

# 1971 – 2010 年河南省夏季高温日数的变化趋势分析\*

姬兴杰, 朱业玉, 顾万龙, 潘 攀, 竹磊磊

(河南省气候中心, 河南 郑州 450003)

**摘 要:** 基于河南省 109 个气象站 1971 – 2010 年夏季(6 – 8 月)逐日最高气温和平均气温资料, 采用气候统计学分析方法, 分析了近 40 年河南省夏季 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 、 $\geq 38^{\circ}\text{C}$ 和 $\geq 40^{\circ}\text{C}$ 高温日数的时空特征及可能的变化趋势。结果表明: 1971 – 2010 年河南省夏季 3 个等级高温日数在空间上呈现出豫西北高海拔和豫东南低海拔地区较多, 其它地区较少的分布特征, 高值中心位于豫西地区的偃师附近, 在时间上无显著的线性变化趋势, 但是在年代间呈现出“多 – 少 – 多”的变化特征, 最近 10 年夏季高温日数最多; 从各台站趋势变化的空间分布看, 豫西北海拔较高地区台站呈增加趋势的较多, 豫东和豫西南台站呈减少趋势的较多。夏季平均气温和 $\geq 35^{\circ}\text{C}$  ( $r=0.58$ ,  $n=4\ 360$ )、 $\geq 38^{\circ}\text{C}$  ( $r=0.39$ ,  $n=4\ 360$ )以及 $\geq 40^{\circ}\text{C}$  ( $r=0.27$ ,  $n=4\ 360$ )高温日数均呈显著正相关。在全球气候变暖背景下, 未来河南省高温日数将可能进一步增加, 特别是 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 的高温日数。

**关键词:** 高温日数; 变化趋势; 河南省

**中图分类号:** X4      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1000 – 811X(2012)03 – 0059 – 06

近 100 年来, 全球气候正经历着一次以变暖为主要特征的显著变化<sup>[1]</sup>, 而中国的升温幅度要略高于全球同期平均值<sup>[2]</sup>。在全球气候变暖背景下, 与气温有关的极端天气事件发生频繁, 并在未来呈现出增加的趋势<sup>[3–4]</sup>。极端最高气温作为极端气候事件的一种, 近年来不少学者对高温日数的时间变化趋势和空间分布进行了分析研究。苗爱梅等<sup>[5]</sup>利用 1958 – 2008 年山西 109 站的最高气温资料, 研究了山西省高温日的时空分布及变化趋势; 常军等<sup>[6]</sup>利用经验正交函数分析了河南省夏季 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 高温日数的时空特征, 并分析了典型高温下的环流型; 张书娟等<sup>[7]</sup>借助 ArcGIS 地统计分析和栅格重分类工具开展华东地区高温灾害危险性评估与分区研究; 对于趋势变化, Gruaz 等<sup>[8]</sup>研究指出俄罗斯的极端高温天数随时间增加呈显著增加; 马柱国等<sup>[9]</sup>认为在中国北方在 1990 年代之前, 绝大多数地区年际间最高温度发生的频率没有显著变化趋势, 但近 10 年来却有明显的增加趋势; 从整体上看, 中国 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 高温日数呈微弱的下降趋势, 在华东高温日数呈下降, 而华北地区趋于增多<sup>[10–11]</sup>; 高荣等<sup>[12]</sup>研究认为 1956 – 2006 年我国高温日数呈现“增加 – 减少 – 增加”的特征, 华北地区在 1980 年代末开始增加; 龚道溢等<sup>[13]</sup>研究指出华北农牧交错带夏季异常高温事件的频次自 1997 年以来增加显著; 施洪波等<sup>[14]</sup>研究认为 1960 – 2008 年京津冀夏季高温日数在时间上呈现出“多 – 少 – 多”的年代际变化特征; 范碧航等<sup>[15]</sup>以长春

