

黄河源区典型弯曲河流底栖动物的生态格局

赵娜¹, 徐梦珍², 李志威³, 周罕觅¹, 尹冬雪¹

(1. 河南科技大学农业装备工程学院, 河南 洛阳 471003;
2. 清华大学水沙科学与水利水电工程国家重点实验室, 北京 100084;
3. 长沙理工大学水利工程学院, 湖南 长沙 410114)

摘要:通过探究黄河源区典型弯曲河流河岸带不同水体(干流、支流和牛轭湖)的底栖动物生态格局,可为黄河生态保护提供基础数据。于 2012 年 7 月和 2013 年 6 月对兰木错曲 12 个样点的底栖动物进行采样,同时对样点环境参数进行调查监测,对河流水质、底栖动物组成、多样性及其格局进行分析。结果表明,研究河段基本处于自然状态,水质为 I-III 类。调查期间共采集底栖动物 23 科、36 属、39 种;以水生昆虫为主,占物种总数的 76.9%;其次为寡毛纲、腹足纲、甲壳纲,分别占 5.1%;线虫纲、双壳纲和蛛形纲最少,仅各占 2.6%。除趋势对应分析(DCA)表明,干流、支流和牛轭湖的底栖动物群落存在差异,水文连通性是引起这种差异的主要原因,对群落变化的解释率为 37.0%。干流、支流和牛轭湖的底栖动物多样性也存在差异,干流的底栖动物多样性最高,其次是支流和牛轭湖。昆虫纲是干流和牛轭湖中的主要类群,密度组成分别大于 53%和 85%,甲壳纲是支流中的主要类群,密度组成大于 70%;干流的底栖动物功能摄食类群组成最均匀,其中撕食者、直接收集者和刮食者占优势,其密度之和超过 90%,支流和牛轭湖的均匀性相对较差,支流中直接收集者的密度比例最大,超过 78%,牛轭湖中撕食者的密度比例最大,超过 82%。

关键词:黄河源区;弯曲河流;兰木错曲;底栖动物;生物多样性

中图分类号:Q145 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-3075(2019)05-0040-08

黄河源区是指黄河从河源至唐乃亥水文站之间的高寒草甸草原区域,总面积约 12.19 万 km²。黄河源区具有涵养水源、保护生物多样性和保障流域生态安全等作用,现有对黄河源区的研究主要集中在植被、湿地生态格局、草地退化等方面(郗妍飞等, 2008; 褚琳等, 2014; 张懿锂等, 2016; 张艳芳等, 2017);对河流生态的研究很少,仅有对流域尺度的河流生态报道(Pan et al, 2013)。因此,有必要对黄河源区的河流生态开展系统研究。弯曲河流是黄河源区发育的一种主要河型,研究其生态格局对了解和掌握黄河源区的生态系统具有重要意义。

在水生态系统中,大型底栖动物(体长一般大于 0.5 mm)具有重要的生态学作用,它们以藻类、树叶以及其他有机物为食,同时又为鱼类和鸟类提供了天然饵料,是河流生态系统的一个重要类群;另外,其寿命较长、迁移能力有限,且包括敏感种,能指示环境的长期变化和河床演变过程(Zhao et al,

2015),因此,常被用来作为环境长期变化的指示生物(Smith et al, 1999)。目前,底栖动物已被作为指示生物而广泛应用于生态评价和生物监测的生产实践和科学研究(刘贤等, 2016)。

本文以底栖动物为指示生物,对黄河源区典型弯曲河流河岸带不同水体的生态格局进行系统研究,旨在分析造成不同水体底栖动物生态格局的主要环境因素,系统揭示黄河源区典型弯曲河流河岸带的生态格局,为黄河源区河流的生态保护及管理提供科学依据。

1 研究区域及方法

1.1 样点设置

兰木错曲是黄河支流,位于青海省河南县境内,海拔约 3 600 m,年均气温小于 1℃,年均降水量约 600 mm,河床为沙卵石。2012 年 7 月和 2013 年 6 月,选择兰木错曲长约 14 km 的河段(34°24′23″~34°26′42″N, 101°25′52″~101°29′4″E)开展研究;该河段河流级别为 5 级,河岸带有干流、支流和牛轭湖 3 种水体,对 3 种水体共 12 个样点(S1-S12)进行野外调查和底栖动物采样,研究区域及采样点分布见图 1。水文连通性包括河岸带上的各种格局及过

收稿日期:2017-11-21
基金项目:国家自然科学基金项目(51779120, 51809086);河南省高等学校重点科研项目(16A416002, 16A416005)。
作者简介:赵娜, 1988 年生,女,博士,副教授,研究方向为河流生态及河流综合管理。E-mail: nanalucky@126.com

程, 主要以与干流的交换程度来定义, 表示了各种水体与干流的隔离程度 (Gallardo et al, 2008; Obolowski, 2011)。S1 - S4 位于兰木错曲干流, 全年与

