

DOI: 10.5846/stxb201801300248

孙然好,程先,陈利顶.海河流域河流生境功能识别及区域差异研究.生态学报,2018,38(12): - .

Sun R H, Cheng X, Chen L D. Identification of aquatic ecosystems and regional characteristics in the Haihe River Basin, China. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(12): - .

海河流域河流生境功能识别及区域差异研究

孙然好^{1,*}, 程 先^{1,2}, 陈利顶^{1,2}

1 中国科学院生态环境研究中心, 城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085

2 中国科学院大学, 北京 100049

摘要:城市群快速发展严重影响着区域水生态系统的完整性,大尺度流域的河流生境功能辨识和分析尚缺乏系统研究。以海河流域为例,根据河段蜿蜒度、河段比降、断流风险、盐度等 4 个指标,构建了河流生境功能的分类指标体系。通过多源空间数据和人工判读,划分了 6254 条河段,在此基础上将河流生境类型划分为 15 类。通过 52 个监测样点的鱼类调查数据,分析了不同河流生境的水生生物特征差异,揭示了鱼类多样性高的区域多位于河流比降大、断流风险低的区域,而河流蜿蜒度对于鱼类多样性影响较小。最后根据京津冀 13 个地级市的河流生境差异,提出京津冀城市群的生态安全构建需要充分考虑河流生境的空间异质性,并制定融合城市发展目标、水资源利用需求和河流生境功能的综合指标体系。

关键词:生态功能;生态服务;生态安全;河流生境;京津冀城市群

Identification of aquatic ecosystems and regional characteristics in the Haihe River Basin, China

SUN Ranhao^{1,*}, CHENG Xian^{1,2}, CHEN Liding^{1,2}

1 State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: The integration of aquatic ecosystems is significantly affected by the increasing population and urbanization of megacity regions. Currently, studies on river habitats are mainly focused on local watersheds. However, systematic research on the identification of river habitats in large watersheds is lacking. Here, we developed an identification method based on four indicators, including river curve degree, elevation gradient, dry-up risk, and salinity. Detailed spatial data is required to classify river habitats. We extracted 6254 river sections based on current digital data and experience, and the total rivers were then classified into 15 types using the four indicators and these 6254 river sections. Fish diversity was used to assess the heterogeneity of river habitats. We sampled fish from 52 river sites, quantified their species, and determined the degree of biodiversity. The results showed that: (1) fish diversity is determined by the river elevation gradient and dry-up risk. A river with a high elevation gradient has high fish diversity as well as low dry-up risk. (2) The curve degree of rivers has little influence on fish diversity. This study found that the river's habitat is not dependent on the utilization function of water resources in the Beijing-Tianjin-Hebei megacity region. Water resource preservation zones should be improved by considering river dry-up risks in this region. The water ecological security patterns should be developed based on multiple sources of knowledge of the water utilization function, city development plan, and river habitat characteristics.

基金项目:科技部国家重点研发计划项目(2016YFC0503001)和国家重点实验室自主项目(SKLURE2017-1-3)

收稿日期:2018-01-30; **修订日期:**2018-05-07

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: rhsun@rcees.ac.cn

Key Words: ecological function; ecosystem services; ecological security; river habitat; Jing-Jin-Ji megacity region

城市可持续需要从生物多样性、生态过程、生态服务、以及相关的人类福祉等几个方面进行研究^[1-3],城市的发展不仅要满足人类的需求,同时也要满足生物保护的目标^[4-5]。城市群是全球发展的重要战略空间和中国新型城镇化的主体形态^[6]。随着城市群的快速发展,城市与城市之间的联系也越来越紧密^[7]。这种密切的能流、物流和人口流动活动对于区域生态系统产生重要影响,尤其是对于流域的完整性造成破坏,对水资源、水环境、水生生物生境造成严重干扰^[8-10]。城市群区域的河流生境特征具有重要的生态价值,为重要生物的栖息环境,也是进行水生态保护的依据^[11-12]。传统的河流生境调查主要集中在较小范围的河段^[13-15],通过河流特征的描绘、水生生物的调查进行定性和定量研究^[16-17]。但是,大尺度流域的河流生境识别相对研究较少。空间化的河流生境特征是进行城市群生态安全格局构建的基础,尤其是大尺度流域的河流生境识别显得更为重要。

自 20 世纪初 Cotton 提出河流分类以来,河流生境分类随着人们对河流结构、过程和功能等的认识逐步发展。国外河流生境分类的主要依据是河流地貌、水文、生态等特征^[18-20]。其中,最具代表性的是 Rosgen 的河流生境分类方法,主要根据河流地形地貌、水文和植被等特征,逐级将河流生境划分为 I、II、III 类^[19]。此外,已有的研究多以样点调查为主^[21-22],工作量大、耗时长、划分结果差异化不明显等^[23]。国内关于大尺度的河流生境划分的研究案例较少,如辽河^[23]、太子河^[24]等。上述河流生境划分方法主要考虑河流物理特征,缺乏对河流区域特色的关注。本文提出一种新的河流生境划分思路,既考虑传统的河段划分指标,又考虑海河流域的区域特征。伴随着京津冀城市群的发展以及京津冀一体化的深化,构建京津冀城市群的生态安全格局是城市可持续性和生态完整性的必然要求。京津冀城市群位于海河流域,从流域完整性的角度我们选择海河流域为一个整体,构建河流生境识别技术方案,分析不同区域的河流生境差异和水生生物特征,揭示空间差异和规律性,从而为京津冀城市群的城市发展规划、水资源利用目标等提供依据。

