

# 过去50年内蒙古极端气候事件时空格局特征

闫慧敏<sup>1</sup>, 陈伟娜<sup>1,2</sup>, 杨方兴<sup>1</sup>, 刘纪远<sup>1</sup>, 胡云锋<sup>1</sup>, 冀咏赞<sup>1</sup>

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 河海大学水文水资源学院, 南京 210098)

**摘要:** 为了掌握内蒙古极端气候事件的发生趋势与时空格局, 本文运用内蒙古自治区境内46个国家气象站点的日值记录数据, 计算与植被生长的水热条件及寒旱灾害直接相关的极端气候事件指数, 分析过去50年内蒙古温度和降水气候事件的时空演变特征。研究结果表明, 研究区极端温度事件的发生频率与持续时间迅速变化发生于20世纪90年代以来, 60年代至80年代末呈平稳态势。表征低温事件的霜日日数(FD0)、冷昼日数(TX10p)、冷夜日数(TN10p)、冷持续指数(CSDI)等指数均呈现下降趋势, 同时表征高温事件的夏日指数(SU25)、作物生长期(GSL)、暖昼日数(TX90p)、暖夜日数(TN90p)、热持续指数(WSDI)则均呈上升趋势。与极端高温事件发生频率的加剧在90年代初开始凸显不同, 表征强降水事件发生频率和强度的极端降水指标的显著变化发生在近10年。研究区极端温度指数过去50年的变化过程几乎没有明显的空间分异特征, 但是在位于农牧交错区的部分站点的强降水事件呈现出与大多数站点不同的特征, 最近10年的强降水事件高于前一时段, 而其他多数站点最近10年的极端降水指数均低于前一时段。

**关键词:** 气候变化; 极端温度; 极端降水; 内蒙古

DOI: 10.11821/dlyj201401002

## 1 引言

气候变化与人类土地利用等活动正在史无前例地强烈共同作用于人类的生存环境并快速改变着生态系统的结构与功能<sup>[1]</sup>, 近年来越来越频繁发生的极端气候事件对各地生态系统造成巨大冲击, 对社会系统带来灾害性影响。如何应对气候变化尤其是极端气候事件对生态系统与人类生计的影响, 保障社会—生态系统可持续发展成为科学研究与气候变化议程关注的焦点<sup>[1-7]</sup>。1951年以来中国大陆地区极端气候事件频率和强度发生着变化, 但不同区域变化趋势存在明显差异<sup>[8]</sup>。已有研究表明内蒙古地区近50年来气温上升明显, 大部分地区的降水在减少, 呈现出较强的变干趋势<sup>[9-13]</sup>。过去几十年间, 内蒙古自治区天然林草地的大面积开垦, 过度放牧, 退耕还林还草、天然林保护等生态工程的实施使得内蒙古土地利用变化剧烈<sup>[14-15]</sup>。土地利用方式与强度的变化改变陆地表层的水热分配与能量平衡格局<sup>[16]</sup>, 如热带与温带地区毁林使得区域变干<sup>[17,18]</sup>, 农业扩张使在温室气体浓度大幅增加之前北半球变冷<sup>[19]</sup>, 这样的变化会改变极端气候事件引发的热浪、暴风、病虫害等灾害等强度<sup>[20]</sup>。全球变暖与土地利用方式变化使该区域气候变化的趋势与格局更为复杂, 对当地的农牧业发展以及牧民生计带来了新的挑战。面对极端气候变化对生态系统和农牧民生

收稿日期: 2012-10-25; 修订日期: 2013-04-11

基金项目: 国家自然科学基金项目(41071344); 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-EW-306); 国家973计划(2010CB950904); 科技部国际合作专项项目(2013DFA91700)

作者简介: 闫慧敏(1974-), 女, 内蒙古锡林郭勒盟人, 副研究员, 主要从事土地利用变化及其生态环境效应研究。

E-mail: yanhm@igsnrr.ac.cn

计的冲击,发展适应性的气候变化对策首先需要认识社会与生态系统对历史环境变化及扰动事件(如温度升高、极端干旱、政策调整等)的响应与适应方式,才能对土地系统当前的负荷以及可恢复能力做出科学的评价,对未来可能面临的灾害事件与政策调整做出合理的预测<sup>[21,22]</sup>。因此,掌握其极端气候事件发生频率与强度的区域时空特征,有助于深入探讨如何根据社会-生态系统将面临的气候变化压力发展适应性的应对策略。本文通过计算分析与植被生长的水热条件及寒旱灾害直接相关的极端气候事件指数,并针对干旱是一种渐变性灾害且该区域干旱具有时间步长为10年的持续性特征<sup>[23]</sup>,认识过去50年内蒙古温度和降水气候事件的变化规律,掌握不同地区极端气候事件的时空演变特征,以为在不同区域发展适应性的应对气候变化的土地利用与生态恢复等战略措施提供科学依据。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

极端气候事件分析应用的气象数据来源于中国气象局共享数据库中的内蒙古境内数据,选取1959-2008年有完整的日最高温、日最低温、日降水量记录的共46个站点。根据土地覆被类型,其中有6个站点位于西部(阿拉善盟)的荒漠戈壁地区,有16个站点位于中西部的中低覆盖度草地和农田地区(鄂尔多斯、巴彦淖尔、包头、呼和浩特、乌兰察布、锡林郭勒盟部分),有24个站点位于东部和东北部的农田、中高覆盖度的草地、林地地区(呼伦贝尔、兴安盟、通辽、赤峰、锡林郭勒盟部分)(图1)。

