

黄河陕西段浮游动物群落结构时空动态及与环境因子的关系

李瑞娇, 齐喜荣, 王益昌, 张军燕, 任 敬, 沈红保

(陕西省水产研究所, 陕西 西安 710086)

摘要: 为了解黄河陕西段浮游动物群落结构时空动态及其与环境因子的关系, 更好地进行水资源和水生态保护, 于 2013 年 7 月至 2014 年 5 月在该河段设定了 7 个研究断面, 对其浮游动物群落结构进行了 4 次调查, 同时对 15 项水环境指标和同期浮游植物群落结构进行了监测和调查。结果显示, 共检出浮游动物 20 种, 其中原生动物 4 种, 轮虫 10 种, 枝角类 3 种, 桡足类 3 种, 夏季浮游动物种类数最多, 为 16 种, 冬季最少, 仅有 5 种; 浮游动物丰度和生物量变化范围分别为 25~3 800 个/L 和 0.00001~1.24 mg/L, 春夏较大、秋冬较小, 空间上整体呈现上游低、下游高的分布趋势; 浮游动物优势种为小旋口虫(*Spirostomum minus*)、萼花臂尾轮虫(*Brachionus calyciflorus*)、前节晶囊轮虫(*Asplanchna priodonta*)、曲腿龟甲轮虫(*Keratella valga*)、裂足臂尾轮虫(*Brachionus diversicornis*)和微型裸腹溞(*Moina micrura*); 浮游动物 Shannon-Wiener 指数均值为 0.65~0.83, Margalef 指数为 1.08~2.49, Pielou 均匀度指数为 0.39~0.60; 7 个断面的浮游动物群落结构和环境因子的典范对应分析(CCA)结果表明, 影响浮游动物丰度的主要环境因子为化学需氧量(COD)、总氮(TN)、pH 值和重金属铬(Cr)。

关键词: 黄河陕西段; 浮游动物; 群落结构; 环境因子; 典范对应分析

中图分类号: Q145 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-3075(2019)06-0054-07

黄河是我国西北和华北地区重要的水资源库, 具有丰富的物种和遗传多样性(常中芳, 2006; 王兆印和田世民, 2008)。黄河陕西段地处黄河中游, 自府谷县墙头乡墙头村入陕西, 途径榆林市(府谷、神木、佳县、吴堡、绥德、清涧)、延安市(延川、延长、宜川)、渭南市(韩城、合阳、大荔、潼关)3 市 13 县(市), 到潼关县秦东镇出陕西, 进入河南省灵宝市豫灵镇杨家村, 全长 714 km, 河宽 41~620 m, 河流落差 516 m, 比降 0.72‰。黄河陕西段分两段: 内蒙古托克托到龙门镇, 河段落差较大, 水力资源丰富; 龙门至潼关河段河床宽浅, 水流平缓, 主流游荡不定, 为典型的堆积游荡型河道, 也是黄河陕西段渔业资源最丰富的一段(王益昌等, 2015)。

浮游动物是中上层鱼类和其他经济动物的饵料, 也是水生态系统中最重要次级生产者, 其个体小、发育时间短、对环境反应敏感, 在评价水体营养状态和水体污染状况等方面受到广泛关注(王新华

等, 2002; 李学军等, 2014)。目前, 对黄河上游、中下游河段及河口浮游生物的研究较多(张达娟等, 2008; 袁永锋等, 2009; 董志军等, 2017); 但对近年来黄河中游陕西段浮游动物的时空变化研究鲜有报道。本文对黄河陕西段浮游动物的群落结构变化进行了调查, 并分析研究了其与环境因子的关系, 旨在为黄河陕西段水域生态环境评价、水环境资源保护及合理开发利用提供基础资料和科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域

黄河干流陕西段浮游动物采样调查点位选取了府谷、吴堡、龙门、洽川、港口、汾河入黄口和渭河入黄口共计 7 个断面, 具体采样断面分布见图 1。

1.2 研究方法

调查采样共进行 4 次, 时间分别为 2013 年 7 月和 10 月、2014 年 1 月和 5 月。

浮游动物样品的采集按照内陆水域渔业资源调查技术规范(CAF 2005-0001)进行。定性样品用 25 号浮游生物网(网目 64 μm) 由水体表层至深处以 20~30 cm/s 速度做“ ∞ ”形缓慢捞取, 用 5% 福尔马林固定。轮虫和原生动物的定量样品用采水器取水样 1 L, 加 15% 鲁哥氏液固定, 沉淀 48 h 后, 虹吸上清液浓缩至 50 mL; 枝角类和桡足类定量样品用 13 号浮游生物网过滤 30 L 水样, 定量至 50 mL

