

# 1971-2010年东北三省平均地面风速变化<sup>①</sup>

金巍<sup>1,2</sup>, 任国玉<sup>3</sup>, 曲岩<sup>2</sup>, 刘晓玲<sup>4</sup>

(1. 南京大学大气科学学院, 江苏南京 210093; 2. 辽宁省鞍山市气象局, 辽宁鞍山 114004;  
3. 中国气象局气候研究开放实验室, 国家气候中心, 北京 100081; 4. 中国气象局气象干部培训学院, 北京 100081)

**摘要:** 利用1971-2010年逐月观测资料, 分析东北三省年、季节和月平均地面风速变化的时空特征。结果表明: ①东北三省年平均地面风速变化呈显著递减趋势, 变化速率为 $-0.23 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ , 1971-2000年(前30 a)、1981-2010年(近30 a)和1991-2010年(近20 a)平均地面风速变化均呈显著递减趋势, 线性变化速率分别达 $-0.25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ 、 $-0.20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ 和 $-0.17 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ , 均通过了0.001显著性检验; ②近40 a东北三省各季和逐月平均地面风速变化趋势呈显著递减趋势, 均通过了0.001显著性检验; 春季递减速率最大, 冬、秋季次之, 夏季最小; ③近40 a东北三省地面年平均风速的趋势变化除个别站点外, 其他均呈现出比较一致的显著递减趋势, 但最近20 a呈显著递减趋势的站点数在减少, 递增趋势的站点数增多。

**关键词:** 地面风速; 气候变化; 年代变异; 东北三省

平均地面风速变化由于其在区域气候变化检测、影响研究以及风能资源评价中的重要意义, 近年受到越来越多的关注。在全球和区域气候变化的检测研究中, 长期以来对地面平均风速变化的分析很少<sup>[1-2]</sup>。我国学者较早开始关注地面附近平均风速的趋势变化<sup>[3-5]</sup>, 张莉等<sup>[3]</sup>在研究沙尘暴频率长期减少的原因时, 把北方地区平均风速和大风日数的显著下降作为一个重要影响因子, 并认为风速的减弱和大风日数的减少可能与北半球不同纬度地带的差异变暖有密切关系; 此后, 王遵娅等<sup>[4]</sup>、任国玉等<sup>[5]</sup>在分析全国地面气候变化特征时, 均指出我国平均地面风速普遍呈现出明显下降趋势。东北地区中南部是我国平均地面风速下降速率最大的区域之一。Xu Ming等<sup>[6]</sup>发现, 在资料更为均一的1969年以后, 中国大范围的地面风速减弱。近几年, Jiang Ying等<sup>[7]</sup>结合全国风能资源评价工作, 对中国地面风速变化进行了系统分析, 进一步证实全国大范围平均风速显著下降的研究结论。Fu Guobing等<sup>[8]</sup>最近对中国大陆平均风速的分析也印证了先前的研究结论。

关于地面风速显著下降的原因目前研究很少。张莉等<sup>[3, 6-7]</sup>把中国东部地面风速的减弱与东亚季风环流减弱联系起来。张爱英等<sup>[9]</sup>通过对比分析中国高空和近地面平均风速的趋势变化, 发现1980-2006年我国对流层中下层平均风速呈下降趋势, 但地面风速下降速率小得多, 提出地面风速下降可

能是局地人为因素影响造成的, 大尺度大气环流变化也是重要因素。刘学锋等<sup>[10]</sup>分析了河北省平均地面风速变化的原因, 指出城市化和台站附近局地环境变化是风速减弱的主要原因。

东北地区位于中纬度, 在近50 a中, 东北地区气候经历了明显的变化, 主要体现为地面气温显著上升, 北部上升尤其明显<sup>[11]</sup>。但是, 目前很少有针对东北地区平均风速变化的专门研究。开展这方面研究, 对于进一步了解本区在大尺度风场以及地面气温等气候要素变化与地面平均风力变化之间的联系, 从整体上认识区域气候变化的特征和机理, 以及对于当地风能资源评价工作均具有一定意义。

本文选用代表性较好的71个测站1971-2010年月平均资料, 对东北三省年、季节平均地面风速的空间异常结构和演变趋势进行了诊断研究, 并讨论了地面风速变化与气温变化及大尺度环流场变化特征之间的可能联系。

