

DOI: 10.20040/j.cnki.1000-7709.2023.20220876

贵州省烟水工程与烟草干旱匹配度研究

张泽中¹, 来和鑫¹, 王 飞¹, 冯 凯¹, 朱晓萌²

(1. 华北水利水电大学水利学院, 河南 郑州 450046; 2. 贵州省水利工程建设质量与安全中心, 贵州 贵阳 550002)

摘要: 为评价贵州省烟水工程与烟草干旱匹配程度, 利用 2006~2017 年贵州省 17 个气象站点逐日降雨数据、烟草产量数据和烟水工程供水数据, 构建了烟水工程与烟草干旱匹配度评价模型, 并提出匹配度等级标准, 对贵州省烟水工程与烟草干旱匹配度进行评价。结果表明, 烟水工程在一定程度上缓解了贵州省烟草干旱, 但烟水工程与烟草干旱匹配关系仍有待提升。黔西南、黔南、安顺、六盘水、贵阳匹配度分别为 55.4%、52.1%、46.2%、45.9%、44.7%、34.4%, 处于第四级, 烟水工程与烟草干旱匹配度较差; 毕节、黔东南、铜仁、遵义匹配度分别为 31.7%、28.6%、26.8%, 处于第五级, 烟水工程与烟草干旱匹配度差。不同生育阶段中, 伸根期缺水主要出现在 90%、95% 有效降雨频率下, 旺长期、成熟期缺水在各有效降雨频率下, 伸根期匹配度最好, 旺长期次之, 成熟期匹配度最低。建议未来烟水工程布局着重加强遵义、铜仁、黔东南地区烟水工程建设力度, 提升烟水工程布局合理性, 增强烟草抗旱稳产保障能力。

关键词: 干旱; 匹配度; 烟水工程; 烟草; 贵州省

中图分类号: S274; TV21

文献标志码: A

文章编号: 1000-7709(2023)03-0005-05

1 概况

贵州省位于亚热带季风区, 是我国第二大优势烤烟生产基地, 烟草产业在贵州省经济建设中占有重要地位^[1]。近年来, 由于降雨时空分布不均现象加剧, 干旱事件频发^[2], 导致烟草的品质与产量下降, 严重影响贵州省烟草产业高质量发展。烟水工程是烟草部门为保障烟草高产稳产而出资兴建的水利工程设施。随着贵州省产业调整和乡村振兴战略实施, 出现了部分产烟大区烟水工程不能满足烟草产业发展需求的现象。在气候变化引起贵州省旱灾频发的情况下, 加强烟水工程建设和重新布局事关贵州省乡村振兴战略有效实施和烟草产业高效发展。因此, 需对贵州省各地市烟水工程与烟草干旱开展匹配度评价, 为做好烟水工程建设和重新布局奠定坚实基础。目前, 相关研究多集中在烟草干旱、烟草旱涝急转、烟草需水量和烟水配套工程管护等方面, 而烟水工程与

烟草干旱匹配程度研究鲜有报道。为此, 本文利用 2006~2017 年贵州省降雨数据、烟草产量数据和烟水工程供水等数据, 根据烟草不同生育阶段需水特性, 在分析无烟水工程供水情况下烟草干旱特征的基础上, 以水量平衡方程为基础, 构建烟水工程与烟草干旱匹配度评价模型, 并提出匹配度等级标准, 评价了贵州省 9 个产烟地市烟水工程与烟草干旱匹配度, 以期找准烟水工程建设重点, 为提升烟水工程抗旱减灾能力、促进贵州省烟草高质量发展提供科技支撑。

2 数据与方法

2.1 数据来源

(1) 降雨数据。降雨数据来源于中国气象网 (<http://data.cma.cn/>), 包含 2006~2017 年 17 个气象站点逐日降雨数据(图 1), 部分缺失数据使用插补法修正。

