

DOI: 10.5846/stxb201401100077

董李勤, 章光新, 张昆. 嫩江流域湿地生态需水量分析与预估. 生态学报, 2015, 35(18): - .

Dong L Q, Zhang G X, Zhang K. Analysis and prediction of wetland ecological water requirements in the Nenjiang Basin. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(18): - .

嫩江流域湿地生态需水量分析与预估

董李勤^{1, 2}, 章光新^{1, *}, 张 昆²

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

2 西南林业大学, 昆明 650224

摘要:探讨了嫩江流域湿地生态需水量的计算方法, 并对流域内不同降水频率下湿地生态需水量进行了计算。在此基础上, 选择 CMIP 全球气候模式下 RCP2.6、RCP4.5 和 RCP8.5 三种排放情景, 预测 2030 年、2050 年和 2100 年嫩江流域湿地生态需水量的变化趋势。研究结果表明: 不同降水频率下的流域湿地生态需水量分别为丰水年 70.284 亿 m³, 平水年 118.696 亿 m³, 枯水年 169.343 亿 m³, 反映了其与气候条件的相关性。三种排放情景下湿地生态需水量变化受到最高、最低气温和降水量变化的共同影响, 其中 RCP2.6 情景下需水量呈先增加后减少的趋势; RCP4.5 和 RCP8.5 情景下需水量整体呈增加趋势, 到 2100 年分别达到 147.337 亿 m³ 和 132.659 亿 m³。气候变化条件下, 如何协调水资源需求间的矛盾, 维持湿地生态系统健康稳定, 将是未来研究关注的重点。

关键词:嫩江流域; 湿地生态需水量; 气候变化; 预估

Analysis and prediction of wetland ecological water requirements in the Nenjiang Basin

DONG Liqin^{1, 2}, ZHANG Guangxin^{1, *}, ZHANG Kun²

1 Key Laboratory of Wetland Ecology and Environment, Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130012, China

2 Southwest Forest University, Kunming 650224, China

Abstract: As in the case of most ecosystems, freshwater wetlands can be affected by climate change, which can alter wetland hydrology, water quality, and ecological health. Freshwater wetlands provide a number of valuable ecosystem activities, including carbon sequestration, primary productivity, floodwater storage, nutrient processing, and sediment stabilization. Further, they contribute to the high biodiversity of vegetation, macro invertebrates, fish, amphibians, reptiles, birds, and mammals. The Nenjiang Basin is one of the most important crop-production regions in China. A large portion of the headwaters of the river's basin is located at relatively higher latitude and higher altitude regions, and the natural wetlands occupy approximately 15% of the total area of the Nenjiang Basin, supporting a large number of terrestrial and aquatic organisms. However, since 1978, approximately 28% of the wetland area has been drained and converted into agricultural fields or urban development land. The conversion of wetlands for agricultural purposes and urbanization has created considerable stress on the ecological health of the Nenjiang region. Although the effects of climate change are not yet fully understood, it could be an additional source of stress for already deteriorated regional ecosystems because of the reductions in the wetland area. In addition, since the natural wetlands of the Nenjiang Basin occupy a large area, it is also

基金项目:国家重点基础研究发展计划资助项目(2010CB428404); 国家自然科学基金(41461022); 水利部公益性行业科研专项经费项目(201401014); 云南省应用基础研究计划项目(201401YD00445)

收稿日期:2014-01-10; **网络出版日期:**2014-11-19

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhgx@neigae.ac.cn

one of China's most important wetland preservation areas. This area has experienced substantial changes in climate and land use/cover, which has led to serious water resource problems. Recent studies have shown that the regional climate has become warmer and drier, and the runoff in the Nenjiang Basin has declined since the 1950s. The predicted wetland ecological water requirements were 70.284 billion m^3 , 118.696 billion m^3 , and 169.343 billion m^3 during high precipitation, flat precipitation, and low precipitation years, reflecting its correlation with the climatic conditions. Furthermore, changes in the annual maximum temperature, annual minimum temperature, annual average temperature, and precipitation were calculated from 1906 onward and projected to 2100. The annual minimum temperature showed a relatively significant increasing trend compared to the other measured factors, especially the annual maximum temperature. The changes in the maximum temperature and minimum temperature, resulting in narrowing of the diurnal temperature range, could cause the crop growth cycle to delay or advance. On the basis of the previous calculation, we selected the fifth phase of the Couple Model Intercomparison Project (CMIP5) simulations of global climate models to predict the wetland ecological water requirements from 2030 to 2100. In addition, three climatic emission scenarios were chosen, Representative Concentration Pathways (RCP) 2.6, 4.5, and 8.5. The results showed that the maximum temperature, minimum temperature, and precipitation jointly affected wetland ecological water requirement. Specifically, wetland ecological water requirement under RCP2.6 scenarios showed a decreasing trend after an initial increase, while the RCP4.5 and RCP8.5 scenarios showed an increasing trend in which by 2100, the wetland ecological water requirement reached 147.337 billion m^3 and 132.659 billion m^3 , respectively. We believe that future studies must focus on how to coordinate and balance the water requirements and maintain the sustainable development of wetlands.

