

刘玉莲, 于宏敏, 任国玉, 等. 2010. 1961~2006年黑龙江省暴雪气候时空变化特征 [J]. 气候与环境研究, 15 (4): 470-478. Liu Yulian, Yu Hongmin, Ren Guoyu, et al. 2010. Temporal and spatial variation characteristics of the snow storms in Heilongjiang Province during 1961-2006 [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 15 (4): 470-478.

1961~2006年黑龙江省暴雪气候时空变化特征

刘玉莲¹ 于宏敏¹ 任国玉² 周江兴²

1 黑龙江省气候中心, 哈尔滨 150030

2 中国气象局气候研究开放实验室, 国家气候中心, 北京 100081

摘要 利用1961~2006年逐日降雪资料, 分析了黑龙江省暴雪的时空特征及其变化趋势。结果表明: 黑龙江省年暴雪分布具有东多西少、山地多平原少的特点; 暴雪量和暴雪日数最多发生在季节转换的10月和次年3月, 不在隆冬季节; 暴雪强度5月和10月最大; 全省平均暴雪量和暴雪日数存在不明显的上升趋势, 上升主要发生在春季暴雪多发的东部山地; 20世纪70年代末以来暴雪量和暴雪日数年际波动有所增大, 进入21世纪以来暴雪发生频率和强度呈现明显增加的趋势。

关键词 暴雪 时空分布 气候变化 黑龙江省

文章编号 1006-9585 (2010) 04-0470-09 **中图分类号** P426.6 **文献标识码** A

Temporal and Spatial Variation Characteristics of the Snow Storms in Heilongjiang Province during 1961-2006

LIU Yulian¹, YU Hongmin¹, REN Guoyu², and ZHOU Jiangxing²

1 Heilongjiang Climate Center, Harbin 150030

2 Laboratory for Climate Studies, China Meteorological Administration, National Climate Center, Beijing 100081

Abstract Based on daily snowfall data during 1961-2006, temporal and spatial variation characteristics of snow storms in Heilongjiang Province, China, are investigated. The results show that snow storms in the eastern part of the province are more frequent than in the western part, and more snow storms are found in the mountainous areas than in the low-lying plain areas; the largest snow storm precipitation and frequencies occur in October and the next March, rather than in the mid winter; the largest snow storm intensity is in May and October of the transitional seasons; no significant linear trend of the snow storm frequencies in the past 46 years is found, though an insignificant increase occurs in the snow-prone eastern mountains in springtime; the variability of snow storm precipitation and frequencies significantly increase since the end of the 1970s. It is found that the snow storm frequencies and intensity obviously increase after 2000.

Key words snow storm, temporal and spatial distribution, climate change, Heilongjiang Province

收稿日期 2010-04-15 收到, 2010-06-25 收到修定稿

资助项目 中国气象局气候变化专项 062700S010C01、水利部公益性行业科研专项 200801001、国家重点基础研究发展计划 2007CB411500 和黑龙江省气象局重点项目

作者简介 刘玉莲, 女, 1974 年出生, 高级工程师, 从事区域气候变化研究。E-mail: liulian74@yahoo.com.cn

通讯作者 于宏敏, E-mail: yhmhrb@163.com

1 引言

黑龙江省位于中高纬地区。暴雪是黑龙江省的重大灾害性天气之一, 因其能见度低、积雪深、雪阻、路滑使民航、铁路、公路交通延误、中断、旅客受阻、交通事故增多, 暴风雪还会压垮蔬菜塑料大棚、民房、高压线和铁塔, 甚至冻死人畜, 给国家和人民造成生命财产的重大损失。随着全球气候变暖, 北半球中高纬度地区极端强降水事件频繁发生, 冬季降雪量和暴雪发生频率也有所增加。开展黑龙江省暴雪气候时空变化特征研究, 加强对暴雪时空分布、年际变化以及气候变化趋势的认识, 有助于深入理解我国中高纬度地区对全球气候变化的响应, 了解区域暴雪事件发生的规律和机理, 提高灾害性天气预报准确率。

对于暴雪的研究, 欧美国家开展得较多, 在暴雪触发、加强机制和不同尺度天气系统间的相互作用等方面开展了大量工作, 也对造成暴雪的中尺度系统及其发生发展机理进行了研究 (Bosart, 1981; Braham, 1983; Thomas et al., 1997; Gary, 2001; Onton and Steenburgh, 2001; Steenburgh and Onton, 2001; Huang et al., 2003)。研究表明, 欧美的降雪过程大多与温带气旋的形成、发展有关。中国暴雪的研究始于 20 世纪 70 年代末。王文辉和徐祥德 (1979) 对内蒙古锡林郭勒盟“77.10”暴雪进行了分析, 其后我国学者对内蒙古和青藏高原暴雪的气候特征、环流型、动力过程和水汽输送有过较多的研究 (李培基, 1995; 王澄海等, 2000; 徐建芬等, 2000; 周陆生等, 2000; 宫德吉和李彰俊, 2000, 2001a, 2001b; 韦志刚, 2001; 董文杰等, 2001; 梁潇云等, 2002; 杨莲梅等, 2005), 在暴雪发生、发展机理和影响机制等方面取得了明显进展, 对于揭示暴雪的演变过程和影响机制起到推动作用。对东北暴雪的研究, 近年也受到越来越多的关注 (刘宁微, 2006; 秦华锋和金荣花, 2008), 胡中明和周伟灿 (2005) 分析了东北暴雪的形成机理; 吕志红和李晶 (2009) 分析了辽宁大暴雪的异常气候现象和大气环流特征; 白人海等 (2008) 对东北暴雪进行了数值模拟; 高玉中等 (2007) 采用温压结构的天气概念模型研究了黑龙

