

文章编号:1000-0240(2005)05-0649-06

祁连山区 1997—2004 年积雪面积 和雪线高度变化分析

张 杰¹, 韩 涛¹, 王 建²

(1. 中国气象局兰州干旱气象研究所 甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室, 甘肃 兰州 730020 ;
2. 中国科学院 寒区旱区环境与工程研究所, 甘肃 兰州 730000)

摘 要: 利用 1997—2004 年 5~8 月的 NOAA-AVHRR 和 EOS-MODIS 卫星资料、周遍气象台站气象数据、人工增雨雪等相关资料, 对河西内陆河流域上游的祁连山区积雪、冰川的光谱特征进行了判识, 并分析了积雪面积和雪线高度变化。结果表明: 6~8 月祁连山西、中、东部的积雪面积都呈下降趋势, 5 月积雪面积有所升高; 雪线高度处的气温在 5 月为降低趋势, 6 月和 8 月略有升高, 7 月升高最快; 5~8 月随着时间的变化, 祁连山区累计降水量都呈现出不同程度的增加; 祁连山西、中部积雪面积和雪线高度随降水和气温的变化有明显的响应, 并且中部较西部明显。人工增雪作业对祁连山雪消融具有缓冲作用。

关键词: 积雪面积; 雪线高度; 人工增雨雪; 效果检验; 祁连山

中图分类号: P426.63⁺5 **文献标识码:** A

1 引言

祁连山深居欧亚大陆腹地, 山麓周围被高原、戈壁、沙漠、绿洲等环抱, 山区降水丰富, 发育有现代冰川, 每年有 $72.6 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的出山径流通过石羊河、黑河、疏勒河三大内陆河水系和 56 条内陆河流浇灌着 $70 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 耕地, 养育着 400×10^4 人民^[1]。随着社会经济的发展, 水资源的合理开发利用等一系列问题逐步受到重视, 尤其是内陆河流域的径流^[2~4]、山区积雪、冰川变化等问题更受到关注^[5, 6]。

近年来, 国家实施人工增雨、雪工程, 以期开发空中云水, 增加山区的积雪量, 弥补淡水资源不足对农业-生态业发展的影响^[7, 8]。然而, 在全球气候变暖的大背景下, 冰雪消融期延长, 融雪径流量增加^[9], 但积雪、冰川的累积量如何变化还不确定。本研究利用 NOAA-AVHRR 资料和 EOS-MODIS 资料, 对 1997—2004 年的积雪面积进行了连续的监测, 分析了祁连山区雪线高度变化及积雪面

积变化与人工增雨雪工程的关系。

2 数据来源和原理方法

2.1 数据来源

研究区域位于疏勒河、黑河、石羊河流域源头的祁连山区, $36^\circ \sim 40^\circ \text{N}$, $96^\circ \sim 103^\circ \text{E}$ 的区域内, 区域的划分根据 1:25 000 的地形图划分, 见图 1。

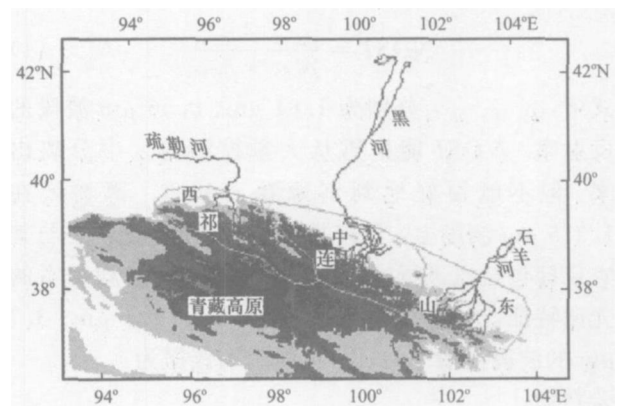


图 1 研究区域

Fig. 1 Map showing the studied region

收稿日期: 2005-01-25; 修订日期: 2005-02-20

基金项目: 甘肃省人工增雨效果检验研究项目(002 人影-2); 科技部“西部开发科技行动”重大项目(2004BA901A16); 甘肃省气象局青年科技开发基金项目资助

作者简介: 张杰(1975—), 女, 甘肃民勤人, 助理研究员, 2000年毕业于中国农业大学, 主要从事遥感技术应用和陆面过程参数反演研究。E-mail: jjezhangami@sohu.com.

