

秦岭南北风速时空变化及突变特征分析

蒋 冲¹, 王 飞^{1,2}, 刘焱序³, 穆兴民^{1,2}, 李 锐^{1,2}

(1. 西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌, 712100; 2. 中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西 杨凌, 712100;
3. 陕西师范大学旅游与环境学院, 陕西 西安 710062)

摘要: 根据秦岭南北47个气象站1960~2011年逐月风速和气温资料, 采用样条曲线插值法(Spline)、Pettitt突变点检验、气候倾向率和相关分析等方法对该区风速的空间分布、时空演变特征及其可能影响因素进行了分析。结果表明: ① 秦岭南北风速空间分布呈东高西低、北高南低格局, 按其大小排序为秦岭以北>秦岭南坡>汉水流域>巴巫谷地。四季风速排序为春季>冬季>夏季>秋季, 均以秦岭以北最大。② 近52 a来, 秦岭南北整体和各子区年平均风速呈现一致的显著下降趋势, 下降最快的为秦岭南坡, 最慢的为汉水流域。四季风速下降速率排序为冬季>春季>秋季>夏季。③ 年和季节尺度风速的突变集中出现在1969~1974、1978~1981和1990~1994年间, 秦岭南北整体于1981年突变。④ 气象台站周边的城市化发展和风速测量仪器的更换都对风速的变化产生了一定影响, 但都不是风速显著下降的主要原因, 大气环流变化和气候变暖才是造成风速减小的可能原因。

关键词: 秦岭南北; 风速; 时空变化; 突变点; 影响因素

中图分类号: S157 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2013)02-0244-07

风速是表征气候变化以及气候形成的重要气象要素, 也是影响蒸发的主要因素之一, 可通过增强地面和空气的热量交换来影响农田乱流交换强度^[1-2]。Tim^[3]关于澳大利亚风速的研究引起了各国学者对风速的进一步关注, 中国在这方面的研究工作逐渐展开。近半个世纪以来, 中国大部分地区的风速呈下降趋势^[4-7], 20世纪50年代相对于90年代而言, 全国平均风速减小了约16%, 特别是西北西部, 减小了近29%^[4]; 王遵亲^[4]等认为中国风速减小主要是由于亚洲冬、夏季风的减弱。江滢等^[5]研究表明风速减小的影响因素很多, 包括大气环流变化、城市化进程影响、仪器变更和台站迁址影响等。王毅荣等^[8]研究了河西走廊近地面风速演变特征, 发现该区风速减小较为明显; 刘苏峡等^[9]对华北地区的风速变化研究表明该区的风速有减小趋势; 毛飞等^[10]研究了那曲地区的风速变化特征, 发现那曲风速冬季减小, 其它时段增加。

然而这些研究更多关注的是全国尺度^[4-7]或区

域尺度^[8-10]风速的变化及其影响因素分析, 研究区域过大, 对于重要地理界线南北差异、气候过渡区域和生态环境敏感区关注度相对不足。秦岭地处暖温带与北亚热带过渡区, 是中国气候上的南北分界线, 以北属暖温带湿润、半湿润气候, 以南属北亚热带湿润气候, 本区动(植)物资源极为丰富, 在地理和生态等相关学科研究中具有极其重要的地位。关于这一地区生态系统多样性、动(植)物资源保护、水土保持等相关研究已经逐渐成为本领域的热点问题^[11-13], 但对于秦岭南北气候演变的研究相对较少。已经开展的研究^[11-13]也大多局限于气温、降水等常规水文气象要素的描述性分析, 对于风速的时空变化和突变特征研究极少, 研究区域也大多局限于陕西境内的秦岭山脉(关中-陕南一带), 研究深度不够, 覆盖面有限。因此, 本研究在前人工作基础上采用秦岭南北47个站近52 a的气象资料, 运用空间插值、突变点检验等方法分析其年代际、年际尺度的空间分布、时空变化和突

收稿日期: 2012-06-11; 修订日期: 2012-09-11

基金项目: 国家自然科学基金项目(41171420); 中国科学院水利部水土保持研究所黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室基金项目(10502-Z12-9); 中荷联合主题研究项目(GJHZ1018)资助。

作者简介: 蒋 冲(1987-), 男(汉族), 黑龙江哈尔滨人, 硕士研究生, 主要研究方向为气候变化与生态水文。E-mail: cba8702@126.com

