

宿迁市高低温发生规律及其与土壤湿度关系研究

孙亚卿, 王 纪, 赵梦如, 张冬梅

泗洪县气象局, 江苏 宿迁

收稿日期: 2023年2月22日; 录用日期: 2023年3月24日; 发布日期: 2023年3月31日

摘 要

本文基于2010~2020年站点温度资料, 探究宿迁市高低温的变化规律, 利用趋势分析的方法, 从极端性角度讨论极端高低温的强度、频次的时空分布特征, 并探究高低温与土壤湿度的相关关系及其成因。结果表明, 1) 2010~2020年宿迁市日最高、最低气温均呈增长趋势, 且存在明显的年际变化特征; 2) 宿迁、沭阳极端高温强度较强, 极端低温强度也较强, 气候极端性较好; 泗洪、泗阳则反之。沭阳、泗阳极端高低温日数较少; 宿迁、泗洪极端高低温日数较多。3) 宿迁市夏(冬)季气温与土壤湿度存在明显负(正)相关关系, 当土壤湿度减弱时, 蒸发量减少, 从而导致感热通量增加, 进而导致气温升高。

关键词

宿迁市, 极端高温, 极端低温, 土壤湿度

Study on the Occurrence Law of High and Low Temperature in Suqian City and Its Relationship with Soil Moisture

Yaqing Sun, Ji Wang, Mengru Zhao, Dongmei Zhang

Sihong Meteorological Administration, Suqian Jiangsu

Received: Feb. 22nd, 2023; accepted: Mar. 24th, 2023; published: Mar. 31st, 2023

Abstract

Based on the station temperature data from 2010 to 2020, this paper explores the variation law of high and low temperature in Suqian City, discusses the temporal and spatial distribution charac-

teristics of intensity and frequency of extreme high and low temperature from the perspective of extreme nature by using trend analysis, and explores the correlation between high and low temperature and soil moisture and its causes. The results show that 1) From 2010 to 2020, the daily maximum and minimum temperatures in Suqian City showed an increasing trend, and there were obvious interannual variation characteristics. 2) Suqian and Shuyang have strong extreme high temperature intensity, strong extreme low temperature intensity, and good climate extremes; Sihong and Siyang are the opposite. Shuyang and Siyang have fewer extreme high and low temperature days; Suqian and Sihong have a large number of extreme high and low temperature days. 3) There is an obvious negative (positive) correlation between summer (winter) season temperature and soil moisture in Suqian City, and when soil moisture weakens, the evaporation decreases, resulting in an increase in the sensible heat flux, which in turn leads to an increase in temperature.

Keywords

Suqian City, Extreme Heat, Extreme Low Temperatures, Soil Moisture

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

2013 年政府间气候变化专门委员会(IPCC)第五次评估报告(AR5) [1]指出,自 20 世纪初以来,全球气温有所上升,变暖的气候已被证明会加剧和触发某些极端气候,包括极端高温的强度和频率的增强、极端低温的发生频率的增加等。研究表明,极端气候事件对气候变化的响应大于平均气候[2] [3],相比于平均气候,极端气候事件对自然发展和人类生活具有更重要的作用[4] [5]。

在宿迁市,也存在着类似的变化。宿迁市地处江苏省北部,介于北纬 33°12'17"~34°24'38"、东经 117°6'19"~119°12'50"之间,属于暖温带季风气候区,四季分明,季风盛行,秋冬季盛行东北风,春夏季盛行东南风。然而,近年来频繁发生的灾害性、转折性天气,对宿迁市人民健康、作物产量、露天作业工人的劳动能力和生产力等各方面都有很大的影响[6]。面对极端天气带来的灾害性影响,深入理解其发生发展规律尤为重要,研究宿迁市高低温变化特征及其影响因素对于人民生产生活有重要的现实意义,也为防灾减灾提供理论指导。

作为影响气候变化的重要因素之一,土壤湿度的研究也一直受到关注[7]。其重要性体现在它的变化能够直接影响到地气间水热通量的交换,尤其在内陆地区,土壤湿度作用更显重要[8] [9] [10],然而,由于资料的限制[11],对于宿迁地区土壤湿度与气温的研究还相对较少,本文将基于观测和再分析资料,在前人研究的基础上,进一步讨论宿迁市高低温变化规律及其与土壤湿度间的关系。

2. 数据与方法

2.1. 数据

本论文采用的资料包括: 1) 江苏省气候中心提供的 2010~2020 年宿迁 53 个站点(包含 4 个国家站和 49 个区域站)的逐日最高、最低温度观测资料,站点分布如图 1,时间长度为 2010 年 1 月至 2020 年 12 月; 2) 欧洲中期天气预报中心(ECMWF)的再分析资料(ERA5)的 2 m 气温、土壤湿度、蒸发数据的逐月再分析资料,时间长度为 2010 年 1 月至 2020 年 12 月,空间分辨率为 $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ 。

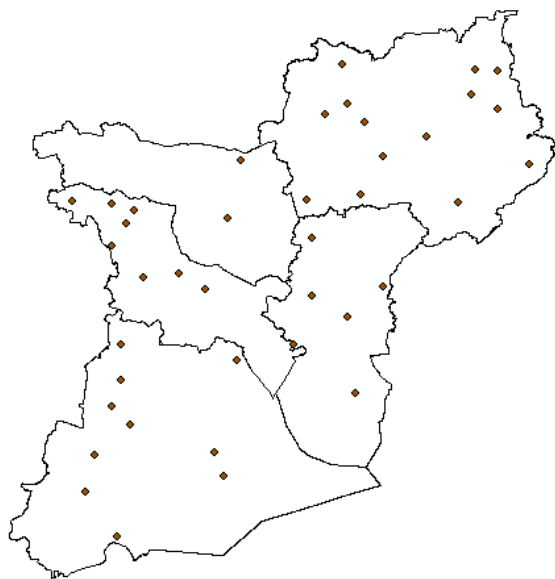


Figure 1. Locations of the stations in this study
图 1. 研究站点分布

2.2. 方法

考虑到不同地区的气候差异性, 本文对于极端高温的定义采用相对定义法。利用四个世界气象组织(WMO)推荐的极端气候指标(表 1), 即 TXx、TX90p、TNn、TN10p 来研究 2010~2020 年宿迁市高低温事件, 分别从高低温的强度和频次方面着手, 具体定义如表 1 所示。

