

吐鲁番及周边地区气候及径流演变特征分析

冶永新¹, 杜丽娟², 张宝忠², 刘钰², 王欢³

(1. 新疆吐鲁番地区世行贷款项目执行办公室, 新疆吐鲁番 838000; 2. 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; 3. 中国农业大学水利与土木工程学院, 北京 100083)

摘要: 采用吐鲁番及周边地区6个典型气象站和煤窑沟、阿拉沟2个流域水文站的1960–2012年实测数据, 运用Mann–Kendall非参数秩次检验法和Pettitt变点检验法, 分析了该地区的气候变化和径流变化趋势。结果表明: 1960–2012年, 吐鲁番及周边地区的年降水量呈一定的上升趋势, 但不显著, 平均气温也呈上升趋势, 而日照时数和平均相对湿度呈下降趋势; 阿拉沟出山径流量呈明显上升趋势, 而煤窑沟出山径流量上升趋势不明显; 降水量、平均气温、平均相对湿度均与径流量呈正相关关系, 而日照时数与径流量呈负相关关系。

关键词: 气候变化; 径流; 径流演变; 吐鲁番

中图分类号: P333.1

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2014)06-0061-07

Analysis on feature of climate and runoff evolution in Turpan and its surrounding areas

YE Yongxin¹, DU Lijuan², ZHANG Baozhong², LIU Yu², WANG Huan³

(1. World Bank Loan Project Executive Office of Xinjiang Turpan District, Turpan 838000, China;

2. State Key Laboratory of Simulation and Regulation of Water Cycle in River Basin, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China; 3. College of Water Resources & Civil Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: The paper used the measured data from 6 typical meteorological stations and 2 hydrological stations on main streams of Meiyaogou river and Alagou river during period of 1960–2012 and applied Mann–Kendall non-parametric order test method and Pettitt change-point test method to analyze the trends of climate change and runoff. Results showed that from 1960 to 2012, the annual precipitation in Turpan and its surrounding areas showed a certain upward trend but did change significantly. The mean temperature increased while the sunshine duration and the mean relative humidity decreased. The runoff out of the mountains along Alagou river increased obviously while that along Meiyaogou River did not increase obviously. The precipitation, mean temperature and mean relative humidity possessed a positive correlation with runoff, while the sunshine duration had a negative correlation with runoff.

Key words: climate change; runoff; runoff evolution; Turpan

1 研究背景

新疆吐鲁番盆地是中国气候最干旱、水资源最紧缺的地区之一, 仅有的水资源主要是形成于山区的降水和积雪融水, 潜在的气候变化对水资源的影响已成为该地区日益增加的威胁^[1-7]。近年来, 一些学者对吐鲁番地区气候变化开展了研究, 如古丽

吉米丽·艾尼等^[8-9]探讨了吐鲁番地区的气候变化趋势, 表明该地区的气温和日照时数呈波动上升趋势, 降水量在20世纪80年代以来呈增加趋势, 气候由干燥暖化变为湿润暖化趋势。张山清等^[10]分析了吐鲁番地区气候变化对参考作物蒸散发的影响, 结果表明近49年吐鲁番地区的参考作物蒸散量呈显著减小趋势, 年参考作物蒸散量与年平均风速、空

收稿日期: 2014-08-27; 修回日期: 2014-09-24

基金项目: 国家自然科学基金项目(51379217); 国家“十二五”科技支撑计划(2012BAD08B04和2012BAD08B02); 全国博士学位论文作者专项资金项目(201258)

作者简介: 冶永新(1959-), 男, 新疆和静人, 本科, 高级工程师, 主要从事水利规划、水资源利用及灌溉管理等方面工作。

通讯作者: 杜丽娟(1977-), 女, 山西临县人, 博士, 高级工程师, 主要从事农业用水管理和水资源优化配置研究。

气相对湿度、降水量和平均气温的相关性最为密切。Su Lijun 等(2013)进一步分析了气候变化对作物生育期和参考作物蒸散量的影响^[1]。王永兴^[11]研究了气候变化对吐鲁番盆地水资源的可能影响,表明在气温趋暖的情况下,冰川径流将逐步减少,河川径流将主要依赖降水,增加了径流不稳定性,水资源保证程度将明显下降。

从整个新疆自治区的气候变化及对水资源的影响看,也有不少研究成果,Wang 等^[4]和 Ling 等^[5]对新疆气候变化的研究表明,从整体上看,气温和降雨都呈上升趋势。Xu 等进而研究了气候变化对新疆水资源的影响,表明从 20 世纪 80 年代中期起,气温和降雨都呈上升趋势,大多数河流径流也从 90 年代起呈增加趋势^[3]。然而吐鲁番盆地作为四面环山的典型独立区域,以往研究并没有充分考虑周边区域与吐鲁番盆地的气候变化差异,也没有系统分析气候及典型流域径流的演变特征。因此,本文将基于吐鲁番及周边地区 6 个气象站的多年气象数据以及煤窑沟和阿拉沟 2 个流域的多年水文数据,分析过去 50 余年的气候变化及径流的演变特征,对于当地水资源优化配置,应对潜在气候变化增加的不确定性 & 社会经济可持续发展具有重要意义^[12-13]。

