

近 56 年来科尔沁沙地气候变化特征*

渠翠平^{1,2} 关德新^{1,*} 王安志¹ 金昌杰¹ 袁凤辉¹ 吴家兵¹ 倪攀^{1,2}

(¹ 中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110016 ;² 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要 根据 1951—2006 年的气温和降水资料,研究了干旱少雨、生态环境脆弱、土地荒漠化严重的科尔沁沙地近 56 年的气候变化特征。结果表明:1951—2006 年,科尔沁沙地的气温以 $0.28\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot 10\text{ a}^{-1}$ 的速度上升,远大于全球近 50 年来 $0.13\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot 10\text{ a}^{-1}$ 的平均增温速率;各季节气温都呈上升趋势,冬、春季增温速率极显著 ($P < 0.001$),增温速率分别为 0.46 和 $0.39\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot 10\text{ a}^{-1}$;年最高气温 ($0.17\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot 10\text{ a}^{-1}$) 与年最低气温 ($0.42\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot 10\text{ a}^{-1}$) 均呈极显著地增加趋势 ($P < 0.01$)。降水量年际间波动较大,无明显的变化趋势,各季节降水量也没有明显的变化规律,年降水日数呈显著减少趋势 ($1.3\text{ d} \cdot 10\text{ a}^{-1}$),各季的降水日数虽都有逐年减少趋势,但没有达到显著水平,年降水强度和各季降水强度都没有明显的变化规律,年总小雨日数呈显著的减少趋势 ($P < 0.05$),减少速率为 $1.0\text{ d} \cdot 10\text{ a}^{-1}$ 。

关键词 科尔沁沙地;气候变化;气候倾向率;气温;降水量

中图分类号 X16 文献标识码 A 文章编号 1000-4890(2009)11-2326-07

Characteristics of climate change in Horqin Sandy Land in past 56 years. QU Cui-ping^{1,2}, GUAN De-xin¹, WANG An-zhi¹, JIN Chang-jie¹, YUAN Feng-hui¹, WU Jia-bing¹, NI Pan^{1,2} (¹*Institute of Applied Ecology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China*; ²*Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China*). *Chinese Journal of Ecology* 2009 28(11) 2326-2332.

Abstract: Based on the 1951-2006 air temperature and precipitation data from seven meteorological stations in Horqin Sandy Land, the past 56-year climate change characteristics in this semi-arid area with vulnerable eco-environment and severe land desertification were analyzed. From 1951 to 2006, the mean annual air temperature in this area increased by $0.28\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot 10\text{ a}^{-1}$, much higher than the global average value of $0.13\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot 10\text{ a}^{-1}$ in recent 50 years. The increasing trend of the temperature appeared in all four seasons, but was only significant in winter and spring ($P < 0.01$), with an increasing rate of $0.46\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot 10\text{ a}^{-1}$ and $0.39\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot 10\text{ a}^{-1}$, respectively. Both the maximum and the minimum mean annual temperatures increased significantly ($P < 0.01$), and the increasing rate was about $0.17\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot 10\text{ a}^{-1}$ and $0.42\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot 10\text{ a}^{-1}$, respectively. The annual precipitation fluctuated among years, with no obvious change trend at yearly and seasonal scales, while the precipitation days decreased significantly at yearly scale ($1.3\text{ d} \cdot 10\text{ a}^{-1}$) but not at seasonal scale. No obvious change patterns were observed in the precipitation intensity both in yearly and seasonal scales. The annual light-rain days decreased significant ($P < 0.05$) in a rate of $1.0\text{ d} \cdot 10\text{ a}^{-1}$.

Key words: Horqin Sandy Land; climate change; climatic trend; air temperature; precipitation.

荒漠化是由于气候变化和人类活动等因素所造成的干旱、半干旱和半湿润地区的土地退化现象。

研究表明,影响荒漠化发生和发展的因素很多,包括自然因素和人为因素,气候是主要的自然影响因素(丁一汇等,2001)。在荒漠化进程中,人类活动与气候变化都起作用,只是在诱发和推动荒漠化中作用大小上存在差异。但一些学者研究表明,气候条件决定了荒漠化的必然性和广泛性,同时也诱发、推

