

基于生态服务功能的北京永定河生态修复目标研究

彭涛¹,张振明²,刘俊国²,许等平³,赵桂慎⁴

¹中国科协发展研究中心,北京 100045;²北京林业大学自然保护区学院,北京 100083;

³国家林业总局规划院,北京 100714;⁴中国农业大学资源与环境学院,北京 100094)

摘要:20世纪80年代以来永定河生态系统出现严重退化,河流功能急剧衰退。在对北京永定河生态服务功能评价的基础上,依据生态修复理论和原则,从水安全、生态安全和文化遗产的角度构建了涵盖永定河主要生态因素和社会需求的生态修复目标,阐释了目标概念与选择依据。

关键词:永定河;生态修复;生态服务功能;目标体系

中图分类号:X171.1

文献标志码:A

论文编号:2010-2036

Discussion on the Ecological Restoration Goals of the Yongding River in Beijing Based on Ecosystem Service Functions Analysis

Peng Tao¹, Zhang Zhenming², Liu Junguo², Xu Dengping³, Zhao Guishen⁴

¹Development Research Center of China Association for Science and Technology, Beijing 100045;

²College of Nature Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083;

³Academy of Forest Inventory and Planning, State Forestry Administration, Beijing 100714;

⁴College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100094)

Abstract: Since the 1980s, the ecosystem of Yongding River was seriously degenerated, and the river functions were sharply declined. Based on the major ecosystem service functions analysis of Yongding River, and the theory and principles of ecological restoration, this paper built up the ecological restoration goals which covering the main ecological factors and social needs from water security, ecological security and cultural heritage point of view, and explained the concept and the select basis of goals.

Key words: Yongding River; ecological restoration; ecosystem service functions; goal system

0 引言

生态修复(ecological restoration)是指在生态学等原理指导下,以生物修复为基础,结合各种物理修复、化学修复以及工程技术措施,利用生态系统的演替和自我恢复能力,使受损生态系统部分或全部恢复到受干扰前的自然状态^[1]。生态修复强调生态恢复过程中人类的主动性,一般是对原有的受损生态系统进行改进和修补,以提高和恢复生态系统的部分结构与功能,其关键是恢复生态系统的功能,并使系统能够自我维持^[2]。

永定河是海河水系最大的一条支流,是北京的母亲河。20世纪80年代以来,由于水资源紧缺,永定河生态

系统退化严重,河流生态服务功能急剧衰退。随着经济社会的高度发展,北京市居民和政府越来越重视永定河的修复与保护,对永定河的生态服务功能也有了更高的需求。永定河的多年治理中主要以防洪为主,缺乏统一的、明确的河流生态修复管理目标。为促进永定河生态修复,笔者进行了永定河生态服务功能评价,在此基础上依据生态修复理论与原则构建了永定河生态修复目标体系,以期永定河生态修复提供参考。

1 研究区概况

永定河北京段(幽州—梁各庄)位于北京西部,主河道长 169.6 km,流域面积为 3168 km²,占总流域面积

基金项目:北京市科学技术委员会“永定河生态服务价值与目标体系研究”(D090409004009003);开展农村建设用地整理促进社会主义新农村建设(L20083202)

第一作者简介:彭涛,男,1976年出生,助理研究员,博士,从事生态环境政策研究等工作。通信地址:100045北京市西城区三里河路56号中国科协发展研究中心,E-mail:aoeng_pt@163.com。

通讯作者:赵桂慎,男,1971年生,山东烟台人,副教授,博士,从事生态环境领域等研究。通信地址:100094北京市海淀区圆明园西路2号中国农业大学资源与环境学院,E-mail:zhgsh@cau.edu.cn

收稿日期:2010-07-01,修回日期:2010-07-26。

的6.7%，占北京市域总面积的20%。根据水质水量、河道两岸植被生长状况及流经地区将永定河分为3段，即：官厅水库坝下至三家店拦河闸段(官厅山峡段)，三家店拦河闸至南六环(平原城市段)，南六环至市界梁各庄段(平原郊野段)。永定河北京段流经门头沟、石景山、丰台、大兴和房山区，5个区的土地面积约4900 km²，2007年常住人口440万人，GDP为1150亿元，地方财政收入103亿元，占全市的5%。永定河作为北京的母亲河，孕育了北京深厚的文化底蕴和独特的人文资源，有许多驰名中外的文化古迹和历史景观。永定河还是北京的西南门户，有17条交通干道跨越永定河。

