

文章编号: 1007-7588(2012)08-1556-09

天山地区冬季降雪量及其集中度和集中期的变化特征

李效收¹, 张明军^{1,2}, 汪宝龙¹, 王媛媛¹, 王圣杰¹

(1. 西北师范大学地理与环境科学学院, 兰州 730070;

2. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所冰冻圈科学国家重点实验室/天山冰川站, 兰州 730000)

摘要: 利用1961年–2010年天山地区21站的冬季降雪资料, 采用线性倾向估计法、反距离加权法和Morlet小波分析等方法, 研究了天山地区近50a冬季降雪量及降雪的集中度与集中期的时空变化特征, 并在此基础上应用Rescaled Range Analysis分析方法尝试预测了未来该地区冬季降雪量变化的情形。结果表明: 天山地区冬季降雪量呈明显上升趋势, 未来天山地区冬季降雪量的变化趋势与过去50a冬季降雪量的变化趋势相同, 仍将持续上升, 冬季降雪的集中度和集中期也呈上升趋势, 但空间差异明显; 冬季降雪量及降雪的集中度和集中期在一定的时间序列中存在不同周期变化, 且周期反映比较明显; 此外研究还发现, 天山地区南(北)坡冬季降雪量及降雪的集中度和集中期的年际变化也不尽相同。

关键词: 天山; 降雪; 集中度; 集中期; R/S分析

1 引言

降雪是降水的固态形式, 对于农作物的生长、净化空气十分有利, 但强降雪也会造成严重的自然灾害。特别是暴雪作为一种极端事件, 其频率和强度在全球范围内也不断加强, 国外学者从不同的角度对降雪特别是大雪和暴雪进行了相应的研究, 硕果累累^[1-6]。国内研究也同样十分丰富^[7-17]。其中李岩瑛等^[9]研究表明, 祁连山区降雪量与中雪日数关系最密切, 降雪日数有3~4a、5~7a和12~14a的变化周期; 杨晓玲等^[10]分析了河西走廊东部的自然降雪分布特征, 结果表明这一区域20世纪70年代降雪偏少, 60年代、80年代居中, 90年代最多。周陆生、董安祥、董文杰等^[12-14]从气候角度上对青藏高原的雪灾进行了全面的分析, 发现青藏高原东部牧区雪灾期长达8个月, 其中11月、3月和2月为一年中雪灾的高发月, 主要发生在巴颜喀拉山南缘和东麓地区, 且近30a来呈上升趋势; 而马林等^[15]研究发现不

稳定的波槽气流发展是造成高原东部牧区成灾性降雪天气的主要原因。宫德吉等^[16]分析了内蒙古大(暴)雪与白灾的气候学特征, 结果表明发生大(暴)雪频率最高的地区是内蒙古的东部和南部, 而白灾最重的地区却是内蒙古北部。赵春雨等^[17]认为东北地区近45a冬季降雪呈下降趋势, 降雪具有明显的阶段性。

天山作为新疆干旱区的“湿岛”, 冬季降雪丰沛^[18], 是我国重要的林牧区。由于地处严寒地区, 雪灾成为制约该区林牧业发展的主要因素之一, 天山北坡中部地区2010年2月23日发生了罕见特大暴雪天气, 这场罕见特大暴雪天气具有降雪强度强、范围广、积雪深度异常偏厚、灾情严重等特点, 属60a不遇^[19]。天山地区冬季降雪波动北坡大于南坡, 降雪从西部向东部逐渐减少, 由山区向平原盆地逐渐减少^[18]; 且天山北坡一带及天山中部的中山带是发生大暴雪的高频区, 并呈显著的线性增长趋势, 其

收稿日期: 2012-01-02; 修订日期: 2012-05-02

基金项目: 国家自然科学基金项目(编号: 41161012, 41171057); 教育部新世纪优秀人才支持计划项目(编号: NCET-10-0019); 国家重点基础研究发展计划(973)项目(编号: 2010CB951003); 中国科学院知识创新工程重要方向项目(编号: KZCX2-EW-311)。

作者简介: 李效收, 男, 甘肃金昌人, 硕士生, 主要从事气候与冰川研究。E-mail: lixiaoshou007@163.com

通讯作者: 张明军, E-mail: mjzhang2004@163.com

2012年8月

增长率为0.5次/10a^[20]。除上述研究之外,张录军等^[21]研究表明降水集中度和集中期能够定量地表征降水量在时空场上的非均匀性,提取出最大降水峰值期,因此可以比较理想地分析旱涝灾害发生的基本特征及其形成机制;王冀等^[22]的研究表明冬季降雪集中度同降雪量成正相关,且其对降雪量具有很好的指示作用。因此本文在分析天山地区冬季降雪的时空变化特征的基础上,计算冬季降雪的集中度和集中期,用以表征冬季降雪量在时空场上的非均匀性,同时对冬季降雪进行趋势预测,旨在深化对天山地区降雪规律的研究,提高冬季降雪的预报、预测能力,以减少雪灾带来的经济损失。

