

DOI: CNKI: 32-1309/ P. 20110514. 1610. 030

# 全球气候变化对湿地生态水文的影响研究综述

董李勤<sup>1,2</sup>, 章光新<sup>1</sup>

(1. 中国科学院东北地理与农业生态研究所, 中国科学院湿地生态与环境重点实验室, 吉林 长春 130012;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

**摘要:** 近百年来全球气候呈现以变暖为主要特征的显著变化, 并且未来气温将继续上升, 降水模式也会发生改变。从气候变化对湿地水文水资源的影响、气候变化影响下湿地水文与生态的相互作用过程以及湿地生态水文模型等 3 个方面, 对国内外相关研究动态和发展趋势进行了总结分析。从中发现, 当前全球气候背景下的湿地生态水文学正在从单一湿地生态水文过程为主要对象, 发展成为以研究气候-水文-生态三者相互作用机制为主要内容的综合性、交叉性学科。现关于气候变化影响下水文-生态之间的关系多集中于单向作用的研究, 特别是水文过程对植被的影响研究较多, 缺乏对气候变化影响下湿地水文过程与生态过程相互作用机理的全面认识。气候变化对湿地生态水文的影响机制研究已经成为水文学研究亟待解决的科学问题, 而基于物理机制的湿地生态水文模型, 逐渐成为预测未来气候变化下湿地生态水文响应的重要工具。

**关键词:** 气候变化; 湿地; 生态水文; 生态水文模型

**中图分类号:** X143      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1001-6791(2011)03-0429-08

湿地是发育于水陆过渡带的独特生态系统, 具有重要的环境调节功能和生态效益。湿地生态水文由于对气候变化的高度敏感性和重要的反馈作用而倍受关注<sup>[1-2]</sup>。气候变化影响下湿地系统的气候效应、环境效应和生态效应已成为国际气候系统及全球变化研究中最活跃的领域之一<sup>[3-5]</sup>。气候变化通过改变全球水文循环的现状而引起水资源在时空上的重新分布, 导致大气降水的形式和量发生变化, 对湿地生态系统的水文过程产生重要影响; 同时, 气候变化对气温、辐射、风速以及干旱洪涝极端水文事件发生频率和强度造成直接影响<sup>[6]</sup>, 从而改变湿地蒸散发、径流、水位、水文周期等关键水文过程, 对湿地生态系统的结构和功能产生深远的影响。

IPCC 第四次评估报告指出, 近百年来全球气候呈现以变暖为主要特征的显著变化, 并且在过去 30 年里, 气候变暖在全球尺度上已对人类社会和自然生态系统产生了诸多负面影响<sup>[7]</sup>。据中国《气候变化国家评估报告》, 20 世纪中国气候变化与全球变暖的总趋势基本一致<sup>[8]</sup>。在气候变化影响下, 我国大面积湿地水资源系统的结构发生改变, 引起湿地水资源数量减少和质量降低, 导致湿地生态功能退化, 已影响和危及到区域生态安全和社会经济可持续发展。最新预测表明, 这种变暖趋势将会继续, 到 21 世纪末全球气温将会上升 1.1 ~ 6.4℃, 降雨模式也会发生显著变化<sup>[7]</sup>。未来气候变化及其所带来的水文过程的改变都将会严重地威胁湿地生态系统的稳定和健康。因此, 在全球气候变化导致的湿地干旱缺水、面积萎缩和功能退化等现实背景下, 关于气候变化对湿地生态水文影响的研究已引起国内外科学家的高度关注和重视, 成为当前气候变化和可持续发展研究领域关注的热点, 也是学术界关注的重点领域<sup>[9-10]</sup>。

**收稿日期:** 2010-09-01; **网络出版时间:** 2011-05-14

**网络出版地址:** <http://www.cnki.net/kcms/detail/32.1309.P.20110514.1610.030.html>

**基金项目:** 国家重点基础研究发展计划 (973) 资助项目 (2010CB428404); 中国科学院知识创新工程资助项目 (KZCX2-YW-Q06-2)

**作者简介:** 董李勤 (1985 -), 女, 山东日照人, 博士研究生, 主要从事湿地生态水文和水文水资源方面的研究。

E-mail: dongliqin0828@163.com

**通信作者:** 章光新, E-mail: zhgx@neigae.ac.cn

## 1 国外气候变化对湿地生态水文影响研究动态

国际上关于气候变化对水的影响方面的研究起步于 20 世纪 70 年代后期,在世界气象组织(WMO)、联合国环境规划署(UNEP)、国际水文科学协会(IAHS)等国际组织的推动下,先后开展并实施了世界气候影响研究计划(WCIP)、全球能量水循环试验(GEWEX)等项目的研究,取得了一系列涉及气候变化、水资源、洪涝和干旱等方面的研究成果<sup>[9]</sup>,到 20 世纪 80 年代气候变化对水文水资源的研究已经引起国际水文界的高度重视。湿地由于其特殊的水文物理特性,对气候变化的响应极为敏感。以下分 3 个方面总结国外关于气候变化对湿地生态水文的影响研究动态。

