

安莉娟.近 44 a 毛乌素沙地西缘气候特征及其未来可能变化趋势[J].沙漠与绿洲气象,2017,11(4):25-31.

doi: 10.12057/j.issn.1002-0799.2017.04.004

近 44 a 毛乌素沙地西缘气候特征及其未来可能变化趋势

安莉娟

(内蒙古气候中心,内蒙古 呼和浩特 010051)

摘要:利用 1971—2014 年毛乌素沙地西缘气象观测资料,分析了该地区的气温、降水、相对湿度的时空变化特征,运用 R/S 分析法预测未来毛乌素沙地西缘气候要素可能变化趋势。结果表明:(1)近 44 a 毛乌素沙地西缘气温呈显著上升趋势,降水量呈弱的增加趋势,相对湿度呈弱的下降趋势,但是二者趋势并不显著。(2)近 44 a 毛乌素沙地西缘气温空间分布呈南高北低,降水和相对湿度均呈东多西少,各地气候倾向率存在明显的差异性,中部气温增幅较大,东部降水增加较多,南部相对湿度减少较多。(3)近 44 a 来毛乌素沙地西缘各气象要素变化均表现出一定的周期性,年平均气温主要存在 4~5、8~10 a 的振荡周期,降水量主要存在 3~4、6~8 a 振荡周期,相对湿度主要存在 2~4、6~8 a 的振荡周期。(4)毛乌素沙地西缘未来气温仍呈上升趋势可能性较大,未来降水量可能变为减少趋势,未来相对湿度变化不稳定。

关键词:气温;降水量;相对湿度;Hurst 指数;毛乌素沙地西缘

中图分类号:P467

文献标识码:B

文章编号:1002-0799(2017)04-0025-07

沙漠作为一种特殊的下垫面,对气候冷暖和干湿变化的响应十分敏感,而气候变化常常影响着其生态环境状况和沙漠化过程^[1-2]。近几十年土地荒漠化形势严峻,干旱化趋势明显,生态环境不断恶化,处于沙漠腹地的湖泊也出现明显的退缩,这些现象都与区域气候变化有密切关系^[3-4]。毛乌素沙地西缘位于鄂尔多斯市南部,在气候上属于半干早气候区,在植被上属于草原向荒漠化草原过渡带,在农业生产上属于农牧交错区,对全球气候变化和环境的改变十分敏感,是内蒙古沙漠化发生的重点地区之一。因此,认识毛乌素沙地西缘气候及其变化对该地区的影响显得十分重要,对于指导沙地生态保护与建设具有重要的意义^[5]。

近些年来有关毛乌素沙地现代气候变化研究已

经受到国内外学者的高度重视。徐小玲等^[6-7]、刘登伟等^[8-9]研究分析毛乌素沙地气候变化规律和趋势,得出毛乌素沙地气候暖干化趋势的结论。胡永宁等人^[10-11]通过分析毛乌素沙地区域气候变化周期与突变特征,得到了毛乌素沙地区域气候冷暖、干湿周期振荡规律。杨永梅等^[12]、吴薇等^[13]、房世波等人^[14]研究了毛乌素沙地沙漠化的过程,结果表明毛乌素沙地沙漠化程度有所减轻。日前,关于毛乌素沙漠的研究大多数问题集中在整个区域气象要素气候特征变化和与之相应的沙漠化进程方面,对于预测未来气候变化方面的研究较少,而推断和预测未来气候变化也是气候研究中的一个前沿课题。R/S 分析法能对未来气候变化的总体趋势做出预测和推断^[15],此方法在国内的气候变化中已得到了广泛的应用^[16-18],其重要的应用价值在于用 Hurst 指数对未来区域气候变化趋势进行预测。

2000 年后我国对毛乌素沙地实行退耕还林、飞播造林、沙区封育等措施,以及地方政府配合施行的“禁牧、休牧、轮牧”等政策,在一定程度缓解了毛乌素沙地的荒漠化。为了能够准确反映内蒙古毛乌素