通信作者: 王 飞, 博士, 副研究员。Email: wafe@ms.iswc.ac.cn

变特征,以期为农林牧业生产布局、城市规划、风能发电等提供一定的理论依据。

1 研究区概况

秦岭自西向东横亘在中国中部,广义的秦岭包括秦岭北坡及其以北的暖温带、秦岭南坡及其以南的北亚热带、秦岭以南的巴山、巫山谷地及江汉平原西北部^[11-13](如图1)。该区地处暖温带与北亚热带过渡区,年均气温12~17℃,≥10℃的年积温为3 700~4 900℃,年降水量600~1 200 mm,汛期6~9月的降水量占全年的60%左右^[11-13]。秦岭山脉西高东低,岷山海拔达4 000 m,陕西境内的秦岭平均2 000~3 000 mm,到了伏牛山就下降到2 000 m以下。由于山体高大险峻,冬季能阻滞寒冷的西北风南下,减弱寒潮威胁,使南方少受冻害;夏季又阻挡了湿润的东南风,使水气不易深入西北,由此形成了秦岭南北气候上的显著差异。

2 数据与方法

2.1 数据来源

气象数据来源于中国气象科学数据共享服务网(<http://cdc.cma.gov.cn/>), 选用秦岭南北要素较为完备的47个国家气象观测基准站1960~2011年逐月风速、气温资料, 并运用线性回归法插补了缺测的部分数据。按照12月至次年2月为冬季, 3~5月为春季, 6~8月为夏季和9~11月为秋季的标准。通过算术平均法建立了年、季节风速和气温的变化序列。为进行不同纬度和地域单元风速变化的比较, 本文自北向南将研究区分为4个子区域: 一

是秦岭北坡及其以北的暖温带地区(以下简称“秦岭以北”);二是秦岭南坡,包括伏牛山及其以东平原(因大部分区域属秦岭南坡山地,下简称“秦岭南坡”);三是秦岭以南的汉水谷地、巴山、涪水谷地及淮河上游北亚热带地区(因大部分区域属汉水流域,下简称“汉水流域”);四是巴山南麓、巫山谷地及江汉平原西北部(下简称“巴巫谷地”)^[1]。

2.2 研究方法

2.2.1 非参数变点检验方法

Pettitt 变点检测方法由 Pettitt 提出^[14], 基于非参数检测一个序列的变点, 计算较简便, 可以明确变化的时间, 能够较好地识别序列的突变点, 在变点检测方法中应用较多且物理意义明确^[14], 具体算法参考文献[14]。

2.2.2 Spline插值法

Spline 插值法能够在空间插值时准确地通过实测样点拟合出连续光滑的表面,其优点是样条函数易操作,计算量小,不需要对空间方差的结构做预先估计,也不需要做统计假设,当表面很平滑时,也不会降低精度。为了验证其是否适用于研究区,在研究区选取 23 个气象站(17 个插值站,6 个验证站)对 IDW 法、Kriging 法和 Spline 法做了验证,研究证实 IDW 法、Kriging 法和 Spline 法与计算值都有较强的相关性, IDW 法($R=0.971, P<0.01$); Kriging 法($R=0.972, P<0.01$); Spline 法($R=0.977, P<0.01$), Spline 法与计算值相关性最强,但是与实测值相比有一定误差。通过线性回归方程修正后最大误差为 5%, 平均绝对误差为 2%, 误差较小。Spline 法具体原理参见文献[15]。

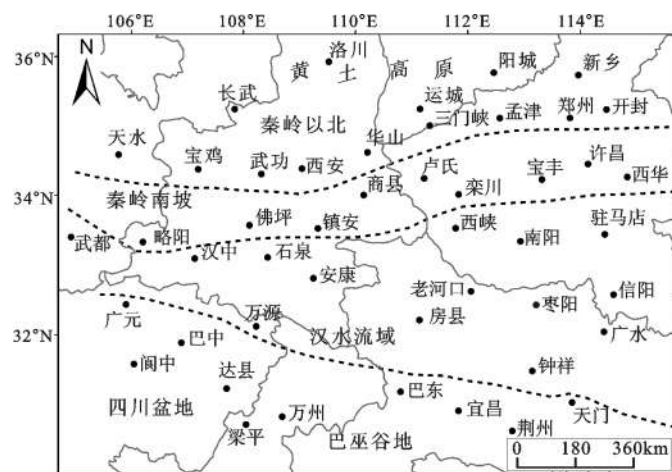


图1 研究区范围及气象观测站点分布

Fig.1 Location of the study area and distribution of meteorological stations

气象要素的气候倾向率用下式进行估计: $Y_i = a_0 + a_1 t_i$, 式中: Y_i 为气象要素, t_i 为时间(1960~2011年), a_1 为线性趋势项(即每年的气候倾向率), a_0 为常数。采用 Pearson 相关分析法对部分站点的风速与各气象要素进行相关分析。