2 材料与方法

2.1 研究区概况

吐鲁番地区位于新疆维吾尔自治区东部,东邻哈密地区,西南和巴音郭楞蒙古自治州接壤,北隔天山与乌鲁木齐市、昌吉回族自治州毗邻(图 1)。地处天山东部封闭性的山间盆地内,北有天山,西为喀拉乌成山,西南有觉罗塔格山,南为库鲁克塔格山,东是库木塔格山。整体地势西北高、东南低,盆地四周为高低参差不齐的山地,内部大部分为古洪积扇漆皮砾石戈壁。火焰山横贯盆地中央,把盆地分为南、北两部分,山北为倾斜冲积扇,山南为冲积平原。艾丁湖海拔为 -154 m,是我国最低的盆地。绿洲分布在盆地之中,是农作物集中区,也是畜牧业的生产地。

吐鲁番地区地处欧亚大陆腹地,由于地势低洼,增温快、散热慢、冷湿空气不易进入的特殊地理位置,形成了极端干旱的温带内陆荒漠气候,其主要特点是:热量丰富、极端干燥、高温多风、降雨稀少、蒸发强烈、无霜期长、风大风多。全年日照时数 2 957.7 ~ 3 122.8 h,平均气温 13.35℃,7 月平均气温 31.78℃,1 月平均气温 -9.8℃,35℃ 以上气温可持续 165 d,40℃ 以上高温可达 106 d。日温差和年

温差均较大,无霜期 192 ~ 271 d,高于 10℃ 年积温为 4 525.5 ~ 5 733℃。该地区年平均降水量只有 6.3 ~ 25.3 mm,而年蒸发量却高达 2 751 ~ 3 744 mm,年平均风速 1.5 ~ 4.8 m/s,大于 8 级以上大风日数 18 ~ 108 d,风向多偏北,春季的大风及夏季的干热风对农作物的危害均较大。

吐鲁番地区有 14 条河流发源于北部的博格达山地和西部的喀拉乌成山,河流补给源包括降雨、冰川、融雪水及地下水等,其中以降雨和融雪水为主。因此,夏季河流径流量集中,最大 4 个月的径流量占全年径流量的 60% ~ 80%,出现在 6 - 9 月或 5 - 8 月。

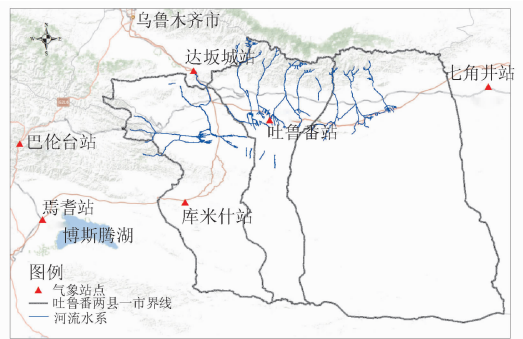


图 1 研究区范围及气象站点分布图

2.2 数据来源

根据气象站点分布,选取吐鲁番地区 2 个站(吐鲁番站、库米什站)及周边地区 4 个站(达坂城站、七角井站、巴伦台站和焉耆站)(图 1)的 1960 - 2012 年气象数据进行分析,气象数据来源于气象共享网,分析指标包括年降水量、平均气温、平均相对湿度、日照时数等 4 项。根据资料完整性,本文选取吐鲁番地区 2 个流域(煤窑沟流域和阿拉沟流域)的长序列资料分析径流变化。

2.3 研究方法

2.3.1 Mann - Kendall 趋势分析方法 采用世界气象组织推荐并已广泛应用的 Mann - Kendall 非参数统计方法。对长度为 N 的时间序列 $\{X_i | i = 1, 2, \dots, N\}$, 统计假设 H_0 : 未经调整修正的数据系列 $\{X_i\}$ 是一个由 N 个元素组成的独立的具有相同分布的随机变量。备择假设 H_1 : 对所有的 i , 当 $j \leq N$ 时和 $i \neq j$ 时 X_i 和 X_j 的分布不相同。计算时,对每一个 $X_i (i = 1, 2, \dots, N - 1)$, 与之后的 $\{X_j | j = i + 1, i + 2, \dots, N\}$ 进行比较,记录 $X_j > X_i$ 出现的次数 n_i 。所有正偏差的总次数 p 可表示为:

$$p = \sum n_i \tag{1}$$

Mann - Kendall 统计数 S ,按下式计算:

$$S = \frac{4p}{[n(n-1)]} \tag{2}$$

对于统计假设 H_0 ,当 $N \rightarrow \infty$ 时, S 的分布为正态分布, S 的均值与方差为:

$$\text{Var}(S) = \frac{2(2N+5)}{9N(N-1)} \tag{3}$$

当 $N > 10$ 时,即可应用近似正态分布进行检验分析.标准化的统计检验数 M ,可按下式计算:

$$M = \frac{S}{[\text{Var}(S)]^{1/2}} \tag{4}$$

Hisdal 等认为,当 $|M| > M_{[1-(\sigma/2)]}$ 时,不能拒绝上升或下降趋势的假设 (H_i),这里 $M_{[1-(\sigma/2)]}$ 是 $1 - (\sigma/2)$ 标准正态分布的分位数.正 M 值表示上升趋势,负 M 值表示下降趋势^[14].

