【水环境与水生态】

河流曲度对河流生物多样性影响研究进展

周璐瑶,陈　菁,陈　丹,孙伯明

(河海大学 水利水电学院,江苏 南京 210098)

摘　要:弯曲河流是自然界存在河流的基本形态,研究河流曲度对河流生物多样性的影响,能够深入认识弯曲河流的生态功能。在大量文献研究基础上,梳理了河流曲度—生物栖息地、水流条件—生物多样性之间的相关关系以及裁弯取直工程和河流修复工程对河流生物多样性影响等研究的进展。目前,研究仍停留在定性和半定量层面上,尚未有学者全面系统地开展河流曲度与生物多样性相关关系的定量研究。提出今后应进一步开展理论和系统研究,探索河流曲度对生物多样性影响的机理,寻求有利于生物多样性增长的适宜河流曲度范围。

关键词: 河流曲度; 生物多样性; 河流生态系统; 河流形态

中图分类号: S718.53;P512.31　　**文献标志码**:A　　doi:10.3969/j.issn.1000-1379.2017.01.019

Research Process in the Effects of River Sinuosity on Biodiversity

ZHOU Luyao, CHEN Jing, CHEN Dan, SUN Boming

(College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: Curvedriver is basic form of the river in nature. It is necessary to make further research on the impact of river sinuosity on river biodiversity and can help us to understand river ecological function thoroughly. Based upon reviews of the former researches on leisure, this thesis had clarified the correlation of sinuosity habitat and flow conditions biodiversity and described the research progress of the impact of the cutoff and restoration works on the river. At present, the research still remains at the qualitative and semi-quantitative level. There is no quantitative research on the correlation of sinuosity and biodiversity. Based on the above description, in the future, we should further study on theory and system, explore the mechanism of river sinuosity effects on biodiversity and search the optimal range of river sinuosity for the increase of biodiversity.

Key words: river sinuosity; biodiversity; river ecosystem; river morphology

生物多样性具有重要的生态功能,是人类生存和发展的基础,河流生物多样性是河流生态系统健康评价的重要内容之一,也是河流生态恢复的主要目标。影响河流生物多样性的主要因素有河岸类型、水利工程、生物入侵、生境异质性、土地利用(覆被变化)、河流形态、水质等。河流形态作为河流的重要特征,它的多样性直接影响生物的多样性,河流曲度是表征河流形态多样性的重要指标之一,河流曲度的研究已成为当前的热点和前沿课题。但在过去几十年中,河流的弯曲度不断受到人类活动的干扰和损害,部分城市为追求更高的土地利用率,将自然弯曲的河流裁弯取直,新开河道也多为直线型,从而导致河流生态功能严重下降,河流生物多样性受到较大影响。因此,正确认识河流曲度与河流生物多样性的关系,研究其影响机制,对促进河流生物多样性的提高具有十分重要的科学意义和应用价值。

20 世纪 80 年代初许多国外学者开始关注河流曲度对河流生物多样性的影响,我国在这方面的研究起步较晚,而且主要从理论上研究河流弯曲性对河流生物多样性的影响。本文综述河流曲度对河流生物多样性影响的相关研究,以期为进一步探索河流曲度与生物多样性的关系提供参考。

1　河流曲度研究进展

河流曲度是指河流实际长度与河流起迄断面的直线距离的比值。Lepold 将曲度小于 1.3 的河流定义为低曲度河流,曲度大于 1.3 的为高曲度河流,Rust 则将 1.5 作为高曲度河流和低曲度河流的分界线。赵军等[1]考虑到平原河网地区河流的特殊性,将河流分为顺直型、低曲度、中曲度、高曲度 4 种类型。

收稿日期:2015-09-19
基金项目:江苏省水利科技重点项目(2014006)。
作者简介:周璐瑶(1991—),女,浙江杭州人,硕士研究生,研究方向为水土资源规划与管理。
通信作者:陈菁(1964—),女,福建福州人,教授,博士生导师,主要从事水土资源规划与管理方面的研究工作。
E-mail: 595030647@qq.com

