

王娟,董金芳,何慧娟. 基于 GIS 和 RS 的秦岭主峰太白山积雪变化研究[J]. 陕西气象,2021(6):31-35.

文章编号:1006-4354(2021)06-0031-05

基于 GIS 和 RS 的秦岭主峰太白山积雪变化研究

王娟¹,董金芳^{1,2},何慧娟¹

(1. 陕西省农业遥感与经济作物气象服务中心,西安 710016;

2. 陕西省气象局秦岭和黄土高原生态环境气象重点实验室,西安 710016)

摘要:基于 SNOMAP 算法及 ARCGIS 软件,利用 2000—2017 年 Landsat TM 数据提取秦岭主峰太白山积雪面积及冬半年雪线,同时结合 10 个气象站点的气象观测数据,分析太白山积雪变化情况,太白山积雪变化与平均气温、降水量的关系。结果表明:通过与气象观测数据及监督分类结果的比较,应用 SNOMAP 算法提取太白山积雪面积结果可靠;2000—2017 年冬半年,太白山积雪面积在波动中呈减少趋势。较 2000 年积雪面积减少的年份有 13 a,平均减幅为 14.10%,减幅最大的是 2014 年,为 28.68%;太白山冬季雪线高度均在 3 000 m 以上,且雪线高度在波动中呈上升趋势。积雪面积与冬半年平均气温及降水量之间的相关系数均未通过显著性检验,但与平均气温相关系数更高,积雪面积与冬半年平均气温相关性较降水量大。

关键词:太白山;积雪;气候

中图分类号:P426.635

文献标识码:A

积雪对地表辐射、能量循环和水循环有着非常重要的影响,是影响区域和全球气候的一个重要因素^[1]。秦岭是中国南北气候分界线,亦是黄河和长江流域分水岭^[2],秦岭主峰太白山积雪变化对我国气候变化起着至关重要的作用,然而国内关于太白山积雪情况的研究甚少。在气象情报不足、气候条件恶劣的山区,应用观测数据监测积雪变化难度极大,传统监测高山积雪的方法是利用地面观测站数据并结合实地考察来进行,这样的方法因数据量少、信息不完整无法得到客观实际的统计数据。利用遥感技术可客观、较完整地监测太白山积雪变化情况。近年来,国内外应用遥感手段提取积雪的方法不断更新,目前一般使用的方法大致分为混合像元分解法^[3]及基于指数的提取方法^[4-7]。混合像元分解法包括了监督分类及非监督分类等方法^[8-10]。基于指数的方法是指通过给定阈值获得冰川或积雪监测结果。国内

外学者应用归一化差分积雪指数开展众多研究,利用归一化差分积雪指数(normalized difference snow index,NDSI)算法结合综合阈值判别法进行积雪信息反演^[11-14]。本文采用在 NDSI 指数的基础上改进的基于近红外波段和归一化差分积雪指数的积雪面积提取方法 SNOMAP 算法,提取太白山积雪面积,并且利用太白山区域 10 个气象站点的冬半年平均气温及降水量数据,分析积雪面积变化与气候因素之间的关系,以期较为全面分析太白山区域积雪面积变化及其成因,为相应领域提供理论支持与参考。

1 研究区概况和资料方法

1.1 研究区概况

太白山是秦岭山脉主峰^[15],位于陕西省宝鸡市,秦岭北麓,眉县、太白县、周至县三县境内。太白山是秦岭山脉最高山峰^[16],海拔 3 767.2 m。海拔 3 000 m 以上地带发育有第四纪末冰川。太

收稿日期:2020-07-23

作者简介:王娟(1981—),女,满族,陕西西安人,硕士,高级工程师,主要从事生态遥感监测工作。

通信作者:董金芳(1984—),女,汉族,河北滦县人,硕士,高级工程师,主要从事生态遥感监测工作。

基金项目:陕西省气象局秦岭和黄土高原生态环境气象重点实验室开放基金课题(2020G-13;2021G-31)

白山气温特点为随海拔高度升高而垂直递减,在特有的气候环境下,动植物带也呈明显的垂直分布。

1.2 研究数据与方法

1.2.1 研究数据

遥感数据来自美国国家航空航天局(NASA)提供的 Landsat TM、ETM 及 OLI_TIR 数据,行列号为 128~36,空间分辨率为 30 m,时间序列为 2000—2017 年,集中选取冬半年(头年 11 月 1 日—次年 4 月 30 日)之间的晴空数据。

