

doi:10.7522/j.issn.1000-0240.2013.0074

Jiang Youyan, Du Wentao, Han Tao, et al. Analysis of NDSI threshold in mapping snow cover based on HJ-1B data—A case study of snow cover in the Qilian Mountains[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2013, 35(3): 648—655. [蒋友严, 杜文涛, 韩涛, 等. 基于 HJ-1B 数据的积雪制图 NDSI 阈值分析——以祁连山积雪为例 [J]. 冰川冻土, 2013, 35(3):648—655.]

# 基于 HJ-1B 数据的积雪制图 NDSI 阈值分析 ——以祁连山积雪为例

蒋友严<sup>1,2,3,4</sup>, 杜文涛<sup>4,3\*</sup>, 韩涛<sup>2</sup>, 黄进<sup>5</sup>, 郝晓华<sup>4</sup>, 刘伟刚<sup>1</sup>

(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, 中国气象局干旱气候变化与减灾重点开放实验室, 甘肃 兰州 730020; 2. 西北区域气候中心, 甘肃 兰州 730020; 3. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 甘肃 兰州 730000; 4. 冰冻圈科学国家重点实验室/祁连山冰川与生态环境综合观测研究站, 甘肃 兰州 730000; 5. 甘肃省气象局减灾处, 甘肃 兰州 730020)

**摘 要:** 环境减灾卫星是我国于 2008 年发射的用于环境与灾害监测预报的小卫星星座, 相对于气象卫星传感器, 其空间分辨率有了较大提高. 以祁连山积雪为研究对象, 利用环境减灾卫星 HJ-1B 星开展积雪提取监测研究, 分别对不同区域、不同高程的积雪区进行积雪提取, 以同时期 Landsat ETM+ 影像中提取的积雪面积为标准, 对环境减灾卫星 NDSI 阈值的选取进行研究分析, 以确定适合于 HJ-1B 提取积雪的阈值; 同时利用不同季节的 HJ-1B 积雪数据进行验证, 用 Kappa 检验阈值的精度. 研究表明: HJ-1B 积雪制图的阈值为  $NDSI \geq 0.24$ ,  $b_2 > 0.13$ ,  $b_4 > 0.15$ ; 其中, 在海拔 3 000~4 000 m 区域 NDSI 阈值大于 0.25, 海拔 4 001~5 000m 区域 NDSI 阈值大于 0.45, 海拔 5 000 m 以上区域 NDSI 阈值大于 0.5; 利用 Kappa 检验阈值精度,  $K_{\text{hat}}$  系数均高于 90%, 说明该研究确立的 HJ-1B 数据提取积雪的 NDSI 阈值合理有效.

**关键词:** 环境减灾卫星; 积雪; 阈值;  $K_{\text{hat}}$  系数

**中图分类号:** P407.8 **文献标识码:** A

## 0 引言

积雪是冰冻圈三大要素之一, 也是我国干旱、半干旱区重要的淡水资源. 其中, 积雪面积是高山地区和季节积雪区水文和气象模型的重要输入因子<sup>[1]</sup>. 积雪的分布面积广, 大部分分布在人迹罕至的地区, 而且这些地区气象台站较少, 制约积雪的时空分布和变化研究. 卫星积雪遥感的发展, 为冰雪监测提供了新技术<sup>[2]</sup>. 卫星遥感数据以其覆盖范围广、时空连续性好、获取资料周期短等特点, 弥补了地面气象台站积雪资料的不足, 开辟了积雪变化研究的新途径.

早期的遥感积雪监测只用于流域内比较小的范

围, 真正实现大范围的积雪监测始于 20 世纪 60 年代初 TIROS-1 气象卫星提供的资料<sup>[3]</sup>. 随后 ES-SA-3 的 AVCS、SR、VHRR, NOAA 的 AVHRR、IMS, 以及目前的 MODIS、Landsat MSS、TM 和 ETM+ 等, 使积雪制图的研究越来越广泛, 分辨率越来越高, 同时精度也越来越高. 环境减灾卫星 (HJ) 是我国于 2008 年 9 月 6 日发射的用于环境与灾害监测预报的小卫星星座, 其 B 星 (HJ-1B) 是一颗光学星, 主要在可见光与红外谱段范围内, 采用多光谱和红外光谱探测手段, 形成对地物大范围观测的能力和地表温度探测能力, 为灾害和生态环境发展变化趋势预测提供信息, 为灾情和环境质量进行快速和科学的评估提供依据. 相对于气象卫星以

收稿日期: 2012-10-10; 修订日期: 2013-01-19

基金项目: 国家自然科学基金委基础人才培养基金冰川学冻土学特殊学科点 (J1210003/J0109); 国家自然科学基金项目 (47011046); 甘肃省自然科学基金项目 (3ZS051-A25-010); 科技部农业科技成果转化资金项目 (2011GB24160005) 资助

作者简介: 蒋友严 (1981-), 男, 山东临沂人, 2007 年在中国科学院寒区旱区环境与工程研究所获硕士学位, 现主要从事遥感监测和分析研究工作. E-mail: jiangyouyan1981@163.com

\* 通讯作者: 杜文涛, E-mail: duwentao@lzb.ac.cn

针对环境观测的其他卫星传感器, 其空间分辨率 (30 m×30 m) 有了较大提高, 更能满足流域尺度积雪监测的需求. 进行积雪识别方法的研究, 对充分发挥国有卫星的数据优势有重要意义<sup>[4]</sup>.