收稿日期: 2017-07-25 修回日期: 2019-07-23

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项《黄河及其河口渔业资源评价和增殖养护技术研究与示范》(201303050); 水利科技计划《黄河陕西段渔业资源及经济鱼类产卵场生态环境评价》(2014slkj-36)。

作者简介: 李瑞娇, 1988 年生, 女, 硕士研究生, 专业方向为水产养殖。E-mail: 1508667740@qq.com

通信作者: 沈红保。E-mail: shb19770623@163.com

后,加入 5% 甲醛溶液固定。样本的分类、鉴定、计数和统计参照章宗涉和黄祥飞(1991)。



图 1 黄河陕西段监测点

Fig.1 Location of the sampling transects in the Shaanxi section of Yellow River

水质理化测定指标包括溶氧(DO)、pH、总氮(TN)、总磷(TP)、亚硝态氮(NO₂-N)、硝态氮(NO₃-N)、氨氮(NH₄⁺-N)、化学需氧量(COD)以及重金属铬(Cr)、铜(Cu)、锌(Zn)、铅(Pb)、镉(Cd)、砷(As)、汞(Hg)。水质指标的检测方法按照《渔业水质标准》(GB11607-89)和《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)规定的方法进行测定。

浮游植物定性标本用 25 号浮游生物网采集,用 5% 福尔马林溶液进行固定;定量样品用采水器取水样 1 L,加 15% 的鲁哥氏液固定,沉淀 48 h 后虹吸上清液浓缩至 50 mL,加 2 mL 福尔马林溶液保存,实验室显微镜检计数。

1.3 数据处理

1.3.1 浮游动物多样性 浮游动物 Shannon-Wiener 指数(H')、Margalef 指数(d)、Pielou 均匀度指数(J)(孙儒泳等,1993)和浮游动物优势度(Y)计算公式(徐兆礼,2006)如下:

$$H' = -\sum [(n_i/N) \times \ln(n_i/N)]$$

$$d = (S - 1) / \ln N$$

$$J = H' / H_{\max}, H_{\max} = \log_2 S$$

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

式中:S 为种类数;n_i 为第 i 种的个体数;N 为所有种类的总个体数;f_i 为出现频率。Y>0.02 的种类为优势种。

1.3.2 统计分析 利用 CANOCO 4.5 软件包对浮游动物和水环境因子进行排序分析和作图。

2 结果

2.1 浮游动物种类组成

共鉴定出浮游动物 4 大类 20 种(表 1)。其中,原生动物 4 种、轮虫 10 种、枝角类 3 种、桡足类 3 种,分别占总种类数的 20%、50%、15%和 15%。

表 1 黄河陕西段浮游动物的种类

Tab.1 Species composition of the zooplankton community in the Shaanxi section of Yellow River

类别	中文名	拉丁名
原生动物 Protozoa	砂壳虫	<i>Difflugia</i> sp.
	钟形钟虫	<i>Vorticella campanula</i>
	小旋口虫	<i>Spirostomum minus</i>
	旋回侠盗虫	<i>Strobilidium gyrans</i>
轮虫 Rotifera	萼花臂尾轮虫	<i>Brachionus calyciflorus</i>
	前节晶囊轮虫	<i>Asplanchna priodonta</i>
	曲腿龟甲轮虫	<i>Keratella valga</i>
	壶状臂尾轮虫	<i>Brachionus urceus</i>
	方形臂尾轮虫	<i>Brachionus quadridentatus</i>
	四角平甲轮虫	<i>Platytias quadricornis</i>
	螺形龟甲轮虫	<i>Keratella cochlearia</i>
	长三肢轮虫	<i>Filinia longiseta</i>
	裂足臂尾轮虫	<i>Brachionus diversicornis</i>
	梳状疣毛轮虫	<i>Synchaeta pectinata</i>
枝角类 Cladocera	大型溞	<i>Daphnia magna</i>
	微型裸腹溞	<i>Moina micrura</i>
	直额裸腹溞	<i>Moina rectirostris</i>
桡足类 Copepoda	大型中镖水蚤	<i>Sinodia ptomus sarsi</i>
	近邻剑水蚤	<i>Cyclops vicinus</i>
	细巧华哲水蚤	<i>Sinocalanus tenellus</i>