干流连通; S5 - S8 位于支流, 与干流的连通性其次; S9 - S12 位于牛軛湖, 与干流的连通性最弱, 仅洪水季节与干流连接。

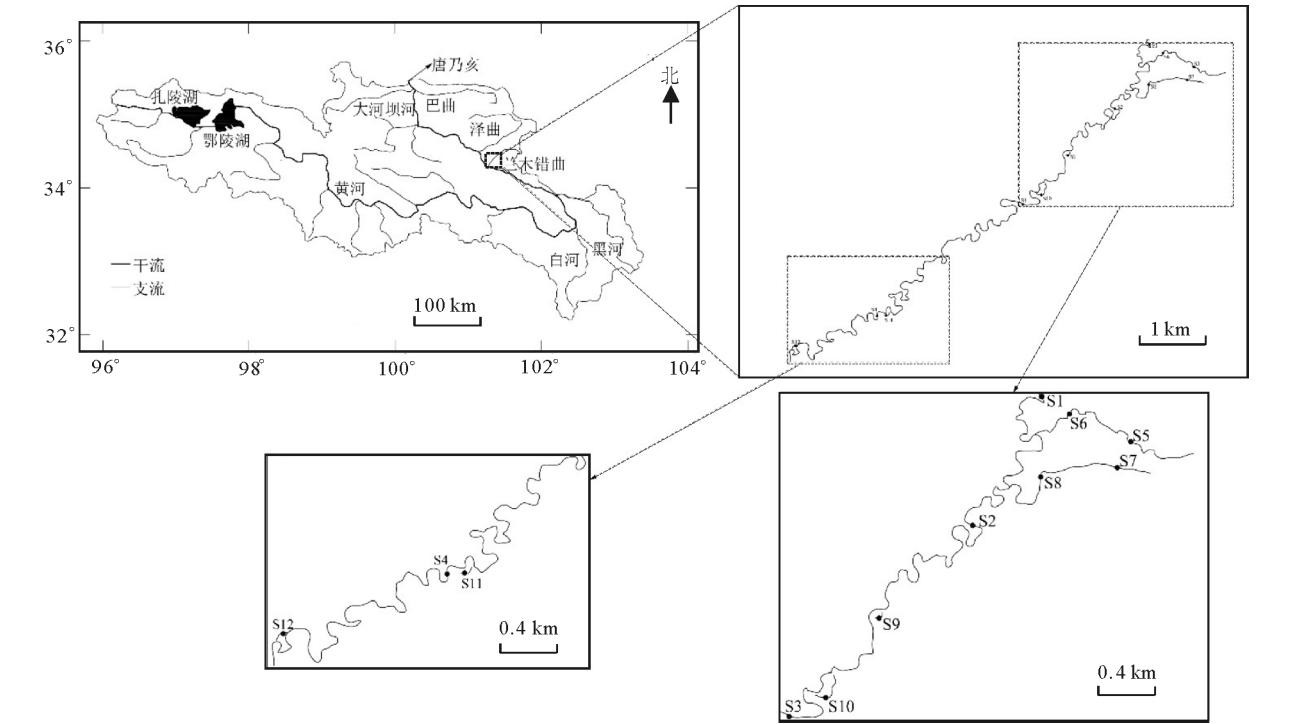


图 1 研究区域及采样点布置

Fig.1 Map of the study area and location of sampling sites

1.2 指标测定

水温(T)及 pH 采用 Hanna HI98128 笔式 pH 计现场测量。通过 HACH HQd-40 便携式手持溶氧仪现场测定溶解氧(探头 LBOD10101)和电导率(探头 CDC40101)。河宽采用皮尺测量, 水深采用钢尺测量, 透明度采用萨氏盘测量, 流速采用 Global Water FP111 旋桨式流速仪测量。采集采样点内的水生植物, 洗净后用滤纸吸干水分称重, 可得沉水植物量。现场目测记录底质组成。在采样点取表层和底层混合水样, 带回室内分析, 总氮采用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法(GB 11894 - 89)、总磷采用钼氨酸紫外分光光度法(GB 11893 - 89)测定。按照《地表水环境质量标准》(GB 3838 - 2002)对水质进行划分。

1.3 野外采样

对干流和支流, 采用面积 1 m²、孔径 420 μm 的踢网进行底栖动物采样。对牛軛湖, 采用 1/16 m² 的抓斗式采泥器进行底栖动物采样。将泥样置于孔径为 420 μm 的钢筛中洗净后, 带回室内于白瓷盘中挑选底栖动物样本, 所得样本用 75% 的酒精固定; 在实验室进行鉴定、计数后, 用滤纸吸干水分, 在

电子天平上称量得生物湿重。生物量采用干重衡量, 其值根据湿重参考相关文献计算得到(闫云君等, 1999)。功能摄食类群划分标准参照有关资料(Barbour et al, 1999)。

