

## 漳河山西段鱼类和大型底栖动物群落结构特征

李超, 王爱花, 惠晓梅, 杜世勋, 郭新亚

(山西省生态环境研究中心, 太原 030009)

**摘要:** 调查鱼类和大型底栖动物, 为漳河山西段水生生物多样性保护与研究、河流生态修复等相关工作提供依据。2017 年在 10 个采样河段采集鱼类和大型底栖动物, 分析其物种组成、分布及多样性特征。结果显示: (1) 共采集到鱼类 24 种, 优势种为棒花鱼 *Abbottina rivularis*、麦穗鱼 *Pseudorasbora parva*、拉氏鲃 *Rhynchocypris lagowskii*、高体鲃 *Rhodeus ocellatus*、中华鲃 *Rhodeus sinensis*、子陵吻鰕虎鱼 *Rhinogobius giurinus*; 大型底栖动物 44 种, 年平均密度 256 个/m<sup>2</sup>, 优势种为中华锯齿米虾 *Neocaridina denticulate sinensis*、蚌蚶科稚虫 *Ephemera*、扁蚌科稚虫 *Heptageniidae*、椭圆萝卜螺 *Radix swinhoei*。(2) 鱼类 Shannon-Wiener 指数、Margalef 指数平均值分别为 1.53、1.68, 夏季多样性好于春、秋季; 大型底栖动物 Shannon-Wiener 指数、Margalef 指数分别为 1.14、1.47, 春季多样性好于夏、秋季。(3) 聚类分析结果显示, 鱼类组成为清漳河、浊漳河 2 组, 清漳河鱼类优势种包括短须颌须鲃 *Gnathopogon imberbis*、拉氏鲃 *Rhynchocypris lagowskii*, 浊漳河优势种为鲃属 *Rhodeus* 的鱼类; 大型底栖动物组成同样分为清漳河、浊漳河 2 组, 清漳河平均密度及物种数低于浊漳河, 其昆虫纲蜻蜓目物种数多于浊漳河, 而昆虫纲鞘翅目、半翅目、广翅目以及甲壳纲、腹足纲、双壳纲、寡毛纲、蛭纲的物种数少于浊漳河。

**关键词:** 鱼类; 大型底栖动物; 聚类分析; 多样性; 漳河

**中图分类号:** S932.4, Q142 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-3075(2020)06-0122-11

河流水生生物中的鱼类和大型底栖动物是河流生态系统的重要组成部分, 其与河流水环境 (Giorgio et al, 2016; Ding et al, 2017)、岸带 (Pease et al, 2015) 以及流域尺度因子 (土地利用、地质条件等) (Freund et al, 2007; 马凯等, 2017) 之间的密切联系也被诸多研究中所证实, 因此, 开展鱼类和大型底栖动物的系统调查与多样性评估对河流环境与生态研究至关重要 (洪松等, 2002; 李艳利等, 2016; 刘贤等, 2018)。

漳河属海河流域漳卫南运河水系, 发源于山西省东南部的长治东部、晋中东南以及晋城东南地区。在山西省境内流域面积 1.82 万 km<sup>2</sup>, 包括清漳河、浊漳河 2 大独立的水系 (李英明等, 2004)。清漳河包括东源、西源 2 个源头; 浊漳河包括北源、西源、南源 3 个源头, 西源和南源在襄垣县城以北汇合后, 与北源在襄垣县前迪村附近合流。流域内多年平均降

水量 (1951-2013 年) 564.8 mm (高云明等, 2016), 浊漳北源上游沁县和西源上游屯留县以西区域为降水高值区, 丰水年降水可达 1 000 mm 以上。随着人类活动的持续影响, 漳河在水文、水质条件等方面发生了较大改变。在漳河各河段中, 清漳河水环境质量较好, 但是受河道内水库建设、河床开挖等影响, 河流水文条件也发生了较大变化, 20 世纪 80 年代之后河川径流呈现显著减少的趋势 (高云明等, 2016); 浊漳南源污染较为严重, 《2017 年山西省地表水环境质量月报告》显示, 南源长治市区上游水体类型为劣 V 类, 长治市至襄垣县城区为 V 类水体, 浊漳北源、西源为 II~IV 类水体。现有针对漳河流域的研究主要是关于水库如漳泽水库、云竹水库、后湾水库、关河水库等 (山西省水利厅渔业资源和渔业区划编写组, 1989; 山西省水产科学研究所, 2012), 对河流的研究工作较少。与水库相比, 自然河段中的鱼类和大型底栖动物更容易受河流环境变化的影响而发生改变。本研究于 2017 年春 (5 月)、夏 (7 月)、秋 (10 月) 3 季, 对漳河山西段鱼类和大型底栖动物进行调查, 分析其物种组成、分布及多样性特征, 为漳河山西段水生生物多样性保护与研究、河流生态修复等相关工作提供依据。

收稿日期: 2019-01-03

基金项目: 山西省 2016 年地表水跨界断面水质考核补偿专项省本级项目 (山西省水生生物多样性调查评估)。

作者简介: 李超, 1984 年生, 男, 高级工程师, 主要从事污水污泥处理与水生态保护研究。E-mail: lichao45001@163.com

# 1 采样点位及分析方法

## 1.1 采样河段

根据河流形态(顺直、弯曲、有无水利工程)、水文(流速缓急、水深)、水质(清澈、浑浊、有无臭味)、底质类型(卵石、淤泥)、周边土地利用类型(森林、农田、居民区、裸地)等方面综合考虑,在漳河山西段共布设 10 个采样河段,其中,清漳河 3 个、浊漳河 7 个。采样河段分布见图 1,河段生境见表 1。

## 1.2 采样方法

各河段水深、流速、水温、透明度分别采用测深杆、便携式流速仪、温度计、透明度管测定,水质根据山西省生态环境厅发布的水质监测结果(<http://sthjt.shanxi.gov.cn/>)确定。鱼类采集使用拖网、粘网、手抛网、渔笼等工具,物种鉴定主要依据陈宜瑜等(1998)、乐佩琦等(2000)、蔡文仙等(2013)、李思忠等(2017)的相关成果。大型底栖动物包括定性采集和定量采集:定性采集采用 D 型网,主要用于考察大型底栖动物的物种分布;定量采集采用索伯网(30 cm×30 cm),随机采集 3 个样方,将采集的样品置于 40 目网筛中,去除枯叶、树枝、石块等杂物后,倒入白瓷盘中分拣,采用 10% 的甲醛溶液保存,并带回实验室进行后续鉴定、分类和计数(段学花