(2) 烟水工程及烟草种植数据。烟水工程供

收稿日期: 2022-04-29, **修回日期:** 2022-06-08

基金项目: 贵州省水利厅科技项目(KT202001); 国家自然科学基金(52179015); 华北水利水电大学研究生教育创新计划基金资助(YK-2021-45)

作者简介: 张泽中(1978-), 男, 博士、副教授, 研究方向为节水灌溉、干旱地区水资源调控理论与技术, E-mail: 15038352532@126.com

通讯作者: 王飞(1989-), 男, 讲师, 研究方向为干旱地区水资源调控理论与技术, E-mail: 275021806@qq.com

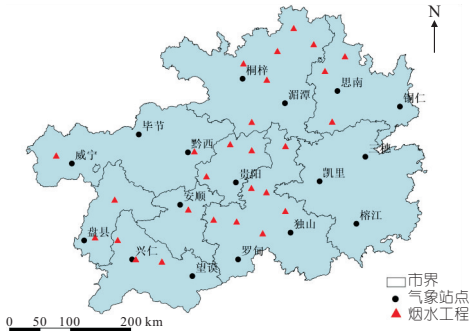


图 1 研究区气象站点分布

Fig. 1 Distribution of meteorological stations in the study area

水量数据来源于贵州省及各地市水资源公报；烟草种植面积、产量数据来源于历年贵州省及各地市统计年鉴。

(3)烟草需水量数据及生育期划分。烟草需水量选用贵州省灌溉试验中心烟草试验所得数据(表 1),并根据各地区气候条件确定各地区烟草生育期(表 2)。

表 1 烟草各生育阶段需水量

Tab. 1 Water requirement of tobacco in each growth stage

生育期	伸根期	旺长期	成熟期	全生育期
需水量/mm	69.2	205.7	178.2	453.1

表 2 贵州省各地区烟草生育期

Tab. 2 Tobacco growth period in various regions of Guizhou province

地区	伸根期	旺长期	成熟期
贵阳市	5.26~6.21	6.22~7.16	7.17~9.15
安顺市	5.26~6.21	6.22~7.16	7.17~9.15
黔东南州	5.28~6.21	6.22~7.22	7.23~9.18
六盘水市	5.28~6.21	6.22~7.16	7.23~9.23
毕节市	5.28~6.21	6.22~7.22	7.23~9.23
遵义市	5.28~6.21	6.22~7.21	7.22~9.21
黔西南州	5.28~6.21	6.22~7.17	7.18~9.16
黔南州	5.28~6.21	6.22~7.21	7.23~9.20
铜仁市	5.26~6.21	6.22~7.16	7.17~9.14

2.2 研究方法

2.2.1 有效降雨量

有效降水量是指为满足作物蒸发所消耗降雨量,不包括地表径流、渗漏至根系以外及其他方式损失的水量^[3]。第 i 次降雨的有效降雨量(P_{ei})^[4]为:

$$P_{ei} = \alpha_i P_i \quad (1)$$

式中, P_i 为第 i 次降雨量; α_i 为降雨有效利用系数,当 $P_i \leq 5$ mm 时, $\alpha_i = 0$;当 5 mm $< P_i \leq 50$ mm 时, $\alpha_i = 0.85$;当 $P_i \geq 50$ mm 时, $\alpha_i = 0.75$ ^[5]。

有效降雨量可更为直观地表示干旱对烟草生长的影响程度^[6],本文以日为计算时间尺度,贵州省某地区第 j 生育期的有效降雨量(P_{oj})为:

$$P_{oj} = \frac{1}{1\ 000} \sum_{i=1}^m P_{eij} A \quad (2)$$

式中, P_{eij} 为该地区第 j 生育期第 i 次有效降雨量; A 为该地区烟草种植面积。

在计算设计有效降雨量时,选用 P-III 分布函数 $C_S = 2.5C_V$ 适线对有效降雨量进行频率计算。

2.2.2 烟草缺水量与烟草缺水率

缺水量是作物不同生育阶段内需水量与有效降雨量的差值,反映某地区作物缺水的绝对值。本文以无烟水工程供水情况下烟草缺水表征烟草干旱程度,明晰贵州省烟草干旱分布特征。对比分析烟草缺水量和烟水工程可供灌溉水量,刻画全生育期烟水工程与烟草干旱间匹配关系。根据水量平衡方程,有烟水工程可供灌溉水时,烟草需水量(W_r)等于生育期内有效降水(P_0)与烟水工程灌溉用水量(W)之和,即:

$$W_r = P_0 + W \quad (3)$$

当有烟草干旱发生时,可能出现烟水工程可供灌溉水不足,导致烟草缺水。根据式(3)可得某地区第 j 生育阶段烟草缺水量(D_j),即:

$$D_j = 1\ 000(W_{rj} - W_j - P_{oj})/A \quad (4)$$

式中, W_{rj} 为该地区第 j 生育阶段烟草总需水量; W_j 为该地区烟水工程在第 j 生育阶段可供灌溉水量; P_{oj} 为该地区第 j 生育阶段内有效降雨量。

在无烟水工程供水情况下, $W=0$;式(4)演变为:

$$D_{oj} = 1\ 000(W_{rj} - P_{oj})/A \quad (5)$$

式中, D_{oj} 为某地区无烟水工程供水情况下第 j 生育期烟草缺水量。

烟草缺水率可综合反映烟水工程供水对烟草生长需水满足的贡献。本文定义烟草缺水率为某一区域烟草不同生育阶段内实际缺水量与烟草需水量的比值,以百分率表示。某地区第 j 个生育阶段烟草缺水率(R_j)为:

$$R_j = \frac{W_{rj} - W_j - P_{oj}}{W_{rj}} \times 100\% \quad (6)$$

2.2.3 烟水工程与烟草干旱匹配度及等级标准

烟水工程与烟草干旱匹配度是刻画生育期内烟草干旱发生后烟水工程满足烟草抗旱需水的程度。因此,本文在烟草缺水率的基础上,构建匹配度指标对烟水工程与烟草干旱是否匹配进行评价。匹配度越高说明烟水工程对烟草抗旱减灾贡献越大,烟草缺水率越低。某地区第 j 个生育阶段烟水工程与烟草干旱的匹配度(M_j)为:

$$M_j = 1 - R_j \quad (7)$$

本文以各生育阶段不同有效降雨频率下烟草匹配度的平均值表征该生育阶段烟水工程与烟草干旱匹配的综合情况。

全生育期内某地区烟水工程与烟草干旱的匹

配度 M 为各生育阶段烟水工程与烟草干旱的匹配度的加权平均值,即:

$$M = \sum \beta_j M_j \quad (8)$$

式中, β_j 为第 j 生育阶段烟水工程与烟草干旱匹配度权重。

本文使用不同生育阶段无烟水工程供水时烟草缺水与烟水工程供水量的比值表示烟水工程供水的贡献程度。因此, β_j 的计算公式为:

$$\beta_j = \frac{D_{0j} / (1\ 000W_j / A)}{\sum D_{0j} / (1\ 000W_j / A)} \quad (9)$$

综合不同生育阶段烟水工程与烟草干旱匹配度,结合各地区烟草实际产量数据及实地调研结果,确定烟水工程与烟草干旱匹配度等级标准共分五个等级(表 3),其中,一级烟水工程与烟草干旱匹配度良好;二级烟水工程与烟草干旱匹配度较好;三级烟水工程与烟草干旱匹配度一般;四级烟水工程与烟草干旱匹配较差;五级烟水工程与烟草干旱匹配差。

表 3 烟水工程与烟草干旱匹配度等级标准

Tab. 3 Standard of matching degree between water conservancy project for tobacco and tobacco drought