市为例对城市高温灾害性天气进行了研究。以上研究多是针对 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 高温日数<sup>[6–7, 10–15]</sup>, 而涉及 $\geq 38^{\circ}\text{C}$ 和 $\geq 40^{\circ}\text{C}$ 的高温日数的研究相对较少<sup>[5]</sup>。河南省地处中国中东部内陆地区, 受地理位置、地形和东亚季风的共同影响, 有着大陆性气候的鲜明特色, 具有四季气候明显各异、气候类型复杂多样、气象灾害频繁等特点。本文以河南省 109 个气象台站逐日最高气温资料为基础, 对 1971 – 2010 年河南省不同夏季高温日数的时空特征及变化趋势进行分析, 以期对河南省防灾减灾以及高温气象灾害风险区域划分提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究资料

本文所用资料来源于河南省气候中心, 包括逐日平均气温和最高气温, 时间序列为 1971 – 2010 年, 站点数共 109 个, 站点分布均匀, 覆盖整个河南省。

### 1.2 研究方法

我国将日最高气温 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 、 $\geq 38^{\circ}\text{C}$ 和 $\geq 40^{\circ}\text{C}$ 的高温日分别定义为高温、危害性高温和强危害性高温日, 本研究据此分别计算 3 个等级的各站逐年夏季高温日数, 并采用统计分析方法, 求取各站逐年夏季日最高气温的标准差。文中取 1971 – 2010 年平均作为气候值。

\* 收稿日期: 2011 – 12 – 22      修回日期: 2012 – 02 – 06

基金项目: 河南省气象局科研项目“河南省气象灾害风险区划研究”(Z201105)

作者简介: 姬兴杰(1982 –), 河南商丘人, 博士, 工程师, 主要从事气候变化与气象灾害研究. E-mail: jixingjie2004@yahoo.com.cn

采用气候倾向率来表征各指标的趋势变化<sup>[16]</sup>, 气候倾向率利用一元线性回归方程  $y = a + bt$  求得, 其中,  $t$  为年份 ( $t = 1, 2, \dots, n$  年, 记 1971 年为 1 年),  $a$  为回归常数,  $b$  为随时间的变化量, 其正负分别表示增加和减少, 以  $b$  的 10 倍作为各指标的气候倾向率。在分析河南省各指标的总体变化趋势时, 把不同站点相同年份的各指标进行简单算术平均得到河南省在这一年的平均值, 然后进行时间变化趋势的回归分析, 并进行显著性检验, 概率水平为  $P < 0.05$  和  $P < 0.01$ , 分别表示达到显著水平和极显著水平。区域分布特征分析主要基于 ArcGIS 的空间分析功能进行。

## 2 结果与分析

### 2.1 河南省极端最高气温和夏季高温日数的空间分布

从 1971–2010 年河南省极端最高气温的空间分布可以看出(图 1), 近 40 年河南省日最高气温极大值中心有 2 个, 一个位于平顶山的郏县站, 近 40 年日最高气温极大值为  $43.7^{\circ}\text{C}$ , 为 1972 年 6

月 11 日, 一个位于焦作站, 近 40 年气温最高达  $43.5^{\circ}\text{C}$ , 为 2009 年 6 月 25 日, 从区域上看, 极大值高于  $43^{\circ}\text{C}$  的站点主要分布在焦作和平顶山地区。除河南省南部信阳地区日最高气温极大值多介于  $38.7 - 40.0^{\circ}\text{C}$  外, 其他大部分地区极端最高气温高于  $40^{\circ}\text{C}$ , 其中  $33^{\circ}\text{N}$  以北地区达  $41^{\circ}\text{C}$  以上。

