

文章编号: 1000-0240(2008)02-0218-06

20 世纪下半叶以来阿克苏河山前绿洲带气候、径流变化特征及其人类活动影响

张 姣¹, 刘光琇¹, 沈永平^{1*}, 王国亚¹, 邵 春¹, 王顺德²

(1. 中国科学院 寒区旱区环境与工程研究所, 甘肃 兰州 730000; 2. 阿克苏 水文水资源勘测局, 新疆 阿克苏 843000)

摘 要: 利用 1961—2000 年气温、降水资料和 20 世纪 50 年代初/中期建站到 2005 年逐月实测径流资料, 分析了 20 世纪下半期以来阿克苏河山前到塔里木河汇合区的气候与径流变化特征, 同时分析了人类活动对区域气候及径流变化的影响。研究表明: 研究区存在升温变化的趋势, 尤其是冬季升温明显, 40 a 来增温率为 $0.13\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$, 流域内降水增加趋势明显。阿克苏河两大支流合计年径流量 20 世纪 90 年代较 50 年代增加 46.7%。受人类活动和绿洲效应等影响, 区域内温度变化不尽相同, 阿克苏市夏季气温升高速率为 $0.20\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$, 但阿拉尔夏季气温却以 $-0.27\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 速率呈下降趋势。耕地面积、灌溉引水增加等人类活动改变了径流的年内分配, 使得阿克苏河补给塔里木河的水量明显减少, 50 a 来阿拉尔水文站年径流量持续减少, 径流量减少达 15.9%。

关键词: 径流变化; 气候变化; 人类活动; 阿克苏河山前绿洲带

中图分类号: P339 **文献标识码:** A

0 引言

塔里木河流域是我国最大也是世界上最大的内陆河, 是南疆经济社会发展的重要水源, 也是国家级的粮、棉基地, 流域总面积 $102\times 10^4\text{ km}^2$, 由阿克苏河、叶尔羌河、和田河和开都河-孔雀河 4 条源流和塔里木河干流组成。塔里木河干流不产流, 主要依靠来源于上游阿克苏河、和田河、叶尔羌河 3 源流补给, 维系其生态环境。其中阿克苏河是天山南坡径流量最大的河流, 是塔里木河流域 4 条源流中最大的源流和补给的最大的河流, 入塔里木河水量占 4 条源流的 70%^[1], 占阿拉尔水文站以上 3 条源流的 73.2%^[2], 是唯一一条常年向塔里木河输水的河流。塔里木河的 3 条源流河的径流变化和水资源利用状况, 决定了塔里木河的水量变化, 也深刻影响了塔里木河干流的水质和下游的生态环境^[3]。源流区水土资源的开发和绿洲面积的不断扩大, 势必导致干流供水减少。阿克苏河径流量的变化对塔里

木河干流的形成、发展和演变过程起决定性作用, 对塔里木河流域的生态系统和社会经济的发展都是十分重要的, 径流量的变化对气候变化的响应又非常敏感。由于源流区粗放型农业等人类活动影响, 阿拉尔站 20 世纪 50 年代平均年径流量由 $50.0\times 10^8\text{ m}^3$, 减少到 90 年代的 $42.0\times 10^8\text{ m}^3$, 50 a 间减少了 $8.0\times 10^8\text{ m}^3$, 平均每年 $1\ 600\times 10^4\text{ m}^3$ 速率减少^[2]。所以, 研究人类活动对阿克苏河的气候及径流变化就显得尤为重要。

1 研究区域概况与资料来源

阿克苏河流域位于天山中段西部南麓地区, 塔里木盆地北缘, 流域面积约 $5.3\times 10^4\text{ km}^2$, 其中中国境内面积 $3.1\times 10^4\text{ km}^2$, 境外面积 $1.9\times 10^4\text{ km}^2$ 。上游有发源于吉尔吉斯斯坦境内的两大干流, 北干流为昆玛拉克河, 发源于汗腾格里峰; 西干流为托什干河, 发源于阿特巴什山脉。两大支流在喀拉都维汇合后称为阿克苏河, 流至艾里西处又分为东西