* 国家科技支撑项目(2006BAC01A12)和国家自然科学基金资助项目(40875069)。

** 通讯作者 E-mail: dxguan@iae.ac.cn

收稿日期:2009-02-09 接受日期:2009-07-02

动了一些类型的荒漠化(Wang *et al.* 2005 Zhang *et al.* 2007)。

国内学者对中国近 50 年来的气候变化特征开展了很多分析工作,例如,张兰生等(1988)对中国气候变化的区域特征进行了研究,任国玉等(2005a)分析了 1951 年来中国大陆近地表气温的变化趋势,王颖等(2006)探讨了全国雨日的气候变化特征,孙凤华等(2006)和侯依玲等(2005)分别进行了中国东北气温和降水的气候变化研究,白美兰等(2008)分析了气候变化对内蒙古呼伦湖区域生态环境的影响,史建国等(2007)利用 1961—2001 年的气象资料对内蒙古呼和浩特地区的气候变化特征进行了研究。

科尔沁沙地位于中国北方农牧交错区,是荒漠化相对严重的地区。沙性土壤或沉积物在平原、部分山地和丘陵河谷广泛分布,春季大风(平均风速 $4.2 \sim 5.9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)日数多,降水量少且降水的季节间及年际分布不均匀(蒋德明等, 2002),造成本区生态环境极为脆弱。这种脆弱的生态环境若受到不利的气候变化影响,将加重土地的荒漠化。气温和降水的变化将极大地影响科尔沁沙地生态系统的稳定性,为增进对科尔沁沙地沙漠化进程的了解,准确地评估土地沙漠化趋势以及制定科学的防治对策,迫切需要了解该区气候的变化特点与规律。本文通过研究科尔沁沙地近 56 年来的气候变化趋势及其对该地区土地荒漠化变化的影响,为未来科尔沁沙地土地荒漠化防治提供气候背景资料和参考数据。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

科尔沁沙地($42^{\circ}15'N$ — $45^{\circ}47'N$, $119^{\circ}15'E$ — $123^{\circ}45'E$)位于中国东北地区的西部(图 1),总土地面积约 $5.27 \times 10^4 \text{ km}^2$,处于东北平原与内蒙古高原的过渡区域,属于半湿润气候和半干旱气候的过渡区域(蒋德明等, 2002)。年均气温 $6.2 \text{ }^{\circ}\text{C}$,变动范围 $4.3 \text{ }^{\circ}\text{C} \sim 7.6 \text{ }^{\circ}\text{C}$,年均降水量 378.8 mm ,变动范围 $249.7 \sim 528.4 \text{ mm}$ 。

1.2 研究资料

研究资料为科尔沁沙地分布区 7 个气象站(图 1)1951—2006 年的气象资料,包括逐日平均气温($^{\circ}\text{C}$),最低($^{\circ}\text{C}$)和最高气温($^{\circ}\text{C}$)以及降水量(mm)。7 个气象站分别为内蒙古自治区的奈曼旗、科左中旗、科左后旗、科尔沁、开鲁、翁牛特旗和巴林

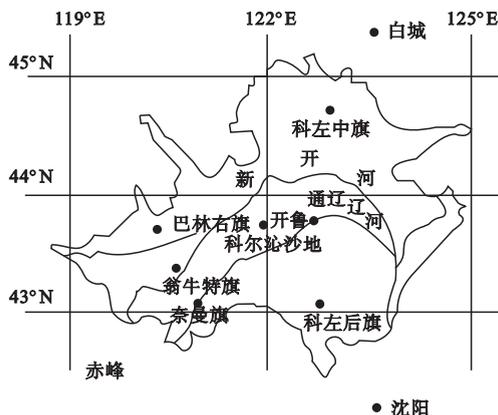


图 1 科尔沁沙地地理位置及代表站分布示意图
Fig. 1 Geographic location of Horqin sandy land and distribution of representative stations

右旗气象站,气象资料来源于辽宁省气候中心与内蒙古气象局。本研究以这 7 个气象站的数据算术平均值代表整个科尔沁沙地的气候状况。

雨日定义为逐日降水量 $\geq 0.1 \text{ mm}$ 的日数,降水强度定义为降水总量与降水日数之比;日降水量在 $0.1 \sim 10 \text{ mm}$ 的降水日数称为小雨事件,定义中雨事件为日降水量在 $10 \sim 25 \text{ mm}$,日降水量在 25 mm 以上的为大雨事件。

1.3 研究方法

气象要素 y 的趋势变化用一次线性回归方程表示:

$$y = at + b$$

式中: t 为年份; $a \times 10$ 为气候倾向率(任国玉等, 2005b),用于定量描述气候序列的趋势变化特征。 a 为正(负)时,表示气象要素 y 在所统计的时间内有线性增加(减少)的趋势。并用 F 检验方法对变化趋势进行显著性检验。