近 40 年河南省夏季  $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 、 $\geq 38^{\circ}\text{C}$  和  $\geq 40^{\circ}\text{C}$  高温日数呈现出豫西北高海拔地区和豫东南低海拔地区较多的分布特点(图 1),  $33^{\circ}\text{N}$  以北地区多年平均的高温日数较多, 分别在 10.0 d、0.5 d 和 0.1 d 以上, 最高值分别为 21.2 d、4.3 d 和 0.7 d, 而南部信阳地区的高温日数较少, 多在 10.0 d、0.5 d 和 0.1 d 以下, 最低值分别为 7.6 d、0.2 d 和 0 d。 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 、 $\geq 38^{\circ}\text{C}$  和  $\geq 40^{\circ}\text{C}$  高温日数多年平均高温日数的高值中心均位于豫西地区的偃师附近, 高温日数最多, 多年平均分别为 21.2 d、4.3 d 和 0.7 d, 其中,  $\geq 35^{\circ}\text{C}$  高温日数其次为三门峡的灵宝站, 有 18.2 d, 与偃师同属洛阳地区的伊川站有 18.0 d;  $\geq 38^{\circ}\text{C}$  高温日数其次为沁阳站, 有 3.3 d, 与沁阳同属焦作地区的孟州站有 3.2 d;  $\geq 40^{\circ}\text{C}$  高温日数其次为孟州和济源站, 均有 0.6 d。

