

郝晨阳,马秀枝,李长生,等. 1970—2019年内蒙古大兴安岭林区降雪特征分析[J]. 气象与环境学报, 2022, 38(5): 49–56.
HAO Chen-yang, MA Xiu-zhi, LI Chang-sheng, et al. Characteristics of snowfall events in Daxing'anling forest region from 1970 to 2019 in Inner Mongolia Autonomous Region[J]. Journal of Meteorology and Environment, 2022, 38(5): 49–56.

1970—2019年内蒙古大兴安岭林区降雪特征分析

郝晨阳¹ 马秀枝¹ 李长生² 田泓² 张茹¹ 吴昊³ 武玉龙²

(1. 内蒙古农业大学林学院, 内蒙古呼和浩特 010019; 2. 呼和浩特市气象局, 内蒙古呼和浩特 010051;
3. 内蒙古自治区气象干部培训学院, 内蒙古呼和浩特 010051)

摘要:基于1970—2019年内蒙古大兴安岭林区11个气象站逐日降水量和温度资料,提取降雪数据,采用趋势分析法、距平法、M-K突变法、滑动 t 检验法等,分析了大兴安岭林区降雪的时空变化特征。结果表明:大兴安岭林区总降雪量和各等级降雪量均呈增加趋势,其中小雪和暴雪的降雪量增加趋势较小;小雪和中雪量在21世纪00年代达到最大值,大雪和暴雪量在21世纪10年代达到最大值;各等级降雪量对总降水量的贡献率为小雪>中雪>大雪>暴雪;各等级降雪量年内月变化均呈M型分布,总降雪量高峰出现在11月;总降雪量在1995年有显著突变,小雪、中雪、大雪、暴雪降雪量无显著突变年份。空间上总降雪量和各等级降雪量(除暴雪外)大体呈北多南少、西多东少的变化趋势。大兴安岭林区降雪初始日呈延后趋势,终止日呈提前趋势,雪季长度呈每10 a缩短2.3 d的趋势。

关键词:不同等级降雪;降雪贡献率;M-K突变法

中图分类号:P468.0+25 **文献标识码:**A **doi:**10.3969/j.issn.1673-503X.2022.05.006

引言

1979—2018年中国全国年平均降水量呈现出较为显著的增长趋势,大概每10 a增加22 mm左右,且未来几年持续增加的可能性极大^[1]。降雪作为降水的一部分,是气候系统的重要组成部分,也是森林水循环的重要组成部分,对于农作物的生长发育、水资源保障、生态环境保护等均有积极的影响。但大范围或极端降雪的发生^[2-4],也会给农牧业生产、电力设施、交通运输等造成极大的危害^[5]。目前,国内外学者在积雪^[6-7]、总降雪及极端降雪变化特征^[8-10]等方面已取得一定的研究进展。新疆、青藏高原和东北—内蒙古地区是中国的三大积雪区^[11],对于这些重点区域,不同等级的降雪量变化有所不同。李校收^[12]对新疆降雪的分析表明,新疆各等级降雪量均呈上升的趋势,其中小雪降雪量上升趋势不明显,中雪和大暴雪降雪量上升趋势显著;而刘义花等^[13]对青海高原降雪研究表明,青海高原地区降雪量呈明显的减少趋势;秦艳等^[14]分析表明,天山的小雪降雪量呈减少趋势,中雪量变化平稳,大雪和极端降雪量增加显著;周晓宇等^[15-16]对东北降雪特征研究表明,近57 a降雪量呈增加趋势,小雪和中雪最

多出现在11月和12月,大雪和暴雪多出现在冬末春初;王波等^[17]分析表明,黑龙江省年平均降雪量大部分地区呈增加趋势。降雪初始和终止日研究表明,黑龙江省降雪初始日集中在9月下旬至10月,吉林省集中在10月和11月;降雪终止日期黑龙江省集中在4月中旬至5月上旬,吉林省主要出现在3—5月^[17-18]。

内蒙古大兴安岭林区地处北半球中高纬度地区,位于内蒙古东北部,是中国最大的集中连片的国有林区。林区属寒温带大陆性季风气候,是亚欧大陆北方森林带的重要组成部分,由于纬度高,冬季寒冷漫长,除夏季外,其余季节均有可能出现降雪。降雪对森林生态系统具有重要意义,降雪形成的雪被可以覆盖森林中的易燃物,有助于减少森林火灾的发生,雪层可以阻隔土壤热量散失,起到保温的作用^[19],同时还能有效地抑制森林病虫害发生。内蒙古大兴安岭林区作为中国重要的生态屏障,在应对气候变化方面其作用不可替代^[20]。目前,已有研究主要为内蒙古大兴安岭林区的降水^[21-22]和积雪^[23]变化特征,但对降雪天气研究较少。本文对大兴安岭林区不同等级降雪事件的趋势和分布特征进行研究,以期对林区生态环境保护、农林业发展,区域水

收稿日期:2021-01-17;修订日期:2021-04-23。

资助项目:中国科学院战略性先导科技专项(A类)子课题“欧亚大陆温性草地生态系统的退化与应对”(XDA20050103)和内蒙古自然科学基金“寒温带兴安落叶松林区积雪覆盖对土壤C、N循环关键过程的影响”(2018MS03043)共同资助。

作者简介:郝晨阳,女,1992年生,在读硕士研究生,主要从事气候变化方面的研究,E-mail:1204190866@qq.com。

通信作者:马秀枝,女,教授,E-mail:luckmxy@imau.edu.cn。

资源的管理和防灾减灾提供参考。

1 资料与方法

1.1 资料来源

选取内蒙古大兴安岭林区 11 个气象站(额尔古纳、扎兰屯、图里河、牙克石、鄂伦春、小二沟、博克图、根河、阿荣旗、阿尔山、索伦)1970—2019 年逐日(08 时至翌日 08 时)平均气温和逐日降水数据资料,建立 1970—2018 年 49 个降雪年的降雪序列(不包含雨夹雪)。区域上,以大兴安岭山脉为界限,以西的根河、图里河、额尔古纳、牙克石、阿尔山为岭西区;以东的鄂伦春、小二沟、博克图、索伦、阿荣旗、扎兰屯为岭东区。