2.3.2 突变点检验方法 采用 Pettitt 提出的非参数变点检验方法来检验一个时间序列是否存在均值变点,即当序列均值发生变化时,可以检验出某一点,在该点前后序列的均值发生了显著变化.该检验方法使用 Mann - Whitney 统计量 $U_{i,N}$,由下式确定:

$$U_{i,N} = U_{i-1,N} + \sum_{j=1}^N \text{sgn}(x_i - x_j), t = 2, \cdots, N \tag{5}$$

该统计量是一累积值,即先计算序列中 x_i 相对于序列其它值的相对关系,再对该值以前的这些相对关系取和.Pettitt 检验的零假设是不存在变点,检验统计量 $k(t)$ 及 K_n 由下式确定:

$$k(t) = \max_{1 \leq i \leq N} |U_{i,N}| \tag{6}$$

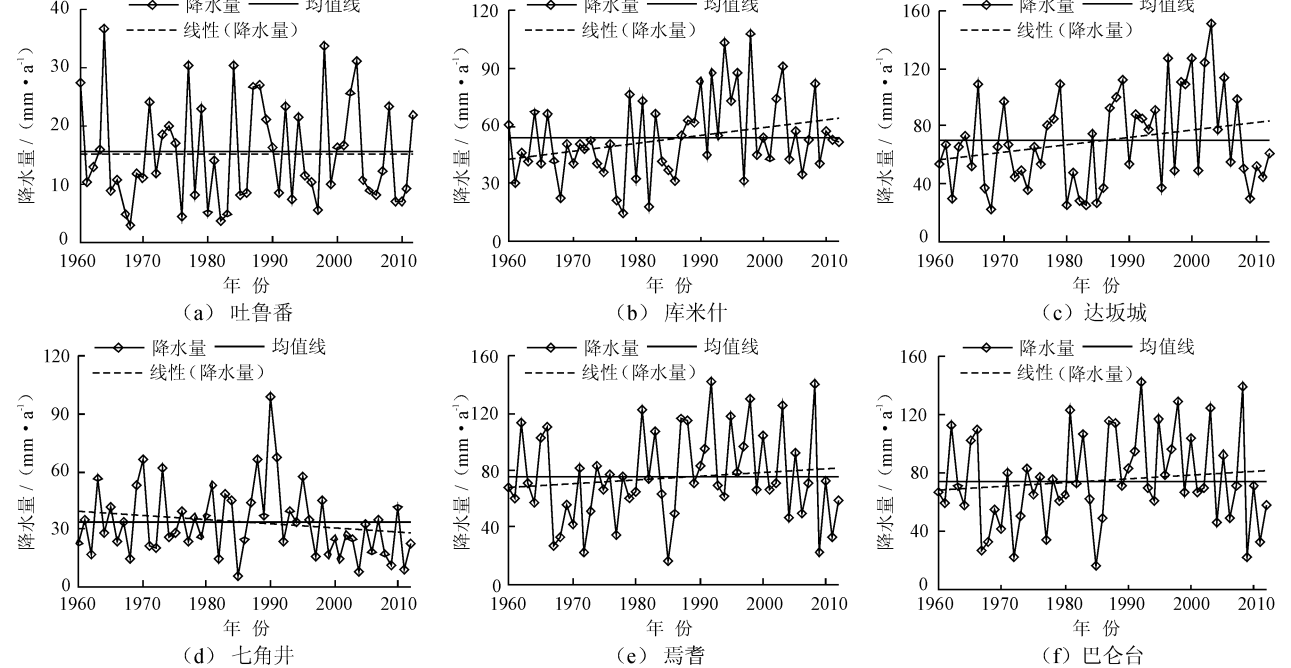


图2 吐鲁番及周边地区多年降水量变化趋势图

$K_n = \frac{(N^3 + N^2) \ln(p/2)}{-6} \tag{7}$

其中: N 为序列长度, p 为选定的显著性水平.如果 $k(t) > K_n$,则拒绝原假设,即在序列 X_t 处存在变点,否则接受原假设^[15].

3 结果与分析

3.1 气候变化趋势

从气象站的年降水量、平均气温、平均相对湿度、日照时数的变化趋势(图2~图5和表1)可以看出,对于年降水量,七角井站呈显著下降趋势,变点出现在1986年,其余5个站均无显著变化.6个气象站的平均气温均呈极显著上升趋势,其中巴伦台站变点出现在1994年,其余5个站点变点年份均出现在1985-1988年之间,这可能是由于巴伦台站位于天山腹地,导致气温升高出现了延迟现象.从平均相对湿度看,吐鲁番站呈显著下降趋势,变点出现在2004年;七角井站和巴伦台站呈极显著下降趋势,变点分别出现在1996和1994年;库米什站、达坂城站和焉耆站无显著趋势.对于日照时数,七角井站无显著变化趋势,达坂城站呈显著上升趋势,而其余4个站呈极显著下降趋势,这5个站出现变点的年份也较分散,库米什站、达坂城站变点年份在20世纪70年代,其余3站变点出现在20世纪80-90年代.Xu等^[3]的研究也表明,从20世纪80年代中期起,新疆地区的气温和降雨都呈上升趋势.