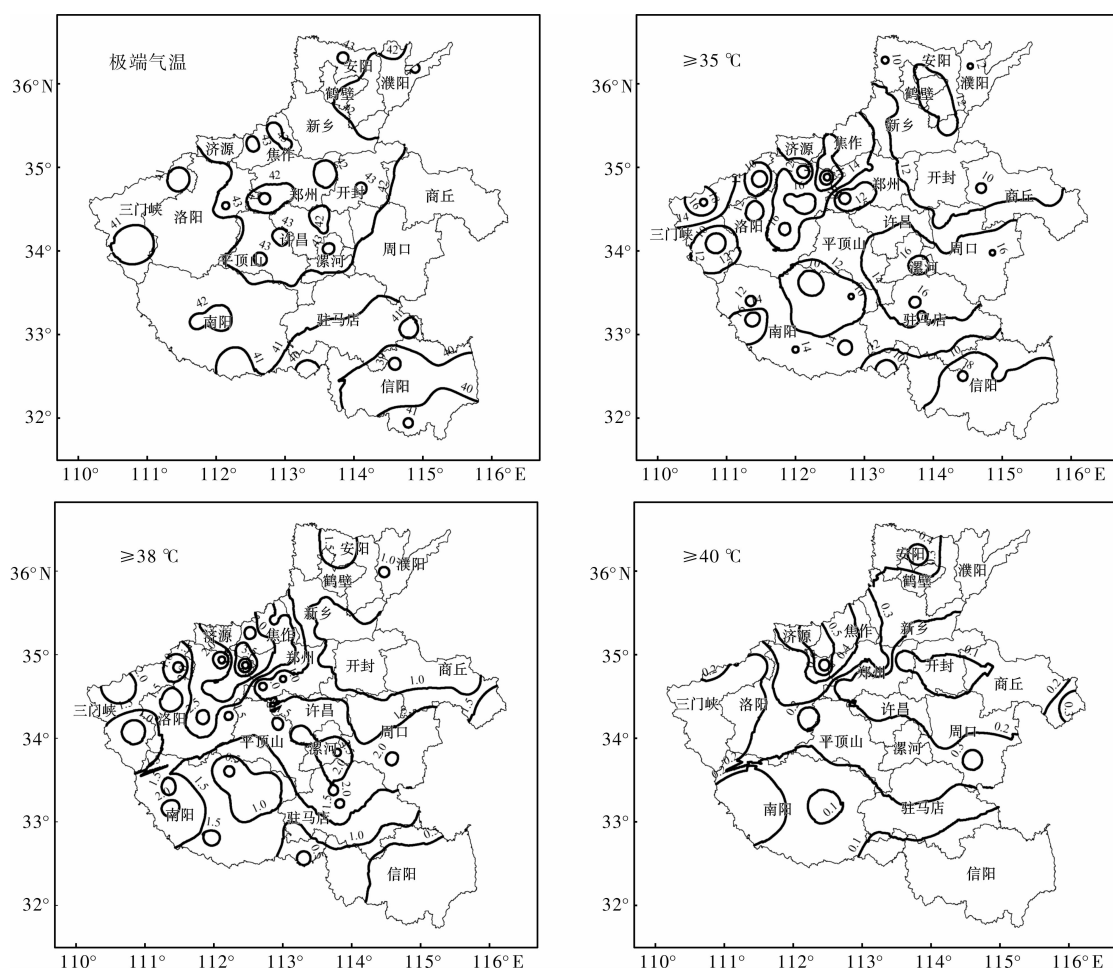


图 1 河南省 1971–2010 年极端最高气温和夏季高温日数的空间分布(d)

## 2.2 河南省夏季高温日数的变化趋势

图 2 所示为 1971–2010 年河南省平均夏季  $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 、 $\geq 38^{\circ}\text{C}$  和  $\geq 40^{\circ}\text{C}$  高温日数的逐年变化。可以看到, 河南省夏季  $\geq 35^{\circ}\text{C}$  高温日数在 1978 年最多, 为 23.6 d, 2002 年夏季高温日数也达到 23.2 d, 2008 年夏季高温日数最少, 仅 4.5 d; 河南省夏季  $\geq 38^{\circ}\text{C}$  高温日数在 1978 年最多, 为 4.7 d, 2005 年夏季高温日数也达到 4.1 d, 1983 年夏季高温日数最少为 0 d; 河南省夏季  $\geq 40^{\circ}\text{C}$  高温日数在 1978 年最多, 为 1.2 d, 2005 年夏季高温日数也达到 1.0 d, 超过一半的年份夏季高温日数为 0 d。从长期变化看, 近 40 年河南省夏季 3 个等级高温日数均呈微弱的线性增加趋势, 趋势值为  $0.07\text{ d}/10\text{ a}$ 、 $0.03\text{ d}/10\text{ a}$  和  $0.02\text{ d}/10\text{ a}$ , 但均没有通过显著性检验, 这与近 40 年河南省夏季平均气温微弱的上升趋势比较一致(图 3)。从高温日数的时间序列还可以看到, 河南省夏季  $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 、 $\geq 38^{\circ}\text{C}$  和  $\geq 40^{\circ}\text{C}$  高温日数均表现出“多—少—多”的年代际变化特征。河南省最近 10 年夏季高温日数最多, 1980 年代次之, 其后为 1990 年代, 2000 年代夏季高温日数最少, 最近 10 年比 1980 年代夏季高温日数略多(图 2)。

从河南省各台站夏季  $\geq 35^{\circ}\text{C}$  高温日数变化趋势的空间分布看(图 4),  $\geq 35^{\circ}\text{C}$  高温日数呈增加趋势的台站主要分布在  $34^{\circ}\text{N}$  以北地区以及信阳大部分地区, 其中在洛阳伊川、焦作沁阳、安阳林州和信阳商城站增加的趋势显著, 均超过  $1.9\text{ d}/10\text{ a}$ ; 在豫西南南阳盆地夏季高温日数主要呈减少趋势, 但仅有内乡站的减少趋势显著, 其趋势值为  $2.0\text{ d}/10\text{ a}$ 。

从河南省各台站夏季  $\geq 38^{\circ}\text{C}$  高温日数变化趋势的空间分布看(图 4),  $\geq 38^{\circ}\text{C}$  高温日数呈增加趋势的台站主要分布在  $34^{\circ}\text{N}$  以北地区, 其中在洛阳伊川和安阳站增加的趋势显著, 分别为  $1.1\text{ d}/10\text{ a}$  和  $0.5\text{ d}/10\text{ a}$ ; 在豫西南南阳盆地夏季高温日数主要呈减少趋势, 但仅有唐河和邓州站的减少趋势明显, 其趋势值均为  $1.8\text{ d}/10\text{ a}$ , 另外在洛宁站夏季高温日数也呈显著减少, 其趋势为  $1.5\text{ d}/10\text{ a}$ 。

