

DOI:10.7522/j.issn.1000-0240.2019.0090

LI Qian, WEI Fengying, LEI Xiangjie. The variation characteristics of snow cover days and its influencing factors in cold season in the Qinling Mountains from 1961 to 2016[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2020, 42(3):780-790. [李茜, 魏凤英, 雷向杰. 1961-2016年秦岭山区冷季积雪日数变化特征及其影响因子[J]. 冰川冻土, 2020, 42(3):780-790.]

# 1961-2016年秦岭山区冷季积雪日数变化特征及其影响因子

李茜<sup>1</sup>, 魏凤英<sup>2</sup>, 雷向杰<sup>1</sup>

(1. 陕西省气候中心, 陕西 西安 710015; 2. 中国气象科学研究院 灾害天气国家重点实验室, 北京 100081)

**摘要:** 根据1961-2016年秦岭地区32个气象站点的气温、降水及积雪等相关数据, 运用REOF、M-K检验和小波分析等方法, 对秦岭地区冷季积雪日数的时空变化和影响因子进行分析。结果表明: 秦岭地区冷季多年平均积雪日数表现为北坡比南坡积雪日数多。在全球气候变暖的背景下, 海拔越高积雪日数减少的越多。秦岭冷季积雪日数呈现显著减少的趋势, 5个区的积雪日数年代际变化特征显著, 在20世纪末到21世纪初发生了由积雪日数偏多到偏少的突变。各区冷季积雪日数的周期变化主要集中在10~20 a, 秦岭南坡同时也显示了较为明显的4 a左右的周期变化。西北太平洋海温阶段性增暖是导致秦岭冷季积雪日数减少的外强迫因素。秦岭地区冷季平均气温的显著增暖和冷季降水量的显著减少直接造成积雪日数的减少。秦岭冷季积雪日数减少的突变要比气温增暖的突变大约滞后4~7 a。

**关键词:** 秦岭; 冷季; 积雪日数; 平均气温

**中图分类号:** P468.0\*25 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-0240(2020)03-0780-11

## 0 引言

积雪是气候系统中冰冻圈的一部分, 对气候系统有很大的影响。积雪不仅受到大气环流的影响<sup>[1-4]</sup>, 也对后期气候变化有明显的反馈作用<sup>[5-7]</sup>。影响积雪的地理环境、气象背景等千差万别, 导致积雪空间分布也不均匀。近些年, 许多学者就积雪变化及影响因子开展了相关研究<sup>[8-10]</sup>, 在全球变暖的背景下, 鉴于研究区域、时间等不同, 积雪变化规律也不同<sup>[11-12]</sup>。就北半球而言, 1922-2010年北半球春季积雪范围显著减少, 尤其是近40年减少的速度加快<sup>[13]</sup>。冬季气温的升高导致北半球中纬度地区降水(雪)量减少, 高纬度地区降水(雪)量增加, 特别是1970年以来3月的北半球积雪面积显著减少<sup>[14]</sup>。Choi等<sup>[15]</sup>研究表明1967-2008年在西欧、中亚和东亚及美国西部山区等地区的雪季持续时间缩短了5~25 d不等。中国范围内的积雪变化

也有显著的局地差异<sup>[16-19]</sup>, 一些研究表明我国局地积雪有增加的趋势, 张晓雯等<sup>[20]</sup>发现1979-2016年东北地区年均积雪日数呈现增加趋势, 并且春季平均积雪日数主导了全年的积雪日数的变化, 气温是影响该地区积雪日数的主要因素。徐士琦等<sup>[21]</sup>研究表明1961-2016年吉林省积雪增量和积雪日数呈现增加的趋势, 积雪增量和积雪日数阶段特征明显, 60-80年代增加, 90年代减少, 尤其是2000年以后积雪迅速增多。也有研究表明我国局地积雪有减少的趋势, 王春学等<sup>[22]</sup>研究表明近50 a来, 春、秋季中国积雪日数和最大积雪深度呈现整体缓慢减少的趋势, 冬季积雪日数为增加趋势, 气温是影响积雪产生和维持的重要因素。秦艳等<sup>[23]</sup>发现天山山区积雪面积呈现略微减少的趋势, 秋季略微增加, 春季不明显, 冬季和夏季为减少的趋势。春、夏季, 温度是主要的影响因素; 秋、冬季, 降水对积雪面积的影响大于温度。新疆冬春季积雪主

收稿日期: 2018-12-26; 修订日期: 2019-07-19

基金项目: 中国气象局气候变化专项(CCSF201845); 陕西省自然科学基金研究计划项目(2019JQ-990)资助

作者简介: 李茜(1984-), 女, 陕西西安人, 高级工程师, 2011年在南京信息工程大学获博士学位, 从事气候诊断及预测研究。

E-mail: liqian2011@163.com.

要分布在天山以北, 50 a 以来积雪深度有小幅增加, 但积雪日数有下降的趋势<sup>[24]</sup>。雷向杰等<sup>[25]</sup>利用秦岭主峰太白山站, 眉县站的积雪观测资料, 发现 1962–2014 年太白山西部中山区的积雪日数显著减少, 积雪深度也呈现波动变浅的趋势, 1980–2014 年太白山西部高山积雪日数也呈现减少的趋势。

秦岭是我国南北地理分界线, 也是我国气候的分界线, 其独特的地理背景造就了秦岭地区受气候变化影响明显<sup>[26–27]</sup>。秦岭山脉以北为暖温带, 以南为北亚热带, 秦岭南北地区气候差异很大。秦岭的垂直气候带也非常明显, 就太白山而言, 从下到上分为暖温带、中温带、寒温带和亚寒带<sup>[28]</sup>。目前, 关于秦岭地区积雪变化的研究大多是单站分析, 少有时空变化方面的研究, 特别是影响秦岭地区积雪时空变化因子的相关研究甚少。那么, 在全球变暖的背景下, 秦岭地区积雪是如何变化的, 其影响因子又有哪些? 本文基于 1961–2016 年秦岭地区 32 个气象站积雪观测数据, 全面地分析了秦岭地区冷季积雪日数的时空变化特征, 并结合月降雪日数、

降水、气温和 NCEP/NCAR 数据揭示气候变化对积雪日数的影响, 探讨了秦岭地区冷季积雪日数的变化规律。

## 1 资料与方法

选用 1961 年 1 月 1 日–2016 年 12 月 30 日陕西省 32 个台站逐日观测资料, 包括降水, 气温, 积雪日数, 月雪日数, 积雪深度等气象观测资料, 数据来源于陕西省气象信息中心, 按照中国气象局发布的《地面气象观测规范》, 经过严格的质量审核。文中所选取的 32 个气象站为秦岭山区具有长时间序列观测资料的台站, 且站点较为均匀的分布在中高山区、低山区和坳源区。在分析时, 将当年 11 月 1 日–次年 4 月 30 日作为冷季, 当气象站四周视野地面被雪(包括米雪、霰、冰粒)覆盖超过一半以上时, 记为 1 个积雪日<sup>[29]</sup>。本文按照冷季统计积雪日。图 1 为本文所选取的研究范围。同时, 还使用 1961–2016 年 NCEP/NCAR 再分析资料包括全球逐月高度场、风场、海温资料, 来源 <https://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalysis.html>。

