

# 天山山区典型内陆河流域径流组分特征分析

孙从建<sup>1,2</sup>, 陈伟<sup>1</sup>

(1 山西师范大学地理科学学院, 山西 临汾 041000;

2 中国科学院新疆生态与地理研究所; 荒漠与绿洲生态国家重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830011)

**摘要:** 通过对天山南北坡的两个典型流域降水、地下水、河流、融冰雪水 $\delta D$ 和 $\delta^{18}O$ 及水化学检测, 基于同位素径流分割模型定量分析了年内径流组分特征。结果表明:(1)两条河流的径流组成中地下水为构成径流的主要成分, 其次是冰川融水, 融雪水及降水, 但南北坡径流组分表现出较明显的差异, 乌鲁木齐河流域中冰川融水的比重要大于黄水沟流域, 对气候变化响应明显。(2)两条河流在不同季节径流组分也表现出较大差异, 春季径流组分差异最为明显。

**关键词:** 同位素径流分割; 径流组分; 乌鲁木齐河流域; 黄水沟流域

**中图分类号:** P333.1

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-6060(2017)01-0037-08(37~44)

DOI:10.13826/j.cnki.cn65-1103/x.2017.01.005

过去 100 a 以来, 特别是近 30 a 来, 全球气温上升明显<sup>[1]</sup>。根据 IPCC 的第五次评估报告, 过去 100 a 来全球地表温度升高大约 0.74 °C<sup>[2]</sup>。预计未来 100 a 全球气温可能会升高 1.1 ~ 6.4 °C。全球气候系统的变化对于干旱地区尤其是作为干旱地区“水塔”的高山区域的影响尤为显著, 温度的上升势必会导致冰雪融化量的增加, 从而导致流域出山口径流量的增加, 加剧水资源的供需矛盾。水资源作为人类生产生活中必不可少的因素是干旱内陆河流域生态系统构成、发展和稳定的重要环境因素, 其是干旱区绿洲化和荒漠化进程的生态演化过程中最重要的生态因子<sup>[3-6]</sup>。研究表明, 全球气候变化的背景下, 水资源波动性增强、不确定性加大, 加之人类活动范围和强度的不断扩大, 水资源开发过程中生态与经济的矛盾日益尖锐, 水资源时空分配不均, 南多北少、夏多冬少、年际变化大的现状导致干旱、洪涝及次生盐碱化等多种灾害频繁, 极端水文事件增强<sup>[6]</sup>。干旱区生态环境的极端脆弱性及人类活动范围和强度的不断扩大, 使水资源开发过程中生态与经济的矛盾日益尖锐, 水资源管理在协调生态环境保护 and 经济发展方面正面临着前所未有的挑战。

研究发现, 过去 50 a 间包括新疆在内的中亚地

区降水普遍呈增加态势<sup>[3]</sup>。降水作为新疆内陆河流域最原始的水源组成, 其变化势必影响整个干旱内陆河流域水循环过程。由于干旱内陆河流域径流的形成、水源补给转化复杂, 不同的水源对于气候变化的响应也不同, 因此评估气候变化对于干旱内陆河流域的水资源的影响, 需要系统的研究径流的补给来源组成特征及相互转化特征, 以便于加强干旱内陆河流域水循环机理以其对气候变化响应的认识。

径流分割是研究径流的不同水源及其构成比例的有效手段<sup>[7-13]</sup>, 运用同位素流分割模型可以定量的计算径流中的冰雪融水、降水及地下水的含量, 从而解读干旱内陆河流域的产流过程<sup>[13]</sup>。其结果不仅可以用于分析降水——径流关系、补给水源识别<sup>[14]</sup>, 同时可以评估气候变化对于径流的影响<sup>[15-16]</sup>。天山地区被称为中亚的水塔, 其高山地区是我国干旱内陆地区重要的水资源形成区域, 是保证我国新疆地区国民经济和社会发展、民族和谐稳定的重要战略区域。但是, 长期以来由于天山地区野外环境恶劣, 基础研究开展较少, 因此迫切的需要我们对天山地区典型内陆河流域开展系统的研究, 探讨天山地区内陆河流域径流的形成过程以及径流的组分特征, 为区域社会经济可持续发展奠定基础。

收稿日期: 2016-08-29; 修订日期: 2016-12-04

基金项目: 支持“率先行动”中国博士后科学基金会与中国科学院联合资助优秀博士后项目(2015LH048); 中国博士后科学基金资助项目(2016M590989)