## 1 区域和资料

研究区域包括黑龙江、吉林和辽宁三省。本区西面为大兴安岭和内蒙古高原, 中西部为东北平原, 东部南北是长白山山脉, 与鄂霍次克海相距不远, 南临渤海和黄海, 东临日本海。东北三省冬季受蒙古高压系统控制, 寒冷干燥, 夏季主要受来自海洋和我

① 收稿日期: 2011-10-11; 修订日期: 2012-03-29

基金项目: 国家公益性行业专项(201206024); 国家科技支撑计划课题(2007BAC29B02)和中国气象局2010年气候变化专项(062700s010c01)资助

作者简介: 金巍(1968-), 女, 辽宁新民人, 高级工程师, 在职研究生, 从事短期天气预报和气候预测研究。E-mail: lnyk\_jw@163.com

国东南陆地的偏南气流影响,温和湿润,属于温带湿润、半湿润大陆性季风气候。

本文所用资料为中国气象局国家气象信息中心提供的东北三省 87 个气象站点 1961-2010 年逐月平均地面风速数据。为保证数据资料的一致性、均一性和完整性,对资料中存在的起始观测时间不统一、站址迁移和数据缺测等问题做了一定的处理。在 1970 年前后,由于大部分台站的测风仪器进行了更换,为防止仪器变更引起的非均一性,选用台站资料序列长度为 1971-2010 年,舍弃了 1970 年及其以前的观测记录,去除了观测记录较短或连续性不好的台站资料,最终选取研究区内 71 个测站逐月平均地面风速资料进行统计分析。

由于站点分布比较均匀,区域范围也较小,在计算区域平均风速序列时,采用简单算术平均方法,对月、季节和年平均风速进行一次线性趋势拟合,得到线性变化趋势,并采用  $t$ -检验方法检验趋势变化的显著性水平。季节划分方法是:上年 12 月至当年 2 月为冬季,3-5 月为春季,6-8 月为夏季,9-11 月为秋季。年平均值为当年 12 个月值的算术平均。

## 2 结果分析

### 2.1 平均地面风速时间变化特征

从图 1 可以看出,从 1971-2010 年,东北三省地面年平均风速整体呈显著递减趋势,变化速率为  $-0.23 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ ,通过了 0.001 显著性检验(表 1)。多项式拟合曲线表明,1971-2000 年、

1981-2010 年线性变化速率分别为  $-0.25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$  和  $-0.20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ ,1991-2010 年线性变化速率达  $-0.17 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ ,均通过了 0.001 显著性检验。因此,1971-2010 年各时段东北三省地面年平均风速变化呈现非常显著的递减趋势。

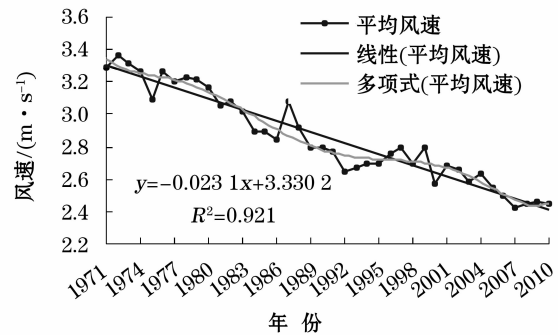


图 1 1971-2010 年东北三省地面年平均风速序列图

Fig. 1 Reduction of averaged annual mean wind speed in northeast China during the period of 1971-2010

由表 1 看出,1971-2010 年东北三省各时段各季地面平均风速均为递减趋势。年平均风速和夏、冬季平均风速的下降趋势具有随时间逐渐减弱现象,其中年平均风速变化从 1971-2000 年的  $-0.25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$  减弱到 1991-2010 年的  $-0.17 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ 。除 1991-2010 年冬季地面风速递减变化没有通过显著性检验,夏季仅通过 0.01 显著性检验外,其余各个分析时段年和季节平均风速下降趋势均通过了 0.001 显著性检验。

表 1 东北三省地面年、季节平均风速变化速率及其显著性检验结果

Tab. 1 Change rates of averaged annual and seasonal mean wind speed in northeast China /  $[\text{m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10 \text{ a})^{-1}]$

时段	年	春	夏	秋	冬
1971-2010	-0.23***	-0.32***	-0.19***	-0.22***	-0.20***
1971-2000	-0.25***	-0.37***	-0.20***	-0.21***	-0.24***
1981-2010	-0.20***	-0.25***	-0.17***	-0.23***	-0.14***
1991-2010	-0.17***	-0.25***	-0.12**	-0.22***	-0.08