2 结果与分析

2.1 温度

2.1.1 平均气温的年际变化 1951—2006 年,研究区年均气温呈显著的上升趋势($P < 0.001$),变化速率为 $0.28 \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot 10 \text{ a}^{-1}$ (图 2)。这与孙凤华等(2006)对整个东北地区(东北三省以及内蒙古东部地区所有气象站 1959—2001 年的气象资料)的研究($0.34 \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot 10 \text{ a}^{-1}$)趋势一致,但其变率远高于全球近 50 年来的变率 $0.13 \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot 10 \text{ a}^{-1}$ (IPCC 2007),也高于同期全国的变率 $0.25 \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot 10 \text{ a}^{-1}$ (任国玉等, 2005b)。表明气候变化趋势具有局地性,应该根据

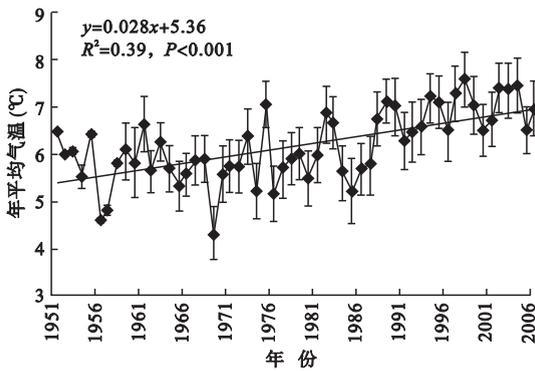


图2 科尔沁沙地年平均气温的年际变化
Fig.2 Annual variation of annual mean air temperature in Horqin sandy land
数据为平均值±标准差,误差线是7个气象站气象资料的标准差,1951和1952年是单站数据,无标准差。下同。

具体地区的气候资料进行分析,科尔沁沙地是气候变化较为剧烈的地区,尤其应该引起关注。研究期间,年平均气温最低为 4.3°C ,出现在1969年,最高为 7.6°C ,出现在1998年。

2.1.2 季平均气温的年际变化 科尔沁沙地冬季为12月—翌年2月,春季为3—5月,夏季为6—8月,秋季为9—11月。从图3可以看出,研究区不同季节平均气温的气候倾向率差别较大,冬季和春季增温最明显,倾向率分别为 0.46 和 $0.39^{\circ}\text{C}\cdot 10\text{a}^{-1}$,且都达到极显著水平($P<0.001$)。这一规律与任国玉等(2005a)对全国的研究相同,但冬季的气候倾向率高于同期全国值($0.39^{\circ}\text{C}\cdot 10\text{a}^{-1}$) (任国玉等,2005b),低于整个东北地区($0.54^{\circ}\text{C}\cdot 10\text{a}^{-1}$) (孙凤华等,2006)。秋季的倾向率为 $0.23^{\circ}\text{C}\cdot 10\text{a}^{-1}$,达到极显著水平($P<0.01$)。夏季增温最弱($0.07^{\circ}\text{C}\cdot 10\text{a}^{-1}$)且不显著,低于全国的值($0.15^{\circ}\text{C}\cdot 10\text{a}^{-1}$) (任国玉等,2005b),但孙凤华等(2006)对整个东北地区的研究显示秋季增温最弱($0.17^{\circ}\text{C}\cdot 10\text{a}^{-1}$)。春季平均气温最低为1957年的 5.2°C ,最高为2002年的 10.4°C (图3a)。冬季平均气温最低为1956年的 -15.6°C ,最高为2001年的 -8.2°C (图3d)。冬季以最大的气候倾向率成为该地区温度变化趋势最显著的季节。

2.1.3 极端气温的年、季变化 年及不同季节最高、最低气温的增温强弱用气候倾向率的大小反映(图4和表1)。可以看出,最高气温与最低气温的增温幅度不同,年最低气温的增温幅度($0.42^{\circ}\text{C}\cdot 10\text{a}^{-1}$)远大于年最高气温($0.17^{\circ}\text{C}\cdot 10\text{a}^{-1}$)。最高气温的增温较弱,且仅在春季和冬季达到显著水平。这也就意味着夜间气温有较强的增温,白天有

