

DOI: 10.12264/JFSC2024-0286

黄河河南段鱼类群落多样性现状

方冬冬¹, 惠筠¹, 张清清¹, 贺海战¹, 马超¹, 张栋华¹, 李应南¹, 刘德中²

1. 河南省水产科学研究院, 河南 郑州 450044;

2. 淅川县水产服务中心, 河南 南阳 474465

摘要: 为了解黄河河南段鱼类群落结构组成、多样性及其与水环境因子的关系, 2022 年的 4 月(春季)、2023 年的 6 月(夏季)、10 月(秋季), 2024 年的 1 月(冬季)在黄河河南段 10 个河段(弘农涧河口、青龙涧河口、南村、拴马村、桐树岭、伊洛河口、柳园口、恼里、天然文岩渠口、金堤河口)开展鱼类和环境因子调查。定量分析了鱼类群落结构特征、时空分布格局及其与环境因子的关系。研究期间共采集鱼类 16556 尾, 隶属于 5 目 15 科 40 属 47 种。其中国家二级保护鱼类 1 种, 外来鱼类 5 种, 分别占总种类数的 2.1%和 10.6%。相对重要性指数(IRI)显示, 鲃、子陵吻虾虎、鲤、似鲃、鲢、鳙等中小型鱼类为优势种。平均 Margalef 丰富度指数为 3.01 ± 0.68 , 平均 Pielou 均匀度指数为 0.56 ± 0.16 , 平均 Shannon-Wiener 多样性指数为 2.49 ± 0.77 。丰度/生物量比较曲线表明南村、桐树岭、恼里、金堤河口河段的鱼类群落结构相对稳定; 弘农涧河口、青龙涧河口、拴马村、伊洛河口、柳园口、天然文岩渠口河段鱼类群落结构受人类活动干扰严重。Cluster 和 NMDS 分析结果表明, 黄河河南段鱼类群落结构可划分为 3 个类群, 弘农涧河口、青龙涧河口为一类群; 恼里、天然文岩渠口、金堤河口、南村、伊洛河口、柳园口为一类群; 拴马村、桐树岭为一类群。RDA 分析结果显示, 高锰酸盐指数(COD_{Mn})和悬浮物(SS)是影响黄河河南段鱼类群落结构差异的主要环境因子。研究表明, 与历史资料相比, 黄河河南段的鱼类群落结构发生了明显的变化, 外来物种有所增加, 土著鱼类有所减少, 鱼类个体趋于小型化、低龄化。

关键词: 黄河河南段; 鱼类群落结构; 物种多样性; 环境因子; 空间分布

中图分类号: S931

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2025)04-551-17

黄河河南段西起灵宝市, 东至台前县, 流经三门峡、洛阳、济源、郑州、焦作、新乡、开封、濮阳 8 个地级市 28 个县(区), 流域面积达 $3.62 \times 10^4 \text{ km}^2$, 河道总长 711 km^[1]。该区域气候温和, 四季分明, 支流众多, 湿地发育良好, 为众多湿地物种提供了良好的栖息场所, 其中省级湿地保护区 3 处, 国家级湿地保护区 2 处, 国家级水产种质资源保护区 3 处。从生态保护的角度来看, 黄河河南段作为物种保护的关键区域, 对整个黄河流域的生态保护具有重要的意义^[2]。

黄河经河南段由山区进入平原, 河道变宽, 水流较缓, 泥沙沉积严重, 河床不断抬高, 黄河下游绵延数千里的防洪堤和控导工程的建设使得

黄河的水文、水环境趋于单一化, 生境多样性丧失; 三门峡大坝和小浪底大坝的建设破坏了河流的连通性, 损害了河流生态的完整性; 黄河每年的水沙调控导致中下游“流鱼”现象严重, 对黄河水生生物资源及其栖息地造成了严重的影响^[3]。近年来, 中原城市群的崛起导致大量生活污水和工业废水排入黄河, 致使水环境污染现象严重, 加剧了鱼类等水生生物生境的恶化; 过度捕捞、非法捕捞现象层出不穷, 渔业资源锐减, 资源量不断下降^[4]。综上所述, 自然和人为因素的影响势必会对鱼类多样性、鱼类群落结构等造成影响。然而, 目前关于黄河河南段鱼类的研究多集中在鱼类资源现状、产卵场调查、鱼类区系组成等方

收稿日期: 2024-11-18; 修订日期: 2025-02-15.

基金项目: 农业农村部财政专项“黄河渔业资源与环境调查”项目(HHDC-2022).

作者简介: 方冬冬(1991-), 男, 助理研究员, 研究方向为渔业资源保护与利用. E-mail: fangdong19910111@126.com

通信作者: 惠筠, 副研究员, 研究方向为渔业资源与生态环境保护. E-mail: 1209366082@qq.com

面。如介子林等^[5]对黄河河南段的鱼类资源现状进行了总结并提出了相应的管理措施;屈长义等^[6]对黄河流域河南段的鱼类区系的组成进行了总结分析,补充了部分海河亚区的属种分布;惠筠等^[7]对黄河河南段非漂流性卵鱼类的产卵场进行了调查,发现了鱼类规模产卵场共有 30 处,并提出了具体的保护措施。关于该流域鱼类群落结构、多样性水平以及环境因子对鱼类群落结构的影响等,仍缺乏科学全面具体的认识。

《中华人民共和国黄河保护法》和《黄河高质量发展和生态保护规划纲要》的颁布赋予了黄河生态保护新的历史地位,鉴于黄河河南段的鱼类的基础资料相对匮乏,本研究基于 2022—2024 年春、夏、秋、冬四季的鱼类和水环境调查数据,分

析了黄河河南段的鱼类群落结构及多样性的整体现状,探讨了环境因子对鱼类群落结构的影响,以为黄河河南段的鱼类资源保护和管理提供基础数据,为黄河流域的高质量发展提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域

本研究选取黄河河南段三门峡水库的弘农涧河口(HNJHK)、青龙涧河口(QLJHK),小浪底水库的南村(NC)、拴马村(SMC)、桐树岭(TSL),黄河干流的伊洛河口(YLHK)、柳园口(LYK)、恼里(NL)、天然文岩渠口(TRWYQK)、金堤河口(JDHK)等 10 个调查河段(图 1)进行鱼类等样品的采集。

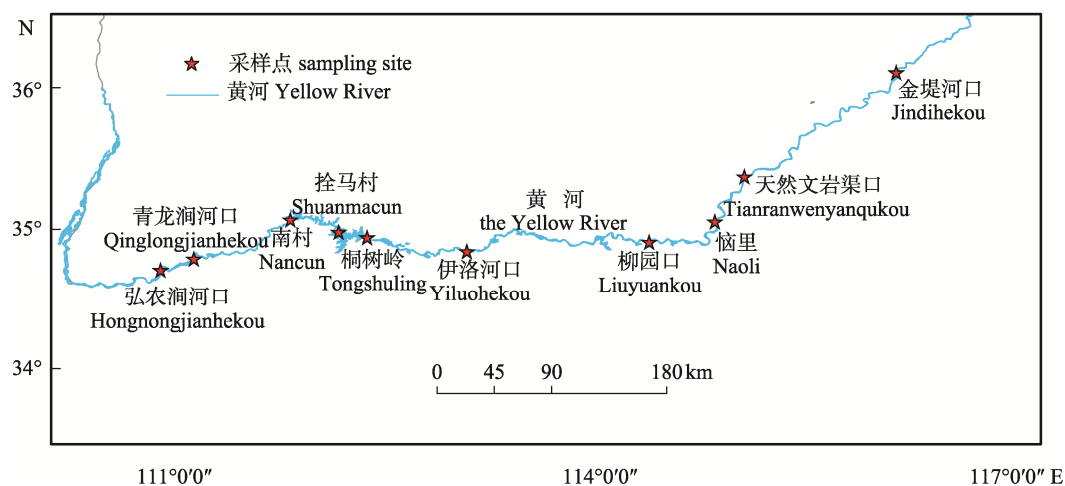


图 1 黄河河南段鱼类采样点分布图

Fig. 1 Distribution map of fish sampling sites in the Henan section of the Yellow River

1.2 数据的获取

1.2.1 样品采集 在 2022 年的 4 月(春季)、2023 年的 6 月(夏季)、10 月(秋季), 2024 年的 1 月(冬季)进行了 4 次的调查,每个样点均使用三层复合定置刺网和定置串联地笼进行调查,其中定置刺网包括 5 种规格,分别为 2 cm、4 cm、6 cm、8 cm、10 cm,网高 2 m,网长 100 m,地笼(长 7 m、网目 1 cm、高 0.4 m)。每个样点均放置 5 条三层复合刺网和 3 条定置串联地笼,地笼主要放置在岸边的浅水区。每天作业时间为 12 h (18:00 至次日 6:00)。调查期间对获得的渔获物鉴定到种,鱼类

鉴定方法参照《河南鱼类志》^[8]、《中国动物志·鲤形目(中卷)》^[9]和《黄河鱼类志》^[10],对于不能现场鉴定的鱼类样本用 5%~10%的福尔马林溶液固定,标明捕捞时间和地点,带回实验室后再进行种类的鉴定。在对所有渔获物进行生物学测量时,体长测量精确到 1 mm,体重测量精确到 0.1 g。

1.2.2 水环境因子调查 水体理化指标包括 pH、水温、溶解氧、固体悬浮物、总氮、总磷、高锰酸盐指数、重金属铬、铜、铅、镉。其中, pH、水温、溶解氧利用手持 YSI 所参数水质分析仪(YSI ProPlus)现场测定。其他水质参数通过样品

采集低温送至实验室, 48 h 内参照《水和废水分析检测方法》^[11]测定(表 1)。

1.3 数据分析

1.3.1 物种多样性 采用 Shannon-Wiener 多样性指数(H)、Margelef 种类丰富度指数(D)、Pielou 均匀度指数(E)^[12], 分析黄河河南段鱼类生物多样性指数。各计算公式:

$$H = -\sum_{i=1}^S (n_i/N) \ln(n_i/N)$$

$$D = \frac{S-1}{\ln S}$$

$$E = \frac{H}{\ln S}$$

式中, n_i 为第 i 个物种个体数量, N 为群落中所有物种个体数量, S 为群落中物种种类数量。

1.3.2 群落优势种 采用 Pinkas 相对重要指数(index of relative importance, IRI)对每个采样位点的鱼类群落优势种进行计算^[13], 其计算公式:

