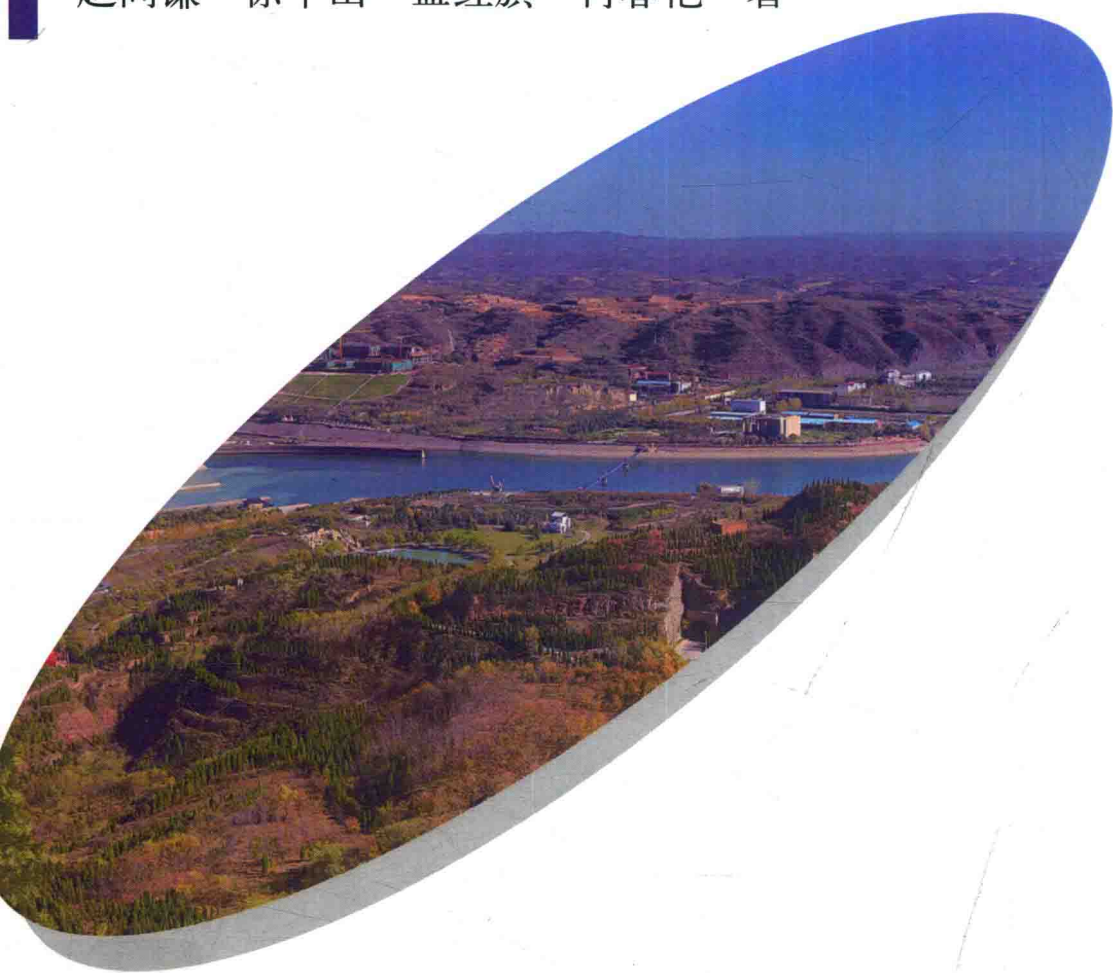


滨河湿地生态系统服务功能 形成机制与恢复理论研究

——以小浪底大坝下游滩区为例

赵同谦 徐华山 孟红旗 肖春艳 著



科学出版社

本书研究获国家自然科学基金委员会项目(30570276、31140039、41371501)及
河南省科学技术厅科技创新人才项目(124100510003)的支持

滨河湿地生态系统服务功能 形成机制与恢复理论研究 ——以小浪底大坝下游滩区为例

赵同谦 徐华山 孟红旗 肖春艳 著



科学出版社

内 容 简 介

本书对滨河湿地的概念、生态学特征、人类活动对滨河湿地的影响、滨河湿地保护与生态恢复做了较为系统的阐述,并以黄河中下游干流自小浪底水库大坝至郑州花园口段河道两侧滩区为研究对象,系统介绍了作者在滨河湿地土壤环境特征、植被特征、土地利用格局动态变化、降雨产流及面源污染特征、地下水动态变化、地表水及地下水的补排关系、湿地植物氮净化功能及其净化机理、基于生态系统服务功能的滩区湿地生态恢复理论方法、湿地的生态恢复途径等多个方面的研究成果。

