西北地区气候变化与风速响应特征

丁彩霞，延军平，李敏敏

（陕西师范大学 旅游与环境学院，陕西 西安 710119）

摘　要：依据西北地区 105 个气象站点近 51 a 逐年气温、降水及风速资料，利用趋势线法、Mann—Kendall 突变检验法及 ArcGIS 空间差值法分析了该地气候变化特征及其对风速的影响。结果表明：(1) 近 51 a 来，西北地区增温趋势明显，气温经历了相对低温期—大幅上升期—上升趋势减缓期的转变；增温趋势空间差异明显。(2) 该区降水呈下降趋势，呈现出由显著变化—趋于稳定—波动加快的转变；降水变化东西差异明显。(3) 综合气温和降水来看，西北地区东部呈暖干化趋势，西、中部地区呈相对暖湿趋势。(4) 近 51 a 平均风速整体以每 10 a 降低 0.11 m/s 的速率变化，1974 年之前呈增强趋势，之后减弱趋势明显，1993—2011 年趋于稳定；风速变化空间上呈现出东南部、西部与中部的差异。(5) 气温和风速呈极显著负相关关系。

关键词：气候变化；时空变化；风速；西北地区

文献标识码：A　　**文章编号**：1000-288X(2014)04-0134-04　　**中图分类号**：P412.16，P467

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2014.04.039

Climate Change and Response Characteristics to Wind Speed in Northwestern China

DING Cai-xia, YAN Jun-ping, LI Min-min

(*College of Tourism and Environment Science, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi* 710119, *China*)

Abstract: Based on the meteorological data of the 105 stations in Northwestern China from 1961 to 2011, the climate change and corresponding response characteristics of wind speed were analyzed by using the methods of linear regression, the Mann—Kendall mutation test. The results showed that the temperature has been rising obviously in Northwestern China in the 51 years and the temperature variation exhibited three periods: the decline period, rising period, and slow rise period; Moreover, the spatial differences of the warming trends were significant. The precipitation showed a decrease trend which experienced remarkable change, stable, and accelerated fluctuations. Meanwhile, the change of the precipitation had an obvious difference between east area and west area. On the whole, the east of the Northwestern China showed a warming and drying trend, the west and the central region presented a trend of relatively warming and wetting. The average wind speed declined at 0.11 m/s per 10 a which increased until 1974, then decreased significantly, and became stable from 1993 to 2011. In addition, the wind speed exhibited spatial differences among the southeastern, western and central of Northwestern China. Furthermore, there was a significant negative correlation between temperature and wind speed.

Keywords: climatic change; spatial and temporal change; average wind speed; Northwestern China

研究[1]表明，全球地表温度上升了 0.4～0.8 ℃，未来将继续变暖。显然在气候变暖背景下，研究中国区域气候响应已成为一个重要的科学问题。风速作为蒸散的重要驱动因子，它的变化将直接影响区域水循环。在提倡大力发展清洁能源的今天，风能的发展潜力与风速变化也休戚相关[2]。风能作为一种清洁安全的可再生资源，它的可持续利用受到世界各国的广泛关注[1-3]。近年来，随着能源危机的加剧我国对气候变化和风速风能的研究也不断深入。20 世纪 80 年代以来，张文佳、张永战[3]利用 1900—2005 年中国风电数据，对风电的时空变化特征和趋势进行了分析。李艳[4]等研究了中国近地表气候变异及下垫面性质改变对风能资源的影响，认为我国年平均风速整体上呈减弱趋势。施雅风[5]利用西北地区气温、降

收稿日期：2013-08-29　　**修回日期**：2013-09-26

资助项目：国家自然科学基金项目“部分重大自然灾害的时空对称性：结构、机理与适应对策”(41171090)

作者简介：丁彩霞(1988—)，女(回族)，宁夏回族自治区同心县人，硕士研究生，研究方向为区域开发与城乡发展。E-mail:5062264_ha@163.com。

