

文章编号: 1000-0534(2009)02-0465-09

阿克苏河流域春季径流变化及气候成因分析

张俊岚¹, 段建军²

(1. 新疆阿克苏地区气象局, 新疆 阿克苏 843000; 2. 新疆阿克苏地区水文局, 新疆 阿克苏 843000)

摘 要: 采用数理统计方法, 分析了 35 年来阿克苏河流域春季径流的变化及其与冬、春季气温、降水等气候因子的响应关系。研究表明, 流域内春季径流在增加, 冬、春季均有增暖变湿的趋势, 影响阿克苏河春季径流的主导气候因子是前冬降雪和春季温度, 春季径流对前冬降雪、春季温度具有正相关关系。春季流域以融雪径流为主, 4 月中下旬开始出现融雪径流, 5 月中下旬融雪作用明显。近年来阿克苏河损耗径流增加, 主要由于其两支流汇流前流域农业灌溉用水增多所致。同时分析了 35 年来春季阿克苏河径流典型丰、枯水年当年春季及前冬的 500 hPa 位势高度环流场的距平特征。

关键词: 阿克苏河流域; 春季径流; 温度; 降水; 融雪

中图分类号: P339 **文献标识码:** A

1 引言

南疆阿克苏河流域地处欧亚大陆腹地, 位于 75°35'~80°59'E、40°17'~42°27'N, 在天山南麓和塔里木盆地西北缘, 远离海洋, 属典型的暖温带干旱气候区。阿克苏河径流量主要来自西部和北部山区的两大支流—西支托什干河和北支库玛拉克河, 两支流在喀拉都维汇合后称为阿克苏河, 阿克苏河在塔里木河水系中是唯一能长期供水的支流, 汇入塔里木河的流量占其总供给量的 70% 以上, 高山冰川和积雪是阿克苏河径流的重要补给来源^[1], 阿克苏河流域水系及站点分布如图 1 所示。

阿克苏河流域以农业生产为主, 由于流域内自然降水少, 蒸发量大, 绿洲农业主要依靠阿克苏河灌溉进行, 灌溉农业养育了河流两岸四县二市的各族人民。每年春耕春播期间, 阿克苏河流域棉花播种、冬小麦生长和特色林果业等灌溉用水的需求量较大, 春季用水矛盾突出, 流域春季河流来水的多少与早晚对农业生产具有直接影响, 是春季流域气象预报的重点。以往的研究大多集中于流域内的年径流量变化及相关要素的影响关系, 如毛炜峰等^[2]、张广兴^[3]、崔彩霞等^[4]、陈颖等^[5]分析了大气环流指数因子、夏季 0℃ 层高度、塔里木河上游

地区的积雪变化以及流域气温、降水等对阿克苏河年径流量的影响和关系。随着全球气候变暖, 阿克苏河流域也存在气温上升、降水增多的趋势, 其自然径流的变化主要受制于气候变化, 也受到地表状况及人类活动的影响^[6]。本文从合理利用现有水资源出发, 揭示了阿克苏河流域春季河流来水量对气候变化的响应关系及气候因子对春季径流量的影响, 预测阿克苏河春季河流来水的多少与早晚, 以科学合理地安排农业用水。

2 资料选取与方法介绍

选取了阿克苏河流域内的沙里桂兰克、协合拉和西大桥 3 个水文站 1971—2005 年 35 年的实测径流资料, 分别代表托什干河、库玛拉克河两支流和两支流汇流后阿克苏河干流段(新大河)的径流变化, 3 个水文站均为流域径流的控制站, 具有较好的代表性。同时选用阿克苏河流域内阿合奇、乌什、柯坪、阿克苏、温宿、阿瓦提和阿拉尔 7 个气象观测站 1971—2005 年的前一年冬季(11 月~2 月)、春季(3~5 月)逐月、逐旬气温和逐日降水资料、阿克苏探空站 1987—2005 年春季逐月、逐旬高空 0℃ 层高度以及北半球 NCEP/NCAR 中 4 时次/日等压面位势高度场格点 2.5°×2.5°再分析资料。

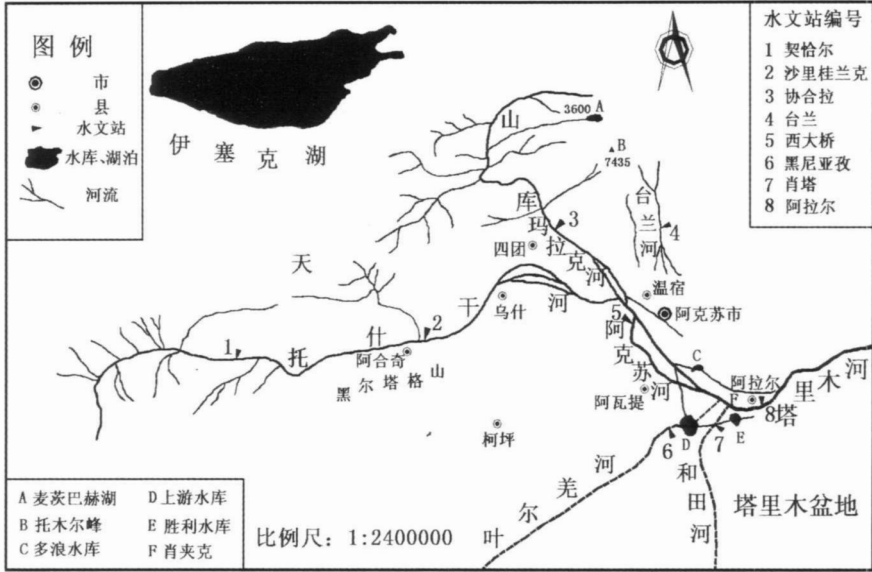


图 1 阿克苏河流域水系及站点示意图
Fig. 1 Schematic diagram of river system and stations in the Aksu river basin

