

Hydrological Impact of Climate Change on the Source Region of the Yellow River

Yadi Wang, Quan Quan, Taotao Xue, Bing Shen, Xiaolong Zhang

Key Laboratory of Northwest Water Resource and Environmental Ecology, Ministry of Education, Xi'an University of Technology, Xi'an Shaanxi
Email: qq@xaut.edu.cn

Received: Feb. 23rd, 2018; accepted: Mar. 7th, 2018; published: Mar. 15th, 2018

Abstract

In recent years, because of the climate change and human activities in the source region of the Yellow River, both the ecosystem and hydrological conditions have undergone significant changes. This paper investigated the impact of climate change on the source region of the Yellow River, and analyzed the trend of temperature in the source region, the age of mutation, seasonal distribution, trend of precipitation, and variation of runoff. In this paper, the distribution uniformity of runoff was determined by calculating the non-uniform distribution coefficient of annual runoff. The trend of the whole series was judged by analyzing the curve of the moving average sequence. The change of accumulated anomalous curve could be used to judge the approximate time of mutation and the long-term continuous change and evolution trend. The results showed that in the analysis of climatic factors, the annual mean temperature in the source region of the Yellow River increased significantly from 1960 to 2014 in the long time series. According to the results of precipitation change analysis, the distribution of precipitation in the source region of the Yellow River was quite different. The interannual variation of precipitation showed an insignificant increase overall. The non-uniform coefficient and the concentration of runoff in the source region of the Yellow River were large, which indicated that there was a clear seasonal change in the distribution of runoff. The overall runoff showed a decreasing trend, especially during the period of 1990s to mid-21st century.

Keywords

Source Region of the Yellow River, Climate Change, Temperature, Precipitation, Runoff Variation

气候变化对黄河源区的水文影响分析

王亚迪, 权全, 薛涛涛, 沈冰, 张晓龙

西安理工大学西北水资源与环境生态教育部重点实验室, 陕西 西安
Email: qq@xaut.edu.cn

作者简介: 王亚迪(1995-), 女, 河北沧州人, 西安理工大学, 硕士研究生, 主要从事生态水文学方面的研究。

收稿日期：2018年2月23日；录用日期：2018年3月7日；发布日期：2018年3月15日

摘要

近年来，黄河源区由于受到气候变化和人类活动的影响，生态系统和水文情势均发生显著变化。本文就气候变化对黄河源区的影响展开调查，分析了源区的气温的变化趋势及突变年代，降水的季节分配和变化趋势，以及径流的年内变化和年际变化。本文通过计算径流年内分配不均匀系数判断径流分配均匀性，通过分析滑动平均序列的曲线判断整个时间序列的趋势，通过累积距平曲线的变化判断序列大致突变的时间以及长期持续变化情况和演变趋势。结果表明：在气候因子变化分析中，在1960~2014年长时间序列中，黄河源区年平均气温呈现显著增加趋势。根据降水变化分析结果，黄河源区降水年内分配差异较大，在年际变化上，降水量整体呈现不显著的增加趋势。黄河源区径流量不均匀系数较大，集中度较高，说明径流分配有明显的丰枯季节变化。径流量整体呈现减少的趋势，这种趋势在90年代至21世纪中期尤为明显。

关键词

黄河源区，气候变化，气温，降水，径流变化

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

黄河源区是指位于青藏高原东北部(95°50'E~103°30'E, 32°30'N~30°00'N 之间)的黄河干流唐乃亥以上流域[1]。自 20 世纪末，由于气候变化和人类活动的影响，源区的生态系统和水源补给系统发生了明显变化，如冰川消融、雪线上升等，加快了地表水量减小、冻土层地下水位的下降、湿地退化等现象的发生，黄河源生态系统对气候变化非常敏感[2] [3]。径流的影响因子主要是气候变化因子和人类活动。气候变化因素主要包括气温、降水、相对湿度、日照、风速等；人类活动因素主要包括人类对流域下垫面的改变和水资源的开发利用等[4]。