通信作者：延军平(1956—)，男(汉族)，陕西省绥德县人，博士，教授，主要从事自然灾害与环境变化研究。E-mail:yanjp@snnu.edu.cn。

水、径流等大量资料,研究分析了西北地区温度、降水变化趋势,认为该地气候由暖干向暖湿转型。张振国[6]对我国北方风能资源的开发现状与前景进行了分析,指出北方地区风能开发潜力巨大但利用程度较低。西北地区位于青藏高原北侧,地域辽阔、地形复杂,是气候变化敏感区、生态环境脆弱带,因而成为研究热点区域之一。研究表明[7-10],近 50 年来西北地区气温变化与全国及东亚地区气温变化一致呈增暖趋势,且西北地区增温幅度略高于东亚和中国的平均水平。我国地形复杂,风速、风能资源的区域差异非常明显,因此深入了解西北地区风速的时空变异特点具有实际意义,同时,分析风速的时空变化特征也有利于加深对西北区域气候变化的理解。鉴于此,本研究以西北地区为对象,选取了 1961—2011 年的降水、气温和风速资料。综合运用趋势线法、Mann—Kendall突变检验法、及 ArcGIS 空间差值法从不同时空尺度和层面上对西北地区气候变化特征及其对风速的影响进行分析,以期为该地区的社会经济发展、生态建设及能源开发提供理论依据。

1　资料与方法

1.1　研究区概况

中国西北地区包括新疆、青海、甘肃、陕西、宁夏及内蒙古自治区西部,地理位置介于 31°—50°N,75°—113°E。该区位于欧亚大陆内部,远离海洋,受夏季风影响较小,海洋湿润气流难以深入,气候干燥,多属温带大陆性气候,年降水量呈由东向西逐渐减少态势,属典型的气候变化敏感区,生态环境脆弱。

1.2　资料选取

气象资料来源于中国气象科学数据共享服务网,为了全面反映西北地区的气候状况,考虑到气象记录的起始时间不一,且气象台站有撤销、迁移现象,为建立稳定的气候序列保证气象数据的一致性和完备性,最终选择覆盖研究区的 105 个站点,1961—2011 年年降水量、平均气温及平均风速数据。

1.3　研究方法

运用气候倾向率法和 Mann—Kendall 突变检验法[7]对西北地区近 51 a 气侯变化特征进行分析,基于 ArcGIS 空间分析方法再现了气候变化及其背景下风速的时空格局演变。

2　气候变化特征

2.1　气温变化特征

2.1.1　气温随时间的变化特征　1961—2011 年西北地区气温在波动中呈显著上升趋势(图 1),增温速率为 0.37 ℃/10 a,远高于全国平均变暖率(0.2 ℃/10 a)[11],多年平均气温为 6.8 ℃,年均温最高值出现在 2007 年,为 8.2 ℃,最低值出现在 1967 年,为 5.4 ℃,两者相差 2.8 ℃,说明年均温变化幅度较大。基于 6 阶拟合曲线,西北地区的气温变化大致可以划分为以下 3 个阶段:第一阶段:1961—1984 年气温缓慢波动上升,年气温距平以负值为主;第二阶段:1985—2002 年气温距平正负交替出现,气温大幅上升;第三阶段:2003—2011 年增温趋势减缓,年气温距平均为正值。

通过对西北地区 1961—2011 年气温进行 Mann—Kendall 突变检验分析发现(图 2),1961—1979 年正向时间序列统计值 UF 多在 0 值以下,表明气温呈波动下降趋势,1979 年以后 UF>0,气温回升,1986 年后气温上升速率加快,UF 值在 1994 年超出显著性水平 0.05 信度线,说明气温显著增加。UF 和 UB 在±1.96 临界线内相交于 1991 年,表明西北地区年均温在 1991 年前后发生了由冷到暖的突变。

