

# 黄河山东段河岸带春季大型底栖动物群落结构与多样性

舒凤月<sup>①</sup> 吴俊燕<sup>①</sup> 孙晓倩<sup>①</sup> 王帅<sup>①</sup> 董贯仓<sup>②</sup> 李秀启<sup>②\*</sup>

① 曲阜师范大学, 山东省南四湖湿地生态与环境保护高校重点实验室 曲阜 273165; ② 山东省淡水渔业研究院 济南 250013

**摘要:** 河岸带是河流生态系统与陆地生态系统相互作用的生态交错带, 具有明显的边缘效应和丰富的生物多样性。近年来, 由于受人类活动(如水利工程、堤坝和农业生产等)的干扰, 黄河下游河岸带生态系统受到严重破坏。为了解黄河下游河岸带大型底栖动物的群落结构现状和影响因素, 于 2015 年 5 月对黄河山东段河岸带 8 个断面的底栖动物群落进行了系统调查, 采用相对重要性指数、物种多样性指数和均匀度指数等方法分析该区域大型底栖动物的群落特征。调查期间共采集到 37 种底栖动物, 其中, 环节动物 3 种, 软体动物 7 种, 水生昆虫 27 种。底栖动物物种组成主要以水生昆虫为主, 尤其是摇蚊幼虫。该段河岸带大型底栖动物的平均密度为  $(2\ 129 \pm 436)$  ind/m<sup>2</sup>, 平均生物量为  $(2.20 \pm 0.75)$  g/m<sup>2</sup>。就空间分布而言, 各断面底栖动物的种类数、优势种、现存量和多样性均呈现出明显的空间分布差异, 且呈现出不规则波动, 这表明河岸带受到严重的人为活动干扰。综合分析表明, 各断面的河岸带形态(如宽度和生境类型)和水生昆虫的繁殖行为是影响黄河山东段河岸带底栖动物空间分布的主要因素。

**关键词:** 河岸带; 大型底栖动物; 物种多样性; 影响因素; 黄河山东段

**中图分类号:** Q958 **文献标识码:** A **文章编号:** 0250-3263 (2017) 02-271-12

## Distribution and Diversity of Riparian Macrozoobenthic Communities in Shandong Reach of the Yellow River in Spring

SHU Feng-Yue<sup>①</sup> WU Jun-Yan<sup>①</sup> SUN Xiao-Qian<sup>①</sup> WANG Shuai<sup>①</sup>  
DONG Guan-Cang<sup>②</sup> LI Xiu-Qi<sup>②\*</sup>

① *Key Laboratory of Wetland Ecology and Environment Conservation of Lake Nansi, Qufu Normal University, Qufu 273165;*

② *Shandong Freshwater Fisheries Research Institute, Jinan 250013, China*

**Abstract:** Riparian zone is an active transition zone and ecotone of river and land ecosystem, with edge-effects and harbors higher numbers of species. Riparian ecosystem in the Lower Reach of the Yellow River has greatly degraded due to disturbance of human activities (such as hydraulic engineering construction,

**基金项目** 公益性行业(农业)科研专项经费(No. 201303050-04);

\* 通讯作者, E-mail: xiuqili@126.com;

**第一作者介绍** 舒凤月, 男, 副教授; 研究方向: 底栖动物分类与生态; E-mail: shfyue01@163.com.

收稿日期: 2016-06-13, 修回日期: 2016-08-04 DOI: 10.13859/j.cjz.201702011

embankment along the lower river and farming) in recent years. In order to reveal the present status of riparian macro-zoobenthos and factors producing influence on them, a systematic survey was carried out at 8 sampling sections in aquatic banks of Shandong Reach, Yellow River in May 2005 at low flow conditions. The characteristics of macro-zoobenthos were described by the index of relative importance, Shannon-Weaver index, Margalef index and Pielou evenness index. Altogether 37 taxa were collected from the river bed and identified, including 3 annelids, 7 molluscs, and 27 arthropods (Table 2). The main components are aquatic insects (especially Chironomid groups). The average density and biomass of zoobenthos were  $2\ 129 \pm 436$  ind/m<sup>2</sup> and  $2.20 \pm 0.75$  g/m<sup>2</sup>, respectively. The analysis of the spatial distributions of river bed community structure indicated that species richness, abundance, biomass, dominant species and diversity varied significantly between each sampling sections (Fig. 2, 3, 5, Table 3), and exhibited irregular fluctuations, which indicates that riparian ecosystem in Shandong Reach of Yellow River has suffered severe disturbance by human activities. The comprehensive analyses indicated that channel cross-section morphology (such as width and habitat type of riparian zone) and oviposition behaviors of aquatic insects were the main factors to produce influence on the structure and distribution of the macrozoobenthos assemblages in Shandong Reach of Yellow River.

**Key words:** Riparian zone; Macrozoobenthos; Species diversity; Affecting factor; Shandong Reach of Yellow River

河岸带位于陆地与河流交界处, 是指高低水位之间的河床及高水位之上直至河流影响完全消失的地带 (Nilsson et al. 2000)。河岸带是河流生态系统与陆地生态系统进行物质、能量、信息交换的一个重要的生态交互作用区, 具有明显的边缘效应和丰富的生物多样性, 与周围区域相比具有更高水平的物种密度、生物多样性和生产力 (Cogerino et al. 1995, Stella et al. 2013)。但由于河岸带区域特殊的位置和功能, 使其成为人类活动干扰强烈, 生物多样性及生态系统最易遭到破坏的区域 (张建春等 2003, 郭怀成等 2007)。在过去 200 年来, 由于受人类活动的干扰, 北美和欧洲 80% 以上的河岸带廊道已经消失 (Naiman et al. 1993)。因此, 与湿地恢复密切相关的退化河岸带生态系统恢复与重建已成为当今恢复生态学研究的重要内容之一 (黄凯等 2007)。

黄河是我国第二大河, 也是生物多样性分布的关键地带 (上官铁梁等 2005)。然而, 近年来随着人口的剧增和经济的快速发展, 人为干扰导致的黄河生态问题日益严重 (Lawler

2009, Zhao et al. 2014), 特别是下游, 中上游大量拦河水利工程的兴建在很大程度上改变了原有的水文情势。同时, 由于下游修建防洪体系, 两岸皆筑有堤坝, 两岸的加固硬化进一步加剧了河岸带栖息地的破坏, 严重威胁着黄河下游河岸带的生物多样性 (Cui et al. 2014, 赵清贺等 2015)。国内有关河岸带生物多样性的研究较少, 且已有研究多集中在植物多样性 (左倬等 2010, 沈亚强等 2011)。本研究以底栖动物为研究对象, 通过在黄河山东段河岸带开展实地调查和分析研究, 目的是探讨黄河山东段河岸带底栖动物群落结构和多样性分布, 以为该段河岸带生态系统的健康评价、可持续管理和保护等提供基础资料及科学依据。