1 研究区概况与数据处理

1.1 研究区概况

海河流域支撑着京津冀城市群的发展,同时也受到城市群发展带来的环境胁迫。海河流域包括北京、天津、河北大部分区域,同时还覆盖了内蒙古、山西、山东、河南等部分区域。河流生境特征的辨识和分区是进行城市群生态安全格局制定的重要参考。海河流域包括海河干流、滦河和徒骇马颊河 3 大水系、7 大河系、10 条骨干河流,面积约 32 万 km²。海河流域平均人口密度为 371 人/km²,为全国平均人口密度的 3.47 倍。作为全国主要粮食产区之一,共有耕地 1.09×10⁵ km²,约占全国的 11%。流域属于典型的资源性缺水地区,目前以不足全国 1.3%的水资源量,承担着 10%的人口和 13%的 GDP。海河流域山地和平原面积分别占 60%和 40%,太行山、燕山以西、以北分布面积较广的黄土高原,平原大致可分为山前洪冲积平原、中部河流泛滥平原和滨海平原。海河流域从东到西地带性植被依次为森林、灌丛、稀疏灌草丛等。流域西北部多为钙层土,中北部淋溶土、半淋溶土,中南部半淋溶土、初育土,中东部水成土、半水城土,东部沿海盐碱土。海河流域年均降水量的 80%集中在汛期,降水量由东南向西北逐渐减少。多年平均水资源总量 3.7×10¹⁰ m³,流域地表水平均开发利用率达 63%,水资源总量平均开发利用率高达 102%^[25]。近年来,在各级支流近 10000 km 河长中,已有 4000 km 河道长年干涸,主要河道中下游年均断流达 300 d 左右。因此,分析海河流域不同河段的河流生境特征以及水生生物群落规律,可以为城市发展规划、生态安全格局构建提供生态背景。

1.2 河流生境调查与数据处理

河网数据是河流生境分类的基础,河网的详细程度决定着河流生境的一致性。海河流域下游平原区复杂的河网结构受到人类活动和工程措施的剧烈影响,无法从 DEM 直接获取。基于以上原因,通过现有的多种分辨率、多种渠道的数据进行汇总,结合我们对海河流域的多次详细调研,对河网进行了手工的数字化和取舍。

绘图的依据包括 1:100 万、1:25 万水系图、海委水系图、水利部水功能区图等,再根据行政区划边界等对四级河段进行分段,从而形成最终的河段单元(图 1),河段数为 6254 条,总长度 47422 km,平均每条河段的长度为 7.6 km。

2013 年 7—8 月在海河流域设置 52 个样点进行河流生境调查,主要进行鱼类样品采集,用于对河流生境类型划分结果进行校验。每个样点设置 300 m 的调查区间,选用电鱼法和挂网法配合完成样品采集。对于可涉水(水深 $\leq 1.5\text{m}$) 点位,只选用电鱼法进行采集,主要工具为电鱼器和刺网;对于不可涉水(水深 $> 1.5\text{m}$) 点位,选用挂网法和电鱼法配合进行,两种方法采样时间均维持在 1 h 左右,以保证获得较为全面的鱼类样品。鱼类采集后,记录采样点不同鱼类物种的个体数量,对未能现场鉴别物种的鱼类,采用 5% 的甲醛保存并带回实验室参考相应资料鉴别。利用种类数、Shannon-Wiener 指数(H')等分析鱼类特征。

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i$$

式中, N_i 为 i 种鱼的个体数; N 为总个体数; S 为鱼种类数; P_i 为 i 种鱼所占的比例。

1.3 生境指标的空间化

结合文献资料和滦河流域的研究^[26-27],我们归纳出河流生境的三类影响,分别是河段特征、断流风险和海水影响,从中筛选了 4 个主要的指标(蜿蜒度、河道比降、断流风险、盐度)。河道弯曲度、河道比降可以通过 1:5 万 DEM 和水系图进行数值运算,盐度数据通过野外实地监测,取

2013、2014 年监测的平均值,通过插值方法将其拓展到河段尺度上。断流特征根据 2013、2014 年监测样点,统计其断流特征,将断流风险赋予不同的数值,1——两个季节都有水、2——仅在 9 月有水或 5 月有水、3——两个季节都无水。通过泰森多边形和反距离加权插值方法,将这些断流特征赋予不同的河段,并根据不同数值出现的频率判断断流风险大小,获取各个河段断流特征的最大可能性。4 个指标采用等权重的方法进行赋值,体现了简单、直接的特点,避免了大量的指标之间的冗余信息,也容易数据收集和叠加计算。

2 结果

2.1 海河流域主要河流生境类型

由于河流生境分类主要基于河段尺度进行,因此河段尺度的指标可以列为备选,比如河道水面特征(蜿蜒度、比降、宽度等)、河床物质组成、河岸带植被盖度、河岸带农田比例、河道改造和河岸带干扰程度等。这些河段尺度的指标在各个流域都适用,我们在滦河流域进行了详细的样点采集和指标分析,通过 RDA 分析,发现河道蜿蜒度、河道比降能够提供最大的解释度(图 2)。河道蜿蜒度影响河流生境多样性、沉积物运输与河流形状,河道比降则影响河流流速、基质组成、河道单元形态以及河道内栖息地类型等^[24]。