气象观测数据来自于陕西省气象信息中心,选用 2000—2017 年太白山区域 10 个气象观测站点冬半年的平均气温、降水量、积雪日数等观测数据。

1.2.2 研究方法

(1)对遥感数据 Landsat TM、ETM 及 OLI_TIR 进行数据预处理,包括大气校正和几何校正。

(2)以 NDSI 指数为基础,引入近红外波段构建辅助判别因子的积雪面积提取方法(SNOMAP),其算法公式为

$$\text{积雪面积:}(b_4 > T_{\text{snow}}) \& \& (I_{\text{NDS}} > I_{\text{NDS}(\text{snow})}) \quad (1)$$

b_4 是 Landsat TM 数据近红外波段的反射率, T_{snow} 为近红外波段阈值; I_{NDS} 为归一化差分积雪指数, $I_{\text{NDS}(\text{snow})}$ 为归一化积雪指数阈值。

对于 Landsat TM、ETM 影像,用第 2、5 波段的反射率(b_2, b_5)计算 I_{NDS} ,公式为

$$I_{\text{NDS}} = (b_2 - b_5) / (b_2 + b_5) \quad (2)$$

对于 Landsat OLI_TIR 数据,用第 3、6 波段的反射率(b_3, b_6)计算 I_{NDS} ,公式为

$$I_{\text{NDS}} = (b_3 - b_6) / (b_3 + b_6) \quad (3)$$

通过参考相近地区研究成果 ($I_{\text{NDS}} \geq 0.38$)^[17],结合目视解译结果不断调整阈值,确定研究区 I_{NDS} 阈值为 0.33。同时使用气象站点积雪观测数据进行验证。雷向杰等对 1988—2010 年冬半年积雪观测数据及卫星遥感数据进行分析,结果显示卫星遥感监测结果与积雪日数观测数据趋势一致^[2]。

通过对研究区积雪、非积雪(森林、草地等)地物近红外反射率的提取分析,发现近红外波段积雪反射率远大于其他地物反射率,加入近红外波段进行积雪识别

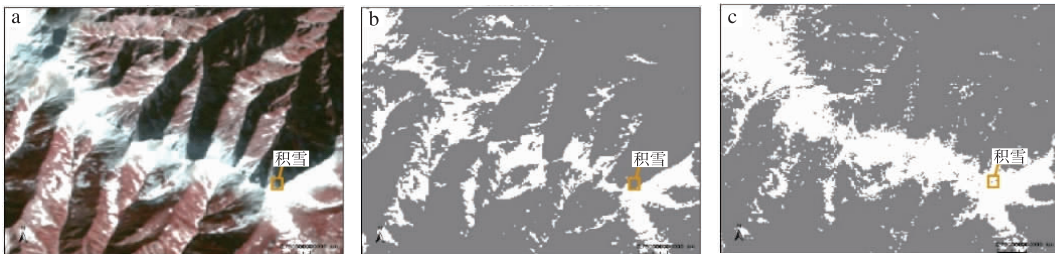
$$(b_4 > 0.11) \& \& (I_{\text{NDS}} \geq 0.33) \quad (4)$$

(3)雪线高度利用 ARCGIS 地理信息软件进行处理提取。

2 SNOMAP 算法的验证

2.1 不同方法提取积雪面积的比较

图 1a 是 2000 年积雪遥感图,从图 1a 中可以看到黄色方框区域为山体背阴积雪覆盖区域;图 1b 为仅进行监督分类后得到的积雪覆盖情况,可以看出原本背阴面的积雪(黄色方框区域)没有提取,被误分为其他地类;图 1c 为 SNOMAP 算法通过目视解译后选取恰当阈值,最终加入近红外波段判别所得的积雪覆盖情况,可以看到,原本背阴面的积雪(黄色方框区域)被识别。通过对比得到 SNOMAP 算法可以很好地识别积雪,减少了误分、错分等现象。



白色部分为积雪覆盖。

图 1 2000 年太白山积雪分类对比图(a 遥感图, b 监督分类法提取结果, c SNOMAP 算法提取结果)

2.2 遥感监测结果与气象观测数据的关系

分析 2000—2017 年太白山区降雪日数气象资料,将太白山区冬季观测的积雪日数进行排序,积雪日数排名前 9 位的年份中,2008 年最多

(18 d),其次是 2000 年(14 d),最少是 2014 年(9 d)。应用 SNOMAP 算法反演积雪日数排名前 9 位年份的积雪面积,并进行均值处理,分析该时间段冬季太白山区积雪面积(图 2)。2008 年积