收稿日期: 2007-12-20; 修订日期: 2008-02-25

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(2007CB411507); 国家自然科学基金项目(40771047); 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-127)资助

作者简介: 张姣(1982—), 女, 内蒙古包头人, 2005 年毕业于兰州大学, 现为中国科学院寒区旱区环境与工程研究所硕士研究生, 主要从事气候变化与水文水资源研究。E-mail: zhangjiao05@mail.gucas.ac.cn

*通讯联系人: E-mail: shenyp@lzb.ac.cn

两支: 新大河、老大河. 新、老大河在阿瓦提以下重新汇合, 在肖峡克处汇入塔里木河.

本文的研究区位是阿克苏河西大桥水文站以下至塔里木河上游阿拉尔以上的阿克苏河流经区, $79^{\circ}40' \sim 82^{\circ}00' E$, $39^{\circ}30' \sim 41^{\circ}15' N$, 包括阿克苏市、阿瓦提县、阿拉尔市、农一师 1、2、3 团, 胜利渠以东、上游水库以北、多浪渠以南(图 1). 研究区总面积 $5.81 \times 10^3 \text{ km}^2$, 其中灌溉农田总面积为 $3.67 \times 10^3 \text{ km}^2$. 阿克苏河由两大支流——昆玛拉克河和托什干河汇合而成, 平均天然年径流总量为 $80.6 \times 10^8 \text{ m}^3$, 其最终流入塔里木河的多年平均年输水量为 $33.66 \times 10^8 \text{ m}^3$ ^[4], 约占塔里木河总输水量的 73%^[3] 干流总长 132 km.

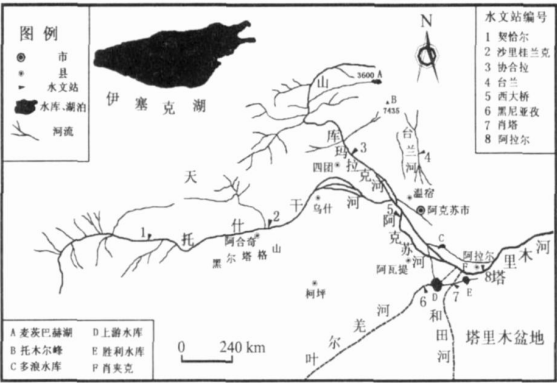


图 1 阿克苏河流域位置示意图

Fig. 1 Map showing the Aksu River drainage area

研究选用的资料站点包括: 阿克苏、阿瓦提和阿拉尔 3 个气象台站; 托什干河沙里桂兰克水文站、昆玛拉克河协合拉水文站、阿克苏河西大桥水文站、塔里木河阿拉尔水文站 4 个代表性水文站. 选用 1961—2000 年的气温、降水资料(阿瓦提县 1971—2000 年)、从 20 世纪 50 年代初或中期建站起到 2005 年径流逐月实测资料. 分析了 20 世纪下半期阿克苏河上游出口到河流汇合区气候与径流的变化特征, 同时分析人类活动对局部气候及径流影响.

2 气候变化

研究区地处亚欧大陆的内陆, 远离海洋, 日照充足, 气温年较差较大, 光热资源丰富; 降水稀少, 干燥少雨, 蒸发强烈; 多风沙、浮尘天气, 属典型大陆性干旱气候(表 1). 具体来说, 研究区的平原四季明显, 春季冷空气活动较频繁, 降温较强, 降水少, 多出现沙尘天气; 夏季多雷阵雨和冰雹; 秋

季南北日数相差悬殊; 冬季气候寒冷多晴天, 极端最低温度 $-32.0^{\circ}C$. 降水的季节分配很不均匀、年际变化大, 年降水量随海拔高度的增加而增加, 最大降水量出现在海拔 2 300 m 以上的中高山带, 而高山区的冰雪带年降水可达 1 000 mm 以上.

