

# 玛纳斯河流域融雪径流与积雪—气象因子分析<sup>\*</sup>

刘艳, 李杨, 张璞

(中国气象局 乌鲁木齐沙漠气象研究所, 乌鲁木齐 830002)

**摘要:** 利用雪盖、径流、气象因子数据分析了玛纳斯河流域融雪径流特征及其与积雪—气温—降雨的关系。根据地形、植被和积雪分布特征建立了流域分带体系。以 2000—2008 年 3—6 月 8 日合成 MODIS 积雪产品 (MOD10A2) 为基础, 插值获取流域分带日均积雪面积数据。根据天山山区气温—降雨的垂直地带性特征, 以肯斯瓦特水文站 1995—2008 年逐日气温、降水数据为数据源, 应用 DEM 递推获取流域分带日均气温、降水数据。定性分析了流域各带气温、降雨和积雪分布特征及其定量相关关系。同时, 分析了流域积雪面积和径流的定量关系。结果表明: ①低山荒漠草原带 3 月 22 号前后, 云杉林带 4 月 11 号前后, 高山高寒草甸带 5 月 14 号前后, 高山冰雪带 6 月 12 号前后气温持续在零度以上; ②降水年内分配不均, 降水主要集中在夏季, 占年降水量的 43.39%, 春季占 28.14%, 秋冬季降雨偏少, 分别为 13.04% 和 15.24%; ③各带积雪面积和气温相关性很高, 3—6 月各带气温逐渐升高, 积雪逐渐融化, 除高山冰雪带不完全消融外其余分带积雪在此期间全部消融; 高山高寒草甸带和高山冰雪带积雪面积和气温呈线性相关; ④流域总的积雪面积和径流散点图显示出很好的幂指数相关; 不同年, 积雪面积与径流关系呈规律性变化。

**关键词:** 卫星; 玛纳斯河流域; 融雪径流; 积雪; 气温; 降水; 分带

中图分类号: P331

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2010)02-0145-05

## Correlation Analysis on Snow Climate Factors and Its Effects on Snowmelt Runoff in Manasi River Basin

LIU Yan, LI Yang, ZHANG Pu

(Institute of Desert Meteorological, China Meteorological Administration, Urumqi 830002, China)

**Abstract:** In this paper, we analyzed the relations and characters of runoff, snow, temperature and precipitation in Manasi river basin. Based on the distribution of landform, vegetation and snow cover, we found the system of the classified zone for the study basin. By using the data of 8-day MOD10A2, one production of MODIS, daily snow cover data were computed by the way of interpolation. Meanwhile, based on the character of vertical terrain in Tianshan Mountain, we used the DEM to get daily temperature and precipitation datum of each zone. Qualitative and quantitative analysis was made within the zone temperature, precipitation and snow cover area. And we also made quantitative analysis between snow cover area in the whole basin and runoff. Hungriness and plain in low elevation appears continuous positive temperature on March 22. Spruce and forest zone does on April 11. Cold meadow in high mountain does on May 14. Ice-snow zone does on June 12. The annual distribution of precipitation is very inequality. It mainly falls in summer and accounts for 43.39% of the yearly whole precipitation amount. There is separately 28.14%, 13.04% and 15.24% in spring, autumn and winter. There was high correlation between snow cover area and temperature in every zone of the basin. With the temperature gradually increasing from March to June, snow began to melt. Except the ice-snow zone, snow in the other three zones entirely melted in the period. At the same time, snow and temperature had a linear correlation in cold meadow and ice-snow zones. The scatter dot between snow area of the whole basin and runoff showed that they had a good expo-

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2009-09-24

基金项目: 科技部公益行业(气象)科研专项(GYHY200706008); 中央级公益性科研院所基本科研业务项目(IDM200704; IDM200808)

作者简介: 刘艳(1978—), 女, 助理研究员, 主要从事遥感在积雪、植被变化监测等方面的研究。E-mail: lyliuyan2003@163.com

mental correlation. In different years, there was a disciplinary change between snow cover area and runoff in the study area.

