

Impact of Climate Change on Change of Groundwater Recharge Based on SWAT Model

Lei Wang, Aidi Huo*, Jucui Wang, Yujie Ji, Jixiang Geng, Zhe Cao, Congyi Li

College of Environmental Science & Engineering, Chang'an University, Xi'an Shaanxi
Email: huaoidi@163.com

Received: May 4th, 2018; accepted: May 22nd, 2018; published: May 29th, 2018

Abstract

Studying the impact of future climate change on water equilibrium factors and groundwater recharge is very important for the exploitation and utilization of groundwater resources in the basin. Based on SWAT (Soil and Water Assessment Tool) model, the variation of water equilibrium factors and groundwater recharge in Xi'an Heihe River Basin under the future climate change scenarios is simulated. The result indicated that: 1) The SWAT model is of higher adaptability and accuracy in water resources simulation of the Heihe River Basin. 2) In the next 50 years of the basin, the amounts of surface and groundwater runoffs decrease year by year, and they have a higher degree of response to precipitation; evapotranspiration and precipitation gradually increase, and they are affected by various climatic factors such as temperature and precipitation. 3) The amount of groundwater recharge shows a decline over the next 50 years. Precipitation is the main factor affecting groundwater recharge in the short run; however, other factors such as temperature also strongly affect groundwater recharge in a long time series.

Keywords

SWAT Model, Xi'an Heihe River Basin, Groundwater Resources, Climate Change

气候变化下基于SWAT模型的地下水补给变化研究

王磊, 霍艾迪*, 王菊翠, 吉玉洁, 耿继祥, 曹哲, 李聪怡

长安大学环境科学与工程学院, 陕西 西安
Email: huaoidi@163.com

*通讯作者。

收稿日期：2018年5月4日；录用日期：2018年5月22日；发布日期：2018年5月29日

摘要

在气候变化的情况下，研究未来流域各水均衡要素及地下水的补给变化情况，对未来流域的地下水资源的开发利用非常重要。本文利用SWAT模型对西安黑河流域未来气候变化情景下，水均衡要素及地下水补给情况进行模拟。结果表明：1) SWAT模型对西安黑河流域水资源模拟适用性良好；2) 在未来的50年，流域的地表径流量与地下径流量逐年减小，对降水的响应程度都较高；蒸散发量和降水量逐渐增加，受温度和降水等多种气候因素的影响；3) 未来50年的地下水补给量整体上有所下降，降水量在短期内是影响地下水补给量的主要因素；而在长时间系列内，温度等其他因素也会较强的影响地下水补给量。

关键词

SWAT模型，西安黑河流域，地下水资源，气候变化

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

水是生命之源，是地球上生物赖以生存的根本要素，目前我国地表水资源已经不能满足地球生物的生存发展，地下水资源成为了水资源开发的又一重点。地下水资源变化受气候变化和人类活动两方面的影响。而20世纪80年代以来，许多关于全球气候变化的研究，发现在过去的近100年间，全球平均气温上升了 $0.3^{\circ}\text{C}\sim 0.6^{\circ}\text{C}$ [1] [2]。受气候变化的影响，干旱、洪涝等极端气候事件发生的频率也逐渐的升高，气候变化的程度越来越大，人类也开始更多的关注气候变化对地下水资源的影响，一方面气候变化使人们更依赖于地下水资源，对地下水的需求量升高，在降雨充沛的丰水期，人类更多的利用地表水，而在降水量较少的干旱环境下，更多的依赖于地下水[3]。另一方面气候变化会引起流域的降水量和气温的变化，降水的变化影响到区域降水量大小以及时空分布的变化，气温的变化会改变蒸散发量，这就决定了流域的产流量和地下水的补给量多少和分布情况[4]，从而影响地下水资源的可持续开发利用。

自上世纪70年代，国内外学者开始更多的关注气候变化对地下水影响。国外21世纪初开始利用水量平衡模型研究不同时空尺度的地下水补给对气候变化的响应，模型中包含了地表径流、地下水水位等水均衡要素，但并未考虑植被、土壤、坡度等下垫面条件的影响[5] [6]。国内学者是以实测的水文资料和相关参数为依据，利用水均衡法进行经验的估算，所用的参数与下垫面条件无较直接的联系，不能准确的刻画气候变化情况下地表径流、地下径流、降水和蒸散发之间的相互作用以及对地下水补给的影响[7]。再加之对地下水补给的研究更多的是基于现状的气候条件，对未来气候变化条件下的地下水补给研究较少[8] [9] [10]。

