

气候变化对奇台白杨河径流的影响——基于五圣宫水文站观测数据

吾买尔·玉苏甫

新疆维吾尔自治区昌吉水文勘测中心, 新疆 昌吉 831100

[摘要] 奇台县地处天山北麓东段干旱区, 白杨河是支撑区域农业灌溉、城乡生活与生态保护的核心水源, 五圣宫站为白杨河干流控制性水文站, 其径流变化直接关系区域水资源安全。为明晰气候变化下白杨河径流演变规律, 本文选取五圣宫站1980—2020年实测径流数据, 搭配同期奇台气象站观测资料, 运用线性趋势分析、Mann-Kendall突变检验、相关性分析等方法, 系统剖析流域气候变化特征, 探究径流时空演变规律, 定量揭示气温、降水等气象因子对径流的影响机制。研究结果显示, 近40年研究区气候呈暖湿化趋势, 气温显著上升、降水波动增加; 五圣宫站年径流呈缓慢上升态势, 年内分配趋于集中, 春汛提前、夏汛占比提升, 降水增加是驱动径流变化的主导因素, 气温升高通过融雪调控与蒸发损耗产生双向影响。本研究可为奇台县水资源优化配置、灌溉调度及气候适应性水利管理提供科学参考, 助力区域水资源可持续利用。

[关键词] 气候变化; 径流演变; 白杨河; 五圣宫站; 干旱区水资源; 水文监测

DOI: 10.33142/hst.v9i3.19350

中图分类号: TV12

文献标识码: A

The Impact of Climate Change on the Runoff of the Baiyang River in Qitai — Based on Observation Data from the Wushengong Hydrological Station

WUMAIER Yusufu

Xinjiang Changji Hydrological Survey Center, Changji, Xinjiang, 831100, China

Abstract: Qitai County is located in the arid area of the eastern foothills of the Tianshan Mountains. The Baiyang River is the core water source that supports regional agricultural irrigation, urban and rural life, and ecological protection. The Wushengong Station is a controlled hydrological station on the main stream of the Baiyang River, and its runoff changes directly affect regional water resource security. In order to clarify the evolution law of Baiyang River runoff under climate change, this article selects the measured runoff data from Wushengong Station from 1980 to 2020, combined with the observation data from Qitai Meteorological Station during the same period. Linear trend analysis, Mann-Kendall mutation test, correlation analysis and other methods are used to systematically analyze the characteristics of climate change in the watershed, explore the spatiotemporal evolution law of runoff, and quantitatively reveal the impact mechanism of meteorological factors such as temperature and precipitation on runoff. The research results show that in the past 40 years, the climate in the study area has shown a warm and humid trend, with significant increases in temperature and fluctuations in precipitation; The annual runoff of Wushengong Station shows a slow upward trend, and the distribution tends to be concentrated within the year. The proportion of spring and summer floods is advanced, and the increase in precipitation is the dominant factor driving runoff changes. The rise in temperature has a two-way effect through snowmelt regulation and evaporation loss. This study can provide scientific reference for optimizing the allocation of water resources, irrigation scheduling, and climate adaptive water management in Qitai County, and help promote the sustainable utilization of regional water resources.

Keywords: climate change; runoff evolution; Baiyang River; Wushengong Station; water resources in arid regions; hydrological monitoring

引言

全球气候变化已深刻改变干旱区水循环过程, 天山北坡作为我国西北干旱区气候敏感带, 水文要素对气候变化响应尤为显著。奇台县属典型干旱农业县, 水资源匮乏且时空分布不均, 白杨河作为境内重要中小河流, 以季节性

积雪融水和山区降水为主要补给来源, 五圣宫站是白杨河径流监测、水资源评价与调度管理的关键控制站点, 长期观测数据序列完整, 能精准反映流域天然径流演变特征。当前, 针对北疆大型河流的气候-径流响应研究较为丰富, 但针对东天山小流域、控制性水文站尺度的专项研究相对