匹配度等级	烟水工程与烟草干旱匹配度 $M/\%$	匹配度等级	烟水工程与烟草干旱匹配度 $M/\%$
一级	$75 \leq M < 100$	四级	$40 \leq M < 60$
二级	$70 \leq M < 75$	五级	$M < 40$
三级	$60 \leq M < 70$		

3 结果与分析

3.1 贵州省烟草干旱分布特征

本文以不同频率下有效降雨量分析贵州省烟草全生育期干旱灾害分布特征,结果见图 2。由图 2 可看出,在不同有效降雨频率下,遵义、毕节、铜仁地区有效降雨量相对较小;黔西南、安顺、六盘水地区有效降雨量相对较大。说明贵州省西南部地区的干旱程度相对较轻;其他地区中遵义、毕节、铜仁干旱较为严重。无烟水工程时,在 50%、75%、90%、95%有效降雨频率下,贵州省烟草全生育期平均缺水分别为 96.5、167.2、216.8、242.7 mm,分别占全生育期需水总量 453.1 mm 的 21.3%、36.9%、47.9%、53.6%。各地区平均有效降雨量均未达到烟草全生育期需水量,仅依靠天然降雨无法满足烟草生育阶段正常生长的需水要求。

3.2 全生育期烟水工程与烟草干旱匹配关系

在不同有效降雨频率下,贵州省烟草全生育期缺水分布见图 3。由图 3 可看出,有烟水工

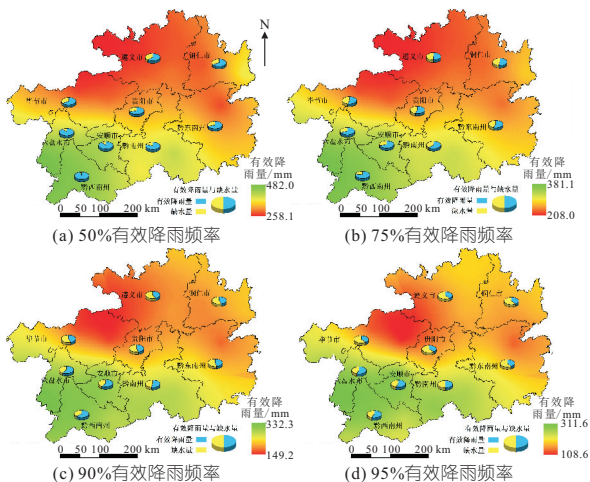


图 2 不同频率下贵州省全生育期有效降雨分布

Fig. 2 Distribution of effective rainfall in the whole growth period under different frequencies in Guizhou province

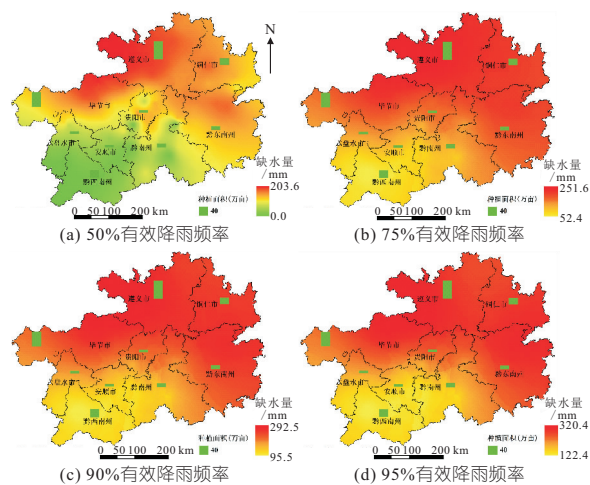


图 3 贵州省不同有效降雨频率下全生育期缺水分布
Fig. 3 Distribution of water shortage in the whole growth period under different effective rainfall frequencies in Guizhou province