**Key words:** satellite; Mansi river basin; snow melt runoff; snow; temperature; precipitation; classified zone

高山区冰雪融水和玛纳斯河(以下简称“玛河”)上游降水是玛纳斯河流域主要的径流水源<sup>[1]</sup>。该流域径流与气候的响应性研究局限于应用平原区(高程低于 800 m)石河子气象站气温、降水数据<sup>[2-6]</sup>,缺乏流域积雪覆盖和融雪径流的关系分析。气象要素影响下玛河流域高山区冰雪如何变化?如何影响径流变化?这将依赖于更全面地收集资料 and 进一步提高监测手段。近年出现的 Terra- MODIS 数据为大尺度资源调查提供了更好的数据源<sup>[7-8]</sup>。与传统卫星影像相比,MODIS 具有高效的数据存储格式(HDF)、信息丰富、数据获取快和覆盖范围广等特点,每日两次获取全球 36 个光谱波段的地球综合信息观测数据<sup>[9-11]</sup>,有利于捕捉地面动态变化信息。

通过 GIS 和遥感技术对天山雪盖卫星监测数据、径流、气象因子数据进行分析以掌握玛河流域融雪径流特征及其与积雪-气温-降雨的关系。首先,根据地形、植被和积雪分布特征建立了流域分带体系。然后,以 2000-2008 年 3-6 月 8 日合成 MODIS 积雪产品(MOD10A2)为基础,插值获取流域分带日均积雪面积数据。根据天山山区气温-降雨的垂直地带性特征,以肯斯瓦特水文站 1995-2008 年逐日气温、降水数据为数据源,应用 DEM 递

推获取流域分带日均气温、降水数据。最后,定性分析流域各带气温-降雨-积雪分布特征和相关关系;流域积雪面积-径流的定量关系,为流域水资源合理利用和开发提供数据支撑。

## 1 研究区概况

玛河流域位于准噶尔盆地南缘,南起依连哈比尔尕山,北接古尔班通古特沙漠,东起塔西河,西至巴音沟河,汇集十多条支流,河流贯穿山地-绿洲-荒漠系统,地表过程复杂,是北疆地区的一个典型流域。该流域地形呈南高北低走势,源头海拔 5 000~5 500 m,有现代冰川分布,面积达 608.25 km<sup>2</sup>。在天山山地中山区和前山区汇合了众多支流,至前山的肯斯瓦特水文站流出山区进入山前平原,海拔高度也随之降到 500 m 左右,山地垂直地带性特征十分明显。流域内冰川面积占天山北坡冰川面积的 32%,除冰川覆盖外,流域内另有少量森林和高山草甸。按积雪分布、植被覆盖特征,流域可分为 4 个垂直分布带(表 1)。玛河流域冬季寒冷漫长,冬季降水(11 至翌年 3 月)以积雪形式储蓄在天山北坡的中低山一带,到了夏季(6-8 月)主要融水进入河槽,该流域的河流具有明显的夏汛特点。

表 1 玛河流域垂直分布带及积雪-植被分布特征

分带	积雪特征	海拔/m	面积/km <sup>2</sup>	平均海拔/m	植被类型
1	瞬时斑状不连续积雪	877~1800	661.15	1258	低山荒漠草原
2	片状不连续积雪	1800~2700	647.48	2255	云杉林带
3	片状不连续积雪	2700~3600	2691.91	3205	高山高寒草甸
4	冰川及永久性积雪	3600~4922	1437.27	4346	冰雪带

## 2 研究方法

### 2.1 数据来源

肯斯瓦特水文站 1954-2008 年逐日平均径流量;1995-2008 年逐日平均气温、降雨数据。2000-2008 年 1-12 月 MODIS 8 日合成积雪覆盖产品(MOD10A2),共 300 多景。8 日合成 MOD10A2 最大程度地降低了云层的影响。天山山区 DEM 数据,空间分辨率 83 m×83 m。乌鲁木齐、石河子等 10 个气象台站 2000-2008 逐日平均气温和降雨数据。