注: \* 通过 0.05 显著性检验; \*\* 通过 0.01 显著性检验; \*\*\* 通过 0.001 显著性检验。

图 2 给出了 1971-2010 年东北三省平均各季地面风速变化曲线和线性变化速率。从 1971-2010 年,各季节变化均呈递减趋势,春季递减趋势最为显著,达到  $-0.32 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ ;秋、冬季次之;夏季最弱,为  $-0.19 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ 。在整个分析时段,春、夏、秋、冬季平均地面风速分别下降了 1.28 m/s、0.76 m/s、0.88 m/s 和 0.80 m/s,均通过了 0.001 显著性检验。

图 2(a) 的多项式拟合曲线表明,从 20 世纪 70

年代初期到 90 年代初,季节平均风速下降趋势更为明显,但从 90 年代初到 21 世纪初平均风速曲线相对较平直,进入 21 世纪之后冬季和春、秋季平均地面风速下降态势得到缓解或停顿。

就各个季节来看,1971-2010 年春季平均地面风速呈非常显著的单调下行变化,21 世纪平均地面风速较弱,多次达到或创历史极小值[图 2(a)];夏季平均地面风速呈震荡下行变化,从 20 世纪 70 年代初到 21 世纪中有两个平缓的下行波动,70 年中后期

和 21 世纪初为次级峰值段[图 2(b)];秋季平均地面风速在 20 世纪 70 年代初中期波动较大,而后稳定下行波动[图 2(c)];冬季平均地面风速年代波动与春秋相似,1971 - 2000 年和 1981 - 2010 年平均地面

风速均呈显著递减趋势,但 1991 - 2010 年线性变化速率明显减少,仅为  $-0.08 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ ,未通过显著性检验,平均地面风速递减趋势具有减弱现象,近 10 a 平均风速下降趋势几乎停止。

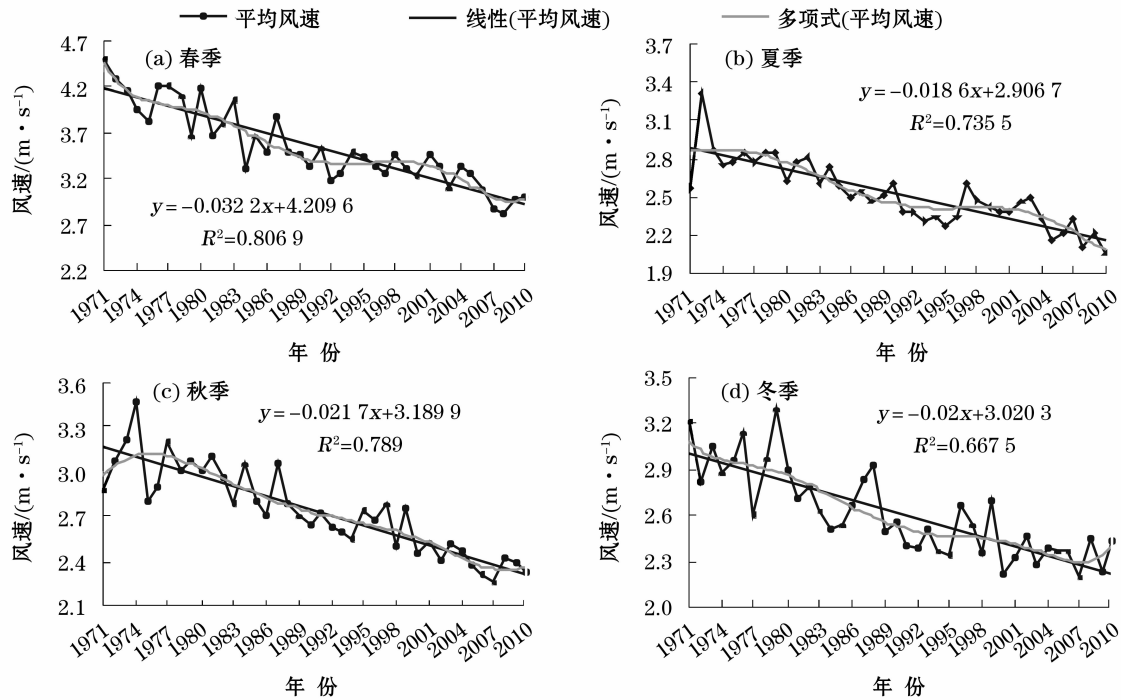


图 2 1971 - 2010 年东北三省地面春(a)、夏(b)、秋(c)和冬(d)季平均地面风速  
Fig. 2 Averaged seasonal wind speed in northeast China during the period of 1971 - 2010