### 1.1 气候变化对湿地水文水资源的影响

气候变化是一项全球性的环境问题,不仅会引起水资源在时空上的分配变化,而且可能加剧洪涝、干旱灾害的发生频率,影响到区域生态乃至人类的生存环境<sup>[11-12]</sup>。气候变化对湿地水文水资源的影响具体表现在以下两个方面:一方面,气候变化将加速大气环流和水文循环过程,通过降水变化以及更频繁和更高强度的扰动事件(如干旱、暴风雨、洪水)对湿地能量和水分收支平衡产生影响,进而影响湿地水循环过程和人文条件<sup>[13-14]</sup>。另一方面,气候变化将会增加经济社会用水和农业用水,可能更多挤占湿地生态用水,使湿地水资源短缺状况更加严重。

湿地因其水源补给方式不同对气候变化的响应也存在显著差异。大气降水是高位泥炭沼泽湿地的唯一补给水源,这也导致该类湿地对气候变化的响应最为敏感<sup>[15-17]</sup>。分布在瑞典中东部的高位沼泽湿地因降水量减少导致湿地水位自 20 世纪 50 年代以来持续降低,湿地水资源短缺,湿地环境明显退化<sup>[18]</sup>。Acreman 等<sup>[19]</sup>研究也表明雨养湿地对气候变化的响应最为敏感,比以径流为主要补给方式的湿地受气候变化的影响更大。

湿地类型的多样性和湿地生态系统内部的复杂性导致气候变化对湿地水文水资源的影响方式和程度不尽相同。内陆河流域湿地水文水资源量的变化主要是由于气候变化影响下河流水文过程的变化引起的。在波兰境内的雷夫河流域,气温升高、夏季降雨量减少,导致流域潜在蒸发增加了 7%,河流水量减少,流域湿地水位随之下降 60 cm,湿地土壤含水量急剧降低<sup>[20]</sup>。在高海拔及北方高纬度地区,春夏季融雪径流是湿地水资源的主要补给来源,但气温升高导致冬季径流增加,春夏季洪水频率明显减小,湿地水量的时空分布特征及可利用性受到显著影响,导致以春夏季融雪径流为主要补给方式的湿地,其水资源量对气候变化的响应极为敏感<sup>[21]</sup>。内陆湖泊湿地(尤其是终端或是封闭性湖泊湿地)主要受降水补给,水资源量更容易受到气候变化的影响,对气候波动引起的进水量和蒸发量之间的差额变化尤为敏感<sup>[13,22]</sup>。在干旱半干旱地区,气候变化引起的水体盐碱化将会导致湿地可用水资源减少,利用 SRES(Special Report on Emission Scenarios) A1 和 B1 排放情景以及 GCMs(General Circulation Models)多模式对澳大利亚默里-达令流域盐沼湿地的模拟研究发现,2050 年湿地水体盐度将会增加 13%~19%,可能使许多脆弱性较高的沼泽湿地因为没有足够的水源供给而退化消失<sup>[23]</sup>。

气候变化通过降水事件对湿地水文水资源的影响不仅表现在降水总量上,更重要的是降水强度和频率以及降水量时空分布不均。同时,气温升高导致蒸散量增加将加剧湿地水文水资源对气候变化响应的脆弱性。

### 1.2 气候变化影响下湿地水文-生态相互作用过程的研究

就湿地生态系统而言,湿地生态水文着重研究不同时空尺度的水文与生物格局、过程的耦合特征和相互作用<sup>[24]</sup>。湿地水文条件是决定湿地生态过程的关键因子,气候变化引起的地表积水水位变化直接影响湿地植物优势种群结构的演替及氧化-还原环境的变化,导致湿地生态过程发生变化<sup>[25]</sup>;反过来,湿地生态过程也影响着湿地水文系统,湿地植被通过拦蓄沉积物、对地表水荫蔽以及蒸腾的调节作用影响着湿地水文过程。研究气候变化影响下湿地水文-生态相互作用过程与机理,对湿地水资源供需与管理、湿地生态系统保护以及全球气候变化等具有极其重要的意义。