### 2.2 数据处理

2.2.1 分带矢量数据的生成 (1) 利用 ArcMap Hydrology Modeling 模块对天山山区 DEM 进行流向分析、流水累积量计算、提取河流网络及其矢量数

据、根据指定的流域面积大小进行流域分析、提取玛河流域,生成流域边界矢量数据。(2) 根据表 1 数据,利用 ERDAS Modeler 模块对流域 DEM 数据进行分类运算,经栅格-矢量转换后获取流域各分带矢量边界数据并进行投影转换,采用 WGS84 坐标系双标准纬线阿尔勃斯等面积圆锥投影(Albers conical equal area projection)。

2.2.2 分带气温、降雨数据的生成 流域内气象、水文资料很少,只在流域出山口肯斯瓦特设有水文站,提供水文和气象要素数据,流域上游地区没有实测资料。因此,只能采取递推方法获取高山区气温和降雨数据。一般来说山区降水和气温的垂直地带性明显,通常降水量总体上随着高程的上升而增加,气温的分布与降水相反,高度增加气温降低。降水

递推法为利用带 1 肯斯瓦特水文站实测数据加上降水递增率和高程差的乘积。其中,降水递增率采用胡汝骥根据玛河临近的乌鲁木齐河流域的实测数据推算得出。

$$Pre_{high} = (H_{high} - H_{low}) / 100 \times 0.06 + Pre_{low} \quad (1)$$

$$Tem_{high} = (H_{low} - H_{high}) / 100 \times 0.06 + Tem_{low} \quad (2)$$

式中:  $Pre$ ——降水量;  $Tem$ ——温度;  $H_{low}$ 、 $H_{high}$  分别为各分带的最低、最高海拔高度。

2.2.3 分带平均气温、降雨计算 利用各分带边界数据对插值气温、降水栅格数据进行 MASK 掩模处理, 获取各带气温和降水栅格数据后计算影像平均值即得各带平均气温、降雨数据。

2.2.4 分带平均积雪面积计算 (1) 利用 MRT (MODIS Reprojection Tool) 对 MOD10A2 数据进行地理几何校正与重采样批处理, 提取积雪覆盖数据, 进行双标准纬线阿尔勃斯等面积圆锥投影。(2) 利用各分带边界数据进行 MASK 掩模处理, 获取各带 8 日合成积雪分布影像数据并计算获取各带平均积雪面积。最后, 利用 Origin 插值模块对 8 日序列积雪面积数据进行插值运算, 最终获取流域各分带逐日积雪面积。利用计算机技术, 采用统计分析方法, 建立相关模型。

### 3 结果分析

#### 3.1 径流年内变化及融雪期的确定

由于受气温和降水影响, 径流年内分配极不均匀(图 1), 流量逐月变化呈单峰近似对称分布: 1-3 月流量占年径流总量的 4.48%, 这一时期为枯季径流。4-5 月流量占 6.78%, 6-9 月流量占 80.09%, 10-12 月为河流的退水期流量仅占 8.64%。枯水期在 1-5 月, 月平均最小径流量出现在 2 月, 仅为 1.41%; 丰期在 6-9 月, 月平均最大径流量在 7 月。12 月至翌年 2 月, 逐日流量十分稳定, 并达到最小值, 这一最小值可视为基流。在无降水时径流增加超过基流部分, 是融雪补给造成的。雨季到

来后, 情况十分复杂, 而且, 现在无法区分降雨径流和融雪径流。本文以 6 月 30 日为界划分融雪径流的界限, 重点分析这期间的径流量和积雪、气温及降雨的关系。

#### 3.2 融雪期流域积雪变化特征

一年四季更替, 积雪也会随之发生变化, 表现在积雪覆盖面积和积雪深度的改变。积雪覆盖率变化曲线是描述雪盖面积在积累和消融期间逐渐变化的过程线。根据雪盖曲线, 3-6 月是积雪覆盖衰减期, 积雪覆盖率逐渐减少, 积雪逐渐消融。雪盖消融期为 122 d (图 2)。