匮乏,难以满足县域水资源精细化管理需求。本文基于五圣宫站长时序实测数据,开展气候变化对白杨河径流的影响研究,明确径流演变趋势与驱动机制,提出针对性水资源管理对策,契合干旱区水利职称论文研究范畴,也为同类小流域水文研究提供实践借鉴。

1 研究区概况与数据方法

1.1 研究区概况

白杨河流域位于新疆奇台县东南部,南起天山博格达山脉北麓,北至平原灌溉区,流域总面积 252km²(五圣宫站控制集水面积 172km²),属中温带大陆性干旱气候,多年平均降水量约 273mm,年均蒸发量远超降水量,气候干燥、昼夜温差大,生态环境脆弱。河流干流流程短、河道坡降大,径流补给以春季积雪融水、夏季山区降雨为主,径流年内年际变化显著。五圣宫站作为白杨河唯一长期控制性水文站,监测数据直接服务于奇台县东部灌区农业灌溉、乡镇生活供水及河道生态补水,是区域水资源管理的核心依据。

1.2 数据来源

本文所用数据均经过权威部门整编审核,可靠性满足水文分析要求:水文数据为白杨河五圣宫站 1980—2020 年逐月、年径流量实测序列,时长 41 年;气象数据采用同期奇台国家气象站年均气温、年降水量、水面蒸发量数据;同时参考《新疆水文年鉴》《奇台县水资源总体规划》等官方资料,辅助数据验证与分析。

1.3 研究方法

结合水文气象分析规范,本文采用以下方法开展研究:一是线性趋势法与 5 年滑动平均法,分析气候、径流的长期变化趋势与波动特征;二是 Mann-Kendall 非参数检验法,判断变化趋势的显著性,识别突变年份;三是累积距平法,划分径流丰枯期,明晰演变阶段;四是 Pearson 相关性分析法,定量分析气温、降水与径流的关联程度,揭示驱动机制。

2 流域气候变化特征分析

2.1 气温变化特征

蒸发作为流域水循环的关键环节,其变化特征与气温演变密切相关,1980—2020 年白杨河流域蒸发变化显著响应区域气候变暖过程,呈现出与气温变化相匹配的时空演变特征。研究时段内,流域年均气温呈极显著上升趋势,升温速率达 0.36°C/10a,远高于全球同期平均升温水平,显著的气候变暖态势为蒸发变化提供了主要驱动动力,促使流域蒸发量整体呈上升趋势。

从季节尺度来看,蒸发变化与气温季节升温特征呈现

高度一致性,冬季气温升温幅度最大,对流域整体气温上升贡献最为突出,对应冬季蒸发量增幅最为显著;春季气温升温幅度次之,蒸发量也呈现明显上升趋势;夏秋季节气温升温相对平缓,蒸发量变化幅度亦较为温和,未出现显著突变性增长。结合气温突变特征,经 Mann-Kendall 检验可知,流域气温于 1996 年发生显著升温突变,受此影响,蒸发量也同步发生突变性上升,2000 年以后随着流域进入持续偏暖阶段,高温天气频次增加、低温天气显著减少,进一步推动蒸发量维持在较高水平,呈现持续上升态势。

2.2 降水变化特征

同期流域年降水量呈波动上升趋势,增速为 8.6mm/10a,整体表现出“暖湿化”特征。降水年内分配极不均衡,夏季(6~8 月)降水量占全年 45%~50%,是径流主要补给期;春季降水量占比 25%左右,支撑春汛形成;秋冬季节降水偏少,以固态降雪为主,形成冬季积雪。年际间降水波动中等,变差系数 $C_v=0.23$,丰枯年份交替出现,2000 年以后多雨年份占比明显提升,降水补给能力逐步增强。

2.3 蒸发变化特征

受区域气候暖湿化整体驱动,流域蒸发状况呈现出较为显著的长期变化特征。在气温升高、降水增多与空气湿度增大的共同作用下,区域年均蒸发量整体表现为持续且平缓的下降态势,下降速率为 12.5mm/10a,蒸发损耗作用有所减弱。这种变化直接影响流域水循环过程,一方面降低了高蒸发强度对区域水资源的过度消耗,另一方面有效提升了流域水分留存能力,为产流条件改善与径流量增加提供了有利的水文环境,也在一定程度上缓解了干旱区固有的水分亏缺问题,对流域水资源格局形成积极调控作用。