积雪制图有多种分类方法, 包括目视解译、多光谱图像分类、阈值法像元统计、反射率特征计算法、决策树、变化探测和图像比值技术等<sup>[5]</sup>. 目前广为使用的可综合成 3 种: 阈值像元统计、监督分类和基于反射率特性的积雪指数法<sup>[6]</sup>. 近百年来, 中外气候学家一直关注积雪的变化, 开展了大量积雪提取的研究, 利用较为成熟的积雪产品分析了积雪与气候特征变化的关系. 沙依然等<sup>[7]</sup>利用 FY1D 的 5 通道信息, 应用逐步逼近法提取积雪信息; 史培军等<sup>[8]</sup>采用可见光波段最小亮度法提取积雪; 张杰等<sup>[9]</sup>利用 NOAA-AVHRR 和 MODIS 卫星资料、DEM 数据及气象台站相关资料, 基于 NDSI 基础上分析了祁连山区积雪面积和雪线高度的变化; 姜珊等<sup>[10]</sup>、张国梁等<sup>[11]</sup>、张华伟等<sup>[12]</sup>、刘宇硕等<sup>[13]</sup>利用 Landsat-TM/ETM+ 遥感影像资料对冰川变化进行了分析研究; 李小兰等<sup>[14]</sup>、巴桑等<sup>[15]</sup>、何丽焯等<sup>[16]</sup>利用多元卫星资料和气象台站实测数据对积雪信息进行分析.

本研究利用环境减灾卫星 B 星 (HJ-1B) 对积雪进行提取分析, 以积雪提取方法比较成熟的同时期 Landsat ETM+ 影像中提取的积雪为检验标准, 配合高分辨率 DEM 数据, 对环境减灾卫星 B 星 NDSI 的阈值进行研究分析, 以确定其在积雪提取中的阈值范围和不同海拔高度下积雪提取的阈值范围. 同时, 利用不同季节的环境减灾卫星积雪数据进行验证, 用 Kappa 检验阈值的精度.

## 1 数据的获取和处理

### 1.1 数据的获取

本研究获取环境减灾卫星 B 星 (HJ-1B) 资料 8 景, 数据来源于中国资源卫星应用中心; Landsat ETM+ 资料 4 景, 30 m 分辨率 DEM 数据 4 幅, 数据来源于国际科学数据服务平台, 遥感影像的详细信息见表 1.

### 1.2 数据的处理

#### 1.2.1 投影转换和几何校正

由于数据的来源不同, 其地理投影也不一致, 本研究统一把各影像的投影方式转换为 WGS84 椭球体, 经纬度投影. 所采用的环境减灾卫星 B 星 (HJ-1B) 与 Landsat ETM+ 波段特征见表 2. 从

表 1 HJ 卫星数据信息和 Landsat ETM+ 数据信息

Table 1 The information of HJ and Landsat ETM+ data

| 传感器        | 成像时间/(年-月-日-时)  |
|------------|---|
| ETM+       | 2009-02-17-11:39; 2010-06-03-11:48;<br>2010-10-07-12:00; 2011-04-12-11:43 |
| HJ-1B-CCD2 | 2009-02-17-11:52; 2010-06-03-12:00;<br>2010-10-07-12:24; 2011-04-12-11:55 |
| HJ-1B-IRS  | 2009-02-17-11:52; 2010-06-03-12:00;<br>2010-10-07-12:25; 2011-04-12-11:56 |

表 2 HJ 卫星和 Landsat ETM+ 波段特征信息

Table 2 The band characteristics of HJ and Landsat ETM+

| 波段号   | HJ-1B               |         | 波段号 | Landsat ETM+        |         |
|-------|---------------------|---------|-----|---------------------|---------|
|       | 光谱范围/ $\mu\text{m}$ | 空间分辨率/m |     | 光谱范围/ $\mu\text{m}$ | 空间分辨率/m |
| CCD-2 | 0.52~0.60           | 30      | 2   | 0.52~0.60           | 30      |
| CCD-4 | 0.76~0.90           | 30      | 4   | 0.76~0.90           | 30      |
| IRS-2 | 1.55~1.75           | 150     | 5   | 1.55~1.75           | 30      |

表中可以看出, 两个卫星的 3 个波段光谱范围完全一致, 由于所采用 Landsat ETM+ 具有很高的地理几何精度, 高分辨率 DEM 数据可以用来进行地形校正, 因此本文以 Landsat ETM+ 影像作为基础影像校正 HJ 卫星影像的几何失真. 由于 HJ-1B 卫星 CCD 相机和 IRS 相机的空间分辨率不一致, 所以为进行积雪识别方法研究, 将 CCD 数据重采样, 将分辨率统一到 150 m.

