

和田地区昆仑山北坡年径流量对气候变化的响应

阿依夏木·买买提托合提, 古扎丽奴尔·艾尼瓦尔, 阿依夏木古丽·买买提, 玉苏甫·阿布都拉*

和田地区气象局, 新疆 和田

收稿日期: 2022年8月12日; 录用日期: 2022年9月9日; 发布日期: 2022年9月15日

摘要

分析了昆仑山北坡年径流量, 出山口降水量的变化及昆仑山北坡平原区年平均气温, 700~400 hPa气温、年降水量、极端降水日数、高温日数的响应。结果表明: 近58a来, 昆仑山北坡年径流量, 出山口降水量; 平原区年平均气温, 700~400 hPa气温、年降水量、极端降水日数、高温日数呈上升趋势。采用Mann-Kendall突变检验, 累积距平方法, 昆仑山北坡年径流量, 出山口降水量的变化及昆仑山北坡平原区年平均气温, 700~400 hPa气温、年降水量、极端降水日数、高温日数进行突变分析, 结果表明: 昆仑山北坡年径流量在2009年发生突变, 出山口降水量2002年发生突变、平原区年平均气温1997年发生突变、高空700~400 hPa气温在1984年发生突变、年降水量2010年发生突变、极端降水日数1986年发生突变、高温日数2004年发生突变。和田地区昆仑山北坡700~400 hPa气温上升, 高温日数、极端降水日数的增加、出山口降水增多是和田地区昆仑山北坡径流量增大的主要原因。

关键词

昆仑山北坡年径流量, 平均气温, 700~400 hPa气温, 和田年降水量, 极端降水日数

Response of Annual Runoff to Climate Change on the Northern Slope of the Kunlun Mountains River in the Hotan Region

Ayixiamu·Maimaitituoheti, Guzhalinuer·Ainiwaer, Ayixiamuguli·Maimaiti, Yusufu·Abula*

Hotan Meteorological Bureau, Hotan Xinjiang

Received: Aug. 12th, 2022; accepted: Sep. 9th, 2022; published: Sep. 15th, 2022

*通讯作者。

文章引用: 阿依夏木·买买提托合提, 古扎丽奴尔·艾尼瓦尔, 阿依夏木古丽·买买提, 玉苏甫·阿布都拉. 和田地区昆仑山北坡年径流量对气候变化的响应[J]. 自然科学, 2022, 10(5): 809-820. DOI: 10.12677/ojns.2022.105093

Abstract

Analyse the annual runoff on the north slope of Kunlun Mountain: the change of precipitation at the mountain pass and the response of the annual average temperature, 700~400 hPa temperature, annual precipitation, extreme precipitation days and high temperature days in the plain area on the north slope of Kunlun Mountain are analyzed. The results show that in the past 58 years, the annual runoff on the north slope of Kunlun Mountain and the precipitation at the mountain pass; annual average temperature in plain area; the temperature at 700~400 hPa, the annual water volume, the number of extreme precipitation days, and the number of high temperature days have an early rising trend. Mann Kendal catastrophe test, cumulative distance square method: the annual runoff on the north slope of Kunlun Mountain, the change of precipitation at the mountain pass and the annual average temperature in the plain area on the north slope of Kunlun Mountain: 700~400 hPa temperature, annual precipitation, extreme precipitation days and high temperature days are used for catastrophe analysis. The results show that; the annual runoff on the north slope of Kunlun Mountain suddenly changed in 2009, the precipitation at the mountain pass suddenly changed in 2002, the annual average temperature in the plain area suddenly changed in 1997, the high-altitude 700~400 hPa temperature suddenly changed in 1984, the annual precipitation suddenly changed in 2010, the extreme precipitation days suddenly changed in 1986, and the high-temperature days suddenly changed in 2004. The increase of 700~400 hPa temperature on the north slope of Kunlun Mountain in Hotan area, the increase of high temperature days, the increase of extreme precipitation days and the increase of precipitation at the mountain pass are the main reasons for the increase of runoff on the north slope of Kunlun Mountain in Hotan area.

Keywords

Runoff on the North Slope of Kunlun Mountain, Annual Average Temperature, 700~400 hPa Temperature, Annual Precipitation of Hotan, Extreme Precipitation Days

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

全球变暖将导致区域水循环的变化,引起水资源时空分布改变,进而影响区域生态环境和社会经济的发展。昆仑山北坡和田地区的水资源系统主要以冰雪融水为基础,在全球气候变化背景下,表现出的脆弱性非常明显[1]。刘时银[2]分析和田地区冰川数为564.0条,面积6812.67 km²,冰储量632.66 km³,分别占新疆冰川总量的27.25%、30.11%和29.36%;比第一次冰川编目,冰川减少了272条,面积减少了601.67 km²。沈永平[3]分析,玉龙喀什河冰川融水量为59.3%,喀拉喀什河,冰川融水量为45.7%,雪线高度在5760~6120 m。和田河两条支流出山径流的年内分配极为不均,但是夏季径流比例分别高达80.7%和72.9%,和田河地表水资源主要来源于冰川融化,高度集中在夏季。近年来许多学者在新疆昆仑山北坡地区径流变化趋势研究方面开展了比较全面的研究工作,尤其针对气温、降水和冰川融化与径流变化之间的关系作了系统分析[4]-[9],针对昆仑山北坡年径流量变化的原因讨论相对较少。应用多年连续监测记录昆仑山北坡年径流量,出山口降水量的变化及昆仑山北坡平原区年平均气温,700~400 hPa气温、年降水量、极端降水日数、高温日数资料,深入开展昆仑山北坡年径流量对气候变

化的响应研究, 对实现区域水资源可持续利用, 维护流域生态环境, 促进和田流域绿洲经济发展具有重要的意义。

2. 资料与方法

以和田地区皮山县, 和田市、于田、民丰气象站 1961~2018 年 58 年气温, 降水、蒸发、高温日数资料, 平均值为 WMO 规定的 1981~2010 年的标准气候平均值。