利用局地最高温度的第 90 百分位作为高温阈值, 计算 TX90p 的值: 将各站点 2010~2020 年夏季的日最高(低)温度数据按升序排序, 取第 90 百分位的值为该站点阈值, 单站日最高(低)温度大于或等于该站点的阈值为一次暖昼(夜)事件; 计算 TN10p 的值: 将各站点 2010~2020 年冬季的日最低温度数据按升序排序, 取第 10 百分位的值为该站点阈值, 单站日最低温度大于或等于该站点的阈值为一次冷夜事件。

概率密度函数的计算方式: $X^{\circ}\text{C}$ 的 PDF 值为 P , 则代表中国夏季最高温度位于 $X^{\circ}\text{C}\sim(X+1)^{\circ}\text{C}$ 之间的发生概率为 P 。

下文中, 春季为 3~5 月, 夏季为 6~8 月, 秋季为 9~11 月, 冬季为 12 月至次年 2 月。

Table 1. Extreme high and low temperature indicators
表 1. 极端高低温指标

代码	名称	定义	单位
TXx	最高温度	夏季日最高气温的最大值	$^{\circ}\text{C}$
TX90p	暖昼日数	日最高气温(TX) > 90%分位数的日数	天
TNn	最低温度	冬季日最低气温的最小值	$^{\circ}\text{C}$
TN10p	冷夜日数	日最低气温(TN) < 10%分位数的日数	天

3. 宿迁市极端高低温事件的时空变化特征

3.1. 宿迁市夏季高温分布概况

为系统性概括宿迁市高温分布形势, 首先给出宿迁市日最高温度年平均值的变化序列(图 2), 科研看

出, 宿迁市四个国家站的日最高气温近年来总体呈增长趋势, 气候倾向率分别为宿迁: 0.141、泗阳: 0.161、泗洪: 0.131、沭阳: 0.100。宿迁、泗阳温度升高较明显, 从季节分布(图 3)来看, 日最高温度宿迁、泗阳也相对较高, 泗洪、沭阳相对偏低。

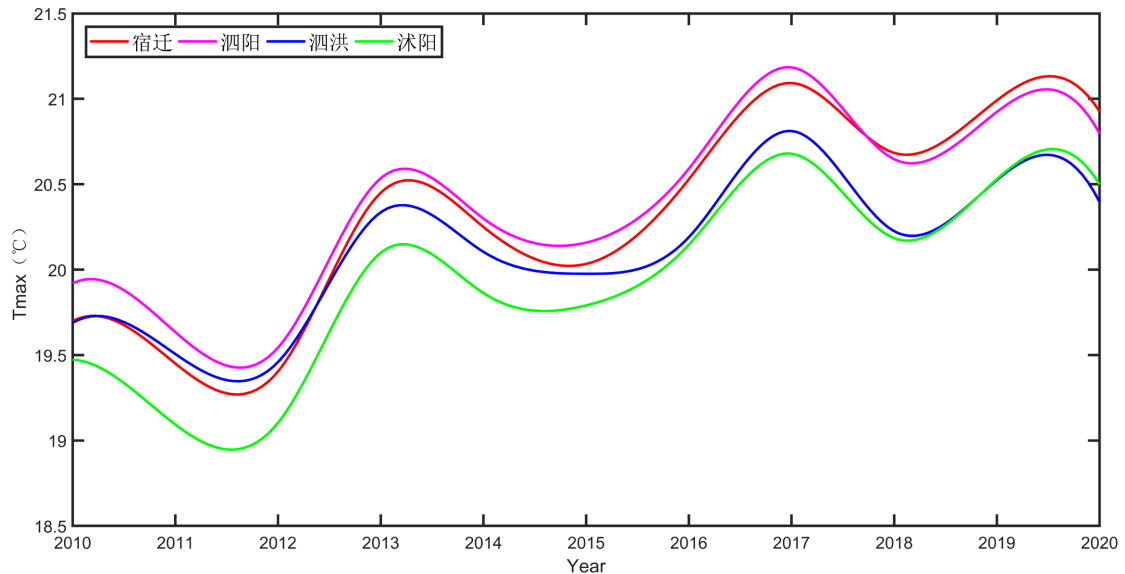


Figure 2. Annual average change series of daily maximum temperature in Suqian City from 2010 to 2020

图 2. 2010~2020 年宿迁市日最高温度年平均变化序列

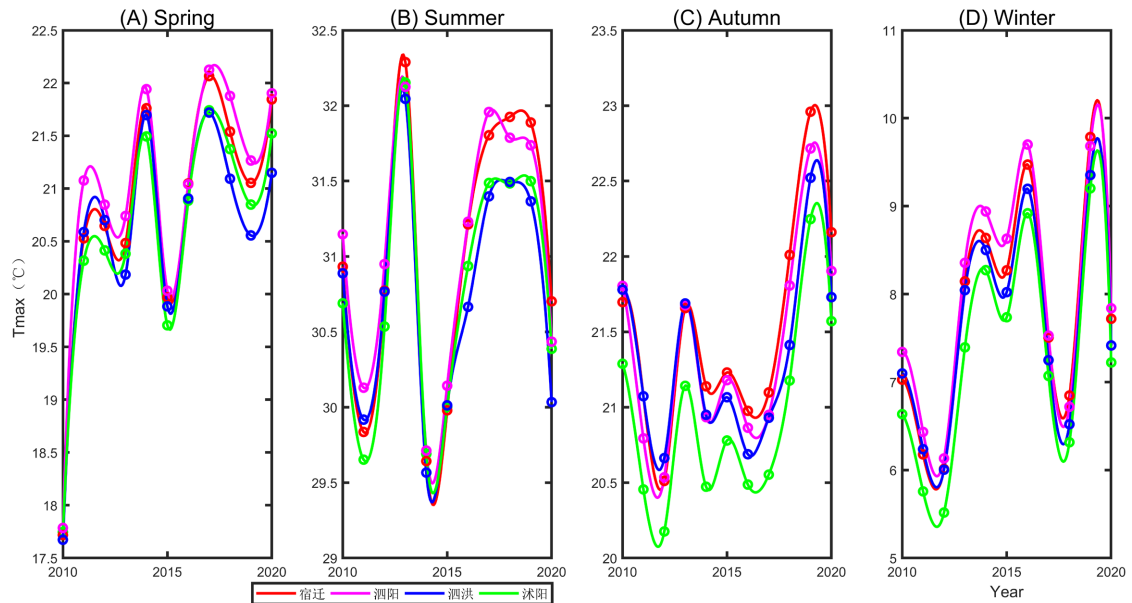


Figure 3. Seasonal variation of maximum daily temperature in Suqian City from 2010 to 2020

