

近 30 a 新疆哈密地区的径流变化特征

张昕¹, 李忠勤^{1,2}, 张国飞¹, 孙美平¹

(1. 西北师范大学地理与环境科学学院, 甘肃 兰州 730070; 2. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 冰冻圈科学国家重点实验室, 中国科学院天山冰川站, 甘肃 兰州 730000)

摘要:以哈密地区近 30 a 的气象和径流观测数据为基础资料, 利用线性趋势和 Mann-Kendall 突变法对该地区的径流变化特征及其径流变化与气候变化的关系进行了分析. 结果表明: 哈密地区径流量主要集中在 5~9 月份, 且 7 月份径流量达到高峰, 而 10 月至次年 3 月的径流量相对较少. 哈密地区径流的年际变化主要分为 2 种情况, 有冰雪融水补给的区域径流量呈递增趋势, 无冰雪融水补给区的径流量表现出明显的递减趋势. 分析表明该区月径流量与消融期气温呈明显的指数关系, 当消融期气温大于 15 °C 时, 径流量呈加速增长.

关键词:哈密地区; 径流变化; Mann-Kendall; 气候变化

中图分类号: P 426.6

文献标志码: A

文章编号: 1003-4315(2014)03-0113-07

DOI:10.13432/j.cnki.jgsau.2014.03.020

Runoff variation characteristics in Hami region during recent 30 years

ZHANG Xin¹, LI Zhong-qin^{1,2}, ZHANG Guo-fei¹, SUN Mei-ping¹

(1. College of Geography and Environmental Sciences, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China;

2. State Key Laboratory of Cryospheric Sciences, Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, CAS, Lanzhou 730000, China)

Abstract: By using meteorological data and runoff data of Hami region during recent 30 years and Mann-Kendall method, runoff change characteristics and the relationship between runoff and climate were analyzed. The results showed that runoff was mainly concentrated in May and September, runoff reached to peak in July, October to the following in March was relatively small. The interannual runoff change was mainly divided into two situations, for the area which supplied by ice and snow melt water had an increasing trend, with the area which supplied by no ice and snow melt water showed obvious decreasing trend. Analysis showed that the monthly runoff and the temperature of ablation period had obvious index relationship, when the temperature of ablation period was greater than 15 °C, runoff was accelerated growth.

Key words: Hami region; runoff change; Mann-Kendall; climate change

径流变化是全球变化的一个重要部分, 将会影响到生态环境和社会经济的可持续发展. 20 世纪 80 年代中期以来, 我国西北地区出现了气候由暖干向暖湿转变的趋势, 在温度大幅上升的基础上, 降水和

冰雪融水持续增加, 水文与生态环境发生了显著地改变^[1-3]. 哈密地区南、北、东外围是气候十分干燥的荒漠戈壁, 处在中亚干旱、半干旱区中部, 径流作为干旱区重要的水资源, 对该区的区域发展和水资源

第一作者: 张昕(1988-), 男, 硕士研究生, 主要从事干旱区水资源研究. E-mail: zhangxin8874@163.com

基金项目: 国家自然科学基金创新研究群体项目(41121001); 国家重点实验室自主项目(SKLCSS-ZZ-2012-01-01); 国家自然科学基金项目(91025012, 1141001040, 41101066); 国家自然科学基金青年基金(41201065).

收稿日期: 2013-05-02; 修回日期: 2013-09-27

可持续利用起着重要的支撑作用。

近年来,许多学者对该区的气候变化和径流变化进行了分析和总结。高建芳等^[4]从气候变化入手,分析了哈密地区河川径流对气候变化的响应。刘虹等^[5]阐述了哈密地区的气候特征及其水文特性。胡汝骥等^[6]重点分析了哈密地区石城子河流域的降水和径流年内分配。这些研究成果大都反映了哈密地区的气温、降水及其径流量的基本变化情况,但是对于哈密地区典型水文站之间的对比及其变化过程和原因缺少详尽的研究。鉴于此,本研究基于哈密地区典型水文站 1979~2010 年的径流观测资料,通过以冰雪融水补给为主的榆树沟站和其他 3 站对比分析,试图揭示哈密地区径流丰枯变化,变化趋势及其突变特性,并结合冰雪融水的补给和气候因素,分析径流变化的影响因素。