湿地生态系统的结构和过程具有极强的时空变异性,主要是由湿地生态系统独特的水文情势决定的<sup>[1]</sup>。气候变化影响下,即使湿地水文状况发生相对较小变率的情况下,湿地生态过程也会呈现大幅度的变化<sup>[13]</sup>。就湖滨湿地而言,湖泊水位的波动对其生态系统结构和功能有着决定作用。在美国五大湖区,气候变化影响下降水、气温及蒸散发的变化导致湖泊水位波动。Mortsch等<sup>[26]</sup>研究发现季节性水位波动增加了湖滨湿地物种多样性和初级生产力,但在极端干旱或是洪涝情景下,湖滨湿地生态系统初级生产力则显著下降。在干旱半干旱地区,气候变化可能带来湿地水体盐碱化风险,进而对湿地植物群落演替产生深远的影响<sup>[13]</sup>。在澳大利亚南部,气温升高和降水量减少因地表径流减少和蒸发量增大,导致盐沼湿地水体和土壤中的盐分物质不断富集,湿地植物群落由物种丰富的淡水群落向物种匮乏的耐盐性群落发生了明显转变;而从长远看,在水文状况持续变化的情况下,这类盐碱湿地会对新的湿地水文条件做出响应,并产生耐盐物种去适应新的水文条件<sup>[23]</sup>。

湿地生态-水文之间的联系由于气候变化的影响受到更多的关注。受气候变化的影响,湿地水文-植被之间的动态时序关系表现出极大的不稳定性<sup>[27]</sup>。湿地植被通过根系吸水 and 气孔蒸腾对水文过程直接作用,同时也通过垂直方向的冠层结构和水平方向的群落分布对降雨、下渗、坡面产汇流以及湿地蒸散发产生间接影响,形成了湿地生态对水文过程的反馈作用。Milzow等<sup>[28]</sup>对奥卡万戈三角洲湿地水文与植被覆盖状况的定量相关分析的结果表明,未来干旱条件下,湿地将由于缺水而逐渐萎缩,不同生态区内的植被优势种群及植被分布状况的变化,将会对湿地水文过程产生直接控制作用。

### 1.3 气候变化与湿地生态水文模型

20世纪90年代中后期是湿地生态水文模型研究的理论探索阶段<sup>[29]</sup>。最具代表性的是1998年5月在波兰Lodz召开的UNESCO/IHP-V2.3、2.4关于生态水文学的专项研究会议,主要成果表现在对模型尺度的探索、水文过程的生态环境效应、水文格局的生态效应以及模型与制图研究<sup>[30]</sup>。由于湿地生态水文模型具有高度抽象性、灵活应用性以及良好经济性等优点,近年来相关研究已受到普遍关注。其中,强调植被结构与水文机制间的关系,并结合RS、GIS等技术手段,构建模型进行湿地水文机制与生态格局特征和响应机理的模拟是当前国际湿地生态水文学研究中的重要方向,国外学者在该领域开展了许多有益的研究探索<sup>[15,27,32]</sup>。

20世纪90年代,Venterink和Wassen评价比较了6个基于专家知识与经验相结合的生态水文模型<sup>[33]</sup>,这些模型都可定量预测基于水文特征的生境变化引起的植物群落响应特征,但是在应用尺度、应用对象和参数特征等各个方面都存在较大差异。Poiani等<sup>[34]</sup>将水文子模块和植被子模块进行耦合构建湿地生态水文模型,模拟发现只有春季降雨和融雪在生长季降雨量基础上增加10%,才能补偿由于气温升高和蒸散发增加造成的湿地水分损耗。该模型虽然将数据进行定量化的分析和模拟,但情景简单、并未考虑与融雪和春季径流相关的其它复杂的因素,尤其这些因素在气候变化影响下变异性非常大。Su等<sup>[35]</sup>利用修正后的SLURP水文模型对加拿大萨斯喀彻温省的草甸湿地水文状况进行了模拟,结果发现冻土融雪产生的春季径流对湿地水环境的维持至关重要,修正后的SLURP模型能充分体现草甸湿地水位变异性,可预测未来气候变化与土地利用变化情景下湿地水位变化。Milzow等<sup>[28]</sup>将构建的湿地生态水文模型与大气环流模型(GCMs)相结合,运用历史降水、潜在蒸散发和径流资料对模型进行率定和验证,输入时间序列信息(代表水资源利用状况和气候条件),反演历史洪水淹没范围和发生频率以及地下水位的变化等变量,能够很好的描述湿地演化过程;模型也可以预测未来长时间序列洪水分布情况,但不能对未来某一年的洪水模式进行精确预测。Acreman等<sup>[19]</sup>初步构建气候变化对湿地生态水文的影响评估框架,在确定研究目标、湿地类型以及气候变化情景的基础上,根据湿地植被环境(如水文条件、水文等)选择相应的气候模型和变量,气候变量如降雨、风速等可作为湿地生态水文模型的输入,预测湿地相关变量对未来气候变化的响应。