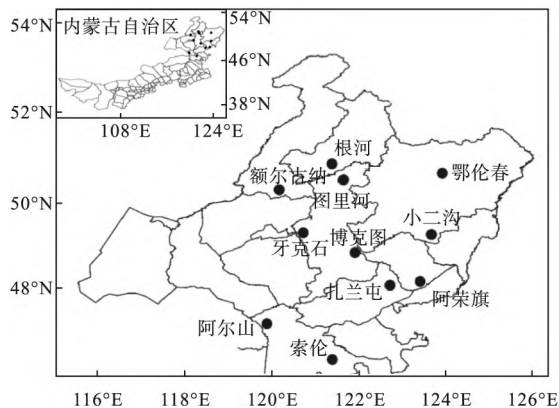


图 1 大兴安岭林区气象站分布

Fig. 1 Spatial distribution of meteorological stations in Daxinganling forest region

本文不考虑海拔、气压等因素的影响,只根据逐日降水量和气温来确定逐日降雪量^[24]。当逐日平均气温 ≤ -2 °C 时,降水的形式全部为降雪;当逐日平均气温 ≥ 2 °C 时,降水的形式全部为降雨;当逐日平均气温为 $-2 \sim 2$ °C 时,降水的形式为降雨和降雪的混合。

1.2 研究方法

整理大兴安岭林区 11 个气象站数据,利用一元线性回归、距平法、Mann - Kendall 非参数突变检验、滑动 t 检验等^[25-27]方法分析总降雪量和不同等级降雪量在时间序列上的变化趋势、突变特征;对雪季时长,降雪初、终日期进行趋势分析,并分析总降雪量和不同等级降雪量在空间上的分布特征。表 1 为降雪相关指标的定义。

2 结果分析

2.1 不同等级降雪量年际变化

2.1.1 不同等级降雪量距平的年际变化

1970—2018 年大兴安岭林区降雪量距平变化见图 2,从图 2 可知(图 2a)20 世纪 70 年代总降雪量负距平显著,其中 1973—1977 年连续 5 a 为负距平,进

入 21 世纪 10 年代正距平明显,2008—2017 年 10 a 中有 8 a 为正距平,在 2012 年出现了近 49 a 最大的正值,为 23.3 mm,主要是因为当年多地出现大暴

表 1 降雪指标定义

Table 1 Definition of snowfall indicators

降雪指标	定义
降雪年	当年 7 月 1 日开始到翌年 6 月 30 日
降雪日数	降雪年内出现降雪天气现象的日数
降雪量	降雪年内日降雪 ≥ 0.1 mm 的纯雪量
小雪	降雪量为 0.1 ~ 2.4 mm
中雪	降雪量为 2.5 ~ 4.9 mm
大雪	降雪量为 5.0 ~ 9.9 mm
暴雪	降雪量 ≥ 10 mm
降雪初始日	降雪年内出现降雪天气初始日期
降雪终止日	降雪年内出现降雪天气终止日期
雪季长度	降雪年内初雪日到终雪日的天数
降雪量贡献率	某一时期对应降雪等级的降雪量除以该时期总的降雪量的百分比
降雪量距平	某一时期的实际降雪量与多年同期平均降雪量之差

雪天气,增加了总降雪量。不同等级降雪量中(图 2b 至图 2e),小雪降雪量 20 世纪 70 年代负距平显著,80 年代正负距平变化不大,基本在平均值上下波动,进入 90 年代正距平偏多,到 21 世纪 10 年代中后期距平又变为负值。中雪降雪量距平和总降雪量的变化相似,以负距平为主,进入 21 世纪后正距平偏多。大雪降雪量从 20 世纪 70—90 年代基本为负距平,进入 21 世纪正距平偏多,其中 1979 年为大雪量 49 a 中正距平最大值,为 5.5 mm,当年实际年平均大雪降雪量为 9.1 mm。暴雪降雪量在 20 世纪 70—80 年代正负距平年份大致相同,1991 年后负距平明显增多,1998—2009 年 12 a 间仅有 2002 年和 2008 年为正距平,21 世纪 00 年代后期正距平又增多。从总体线性趋势看,总降雪量以 1.55 mm/10 a 的速率增加,通过了 0.05 显著性检验。各等级降雪量变化差异显著,其中,小雪降雪量有增加趋势,速率为 0.08 mm/10 a,未通过 0.05 的显著性检验;中雪和大雪等级降雪量的增加趋势较为明显,速率为 0.78 mm/10 a 和 0.54 mm/10 a,均通过了 0.05 显著性检验;暴雪降雪量以 0.15 mm/10 a 的速率增加,未通过 0.05 显著性检验。综上,大兴安岭林区降雪量为增加趋势,其中中雪、大雪降雪量增加显著,小雪和暴雪降雪量增加趋势较弱。

2.1.2 不同等级降雪量对总降雪量贡献率的年际变化

1970—2018年大兴安岭林区不同等级降雪量贡献率变化见图3,小雪、中雪、大雪、暴雪对年降雪量

的平均贡献率为61.1%、20.8%、12.4%和5.7%,即小雪>中雪>大雪>暴雪。从图3可以看出,对于小雪量,其年降雪贡献率以3.0%/10a的速率呈下降趋势,通过了0.05显著性检验,贡献率峰值出现