江省暴雪预报方法。

总体来看, 国内外对暴雪的研究主要是以天气分析、诊断分析和数值模拟为主, 从个例分析方面入手, 多基于短期和短时预报方面的研究, 而从气候和气候变化角度进行探讨的还很少。因而, 有必要深入开展地区暴雪时空分布、年际变化以及气候变化趋势分析, 这既是我国灾害性天气研究的一个重要组成部分, 也是提高我国地区冬季暴雪灾害天气预报的一个重要环节。对黑龙江省强降雪事件进行系统的研究, 认识极端强降雪事件发生的规律和特征, 尤其是从气候变化角度进行探讨是必要的。本文着重分析黑龙江省近 50 年强降雪的气候变化规律、时空分布格局及年际变化。

2 资料和方法

资料来源于黑龙江省气象信息中心地面信息化资料。选择省内连续观测的 63 个台站整编的 1961~2006 年逐日降雪资料进行分析。台站分布基本均匀, 仅北部地区比较稀疏 (图 1)。分析项目包括暴雪强度、暴雪日数、暴雪量。根据业务标准, 定义 24 h 观测降雪量 ≥ 10 mm 为暴雪, 达到暴雪标准的降雪日为一个暴雪日; 暴雪强度 (单位: $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$) 为统计时间段 (月、年) 暴雪量与暴雪日数的比值; 台站年暴雪量 (暴雪日数) 为台站在 7 月至次年 6 月间暴雪降雪量 (暴雪降雪日数) 总和; 台站各月暴雪量 (暴雪日数) 为

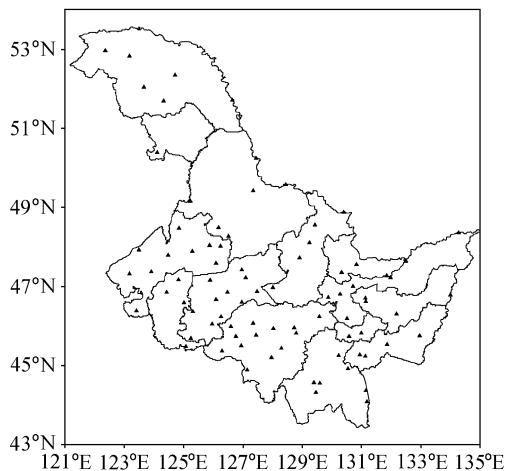


图 1 台站分布

Fig. 1 Distribution of the stations

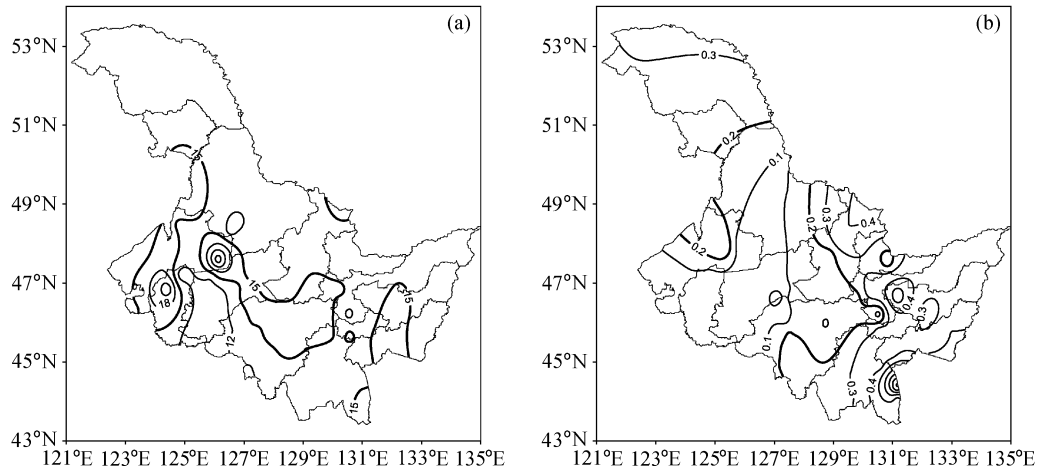


图2 1971~2000年平均(a)暴雪强度(单位: $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$)和(b)暴雪日数(单位: d)分布

Fig. 2 Distribution of the mean (a) snow storm intensity ($\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$) and (b) snow storm days (d) during 1971–2000

台站各月暴雪降雪量(暴雪降雪日数)总和;全省平均年(月)暴雪量(暴雪日数)为全省63台站年(月)暴雪量(暴雪日数)平均;气候平均取1971~2000年30 a平均。

气候变化趋势或速率的估计采用最小二乘法,计算样本与时间序号(自然数列1, 2, 3, ...)的线性回归系数。趋势系数为要素序列与时间序号的相关系数,趋势系数为正(负)时,表示要素在所统计的时间内有线性增多(减少)的趋势。采用 t 检验法分别对各站和全省平均的暴雪量(暴雪日数)变化趋势进行显著性检验。

3 暴雪气候特征

1971~2000年黑龙江省平均暴雪强度为 $15 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$, 但地区差异比较大。从图2a可见,在松嫩平原西部有两个大值中心,暴雪强度平均大于 $18 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$, 最大值位于齐齐哈尔东北部的拜泉和大庆西部的杜尔伯特,暴雪强度分别为 $26.4 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 和 $23.0 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$; 松嫩平原中部的绥化南部暴雪强度平均不到 $12 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$, 最小值处在青冈,暴雪强度平均为 $10.1 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$ 。年平均暴雪日数分布(图2b)和年平均暴雪量(图略)分布特征基本相似。1971~2000年全省平均的年平均暴雪日数为0.2 d。三江平原、东南部山区各有一个大值中心,年暴雪日数平均在0.5 d以上,最大值在绥芬河附近,年暴雪日数平均超过0.9