图 3. 2010~2020 年宿迁市日最高温度季节变化图

图 4 给出了四个国家站日最高温度概率密度函数分析结果。如图所示, 泗阳、泗洪 $-5^{\circ}\text{C}\sim 7^{\circ}\text{C}$ 低温偏少; 宿迁站 $14^{\circ}\text{C}\sim 25^{\circ}\text{C}$ 波动明显; 泗阳、沭阳 $30^{\circ}\text{C}\sim 35^{\circ}\text{C}$ 的高温日数偏多; 总体而言, 沭阳县日最高温度与宿迁市总体分布较为一致; 宿迁站春秋季节日最高温度较不稳定; 泗洪县低温偏少; 泗阳县高温偏多。

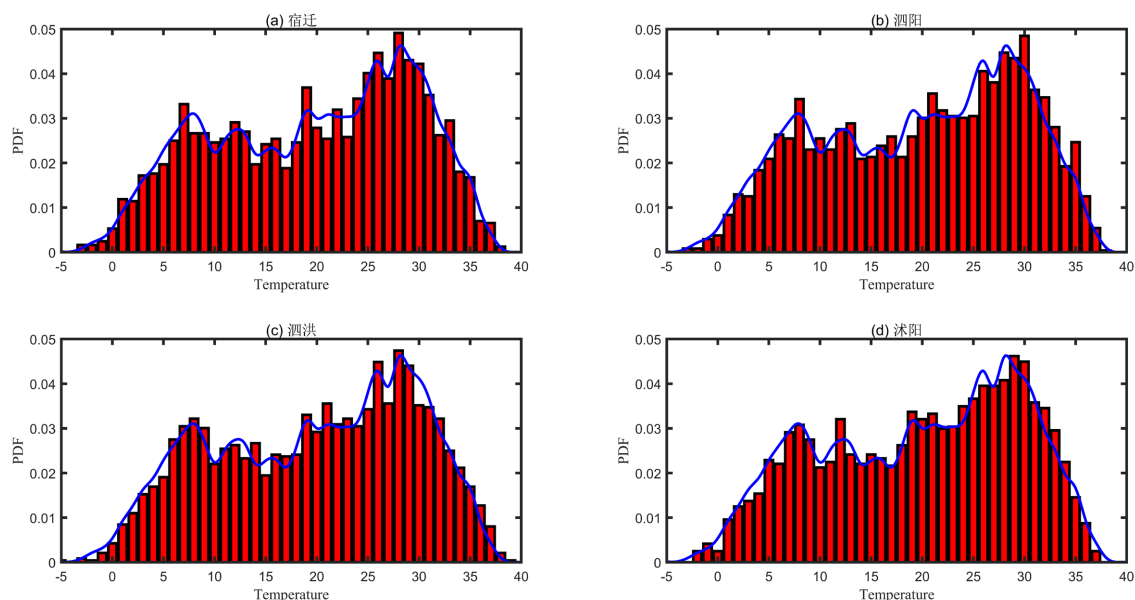


Figure 4. Change of daily maximum temperature probability density function in Suqian City from 2010 to 2020 (blue curve shows the distribution of overall probability density function in Suqian City)

图 4. 2010~2020 年宿迁市日最高温度概率密度函数变化图(蓝色曲线为宿迁全市总体概率密度函数分布)

3.2. 宿迁市夏季极端高温的时空分布特征

根据 2010~2020 年夏季日最高气温计算宿迁市一区三县的 TXx 和 TX90p, 去除其气候态和年代际信号后, 得出一区三县高温强度和频次的年际变化特征(如图 5 所示)。以 ± 1 个标准差作为阈值, 可以看出, 近十年宿迁市存在明显的年际变化特征, 在 2013 年高温发生频次较多, 2012、2015 年频次较少; 而在 2014、2017 年高温强度较强, 2015 年高温强度偏弱。

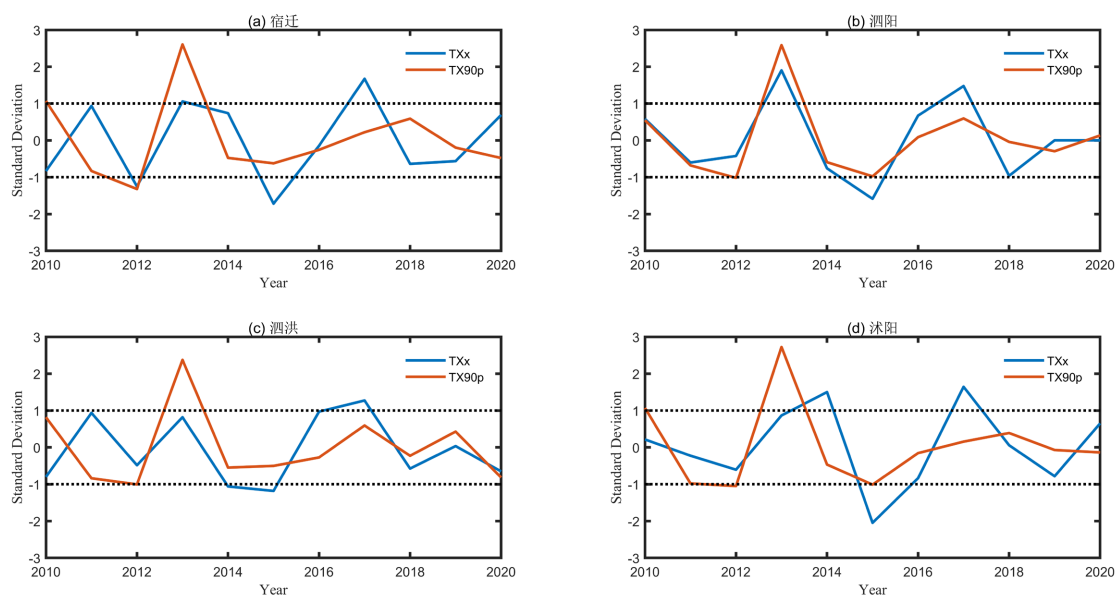


Figure 5. Interannual variation results of TXx and TX90p in the first district and three counties of Suqian City from 2010 to 2020

图 5. 2010~2020 年宿迁市一区三县的 TXx、TX90p 的年际变化结果

为进一步探究宿迁市极端高温强度和频次的空间分布特征，对宿迁市资料完整的 53 个站点的 TXx 、 $tx90p$ 指数进行计算，分布结果如图 6 所示。如图所示，从极端高温强度而言，宿豫南和宿城东部存在明显的大值区，其他地区极端高温强度较为均匀；而从极端高温频次来看，宿迁市自北向南呈明显递增趋势，泗洪县极端高温频次较沭阳年均偏高 3~4 日。