3 结果与分析

3.1 风速空间分布

秦岭南北多年平均风速为 1.9 m/s, 空间分布呈东高西低、北高南低格局。从各分区来看(表1), 按其大小排序为秦岭以北(2.27 m/s) > 秦岭南坡(1.93 m/s) > 汉水流域(1.81 m/s) > 巴巫谷地(1.42 m/s)。由北向南风速较大的站点依次为华山(4.43 m/s)、宝丰(2.64 m/s)、钟祥(2.98 m/s)和广水(2.31 m/s), 风速较小的站点依次为天水(1.14 m/s)、卢氏(1.26 m/s)、汉中(1.08 m/s)和万州(0.61 m/s)。季节尺度上, 四季风速分布特征与年尺度上的结论基本一致, 按其大小排序为春季(2.12 m/s) > 冬季(1.87 m/s) > 夏季(1.80 m/s) > 秋季(1.64 m/s), 四季均以秦岭以北风速最大。东西方向上, 东部开封、孟津、郑州等地较高, 华山站为高山站, 是本区风速最大的站点。西部天水、巴中、万州等地较低, 中部卢氏、栾川和房县等地也相对较低。

表1 年和季节平均风速(m/s)

Table 1 Yearly and seasonally averaged wind speed

地理区域	春季	夏季	秋季	冬季	年平均
秦岭以北	2.59	2.19	2.00	2.30	2.27
秦岭南坡	2.24	1.77	1.66	2.05	1.93
汉水流域	2.06	1.76	1.62	1.81	1.81
巴巫谷地	1.59	1.47	1.29	1.32	1.42
秦岭南北	2.12	1.80	1.64	1.87	1.86

3.2 风速时空变化

近 52 a 来, 秦岭南北整体和各子区年平均风速变化趋势较为一致(图 2a), 各区风速减小速率依次为秦岭南坡 $[-0.10 \text{ m/(s} \cdot 10\text{a)}]$ 、秦岭以北 $[-0.11 \text{ m/(s} \cdot 10\text{a)}]$ 、秦岭南坡 $[-0.13 \text{ m/(s} \cdot 10\text{a)}]$ 、汉水流域 $[-0.06 \text{ m/(s} \cdot 10\text{a)}]$ 、巴巫谷地 $[-0.10 \text{ m/(s} \cdot 10\text{a)}]$, 减小趋势均达到了 99.9% 以上的显著水平, 下降最快的为秦岭南坡, 最慢的为汉水流域。空间分布上, 79% 的站点年均风速减小, 且绝大部分达到 95% 以上的显著水平。下降的站点所占比例分别为秦岭以北 86% (12 个), 秦岭南坡 100% (9 个), 汉

水流域 69% (9 个), 巴巫谷地 64% (7 个)。四季风速变化趋势的空间分布如图 3(b~e), 风速减小速率排序为冬季 $[-0.11 \text{ m/(s} \cdot 10\text{a)}]$ > 春季 $[-0.10 \text{ m/(s} \cdot 10\text{a)}]$ > 秋季 $[-0.09 \text{ m/(s} \cdot 10\text{a)}]$ > 夏季 $[-0.07 \text{ m/(s} \cdot 10\text{a)}]$ 。春季, 77% 的站点呈减小趋势, 增速最大的为华山 $[0.08 \text{ m/(s} \cdot 10\text{a)}]$, 减速最大的为西华 $[-0.41 \text{ m/(s} \cdot 10\text{a)}]$; 夏季, 70% 的站点减小, 显著下降的站点主要集中于东部和北部部分地区, 减速最大的为三门峡 $[-0.28 \text{ m/(s} \cdot 10\text{a)}]$, 增加最大的宝鸡 $[0.08 \text{ m/(s} \cdot 10\text{a)}]$; 秋季, 风速增加和减小的站点各占约 23% 和 77%, 但增加趋势达到显著水平的站仅有 9%, 空间分布主要集中于汉水流域和巴巫谷地, 减小最快的为西华 $[-0.35 \text{ m/(s} \cdot 10\text{a)}]$, 增加最快的为信阳 $[0.09 \text{ m/(s} \cdot 10\text{a)}]$; 冬季, 83% (17%) 的站点减小(增加), 有 70% 以上达到显著水平, 均匀分布于不同区域, 增速最大的为武都 $[0.09 \text{ m/(s} \cdot 10\text{a)}]$, 减速最大的为西华 $[-0.38 \text{ m/(s} \cdot 10\text{a)}]$ 。