Key Words: Nenjiang Basin; wetland water requirement; climate change; prediction

1 研究背景

湿地是发育于水陆环境过渡地带的生态系统,其特定的水文条件是湿地生态系统形成及其功能维持的重要因子^[1,2]。气候变化通过改变全球水文循环现状引起水资源在时空上的重新分布,并对气温、降水与干旱洪涝等极端水文事件发生频率和强度造成直接影响,进而改变湿地蒸散发、径流、水深、水文周期等水文条件和水质状况,最终影响到整个生态系统结构和功能,致使湿地生态系统演替规律及发展趋势发生变化^[1,2,3]。

嫩江流域属于全球气温变暖幅度最大的北方高纬地区,是全国七大水系之一松花江的北源,也是我国湿地主要集中分布区^[4]。分布在流域内的自然湿地,不仅能调节径流、卸载河川径流,同时具有调蓄、净化、涵养水的功能,在维系流域水安全和生态安全,调节区域小气候、水资源补给与生物多样性保护等方面发挥着极其重要的作用,也是阻止松嫩平原西部荒漠化向中东部扩展的重要生态屏障。然而,近百年气候变化带来的气温升高、水资源时空上的重新分布等问题,以及人类对水土资源不合理的开发利用,引起下游湿地入流量减少和蒸散量增加,改变湿地水文特征,造成湿地水资源短缺、旱化现象,进而导致湿地面积萎缩和功能下降^[5]。

湿地作为一个有机体,对气候变化和人类活动具有一定的自我调节能力。因此,维持湿地健康所需的水分不是在一个特定的点上,而是在一定范围内变化的,变化的范围就构成了生态系统水分需求的阈值区间。从目前研究情况来看,对湿地生态需水量的研究主要是在年内和年际两个时间尺度上进行估算,年内分为生长期与非生长期,年际分为平水年和枯水年^[6]。而对气候变化影响下的湿地生态需水量的变化研究极少^[7],更缺乏对嫩江流域整体湿地生态需水量的计算与预测分析。因此,研究气候变化背景下嫩江流域湿地生态需水量的变化状况以及未来气候变化情景模式下湿地生态需水量的变化趋势对湿地保护与湿地水资源管理意义重大,也是未来湿地生态水文的重要研究领域。

1 研究区和研究方法

1.1 研究区概况

嫩江流域位于我国东北地区中西部,地跨东北三省,自北向南流经黑龙江省的黑河市、大兴安岭地区、嫩江县、齐齐哈尔市、大庆市,内蒙古的呼伦贝尔盟和吉林省的白城市等县市区。流域全长 1370 km,流域面积 29.7 万 km²,属于温度大陆性的季风气候。近 55 年嫩江流域多年平均温度约为 2.1 ℃,多年平均降水量为 454.9 mm,其中夏季降水量占全年降水量的 70—80 %,因此夏季易发生洪涝灾害。

嫩江流域北部、西部和南部三面地势较高,为隔水边界,东南部地势低平,形成广阔的松嫩平原,为排泄区。自西向东,嫩江流域大致可分为大兴安岭山区、山区丘陵过渡地带、山前倾斜平原区与中部低平原区。其中大兴安岭山区海拔为 1000—1400 m,自北向南分布在流域西侧,西部山前倾斜平原为大兴安岭东麓的山前地带,主要由扇形台地构成,地面高程为 143—153 m,水系密布并在低平原过渡地带形成沼泽湿地。低平原地区地势低平开阔,洼地、湖泊星罗棋布,盐碱地、沼泽湿地发育,是各类湿地集中分布区(图 1)。