1 研究区与方法

1.1 研究区概况

哈密地区位于新疆维吾尔自治区东部,天山山脉东端,地理位置介于 E 91°06′30″~91°23′00″,N 40°52′47″~45°05′33″,是典型的温带大陆性干旱气候,地形状况为中高南低,地势差异大,最高峰哈尔里克山主峰托木尔提峰海拔 4 886 m,最低处沙尔湖海拔 53 m。哈密地区的水文监测始于 1955 年,主要有石城子河流域西部无冰川补给的头道沟、石城子河流域东部有中小冰川补给的故乡河(白吉)、天山南坡有较大冰川补给的榆树沟及北坡有较小冰川补给的伊吾河(苇子峡)。本试验选取哈密地区境内的榆树沟、白吉、头道沟和苇子峡 4 个水文站 1979

~2010 年的径流及气象数据(气温和降水)进行相关研究。

1.2 研究方法

1.2.1 线性趋势分析 水文要素的变化趋势通常用一次直线方程来描述:

$$y(t) = a_0 + bt$$

式中: t 为年序, a_0 、 b 为经验常数,其中 b 表示线性方程的斜率,即为水文要素的线性变化趋势。

1.2.2 Mann-Kendall 方法 Mann-Kendall 方法是一种非参数统计检验方法,是提取序列变化趋势的有效工具,被广泛应用于气候参数和水文序列的分析,具体方法详见参考文献[7-9]。本研究利用 Mann-Kendall 方法对 4 个水文站的径流进行了突变检验。

2 结果与分析

2.1 径流的年内变化

哈密地区的河流大体上分两大类,一类是有冰川消融水补给的河流,另一类是没有冰川消融水补给的河流,所以该地区径流量的主要来源是降水补给和冰川融水^[10]。由表 1 可以看出,榆树沟夏季径流量较大,占年径流量的 68.9%,原因是夏季气温高,积雪和冰川融水大量补给河流,加之夏季有充沛的降水;冬季径流量较少,仅占全年径流量的 3.6%,主要原因是气温低,降水以固态形式存于流域中,径流主要来自地下水;春季所占比重仅次于夏季;占 14.8%,秋季次之,占年径流量的 12.7%。因此,径流年内分配过程主要受气温影响,降水影响次之。

表 1 榆树沟年径流量的季节分配表

Tab. 1 The seasonal distribution of annual run off in Yushugou

($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)

时期	平均年	春季 (3~5 月)	夏季 (6~8 月)	秋季 (9~11 月)	冬季 (12~2 月)	最大 (7 月)	最小 (2 月)
1979~1983	17.55	3.77	11.12	2.04	0.63	3.93	0.17
1984~1988	16.04	1.81	11.73	1.90	0.60	4.96	0.16
1989~1993	19.26	2.63	12.97	2.78	0.88	5.48	0.26
1994~1998	19.95	3.14	13.06	3.06	0.69	5.44	0.22
1999~2003	23.15	2.88	16.91	2.68	0.67	6.72	0.21
2003~2008	21.09	3.13	14.82	2.43	0.70	6.28	0.20
平均	19.51	2.89	13.44	2.48	0.70	5.47	0.20
所占比例/%	100.00	14.80	68.90	12.70	3.60		

受气温和降水的影响,径流量的年内分配表现出很多大的差异性(图 1),全年的径流量主要集中在汛期的 5~9 月份(最丰),占年径流量的 88%,7 月份径流量达到最大,平均为 $5.47\text{ m}^3/\text{s}$,占到年径流量的 28%,而 10 月至次年 3 月(最枯)的径流量相对较少,占年径流量的 12%,2 月最少,约为 $0.20\text{ m}^3/\text{s}$,其中最丰与最枯月径流量的比值,即丰枯比为 27:1.