如图 2 所示,春夏季检出的浮游动物种类数高于秋冬季。夏季检出的浮游动物种类数高于其他季节,为 16 种;春季次之,为 12 种;秋季为 7 种;冬季最少,仅有 5 种。从种类组成百分比看,各季节种类组成差异不显著,均以轮虫居多。

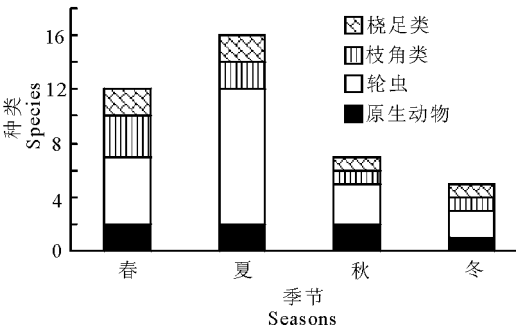


图 2 不同季节浮游动物的种类组成

Fig.2 Species composition of the zooplankton community in different seasons

2.2 浮游动物丰度

各断面浮游动物四季的丰度为 25 ~ 3 800 个/L。其中,轮虫的平均丰度最大,达到 705 个/L,占比 86.72%;桡足类为 55 个/L,占 6.80%;枝角类为 34 个/L,占 4.22%;原生动物为 13 个/L,占 2.25%。浮游动物丰度变化为:渭河入黄口>汾河入黄口>洽川段>龙门段>港口段>府谷段>吴堡段,除个别段面外,浮游动物丰度大致呈现自上而下的累积效应。不同断面浮游动物平均丰度在不同季节的变化趋势不一,但均在夏季达到最大(图 3 和图 4-a)。

2.3 浮游动物生物量

各断面四季的浮游动物生物量为 0.00001 ~ 1.24 mg/L;其中桡足类平均生物量最大,达到 2.02 mg/L,占比 51.47%;轮虫为 1.01 mg/L,占 25.73%;枝角类为 0.90 mg/L,占 22.79%;原生动物为 0.00008 mg/L,占 0.002%。浮游动物生物量变化为:渭河入黄口>汾河入黄口>府谷段>洽川段>吴堡段>港口段>龙门段,浮游动物生物量在府谷到港口段较小,在渭河入黄口和汾河入黄口显著增加(图 3 和图 4-b)。不同断面浮游动物平均生

物量在不同季节的变化趋势不一,但除吴堡段外,均在夏季达到最大值;这是由于不同种类的浮游动物个体重量差异大以及不同季节浮游动物种类组成不同所致。

2.4 浮游动物优势种

黄河陕西段浮游动物优势种共计 6 种(表 2)。其中原生动物 1 种:小旋口虫;轮虫 4 种:蓼花臂尾轮虫、前节晶囊轮虫、曲腿龟甲轮虫和裂足臂尾轮虫;枝角类 1 种:微型裸腹蚤。夏季优势种最多,春季最少,优势种季节变化以单一轮虫向原生动物、轮虫和枝角类过渡。

表 2 浮游动物优势种及优势度的季节变化

不同季节 的优势度	不同季节的优势度			
	春	夏	秋	冬
小旋口虫			0.04	
蓼花臂尾轮虫	0.51	0.27	0.87	0.89
前节晶囊轮虫	0.27	0.27		
曲腿龟甲轮虫		0.12		0.03
裂足臂尾轮虫		0.17		
微型裸腹蚤			0.06	0.07

2.5 浮游动物物种多样性

对各调查断面浮游动物进行物种多样性分析,得到不同季节 7 个断面浮游动物多样性指数变化如图 5 所示。Shannon-Wiener 指数平均值为 0.65 ~ 0.83,Margalef 指数平均值变化范围为 1.08 ~ 2.49,Pielou 均匀度指数平均值变化范围为 0.39 ~ 0.60。浮游动物多样性指数在各断面变化各异,春季和夏季的 Shannon-Wiener 指数和 Margalef 指数较秋季和冬季的高。