2 资料与方法

2.1 研究区域概况及资料

我国境内的天山,即东天山,横亘新疆维吾尔自治区全境,西起中国与吉尔吉斯斯坦边界,东至哈密市以东的星星峡戈壁,东西绵延1700km,占天山山系总长度的2/3以上,山地的平均海拔高度4000m,最高峰是位于温宿县境内的托木尔峰,发源于此的河流有373条,总径流量达474亿m³,占新疆河流总径流量的53.6%。天山动植物种类品种繁多,草原发育面积广泛,是我国重要的牧区,风景秀丽,旅游资源相当丰富^[23]。

依据资料的连续性及最长时段性等标准,共选取符合条件的气象站21个(图1),其中南坡站点为阿合奇、阿克苏、巴伦台、拜城、达坂城、哈密、库车、库尔勒、轮台、十三间房、吐尔尕特、吐鲁番、焉耆,北坡站点为巴里坤、蔡家湖、精河、奇台、乌鲁木齐、乌苏、伊宁、昭苏。

地面气象站的冬季逐日降雪资料同中国气象局国家气象信息中心(<http://www.nmic.gov.cn>)提供,并且通过了较为严格的质量控制,包括极值检验和时间一致性检验。气象资料时间跨度一致取为1961年至2010年。其中1961年12月至次年2月定为1961年的冬季,依次类推。

2.2 研究方法

2.2.1 R/S分析 R/S分析法最早是由英国科学家赫斯特(H. E. Hurst)在研究尼罗河多年水文观测资料时提出的一种新的统计方法—变标度极差分析法(Rescaled Range Analysis, 简称R/S)^[24-25]。后来经Mandelbrot^[26-28]与Wallis^[29]在理论上对该方法进一步补充完善,把它发展成为研究时间序列的分形理论。近年来R/S分析法在环境变化、地理科学等领域开始广泛应用^[30]。

R/S分析法的主要原理为:

考虑一个时间序列 $\{\zeta(t)\}$, $t=1, 2, \dots$, 对于任意正整数 $\tau \geq 1$, 定义均值系列:

$$\langle \zeta \rangle_{\tau} = \frac{1}{\tau} \sum_{t=1}^{\tau} \zeta(t) \quad \tau = 1, 2, \dots \quad (1)$$

累积离差为:

$$X(t, \tau) = \sum_{i=1}^{\tau} (\zeta(i) - \langle \zeta \rangle_{\tau}) \quad 1 \leq t \leq \tau \quad (2)$$

极差为:

$$R(\tau) = \max_{1 \leq t \leq \tau} X(t, \tau) - \min_{1 \leq t \leq \tau} X(t, \tau) \quad \tau = 1, 2, \dots \quad (3)$$

标准差为:

$$S(\tau) = \sqrt{\frac{1}{\tau} \sum_{t=1}^{\tau} (\zeta(t) - \langle \zeta \rangle_{\tau})^2} \quad \tau = 1, 2, \dots \quad (4)$$

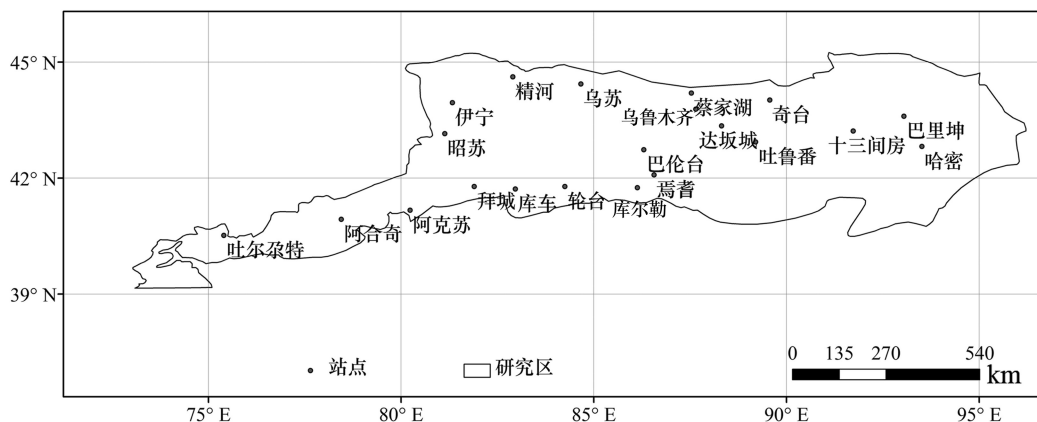


图1 天山地区气象站点分布

Fig.1 Distribution of meteorological stations in the Tianshan Mountains

现考虑比值 $R(t)/S(\tau) \stackrel{\Delta}{=} R/S$, 若存在如下关系:

$$R/S \propto \tau^H \quad (5)$$

则说明所分析的时间序列存在 Hurst 现象, H 称为 Hurst 指数。 H 值可根据计算出的 τ 值和 R/S 值, 在双坐标系 ($\ln \tau, \ln R/S$) 中用最小二乘法拟合式 (5) 得到。根据 H 值的大小, 可以判断该时间序列是完全随机的抑或是存在趋势性成分。趋势性成分表现为持续性, 还是反持续性。对应于不同的 Hurst 指数 $H(0 < H < 1)$, 存在以下几种情况:

(1) $H = 0.5$ 表示时间序列相互独立, 完全随机, 任意时刻 t 的数值与过去历史资料无关;

(2) $0.5 < H < 1$ 表明时间序列具有长期相关的特征, 即具有持续性, 反映在气候因子上, 则表明未来的气候变化将与过去的变化一致, H 越接近 1, 持续性越强;

(3) $0 < H < 0.5$ 表明时间序列具有长期相关性, 但将来的总趋势与过去相反, 即过程具有相反的持续性。在该情况下, 未来的气候变化总体趋势将与过去相反。

2.2.2 集中度 (PCD) 与集中期 (PCP) 表征单站降雪量时间分配特征的新参数: 降雪集中度 (PCD) 和集中期 (PCP) 的公式如下^[21,31]:

$$PCD = \frac{\sqrt{R_{xi}^2 + R_{yi}^2}}{R_i} \quad (6)$$

$$PCP = \arctan\left(\frac{R_{xi}}{R_{yi}}\right) \quad (7)$$

式中 PCD 和 PCP 分别为研究时段 (冬季) 内的集中度 and 集中期, $R_{xi} = \sum_{j=1}^n r_{ij} \cdot \sin \theta_j$, $R_{yi} = \sum_{j=1}^n r_{ij} \cdot \cos \theta_j$, R_i 为某测站冬季总降雪量; r_{ij} 为冬季内某候的降雪量; θ_j 为冬季内各候对应的方位角 (整个冬季的方位角设为 360°); i 为年份 ($i=1961, 1962, \dots, 2010$); j 为研究时段内的候序 ($j=1, 2, \dots, 18$)。由公式 (6) 和公式 (7) 可知, PCD 能够反映降雪总量在研究时段内各个候的集中程度。如果在研究时段中, 降雪量集中在某一候内, 则它们合成向量的模与降雪总量之比为 1, 即 PCD 为极大值; 如果每个候的降雪量都相等, 则它们各个分量累加后为 0, 即 PCD 为极小值。所谓 PCP 就是合成向量的方位角, 它指示出每个候降雪量合成后的总体效应, 也就是向量合成后重心所指示的角度, 反映了冬季中最大降雪量出现在哪一个候内 (表 1)。

3 结果与分析

3.1 天山地区冬季降雪的时空变化特征

3.1.1 天山地区冬季降雪的时间变化特征 图 2 为天山地区冬季降雪量逐年变化曲线图, 天山全区冬季降雪 (图 2a)、天山南坡冬季降雪 (图 2b)、天山北坡冬季降雪 (图 2c) 均呈上升趋势, 并且上升趋势十

表 1 冬季逐候的方位角

Table 1 The angle range of each panted period in winter									
(°)									
候	1	2	3	4	5	6	7	8	9
角度	0~20	21~40	41~60	61~80	81~100	101~120	121~140	141~160	161~180
候	10	11	12	13	14	15	16	17	18
角度	181~200	201~220	221~240	241~260	261~280	281~300	301~320	321~340	341~360

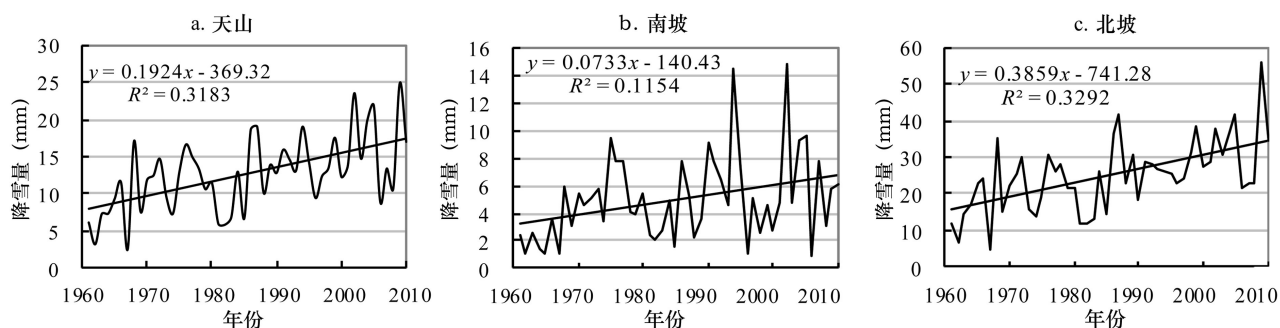


图 2 1961 年–2010 年天山地区冬季降雪变化

Fig.2 Variations of averaged winter snowfall in the Tianshan Mountains from 1961 to 2010

