

DOI: 10.12264/JFSC2024-0148

黄河上游支流白河、黑河鱼类群落组成与结构特征

李飞扬¹, 颌江², 邹巧林¹, 刘亚¹, 宋明江¹, 吴晓雲¹, 陈叶雨¹, 倪露芸¹, 欧军¹, 赖见生¹

1. 四川省农业科学院水产研究所, 四川 成都 611731;
2. 内江师范学院, 长江上游鱼类资源保护与利用四川省重点实验室, 四川 内江 641100

摘要: 白河和黑河是黄河上游四川省境内的两条支流, 其独特的环境及气候条件, 为黄河上游特有鱼类提供了良好的繁殖和栖息生境。为了解白河和黑河的鱼类种类组成、群落结构及其多样性, 本研究结合历史资料, 于 2022 年冬季(11 月)、2023 年春季(4 月)、夏季(7 月)和秋季(9 月)对白河和黑河开展了鱼类资源调查。共采集到鱼类 11 种 2936 尾, 隶属于 1 目 2 科 8 属; 其中, 黄河上游特有鱼类有花斑裸鲤(*Gymnocypris eckloni*)、极边扁咽齿鱼(*Platypharodon extremus*)、骨唇黄河鱼(*Chuanchia labiosa*)和黄河裸裂尻鱼(*Schizopygopsis pylzovi*) 4 种, 国家 II 级重点保护鱼类有骨唇黄河鱼、拟鲃高原鳅(*Triplophysa siluroides*)、极边扁咽齿鱼、厚唇裸重唇鱼(*Gymnoditychus pachycheilus*) 4 种, 四川省级重点保护鱼类黄河高原鳅(*Triplophysa papptnhtimi*) 1 种, 外来物种鲤(*Cyprinus carpio*)和鲫(*Carassius auratus*) 2 种, 分别占总种类数的 36.36%、36.36%、9.09%和 18.18%。相对重要性指数(IRI)显示, 花斑裸鲤和硬刺高原鳅(*Triplophysa scleroptera*)为白河优势种; 花斑裸鲤和厚唇裸重唇鱼为黑河优势种。Shannon-Wiener 多样性指数(*H*)、Margalef 丰富度指数(*D*)和 Pielou 均匀度指数(*J*)分别为 1.764~2.364、1.364~1.798 和 0.7854~0.8747。丰度/生物量曲线表明, 白河、黑河鱼类群落结构相对稳定, 以大个体的鱼类为优势种, 群落受到外界扰动程度小。Cluster 和 NMDS 分析显示, 在一定的相似性水平上, 白河、黑河鱼类群落均分为 3 组, 表明鱼类群落结构组成分布存在差异。与历史资料相比, 白河和黑河鱼类呈现种类减少、多样性下降的趋势, 其分别占历史总种类数的 72.73%、66.67%; 但黄河上游特有和保护鱼类占比很高, 达到 54.55%, 且为典型的青藏(中亚)高原鱼类区系。本研究提供了四川境内黄河水系主要支流鱼类资源现状的基础数据, 同时为该段黄河上游鱼类的保护提出了建议。

关键词: 黄河上游; 鱼类组成; 群落结构; 多样性

中图分类号: S931

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2024)09-1042-12

黄河为我国第二长河流, 干流长 5678 km, 流域面积达到 $79.5 \times 10^5 \text{ km}^2$ ^[1]。其中四川省境内的白河、黑河是黄河上游较大支流, 其独特的气候和环境, 为高原土著鱼类提供了极好的繁殖及栖息场所^[1-2]。白河源头位于四川省北部红原县境内, 北流经过若尔盖县, 在若尔盖的唐克镇以北约 7 km 处汇入黄河, 全长约 150 km; 黑河发源于岷山西麓的洞亚恰, 河道长约 450 km, 流域面积达到

7608 km², 由东南流向西北, 在玛曲县东南部汇入黄河干流^[3], 与白河一起被称为“姊妹河”。白河和黑河的下游河段属于“黄河上游特有鱼类国家级水产种质资源保护区”。因高海拔和气候等原因导致该水域鱼类种类较少, 主要是高原鳅属、裂腹鱼亚科鱼类。据记载, 四川省黄河水系采集到 15 种鱼类, 其中白河 11 种、黑河 12 种^[4]。但该研究报道时间是在 1996 年, 近 20 年, 白河、黑

收稿日期: 2024-05-27; 修订日期: 2024-07-04.

基金项目: 农业农村部财政专项“黄河渔业资源与环境调查”; 四川省科技计划项目(2021YFYZ0015); 现代农业产业技术体系四川淡水鱼创新团队项目.

作者简介: 李飞扬(1992-), 男, 硕士, 助理研究员, 研究方向为渔业资源保护与利用. E-mail: lifeiyang5@163.com

通信作者: 赖见生, 研究员, 研究方向为珍稀濒危鱼类保护. E-mail: scsljs@126.com

河关于鱼类资源组成及其多样性的研究暂无报道, 仅有对其浮游植物群落结构和水质评价等方面的研究^[5-7]。黄河上游关于鱼类资源现状及其多样性等方面的研究主要集中于黄河龙羊峡、班多和兰州段等地^[8-10]。在自然水体中, 水生生境和鱼类群落结构密切相关, 水生生境的改变将对鱼类群落结构产生影响, 而鱼类群落结构可以反映某一区域的鱼类资源现状^[11-13]。因此研究鱼类组成、群落结构和多样性, 可分析不同的外界环境对鱼类群落的影响并对鱼类资源保护和利用提供建议。为此, 本研究在 2022—2023 年不同季节对白河、黑河鱼类进行了周年调查, 通过对其渔获物种类组成、结构特征及其多样性进行分析, 了解四川省黄河水系主要支流鱼类资源现状, 为鱼类多样性保护和资源管理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 调查方法

本研究于 2022 年 11 月及 2023 年 4、7、9 月对黄河支流白河、黑河鱼类资源开展了调查。根据现场交通、河岸生境和风俗习惯等因素共布置了 7 个采样点(其中白河 3 个、黑河 4 个), 各采样点信息见表 1 和图 1。调查方式参考《内陆水域渔业自然资源调查手册》^[14], 在当地聘请退捕渔民使用刺网(网目 4~6 cm, 网高 1.5~2 cm, 网长 30~60 m)和地笼(网目 0.2 cm, 网高 0.4 m, 网长 10 m)进行捕捞; 所有采样点使用的网具类型和数量保持一致, 其中刺网放置 6 h, 地笼放置 12 h (过夜)。种类鉴定参照《中国动物志·鲤形目(下

卷)》《四川鱼类志》和《黄河流域鱼类图志》^[15-17], 进行全长(mm)、体长(mm)和体重(g)等基础生物学数据测量后放回捕捞水域, 对不能现场鉴定的渔获物用 10%的福尔马林溶液固定带回实验室鉴定。

1.2 数据分析

受民族地区开展鱼类资源调查工作存在困难等诸多因素影响, 本研究在白河和黑河设置采样断面不多。同时, 由于白河和黑河的流域海拔高度、气候条件和河流生境相似, 两条河与黄河干流汇入口距离较近, 导致两条河流的鱼类组成简单且基本一致。为丰富该区域鱼类资源调查资料, 因此对两条河流部分鱼类数据进行了合并分析。

