

环境与资源博士文库



洪河保护区湿地 水文生态模型研究

周德民 宫辉力 著

HYDRO-ECOLOGICAL MODELING OF
THE HONGHE NATIONAL NATURE RESERVE

中国环境科学出版社

环境与资源博士文库

洪河保护区湿地水文 生态模型研究

周德民 宫辉力 著

资助项目:

国家自然科学基金项目 (40301001)

中科院知识创新工程重要方向项目 (kzcxz-yw-425)

北京市科委重点项目 (kz200410028104)

北京市自然科学基金项目 (6032003)

中国环境科学出版社·北京

图书在版编目(CIP)数据

洪河保护区湿地水文生态模型研究/周德民, 宫辉力著.
北京: 中国环境科学出版社, 2007.8
(环境与资源博士文库, 第一辑)
ISBN 978-7-80209-533-5

I. 洪… II. ①周… ②宫… III. ①自然保护区—
沼泽化地—水文学—研究—黑龙江省 ②自然保护区—沼
泽化地—生态环境—研究—黑龙江省 IV. S759.992.35
P942.350.78

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 141179 号

责任编辑 沈 建
责任校对 尹 芳
封面设计 龙文视觉

出版发行 中国环境科学出版社
(100062 北京崇文区广渠门内大街 16 号)
网 址: <http://www.cesp.cn>
联系电话: 010-67112765 (总编室)
发行热线: 010-67125803

印 刷 北京市联华印刷厂
经 销 各地新华书店
版 次 2007 年 8 月第 1 版
印 次 2007 年 8 月第 1 次印刷
开 本 880×1230 1/32
印 张 6.875
字 数 145 千字
定 价 80.00 元 (全套 4 册, 每册 20 元)

【版权所有。未经许可请勿翻印、转载, 侵权必究】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

序

水文生态模型的研究属当前水文科学和生态科学研究的前沿领域，是现代水文科学与生态科学交叉发展中的一个亮点，它重点研究陆地表层系统生态格局与生态过程变化的水文学机理，揭示陆生环境和水生环境植物与水的相互作用关系，发现与水相关的自然社会生态环境变化的成因与调控规律，其理论和方法对湿地的保护和恢复具有重要指导作用。

黑龙江洪河国家级自然保护区是一个重要的国际湿地，被誉为“三江平原野生生物特有基因库”，具有重要的生态功能价值。《洪河保护区湿地水文生态模型研究》一书的作者，所选的研究区正位于三江平原典型沼泽湿地分布区的核心地带，是三江平原原始淡水沼泽湿地自然景观的“缩影”。研究区不但湿地类型齐全，生态系统自然完整，而且能够全面反映三江平原原始沼泽湿地的基本水文生态关系特征，具有高度的典型性和代表性。

作者所建湿地水文生态模型，是在水文生态学理论方法基础上发展起来的，它集成了众多学科的理论和技术，包含了数字高程模型，数字水网模型，遥感植被分类模型，空间分析模

型, 并得到湿地水文监测、湿地生态监测、数字生态学理论、计算机模拟技术和统计理论方法等众多理论和技术方法的支持。该书的特色在于应用遥感和地理信息系统技术支持建立了湿地水文生态模型理论和方法。湿地水文生态模型是一门新兴学科, 它的诞生和发展必将为构建我国和谐的经济社会作出重要的贡献。

中国科学院院士

林学钰

2007年5月17日

前言

水是人类和一切生物赖以生存和发展的基本要素,也是一个多功能的生态系统的关键因子,对于湿地生态系统尤其重要。湿地的存在毕竟是以“湿”这一环境要素特征为基本前提的。从水资源问题产生的背景来看,主要是人类活动破坏了水资源的生态空间,这一现象在中国的内陆平原地区尤其严重。当前湿地遭受破坏深层次原因很大程度上与水资源的缺失有关,准确地说是人类过度使用水资源等不合理的用水方式挤占了自然生态系统的水空间,由此大大压缩了自然生态系统在这个地球上的份额。目前,湿地适宜生境湿度的破坏和逐步丧失已经代替大规模湿地开垦成为自然湿地受到的最主要威胁,由于水生境破坏引发的诸多深层次生态问题已经日益引起科学界 and 环境保护人士的高度关注。