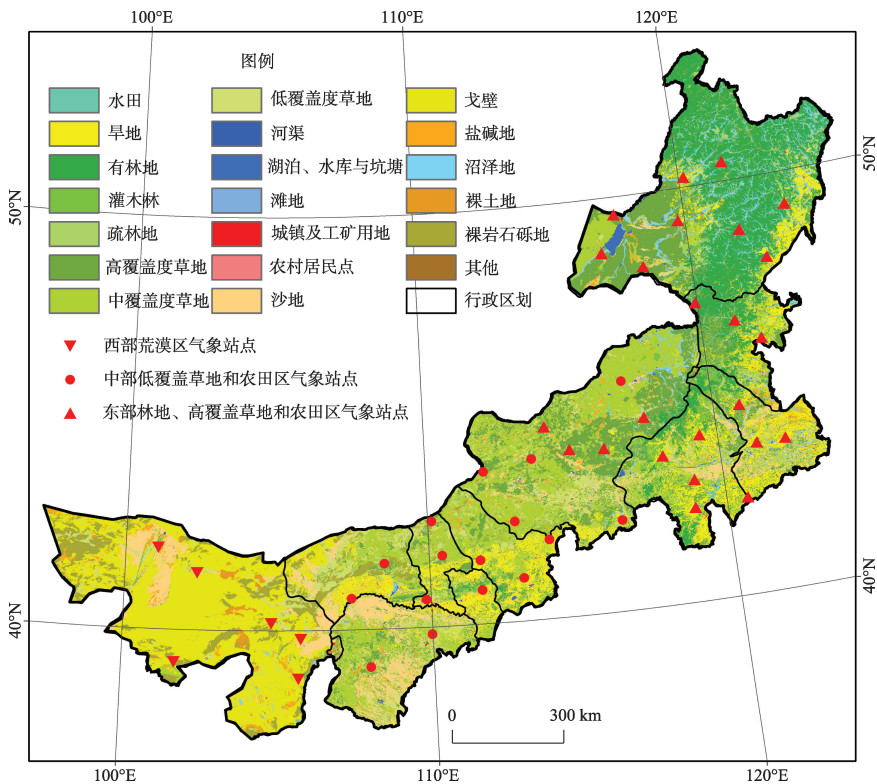


图 1 内蒙古土地覆被及气象站点空间分布图

Fig. 1 Land cover and meteorological stations distribution in Inner Mongolia

2.2 极端气候指数

根据研究区地处中国北方温带地区且气候灾害胁迫以干旱与寒冻为主的特点, 采用世界气象组织 (WMO) 世界气候研究计划 (WCRP) 的气候变率和预测研究项目 (CLIVAR) 推荐的气候变化指标<sup>[24]</sup>, 选取其中与植物生长水热条件以及寒旱灾害紧密相关的9个极端气温指数和6个极端降水指数 (表1)。其中与植物生长热量条件相关的指标包括霜日、夏日日数、作物生长期、冷夜日数、暖夜日数、冷昼日数、暖昼日数、热持续指数; 与干旱少雨事件相关的指标包括5日最大降水量、持续干燥指数、持续湿润指数、普通日降水强度、强降水日数、强降水量。极端气候指数计算方法采用加拿大气象研究中心研究人员 Xuebin Zhang 和 Feng Yang 基于 R 编辑器开发的 RClimDex (1.0)<sup>[25]</sup>。

3 结果分析

3.1 过去50a极端气候指数变化趋势

3.1.1 极端温度事件 极端温度事件相关指数变化显示, 研究区表征高温事件的夏日日数 (SU25)、作物生长期 (GSL)、暖夜日数 (TN90P)、暖日指数 (TX90P)、热持续指数 (WSDI) 均呈现上升趋势, 而表征极端低温事件的指数霜日日数 (FD0)、冷夜日数 (TN10P)、冷昼指数 (TX10P)、冷持续指数 (CSDI) 均呈现下降趋势。霜日日数 (FD0) 呈稳步减少的趋势, 从1959年的188天降低至2008年的175天, 平均每10年下降2.6天; 与之相对应的夏日指数SU25呈现上升的趋势, 从1959年的62天上升到2008年的84天, 平均每10年上升4.4天, 但近10年升高更显著。作物生长期指数 (GSL) 在过去50a呈现较为稳步的上升趋势, 从1959年的186天上升到2008年的207天, 每10年上升4.2天。冷夜日数TN10P下降趋势较为剧烈, 20世纪60年代末至70年代初为最高峰, 从冷日日数最多的1969年的19天下降到2008年的5天, 平均每10年下降3.5天。暖夜日数 (TN90P) 前30年相对平稳, 而后20年呈显著上升趋势, 1989年的14天上升到2008年的22天, 平均每10年增长近4天。冷昼日数 (TX10P) 呈下降趋势, 与冷夜日数时间变化格局一致, 80年代之前冷昼日数与冷夜日数基本相同, 而进入80年代后, 虽然二者发生频率都在减少, 但冷昼日数较冷夜日数多3天左右。暖昼日数 (TX90P) 与暖夜日数变化趋势相同, 近20年发生频率迅速增加, 其上升幅度弱于暖夜日数。热持续指数 (WSDI) 呈现一定的上升趋势, 但是60-80年代的30年间相对平稳, 近20年热持续指数迅速由80年代末的3天左右上升到近10年的平均10天左右, 2002年则高达22天。冷持续指数 (CSDI) 在