收稿日期:2017-02-28;修回日期:2017-05-08

基金项目:内蒙古地方标准项目“干湿指数气候类型等级”和内蒙古自然科学基金“有效降水下限在地区干旱评估中的应用与评估”项目(2016MS0376)共同资助。

作者简介:安莉娟(1983-),女,工程师,研究方向为气象干旱。

E-mail:anlijuan2006@163.com

沙地气候及其变化情况,本文利用内蒙古境内毛乌素沙地气象站气象资料,分析毛乌素沙地西缘气温、降水和相对湿度的时空变化特征,运用R/S分析法来预测毛乌素沙地西缘未来气候变化趋势,以期为内蒙古自治区治理沙漠化、做好生态建设提供可靠的理论依据,对当地生态环境保护和社会经济发展具有重要的现实意义。

1 数据来源与研究方法

1.1 数据来源

本文选取位于毛乌素沙地西缘的鄂托克旗、鄂托克前旗、乌审召、乌审旗和河南5个气象站点(图1)1971年1月—2014年12月的月平均气温、月降水量、月相对湿度气象要素的观测数据,数据全部来源于内蒙古气象局气象资料数据库。气候要素的多年平均值采用1981—2010年30a的平均值。

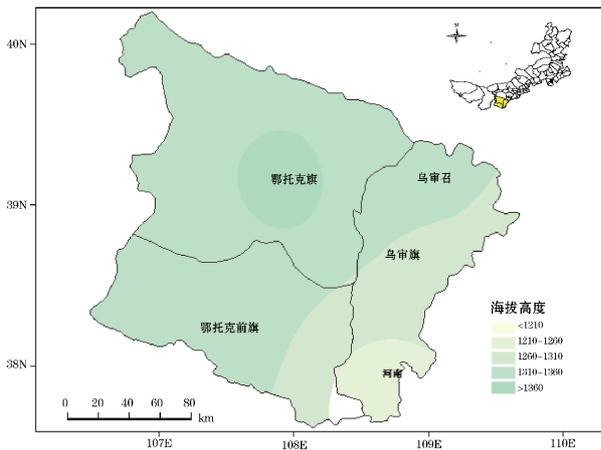


图1 内蒙古毛乌素沙地气象站点分布

1.2 研究方法

本文基于气象数据采用线性评估倾向估计法^[19]、小波分析^[19-20]等方法分析了毛乌素沙地西缘时空变化特征,利用R/S分析法^[15]预测未来气候变化趋势。

根据R/S分析法的原理和方法^[15],选取任意正整数 τ 值进行R/S的分析,在双对数坐标系中最小二乘法拟合,可得出Hurst指数($0 < H < 1$)。通过Hurst指数大小可以判断非随机时间序列的趋势性,当Hurst为0.5时,时间序列肯定是随机的,具有“无后效性”;当Hurst大于0.5,表明时间序列具有持久性,未来的气候整体变化将与过去的变化趋势一致,时间序列前后呈正相关;当Hurst小于0.5,表明时间序列具有反持久性,未来的气候总体趋势与过去相反,时间序列前后呈负相关。

2 结果与分析

2.1 气象要素时间变化

近44a毛乌素沙地西缘年平均气温呈现出明显的上升趋势,气温变化率为 $0.33\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ($p < 0.001$)。20世纪70年代、80年代气温低于多年平均值,以偏冷为主,从90年代开始后特别是1997年以后气温连续升高,明显高于多年平均值,以偏暖为主。近44a毛乌素沙地西缘年平均气温平均值为 $7.5\text{ }^{\circ}\text{C}$,最大值出现在1998年,为 $8.9\text{ }^{\circ}\text{C}$,最小值出现在1984年,为 $6.1\text{ }^{\circ}\text{C}$,二者相差 $2.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ (图2a)。近44a毛乌素沙地西缘年降水量整体上呈弱增加趋势,增加速率为 $6.6\text{ mm}/10\text{ a}$,未通过 $\alpha=0.05$ 的显著性水平检验,表明降水量变化趋势性并不显著。近44a毛乌素沙地西缘平均降水量为 297 mm ,降水量最多年份出现在2002年(456.9 mm),最少年出现在2005年(160.3 mm),二者之差为 296.6 mm 。20世纪70、80年代降水量基本持平,略高于多年平均值,

