

基于GIS的天山南北坡雪线分布特征及其影响因素分析

张连成^{1,2}, 胡列群², 李帅², 侯小刚²

(1. 新疆师范大学 地理科学与旅游学院, 乌鲁木齐 830054; 2. 中国气象局 乌鲁木齐气象卫星地面站, 乌鲁木齐 830011)

摘要:利用2002—2013年7—9月份的MOD10A1、21个气象站点的温度和降水以及HJ-1/CCD数据,以天山南北坡为研究区,对雪线的空间分布特征及其影响因素进行分析。结果表明:天山南北坡雪线分布特征为南高北低,东高西低,南坡雪线稀疏,空间梯度变化小,北坡的中部雪线密集,空间梯度变化大。从整个研究区分析,雪线高度与温度的相关系数为0.159,偏相关系数为-0.212;与降水的相关系数为-0.668,偏相关系数为-0.676。降水量是影响整个天山南北坡雪线分布的主控因素。从小尺度分析,将研究区划分为4个不同区域,得出天山北坡中段、天山北坡西段和天山南坡东段的雪线分布主要受降水量的控制,天山南坡西段的雪线分布温度占主导因素。

关键词:天山南北坡;雪线;相关系数;主控因素

中图分类号:P463;X87

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2015)03-0259-05

GIS-Based Analysis on the Snowline Distributional Characteristics of South and North Slopes of Tianshan Mountain and Their Influencing Factors

ZHANG Liancheng^{1,2}, HU Liequn², LI Shuai², HOU Xiaogang²

(1. College of Geography and Tourism, Xinjiang Normal University, Urumqi 830054, China;

2. Urumqi Meteorological Satellite Ground Station, China Meteorological Administration, Urumqi 830011, China)

Abstract: Utilizing MOD10A1 through July to September from 2002 to 2013, the temperature and precipitation of 21 meteorological observatories and HJ-1/CCD data, this paper took south and north slopes of Tianshan Mountain as the study field to analyze the distributional characteristics and influencing factors of the snowline. The results showed that the snowline distributional characteristics of south and north slopes of Tianshan Mountain presented that the north area was lower than the south area, the west area was lower than the east area, the snowline of south slope was sparser and had a small spatial gradient change; and the middle of north slope snowline was intensive and had a bigger spatial gradient change. The analysis on the whole study area showed that the correlation coefficient between snowline altitude and temperature was 0.159, partial correlation coefficient was -0.212; the correlation coefficient for precipitation was -0.668, partial correlation coefficient was -0.676. The precipitation is the main controlling factor on the distribution of snowline of south and north slopes of Tianshan Mountain. The study area could be divided into four different fields by analyzing different parts, the snowline distribution of the middle and west part of north slope of Tianshan Mountain as well as the west part was mainly controlled by precipitation while snowline distribution of the east part of south slope of Tianshan Mountain was primarily affected by temperature.

Keywords: south and north slopes of Tianshan Mountain; snowline; correlation coefficient; main control factors

雪线是气候的产物^[1],是现代冰川中一个重要指标^[2-3]。除去地形的影响,雪线升降反映出气候的波动,通过雪线的变化可以指示气候的变迁^[4-5];同时它也反映了积雪的消融和进退。因此,准确地监测雪线变化对水资源利用、大气环流、气候演变及灾害分析

有着重要的意义^[6-7]。

邓育武等^[8]利用冰川编目数据资料,建立了西藏南部冰川系统雪线场并对其空间分布特征进行了分析;王艺霖等^[9]用了同样的方法建立了青藏高原雪线场并对其分布影响因素进行了分析;张杰等^[10]运用

收稿日期:2014-12-03

修回日期:2015-01-11

资助项目:中国气象局关键技术集成与应用项目(CMAGJ2014M62);中国沙漠气象科学研究基金(sqj2012013);自治区科技援疆项目(2013911104);国家自然科学基金(41471358);新疆师范大学地理学博士点支撑学科基金(XJNU-DL-201313)

第一作者:张连成(1990—),男,江苏徐州人,在读硕士研究生,研究方向为资源环境遥感。E-mail:524480929@qq.com

通信作者:胡列群(1965—),男,江苏南充人,副研究员,主要从事积雪遥感研究。E-mail:hlq1965@163.com

遥感资料、气象站的气象数据对祁连山雪线的变化进行了分析;肖清华^[4]通过温度、降水的变化研究祁连山地区更新世以来冰期雪线的变化。然而这些研究多集中在青藏高原区域^[11-14],目前对新疆区域的研究较少,只有部分专家利用实测的资料对雪线进行了特征分析^[15-16],很少有学者结合气象数据对新疆区域雪线分布的影响因素进行研究。本文以天山南北坡为研究区域,运用 MOD10A1、21 个气象站点的温度和降水数据以及 HJ-1/CCD 数据对天山南北坡雪线分布的特征以及影响的主控因素进行研究。