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

式中, N 为渔获物中某物种的数量占总数量的百分比, W 为某物种的重量占总重量的百分比, F 为某种鱼类的出现频率。鱼类在群落中的重要性根据 IRI 来判定: $IRI \geq 1000$ 为优势种, $100 \leq IRI < 1000$ 为重要种, $10 \leq IRI < 100$ 为常见种, $1 \leq IRI < 10$ 为一般种, $IRI < 1$ 为稀有种。

1.3.3 生态类型划分 对采集到的鱼类进行生态类型划分, 按其迁移的习性不同可分为定居型、江海洄游性和江湖洄游型 3 种类型; 按其食性不同可划分为杂食性、肉食性和植食性 3 种类型; 按其产卵类型划分为黏性卵、喜贝性产卵、漂流性卵 3 种类型^[14]。

1.3.4 鱼类群落稳定性与受干扰程度 通过 ABC 曲线可以判断水生生物群落的栖息环境质量, W 的统计范围为 $-1 \sim 1$ 。当 $W > 0$ 时, 生物量曲线在丰度曲线上方, 群落的优势种是 1 种或几种大个体的种类, 群落受到的扰动较小; 当 $W < 0$ 时, 生物量曲线在丰度曲线下方, 群落优势种是 1 种或几种小个体的种类, 群落受到较大的扰动; 当生物量曲线和丰度曲线相交, 该群落受到中度扰动^[15]。ABC 曲线计算公式为:

$$W = \sum_{i=1}^S \frac{B_i - A_i}{50 \times (S-1)}$$

式中, B_i 和 A_i 分别为 ABC 曲线中第 i 种鱼类对应的生物量和数量的累积百分比, S 为出现的物种数。ABC 曲线采用 Primer 6.0 软件完成。

1.3.5 群落结构相似性分析 根据不同站点鱼类相对丰度数据建立矩阵, 其中横坐标为种类, 纵坐标为站点。以 Bray-Curtis 相似性系数为基础构建相似性矩阵, 采用等级聚类的分类方法和非度量多维标度(non-metric multidimensional scaling, 简称 NMDS)的排序方法分别构建聚类分析图和 NMDS 图。NMDS 分析结果的优劣通过胁强系数(Stress)来衡量^[16]。分析过程使用 Primer 6.0 软件完成。

1.3.6 鱼类群落结构与环境因子的关系 对各样点鱼类相对多度数据进行除趋势对应分析(detrended correspondence analysis, DCA), 发现排序轴最大的梯度长度小于 3, 因此选择典范对应分析(redundancy analysis, RDA)比较适宜^[17]。在进行 DCA 和 RDA 分析前, 需剔除出现频率低于 5% 的鱼类, 以避免稀有种的干扰。为了优化分析, 对环境数据进行 $\lg(x+1)$ 转化, 剔除波动因子 > 20 的环境因子, 并在分析中降低稀有种的权重^[18]。在 RDA 分析过程中, 运用蒙特卡罗检验分析评价环境因子对鱼类群落变化影响的显著程度。上述分析过程在 Canoco 5.0 软件完成。

2 结果与分析

2.1 鱼类的组成及优势种

研究期间共采集鱼类 16556 尾, 隶属于 5 目、15 科、40 属、47 种, 其中鲤科鱼类 28 种, 占总种类数的 59.6%; 其次是鳊科鱼类 4 种, 占总种类数的 8.5%; 鳅科鱼类 3 种, 占总种类数的 6.4%; 胭脂鱼科、鮡科、刺鳅科、鲃科、虾虎鱼科、塘鳢科、鰕科、鲴科、鮠科、胡瓜鱼科、银鱼科、鱖科各 1 种, 共占总种类数的 25.5%。

在此次采集的鱼类中, 胭脂鱼(*Myxocyprinus asiaticus*)为国家二级保护野生动物^[19], 紫薄鳅(*Leptobotia taeniaps*)被列入《中国物种红色名

表 1 黄河河南段各点位环境因子

Tab. 1 Environmental factors for each site in the Henan section of the Yellow River											$\bar{x}\pm C$
环境因子 environmental factor	弘农涧河口 HNJHK	青龙涧河口 QLJHK	南村 NC	拴马村 SMC	桐树岭 TSL	伊洛河口 YLHK	柳园口 LYK	恼里 NL	天然文岩渠口 TRWYQK	金堤河口 JDHK	
水温/℃ WT	16.3±9.8	18.2±10.8	17.2±7.9	18.8±7.9	16.7±7.7	16.2±6.5	17±6.5	18.3±7.6	18±7.1	18.5±8.4	
pH	7.9±0.4	8±0.5	8±0.5	7.9±0.4	8.4±0.4	7.9±0.5	7.9±0.4	7.9±0.5	7.8±0.4	7.7±0.3	
溶解氧/(mg/L) DO	7.2±2.5	7±3.3	8.2±2.6	8.3±1.2	9.7±1.2	8.4±1.3	8.3±1.3	7.4±1.2	8.6±1	7.1±0.6	
总氮/(mg/L) TN	3.3±0.5	3.4±0.5	3.7±0.6	5.2±2.7	3.4±0.1	3.5±0.5	3.7±0.3	3.2±0.6	3.6±0.3	3.3±0.7	
总磷/(mg/L) TP	0.07±0.03	0.06±0.06	0.03±0.03	0.01±0.01	0.01±0.01	0.02±0.02	0.06±0.02	0.06±0.02	0.08±0.08	0.08±0.02	
高锰酸盐指数/(mg/L) COD _{Mn}	5.8±0.7	6.3±1.1	5.3±1	5.5±0.5	5.1±1	5.1±1	5.1±1.2	5.3±0.9	5.4±0.7	5.4±0.8	
悬浮物/(mg/L) SS	125±71.6	60±24.5	24.5±5.5	9.5±8.5	7.5±4.1	118.5±129.5	312.5±218.4	329.3±203.2	299.5±140.6	357.5±160.8	
铬(mg/L) Cr	0.03±0.02	0.01±0.01	0.02±0.03	0.05±0.07	0.02±0.02	0.03±0.03	0.03±0.02	0.03±0.02	0.04±0.02	0.01±0.01	
铜(mg/L) Cu	0.004±0.002	0.004±0.001	0.003±0.001	0.003±0.002	0.002±0.002	0.003±0.001	0.003±0.001	0.02±0.02	0.006±0.002	0.016±0.015	
铅(mg/L) Pb	0.005±0.002	0.004±0.001	0.002±0.001	0.003±0.001	0.002±0.001	0.002±0.001	0.002±0.001	0.006±0.006	0.005±0.003	0.005±0.002	
镉(mg/L) Cd	0.0006±0.0003	0.0036±0.0037	0.0005±0.0003	0.0003±0.00004	0.0001±0.00008	0.0004±0.0003	0.0001±0.0001	0.0005±0.0003	0.0004±0.0002	0.0004±0.00007	

录》^[20]和《中国濒危动物红皮书·鱼类》^[21]中, 评级为“易危”(VU)。梭鲈(*Sander lucioperca*)、斑点叉尾鮰(*Ictalurus punctatus*)、池沼公鱼(*Hypomesus olidus*)、大银鱼(*Protosalanx hyalocranius*)、间下鱈(*Hyporhamphus intermedius*)为外来种(表 2)。

鱼类生态类型划分其中植食性鱼类 5 种, 占总种类的 10.6%; 肉食性鱼类 18 种, 占 38.3%; 杂食性鱼类 24 种, 占 51.1%; 产黏性卵鱼类 24 种, 占 51.1%; 产漂流性卵鱼类 17 种, 占 36.2%; 喜贝性产卵鱼类 6 种, 占 12.7%; 定居性鱼类 41 种, 占 87.2%; 江湖洄游性鱼类 6 种, 占 12.8% (表 2)。

表 2 黄河河南段鱼类调查名录及生态类型

Tab. 2 List of fish species in the Henan section of the Yellow River and their ecological types

物种 species	生态类型 ecological type	弘农洞 河口 HNJHK	青龙洞 河口 QLJHK	南村 NC	拴马村 SMC	桐树岭 TSL	伊洛 河口 YLHK	柳园口 LYK	恼里 NL	天然文 岩渠口 TRWYQK	金堤 河口 JDHK
鲤形目 Cypriniformes											
鲤科 Cyprinidae											
鲃亚科 Cultrinae											
翘嘴鲃 <i>Culter alburnus</i>	C; Dr; R		+	+	+	+	+	+		+	+
红鳍原鲃 <i>Cultrichthys erythropterus</i>	C; V; R	+	+	+	+	+		+	+	+	+
鲮 <i>Hemiculter leucisculus</i>	O; V; R	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
鳊 <i>Parabramis pekinensis</i>	H; Dr; R	+	+	+	+	+	+	+	+		+
寡鳞鲈 <i>Pseudolaubuca engraulis</i>	O; V; R				+	+			+		
团头鲂 <i>Megalobrama amblycephala</i>	H; Dr; R								+		
银鲈 <i>Pseudolaubuca sinensis</i>	O; V; R				+			+			
贝氏鲮 <i>Hemiculter bleekeri</i>	O; V; R		+				+	+	+	+	+
鲴亚科 Xenocyprinae											
似鲴 <i>Pseudobrama simoni</i>	O; Dr; RL			+	+	+	+	+	+	+	+
鮡亚科 Gobioninae											
蛇鮡 <i>Saurogobio dabryi</i>	O; Dr; R			+	+		+	+	+	+	+
花鮡 <i>Hemibarbus maculatus</i>	O; V; R			+	+	+	+	+	+	+	+
麦穗鱼 <i>Pseudorasbora parva</i>	O; V; R	+	+	+	+		+	+	+	+	+
棒花鱼 <i>Abbottina rivularis</i>	O; V; R	+	+	+	+		+	+	+	+	+
银鮡 <i>Squalidus argentatus</i>	O; Dr; R	+						+	+	+	+
长体小鰾鮡 <i>Microphysogobio elongata</i>	O; Dr; R								+		
鲢亚科 Acheilognathinae											
彩石鲢 <i>Rhodeus lighti</i>	O; Hi; R									+	
兴凯鲢 <i>Acheilognathus chankaensis</i>	H; Hi; R	+	+				+	+	+	+	
大鳍鲢 <i>Acheilognathus macropterus</i>	O; Hi; R		+								
斑条鲢 <i>Acheilognathus taenianalis</i>	O; Hi; R						+	+			
彩副鲢 <i>Paracheilognathus imberbis</i>	O; Hi; R		+	+		+	+		+	+	
中华鲢 <i>Rhodeus sinensis</i>	O; Hi; R								+		
胭脂鱼科 Catostomidae											
胭脂鱼 <i>Myxocyprinus asiaticus</i>	O; Dr; RL			+							
鲢亚科 Hypophthalmichthyinae											
鲢 <i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	H; Dr; RL	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
鳙 <i>Hypophthalmichthys nobilis</i>	H; Dr; RL	+	+	+	+	+		+	+		+