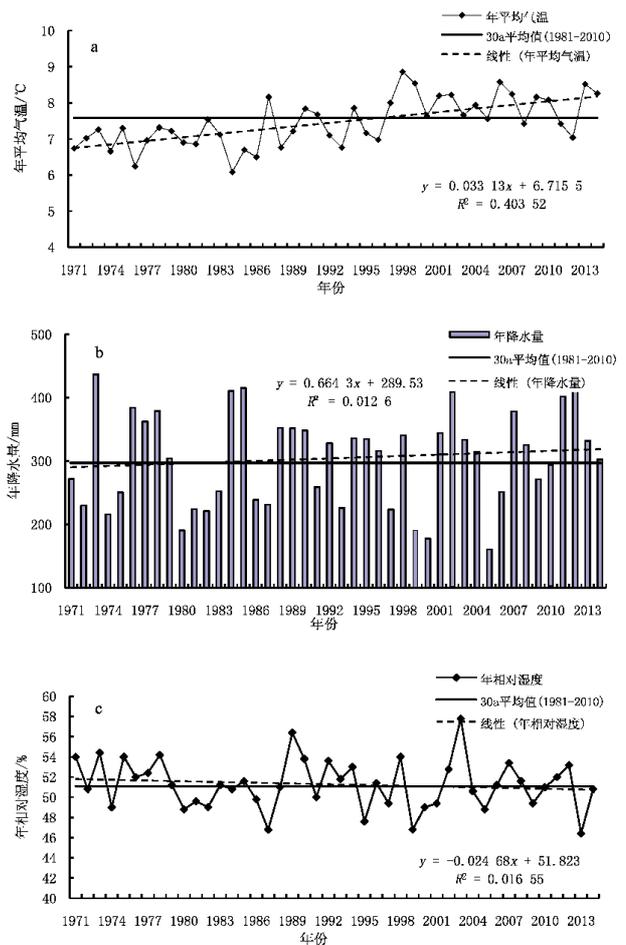


图2 1971—2014年毛乌素沙地西缘气象要素变化趋势

(a为年平均气温;b为年降水量;c为年相对湿度)

90年代降水量迅速减少,少于多年平均值,从21世纪后降水量开始增加,大于30 a平均值的年份明显增多(图2b)。近44 a毛乌素沙地西缘年相对湿度呈弱的减少趋势,减少趋势率为0.24%/10 a,未通过了 $\alpha=0.05$ 的显著性水平检验,表明年相对湿度变化趋势性并不显著。毛乌素沙地西缘多年平均相对湿度为51.1%,最大值出现在2003年(57.8%),最小值出现在1987年和1999年(46.8%),相差11%。20世纪70年代年相对湿度多数年份明显高于多年平均值(1981—2010年),到80年代年相对湿度又低于多年平均值,90年代和2000年代相对湿度围绕多年平均值上下来回波动,变化幅度明显增大(图2c)。

2.2 气象要素空间变化

毛乌素沙地西缘的年平均气温普遍在6-8℃,总体表现为南高北低的分布格局,高值区位于南部的河南、乌审旗和鄂托克前旗,低值区位于乌审召(6.7℃)(图3a)。图3b给出了毛乌素沙地西缘气温倾向率空间分布,各地年平均气温倾向率均为正值,说明在44 a里的各地气温均呈上升趋势变化。升温速率最明显地区在乌审旗,为0.5℃/10 a ($p < 0.001$),河南站升温速率较缓慢(0.1℃/10 a, $p < 0.05$)。近44 a毛乌素沙地西缘年降水量空间分布差异明显,总体呈现出东多西少分布形势(图3c),东部平均降水量(331.7 mm)与西部平均降水量(263.6 mm)相差68.1 mm。各地年降水量趋势变化不一致,鄂托克旗降水量变化率为负值,其余各地均为正值,说明毛乌素沙地西缘年降水量普遍呈增加

