



DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdtqk.2017.02.007

张超,何立新,王琳.布哈河流域水资源的气候演变特征[J].南水北调与水利科技,2017,15(2):45-49,57.
ZHANG Chao, HE Li xin, WANG Lin. Evolution of climate characteristics of water resources in Buha River Basin[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2017, 15(2): 45-49, 57. (in Chinese)

布哈河流域水资源的气候演变特征

张超^{1,2},何立新²,王琳¹

(1. 中国水利水电科学研究院 流域水循环模拟与调控国家重点实验室, 北京 100038; 2. 河北工程大学, 河北 邯郸 056021)

摘要:布哈河是青海湖最重要的径流补给河流,其流域水资源气候演变分析对于青海湖生态安全有重要意义。通过天骏、刚察、茶卡气象站长系列气温、降水数据分析布哈河流域气候变化特征。结果表明,近50年来,流域内气温均显著升高,海拔越高升温越明显,冬季升温较其它季节明显。采用 Mann Kendall 趋势分析法和累计距平曲线对各时段的升温趋势变化进行了分析,升温自1986年开始至1997年有一个10年左右的波动期,随后在1997年出现显著的突变过程,在与青藏高原整体趋势一致的基础上表现出区域自身的增温特点。降水呈增加趋势,但不如温度明显。海拔越高降水增加越明显,夏季降水增加较其它季节明显。根据气温和可利用降水变化特征,流域20世纪80年代开始进入增温增湿期,在20世纪90年代进入相对暖干期,21世纪前10年复转为暖湿期。

关键词:布哈河;青海湖;气温;降水;气候演变

中图分类号: P333 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-1683(2017)02-0045-05

Evolution of climate characteristics of water resources in Buha river basin

ZHANG Chao^{1,2}, HE Li xin², WANG Lin¹

(1. State Key Laboratory of Simulation and Regulation of Water Cycle in River Basin, Beijing 100038, China;

2. Hebei University of Engineering, Handan 056021, China)

Abstract: Buha River is the most important recharging source for Qinghai Lake. Analysis of the evolution of climate characteristics in Buha River basin has important significance to the ecological safety of Qinghai Lake. Based on the long series of temperature and precipitation data at Tianjun, Gangcha and Chaka stations, the climate characteristics in the river basin were analyzed. The results showed that the annual mean temperature continues to rise significantly at all the three stations. At Tianjun the highest station, the annual mean temperature has increased the most. Among the four seasons, the temperature increases the most in winter. Mann Kendall trend analysis method and cumulative anomalies were used to analyze the temperature change over the time. The temperature rise had a 10-year fluctuation period from 1986 to 1997, and then went through a significantly abrupt change in 1997. This coincides with the variation trend of temperature and precipitation on Qinghai Tibet Plateau over the years. The annual precipitation also has increased, but not so significantly as the annual mean temperature. The increase is more significant at the higher station. Among the four seasons, the annual precipitation increases the most in summer. According to the temperature and the available precipitation, the basin is going through a continuous warm and wet period since the 1980's. It was relatively warm and dry in the 1990's, and then became warm and wet again in the first decade of this century.

Key words: Buha River; Qinghai Lake; air temperature; precipitation; climate change

收稿日期: 2016-01-24 修回日期: 2016-03-07 网络出版时间: 2016-06-00

网络出版地址:

基金项目: 国家自然科学基金项目(51309247)

Funds: National Natural Science Foundation of China(51309247)