1 资料与方法

1.1 研究区概况

本文选取天山南北坡为研究区域。天山北坡气候类型属于湿润过渡到半干旱的气候^[17],年平均气温 0.9°C ,极端最低气温 -37°C ,极端最高气温 33°C ,平均年降水量 $450\sim 800\text{ mm}$ ^[18]。近年来随着温度的升高,山区永久性雪线高度则上升了近 60 m ,山区固体水库的调蓄能力正在减弱^[19]。因为有来自大西洋和北冰洋的水汽进入,坡向为迎风坡,所以相对于南坡,降水较多,雪线高度低。天山南坡气候类型为典型温带的大陆性气候,在冬季降水稀少,10 月到次年 3 月的降水量占全年的 13% ,4—9 月的降水量占到全年降水量的 89% ,此时期为天山南坡的“多雨期”^[20],天山南坡降水增加幅度高于北坡,南坡西段是近 10 a 降水增幅最大的区域^[21]。天山南坡基带南伸与塔里木盆地相连,气温受塔里木盆地沙漠影响很大,地处海拔高,太阳辐射丰富,气温相对北疆较高,加之坡向为阳坡,所以相对于北坡,南坡温度高,降水少。

1.2 研究资料

本文所使用的资料主要包括:从 NASA Earth Observing System Data Gateway 数据中心定制覆盖新疆区域的 2002—2013 年 7—9 月份的 MODIS 日雪盖产品(MOD10A1);新疆气象信息中心获取的 2002—2013 年 21 个气象站点的温度和降水数据;中国资源卫星应用中心网(<http://www.cresda.com/n16/n1115/n1432/index.html>)下载的 2013 年 30 m HJ-1/CCD 数据。

2 年内时间确定及雪线提取

一年中积雪面积变化一般分为 3 个阶段^[10,22],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 6—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 6—8 月份的资料代表性比较好,利用 2002—2013 年 MOD10A1 数据,统计

出研究区内每年 6—8 月份日雪盖面积,得出每年雪盖面积的最小日期,从而得出 12 a 内雪盖面积最小的日期范围,此范围则被确定为年内研究日期。如图 1 所示,第 197 天为积雪面积最小的最早日期,第 236 天为最晚日期,由于第 197 天距平数较大,给予剔除,第 205 天作为积雪面积最小的最早日期。因此本研究日期确定为第 205—236 天。

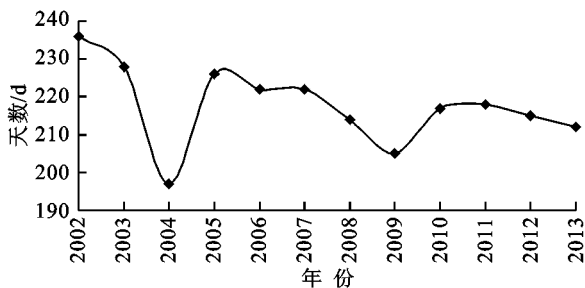


图1 各年雪盖面积的最小日期

将 2013 年第 205—236 天 MOD10A1 数据进行叠加,运用积雪持续时间比率法提取雪线,即利用去云后的 MOD10A1 积雪产品,计算一个像素在 32 d 内出现积雪的概率,即提取积雪出现概率分别为 3% 、 6% 、 9% 直到 100% 的雪线高程,提取不同概率上的雪线高程,并以 HJ-1/CCD 作为“真值”进行误差分析,误差最小时的比率作为雪线提取的阈值,通过此阈值提取雪线的方法即为积雪持续时间比率法。如图 2 所示,阈值为 75% 时与“真值”的偏差最小,因此 75% 被确定为积雪持续时间比率法提取雪线的阈值。