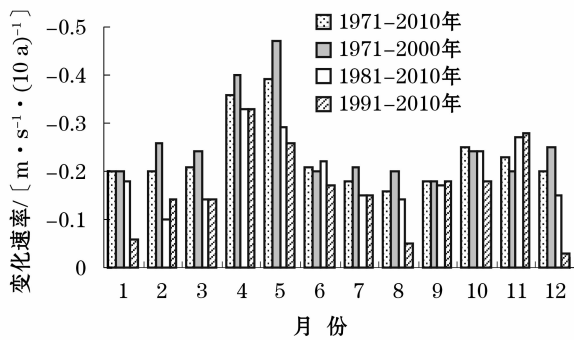


图 3 1971 - 2010 年东北三省不同时期月平均地面风速变化速率

Fig. 3 Change rate of averaged monthly wind speed in northeast China during the period of 1971 - 2010

从图 3 可以看出,1971 - 2010 年的 1 - 12 月平均地面风速呈显著递减趋势。其中,4 - 5 月递减趋势最强,线性变化速率达到  $-0.36 \sim -0.39 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ ;7 - 9 月递减趋势最弱,线性变化速率为  $-0.16 \sim -0.18 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ ;其他月份线性变化速率在  $-0.20 \sim -0.25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ 。所有月份平均风速下降趋势均通过了 0.001 显著性检验。

从分段变化趋势(图 3)看,1971 - 2000 年的 1 -

12 月地面风速均呈显著递减趋势,4 - 5 月递减趋势最强,线性变化速率达到  $-0.40 \sim -0.47 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ ,其他月份在  $-0.18 \sim -0.26 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ ,均通过 0.001 显著性检验。1981 - 2010 年间,4 - 6 月和 10 - 11 月风速递减最强,线性变化速率达  $-0.22 \sim -0.33 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ ,其他月份递减趋势相对较小,在  $-0.10 \sim -0.18 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ ,除 2 月通过了 0.05 显著性检验外,其余均通过了 0.001 显著性检验。

进入 20 世纪 90 年代以后,大部分月份平均地面风速递减趋势呈现出减弱现象,平均风速出现显著递减的月份也比整个时段减少。4 - 5 月、9 月和 11 月平均风速递减趋势最显著,线性变化速率达到  $-0.18 \sim -0.33 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ ,通过了 0.01 以上显著性检验;6 - 7 月、10 月风速递减趋势次之,线性变化速率达到  $-0.15 \sim -0.18 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ ,通过 0.05 显著性检验;而 1 - 3 月、8 月和 12 月递减趋势最弱,线性变化速率仅为  $-0.05 \sim -0.14 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ ,未通过显著性检验。

### 2.2 平均地面风速变化的空间特点

图 4 可以看出,1971 - 2010 年东北三省年平均地

面风速绝大部分区域呈显著递减趋势[图 4(a)],仅牡丹江和靖宇线性变化趋势介于  $0.16 \sim 0.18 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$  之间,呈显著递增趋势(通过 0.05 显著性检验),四平、通河和佳木斯呈弱递增趋势,线性变化速率介于  $0.01 \sim 0.03 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$  之间。东北三省其他站点平均风速均呈递减趋势,其中 10 个站点(虎林、大连、呼玛、伊春、彰武、齐齐哈尔、孙吴、哈尔滨、绥芬河、临江)线性变化速率在  $-0.04 \sim -0.10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$  之间,没有通过显著性检验;其他站点均显著递减,线性变化速率在  $-0.09 \sim -0.69 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$  之间,通过 0.01 以上显著性检验。没有通过显著性检验的站点数约占总数的 15%。