1.4 数据分析

采用除趋势对应分析 (Detrended Correspondence Analysis, DCA) 比较不同水体底栖动物群落的相似性。DCA 排序能将底栖动物群落在二维空间排列, 排列结果能很好反映群落间的相似关系 (Braak, 2002)。软件 Canoco 4.53 (Micorcomputer Power, Ithaca, New York) 用于样本的除趋势对应分析, 为消除量纲的影响, 分析前数据经过了 lg (x+1) 处理。

采用物种丰度、改进的香农-威纳指数 (B)、EPT 物种丰富度指数、辛普森多样性指数 (D) 和 K-优势曲线评价底栖动物多样性。

改进的香农-威纳指数 (B) 计算公式 (王寿兵, 2003) 如下:

$$B = -\ln N \sum_{i=1}^S \frac{n_i}{N} \ln \frac{n_i}{N}$$

(1)

式中: n_i 为第 i 种的数量; N 为样本中总个体

数, S 为样本中物种总数。

EPT 物种丰富度指数指采样面积内蜉蝣目、襁翅目和毛翅目的物种数量之和。辛普森多样性指数(D)计算公式(Simpson,1949)如下:

$$D=1-\sum_{i=1}^S(\frac{n_i}{N})^2$$

(2)

式中 n_i 、 i 、 N 、 S 所代表的意义同式(1)。

K-优势曲线法是按优势度由大到小对一个群落里的各个物种进行排序,然后做出累积密度百分数图。如果曲线 A 的各点始终在曲线 B 之上,A 代表的底栖动物多样性就比 B 代表的高。采用 Jaccard 相似性系数(S_j) 比较不同水体底栖动物群落间的相似性(Pan et al,2013):

$$S_j=c/(a+b-c)$$

(3)

表 1 黄河源典型弯曲河流样点环境参数

Tab.1 Environmental parameters at each sampling site in Lanmucuoqu River													
样点	水温/ ℃	pH	溶解氧/ mg · L ⁻¹	电导率/ μS · cm ⁻¹	河宽/ m	水深/ m	透明度/ m	流速/ m · s ⁻¹	沉水植物/ g · m ⁻²	底质	总氮/ mg · L ⁻¹	总磷/ mg · L ⁻¹	水质 类型
S1	15.6	8.24	7.44	404	8.4	0.05~0.15	0.70	0.3	0	沙卵石	0.139	0.015	Ⅱ
S2	19.0	8.18	7.03	436	7.0	0.15~0.30	0.68	0.6	0	沙卵石	0.127	0.013	Ⅱ
S3	14.8	8.35	7.65	454	8.8	0.05~0.15	0.65	0.3	0	沙卵石	0.273	0.022	Ⅱ
S4	12.7	8.40	7.77	446	8.1	0.10~0.25	0.65	0.4	0	沙卵石	0.286	<0.01	Ⅱ
S5	14.9	7.86	8.29	603	6.0	0.00~0.10	0.73	0.3	0	沙卵石	0.181	<0.01	I
S6	22.4	7.98	8.41	566	2.5	0.10~0.20	0.71	0.6	0	沙卵石	0.154	0.014	I
S7	24.1	7.81	6.12	652	1.8	0.05~0.15	0.70	0.4	0	沙卵石	0.680	<0.01	Ⅲ
S8	24.7	7.94	5.83	643	2.2	0.10~0.20	0.75	0.5	0	沙卵石	0.263	0.012	Ⅲ
S9	16.0	9.79	11.95	318	—	0.10~0.15	0.66	0.0	400	淤泥	0.971	0.150	Ⅲ
S10	17.8	7.95	7.44	507	—	0.05~0.15	0.64	0.0	1000	淤泥	0.285	0.012	Ⅱ
S11	32.9	8.66	12.14	353	—	0.10~0.20	0.65	0.0	1100	淤泥	0.176	0.042	Ⅲ
S12	27.3	8.16	7.32	502	—	0.10~0.25	0.67	0.0	60	淤泥	0.599	0.022	Ⅲ

注:“-”表示未测该值。
Note: “-”denotes the values were not measured.

2.2 底栖动物组成

表 2 给出了各样点的底栖动物种类名录,12 个采样点共采集底栖动物 23 科 36 属 39 种;其中,线虫纲(Nematoda) 1 种,寡毛纲(Oligochaeta) 2 种,双壳纲(Bivalvia) 1 种,腹足纲(Gastropoda) 2 种,甲壳纲(Crustacea) 2 种,蛛形纲(Arachnida) 1 种,昆虫纲(Insecta) 30 种。兰木错曲底栖动物以水生昆虫为主,占物种总数的 76.9%;其次为寡毛纲、腹足纲、甲壳纲,各占 5.1%;线虫纲、双壳纲和蛛形纲最少,仅各占 2.6%。