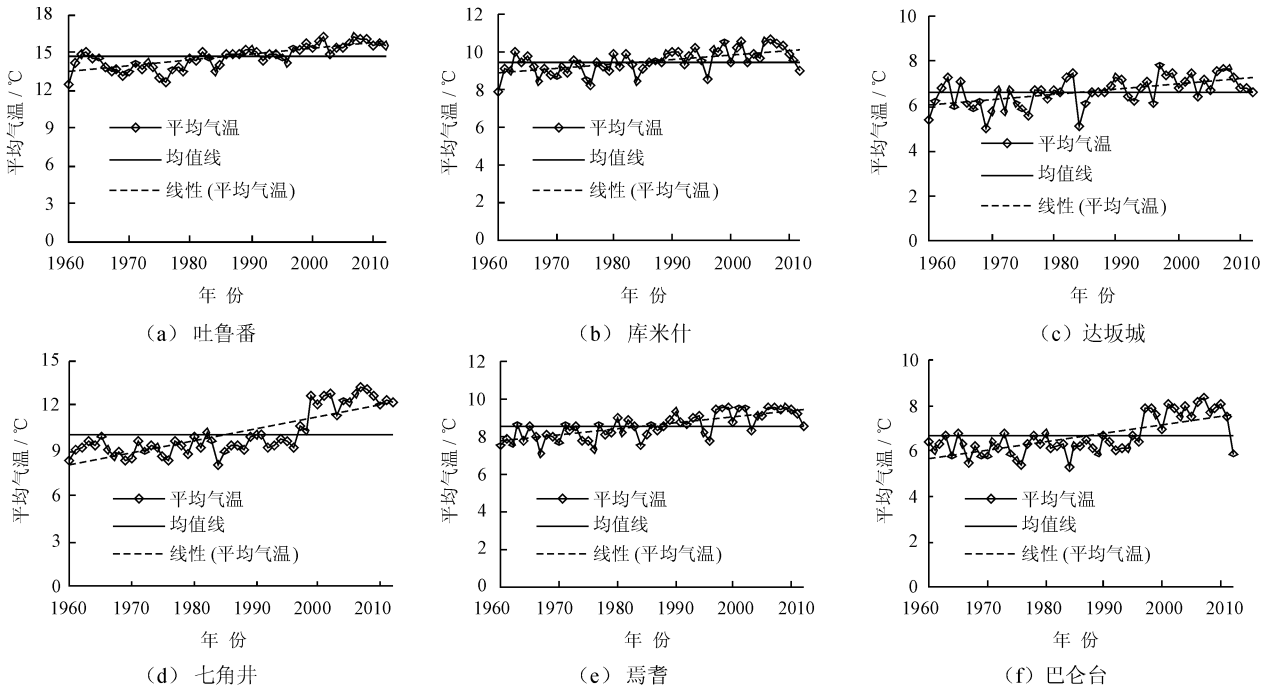


图3 吐鲁番及周边地区多年平均气温变化趋势图

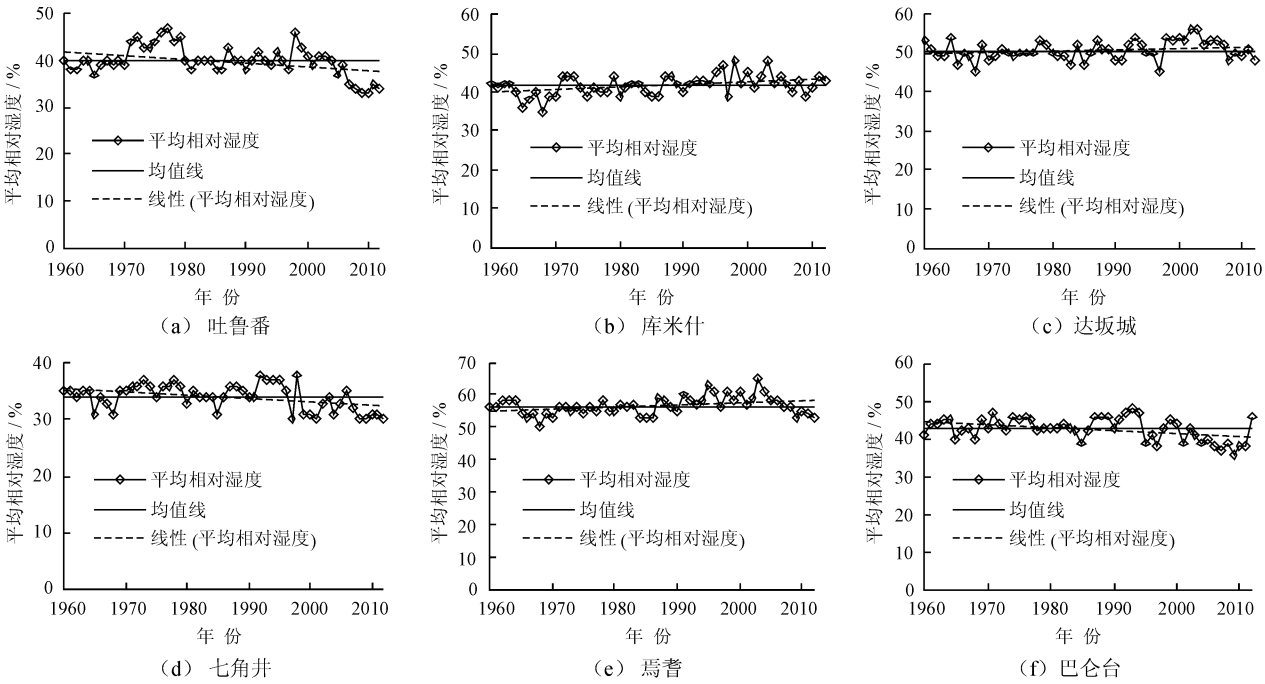


图4 吐鲁番及周边地区多年平均相对湿度变化趋势图

3.2 径流变化趋势

图6和表2分别为吐鲁番地区的煤窑沟和阿拉沟流域1960–2012年出山口年径流变化趋势和变点检验结果,表明煤窑沟和阿拉沟流域的出山口年径流均在20世纪80年代后期开始呈现一定的上升趋势,但煤窑沟的多年径流量变化趋势并不显著,变点出现在1987年;而阿拉沟多年径流量呈极显著上升趋势,变点出现在1988年。Xu等的研究也表明,