表 1 阿克苏河山前绿洲带气候特征

Table 1 Climatic features in the Aksu River outside the mountains

气象台站	纬度/ $^{\circ}N$	海拔/m	年平均温/ $^{\circ}C$	年降水量/mm
阿克苏	$41^{\circ}07'$	1104	10.0	69.12
阿瓦提	$40^{\circ}64'$	1044	10.5	57.45
阿拉尔	$40^{\circ}36'$	1012	10.7	49.18

2.1 温度变化

研究区 20 世纪 60—90 年代平均气温的升温速率为 $0.13^{\circ}C \cdot (10a)^{-1}$, 其中升温幅度最为显著的是 80 年代, 比 70 年代升高 $0.27^{\circ}C$; 70 年代与 90 年代升温缓慢, 分别比上前一个年代际升高了 $0.05^{\circ}C$ 和 $0.07^{\circ}C$. 区内年均温上升最为显著的是阿克苏, 平均每 10 a 气温上升 $0.22^{\circ}C$, 阿瓦提为 $0.07^{\circ}C$, 阿拉尔为 $0.05^{\circ}C$, 变暖幅度较为平缓.

冬季(12—翌年 2 月)是四季中升温最明显的季节(图 2), 20 世纪 60 年代至 90 年代区域冬季平均气温的升温速率为 $0.55^{\circ}C \cdot (10a)^{-1}$, 是全年增温的主要贡献者. 其中, 升温幅度显著的 80 年代, 比 70 年代升高 $1.14^{\circ}C$, 70 年代较 60 年代升高

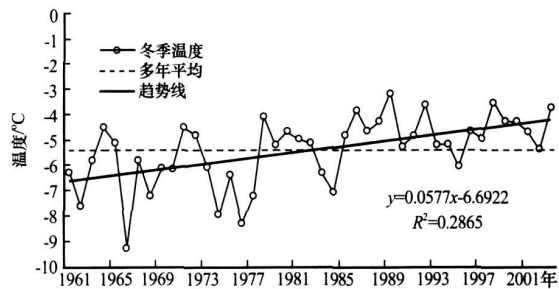


图 2 研究区 1961—2001 年冬季气温变化

Fig. 2 Change in the winter air temperature in the Aksu River outside the mountains from 1961 to 2001

$0.36^{\circ}C$, 温度最高的 90 年代比 80 年代温度还要高 $0.14^{\circ}C$. 区内各站的冬季温度变化较为一致, 阿克苏、阿瓦提、阿拉尔 3 地冬季增温率分别为 $0.55^{\circ}C \cdot (10a)^{-1}$ 、 $0.59^{\circ}C \cdot (10a)^{-1}$ 和 $0.51^{\circ}C \cdot (10a)^{-1}$.

2.2 降水变化

西部地区是近半个世纪中国降水量增加最明显的地区,南疆地区降水量增加 33 %^[5],研究区的降水受大气环流和海拔高度的影响较大,年降水量分布由东南向西北部递增。根据区内各气象站实测降水资料分析,从总体变化趋势看,研究区降水在波动中呈增加趋势。其中较为明显的是 1987—2006 年的年平均降水量较 1960—1986 年多 17.28 mm。20 世纪 60 年代是降水较少的时期,年平均降水量为 45.4 mm;进入 70 年代降水增加最为显著,为 58.14 mm,比 60 年代增加了 12.7 mm;80 年代年平均降水量比 70 年代略有增加,增量为 6.7 mm;90 年代逐渐增加,达到 67.27 mm,比 80 年代增加了 4.47 mm。40 a 来降水量增加了 21.85 mm,增幅达 48.1 %。