雪覆盖面积最大,为 79.28 km^2 ,降雪日数最少的 2014 年积雪面积均值为 24.28 km^2 ,两年的积雪面积相差 55.00 km^2 。太白山区积雪覆盖面积与积雪日数呈显著正相关关系($\alpha=0.001$)。通过与气象观测数据对比,应用 SNOMAP 算法反演所得的积雪变化情况与气象观测数据变化趋势一致,采用 SNOMAP 算法反演积雪面积结果可信。

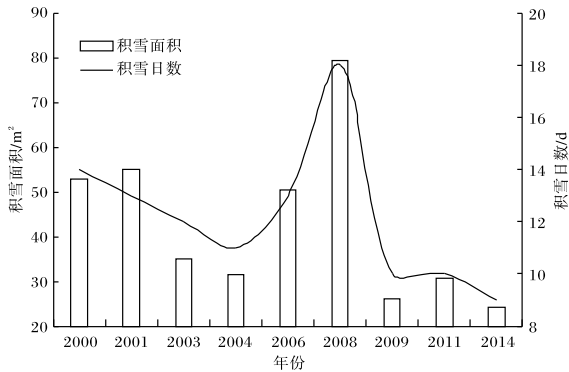


图 2 太白山积雪面积与积雪日数关系

3 太白山积雪变化分析

3.1 积雪变化

应用 SNOMAP 算法反演 2000—2017 年冬半年的遥感数据,提取积雪覆盖面积。2000 年太

白山主峰积雪面积为 52.96 km^2 ,以 2000 年作为基准年,比较各年较 2000 年积雪面积变化情况(图 3):积雪面积减少的年份有 13 a,平均减幅为 14.10%;较 2000 年减少最多是 2014 年,减幅达 28.68%,尤其是 2010 年以后(除 2012 年以外)积雪面积较 2000 年减幅均在 9%以上。较 2000 年积雪面积增加的年份仅有 4 a,其中 2008 年及 2012 年增加较多,分别为 27.1%和 26.3%。

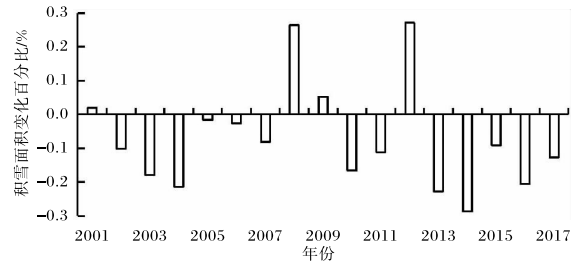


图 3 太白山积雪面积较 2000 年变化情况

从 2000 年和 2017 年积雪区域分布(图 4)可以看出:2000 年积雪区域明显大于 2017 年,2000 年积雪覆盖面积较大,零星积雪覆盖较多;2017 年积雪覆盖面积较小,主要集中在海拔较高的区域,零星积雪覆盖较少。

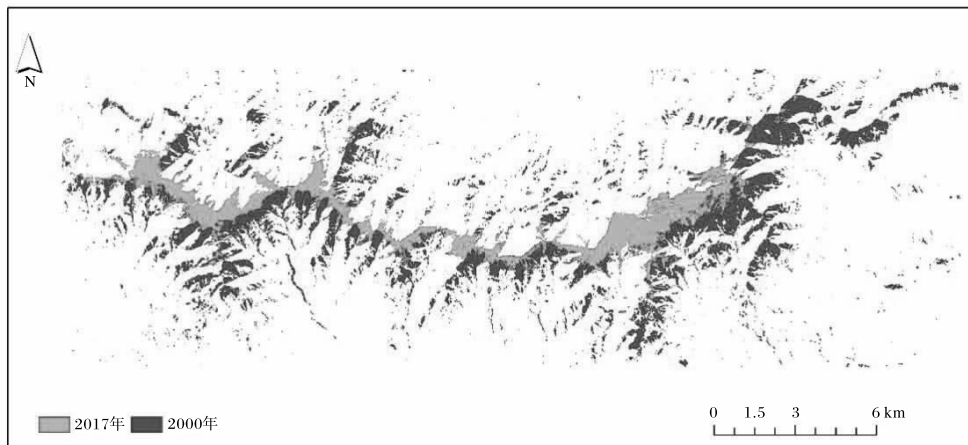


图 4 2000 年与 2017 年太白山积雪区域分布

3.2 雪线变化

应用 ARCGIS 中二值图像边缘提取的方法提取太白山的冬季雪线。为降低误差,选择每年有明显降水前的遥感图像提取雪线。图 5 是太白山 2000 年和 2015 年太白山冬季雪线示意图,从图中可以看出 2015 年的冬季雪线高度明显高于

