

基于水生态过程和水环境效应的 湿地生态系统稳定性研究

郑李军

(煤炭科学研究总院杭州环保研究院, 杭州, 311200)

摘要: 在系统介绍湿地生态系统稳定性研究进展的基础上, 认为今后相关研究应着重考虑: 在自然和人类活动双重影响下天然湿地生态系统稳定性对水文、营养物质及生物地球化学循环等变化或波动的响应机制, 建立相关综合评价指标体系与综合评价模型, 客观评价和系统认识天然湿地生态系统稳定性的历史、现状及未来发展趋势, 提出维持湿地生态系统相对稳定的保护对策与措施。

关键词: 湿地; 生态系统; 湿地生态系统; 生态系统稳定性

中图分类号: X82

文献标识码: A

文章编号: 1006-8759(2012)03-0016-04

RESEARCH ON STABILITY OF ECOLOGICAL SYSTEMS BASED ON HYDRO-ECOLOGICAL PROCESSES AND WATER-ENVIRONMENTAL EFFECTS

ZHENG Li-jun

(Hangzhou Environmental Protection Research Institute, CCRI, Hangzhou 311201, China)

Abstract: Based on systemic introduction of the latest research development, the following viewpoints were put forward for the research on stability of wetlands ecosystem: firstly, attention should be paid to the response mechanism between the stability of natural wetlands ecosystem and the transformation & fluctuation of hydrology, nutrient and biogeochemical cycle. Secondly, related integrated assessment mode and index system should be established to objectively assess and recognize the history, present situation and future trend of natural wetlands ecosystem. Lastly, related protection countermeasures should be made to maintain the stability of wetlands ecosystem.

Keywords: wetland; ecosystem; ecosystem of wetland; stability of ecological system.

湿地被誉为“地球之肾”, 具有巨大的调蓄洪水、调节气候、控制污染、减少土壤侵蚀、美化环境、维护生物多样性、生物生产力等生态、环境和生产功能。它是介于海洋与陆地生态系统之间的一类独特生态系统, 具有季节或常年积水、生长或栖息喜湿动植物等基本特征, 是自然界最富生物多样性的生态景观和人类最重要的生存环境之一。由于近年来湿地垦殖、污染和资源的过度开

发, 湿地生态系统成为目前地球上最脆弱最敏感的生态系统。生态系统的稳定性研究长期以来一直是生态学的热点研究问题, 而湿地生态系统稳定性研究有望成为生态系统稳定性研究的重要突破口。

水生态过程、水环境过程、养分循环过程及生物地球化学过程等不同程度上直接或间接地影响到湿地生态系统的稳定性。着眼于湿地的过去、现状与未来, 着重从人为干扰下和自然影响两方面

考虑,通过系统分析研究湿地水生态过程、水环境过程及生物地球化学过程等,将湿地生态系统与相关联的生态系统进行串联研究,模拟和刻画不同干扰强度和影响程度下湿地的水资源配置、营养物质蓄积与循环情况及生物等成分或元素的时空变异特征,并探讨在这些变化或波动条件下湿地生态系统稳定性的响应机制,对于湿地生态系统稳定性研究具有十分重要的意义。

1 湿地水文

湿地水文是研究大气降水、蒸发、蒸腾、地表水流与地下水流时空变化及其与其他生境(包括生物与非生物)因素的相互作用。其中,湿地水文过程是湿地水文研究的重要内容,它主要通过改变湿地的理化环境来影响湿地生态系统的类型、结构与功能,进而控制着湿地生态系统的形成和演化^[1]。

1.1 湿地水文主要影响因素

(1) 气候变化的影响。气温升高、降水量变化、海平面上升是影响湿地水文的主要气候变化因素。气候因子(气温、蒸发量和降水量等)的变化主要通过改变湿地能量和水分收支平衡的影响来改变湿地的水文特征,从而影响湿地的水循环过程和人文条件。

(2) 人类活动的影响。在全球气候变化的大背景下,人类活动对湿地水文的影响不容忽视。水利工程(如水库、堤坝和排水渠等)修建、湿地围垦、城市化进程以及水资源开发利用对湿地水文的均会产生较大的影响,特别是大型水利工程(如水力发电站建设、跨流域调水、河流调水调沙等)对湿地水文的影响尤为突出。