国际上从 20 世纪 80 年代中期展开了关于气候变化对水文、水循环和水资源的影响的研究[5]。1977 年，美国国家研究协会(USNA)组织讨论了气候变化与供水之间的相互影响与联系。气候变化对水文影响的不确定性评估引起人们的高度重视。Shen [6]通过研究全球气候模式(GCM)选择的不确定性的时间变化(主要是长期的)，以预测气候变化对水文的影响，结果表明，20 个 GCM 预测的未来气候变化(降水和温度)和水文响应具有高度的不确定性，并且不确定性随时间显著增加。Nepal [7]使用 12000 模型，在 DudhKoshi 子流域研究了目前并预测未来条件下不同径流成分的水文特征和贡献，模型预测结果表明，至本世纪中叶，流量将增加 13%，随后略有下降；本世纪末蒸发量将增加 16%。1985 年的 Vinach 会议，我国加进了气候变化对水资源影响研究[8]。刘昌明等[9] [10]就黄河源区降水和径流的关系以及径流对土地覆盖情况和气候变化的响应展开研究，根据 SWAT 模型模拟结果，随着植被覆盖度的增加，流域年径流量增加，蒸散量减小。

黄河源区处在特殊地理位置以及脆弱的生态环境中，形成其独特的水文系统和天然的冻土环境[11]。本文分析了源区的气温的变化趋势及突变年代，降水的季节分配和变化趋势，以及径流的年内变化和年际变化，分析气候变化对源区的径流影响。对黄河源区径流变化进行系统分析，探讨其变化趋势和原因，揭示气候变化对水生态环境的影响，可以为流域水资源管理提供科学依据。因此，有必要对黄河上游流域径流变化进行系统的分

析, 探讨其变化趋势和原因, 揭示气候变化对水生态环境的影响, 为流域水资源管理提供科学依据。所以, 开展气候变化对黄河源的水文影响分析对水资源开发利用以及河道生态保护非常重要。

2. 研究区概况与研究方法

2.1. 研究区概况

黄河发源于青藏高原巴颜克拉山北麓的约古宗列曲, 本研究中, 黄河源区选用唐乃亥水文站以上的部分, 流域面积为 12.2 万 km^2 。黄河源区地势呈现西南较高东北较低的特点, 整体海拔较高, 高程大致在 2656~6350 m 范围内, 属于高原大陆性气候, 太阳辐射比较强、日照时间较长、大气压力较低、昼夜温差大[12]。源区属于半湿润地区, 但区域内降水分布不均, 呈东南多西北少的特点。独特的地理位置以及气候特征, 使得该区冰川广布、冻土较为发育, 以及星罗棋布的湖泊湿地, 发挥了黄河源区涵养水源和补给水源的重要功能[13]。黄河源区的冻土地貌处于季节冻土到片状连续多年冻土的过渡区, 相比高原腹地, 多年冻土具有温度更高、厚度更薄的特点[14]。黄河沿、玛多县城等玛多盆地 1970 年代曾经属于多年冻土, 1990 年复位钻探研究显示多年冻土大部分已消融, 冻土分布边界线也分别向西和向北移动[15]。

2.2. 研究方法

径流过程是水循环最重要的环节之一, 其变化过程受降雨、蒸发、下渗、下垫面条件以及人类活动等诸多因素的影响。

2.2.1. 特征参数分析

反映经流年内分配不均的特征值较多, 主要用径流年内分配不均匀系数 C_v 。不均匀系数 C_v 的计算公式为:

$$C_v = \frac{\sqrt{\frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} (Q_i - \bar{Q})^2}}{\bar{Q}}$$

式中: Q_i 为月平均流量, m^3/s ; \bar{Q} 为年平均流量, m^3/s ; C_v 是表示径流年内分配不均的一个指标。 C_v 越大, 表示径流年内分配越不均匀; 反之, 则径流年内分配越均匀。

年内分配完全调节系数 C_r 是另外一种年内分配的指标。其计算公式如下:

$$C_r = \frac{\sum_{t=1}^{12} \Psi(t) [Q(t) - \bar{Q}]}{\sum_{t=1}^{12} Q(t)}$$

式中,

$$\Psi(t) = \begin{cases} 0, & Q(t) < \bar{Q} \\ 1, & Q(t) \geq \bar{Q} \end{cases}$$