1.2 数据资料与计算方法

1.2.1 数据

本文的研究应用嫩江流域内国家气象台站水文气象监测资料(包括最高、最低气温、风速、水汽压、相对湿度、日照时数、净辐射、降水等)计算参照作物的潜在蒸散发量;此外,由于嫩江流域内沼泽湿地植被分布以芦苇为主,因此选取芦苇植被为代表并结合 FAO(Food and Agriculture Organization)提供的单系数法 K_c (The single crop coefficient) 确定沼泽湿地的实际蒸散发量,各时期作物参数指标如表 1 所示。

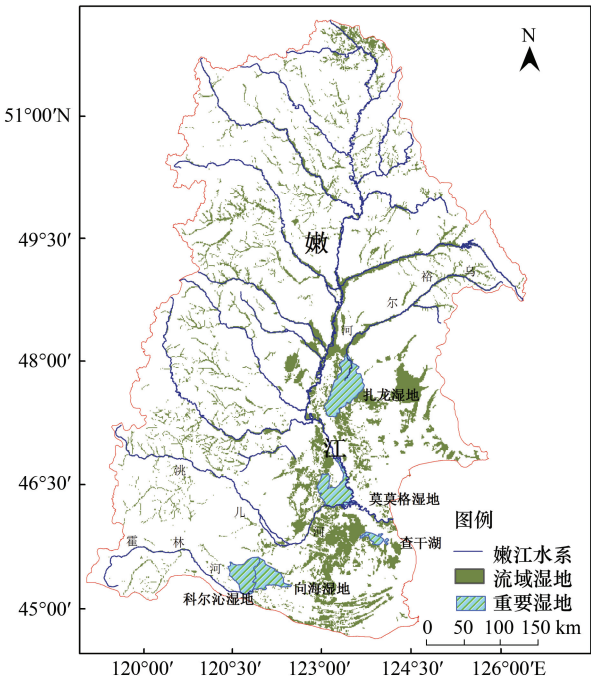


图 1 嫩江流域湿地分布图
Fig.1 Distribution of the wetlands in Nenjiang Basin

表 1 嫩江流域沼泽湿地芦苇各时期的参数指标

Table 1 The parameter index of reed in different period in the marsh of Nenjiang Basin			
沼泽湿地 Marsh wetland	时间段/月-日 Period of time/month-date	芦苇 K_c Reed K_c	水面 K_c Surface of the water K_c
$K_{c_{ini}}$ (The initial crop coefficient)	04-01—05-31	1.00	0.65
$K_{c_{mid}}$ (The crop coefficient in the mid)	06-01—08-31	1.20	0.65
$K_{c_{end}}$ (The crop coefficient in the end)	09-01—09-30	1.00	0.65

由于 FAO 推荐的作物系数是针对美国东南部地区,其气候温暖潮湿,而嫩江流域气候干燥,因此根据前人实验结果^[8,9]调整沼泽系数, $K_{c_{ini}}$ 、 $K_{c_{mid}}$ 和 $K_{c_{end}}$ 分别调整为 1.48、1.12 和 1.28,水面 K_c 调整为 0.94。利用 ArcGIS 空间分析软件,将嫩江流域土壤类型数据与湿地遥感数据叠加处理,得出沼泽湿地范围内各土壤类型的分布面积以及土壤厚度等参数。发现嫩江流域内分布着暗棕壤、黑钙土、栗钙土、草甸土、沼泽土、潮土、水稻土等约 47 种亚类土壤类型,其土壤厚度从 34 cm 到 150 cm 不等,平均土壤厚度为 102.7 cm,平均土壤容重为 1.14 g/cm³,平均田间持水量为 40.4%。

湿地生态需水量预测采用的气象数据来自 CMIP5 (the Fifth phase of the Couple Model Intercomparison

Project) 全球气候模式的模拟结果,是由包括 BCC-CSM1-1、BNU-ESM、CCSM4、CNRM-CM5 在内的共 21 个全球气候模式的模拟结果,经过差值计算统一降尺度到统一分辨率下,并利用简单平均方法进行多模式集合制作而成。CMIP5 全球气候模式包括 1901—2005 年 Historical 和 2006—2100 年 RCP2.6 (Representative Concentration Pathways)、RCP4.5 和 RCP8.5 排放情景下的月平均资料,本文将选取三个排放情景下 2006—2100 年的模拟结果进行气候变化趋势的分析,并选取 2030 年、2050 年和 2100 年的模拟结果进行湿地生态需水量的预测分析。

1.2.2 方法

广义上讲,湿地生态需水量是指湿地为维持自身发展过程和保护生物多样性所需要的水量,包括植物需水量、土壤需水量和野生生物栖息地需水量三部分;狭义而言,湿地生态需水量是指湿地每年用于生态消耗而需要补充的水量,即补充湿地生态系统蒸散需要的水量。文中湿地生态需水量的计算用的是广义上的概念,其中湿地植物、土壤和野生生物栖息地需水量的内涵如下:

① 湿地植物需水量

植被蒸散发量大小与植物种类、组成结构、植被面积及盖度等因素有关,在正常生育状况下(即水分充足),常常采用彭曼公式计算植物潜在蒸散发,再根据植被类型用 K_e 单系数法进行校正。

估算大尺度区域或流域湿地植物需水量时,常常将湿地植被面积与蒸散发量的乘积看作植物需水量,公式为:

$$dW_p/dt = A(t) ET_m(t) \quad (1)$$

式中, dW_p 为植物需水量; $A(t)$ 为湿地植被面积; ET_m 为蒸散发量; t 为时间。其中,计算蒸散发用的是 FAO 提供的彭曼公式。

② 湿地土壤需水量

湿地土壤需水量与湿地植物生长及其需水量密切相关。不同类型的湿地土壤,其田间持水量、土壤容重、土壤厚度等特性均不相同,需水量也会出现差异。根据研究的需要,通常按照田间持水量或用饱和持水量参数进行计算,从理论公式上可表达为:

$$Q_t = \alpha \gamma H_t A_t \quad (2)$$

式中, Q 为土壤需水量; α 为田间持水量或者饱和持水量百分比; γ 为土壤容重; H_t 为湿地土壤厚度; A_t 为湿地土壤面积。

③ 野生生物栖息地需水量

在计算大区域或者流域内野生生物栖息地需水量时,由于湿地分布广而又分散,各类指标不可能一一测出,因此,通常根据栖息地水面面积百分比和水深进行计算。嫩江流域内沼泽湿地面积广而分布比较分散,因而计算野生生物栖息地需水量时,以各重点湿地保护区内的野生生物栖息地需水量代表整个嫩江流域。

依据以上分析,确定通过水面面积百分比和水深要素计算野生生物栖息地需水量的公式为:

$$dW_q/dt = A(t) CH(t) \quad (3)$$

式中, W_q 为野生生物栖息地需水量; $A(t)$ 为湿地面积; C 为水面面积百分比; $H(t)$ 为水深; t 为时间。

目前为止,湿地生态需水量用到的预测方法有传统预测方法、专家评价方法和情景分析方法等。情景分析预测法是建立在对研究对象未来状态或趋势进行多种可能性推断的一种预测方法,即假设事物的发展变化存在很大不确定性,难以精确预测,因此给出未来发展的多种可能性,情景分析得出的是定性、定量相结合的结论,可以有效地降低预测风险。本文在充分考虑嫩江流域湿地气象因子历史变化趋势的前提下,选取情景分析方法,进行湿地生态需水量的预测分析。

2 嫩江流域湿地生态需水量的计算

嫩江流域内沼泽植被分布面积较广,因此首先对不同降水频率下流域内各月沼泽湿地植被需水量进行计

算,并根据上述公式对嫩江流域内各种土壤类型需水量以及野生生物栖息地需水量进行计算,得到不同降水频率下嫩江流域沼泽湿地适宜生态需水量,在丰水年(25%降水频率)、平水年(50%降水频率)和枯水年(75%降水频率)湿地适宜生态需水量分别为 70.284 亿 m^3 、118.696 亿 m^3 、169.343 亿 m^3 。由于嫩江流域存在多尺度丰枯水变化周期,并且降水与径流两者演变周期基本一致^[10],在枯水年,降水量的减少,导致湿地生态需水量的增加。并且从不同降水频率下嫩江流域沼泽湿地适宜生态需水量年内变化过程曲线(图 2)可以看出:嫩江流域沼泽湿地生态需水量年内季节变化比较大,特别是在 4—9 月份的生长季,枯水年湿地生态需水量呈现较大增幅。具体表现为:5、6 月份湿地生态需水量最大,占全年湿地生态需水量的 30%以上,主要原因在于春季干燥,降水量少而蒸发量大;7 月份湿地生态需水量急剧下降,是由于嫩江流域进入丰水季节,降水量增多,补充湿地需水。从各季节湿地生态需水量变化趋势来看,春季和夏季的湿地生态需水量最大,秋季次之,75%、50%和 25%降水频率下,4—9 月月平均湿地适宜生态需水量分别为 136.470 亿 m^3 、91.875 亿 m^3 、53.235 亿 m^3 ,占全年适宜生态需水量的 70%—80%;冬季最小,75%、50%和 25%降水频率下,冬季适宜生态需水量分别为 5.717 亿 m^3 、4.246 亿 m^3 、1.910 亿 m^3 ,仅占全年湿地适宜生态需水总量的 3%左右。以上分析可以看出,不同降水频率下嫩江流域沼泽湿地生态需水量的变化过程符合季节气候水文条件和湿地生态规律。