书中内容是作者及研究团队十余年来在滨河湿地生态系统研究方面所做研究的总结和展示,均为第一手研究资料,可供环境科学、生态学、地理学等相关专业的科研与管理人员及高等院校的本科生、研究生参考、阅读。

图书在版编目(CIP)数据

滨河湿地生态系统服务功能形成机制与恢复理论研究:以小浪底大坝下游滩区为例 / 赵同谦等著. —北京:科学出版社, 2016

ISBN 978-7-03-048713-1

I. ①滨… II. ①赵… III. ①黄河-中下游-湿地资源-生态系统-服务功能-研究②黄河-中下游-湿地资源-生态恢复-研究 IV. ①P942.440.78

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 130104 号

责任编辑:林 剑 / 责任校对:邹慧卿

责任印制:徐晓晨 / 封面设计:耕者工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京京华虎彩印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016 年 6 月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2016 年 6 月第一次印刷 印张:21 3/4

字数:440 000

定价:119.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

河岸带生态系统作为水陆交错带，具有独特的植被、土壤、地形、地貌和水文特性，这些特性决定了河岸带生态系统的独特性、多变性和复杂性。自然河岸带是地球上陆地中最富于多样化、动态化和复杂化的生物物理生境，其所具有的独特的自然环境特征、群落组成、混杂的植物生活史和繁殖策略，以及多变的空间结构和生态功能，使得精确识别河岸带的空间范围变得非常困难。河岸带管理和生态恢复实践，要求河岸带的定义和空间范围必须进一步精确化和精细化，然而目前河岸带如此宽泛和不确定的空间范围，在一定程度上使得相关理论研究成果和实践应用缺乏系统性和针对性。在此背景下，作为河岸带与河道相邻接的特殊生态系统，滨河湿地以其独特的界面特征和生态功能，越来越受到研究者和管理者广泛的关注，进一步明确其生态学定义并深入开展系统研究，对于河岸带的保护与恢复实践具有极为重要的科学价值和现实意义。

滨河湿地是指河流两侧的河漫滩和低湿地，被洪水周期性淹没，常年或间歇性积水。与河岸带相比较，滨河湿地有着特有的内涵和外延，既是河岸带的一个重要组成部分，又直接与河流相邻接，水陆界面特征更加典型。滨河湿地是河流生态系统与陆地生态系统进行物质、能量交换的一个重要过渡带，边缘效应显著，生态系统结构、过程和功能独特。滨河湿地干湿条件的交替转换，为水生、陆生和湿地特有物种创造了适宜的生境；而且，滨河湿地呈廊道状延伸，从而为距离遥远的水生、陆生种群的基因流动提供通道。滨河湿地的周期性或间歇性积水，使得生物地球化学作用强烈而复杂，不同水文和环境条件下碳、氮循环过程及其生态学意义各异，碳累积和释放、氮不同价态的转化及其生态效应趋于复杂化。滨河湿地提供一些重要的生态服务功能，如水资源及产品提供、消减洪水、侵蚀控制、娱乐休闲等，具有重要的社会经济价值。由于长期人类活动的影响，滨河湿地生态系统结构和生态过程遭到严重破坏，已成为我国社会经济发展和生态环境保护矛盾最为尖锐的地区之一。如何充分发挥滨河湿地生态服务功能，有效控制水体面源污染、保护河流水质、维持生态廊道和生物多样性，已成为国际水文学、生态学和环境科学领域持续关注的热点问题。

从2006年开始，在国家自然科学基金的资助下，课题组在黄河中下游干流

自小浪底水库大坝至郑州花园口段河道两侧滩区开展了一系列的野外调查、原位观测等研究工作,内容涉及滨河湿地的土壤环境特征、植被特征、土地利用格局动态变化、降雨产流及面源污染特征、地下水动态变化、地表水及地下水的补排关系、湿地的生态恢复途径等多个方面,可以说在滨河湿地生态系统方面做了比较系统、深入的探索性研究。本书是在三个国家自然科学基金项目研究报告的基础上,经过进一步修改、整理后形成的,是课题组全体成员十年来辛勤努力的总结和展示。