程时,在 50%、75%、90%、95%有效降雨频率下,贵州省烟草全生育期平均缺水分别为 95.3、155.8、199.9、222.9 mm,分别占全生育期需水总量 453.1 mm 的 21.0%、34.4%、44.1%、49.2%。这说明有烟水工程供水时,贵州省各地区烟草缺水得到一定缓解。

有无烟水工程时不同有效降雨频率下各地区全生育期缺水对比,发现在不同有效降雨频率下,有烟水工程供水时,贵州省各地区烟草缺水仍存在。50%有效降雨频率下,毕节、黔东南、铜仁、遵义地区全生育期缺水超过 100 mm,分别为 132.0、118.7、122.4、141.0 mm;75%有效降雨频率下,毕节、黔东南、铜仁、遵义地区缺水超过 150 mm,分别为 191.9、178.9、191.9、203.2 mm;90%有效降雨频率下,毕节、黔东南、铜仁、遵义缺水超过 200 mm,分别为 247.5、232.2、

239.9、246.5 mm;95%有效降雨频率下,毕节、黔东南、铜仁、遵义地区的缺水量超过 250 mm,分别为 277.0、262.2、268.6、270.0 mm。烟水工程虽在一定程度上缓解了贵州省烟草干旱,但烟水工程与烟草干旱间匹配关系仍有待提升。

3.3 不同生育阶段烟水工程与烟草干旱匹配度评价

计算在有烟水工程供水时贵州省各地区烟草不同生育阶段匹配度,对不同地区烟水工程与烟草干旱匹配度评价,挖掘贵州省烟水工程建设布局的薄弱之处,结果见图 4。

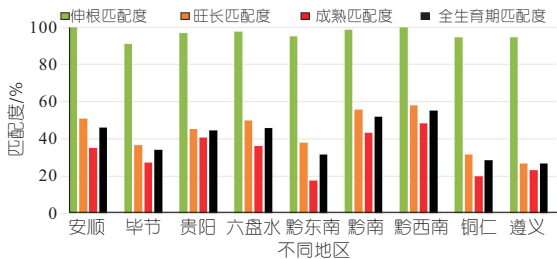


图 4 贵州省不同地区各生育阶段烟水工程与烟草干旱匹配度

Fig. 4 Matching degree of water conservancy project for tobacco and tobacco drought at different growth stages in different regions of Guizhou province

由图 4 可看出,不同地区烟水工程与烟草干旱匹配度呈一定的阶梯状分布。黔西南、黔南、安顺、六盘水、贵阳的匹配度分别为 55.4%、52.1%、46.2%、45.9%、44.7%,处于第四级,烟水工程与烟草干旱匹配度较差;毕节、黔东南、铜仁、遵义的匹配度分别为 34.4%、31.7%、28.6%、26.8%,处于第五级,烟水工程与烟草干旱匹配度差。分析其原因主要有:①贵州省降雨时空分布不均,烟草生育期内西南部降雨量相对较大。②遵义烟草种植面积较大,容易造成烟水工程供不应求。③黔西南、黔南烟水工程数量相对较多,灌溉保障能力强;铜仁、黔东南灌溉保障能力相对较弱。对不同生育阶段,匹配度也存在差异:伸根期匹配度最高,其次是旺长期,成熟期匹配度相对较低。其原因是伸根期缺水主要出现在 90%、95%有效降雨频率下;旺长期、成熟期在不同有效降雨频率下均出现了缺水现象,成熟期缺水现象更严重。烟草旺长期、成熟期需水量较大;贵州省以 6 月降雨量最大,6 月后降雨量逐渐减小^[7],而烟草旺长期集中在 6 月中下旬~7 月中下旬、成熟期集中在 7 月下旬~9 月中下旬,致使旺长期、成熟期烟草缺水现象较为严重。此外,烟草干旱受地形地貌、土壤条件等多种因素影响。毛春艳等^[8]研究指出,干旱与地形因子显著相关,