作者简介: 张超(1989),男,天津人,主要从事水文水资源与生态水文方面的研究。E-mail: moyexue@163.com

通讯作者: 何立新(1966),男(回族),教授,主要研究水文学及水资源、水资源规划与管理方面研究。

在全球气候变化研究中,青藏高原区域的响应更敏感^[1]。对于青藏高原区域及青海湖流域的气候变化特征已有一些研究,姜永见的研究表明,青藏高原平均气温呈上升趋势,增加温度介于 0.22~0.49 °C/10a 之间,其中柴达木地区增幅最大^[2]。青海湖区域近 50 年来气温持续上升,平均上升幅度 0.25~0.30 °C/(10a)^[3]。本文主要研究青藏高原东北部青海湖区最大的补给河流布哈河,以往的研究中针对青海湖研究较多,布哈河流域较少,本次在常规气温、降水变化分析基础上,加入了蒸散、可利用降水的研究,并采用 M-K 及累积距平方法进行突变性检验,分析其气候变化的特征及可利用降水变化趋势,全面反映青海湖布哈河流域的气候变化特性,探讨在全球气候变化背景下,青藏高原东北部青海盆地半湿润气候向柴达木盆地干旱气候过渡带^[4]的气候和水文响应规律,为日后该区域的气候及生态环境变化研究提供基础资料。

1 区域概况与研究方法

1.1 区域概况

布哈河属青海湖流域,行政区划上主要在青海省海西藏族自治州天峻县范围,在河口附近地区的南北岸分属刚察、共和两县。河流发源于疏勒南山,从西北向东南流入青海湖。集水面积近 15 000 km²,河长 286 km,源头海拔 4 513 m,河口海拔 3 195 m,水系呈树枝状,南岸支流相对较短,水量较小;北岸河网稠密,支流繁多,水量较丰富^[5]。流域内主要土壤类型包括草毡土、薄黑毡土、栗钙土、泥炭沼泽土、暗寒钙土、钙质石质土、湿草毡土、沼泽土等。该流域属于典型的高原半干旱气候,干旱少雨,日照充足,太阳辐射强烈,气温日较差较大。境内多风,夏秋季以东南风为主,冬春季以西风为最烈^[6]。流域内海拔 4 000 m 以上为终年冰雪覆盖,4 000 m 以下多为高寒草甸、草原,水量丰沛区有柏枝林、沙棘林等。

1.2 研究方法

研究区属我国西北部高海拔高原区,气象站点分布较少,本次选取流域内天峻气象站和流域附近刚察、茶卡共三个气象站点进行数据分析。天峻、刚察和茶卡三站的海拔依次为 3 410 m、3 310 m 和 3 100 m。以 1958 年—2014 年的逐月气温和降水资料为基础数据,分析长系列演变趋势及分季节的演变规律。数据资料引自中国气象科学数据库。其中茶卡和天峻站的部分气候数据根据刚察站数据进行线性插补和延长。



图 1 布哈河流域及主要气象站分布

Fig. 1 Buha River basin and the main weather stations

1.2.1 高桥浩一郎陆面蒸发经验公式

采用高桥浩一郎提出的陆面蒸发经验公式估算实际陆面蒸发量,该公式由于其估算结果参考价值较好而常被用于气候以及陆面水资源变化等研究中^[2,7-8],公式如下:

$$E = \frac{3100P}{(3100 + 1.8P^2 \exp\left[\frac{-34.4T}{235 + T}\right])} \quad (1)$$

式中: E 为月蒸散发; P 为月降水量; T 为月平均气温。

以降水量(P)与陆面蒸发量(E)的差值作为可利用降水量($P - E$)。

1.2.2 累积距平分析

累积距平是一种常用的、由曲线直观判断变化趋势的方法。对于序列 x , 其某一时刻 t 的累积距平表示为

$$\hat{x} = \sum_{i=1}^t (x_i - \bar{x}) \quad (t = 1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

式中: $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$

将 n 个时刻的累积距平值全部算出,即可绘出累积距平曲线进行趋势分析^[9]。

1.2.3 Mann-Kendall 趋势检验法与趋势突变检验法

Mann-Kendall 非参数统计检验法是由国际气象组织(WMO)推荐的应用于环境数据时间序列趋势分析的方法,也是检验水文数据时间序列单调趋势的有效工具^[10-12]。对序列 $X_t = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, 先确定所有对偶值($x_i, x_j, j > i$)中 x_i 与 x_j 的大小关系。趋势检验的统计量为

$$U_{MK} = \begin{cases} \frac{S-1}{[\text{Var}(S)]^{1/2}} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ \frac{S+1}{[\text{Var}(S)]^{1/2}} & S < 0 \end{cases} \quad (3)$$