2.6 浮游动物数量与环境因子的 CCA 排序

先将各浮游动物丰度进行 DCA 分析,数据结果显示第一轴长度为 3 ~ 4,适用于单峰模型 CCA 和线性模型 RDA。采用浮游动物丰度和水环境因子平均值进行 CCA 排序,结果见图 6。

由表 3 可见,两个排序轴的特征值分别是 0.662 和 0.429,浮游动物和环境因子排序轴的相关系数分别为 0.987 和 0.925,说明排序图能够较好地反映出浮游动物种类与环境之间的关系。排序结果表明,COD、TN、pH 和 Cr 对浮游动物数量分布有显著影响($P<0.05$);此外,结果显示前两个排序轴对浮游动物丰度和环境之间关系的解释量为 39.6%。按照降序排列,pH、浮游植物生物量、NO₃-N 与轴 1 表现出较高的正相关,与 COD 表现出较高的负相关;TP、Cd、Hg 与轴 2 表现出较高的正相关。

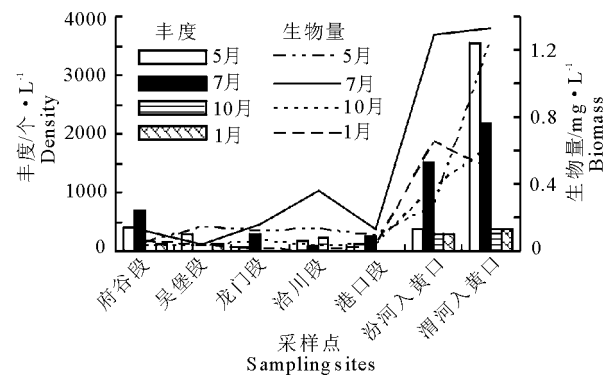


图 3 各断面浮游动物丰度和生物量变化
Fig.3 Spatial-temporal variation of zooplankton abundance and biomass for each transect

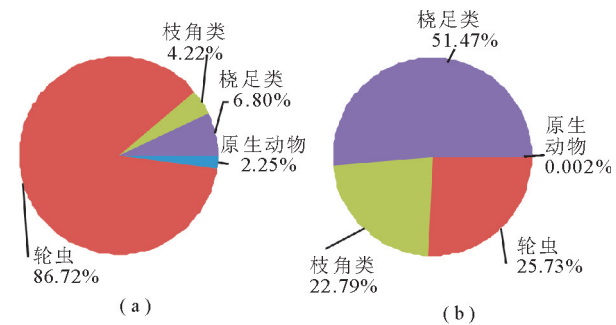


图 4 浮游动物各大类丰度和生物量
Fig.4 Percentage composition of zooplankton abundance and biomass for each taxa