湿地及河岸都属于水陆交替过渡带的生态系统,两者都与水有着密切关联,并作为陆地生态系统和水生生态系统交互作用的生态过渡带。虽然,湿地和河岸生态系统在全球生态景观中只占有很小的比例,但是它们却受到广泛的关注,关于湿地的研究论文和专著广泛地出现在众多的出版物中 (Nuttle,

2002)。其中一个重要的原因就是由于湿地含有丰富的生物多样性,同时又是近代史上遭受人类活动破坏最为严重的生态系统。由于大规模农业开发等人类活动,我国内陆平原湿地面积急剧下降。以三江平原为例,作为全国面积最大的沼泽湿地分布区,三江平原 1949 年的天然湿地面积约为 534 万 hm^2 ,平原地区湿地面积比例达到 80.1%,当时耕地只占 8%;到 2004 年,由于大面积农业开荒,湿地已减少到 113 万 hm^2 ,仅占本区土地总面积的 10.39%,耕地已占到平原面积的 80% (Zhou Demin 等, 2006)。

湿地的特殊性和重要性,特别是其生物多样性所面临的严重威胁已受到全世界的广泛关注。由于湿地适宜生境退化,典型沼泽湿地植物在生态特征上向草甸和灌丛等旱生方向演替;同时,在生理特征上,湿地植物健康水平下降,丰度下降,濒危植物种增多以至部分物种灭绝。此外,湿地植物受损必然使湿地动物栖息地受到破坏,从而威胁湿地动物的栖息和生存。自然湿地生态结构发生变化、野生动植物生境遭到破坏,必然引发湿地自然功能退化和生物多样性丧失 (刘兴土等, 2002)。自然湿地退化不可避免地会对整个陆地自然生态系统的稳定性构成威胁,从而严重制约人类社会的可持续发展,并最终损害人类自身利益 (Girel 1994; Leitão 等, 2002)。因此,湿地退化和湿地生态系统的生物多样性丧失问题是科学界最为关注的问题之一。

为了保护湿地,中国政府自 20 世纪 80 年代起在三江平原相继建起了 20 余个湿地自然保护区。但由于湿地已经严重破碎化,各保护区被耕地包围,形似“孤岛”,其赖以生存的地表、地下水源以各种形式被截取,湿地自然保护区名存实亡,其作

为自然野生基因库的功能正在逐渐丧失。三江平原湿地在过去的 50 年数量急剧减少, 而且农业生产及其基础设施建设还在持续威胁目前残存湿地的生存质量, 高强度的人类活动造成湿地地表水疏干和地下水位下降, 使湿地的生态环境日益干旱化。

湿地生态系统形成和演化过程与特征的科学认识主要是依赖于研究者对于湿地湿生环境格局特征下生态响应的理解与定量刻画, 湿地水文生态模型理论与方法是湿地科学研究的核心之一。在当前自然湿地日益面临人类威胁而不断消亡的今天, 定量模拟湿地的湿度特征和生态格局关系, 对于保护和恢复日益脆弱的湿地生物多样性, 科学地维护及管理自然湿地生态系统所提供的特殊的生态环境服务功能, 协调人类发展与自然保护至关重要。

尽管湿地生态系统由于处于水陆交互作用地带, 具有其特有的水文和生态复杂特征, 使其发展有效的量化耦合研究方法面临更多困难。而且, 大部分湿地无资料记载, 难以获取长期的水文气象和生态定位观测数据。然而, 随着近年来 GPS 和 GIS 技术的飞速发展与普及, “3S” 技术的融合, 特别是地理信息系统技术和计算机数字模拟技术的不断提高, 湿地水文生态模型研究的有效性大大提高。正是在当前遥感和地理信息系统科学技术和理论方法蓬勃发展, 并迅速与地理科学的各个分支学科融合, 相互推动向前发展的科学发展背景下, 湿地水文生态学理论和方法得以提出和不断完善, 并且正在成为充满科学发现机遇的、备受关注的前沿科学领域。