1.2 湿地水文模型

湿地水文模型是定量研究湿地水文的核心内容。当前,湿地水文模型可分为以下3类。

(1) 湿地-大气界面水文模型。目前,国内外许多学者正在用模型方法分析和评价全球气候变化对湿地水文的影响。加拿大中心气候模型 GCM1 (Canadian Center Climate Model) 和英国 HADCM2 (Hadley Center Model) 模型预测结果都表明,21 世纪全球平均年降水量的变化将显著改变湿地水文和水生生态系统。在湿地蒸散量计算方面,除实测法(利用测渗仪、蒸发皿、地下水位昼夜波动来测算实际蒸散量)外,常用的模拟湿地潜在蒸散发的

经验模型主要有 Penman (Penman 开阔水体/潜在蒸散发模型)、PM(Penman-Monteith 潜在蒸散发模型)、PT(Priesley-Taylor 蒸散发模型)、Thornthwaite、Hammer-Kadlec。此外,在降水截流损失计算方面,模拟降水截流损失的经典方法是用经验关系模型描述一次暴雨事件中截流和总降水量之间的关系。Rutter 模型(Rutter 等基于冠层流水平衡而开发的数值模型)、Gash 模型(Gash 在简化 Rutter 模型基础上用一系列表达式计算一次暴雨事件中的截流损失的模型)是最有代表性的^[1,2]。

(2) 地表水-地下水耦合模型。地表水和地下水作用规律的研究,已受到国内外许多学者的重视。湿地与地下水是地表水和地下水作用规律研究中的一种重要形式。地表水模型是利用经验公式、明渠圣维南原理的连续性和动力波方程来建立,经常是小的时间步长和小、中、大的空间尺度,地下水模型则是根据达西定律和水量平衡原理建立,经常为大的时间步长和中、大的空间尺度,因此当耦合两者时,需要在时空尺度上进行数据整合^[3]。国外典型的地表水和地下水集成模型主要包括:①集成地表水模型 DAFLOW 的三维地下水模型 MODFLOW-2000; ②MODBRANCH 模型; ③SWATMOD 模型; ④IGSM 模型; ⑤MODHMS 模型; ⑥MIKE.SHE 系列模型。国内对平原区域地表水和地下水集成模型的研究比较少。刘国东等根据在若尔盖湿地进行的地下水抽水试验、地面下渗试验、土壤样本室内测试和植物样本参数测定,建立了研究区的地下水流模型、土壤水分模型、植物根系吸水模型和植物蒸发蒸腾模型,通过水势变量和水量平衡关系,将各子模型耦合成若尔盖湿地生态水文模型 ZWEHM^[4]。包气带作为联系地表水和饱和地下水的纽带,其厚度虽然在不同地理位置或厚或薄,但它具有储存和运输作用,其作用不容忽视,因此当地表水-地下水集成模型考虑包气带的运动规律时,模型的物理机理将更趋完善。

(3) 湿地水文综合模型。当前,综合模拟湿地水文过程的模型还比较少,较为常见的有 WETLANDS(多维水流和溶质迁移数值模型)、J-MODFLOW(Jorge-MODFLOW 湿地模型)和 MIKE SHE (丹麦水利研究所(DHI)在欧洲系统水文模型(SHE)基础上开发的综合水文模型^[1,2])。

2 湿地水生态过程

湿地生态系统生态过程主要研究生物过程(有机物的生产)、化学过程(营养物质循环:指大量和微量生命必需元素)和物理过程(能量流动)三个主要过程。在所有调节生态系统活动和进化的功能中,矿物质循环是极其重要的,元素循环是一个在系统内将许多其它功能连接在一起的综合过程^[5]。湿地生态水文过程是当前国际热点研究领域之一,关注于不同时空尺度湿地生态系统与水文过程之间的作用与反馈机制^[6]。

2.1 湿地水生态格局

水文过程是湿地形成、发育和演化的最重要的驱动机制,径流与生物多样性构成湿地独特的生态水文特征,湿地生态系统的发展、演替以及稳定与湿地径流和生物多样性的长期相互作用直接相关。