1.2.1 物种多样性分析 采用 Shannon-Wiener 多样性指数(H)、Margalef 丰富度指数(D)和 Pielou 均匀度指数(J)分析白河、黑河鱼类多样性^[18]。各指标计算公式如下:

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

式中, n_i 为第 i 个种类数量; N 为种类中所以物种的数量; S 为种类中物种种类数量。

1.2.2 群落稳定性计算 一个群落是否具有稳定性可以使用 ABC 曲线及 W 统计进行判断。ABC 曲线最早应用于计算海洋底栖动物群落的稳定性, 现在更多地应用于判断水生生物群落受干扰状况, 是由 Warwick^[19]提出的。ABC 曲线是在同一个坐

表 1 白河和黑河采样点位置信息和生境特点
Tab. 1 Location information and habitat characteristics of sampling sites in Baihe River and Heihe River

编号 number	采样点 sampling site	经度 longitude	纬度 latitude	海拔/m altitude	河床底质 bed material	备注 remark
S1	唐克镇 Tangke Town	102°27'27"E	33°24'45"N	3431.1	泥沙 silt	在黄河上游特有鱼类国家级水产种质资源保护区内
S2	红原县 Hongyuan County	102°27'53"E	32°47'29"N	3493.5	泥沙 silt	
S3	龙日镇 Longri Town	102°21'07"E	32°26'12"N	3558.1	泥沙、砾石 silt and gravel	在黄河上游特有鱼类国家级水产种质资源保护区内
S4	麦溪乡 Maixi Township	102°21'48"E	33°56'46"N	3419.7	泥沙 silt	
S5	嫩哇乡 Nenwa Township	102°36'24"E	33°50'36"N	3425.1	泥沙 silt	
S6	达扎寺镇 Dazhasi Town	102°54'53"E	33°34'59"N	3436.7	泥沙、砾石 silt and gravel	
S7	班佑乡 Banyou Township	103°03'46"E	33°19'20"N	3446.6	泥沙 silt	

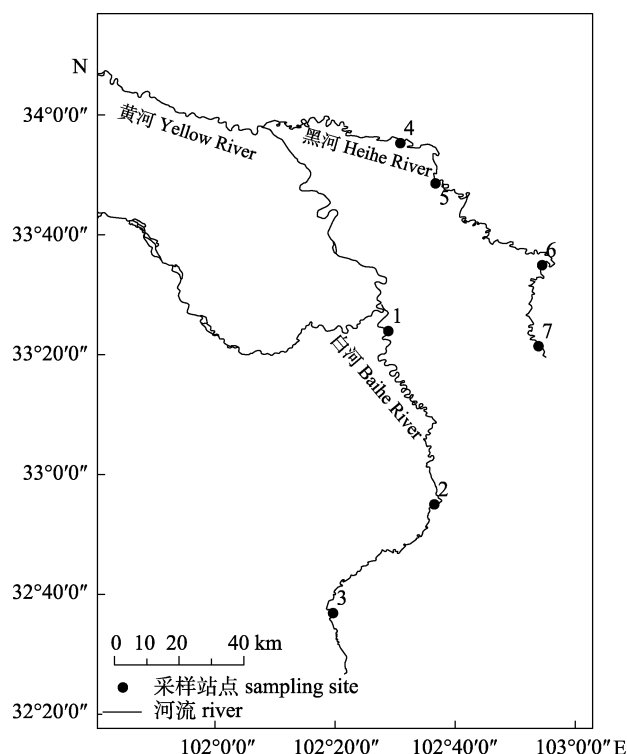


图 1 白河和黑河鱼类调查采样点示意图

Fig. 1 Locations of sampling sites of the Baihe River and the Heihe River

标系中比较两条曲线的位置关系来判断一个群落受干扰程度(生物量曲线、丰富曲线、 $-1 < W < 1$)。当 $W > 0$ 即生物量曲线在丰度曲线之上时,表示群落受干扰程度较小;当生物量曲线与丰度曲线相交时,表示群落受干扰程度中等;当 $W < 0$ 即生物量曲线在丰度曲线下面时,表示群落受干扰程度较大^[20]。其计算公式为:

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

式中, S 为总物种数; B_i 和 A_i 分别为 ABC 曲线中种类序号对应的生物量和数量的累计百分比。

1.2.3 优势种分析 采用相对重要性指数(IRI)来计算鱼类群落的优势种^[21],在渔获物重量百分数和数量百分数的基础上,偶见种: $IRI < 100$; 常见种: $100 < IRI < 1000$; 优势种: $IRI \geq 1000$ 。IRI 计算公式为:

$$IRI = (N + W)F \times 10^4$$

式中, N 为某一种鱼类数量在渔获物总数量中所占比例; W 为某一种鱼类质量在渔获物总质量中所占比例; F 为出现某一种鱼类调查样点数占总

调查样点数的百分比。

1.2.4 聚类分析 通过 Bray-Curtis 相似性系数计算相似性矩阵,采用等级聚类分析(cluster)和非度量多维尺度(non-metric multidimensional scaling, NMDS)分析白河、黑河鱼类群落结构特征并进行分组^[22]。利用相似性分析(analysis of similarity statistics, ANOSIM)对数据进行检验,以判断分组结果是否正确^[23]。相似性百分比分析(similarity percentage procedure, SIMPER)可以确定造成分组间产生差异性的物种^[24]。

以上分析通过 Primer 6.0 软件计算得出。

2 结果与分析

2.1 鱼类组成、保护等级及优势种

2022—2023 年在白河、黑河共采集鱼类 2936 尾,总质量 236.14 kg,隶属于 1 目 2 科 8 属 11 种(表 2)。其中以鲤科鱼类种类最多,为 7 种,占总种类数的 63.64%; 鳅科鱼类 4 种,占总种类数的 36.36%。夏季和秋季调查到的鱼类种类数比冬季和春季多,在 4 个季节中均调查到的鱼类有硬刺高原鳅(*Triplophysa scleroptera*)、黄河裸裂尻鱼(*Schizopygopsis pylzovi*)、拟硬刺高原鳅(*Triplophysa pseudoscleroptera*)、花斑裸鲤(*Gymnocypris eckloni*)和拟鲃高原鳅(*Triplophysa siluroides*) 5 种。其中,黄河上游特有鱼类有花斑裸鲤、极边扁咽齿鱼(*Platypharodon extremus*)、骨唇黄河鱼(*Chuanchia labiosa*)和黄河裸裂尻鱼 4 种,占总种类数的 36.36%; 外来种有鲤(*Cyprinus carpio*)和鲫(*Carassius auratus*),占总种类数的 18.18%。

调查结果显示,采集的 11 种鱼类中,有国家 II 级重点保护鱼类有拟鲃高原鳅、厚唇裸重唇鱼(*Gymnoditychus pachycheilus*)、极边扁咽齿鱼和骨唇黄河鱼 4 种,占总种类数的 36.36%; 四川省重点保护鱼类有黄河高原鳅(*Triplophysa pappenheimi*) 1 种,占总种类数的 9.09%。白河数量百分比以硬刺高原鳅占比例最高,为 28.71%; 其次为黄河裸裂尻鱼,占 31.32%; 重量百分比以花斑裸鲤占比最高,为 45.54%; 其次为硬刺高原鳅,占 13.03%。黑河数量百分比以厚唇裸重唇鱼占比例最高,为 20.04%; 其次为花斑裸鲤,占

