

DOI:10.3876/j.issn.1000-1980.2014.02.002

人类活动对老哈河流域近50年径流变化影响的定量评估

雍斌^{1,2},朱磊^{1,2},任立良¹,刘蝶²,陈波²

(1. 河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室,江苏南京 210098; 2. 河海大学地球科学与工程学院,江苏南京 210098)

摘要:以中国北方典型的半干旱区老哈河流域为研究区,基于分布在流域内的53个雨量站、10个径流站和4个气象站数据研究老哈河10个子流域近50年来关键水文要素的时空变化规律。利用MK检验及Pettitt突变点检验,分析降水与径流的变化趋势和显著性水平,并计算其突变点。采用半分布式可变下渗能力(variable infiltration capacity, VIC)模型对10个子流域基准期的降雨径流过程进行模拟。基于率定后的模型参数,对变化期自然径流进行重建,从而定量分割出气候变化和人类活动对该流域径流急剧下降的影响。结果表明:自1980年以来,老哈河流域90%的径流下降是由人类活动引起的,而仅有10%归因于气候变化;就人类活动而言,特别是中下游地区大面积的农业灌溉用水是整个老哈河流域地表径流急剧下降的根本原因。此外,研究还发现人类活动对径流下降的贡献率随流域干湿变化而不同,在枯水年人类活动影响所占比重较大,而在丰水年人类活动的影响相对较小。

关键词:气候变化;人类活动;径流;降水;半干旱地区;老哈河流域

中图分类号:P339 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-1980(2014)02-0101-06

Quantitative evaluation of effects of human activities on runoff variation over past 50 years in Laohahe Basin

YONG Bin^{1, 2}, ZHU Lei^{1, 2}, REN Liliang¹, LIU Die², CHEN Bo²

(1. Sate Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. School of Earth Sciences and Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: Based on data from 53 rain gauge stations, ten runoff stations, and four meteorological stations in the Laohahe Basin, a typical semi-arid area in northern China, we studied the temporal and spatial variations of key hydrological factors in ten sub-basins of the Laohahe Basin over the past 50 years. We employed the rank-based Mann-Kendall trend test and Pettitt change-point test to analyze the change trends and significance levels of precipitation and runoff in the basin and calculate the change point. Then, we adopted a semi-distributed variable infiltration capacity (VIC) model to simulate the rainfall-runoff processes of the ten sub-basins during the baseline period. Based on calibrated parameters of the model, we reconstructed natural runoff during the variation period, so as to quantitatively separate the effects of climate change and human activities on the abrupt reduction of the runoff in the basin. The results show that since 1980, 90% of the runoff reduction in the basin has been caused by human activities, and 10% of the runoff reduction has been caused by climate change. In terms of human activities, widespread agricultural irrigation especially in the middle and lower reaches, was the essential reason for the abrupt reduction of runoff in the Laohahe Basin. Furthermore, the impact of human activities on runoff reduction varied with dryness and wetness changes across the basin, with greater impact in dry years than in wet years.

Key words: climate change; human activities; runoff; precipitation; semi-arid area; Laohahe Basin

收稿日期: 2013-02-17

基金项目: 武汉大学水资源与水电工程科学国家重点实验室开放基金(2012B091);国家自然科学基金(51190091);高等学校学科创新引智计划(B08048);科技部科技基础性专项课题(2011IM011000)

作者简介: 雍斌(1975—),男,安徽马鞍山人,教授,主要从事流域水文过程模拟研究。E-mail:yongbin_hhu@126.com

水资源是生命存在和社会经济发展的重要资源^[1],水资源量的多少及其时空分布特性与人类生产和生活息息相关。过去半个世纪里,由于人口增长和经济发展,使得人类对水资源的需求不断增强,我国很多流域的地表水和地下水遭到过度使用和开采,从而导致某些地区的地表径流明显减少^[2],这一现象在我国北方半干旱地区尤为突出。自20世纪80年代以来,我国北方半干旱地区的气候和环境具有明显的干旱化趋势^[3],流域水资源问题日益严重,水资源短缺已成为制约我国北方大多数地区社会经济发展的主要因素^[4]。