水文资料为玉龙喀什河, 喀拉喀什河、克里雅河、皮山河, 1961~2017 年 57 年径流量, 平均值为 WMO 规定的 1981~2010 年的标准气候平均值。1) 利用极端降水采用百分位阈值法, 把和田地区 1961~2018 年逐年日降水量序列的第 90 个百分位阈值的 30 年平均值定义为极端降水事件的阈值。2) 线性趋势倾向系数由最小二乘法求的。3) 5 年滑动, 累积距平、M-K 突变检验法。

3. 结果与讨论

3.1. 和田地区气温变化特征

和田地区年平均气温为 12.1°C 。气温呈线性上升趋势(图 1), 上升率 $0.45^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, 高于全国($0.23^{\circ}\text{C}/10\text{a}$)和全球($0.13^{\circ}\text{C}/10\text{a}$)同期变化水平。四季平均气温均呈上升趋势, 秋季升温速率最大, $0.41^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, 其次是冬季, 为 $0.39^{\circ}\text{C}/\text{a}$ 年。1997 年开始和田地区变暖尤其明显, 年平均气温连续 22 年持续偏高。

从各区域情况看, 皮山县、和田市、于田县、民丰县各分区年平均气温变化趋势均呈现显著上升趋势, 分别上升了 $0.28^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 、 $0.45^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 、 $0.16^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 和 $0.43^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 。

3.2. 高空 700~400 hPa 气温

张鲜鹤[10]分析中国冰川高度结构特征中指出, 昆仑山冰川平衡线高度在 5582 m, 500 hPa 的平均高度为 5441 gm 左右, 沈永平[3]分析, 玉龙喀什河冰川融水量为 59.3%, 喀拉喀什河, 冰川融水量为 45.7%, 雪线高度在 5760~6120 m。700~400 hPa (3000~7000 米) 平均气温变化能够反映出高山区的气候变化特征。从和田高空 700~400 hPa 年平均气温标准化序列曲线(图 2)看出和田市高空 700~400 hPa 年平均气温总体呈上升趋势, 上升率 $0.168^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, 气温变化趋势与地面气温变化趋势一致。5 年滑动曲线反映出 1961~1993 年为偏冷阶段, 1994~2018 年为偏暖阶段。其峰点是 2016 年(平均气温为 -11°C , 距平 1.2°C), 谷点是 1989 年(平均气温为 -13.3°C , 距平 -1.1°C)。

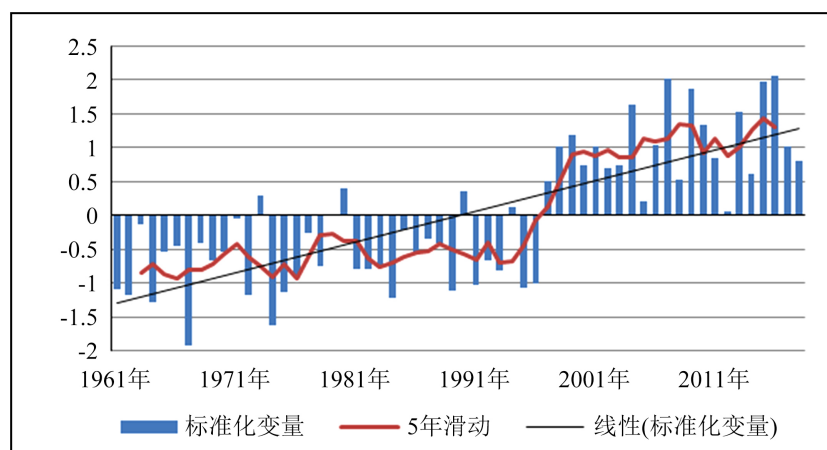


Figure 1. Variation of the average discharge annual temper ature over the Hotan region
图 1. 和田地区年平均气温

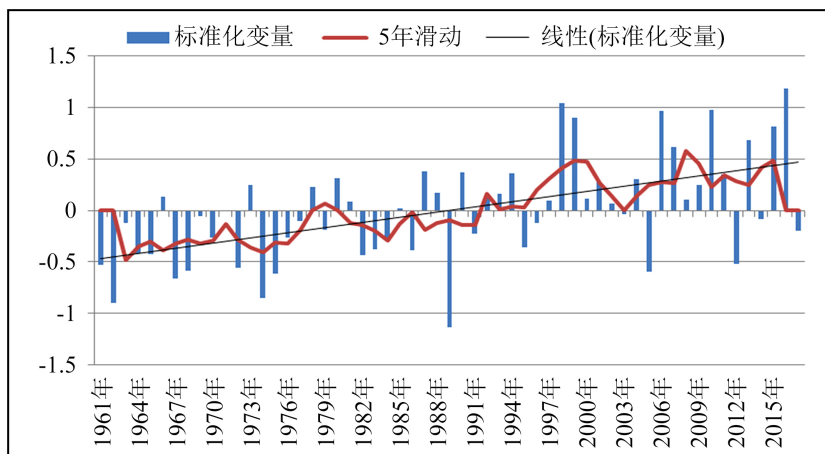


Figure 2. Variation of the average discharge 700~400 hPa temperature over the Hotan region

图 2. 和田高空 700~400 hPa 年平均气温标准化序列曲线

3.3. 平原区年降水量的变化特征

和田地区平均年降水量为 48.2 mm。1961 年以来和田地区年降水量呈线性上升趋势，上升率 5.1 mm/10a。1961 年以来降水量化大致可以分为 4 个阶段：1961~1986 年和 1997~2001 年为偏少阶段，1987~1996 年和 2002~2018 年为偏多阶段。降水量最大出现在 2010 年，为 147 mm，最小出现在 1985 年，为 10.6 mm。从各区域的情况看，皮山县、和田市、于田县、民丰县各分区年降水量分别增多 6.8 mm/10a、4.5 mm/10a、3.8 mm/10a 和 5.3 mm/10a，皮山县增多速率最大。

3.4. 极端降水日数变化特征

和田地区 1961~2018 年和田地区年降水量标准化序列曲线(图 3)，极端降水日数标准化序列曲线(图 4)可以看出，极端降水日数呈增多的趋势，上升率 0.5 d/10a。极端降水日数变化大致可以分为 4 个阶段，1961~1986 年和 1997~2000 年为偏少阶段，1987~1996 年和 2001~2018 年为偏多阶段，极端降水日数最多的年份出现(2010 年，为 19 d)。