表 2 白河、黑河鱼类种类组成
Tab. 2 Composition of fish community in the Baihe River and the Heihe River

物种 species	白河 Baihe River				黑河 Heihe River			
	春季 spring	夏季 summer	秋季 autumn	冬季 winter	春季 spring	夏季 summer	秋季 autumn	冬季 winter
鲤形目 Cypriniformes								
鳅科 Cobitidae								
高原鳅属 <i>Triplophysa</i>								
黄河高原鳅 <i>Triplophysa pappenheimi</i>	+	+		+				+
拟鲃高原鳅 <i>Triplophysa siluroides</i>	+	+	+	+	+	+	+	+
硬刺高原鳅 <i>Triplophysa scleroptera</i>	+	+	+	+	+	+	+	+
拟硬刺高原鳅 <i>Triplophysa pseudoscleroptera</i>	+	+	+	+	+	+	+	+
鲤科 Cyprinidae								
裸重唇鱼属 <i>Gymnodiptychus</i>								
厚唇裸重唇鱼 <i>Gymnodiptychus pachycheilus</i>	+	+	+		+	+	+	+
扁咽齿鱼属 <i>Platypharodon</i>								
极边扁咽齿鱼 <i>Platypharodon extremus</i>			+		+	+	+	+
裸鲤属 <i>Gymnocypris</i>								
花斑裸鲤 <i>Gymnocypris eckloni</i>	+	+	+	+	+	+	+	+
裸裂尻鱼属 <i>Schizopygopsis</i>								
黄河裸裂尻鱼 <i>Schizopygopsis pylzovi</i>	+	+	+	+	+	+	+	+
黄河鱼属 <i>Chuanchia</i>								
骨唇黄河鱼 <i>Chuanchia labiosa</i>					+		+	
鲤属 <i>Cyprinus</i>								
鲤 <i>Cyprinus carpio</i>	+	+	+		+	+	+	
鲫属 <i>Carassius</i>								
鲫 <i>Carassius auratus</i>	+	+	+		+	+	+	

注: +表示该种类出现。
Note: +indicates the occurrence of the species.

17.35%; 重量百分比以厚唇裸重唇鱼占比最高, 为 35.68%; 其次为花斑裸鲤, 占 28.76% (表 3)。

相对重要性指数(IRI)显示, 白河优势种有花斑裸鲤和硬刺高原鳅 2 种, 黑河优势种有花斑裸鲤和厚唇裸重唇鱼 2 种; 白河常见种有黄河裸裂尻鱼、拟硬刺高原鳅、厚唇裸重唇鱼、拟鲃高原鳅和极边扁咽齿鱼 5 种, 黑河常见种有黄河裸裂尻鱼、极边扁咽齿鱼、拟硬刺高原鳅、拟鲃高原鳅和硬刺高原鳅 5 种; 白河偶见种有鲤、鲫和黄河高原鳅 3 种, 黑河偶见种有鲤、鲫、黄河高原鳅和骨唇黄河鱼 4 种。从不同季节来看, 黑河、白河的优势种、常见种、偶见种存在差异, 不尽相同(表 4)。

2.2 鱼类多样性指数

白河、黑河鱼类多样性指数的季节变化表明(合并计算), Shannon-Wiener 多样性指数、Pielou

均匀度指数和 Margalef 丰富度指数变化范围分别为 1.764~2.364、0.7854~0.8747 和 1.364~1.798。从鱼类多样性指数的季节变化来看, Shannon-Wiener 多样性指数和 Margalef 丰富度指数在春季至秋季呈上升趋势, 然后秋季到冬季呈下降趋势; Pielou 均匀度指数在冬季最高, 夏季最低, 其均值都大于 0.700, 表明白河、黑河鱼类群落分布较均匀(图 2)。

2.3 鱼类群落丰度与生物量曲线

ABC 曲线结果表明, 春季和夏季的 $W < 0$, 其值分别为-0.059、-0.043 (图 3a, 3b), 丰度曲线与生物量曲线相交, 说明鱼类群落受到重度干扰。秋季和冬季时期的 $W > 0$, 分别为 0.296、0.273 (图 3c, 3d), 两条曲线不存在相交, 且丰度曲线在生物量曲线的上方, 由此推出两条河流在秋冬季节的鱼类群落结构较为稳定。

表 3 白河、黑河渔获物统计
Tab. 3 Statistics on the fish catches in the Baihe River and the Heihe River

物种 species	白河 Baihe River				黑河 Heihe River			
	数量/尾 quantity	数量比/% quantity ratio	质量/g weight	质量比/% weight ratio	数量/尾 quantity	数量比/% quantity ratio	质量/g weight	质量比/% weight ratio
黄河高原鳅 <i>Triplophysa pappenheimi</i>	34	2.62	1167.23	1.17	37	2.26	910.94	0.67
拟鲇高原鳅 <i>Triplophysa siluroides</i>	78	6.00	4612.33	4.61	149	9.10	6382.4	4.71
硬刺高原鳅 <i>Triplophysa scleroptera</i>	373	28.71	13026.4	13.03	204	12.46	4193.9	3.09
拟硬刺高原鳅 <i>Triplophysa pseudoscleroptera</i>	166	12.78	7834.9	7.83	211	12.89	5309.3	3.92
厚唇裸重唇鱼 <i>Gymnoditychus pachycheilus</i>	39	3.00	6752.3	6.75	328	20.04	48392.6	35.69
极边扁咽齿鱼 <i>Platypharodon extremus</i>	28	2.16	7157.6	7.16	137	8.37	21076.2	15.55
花斑裸鲤 <i>Gymnocypris eckloni</i>	247	19.01	45541.7	45.54	284	17.35	38994.5	28.76
黄河裸裂尻鱼 <i>Schizopygopsis pylzovi</i>	277	21.32	10560.9	10.56	216	13.19	6530	4.82
骨唇黄河鱼 <i>Chuanchia labiosa</i>	—	—	—	—	4	0.24	876.4	0.65
鲫 <i>Carassius auratus</i>	37	2.85	1897.6	1.90	45	2.75	1678.3	1.24
鲤 <i>Cyprinus carpio</i>	20	1.54	1449.6	1.45	22	1.34	1234.8	0.91

表 4 白河、黑河鱼类相对重要性指数
Tab. 4 Index of relative importance fish species in the Baihe River and Heihe River

