

# 利用气象卫星资料研究祁连山区植被和积雪变化\*

郭 铨 杨兰芳 李民轩

(中国气象局兰州干旱气象研究所,兰州 730020)

## 摘 要

利用1989年和1998年NOAA气象卫星资料,提取植被、积雪等信息,分析了十年来祁连山自然保护区植被空间分布状况及其变化特征,研究了祁连山积雪年变化和1989与1998年年代变化特征,结果表明:祁连山保护区主体部分十年来植被退化严重,且退化植被以灌木林和草为主,祁连山区积雪年变化基本特点是呈双峰形,但不同流域积雪的年变化存在一定差异。1998年各流域旬平均积雪面积均较1989年减小,自西向东减小幅度逐渐增大,党河流域减小2.17%,西营河流域减小10.05%。1998年和1989年春季积雪面积相差不多,但冬季积雪明显少于1989年。由于1998年气温明显偏高,使得山区积雪融化速度加快,1998年积雪面积随时间变化振幅加大。

关键词:祁连山 植被 积雪 气象卫星

## 引 言

祁连山是我国青藏高原东北部一个巨大的边缘山系,位于甘肃、青海两省交界地,由一系列近似西北—东南走向的平行山岭和山间盆地组成,海拔2500~5000m,降水300~500mm,气候寒冷。许多海拔4000m以上的中、高山终年积雪,分布着现代冰川,是河西走廊的天然水库。3000m以下地区自然植被较好,有成片的天然林和灌丛,河谷、盆地水草丰盛是良好的天然牧场。

祁连山冰雪资源和森林资源是河西走廊经济建设的基础,是河西人民赖以生存的命脉。车克钧等<sup>[1]</sup>观测实验研究表明,祁连山水源涵养林不仅具有拦蓄降水、缩小温差、保持较高土壤湿度等作用,而且具有十分显著的消洪补枯、涵养水源、保持水土的水文生态作用。祁连山区位于我国气候敏感区和生态环境的脆弱带,由于人为和气候因素,自20世纪50年代以来祁连山森林覆盖率下降近50%,草场退化,自然生态环境日趋恶化,为此国家于1986年成立祁连山国家自然保护区。

本文利用1989年和1998年NOAA卫星AVHRR资料提取出植被、积雪等信息,对祁连山自然保护区植被分布状况及其变化做了研究,同时研究了党河、疏勒河、北大河、黑河、西营河5个流域积雪面积年和年代变化特征,旨在为祁连山生态环境保护提供科学依据。

\* 2002-01-16收到,2003-03-12收到修改稿。

## 1 基本原理和资料

### 1.1 基本原理

美国 NOAA 系列气象卫星携带改进的甚高分辨率辐射仪(AVHRR)有 5 个探测通道,其中通道 1 为可见光波段( $0.58 \sim 0.68 \mu\text{m}$ );通道 2 为近红外波段( $0.725 \sim 1.1 \mu\text{m}$ );通道 3 为中红外波段( $3.55 \sim 3.95 \mu\text{m}$ );通道 4、5 为热红外波段(分别为  $10.3 \sim 11.3 \mu\text{m}$ ,  $11.5 \sim 12.5 \mu\text{m}$ )<sup>[2]</sup>,其星下点分辨率约为  $1.1 \text{ km}^2$ 。

不同性质的地表有其自身特有的光谱分布特性。绿色植物的主要光谱反射特点是:绿叶中的叶绿素在  $0.5 \sim 0.7 \mu\text{m}$  的可见光谱段有 2 个强吸收谷,其反射率较小(一段小于 20%);但在  $0.7 \sim 1.3 \mu\text{m}$  的近红外波段,由于叶肉海绵组织结构中有许多空腔,因此具有很大的反射表面,而且细胞内叶绿体呈水溶胶状态,其反射率较大,可达 60%。NOAA 系列气象卫星 AVHRR 探测器通道 1 波长位于植物的可见光吸收区,通道 2 位于近红外强反射区,将这两个通道探测值组合起来便可以得到各种植被指数,很适合于监测植被<sup>[3]</sup>。