目前为止，已经有学者开始建立数值模型来研究不同气候情景下地下水资源的变化，尹玉龙[11]等利用SWAT模型与MODFLOW模型耦合的方法研究关中盆地地下水对气候变化的响应。王苗[12]等利用SAWT模型在洪湖流域开展了气候变化对供水资源的研究。未来气候变化对地下水资源影响的研究仅仅开始，而地下水是应对极端干旱的战略性地表水资源，我们有必要对未来气候变化的背景下，对区域的地下

水的补给量进行预测,尤其是干旱地区的预测,为未来人类的生存和发展提供保障。SWAT (Soil and Water Assessment Tool)模型适用于不同土壤类型、土地利用条件下,大流域长时段分布式水文过程模拟,该模型考虑了各种管理措施和气候变化对水资源的影响,具有非常广泛的模拟预测能力。本文基于旱区小流域-西安黑河流域为研究区,利用 SWAT 模型对黑河流域的未来 50 年各水均衡要素及地下水补给情况进行模拟研究。探索在未来气候变化情况下,流域内的地下水的补给变化,为未来地下水资源的开发利用提供依据。

2. 研究区概况

陕西黑河是渭河右岸的支流,发源于秦岭最高峰太白山,全河长 125.8 公里,由西南流向东北,至周至县马召镇附近的家庄出峪后由东北的石马村入渭河,流域位于秦岭以北渭河以南的陕西省周至县境内,地理位置介于 N33°42'~N34°13'、E107°43'~E108°24',总流域面积 2258 km² (见图 1),黑河流域地势南高北低,自西南向东北倾斜,上游为秦岭山区,中游为秦岭山前洪积裙,下游为渭河一级阶地。

黑河流域属暖温带半干旱半湿润大陆性季风气候,具有春暖干燥、夏季燥热多雨、秋季湿润、冬季寒冷少雨雪的气候特点。多年平均气温 13.2°C,多年平均降水量 700 mm,但降雨量分布不均匀,降雨主要集中在 6~10 月,降雨强度大,雨量集中,总降雨量占全年的 70%以上,其他月份则干旱少雨,降雨量较少。

黑河的河川径流多年平均径流量 8.17 亿 m³,主要来源于大气降水,其次有源头的冰川融水补给,约占总径流量的 4% [13]。地下水主要有孔隙水含水层和岩溶水含水层两种。孔隙水含水层主要分布在平原区,其主要组成成分为砂土、粉土、勃性土,厚度一般不足 40 m。岩溶水含水层以震旦系和寒武系的碳