## 1 研究区域与研究方法

### 1.1 研究区域

黄河下游河道长 786 km, 其中山东段河道全长 628 km, 流经山东省的菏泽、聊城、德州、滨州、东营、济宁、泰安、济南、淄博等市。调查范围主要在下流山东段, 自黄河进入山东

的菏泽市东明县焦园乡至东营市利津县齐家河村，本次调查范围未包含利津县以下的黄河三角洲。调查时间为 2015 年 5 月，由于黄河下游两岸建有防洪大堤，因此，选择在小浪底水库调水调沙开始前、水位较低时（此时期河岸带明显）开展野外调查。根据地理划分，分别在东明县焦园乡（S1）、菏泽市牡丹区刘庄（S2）、鄄城县李进士堂镇（S3 和 S4）、平阴县（S5）、济南泺口（S6）、淄博市高青县刘春家村（S7）和滨州市利津县齐家河村（S8）共设置 8 个断面（图 1，表 1），其中，鄄城县李进士堂镇设置 2 个断面，二者相距约 5 km，目的是比较同一区域不同断面之间底栖动物群落的差异。由于黄河下游建有防洪大堤，导致河岸带受到严重破坏，因此，所设置断面一般选择在河岸带较为宽阔、明显的区域，河岸带具有明显的沙洲、水流较缓的支岔以及退水后形成的静水水

体（表 1）。

## 1.2 样品采集

在所选定断面的 100 m 范围之内，在水流较缓的支岔、沙洲后端的回水区或静水水体选择 2~3 个采集样点，样点在近岸处，水深不超过 20 cm。每个样点使用 40 目索伯网（网口为 30 cm × 30 cm）随机采集 2~3 个平行样本，用铁铲挖取索伯网框定范围内的底泥放入索伯网后再放入水中筛洗，然后将网内所有采集物经过 40 目筛网筛洗后装入封口袋中，并用 10% 福尔马林保存。保存的样本带回实验室分拣，然后在显微镜或解剖镜下进行种类鉴定、计数，并用电子天平称量湿重，称重前先用滤纸吸干标本体表液体；最后换算成单位面积的密度（ind/m<sup>2</sup>）和生物量（g/m<sup>2</sup>）。定性采集使用抄网结合手捡进行。底栖动物样品尽量鉴定到属或种，部分水生昆虫区分到科。

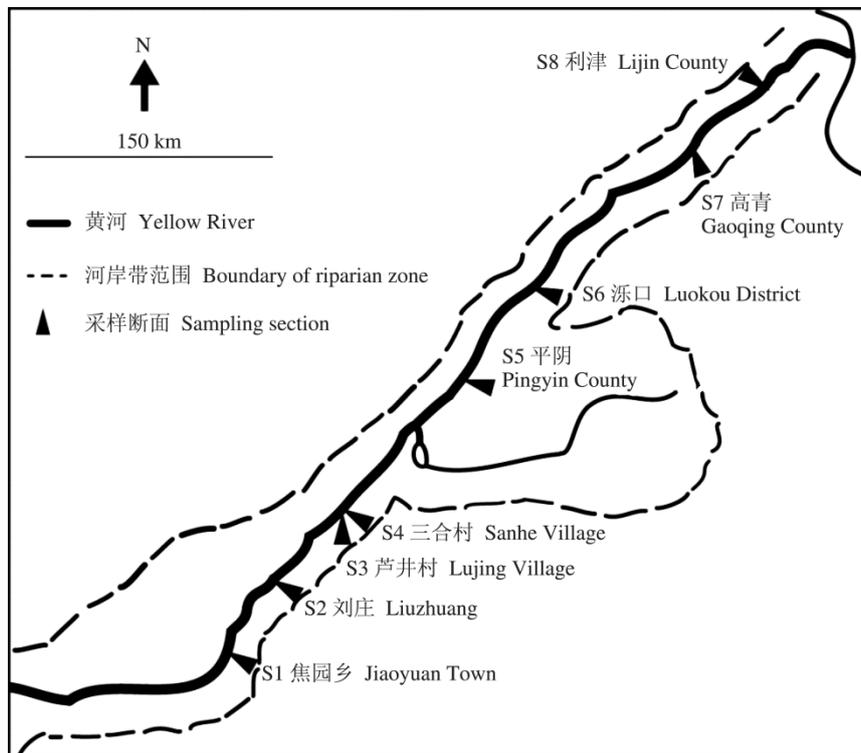


图 1 黄河下游山东段采样点分布

Fig. 1 Distribution of sampling sites in Shandong Reach of Yellow River

表 1 黄河下游山东段采样断面的地理位置和生境类型

Table 1 Geographic location and habitat types of sampling sites in Shandong Reach of Yellow River

断面序号 Section number	采样位置 Sampling location	地理坐标 Geographic coordinates	河岸带生境类型 Habitat type of riparian zone
断面 1 Section 1 (S1)	菏泽市东明县焦园乡 Jiaoyuan Town, Dongming County, Heze City	35°03'13" N 114°50'05" E	宽阔、有沙洲、支岔、静水水体 Broad, sandbar, channel, lentic water body
断面 2 Section 2 (S2)	菏泽市牡丹区刘庄 Liu Zhuang, Mudan District, Heze City	35°29'45" N 115°20'47" E	宽阔、有沙洲、支岔、静水水体 Broad, sandbar, channel, lentic water body
断面 3 Section 3 (S3)	鄄城县李进士堂镇芦井村 Lujing Village, Lijinshatang Town, Juancheng County	35°42'40" N 115°32'15" E	狭窄、有沙洲、支岔 Narrow, sandbar, channel
断面 4 Section 4 (S4)	鄄城县李进士堂镇三合村 Sanhe Village, Lijinshatang Town, Juancheng County	35°44'39" N 115°33'16" E	宽阔、有沙洲、支岔、静水水体 Broad, sandbar, channel, lentic water body
断面 5 Section 5 (S5)	平阴县北黄河浮桥下游 Lower reach of pontoon in the north of Pingyin County	36°20'37" N 116°27'24" E	宽阔、有沙洲、静水水体 Broad, sandbar, lentic water body
断面 6 Section 6 (S6)	济南泺口黄河浮桥上游 Upper reach of pontoon in Luokou District, Jinan City	36°43'56" N 116°59'13" E	狭窄、有沙洲、支岔 Narrow, sandbar, channel
断面 7 Section 7 (S7)	淄博市高青县刘春家村 Liuchunjia Village, Gaoqing County, Zibo City	37°16'33" N 117°53'08" E	狭窄、有沙洲、静水水体 Narrow, sandbar, lentic water body
断面 8 Section 8 (S8)	滨州市利津县齐家河村 Qijiahe Village, Lijin County, Binzhou City	37°30'31" N 118°17'59" E	狭窄、有沙洲、支岔、静水水体 Narrow, sandbar, channel, lentic water body