作者简介: 孙从建(1986-), 男, 博士(后), 讲师, 主要从事水循环及同位素水文研究。Email: suncongjian@sina.com

## 1 研究区概况

本文选取了位于天山山脉北坡的乌鲁木齐河流域以及南坡的黄水沟流域作为研究区域,乌鲁木齐河流域(86°45′~87°56′E,43°00′~44°07′N)位于天山山脉的中段,流域南北长达200 km,东西方向延伸达25~50 km,出山口以上总流域面积924 km<sup>2</sup>。其周围濒临三大沙漠,分别是南面的塔克拉玛干沙漠、北面的准格尔沙漠以及东面的古尔班通古特沙漠。乌鲁木齐河流域广泛的分布着山岳冰川,其河源区分布着7条山岳冰川,其中位于流域东北方向的乌鲁木齐河源一号冰川是最大的。乌鲁木齐山区多年降水量大约在500 mm,年均温在1.2℃,潜在蒸发量为953 mm,属于典型的高山高寒气候。其出山径流站多年平均流量约为 $2.44 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。黄水沟流域位于天山南坡,其同样发源于天山中段的博格达峰,出山口水文站为黄水沟水文站,其山区面积为4 311 km<sup>2</sup>,流域多年降水量为217 mm,潜在蒸发量为1 216 mm,多年平均温度为8.7℃,黄水沟流域气候较北坡的乌鲁木齐河流域较为干旱。其黄水沟站多年平均径流量为 $2.56 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

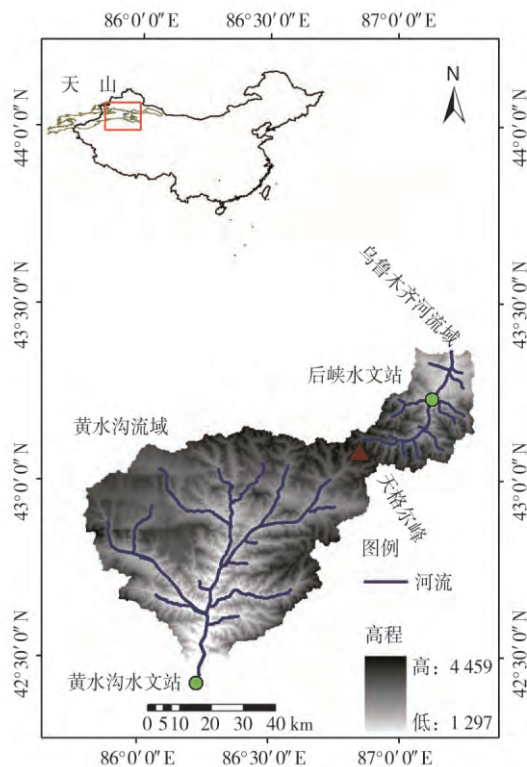


图1 乌鲁木齐河流域与黄水沟流域位置及采样点  
(审图号:GS(2012)190)

Fig.1 Location map of the Uruqmi River and Huangshuigou River

## 2 采样及测试分析

### 2.1 样品的采集

**河水及地下水:**为了对于流域河水的变化进行全面的了解,本文在后峡水文站(乌鲁木齐河流域)以及黄水沟水文站(黄水沟流域)开展了长期的地表河水的监测,监测时间段为2014年1月至2015年1月,监测期内每5 d对地表河水进行一次采样。采样前先将储存水样的容器用采集的水体涮洗3~5遍,样品采集后立即装入8 ml玻璃瓶中,并用Parafilm封口膜进行密封,所有样品取2个重复以便保存。采样后将样品存于-4℃的冰箱中冷藏储存。另外选用一个500 ml的采样瓶收集河水用于水化学分析。地下水的监测点选取两个观测水文站内地下水井,在研究期分别对于两个水文站内地下水监测井开展以月单位的地下水取样,取样方法与河水等同。

**降水:**降水的收集地点选取乌鲁木齐河流域的后峡水文站及黄水沟流域的黄水沟水文站,降水样的收集一次降水时间为依据,雨水样品的采集要注意防止雨水蒸发、避开污染源、避免阳光直接照射在采样器上、采样口离地面的距离不应<1 m,采集雨水的同时要测量降水量。采集的雨水存放于10 ml的玻璃瓶中,并用封口膜密封。

**冰川及冰雪融水:**在研究区内选取博格达峰作为冰雪融水及冰川的观测点,冰川样品取自于一号冰川,取样以月单位进行,冰川样品采集时首先用冰凿取出垂向冰体,放入500 ml取样瓶中保存,待融化后分析测试。冰雪融水取自博格达峰附近,采集雪样时首先用桶式容器将冰雪(去除表层冰雪以避免蒸发)收集到自封袋中,在室温下融化后移入取样瓶中。

### 2.2 样品测定

水样的 $\delta\text{D}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 在中国科学院新疆生态与地理研究所荒漠与绿洲生态国家重点实验室进行分析,每个水样测定6次然后取平均值。不同水体样品的稳定氢氧同位素测定采用Los Gatos Research Inc激光光谱仪器(简称LGR DLT-100)进行测量,样品测试前要对于水样品进行精细的前处理工序。水体 $\delta\text{D}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 的测试精度分别达到0.3‰和0.1‰,可以测量盐度至少在1 000 mg·L<sup>-1</sup>的水。测定结果用VSMOW和GISP或SLAP两种国际标准和一种实验室工作标准进行线性和时间纠正,最终结合以

V-SMOW 表示。

同位素浓度表示为:所测的样品(sample)比值减去标准样(reference)比值再除以标准样的比值。数学上,相对比值和真实值之间的误差被抵消。用 $\delta$ 表示,记作:

$$\delta^{18}\text{O}_{\text{sample}} = \frac{m(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{sample}} - m(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{reference}}}{m(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{reference}}} \quad (1)$$