#### 1.2.2 辐射定标

考虑到所采用的 HJ-1B 数据产品和 Landsat ETM+ 数据产品的特征信息, 本研究直接用已有公式计算辐亮度和反射率. Landsat ETM+ 数据辐亮度计算公式为:

$$L_{\lambda} = [(L_{\lambda \max} - L_{\lambda \min}) / (QCAL_{\max} - QCAL_{\min})] \times (QCAL - QCAL_{\min}) + L_{\lambda \min} \quad (1)$$

式中:  $L_{\lambda}$  为辐亮度;  $QCAL$  为某一像元  $DN$  值;  $QCAL_{\max}$  为像元可取的最大值;  $QCAL_{\min}$  为像元可取的最小值,  $L_{\lambda \max}$  和  $L_{\lambda \min}$  为  $DN$  在影像上表示  $QCAL_{\max}$  和  $QCAL_{\min}$  两值时的辐亮度值, 各个参数值可以从 ETM+ 数据头文件中找到. HJ 卫星数据 CCD 相机辐亮度公式:

$$L = DN/a + L_0 \quad (2)$$

式中:  $L$  为辐亮度;  $a$  为绝对定标系数增益;  $L_0$  为偏移量. 转换后辐亮度  $L$  单位为  $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$ .

$\mu\text{m}^{-1}$ . HJ 卫星数据红外多光谱相机 (IRS) 辐亮度公式:

$$L = DN/a \quad (3)$$

式中:  $L$  为辐亮度;  $a$  为绝对定标系数增益. 各个参数值可以从中国资源卫星应用中心网站上得到. 计算出各影像辐亮度, 然后计算反射率:

$$\rho_p = (\pi \times L_\lambda \times d^2) / (ESUN_\lambda \times \cos\theta_s) \quad (4)$$

式中:  $\rho_p$  为大气顶层表现反射率 (无量纲);  $\pi$  为球面度 sr 常量;  $L_\lambda$  为大气顶层进入传感器的光谱辐亮度;  $ESUN_\lambda$  为大气层顶平均太阳光谱辐照度;  $d$  为日地距离 (天文单位);  $\cos\theta_s$  为太阳天顶角的余弦.

## 2 研究方法

通过对遥感图像中的每一个像元点进行一系列的标准测试和判识规则来识别积雪, 形成积雪覆盖图. 归一化差分积雪指数 (NDSI) 能把雪从大多数模糊的云中分离出来, 但常常不能确定或判别薄卷云和雪<sup>[17]</sup>, 所以利用 HJ-1B 资料提取积雪时加入了第 2 波段和第 4 波段的判别条件. 本研究利用 HJ-1B 资料监测积雪的方法是建立在 Landsat ETM+ 资料进行积雪监测的基础上, 算法设计使用了目前遥感资料的多波段信息, 具体流程见图 1.

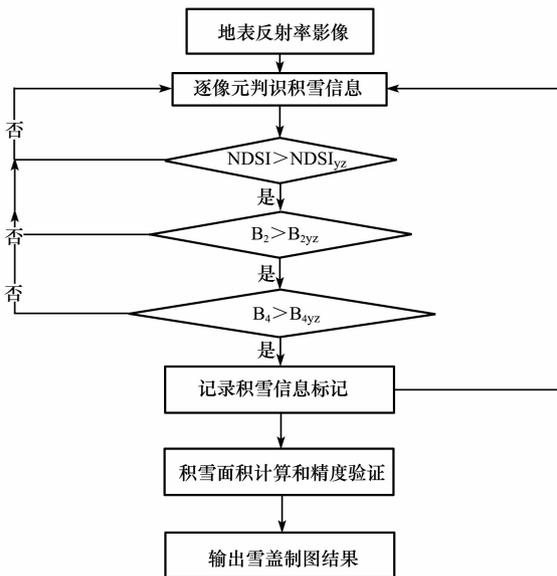


图 1 HJ-1B 卫星积雪制图流程图

Fig. 1 The snow cover mapping flowchart of HJ-1B

### 2.1 Landsat ETM+ 积雪的提取

SNOMAP 方法是目前积雪提取比较成熟的算法, 它最初是由 Hall<sup>[18]</sup> 提出的. 经过国内外学者

的研究, 结果表明: 该方法提取积雪的精度比较高, 基本接近实际情况<sup>[19]</sup>. NDSI 是 SNOMAP 算法中的核心内容. 由于雪在可见光和近红外波段的反射率比较高, 而在短波红外波段的反射率很低, 大多数积雪在可见光波段和短波红外波段的反射率很高<sup>[20]</sup>. 基于这种特性, SNOMAP 算法中应用的 NDSI 是目前分辨雪和许多其他地表的有效方法, 太阳照射下的积雪和在阴影下的雪都能很好的检测出来. 其计算公式为:

$$\text{NDSI} = (b_2 - b_5) / (b_2 + b_5) \quad (5)$$

式中:  $b_2$ 、 $b_5$  分别为 Landsat ETM+ 的第 2 波段和第 5 波段的反射率. 结合 SNOMAP 方法以及国内外这方面的工作<sup>[21-23]</sup>, Landsat ETM+ 判定积雪的条件是:  $\text{NDSI} \geq 0.40$  (去除积云的干扰),  $b_2 > 0.10$  (去除云杉的干扰),  $b_4 > 0.11$  (去除水体的干扰), 这里,  $b_2$ 、 $b_4$  分别为 Landsat ETM+ 的第 2 波段和第 4 波段

### 2.2 HJ-1B 积雪的提取

HJ-1B 卫星影像积雪的提取方法也采用归一化差分积雪指数 NDSI 方法, 其计算公式为:

$$\text{NDSI} = (R_2 - R_6) / (R_2 + R_6) \quad (6)$$

式中:  $R_2$ 、 $R_6$  分别为 HJ-1B 卫星 CCD 相机第 2 波段和 IRS 相机第 2 波段的反射率. 目前环境减灾卫星监测积雪的 NDSI 还没有一个固定的阈值范围. 本研究分别采用不同区域、不同高程的 HJ 卫星积雪区影像进行积雪提取, 以同时期 Landsat ETM+ 影像中提取积雪为标准, 对 NDSI 阈值的选取进行研究分析.