现代水文生态学当前几个最主要的应用领域包括河流管理与流域生态系统保护、小流域治理与生态经济优化模式、脆弱生态系统恢复与重建以及洪泛平原湿地生态系统恢复与保护。虽然作

为一门全新的学科,水文生态学模型研究发展仍然面临缺乏有效的尺度转换方法,缺少相对标准统一的模型变量选择方法以及有效的模型校验方法等一些重要技术方法“瓶颈”问题。但是,自然资源的科学永续合理利用这一基本科学目标将会永远推动具有应用特征的现代水文生态学继续向前发展。湿地水文生态模型未来研究发展趋势将会具有日益明显的学科交叉特征,遥感和地理信息系统理论和技术将是学科间联系的一个重要的桥梁。另外,水文生态学的主流模型将具有更多物理机制,人类对多维湿地世界变化和发展的认识将更趋于定量化和精准化。

本专著共分为九章,第一章介绍专著研究目的意义和方法、技术路线以及国内外研究进展。第二章介绍研究区的主要自然地理特征以及湿地形成发育的基本特征。第三章介绍研究者水文生态监测设备和布设情况以及基于这些监测数据,对研究区进行的气象水文特征分析。第四章研究以 GIS 为核心基于 DEM 的数字水系和洼地数字自动提取方法,基于水文地貌特征的水文分区以及基于水文情势的水文分区。第五章研究湿地遥感分类方法与植被制图以及基于景观指数的多尺度植物生态系统格局特征分析。第六章研究水文生态空间格局的耦合特征、特定典型沼泽植物群落与水文特征耦合分布的特点。第七章研究地形指数对地表土壤湿度表征的特征及其提取与修正、群落空间分布要素的定量提取和关联分析以及聚类方法基于空间要素和湿度指数对各个群落间差异的数量分析。第八章基于水文生态耦合分析,对研究区典型沼泽湿地退化特征、驱动因素、退化机制和模式进行对比分析。第九章是在前面几章实例分析研究基础上,总结水文生态学的应用特征、湿地水文生态模型研究的主要特点以及当前研究存在的问题和未来发展趋势。

湿地水文生态模型是一门新兴学科，许多概念和范畴尚未成形，研究资料十分有限。尽管作者查阅了大量资料，努力吸收了这一领域专家学者现有的理论成果，试图建立和完善遥感和地理信息系统支持下的湿地水文生态模型理论和方法，但是由于各种主客观条件的限制，研究成果中难免会有各种各样的错误，不足之处敬请批评指正。期待与各位有志于这一领域科学研究的同仁们一起，共同为发展和完善湿地水文生态模型理论与技术方法而不懈努力！

目 录

第一章 绪 论	1
第一节 湿地水文生态模型研究的目的意义	1
第二节 国内外研究进展	5
第三节 湿地水文生态模型研究思路、技术路线、 研究特色与创新点	19
第二章 研究区的区位与自然环境特征	27
第一节 区位特征和功能区划分	28
第二节 地质地貌特征	29
第三节 气象气候特征	30
第四节 土壤特征	30
第五节 水文特征	31
第六节 动植物特征	32
第三章 湿地水文生态监测与水文特征分析	35
第一节 研究区地貌梯度分析与水文生态监测	35
第二节 主要水文气象监测仪器说明	40