气象台站主要选用了疏勒河流域的托勒、酒泉站，黑河流域的祁连、张掖、民乐站及石羊河流域的门源、武威、永昌站。在分析冰雪面积变化时，参考流域内的上述气象台站的地面降水量、温度和高空资料(1997—2004年)。气象资料由甘肃省气象局兰州中心气象台提供，卫星资料分别为1997—2004年5~8月逐旬的NOAA-AVHRR和EOS-MODIS资料，由中国气象局兰州干旱气象研究所遥感中心提供。

2.2 遥感监测积雪的方法

准确识别云雪是进行积雪研究的基础工作。史培军等^[10]采用可见光通道最小亮度法提取积雪，周咏梅^[11]借助AVHRR的红外通道采用多光谱资料识别积雪和云，积雪识别精度在80%以上。延昊等^[12]采用了NOAA系列卫星的通道3，它是由1.6 μm和3.7 μm两通道组成，白天发送1.6 μm探测值，夜晚发送3.7 μm探测值，而云雪在该波段范围的反射差异，对区分云雪效果很好。本研究用NOAA-AVHRR资料检测积雪的方法参见文献[12]。

MODIS有36个波段，在可见光到部分中红外波段的分辨率为250 m和500 m，提高了光谱分辨率，所以监测积雪的面积相对较准确。雪/云判别技术是建立在云和雪/冰反射率及辐射率的基础上，云在可见光和近红外部分一般有高的反射率，而雪的反射率在短波红外部分明显降低，所以利用这一特征可以进行云、雪检测^[13]。基于这一方法，建立了归一化差分积雪指数NDSI:

$$NDSI = \frac{0.56 - 1.64}{0.56 + 1.64} \quad (1)$$

式中：1.64、0.56分别为1.64 μm、0.56 μm波段的反射率。NDSI能把雪从大量模糊的云中分离出来，但不能很好地判别薄卷云和雪。薄卷云在1.375 μm波段上，具有非常强的吸收，能使之与其它目标包括雪进行区分的能力^[14]。另外，根据雪的光谱特征，本研究增加了1.375 μm、2.1 μm、3.7 μm的波段反射率特征，总体判别依据为：

云判别：

$$0 < NDSI < 0.5 \text{ 且 } \frac{3.7 - 2.1}{3.7 - 1.375} < 0 \quad (2)$$

雪冰判别：

$$NDSI > 0.5 \text{ 且 } \frac{3.7 - 2.1}{3.7 - 1.375} > 0.50 \quad (3)$$

基于上述判断条件，雪冰的遥感判识基本可以

实现。

2.3 积雪面积和雪线高度的转化原理

山区地形复杂，而卫星观测的资料只能反映与卫星观测方位角有关的地表信息。如果在资料选取中尽量考虑取接近于星下点的资料，那么卫星方位角的影响可以忽略不计。在进行积雪面积和雪线高度的转化时，首先假设山体面积服从三角形模型，考虑积雪分布在角度为θ的坡面上(图2)：

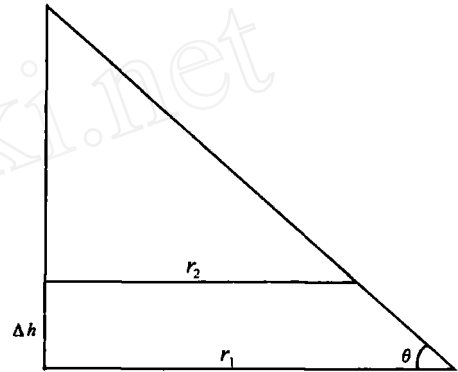


图2 山体三角模型

Fig. 2 Model of triangle-shape mountain

$$S = \left[\frac{r_1}{\cos(\theta)} \right]^2 - \left[\frac{r_2}{\cos(\theta)} \right]^2 \quad (4)$$

$$h = (r_1 - r_2) \text{tg} \theta \quad (5)$$

式中：S为祁连山积雪面积变化；h为雪线高度变化；其它符号如图2。通过公式代换计算，得出面积变化和高度变化的关系式：

$$h = \sin \theta \sqrt{S} \quad (6)$$

由于山体本身不是规则的，所以根据实际情况将θ角定义为随高程变化的坡度，这里我们以1 km的格点为中心，以r=5 km为半径的圆内所有各点相对于气象站点的最大坡度值^[2]，高程数据从1:250 000电子地图上读取。