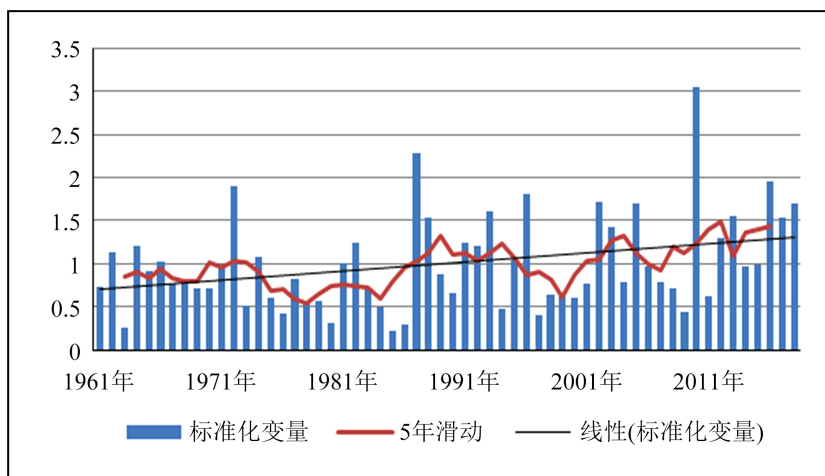


Figure 3. Variation of the average discharge annual precipitation over the Hotan region

图 3. 和田地区年降水量标准化序列曲线

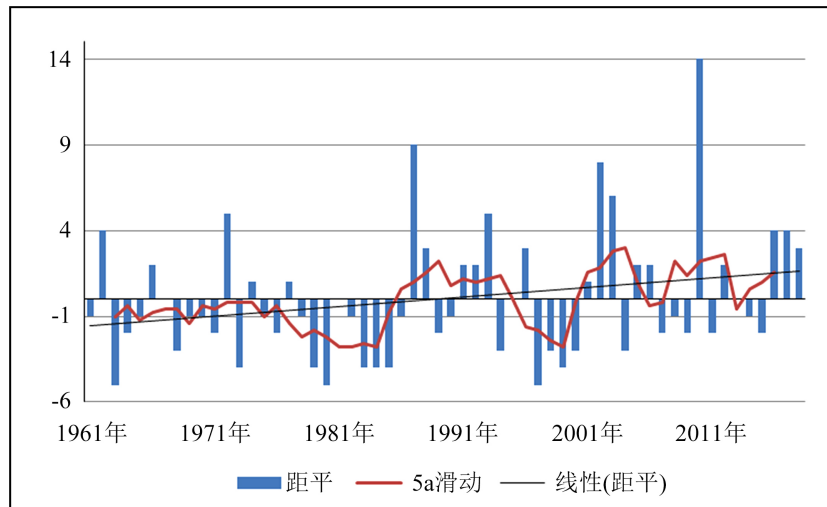


Figure 4. Variation of the average discharge of annual extreme precipitation over the Hotan region

图 4. 和田地区年极端降水日标准化序列曲线

3.5. 高温天气日数变化特征

和田地区 1961~2018 年高温天气日数标准化序列曲线(图 5), 可以看出, 近 58 年来和田地区高温天气日数呈线性增加趋势, 增加率 0.9 d/10a。从各区域情况看, 皮山县、和田市、民丰县各分区年平均高温天气日数变化趋势均呈增加趋势, 分别增加了 0.7 d/10a, 0.8 d/10a、2.1 d/10a、于田县-0.2 d/10a。高温天气日数最多的年份出现(1994 年, 为 38 d); 最少数的年份出现(1972 年, 为 6 d)。

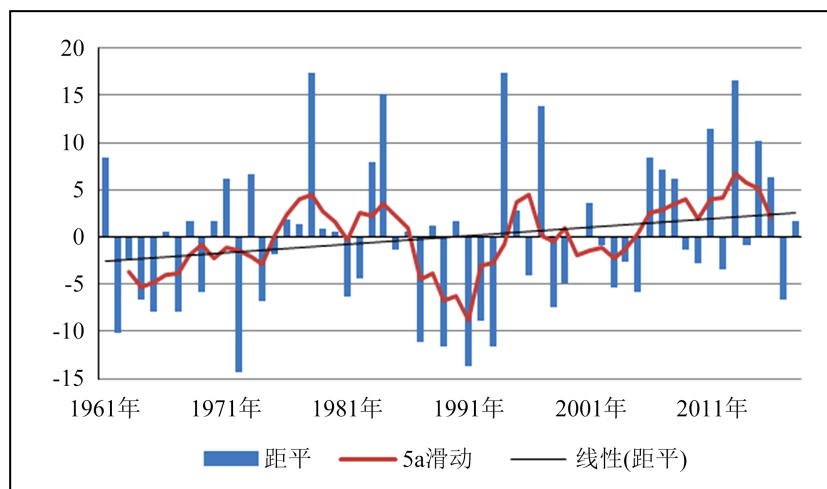


Figure 5. Variation of the average discharge of annual mean high temperature days in over the Hotan region

图 5. 和田地区年平均高温日数标准化序列曲线

4. 气温, 降水突变和趋势检验分析

4.1. 年平均气温突变和趋势检验分析

对和田地区年平均气温进行 Mann-Kendall 突变检验(见图 6)。由图 6 可知, 曲线 UF 从 1961~1968 年

都是处于 0 刻度线上下波动, 从 1969~1996 年大多数年份是处于 0 刻度线以上, 年平均气温变化是呈上升的趋势, 曲线 UF 与 UB 相交点在 1997 年, 且交点在临界线之间, 说明 1997 年发生了突变。1999 年增加趋势通过了 0.05 显著性检验($Z_{0.05} = 1.96$), 特别是 2016 年通过了 0.001 的显著性检验($Z_{0.001} = 2.56$)。这表明 20 世纪 90 年代后期以来, 和田地区年平均气温上升趋势是十分显著的。年平均气温 Z 值为 5.63, 通过了置信度 99% 的显著检验。