第三节	研究区水文过程特征	44
第四节	典型地段土壤湿度空间梯度特征	48
第四章	地表水系统数字提取与水文地貌分区	55
第一节	数字地形构建与地表水格局数字提取的 理论和方法	55
第二节	研究区数字地形构建与数字水系统提取	64
第三节	水文地貌分区	83
第五章	湿地生态系统格局及其特征分析	90
第一节	基于遥感技术的植物生态系统数字信息提取的 理论与方法	90
第二节	基于群落尺度的湿地植物遥感分类	98
第三节	多层级生态系统植被分类制图与 空间格局分析	107
第六章	水文生态空间格局耦合分析	119
第一节	基于集水分区的水文生态空间格局特征	119
第二节	基于水文地貌的水文生态空间格局特征	121
第三节	基于水文情势的水文生态空间格局特征	124
第七章	生境湿度与群落分布关联特征分析	131
第一节	“湿度指数”与生境湿度特征表达	131
第二节	核心区湿度特征与群落空间分布特征 关联分析	137
第三节	基于多要素的群落关联特征分析	143

第八章 典型沼泽湿地退化研究	151
第一节 沼泽湿地退化特征分析	151
第二节 研究区沼泽湿地退化驱动因素分析	155
第三节 退化主导因素与退化机制分析	162
第四节 湿地退化防治的管理机制与方法分析	165
第九章 水文生态模型研究趋势与展望	169
第一节 水文生态学的应用特征	169
第二节 水文生态学的几个主要应用领域	171
第三节 未来水文生态模型研究趋势展望	176
研究结论	179
参考文献	182
后 记	202

第一章 绪 论

第一节 湿地水文生态模型研究的目的意义

一、研究背景

按照《RAMSAR 湿地公约》的定义,湿地包含所有天然或人工、长久或暂时性的沼泽地、湿原、泥炭地以及水域地带,不论该水域是静止的或流动的,是淡水或半咸水,包括低潮时不超过 6 m 的浅海区域(Ramsar Convention, 1971)。初步统计,全世界有湿地 $8.6 \times 10^6 \text{ km}^2$, 占世界陆地面积的 6.4%。其中,中国湿地总面积 $6.594 \times 10^5 \text{ km}^2$, 占国土面积的 6.5%, 居世界第四位(孙广友, 2001)。湿地是最富生物多样性、高生产力的陆地表层生态系统, 与森林、海洋一起并列为全球三大生态系统。仅在我国湿地中就有哺乳动物 65 种, 鸟类 300 多种, 约 50% 的国家一类珍稀鸟类生活在湿地中, 爬行类 50 种, 两栖类 45 种, 鱼类 1 040 种, 高等植物 2 043 种, 其中 100 多种属濒危种, 200 多种药用植物(赵魁义, 1999)。

湿地中常年或季节性积水或过湿的土地与生长栖息于其上的生物种群构成独特的生态系统。湿地生态系统处于陆地生态系统与水生生态系统之间，作为两者的过渡带，其生态价值和功能都是不言而喻的。湿地是众多珍稀濒危野生植物和动物的栖息地，它具有稳定环境、物种基因保护及资源利用功能，被誉为自然之肾、生物基因库和人类摇篮（William 等，2000；陈宜瑜，1995）。然而，湿地却是近代史上遭受人类活动破坏最为严重的生态系统，近年来湿地的特殊性和重要性，特别是其生物多样性所面临的严重威胁已受到全世界的广泛关注，湿地研究已成为当前地理科学、环境科学与生态科学等多种学科交叉研究的一个热门领域（Daily，1997；殷康前等，1998a）。

三江平原是我国湿地集中分布且面积最大的地区，也是湿地丧失最严重地区。从 20 世纪 50 年代开始，三江平原湿地开始进行大规模农业开发而受到人类活动巨大干扰，导致本区沼泽湿地面积急剧下降，目前本区沼泽和沼泽化草甸等湿地面积 50 年来减少了 80% 以上（刘兴土等，2002）。尽管我国目前已经立法禁止湿地开垦以保护湿地，但是所剩为数不多的自然湿地周围人类活动强度仍在不断加剧，侵吞和蚕食自然湿地等更加隐蔽的湿地开垦行为也从未间断过；另外，形似“孤岛”的有限自然湿地尽管多数已经成为自然保护区，但是由于其周边地区的人类活动加剧仍然日益面临湿地生境消失和退化的窘境，其作为自然基因库的功能正在逐渐丧失（周德民等，2007a）。平原地区当前普遍存在水资源紧张状况，在粮食生产利益驱动下的农业排灌系统的不断发展同全球及地区的气候变暖等因素耦合在一起，成为自然湿地生境退化与消失的主要内在驱动因素。其直接后果就是自然野生动植物生境遭到破坏，自然湿地生态