3 数据分析

3.1 5~8月雪冰面积变化特征

一年中积雪面积变化一般分为3个阶段，9月到次年4月份为冰雪积累期，5月份基本为过渡期，6~8月为相对稳定的冰雪消融期，所以5~8月这个时期内主要以冰川为主。为了尽量减少降雪过程对面积测量的影响，选用5~8月份的资料代表性比较好，利用1997年以来5~8月的逐旬资料，对流域的雪冰面积变化进行分析，结果如图3。1997—2004年祁连山西、中、东部雪冰面积的年变化和月变化有一定差异。5月西部疏勒河流域雪冰

面积有比较小幅度的增加趋势，而中部黑河流域和东部石羊河流域为明显增加趋势；6~8 月除了中部黑河流域有增加趋势外，其余时间都为减少的趋势，随时间变化，在距平图上基本为负距平变化，并且有些时段小于 -0.5，所以面积减小的幅度是很大的；7 月积雪面积基本为减少趋势。结果说明，在 5 月略有增加，6~8 月基本为减少趋势，目前祁连山的冰川面积呈现出严重的萎缩状态。

冰雪面积的年际变化是十分复杂的，由于夏季的冰雪在海拔 3 000 m 以上的高山地区，受人类直接的、负面的影响较小，产生这种复杂特征的原因主要是与气候的变化有关。

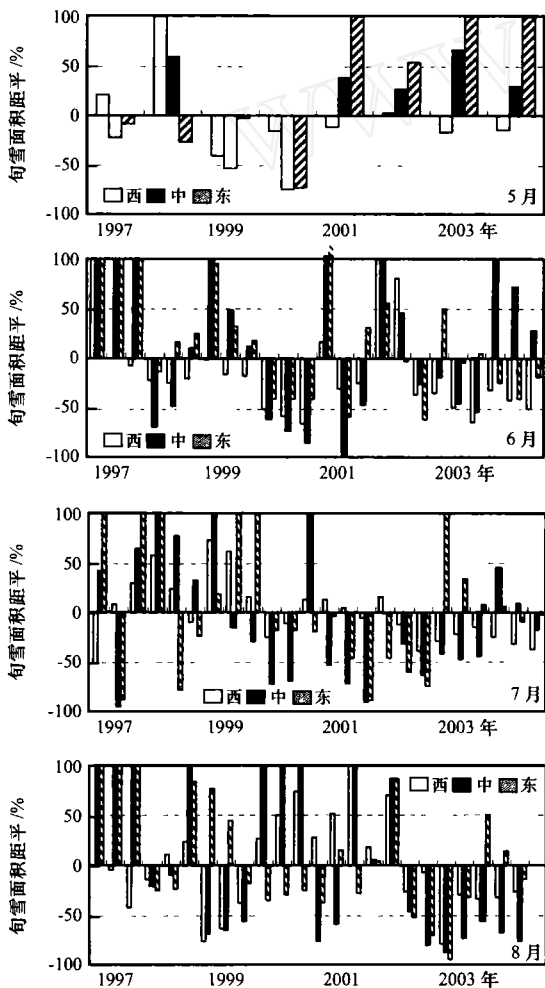


图 3 1997—2004 年 5~8 月祁连山积雪面积变化距平
Fig. 3 Anomalies of snow-cover area in the Qilian Mountains from May to August, 1997—2004