(待续 to be continued)

(续表 2 Tab. 2 continued)

物种 species	生态类型 ecological type	弘农洞 河口 HNJHK	青龙洞 河口 QLJHK	南村 NC	拴马村 SMC	桐树岭 TSL	伊洛 河口 YLHK	柳园口 LYK	恼里 NL	天然文 岩渠口 TRWYQK	金堤 河口 JDHK
雅罗鱼亚科 Leuciscinae											
赤眼鳟 <i>Squaliobarbus curriculus</i>	O; Dr; RL	+	+	+	+			+	+	+	+
草鱼 <i>Ctenopharyngodon idella</i>	H; Dr; RL			+							+
□ 亚科 Danioinae											
马口鱼 <i>Opsariichthys bidens</i>	C; Dr; R			+			+	+			
鲤亚科 Cyprininae											
鲤 <i>Cyprinus carpio</i>	O; V; R	+	+	+	+	+		+	+	+	+
鲫 <i>Carassius auratus</i>	O; V; R	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
鲇科 Cobitidae											
花鲇亚科 Cobitinae											
泥鳅 <i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	O; V; R	+		+			+	+	+	+	
大鳞副泥鳅 <i>Paramisgurnus dabryanus</i>	O; V; R						+	+	+		+
沙鲇亚科 Botiinae											
紫薄鲇 <i>Leptobotia taeniaps</i>	C; Dr; R						+				
鲈形目 Perciformes											
鲈科 Serranidae											
鳊 <i>Siniperca chuatsi</i>	C; Dr; R										+
刺鲈科 Mastacembelidae											
中华刺鲈 <i>Mastacembelus sinensis</i>	C; Dr; R									+	+
鲈科 Percidae											
梭鲈 <i>Sander lucioperca</i>	C; V; R	+									+
虾虎鱼科 Gobiidae											
子陵吻虾虎鱼 <i>Rhinogobius giurinus</i>	C; V; R			+	+	+	+	+	+	+	+
塘鳢科 Eleotridae											
黄魮鱼 <i>Micropercops swinhonis</i>	C; V; R			+							
鳢科 Channidae											
乌鳢 <i>Channa argus</i>	C; Dr; R		+						+		
鲇形目 Siluriformes											
鲿科 Bagridae											
光泽黄颡鱼 <i>Pelteobagrus nitidus</i>	C; V; R				+				+	+	+
瓦氏黄颡鱼 <i>Pelteobagrus vachelli</i>	C; V; R		+	+	+		+	+	+		+
乌苏里拟鲿 <i>Pseudobagrus ussuriensis</i>	C; V; R									+	+
黄颡鱼 <i>Pelteobagrus fulvidraco</i>	C; V; R	+		+							
鲇科 Siluridae											
鲇 <i>Silurus asotus</i>	C; V; R	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
鮠科 Ictaluridae											
斑点叉尾鮠 <i>Ictalurus punctatus</i>	C; V; R							+	+		
鲑形目 Salmoniformes											
胡瓜鱼科 Osmeridae											
池沼公鱼 <i>Hypomesus olidus</i>	O; V; R			+							

(待续 to be continued)

(续表 2 Tab. 2 continued)

物种 species	生态类型 ecological type	弘农涧 河口 HNJHK	青龙涧 河口 QLJHK	南村 NC	拴马村 SMC	桐树岭 TSL	伊洛 河口 YLHK	柳园口 LYK	恼里 NL	天然文 岩渠口 TRWYQK	金堤 河口 JDHK
银鱼科 Salangidae											
大银鱼 <i>Protosalanx hyalocranius</i>	C; V; R	+			+						
颌针鱼目 Beloniformes											
鲢科 Hemiramphidae											
间下鲢 <i>Hyporhamphus intermedius</i>	C; V; R				+						

注: “+”表示采集到样本; R: 定居型; RL: 江湖洄游性; H: 植食性; O: 杂食性; C: 肉食性; V: 黏性卵; Hi: 喜贝性产卵; Dr: 漂流性卵。
Notes: “+” represents presence of fish species during the investigation; R: resident; RL: river-lake migration; H: herbivorous; O: omnivorous; C: carnivorous; V: viscid eggs; Hi: shellfish-like eggs; Dr: drifting eggs.

根据相对重要指数 $IRI \geq 1000$ 为优势种, 黄河河南段优势种为鳊(*Parabramis pekinensis*)、子陵吻虾虎(*Rhinogobius giurinus*)、鲮(*Hemiculter leucisculus*)、似鳊(*Pseudobrama simoni*)、鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*)、鲫(*Carassius auratus*)、鲤(*Cyprinus carpio*) 7 种, 合计占总尾数的 65.7%, 总重量的 76.89%。 $100 \leq IRI \leq 1000$ 为重要种, 重要种有 9 种, 分别为贝氏鲮(*Hemiculter bleekeri*)、鲇(*Silurus asotus*)、翘嘴鲌(*Culter alburnus*)、赤眼鲮(*Squaliobarbus curriculus*)、蛇鮈(*Saurogobio dabryi*)、棒花鱼(*Abbottina rivularis*)、鳙(*Hypophthalmichthys nobilis*)、麦穗鱼(*Pseudorasbora parva*)、红鳍原鲌(*Cultrichthys erythropterus*), 合计占总尾数的 27.18%, 总重量的 18.16%。常见种、一般种、稀有种分别有 14 种、10 种、7 种, 合计占总尾数的 7.12%, 总重量的 4.95% (表 3)。

2.2 鱼类多样性

黄河河南段不同季节鱼类 Shannon-Wiener 多样性、Margalef 丰富度指数、Pielou 均匀度指数结果如图 2 所示。春季、夏季、秋季、冬季的 Shannon-Wiener 多样性的范围分别为 0.005~3.115、0.986~3.624、1.289~3.205、0.561~2.702, 平均为 1.85、2.01、2.40 和 1.78。季节间差异不显著($P>0.05$)。各断面间, 南村(NC)在春季、金堤河口(JDHK)在夏季和冬季、柳园口(LYK)在秋季的 Shannon-Wiener 多样性指数最高, 而青龙涧河口(QLJHK)在春季和夏季、南村(NC)在秋季、伊洛河口(YLHK)在冬季的 Shannon-Wiener 多样性指

数最低。各断面 Margalef 丰富度指数在秋季的平均值最高, 为 2.11; 在冬季最低, 为 1.65。其中, 金堤河口(JDHK)在夏季的 Margalef 丰富度指数最高, 为 4.03; 弘农涧河口(HNJHK)在夏季的 Margalef 丰富度指数最低, 仅为 0.44。Pielou 均匀度指数平均值在各季节间差异不大, 春季、夏季、秋季和冬季平均值分别为 0.58、0.60、0.70 和 0.54。金堤河口(JDHK)在冬季的 Pielou 均匀度指数最高, 为 0.90; 青龙涧河口(QLJHK)在春季的 Pielou 均匀度指数最低, 仅为 0.02。

2.3 鱼类群落结构特征

鱼类 ABC 曲线表明, 南村、桐树岭、金堤河口河段的 W 值大于 0, 生物量优势度曲线位于丰度优势度曲线之上, 表明这三个河段的鱼类群落相对稳定, 受外界干扰程度低(图 3); 恼里河段的 W 值大于 0, 丰度优势度曲线与生物量优势度曲线相交, 且丰度优势度曲线的起点高于生物量优势度曲线的起点, 表明该河段的鱼类群落受到中度干扰(图 3); 弘农涧河口、青龙涧河口、拴马村、伊洛河口、柳园口、天然文岩渠口河段的 W 值小于 0, 且丰度优势度曲线与生物量优势度曲线呈不同程度的相交, 表明这六个河段的鱼类群落受外界干扰程度较大(图 3)。

鱼类群落 Cluster 分析表明, 在 45.18%的 Bray-Curtis 相似性水平上黄河河南段的鱼类群落结构分成了 3 个类群, 伊洛河口、柳园口、金堤河口、南村、恼里、天然文岩渠口为类群 I, 弘农涧河口、青龙涧河口为类群 II, 拴马村、桐树岭为类群 III。经 One-Way ANOSIM 检验, 三个组间

表 3 黄河河南段鱼类优势种组成

Tab. 3 Composition of dominant fish species in the Henan section of the Yellow River