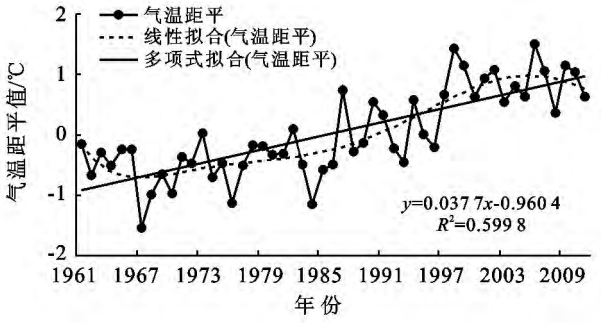


图 1　西北地区 1961－2011 年平均气温变化特征

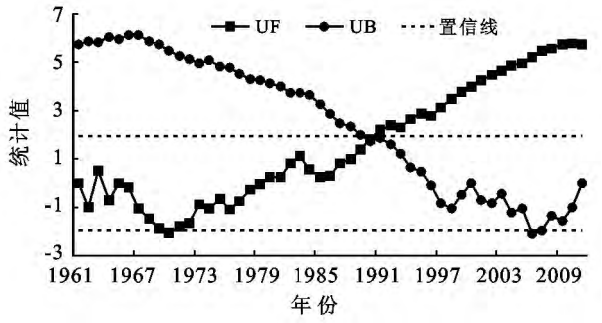


图 2　西北地区 1961－2011 年平均气温 Mann－Kendall 检验

2.1.2　平均气温的空间变化特征　由附图 11 可见,西北地区各站点气温倾向率以正值为主,区域整体变暖趋势明显。从区域差异角度分析,内蒙古西部、宁夏北部、青海西南部为增温高值区,气温倾向率最大值出现在内蒙西部的临河站,升温速率为 0.64 ℃/10 a,青海西南部升温速率约为 0.4～0.6 ℃/10 a。陕西秦岭山脉以南和甘肃南部为增温低值区,气温倾向率

最小值出现在陕西境内的商县，升温速率只有 0.03 ℃/10 a。整个新疆地区增温趋势较缓，天山山脉西麓增温相对较快，升温速率约为 0.4 ℃/10 a，准噶尔盆地和塔里木盆地增温相对较慢，升温速率约为 0.1～0.2 ℃/10 a。总体上来看，近 51 a 西北地区气温整体呈波动上升趋势，且存在较明显的区域差异。

2.2 降水变化特征

2.2.1 降水随时间的变化特征 由图 3 可以看出，1961—2011 年西北地区降水量总体呈减少趋势，下降速率为 8.49 mm/10 a。51 a 平均降水量为 263.77 mm。年降水量最大值出现在 1961 年，为 436.69 mm，年降水量最小值出现在 1982 年，为 158.07 mm，两者相差 278.62 mm，说明降水年际变化幅度大。由 6 阶拟合曲线看出，20 世纪 60—70 年代末降水波动减少，20 世纪 80—90 年代末降水变化趋势稳定，2000 年以后降水略有减少，降水整体波动特征不明显。

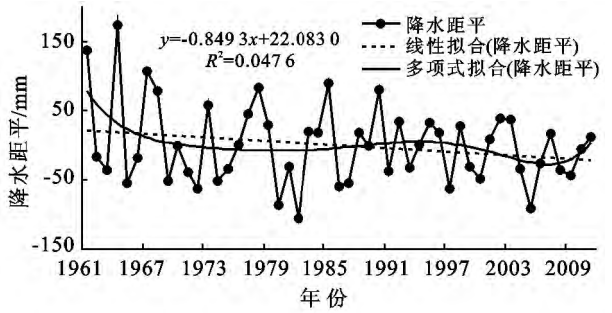


图 3 西北地区 1961－2011 年降水变化特征

2.2.2 降水空间变化特征 由附图 12 可见，西北地区降水变化呈现明显的东西差异分布特征，大概以临河—银川—兰州段黄河为界，黄河以东地区降水呈减少趋势，黄河以西地区降水呈增加趋势，新疆自治区天山山脉以北地区、青海省东部地区降水量增加趋势明显，增加速率约为 10～30 mm/10 a，天山以南地区降水变化趋势不显著，西北东部降水呈显著减少趋势，减少速率约为 10～20 mm/10 a。综合来看，虽然整个西北大部分地区降水呈较缓增加趋势，但区域整体降水仍有所减少。