1.1　河流弯曲机理

20 世纪初,不少学者开始对河流的弯曲机理进行探索,提出了不同的研究方法和观点,主要有能量最大统计熵理论、最大能耗假说、最小能耗假说、柯氏力效应、最小河床活动性假说、边界干扰说等[2]。弯曲河流是自然界河流存在的基本形态,是水流、泥沙输移和河床形态长期相互作用的结果[3]。沉积学理论研究和有关生产实践表明,顺直河流是一种难以长期稳定存在的形态,不是冲积河流体系中必然出现的河型[4]。Burnett 等[5]认为直线河流是不存在的,许多因素都会导致河流偏离其顺直状态。姚文艺等[2]通过模拟实验表明,在自然条件下,由于水流的“自然补偿机制”,因此河流具有弯曲的自然属性。杨树青[6]通过模拟河流演变过程发现,随着河流的发展,河流曲度会逐渐增大,但其增长不是无限制的,当河流演变到一定程度,符合自然河流形态规律时,河流曲度便会调整达到稳定状态。

1.2　人类活动对河流曲度的影响

人类活动对河流形态的干预强度日益增大,德国在 18 世纪末便开始对莱茵河和奥德河进行人工裁弯取直,而后匈牙利、美国和菲律宾等也开始实施一系列的裁弯工程。自 19 世纪开始,我国对海河、下荆江、卫运河、渭河下游等大型河流实施了裁弯工程,中小型河流的裁弯取直工程更是不计其数。特别是近年来,国内一些城市为了提高土地利用率和配合道路建设,对原有自然河道随意裁弯取直,裁弯后的河流偏离自然发展规律,对河流生态系统产生的负面影响较大[7-8]。

在太湖流域武澄锡虞区的城镇化过程中,众多河流被裁弯取直,河道硬化、人工化,河道缩短甚至部分消失,河网结构趋于简单化,河湖连通性下降[9]。自 20 世纪 60 年代以来,杭嘉湖地区河网密度、河网发育系数、水系长度和盒维数等水系结构参数均呈衰减趋势[10]。韩龙飞等[11]利用流域遥感影像,分析 20 世纪 80 年代和 2009 年秦淮河流域水系的变化情况,发现该流域河道主干化趋势明显,河流呈现由多元到单一、复杂到简单的趋势。近 30 a 来,深圳市区河网演化也趋于主干化、单一化[12]。在上海的河流综合整治实践中,只有30.4%的河流保持了自然的弯曲形态,其余60.9%的河流均采取了裁弯取直工程措施。

2　河流曲度对河流生物多样性的影响

河流弯曲程度的变化将使河流产生一系列复杂的连锁反应,从而导致其物理、化学、生物因素发生变化。根据河流曲度对河流生物多样性的影响程度,可以划分为两个层次:第一层次是对河流生物栖息地和水流条件的影响;第二层次是反映第一层次影响引起的变化。此外,裁弯取直工程及河流修复工程从实际工程角度验证了河流曲度对生物多样性的影响(见图 1)。

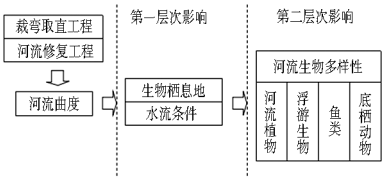

图 1　河流曲度对河流生物多样性的影响

2.1　河流曲度—生物栖息地—生物多样性相关关系

弯曲性是自然河流的重要特征,河流的弯曲性使得河流形成河湾、沼泽和浅滩等丰富多样的生物栖息地[13]。目前河流渠道化及其影响已被大家逐渐认识,它是导致全球范围内河流生物栖息地退化的重要原因之一[14]。许多研究表明[15-17],直线型河流会降低生境异质性,从而对鱼类和底栖生物产生不利影响。Nakano 等[18]将河道断面的深度和流速的变异系数作为生物栖息地多样性指标,通过实地调查发现,弯曲河段的多样性指标高于顺直河段,并且栖息地多样性与大型无脊椎底栖动物的密度和物种的丰富度呈正相关关系。Osawa 等[19]研究发现,弯曲河流可为濒危植物提供不同的生境,从而增加濒危植物的种类。

弯曲的河流具有侵蚀、搬运和堆积等功能,随着时间的推移,在泥沙运移和堆积作用下,经历洪水淹没、重现和植物的生长,河流内岸能够演化形成稳定的漫滩,河床与四季变化的漫滩成为生物个体早期发育所需的动态小型栖息地[20]。有研究表明,鱼类倾向于选择在弯曲度较大的河流,特别是河湾的凹岸处产卵,当主河道发生大水时凹岸区域便成为幼鱼的避难所,帮助幼鱼发育度过脆弱期、降低幼鱼的死亡率[21]。