结构发生变化, 引发自然功能退化和生物多样性丧失(刘红玉等, 2004; 刘兴土等, 2002)。

黑龙江洪河国家级自然保护区(图 2-1)位于三江平原东北部, 被誉为“三江平原野生生物特有基因库”, 是三江平原原始淡水沼泽湿地自然景观的“缩影”。由于三江平原湿地被大面积开垦, 该保护区目前已成为中国东北部所剩不多的一块类型齐全、生态系统自然完整、全面反映三江平原原始沼泽内陆湿地全貌的自然保护区, 在三江平原乃至全球同一生物气候带和生物地理界中都具有高度的代表性和典型性。

对洪河保护区的景观格局初步研究显示, 目前保护区的现状植被中, 具有沼泽退化特征的小叶章-藁草群落已经占到 1/3, 草甸生态系统的面积比例已经达到 38.79%, 比沼泽生态系统的面积比例还要高出近 0.5 个百分点, 草甸和灌丛景观已经成为基质性景观。景观格局与水文地貌分区的耦合分析表明, 沼泽景观已经退缩到保护区核心区狭长地带以及北部浓江河道地带, 景观格局变化的主要驱动因素就是人类活动下的水位格局与情势变化。近年来, 由于保护区周边农场逐年完善农业排灌水利工程, 外部来水未来得及进入保护区就被全部排入黑龙江, 干旱季节还面临农业争水等问题, 造成洪河保护区的湿地生境严重退化, 其湿地多样性基因库的地位正日益受到威胁(周德民等, 2007a)。面对这种情况, 由于保护区外来水资源丧失乃至枯竭而造成的水文格局与特征变化如何引发的湿地生态系统响应? 未来的变化趋势又如何? 应该如何采取应对策略? 这些都是保护区管理部门、科学界以及社会各界急切关心的问题, 也是拯救濒临生物多样性严重威胁的洪河自然保护区所必须回答的问题。由于洪河保护区所面临的情况在目前三江平原地区具

有普遍性，因此，湿地水文生态模型研究对于整个三江平原自然湿地的保护都具有普遍的现实意义和重要的社会价值。

二、研究的目的意义

分析植物在水分胁迫（过干或过湿）下的群落组成结构、空间分布格局与演变过程，始终是湿地水文生态科学研究的核心内容（Rodrigues, 2000）。湿地水文生态模型研究的关键任务是研究湿地水文格局与特征同生态系统结构与功能之间的定量关系，目的是增加对湿地生境湿度特征机制和植物生态模式与功能的充分理解并更好地评价和利用它们，预测生态水文过程变化可能带来的后果，为良性生态水文的维持和生态水文恢复提供理论依据（Venterink, 1997; Cuntner 等, 2004）。本研究目的在于以遥感和地理信息系统作为湿地生态与水文系统参数的主要获取手段，结合有关野外台站监测数据的支撑和实地检测数据，运用空间分析理论方法与数理统计方法，建立探究北方内陆平原淡水湿地生态系统、水文系统特征与格局的理论方法。在此基础上，进一步探索内陆湿地水文生态格局耦合模型，以揭示北方内陆平原淡水湿地湿生环境作用下生态系统多样性形成发展的水文机制特征，以及各种类型淡水湿地生态结构特征和湿地生态系统与水文情势空间组合特征。从湿地水文与生态系统相互作用关系角度，揭示以湿地生境退化为核心的驱动北方内陆平原淡水湿地退化的动力学机制，促进学科交叉与综合，从理论方面推动湿地科学的发展。

湿地生态系统的生物多样性是科学界最为关注的一个研究领域。自然湿地退化不可避免会对陆地自然生态系统的稳定性构成威胁，从而严重制约人类社会的区域可持续发展，并最终损害人