由于分馏过程中同位素浓度不会发生很大的变化,因此 $\delta$ 可以用下式表示:

$$\delta^{18}\text{O}_{\text{sample}} = \left[ \frac{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{sample}}}{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{reference}}} - 1 \right] \times 1000\text{‰ V-SMOW} \quad (2)$$

V-SMOW 是所有使用标准样的名称,这里用的是维也纳平均海洋水标准。当 $\delta$ -‰值为正时,例如+10‰,表示样品中的 $^{18}\text{O}$ 比标准多千分之十或者百分之一,或者说,有10‰的富集。类似的,如果一个样品有同样量的亏损,则表示为 $\delta^{18}\text{O}_{\text{sample}} = -10\text{‰ V-SMOW}$ 。

### 2.3 径流分割

同位素径流分割方法以环境同位素作为天然示踪剂,划分不同径流成分的组成比例。同位素径流分割是基于物理原理应用水体中自身成分和溶解物质研究径流组分的一种水文分割方法。同位素径流分割经常用于二水源、三水源乃至多水源过程线分割,其中应用较普遍的是二水源分割模型与三水源混合模型。在本项研究中,三水源混合模型被用于分割除融雪期之外的各个时段的径流。根据前人的研究,塔里木河流域径流由多种水源构成,其中冰川融水、包括裂隙基岩水在内的地下水以及降水是组成塔里木河流域最主要的三个水源。而春季与秋季径流主要来源于地下水与季节性融雪水。因此在进行径流分割过程中不同的时段选取不同的径流分割模型。其中二水源径流分割模型主要应用于研究融雪期的径流组分。三水源径流分割模型应用于其他补给阶段。根据质量平衡方程和浓度平衡方程,可以将二水源同位素径流分割方法用下面公式表示:

$$\begin{aligned} Q_R &= Q_g + Q_s \\ Q_R \delta_R &= Q_g \delta_g + Q_s \delta_s \end{aligned} \quad (3)$$

式中: $Q$ 为融雪期径流量; $\delta$ 为融雪期相应分量的同位素千分偏差; $R$ 表示河流总流量; $g$ 表示融雪期径

流中来源于地下水的部分; $s$ 表示融雪径流。

选用三水源同位素径流分割模型(三水源分别为直接降水、冰雪融水、裂隙泉水或地下水)来计算总径流(除融雪期)中各水源的组成比例。利用 $\delta^{18}\text{O}$ 和水化学参数作为互补指示剂,进行三水源同位素径流分割。其基本方程式为:

$$\begin{aligned} Q_R &= Q_g + Q_p + Q_i \\ Q_R \delta_R &= Q_g \delta_g + Q_p \delta_p + Q_i \delta_i \\ Q_R C_R &= Q_g C_g + Q_p C_p + Q_i C_i \end{aligned} \quad (4)$$

式中: $Q$ 为流量; $\delta$ 为相应分量的同位素千分偏差,下标分别为代表河流总流量( $t$ );裂隙泉水或地下水( $g$ )和降水( $p$ )以及冰雪融水( $i$ )。  $C$ 为TDS或者 $S_i$ 离子的浓度。同位素径流分割模型必须要满足几个条件,第一分割所选取的参数必须在一段时期内具有稳定的值。第二为了控制分割结果,所输入的参数必须选择两种不同的参数(及一种是同位素值,一种是水化学参数或者是温度、pH、湿度等)。

## 3 结果及分析

### 3.1 研究区气候与径流特征

根据研究区内山区气温及降水的长期监测结果,天山南北坡两个典型的气温和降水呈现出较为显著的差异。在研究期内,乌鲁木齐河山区年均温为1.1℃,年降水量为349mm;黄水沟流域山区年均温为8.1℃,年降水量为217mm。两个流域的气温的最高月出现在夏季的7月,最低月份出现在1月份(图2)。对比两条流域的温度发现,两个流域的月平均气温差异小于两个流域的最高温度差异。乌鲁木齐河与黄水沟一样表现出降水年内分配极不均匀,大约92%的降水集中于每年的5~9月。天山北坡的乌鲁木齐河流域降水显著的多于南坡的黄水沟流域,其中4~6月表现的最为明显。

图3d描述了黄水沟水文站与乌鲁木齐河流域后峡水文站在监测时期内的径流量变化,图中可以看到两条河流表现出相同的径流趋势:夏季径流量大,冬季径流量小;两条河流径流量在4月都表现出上升趋势并在7月份达到最大值,这与降水量与气温在这一时期快速增加有密切关系,天山山区的主要径流来自于降水以及温度变化控制的融冰雪水以及地下水,降水量增加同时温度升高使的这一时期的径流量表现出相应的增加趋势。

