

文章编号:1672-3031(2019)02-0081-09

北方缺水河流生境质量评价研究—以妫水河为例

萨茹拉^{1,2}, 刘来胜², 霍炜洁², 殷淑华², 李志萍¹

(1. 华北水利水电大学 地球科学与工程学院, 河南 郑州 450046;

2. 中国水利水电科学研究院 水环境研究所, 北京 100038)

摘要: 北方地区由于缺水干旱、城市化进程发展和人为活动等影响导致河流生境退化严重, 现有评价体系和方法不能很好地反映河流生境状况, 基于此, 构建了包括河流形态结构、水质水量、河岸带状况、景观环境、水生生物5个方面共13项指标的北方河流生境质量评价指标体系, 确定了各指标的等级划分及生境质量综合指数计算方法。结合北京市延庆区妫水生境调查结果, 对流域内选取的妫水河干流及3条支流按照河流河段尺度分为缓坡型、山区型和城区型河段, 并利用构建的评价体系和方法开展具体评价。结果表明: (1)研究区域13个样点的河流生境质量状况差异显著, 约46.2%的样点河流生境质量处于好等级, 约15.4%的样点为较好等级, 约7.7%的样点为一般等级, 约23.1%样点为较差等级, 约7.7%的样点为最差等级。(2)缓坡型河段的生境质量明显优于山区型河段和城区型河段, 其生境等级为“好”, 山区型和城区型河段的生境等级均为“较差”, 表明河流水量和人类负面干扰对河流生境影响较大。(3)该评价指标体系适合北方缺水干旱的特殊生境状况, 其评价结果较为直观的反映了河流生境现状, 兼备科学性和可操作性。

关键词: 北方缺水河流; 指标体系; 生境评价; 妫水河

中图分类号: X826

文献标识码: A

doi: 10.13244/j.cnki.jiwhr.2019.02.001

1 研究背景

1980年代以来, 我国西北、华北和东北地区的许多河流上游修建了水库拦蓄径流, 加之北方地区干旱少雨, 使得河道径流量大大减少, 部分河流在枯水期基本断流, 从而导致地表水资源可利用量减少, 沿河区域地下水逐年降低, 造成北方河流水资源短缺及生态环境恶化, 主要表现在水资源采补失调、水体污染、河道干涸、水体流失、河道淤积堵塞、河床缩窄、滩地裸露、生物种群减少等方面^[1]。北方河流水资源短缺及生态环境的退化不仅影响着水生生物的生存, 也制约着毗邻城市的经济可持续发展, 因此, 对河流生态系统进行修复和保护显得尤为重要。河流生境作为水生生物赖以生存的环境, 是河流生态系统最为关键的组成因素, 也是维持河流健康及生态完整性的一个重要因素^[2-3]。对河流开展科学、合理的生境质量评价能够识别和诊断流域水环境特征, 保障河流水环境安全。同时, 开展河流生境质量评价能够为河流生态环境修复、河道整治工程以及河流健康恢复等提供依据^[4-8]。

目前, 河流生境评价方法大致可以分为水文水力学方法、河流地貌法、栖息地模拟法和综合评估法4类^[9]。国外的河流生境质量评价以美国的快速生物监测协议(RBPs)^[10]、澳大利亚的河流状况指数(ISC)^[11]、英国的河流生境调查(RHS)^[12-13]与河流地貌指数法(HGM)^[14]、瑞典岸边与河道环境细则(RCE)^[15]、西班牙的水文地貌指标(IHG)^[16]和河岸带质量指数(BQI)^[17]等的研究和实践较具有代表性。国外的河流生境质量评价研究多集中于物理生境评价、河岸生境评价、形态学评价以及水文情势变化评价, 其中, 英国和瑞典的两种评价方法多用于自然状态下河流生境评价, 形态学的评价关

收稿日期: 2018-07-26

基金项目: 妫水河世园会及冬奥会水质保障与流域生态修复技术和示范项目(2017ZX07101004)