2 生态服务功能评价

河流生态服务功能分析是对功能各要素优劣程度的定量描述，通过评估，可以明确功能状况、功能演变的

规律以及发展趋势，为河流生态修复与管理提供依据。一条健康的河流既要满足河流周边生态环境的要求，同时还要满足社会经济发展和人类活动的合理需求^[4,5]。根据最新的《千年生态系统评估》报告，结合河流生态系统提供服务的机制、类型和效用，可以把永定河生态系统的服务功能划分为供给功能、调节功能、文化功能和支持功能4大类。笔者根据永定河实际情况设计了生态功能评价指标，并利用统计数据计算出各相关指标的生态服务价值，见表1。

2.1 供给功能

永定河供水按照北京市地表水与地下水资源量和用水结构进行平摊后，其价值结果为：总供给价格为11.75亿元，其中供水为11.72亿元，几乎占整个供给价值的100%。水产品为0.0092亿元；水力发电为0.0374亿元(表1)。可见，在供给功能中，永定河主要以保障

表1 永定河生态服务功能评价指标体系与服务价值表

评价项目	评价指标	计算方法	计算指标	价值量/万元	单项价值/亿元	合计/亿元		
供给	供水	市场价值法	农业用水	19223.6	11.72	11.75		
			工业用水	31611				
			环境用水	6013.8				
			生活用水	60446.4				
	水产品	市场价值法	渔业生产	92.6	0.0092			
调节	水力发电	市场价值法	官厅水电站	32.76	0.0374	75.18		
			下马岭水电站	240.24				
			下苇甸水电站	101.192				
	水资源存贮	替代工程法	地表水资源量	196420	41.11			
			地下水资源量	214720				
	净化	水质净化	替代工程法	N	725		0.75	
				COD	5378.6			
空气净化		替代工程法	负离子	1418				
文化	游憩	直接市场法	粉尘	18.68	26.13	52.71		
			河流和水库调蓄量	25.56				
			河流输沙	替代工程法			输沙量	0.0246
			固碳释氧	造林成本法			固碳	57903.7
			释氧	工业制氧法			释氧	19522.4
支持	生物多样性	支付意愿法	休闲娱乐	81700	14.5	14.5		
			旅行费用法	休闲			179600	
			景观美学	意愿支付法			房地产升值	13000
支持	生物多样性	支付意愿法	水文化价值	153600	9.92	9.92		
			教育科研	成果参照法			教育科研	99200
支持	生物多样性	支付意愿法	一级保护物种	100000	14.5	14.5		
			二级保护物种	45000				

五区人民生态安全的水资源为主要目标。

官厅水库 1999 年以来入库水量大幅衰减,年均供水 1.6 亿 m^3 (含补水),2008 年仅供水 4300 万 m^3 。目前,除永定河上游有水外,三家店至卢沟桥段河道基本断流,卢沟桥以下段常年无水。沿岸首钢、京能电厂、高井电厂等企业大量开采地下水,导致河道及沿岸地区严重缺水。

2.2 调节功能

调节功能中水资源存贮、净化、调蓄洪水、河流输沙、固碳释氧等价值分别为 41.11 亿元、0.75 亿元、25.56 亿元、0.0246 亿元、7.74 亿元(表 1)。可以看出,永定河主要以水资源存贮、固碳释氧和调蓄洪水为主要目标,三者约占调节功能价值的 99%。

根据自然地貌与植被情况,永定河水源涵养最重要的地区主要分布在三家店以上区域,另外,永定河门头沟段湿地自然保护区的湿地资源十分丰富,对调节径流、涵养水源具有重要作用。永定河卢沟桥以下常年断流,河道干涸,砂石盗采使植被受到破坏,大面积河滩地已严重沙化,涵养水源作用严重降低。

据 2008 年北京市水资源公报,上中游沿河地区及企业每年向永定河排放污水量约为 1500 万 t。永定河三家店以上干流河道水质标准为 III 类,污染属有机污染型,污染最重的项目有 COD、BOD 和总氮。污染情况仍然没有得到有效治理,削弱了河流的自净功能。

永定河三家店以上流域面积 1291 km^2 ,多为石质山区,门头沟段坡度大于 25° 的陡、急、险坡面积占总面积的 70%,土层薄、降水入渗少、径流形成快,水土流失严重,在汛期河流输沙高度集中。