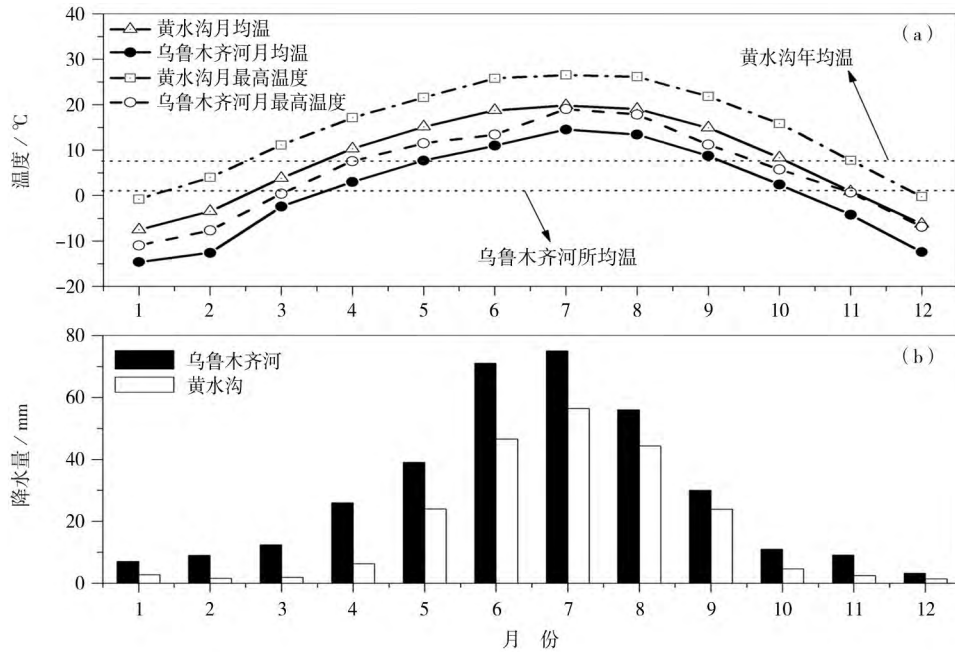


图2 研究期内乌鲁木齐河流域与黄水沟流域气温(a)与降水量(b)的时间变化曲线。

Fig.2 (a) The average monthly temperature and (b) the monthly precipitation at the Urumqi River basin and the Huangshuigou River basin

### 3.2 不同水体的氢氧稳定同位素特征

分析结果显示,在研究期内,乌鲁木齐河流域的降水 $\delta^{18}\text{O}$ 的变化在 $-28.7\text{‰}$ 与 $-1.3\text{‰}$ 之间,平均值为 $-11.7\text{‰}$ 。降水 $\delta^{18}\text{O}$ 在7~8月表现出显著的富集特征,这表明这一时期乌鲁木齐河流域降水受到强烈的蒸发影响。黄水沟流域的降水 $\delta^{18}\text{O}$ 的变化在 $-31\text{‰}$ 与 $-3.9\text{‰}$ 之间,平均值为 $-15.4\text{‰}$ 。黄水沟流域降水 $\delta^{18}\text{O}$ 在6月份表现出显著的富集特征,在2月份表现出显著的贫化特征。表1中可以看出,乌鲁木齐河降水的同位素比黄水沟流域降水同位素表现出更为显著的富集特征。

冰川融水样品的分析结果显示,研究区冰川融水并未表现出显著的时间变化特征,其 $\delta^{18}\text{O}$ 的变化在 $-14.1\text{‰}$ 与 $-12.9\text{‰}$ 之间,平均值为 $-13.2\text{‰}$ 。冰川融水的氧稳定同位素在7月份表现较为富集的特征。

地下水样品的分析结果表明,乌鲁木齐河流域的地下水 $\delta^{18}\text{O}$ 比黄水沟流域的地下水 $\delta^{18}\text{O}$ 呈现出更为富集的特征。两个流域地下水 $\delta^{18}\text{O}$ 也呈现出较为明显的季节性变化特征,其春季地下水 $\delta^{18}\text{O}$ 较为富集,而夏季的地下水 $\delta^{18}\text{O}$ 较为贫化。夏季地下水 $\delta^{18}\text{O}$ 的贫化主要是由于山区降水的下渗及冰川融水入渗补给浅层地下水。

乌鲁木齐河流域与黄水沟流域河水的氢氧稳

定同位素变化特征分析结果显示(图2a和表1),两条河流域 $\delta^{18}\text{O}$ 呈现出迥异的时间变化趋势。乌鲁木齐河流域 $\delta^{18}\text{O}$ 呈现出显著的季节变化,河水的 $\delta^{18}\text{O}$ 在6月和7月之间表现出极为贫化的特征,河水的 $\delta^{18}\text{O}$ 从7月开始呈现出一个增长趋势并在11月上旬达到最大值,随后呈现下降趋势并在冬季保持相对稳定的趋势(图2a)。在春季,乌鲁木齐流域河水 $\delta^{18}\text{O}$ 呈现出显著的波动,这与当地春季积雪融化补给径流有密切关系。而黄水沟流域河水 $\delta^{18}\text{O}$ 呈现出与乌鲁木齐河流域显著不同的变化趋势,这说明两条河流的径流组分具有较为明显的差异。黄水沟流域河水 $\delta^{18}\text{O}$ 的最小值出现在5月,最大值出现在4月。对比乌鲁木齐河流域,黄水沟流域河水 $\delta^{18}\text{O}$ 表现出较为稳定的态势,但黄水沟流域河水 $\delta^{18}\text{O}$ 的年均值( $-9.2\text{‰}$ )要高于乌鲁木齐河流域河水 $\delta^{18}\text{O}$ ( $-9.1\text{‰}$ )。

