

淮河上游干流径流量对不同气候要素变化的响应研究

薛颖¹,高超²,张勋³,许莹⁴,李鹏⁵

(1.华北电力大学资源与环境研究院,北京 102206;2.宁波大学地理与空间信息技术系,浙江 宁波 315211;

3.安徽自然灾害过程与防控研究省级实验室,安徽 芜湖 241000;

4.安徽省气象科学研究所,安徽 合肥 230031;5.河南省驻马店水文水资源勘测局,河南 驻马店 450003)

摘要:基于淮河流域上游地区 8 个气象站点 1959~2008 年日降水量与温度数据,通过改变降水量和温度建立 25 种气候情景,利用 SWIM 水文模型,对不同情景下的径流量进行模拟,分析了淮河上游地区径流量对不同气候要素变化的敏感性,有利于该地区旱涝灾害的及时预警。结果表明,淮河流域上游地区,降水量的变化对径流量的影响较大,在仅考虑降水量和温度的情况下,径流量对降水量变化的敏感性系数处在 1.7012~2.1358 范围内,而对温度变化的敏感性较弱,三个站点径流量对温度变化的敏感性系数处在-0.0499~0.1547 范围内;研究区在研究期内降水量变化对径流量的变化贡献较小,由大坡岭向下游依次为-0.0014,-0.0052,-0.0009,温度变化对径流量的贡献较大,由大坡岭向下游依次为 0.0828,0.0152,0.0039,径流量对气候要素的响应不仅由其对气候要素变化的敏感性决定,也受到气候要素变化幅度的影响。

关键词:淮河上游;SWIM 水文模型;敏感性;贡献值

中图分类号:P339

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2017)03-0022-07

近年来,气候变化作为重要议题受到世界各国政府和学者的共同关注,水资源领域受到气候变化最直接的影响^[1-3],各国学者就气候变化对水文水资源影响的研究主要集中于径流对气候变化的敏感性以及气候变化对径流的影响评估等方面^[4-6],其工作流程一般包括下列 4 个步骤^[7]:①定义气候变化情景;②根据流域的自然地理状况建立流域水文模型;③把假定的气候变化情景输入到流域水文模型中,模拟流域的水文循环过程,分析流域径流对气候变化的敏感性;④评估气候变化对流域水文水资源的影响。

在进行影响评估时,气候变化情景的选择是影响评价效果的关键因子之一。气候变化情景的选定一般通过两种途径^[8-9]:①将降尺度后的全球气候模式(GCMs)输出结果输入到流域水文模型中,进而评估未来气候变化情景下流域水文水资源的响应;②将设定的气候变化情景直接输入到流域水文模型,分析不同气候要素的变化对区域水文水资源的影响。

IPCC 第三次评估报告将敏感性定义为系统受到

与气候有关因素的强迫而做出响应的程度^[10],敏感性的研究为气候变化的影响提供了重要信息。水文要素对气候变化的敏感性指的是由于气候变化对流域水文过程的影响而引起的水文要素的变化幅度。当气候变化情景一定时,水文水资源要素的变化越大,说明水文要素对气候变化的响应程度越高,水文要素越敏感,反之则响应程度低,水文要素不敏感。影响径流量的两个主要气候要素是降水量和温度,降水量会直接影响入河流量,而温度的变化会影响流域蒸发,加速水文循环,综合影响径流量^[8]。在水文水资源的敏感性分析中,根据区域气候现状及其可能的变化,在气候变化情景设定时多采用增量情景,人为的设定气温升高的度数、降水量变化的比例,然后对气温和降水量的不同变化幅度进行组合,构成气候变化的假设情景^[7]。

本文即通过假定的气温和降水变化组合构成 25 种气候变化情景,输入德国波茨坦气候影响研究所(PIK)改进的 SWIM(Soil and Water Integrate Model)水文模型,通过将淮河流域上游 1959~2008 年的 25 种

收稿日期:2016-01-05

基金项目:国家自然科学基金项目(41571018);教育部高校博士学科点专项科研基金(20113424120002,20123424110001);淮河流域气象开放研究基金(HRM201303);河南省水利科技与攻关计划项目

作者简介:薛颖(1993-),女,江苏扬州人,硕士,研究方向为气候变化与水文水资源。E-mail:1689594638@qq.com

通讯作者:高超(1978-),男,安徽全椒人,教授,博士,主要研究方向为气候变化与水文水资源。E-mail:gaocinchao1@163.com

气候情景模拟的径流量进行相互对比,量化淮河上游径流量对降水、温度变化的不同组合的响应,获取降水和温度等气候要素的变化对径流量变化的贡献,从而分析研究流域径流对气候变化的响应。

