河干流, 基于耳石微化学的分析显示黄河刀鲚生活史较为复杂^[23], 是否形成洄游种群, 东平湖及附近水域能否再次成为刀鲚洄游的产卵场是下一步研究重点。此外项目组历史上首次发现鲮可以上溯到鄄城河段, 有关鲮的早期生活史、产卵场的调查也应纳入研究。(3)科学调度黄河径流量。水量充沛为黄河山东段鱼类群落稳定、多样性丰富提供了基础及必要的环境条件, 历史上黄河断流的屡次发生, 给鱼类摄食、洄游等生态习性造成极大危害。汛期防洪的同时政府相关部门应建立联动机制尽可能更科学地调度黄河山东段流量, 为保护鱼类多样性、优化群落结构提供良好的外部条件。

参考文献:

- [1] Liu X F, Li K S, Gao H W, *et al.* Research and protective

- strategy of the fishery resource in Ningxia-Neimeng River reach of Yellow River Trunk Stream [J]. *Journal of Hydroecology*, 2010, **31**(4): 135-141. [刘晓锋, 李科社, 高宏伟, 等. 黄河干流宁蒙段渔业资源调查及保护对策 [J]. 水生态学杂志, 2010, **31**(4): 135-141.]
- [2] Cui S L, Li L H, Hu Z P, *et al.* The fish species composition and community structure in Shanxi section of the mainstream Yellow River [J]. *Chinese Journal of Fisheries*, 2013, **26**(5): 30-34. [崔松林, 李利红, 胡振平, 等. 黄河干流山西段鱼类组成及群落结构分析 [J]. 水产学杂志, 2013, **26**(5): 30-34.]
- [3] Wang Y C, Shen H B, Zhang J Y, *et al.* Species composition and community diversity of fishes in Shaanxi section of Yellow River mainstream [J]. *Freshwater Fisheries*, 2017, **47**(1): 56-60. [王益昌, 沈红保, 张军燕, 等. 黄河干流陕西段鱼类种类组成及群落多样性 [J]. 淡水渔业, 2017, **47**(1): 56-60.]
- [4] Lü B B, Yang X Z, Wang X C, *et al.* The current fishery resources status of Xiaolangdi to estuary reach in mainstream of Yellow River and its protection measures [J]. *Journal of Hydroecology*, 2012, **33**(3): 73-79. [吕彬彬, 杨兴中, 王晓臣, 等. 黄河小浪底至入海口渔业资源现状与保护对策研究 [J]. 水生态学杂志, 2012, **33**(3): 73-79.]
- [5] Chen N, Yang Y Y, Wei Z H, *et al.* Composition and distribution of fishery resources before and after the water and sediment discharge regulation in the Yellow River estuary [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2017, **24**(5): 953-962. [陈宁, 杨艳艳, 魏振华, 等. 调水调沙前后黄河口渔业资源结构变化 [J]. 中国水产科学, 2017, **24**(5): 953-962.]
- [6] Zheng L, Lü Z B, Li F, *et al.* Fish community structure in the Yellow River estuary: Effect of water and sediment discharge regulations [J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2014, **21**(3): 602-610. [郑亮, 吕振波, 李凡, 等. 调水调沙期间黄河口海域鱼类群落结构特征 [J]. 中国水产科学, 2014, **21**(3): 602-610.]
- [7] Wang J, Xu B D, Ren Y P, *et al.* Size spectrum of fish community and its seasonal change in the Yellow River Estuary and its adjacent waters [J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2016, **46**(7): 44-53. [王晶, 徐宾铎, 任一平, 等. 黄河口及邻近水域鱼类群落长度谱及其季节变化 [J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2016, **46**(7): 44-53.]
- [8] Lin P C, Li S Z, Qin X C, *et al.* Pattern of fish diversity and assemblage structure in the middle and lower reaches of the Yiluo River [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2019, **31**(2): 482-492. [林鹏程, 李淑贞, 秦祥朝, 等. 黄河伊洛河中下游鱼类多样性及群落结构 [J]. 湖泊科学, 2019, **31**(2): 482-492.]
- [9] Shen Y Q, Zhang X K, Zhao W H, *et al.* Riparian plants in the mainstream of the Yellow River: Assemblage characteristics and its influencing factors [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2011, **35**(1): 51-66. [沈亚强, 张晓可, 赵伟华, 等. 黄河干流河岸带植物群落特征及其影响因子分析 [J]. 水生生物学报, 2011, **35**(1): 51-66.]
- [10] Wang H J, Wang H Z, Zhao W H, *et al.* Regulation of sediment and hydrological process on ecological health of the Yellow River [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2016, **40**(5): 1003-1011. [王海军, 王洪铸, 赵伟华, 等. 河流泥沙及水流对黄河生态健康的调节作用 [J]. 水生生物学报, 2016, **40**(5): 1003-1011.]
- [11] Cheng Q T, Zhou C W. *Shandong Fishes* [M]. Jinan: Shandong Science and Technology Press, 1997. [成庆泰, 周才武. 山东鱼类志 [M]. 济南: 山东科学技术出版社, 1997.]
- [12] Cai W X, Zhang J J, Wang S W. *Map of fishes in the Yellow River Basin* [M]. Xi'an: Northwest A & F University Press, 2013. [蔡文仙, 张建军, 王守文. 黄河流域鱼类图志 [M]. 西安: 西北农林科技大学出版社, 2013.]
- [13] Editorial Board of "Monitoring and Analysis Methods of Water and Wastewater", Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China ed. *Monitoring and Analysis Methods of Water and Wastewater: fourth edition*. Beijing: China Environmental Science Press, 2002: 243-285. [国建环境保护总局《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法: 第4版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002: 243-285.]
- [14] Jaccard, P. Distribution de la flore alpine dans le bassin des Dranses et dans quelques régions voisines [J]. *Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles*, 1901(37): 547-579.
- [15] Pinkas L, Oliphant M S, Iverson I L K. Food habits of albacore, bluefin tuna and boniton California waters [J]. *The Resources Agency Department of Fish and Game Fish Bulletin*, 1971(152): 1-105.
- [16] Ren Y P. *Fisheries Resource Biology* [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2019. [任一平. 渔业资源生物学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2019.]
- [17] Clarke K R, Ainsworth M. A method of linking multivariate community structure to environmental variables [J]. *Marine Ecology Progress Series*, 1993, **34**(92): 205-219.
- [18] Clarke K R, Warwick R M. *Changes in Marine Communities: an Approach to Statistical Analysis and Interpretation* [M]. Plymouth: PRIMER-E Ltd, 2001.
- [19] Clarke K R. Nonparametric multivariate analyses of changes in community structure [J]. *Australian Journal of Ecology*, 1993, **56**(18): 117-143.
- [20] Smilauer P, Lep J. *Multivariate Analysis of Ecological Data Using CANOCO* [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2003.
- [21] Ru H J, Wang H J, Zhao W H, *et al.* Fishes in the mainstream of the Yellow River: assemblage characteristics and historical changes [J]. *Biodiversity Science*, 2010, **18**(2): 169-176. [茹辉军, 王海军, 赵伟华, 等. 黄河干流