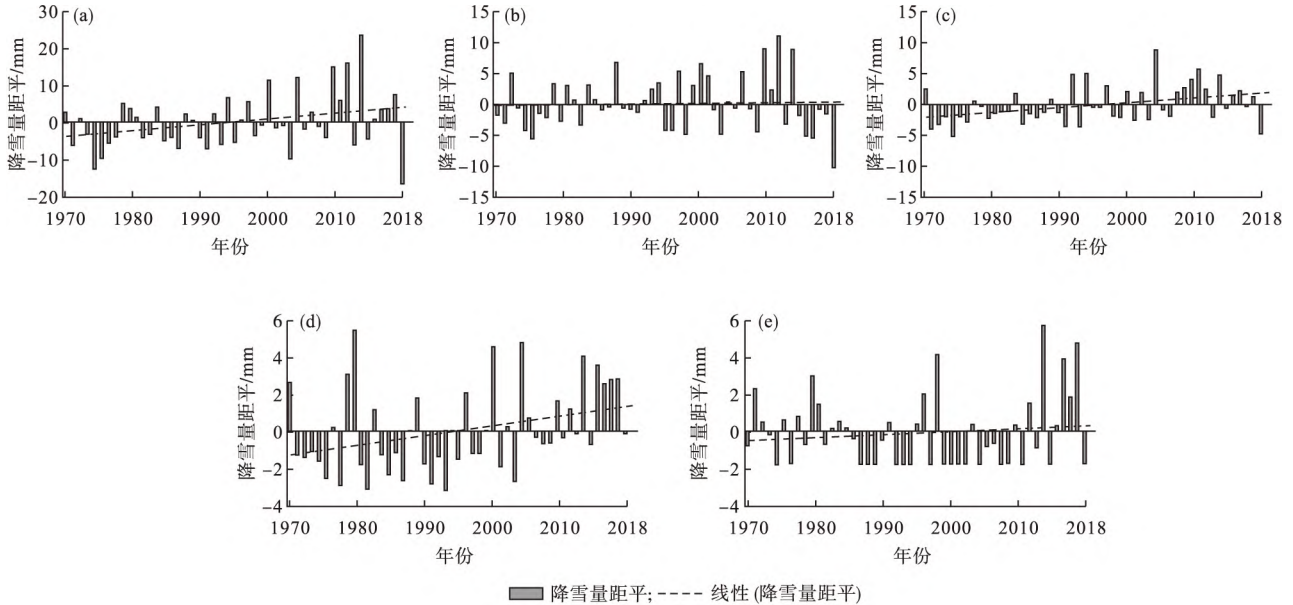


图2 1970—2018年大兴安岭林区总降雪(a)、小雪(b)、中雪(c)、大雪(d)、暴雪(e)降雪量距平变化
Fig.2 Variations of total snowfall (a), light snow (b), moderate snow (c), heavy snow (d), and snowstorm (e) in Daxing'anling forest region from 1970 to 2018

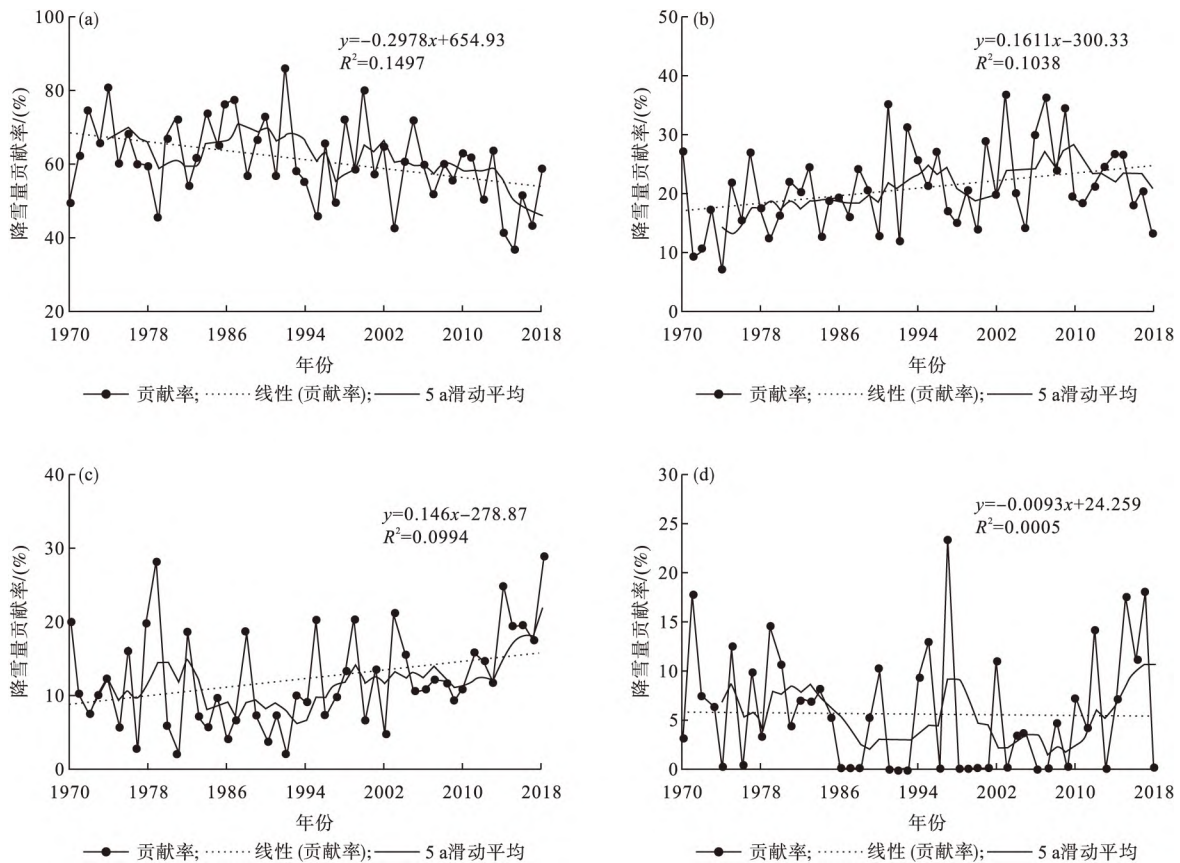


图3 1970—2018年大兴安岭林区小雪(a)、中雪(b)、大雪(c)、暴雪(d)降雪量贡献率变化
Fig.3 Variations of contribution rate of light snow (a), moderate snow (b), heavy snow (c), and snowstorm (d) Daxing'anling forest region from 1970 to 2018