作者简介: 萨茹拉(1995-), 硕士生, 主要从事河流水体生态修复研究。E-mail: srltianjin@163.com

通信作者: 刘来胜(1980-), 高级工程师, 博士, 主要从事水处理和河流生态修复研究。E-mail: liuls112@126.com

注时间尺度上的河段调整,水文情势变化主要是对现有水文数据的处理或模型的使用^[18]。国内的生境评价起步较晚且发展缓慢,尚未形成统一的评价标准和方法,也缺乏对流域、河段、水系、河流等不同空间尺度的河流生境质量评价,基本是综合和提炼国外的相关研究形成的^[19]。但不同国家和地区的自然地貌水文特征有所差异,河流生境质量的评价指标体系需在结合河流的地质地形和特殊环境等特性下进行,国内不少研究者已意识到这一点,并开展了广泛的实践研究。陈森等^[18]鉴于三峡库区河流生境的特殊性,综合水文情势、河流形态和河岸带生境三方面指标,同时增加能反映由于水位调度影响河流生境的指标,构建了新的三峡库区河流生境评价指标体系;魏伟等^[20]针对我国矿区河流的实际情况,构建了涵盖上覆水体、沉积物、水生生物和河流物理栖息地质量等要素的河流生态系统评价的候选指标体系;刘培斌等^[21]在对北京山区典型河流的生态状况调查基础上,提出适于山区河流生态系统健康评价的方法。上述研究都基于小范围研究区域特征制定修复措施,指标选取及评价模型的选择方面可能会存在指标设置繁琐、专业性强、一般调查人员难以快速掌握等问题。因此构建适合北方缺水河流、且具有实际操作性的河流生境质量评价指标体系和评价方法,并将该体系和方法应用于北方典型缺水河流加以验证,对全面认识河流生境具有十分重要的现实意义。

本文综合河流形态结构、水质水量、河岸带状况、景观环境、水生生物5个方面的指标,构建能够综合反映北方缺水干旱特点的河流生境评价指标体系;确立各个层次下的指标评价标准,并运用层次分析法对各指标进行赋权计算权重;最后以北京市延庆区的妫水河为例,利用建立的评价指标体系和方法,开展河流生境质量评价实证研究,确定妫水河现状河流生境状况,为妫水河生态环境保护 and 可持续管理服务,同时也为我国北方地区河流生境质量评价及河流生境管理提供基础数据和决策依据。

2 北方缺水河流生境评价指标体系的构建

2.1 指标体系的确立 立足于北方地区缺水河流的现状,本研究的指标选取不仅要反映该地区河流生境存在的共性问题,又要体现河流生境的差异性。在参考国内外河流生境质量评价指标和标准的基础上^[19],结合北方河流生态系统的环境特点,构建了涵盖河流形态结构、水质水量、河岸带状况、景观环境、水生生物等多种特征的评价指标体系,该体系分为目标层、准则层和指标层共三个层次(见表1)。其中,目标层为河流生境质量(A);准则层为河流形态结构(B_1)、水质水量(B_2)、河岸带状况(B_3)、景观环境(B_4)和水生生物(B_5);指标层为河道弯曲程度(C_{11})、河道护岸形式(C_{12})、河道生态水量满足程度(C_{21})、水功能区水质达标程度(C_{22})、河岸坡度(C_{31})、河岸带宽度(C_{32})、河岸稳定性(C_{33})、河岸带土地利用类型(C_{34})、河岸带人类干扰程度(C_{35})、河流自然程度(C_{41})、河岸植被覆盖率(C_{42})、景观小品多样性(C_{43})和大型无脊椎动物(C_{51}),共13项。

2.1.1 河流形态结构 河流的截弯取直、河道硬质渠化和筑坝等人工造成的河流形态均一化和非连续性会改变河流蜿蜒的基本形态^[22],大量使用混凝土、浆砌石等人工硬质材料隔断了水陆生态系统间的生物交流,削弱了水体护岸的原有自然风貌、甚至破坏了当地的生态环境,而生态护岸具有自然河岸的可渗透特点,拥有一定的抗干扰和自我修复能力^[23]。河道弯曲程度指标阈值参考刘培斌等^[21]对北京拒马河河流生境评价体系中的标准。

2.1.2 水质水量 (1)河道生态水量满足程度。国内外学者提出了多种关于生态流量的计算方法,国外生态流量的计算方法大致可以分为历史流量法、水力定额法、栖息地定额法共4类^[24],国内主要参照《水电水利建设项目河道生态用水、低温水和过鱼设施环境影响评价技术指南(试行)》(环评函[2006]4号)中的水文法、水力学法、组合法、生境模拟法、组合法、生态水力学法。但上述大部分计算方法需要的专业性较强,不利于基层工作人员实际操作,因此,在生态流量阈值确定方面以Tennant方法为基础,同时参照蒙大拿法^[24-25]。(2)水功能区水质目标达标程度。水功能区水质目标达标程度能够反映受城市化进程和旅游业发展影响下的河流水质状况,以《地表水环境质量标准(GB3838-2002)》作为评价依据,考虑北方地区有河皆枯、有水皆污的特点,将地表水Ⅱ类标准设为

最好标准,劣V类标准设为最差标准。

2.1.3 河岸带状况 河岸带是河流生态系统与陆地生态系统连接的重要纽带,其特殊的生境使其具有明显的边缘效应,能为各种生物提供栖息地,并具有较高的生物多样性。

(1)河岸坡度。河岸坡度是一项形态指标,坡度较小的岸堤,雨水流速较小,有利于植被对面源污染的拦截,还能为陆生生物提供更大的生境面积,容纳更多生物^[26],坡度较大的直立河岸有可能发生崩塌,河岸坡度越小越好。