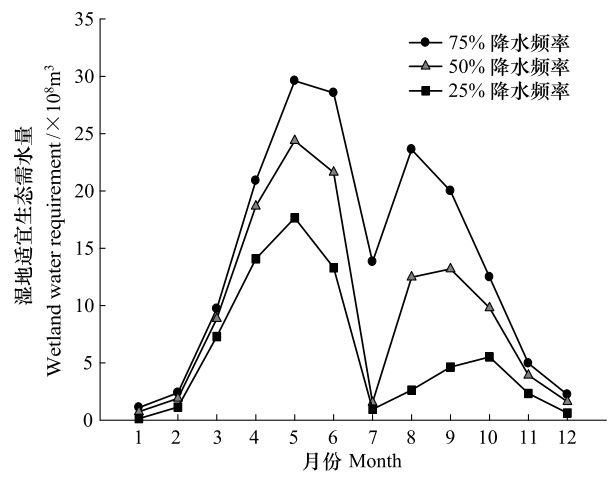


图 2 不同降水频率下嫩江流域湿地适宜生态需水量年内过程
Fig.2 Annual distribution of optimum ecological water requirements in the Nenjiang Basin under different precipitation frequency

3 气候变化情景下嫩江流域湿地生态需水量的预测

3.1 设置不同情景模式

为了预估未来全球和区域气候变化情况,必须事先提供未来温室气候和气溶胶等的排放情况,即排放情景。排放情景通常是根据一系列因子假设得到的,包括经济发展、人口增长、技术进步、全球化、环境条件、公平原则等。对应未来可能出现的不同社会经济发展状况,要制作不同的排放情景。

此前 IPCC 曾先后发展了两套温室气体和气溶胶排放情景,及 1992 的 IS92 排放情景和 2000 年的 SRES 排放情景,但目前来看,早已需要更新和补充^[11]。2011 年 Climatic Change 出版专刊,介绍新一代排放情景,并对 4 种情景分别作了详细的分析^[12,13]。新一代情景叫做“典型浓度目标”(Representative Concentration Pathways),简称 RCPs。4 种情景分别为 RCP8.5、RCP6.0、RCP4.5 和 RCP2.6。其中前三个情景模式大致同 2000 年方案中的 SRES A2、A1B 和 B1 相对应。本文选取 RCP8.5 情景、RCP4.5 情景和 RCP2.6 情景分析未来 2030 年、2050 年和 2100 年气候变化的情况,以及未来各种情景下流域湿地生态需水量的变化趋势。RCP 三种情景的简单情况如表 2 所示:

表 2 不同气候情景下典型浓度目标

Table 2 Representative Concentration pathways under different climate scenarios

情景 Scenarios	具体描述 Detailed description
RCP8.5	辐射强迫上升到 8.5 W/m^2 ,2100 年之后 CO_2 的当量浓度达到 1370×10^{-6}
RCP4.5	辐射强迫稳定在 4.5 W/m^2 ,2100 年之后 CO_2 的当量浓度达到 650×10^{-6}
RCP2.6	辐射强迫在 2100 年之前就达到峰值,到 2100 年下降至 2.6 W/m^2 , CO_2 的当量浓度峰值约为 490×10^{-6}

3.2 不同排放情景下气候变化趋势

对 2006—2100 年嫩江流域范围内 RCP2.6、RCP4.5 和 RCP8.5 排放情景下的降水、均温、最高温、最低温变化趋势进行分析发现:

RCP2.6、RCP4.5 和 RCP8.5 三种排放情景下的年降水量在 2006—2100 年差异很大,从图 3(a)中可以看出,RCP2.6 情景下的降水量趋势稳定,无明显变化;RCP4.5 情景下的降水量呈现先增加、后趋于稳定的变化趋势;RCP8.5 情景下的降水量呈持续显著增加趋势。对 RCP2.6、RCP4.5 和 RCP8.5 三种排放情景下嫩江流域年均气温、最高温和最低温进行分析(图 3(b)、图 3(c)、图 3(d))发现,2006—2030 年三种情景下年均温、最低温和最高温的变化趋势基本一致。从图 3(b)中可以看出,2030—2100 年,RCP2.6 情景下的年均温度增长缓慢并趋于平稳,RCP4.5 情景下的年均温度稳定增长,RCP8.5 情景下的年均温度增长幅度最大。