式中:

$$\text{sgn}(\theta) = \begin{cases} 1 & \theta > 0 \\ 0 & \theta = 0 \\ -1 & \theta < 0 \end{cases}$$

$$\text{Var}(S) =$$

$$\frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^n t_i i(i-1)(2i+5)}{18}$$

式中： i 为结点重复的次数； t_i 为结点个数为 i 的组数，当 n 大于 10 时， U_{MK} 收敛于标准正态分布。原假设为该序列无趋势，采用双边趋势检验，在给定显著性水平 α 下，在正态分布表中查得临界值 $U_{\alpha/2}$ ，当 $|U_{MK}| < U_{\alpha/2}$ 时，接受原假设，即趋势不显著；若 $|U_{MK}| > U_{\alpha/2}$ ，则拒绝原假设，即认为趋势显著。

当 Mann Kendall 检验进一步用于序列突变检验时，构造一秩序列如下：

$$S_k = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{i-1} a_{ij} \quad (k = 2, 3, 4, \dots, n)$$

$$a_{ij} = \begin{cases} 1 & x_i > x_j \\ 0 & x_i \leq x_j \end{cases} \quad 1 \leq j < i \leq n$$

$$U_k = \frac{S_k - E(S_k)}{[Var(S_k)]^{1/2}} \quad (k = 2, \dots, n) \text{ 式中:}$$

$$U_1 = 0 \quad E[S_k] = \frac{k(k-1)}{4}$$

$$[Var(S_k)] = \frac{k(k-1)(2k+5)}{72} \quad (2 \leq k \leq n)$$

U_k 为标准正态分布，给定显著性水平 α ，若 $|U_k| > U_{\alpha/2}$ ，则表明序列存在显著的变化趋势。将序列 X_i 逆序排列，再按公式计算，并使

$$\begin{cases} U'_k = -U_k \\ k' = n+1-k \end{cases} \quad (k = 1, 2, \dots, n)$$

通过综合分析统计序列 U_k 及 U'_k ，可以进一步分析序列 X_i 的趋势变化，而且可以明确突变的时间，指出突变区域。如果 U_k 及 U'_k 两条曲线出现交点，且交点在临界线 $\pm U_{\alpha/2}$ 之间，那么交点对应的时刻就是突变开始的时刻。

2 结果与分析

2.1 气温变化分析

2.1.1 年均气温

(1) 线性倾向分析。

三站多年年均温度变化见图 2，可以得到多年变化趋势均呈上升趋势，但上升幅度有所不同，通过 Spearman 相关性检验，天峻、查卡和刚察相关系数分别为 0.75、0.56、0.75，达到极显著水平。其中天峻升温幅度最高，可达 $0.37 \text{ }^\circ\text{C}/(10\text{a})$ ，其次为刚察站，升温幅度为 $0.28 \text{ }^\circ\text{C}/(10\text{a})$ ，而茶卡站上升趋势

最弱，为 $0.21 \text{ }^\circ\text{C}/(10\text{a})$ ，从地理位置分布的角度分析可知，高海拔区域增温幅度大于低海拔区，这与青藏高原整个区域的随海拔梯度增温规律一致^[13]。

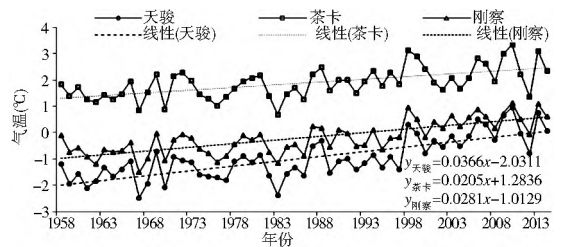


图 2 三站年均温变化趋势

Fig. 2 Air temperature changes at the three stations

对三站每 10 a 年均气温表(表 1)可以明显看出增温趋势自 20 世纪 70 年代始，在 80 年代后期开始出现较强上升，并一直延续到 2014 年，三站变化数值变化幅度基本一致。在 1987 年-1988 年、1998 年、2006 年和 2009 年-2010 年均出现温度峰值。