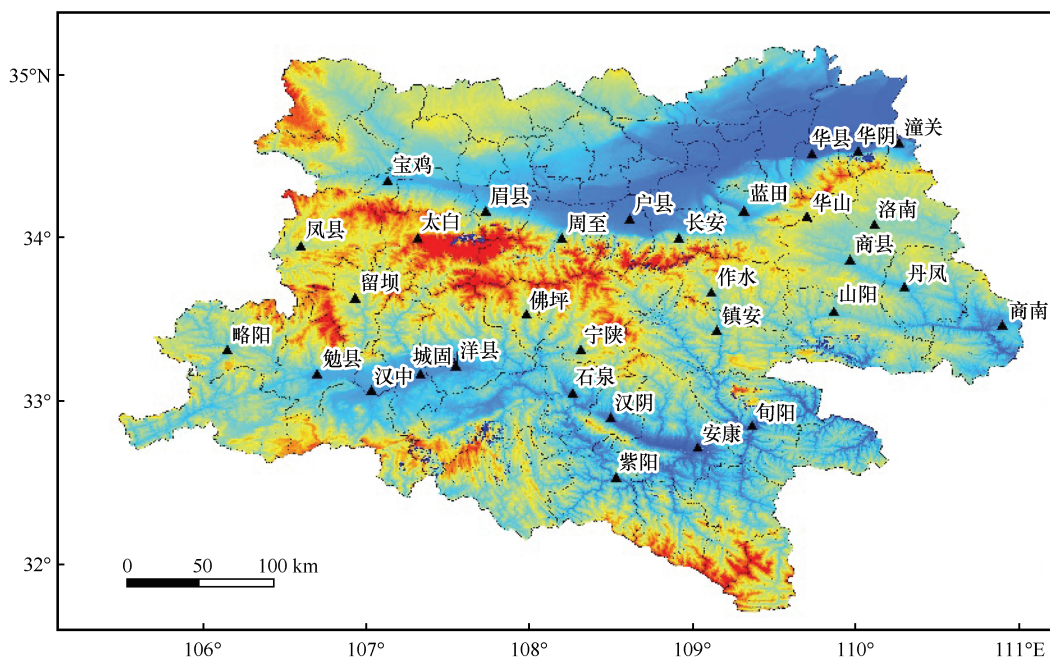


图 1 秦岭地区观测站点分布

Fig. 1 Distribution of the observation stations in the Qinling Mountains

本文运用了旋转经验正交函数 (REOF)、Mann-Kendall 检验法和小波分析等统计方法。REOF 分析方法是在全域特征分析基础上显示局域特征的客观分析方法<sup>[30]</sup>。M-K 检验法是一种非参数

统计方法, 能够有效区分某一自然过程是处于自然波动还是存在确定的变化趋势, 主要用于趋势检验<sup>[31]</sup>。小波分析用来分析气象要素时间序列局部变化特征, 选用常用的 Morlet 小波, 该小波是复小

波,可以用来进行周期分析<sup>[31]</sup>。而且,通过各特征向量的高载荷区域对气候变量场进行区域和类型等划分,划分了秦岭地区积雪的不同气候分区。

## 2 积雪日数的时空变化特征

### 2.1 空间分布

1961–2016年秦岭地区冷季的多年平均积雪日数空间分布如图2所示,可以看出,呈现北多南少的分布,表现为北坡积雪日数比南坡多,并与海拔

呈正比关系,即海拔越高地区积雪日数越多。冷季积雪日数最多站点为华山站(34°08′ N, 109°42′ E, 海拔 2 064.9 m), 共有 70 d, 其次是太白站(34°02′ N, 107°19′ E, 海拔 1 543.6 m), 有 31 d。冷季的多年平均积雪日数的线性倾向率为一致的下降趋势,其分布与海拔呈反比关系,即海拔越高线性倾向率越小,也就是说海拔越高积雪日数减少的越多。华山站冷季积雪日数达到每 10 a 减少 8.3 d。其他大部分站点冷季积雪日数每 10 a 减少 1 d 左右。

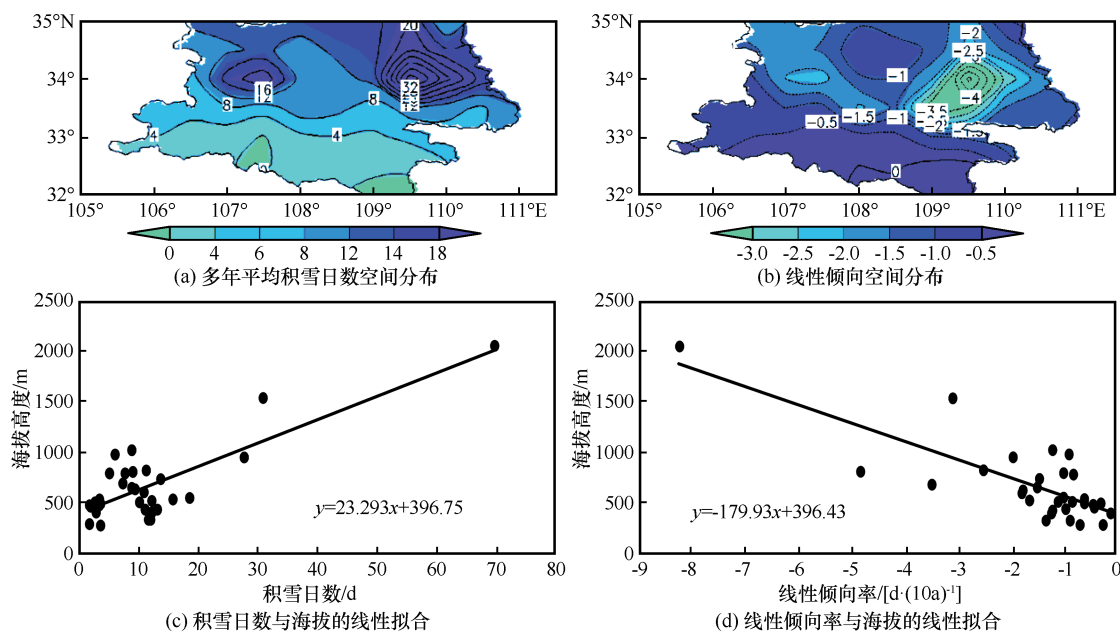


图2 1961–2016年秦岭地区冷季的多年平均积雪日数(a)(单位: d)以及线性倾向分布(b)[单位:  $d \cdot (10a)^{-1}$ ]的空间分布情况, 积雪日数与海拔的线性拟合(c)和线性倾向率与海拔的线性拟合(d)

Fig. 2 The spatial distributions of linear dip rate of annual mean snow cover days (a) and linear dip rate of snow days (b), snow cover days changing with elevation (c), linear dip rate of snow days changing with elevation (d) in the cold season in the Qinling Mountains from 1961 to 2016

### 2.2 分区

秦岭地区积雪日数变化的空间差异比较大。对此,进一步分区来讨论积雪日数的变化特征。对1961–2016年秦岭地区冷季积雪日数进行REOF分解,给出经过旋转后的前5个特征向量(图3),它们在旋转前的解释方差贡献共为86%。