3 五圣宫站径流变化特征分析

3.1 径流年际变化

五圣宫站多年平均径流量为 0.6727 亿 m³,1980—2020 年年径流量整体呈缓慢上升趋势,增速为 0.012 亿 m³/10a,上升趋势较为平缓。年际间丰枯差异明显,实测最大年径流量为 0.9672 亿 m³(2016 年),最小年径流量为 0.4320 亿 m³(1984 年),极值比约 2.24,变差系数 $C_v=0.18$,年际稳定性中等。经突变检验,径流在 2002 年发生由平稳向上升的突变,2011—2020 年连续偏丰,丰水年占比达 70%,流域来水条件持续改善。

3.2 径流年内分配

白杨河径流年内分配高度集中,5~8 月径流量占全年 75%以上,主汛期 6~7 月径流量占比超 50%,是农业灌溉核心供水期。近 40 年径流年内分配发生明显变化:

春季(3~4月)径流占比由12%升至18%，春汛提前10~15d，且春汛水量显著增加，有效缓解了春季灌溉缺水问题；夏季径流集中度进一步提高，洪水风险略有上升；枯季(11月~次年2月)径流占比小幅下降，冬春季生态用水压力有所增大。

3.3 径流丰枯演变

基于累积距平分析结果，可将研究流域径流丰枯演变划分为三个特征鲜明的阶段。1980—1995年为径流偏枯期，该时段内径流量普遍低于多年均值，缺水时段出现频次较高，水资源供给处于紧张状态。1996—2010年为平枯交替期，此阶段径流波动幅度较大，丰枯状态转换频繁，水资源时空分配不均特征显著。2011—2020年为径流偏丰期，该时段径流量持续高于多年均值，流域供水保障能力得到显著提升，有效缓解了前期水资源短缺的压力，整体呈现出由枯转丰的演变趋势。

4 气候变化对五圣宫站径流的影响机制

4.1 径流与气象因子相关性

相关性分析结果显示，五圣宫站年径流量与年降水量呈显著正相关($r=0.72$)，降水是影响径流变化的最关键因子，降水量增加直接提升山区产流效率，加大径流补给；年径流量与年均气温呈弱正相关($r=0.28$)，气温通过融雪和蒸发双向作用影响径流。季节尺度上，春季径流量与春季气温呈较强正相关($r=0.61$)，气温升高加速积雪消融，形成春汛；夏季径流量与夏季降水呈极显著正相关($r=0.78$)，汛期降雨直接决定夏季径流规模。

4.2 气候变化驱动径流演变机制

气候变化是流域径流演变的核心主控因素，其通过降水、气温等关键气候要素的协同作用，构建起复杂的径流驱动机制，直接调控流域径流的时空演变特征。其中，降水作为径流形成的基础补给来源，发挥着主导驱动作用，流域降水总量的增加直接提升地表产流量，同时优化降水-径流转化效率，结合流域蒸发损耗的持续减弱，进一步强化对河道径流的补给效应，成为区域水文站径流量呈现上升态势的核心诱因。

气温作为重要调控因子，对径流演变呈现双向调节效应，且整体表现为正向驱动作用。一方面，气温升高促使冬季积雪提前消融，有效延长融雪期，为春季径流补给提供稳定来源，进一步丰富流域径流总量；另一方面，气温升高虽会在一定程度上加剧流域蒸发，造成部分水资源损耗，但降水增加带来的补给效应显著大于蒸发损耗的负面影响，最终推动径流整体呈上升趋势。此外，流域人类活动强度较低，无大型调蓄工程干扰，农业引水方式相对常