本文采用气候趋势系数、相关分析等数理统计方法，分析了春季径流的线性趋势变化以及气候因子与春季径流量的相关关系。利用 t 检验方法对相关系数进行了显著性检验，以判断变化趋势的程度是否显著。同时对比分析了阿克苏河春季径流丰水、枯水年份前冬和春季高空 500 hPa 位势高度距平场的基本特征及主要差异。

3 阿克苏河春季径流量及损耗径流的变化

分析 35 年来春季 3~5 月托什干河和库玛拉克河对阿克苏河汇流的贡献，春季托什干河的径流量大于库玛拉克河，两河平均径流分别为 $5.383 \times 10^8 \text{ m}^3$ 和 $4.423 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，各占汇流总量的 54.89% 和

45.11%，除 3 月北支流径流偏大外，4~5 月均为西支流偏大，说明春季托什干河对阿克苏河的径流贡献较大。

1970 年代、1980 年代、1990 年代和近 5 年 (2001—2005 年) (下同) 春季平均的径流量，托什干河为 $4.332 \times 10^8 \text{ m}^3$ ， $4.884 \times 10^8 \text{ m}^3$ ， $5.838 \times 10^8 \text{ m}^3$ 和 $7.573 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，库玛拉克河为 $4.585 \times 10^8 \text{ m}^3$ ， $4.107 \times 10^8 \text{ m}^3$ ， $4.568 \times 10^8 \text{ m}^3$ 和 $4.438 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，新大河则为 $1.159 \times 10^8 \text{ m}^3$ ， $1.403 \times 10^8 \text{ m}^3$ ， $2.030 \times 10^8 \text{ m}^3$ 和 $2.632 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，托什干河春季径流为稳定增长的趋势，1980 年代较 1970 年代、1990 年代较 1980 年代、近 5 年又较 1990 年代托什干河春季径流分别增长了 12.7%，19.5%，29.7%，近 5 年增幅较大；而库玛拉克河年际径流

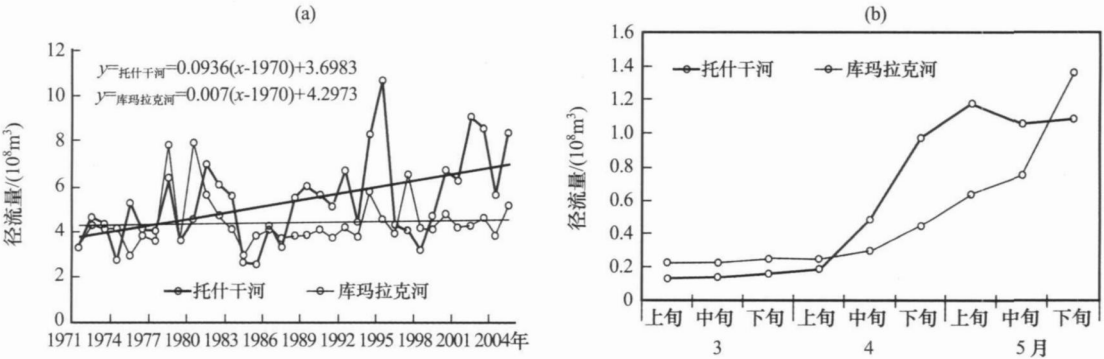


图 2 1971—2005 年阿克苏河两支流春季径流量年际变化(a)及春季各旬径流(b)
Fig. 2 The interannual change of the spring run-off magnitude in two tributaries in Aksu river basin (a) and every dekad run-off in spring(b) in 1971—2005

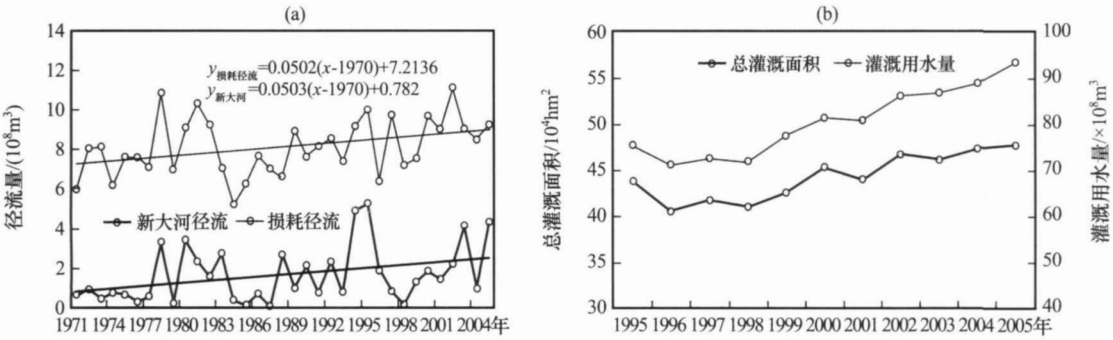


图 3 1971—2005 年春季新大河及损耗径流变化(a)及流域近 10 年农业灌溉面积、灌溉用水量(b)