通过滦河流域的预研究,得到河道蜿蜒度、河道比降 2 个必选指标。这 2 个指标是通过一般的河段因子筛选而得到,与此同时,我们也认识到海河流域东临渤海,海水对滨海河流生态系统也造成显著的影响。其次,海河流域具有明显的断流特征,不管这种断流是自然原因还是人为原因,断流对河流生境的影响非常重要。最终,海河流域河流生境分类指标确定为河道蜿蜒度、河道比降、断流风险、盐度等 4 个指标(表 1、图 3)。

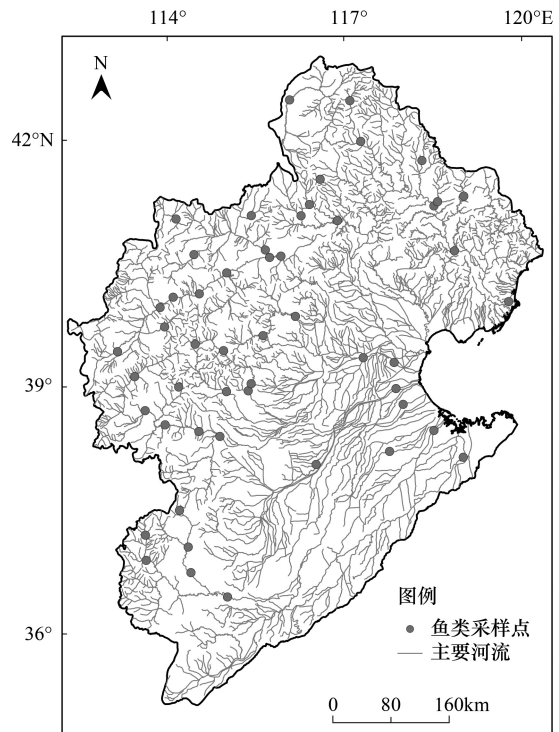


图 1 海河流域主要河流与采样点

Fig.1 Main rivers and sampling sites of the Haihe River Basin

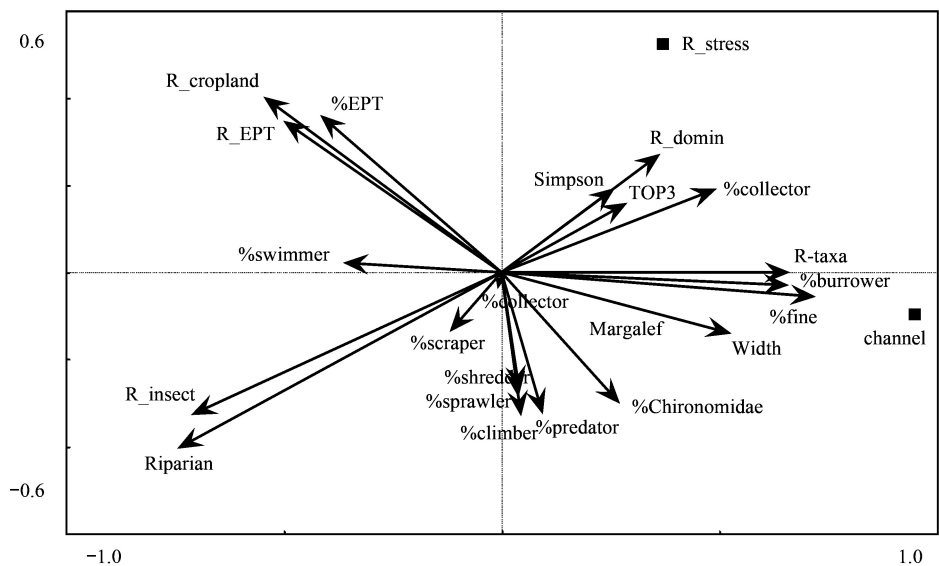


图 2 滦河流域底栖动物与河段因子的关系

Fig.2 Relationships between macroinvertebrates and river factors in the Luanhe River Basin

%Chironomidae: 摇蚊百分比, percentage of Chironomidae; %burrower: 穴居者百分比, percentage of burrower; %climber: 攀爬者, percentage of climber; %sprawler: 爬行者, percentage of sprawler; %swimmer: 游泳者, percentage of swimmer; %collector: 收集者, percentage of collector; %predator: 捕食者, percentage of predator; %scraper: 刮食者, percentage of scraper; %shredder: 撕食者, percentage of shredder; R-taxa: 总分类单元数, total taxa number; R-EPT: 蜉蝣目、襀翅目和毛翅目分类单元总数, taxa number of EPT; %EPT: 蜉蝣目、襀翅目和毛翅目百分比, percentage of EPT; R_insect: 水生昆虫分类单元总数, taxa of insect; R_domin: 优势分类单元的个体相对多度, dominance degree; TOP3: 个体数量最多的 3 个分类单元的个体总数, taxa number of TOP3; Simpson: Simpson 多样性指数, Simpson diversity index; Margalef: Margalef 多样性指数, Margalef diversity index; width: 水面宽度, width of river; channel: 河道改造程度, channel transformation; %fine: 细粒物质百分比, percentage of fine; Riparian: 河岸带, riparian; R_cropland: 河岸带农田比例, proportion of cropland in riparian; R_stress: 河岸带人类干扰, human stress in riparian