由图 4(b)可见,1971-2000 年东北三省年平均地面风速绝大部分站点呈显著递减趋势,但较 1971-2010 年覆盖面积有所增多,除佳木斯、呼玛呈显著递增趋势,线性变化速率达  $0.21 \sim 0.24 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ ,通过 0.01 以上显著性检验,四平、牡丹江、靖宇、虎林、伊春呈弱递增趋势,线性变化速率在  $0 \sim 0.13 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$  外,其他站点均呈递减趋势,其中 7 个站点(营口、明水、岫岩、绥芬河、鞍山、大连、集安)递减速率介于  $-0.01 \sim -0.09 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$  之间,没有通过显著性检验,其余在  $-0.09 \sim -0.74 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$  之

间,均通过 0.01 显著性检验。没有通过显著性检验的站点约占总数的 15%。

1981-2010 年东北三省年平均地面风速绝大部分也呈显著递减趋势,但较 1971-2000 年风速减弱的覆盖面积有所减小[图 4(c)],除牡丹江、靖宇、彰武线性变化速率在  $0.13 \sim 0.41 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$  之间,呈显著递增趋势,通过 0.01 以上显著性检验,7 个站点(临江、通河、齐齐哈尔、孙吴、大连、哈尔滨、绥芬河)呈弱递增趋势,线性变化速率在  $0.03 \sim 0.10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$  之间外,其他站点均呈递减趋势,其中 8 个站点(富锦、泰来、宽甸、嫩江、庄河、鸡西、绥中、呼玛)线性变化速率介于  $-0.00 \sim -0.15 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$  之间,没有通过显著性检验,其余介于  $-0.09 \sim -0.67 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$  之间,通过 0.05 以上显著性检验。没有通过显著性检验的站点数约占总数的 17%。

由图 4(d)可见,最近 20 a(1991-2010 年)东北三省年平均地面风速大部分呈递减趋势,但较近 30 a(1981-2010 年)风速减弱的覆盖面积明显减小,更多的站点(彰武、通河、齐齐哈尔、哈尔滨、临江、孙吴、前郭、牡丹江、富锦、敦化、鸡西)线性变化速率处在  $0.12 \sim 0.64 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$  之间,呈显著递增趋势,一些站点(靖宇、安达、朝阳、黑山、海