(2)河岸带宽度。河岸带宽度对缓冲污染物、调节气候、提供陆生生境以及景观娱乐价值等生态环境效应的发挥具有重要的影响,陈吉泉、邓红兵、夏继红等^[27-29]就河岸带宽度对河岸生境、生物保护等的影响以及河岸带宽度的设定开展了一系列研究,结果表明利用河岸带宽度评估北方河流城市化后河岸带状况与自然状况的差距,有利于今后从该角度改善河流生境状况。其阈值参考佟星星等^[30]对长春市伊通河生境质量评价,基于河岸带宽度与河宽的比值对河岸带宽度进行评价,河流两岸植被带宽度与河宽的比值大于1为最佳,小于0.1为最差。

(3)河岸稳定性。河岸稳定性是表征河岸受水流侵蚀作用而遭到冲刷变形的过程^[24],常用侵蚀率表示,稳定的河岸不仅可以防止岸坡水土流失,还能防止河道出现淤积现象。如王雁等^[25]以侵蚀率小于10%作为评价南水北调东线工程徐州段河流生境评价河岸稳定性的最佳标准,以大于80%作为最差标准。

(4)河岸带土地利用类型。河岸带土地利用类型的变化直接影响流域涵养水源的能力,对水生生物群落、河岸带管理和河流生态系统修复都至关重要,赵霏、李丽娟等^[31-32]通过对太子湖、北京市典型再生水利用河流研究证实了土地利用与河岸带物种多样性密切相关这一观点。

(5)河岸带人类干扰程度。人类在河岸带范围内的活动会对河滨岸带生境产生较大干扰,甚至会破坏植被造成水土流失,影响河道生物的生存环境^[26],研究人为活动对河岸带生态系统的干扰程度有助于人类评价和保护河流生境。

2.1.4 景观环境 (1)河流自然程度。河流自然程度反映的是河流作为生态系统所具有的本质特征,即保持河流生态系统活性和生机的能力^[33],由于受人类强烈干扰导致河流逐渐偏离了其自状态,一定程度上出现水系衰退、连通受阻、河流功能下降以及水环境恶化等水资源和水环境问题,视觉上更能真切直观的感受河流遭受的人为改造和破坏。(2)河岸植被覆盖率。河岸植被是河岸生态系统的重要组成部分,茂密的河岸植被不仅可以吸收和截留污染物,还能够控制河岸侵蚀、截留地表径流、泥沙和养分,具有保护河流水质、调节河流微气候及水温的作用,因此植被覆盖程度越高越好,以高于80%设为最优标准,低于10%设为最差标准。(3)景观小品多样性。景观小品造景是绿地空间的重要设计部分,构筑具有地域文化、生态保护、宜景宜人的绿色空间对于实现人与自然的和谐发展具有重大作用^[34]。

2.1.5 水生生物 大型底栖无脊椎动物是最常用的监测对象,对水质有良好的指示作用,是当前国际上使用较广的水质生物评价指标。

2.2 评分标准与指标权重 根据生境质量状况优劣程度,每项指标的评分标准采用十分制,生境状况越好,赋予的分值就越高,依次按照10~9、8~7、6~5、4~3、2~1打分,如表1所示。定量和定性指标分值分别通过标准指数法和目测评分法获取。

采用层次分析法(AHP)确定指标权重,通过咨询相关专家将各项指标进行两两比较,确定其相对重要性并给出判断值,并使用Matlab软件辅助计算^[29],结果见表2。

2.3 评价方法 参考王强、陈森、佟星星^[13,18,30]等人的文献,对评价体系的各级指标层得分值采用加权平均法来计算,二级指标(即准则层)评分利用加权平均法对三级指标(即指标层)得分进行计算,计算公式如下:

$$B_i = \sum_{j=1}^{m=2/2/5/3/1} C_{ij} \cdot \mu_{Cij} \quad (1)$$

式中: B_i 为二级指标得分; C_{ij} 为三级指标得分; μ_{Cij} 为三级指标 C_{ij} 的权重; n 为5,代表二级指标总

表1 北方缺水河流生境质量评价指标与标准

| 项目 | 评价指标 | 评分标准 | | | | |
|--------------|-----------------------|-------------------------------|----------------------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 河流形态结构 B_1 | 河道弯曲程度 C_{11} | 弯曲度 ≥ 2.5 | $2 \leq$ 弯曲度 < 2.5 | $1.2 \leq$ 弯曲度 < 2 | $0.5 \leq$ 弯曲度 < 1.2 | 没有弯曲 |
| | 河道护岸形式 C_{12} | 全部为生态护岸 | 基本为生态护岸, 少部分为人工护岸 | 生态护岸为主, 辅助有人工护岸 | 人工护岸为主, 辅助有生态护岸 | 全部为人工护岸 |
| 水质水量 B_2 | 河道生态水量满足程度 C_{21} | 生态基流大于多年平均流量的30% | 生态基流为多年平均流量的20~30% | 生态基流为多年平均流量的10~20% | 生态基流小于多年平均流量的10% | 河道基本干涸, 仅汛期有少许水量 |
| | 水功能区水质目标达标程度 C_{22} | 属于II类水 | 属于III类水 | 属于IV类水 | 属于V类水 | 属于劣V类水 |
| 河岸带状况 B_3 | 河岸坡度 C_{31} | 0~15 | 15~30 | 30~45 | 45~60 | 60~90 |
| | 河岸带宽度 C_{32} | >河宽1倍 | 河宽0.5~1倍 | 河宽0.25~0.5倍 | 河宽0.1~0.25倍 | <河宽0.1倍 |
| | 河岸稳定性 C_{33} | 稳定, 很少或不存在河岸冲淤或不稳定现象, 侵蚀率<10% | 较稳定, 少部分区域有冲淤现象, 并已得到修复, 侵蚀率<20% | 不太稳定, 一半以下区域有冲淤现象, 侵蚀率20~50% | 不稳定, 过半以上区域有冲淤现象, 侵蚀率50~80% | 非常不稳定, 整个区域几乎全部被冲淤, 侵蚀率>80% |
| | 河岸带土地利用类型 C_{34} | 林地、灌丛、草地, 无耕地或居民区 | 林地、灌丛、草地, 有少量耕地, 无居民区 | 耕地与林地、灌丛、草地交错, 有居民区 | 无耕地, 有居民生活区 | 建筑物和居民生活区 |
| | 河岸带人类干扰程度 C_{35} | 几乎没有人类活动 | 干扰较小, 少量非机动车和行人通过 | 干扰较大, 少量机动车经过, 有闸坝等水工设施 | 多种人类活动, 对河流影响大, 但污染不严重 | 人类活动密集, 污染严重 |
| 景观环境 B_4 | 河流自然程度 C_{41} | 自然原型 | 近自然型 | 轻微受破坏, 基本保持自然 | 受到破坏, 不太自然 | 明显受到破坏, 严重脱离自然状态 |
| | 河岸植被覆盖率 C_{42} | >80% | 50~80% | 20~50% | 10~20% | <10% |
| | 景观小品多样性 C_{43} | 岸线景观小品种类繁多 | 岸线景观小品种类较多, 分布均匀 | 岸线景观小品种类较少, 分布不均匀 | 岸线周边零星分布景观小品 | 岸线周边几乎没有景观小品 |
| 水生生物 B_5 | 大型无脊椎动物 C_{51} | 丰富 | 较丰富 | 较少 | 极少 | 罕见 |
| | 赋予分值 | 9~10 | 7~8 | 5~6 | 3~4 | 1~2 |

表2 河流生境评价指标体系权重值

| 目标层 | 准则层 | 权重 | 指标层 | 权重 | 综合权重 | 排序 |
|----------|--------------|--------|-----------------------|--------|--------|----|
| 河流生境综合质量 | 河流形态结构 B_1 | 0.1708 | 河道弯曲程度 C_{11} | 0.5 | 0.0854 | 4 |
| | | | 河道护岸形式 C_{12} | 0.5 | 0.0854 | 4 |
| | 水质水量 B_2 | 0.3303 | 河道生态水量满足程度 C_{21} | 0.6667 | 0.2202 | 2 |
| | | | 水功能区水质目标达标程度 C_{22} | 0.3333 | 0.1101 | 3 |
| | 河岸带状况 B_3 | 0.1152 | 河岸坡度 C_{31} | 0.1103 | 0.0127 | 10 |
| | | | 河岸带宽度 C_{32} | 0.1103 | 0.0127 | 10 |
| | | | 河岸稳定性 C_{33} | 0.1988 | 0.0229 | 8 |
| | | | 河岸带土地利用类型 C_{34} | 0.1988 | 0.0229 | 8 |
| | | | 河岸带人类干扰程度 C_{35} | 0.3818 | 0.0440 | 6 |
| | 景观环境 B_4 | 0.0924 | 河流自然程度 C_{41} | 0.5278 | 0.0488 | 5 |
| | | | 河岸植被覆盖率 C_{42} | 0.3325 | 0.0307 | 7 |
| | | | 景观小品多样性 C_{43} | 0.1396 | 0.0129 | 9 |
| | 水生生物 B_5 | 0.2914 | 1 | 0.2914 | 1 | |

数; m 为 2 或 5 或 3 或 1, 代表各二级别下的三级指标总数。

一级指标(即目标层)评分利用加权平均法对二级指标(即准则层)得分进行计算, 得到河流生境质量综合指数, 将总得分乘以 10 以区分各监测样点分值间的差异, 计算公式如下:

$$A = \sum_{i=1}^n B_i \cdot \mu_{B_i} \cdot 10 \quad (2)$$

式中： A 为一级指标得分，此值代表河流生境现状； B_i 为二级指标得分； μ_{B_i} 为二级指标 B_i 的权重； n 为5，代表二级指标总数。

参考陈森、郑丙辉以及王建华^[18,35-36]等采用的生境质量分级方法，即根据生境质量指数的分布范围划分河流生境等级，本研究最终得分范围为10~100，小于25%分位数值的为好，介于25%和40%之间为较好，介于40%和55%之间为一般，介于55%和70%之间的为较差，大于70%分位值的为最差，以此划定河流生境质量分级标准(见表3)。