2.3 除趋势对应分析和多样性

12 个采样点的除趋势对应分析排序见图 2。不同水体的底栖动物群落出现明显聚集,其中牛轭湖的底栖动物群落与干流和支流的显著不同,而干流与支流的底栖动物差异相对较小。轴 1 和轴 2 的特

式中: a 是群落 A 中的物种数, b 是群落 B 中的物种数, c 是 2 个群落中共有的物种数。 S_j 越大,两个群落的相似性越大。

2 结果

2.1 环境参数

各样点的环境参数见表 1。水温为 12.7~32.9℃,这是由于采样发生在一天的不同时段。根据总氮、总磷和溶解氧浓度对各样点的水质进行了划分。

研究河段基本处于自然状态,水质为 I~Ⅲ类。干流、支流和牛轭湖 3 种水体的溶解氧均大于 5.8 mg/L,适合大部分底栖动物生存,牛轭湖中的总氮和总磷浓度高于河流。

征值分别为 0.972 和 0.229,轴 1 和轴 2 对物种的解释率分别为 37.0%和 8.7%。根据样本的聚类特征和表 1 的环境因子以及水文连通特征,第 1 轴反映了底栖动物群落沿底质和水文连通性梯度上的排列,第 2 轴可能代表了电导率等水环境参数的变化。

图 3-图 6 分别给出了各样点底栖动物的物种丰度、改进的香农-威纳指数、EPT 物种丰富度指数和辛普森多样性指数,图 7 给出了干流、支流和牛轭湖的 K-优势曲线。物种丰度只代表多样性的 1 个方面—物种丰富度,尽管是最基础的多样性评价指标,其评价结果往往存在片面性。因此,主要根据改进的香农-威纳指数、EPT 物种丰富度指数、辛普森多样性指数和 K-优势曲线来比较 3 种水体的多样性差异,根据图 4-图 7,可见干流的底栖动物多样性最高,支流及牛轭湖的多样性相对较低。

表 2 黄河源典型弯曲河流底栖动物种类名录

Tab.2 Taxa list of macroinvertebrates at each sampling site in Lanmucuoqu River

底栖动物种类	不同样点的种(属)											
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12
线虫动物门 Nematoda												
线虫纲 Nematoda 一科	0	0	0	0	0	0	△	0	0	0	0	0
环节动物门 Annelida												
寡毛纲 Oligochaeta												
颤蚓目 Tubificida												
颤蚓科 Tubificidae	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0
软体动物门 Mollusca												
双壳纲 Bivalvia												
真瓣鳃目 Eulamellibranchia												
球蚬科 Sphaeriidae	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1
腹足纲 Gastropoda												
基眼目 Basommatophora												
扁卷螺科 Planorbidae	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
椎实螺科 Lymnaeidae	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
节肢动物门 Arthropoda												
甲壳纲 Crustacea												
贝甲目 Conchostrace 一科	△	△	0	0	0	0	△	0	0	0	0	0
端足目 Amphipoda												
钩虾科 Gammaridae	△	△	△	△	△	△	△	△	0	0	0	0
蛛形纲 Arachnida												
螨形目 Acariformes 一科	△	△	0	0	△	0	△	0	△	0	0	0
昆虫纲 Insecta												
蜉蝣目 Ephemeroptera												
四节蜉科 Baetidae	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(1)	(2)	(1)	0	0	0	0
扁蜉科 Heptageniidae	1	1	1	1	1	2	1	0	0	0	0	0
毛翅目 Trichoptera												
原石蛾科 Rhyacophilidae	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0
剑石蛾科 Xiphocentronidae	0	(1)	(1)	0	(1)	(1)	0	0	0	0	0	0
短石蛾科 Brachycentridae	(1)	(1)	(1)	0	0	(1)	(1)	(1)	0	0	0	0
纹石蛾科 Hydropsychidae	(1)	(1)	(1)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
沼石蛾科 Limnephilidae	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
襀翅目 Plecoptera												
石蝇科 Perlidae	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
短尾石蝇科 Nemouridae	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	0	0	0	0
鞘翅目 Coleoptera												
长角泥甲科 Elmidae	(1)	(1)	(1)	0	(1)	(1)	(1)	(1)	0	0	0	0
叶甲科 Chrysomelidae	0	0	0	0	0	0	0	0	△	△	△	△
龙虱科 Dytiscidae	0	0	0	0	0	0	0	0	(1)	0	0	0
双翅目 Diptera												
大蚊科 Tipulidae	(1)	(2)	(1)	(1)	(1)	0	(3)	0	0	0	0	0
伪鳶虻科 Athericidae	△	△	0	△	0	0	△	0	0	0	0	0
摇蚊科 Chironomidae	(2)	0	(1)	(2)	(3)	(1)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(1)

注:△表示没有鉴定到属或种,括号内为底栖动物属数。

Note: △denotes the taxon was not identified to genus or species, values in parentheses represent the genus number.