在 ArcGIS 软件中将河段不同类型进行聚类汇总后,得出水库和 15 种河流生境类型(表 2)。

表 1 海河流域河流生境分类指标

Table 1 Classification indicators of river habitats for the Haihe River Basin

对水生生物影响方式 Impact on aquatic organisms	分类指标 Classification indicator	生态学意义 Ecological meaning	划分标准 Division standard	等级 Level
河段特征 River characteristic	蜿蜒度	影响河流生境多样性、沉积物运输、河流形状等 ^[24]	蜿蜒度 ≤ 1.05	低蜿蜒度
			$1.05 < \text{蜿蜒度} \leq 1.15$	中蜿蜒度
			蜿蜒度 > 1.15	高蜿蜒度
	比降	影响河流流速、基质组成、河道单元形态以及河道内栖息地类型 ^[24]	比降 < 0.01 比降 ≥ 0.01	缓流 急流
断流影响 Impact of cut-off	断流风险	关系到河流生境功能能否发挥和生境功能的连续性、完整性	干/雨季调查有水 干季无水	低风险断流 中风险断流
海水影响 Impact of seawater	盐度	反映出海水入侵对淡水生态系统的影响	干/雨季调查无水	高风险断流
			盐度 $< 1.43 \text{ g/L}$ 盐度 $\geq 1.43 \text{ g/L}$	正常盐度 高盐度

河流蜿蜒度主要与河段所处的位置有关,各个子流域的上游河段蜿蜒度大,而下游河段一般较为平直;河段比降则山区大于平原区。断流风险主要分为高风险断流、中风险断流、低风险断流,断流风险高的河段一般

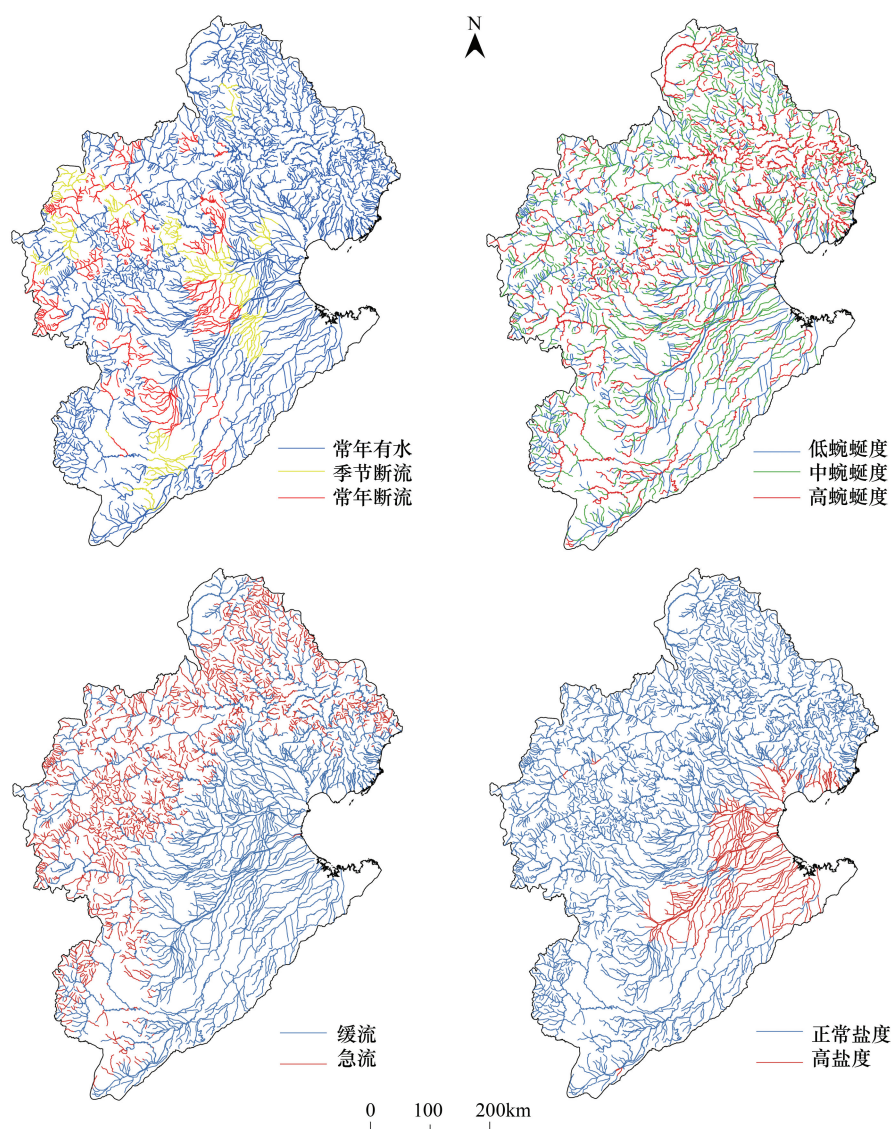


图3 基于蜿蜒度/比降/断流风险/盐度的河流分类

Fig.3 River classifications based on curve degree, elevation gradient, dry-up risk, and salinity

位于山前冲积平原区,以及西部黄土高原地区。这些区域在河流水量不大的情况下,地表径流多转为地下径流,而形成下游湖、淀的形态,或者通过灌渠引入农田和城市,因此断流特征受到自然和人为综合控制。海河多数河流的上游和源头区更多的是中风险断流,主要受地形条件和气候条件的控制。海河下游平原区断流风险较小,主要也受人类活动影响,比如很多灌渠、饮水工程等。此外,海河下游闸坝很多,水流缓慢,除非雨季情况下一般多呈静水状态。海水影响比较大的区域集中于滨海和东部平原地区(图4)。