等,2010;周凤霞等,2011)。

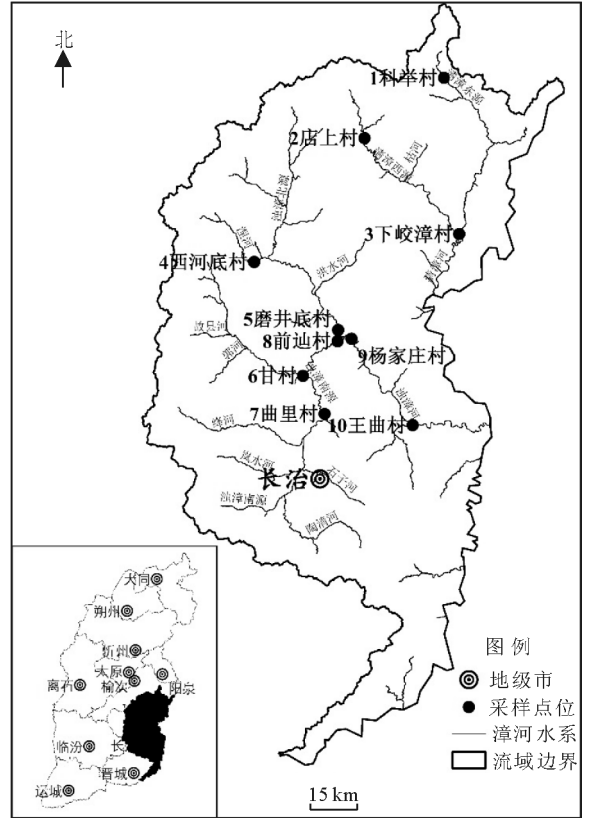


图 1 漳河山西段采样河段布设

Fig.1 Location of sampling sites in the Shanxi section of Zhanghe River

表 1 各采样河段生境现状

Tab.1 Habitat status at each sampling site

采样河段	河流形态	水文	水体透明度	底质类型	周边土地利用类型	
清漳河	科举村	弯曲	流速平缓、水深较浅、水面较窄	清澈见底	淤泥	森林、少量农田
	店上村	弯曲	流速较快、水深较浅、水面开阔	清澈见底	卵砾石	森林、少量农田
	下蛟漳村	弯曲	流速较快、水深较浅、水面开阔	清澈见底	卵砾石	森林
浊漳河	西河底村	顺直	流速较快、水深较浅、水面较窄	浑浊	卵砾石	居民区、农田
	磨井底村	顺直	流速较快、水深较深、水面较窄	浑浊	卵砾石	森林
	甘村	弯曲	水流湍急、水深较深、水面较窄	浑浊	卵砾石	居民区、农田
	曲里村	顺直	流速较快、水深较浅、水面开阔	浑浊	淤泥	居民区、农田
	前迪村	弯曲	流速湍急、水深较深、水面开阔	浑浊	卵砾石	森林
	杨家庄村	顺直	流速湍急、水深较浅、水面开阔	浑浊	卵砾石	森林
	王曲村	弯曲	流速湍急、水深较深、水面开阔	浑浊	卵砾石	居民区、农田

## 1.3 分析方法

采用优势度指数(Y)(陈清潮等,1994)计算鱼类和大型底栖动物优势种。

$$Y = n_i / N \times f_i \quad (1)$$

式中, $n_i$  为第  $i$  种生物的个体数, $N$  为所有物种的个体总数, $f_i$  为第  $i$  种生物出现频率; $Y > 0.02$  为优势种。

采用 Shannon-Wiener 多样性指数( $H$ )(Shannon et al,1950)、Margalef 指数( $d_M$ )(Soballe et al,1987)评估物种多样性。

$$H = -\sum_{i=1}^S P_i \ln P_i \quad (2)$$

$$d_M = (S - 1) / \ln N \quad (3)$$

式②、③中, $S$  为物种数目, $P_i$  是样点中第  $i$  种的个体比例, $N$  为所有物种的个体总数。

$H, d_M = 0$  为物种极贫乏; $0 < H, d_M \leq 1.0$  为贫乏; $1.0 < H, d_M \leq 2.0$  为一般; $2.0 < H, d_M \leq 3.0$  为较丰富; $H, d_M > 3.0$  为丰富。

采用 SPSS18.0 中聚类分析来分析不同河段鱼类、底栖动物物种组成结构差异,并分析物种结构与水环境之间的联系。

## 2 结果与分析

### 2.1 河流水环境

各采样河段水文水质指标值见表2。其中,水深范围为0.3~1.5 m,水面宽为4~55 m,浊漳西源甘村段水面宽度最小,下蛟漳村水面宽最大。各河段流速在0.001~1.224 m/s,清漳河3个河段在春季流速较小,分别为0.093、0.001、0.107 m/s,其余河段流速均较大,甘村夏季最大,为1.224 m/s。3季水温分别为15.0~23.0、11.0~28.0、6.8~14.8℃,平均值分别为18.5、23.3、11.7℃。水体透明度为17.1~120 cm。

参考山西省生态环境厅发布的地表水水质类别标准,清漳河3个采样河段水质在3个季节均为II类以上水体;浊漳北源西河底村、磨井底村采样河段均为III类水体;浊漳西源甘村段的水体属于II~

IV类水体;浊漳南源曲里村段3季均为V类水体,前迪村段均为III类水体,浊漳干流杨家庄村、王曲村河段属于III~IV类水体。

### 2.2 鱼类

2.2.1 种类组成 共采集到鱼类24种,分属4目7科;清漳河、浊漳河分别为14种、19种,共有物种为9种。鲤科种类最多,为14种,个体数占总数的87.41%;鳅科4种,鰕虎鱼科2种,沙塘鳢科、大颌鲂科、鲮科各1种。鱼类名录及分布见表3。

棒花鱼、麦穗鱼、拉氏鳊、高体鲂、中华鲂、子陵吻鰕虎鱼为优势种,优势度指数分别为0.101、0.196、0.044、0.051、0.030、0.060。棒花鱼、麦穗鱼、子陵吻鰕虎鱼在8个以上的河段均有采集到,分布较广;而拉氏鳊仅在清漳河3个河段采集到,为清漳河的特有优势种;高体鲂、中华鲂主要在浊漳河采集到,在清漳河仅店上村采集到1尾高体鲂。