- 鱼类群落特征及其历史变化 [J]. 生物多样性, 2010, 18(2): 169-176.]
- [22] He Z H. Fishery Resources in Yellow River System [M]. Shenyang: Liaoning Science and Technology Publishing House, 1986. [何志辉. 黄河水系渔业资源 [M]. 沈阳: 辽宁省科学技术出版社, 1986.]
- [23] Cong X R, Li X Q, Dong G C, *et al.* Preliminary investigations on *Coilia nasus* from the Kenli section of the Huanghe River based on otolith microchemistry [J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2022, 43(1): 31-37. [丛旭日, 李秀启, 董贯仓, 等. 基于耳石微化学的黄河垦利段刀鲚生活史初步研究 [J]. *渔业科学进展*, 2022, 43(1): 31-37.]

FISH COMMUNITY PATTERN AND DIVERSITY AFFECTED BY WATER AND SEDIMENT REGULATION IN SHANDONG SECTION OF THE YELLOW RIVER

CONG Xu-Ri^{1,2,3}, LI Xiu-Qi^{1,2}, DONG Guan-Cang^{1,2}, SUN Lu-Feng^{1,2}, KE Han^{1,2} and REN Yi-Ping³

(1. Shandong Freshwater Fisheries Research Institute, Jinan 250013, China; 2. Scientific Observing and Experimenta Station of Fishery Resources and Environment in the Lower Reaches of the Huang River, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Jinan 250117, China; 3. College of Fisheries, Ocean University of China, Qingdao 266003, China)