1 研究区概况

淮河流域位于我国东部,流域面积为 $27 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。淮河是中国重要的自然地理分界线,淮河以北属暖温带,以南属北亚热带^[11],同时淮河流域也是中国气候变化及年径流量变化最大的地区之一^[12],受夏季风的影响及台风暴雨的侵袭,极易产生水旱灾害^[13]。为尽量减少人类活动等因素对径流量的影响,本文选择淮河流域上游干流地区(见图1),即洪河口以上地区,该地区干流长 360 km,河流落差 178 m。该区域地处山区,人口密度较低,人类社会经济生活等活动对流域径流量的影响相对中下游地区较为微弱。

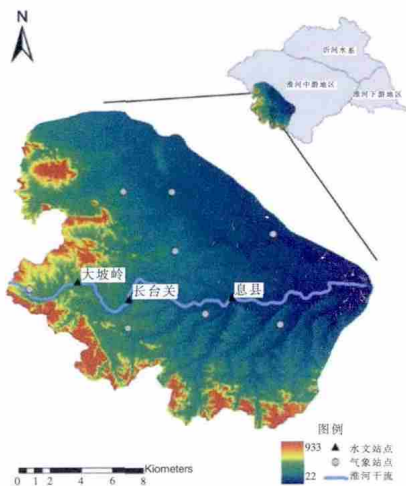


图1 淮河干流上游地区及水文站位置示意图
Fig.1 The area of the Huaihe River upstream and location of the hydrometry stations

2 数据与方法

2.1 数据

气象资料来源于中国气象局国家气象信息中心提供的 1959 年 1 月 1 日~2008 年 12 月 31 日流域内 8 个气象站点的逐日观测数据。8 个气象站点的选择是在剔除淮河流域内缺测值较多以及观测年限较短的站点的基础上,对气象数据进行高低异常值检验、空间异常值检验和缺失值处理等质量控制之后,再通过均一性检验筛选后使用。在进行均一性检验时,当 Cumulative Deviations 检验的统计量大于 8.78,或者 Von

Neumann 检验的统计量小于 1.53,或者 Bayesian 检验的统计量大于 2.47,则说明站点数据是不均一的^[14],由图 2 可以看出本研究筛选的 8 个站点均通过了均一性检验。径流数据来源于全国水文年鉴和淮河水利委员会提供的大坡岭站、长台关站和息县站逐日的淮河干流监测数据。

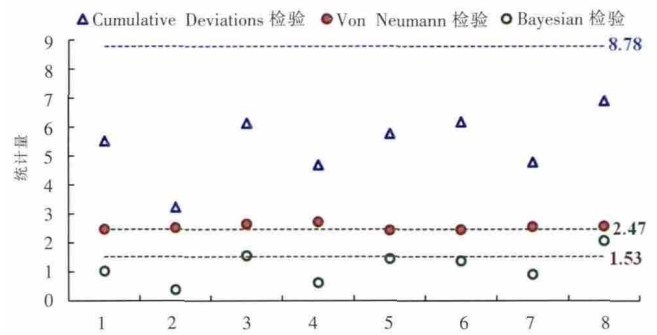


图2 8个气象站点均一性检验图
Fig.2 The picture of homogeneity test of 8 meteorological stations

2.2 方法

(1)SWIM 水文模型。研究使用由德国波茨坦气候变化影响研究所 Krysanova 博士等改进的 SWIM 分布式水文模型,其基于 MATSALU 和 SWAT 模型基础上构建。该模型根据 DEM,按流域—亚流域—水文单元的顺序对流域进行空间划分,再基于每个水文单元对水文过程进行计算,通过模型内汇流模块将各子流域的径流量累计到出口断面模拟获取整个研究流域的径流量^[15]。该模型已在全球 100 多个国家得到成功应用^[16-17]。模型根据 Nash 等^[18]于 1979 年提出的纳西效率系数 Ens 来判断模型适应性,完美拟合时 $Ens=1$ ^[19]。本文直接使用已经率定好的淮河上游地区 SWIM 水文模型,模型输入土地利用信息、子流域特征、DEM、土壤数据、流域河流汇流时间、生产管理数据等信息,并结合相关气象、水文数据进行率定(具体关于模型率定和在淮河流域的适用性参见文献^[20]),模拟输出径流量等数据。

(2)气候变化情景的设定。根据参考文献^[21]关于研究区的气候变化趋势研究,假定淮河上游地区可能出现的气候情景方案为:降水变化为 $0, \pm 10\%, \pm 20\%$;同时气温的变化为 $0, -1^\circ\text{C}, +1^\circ\text{C}, +2^\circ\text{C}, +3^\circ\text{C}$,将温度及降水的变化幅度两两组合,形成 25 种不同的组合,再将按此组合构建的气候情景输入已率定好的 SWIM 模型,模拟得到不同气候变化情景下淮河干流径流量的变化。