表1 极端气候指数名称及其释义

Tab. 1 Name and its interpretation of the extreme climate index

极端气候指数	指数名称	物理意义	单位
FD0	霜日	一年中日最低温<0℃的日数	天
SU25	夏日日数	日最高气温>25℃的日数	天
GSL	作物生长期	连续6日>5℃或<5℃的时间跨度	天
TN10p	冷夜日数	日最低气温<10%分位值的日数	天
TN90p	暖夜日数	日最低气温>90%分位值的日数	天
TX10p	冷昼日数	日最高温<10%分位值的日数	天
TX90p	暖昼日数	日最高温>90%分位值的日数	天
WSDI	热持续指数	连续6日最高温在90%分位值日数	天
CSDI	冷持续指数	连续6日最低温在10%分位值日数	天
RX5day	5日最大降水量	每月内连续五日的最大降水量	mm
CDD	持续干燥指数	日降水量<1 mm的最长连续日数	天
CWD	持续湿润指数	日降水量≥1 mm的最大持续日数	天
SDII	普通日降水强度	降水量≥1mm的总量与日数之比	mm
R10	强降水日数	每年日降水量>=10mm的总日数	天
R95pTOT	强降水量	95%分位值强降水之和	mm

1967-1971 年的 5 年间高达 7~11 天，其余年份多数在 0~3 日间波动，1960 年、1964 年、1981 年和 2001 年在 4~6 天。从利用分位值计算得出的 4 个指数可以看出，冷昼与冷夜指数 (TX10p 与 TN10P) 均在下降，而暖昼与暖夜指数 (TX90P、TN90P) 均在上升，但 TN10P 的下降幅度大于 TX10P 的下降幅度，TN90P 的上升幅度大于 TX90P 的上升幅度，即夜间升温高于白昼的升温。

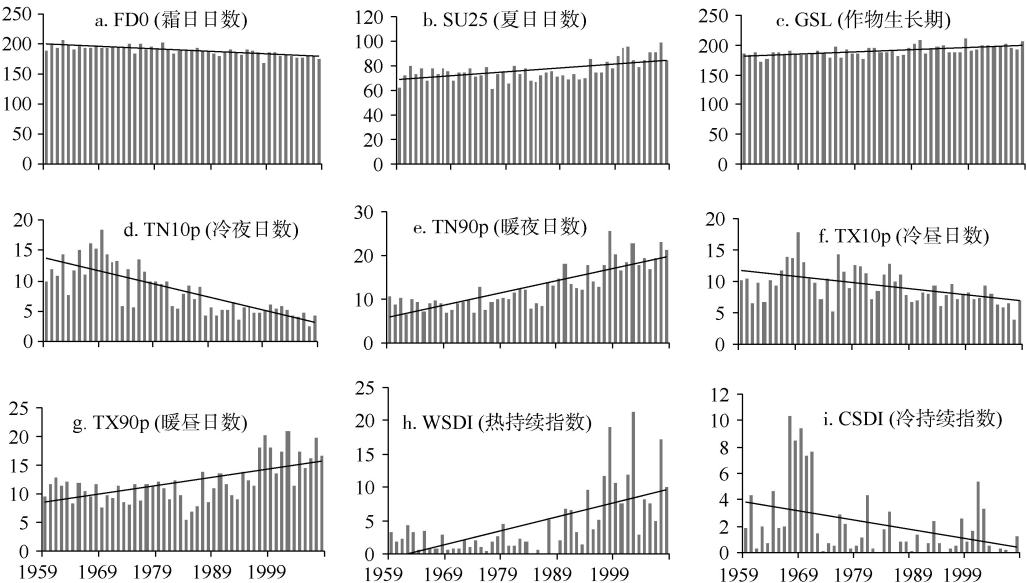


图 2 内蒙古极端温度类指数变化趋势

Fig. 2 The trends of extreme temperature related indexes in Inner Mongolia

可见，研究区与低温有关的极端事件频率明显减少；与高温相关的极端气候事件频率在 20 世纪 50 年代末至 80 年代末的 30 年间变化较弱，进入 90 年代后，极端高温事件发生频率与持续时间开始持续迅速增加，温度上升的极端事件不仅表现在极端温度出现的日数变化，持续的极端天气胁迫生态系统会增大灾害性事件发生的强度。近几年来每年的暖昼与暖夜日数几乎相当于 60 至 80 年代期间的两倍，热持续时间也显著延长，由 90 年代之前的不足 5 天上升至近几年的 15 天以上，年际间的极端事件发生频率波动幅度也越来越大 (图 3)。东部高覆盖草地、森林及农业区的热持续指数在 80 年代前平稳，自 80 年代后期开始上升迅速；中部低覆盖草地与农业区也在 80 年代末期开始热持续指数上升，但没有东部地区上升幅度剧烈，而且 80 年代以前的年际波动较大，东部地区则在 1990 年以前热持续指数稳定在 5 以下；西部荒漠区不同于东中部地区。

**3.1.2 极端降水事件** 强降水指数 (R10) 呈现较为缓慢的下降趋势，10 年变化率为每 10 年 0.6 天，下降趋势并不明显。5 日最大降水量 (RX5DAY) 呈现下降的趋势，其趋势同样十分轻微，但近 10 年发生频率有明显的减少。反映平均降水情况的普通日降水量 SDII 基本上处于稳定状态，位于最低值的 1983 年的 4.98 mm 到最高值的 1998 年的 8.55 mm 仅相差 3.57 mm，说明研究区域的年有效降水事件中的降水量变化不大。而强降水量 (R95P) 呈现出较大的年际差异，近 10 年的强降水量指数仅相当于低于前 40 年的 70% 左右，说明研究区近 10 年强降水总量在总降水量中所占的比例在下降。持续干燥指数 (CDD) 自 80 年代末呈现下降的态势，后 20 年较前 30 年平均每 10 年低 7 天左右。而与之相对应的持续