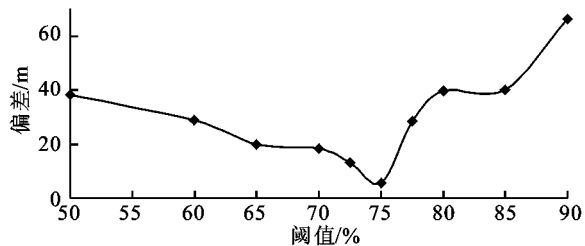


图2 不同阈值与“真值”的偏差

3 雪线场的建立及分布特征

3.1 雪线场的建立

以 75% 为阈值对 2013 年第 205—236 天 MOD10A1 叠加数据,通过人机交互绘制出雪线并提取出其高度和经纬度,在 ArcGIS 中调用 ShareIt 公司的 ETgoWizard 模块来生成 $10' \times 10'$ 的格网,利用 ArcToolbox 工具中的 Overlay/Intersect 命令提取格网内样点的经纬度和计算雪线高度等属性数据,利用 Excel 方式打开得到点图层的 .dbf 属性文件,以 ET-Index 为主字段进行扩展排序,然后再以字段 ET-Index 为分类汇总的分类字段进行计算经度、纬度和雪线高度的算术平均运算,得到的每个网格内只有一个虚拟冰川分布的数据。这样多次对研究区内相邻

冰川分组平均可尽可能地消除地方性地形对雪线的影响,能较真实地反映雪线的分布规律^[23]。通过普通克里格插值法对天山南北坡雪线点进行插值(附图 11A),接着在插值的基础上利用“表面分析/等高线”生成相邻为 100 的等值线。为了生成更为规律和美观的天山南北坡雪线高度等值线,需要对等值线进行曲线圆滑等处理(附图 11B)。

通过交叉验证的方法对其精度进行验证^[24-25],该方法假设参与插值过程的某一个观测值为未知值,让余下的数据点全部参与插值而得到该假设点的预测值,将预测值与测量值对比就可以评价插值方法的优劣程度。交叉验证法常用的用于评价精度的参数是平均绝对误差(Mean Absolute Error, MAE)和均方根误差(Root Mean Square Error, RMSE),其计算公式如下:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \text{abs}(T_{oi} - T_{ei}) \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (T_{oi} - T_{ei})^2} \quad (2)$$

式中: n ——测站数, T_{oi} , T_{ei} ——第 i 个台站位置上的实际观测值和预测值。经统计分析,得到插值出雪线高程的 MAE 为 30.7 m, RMSE 为 34.3 m,其误差满足本研究的精度需求。

3.2 雪线场的分布特征

雪线场的建立可以直观地反映出雪线的空间分布特征,从附图 11A 可以看出,研究区的雪线总体分布特征为:南高北低,东高西低。对附图 11A 进行提取等值线处理,赋予高度值,可以得到等值线的分布图(附图 11B),从图中可以得出,南坡雪线稀疏,空间梯度变化小,北坡的中部雪线密集,空间梯度变化大。雪线最低值出现在天山北坡的西部,高度为 3 800 m,然后向东以及西南逐渐递增,至西南方向达到最大值(4 800 m)。从南到北雪线高度逐渐降低,具有纬度地带性分布特点,雪线高度变化的梯度方向与由纬度影响的热流变化梯度相同,遵循了全球雪线分布的一般规律。从东到西雪线高度逐渐降低,具有经度地带

性的分布特点。

天山南坡,深居内陆,受到高大山脉的阻挡,大西洋水汽难以进入,因此降水量很少。伊犁河谷三面环山,来自大西洋的水汽在此被阻挡,造成此区域迎风坡降水量丰富,大西洋的水汽越过山脉之后水汽向四周深处递减,造成天山北坡降水量从西到东递减。天山山脉北部,每年冬季都有来自大西洋的西风在气候带南移的影响下携带少量水汽自阿拉山口进入中国境内,并在天山脚下形成降水。可以认为,日照条件相当的情况下,雪线高度的总体分布受降水影响比较大,也就是说,降水因素是雪线高度总体变化的主导因素,它使雪线高度由东向西或东北向西南升高。这个推论需要在后面进行进一步的证明。

4 影响雪线分布的因素分析

影像雪线分布的因素有很多,气温、降水等气象因素,坡度、坡向等地形因素,这些因素都会对雪线高度产生巨大的影响。本文主要分析气温、降水等气象因素对雪线分布的影响。

4.1 气温、降水插值

本文利用 ArcGIS 的克里金插值法对 21 个气象站点(附图 12)的气温、降水数据进行插值,得到气温、降水插值图(图 3, 4)。经误差分析得出气温的 MAE 为 0.42℃, RMSE 为 0.49℃,降水量的 MAE 为 24.3 mm, RMSE 为 26.2 mm,误差较低,满足本研究精度要求。从图 3 可以看出,气温在研究区范围内分布比较复杂。总的趋势,北部低南部高,西部先向东部递减之后又递增。由于中部天山的屏障作用使南北疆的气温产生了较大的差别,南疆地理位置偏南,属于暖温带,日光多,四季气温均皆比北疆高;北疆属于中温带,加之北疆山区云量多,太阳辐射随之减弱,温度相对南疆较低。由图 4 可以看出,北坡降水多于南坡,北坡从西向东逐渐递减之后又递增,南坡呈现出从西向东逐渐递增之后又递减的趋势。