2012年8月

分显著,线性倾向率分别为 $1.92\text{mm}/10\text{a}$ 、 $0.73\text{mm}/10\text{a}$ 、 $3.86\text{mm}/10\text{a}$,均通过了95%的显著性检验。其中北坡的降雪量明显大于南坡,而且增长率大于南坡。此外,天山全区冬季降雪在1960s初期、1980s初期、1990s中后期以及2007年前后降雪偏少,而在1960s后期、1970s后期、1980s后期、1990s初期以及2003年前后降雪偏多,可见冬季降雪量的变化存在着年际变化。因此采用小波分析方法对天山地区冬季降雪进行周期分析,从图3可以看出,1985年之前存在着14a左右的周期变化,1985年至2004年之间存在着13a的周期变化,而在2004年以后周期则略有减小。

3.1.2 天山地区冬季降雪的空间分布特征 天山地区冬季降雪量由南向北逐渐增加(图4),北坡降雪明显大于南坡,并且自西向东有逐渐减少的趋势。降雪量的高值中心位于伊宁地区,最大降雪量为59mm,低值中心位于阿克苏、库车、库尔勒、焉耆、巴伦台、达坂城、吐鲁番、十三间房、哈密等附近地

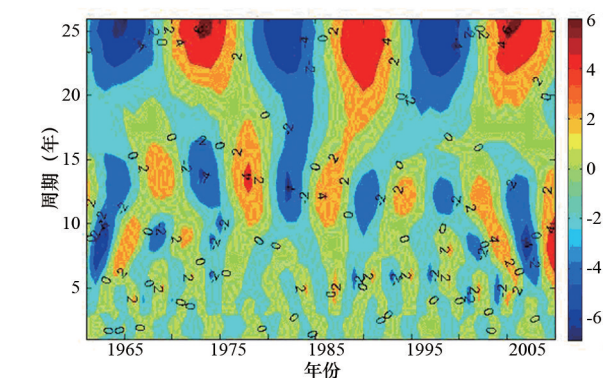


图3 天山地区冬季降雪的小波变化

Fig.3 The contours of Morlet wavelet transformation coefficients for winter snowfall in the Tianshan Mountains

区,降雪量均小于7mm,最小值出现在十三间房,仅为0.6mm。

上述分析已表明天山地区冬季降雪总体呈逐年上升趋势,但是不同地区降雪量倾向率并不一致(图5),它的分布与天山地区冬季降雪的平均分布具有一定的相似性。天山北坡的倾向率明显大于

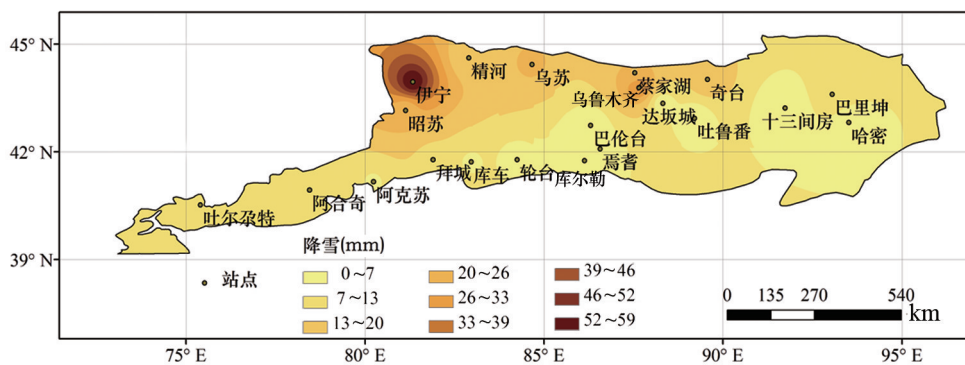


图4 1961年-2010年天山地区冬季降雪平均分布

Fig.4 Spatial distribution of the snow over the Tianshan Mountains from 1961 to 2010

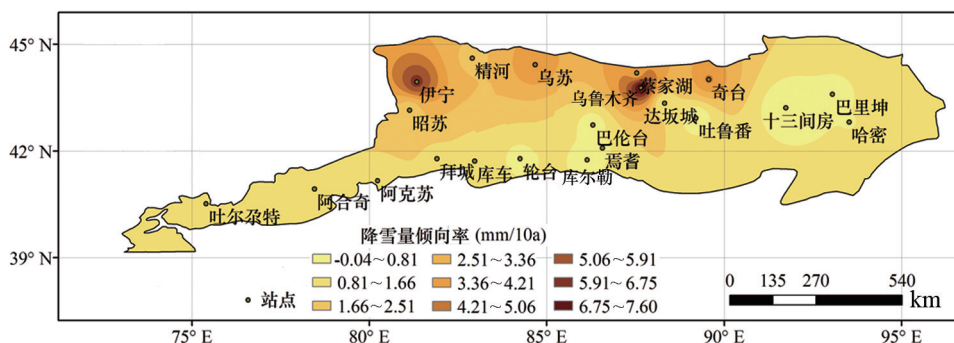


图5 天山地区冬季降雪长期变化趋势分布

Fig.5 Distribution of long-term changing tendency of winter snowfall in the Tianshan Mountains