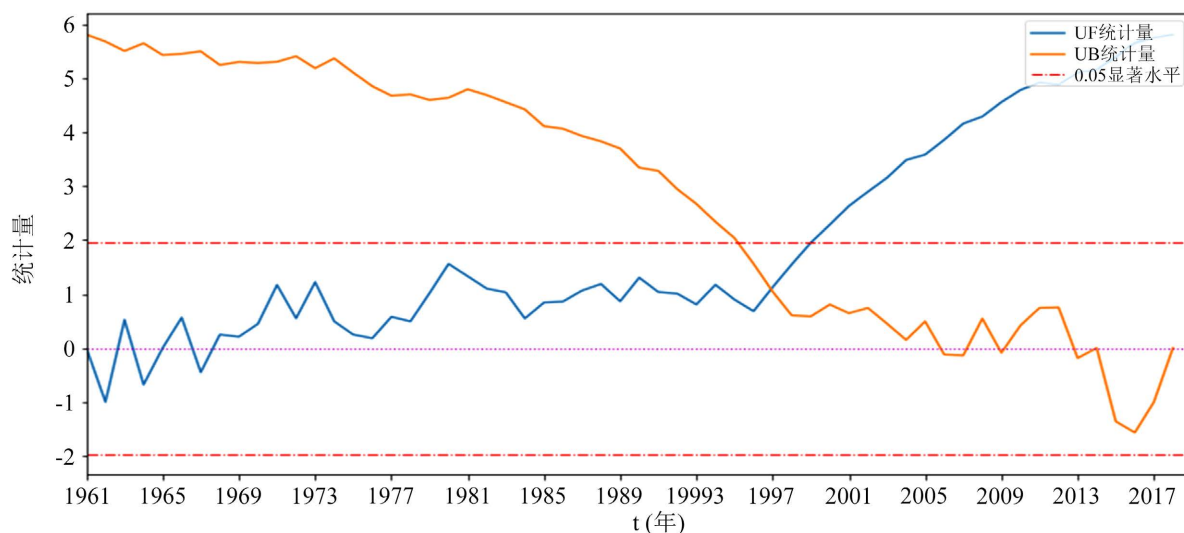


Figure 6. M-K nonparametric test of abrupt change for the average temperature over the Hotan region

图 6. 和田年平均气温 M-K 突变检验

4.2. 高空 700~400 hPa 气温突变和趋势检验分析

对和田市高空 700~400 hPa 年平均气温进行 Mann-Kendall 突变检验(见图 7)。由图 8 可知, 曲线 UF 从 1961~1984 年处于波动式上升阶段, 700~400 hPa 年平均气温变化呈上升的趋势, 曲线 UF 与 UB 相交点在 1984 年, 且交点在临界线之间; 1984 年是突变开始的时间。1988 年增加趋势通过了 0.05 显著性检验($Z_{0.05} = 1.96$), 特别是 1998 年通过了 0.001 的显著性检验($Z_{0.001} = 2.56$)。700~400 hPa 年平均气温从 1990 年开始大多数年份是处于 0 刻度线以上, 和田市高空 700~400 hPa 气温 Z 值为 4.23, 通过了置信度 99% 的显著检验。表明和田市高空 700~400 hPa 年平均气温上升趋势十分显著。

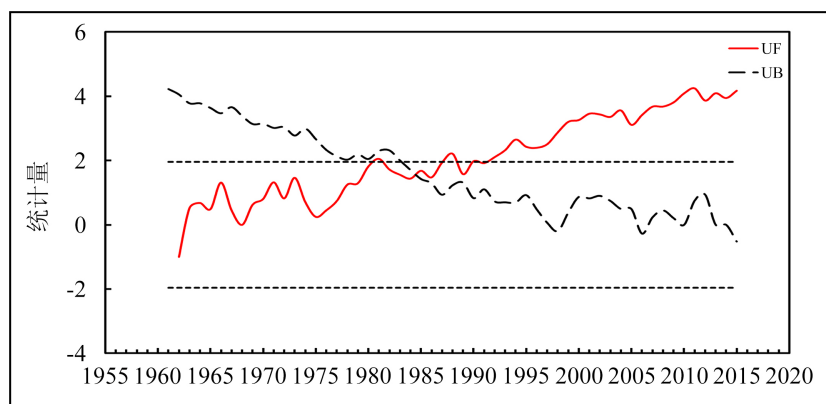


Figure 7. M-K nonparametric test of 700~400 hPa temperature over the Hotan region

图 7. 和田 700~400 hPa 气温 M-K 突变检验

4.3. 平原区年降水量突变和趋势检验分析

和田地区平原区年平均降水量进行 Mann-Kendall 突变检验, 如图 8 可知, 1961~1968 年 UF 曲线 0 刻度线以上, 1969~1991 年 UF 曲线 0 刻度线以下, 1992~2002 年 UF 曲线 0 刻度线上下波动, 2003 年开始处于 0 刻度线以上, 和田地区年平均降水量变化是呈上升的趋势, 曲线 UF 与 UB 相交点在 2010 年, 平原区年平均降水量在 2010 年发生了突变。但是和田站 1961~2018 年降水 Z 值为 1.69 没有通过 0.05 显著性检验($Z_{0.05} = 1.96$), 增加趋势不显著。