### 1.3 优势种

底栖动物优势种类根据相对重要性指数 (index of relative importance, IRI) (韩洁等 2004) 确定, 相对重要性指数 = (相对生物量 + 相对丰度) × 出现频率。相对生物量为某一种群大型底栖动物的生物量占总生物量的百分比, 相对丰度为某一种群大型底栖动物的丰度占总丰度的百分比, 出现频率为该种群出现样点次数占总样点数的百分比。以 IRI 值大于 200 为优势种。

### 1.4 功能摄食类群的划分

功能摄食类群的划分主要参考有关资料 (Morse et al. 1994, 梁彦龄等 1999)。如果某动物有几种可能的归属, 则均分到相关类群。

### 1.5 多样性指数

Shannon-Weaver 多样性指数 ( $H'$ )

$$H' = - \sum_{i=1}^s (n_i/N) \log_2(n_i/N),$$

Margalef 多样性指数 ( $D$ )  $D = (S-1)/\ln N$ ,

Pielou 均匀度指数 ( $J$ )  $J = H'/\log_2 S$ , 式中,  $N$  为样品中所有物种的总个体数,  $S$  为样品中物种种类总数,  $n_i$  为第  $i$  种物种的个体数。

## 2 结果

### 2.1 种类组成

共采集到大型底栖动物 37 种, 隶属 19 科 32 属 (表 2)。其中环节动物 3 种, 占 8.1%, 软体动物 7 种, 占 18.9%, 水生昆虫的种类最多, 有 27 种, 占 73.0%。水生昆虫中以双翅目为主, 有 20 种, 占水生昆虫种类数的 74.1%, 而蜻蜓目、半翅目和鞘翅目分别有 4 种、2 种和 1 种。从科、属分类阶元来看, 水生昆虫中的摇蚊科种类最多, 有 17 种, 其次为椎实螺科, 有 2 种, 其他各科均只有 1 种。隐摇蚊属和摇蚊属各有 3 种, 水丝蚓属有 2 种, 其他各属均只有 1 种 (表 2)。这表明黄河山东段河岸带的大型底栖动物中单种属所占比例较大。

从各断面来看, 刘庄断面 (S2) 的种类数最多, 达 24 种, 其后依次是焦园乡断面 (S1)、

表 2 黄河山东段大型底栖动物种类组成

Table 2 Species composition of macrozoobenthos in Shandong Reach of Yellow River

类群 Taxa	采集断面 Sampling sections							
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
环节动物门 Annelida								
霍甫水丝蚓 <i>Limnodrilus hoffmeisteri</i>		+				+		
水丝蚓属一种 <i>Limnodrilus</i> sp.		+						
缨鳃虫科一种 <i>Sabellidae</i> sp.		+						
软体动物门 Mollusca								
梨形环棱螺 <i>Bellamyia purificata</i>		+			+			
光滑狭口螺 <i>Stenothyra glabra</i>		+						
尖膀胱螺 <i>Physa acuta</i>	+	+						
狭萝卜螺 <i>Radix lagotis</i>	+	+		+				
小土蜗 <i>Galba perversa</i>	+							
扁旋螺 <i>Gyraulus compressus</i>		+						
淡水壳菜 <i>Limnoperna lacustris</i>					+			
节肢动物门 Arthropoda								
多足摇蚊属一种 <i>Polypedilum</i> sp.	+	+		+	+	+	+	
长跗摇蚊属一种 <i>Tanytarsus</i> sp.	+							
齿斑摇蚊属一种 <i>Stictochironomus</i> sp.		+		+	+		+	
前突摇蚊属一种 <i>Procladius</i> sp.	+	+		+				
无突摇蚊属一种 <i>Ablabesmyia</i> sp.		+						
长足摇蚊属一种 <i>Tanytus</i> sp.		+		+		+		
隐摇蚊属一种 <i>Cryptochironomus</i> sp.				+	+			+
凹缺隐摇蚊 <i>C. defectus</i>		+			+		+	
喙隐摇蚊 <i>C. rostratus</i>	+	+	+	+	+		+	+
弯铗摇蚊属一种 <i>Cryptotendipes</i> sp.					+			
松施密摇蚊属一种 <i>Krenosmittia</i> sp.	+	+	+	+		+	+	
拟开式摇蚊属一种 <i>Paracricotopus</i> sp.							+	+
环足摇蚊属一种 <i>Cricotopus</i> sp.	+							
摇蚊属一种 <i>Chironomus</i> sp.	+	+	+	+				+
羽摇蚊 <i>C. flaviplumus</i>	+	+						
喜盐摇蚊 <i>C. salinarius</i>	+							
小摇蚊属一种 <i>Microchironomus</i> sp.				+	+			+
大蚊科一种 <i>Tipulidae</i> sp.	+	+		+		+		
蚊科一种 <i>Culicidae</i> sp.	+	+	+	+	+			+
长足虹科一种 <i>Dolichopodidae</i> sp.	+	+						
箭蜓科一种 <i>Gomphidae</i> sp.		+						
蜓科一种 <i>Aeshnidae</i> sp.				+				
螳科的一种 <i>Coenagrionidae</i> sp.				+				
扇螳科一种 <i>Platycnemididae</i> sp.		+		+				
田鳖科一种 <i>Belostomatidae</i> sp.	+	+		+				
蝎蝽科一种 <i>Nepidae</i> sp.				+				
龙虱科一种 <i>Dytiscidae</i> sp.				+				

S1. 菏泽市东明县焦园乡; S2. 菏泽市牡丹区刘庄; S3. 鄄城县李进士堂镇芦井村; S4. 鄄城县李进士堂镇三合村; S5. 平阴县北黄河浮桥下游; S6. 济南历下区黄河浮桥上游; S7. 淄博市高青县刘家村; S8. 滨州市利津县齐家村。

S1. Jiaoyuan Town, Dongming County, Heze City; S2. Liuzhuang, Mudan District, Heze City; S3. Lujing Village, Lijinshatang Town, Juancheng County; S4. Sanhe Village, Lijinshatang Town, Juancheng County; S5. Lower reach of pontoon in the north of Pingyin County; S6. Upper reach of pontoon in Luokou district, Jinan City; S7. Liuchunja Village, Gaoqing County, Zibo City; S8. Qijiahe Village, Lijin County, Binzhou City.