永定河上游峡谷区存在大面积林地,其固碳释氧、吸收有害气体能力较强。中游河道两侧的防护林区域及下游部分地区的农田生态系统可起到吸收 SO_2 等有害气体,减低噪音等作用。但此区域整体植被情况较差,且河道种植作物影响行洪。

永定河防洪安全至关重要,然而,目前除卢三段左堤外,永定河防洪标准只接近 100 年一遇,未达到《北京城市总体规划》(2004—2020 年)提出的北京“中心城按不低于 200 年一遇洪水标准设防”。

2.3 文化功能

永定河文化功能包括游憩、景观美学、水文化传承、教育科研,价值量分别为 26.13 亿元、1.30 亿元、15.36 亿元、9.92 亿元(表 1),其中游憩和水文化传承在永定河文化功能中占有重要的地位。

永定河平原城市段径流较少,平原郊野段常年断流。这两段河道大堤外基本建起了绿化带,但上下游没

有完全连通,未形成绿色网络,而且郊野段扬尘扬沙比较严重,影响永定河的游憩功能与景观美学。在文化传承方面,永定河作为北京的母亲河,拥有大量的人文景观和旅游胜地。但下游地区常年断流,生态环境恶化,原有的风景名胜景观如卢沟桥、宛平城、卢沟晓月、石碑亭等受到很大影响。

2.4 支持功能

永定河支持功能主要体现在生物多样性方面,其总的生态服务价值为 14.5 亿元(表 1)。

永定河水质污染导致上中游湿地富营养化显著,水生生物大量死亡;污染同时导致生存环境敏感的生物群落或物种迁出湿地。永定河三家店拦河闸以下断流,农作物种植业的发展迅速,河道景观不断变化,生态格局极不稳定,影响生物栖息。过度的资源利用和环境开发建设造成生态与环境质量下降,物种多样性降低,并影响了该区域生态系统自我调节和恢复能力。

3 生态修复目标构建

3.1 生态修复目标选择的原则

永定河生态修复应遵循以下原则:(1)部分修复河流主要功能的原则,即制定生态修复目标。既要考虑河流未受干扰前的状况,又要承认河流被改造、河流生态系统在自然力和人类活动共同作用下已形成新的生态动态平衡的事实,部分恢复河流生态系统的结构和功能^[7]。(2)流域大尺度整体修复的原则,即生态修复不仅要考虑河道的生态修复,还要涉及包括两岸湖泊、湿地等在内的广义河流生态系统^[8]。(3)修复目标的可量化原则,即修复工作前应评价不同的可选择方案,以找到最适合实现修复目标的方案。(4)经济适宜性原则,即河流的生态修复工程是一项投资大、见效慢、经济效益不明显的工程,修复目标的确立要遵循自然生态恢复规律,在经济上的投入要适宜适当。

3.2 生态修复目标框架

生态修复目标决定了河流生态修复的方向^[9],制定生态修复目标应与生态服务功能相对应,以修复目标的实现来达到生态服务功能的提升。在前文生态服务功能评价的基础上,遵循生态修复目标选择原则,笔者认为永定河的生态修复总体目标是构建健康的永定河生态系统,并可具体为水安全、生态安全和文化传承。永定河生态修复目标体系及对应的生态服务功能见表 2。

3.3 生态修复目标阐释

3.3.1 水安全目标

(1)防洪安全目标。防洪工程是抵御洪水的物质基础,是河流两岸人民生命财产安全和经济社会可持续发展的重要保障。北京永定河地处中国政治、经济、文化

表2 永定河生态修复目标体系及对应生态服务功能表

目标1	目标2	可实现的生态服务功能
水安全	防洪安全目标	调蓄洪水
	生态需水量目标	供水,水产品,水力发电,水资源 存贮
	地下水回补量目标	供水,水资源存贮
	水污染控制目标	水质净化
生态安全	水土流失控制目标	河流输沙
	植被修复目标	空气净化,固碳释氧
	湿地修复目标	水质净化,空气净化,固碳释氧
	栖息地修复目标	生物多样性,游憩
	指示物种修复目标	生物多样性,净化
	生物多样性修复目标	生物多样性,景观美学
文化传承	河流文化保护目标	游憩,景观美学,水文化传承,教 育科研