Fig. 3 (a) change of damage run-off and spring run-off in Xindahe in 1971—2005 and (b) the irrigation areas and the consuming water for irrigation in the river basin in the recent 10 years

变化幅度为-10.4%~11.2% (仅 1990 年代较 1980 年代增加 11.2%，增幅较大)，变幅相对偏小。

图 2 给出了托什干河(沙里桂兰克站)和库玛拉克河(协合拉站)春季径流量的年际变化(图 2a)及春季各旬径流(图 2b)的演变曲线，图 2a 中托什干河径流为上升趋势，春季平均径流增长率为 $0.0936 \times 10^8 \text{ m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$ ，而库玛拉克河仅为 $0.007 \times 10^8 \text{ m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$ ，增长率较小，两支流合计径流量增长率达 $0.1133 \times 10^8 \text{ m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$ 。图 2b 中两河径流量明显加大均从 4 月中旬开始，其中托什干河 4 月下旬~5 月上旬增幅较大，5 月中旬开始下降，持续到下旬；库玛拉克河 4 月中旬起一直呈上升趋势，5 月下旬增幅最大。

将托什干河和库玛拉克河两支流的径流合计值减去汇流后的径流量作为阿克苏河的损耗径流，图 3a 为新大河(西大桥站)和损耗径流的变化，春季新大河和损耗径流年变化率分别为 $0.0503 \times 10^8 \text{ m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$ 和 $0.0502 \times 10^8 \text{ m}^3 \cdot \text{a}^{-1}$ ，两支流汇流后新大河径流和损耗径流均呈增加趋势，增长速率相当。其年代际变化，新大河 1980 年代径流增加了 21.0%，1990 年代比 1980 年代增长 44.8%，近 5 年较 1990

年代增加 29.6%；而损耗径流 1980 年代减少 2.2%、1990 年代比 1980 年代增大 10.4%、近 5 年较 1990 年代增加 12.0%。可见新大河径流 1990 年代增加幅度最大，损耗径流 1990 年代以后增幅较大。图 3b 中流域内近 5 年农业灌溉面积不断增大、灌溉用水量不断增多可以说明损耗径流增加的主要原因，图 3a 中 1996—1998 年新大河径流量持续下降与此期间托什干河径流持续下降有直接联系。1996 年损耗径流降幅较大，其灌溉用水也在下降，经分析，当年两支流径流合计(即来水量)连续下降；流域内 7 站降水合计特多(达 398.1 mm)、春季持续阴雨(雨日 15~27 天)，均居 35 年之首(图 4b)。个别年份损耗径流下降主要由于流域降水异常偏多造成农业灌溉用水的减少。

以上分析说明，春季阿克苏河西支流托什干河径流增幅更大、径流增长更稳，北支流径流相对平稳，两支流春季径流均于 4 月中旬起显著增加。汇流后的阿克苏河干流和损耗径流均为增长趋势，损耗径流 1990 年代后明显增大，但春季降雨特多时损耗径流可有所降低。

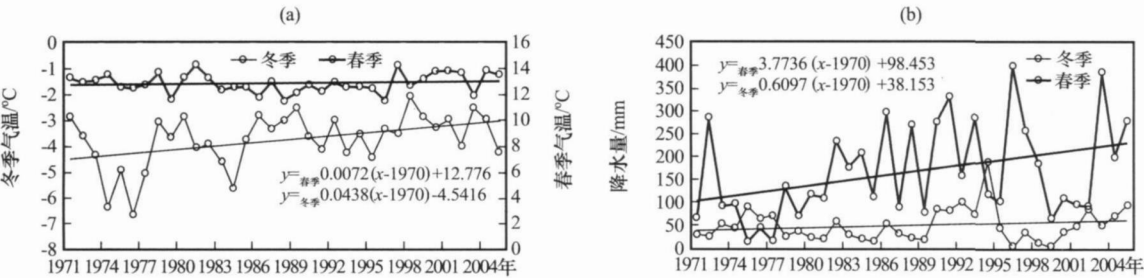


图 4 1971—2005 年阿克苏河流域 7 个测站冬季(11 月~2 月)、春季(3~5 月)的气温(a)和降水(b)变化

Fig. 4 The changes of temperature (a) and precipitation (b) at 7 stations in Aksu river basin in winter(November~February) and spring (March~May) of 1971—2005

4 气候变化对阿克苏河春季径流变化的影响

4.1 气温

近 35 年来,阿克苏河流域内 7 个测站春季平均气温呈略增高趋势,增温率为 $0.072^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$,年代际变化 1980 年代比 1970 年代气温降低了 0.3°C ,1990 年代比 1980 年代气温升高 0.2°C ,近 5 年较 1990 年代升温 0.5°C ,近 5 年增温最大;流域内冬季也表现为稳定增暖的趋势,冬季增温率 $0.438^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$,明显大于春季,其中 1980 年代比 1970 年代、1990 年代比 1980 年代、近 5 年比 1990 年代的气温分别升高了 0.6 , 0.3 及 0.1°C ,年代际增温幅度逐渐减小,1980 年代变暖幅度最大(图 4a)。