3 平均风速变化特征

3.1 平均风速随时间变化特征

由图 4 可以看出，1961—2011 年西北地区平均风速呈下降趋势，下降速率为每 10 a 下降 0.11m/s。51 a 平均风速为 2.52 m/s。年平均风速最大值出现在 1969 年，为 3.02 m/s，年平均风速最小值出现在 2011 年，为 2.23 m/s，相差 0.79 m/s。由 6 阶拟合曲线看出，20 世纪 60—70 年代中期平均风速波动上升，70 年代中期到 90 年初平均风速下降趋势显著，90 年代以后风速趋于稳定，平均风速整体呈较明显波动下降趋势。

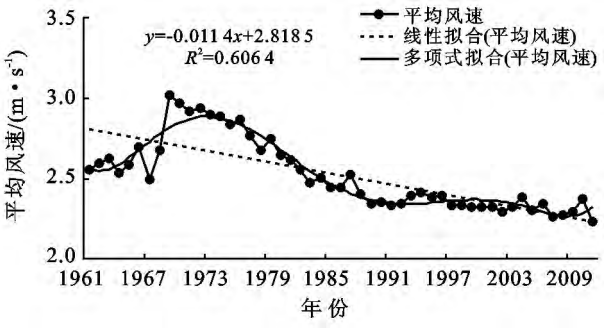


图 4 西北地区 1961－2011 年平均风速变化特征

3.2 平均风速空间变化特征

由附图 13 可见，西北地区平均风速变化空间差异显著，西北西部边界和西北东南部风速略有增加，西北中西部风速呈减少趋势。新疆自治区西南部边境、宁夏自治区北部及甘肃省南部风速上升趋势最明显，上升速率约为每 10 a 上升 0.16 m/s，青海省东南部上升速率约为每 10 a 上升 0.14 m/s。新疆、青海地区大部平均风速呈下降趋势，内蒙古自治区西部和甘肃省西北部平均风速下降趋势明显，下降速率约为每 10 a 下降 0.3～0.7 m/s。从总体来看，整个西北地区平均风速呈下降趋势。

4 气温与风速的回归分析

由图 5 可知，利用西北地区 1961—2011 年平均风速与气温数据进行线性拟合[12]，建立一元线性线性回归模型。回归模型通过 F 显著性检验，即气温每升高 1 ℃，平均风速下降 0.216 m/s。年均温的变化与平均风速变化呈负相关，从 6 阶拟合曲线看出，20 世纪 60 年代气温下降，风速上升，70—90 年代末气温持续上升，平均风速相应减小，进入 21 世纪增温趋势减缓，平均风速略有增加。

5 结 论

(1) 近 51 a 来，西北地区增温趋势明显，增温速率为 0.37 ℃/10 a，远高于全国平均变暖率(0.2 ℃/10 a)，多年平均温度为 6.8 ℃；1961—1984 年为相对低温期，1985—2002 年气温显著上升，2003—2011 年气温上升趋势减缓；增温趋势具有明显的空间差异，内蒙古自治区西部和青海省西南部为增温高值区，陕西省秦岭山脉以南甘肃东南部位增温低值区，新疆自治区大部分地区增温速率较缓。