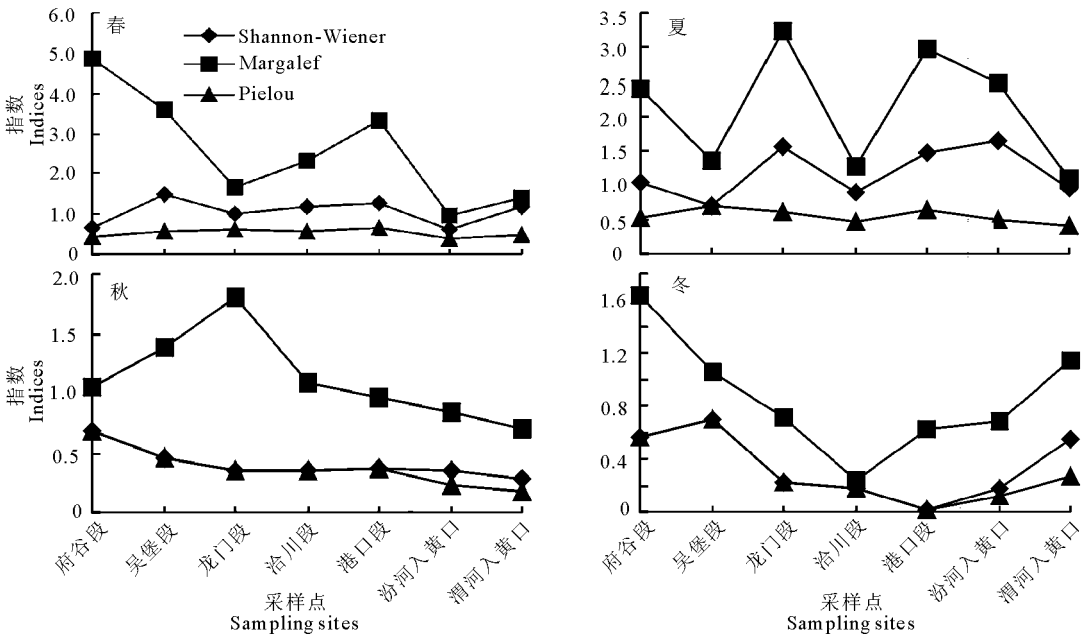


图 5 不同季节各断面浮游动物多样性指数变化

Fig.5 Seasonal variation of zooplankton diversity indices for each sampling transect

表 3 CCA 前两个排序轴的特征值及种类与环境因子排序轴间的相关系数

Tab.3 Eigen values and correlation coefficients of zooplankton species-environmental factors on the first two axes of CCA

指标	Axes1	Axes2
特征值	0.662	0.429
种类与环境因子相关性	0.987	0.925
物种数据累计比/%	17.4	28.7
种类与环境因子相关累计比/%	24.0	39.6

通过向量长短可见, COD、TN、pH、TP、Cr、NO₃-N 和浮游植物生物量均对浮游动物的数量影响较大,成为浮游动物生长的限制性因子。从排序图 6 可以看出,黄河陕西段的原生动物与 TP、Pb、Cu 呈正相关,曲腿龟甲轮虫、裂足臂尾轮虫、梳妆疣毛轮虫、长三支轮虫、微型裸腹蚤、无节幼体与 COD、TP、TN、Cr、Hg 呈正相关;萼花臂尾轮虫、前节晶囊轮虫、壶状臂尾轮虫、四角平甲轮虫、螺旋形龟甲轮虫、裂足臂尾轮虫、梳妆疣毛轮虫、长三支轮虫、大型蚤、微型裸腹蚤、直额裸腹蚤、大型中镖水蚤、近邻剑水蚤、细巧华哲水蚤、无节幼体;B 为浮游植物生物量,D 为浮游植物密度。

图 6 浮游动物与环境因子的 CCA 三维排序图

Species z1 - z21 in the figure are *Diffugia* sp., *Vorticella campanula*, *Spirostomum minus*, *Strobilidium gyrans*, *Brachionus calyciflorus*, *Asplanchna priodonta*, *Keratella valga*, *Brachionus urceus*, *Brachionus quadridentatus*, *Platytias quadricornis*, *Keratella cochlearia*, *Filinia longiseta*, *Brachionus diversicornis*, *Synchaeta pectinata*, *Daphnia magna*, *Moina micrura*, *Moina rectoris*, *Sinodia ptomus sarsi*, *Cyclops vicinus*, *Sinocalanus tenellus* and *Nauplius*, respectively. B and D represent phytoplankton biomass and density, respectively.

Fig.6 CCA ordination diagram showing the relationship of the zooplankton and environmental factors

3 讨论

3.1 黄河陕西段浮游动物群落组成

此次调查结果表明,浮游动物种类数及丰度结果与黄河上游玛曲段、玛曲至湖口段黄河干流相比依次增加(张军燕等,2009);与黄河干流中上游、黄

河入海口相比依次减少(巩俊霞等,2010);表明黄河浮游动物自上而下呈现依次增加、逐年下降的趋势。黄河上、中、下游多样性的流域生境对生物群落产生了重大影响,上游山高坡陡,总落差达到3 496 m,河水较清,流速快,中游多水多沙,洪峰流量大,河段总落差 890 m,下游泥沙淤积,总落差 93.6 m,中、下游流速较上游缓慢,浮游动物游动能力弱,因此流速较快的水域浮游动物量要低于流速较慢的水域(姜英等,2010)。与支流(渭河)相比(白海锋等,2014),轮虫种类(66种)较黄河干流多,但其密度和生物量均在两河交汇处达到最大,这与交汇处有机物质丰富、微型生物和藻类生长繁殖有关。黄河陕西段浮游动物丰度和生物量均在春夏较大,秋冬较小,与已有的研究结果一致(陈光荣等,2008)。