符淙斌等^[5-6]、叶笃正等^[7]对我国东北榆林、赤峰等地进行了长期调查和研究,结果显示:不合理的人类活动对水文循环和生态环境的破坏是加剧我国北方干旱化的一个关键因素,未来资源性缺水和工程性缺水在这些半干旱区域已成定局;王顺德等^[8]在分析塔里木河流域人类活动及气候变化对水文过程影响的研究中指出:塔里木河干流上中游区间耗水量严重,主要是因为河流源区人类活动的强烈影响;Ma等^[9]基于降水和潜在蒸散发的定量估算,分析了气候变化与人类活动对石羊河流域过去50年径流变化的影响,结果表明:气候因素中的降水量是影响径流变化的主导因素;胡珊珊等^[10]在白洋淀上游水源区的水量分析表明:气候变化部分影响了流域的产水量,但是人类活动是源区水源缺乏的根本原因。郝璐等^[11]对老哈河红山水库坝址处的月径流进行分析,发现近40年间老哈河径流在月尺度上表现为负趋势变化,并对四季的变化进行了分析。由此可见:气候变化和人类活动是影响中国北方干旱、半干旱流域地表径流变化的两个主要因素,而在不同地区这两种因素的贡献率各不相同。

人类活动的影响较很大程度上决定了流域径流的变化,本研究以我国东北半干旱的老哈河流域为研究对象,采用VIC-3L模型定量分析人类活动和气候变化对该流域过去50年地表径流显著下降的影响。老哈河属于半干旱资源型缺水区域,水资源的保护与利用决定了流域内城市的发展,研究结果以期对当地水资源管理和决策提供科学依据,以制定更合理的水资源管理政策。

1 研究区概况

作为西辽河的源头,老哈河流域地处河北、辽宁两省和内蒙古自治区交界,是我国重要的重工业、能源和商品粮生产基地。该流域形状呈不对称扇形,介于41°N~43°N、117°E~120°E之间,流域内地形复杂,地势西高东低起伏较大,海拔427~2017 m。老哈河流域属中温带半干旱大陆性季风气候,多年平均气温为7℃,平均降水量为430 mm。降水量时空分布不均,丰枯变化大,5—10月为雨季,11月至翌年4月为旱季,暴雨集中在夏秋两季,暴雨中心多出现在中上游。上游多为林地覆盖,植被良好,土壤侵蚀较轻;中下游则大部分为黄土丘陵区,植被覆盖率较低,水土流失较严重。流域主要支流有黑里河、英金河、崩河、羊肠子河、锡伯河、西路嘎河、召苏河及半支箭河等(图1)。

本文以10个径流站作为出口站点来划分流域,其中7个为上游源头流域,2个为中部出口流域(8号流域出口点在赤峰市区内)以及以兴隆坡为流域出口的老哈河流域。表1提供了10个子流域的站点、经纬度、面积、高程、水文气象等特征信息。

2 数据资料和研究方法

2.1 资料收集

用于实验的水文气象观测数据来自内蒙古水文局提供的1964—2009年水文日资料以及国家气象局提供的基准站气象数据,具体包括:(a)流域内53个雨量站日降水资料;(b)10个子流域出口水文站逐日径流量资料;(c)流域内9个蒸发站所提供的日蒸发资料;(d)4个国家气象基准站所提供的日最高温、最低温和平均温度,以及10 m日平均风速、大气湿度等数据;(e)地形DEM数据为美国地质调查局提供的USGS标准格式全球1 km精度的GTOPO30数据。其中各个流域的降水量是由流域内所有雨量站的观测值通过泰森多

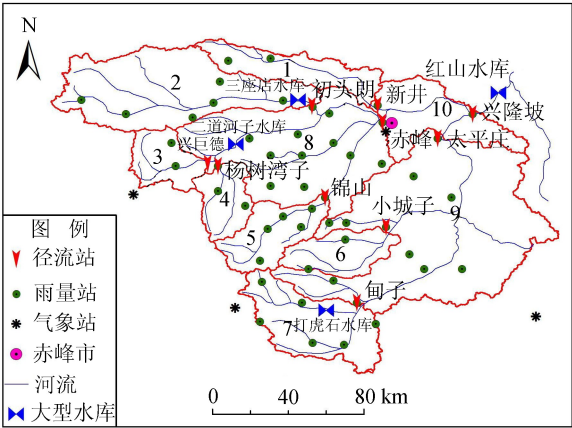


图1 老哈河流域雨量站、径流站及子流域划分示意图
Fig. 1 Sketch map of rain gauge stations, runoff stations, and sub-basins in Laohahe Basin