对榆树沟水文站的月径流量变化的分析发现,自 20 世纪 80 年代中期西北地区由暖干向暖湿发生转型以来^[11],随着气温和降水的不断增加,5~6 月的径流在增加,7 月径流达到高峰,持续到 8 月下旬,9 月开始下降,10 月上旬气温下降,降水减少,且多为固态降水,径流不断减少,持续到次年的 3 月. 12 月末至 2 月初河流部分封冻,仅靠地下水补给,最小流量也出现于 12 月至次年 2 月. 4 月初气温不断升高,由于融雪和解冻形成春汛,径流量开始持续增加. 直至 6 月开始冰川融水,加上大面积降水,即夏汛开始,最大径流量出现在 6~8 月.

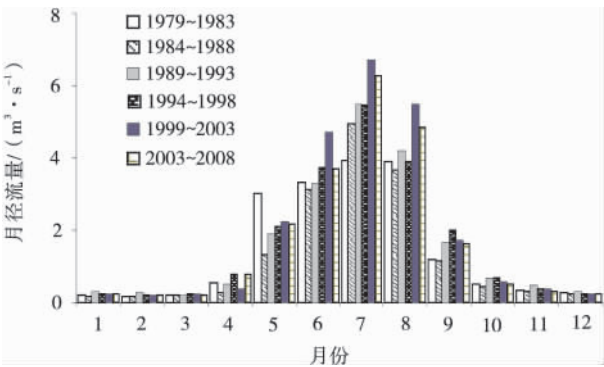


图 1 榆树沟水文站 1979~2010 年月均径流量的年内变化

Fig. 1 Five years average monthly runoff changes at Yushugou hydrological station

其他 3 个水文站径流的年内变化如表 2 所示,以降水补给为主的河流,如头道沟站,春季和夏季的径流量所占比例可达全年径流量的 74.7%,秋季为 16.6%,冬季径流量仅占全年的 8.7%左右^[6]. 而以冰川融水补给为主的河流,径流的年内分配相对均匀. 其中苇子峡站冰川融水比重较大,达到了 80.3%,夏季所占全年径流量仅为 33.8%,冬季径流量占全年径流量却达到了 20.5%^[5].