2000 年,2000 年冬季雪线高度为 $3\ 195.88 \text{ m}$,2015 年为 $3\ 447.54 \text{ m}$ 。

从 2000、2001、2003、2005、2010、2015 年的雪线高度变化(图 6)可以看出,进入 21 世纪以来,太白山冬季雪线高度均在 $3\ 000 \text{ m}$ 以上,雪线高度在波动中呈上升趋势,年均上升 16.74 m 。

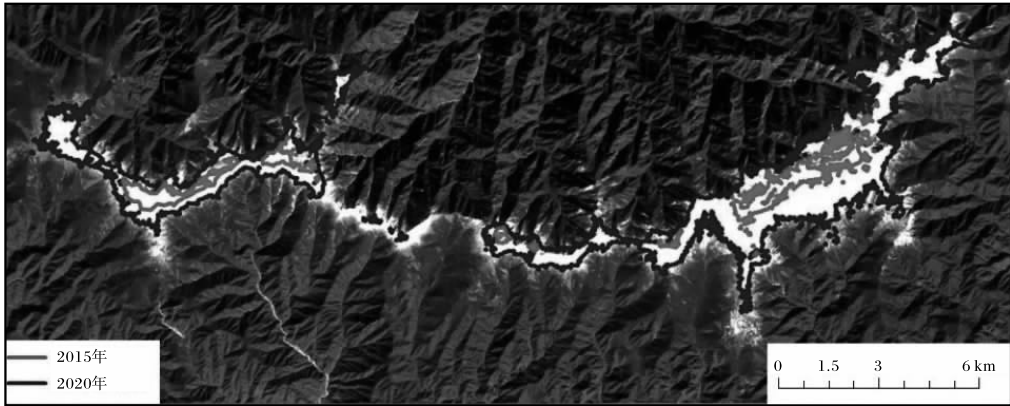


图5 2000年与2015年太白山冬季雪线示意图

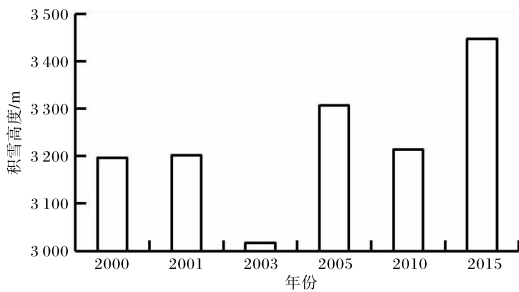


图6 太白山冬季雪线高度变化

4 冬半年气候因子对积雪变化的影响

分析太白山地区10个气象观测站点冬半年气象数据(图7),2000—2017年平均气温和降水量在波动中均呈上升趋势。平均气温升高 $0.05\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{a}$,降水量增加 $3.16\text{ mm}/\text{a}$ 。2000—2010年冬半年降水量年均增加 4.96 mm ,2010年以后年均增加 9.46 mm ;2010—2017年平均降水量 123.36 mm ,较2000—2017年均值增加 13.97 mm 。

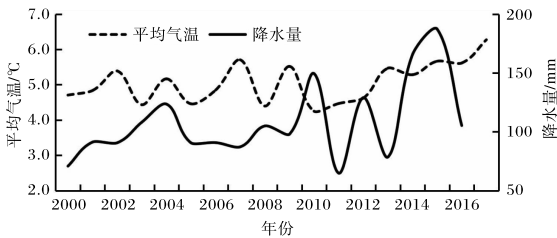


图7 2000—2017年太白山冬半年平均气温与降水量年际变化

对太白山地区10个气象站点冬半年气象数据与积雪面积进行相关性分析。积雪面积与冬半年平均气温及降水量之间的相关系数均未通过显著性检验,但与平均气温相关性高,积雪面积与冬