物种 species	白河 Baihe River					黑河 Heihe River				
	春季 spring	夏季 summer	秋季 autumn	冬季 winter	全年 full year	春季 spring	夏季 summer	秋季 autumn	冬季 winter	全年 full year
黄河高原鳅 <i>Triplophysa pappenheimi</i>	25	213	/	63	95	/	/	/	73	73
拟鲇高原鳅 <i>Triplophysa siluroides</i>	802	607	793	385	605	796	720	785	681	758
硬刺高原鳅 <i>Triplophysa scleroptera</i>	2023	2540	2184	606	1753	476	1105	802	597	656
拟硬刺高原鳅 <i>Triplophysa pseudoscleroptera</i>	1056	1102	662	826	924	918	1115	839	639	964
厚唇裸重唇鱼 <i>Gymnoditychus pachycheilus</i>	353	642	178	/	387	1381	723	648	2892	1733
极边扁咽齿鱼 <i>Platypharodon extremus</i>	/	/	1436	/	369	540	196	1841	681	924
花斑裸鲤 <i>Gymnocypris eckloni</i>	1062	1332	2157	5686	5903	2951	3956	2703	4092	3356
黄河裸裂尻鱼 <i>Schizopygopsis pylzovi</i>	983	1229	784	835	948	1313	655	148	397	568
骨唇黄河鱼 <i>Chuanchia labiosa</i>	/	/	/	/	/	7	/	15	/	9
鲫 <i>Carassius auratus</i>	110	79	97	/	92	96	49	138	/	60
鲤 <i>Cyprinus carpio</i>	132	70	81	/	88	109	166	28	/	53

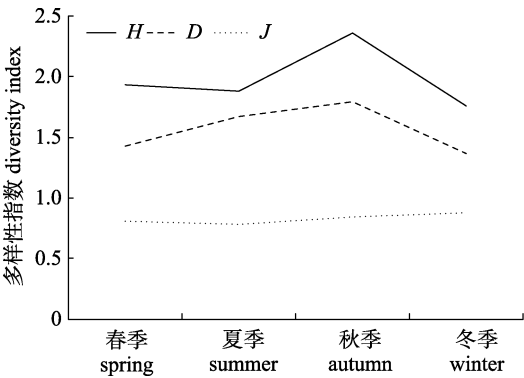


图 2 不同季节白河、黑河鱼类多样性指数
Fig. 2 Diversity index of fish in the Baihe River and the Heihe River in different seasons

运用 ABC 曲线分析鱼类群落的年度变化表明, 白河、黑河及白河与黑河的鱼类群落的 W 统计值均为正值($W>0$), 分别为 0.035、0.242 和 0.122 (图 4)。白河、黑河鱼类群落年度的 W 值均大于 0, 说明整年度鱼类群落结构较为稳定。

2.4 鱼类群落聚类分析

通过对白河、黑河不同季节 7 个采样点鱼类群落等级聚类和 NMDS 分析, 周年间不同季节的 NMDS 胁强系数分别为: 0.01、0.06、0.05 和 0.03, 表明该聚类结果较好, 可信度高(图 5, 图 6)。不同季节的鱼类可划分为 3 组, 其中春季鱼类组 I 为 3

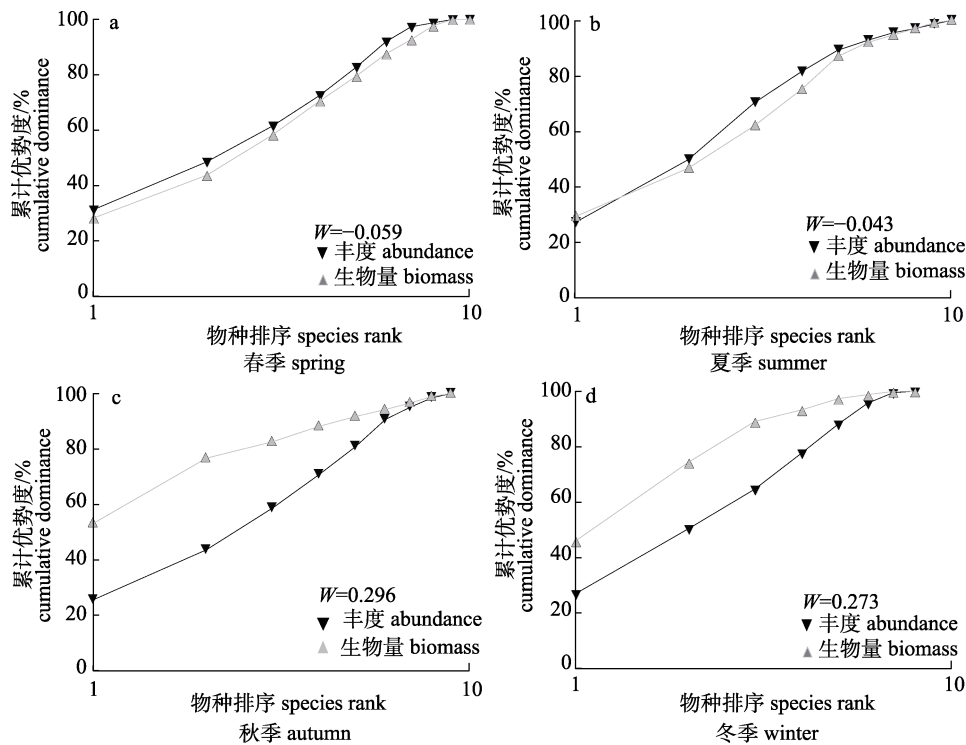


图 3 白河、黑河不同季节鱼类群落的丰度/生物量曲线

Fig. 3 Abundance/biomass curves of fish communities in different seasons of Baihe River and Heihe River

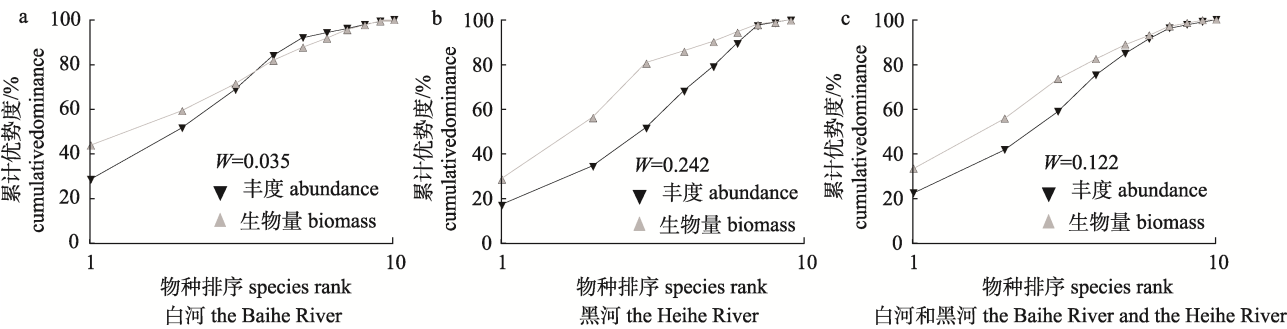


图 4 白河、黑河鱼类群落的丰度/生物量曲线

Fig. 4 Abundance/biomass curves of fish communities in the Baihe River and the Heihe River

和 7 号采样点, 组 II 为 1、4、5 和 6 号采样点, 组 III 为 2 号采样点; 夏季鱼类组 I 为 1、5 和 6 号采样点, 组 II 为 2 和 7 号采样点, 组 III 为 3 和 4 号采样点; 秋季鱼类组 I 为 1、3 和 4 号采样点, 组 II 为 2、6 和 7 号采样点, 组 III 为 5 号采样点; 冬季鱼类组 I 为 4、5 和 6 号采样点, 组 II 为 2、3、7 号采样点, 组 III 为 1 号采样点。Cluster 和 NMDS 聚类结果一致, 表明了鱼类群落结构分布具有差异性。