冬、春季流域气温升高与全球气候变暖一致,但流域内春季径流变化与冬、春季气温的响应不一,春季库玛拉克河径流的年代际变化与流域内春季温度的变化趋势基本一致(1980 年代较 1970 年代变化除外),突出表现为近 5 年和 1990 年代为增大趋势,近 5 年增幅最大;而春季库玛拉克河径流与流域内前冬气温以及托什干河径流与前冬气温和春温的变化趋势均存在显著的差异。说明春季库玛拉克河径流与春温具有较好的响应关系,而春季托什干河径流与春温的响应关系略差。

4.2 降水

阿克苏河流域春季和冬季 7 个测站的合计降水量均呈增多的趋势(图 4b),35 年来流域 7 个测站春、冬季降水量合计值的增长率分别为 $37.74\text{ mm} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 和 $6.097\text{ mm} \cdot (10\text{a})^{-1}$,流域冬、春两季

降水随气候变暖均呈缓慢增多的趋势,与西北地区的黑河水系类似,也为暖湿气候情景^[7]。1980 年代与 1970 年代、1990 年代与 1980 年代、近 5 年与 1990 年代的年代际间降水距平百分率,春季为 97.1% , -69.1% , 266.2% ;冬季为 -24.7% , 481.4% , -65.3% ,冬、春季降水的年际变化幅度较气温大。托什干河径流变化与前冬和春季降水变化存在显著的差异,库玛拉克河径流虽与前冬的降水变化趋势类似,但变化幅度有一定差异。前冬降水对阿克苏河春季径流存在一定影响,但春季降水对阿克苏河春季径流的影响较小。

5 气候因子对阿克苏河两支流春季径流的影响

5.1 气温

我们统计了流域内 7 个测站前一年冬季 11 月~2 月和春季 3~5 月的气温与托什干河、库玛拉克河代表站 3~5 月逐月及春季径流量的相关系数,计算结果均为正相关关系,前冬气温与春季径流量的相关系数较小,未通过相关检验;在阿克苏河流域各站的气温与径流的相关关系中,仅 5 月气温与托什干河和库玛拉克河 5 月、春季径流量的相关性较好(表 1),其中流域 7 个测站的 5 月气温与托什干河和库玛拉克河 5 月径流的相关系数达到 $0.2759 \sim 0.6355$,通过了 $\alpha=0.1 \sim 0.001$ 的显著性水平检验。以流域 5 月气温与库玛拉克河 5 月、春季径流的正相关最为显著,流域测站的 5 月气温与库玛拉克河 5 月、春季径流的相关系数达到 $0.4581 \sim 0.6355$ (温宿春季气温除外),通过了 $\alpha=0.01 \sim 0.001$ 的显著性水平检验。其次,流域 7 个测站 5

表 1 阿克苏河流域 5 月气温与两支流的 5 月、春季径流量的相关系数

Table 1 The correlation coefficient of air temperature in May with the magnitude of two ranch-off in Aksu river basin in May and run-off in spring

测站名	沙里桂兰克(托什干河)/ $\times 10^8\text{m}^3$		协合拉(库玛拉克河)/ $\times 10^8\text{m}^3$	
	5 月	春季	5 月	春季
乌什	0.5735*****	0.4596*****	0.5721*****	0.4581*****
柯坪	0.2759*	0.1205	0.6104*****	0.4977*****
阿克苏	0.4592****	0.3582**	0.5720*****	0.4863*****
阿瓦提	0.3642**	0.2800*	0.6090*****	0.5173*****
阿拉尔	0.4120***	0.2563	0.6355*****	0.5289*****
温宿	0.3755**	0.2793*	0.5811*****	0.2703
阿合奇	0.3033*	0.1946	0.5630*****	0.4698

注:*****, *****, ***, **, * 分别表示相关系数通过 $\alpha=0.001, 0.01, 0.02, 0.05, 0.10$ 的显著性水平检验,资料长度为 35 年

表 2 前冬(11 月~2 月)及 12 月降水量与阿克苏河两支流 4~5 月、春季径流量的相关系数
Table 2 The correlation coefficient of the precipitation from November to February and December
with run-off magnitude of two ranch-off in Aksu river basin from April to May and spring run-off

测站名	沙里桂兰克(托什干河)/×10 ⁸ m ³					协合拉(库玛拉克河)/×10 ⁸ m ³		
	4 月上旬	5 月上旬	5 月中旬	5 月	春季	4 月上旬	4 月下旬	4 月
前冬	乌什	0.2216	0.2443	0.1335	0.2245	0.3042*	0.2850**	0.4326****
	柯坪	0.1236	0.1493	0.0811	0.1169	0.2197	0.1116	0.4058***
	阿克苏	0.1921	0.6156*****	0.5139****	0.5694*****	0.5298*****	0.1900	0.0599
	阿瓦提	0.2417	0.3996***	0.3570**	0.3867***	0.4070***	0.1866	0.1537
	阿拉尔	0.3742**	0.4932****	0.5199*****	0.5075****	0.4897****	0.2361	0.0175
	温宿	0.3206*	0.4915****	0.4904****	0.5015****	0.5098****	0.3376**	0.0653
	阿合奇	0.0043	0.1577	0.2112	0.1835	0.1511	0.2772*	0.0429
前冬 12 月	乌什	0.4641****	0.4489****	0.3958***	0.5122****	0.5648*****	0.2838*	0.0852
	柯坪	0.3372**	0.4572****	0.3638**	0.5183****	0.5669*****	0.1676	0.0916
	阿克苏	0.1095	0.5998*****	0.5719*****	0.6144*****	0.5470*****	0.0780	0.0216
	阿瓦提	0.0568	0.6264*****	0.6173*****	0.6465*****	0.5504*****	0.0100	0.0517
	阿拉尔	0.1064	0.6068*****	0.5798*****	0.6273*****	0.5440*****	0.0277	0.0905
	温宿	0.1525	0.5158*****	0.5743*****	0.5864*****	0.5461*****	0.0859	0.0456
	阿合奇	0.1799	0.5845*****	0.6866*****	0.6258*****	0.5075*****	0.1131	0.2131