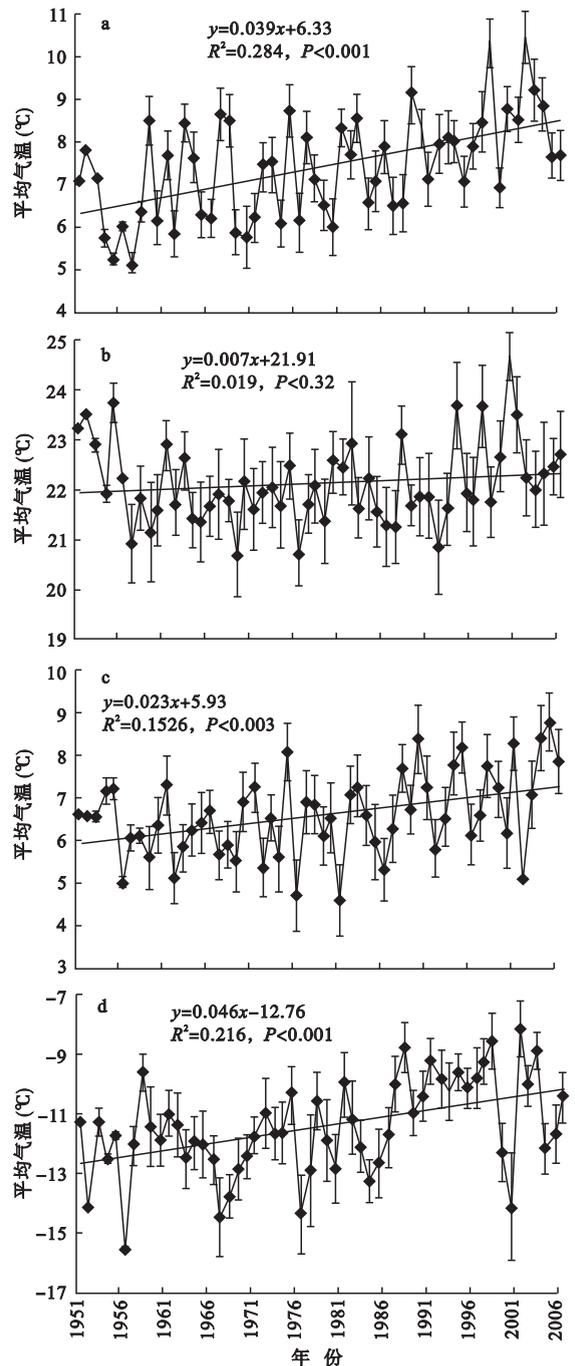
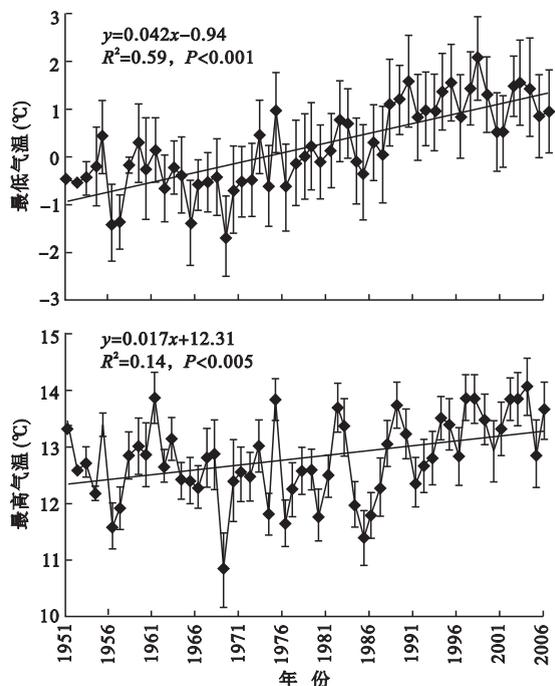


图3 科尔沁沙地季平均气温的年际变化
Fig.3 Annual variation of seasonal mean air temperatures in Horqin sandy land
a 春季 b 夏季 c 秋季 d 冬季。

较弱的增温,温度日较差在逐渐减小。孙凤华等(2006)的研究也表明东北地区日较差显著减小。最低气温与最高气温的不均衡上升导致科尔沁地区气温日较差明显地呈逐年下降趋势,这与Jones等(1999)对1950—1993年全球表层气温变化的研究结果一致,而Horton(1995)认为,气温日较差的变

表 1 科尔沁沙地年平均最高气温和最低气温的气候倾向率及其检验

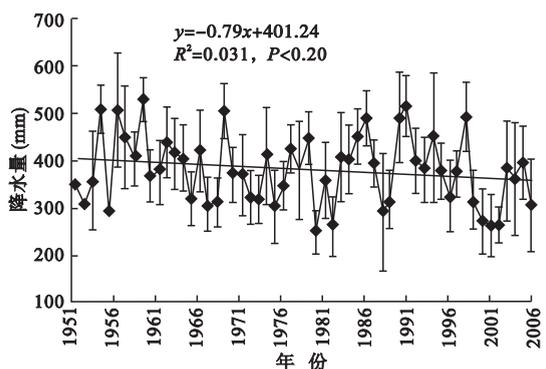
	年		春季		夏季		秋季		冬季	
	倾向率	F	倾向率	F	倾向率	F	倾向率	F	倾向率	F
最高气温	0.17 **	0.005	0.26 **	0.008	0.00	0.852	0.11	0.226	0.34 *	0.013
最低气温	0.42 **	0.001	0.53 **	0.001	0.15 *	0.016	0.33 **	0.001	0.66 **	0.001