年内分配完全调节系数 C_r 越大, 则年内水文气象因子分配越不均匀。

2.2.2. 趋势分析

1) 多年滑动平均

多年滑动平均值序列可以近似表示全序列的变化趋势, 此方法是由时间序列的平滑值来表示的, 对一个样本数量为 n 的一个长序列 x , 多年滑动平均值序列可以表示为:

$$x_j = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k x_{i+j-1} \quad (j=1, 2, \dots, n-k+1)$$

式中, k 值可以取非零正整数。经过多年滑动平均的计算, 通过分析滑动平均序列的曲线图来判断整个时间序列

的趋势。

2) 累计距平法

累计距平法又称差积曲线法，对于一个时间序列 x ，某一时刻 t 的累积距平值表达如下：

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

式中， \bar{x} 均值表示为

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

在绘制累积距平曲线时，需要求出 n 个时刻的累积距平值，然后进行趋势性分析；如果曲线呈现上升趋势则表示距平值在增加，相反如果曲线呈现下降趋势则表示距平值减小。通过曲线的变化可以判断出序列大致突变的时间以及长期持续变化的情况和演变趋势[16]。

3. 研究结果

3.1. 气候因子变化分析

3.1.1. 气温变化分析

1) 气温年际变化

黄河源平均气温时间序列变化图如图 1 所示，由图可以看出黄河源流域 1960~2014 年气温整体呈递增趋势。年平均气温变化倾向率为 $0.36^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ ，查相关系数检验表得 $\alpha = 0.05$ ， $n = 55$ 时 $r_{\alpha} = 0.266$ ，而相关系数 $r = 0.79 > r_{\alpha}$ ，表明研究的系列表现为显著的递增趋势。

2) 气温累积距平变化过程

气温累积距平图如图 2 所示，可以看到在本次研究中，气温累积距平均为负值，累积距平值都呈现出先降低后增加的趋势。从平均气温来看，源区气温累积距平值出现了 2 个转折点，在 1986 年发生转折而后平稳波动，在 90 年代末，发生第二次转折，此后开始呈现上升趋势。年平均最低气温在 1986 年发生转折，年平均最高气温在 90 年代末发生转折，而后呈现显著上升趋势。