本书共分为九章。第1章绪论,对滨河湿地的概念、生态学特征、人类活动对滨河湿地的影响、滨河湿地保护与生态恢复做了较为系统的阐述;第2章对小浪底下游黄河滩区自然概况及其动植物群落特征、湿地土壤环境特征等进行了分析;第3章利用遥感数据对比分析了小浪底大坝建成前后下游黄河滩区土地利用格局的动态变化特征,揭示大坝建设导致的土地利用格局变化的空间规律、退化过程及其驱动力;第4章为滨河湿地水文过程研究,内容包括降雨产流及非点源污染特征、南北两岸滩区地下水文过程、地下水与河水的补给—排泄关系、滨河湿地水文交错带和生态修复关键地带等;第5章为滨河湿地水质净化功能与净化机制研究,介绍了利用氮同位素示踪技术开展不同湿地植物氮净化功能及其净化机理研究的过程和相关结果;第6章介绍了滨河湿地生态系统服务功能定量表达方法;第7章为基于生态系统服务功能的滩区湿地生态恢复模式研究,通过不同利用模式下生态系统服务功能比较研究,以及滨河湿地资源保护与利用社区意愿调查,探讨了滨河湿地生态保护与利用的模式;第8章为退耕湿地生态系统恢复特征研究,介绍了滩区农田退耕还湿以后土壤和植物氮素等的变化特征;第9章探讨了滩区农业非点源氮污染物来源辨识及控制措施。

本书由赵同谦教授组织撰写,徐华山、孟红旗、肖春艳、许静宜共同完成。其中,第1章由赵同谦主笔,第2章由徐华山、肖春艳共同完成,第3章由肖春艳主笔,第4章由孟红旗、肖春艳共同完成,第5章由徐华山主笔,第6章和第7章由赵同谦、许静宜共同完成,第8章由肖春艳主笔,第9章由赵同谦、肖春艳共同完成。此外,参与本书研究和撰写工作的还包括河南理工大学邵超教授、贺玉晓副教授、武俐副教授、郭晓明博士,以及张华、焦立恒、吴乐等多位研究生。全书凝结了上述研究人员多年的成果和心血,在此一并表示感谢。

特别感谢十年来国家自然科学基金委员会的多项项目资助(30570276, 31140039, 41371501),以及河南省科学技术厅科技创新人才项目(124100510003)的经费支持,感谢河南理工大学资源环境学院、环境科学与工程河南省一级重点学科在研究过程中给予的各种便利和鼎力支持。感谢中国科学

院生态环境研究中心欧阳志云、王效科、郑华研究员的全过程指导，感谢中国科学院计算机网络信息中心王学志副研究员、赵江华老师在遥感影像获取、解译和数据分析过程中给予的大力帮助。

由于滨河湿地生态系统相关研究尚不成熟，本书受多种因素限制可能在实验方案、实验手段、结果分析等方面不尽完备，加之作者水平有限，书中不妥或谬误之处在所难免，欢迎读者和同行专家批评指正。

著 者

2016年3月1日

目 录

1	绪论	1
1.1	河岸带与滨河湿地	1
1.2	滨河湿地的生态学特征	3
1.3	人类活动对滨河湿地的影响	17
1.4	滨河湿地保护与生态恢复	23
2	小浪底下游黄河滩区湿地生态系统基本特征	29
2.1	小浪底下游黄河滩区自然概况	29
2.2	植物群落特征	35
2.3	湿地土壤环境特征	46
2.4	典型持久性有机污染物污染特征	65
2.5	小结	73
3	小浪底下游黄河滩区土地利用格局动态变化	75
3.1	土地利用变化研究概述	75
3.2	研究方法	79
3.3	滨河滩区土地利用格局动态变化	81
3.4	土地利用变化的驱动力分析	94
4	滨河湿地水文过程研究	100
4.1	湿地水文过程概述	100
4.2	降雨产流及非点源污染特征	106
4.3	黄河南岸滩区地下水水文过程	125
4.4	黄河北岸滩区地下水水文过程	150
4.5	滨河湿地水文交错带及生态修复关键地带	176
5	滨河湿地水质净化功能与净化机制研究	182
5.1	概述	182
5.2	试验设计与研究方法	192
5.3	实验结果与分析	195
5.4	滨河湿地氮净化功能影响因素分析	201

6 滨河湿地生态系统服务功能定量表达方法	215
6.1 生态系统服务功能价值评价的理论与方法	215
6.2 滨河湿地生态系统服务功能内涵和分类	228
6.3 滨河湿地生态系统服务功能机制分析及定量表达方法	230
7 基于生态系统服务功能的滩区湿地生态恢复模式研究	236
7.1 不同利用模式下生态系统服务功能比较研究	236
7.2 滨河湿地资源保护与利用社区意愿调查	245
7.3 滨河湿地生态保护与利用模式研究	250
8 退耕湿地生态系统恢复特征研究	261
8.1 概述	261
8.2 研究方法	268
8.3 退耕湿地典型植物群落土壤动态变化特征	271
8.4 退耕湿地氮持留能力研究	279
9 滩区农业非点源氮污染物来源辨识及控制措施	283
9.1 概述	283
9.2 研究方法	288
9.3 滩区农业非点源氮污染物来源分析	289
9.4 渠首滩区农业非点源氮污染物控制措施	299
参考文献	307