* * $P \leq 0.01$; * $P \leq 0.05$.图 4 科尔沁沙地年平均最低和最高气温的年际变化
Fig. 4 Annual variation of annual mean minimum and maximum air temperatures in Horqin sandy land

小存在地域分异。科尔沁沙地最低气温和最高气温都是冬季增温最强,春、秋季次之,夏季最弱。

2.2 降水

2.2.1 降水量的年际变化 科尔沁沙地的年降水量波动较大,其变化趋势不明显($P > 0.05$) (图 5),

图 5 科尔沁沙地年降水量的年际变化
Fig. 5 Annual variation of precipitation in Horqin sandy land

这与中国近 50 年降水量的变化一致(左洪超等, 2004)。研究期间的多年平均降水量为 378.8 mm, 其中,1959 年的降水量最大(528.4 mm),1980 年最小(249.7 mm),在 20 世纪 50 年代降水偏多,从 1960 年以后降水明显减少,并一直持续到 80 年代初,从 80 年代初开始降水明显增加,但在 20 世纪末降水量又有明显的减少趋势,侯依玲等(2005)对东北及邻近地区的研究也有类似的结果。

2.2.2 各季节降水量的变化 从图 6 可以看出,科尔沁沙地各季节降水量的变化趋势不显著($P > 0.05$),春季的平均降水量为 44.8 mm,波动较大,总体上看,1952—1962 年降水较多,1963—1975 年降水较少,夏季的降水量波动最大,其平均降水量为 258.7 mm,秋季的降水量基本平稳,但在 1986 年出现异常大的值,达到 164.4 mm,是秋季平均降水量(68.8 mm)的 2 倍多。冬季降水量最少,只占全年降水量的 2%,其平均降水量为 5.6 mm,相对波动较小,其中降水量最小的是 2001 年,只有 0.8 mm。

2.2.3 降水日数和降水强度的年际变化 从图 7 可以看出,研究区的年降水日数呈明显的下降趋势,平均每年减少 0.13 d,年降水日数平均为 68 d,全年只有 1/5 的雨天或雪日,远低于中国全国的平均水平(162 d)(王颖等 2006)。其中,1959 年降水日数最多(88 d),1982 年最少(55 d)。但降水强度没有显著的变化($P > 0.05$),年均降水强度为 $5.5 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$,1994 年最大($7.5 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$),1980 年最小($3.7 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$)。

2.2.4 降水日数的季节变化 降水日数占季节总日数的比例以夏季(约 1/2)最大,而春季和秋季的降水日数相当(各 14 d),各约占季节总日数的 1/5;冬季平均降水日数为 5 d,未达到季节总日数的 1/10。总体而言,科尔沁沙地春、夏、秋、冬季的降水日数均低于全国平均水平(53、30、30 和 30 d)(王颖等 2006)。