3.1.2. 降水变化分析

1) 降水年内变化

由于气候的季节性波动，降水呈现季节性变化，使得降水年内分配不均，降水的年内分配特征通常采用各

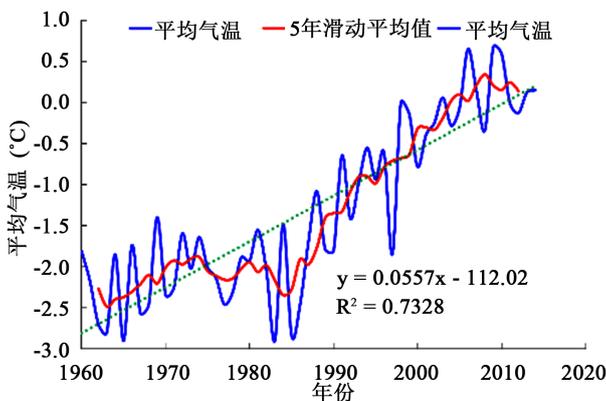


Figure 1. The time series of the average temperature of the Yellow River source

图 1. 黄河源平均气温时间序列变化图

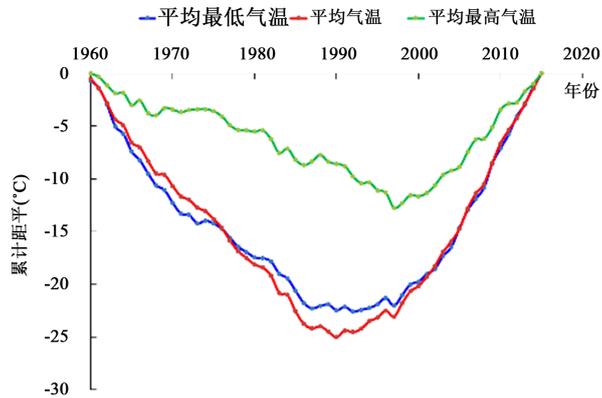


Figure 2. Cumulative temperature anomalies map
图 2. 气温累积距平图

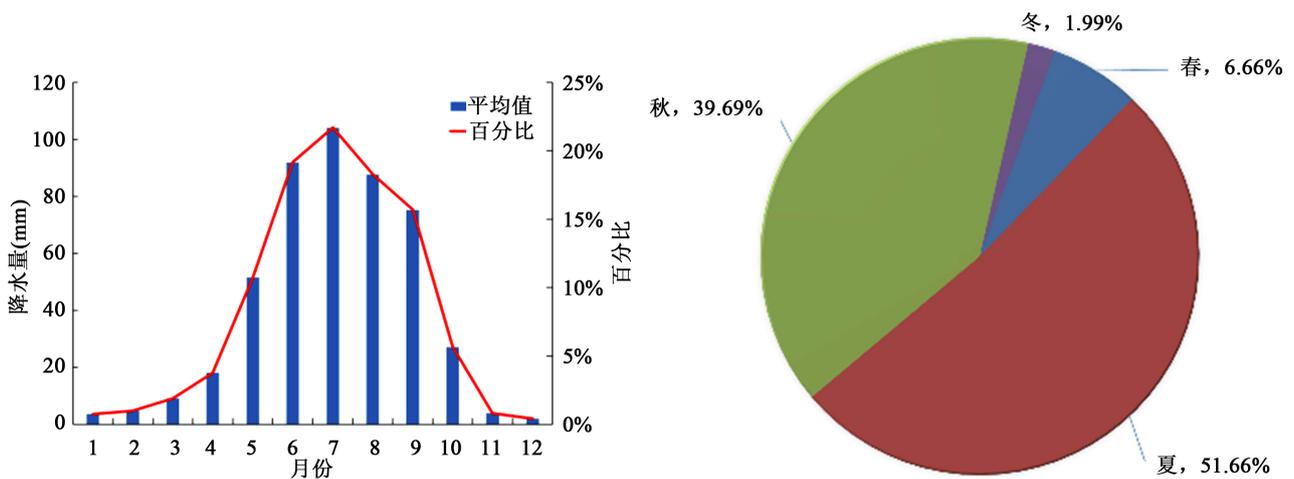


Figure 3. Multi-year average monthly precipitation and its distribution ratio, seasonal distribution of precipitation in the Yellow River Basin

图 3. 黄河源流域多年平均月降水量及其分配比例、降水量季节分配

月、季占全年降水量的百分比等来反映。图 3 显示黄河源流域降水年内分配差异也较大，多年最大平均月降水量发生在 7 月，月降水量为 99.2 mm，占多年平均年降水量的 21.7%。根据黄河源区降水径流特性，研究划分汛期为 5 月至 10 月，占年降水量的 90.9%；而 11 月份至次年 2 月份的降水量最少，仅占全年降水量的 3.1%。黄河源流域降水季节分配也极不平衡，夏季降水占全年降水量的 58.1%，冬季降水只占全年降水量的只有 2.2%。

2) 降水年际变化

黄河源流域平均降水量年时间序列变化图如图 4 所示，由图可以看出 1960~2014 年降水量呈现波动递增趋势。在 1990 年之前序列点系处于趋势线两侧，呈现震荡增加趋势，在 1990 年之后降水量处于趋势线以下，说明在 1990~2006 年之间降水量呈现了下降趋势。年平均降水量变化倾向为 6.80 mm/10 a，当 $\alpha = 0.05$ ， $n = 55$ 时， $r_a = 0.266$ ，而相关系数 $r = 0.19 < r_a$ 。表明原系列整体存在不显著的递增趋势。

由图 5 可知黄河源汛期降水量变化基本平稳，在 80 年代末出现下降趋势，21 世纪初表现出上升趋势。结论表明黄河源在 80 年代末到 21 世纪初，整体比较干旱，在 21 世纪初出现恢复变湿的趋势。黄河源非汛期降水量整体呈现增加趋势，当 $\alpha = 0.05$ ， $n = 55$ 时， $r_a = 0.266$ ，而相关系数 $r = 0.52 > r_a$ 。表明原系列整体存在显著的递增趋势。