风速的年代际距平分析见表 2, 整体上 20 世纪 60~70 年代为正距平, 风速相对较大, 60 年代正距平最大, 说明它是近 52 a 风速最大的 10 a。20 世纪 80 年代至 21 世纪前 10 a 为负距平, 以近 10 a 负距平最大, 说明其是风速最小的 10 a, 80 年代也相对较小, 各子区变化趋势与整体规律基本一致。四季风速变化与年尺度上基本一致(表略), 春季、秋季和冬季均以 20 世纪 60 年代最大, 21 世纪的前 10 a 最小, 夏季以 20 世纪 70 年代最大, 80 年代最小。

3.3 风速突变特征分析

应用 Pettitt 非参数检验法对各站点年和季节风速序列进行突变检测, 空间分布如图 3 所示。由图 3a 可知, 年尺度上除佛坪、枣阳 2 个站外, 其余 45 个(约 96%) 站点的风速均检测到统计意义上的突变, 全部达到 95% 及以上的显著水平。突变点集中出现在 1969~1974 年、1978~1981 年和 1990~1994 年, 只有零星站点出现于 1984 年(天门)、1976 年(开封)等, 各子区突变时间分别为秦岭以北 1981 年、秦岭南坡 1979 年、汉水流域 1978 年和巴巫谷地 1980 年, 秦岭南北整体于 1981 年突变。四季突变年份空间分布如图 3(b~e), 四季风速突变集中出现在 1969~1974 年、1978~1981 年和 1990~1994 年, 占站点总数的比例依次为春季 94%、夏季 74%、秋季 77% 和冬季 77%, 其余大多发生在 20 世纪 80 年代中期, 空间分布上无明显规律。