春、冬季的降水日数几乎没有明显变化,夏季虽有逐年减少趋势,但变化不显著,只有秋季的降水日数呈显著减少趋势($P < 0.05$) (表 2),而王颖等

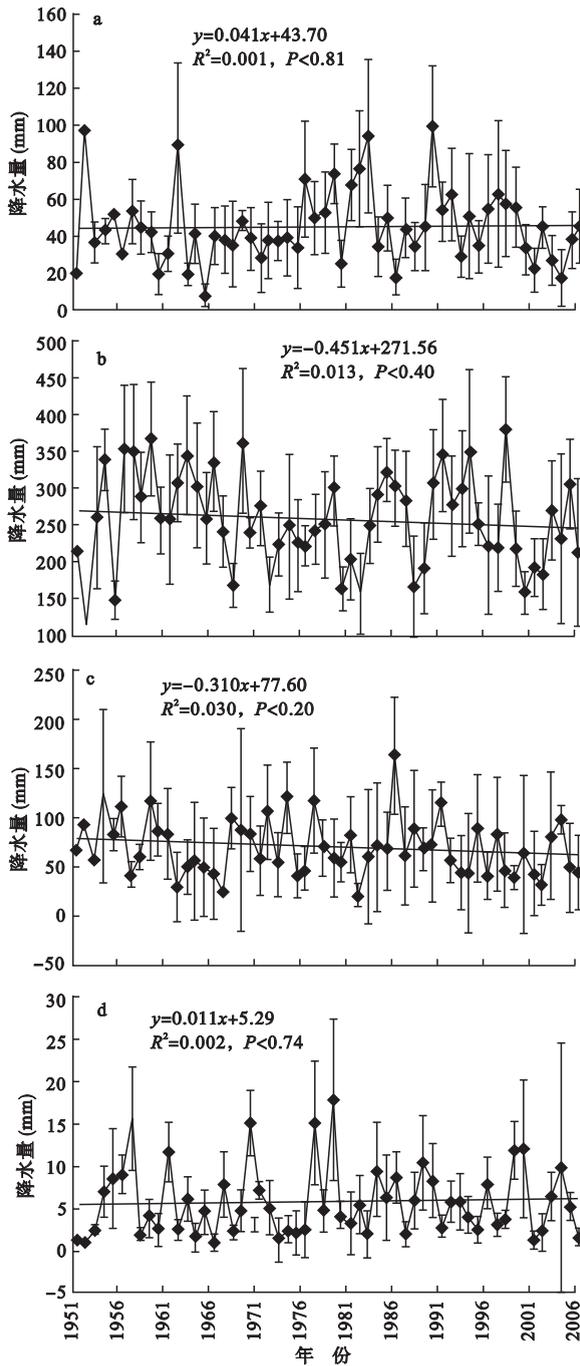


图 6 科尔沁沙地各季节降水量的年际变化
 Fig. 6 Annual variation of seasonal precipitation in Horqin sandy land
 a 春季 b 夏季 c 秋季 d 冬季。

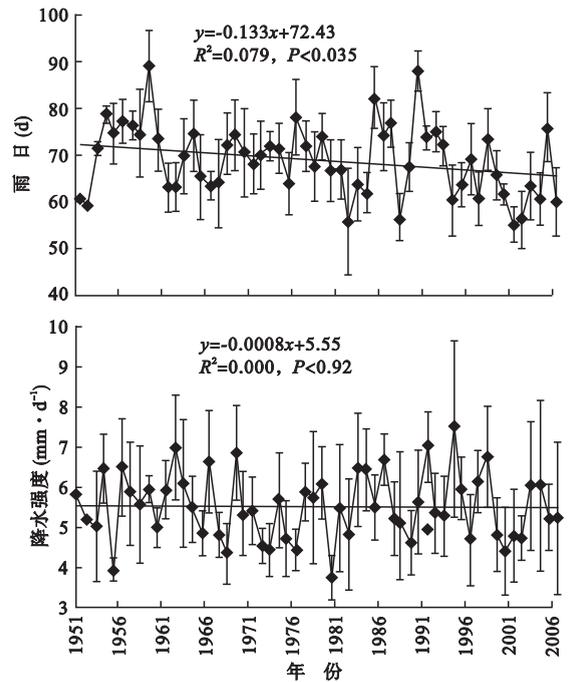


图 7 科尔沁沙地降水日数与强度的年际变化
 Fig. 7 Annual variation of days and intensity of precipitation in Horqin sandy land

(2006)对 1954—2000 年全国雨日的研究表明,全国年均雨日逐年明显减少,且各季节的雨日也都呈减少趋势,夏季雨日减少最明显。这表明相对于全国而言,科尔沁沙地的降水日数减少集中在秋季。

2.2.5 降水强度的季节变化 从表 2 可以看出,各季的降水强度都无显著变化($P > 0.05$)。孙凤华等(2007)对东北地区的研究结果为年降水强度呈明显增强趋势,主要体现在小雨和暴雨强度的增强,与本文研究结果存在一定的差异,说明科尔沁沙地降水变化特征具有一定的特殊性。

2.2.6 小雨、中雨、大雨的雨日变化特征 从图 8 可以看出,研究区年总小雨日数呈显著的减少趋势($P < 0.05$),减少速率为 $1.0 \text{ d} \cdot 10 \text{ a}^{-1}$,明显小于孙凤华等(2007)对整个东北地区的研究结果($4.5 \text{ d} \cdot 10 \text{ a}^{-1}$)。中雨日和大雨日都无显著的变化。年平均小雨日数为 57 d,占年均总雨日的 84%。因而年降水日数的明显下降趋势,主要体现在小雨日数

表 2 科尔沁沙地各季降水日数和降水强度气候倾向率及其检验

Tab. 2 Climatic trend and its significance test of seasonal rain days/intensity in Horqin sandy land