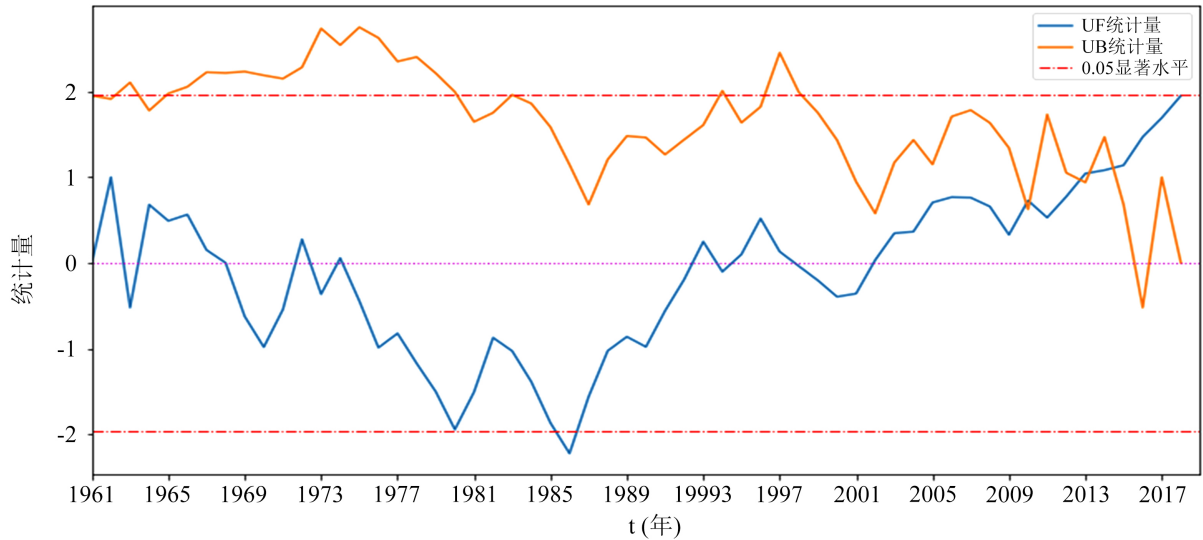


Figure 8. M-K nonparametric test of annual precipitation over the Hotan region
图 8. 和田地区平原区降水量 M-K 突变检验

4.4. 和田地区昆仑山北坡河流年径流量突变和趋势检验分析

和田地区昆仑山北坡河流年径流量进行 Mann-Kendall 突变检验, 如图 9 可知, 1961~1967 年和 1975~2004 年 UF 线在零线以下振动, 和田地区昆仑山北坡河流年径流量偏少阶段, 1967~1974 年和 2005~2017 年 UF 曲线零线以上, 和田地区昆仑山北坡河流年径流量偏多阶段。1994 年以后上升趋势十分明显, 线 UF 与 UB 相交点在 2009 年, 昆仑山北坡河流年径流量 2009 年发生了由少到多的突变。2017 年增加趋势通过了 0.05 显著性检验($Z_{0.05} = 1.96$)。玉龙喀什河 2010 年发生了突变, Z 值为 1.79 没有通过 0.05 显著性检验($Z_{0.05} = 1.96$), 增加趋势不显著; 喀拉喀什河 2009 年发生了突变, Z 值为 1.79 没有通过 0.05 显著性检验($Z_{0.05} = 1.96$), 增加趋势不显著; 克里雅河 2007 年发生了突变, Z 值为 3.39 通过了 0.001 的显著性检验($Z_{0.001} = 2.56$), 增加趋势显著; 皮山河 2003 年发生了突变, Z 值为 3.26 通过了 0.001 的显著性检验($Z_{0.001} = 2.56$), 增加趋势显著。这表明 20 世纪 90 年代中期以来, 和田地区昆仑山北坡河流年径流量上升趋势。克里雅河和皮山河 Z 值置信度 99% 的显著检验, 增加趋势十分显著。

4.5. 昆仑山北坡出山口降水量突变和趋势检验分析

和田地区昆仑山北坡出山口山区年平均降水量进行 Mann-Kendall 突变检验, 如图 9、图 10 可知, 曲线 UF 从 1961~1986 年处于 0 刻度线上下波动, 从 1987~2018 年处于 0 刻度线以上, 昆仑山北坡出山口降水量呈上升的趋势, 1986 年为转折点, 曲线 UF 与 UB 相交点在 2002 年, 昆仑山北坡出山口降水量在 2002 年发生了突变。但是 Z 值为 1.86 没有通过 0.05 显著性检验($Z_{0.05} = 1.96$), 增加趋势不显著。

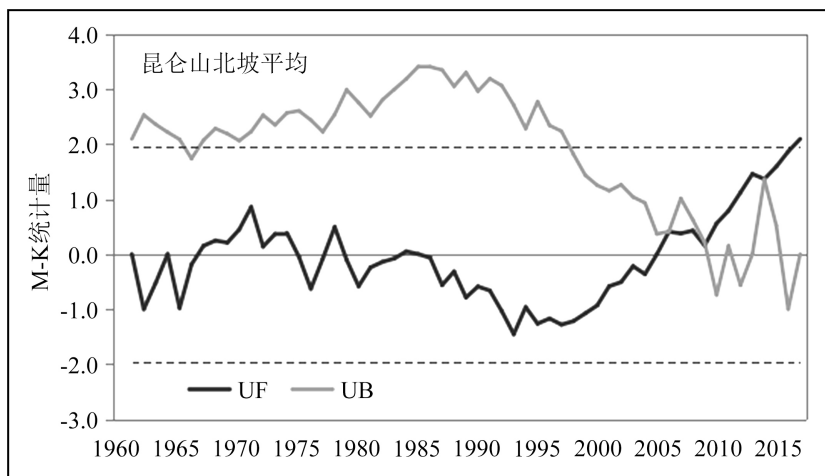


Figure 9. M-K nonparametric test of annual runoff on the north slope of Kunlun Mountain over the Hotan region

图 9. 和田地区昆仑山北坡河流径流量

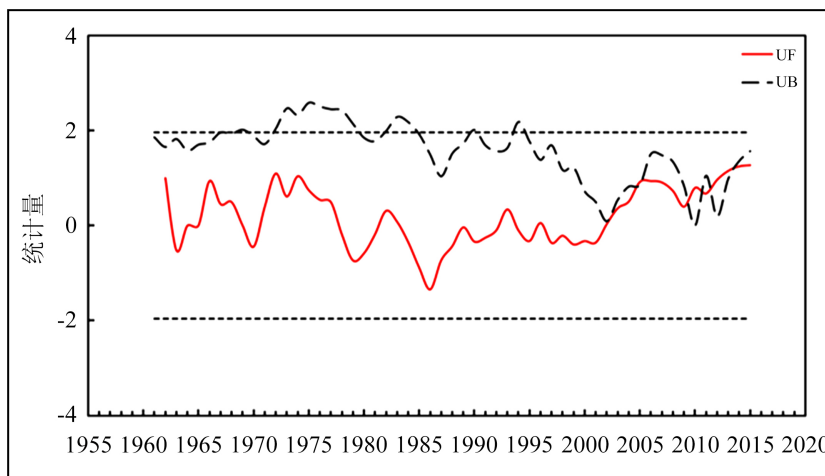


Figure 10. M-K nonparametric test the change of precipitation at the mountain pass on the north slope of Kunlun Mountain over the Hotan region