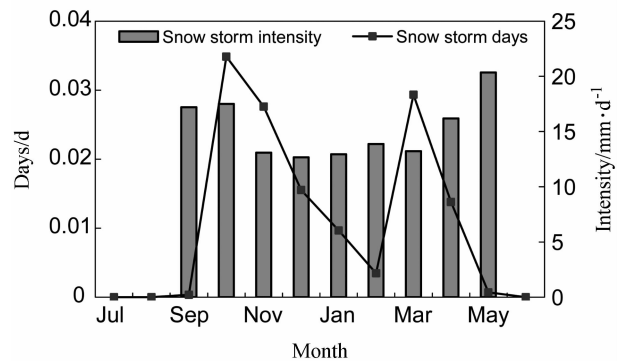


图3 各月暴雪强度和暴雪日数

Fig. 3 Monthly snow storm intensity and snow storm days

d; 西部松嫩平原大部年暴雪日数平均不足0.1 d, 最小值位于龙江和肇源附近, 年平均暴雪日数为0 d。年平均暴雪量和暴雪日数空间分布情况清楚地反映了黑龙江省强降雪东多西少、山区多平原少的特点。而暴雪强度最大区恰在省内强降雪较少的西部地区, 可见其极端性较强。

从全省平均各月暴雪强度和暴雪日数(图3)来看, 各月暴雪强度最大在5月($20.35 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$)、10月($17.50 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$), 最小在12月($12.67 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$)、1月($12.94 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$)。暴雪日数(暴雪量各月分布与之相似)最多的月份发生在秋季的10月, 次多月份在春季的3月; 11月和4月暴雪日数也比较多; 6、7、8月观测未出现暴雪; 隆冬季节暴雪发生频率和暴雪量反而较小; 从10月到次年2月, 暴雪日数和暴雪量持续减少, 2月达到最低值。暴雪量和暴雪日数占各月降雪总量

和总降雪日数的比例也不相同（表 1），各月暴雪量占总降雪量比例从大到小依次是 5 月、9 月、10 月和 4 月，暴雪日数占总降雪日数比例依次为 10 月、9 月、5 月和 4 月，反映出秋季和春季过渡季节发生强降雪事件的可能性相对较高。

表 1 1971~2000 年暴雪量和暴雪日数占各月降雪总量和降雪总日数的比例
Table 1 Ratios of the snowfall and the days of the snow storms to the total snowfall amount and the total days with snow for each month during 1971 - 2000

月份	暴雪量	暴雪日数
9	0.2955	0.0345
10	0.2945	0.0371
11	0.0940	0.0092
12	0.0433	0.0029
1	0.0579	0.003
2	0.0394	0.0027
3	0.1110	0.011
4	0.2041	0.0234
5	0.3333	0.0341

4 暴雪时间变化

4.1 年代变化特征

由于暴雪资料截止到 2006 年，2000 年代平均距平值用 2000~2006 年平均值代替。暴雪强度（见图 4）1960 年代在黑龙江省小兴安岭西部、松嫩平原东部、南部、东南山区大部偏强，其余大部区域暴雪强度表现为偏弱。暴雪强度距平最大区在东南山区的牡丹江附近和小兴安岭的孙吴、逊克，暴雪强度距平最小区集中在松嫩平原西部；1970 年代全省暴雪强度空间分布东南山区维持正距平，且正距平区范围扩大，不仅包括了整个东南山区，还向西延伸到松嫩平原中部的大庆，向北沿 129°E 到黑龙江边界，三江平原西部和南部大部也包括在内，同时，大兴安岭大部也是暴雪强度正距平区，其余为负距平区。正、负距平中心位置与 1960 年代接近，正距平最大处在东南山区的宁安，负距平最大在松嫩平原的杜蒙；1980 年代，大兴安岭的暴雪强度分布与 1970 年代一致为正距平区，松嫩平原东北部也与 1970 年代一致

为负距平区，其他地区与 1970 年代相反，松嫩平原西部为正距平区，正距平中心在杜蒙，三江平原东部也是一个正距平集中区，中心在宝清、虎林；1990 年代的暴雪强度格局与 1980 年代大致反位相，正距平区集中在省内中部、呈圆形区域，暴雪强度偏强中心在伊春和通河，其外周为负距平区；2000 年代，暴雪强度距平空间分布与 1960 年代反位相，中部负距平，西部、北部、东部、东南部为正距平，暴雪强度偏强中心在三江平原东部的宝清。

暴雪日数（见图 4）各年代距平分布特征与暴雪量（图略）分布相似。1960 年代黑龙江省东南山区大部、松嫩平原南部、大兴安岭北部、黑河部分区域暴雪日数偏多，其余大部暴雪日数表现为偏少。多暴雪区集中在东南山区的鸡西附近，而同在东南山区，平均暴雪最多的绥芬河在这 10 年中表现为暴雪偏少；1970 年代全省暴雪日数南多北少，松嫩平原大部、东南山区、小兴安岭东南缘及三江平原东缘为正距平区，其余为负距平；1980 年代黑龙江省中部暴雪日数偏少，北部、西部、东北部、南部小部分区域暴雪日数偏多，偏多集中区在三江平原中北部的佳木斯、双鸭山；1990 年代的暴雪日数与 1980 年代大致反位相，北部、西部、东北部、东南部偏少，中部偏多；2000 年代，暴雪日数地理分布呈明显的东多西少格局，暴雪日数正距平区在东南部山区和三江平原，松嫩平原、大兴安岭、小兴安岭大部暴雪日数明显偏少。