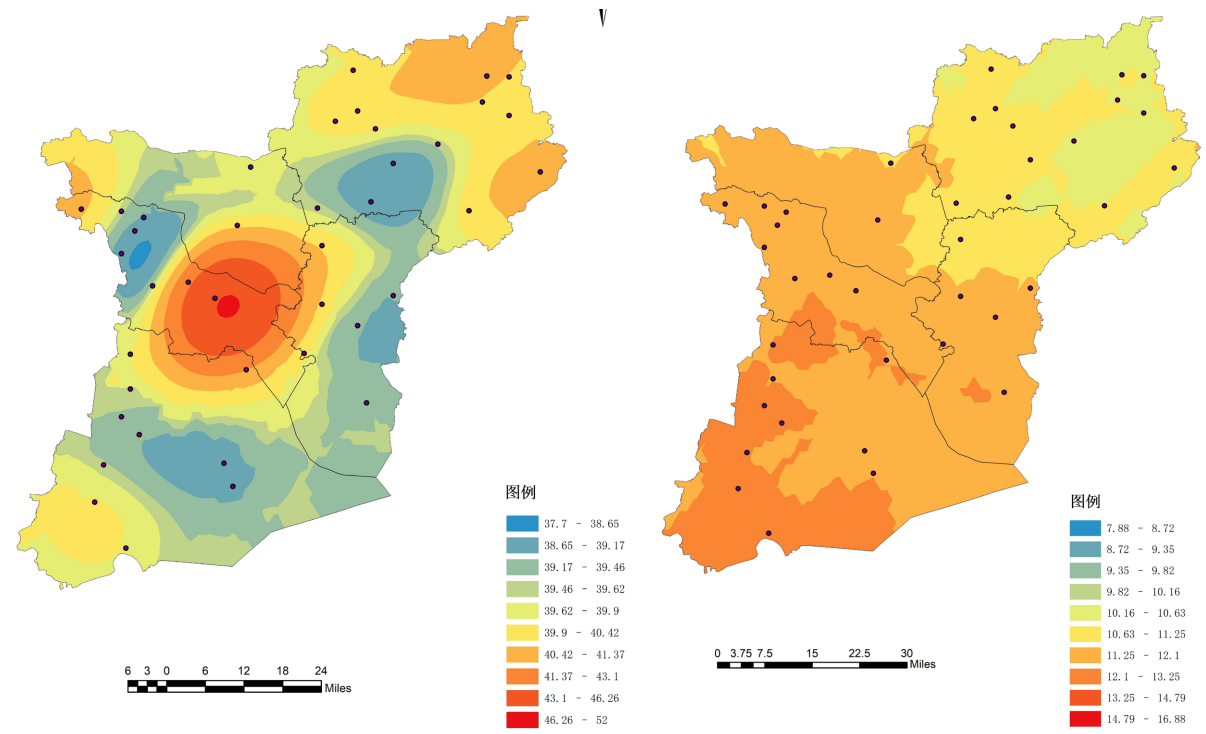


Figure 6. Spatial distribution of TXx (left) and $TX90p$ (right) at each station in Suqian City
图 6. 宿迁市各站点 TXx (左)、 $TX90p$ (右)的空间分布

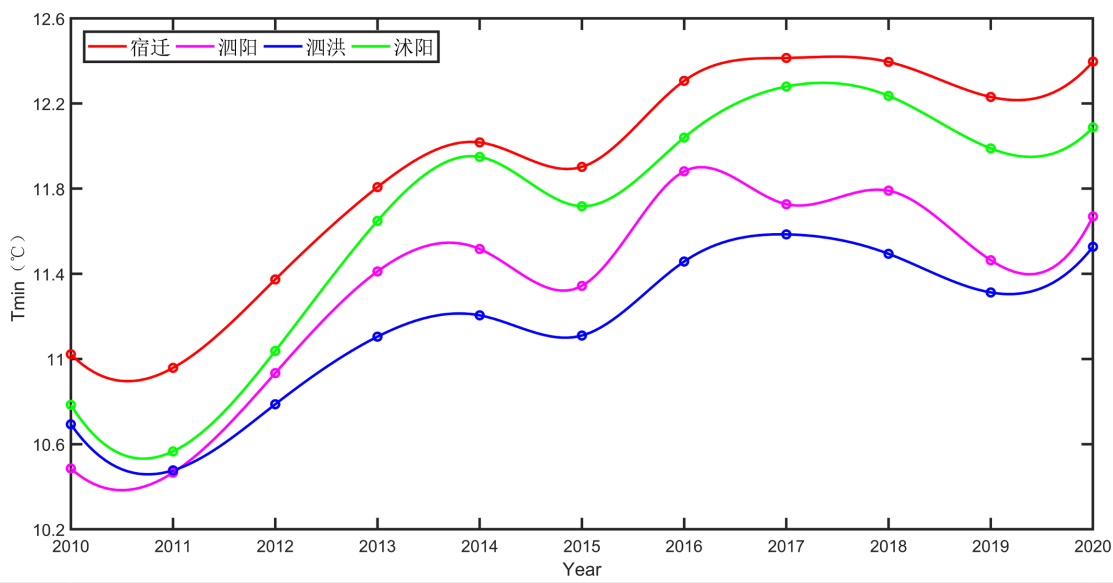


Figure 7. Annual average change series of daily minimum temperature in Suqian City from 2010 to 2020
图 7. 2010~2020 年宿迁市日最低温度年平均值变化序列