3.2 气候特征分析

3.2.1 雪线高度处的气温变化特征

积雪面积的变化导致了雪线高度的变化，在 5~8 月如果不受降水过程的影响，祁连山区雪线高度基本在海拔 4 000 m 以上^[4]。对于祁连山西、中部

区的酒泉和张掖站，5~8 月 600 hPa 的平均高度基本在海拔 4 300 m 左右，因而 600 hPa 气温与雪线高度的温度十分接近。由于祁连山东段没有高空站，主要分析祁连山西、中段的情况。从图 4 可知，5 月祁连山西、中部 600 hPa 高度的旬平均气温基本为负，并且呈减小的变化趋势，并且西部气温较中部低。说明 5 月份雪线高度处的气温为负，不利于积雪的消融，可以认为积雪仍属于积累阶段。气温随年际的变化呈下降趋势，也说明祁连山区西部和中部的 0 层高度在降低，雪线高度在降低；6 月 600 hPa 高度的气温逐渐向平均值接近，并趋于平缓，高温值降低，低温值升高；8 月 600 hPa 高度的气温在波动中略有上升，7 月 600 hPa 高度的气温在波动中上升最快，但 2001—2002 年的变化十分平缓。从 5~8 月的 600 hPa 高度的气温变化来看，冰雪消融量在 7 月最强，8 月次之，最后是 6 月，5 月仍为积雪积累期；从 6~7 月的温度差来看，1999 年以前温度差相对较小，而之后有所增加，说明 6~7 月冰雪消融量急剧增加，并且雪线高度上升最大。

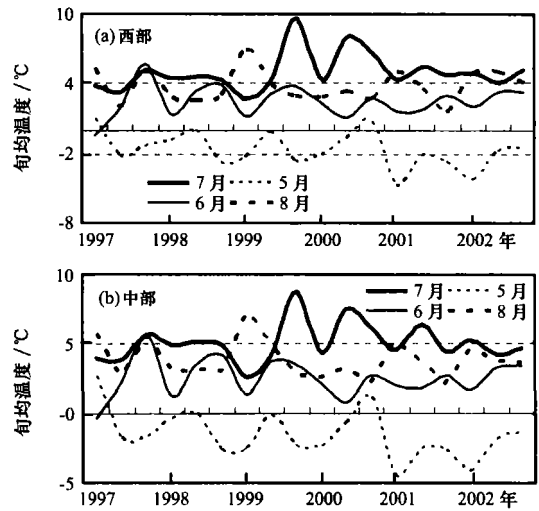


图 4 1997—2002 年 5~8 月祁连山西、中代表站 600 hPa 高度温度特征

Fig. 4 Variations of temperature at 600 hPa height of the representation stations in the west and central Qilian Mountains from May to August, 1997—2002

3.2.2 祁连山区降水的变化特征

根据祁连山西、中、东部积雪高度的特征，选取与其高度最接近的托勒、祁连、门源站的降水资料，用以分析积雪区域的降水量变化情况。因为 9 月到次年 4 月为积雪累积期，所以在分析 5~8 月降水与冰雪面积变化关系时，应该考虑累积期降水

的影响. 本研究用累计降水量来分析, 也就是 5 月累计降水量为本月降水量与前一年 9 月到该月降水量的累加来表示. 1997—2003 年 5~8 月祁连山积雪区累计降水距平结果如图 5 所示, 结果表明, 5 月祁连山西部和中部累计降水距平变化出现年际波动, 但总变化趋势是增加的; 而东部, 累计降水量距平基本为一致的增加趋势, 并且在 2001 年之后基本都呈正距平的变化; 6 月累计降水距平与 5 月相似; 7 月和 8 月份累计降水距平在 1999 年以前为减少趋势, 而 1999 年之后, 祁连山西、中、东部基本表现为一致的增加趋势, 并且在 2001 年之后基本都为正距平的变化特征. 说明在积雪的累计期, 祁连山区降水基本为增加的趋势, 并且在 1999 年之后变化趋势最为显著. 原因可能与 2000 年以来在祁连山及周遍地区大力投资实施人工增

雨、增雪作业有关.