表 1 三站 10 a 平均气温

Tab. 1 10a mean air temperature changes at the three stations

气象站	1958-1964	1965-1974	1975-1984	1985-1994	1995-2004	2005-2014
天峻	-1.66	-1.44	-1.47	-1.08	-0.57	0.20
茶卡	1.43	1.67	1.50	1.90	2.16	2.48
刚察	-0.70	-0.58	-0.62	-0.23	0.17	0.62

(2) Mann Kendall 突变检验与累计距平分析

采用流域中代表性较强的天峻站进行 Mann Kendall 突变检验分析，从图 3 可以看出，在 1996 年与 1998 年之间两条曲线有一个交点，且仅有一个交点，虽然交点在临界线外，但通过对比累计距平曲线(图 4)回升趋势，能一定程度说明布哈河流域地区在 20 世纪 90 年代后期有一次显著的突然变暖的过程^[9]，过程的起点在 1997 年左右。同时分析累计距平曲线可以发现，从 1986 年开始，曲线发生变化，从下降线型转变为上升线型，说明自该年份开始，也有一个气温突变的过程，该结果与施雅风等人^[14]的西北地区气候从 1987 年突然发生变化的观点一致。随后，自 1986 年至 1997 年间存在一个平缓波动过程，说明气温自 1986 年突变后有一个近 10 a 的上下平缓波动期，波动后期自 1997 年开始又出现一个显著的突变过程。表明布哈河流域气温变化趋势与大多数的研究结果一致，但同时具有自身的波动特点。

2.1.2 温度的季节变化

从温度上来看，选取布哈河流域内天峻气象站 1958 年-2011 年 54 a 气象数据做季节变化分析见图 5。四个季度温度均呈上升趋势，升温范围在

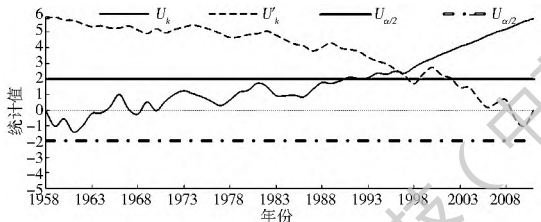


图 3 天峻站年平均气温 Manr Kendall 突变检验结果

Fig. 3 Manr Kendall abrupt tests of annual mean temperature at Tianjun station

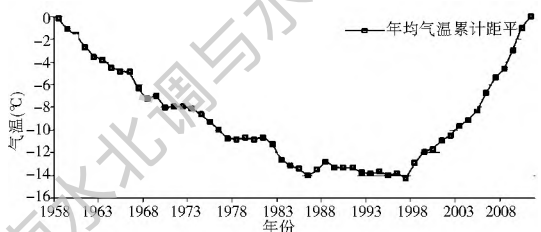


图 4 天峻站气温累积距平曲线

Fig. 4 Annual mean temperature accumulative anomalies at Tianjun station

0.17~0.66 °C/(10a), 夏季升温幅度较小为 0.17 °C/(10a), 冬季升温明显为 0.66 °C/(10a), 可以确定的布哈河流域的季节性增温是明显的, 其中冬季为主要的升温季节。分析波动规律可以发现, 波动年份以 3~5 a 为周期发生规律性震荡, 并且冬季尤为突出, 基本符合王澄海等^[15]提出的以 3 a 周期为主, 具有较稳定的周期变化这一规律。

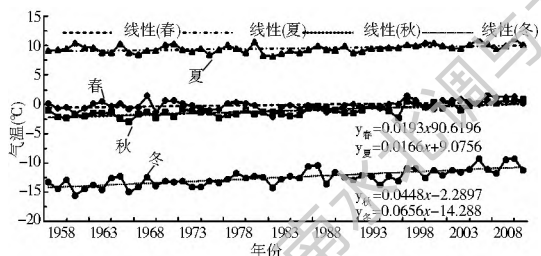


图 5 天峻站气温季节变化

Fig. 5 Air temperature changes at Tianjun station in different seasons

2.2 降水变化分析

(1) 线性倾向分析。

三站年降水量见图 6, 各个站点降水量均呈上升趋势。经 spearman 显著性检验, 天峻雨量增加趋势较为显著, 相关系数 0.327, 达到显著水平。三站雨量波动趋势基本相同, 并均在 1967 年和 1989 年出现降水峰值。通过分析线性倾向率得出, 三站中天峻站降水增加幅度最大, 增加量为 13.4 mm/(10a), 刚察站为 5.8 mm/(10a), 茶卡站为 5.3 mm/(10a)。同样, 研究区内海拔较高表现出更强的增雨趋势。