### 2.3 精度验证

误差矩阵是一种广泛使用的评价遥感数据分类结果与地面实况信息之间的误差和精度的有效方法,  $K_{\text{hat}}$  是 Kappa 分析生成的一个统计量, 它是 Kappa 的一个估计值, 也是遥感分类图和参考数据之间的一致性或精度的量度, 是目前常用的精度评价标准之一. 当  $K_{\text{hat}} > 80\%$ ,  $40\% \sim 80\%$  和  $< 40\%$  时, 分别代表分类的一致性很好、中等和较差<sup>[24]</sup>.  $K_{\text{hat}}$  的计算公式为:

$$K_{\text{hat}} = \frac{N \sum_{i=1}^k x_{ii} - \sum_{j=1}^k (x_{i+} \times x_{+j})}{N^2 - \sum_{j=1}^k (x_{i+} \times x_{+j})} \quad (7)$$

式中:  $N$  为样本总数;  $i$ 、 $j$ 、 $k$  分别为误差矩阵的行数、列数和分类数;  $x$  为误差矩阵中格网单元的数值.

### 3 应用实例分析

#### 3.1 研究区域概况

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, 地理位置在  $36^{\circ}30' \sim 39^{\circ}30' \text{ N}$ ,  $93^{\circ}30' \sim 103^{\circ}00' \text{ E}$  之间的范围内, 东西长约 850 km, 南北宽约 250~300 km, 西接阿尔金山, 东至乌鞘岭, 北接河西走廊, 南临柴达木盆地, 由一系列近似西北-东南走向的平行山脉和山间盆地组成, 是青藏高原与内蒙古高原和黄土高原的分界线。

祁连山气候属高山高原气候类型, 区内气候寒冷, 冬季较长, 春秋季节较短, 无气候上的夏季。年平均气温低于  $4^{\circ}\text{C}$ , 年降水量 200~800 mm 之间, 海拔 2 500~5 800 m, 许多海拔 4 000 m 以上的高山终年积雪, 分布着现代冰川, 成为天然的固体水库<sup>[25]</sup>。祁连山区地处西风带、高原季风和东亚季风等三大气候系统影响的交汇处, 因此, 该区域的气候变化要比其他地区复杂得多。以黑山、镜铁山和大黄山为界将走廊分割为石羊河、黑河和疏勒河 3 大内流水系的 57 条内陆河, 均发源于祁连山, 由祁

连山冰雪融化水和雨水补给。

#### 3.2 阈值的确定

本研究选择 2011 年 4 月 12 日祁连山积雪区域为研究区域, 进行阈值实验。首先在积雪区选择一个研究区域(图 2), 然后分别做出 Landsat ETM+ 影像和 HJ-1B 卫星影像的 NDSI 影像图(图 3)。然后, 在研究区域内随机选择 10 个小区(避开有水体区)进行分析, 在积雪提取时, 设定 Landsat ETM+ 影像利用 SNOMAP 方法提取的积雪面积精度为 100%, 通过不断改变 HJ-1B 卫星影像的 NDSI 阈值所得到的积雪面积与 Landsat ETM+ 的积雪面积进行对比, 选择最接近真实值的 HJ-1B 卫星积雪面积对应的 NDSI 阈值, 然后取平均值(表 3)。从表 3 中可以得到, HJ 影像提取的积雪面积精度都在 98% 以上, NDSI 阈值的选定比较合理, 其平均阈值为 0.24。利用同样的方法选定 10 个有水体的区域和 10 个有云的区域(云区选择 HJ-1B 的 2010 年 10 月 7 日数据), 利用 Landsat ETM+ 的第 2、4 波段和 HJ 卫星的第 2、4 波段进行比较分析, 得到 HJ-1B 卫星的第 2、4 波段平均阈值分别为 0.13、0.15。综合上述阈值, 对阈值的确定