表3 河流生境质量分级标准

| 河流生境质量分级 | 频数分布/% | 分级标准 |
|----------|--------|-------------|
| 好 | < 25 | > 75 |
| 较好 | 25-40 | 60 < I ≤ 75 |
| 一般 | 40-55 | 45 < I ≤ 60 |
| 较差 | 55-70 | 30 < I ≤ 45 |
| 最差 | > 70 | ≤ 30 |

3 妫水河流域河流生境评价

3.1 研究区概况 妫水河位于北京市延庆区，地处华北平原北部，属于海河流域永定河水系，是官厅水库的三大入库河流之一。该河发源于延庆区境内东部山区，自东向西横贯延庆川区盆地。河道弯曲，干流全长约74.4 km，平均河宽5~250 m，流域面积1062.9 km²。多年平均年径流量1.18亿 m³，汛期径流量达0.58亿 m³，枯水期最小流量0.3 m³/s。沿途有古城河、蔡家河、三里河、佛峪口沟等9条支流汇入，受枯水期影响，古城河、蔡家河常年有基流，其余支流生态基流常年不足。

研究区属大陆季风气候区，属温带与中温带、半干旱与半湿润的过渡地带，年平均气温8℃，年平均降水量503.8 mm，降水在年内、年际和地区间分布不均衡，汛期6~9月降水量约占全年降水量的80%，水资源量时空分布不均，是北方地区典型的缺水性河流。

受区域地理环境的影响，河流不同河段发挥的自然生态功能和社会服务功能有所差异，因此，结合研究区四周地势较高以山地为主，中部地势较低属平原区的特点，将妫水河干流和蔡家河划分为缓坡型河段，古城河划分为山区型河段，三里河划分为城区型河段。

3.2 监测点位及方法 选取妫水河干流和3条支流(三里河、蔡家河、古城河)上的13个具有代表性的监测点位开展河流生境调查，见图1。其中，属于缓坡型河段的有样点R1~R5、R8~R10，属于城区型河段的有样点R6~R7，属于山区型河段的有样点R11~R13。



图1 研究区样点分布

实地调查工作于2018年5~6月进行，调查方法参考英国河流栖息地调查(RHS)和《河流生态调查技术方法》，结合研究区河流生境实际情况，在每个监测点取200 m长、左右河岸带各100 m宽的代表性河段作为生境调查单元。采用从上游到下游步行的方法，使用手持GPS仪记录调查路线的经纬度和海拔。目测法判定河道弯曲程度、护岸形式、水量充满河道程度、河岸坡度等情况，并拍摄照片辅助记录。在每个采样点同步采集底栖动物样品和水样，样品的采集与处理按照下述方法进行。

(1)水样。现场利用水质多参仪(YSI)测定表层水温、pH、DO、总溶解性固体(TDS)，同时采集

1000 mL水样固定后放置于密封采样容器中，置于4℃保温箱带回实验室，测定氨氮(NH₄⁺-N)、总磷(TP)、化学需氧量(COD_{Cr})等化学指标。水样的保存和预处理严格按照《水和废水监测分析方法》中的相关实验方法进行。为减小系统误差，以上样品均重复测定3次，数据分析过程取3次测定结果的平均值。

(2)底栖动物。采用改良式彼得生采泥器采集底泥，用40目金属筛过滤，用镊子挑取筛上全部肉眼所看到的底栖动物，用质量分数为75%酒精固定带回实验室。每个采样点重复收集3次，按照不同断面的动物类别称重、计数，其中，软体动物可肉眼直接鉴定，寡毛类和摇蚊幼虫固定后在显微镜下鉴定^[37]。

3.3 评价结果与分析 从调查水系来看，研究区域13个监测样点的河流生境质量综合评价指数分值26~93之间，等级水平差距大。根据调查数据，在13个监测样点中75分以上为“好”的监测点有6个，占46.2%；60~75分为“较好”等级的监测点有2个，占15.4%；45~60分为“一般”的监测点有1个，占7.7%；30~45分为“较差”等级的监测点有3个，占23.1%；30分以下为“最差”等级的监测点有1个，占7.7%(见图2)。从评价结果总体来看，奶水河干流及3条支流生境质量整体较好。其中，为好和较好等级的样点均处于上游河段，在中下游河段生境质量分值逐步下降，在支流三里河段生境质量分值达到最低，到下游蔡家河河段生境质量分值虽有下降但是仍处于“好”的等级。