三合村断面 (S4) 和平阴断面 (S5), 分别有 16 种、14 种和 10 种, 其余断面的物种数较少, 物种数仅 4 ~ 6 种 (图 2)。从各类群的分布来看, 寡毛类的分布范围最小, 仅在 2 个断面出现, 其次为软体动物, 在 4 个断面出现, 水生昆虫 (特别是摇蚊幼虫) 的分布最为广泛。

### 2.2 密度与生物量

黄河山东段河岸带大型底栖动物的平均密度为  $(2\,129 \pm 436)$  ind/m<sup>2</sup>, 其中, 水生昆虫的密度最高 ( $2\,115$  ind/m<sup>2</sup>), 占总密度的 99.3%; 软体动物和寡毛类的密度明显较低, 前者为 14 ind/m<sup>2</sup>, 而后者不足 1 ind/m<sup>2</sup>。黄河山东段河岸带大型底栖动物的平均生物量为  $(2.20 \pm 0.75)$  g/m<sup>2</sup>, 水生昆虫和软体动物占绝对优势, 两者的生物量分别为 1.17 g/m<sup>2</sup> 和 1.03 g/m<sup>2</sup>, 分别占总生物量的 53.3% 和 46.7%。

图 3 显示了黄河山东段各断面大型底栖动物密度和生物量的变化。可以看出, 芦井村断

面 (S3) 底栖动物的密度最高, 达 4 581 ind/m<sup>2</sup>, 其次为高青断面 (S7, 2 728 ind/m<sup>2</sup>)、三合村断面 (S4, 2 586 ind/m<sup>2</sup>) 和焦园乡断面 (S1, 2 417 ind/m<sup>2</sup>), 其余断面底栖动物的密度在 794 ~ 1 586 ind/m<sup>2</sup>; 生物量以刘庄断面 (S2) 为最高, 达 5.79 g/m<sup>2</sup>, 其次为三合村断面 (S4) 和焦园乡断面 (S1), 分别有 4.85 g/m<sup>2</sup> 和 3.02 g/m<sup>2</sup>, 其余断面底栖动物生物量较低, 范围在 0.39 ~ 1.67 g/m<sup>2</sup>, 原因主要在于焦园乡断面、刘庄断面和三合村断面的定量样品中出现软体动物, 其软体动物的密度分别为 7 ind/m<sup>2</sup>、46 ind/m<sup>2</sup> 和 61 ind/m<sup>2</sup>, 而生物量分别占该断面生物量的 56.6%、73.1% 和 46.7%。其他断面的底栖动物主要是由水生昆虫组成, 环节动物的密度和生物量极低。

### 2.3 优势类群

各断面的优势类群主要是水生昆虫中的摇蚊科种类 (表 3), 但各断面间优势类群组成

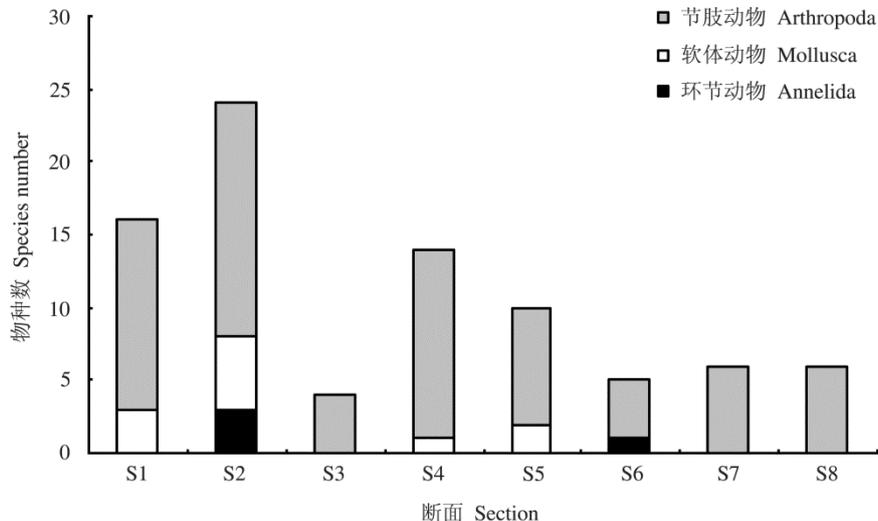


图 2 黄河山东段各断面底栖动物的种类数

Fig. 2 Taxa number of macro-zoobenthos in each section of Shandong Reach of Yellow River

S1. 菏泽市东明县焦园乡; S2. 菏泽市牡丹区刘庄; S3. 鄄城县李进士堂镇芦井村; S4. 鄄城县李进士堂镇三合村; S5. 平阴县北黄河浮桥下游; S6. 济南历下区黄河浮桥上游; S7. 淄博市高青县刘春家村; S8. 滨州市利津县齐家河村。

S1. Jiaoyuan Town, Dongming County, Heze City; S2. Liuzhuang, Mudan District, Heze City; S3. Lujing Village, Lijinshitant Town, Juancheng County; S4. Sanhe Village, Lijinshitant Town, Juancheng County; S5. Lower reach of pontoon in the north of Pingyin County; S6. Upper reach of pontoon in Luokou district, Jinan City; S7. Liuchunjia Village, Gaoqing County, Zibo City; S8. Qijiahe Village, Lijin County, Binzhou City.