物种 species	N/%	W/%	F/%	IRI
鳊 <i>Parabramis pekinensis</i>	7.22	31.65	90	3497.5
子陵吻虾虎鱼 <i>Rhinogobius giurinus</i>	24.66	0.55	80	2016.5
鲮 <i>Hemiculter leucisculus</i>	14.73	2.26	100	1699.02
似鳊 <i>Pseudobrama simoni</i>	12.69	6.14	80	1506.44
鲢 <i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	0.97	14.06	100	1502.77
鲫 <i>Carassius auratus</i>	3.88	10.65	100	1453.6
鲤 <i>Cyprinus carpio</i>	1.55	11.58	90	1182.34
贝氏鲮 <i>Hemiculter bleekeri</i>	15.90	0.39	60	977.73
鲇 <i>Silurus asotus</i>	1.62	5.56	100	718.13
翘嘴鲌 <i>Culter alburnus</i>	0.66	5.03	80	455.86
赤眼鲮 <i>Squaliobarbus curriculus</i>	0.59	4.09	80	374.38
蛇鲇 <i>Saurogobio dabryi</i>	4.04	0.57	70	322.98
棒花鱼 <i>Abbottina rivularis</i>	2.36	0.15	90	226.33
鳊 <i>Hypophthalmichthys nobilis</i>	0.15	1.85	70	139.76
麦穗鱼 <i>Pseudorasbora parva</i>	1.16	0.06	90	109.62
红鳍原鲌 <i>Cultrichthys erythropterus</i>	0.70	0.46	90	106.28
瓦氏黄颡鱼 <i>Pelteobagrus vachelli</i>	0.96	0.25	70	84.96
兴凯鲌 <i>Acheilognathus chankaensis</i>	1.01	0.18	70	83.51
花鲢 <i>Hemibarbus maculatus</i>	0.31	0.35	80	52.64
光泽黄颡鱼 <i>Pelteobagrus nitidus</i>	1.18	0.08	40	50.2
银鲈 <i>Squalidus argentatus</i>	0.61	0.03	60	38.25
乌鳢 <i>Channa argus</i>	0.04	1.02	30	31.55
胭脂鱼 <i>Myxocyprinus asiaticus</i>	0.04	1.45	20	29.76
大鳞副泥鳅 <i>Paramisgurnus dabryanus</i>	0.30	0.19	50	24.43
彩副鲌 <i>Rhodeus lighti</i>	0.32	0.01	70	23.26
斑条鲌 <i>Acheilognathus taenianalis</i>	0.45	0.05	30	15.1
草鱼 <i>Ctenopharyngodon idella</i>	0.01	0.48	30	14.69
中华鲮 <i>Rhodeus sinensis</i>	0.38	0.02	30	11.91
斑点叉尾鲷 <i>Ictalurus punctatus</i>	0.02	0.33	30	10.58
彩石鲮 <i>Rhodeus lighti</i>	0.50	0.02	20	10.36
梭鲈 <i>Sander lucioperca</i>	0.02	0.22	30	7.27
泥鳅 <i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	0.06	0.01	70	5.07
大银鱼 <i>Protosalanx hyalocranius</i>	0.16	0.01	20	3.24
银鲈 <i>Pseudolaubuca sinensis</i>	0.14	0.01	20	3.11
乌苏里拟鲮 <i>Pseudobagrus ussuriensis</i>	0.06	0.09	20	3.1
池沼公鱼 <i>Hypomesus olidus</i>	0.15	0.00	20	3.1
间下鲌 <i>Hyporhamphus intermedius</i>	0.19	0.02	10	2.07
马口鱼 <i>Opsariichthys bidens</i>	0.03	0.01	40	1.55
黄颡鱼 <i>Pelteobagrus fulvidraco</i>	0.04	0.00	30	1.29
黄鲈 <i>Micropercops swinhonis</i>	0.05	0.00	20	1.12
寡鳞鲈 <i>Pseudolaubuca engraulis</i>	0.02	0.01	30	0.77
鳊 <i>Siniperca chuatsi</i>	0.01	0.06	10	0.7
团头鲂 <i>Megalobrama amblycephala</i>	0.01	0.03	20	0.68
紫薄鲈 <i>Leptobotia taeniaps</i>	0.02	0.01	20	0.51
大鳍鲌 <i>Acheilognathus macropterus</i>	0.01	0.01	20	0.22
中华刺鲈 <i>Mastacembelus sinensis</i>	0.01	0.00	20	0.13
长体小鰮 <i>Microphysogobio elongata</i>	0.01	0.00	20	0.13

注: N 为数量百分比; W 为重量百分比; F 为出现频率; IRI 为相对重要性指数.

Note: N : percentage in number; W : percentage in weight; F : occurrence frequency; IRI: index of relative importance.

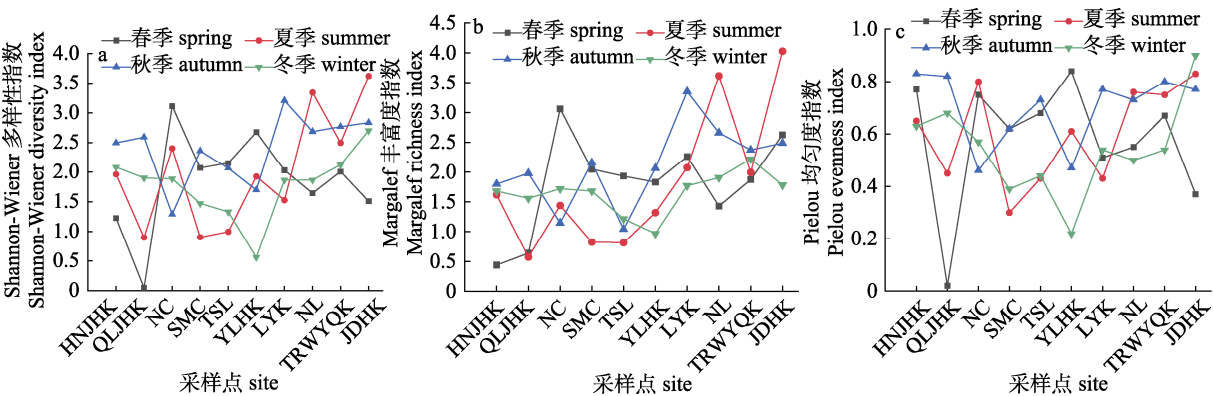


图 2 黄河河南段各采样点 Shannon-Wiener 多样性指数(a)、Margalef 丰富度指数(b)和 Pielou 均匀度指数(c)
HNJHK: 弘农涧河口; QLJHK: 青龙涧河口; NC: 南村; SMC: 拴马村; TSL: 桐树岭;
YLHK: 伊洛河口; LYK: 柳园口; NL: 恼里; TRWYQK: 天然文岩渠口; JDHK: 金堤河口。
Fig. 2 Shannon-Wiener diversity index (a), Margalef richness index (b) and Pielou evenness index (c) at each sampling site in the Henan section of the Yellow River
HNJHK: Hongnongjianhekou; QLJHK: Qinglongjianhekou; NC: Nancun; SMC: Shuangmacun; TSL: Tongshuling; YLHK: Yiluohekou; LYK: Liuyuankou; NL: Naoli; TRWYQK: Tiantanwenyanqukou; JDHK: Jindihekou.

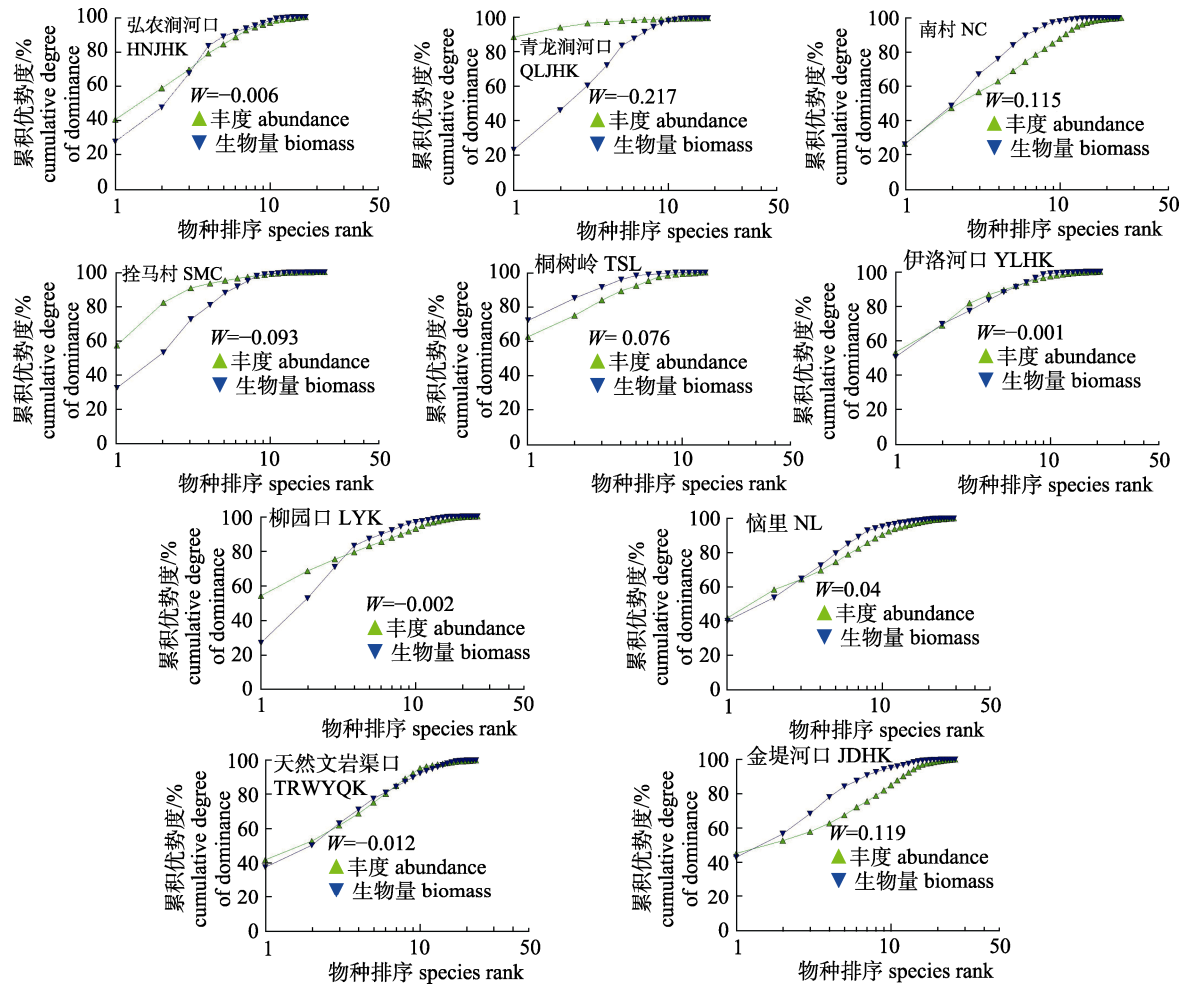


图 3 黄河河南段各河段鱼类群落丰度/生物量曲线
Fig. 3 Abundance/biomass curves of fish communities in the Henan section of the Yellow River