(3)敏感性分析。不同气候情景下径流量的变化率可以在一定程度上反映出径流量对气候变化的敏

感性,通过将上述假定的气候变化情景(即不同的降水变化和气温变化组合数据)输入到 SWIM 水文模型中进行模拟,计算出不同气候变化情景下,径流量的变化率,见公式(1):

$$\delta(\Delta P, \Delta T) = \frac{Q(P+\Delta P, T+\Delta T) - Q(P, T)}{Q(P, T)} \times 100\% \quad (1)$$

式中: P 为降水; T 为气温; ΔP 为降水变化; ΔT 为气温变化; $Q(P, T)$ 为反映降水、温度和径流量的关系函数,通常用水文模型模拟的历史径流量来表示, $Q(P+\Delta P, T+\Delta T)$ 则是降水变化为 ΔP 、气温变化为 ΔT 组合下模拟径流量; $\delta(\Delta P, \Delta T)$ 为降水变化 ΔP 、气温变化 ΔT 时径流量的变化率。

径流的敏感性分析是从定量的角度分析一个或者几个相关的气象因子发生变化时,对径流变化影响的定量参数,当其他参数不变,分析单个参数的变化对径流的作用,可以得到径流的变化对该参数变化的敏感性系数。

$$S_{V_i} = \frac{\Delta Q/Q}{\Delta V_i/V_i} \quad (2)$$

式中: S_{V_i} 为径流量对气象因子 V_i 变化的敏感性系数; Q 为年径流量; ΔQ 为年径流量的变化量; V_i 为气象因子的量; ΔV_i 为气象因子的变化量。各气象要素中,降水量和温度对径流量的影响最大^[22],因此选取研究的气象因子为降水量和温度。对流域水文要素敏感性的研究有利于揭示流域水文要素对气候变化响应的机理和差异。

(4) 根据气象因子的变化趋势计算气象因子对径流量变化的贡献。将单个气象因子的敏感系数与该气象要素的多年相对变化相乘,可以得到该要素引起的径流量的变化,即在研究期内该气象要素对径流量变化的贡献。

$$RC_{V_i} = \frac{n \times Trend}{|av|} \times 100\% \quad (3)$$

$$Con_{V_i} = S_{V_i} \cdot RC_{V_i} \quad (4)$$

式中: Con_{V_i} 为气象因子 V_i 对径流量变化的贡献; RC_{V_i} 为 V_i 的多年相对变化,利用 1959~2008 年的 V_i 的平均值 av 和逐年变化率 $Trend$ 计算得到;逐年变化率 $Trend$ 可由趋势分析法计算得到。

3 结果分析

3.1 径流量对气象要素变化的敏感性

在对径流量进行模拟时,选定降水量和温度值作为变量,其他气象要素均保持不变。本文模拟的气候情

景是降水变化为零、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 20\%$;同时气温变化为零、 -1°C 、 $+1^\circ\text{C}$ 、 $+2^\circ\text{C}$ 、 $+3^\circ\text{C}$ 共 25 种组合。本文采用了淮河流域上游地区的大坡岭、长台关、息县三个水文站点的数据资料,三个站点在淮河上游地区分布较为均匀,将整理后的 25 种气候情景输入到 SWIM 水文模型中模拟出各个气候情景下的径流量,并将各站点的模拟径流量与实际径流量进行对比,分析流域径流对气候变化情景的响应。

将温度、降水量均不变的模拟径流量与另外 24 中气候情景下的模拟径流量带入公式(1),可以得到不同的气候变化情景下径流量的变化率(见表 1~3)。

表1 大坡岭站各气候情景下的径流量变化率 (%)
Table1 The flow rate at the Dapoling station under different climate scenarios

| $T/^\circ\text{C}$ \ $P/\%$ | -20 | -10 | 0 | +10 | +20 |
|-----------------------------|--------|--------|-------|-------|-------|
| +3 | -33.46 | -16.61 | 0.85 | 19.57 | 36.87 |
| +2 | -33.61 | -16.68 | 0.85 | 18.75 | 36.80 |
| +1 | -33.95 | -17.38 | 0.60 | 18.54 | 36.80 |
| 0 | -34.62 | -17.59 | 0.00 | 17.98 | 36.26 |
| -1 | -35.14 | -18.11 | -0.61 | 17.53 | 35.83 |

表2 长台关站各气候情景下的径流量变化率 (%)
Table2 The flow rate at the Changtaiguan station under different climate scenarios

| $T/^\circ\text{C}$ \ $P/\%$ | -20 | -10 | 0 | +10 | +20 |
|-----------------------------|--------|--------|------|-------|-------|
| +3 | -37.78 | -19.11 | 0.49 | 20.91 | 41.84 |
| +2 | -37.95 | -19.31 | 0.29 | 20.73 | 41.66 |
| +1 | -38.07 | -19.43 | 0.14 | 20.55 | 41.48 |
| 0 | -38.19 | -19.58 | 0.00 | 20.40 | 41.37 |
| -1 | -38.05 | -19.37 | 0.17 | 20.66 | 41.62 |