氘盈余的分析结果显示,两条河流在年内表现出显著的差异,这表明两条河流的径流组分特征在年内有着较为明显的差异。乌鲁木齐河流域,河水的氘盈余呈现出较为显著的变化特征尤其在夏季,这表明夏季乌鲁木齐河径流组分变化显著,河水受到降水的影响较为明显。黄水沟流域河水的氘盈余只是在春季表现出显著的波动,其余时间段内较为稳定,这主要是由于春季融雪水补给河水造成径

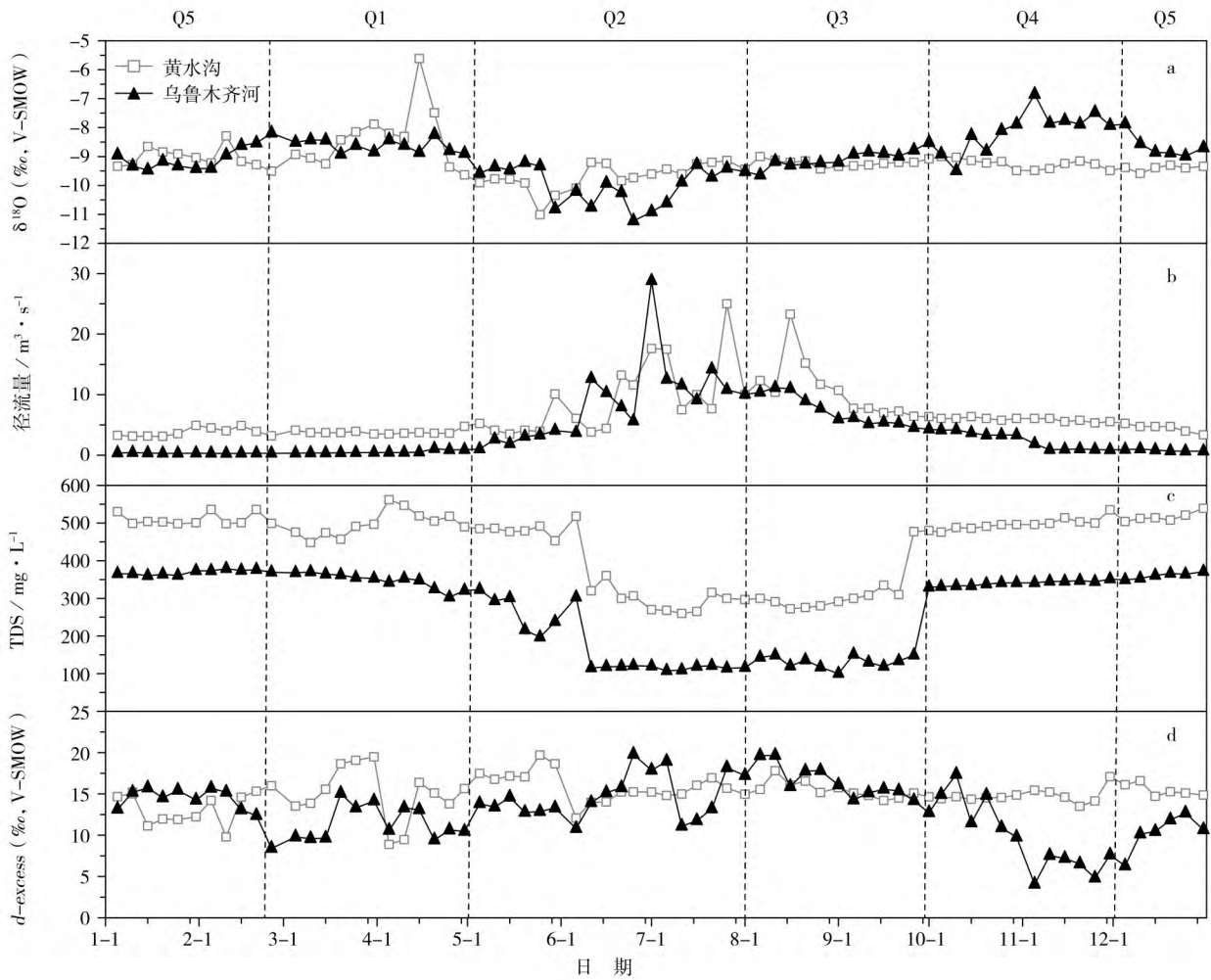


图3 乌鲁木齐河流域与黄水沟流域河水 $\delta^{18}O$  (a)、径流量(b)、TDS(c)以及d-excess(d)的时空分布特征图

Fig.3 Temporal variations of  $\delta^{18}O$  in river water (a), runoff (b), TDS in river water (c), and d-excess in river water (d)