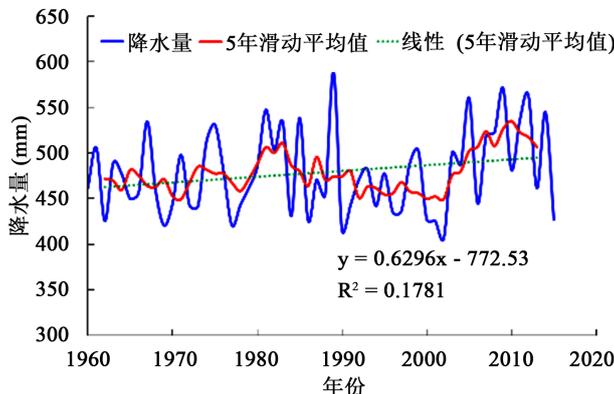


Figure 4. Change of average annual precipitation over the Yellow River

图 4. 黄河源平均年降水时间序列变化图

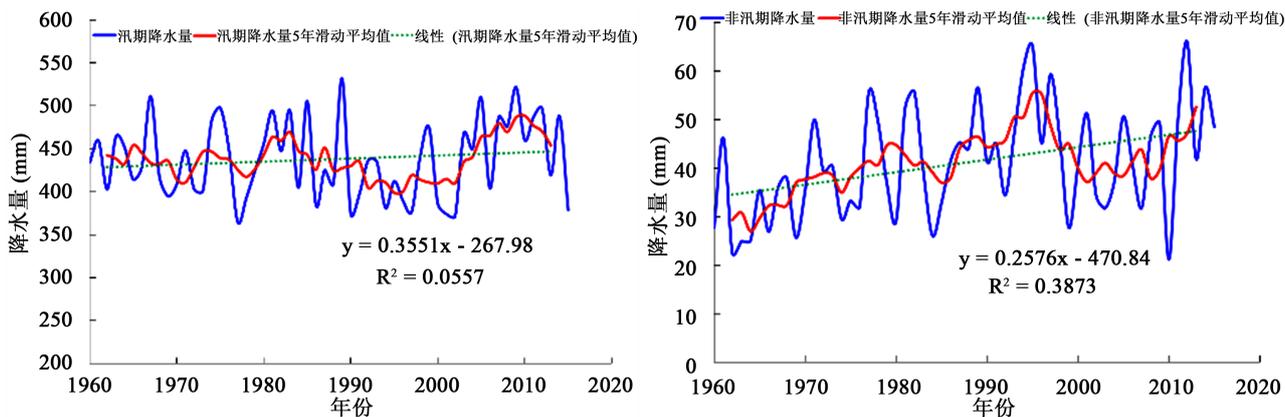


Figure 5. Time series distribution of flood season and non-flood season rainfall over the Yellow River source

图 5. 黄河源汛期、非汛期降水量时间序列分布图

3.2. 径流变化分析

3.2.1. 径流年内变化

径流的年内分配又称径流的年内变化或季节分配。天然河流由于受气候因素及流域调蓄能力有关的下垫面因素的影响，径流量在年内的分配时不均匀的。

1) 径流百分比法

根据实测径流资料(日平均资料)统计出相应年度的年径流量，然后确定计算时段(月或季)，并根据水文站径流资料统计出相应时段内的径流量，可算出不同时段径流量的百分比。

由表 1 可知，径流年内分布不均，其多年平均年径流量是 199.89 亿 m³，而且绝大部分集中在 6~10 月份，其径流量能占到年径流总量的 70%。由图 6 可知，6 月份平均径流量为 23.272 亿 m³，占全年径流量的 11.6%，7 月份径流量最大，多年平均径流量为 34.559 亿 m³，占全年径流量的 17.3%，8 月份平均径流量为 28.473 亿 m³，占全年径流量的 14.2%，9 月份平均径流量为 31.177 亿 m³，占全年径流量的 15.6%，10 月份平均径流量为 25.391 亿 m³，占全年径流量的 12.7%。研究时期内，流域 12 月、1 月、2 月径流量均很少，三个月的径流量仅占年流量的 7.4%，其中最小月径流量出现在 2 月份，仅占年径流量的 2.19%。同时由最大正负误差线，可以看出在研究时期内，历史最大月径流发生在 9 月份，最低月径流发生在 12 月份。