在种类组成上,黄河陕西段以小型浮游动物占优势,个体较大的枝角类和桡足类占比较少,这与国内外已知江河的浮游动物群落结构相似(Robert & John,2011;吴利等,2015;Zhao et al,2017)。浮游动物丰度和生物量均以轮虫居多,这是由于轮虫独特的孤雌生殖方式,使其能迅速适应水体理化环境从而快速繁殖生长(Holst et al,1998)。此次调查以中污性和富营养指示种(Gannon & Stemberger,1978)萼花臂尾轮虫、前节晶囊轮虫和微型裸腹溞为优势种,这些说明黄河陕西段在一定程度上出现了污染和富营养化。

多样性分析显示,Shannon-Wiener 指数均值范围 0.65~0.83,Margalef 指数为 1.08~2.49,Pielou 均匀度指数为 0.39~0.60。依据评价标准(孔繁翔,2000),黄河陕西段水域为重度污染;结合对此段水环境进行的综合污染指数评价(邓兆仁和谢玲娣,1995),水质综合污染指数为 3.87,处于 4 级中度污染,主要污染物为总氮、总磷和高锰酸盐指数(王益昌等,2017),说明此段黄河水环境质量需加强治理和管控。黄河陕西段浮游动物多样性指数水平较低,也与采样断面均设置在黄河干流,其较大的流速、较高水平泥沙量使浮游动物的生长繁殖受限有关(白海锋等,2014)。

3.2 环境因子对黄河陕西段浮游动物数量的影响

不同水体中影响浮游动物分布的环境因子不同。有研究表明,水温、氨氮、电导率和 pH 是影响红枫湖水库冬春季轮虫分布的主要环境因子(夏品华等,2014);水温、pH、水深、总磷、溶解氧和化学需氧量是影响湖北西凉湖浮游动物群落结构的环境因

子(吴摇利等,2011);水温、饱和度、流量和 pH 是影响渭河流域浮游动物群落结构的主要环境因子(白海峰等,2014);说明水体对浮游动物生长限制因子不同,也与不同水体浮游动物的种类有关。本研究中的原生动物生长与磷营养盐关系较大,其他浮游动物的生长则与 pH、浮游植物的量关系更大。

此次调查显示,黄河浮游动物整体量较少,影响浮游动物丰度的主要环境因子为 COD、TN、pH、Cr。水体的 COD 指标显示其受污染的程度,COD 越高,浮游动物的数量就越少,这与本实验结果大部分浮游动物与 COD 呈负相关一致。pH 是影响浮游动物分布的重要生态因子,有研究表明,轮虫在酸性水体中,种类多、数量少,而在碱性水体中,数量多、种类少(Yin & Niu,2008)。大量研究表明,浮游动物物种组成和丰度与水体营养状态的 TN 和 TP 浓度密切相关(Sousa et al,2008;吴利等,2011);N、P 等营养盐含量的升高,势必引起浮游植物密度的增加,进而促进浮游动物丰度的增加,并导致水体透明度下降(李共国等,2002)。本研究表明,NO₃-N 更易被浮游动物吸收利用,从而影响浮游动物的量;一些重金属也表现出与浮游动物数量正相关,这是由于重金属含量较低,浮游动物受到环境刺激后发生应激适应而引发的代谢变化。

此次分析结果显示,CCA 前两个排序轴对种类和环境之间关系的解释量仅为 39.6%,说明除调查的水环境因子外,还有其他因素对黄河浮游动物产生较大影响。一般认为,流速较大、含泥沙量大的河流,不是浮游动物的理想栖息场所,个体较大的浮游动物进入夹带泥沙量大的河流,密度会很快减少甚至消失(陈受忠,1990);黄河陕西段干流的流速大、含沙量也大,不适合细菌、浮游植物的生长,饵料资源困乏,决定了浮游动物的量较少,并以小型浮游动物为优势种;捕食也被认为是决定浮游动物群落丰度、结构及导致浮游动物群落演替主要的生物因子(Aleksandra et al,2014);滤食性鱼类的丰度对浮游动物生物量和种类组成具有显著影响,其对浮游动物的捕食是影响浮游动物群落结构的主要因素(Swiercowski et al,2000);黄河陕西段每年增殖放流大量的鲢鳙,其捕食带来的下行效应也对浮游动物产生较大影响(李斌,2010)。浮游动物群落结构呈现以小型浮游动物(特别是轮虫)为主导的特征,也与人工放养鲢鳙及其滤食作用有关。