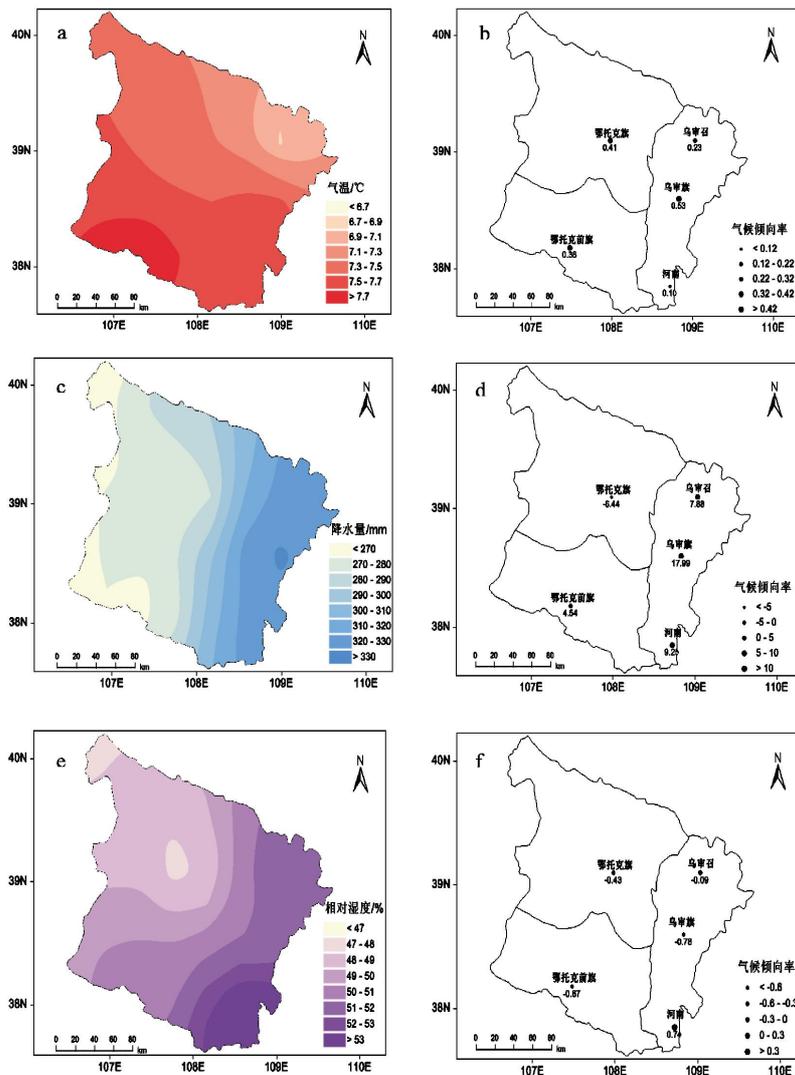


图3 1971—2014年毛乌素沙地西缘气象要素及气候倾向率空间分布
(a,b为年平均气温;c,d为降水量;e,f为相对湿度)

趋势,增加速率最快地区在乌审旗,为 18 mm/10 a,而西部鄂托克旗减少速率为 6 mm/10 a(图 3d)。从图 3e 可以看出,近 44 a 毛乌素沙地西缘年相对湿度从东向西依次递减,鄂托克旗年平均相对湿度为 46.8%,河南年平均相对湿度为 56.4%,二者之间的差距为 9.6%。各地年相对湿度除河南呈增加趋势外,其余地区均呈减少趋势,减少幅度在 0.1%/10 a~0.8%/10 a,南部减少幅度大于北部,乌审旗减少幅度最快,约为 0.8%/10 a(图 3f)。

2.3 气象要素周期变化

图 4 为近 44 a 毛乌素沙地西缘平均气温、降水量、相对湿度的小波变换图,毛乌素沙地西缘平均气温主要存在 4~5、8~10 a 的振荡周期,由于 16 a 和 32 a 左右振荡周期受头部影响可能存在虚假,不予取用。4~5、8~10 a 的振荡周期波动十分明显,可以看出近 44 a 毛乌素沙地西缘平均气温偏高、偏低的波动变化。总体小波功率谱图显示周期为 2 a 和 4 a 的功率谱通过了 0.05 的显著性检验(图 4a)。从图 4b 可见,降水量主要存在 3~4、6~8 a 的周期振荡,此外还有 16 a 和 32 a 左右振荡周期表现较强,但是受头部影响可能存在虚假,故不予取用。总体小波