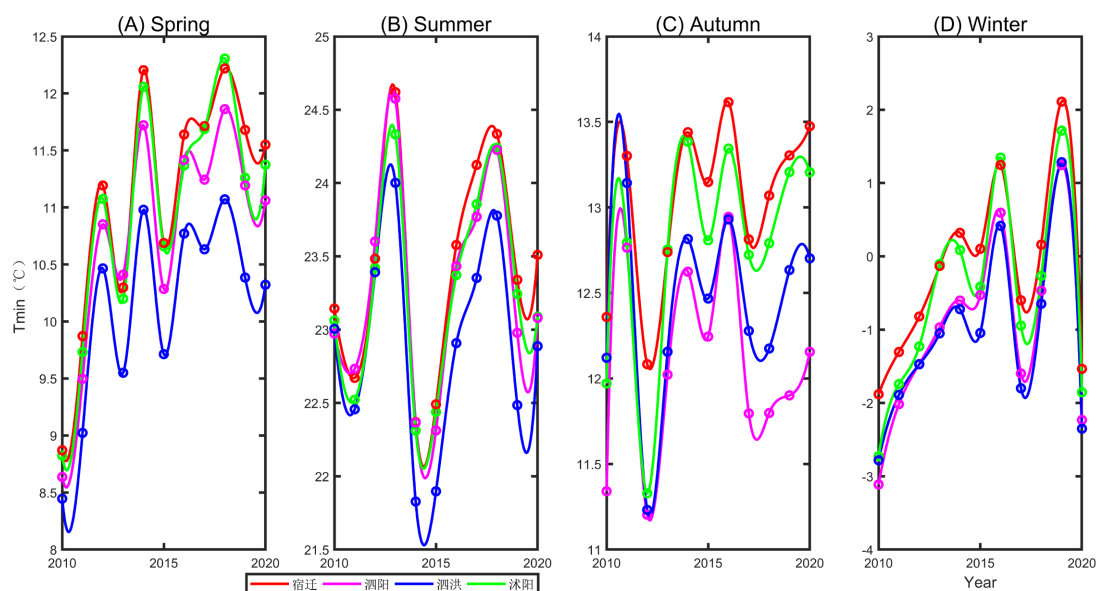


Figure 8. Seasonal variation of daily minimum temperature in Suqian City from 2010 to 2020

图 8. 2010~2020 年宿迁市日最低温度季节变化图

3.3. 宿迁市冬季低温分布概况

图 7、图 8 分别为近十年宿迁市日最低温度年平均值变化序列及其四季变化图。与日最高温度结果相似，日最低气温也呈现出明显的增长趋势，其气候倾向率分别为宿迁：0.156、泗阳：0.150、泗洪：0.122、沭阳：0.099，而从季节分布来看，宿迁、沭阳的日最低温度较高在四季均较高。

从最低气温的概率密度分布结果(图 9)来看，宿迁站日最低温度与宿迁市总体分布较为一致；泗阳、泗洪县春秋季节日最低温度波动较大；泗阳县低温偏少；沭阳县高温偏少。

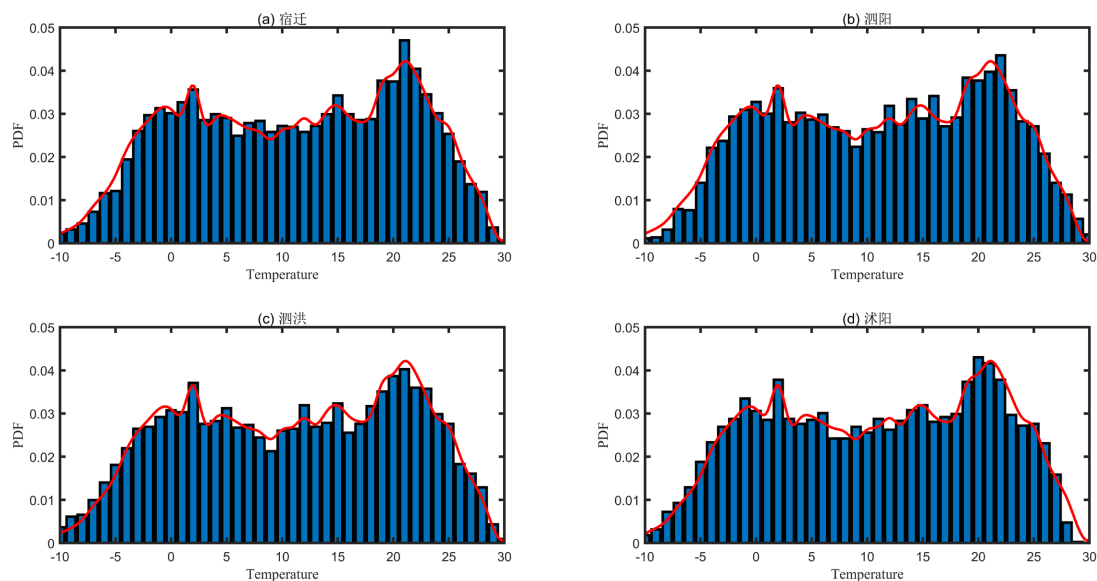


Figure 9. Change of daily minimum temperature probability density function in Suqian City from 2010 to 2020 (blue curve shows the distribution of overall probability density function in Suqian City)

图 9. 2010~2020 年宿迁市日最低温度概率密度函数变化图(蓝色曲线为宿迁全市总体概率密度函数分布)

3.4. 宿迁市冬季极端低温的时空分布特征

从极端低温的年际变化特征(图 10)来看,在 2018 年极端低温发生频次较多;2014、2016 年极端低温强度较强,2015 年极端低温强度偏弱,这与极端高温的分布结果较为一致。