1960 年代黑龙江暴雪强度平均为 14.17 mm·d⁻¹，暴雪强度≥15 mm·d⁻¹的台站占 32%，平均暴雪日数为 0.19 d，年暴雪日数≥0.2 d 的台站占 43%；1970 年代黑龙江暴雪强度平均为 14.66 mm·d⁻¹，暴雪强度≥15 mm·d⁻¹的台站占 38%，暴雪日数平均为 0.19 d，年暴雪日数≥0.2 d 的台站占 48%；1980 年代暴雪强度平均为 14.78 mm·d⁻¹，暴雪强度≥15 mm·d⁻¹的台站占 35%，暴雪日数平均为 0.22 d，年暴雪日数≥0.2 d 的台站占 46%；1990 年代黑龙江暴雪强度平均为 14.17 mm·d⁻¹，暴雪强度≥15 mm·d⁻¹的台站占 27%，暴雪日数平均为 0.21 d，年暴雪日数≥0.2 d 的台站占 52%；2000 年代黑龙江暴雪强度平均为 15.21 mm·d⁻¹，暴雪强度≥15 mm·d⁻¹

的台站占 45%，暴雪日数平均为 0.24 d，年暴雪日数 ≥ 0.2 d 的台站占 33%。各年代暴雪强度最大的台站依次分别为逊克、拜泉、杜尔伯特、伊春、宝清，而最大暴雪日数除 1960 年代发生在鸡

西外，其后所有年代都出现在绥芬河（见表 2）。

因此，就暴雪强度而言，1960 年代和 1990 年代最小，1970 年代、1980 年代较大，2000 年代最大；暴雪日数 1960 年代、1970 年代无变化，1980

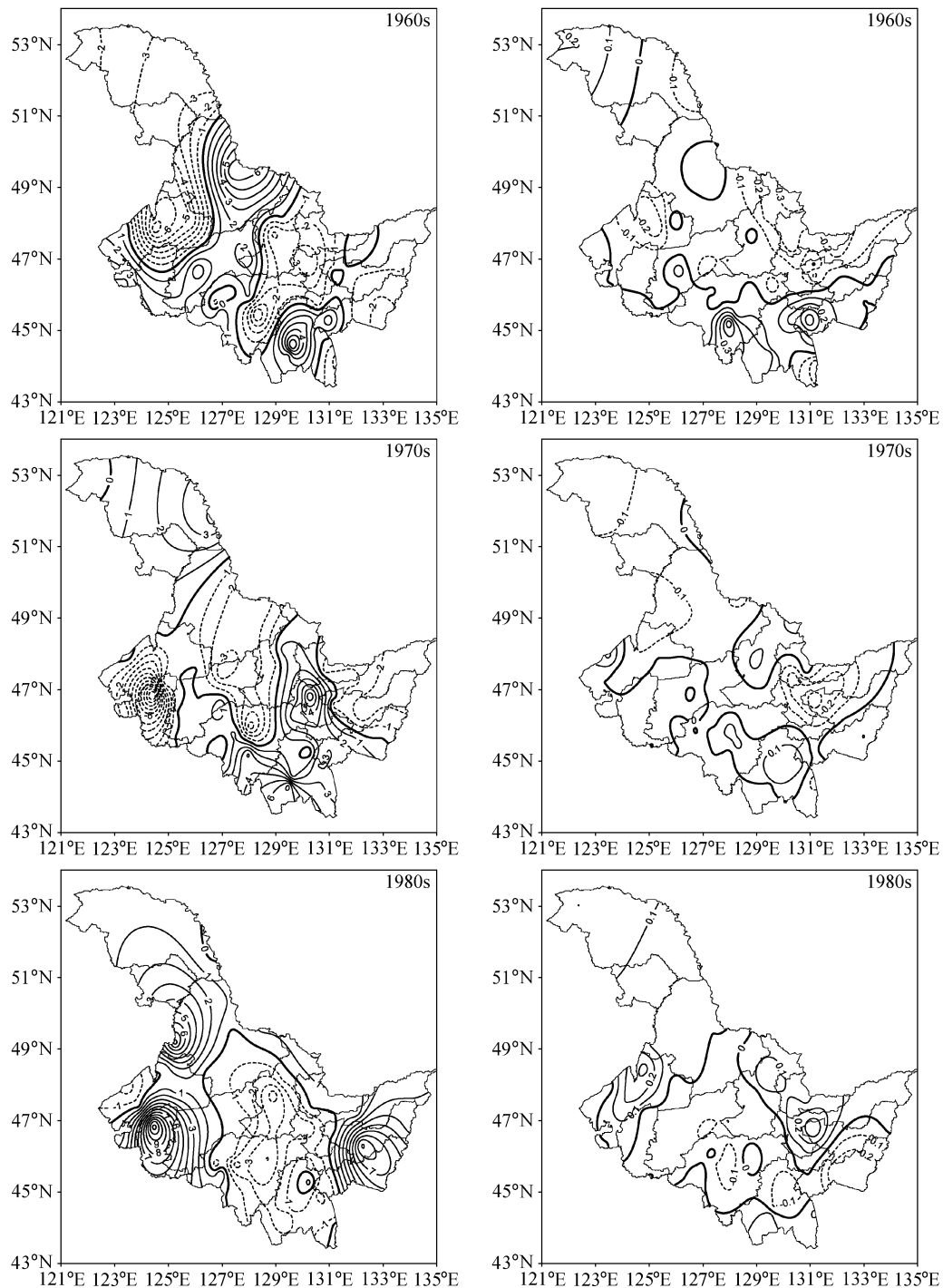


图 4 各年代平均暴雪强度（左列，单位： $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$ ）和暴雪日数（右列，单位： d ）距平分布（实线和虚线分别为正值和负值）