边形法计算得到的。

表 1 老哈河流域 10 个径流站的特征信息

Table 1 Feature information of ten runoff stations in Laohahe Basin

流域 编号	站点名称	所属河流	北纬(N)	东经(E)	流域面积/ km ²	流域平均 高程/m	年均径 流深/m	年均降水量/ mm
1	新井	昭苏河	42°21′	118°53′	994	1012.61	22.76	352.09
2	初头朗	阴河	42°21′	118°37′	3009	1305.34	30.30	371.43
3	兴巨德	西路嘎河	42°05′	118°08′	850	1236.44	38.46	421.84
4	杨树湾子	西路嘎河	42°04′	118°10′	582	1187.66	57.63	396.82
5	锦山	锡伯河	41°55′	118°41′	906	1166.38	54.81	437.06
6	小城子	坤头河	41°45′	119°00′	803	1012.15	48.79	533.12
7	甸子	老哈河	41°25′	118°50′	1643	956.87	70.76	442.39
8	太平庄	老哈河	42°12′	119°15′	7720	777.47	36.10	452.65
9	赤峰	英金河	42°17′	118°57′	8678	1123.52	27.82	383.91
10	兴隆坡	老哈河	42°19′	119°26′	18112	938.70	28.70	418.28

2.2 研究方法

本研究使用 MK 检验^[12]和 Pettitt 突变点检验^[13]来判断流域在长时间序列下是否发生了突变。它们可以判断一个随机序列是否发生了显著性变化,并定量计算出该序列的变化趋势,是水文、气象序列研究最常采用的方法。降雨径流双累积曲线用来辅助检验 MK 检验法及 Pettitt 突变点检验的结果。同时使用 VIC (variable infiltration capacity, 可变下渗能力) 模型进行水文过程模拟。国内部分学者利用该模型在淮河^[14-15]、渭河^[15-16]、海河^[17]等流域进行水文过程模拟,都取得了较好的效果。

此外,本文提供了一个可用于定量分割气候变化和人类活动对径流变化影响的评估框架。该框架的前提假设是:对于某一特定流域,径流的变化主要来自于气候变化和人类活动这 2 个因素^[18],其中,相对于全球或区域的气候变化而言,流域内的人类活动是相对独立的^[19],因此流域径流的变化实际上是由气候变化和人类活动引起的两种径流变量之和:

$$\Delta Q_{\text{tot}} = \Delta Q_{\text{clim}} + \Delta Q_{\text{hum}}$$

(1)

其中 ΔQ_{tot} 和 ΔQ_{clim} 还可以表示为

$$\Delta Q_{\text{tot}} = (\bar{Q}_{2,\text{obs}} - \bar{Q}_{1,\text{obs}}) \quad \Delta Q_{\text{clim}} = (\bar{Q}_{2,\text{sim}} - \bar{Q}_{1,\text{sim}})$$

(2)

则人类活动引起的径流变化量为

$$\Delta Q_{\text{hum}} = (\bar{Q}_{2,\text{obs}} - \bar{Q}_{1,\text{obs}}) - (\bar{Q}_{2,\text{sim}} - \bar{Q}_{1,\text{sim}})$$

(3)

这样,气候变化和人类活动对径流变化的影响可定量分割为

$$I_{\text{clim}} = \frac{\Delta Q_{\text{clim}}}{|\Delta Q_{\text{clim}}| + |\Delta Q_{\text{hum}}|} \times 100\% \quad I_{\text{hum}} = \frac{\Delta Q_{\text{hum}}}{|\Delta Q_{\text{clim}}| + |\Delta Q_{\text{hum}}|} \times 100\%$$

(4)

式中: ΔQ_{tot} ——总的径流变化量; ΔQ_{clim} ——由气候变化引起的径流变化量; ΔQ_{hum} ——由人类活动引起的径流变化量; $\bar{Q}_{2,\text{obs}}$ ——变化期的流域年平均观测径流量; $\bar{Q}_{1,\text{obs}}$ ——基准期的流域年平均观测径流量; $\bar{Q}_{2,\text{sim}}$ ——变化期的流域年平均模拟径流量; $\bar{Q}_{1,\text{sim}}$ ——基准期的流域年平均模拟径流量; I_{clim} ——由气候变化引起径流量变化的百分比; I_{hum} ——由人类活动引起径流量变化的百分比。