总之,生态水文模型作为研究气候变化对湿地生态水文影响的重要手段,其关键任务在于研究湿地水文过程同生态系统结构与功能之间的定量关系<sup>[36]</sup>。虽然近些年来国外湿地生态水文模型发展较快,但由于湿地生态-水文系统特有的复杂性,开发研制的众多生态水文模型中,数理模型还占据主导地位。但是,随着

湿地生态-水文相互作用机理性认识不断深入,具有物理机制的生态水文模型将逐渐在气候变化与湿地生态水文的关系研究中发挥重要作用。

## 2 中国气候变化对湿地生态水文影响研究现状

自 20 世纪 80 年代中后期,中国加强了气候变化及其影响方面的科学研究<sup>[6]</sup>。其中,气候变化对湿地生态水文的影响研究已取得不少成果,但主要集中在定性分析和半定量的研究上<sup>[37-40]</sup>。但由于研究的起点较高以及人力物力的大量投入,中国气候变化下的湿地生态水文学的研究领域已成为当前国内研究热点。

湿地水文状况与降雨、气温等气候要素之间是一种非线性的关系,相对较小的降雨和气温变化也会导致水文状况的较大变化<sup>[41]</sup>。湿地蒸散发作为湿地水文过程的重要组成部分,是联系植被与水文过程的重要纽带,对气候变化的响应极为显著,王昊等<sup>[42]</sup>对松嫩平原扎龙湿地芦苇沼泽湿地蒸散发的研究表明,气候变化影响下芦苇蒸散耗水的变化主要取决于最高气温、最低气温二者升温速度的差异,根据 GCMs 预测的未来气候情景,在扎龙湿地最高气温上升 1.1~3.5℃、最低气温上升 1.2~3.9℃ 的情况下,芦苇沼泽蒸散耗水量将增加 15%~22%,湿地生态需水将进一步增加,湿地水资源供应面临严峻的挑战。李林等<sup>[43]</sup>对黄河源区湿地水文与气候变化的关系研究表明,90 年代以来气温升高、降水量减少、蒸发量增大是黄河源区湖泊湿地水位下降、河流径流量减少以及沼泽湿地退化的主要原因。近 30 年来若尔盖高原湿地也呈现出暖干化趋势,沼泽湿地蒸散发量增大和水位下降,沼泽湿地的储水量明显减少<sup>[44-45]</sup>。气候变化引起湖泊湿地水位的变化主要取决于降水量、降水时间以及蒸散发的变化,20 世纪 60 年代以来,白洋淀湿地降水量减少了 13.1%,而蒸发量增加了 27.8%,湿地最高水位下降了 4.76 m,最大水面面积和水量不断减小,干淀频次也越来越高<sup>[46]</sup>。白洋淀湿地近 40 年气候的显著变化严重影响到当前湿地生态水文过程,而上游水库的截留、水利工程的建设以及水资源的开发利用等自然、人为因素的耦合作用,加速了白洋淀生态系统退化的过程<sup>[47]</sup>。

气候变化影响下的水资源量变化及气温的变化,必将不同程度地影响水体的质量,还将引起植被和生态环境的变化,从而对整个湿地生态系统的稳定性构成威胁<sup>[3,48]</sup>。呼伦湖湿地自 20 世纪 80 年代以来由于气候暖干化导致湖体盐度呈显著上升趋势,湿地水环境恶化<sup>[49]</sup>。巴音布鲁克高寒湿地由于其地域的封闭性,对气候变化尤为敏感,其湿地生态水文状况与年降水量、年均气温和上游来水量都有显著的相关性<sup>[50]</sup>。气候变化对洪湖湿地的影响主要表现在生物多样性和生态系统稳定性方面<sup>[51]</sup>。刘宏娟等<sup>[52]</sup>将 Logistic 回归模型与 CGCM3 方案 3 种排放情景相结合,预测未来气候变化情景下大兴安岭北部沼泽的退化情况以及景观格局变化,结果表明:CO<sub>2</sub> 浓度越高,气候越向暖干化方向发展,沼泽湿地的退化就越严重。

国内气候变化对湿地生态水文方面的研究侧重于气候变化下湿地蒸散发、湿地水位等基本水文因子的变化以及水文过程对植被的影响等方面,缺乏湿地水文-生态机理方面的研究以及湿地生态水文模型的构建和应用。

## 3 结论及展望

针对国内外气候变化对湿地生态水文的影响研究现状及发展态势,未来的发展趋势和热点问题体现为以下几个方面:

(1) 纵观国内外相关研究,大多数生态水文研究均是在情景分析的基础上进行“松散式”的机理识别,未能从水文过程和生态过程发生的物理机制上进行紧密耦合。全球气候变化背景下湿地生态水文学研究的重点在于湿地生态水文规律的探求和应用上,当前湿地生态水文学将从单一湿地生态水文过程为主要对象发展成为以研究气候-水文-生态三者相互作用机制为主要内容的综合性、交叉性学科。

(2) 新兴交叉学科与地学信息技术和湿地生态水文生态模型耦合的特征将会日益明显。并且,随着湿

地生态水文之间的机理性认识不断深入,具有物理机制的生态水文模型将逐渐占据主导地位。开展气候变量-水文变量-湿地生态过程之间的关系研究,解决气候模型与湿地生态水文模型尺度转换问题,实现气候模型和湿地生态水文模型相耦合,是研究气候变化对湿地生态水文影响的重要环节。

(3) 生态需水是生态水文学研究的重要内容之一,其实质是生态系统结构、功能和水分之间相互关系问题。在未来的研究中,应进一步加强气候变化对湿地系统需水机理及规律的研究,预估未来气候变化情景下湿地生态需水量的变化趋势,为湿地生态需水核算、湿地生态补水和水资源合理配置提供科学依据。

(4) 从流域尺度上研究气候变化对湿地生态水文的影响及反馈作用机制,揭示湿地生态水文格局、过程的变化机理,制定应对气候变化的湿地水资源管理和生态保护的对策措施,维系湿地生态系统的良性循环,提高流域湿地系统的整体应对气候变化的能力,保障流域水安全、生态安全和经济社会可持续发展。

#### 参考文献:

- [1] 吕宪国. 湿地生态系统保护与管理[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004. (LÜ Xian-guo. Wetland protection and management [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2004. (in Chinese))
- [2] 章光新, 尹雄锐, 冯夏清. 湿地水文研究的若干热点问题[J]. 湿地科学, 2008, 6(2): 106-115. (ZHANG Guang-xin, YIN Xiong-rui, FENG Xia-qing. Review of the issues related to wetland hydrology research [J]. Wetland Science, 2008, 6(2): 106-115. (in Chinese))
- [3] 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. (DENG Wei, PAN Xiang-liang, LU-AN Zhao-qing. Advances in wetland hydrology [J]. Advances in Water Science, 2003, 14(4): 521-527. (in Chinese))
- [4] BURKETT V, KUSLER J. Climate change: Potential impacts and interactions in wetlands of the United States, Virginia [J]. Journal of the American Water Resources Association, 2000, 36(2): 313-320.
- [5] LAHMER W, PFUTZNER B, BECKER A. Assessment of land use and climate change impacts on the mesoscale [J]. Physics and Chemistry of the Earth; Part B; Hydrology Oceans and Atmosphere, 2001, 26(7/8): 565-575.
- [6] 张建云. 气候变化对水的影响研究及其科学问题[J]. 中国水利, 2008(2): 14-18. (ZHANG Jian-yun. Impacts of climate on water resources in China and its relevant scientific problems to be further studied [J]. China Water Resources, 2008(2): 14-18. (in Chinese))
- [7] IPCC. Climate change 2007: Physical science basis contribution [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007: 996.
- [8] 《气候变化国家评估报告》编委会, 气候变化国家评估报告 [M]. 北京: 科学出版社, 2007. (Editorial board of China's national assessment report on climate change. China's National Assessment Report on Climate Change [M]. Beijing: Science Press, 2007. (in Chinese))
- [9] 张建云, 王国庆, 杨扬, 等. 气候变化对中国水安全的影响研究 [J]. 气候变化研究进展, 2008, 4(5): 290-295. (ZHANG Jian-yun, WANG Guo-qing, YANG Yang, et al. The possible impacts of climate change on water security in China [J]. Advances in Climate Change Research, 2008, 4(5): 290-295. (in Chinese))
- [10] 王浩, 严登华, 贾仰文, 等. 现代水文水资源学科体系及研究前沿和热点问题 [J]. 水科学进展, 2010, 21(4): 479-489. (WANG Hao, YAN Deng-hua, JIA Yang-wen, et al. Subject system of modern hydrology and water resources and research frontiers and hot issues [J]. Advances in Water Science, 2010, 21(4): 479-489. (in Chinese))
- [11] 任国玉, 姜彤, 李维京, 等. 气候变化对中国水资源情势影响综合分析 [J]. 水科学进展, 2008, 19(6): 772-779. (REN Guo-yu, JIANG Tong, LI Wei-jing, et al. An integrated assessment of climate change impacts on China's water resources [J]. Advances in Water Science, 2008, 19(6): 772-779. (in Chinese))
- [12] 张建云, 王国庆, 贺瑞敏, 等. 黄河中游水文变化趋势及其对气候变化的响应 [J]. 水科学进展, 2009, 20(2): 153-158. (ZHANG Jian-yun, WANG Guo-qing, HE Rui-min, et al. Variation trends of runoffs in the Middle Yellow River basin and its response to climate change [J]. Advances in Water Science, 2009, 20(2): 153-158. (in Chinese))
- [13] IPCC. Climate change and water [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2008.
- [14] 吴绍洪, 赵宗慈. 气候变化和水的最新科学认知 [J]. 气候变化研究进展, 2008, 5(3): 125-132. (WU Shao-hong, ZHAO Zong-ci. Updated understanding of climate change and water [J]. Advances in Climate Change Research, 2008, 5(3): 125-132. (in Chinese))