功率谱图(图 4b)显示降水量存在 3 个显著的功率谱峰,但是只有 3、6 a 周期功率谱通过了 0.05 的显著性检验。相对湿度主要存在 2~4、6~8 a 的的振荡周期,同样 16 a 和 32 a 左右振荡周期受头部影响可能存在虚假不予取用。相对湿度主要存在 3 个显著的功率谱峰,只有 2、4 a 的周期是显著的,通过了 0.05 的显著性检验(图 4c)。

2.4 R/S 分析

利用 R/S 分析方法计算毛乌素沙地西缘近 44 a 的平均气温、降水量及相对湿度序列的 Hurst 指数。由图 5a 可知,年平均气温的 Hurst 指数为 0.947,可以得出未来毛乌素沙地西缘年平均气温变化趋势与过去 44 a 变化趋势相同,仍将波动上升。未来四季平均气温波动上升状况各不相同,春季平均气温持续性变化最强,表明春季未来增温可能性高于其它各季,其次增温可能性较强的是夏季,秋季、冬季未来增温可能性也比较大(表 1)。

过去的 44 a 里年降水量总体呈弱的增加趋势,主要贡献在春秋两季(春季:3.5 mm/10 a,秋季:3.3 mm/10 a),冬季降水量呈弱的减少趋势、夏季降水量变化趋势基本保持不变。年降水量 Hurst 指数

