

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

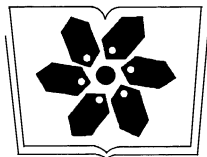
Acta Ecologica Sinica



第34卷 第2期 Vol.34 No.2 **2014**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 34 卷 第 2 期 2014 年 1 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 连续免耕对不同质地稻田土壤理化性质的影响 龚冬琴, 吕 军 (239)
- 下辽河平原景观格局脆弱性及空间关联格局 孙才志, 闫晓露, 钟敬秋 (247)
- 完全水淹环境中光照和溶氧对喜旱莲子草表型可塑性的影响 许建平, 张小萍, 曾 波, 等 (258)
- 赤潮过程中“藻-菌”关系研究进展 周 进, 陈国福, 朱小山, 等 (269)
- 盐湖微微型浮游植物多样性研究进展 王家利, 王 芳 (282)
- 臭氧胁迫对植物主要生理功能的影响 列淦文, 叶龙华, 薛 立 (294)
- 啮齿动物分子系统地理学研究进展 刘 铸, 徐艳春, 戎 可, 等 (307)
- 生态系统服务制图研究进展 张立伟, 傅伯杰 (316)

个体与基础生态

- NaCl 胁迫下沙枣幼苗生长和阳离子吸收、运输与分配特性 刘正祥, 张华新, 杨秀艳, 等 (326)
- 不同生境吉首蒲儿根叶片形态和叶绿素荧光特征的比较 向 芬, 周 强, 田向荣, 等 (337)
- 小麦 LAI-2000 观测值对辐亮度变化的响应 王 龔, 田庆久, 孙绍杰, 等 (345)
- K^+ 、 Cr^{6+} 对网纹藤壶幼虫发育和存活的影响 胡煜峰, 严 涛, 曹文浩, 等 (353)
- 马铃薯甲虫成虫田间扩散规律 李 超, 彭 赫, 程登发, 等 (359)

种群、群落和生态系统

- 莱州湾及黄河口水域鱼类群落结构的季节变化 孙鹏飞, 单秀娟, 吴 强, 等 (367)
- 黄海中南部不同断面鱼类群落结构及其多样性 单秀娟, 陈云龙, 戴芳群, 等 (377)
- 苏南地区湖泊群的富营养化状态比较及指标阈值判定分析 陈小华, 李小平, 王菲菲, 等 (390)
- 盐城淤泥质潮滩湿地潮沟发育及其对米草扩张的影响 侯明行, 刘红玉, 张华兵 (400)
- 江苏省农作物最大光能利用率时空特征及影响因子 康婷婷, 高 苹, 居为民, 等 (410)
- 1961—2010 年潜在干旱对我国夏玉米产量影响的模拟分析 曹 阳, 杨 婕, 熊 伟, 等 (421)
- 黑龙江省 20 世纪森林变化及对氧气释放量的影响 张丽娟, 姜春艳, 马 骏, 等 (430)
- 松嫩草原不同演替阶段大型土壤动物功能类群特征 李晓强, 殷秀琴, 孙立娜 (442)
- 小兴安岭 6 种森林类型土壤微生物量的季节变化特征 刘 纯, 刘延坤, 金光泽 (451)

景观、区域和全球生态

- 黄淮海地区干旱变化特征及其对气候变化的响应 徐建文, 居 辉, 刘 勤, 等 (460)

我国西南地区风速变化及其影响因素 张志斌,杨 莹,张小平,等 (471)

青海湖流域矮嵩草草甸土壤有机碳密度分布特征 曹生奎,陈克龙,曹广超,等 (482)

基于生命周期评价的上海市水稻生产的碳足迹 曹黎明,李茂柏,王新其,等 (491)

研究简报

荒漠草原区柠条固沙人工林地表草本植被季节变化特征 刘任涛,柴永青,徐 坤,等 (500)

跨地带土壤置换实验研究 靳英华,许嘉巍,秦丽杰 (509)

SWAT 模型对景观格局变化的敏感性分析——以丹江口库区老灌河流域为例
..... 魏 冲,宋 轩,陈 杰 (517)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 288 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 29 * 2014-01



封面图说: 高原盐湖——中国是世界上盐湖分布比较稠密的国家,主要分布在高寒的青藏高原以及干旱半干旱地区的新疆、内蒙古一带。尽管盐湖生态环境极端恶劣,但它们依然是陆地特别是高原生态系统中十分重要的组成部分。微微型浮游植物通常是指粒径在 0.2—3 μm 之间的光合自养型浮游生物。微微型浮游植物不仅是海洋生态系统中生物量 and 生产力的最重要贡献者,也是盐湖生态系统最重要的组成部分。研究显示,水体矿化度是影响微微型浮游植物平面分布及群落结构组成的重要因子,光照、营养成分和温度等也会影响盐湖水体中微微型浮游植物平面分布及群落结构组成(详见 P282)。

彩图提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201305141051

张志斌, 杨莹, 张小平, 陈志杰. 我国西南地区风速变化及其影响因素. 生态学报, 2014, 34(2): 471-481.
Zhang Z B, Yang Y, Zhang X P, Chen Z J. Wind speed changes and its influencing factors in Southwestern China. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(2): 471-481.

我国西南地区风速变化及其影响因素

张志斌, 杨莹*, 张小平, 陈志杰
(西北师范大学地理与环境科学学院, 兰州 730070)

摘要: 基于 110 个台站日风速观测资料, 对我国西南地区 1969—2009 年风速时空变化及其影响因素进行研究, 结果表明: 1969—2009 年西南地区平均风速以 $0.24\text{ m s}^{-1} 10\text{a}^{-1}$ 的速率显著降低, 其中 1969—2000 年平均风速以 $0.37\text{ m s}^{-1} 10\text{a}^{-1}$ 速率降低, 而 2001—2009 年却以 $0.55\text{ m s}^{-1} 10\text{a}^{-1}$ 的速率升高, 各季节、非季风和季风期风速变化趋势与年序列相似。空间分布上, 1969—2009 年风速降低台站主要位于高海拔区, 降低幅度呈现西高东低趋势。1969—2000 年风速降低台站主要位于青藏高原、横断山区和云南高原。2001—2009 年风速增加台站主要位于云南高原、横断山区和四川盆地。风速这种变化趋势一方面受大气环流影响, 西风环流和季风环流风速的减弱可能是 2000 年之前风速降低的重要原因, 而纬向风的加强则对 2000 年以来风速增强有重要贡献。另一方面, 区域变暖是风速降低的关键诱因。

关键词: 气候变化; 风速; 西南地区

Wind speed changes and its influencing factors in Southwestern China

ZHANG Zhibin, YANG Ying*, ZHANG Xiaoping, CHEN Zhijie
College of Geography and Environmental Science, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China

Abstract: Based on the daily wind speed observation data of 110 stations, this paper studies in temporal changes of wind speed and its influencing factors in Southwest China from 1969 to 2009. The results show that there was a statistically significant decrease of $0.24\text{ m s}^{-1} 10\text{a}^{-1}$ in the annual mean wind speed in Southwestern China from 1969 to 2009. The annual average wind speed of $0.37\text{ m s}^{-1} 10\text{a}^{-1}$ rate decreased from 1969 to 2000, while the wind speed increased of $0.55\text{ m s}^{-1} 10\text{a}^{-1}$ from 2001 to 2009. The pattern of seasonal changes of wind speed was similar. From 1969 to 2009, there was a significant reduced in wind speed, the wind speed decreased from 1969 to 2000, while the wind speed increased from 2001 to 2009. On the spatial distribution of it, from 1969 to 2009 the annual wind speed reducing stations were mainly located in high altitude area, reducing the magnitude of the performance gradually decreasing from west to east, reflecting the impact of the terrain. From 1969 to 2000, the wind speed reducing stations were mainly located in the Tibetan Plateau, Hengduan Mountains and the Yunnan Plateau, the wind speed increases stations were located in Guizhou Plateau and the Sichuan Basin. From 2001 to 2009, the wind speed increases stations were mainly located in Yunnan Plateau, Hengduan Mountains and the Sichuan Basin, reducing wind stations were mainly located in the Tibetan Plateau and Guizhou Plateau. On the one hand, the analysis have confirmed that the decreasing wind speed was caused mainly by the decreasing monsoon circulation and Westerlies from 1969 to 2000, and the strengthening latitudinal wind speed has made some contributions on the increasing wind speed after 2000. And what's more, the strengthening Tibetan monsoon has also made some contributions to wind change. On the other hand, regional warming was the key incentive for wind decreased. Warming temperatures rose, especially the lowest temperature significantly warming was the main reason that results in the decrease of wind speed, and

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (41161028)
收稿日期: 2013-05-14; 修订日期: 2013-09-22
* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yangyingmail@163.com

further analysis revealed that weaken of the pressure gradient between the different latitudes is the key factor of reducing the wind speed.