从20世纪80年代中期起,新疆地区的气温和降雨都呈上升趋势,大多数河流径流也从上世纪90年代起呈增加趋势,与本文结论基本一致^[3]。

3.3 径流量与各气象要素的相关性分析

为了研究气候变化对径流量的影响,分别选取典型流域周边的气象站资料,根据多元线性回归确定径流量与各气象要素的相关系数(图7、图8和表3)。

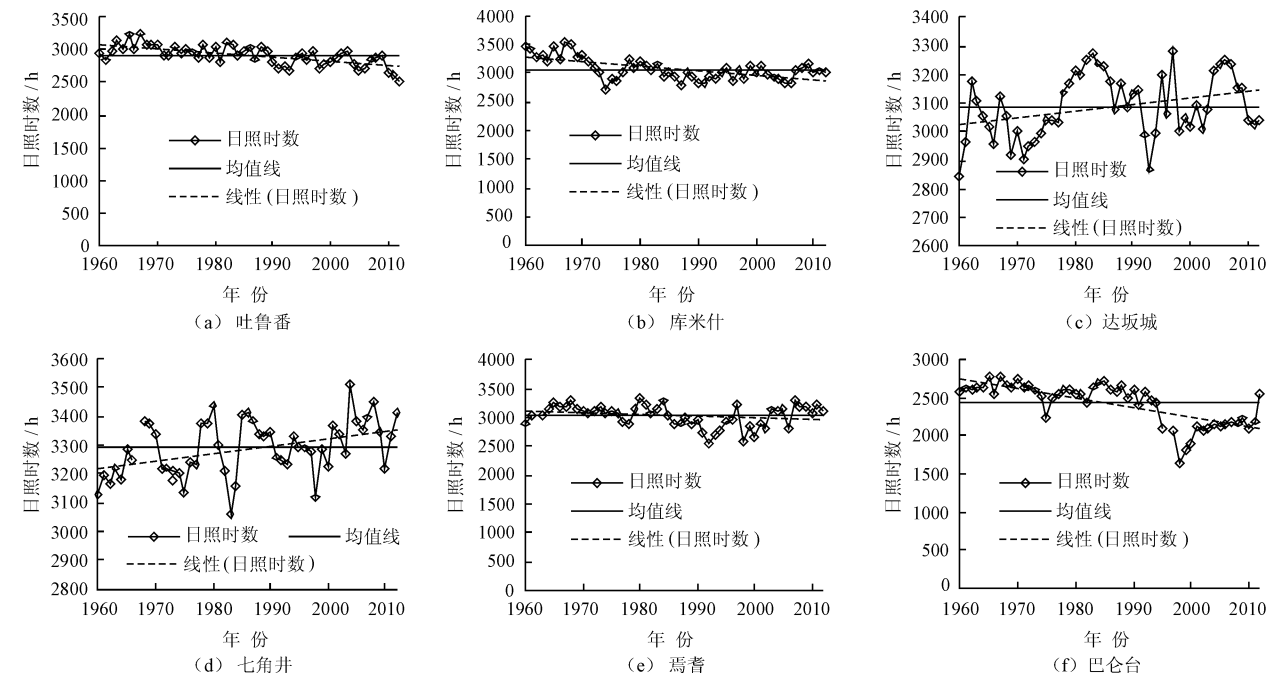


图 5 吐鲁番及周边地区多年日照时数变化趋势图

表 1 吐鲁番及周边站点 1960 – 2012 年气象数据 序列的趋势分析及变点检验结果				
数据	气象	趋势分析		变点检验
序列	水文站	M	趋势及显著性	出现年份
年降水量	吐鲁番站	-1.76	-	-
	库米什站	1.73	-	-
	达坂城站	0.95	-	-
	七角井站	-3.38	* *	1986
	焉耆站	1.33	-	-
	巴仑台站	0.40	-	-
平均气温	吐鲁番站	3.54	* *	1985
	库米什站	3.90	* *	1986
	达坂城站	2.70	* *	1988
	七角井站	3.34	* *	1988
	焉耆站	6.41	* *	1985
	巴仑台站	3.28	* *	1994
平均相对湿度	吐鲁番站	-4.57	* *	-
	库米什站	1.17	-	1986
	达坂城站	-0.02	-	-
	七角井站	-5.28	* *	1998
	焉耆站	-0.19	-	1986
	巴仑台站	-3.79	* *	1994
日照时数	吐鲁番站	-6.60	* *	1989
	库米什站	-4.16	* *	1972
	达坂城站	1.44	-	1977
	七角井站	1.26	-	1984
	焉耆站	-1.96	* *	-
	巴仑台站	-5.49	* *	1990

注: * * 表示极显著趋势, - 表示无显著趋势。

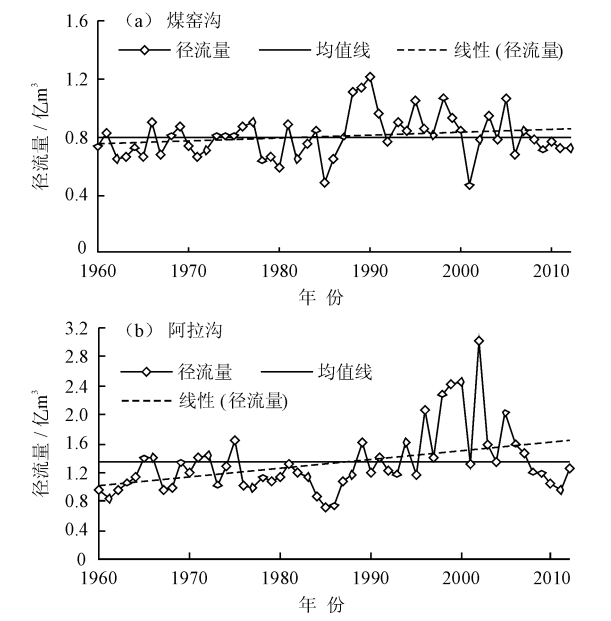


图 6 年径流变化趋势

表 2 煤窑沟和阿拉沟流域 1960 – 2012 年径流 序列的趋势分析及变点检验结果			
数据序列	趋势分析		变点检验
	N	趋势及显著性	出现年份
煤窑沟	0.21	-	1987
阿拉沟	2.32	*	1988