雪的光谱特点是在可见光和近红外波段(即 NOAA/AVHRR 通道 1、2)具有高于陆地表面的反射率(这点与云非常相近)<sup>[4]</sup>,但在短波红外波段( $1.55 \sim 1.75 \mu\text{m}$ )和( $2.10 \sim 2.35 \mu\text{m}$ )雪吸收太阳辐射,反射率很低,而云在整个反射红外波段都具有较高的、均匀的光谱响应,因此在中短波红外波段( $1.55 \mu\text{m}$  或  $2.10 \mu\text{m}$  附近)区分云和雪是可能的。雪的这一特点在 NOAA/AVHRR 通道 3 中也有反映<sup>[5~7]</sup>,可作为区分雪和云的根据。

### 1.2 资料及处理

本文资料由 NOAA 气象卫星资料、气象资料、祁连山自然保护区边界、祁连山流域边界资料组成。降水是影响西北地区植被生长的主要因素,为了减少气象条件对植被的影响,本文首先利用甘肃省 55 个气象站 1986~1998 年历年降水资料和农业气象资料进行年景分析,得出 1989 和 1998 年为相似年;再选祁连山区海拔 2000 m 以上的 10 个站点,进行这两年降水偏差分析。从祁连山 1989 年和 1998 年 1~8 月降水量分析(见表 1,注:卫星资料用 7、8 两月的资料,故考虑 1~8 月降水)可以看到,除祁连山中个别站点 1998 年降水较 1989 年略多外,祁连山区大部分地区 1989 年降水与 1998 年接近,降水因素对植被的影响可以忽略。

表 1 祁连山区各站 1989 与 1998 年 1~8 月降水量偏差分析

站名	肃北	玉门	托勒	肃南	祁连	民乐	野牛沟	古浪	乌鞘岭	门源	平均
降水偏差百分率	9.4	-6.3	-13.2	-32.2	-27.3	-12.7	19.7	-8.1	9.8	19.2	-10.0

对 1989 年 NOAA-11 和 1998 年 NOAA-14 资料做太阳高度角订正和临边变暗订正,对各时次各通道资料以青海湖为地物标志做定位处理。

将甘肃省林业勘察设计院规划的甘肃省祁连山国家级自然保护区总体设计图中祁连山保护区边界数字化后得到祁连山自然保护区边界;根据 1:100 万地形高度图读取祁连山党河、疏勒河、北大河、黑河、西营河流域边界。

## 2 计算方法

(1) 植被 本项目选归一化植被指数作为监测植被变化的指标,其计算公式为:

$$I_{NDV} = (C_2 - C_1) / (C_2 + C_1) \quad (1)$$

式中  $I_{NDV}$  为归一化植被指数,  $C_1$ 、 $C_2$  分别为通道 1、2 的反射率值。 $I_{NDV}$  的特点是可以消除由于照明条件变化、倾斜、观测姿态所造成的各通道反射率的改变,基本上不依赖于卫星的观测角,适合于对植被进行动态监测<sup>[8]</sup>。由于本文所用资料涉及到 NOAA-11 和 NOAA-14 两颗卫星,考虑到卫星更换和 AVHRR 探测器通道 1、2 的衰减问题,我们在巴丹吉林沙漠选两个区域(40.42° ~ 40.47° N, 101.60° ~ 101.67° E 和 40.20° ~ 40.27° N, 101.62° ~ 101.70° E),在黑河下游戈壁选一个区域(41.15° ~ 41.09° N, 100.64° ~ 100.70° E)分析 1989 和 1998 年  $I_{NDV}$  变化情况(表 2),可以看到 1989 和 1998 年 7、8 月这 3 个区域  $I_{NDV}$  没有明显差别,说明探测器的衰减对本文所用的归一化植被指数影响不大。