在第1空间模态中,等值线密集区位于秦岭地区中部地区,负的大值区域在秦岭地区南部,整体呈现的是南北反向的空间分布。负值中心位于宁陕、佛坪,为-0.98和-0.95。说明秦岭地区的南部在冷季积雪日数的变率较大。该地区大部位于秦岭南坡,随着西南季风和东南季风带来的大量孟湾和南海水汽,暖湿空气被迫沿着秦岭南坡爬

升,导致秦岭地区南坡降水变率比北坡大。从第2空间模态可以看出,整体呈现的是西北-东南反向的空间分布,正的高值区位于秦岭地区西北部,负值中心为眉县,为0.97。眉县是秦岭地区主峰太白山所在的位置,最高海拔达到3 771.2 m,也是我国大陆东部的第一高山<sup>[25]</sup>。第3空间模态显示的是东西反向的空间分布,正高值区位于秦岭地区东北部,正值中心为华阴和华县,为0.96。第4空间模态可以看出,秦岭地区中间和东西两侧反向空间分布,正高值区位于秦岭地区东南部,正值中心位于洛南,为0.92。第5空间模态负值中心位于秦岭地区西部太白和凤县,正值中心位于镇安。



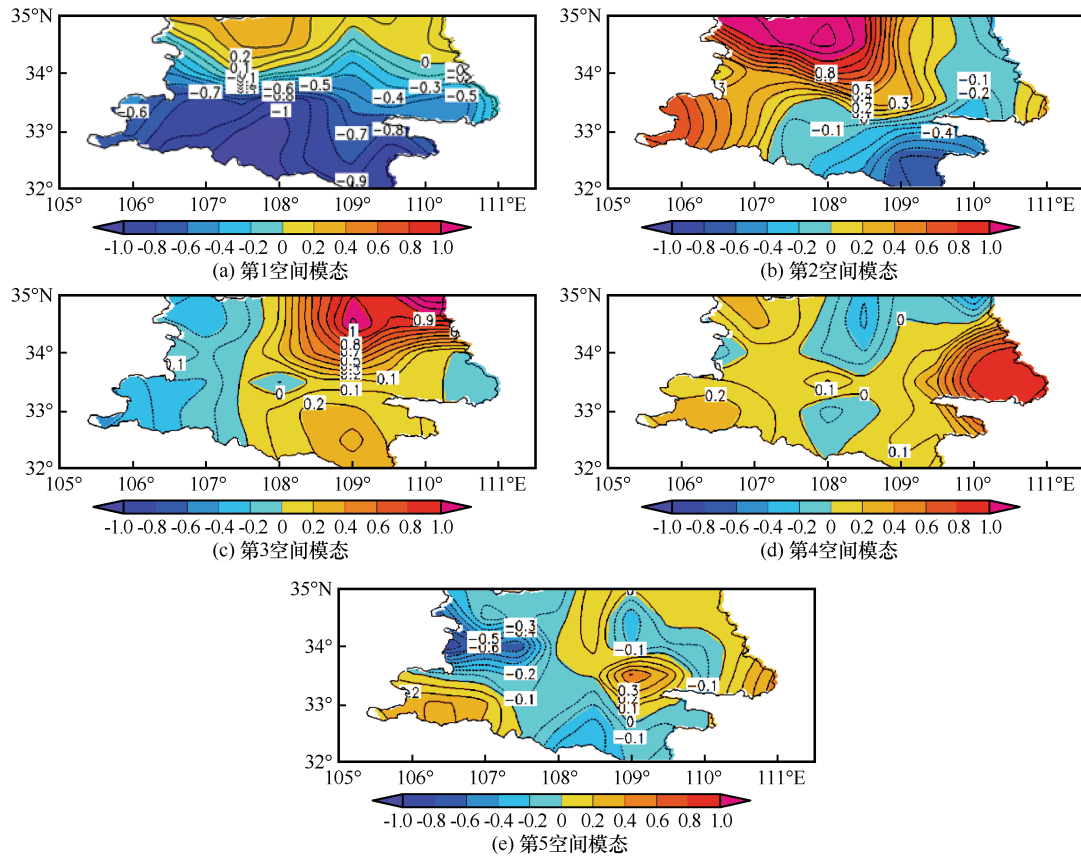


图3 秦岭地区冷季积雪日数前5个旋转空间模式

Fig. 3 The first five rotating spatial modes of cold season snow days in the cold season in the Qinling Mountains

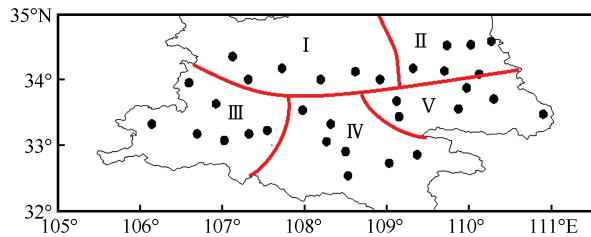


图4 秦岭地区冷季积雪日数气候分区

Fig. 4 Climatic division of cold season snow cover days in the Qinling Mountains

按照载荷绝对值大于0.5的高载荷分布区域来考虑,大致可以将秦岭地区分为5个区域(图4):西北区(I),东北区(II),西南区(III),南区(IV),东南区(V)。

### 2.3 各区的年际和年代际变化特征

根据图4中的分区情况,针对5个区的积雪日数变化趋势分别进行分析。从图5可以看出,5个区的积雪日数均呈现减少变化趋势。秦岭北坡(I区和II区)为5个区中积雪日数偏多的,其中II区积雪日数最多;秦岭南坡(III区、V区和IV区)积雪日数偏少,其中III区和V区最少,均在13 d以下。

1994—1999年I区平均积雪日数减少较快,到1999年仅有1.2 d, I区平均积雪日数最多的年份是1969年,达到32.8 d,其次是2008年,为28.3 d。II区平均积雪日数最少年也是1999年,仅有4.8 d,最多年份是1972年,达49.7 d。III区平均积雪日数最多年为1977年,有10 d,最少的时候为0.5 d。V区平均积雪日数最多年为1999年,有12.9 d,在1999、2002和2009年没有积雪。平均积雪日数最多年在1964年,达33.7 d,在1999年也没有积雪。

为了确定冷季积雪日数突变的年份,我们对各区积雪日数的变化趋势做了Mann-Kendall突变检验(图6)。可以发现,5区的冷季积雪日数在20世纪末到21世纪初之间发生了显著的突变现象,积雪日数出现明显的减少。根据UF和UB的曲线交点位置,确定了I区冷季积雪日数减少是从1997年开始的。II区和V区冷季积雪日数减少的突变点也均出现在1997年。III区和IV区冷季积雪日数减少的突变出现得较晚,分别发生在2002年和2007年。