2.4 不同种类及功能摄食类群的密度和生物量

图 8 给出了不同种类的密度和生物量。在种类组成上,昆虫纲是干流的主要类群,密度组成比例大于 53%,生物量组成比例大于 42%,扁蜉科和短尾石蝇科是优势物种;甲壳纲是支流中的主要类群,密度组成比例大于 70%,生物量组成比例大于 57%,

钩虾科是优势物种;除 S9 外,昆虫纲是牛軋湖中的主要类群,密度组成比例大于 85%,生物量组成比例大于 46%,叶甲科和摇蚊科是优势物种。样点 S9 由于受人类活动影响,底质中含有大量细沙,这为河蚬的生存提供了适宜环境,因此底栖动物群落中河蚬密度很大,S9 的生物群落不能代表自然牛軋湖;

另外,干流和支流中没有腹足纲生存,牛轭湖中则未发现甲壳纲。

例超过 77%;除 S9 点,牛轭湖中撕食者的比例最大,密度比例超过 82%,生物量比例超过 62%。

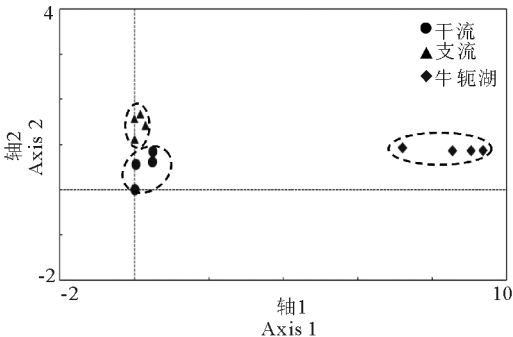


图 2 基于底栖动物群落差异的黄河源典型弯曲河流样点 DCA 排序图

Fig.2 DCA diagram based on the variance of the macroinvertebrate community in Lanmucuoqu River

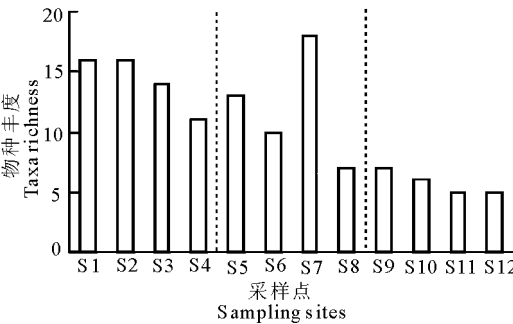


图 3 黄河源典型弯曲河流底栖动物物种丰度

Fig.3 Taxa richness (*S*) of macroinvertebrate community by sampling site in Lanmucuoqu River

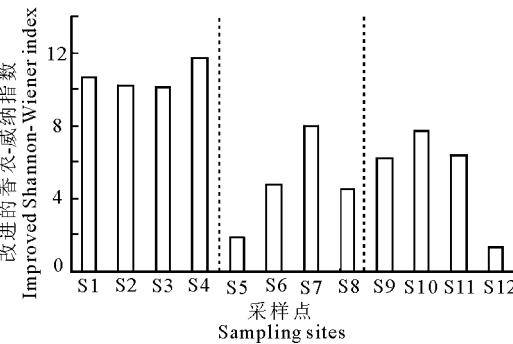


图 4 黄河源典型弯曲河流底栖动物改进的香农-威纳指数

Fig.4 Improved Shannon-Wiener index (*B*) of the macroinvertebrate community by sampling site in Lanmucuoqu River

图 9 给出了不同功能摄食类群的密度和生物量。除 S12 外,其他样点均有 4~5 个功能摄食类群。干流中的功能摄食类群组成均匀多样,其中撕食者、直接收集者和刮食者占优势,其密度比例之和超过 90%,生物量比例之和超过 73%;支流和牛轭湖中的功能摄食类群组成均匀性差,支流中的直接收集者比例最大,其密度比例超过 78%,生物量比

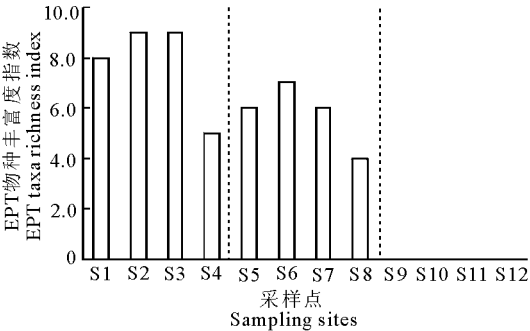


图 5 黄河源典型弯曲河流底栖动物 EPT 物种丰富度指数

Fig.5 EPT taxa richness index of macroinvertebrate community by sampling site in Lanmucuoqu River