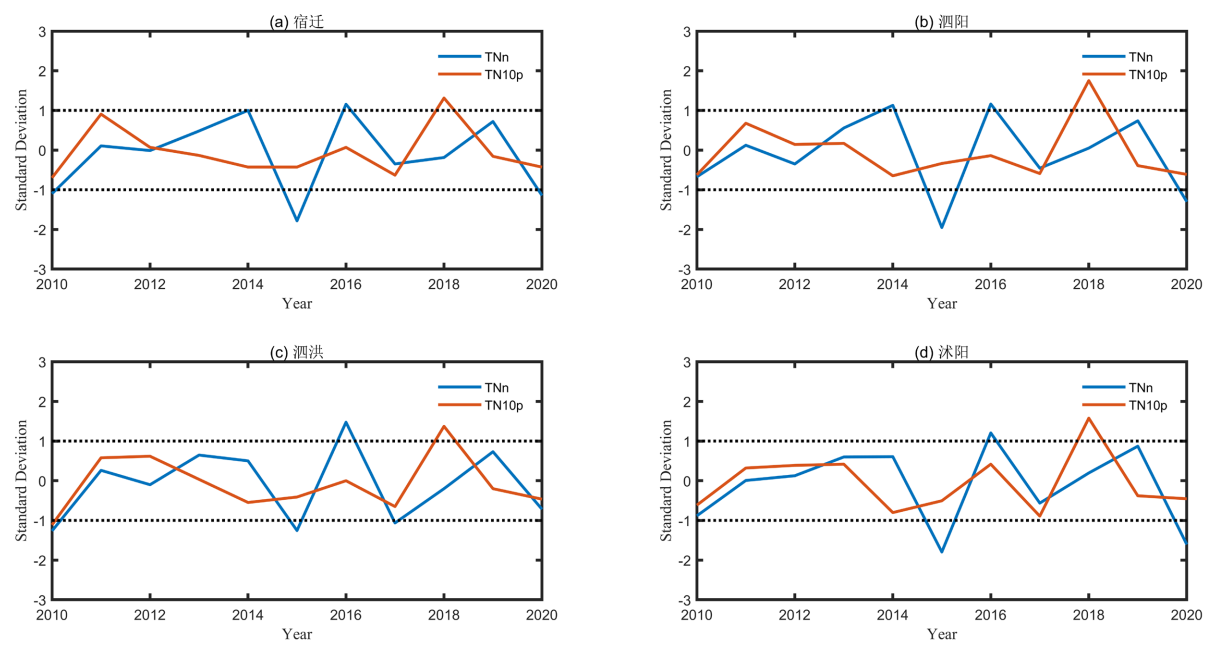


Figure 10. Interannual variation of TNn and TN10p in Suqian City from 2010 to 2020

图 10. 2010~2020 年宿迁市一区三县的 TNn、TN10p 的年际变化结果

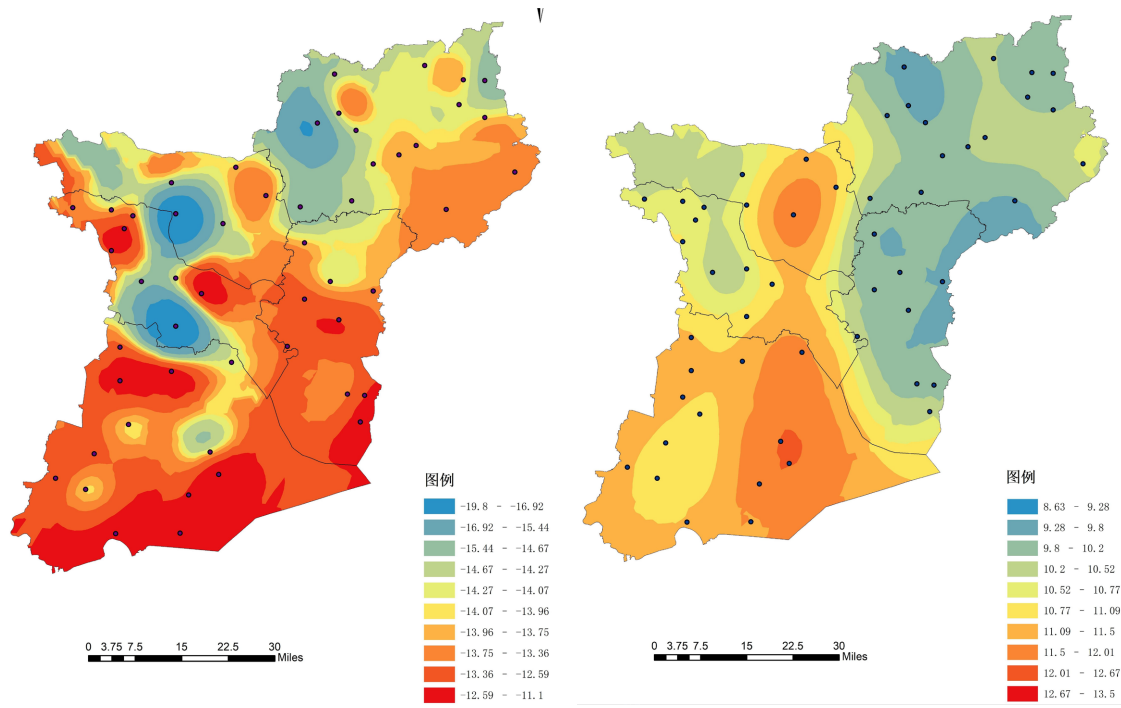


Figure 11. Spatial distribution of TNn (left) and TN10p (right) at each station in Suqian City

图 11. 宿迁市各站点 TNn (左)、TN10p (右)的空间分布

图 11 给出了宿迁市极端低温的空间分布结果。从极端低温强度来看, 宿迁市区和沭阳县西部地区低温明显较强, 泗阳、泗洪相对较弱; 从极端低温频次来看, 宿迁市自北向南、自东向西呈明显递增趋势, 市内极端低温频次极大差值在 4~5 日左右。

4. 宿迁市高低温与土壤湿度的关系

前人的研究表明, 土壤湿度对近地表气候的变化有重要的作用, 针对宿迁地区此项研究还相对较少, 因此, 下文我们将讨论土壤湿度与 2 m 气温的变化关系。首先对日最高温度的发生时间进行统计, 如图 12 所示, 可以看出, 日最高温度发生时次通常发生在下午 14 时至 15 时之间, 日最低温度通常发生在凌晨 05 时至 06 时之间。