表 2 沙漠戈壁地区 1989 年与 1998 年  $I_{NDV}$  对比

	1 区		2 区		3 区	
	1989	1998	1989	1998	1989	1998
7 月	- 0.035	- 0.047	- 0.037	- 0.046	- 0.054	- 0.066
8 月	- 0.055	- 0.034	- 0.045	- 0.039	- 0.051	- 0.043

(2) 积雪 根据通道 1 反射率高低和通道 3 和 4 亮温差的大小提取积雪信息。

$$C_1 > a \quad (2)$$

$$D_{34} = T_3 - T_4 < b \quad (3)$$

式中  $C_1$  为通道 1 反射率值,  $D_{34}$  为通道 3 与通道 4 亮温差,  $T_3$ 、 $T_4$  为通道 3、4 的亮温,  $a$ 、 $b$  分别为通过大量实践得到区分云、雪的阈值。由于云移动性较大,采用几天资料相叠加合成即可排除大部分云干扰,详细计算方法参见文献[7]。

积雪面积的计算公式为

$$\sigma = \sum_{i=1}^n a_i \quad (4)$$

式中  $\sigma$  为某一区域中的积雪面积,  $a_i$  为该区域中某一积雪像元面积(考虑地球曲率影响),  $n$  为该区域中积雪像元总数,为了便于分析将各流域积雪面积除以流域总面积,得到积雪面积比率。

将卫星资料根据需要按上述公式计算出各时次植被指数、各流域积雪面积和积雪面积指数。

## 3 祁连山自然保护区植被变化特征

### 3.1 植被指数变化特征

夏季是地表植被最丰富的阶段,也是监测植被的最佳时段。利用 1989 年和 1998 年 7 月 NOAA/AVHRR 资料分别计算出这两年的植被指数,根据我们实际工作经验并参考

美国 NESDIS 方法 , 将植被指数按数值大小分成裸地、稀疏植被、较少植被、适中植被、茂密植被和很密植被 6 个等级, 分别统计计算出整个祁连山自然保护区、保护区西段、保护区东段、大黄山等地区不同植被指数等级的面积及其变化。

图 1 是祁连山自然保护区 1989 年与 1998 年夏季植被指数遥感监测图, 从图中可以看到祁连山保护区主体部分为西北—东南向的狭长地带, 山丹附近的不连续带将其分为东、西两段, 大黄山、东大山、十八里铺为祁连山北部的几座独立的小山。山区植被指数基本自西向东降低, 与降水量自东向西减少相对应, 祁连山东段植被覆盖率和植被指数等级高于西段, 保护区西端为植被指数最低区。比较这两年植被分布可以看到祁连山主体部分 1998 年植被指数大都较 1989 年低, 特别是保护区西端祁丰管理站十年来植被指数下降最明显, 裸地面积明显增加, 而大黄山、东大山管理站 1998 年植被指数却较 1989 年有所增加。表 3 是祁连山自然保护区十年来各种等级植被面积变化统计表, 表中整个祁连山保护区十年来裸地面积增加 20.7%, 很密植被减少了 33.5%, 其中保护区西段裸地和稀疏植被面积增加 30% 和 12.9%, 较少植被、适中植被、茂密植被和很密植被分别下降 11.5%、12.6%、13.1% 和 23.6%, 东段裸地面积和很密植被分别下降 6.6% 和 38%, 稀疏植被、较少植被、适中植被、茂密植被分别增加 52.5%、6.6%、20.7% 和 14.8%, 表明祁连山区十年来植被指数在下降, 植被退化严重。笔者曾到祁连山考察, 山区深处仍有很多羊群, 牧民骑摩托车放牧, 可见祁连山区植被退化与过渡放牧有很大关系。大黄山、东大山十年来裸地面积分别减少 14.1% 和 82.8%, 很密植被增加 85.2% 和 100%, 植被生长良好。从甘肃省人大资源环境委员会了解到这些地方植被指数增加的主要原因是: 近年