表1 乌鲁木齐河流域与黄水沟流域不同时期河水、降水、地下水、冰川融水及融雪水稳定同位素均值

Tab.1 Mean values of stable isotope in river water, precipitation, groundwater, glacier melt and snowmelt

时期	流域	河水		降水		地下水		冰川融水		融雪水	
		$\delta D$	$\delta^{18}O$	$\delta D$	$\delta^{18}O$	$\delta D$	$\delta^{18}O$	$\delta D$	$\delta^{18}O$	$\delta D$	$\delta^{18}O$
Q1	黄水沟	-51.9	-8.4	-144.0	-18.1	-54.3	-9.1			-41.0	-7.1
	乌鲁木齐河	-57.5	-8.6	-69.1	-8.8	-55.8	-8.9			-43.1	-7.1
Q2	黄水沟	-61.2	-9.6	-41.6	-5.8	-56.2	-9.4	-82.5	-13.1		
	乌鲁木齐河	-66.3	-10.1	-43.0	-5.6	-63.0	-9.2	-88.0	-13.6		
Q3	黄水沟	-58.6	-9.3	-41.6	-7.1	-58.2	-9.4	-78.0	-12.9		
	乌鲁木齐河	-56.6	-9.2	-23.8	-4.3	-64.0	-9.2	-79.0	-13.0		
Q4	黄水沟	-59.2	-9.3	-112.9	-15.9	-59.0	-9.5			-39.9	-6.9
	乌鲁木齐河	-55.1	-8.1	-74.0	-10.9	-61.0	-9.0			-41.3	-7.0
Q5	黄水沟	-59.2	-9.3	-48.4	-8.1						
	乌鲁木齐河	-56.4	-8.9	-29.6	-5.5						

流组分特征发生显著变化。对比两条河流的,黄水沟流域河水的总盐分要大于北坡的乌鲁木齐河流域,两条河流河水的水化学呈现出较为相似的变化趋势。

### 3.3 研究区径流组分特征分析

前人的研究的指出,中国西北部天山地区径流的主要来源包括山区降水、高山冰川融水,季节融

雪水以及包含基岩裂隙水在内的地下水。根据不同水体的稳定同位素及水化学测试结果,基于多水源同位素径流分割模型,本研究定量解析了天山南北坡黄水沟流域与乌鲁木齐河流域的径流组分特征。为了便于径流分割,我们将研究期内的径流分为5个不同的时期,分别用Q1、Q2、Q3、Q4、Q5表示(表2),其中Q5代表冬季径流时期,由于这一时期河水处于枯水期,径流主要来自于山区地下水补给,因此不对这一时期进行径流组分分析。基于径流分割的结果显示,在Q2时期,天山南北坡山区径流中地下水的贡献较大,约占到径流组成的50%左右,其中位于南坡的黄水沟这一时期地下水的贡献率要大于乌鲁木齐河。对比两条河流,这一时期径流组成中冰川融水与降水的贡献率差异明显,其中冰川融水对于北坡的乌鲁木齐河径流贡献率高于黄水沟,而这一时期黄水沟径流中降水的贡献率要高于乌鲁木齐河。Q3时期,径流组分特征发生了显著的变化,黄水沟流域河水中冰川融水的比重在增加,而乌鲁木齐河流域河水中冰川融水比重有所下降。这一时期,两条河流径流中降水的贡献率都有所上升,其中乌鲁木齐河的降水贡献率增加显著。Q1、Q4分别对应着秋季融雪期与春季融雪期,两个时期内径流的主要补给为地下水及融雪水,径流分割的结果显示,乌鲁木齐河流域春季融雪期与秋季融雪期径流中融雪水的比重较为稳定,而黄水沟流域径流中融雪的比重在两个时期内差异十分明显,黄水沟流域春季融雪对径流的贡献率要远高于秋季融雪期,这与黄水沟流域春季温度比秋季温度高有关。

表2 乌鲁木齐河流域与黄水沟流域不同时期内径流组分特征统计表

Tab.2 Estimated fractions of water sources based on hydrograph separation in different periods

编号	时期	河流	分割比重 / %			
			地下水	冰川融水	融雪水	降水
Q1	2014.03-	黄水沟	55.6%		44.4%	
	2014.04	乌鲁木齐河	72.7%		27.3%	
Q2	2014.05-	黄水沟	58.4%	21.0%		20.6%
	2014.07	乌鲁木齐河	49.9%	34.4%		15.7%
Q3	2014.08-	黄水沟	54.2%	24.7%		21.1%
	2014.09	乌鲁木齐河	49.3%	25.1%		25.6%
Q4	2014.10-	黄水沟	83.2%		16.9%	
	2014.11	乌鲁木齐河	75.9%		24.1%	