表2 各采样河段2017年水文水质指标值

Tab.2 Hydrological and water quality indicators at each sampling site in 2017

采样河段	水深/m			水面宽/m			平均流速/m·s <sup>-1</sup>			水温/℃			水体透明度/cm			水环境质量		
	春	夏	秋	春	夏	秋	春	夏	秋	春	夏	秋	春	夏	秋	春	夏	秋
科举村	0.45	0.58	0.70	8	9	7	0.093	0.764	0.937	17.5	11.0	6.8	120.0	100.3	108.0	II	I	II
店上村	0.95	0.30	0.75	18	38	20	0.001	0.689	0.568	23.0	21.0	9.0	68.2	110.0	120.0	II	II	II
下蛟漳村	0.70	0.50	0.35	15	55	41	0.107	0.639	0.556	15.0	19.0	13.2	120.0	85.0	52.0	II	II	II
西河底村	0.82	0.45	0.75	8.5	16	18	0.392	1.066	0.593	20.5	25.0	11.0	81.9	34.3	41.0	III	III	III
磨井底村	0.72	0.35	1.10	13	18	24	0.555	0.179	0.831	18.0	27.0	12.0	29.7	50.0	60.0	III	III	III
甘村	0.82	0.45	1.20	8.5	10	4	1.065	1.224	0.643	17.5	26.8	14.8	17.8	43.2	52.0	III	IV	III
曲里村	1.05	0.50	0.65	28	33	29	0.739	0.348	0.457	18.0	24.3	14.0	45.0	32.6	90.0	V	V	V
前迪村	0.48	0.50	0.70	23	20	29	1.068	0.927	0.803	18.8	28.0	13.0	25.9	36.8	30.0	III	III	III
杨家庄村	0.58	0.58	0.45	39	42	50	1.061	0.768	0.514	18.5	25.0	10.0	20.8	30.0	46.0	III	IV	IV
王曲村	0.65	0.55	1.50	29	28	36	0.812	0.566	1.025	18.5	26.0	12.8	17.1	47.0	62.0	IV	IV	III
最大值	1.05	0.58	1.50	39	55	50	1.068	1.224	1.025	23	28	14.8	120.0	110.0	120.0			
最小值	0.45	0.30	0.35	8	9	4	0.001	0.179	0.457	15	11	6.8	17.1	30.0	30.0			
平均值	0.72	0.48	0.82	19	27	26	0.589	0.717	0.693	18.5	23.3	11.7	54.6	56.9	66.1			
清漳河	0.59			23			0.484			-			98					
浊漳河	0.71			24			0.745			-			43					

2.2.2 时空分布 各河段及各季节鱼类种类和数量变化见图2。

各河段采集的鱼类种类数变化范围为4~10种。其中,科举村、店上村、下蛟漳村、西河底村、前迪村以及杨家庄村河段处的鱼类种类数及数量均较多,甘村、磨井底村河段处均较少;浊漳南源中游曲里村段及浊漳干流王曲村鱼类种类数较多,分别为9、10种,但鱼类数量较少。

3个季节采集到的鱼类物种数分别为16、20、17种,总数量分别为233、465、255尾,春、秋2季鱼类数量较低。3个季节各河段采集到的鱼类数量范围为2~107、9~122、8~76尾;除科举村、曲里村和王曲村河段处外,其余河段均为夏季数量最多。春季

鱼类优势种为短须颌须鲃、拉氏鳊、子陵吻鰕虎鱼,夏季优势种为棒花鱼和高体鲂,秋季优势种为棒花鱼、麦穗鱼、中华鲂、子陵吻鰕虎鱼。

2.2.3 多样性 各河段鱼类多样性指数见表4。 $H$ 范围1.00~1.91,均值1.53; $d_M$ 范围0.84~2.10,均值1.68。根据多样性指数评估标准,漳河鱼类多样性一般。

各河段的 $H$ 值均小于2, $d_M$ 值除店上村、曲里村与王曲村3个河段外,其余河段均小于2。曲里村河段 $H$ 、 $d_M$ 值最大,鱼类多样性相比其余河段较高;甘村河段处的 $H$ 、 $d_M$ 值最低,物种多样性最差。夏季鱼类多样性好于春、秋季,7个河段夏季的 $H$ 、 $d_M$ 值均为最大。清漳河多样性高于浊漳河。

表 3 漳河山西段 2017 年采集鱼类物种名录及分布

Tab.3 Species composition and distribution of fish collected in the Shanxi section of Zhanghe River in 2017

种 类	清漳河					浊漳河				
	科 举 村	店 上 村	下 蛟 漳 村	西 河 底 村	磨 井 底 村	甘 村	曲 里 村	前 迪 村	杨 家 庄 村	王 曲 村
<b>鲈科 Cobitidae</b>										
1.泥鳅 <i>Misgurnus anguillicaudatus</i>	+	+	+		+	+	+	+	+	+
2.北鳅 <i>Lefua costata</i>	+									
3.达里湖高原鳅 <i>Triplophysa dalaicus</i>			+							
4.隆头高原鳅 <i>Triplophysa alticeps</i>	+									
<b>鲤科 Cyprinidae</b>										
5.鲤 <i>Cyprinus carpio</i>								+		
6.鲫 <i>Carassius auratus</i>	+	+	+				+	+	+	
7.草鱼 <i>Ctenopharyngodon idellus</i>						+				
8.棒花鱼 <i>Abbottina rivularis</i>	+	+	+	+	+		+	+	+	
9.黑龙江鲮鱼 <i>Rhodeus sericeus</i>				+						
10.高体鲮鱼 <i>Rhodeus ocellatus</i>		+					+	+	+	
11.中华鲮鱼 <i>Rhodeus sinensis</i>				+	+	+	+			
12.鲮 <i>Hemiculter leucisculus</i>				+			+			
13.麦穗鱼 <i>Pseudorasbora parva</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
14.棒花鲃 <i>Gobiorivuloides</i>	+		+		+					
15.黄河鲃 <i>Gobio huanghensis</i>									+	
16.短须颌须鲃 <i>Gnathopogon imberbis</i>	+	+	+							
17.马口鱼 <i>Opsariichthys bidens</i>		+	+	+						
18.拉氏鲃 <i>Phoxinus lagowskii</i>	+	+	+							
<b>沙塘鳢科 Odontobutidae</b>										
19.黄魮鱼 <i>Hypseleotris swinhonis</i>				+					+	
<b>鰕虎鱼科 Gobiidae</b>										
20.子陵吻鰕虎鱼 <i>Rhinogobius giurinus</i>	+	+		+	+	+	+		+	
21.波氏吻鰕虎鱼 <i>Rhinogobius cliffordpopei</i>				+						
<b>大颌鲂科 Adrianichthyidae</b>										
22.青鲂 <i>Oryzias latipes sinensis</i>				+						
<b>鲮科 Bagridae</b>										
23.黄颡鱼 <i>Pselteobagrus fulvidraco</i>							+	+		
<b>鲇科 Siluridae</b>										
24.鲇 <i>Silurus asotus</i>		+							+	
合 计/种	10	10	9	9	6	4	9	10	8	10