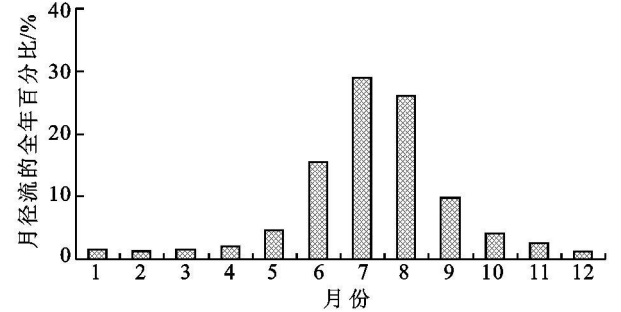


图 1 肯斯瓦特水文站 1954-2008 年逐月径流变化

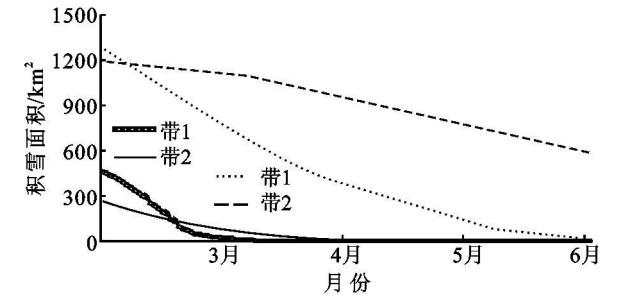


图 2 融雪期流域各带积雪消融曲线

#### 3.3 气象因子特征分析

3.3.1 气温垂直地带性特征检验 玛河流域周边乌鲁木齐、石河子等 10 个气象站同期逐日平均气温多年平均值与流域各带多年平均气温及平均海拔高度比较分析结果显示, 流域分带插值气温符合天山山区气温的垂直分布性特征(图 3)。

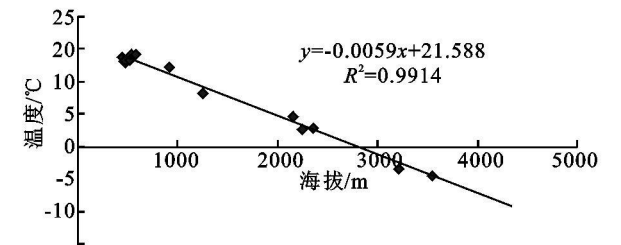


图 3 玛河流域周边气象站及各带年均气温与高程变化响应关系

3.3.2 分带气温特征分析 从年际尺度看, 2001-2008 年 3-6 月各带温度变化不大, 历年数据间具有很好的周期性。月尺度上, 低山荒漠草原在 3 月