基于每个时期的平均径流量,我们加权计算出乌鲁木齐河流域与黄水沟流域年内径流组成比例。图4描绘了两个流域不同水体对于径流的贡献率,从图中可以看出地下水(包含有裂隙基岩水)对于天山南北坡径流都有着巨大的贡献,其次是冰川融水、高山降水及融雪水。在黄水沟流域的年径流中大约有61.9%径流来自于地下水补给(包含裂隙基岩水),冰川融水的贡献率大约为15.5%,降水对于黄水沟河水的贡献率为13.9%,只有8.7%的河水来自于融雪水。而天山北坡的乌鲁木齐河流域,大约有52.9%的河水来自于地下水的补给,这一比重远低于黄水沟流域。降水对于年径流的贡献率达到17%,这比天山南坡的黄水沟流域要高,说明乌鲁木齐河径流对于降水的变化响应程度要大于天山南坡的黄水沟流域。冰川融水在乌鲁木齐流域径流中具有较大的贡献率,大约有26.7%的河水来自于冰川融水的补给,这说明乌鲁木齐河是一条典型融冰水补给的河流,气温的变化可能会对径流具有显著的影响。融雪对于乌鲁木齐河径流的贡献率非常小,仅为3.4%,尽管融雪水是新疆乃至中国西北区河流重要的水源,但是在天山中段的山区径流中所占的比重并不明显。

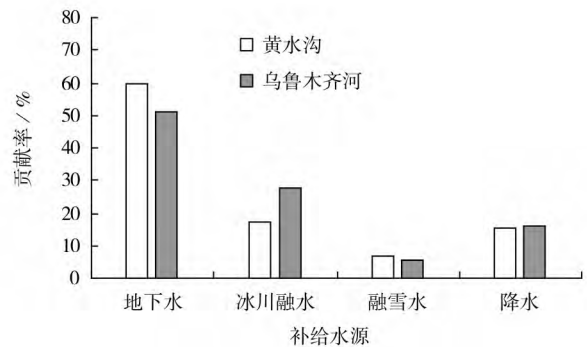


图4 黄水沟流域与乌鲁木齐河流域年内径流组分特征图  
Fig.4 Contributions of different water sources in the entire year in the Huangshuigou River and Urumqi River

### 4 结论

对于天山南北坡典型流域乌鲁木齐河及黄水沟流域的地表河水、地下水、降水、冰川融水及融水的氢氧稳定同位素的分析结果显示,其地下水、地表河水及降水表现出较为明显的季节变化特征。

径流分割的结果显示,包含裂隙基岩水在内的地下水是构成天山山区径流的主要水源,天山北坡的乌鲁木齐河河水中冰川的比重高于南坡的黄水沟流域。天山南北坡径流具有迥然不同的季节性径流组分特征,在春季及晚秋的融雪期,乌鲁木齐河流域与黄水沟流域径流组分表现出十分显著的差异特征,春季黄水沟流域融雪水比重要远高于乌鲁木齐河流域,而晚秋乌鲁木齐河流域融雪水比重要高于黄水沟流域。

乌鲁木齐河流域河水中冰川融水的比重较高,表明乌鲁木齐河流域对于区域气温的变化具有显著的响应,因此,在制定区域水资源规划时要充分考虑天山南北坡径流组分特征的差异,区别对待。