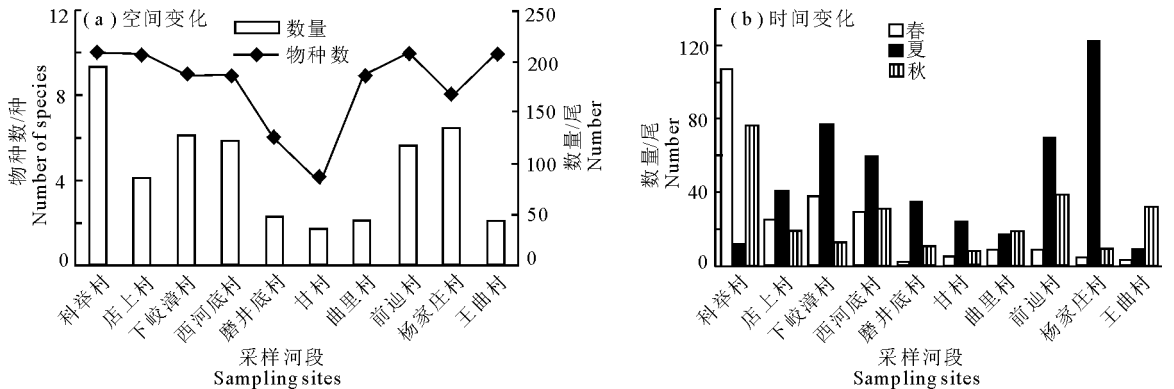


图 2 漳河山西段鱼类时空分布变化

Fig.2 Spatial (a) and temporal (b) variations of the fish community in the Shanxi section of Zhanghe River

表4 各采样河段鱼类多样性指数

Tab.4 Diversity indices of the fish community for each sampling site

漳河	采样河段	$H$	$H$ 均值	$d_M$	$d_M$ 均值
清漳河	科举村	1.55		1.71	
	店上村	1.65	1.63	2.03	1.79
	下蛟漳村	1.70		1.65	
	西河底村	1.58		1.46	
浊漳河	磨井底村	1.31		1.30	
	甘村	1.00		0.84	
	曲里村	1.91	1.51	2.10	1.61
	前迪村	1.67		1.89	
	杨家庄村	1.30		1.43	
	王曲村	1.64		2.39	
	均 值		1.53		1.68

2.2.4 聚类分析 聚类分析结果(图3)表明,各采样河段鱼类组成可分为清漳河、浊漳河2组。清漳河鱼类组成以泥鳅、鲫、棒花鱼、麦穗鱼、短须颌须鲷、拉氏鲮、子陵吻鲈虎鱼为主;浊漳河鱼类组成以泥鳅、棒花鱼、黑龙江鲮、高体鲮、中华鲮、蟹、麦穗鱼、子陵吻鲈虎鱼为主。2组中均分布广布种泥鳅、麦穗鱼、棒花鱼、子陵吻鲈虎鱼。差异主要表现为:鳅科鱼类(北鳅、达里湖高原鳅、隆头高原鳅)以及短须颌须鲷、拉氏鲮分布于清漳河,且短须颌须鲷、拉氏鲮在清漳河3个采样河段处均为优势种;而鲮属的鱼类主要分布于浊漳河,且在浊漳河7个河段均为优势种。

表5 漳河山西段2017年大型底栖动物名录及分布

Tab.5 Species composition and distribution of macrobenthos collected in the Shanxi section of Zhanghe River in 2017

底栖动物	清漳河			浊漳河						
	科举村	店上村	下蛟漳村	西河底村	磨井底村	甘村	曲里村	前迪村	杨家庄村	王曲村
<b>昆虫纲 Insecta</b>										
1. 蜉蝣科 Ephemeroidea		+	+	+	+	+		+	+	+
2. 扁蜉科 Heptageniidae	+	+	+	+	+			+	+	+
3. 小蜉科 Ephemerellidae	+	+		+						
4. 短丝蜉科 Siphonuridae					+					
5. 四节蜉科 Baetidae	+		+							
6. 纹石蚕科 Hydropsyche	+	+	+	+	+	+	+			
7. 龙虱科 Dytiscidae							+	+		+
8. 水龟甲科 Hydrophilidae	+								+	+
9. 箭蜓科 Gomphidae		+	+					+	+	
10. 蜻科 Libellulidae Rambur		+	+							
11. 伪蜻科 Corduliidae Kirby			+							
13. 蜓科 Aeshnidae		+								
14. 大蜻科 Macromiidae			+							
15. 螳科 Coenagrionidae	+	+								
16. 色螳科 Calopterygidae		+	+	+	+	+	+		+	
17. 丝螳科 Lestidae Calvert		+					+			
18. 摇蚊科 Chironomidae	+		+			+			+	+
19. 虻科 Tabanidae	+	+	+	+			+	+		
20. 大蚊科 Tipulidae										

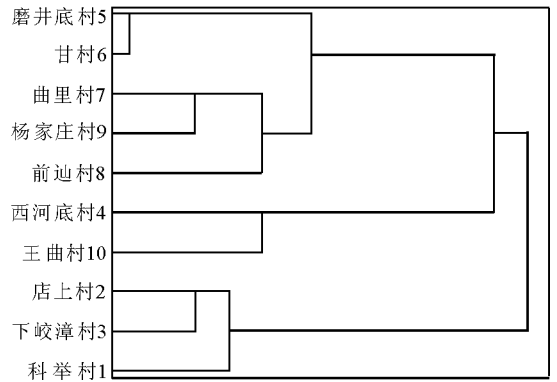


图3 鱼类聚类分析结果

Fig.3 Cluster analysis of the fish community

2.3 大型底栖动物

2.3.1 种类组成 10个采样河段共采集到大型底栖动物44种(名录见表5),分属6纲17目39科。昆虫纲25种,占比56.8%;甲壳纲7种,占比15.9%;寡毛纲2种,占比4.5%;蛭纲、双壳纲各3种,占比均为6.8%;腹足纲4种,占比9.1%。