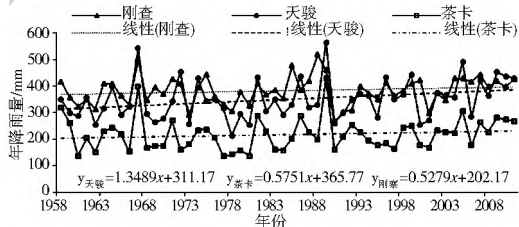


图 6 三站降雨量变化趋势

Fig. 6 Precipitation changes at the three stations

(2) Manr Kendall 突变检验分析。

年降水量虽然表现为一定的增加趋势, 但对天峻站的突变分析结果(图 7)不明显, 从 Manr Kendall 突变检验曲线可以看到, 突变检验曲线从 1996 年-2006 年间有多个交点, 更多地表现为一种周期性的波动。

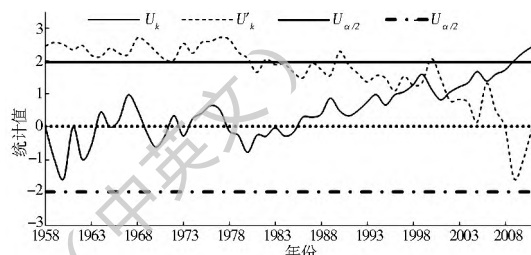


图 7 天峻站年降水量 Manr Kendall 突变检验结果

Fig. 7 Manr Kendall abrupt tests of annual mean precipitation at Tianjun station

(3) 降水量季节变化分析。

降雨季节变化见图 8。降水主要集中在夏季, 春秋其次, 冬季雨量较为稀少。夏季降水量增加趋势明显, 冬季降水量没有明显变化, 春秋季节波动性和阶段性较强, 这与大多数的研究结果一致。显著性水平上看, 仅夏季通过 0.05 显著性检验, 其它各季均不能通过显著性检验。在全球气候变暖的大趋势下, 随全球大幅度变暖、水汽循环加快, 降水在季节分配上发生了一定的变化, 布哈河流域的夏季雨量有逐渐增加的趋势。

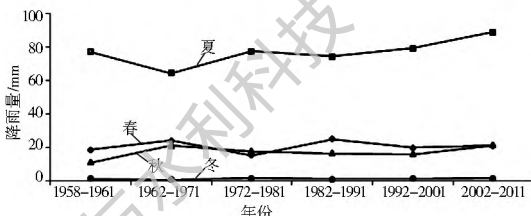


图 8 天峻站年降雨量季节分析

Fig. 8 Precipitation changes of Tianjun station in different seasons

2.3 可利用降水量

年可利用降水量作为年降水量与年陆面蒸发量之差^[16], 可用于衡量一个地区水资源量的波动, 反映该区气候条件的干湿变化。利用高桥浩一郎蒸散

计算公式,计算出天骏站蒸散发量见图9。蒸散发量增加趋势不明显,3.3 mm/(10a),相关系数0.109,经显著性检验增加趋势不显著。天骏站可利用降水分析如图9中所示,经spearman显著性检验,可利用降水量呈显著增加趋势,增加量为10.2 mm/(10a),受蒸散发影响,可利用降水增加趋势不如降雨明显。结合可利用降水与气温10 a变化(图10)分析可知,20世纪80年代开始流域进入增温增湿期,80年代为暖湿期,随后90年代可利用降水相对80年代减少,而气温持续升高,进入相对暖干期,21世纪前10年复转为暖湿期。