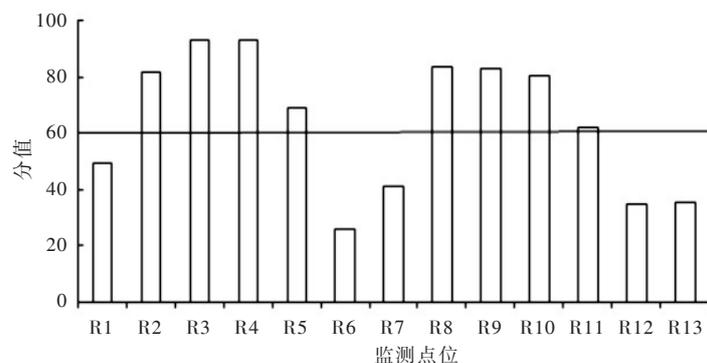


图2 研究区河流生境质量评价结果

从不同类型河段的生境质量平均得分来看，缓坡型河段的生境质量明显优于山区型河段和城区型河段，等级为“好”，而山区型和城区型河段均属于“较差”等级(见表4)。

表4 不同类型河段生境质量综合评价结果

| 河段类型 | 监测点位 | 生境质量得分 | 生境质量平均得分 | 等级 |
|------|------|--------|----------|----|
| 缓坡型 | R1 | 49 | 79 | 好 |
| | R2 | 81 | | |
| | R3 | 93 | | |
| | R4 | 93 | | |
| | R5 | 69 | | |
| | R8 | 83 | | |
| | R9 | 83 | | |
| 山区型 | R11 | 62 | 44 | 较差 |
| | R12 | 35 | | |
| | R13 | 36 | | |
| 城区型 | R6 | 26 | 34 | 较差 |
| | R7 | 41 | | |

在缓坡型河段中，样点R2、R3、R4、R5生境质量等级为“好”，河道水量较多，大型无脊椎动物的种类和数量也较为丰富，周围均为繁茂的森林植被，受人类活动影响较小；样点R1生境质量一

般,水量较小,且河岸缺乏有效的植被缓冲带;样点R8、R9、R10处生境质量等级为“好”,水量相对其他河段较大,河岸周围自然植被覆盖度高,样点R8附近水域有人工修筑的栈道、观景平台,景观小品呈现多样化。属于山区型河段的样点R11、R12、R13,河岸具有一定坡度,受人类活动影响较小,但缺水断流导致该河段生物种类稀少,河流严重脱离自然程度。属于城区型河段的样点R6、R7的生境等级分别为“最差”和“较差”,主要原因是支流三里河穿越延庆城区,受人为干扰影响较为严重,不仅水量较小,水体富营养化问题严重,河水浑浊或有腥臭味,河道明显受到破坏,严重脱离自然状态,加之河岸带周边土地利用类型多为建筑和居民区,人类活动对河流影响较大,造成该河段生境质量较差。

4 结果与讨论

4.1 北方缺水河流生境评价指标选取适宜性分析 在河流生境质量评价中,指标的选取和权重的设置是重要环节之一,尤其针对特定区域来说,不同指标的选择和赋权的偏差程度都会直接影响评价结果。本研究充分考虑了北方缺水河流的特点,如不同河段生境的空间异质性、生态基流难以保障、土地短缺导致人为活动挤占河道严重等突出问题,结合已有参考文献中关于河流生境和生态健康评价的相关成果,遴选了河流形态结构、水质水量、河岸带状况、景观环境和水生动物5个准则层和13个指标层,在指标选择上删去了已有学者建立的评价体系中流速、流态、宽深比、脉冲流量等专业性较强的指标,纳入了生态学指标。指标构建的原则遵循“适用、实用”原则,既能够较全面地反映北方缺水河流生境的限制性因素,又能在实际河流管理中能够应用。

4.2 评价指标体系构建对妫水河生态治理的指导作用 利用构建的评价指标体系对妫水河进行了评价,从评价结果来看,妫水河河流生境质量整体较好。13个监测样点中生境质量等级为好和较好的样点约占62%,生境质量等级为好、较好、一般、较差、最差的河段比例分别为46.2%、15.2%、7.7%、23.1%、7.7%。缓坡型河段生境质量明显优于山区型河段和城区型河段,从生境质量平均分值来看,缓坡型河段的生境等级为“好”,山区型和城区型河段的生境等级均为“较差”。

从妫水河河流生境质量现状评价结果来看,水质水量是影响河流生境综合分值的重要因素,其次是人类活动干扰程度。在一定程度上,生态水量不足会直接影响河流大型无脊椎动物的丰富程度、河岸稳定性和河道弯曲程度等评价指标,还会间接影响其他指标。支流古城河生境质量较差,主要原因在于河流断流导致河道生态水量满足程度不够。支流三里河生境质量差的主要原因是受人类生产生活的影响较大,作为排水河道,密集的人类活动导致河道严重被侵占,三里河湿地公园湿地功能也逐步退化。通过利用构建的河流生境质量评价指标体系和方法对妫水河河流生境质量进行评价,其评价结果较为真实的反映了研究区域的实际调查情况,在今后流域水生态保护和工作中应设法向河道补水,使河道生态水量满足生物生存,同时控制好人类活动对生境的负面影响,逐步恢复河流自然生态功能和社会服务功能。