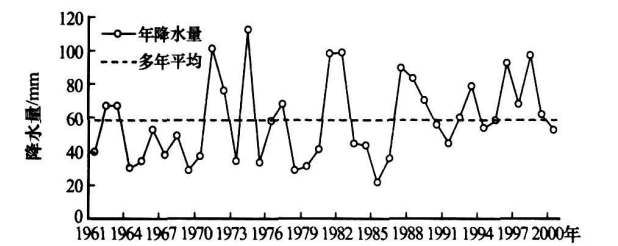


图 3 研究区 1961—2000 年年降水量变化
Fig. 3 Change in annual precipitation in the Aksu River outside the mountains from 1961 to 2000

研究区降水量年际变化较大,变差系数 C_v 值为 0.41(表 2)。从各气象站 C_v 值来看,阿瓦提降水量的年际变化最大,阿拉尔次之,阿克苏最小;区内降水量偏差系数 C_s 均 > 0 ,表明在历年降水量中大于均值的年数占优势。

表 2 1960—2001 年阿克苏河山前绿洲带降水量
年际变化系数

Table 2 Variation coefficients and deviation coefficients of annual precipitation in Aksu River outside the mountains during 1960—2001				
系数	阿克苏	阿瓦提	阿拉尔	区域平均
变差系数 C_v	0.42	0.52	0.47	0.41
偏差系数 C_s	0.36	0.52	0.35	0.51

3 河川径流的变化

3.1 径流的年内变化

阿克苏河是一条以雪冰融水补给为主的河

流^[6],中亚天山区冰雪融水和降水主要集中在 5—9 月份^[4]。如表 3 所示,各站年内的径流量变化周期基本一致,夏秋季两季径流量占全年径流量比重最多,可达 75.88 %~86.19 %;夏秋季径流量占全年比重昆马力克河协合拉站最高,阿拉尔次之,西大桥站最少。两条支流站(协合拉站和沙里桂兰克站)冬季(12—2 月)为径流最小时期,占全年比重约 5 %。西大桥与阿拉尔站春季为径流最小时期,冬季径流高于春季。其主要原因是由于阿克苏河山前绿洲区耕地面积扩大,春季人为大量引水造成春季径流比重小于冬季,特别是 1972 年在阿克苏河上修建了塔里木拦河闸,到 3—5 月完全切断了河水,引向灌区,闸下只有少量回归水流向阿拉尔。

表 3 研究区河流多年平均径流年内分配(%)
Table 3 Seasonal distributions of the annual runoff in different hydrological stations(%)

水文站	春季	夏季	秋季	冬季
	(3—5 月)	(6—8 月)	(9—11 月)	(12—2 月)
昆玛拉克 河协合拉站	8.83	68.14	18.05	4.98
托什干河 沙里桂兰克站	17.70	60.12	17.17	4.92
阿克苏河 西大桥站	9.57	56.36	19.52	10.92
塔里木河 阿拉尔站	5.91	64.74	19.26	12.13

径流的年内变化较大,但每个河流的表现不一。如表 4 所示,依靠降水和冰雪融水径流补给的河流,年径流不均匀系数大,原因在于降水与冰雪融水在年内较为集中,降水与冰雪融水径流补给比重越高,年径流不均匀系数就越大。阿拉尔站不均匀系数高于西大桥站是由于人们为适应农业生产,修建拦河闸、水库,改变了径流的年内变化所致。

表 4 水文站年径流不均匀系数
Table 4 Inhomogeneous coefficients of annual runoff in different hydrological stations

系数	协合拉	沙里桂兰克	西大桥	阿拉尔
不均匀系数 C_L	0.45	0.42	0.35	0.45

3.2 径流的年际变化

近 50 a 来,在全球变化的背景下西北地区气候出现了明显的增暖增湿趋势^[3,7],天山冰雪资源受到了显著影响,冰川消融加速。新疆地区尤其是塔里木河流域现代冰川退缩、融水增大^[7],天山南坡阿克苏河流域台兰河 44 a 来由于气温升高引起的冰川消融相当于每年补给河流 $12.4 \times 10^8 \text{ m}^3$,占河