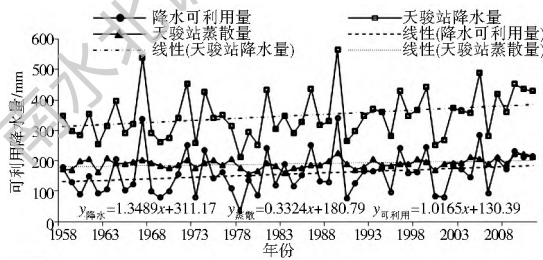


图9 天骏站可利用降水量

Fig. 9 Available precipitation at Tianjun station

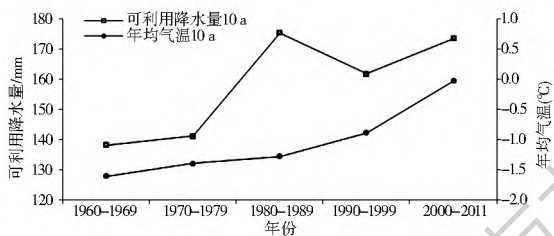


图10 天骏站可利用降水量与年均气温10 a变化趋势图

Fig. 10 Changes of 10a mean available precipitation and air temperature at Tianjun station

3 结论

通过与流域外两站点对比分析,布哈河流域气温呈极显著上升趋势,天骏站达到0.37 °C/(10a),与青藏高原温度变化趋势一致,但不如流域西北部的柴达木盆地增温明显。海拔较高的天骏站升温幅度最大,四季中冬季升温幅度大于其它三季,且呈现规律性震荡。经趋势突变分析,增温自1986年开始,经过10 a的平缓波动性变化,至1997年出现显著升温突变点,与青藏高原升温趋势一致,同时表现出流域自身的区域增温特点。

流域内降水量有增加趋势,但趋势不明显。海拔较高的天骏站呈现显著增加趋势,达到13.4 mm/(10a),且增加量最大,说明54 a来流域内有逐渐转湿的趋势。其它两站增加趋势不明显。四季中夏季降雨增加明显,与相关研究结果一致。

经高桥浩一郎公式计算,流域内陆面蒸发增加趋势不显著。可利用降水量反映该区气候条件的干湿变化,经分析呈显著增加趋势。同时根据气温和可利用降水变化趋势,发现流域20世纪80年代开始进入增温增湿期,80年代为暖湿期,随后90年代进入相对暖干期,本世纪前10年复转为暖湿期。

参考文献(References):

- [1] Yao T D, Liu X D, Wang N L, et al. Amplitude of climatic changes in Qinghai Tibetan Plateau[J]. Chinese Science Bulletin, 2000, 45(13): 1235-1243.
- [2] 姜永见,李世杰,沈德福,等. 青藏高原近40年来气候变化特征及湖泊环境响应[J]. 地理科学, 2012, 32(12): 1503-1512. (JIANG Yongjian, LI Shirjie, SHEN Defu, et al. Climate change and its impact on the lake environment in the Tibetan Plateau in 1971-2008[J]. Scientia Geographica Sinica, 2012, 32(12): 1503-1512. (in Chinese))
- [3] 朱延龙,韩昆,王芳. 青海湖流域气候变化特点及水文生态响应[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2012, 10(4): 260-266. (ZHU Yanlong, HAN Kun, WANG Fang. Climate change and responses of hydroecology in Qinghai Lake watershed [J]. Journal of China Institute of Water Resources and Hydro-power Research, 2012, 10(2): 260-266. (in Chinese))
- [4] 张娟. 基于遥感和GIS的布哈河流域土壤侵蚀研究[D]. 西宁: 青海师范大学, 2012. (ZHANG Juan. Soil erosion of the Buha River basin based on remote sensing and GIS [D]. Xining: Qinghai Normal University, 2012. (in Chinese))
- [5] 刘吉峰,张荣刚,李世杰. 分布式水文模型在青海湖布哈河流域的应用及意义[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2007, 35(2): 159-163. (LIU Jifeng, ZHANG Ronggang, LI Shirjie. Application of SWAT model to analysis of runoff variation of Buha River Basin of Qinghai Lake[J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2007, 35(2): 159-163. (in Chinese))
- [6] 陶炳德,沙占江,郭丽霞,等. ¹³⁷Cs示踪法研究湟水上游和布哈河下游区域土壤侵蚀强度[J]. 干旱区地理, 2013, 36(6): 997-1004. (TAO Bingde, SHA Zhanjiang, GUO Lixia et al. ¹³⁷Cs tracing technique to study soil erosion between upper Huangshui Basin and lower Buha River Basin[J]. Arid Land Geography, 2013, 36(6): 997-1004. (in Chinese))
- [7] 叶佰生,赖祖铭,施雅风. 气候变化对天山伊犁河上游河川径流的影响[J]. 冰川冻土, 1996, 18(1): 29-36. (YE Baisheng, LAI Zuming, SHI Yafeng. The effect of climate change on runoff in the Yili River in the Tianshan Mountains[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 1996, 18(1): 29-36. (in Chinese))
- [8] 郭洁,李国平. 若尔盖气候变化及其湿地退化的影响[J]. 高原气象, 2007, 26(2): 422-428. (GUO Jie, LI Guoping. Climate change in Zoige Plateau marsh wetland and its impact on wetland degradation [J]. Plateau Meteorology, 2007, 26(2): 422-428. (in Chinese))