在1992年,占当年总降雪量贡献率的86.2%。对于中雪降雪量贡献率总体以1.6%/10a的速率呈增加趋势,通过了0.05显著性检验,波动范围为6.7%~36.7%,其中,1979—1983年、2010—2015年上升趋势明显,峰值出现在2003年。对于大雪降雪量贡献率总体也呈增加趋势,增加的速率为1.5%/10a,通过了0.05显著性检验,波动较明显,范围为2.1%~28.8%,峰值出现在2018年。暴雪降雪量贡献率总体的减少趋势较小,未通过0.05显著性检验,峰值出现在1997年,占当年总降雪量贡献率的23.4%,其中有19a贡献率为0%。从5a滑动平均曲线来看,小雪和中雪的波动幅度较小,大雪和暴雪的波动幅度较大。

2.2 不同等级降雪量年代际变化

1970—2018年大兴安岭林区不同等级降雪量年代际变化见图4。由图4可知,不同等级降雪量有明

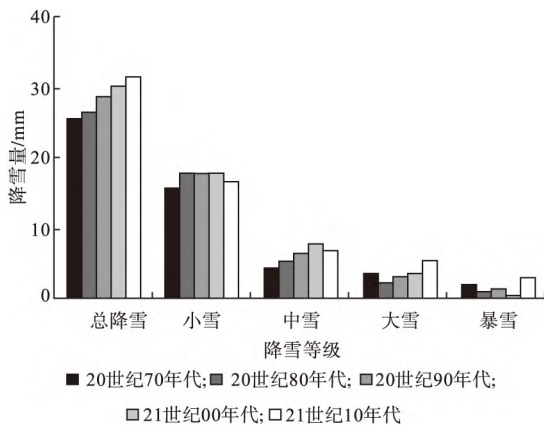


图4 1970—2018年大兴安岭林区不同等级降雪量年代际变化

Fig. 4 Interdecadal variation of snowfall for different grades in Daxing'anling forest region from 1970 to 2018

显的年代变化特征(其中21世纪10年代缺少2019年),不同年代降雪量始终为小雪>中雪>大雪>暴雪,不同等级降雪量的年代际变化的趋势不同,峰值出现的年代也不同步。20世纪70年代到21世纪10年代总降雪量一直呈明显增加趋势。20世纪70—80年代小雪降雪量逐步上升,80—90年代基本无变化,21世纪00年代后又以微弱趋势上升,之后至21世纪10年代又呈下降趋势。中雪降雪量变化趋势经历了先增加后减少的过程,即20世纪70年代至21世纪00年代呈增加趋势,在21世纪00年代达到最大值,之后呈下降趋势。大雪降雪量经历了先减少后增加的凹型变化趋势,在21世纪10年代达到最大峰值,20世纪70年代为第二个峰值,从20世纪80年代至21世纪10年代一直为增长的趋势。暴雪降雪量年代际呈现下降—上

升—下降—上升的变化趋势,49a中21世纪10年代的8a中降雪量最大。

2.3 不同等级降雪量年内变化

1971—2018年大兴安岭林区不同等级降雪量年内变化见图5。从图5可知,大兴安岭林区降雪量年内变化呈M型分布,降雪量最多出现在11月,为6.4mm,占年降雪量的22.4%;12月次之,为5.5mm,3月出现第二个峰值,为5.1mm;6—8月降雪量均为0mm。不同等级降雪量变化中,小雪、中雪、大雪以及暴雪降雪量均呈M型分布,其中,小雪降雪量在12月最多,占年小雪降雪量的20.5%;中雪和大雪降雪量两个高峰值分别出现在3月和11月;暴雪降雪量的最大值出现在3月和10月。总体看来,大兴安岭林区除夏季外,其余3个季节均有降雪,在冬季中末期及春季中末期降雪量较大,其中,中雪及大雪等级降雪易发生在冬末春初,暴雪易发生在冬初和春末时期。

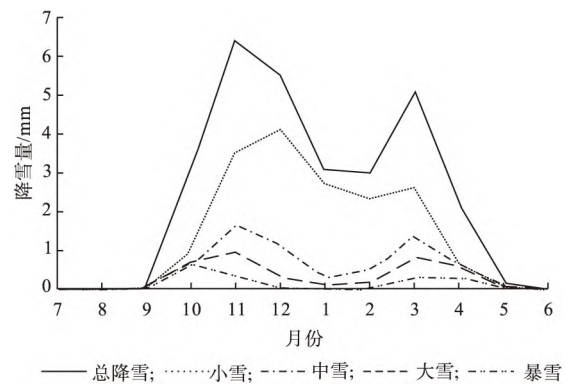


图5 1970—2018年大兴安岭林区不同等级降雪量月变化

Fig. 5 Monthly variation of snowfall for different grades in Daxing'anling forest region from 1970 to 2018

2.4 不同等级降雪量空间分布

1970—2018年大兴安岭林区降雪量空间分布见图6。由图6可知,大兴安岭林区平均年降雪量(图6a)为自东南向西北减少的空间分布特征,其中,阿尔山降雪量最大,达到46mm,岭东地区年降雪量较低,阿荣旗、扎兰屯、索伦为16~17mm。不同等级降雪量(图6b至图6e),年平均小雪量与总降雪量分布特征相似,整体为岭西大于岭东,岭西小雪量较多,为20~35mm,而岭东较少,为8~20mm。年中雪量的分布,东南少,西南次之,东北部最多,北部及岭西的降雪量基本在6.5mm以上,鄂伦春最多达8.7mm。年平均大雪量分布北部多于南部,低值区主要位于林区偏南部地区的索伦和扎兰屯,高值中心位于北部的鄂伦春和图里河,均在5.0mm以上。平均年暴雪量空间差异不大,基本在3.5mm以内,额尔古纳和阿荣旗不足1.0mm,暴雪