Key Words: climate change; wind speed; Southwestern China

近年来世界大多数地区风速降低已经对风能资源的开发利用带来了极大挑战,因此地面风速变化受到社会各界的广泛关注。Robert 等^[1]利用 882 个地表气象站风速观测资料对 1979—2008 年北半球中纬度地区风速变化进行分析,研究表明研究区内大多数区域该时段风速降低了 5%—15%,而且强风降低的速率明显大于弱风。20 世纪 40 年代末期至 90 年代中期,加拿大西海岸地区年和冬季平均风速也表现出减弱趋势^[2],而且美国地区 1973—2005 年风速变化也表现为降低趋势^[3]。澳大利亚 1975—2006 年风速以 $-0.009\text{ m s}^{-1}\text{ a}^{-1}$ 的速率明显降低,全境约 88% 的气象站均显示风速减弱^[4]。Wang 和 Li^[5]对我国 1951—2000 年的风速变化研究表明,我国风速降低趋势普遍,最大降幅发生在西北地区,季节最大降幅发生在冬季。在此基础上 Xu 等^[6]对我国 1969—2000 年的风速变化做进一步研究,发现年均风速降低约 28%,平均降低速率为 $-0.021\text{ m s}^{-1}\text{ a}^{-1}$,最大降幅主要发生在冬季和夏季。此外,黑龙江、重庆、华北等地区近年来风速也显著降低^[7-10]。已有研究表明,风速降低不仅是青藏高原及我国地表蒸发量降低的重要因子^[11],也是引起沙尘暴减少的关键因素^[12]。本文选取 110 个台站日风速观测数据为基础数据,对我国西南地区 1969—2009 年风速的时空变化及其影响因素进行分析,从而揭示风速变化特征及其内在规律,为更系统地认识气候变化及其对环境、生态和社会经济的影响提供可参考依据。

1 研究区概况

我国西南地区包括四川省、云南省、贵州省、重庆市和西藏自治区,其总面积为 $2.333\times10^6\text{ km}^2$, 占我国陆地国土面积的 24.5% (图 1)。该区是我国地形最复杂的区域之一,高原、山地、丘陵、盆地和平原五种基本地貌类型齐全,地势从西到东、从北到南依次降低,该区是亚洲重要的季风区之一,季风期主要受南亚季风和东亚季风影响,非季风期主要受西风环

流影响,此外高原季风对其也有重要影响。

2 数据来源与研究方法

依据数据的连续性、完整性及站址的一致性标准,共选取符合条件的气象站 110 个,气象站具体位置详见图 1。地面气象站的每日风速和气温资料来自于中国气象局国家气象信息中心的中国地面均一化气象观测数据库 (<http://www.nmic.gov.cn/>)。但由于风速观测仪器在 20 世纪 60 年代做了更换,为了尽可能保证所有气象站数据资料长度的均一和稳定,因此,气象资料时间跨度取为 1969 年 1 月 1 日至 2009 年 12 月 31 日。此外,利用美国国家大气研究中心/国家环境预报中心 (NCEP/NCAR) 的大气再分析资料,如 1969—2009 年经向风、纬向风、地面气压和气温等数据分析影响风速变化的原因。高原季风指数数据由国家气候中心提供 (<http://ncc.cma.gov.cn/cn/>)。

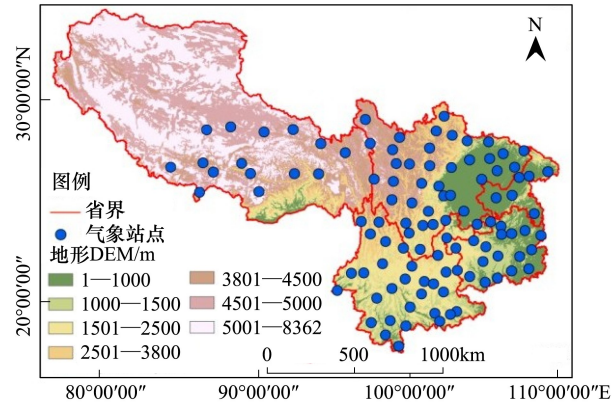


图 1 我国西南地区及所选气象站点分布
Fig.1 Southwestern China and the distribution of the selected meteorological stations

为了避免个别台站或个别年份异常高或低值对整个区域序列的影响,首先,对各个台站的风速数据进行均值化处理,利用公式 (1) 计算研究区风速的变化序列。按 12 月—翌年 2 月为冬季、3—5 月为春季、6—8 月为夏季、9—11 月为秋季、5—10 月为季风期、11 月—翌年 4 月为非季风期^[13]生成各台站不同

季节及非季风和季风期气候要素序列,计算区域的年、季节及非季风和季风期风速序列。然后,采用 9a 趋势滑动和线性倾向估计法分析气候变化趋势,计算采取最小二乘法进行估计,用其线性倾向率分析要素的年际变化率,研究显著性水平取 0.05,如果统计量小于显著性水平,则认为趋势是显著的。最后,运用 ArcGIS 绘制风速倾向率变化空间分布图,进行空间变化分析。

风速区域序列按照如下公式计算:

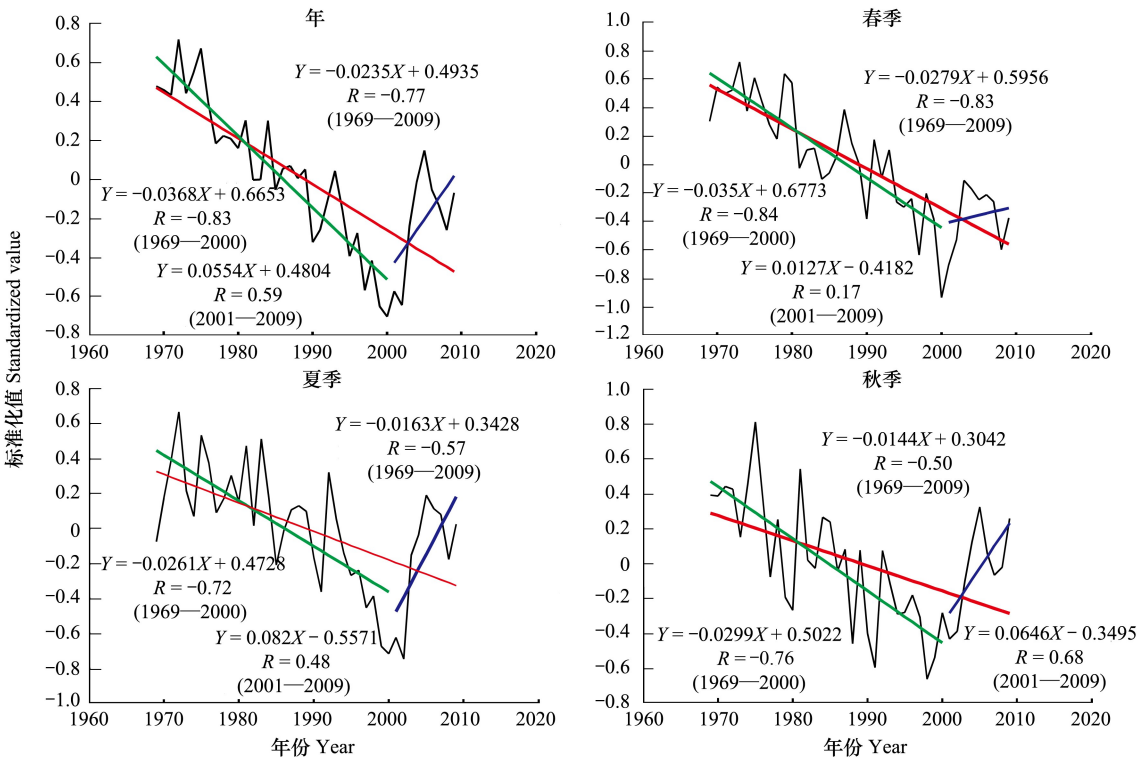
$$x_{r,t} = \sum_{i=1}^{n_t} (x_{i,t} - \bar{x}_i) / n_i \tag{1}$$