甘肃省自 2000 年开始投入人工增雪作业, 目的就是增加祁连山的积雪量, 增加内陆河流量, 为西北干旱区提供更多的工农业和生态用水. 通过分析 2000 年来祁连山及周遍地区的增雨情况、区域平均降水量以及区域面积变化, 得到了 12 个样本(图 6). 结果表明, 在祁连山及周遍地区实施人工增雨作业, 对于该区域降水量的空间分布特征有一定的作用. 随着耗弹量的增加, 降水量和积雪面积距平值均略有增加, 并且降水量处于正距平的值相对较多, 因而积雪面积处于正距平的值也有所增多, 说明人工增雨雪作业对降水量的增加是有贡献的. 由于各月或各年的降水受大气环流的作用, 造成了某些年份为相对干旱年或相对湿润的年份, 所以在干旱的年份, 降水相对较少, 虽然人工作业次数增多, 但干燥的气候加大了雪的消融速度, 所以积雪面积距平表现为负距平的特征. 另外, 由于温度的增加, 有时降水增加了, 但积雪面积的距平仍有负距平出现. 从大部分个例来看, 随着耗弹量的增加, 降水量和积雪面积距平值有增加趋势, 说明人工作业增加了降水量, 并且对山区积雪面积的增加和维持有一定的促进作用.

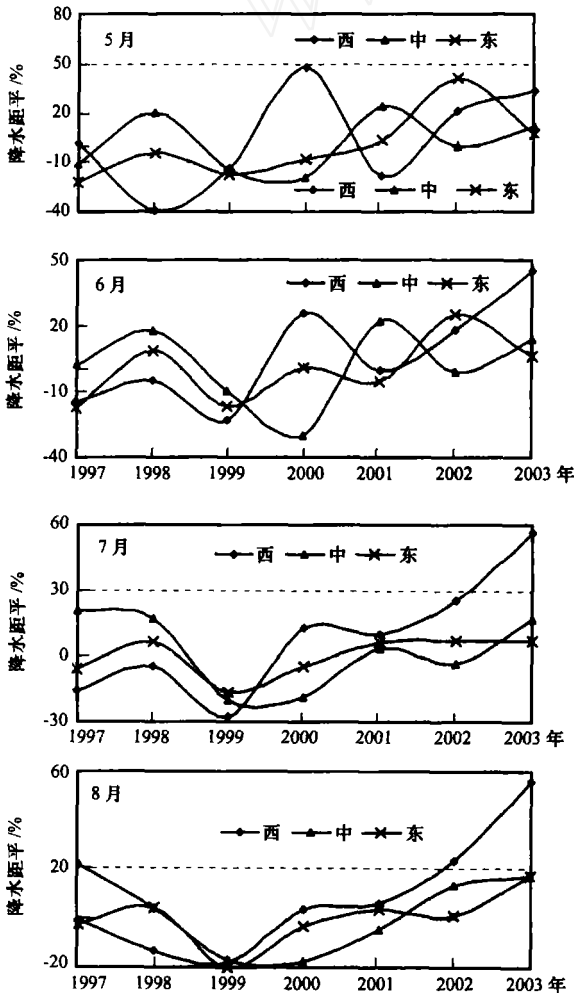


图 5 1997—2003 年 5~8 月祁连山积雪区累计降水量距平图

Fig. 5 Anomalies of precipitation in snow-cover regions of the Qilian Mountains from May to August, 1997—2003

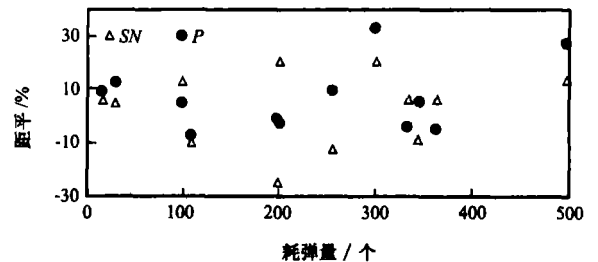


图 6 祁连山区降水量和积雪面积距平与人工增雨耗弹量的关系

Fig. 6 Relation between precipitation (P) and snow-over area (SN) and bomb consumption in artificial precipitation operation

分析表明, 祁连山区气温和降水的变化与积雪面积变化关系密切, 温度增加促进了雪线高度下降、面积降低, 而降水的增加又抑制了这种变化. 为了能够进一步分析和预测未来气候变化对祁连山面积变化的响应, 下面将建立冰雪零平衡线对气候波动的响应模型.