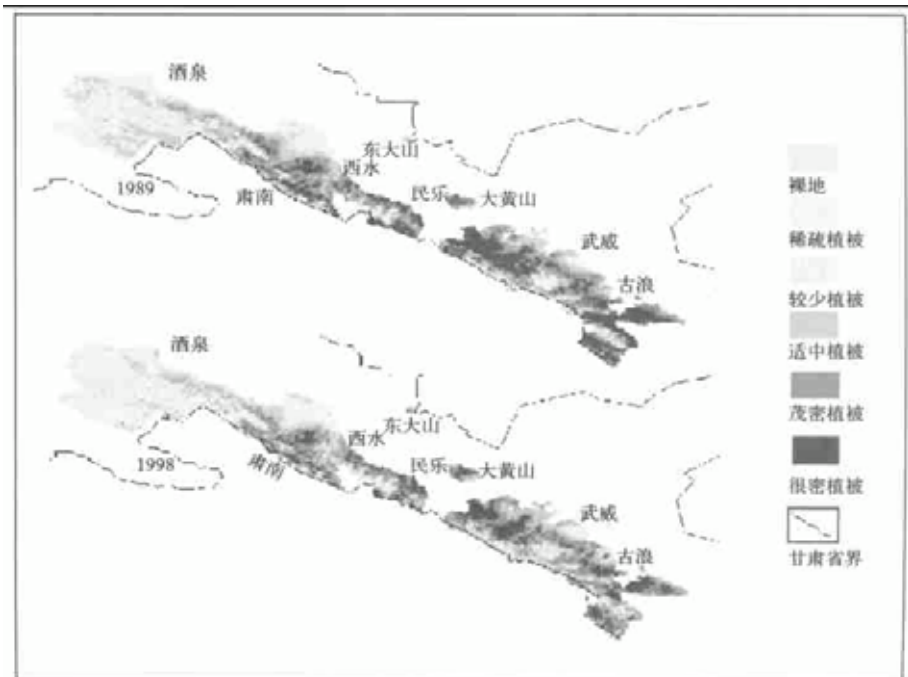


图 1 祁连山自然保护区 1989 年与 1998 年夏季植被指数遥感监测图

来大黄山,东大山实行生态移民工程,将山中居民全部迁到山外,封山育林。

表 3 1989、1998 年祁连山自然保护区植被等级面积变化统计

km<sup>2</sup>

	整个祁连山保护区			祁连山保护区西段			祁连山保护区东段			大黄山			东大山		
	1989	1998	差值 %	1989	1998	差值 %	1989	1998	差值 %	1989	1998	差值 %	1989	1998	差值 %
裸地	5345.4	6451.5	20.7	3967.7	5161.1	30.1	1320.4	1233	-6.6	41.7	35.8	-14.10	5.8	1	-82.8
稀疏植被	2811.6	3274.8	16.5	2448.8	2765.5	12.9	326.9	498.5	52.5	0	0	0.00	18.2	2.9	-84.1
较少植被	3137.8	2865.4	-8.7	2542.6	2250.8	-11.5	551.5	588.1	6.6	13.6	1	-92.60	14.4	4.8	-66.7
适中植被	6149.1	6005.9	-2.3	4181.6	3654.7	-12.6	1807	2181.2	20.7	88.2	97.9	11.00	17.3	25.9	49.7
茂密植被	7680.5	7769	1.2	3663.5	3182.6	-13.1	3827	4393.7	14.8	170.6	151.2	-11.40	12.5	32.7	161.6
很密植被	3694.2	2456.6	-33.5	875.2	668.3	-23.6	2786	1726.2	-38.0	33	61.1	85.20	0	1	100.0