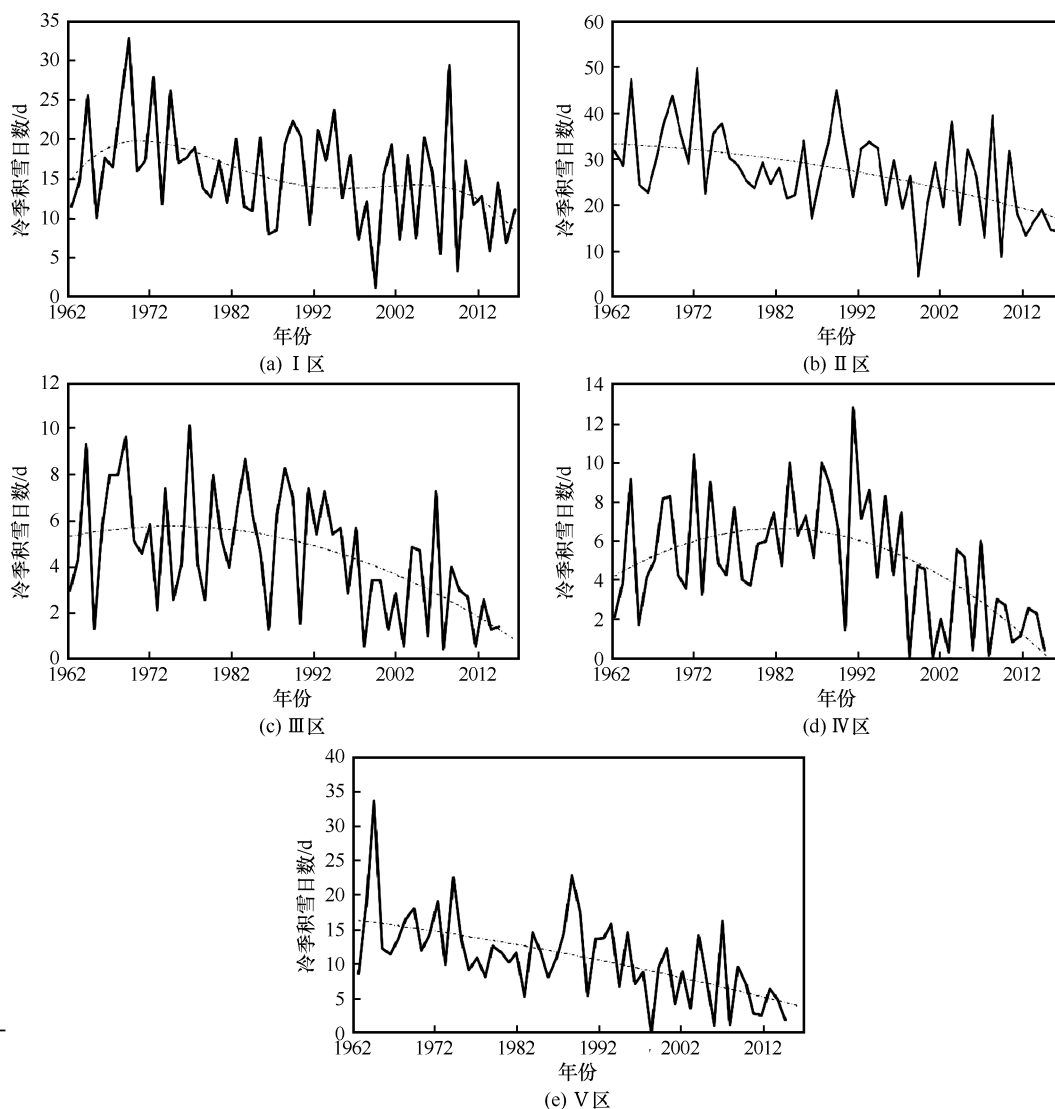


图5 秦岭各区冷季积雪日数的变化趋势

Fig. 5 Annual variations of snow cover days in the cold season in Zone I (a), Zone II (b), Zone III (c), Zone IV (d) and Zone V (e) in the Qinling Mountains

## 2.4 各区的周期分析

为了了解秦岭地区各区积雪日数的多时间尺度周期变化特征,本文对其分别进行了小波分析(图7)。图7中等值线代表积雪日数在不同时间尺度振荡的变化,红色表示积雪日数偏多,蓝色表示积雪日数偏少。秦岭地区北坡的I区和II区冷季积雪日数存在较为一致的周期变化,主要存在20 a左右的周期变化。从20 a周期尺度上来看,I区和II区近十几年积雪日数处于偏少时期。秦岭地区南坡的III区、IV区和V区的周期变化不一致。主要存在10~20 a左右的周期变化,同时也有较为明显的5 a左右的周期变化。III区在20世纪80年代末,90年代及21世纪初主要表现为4 a左右的周期变化,其他时段为14 a和10 a左右的周期变化。IV区

在整个时段都存在4 a左右的周期变化,同时在21世纪存在16 a左右的周期变化。V区主要变现为20 a、16 a和4 a左右的周期变化。

## 3 成因分析

### 3.1 秦岭地区积雪日数变化与海洋、大气环流异常的关系

根据秦岭地区冷季积雪日数变化曲线(图略),选取冷季积雪日数最多和最少的前5年,分别对海温和环流场进行合成分析。图8是冷季积雪日数偏多年(1989年、2008年、1992年、1994年、1990年)与冷季积雪日数偏少年(1999年、2009年、2007年、2013年、2004年)合成的SST海温场,500 hPa