表 2 头道沟站、白吉站、苇子峡站年径流量
四季分配表

Tab. 2 Seasonal runoff at Toudaogou and Baiji,
Weizixia hydrological station %

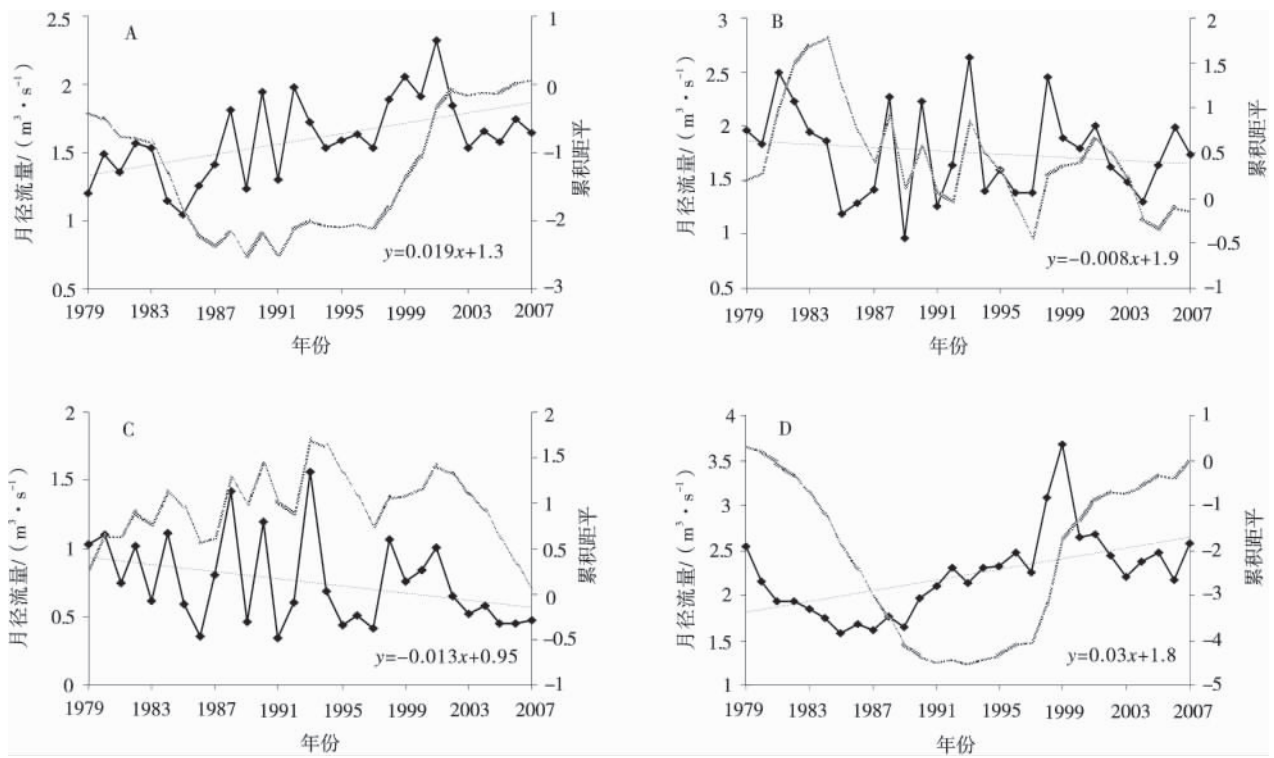
站名	季节分配			
	春 (3~5 月)	夏 (6~8 月)	秋 (9~11 月)	冬 (12~2 月)
头道沟	52.6	22.1	16.7	8.7
白吉	23.8	55.8	14.8	5.6
苇子峡	21.8	33.8	24.0	20.5

2.2 径流的年际变化

径流多年变化过程可以通过线性趋势分析和累积距平曲线反映,榆树沟站和苇子峡站半径流量总体呈递增趋势,白吉站基本保持一致,而头道沟站表现出明显的递减趋势. 由图 2 可以看出,榆树沟站和苇子峡站的径流量整体显示出增加的趋势,1979~2007 年间,分别增加了 34.4%和 39.0%. 榆树沟站的径流量在 1979~1987 年间处于下降趋势,1987~1997 年变化幅度不太明显,1997~2002 年处于明显上升阶段,表明水量较丰,2002 年起上升较为缓慢. 苇子峡站 1979~1991 年径流量明显下降,1991~1994 年径流量变化比较平稳,1994 年起径流量不断增加. 白吉站 1979~2007 年间的平均径流量为 $1.76\text{ m}^3/\text{s}$,1979~1984 年径流量处于明显上升阶段,在多年平均以上,1984~1987 年径流量又呈下降趋势,并在 1987 年达到谷底,1987~2001 年变化幅度不太明显,而 2001 年开始继续呈下降趋势,直至 2004 年. 头道沟站 1979~2007 年间径流量下降了 50.3%,1979~2002 年间呈缓慢上升趋势,2002 年起径流量加速下降,且没有回升迹象.

年径流的年际变化主要反映在变化幅度和多年变化过程两方面,主要指标分别为变差系数(C_v)和极值比(K_m)^[12-13]. 其中年径流 C_v 是反映各站年径流量变化程度大小的指标. 由表 3 可知,榆树沟水文站 C_v 最小,头道沟水文站 C_v 最大. 结果表明,以冰川融水补给为主的河流,如榆树沟站, C_v 在不同补给分类河流中最小;以季节性积雪补给或雨水补给为主的河流,如无冰川消融水补给的头道沟站,其 C_v 最大;而以高山冰雪融水或地下水补给的河流, C_v 介于两者之间.

上述 4 个水文站中榆树沟站和苇子峡站有显著的相似性,在 20 世纪 80 年代初径流量呈减少趋势,



A: 榆树沟; B: 白吉; C: 头道沟; D: 苇子峡.