22 号前后, 云杉林带 4 月 11 号前后, 高山高寒草甸 5 月 14 号前后, 冰雪带 6 月 12 号前后气温持续在零度以上。

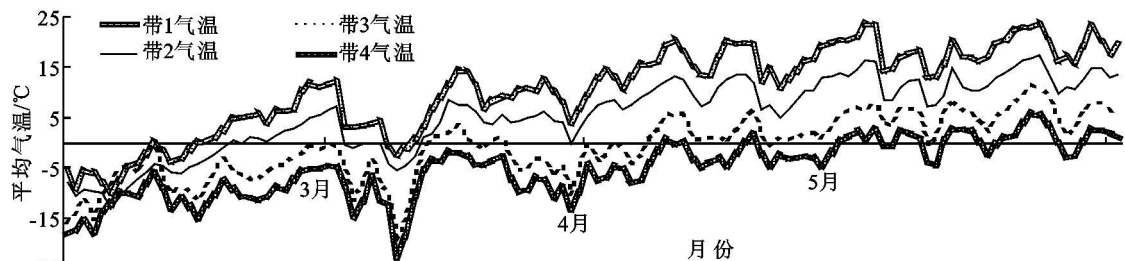


图 4 玛河流域各带气温逐月变化

3.3.3 流域降雨特征分析 1995–2008 年肯斯瓦特水文站降雨数据统计分析显示,降水量的年内分配极不均匀,降水主要集中在夏季(6–8 月),占年降水量的 43.39%,春季(4–5 月)为 28.14%,秋冬季降雨偏少,分别为 13.04% 和 15.24%。径流年内分配集中于 4–8 月,降水年内分配集中于 6–8 月,径流过程滞后于降水过程(图 5)。冬季枯水期,径流量稳定。3–5 月几乎没有降水,但过程线上流量稳定地增加;6 月,流域出现大量降水(降雨),每日流量显著增大(图 6)。

3.4 气温–积雪–径流关系分析

对 2000–2008 年 3–6 月流域平均气温、降雨、径流和积雪面积进行分析,结果如图 7 所示,该时间段内径流增长趋势与气温上升趋势及积雪面积消退趋势一致,与降雨间则不具有这种一致性。这表明流域水资源在春季主要以融雪径流方式为主,春季气温逐日升高,积雪面积逐渐变小,流量逐渐增加(图 8)。

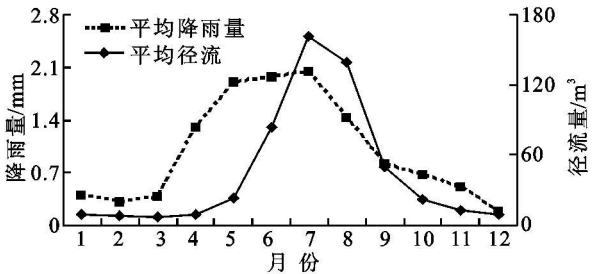


图 5 肯斯瓦特水文站 1954–2008 年降水与径流年内分配对比

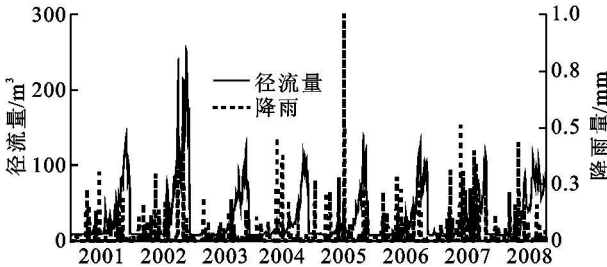


图 6 肯斯瓦特水文站 2001–2008 年 3–6 月逐日径流和降雨变化的关系

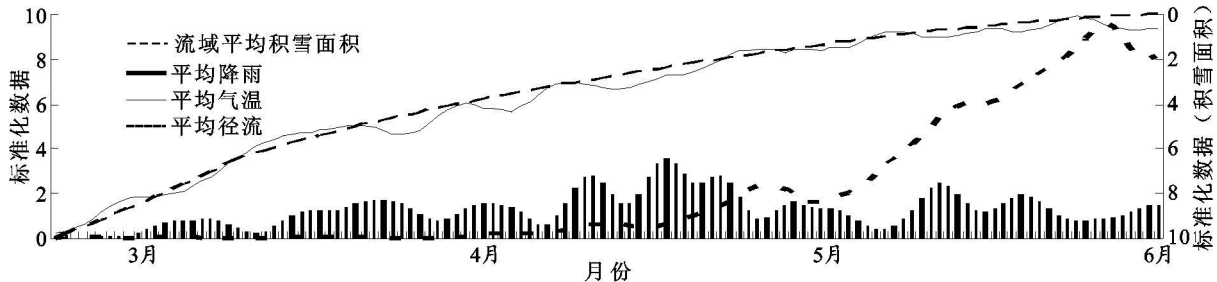


图 7 2001–2008 年平均数据对比

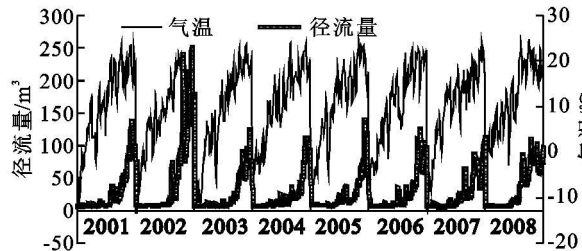


图 8 肯斯瓦特水文站 2001–2008 年 3–6 月逐日径流和气温变化的关系

了解积雪与气候的关系,阐明积雪对气温和降雪量变化的敏感性,是探讨积雪对气候变化响应的核心内容之一,也是预测未来积雪变化的基础。年际尺度看,2001–2008 年 3–6 月流域积雪面积和