陈敏建等在分析湿地与径流进退、湿地生境与生物扩展关系的基础上,将湿地径流场与生物多样性场进行分离与耦合,揭示了水文-生态演变机理的湿地生态水文结构,并将湿地径流场分为:反映径流运动特征的湿地中心区(水分长期驻留的区域,在不同的水文条件下都保存水,犹如湿地心脏)和反映生物多样性分布特征的湿地活动区(不同的水文条件下水分进退的径流活动区域,此处分布湿地独有的生物生境)。湿地水文连接度、湿地破碎化、湿地消退等均影响到湿地生态水文结构与格局^[7]。近年来,在流域尺度上,水利工程建设导致湿地水生态格局阻断对湿地物种及生物多样性的生态影响倍受关注。针对黄河断流、黄河调水调沙、南水北调、大型水利工程导致的生态水文格局改变对区域生态环境的影响等也开展了大量研究。刘昌明等综合分析了南水北调东线、中线和西线工程的实施对水的调出区、调入区及其沿线地区的生态环境产生的不同影响^[8]。王国平和张玉霞系统分析了白云花水利工程的修建对地处霍林河下游半干旱区域的国家级湿地自然保护区向海带来的负面效应^[9]。

目前由于缺乏对特定区域水生态物理、化学与生物过程的综合研究,难以揭示湿地系统各组分之间交互作用机制,以及湿地系统组分与湿地系统整体之间的动态反馈机制,国内相继开展了“黄淮海地区湿地水生态过程、水环境效应及生态

安全调控”、“重大水利工程影响下长江口环境与生态安全”、“河口环境与生态系统对流域大型水利工程的响应过程和机制”等重大基础研究项目。

2.2 湿地水生态过程的重要研究方向

(1) 湿地生态需水。湿地生态需水量是湿地水生态过程研究领域中的一个重要方向。国际上湿地生态需水研究始于20世纪40年代美国鱼类和野生动物保护协会对河道内流量的研究^[6]。生态需水的核算是进行流域/区域水资源有效调配的关键,生态需水的最终目的就是要在流域内进行合理的水资源配置,在进行流域生态过程综合评价的基础上,确立合理的时空研究尺度,分析流域生态需水的时间和空间分异特征,并将其与流域水资源的时空动态相对照,确立生态需水的管理对策与战略,这将是生态水文学在水资源和水环境管理中应用的关键所在^[10]。河道系统生态需水研究方法可分为流量与水力计算法、栖息地法、水质模拟法及这几类方法的综合。流量和水力计算法主要包括Q10法、Tennant法、R2CROSS法、BBM法(Building Block Methodology,“积木”法)和湿周法,其中Tennant法是在美国和日本得到广泛应用的确定河道生态需水方法之一。

(2) 流域生态调度。生态调度可认为是考虑生态用水的水量调度,可分为流域内的生态调度和跨流域的生态调度。流域内生态调度,例如黄河调水调沙、珠江压咸补淡、引江济太、松花江污染事件的调度等。跨流域生态调度,例如湿地、湖泊补水等。对湿地上游来水实施生态调度具有明显的生态环境效应。2008年6月19日起黄河开始第8次调水调沙,首次尝试与生态调度相结合,实施有组织地向河口湿地生态补水。通过向河口三角洲湿地人工和漫溢补水,湿地水面面积增加,提供了三角洲湿地指示性植被芦苇在发芽和生长旺盛期的用水,为丹顶鹤、白鹤、大天鹅、小天鹅、疣鼻天鹅等许多水禽提供了理想栖息地,促进了芦苇植被的生长,有利于保护区植被的顺向演替和鸟类栖息地功能的恢复与改善。

3 湿地水环境过程与效应

传统湿地水环境过程和效应研究以氮、磷以及硝酸盐等常规水质参数分布及转化过程为主要内容,以水环境综合评价为重点。由于社会经济的迅猛发展,进入水体中的有机化合物不断增加,单

纯依靠常规的生化需氧量 (BOD₅)、化学需氧量 (COD)和总有机碳(TOC)等综合指标已无法反映实际水环境状况^[6]。

李鱼等在选定的实验条件下,对向海自然保护区 5 个不同类型湿地水体的表层沉积物样品进行了铅、镉的热力学吸附实验,结果表明,在湿地水环境中,生物膜对重金属迁移转化的作用相对于表层沉积物而言更重要^[11]。郭跃东等通过研究得出水位空间变化是影响湿地 N、P 营养物质空间分异的结构因素^[12]。贺强等采用模糊数学排序方法分析了黄河三角洲湿地植被在水深、土壤含盐量两个环境梯度下的空间分异规律^[13]。周俊等对沟渠和沟渠湿地进行了定义,从水文效应、生物效应和水环境效应等方面综述了目前国内外沟渠研究的进展,重点阐述了沟渠去除水体中氮、磷等营养物质和农药等污染物的机制^[14]。从相关研究中不难看出,未来湿地水环境过程与效应研究中,主要关注以下 3 个方面:湿地有毒有害污染物的环境行为;湿地生态水文过程对水质的影响;湿地水系统生源元素的迁移与转化。