Fig. 4 The 10-year mean snow storm intensity (left, units: $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$) and snow storm days (right, units: d) anomalies (solid and dashed lines denote positive and negative values, respectively)

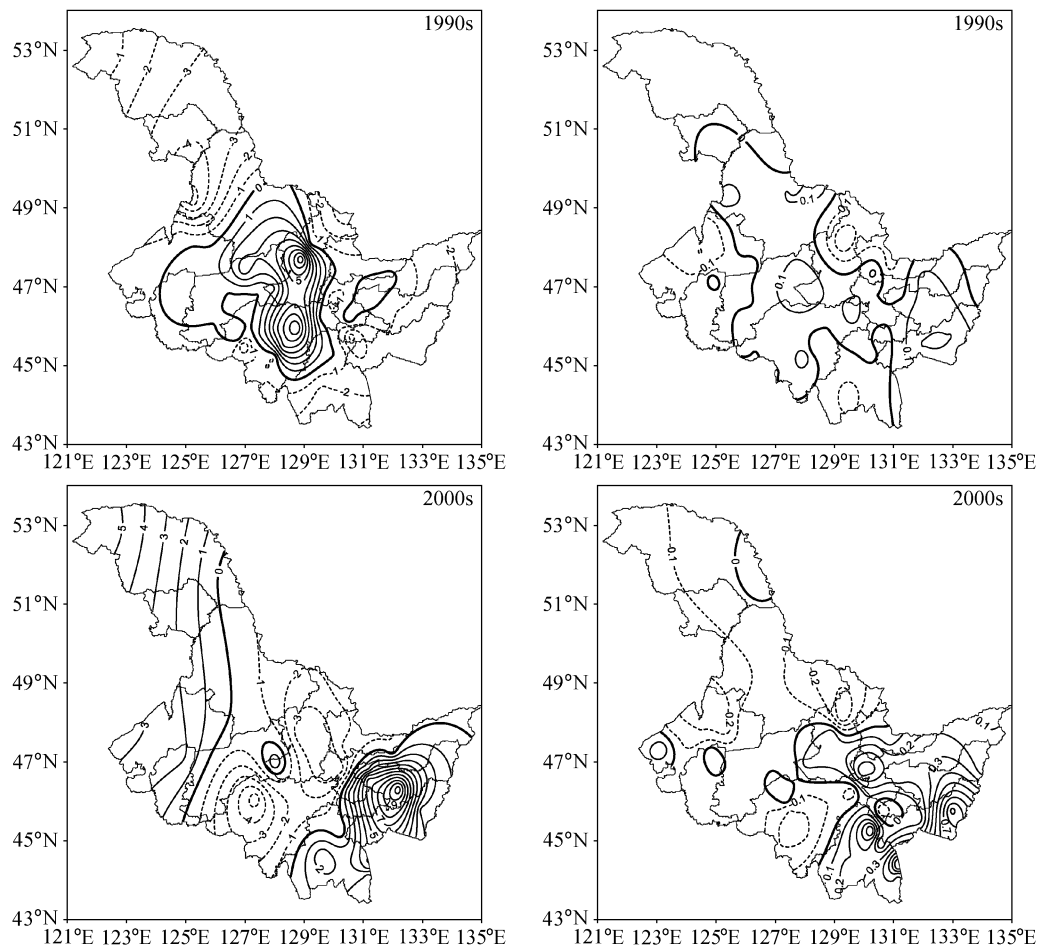


图 4 (续)
Fig. 4 (Continued)

表 2 各年代暴雪强度、暴雪日数及相关情况
Table 2 The 10-year mean snow storm intensity, snow storm days, and related factors

	暴雪强度		最大暴雪		暴雪日数		最大暴雪		无暴雪 台站比例
	暴雪强度/ mm · d ⁻¹	≥15 mm · d ⁻¹ 台站比例	强度/ mm · d ⁻¹	暴雪强度 最大台站	暴雪日数 /d	≥0.2 d 台站比例	日数/d	暴雪日数 最多台站	
1960 年代	14.17	32%	20.7	逊克	0.19	43%	1.0	鸡西	30%
1970 年代	14.66	38%	26.4	拜泉	0.19	48%	0.8	绥芬河	24%
1980 年代	14.78	35%	35.8	杜尔伯特	0.22	46%	1.1	绥芬河	27%
1990 年代	14.17	27%	23.6	伊春	0.21	52%	1.0	绥芬河	24%
2000 年代	15.21	45%	27.6	宝清	0.24	33%	1.8	绥芬河	54%

年代增多,1990 年代略减少,2000 年代显著增多。1980 年代的平均暴雪强度小于 2000 年代,而最大暴雪强度 35.8 mm · d⁻¹,较其他各年代最大暴雪强度都大,可见 1980 年代暴雪强度波动最大,且这个最大暴雪强度台站是在平均暴雪较少的松嫩平原西部的杜尔伯特,体现其极端性。进入 21 世纪,全省暴雪强度(暴雪日数)均比前 4