- [15] CLÉMENT B, AIDOU A. Report of the integrated project to evaluate the impacts of global change on European freshwater ecosystems; Hypotheses of changes in palustrine plant communities under climate change [R]. [S. l.]: European Commission Sixth framework Programme, 2007.
- [16] HUGHES P D M, LOMAS-CLARKE S H, SCHULZ J, et al. The declining quality of late-Holocene ombrotrophic communities and the loss of *Sphagnum austini* on raised bogs in Wales [J]. *Holocene*, 2010, 17: 613-625.
- [17] CHARMAN D J, BLUNDELL A, CHIVERRELL R C, et al. Compilation of non-annually resolved Holocene proxy climate records: Stacked Holocene peatland palaeo-water table reconstructions from northern Britain [J]. *Quaternary Science Reviews*, 2006, 25: 336-350.
- [18] SCHONING K, CHARMAN D J, WASTEGARD S. Reconstructed water tables from two ombrotrophic mires in eastern central Sweden compared with instrumental meteorological data [J]. *Holocene*, 2005, 15: 111-118.
- [19] ACREMAN M, BLAKE J, BOOKER D, et al. A simple framework for evaluating regional wetland ecohydrological response to climate change with case studies from Great Britain [J]. *Ecohydrology*, 2009, 2(1): 1-17.
- [20] BANASZUK P, KAMOCKI A. Effects of climatic fluctuations and land-use changes on the hydrology of temperate fluviogenous mire [J]. *Ecological Engineering*, 2008, 32(2): 133-146.
- [21] BERGSTRÖM S, CARLSSON M, GARDELIN M, et al. Climate change impacts on runoff in Sweden—assessments by global climate models, dynamical downscaling and hydrological modeling [J]. *Climate Research*, 2001, 16(2): 101-112.
- [22] DIMITRIOU E, ZACHARIAS I. Micro-climate and anthropogenic impacts on the hydroecological regime of a large freshwater body [C]// GEORGE M, THEODORE S. *Advances in Computational Methods in Sciences and Engineering*. Leiden: VSP, 2005: 822-826.
- [23] NIELSEN D L, BROCK M A. Modified water regime and salinity as a consequence of climate change: Prospects for wetlands of Southern Australia [J]. *Climatic Change*, 2009, 95(3/4): 523-533.
- [24] 章光新. 关于流域湿地生态水文学研究的思考 [J]. *科技导报*, 2006, 24(12): 42-44. (ZHANG Guang-xin. Thinking about watershed eco-hydrology research [J]. *Science and Technology Review*, 2006, 24(12): 42-44. (in Chinese))
- [25] 宋长春. 湿地生态系统对气候变化的响应 [J]. *湿地科学*, 2003, 1(2): 122-127. (SONG Chang-chun. Influence of global climate change on wetlands [J]. *Wetland Science*, 2003, 1(2): 122-127. (in Chinese))
- [26] MORTSCH L D. Assessing the impact of climate change on the Great Lakes Shoreline Wetlands [J]. *Climate Change*, 1998, 40(2): 391-416.
- [27] WOLSKI P, MURRAY-HUDSON M. Alternative futures of the Okavango Delta simulated by a suite of global climate and hydro-ecological models [J]. *Water SA*, 2008, 34(5): 605-610.
- [28] MILZOW C, BURG V, KINZELBACH W. Estimating future ecoregion distributions within the Okavango Delta Wetlands based on hydrological simulations and future climate and development scenarios [J]. *Journal of Hydrology*, 2010, 38(1/2): 89-100.
- [29] 严登华, 何岩, 邓伟, 等. 生态水文学研究进展 [J]. *地理科学*, 2001, 21(5): 467-473. (YAN Deng-hua, HE Yan, DENG Wei, et al. *Advances in the ecohydrology research* [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2001, 21(5): 467-473. (in Chinese))
- [30] 王育礼, 王烜, 孙涛. 湿地生态水文模型研究进展 [J]. *生态学杂志*, 2008, 27(10): 1753-1762. (WANG Yu-li, WANG Xuan, SUN Tao. *Wetland eco-hydrological models: A review* [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2008, 27(10): 1753-1762. (in Chinese))
- [31] 崔保山, 杨志峰. *湿地学* [M]. 北京: 北京师范大学出版社, 2006. (CUI Bao-shan, YANG Zhi-feng. *Wetlands* [M]. Beijing: Beijing Normal University Press, 2006. (in Chinese))
- [32] PORPORATO A, ODORICO P D, LAIO F, et al. Eco-hydrology of water controlled ecosystems [J]. *Advances in Water Resources*, 2002, 25: 1335-1348.
- [33] VENTERINK O H, WASSEN M J. A comparison of six models predicting vegetation response to hydrological habitat change [J]. *Ecological Modeling*, 1997, 101(2/3): 347-361.
- [34] POIANI K A, JOHNSON W C, KITTEL T G F. Sensitivity of a prairie wetland to increased temperature and seasonal precipitation changes [J]. *Water Resources Bulletin*, 1995, 31(2): 283-294.
- [35] SU M, STOLTE W J, VAN DER KAMP G. Modelling Canadian Prairie wetland hydrology using a semi-distributed streamflow model [J]. *Hydrological Processes*, 2000, 14(14): 2405-2422.