3.2.3 积雪面积、雪线高度变化对气候变化的响应

在全球气候变暖的背景下, 区域气候变化不仅直接体现在温度的变化, 而且温度变化将会导致环

流场的变化，所以降水的空间分布也会有所改变。上述结果表明，温度和降水量的变化与积雪面积变化基本一致，积雪面积变化虽然能够反映气候变化的特征，但不太直观。笔者通过气候要素和雪平衡线高度的关系，建立了积雪面积、雪线高度变化和气候要素的关系。本文引用张寅生等推导的冰川零平衡线对气候波动模型^[15]，得出平衡线对气温、降水波动的响应模型分别为：

$$\frac{h}{T_a} = \frac{-\frac{1}{L_m} [(1 - \frac{1}{c})]}{\frac{\partial c}{\partial z} - \frac{1}{L_m} [(1 - \frac{1}{c})] \frac{\partial T_a}{\partial z}} \quad (7)$$

$$\frac{h}{c} = \frac{-1}{\frac{\partial c}{\partial z} - \frac{1}{L_m} [(1 - \frac{1}{c})] \frac{\partial T_a}{\partial z}} \quad (8)$$

式中： h 为冰川零平衡线的波动值(m)； T_a 为冰川近冰面气温(K)； c 为冰川物质积累(mm)； z 为高程(m)； λ 为块体交换系数($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$)； β 为鲍文比，为 -1.5586 ^[16]； n 为消融期天数(d)； L_m 为冰雪融化潜热(常数，其值为 $0.335 \text{ MJ} \cdot \text{K}^{-1}$)。

对于祁连山区，据文献资料^[4]、高空资料及卫星的监测结果，得出： $\lambda = 0.374 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ ； $\beta = -1.5586$ ^[16]； $n = 50 \text{ d}$ ； $\frac{\partial c}{\partial z} = 1.6 \text{ mm} \cdot \text{m}^{-1}$ ；祁连山西部 $\frac{\partial T_a}{\partial z} = 0.1388 \text{ K} \cdot (100\text{m})^{-1}$ ，中部 $\frac{\partial T_a}{\partial z} = 0.1501 \text{ K} \cdot (100\text{m})^{-1}$ 。将上述两式中的参

数值代入，得到祁连山西、中部雪线对气温波动的响应值 $\frac{h}{T_a}$ 分别为 $27.92 \text{ m} \cdot \text{K}^{-1}$ 和 $31.9 \text{ m} \cdot \text{K}^{-1}$ ；祁连山西、中部雪线对降水波动的响应值 $\frac{h}{c}$ 分别为 $-0.3 \text{ m} \cdot \text{mm}^{-1}$ 和 $-0.348 \text{ m} \cdot \text{mm}^{-1}$ 。

祁连山区降水、气温和雪线的关系总体为：年均气温升降 1°C 可使雪线在西、中部分别升降 27.92 m 和 31.9 m ；降水量增减 100 mm ，可使雪线在西、中部分别升降 30 m 和 34.8 m 。根据面积变化和高度变化的关系，祁连山区西、中部雪线对气候波动的响应模型为：

$$\begin{aligned} h &= 27.92 T_a - 0.3\partial c(\text{西部}) \\ h &= 31.9 T_a - 0.348\partial c(\text{中部}) \end{aligned} \quad (9)$$

积雪面积对气候波动的响应为：

$$\begin{aligned} S &= (\frac{1}{\sin^2(\theta)}) (27.92 T_a - 0.3\partial c)^2(\text{西部}) \\ S &= (\frac{1}{\sin^2(\theta)}) (31.9 T_a - 0.348\partial c)^2(\text{中部}) \end{aligned} \quad (10)$$

基于上式的计算，就可以根据气候的变化特征来推测雪线高度变化和积雪面积变化的特征。

4 结论

通过对 NOAA-AVHRR 数据和 EOS-MODIS 数据的分析，实现了不同卫星对积雪面积的判别，并且结合 DEM 地形资料，实现了通过面积监测来分析雪线高度变化的一个途径。