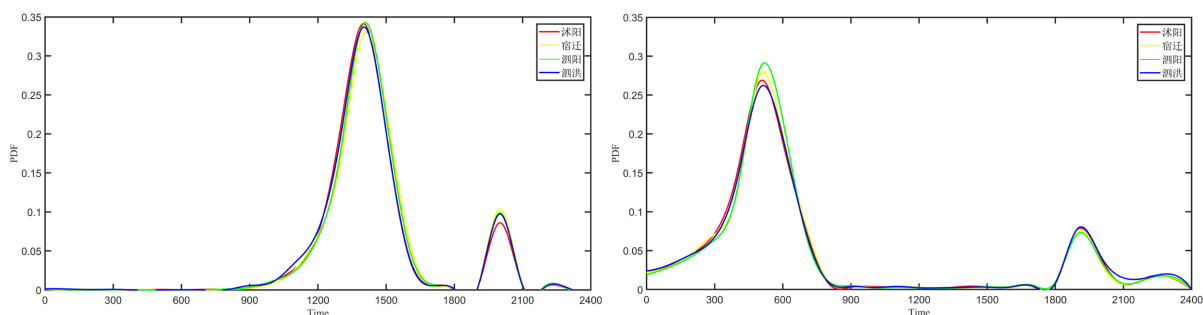
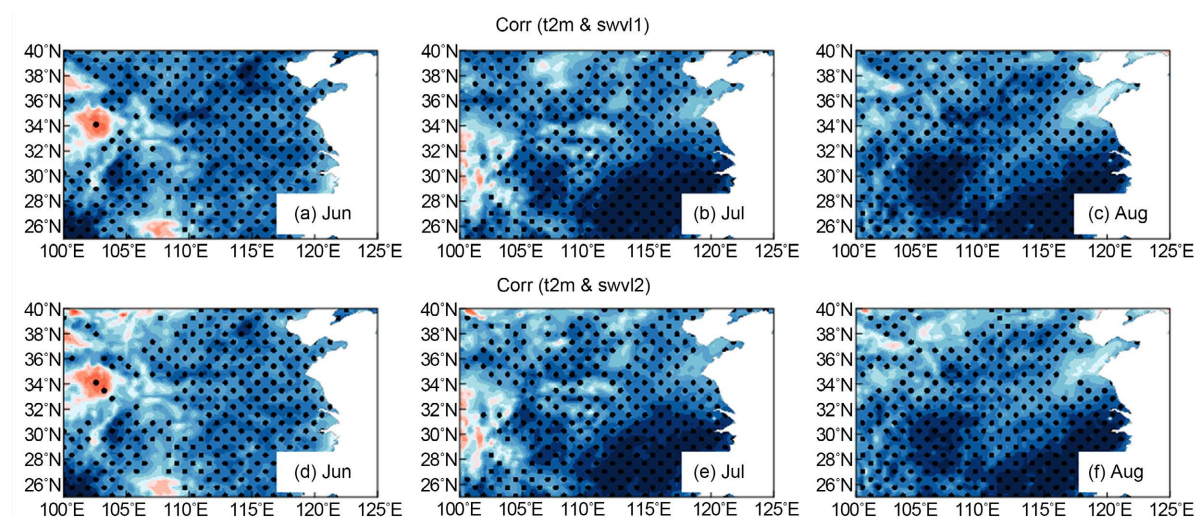


Figure 12. Probability density distribution of the occurrence of the highest (left) and lowest (right) daily temperature in Suqian City

图 12. 宿迁市一区三县日最高(左)、最低(右)温度发生时次的概率密度分布

为进一步探究最高(低)温度与土壤湿度之间的关系, 分别将夏季 2010~2020 年 6、7、8 月 14 时气温与同时次四层土壤湿度分别进行相关分析, 其中地表为 0 cm: 第 1 层: 0~7 cm, 第 2 层: 7~28 cm, 第 3 层: 28~100 cm, 第 4 层: 100~289 cm。

如图 13 所示, 图(a)~(c)、(d)和(e)、(h)~(j)、(k)~(m)分别为 2 米气温和四层土壤湿度的相关系数分布图, 结果表明, 夏季气温和土壤湿度存在明显负相关关系, 其相关关系 6 月最为明显, 7 月次之, 8 月较弱, 气温与浅层土壤负相关显著, 土壤湿度越高, 温度越低, 随着土壤深度增加, 其负相关关系减弱, 100 cm 以上深度土壤温度与气温相关性不明显。反之, 在冬季, 气温与土壤温度存在正相关关系, 此处不再赘述。



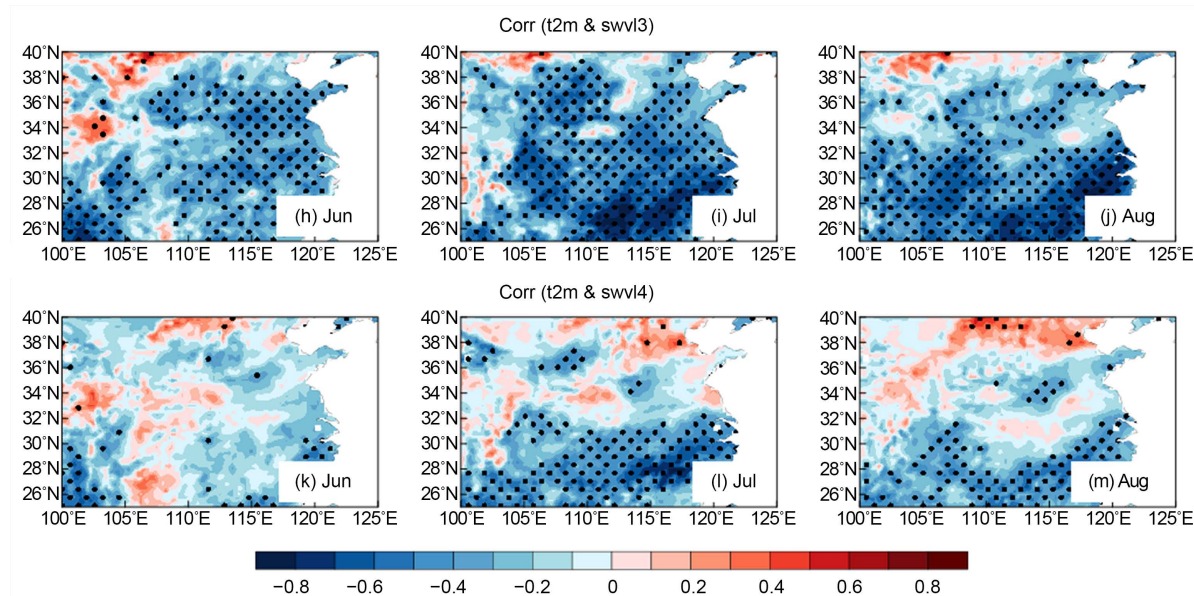


Figure 13. Distribution of correlation coefficients between temperature and soil moisture in four layers at 14 o'clock in summer (the dot area passed the 95% significance test)

图 13. 夏季 14 时气温和四层土壤湿度的相关系数分布图(打点区域通过 95%显著性检验)