从河南省各台站夏季  $\geq 40^{\circ}\text{C}$  高温日数变化趋势的空间分布看(图 4),  $\geq 40^{\circ}\text{C}$  高温日数呈增加趋势的台站主要分布在豫北和豫西北海拔较高的地区, 其中在安阳、林州、济源、洛阳伊川和信阳站增加的趋势显著, 均超过  $0.2\text{ d}/10\text{ a}$ ; 在豫西南南阳盆地、豫东和豫南大部分地区夏季高温日数主要呈减少趋势, 但仅有杞县站和宁陵站的减少趋势较为明显, 其趋势值为  $0.1\text{ d}/10\text{ a}$ 。

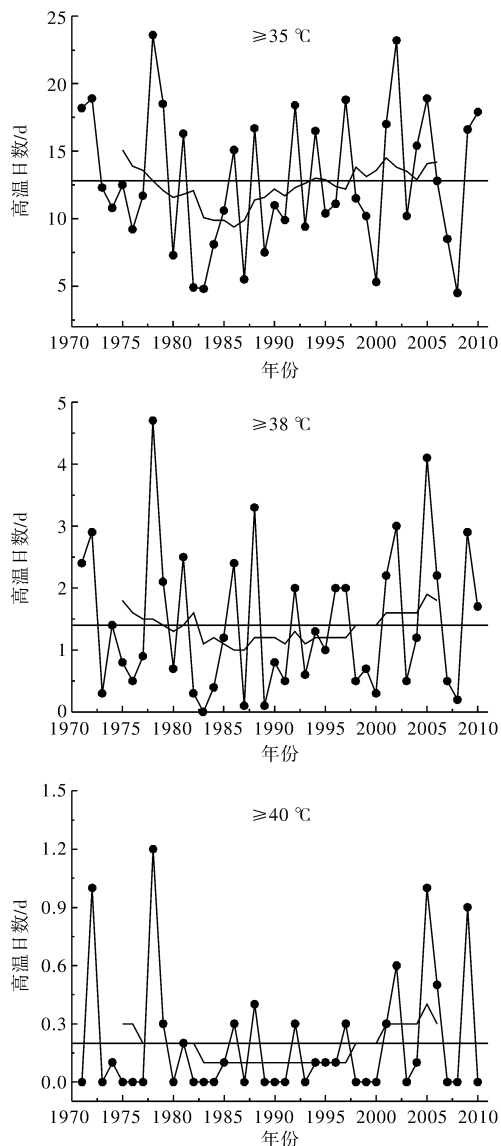


图 2 1971–2010 年河南省夏季 3 个等级高温日数的变化趋势 (实心圆点代表实测值, 直线为气候值, 曲实线为 9 年滑动平均曲线(下同))

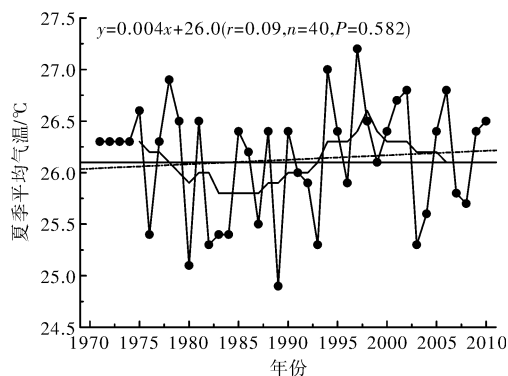


图 3 1971–2010 年河南省夏季平均气温的变化趋势 (虚线为趋势线(下同))

从总体上看, 河南省 109 个台站中夏季  $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 、 $\geq 38^{\circ}\text{C}$  和  $\geq 40^{\circ}\text{C}$  高温日数的线性变化趋