1 绪 论

1.1 河岸带与滨河湿地

1.1.1 河岸带

英文中的“riparian”一词，来源于拉丁文的“*riparius*”，原意为“of or belonging to the bank of a river”，主要指河溪岸和湖岸的生物群落（Naiman and Décamps, 1997）。早期在美国仅用于与水法、河岸水权相关联的政策和法规，河岸水权一般指靠近溪流、河流和其他水体的土地所有者，拥有使用一部分水用于灌溉、生活用水和其他目的的权利（Committee on Riparian Zone Functioning and Strategies for Management, 2002）。从20世纪70年代后期开始，随着人们对河流水量和水质的关注及对河岸带生态功能重要性的认识不断提高，围绕河岸带开展的各项研究和相关文献开始大幅度增加。

河岸带（riparian zones）是指与河流生态系统紧密联系的各种地形、生物群落和自然环境所构成的复杂景观镶嵌体组成的一个独特系统。河岸带特殊的位置，使之成为受水生环境强烈影响的陆地生境。其具有独特的自然环境特征、群落组成、混杂的植物生活史和繁殖策略，以及多变的空间结构和生态功能，使得精确表述河岸带的空间范围变得非常困难。关于河岸带的确切定义，一直存在着持续的争论（Committee on Riparian Zone Functioning and Strategies for Management, 2002）。一般认为，河岸带是指河水—陆地交界处的两边，直至河水影响消失为止的地带，包括河流高水位与低水位之间的区域，以及从高水位延展至植被受到洪水以及土壤持水能力影响的台地区域（Naiman and Décamps, 1997）。河岸带的宽度以及生态功能属性，取决于河流规模、流域特征、水文情势以及区域地形。一般上游源头区以及小型溪流的河岸带宽度较小，而河流下游冲洪积平原区域河岸带宽广。

河岸带生态系统作为水陆交错带，具有独特的植被、土壤、地形、地貌和水文特性（Brinson et al., 1981），这些特性决定了河岸带生态系统的独特性、复

杂性和动态性。受空间和时间尺度变化、气候条件、水沙动态和环境基质特征的控制,河岸带生态系统的结构、过程和功能复杂多样。许多研究表明,河岸带通过过滤和截留沉积物、水分以及营养物质等来协调河流横向(河岸边高地至河流水体)和纵向(河流上游至下游)的物质和能量流,在与之相关的土壤侵蚀控制、稳定河岸、生态廊道、提供生物栖息地以及水质改善方面都起着重要的作用。然而,由于其独特的地理位置和丰富的功能,河岸带地区已成为受人类活动干扰最为剧烈的地带之一。人类出于社会和经济目的改变河流水文特征,对河岸带地区进行直接的开发利用,这些活动对河岸带生态系统产生了不同程度的干扰和影响,如原始植物群落退化、生物多样性减少、河流水文情势改变、地下水位降低、河岸带景观均一化等(张建春和彭补拙,2003)。如何加强河岸带生态系统的资源、生态、环境管理,促进河岸带所在流域的可持续发展,已成为生态学和环境科学研究的重要热点领域。

自然河岸带是地球上陆地中的最富于多样化、动态化和复杂化的生物物理生境(Naiman and Décamps, 1997)。目前,河岸带如此宽泛和不确定的空间范围,一定程度上使得相关理论研究成果和实践应用缺乏系统性和针对性。河岸带管理和生态恢复实践,要求河岸带的定义和空间范围必须进一步精确化和细化。在此背景下,作为河岸带与河道相邻接的特殊生态系统,滨河湿地以其独特的界面特征和生态功能,越来越多地受到研究者和管理者的关注,进一步明确其生态学定义并深入开展系统研究,对于河岸带的保护与恢复实践具有极为重要的科学价值和现实意义。

1.1.2 滨河湿地

滨河湿地(riparian wetlands)是指河流两侧的河漫滩和低湿地,被洪水周期性淹没,常年或间歇性积水。已有研究者从不同的角度给出了滨河湿地的定义。例如,从水文学角度定义为“低洼陆缘生态交错区,其高水位和冲洪积土壤源于一侧邻接高地的排水与侵蚀以及另一侧河流的周期性洪水”,从功能角度定义为“陆地和水生生态系统相互影响的三维生态交错区”(Wantzen and Junk, 2008)。两个定义都指出了滨河湿地的一侧是水体,另一侧是台地的生态交错区,以及周期性或间歇性积水的特征。Wantzen 和 Junk (2008)认为滨河湿地是河岸带中在洪水期间与主河道及含水层存在水交换的区域,是景观水分平衡的缓冲地带。在丹麦著名生态学家 Jørgensen 主编并于 2009 出版的《生态系统生态学》一书中,专门将滨河湿地作为一种独特的生态系统类型加以阐述(Jørgensen, 2009)。