图 10. 出山口降水量 M-K 非参数突变检验

5. 和田地区昆仑山北坡年径流量和出山口降水量变化特征

5.1. 和田地区昆仑山北坡河流年径流量变化特征

由图 11 可见, 由于气候变暖, 以积雪融水补给为主的和田地区昆仑山北坡河流年径流量变化是呈波动上升的趋势, 线性倾向率为 $19.06 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} / 10\text{a}$; 年径流年际之间差异波动显著, 年最大径流量和年最小径流量分别为 $781 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (2010 年)、 $320.8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (1965 年)。1961~2017 年的 57a 中, 有 35a 为负距平, 22a 为正距平。自 1961 年以来和田地区昆仑山北坡年平均流量变化大致可以分为 4 个阶段: 1961~1973 年为枯水阶段, 1974~1981 年为丰水阶段, 1982~2000 年为枯水阶段, 2001~2017 年为丰水阶段, 2010 年以来昆仑山北坡河流年径流量增加趋势非常明显。其中, 玉龙喀什河增加趋势显著, 线性倾向率为 $26.7 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} / 10\text{a}$ 、喀拉喀什河线性倾向率为 $23.5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} / 10\text{a}$ 、克里亚河线性倾向率为 $18.9 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} / 10\text{a}$ 、皮山河线性倾向率为 $7.1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} / 10\text{a}$ 。

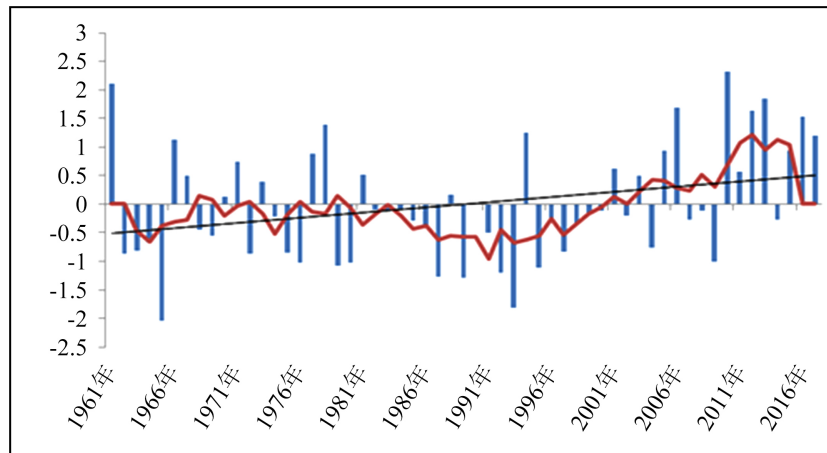


Figure 11. Variation of the average discharge of annual runoff on the north slope of Kunlun Mountain
图 11. 昆仑山北坡河流年径流量

5.2. 和田地区昆仑山北坡出山口降水量变化趋势分析

由图 12 可见近 57 年和田地区昆仑山北坡出山口降水量变化的主要特征是年际波动比较剧烈，但总体上呈增加趋势，以 $9.823 \text{ mm} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 的倾向率增加。降水量在 1961~2001 年 41a 中，有 27a 为负距平，14a 为正距平，2002~2017 年 16a 中有 6a 为负距平，10a 为正距平，但到 2010 年开始降水量不但增加趋势明显，而且降水变率增大显著。降水量最大出现在 2010 年，为 303 mm，偏多 166.5 mm，最小出现在 1985 年，为 45.8 mm，偏少 91.6 mm。其中，玉龙喀什河出山口为 2.9 mm/10a，克里亚河出山口为 13.8 mm/10a、皮山河出山口为 12.7 mm/10a。

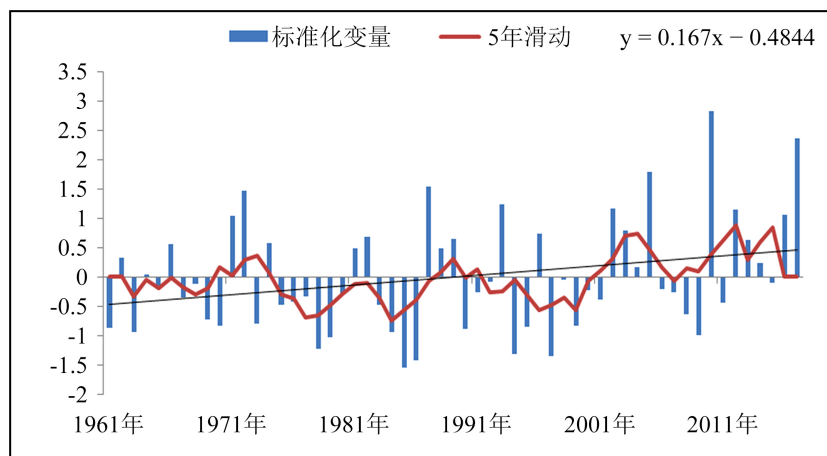


Figure 12. Variation of the average discharge of annual precipitation the north slope of Kunlun Mountain
图 12. 昆仑山北坡河流出山口年降水量标准化序列曲线

6. 和田地区昆仑山北坡气候变化对径流量的影响

6.1. 温度和降水变化对径流量的影响

和田地区昆仑山北坡河流发源于昆仑山脉，径流均以冰雪融水为主。图 12 显示，昆仑山北坡径流量，

高空 700~400 hPa 气温和山区降水量标准化变量累积距平曲线变化具有明显的同位相特征。昆仑山北坡的径流量累积距平曲线 1961~2000 年波动式下降,属于枯水期,2000 年为拐点,2001~2017 年累积距平曲线持续上升,属于丰水期;高空 700~400 hPa 气温累积距平在 1961~1988 年期间呈波动式下降趋势,1989 年为拐点,1990~2017 年期间呈上升趋势;上升趋势显著。昆仑山北坡出山口降水量累积距平在 1961~1970 年期间波动式下降,1971~1974 年上升,1975~1986 年下降趋势十分明显;1987~1993 年累积距平曲线波动式上升,1994~2001 年期间波动式下降,2001 为转折点,2002 年开始上升趋势十分显著。