流年径流量的 15%^[8]。阿克苏河多年平均入塔里木河水量占 3 条源流总量的 73.2%，如图 4 所示，阿拉尔水文站年径流量表现出与阿克苏河水文站点较为一致的变化。阿克苏河上世纪 50 年代是整个流域径流较少的年代，60 年代径流量增加显著，70 年代较 60 年代有所减少，之后径流量逐渐增加，90 年代是丰水期，两条支流合计年径流量较 50 年代增加 $28.58 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，增幅达 46.7%。西大桥站 90 年代与 50 年代相比，增加了 $14.29 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，增幅达 24.5%。

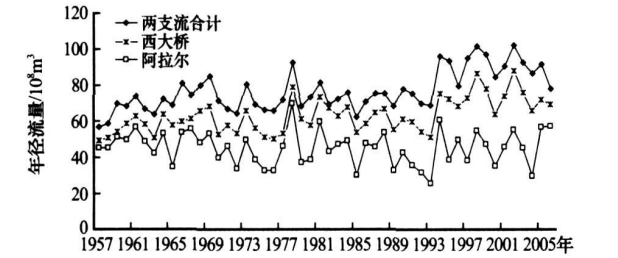


图 4 1957—2005 年阿克苏河不同断面径流量变化
Fig. 4 Changes in annual runoff at different sections along the Aksu River

由于区域社会经济的长足发展，伴随着农业生产规模的扩大，水资源消耗量在不断增加。阿拉尔站的多年变化时序分析表明(图 4，表 5)，该站年径流量呈现递减的趋势，且径流量下降的速率在增大。另外，阿拉尔站年径流量的减少还与塔里木河另外两条支流——叶尔羌河与和田河来水量减少有关，90 年代比 50 年代减少 $7.84 \times 10^8 \text{ m}^3$ ，减少量是 60 年代的 15.9%。

表 5 年径流量年代际变化($\times 10^8 \text{ m}^3$)
Table 5 Decadal changes in runoff at different sections along the Aksu River

台站	50 年代	60 年代	70 年代	80 年代	90 年代	2000—2005 年
两河合计	61.71	73.36	71.69	72.45	85.41	89.25
西大桥	58.27	59.75	58.08	63.77	67.94	72.56
阿拉尔	49.35	51.59	43.95	44.74	42.49	46.30

区内水文站径流的年际变化不大(表 6)。一般来讲以高山冰雪融水和地下水补给为主的河流，年径流 C_v 值一般较小，冰川积雪融化量主要取决于气温，冰川积雪融水成为河流稳定的水量补给源。天山、昆仑山、祁连山一带源于冰川的河流， C_v 值均在 0.1~0.2 之间。据调查计算^[4, 6]，昆马力克河和

托什干河冰川融水量分别占其年径流量的 74% 和 29%，阿克苏河冰川融水量占年径流量的 58%， C_v 值均在 0.15~0.2 之间(表 6)。阿拉尔站的 C_v 最大，达到 0.22，这是因为阿拉尔水文站径流量年际变化与人类活动影响、叶尔羌河与和田河来水量年际变化有关。

表 6 各水文站年径流年径流的变差系数
Table 6 Variation coefficients of annual runoff in different hydrological stations