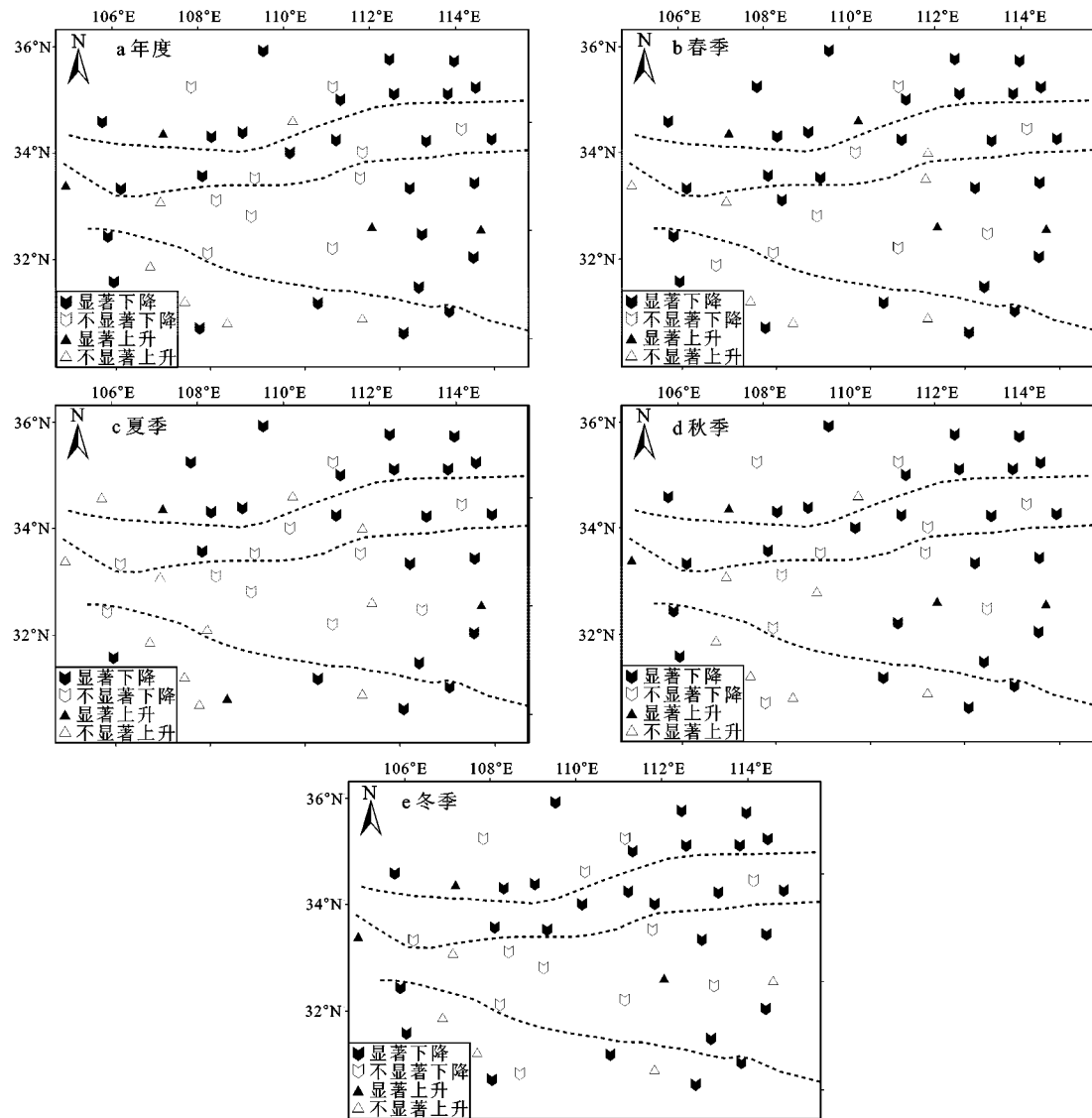


图2 年(a)和季节(b~e)平均风速变化趋势空间分布

Fig.2 Spatial distribution of yearly (a) and seasonally(b~e) averaged wind speed change trend

表2 年平均风速年代际距平(m/s)

Table 2 Inter-decadal anomaly of the yearly averaged wind speed(m/s)

年代	秦岭以北	秦岭以南	汉水流域	巴巫谷地	区域平均
1960s	0.27	0.29	0.17	0.22	0.24
1970s	0.19	0.17	0.09	0.18	0.16
1980s	-0.15	-0.09	-0.14	-0.13	-0.13
1990s	-0.15	-0.04	-0.05	-0.09	-0.08
2000s	-0.14	-0.28	-0.06	-0.15	-0.16

3.4 风速变化原因分析

3.4.1 大气环流变化

中国大部份地区受亚洲季风控制,近50 a来,

东亚夏季风、南海季风明显减弱^[16],意味着中国大部地区夏季偏南风减小。亚洲冬季环流的减弱必然导致冬季风减弱,进一步导致偏北风减小^[7]。施能等^[17]通过重新计算东亚冬季风指数得出亚洲冬季风减弱致使中国偏北风减小的结论。冬季风的减弱趋势较夏季风而言更为明显,与本文3.2部分冬季风速减小速度快于夏季的结论相一致,冬季风和夏季风的减弱揭示了风速减弱的物理内涵。

3.4.2 城市化影响

近50 a来,尤其是1980年之后,中国城市化进程加快,高层建筑的兴建对风速观测仪器的影响也愈加明显。江滢等^[7]的研究发现,全国城市气象站风速减小趋势要比乡镇气象站明显,但城市化