式中, $x_{r,t}$ 为区域风速在 t 年的年或季节均值, $x_{i,t}$ 为 i 站某风速在 t 年的值, $\bar{x}_i$ 为 i 站 1961—2009 年风速均值, n_t 为 t 年风速符合条件站数,为避免异常高值影响, $x_{i,t}$ 和 $\bar{x}$ 在计算前均进行标准化处理。

表 1 我国西南地区风速变化幅度(m s⁻¹ 10a⁻¹)

Table 1 The variation of wind speed in Southwestern China

时段 Time interval	年 Year	春 Spring	夏 Summer	秋 Autumn	冬 Winter	非季风期 Winter monsoon	季风期 Summer monsoon
1969—2009	-0.24	-0.28	-0.16	-0.14	-0.22	-0.26	-0.18
1969—2000	-0.37	-0.35	-0.26	-0.30	-0.38	-0.39	-0.29
2001—2009	0.55	0.13	0.82	0.65	0.60	0.33	0.74



3 结果分析

3.1 风速的年际变化

1969—2009 年我国西南地区年均风速为 1.75m/s,以 0.24 m s⁻¹ 10a⁻¹ 的速率显著降低(表 1)。年均最大风速 4.26m/s,出现在西藏自治区班戈站,最小风速 0.54m/s,出现在四川省万县。季节平均风速春季最高(2.15m/s),余者依次为冬季(1.78m/s)、夏季(1.61 m/s)和秋季(1.47m/s),春夏秋冬四季的最小风速分别为 0.64、0.59、0.35、0.35 m/s,最大风速依次为 4.80、3.96、3.71、5.00 m/s。季风期和非季风期年均、最大和最小风速分别为 1.80、0.55、3.61 和 1.51、0.59、2.87 m/s。春、夏、秋、冬、非季风期和季风期风速变化趋势与年序列相似(图 2),变化幅度依次为 -0.28、-0.16、-0.14、-0.22、-0.26和-0.18 m s⁻¹ 10a⁻¹。

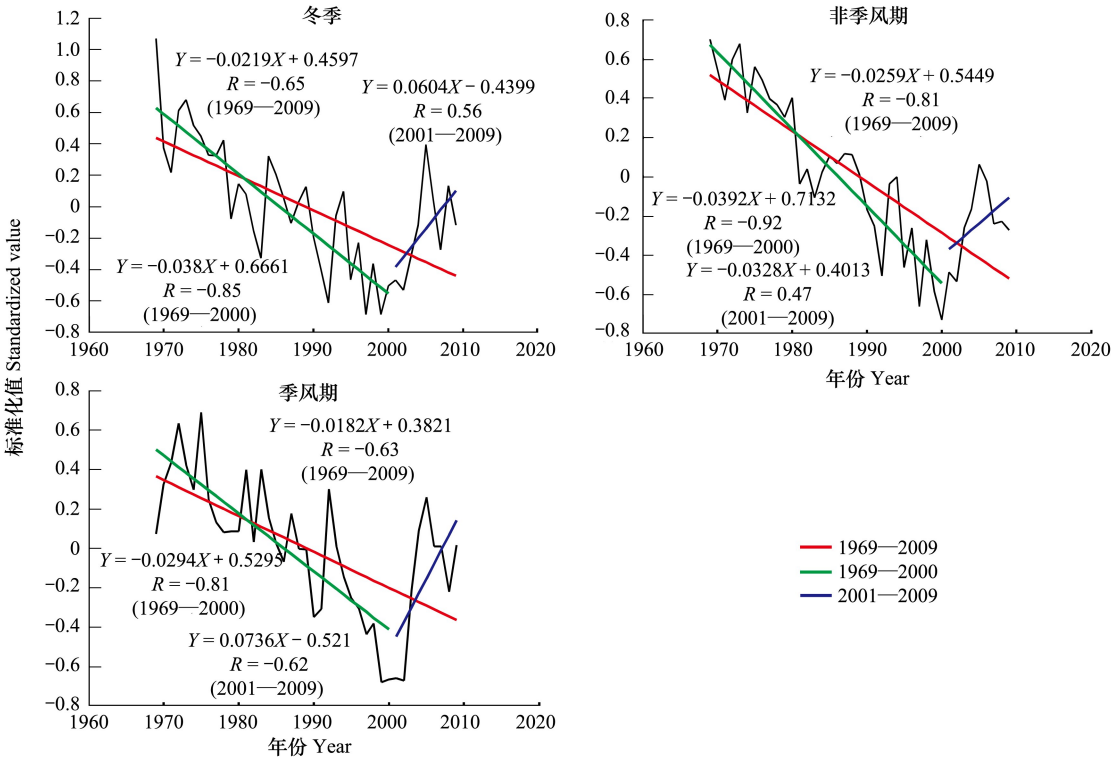


图 2 我国西南地区风速年际变化

Fig.2 The change of annual wind speed in Southwestern China

分时段分析, 1969—2000 年平均风速以 $0.37 \text{ m s}^{-1} 10\text{a}^{-1}$ 的速率下降, 2001—2009 年风速以 $0.55 \text{ m s}^{-1} 10\text{a}^{-1}$ 的速率上升, 这与我国年均风速总体变化趋势 (1969—1990 年风速以 $0.25 \text{ m s}^{-1} 10\text{a}^{-1}$ 速率显著降低, 1991—2005 年降低速率剧烈减小为 $0.06 \text{ m s}^{-1} 10\text{a}^{-1}$) 相似^[14]。但研究区年均风速的降低幅度高于我国平均水平及其他区域^[7-10]。春、夏、秋、冬、非季风期和季风期, 1969—2000 年风速下降, 变化幅度分别为 -0.35 、 -0.26 、 -0.30 、 -0.38 、 -0.39 和 $-0.29 \text{ m s}^{-1} 10\text{a}^{-1}$, 均高于整个研究时段的降低幅度, 冬季降幅最大, 秋季降幅最小。2001—2009 年风速变化转降为升, 变化幅度分别为 0.13 、 0.82 、 0.65 、 0.60 、 0.33 和 $0.74 \text{ m s}^{-1} 10\text{a}^{-1}$, 只有春季未能通过显著性水平检验, 夏季增加幅度最大。季节风速降低幅度明显高于全国及华北平原地区, 但低于东北及青藏高原地区^[7-10]。总体而言, 1969—2009 年的年、季节、非季风期和季风期风速明显降低, 其中 1969—2000 年风速下降, 2000 年后风速上升, 这一变化趋势是否标志着风速的增加, 仍有待后续观测数据的证实。