Abstract: To practice the ecological conservation and high-quality development of the Yellow River Basin, the species composition, biomass, dominant species, biodiversity and environmental factors were surveyed at 4 sampling sections in Shandong section of the Yellow River before and after water and sediment regulation (WSR) in June and July by multi-mesh composite gillnets and ground cage nets. The results showed that 59 fish species, belonging to 9 orders and 19 families were collected in Shandong section. The dominant species changed non-significant before and after water diversion. However, there were significant differences between Shannon-wiener index ($0.01 < P < 0.05$) and the Margalef index, but Pielou index showed no significant difference ($P > 0.05$). Cluster analysis showed that all sections could be divided into four groups when the similarity level was 60%, among which the Dong'e (AW2) section displayed strong difference after WSR. Furthermore, RDA analysis indicated that velocity and TP were the main factors affecting community structure. Based on the results, we found that the species number and Shannon-Wiener index significant increased in Shandong section of the Yellow River over the past decade. This positive trend was attributed to fish following the water and sediment regulation and residing in the area between Dongping Lake and the Yellow River, characterized by slow flowing water, abundant baits, and low sediment content. Additionally, the stabilization and normalization of the Yellow River runoff had transformed previously dry section into habitats rich in water, effectively forming a river inlet for fish. Moreover, the irregular opening of the sluice in Dongping Lake not only enriched the bait species in Pangkou Inlet, but also provided a path for fish, such as *Coilia nasus*, to enter the Yellow River. In view of the fish community structure and diversity in Shandong section of the Yellow River, this study recommends implementing environmental restoration in Pangkou Inlet, enhancing the protection of rare species, conducting research on endemic species, maintaining stability of the Yellow River runoff and optimizing flow management in Shandong section of the Yellow River to ensure a more scientifically guided approach.

Key words: Shandong section of the Yellow River; Water and sediment regulation; Fish community; Diversity; Environmental factors

附表 S1 黄河山东段鱼类名录

Appendix S1 Fish species recorded in Shandong section of the Yellow River

种类 Species	生态类型 Ecological guilds	H1		H2		H3		H4		
		BW	AW	BW	AW	BW	AW	BW	AW	
鲤形目Cypriniformes										
鲤科Cyprinidae										
鲃亚科Culterinae										
翘嘴鲌 <i>Culter alburnus</i>	V, C, U	+	+	+	+	+	+	+	+	
红鳍原鲌 <i>Culterichthys erythropterus</i>	V, C, U	+	+	+	+	+	+	+	+	
达氏鲌 <i>Culter dabryi</i>	V, C, U		+		+	+				
鲮 <i>Hemiculter leucisculus</i>	D, O, U	+	+	+	+	+	+	+	+	
贝氏鲮 <i>Hemiculter bleekeri</i>	D, O, U	+	+	+	+	+	+	+	+	
似鲮 <i>Toxabramis swinhonis</i>	D, O, U		+							
团头鲂 <i>Megalobrama amblycephala</i>	V, H, L			+			+			
鲂 <i>Megalobrama skolkovii</i>	V, H, L		+	+	+		+		+	
鳊 <i>Parabramis pekinensis</i>	S—P, H, L	+	+	+	+	+	+	+	+	
寡鳞瓢鱼 <i>Pseudolaubuca sinensis</i>	S—P, O, U		+							
鲤亚科Cyprininae										
鲫 <i>Carassius auratus</i>	V, O, De	+	+	+	+	+	+	+	+	
鲤 <i>Cyprinus carpio</i>	V, O, De	+	+	+	+	+	+	+	+	
雅罗鱼亚科Leuciscinae										
赤眼鲮 <i>Squaliobarbus curriculus</i>	S—P, O, U	+	+	+	+	+	+	+	+	
青鱼 <i>Mylopharyngodon piceus</i>	S—P, O, De		+							
草鱼 <i>Ctenopharyngodon idellus</i>	S—P, H, L	+	+		+		+	+	+	
鲢亚科Hypophthalmichthyinae										
鲢 <i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	S—P, H, U	+	+	+	+	+	+	+	+	
鳙 <i>Hypophthalmichthys nobilis</i>	S—P, H, U	+	+	+	+	+	+	+	+	
鮡亚科Gobioninae										
麦穗鱼 <i>Pseudorasbora parva</i>	D, O, L	+	+	+	+	+	+	+	+	
棒花鱼 <i>Abbottina rivularis</i>	D, O, De	+	+	+	+	+	+	+	+	
红鳍鲮 <i>Sarcocheilichthys sciistius</i>	D, O, L			+						
蛇鮡 <i>Saurogobio dabryi</i>	S—P, O, L	+	+	+	+				+	
花鲮 <i>Hemibarbus maculatus</i>	V, O, De	+	+	+	+					
大鼻吻鮡 <i>Rhinogobio nasutus</i>	D, C, De				+					
银鮡 <i>Squalidus argentatus</i>	S—P, O, L				+					
鳅鲇亚科Gobiobotinae										
平鳍鳅鲇 <i>Gobiobotia homalopteroidea</i>	S—P, C, De				+					
鲮亚科Acheilognathinae										
高体鲮 <i>Rhodeus ocellatus</i>	D, O, U	+	+	+	+	+	+	+	+	
中华鲮 <i>Rhodeus sinensis</i>	D, O, U	+	+	+	+	+	+	+	+	
大鳍鲮 <i>Acheilognathus macropterus</i>	D, O, U		+	+	+					
兴凯鲮 <i>Acheilognathus chankaensis</i>	D, O, U			+	+					
鲴亚科Xenocyprinae										
似鳊 <i>Pseudobrama simoni</i>	Pe, H, L	+	+	+	+	+	+	+	+	
银鲴 <i>Xenocypris macrolepis</i>	S—P, H, L			+	+					
鳅科Cobitidae										
泥鳅 <i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	D, O, De	+	+	+	+	+	+	+	+	
大鳞副泥鳅 <i>Paramisgurnus dabryanus</i>	D, O, De	+	+	+	+	+	+	+	+	
花斑副沙鳅 <i>Parabotia fasciata</i>	D, O, De				+					