2.2 河流生境区域差异和水生生物特征

通过流域鱼样调查共鉴定出鱼种 43 种,隶属 7 目 12 科。其中,鲤形目鲤科鱼类最多,达 21 种,占鱼类种数的 48.8%;鳅科 11 种,占 25.6%。鲈形目虾虎鱼科 1 种,塘鳢科 1 种,攀鲈科 1 种;刺鱼目刺鱼科 1 种,刺鳅科 1 种;鲇形目鲇科 2 种,鲇科 1 种;鲤形目鲤科 1 种;合鳃目合鳃科 1 种。海河流域调查的鱼类群落 Shannon-Wiener 多样性指数平均为 1.53,鱼类种类数下降、大中型鱼类资源衰退以及优势种单一化和小型化,都伴随着较低水平的生物多样性。在鱼类群落结构上表现为敏感物种越来越少,耐污性种类增多,如达里湖高原鳅、鲇鱼(*Silurus asotus*)等。河流生境与水生生物特征密切相关,分析了不同河流生境的主要鱼

类指数(表3)。鱼类数量和多样性高的采样点多位于低风险断流河段,同时急流水域更适合不同类型的鱼类生活。而蜿蜒度特征并没有对鱼类栖息造成直接制约,不同蜿蜒度河段均有高多样性鱼类特征。

表 2 海河流域河流类型编码、指标平均值

Table 2 Code of river types and mean values of indicators

河流类型编码 Code of river type	河流类型名称 Name of river types	蜿蜒度 Curve degree	比降 Elevation gradient	断流风险 Dry-up risk
111	低蜿蜒度急流常年有水河流	1.0155	0.0448	低风险断流
112	低蜿蜒度急流季节断流河流	1.0160	0.0454	中风险断流
121	低蜿蜒度缓流常年有水河流	1.0210	0.0011	低风险断流
122	低蜿蜒度缓流季节断流河流	1.0496	0.0011	中风险断流
103	低蜿蜒度常年断流河流	1.0167		高风险断流
211	中蜿蜒度急流常年有水河流	1.0923	0.0329	低风险断流
212	中蜿蜒度急流季节断流河流	1.0923	0.0261	中风险断流
221	中蜿蜒度缓流常年有水河流	1.0884	0.0019	低风险断流
222	中蜿蜒度缓流季节断流河流	1.0891	0.0015	中风险断流
203	中蜿蜒度常年断流河流	1.0907		高风险断流
311	高蜿蜒度急流常年有水河流	1.4206	0.0256	低风险断流
312	高蜿蜒度急流季节断流河流	1.3608	0.0402	中风险断流
321	高蜿蜒度缓流常年有水河流	1.3040	0.0021	低风险断流
322	高蜿蜒度缓流季节断流河流	1.2589	0.0014	中风险断流
303	高蜿蜒度常年断流河流	1.3786		高风险断流

表 3 海河流域不同河流生境类型的鱼类特征

Table 3 Fish characteristics of different river habitats in the Haihe River Basin

生境类型编码 Code of habitat type	生境类型 Habitat type	目 Order	科 Family	属 Genus	种 Species	Shannon-Wiener 指数 Shannon-Wiener index
111	低蜿蜒度缓流常年有水河流	2	4	15	18	1.734
112	低蜿蜒度缓流季节断流河流					
121	低蜿蜒度急流常年有水河流	6	10	26	33	1.603
122	低蜿蜒度急流季节断流河流	2	4	7	7	1.241
103	低蜿蜒度常年断流河流					
211	中蜿蜒度缓流常年有水河流	1	2	4	5	2.007
212	中蜿蜒度缓流季节断流河流					
221	中蜿蜒度急流常年有水河流	4	6	24	26	1.894
222	中蜿蜒度急流季节断流河流	2	5	7	7	0.337
203	中蜿蜒度常年断流河流					
311	高蜿蜒度缓流常年有水河流	4	6	11	13	1.428
312	高蜿蜒度缓流季节断流河流					
321	高蜿蜒度急流常年有水河流	3	6	24	31	1.359
322	高蜿蜒度急流季节断流河流	1	2	7	7	1.358
303	高蜿蜒度常年断流河流					

低蜿蜒度急流常年有水河流类型包括滦河、伊逊河、白河、黑河、洋河、清水河、桑干河、滹沱河、唐河、沙河、浊漳河等河流,汇水面积为 20712 km²。该类型区共鉴定出鱼类 2 目、4 科、15 属、18 种,Shannon-Wiener 多样性指数为 1.73。低蜿蜒度急流季节断流河流类型区主要包括滦河、潮河、桑干河、拒马河、淤泥河等,汇水面积为 1800.30 km²。低蜿蜒度缓流常年有水河流类型区包括冀东沿海诸河、滦河、伊逊河、潮河、白河、潮白河、温榆河、永定新河、海河、桑干河、洋河、滹沱河、大清河、独流减河、滏阳河、子牙河、浊漳河、卫河、漳卫河、徒骇