注：*****, ****, ***, **, * 分别代表相关系数通过 α=0.001, 0.01, 0.02, 0.05, 0.10 的显著性水平检验, 资料长度为 35 年

月气温与托什干河 5 月径流相关系数达到 0.2759~0.5735, 显著性水平检验为 α=0.10~0.001。5 月气温与托什干河春季径流的正相关系数相对较低, 正相关系数仅乌什、阿克苏、阿瓦提、温宿 4 个测站达到 0.2739~0.4596, 通过了 α=0.10~0.01 的显著性水平检验。

5.2 降水量

分别统计了流域内 7 个测站 35 年中前一年 11 月~2 月逐月、冬季(11 月~2 月)以及 3~5 月逐月、春季(3~5 月)的降水量与春季阿克苏河两支流托什干河、库玛拉克河 3~5 月逐旬、月以及春季径流量之间的相关系数。分析显著性水平检验结果, 前冬及 12 月的降水量与托什干河、库玛拉克河 4~5 月及春季径流量相关系数较大(表 2), 与两支流 3 月径流均未通过检验。

表 2 中通过检验项均为正相关关系, 以流域内 7 个测站前一年 12 月降水量与托什干河 5 月、5 月上旬、中旬以及春季径流量的正相关最好, 相关系数达到 0.3638~0.6866, 通过了 α=0.05~0.001 的显著性水平检验。其次是近 60%测站的前冬降水量与托什干河 5 月、5 月上旬、中旬以及春季径流呈正相关, 相关系数达到 0.3570~0.6156, 通过了 α=0.05~0.001 的显著性水平检验。前冬 12 月

及前冬降水量对托什干河的正相关影响从大到小依次为 5 月、5 月中旬、5 月上旬和春季; 而前冬及 12 月降水与库玛拉克河春季径流的正相关系数明显偏小, 仅有 14.3%~28.6%测站的前冬及 12 月降水与库玛拉克河 4 月上旬、下旬和 4 月的相关系数为 0.2772~0.4326, 通过了 α=0.1~0.01 的显著性水平检验。春季降雨与托什干河、库玛拉克河径流相关系数未通过检验, 说明春雨对两支流春季径流的作用较小。可以说 12 月和前冬降雪越多, 托什干河和库玛拉克河来年春季径流量越大, 两支流 5 月的径流量也越大, 反之亦然。前冬降雪量的多少对来年托什干河春季径流的影响更大, 对库玛拉克河春季径流的影响较小。

5.3 高空 0℃层高度

阿克苏河流域仅有阿克苏高空探测站, 1987 年建站, 1987—2005 年 19 年春季逐月和逐旬阿克苏站 0℃层高度与同期托什干河、库玛拉克河径流量的相关系数(表 3)显示, 3 月 0℃层高度与春季两支流径流量相关系数很小, 未通过检验。自 4 月中旬起 0℃层高度与两支流径流的相关系数为一致、稳定的正相关关系, 大部分通过了检验。就库玛拉克河而言, 4 月中旬~5 月下旬和 5 月 0℃层高度与其春季径流的正相关相关系数达 0.5443~0.8108,

表 3 4~5 月阿克苏 0℃ 层高度与阿克苏河两支流径流量的同期相关系数

Table 3 The synchronous correlation coefficient of the height at 0℃ level and the magnitude of two ranch-off in Aksu river basin from April to May

	4 月上旬	4 月中旬	4 月下旬	5 月上旬	5 月中旬	5 月下旬	4 月	5 月
协合拉(库玛拉克河)	0.2986	0.6785*****	0.8108*****	0.5443***	0.6385*****	0.8020*****	0.3908*	0.6544****
沙里桂兰克(托什干河)	0.3030	0.3893*	0.4880**	0.4723**	0.5650*****	0.6475*****	0.1247	0.3777*

注：*****，****，***，**，* 代表相关系数通过 $\alpha=0.001, 0.01, 0.02, 0.05, 0.10$ 的显著性水平检验，资料长度为 19 年

通过了 $\alpha=0.02\sim0.001$ 显著性水平检验，而 0℃ 层高度与托什干河 4 月中旬~5 月下旬同期径流的正相关系数明显偏小，相关系数为 0.3893~0.6475，通过了 $\alpha=0.10\sim0.01$ 显著性水平检验。可以看出，0℃ 层高度与阿克苏河春季径流变化自 4 月中旬~5 月下旬具有较好的同步性，以 0℃ 层高度与春季库玛拉克河径流的同步变化更为明显。因此可以认为，阿克苏河春季融雪作用主要开始于 4 月中旬，5 月阿克苏河融雪径流与同期 0℃ 层高度变化表现出更高的同步性和一致性，以 5 月中下旬更为显著。春季阿克苏 0℃ 层高度越高，阿克苏河春季径流越大，19 年来 4~5 月阿克苏 0℃ 层高度以 $4.64\text{ m}\cdot\text{a}^{-1}$ 的速度升高，0℃ 层的逐渐升高，加快了山区的冰雪消融，导致了阿克苏河春季径流增大的趋势。