势达到了  $P < 0.05$  的显著性水平的台站分别为 5 个、5 个和 9 个。

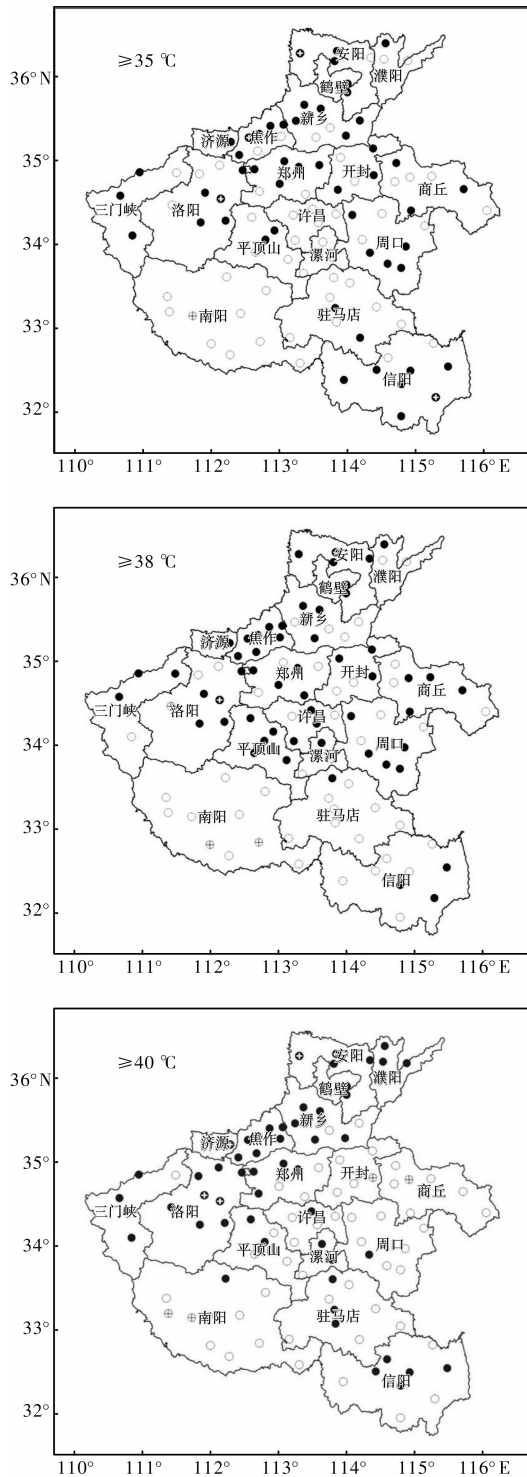


图4 1971–2010年河南省各气象站夏季高温日数的变化趋势 (实心圆点表示趋势值为正, 空心圆点表示趋势值为负, 趋势超过5%显著性检验的站点用×表示)

为定量分析夏季平均温度对6–8月高温天气发生次数的影响, 本研究分析了夏季平均气温和高温日数的相关关系(图5)。由图5可以明显看出, 不断增加的夏季平均气温对于  $\geq 35\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $r =$

$0.58$ ,  $n = 4\ 360$ )、 $\geq 38\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $r = 0.39$ ,  $n = 4\ 360$ ) 和  $\geq 40\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $r = 0.27$ ,  $n = 4\ 360$ ) 高温的发生次数有显著的影响作用, 3个等级高温次数与夏季平均温度的回归系数分别为5.31、1.04和0.20。因此, 夏季平均气温每增加  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 对于  $\geq 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $\geq 38\text{ }^{\circ}\text{C}$  和  $\geq 40\text{ }^{\circ}\text{C}$  的高温天数将分别增加5.3 d、1.0 d和0.2 d,  $\geq 35\text{ }^{\circ}\text{C}$  高温日数增加最多(图5)。