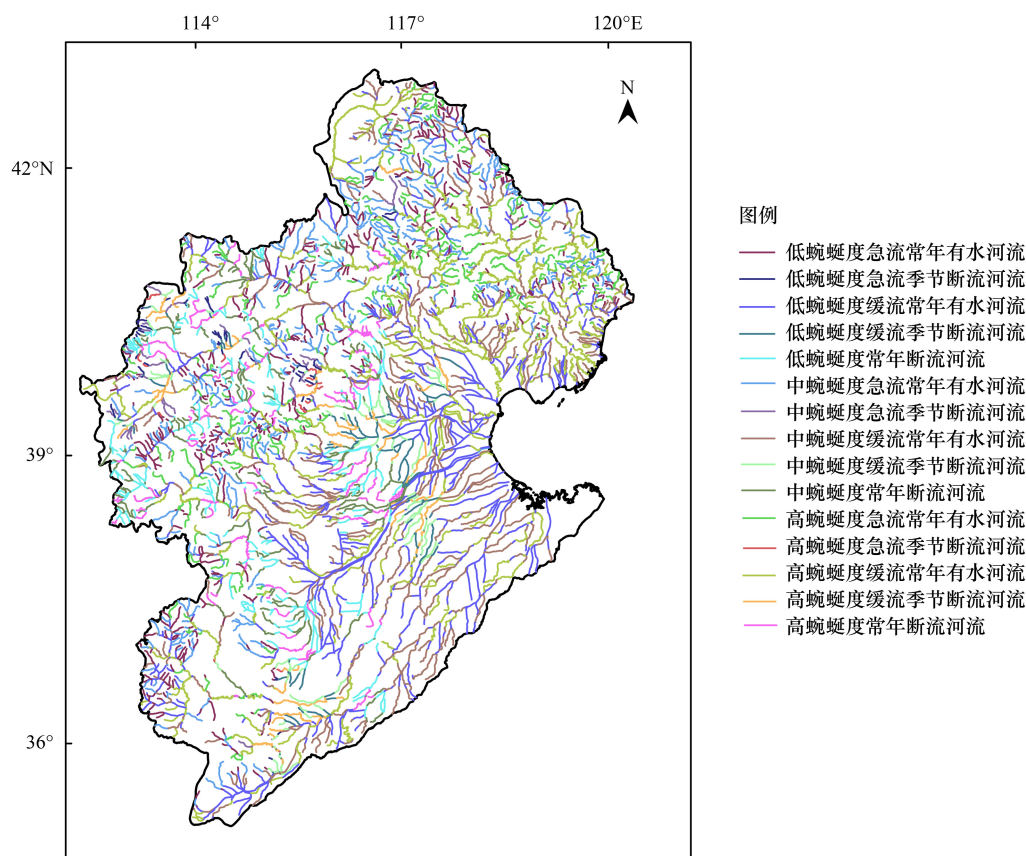


图 4 海河流域河段生境类型空间分布图

Fig.4 Spatial distribution of river habitat types in the Haihe River Basin

河、马颊河等河流,汇水面积为 50709 km²。该类型区共鉴定出鱼类 6 目、10 科、26 属、33 种,Shannon-Wiener 多样性指数为 1.60。低蜿蜒度缓流季节断流河流类型包括永定河、大清河、子牙河、南运河、宣惠河、桑干河、漳卫河等河流,汇水面积为 6554 km²。该类型区共鉴定出鱼类 2 目、4 科、7 属、7 种,Shannon-Wiener 多样性指数为 1.24。低蜿蜒度常年断流河流类型包括永定河、白河、洋河、桑干河、滹沱河、大清河、拒马河、滏阳河、卫河、徒骇河、马颊河等河流,汇水面积为 177780 km²。

中蜿蜒度急流常年有水河流类型包括滦河、伊逊河、武烈河、青龙河、白河、潮河、汤河、洋河、清水河、滹沱河、唐河、拒马河、漳河、卫河等河流,汇水面积为 29686 km²。该类型区共鉴定出鱼类 4 目、6 科、24 属、26 种,Shannon-Wiener 多样性指数为 1.89。中蜿蜒度急流季节断流河流类型包括桑干河、潮河、拒马河、淇河等河流,汇水面积为 3343.74 km²。中蜿蜒度缓流常年有水河流类型包括冀东沿海诸河、滦河、伊逊河、武烈河、伊玛图河、青龙河、潮河、白河、潮白河、黑河、永定河、桑干河、洋河、大清河、拒马河、滹沱河、滹龙河、大沙河、滏阳河、子牙河、漳河、卫河、徒骇河、马颊河等河流,汇水面积为 54235 km²。该类型区共鉴定出鱼类 4 目、6 科、24 属、26 种,Shannon-Wiener 多样性指数为 1.89。中蜿蜒度缓流季节断流河流类型包括桑干河、北京排污河、拒马河、大清河、子牙河、南运河、卫河、淇河、漳卫新河等河流,汇水面积为 7335 km²。该类型区共鉴定出鱼类 2 目、5 科、7 属、7 种,Shannon-Wiener 多样性指数为 0.34。中蜿蜒度常年断流河流类型包括永定河、白河、洋河、饮马河、壶流河、滹沱河、牧马河、拒马河、子牙河、漳河、徒骇河等河流,汇水面积为 16111 km²。

高蜿蜒度急流常年有水河流类型包括滦河、小滦河、伊逊河、老牛河、青龙河、白河、汤河、洋河、滹沱河、漳河等河流,汇水面积为 20969 km²。该类型区共鉴定出鱼类 4 目、6 科、11 属、13 种,Shannon-Wiener 多样性指数为 1.43。高蜿蜒度急流季节断流河流类型包括拒马河、十里河、饮马河、清漳河、淇河等河流,汇水面积为 836 km²。高蜿蜒度缓流常年有水河流包括冀东沿海诸河、滦河、潮河、白河、潮白河、柳河、瀑河、青龙河、陡