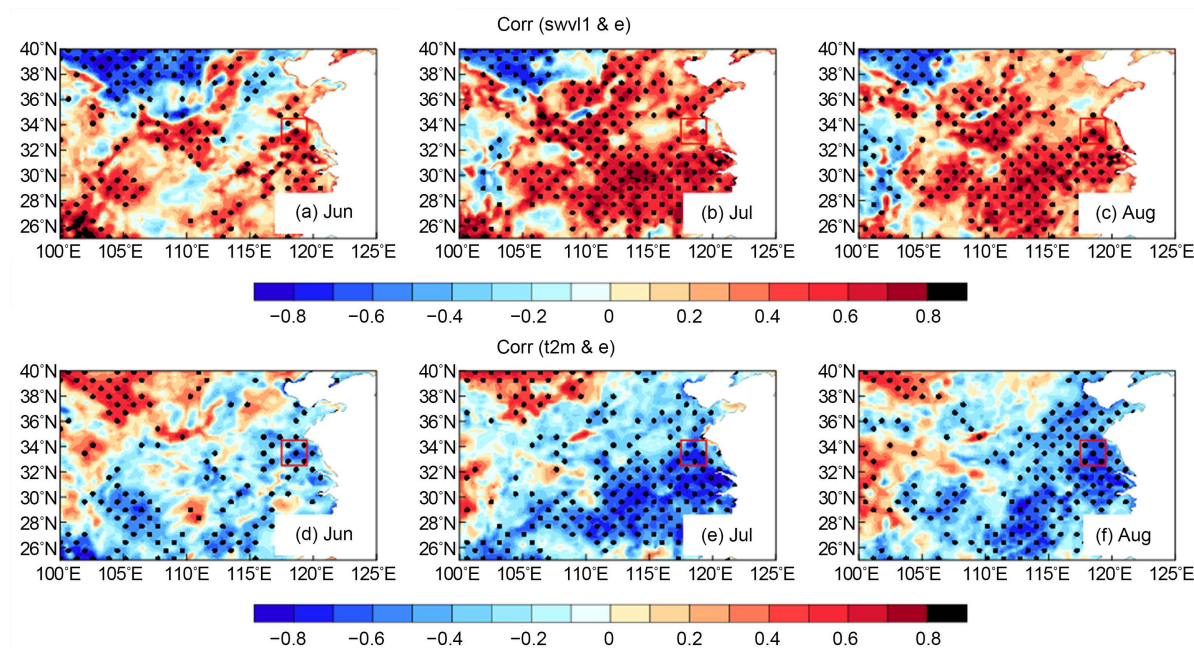


Figure 14. (a)~(c) represents the correlation coefficient distribution of soil moisture and evaporation at 14 hours in June, July and August, respectively, and (d)~(f) represents the correlation coefficient distribution of temperature and evaporation at 2 meters at 14 hours in June, July and August (the dot area passed the 95% significance test)

图 14. (a)~(c)分别为 6、7、8 月 14 时土壤湿度和蒸发的相关系数分布图, (d)~(f)分别为 6、7、8 月 14 时 2 米气温和蒸发的相关系数分布图(打点区域通过 95%显著性检验)

关于土壤湿度对气温的影响机制,前人的分析表明[9],两种之间的媒介主要为蒸发(散),图 14(a)~(c)以浅层土壤湿度为例,探究其与蒸发量的相关关系。结果表明,土壤湿度与蒸发存在明显的正相关,当土壤湿度降低时,蒸发量亦会降低,反之,土壤湿度增加也会导致蒸发增强;而当蒸发增强时,温度则

会降低(图 14(d)~(f)),这与前人的研究一致。这与蒸发和感热通量间的联系有关,当蒸发减少,感热通量增加,进而导致温度升高。

5. 总结与讨论

基于 2010~2020 年站点温度资料和再分析数据,利用趋势分析、相关分析等方法分析了宿迁市高低温的变化规律,从极端性角度讨论宿迁市高低温的强度、频次的时空分布特征,并探究高低温与土壤湿度的相关关系及其成因。结论如下:

- 1) 2010~2020 年宿迁市日最高、最低气温均呈增长趋势,且存在明显的年际变化特征。
- 2) 从极端高低温强度的空间特性来看,泗洪、泗阳县极端高温强度较弱,极端低温强度也较弱,气候极端性较差;宿迁、沭阳则反之。从极端高低温发生频次的角度来看,沭阳、泗阳极端高低温日数较少;宿迁、泗洪极端高低温日数较多。
- 3) 宿迁市夏(冬)季气温与土壤湿度存在明显负(正)相关关系,当土壤湿度减弱时,蒸发量减少,从而导致感热通量增加,进而导致气温升高。

参考文献

- [1] IPCC (2013) Climate Change 2013: The Physical Science Basis: The Summary for Policymakers of the Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report. Cambridge University Press, Cambridge.
- [2] Easterling, D.R., Meehl, G.A., Parmesan, C., Changnon, S.A., Karl, T.R. and Mearns, L.O. (2000) Climate Extremes: Observations, Modeling, and Impacts. *Science*, **289**, 2068-2074. <https://doi.org/10.1126/science.289.5487.2068>
- [3] Aguilar, E., Aziz Barry, A., Brunet, M., Ekang, L., Fernandes, A., Massoukina, M., et al. (2009) Changes in Temperature and Precipitation Extremes in Western Central Africa, Guinea Conakry, and Zimbabwe, 1955-2006. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, **114**, 1-11. <https://doi.org/10.1029/2008JD011010>
- [4] Katz, R.W. and Brown, B.G. (1992) Extreme Events in a Changing Climate: Variability Is More Important than Averages. *Climatic Change*, **21**, 289-302. <https://doi.org/10.1007/BF00139728>
- [5] Sun, Y., Hu, T. and Zhang, X. (2018) Substantial Increase in Heat Wave Risks in China in a Future Warmer World. *Earth's Future*, **6**, 1528-1538. <https://doi.org/10.1029/2018EF000963>
- [6] Meehl, G.A. and Tebaldi, C. (2004) More Intense, More Frequent, and Longer Lasting Heat Waves in the 21st Century. *Science*, **305**, 994-997. <https://doi.org/10.1126/science.1098704>
- [7] 马柱国, 符淙斌, 谢力, 等. 土壤湿度和气候变化关系研究中的某些问题[J]. 地球科学进展, 2001, 16(4): 563-568.
- [8] Diffenbaugh, N.S., Pal, J.S., Giorgi, F. and Gao, X. (2007) Heat Stress Intensification in the Mediterranean Climate Change Hotspot. *Geophysical Research Letters*, **34**, 1-6. <https://doi.org/10.1029/2007GL030000>
- [9] Seneviratne, S.I., Lüthi, D., Litschi, M. and Schär, C. (2006) Land-Atmosphere Coupling and Climate Change in Europe. *Nature*, **443**, 205-209. <https://doi.org/10.1038/nature05095>
- [10] Zhang, J., Wang, W.C. and Wu, L. (2009) Land-Atmosphere Coupling and Diurnal Temperature Range over the Contiguous United States. *Geophysical Research Letters*, **36**, L06706. <https://doi.org/10.1029/2009GL037505>
- [11] 马思源, 朱克云, 李明星, 等. 中国区域多源土壤湿度数据的比较研究[J]. 气候与环境研究, 2016, 21(2): 121-133.