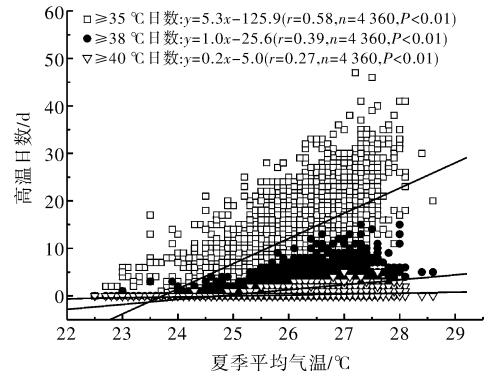


图5 河南省夏季平均气温和高温日数的相关性分析

上述分析表明, 夏季平均气温的升高将引起3个等级一定数量高温日数的显著增加, 这与吴荣军等<sup>[17]</sup>的研究结果较为一致, 然而, 有研究认为气温的波动和极端气温的变化是由于气温平均值和方差变化间的交互作用造成的, 当平均气温升高, 而标准差未变化, 新的高温纪录将会出现, 相反地, 将会出现极端高温的发生概率和极端气温值增加的情况; 当平均值和标准差均呈现增加, 将会使得高温事件频发和极端气温更高<sup>[17]</sup>。

本研究对河南省夏季日最高气温每年标准差的时间序列进行了分析(图6), 分析发现, 日最高气温标准差随年份的线性回归系数为正, 反映出了标准差随年份的变化有增加的趋势, 尽管该值较小并且未通过显著性检验, 但这与高温日数的时间变化趋势较为一致, 另外, 在年代间表现出最近10年夏季日最高气温标准差最大, 1980年代次之, 其后为1990年代, 2000年代夏季高温日数最少, 最近10年比1980年代略多, 这与高温日数

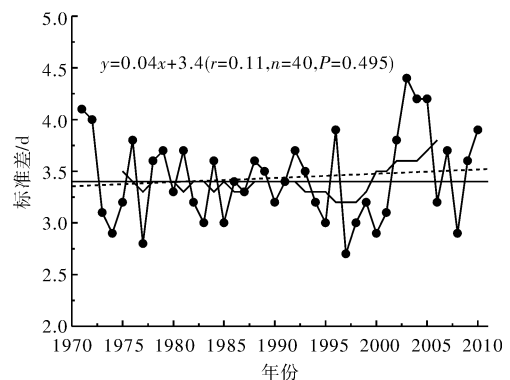


图6 1971–2010年河南省夏季逐日最高气温标准差的变化趋势

在不同年代间的分布较为一致。因此,由以上趋势分析的结果,本研究认为河南省高温发生的次数有增加的趋势,这和本研究中针对高温次数的年际变化趋势分析结果是一致的。

### 3 结论与讨论

近40年河南省极端最高气温存在两个中心,分别为位于郑县站和焦作站附近,在 $33^{\circ}\text{N}$ 以北地区极端最高气温达 $41^{\circ}\text{C}$ 以上。1971-2010年,河南省夏季 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 、 $\geq 38^{\circ}\text{C}$ 和 $\geq 40^{\circ}\text{C}$ 高温日数呈现出豫西北高海拔地区和豫东南低海拔地区较多的分布特征; $33^{\circ}\text{N}$ 以北地区多年平均的高温日数较多,多分别在10.0 d、0.5 d和0.1 d以上,而南部信阳地区的高温日数较少,多分别在10.0 d、0.5 d和0.1 d以下;多年平均高温日数的高值中心位于豫西地区的偃师附近。近40年河南省夏季高温日数呈现出明显的“多-少-多”年代际变化特征,从长时间序列看,线性的变化趋势并不明显,各台站夏季高温日数的变化趋势呈现出明显的空间差异。夏季平均温度与6-8月间3个等级高温天气的发生次数均呈显著正相关,其中,高于 $35^{\circ}\text{C}$ 以上高温天气的发生次数与夏季平均气温的相关性最好。