### 3.2 针叶林、草地变化

通过实地考察了解到祁连山区水源涵养林由青海云杉、祁连山圆柏等常绿针叶林和灌木林组成,根据针叶林、灌木林和草的季节变化特点,冬季灌木林和草均已枯黄,植被指数较低,而针叶林仍然保持绿色,植被指数较高,因此用冬季的植被指数即可判识出针叶林。利用 1989 年和 1998 年 1~2 月资料提取出针叶林并分析其变化,取针叶林面积较大的肃南林场部分地区(范围 38.75°~38.81°N,99.6°~99.79°E),计算该区域 1989 年针叶林面积为 103 km<sup>2</sup>,1998 年为 99.3 km<sup>2</sup>,减少 3.6%,与韩涛<sup>[9]</sup>用同期的 TM 资料计算结果对比,误差为 13%,表明 10 年来祁连山针叶林面积变化不大,植被指数减少的地区以灌木林和草为主。根据车克均等<sup>[1]</sup>10 年间对不同森林类型林冠截留的观测表明,试验区雨季(5~9 月)林冠层对降水的截留率:藓类云杉林为 25.86%;祁连圆柏林为 28.95%;灌木林为 66.1%。灌木林由于冠层枝叶表面积大且镶嵌分布紧密,截留降水量最大,灌木林的大幅度减少必将对祁连山生态环境产生负反馈作用。据我们对祁连山实地的调查,过渡放牧是祁连山植被退化的主要原因,建议各级政府加大对祁连山区的保护,退牧还林还草。

## 4 积雪变化特征

### 4.1 各流域积雪年变化特征

将 1997、1998 年逐日卫星资料以 10 d 为单位按文献[7]方法合成,得到逐旬积雪资料,分析积雪年变化特征(由于本文计算山区积雪面积时没有考虑坡度坡向的影响,结果不免会受到一些影响)。图 2 是党河、疏勒河、黑河、西营河流域 1997、1998 年旬积雪面积变化图,可以看到整个祁连山区积雪变化基本特点是年变化呈双峰形,主峰出现在春季(3~6 月),次峰出现在初冬(11 月),与陈乾等研究结果<sup>[10]</sup>接近。7~8 月是积雪最少期,尽管祁连山降水集中在这个时段,但降水多以降雨为主,即使降雪也很快融化。分析各流域 1997 年和 1998 年旬积雪变化发现,夏季(7~9 月)各流域积雪都很少,而多雪期从西到东出现的时段不尽相同,有各自的特点。西段的党河流域(图 2a)多雪期分别出现在 11 月中旬至次年 1 月和 3~6 月,2 月为积雪较少期。中段的疏勒河、北大河、黑河流域(图 2b、2c)多雪期出现在 3~6 月和 10~11 月,与党河流域不同的是 12 月至次年 2 月为少雪期。西营河流域(图 2d)1~6 月和 10~11 月为多雪期。本文发现祁连山积雪要靠新雪不断补