3.2 风速变化幅度空间分布

1969—2009 年 110 个台站中除了四川盆地、贵

州高原和云南高原西部的一些台站风速增加外 (部分台站表现为显著增加), 77% 的台站年均风速均以较大幅度降低, 66% 台站通过显著性水平检验, 主要位于青藏高原、横断山区和云南高原 (图 3)。春季, 84% 的台站风速降低, 显著降低台站 67%, 主要位于青藏高原和横断山区, 而位于低海拔区的台站降低幅度明显较小。夏季, 75% 的台站风速降低, 显著降低台站约 53%, 主要位于青藏高原和横断山区, 而云贵高原和四川盆地的大多数台站表现为非显著降低或增加, 只有部分台站显著增加。秋季, 70% 的台站风速降低, 但只有 48% 的台站通过了显著性水平检验, 主要位于青藏高原东部和横断山区, 而云贵高原和四川盆地的大多数台站增加或非显著降低。冬季, 76% 台站风速降低, 显著降低台站 57%, 主要位于青藏高原和横断山区, 而云贵高原和四川盆地的大多数台站表现为非显著降低或增加。非季风期, 80% 的台站风速降低, 显著降低台站 65%, 主要位于青藏高原、横断山区和云南高原, 而云南高原西南边缘、贵州高原和四川盆地中部的少数台站风速增加。季风期, 71% 台站风速降低, 显著降低台站 56%, 主要位于青藏高原和横断山区, 而分布在贵州高原、

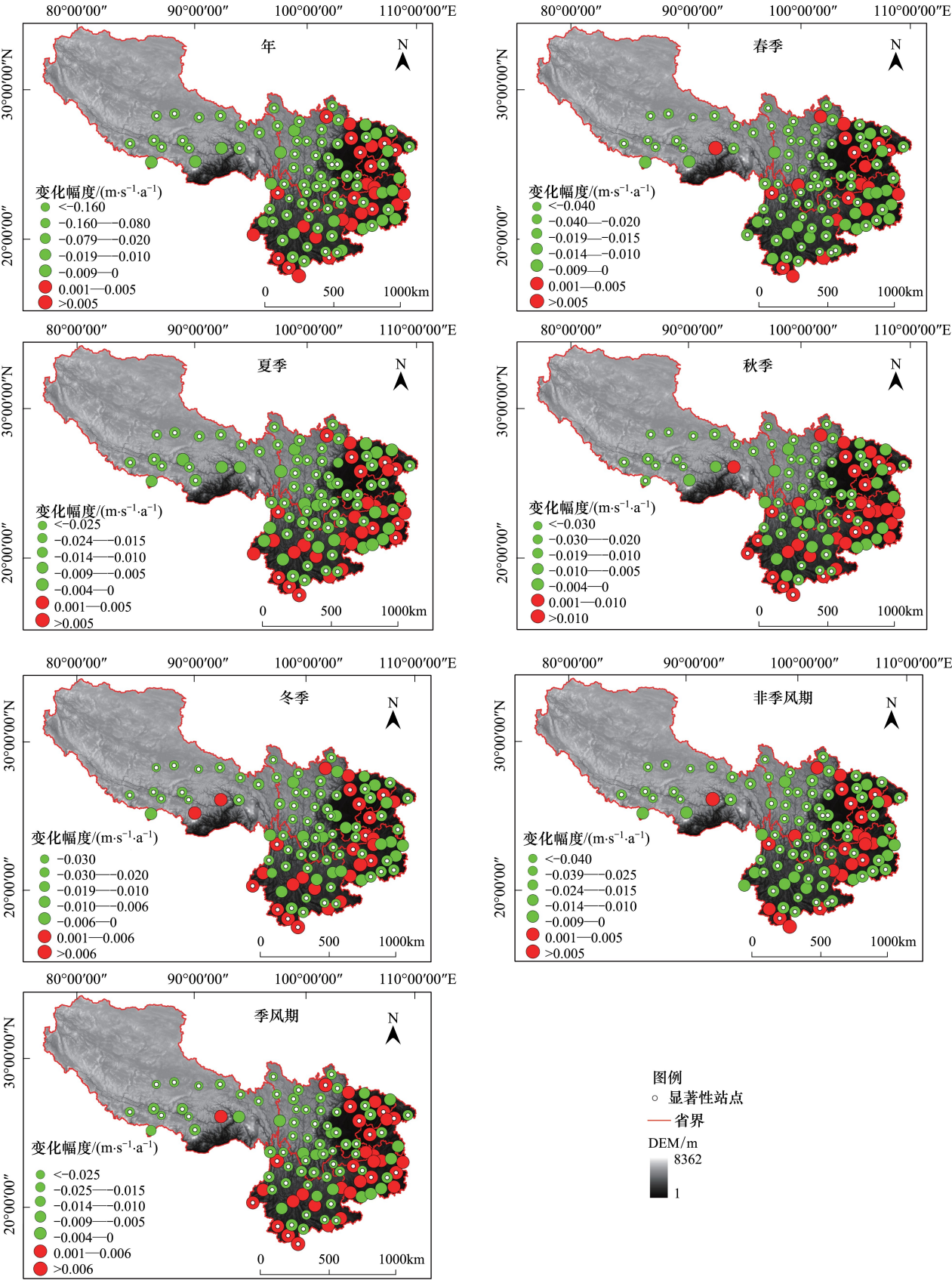


图 3 我国西南地区风速变化幅度空间分布

Fig.3 Spatial distribution of variation in wind speed in Southwestern China

云南高原和四川盆地占总站数 29% 的台站表现为增加趋势。总体而言,风速降低的台站主要位于高海拔区,降低幅度表现为由西向东逐渐变小的规律,反映了地形的影响(图 3)。

1969—2000 年,82% 的台站年均风速降低,显著降低台站 69%,主要位于青藏高原、横断山区、云南高原、贵州高原西部及四川盆地东部,而贵州高原中部、四川盆地中部和云南高原西南边缘的少数台站则呈增加势头。春季,86% 台站风速降低,显著降低台站 63%,主要位于青藏高原、横断山区和云南高原,而贵州高原和四川盆地的大多数台站为非显著降低且部分台站有增加趋势。夏季,79% 台站风速降低,61% 的台站为显著降低,主要位于青藏高原、横断山区和云南高原。另外,贵州高原和四川盆地较多台站呈增加趋势。秋季,约 78% 的台站风速降低,但显著降低的台站只占 59%,主要位于青藏高原、横断山区和云南高原,而非显著降低或增加的台站主要位于云南高原边缘地带、贵州高原和四川盆地。冬季,86% 的台站风速降低,显著降低台站 73%,主要位于青藏高原、横断山区和云南高原,而贵州高原和四川盆地的部分台站为非显著降低或增加。非季风期,87% 的台站降低,显著降低台站 76%,主要位于青藏高原、横断山区和云南高原,而非显著降低的台站位于四川盆地和贵州高原。季风期,位于青藏高原、横断山区和云南高原占总站数 73% 的台站风速降低,通过显著性水平检验的站数约 65%,贵州高原增加趋势最为显著。

2001—2009 年,只有 35% 的台站年均风速降低,主要位于青藏高原和贵州高原,幅度显著增加的台站主要位于横断山区、云南高原和四川盆地西部。春季,59% 的台站风速增加,显著增加台站 42%,主要位于横断山区、云南高原和四川盆地,而西藏高

原、贵州高原和横断山中部的部分台站表现降低趋势(其中较多台站为显著降低)。夏季,67% 的台站风速增加,显著增加台站 55%,主要位于横断山区、云南高原和四川盆地西部,而西藏高原东部、贵州高原和四川盆地东部的部分台站降低趋势显著。秋季,66% 台站风速增加,显著增加台站 56%,主要位于云南高原、横断山区及四川盆地西部,而贵州高原和西藏高原东部的大多数台站仍然表现为显著降低。冬季,65% 的台站风速增加,显著增加台站 51%,主要位于横断山区、云南高原和四川盆地,而西藏高原和贵州高原的较多台站呈降低趋势。非季风期,63% 的台站风速增加,显著增加台站 51%,主要位于横断山区、云南高原和四川盆地,而西藏高原东部、贵州高原、横断山东南部及云南高原东南部风速仍为降低趋势。季风期,67% 的台站风速增加,显著性增加台站 58%,主要位于除西藏高原东部和贵州高原以外的其他区域。