图 2 哈密地区年径流量及累积距平变化

Fig. 2 Changes in annual runoff and cumulative anomaly curves of runoff at Hami region

表 3 哈密地区水文站径流年际变化特征值

Tab. 3 Variations of the annual runoff in Hami region

水文站	集水面积 /m ²	年平均流 量/(m ³ ·s ⁻¹)	变差 系数	最大径流		最小径流		$Q_{\max}/Q_{\min}$
				出现年份	$Q_{\max}/(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	出现年份	$Q_{\min}/(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	
榆树沟	308	1.60	0.18	2001	2.33	1985	1.04	2.23
白吉	431	1.76	0.30	1993	2.63	1989	0.96	2.74
头道沟	371	0.76	0.38	1993	1.56	1991	0.34	4.59
苇子峡	1057	2.23	0.26	1999	3.67	1985	1.57	2.34

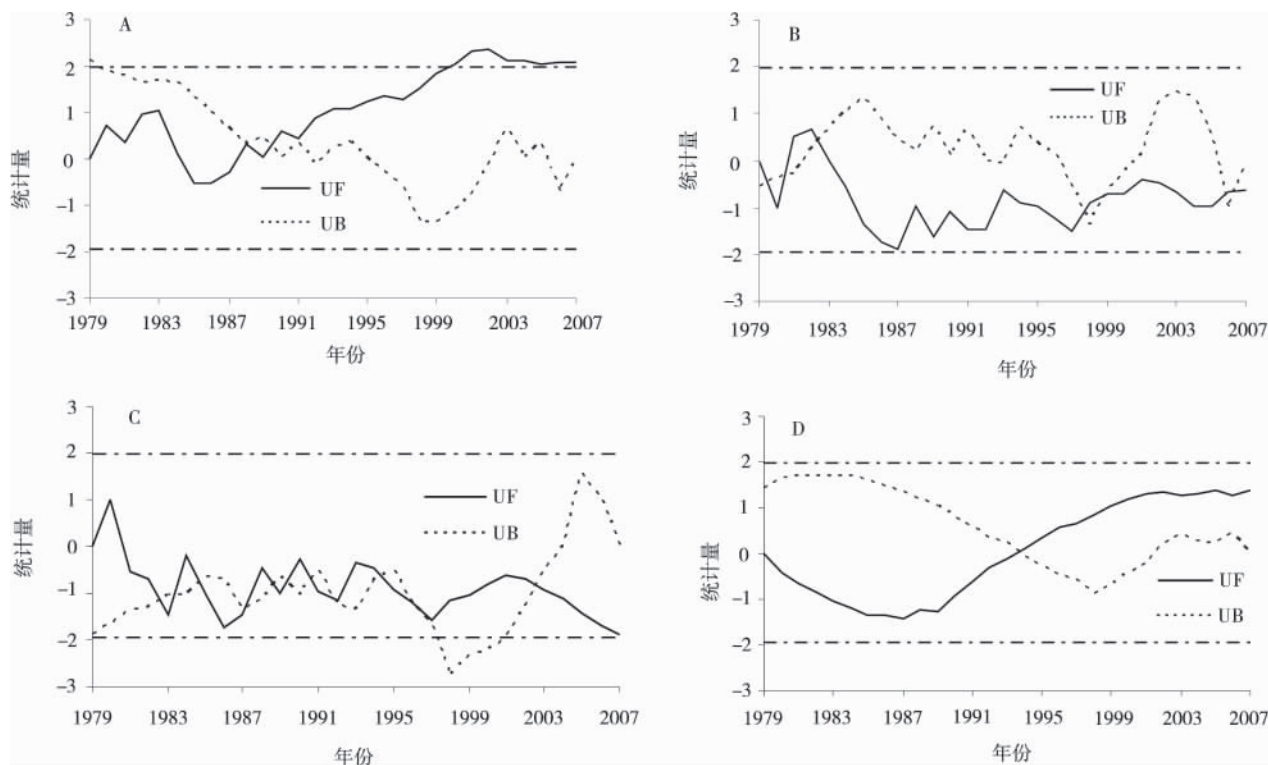
20 世纪 90 年代初基本保持稳定,20 世纪 90 年代末开始明显上升.而头道沟站与其他各站存在着较大的差异,从极值比(K_m)中也可以看出头道沟站 K_m 明显大于其他各站,这可能是由于头道沟站没有冰川融水补给的原因.