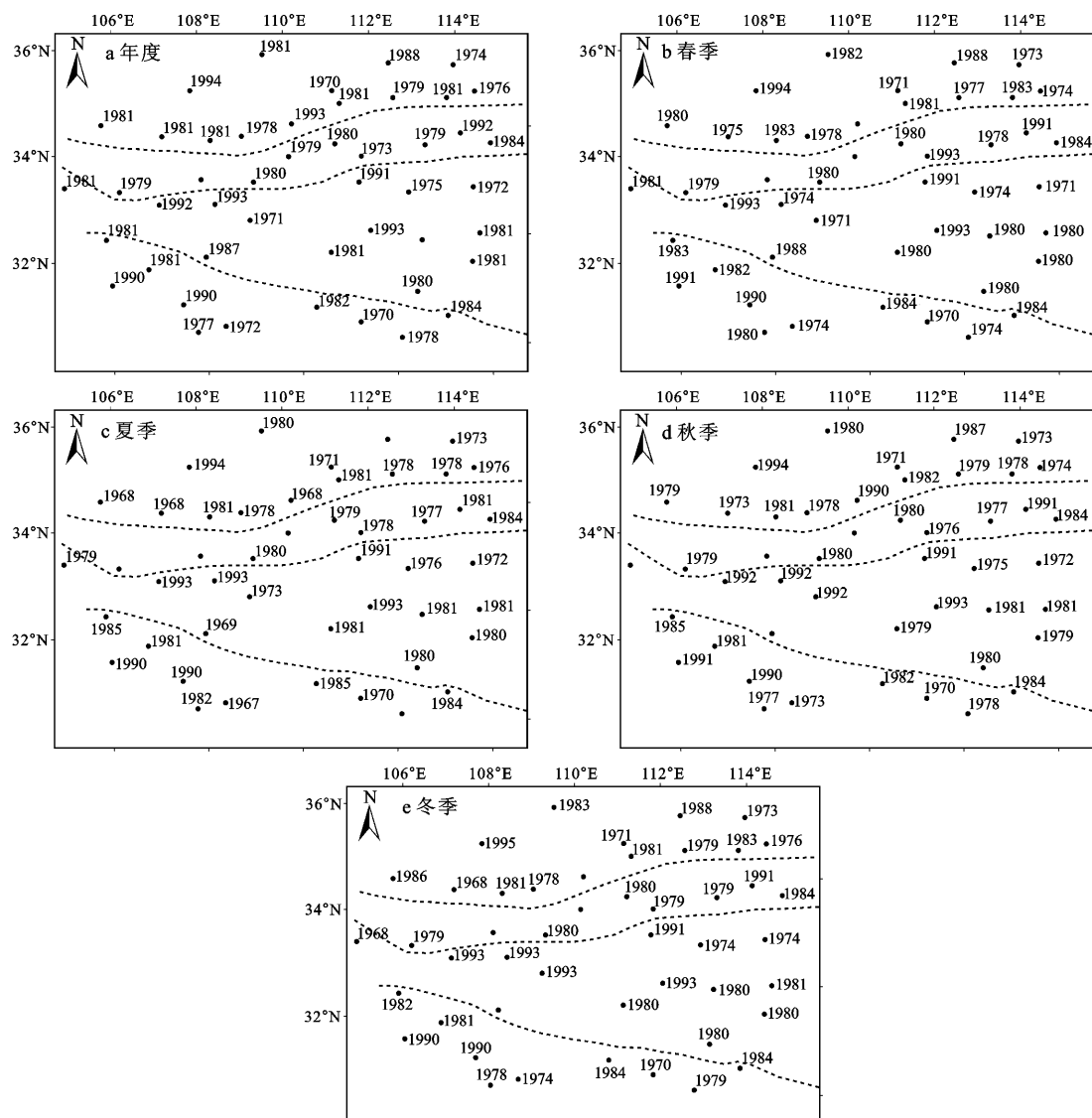


图3 年(a)和季节(b~e)平均风速突变空间分布

Fig.3 Spatial distribution of yearly(a) and seasonally(b~e) averaged wind speed mutation

影响并不是风速显著减小的主要原因。

3.4.3 仪器变更和台站迁址影响分析

1969~1970年全国大部分气象台站更换了测风仪器,由EL型风速计代替维尔德风速计^[7]。该仪器较为灵敏,可以比维尔德风速计更快地达到较高风速^[7],换言之EL型风速计测量的结果有可能比维尔德风速计大,因此本区1969年风速突然增大(图4)。但是在忽略1969前后的风速变化后,20世纪80年代至21世纪前10a风速也呈减小趋势,因此测量仪器的变更并不是风速减小的主要原因。

3.4.4 气候变暖的影响

风速的减小与气候变暖有一定的关系,因为风的本质是气团之间存在温差、出现气压梯度而

造成的气体流动,其变化是因温度差异和高空气流辐合或辐射所致,风速的减小可以从气候变暖得到解释^[18]。将风速与平均气温、最高气温、最低气温进行相关分析(表3),风速与平均气温、最高气温和最低气温呈负相关,与最低气温的相关性最好,均达到99%显著水平,其次是平均气温,与最高气温的相关性最不明显。此外,年尺度的相关系数均达到99%显著水平,说明气温与风速确实有一定的联系。但是,该结论仅仅是基于简单统计分析得到的,仍需多个气候模式的验证。