- [36] 周德民, 宫辉力, 胡金明, 等. 湿地水文生态学模型的理论与方法[J]. 生态学杂志, 2007, 26(1): 108-114. (ZHOU De-min, GONG Hui-li, HU Jin-ming, et al. Hydrological modeling of wetlands theories and methods [J]. Chinese Journal of Ecology, 2007, 26(1): 108-114. (in Chinese))
- [37] 谭学界, 赵欣胜. 水深梯度下湿地植被空间分布与生态适应[J]. 生态学杂志, 2006, 25(12): 1460-1464. (TAN Xue-jie, ZHAO Xin-sheng. Spatial distribution and ecological adaptability of wetland vegetation in Yellow River Delta along a water table depth gradient [J]. Chinese Journal of Ecology, 2006, 25(12): 1460-1464. (in Chinese))
- [38] 王丽, 胡金明, 宋长春, 等. 水位梯度对三江平原典型湿地植物根茎萌发及生长的影响[J]. 应用生态学报, 2007, 18(11): 2432-2437. (WANG Li, HU Jin-ming, SONG Chang-chun, et al. Effects of water level on the rhizomatic germination and growth of typical wetland plants in Sanjiang Plain [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2007, 18(11): 2432-2437. (in Chinese))
- [39] 李春杰, 王根绪, 胡宏昌, 等. 多年冻土区生态水文研究进展[J]. 节水灌溉, 2009(10): 28-33. (LI Chun-jie, WANG Gen-xu, HU Hong-chang, et al. Advance of research on eco-hydrology process in permafrost regions [J]. Water Saving Irrigation, 2009(10): 28-33. (in Chinese))
- [40] 许士国, 王昊. 测量芦苇沼泽蒸散发量的渗流补偿方法[J]. 水科学进展, 2007, 18(4): 496-503. (XU Shi-guo, WANG Hao. Seepage compensation method for measuring evapotranspiration over reed swamp [J]. Advances in Water Science, 2007, 18(4): 496-503. (in Chinese))
- [41] 傅国斌, 李克让. 全球变暖与湿地生态系统的研究进展[J]. 地理研究, 2001, 20(1): 120-128. (FU Guo-bin, LI Ke-rang. Progress in the study on the relationship between global warming and wetland ecological system [J]. Geographical Research, 2001, 20(1): 120-128. (in Chinese))
- [42] 王昊, 许士国, 孙砾石. 扎龙湿地芦苇沼泽蒸散耗水预测[J]. 生态学报, 2006, 26(5): 1352-1358. (WANG Hao, XU Shi-guo, SUN Le-shi. The prediction on reed swamp evapotranspiration in Zhalong wetland, China [J]. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(5): 1352-1358. (in Chinese))
- [43] 李林, 李凤霞, 朱西德, 等. 黄河源区湿地萎缩驱动力的定量辨识[J]. 自然资源学报, 2009, 24(7): 1246-1255. (LI Lin, LI Feng-xia, ZHU Xi-de, et al. Quantitative identification of driving force on wetland shrinkage over the source rigeion of the Yellow River[J]. Journal of Natural Resources, 2009, 24(7): 1246-1255. (in Chinese))
- [44] 陈克林, 陆健健, 吕宪国, 等. 中国湿地百科全书[M]. 北京: 北京科学技术出版社, 2009. (CHEN Ke-lin, LU Jian-jian, LÜ Xian-guo, et al. China Wetlands Encyclopedia [M]. Beijing: Beijing Science and Technology Press, 2009. (in Chinese))
- [45] 郭洁, 李国平. 若尔盖气候变化及其对湿地退化的影响[J]. 高原气象, 2007, 26(2): 422-428. (GUO Jie, LI Guo-ping. Climate chang in Zoigê Plateau Marsh wetland and its impact on wetland degradation [J]. Plateau Meteorology, 2007, 26(2): 422-428. (in Chinese))
- [46] 刘春兰, 谢高地, 肖玉. 气候变化对白洋淀湿地的影响[J]. 长江流域资源与环境, 2007, 16(2): 245-250. (LIU Chun-lan, XIE Gao-di, XIAO Yu. Impacts of climate change on Baiyangdian wetland [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2007, 16(2): 245-250. (in Chinese))
- [47] 王立明, 朱晓春, 韩东辉. 白洋淀流域生态水文过程演变及其生态系统退化驱动机制研究[J]. 中国工程科学, 2010, 12(6): 36-40. (WANG Li-ming, ZHU Xiao-chun, HAN Dong-hui. Study of ecosystems degradation and its driving mechanism based on ecohydrological process evolution in Baiyangdian Lake Basin [J]. Engineering Sciences, 2010, 12(6): 36-40. (in Chinese))
- [48] LEITAO A B, AHM J. Applying landscape ecological concepts and metrics in sustainable landscape planning [J]. Landscape and Urban Planning, 2002, 59: 65-93.
- [49] 赵慧颖, 李成才, 赵恒和, 等. 呼伦湖湿地气候变化及其对水环境的影响[J]. 冰川冻土, 2007, 29(5): 795-801. (ZHAO Hui-ying, LI Cheng-cai, ZHAO Heng-he, et al. The climate change and its effect on the water environment in the Hulun Lake wetland[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2007, 29(5): 795-801. (in Chinese))
- [50] 杨青, 崔彩霞. 气候变化对巴音布鲁克高寒湿地地表水的影响[J]. 冰川冻土, 2009, 27(3): 397-403. (YANG Qing, CUI Cai-xia. Impacts of climate change on the surface water in Bayanbuluk Alpine-cold wetland in the Tianshan Mountainous [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2009, 27(3): 397-403. (in Chinese))
- [51] 王慧亮, 王学雷, 厉恩华. 气候变化对洪湖湿地的影响[J]. 长江流域资源与环境, 2010, 19(6): 653-658. (WANG Hui-