3 结果与分析

3.1 流域内的降雨径流变化

表 2 为 10 个子流域运用 MK 检验法得到的结果,可以看出:在降水无明显变化的情况下,10 个子流域内有 6 个流域的径流下降趋势显著。通过突变点检验,可以发现这 6 个子流域都存在 2 个突变点,其中新井的突变点为 1967 年和 1998 年,初头朗的突变点为 1974 年和 1998 年,甸子、赤峰、太平庄、兴隆坡这 4 个子流域的突变点都为 1979 年和 1998 年。统计出有突变点的 6 个子流域的降雨径流累积曲线(见图 2),得到与表 2 结果相同的变化趋势。

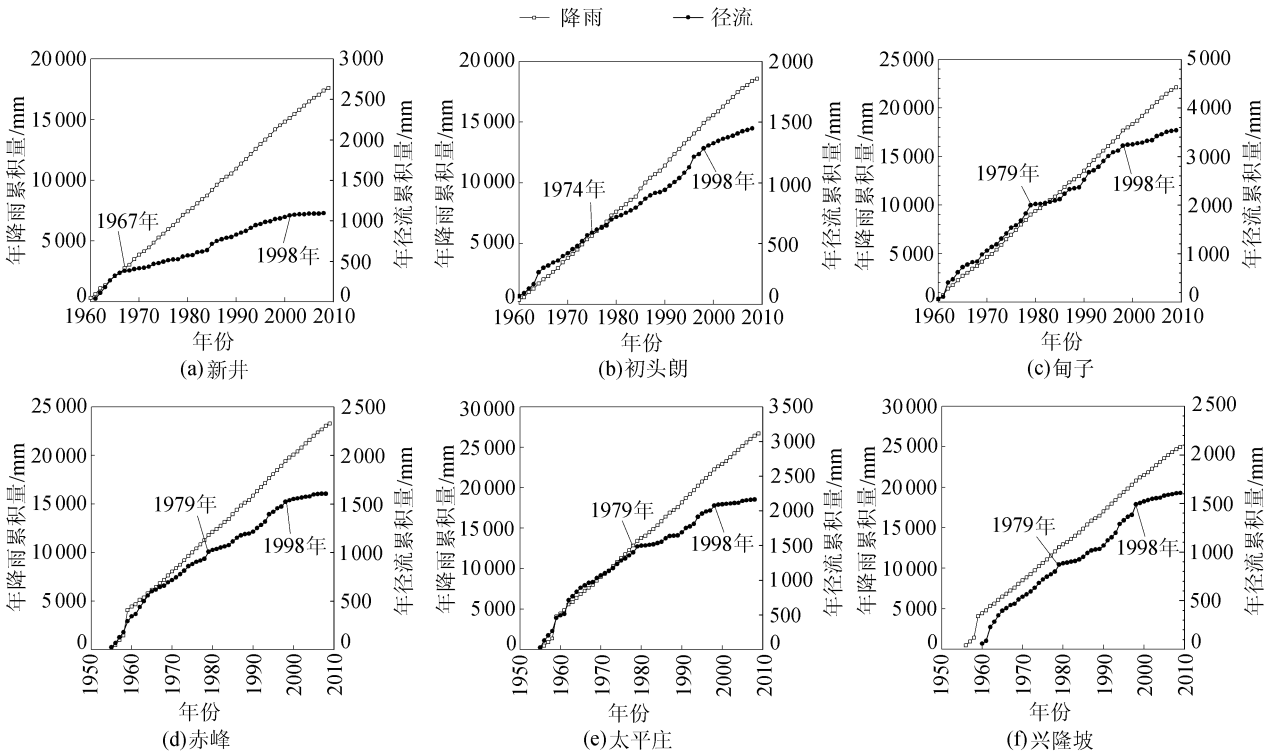


图2 过去50年6个子流域的降雨径流累积曲线

Fig. 2 Cumulative curves of precipitation and runoff in six sub-basins over past 50 years

3.2 气候变化和人类活动对径流的影响

运用VIC-3L模型分别对径流下降显著的3个子流域进行水文模拟,以流域的第一个突变年份为界限,之前作为基准期,之后作为变化期。以确定性系数(NSCE)和偏差(BIAS)最小为指标,对VIC-3L模型进行参数率定;然后保持率定参数不变,利用变化期的降水驱动模型对变化期的自然径流进行重建,得到3个子流域的模拟径流。