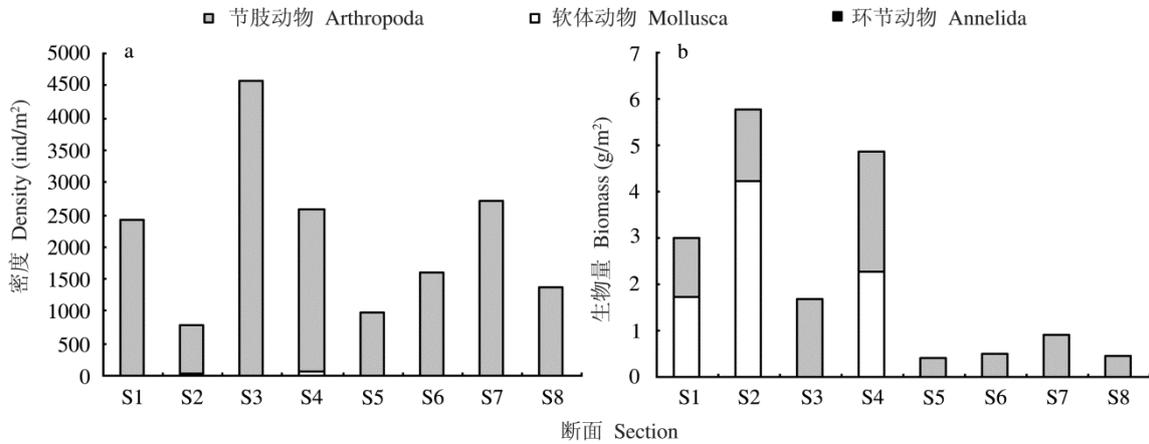


图3 黄河山东段各断面底栖动物的密度 (a) 和生物量 (b)

Fig. 3 Density and biomass of macro-zoobenthos in each section of Shandong Reach of Yellow River

S1. 菏泽市东明县焦园乡; S2. 菏泽市牡丹区刘庄; S3. 鄄城县李进士堂镇芦井村; S4. 鄄城县李进士堂镇三合村; S5. 平阴县北黄河浮桥下游; S6. 济南泺口黄河浮桥上游; S7. 淄博市高青县刘春家村; S8. 滨州市利津县齐家河村。

S1. Jiaoyuan Town, Dongming County, Heze City; S2. Liuzhuang, Mudan District, Heze City; S3. Lujing Village, Lijinshintang Town, Juancheng County; S4. Sanhe Village, Lijinshintang Town, Juancheng County; S5. Lower reach of pontoon in the north of Pingyin County; S6. Upper reach of pontoon in Luokou district, Jinan City; S7. Liuchunjia Village, Gaoqing County, Zibo City; S8. Qijiahe Village, Lijin County, Binzhou City.

表3 黄河山东段调查断面底栖动物优势类群的密度 (ind/m²)

Table 3 Density of predominant taxa of macro-zoobenthos in each section of Shandong Reach of Yellow River

优势类群 Predominant taxa	采集断面 Sampling sections							
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
狭萝卜螺 <i>Radix lagotis</i>		28		61				
多足摇蚊属一种 <i>Polypedilum</i> sp.	2 146	235		1 142				
环足摇蚊属一种 <i>Cricotopus</i> sp.	157							
齿斑摇蚊属一种 <i>Stictochironomus</i> sp.		242			135			
松施密摇蚊属一种 <i>Krenosmittia</i> sp.			4 026	719		1 576	154	
喙隐摇蚊 <i>Cryptochironomus rostratus</i>				306				
长足摇蚊属一种 <i>Tanytus</i> sp.				108				
小摇蚊属一种 <i>Microchironomus</i> sp.				125	676			
拟开式摇蚊属一种 <i>Paracricotopus</i> sp.							2 435	1 294
蚊科一种 <i>Culicidae</i> sp.			541					

S1. 菏泽市东明县焦园乡; S2. 菏泽市牡丹区刘庄; S3. 鄄城县李进士堂镇芦井村; S4. 鄄城县李进士堂镇三合村; S5. 平阴县北黄河浮桥下游; S6. 济南泺口黄河浮桥上游; S7. 淄博市高青县刘春家村; S8. 滨州市利津县齐家河村。

S1. Jiaoyuan Town, Dongming County, Heze City; S2. Liuzhuang, Mudan District, Heze City; S3. Lujing Village, Lijinshintang Town, Juancheng County; S4. Sanhe Village, Lijinshintang Town, Juancheng County; S5. Lower reach of pontoon in the north of Pingyin County; S6. Upper reach of pontoon in Luokou district, Jinan City; S7. Liuchunjia Village, Gaoqing County, Zibo City; S8. Qijiahe Village, Lijin County, Binzhou City.

及密度差别较大。三合村断面 (S4) 的优势种最多, 有 6 种, 其密度之和占该断面平均密度的 95.2%; 刘庄断面 (S2) 有 3 个优势种, 其密度之和占该断面平均密度的 73.7%; 焦园乡断面 (S1)、芦井村断面 (S3)、平阴断面 (S5) 和高青断面 (S7) 各有 2 个优势种, 其密度之和分别占该断面平均密度的 95.3%、99.7%、83.9% 和 94.9%; 而涑口断面 (S6) 和利津断面 (S8) 各有 1 个优势种, 其密度分别占该断面平均密度的 99.4% 和 94.2%。从优势类群的分布和密度大小来看, 多足摇蚊属一种在 3 个断面 (焦园乡断面 S1、刘庄断面 S2 和三合村断面 S4) 中成为第一优势种; 松施密摇蚊属一种尽管在 4 个断面中成为优势种, 但作为第一优势种出现在芦井村断面 (S3) 和涑口断面 (S6); 拟开式摇蚊属一种在高青断面 (S7) 和利津断面 (S8) 成为第一优势种; 小摇蚊属一种仅在平阴断面 (S5) 成为第一优势种。

2.4 功能摄食类群

黄河山东段大型底栖动物功能摄食类群以

直接收集者为绝对优势, 其密度占总密度的 74.7%, 其次为捕食者和撕食者, 其密度分别占总密度的 11.3% 和 9.7%, 过滤收集者和刮食者较少, 分别占总密度的 3.7% 和 0.7%。

图 4 显示了各调查断面大型底栖动物各功能摄食类群密度和生物量的百分比。从图中可以看出, 各断面中亦是直接收集者密度的比例最高, 百分比在 33.6% ~ 99.6% 不等。焦园乡断面 (S1)、刘庄断面 (S2) 和三合村断面 (S4) 底栖动物中的功能摄食类群较为多样, 直接收集者、捕食者和撕食者所占的比例较高, 但由于这些断面出现腹足类软体动物, 刮食者的生物量占有比例 (分别是 56.6%、73.1% 和 46.7%) 明显较高。其他断面 (芦井村断面 S3、平阴断面 S5、利津断面 S8) 中, 均是以直接收集者为绝对优势类群, 其密度和生物量的百分比分别在 75% 和 50% 以上。