2.2　河流曲度—水流条件—生物多样性相关关系

弯曲河道内急流、缓流分布不一,能产生急流和缓流两种不同的流速区域。当水流通过弯道时,水流质点除受重力作用外,还受到离心惯性力的作用,在这两种力的作用下,水流除具有纵向流速外,还存在径向和竖向流速,3 种流动交织在一起,使水流在弯道中以螺旋流形式前进,紊动强度增强,是一种复杂的三维流动[22]。吴华莉等[23-24]通过弯道试验发现,不同弯曲度河道的横断面流速分布大小不等,弯曲度较小的弯道横向流速变化梯度远小于弯曲度大的弯道。

复杂的水流条件与河流生物多样性密切相关。不同的流速区域适宜不同的生物群落,从而提高河流内物种的丰富度、密度。韦昌旭[25]将流速变化多样的河段作为实验河段,流速变化单一的作为对照河段进行试验,结果表明,实验河段河岸植被的丰富度指数和多

样性指数明显高于对照河段,而均匀度指数和对照河段相似,藻类、底栖动物的多样性指数、丰富度指数和均匀度指数均高于对照河段。Cardinale 等[26-27]基于 83 条河流的实地调查发现,只有在水流高度变化的区域,物种丰富度和生物净生产量才呈正相关关系。事实上,在无流速变化的区域,生物多样性明显较低,极端情况下甚至只有单一的优势物种。生物不同的生长时期对流速的需求也不同,例如,鱼类在产卵期喜爱较大的流速环境,从而能刺激产卵,而在成长期喜爱较小的流速环境[28]。

2.3　裁弯取直工程对河流生物多样性的影响

河流裁弯取直工程对河流生态系统的负面影响是显著的,它会导致稀有的湿地资源退化和水生动植物数量减少。裁弯后的河流长度减小,水流滞留时间缩短,水能消耗降低,因此有更多的能量输送泥沙,导致下游水库或水塘淤积,生物因其生态环境的丧失而退化。河流长度的减小也缩短了洪水在河道内的滞留时间,虽然提高了河流的泄洪能力,但同时改变了洪水的脉动幅度和频率,影响洪泛平原生态系统的结构和功能[29]。研究表明,洪水具有与河流同等重要的生态功能,在洪水期,各种淡水生物有足够的时间和机会进行物质和能量传递[30]。

裁弯取直工程还会造成河流出现封闭的牛轭湖,波兰的德尔文察河裁弯后,其牛轭湖数量由之前的 11 个增长为 32 个。牛轭湖内水体封闭、水动力丧失,水体的自净能力受到影响,水体污染加剧,从而造成水生生物的生存环境被破坏,生物多样性减少。此外,裁弯取直工程还会增大河道比降。GLIŃSKA-LEWCZUK 等[31]研究发现,波兰韦纳河裁弯后河道比降增大了 95%,使得冲刷加剧,河床下切,河道的加深降低了地下水位,从而对岸坡植物的生长产生不利影响。

2.4　河流修复工程对河流生物多样性的影响

由于裁弯取直工程对河流生物多样性有诸多不利影响,因此德国、美国、丹麦和奥地利等国家的部分地区开始对已裁弯取直的河流重新构筑弯道,恢复其原有的弯曲形状。弯曲河流的恢复方法主要有复制法、参考附近未受干扰河段模式、自然恢复法和系统分析法等。

1999—2002 年,丹麦将斯凯恩河下游 19 km 长的河段改造和恢复成 22 km 长的蜿蜒河流,恢复后的河流生境更加多样化,生物物种组成和生长模式发生了明显变化,无脊椎动物群落数量快速增加,此后随着河流物理性质更加稳定,生物多样性进一步提高[32]。德国的施瓦尔姆河重塑蜿蜒后,其底栖无脊椎动物的生物数量和种群数量均高于附近人为裁弯的河段,且水生植物的种类也更为丰富[33]。刘大鹏[34]通过调查长春市某条恢复原始弯曲形态的山区河流发现,修复后区域植物群落和底栖动物群落的生物多样性指数均高于未修复的区域。

3　保护河流自然形态

水流在弯曲河道内滞留的时间越长,营养物的滞留和螺旋位移特性就越强,因此,与直线型河流相比,弯曲河流往往拥有更复杂的动物和植物群落。维护河流生物多样性对保持河流生态系统健康具有重要意义,河流的直线化会导致河流生物多样性下降,对河流生态系统造成严重损害,而目前的城市规划者并未认识到这一问题的严重性,为获得更高的土地利用率,城镇水系直线化问题十分突出。