6.2. 昆仑山北坡径流量, 高空 700~400 hPa 气温和山区降水突变前后变化分析

采用 M-K 非参数检验法,累积距平对昆仑山北坡径流量,高空 700~400 hPa 气温和山区降水进行突变分析。昆仑山北坡的径流量 2009 年发生突变,高空 700~400 hPa 气温在 1984 年发生突变、山区降水量在 2002 年发生突变。径流量突变前(1961~2009 年)平均为 $414.9 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,突变后(2010~2017 年)平均为 $547.7 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,突变后比突变前增多了 $132.8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$;山区降水量突变前(1961~2002 年)平均为 123.8 mm,突变后(2003~2017 年)平均为 172.4 mm,突变后比突变前增多了 48.6 mm;高空 700~400 hPa 气温突变前(1961~1984 年)平均为 -12.5°C ,突变后(1985~2017 年)平均为 -12.0°C ,突变后比突变前上升了 0.5°C 。

6.3. 昆仑山北坡径流量, 高空 700~400 hPa 气温、山区降水异常年分析

采用了标准化距平大于 1.0 的年份为偏多(偏高),距平小于 -1.0 的年份为偏少(偏低);距平大于 2.0 的年份为异常偏多(偏高),距平小于 -2.0 的年份为异常偏少(偏低)依此选定昆仑山北坡径流量,高空 700~400 hPa 气温、山区降水典型的异常偏多(偏高),异常偏少(偏低)年。陈亚宁^[1]最新研究结果显示,西北干旱区河川径流量的长时期序列检测发现,一些冰川融水补给较大的河流在 1994 年前后普遍出现了一次径流“突变型”增加的过程与气候异常年份较一致。昆仑山北坡径流量 5 个异常偏多年中 4 个出现在 1994 年以后,9 个偏多年中 5 个出现在 1994 年以后,出现在 1994 年以前;1 个异常偏少年份(1965 年)和 9 个偏少年中 7 个出现在 1994 年以前,1994 年以后只出现了 2 个偏少年。高空 700~400 hPa 气温 1 个异常偏高年份(2016 年),2 个异常偏低年份(1962, 1989);7 个偏高年份 1994 年以后;13 个偏低年中 11 个出现在 1994 年以前,2 个偏低年出现 1994 年以后。山区降水量 2 个异常偏多年份(2010、2017 年),没有出现异常偏少年份;8 个偏多年中 6 个出现在 1987 年以后,2 个出现在 1987 年以前,6 个偏少年中 4 个出现在 1987 年以前,2 个出现在 1987 年以后。

6.4. 突变前后昆仑山北坡径流量, 高空 700~400 hPa 气温、平原区降水量、山区降水量、平原区极端降水日数相关分析

采用 M-K 非参数检验法,累积距平对昆仑山北坡径流量,高空 700~400 hPa 气温和山区降水进行突变分析。昆仑山北坡的径流量 2009 年发生突变,高空 700~400 hPa 气温在 1984 年发生突变、山区降水量在 2002 年发生突变、平原区降水量在 2010 年发生突变、平原区极端降水日数 1986 年发生突变。700~400 hPa 气温与昆仑山北坡径流量进行 Pearson 相关性分析;突变前(1961~1983 年)相关系数为 0.233,相关不显著;突变后(1984~2017 年)相关系数为 0.377,通过了 0.05 的显著性水平检验。尤其是 400 hPa 气温与昆仑山北坡径流量的相关最明显,突变前相关系数 0.339,相关不显著,突变后相关系数 0.439,通过了 0.01 的显著性水平检验。昆仑山北坡径流量与平原区降水量突变前(1961~2009 年)负相关,相关系数为 -0.005 ,相关不显著;突变后(2010~2017 年)正相关,相关系数 0.806,通过了 0.05 的显著性水平检验。昆仑山北坡径流量与山区降水量突变前(1961~2001 年)负相关,相关系数为 -0.01 ,相关不显著;突变后(2002~2017 年)正相关,相关系数 0.687,通过了 0.05 的显著性水平检验。昆仑山北坡径流量与平原区极

端降水日数突变前(1961~1986年)正相关,相关系数为0.105,相关不显著;突变后相关系数0.719,通过了0.05的显著性水平检验。昆仑山北坡径流量与高空700~400 hPa气温通过了0.01的显著性检验,昆仑山北坡径流量与山区、平原降水量通过了0.05信度水平。这说明,对昆仑山北坡径流量来说,高空700~400 hPa气温是近57年来径流量增长的最主要因素。

7. 结果与讨论

7.1. 和田地区昆仑山北坡流域暖干向暖湿的转型明显

施雅风等[11]对西北近年来的降水、径流、洪水、湖泊等变化分析,发现1987年以来西北西部和中部地区气候发生了由暖干向暖湿的转型。和田地区年平均气温上升率 $0.45^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,高于全国($0.23^{\circ}\text{C}/10\text{a}$)和全球($0.13^{\circ}\text{C}/10\text{a}$)同期变化水平。1997年以来和田地区变暖尤其明显,年平均气温连续22年持续偏高;700~400 hPa年平均气温上升率 $0.168^{\circ}\text{C}/10\text{a}$,平原区降水量上升率 $5.1\text{ mm}/10\text{a}$ 、山区降水量 $9.8\text{ mm}/10\text{a}$ 、极端降水日数上升率 $0.5\text{ d}/10\text{a}$ 、高温天气日数上升率 $0.9\text{ d}/10\text{a}$ 、昆仑山北坡河流年径流量上升率为 $19.06\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}/10\text{a}$ 。和田地区昆仑山北坡流域气候正在暖干向暖湿的转型明显。