参考文献

- 白海锋,赵乃锡,殷旭旺,等,2014.渭河流域浮游动物的群落结构及其与环境因子的关系[J].大连海洋大学学报,29(3):260-266.
- 常中芳,2006.黄河中游湿地生物多样性及保护对策[J].山西大学学报(自然科学版),29(3):321-325.
- 陈光荣,钟萍,张修峰,等,2008.惠州西湖浮游动物及其与水质的关系[J].湖泊科学,20(3):351-356.
- 陈受忠,1990.四川沱江口浮游甲壳动物记述[J].海洋湖沼通报,(3):86-91.
- 邓兆仁,谢玲娣,1995.大冶湖水体环境污染对渔业影响初步分析[J].华中师范大学学报(自然科学版),29(3):387-390.
- 董志军,杨青,孙婷婷,等,2017.黄河口邻近海域浮游动物群落时空变化特征[J].生态学报,(2):659-667.
- 巩俊霞,杨秀兰,段登选,等,2010.黄河入海口水域春季浮游动物群落特征研究[J].广东海洋大学学报,(6):1-6.
- 姜英,姚锦仙,庞科,等,2010.额尔古纳河流域秋季浮游动物群落结构特征[J].北京大学学报(自然科学版),46(6):870-876.
- 孔繁翔,2000.环境生物学[M].北京:高等教育出版社.
- 李斌,2010.渭南100万尾鱼苗放流黄河为近年来投放数量之最[N/OL].华商报[2010-06-24].<http://news.hsw.cn/system/2010/06/23/050543686.shtml>.
- 李共国,包薇红,徐石林,等,2015.甬江干流浮游动物群落结构季节动态与水环境的关系[J].水生生物学报,39(1):1-12.
- 李学军,鲍战猛,高彩凤,等,2014.北运河浮游动物调查及水质评价[J].生态学杂志,33(6):1559-1564.
- 孙儒泳,李博,诸葛阳,等,1993.普通生态学[M].北京:高等教育出版社:136-137.
- 王新华,吕昀,秦保平,等,2002.引滦入津输水工程流域浮游动物和水质评价[J].南开大学学报(自然科学版),35(1):16-22.
- 王益昌,李维平,侯淑敏,等,2015.黄河陕西段渔业资源现状调查[J].淡水渔业,45(2):97-101.
- 王益昌,李瑞娇,问思恩,等,2017.基于综合污染指数对黄河陕西段水环境的分析评价[J].水产学杂志,30(5):47-50.
- 王兆印,田世民,2008.黄河的综合治理方略[J].天津大学学报,41(9):1130-1135.
- 吴利,冯伟松,张堂林,等,2011.春、秋季武湖浮游动物群落特征及其与环境因子的关系[J].水生态学杂志,32(2):31-37.
- 吴利,李源玲,陈延松,2015.淮干流浮游动物群落结构特征[J].湖泊科学,27(5):932-940.
- 吴摇利,冯伟松,张堂林,等,2011.湖北省西凉湖浮游动物群落周年动态变化及其与环境因子的关系[J].湖泊科学,23(4):619-625.
- 夏品华,马健荣,李存雄,等,2011.红枫湖水库冬春季浮游生物群落与环境因子的典范对应分析[J].环境科学研究,24(4):378-386.
- 徐兆礼,2006.东海亚强真哲水蚤种群生态特征[J].生态学报,26(4):1151-1158.
- 袁永锋,李引娣,张林林,等,2009.黄河干流中上游水生生物资源调查研究[J].水生态学杂志,(6):15-19.
- 张达娟,闫启仑,王真良,2008.典型河口浮游动物种类数及生物量变化趋势的研究[J].海洋与湖沼,(5):536-540.
- 张军燕,张建军,杨兴中,等,2009.黄河上游玛曲段春季浮游生物群落结构特征[J].生态学杂志,28(5):983-987.
- 章宗涉,黄祥飞,1991.淡水浮游生物研究方法[M].北京:科学出版社.
- Aleksandra M L, Hillebrand H, Lengfellner K, et al, 2014. Temperature effects on phytoplankton diversity-The zooplankton link[J]. Journal of Sea Research, 85: 359-364.
- Gannon J E, Stemberger R S, 1978. Zooplankton (especially crustaceans and rotifers) as indicators of water quality [J]. Transaction of the American Microscopical Society, 97(1):16-35.
- Holst H, Zimmermann H, Kausch H et al, 1998. Temporal and spatial dynamics of planktonic rotifers in the estuary during spring[J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 47: 261-273.
- Robert M B, John H, 2011. Seasonal zooplankton dynamics in main channel and backwater habitats of the Upper Mississippi River[J]. Hydrobiologia, 667:69-87.
- Sousa W, Attayde J L, Rocha E D S, et al, 2008. The response of zooplankton assemblages to variations in the water quality of four man-made lakes in semi-arid northeastern Brazil[J]. Journal of Plankton Research, 30(6):699-708.
- Swiercowski A, Godlewska M, Poltorak T, 2000. The relationship between the spatial distribution of fish, zooplankton and other environmental parameters in the Solina Reservoir, Poland[J]. Aquatic Living Resources, 13: 373-377.
- Yin X W, Niu C J, 2008. Effect of pH on survival, reproduction, egg viability and growth rate of five closely related rotifer species[J]. Aquatic Ecology, 42:607-616.
- Zhao K, Song K, Pan Y D, et al, 2017. Metacommunity structure of zooplankton in river networks: Roles of environmental and spatial factors[J]. Ecological Indicators, 73:96-104.