中心,其防洪安全意义尤其重大。防洪安全目标包括工程措施和非工程措施2个方面。其中工程措施包括水库建设,控导工程建设,分洪水库建设等;非工程措施包括洪水预报系统建设和指挥调度系统建设等。根据中国城市防洪标准,特别重要城市(人口规模大于150万),其防洪标准需要在200年一遇以上。作为一个常住人口1700万的国际大都市,北京市的防洪标准至少定为干流防洪能力达到200年一遇,支流防洪能力达到100年一遇。

(2)生态需水量目标。河流生态需水量是指为维护河流生态环境质量不再进一步恶化并逐渐改善,且维持河流生态系统一定的生态功能所需要的水量^[9,10]。水是河流生态生态系统发育、演替和平衡的首要制约因素,保障生态需水量是生态修复成功的先决条件。生态需水量主要包括水面蒸发渗漏损失量、维持水质的换水量、输沙需水量以及河道绿化浇灌用水量^[11]。北京永定河生态需水量目标要综合考虑降雨、地表水、地下水和南水北调等因素。由于北京永定河三家店拦河闸以下段基本断流,因此,生态需水量目标主要针对三家店以下河段。

(3)地下水回补水量目标。河流与地下水的相互作用是自然界中普遍存在的一种自然现象,也是陆地水文循环的一个重要组成部分,二者之间存在着密切的水力联系,不仅发生水量交换,而且存在溶质和污染物的迁移^[12]。北京大规模水资源利用已有50年的历史,城市供水主要依靠地下水超采和密云水库来维持。与20世纪60年代天然流场相比,北京市平原区区域地下水流场发生了巨大变化。除了区域地下水位整体下降外,在不同深度的含水层也形成了规模不等的地下水位降落漏斗

^[13]。北京永定河流域地下水主要分布在平原河段,地下水埋深介于15~30 m间,而且埋深呈逐年递增趋势,有必要对地下水进行回补。基于北京地区可用水资源的限制,要实现地下水的可持续使用,最关键的问题还是在于限制地下水超采,实施增补减采方案^[14]。

(4)水污染控制目标。河流水污染主要由于排入河流的废水中污染物过多,超过了水体的水环境容量,严重影响水体的自净功能,造成自然水体环境恶劣^[15]。河流水污染不仅破坏生态环境,而且将进一步加剧本来就十分严峻的水资源短缺矛盾,制约流域社会经济和环境的可持续发展^[16]。河流水污染控制主要包括工业污水排放控制、生活污水排放的点源污染控制和农业面源污染控制。应以流域水系封闭性为基础,兼顾地方行政管理的可操作性,将小流域划分为多个控制单元进行管理和监督^[17]。北京永定河位于山区的排放地点距污水处理厂较远,难以集中处理,可采用小型点污染处理方式。下游污水可就近收集,集中处理。

3.3.2 生态安全目标

(1)水土流失治理目标。水土流失是中国最主要的环境问题之一,是造成河流阻塞、水库淤积的重要因素,对水资源保护和生态安全构成巨大威胁^[18,19]。影响区域水土流失程度的因素可分自然因素和人为因素^[20]。在一定条件下,侵蚀量、径流与雨量、坡度、坡长呈正相关关系,与植被盖度呈负相关关系^[21,22]。水土流失治理应采取以工程措施为主,结合生物措施的小流域综合治理,按照不同地形地貌,建立拦、蓄、灌、排、节综合防治体系,节节拦蓄,有效地控制水土流失^[23]。门头沟区是北京永定河流域水土流失的治理重点。

(2)植被修复目标。河流植被能保持水土,涵养水源,增强水体的自净功能,促进生物多样性,营造滨河带丰富的园林景观。对于河流植被的修复,首先是结构的修复,然后才能实现功能的修复。在修复目标选择上可将受损植被在结构上恢复至接近对应演替阶段自然植被的状况^[24]。河流绿化涉及的对象包括河道内、堤顶、堤内临水滩地、护堤林带、无水主河道以及特色地段等。同时要考虑河道内植被对水流、防洪的影响^[25]。北京永定河绿化要尽量保留现有场地的原生植被,尽量使用北京的乡土树种,合理配置速生树种与慢生树种,交错组合植栽群落。

(3)湿地修复目标。湿地是分布于陆生生态系统和水生生态系统之间具有独特水文、土壤、植被与生物特征的生态系统。湿地是人类重要的环境资源和自然界最富生物多样性的生态景观之一,在保护生物多样性、调节生态环境、降低环境污染以及景观建设方面具有重