注: * 表示显著趋势, - 表示无显著趋势。

由表 3 可知,径流量与降水量、平均气温、平均相对湿度均呈正相关关系,平均相关系数分别为 0.504、0.180、0.242,其相关性为降水量 > 平均相对

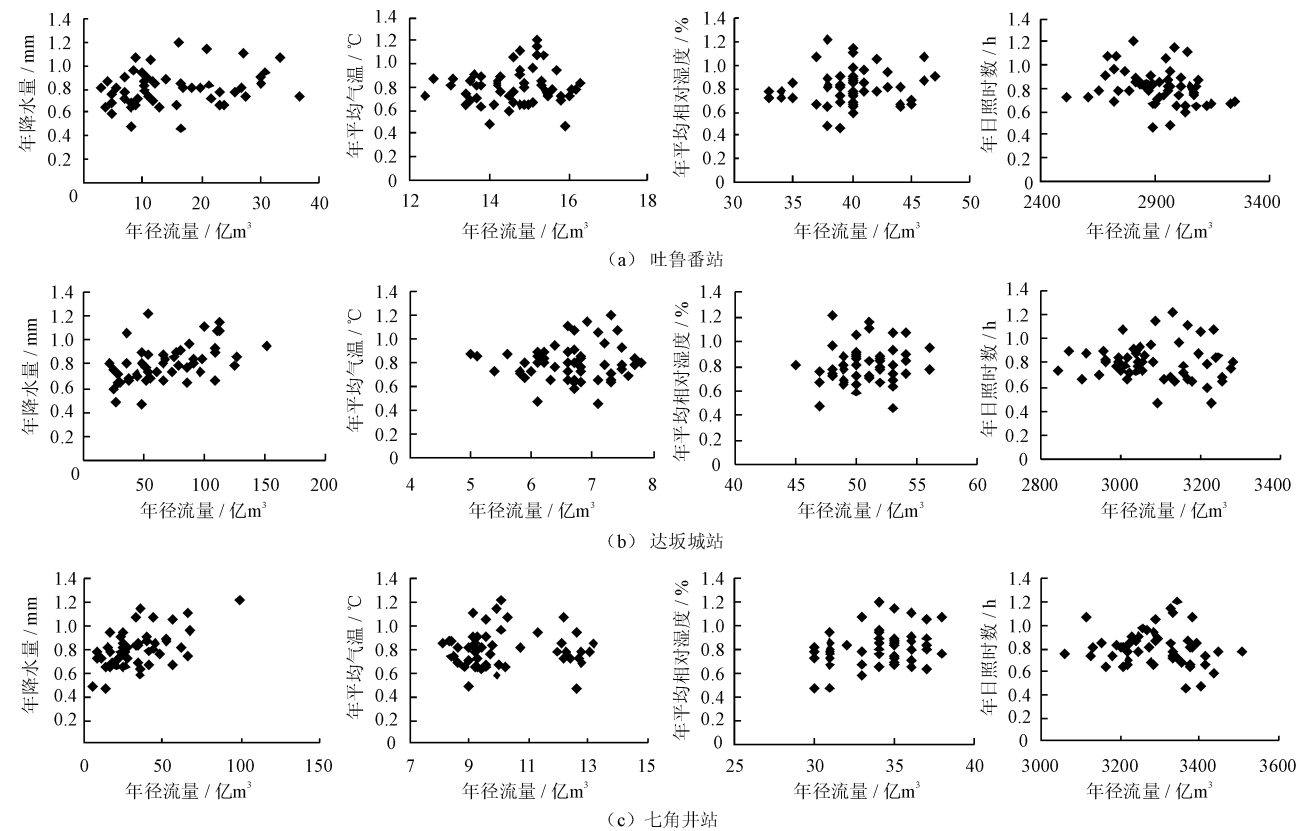


图7 煤窑沟径流量与典型站气候因子相关关系散点图

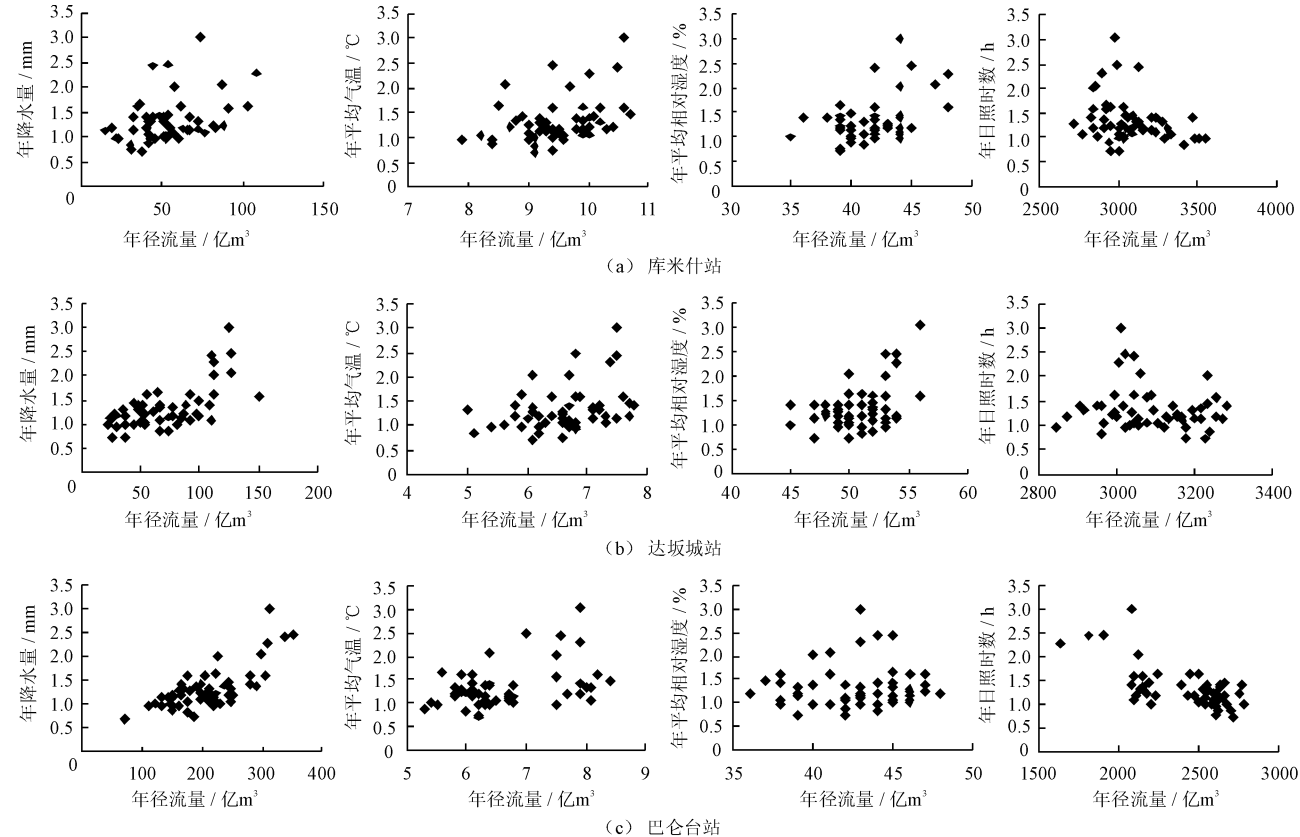


图8 阿拉沟径流量与典型站气候因子相关关系散点图

湿度 > 平均气温,而径流量与日照时数呈负相关关系,平均相关系数为 -0.199。

表3 径流量与气候因子的相关系数

河流	气象站	降水量	平均气温	平均相对湿度	日照时数
阿拉沟	库米什站	0.378	0.369	0.425	-0.268
	达坂城站	0.642	0.211	0.439	-0.188
	巴仑台站	0.732	0.394	0.074	-0.573
煤窑沟	吐鲁番站	0.266	0.075	0.107	-0.206
	达坂城站	0.473	0.048	0.119	-0.063
	七角井站	0.535	-0.016	0.289	0.104
平均值		0.504	0.180	0.242	-0.199