3 讨论

3.1 鱼类组成特点

2022—2023 年在白河、黑河调查到鱼类 11

种, 隶属于 1 目 2 科 8 属, 其中鲤和鲫为外来鱼类, 为当地放生时带入; 白河和黑河鱼类组成基本一致, 可能与同处于海拔高度、气候条件和河流生境有关。

20 世纪 90 年代在白河调查到 11 种鱼类, 在黑河调查到 12 种鱼类^[4]。本次调查与历史上分布的种类相比较, 白河有东方高原鳅(*Triplophysa orientalis*)、黑体高原鳅(*Triplophysa obscura*)和骨唇黄河鱼 3 种鱼类未调查到; 黑河有东方高原鳅、黑体高原鳅、梭形高原鳅(*Triplophysa leptosoma*)和斯氏高原鳅(*Triplophysa stoliczkae*) 4 种鱼类未调查到。结果表明, 白河、黑河鱼类区系组成简

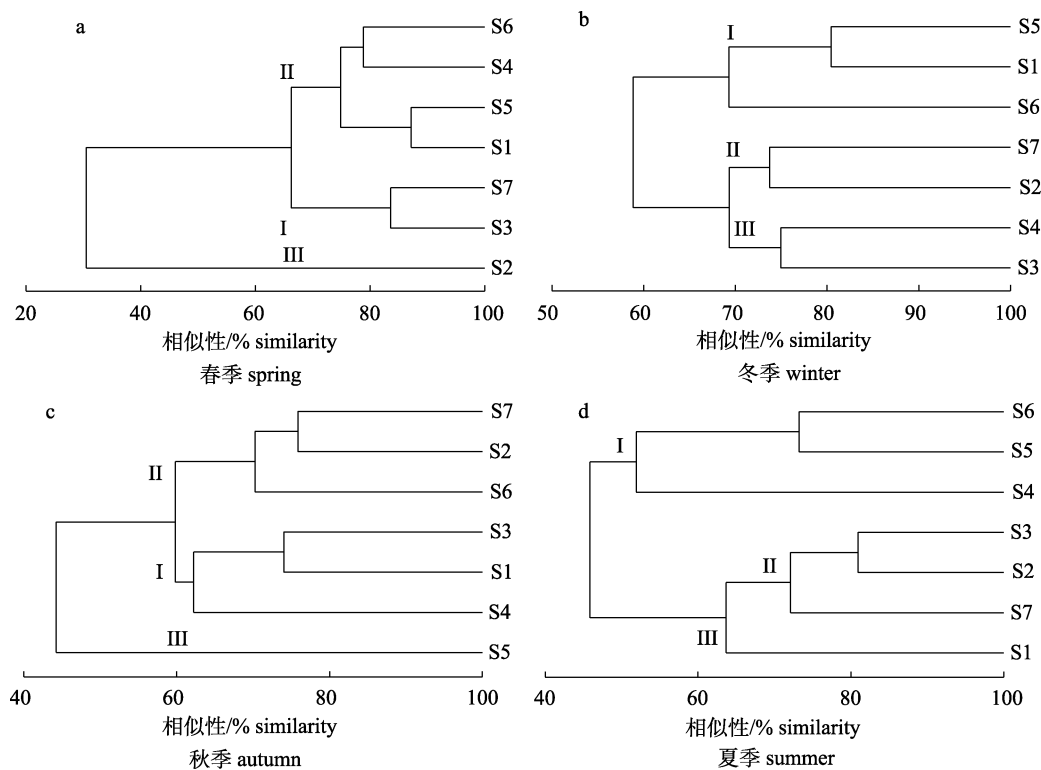


图 5 白河、黑河不同季节采样点鱼类群落聚类图
Fig. 5 Seasonal variation of Bray-Curtis cluster of fish species in the Baihe River and the Heihe River

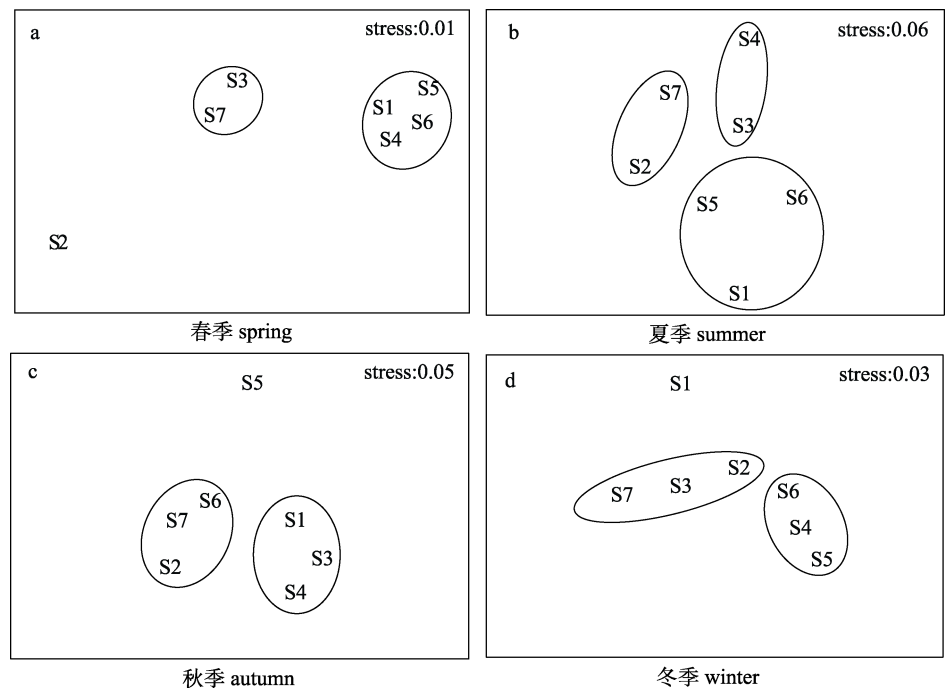


图 6 白河、黑河不同季节采样点鱼类群落非度量多维尺度分析
Fig. 6 Seasonal variation of NMDS analysis of fish species in the Baihe River and the Heihe River

单，主要以高原鳅属鱼类为主，其多样性呈下降趋势；但黄河上游特有和保护鱼类占比很高，达

到 54.55%，且为典型的青藏(中亚)高原鱼类区系^[25]。从鱼类组成特点看，调查区鱼类中无常见

的、分布较广的裂腹鱼类属、种, 仅有较为特化的、更适应黄河水系水体环境的属、种。黄河鱼属和扁咽齿鱼属鱼类在裂腹鱼亚科鱼类的分布中心均未见有分布, 是我国淡水鱼的特有属, 这表明白河、黑河鱼类区系具有其独特性^[26]。

与同属四川西部高原地区, 鱼类组成以青藏(中亚)鱼类区系为主的长江水系水体相比较, 调查区鱼类中未见广泛分布于四川江河(长江水系)的副鳅属、沙鳅亚科、鲴亚科和鲴亚科等鱼类。同科(亚科)鱼类中, 厚唇裸重唇鱼、梭形高原鳅、斯氏高原鳅等种为共有种, 分布广泛; 而裂腹鱼亚科中除厚唇裸重唇鱼外的4种土著鱼类均为黄河上游特有种, 只在黄河流域内有分布。