南坡,北坡平均为3.86mm/10a,南坡平均为0.73mm/10a。高值中心位于伊宁、乌鲁木齐及附近地区,倾向率为(4.21~7.6)mm/10a,最大值出现在乌鲁木齐(7.6mm/10a),说明乌鲁木齐的降雪量增加最为显著。低值中心位于轮台、库尔勒、焉耆、吐鲁番、十三间房、巴里坤、哈密等及附近地区,倾向率为(-0.04~0.81)mm/10a,说明这些地区冬季降雪逐年增加量较小。其中最小值出现在十三间房(-0.04mm/10a),是唯一出现负增长的地区,同时也是降雪量最小的地区。

3.1.3 天山地区冬季降雪变化的趋势分析 上世纪90年代中期,徐俊荣等^[18]对天山地区冬季降雪的研究发现,30a来天山地区冬季降雪有增加上升趋势,天山北坡降雪大于南坡,并且由西向东逐渐减少,天山西部伊犁河谷冬季降雪最大,吐善托盆地冬季降雪最少。本文对50a来天山地区冬季降雪的分析表明,冬季降雪呈显著上升趋势,通过了95%的显著性检验;从空间分布上看,降雪量由南向北逐渐增加,由西向东逐渐减少,最大降雪量位于伊宁地

区,最小降雪量位于十三间房,这与上述学者的研究成果相一致。采用R/S法分析天山地区冬季降雪系列的H指数,每项指标均选取50个 τ 值进行计算,结果如图6,表明天山全区、南坡、北坡的冬季降雪序列具有长期的相关性,即未来变化将与过去的变化趋势相一致。天山全区、南坡、北坡的Hurst指数分别为0.8232、0.6949、0.8232,均大于0.5,根据Hurst指数的指示意义可以得出,未来天山地区冬季降雪量的变化趋势与过去50a冬季降雪量的变化趋势相同,仍将持续上升,并且持续性强度相当大。

3.2 天山地区冬季降雪集中度与集中期的时空变化特征

3.2.1 天山地区冬季降雪集中度与集中期的时间变化特征 由天山地区50a冬季降雪的集中度变化曲线(图7)可以看出,天山全区冬季降雪的集中度(图7a)、天山南坡冬季降雪的集中度(图7b)及天山北坡冬季降雪的集中度(图7c)变化范围分别为0.25~0.68、0.18~0.86、0.17~0.59,南坡冬季降雪集中度的最大值与最小值均大于北坡,表明南坡冬季降雪发