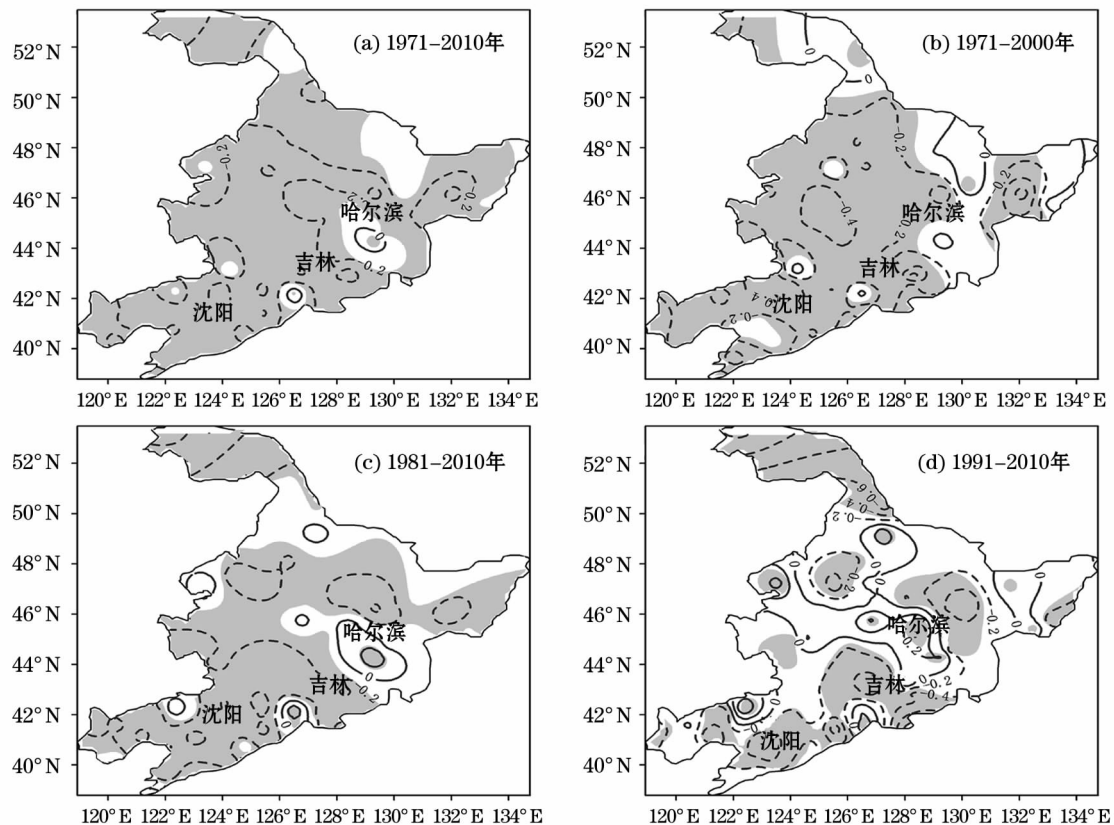


图 4 不同时段东北三省年平均地面风速变化趋势/ $[\text{m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10 \text{ a})^{-1}]$

Fig. 4 Linear trend of averaged annual wind speed in northeast China during different periods/ $[\text{m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10 \text{ a})^{-1}]$

伦、宝清、尚志、泰来、清原、嫩江)呈弱递增趋势,线性变化速率介于  $0.01 \sim 0.20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$  之间;在呈递减趋势的站点中,没有通过显著性检验的数量增多(大连、双辽、兴城、北林、瓦房店、庄河、伊春、白城、富裕、开原、四平、丹东、宽甸、沈阳、绥中);其他站点线性变化在  $-0.12 \sim -1.27 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$  之间,通过了 0.05 以上显著性检验。没有通过显著性检验的站点数约占总数的 21%。

最近 10 a(2000 - 2010 年)东北三省年平均地面风速呈现递减趋势的站点进一步减小(图略),风速递减速率变弱,而平均风速呈递增的站点增多,风速递增速率变大,平均风速变化趋势没有通过显著性检验的站点也明显增多。

### 3 讨论

从以上分析可以看出,1971 - 2010 年东北三省平均地面风速表现出一致的显著递减趋势,各个区域和站点的变化具有不同特征。20 世纪 90 年代初以来,东北三省平均地面风速表现出一定范围内较明显的一致上升趋势,特别是近 10 a,呈现递增趋势的站点明显增多。整个时段相对显著的下降趋势在一定程度上与先前研究发现的北半球部分区域和中国<sup>[1,3,7,12]</sup>大范围平均地面风速明显减弱现象具有一致性。

整个分析时段东北三省年平均地面风速显著递减趋势主要发生在春季和秋、冬季,与北半球大范围地区气温明显上升变化的时间相一致,说明高纬度地带地面气温显著上升,可能改变了大尺度环流场,包括使冷季西伯利亚高压减弱<sup>[13]</sup>、温带气旋频数减少<sup>[14]</sup>、寒潮爆发次数下降<sup>[15-16]</sup>、大风频数和沙尘暴频数减少<sup>[3,17]</sup>,明显减弱了近地面的平均风速。东北地区的冬季风起源于西伯利亚高压,当冷高压离开源地向南爆发时,在其东南侧可产生很强的偏北风,产生寒潮大风,地面气温骤降,引起东北地区地面风力加大。最近 50 a 东北地区冬半年平均地面风速呈递减趋势,在一定程度上反映了西伯利亚高压强度和影响不断减弱的趋势,这进一步导致东北地区的冷高压爆发频次减少,地面气压变弱<sup>[18]</sup>,寒潮频次减少,平均气温升高,暖冬年份增多。其他相关研究也指出了中国平均地面风速和大尺度大气环流变化的这种耦合关系<sup>[6-7]</sup>。

局地的人类活动可能是东北地区平均地面风速下降的另一个主要原因。东北对流层中下层平均风速呈下降趋势,但下降速率较地面风速小得多<sup>[9]</sup>,说明观测到的地面风速下降可能部分是局地观测环境变化和城市化因素影响引起的。从本文分析得到

的平均风速下降趋势空间分布特点来看,东北三省中、西部的部分地区风速呈递增趋势,其他地区风速则呈持续递减趋势,特别是辽宁大部呈显著递减,这可能与辽宁老工业基地和较快速的城市化影响有关。但这个问题还需要今后进一步研究予以证实。

### 4 结论

(1) 1971 - 2010 年东北三省年平均地面风速变化呈显著递减趋势,变化速率为  $-0.23 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ ,1971 - 2000 年、1981 - 2010 年和 1991 - 2010 年平均地面风速变化均呈显著递减趋势,线性变化速率分别达  $-0.25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ 、 $-0.20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$  和  $-0.17 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ ,全区年平均风速递减趋势在不断减弱。