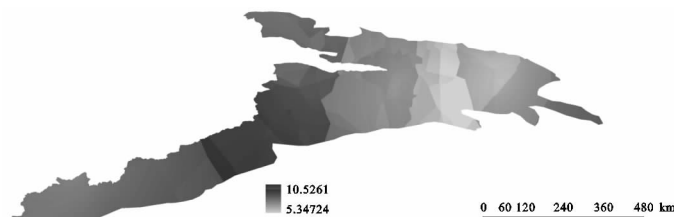


图3 天山南北坡气温插值



图4 天山南北坡降水插值

4.2 气象因子与雪线相关分析

将降水、气温和雪线插值图分别转化成栅格数据,再把栅格数据转化成点文件,在研究区范围内提取同一经纬度的 600 个点,得出同一经纬度的降水、气温和雪线的数值。

4.2.1 气温—雪线相关分析 将提取的 600 个点的气温数据与雪线高度数据进行相关性分析并绘制出气温与雪线数据的散点图并添加趋势线(图 5)。可见,雪线高度与气温呈弱正相关,相关系数为 0.159,属于极低度相关(表 1)。

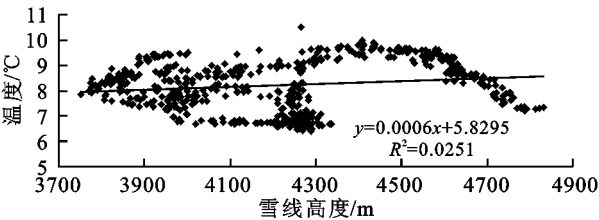


图 5 天山南北坡气温—雪线散点图

表 1 相关系数的相关程度^[26]

相关系数	相关程度
$0.8< r <1$	高度相关
$0.5< r \leq 0.8$	中度相关
$0.3< r \leq 0.5$	低度相关
$0\leq r \leq 0.3$	极低度相关

天山南北坡地形极为复杂,各个区域的降水各不相同,气温有可能受到同一经纬度降水的影响,则有可能导致研究区内雪线与气温没有紧密的正相关关系。因此我们做偏相关分析,用偏相关系数来证明我们这个猜测。

将 600 个点的气温与雪线高度数据进行偏相关性分析,去除掉降水的影响,得出偏相关系数为-0.212,呈负相关,与相关性研究结果相反,说明降水对气温与雪线高度之间的相关性影响较大。同时得出,去除掉降水因素后,研究区的气温与雪线高度相关性很弱。由此可以证明我们前面的推断,在天山南北坡气温不是影响雪线高度的主控的气候因素,它有可能与坡度、坡向一起对雪线高度产生影响。

4.2.2 降水—雪线相关性分析 将提取的 600 个点的降水数据与雪线高度数据进行相关性分析并绘制出降水与雪线数据的散点图并添加趋势线(图 6)。可以看出雪线高度与降水在相同位置具有明显的对应关系,雪线降低,降水量增加;雪线升高,降水量减少。雪线高度与降水呈负相关,相关系数为-0.668,这与前人研究的结果相一致。由此我们推断,在天山南北坡范围内,降水是影响雪线高度的主控因素。为了验证这个结论,我们剔除气温的影响,做偏相关分析,得出偏相关系数为-0.676,可以认为降水与雪线高度是相关的,并呈中度负相关。由此证明了前面的推断,即在天山南北坡范围内,气候因素里,降水是影响雪线高度的主控因素。

4.3 小尺度分析

由于整个研究区区域较大,不同区域的雪线高度所受外界影响各不相同,对整个研究区进行区域划分。将研究区划分为 4 个不同区域,即天山北坡中段、天山北坡西段、天山南坡西段、天山南坡东段。结合雪线高度、气温和降水数值,分别对这 4 个区域的气温—雪线高度和降水—雪线高度进行相关分析,得到的结果如表 2 所示。