3.3 风速变化的影响因素

3.3.1 大尺度大气环流

为了探究大气环流变化对风速变化的影响,将经向风和纬向风变化情况分 1969—2000 年和 2000—2009 年两个时段进行分析,其中 1969—2000 年以 1985 年为界,绘制 500hPa 等压面经向风和纬向风的差值图(以后一时段减去前一时段代表环流变化情况),选定区域范围为 20°—40° N 和 75°—115°E。比较明显的是,除西藏高原西部外,经向风从 1969—1985 年到 1986—2000 年呈现降低趋势,而纬向风后一时段比前一时段降低幅度更大,表明西风环流和季风环流风速减弱可能是 2000 年之前风速降低的主要原因(图 4)。Dash 等和吴绍洪等的研究结果也证实印度季风近年来处于不稳定状态,且

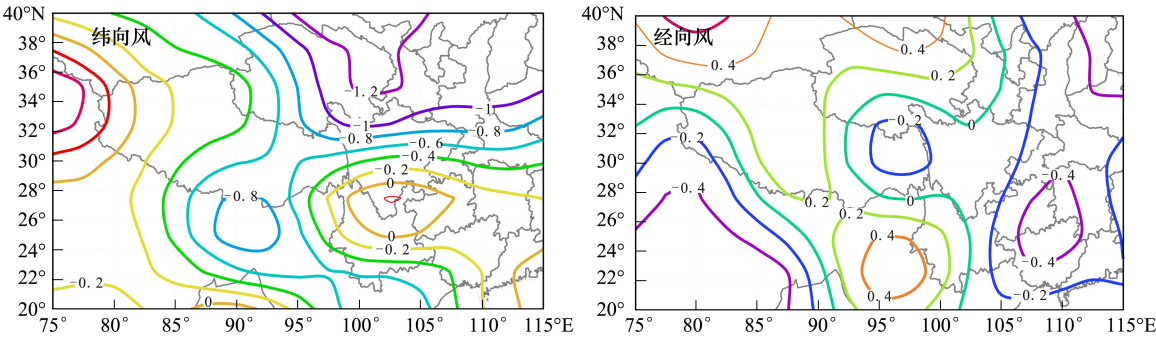


图 4 我国西南地区从 1969—1985 年到 1986—2000 年纬向风与经向风变化量

Fig.4 The change of the altitudinal wind speed and the longitudinal wind speed from 1969—1985 to 1986—2000 in Southwestern China

呈降低趋势^[15-16]。为进一步分析环流系统变化与 2001—2009 年风速增加的关系,绘制 500 hPa 等压面 1991—2000 年和 2001—2009 年经向风和纬向风差值图(图 5),总体上 2001—2009 年与 1991—2000 年相比,经向风明显降低,特别是青藏高原降低幅度最大,而四川盆地和贵州高原呈增加趋势。纬向风除云南高原外,其他地区呈明显增加势头,表明 2000 年以来纬向风的加强可能对西南地区风速增大有重要贡献,而且 IPCC 第四次评估报告也证实近年来北半球西风环流加强迹象明显^[17]。

对经向风与纬向风在两个时段季节变化分析发现,1986—2000 年与 1969—1985 年相比,春季,经向风和纬向风略有增加,呈微弱增加趋势,但 1969—2000 年风速降低趋势显著;夏季和秋季,纬向风增加,经向风青藏高原地区相对增大,其他地区降低;冬季,纬向风和经向风大幅降低,反映了环流系统的

减弱。这些结果表明,从 1969—1985 年到 1986—2000 年,除春季外,其他季节风速变化均与经向风与纬向风的减弱有关,也证实了大气环流系统变化影响风速变化的普遍性。2001—2009 年与 1991—2000 年相比,春季,纬向风风速降低趋势明显,高海拔区降低幅度最大,除云南高原和贵州高原西部外,经向风降低趋势也较明显,这在一定程度上解释了春季风速相对较小的增加幅度;夏季,纬向风风速微弱降低,经向风除高原西部地区略有降低外,大多数地区增加,说明经向风增大可能是风速加大的原因之一;秋季,纬向风风速增加幅度较大,除青藏高原地区降低外,其余地区均呈增加趋势,表明秋季纬向风增强影响风速变化;冬季,纬向风在青藏高原及四川盆地北部显著降低,而南部特别是云贵高原增加幅度显著,经向风也表现出类似的变化特征,这部分地解释了冬季风速的增加。

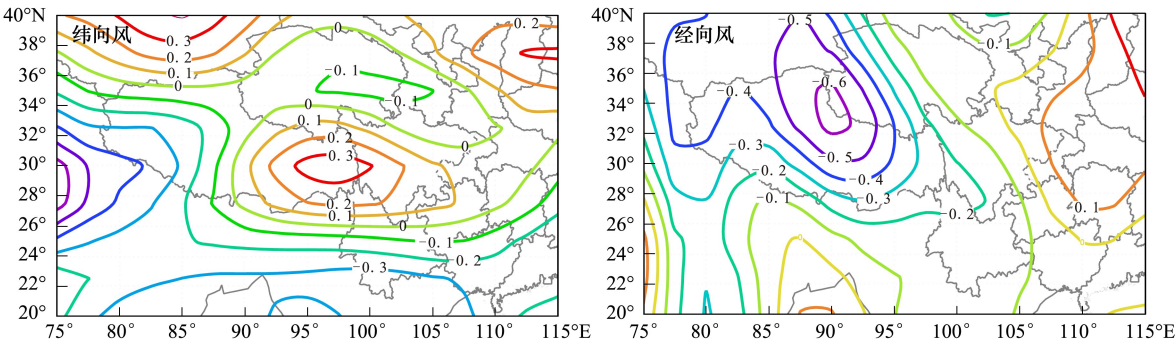


图 5 我国西南地区从 1991—2000 年到 2001—2009 年纬向风与经向风变化量

Fig.5 The change of the altitudinal wind speed and the longitudinal wind speed at 500 hPa from 1991—2000 to 2001—2009 in Southwestern China

近年来大量研究证实季风环流减弱对我国风速降低有重要贡献。Xu 等^[6]研究发现过去 30 年东亚季风减弱是我国地表平均风速降低的重要原因,而且中国东部及其边缘海区域 850hPa 年均风速也表现为降低趋势,反映了东亚季风的减弱^[18],此外,海陆气压差的降低也证实了季风环流系统近年来的减弱^[19],此类证据还包括我国中东部 850 和 500hPa 南北方向平均风速的降低以及我国境内 500hPa 等压面加强的位势高度等^[20-21]。而且,1961—2001 年亚欧大陆和西太平洋 850 和 500 hPa 等压面位势高度展现出相似的变化趋势^[22],暗示了东亚季风强度的减弱与影响亚太地区大尺度气候变化的相关因子之间的关联,除全球变暖这一最明显的因子外,其他因子还包括北半球环状模态正指数增加的频率^[23]和

1976 年左右北太平洋地区发生的年代际尺度的气候机制转变等^[5]。张爱英等^[24]的研究结果也表明 1980—2006 年我国境内对流层上、中和下部年均风速均表现为降低趋势。这些事实表明以季风环流减弱为主要特征的大尺度大气环流系统变化是导致我国西南地区地表风速降低的重要因素之一。

除西风和季风环流外,我国西南地区还受高原季风的影响,因此对高原季风对风速变化的影响进行分析。高原季风变化通常用青藏高原指数来衡量,其具体含义是指特定区域内各格点高度值减去 500 位势米后的累计值,有两个指数:其中指数 A 计算的区域为 25°—35°N,80°—100°E;指数 B 的计算区域为 30°—40°N,75°—105°E。本文采用的是青藏高原指数 B。如表 2 所示,年和季节青藏高原指数

1969—2009 年呈增强趋势,变化幅度均通过显著性水平检验,冬季增强幅度最大,达 7.38hPa/10a。更重要的是,年均风速与高原指数显著负相关,相关系数-0.56($P<0.01$),季节变化也表现显著负相关,特别是秋季相关系数达-0.67($P<0.05$)。由此证明,青藏高原季风指数加强对我国西南地区风速降低具有明显影响,因为它可通过改变区域大气环流模态进