春、夏、秋季大型底栖动物种类数分别为31、30、21种;春、夏、秋季昆虫纲种类数依次减少,分别为19、15、9种。

各采样河段大型底栖动物种类数为9~17种。店上村、西河底村、杨家庄村3个河段处较多,达到16种以上;前迪村和王曲村的大型底栖动物种类数

续表 1

底栖动物	清漳河					浊漳河				
	科举村	店上村	下蛟漳村	西河底村	磨井底村	甘村	曲里村	前迪村	杨家庄村	王曲村
大蚊属 <i>Tipula</i>		+	+							
花翅大蚊属 <i>Hexatoma</i>				+						
21. 舞虻科 Empididae			+							
22. 蝎蝽科 Nepidae				+		+	+			
23. 尾蝽科 Gerridae				+					+	
24. 田鳖科 Belostomatidae			+							
25. 鱼蛉科 Corydalidae								+	+	
<b>甲壳纲 Crustacea</b>										
26. 长臂虾科 Palaemonidae										
中华小长臂虾 <i>Palaemonetes sinensis</i>				+	+	+				
秀丽白虾 <i>Exopalaemon modestus</i>				+						
日本沼虾 <i>Macrobrachium nipponense</i>							+			
27. 匙指虾科 Atyidae										
中华齿米虾 <i>Neocaridina denticulate sinensis</i>		+	+	+	+	+	+	+	+	+
28. 溪蟹科 Potamidae				+						
29. 螯虾科 Astacoidea							+			
30. 钩虾科 Gammaridae					+	+			+	
<b>腹足纲 Gastropoda Cuvier</b>										
31. 田螺科 Viviparidae										
中华圆田螺 <i>Cipangopaludina cahayensis</i>				+		+	+	+	+	
32. 椎实螺科 Lymnaeidae										
椭圆萝卜螺 <i>Radix swinhoei</i>	+		+			+	+		+	
耳萝卜螺 <i>Radix auricularia</i>	+	+							+	
33. 扁蝽螺科 Planorbidae		+			+		+		+	
<b>双壳纲 Bivalvia</b>										
34. 蚶科 Corbiculidae										
河蚶 <i>Corbicula fluminea</i>					+	+	+		+	+
35. 蚌科 Unionidae										
背角无齿蚌 <i>Anodonta woodiana woodiana</i>	+	+		+			+	+		
舟形无齿蚌 <i>Anodonta euscapys</i>					+		+		+	
<b>寡毛纲 Oligochaeta</b>										
36. 颤蚓科 Tubificidae										
水丝蚓属 <i>Limnodrilus</i>						+				
尾鳃蚓属 <i>Branchiura</i>				+				+		
<b>蛭纲 Clitellata</b>										
37. 水蛭科 Hirudinidae										
宽体金线蛭 <i>Whitmania pigra</i> Whitman		+								
38. 石蛭科 Erpobdellidae										
八目石蛭 <i>Erpobdella octoculata</i>					+		+	+		+
39. 舌蛭科 Glossiphoniidae										
腹平扁蛭(扁舌蛭) <i>Glossiphonia complanata</i>				+						+
种类数/种	11	17	16	17	12	12	16	11	16	9

较少,分别为 11、9 种;清漳河 25 种,浊漳河 34 种,2 条河流共有种 14 种。

2.3.2 密度变化 漳河山西段底栖动物年平均密度 256 个/m<sup>2</sup>,范围 40~599 个/m<sup>2</sup>(图 4a)。其中,昆虫纲 35 个/m<sup>2</sup>、甲壳纲 195 个/m<sup>2</sup>、腹足纲 19 个/m<sup>2</sup>、双壳纲 5 个/m<sup>2</sup>、寡毛纲 0.3 个/m<sup>2</sup>、蛭纲 1 个/m<sup>2</sup>。店上村、西河底村、磨井底村、杨家庄村 4 个河段平均密度较高,分别为 353、599、539、

380 个/m<sup>2</sup>;科举村、甘村河段的平均密度较低,分别为 40、75 个/m<sup>2</sup>,科举村主要为少量的摇蚊科和椭圆萝卜螺,甘村为少量的纹石蚕科、中华锯齿米虾、中华园田螺。

大型底栖动物密度季节变化见图 4b。秋季平均密度最高,494 个/m<sup>2</sup>;春季最低,110 个/m<sup>2</sup>。有 8 个河段秋季密度高于春、夏季;7 个河段春季密度最低。昆虫纲春、夏、秋密度依次递减,分别为 60、

26、17个/m<sup>2</sup>；甲壳纲春、夏、秋密度分别为37、93、444个/m<sup>2</sup>，秋季主要为中华锯齿米虾；腹足纲春、夏、秋密度分别为7、20、28个/m<sup>2</sup>，主要为椭圆萝卜

螺密度增加。经统计，清漳河大型底栖动物密度低于浊漳河，清漳河为181个/m<sup>2</sup>，浊漳河为287个/m<sup>2</sup>。

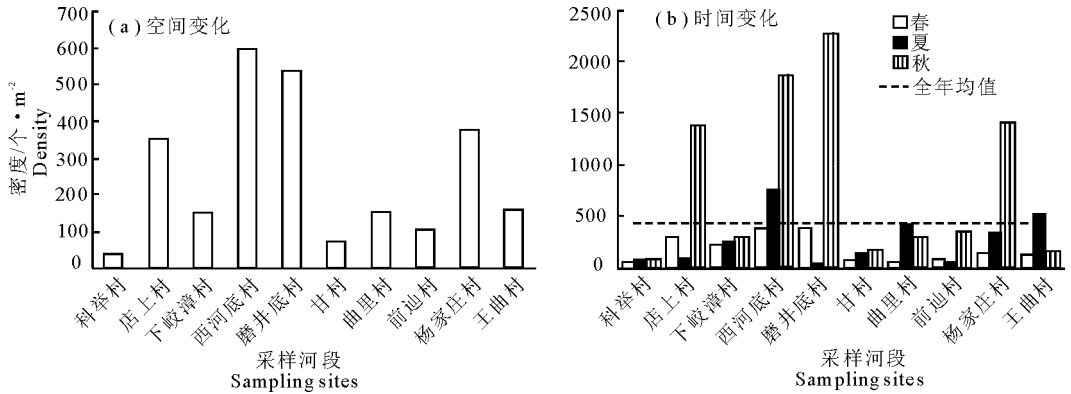


图4 大型底栖动物密度时空变化

Fig.4 Spatial (a) and temporal (b) variation of the average macrobenthos density at each sampling site

2.3.3 优势种 漳河山西段底栖动物优势物种为中华锯齿米虾、蜉蝣科稚虫、扁蜉科稚虫、椭圆萝卜螺，优势度指数分别为0.648、0.038、0.022、0.024，密度分别为184、12、7、12个/m<sup>2</sup>。其中，中华锯齿米虾在3个季节均为优势种，蜉蝣科稚虫在春季、夏季为优势种，扁蜉科和椭圆萝卜螺在春季为优势种。

其余河段，其物种多样性较低。不同季节中，春季H、d<sub>M</sub>最高，秋季最低。浊漳河H均值高于清漳河，但d<sub>M</sub>均值相差不大。

清漳河优势种为小蜉科、蜉蝣科、中华锯齿米虾、椭圆萝卜螺4种，密度分别为6、12、97、36个/m<sup>2</sup>；浊漳河优势种为蜉蝣科、扁蜉科、中华小长臂虾、中华锯齿米虾、钩虾科、中华园田螺、河蚬7种，密度分别为12、10、10、221、3、6、4个/m<sup>2</sup>。