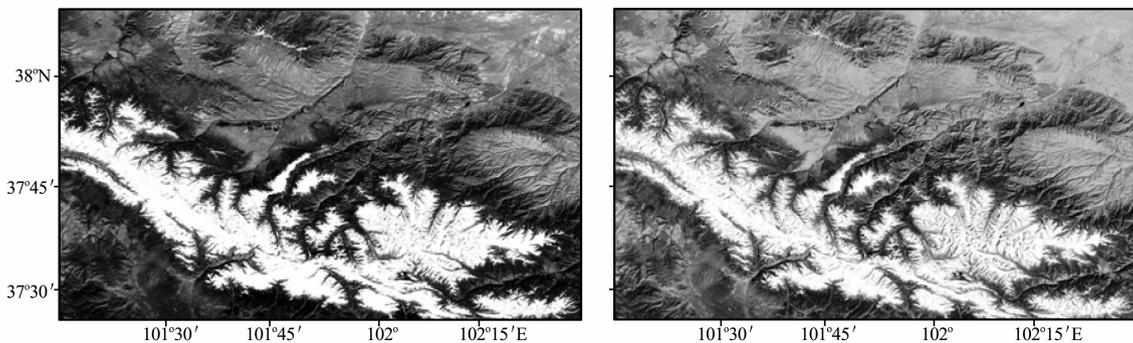


图 2 2011 年 4 月 12 日研究区遥感影像合成图

Fig. 2 Remote sensing image synthesis maps of the study area on April 12, 2011

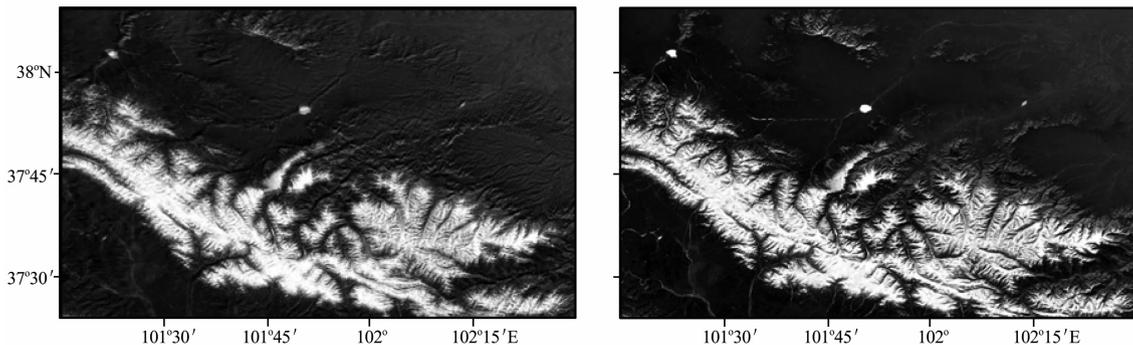


图 3 2011 年 4 月 12 日研究区 NDSI 影像图

Fig. 3 NDSI images of the study area on April 12, 2011 (Left: HJ-1B, Right: Landsat ETM+)

表 3 祁连山随机研究区积雪提取信息

Table 3 The snow information extracted from the randomized study areas in the Qilian Mountains

| 研究区(随机选取) | HJ 的 NDSI 阈值 | Landsat ETM+雪面积/km <sup>2</sup> | HJ-1B 雪面积/km <sup>2</sup> | HJ-1B 提取精度/% |
|-----------|--------------|---------------------------------|---------------------------|--------------|
| 1         | 0.28         | 38.386                          | 38.279                    | 99.7         |
| 2         | 0.23         | 35.455                          | 35.627                    | 99.5         |
| 3         | 0.25         | 22.417                          | 22.621                    | 99.1         |
| 4         | 0.22         | 20.414                          | 20.279                    | 99.3         |
| 5         | 0.25         | 23.852                          | 23.685                    | 99.3         |
| 6         | 0.27         | 39.351                          | 39.284                    | 99.8         |
| 7         | 0.23         | 15.740                          | 15.537                    | 98.7         |
| 8         | 0.20         | 32.896                          | 32.517                    | 98.8         |
| 9         | 0.26         | 31.986                          | 31.892                    | 99.7         |
| 10        | 0.21         | 28.763                          | 28.684                    | 99.7         |

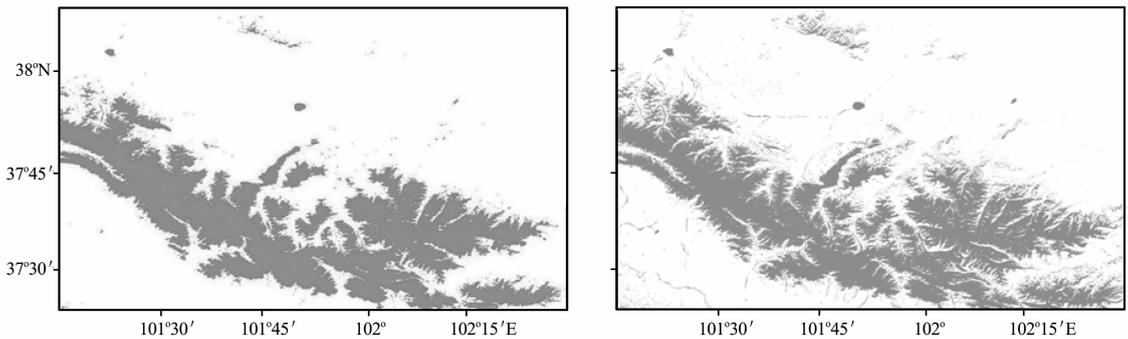


图 4 2011 年 4 月 12 日研究区积雪影像图

Fig. 4 The snow image map of the study area on April 12, 2011

定区域做积雪提取(图 4)。从图 4 可以看出, Landsat ETM+与 HJ-1B 所提取的区域基本一致。最后利用 30 m 分辨率 DEM 数据, 对海拔 3 000~4 000 m、海拔 4 001~5 000 m 和海拔 5 000 m 以上的 3 种高程区域分别随机选择 5 个区, 利用上述方法进行分析对比, 得到各海拔带平均阈值: 海拔 3 000~4 000 m 区域阈值为 0.25, 海拔 4 001~5 000 m 区域阈值为 0.45, 海拔 5 000 m 以上区域阈值为 0.5。考虑到海拔 3 000 m 以下仍然有积雪的存在, 但是离散性高, 本文未做分析。