4 结 论

1) 秦岭南北风速空间分布呈东高西低、北高

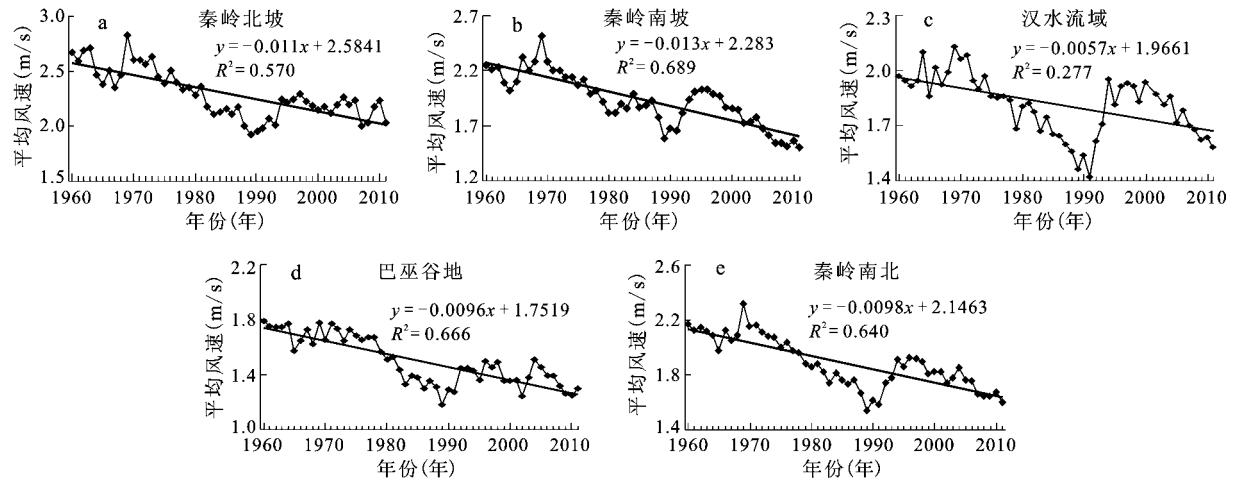


图4 年平均风速变化趋势

Fig.4 Change trend of yearly averaged wind speed

表3 风速与气温的相关系数

Table 3 The correlation coefficients between wind speed and temperature

气温	平均气温	最高气温	最低气温
春季	-0.286*	-0.187	-0.477**
夏季	-0.351*	-0.162	-0.499**
秋季	-0.589**	-0.412*	-0.591**
冬季	-0.399**	-0.211	-0.500**
全年	-0.523**	-0.322**	-0.612**

南低格局,按其大小排序为秦岭以北>秦岭南坡>汉水流域>巴巫谷地。四季风速排序为春季>冬季>夏季>秋季,均以秦岭以北风速最大。

2) 近52 a来,秦岭南北整体和各子区年平均风速均呈现出极显著的下降趋势,下降最快的为秦岭南坡,最慢的为汉水流域。四季风速减小速率排序为冬季>春季>秋季>夏季。

3) 风速突变集中发生在1969~1974年、1978~1981年和1990~1994年间,秦岭南北整体于1981年突变。四季风速突变也集中于上述3个时间段,所占比例依次为春季94%、夏季74%、秋季77%和冬季77%,其余突变大多发生20世纪80年代中期。

4) 气象台站周边的城市化发展和风速测量仪器的更换都对风速的变化产生了一定影响,但都不是风速显著下降的主要原因。大气环流变化和气候变暖才是造成风速减小的可能原因。

参考文献:

[1] 龚 宇,邢开成,王 璞.近30年来沧州地区日照时数与风速

变化特征[J].中国农业气象,2007,28(3):263~267.