个年代明显增大(多),最大暴雪日数为前 4 个年代最大暴雪日数的 1.6 倍多,但无暴雪台站比例增加,说明暴雪局地性更强,最大暴雪强度更大,致灾性明显。

4.2 全省平均趋势变化

从图 5 可见,1961~2006 年黑龙江省暴雪强度和暴雪日数变化都表现出阶段性和波动性,

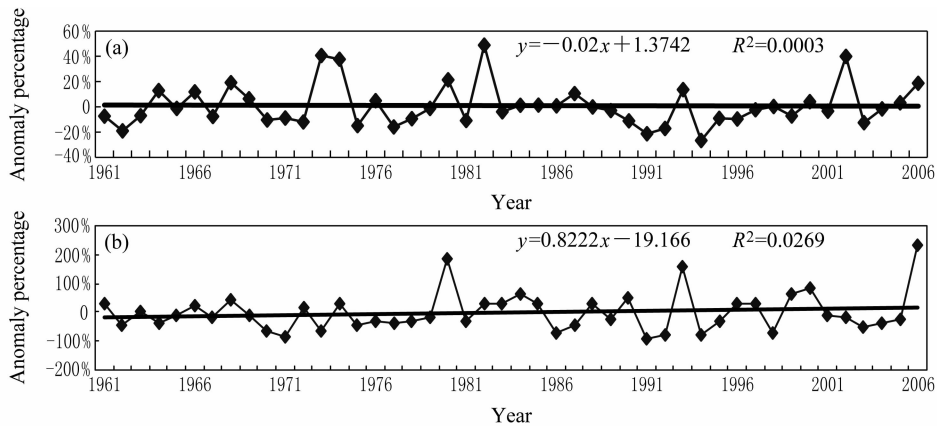


图5 黑龙江省全省平均 (a) 暴雪强度和 (b) 暴雪日数距平百分率变化。直线表示线性趋势

Fig. 5 Temporal change of the anomaly percentages of province-averaged (a) snow storm intensity and (b) snow storm days. Solid line denotes the linear trend

1970 年代末以后暴雪日数的年际波动比早期更明显。暴雪强度长期变化趋势不明显, 1960 年代前期偏小, 1960 年代中期以后到 1980 年代中期, 暴雪强度略偏大, 波动性明显 (距平百分率最大值出现在 1982 年), 1980 年代后期到 1990 年代中期, 暴雪强度减小 (距平百分率最小值出现在 1994 年), 1990 年代后期以来暴雪强度有增大趋势。在整个分析时段暴雪日数仅略有上升, 线性趋势为 $0.03 \text{ d} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$, 未通过 0.05 的显著性检验, 上升趋势不明显。从距平曲线变化看, 从 1961~2006 年的 46 a 里, 黑龙江省暴雪日数经历了一个减少—增加—减少—增加的过程。暴雪日数偏少时期是 20 世纪 70 年代前期和 80 年代末到 90 年代前期, 偏多时期是 20 世纪 60 年代中期、70 年代末期 80 年代前期。暴雪日数最多的 3 年是 2006 年、1980 年和 1993 年, 其中 2006 年全省平均暴雪量是有记录以来最多的, 比常年平均多 280%, 全省平均暴雪日数较常年平均多 230%。

从表 3 可见, 1 月和 3 月全省平均暴雪日数增多趋势显著, 达到 0.05 的显著性水平 (3 月通过 0.01 显著性检验); 4 月呈减少趋势, 通过 0.05 显著性检验。其他月份变化不明显。

4.3 趋势变化分布特征

从图 6 可见, 暴雪量和暴雪日数变化趋势的空间分布基本一致: 北部和西南部趋势系数为负值, 但减少趋势均不明显; 中部和东部大部趋势系数为正, 为增多趋势, 最大值位于鹤岗附近, 趋势系数可达 0.30 以上, 通过 0.05 显著性检验。

表 3 1971~2000 年黑龙江省各月平均暴雪日数线性趋势
Table 3 Monthly mean linear trend of snow storm days in Heilongjiang Province during 1971–2000

月份	线性趋势/ $\text{d} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$	显著水平
9	0.0001	—
10	0.0002	—
11	-0.0137	—
12	0.0047	—
1	0.0128	0.05
2	0.001	—
3	0.0223	0.01
4	-0.0102	0.05
5	-0.0001	—

总体上看, 黑龙江省暴雪的演变趋势是少的地方更少, 多的地方更多, 这种变化格局可能会导致局地性暴雪灾害加剧。

5 结论与讨论

本文对黑龙江省 1961~2006 年暴雪时空变化特征进行了初步分析, 得到以下结果:

(1) 黑龙江省暴雪分布具有东多西少、山地多平原少的特点, 最多处在三江平原、东南山区, 最少处在西部松嫩平原; 暴雪量和暴雪日数 10 月最大, 其次 3 月、11 月和 4 月数值也较大, 隆冬季节暴雪发生频率和暴雪降水量反而较小, 说明在秋季和春季过渡季节发生强降雪事件的可能性比较高; 而暴雪强度最大区恰在省内强降雪较少的西部地区, 可见其极端性较强; 暴雪强度 5 月

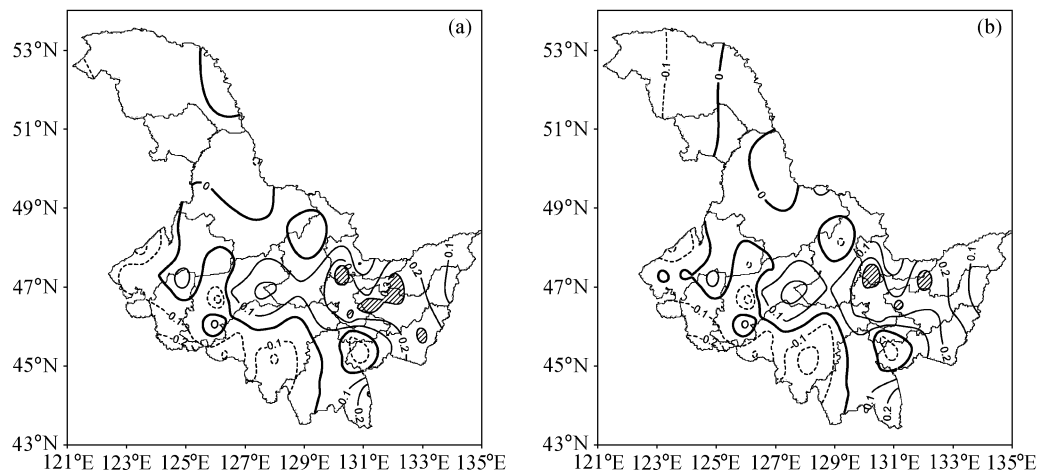


图6 黑龙江省1961~2006年(a)暴雪量和(b)暴雪日数趋势系数(实线和虚线分别为正值和负值,阴影表示通过0.05显著性检验)