与河岸带相比较, 滨河湿地有着特有的内涵和外延。首先, 滨河湿地是河岸带的一个重要组成部分, 是位于河流高水位与低水位之间的岸边区域, 直接与河流相邻接, 水陆界面特征更加典型; 其次, 滨河湿地具有较典型的湿地属性, 常年或间歇性积水, 群落组成兼有水生和陆生, 空间格局和生态过程更趋动态化、复杂化。不同规模、不同发育条件的滨河湿地, 其生态学意义存在着较大的差异。

现代生态学理论承认滨河湿地在维持生物多样性和能量、物质平衡中所扮演的重要作用。滨河湿地干湿条件的交替转换, 为水生、陆生和湿地特有物种创造了适宜的生境, 而且, 滨河湿地呈廊道状延伸, 从而为距离遥远的水生、陆生种群的基因流动提供了通道。滨河湿地的周期性或间歇性积水, 使得生物地球化学作用强烈而复杂, 不同水文和环境条件下碳、氮循环过程及其生态学意义各异, 碳累积和释放、氮不同价态的转化及其生态效应趋于复杂化 (白军红等, 2002)。国内外研究表明, 位于水陆界面的滨河湿地是河岸带氮素转化、去除的重点区域, 而植物吸收和反硝化作用是湿地截留转化氮素的最主要过程 (王洋等, 2006), 不同条件下滨河湿地氮净化功能的显著差异, 反映了其除氮机制及其生态效应的复杂性和时空异质性。此外, 滨河湿地提供一些重要的生态服务功能, 如水资源提供、食物和原材料生产、侵蚀控制、消减洪水、娱乐休闲等, 具有重要的社会经济价值 (许静宜等, 2010)。

总之, 滨河湿地是河流生态系统与陆地生态系统进行物质、能量交换的一个重要过渡带, 边缘效应显著, 生态系统结构、过程和功能独特。由于长期人类活动的影响, 滨河湿地生态系统结构和生态过程遭到严重破坏, 导致生态功能减弱。滨河湿地已成为我国生态环境问题最为突出、经济发展和生态环境保护矛盾最为尖锐的区域之一。如何充分发挥滨河湿地生态服务功能, 有效控制水体面源污染, 保护河流水质, 维持生态廊道和生物多样性, 已成为国际水文学、生态学和环境科学领域持续关注的热点问题。

1.2 滨河湿地的生态学特征

与其他生态系统类型相比较, 滨河湿地生态系统具备三个主要特征: ①一般具有顺沿河流形态的线性外形; ②廊道功能, 从周围环境汇集和通过滨河湿地的能量与物质比其他类型的湿地丰富得多; ③滨河湿地生态系统具有连接上下游以及陆地和水域的双重功能 (Brinson et al., 1981)。

1.2.1 生态系统结构

1.2.1.1 空间结构

滨河湿地一般呈连续或串珠状沿河道两侧不规则分布。小规模滨河湿地从水体边缘到周期性洪水淹没区仅数十米宽，而中等规模的滨河湿地可以形成河岸植被带，大规模的滨河湿地则一般沿大型河流形成延伸数十公里宽的洪泛区，复杂性大大增加（Wantzen and Junk, 2008）。河流的上游、中下游、河口段，滨河湿地的空间形态及规模有着很大的差异。

河流上游，一般多峡谷，河流形态特点是落差大，河道相对狭窄，河流比降大，横断面小，水流侵蚀力强，河床一般由各种大小的岩石块、砾石或卵石组成，粒径较大；河道流量和流速变化大，洪水暴涨暴落，洪峰持续时间短，年径流变化大，水流挟沙能力强，水体水质较好，溶解氧含量高；滨河湿地一般不发育或规模较小，连通性差，形式上常常为碎石河漫滩、岩壁湿生生物带、岩石潮池、河漫湖等（Wantzen and Junk, 2008）。河流上游基岩区，岩壁湿生生物带常在一些地下水涌出流经岩石表面的溪流地带形成，一般以附生藻类为主，常生长着多种缺乏研究的无脊椎动物种群，该地带生物必须适应岩石表面严酷的环境条件，如周期性的冰冻和季节性干旱等。岩石潮池则常出现在一些流经基岩区的溪流，在岩石坑洼处因洪水或降雨而形成储水池，该地带生物一般能够适应短暂的储水期、高水温 and 强太阳辐射。河漫湖是河漫滩因洪水淹没汇集而成的蓄水洼地，与浅层地下水和河流水力联系紧密，是河流生境的重要组成部分，也是水生、两栖和底栖生物等生物多样性相对丰富的区域。