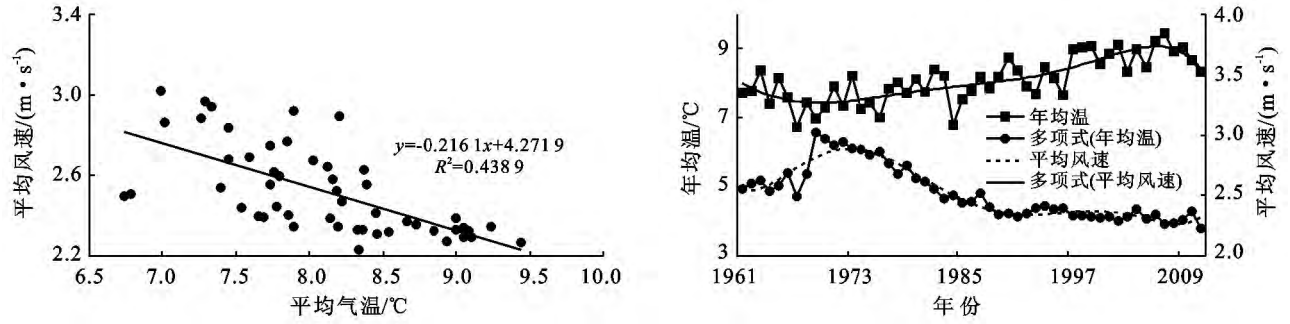


图 5　西北地区 1961－2011 年气温与风速关系

(2) 近 51 a 来,西北地区降水呈减少趋势,下降速率为 8.49 mm/10 a,51 a 平均降水量为 263.77 mm。1961—1970 年降水下降趋势明显,1971—1997 年降水变化趋势趋于稳定,1998—2011 年降水波动变化趋势加快,降水变化呈现明显的东西差异分布特征,大概以临河—银川—兰州段黄河为界,黄河以东地区降水呈减少趋势,黄河以西地区降水呈增加趋势,整体来看,西北西部降水呈增加趋势,西北东部降水显著减少趋势,西北中部降水变化趋势不明显。

(3) 综合气温和降水看出,西北东部呈暖干化趋势,西北西、中部地区呈相对暖湿趋势。

(4) 近 51 a 西部地区平均风速呈减小趋势,减小速率为每 10 a 下降 0.11 m/s,1961—1974 年风速呈增大趋势,1975—1992 年风速减小趋势明显,1993—2011 年风速趋于稳定,风速空间变化特征表现为,西北地区的东、西部略有增加,中部减小趋势明显。

(5) 气温和风速有极显著负相关关系,即气温每升高 1 ℃,平均风速下降 0.21 m/s。60 年代气温下降,风速上升,70—90 年代末气温持续上升,平均风速相应减小,进入 21 世纪增温趋势减缓,平均风速略有增加。

(6) 本研究分析了西北地区气候暖干化背景下风速的时空变化特征,对于这种变化的形成机制需要进一步研究。另外,全球变暖背景下西北地区风速的变化,对该地风能资源利用影响,对沙尘暴等灾害的作用等均为有待深入研究的问题[13-14],在未来该区域发展规划及新能源开发利用时应进行更为深入的调查研究工作,综合分析各种因素,从而做出正确决策。

[参 考 文 献]

[1] Intergovernmental Panel on Climate Chang (IPCC). Climate Change 2001: The Scientific Basis Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the International Panel on Climate Change[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2002.

[2] 龚强,于华深,蔺娜,等. 辽宁省风能、太阳能资源时空分布特征及其初步区划[J]. 资源科学,2008,30(5):654-661.

[3] 张文佳,张永战. 中国风电的时空分布特征和发展趋势[J]. 自然资源学报,2007,22(4):585-596.

[4] 李艳,王元,储惠芸,等. 中国陆域近地层风能资源的气候变异和下垫面人为改变的影响[J]. 科学通报,2008,53(21):2646-2653.

[5] 施雅风,沈永平,胡汝骥. 西北气候由暖干向暖湿转型的信号、影响和前景初步探讨[J]. 冰川冻土,2002,24(3):219-226.

[6] 张振国. 我国北方风能资源的开发利用现状与前景分析[J]. 山西高等学校社会科学学报,2004,16(2):66-68.

[7] 吴丰林,方创琳. 中国风能资源价值评估与开发阶段划分研究[J]. 自然资源学报,2009,24(8):1412-1421.

[8] 李双双,延军平,万佳. 全球气候变化下秦岭南北气温变化特征[J]. 地理科学,2012,32(7):853-858.

[9] 薛桁,朱瑞兆. 中国风能资源贮量估算[J]. 太阳能学报,2001,22(2):167-170.