基于IPCC第4次评估报告中多模式集合的预估产品,潘攀等<sup>[18]</sup>预估了A1B情景下21世纪河南省未来90年(2010-2099年)的夏季平均气温变化趋势及时空分布,认为未来90年,河南省夏季平均气温明显增加,增温速率为 $0.384^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ ,在豫西南及其周围地区增温较为明显;从不同时段看,各时段气温增加均显著,但增温明显的区域具有一定的差异,21世纪初(2010-2039年)增温速率为 $0.478^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ ,豫北和中东部升温较为明显;至中叶(2040-2069年),增温速率为 $0.431^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ ,在中部偏南以及驻马店和南阳的大部增温明显;21世纪末(2070-2099年),增温速率为 $0.239^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ ,在豫西南和豫西山区增温明显。本研究发现河南省夏季高温日数与该时段的平均气温呈显著的正相关关系,因此,从上述分析可以看出,由于未来90年夏季平均气温的升高,河南省高温日数将进一步增加,特别是在目前高温日数较少的豫西南等地区,但不同时段其影响

区域存在差异。

### 参考文献:

- [1] IPCC. Climate Change 2007: the physical science basis [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- [2] 丁一汇,任国玉,石广玉,等. 气候变化国家评估报告(I): 中国气候变化的历史和未来趋势[J]. 气候变化研究进展, 2006, 2(1): 3-8.
- [3] 石英,高学杰,吴佳,等. 华北地区未来气候变化的高分辨率数值模拟[J]. 应用气象学报, 2010, 21(5): 580-589.
- [4] 张鹏,李宁,范碧航,等. 近30年中国灾害法律法规文件颁布数量与时间演变研究[J]. 灾害学, 2011, 26(3): 109-114.
- [5] 苗爱梅,贾利冬,李苗,等. 近50年山西高温日的时空分布及环流特征[J]. 地理科学进展, 2011, 30(7): 837-845.
- [6] 常军,李素萍,王纪军,等. 河南夏季高温日数的时空分布特征及500hPa环流型[J]. 气象与环境科学, 2007, 30(2): 30-34.
- [7] 张书娟,尹占娥,刘耀龙,等. 基于GIS的华东地区高温灾害危险性分析[J]. 灾害学, 2011, 26(2): 54-65.
- [8] Gruaz G, Rankova E, Razuvaev V. Indicators of climate change for the Russian federation[J]. Climatic Change, 1999, 42(2): 219-242.
- [9] 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(S1): 11-20.
- [10] Zhai P M, Pan X H. Trends in temperature extremes during 1951-1999 in China[J]. Geophysical Research Letters, 2003, 30(17): 1913-1916.
- [11] Zhai P M, Sun A J, Ren F M, et al. Changes of climate extremes in China[J]. Climate Change, 1999, 42(1): 203-218.
- [12] 高荣,王凌,高歌. 1956-2006年中国高温日数的变化趋势[J]. 气候变化研究进展, 2008, 4(3): 177-181.
- [13] 龚道溢,韩晖. 华北农牧交错带夏季极端气候的趋势分析[J]. 地理学报, 2004, 59(2): 230-238.
- [14] 施洪波. 1960-2008年京津冀地区夏季高温日数的变化趋势分析[J]. 气象, 2011, 37(10): 1277-1282.
- [15] 范碧航,李宁,张继权,等. 城市高温灾害性天气影响分析与危害性评估——以长春市为例[J]. 灾害学, 2011, 26(4): 93-97.
- [16] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京:气象出版社, 2007: 36-69.
- [17] 吴荣军,郑有飞,刘建军,等. 长江三角洲主要城市高温灾害的趋势分析[J]. 自然资源学报, 2010, 19(5): 56-63.
- [18] 潘攀,王纪军,刘莎. 21世纪河南省未来情景预估[J]. 干旱区资源与环境, 2011, 25(5): 72-76.

(下转第68页)