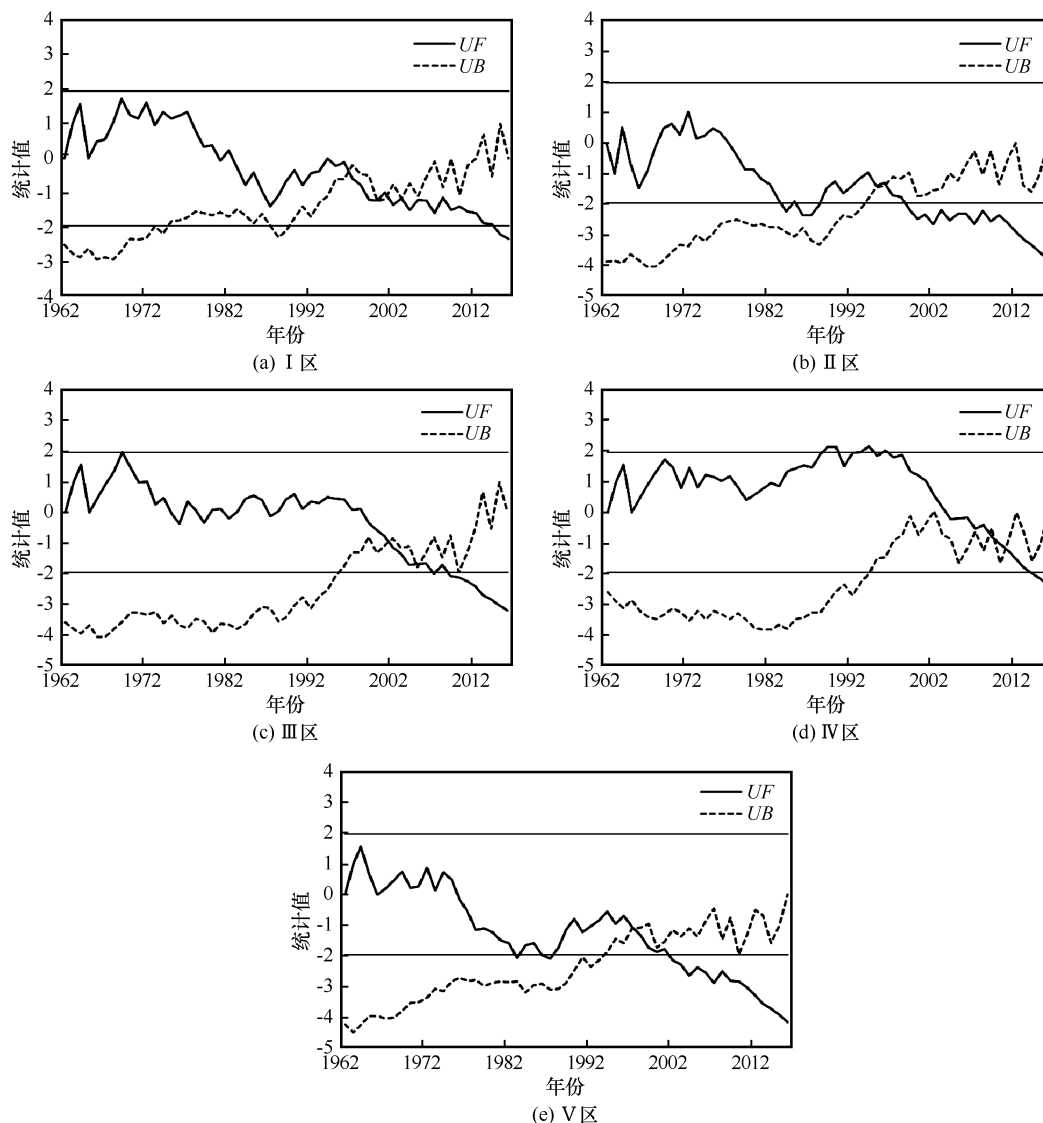


图6 秦岭各区冷季积雪日数 M-K 统计量曲线(直线为  $\alpha=0.05$  显著性水平临界值)

Fig. 6 The M-K statistic curves of snow cover days in cold season in Zone I (a), Zone II (b), Zone III (c), Zone IV (d) and Zone V (e) in the Qinling Mountains (the straight line showing significance level critical value of  $\alpha=0.05$ )

合成高度距平场, 以及 850 hPa 风场距平图。由图 8(a)、8(b)可知, 在冷季积雪日数异常偏多年, 北太平洋地区和赤道太平洋地区海温均呈现出负距平。在冷季积雪日数异常偏少年, 负距平海温的范围明显缩小, 而在黑潮, 西风漂流区海温表现出正距平。这说明, 赤道东太平洋为冷位相时, 秦岭地区更易出现积雪日数偏多。在发生拉尼娜事件时, 东亚经向环流异常, 北方地区盛行偏北气流, 冬季秦岭地区气温偏低, 不利于积雪消融, 导致积雪日数偏多。

对于冷季积雪日数偏多期[图 8(c)、8(e)], 我国东北地区及贝湖一带为正距平, 中高纬呈现的是“+”的分布型, 说明高压脊和东亚大槽均有所减弱, 东亚冬季风减弱情况不利于冷空气向南移动,

且秦岭地区以偏东北气流和偏南气流为主, 有利于西北太平洋及孟加拉湾的水汽输送到秦岭地区, 这均利于在秦岭地区形成雨雪天气。

对于冷季积雪日数偏少期[图 8(d)、8(f)], 在我国东北地区北部及贝湖一带为负距平, 中高纬呈现的是“+ - +”的分布, 说明高压脊和东亚大槽均有所增强, 东亚冬季风的加强有利于冷空气向南移动, 且秦岭地区处于西北气流, 不利于水汽输送, 进而不利于冷季出现雨雪天气。

### 3.2 秦岭各区域积雪日数与地面气象要素的关系

影响积雪消融的直接因素是气温变化, 冷季降水量及月降雪日数也会直接影响积雪的深浅。为了了解冷季秦岭地区积雪变化的直接原因, 分析了

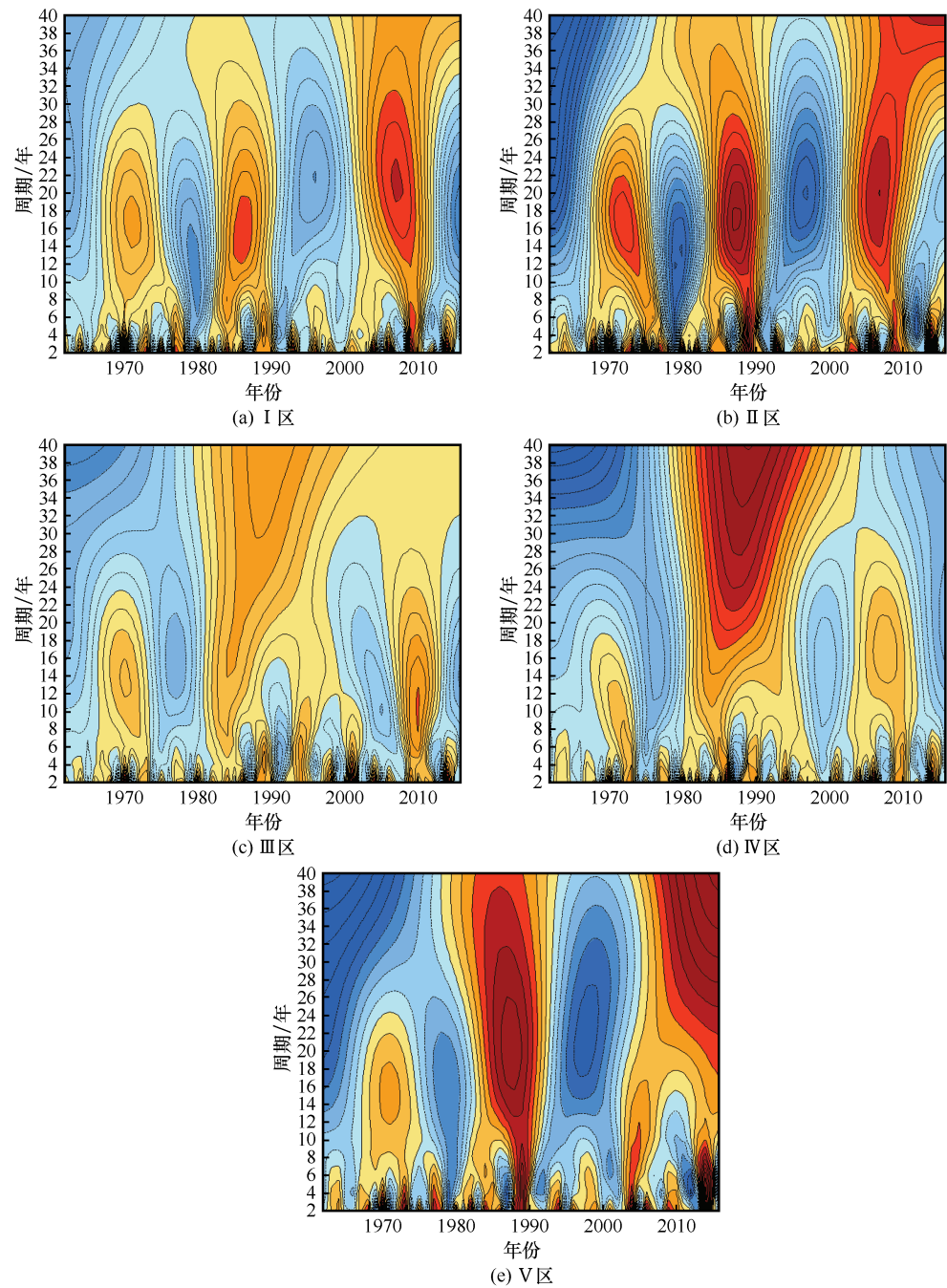


图7 秦岭各区冷季积雪日数的小波周期变化

Fig. 7 The wavelet periodic variations of the snow cover days in the cold season in Zone I (a), Zone II (b), Zone III (c), Zone IV (d) and Zone V (e) in the Qinling Mountains