(2) 1971 - 2010 年东北三省各季节平均地面风速变化均呈显著递减趋势,其中春季递减趋势最为显著,冬季次之,夏季最弱。各个月份平均地面风速亦均呈显著递减趋势,其中 4 - 5 月递减趋势最强,7 - 9 月递减趋势最弱,其他月份变化速率介于其间。进入 21 世纪之后,冬季和春、秋季平均地面风速下降态势先后得到缓解或停顿。

(3) 1971 - 2010 年绝大部分站点平均地面风速呈显著递减趋势,仅有个别站点呈递增趋势。绝大部分站点年平均地面风速变化速率在  $-0.09 \sim -0.69 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$  之间,通过了 0.01 显著性检验。然而,自 20 世纪 90 年代初以来,东北三省中、西部的部分区域平均风速开始呈较明显递增趋势,近 10 a 这种变化趋势的逆转现象尤其引人注目。

### 参考文献(References):

- [1] Paolo Antonio Pirazzoli, Alberto Tomasin. Recent near-surface wind changes in the central Mediterranean and Adriatic areas[J]. *International Journal Climatology*, 2003, 23(8): 963 - 973.
- [2] Solomon S, Qin D, Manning M. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis* [M]. New York: Cambridge University Press, 2007.
- [3] 张莉,任国玉. 中国北方沙尘暴频数演化及其气候成因分析[J]. *气象学报*, 2003, 61(6): 744 - 750. [Zhang Li, Ren Guoyu. Change in dust storm frequency and the climatic controls in Northern China[J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 2003, 61(6): 744 - 750.]
- [4] 王遵娅,丁一汇,何金海,等. 近 50 年来中国气候变化特征的再分析[J]. *气象学报*, 2004, 62(2): 228 - 236. [Wang Zunya, Ding Yihui, He Jinhai, et al. An updating analysis of the climate change in China in recent 50 years[J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 2004, 62(2): 228 - 236.]
- [5] 任国玉,郭军,徐铭志,等. 近 50 年中国地面气温变化基本特征[J]. *气象学报*, 2005, 63(6): 942 - 956. [Ren Guoyu, Guo Jun, Xu Mingzhi, et al. Climate changes of China's mainland over the past half century[J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 2005, 63(6): 942 - 956.]
- [6] Xu Ming, Chang Chipei, Fu Congbin, et al. Steady decline of east