祁连山西、中、东部地区积雪面积变化的特征和趋势有所不同，6~8月积雪面积都呈下降趋势，5月积雪面积有所升高。

雪线高度处的气温变化随时间不同有明显不同，5月为降低趋势，6~8月略有升高，7月升高最快；积雪区域的降水量变化具有一致性的特点，5~8月祁连山西、中、东部累计降水量的变化趋势基本为增加趋势，并且自1999年以来特征更明显。

祁连山西、中部雪线高度随降水和气温的变化有明显的响应，随气温变化的响应值分别为 $27.92 \text{ m} \cdot \text{K}^{-1}$ 和 $31.9 \text{ m} \cdot \text{K}^{-1}$ ，随降水变化的响应值分别为 $-0.3 \text{ m} \cdot \text{mm}^{-1}$ 和 $-0.348 \text{ m} \cdot \text{mm}^{-1}$ ，并且中部较西部明显。

积雪累积期的人工增雨雪作业有利于祁连山区的积雪积累，并且5~8月的增雨作业也利于抑制气候变暖的气候背景下的积雪消融速度。

参考文献(References)：

- [1] Dang Hongzhong, Zhao Yusen, Chen Xiangwei, et al. Law of the water transfer process of water conversation forest in Qilian Mountains [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2004, 12(2): 289-296. [党宏忠, 赵雨森, 陈祥伟, 等. 祁连山水源涵养林水分传输规律研究[J]. 中国生态农业学报, 2004, 12(2): 289-296.]
- [2] Zhang Jie, Li Dongliang. Analysis of space configuration and character on local rainfall in Qilian Mountain in Heihe valley [J]. Plateau Meteorology, 2004, 23(1): 81-88. [张杰, 李栋梁. 黑河流域祁连山区局地降水量的空间结构和变化分析[J]. 高原气象, 2004, 23(1): 81-88.]
- [3] Wang Yajun, Chen Fahu, Gou Xiaohua. March to June runoff of Heihe River since 1770 reconstructed from tree ring data [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2004, 26(2): 202-206. [王亚军, 陈发虎, 勾晓华. 黑河230 a以来3~6月径流的变化[J]. 冰川冻土, 2004, 26(2): 202-206.]
- [4] Gao Qianzhao, Yang Xinyuan. Runoff of inner river of Gansu Hexi and glacier replenishment [A]. Memoir of Lanzhou Institute of Glaciology and Geocryology, CAS, No. 5 [C]. Beijing: Science Press, 1985. 131-141. [高前兆, 杨新源. 甘肃河西内陆河径流特征与冰川补给[A]. 中国科学院兰州冰川冻土研究所集刊, 第5号[C]. 北京: 科学出版社, 1985. 131-141.]