5 结论

本文构建了北方缺水河流生境质量评价体系和方法,并在妫水河进行了应用,评价结果与妫水河生境现状具有较好的一致性,具体结论如下:(1)构建的评价指标体系在指标选择上不仅注重体现区域特点,而且,强调自然属性的同时融入了社会属性。为更科学合理的评价北方缺水河流生境现状,引入了河流形态结构、水质水量、河岸带状况、景观环境、水生生物5个方面13项指标,既充分考虑了区域缺水特点,又增加了能够反映造景效果的“景观小品多样性”,“河流自然程度”指标,更突显其在河流生态系统中的社会服务功能和生态服务功能;(2)构建的评价指标体系通过在妫水河实证研究,结果表明该评价体系能够较好地反映妫水河不同河段生境状况,具有较好的适用性和实用性。本文确立的评价方法主要基于河流生境实地调查,评估河流生境状况,评价指标大都无需精

确测量和繁琐计算,调查结果亦不受调查人员专业知识储备影响,具备很好的可操作性和实践性;(3)构建的评价指标体系具有一定局限性,尚需进一步优化完善。本研究构建的评价指标体系仅在妫水河流域进行了实证研究,实践应用方面明显不足,指标设置仍有待进一步改进。由于北方缺水河流的特点多样化,如水量大小、污染来源、水源特点、河流自身特点等,因此,应通过持续的研究对评价体系不断修订和完善,针对不同的河段增减优化评价指标,调整权重,构建更为完备的评价指标体系,以更好地推动北方缺水河流的生境保护和管理工作的。

参 考 文 献:

- [1] 郑连合,王瑞玲,赵洪亮,等.北方河流与毗邻城市相互关系及综合治理[J].海河水利,2008(5):18-19.
- [2] 茹彤.沔河河流生境调查与评价研究[D].西安:西北大学,2015.
- [3] GUPTA B K, SARKAR G U, BHARDWAJ S K. Assessment of habitat quality with relation to fish assemblages in an impacted river of the Ganges basin, northern Indian[J]. Environment, 2005, 36(4): 592-609.
- [4] GROTHE D R, DICKSON K L, REED D K, et al. Whole effluent toxicity testing: An evaluation of methods and prediction of receiving system impacts[C]. Pensacola: SETAC Press, 1996.
- [5] 郝增超,尚松浩.基于栖息地模拟的河道生态水量多目标评价方法及其应用[J].水利学报,2008,38(5):557-561.
- [6] 傅小城,吴乃成,周淑蝉,等.饮水型电站对河流底栖动物栖息地的影响及生态需水量[J].生态学报,2008,28(5):1942-1948.
- [7] 陈婷.平原河网地区城市河流生境评价研究:以上海为实例[D].上海:华东师范大学,2007.
- [8] 赵进勇,董哲仁,孙东亚.河流生物栖息地评估研究进展[J].科技导报,2008,26(17):82-88.
- [9] 王琼,卢聪,李法云,等.基于主成分分析和熵权法的河流生境质量评价方法—以清河为例[J].生态科学,2017,36(4):185-193.
- [10] 肖琳.浑河流域河流生境分类及其评价体系的构建[D].重庆:西南大学,2012.
- [11] BARBOUR M T, GERRITSEN J, SNYDER B D, et al. Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates, and Fish[R]. 2nd ed. Washington, DC: U. S. Environmental Protection Agency; Office of Water, 1999.
- [12] LADSON A R, WHITE L J, DOOLAN J A, et al. Development and testing of an Index of Stream Condition for waterway management in Australia[J]. Freshwater Biology, 1999, 41(2): 453-468.
- [13] 王强.山地河流生境对河流生物多样性的影响研究[D].重庆:重庆大学,2011.
- [14] SZOSKIEWCZ K, BUFFAGNI A, DAVY-BOWKER J, et al. Occurrence and variability of River Habitat Survey features across Europe and the consequences for data collection and evaluation[J]. Hydrobiologia, 2006, 566(1): 267-280.
- [15] ECOT J R, DICE J L, CELESTE L A A, et al. Riparian zone analysis using riparian, channel and environmental (RCE) inventory and water testing analysis in LunPadidu river, LunPadidu, Malapatan, Sarangani Province, Philippines[J]. Advances in Environmental Scienced, 2014, 6(3): 276-283.
- [16] OLLERO A, IBISATE A, GONZALO L E, et al. The IHG index for hydromorphological quality assessment of rivers and streams: updated version[J]. Limnetica, 2011, 30(2): 255-261.
- [17] BARQUIN J, FERNANDEZ D, ALVAREZ-CABRIA M, et al. Riparian quality and habitat heterogeneity assessment in Cantabrian rivers[J]. Limnetica, 2011, 30(2): 329-346.
- [18] 陈森,苏晓磊,党成强,等.三峡水库河流生境评价指标体系构建及应用[J].生态学报,2017,37(24):8433-8444.
- [19] 徐彩彩.辽河流域河流分类与生境评价研究[D].太原:山西大学,2015.
- [20] 魏伟,王丽,周平,等.安徽铜陵地区河流生态系统健康的多指标评价[J].中国环境科学,2013,33(4):691-699.
- [21] 刘培斌,高晓薇,王利军,等.北京山区河流生态系统健康评价方法及其应用研究[J].水利水电技术,2016,47(1):98-101.