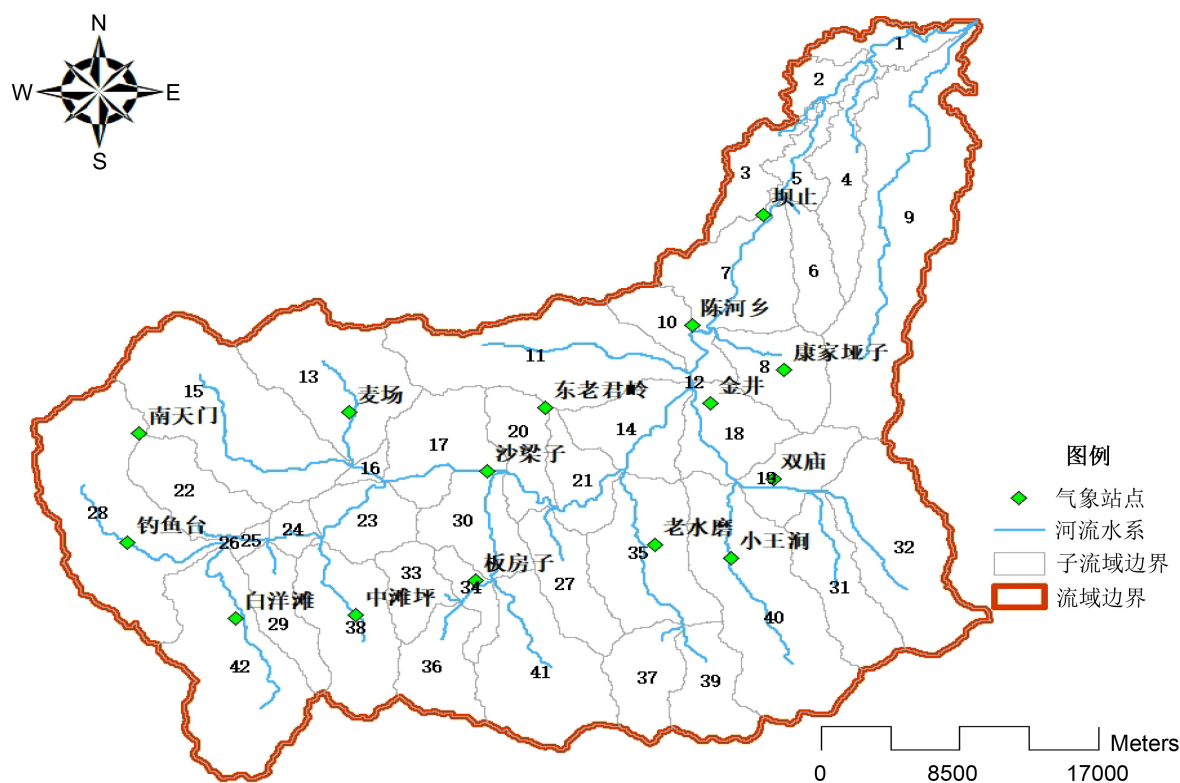


Figure 1. The distribution map of weather station, water system and sub basins in the Heihe Region
图 1. 黑河流域气象站分布图、河网水系图及子流域划分图

酸盐岩为主,岩性多变、厚度大、范围广,是地下水的主要开采层区。中游地区地表水和地下水转换频繁:河流从山上流出,进入山前冲积扇,水资源一部分用于农、林业的灌溉以及人畜饮用和工业用水,其余则沿河床下泄,补给地下水。被引灌的河水,相当一部分下渗补给了地下水,在细土平原一带出露成为泉水,或者再向前回归河流,或者再被引灌,连同打井抽取的地下水,再进入补给地表水[14]。

3. 数据与方法

3.1. 数据

本研究模型建立所需的基础数据资料包括:流域的 DEM、河网水系、土地利用、土壤类型、水文站以及 2005~2013 年坝下、小王涧、双庙、康家娅子、白羊滩、南天门、钓鱼台、金井、陈河乡、东老君岭、老水磨、沙梁子、板房子、中滩坪、麦场等 15 个气象站点(见图 1)的日降水、最高最低气温、风速、相对湿度等气象资料(见表 1)。此外,为了分析未来气候变化对地下水资源的影响,选择了在未来大气温室气体中等排放情景 A1B 模式下,根据 IPCC 气候数据中心提供的数据,采用 PCA (Principal Component Analysis, PCA)与逐步线性回归相结合的统计降尺度方法模拟黑河流域各气象站未来 2013~2062 年的降水、最高气温、最低气温等气象数据。

3.2. SWAT 模型的原理

SWAT 模型的产汇流模拟包括大气降水、地表径流、壤中流、蒸散发、地下水、河网汇流等过程。SWAT 模型首先根据 DEM 数据、土地利用类型、土壤性质和气象数据将研究区划分为若干个水文响应单元,然后在每个水文单元上分别建立水文物理概念模型,在每个单元上进行坡面产流、汇流计算,最后通过河网将水文响应连接起来进行整个研究区的计算[15]。

模型中水量平衡表达式:

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{surf} - Q_{gw} - E_a - W_{seep}) \quad (1)$$

式中: SW_t 为土壤最终含水量(mm); SW_0 为土壤前期含水量(mm); t 为时间步长(d); R_{day} 为第 i 天的降水量(mm); Q_{surf} 为第 i 天的地表径流(mm); Q_{gw} 为第 i 天的地下水含量(mm); E_a 为第 i 天的蒸发量(mm); W_{seep} 为第 i 天通过土壤剖面底部进入地下含水层的水分通量(mm)。

模型对地下水补给量的模拟采用下列表达式来计算:

$$W_{rchrg,i} = \left[1 - e^{(-1/\delta_{gw})} \right] \cdot W_{seep} + e^{(-1/\delta_{gw})} \cdot W_{rchrg,i-1} \quad (2)$$

式中: $W_{rchrg,i}$, $W_{rchrg,i-1}$ 为第 i 天和 $i-1$ 天的含水层补给量(mm); δ_{gw} 为补给滞后时间(d); W_{seep} 为第 i 天通过土壤剖面底部进入地下含水层的水分通量(mm)。

Table 1. SWAT model input data for the Heihe Region

表 1. 西安黑河流域 SWAT 模型输入数据

数据类型	数据属性	精度	数据来源
DEM	高程, 坡度, 坡长	网格: 30 m	国际科学数据服务平台
土地利用	土地利用分类	1:100 万	西部数据共享中心
土壤类型	土壤分类及其理化数据	1:100 万	西部数据共享中心
气象数据	日降水, 最高、最低气温, 辐射强度, 湿度, 风速	15 个(2005~2013 年)	陕西省周至县 15 个气象观测站
水文数据	径流(月)	1 个(2005~2013 年)	陕西省周至县陈河水文站