- [2] 孙 静,阮本清,蒋任飞.宁夏引黄灌区参考作物蒸发蒸腾量及其气候影响因子的研究[J].灌溉排水学报,2006,15(1):53~57.
- [3] Mc Vicar T R, Van Niel T G. Wind speed climatology and trends for Australia, 1975-2006: Capturing the stilling phenomenon and comparison with near-surface reanalysis output[J]. Geophysical Research Letters, 2008, 35(20): L20403.
- [4] 任国玉,郭 军,徐铭志,等.近50年中国地面气候变化基本特征[J].气象学报,2005,63(6):948~952.
- [5] 王鹏祥,杨金虎,张 强,等.近半个世纪以来中国西北地区地面气候变化基本特征[J].地球科学进展,2007,22(6):649~656.
- [6] 王遵娅,丁一汇,何金海,等.近50年来中国气候变化特征再分析[J].气象学报,2004,62(2):228~236.
- [7] 江 滢,罗 勇,赵宗慈,等.近50年中国风速变化及原因分析[J].2007年中国气象学会年会的会刊,2007:80~89.
- [8] 王毅荣,张存杰.河西走廊风速变化及风能资源研究[J].高原气象,2006,25(6):1196~1202.
- [9] 刘苏峡,邱建秀,莫兴国.华北平原1951年至2006年风速变化特征分析[J].资源科学,2009,31(9):1486~1492.
- [10] 毛 飞,卢志光,郑凌云,等.近40年那曲地区日照时数和风速变化特征[J].气象,2006,23(9):77~83.
- [11] 周 旗,卞娟娟,郑景云.秦岭南北1951-2009年的气温与热量资源变化[J].地理学报,2011,66(9):1211~1218.
- [12] 宋春英,延军平,张立伟.陕西秦岭南北旱涝灾害时空变化趋势分析[J].干旱区研究,2011,28(6):944~949.
- [13] 张立伟,延军平,耿慧娟.陕西秦岭南北年均气温及降水量带的移动[J].陕西师范大学学报(自然科学版),2011,39(6):81~85.
- [14] Pettitt, A. N. A non-parametric approach to the change-point problem[J]. Applied Statistics, 1979, 28(2): 126-135.
- [15] Hutchinson M F, Gessler P E. Splines is more than just a smooth interpolator[J]. Geoderma, 1994, 62(1): 45-67.
- [16] 赵 平,周自江.东亚副热带夏季风指数及其与降水的关系[J].气象学报,2005,63(6):933~941.
- [17] 施 能,鲁建军,朱乾根,等.夏季风100年强度指数及其气候变

化[J].南京气象学院学报,1996,19(2):168~177.

成因[J].干旱气象,2008,26(3):14~21.

[18] 道 然·加帕依,车 罡.新疆东部地区风速的年代际变化及其

Spatial-Temporal Variation and Mutation of Wind Speed in the Northern and Southern Regions of the Qinling Mountains

JIANG Chong¹, WANG Fei^{1,2}, LIU Yan-xu³, MU Xing-min^{1,2}, LI Rui^{1,2}

(1. College of Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3. College of Tourism and Environment Science, Shannxi Normal University, Xi'an, Shannxi 710062, China)

Abstract: Wind speed time series have been subject to far fewer trend analysis than temperature and precipitation records, in part because of data homogeneity issues. However, understanding how evolution of the global climate system has been manifest as changes in near-surface wind regimes in the past and how near-surface wind speed regimes might alter in the future is of great relevance to the insurance industry, the construction and maritime industries, surface energy balance estimation, the community charged with mitigating coastal erosion, the agricultural industry, forest and infrastructure protection communities, and the burgeoning wind energy industry. Based on the temperature and wind speed data between 1960 and 2011 in the northern and southern region of Qinling Mountains, with the methods of Spline interpolation, Pettitt abrupt change point detection as well as correlation analysis, the distribution pattern, spatial and temporal variation of wind speed as well as the possible influential factors were analyzed. The result are as follows: 1) The wind speed presented an pattern which was big in south and low in north, big in east and small in west. According to wind speed, the order was northern and southern region of Qinling Mountains, Han River Basin and Ba-wu Valley, the order of season was spring, winter, summer and autumn. 2) Wind speed decreased significantly in the whole region and different sub-regions during the last 52 years, the decreasing rate in northern slope was the biggest and the smallest one was in the Han River Basin. The order of decreasing rate was winter, spring, autumn and summer. In spring, the wind of 77% stations decreased; In summer, 70% stations decreased, which mainly located in the east and north; In autumn, the increasing and decreasing stations accounted 23% and 77% respectively, but only 9% of them reached significant level, most of them lied in Han River Basin and Ba-wu Valley. In winter, 83% (17%) stations showed downward(upward) trend, 70% of them reached significant level, which distributed evenly in different sub-regions. 3) The annual and seasonal abrupt change happened mainly in 3 periods, which were 1969-1974、1978-1981 and 1990-1994, the whole region was detected abrupt change in 1981. 4) The development of city construction and change of observational devices had some effect on wind speed change, however, regional current change and global warming were the main reasons for wind speed decreasing.

Key words: the northern and southern regions of the Qinling Mountains; wind speed; spatial-temporal variations; abrupt change point; influential factors