自 20 世纪 80 年代末,部分发达国家在基本完成河流水环境污染治理后,开始研究如何恢复河流的自然形态。我国水利部门也提出在中小河流综合治理过程中,除提高河流防洪除涝能力外,应尽可能保持河流的自然形态。因此,在未来的城市发展中,虽然不可能不扰动原有的水系,部分河流裁弯取直也在所难免,但必须尽最大可能保护、尊重原有的河流曲度,甚至人为创造一些弯道,在土地利用率与河流生态系统健康发展之中找到平衡。

4　结论与展望

综上分析,国内外对河流曲度及其与生物多样性关系的研究取得了较大进展,但仍存在诸多问题需进一步深化。

(1)现有研究多是将弯曲河流与直线河流的生物多样性作比较,即目前仍停留在定性和半定量研究层面上,河流弯曲程度与生物多样性关系的定量研究比较缺乏。河流曲度与生物多样性的关系在哪个曲度范围内是线性关系,在哪个范围内能维持较高的生物多样性,以及不同物种如何响应河流曲度的变化仍是该领域尚未解决的问题。

(2)研究对象以动物特别是大型底栖动物为主,研究对象为植物的相关文献较少,而将全部河流生物作为研究对象的文献更是寥寥无几。表征生物多样性的角度单一,仅仅用物种丰富度、多样性指数等指标衡量生物多样性,尚未全面系统地开展弯曲度与生物多样性相关关系的定量研究。

(3)河流曲度对生物多样性影响的机理有待明确。当前的研究多集中在通过实地调查比较分析弯曲河流对生物多样性的影响,而对其产生影响的原因研究较少,未形成一套完整的研究方法,缺乏充分的理论依据。

在未来一段时间,河流曲度与生物多样性关系的研究将表现为以下趋势:开展定量研究,通过多因素控制技术,对不同曲度河流进行长期定位监测,调查不同曲度条件下河流生物多样性的差异,分析河流曲度对生物多样性影响的过程和不同物种对河流曲度变化的响应;进行系统性研究,在研究手段上将地理信息系统、无人机遥感技术与河流生态学理论结合起来,在研究对象上涵盖水生动物、植物、微生物等全部水生生物,在研究内容上将生物量、丰富度、多样性指数、优势物种等多项指标综合考虑作为衡量生物多样性的标准,以更全面系统地研究河流曲度对生物多样性的影响;建立完整的理论体系,倡导和开展分子水平上的研究,探索河流曲度对生物多样性影响的机理,揭示河流直线化对河流生物产生危害的生理生化机制,寻求有利于生物多样性增长的适宜河流曲度范围;加强河流保护的政策法规研究,提高城市规划者的河流曲度保留意识,为改善和保护河流生物多样性做出贡献。

参考文献:

[1] 赵军,单福征,杨凯,等.平原河网地区河流曲度及城市化响应[J].水科学进展,2011,22(5):631-637.

[2] 姚文艺,郑艳爽,张敏.论河流的弯曲机理[J].水科学进展,2010,21(4):533-540.

[3] GÜNERALP İ, ABAD J D, ZOLEZZI G, et al. Advances and Challenges in Meandering Channels Research[J]. Geomorphology, 2012,163-164:1-9.

[4] 倪晋仁,王随继.论顺直河流[J].水利学报,2000,31,(12):14-20.

[5] BURNETT A W, SCHUMM S A. Alluvial-River Response to Neotectonic Deformation in Louisiana and Mississippi[J]. Science, 1983(19):49-50.

[6] 杨树青.蜿蜒河流长期演变过程数学模型[D].天津:天津大学,2012:25-31.

[7] 陈菁.城镇化过程中应保护天然水系:从几则案例说起[J].中国水利,2014(22):21-23.

[8] 陈菁,马隰龙.新型城镇化建设中基于低影响开发的水系规划[J].人民黄河,2015,37(8):27-29.

[9] 王柳艳,许有鹏,余铭婧.城镇化对太湖平原河网的影响:以太湖流域武澄锡虞区为例[J].长江流域资源与环境,2012,21(2):151-156.

[10] 徐光来,许有鹏,王柳艳.近 50 年杭—嘉—湖平原水系时空变化[J].地理学报,2013,68(7):966-974.

[11] 韩龙飞,许有鹏,邵玉龙,等.城市化对水系结构及其连通性的影响:以秦淮河中、下游为例[J].湖泊科学,2013,25(3):335-341.