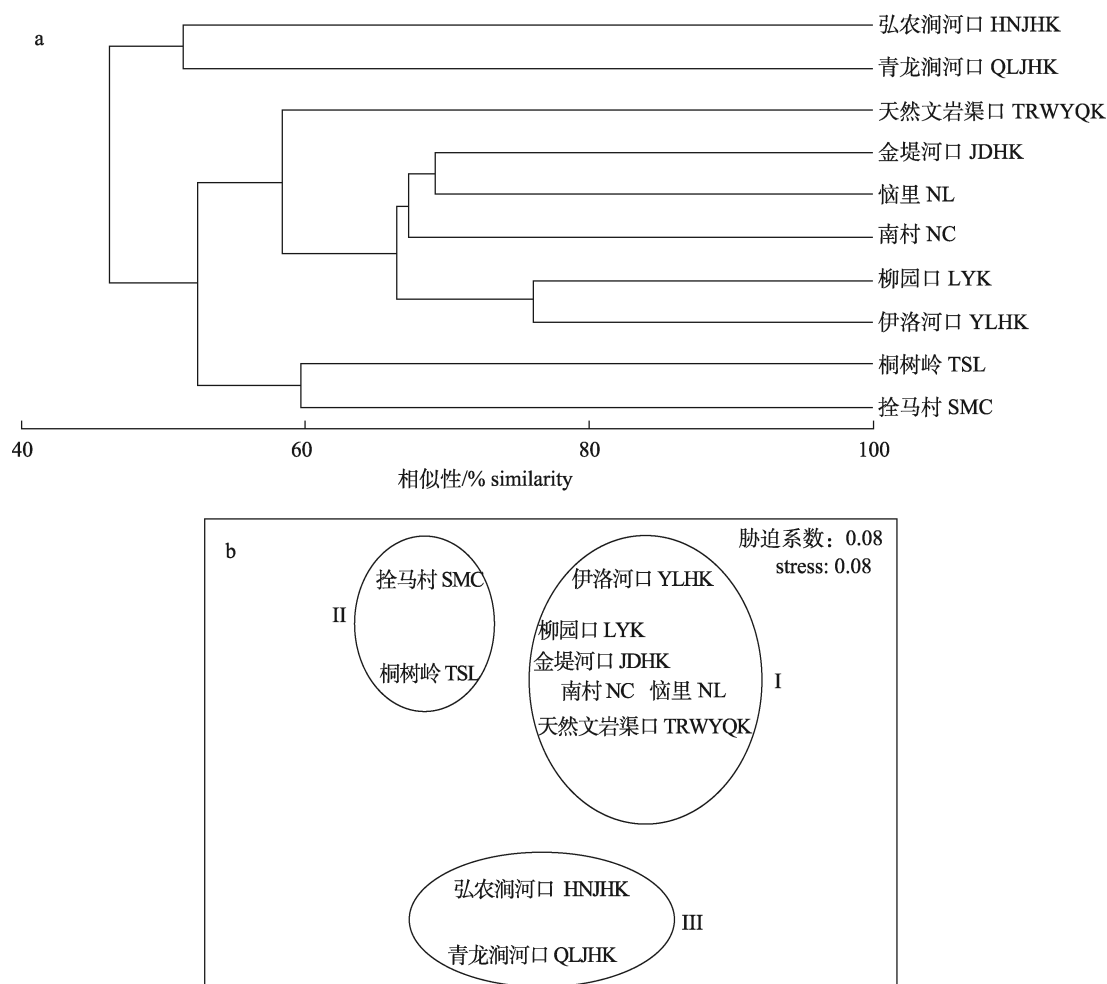


图 4 黄河河南段鱼类群落结构聚类(a)和非度量多维尺度分析(b)

Fig. 4 Cluster analysis (a) and NMDS analysis (b) of fish community in the Henan section of the Yellow River

的群聚结构在统计学上具有明显的差异($R=1$, $P=0.002$)。NMDS 的分析结果与 Cluster 分析结果一致, 胁迫系数 $Stress=0.08$, 具有一定的解释意义(图 4)。

2.4 鱼类群落结构与环境因子的关系

RDA 结果表明, 第 1 轴和第 2 轴的特征值分别为 26.13%和 18.99%, 共同解释了黄河河南段鱼类群落结构总变异的 45.12%。第 1 轴和第 2 轴鱼类与环境因子的相关系数分别为 0.8626 和 0.9422, 随机置换检验发现悬浮物(SS)与高锰酸盐指数(COD_{Mn})是影响黄河河南段鱼类群落结构差异的主要环境因子($P<0.05$)。

贝氏鲶、鲇、鳊、鲤、鲫与 COD_{Mn} 呈正相关, 似鳊、花鲢、瓦氏黄颡鱼、彩副鲮、泥鳅、大鳞副泥鳅、蛇鲇等与 COD_{Mn} 呈负相关。鲢、兴凯鲮、

赤眼鳟、棒花鱼、麦穗鱼、银鲈、红鳍原鲈、彩副鲮、大鳞副泥鳅等与 SS 呈正相关, 光泽黄颡鱼、翘嘴鲈、鲫、鳊、子陵吻虾虎鱼、鲮与 SS 呈负相关(图 5)。

3 讨论

3.1 鱼类种类组成及其变化

本研究 2022—2024 年在黄河河南段共调查到鱼类 47 种, 与介子林等^[5]2015 年在黄河(河南段)干流调查到 48 种相差不大, 尖鳍鲈(*Gobio acutipinnatus*)在本研究中未调查到; 与《黄河干流中下游及河口海域渔业资源》^[1]一书关于河南段记录的 57 种相差较大, 减少的物种有鳗鲡(*Anguilla japonica*)、唇鲮(*Hemibarbus labeo*)、似鲈(*Pseudogobio*)、吻鲈(*Rhinogobio typus*)、中华

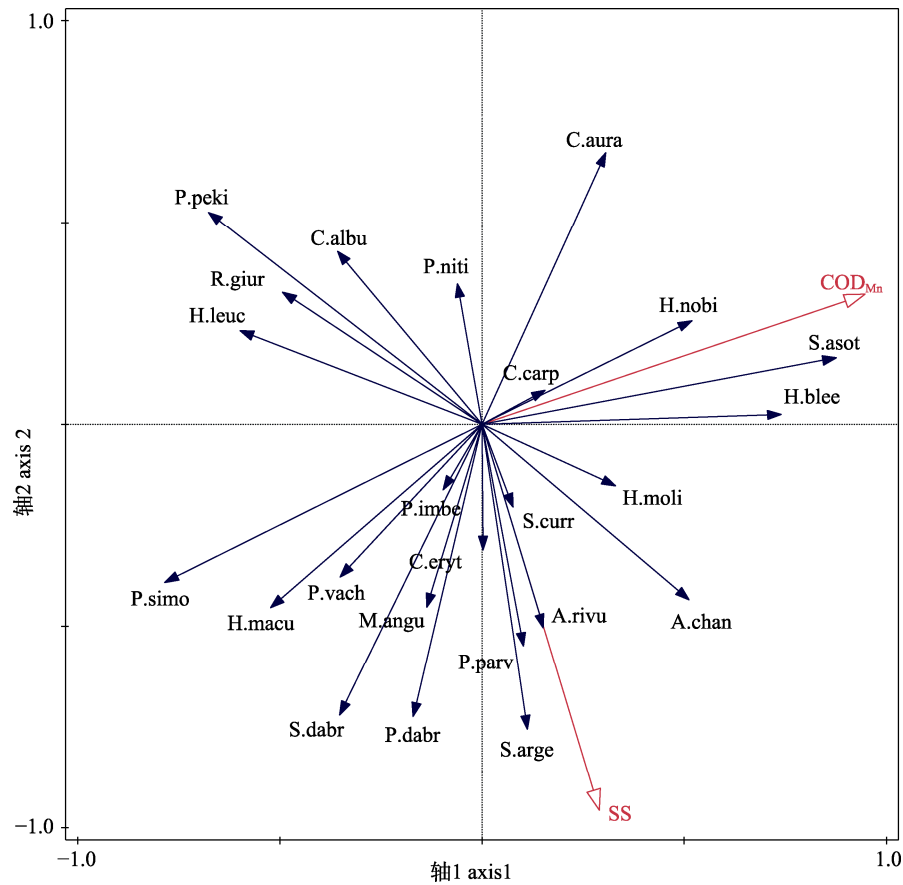


图 5 黄河河南段鱼类群落与环境因子的 RDA 分析图

S.curr: 赤眼鲮; P.niti: 光泽黄颡鱼; C.albu: 翘嘴鲌; C.carp: 鲤; C.aura: 鲫; P.simo: 似鳊; C.eryt: 红鳍原鲃; P.parv: 麦穗鱼; H.macu: 花鲮; H.leuc: 鲮; P.dabr: 大鳞副泥鳅; M.angu: 泥鳅; S.dabr: 蛇鲇; H.moli: 鲢; H.nobi: 鳊; S.asot: 鲇; P.imbe: 彩副鲃; A.rivu: 棒花鱼; P.vach: 瓦氏黄颡鱼; P.peki: 鳊; R.giur: 子陵吻虾虎鱼; S.arge: 银鲇; H.blee: 贝氏鲮; A.chan: 兴凯鲮; SS: 悬浮物; COD_{Mn}: 高锰酸盐指数.