续表 S1

种类 Species	生态类型 Ecological guilds	H1		H2		H3		H4	
		BW	AW	BW	AW	BW	AW	BW	AW
紫薄鳅 <i>Leptobotia taeniops</i>	D, O, De				+				
鲇形目Siluriformes									
鲿科Bagridae									
黄颡鱼 <i>Tachysurus sinensis</i>	D, O, De		+		+	+		+	+
光泽黄颡鱼 <i>Tachysurus nitidus</i>	D, O, De	+	+	+	+	+	+	+	+
乌苏里拟鲿 <i>Tachysurus ussuriensis</i>	D, O, De		+		+		+		
鲇科Siluridae									
鲇 <i>Silurus asotus</i>	D, C, L	+	+	+	+	+	+	+	+
胡鲶科Clariidae									
尖齿胡鲶 <i>Clarias gariepinus</i>	D, C, L		+						
鲱形目Clupeiformes									
鲱科Engraulidae									
刀鲚 <i>Coilia nasus</i>	Pe, C, U			+	+				
鲑形目Salmoniformes									
胡瓜鱼科Osmeridae									
池沼公鱼 <i>Hypomesus olidus</i>	V, C, L		+						
银鱼科Salangidae									
太湖新银鱼 <i>Neosalanx taihuensis</i>	D, C, U				+				
中国大银鱼 <i>Protosalanx chinensis</i>	D, C, U				+		+		
鲴形目Mugiliformes									
鲴科Mugilidae									
鲃 <i>Liza haematocheilus</i>	Pe, O, U			+	+	+	+	+	+
鲴 <i>Mugil cephalus</i>	Pe, O, U					+		+	+
鲈形目Perciformes									
真鲈科Percichthyidae									
中国花鲈 <i>Lateolabrax maculatus</i>	V, C, U							+	+
鳊科Channidae									
乌鳊 <i>Channa argus</i>	Pe, C, De	+	+	+	+		+	+	+
沙塘鳊科Odontobutidae									
小黄鲷鱼 <i>Micropercops cinctus</i>	D, C, De	+	+	+	+	+	+	+	+
河川沙塘鳊 <i>Odontobutis potamophila</i>	V, C, De				+				
斗鱼科Belontiidae									
圆尾斗鱼 <i>Macropodus ocellatus</i>	Pe, C, U				+				
鳅科Siniperacidae									
翘嘴鳊 <i>Siniperca chuatsi</i>	S—P, C, U				+		+		
虾虎鱼科Gobiidae									
子陵吻虾虎鱼 <i>Rhinogobius similis</i>	D, C, De	+	+	+	+	+	+	+	+
波氏吻虾虎鱼 <i>Rhinogobius cliffordpopei</i>	D, C, De				+				
鲷形目Cyprinodontiformes									
青鳉科Oryziatidae									
青鳉 <i>Oryzias latipes</i>	D, O, U				+				
合鳃目Symbranchiformes									
刺鳅科Mastacembelidae									
中华刺鳅 <i>Sinobdella sinensis</i>	D, C, De	+	+	+	+				
合鳃鱼科Synbranchidae									
黄鳝 <i>Monopterus albus</i>	D, C, De		+		+				

续表 S1

种类 Species	生态类型 Ecological guilds	H1		H2		H3		H4	
		BW	AW	BW	AW	BW	AW	BW	AW
颌针鱼目 Beloniformes									
鱚科Hemiramphidae									
间下鱚 <i>Hyporhamphus intermedius</i>	D, C, U				+				
鳗鲡目 <i>Anguilliformes</i>									
鳗鲡科 <i>Anguillidae</i>									
日本鳗鲡 <i>Anguilla japonica</i>	D, C, De				+				

注: D. 沉性卵; V. 黏性卵; Pe. 浮性卵; S—P. 漂流性卵; C. 肉食性; O. 杂食性; H. 植食性; U. 中上层; L. 中下层; De. 底栖

Note: D. deposit egg; V. viscid egg; Pe. pelagic egg; S—P. semi—pelagic egg; C. carnivore; O. omnivore; H. herbivore; U. up-per; L. lower; De. eemersal