2.3.5 聚类分析 大型底栖动物聚类分析结果见图5，组成分为清漳河与浊漳河2组。2条河流中均分布有昆虫纲的纹石蚕科、扁蜉科、蜉蝣科，腹足纲的椎实螺科、扁卷螺科以及双壳纲的蚌科；差异表现为：清漳河昆虫纲的蜻蜓目种类数(9种)多于浊漳河(4种)，但甲壳纲、腹足纲、双壳纲、寡毛纲、蛭纲和昆虫纲的龙虱科、蝎蝽科、鼈蝽科、鱼蛉科种类数少于浊漳河。

2.3.4 多样性 各河段大型底栖动物多样性指数见表6。H范围为0.71~1.50，均值为1.14；d<sub>M</sub>范围为0.85~2.14，均值为1.47。曲里村河段2个多样性指数均高于其余河段，该河段大型底栖动物多样性较高；前迪村、王曲村河段2个多样性指数低于

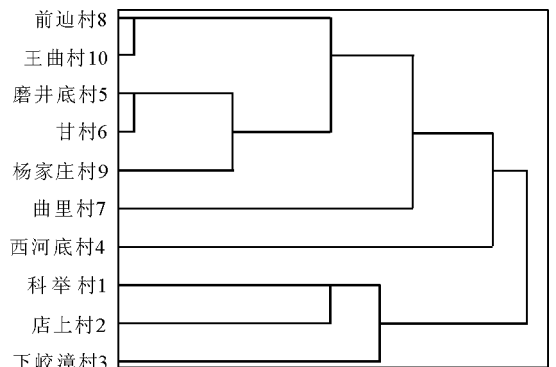


图5 大型底栖动物聚类分析

Fig.5 Cluster analysis of the macrobenthos community

表6 各采样河段大型底栖动物多样性指数

Tab.6 Diversity indices of macrobenthos community at each sampling site

漳河	采样河段	H	H 均值	d <sub>M</sub>	d <sub>M</sub> 均值
清	科举村	1.07		1.16	
漳	店上村	1.01	1.09	1.76	1.48
河	下蛟漳村	1.19		1.52	
	西河底村	1.02		1.26	
	磨井底村	1.16		1.36	
浊	甘村	1.47		1.79	
漳	曲里村	1.50	1.16	2.14	1.47
河	前迪村	0.96		1.28	
	杨家庄村	1.29		1.57	
	王曲村	0.71		0.85	
均	值	1.14		1.47	

### 3 讨论

#### 3.1 鱼类群落组成及多样性

据山西省鱼类历史资料(山西省水产科学研究所,2012;朱国清等,2014),漳河山西段(含水库、鱼塘等各类水体)有鱼类36种,其中土著鱼类33种;革胡子鲶 *Clarias gariepinus*、大银鱼 *Protosalanx*

*hyalocranius*、陈氏大银鱼 *Neosalanx tangkahkeii* 3 种为引进物种。2008-2011 年对漳河流域的云竹水库、后湾水库、漳泽水库 3 个水库进行的渔业资源调查(朱国清等,2014),共采集到鱼类 24 种,与此次调查的种类数一样;但由于调查范围的不同,种类组成存在一定的差异:2008-2011 年采集到较多大型鱼类,包括青鱼 *Mylopharyngodon piceus*、赤眼鲮 *Squaliobarus curriculus*、鲢 *Hypophthalmichthys molitrix*、鳙 *Aristichthys nobilis*、红鲃 *Erythroculter erythropterus*、翘嘴鲃 *Erythroculter ilishaeformis* 等,本次采集结果中,除鲤、鲇为大型鱼类外,其余均为小型鱼类,如优势种拉氏鲮、棒花鱼、麦穗鱼、子陵吻鰕虎鱼和鳊属鱼类等,数量占比达 73.24%,体长在 3~20 cm,这在一定程度上反映了当前漳河山西段大型鱼类主要集中于各类水库,自然河段以小型鱼类为主。实际上这也是漳河山西段河流水文情势包括水深、水量、流速等因素影响下的结果,这些水文条件可直接影响鱼类的生存环境(王晓刚等,2008):如采样河段水深大多低于 1.0m,不利于大型鱼类的生存;清漳河水量明显小于浊漳河,大型鱼类鲤、草鱼、鲇主要在浊漳河河段采集到,在浊漳河采集到的这些种类体长可达 35 cm 以上,虽然清漳河店上村段有采集到鲇,但体长仅为 6 cm。在调查过程中也发现部分村民捕鱼行为,也是导致河流鱼类减少的原因。

本次调查,漳河山西段河流中鱼类优势种与山西其他河流鱼类优势种存在差异。朱国清等(2014)2008-2011 年调查,黄河干流山西段优势种为鲇、鲤、鲇、鲢,沁河优势种为马口鱼、麦穗鱼、雅罗鱼、唇鱼、溇沱河优势种为鲫、麦穗鱼、鳊、乌苏里拟鲮、黄颡鱼。漳河山西段在不同季节流速变化较大(0.001~1.224 m/s),但小型鱼类拉氏鲮、麦穗鱼和鳊属鱼类等在不同流速的各调查河段均有分布,说明这些鱼在较大流速范围内仍然是适合生存的(杜浩等,2010)。此外,温度的提升对鱼类的生长繁殖有利(王朝阳等,2019),夏季温度升高,河流中水草、浮游生物等活跃,为鱼类提供良好的食物来源,因此,夏季鱼类种类数、数量、多样性高于春季和秋季。

目前物种多样性常采用多样性指数进行评估,虽然不同多样性指数的评估结果存在差异,但结合实际情况,综合应用 Shannon-Wiener 多样性指数、Margalef 指数仍然是适用的(孙军等,2004)。在漳河山西段鱼类多样性评估中,浊漳西源的甘村河段

Shannon-Wiener 多样性指数、Margalef 指数在各河段中为最低,在调查中仅采集到泥鳅、中华鳊、麦穗鱼、子陵吻鰕虎鱼 4 种小型鱼类,鱼类数量也为最少,这可能是由于鱼类多样性受河道的水力特性影响的结果。河道宽度与深度之比越大,可以为鱼类提供更好的栖息地生境(王晓刚等,2008),甘村河道最窄(仅为 4 m),而年平均水深比其余河段深,可达 0.82 m(10 个河段的平均水深为 0.67 m),在 10 个采样河段中河道宽深比较小,不利于鱼类的繁殖。浊漳南源曲里村河段多样性最高,但此河段中种类数量较少,各种类的数量均少于 10 尾,这是由于该河段位于长治城区漳河水库下游,长期以来受周边工业废水、生活污水排放的影响,水质较差,鱼类较难生存,虽然从水库中放出的鱼能够增加河段鱼类数量,但其难以大量繁殖,总体数量仍然较少。