2) 年内分配特征

由表 2 可以看出, 黄河源流域径流年内分配不均性和集中度普遍比较高, 说明径流年内分配相对比较集中, 计算集中期显示出现在 8 月。黄河流域 1960~2014 年平均月径流量的不均匀系数和完全调节系数分别是 0.71 和 0.3, 并且与集中度具有较好的同步性变化规律。不均匀系数值越高, 集中度值也越高, 径流量具有明显的丰枯季节变化。

3.2.2. 径流年际变化

1) 径流变化过程

通过分析图 7 可知, 唐乃亥站 1960 年~2014 年径流呈现递减趋势, 下降斜率为-5.684/10a, 相关性系数为 0.175。假设序列置信度 $\alpha = 0.95$, $n = 55$ 时 $r_\alpha = 0.266$, 相关性系数 $r = 0.175 < r_\alpha$, 表明原序列存在不显著的递减趋势。这种下降趋势在 80 年代中期到 20 世纪初滑动平均值下降的非常明显, 下降趋势比较显著。

2) 累积距平法

通过黄河源区年径流量、汛期、非汛期径流量累积距平随时间分布图(图 8)可知, 黄河源区年径流量与汛期

Table 1. Average intra-annual runoff distribution of Tangnaihai hydrological station

表 1. 唐乃亥水文站平均年径流量年内分配表

月份	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月
月径流量(亿 m ³)	4.43	4.38	5.78	9.29	14.69	23.27
百分比(%)	2.22	2.19	2.89	4.65	7.35	11.64
月份	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月
月径流量(亿 m ³)	34.56	28.47	31.18	25.39	12.47	5.98
百分比(%)	17.29	14.25	15.60	12.70	6.24	2.99

Table 2. Distribution characteristics of runoff in the Yellow River Basin during the years

表 2. 黄河流域径流年内分配统计特征

时段	不均匀系数	完全调节系数	集中度	集中期		相对变化幅度	绝对变化幅(亿 m ³)
				合成向量方向	出现时间		
1960~1990	0.73	0.31	0.46	207.1	8 月	17.96	2.10
1990~2014	0.68	0.29	0.44	202.4	8 月	15.60	1.58
1960~2014	0.71	0.30	0.45	205.0	8 月	16.93	1.87

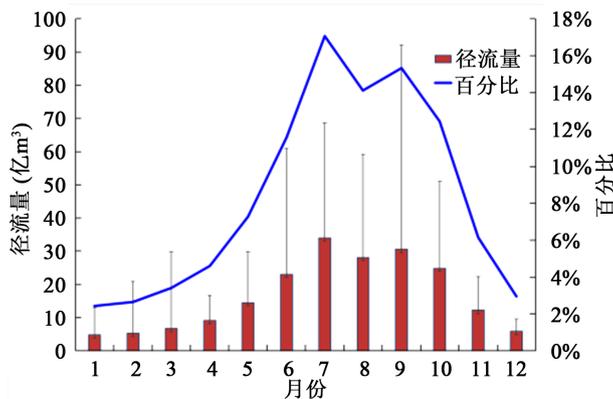


Figure 6. Multi-year average monthly runoff distribution of Tangnaihai hydrological station

图 6. 唐乃亥水文站多年平均月径流量分配

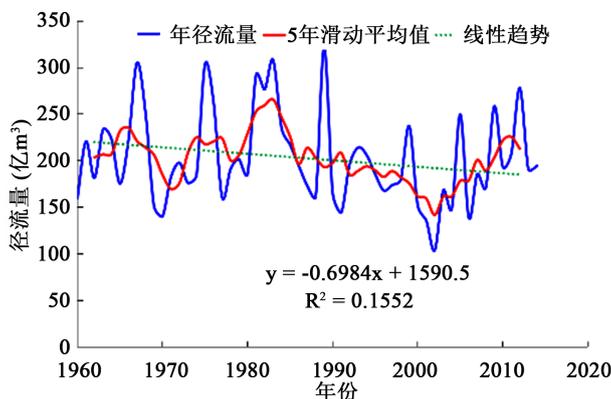


Figure 7. Variation of runoff of the Yellow River Source region (Tangnaihai Station)