但对比图 3(c)和图 3(d)发现,三种排放情景以年均最低温的增温幅度最大,为 $0.665\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,其次为年均温度,为 $0.629\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,年均最高温度增温幅度最小,为 $0.611\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 。年均最高温和最低温之间差值的缩小,导致昼夜温差变小^[14],会使一天中的热量循环周期发生变化,使热量累积达到峰值的时间和大小都发生改变,导致某些作物的最佳生长周期的推迟或提前。

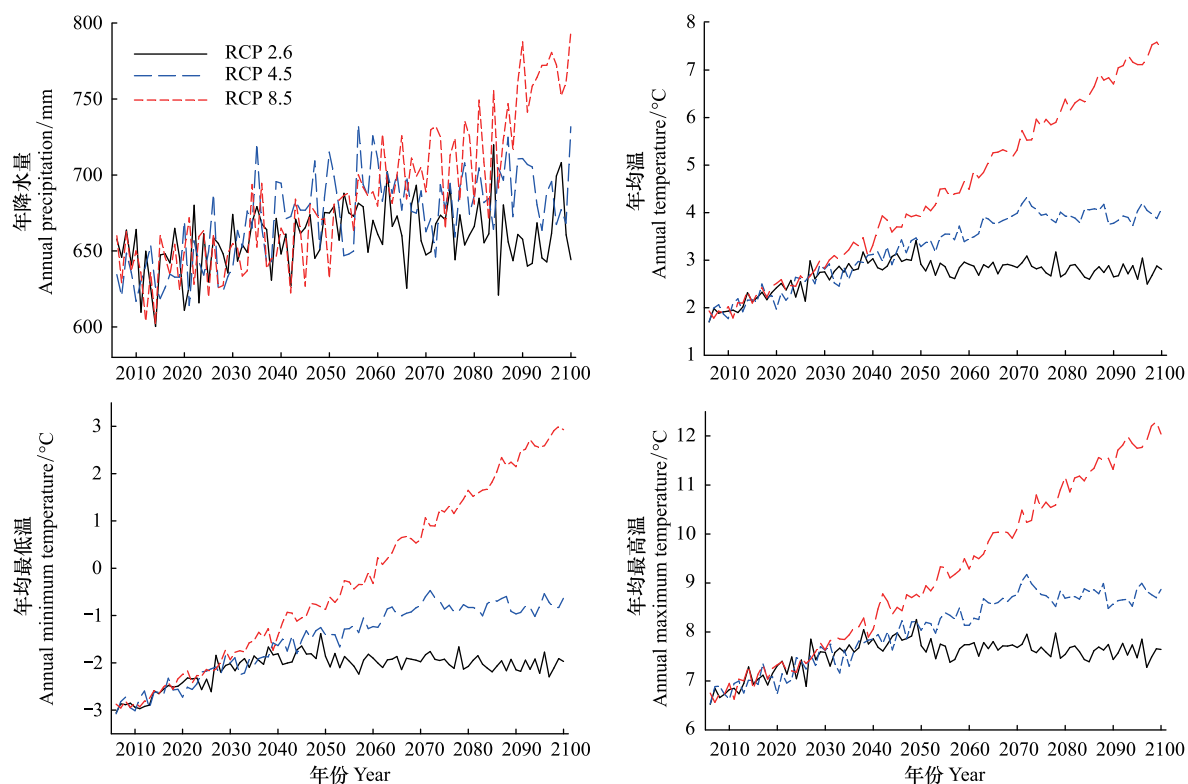


图3 嫩江流域 1906—2100 年 (a) 年降水量、(b) 年均温、(c) 年均最低温和 (d) 年均最高温变化趋势

Fig.3 Trend of (a) annual precipitation, (b) annual temperature, (c) annual minimum temperature and (d) annual maximum temperature in Nenjiang Basin from 1906—2100

3.3 三种不同排放情景下湿地生态需水量变化趋势

通过对湿地生态需水量的计算可以看出,湿地生态需水量中以植物需水量所占比重最大,并且受气候变化影响也较大。因此,对三种排放情景下湿地生态需水量的计算只计算植被需水量部分,并根据相应的最高温、最低温和降水变化预测未来三种排放情景下嫩江流域湿地生态需水量的变化趋势(图 4)。