(下转第57页)

87. (in Chinese))
- [13] 陈学群, 李福林, 张瑞青, 等. 黄河河口平原多闸坝河道水流数学模型[J]. 水资源保护, 2012, 28(1): 38-41. (CHEN Xuequn, LI Fulin, ZHANG Ruqing, et al. Mathematical model of flow in rivers with multiple sluices and dams in plain area in Yellow River Estuary [J]. Water Resources Protection, 2012, 28(1): 38-41. (in Chinese)) DOI: 10.3969/j.issn.1004-6933.2012.01.009
- [14] 杨洵, 杨永洁, 李伟, 等. 太子河流域水质改善水量调控技术研究[J]. 东北水利水电, 2013(1): 40-43. (YANG Xun, YANG Yongjie, LI Wei, et al. Study on technologies of water quality improvement and water quantity regulation in Taizi River area [J]. Northeast Water Conservancy and Hydropower, 2013(1): 40-43. (in Chinese)) DOI: 10.3969/j.issn.1002-0624.2013.01.016
- [15] 林波, 刘琪瀑, 尚鹤, 等. MIKE11/NAM 模型在挠力河流域的应用[J]. 北京林业大学学报, 2014, 36(5): 99-108. (LIN Bo, LIU Qipao, SHANG He, et al. Application of coupled MIKE11/NAM model in Naoli River Basin, northeastern China [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2014, 36(5): 99-108. (in Chinese))
- [16] 杨甜甜. 大沽夹河流域水文水动力耦合模型研究及应用[D]. 大连: 大连理工大学, 2015. (YANG Tiandian. Study and application on hydrologic hydrodynamic coupling model in Daguji River Catchment [D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2015. (in Chinese))
- [17] Zhu Z D, Oberg N, Morales V M. Integrated urban hydrologic and hydraulic modelling in Chicago, Illinois [J]. Environmental Modelling & Software, 2016, 77: 63-70.
- [18] Archibald T W, McKinnon K I M, Thomas L C. An aggregate stochastic programming model of multiple reservoir systems [J]. Water Resource Research, 2012, 2: 333-340.
- [19] 孙映宏, 姬战生, 周蔚. 基于 MIKE11 HD 和 NAM 耦合模型在河流施工围堰对防洪安全影响分析中的应用与研究[J]. 浙江水利科技, 2009(2): 31. (SUN Yinghong, JI Zhan-sheng, ZHOU Wei. Application and research on influence of construction cofferdam on river areas upon flood control safety based on MIKE11 HD and NAM coupling model [J]. Zhejiang Hydrotechnics, 2009(2): 31. (in Chinese)) DOI: 10.3969/j.issn.1008-701X.2009.02.012
- [20] 赵凤伟. MIKE11 HD 模型在下辽河平原河网模拟计算中的应用[J]. 水利科技与经济, 2014, 20(8): 33. (ZHAO Fengwei. Application of Mike11 HD on hydrodynamic modeling of waterways in Xialiaohe River Plain [J]. Water Conservancy Science and Technology and Economy, 2014, 20(8): 33. (in Chinese)) DOI: 10.3969/j.issn.1006-7175.2014.08.015
- [21] 魏加华, 王光谦, 蔡治国. 多时间尺度自适应流域水量调控模型[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2006, 46(12): 1973-1977. (WEI Jiayua, WANG Guangqian, CAI Zhiguo. Multitime scale adaptive regulation model of a river basin water allocation [J]. Journal of Tsinghua University (Science & Technology), 2006, 46(12): 1973-1977. (in Chinese)) DOI: 10.3321/j.issn:1000-0054.2006.12.007
- [22] 宋刚福, 沈冰. 基于生态的城市河流水量水质联合调度模型[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2012, 40(3): 258-263. (SONG Gangfu, SHEN Bing. An ecology-based water quantity and quality combined operation model for urban rivers [J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2012, 40(3): 258-263. (in Chinese)) DOI: 10.3876/j.issn.1000-1980.2012.03.003