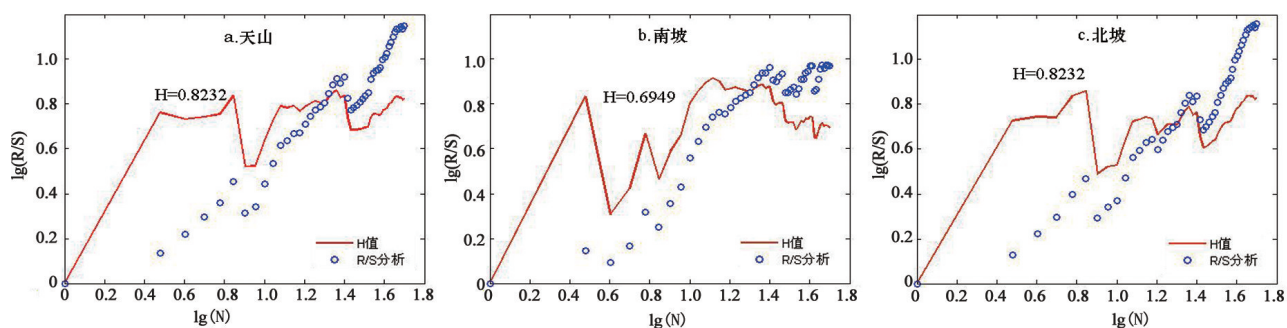


图6 天山地区冬季降雪变化的趋势分析

Fig.6 Analysis of changing tendency of winter snowfall in the Tianshan Mountains

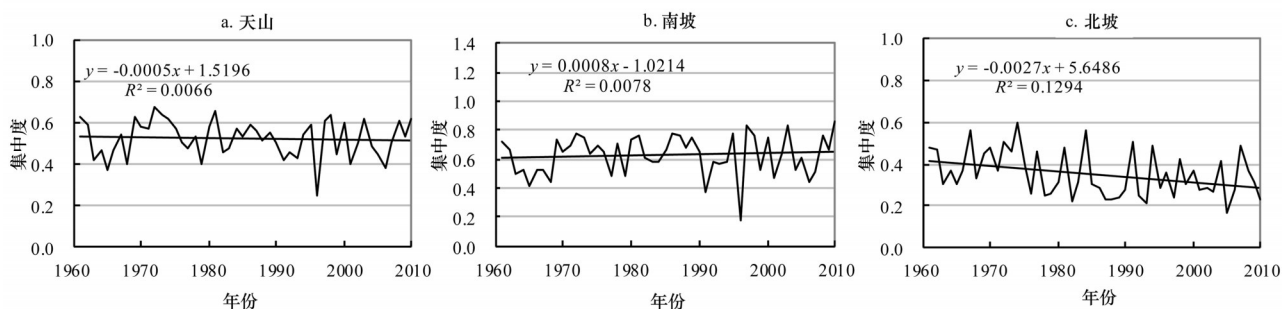


图7 1961年-2010年天山地区冬季降雪集中度变化

Fig.7 Variations of the PCD over the Tianshan Mountains from 1961 to 2010

2012年8月

生的时间比北坡更为集中。天山全区冬季降雪集中度呈逐年下降趋势,但下降趋势并不明显,仅为 $-0.005/10a$,这反映出冬季降雪在逐渐不集中,在1996年集中度出现了最低值(0.25)。南坡冬季降雪集中度呈逐年上升趋势,但上升趋势并不明显,仅为 $0.008/10a$,这反映出南坡冬季降雪在逐渐集中,集中度同样在1996年出现了最低值(0.18),说明在1996年的冬季降雪最不集中。北坡冬季降雪集中度呈逐年下降趋势,并且下降趋势十分明显($-0.027/10a$),说明北坡冬季降雪在逐渐不集中。南北坡冬季降雪集中度变化趋势并没有表现出一致性,而是恰好相反。

由天山地区50a冬季降雪集中期逐年变化曲线(图8)可以看出,天山全区冬季的集中期(图8a)、天山南坡冬季降雪集中期(图8b)、天山北坡冬季降雪集中期(图8c)呈逐年上升趋势,但是上升趋势并不显著,分别为 0.011 候/ $10a$ 、 0.008 候/ $10a$ 、 0.016 候/ $10a$,降雪发生的时间集中在7~13候,这表明天山地区冬季降雪主要集中在中后期,在冬季前

期的降雪相对较少,并且冬季降雪发生的时间有延迟的趋势,南北坡表现出较好的一致性。在1960s中期到1970s中期,降雪发生的时间主要集中在5~8候,而1970s后期到1980s后期降雪集中期主要在8~13候,天山地区冬季降雪有着明显的年代际变化。另外在1990s中期冬季降雪主要集中在前期,降雪时间大约发生在4候以内,而1990s中期以后集中期上升明显,降雪主要集中在中后期。

对天山地区冬季降雪集中度与集中期进行小波分析发现,天山地区冬季降雪集中度在年代际尺度上存在着18a的长周期变化(图9a),在1990s中期以后存在着7a左右的短周期变化。集中期的变化在1975年以前存在着8a左右的短周期(图9b),在1975年以后存在着13a的长周期。

3.2.2 天山地区冬季降雪集中度与集中期空间分布特征 天山地区冬季降雪集中度值大致由南向北依次减小(图10a),并且南坡明显大于北坡,这与冬季降雪量的分布完全相反。集中度的高值中心出现在阿克苏、轮台、巴伦台、达坂城及附近地区,