对比三种排放情景下嫩江流域的湿地生态需水量可以发现,RCP2.6 情景、RCP4.5 情景和 RCP8.5 情景三种排放情景下湿地生态需水量在 2030—2100 年期间的变化趋势并不一致。到 2030 年,嫩江流域湿地生态需水量为 RCP2.6 情景 < RCP4.5 情景 < RCP8.5 情景,具体三种排放情景下湿地生态需水量年变化趋势分析

如下:

(1) RCP2.6 情景下湿地生态需水量呈现先增加后减少的趋势,主要是由于该情景下提倡应用生物质能、恢复森林,是最低端排放情景,其中 21 世纪后半叶能源应用为负排放,因此到从 2050 年到 2100 年,其湿地生态需水量呈现明显减少趋势;

(2) RCP4.5 情景下湿地生态需水量在 2030—2050 年变化不大,主要是由于在此期间,降水量增加幅度明显高于温度,对湿地生态需水有一定的补充作用;2050—2100 年期间,湿地生态需水量大幅增加,主要是由于期间降水量呈现减少并趋于稳定变化趋势,但温度却持续增加,使该情景下需水量达到最大值;

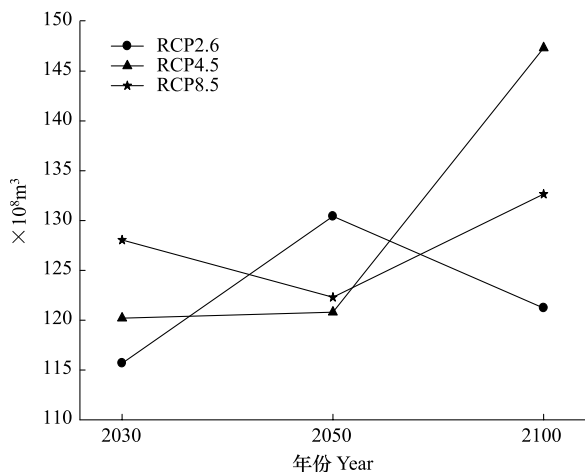


图4 嫩江流域不同排放情景下湿地生态需水量预测

Fig.4 Ecological water requirements prediction under different emission scenarios in the Nenjiang Basin

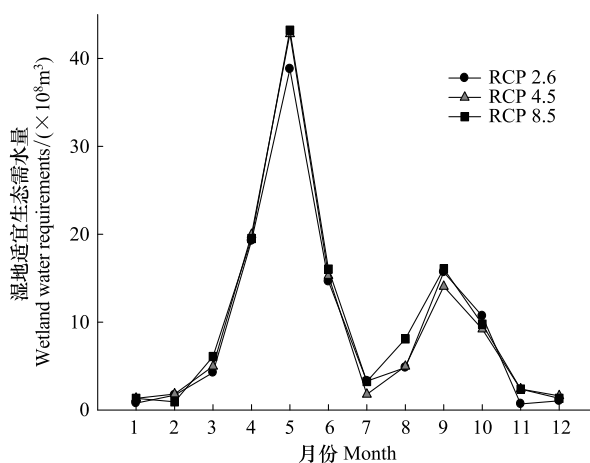


图5 不同情景下 2030 年嫩江流域湿地适宜生态需水量年内过程预测

Fig.5 Predication of annual distribution of optimum ecological water requirements in the Nenjiang Basin under different emission scenarios in 2030

(3) RCP8.5 情景下湿地生态需水量在 2030—2050 年期间呈现减少趋势,是由于在此期间降水量增加幅度远远大于温度的增加幅度,增加的降水量不仅可以抵消由于温度升高带来的蒸散发的增加,还可以对湿地有一定的水资源补给作用;但 2050—2100 年期间,湿地生态需水量有大幅增加,主要是由于在最高温室气体排放情景下,即使降水量有增加趋势,但温度的持续快速增长,以及人口增加、能源改善缓慢带来的影响,都必然会导致湿地生态需水量的增加。

选择三种情景下 2030 年月湿地生态需水量分析其变化趋势(图 5),可以看出,植物生长季(4—9 月份)湿地生态需水量占全年湿地生态需水量的比例达到 80%左右,说明植被需水量是湿地生态需水量最主要的组成部分;一年之内以 5 月份需水量最大,是由于 5 月份降水不多,但植被开始生长,需水量较大,符合植物生长规律;湿地需水量在 5 月份达到顶峰后,在 7 月份迅速降低,是由于 7 月份降水量最大,补充湿地水资源需求;冬季需水量最小。