径流间存在周期性(图 9),流域不同水文年的积雪面积与径流关系有规律的发生变化。历年 3–6 月,流域积雪逐渐消融,面积逐日下降,高山区积雪融水成为径流的主要补给来源,径流量随之也逐渐增大。

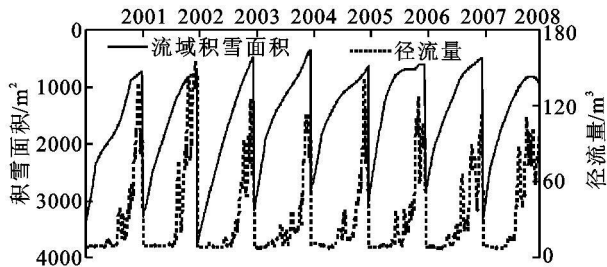


图 9 肯斯瓦特水文站 2001–2008 年 3–6 月逐日径流和积雪变化的关系

2001-2008 年 3-6 月玛河流域分带积雪面积和气温相关分析结果表明(图 10),各带积雪面积和气温间相关性很高,3-6 月各带气温逐渐升高,积雪逐渐融化,带 1-3 积雪在此期间消融完结,带 1

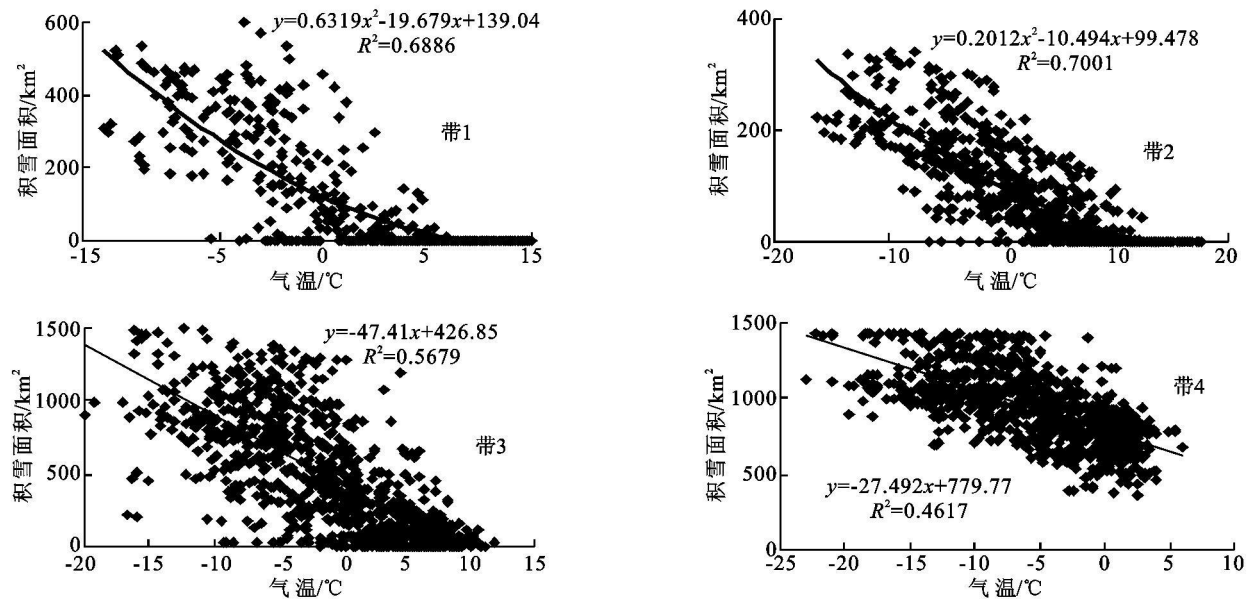


图 10 玛河流域各带积雪面积和气温的相关关系

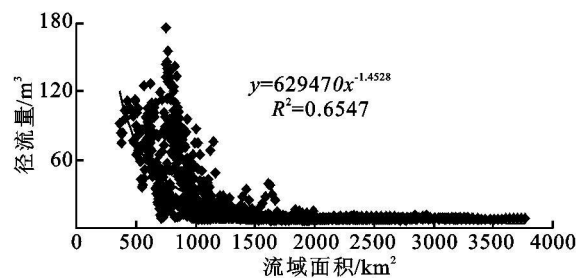


图 11 玛河流域 2001-2008 年 3-6 月  
逐日积雪面积和径流量相关分析

## 4 讨论

玛河流域因地处内陆干旱少雨区域,河流补给主要靠高山区积雪冰川融水。整个冬春季节,流域内大片地区常为积雪所覆盖,3 月下旬以后,气温回升,积雪从低处向高处逐渐消融,从 4 月起,气温持续在℃以上,受大量融雪补给,河流水流量显著增加,至 5 月形成河流春汛。与降雨相比,融雪期流量与同期气温、流域积雪面积间具有更密切的相关性;径流年内分配集中于 6-8 月,降水的年内分配集中于 4-8 月,径流过程滞后于降水过程;春季径流量的大小主要取决于春季山区气温的回升率,因此防洪部门要特别警惕春季气温的急剧上升。

参考文献:

[ 1 ] 刘占静. 2003 年玛纳斯河汛期水情特征及其成因[ J ]. 水土保持研究, 2004, 11(4): 198-199.