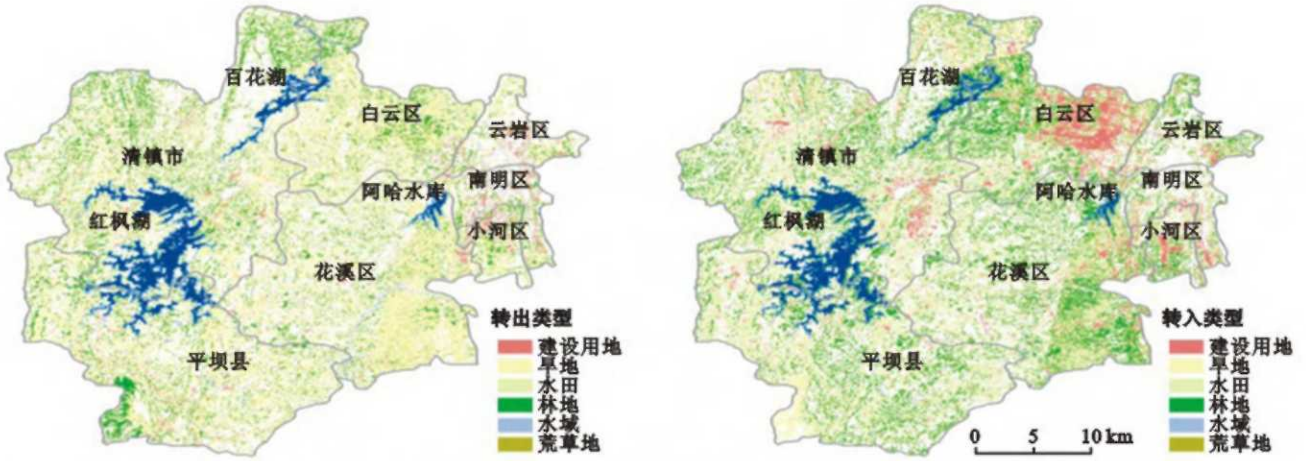
[10] 钱莉,杨永龙,杨晓玲,等. 河西走廊东部风能资源分布特征及开发利用[J]. 气象科技,2009,37(2):198-204.

[11] 张红卫,陈怀亮,张弘. 基于 GIS 的河南省风能资源时空分布及利用[J]. 自然资源学报,2011,26(6):1021-1028.

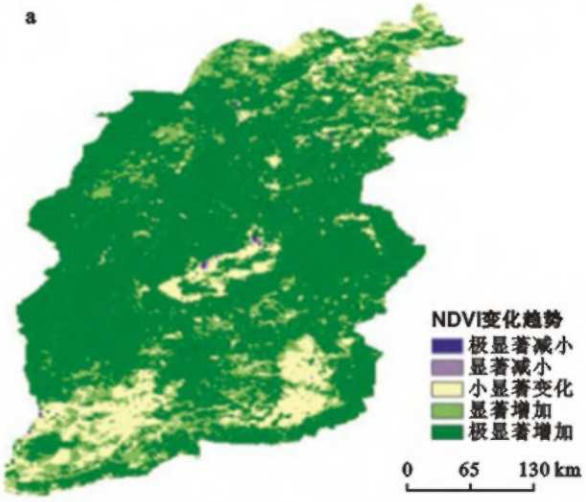
[12] 张涛涛,延军平,李双双,等. 气候变化对晋西北地区风能资源的影响[J]. 干旱气象,2012,30(2):202-206.

[13] 陈娟,李栋梁,王慧,等. 西北地区冬季地面风速特征及其与春夏季地表感热的关系[J]. 干旱区研究,2011,28(4):677-687.

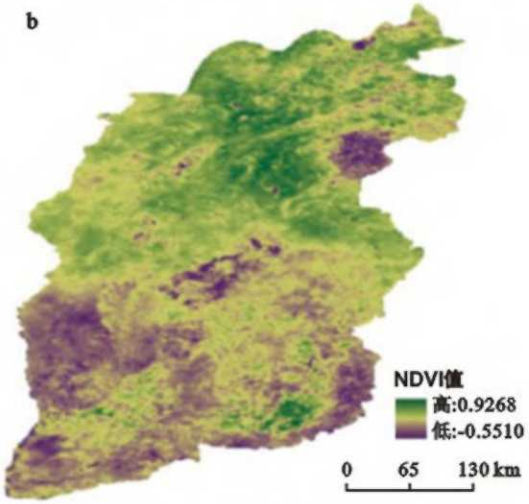
[14] 金巍,任国玉,曲岩,等. 1971—2010 年东北三省平均地面风速变化[J]. 干旱区研究,2012,29(4):648-653.