量中心位于牙克石为3.3 mm。

1970—2018 年大兴安岭林区不同等级降雪量与海拔和纬度关系见图 7。由图 7 可知,总降雪量和不同等级降雪量与海拔和纬度均呈正相关,其中总降

雪量和小雪降雪量与海拔的相关性显著,相关系数为 0.6132 和 0.6929 ($P < 0.01$),总降雪量和不同等级降雪量与纬度的相关性均不显著 ($P > 0.05$)。可见,大兴安岭林区降雪量空间分布上,总降雪量和小

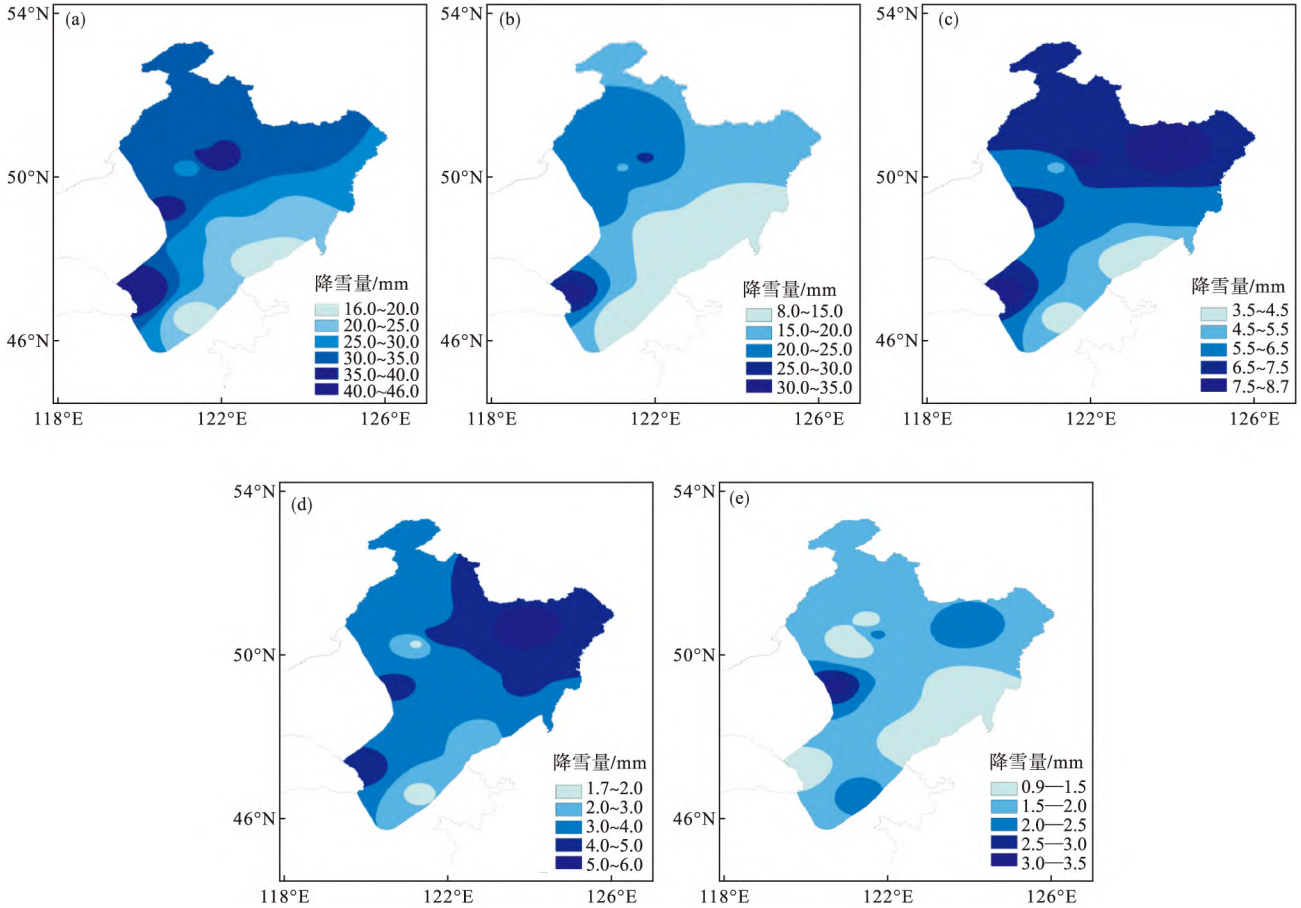


图 6 1970—2018 年大兴安岭林区总降雪 (a)、小雪 (b)、中雪 (c)、大雪 (d)、暴雪 (e) 降雪量空间分布

Fig. 6 Spatial distributions of total snowfall (a), light snow (b), moderate snow (c), heavy snow (d), and snowstorm (e) in Daxing'anling forest region from 1970 to 2018

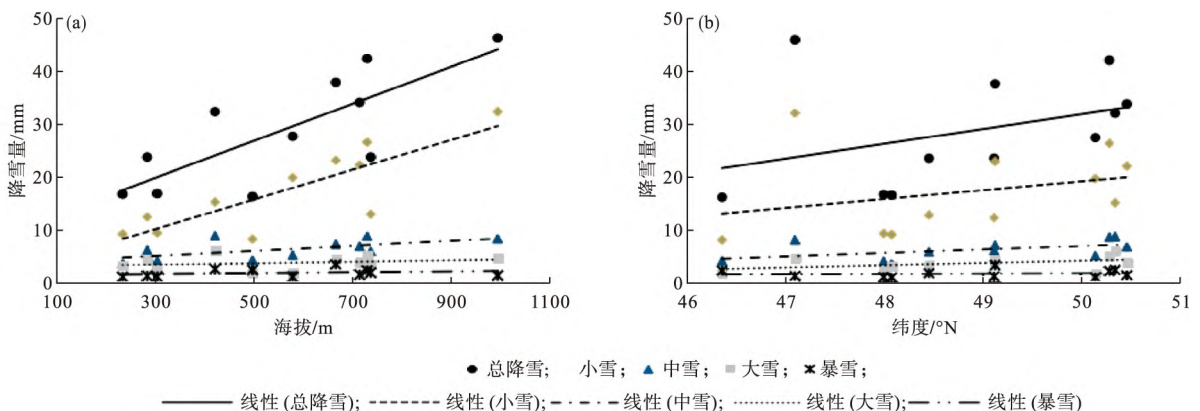


图 7 1970—2018 年大兴安岭林区不同等级降雪量与海拔 (a) 和纬度 (b) 的相关分析

Fig. 7 Correlation of snowfall with altitude (a) and latitude (b) for different grades in Daxing'anling forest region from 1970 to 2018