3.2 鱼类优势种及多样性分析

相对重要性指数结果显示, 白河全年优势种有花斑裸鲤和硬刺高原鳅, 黑河优势种有花斑裸鲤和厚唇裸重唇鱼, 不同季节中花斑裸鲤均为优势种, 其花斑裸鲤分布范围广、数量和质量占比大, 为白河、黑河全年共有的优势种; 白河的硬刺高原鳅在春季、秋季和冬季为优势种, 黑河的厚唇裸重唇鱼在春季和冬季则为优势种。白河、黑河不同季节常见种均为黄河上游土著鱼类, 为3~5种; 外来鱼类鲤和鲫为偶见种; 表明黄河上游白河、黑河鱼类组成仍以当地土著鱼类为主, 受外界环境干扰较小, 可能与当地高海拔和独特的气候环境有关。历史资料显示在白河、黑河未调查到鲤和鲫, 但通过周年的调查发现, 鲤和鲫已在白河、黑河顺利度过越冬期, 如果逐渐适应当地水体环境则可能会大量繁殖, 从而对四川黄河水系的土著鱼类造成威胁。

多样性指数越大, 说明一个区域内鱼类种类越多, 其群落结构稳定性也越高。Shannon-Wiener多样性指数、Margalef丰富度指数和Pielou均匀度指数广泛应用于水生生物多样性研究中, 也是衡量群落结构状态的重要指标^[27-29]。黄河上游和中、下游地区在鱼类区系组成上的差异是由青藏高原的地势抬升而逐渐演化形成, 也造成了黄河上游鱼类多样性低, 黄河中游和下游多样性相对较高的现象^[24]。黄河上游支流白河、黑河鱼类多样性指数低, 这与黄河上游其他河段(秦岭黑河、

黄河干流陕西段、渭河陕西段/黄河龙羊峡段和黄河干流盐锅峡—黑山峡段)研究结果一致^[30-33]。

白河、黑河鱼类Shannon-Wiener多样性指数为1.764~2.364, Margalef丰富度指数为1.364~1.798, 鱼类多样性和丰富度指数属于一般范围水平^[34]; 两条曲线变化趋势也基本一致, 多样性指数和丰富度指数都是从春季繁殖期开始上升, 到了秋季最高, 最后随着冬季水温下降指数也随着下降。Pielou均匀度指数变化范围小, 为0.7854~0.8747, 四季基本保持不变。均匀度指数变幅小, 说明一定区域内不同种类的鱼类个体数分布较均匀, 外界环境对其影响小^[35]。

3.3 鱼类群落结构分析

由ABC曲线和统计分析表明, 白河、黑河4个季节的鱼类群落结构和多样性受到不同程度的干扰。从季节来看, 春季和夏季W的统计值为负值, 表明春季和夏季优势种中以小型鱼类为主, 大型鱼类数量占比小, 易受到外界环境的干扰, 稳定性较差。但到了秋季和冬季W的统计值为正值, 说明鱼类的群落结构在春季和夏季繁殖期过后, 鱼类群落结构趋于稳定, 大个体鱼类逐渐增多; 可能与黄河上游特有鱼类繁殖习性有关(繁殖季节到来前, 黄河上游干流的鱼类上溯至白河、黑河等支流产卵; 繁殖后又回到黄河干流)。但从整个年度来看, 白河、黑河的鱼类群落较为稳定, W的统计值为正值0.122。整体分析, 白河、黑河两条支流的鱼类群落维持在一个较为稳定的状态, 鱼类优势种中大个体鱼类增加, 不易受到外来生物的入侵。

Cluster和NMDS分析结果表明, 白河、黑河鱼类不同季节的聚类图结果较好, 可划分3组, 这说明在不同季节里鱼类群落结构发生了变化; 但该变化并不显著, 鱼类群落结构受多种外界因素影响, 如DO、pH、TP和TN等水体理化指标。非法捕捞、不合理的放生和岸线利用等人为因素都会影响鱼类群落结构组成^[36-41]。

4 结论与建议

黄河流域自然资源丰富, 生态系统类型多样, 因上游因独特的地理位置和气候类型成为了许多

水生生物重要的繁衍栖息生境^[25]。本研究在白河调查到鱼类 10 种、黑河调查到鱼类 11 种, 鱼类种类分别占 1993 年调查结果的 72.73%和 75.00%。黄河支流白河、黑河鱼类多样性水平一般, 白河、黑河合计有 5 种鱼类未调查到, 鱼类资源有衰退的迹象, 同时也调查到历史上没有分布的鲤和鲫外来鱼类, 建议加强鱼类多样性保护。

可从以下方面开展对黄河上游主要支流特有鱼类的保护: ①需加强对“黄河上游特有鱼类国家级水产种质资源保护区”的保护力度。该保护区建立于 2007 年, 其保护区在四川省范围内主要是在白河、黑河下游河段, 主要保护对象为拟鲃高原鳅、极边扁咽齿鱼和黄河裸裂尻鱼等黄河上游特有鱼类^[9], 建议渔业主管部门加大巡护力度, 打击非法捕捞的行为。加强保护宣传, 可在白河、黑河人口密集区域设立鱼类资源保护宣传标识或标志牌等; ②开展有针对性的增殖放流工作。开展鱼类人工增殖放流是鱼类资源增殖的有效方式之一, 可针对人工繁殖技术成熟的物种进行人工增殖放流, 如开展似鲃高原鳅、黄河裸裂尻鱼和花斑裸鲤等鱼类养护工作; ③开展特有鱼类保种育种工作。例如, 针对人工繁殖技术未成熟的骨唇黄河鱼、极边扁咽齿鱼和高原鳅类, 可对其进行亲本收集, 繁殖驯养, 基础生物学研究等工作; ④开展重点水域的水生生物监测工作。在白河的唐克段、黑河黑河达扎寺镇和麦溪乡段开展特有鱼类监测工作, 包括“三场一通道”和水体理化指标等的监测。

参考文献:

- [1] Editorial Committee of the Results Series of the First National Water Resources Census. Census Report on Basic Information of Rivers and Lakes in China[M]. Beijing: China Water & Power Press, 2017: 8-25. [《第一次全国水利普查成果丛书》编委会. 河湖基本情况普查报告[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2017: 8-25.]
- [2] Zhao X, Wang L, Zheng S, et al. Analysis on community characteristics and environmental factors of plankton and Zoobenthos in headwater area of Wudinghe River watershed: A tributary of Mid Yellow River[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2021, 52(10): 121-132. [赵鑫, 王琳, 郑帅, 等. 黄河中游支流无定河流域源头区浮游生物和底栖动物群落特征与环境因子分析[J]. 水利水电技术, 2021, 52(10): 121-132.]
- [3] Li X, Li Z W, Hu X Y, et al. Analysis on morphological features of oxbow lakes along Heihe River in Zoige Basin[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2017, 37(6): 19-24, 94. [李想, 李志威, 胡旭跃, 等. 若尔盖盆地黑河的牛轭湖沿程变化与形态特征[J]. 水利水电科技进展, 2017, 37(6): 19-24, 94.]
- [4] Ding R H. Study on fish and their protection in the Yellow River drainage of Sichuan Province[J]. Chinese Journal of Zoology, 1996(1): 8-11. [丁瑞华. 四川省黄河水系鱼类及其保护的研究[J]. 动物学杂志, 1996(1): 8-11.]
- [5] Li H L, He L, Wu K J, et al. Research on plant community characteristics and biodiversity in the whole section of the main stream of Baihe River in the upper reaches of the Yellow River[J]. Pratacultural Science, 2023, 40(4): 848-863. [李红霖, 贺丽, 吴科君, 等. 黄河上游白河干流全段植物群落特征及生物多样性[J]. 草业科学, 2023, 40(4): 848-863.]
- [6] Zou Y, Hu J X, Liu H X, et al. River health assessment of aquatic animals in Baihe basin, upper reaches of the Yellow River[J]. Sichuan Water Resources, 2022, 43(3): 92-95. [邹渝, 胡佳祥, 刘浩翔, 等. 黄河上游白河流域水生生物河流健康评价[J]. 四川水利, 2022, 43(3): 92-95.]
- [7] Liu H X, Hu J X, Wang X Y, et al. Phytoplankton community structure and water quality assessment in Aba Prefecture of the Yellow River[J]. Sichuan Water Resources, 2022, 43(1): 63-67. [刘浩翔, 胡佳祥, 王雄延, 等. 阿坝州黄河流域浮游植物群落结构与水质评价[J]. 四川水利, 2022, 43(1): 63-67.]
- [8] Chen Z S, An B, Wang Z W, et al. Fish diversity and conservation in the Lanzhou reach of the Yellow River[J]. Biodiversity Science, 2021, 29(12): 1658-1672. [陈召松, 安蓓, 王子旺, 等. 黄河兰州段鱼类多样性与保护[J]. 生物多样性, 2021, 29(12): 1658-1672.]
- [9] Shen Z X, Wang G J, Li K M, et al. The situation and protection measures of fish resources in upstream of Longyang Valley of the Yellow River[J]. Journal of Hydroecology, 2014, 35(1): 70-76. [申志新, 王国杰, 李柯懋, 等. 黄河龙羊峡上游鱼类资源现状及保护对策[J]. 水生态学杂志, 2014, 35(1): 70-76.]
- [10] Li K M, Shen Z X, Chen Y Q, et al. Research on fish diversity and protection measures in Banduo section of Yellow River[J]. Journal of Hydroecology, 2012, 33(4): 104-107. [李柯懋, 申志新, 陈燕琴, 等. 黄河班多段鱼类多样性初步研究及保护对策[J]. 水生态学杂志, 2012, 33(4): 104-107.]
- [11] Qi H M, Xu Z L, Chen J J. Analysis of temporal-spatial

- distribution of fish resources in the Taizhou Bay in spring and autumn[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2014, 38(9): 1351-1359. [齐海明, 徐兆礼, 陈佳杰. 春秋季台州湾海域鱼类资源的时空分布特征研究[J]. *水产学报*, 2014, 38(9): 1351-1359.]
- [12] Guo J Z, Chen Z Z, Xu Y W, et al. The effects of anthropogenic activities on the diversity and succession of fish community in Daya Bay[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2018, 25(3): 595-607. [郭建忠, 陈作志, 许友伟, 等. 人类活动对大亚湾海域鱼类群落多样性及其演替的影响[J]. *中国水产科学*, 2018, 25(3): 595-607.]
- [13] Liu Y S, Tang S K, Li D M, et al. Characteristics of the fish community structure in Jiangsu reach of the Huaihe River[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2020, 27(2): 224-235. [刘燕山, 唐晟凯, 李大命, 等. 淮河流域江苏段鱼类群落结构特征[J]. *中国水产科学*, 2020, 27(2): 224-235.]
- [14] Zhang J M, He Z H. Manual of Investigation for Fisheries Resources in Inland waters[M]. Beijing: Agriculture Press, 1991: 242-330. [张觉民, 何志辉. 内陆水域渔业自然资源调查手册[M]. 北京: 农业出版社, 1991: 242-330.]
- [15] Ding R H. Fishes of Sichuan[M]. Chengdu: Sichuan Scientific & Technical Publishers, 1994: 1-536. [丁瑞华. 四川鱼类志[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 1994: 1-536.]
- [16] Yue P Q. Fauna Sinica: Osteichthyes, Cypriniformes, III[M]. Beijing: Science Press, 2000: 1-567. [乐佩琦. 中国动物志·硬骨鱼纲·鲤形目(下卷)[M]. 北京: 科学出版社, 2000: 1-567.]
- [17] Cai W X, Zhang J J, Wang S W. Atlas of Fishes in the Yellow River Basin[M]. Xianyang: Northwest Agriculture and Forestry University Press, 2013: 1-282. [蔡文仙, 张建军, 王守文. 黄河流域鱼类图志[M]. 咸阳: 西北农林科技大学出版社, 2013: 1-282.]
- [18] 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.]
- [19] Warwick R M. A new method for detecting pollution effects on marine macrobenthic communities[J]. *Marine Biology*, 1986, 92(4): 557-562.
- [20] Yemane D, Field J G, Leslie R W. Exploring the effects of fishing on fish assemblages using Abundance Biomass Comparison (ABC) curves[J]. *ICES Journal of Marine Science*, 2005, 62(3): 374-379.
- [21] Cortés E. A critical review of methods of studying fish feeding based on analysis of stomach contents: Application to elasmobranch fishes[J]. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1997, 54(3): 726-738.
- [22] Yu N J, Yu C G, Xu Y J, et al. Fish community structure and biodiversity in the offshore waters of Zhoushan Islands in spring and autumn[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2021, 45(8): 1374-1383. [于南京, 俞存根, 许永久, 等. 舟山群岛外海域春秋季鱼类群落结构及生物多样性[J]. *水产学报*, 2021, 45(8): 1374-1383.]
- [23] 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.]
- [24] Kruse M, Taylor M, Muhando C A, et al. Lunar, diel, and tidal changes in fish assemblages in an East African marine reserve[J]. *Regional Studies in Marine Science*, 2016, 3: 49-57.
- [25] Zhao Y H, Xing Y C, Lü B B, et al. Species diversity and conservation of freshwater fishes in the Yellow River basin[J]. *Biodiversity Science*, 2020, 28(12): 1496-1510. [赵亚辉, 邢迎春, 吕彬彬, 等. 黄河流域淡水鱼类多样性和保护[J]. *生物多样性*, 2020, 28(12): 1496-1510.]
- [26] Li S Z. Discussion on the fish fauna of the Yellow River[J]. *Chinese Journal of Zoology*, 1965, 7(5): 217-222. [李思忠. 黄河鱼类区系的探讨[J]. *动物学杂志*, 1965, 7(5): 217-222.]
- [27] Chen D Q, Duan X B, Liu S P, et al. On the dynamics of fishery resources of the Yangtze River and its management[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2002, 26(6): 685-690. [陈大庆, 段辛斌, 刘绍平, 等. 长江渔业资源变动和管理对策[J]. *水生生物学报*, 2002, 26(6): 685-690.]
- [28] Yang Z, Gong Y, Dong C, et al. Fish resource status of the lower reaches of the Heishui River and the measures for their conservation[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2017, 26(6): 847-855. [杨志, 龚云, 董纯, 等. 黑水河下游鱼类资源现状及其保护措施[J]. *长江流域资源与环境*, 2017, 26(6): 847-855.]
- [29] Liu S P, Qiu S L, Chen D Q, et al. Protection and rational utilization of the germplasm resources of the four major Chinese carps in the Yangtze River system[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 1997, 6(2): 127-131. [刘绍平, 邱顺林, 陈大庆, 等. 长江水系四大家鱼种质资源的保护和合理利用[J]. *长江流域资源与环境*, 1997, 6(2): 127-131.]
- [30] Bian K, Zhang J L, Gou N N, et al. Current status and historical changes of fish composition in the Heihe River, Qingling[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2022, 29(8):