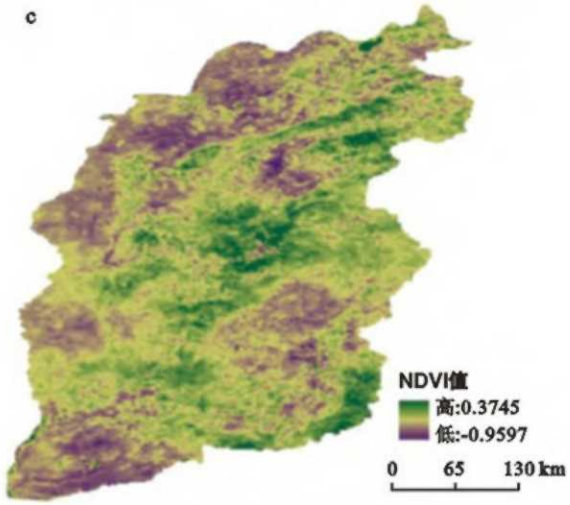
附图6 贵阳市“两湖一库”地区2001—2010年土地流转分析



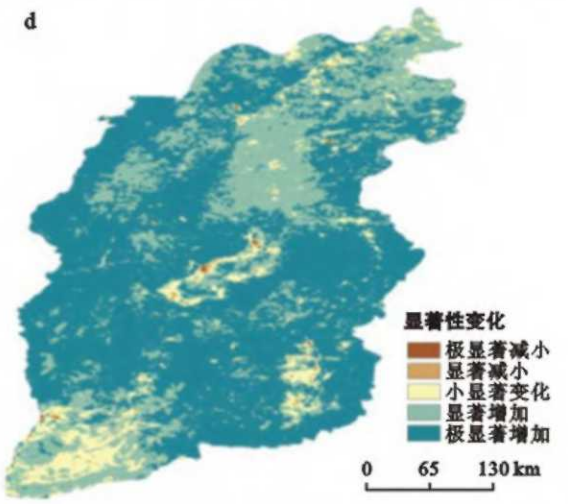
附图7 山西省1999—2010年NDVI变化趋势显著性检验



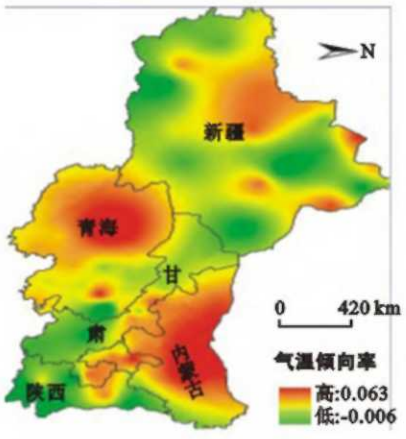
附图8 山西省1999—2010年NDVI与降水的相关系数



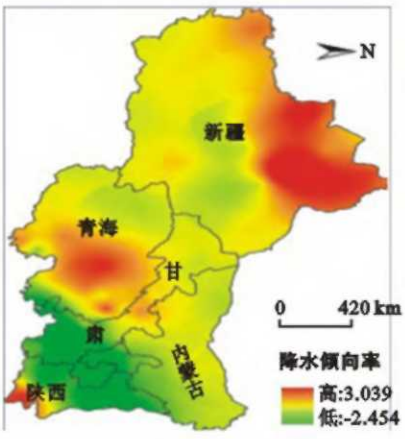
附图9 山西省1999—2010年NDVI与气温的相关系数



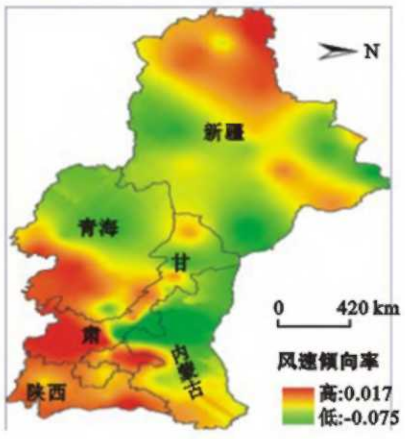
附图10 山西省1999—2010年累积NDVI残差变化趋势显著性检验



附图11 西北地区气温空间变化特征



附图12 西北地区降水空间变化特征



附图13 西北地区平均风速空间变化特征