而影响地面风速的变化。众所周知,青藏高原通过强大的热力和动力作用影响全球和区域大气环流系统,如西风、亚洲季风的强度等,而高原指数的显著增强势必对区域季风环流和西风环流产生影响,进而导致地面风速发生改变,但其具体作用机制仍有待进一步研究。

表 2 高原季风指数变化幅度及其与风速变化的相关性

Table 2 The variation of Tibetan monsoon index and its correlation with wind speed change		年	春	夏	秋	冬	非季风期	季风期
时段		Year	Spring	Summer	Autumn	Winter	Winter monsoon	Summer monsoon
Time interval								
1969—2009	变化幅度 variation/(hPa/10a)	4.28	2.77	2.82	4.16	7.38	5.23	3.24
	相关系数 correlation coefficient	-0.56	-0.32	-0.49	-0.67	-0.55	-0.4	-0.62
1969—2000	相关系数 correlation coefficient	-0.51	-0.15	-0.48	-0.7	-0.53	-0.3	-0.66
2001—2009	相关系数 correlation coefficient			-0.37	-0.5	-0.57	-0.29	

黑体标识通过显著性水平检验

3.3.2 区域变暖

大量研究证实^[17,25-26],我国近几十年来风速降低受大陆尺度气候变化的影响,特别是我国和亚欧大陆近年来的气温上升。例如,冬季较高的地面气温可能降低地表气压,进而减弱陆地和邻近海洋之间的的气温和气压梯度,最终降低气压梯度力并导致风速下降^[14]。Xu 等^[6]的研究也认为我国冬季风的减弱主要与我国北方地区相对于南海地区较大幅度的变暖有关,而夏季风的降低则与我国中南部的微弱变冷和中国南海与北太平洋西部的显著变暖相关,证实了气温不对称变化引起的气压梯度变化对风速的显著影响。如表 3 所示,总体上 1969—2009 年我国西南地区年、季节、非季风期和季风期平均气

温、平均最高和最低气温均呈显著上升趋势,最低气温的升高幅度最大。更重要的是,年均风速与年均气温、平均最高气温和最低气温均表现为负相关,但与最高气温的相关性未能通过显著性水平检验。季节、非季风期和季风期,年均风速只与秋季和非季风期平均气温呈显著负相关,与夏季平均气温无明显相关,与其他季节负相关未能通过显著性水平检验。除夏季外,风速与平均最低气温均为显著负相关,但与平均最高气温变化无明显相关。由此表明气候变暖特别是最低气温的显著升高是导致研究区风速降低的又一关键因子,而且风速与气温反相的变化趋势也支持了这一结论。

表 3 我国西南地区 1969—2009 年气温变化幅度及其与风速的相关性

Table 3 The variation of temperature and its correlation with wind speed during 1969—2009 in Southwestern China		年	春	夏	秋	冬	非季风期	季风期
		Year	Spring	Summer	Autumn	Winter	Winter monsoon	Summer monsoon
变化 Change	平均气温 Average temperature	0.41	0.24	0.23	0.34	0.25	0.32	0.28
	平均最高气温 Average maximum temperature	0.28	0.09	0.16	0.28	0.14	0.19	0.19
幅度 Extent	平均最低气温 Average minimum temperature	0.49	0.35	0.4	0.37	0.36	0.41	0.41
	相关系数 correlation coefficient	-0.4	-0.22	0.03	-0.33	-0.26	-0.3	-0.15
Correlation	平均最高气温 Average maximum temperature	-0.22	0.06	0.2	-0.22	-0.03	-0.07	0.03
	平均最低气温 Average minimum temperature	-0.54	-0.45	-0.28	-0.33	-0.41	-0.53	-0.32

黑体标识通过显著性水平检验

水平气压梯度力是空气产生水平运动的直接原因和动力,而水平气温梯度的变化是造成水平气压梯度变化的主要因素,例如,气温不对称升高导致区域水平气温梯度降低,进而引起水平气压梯度力减弱,最终导致区域风速降低。Zhang 等^[27]研究发现 20 世纪 80 年代以来经向热力梯度在中、高海拔区的降低导致高海拔区变暖幅度大于低海拔区,进而引起风速的降低。Klink^[28]的研究也认为由热力差异

引起的风速变化,特别是在高海拔区,与地面气温梯度引起的地表气压梯度变化有关。为验证纬向气温梯度是否存在减弱现象,在经度范围为 80°—110°E 的区域内选定了 3 个地区:低纬度地区(15°N—25°N)、中纬度地区(35°N—45°N)和高纬度地区(55°N—65°N)。运用 NCEP/NCAR 再分析月平均气温和气压数据计算了低、中和高纬度地区之间的地表气温和气压梯度差异。

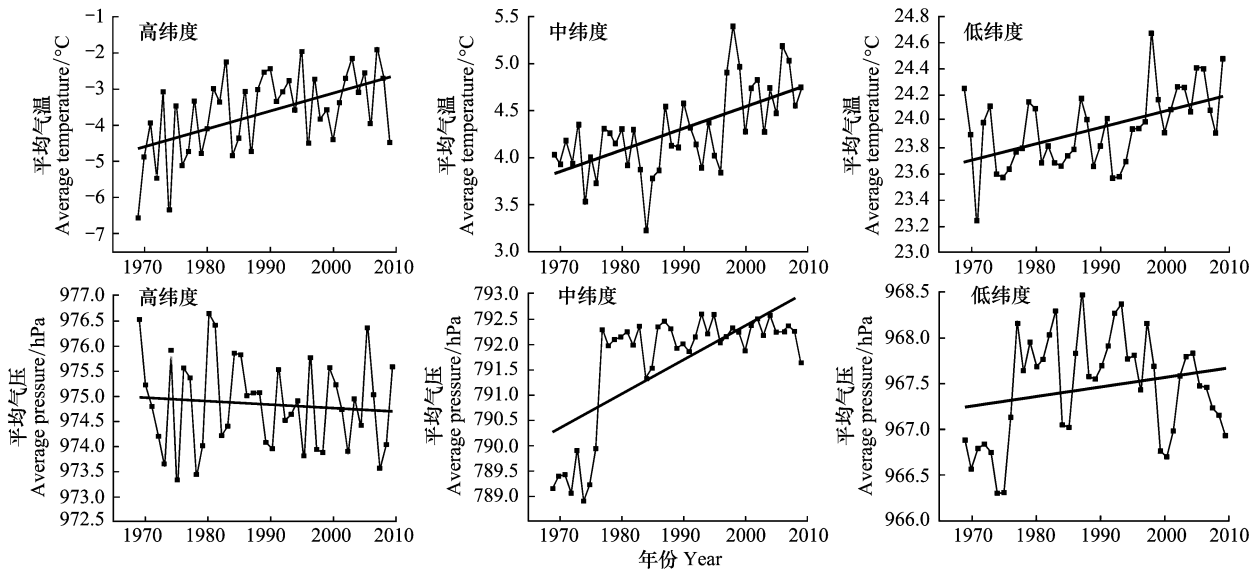


图 6 1969—2009 年高、中、低纬度地区气温和气压的年际变化
Fig.6 The variation of annual temperature and pressure in lower, middle and higher altitude areas during 1969—2009

如图 6 所示,1969—2009 年,低、中和高纬度 3 个地区的气温显著上升,升高幅度分别为 0.13℃/10a、0.24℃/10a 和 0.50℃/10a,均通过显著性水平检验,高纬度地区升高幅度最大,这种不同纬度之间的不对称变暖将会减少纬向气温差异,进而导致纬向气温梯度降低。就气压变化而言,虽然 3 个纬度地区的地表气压均在增加,但中纬度地区气压增加

幅度最大,高纬度地区增加幅度最小,也呈现不对称变化。更重要的是,不对称变暖背景下 1969—2009 年低-中纬度地区和中-高纬度地区年平均气压梯度呈降低趋势(图 7),这将最终导致风速降低,因此变暖背景下不同纬度之间气压梯度的减弱也是风速下降的重要原因。