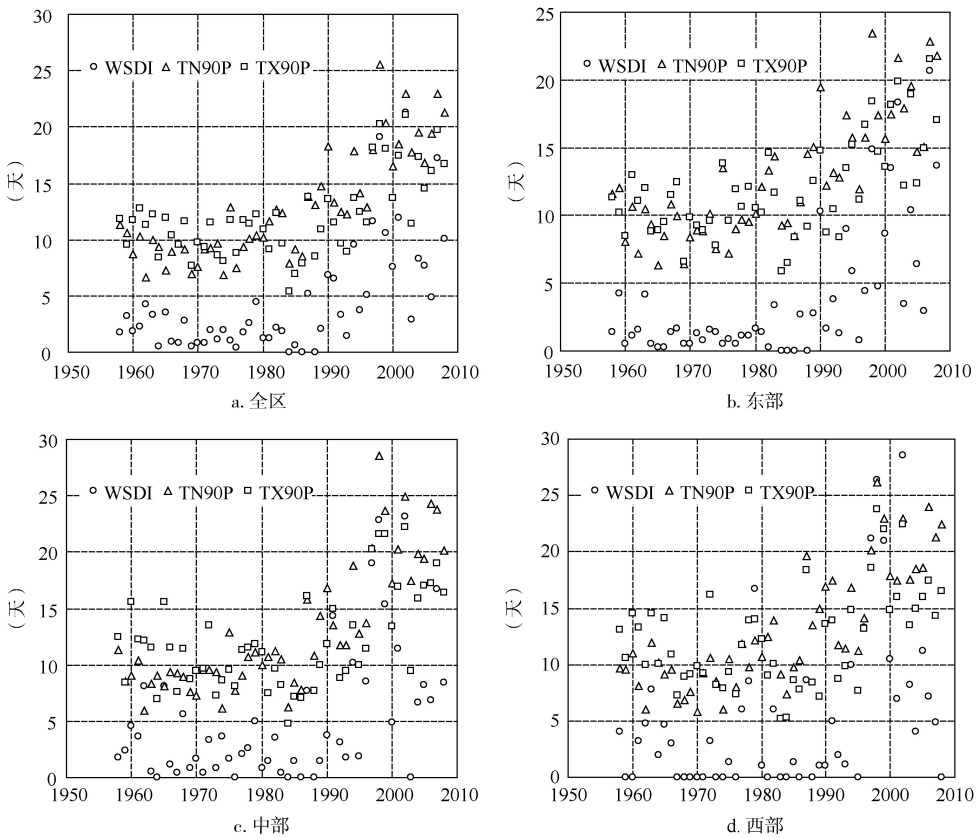


图3 内蒙古过去50年极端高温指数变化

Fig. 3 The extreme high temperature indexes change of Inner Mongolia during the last 50 years

湿润指数 (CWD) 近10年略有降低但变化幅度较小。从极端降水类指数变化趋势可见, 降水变化趋势未出现与气温类指数相似的较剧烈变化情况, 大部分指数变化幅度较小, 这说明研究区的降水在过去50年间变化不太明显, 但强降水量在总降水量中所占比例有一定的下降 (图4)。

与高温事件开始发生于20世纪90年代时间不同, 强降水显著减少发生在最近10年, 日降水量 $\geq 1\text{ mm}$ 的最大持续日数 (持续湿润指数, CWD) 在近10年略显减少但不显著; 但是持续干旱指数 (CDD) 并未增加, 反而后20年较前30年略有降低 (图5A)。该区域的强降水量 (R95P) 和5日最大降水量 (RX5DAY) 近10年来在东中西三个区域均较前40年有所下降, 尤其是在东部地区仅相当于前40年的1/2到1/3。与此同时, 持续干燥指数在东部地区由60年代的平均96天降低至近10年的84天, 最低值和最高值分别为61天和141天; 中部地区的持续干燥指数变化相对平稳, 10年的均值在95天至99天之间波动, 最低值和最高值分别为54天和141天; 西部地区持续干燥指数在60年代至80年代呈持续上升的趋势, 60年代、70年代和80年代的CDD值分别为140天、163天和173天, 而在近20年降低至平均150天左右, 波动范围在最低的1958年的95天到最高的1984年的268天之间。