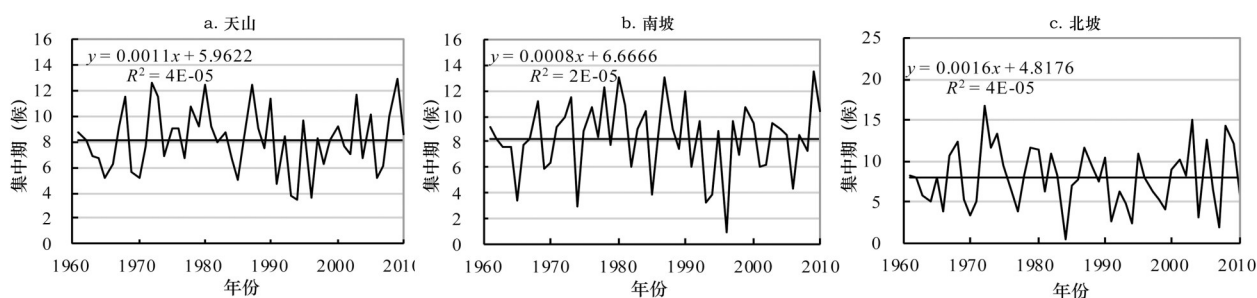


图8 1961年-2010年天山地区冬季降雪集中期变化

Fig.8 Variations of the PCP over the Tianshan Mountains from 1961 to 2010

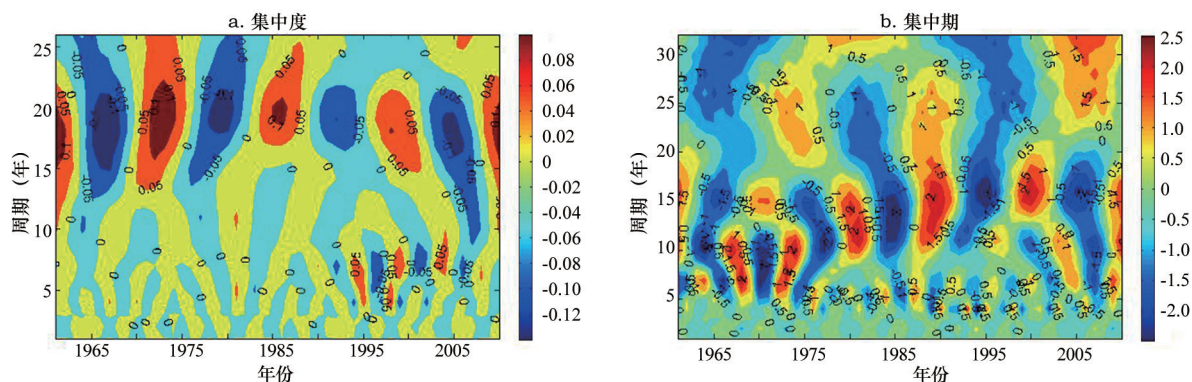


图9 天山地区冬季降雪的集中度和集中期的小波变化

Fig.9 The contours of Morlet wavelet transformation coefficients for snow PCD and PCP



<http://www.resci.net>

2012年8月

期并没有呈由南向北的变化特征,大致呈由西向东减小的趋势分布,表明天山东侧发生降雪的时间要早于西侧。

综合全文分析表明,在天山地区冬季降雪呈显著上升趋势,并且在未来仍将持续的背景下,南坡降雪集中度、集中期均呈上升趋势,冬季中后期发生雪灾的可能性会增加。北坡降雪的集中度虽然呈下降趋势,但是降雪量上升趋势更为显著,说明北坡仍然是雪灾的频发地区。为减小雪灾暴发造成的经济损失,有关部门应当及时做好预防工作。国内学者对天山降雪的研究虽然丰富,对降雪集中度与集中期的研究却相对匮乏,本文尝试了从这一角度做出分析,希望能够丰富这一领域的研究。但是本文并没有对降雪气候变化特征的环流背景做出分析,这对分析降雪气候变化特征的成因,从而进一步提高预测雪灾的能力,具有重要意义,因此研究天山地区冬季降雪气候变化特征的工作仍将继续。

参考文献 (References):