3.3. SWAT 模型的构建

SWAT 模型的构建需要经过以下几个步骤: 1) 利用 DEM 数据生成流域河网: 设置集水面积阈值为 2000 km²; 2) 根据生成的流域河网上的节点来划分子流域: 划分为 42 个子流域(见图 1), 最小子流域面积 541 km², 最大子流域面积 12,583 km²; 3) 根据土地利用数据和土壤类型数据确定水文响应单元(HRU): 设置土地利用的阈值和土壤类型的阈值均为 5%, 划分为 107 个水文响应单元(HRU); 4) 气象数据输入: 利用流域 15 个站点 2005~2013 年的日降水, 最高、最低气温, 辐射强度, 湿度, 风速最为输入数据; 5) 写入 SWAT 输入数据表。

3.4. 模型参数敏感性分析、率定和验证

SWAT-CPU (SWAT Calibration Uncertainty Procedures)可以对模型输入的参数进行敏感性分析, 本文采用其中的 SUFI-2 (Sequential Uncertainty Fitting, ver.2)法对模型参数进行率定和验证, 该算法已经在西安黑河流域进行了应用, 运行速度快, 率定精度高, 能够提高参数自动率定效率, 使得 SWAT 模型自动率定的整体效果大幅提高[16]。利用流域内的陈河乡水文站 2005~2013 年的月径流数据进行模型率定及验证, 2005~2008 年作为模型的率定期, 2009~2013 年作为模型的验证期。

采用 Nash-Suttcliffe 模型效率系数 E_{ns} 和决定系数 R^2 对模型的模拟结果进行适用性评价[17] [18], 公式为:

$$R^2 = \frac{\left[\sum_{i=1}^n (Q_{m,i} - \overline{Q}_m)(Q_{s,i} - \overline{Q}_s) \right]^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{m,i} - \overline{Q}_m)^2 \sum_{i=1}^n (Q_{s,i} - \overline{Q}_s)^2} \quad (3)$$

$$E_{ns} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{m,i} - Q_{s,i})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{m,i} - \overline{Q}_m)^2} \quad (4)$$

式中: $Q_{m,i}$ 为实测径流值; \overline{Q}_m 为平均实测径流值; $Q_{s,i}$ 为模拟径流值; \overline{Q}_s 为平均模拟径流值。

当评价指标达到一定的标准才能说明模型在该流域有较好的适用性[19] [20]。决定系数 R^2 可以评价模拟值与实测值的吻合程度, 当 $R^2 = 1$ 表示非常吻合, 当 $R^2 < 1$ 时, 其值越小表示吻合程度越差。 E_{ns} 值越接近 1, 说明模型模拟结果越好; $E_{ns} < 0$ 时, 说明使用模型模拟值的可信度比使用实测平均值的可信度更低。一般认为 $E_{ns} > 0.5$ 模拟值可以接受, $E_{ns} > 0.65$ 表明模拟值较好[21] [22] [23]。通常情况下, $R^2 > 0.7$, $E_{ns} > 0.5$ 时认为实测值和模拟值拟合精度是令人满意的[24]。

4. 结果与讨论

4.1. 参数敏感性分析与率定

本研究利用陈河乡水文站的月径流数据的对流域模型参数进行敏感性分析与率定, 根据敏感性评判因子 t (t 的绝对值越大表明参数对模型的模拟结果影响越明显), 最终确定了敏感性较高的 6 个参数: scs 径流曲线系数(CN2.mgt)、土壤有效含水量(SOL_AWG.sol)、基流衰退常数(ATPHA_RF.gw)、地下水滞后系数(GW_DELAY.gw)、地下水再蒸发系数(GW_REVAP.gw)、浅层地下水回流阈值(GWQMN.gw), 说明水文条件和土壤的物理性质对模型的结果影响较大。

4.2. 模型参数率定结果与验证

通过 SUFI-2 算法对参数进行敏感性分析和率定, 得到较好的模型参数, 把参数带回 SWAT 模型重

新模拟计算, 得到率定期和验证期的 Nash-Suttcliffe 模型效率系数 E_{ns} 和相关系数 R^2 结果, 见表 2, 率定期月径流的相关系数 R^2 为 0.87, 模型效率系数 E_{ns} 为 0.86; 验证期月径流的相关系数 R^2 为 0.82, 模型效率系数 E_{ns} 为 0.84, 其相关系数 R^2 和模型效率系数 E_{ns} 都高于 0.8。