### 3.3 阈值精度验证

积雪一致性或积雪识别的精度, 反映了 HJ-1B 积雪制图算法积雪识别的精度。由于本研究采用阈值确定的时间在春季, 为了更进一步分析其准确性, 我们采用其他 3 个季节(2009 年 2 月 17 日作为冬季验证时间, 2010 年 6 月 3 日作为夏季验证时间, 2010 年 10 月 7 日作为秋季验证时间)祁连山积雪区域为阈值检验区, 通过对 HJ-1B 的影像随机采样的方式选择验证区域, 对积雪信息识别的结果进

行精度验证, 然后结合 Landsat ETM+影像数据

表 4 随机检验区域精度验证

Table 4 The precision validation of the random inspection areas

| 验证区<br>(随机选取) | HJ-1B $K_{\text{hat}}$<br>/% | HJ-1B 总精度<br>/% |      |
|---------------|------------------------------|-----------------|------|
| 冬季            | 2009-02-17(1)                | 92.9            | 94.2 |
|               | 2009-02-17(2)                | 95.0            | 97.1 |
| 夏季            | 2010-06-03(1)                | 93.8            | 96.8 |
|               | 2010-06-03(2)                | 91.4            | 93.1 |
| 秋季            | 2010-10-07(1)                | 95.3            | 97.2 |
|               | 2010-10-07(2)                | 92.5            | 94.4 |
| 不同海拔带         | 3 000~4 000 m(1)             | 92.0            | 95.2 |
|               | 3 000~4000 m(2)              | 90.4            | 93.3 |
|               | 4 001~5000 m(1)              | 96.4            | 98.5 |
|               | 4 001~5000 m(2)              | 96.1            | 98.3 |
|               | >5 000 m(1)                  | 98.9            | 99.6 |
|               | >5 000 m(2)                  | 98.6            | 99.5 |

提取结果, 对采样点进行精度评价, 得出  $K_{\text{hat}}$  一致性系数(检验结果见表 4)。从表 4 中可以看出,  $K_{\text{hat}}$  系数都在 90% 以上, 说明本研究所确定的 HJ-1B 提取积雪的阈值比较合理。

#### 4 结论与讨论

本研究以积雪提取研究比较成熟的 30 m 空间分辨率的 Landsat ETM+ 影像数据为基准, 分析空间分辨率为 150 m 的 HJ-1B 卫星 NDSI 阈值的范围, 以提高 HJ-1B 积雪制图的精度, 是高分辨率影像对低分辨率影像的验证, 理论上是可行的。利用多期环境减灾卫星和 Landsat ETM+ 影像资料, 配合高分辨率 DEM 数据, 分析环境减灾卫星 B 星 NDSI 的合理阈值范围, 对祁连山积雪信息进行提取, 得出如下结论:

(1) 分别对研究区 HJ-1B 影像做随机区域选取, 在积雪提取时, 通过不断改变 NDSI 的阈值所得到的积雪面积与 Landsat ETM+ 的积雪面积进行对比, 选择最接近真实值的 HJ-1B 积雪面积对应的 NDSI 阈值, 然后取平均值, 得到 HJ-1B 星提取积雪面积的 NDSI 平均阈值为 0.24。其中, 不同海拔带积雪提取的 NDSI 平均阈值: 3 000~4 000 m 区域阈值为 0.25, 4 001~5 000 m 区域阈值为 0.45, 5 000 m 以上区域阈值为 0.5; HJ 卫星的第 2 波段反射率大于 0.13; HJ-1B 的第 4 波段反射率大于 0.15。根据不同季节的环境卫星积雪数据, 进行精度验证, 利用 Kappa 检验阈值的精度, 得到的  $K_{\text{hat}}$  系数都在 90% 以上, 说明本文所确立的 HJ-1B 提取积雪的阈值合理有效。

(2) 随着地气观测系统的发展以及国产卫星数据越来越多地应用于积雪监测中, 对国产卫星积雪制图进行深入研究, 发展一套精度较高的积雪制图算法, 有着重要的意义。利用环境减灾卫星数据开展中小尺度积雪分析和动态监测有着广阔的应用前景, 借鉴当前已经成熟的积雪分类算法, 探讨基于环境减灾卫星且适合我国雪情的积雪遥感监测方法, 对于推动我国自主研发卫星在积雪遥感领域的应用具有重要意义<sup>[26]</sup>。

#### 参考文献 (References):

[1] Liang Ji, Zhang Xinhuan, Wang Jian. Exploration for the algorithm of snow cover mapping based on the NDVI the background field [J]. Journal of Remote Sensing, 2007, **11**(1): 85-93. [梁继, 张新焕, 王建. 基于 NDVI 背景场的积雪制图算法探索[J]. 遥感学报, 2007, **11**(1): 85-93.]