	春季		夏季		秋季		冬季	
	倾向率	F	倾向率	F	倾向率	F	倾向率	F
降水日数	-0.04	0.87	-0.61	0.19	-0.60**	0.01	0.12	0.63
降水强度	0.11	0.70	0.27	0.35	0.12	0.73	-0.01	0.94

** $P \leq 0.01$; * $P \leq 0.05$ 。

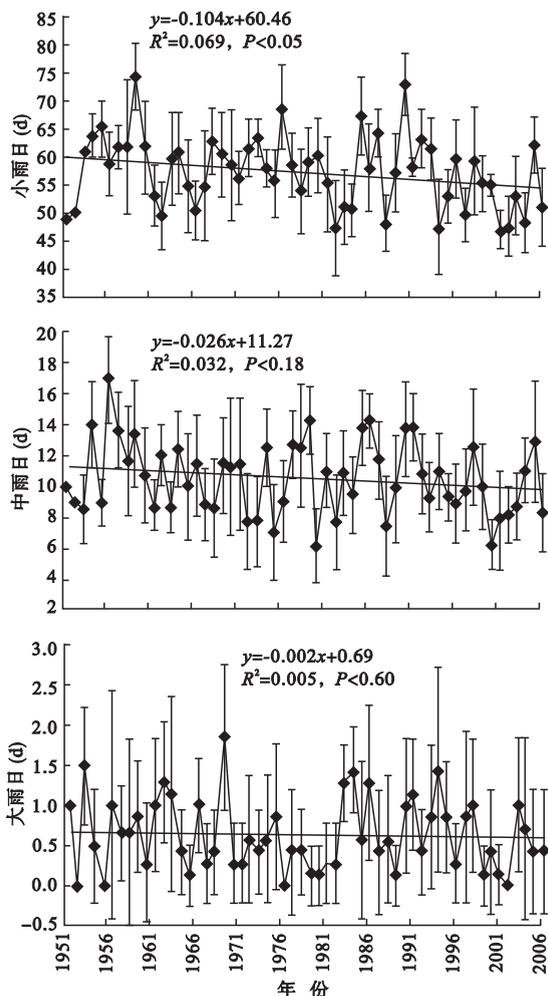


图 8 科尔沁沙地小雨、中雨、大雨的雨日年际变化
Fig. 8 Annual variation of precipitation days of light rain, middle rain and heavy rain in Horqin sandy land

的减少。小雨日数是衡量降水是否均衡分配的一项重要指标(白美兰等, 2008)。在总降水量不变的前提下, 小雨日数的减少意味着连续无雨日的增多, 偏大雨量的日数增多, 即降水时间分配更不均匀, 更易发生旱涝灾害。

3 结论

通过对科尔沁沙地 7 个气象观测站 1951—2006 年的气象资料分析, 结果表明: 该地区年平均气温呈显著的上升趋势, 上升速率为 $0.28\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot 10\text{ a}^{-1}$, 远大于全球近 50 年来的平均增温速率 $0.13\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot 10\text{ a}^{-1}$ 。各季节气温都呈上升趋势, 冬、春季增温速率极显著 ($P < 0.001$), 冬季气温增幅最大, 为 $0.46\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot 10\text{ a}^{-1}$, 夏季的气温增幅小 ($0.14\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot 10\text{ a}^{-1}$) 且不显著, 年最高气温 ($0.17\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot 10\text{ a}^{-1}$) 与年

最低气温 ($0.42\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot 10\text{ a}^{-1}$) 均呈极显著的增加趋势 ($P < 0.001$), 二者均是在冬季增温最明显。降水量年际间波动较大, 无明显的变化趋势; 各季节降水量也没有明显的变化规律。年降水日数呈显著的减少趋势 ($1.3\text{ d} \cdot 10\text{ a}^{-1}$), 各季的降水日数虽都有逐年减少趋势, 但没有达到显著水平, 年降水强度和各季降水强度都无明显的变化规律; 年总小雨日数呈显著的减少趋势 ($P < 0.05$), 减少速率为 $1.0\text{ d} \cdot 10\text{ a}^{-1}$; 中雨、大雨的雨日无明显变化。