2.3 突变特性

图 3 是哈密地区各水文站年平均径流量变化 M-K 突变点检验图,从图上可以看出榆树沟站流量在过去 30 a 整体表现为增加趋势,在 2000 年附近 UF 线越过信度线,增加趋势有所减缓. UF 和 UB 两条线相交于 1988 年和 1990 年,介于 1.96 信度线

之间,表明 20 世纪 90 年代初期是流量突变的开始.结合图 2 可以得出,榆树沟站流量在经历了由枯到丰的突变,但真正突然的增加应是从 1990 年开始的.白吉站流量 UF 和 UB 两条曲线在信度线内没有交点,说明没有发生显著的突变;头道沟站流量 UF 和 UB 两条曲线在信度线内出现大量交叉点,结合图 2 去除杂点后可以看出在 2002 年发生了减少的突变;苇子峡站 UF 和 UB 两条曲线相交于 1994 年,表明苇子峡站流量在 1994 年经历了由少到多的突变,增加趋势较为明显,这与图 2 累积曲线

所反映结果一致^[14-15].



A: 榆树沟; B: 白吉; C: 头道沟; D: 和苇子峡.

图3 哈密地区年平均径流量的突变检验

Fig. 3 M-K mutation detections of annual runoff in Hami region

2.4 径流与气温、降水的关系

径流的变化主要受气候变化的影响. 径流是否和气候变化相关可以通过降水和气温两个因素来评估^[16-18]. 随着气温的升高, 冰雪融水增加, 径流量随之增加; 随着降水的增多, 径流量随之增多, 但也与降水强度有密切关联.

图4反映了榆树沟站年平均径流量与消融期气温、年降水量的关系, 在2000~2010年间, 榆树沟站平均夏季气温比80年代增加了2.65℃, 年降水量趋于稳定, 平均为150 mm. 在整个研究时段内, 年径流量与消融期气温均呈现上升趋势, 表明随着气温的不断升高, 径流量也随之增多, 而年降水量趋于稳定. 苇子站有相似的变化规律.

由图2可以看出, 头道沟站径流量呈现出下降的趋势, 与榆树沟站明显不同, 在近10 a 年下降趋势更为明显, 分析发现, 对应时段内的降水量是增多的^[19], 降水的增加并不能直接导致表面径流的增加, 这可能是由于气温的升高导致蒸发量的增加致使区域内的有效蒸发增强, 可见降水量的增多难以抵消升温导致的大量蒸发. 白吉站次之, 呈现稳定的

状态. 根据年平均流量与同期降水的相关分析, 表明4个水文站降水量和径流量的相关系数均小于0.5, 可见相关性都比较低, 可能的原因是该区降水量小、强度低, 尽管降水总量大, 但大多数降水以蒸发和下渗到地下水循环的形式流失, 致使降水量与径流量间的相关性减弱.

为了揭示消融期气温与径流量的定量关系, 以榆树沟站为例, 对1979~2010年月平均径流量与消融期气温进行相关分析^[20-22], 结果表明, 月平均径流量与消融期气温呈指数关系, 拟合效果较好(图5), 当消融期气温大于15℃时, 径流量呈加速增长. 恰好榆树沟和苇子峡站的年际径流量呈明显的增多趋势(图2), 分别增多了34.4%和39.0%, 这主要是由于气温升高使得周围冰川萎缩, 冰雪融水对该区径流的贡献增强, 径流量增加. 由此表明, 消融期气温是影响哈密地区径流变化的主要气候因素. 这与李忠勤等^[23]得出的径流量受气候变化的影响很大, 其变化与气温、降水及冰雪融水存在着明显的瞬时响应关系, 其中消融期气温对冰川融水补给为主的径流贡献最大的结论一致.