要作用。湿地具有强大的净化污水能力,是自然环境中自净能力最强的生态系统之一^[26]。河流湿地修复根据湿地资源赋存情况一般可分为以植物资源为主的湿地、以鸟类资源为主的湿地和以鱼类资源为主的湿地^[27]。鉴于北京永定河水资源限制,可利用现有库坝等工程形成湿地,并结合污染控制修建功能湿地。

(4) 栖息地修复目标。河流栖息地是对水生生物有直接或间接影响的多种尺度下的物理化学条件的组合,如浅滩、深塘,它们构成了一个生物体的日常生活环境^[28]。栖息地环境是河流生态系统的组成部分,是保持河流生态完整性的一个必要条件,在整个河流生态系统中发挥着至关重要的作用。构成河流栖息地的因素主要有水深、流速、底质、覆盖物、水质、水温等^[29]。栖息地修复状况评估可作为检测河流生态修复状况的重要指标。北京永定河生态修复应查明适宜作栖息地的地点,采取多种措施营造适宜的栖息地环境。

(5) 指示物种修复目标。指示物种是指其生物学或生态学特性(如出现与缺失、种群密度、传布和繁殖成功率)可表征其他物种或环境状况所具有的,难以直接测度或测度费用太高的特征参数。指示物种依据其应用可分为环境指示物种、种群指示物种和生物多样性指示物种。其中,环境指示种可以是单种或物种集群^[30]。生态指示物种已广泛用于水体污染、水体监测,具有直观、客观、综合和历史可溯源性的特点,直接反映了水环境质量变化对生物的影响和危害程度,是目前较为常用的一种评价依据^[31,32]。北京永定河指示物种应结合本地特有物种,根据物种生长时间、生活周期的长短以及数据获取的难易,注意区分选择动物指示物种和植物指示物种。

(6) 生物多样性修复目标。生物多样性是指生物和它们组成的系统的总体多样性和变异性^[33]。生物多样性是地球上最宝贵的资源,对维护生态平衡和生态安全、保障人类的生存及社会经济的持续发展有着重大意义。生物多样性包括遗传(基因)多样性、物种多样性、生态系统多样性和景观多样性4个层次^[34]。河流作为生态系统中的廊道,水陆交互作用,是生物多样性丰富和敏感的区域,生物多样性的修复目标一般作为河流生态修复的最终检验指标之一^[35]。由于绿色植物是生态系统中的第一性生产者,物质循环与能量交换的枢纽,北京永定河生物多样性修复应以植物措施为基础,通过边缘效应、廊道效应和干扰效应提高河流生态系统生物多样性。

3.3.3 文化传承目标 河流文化是人类利用和开发河水源和水利过程中形成、发展和沉淀的文化财富,与河

流的自然存在共同构成完整的河流生命^[36]。人类社会的可持续发展不仅需要河流水资源永续利用的支撑,同样需要河流文化生命的延续与传承^[37]。河流文化具有鉴史价值、宗教价值、哲学价值和景观价值。河流文化表现形式主要体现为语言与文字、哲学、道德与宗教、文学与艺术、神话与传说、民俗民风五个方面。永定河是北京的母亲河,其文化源远流长。保护目标主要应为沿河人文景观的保护。

4 结语

河流生态修复是一项功在当代、利在千秋的工程。正确的生态修复目标对北京永定河生态修复的短期决策和长期管理具有重要作用。笔者在永定河生态服务功能评价的基础上提出的生态修复目标,基本涵盖了永定河的各主要生态因素以及社会需求。未来应进一步研究生态修复目标的量化,明确修复阶段与优先次序,促进北京永定河生态修复目标的实现。