2.5 多样性分析

黄河山东段各断面河岸带底栖动物群落的 Shannon 多样性指数和 Margalef 多样性指数

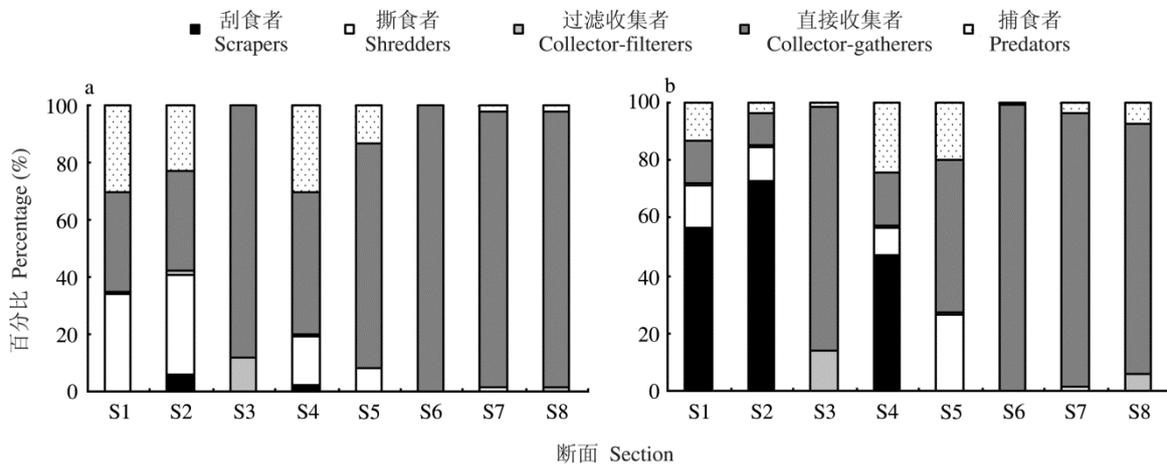


图 4 黄河山东段各断面底栖动物功能摄食类群密度 (a) 和生物量 (b) 百分比

Fig. 4 Percentage of density and biomass of each FFG of macro-zoobenthos in each sampling section

S1. 菏泽市东明县焦园乡; S2. 菏泽市牡丹区刘庄; S3. 鄄城县李进士堂镇芦井村; S4. 鄄城县李进士堂镇三合村; S5. 平阴县北黄河浮桥下游; S6. 济南涑口黄河浮桥上游; S7. 淄博市高青县刘春家村; S8. 滨州市利津县齐家村。

S1. Jiaoyuan Town, Dongming County, Heze City; S2. Liuzhuang, Mudan District, Heze City; S3. Lujing Village, Lijinshitang Town, Juancheng County; S4. Sanhe Village, Lijinshitang Town, Juancheng County; S5. Lower reach of pontoon in the north of Pingyin County; S6. Upper reach of pontoon in Luokou district, Jinan City; S7. Liuchunjia Village, Gaoqing County, Zibo City; S8. Qijiahe Village, Lijin County, Binzhou City.

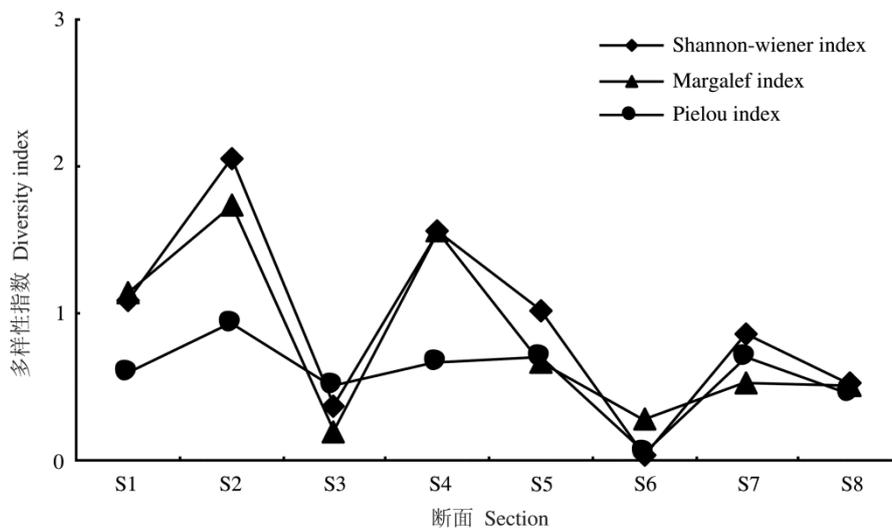


图 5 黄河山东段各断面底栖动物的多样性指数

Fig. 5 Species diversity index of macro-zoobenthos in each sampling section

S1. 菏泽市东明县焦园乡; S2. 菏泽市牡丹区刘庄; S3. 鄄城县李进士堂镇芦井村; S4. 鄄城县李进士堂镇三合村; S5. 平阴县北黄河浮桥下游; S6. 济南历下区黄河浮桥上游; S7. 淄博市高青县刘春家村; S8. 滨州市利津县齐家村。

S1. Jiaoyuan Town, Dongming County, Heze City; S2. Liuzhuang, Mudan District, Heze City; S3. Lujing Village, Lijinshitant Town, Juancheng County; S4. Sanhe Village, Lijinshitant Town, Juancheng County; S5. Lower reach of pontoon in the north of Pingyin County; S6. Upper reach of pontoon in Luokou district, Jinan City; S7. Liuchunjia Village, Gaoqing County, Zibo City; S8. Qijiahe Village, Lijin County, Binzhou City.

呈现出基本一致的趋势, 各断面之间差异较大且呈现出不规则波动, 而 Pielou 均匀度指数的波动范围较小 (图 5)。黄河山东段底栖动物 Shannon 多样性指数的平均值为 0.938, 变化范围是 0.042 ~ 2.047; Margalef 多样性指数的平均值为 0.823, 变化范围是 0.191 ~ 1.729; Pielou 均匀度指数的平均值为 0.575, 变化范围是 0.052 ~ 0.922。刘庄断面 (S2) 的多样性指数最高; 三合村断面 (S4) 的 Shannon 多样性指数和 Margalef 多样性指数较高, 但均匀度指数稍低; 芦井村断面 (S3) 历口断面 (S6) 种类较少 (图 2), 且优势种松施密摇蚊属一种的数量较多 (表 3, 其密度百分比均在 99% 以上), 使得这 2 个断面底栖动物群落的均匀度也最低。