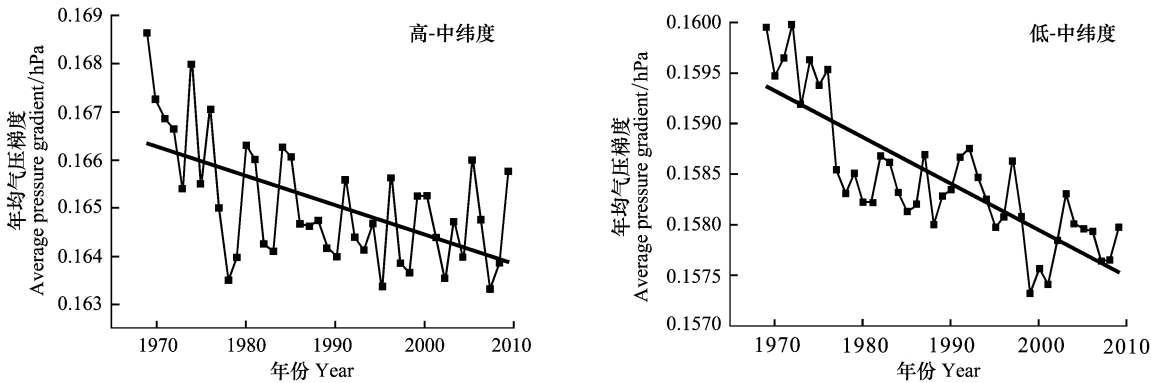


图 7 1969—2009 年不同纬度之间气压梯度的年际变化
Fig.7 The variation of annual pressure gradient in different altitudes regions during 1969—2009

4 结论

(1)1969—2009 年年均风速显著降低,季节、非季风和季风期风速变化趋势与年序列相似。其中 1969—2000 年的年、季节、非季风和季风期风速均明显降低,年均风速降低幅度高于全国平均水平及其它区域。季节风速降幅高于全国及华北平原地区,但低于东北及青藏高原地区。2001—2009 年的年、季节、非季风和季风期风速均转降为升。

(2)1969—2009 年的年、季节、非季风和季风期风速降低台站主要位于高海拔地区,降低幅度表现为由西向东逐渐递减,其中 1969—2000 年,风速降低台站多位于西藏高原、横断山区、云南高原,风速增加台站多位于贵州高原、四川盆地。2001—2009 年,风速增加台站多分布于云南高原、横断山区和四川盆地,风速降低台站主要位于西藏高原和贵州高原。

(3)大尺度大气环流影响风速变化。2000 年之前风速降低的主要原因可能是西风环流和季风环流风速的减弱,而纬向风的加强可能对 2000 年以来风速增强有重要贡献。此外,青藏高原季风加强对风速降低作用明显。

(4)区域变暖是风速降低的另一因素。年均气温、平均最低气温与年均风速均显著负相关,年均风速与秋季和非季风期的平均气温及平均最低气温显著负相关,说明气温上升特别是最低气温的大幅变暖是导致风速降低的一个关键因子。进一步分析还发现,不同纬度之间气压梯度的减弱也是风速降低的主要因素。

References:

[1] Vautard R, Cattiaux J, Yiou P, Thépaut J N, Ciais P. Northern Hemisphere atmospheric stilling partly attributed to an increase in surface roughness. *Nature Geoscience*,2010,3;756-761.

[2] Tuller S E. Measured wind speed trends on the west coast of Canada. *International Journal of Climatology*, 2004, 24 (11): 1359-1374.

[3] Pryor S C,Ledolter J. Addendum to " Wind speed trends over the contiguous United States". *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 2010,115,D10103.

[4] McVicar T R, Van Niel T G, Li L T,Roderick M L,Rayner D P, Ricciardulli L, Donohue R J. Wind speed climatology and trends for Australia,1975—2006: capturing the stilling phenomenon and

comparison with near-surface reanalysis output. *Geophysical Research Letters*,2008,35(20) , L20403.

[5] Wang B, Li T. East Asian monsoon and ENSO interactions// Chang C P. *East Asian Monsoon*. Hackensack; World Scientific, 2004:177-212.

[6] Xu X K, Levy J K, Lin Z H, Chen H. An investigation of sand dust storm events and land surface characteristics in China using NOAA NDVI data. *Global and Planetary Change*. 2006, 52, (1/4): 182-196.

[7] Zou L Y, Guo S Y, Wang J, Han Z Y. Variation trends of the surface wind speed in Heilongjiang Province from 1961 to 2004. *Meteorological Monthly*,2010,36(10):67-71.

[8] Li Y, Geng D, Dong X N, Zhu Y. Climate change of wind speed in Chongqing from 1961 to 2007. *Transactions of Atmospheric Sciences*, 2010,33(3):336-340.

[9] Liu S X, Qiu J X, Mo X G. Wind velocity variation from 1951 to 2006 in the North China plan. *Resources Science*,2009,31(9): 1486-1492.

[10] Yang X Y, Tian G Y, Chang Y. Climate change of average wind speed in the northeast of China during the last four decades. *Jilin Qixiang*,2009,(3):2-4.

[11] Chen S B, Liu Y F, Axel T. Climatic change on the Tibetan Plateau: potential evapotranspiration trends from 1961—2000. *Climatic Change*. 2006,76;291-319.

[12] Qian W H, Quan L S, Shi S Y. Variations of the dust storm in China and its climatic control. *Journal of Climate*, 2002, 15: 1216-1229.

[13] Li J J. *The Glaciers in Heng-duan Mountains*. Beijing: Sciences Press,1996;75-88.

[14] Guo H, Xu M, Hu Q. Changes in near-surface wind speed in China: 1969—2005. *International Journal of Climatology*,2011, 31(3):349-358.

[15] Dash S K, Kulkarni M A, Mohanty U C, Prasad K. Changes in the characteristics of rain events in India. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 2009,114,D10109.

[16] Wu S H, Yin Y H, Zheng D, Yang Q Y. Climate change in the Tibetan Plateau during the last three dacades. *Acta Geographica Sinica*,2005,60(1):3-11.

[17] Solomon S. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis* // Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge and New York:Cambridge University Press,2007.

[18] Xue F. Interannual to interdecadal variation of East Asian summer monsoon and its association with the global atmospheric circulation and sea surface temperature. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2001,18(4):567-575.

[19] Guo Q Y, Cai J N, Shao X M, Sha W Y. Interdecadal variability of East-Asian summer monsoon and its impact on the climate of China. *Acta Geographica Sinica*,2003,58(4):569-576.

[20] Yu R C, Wang B, Zhou T J. Tropospheric cooling and summer monsoon weakening trend over East Asia. *Geophysical Research Letters*, 2004, 31(22), L222120.

[21] Huang G, Yan Z W. The East Asian summer monsoon circulation anomaly index and the interannual variations of the East Asian summer monsoon. *Chinese Science Bulletin*, 1999, 44(14): 1325-1329.

[22] Weng H Y, Sumi A, Takayabu Y N, Kimoto M, Li C Y. Interannual interdecadal variation in large-scale atmospheric circulation and extremely wet and dry summers in China/Japan during 1951—2000, Part I: Spatial patterns. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 2004, 82(2): 789-804.

[23] Wallace J M, Thompson D W J. The Pacific center of action of the Northern Hemisphere annular mode: Real or artifact? *Journal of Climate*, 2002, 15: 1987-1991.

[24] Zhang A Y, Ren G Y, Guo J, Wang Y. Change trend analyses on upper-air wind speed over China in past 30 years. *Plateau Meteorology*, 2009, 28(3): 680-687.

[25] Yan Z, Jones P D, Davies T D, Moberg A, Bergström H, Camuffo D, Cocheo C, Maugeri M, Demarée G R, Verhoeve T, Thoen E, Barriendos M, Rodríguez R, Martín-Vide J, Yang C. Trends of extreme temperatures in Europe and China based on daily observation. *Climatic Change*, 2002, 53(1/3): 355-392.

[26] Gadgil S. The Indian monsoon: 3. Physics of the monsoon. *Resonance*, 2007, 12: 4-20.