### 参考文献(References)

- [1] IPCC. Working Group I Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report, Climate Change 2013: The Physical Science Basis: Summary for Policymakers [OL]. [http://www.climatechange2013.org/images/uploads/WGIAR5-SPM\\_Approved27Sep2013.pdf](http://www.climatechange2013.org/images/uploads/WGIAR5-SPM_Approved27Sep2013.pdf), 2013.
- [2] IPCC. Working Group I Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report (AR5). Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Final Draft Underlying Scientific-Technical-Assessment [OL]. [http://www.climatechange2013.org/images/uploads/WGIAR5\\_WGI-12Doc2b\\_FinalDraft\\_All.pdf](http://www.climatechange2013.org/images/uploads/WGIAR5_WGI-12Doc2b_FinalDraft_All.pdf), 2013.
- [3] 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.[CHEN Yaning, LI Zhi, FAN Yuting et al. Research progress on the impact of climate change on water resources in the arid region of Northwest China [J]. Acta Geographica Sinica, 2014, 69 (9) : 1295-1304.]
- [4] CHEN Y, XU Z. Plausible impact of global climate change on water resources in the Tarim River Basin [J]. Science in China: (Series D), 2005, 48(1), 65-73.
- [5] 陈亚宁,杨青,罗毅,等.西北干旱区水资源问题研究思考[J].干旱区地理,2012,35(1):1-9.[CHEN Yaning, YANG Qing, LUO Yi, et al. Ponder on the issue of water resources in the arid region of Northwest China [J]. Arid Land Geography, 2012, 35 (1): 1-9.]
- [6] CHEN Y, KUNIYOSHI Takeuchi, XU C, et al. Regional climate change and its effects on river runoff in the Tarim Basin, China [J]. Hydrological Processes, 2006, 20(10), 2207-2216.
- [7] KONG Y, PANG Z. Evaluating the sensitivity of glacier rivers to climate change based on hydrograph separation of discharge [J]. Journal of Hydrology, 2012, 434, 121-129.
- [8] SHEN Yanjun, CHEN Yaning. Global perspective on hydrology, water balance, and water resources management in arid basins [J]. Hydrological Processes, 2010, 24(2), 129-135.
- [9] SUN Congjian, CHEN Yaning, LI Xingong, et al. Analysis on the streamflow components of the typical inland river, Northwest China [J]. Hydrological Sciences Journal, 2016, 61(5): 970-981.
- [10] SUN Congjian, LI Weihong, CHEN Yaning, et al. Isotopic and hydrochemical composition of runoff in the Urumqi River, Tianshan Mountains, China [J]. Environmental Earth Sciences, 2015, 74: 1521-1537. DOI: 10.1007/s12665-015-4144-x
- [11] SUN Congjian, CHEN Yaning, LI Weihong, et al. Isotopic time-series partitioning of streamflow components under regional climate change in the Urumqi River, northwest China [J]. Hydrological Sciences Journal, 2016, 61 (8) , 1443-1459. DOI: 10.1080/02626667.2015.1031757
- [12] SUN Congjian, LI Xingong, CHEN Yaning, et al. Spatial and temporal characteristics of stable isotopes in the Tarim River Basin [J]. Isotopes in Environmental & Health Studies, 2016, 52 (3): 281-297. DOI: 10.1080/10256016.2016.1125350
- [13] 赵良菊,尹力,肖洪浪,等.黑河源区水汽来源及地表径流组成的稳定同位素证据 [J].科学通报,2011,(56):58-67.[ZHAO Liangju, YIN Li, XIAO Honglang, et al. Isotopic evidence for the moisture origin and composition of surface runoff in the headwaters of the Heihe River basin [J]. Chinese Sci Bull, 2011, (56): 58-67.]
- [14] 王江,周雅蔓,王昀,等.2014年夏初南疆一次持续性强降雨过程的水汽和动力条件分析[J].干旱区地理,2015,38(6):1103-1111.[WANG Jiang, ZHOU Ya-man, WANG Yun, et al. Water vapour and dynamic conditions of a continuity heavy rainfall over southern Xinjiang in early summer 2014 [J]. Arid Land Geography, 2015, 38(6): 1103-1111.]
- [15] TUMER J, MACPHERSON D. Mechanisms affecting streamflow and stream water quality: An approach via stable isotope, hydrogeochemical, and time series analysis [J]. Water resources research, 1990, 26(12), 3005-3019.
- [16] WANG J, LI H, HAO X. Responses of snowmelt runoff to climatic change in an inland river basin, Northwestern China, over the past 50 years [J]. Hydrol Earth Syst Sci, 2010, 14: 1979-198.

## Streamflow components in inland rivers in the Tianshan Mountains, Northwest China

SUN Cong-jian<sup>1,2</sup>, WEI Chen<sup>1</sup>

(1 Shanxi Normal University, School of Geographical Science, Gongyuan Street 1, Linfen 041000, Shanxi, China;

2 State Key Laboratory of Desert and Oasis Ecology, Xinjiang Institute of Ecology and Geography,

Chinese Academy of Sciences (CAS), Urumqi 830011, Xinjiang, China)

**Abstract:** Runoff generation and its dynamics are the fundamental of hydrology and are very crucial to water resource management. Based on isotope hydrograph method, the paper explored and compared the runoff generation mechanism of two typical inland rivers in the Tianshan Mountains (i.e., Urumqi River on the north slope and Huangshuigou River on the south slope), based on the monitored weather, flow and isotope data of a hydrological year. Results show as follows: (1) in both rivers, precipitation, river water and groundwater exhibit noticeable spatial and temporal variations in stable  $\delta^{18}\text{O}$  and  $\delta\text{D}$  compositions, and there is an increasing trend of  $\delta^{18}\text{O}$  in the river water during snowmelt period (late autumn and spring); (2) isotope hydrograph separation shows that generally, groundwater is the major recharging source (over 50% of streamflow), followed by glaciermelt, snowmelt and precipitation in these two rivers; Urumqi River has a larger contribution from glaciermelt than Huangshuigou River does, indicating that Urumqi River is more sensitive to the temperature change; (3) these two rivers have similar contribution components in all seasons except for spring in which Huangshuigou River has similar contributions from groundwater and snowmelt, while Urumqi River has a larger contribution from groundwater than snowmelt.

**Key Words:** Isotopic separation; Streamflow component; Urumqi River Basin; Huangshuigou River Basin

### 中国科学院新疆生态与地理研究所 发明一种重盐碱地条件下盐碱地碱蓬与油葵垄间作方法

2017年1月9日,由中国科学院新疆生态与地理研究所尹传华博士等科研人员发明的“一种重盐碱地条件下盐碱地碱蓬与油葵垄间作方法”获国家发明专利授权。(专利号: ZL201410620123.5)

该方法是针对重盐碱地地下水埋深浅、潜水蒸发补给强烈而引起的土壤盐分表聚严重、常规耐盐作物无法生长的问题。在滴灌控抑盐的基础上,提出以起垄和盐生植物与耐盐作物间作的方法来控制潜水蒸发对表层土壤积盐的补给作用,从而为重盐碱地农业安全高效产出提供技术支撑。

通过盐生植物盐碱地碱蓬与耐盐作物油葵垄间作来改良利用盐碱土,在减轻土壤的盐碱化程度,改善土壤肥力的同时,还可以有一定的经济产出。