对率定期和验证期的实测径流值和模拟径流值进行相关分析研究, 相关分析曲线如图 2 所示, 可以发现模拟值和实测值拟合程度较高, 模型可信, 由此证明该模型可以较好的对黑河流域进行径流模拟。

4.3. 未来气候情况下水均衡要素变化

SWAT 模型可以改变输入数据, 将根据未来大气温室气体中等排放情景 A1B 模式下模拟的未来 50 年的气象数据输入, 驱动 SWAT 模型, 模拟未来 50 年各子流域的径流变化, 进而研究气候变化对黑河流域水资源的影响。

黑河流域的水循环过程对水量水质状况产生重要影响, 研究其水循环过程有着重要作用。本文利用 SWAT 模型获取了 2013~2062 年黑河流域年降水量、地表径流、地下径流、蒸散发变化情况(见图 3)。结果表明, 黑河流域的年均降水量、地表径流量、地下径流、蒸散发量分别为 786.10 mm, 78.78 mm, 10.63 mm, 628 mm, 故降水是流域水资源的主要输入项, 蒸散发是流域水资源的主要输出项。地表径流和地下径流在未来 50 年整体变化趋势都表现为下降, 但幅度较小, 分别约为 0.1 mm/10a, 0.6 mm/a, 地下径流下降趋势为地表径流的六倍; 降水量和蒸散发量 50 年间都呈现上升的趋势, 分别为 1.3 mm/a, 0.6 mm/a。这表明流域的产汇流能力随着时间的推移逐渐减弱, 而由于温度和降水的影响, 流域的蒸散发增强。

将未来 50 年划分成三个时段, 分别为 2013~2025 年、2016~2050 和 2051~2062 年, 第一时段和第三时段降水量相对较小, 第二时段降水量相对较大, 并且变化幅度较大; 地表径流和地下径流出现相似的变化情况, 这表明地表径流和地下径流对降水的响应程度较高, 流域的水资源主要来自于大气降水。蒸

Table 2. The simulated runoff results of the Chenhex Hydrologic stations

表 2. 陈河乡水文站点径流模拟结果

站名	时间	决定系数	效率系数
率定期	20050101~20081231	0.87	0.86
验证期	20090101~20130430	0.82	0.84

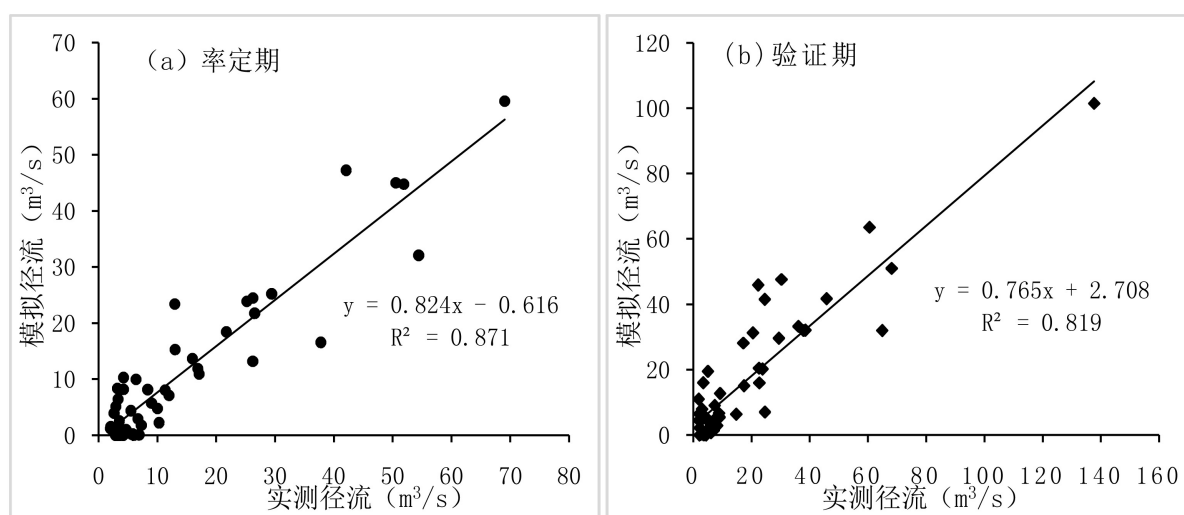


Figure 2. Curves of the correlation between simulated and observed runoff in calibration and validation period