河流中下游，河道横断面变宽，河流比降变缓，河流深度加大；汇入支流后流量增大，但是变化幅度变小，水流趋于平稳，水流挟沙能力变小，水体透明度变小，溶解氧含量相对较小；河道两侧一般发育宽广的洪泛平原区，滨河湿地比较发育，且规模较大、连通性较好，包括一些河滩湿地、浅水湖泊和沼泽湿地，具有较典型的湿地属性，常年或间歇性积水，洪水季节被周期性淹没，泥沙沉积过程强烈，洪水退后留下丰富的有机物，土壤条件优越，群落组成兼有水生和陆生，空间格局和生态过程更趋动态化、复杂化，常常是鸟类、昆虫和两栖动物的重要栖息地。

河口区，河流的终段，与上游、中游区具有很大的区别。河口区河流比降变得更为平缓，河水流速和挟沙能力降低造成泥沙沉积，地貌复杂多变；江海之间双向水流交换频繁，河流受到海洋潮流的影响，淡水与海水混合导致水体含盐量

较高, 这里既是洄游性鱼类的必经之路, 也是淡水生物和海洋生物的栖息地。河口区泥滩、沙坝、沼泽、湖塘、沟汊纵横交错, 湿地生态系统结构复杂, 生物多样性更加丰富, 生产力高, 生物量大。

1.2.1.2 植被特征

1) 植被分布型

滨河地带作为整个流域的廊道, 其植被分布具有独特的沿河纵向分布特征, 并对河水流动、营养物质、泥沙沉积和物种产生重要影响。滨河带植被分布特征受到河流水文条件和地理因子的显著影响, 一般上游相对简单, 而下游相对复杂。

除此之外, 滨河带植被分布特征还会受到竞争、摄食、土壤、病害等生态因子的影响。在洪水等频繁的干扰下, 物种的竞争作用尽管可能并不太显著, 但是竞争作用形成的层级的确是存在的。动物种群的摄食对区域植被分布特征有着显著影响, 一些大型动物的掘洞、筑坝等生理活动同样会促发生境的改变, 其结果会增加滨河湿地生境异质性, 造成 N、P 等元素分布和生物地球化学循环过程的改变。土壤水分条件是控制植物分布的重要因子, 一些湿生或喜湿物种适应长期淹水状态, 而一些陆生物种则无法在持续的土壤淹水条件下生存。关于病虫害对植物分布型影响的研究目前尽管不多, 但是滨河带的廊道特征无疑为其传播提供了通道, 其影响也是不容忽视的 (Naiman and Décamps, 1997)。

上述因素决定了滨河带植物分布型的复杂性。廊道纵向分布效应使得上下游植物种类的交流增多, 水陆交错、干湿交替特征使得水相、陆相植被的重叠交错增加, 水文条件、地理因子、生态因子又对局域植被生境产生显著影响, 共同决定了滨河湿地植被分布的多样化、复杂化和易变性 (Richardson et al., 2007)。

2) 植物形态和生理适应性

滨河湿地的季节变化及随之而来的干湿条件变化, 为其生物群落创造了复杂严酷的环境条件, 几乎每年洪水冲刷、淹没、干旱、冰冻、盐碱以及氨等还原产物的毒害等, 均会直接影响到物种的形态、生理和繁殖策略。一般而言, 滨河湿地植物群落常由适应强干扰生境的物种组成, 根据其功能适应性, 可以分为四种类型 (Naiman and Décamps, 1997)。

- (1) 侵入种。生产大量依靠风和水传播的繁殖体, 并能在冲洪积层中殖生。
- (2) 耐受种。干扰 (如洪水掩埋或被啃食等) 过后重新发芽生长。
- (3) 抵御种。在生长季短期承受洪水、火烧或者流行病侵袭。

(4) 回避种。对特定干扰缺乏适应能力的物种,个体无法在不适应的生境生存。

一些广布种适应各类严酷环境条件,它们可以根据当地环境条件的不同而作为侵入种、耐受种、抵御种,具有多种类型的生活史策略。

洪水淹水胁迫对许多湿地植物的形态会产生显著的影响。湿地植物经过长期的进化与适应,常形成相应的形态适应机制,以增强对洪水冲刷和淹水缺氧条件,这些形态变化主要表现为通气组织和不定根的形成、根系孔隙度的变化以及根的向氧性生长、基茎明显变粗、节间和叶柄的伸长、叶柄偏上生长、皮孔膨大和增生等(潘澜等,2011)。此外,耐淹能力强的树种与弱的树种相比较,其形成层具有更强的透气能力,树种间形成层通气能力与形成层胞间隙大小有关。

3) 繁殖适应性

部分滨河湿地植物适应干湿周期变化和洪水条件,会产生一整套组合的适应特征。常见的主要适应特征包括有性和无性繁殖、种子大小、休眠时机、种子传播时机、种子传播机制及存活寿命等。例如,一些植物繁殖过程中选择在洪水退后传播种子,以确保种子能够在湿润的土壤中萌发和成长;而一些植物以洪水为运输和传播媒介,从而实现远距离的扩散繁殖等;还有一些植物则能够进行无性繁殖,脱落或掩埋的枝条能够迅速生出根系,并成长为植株(Naiman and Décamps, 1997; Richardson et al., 2007)。