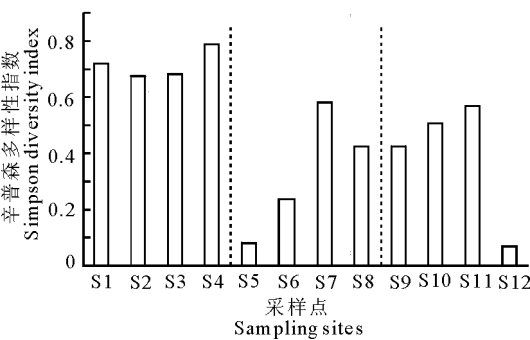


图 6 黄河源典型弯曲河流底栖动物辛普森多样性指数

Fig.6 Simpson diversity index (*D*) of the macroinvertebrate community by sampling site in Lanmucuoqu River

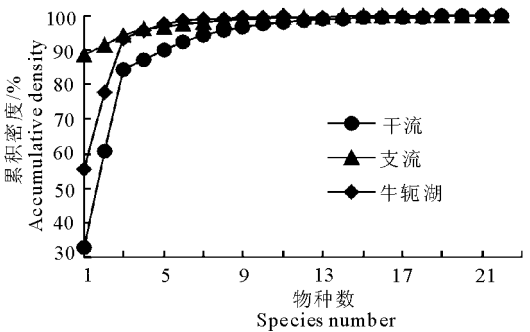


图 7 黄河源典型弯曲河流底栖动物 K-优势曲线

Fig.7 K-dominance curve of macroinvertebrate community in different water bodies of Lanmucuoqu River

3 讨论

3.1 水文连通性是底栖动物群落差异的主要原因

根据环境参数,DCA 图中第 1 轴反映底栖动物沿底质、水文连通性梯度上的排列。

弯曲河流裁弯后,干流行走新河道,原河道成为低流速区,水流挟沙能力降低,悬移质沿程淤积,经过长期演变,形成了牛轭湖(李志威等,2012)。在牛

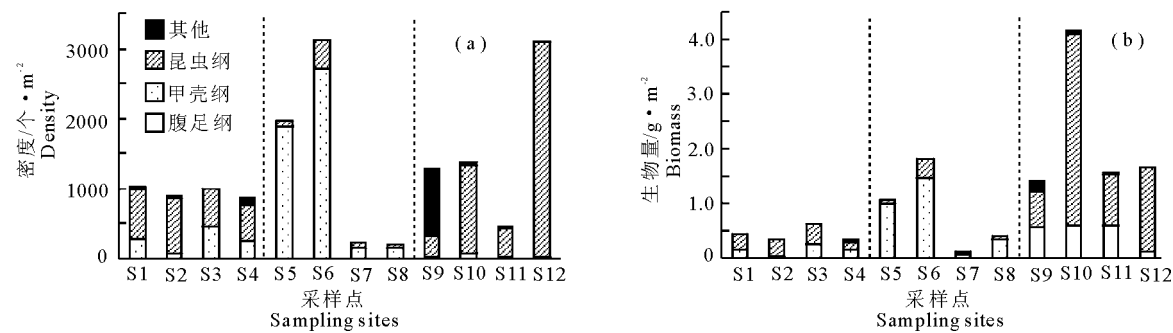


图 8 黄河源典型弯曲河流底栖动物不同种类(主要纲)的密度(a)和生物量(b)

Fig.8 Density (a) and biomass (b) of macroinvertebrates by taxonomic group in Lanmucuoqu River

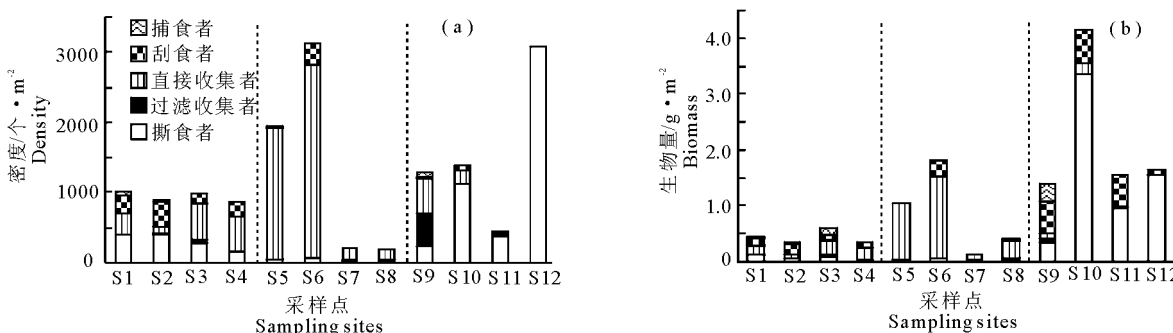


图 9 黄河源典型弯曲河流底栖动物不同功能摄食类群的密度(a)和生物量(b)

Fig.9 Density (a) and biomass (b) of each functional feeding group of macroinvertebrates in Lanmucuoqu River