4 结论与讨论

(1) 关于嫩江流域内湿地生态需水量以往的研究都是关于扎龙湿地、向海湿地等具体湿地保护区进行需水量计算,缺乏对整个嫩江流域整体沼泽湿地生态需水量的认识和了解。本研究湿地生态需水量的计算是为蓄水量和耗水量之和,不包含降水量,并同时考虑降水频率的影响。研究表明嫩江流域不同降水频率下的湿地生态需水量分别为:丰水年(25%降水频率)70.284 亿 m³,平水年(50%降水频率)118.696 亿 m³,枯水年(75%降水频率)169.343 亿 m³;在年内变化的趋势表现为春夏较大、秋季次之,冬季最小。研究结果也反映了湿地生态需水量与气候条件的相关性。

(2) 选择 CMIP 全球气候模式,在 RCP2.6、RCP4.5 和 RCP8.5 三种排放情景下,预测 2030 年、2050 年和

2100 年嫩江流域湿地生态需水量的变化趋势,分析结果表明:RCP2.6 情景下需水量呈先增加后减少的趋势;RCP4.5 和 RCP8.5 情景下需水量整体呈增加趋势,到 2100 年分别达到 147.337 亿 m^3 和 132.659 亿 m^3 ,其变化受到最高气温、最低气温和降水量变化的共同影响。

在气候变暖、降水量及格局发生变化的现状下,嫩江流域水资源供需矛盾将会更加尖锐。而如何协调水资源需求间的矛盾,维持湿地生态系统健康稳定,实现水资源持续发展,将是未来研究关注的重点。另外,湿地生态需水量是一个动态的值,随着生态保护目标的改变或者经济社会的发展其值也必然不同。

参考文献 (References):

- [1] Brock T C M, Vierrsan W V. Climatic change and hydrophite-dominated communities in inland wetland ecosystem. *Wetland Ecology and Management*, 1992, 2(1): 37-49.
- [2] Nielsen D L, Brock M A. Modified water regime and salinity as a consequence of climate change; prospects for wetlands of Southern Australia. *Climatic Change*, 2009, 95(3/4): 523-533.
- [3] Finlayson C M, Davis J A, Gell P A, Kingsford R T, Parton K A. The status of wetlands and the predicted effects of global climate change; the situation in Australia. *Aquatic Sciences*, 2013, 75(1): 73-93.
- [4] 刘兴土. 东北湿地. 北京: 科学出版社, 2005.
- [5] 董李勤, 章光新. 嫩江流域沼泽湿地景观变化及其水文驱动因素分析. *水科学进展*, 2013, 24(2): 177-183.
- [6] 李九一, 李丽娟, 姜德娟, 李俊伟. 沼泽湿地生态储水量及生态需水量计算方法探讨. *地理学报*, 2006, 61(3): 289-296.
- [7] Wang H, Xu S G, Sun L S. Effects of climatic change on evapotranspiration in Zhalong Wetland, Northeast China. *Chinese Geographical Science*, 2006, 16(3): 265-269.
- [8] 唐蕴, 王浩, 严登华. 向海自然保护区湿地生态需水研究. *资源科学*, 2005, 27(5): 101-106.
- [9] 王昊, 许士国, 孙砾石. 扎龙湿地芦苇沼泽蒸散耗水预测. *生态学报*, 2006, 26(5): 1352-1358.
- [10] 徐东霞, 章光新, 冯夏清. 嫩江流域径流量多时间尺度特征分析. *资源科学*, 2009, 31(9): 1592-1598.
- [11] IPCC. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt K B, Tignor M, Miller H L. Cambridge: Cambridge University Press, 2007: 996-996. (请核对本条文献格式)
- [12] Van Vuuren D P, Edmonds J A, Kainuma M, Riahi K, Weyant J. A special issue on the RCPs. *Climatic Change*, 2011, 109(1/2): 1-4.
- [13] Van Vuuren D P, Edmonds J A, Kainuma M, Riahi K, Thomson A, Hibbard K, Hurtt G C, Kram T, Krey V, Lamarque J F, Masui T, Meinshausen M, Nakicenovic N, Smith S J, Rose S K. The representative concentration pathways: an overview. *Climatic Change*, 2011, 109(1/2): 5-31.
- [14] Easterling D R, Horton B, Jones P D, Peterson T C, Karl T R, Parker D E, Salinger M J, Razuvayev V, Plummer N, Jamason P, Folland C K. Maximum and minimum temperature trends for the globe. *Science*, 1997, 277(5324): 364-367.