图 2. 率定期和验证期模拟和实测径流相关分析图

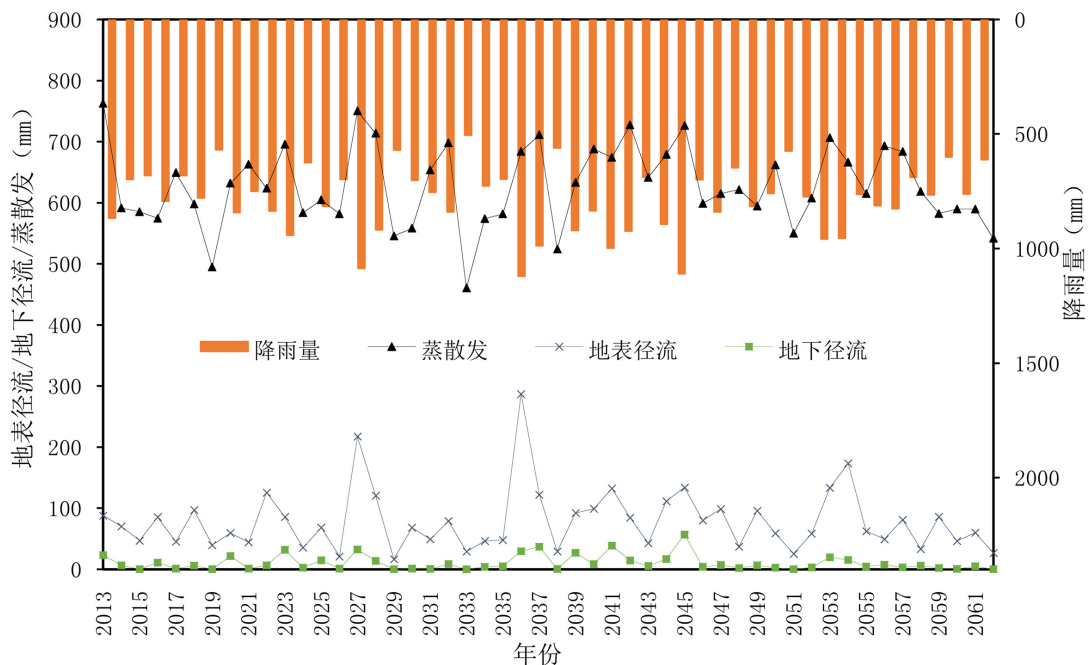


Figure 3. Change curve of annual average water equilibrium factors in the Heihe basin (2013~2062)
图 3. 黑河流域 2013~2062 年平均水均衡要素变化曲线

散发量在 50 年变化情况较复杂多变，这是因为蒸散发量是温度和降水的共同响应的结果，未来极端气候频发导致了蒸散发的复杂多变。

4.4. 未来气候情况下地下水补给的变化

利用 SWAT 模拟的 2013~2062 年大气温室气体中等排放情景 A1B 模式气候变化情景下流域地下水补给的变化(见图 4)。在未来 50 年的时期内，地下水的平均补给强度在 15 mm 左右，地下水的补给量整体有所下降，但是不明显，下降速度为 0.8 mm/a。地下水补给量和降水零变化情况基本一致，降水量增加时，地下水补给量也增加，并且可以看出当降水量小于某个值时，地下水的补给就会变为零，所以说降水量对地下水补给具有很重要的影响。但是地下水补给量和降水量在整体趋势上表现不一致，说明降水量在短期内(15 年左右)是影响地下水补给量的主要因素，而在长时间系列内(50 年以上)，由于温度等其他因素的影响导致地下水补给量与降水量表现出不一致的趋势。

在 2029 年之前地下水补给变化幅度较小，呈现逐渐上升的趋势，这主要是因为这一时期蒸散发量逐渐减小；2029~2035 年间地下水补给量为 50 年最少的时期，有些年份补给量甚至为 0，这主要是由于这个时期为枯水期降水量较小且蒸散发较大导致的；2036~2045 年这十年间，地下水补给量都呈现较高的值，这是由丰水期降水量较高引起；2046 年地下水补给量开始突然的降低，随后几年补给量也呈现较低的值，这与降水量较小有关系。所以说地下水补给量在各个短时期内主要受降水量控制，部分的受到温度等其他因素的影响。

5. 结论

本文利用 SWAT 模型，并对模型参数进行率定和验证，通过设定 A1B 气候情景模式模拟黑河流域未来 50 年的水均衡要素及地下水补给量的变化情况，初步探讨气候变化对地下水补给量的影响。研究结果表明：