台站	协合拉	沙里桂兰克	西大桥	阿拉尔
变差系数 C_v	0.15	0.20	0.16	0.22

4 人类活动的影响

4.1 人类活动对区域气温的影响

绿洲生态系统的维系需要有较为丰富的地表水和地下水，研究区内水库、沼泽、农田灌溉面积占总面积的 68% 左右，其下垫面状况完全不同于荒漠。灌溉水面扩大及植被蒸腾的加强，降低了地表温度，改变了荒漠的水热条件，减低了地表的反射率，增加了地表辐射的吸收，温度趋于缓和，形成了特殊的绿洲小气候。阿克苏地区夏季的天气影响系统，主要来自副热带高压北缘南支锋区上东移的西风带天气系统，其对应天气区大多是自西向东^[9]。水库和稻田下垫面气候效应主要影响附近地区的气候，而对其上方影响不大。阿克苏市地处阿克苏河上游，作为无水稻及大型水库影响区，阿拉尔市位于阿克苏流域绿洲稻田区中下游，可代表主要影响区。

为人类活动对区域气温的影响计算，将阿克苏市的各年代际夏季气温、冬季气温、年最高气温、年最低气温定为 1，计算 1960—2000 年年代际阿拉尔相对夏季气温、冬季气温、年最高气温、年最低气温的变化(表 7)。如表 7 所示，下垫面对于气温的影响主要在夏季，阿拉尔的夏季与年最高相对气温呈现出均一的变化趋势。而冬季与年最低相对气温起伏波动，冬季为非灌溉季节加上气温较低，水面与陆面蒸发量小，下垫面在冬季对两地气温的影响不大。

根据 40 a 观测资料分析，阿克苏夏季表现为变暖型，增温率为 $0.20 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ ，而阿拉尔夏季气温降低 $-0.27 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ ，年气温变暖幅度因而也明显地偏小。阿克苏年最高气温增长率为 $0.33 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ ，阿拉尔年最高气温以 $-0.27 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot$

$(10a)^{-1}$ 速率呈下降趋势; 全区全年极端最低气温均呈现出增长趋势, 阿克苏、阿拉尔年最低温增长率分别为 $0.81\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10a)^{-1}$ 和 $0.63\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10a)^{-1}$ 。

表 7 阿克苏、阿拉尔两地相对温度比较

Table 7 Decadal changes in summer, winter maximum and minimum temperatures in Aral, relative to those in Aksu

年代	夏季气温 / $^{\circ}\text{C}$	冬季气温 / $^{\circ}\text{C}$	年最高气温 / $^{\circ}\text{C}$	年最低气温 / $^{\circ}\text{C}$
60	1.084	1.024	1.075	1.046
70	1.077	0.943	1.038	1.00
80	1.070	1.100	1.035	1.081
90	1.021	1.053	1.024	1.026

绿洲中繁盛的植被, 特别是农田防护林, 具有阻摩消耗风力和保护地面的功能, 减低土壤风蚀和沙尘暴, 研究区整体沙尘暴、浮尘和大风日数呈下降趋势, 90 年代与多年平均相比分别下降了 68.9 %、41.2 % 和 57.3 %, 说明日益扩大的人工绿洲生态系统对抑制风沙、增加空气中水汽含量具有一定作用。

4.2 人类活动对径流的影响

随着社会的不断发展, 阿克苏河绿洲区开垦面积扩大, 区内耕地面积由 1949 年前的 $4.677\times10^4\text{ hm}^2$, 增加到 1990 年的 $16.245\times10^4\text{ hm}^2$, 增加了 $11.568\times10^4\text{ hm}^2$, 增幅达 247.34 %。2005 年研究区耕地面积为 $22.022\times10^4\text{ hm}^2$, 比 1990 年增加了 $5.776\times10^4\text{ hm}^2$, 增幅为 35.5 %。由于耕地面积的扩大及社会经济发展, 农业、工业及生活的用水也在急剧增加, 研究区区间(阿克苏河西大桥站到塔里木河阿拉尔站之间)的各年代际引水量如表 8 所示。区域内粗放型农业的发展导致灌溉引水增加,

表 8 研究区年耗水量年代际变化($\times10^8\text{ m}^3$)

Table 8 Decadal water consumptions in the main stream of Aksu River($\times10^8\text{ m}^3$)