Fig. 5 RDA analysis of fish communities and environmental factors in the Henan section of the Yellow River
S.curr: *Squaliobarbus curriculus*; P.niti: *Pelteobagrus nitidus*; C.albu: *Culter alburnus*; C.carp: *Cyprinus carpio*; C.aura: *Carassius auratus*; P.simo: *Pseudobrama simoni*; C.eryt: *Cultrichthys erythropterus*; P.parv: *Pseudorasbora parva*; H.macu: *Hemibarbus maculatus*; H.leuc: *Hemiculter leucisculus*; P.dabr: *Paramisgurnus dabryanus*; M.angu: *Misgurnus anguillicaudatus*; S.dabr: *Saurogobio dabryi*; H.moli: *Hypophthalmichthys molitrix*; H.nobi: *Hypophthalmichthys nobilis*; S.asot: *Silurus asotus*; P.imbe: *Paracheilognathus imberbis*; A.rivu: *Abbottina rivularis*; P.vach: *Pelteobagrus vachelli*; P.peki: *Parabramis pekinensis*; R.giur: *Rhinogobius giurinus*; S.arge: *Squalidus argentatus*; H.blee: *Hemiculter bleekeri*; A.chan: *Acheilognathus chankaensis*. SS: suspended substance; COD_{Mn}: permanganate index.

光盖刺鲃(*Pararhynchobdella sinensis*)、花斑副沙鲃(*Parabotia fasciata*)、棒花鲃(*Gobio rivuloides*)、大鼻吻鲃(*Rhinogobio nasutus*)、平鳍鲃(*Gobiobotia homalopteroidea*)、北鲃(*Lefua costata*)等。种类的差异一方面可能是由于网具的原因,通常当投入更多时间和更多类型网具进行捕捞时,所采集到的鱼类种类数将会更多。在该书中,渔获物组成调查所用的网具或方法是拉网、刺网、定置网、撒网、拖网、鱼鹰等;而本研究主要使用的是定

置刺网和地笼;不同网具对不同类型鱼类的选择性以及网目、网高等差异都会导致本次采样的鱼类种类数与历史记载存在一定的偏差^[22]。另一方面可能是资源衰退导致的鱼类数量下降。本研究采集的鱼类种类与李思忠^[23]1958—1963年报道的黄河河南段83种相差甚远,几乎减少了一半,黄河中的广布种鱼类如北方铜鱼(*Coreius septentrionalis*)、黄河雅罗鱼(*Leuciscus chuanchicus*)、黄河鲃(*Gobio huanghensis*)、大鼻吻鲃、亮银鲃

(*Squalidus nitens*)、多鳞白甲鱼(*Onychostoma macrolepis*)、平鳍鳅鲇、尖鳍鮡、鳊鲃等在本研究中均未调查到,表明当前鱼类组成相较 20 世纪 90 年代中期已发生了较大的变化。水利工程建设^[24-25]、环境污染^[26]、外来物种入侵^[5]、过度捕捞^[1]等是导致黄河河南段鱼类种类下降、物种多样性降低的主要原因。

《黄河干流中下游及河口海域渔业资源》^[1]中记载三门峡水库和小浪底水库的主要优势种为鳊、鲫、鲤、黄颡鱼等,黄河河南段(干流)的主要优势种为鳊、似鳊、鲫、鲤、子陵吻虾虎、黄颡鱼、鲇等。本研究中黄河河南段的主要优势种为鳊、子陵吻虾虎、鳊、似鳊、鲢、鲫、鲤,其中三门峡水库和小浪底水库的主要优势种为鲫、鲤、鲢、鳊等,黄河干流的主要优势种为似鳊、子陵吻虾虎、鳊等,与该书共同之处是水库主要是以鲫、鲤、鲢、鳊等经济鱼类为优势种,黄河河南段干流主要以生长周期短、经济价值低的小型鱼类为优势种。此外,本研究在三门峡水库和小浪底水库调查到了外来物种间下鱖、大银鱼、池沼公鱼、梭鲈,在黄河河南段干流调查到了斑点叉尾鲷,外来物种入侵可能是导致黄河河南段鱼类群落结构组成发生变化的重要因素,若外来种在争夺食物饵料和生存空间方面优于本地种,可能导致土著种类的资源量下降,甚至濒临灭绝^[27]。因宗教信仰、人工放流等,部分外来物种如池沼公鱼、太湖新银鱼、大银鱼等已在黄河干流形成自然种群^[1]。2022 年农业农村部对黄河禁渔期制度做出调整,由 4 月 1 日至 6 月 30 日延长为 4 月 1 日至 7 月 31 日,禁渔期内捕捞因素的消除将进一步加剧流域内外来鱼类蔓延趋势和入侵风险,产生的生态危害值得关注。王忠原等^[28]在十年禁渔初期对金沙江干流鱼类资源的调查中发现了 7 种入侵鱼类,其中齐氏罗非鱼的丰度占比较大,禁捕后人为威胁因素的消失以及丰富的饵料来源将进一步加大外来鱼类对本土鱼类的生存胁迫。万朝阳等^[29]对长江流域外来的 38 种鱼类进行了生态风险评估,其中食蚊鱼(*Gambusia affinis*)、下口鲇(*Hypostomus plecostomus*)、尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)、大口黑鲈(*Micropterus*

salmoides)、莫桑比克罗非鱼(*Oreochromis mossambicus*)等 5 种鱼具有潜在的入侵风险,揭示了长江全流域实施禁渔后人类活动干扰的减少,外来鱼类的建群或扩散将可能出现更多的不确定性。因此,应重视外来鱼类的潜在风险,积极开展风险评估工作。

3.2 鱼类群落结构及多样性

从时间尺度来看,本研究中鱼类的平均 Margalef 丰富度指数、Shannon-Wiener 多样性指数和 Pielou 均匀度指数均呈现出秋季>夏季>春季>冬季的特征,分析一方面可能与鱼类自身的繁殖有关,本研究秋季调查的时间为 10 月,此阶段大部分鱼类已完成了繁殖,有大量当年生补充群体加入,同时黄河禁渔期内捕捞因素的消除保护了大量的繁殖亲本,补充群体的种类数和数量有所增加,鱼类多样性较高^[30]。有研究表明长江实行的春季禁捕在一定程度上缓解了中下游鱼类资源量下降的趋势和提高了鱼类多样性^[31]。本研究夏季调查的时间为 7 月,春季调查的时间为 5 月,此阶段正值鱼类的繁殖时期,补充群体的个体数尚未得到有效的补充,个体数较少,鱼类多样性较低。冬季调查的时间为 1 月,冬季水温低,鱼类新陈代谢减缓,活跃度较差,多样性较低。从空间尺度来看,黄河河南段干流的鱼类的平均 Shannon-Wiener 多样性指数(2.84)要高于小浪底水库的(2.40)和三门峡水库的(1.76),这可能与小浪底水库和三门峡水库每年的调水调沙有关。调水调沙期间,库区大量清水下泄,流速骤升,大量鱼类会被水流冲到下游;同时骤然下降的水位致使一些黏性卵裸露于地表,导致孵化失败,或稚鱼残留于浅水滩中,最终干涸致死^[32]。另一方面调水调沙期间库区及下游区域水体中泥沙含量急剧增加,高泥沙含量的水体会堵塞鱼类的鳃部,影响其呼吸,严重时可导致鱼类缺氧而死^[33]。就黄河河南段干流而言,鱼类的平均 Shannon-Wiener 多样性指数从高到低依次为金堤河口(0.72)、天然文岩渠口(0.69)、恼里(0.63)、柳园口(0.56)、伊洛河口(0.54),呈现出离大坝越远鱼类的多样性越高的趋势,这与谢晓^[34]对长江中游鱼类群落时空变化的研究结果类似,即大坝对近坝区水文环境的

影响较大,越远离大坝,负面影响得到缓解,影响减弱。

鱼类 ABC 曲线结果表明,弘农涧河口、青龙涧河口、拴马村、伊洛河口、柳园口、天然文岩渠口河段鱼类群落结构受到严重干扰($W < 0$),鱼类群落结构主要以生长周期短的小型鱼类为优势种。每年万家寨水库、三门峡水库和小浪底水库3库联合调度,人工洪峰造成了“流鱼”现象经常发生,高泥沙、低溶氧环境导致大批量鱼类死亡,短期内致使鱼类群落结构发生巨大的变化^[35]。黄河河南段由于水文情势的改变和不断恶化的水生态环境压缩了大型经济鱼类的生存空间,致使种群规模大幅度降低。反而,一些经济价值低廉、生长周期短的小型鱼类,如蛇鮈、银鮈、麦穗鱼、棒花鱼等,种群规模会迅速增大。南村、桐树岭、恼里、金堤河口河段鱼类群落结构相对稳定($W > 0$),表明鱼类群落以大规格鱼类为优势种。南村、桐树岭均位于小浪底水库内,小浪底水库水域面积广阔,库岔较多,即使在调水调沙期间,也存在一些相对稳定的区域,如深水区域、岩石缝隙、水底洞穴等,为大规格鱼类提供了良好的藏身之处,以躲避强大水流的冲击。水库中丰富的饵料资源为鱼类提供了充足的食物来源,使其能够完成整个生活史。恼里、金堤河口位于黄河河段的下游,其中恼里位于河南新乡黄河湿地鸟类国家级自然保护区内,湿地内水流平缓,含沙量低,饵料丰富,为大型鱼类提供了良好的索饵、产卵场所。金堤河是黄河河南段一条较大的支流,河口交汇处饵料丰富,为大规格鱼类提供了觅食的场所;调水调沙期间由于主河道含沙量大,流速较快,金堤河稳定的生态环境为鱼类提供了天然的栖息庇护场所。

Cluster 分析和 NMDS 分析结果表明,在 45.18% 的 Bray-Curtis 相似性水平上黄河河南段的鱼类群落结构分成了 3 个类群,其中桐树岭和拴马村为一类群;弘农涧河口和青龙涧河口为一类群;伊洛河口、柳园口、恼里、金堤河口、天然文岩渠口、南村为一类群。鱼类群落结构与生境的异质性密切相关,在相似的生境中鱼类群落组