表3 息县站各气候情景下的径流量变化率 (%)
Table3 The flow rate at the Xixian station under different climate scenarios

| $T/^\circ\text{C}$ \ $P/\%$ | -20 | -10 | 0 | +10 | +20 |
|-----------------------------|--------|--------|------|-------|-------|
| +3 | -38.50 | -19.66 | 0.26 | 21.68 | 42.45 |
| +2 | -38.59 | -19.77 | 0.16 | 20.96 | 42.42 |
| +1 | -38.65 | -20.20 | 0.09 | 20.90 | 42.36 |
| 0 | -38.75 | -19.94 | 0.00 | 20.80 | 42.28 |
| -1 | -38.60 | -19.79 | 0.18 | 21.02 | 42.54 |

由表 1~3 可以得知,随着降水量的变化,径流量变化较为显著,而相同降水情景下,温度的变化引起的径流量变化相对较小。由大坡岭向下游,径流量的变化率逐渐增大且受温度的影响逐渐减小,可以得知降水量变化对径流量产生的影响较温度变化对径流量的影响大。淮河流域河流的汇流面积由上游向下游不断增大,降水的效应产生叠加,致使径流量对降水量的响应加强。

研究区对气候要素敏感性的研究与淮河流域沂河水系的研究结果略有差异^[8],本研究区降水量变化对径流量变化的影响显著,而温度变化对径流量变化的影响较为微弱,沂河地区表现为温度的变化对径流量

的影响更为显著。主要是由于桐柏山区植被覆盖率较高,湿度大,水源涵养能力强,因温度升高引起的蒸发较少,而沂河上游的植被覆盖较差,水土流失严重,蒸发量随温度变化而发生显著变化^[23-24]。另外,桐柏山地区发育有基岩断裂构造裂隙水,地下水补给丰富,而沂河源头的鲁东南山丘区水资源主要集中在地上径流,温度的变化引起的蒸发对该地径流量的变化产生显著影响。

在模拟的情景中,保持某一气象要素在某一水平不变的背景下,即可得到径流量变化对另一要素变化的敏感性系数(见图 3~5)。

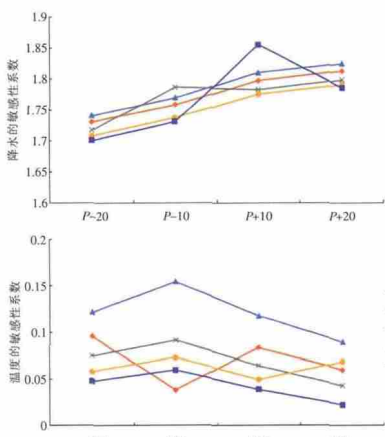


图3 大坡岭站径流量对气候要素变化的敏感性系数

Fig.3 The sensitivity coefficient of the runoff to the climate change in Dapoling station

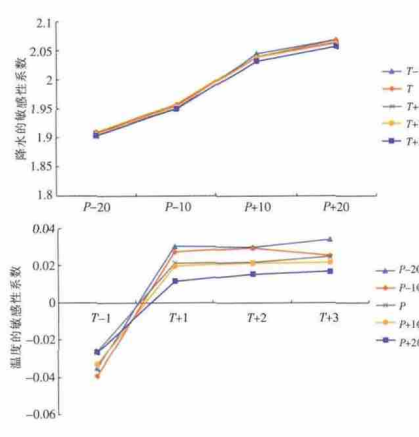


图4 长台关站径流量对气候要素变化的敏感性系数

Fig.4 The sensitivity coefficient of the runoff to the climate change at the Changtaiguan station

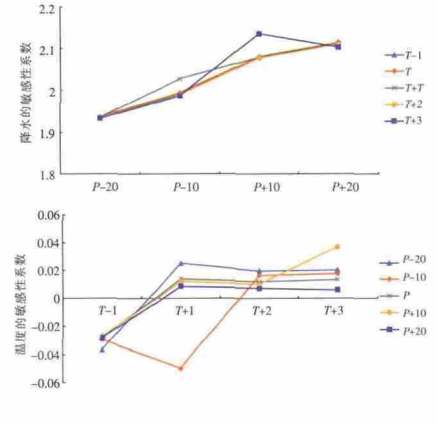


图5 息县站径流量对气候要素变化的敏感性系数

Fig.5 The sensitivity coefficient of the runoff to the climate change at the Xixian station