Fig. 6 Tendency coefficients of the annual (a) snow storm precipitation and (b) snow storm days during 1961–2006 in Heilongjiang Province (solid lines and dashed lines denote the positive and negative values, respectively; shaded areas are above 0.05 significance level)

最大,10月其次,隆冬最小。

(2) 1961~2006年黑龙江省暴雪强度无明显变化趋势不明显,1990年代中期以来为增大趋势;暴雪日数仅呈微弱增加趋势,趋势变化不显著,但存在明显的年际和年代际变化特征;进入21世纪,全省暴雪强度和暴雪日数比前4个年代明显增强增多,但无暴雪台站比例也增加,说明暴雪局地性更强,最大暴雪强度更大,致灾性明显;分析还发现,1970年代末以来暴雪日数的年际波动幅度增大,其中包括1980年、1993年和2006年的异常大雪年。

(3) 在所分析时段,1月和3月全省平均暴雪量增多趋势显著;东部一些台站年暴雪量和暴雪日数趋于明显增加,西南部和西部多数台站略有减少;因此,暴雪的演变趋势是少的地方更少,多的地方更多,春季在东部地区的增多导致局地性暴雪灾害加剧。

本文只是对黑龙江暴雪的气候特征和气候变化进行了分析,其背后的原因和机理还有待深入研究。本文部分发现与前人针对其他地区的研究结果有相似性,如宫德吉和李彰俊(2000)对内蒙古降雪的分析也表明,内蒙古大暴雪多出现在深秋到初冬和冬末至初春这两个时段,这与本文的分析结论一致。造成这种现象的原因主要是本区地处东亚季风区的北部,冬季盛行干冷的西北气流,暴雪发生频率较低;而秋、冬和冬、春转

换季节可出现偏南暖湿气流,冷暖空气在本区东南部辐合,有利于产生强降雪事件。前人没有对各月暴雪强度的相关统计和分析结论,不过5月、10月暴雪强度较强的原因,可能是由于这个季节的水汽充足以及冷暖气流的配合导致。

尽管进入21世纪以来暴雪事件频率有所增多,但整个分析时期暴雪量和暴雪日数变化趋势不明显。这一结果与前人指出的中高纬度地区冬季强降雪事件频率一般性增加的结论不一致(Christensen et al., 2007)。这说明,在气候变暖的背景下,处于东亚季风的中国东北北部极端强降雪变化可能具有特殊性,需要进一步研究。

参考文献 (References)

- 白人海, 张志秀, 高煜中. 2008. 东北区域暴雪天气分析及数值模拟 [J]. 气象, 34 (4): 22–29. Bai Renhai, Zhang Zhixiu, Gao Yuzhong. 2008. Synoptic analysis and numerical simulation of area snowstorms in northeast China [J]. Meteorological Monthly (in Chinese), 34 (4): 22–29.
- Bosart L F. 1981. The Presidents' Day snowstorm of 18–19 February 1979: A subsynoptic event [J]. Mon. Wea. Rev., 109 (7): 1542–1566.
- Braham R R Jr. 1983. The midwest snow storm of 8–11 December 1977 [J]. Mon. Wea. Rev., 111 (2): 253–272.
- Christensen J H, Hewitson B, Busuioc A, et al. 2007. Regional climate projections [M] // Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the IPCC. Solomon S, Qin D, Manning M,