年代	西大桥	阿拉尔	叶尔羌河入塔里木河水量	和田河入塔里木河水量	区间净引水量
60	59.75	51.59	2.72	11.9	22.78
70	58.08	43.95	2.60	11.82	27.55
80	63.77	44.74	0.7	10.65	30.88
90	67.94	42.49	0.29	8.12	33.86
平均	62.38	45.69	1.67	10.67	28.89

据调查灌区内平均净灌溉定额为 $7\,605\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$, 毛灌溉定额为 $23\,025\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$, 是全国毛灌溉定额 $9\,900\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$ 的 2.32 倍^[10]。种植面积扩大和粗放型农业大量耗水使得阿克苏河补给塔里木河的水量明显减少(表 8)。

5 结论

(1) 在全球变暖和中国西北气候由暖干向暖湿转型的大背景下, 阿克苏河山口汇合区也表现出了向暖湿转变的态势。区域存在升温变化趋势, 尤其冬季升温明显。40 a 来增温率为 $0.13\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10a)^{-1}$, 90 年代为温度最高时期, 90 年代降水量比 60 年代增加了 21.85 mm, 增幅达 48.1 %。受人类活动影响、绿洲效应, 区域内部温度变化速率不尽相同, 阿克苏市表现为升温较为明显, 阿瓦提、阿拉尔升温平缓。阿克苏夏季气温升温速率高达 $0.20\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10a)^{-1}$, 但阿拉尔夏季气温却以 $-0.27\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10a)^{-1}$ 的速率下降。

(2) 在西北气候转型的影响下, 阿克苏河两大支流来水量, 50 年代以来增加显著, 90 年代是丰水期, 两条支流合计年径流量较 50 年代增加 $28.58\times10^8\text{ m}^3$, 增幅达 46.7 %。

(3) 人类干预已经成为阿克苏河下游水资源变化的主导因素。为适应农业生产, 修建拦河闸、水库, 改变了径流的年内变化, 与上游西大桥水文站相比, 阿拉尔水文站夏季径流比率上升, 春季下降。

(4) 由于阿克苏河开垦面积扩大和粗放型农业的发展, 研究区内 2005 年耕地面积为 $22.022\times10^4\text{ hm}^2$, 比 1949 年前增加了 $164.345\times10^4\text{ hm}^2$, 增幅为 349.5 %。虽然出山的天然径流量在不断增加, 但灌溉引水增加, 人类活动加剧的用水消耗, 使得阿克苏河补给塔里木河的水量明显减少, 导致下游河流生命健康恶化。

参考文献(References):

[1] Wang Shunde, Wang Yanguo, Wang Jing, *et al.* Change of climate and hydrology in the Tarim River basin during past 40 years and their impact[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2003, 25(3): 315—320. [王顺德, 王彦国, 王进, 等. 塔里木河流域近 40a 来气候、水文变化及其影响[J]. 冰川冻土, 2003, 25(3): 315—320.]

[2] Wang Shunde, Li Hongde, Hu Linjin, *et al.* Interzone water consumption from four source streams to mainstream of Tarim River, Xinjiang, in 2002[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2004, 26(4): 496—502. [王顺德, 李红德, 胡林金,