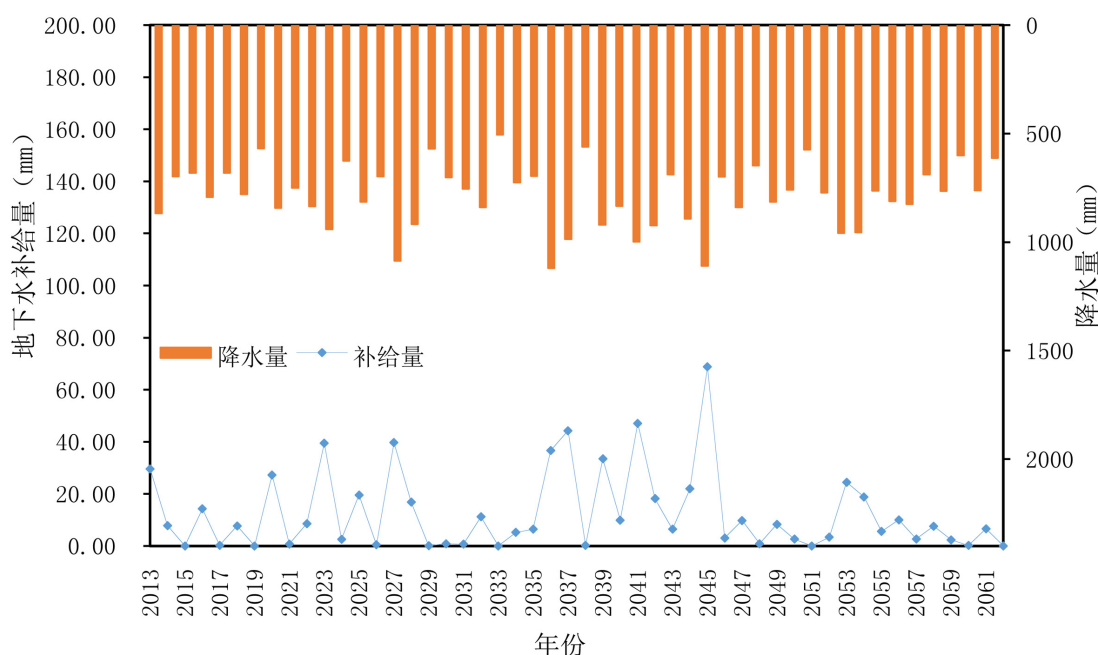


Figure 4. Change curve of annual groundwater recharge in the Heihe basin

图 4. 黑河流域 2013~2062 年地下水补给量变化曲线

1) SWAT 模型对西安黑河陈河水文站 2005~2013 年月经流过程模拟精度是可以接受的, 表明 SWAT 模型能够用于西安黑河流域水资源变化情况模拟。

2) 在未来的 50 年, 黑河流域的年均降水量、地表径流量、地下径流量、蒸散发量分别为 786.10 mm, 78.78 mm, 10.63 mm, 628 mm, 地表径流量与地下径流量逐年减小, 蒸散发量和降水量逐渐增加; 地表径流和地下径流对降水的响应程度都较高, 蒸散发量是温度和降水等多种气候因素的共同影响的结果。

3) 西安黑河流域未来 50 年的地下水补给量整体上有所下降, 地下水的年平均补给强度在 15 mm 左右。降水量是影响地下水补给量的主要因素, 而在长时间系列内, 温度等其他因素也会较强的影响地下水补给量。

值得注意的是, 本研究中的未来气候变化是由气候模式模拟得到的, 存在一定的不确定性; 本文中用到的 SWAT 模型是通过 2005~2013 年实测径流数据进行校准和验证的, 但必定仍然存在一定的误差, 两者叠加必然会使结果受到一定的影响, 但这种不确定性是所有水文模拟共同客观存在的。但是这个结果仍然在黑河流域未来时期地下水补给量对气候变化的响应研究方面有一定意义, 可以为决策者管理黑河流域水资源状况提供一定的理论依据。

基金项目

长安大学 2016 年国家级大学生创新创业训练计划(201610710077)。

参考文献

- [1] IPCC (2007) Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge.
- [2] 刘昌明, 刘小莽, 郑红星. 气候变化对水文水资源影响问题的探讨[J]. 科学对社会的影响, 2008(2): 21-27.
- [3] Wang, W.K., Yang, Z.Y., Kong, J.L., et al. (2013) Ecological Impacts Induced by Groundwater and Their Thresholds in the Arid Areas in Northwest China. *Environmental Engineering and Management Journal*, 12, 1497-1507.