[2] Wang Xing. The Characteristics Research of Satellite-Based Remote Sensing of Snow Qilian Area [D]. Master's Degree Thesis, Beijing: Chinese Academy of Meteorological Sciences, 2008: 1-3. [王兴. 基于卫星遥感的祁连山区积雪特征研究[D]. 北京: 中国气象科学研究院硕士学位论文, 2008: 1-3.]

[3] Cao YunGang, Liu Chuang. The development of snow cover mapping from AVHRR to MODIS [J]. Geography and Geographic Information Science, 2005, **21**(5): 15-19. [曹云刚, 刘闯. 从 AVHRR 到 MODIS 的积雪制图研究进展[J]. 地理与地理信息科学, 2005, **21**(5): 15-19.]

[4] Song Zhen, Chen Xiaoling, Liu Hai, et al. Snow identification method based on HJ-1A/1B satellite remote sensing data to study [J]. Yangtze Water Resources and Environment, 2011, **20**(5): 553-558. [宋珍, 陈晓玲, 刘海, 等. 基于 HJ-1A/1B 卫星遥感数据的积雪识别方法研究[J]. 长江流域资源与环境, 2011, **20**(5): 553-558.]

[5] Wang Jian. Comparison and analysis on methods of snow cover mapping by using satellite remote sensing data [J]. Remote Sensing Technology and Application, 1999, **14**(4): 29-36. [王建. 卫星遥感积雪制图方法对比与分析[J]. 遥感技术与应用, 1999, **14**(4): 29-36.]

[6] Li Zhen, Shi Jiancheng. Snow mapping algorithm development and validation using hyperspectral data [J]. Surveying and Mapping, 2001, **30**(1): 67-73. [李震, 施建成. 高光谱遥感积雪制图算法及验证[J]. 测绘学报, 2001, **30**(1): 67-73.]

[7] Sha Yiran, Wang Maoxin. Monitoring of snow cover with remote sensing data from meteorological satellite [J]. Meteorological, 2004, **30**(4): 33-36. [沙依然, 王茂新. 气象卫星遥感资料在积雪监测中的应用[J]. 气象, 2004, **30**(4): 33-36.]

[8] Shi Peijun, Chen Jin. The experiment of snowstorm monitoring in grass based on RS and GIS [J]. Geographical Science, 1996, **51**(4): 296-314. [史培军, 陈晋. RS 和 GIS 支持下的草地雪灾监测实验研究[J]. 地理学报, 1996, **51**(4): 296-314.]

[9] Zhang Jie, Han Tao, Wang Jian. Snow area and snow line altitude change in Qilian Mountains from 1997 to 2004 [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2005, **27**(5): 649-654. [张杰, 韩涛, 王建. 祁连山区 1997-2004 年积雪面积和雪线高度变化分析[J]. 冰川冻土, 2005, **27**(5): 649-654.]

[10] Jiang Shan Yang Taibao, Tian Hongzhen. Glacier shrinkage and its dependence on climate in the Malan Mountain in past 40 years based on RS and GIS [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2012, **34**(3): 522-529. [姜珊, 杨太保, 田洪阵. 1973-2010 年基于 RS 和 GIS 的马兰冰川退缩与气候变化关系研究[J]. 冰川冻土, 2012, **34**(3): 522-529.]

[11] Zhang Guoliang, Pan Baotian, Wang Jie, et al. Research on the glacier change in the Gongga Mountain based on remote-sensing and GPS from 1966 to 2008 [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2010, **32**(3): 454-460. [张国梁, 潘保田, 王杰, 等. 基于遥感和 GPS 的贡嘎山地区 1966-2008 年现代冰川变化研究[J]. 冰川冻土, 2010, **32**(3): 454-460.]

[12] Zhang Huawei, Lu Anxin, Wang Lihong, et al. Glacier change in the Shulenan Mountain monitored by remote sensing