雪量呈自岭东向岭西递增,中雪和大雪量大体呈北多南少分布,暴雪降雪量无明显的空间变化趋势。

2.5 不同等级降雪量的突变

1970—2018 年大兴安岭林区降雪量 M - K 突变见图 8。由图 8a 可知,大兴安岭林区年平均总降雪

量的UF曲线和UB曲线在1995—1996年有交点,说明年平均降雪量的突变发生在这几年之间,且波动较大;由UF曲线可知,1970—1975年降雪量为下降趋势,从1992年开始总体为上升趋势,2010年UF曲线超过临界值1.96,说明从2010年开始降雪量上

升趋势较强。由图8b可知,1971—1976年小雪降雪量有多个交点,降雪量较为不稳定,UF在临界线内,说明49a间没有明显的突变年。中雪降雪量UF曲线和UB曲线均超过临界线(图8c),1982—1983年存在多个交汇点,说明这段时间林区中雪量波动性

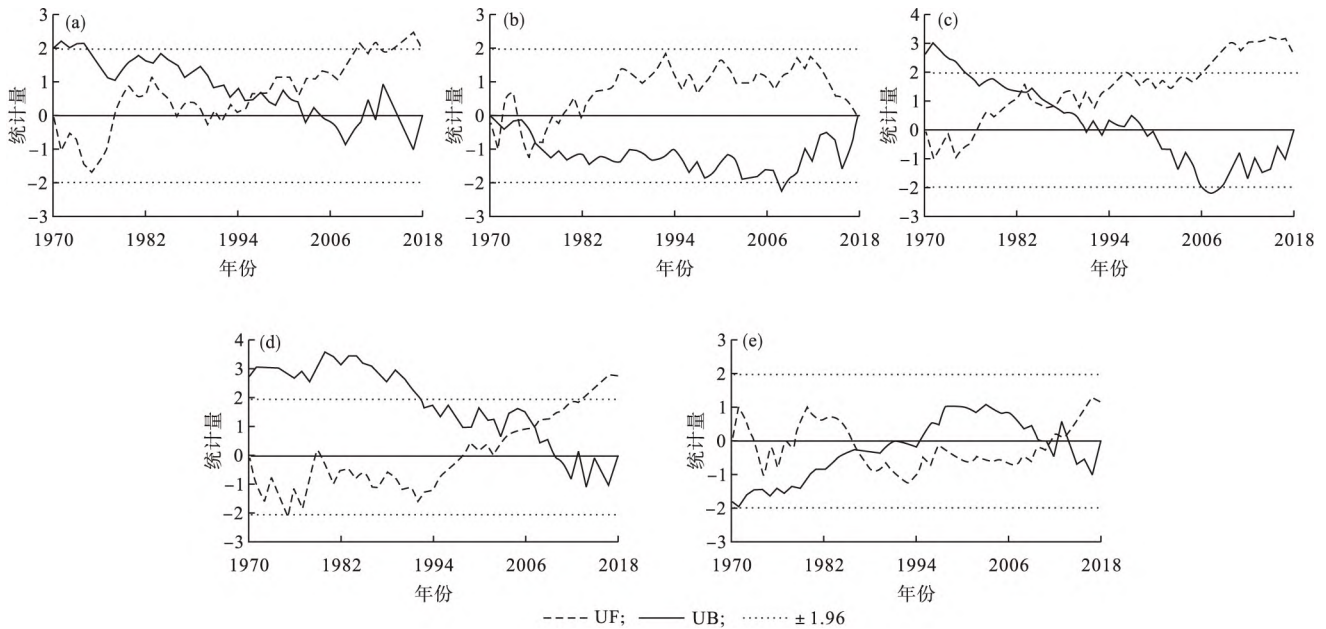


图8 1970—2018年大兴安岭林区总降雪(a)、小雪(b)、中雪(c)、大雪(d)、暴雪(e)降雪量M-K突变
Fig. 8 M-K abrupt changes in total snowfall (a), light snow (b), moderate snow (c), heavy snow (d), and snowstorm (e) in Daxing'anling forest region from 1970 to 2018

较大,与1987年有交点,UF曲线2006年超过临界值,且一直为上升趋势。大雪降雪量在2007年发生突变(图8d),UF曲线在2014年超过临界值1.96。暴雪降雪量在1986年有一个交点,2011—2014年两条曲线存在多个交点(图8e),说明暴雪降雪量在这几年出现剧烈波动,但两条曲线均在临界值之间,说明1970—2018年的整体变化较为平缓,没有显著突

变年份。再通过滑动 t 检验法对M-K突变的交点进行验证,当满足 t 的绝对值大于临界值,且 $Pr > F$ 时,有显著突变。1970—2018年大兴安岭林区降雪量突变年滑动 t 检验见表2。由表2可知,总降雪量在1995年有显著突变,中雪和大雪降雪量的M-K突变年份经滑动 t 检验法检验后均不显著,无显著突变年份。

表2 1970—2018年大兴安岭林区总降雪、中雪、大雪降雪量突变年份的滑动 t 检验

Table 2 Sliding t -test of total snow, moderate snow, and heavy snow in the Daxing'anling forest region from 1970 to 2018