清漳河、浊漳河鱼类种类分布差异的主要原因为:清漳河流域内石质山区地貌占比较高,水土流失程度相对较轻,水体透明度较高,3 个采样河段水体透明度为 52~120 cm,年均值在 85 cm 以上;而浊漳河 7 个采样河段中,透明度除秋季曲里村河段达到 90.0 cm 外,其余 6 个河段均低于 60.0 cm。因此,清漳河更适宜喜生活于水质清澈的山区溪流的鱼类(如短须颌须鲈、拉氏鲮)生活,而调查时发现浊漳河岸带分布较多蚌类残骸,并且在采集中蚌类也较多,这为鳊属的鱼类繁殖提供了有利条件(曾燊等,2006;Spence et al,2013)。

### 3.2 大型底栖动物群落组成及多样性

大型底栖动物组成特征可反映水质现状。对比海河流域研究成果,于伟东等(2009)在漳卫南运河中下游大型底栖动物调查中未调查到蜻蜓目和蜉蝣目的种类,其优势种为耐污的颤蚓科和摇纹科种类;尚林源(2011)指出海河流域各大子流域,包括北三河、滦河、子牙河、大清河、北四河的大型底栖动物以摇纹科和颤蚓科为优势种,而本次漳河山西段大型底栖动物优势种为中华锯齿米虾、蜉蝣科稚虫、扁蜉科稚虫、椭圆萝卜螺,其中蜉蝣科稚虫、扁蜉科稚虫为轻污染指示物种(段学花等,2010),中华锯齿米虾、椭圆萝卜螺的耐污值也低于摇纹科和颤蚓科,水质监测结果中也显示 80% 的调查河段水环境质量达地表水 III 类以上,说明大型底栖动物具有较好的水环境指示作用,漳河山西段水质优于下游水体。

大型底栖动物分布受河流生境的影响(王皓冉等,2015)。李正飞等(2016)指出,底质类型以淤泥为主的河段大型底栖动物密度较低,并且河段的水



深与大型底栖动物密度成反比。本次调查,科举村河段底质为淤泥、甘村河段水较深,因此大型底栖动物密度较低;西河底村、磨井底村、杨家庄村河段,人类活动较少,河流主要接纳流域内冲刷土壤所带入的营养物质并且底质均为卵砾石,为大型底栖动物生长提供了有利条件,因此大型底栖动物密度较高。此外,店上村河段水草较为丰富,有大量菹草、篦齿眼子菜等,给大型底栖动物提供了丰富的食物来源以及良好的栖息环境,大型底栖动物密度也较高。

诸多研究指出温度是影响大型底栖动物分布的重要因素(孙小玲等,2012;刘贤等,2018)。本次调查,漳河山西段大型底栖动物物种多样性春季最高、秋季最低,秋季采集到的昆虫纲种类显著减少,仅为9种(春、夏季分别为19、15种),这可能是由于秋季部分昆虫纲种类羽化,加上水温降低,其活跃程度较春、夏季降低。但秋季底栖动物平均密度最高,这是由于在秋季采集到大量的中华锯齿米虾,该种类在较低温度下也可大量繁殖。此外,水环境质量也可影响大型底栖动物的物种组成差异,根据山西省生态环境厅2017年《地表水环境质量报告》,浊漳河各采样河段水质类型为III~V类,浊漳河分布的种类包括龙虱科、蝎蝽科、秀丽白虾、日本沼虾、中华圆田螺、腹平扁蛭、河蚬、水丝蚓属、尾鳃蚓属等,其耐污值在6~9(段学花等,2010),属于中等耐污类群及耐污类群,而清漳河各采样河段水质类型为I~II类,其采集到的大型底栖动物优势种耐污值在1~6。

清漳河与浊漳河大型底栖动物组成差异较大。相关研究指出,大型底栖动物分布还与河流内营养物质相关(Yoshimura et al,2006;吴东浩等,2010;王博涵,2017),孙小玲等(2012)在昌江研究了大型底栖动物的空间分布,认为流量的增加会加大河流中溶解物质的输入,为大型底栖动物提供丰富的食物来源。浊漳河平均水深、平均水面宽、平均流速均大于清漳河,其流量大于清漳河,并且浊漳河丘陵、盆地占比较高,水土流失较为严重,尤其在洪水期地表土壤被冲刷流入河流中,可为河流带来大量营养元素,有利于大型底栖动物的繁殖,因此,浊漳河大型底栖动物种类数及密度均高于清漳河。

漳河山西段流域面积近2万km<sup>2</sup>、主流长度大于600km(李英明等,2004),本次研究仅布设了10个采样河段,采样河段数量和长度显然不够。随着水生生物在环境监测、生态保护等方面的作用越来越受到重视,需要在未来的相关研究中增加研究河

段的数量和调查次数,以获取更加准确的数据用于研究河流生物与环境之间的关系。

#### 参考文献

- 蔡文仙,2013. 黄河流域鱼类图志[M]. 陕西杨凌:西北农林科技大学出版社.
- 曾燧,刘焕章,沈建忠,2006. 鳊鱼产卵时对河蚌不同位置的选择[J]. 动物学报,(2):272-278.
- 陈宜瑜,褚新洛,罗云林,等,1998. 中国动物志:硬骨鱼纲鲤形目(中卷)[M]. 北京:科学出版社.
- 陈清潮,黄良民,尹健强,1994. 南沙群岛及其邻近海域海洋生物多样性研究[M]. 北京:海洋出版社:42-50.
- 段学花,王兆印,徐梦珍,2010. 底栖动物与河流生态评价[M].北京:清华大学出版社.
- 高云明,魏琳,万思成,等. 漳河流域近60年径流变化分析[J].水文,36(3):91-95.
- 洪松,陈静生,2002.中国河流水生生物群落结构特征探讨[J].水生生物学报,26(3):295-305.
- 李思忠,2017.黄河鱼类志[M]. 青岛:中国海洋大学出版社:85-311.
- 李艳丽,李艳粉,赵丽,等,2016. 基于不同生物类群的河流健康评价研究[J].水利学报,47(8):1025-1034.
- 李英明,潘军峰,2004. 山西河流[M].北京:科学出版社:440-505.
- 李正飞,王军,谢志才,等,2016. 南腊河底栖动物多样性与环境因子的关系[J]. 生态学杂志,35(12):3364-3373.
- 刘贤,莫凌,陈峻峰,等,2018. 海南省文教河底栖动物群落特征及与环境因子关系分析[J]. 水生态学杂志,39(6):37-43.
- 马凯,张海萍,渠晓东,等,2017. 滦河流域土地利用对大型底栖动物生物指数的路径分析[J]. 中国环境科学,37(7):2674-2683.
- 山西省水产科学研究所,2012. 山西渔业资源[M]. 太原:山西科学技术出版社.
- 山西省水利厅渔业资源和渔业区划编写组,1989. 山西省渔业资源和渔业区划[R].
- 尚林源,2011. 海河流域河流沉积物重金属的生态风险评价及底栖动物调查研究[D].北京:中国科学院研究生院.
- 孙军,刘东艳,2004. 多样性指数在海洋浮游植物研究中的应用[J]. 海洋学报,26(1):62-75.
- 孙小玲,蔡庆华,李凤清,等,2012. 春季昌江大型底栖无脊椎动物群落结构及功能摄食类群的空间分布[J]. 应用与环境生物学报,18(2):163-169.
- 王博涵,吴丹,张吉,等,2017. 济南河流大型底栖动物摄食功能群多样性及时空动态[J]. 生态学报,37(21):7128-7139.
- 王朝阳,黄德才,胡茂林,等,2019. 赣江下游一级支流鱼类