河、蓟运河、海河、拒马河、唐河、大清河、桑干河、洋河、滹沱河、滏阳河、漳河、卫河等河流,汇水面积为 57056 km²。该类型区共鉴定出鱼类 3 目、6 科、24 属、31 种,Shannon-Wiener 多样性指数为 1.36。高蜿蜒度缓流季节断流河流类型包括滦河、北运河、拒马河、大清河、子牙河、南运河、桑干河、饮马河、壶流河等河流。该类型河段的汇水面积为 8527 km²。该类型区共鉴定出鱼类 1 目、2 科、7 属、7 种,Shannon-Wiener 多样性指数为 1.36。高蜿蜒度常年断流河流包括洋河、白河、壶流河、十里河、桑干河、滹沱河、唐河、甘陶河、子牙河、拒马河、永定河等河流。该类型河段的汇水面积为 13930 km²。

2.3 不同城市河流类型的组合差异

根据京津冀城市群不同地级市的河流生境特征进行分析,可以看出区域差异明显(图 5)。承德市、保定市、张家口市等河流较多,而且中、高蜿蜒度的河流占比例较高;廊坊市、邯郸市、衡水市、秦皇岛市等位于流域中下游,河流总量较少,河流的蜿蜒度较低,比降较小。根据河流生境特征,可以总体上判断该区域可能的鱼类特征,从而设定合理的水生生物保护目标。比如,一些断流比例较大的地区,不存在水生生物保护的需求,而常年有水比例高以及比降大的地区,则需要重视鱼类的保护。

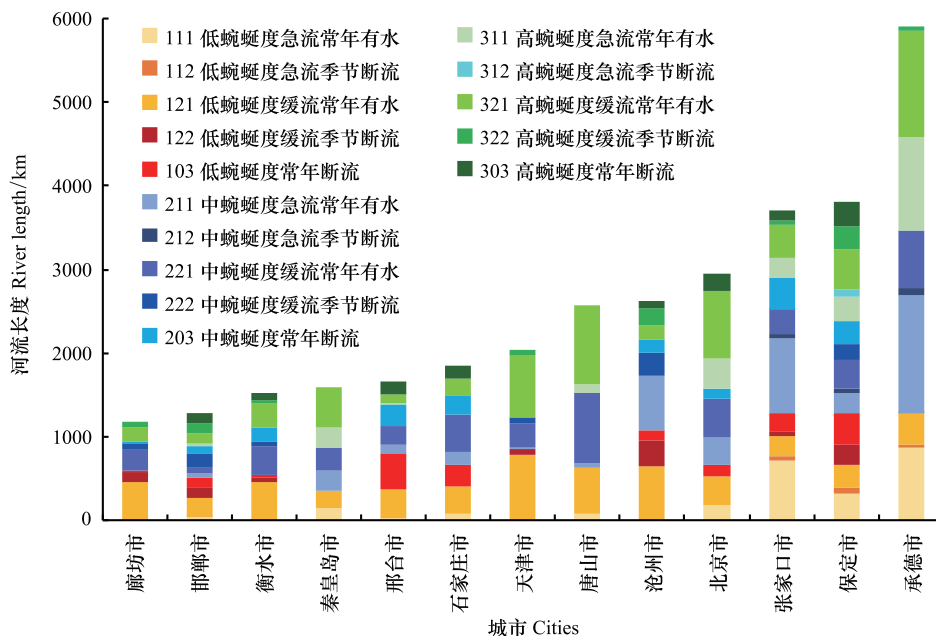


图 5 京津冀不同地级市河流功能的组合差异

Fig.5 Structural components of river functions among the cities of the Jing-Jin-Ji area

3 结论与讨论

(1) 通过空间数据进行河流生境划分,根据四个指标将海河流域河流生境类型划分为 15 类,主要从河段蜿蜒度、比降、断流风险、海水影响等几个方面进行定量化。指标选择时既考虑了普适性指标,又考虑了海河流域河流的针对性指标。基于水生生物数据验证了不同河流生境类型之间存在较好的区分性,研究可以为大尺度流域的河流生境划分提供参考。

(2) 本文河流生境类型的划分结果可为海河流域水生态保护提供参考。依据实地调查数据表明鱼类栖息环境受河流生境的影响,鱼类多样性好的生境主要分布于常年有水、急流河段,而河段的蜿蜒度特征对于鱼类数量和多样性影响较小。本研究的生境识别结果能够将水生态功能区落到具体河段上,从而为河流水生生物保护、水生态管理提供管理单元和决策依据。在涉及到保护性鱼类的洄游通道时,若出现了断流情况,则需要加强流域水资源调配,恢复河道生态需水量。海河流域滨海地区要减少海水入侵对河流生态系统的影响,重点关注饮用水源地和淡水鱼类。

(3)河流生境受到直接影响和间接影响,人类活动和城镇化等指标能够从区域尺度对河流生境产生胁迫和支撑作用^[28]。本研究侧重于河流自然生境特征的定量刻画,通过蜿蜒度、比降、断流、海陆影响等进行表征。而人类活动从不同方面也影响到这些指标,比如河流工程对于蜿蜒度、比降的影响,海岸带工程对于海水影响等,这些人类活动因素与河流生态特征之间的关系需要进一步深化。下一步研究将定量揭示不同人类活动胁迫区域的河流生境类型和特征,从而为河流生境的潜在影响、关键水生生物保护提供依据。同时,河流生境的分类结果可以与城镇化强度和模式进行集成,形成融合自然生态系统-社会经济系统的综合评估结果。

参考文献 (References):