降雪类型	验证突变年份	t 值	临界值	$Pr > F$	显著性
总降雪	1995	-2.33	2.02	0.0033	显著
	1996	-1.97	2.02	0.0034	不显著
中雪	1982	-2.91	2.02	0.1646	不显著
	1983	-3.01	2.02	0.1036	不显著
	1987	-3.24	2.02	0.0528	不显著
大雪	2007	-2.97	2.02	0.3502	不显著

2.6 雪季时长、降雪初始日、终止日的年际变化

1970—2018年大兴安岭林区雪季时长,降雪初始日、终止日变化见图9。由图9a可知,雪季长度的

时间变化为缩短趋势,递减率为2.3 d/10 a,未通过0.05显著性检验。图9b降雪的初始日主要集中在9—11月,10月出现的概率最大为89.8%。降雪初

始日期最早出现在1977年9月19日,最晚出现在2005年的11月3日,多年平均为10月13日,降雪

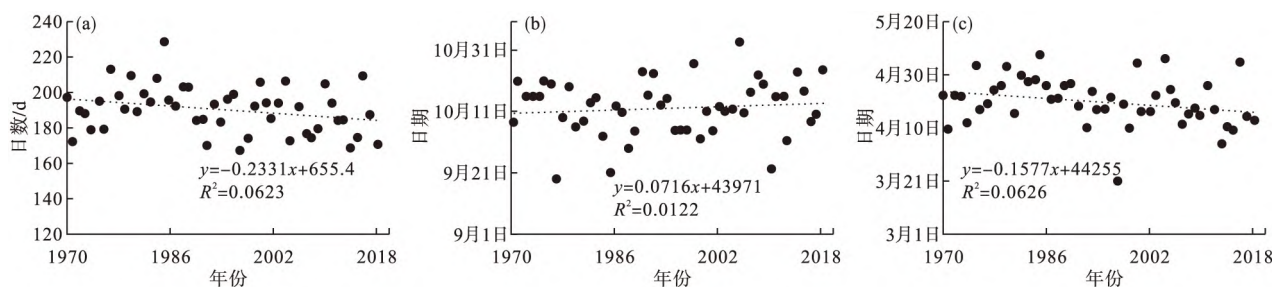


图9 1970—2018年大兴安岭林区雪季时长(a)、降雪初始日(b)和终止日(c)变化

Fig. 9 Changes in duration (a), beginning day (b), and ending day (c) of the snow season in Daxing'anling forest region from 1970 to 2018

初始日整体呈延后趋势,趋势系数为0.7 d/10 a,通过了0.05显著性检验。降雪的终止日集中在3—5月(图9c),大多分布在4月,出现的概率为85.7%。降雪终止日期最早为1997年的3月20日,最晚出现在1985年的5月7日,多年平均日期为4月20日,降雪终止日整体呈提前趋势,趋势系数为-1.6 d/10 a,通过了0.05显著性检验,年际变化大体上降雪初始日与终止日呈相反趋势。

3 结论与讨论

(1)1970—2018年大兴安岭林区各等级降雪量的平均贡献率为小雪>中雪>大雪>暴雪,小雪的降雪量贡献率呈明显的下降趋势,而中雪、大雪和暴雪呈上升趋势,其中暴雪的上升趋势不明显,这与前人对东北地区的降雪量贡献率研究相一致^[16]。总降雪量和各等级降雪量均呈增加趋势,其中,中雪和 大雪增加趋势明显。

(2)大兴安岭林区从20世纪70年代到21世纪10年代各等级降雪量年代际变化中,总降雪量呈增加趋势,小雪和中雪量21世纪00年代为最大值,大雪和暴雪为先降后升趋势,在21世纪10年代为最大值。

(3)大兴安岭林区不同等级降雪量在年内的变化呈M型分布,总降雪量最多出现在11月;小雪降雪量最多的月份为12月,占年降雪量的22.4%;中雪和 大雪降雪量最大值出现在11月,暴雪量为10月。

(4)近49 a中,大兴安岭林区总降雪量在1995—1996年波动明显,在1995年显著突变;小雪、中雪、大雪量突变年不明显,暴雪在2011—2014年波动剧烈,但无明显突变年份。

(5)大兴安岭林区降雪量空间分布上,总降雪量及小雪、中雪、大雪等级降雪量总体为西多东少,北多南少的空间分布特征;暴雪降雪量无明显的空间变化趋势,总降雪量和小雪降雪量与海拔在空间上

有显著相关性。大兴安岭山脉呈东北—西南走向,东陡西缓,贯穿整个林区,与季风走向垂直,对季风阻挡作用明显,而林区降雪主要集中在10月至翌年4月,此时西部主要受来自北方冬季季风影响,同时,东部海拔相对较低,导致大兴安岭东南部地区降雪量相对较少。

(6)大兴安岭林区雪季时长为167~229 d,平均雪季时长为191 d,雪季长度为缩短趋势。有研究表明,1971—2000年中国东部区大兴安岭雪季最长,大于210 d^[28];近些年雪季长度缩短主要是因为降雪初始日推迟,集中在9—11月,降雪终止日提前,集中在3—5月。本文对大兴安岭林区降雪的时空特征进行了讨论,忽略了雨夹雪的情况,在气候变暖的大背景下,降雪、雨夹雪、降雨作为降水的组成部分均发生着变化,为了进一步分析该地区的降水变化,为该地区林业、农业发展提供更好的参考还需要结合降水的其他形式进行更全面的探讨。

参考文献

- [1] 杜懿,王大洋,阮俞理,等. 中国地区近40年降水结构时空变化特征研究[J]. 水力发电,2020,46(8):19-23.
- [2] 王玉娟,刘晓燕,白爱娟,等. 1961—2017年三江源地区极端降雪指数变化特征分析[J]. 气象与环境学报,2018,34(6):108-115.
- [3] 阎琦,蒋大凯,陈传雷,等. 1960—2009年辽宁区域性暴雪气候特征[J]. 气象与环境学报,2012,28(4):43-48.
- [4] 万瑜,窦新英. 新疆中天山一次城市暴雪过程诊断分析[J]. 气象与环境学报,2013,29(6):8-14.
- [5] 吴玮,秦其明,范一大,等. 中国雪灾评估研究综述[J]. 灾害学,2013,28(4):152-158.
- [6] 张廷军,车涛,黄晓东,等. 北半球积雪及其变化[M]. 北京:科学出版社,2019.
- [7] 徐士琦,傅帅,张小泉. 1961—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.
- [8] 张志富,希爽,刘娜,等. 1961—2012年中国降雪时空变化特征分析[J]. 资源科学,2015,37(9):1765-1773.