图7. 黄河源(唐乃亥站)径流量变化趋势

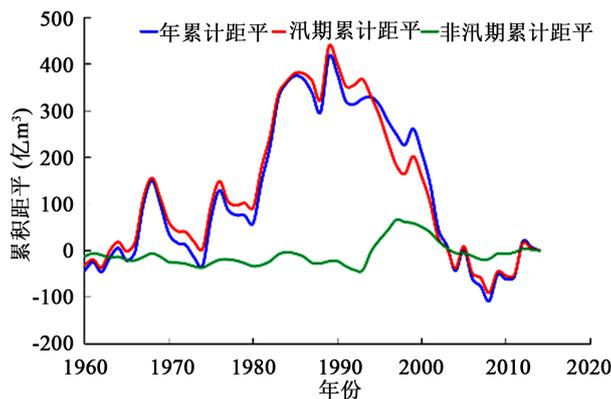


Figure 8. Curve of cumulative runoff of the annual runoff, flood season and non-flood season

图8. 年径流量、汛期、非汛期径流量累积距平线

径流量累积距平曲线变化趋势十分相近。结合径流滑动平均的分析结果，同样得到汛期多年变化趋势与多年平均径流量变化趋势十分接近，即可间接说明黄河源区降水对径流的影响较大。由累积距平图可知，径流系列转折点发生在1990年左右。年径流量和汛期径流量主要有2个阶段，总体表现为1960~1998年为波动性显著增加，说明该阶段丰水年份多于枯水年份；1998~2014年间为显著减少趋势，说明该阶段枯水年份要多于丰水年份。非汛期累积距平分为两个阶段，1984年之前呈现缓慢增加趋势，1984~1990年基本保持在稳定的范围之内，在1990年以后非汛期累积距平出现逐渐下降趋势，但变化幅度明显小于年径流量和汛期径流量。

4. 结论

本文对黄河源区的气候因子变化和径流变化进行了分析，主要结论如下：

1) 在气候因子变化分析中，黄河源区年平均气温在研究系列内呈现显著的增加趋势。由降水年内变化分析可知，黄河源流域降水年内分配差异较大，降水的年内分布以5~10月份最多，而11月份至次年2月份的降水量最少。降水年际变化分析可知，黄河源区降水量整体呈现不显著的增加趋势。

2) 由年内径流分布可知黄河源区多年平均最大月径流发生在7月份。多年平均不均匀系数比较大，集中度比较高，说明黄河源区径流分配有明显的丰枯季节变化。由径流年际变化可知，研究系列中黄河源区径流量呈整体减少趋势，这种趋势在90年代至21世纪中期尤为明显。

基金项目

国家自然科学基金青年基金项目, 项目名称为盐渍化农田水-热-盐传输过程与作物生长的特征及模拟(编号 413615048)。

参考文献 (References)