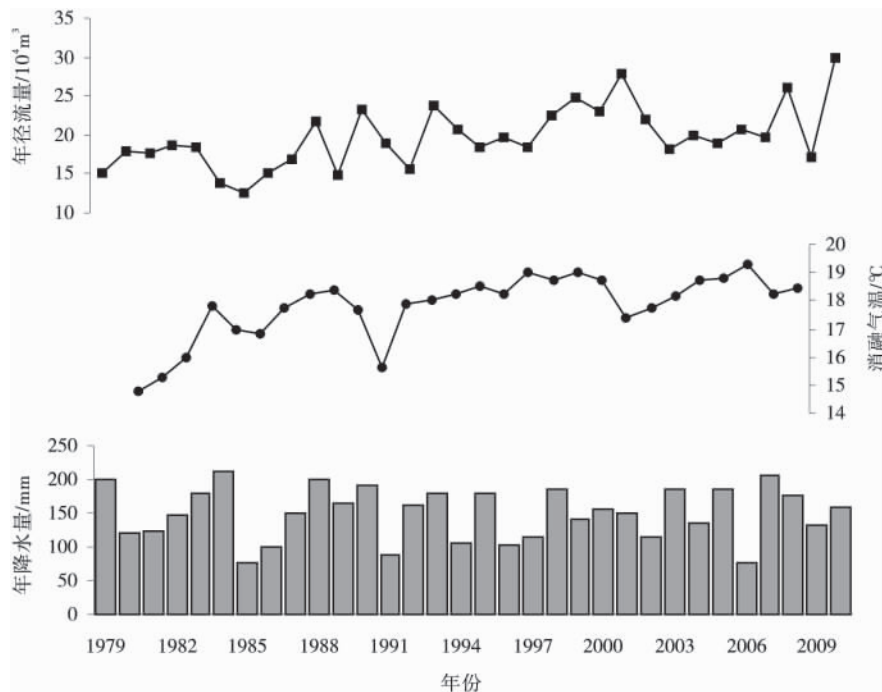


图 4 榆树沟站气温、消融期气温、年降水关系图

Fig. 4 Relationship between runoff and the temperature of ablation period, annual precipitation in Yushugou hydrological station

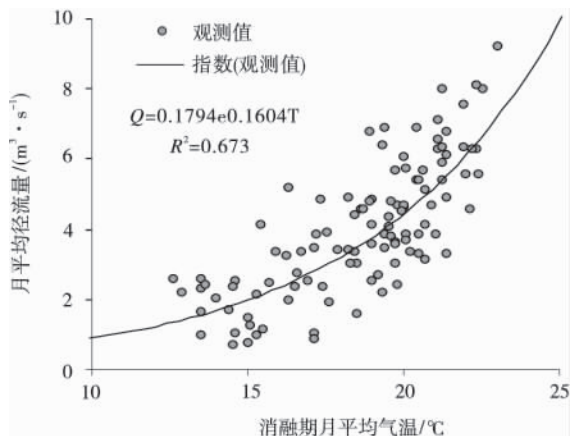


图 5 榆树沟水文站月平均径流量与消融期月平均气温的关系

Fig. 5 Relationships between runoff and the temperature of ablation period

3 结论

1) 哈密地区径流量主要集中在 5~9 月份,约占年径流量的 88%,7 月份径流量最大,占到年径流量的 28%,而 10 月至次年 3 月的径流量相对较少,占年径流量的 12%。

2) 该区径流的年际变化主要分为两种情况,

有冰雪融水补给的区域径流量呈递增趋势,无冰雪融水补给区的径流量表现出明显的递减趋势. 突变分析亦表明有冰雪融水补给的区域径流量在 20 世纪 90 年代初期开始突变,径流量呈现显著增加趋势。