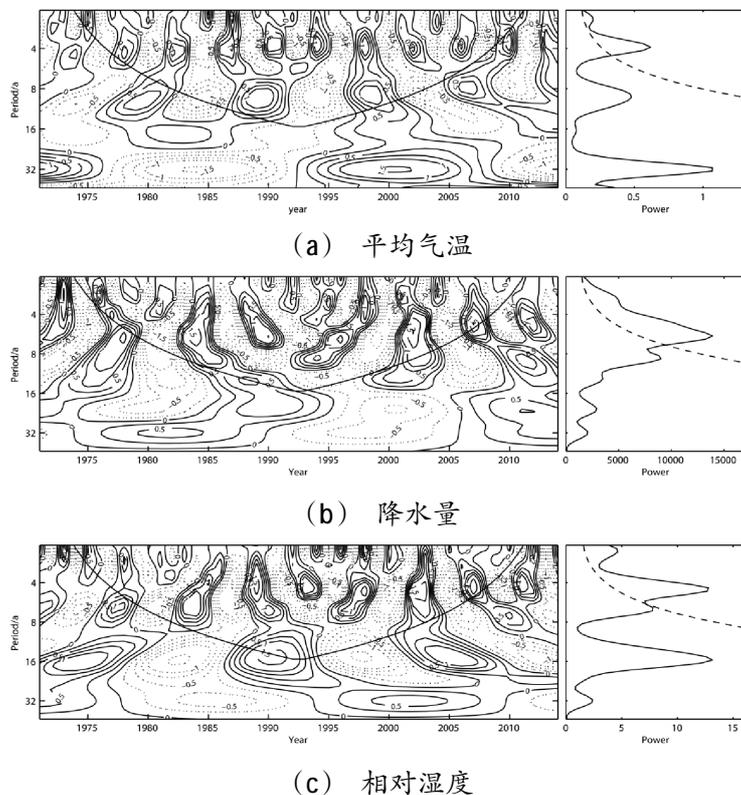


图 4 1971—2014 年毛乌素沙地西缘平均气温、降水量、相对湿度的小波变换

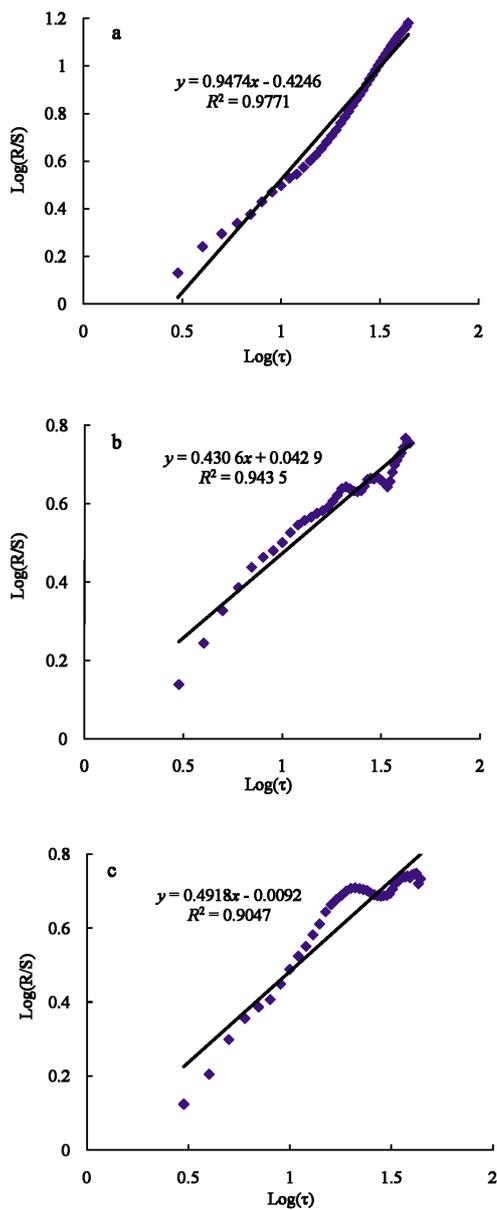


图5 毛乌素沙地西缘年平均气温(a)、年降水量(b)、年相对湿度(c)的Hurst指数

表1 毛乌素沙地西缘四季平均气温、降水量、相对湿度Hurst指数

	年平均气温	年降水量	年相对湿度
春季	0.95	0.62	0.50
R ²	0.976	0.989	0.981
夏季	0.88	0.52	0.56
R ²	0.974	0.973	0.965
秋季	0.71	0.81	0.70
R ²	0.953	0.983	0.982
冬季	0.75	0.62	0.62
R ²	0.993	0.970	0.959

为0.43(<0.5),说明未来毛乌素沙地西缘年降水量变化趋势与过去44a变化趋势相反,未来年降水量可能将呈减少趋势(图5b)。春、秋季降水量Hurst指数分别为0.62和0.81,说明未来春、秋季降水量仍将继续增加,秋季降水量增加趋势最强,而冬季降水量Hurst指数为0.62,表明未来冬季降水量可能呈弱减少趋势,夏季Hurst指数接近0.5,表明未来夏季降水量变化不稳定(表1)。

年相对湿度Hurst指数为0.49,说明未来年相对湿度变化趋势不明显,有可能发生改变或者将保持基本稳定。近44a毛乌素沙地西缘春、冬季相对湿度呈下降趋势,秋季相对湿度呈上升趋势,夏季趋势变化不明显。秋、冬季相对湿度Hurst指数分别为0.7和0.62,春夏季相对湿度Hurst指数均接近0.5,说明未来秋季相对湿度趋势可能会继续增大,而未来冬季变化趋势可能会减小,春、夏两季变化趋势将不稳定。

3 讨论

近44a毛乌素沙地西缘年平均气温呈现出明显的上升趋势,与鄂尔多斯高原^[21]增温速率(0.43℃/10a,1961—2000年)相比,变化趋势一致,但变暖程度相对缓慢,而与毛乌素沙地东缘^[22]增温速率(0.25℃/10a,1954—2013年)相比,变暖程度又相对表现剧烈。在全球变暖背景下,降水变化存在区域性差异^[23-24],近44a年降水量整体上呈弱增加趋势,增加速率为6.6mm/10a,与鄂尔多斯高原^[21]、毛乌素沙地东缘^[22]降水趋势呈现出不一致变化。造成增温差异的主要原因是所处的生态环境不同,尤其鄂托克旗生态条件很差,苏密图乡有类似于沙漠的景观,植被覆盖率小,地表蒸发量大,地表水分含量极少,气候系统脆弱,气候变化的敏感性强所致。造成增湿的原因可以认为是毛乌素西缘地区降水量年际变化较大所致的正常波动现象。在过去的44a里毛乌素沙地西缘气候特征呈暖湿型,尤其是春秋季节气温明显升高,降水量明显增加,有利于延长植被生长期^[25-26]。未来毛乌素沙地西缘年平均气温持续升高,年降水趋势变为减少,将可能导致未来毛乌素沙地西缘气候由暖湿向暖干转换,干旱化趋势加剧,有利于沙漠化的发生发展。