重、特旱易发生在高陡地区;梁任刚等^[9]研究表明,贵州省岩溶地貌地区干旱程度较非岩溶地貌严重。贵州省地势西高东低,地貌复杂,这可能也是导致贵州省烟水工程建设难度大、烟草干旱较为严重的原因之一。因此,在烟草干旱较严重的地区,可采用高培土等方式改善原生环境对烟草生长的不利影响,增强烟草抗旱能力^[10]。同时,不同烟草品种对干旱的响应不同^[11],下一步可通过加大转基因抗旱烟草的研制力度,加强抗旱品种的选育,增强烟草抗旱能力,减轻烟水工程供水负担。整体来看,贵州省各地区全生育期烟水工程与烟草干旱整体匹配度均为第四、五级。因此,贵州省需进一步加强烟水工程科学布局,优先建设完善遵义、铜仁、黔东南地区的烟水工程,提升烟水工程与烟草干旱匹配度,充分发挥烟水工程减灾保产作用。

4 结论

a. 在烟草缺水量、缺水率的基础上构建烟水工程与烟草干旱匹配度评价模型,提出匹配度等级标准,对贵州省烟水工程与烟草干旱匹配度进行评价,可有效分析当前贵州省烟水工程与烟草干旱的匹配程度,识别烟水工程建设的薄弱环节。

b. 烟水工程在一定程度上缓解了贵州省烟草干旱,但烟水工程与烟草干旱间匹配关系仍有待提升。黔西南、黔南、安顺、六盘水、贵阳匹配度分别为 55.4%、52.1%、46.2%、45.9%、44.7%,烟水工程与烟草干旱较差;毕节、黔东南、铜仁、遵义匹配度分别为 34.4%、31.7%、28.6%、26.8%,烟水工程与烟草干旱匹配度差。

c. 烟水工程与烟草干旱的匹配程度在各生育阶段存在差异,伸根期匹配度最好,旺长期次之,成熟期匹配度最低。伸根期缺水主要出现在较为严重的干旱级别,而旺长期、成熟期缺水在各干旱程度均有出现。

参考文献:

- [1] 袁义杰. 烟水工程对贵州典型区烟草减灾效益评估[D]. 郑州:华北水利水电大学,2020.
- [2] 夏传花,贺中华,梁虹,等. 基于相对湿润度指数的贵州省近十年干旱特征分析[J]. 水电能源科学,2021,39(4):11-14.
- [3] 马芳,张维江,冯娜,等. 固原市主要农作物生育期有效降水与需水量特征[J]. 水土保持研究,2022,29(1):205-212,223.
- [4] ZHANG Y L, GUO L, LIANG C, et al. Encounter

- risk analysis of crop water requirements and effective precipitation based on the copula method in the Hilly Area of Southwest China[J]. *Agricultural water management*, 2022, 266: 107571.
- [5] 张泽中, 袁义杰, 谷红梅, 等. 贵阳烟草生长期内旱涝急转特征分析[J]. *灌溉排水学报*, 2019, 38(10): 32-39.
- [6] DU L, MIKLE N, ZOU Z H, et al. Global patterns of extreme drought-induced loss in land primary production: Identifying ecological extremes from rain-use efficiency[J]. *Science of the total environment*, 2018, 628-629: 611-620.
- [7] 赵志龙, 罗娅, 余军林, 等. 贵州高原 1960-2016 年降水变化特征及重心转移分析[J]. *地球信息科学学报*, 2018, 20(10): 1432-1442.
- [8] 毛春艳, 戴丽, 杨广斌, 等. 1960-2016 年贵州喀斯特山区干旱时空动态分析[J]. *水资源与水工程学报*, 2021, 32(3): 64-72, 79.
- [9] 梁任刚, 周旭, 李松, 等. 基于 CWSI 的贵州省干旱时空变化特征及影响因素分析[J]. *水土保持研究*, 2022, 29(3): 284-291.
- [10] 王亚虹, 许自成, 高森, 等. 烟草干旱胁迫研究进展[J]. *节水灌溉*, 2016(12): 103-107, 111.
- [11] 赵洪春, 焦芳蝉, 王莎莎, 等. 六个烤烟品种抗旱性与抗寒性的比较鉴定与综合评价[J]. 2018, 16(3): 1011-1019.