1.2.1.3 生态因子

水文、地貌、光照、温度和火灾干扰等对滨河湿地生态系统的结构、动态和组成具有控制作用。其中,一些文献中认为水文因子是其最重要的控制因子(Wantzen and Junk, 2008)。

1) 水文因子

河流洪水的大小和频度决定了滨河湿地的范围、植被类型、群落结构和动态特征。一般频度相对较低的大洪水(如百年一遇洪水),其影响范围虽然往往很大,但对湿地植被生活型选择的影响相对较小;中等规模的洪水,发生频度中等,往往决定了滨河湿地生态系统的植被类型和组成;而规模较小的每年周期性洪水,则决定了植物的短期适应模式,如种子萌发和幼苗发育等。

在一些区域,旁侧支流、地下水流以及土壤和沉积层的持水能力是控制植被分布特征的重要因素。因与河流的距离不同及微地形特征差异,支流或地下水通过滨河湿地排泄和补给至主河道的滞留时间也具有很大差异。湿地保持饱和湿润

状态的能力取决于土壤和沉积层的组成和蒸发蒸腾作用的强弱。而外部水源的存在,能够使植被不必过于依赖洪水情势,在一些滨河湿地区域,地下水补给对于植物的意义比洪水更大、更稳定 (Wissmar and Beschta, 1998)。

2) 地形因子

地形因子控制着河流的流动过程和滨河湿地的发育与分布。从源头到河口,地形的变化决定着河道的坡降、稳定、侧向流动以及土壤侵蚀、泥沙运输和沉积过程,这些特征决定着滨河湿地的发育和持续变化。一般情况下,河流中下游开阔低洼的洪泛平原上滨河湿地的宽度通常较大,而上游陡峭河谷地段,只有地下水位足够高时才会形成区域性的滨河湿地。河道侧向迁移速率、土壤侵蚀与沉积作用对植被群落的分布特征的影响深刻且持久,一般河道下游平原区,河流侧向运动强烈、蜿蜒曲折,滨河湿地范围大、结构复杂、植被类型丰富,因而生态学意义更加显著。

植物群落对于其生存的土壤条件极为敏感。对于滨河湿地生态系统,土壤湿度是一个非常重要的变量,在看起来近乎平坦的洪泛平原,小的地形变化意味着淹水厌氧环境和干燥好氧环境两种截然不同的微环境;很多植物类型即使是较短期的淹水也无法适应,而一些植物则能够在持续淹水状态下生存。因此,在平原区,仅仅几个厘米的高度变化差异可能导致物种类型的彻底改变 (Kershnerl, 1997)。

3) 气候因子

气候因子控制着湿地水分和生物活跃期。如果洪水与活跃期相匹配 (如夏季洪水),洪泛平原生物就可以充分利用洪水资源。北温带区域,冬季的冰冻和干旱与春季的融雪洪水是滨河湿地地表水和地下水相互作用的主要驱动力,一般情况下冬季河溪径流减少,滨河湿地地下水向河溪排泄,而春季的融雪洪水比降雨洪水持续时间长,地表水会淹没滨河湿地并渗透补充地下水。

季节性干湿气候区 (如地中海沿岸和热带稀树草原气候区),降雨局限于持续几个月的湿季,期间常有强降雨发生。这些强降雨事件,尽管短暂,但对于陆地、滨河湿地与河溪之间的溶质、有机质和生物交流是极其重要的。在干季,滨河湿地地下水位较低并出现季节性干旱,水生生物会夏眠或迁徙至永久性水体,大部分储存的有机质会发生矿化作用。当然,一些北部和热带潮湿气候区的滨河湿地能够保持持久的潮湿条件,这些湿地往往能够累积大量的有机碳 (Wantzen and Junk, 2008)。

4) 火灾干扰

一般情况下, 自然火灾干扰事件很少发生在滨河湿地这种潮湿环境区域, 但是在干旱地区或者干旱季节, 其对滨河湿地植被类型及其分布的影响仍是非常显著的, 尤其是它控制着植被的自然演替过程。

1.2.2 生态系统过程

两个相邻生态系统的界面, 在时间和空间尺度上以及生态系统相互作用强度上具有一系列的独有特征。界面通常具有特殊的物理、化学和生物学特征, 以及能量和物质流动过程。界面拥有资源, 控制能流和物流, 是生物种群及其控制变量之间相互作用的潜在敏感区, 有相对较高的生物多样性, 为稀有和濒危物种提供生境, 一些界面可能是迁徙的居留地、基因库或者活跃的微进化场所。陆地和淡水生态系统的界面, 包括河岸带、滨河湿地、湖滨带、洪泛平原, 以及地下水与地表水交换区等, 这些界面对于环境变化尤其敏感 (Malanson, 1993; Naiman et al., 1993)。