4 结论

(1)近44a来毛乌素沙地西缘的各气象要素趋势变化存在显著差异,年平均气温呈显著上升趋势,

年降水量呈弱增加趋势,相对湿度呈弱减少趋势。毛乌素沙地西缘各气候要素趋势变化及倾向率存在区域性差异,气温分布呈南高北低,降水和相对湿度呈东多西少的分布格局。乌审旗增温幅度较强,河南站增温幅度较弱,降水量东部增加较快,西部增加较慢,相对湿度南部减少幅度大于北部。

(2)毛乌素沙地西缘各气象要素在整个研究时段内均存在一定的周期性变化。年平均气温主要存在 4~5、8~10 a 的周期振荡,4 a 为显著性周期;年降水量存在 3~4、6~8 a 尺度的周期振荡,3 a 和 6 a 为显著性周期;年相对湿度存在 2~4、6~8 a 尺度的周期振荡,2 a 和 4 a 为显著性周期。

(3)毛乌素沙地西缘各气象要素存在 Hurst 现象,其中气温变化的 Hurst 现象最明显,表明毛乌素沙地西缘未来年平均气温将继续呈上升趋势,未来年降水量变化将变为减少趋势,但是趋势性较弱,未来年相对湿度变化不稳定。

参考文献:

[1] 裴浩,张世源,敖艳青.浑善达克沙地气候特征及其气候变化分析[J].气象科技.2005,33(01):63-67.
 [2] 马安青,高峰,贾永刚,等.基于遥感的贺兰山两侧沙漠边缘带植被覆盖演变及对气候响应[J].干旱区地理.2006,29(02):170-177.
 [3] 时兴合,李林,汪青春,等.环青海湖地区气候变化及其对湖泊水位的影响[J].气象科技.2005,33(01):58-62.
 [4] 马宁,王乃昂,朱金峰,等.巴丹吉林沙漠周边地区近 50a 来气候变化特征[J].中国沙漠.2011,31(06):1541-1546.
 [5] 谭志海.全球气候变化对中国北方地区沙漠化的影响[J].陕西师范大学学报(自然科学版).2005,33(S1):158-160.
 [6] 徐小玲,延军平.毛乌素沙地的气候对全球气候变化的响应研究[J].干旱区资源与环境.2004,18(01):135-139.
 [7] 徐小玲,延军平.近 30 年毛乌素沙区的气候与厄尔尼诺/拉尼娜事件的相关分析[J].干旱区研究.2003,20(02):117-122.
 [8] 刘登伟,张月鸿.全球变化下毛乌素沙漠气候变化特征[J].干旱区资源与环境.2003,17(06):78-81.
 [9] 刘登伟,延军平,张月鸿,等.毛乌素沙漠区气候变化空间分布比较研究[J].资源科学.2003,25(06):71-76.
 [10] 胡永宁,秦艳,王林和,等.1960-2009 年毛乌素沙地腹地气候变化的多重时间尺度分析——以乌审旗为例[J].干旱区资源与环境.2003,27(02):124-130
 [11] 胡永宁,王林和,张国盛,等.毛乌素沙地 1969—2009 年主要气候因子时间序列小波分析[J].中国沙漠.