其与各區平均气温, 降水量, 最大积雪深度和月降雪日数的相关。从表1可以看出, 除了IV区积雪日数与降水量相关系数没有通过 $\alpha=0.05$ 的信度水平, 其余均通过了 $\alpha=0.05$ 的信度水平。IV区的积雪日数和降水量相关不好, 有可能与地理位置有关, 其海拔相对低、纬度也低, 降雪易融化。在平均气温, 降水量, 最大积雪深度和月降雪日数这4个气象要素中, 与积雪日数相关性最好的是月降雪

日数, 5个区域相关系数均在0.8以上。说明冷季降雪的日数越多, 积雪日数也就越多。其次是平均气温, 表现的是负相关, 各区域相关系数均在-0.6~-0.7之间。相关性最差的是降水量, 其中II区的降水量与冷季积雪日数相关最好, 达到了0.45。这可能是与海拔关系较为密切, 海拔相对高的地区, 温度也相对较低, 冷季降水量中降雪量占的比重相对较大。



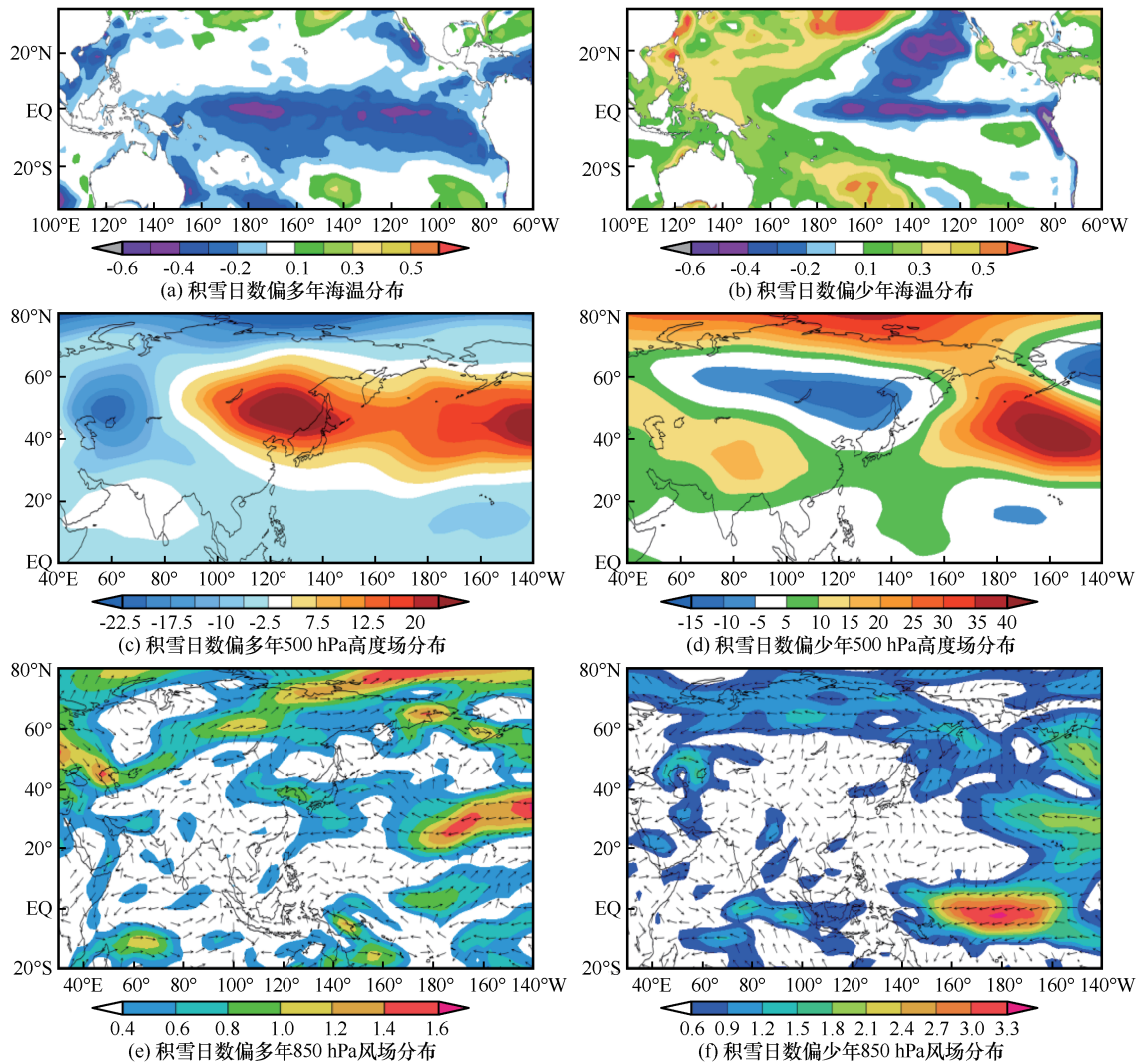


图8 秦岭冷季积雪日数偏多年(a、c、e)和偏少年(b、d、f)的海温(单位: K)、500 hPa 高度场(单位: gpm)、850 hPa 风场(单位:  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )分布

Fig. 8 Distribution of sea surface temperature (unit: K), 500 hPa height field (unit: gpm) and 850 hPa wind field (unit:  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) in the cold season for the years of more snow cover days (a, c, e) and of the less years (b, d, f) in the Qinling Mountains

表1 冷季积雪日数与冷季降水, 平均气温, 月雪日数, 深度的相关						
Table 1 The correlation coefficient of snow cover days, precipitation, temperature, monthly snow days and depth in the cold season	I	II	III	IV	V	全区
平均气温	-0.62**	-0.70**	-0.70**	-0.68**	-0.69**	-0.70**
降水量	0.30*	0.45**	0.30*	0.12	0.36**	0.38**
最大积雪深度	0.82**	0.51**	0.72**	0.86**	0.79**	0.79**
月雪日数	0.8**	0.85**	0.87**	0.82**	0.88**	0.89**

注: \*\*通过 $\alpha=0.01$ 信度水平, \*通过 $\alpha=0.05$ 信度水平。

根据2.3节中冷季积雪日数减少的突变年份, 计算冷季降水和平均气温在突变年份前后的差异(表2)。冷季平均气温除了I区突变年份前后差 $2.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 外, 其余4个区冷季平均气温相差 $0.8\sim 1.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 且均通过了 $\alpha=0.01$ 的信度水平。冷季降水量在突变年份前后也有显著的变化, 减少量在 $14\sim$