Research on Matching Degree Between Water Conservancy Project for Tobacco and Tobacco Drought in Guizhou Province

ZHANG Ze-zhong¹, LAI He-xin¹, WANG Fei¹, FENG Kai¹, ZHU Xiao-meng²

(1. College of Water Conservancy, North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou 450046, China; 2. Guizhou Quality and Safety Centre of Water Conservancy Engineering Construction, Guiyang 550002, China)

Abstract: In order to evaluate the matching degree between water conservancy project for tobacco and tobacco drought in Guizhou Province, the daily rainfall data from 17 meteorological stations, tobacco production and water supply data of water conservancy project for tobacco during 2006-2017 was used to construct a matching degree evaluation model, and grade standard of matching degree was proposed. The results show that the water conservancy project for tobacco alleviated tobacco drought to a certain extent. However, the matching relationship between water conservancy project for tobacco and tobacco drought still needs to be improved. The matching degrees of Qianxinan, Qiannan, Anshun, Liupan-shui, and Guiyang were 55.4%, 52.1%, 46.2%, 45.9%, 44.7%, and 34.4%, respectively, which were in the fourth grade with a poor matching degree. The matching degrees of Bijie, Qiangongnan, Tongren, and Zunyi were 31.7%, 28.6%, and 26.8%, respectively, which were in the fifth grade with a worse matching degree. In different growth stages, water shortage in root extension period mainly occurred in 90% and 95% effective rainfall frequency, and water shortage in prosperous and mature periods mainly occurred in each effective rainfall frequency. Additionally, the lowest matching degree occurred at the mature period. It is suggested that in the future, the layout of the water conservancy project for tobacco should focus on strengthening the construction in Zunyi, Tongren and Qiangongnan, and improve the rationality of the layout of water conservancy project for tobacco, as well as enhance the guarantee ability of drought resistance of tobacco.

Key words: drought; matching degree; water conservancy project for tobacco; tobacco; Guizhou Province

(上接第 13 页)

Runoff Changes and Attribution Identification in the Upper Reaches of Minjiang River in Recent 59 Years

CHEN Qian^{a,b}, LEI Xiao-zhang^{a,b}, ZHANG Yin-yin^{a,b}

(a. College of Water Resource and Hydropower; b. State Key Laboratory of Hydraulics and Mountain River Protection, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract: In order to efficiently utilize water resources in the upper reaches of the Minjiang River Basin, based on hydro-meteorological data of the basin from 1960 to 2018, a variety of statistical theories were used to analyze the trend, cycle and abrupt point of runoff. The elastic coefficient method based on Budyko theory (Choudhury-Yang formula) and the comparative method of cumulated slope change rate (SCRCQ method) were used to analyze the attribution of runoff changes. The results show that the runoff decreases significantly at a rate of 12.5 mm/10a, and a sudden change occurred in 1993. There are 3 years, 8 years, 12 years and 18 years main cycles of runoff change, and the annual distribution is uneven, mainly concentrated in summer and autumn, accounting for 73.6%. Rainfall is the most sensitive to runoff, followed by underlying surface parameters, and potential evapotranspiration is the least sensitive. Choudhury-Yang formula and SCRCQ method calculated that the contribution rate of climate change to runoff reduction was 58.13% and 63.29%, respectively. Climate change was the main factor of runoff reduction in the study area, and the contribution rate of human activities to runoff reduction should not be underestimated, reaching 41.87% and 36.71%, respectively.

Key words: the upper reaches of the Minjiang River; runoff evolution characteristics; Budyko theory; attribution analysis