综上所述，在春季同期气候因子中，春季气温、0℃ 层高度与阿克苏河春季径流具有正相关关系，并以与库玛拉克河的春季径流的正相关关系更为显著，春雨对春季径流的贡献很小，4 月中旬起气温、0℃ 层高度与阿克苏河春季径流变化具有同步性；前期气候因子中，以前冬降雪对来年春季托什干河径流的正相关影响最为显著，前冬气温对阿克苏河春季径流的影响较小。阿克苏河春季径流对气候变化的响应以春季温度的正相关为主，以对前冬降水的正相关为辅，与何清等^[8]的研究结果一致。所以，春季阿克苏河是以融雪径流为主的河流，春季径流主要由前冬流域内山区的降雪和春季同期的温度共同作用决定，降雨径流的作用很小；4 月中旬以前阿克苏河出现融雪径流的概率较小，高温融雪主要在 4 月中下旬开始；进入 5 月，高温融雪作用不断增强，高温融雪作用最显著的是 5 月中、下旬，这与毛炜峰等^[9]提出的 4~5 月是阿克苏河流域季节性积雪的主要融化阶段的结论是一致的。

流域前冬积雪对托什干河春季径流的正相关关系更为显著，其原因可能与托什干河和库玛拉克河

的汇流面积和海拔高度有一定联系，托什干河和库玛拉克河汇流面积分别为 19166 km^2 和 12816 km^2 ，其水文站沙里桂兰克和协合拉的测站高程为 1909 m 和 1427 m^[1]，说明托什干河水域面积更大、海拔更高，前冬积雪的存储量更大。实测水文资料显示，在近 10 年的年最大流量前 10 位排序中，托什干河分别于 2005 年 4 月 28 日和 2003 年 5 月 1 日出现了 $836\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ 和 $748\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ 的年最大洪峰流量，在近 10 年的年最大流量序列中排位第 3 和第 6 位；而近 10 年库玛拉克河的年最大流量均在 7~8 月出现^[9]。因此，认为春季托什干河出现洪灾的概率更大，春季托什干河的融雪型洪水的气象预报作为防灾减灾气象服务的重点。

6 春季丰、枯水年前冬降水及前冬与春季 500 hPa 高度场

6.1 春季丰、枯水年前冬降水量距平百分率

参照蓝永超等^[10]对径流丰、枯的划分标准，依据阿克苏河两支流春季径流量距平百分率 P 判别丰、枯水年 ($P>20\%$ 为丰水、 $10\%<P\leq20\%$ 为偏丰、 $-10\%<P\leq10\%$ 为平水、 $-20\%\leq P<-10\%$ 为偏枯、 $P<-20\%$ 为枯水)，在此基础上，将两支流相应的模比系数 Kp ($Kp = Wi/Wm$ ，式中： Wi 为某年春季径流量， Wm 为春季多年平均径流量) 按大小分成特丰、偏丰、平水、偏枯和特枯 5 个等级(表 4)。兼顾两条支流的丰枯情况，选取 5 个丰水年：1995，1978，1994，2005 和 1981 年，5 个枯水年：1975，1984，1971，1985 和 1977 年。

由表 4 可见，春季阿克苏河两支流出现丰枯年份的几率存在差异，托什干河出现特枯水年的几率最大，而库玛拉克河出现平水、偏枯年份的几率最大，两支流偏丰水年几率均最小；两支流出现枯水年(特枯与偏枯年份)的概率均大于丰水年(特丰与偏丰年份)，托什干河丰水年的概率(34.3%)明显大于库玛拉克河(20%)，平水年的几率库玛拉克河

表 4 阿克苏河流域两支流春季径流量丰、枯水年分类

Table 4 The classification of high and low flow years in two ranch-off in Aksu river basin in spring

丰枯标准	模比系数 Kp	年 份
托什干河	特丰年 $Kp \geq 1.19$	1995, 2003, 2005, 1994, 1978, 1981, 2002, 2000
	偏丰年 $1.19 > Kp \geq 1.09$	2001, 1982, 1988, 1989
	平水年 $1.09 > Kp \geq 0.89$	1991, 1992, 1983, 2004, 1990
	偏枯年 $0.89 > Kp \geq 0.79$	1996, 1986, 1973, 1993, 1980, 1999, 1992
	特枯年 $Kp < 0.79$	1975, 1974, 1985, 1984, 1998, 1977, 1971, 1979, 1987, 1997, 1976
库玛拉克河	特丰年 $Kp \geq 1.21$	1981, 1978, 1995, 1996
	偏丰年 $1.21 > Kp \geq 1.08$	1994, 2005, 1980
	平水年 $1.08 > Kp \geq 0.91$	1999, 1983, 1992, 2001, 2002, 1972, 1973, 1974, 1998, 2003, 1982, 2000
	偏枯年 $0.91 > Kp \geq 0.81$	1985, 1990, 1979, 1987, 1993, 1991, 1989, 1976, 1997, 2004, 1988, 1986
	特枯年 $Kp < 0.81$	1984, 1975, 1971, 1977