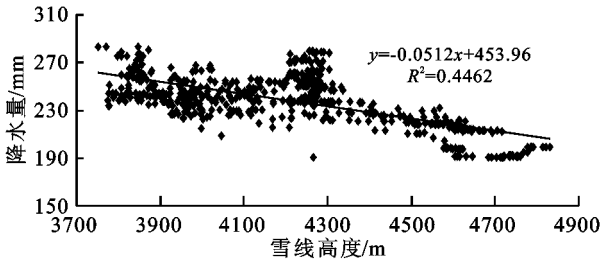


图 6 天山南北坡降水—雪线散点图

表 2 4 区域的气温—雪线高度和降水—雪线高度相关性 及偏相关性

	降水量—雪线高度		温度—雪线高度	
	相关性	偏相关性	相关性	偏相关性
天山北坡西段	-0.454	-0.442	0.127	0.060
天山北坡中段	0.269	0.250	0.0007	0.080
天山南坡东段	0.378	0.424	-0.044	0.213
天山南坡西段	-0.766	-0.473	-0.834	-0.655

4.3.1 天山北坡西段 在此区域内选取 160 个同一经纬度的气温、降水和雪线高度数据,做相关分析,温度与雪线高度的相关系数为 0.127,降水与雪线高度的相关系数为-0.454。剔除掉降水的影响,做温度与雪线高度偏相关分析,得到偏相关系数为 0.06。剔除掉温度的影响,做降水与雪线高度的偏相关分析,得到偏相关系数为-0.442。

以上数据可以看出,天山北坡西段降水对雪线的影响比气温大,此结果符合前文的整体结论:气温作用弱,降水作用强。这主要是由于该地区地形是西宽东窄,向西敞开,这样的地形非常有利于来自大西洋的湿润气流的深入,受地形抬升作用,形成地形雨。从降水的插图图也可以看出此区域降水量极为丰富,因此降水作用对此区域雪线高度的影响大于气温作用。

4.3.2 天山北坡中段 在此区域内选取 116 个同一经纬度的气温、降水和雪线高度数据,做相关分析,温度与雪线高度的相关系数为 0.000 7,降水与雪线高度的相关系数为 0.269。剔除掉降水的影响,做温度与雪线高度偏相关分析,得到偏相关系数为 0.08。剔除掉温度的影响,做降水与雪线高度的偏相关分析,得到偏相关系数为 0.25。理论上,雪线的高度与气温呈正相关,与降水呈负相关,而本研究得出此区域雪线高度与降水呈正相关。春夏季节是积雪高速融化期,此阶段的降水主要以液体为主,液体的淋溶也可以加速积雪的融化,2013 年此区域春夏降水量为 444.17 mm,秋冬降水为 131.27 mm,而自 2000 年以来年均春夏降水量为 415.64 mm。可以得出,在 2013 年此区域春夏降水较多,雪线高度主要受春夏降水影响,所以出现了雪线高度与降水量呈正相关。因此降水作用对区域雪线高度的影响大于气温作用。

4.3.3 天山南坡东段 在此区域内选取 218 个同一

经纬度的气温、降水和雪线高度数据,做相关分析,温度与雪线高度的相关系数为 -0.044 ,降水与雪线高度的相关系数为 0.378 。剔除掉降水的影响,做温度与雪线高度偏相关分析,得到偏相关系数为 0.213 。剔除掉温度的影响,做降水与雪线高度的偏相关分析,得到偏相关系数为 0.424 。由此得出天山南坡东段降水对雪线的影响比气温大。

4.3.4 天山南坡西段 在此区域内选取168个同一经纬度的气温、降水和雪线高度数据,做相关分析,温度与雪线高度的相关系数为 -0.834 ,降水与雪线高度的相关系数为 -0.766 。剔除掉降水的影响,做温度与雪线高度偏相关分析,得到偏相关系数为 -0.655 。剔除掉温度的影响,做降水与雪线高度的偏相关分析,得到偏相关系数为 -0.473 。虽然此区域的雪线与降水和温度的相关性都比较好,但由于此区域光热资源丰富,积温高,太阳辐射强^[13],所以此区域雪线高度受温度的影响更大些。

5 结论

(1) 天山南北坡雪线分布特征为:南高北低,东高西低。南坡雪线稀疏,空间梯度变化小,北坡的中部雪线密集,空间梯度变化大。

(2) 从整个研究区分析,雪线高度与温度的相关系数为 0.159 ,偏相关系数为 -0.212 ;雪线高度与降水的相关系数为 -0.668 ,偏相关系数为 -0.676 。降水是影响雪线高度的主控因子。