- liang, WANG Xue-lei, LI En-hua. Impacts of climate change on Honghu Lake wetlands [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2010, 19(6): 653-658. (in Chinese))
- [52] 刘宏娟, 胡远满, 布仁仓. 气候变化对大兴安岭北部沼泽景观格局的影响[J]. 水科学进展, 2009, 20(1): 105-110. (LUI Hong-juan, HU Yuan-man, BU Ren-cang. Impacts of climate changes on the landscape patterns of potential mire distributions in northern Great Khing'an Mountains [J]. Advances in Water Science, 2009, 20(1): 105-110. (in Chinese))

## Review of the impacts of climate change on wetland ecohydrology\*

DONG Li-qin<sup>1,2</sup>, ZHANG Guang-xin<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Wetland Ecology and Environment, Northeast Institute of Geography and Agroecology, CAS, Changchun 130012, China; 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** The global climate is warming significantly over the past 100 years, temperatures in the future will rise, and the patterns of precipitation will be altered. Based on a comprehensive literature review, this study summarizes the research status of wetland ecohydrology from three aspects: The impacts of climate change on wetland hydrology and water resources, the interaction of wetland hydrology and ecology under the influences of climate change and wetland ecohydrological models. Over a long period, wetland ecohydrology only focuses on the ecohydrological process, however, it has been moving to the direction of an interdisciplinary science integrating interactions of climate, ecology, and hydrology. At present, studies on the interaction between wetland hydrology and ecology is mainly focused on the one-way coupling analysis, e. g. , the impact of hydrological processes on vegetation. It has been a lack of researches on the interaction mechanism between the wetland hydrological process and the ecological process under the influence of changing climate. The impact of climate change on wetland ecohydrology has become a scientific issue, and deserving a quick action from the hydrological research community. The physically-based modeling approach is expected to be the most important tool in predicting the wetland ecohydrological response to the future climate change.

**Key words:** climate change; wetland; ecohydrology; ecohydrological model

---

\* The study is financially supported by the National Basic Research Program of China (No. 2010CB428404) and the Knowledge Innovation Program of the Chinese Academy of Sciences (No. KZCX2-YW-Q06-2).