- 1210-1222. [边坤, 张建禄, 苟妮娜, 等. 秦岭黑河流域鱼类群落结构及其历史变化[J]. 中国水产科学, 2022, 29(8): 1210-1222.]
- [31] 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, 106. [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, 106.]
- [32] Shen H B, Li R J, Lü B B, et al. Characteristics of fish community structure in the Weihe River of Shaanxi section[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2019, 43(6): 1311-1320. [沈红保, 李瑞娇, 吕彬彬, 等. 渭河陕西段鱼类群落结构组成及变化研究[J]. 水生生物学报, 2019, 43(6): 1311-1320.]
- [33] 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.]
- [34] Magurran A E. *Ecological Diversity and Its Measurement*[M]. Princeton: Princeton University Press, 1988: 7-45.
- [35] Jin B S. Temporal and spatial distribution patterns of fish diversity in salt marsh creeks of Yangtze River Estuary[D]. Shanghai: Fudan University, 2010. [金斌松. 长江口盐沼潮沟鱼类多样性时空分布格局[D]. 上海: 复旦大学, 2010.]
- [36] Yin X W, Jin W, Wang B H, et al. The species composition of fishes and relationship with environmental factors in Taizi River Basin[J]. *Chinese Journal of Fisheries*, 2017, 30(2): 42-45. [殷旭旺, 金文, 王博涵, 等. 太子河流域鱼类组成及其与环境因子的关系[J]. 水产学杂志, 2017, 30(2): 42-45.]
- [37] Wang Y P, Kuang Z, Lin D Q, et al. Community structure and species diversity of fish around the Xinzhou shoal in the Anqing section of the Yangtze River, China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2020, 40(7): 2417-2426. [王银平, 匡箴, 蔺丹清, 等. 长江安庆新洲水域鱼类群落结构及多样性[J]. 生态学报, 2020, 40(7): 2417-2426.]
- [38] Suárez Y R, Petrere-Junior M, Catella A C. Factors determining the structure of fish communities in Pantanal lagoons (MS, Brazil)[J]. *Fisheries Management and Ecology*, 2001, 8(2): 173-186.
- [39] Zhai L, Xu B D, Ji Y P, et al. Spatial pattern of fish assemblage and the relationship with environmental factors in Yellow River Estuary and its adjacent waters in summer[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2015, 26(9): 2852-2858. [翟璐, 徐宾铎, 纪毓鹏, 等. 黄河口及其邻近水域夏季鱼类群落空间格局及其与环境因子的关系[J]. 应用生态学报, 2015, 26(9): 2852-2858.]
- [40] Cheng L. Relationship between fish community and main environmental factors in lakes of Yangtze River basin and its prediction model[D]. Wuhan: Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, 2011. [程琳. 长江流域湖泊鱼类群落与主要环境因子关系及其预测模型[D]. 武汉: 中国科学院水生生物研究所, 2011.]
- [41] Li J H, Huang L L, Zou L M, et al. Spatial and temporal variation of fish assemblages and their associations to habitat variables in a mountain stream of north Tiaoxi River, China[J]. *Environmental Biology of Fishes*, 2012, 93(3): 403-417.

Composition and structural characteristics of fish communities in the Baihe River and the Heihe River, tributaries of the upper reaches of the Yellow River

LI Feiyang¹, XIE Jiang², ZOU Qiaolin¹, LIU Ya¹, SONG Mingjiang¹, WU Xiaoyun¹, CHEN Yeyu¹, NI Luyun¹, OU Jun¹, LAI Jiansheng¹

1. Fisheries Research Institute, Sichuan Academy of Agricultural Sciences, Chengdu 611731, China;

2. Key Laboratory of Sichuan Province for Fishes Conservation and Utilization in the Upper Reaches of the Yangtze River, Neijiang Normal University, Neijiang 641100, China

Abstract: The Baihe River and the Heihe River, which are both tributaries of the upper Yellow River in Sichuan Province, China, exhibit unique environmental and climatic conditions that support a diverse fish population. To investigate the species composition, community structure, and diversity of fish species in these rivers, this study incorporated historical data and field surveys that were conducted during the winter of 2022 (November), and in the spring (April), summer (July), and autumn (September) of 2023. A total of 2936 individuals from 11 species, spanning 8 genera, 2 families, and 1 order, were collected. Among these, the following four were endemic to the upper reaches of the Yellow River: *Platypharodon extremus*, *Gymnocypris eckloni*, *Schizopygopsis pylzovi*, and *Chuanchia labiosa*. Additionally, four species classified as second-class protected fish in China, namely, *Triplophysa siluroides*, *Gymnodiptychus pachycheilus*, *P. extremus*, and *C. labiosa*, and one provincial protected species, *Triplophysa papptnhtimi*, were detected. Two exotic species, *Cyprinus carpio* and *Carassius auratus*, represented 36.36%, 36.36%, 9.09%, and 18.18% of the total species identified in November 2022, April 2023, July 2023, and September 2023, respectively. Among the collected species, seven belonged to the Cyprinidae family and four to the Cobitidae family, accounting for 63.64% and 36.36% of the total number of species, respectively. The index of relative importance value indicated that the dominant species in the Baihe River were *G. eckloni* and *Triplophysa scleroptera*, while the dominant species in the Heihe River were *G. eckloni* and *G. pachycheilus*. The Shannon-Wiener diversity index value ranged from 1.764 to 2.364, the Margalef richness index value ranged from 1.364 to 1.798, and the Pielou evenness index value ranged from 0.7854 to 0.8747. Notably, the fish biodiversity index peaked in autumn. The abundance/biomass comparison curve indicated a stable fish community structure in both the Baihe River and Heihe River, dominated by large individual species with minimal external disturbances. Cluster and non-metric multidimensional scaling analysis revealed that the fish communities in the Baihe River and Heihe River could be classified into three distinct groups. Furthermore, when compared with historical data, there was a notable decrease in fish diversity in the Baihe River and Heihe River, accounting for 72.73% and 66.67% of the historical total number of species, respectively. The upper reaches of the Yellow River exhibited a high proportion of unique and protected fish species, characteristic of the typical Qinghai-Tibet (Central Asian) Plateau fish fauna. This study provides valuable data on fish community dynamics in the main tributaries of the Yellow River in Sichuan and offers recommendations for the protection of unique fish species in the upper reaches of the Yellow River.

Key words: upper Yellow River; fish composition; community structure; diversity

Corresponding author: LAI Jiansheng. E-mail: scsljs@126.com