(3) 天山北坡中断、天山北坡西段和天山南坡东段的雪线分布主要受降水量的控制,天山南坡西段的雪线分布温度占主导因素。

本文只是从空间角度来分析影响天山南北坡雪线分布的主控因素,缺少长时间序列的分析;在分析雪线分布影响因素时,只从降水和气温两个方面进行分析,缺少对坡度、坡向以及日照天数等影响因素的分析。

参考文献:

- [1] 蒋复初,吴锡浩.中国气候雪线空间分布特征[J].地质力学学报,2002,8(4):289-296.
- [2] 鞠远江,刘耕年,魏遐.山地冰川平衡线高度作为气候变化代用指标的讨论[J].冰川冻土,2007,29(4):613-616.
- [3] 张润江,赵福岳,方洪宾,等.青藏高原近30 a 现代雪线遥感调查[J].国土资源遥感,2010,23(2):59-63.
- [4] 肖清华,张旺生,张伟,等.祁连山地区更新世以来冰期雪线变化研究[J].干旱区研究,2008,25(3):426-432.
- [5] 韩芳,张百平,谭靖,等.山体基面高度对青藏高原及其周边地区雪线空间分布的影响[J].地理研究,2014,33(1):23-30.
- [6] 张颖,黄晓东,王玮,等.MODIS 逐日积雪覆盖率产品验证及算法重建[J].干旱区研究,2013,30(5):808-814.
- [7] 程瑛,徐殿祥,宋秀玲.近50 a 祁连山西段夏季气候变化对冰川发育的影响[J].干旱区研究,2009,26(2):294-298.
- [8] 邓育武.西藏南部冰川系统雪线场的建立及其空间分布特征[D].长沙:湖南师范大学,2005.
- [9] 王艺霖.青藏高原现代雪线及其影响因素分析[D].兰州:兰州大学,2010.
- [10] 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,2005,37(5):649-654.
- [11] 王建刚,王盛韬,庄小翠,等.新疆北部牧区雪冰灾害指数和危险性评估[J].干旱区研究,2014,31(4):682-689.
- [12] 王利平,谢自楚,丁亮福,等.基于GIS的羌塘高原冰川系统雪线场的建立及其空间分布特征[J].干旱区地理,2010,33(5):692-702.
- [13] 肖飞,杜耘,凌峰,等.基于水流路径分析的雪线数字提取[J].遥感学报,2010,14(1):55-67.
- [14] 聂宁,张智杰,张万昌,等.近30 a 来雅鲁藏布江流域冰川系统特征遥感研究及典型冰川变化分析[J].冰川冻土,2013,35(3):541-552.
- [15] 蒋忠信.中国西部现代雪线的趋势面分析[J].地理科学,1987,7(1):1-8.
- [16] 王欣,谢自楚,冯清华.塔里木河流域冰川系统平衡线的计算及其分布特征[J].冰川冻土,2003,25(4):383-385.
- [17] 尚海敏,王文科,段磊,等.天山北麓地下水基于生态水位的调控模拟分析[J].水土保持研究,2014,21(6):1-4.
- [18] 李艳忠,罗格平,周德成,等.天山北坡高山林线分布的生态地理特征[J].中国沙漠,2012,32(1):122-131.
- [19] 苏里坦,宋郁东,张展羽.近40 a 天山北坡气候与生态环境对全球变暖的响应[J].干旱区地理,2005,28(3):342-346.
- [20] 周霞,陈东景.天山南坡气候垂直变化特征[J].山地研究,1998,16(1):47-52.
- [21] 李成,王让会,黄进.天山北麓近50 a 年气温和降水的变化特征[J].水土保持研究,2013,20(6):117-124.
- [22] 李光辉,王成,刁晓环,等.机载LiDAR和高光谱数据融合提取冰川雪线[J].国土资源遥感,2013,25(3):79-84.
- [23] 邓育武,谢自楚,李玲玲.基于GIS的西藏南部雪线场的建立及其空间分布特征[J].云南地理环境研究,2006,18(3):10-14.
- [24] 何葵,傅德平,赵志敏,等.基于GIS的新疆降水空间插值方法分析[J].水土保持研究,2008,15(6):35-37.
- [25] 彭彬,周艳莲,高苹,等.气温插值中不同空间插值方法的适用性分析:以江苏省为例[J].地球信息科学学报,2011,13(4):539-548.
- [26] 时立文.SPSS 统计分析[M].北京:清华大学出版社,2012.