参考文献

- [1] 周启星,魏树和,张倩茹.生态修复[M].北京:中国环境科学出版社,2005,156-157.
- [2] 陈洪全,张忍顺.黄河三角洲生态修复设想[J].生态学杂志,2006,25(1):70-73.
- [3] 陈奇伯,陈宝昆.长江上游洋派河小流域生态修复研究[J].水土保持学报,2004,18(1):154-157.
- [4] 文伏波,韩其为,许炯心.河流健康的定义与内涵[J].水科学进展,2007,18(1):140-150.
- [5] 石瑞花,许士国.河流功能综合评估方法及其应用[J].大连理工大学学报,2010,50(1):131-136.
- [6] 彭静,李种,徐天宝.论河流保护与修复的生态目标[J].长江流域资源与环境,2007,16(1):66-71.
- [7] 张文波,孙楠,李洪远.多层次生态修复实践模式及其理论探讨[J].自然资源学报,2009,24(11):2024-2023.
- [8] 董哲仁,孙东亚,彭静.河流生态修复理论技术及其应用[J].水利水电技术,2009,40(1):4-10.
- [9] 马洪涛,贾海峰,王军.城市水生生态系统最小生态需水量——以北京为例[J].清华大学学报:自然科学版,2007,47(3):352-355.
- [10] 李万寿.湟水干流西宁-民和段河道生态基流量研究[J].水资源与水工程学报,2007,18(3):75-79.
- [11] 金桂琴,王培京,廖日红.北京市温榆河生态需水量研究[J].北京水务,2009(6):14-17.
- [12] 冯西洲,王文科.河流与地下水关系演化的实验研究[D].陕西:长安大学,2008.
- [13] 王丽亚,韩锦平,刘久荣.北京平原区域地下水流模拟[J].水文地质工程地质,2009,(1):11-17.
- [14] 王丽亚,刘久荣,周涛.北京平原地下水可持续开采方案分析[J].水文地质工程地质,2010,37(1):9-17.
- [15] 王素娜.曹娥江支流水质评价与河流水系环境容量分析[D].浙江:浙江大学,2005.

- [16] 孟伟,苏一兵,郑丙辉.中国流域水污染现状与控制策略的探讨[J].中国水利水电科学研究院学报,2004,2(4):242-246.
- [17] 程炜,颜润润,刘洋.基于控制单元的流域水污染控制与管理——以京杭运河苏南段为例[J].环境科技,2010,23(1):70-74.
- [18] 杨振怀.水土保持是重要的环境和生态修复重建工程[J].中国水土保持,2001(10):3-3.
- [19] 朱高洪,毛锋.中国水土流失影响辨识与直接经济损失评估[J].中国水土保持,2007(8):4-8.
- [20] 袁仁茂,杨晓燕,李树德.水土流失的多因素分析及其防治措施[J].水土保持研究,1999,6(4):80-85.
- [21] 尹忠东,周心澄,朱金兆.影响水土流失的主要因素研究概述[J].世界林业研究,2003,16(3):32-37.
- [22] 王苏颖,陈志强,陈志彪.根溪河流域水土流失影响因子分析[J].太原师范学院学报:自然科学版,2006,5(3):104-107.
- [23] 张有生.黄河源头区水土流失及治理措施[J].青海农林科技,2007(2):83-85.
- [24] 付为国.镇江内江湿地植物群落演替规律及植被修复策略[D].江苏:南京农业大学,2006.
- [25] 江春波,侯迪,惠二青.河道植被对水流运动影响研究之现状[J].水力发电,2009,35(7):11-13.
- [26] 王思元,牛萌.湿地系统的生态功能与湿地的生态恢复[J].山西农业科学,2009,37(7):55-57.
- [27] 廖奇志,谈昌莉,张仲伟.鄱阳湖湿地保护和修复措施研究[J].人民长江,2009,40(9):15-18.
- [28] 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.
- [29] 英晓明,崔树彬,刘俊勇.水生生物栖息地适宜性指标的模糊综合评判[J].东北水利水电,2007,25(276):60-64.
- [30] 李晓文,张玲,方精云.指示种、伞护种与旗舰种:有关概念及其在保护生物学中的应用[J].生物多样性,2002,10(1):72-79.
- [31] 张红玉,欧晓红.以昆虫为指示物种监测和评价森林生态系统健康初探[J].世界林业研究,2006,19(4):22-25.
- [32] 段学花,王兆印,余国安.以底栖动物为指示物种对长江流域水生生态进行评价[J].长江流域资源与环境,2009,18(3):241-247.
- [33] 杨金凤,王玉宽.生物多样性价值评估研究进展[J].安徽农业科学,2008,36(26):11491-11493.
- [34] 马克平,钱迎倩,王晨.生物多样性研究的现状与发展趋势[J].基础科学,1995(1):27-30.
- [35] 叶碎高,王帅,张锦娟.河道植物措施与生物多样性研究进展与展望[J].水利与建筑工程学报,2008,6(2):41-43.
- [36] 王盼.河流自然生命的概念及其意义[D].黑龙江:哈尔滨工业大学,2006.
- [37] 魏晓宇.河流文化生命的概念及意义[D].黑龙江:哈尔滨工业大学,2006.