- [1] 时兴合, 秦宁生, 汪青春, 等. 黄河上游径流变化特征及其影响因素初步分析[J]. 中国沙漠, 2007, 27(4): 690-697.
SHI Xinghe, QIN Ningsheng, WANG Qingchun, et al. Analysis on runoff variation characteristics and influencing factors in the Upper Yellow River. *Journal of Desert Research*, 2007, 27(4): 690-697. (in Chinese)
- [2] 青藏高原冰川冻土变化对区域生态环境影响评估与对策咨询项目组. 青藏高原冰川冻土变化对生态环境的影响及应对措施[J]. 自然杂志, 2010, 32(1): 1-3.
Advisor and Research Group for the Estimate on Permafrost & Glacier Change and Its Impacts on the Ecosystem and Environment in Tibetan Plateau and the Adaptive Strategies. Permafrost and glacier change and its impacts on the ecosystem and environment in Tibetan plateau and the countermeasures. *Chinese Journal of Nature*, 2010, 32(1): 1-3. (in Chinese)
- [3] 胡光印, 金会军, 董治宝, 等. 黄河源区土地利用/覆盖变化(LUCC)研究[J]. 冰川冻土, 2014, 36(3): 573-581.
HU Guangyin, JIN Huijun, DONG Zhibao, et al. Research of land-use and land-cover change (LUCC) in the source regions of the Yellow River. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2014, 36(3): 573-581. (in Chinese)
- [4] 张士锋, 华东, 孟秀敬, 等. 三江源气候变化及其对径流的驱动分析[J]. 地理学报, 2011, 66(1): 13-24.
ZHANG Shifeng, HUA Dong, MENG Xiujing, et al. Climate change and its driving effect on the runoff in the "Three-River Headwaters" Region. *Acta Geographica Sinica*, 2011, 66(1): 13-24. (in Chinese)
- [5] 李峰平, 章光新, 董李勤. 气候变化对水循环与水资源的影响研究综述[J]. 地理科学, 2013, 33(4): 457-464.
LI Fengping, ZHANG Guangxin and DONG Liqin. Studies for impact of climate change on hydrology and water resources. *Scientia Geographica Sinica*, 2013, 33(4): 457-464. (in Chinese)
- [6] SHEN, M. X., CHEN, J., ZHUAN, M. J., et al. Estimating uncertainty and its temporal variation related to global climate models in quantifying climate change impacts on hydrology. *Journal of Hydrology*, 2018, 556: 10-24.
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.11.004>
- [7] NEPAL, S. Impacts of climate change on the hydrological regime of the Koshi River Basin in the Himalayan region. *Journal of Hydro-Environment Research*, 2015, 10: 76-89.
- [8] 王丽娜. 气候变化对黄河上游梯级水库效益影响研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西安理工大学, 2014.
WANG Lina. Effect of climate change on benefit of cascade reservoirs in the Upper Yellow River. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2014. (in Chinese)
- [9] 张士锋, 贾绍凤, 刘昌明, 等. 黄河源区水循环变化规律及其影响[J]. 中国科学: 技术科学, 2004, 34(S1): 117-125.
ZHANG Shifeng, JIA Shaofeng, LIU Changming, et al. Rules and influence of water cycle in the Yellow River source region. *Science China Series E Technological Science*, 2004, 34(S1): 117-125. (in Chinese)
- [10] LI, D., TIAN, Y., LIU, C., et al. Impact of land-cover and climate changes on runoff of the source regions of the Yellow River. *Journal of Geographical Sciences*, 2004, 14(3): 330-338. <https://doi.org/10.1007/BF02837414>
- [11] 蓝永超, 丁永建, 沈永平, 等. 气候变化对黄河上游水资源系统影响的研究进展[J]. 气候变化研究进展, 2005, 1(3): 122-125.
LAN Yongchao, DING Yongjian, SHEN Yongping, et al. Review on impact of climate change on water resources system in the upper reaches of yellow river. *Advances in Climate Change Research*, 2005, 1(3): 122-125. (in Chinese)
- [12] 程慧艳. 黄河源区高寒草甸草地覆被变化的水文过程与生态功能响应研究[D]: [博士学位论文]. 兰州: 兰州大学, 2007.
CHENG Huiyan. The hydrology process and ecological functions response under the vegetation coverage change of alpine-cold meadow in the headwater region of Yellow River. Lanzhou: Lanzhou University, 2007. (in Chinese)
- [13] 李开明, 李绚, 王翠云, 等. 黄河源区气候变化的环境效应研究[J]. 冰川冻土, 2013, 35(5): 1183-1192.
LI Kaiming, LI Xuan, WANG Cuiyun, et al. Research on the environmental effect caused by climate change in the source region of the Yellow River. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2013, 35(5): 1183-1192. (in Chinese)
- [14] 罗栋梁, 金会军, 林琳, 等. 黄河源区多年冻土温度及厚度研究新进展[J]. 地理科学, 2012, 32(7): 898-904.
LUO Dongliang, JIN Huijun, LIN Lin, et al. New progress on permafrost temperature and thickness in the source area of the Huanghe River. *Scientia Geographica Sinica*, 2012, 32(7): 898-904. (in Chinese)
- [15] 金会军, 王绍令, 吕兰芝, 等. 黄河源区冻土特征及退化趋势[J]. 冰川冻土, 2010, 32(1): 10-17.
JIN Huijun, WANG Shaoling, LV Lanzhi, et al. Features and degradation of frozen ground in the sources area of the Yellow River, China. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2010, 32(1): 10-17. (in Chinese)
- [16] 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 statistic diagnosis and prediction technology. Beijing: China Meteorological Press, 2007. (in Chinese)