半年平均气温相关性较降水量大。太白积雪存在于太白山海拔 $3\ 000\text{ m}$ 以上的地区,人类活动对其影响几乎不存在,影响其变化的因子包括地形因子、植被类型因子及气候因子等。在气候因子中,气温的升高是太白山积雪面积减少的主要原因。

5 结论

(1)通过与气象观测数据及监督分类方法得到的结果比较,应用SNOMAP算法提取太白山积雪面积结果可靠。

(2)2000—2017冬半年,太白山积雪面积在波动中呈减少趋势。进入21世纪以来,太白山冬季雪线高度均在 $3\ 000\text{ m}$ 以上,雪线高度在波动中呈上升趋势。

(3)积雪面积与冬半年平均气温及降水量之间的相关系数均未通过显著性检验,积雪面积与冬半年平均气温相关性较降水量大。

(4)在提取积雪面积时应用SNOMAP算法,同时通过目视解译对多景遥感图像的积雪面积进行验证,不断优化阈值,可得到较满意的实验结果。但目视解译对研究人员的经验要求较高,研究人员的经验对目视解译的结果影响较大,在今后进一步研究中对算法进行进一步优化,减少因研究人员经验而造成的结果偏差。

参考文献:

- [1] 赵军,黄永生,师银芳,等. 2000—2012年祁连山中段雪线与气候变化关系[J]. 山地学报,2015,33

- (6):683-689.
- [2] 雷向杰,李亚丽,李茜,等. 1962—2014 年秦岭主峰太白山地区积雪变化特征及其成因分析[J]. 冰川冻土,2016,38(5):1201-1210.
- [3] 陈晓娜,包安明,张红利,等. 基于混合像元分解的 MODIS 积雪面积信息提取及其精度评价——以天山中段为例[J]. 资源科学,2010,32(9):1761-1768.
- [4] 刘良明,徐琪,胡玥,等. 利用非线性 NDSI 模型进行积雪覆盖率反演研究[J]. 武汉大学学报(信息科学版),2012,37(5):534-537.
- [5] JIANG L, SHI J, YANG J. Estimation of fractional snow cover based on FY-2E/VISSR over the Tibetan Plateau[C]//General Assembly and Scientific Symposium (URSI GASS). 2014:1-4.
- [6] PANTN C, KUMAR M, RAWAT J S, et al. Study of snow cover dynamics of pinder watershed in central himalaya using remote sensing and GIS techniques[J]. International Journal of Advanced Earth Science and Engineering, 2014, 3(1):122-128.
- [7] JOSHI R, KUMAR K, PANDIT J, et al. Variations in the seasonal snow cover area (SCA) for upper bhagirathi basin, India[M]//JOSHI R, KUMAR M, PALNI L. Dynamics of Climate Change and Water Resources of Northwestern Himalaya. Springer International Publishing, 2015:9-21.
- [8] 王娟,卓静. 利用遥感技术监测太白山积雪年变化[J]. 陕西气象,2012(1):30-31.
- [9] 陈晓娜,包安明,刘萍. 基于多尺度统计样本的天山山区 MOD10A 分类精度评价[J]. 国土资源遥感,2010,85(3):80-85.
- [10] 瞿娟,丁建丽,孙永猛. 基于改进 SVM 的新疆北部地区积雪面积反演研究——以天山山区中段为例[J]. 资源科学,2013,35(2):422-429.
- [11] 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(2):127-140.
- [12] 候慧姝,杨宏业,王秀梅. 基于 MODIS 影像的内蒙古草原积雪监测[J]. 测绘科学,2010,35(4):117-119.
- [13] 赵军,付杰文,付鹏. 雪盖指数法提取积雪范围信息的不确定性研究——以玛纳斯上游地区为例[J]. 遥感技术与应用,2014,29(2):293-299.
- [14] 郑璞,邓正栋,关洪军,等. 基于 ETM+ 的积雪提取方法研究——以新疆玛纳斯河流域为例[J]. 冰川冻土,2014,36(5):1151-1159.
- [15] 雷向杰,田亮,王毅勇,等. 秦岭主峰太白山 6 月积雪考察[J]. 陕西气象,2020(1):26-30.
- [16] 雷雯,张向荣,张毅军,等. 太白山气温变化及旅游气候舒适度评价[J]. 陕西气象,2019(2):37-42.
- [17] 姜萍,王晓威. 近红外波段 ETM+ 影响的积雪提取方法[J]. 测绘科学,2017,42(11):41-46.