- [4] 冯绍元, 霍再林, 康绍忠, 等. 干旱内陆区自然-人工条件下地下水位动态的 ANN 模型[J]. 水利学报, 2007(7): 873-885.
- [5] Jykama, M.I. and Sykes, J.F. (2007) The Impact of Climate Change on Spatially Varying Groundwater Recharge in the Grand River Watershed. *Journal of Hydrology*, **338**, 237-250. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.02.036>
- [6] Scibek, J. (2005) Modelling the Impacts of Climate Change on Groundwater: A Comparative Study of Two Unconfined Aquifers in Southern British Columbia and Northern Washington State. Department of Earth Sciences-Simon Fraser University.
- [7] 刘春蓁, 刘志雨, 谢正辉. 地下水对气候变化的敏感性研究进展[J]. 水文, 2007, 27(2): 1-6.
- [8] Holman, I.P. (2006) Climate Change Impacts on Groundwater Recharge-Uncertainty, Shortcomings, and the Way Forward. *Hydrogeology Journal*, **14**, 637-647. <https://doi.org/10.1007/s10040-005-0467-0>
- [9] 王业耀, 白利平, 王金生. 气候异常对临汾盆地地下水系统的影响[J]. 资源科学, 2009, 31(7): 1168-1174.
- [10] 张立伟, 延军平. 咸阳市气候变化与地下水变化趋势分析——以泾河两岸黄土高原区为例[J]. 水资源与水工程学报, 2010, 21(5): 102-105.
- [11] 尹玉龙. 基于 SWAT 模型的关中盆地地下水对气候变化的响应研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 长安大学, 2015.
- [12] 王苗, 刘敏, 夏智宏, 等. 基于 SWAT 模型模拟的未来气候变化对洪湖流域水资源影响研究[J]. 气象与环境学报, 2016, 32(4): 39-47.
- [13] Huo, A.D., Dang, J., Song, J.X., et al. (2016) Simulation Modeling for Water Governance in Basins Based on Surface Water and Groundwater. *Agricultural Water Management*, **174**, 22-29. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.02.027>
- [14] 陈博超, 翁海成, 毛海如, 等. 基于 GPR 的 SWAT-MODFLOW 模型的耦合计算及应用研究——以西安黑河流域为例[J]. 水资源研究, 2015, 4(5): 424-431.
- [15] 郝芳华. 非点源污染模型[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2006.
- [16] 刘睿翀, 霍艾迪, Chen, X.H., 等. 基于 SUFI-2 算法的 SWAT 模型在陕西黑河流域径流模拟中的应用[J]. 干旱地区农业研究, 2014(5): 213-217.
- [17] Huo, A.-D., Li, J.-G., Jiang, G.-Z. and Yang, Y. (2013) Temporal and Spatial Variation of Surface Evapotranspiration Based on Remote Sensing in Golmud Region, China. *Applied Mathematics*, **7**, 519-524. <https://doi.org/10.12785/amis/072L21>
- [18] Huo, A., Chen, X., Li, H., Hou, M. and Hou, X. (2011) Development and Testing of a Remote Sensing-Based Model for Estimating Groundwater Levels in Aeolian Desert Areas of China. *Canadian Journal of Soil Science*, **91**, 29-37. <https://doi.org/10.4141/cjss10044>
- [19] 石岚, 冯震, 徐丽娜, 等. SWAT 模型在黄河河万区间入库径流模拟中的应用[J]. 高原气象, 2012, 31(5): 1446.
- [20] Huo, A. and Li, H. (2013) Assessment of Climate Change Impact on the Stream-Flow in a Typical Debris Flow Watershed of Jianzhuangcuan Catchment in Shaanxi Province, China. *Environmental Earth Sciences*, **69**, 1931-1938. <https://doi.org/10.1007/s12665-012-2025-0>
- [21] 盛春淑, 罗定贵. 基于 AVSWAT 丰乐河流域水文预测[J]. 中国农学通报, 2006, 22(9): 493-493.
- [22] 夏智宏, 周月华, 许红梅. 基于 SWAT 模型的汉江流域水资源对气候变化的响应[J]. 长江流域资源与环境, 2010, 19(2): 158.
- [23] Huo, A., Li, H., Hou, M. and Qiao, C. (2011) Relations between Surface Evapotranspiration and Water Table: A Case Study Base on Remote Sensing. *African Journal of Agricultural Research*, **6**, 6653-6660.
- [24] 张建永. 基于 SWAT 模型的官厅水库流域非点源污染模拟与评价[D]: [硕士学位论文]. 北京: 北京师范大学, 2002.

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2330-1724，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：ojs@hanspub.org