3.2 极端气候事件及变化的空间格局

3.2.1 极端温度事件 霜日日数 (FD0) 在过去50年每个10年间呈下降趋势, 且各站点

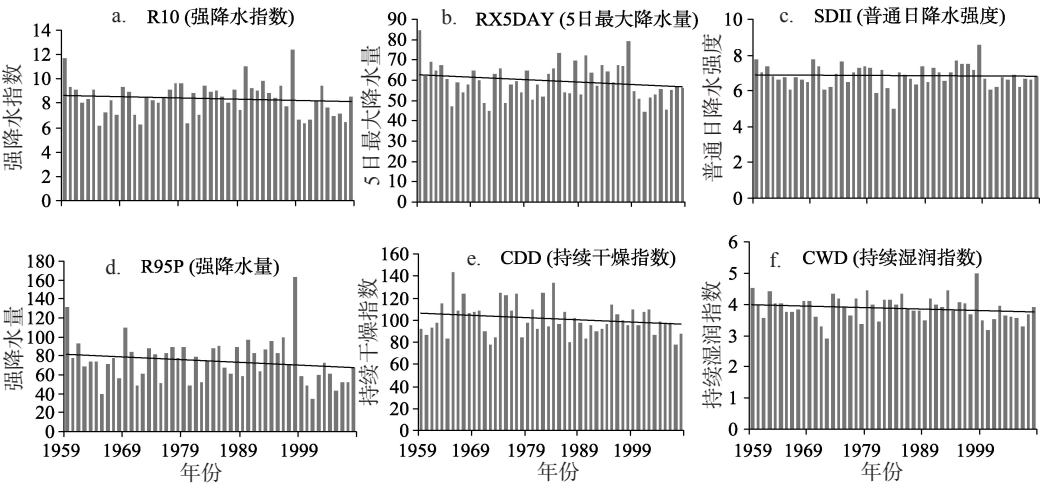


图 4 内蒙古极端降水指数变化趋势

Fig. 4 The trends of extreme precipitation related indexes in Inner Mongolia

具有较一致的变化趋势。夏日日数 (SU25) 在前 4 个时段内基本上处于稳定状态,但在最后一个时段明显上升,且这种变化在植被生长条件好的东北部地区更为明显。作物生长期 (GSL) 出现一定的增长趋势,但增长幅度较小。冷夜日数 (TN10P) 在所站点呈现出剧烈的下降趋势,且大部分站点出现规则的阶梯式变化。暖夜日数 (TN90P) 则与之相反呈现剧烈的上升趋势,特别是最后两个时段要明显高于前 3 个时段。冷昼日数 TX10P 呈现较为明显的下降趋势,但其下降幅度小于 TN10P 的下降幅度,这说明研究区夜间升温幅度大于白昼升温幅度。暖昼日数 TX90P 呈现较为剧烈的上升趋势,尤其是最后一个 10 年时段所有站点无一例外呈现较为突出的最高值。热持续指数 WSDI 呈现明显的上升趋势,最后一个 10 年呈现十分突出的历史最高位,这说明进入 21 世纪后研究区极端持续性高温事件的发生明显增多。冷持续指数 CSDI 则呈现下降趋势,尤其最后两个 10 年时段明显小于前面 3 个时段,而且在很多站点最后两个时段的极端冷持续事件发生概率接近了零。

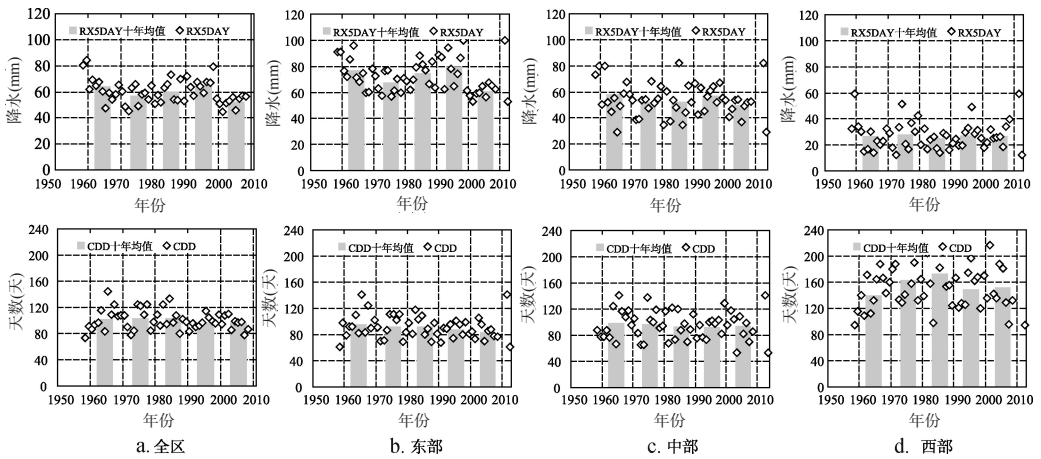


图 5 内蒙古降水类极端指数年际及 10 年平均值变化

Fig. 5 Interannual variability and 10-year average variability of extreme precipitation related indexes

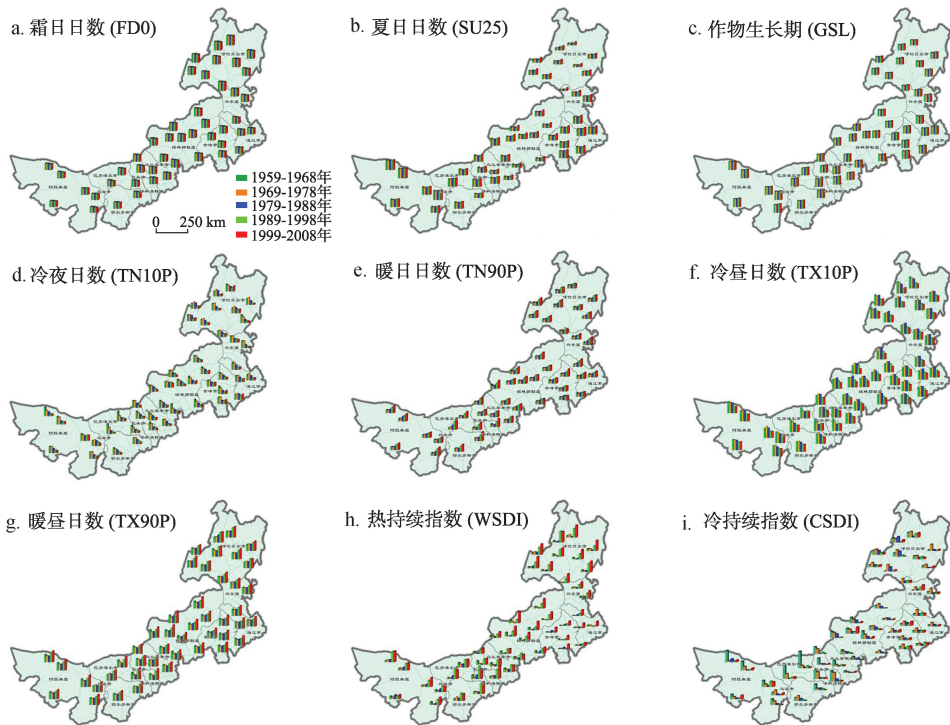


图 6 内蒙古各站点过去50年温度类极端指数变化空间格局

Fig. 6 The spatial pattern of extreme temperature related indexes change during past 50 years