- [1] Wu J G. Urban ecology and sustainability: the state-of-the-science and future directions. *Landscape and Urban Planning*, 2014, 125: 209-221.
- [2] Wu J G, Wu T. Ecological resilience as a foundation for urban design and sustainability // Pickett S T A, Cadenasso M L, McGrath B, eds. *Resilience in Ecology and Urban Design*. Dordrecht: Springer, 2013: 211-229.
- [3] Breuste J, Qureshi S, Li J X. Applied urban ecology for sustainable urban environment. *Urban Ecosystems*, 2013, 16(4): 675-680.
- [4] Faeth S H, Bang C, Saari S. Urban biodiversity: patterns and mechanisms. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 2011, 1223(1): 69-81.
- [5] McKinney M L. Urbanization, biodiversity, and conservation: the impacts of urbanization on native species are poorly studied, but educating a highly urbanized human population about these impacts can greatly improve species conservation in all ecosystems. *BioScience*, 2002, 52(10): 883-890.
- [6] 方创琳. 中国城市群研究取得的重要进展与未来发展方向. *地理学报*, 2014, 69(8): 1130-1144.
- [7] 刘涛, 仝德, 李贵才. 基于城市功能网络视角的城市联系研究——以珠江三角洲为例. *地理科学*, 2015, 35(3): 306-313.
- [8] 孙泽祥, 刘志锋, 何春阳, 邬建国. 中国北方干燥地城市扩展过程对生态系统服务的影响——以呼和浩特-包头-鄂尔多斯城市群地区为例. *自然资源学报*, 2017, 32(10): 1691-1704.
- [9] 王士君, 王雪微, 范大龙, 宋颀, 林慧颖. 吉林中部城市群域城镇化的生态效应评估. *人文地理*, 2017, 32(1): 90-98.
- [10] Ji X M, Xu Y P, Han L F, Yang L. Impacts of urbanization on river system structure: a case study on Qinhuai River Basin, Yangtze River Delta. *Water Science and Technology*, 2014, 70(4): 671-677. [11] Kružiková K, Kenšová R, Blahová J, Svobodová Z. Assessment of mercury contamination of the Svitava and Svratka rivers and muscle of chub (*Leuciscus cephalus* L.) in the urban agglomeration of Brno in the Czech Republic. *Acta Veterinaria Brno*, 2011, 80(2): 227-233.
- [12] Francis R A. Positioning urban rivers within urban ecology. *Urban Ecosystems*, 2012, 15(2): 285-291.
- [13] 王琼, 范志平, 李法云, 鞠文鹏. 蒲河流域河流生境质量综合评价及其与水质响应关系. *生态学杂志*, 2015, 34(2): 516-523.
- [14] 郭文献, 王艳芳, 徐建新. 河流生境研究综述. *华北水利水电大学学报: 自然科学版*, 2015, 36(3): 21-23.
- [15] O'Connor W C K, Kennedy R J. A comparison of catchment based salmonid habitat survey techniques in three river systems in northern Ireland. *Fisheries Management and Ecology*, 2002, 9(3): 149-161.
- [16] 王强, 袁兴中, 刘红, 庞旭, 王志坚, 张耀光. 基于河流生境调查的东河河流生境评价. *生态学报*, 2014, 34(6): 1548-1558.
- [17] 王强, 袁兴中, 刘红. 山地河流浅滩深潭生境大型底栖动物群落比较研究——以重庆开县东河为例. *生态学报*, 2012, 32(21): 6726-6736.
- [18] 高喆, 曹晓峰, 樊灏, 蒋大林, 黄艺. 基于保护目标制定的湖泊流域入湖河河段划分方法——以滇池流域为例. *环境科学学报*, 2016, 36(3): 1070-1079.
- [19] Rosgen D L. A classification of natural rivers. *CATENA*, 1994, 22(3): 169-199.
- [20] Harris N M, Gurnell A M, Hannah D M, Petts G E. Classification of river regimes: a context for hydroecology. *Hydrological Processes*, 2000, 14(16/17): 2831-2848.
- [21] Melles S, Jones N, Schmidt B. Aquatic Research Series 2013-04: Review and Evaluation of Aquatic Ecosystem Classifications Worldwide. Ontario, Canada: Aquatic Research and Development Section, Ministry of Natural Resources, 2013: 80-80.
- [22] Montgomery D R, Buffington J M. Channel-reach morphology in mountain drainage basins. *Geological Society of America Bulletin*, 1997, 109(5): 596-611.
- [23] 徐彩彩, 张殷波, 张远, 孔维静, 侯利萍. 辽河流域河流的分类. *生态学杂志*, 2015, 34(6): 1723-1730.
- [24] 孔维静, 张远, 王一涵, 孟伟. 基于空间数据的太子河流域生境分类. *环境科学研究*, 2013, 26(5): 487-493.
- [25] 荣楠, 单保庆, 张洪, 林超, 郭勇, 王超. 海河流域平原河流非常规水源补给特性及其成因分析. *环境科学学报*, 2016, 36(2): 483-490.
- [26] 张海萍, 武大勇, 王赵明, 孙然好, 陈利顶. 流域景观类型及配置对大型底栖动物完整性的影响. *生态学报*, 2015, 35(19): 6237-6249.
- [27] 张海萍, 武大勇, 王赵明, 孙然好, 陈利顶. 不同尺度因子对滦河流域大型底栖无脊椎动物群落的影响. *生态学报*, 2014, 34(5): 1253-1263.
- [28] 孙然好, 程先, 陈利顶. 基于陆地-水生态系统耦合的海河流域水生态功能分区. *生态学报*, 2017, 37(24): 8445-8455.