成也非常相似^[36]。桐树岭和拴马村为小浪底水库采样点,弘农涧河口和青龙涧河口为三门峡水库采样点,水库泥沙含量小,透明度高,这种生境为鳊、鲫、子陵吻虾虎鱼等产黏性卵的鱼类提供了产卵、觅食等良好的栖息场所,鱼类群落结构较为相似。伊洛河口、柳园口、恼里、天然文岩渠口、金堤河口位于黄河下游,水流速度呈逐渐变缓态势,河势基本稳定,冲淤变幅小,沿岸有发育良好的浅滩,为蛇鮈、棒花鱼、似鳊等产漂流性卵的小型鱼类提供产卵和觅食的场所,鱼类群落结构较为相似。南村位于小浪底水库内,但鱼类群落结构与黄河下游几个采样点的鱼类群落结构相似,推测南村位于三门峡水库与小浪底水库的中间地段,小浪底水库的库首,具有一定的水流条件,产漂流性卵的鱼类数量占比较高,如似鳊、鲢、鳙等。

3.3 鱼类群落结构与环境因子的关系

鱼类的群落结构主要受生物因素和非生物因素的影响。生物因素包括浮游植物、浮游动物、甲壳类等,非生物因素包括水温、溶解氧、总氮、总磷等^[37]。本研究结果表明 SS 与 COD_{Mn} 是影响黄河河南段鱼类群落结构差异的主要环境因子。黄河自古以来就以泥沙多而闻名于世,中国古籍记载“黄河斗水,泥居其七”。泥沙通过直接影响水体透明度和氮、磷等有机污染物在水体中的分布转化,从而间接影响浮游植物群落结构^[38]。悬浮物和泥沙是黄河中的主要污染物,悬浮物含量较高的水体其悬浮颗粒会降低光的穿透力,进而在一定程度上会降低浮游植物的初级生产力^[39],不利于以浮游生物为食的鱼类生存。另一方面水体中高浓度的悬浮物为非肉食性鱼类躲避天敌创造了有利的条件,从而提高了其种群存活率和多样性^[40]。RDA 分析结果显示,兴凯鲌、棒花鱼、麦穗鱼、银鮈、彩副鲌等小型野杂鱼与 SS 呈正相关,黄河河南段下游高浓度的悬浮物为小型野杂鱼提供了躲避肉食性鱼类捕食的生存条件,提高了其存活率和多样性。另一方面,黄河河南段下游河道变宽,水流较缓,水生植物丰富,饵料充足,为棒花鱼、麦穗鱼、银鮈等喜栖息于缓流的

鱼类提供索饵、产卵、育肥的场所。高锰酸盐指数主要反映水体有机污染物的情况,与水体有机营养成分含量密切相关^[41]。水质分析结果显示,三门峡水库、小浪底水库及黄河干流调查断面的 COD_{Mn} 的含量均为Ⅲ类水质,青龙涧河口断面的水质为Ⅳ类水质,整体上黄河河南段的水质不容乐观。有机污染物的来源一方面可能是农业源污染、工业和生活污水,大量的污水排入河道。另一方面,水体中过高浓度的高锰酸钾指数可能跟泥沙含量有关,有研究表明水体中的高锰酸盐指数与含沙量呈正相关关系,即水体中的含沙量越大高锰酸盐指数也就越大^[42]。水域内有机污染物过高会对鱼类健康造成影响,并对人类健康产生不利影响^[43]。RDA 分析结果显示鲇、鲤、鲫等与 COD_{Mn} 呈正相关,这些鱼类因其强大的耐污能力和适应性,能够在污染严重的环境中生存和繁殖。本研究中的 SS 与 COD_{Mn} 均与水体中的泥沙含量有关,间接说明了泥沙含量是黄河河南段鱼类群落结构构成的限制性因素。

参考文献:

- [1] Wang J. Evaluation and management of fishery resources in the middle and lower reaches of the Yellow River mainstream and its estuary[M]. Beijing: Science Press, 2021. [王俊. 黄河干流中下游及河口海域渔业资源评价与管理[M]. 北京: 科学出版社, 2021.]
- [2] Zuo Q T, Jiang L, Ma J X, et al. Judgment criteria and evaluation system for high-quality development of the Yellow River Basin[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2021, 40(3): 1-8, 22. [左其亭, 姜龙, 马军霞, 等. 黄河流域高质量发展判断准则及评价体系[J]. 灌溉排水学报, 2021, 40(3): 1-8, 22.]
- [3] Miao Y Q, Zhang J H. Study on the influence of water and sediment regulation on aquatic organisms and their habitats in the Yellow River[J]. China Fisheries, 2024(6): 16-19. [缪有庆, 张建华. 黄河水沙调控对水生生物及其栖息地影响问题研究[J]. 中国水产, 2024(6): 16-19.]
- [4] Lyu B B. Community structure and biodiversity of fish from Xiao Langdi to Ken Li in the main stream of Yellow River[D]. Xi'an: Northwest University, 2012. [吕彬彬. 黄河干流小浪底至垦利段鱼类群落结构和物种多样性研究[D]. 西安: 西北大学, 2012.]
- [5] Jie Z L, Zhu W J, Hui J, et al. Status of fish resources and management measures in the Henan section of the Yellow River[J]. Henan Fisheries, 2015(4): 4-6. [介子林, 朱文锦, 惠筠, 等. 黄河(河南段)鱼类资源现状及管理措施[J]. 河南水产, 2015(4): 4-6.]
- [6] Qu C Y, Feng J X, Geng R Y. Analysis of fish fauna composition in the Henan section of the Yellow River Basin[J]. Henan Fisheries, 2011(4): 32-34. [屈长义, 冯建新, 耿如意. 黄河流域(河南段)鱼类区系组成分析[J]. 河南水产, 2011(4): 32-34.]
- [7] Hui J, Jie Z L, He H Z, et al. Spawning ground status of fish that release benthic eggs in the Henan section of Yellow River[J]. Journal of Hydroecology, 2019, 40(4): 108-114. [惠筠, 介子林, 贺海战, 等. 黄河河南段非漂流性卵鱼类产卵场现状调查[J]. 水生态学杂志, 2019, 40(4): 108-114.]
- [8] Xinxiang Normal College Biology Department of Fish Annals Compilation Group. Henan fish chronicles[M]. Zhengzhou: Henan Science and Technology Press, 1984. [新乡师范学院生物系鱼类志编写组. 河南鱼类志[M]. 郑州: 河南科学技术出版社, 1984.]
- [9] Chen Y Y. Fauna Sinica (Osteichthyes): Cypriniformes (II)[M]. Beijing: Science Press, 1998. [陈宜瑜. 中国动物志·硬骨鱼纲·鲤形目(中卷)[M]. 北京: 科学出版社, 1998.]
- [10] Li S Z. Fishes of the Yellow River[M]. Qingdao: China Ocean University Press, 2017. [李思忠. 黄河鱼类志[M]. 青岛: 中国海洋大学出版社, 2017.]
- [11] Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China, Editorial Board of *Water and Wastewater Monitoring and Analysis Methods*. Water and wastewater monitoring and analysis methods[M]. The 4th edition. Beijing: China Environmental Science Press, 2002. [国家环境保护总局, 《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法[M]. 第 4 版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.]
- [12] Gao S B, Chi S Y, Li S X, et al. Fish resource investigation and species diversity analysis of Nanxi River in Zhejiang Province[J]. Journal of Hydroecology, 2017, 38(6): 72-81. [高少波, 池仕运, 李嗣新, 等. 楠溪江鱼类资源调查及物种多样性分析[J]. 水生态学杂志, 2017, 38(6): 72-81.]
- [13] Pinkas L, Oliphant M S, Iverson I L K. Food habits of albacore, Bluefin tuna, and bonito in California waters[R]. Sacramento: The Resources Agency Department of Fish and Game Fish, 1971: 1-105.
- [14] Zou Y C, Tang C, Xie W, et al. Analysis of fish resources status and diversity in the middle reaches of Tuojiang River[J]. Journal of Fisheries of China, 2023, 47(2): 112-127. [邹远超, 唐成, 谢伟, 等. 沱江中游鱼类资源现状及多样性[J]. 水产学报, 2023, 47(2): 112-127.]
- [15] Warwick R M. A new method for detecting pollution effects