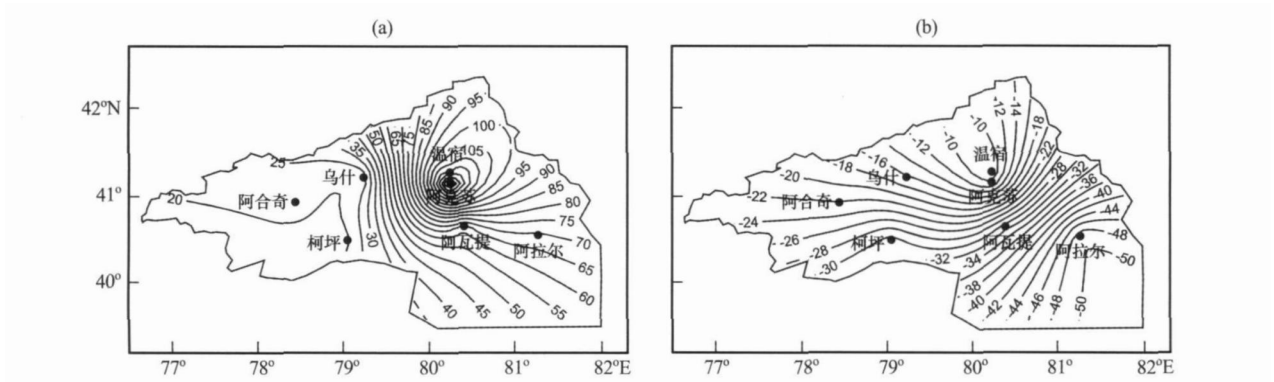


图 5 阿克苏河春季径流丰水年(a)和枯水年(b)前冬降水量的距平百分率分布(单位：%)
Fig. 5 The anomaly percent distribution of the precedent-winter precipitation in high (a) and low (b) flow years of spring run-off in Aksu river basin. Unit: %

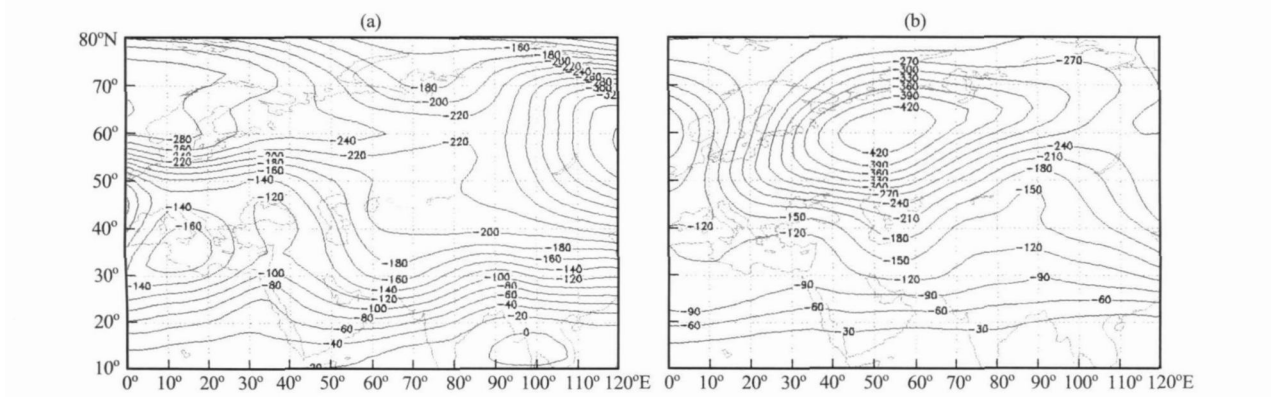


图 6 阿克苏河春季丰水年(a)和枯水年(b)前冬(12月)与春季(5月)500 hPa 位势高度差(单位：gpm)
Fig. 6 The geopotential height differences at 500 hPa in the precedent-winter(December) and spring(May) in high (a) and low (b) flow years in Aksu river basin. Unit: gpm

(34.3%)则明显大于托什干河(14.3%)。(图 5)，春季丰水年份流域内测站前冬降雪量的距平百分率均大于 20%，为 21.0%~142.9%，前冬降雪比历年偏多了 20%~140%，呈现东部多、西部少的

在阿克苏河流域春季径流一个丰水年和枯水年份的 7 个测站前冬降水量的距平百分率分布图上

布局;春季偏枯年份流域内前冬降雪量距平百分率均 <0 ,为一 $8.2\%\sim-49.6\%$,比历年偏少约 $1\sim5$ 成,呈现北部多、南部少、山区少、平原多的布局。阿克苏河春季丰水年份流域前冬降雪偏多,枯水年份前冬降雪偏少,进一步说明前冬降雪的多少对阿克苏河春季径流具有较好的指示意义。

6.2 春季丰、枯水年前冬和春季 500 hPa 高度的距平

我们同时分析了阿克苏河春季 5 个丰水年和枯水年份的前冬(12 月)与春季(5 月)高空 500 hPa 位势高度的距平差值场(图 6)。在春季丰水年,位势高度距平差值场呈“西高东低”分布,高值区位于里海、黑海至东欧一带,黑海地区高值区的位势高度为一 120 gpm 左右,中亚地区低值区的位势高度为一 200 gpm 左右;春季丰水年的前冬东欧至里海、黑海地区位势高度较高,为平均脊区;中亚地区位势高度较低,为平均槽区;环流经向度较平均状态偏大,有利于前冬降雪的增多;而丰水年的春季高度场与冬季反位相,有利于出现春季高温。前冬欧洲高压脊与中亚低值系统、春季欧洲低值区与中亚高压脊的高空环流配置,造成了前冬多雪和春季高温的出现,有利于阿克苏河流域产生春季融雪径流。