7.2. 冰川和径流对气候异常的响应

胡凡盛[12]分析1976~2016年西昆仑地区冰川变化遥感监测指出西昆仑地区冰川面积退缩了 892.38 km^2 ,退缩速率 $0.28\%\cdot\text{a}^{-1}$ 。气温和降水分别影响冰川的消融和积累过程,是冰川发育气候条件最主要的因素。过去57年来,和田地区年平均气温,700~400 hPa年平均气温和山区、平原区降水都有所增长,气温升高有利于冰川消融可以促使冰川退缩,降水的增加有利于冰川的积累。高空700~400 hPa气温的异常变化与西昆仑地区冰川面积退缩有高度的相应,700~400 hPa气温偏高年份(2016年),7个偏高年份(1998、1999、2006、2007、2010、2013、2015)。400 hPa气温与昆仑山北坡径流量的相关最明显,突变前相关系数0.339,相关不显著,突变后相关系数0.439,通过了0.01的显著性水平检验。颜伟[13]分析MODIS数据的2000~2013年西昆仑山玉龙喀什河流域积雪面积变化研究指出低,高山区平均、最大积雪面积呈微弱增加趋势,高山区最小积雪面积显著增加,倾向率为 $65.877\text{ km}^2/\text{a}$;秋季,2009、2010年是低山区积雪面积的峰值年份。昆仑山北坡径流量4个异常偏多年出现在(2006、2010、2012、2013),4个偏多年(2005、2015、2016、2017)。径流量异常偏多与高山区最小积雪面积显著增加高度相应,2009年秋季低山区积雪面积的峰值年与2010年昆仑山北坡诸河夏季特大洪水相对应,高空400 hPa气温是昆仑山北坡冰川消融,冰川面积退缩和径流量增多的最主要因素。

8. 结论

1) 1961~2017年,和田昆仑山北坡河属冰雪融水补给型河流,昆仑山北坡径流量以 $19.06\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 的倾向率递增,高空700~400 hPa气温以 $0.168^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 倾向率增加,山区降水夏季流量以 $0.186\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 的倾向率递增、山区降水量以 $9.823\text{ mm}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 的倾向率增加。

2) 昆仑山北坡的径流量2009年发生突变,玉龙喀什河2010年发生了突变,喀拉喀什河2009年发生了突变,克里雅河2007年发生了突变,皮山河2003年发生了突变。高空700~400 hPa气温在1984年发生突变、山区降水量在2001年发生突变。突变前后昆仑山北坡径流量,高空700~400 hPa气温、山区降水量差异明显。

3) 昆仑山北坡径流量与700~400 hPa气温,山区和平原降水量、平原区极端降水日数进行Pearson相关性分析。昆仑山北坡径流量与各要素突变前后差异较大。昆仑山北坡径流量与高空700~400 hPa气温,山区、平原降水量、平原区极端降水日通过了0.05的显著性检验;尤其是400 hPa气温与昆仑山北

坡径流量的相关最明显, 突变前相关系数 0.339, 相关不显著, 突变后相关系数 0.439, 通过了 0.01 的显著性水平检验。这说明, 对昆仑山北坡径流量来说, 高空 400 hPa 气温是近 57 年来昆仑山北坡径流量增长的最主要因素。

4) 和田地区年平均气温上升率 $0.45^{\circ}\text{C}/10\text{a}$, 高于全国($0.23^{\circ}\text{C}/10\text{a}$)和全球($0.13^{\circ}\text{C}/10\text{a}$)同期变化水平。1997 年以来和田地区变暖尤其明显, 年平均气温连续 22 年持续偏高。700~400 hPa 年平均气温上升, 平原区降水量、山区降水量、极端降水日数、高温天气日数增加、径流量增多。说明和田地区昆仑山北坡流域气候正在暖干向暖湿的转型明显。

5) 高空 700~400 hPa 气温的异常变化与西昆仑地区冰川面积退缩有高度的相应, 昆仑山北坡径流量对高空 700~400 hPa 气温和山区降水量的变化都有很好的响应。径流量异常偏多与高山区最小积雪面积显著增加高度相应, 2009 年秋季低山区积雪面积的峰值年与 2010 年昆仑山北坡诸河夏季特大洪水相对应, 高空 400 hPa 气温是昆仑山北坡冰川消融, 冰川面积退缩和径流量增多的最主要因素。

基金项目

新疆少数民族科技人才特殊培养计划基金项目(2017D03026)唯一资助。

参考文献

- [1] 陈亚宁, 李稚, 范煜婷, 等. 西北干旱区气候变化对水文水资源影响研究进展[J]. 地理学报, 2014, 69(9): 1295-1304.
- [2] 刘时银, 姚晓军, 郭万钦, 等. 基于第二次冰川编目的中国冰川现状[J]. 地理学报, 2015, 70(1): 10-11.
- [3] 沈永平, 施雅风, 刘潮海, 等. 新疆冰川资源及其对水资源变化和洪水灾害的影响(冰川在新疆的地位、作用和影响报告) [R].
- [4] 周晓曦, 阿布都热合曼·哈力克. 气候变化对和田河径流的影响研究[J]. 中国农村水利水电, 2017(3): 21-25.
- [5] 王珍珍, 黄领梅, 沈冰, 等. 和田河两支流出口枯水流量的变化特性分析[J]. 水资源与水工程学报, 2013, 24(5): 45-49.
- [6] 褚桂红, 史文娟, 王娟, 等. 和田河上游径流变化特征及影响因子分析[J]. 干旱区资源与环境, 2010, 24(11): 83-87.
- [7] 师于杰. 塔里木河“三源一干”近 60 年径流演变规律分析[J]. 水资源开发与管理, 2019, 23(7): 12-16.
- [8] 周宰根, 谢自楚, 韩建康, 等. 玉龙喀什河和喀拉喀什河出山径流变化及其影响因素分析[J]. 干旱区资源与环境, 2009, 23(6): 95-99.
- [9] 张芳红. 新疆玉龙喀什河流域水文特性分析[J]. 能源与节能, 2018(5): 92-94.
- [10] 张鲜鹤, 王欣, 刘时银, 等. 基于第二次冰川编目数据的中国冰川高度结构特征分析[J]. 地理学报, 2017, 72(3): 397-406.
- [11] 施雅风, 沈永平, 李栋梁, 等. 中国西北气候由暖干向暖湿转型的特征和趋势探讨[J]. 第四纪研究, 2003, 23(2): 152-164.
- [12] 胡凡盛. 1976-2016 年东帕米尔-西昆仑地区冰川变化遥感监测[D]: [硕士学位论文]. 兰州: 兰州大学, 2018.
- [13] 颜伟, 刘景时, 罗光明, 等. 基于 MODIS 数据 2000-2013 年西昆仑山玉龙喀什河流域积雪面积变化[J]. 地理科学进展, 2014, 33(3): 315-323.