4 结 语

(1)从20世纪50年代到2012年,吐鲁番及周边地区的年降水量在库米什站、达坂城站、焉耆站和巴仑台站呈现一定的上升趋势,但不显著,七角井站和吐鲁番站则呈下降趋势;平均气温都呈明显上升趋势;吐鲁番站、七角井站和巴仑台站的平均相对湿度呈下降趋势,库米什站、达坂城站和焉耆站无显著趋势;对于日照时数,变化较为复杂,其中七角井站无显著趋势,达坂城站呈显著上升趋势,而其余4个站呈极显著下降趋势。各个气象要素的变点主要集中在20世纪80年代中后期。

(2)从20世纪50年代到2012年,吐鲁番地区的煤窑沟和阿拉沟流域的出山口年径流均在20世纪80年代后期开始呈现一定的上升趋势,其中阿拉沟年径流量呈极显著上升趋势。

(3)在吐鲁番及周边区域,径流量与降水量、平均气温、平均相对湿度均呈正相关关系,平均相关系数分别为0.504、0.180、0.242,而与日照时数呈负相关关系。

参考文献:

[1] Su Lijun,Wang Quanjiu,Bai Yungang. An analysis of yearly trends in growing degree days and the relationship between growing degree day values and reference evapotranspiration in Turpan area, China [J]. Theoretical and Applied Climatology,2013,113(3-4):711-724.

[2] Abudu S,Cevik S Y,Bawazir S,et al. Vitality of ancient karez systems in arid lands: a case study in Turpan region of China [J]. Water History,2011,3(3):213-225.

[3] XU Changchun,Chen Yaning,Yang Yuhui,et al. Hydrology and water resources variation and its response to regional climate change in Xinjiang [J]. Journal of Geographical Sciences. 2010,20(4):599-612.

[4] Wang Shengjie,Zhang Mingjun,LI Zhongqin,et al. Glacier area variation and climate change in the Chinese Tianshan Mountains since 1960 [J]. Journal of Geographical Sciences,2011,21(2):263-273.

[5] Ling Hongbo,Xu Hailiang,Fu Jinyi. Temporal and spatial variation in regional climate and its impact on runoff in Xinjiang, China [J]. Water Resources Management, 2013, 27(2):381-399.

[6] Du M Y. Is it a global change impact that the climate is becoming better in the western part of the arid region of China [J]. Theoretical and Applied Climatology, 1996, 55(1-4):139-150.

[7] Jiang Fengqing, Li Xuemei, Wei Binggan, et al. Observed trends of heating and cooling degree - days in Xinjiang Province, China [J]. Theoretical and Applied Climatology, 2009, 97(3-4):349-360.

[8] 古丽吉米丽·艾尼,迪丽努尔·阿吉,古丽巴哈尔·吾布力. 近53年吐鲁番地区气候变化研究分析[J]. 绵阳师范学院学报,2011,30(8):109-113.

[9] 古丽吉米丽·艾尼,迪丽努尔·阿吉,古丽巴哈尔·吾布力. 全球气候变化对东疆地区的影响分析——以吐鲁番盆地为例[J]. 井冈山大学学报(自然科学版), 2011,32(3):70-75.

[10] 张山清,普宗朝,宋良变,等. 吐鲁番地区气候变化对参考作物蒸散量的影响[J]. 中国农业气象,2009,30(4):532-537.

[11] 王永兴. 吐鲁番盆地气候变化及其对水资源的可能影响[J]. 中国沙漠,2000,20(2):207-212.

[12] 刘春葵,占车生,夏军,等. 关于气候变化与人类活动对径流影响研究的评述[J]. 水利学报,2014,45(4):379-385+393.

[13] 郝振纯,李丽,王加虎,等. 气候变化对地表水资源的影响[J]. 中国地质大学学报(地球科学),2007,32(3):425-432.

[14] 姚允龙,吕宪国,王蕾,等. 气候变化对挠力河径流量影响的定量分析[J]. 水科学进展,2010,21(6):765-770.

[15] 王国庆,张建云,刘九夫,等. 中国不同气候区河川径流对气候变化的敏感性[J]. 水科学进展,2011,22(3):307-314.

[16] 董平国,冯绍元,霍再林. 气候变化及人类活动对石羊河下游径流的影响[J]. 中国农村水利水电,2010(7):22-24+28.

[17] 左德鹏,徐宗学,李景玉,等. 气候变化情景下渭河流域潜在蒸散量时空变化特征[J]. 水科学进展,2011,22(4):455-461.

[18] 牛纪苹,栗晓玲. 石羊河流域参考作物蒸发蒸腾量对气候变化的响应模拟及预测[J]. 水利学报,2014,45(3):286-295.