- et al., Eds. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 996.
- 董文杰, 韦志刚, 范丽军. 2001. 青藏高原东部牧区雪灾的气候特征分析 [J]. 高原气象, 20 (4): 402-406. Dong Wenjie, Wei Zhigang, Fan Lijun. 2001. Character analyses of snow disasters in east Qinghai Xizang Plateau livestock farm [J]. Plateau Meteorology (in Chinese), 20 (4): 402-406.
- 高玉中, 周海龙, 苍蕴琦, 等. 2007. 黑龙江省暴雪天气分析和预报技术 [J]. 自然灾害学报, 16 (6): 25-30. Gao Yuzhong, Zhou Hailong, Cang Yunqi, et al. 2007. Weather analysis and prediction technology of snow storm in Heilongjiang Province [J]. Journal of Natural Disasters (in Chinese), 16 (6): 25-30.
- Gary M L. 2001. Analysis of a surprise western New York snowstorm [J]. Wea. Forecasting, 16 (1): 99-116.
- 宫德吉, 李彰俊. 2000. 内蒙古大(暴)雪与白灾的气候学特征 [J]. 气象, 26 (12): 24-28. Gong Deji, Li Zhangjun. 2000. The climate features of heavy snowstorm and snow disaster in Inner Mongolia [J]. Meteorological Monthly (in Chinese), 26 (12): 24-28.
- 宫德吉, 李彰俊. 2001a. 低空急流与内蒙古的大(暴)雪 [J]. 气象, 27 (12): 3-7. Gong Deji, Li Zhangjun. 2001a. Low-level jet and heavy snow or snowstorms in Inner Mongolia [J]. Meteorological Monthly (in Chinese), 27 (12): 3-7.
- 宫德吉, 李彰俊. 2001b. 内蒙古暴雪灾害成因与减灾对策 [J]. 气候与环境研究, 6 (1): 132-138. Gong Dejie, Li Zhangjun. 2001b. The cause of heavy snow disaster formation and countermeasure of decreasing disaster in Inner Mongolia [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 6 (1): 132-138.
- 胡中明, 周伟灿. 2005. 我国东北地区暴雪形成机理的个例研究 [J]. 南京气象学院学报, 28 (5): 679-684. Hu zhongming, Zhou Weican. 2005. Case study on the genesis of a snowstorm over the northeast region in China [J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology (in Chinese), 28 (5): 679-684.
- Huang Yaorong, Xue Zhenhe, Xu Cong, et al. 2003. A study on snowstorm weather in coastal area of western Antarctic [J]. Marine Science Bulletin, 15 (1): 24-31.
- 李培基. 1995. 高亚洲积雪分布 [J]. 冰川冻土, 17 (4): 291-298. Li Peiji. 1995. Distribution of snow cover over the high Asia [J]. Journal of Glaciology and Geocryology (in Chinese), 17 (4): 291-298.
- 梁潇云, 钱正安, 李万元. 2002. 青藏高原东部牧区雪灾的环流型及水汽场分析 [J]. 高原气象, 21 (4): 359-367. Liang Xiaoyun, Qian Zhenan, Li Wanyuan. 2002. Analyses on circulation patterns and water vapor fields of snow disaster weather in eastern pasture areas of Qinghai Xizang Plateau [J]. Plateau Meteorology (in Chinese), 21 (4): 359-367.
- 刘宁微. 2006. “2003. 3” 辽宁暴雪及其中尺度系统发展和演变 [J]. 南京气象学院学报, 29 (1): 129-135. Liu Ningwei. 2006. Snowstorm on March 1-2, 2003 and the development and evolution of its mesoscale system in Liaoning Province [J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology (in Chinese), 29 (1): 129-135.
- 吕志红, 李晶. 2009. 辽宁大暴雪产生的气候背景分析 [J]. 安徽农业科学, 37 (9): 4218-4220. Lü Zhihong, Li Jing. 2009. The climate background of snow storm in Liaoning [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences (in Chinese), 37 (9): 4218-4220.
- Onton D J, Steenburgh W J. 2001. Diagnostic and sensitivity studies of the 7 December 1998 Great Salt Lake effect snowstorm [J]. Mon. Wea. Rev., 129 (6): 1318-1338.
- 秦华锋, 金荣花. 2008. “0703” 东北暴雪成因的数值模拟研究 [J]. 气象, 34 (4): 30-38. Qin Huafeng, Jin Ronghua. 2008. Numerical simulation study of the cause of snowstorm process in northeast of China on March 3-5 of 2007 [J]. Meteorological Monthly (in Chinese), 34 (4): 30-38.
- Steenburgh W J, Onton D J. 2001. Multiscale analysis of the 7 December 1998 Great Salt Lake effect snowstorm [J]. Mon. Wea. Rev., 129 (6): 1296-1317.
- Thomas L M, Gamble D W, Underwood S J, et al. 1997. Synoptic-scale features common to heavy snowstorms in the southeast United States [J]. Wea. Forecasting, 12 (3): 5-23.
- 王澄海, 董安祥, 王式功, 等. 2000. 青藏高原积雪与西北春季降水的相关特征 [J]. 冰川冻土, 22 (4): 340-346. Wang Chenghai, Dong Anxiang, Wang Shigong, et al. 2000. The correlation between precipitation in northwest China during spring and snow depth in the Tibetan Plateau [J]. Journal of Glaciology and Geocryology (in Chinese), 22 (4): 340-346.
- 王文辉, 徐祥德. 1979. 锡盟大雪和“77.10” 暴雪分析 [J]. 气象学报, 37 (3): 80-86. Wang Wenhui, Xu Xiangde. 1979. Snow in Xilinguole League and snow storm analysis of the October 1977 [J]. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 37 (3): 80-86.
- 韦志刚. 2001. 青藏高原积雪异常的持续性研究 [J]. 冰川冻土, 23 (3): 225-230. Wei Zhigang. 2001. Persistence of the snow anomalies on the Qinghai-Tibetan Plateau [J]. Journal of Glaciology and Geocryology (in Chinese), 23 (3): 225-230.
- 徐建芬, 陶建红, 夏建平. 2000. 青藏高原切变线暴雪中尺度分析及其涡源研究 [J]. 高原气象, 19 (2): 187-197. Xu Jianfen, Tao Jianhong, Xia Jianping. 2000. A meso-scale analysis of Qinghai Xizang Plateau snowstorm and its vortex source study [J]. Plateau Meteorology (in Chinese), 19 (2): 187-197.
- 杨莲梅, 杨涛, 贾丽红, 等. 2005. 新疆大~暴雪气候特征及其水汽分析 [J]. 冰川冻土, 27 (3): 389-396. Yang Lianmei, Tang Tao, Jia Lihong, et al. 2005. Snowstorm climatic characteristics and water vapor analysis [J]. Journal of Glaciology and Geocryology (in Chinese), 27 (3): 389-396.
- 周陆生, 李海红, 汪青春. 2000. 青藏高原东部牧区大~暴雪过程及雪灾分布的基本特征 [J]. 高原气象, 19 (4): 450-458. Zhou Lusheng, Li Haihong, Wang Qingchun. 2000. Snowstorm process and snow disaster distribution in eastern pastoral area of Qinghai-Xizang Plateau [J]. Plateau Meteorology (in Chinese), 19 (4): 450-458.