为了评估人类活动和气候变化对地表径流下降的影响,在3个子流域内采用式(1)~(6)计算整个变化期由人类活动和气候变化引起的年均径流变化量以及各自所占的比重(表3)。从表3可以看出在这3个子流域中,人类活动是影响径流下降的主要原因,所占比例从77.96%到90.94%。其中,8号、10号流域由人类活动引起的径流变化量为-911.63万m³和-1 846.19万m³,占总径流下降的90.94%和89.53%。位于8号流域的赤峰市历年经济数据(图3)显示:随着人口数量的不断增加(过去50年人口增加了约200万),农业生产规模及国内生产总值不断扩大,如农作物产量在变化期的年均增长率为3.26%,远高于基准期的1.94%。特别是耗水量极大的

表2 10个子流域趋势检验及变点检验的结果

Table 2 Results of trend test and change point test in ten sub-basins

流域编号	站点名称	降雨 MK-Z 值	径流 MK-Z 值
1	新 井	-0.72	-3.24
2	初头朗	0.27	-2.13
3	兴巨德	0.28	-1.19
4	杨树湾子	-0.02	0.39
5	锦 山	0.90	0.04
6	小城子	-0.74	-1.50
7	甸 子	0.13	-2.49
8	赤 峰	-0.17	-3.92
9	太平庄	-0.43	-3.42
10	兴隆坡	-0.18	-3.10

注:流量1~10的降雨MK检验无显著变化;流域3~6的径流MK检验无显著变化,流域1、2、7、8、9、10的径流MK显著性水平分别为1%、5%、1%、0.1%、1%。

表3 在整个变化期年平均径流量人类活动及气候变化的影响

Table 3 Effects of climate change and human activities on annual average runoff over whole variation period

流域名称	变化期	$\Delta Q_{\text{clim}} / \text{万 m}^3$	$\Delta Q_{\text{hum}} / \text{万 m}^3$	$I_{\text{clim}} / \%$	$I_{\text{hum}} / \%$
赤 峰	1980—2009 年	90.78	-911.63	9.06	-90.94
太平庄	1980—2009 年	-280.46	-1 160.71	-19.46	-80.54
兴隆坡	1980—2009 年	-215.81	-1 846.19	-10.47	-89.53

灌溉农田面积已从 1987 年的2 083 km²增加到 2005 年的 3 840 km²,水库、塘坝等水利工程支持下的农业灌溉成为人类活动对老哈河流域径流量影响的最主要因素。

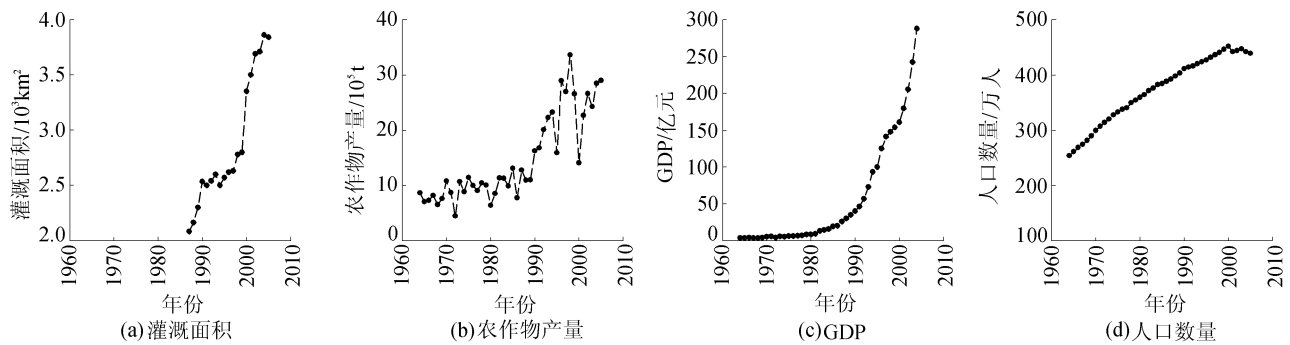


图 3 赤峰市经济数据
Fig. 3 Economic data of Chifeng City

为进一步分析人类活动和气候变化在年代间对径流变化的影响,将变化期划分为 1980 年前、1980—1989 年、1990—1999 年、2000—2009 年共 4 个时期,同样采用式(1)~(6)计算上述流域径流量的变化。表 4 显示:在降水偏少的 20 世纪 80 年代,受人类活动和气候变化双重影响,整体径流普遍呈下降趋势,且人类活动的影响高于气候变化,是径流下降的主要原因;而降水相对较多的 20 世纪 90 年代,气候变化促进了径流增加,致使部分流域的气候变化影响高于人类活动;到了 2000 年以后,人类对流域水资源过度利用,中大型水库的修建,人类活动的影响远高于气候变化,部分流域甚至出现了断流的情况。