在干流自然演变过程中,水文连通性的降低是底质改变的主要原因,主要通过改变底质类型影响底栖动物群落及组成(Pan et al,2012)。因此,底质与水文连通性之间的联系密不可分。本研究认为水文连通性是造成不同水体底栖动物群落存在差异的主要原因,是 DCA 图中引起第 1 轴变化的环境因素,这与前人关于低海拔河流的研究结论一致(Whiles et al,2005)。参照表 1,支流的电导率高于干流和牛 轭湖,干流和牛轭湖的电导率平均值差异不大;对比图 2,支流各样点的位置位于干流和牛轭湖之上。因此,引起 DCA 图中生物群落沿第 2 轴变化的因素可能是电导率等水环境参数。有研究表明,电导率能影响底栖动物的生长(Kefford,1998),因为电导率影响水生藻类的生长,从而影响底栖动物的食物来源,这与前人的研究结果类似(Death et al,2004)。鉴于水文连通性和水环境参数对底栖动物群落的影响,黄河源区弯曲河流水生态的保护和修复应重点考虑水文连通性这一因素,同时也应保护源区的水环境。

3.2 不同水体的底栖动物群落特征

由 DCA 图可见,干流、支流和牛轭湖中的底栖动物群落出现明显聚类,群落结构明显不同。在底栖动物物种组成上,干流与支流的共有物种为 16

种,Jaccard 相似性系数 S_j 为 0.57;干流与牛轭湖的共有物种为 1 种, S_j 为 0.03;支流与牛轭湖的共有物种为 1 种, S_j 为 0.03。可见不同水体间的底栖动物物种组成存在差别,尤其是干流、支流与牛轭湖之间。干流和支流的物种数均为牛轭湖物种数的 1.83 倍,干流和支流的主要物种是喜流水物种,如 四节蜉科、扁蜉科、长角泥甲科狭溪泥甲属等,牛轭湖中主要是喜静水物种,如叶甲科、龙虱科泥龙虱、多足摇蚊属等。在现存量上,干流和之流之间存在差异,与支流相比,干流以水生昆虫为主,支流则以甲壳纲为主(钩虾科),这可能与水温较低有关。支流中的水主要来自冰川融水,常年的低温环境为钩 虾创造了其适应的冷水生境。

在底栖动物功能摄食类群上,兰木错曲干流功能摄食类群组成均匀,这与黄河源区干流的功能摄食类群组成相似(Pan et al,2012);因为支流的钩 虾密度大,摄食类群组成均匀度低于干流;牛轭湖功能摄食类群组成均匀度也低于干流,以撕食者为优势类群,与其他类型湖泊不同(梁彦龄等,1995),这是由于兰木错曲的牛轭湖湖小水浅,有大量水生植物生长,为撕食者提供了丰富的食物,且具松软的淤泥底质,适合摇蚊幼虫和叶甲科幼虫等撕食者生存(Pan et al,2012)。

4 结论

(1)水文连通性是引起黄河源区弯曲河流河岸带干流、支流和牛轭湖底栖动物群落变化的主要原因;干流、支流和牛轭湖中生存的底栖动物群落不同,水文连通性对群落变化的解释率为37%,是引起群落变化的主要因素。

(2)干流、支流和牛轭湖的底栖动物多样性和生存的主要物种不同,干流的生物多样性最高,其次是支流和牛轭湖;干流和牛轭湖以水生昆虫为主,支流以甲壳纲为主。

(3)干流、支流和牛轭湖的底栖动物功能摄食类群组成不同,干流的功能摄食类群组成均匀,支流中由于冷水沟虾密度大,其功能摄食类群组成均匀度低于干流,牛轭湖中生境适合撕食者生存,摄食类群组成均匀度也低于干流。

参考文献

褚琳,黄肿,刘高焕,等,2014. 2000-2010年黄河源玛曲高寒湿地生态格局变化[J]. 地理科学进展, 33(3): 326-335.

李志威,王兆印,潘保柱,2012. 牛轭湖形成机理与长期演变规律[J]. 泥沙研究, (5): 16-25.

梁彦龄,刘火泉,1995. 草型湖泊资源,环境与渔业生态管理[M]. 北京: 科学出版社.

刘贤,莫凌,陈峻峰,等,2016. 海南省文澜江底栖动物群落结构及其水质生物学评价[J]. 水生态学杂志, 37(6): 30-36.

郝妍飞,颜长珍,宋翔,等,2008. 近30a黄河源地区荒漠漠感动态监测[J]. 中国沙漠, 28(3): 405-409.

王寿兵,2003. 对传统生物多样性指数的质疑[J]. 复旦学报(自然科学版), 42(6): 867-868,874.

闫云君,梁彦龄,1999. 水生大型无脊椎动物的干湿重比的研究[J]. 华中理工大学学报, 27(9): 61-63.

张艳芳,吴春玲,张宏运,等,2017. 黄河源区植被指数与干旱指数时空变化特征[J]. 山地学报, 35(2): 142-150.