2013,33(02):390-395.
 [12] 杨永梅,杨改河,冯永忠.近 45 年毛乌素沙地的气候变化及其与沙漠化的关系[J].西北农林科技大学学报(自然科学版).2007,35(12):87-92.
 [13] 吴薇.近 50 年来毛乌素沙地的沙漠化过程研究[J].中国沙漠.2001,21(02):164-169.
 [14] 房世波,许端阳,张新时.毛乌素沙地沙漠化过程及其气候因子驱动分析[J].中国沙漠.2009,29(05):796-801.
 [15] 孙霞,吴自勤,黄响.分形原理及其应用[M].合肥:中国科学技术大学出版社,2003,10:99-102.
 [16] 冯新灵,冯自立,罗隆诚,等.青藏高原冷暖气候变化趋势的 R/S 分析及 Hurst 指数试验研究[J].干旱区地理.2008,31(2):175-181.
 [17] 刘国华,王一博,高泽永,等.1987-2012 年青藏高原五道梁盆地气候变化趋势[J].兰州大学学报(自然科学版).2014,50(3):410-416.
 [18] 赵晶,王乃昂.近 50 年来兰州城市气候变化的 R/S 分析[J].干旱区地理.2002,25(1):90-95.
 [19] 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.
 [20] Torrence C, Compo G P. A practical guide to wavelet analysis [J]. Bulletin of American Meteorological Society. 1998,79(01):61-78.
 [21] 任健美,尤莉,高建峰,等.鄂尔多斯高原近 40 a 气候变化研究[J].中国沙漠.2005,25(06):874-879.
 [22] 刘宇峰,杜忠潮,原志华,等.近 60a 毛乌素沙地东缘主要气候要素的多时间尺度变化特征[J].干旱区资源与环境.2016,30(09):121-127.
 [23] 王绍武,赵宗慈.未来 50 年中国气候变化趋势的初步研究[J].应用气象学报,1995,(03):333-342.
 [24] 钱维宏,符娇兰,张玮玮,林祥.近 40 年中国平均气候与极值气候变化的概述[J].地球科学进展,2007,(07):673-684.
 [25] Zhou Yao-Zhi, Jia Gen-Suo. Precipitation as a control of vegetation phenology for temperate steppes in China. [J]. Atmospheric and Oceanic Science Letters, 2016, (03): 162-168.
 [26] 韩瑞梅,刘培,马超,等.鄂尔多斯植被的 NDVI3g 动态及气候响应[J].水土保持通报,2016,(05):28-33.
 [27] 胡彩虹,王纪军,柴晓玲,等.气候变化对黄河流域径流变化及其可能影响研究进展[J].气象与环境科学,2013,36(2):57-65.
 [28] 张婧婷,冯利平,潘志华.黑龙江省未来 41 年气候变化趋势与突变分析[J].气象与环境科学,2014,37(3):60-66.
 [29] 翟颖佳,李耀辉,陈玉华.全球及中国区域气候变化预估研究主要进展[J].干旱气象,2013,31(4):803-813.

The Characteristics of Climate Changes in Western Edge of Mu Us Sandy Land During the Past 44 Years and Estimation of Future Climate Trend

AN Lijuan

(Inner Mongolia Climate Centre, Hohhot 010051, China)

Abstract The spatial and temporal characteristics of temperature, precipitation and relative humidity in the western margin of Mu Us sandy land were analyzed by using the meteorological observational data from 1971 to 2014, and R / S method was used to predict the future climate change trend. The results showed that: (1) The temperature in the western margin of Mu Us sandy land had increased significantly in the past 44 years. Precipitation showed a weak increasing trend and relative humidity showed a weak decreasing trend, but the two trend was not significant; (2) The temperature in the west margin of Mu Us sandy land in the recent 44 years presented the features of south warming and north cooling. More precipitation and higher relative humidity occurred in the east parts in the region, opposite occurrence in west parts. There were obvious regional differences in climatic tendency of each climate element, the temperature increased greatly in the central parts, and the precipitation increased significantly in the east parts, and the relative humidity decreased obviously in the south parts.; (3) The temperature, precipitation and relative humidity in the western margin of Mu Us sandy land all had obvious periodical oscillation in the recent 44 years. The period of averaged temperature was mainly 4-5a, 8-10a, precipitation existed 3-4a, 6-8a scale periodic oscillations and the relative humidity was 2-4a, 6-8a scale periodic oscillations; (4) In the future, the temperature in the western edge of Mu Us sandy land is likely to keep on increasing, precipitation will decrease.

Key words temperature; precipitation; relative humidity; Hurst index; the western edge of Mu Us Sandy Land