4 结论

(1) 以湿地为研究对象,从完整的湿地生态系统组成、结构与功能等出发,研究在自然和人类活动双重影响下湿地生态系统稳定性对水文、营养物质以及生物地球化学循环等变化或波动的响应机制,建立相关综合评价指标体系与综合评价模型,客观评价和系统认识湿地生态系统稳定性的历史、现状及未来发展趋势,提出维持湿地生态系统相对稳定的保护对策与措施,对湿地可持续开发利用具有十分重要的现实意义。

(2) 水生态过程、水环境过程、养分循环过程

及生物地球化学过程等不同程度上直接或间接地影响到湿地生态系统的稳定性。湿地生态系统稳定性研究中,应着重考虑人为干扰和自然影响条件下湿地水生态过程及其环境效应,系统分析湿地生态系统稳定性与水文条件、营养物质和生物之间的关系及作用机制。

参考文献

- [1]章光新,尹雄锐,冯夏青.湿地水文研究的若干热点问题[J].湿地科学,2008,6(2):105~115.
- [2]邓伟,潘响亮,栾兆擎.湿地水文学研究进展[J].水科学进展,2003,14(4):521~527.
- [3]胡立堂,王忠静,赵建世,等.地表水地下水相互作用及集成模型研究[J].水利学报,2007,38(1):54~59.
- [4]刘国东,王焱,囊依,等.若尔盖湿地生态水温模型[J].水科学研究,2008,2(1):25~32.
- [5]何池全,赵魁义,余国营,等.湿地生态过程研究进展[J].地球科学进展,2000,15(2):165~171.
- [6]杨志峰,崔保山,黄国和,等.黄淮海地区湿地水生态过程、水环境效应及生态安全调控[J].地球科学进展,2006,21(11):1119~1126.
- [7]陈敬建,王立群,丰华丽,等.湿地生态水文结构理论与分析[J].生态学报,2008,28(6):2887~2893.
- [8]刘昌明.南水北调工程的环境影响[J].海河水利,2002,16(1):1~5.
- [9]王国平,张玉霞.水利工程对向海湿地的水文与生态的影响[J].资源科学,2002,24(3):26~30.
- [10]严登华,何岩,王浩,等.生态水文过程对水环境影响研究述评[J].水科学进展,2005,16(5):747~752.
- [11]李鱼,王晓丽,陈昕,等.湿地水环境中表层沉积物吸附铅、镉能力的研究[J].吉林大学学报(地球科学版),2005,35(2):231~235.
- [12]郭跃东,何岩,邓伟,等.扎龙湿地水体 N、P 营养物质空间异质性研究[J].环境科学研究,2005,18(2):51~56.
- [13]贺强,崔保山,赵欣胜,等.水盐梯度下黄河三角洲湿地植被空间分异规律的定量分析[J].湿地科学,2007,5(3):208~214.
- [14]周俊,邓伟,刘伟龙.沟渠湿地的水文和生态环境效应研究进展[J].地球科学进展,2008,23(10):1079~1083.

(上接第 12 页)

参考文献

- [1] C.Collivignarelli and CxBertanza. Simultaneous Nitrification and Denitrification Processes in Activated Sludge Plants, Performance and Applicability[J].Wat. Sci. Tech. 2002 (4-5) 40, 187~194.
- [2] N.Puznava, M. Payraudeau and D.Thomberg. Simultaneous Nitrification and Denitrification in Biofilters with Real time Aeration Control[J]. Wat. Sci. Tech. 2003 (1) 43, 269~276.
- [3] Hao X D, Doddema H J, Johan W, et al. Conditions and mechanisms affecting simultaneous nitrification and denitrification in a

pasveer oxidation ditch[J]. Bio Tech, 2002, 59: 207.

- [4] Münch E V, Lant P A, Keller J. Simultaneous nitrification and denitrification in benchscale sequencing batch reactors[J]. WatRes, 1996, 30: 277.
- [5] Watanabe Y, Masuda S, Ishiguro M. Simultaneous nitrification and denitrification in micro aerobic biofilm [J]. Wat Sci Tech, 2005,26: 511.
- [6] 吕锡武等. 同步硝化反硝化脱氮及处理过程中 N₂O 的控制研究.东南大学学报(自然科学版). 2006(1) 31,95~99.
- [7]章非娟.生物脱氮技术[M], 中国环境出版社, 1992, 92~94.