张德铨,刘林山,摆万奇,等,2006. 黄河源地区草地退化空间特征[J]. 地理学报, 61(1): 3-14.

Barbour M T, Gerritsen J, Snyder B, et al, 1999. Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers: periphyton, benthic macroinvertebrates, and fish[M]. Washington: Environmental Protection Agency.

Braak C T, Smilauer P, 2002. CANOCO reference manual and user's guide to Canoco for Windows: software for canonical community ordination (version 4.5)[M]. New York: Microcomputer Power.

Death R G, Joy M K, 2004. Invertebrate community structure in streams of the Manawatu-Wanganui region, New Zealand: the roles of catchment versus reach scale influences[J]. Freshwater Biology, 49(8): 982-997.

Gallardo B, Garcia M, Cabezas A, et al, 2008. Macroinvertebrate patterns along environmental gradients and hydrological connectivity within a regulated river-floodplain[J]. Aquatic Sciences, 70(3): 248-258.

Kefford B J, 1998. The relationship between electrical conductivity and selected macroinvertebrate communities in four river systems of south-west Victoria, Australia[J]. International Journal of Salt Lake Research, 7(2): 153-170.

Obolewski K, 2011. Macrozoobenthos patterns along environmental gradients and hydrological connectivity of oxbow lakes[J]. Ecological Engineering, 37(5): 796-805.

Pan B Z, Wang Z Y, Li Z W, et al, 2013. An exploratory analysis of benthic macroinvertebrates as indicators of the ecological status of the Upper Yellow and Yangtze Rivers[J]. Journal of Geographical Sciences, 23(5): 871-882.

Pan B Z, Wang Z Y, Xu M Z, 2012. Macroinvertebrates in abandoned channels: Assemblage characteristics and their indications for channel management[J]. River Research and Applications, 28(8): 1149-1160.

Simpson E H, 1949. Measurement of diversity[J]. Nature, 163: 688.

Smith M, Kay W, Edward D, et al, 1999. AusRivAS: using macroinvertebrates to assess ecological condition of rivers in Western Australia[J]. Freshwater Biology, 41(2): 269-282.

Whiles M R, Goldowitz B S, 2005. Macroinvertebrate communities in central Platte River wetlands: patterns across a hydrologic gradient[J]. Wetlands, 25(2): 462-472.

Zhao N, Wang Z Y, Pan B Z, et al, 2015. Macroinvertebrate assemblages in mountain streams with different streambed stability[J]. River research and applications, 31(7): 825-833.

(责任编辑 万月华)

Macroinvertebrate Ecology in a Meandering River of the Yellow River Headwaters

ZHAO Na¹, XU Meng-zhen², LI Zhi-wei³, ZHOU Han-mi¹, YIN Dong-xue¹

(1.College of Agricultural Equipment Engineering, Henan University of Science and Technology, Luoyang 471003,P.R.China;
2.State Key Laboratory of Hydrosience and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084,P.R.China;
3.School of Hydraulic Engineering, Changsha University of Science & Technology, Changsha 410114,P.R.China)

Abstract: Meandering rivers are the most common river type in the headwater area of the Yellow River. In this study, we systematically studied the ecology of the macroinvertebrate community in different water bodies (main stem, tributaries, and oxbow lakes) of Lanmucuoqu River, a typical meandering river of the Yellow River headwaters. Additionally, the primary environmental parameters affecting macroinvertebrate ecology were measured. The study aimed to explore the ecological characteristics of meandering rivers in the Yellow River headwater area and provide scientific data for ecological conservation and management of the area. The investigation was carried out at 12 sampling sites in the three water bodies of Lanmucuoqu River in July 2012 and June 2013, focusing on water quality and macroinvertebrate community composition, diversity and ecology. The surveyed river section was basically in a natural condition, with a gravel and sand bed, and water quality was grade I–Ⅲ. A total of 39 macroinvertebrate species from 36 genera and 23 families were identified. Aquatic insects dominated, accounting for 76.9% of the total species, followed by Oligochaeta, Gastropoda and Crustacea (5.1% per taxon) and Nematoda, Bivalvia, and Arachnida (2.6% per taxon). Detrended Correspondence Analysis (DCA) showed that the macroinvertebrate community structure was very different in the three water bodies (main stem, tributaries, and oxbow lakes). Hydrological connectivity explained 37.0% of the variance and was the main factor for the differences in community structure. The macroinvertebrate biodiversity of the three water bodies also varied greatly, with the highest diversity occurring in the main stem. Insecta was the primary group in the main stem (>53%) and oxbow lakes (>85%), while Crustacea was the main group in the tributaries (>70%). The composition, by functional feeding group, in the main stem was even with shredders, collectors, and scrapers dominating (>90%). Collectors dominated in the tributaries (>78%) and shredders dominated in the oxbow lakes (>82%).

Key words: Yellow River headwaters; meandering river; Lanmucuoqu River; macroinvertebrate; biodiversity