### 3 讨论

#### 3.1 黄河山东段河岸带底栖动物多样性

已有的研究表明, 尽管可能存在调查强度

和鉴定水平的影响, 黄河干流大型底栖动物的群落结构较为简单, 物种丰富度 (尤其是软体动物) 较低, 这种现象在下游尤为明显 (表 4)。1981 年的调查在下游山东段干流仅采集到 1 种摇蚊幼虫 (黄河水系渔业资源调查协作组 1986), 2005 年的调查在黄河山东段 11 个断面采集到 14 种底栖动物 (傅小城等 2010), 2008 年的调查虽然在黄河下游采集到 35 种底栖动物, 但多数种类出现在花园口断面 (28 种), 而在山东段也仅采集到 13 种 (不包括甲壳动物) (Zhao et al. 2011), 与 2005 年的调查结果类似; 中上游底栖动物的密度也显著高于下游 (表 4, Zhao et al. 2011)。其原因主要与黄河干流河道水体含沙量高、透明度低、调水调沙、下游两岸的加固硬化以及农业生产等引起的底质不稳定、生境破坏、食物匮乏和水生植物退化等因素有关 (Grubaugh et al. 1997, 段学花等 2007, 沈亚强等 2011, Cui et al. 2014, 赵清贺等

表 4 黄河不同河段底栖动物群落比较

Table 4 Comparisons of macro-zoobenthos community between each section in Yellow River

调查区域 Sampling regions	种类数 Species number	密度 Density (ind/m <sup>2</sup> )	生物量 Biomass (g/m <sup>2</sup> )	优势类群 Dominant taxa	文献 References
黄河干流 Mainstream of Yellow River	57	-	0.373	摇蚊幼虫 Chironomids	黄河水系渔业资源调查协作组 1986
黄河 Yellow River	干流 Mainstream	49	144	寡毛类 Oligochaetes 摇蚊幼虫 Chironomids	傅小城等 2010
	下游 Lower Reach	14	-	摇蚊幼虫 Chironomids	
黄河 Yellow River	干流 Mainstream	74	599	寡毛类 Oligochaetes 摇蚊幼虫 Chironomids	Zhao et al. 2011
	上游 Upper Reach	36	952	寡毛类 Oligochaetes	
	中游 Middle Reach	42	462	摇蚊幼虫 Chironomids	
	下游 Lower Reach	35	252	其他动物 Other animals	
黄河源 Source region of Yellow River	48	369	0.450	摇蚊幼虫 Chironomids	潘保柱等 2012
黄河山东段 Shandong Reach of Yellow River	37	2 129	2.200	摇蚊幼虫 Chironomids	本研究

2015)。此外,泥沙的悬浮、沉降过程也会对底栖动物造成巨大影响(傅小城等 2010)。

河岸带生态系统是陆地与水生态系统相互作用的产物,由于特殊的地理位置,河岸带具有明显的边缘效应和丰富的生物多样性(Gregory et al. 1991, Naiman et al. 1993)。已有的研究表明,河岸带的底栖动物多样性、密度和现存量均显著高于干流河道(Cogerino et al. 1995)。与以往的调查结果相比,尽管在断面选择、调查强度和鉴定水平上存在一定差异,但本研究在黄河山东段采集到的底栖动物多样性和现存量明显高于以往研究,物种丰富度达 37 种,与中上游的种类数接近(表 4),软体动物的多数种类、多毛类(缨鳃虫科一种)以及水生昆虫中的大部分种类均是在下游首次采集到;底栖动物的密度不仅远高于以往有关下游的调查,也显著高于中上游(表 4)。究其原因,主要在于本研究的调查样点选择在浅水(水深不超过 20 cm)的沿岸带,该区域生境类型多样,底质较为稳定(表 1),这也进一步说明河岸带在维持黄河山东段生物多样性方面起到关键作用。另一方面,河岸带作为一种典型的开放系统,在受到外界干扰的条件下也极易被外

来物种所入侵(左倬等 2010)。在本次调查的两个断面(表 2)中出现了外来入侵种尖膀胱螺,尽管其目前的种群数量较低,但需要进一步监测其种群扩散状况及其可能对生态系统的影响。

### 3.2 黄河山东段河岸带底栖动物群落特征及影响因素

黄河山东段河岸带底栖动物主要由水生昆虫(尤其是双翅目摇蚊科幼虫)组成,软体动物种类较少,且都是常见种类。但黄河源和中上游底栖动物中寡毛类和大型水生昆虫的比例增加(傅小城等 2010, Zhao et al. 2011, 潘保柱等 2012)。原因主要包括 2 个方面:一方面,黄河干流水流急、含沙量高,底质不稳定,造成干流以藻类为生的刮食者(腹足类软体动物)极少(Brönmark 1989, Newman 1991);相比较而言,黄河源和中上游生境类型多样,调查区域底质类型多为卵石、砾石和粗砂等,而且中上游部分河段人为有机质的相对增加引起耐污种寡毛类的大量出现(Zhao et al. 2011);而黄河下游由于受到多种人为因素的严重干扰,生境类型单一,多为沙质或泥沙质,生境稳定性差(Cui et al. 2014)。另一方面,底栖动物

自身的生活史特点也影响到其多样性分布, 软体动物和环节动物自身迁移能力弱, 而且软体动物生活史世代较长, 适应于稳定的栖息环境; 水生昆虫(特别是双翅目的种类, 如摇蚊幼虫)成体有翅, 迁移能力强, 而且时代较短, 更能适应多变的栖息环境 (Peckarsky et al. 2000, Briers et al. 2004)。

就各断面的底栖动物物种丰富度和多样性而言, 黄河山东段各断面之间差异较大且呈现出不规则波动, 这反映出河岸带受到严重的人为活动干扰 (Sheldon et al. 1998, 赵清贺等 2015)。由于中上游大量拦河水利工程引起的下游水文情势变化、下游两岸堤坝的约束作用以及农业开垦等因素的影响, 下游各断面河岸带形态差别显著 (吴保生等 2008)。焦园乡断面、刘庄断面和三合村断面的河岸带较为宽阔, 栖息地多样, 其中尤其以刘庄断面最为典型, 静水水体距河道稍远, 而且有水生植物, 采集到较多的软体动物和大型水生昆虫 (表 2), 故刘庄断面的物种丰富度和多样性最高; 泺口断面河岸带为裸露的大面积沙滩, 仅在靠近干流处有少量的回水区和支岔, 生境单一; 平阴断面、高青断面和利津断面的河岸带明显变窄, 芦井村断面紧邻村庄, 河岸带最狭窄 (不足 5 m), 而且有较多生活垃圾, 致使其种类数最少。