- Asian monsoon winds, 1969 - 2000: Evidence from direct ground measurements of wind speed[J]. *Journal of Geophysical Research*, 2006, 111: D24111. doi:10.1029/2006JD007337.
- [7] Jiang Ying, Luo Yong, Zhao Zongci, et al. Changes in wind speed over China during 1956 - 2004 [J]. *Theoretical and Applied Climatology*, 2010, 99: 421 - 430.
- [8] Fu Guobin, Yu Jingjie, Zhang Yichi, et al. Temporal variation of wind speed in China for 1961 - 2007 [J]. *Theoretical and Applied Climatology*, 2011, 104: 313 - 324.
- [9] 张爱英, 任国玉, 郭军, 等. 近 30 年我国高空风速变化趋势分析[J]. *高原气象*, 2009, 28(3): 680 - 687. [Zhang Aiyong, Ren Guoyu, Guo Jun, et al. Change trend analyses on upper-air wind speed over China in past 30 years [J]. *Plateau Meteorology*, 2009, 28(3): 680 - 687.]
- [10] 刘学锋, 任国玉, 梁秀慧, 等. 河北地区边界层内不同高度风速变化特征[J]. *气象*, 2009, 35(7): 46 - 53. [Liu Xuefeng, Ren Guoyu, Liang Xiuhui, et al. The characteristics of wind speed variation at different altitudes of boundary layer in Hebei province [J]. *Meteorological Monthly*, 2009, 35(7): 46 - 53.]
- [11] 孙凤华, 任国玉, 赵春雨, 等. 中国东北地区及不同典型下垫面的气温异常变化分析[J]. *地理科学*, 2005, 25(2): 167 - 171. [Sun Fenghua, Ren Guoyu, Zhao Chunyu, et al. An analysis of temperature abnormal change in Northeast China and type underlying surface [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2005, 25(2): 167 - 171.]
- [12] 古丽巴哈·扎依提, 迪丽努尔·阿吉. 新疆岳普湖绿洲近 39 年来气候变化特征[J]. *干旱区研究*, 2011, 28(6): 913 - 920. [Gulbahar Zayit, Dilinuer Aji. Climate change in the Yuepuhu Oasis, Xinjiang in recent 39 years [J]. *Arid Zone Research*, 2011, 28(6): 913 - 920.]
- [13] 龚道溢, 王绍武. 西伯利亚高压的长期变化及全球变暖可能影响的研究[J]. *地理学报*, 1999, 54(2): 125 - 133. [Gong Daoyi, Wang Shaowu. Long-term variability of the Siberian high and the possible connection to global warming [J]. *Acta Geographica Sinica*, 1999, 54(2): 125 - 133.]
- [14] Zou X, Alexander L V, Parker D, et al. Variations in severe storms over China [J]. *Geophysical Research Letters*, 2006, 33(17): L17701, doi:10.1029/2006GL026131.
- [15] 翟盘茂, 潘晓华. 中国北方近 50 年温度和降水极端事件变化 [J]. *地理学报*, 2003, 58(增): 1 - 10. [Zhai Panmao, Pan Xiaohua. Change in extreme temperature and precipitation over Northern China during the second half of the 20th century [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(Suppl.): 1 - 10.]
- [16] 马柱国, 符宗斌, 任小波, 等. 中国北方年极端温度的变化趋势与区域增暖的联系 [J]. *地理学报*, 2003, 58(增): 11 - 20. [Ma Zhuguo, Fu Congbin, Ren Xiaobo, et al. Trend of annual extreme temperature and its relationship to regional warming in Northern China [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(Suppl.): 11 - 20.]
- [17] 韩福贵, 赵明, 常兆丰, 等. 民勤沙区 50 多年来沙尘天气特征及其影响因素 [J]. *干旱区研究*, 2009, 26(6): 889 - 894. [Han Fugui, Zhao Ming, Chang Zhaofeng, et al. Analysis on dust weather and its affecting factors in Minqin sandy area in recent 50 years [J]. *Arid Zone Research*, 2009, 26(6): 889 - 894.]
- [18] 金巍, 任国玉, 曲岩. 1961 - 2008 年东北三省地面气压变化特征 [J]. *高原气象*, 2011, 30(6): 1 661 - 1 667. [Jin Wei, Ren Guoyu, Qu Yan. Change in surface air pressure of Northeast China during 1961 - 2008 [J]. *Plateau Meteorology*, 2011, 30(6): 1 661 - 1 667.]

## Change in Surface Mean Wind Speed of Northeast China during the Period of 1971 - 2010

JIN Wei<sup>1, 2</sup>, REN Guo-yu<sup>3</sup>, QU Yan<sup>2</sup>, LIU Xiao-ling<sup>4</sup>

(1. College of Atmospheric Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093, China; 2. Anshan Meteorological Bureau, Anshan 114004, Liaoning, China; 3. Laboratory for Climate Studies, National Climate Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081, China; 4. Training Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081, China)

**Abstract:** In this paper, the data of monthly surface wind speed in northeast China during the period from 1971 to 2010 were used to study the temporal and spatial change of average surface wind speed in three provinces (Liaoning, Jilin and Heilongjiang) in northeast China. The results are as follows: (1) For the entire period (40 years), the mean surface wind speed in these three provinces during the 40-year period was significantly decreased with a rate of  $-0.23 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ . During the 30-year periods of 1971 - 2000 and 1981 - 2010 as well as the 20-year period of 1991 - 2010, mean surface wind speed was in a significant decrease trend with rates of  $-0.25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ ,  $-0.20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$  and  $-0.17 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ , and the values were all statistically significant at 0.001 confidence level; (2) For the entire study period, the average seasonal surface wind speed was significantly decreased, and the decrease was the most significant in spring, then in winter, fall and summer. All seasonal trends for the whole period were significant at 0.001 confidence level. The average monthly surface wind speed was also consistently decreased; (3) Average annual wind speed in northeast China in recent 40 years was significantly decreased except that at one or two stations. During recent 20 years, the average surface wind speed was in a decrease trend in most areas, but the sites with significant decrease trend were in a reduction, and those with increase trend were in an increase, especially in the central and western parts of northeast China in recent 10 years.

**Key words:** surface wind speed; climate change; decadal variability; northeast China