充才能维持,即使在冬季,如果没有降雪补充,山区积雪也会在一、两旬内迅速减少,因此有效开发祁连山区云水资源,实行祁连山区人工增雨雪十分必要。

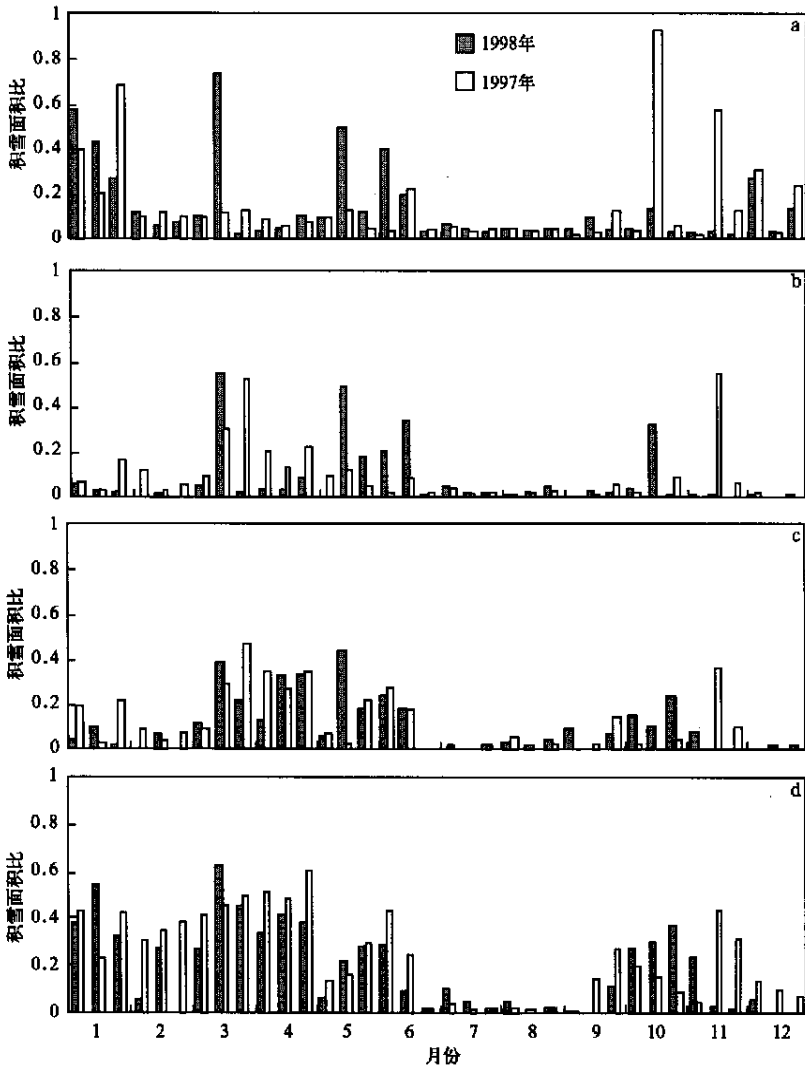


图2 祁连山1997、1998年旬积雪面积变化  
(a) 党河流域,(b) 北大河流域,(c) 黑河流域,(d) 西营河流域

表4给出了1998年各流域旬积雪相关系数,可以看到祁连山西段的党河流域积雪与相邻疏勒河流域相关较好,与北大河流域有一定的相关性但与其他流域相关不大,疏勒河与北大河有很好的相关,与黑河有一定的相关;黑河与北大河和西营河均有一定的相关性;表明祁连山东、中、西段积雪变化有各自的特点,存在一定差异性。

#### 4.2 1989年和1998年积雪变化特征

根据1989年和1998年积雪变化分析(图略),1989与1998年春季积雪相差不大,但1998年秋、冬季积雪明显少于1989年;同时由于1998年气温明显偏高,1998年积雪面积

变化幅度大于1989年。从1989年与1998年旬平均积雪比率及其变化统计表(表5)可以看到,1998年各流域旬平均积雪面积均较1989年减小,自西向东减小幅度逐渐增大,党河流域减小2.17%,西营河流域减小10.05%。

表4 1998年各流域旬积雪相关系数

	党河	疏勒河	北大河	黑河	西营河
党河	1				
疏勒河	0.7551	1			
北大河	0.6568	0.9201	1		
黑河	0.4169	0.616	0.656	1	
西营河	0.4851	0.3999	0.3413	0.6277	1

表5 1989年与1998年旬平均积雪比率及其变化统计表

	党河	疏勒河	北大河	黑河	西营河
1989	0.1532	0.1555	0.1286	0.1826	0.2761
1998	0.1315	0.119	0.0886	0.1018	0.1756
1998 - 1989	-0.0217	-0.0365	-0.0400	-0.0808	-0.1005

## 5 结 语

(1) 祁连山自然保护区主体部分灌木林和草的退化是造成1998年植被指数较1989年有较大幅度下降的主要原因,通过生态移民可以使植被得以恢复,大黄山植被指数增加就是很好的例子,建议各级政府加大祁连山生态环境的保护力度。