- [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2011, **33**(1):8—13. [张华伟, 鲁安新, 王丽红, 等. 祁连山疏勒南山地区冰川变化的遥感研究[J]. *冰川冻土*, 2011, **33**(1):8—13.]
- [13] Liu Yushuo, Qin Xiang, Zhang Tong, *et al.* Variation of the Ningchan River Glacier No. 3 in the Lenglongling range, East Qilian Mountains[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2012, **34**(5):1031—1036. [刘宇硕, 秦翔, 张通, 等. 祁连山东段冷龙岭地区宁缠河 3 号冰川变化研究[J]. *冰川冻土*, 2012, **34**(5):1031—1036.]
- [14] Li Xiaolan, Zhang Feimin, Wang Chenghai. Comparison and analysis of snow depth over china, observed and derived from remote sensing[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2012, **34**(4):755—764. [李小兰, 张飞民, 王澄海. 中国地区地面观测积雪深度和遥感雪深资料的对比分析[J]. *冰川冻土*, 2012, **34**(4):755—764.]
- [15] Ba Sang, Yang Xiumei, La Zhen, *et al.* Variation of snow covers over Tibet Autonomous Region based on multi-source data [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2012, **34**(5):1023—1030. [巴桑, 杨秀海, 拉珍, 等. 基于多源数据的西藏地区积雪变化趋势分析[J]. *冰川冻土*, 2012, **34**(5):1023—1030.]
- [16] He Liye, Li Dongliang. Classification of snow cover days and comparing with satellite remote sensing data in west China [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2011, **33**(2):237—245. [何丽烨, 李栋梁. 中国西部积雪日数类型划分及与卫星遥感结果的比较[J]. *冰川冻土*, 2011, **33**(2):237—245.]
- [17] Liu Yujie, Yang Zhongdong. *The Principle and Algorithm for Dealing with Remote Sensing Data of MODIS* [M]. Beijing: Science Press, 2001:2—12. [刘玉洁, 杨忠东. *MODIS 遥感信息处理原理与算法*[M]. 北京: 科学出版社, 2001:2—12.]
- [18] Hall D K, Riggs G A, Salomonson V V. Development of methods for mapping global snow cover using moderate resolution imaging spectroradiometer data[J]. *Remote Sensing of Environment*, 1995, **54**:127—140.
- [19] Hao Xiaohua, Wang Jian, Li Hongyi. Evaluation of the NDSI Threshold value in mapping snow cover of MODIS-A case study of snow in the middle Qilian Mountains [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2008, **30**(1):132—138. [郝晓华, 王建, 李弘毅. MODIS 积雪制图中 NDSI 阈值的检验—以祁连山中部山区为例[J]. *冰川冻土*, 2008, **30**(1):132—138.]
- [20] Mo Weihua, Wang Junhua, Zhong Shiquan, *et al.* Techniques for monitoring and evaluating the snow and ice disaster base on MODIS model[J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2009, **45**(10):88—93. [莫伟华, 王君华, 钟仕全, 等. 基于 MODIS 的冰雪遥感灾害监测与评估技术[J]. *林业科学*, 2009, **45**(10):88—93.]
- [21] Dorothy K. Hall, Associate MODIS Team Member, Hydrological Sciences Branch, *et al.* Algorithm theoretical basis document (ATBD) for the MODIS snow and sea ice-mapping algorithm[S]. NASA, September 2001.
- [22] Yan Hao. A comparison of MODIS and passive microwave snow mappings [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2005, **27**(4):515—519. [延昊. 利用 MODIS 和 AMSR-E 进行积雪制图的比较分析[J]. *冰川冻土*, 2005, **27**(4):515—519.]
- [23] Huang Xiaodong, Hao Xiaohua, Wang Wei, *et al.* Algorithms for cloud removal in modis daily snow products[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2012, **34**(5):1118—1126. [黄晓东, 郝晓华, 王玮, 等. MODIS 逐日积雪产品去云算法研究[J]. *冰川冻土*, 2012, **34**(5):1118—1126.]
- [24] Xiao X, Zhang Q, Boles S, *et al.* Mapping snow cover in the pan-arctic zone using multi-year(1998—2001) images from optical vegetation sensor [J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2004, **25**(24):5731—5744.
- [25] Guo Ni, Qing Jizu. Monitoring and analyzing snow cover with metrological satellite remote sensing data[J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2000, **15**(4):237—240. [郭妮, 倾继祖. 气象卫星资料对积雪的遥感监测与分析[J]. *遥感技术与应用*, 2000, **15**(4):237—240.]
- [26] Huang Xiaodong, Hao Xiaohua, Yang Yongshun, *et al.* Advances in snow-cover monitoring using optical remote sensing [J]. *Pratacultural Science*, 2012, **29**(1):35—43. [黄晓东, 郝晓华, 杨永顺, 等. 光学积雪遥感研究进展[J]. *草业科学*, 2012, **29**(1):35—43.]

## Analysis on NDSI Threshold in Mapping Snow Cover Based on HJ-1B Data —A Case Study of Snow in the Qilian Mountains

JIANG You-yan<sup>1,2,3,4</sup>, DU Wen-tao<sup>3,4</sup>, HAN Tao<sup>2</sup>, HUANG Jin<sup>5</sup>,  
HAO Xiao-hua<sup>3</sup>, LIU Wei-gang<sup>1</sup>

(1. *Institute of Arid Meteorology of China Meteorological Administration, Key Laboratory of Arid Climatic Changing and Reducing Disaster of Gansu Province, Key Open Laboratory of Arid Climatic Changing and Reducing Disaster of China Meteorological Administration, Lanzhou Gansu 730020, China*; 2. *Northwest Regional Climate Center, Lanzhou Gansu 730020, China*; 3. *Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Science, Lanzhou Gansu 730000, China*; 4. *Qilian Shan Station of Glaciology and Ecologic Environment/ State Key Laboratory of Cryospheric Science, Lanzhou Gansu 730000, China*; 5. *Meteorology Disaster Reduction Department of Gansu Province, Lanzhou Gansu 730020, China*)

**Abstract:** The Chinese HJ satellites with smaller constellation, which were launched on September 6, 2008, have been improved on spatial resolution. and they are focus on environmental and disaster monitoring and meteorological forecast. In this paper, snow cover of Qilian mountains is exacted at

different regions and altitude by means of HJ-1B, meanwhile the optimal threshold of NDSI using HJ satellite is determined through the snow area derived from Landsat ETM + images at same period. At last, the threshold precision are estimated with Kappa test.

**Key words:** HJ satellite; snow cover; threshold;  $K_{\text{hat}}$  coefficient