[27] Zhang Q, Xu C Y, Zhang Z X, Chen Y Q D, Liu C L, Lin H. Spatial and temporal variability of precipitation maxima during 1960—2005 in the Yangtze River basin and possible association with large-scale circulation. *Journal of Hydrology*, 2008, 353: 215-227.

[28] Klink K. Trends in mean monthly maximum and minimum surface wind speeds in the coterminous United States, 1961 to 1990. *Climate Research*, 1999, 13: 193-205.

参考文献:

[7] 邹立尧, 国世友, 王翼, 韩照宇. 1961—2004 年黑龙江省近地层风速变化分析. *气象*, 2010, 36(10): 67-71.

[8] 李艳, 耿丹, 董新宁, 朱焱. 1961—2007 年重庆风速的气候变化特征. *大气科学学报*, 2010, 33(3): 336-340.

[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. *资源科学*, 2009, 31(9): 1486-1492.

[10] 杨雪艳, 田广元, 常义. 近 40 年中国东北地区平均风速的气候变化特征分析. *吉林气象*, 2009, (3): 2-4.

[13] 李吉均. 横断山冰川. 北京: 科学出版社, 1996: 75-88.

[16] 吴绍洪, 尹云鹤, 郑度, 杨勤业. 青藏高原近 30 年气候变化趋势. *地理学报*, 2005, 60(1): 3-11.

[19] 郭其蕴, 蔡静宁, 邵雪梅, 沙万英. 东亚夏季风的年代际变率对中国气候的影响. *地理学报*, 2003, 58(4): 569-576.

[24] 张爱英, 任国玉, 郭军, 王颖. 近 30 年我国高空风速变化趋势分析. *高原气象*, 2009, 28(3): 680-687.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.34 ,No.2 Jan. ,2014 (Semimonthly)
CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

Effects of soil texture on variations of paddy soil physical and chemical properties under continuous no tillage GONG Dongqin, LÜ Jun (239)

Evaluation of the landscape patterns vulnerability and analysis of spatial correlation patterns in the lower reaches of Liaohe River Plain SUN Caizhi, YAN Xiaolu, ZHONG Jingqiu (247)

Effects of light and dissolved oxygen on the phenotypic plasticity of *Alternanthera philoxeroides* in submergence conditions XU Jianping, ZHANG Xiaoping, ZENG Bo, et al (258)

A review of the relationship between algae and bacteria in harmful algal blooms ZHOU Jin, CHEN Guofu, ZHU Xiaoshan, et al (269)

Biodiversity and research progress on picophytoplankton in saline lakes WANG Jiali, WANG Fang (282)

Effects of ozone stress on major plant physiological functions LIE Ganwen, YE Longhua, XUE Li (294)

The current progress in rodents molecular phylogeography LIU Zhu, XU Yanchun, RONG Ke, et al (307)

The progress in ecosystem services mapping: a review ZHANG Liwei, FU Bojie (316)

Autecology & Fundamentals

Growth, and cationic absorption, transportation and allocation of *Elaeagnus angustifolia* seedlings under NaCl stress LIU Zhengxiang, ZHANG Huaxin, YANG Xiuyan, et al (326)

Leaf morphology and PS II chlorophyll fluorescence parameters in leaves of *Sinosenecio jishouensis* in Different Habitats XIANG Fen, ZHOU Qiang, TIAN Xiangrong, et al (337)

Response of change of wheat LAI measured with LAI-2000 to the radiance WANG Yan, TIAN Qingjiu, SUN Shaojie, et al (345)

Effects of K⁺ and Cr⁶⁺ on larval development and survival rate of the acorn barnacle *Balanus reticulatus* HU Yufeng, YAN Tao, CAO Wenhao, et al (353)

Diffusion of colorado potato beetle, *Leptinotarsa decemlineata*, adults in field LI Chao, PENG He, CHENG Dengfa, et al (359)

Population, Community and Ecosystem

Seasonal variations in fish community structure in the Laizhou Bay and the Yellow River Estuary SUN Pengfei, SHAN Xiujuan, WU Qiang, et al (367)

Variations in fish community structure and diversity in the sections of the central and southern Yellow Sea SHAN Xiujuan, CHEN Yunlong, DAI Fangqun, et al (377)

Research on the difference in eutrophication state and indicator threshold value determination among lakes in the Southern Jiangsu Province, China CHEN Xiaohua, LI Xiaoping, WANG Feifei, et al (390)

Effect of tidal creek system on the expansion of the invasive *Spartina* in the coastal wetland of Yancheng HOU Minghang, LIU Hongyu, ZHANG Huabing (400)

The spatial and temporal variations of maximum light use efficiency and possible driving factors of Croplands in Jiangsu Province KANG Tingting, GAO Ping, JU Weimin, et al (410)

Simulation of summer maize yield influenced by potential drought in China during 1961—2010 CAO Yang, YANG Jie, XIONG Wei, et al (421)

Forest change and its impact on the quantity of oxygen release in Heilongjiang Province during the Past Century ZHANG Lijuan, JIANG Chunyan, MA Jun, et al (430)

Soil macro-faunal guild characteristics at different successional stages in the Songnen grassland of China	LI Xiaoqiang, YIN Xiuqin, SUN Lina (442)
Seasonal dynamics of soil microbial biomass in six forest types in Xiaoxing'an Mountains, China	LIU Chun, LIU Yankun, JIN Guangze (451)
Landscape, Regional and Global Ecology	
Variation of drought and regional response to climate change in Huang-Huai-Hai Plain	XU Jianwen, JU Hui, LIU Qin, et al (460)
Wind speed changes and its influencing factors in Southwestern China	ZHANG Zhibin, YANG Ying, ZHANG Xiaoping, et al (471)
Characteristics of soil carbon density distribution of the <i>Kobresia humilis</i> meadow in the Qinghai Lake basin	CAO Shengkui, CHEN Kelong, CAO Guangchao, et al (482)
Life cycle assessment of carbon footprint for rice production in Shanghai	CAO Liming, LI Maobai, WANG Xinqi, et al (491)
Research Notes	
Seasonal changes of ground vegetation characteristics under artificial <i>Caragana intermedia</i> plantations with age in desert steppe	LIU Rentao, CHAI Yongqing, XU Kun, et al (500)
The experimental study on trans-regional soil replacement	JIN Yinghua, XU Jiawei, QIN Lijie (509)
Sensitivity analysis of swat model on changes of landscape pattern: a case study from Lao Guanhe Watershed in Danjiangkou Reservoir Area	WEI Chong, SONG Xuan, CHEN Jie (517)

《生态学报》2014 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 34 卷 第 2 期 (2014 年 1 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 34 No. 2 (January, 2014)

编 辑 《生态学报》编辑部
地址:北京海淀区双清路 18 号
邮政编码:100085
电话:(010)62941099
www.ecologica.cn
shengtaixuebao@rcees.ac.cn

主 编 王如松

主 管 中国科学技术协会

主 办 中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
地址:北京海淀区双清路 18 号
邮政编码:100085

出 版 科 学 出 版 社
地址:北京东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717

印 刷 北京北林印刷厂

发 行 科 学 出 版 社
地址:东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717
电话:(010)64034563
E-mail: journal@cspg.net

订 购 全国各地邮局

国外发行 中国国际图书贸易总公司
地址:北京 399 信箱
邮政编码:100044

广告经营 京海工商广字第 8013 号

许 可 证

Edited by Editorial board of
ACTA ECOLOGICA SINICA
Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
Tel: (010)62941099
www.ecologica.cn
shengtaixuebao@rcees.ac.cn

Editor-in-chief WANG Rusong

Supervised by China Association for Science and Technology

Sponsored by Ecological Society of China
Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS
Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China

Published by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, China

Printed by Beijing Bei Lin Printing House,
Beijing 100083, China

Distributed by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North
Street, Beijing 100717, China
Tel: (010)64034563
E-mail: journal@cspg.net

Domestic All Local Post Offices in China

Foreign China International Book Trading
Corporation
Add: P. O. Box 399 Beijing 100044, China