- 多样性比较分析[J]. 水生态学杂志, 40(3):99-106.
- 王皓冉, 陈永灿, 刘昭伟, 等, 2015. 牡丹江中游底栖动物分布及其与栖境因子的关系[J]. 中国环境科学, 35(4):1197-1204.
- 王晓刚, 严忠民, 2008. 河道汇流口水力特性对鱼类栖息地的影响[J]. 天津大学学报(自然科学与工程技术版), 41(2):204-208.
- 吴东浩, 于海燕, 吴海燕, 等, 2010. 基于大型底栖无脊椎动物确定河流营养盐浓度阈值——以西苕溪上游流域为例[J]. 应用生态学报, 21(2):483-488.
- 于伟东, 王立卿, 2009. 漳卫南运河中下游生物现状调查及初步分析[C]. 海河流域水资源与水环境综合管理项目国际研讨会.
- 乐佩琦, 单乡红, 林人端, 等, 2000. 中国动物志: 硬骨鱼纲鲤形目(下卷) [M]. 北京: 科学出版社.
- 周凤霞, 陈剑虹, 2011. 淡水微型生物与底栖动物图谱[M]. 北京: 化学工业出版社.
- 朱国清, 赵瑞亮, 胡振平, 等, 2014. 山西省主要河流鱼类分布及物种多样性分析[J]. 水产学杂志, (2):38-45.
- Ding N, Yang W, Zhou Y, et al, 2017. Different responses of functional traits and diversity of stream macroinvertebrates to environmental and spatial factors in the Xishuangbanna watershed of the upper Mekong River Basin, China[J]. Science of the Total Environment, 574:288-299.
- Freund J G, Petty J T, 2007. Response of Fish and Macroinvertebrate Bioassessment Indices to Water Chemistry in a Mined Appalachian Watershed [J]. Environmental Management, 39(5):707-720.
- Giorgio A, Bonis S D, Guida M, 2016. Macroinvertebrate and diatom communities as indicators for the biological assessment of river Picentino (Campania, Italy)[J]. Ecological Indicators, 64:85-91.
- Pease A A, Taylor J M, Winemiller K O, et al, 2015. Ecoregional, catchment, and reach-scale environmental factors shape functional-trait structure of stream fish assemblages[J]. Hydrobiologia, 753(1):265-283.
- Spence R, Smith C, 2013. Rose bitterling (*Rhodeus ocelatus*) embryos parasitize freshwater mussels by competing for nutrients and oxygen[J]. Acta Zoologica, 94(1):113-118.
- Yoshimura C, Tockner K, Omura T, et al, 2006. Species diversity and functional assessment of macroinvertebrate communities in Austrian rivers[J]. Limnology, 7(2):63-74.

(责任编辑 张俊友)

## Fish and Macroinvertebrate Community Structures in the Shanxi Section of Zhanghe River

LI Chao, WANG Ai-hua, HUI Xiao-mei, DU Shi-xun, GUO Xin-ya

(Research Center for Eco-Environmental Science in Shanxi, Taiyuan 030009, P.R.China)

**Abstract:** The systematic investigation and evaluation of fish and macroinvertebrate communities has significant meaning for the ecological and environmental research of rivers. The Shanxi section of Zhanghe River, within the Haihe River basin, is composed of two independent rivers (Qingzhang River and Zhuozhang River), with a drainage basin area of  $1.82 \times 10^4 \text{ km}^2$ . In this study, we explored the community structures, diversities, and the temporal and spatial distributions of fish and macroinvertebrates in the Shanxi section of Zhanghe River. The objectives were to provide a scientific basis for biodiversity conservation and ecological restoration in the Shanxi section of Zhanghe River. The investigation was carried out at 10 sampling sites in spring (May), summer (July) and autumn (October) of 2017. There were three primary results: (1) A total of 24 fish species from 7 families and 4 orders were collected, with dominance by Cyprinidae (14 species). By river, 14 species were collected in Qingzhang River and 19 species in Zhuozhang River, with 9 species found in both. The number of species collected by season was 16 in May, 20 in July and 17 in October. The dominant fish species were *Abbottina rivularis* (Basilewsky, 1855), *Pseudorasbora parva* (Temminck et Schlegel, 1846), *Rhynchocypris lagowskii* (Dybowski, 1869), *Rhodeus ocellatus* (Kner, 1867), *Rhodeus sinensis* Günther, 1868 and *Rhinogobius giurinus* Rutter, 1879. A total of 44 macroinvertebrate species were collected, including 39 families, 17 orders and 6 classes. The number of species collected by season was 31 in May, 30 in July and 21 in October. The average macroinvertebrate density was  $256 \text{ ind/m}^2$ , with species domination by *Neocaridina denticulate sinensis* Kemp, Ephemeroptera, Heptageniidae, *Radix swinhoei* H. Adams. (2) The Shannon-Wiener and Margalef indices of fish diversity in the Shanxi Section of Zhang River were, respectively, 1.53 and 1.68, with higher values in summer. The Shannon-Wiener and Margalef indices of macroinvertebrate diversity were, respectively, 1.14 and 1.47, and diversity was higher in spring than in summer and autumn. (3) The fish community in Zhanghe River clustered into two groups, one in Qingzhang River and the other in Zhuozhang River. *Gnathopogon imberbis* (Sauvage et Dabry, 1874) and *Rhynchocypris lagowskii* (Dybowski, 1869) were the dominant species in Qingzhang River, while *Rhodeus* was the dominant species in Zhuozhang River. Macroinvertebrates also clustered into two groups by river. Both average density and number of macroinvertebrate species were lower in Qingzhang River than in Zhuozhang River. The number of Odonata species collected was higher in Qingzhang River, but the number of species collected in Zhuozhang River was higher for Coleoptera, Hemiptera, Megaloptera of Insecta, Crustacea, Gastropoda, Bivalvia, Oligochaeta and Clitellata. The difference in macroinvertebrate community structure was significantly influenced by nutrient inputs and water quality.

**Key words:** fish; macroinvertebrates; cluster analysis; diversity; Zhanghe River