- 等. 2002 年塔里木河流域四条源流区间耗水分析[J]. 冰川冻土, 2004, 26(4): 496—502.]
- [3] Shi Yafeng, Shen Yongping, Hu Ruji. Preliminary study on signal impact and foreground of climatic shift from warm-dry to warm-humid in Northwest China[M]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2002, 24(3): 219—226. [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): 219—226.]
- [4] Hu Ruji. Physical Geography of the Tianshan Mountains in China [M]. Beijing: China Environmental Science Press, 2004: 264—273. [胡汝骥. 中国天山自然地理[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2004: 264—273.]
- [5] Shen Yongping, Ding Yongjian, Liu Shiyin, *et al.* An increasing glacial lake outburst flood in Yarkant River, Karakorum in past ten years[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2004, 26(2): 234. [沈永平, 丁永建, 刘时银, 等. 近期气温变暖叶尔羌河冰湖溃决洪水增加[J]. 冰川冻土, 2004, 26(2): 234.]
- [6] Xie Changwei, Ding Yongjian, Liu Shiyin, *et al.* Runoff change on the south slopes of Mount Tomur and its response to climatic variation [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2005, 27(2): 269—275. [谢昌卫, 丁永建, 刘时银, 等. 托木尔峰南麓径流变化的气候因素分析[J]. 冰川冻土, 2005, 27(2): 269—275.]
- [7] Zhang Gouwei, Wu Sufen, Wang Zhijie. The signal of climatic shift in Northwest China deduced from river runoff change in Xinjiang region [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2003, 25(2): 183—186. [张国威, 吴素芬, 王志杰. 西北气候环境转型信号在新疆河川径流变化中的反映[J]. 冰川冻土, 2003, 25(2): 183—186.]
- [8] Shen Yongping, Liu Shiyin, Ding Yongjian, *et al.* Glacier mass balance change in Tailanhe River watersheds on the south slope of the Tianshan Mountains and its impact on water resources[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2003, 25(2): 124—129. [沈永平, 刘时银, 丁永建, 等. 天山南坡台兰河流域冰川物质平衡变化及其对径流的影响[J]. 冰川冻土, 2003, 25(2): 124—129.]
- [9] Ling Zhengzhou. Analysis on the climate change in Aral Prefecture, Tarim River [M] // Research on Climate and Environment in the Arid and Semi Arid Area. Beijing: China Meteorological Press, 1990: 60—66. [凌正州. 塔里木河阿拉尔垦区气候变化的对比分析[M] // 中国干旱、半干旱地区气候、环境与区域开发研究. 北京: 气象出版社, 1990: 82—85.]
- [10] Chen Caiping. Study on the Sustainable Utilization of Water Resources and Environmental Economy in Aksu Area of Xinjiang Autonomous Region [D]. Lanzhou: Cold and Arid regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, 2007: 29—33. [陈彩苹. 阿克苏地区水资源可持续利用与环境经济研究[D]. 兰州: 中国科学院研究生院博士学位论文, 2007: 29—33.]

Changes in Runoff and Climate and the Human Activity Impacts in the Aksu River outside the Mountains since the Second Half of 20 Century

ZHANG Jiao¹, LIU Guang-xiu¹, SHEN Yong-ping¹, WANG Guo-ya¹,
SHAO Chun¹, WANG Shun-de²

(1. Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou Gansu 730000, China; 2. Aksu Hydrology and Water Resource Bureau, Aksu Xinjiang 843000, China)

Abstract: In this paper, the data of air temperature and precipitation in Aksu, Awat and Aral Meteorological Stations from 1961 to 2000 and the monthly data of runoff of the Aksu and Tarim River measured in Xiehela, Shaliguilanke, Xidaqiao and Aral Hydrological Stations from the 1950s to 2005 are analyzed, in order to reveal the changes of runoff and climate in the second half of 20 century. The influence of human activity on runoff and temperature is analyzed too. It is found that the climate is warming in this area, especially in winter, with a temperature increasing rate of $0.13\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ from 1961 to 2000. Precipitation has in-

creased obviously in this region. The runoff in both Xiehela and Shaliguilanke Hydrological Stations has increased significantly by 46.7 % in the latest 40 years. Affected by human activity and oasis effect, temperature increasing is different from place to place. Summer temperature increasing rate in Aksu is $0.20\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ but it is $-0.27\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$ in Aral. The increasing agriculture area and irrigation water change the temporal distribution of annual runoff, and lead to the annual runoff in the Aral Hydrological Station decreasing continuously, as a result, the runoff decreased by 15.9 % in the 40 years.

Key words: runoff change; climate change; human activity; Aksu River outside the mountains