- [9] Donat M G, Lowry A L, Alexander L V, et al. More extreme precipitation in the world's dry and wet regions [J]. *Nature Climate Change*, 2016(6): 508–513.
- [10] 杨莲梅, 杨涛, 贾丽红, 等. 新疆大~暴雪气候特征及其水汽分析[J]. *冰川冻土*, 2005, 27(3): 389–396.
- [11] 秦大河. 中国气候与环境演变[M]. 北京: 科学出版社, 2005: 121–126.
- [12] 李校收. 1961—2010年新疆降雪的变化特征[D]. 兰州: 西北师范大学, 2013.
- [13] 刘义花, 鲁延荣, 周强, 等. 1961—2017年青海高原降雪时空变化分析研究[J]. *冰川冻土*, 2019, 41(4): 809–817.
- [14] 秦艳, 丁建丽. 1961—2016年中国天山不同级别降雪事件变化特征分析[J]. *水科学进展*, 2019, 30(4): 457–466.
- [15] 周晓宇, 赵春雨, 崔妍, 等. 辽宁省不同等级降雪变化特征[J]. *冰川冻土*, 2017, 39(4): 720–732.
- [16] 周晓宇, 赵春雨, 崔妍, 等. 1961—2017年中国东北地区降雪时空演变特征分析[J]. *冰川冻土*, 2020, 42(3): 766–779.
- [17] 王波, 王莹, 李永生. 黑龙江省降雪气候变化特征[J]. *中国农学通报*, 2019, 35(10): 114–120.
- [18] 王丽伟, 黄晓龙, 许晖, 等. 吉林省降雪初终日时空变化特征[J]. *干旱区研究*, 2019, 36(4): 980–989.
- [19] 于小舟, 袁凤辉, 王安志, 等. 积雪对长白山阔叶红松林土壤温度的影响[J]. *应用生态学报*, 2010, 21(12): 3015–3020.
- [20] 张永欣. 浅谈保护内蒙古大兴安岭森林资源的重要性[J]. *内蒙古林业调查设计*, 2014, 37(6): 16–17, 100.
- [21] 王冰, 边玉明, 张秋良, 等. 近45年内蒙古大兴安岭林区不同等级降水变化特征[J]. *生态学杂志*, 2017, 36(11): 3235–3242.
- [22] 边玉明, 代海燕, 王冰, 等. 内蒙古大兴安岭林区年降水量变化特征及周期分析[J]. *水土保持研究*, 2017, 24(3): 146–150.
- [23] 舒常禄. 内蒙古大兴安岭林区近40年积雪时空动态变化[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2018.
- [24] Brown R D. Northern hemisphere snow cover variability and change, 1915–97 [J]. *Journal of Climate*, 2000, 13(13): 2339–2355.
- [25] 姬兴杰, 左璇, 徐文慧. 中岳嵩山高山站平均气温资料插补及其变化趋势分析[J]. *气象与环境学报*, 2020, 36(6): 58–67.
- [26] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 2版. 北京: 气象出版社, 2007: 43–63.
- [27] 李倩, 林毅, 于琳琳, 等. 1961—2017年辽宁省旱涝急转现象时空演变特征[J]. *气象与环境学报*, 2020, 36(5): 33–39.
- [28] 刘玉莲, 任国玉, 于宏敏. 中国降雪气候学特征[J]. *地理科学*, 2012, 32(10): 1176–1185.

Characteristics of snowfall events in Daxing'anling forest region from 1970 to 2019 in Inner Mongolia Autonomous Region

HAO Chen-yang¹ MA Xiu-zhi¹ LI Chang-sheng² TIAN Hong²
ZHANG Ru¹ WU Hao³ WU Yu-long²

(1. Forestry College of Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010019, China; 2. Hohhot Meteorological Service, Hohhot 010051, China; 3. Inner Mongolia Meteorological Cadre Training Academy, Hohhot 010051, China)

Abstract: Based on the daily precipitation and temperature data of eleven meteorological stations in Daxing'anling forest region in Inner Mongolia Autonomous Region from 1970 to 2019, the spatial and temporal variation characteristics of snowfall in this region were analyzed using trend analysis method, anomaly method, M-K mutation method and sliding *t*-test method after extracting the snowfall data. The results show that the total snowfall and all grades of snowfall indicate an increasing trend in the Daxing'anling forest region, and the increasing trends of light snow and heavy snow were small. The amounts of light and moderate snow reach the maximum in the 2000s, and the amounts of heavy snow and snowstorm reach the maximum in the 2010s. The contribution rate of snowfall in each grade to the total precipitation is as follows: light snow > moderate snow > heavy snow > snowstorm. The monthly variation of snowfall in all grades shows an "M" shape, and the peak value of total snowfall occurs in November. In terms of mutation, the total snowfall has a significant mutation in 1995, while the snowfall of light snow, moderate snow, heavy snow, and heavy snow has no significant mutation. In space, the total snowfall and the snowfall of each grade (except snowstorms) generally show a trend, with more in the north and less in the south, more in the west, and less in the east. In the forest area, the beginning day of snowfall is delayed, and the end day is advanced. The length of the snow season is shortened by 2.3 days every 10 years.

Keywords: Different grades of snowfall; Snow contribution rate; M-K mutation method