由图 3~5,可以得到以下结论:(1)淮河流域上游地区各水文站点呈现出径流量对降水量变化的敏感性随着降水量的增加而逐渐增加的趋势,且这种趋势由大坡岭向下游递增;(2)淮河流域上游地区径流量对温度变化的敏感性在各站点的表现各不相同:①大坡岭站,径流量的变化对各温度变化的响应总体趋势上来说是随着温度的升高而降低,径流量敏感性总体是随着温度的升高而降低;在温度增加 3℃时,变化较为剧烈,说明在温度变化幅度较大时,可能出现难以预测的水文灾害;而在降水一定的情况下,径流量对温度变化的敏感性出现了先升高后下降的趋势,多数降水情景下在温度增加 1℃时表现的最为敏感,温度增加 1℃,降水下降 10%的情景下,径流量变化对温度变化的响应较小,变化较为微弱。②长台关站,在降水量一定的情况下,径流量对温度变化的敏感性随着温度的增加而增加,在温度下降 1℃时,降水量的变化对温度的变

化出现负响应,即是温度的上升和下降都将导致降水量的增加;在径流量变化对温度变化的响应中,降水量增加越多,径流量变化对温度变化的响应变化幅度就越小。③息县站,在降水一定的情况下,在温度下降 1℃时,呈现出负响应,随着温度的下降,径流量出现了上升的趋势,在温度增加时,径流量变化量相对较小,处于相对持平的状态,只有在降水下降 10%;而气温增加 1℃的情况下,出现了径流量变化趋势的偏离,在降水减少 10%,温度增加 1℃时,径流量出现更加显著的减少趋势;但是此时这种径流量的变化对温度变化的响应较小,变化微弱。但是值得注意的是,不管径流量对温度的变化做出正响应还是负响应,这种变化幅度都较小,变化较为微弱。

3.2 贡献值的计算

根据大坡岭站、长台关站和息县站的径流数据可以分析三站点的径流量变化趋势(见图 6~8)。

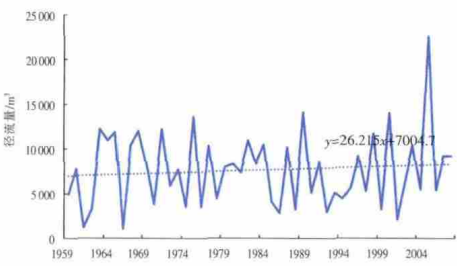


图6 大坡岭径流量变化趋势
Fig.6 The change trend of the runoff at the Dapoling station

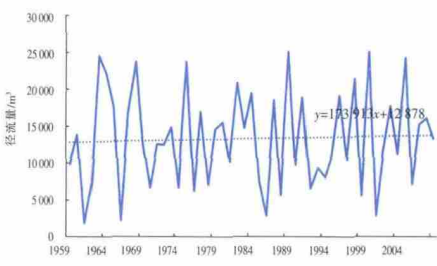


图7 长台关径流量变化趋势
Fig.7 The change trend of the runoff at the Changtaiguan station

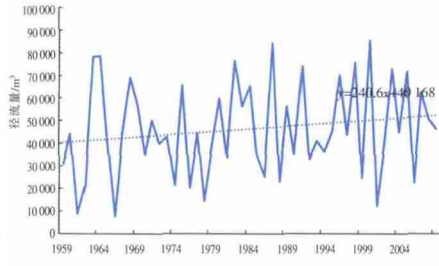


图8 息县径流量变化趋势
Fig.8 The change trend of the runoff at the Xixian station

淮河上游地区径流量的变化呈现出微弱的增加趋势,分析其与气候要素变化趋势的组合关系,可以利用式(4)计算出研究期内(1959~2008年)降水量和温度变化对径流量的贡献值(见表4)。

表4 三站气候要素的多年相对变化及对径流量变化的贡献
Table 4 The multi-year relative changes of the climate elements and contribution to the runoff change at the stations of Dapoling, Changtaiguan and Xixian

| | 径流量多年 | 降水 | | 温度 | |
|-----|----------|---------|---------|--------|--------|
| | 相对变化 | 多年相对变化 | 贡献 | 多年相对变化 | 贡献 |
| 大坡岭 | 0.000600 | -0.0014 | -0.0025 | 1.2105 | 0.0828 |
| 长台关 | 0.000156 | -0.0052 | -0.0104 | 1.4327 | 0.0152 |
| 息县 | 0.000190 | -0.0009 | -0.0018 | 1.3383 | 0.0039 |

由图6~8和表4可以得到以下结论:

- (1) 由大坡岭站向下游,随着汇流面积的不断增大,径流量水平不断提高,同时,径流量的变化量逐渐增大,但是多年相对变化却因为流域面积的增加以及径流量基数的增大而出现相对稳定的趋势。
- (2) 淮河上游地区在1959~2008年,降水多年相对变化较小且呈现出微弱的下降趋势,大坡岭降水量多年相对变化为-0.0014,长台关降水量多年相对变化为-0.0052,息县多年相对变化为-0.0009;淮河上游地区温度的多年相对变化较降水量显著,呈现出上升的趋势,大坡岭温度的多年相对变化为1.211,长台关温度的多年相对变化为1.4327,息县温度的多年相对变化为1.3383,符合全球变暖的大气候背景。
- (3) 虽然径流量对降水量的变化较为敏感,但是由于研究期内降水量的变化较小,所以降水量变化对径流量变化的贡献并不显著,相对而言,温度的变化较为显著,因此温度变化对径流量的变化贡献较大。由此可知径流量对气候要素的响应不仅由其对气候要素变化

的敏感性决定,也受到气候要素变化幅度的影响。
(4) 降水量的变化对径流量变化较为微弱,而温度对径流量变化的贡献由上游向下游递减,是基于降水量、温度以及径流量的变化量、各要素在不同站点的基数水平、变幅等各因素共同作用下导致的。

4 结论与讨论

研究选择淮河流域上游地区的3个水文站点及8个气象站点的逐日观测数据,基于SWIM日尺度水文模型模拟出25种气候情景,计算该地区径流量对气候要素的敏感性,得出以下结论:

- (1) 研究区径流量对降水量的变化较为敏感,三个站点径流量对降水量变化的敏感性处在1.7012~2.1358范围内,而对温度的变化的敏感性较弱,三个站点径流量对温度变化的敏感性处在-0.0499~0.1547范围内。
- (2) 研究区在研究期内降水量变化对径流量的变化贡献较小,由大坡岭向下游依次为-0.0014,-0.0052,-0.0009;温度对径流量的贡献较大,由大坡岭向下游依次为0.0828,0.0152,0.0039。径流量对气候要素的响应不仅由其对气候要素变化的敏感性决定,也受到气候要素变化幅度的影响。
- (3) 研究区与淮河流域沂河水系的研究结果略有差异,沂河地区的温度对径流量的影响较为明显。主要是由于桐柏山区和沂河上游地区的覆被状况不同,桐柏山区覆被状况较好,而沂河上游地区覆被状况较差,且桐柏山区存在丰富基岩断裂构造裂隙水,水源补给充足,温度增加引起的径流量变化较小,而沂河源头的鲁东南山丘区裂隙水弱,因此温度变化对径流量的变化产生较大的影响。
- (4) 本文主要研究降水量和温度两个气象要素对

水资源的影响,没有考虑其他潜在影响因子的作用,而水资源的响应是一个复杂的过程,对于更为复杂的多影响因子情景有待进一步研究。

参考文献:

- [1] IPCC. Climate change 2007: Synthesis Report [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- [2] IPCC. Climate Change and Water [M]. Cambridge, UK and New York, USA: Cambridge University Press, 2008.
- [3] 气候变化国家评估报告编写委员会. 气候变化国家评估报告 [M]. 北京: 科学出版社, 2007. (Writing Committee of National Climate Change Assessment Report. National Assessment Report of Climate Change [M]. Beijing: Science Press, 2007. (in Chinese))
- [4] Harry F, James R Slack. Streamflow trends in the United States [J]. Geophysical Research Letters, 1999, 26: 227–230.
- [5] Zhang Xuebin, K. David Harvey, W. D. Hogg, et al. Trends in Canadian streamflow [J]. Water Resources Research, 2001, 37(4): 987–998.
- [6] 陈玲飞, 王红亚. 中国小流域径流对气候变化的敏感性分析 [J]. 资源科学, 2004, 26(6): 62–68. (CHEN Lingfei, WANG Hongya. Sensitivity of runoff to climate change in small drainage basins in China [J]. Resources Science, 2004, 26(6): 62–68. (in Chinese))
- [7] 胡彩虹, 王纪军, 柴晓玲, 等. 气候变化对黄河流域径流变化及其可能影响研究进展 [J]. 气象与环境科学, 2013, 36(2): 57–65. (HU Caihong, WANG Jijun, CHAI Xiaoling, et al. Research advances of impact of climate change on runoff of the Yellow River basin [J]. Meteorological and Environmental Sciences, 2013, 36 (2): 57–65. (in Chinese))
- [8] 王国庆, 张建云, 刘九夫, 等. 中国不同气候区河川径流对气候变化的敏感性 [J]. 水科学进展, 2011, 22(3): 307–314. (WANG Guoqing, ZHANG Jianyun, LIU Jiufu, et al. The sensitivity of runoff to climate change in different climatic regions in China [J]. Advances in Water Science, 2011, 22(3): 307–314. (in Chinese))
- [9] 朱云梅, 吕喜玺, 周跃, 等. 纵向岭谷区地表径流对气候变化的敏感性分析: 以长江上游龙川江流域为例 [J]. 科学通报, 2006, 51(S1): 73–80. (ZHU Yunmei, LV Xixi, ZHOU Yue, et al. Sensitivity analysis of streamflow to climate change in the longitudinal range: gorge region [J]. Chinese Science Bulletin, 2006, 51(S1): 73–80. (in Chinese))
- [10] IPCC. Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [M]. Cambridge, UK and New York, USA: Cambridge University Press, 2001.
- [11] 汪美华, 谢强, 王红亚. 未来气候变化对淮河流域径流深的影响 [J]. 地理研究, 2003, 22(1): 79–88. (WANG Meihua, XIE Qiang, WANG Hongya. Impact of future climate change on runoff depth of the Huaihe drainage basin [J]. Geographical Research, 2003, 22(1): 79–88. (in Chinese))
- [12] 张建云, 王国庆. 气候变化对水文水资源影响研究 [M]. 北京: 科学出版社, 2007: 80–95. (ZHANG Jianyun, WANG Guoqing. Study for Climate Change Impacting on Hydrology and Water Resources [M]. Beijing: Science Press, 2007: 80–95. (in Chinese))
- [13] 王静爱, 毛佳, 贾慧聪. 中国水旱灾害危险性的时空格局研究 [J]. 自然灾害学报, 2008, 17(1): 115–121. (WANG Jingai, MAO Jia, JIA Huicong. On spatiotemporal patterns of flood and drought hazards in China [J]. Journal of Natural Disasters, 2008, 17(1): 115–121. (in Chinese))
- [14] 吴利红, 毛裕定, 胡德云, 等. 地面气候资料序列均一性检验与订正系统 [J]. 浙江气象, 2005, 26(4): 40–44. (WU Lihong, MAO Yuding, HU Deyun, et al. The system of detection and adjustment of homogeneity of the ground climatic data [J]. Journal of Zhejiang Meteorology, 2005, 26(4): 40–44. (in Chinese))
- [15] Valentina Krysanova. SWIM 模型使用指南 [M]. 北京: 气象出版社, 2011: 2–3. (Valentina Krysanova. SWIM User Manual [M]. Beijing: China Meteorological Press, 2011: 2–3. (in Chinese))
- [16] 高超, 金高洁. SWIM 水文模型的 DEM 尺度效应 [J]. 地理研究, 2012, 31(3): 399–408. (GAO Chao, JIN Gaojie. Effects of DEM resolution on results of the SWIM hydrological model in the Changtaiguan basin [J]. Geographical Research, 2012, 31(3): 399–408. (in Chinese))
- [17] 张淑兰, 于澎涛, 张海军, 等. 气候变化对干旱缺水地区中尺度流域水文过程的影响 [J]. 干旱区资源与环境, 2013, 27(10): 70–74. (ZHANG Shulan, YU Pengtao, ZHANG Haijun, et al. Impact of climate change on the hydrological process in medium scale basin of arid areas [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2013, 27(10): 70–74. (in Chinese))
- [18] J.E. Nash, J.V. Sutcliffe. River flow forecasting through conceptual models part I—a discussion of principles [J]. Journal of Hydrology, 1970, 10(3): 282–290.
- [19] 高超, 曾小凡, 苏布达, 等. 2010–2100 年淮河径流量变化情景预估 [J]. 气候变化研究进展, 2010, 6(1): 15–21. (GAO Chao, ZENG Xiaofan, SU Buda, et al. Projected stream flow in the Huaihe River in 2010–2100 [J]. Advances in Climate Change Research, 2010, 6(1): 15–21. (in Chinese))
- [20] 高超, 刘青, 苏布达, 等. 不同尺度和数据基础的水文模型适用性评估研究——淮河流域为例 [J]. 自然资源学报, 2013, 28(10): 1765–1777. (GAO Chao, LIU Qing, SU Buda, et al. The applicability assessment of hydrological models with different resolution and database in the Huaihe River basin, China [J]. Journal of Natural Resource, 2013, 28(10): 1765–1777. (in Chinese))
- [21] 高超, 姜彤, 翟建青. 过去(1958–2007)和未来(2011–2060)50 年淮河流域气候变化趋势分析 [J]. 中国农业气象, 2012, 33(1): 8–17. (GAO Chao, JIANG Tong, ZHAI Jianqing. Analysis and prediction of climate change in the Huaihe River basin [J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2012, 33(1): 8–17. (in Chinese))
- [22] 何自立. 气候变化对流域径流的影响研究——以美国加州圣华金河谷热上游源区为例 [D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2012. (HE Zili. Climate Change Impacts on Stream Flow in the Upper San Joaquin River Watershed, California [D]. Xianyang: Northwest Agriculture and Forestry University, 2012. (in Chinese))
- [23] 王情, 刘雪华, 吕宝磊. 基于 SPOT-VGT 数据的流域植被覆盖动态变