作为河流与陆地的界面, 自然河岸带对于环境变化尤其敏感, 无疑是地球陆地中的最富于多样化、动态化和复杂性的生物物理生境 (Naiman and Décamps, 1997)。滨河湿地是河岸带的重要组成部分, 与河流邻接, 水陆界面特征相比之下更为典型。

滨河湿地生态系统是典型的过渡区、复合区、生态交错区, 具有特殊的界面系统、特殊的复合结构、特殊的景观、特殊的物质流通和能量转化途径与通道、特殊的生物类群、特殊的生物地球化学过程等, 主要表现如下: ①生境复杂化, 生物多样性迅速提高; ②植被与水文的相互作用最大化; ③时间、空间上的氧化还原电位变化更复杂, 产生不同于陆地和水体系统的更复杂的微生物和物理化学过程; ④界面区与水体、陆地有着复杂的物质交换; ⑤营养物质和沉淀物的滞留效率与界面有着密切的联系等。滨河湿地作为典型的水陆交错带, 是生态流的通道、过滤器、障、源、汇等, 由于其在能量流、物流方面的特殊地位, 因而受到人们的格外重视 (王洪君等, 2006)。

1.2.2.1 水文过程

不同河流、不同河段的滨河湿地生态系统, 其水文特征和水文过程随着河流规模、地形和洪水事件等特征差异而存在巨大差异。一般而言, 地表水是滨河湿地水文过程最常见的属性, 与此同时地下水对于滨河湿地的水文过程也是极其重要的。因此, 研究一个特定区域的湿地生态系统水文过程, 不仅要考虑地表水及

其各种因子的综合作用，还必须要考虑区域地下水的水文特征。

1) 地表水

降水是地表水过程的主要驱动力，而洪水情势则无疑是控制滨河湿地发育程度的最主要因素。受气候、地形、河道倾斜度、土壤和地质等多种因素的影响，不同滨河湿地生态系统不同时空尺度下，洪水的规模、频率、持续时间差异显著。

洪水过程的持续时间与滨河湿地上游流域区的排泄面积直接相关，相同降雨条件下，上游面积越大则洪水淹没时间越长。一般上游山地河段以汇水区小、岸坡陡峭、“V”形河谷为特征，土壤层薄、储水能力弱，一旦有降雨发生，会形成比低海拔地区大的地表汇流，河道水文峰值陡而频繁。而中下游河段，洪泛平原发育，地势低平，汇水面积大，土壤层厚、储水能力强，只有大的降雨或持续降雨才会引起河道水位的显著变化，且水位上升较平缓。

一般来说，洪水淹没频率和淹没深度与洪泛平原的高程成反比。除了河道洪水排泄外，洪泛平原的局部地形变化也会因降雨造成滞水而形成洪水，此类型在牛轭湖、河流附近的洼地、沼泽等与主河道水力联系不太紧密的区域普遍发育。

除雨季降雨导致洪水外，北方春季冰雪融水也常形成洪水，尤其是冰冻的河道春季融化过程中形成冰坝，河水受阻水位快速抬升，一旦溃坝会形成大的洪流，冲击力极强。

由于洪水情势受到多因素制约，不同地区、不同河段的滨河湿地地表水过程差别很大。尽管洪水期通常较短，但是期间河流与滨河湿地之间会发生大量的交换作用。大的洪水事件，尽管很少却起到“重置功能”，对于改变沉积层结构和植被演替阶段起到决定性作用。同时，洪水是滨河湿地上游物质输入的重要过程，也是塑造湿地地表和水文特征的关键因素，一旦洪水过程受到有效控制（如河道筑坝等），这个重要的生态过程就会切断。

2) 地下水

滨河湿地地下水与河流等地表水具有密切的水力联系，即便是在干旱季节湿地表层水消失的情况下，地下水与河流之间的联系和交换也并不会停止。一般地下水流向是朝向地表水体的，即地下水排泄补充地表水；但当地表水体维持较高水位时（如洪水期），地下水流向逆转，地表水补充地下水。

地下水与河流的补排强度常取决于冲洪积地下含水层的延展和规模大小。一般上游河段山地、阶地发育，两侧漫滩较狭窄、含水层较薄，地下水储存量相对较小，地下水与河流的补排强度有限，难以对河流水文过程形成大的影响；中下游河段地势低平，洪泛平原发育，两侧漫滩较宽，含水层延展宽度大且厚度大，