(2) 祁连山区积雪变化基本特点是年变化呈双峰形,主峰出现在春季(3~6月),次峰出现在初冬(11月)。

(3) 各流域积雪年变化特征是:各流域夏季均为少雪期,但多雪期出现的时段不同。党河流域出现在11月中旬至次年1月和3~6月,疏勒河、北大河、黑河流域出现在3~6月和10~11月;西营河流域出现在1~6月和10~11月。

(4) 祁连山积雪要靠新雪不断补充才能维持,即使在冬季如果没有降雪补充,山区积雪也会在一、两旬内迅速减少,因此有效开发祁连山区云水资源,实行祁连山区人工增雨雪十分必要。

(5) 1989年和1998年积雪变化特征是:1998年秋季积雪明显少于1989年,同时由于1998年气温明显偏高,积雪面积变化振幅加大,1998年各流域旬平均积雪面积均较1989年减小,自西向东减小幅度逐渐增大,党河流域减小2.17%,西营河流域减小10.05%。

## 参考文献

- 1 车克钧,傅辉恩,王金叶. 祁连山水源林生态系统结构与功能的研究. 林业科学, 1998, 34(5).
- 2 Rao P K 等编. 气象卫星——系统、资料及其在环境中的应用. 北京:气象出版社, 1994. 140.
- 3 林培. 农业遥感. 北京:农业出版社, 1990. 87.
- 4 斯韦恩 P H, 戴韦 S M. 遥感定量方法. 北京:科学出版社, 1984. 160~169.

- 5 魏丽,钟强. 中国西部云和积雪的多通道特征和识别. 高原气象,1991,10(4):371~380.
- 6 刘玉洁,王丽波,刘诚,等. 卫星遥感雪灾监测与分析. 中国气象局气象服务与气候司编. 牧区雪灾的分析研究. 北京:气象出版社,1998.
- 7 郭锐,倾继祖. 气象卫星资料对积雪的遥感监测与分析. 遥感技术与应用,2000,11(4):237~240.
- 8 吴艾笙,钟强. 黑河实验区 AVHRR 反射率资料的各向异性订正. 高原气象,1990,9(2):136~144.
- 9 韩涛. 用 TM 卫星资料对祁连山部分地区进行针叶林、灌木林分类研究. 遥感技术与应用,2002,17(6):317~321.
- 10 陈乾,陈添宇. 祁连山区季节性积雪资源的气候分析. 地理研究,1991,10(4):23~37.

## STUDY OF CHANGES OF VEGETATION AND SNOW AREA IN QILIAN MOUNTAINS USING METEOROLOGY SATELLITE DATA

Guo Ni Yang Lanfang Li Minxuan

(Lanzhou Institute of Arid Meteorology, China Meteorological Administration, Lanzhou, 730020)

### Abstract

The characters of vegetation spatial distribution and changes in Qilian Mountains are analyzed using NOAA meteorology satellite data in 1989 and 1998. The changing features of snow area in Qilian Mountains are studied using the same data. The results show that the vegetation of the main body of the mountain is degenerating and the major degenerating vegetation are shrubbery and grass. The basic annual changing characteristic for the snow area is double peak style, but there are differences in the changes of the snow area among each river valley. The ten-day averaged snow area in 1998 is lesser than that in 1989. The decrease extent of the snow area is gradually increased from west to east. The snow area decreased 2.17% in Danghe valley (in the west of the mountains) and 10.05% in Xiyinghe valley (in the east of the mountains). The changing features of snow area in 1998 was similar to in 1989 in spring and the snow area in 1998 was obvious lesser than in 1989 in winter. Because the temperature in 1998 is much higher in 1989, the velocity of snow melting in 1998 is faster than in 1989.

**Kew words:** Qilian Mountains Vegetation Snow area Meteorology satellite