- [5] Yang Zhengniang. Glacier water resource in Qilian Mountains and its action on river [C]. Memoir of Lanzhou Institute of Glaciology and Geocryology, CAS, No. 7 [C]. Beijing: Science Press, 1992. 10 - 20. [杨针娘. 祁连山冰川水资源及其在河流中的作用[A]. 中国科学院兰州冰川冻土研究所集刊, 第7号[C]. 北京: 科学出版社, 1992. 10 - 20.]
- [6] Cheng Ying, Li Dongliang, Hu Wenchao, *et al.* Relationship between glacial thaw of Qilian Mountain and upper temperature [J]. Plateau Meteorology, 2002, **21**(2): 217 - 221. [程瑛, 李栋梁, 胡文超, 等. 祁连山冰川消融与高空气温变化的关系[J]. 高原气象, 2002, **21**(2): 217 - 221.]
- [7] Sun Hongping, Yan Shiming, Zhang Lijun, *et al.* An artificial snow operation in strong precipitation process [J]. Shanxi Meteorological Quarterly, 2003, **64**(3): 22 - 24. [孙鸿娉, 闫世明, 张立军, 等. 一次强降水过程的人工增雪作业[J]. 山西气象, 2003, **64**(3): 22 - 24.]
- [8] Wang Jihong, Ban Xianxiu. Analysis on feasibility of artificial snow in winter in Liaoning Province [J]. Liaoning Meteorological Quarterly, 2003, **4**: 19 - 21. [王吉宏, 班显秀. 辽宁冬季人工增雪的可行性分析[J]. 辽宁气象, 2003, **4**: 19 - 21.]
- [9] Wang Jian, Shen Yongping, Lu Anxin, *et al.* Impact of climate change on snowmelt runoff in the mountainous regions of Northwest China [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2001, **23**(1): 28 - 33. [王建, 沈永平, 鲁安新, 等. 气候变化对中国西北地区山区融雪径流的影响[J]. 冰川冻土, 2001, **23**(1): 28 - 33.]
- [10] Shi Peijun, Chen Jin. Study on monitoring snow disaster in large areas supported by GIS and RS [J]. Acta Geographica Sinica, 1996, **51**(4): 296 - 305. [史培军, 陈晋. 1RS 与 GIS 支持下的草地雪灾监测试验研究[J]. 地理学报, 1996, **51**(4): 296 - 305.]
- [11] Zhou Yongmei, Jia Shenghai, Liu Ping. The method of snow-cover parameters estimation using NOAA-AVHRR data [J]. Scientia Meteorologica Sinica, 2001, **21**(1): 117 - 121. [周咏梅, 贾生海, 刘萍. 利用 NOAA - AVHRR 资料估算积雪参量[J]. 气象科学, 2001, **21**(1): 117 - 121.]
- [12] Yan Hao, Zhang Guoping. Unmixing Method applied to snow boundary estimation [J]. Journal of Mountain Science, 2004, **22**(1): 110 - 115. [延昊, 张国平. 像元分解法提取积雪边界线[J]. 山地学报, 2004, **22**(1): 110 - 115.]
- [13] Gao B C. Cirrus cloud detection from airborne imaging spectrometer spectrometer data using the 1.38 μm water vapor band [J]. Geophysical Research Letters, 1993, **20**(4), 301 - 304.
- [14] Rossow W B, Garder L C. Cloud detection using satellite measurement of infrared and visible radiances for ISCCP [J]. J. Clim., 1993, **6**: 2 341 - 2 369.
- [15] Zhang Ynsheng, Pu Jianchen, Yao Tandong. The response of continental type glaciers to climate change in China [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 1998, **20**(1): 3 - 8. [张寅生, 蒲健辰, 姚檀栋. 我国大陆型山地冰川对气候变化的响应[J]. 冰川冻土, 1998, **20**(1): 3 - 8.]
- [16] Wu Hao, Yu Xiaogan, Xu Gang. Response of glaciers in the source region of Yangtze River to global climate change [J]. Geography and Territorial Research, 2001, **17**(4): 1 - 5. [吴豪, 虞孝感, 许刚. 长江源区冰川对全球气候变化的响应[J]. 地理学与国土研究, 2001, **17**(4): 1 - 5.]

Changes of Snow-cover Area and Snowline Altitude in the Qilian Mountains, 1997—2004

ZHANG Jie¹, HAN Tao¹, WANG Jian²

(1. Key Laboratory of Arid Climatic Changing and Reducing Disaster of Gansu Province, Institute of Arid Meteorology, China Meteorological Administration, Lanzhou Gansu 730020, China; 2. Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou Gansu 730000, China)

Abstract: By using NOAA-AVHRR and EOS-MODIS data from May to August, 1997—2004, spectrum characteristics of snow and ice are judged and analyzed, statistics of snow-cover area of three basins in the Qilian Mountains are made, and, by analyzing 8-year precipitation and altitude data, the snowline latitude-dependence is found. The result shows that the variation of snow-cover area from Jun to August was small, but it was large in May in the middle and east of the Qilian Mountains; on

the contrary, temperature of snow-cover region was increasing, except for May; there was an increase in total precipitation of the Qilian Mountains from May to August. It is revealed that snow-cover area and snow line altitude change obviously with climate change of global and region, especially, in the middle section of the mountains. By analyzing artificial snowing data, it is demonstrated that artificial snowfall operation has a certain buffer function to snow ablation.

Key words: snow-cover area; snowline altitude; artificial snowfall operation; effect test; Qilian Mountains