表 4 每 10 年变化期年平均径流量人类活动及气候变化的影响

流域名称	1980—1989 年				1990—1999 年				2000—2009 年			
	ΔQ_{clim} /万 m ³	ΔQ_{hum} /万 m ³	I_{clim} /%	I_{hum} /%	ΔQ_{clim} /万 m ³	ΔQ_{hum} /万 m ³	I_{clim} /%	I_{hum} /%	ΔQ_{clim} /万 m ³	ΔQ_{hum} /万 m ³	I_{clim} /%	I_{hum} /%
赤峰	-323.41	-640.78	-33.54	-66.46	777.25	-607.26	56.14	-43.86	-211.76	-1 550.75	-12.01	-87.9
太平庄	-783.24	-1 080.31	-42.03	-57.97	653.94	-694.87	48.48	-51.52	-712.07	-1 706.93	-29.44	-70.5
兴隆坡	-1 145.94	-1 999.99	-36.43	-63.57	1 606.21	-561.90	74.08	-25.92	-1 107.70	-2 976.66	-27.12	-72.8

4 结 语

分析老哈河 10 个不同子流域降水和径流过去 50 年的变化趋势,并采用 VIC-3L 模型定量评估了气候变化和人类活动对流域地表径流急剧下降的影响,主要结论如下:

- a. 10 个子流域的 MK 检验、Pettitt 突变点检验以及降雨径流累积曲线的结果表明:自 1980 年以来,由于农业灌溉及经济发展对地表水和地下水过度开采,使得老哈河 6 个子流域的地表径流显著下降,其中 8 号子流域(即赤峰站控制的北部子流域)的径流受人类活动影响最剧烈,径流下降的显著性水平最高,近年来甚至在雨季都出现了断流的情况;而老哈河源头中部 3~6 号子流域,由于流域内植被覆盖较好,水土流失不严重,人类活动影响较少,流域的自然水文循环过程保持良好,地表径流变化不显著。
- b. 基于 VIC-3L 模型,对地表径流有显著下降特性的 3 个子流域的人类活动和气候变化定量分析结果表明:由于人类活动的剧烈影响,这 3 个子流域的地表径流从 20 世纪 80 年代开始出现明显的下降趋势,而且,人类活动对径流下降的贡献率随流域干湿变化而不同。在枯水年由于降水较少,人类对水的需求是导致径流下降的主要原因;而在丰水年由于雨量充足,气候变化在一定程度上促进了径流回升,人类活动的影响相对较小。就整个流域而言,近 90% 的径流下降是人类活动所引起的,而仅有 10% 归因于气候变化的影响。

参考文献:

[1] OKI T, KANAE S. Global hydrological cycles and world water resources[J]. Science,2006,313:1068-1072.
[2] VOROSMARTY C J, GREEN P, SALISBURY J, et al. Global water resources: vulnerability from climate change and population growth[J]. Seince,2000,289: 284-288.
[3] 马柱国,符淙斌. 1951—2004 年中国北方干旱化的基本事实[J]. 科学通报,2006(20): 2429-2439. (MA Zhuguo, FU