**3.2.2 极端降水事件** 研究区强降水日数 (R10)、5日最大降水量 (RX5D) 普通日降水强度 (SDII)、强降水量 (R95P) 与持续湿润指数 (CWD) 均呈现东高西低的格局。与之相反持续干燥指数 (CDD) 呈明显的西高东低之势。持续湿润指数 (CWD) 在最为干旱的内蒙古西部地区的站点额济纳旗50年的总和仅为86天，而位于内蒙古东北部的图里河站点持续湿润指数高达298天；持续干燥指数 (CDD) 在干旱的西部拐子湖站点50年的总和为9760天，而位于东部的阿尔山站点持续干燥指数为2729天；普通日降水强度 (SDII) 在最为干旱的内蒙古西部的额济纳旗站点仅为3.78 mm，而位于内蒙古东北部的扎兰屯站点普通日降水强度高达9.09 mm；强降水日数 (R10) 在干旱的内蒙古西部的额济纳旗站点50年总和仅为29天，而在位于东北部的小二沟站点强降水日数高达763天，两地相差26倍；强降水量 (R95P) 在干旱的西部额济纳旗站点仅为342 mm，而在较湿润的东北部扎兰屯站点强降水量高达6644 mm；最大5日降水量 (RX5D) 在干旱的西部额济纳旗仅为695.9 mm，而东部的扎兰屯高达4848 mm。

最大5日降水量RX5DAY在大多数站点最后一个时段处于历史最低值，尤其在东北部地区这种特征更加明显。普通日降水强度 (SDII) 在东部地区多数站点在最近10年间也处于历史最低值。强降水量 (R95P) 同样在中东部地区大多数站点最后10年明显低于其他4个时段。反映强降水次数的R10在中部地区多数站点的最后10年的值处于历史最低值，而其第3、第4时段则高于其他3个时段，这说明中部地区强降水事件在进入新世纪后有下降的趋势。持续干旱指数CDD却是在多数站点近10年处于历史低值。可见研究区极端降水变化不大，但极端强降水呈现一定的下降趋势（特别是最后10年），而且这种特征在中东部的农区、牧草区、林区表现得更为明显，总体上研究区降水变化剧烈程度要弱

于气温变化剧烈程度。

与研究区多数站点的趋势显著不同，位于内蒙古中部锡林郭勒盟农牧交错区的多伦站、朱日和站、位于巴彦淖尔盟农牧交错区的乌拉特后旗站和位于西部荒漠区的阿拉善左旗站的强降水指数R95P和RX5d并没有发生在最后10年降低的现象，反而较前期略有提高；多伦站与乌拉特后旗站点普通日降水强度SDII也呈现相同的规律（图7）。

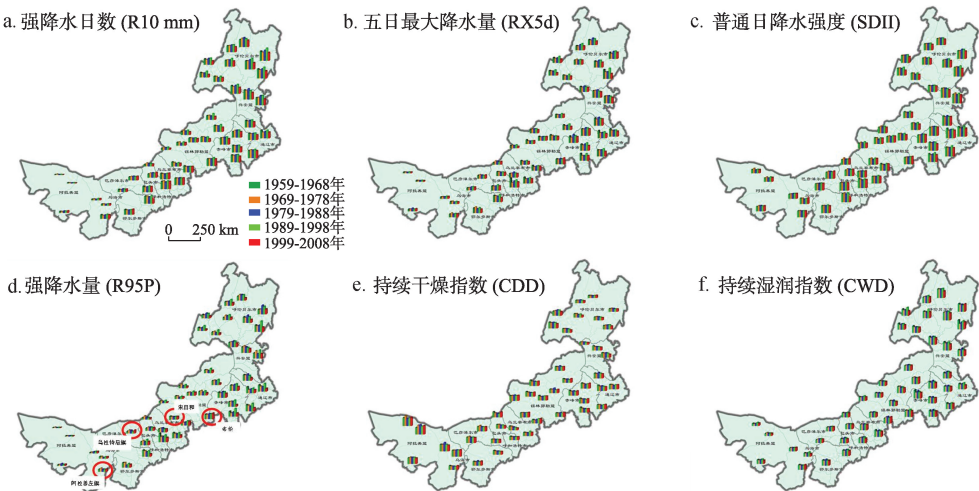


图 7 内蒙古各站点过去 50 年降水类极端指数变化空间格局  
Fig. 7 The spatial pattern of extreme precipitation related indexes change during past 50 years

4 结论与讨论

（1）表征极端高温事件的夏日指数（SU25）、作物生长期（GSL）、暖昼日数（TX90p）、暖夜日数（TN90p）、热持续指数（WSDI）等在过去50年间均呈上升趋势，而表征极端低温事件的霜日日数（FD0）、冷昼日数（TX10p）、冷夜日数（TN10p）、冷持续指数（CSDI）等指数则呈现下降趋势。其中作物生长期、霜日日数呈现平稳的上升或下降趋势，而夏日指数、暖昼日数、暖夜日数、冷昼日数、冷夜日数和热持续指数均在前30年相对稳定，最近20年变化剧烈。