- [1] Frederick S. Frontogenesis and symmetric stability in a major New England snowstorm[J]. *Monthly Weather Review*, 1986, 114(10): 1847-1862.
- [2] Gregory J McCabe, David M Wolock. Long-term variability in Northern Hemisphere snow cover and associations with warmer winters[J]. *Climatic Change*, 2010, 99:141-153.
- [3] Moors J T, Blakley P D. The role of frontogenetical forcing and conditional symmetric instability in the midwest snowstorm of 30 - 31 January 1982[J]. *Monthly Weather Review*, 1988, 116(11): 2155-2171.
- [4] Pere Esteban, Philip D J, Javier, et al. Atmospheric circulation patterns related to heavy snowfall days in Andorra Pyrenees[J]. *International Journal of Climatology*, 2005, 25(3): 319-329.
- [5] Steenburgh W James, Daryl J Onton. Multiscale analysis of the 7 December 1998 Great Salt Lake effect snowstorm[J]. *Monthly Weather Review*, 2001, 129(6): 1296-1317.
- [6] Stefan Sobolowski, Gong, Mingfang Ting. Modeled climate state and dynamic responses to anomalous North American snow cover [J]. *Journal of Climate*, 2010, 23(3): 785-799.
- [7] 孙秀忠, 罗勇, 张霞, 等. 近46年来我国降雪变化特征分析[J]. *高原气象*, 2010, 29(6): 1594-1601.
- [8] 王颖, 赵春雨, 严晓瑜, 等. 1961-2007年辽宁省降雪量和降雪日数的气候变化特征[J]. *冰川冻土*, 2011, 33(4):729-737.
- [9] 李岩瑛, 张强, 孙爱芝, 等. 祁连山及周边地区降雪气候特征研究[J]. *冰川冻土*, 2008, 30(3): 383-391.
- [10] 杨晓玲, 薛生梁, 丁文魁, 等. 河西走廊东部降雪分布及人工增雪研究[J]. *干旱区研究*, 2005, 22(4): 481-484.
- [11] 江毅, 钱维宏. 内蒙古大(暴)雪的区域特征[J]. *地理学报*, 2003, 58(S1): 38-48.
- [12] 周陆生, 李海红, 汪青春. 青藏高原东部牧区大一暴雪过程及雪灾分布的基本特征[J]. *高原气象*, 2000, 11, 19(4): 450-458.
- [13] 董安祥, 瞿章, 尹宪志, 等. 青藏高原东部雪灾的奇异谱分析[J]. *高原气象*, 2001, 20(2): 214-219.
- [14] 董文杰, 韦志刚, 范丽军. 青藏高原东部牧区雪灾的气候特征分析[J]. *高原气象*, 2001, 20(4): 402-406.
- [15] 马林, 李锡福, 张青梅, 等. 青藏高原东部牧区冬季雪灾天气的形成及其预报[J]. *高原气象*, 2001, 20(3): 325-331.
- [16] 宫德吉, 李彰俊. 内蒙古大(暴)雪与白灾的气候学特征[J]. *气象*, 2000, 26(12): 24-28.
- [17] 赵春雨, 王冀, 严晓瑜, 等. 东北地区冬季降雪的气候特征及其区划[J]. *自然灾害学报*, 2009, 18(5): 29-35.
- [18] 徐俊荣, 仇家琪. 天山地区30年来冬季降雪波动研究[J]. *冰川冻土*, 1996, 18(S1): 123-128.
- [19] 赵俊荣, 郭金强. 天山北坡中部一次罕见特大暴雪天气成因[J]. *干旱气象*, 2010, 28(4): 438-442.
- [20] 杨莲梅, 杨涛, 贾丽红, 等. 新疆大一暴雪气候特征及其水汽分析[J]. *冰川冻土*, 2005, 27(3): 389-396.
- [21] 张录军, 钱永甫. 长江流域汛期降水集中程度和洪涝关系研究[J]. *地球物理学报*, 2003, 47(4): 622-630.
- [22] 王冀, 赵春雨, 姜德君. 东北地区冬季降雪的集中度和集中期变化特征[J]. *地理学报*, 2010, 65(9): 1069-1078.
- [23] 胡汝骥. 中国天山自然地理[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2004.
- [24] 孙霞, 吴自勤, 黄昀. 分形原理及其应用[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2003.
- [25] H.E.Hurst. Long-term storage capacity of reservoirs[J]. *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, 1951, 116: 770-808.
- [26] Mandelbrot B. B. How long is the coast of Britain Statistical self-similarity and fractional dimension[J]. *Science*, 1967, 150 (3775): 636-638.
- [27] Mandelbrot B. B. Fractal: Form, Chance and Dimension[M]. San Francisco: W. H. Freeman, 1977.
- [28] Mandelbrot B. B. The Fractal Geometry of Nature[M]. New York: W. H. Freeman, 1982.
- [29] M & James R. WALLIS. Robustness of the rescaled range R/S in the measurement of noncyclic long-run statistical dependence[J]. *Water Resources Research*, 1969, 5(5): 967-988.
- [30] 秦耀辰, 刘凯. 分形理论在地理学中的应用研究进展[J]. *地理科学进展*, 2003, 22 (4): 426- 436.
- [31] Zhang Lu-Jun, Qian Yong-Fu. Annual distribution features of the yearly precipitation in China and their interannual variations[J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 2003, 17(2): 146-163.

The Change Characteristics of Winter Snowfall, Snow Concentration Degree and Concentration Period in the Tianshan Mountains

LI Xiaoshou¹, ZHANG Mingjun^{1,2}, WANG Baolong¹, WANG Yuanyuan¹, WANG Shengjie¹

(1. College of Geography and Environmental Sciences, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China;

2. State Key Laboratory of Cryospheric Sciences/Tianshan Glaciological Station, Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Tianshan is a snow disaster-prone area. Developing research on the variation of Tianshan snowfall is good to improve the snowstorm forecast. In this paper, based on the data of winter snowfall during 1961-2010 from twenty-one meteorological stations in the Tianshan Mountains, the spatial and temporal variability of snowfall, snow concentration degree (CD) and concentration period (CP) were analyzed with methods of regression analysis, Inverse Distance Weighted and wavelet analysis, and the winter snowfall variation in future was predicted using Rescaled Range Analysis. The results are as follows: the winter snowfall increases significantly; over the same period, snowfall's CD and CP also increase but not significantly; the differences in spatial distribution are still significant; winter snowfall, CD and CP have different cycle variations in certain time-series, and the cycle is rather significant; the tendency of snowfall's CD and CP on south (north) slope is different from that on north slope in terms of inter-annual change; snowfall's CD in Tianshan decreases roughly from south slope to north slope, while the CP decreases roughly from west to east. The upward tendency of snowfall's CD and CP on south slope shows that snowstorm will possibly increase in late winter. Although snowfall's CD decreases on north slope, the tendency of snowfall is much significant, so north slope is still snow disaster-prone areas. In order to reduce the economic losses caused by snowstorm, relevant departments shall take timely preventive measures. In addition, to further analyze the snowfall characteristics, we need to start research work of its circulation background soon.

Key words: Tianshan Mountains; Snowfall; Concentration degree; Concentration period; Rescaled Range Analysis