Spatiotemporal Characteristics of Zooplankton Community Structure and the Relationship with Environmental Factors in the Shaanxi Section of Yellow River

LI Rui-jiao, QI Xi-rong, WANG Yi-chang, ZHANG Jun-yan, REN Jing, SHEN Hong-bao

(Shaanxi Fisheries Institute, Shaanxi Province, Xi'an 710086, P.R.China)

Abstract: Zooplankton play an important role in the aquatic food web and are often used as ecological and environmental indicators because of their sensitivity to changes in the water environment. In this study, we investigated the spatiotemporal variation of zooplankton community structure in the Shaanxi section of the middle Yellow River. Species composition, dominant species and community diversity were determined and the relationship of zooplankton community structure to environmental factors was analyzed using canonical correspondence analysis (CCA). The objectives of the study were to provide basic data and scientific evidence for evaluating the aquatic ecosystem and conserving water resources in the Shaanxi section of the Yellow River. Seasonal investigation of zooplankton was carried out at seven sampling transects in July (summer) and October (autumn) of 2013, January (winter) and May (spring) of 2014. Water quality parameters and heavy metals were also monitored. A total of 20 zooplankton species were identified, including 4 protozoans, 10 rotifers, 3 cladocera and 3 copepods. The highest zooplankton species richness occurred in summer (16 species) and the lowest was in winter (5 species). The range of zooplankton abundance was 25 – 3 800 ind/L and the range in biomass was 0.00001 – 1.24 mg/L, and both were generally higher in spring and summer, and lower in autumn and winter. Spatially, zooplankton abundance and biomass increased from upstream to downstream. The dominant species were *Spirostomum minus*, *Brachionus calyciflorus*, *Asplanchna priodonta*, *Keratella valga*, *Brachionus diversicornis* and *Moina micrura*. The Shannon-Wiener diversity index, Margalef richness index and Pielou evenness index were, respectively, 0.65 – 0.83, 1.08 – 2.49 and 0.39 – 0.60. In summary, the zooplankton community structure in the Shaanxi section of Yellow River was simple and diversity was low. Further, some indicator species of pollution were found during the investigation, indicating eutrophic conditions. CCA results show that COD, TN, pH and Cr were the primary environmental factors affecting zooplankton abundance.

Key words: Shaanxi section of the Yellow River; zooplankton; community structure; environmental factors; canonical correspondence analysis (CCA)