（2）表征夜间温度变化的TN10P和TN90P的变化幅度要大于表征白昼温度变化的TX10P和TX90p的变化幅度。冷昼日数与冷夜日数在20世纪80年代之前基本相同，而进入80年代后，虽然二者发生频率都在减少，但冷昼日数多于冷夜日数。暖昼日数（TX90P）与暖夜日数变化趋势相同，近20年发生频率迅速增加，其上升幅度弱于暖夜日数。研究区极端温度指数变化过程没有明显的空间分异特征。

（3）与极端高温事件发生频率的加剧在20世纪90年代初开始凸显不同，表征强降水事件发生频率和强度的极端降水指标的显著变化发生在近10年。强降水事件在位于农牧交错区的部分站点呈现出与大多数站点不同的特征，表现为最近10年的强降水事件高于前一时段，而其他多数站点最近10年的极端降水指数均低于前一时段。已有研究证实，土地利用与覆被变化作为重要的辐射强迫会对区域气候产生重要的影响<sup>[2]</sup>，极端气候事件的趋势也会发生变化，如在澳大利亚东部的土地利用变化加速了极端气候变化的趋势并导致更为持久和严重的干旱<sup>[26]</sup>。而20世纪末在农牧交错区开始启动的大范围的退耕还林草、



京津风沙源治理等生态工程究竟是否对该区域的极端气候事件产生了影响, 使得其强降水事件体现出与其他区域不同的变化过程, 还需要收集该研究区更充分的气象资料开展深入的研究分析。

## 参考文献(References)

- [1] IPCC. Climate change 2007: The Scientific basis. Cambridge and New York: Cambridge University Press, 2007. [1] Ciais P, Reichstein M, Viovy N et al. Europe-wide reduction in primary productivity caused by the heat and drought in 2003. *Nature*, 2005, 437: 529-533.
- [2] Jentsch A. Extreme climatic events in ecological research. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2006, 4: 235-236.
- [3] Smith, Melinda D. The ecological role of climate extremes: Current understanding and future prospects. *Journal of ecology*, 2011, 99(3): 651-655.
- [4] Anderson R G, Canadell J G, Randerson J T et al. Biophysical considerations in forestry for climate protection. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2010, 9(3): 174-182.
- [5] Endfield G H. The resilience and adaptive capacity of social-environmental systems in Colonial Mexico. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2012, 109(10): 3676-3681.
- [6] 方修琦, 王媛, 朱晓禧. 气候变暖的适应行为与黑龙江省夏季低温冷害的变化. *地理研究*, 2005, 24(5): 664-672. [Fang Xiuqi, Wang Yuan, Zhu Xiaoxi. Change of cool summer hazard under an adaptation behavior to the climate warming in Heilongjiang Province, Northeast China. *Geographical Research*, 2005, 24(5): 664-672.]
- [7] Easterling D R, Evens J L, Groisman P Y et al. Observed variability and trends in extreme climate events: A brief review. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2000, 81(3): 417-425.
- [8] 任国玉, 封国林, 严中伟. 中国极端气候变化观测研究回顾与展望. *气候与环境研究*, 2010, 15 (4): 337-353. [Ren Guoyu, Feng Guolin, Yan Zhongwei. Progresses in observation studies of climate extremes and changes in Mainland China. *Climatic and Environmental Research*, 2010, 15 (4): 337-353.]
- [9] 路云阁, 李双成, 蔡运龙. 近40年气候变化及其空间分异的多尺度研究——以内蒙古自治区为例. *地理科学*, 2004, 24 (4): 432-438. [Lu YunGe, Li ShuangCheng, Cai YunLong. Multiscale studies on climatic change and it's spatial heterogeneity in recent 40 years: A case study in inner Mongolia. *Scientia Geographica Sinica*, 2004, 24 (4): 432-438.]
- [10] 裴浩, Alex Cannon, Paul Whitfield, 等. 近40年内蒙古候平均气温变化趋势. *应用气象学报*, 2009, 20(4): 443-450. [Pei Hao, Alex Cannon, Paul Whitfield et al. Pentad average temperature changes of inner Mongolia during recent 40 years. *Journal of Applied Meteorological Science*, 2009, 20(4): 443-450.]
- [11] 韩芳, 牛建明, 刘朋涛, 等. 气候变化对内蒙古荒漠草原牧草气候生产力的影响. *中国草地学报*, 2010, 32(5): 57-65. [Han Fang, Niu Jianming, Liu Pengtao et al. Impact of climate change on forage potential climatic productivity in desert steppe in Inner Mongolia. *Chinese Journal of Grassland*, 2010, 32(5): 57-65.]
- [12] 高涛, 肖苏君, 乌兰. 近47年(1961-2007年)内蒙古地区降水和气温的时空变化特征. *内蒙古气象*, 2009(1): 3-8. [Gao Tao, Xiao Sunjun, Wulan. Temporal-spatial characteristics of precipitation and temperature in inner Mongolia for the last 47 Years (1961-2007). *Inner Mongolia Meteorological*, 2009(1): 3-8.]
- [13] 赵媛媛, 何春阳, 李晓兵, 等. 干旱化与土地利用变化对中国北方草地与农牧交错带耕地自然生产潜力的综合影响评价. *自然资源学报*, 2009, 24(1): 123-135. [Zhao Yuanyuan, He Chunyang, Li Xiaobing et al. Impacts of land use and climate change on cultivated land potential productivity in Farming-Pastoral Zone of North China. *Journal of Natural Resources*, 2009, 24(1): 123-135.]
- [14] 刘纪远, 张增祥, 庄大方, 等. 20世纪90年代中国土地利用变化时空特征及其成因分析. *地理研究*, 2003, 22(1): 1-12. [Liu Jiuyan, Zhang Zengxiang, Zhuang Dafang et al. A study on the spatial-temporal dynamic changes of land-use and driving forces analyses of China in the 1990s. *Geographical Research*, 2003, 22(1): 1-12.]
- [15] 刘纪远, 张增祥, 徐新良, 等. 21世纪初中国土地利用变化的空间格局与驱动力分析. *地理学报*, 2009, 64(12): 1411-1420. [Liu Jiuyan, Zhang Zengxiang, Xu Xinliang et al. Spatial patterns and driving forces of land use change in China in the Early 21st Century. *Acta Geographica Sinica*, 2009, 64(12): 1411-1420.]
- [16] Pielke RA, Marland G, Betts R A, et al. The influence of land-use change and landscape dynamics on the climate system: relevance to climate-change policy beyond the radiative effect of greenhouse gases. *Philosophical transactions-Royal Society. Mathematical, Physical and engineering sciences*, 2002, 360: 1705-1719.
- [17] Werth D, Avissar R. The local and global effects of Amazon deforestation. *Journal of Geophysical Research*, 2002, 107: LBA55. 1-55. 8.
- [18] Pitman A J, Narisma G T, Pielke R A, et al. Impact of land cover change on the climate of southwest Western Australia. *Journal of Geophysical Research*, 2004, 109: D18109.
- [19] Govindasamy B, Duffy P B, Caldeira K. Land use changes and Northern Hemisphere cooling. *Geophysical Research*