黄河山东段各断面河岸带底栖动物均匀度指数范围为 0.05 ~ 0.92, 整体波动较大, 说明各断面底栖动物优势种的组成及密度存在明显差异, 下游河岸带群落优势种不明显, 由多个物种组成。以芦井村断面和三合村断面为例来看, 两者的距离最近, 约 5 km, 但其优势种的组成差异显著, 前者有 2 个优势种, 第一优势种为松施密摇蚊属一种, 其密度高达 4 026 ind/m<sup>2</sup>, 占该断面密度的 87.9%, 而后者有 6 个优势种, 第一优势种为多足摇蚊属一种, 其密度为 1 142 ind/m<sup>2</sup>, 占该断面密度的 44.2% (表 3)。其原因除了与河岸带的形态有关外, 还与水生昆虫聚集产卵的繁殖行为密切相关,

一方面, 不同水生昆虫的产卵行为不同, 另一方面, 由于昆虫卵可以释放特殊的化学物质吸引同种水生昆虫聚集产卵, 因此, 同种水生昆虫的卵块往往聚集分布, 进而导致各断面的优势种种类组成和相对丰度明显不同 (Reich et al. 2003, 2011)。

## 参 考 文 献

- Briers R A, Gee J H R, Cariss H, et al. 2004. Inter-population dispersal by adult stoneflies detected by stable isotope enrichment. *Freshwater Biology*, 49(4): 425–431.
- Brönmark C. 1989. Interactions between epiphytes, macrophytes and freshwater snails: a review. *Journal of Molluscan Studies*, 55(2): 299–311.
- Cogerino L, Cellot B, Bournaud M. 1995. Microhabitat diversity and associated macro-invertebrates in aquatic banks of a large European river. *Hydrobiologia*, 304(2): 103–115.
- Cui B L, Chang X L, Shi W Y. 2014. Abrupt changes of runoff and sediment load in the lower reaches of the Yellow River, China. *Water Resources*, 41(3): 252–260.
- Gregory S V, Swanson F J, Mckee A, et al. 1991. An ecosystem perspective of riparian zones: Focus on links between land and water. *Biological Science*, 41(8): 540–551.
- Grubbaugh J W, Wallace B J, Houston E S. 1997. Production of Benthic Macroinvertebrate Communities along a Southern Appalachian River Continuum. *Freshwater Biology*, 37(16): 581–596.
- Lawler A. 2009. Beyond the Yellow River: How China became China. *Science*, 325(5943): 930–935.
- Morse J C, Yang L F, Tian L X. 1994. Aquatic insects of China useful for monitoring water quality. Nangjing: Hohai University Press, 1–570.
- Naiman R J, Decamps H, Pollock M. 1993. The role of riparian corridors in maintaining regional biodiversity. *Ecological Applications*, 3(2): 209–212.
- Newman R M. 1991. Herbivory and detritivory on freshwater macrophytes by invertebrates: A review. *Journal of the North American Benthological Society*, 10(2): 89–114.
- Nilsson C, Berggren K. 2000. Alterations of riparian ecosystems

- caused by river regulation. *Bioscience*, 50(9): 783–793.
- Peckarsky B L, Taylor B W, Caudill C C. 2000. Hydrologic and behavioral constraints on oviposition of stream insects: implications for adult dispersal. *Oecologia*, 125(2): 186–200.
- Reich P, Downes B J. 2003. The distribution of aquatic invertebrate egg masses in relation to physical characteristics of oviposition sites at two Victorian upland streams. *Freshwater Biology*, 48(9): 1497–1513.
- Reich P, Hale R, Downes B J. et al. 2011. Environmental cues or conspecific attraction as causes for egg mass aggregation in hydrobiosid caddisflies. *Hydrobiologia*, 661(1): 351–362.
- Sheldon F, Walker K F. 1998. Spatial distribution of littoral invertebrates in the lower Murray-Darling River system, Australia. *Marine and Freshwater Research*, 49(2): 171–182.
- Stella J, Rodríguez-González P, Dufour S, et al. 2013. Riparian vegetation research in Mediterranean-climate regions: Common patterns, ecological processes, and considerations for management. *Hydrobiologia*, 719(1): 291–315.
- Zhao G, Tian P, Mu X, et al. 2014. Quantifying the impact of climate variability and human activities on stream flow in the middle reaches of the Yellow River basin, China. *Journal of Hydrology*, 519(Part A): 387–398.
- Zhao W H, Wang H J, Wang H Z, et al. 2011. Macroinvertebrates in the bed sediment of the Yellow River. *International Journal of Sediment Research*, 26(3): 255–268.
- 段学花, 王兆印, 程东升. 2007. 典型河床底质组成中底栖动物群落及多样性. *生态学报*, 27(4): 1664–1672.
- 傅小城, 叶麟, 徐耀阳, 等. 2010. 黄河主要水系水环境与底栖动物调查研究. *生态科学*, 29(1): 1–7.
- 郭怀成, 黄凯, 刘永, 等. 2007. 河岸带生态系统管理研究概念框架及其关键问题. *地理研究*, 26(4): 789–798.
- 韩洁, 张志南, 于子山. 2004. 渤海中、南部大型底栖动物的群落结构. *生态学报*, 24(3): 531–537.
- 黄河水系渔业资源调查协作组. 1986. 黄河水系渔业资源. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1–222.
- 黄凯, 郭怀成, 刘永, 等. 2007. 河岸带生态系统退化机制及其恢复研究进展. *应用生态学报*, 18(6): 1373–1382.
- 梁彦龄, 王洪铸. 1999. 第十章 底栖动物 // 刘建康. 高级水生生物学. 北京: 科学出版社.
- 潘保柱, 王兆印, 余国安. 2012. 长江源和黄河源的大型底栖动物群落特征研究. *长江流域资源与环境*, 21(1): 369–374.
- 上官铁梁, 宋伯为, 朱军, 等. 2005. 黄河中游湿地资源及可持续利用研究. *干旱区资源与环境*, 19(1): 7–13.
- 沈亚强, 张晓可, 赵伟华, 等. 2011. 黄河干流河岸带植物群落特征及其影响因子分析. *水生生物学报*, 25(1): 51–65.
- 吴保生, 李凌云. 2008. 黄河下游河道横断面的若干特点. *人民黄河*, 30(2): 15–17.
- 张建春, 彭补拙. 2003. 河岸带研究及其退化生态系统的恢复与重建. *生态学报*, 23(1): 56–63.
- 赵清贺, 马丽娇, 刘倩, 等. 2015. 黄河中下游典型河岸带植物物种多样性及其对环境的响应. *生态学杂志*, 34(5): 1325–1331.
- 左倬, 蒋跃, 薄芳芳, 等. 2010. 平原河网地区滨岸带外来植物入侵现状及影响研究——以上海青浦区为例. *生态环境学报*, 19(3): 665–671.