[ 2 ] 唐湘玲, 龙海丽, 邢永建. 玛纳斯河流域降水与径流变化及其人类活动的影响[ J ]. 新疆师范大学学报: 自然科学版, 2005, 24(3): 145-152.

[ 3 ] 徐素宁, 杨景春, 李有利. 近 50 a 来玛纳斯河流量变化及对气候变化的响应[ J ]. 地理与地理信息科学, 2004, 20(6): 65-68.

[ 4 ] 曾霞, 吕建辉, 施文军. 玛纳斯河流域的径流与洪水特征分析[ J ]. 石河子大学学报: 自然科学版, 2006, 24(3): 343-349.

[ 5 ] 党新成, 李新贤, 高建. 玛纳斯河流域水文与环境特征分析[ J ]. 水文, 2006, 26(5): 89-90.

[ 6 ] 南峰, 李有利, 史兴民. 新疆玛纳斯河水量波动与气候变化之间的关系[ J ]. 水土保持研究, 2003, 10(3): 59-61.

[ 7 ] 刘爱霞, 王静, 吕春艳. 基于 MODIS 数据的北京西北部地区土地覆盖分类研究[ J ]. 地理科学进展, 2006, 25(2): 96-101.

[ 8 ] 刘爱霞, 王长耀, 王静, 等. 基于 MODIS 和 NOAA/AVHRR 的荒漠化遥感监测方法[ J ]. 农业工程学报, 2007, 23(10): 145-150.

[ 9 ] 李谢辉, 塔西甫拉提·特依拜. 绿洲荒漠过渡带生态环境变化预警线提取与分析研究: 以新疆和田绿洲为例[ J ]. 中国沙漠, 2008, 28(1): 77-82.

[ 10 ] 刘闯, 葛成辉. 美国对地观测系统(EOS)中分辨率成像光谱仪(MODIS)遥感数据的特点与应用[ J ]. 遥感信息, 2000(3): 45-48.

[ 11 ] 袁雷, 李春娥, 储少林, 等. 冷季深入对 AMSR-E 监测内蒙古积雪的影响[ J ]. 草业科学, 2008, 25(8): 26-30.