- Letter, 2001, 28: 291-294.
- [20] Jonathan A Patz, Diarmid Campbell-Lendrum, Tracey Holloway, et al. Impact of regional climate change on human health. *Nature*, 2005, 438(17): 310-317.
- [21] GLP. 科学计划与实施战略. 2005. IGBP 报告 No. 53/IHDP 报告 No. 19, IGBP 秘书处, 斯德哥尔摩 64pp. [GLP. Science Plan and Implementation Strategy. 2005. IGBP Report No. 53/IHDP Report No. 19, IGBP Secretariat, Stockholm, 64pp.]
- [22] 张倩. 牧民应对气候变化的社会脆弱性: 以内蒙古荒漠草原的一个嘎查为例. *社会学研究*, 2011(6): 171-245. [Zhang Qian. Herder's social vulnerability to climate change: A case of desert grassland in Inner Mongolia. *Sociological Studies*, 2011(6): 171-245.]
- [23] 刘瞳, 黄河清, 闫慧敏, 等. 北方农牧交错区降水过程的持续性特征与干旱发生趋势. *资源科学*, 2012, 34(5): 940-947. [Liu Tong, Huang Heqing, Yan Huimin et al. The persistence of precipitation series and the trend of drought in Northern Agro-pastoral Zone. *Resources Science*, 2012, 34(5): 940-947.]
- [24] Peterson T C, Folland C, Gruza G, et al. Report on the Activities of the Working Group on Climate Change Detection and Related Rapporteurs 1998-2001. Southampto, UK: International CLIVAR Project Office 2001, 143.
- [25] Xuebin Zhang, Feng Yang. RCLIMDEX (1.0), User Manual. Climate Research Branch, Environment Canada. 2004.
- [26] Deo R C, Syktus J I, McAlpine C A, et al. Impact of historical land cover change on daily indices of climate extremes including droughts in eastern Australia. *Geophysical Research Letter*, 2009, 36, L08705, doi: 10. 1029/2009GL037666.

## The spatial and temporal analysis of extreme climatic events in Inner Mongolia during the past 50 years

YAN Huimin<sup>1</sup>, CHEN Weina<sup>1,2</sup>, YANG Fangxing<sup>2</sup>, LIU Jiyuan<sup>1</sup>, HU Yunfeng<sup>1</sup>, JI Yongzan<sup>1</sup>

(1. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

2. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China)

**Abstract:** Frequently occurrences of extreme climatic events in recent years have become a focus of sustainability research, because they threaten the ecosystem balance and even the sustainable development of social-ecological system. In this study, by the daily record data of 46 national meteorological stations in Inner Mongolia during the past 50 years, 15 indexes that characterize the frequency and probability of extreme climatic events are calculated with RclimDex (1.0). The trends and spatial pattern of extreme climatic events across this region were obtained. The results indicate that frost day (FD0), the percentile value of cold night (TN10p), the percentile value of cold day (TX10p) and the duration of coldness (CSDI) that characterize the extremely low temperature presented downward trends; meanwhile, summer day (SU25), crop growth period (GSL), the percentile value of warm night, the percentile value of warm day (TX90p) and the duration of warmth (WSDI) that characterize the extremely high temperature showed upward trends. Since the 1990s, the frequency and duration of extreme temperature events increased fast in comparison with the smooth trends from the 1960s to the late 1980s. Different from extreme temperature events, obvious extreme precipitation events variation started since the latest 10 years, heavy precipitation and 5-daily maximum precipitation were both much lower than those in the preceding 40 years. Extreme temperature indexes in 46 sites in the study area almost had the same variation process and there was no clear spatial differentiation. However, at some sites located in the farming-pastoral ecozone, heavy precipitation events occurred more frequently in recent 10 years than in the preceding 40 years, while the heavy precipitation events in recent 10 years occurred less frequently than in the preceding periods at the other sites.

**Key words:** climate change; extreme temperature; extreme precipitation; Inner Mongolia