- Congbin. The basic fact of the drought in northern China from 1951 to 2004[J]. Chinese Science Bulletin, 2006(20): 2429-2439. (in Chinese))
- [4] 闫百兴, 宋新山, 闫敏华, 等. 辽河流域水资源演化趋势分析[J]. 水土保持通报, 2000(6): 1-5. (YAN Baixing, SONG Xinshan, YAN Minhua, et al. Evolutional trend of water resource in Liaohe River Catchment[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2000(6): 1-5. (in Chinese))
- [5] 符淙斌, 安芷生, 郭维栋. 我国生存环境演变和北方干旱化趋势预测研究(I): 主要研究成果[J]. 地球科学进展, 2005(11): 5-15. (FU Congbin, AN Zhisheng, GUO Weidong. Evolution of life-supporting environment in our nation and the predictive study of aridification in northern China(I): mainscientific issues and achievements[J]. Advances in Earth Science, 2005(11): 5-15. (in Chinese))
- [6] 符淙斌, 安芷生. 我国北方干旱化研究: 面向国家需求的全球变化科学问题[J]. 地学前缘, 2002(2): 271-275. (FU Congbin, AN Zhisheng. Study of aridification in northern China: a global change issue facing directly the demand of nation[J]. Earth Science Frontiers, 2002(2): 271-275. (in Chinese))
- [7] 叶笃正, 符淙斌, 董文杰. 全球变化科学进展与未来趋势[J]. 地球科学进展, 2002(4): 467-469. (YE Duzheng, FU Congbin, DONG Wenjie. Advances in global change science and future trends[J]. Advances in Earth Science, 2002(4): 467-469. (in Chinese))
- [8] 王顺德, 王彦国, 王进, 等. 塔里木河流域近40a来气候、水文变化及其影响[J]. 冰川冻土, 2003(3): 315-320. (WANG Shunde, WANG Yanguo, WANG Jin, et al. Change of climate and hydrology in the Tarim River Basin during past 40 years and their impact[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2003(3): 315-320. (in Chinese))
- [9] MA Zhenmei, KANG Shaozhong, ZHANG Lu, et al. Analysis of impacts of climate variability and human activity on streamflow for a river basin in arid region of northwest China[J]. Journal of Hydrology, 2008, 352: 239-249.
- [10] 胡珊珊, 郑红星, 刘昌明, 等. 气候变化和人类活动对白洋淀上游水源区径流的影响[J]. 地理学报, 2012(1): 62-70. (HU Shanshan, ZHENG Hongxing, LIU Changming, et al. Assessing the impacts of climate variability and human activities on streamflow in the water source area of Baiyangdian Lake[J]. Acta Geographica Sinica, 2012(1): 62-70. (in Chinese))
- [11] 郝璐, 王静爱, 高路, 等. 老哈河流域近40年径流变化趋势分析[J]. 北京师范大学学报: 自然科学版, 2008, 44(6): 629-634. (HAO Lu, WANG Jing'ai, GAO Lu, et al. On the runoff in Laohahe River Basin in the last 40 years[J]. Journal of Beijing Normal University: Natural Science, 2008, 44(6): 629-634. (in Chinese))
- [12] MANN H B. Nonparametric tests against trend[J]. Econometrica: Journal of the Econometric Society, 1945, 13(3): 245-259.
- [13] PETTITT A N. A non-parametric approach to the change point problem[J]. Applied Statistics, 1979, 28: 126-135.
- [14] 林建, 谢正辉, 陈锋, 等. 2006年汛期VIC水文模型模拟结果分析[J]. 气象, 2008(3): 69-77. (LIN Jian, XIE Zhenghui, CHEN Feng, et al. Simulation of VIC hydrologic model during 2006 flood season[J]. Meteorological Monthly, 2008(3): 69-77. (in Chinese))
- [15] 苏凤阁, 谢正辉. 气候变化对中国径流影响评估模型研究[J]. 自然科学进展, 2003(5): 56-61. (SU Fengge, XIE Zhenghui. Impact assessment model for climate change on the runoff of China[J]. Advance in Natural Science, 2003(5): 56-61. (in Chinese))
- [16] 谢正辉, 刘谦, 袁飞, 等. 基于全国50 km×50 km网格的大尺度陆面水文模型框架[J]. 水利学报, 2004, 35(5): 76-82. (XIE Zhenghui, LIU Qian, YUAN Fei, et al. Macro-scale land hydrological model based on 50 km×50 km grids system[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2004, 35(5): 76-82. (in Chinese))
- [17] 袁飞, 谢正辉, 任立良, 等. 气候变化对海河流域水文特性的影响[J]. 水利学报, 2005, 36(3): 274-279. (YUAN Fei, XIE Zhenghui, REN Liliang, et al. Hydrological variation in Haihe River Basin due to climate change[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2005, 36(3): 274-279. (in Chinese))
- [18] WANG Jiahu, HONG Y, GOURLEY J, et al. Quantitative assessment of climate change and human impacts on long-term hydrologic response: a case study in a sub-basin of the Yellow River, China[J]. International Journal of Climatology, 2010, 30(14): 2130-2137.
- [19] 江善虎, 任立良, 雍斌, 等. 老哈河流域降水变化特征分析[J]. 水电能源科学, 2009, 27(1): 1-4. (JIANG Shanhu, REN Liliang, YONG Bin, et al. Analysis of precipitation change in characteristic Laoha River Basin[J]. Water Resources and Power, 2009, 27(1): 1-4. (in Chinese))