$30\text{ mm}$ 之间。其中I区、II区和V区降水量在冷季积雪日数减少的突变年份前后, 有显著的差异, 通过了 $\alpha=0.05$ 的信度水平。III区和IV区的降水量在冷季积雪日数减少的突变年份前后虽然也有变化, 但是没有通过 $\alpha=0.05$ 的信度水平。冷季积雪日数减少的突变年份前后, 冷季平均气温和I区、II区

表2 冷季积雪日数突变年份前后气象要素的比较

Table 2 The average of the temperature and precipitation in the cold season before and after the sudden change years of the snow cover days

	I		II		III		IV		V	
平均气温(℃)	3.4**	5.7**	3.5**	4.6**	6.4**	7.4**	7.3**	8.1**	5.7**	6.7**
降水量(mm)	130*	105*	142.4*	114.1*	128.3	114.9	153.7	139.3	150.5*	121.2*

注：\*\*通过 $\alpha=0.01$ 信度水平，\*通过 $\alpha=0.05$ 信度水平。

和V区冷季降水量确实存在显著差异，那么他们发生突变事件的时间是否是一致的呢？为此，我们又对5个区的冷季降水，平均气温分别做了M-K检验（图略）。

通过M-K检验发现5个区的冷季降水均出现显著减少的趋势，20世纪80年代开始这种减少趋势超过了显著性水平0.05临界线，5个区的冷季平均气温则为显著增温的趋势。具体突变年份见表3。5个区及全区冷季降水量减少的突变年份均在20世纪70年代，而冷季平均气温增温的突变年份则均在20世纪90年代。冷季降水量减少和冷季平均气温增温的突变年份均在冷季积雪日数减少之前。5个区基本上呈现出冷季平均气温增温趋势出现的早，其对应的冷季积雪日数减少趋势也出现的较早，反之亦然。冷季平均气温的突变年份超前冷季积雪日数的年份数：I区超前5年，II区超前3年，III区超前4年，IV区超前4年，V区超前7年，全区超前4年。说明积雪日数对气温变化的响应有一定的滞后期。

表3 秦岭不同气候区气象要素的突变年份

Table 3 The abrupt years of snow cover days, precipitation and average temperature in cold season

	I	II	III	IV	V	全区
平均气温	1992年	1994年	1998年	1998年	1990年	1995年
降水量	1977年	1977年	1977年	1970年	1974年	1974年
冷季积雪日数	1997年	1997年	2002年	2002年	1997年	1999年

## 4 结论

本文基于1961—2016年地面气象站气温、降水量及积雪相关数据，对秦岭地区冷季积雪日数的时空变化、周期和影响因子进行了初步分析，主要结论如下：

（1）秦岭地区冷季积雪日数表现为北坡比南坡多。冷季积雪日数最多站点为华山站，其次是太白站。冷季的多年平均积雪日数的线性倾向率与海拔呈反比，海拔越高积雪日数减少的越多。

（2）根据秦岭冷季积雪日数的空间分布将秦岭地区划分为5个区。5个区的冷季积雪日数均出现显著的减少趋势，并存在突变现象，突变年份为1997年、1997年、2002年、2009年和2002年。5个区冷季积雪日数的周期变化主要集中在10~20 a。秦岭南坡同时也显示了较为明显的4 a左右周期变化。

（3）秦岭冷季积雪日数偏多年和偏少年，在西北太平洋区海温表现出较常年偏冷海温和偏暖海温的差异，高压脊和东亚大槽表现出减弱和增强的差异。

（4）影响秦岭冷季积雪日数显著减少最直接原因就是冷季气温增暖和冷季降水量的减少。在20世纪90年代中期秦岭冷季平均气温显著增暖且有突变点，加上冷季降水量的减少，在此4年后，秦岭5区的冷季积雪日数也均呈现了显著减少的变化。

## 参考文献(References):

- [1] Bamzai A S. Relationship between snow cover variability and Arctic Oscillation index on a hierarchy of time scales[J]. International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society, 2003, 23(2): 131–142.
- [2] Immerzeel W W, Droogers P, De Jong S M, et al. Large-scale monitoring of snow cover and runoff simulation in Himalayan river basins using remote sensing[J]. Remote Sensing of Environment, 2009, 113(1): 40–49.
- [3] Zhang Renhe, Zhang Ruonan, Zuo Zhiyan. An overview of winter snow cover characteristics over China and the impact of Eurasian snow cover on Chinese climate[J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2016, 27(5): 513–526. [张人禾, 张若楠, 左志燕. 中国冬季积雪特征及欧亚大陆积雪对中国气候影响[J]. 应用气象学报, 2016, 27(5): 513–526.]
- [4] Bednorz E. Snow cover in eastern Europe in relation to temperature, precipitation and circulation[J]. International Journal of Climatology, 2004, 24(5): 591–601.
- [5] Chen Xingfang, Song Wenling. Circulation analysis of different influence of snow cover over the Tibetan Plateau and Eurasia in winter on summertime droughts and floods of China[J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 2000, 24(5): 585–592. [陈兴芳, 宋文玲. 冬季高原积雪和欧亚积雪对我国夏季旱涝不同影响关系的环流特征分析[J]. 大气科学, 2000, 24(5): 585–592.]
- [6] Qin Dahe, Liu Shiyin, Li Peiji. Snow cover distribution, vari-