- [22] 蔡博峰, 卞有生. 北京市妫水河流域景观生态学分析[J]. 环境污染与防治, 2006(5): 373-376.
- [23] 陈丙法, 黄蔚, 陈开宁, 等. 河道生态护岸的研究进展[J]. 环境工程, 2018, 36(3): 74-77, 168.
- [24] 徐志侠, 陈敏建, 董增川. 河流生态需水计算方法评述[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2004, 32(1): 5-9.
- [25] 王雁, 赵家虎, 黄琪, 等. 南水北调东线工程徐州段河流生境质量评价[J]. 长江流域资源与环境, 2016, 25(6): 965-973.
- [26] 刘华, 蔡颖, 於梦秋, 等. 太湖流域宜兴片河流生境质量评价[J]. 生态学杂志, 2012, 31(5): 1288-1295.
- [27] 陈吉泉. 河岸植被特征及其在生态系统和景观中的作用[J]. 应用生态学报, 1996, 7(4): 439-448.
- [28] 邓红兵, 王庆春, 王庆礼. 河岸植被缓冲带与河岸带管理[J]. 应用生态学报, 2001, 12(6): 951-954.
- [29] 夏继红, 鞠蕾, 林俊强, 等. 河岸带适宜宽度要求与确定方法[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2013, 41(3): 229-234.
- [30] 佟星星. 长春市伊通河生境质量评价指标体系(Y-RHA)的构建与应用[D]. 长春: 东北师范大学, 2016.
- [31] 赵霏, 黄迪, 郭道宇, 等. 北京市北运河水系河道水质变化及其对河岸带土地利用的响应[J]. 湿地科学, 2014, 12(3): 380-387.
- [32] 李丽娟, 金文, 王博涵, 等. 太子河河岸带土地利用类型与硅藻群落结构的关系[J]. 环境科学研究, 2015, 28(11): 1662-1669.
- [33] 王盼. 河流自然生命的概念及其意义[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2006.
- [34] 李敏. 城市小游园景观规划设计[J]. 美与时代(城市版), 2018(5): 73-74.
- [35] 郑丙辉, 张远, 李英博. 辽河流域河流栖息地评价指标与评价方法研究[J]. 环境科学学报, 2007(6): 928-936.
- [36] 王建华, 田景汉, 吕宪国. 挠力河流域河流生境质量评价[J]. 生态学报, 2010, 30(2): 481-486.
- [37] 李杨, 李斌, 李淑丹, 等. 洱海流域河流生态系统健康评价[J]. 应用与环境生物学报, 2017, 23(3): 427-431.

Evaluation of habitat quality of rivers with shortage of water in northern region: A case study of Guishui river

SA Rula^{1, 2}, LIU Laisheng², HUO Weijie², YIN Shuhua², LI Zhiping¹

(1. College of Geosciences and Engineering, North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou, Henan 450011, China; 2. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China)

Abstract: Due to the water shortage and the drought, development of urbanization and human activities in the northern region, the degradation of river habitats is serious. The existing evaluation systems and methods cannot reflect the conditions of river habitat well. Based on this situation, an evaluation index system of river habitat quality in the northern region is established, which includes 13 indicators from 5 aspects, including river morphology structure, water quality and quantity, riparian zone conditions, landscape environment and aquatic organisms. The grade classification of each index and the calculation method of comprehensive index of habitat quality are determined. Based on the habitat survey results of the Guishui River in Yanqing District of Beijing, the main stream and three tributaries of the Guishui River selected in the basin are classified into the type of gentle slope, mountain area and urban area according to the river reach scale, and the constructed evaluation systems and methods are used to carry out specific evaluation. The results show that: (1) There are significant differences in the quality of river habitat among the 13 sampling sites in the study area. About 46.2 % of the sampling sites are in very good grade, about 15.4 % in good grade, about 7.7 % in general grade, about 23.1 % in poor grade, and about 7.7 % in the worst grade. (2) The habitat quality of gentle slope reach is obviously better than that of mountain reach and urban reach, and its habitat grade is "Good" while the habitat grade of mountain reach and urban reach are both "Poor", which indicates that river water quantity and human negative interference have great influence on river habitat. (3) The evaluation index system is suitable for the special habitat conditions of water shortage and drought in the northern region. The evaluation results can reflect the current conditions of river habitat intuitively, which are both scientific and operable.

Keywords: northern river; index system; habitat evaluation; Guishui River

(责任编辑: 杨虹)