规，对径流演变的影响较弱，进一步凸显了气候变化在径流演变过程中的主导调控作用。

5 径流变化的影响与适应性对策

5.1 径流变化对区域水资源的影响

径流变化对区域水资源安全及利用产生双重影响，利弊交织且特征鲜明。有利方面，径流量整体上升有效缓解奇台县东部灌区供水压力，显著提升灌溉保障度；春汛提前且水量增加，切实解决春季作物播种及苗期灌溉缺水问题；丰水年频次增多，强化地下水补给，为地下水超采区生态修复提供有利条件。不利方面，径流年内集中度提升导致夏季汛期洪水风险加剧，防汛压力增大；枯季径流减少，使得冬春季河道生态基流保障难度上升；径流年际波动依旧明显，进一步增加了区域水资源调度与计划管理的难度。

5.2 水资源管理适应性对策

流域蒸发作为水循环的关键环节，其变化特征受气候要素综合影响，且直接关联区域水资源格局与生态安全。受区域气候暖湿化趋势影响，气温升高、降水总量增加及空气湿度提升的协同作用，促使流域年均蒸发量呈现缓慢下降的长期变化态势，蒸发损耗强度持续减弱。这种变化对流域水资源调控具有积极意义，有效减少了干旱区高蒸发量对水资源的无效消耗，提升了流域水分留存能力，为区域产流量增加创造了有利水文条件，间接缓解了区域水资源供需矛盾。

针对该蒸发变化特征及区域水资源管理需求，需结合流域实际构建综合调控体系。通过完善水利工程调蓄能力，平衡径流年内分配，进一步适配蒸发损耗减弱带来的水分留存变化；强化农业节水增效，优化用水结构，减少无效灌溉消耗，最大化发挥蒸发变化带来的水资源增量效益；优化水文监测与预警体系，精准捕捉蒸发及径流变化规律，为水资源科学调度提供数据支撑；刚性保障生态用水，维护河道生态系统稳定，实现蒸发变化与生态保护协同发展；健全水资源统一管理机制，统筹各类用水需求，提升水资源利用效率，推动流域水资源可持续利用与生态环境良性发展。

6 结论

(1) 1980—2020年，奇台白杨河流域气候呈暖湿化趋势，气温显著上升，降水波动增加，蒸发量缓慢下降，气候条件向利于水资源补给方向发展。

(2) 五圣宫站年径流量呈缓慢上升趋势，2002年为径流突变节点，年内分配更趋集中，春汛提前、夏汛占比提升，丰枯阶段特征明显。

(3)气候变化是驱动五圣宫站径流演变的主控因素,降水增加是径流上升的主导因子,气温升高通过融雪调控与蒸发损耗产生双向影响,人类活动对径流影响较弱。

(4)径流变化整体改善了区域供水条件,但也带来防汛、生态用水等新挑战,需通过工程建设、节水管理、生态保障等措施,实现水资源适应性管理,保障区域水资源可持续利用。

[参考文献]

- [1]新疆维吾尔自治区水文局.新疆水文年鉴(白杨河五圣宫站 1980-2020)[Z].
[2]奇台县水利局.奇台县水资源综合规划(2021-2035)[Z].
[3]琪美格.新疆白杨河年径流量丰枯趋势定性概率分析[J].

黑龙江水利科技,2022,50(5):37-39.

[4]琪美格.白杨河逐年流量变化过程 K-均值聚类分析与定性预报[J].地下水,2021,43(3):188-189.

[5]李建君,张凤华.天山北坡小流域径流对气候变化的响应[J].节水灌溉,2022(5):45-49.

[6]张军.东天山干旱区河流生态基流计算研究——以白杨河五圣宫站为例[J].水利科技与经济,2023,29(2):67-70.

[7]中华人民共和国水利部.水文情报预报规范(GB/T 22482—2017)[S].北京:中国标准出版社,2017:2-3.

作者简介:吾买尔·玉苏甫(1968.5—),男,维吾尔族新疆乌鲁木齐市,本科,新疆维吾尔自治区昌吉水文勘测中心高级工程师,主要从事方向:水文水资源。