- on marine macrobenthic communities[J]. *Marine Biology*, 1986, 92(4): 557-562.
- [16] Lozupone C, Knight R. UniFrac: A new phylogenetic method for comparing microbial communities[J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 2005, 71(12): 8228-8235.
- [17] Fan Z W, Jiang R J, Zhang H L, et al. Community structure of ichthyoplankton and its relationship with environmental factors in Daiquyang spawning ground[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2020, 44(4): 606-620. [樊紫薇, 蒋日进, 张洪亮, 等. 岱衢洋产卵场鱼卵、仔稚鱼群落结构及其与环境因子的关系[J]. *水产学报*, 2020, 44(4): 606-620.]
- [18] 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, Yellow 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.]
- [19] The Revised *Lists of Wild Animals under Special State Protection in China* was officially announced[J]. *China Fisheries*, 2021(3): 22-35. [调整后的《国家重点保护野生动物名录》正式公布[J]. *中国水产*, 2021(3): 22-35.]
- [20] Wang S, Xie Y. China species red list: Vol. I red list[M]. Beijing: Higher Education Press, 2004: 158-176. [汪松, 解焱. 中国物种红色名录: 第一卷 红色名录[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004: 158-176.]
- [21] Yue P Q, Chen Y Y. China red data book of endangered animals: Pisces[M]. Beijing: Science Press, 1998: 50-222. [乐佩琦, 陈宜瑜. 中国濒危动物红皮书: 鱼类[M]. 北京: 科学出版社, 1998: 50-222.]
- [22] Guo C B, Wang R, Qu X, et al. Assessing fish assemblages in a shallow Yangtze River Lake using multi-mesh gillnets and dense-mesh weirs[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2018, 42(6): 1116-1123.
- [23] Li S Z. Distribution division of freshwater fishes in China[M]. Beijing: Science Press, 1981. [李思忠. 中国淡水鱼类的分布区划[M]. 北京: 科学出版社, 1981.]
- [24] Guo Q Y, Yang Z F. Post-project ecological analysis for the Sanmenxia Dam[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2005, 25(5): 580-585. [郭乔羽, 杨志峰. 三门峡水利枢纽工程生态影响后评价[J]. *环境科学学报*, 2005, 25(5): 580-585.]
- [25] Han T G, Xiong Y C, Sun X H, et al. The influence of Xiaolangdi Project of the Yellow River on aquatic living resources and the consideration of resource conservation[J]. *China Fisheries*, 2013(6): 28-29. [韩太国, 熊元超, 孙晓辉, 等. 黄河小浪底工程对水生生物资源的影响及对资源养护工作的思考[J]. *中国水产*, 2013(6): 28-29.]
- [26] Sun X F. The pollution characteristics and distribution of persistent halogenated chemicals the Yellow River of Henan section[D]. Xinxiang: Henan Normal University, 2019. [苏现代. 黄河河南段持久性卤代有机污染物的污染特征及其分布规律[D]. 新乡: 河南师范大学, 2019.]
- [27] Li S, Chen J K, Wang X M. Global distribution, entry routes, mechanisms and consequences of invasive freshwater fish[J]. *Biodiversity Science*, 2016, 24(6): 672-685. [酆珊, 陈家宽, 王小明. 淡水鱼类入侵种的分布、入侵途径、机制与后果[J]. *生物多样性*, 2016, 24(6): 672-685.]
- [28] Wang Z Y, Zhu T B, Hu F F, et al. Fish community structure and species diversity in the main stream of the Jinsha River in the early ten-year fishing ban[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2024, 31(3): 286-300. [王忠原, 朱挺兵, 胡飞飞, 等. 十年禁渔初期金沙江干流鱼类群落结构及物种多样性[J]. *中国水产科学*, 2024, 31(3): 286-300.]
- [29] Wan C Y, Fang K, Dong F, et al. Status and ecological risk assessment of alien fish in the Yangtze River basin[J/OL]. *Journal of Fisheries of China*, 2024: 1-13. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/31.1283.s.20240517.1352.002.html>. [万朝阳, 方康, 董芳, 等. 长江流域外来鱼类现状与生态风险评估[J/OL]. *水产学报*, 2024: 1-13. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/31.1283.s.20240517.1352.002.html>.]
- [30] Zheng C Q, Wu W, Wei J, et al. Fish diversity and its influencing factors in the Dawen River a tributary of the lower Yellow River[J]. *Water Resources Protection*, 2020, 36(6): 31-38, 52. [郑从奇, 武玮, 魏杰, 等. 黄河下游支流大汶河鱼类多样性及影响因子分析[J]. *水资源保护*, 2020, 36(6): 31-38, 52.]
- [31] Shi W G, Liu K, Zhang M Y, et al. Changes of biodiversity of fishery species in the lower reaches of the Yangtze River during the spring closed season[J]. *Journal of Lake Science*, 2005, 17(2): 169-175. [施炜纲, 刘凯, 张敏莹, 等. 春季禁渔期间长江下游鱼虾蟹类物种多样性变动(2001—2004年)[J]. *湖泊科学*, 2005, 17(2): 169-175.]
- [32] Ruan R, Zhang Y, Shen Z W, et al. Identification and distribution of fish eggs and larvae in the water-level fluctuation zone of Three Gorges Reservoir[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2017, 24(6): 1307-1314. [阮瑞, 张燕, 沈子伟, 等. 三峡消落区鱼卵、仔稚鱼种类的鉴定及分布[J]. *中国水产科学*, 2017, 24(6): 1307-1314.]
- [33] Baiyin B L G, Chen X R. Research progress of impacts of sediment flushing on downstream fish[J]. *Journal of Sediment Research*, 2012(1): 74-80. [白音包力皋, 陈兴茹. 水库排沙对下游河流鱼类影响研究进展[J]. *泥沙研究*, 2012(1): 74-80.]
- [34] Xie X. The spatio-temporal dynamics of fish communities and protected areas optimization in the Middle Yangtze

- River[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2019. [谢晓. 长江中游鱼类群落的时空动态与保护区优化研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2019.]
- [35] Zhu G Q, Zhao R L, Hu Z P, et al. Impacts of water and sand diversion in Xiaolangdi Reservoir on fish and ecologically sensitive areas in the Middle Yellow River[J]. *Journal of Hydroecology*, 2012, 33(5): 7-12. [朱国清, 赵瑞亮, 胡振平, 等. 小浪底水库调水调沙对黄河中游鱼类及生态敏感区的影响[J]. *水生态学杂志*, 2012, 33(5): 7-12.]
- [36] Li J, Li X H, Jia X P, et al. Relationship between fish community diversity and environmental factors in the Lianjiang River, Guangdong, China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(18): 5795-5805. [李捷, 李新辉, 贾晓平, 等. 连江鱼类群落多样性及其与环境因子的关系[J]. *生态学报*, 2012, 32(18): 5795-5805.]
- [37] Li J W, Xu D P, Li W, et al. Spatial and temporal distribution of fish assemblages and its relationship with environmental factors in Lake Gehu[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2022, 46(4): 546-556. [李经纬, 徐东坡, 李巍, 等. 太湖鱼类群落时空分布及其与环境因子的关系[J]. *水产学报*, 2022, 46(4): 546-556.]
- [38] Wang H Y, Shen Z Y, Guo X J, et al. Ammonia adsorption and nitrification in sediments derived from the Three Gorges Reservoir, China[J]. *Environmental Earth Sciences*, 2010, 60(8): 1653-1660.
- [39] Zhang Y L, Qin B Q, Chen W M, et al. Experimental study on underwater light intensity and primary productivity caused by variation of total suspended matter[J]. *Advances in Water Science*, 2004, 15(5): 615-620. [张运林, 秦伯强, 陈伟民, 等. 悬浮物浓度对水下光照和初级生产力的影响[J]. *水科学进展*, 2004, 15(5): 615-620.]
- [40] Qu X, Gao W Q, Lu Y, et al. Connectivity loss in lake on fish communities—A case study of Baoan Lake[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2023, 47(9): 1476-1487. [屈霄, 高雯琪, 陆颖, 等. 湖泊阻隔对鱼类群落的影响——以保安湖为例[J]. *水生生物学报*, 2023, 47(9): 1476-1487.]
- [41] Chen Z X, Wang W Y. Mechanism and control of water quality factors influencing the growth of fish[J]. *Animal Husbandry and Feed Science*, 2009, 30(1): 15-17. [陈在新, 王文一. 影响鱼类生长的水质因子机理与控制[J]. *畜牧与饲料科学*, 2009, 30(1): 15-17.]
- [42] Chen J S, Zhang Y, Yu T, et al. Influences of the suspended matter on the water quality parameters including COD, Potassium Permanganate Index and BOD₅ in the Yellow River, China[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2004, 24(3): 369-375. [陈静生, 张宇, 于涛, 等. 泥沙对黄河水质参数 COD、高锰酸钾指数和 BOD₅ 的影响——三论黄河的 COD 值与高锰酸钾指数不能真实反映其污染状况[J]. *环境科学学报*, 2004, 24(3): 369-375.]
- [43] Zhang Y S, Wang T, Hu Y B, et al. Relationship between fish community structure and environmental factors in the Yellow River from Yanguoxia to Heishanxia[J]. *Journal of Lanzhou University (Natural Sciences)*, 2023, 59(3): 303-313, 321. [张永胜, 王太, 虎永彪, 等. 黄河干流盐锅峡-黑山峡段鱼类群落结构与环境因子的关系[J]. *兰州大学学报(自然科学版)*, 2023, 59(3): 303-313, 321.]

Status of fish community diversity in the Henan section of the Yellow River

FANG Dongdong¹, HUI Jun¹, ZHANG Qingqing¹, HE Haizhan¹, MA Chao¹, ZHANG Donghua¹, LI Yingnan¹, LIU Dezhong²

1. Henan Academy of Fishery Sciences, Zhengzhou 450044, China;

2. Fisheries Service Center of Xichuan County, Nanyang 474465, China

Abstract: This study was conducted in April 2022 (spring), June 2023 (summer), October 2023 (autumn), and January 2024 (winter) to understand the relationship between fish community structure and diversity as well as environmental factors in the Henan section of the Yellow River (Hongnongjianhekou, Qinglongjianhekou, Nancun, Shuangmacun, Tongshuling, Yiluohekou, Liuyuankou, Naoli, Tianranwenyanqukou, and Jindihekou). Using the obtained data, fish community structural characteristics, spatial and temporal distribution patterns, and their relationship with environmental factors were analyzed. A total of 16556 individuals belonging to 47 species, 40 genera, 15 families, and five orders were collected, among which, there was one species of fish under state secondary protection and five exotic fish species, accounting for 2.1% and 10.6% of the total species, respectively. According to the index of relative importance (IRI), the dominant fish species were small fishes, such as *Parabramis pekinensis*, *Rhinogobius giurinus*, *Cyprinus carpio*, *Pseudobrama simoni*, *Hypophthalmichthys molitrix*, and *Hemiculter leucisculus*. The average Margalef richness, Pielou evenness and Shannon-Wiener diversity were 3.01 ± 0.68 , 0.56 ± 0.16 , 2.49 ± 0.77 , respectively. The abundance/biomass comparison curve showed that the fish communities in Nancun, Tongshuling, Naoli, and Jindihekou were relatively stable, whereas those in Hongnongjianhekou, Qinglongjianhekou, Shuangmacun, Yiluohekou, Liuyuankou, and Tianranwenyanqukou were seriously disturbed. Cluster and non-metric multidimensional scale ranking (NMDS) analyses showed that the fish communities in Henan section of the Yellow River could be divided into three groups: those in Hongnongjianhekou and Qinglongjianhekou belong to one group; those in Naoli, Tianranwenyanqukou, Jindihekou, Nancun, Yiluohekou, and Liuyuankou belong to one group; and those in Shuangmacun and Tongshuling belong to one group. RDA analysis showed that permanganate (COD_{Mn}) and suspended substance (SS) were the main environmental factors affecting the differences of fish community structure in the Henan section of the Yellow River. These results show that, compared with the historical data, the fish community structure in the southern section of the Yellow River has obviously changed, alien species have increased, indigenous fish have decreased, and individual fish tend to be smaller and younger.

Key words: Henan section of the Yellow River; fish community structure; diversity; environmental factors; spatial distribution

Corresponding author: HUI Jun. E-mail: 1209366082@qq.com