- ability, and response to climate change in western China[J]. *Journal of Climate*, 2006, 19(9): 1820–1833.
- [7] Déry S J, Brown R D. Recent Northern Hemisphere snow cover extent trends and implications for the snow-albedo feedback[J]. *Geophysical Research Letters*, 2007, 34(22): L22504.
- [8] Negi H S, Kulkarni A V, Semwal B S. Estimation of snow cover distribution in Beas basin, Indian Himalaya using satellite data and ground measurements[J]. *Journal of Earth System Science*, 2009, 118(5): 525–538.
- [9] Guo Jianping, Liu Huan, An Linchang, et al. Study on variation of snow cover and its orographic impact over Qinghai-Xizang Plateau during 2001–2012[J]. *Plateau Meteorology*, 2016, 35(1): 24–33. [郭建平, 刘欢, 安林昌, 等. 2001–2012 年青藏高原积雪覆盖率变化及地形影响[J]. *高原气象*, 2016, 35(1): 24–33.]
- [10] Kulkarni A V, Rathore B P, Singh S K. Distribution of seasonal snow cover in central and western Himalaya[J]. *Annals of Glaciology*, 2010, 51(54): 123–128.
- [11] Dietz A J, Kuenzer C, Conrad C. Snow-cover variability in central Asia between 2000 and 2011 derived from improved MODIS daily snow-cover products[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2013, 34(11): 3879–3902.
- [12] Chen Chunyan, Li Yi, Li Qihang. Snow cover depth in Urumqi region, Xinjiang: evolution and response to climate change[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2000, 24(5): 585–592. [陈春艳, 李毅, 李奇航. 新疆乌鲁木齐地区积雪深度演变规律及对气候变化的响应[J]. *冰川冻土*, 2015, 37(3): 587–594.]
- [13] Brown R D, Robinson D A. Northern Hemisphere spring snow cover variability and change over 1922–2010 including an assessment of uncertainty[J]. *The Cryosphere*, 2011, 5(1): 219–229.
- [14] McCabe G J, Wolock D M. Long-term variability in Northern Hemisphere snow cover and associations with warmer winters[J]. *Climatic Change*, 2010, 99(1/2): 141–153.
- [15] Choi G, Robinson D A, Kang S. Changing northern hemisphere snow seasons[J]. *Journal of Climate*, 2010, 23(19): 5305–5310.
- [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] Zhong Zhentao, Li Xia, Xu Xiacong, et al. Analysis of temporal and spatial changes of snow cover in China from 1992 to 2010[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2018, 63(25): 2641–2654. [钟镇涛, 黎夏, 许晓聪, 等. 1992–2010 年中国积雪时空变化分析[J]. *科学通报*, 2018, 63(25): 2641–2654.]
- [18] Xi Ying, Li Dongliang, Wang Wen. Study of the temporal-spatial characteristics of snow covers days in Hetao and its vicinity[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2009, 31(3): 446–456. [惠英, 李栋梁, 王文. 河套及其邻近不稳定积雪区积雪日数时空变化规律研究[J]. *冰川冻土*, 2009, 31(3): 446–456.]
- [19] He Liye, Li Dongliang. Snow type classification in western China[J]. *Journal of Meteorology*, 2012, 70(6): 1292–1301. [何丽烨, 李栋梁. 中国西部积雪类型划分[J]. *气象学报*, 2012, 70(6): 1292–1301.]
- [20] Zhang Xiaowen, Zang Shuying, Sun Li. Spatial-temporal variation characteristics of snow cover days in Northeast China in the past 40 years and their relationship with climatic factors[J]. *Advances in Earth Science*, 2018, 33(9): 958–468. [张晓闻, 臧淑英, 孙丽. 近 40 年东北地区积雪日数时空变化特征及其与气候要素的关系[J]. *地球科学进展*, 2018, 33(9): 958–468.]
- [21] Xu Shiqi, Fu Shuai, Zhang Xiaoquan. Spatial-temporal variations of snow cover increment and days in Jilin Province from 1962 to 2016[J]. *Journal of Meteorology and Environment*, 2018, 34(2): 44–51. [徐士琦, 傅帅, 张小泉, 等. 1962–2016 年吉林省积雪增量与积雪日数时空变化特征[J]. *气象与环境学报*, 2018, 34(2): 44–51.]
- [22] Wang Chunxue, Li Dongliang. Spatial-temporal variations of snow cover days and the maximum depth of snow cover in China during recent 50 years[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2012, 34(2): 247–256. [王春雪, 李栋梁. 中国近 50 年积雪日数与最大积雪深度的时空变化规律[J]. *冰川冻土*, 2012, 34(2): 247–256.]
- [23] Qin Yan, Ding Jianli, Zhao Qidong, et al. Spatial-temporal variation of snow cover in the Tianshan Mountains from 2001 to 2015, and its relation to temperature and precipitation[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2018, 40(2): 249–260. [秦艳, 丁建丽, 赵求东, 等. 2001–2015 年天山山区积雪时空变化及其与温度和降水的关系[J]. *冰川冻土*, 2018, 40(2): 249–260.]
- [24] Hu Liequn, Li Shuai, Liang Fengchao. Analysis of the variation characteristics of snow covers in Xinjiang region during recent 50 years[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2013, 35(4): 793–800. [胡列群, 李帅, 梁凤超. 新疆区域近 50 年积雪变化特征分析[J]. *冰川冻土*, 2013, 35(4): 793–800.]
- [25] Lei Xiangjie, Li Yali, Li Qian, et al. The characteristics and causes of the snow cover variation in the Taibai Mountains during 1964–2014[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2016, 38(5): 1201–1210. [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.]
- [26] Zhong Zhaozhan, Li Kehuang. A primary study on the climatic boundary effect of the join zone between Qinling Mountain and Huanghuai Plain[J]. *Geographical Research*, 1996, 15(4): 66–73. [钟兆站, 李克煌. 秦岭–黄淮平原交界带气候边际效应初探[J]. *地理研究*, 1996, 15(4): 66–73.]
- [27] Yan Junhui, Yan Junping. Comparative study of temporal and spatial climate productivity in North-South Qinling under global climate change[J]. *Research of Agricultural Modernization*, 2009, 30(5): 587–590. [闫军辉, 延军平. 全球气候变化下秦岭南北气候生产力时空对比研究[J]. *农业现代化研究*, 2009, 30(5): 587–590.]
- [28] Zhao Dengzhong, Zhang Wanchang, Liu Sanchao. Interpolation of meteorological data based on DEM using Prism model[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2004, 24(2): 205–212. [赵登忠, 张万昌, 刘三超. 基于 DEM 的地理要素 PRISM 空间内插研究[J]. *地理科学*, 2004, 24(2): 205–212.]
- [29] An Di, Li Dongliang, Yuan Yun, et al. Contrast between snow cover data and different determination[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2009, 31(6): 1019–1027. [安迪, 李栋梁, 袁云, 等. 基于不同积雪日定义的积雪资料比较分析[J]. *冰川冻土*, 2009, 31(6): 1019–1027.]
- [30] Huang Jiayou. Analysis of temporal-spatial characteristics of summer temperature and precipitation field in China[J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 1991, 15(3): 124–132. [黄嘉佑. 我国夏季气温、降水场的时空特征分析[J]. *大气科学*, 1991, 15(3): 124–132.]



[31] Wei Fengying. Modern climate statistics diagnosed in prediction technology [M]. Beijing: China Meteorological Press,

1999: 43 – 47. [魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术 [M]. 北京: 气象出版社, 1999: 43 – 47.]

## The variation characteristics of snow cover days and its influencing factors in cold season in the Qinling Mountains from 1961 to 2016

LI Qian<sup>1</sup>, WEI Fengying<sup>2</sup>, LEI Xiangjie<sup>1</sup>

(1. Climate Center of Shaanxi Province, Xi'an 710015, China; 2. State Key Laboratory of Severe Weather, Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081, China)

**Abstract:** Based on the data of temperature, precipitation and snow cover days in the Qinling Mountains from 1962 to 2016 from 32 meteorological stations, the spatial and temporal changes and influence factors in the cold season, snow cover days were analyzed by REOF, M-K test and wavelet analysis. It is found that the average snow cover days in the cold season of the Qinling Mountains is higher than that in its southern slopes. There are more snow cover days in the higher altitude. Under global climate change, the snow cover days decrease rapidly. The snow cover days are significantly decreasing in the cold season. There are five districts where the decadal variation of snow cover days are significant. From the end of the 20th century to the beginning of the 21st century, there were sudden changes in snow cover days. The periodic changes of snow cover days in the cold season mainly concentrated in 10 ~ 20 a, and there were also have obvious 4 a period in the southern slopes of the Qinling Mountains. The seasonal increase of SST in the northwest Pacific Ocean was the external forcing factor for the decrease of snow days in cold season in the Qinling Mountains. The significant increase of mean temperature in cold season and the significant decrease of precipitation in cold season in the mountains directly resulted in the decrease of snow cover days. In the Qinling Mountains, the abrupt change of decreasing number of snow days in cold season lagged behind the abrupt change of temperature increase by about 4 ~ 7 a.

**Key words:** Qinling Mountains; cold season; snow cover days; averaged air temperature

(责任编辑: 周成林; 编辑: 周成林)