[12] 周洪建,史培军,王静爱,等.近 30 年来深圳河网变化及其生态效应分析[J].地理学报,2008,63(9):969-980.

[13] 董哲仁.河流形态多样性与生物群落多样性[J].水利学报,2003,34(11):1-6.

[14] ALLAN J D, FLECKER A S. Biodiversity Conservation in Running Waters[J]. Bioscience, 1993,43:32-43.

[15] BIS B, ZDANOWICZ A, ZALEWSKI M. Effects of Catchment Properties on Hydrochemistry, Habitat Complexity and Invertebrate Community Structure in a Lowland River [J]. Hydrobiologia, 2000(4): 369-387.

[16] QUINN J M, WILLIAMSON R B, SMITH R K, et al. Effects of Riparian Grazing and Channelisation on Streams in Southland, New Zealand. 2. Benthic Invertebrates[J]. New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research, 1992,26(2):259-273.

[17] 董哲仁,孙东亚,赵进勇,等.河流生态系统结构功能整体性概念模型[J].水科学进展,2010,21(4):550-559.

[18] NAKANO D, NAKAMURA F. The Significance of Meandering Channel Morphology on the Diversity and Abundance of Macroinvertebrates in a Lowland River in Japan[J]. Aquatic Conservation(Marine and Freshwater Ecosystems), 2008,18(5): 780-798.

[19] OSAWA T, MITSUHASHI H, NIWA H, et al. The Role of River Confluences and Meanderings in Preserving Local Hot Spots for Threatened Plant Species in Riparian Ecosystems [J]. Aquatic Conservation-Marine and Freshwater Ecosystems, 2011,21(4): 358-363.

[20] ASAHI K, SHIMIZU Y, NELSON J, et al. Numerical Simulation of River Meandering with Self-Evolving Banks[J]. Journal of Geophysical Research(Earth Surface), 2013, 118(4):2208-2229.

[21] 董哲仁. 河流生态系统结构功能模型研究[J].水生态学杂志,2008,29(5):1-7.

[22] 吴华莉,蒋陶,张小峰,等.弯曲型河道水流流速分布及阻力试验[J].武汉大学学报(工学版),2011,44(3):293-297.

[23] 吴华莉,金中武,张小峰,等.连续弯道水流特性的试验研究[J].水利水电技术,2014,45(1):73-76.

[24] 杨燕华.弯曲河流水动力不稳定性及其蜿蜒过程研究[D].天津:天津大学,2012:49-65.

[25] 韦昌旭.调流措施对华南受损河流的生态修复作用研究[D].吉林:东北师范大学, 2012:24-47.

[26] CARDINALE B J, PALMER M A. Disturbance Moderates Biodiversity - Ecosystem Function Relationships: Experimental Evidence from Caddisflies in Stream Mesocosms[J]. Ecology, 2002,83(7):1915-1927.

[27] CARDINALE B J, PALMER M A, IVES A R, et al. Diversity-Productivity Relationships in Streams Vary as a Function of the Natural Disturbance Regime[J]. Ecology, 2005, 86(3): 716-726.

[28] 李梅,黄强,张洪波,等.基于生态水深-流速法的河段生态

需水量计算方法[J].水利学报,2007,38(6):738-742.

[29] 毛战坡,王雨春,彭文启,等.筑坝对河流生态系统影响研究进展[J].水科学进展,2005,16(1):134-140.

[30] BOON P J, RAVEN P J. River Conservation and Management[M]. Hoboken: Wiley Online Library, 2012: 86-88.

[31] GLIŃSKA-LEWCZUK K, BURANDT P. Effect of River Straightening on the Hydrochemical Properties of Floodplain Lakes: Observations from the Łyna and Drwęca Rivers, N Poland[J]. Ecological Engineering, 2011, 37(5): 786-795.

[32] PEDERSEN M L, FRIBERG N, SKRIVER J, et al. Restoration of Skjern River and Its Valley-Short-Term Effects on River Habitats, Macrophytes and Macroinvertebrates[J]. Ecological Engineering, 2007,30(SI2): 145-156.

[33] LORENZ A W, JAEHNIG S C, HERING D. Re-Meandering German Lowland Streams: Qualitative and Quantitative Effects of Restoration Measures on Hydromorphology and Macroinvertebrates[J]. Environmental Management, 2009, 44(4): 745-754.

[34] 刘大鹏.基于近自然设计的河流生态修复技术研究[D].吉林:东北师范大学,2010:21-23.

【责任编辑　吕艳梅】