化及空间格局特征——以淮河流域为例[J].地理科学进展, 2013,32(2):270-277. (WANG Qing, LIU Xuehua, LV Baolei. Dynamic changes and spatial patterns of vegetation cover in a river basin based in SPOT-VGT data: a case study in the Huaihe River basin [J]. Progress in Geography, 2013,32(2):270-277. (in Chinese))

[24] 刘玉安,黄波,程涛,等.基于像元二分模型的淮河上游植被覆盖度遥感研究[J].水土保持通报, 2012,32(1):93-97. (LIU Yu'an, HUANG Bo, CHENG Tao, et al. Vegetation coverage in upper Huaihe River basin on binary pixel model of remote sensing [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2012,32(1):93-97. (in Chinese))

Response of Runoff in Huaihe River Upstream to Change of Different Climate Elements

XUE Ying¹, GAO Chao², ZHANG Xun³, XU Ying⁴, LI Peng⁵

(1. Resources and Environmental Research Academy, North China Electric Power University, Beijing 102206, China;

2.Department of Geography and Spatial Information Techniques, Ningbo University, Ningbo 315211, China;

3. Anhui Provincial Laboratory for Natural Disaster Process and Control Study, Wuhu 241000, China;

4. Anhui Institute of Meteorological Science, Hefei 230031, China;

5.Zhumadian Hydrology and Water Resources Survey Bureau, Zhumadian 450003, China)

Abstract: Based on the observed precipitation and temperature data at 8 the meteorological stations in the Huaihe River Basin from 1959 to 2008, 25 climate scenarios were established by changing the precipitation and temperature. SWIM hydrological model was used to simulate the runoff under the different scenarios. An analysis was also made on the sensitivity of the runoff to different climatic elements change in the Huaihe River upstream. The results show that: in the Huaihe River upstream, the impact of precipitation on runoff is bigger, if only considering the precipitation and temperature, the sensitivity coefficient of runoff to precipitation change is in the range of 1.7012~2.1358, and the sensitivity of temperature variation is weak, the sensitivity coefficient of the runoff at the three stations to the temperature variation is in the range of -0.0499~0.1547; In the study area during the study period, the contribution of precipitation variation to runoff change is small. The contribution values are -0.0014, -0.0052, -0.0009 from the Dapoling Station to downstream. The contribution of temperature change to runoff change is larger. The contribution values are 0.0828, 0.0152, 0.0039 from the Dapoling Station to downstream. The runoff response to climate change is not only affected by its sensitivity to climate change, but also by the variation range of climatic elements.

Key words: upstream of the Huaihe River; SWIM hydrological model; sensitivity; contribution value

(上接第 57 页)

[9] 李云霞. 相关回归分析在水文数据处理中的应用[J]. 重庆科技学院学报(自然科学版), 2011, 13(5):177-179. (LI Yunxia. The application of correlation regression analysis in hydrological work [J]. Journal of Chongqing University of Science and Technology (Natural Sciences), 2011, 13(5):177-179. (in Chinese))

[10] 刘红霞, 王飞. E-601B 型蒸发器与小型蒸发器测值对比分析[J]. 气象科技, 2013, 41(5):852-856. (LIU Hongxia, WANG Fei. Contrast analysis of E-601B versus small-sized evaporation pans [J]. Meteorological Science and Technology, 2013, 41(5): 852-856. (in Chinese))

Non-overflow-hole Evaporator of Water Automatic Replenishing Based on Mariotte Bottle Principle

MEI Haipeng, ZHU Mei, LI Xueling, LEI Ming

(Engineering Department, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China)

Abstract: The measured results of E-601B water surface evaporator is easily influenced by manual operation and meteorological condition, so this paper introduced development of a non-overflow-hole evaporator of water automatic replenishing based on the traditional E-601B water surface evaporator. Based on the principle of Mariotte bottle, the device removed the overflow-hole of traditional E-601B water surface evaporator, added Mariotte bottle, reading device and Balance bottle, so as to realize evaporator's water automatic replenishing effect and improve the observation accuracy during rain duration. The synchronous observation analysis was made in 2015. The results show that the correlation coefficient R^2 between the evaporations from the two evaporators reached 0.9998, which means application of non-overflow-hole evaporator of water automatic replenishing can make evaporation measurement more convenient, and improve the measurement accuracy.

Key words: Mariotte bottle; water automatic replenishing; E-601B water surface evaporator