(上接第 49 页)

- [9] 傅小城, 王芳, 王浩, 等. 柴达木盆地气温降水的长序列变化及与水资源关系[J]. 资源科学, 2011, 33(3): 408-415. (FU Xiaocheng, WANG Fang, WANG Hao, et al. Analysis of long-term changes in temperature and precipitation and their relationships with water resources in the Qaidam Basin in China [J]. Resources Science, 2011, 33(3): 408-415. (in Chinese))
- [10] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 2007. (WEI Fengying. Modern climate statistical diagnosis and prediction technology [M]. Beijing: China Meteorological Press, 2007. (in Chinese))
- [11] 孙永亮, 李小雁, 汤佳, 等. 青海湖流域气候变化及其水文效应[J]. 资源科学, 2008, 30(3): 354-362. (SUN Yongliang, LI Xiaoyan, TANG Jia, et al. Climate change and hydrological response in the watershed of Qinghai Lake [J]. Resources Science, 2008, 30(3): 354-362. (in Chinese))
- [12] 宋月君, 杨洁, 莫明浩, 等. 赣县近 60a 气温与降雨量变化趋势研究[J]. 南水北调与水利科技, 2011, 9(6): 39-47. (SONG Yuejun, YANG Jie, MO Minghao, et al. Trends of variations of temperature and precipitation in Ganxian in recent 60 years [J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2011, 9(6): 39-47. (in Chinese))
- [13] 于惠. 青藏高原草地变化及其对气候的响应[D]. 兰州: 兰州大学, 2013. (YU Hui. Dynamics of grassland growth and its response to climate change on Tibetan Plateau [D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2013. (in Chinese))
- [14] 施雅风, 沈永平, 李栋梁, 等. 中国西北气候由暖干向暖湿转型的特征和趋势探讨[J]. 第四纪研究, 2003, 23(2): 152-164. (SHI Yafeng, SHEN Yongping, LI Dongliang, et al. Discussion on the present climate change from warm dry to warm wet in Northwest China [J]. Quaternary Sciences, 2003, 23(2): 152-164. (in Chinese))
- [15] 王澄海, 李健, 许晓光. 中国近 50 年气温变化准 3 年周期的普遍性及气温未来的可能变化趋势[J]. 高原气象, 2012, 31(1): 126-136. (WANG Chenghai, LI Jian, XU Xiaoguang. Universality of quasi 3 year period of temperature in last 50 years and change in next 20 years in China [J]. Plateau Meteorology, 2012, 31(1): 126-136. (in Chinese))
- [16] 宋正山, 杨辉, 张庆云. 华北地区水资源各分量的时空变化特征[J]. 高原气象, 1999, 18(4): 552-566. (SONG Zhengshan, YANG Hui, ZHANG Qingyun. The characteristics of temporal and spatial variation of water resource components over North China [J]. Plateau Meteorology, 1999, 18(4): 552-566. (in Chinese))