在枯水年,前冬乌拉尔山地区为平均槽区,新疆则被平均脊控制,春季呈反位相,因此前冬与春季高空 500 hPa 位势高度的距平差值场呈“西低东高”分布,形成了乌拉尔山地区负值区、新疆地区正值区的高度差分布。这种高空环流配置,造成前冬降雪偏少、春季气温偏低,不利于阿克苏河流域产生春季融雪径流。

7 小结

(1) 阿克苏河流域冬、春两季气候暖湿的背景下,春季径流呈增大的趋势,影响春季径流的主导气候因子是前冬降雪和春季温度,春季径流对气候变化的响应以春季温度的正相关为主,以对前冬降水的正相关为辅,前冬降雪对西支流托什干河春季径流、春季气温对北支流库玛拉克河春季径流的正相关更为显著。

(2) 阿克苏河流域春季融雪径流的贡献远大于降雨径流的作用,前冬降雪(尤其是 12 月的降

雪)多少和春季温度的高低直接影响来年春季的来水量,流域内 4 月中下旬积雪开始融化,5 月中下旬融雪作用最为显著,此时的融雪径流是阿克苏河春汛的主要来源,受汇流面积和海拔高度等影响,春季托什干河出现局地融雪型洪水的可能性更大。

(3) 由于阿克苏河流域气候干燥,水资源有限,春旱严重影响农业生产。近年来虽然流域的径流量在增大,但由于春季灌溉用水量的增多,损耗径流在加大。因此可充分利用空中水资源,在前冬有利天气的条件下实施人工增雪,缓解春季旱情和用水紧张的局面。

(4) 阿克苏河流域春季径流的预报应着眼于气象条件是否有利于产生融雪径流,重点分析前冬是否存在“西高东低”的多雪环流形势和春季“西低东高”的融雪环流形势,结合未来高空 0°C 层高度的预报,科学地预测阿克苏河的春季来水,为决策部门合理调配春季用水和缓解春旱提供决策依据。

参考文献

- [1] 周丰超. 新疆河流水文水资源[M]. 乌鲁木齐: 新疆科技卫生出版社, 1999: 144—152
- [2] 毛炜峰, 王铁, 江远安, 等. 影响阿克苏河年径流量变化的前期大气环流指数因子研究[J]. 冰川冻土, 2007, 29(2): 242—249
- [3] 张广兴. 新疆夏季 0°C 层高度变化对河流年径流量的影响[J]. 地理学报, 2007, 62(3): 279—290
- [4] 崔彩霞, 魏荣庆, 李杨. 塔里木河上游地区积雪长期变化趋势及其对径流量的影响[J]. 干旱区地理, 2005, 28(5): 569—573
- [5] 陈颖, 邓自旺, 史红政. 阿克苏河径流量时间变化特征及成因分析[J]. 干旱区研究, 2006, 23(1): 21—25
- [6] 刘新春, 杨青, 梁云. 近 40 年阿克苏河流域径流变化特征及影响因素研究[J]. 中国人口、资源与环境, 2006, 16(3): 82—87
- [7] 蓝永超, 丁永建, 康尔泗. 近 50 年来黑河山区汇流区温度及降水变化趋势[J]. 高原气象, 2004, 23(5): 723—727
- [8] 何清, 袁玉江, 魏文寿, 等. 新疆地表水资源对气候变化的响应初探[J]. 中国沙漠, 2003, 23(5): 493—496
- [9] 毛炜峰, 李红德, 蒋军, 等. 阿克苏河洪水类型及其形成的 500 hPa 环流特征[J]. 冰川冻土, 2005, 27(4): 574—581
- [10] 蓝永超, 林纾, 文军, 等. 黄河上游丰、枯水年汛期及前期的环流特征分析[J]. 高原气象, 2007, 26(5): 1052—1058
- [11] 周月华, 王海军, 高贤来. 近 531 年长江上中游与汉江流域水资源变化的初步研究[J]. 高原气象, 2006, 25(4): 744—749

Analyses on Springtime Runoff Variance of Aksu River and Its Climate Causes

ZHANG Jun-lan¹, DUAN Jian-jun²

(1. Aksu Meteorological Bureau, Aksu 843000, China;

2. Aksu Bureau of Hydrology, Aksu 843000, China)

Abstract: The variance of Aksu River's springtime runoff and its response to climatic factors, including winter-spring temperature and precipitation and so forth during the last 35 years, were analyzed by utilizing mathematical statistics, which indicate that the springtime runoff in Aksu River have been increasing, and the warming and wetting tendency exist in both the winter and spring. The dominant climate factor affecting Aksu River runoff is early-winter snow and spring time temperature, while the spring time runoff is positively correlated with the early-winter snow and springtime temperature. The river in spring mainly consists of thaw runoff, which begins during the second half of April. In the recent years, the runoff loss of Aksu River increased, which is mainly due to the increase of agricultural irrigation. Meanwhile, the features of the 500 hPa geopotential height circulation field anomaly during typical high and low flow years of Aksu River in the spring of the past 35 years.

Key words: Aksu River; Springtime runoff; Temperature; Precipitation; Thaw