科尔沁沙地冬、春季降水量少, 仅占全年降水量的 14%, 造成冬、春季干旱, 而且该地区冬、春季风大, 地表几乎无植被覆盖, 表层沙质土壤裸露, 易造成耕地和草地的沙化, 尤其春季土壤融化, 干燥疏松, 春季大风造成该地区的风蚀。大量研究表明, 以风蚀为主要特征的土地沙漠化是全球干旱、半干旱地区最严重的土地退化类型之一 (Muldock *et al.*, 1983; 朱震达等, 1994), 该地区冬、春季的降水少且降水的季节间及年际间分布不均, 伴随着显著的增温, 必然导致沙漠化的易发和其进程的加速。再加上该地区人类活动的加剧, 植被覆盖率降低, 也加速了干旱化、沙漠化的进程。赵哈林等 (2008) 对科尔沁沙地的研究表明, 沙漠化过程中, 土壤有机碳和全氮含量明显降低, 造成土壤的贫瘠化, 随着土壤养分的严重丧失, 土壤生物活性大幅度下降 (曹成有等, 2007), 对当地的生产生活活动和生态环境造成严重的影响。因而针对该区域不利的自然条件和人类活动, 应根据区域特点, 加强相关的区域环境评估、预测与生态恢复研究。

参考文献

- 白美兰, 郝润全, 沈建国. 2008. 近 46 a 气候变化对呼伦湖区域生态环境的影响, 中国沙漠, 28(1): 103–107.
- 曹成有, 朱丽辉, 富瑶, 等. 2007. 科尔沁沙质草地沙漠化过程中土壤生物活性的变化, 生态学杂志, 26(5): 622–627.
- 丁一汇, 王守荣. 2001. 中国西北地区气候与生态环境概论. 北京: 气象出版社.
- 侯依玲, 李栋梁, 施雅风, 等. 2005. 50a 来中国东北及邻近地区年降水量的年代际异常变化. 冰川冻土, 27(6): 839–845.
- 蒋德明, 刘志民, 寇振武. 2002. 科尔沁沙地荒漠化及生态恢复研究展望. 应用生态学报, 13(12): 1695–1698.
- 任国玉, 初子莹, 周雅清, 等. 2005a. 中国气温变化研究最

- 新进展. 气候与环境研究, **10**(4):701-716.
- 任国玉, 徐铭志, 初子莹, 等. 2005b. 近 54 年中国地面气温变化. 气候与环境研究, **10**(4):718-727.
- 史建国, 刘克礼, 何文清, 等. 2007. 内蒙古呼和浩特地区近 40 年来气候变化特征分析. 内蒙古农业大学学报, **28**(4):39-43.
- 孙凤华, 杨素英, 任国玉. 2007. 东北地区降水日数、强度和持续时间的年代际变化. 应用气象学报, **18**(5):610-618.
- 孙凤华, 杨修群, 路爽, 等. 2006. 东北地区平均、最高、最低气温时空变化特征及对比分析. 气象科学, **26**(2):157-163.
- 王颖, 施能, 顾骏强, 等. 2006. 中国雨日的气候变化. 大气科学, **30**(1):163-170.
- 张兰生, 方修琦. 1988. 中国气温变化的区域分异规律. 北京师范大学学报(自然科学版), (3):78-85.
- 赵哈林, 周瑞莲, 苏永中, 等. 2008. 科尔沁沙地沙漠化过程中土壤有机碳和全氮含量变化. 生态学报, **28**(3):976-982.
- 朱震达, 陈广庭. 1994. 中国沙漠化. 北京:科学出版社.
- 左洪超, 吕世华, 胡隐樵. 2004. 中国近 50 年气温及降水量的变化趋势分析. 高原气象, **23**(2):238-244.
- Horton B. 1995. Geographical distribution of changes in maximum and minimum temperatures. *Atmospheric Research*, **37**:101-117.
- IPCC. 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Intergovernmental Panel on Climate Change [EB/OL]. [2007-04-08]. <http://www.ipcc.ch/ipccreports/index.htm>
- Jones PD, New M, Parker DE, et al. 1999. Surface air temperature and its change over the past 150 years. *Reviews of Geophysics*, **37**:173-199.
- Muldock LW, Frye WW. 1983. Erosion: Its Effect on soil Properties. Productivity and Profit. Publication AGR 102. Kentucky: University of Kentucky, College of Agriculture.
- Wang X, Chen FH, Dong Z, et al. 2005. Evolution of the southern Mu Us Desert in north China over the past 50 years: An analysis using proxies of human activity and climate parameters. *Land Degradation & Development*, **16**:351-366.
- Zhang XY, Wang XM, Yan P. 2007. Re-evaluating the impacts of human activity and environmental change on desertification in the Minqin Oasis, China. *Environmental Geology*, **55**:705-715.

作者简介 渠翠平,女,1983年生,硕士研究生。主要从事草地气象和草地遥感研究,发表论文 2 篇。E-mail: cuipinggirl@163.com
责任编辑 李凤芹