3) 消融期气温是影响哈密地区径流变化的主要气候因素. 分析表明月径流量与消融期气温呈明显的指数关系,当消融期气温大于 15 °C 时,径流量呈加速增长。

参考文献

- [1] 施雅风,沈永平,胡汝骥. 西北气候由暖干向暖湿转型的信号、影响和前景初步探讨[J]. 冰川冻土,2002,24(3):220-226
- [2] 叶柏生,陈鹏,丁永建,等. 100 多年来东亚地区主要河流径流变化[J]. 冰川冻土,2008(4):556-561
- [3] 黎浩许,颜耀文. 额济纳旗气候变化特征分析[J]. 甘肃农业大学学报,2013,48(1):112-117
- [4] 高建芳,骆光晓. 气候变化对新疆哈密地区河川径流的影响分析[J]. 冰川冻土,2009,31(4):1243-1253
- [5] 刘虹. 新疆伊吾河流域水文水资源分析[J]. 黑龙江水利科学,2012,8:42-44
- [6] 胡汝骥. 中国天山自然地理[M]. 北京:中国环境科学

- 出版社,2004
- [7] 符淙斌,王强. 气候突变的定义和检测方法[J]. 大气科学,1992,16(4):482-493
- [8] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 2版. 北京:气象出版社,2007
- [9] 李瑞雪,张明军,金爽,等. 乌鲁木齐河流域气候变化的区域差异特征及突变分析[J]. 干旱区地理,2010,33(2):243-250
- [10] 骆光晓. 新疆哈密地区地表水资源量趋势分析[J]. 水文,2007(5):92-95
- [11] 施雅风,黄茂桓,姚檀栋,等. 中国冰川与环境[M]. 北京:科学出版社,2000
- [12] 康尔泗,程国栋,董增川. 中国西北干旱区冰雪水资源与出山径流[M]. 北京:科学出版社,2002
- [13] 杨针娘. 中国冰川水资源[M]. 兰州:甘肃科学技术出版社,1991
- [14] 张山清,普宗朝,韩勇,等. 近47年哈密地区气候变化[J]. 气象科技,2009,10(5):561-566
- [15] 高文华,李忠勤,张明军,等. 山西晋南地区近56a的气候变化特征、突变与周期分析[J]. 干旱区资源与环境,2011,25(7):124-127
- [16] 赵维俊,车克钧. 祁连山牧坡草地空气相对湿度近地梯度变化规律初步分析[J]. 甘肃农业大学学报,2008,43(6):119-122
- [17] 李忠勤,李开明,王林. 新疆冰川近期变化及其对水资源的影响研究[J]. 第四纪研究,2010,30(1):96-106
- [18] 陈亚宁. 新疆水文水资源变化及对区域气候变化的响应[J]. 地理学报,2009,11(11):1331-1341
- [19] 骆光晓,若孜汗,塔依尔. 新疆哈密石城子河流域水文水资源分析[J]. 干旱区研究,2008,25(4):478-484
- [20] 焦克勤,叶柏生,韩添丁,等. 天山乌鲁木齐河源1号冰川径流对气候变化的响应分析[J]. 冰川冻土,2011,33(3):606-611
- [21] 孙美平,李忠勤,姚晓军,等. 1958~2009年乌鲁木齐河源1号冰川融水径流变化及其原因[J]. 自然资源学报,2012,27(4):650-660
- [22] Paul H W, Christopher S. Estimates of Canadian Pacific Coast runoff from observed streamflow date[J]. Journal of Hydrology,2011(410):141-149
- [23] Li Z Q, Wang W B, Zhang M J, et al. Observed changes in streamflow at the headwaters of the Urumqi River, eastern Tianshan, central Asia[J]. Hydrology processes,2010,24(2):217-224
- (责任编辑 赵晓倩)

版权声明

为扩大本刊及作者知识信息交流渠道,加强知识信息推广力度,本刊已许可中国学术期刊(光盘版)电子杂志社在CNKI中国知网及其系列数据库产品中,以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊全文。该著作使用权及相关稿酬,本刊均用作为作者文章发表、出版、推广交流(含信息网络)以及赠送样刊之用途,即不再另行向作者支付。凡作者向本刊提交文章发表之行为即视为同意《甘肃农业大学学报》编辑部上述声明。