

气候变化特征的空间统计分析*

薛 瑞 孔凡超 张 炜

【摘 要】文章基于中国 31 个主要城市 1996~2011 年温度、相对湿度和降水量数据,对气候变化特征进行了空间分析。结果发现,中国气候特征的空间相关性和差异性显著,自 1996 年以来,气候变化经历“低—高—低—高”运行周期,周期较短,气候变化波动剧烈,且出现 1999、2004、2009 年 3 个结构性气候变点;受温度和相对湿度影响,中国东北、西北、西南、华南地区气候效率逐年下滑,气候变化处于不良阶段,华北和东南沿海地区气候效率稳步提高,气候系统有效运行。温室效应逐年加剧,整体增长约 7.02%。寒季加剧严重,强度增加约 12.69%,暖季加剧程度较为温和,增加约 2.03%。因此,合理控制温室气体排放,有效利用和配置资源的时空分布,将是中国人口、经济、生态可持续发展的一条合理路径。

【关键词】气候变化 空间分析 温室效应

【作 者】薛 瑞 山东财经大学统计学院,硕士研究生;孔凡超 山东财经大学统计学院硕士研究生;张 炜 山东财经大学统计学院,硕士研究生。

一、研究背景

气候问题是最主要的全球环境问题之一,全球气候变化已成为国内外学者普遍关注的焦点。国内外学者对各地的气候变化特征及其变化规律进行了大量研究。Ragab 等(2002)利用 HadCM3 模型分析非洲北部年降水量和温度的变化趋势,结果显示,非洲北部的降水量在未来的 50 年内将会比现在减少 20%~25%,地表温度将会随之上升 2℃~2.75℃。Saji 等(2003)研究发现,IOD 事件与印度周边国、欧洲、亚洲东北部、南美洲、北美洲、南非的温度和降水量密切相关。Kousari 等(2010)研究发现,伊朗半干旱地区的年平均温度呈显著的上升趋势,而相对湿度和降水量呈现相反的趋势。

龚道溢、王绍武(1999)将中国气温变化分为 4 个阶段:1903~1918 年为低温期;1919~1953 年为高温期;1954~1986 年为低温期;1987 年之后为高温期,其中 1998 年是最暖年。徐铭志、任国玉(2004)通过分析 1961~2000 年中国气候生长期的变化趋势,发现全国气候

* 本文为山东省统计科研课题“气候变化特征的空间统计分析”(项目编号:KT13099)阶段性成果。

生长期有明显增长。杨凯、陈彬彬(2011)的线性趋势分析表明,福建省近 40 年来温度上升趋势明显,每 10 年最低温度升高达 0.15℃;降水量的年际波动范围较大,区域湿润指数上升趋势十分显著。任国玉等(2000)研究发现,中国长江中下游地区降水量呈明显增加趋势,而北方的黄河流域降水表现出减少趋势。还有部分学者利用 EOF 等分析方法研究了中国降水分布的区域差异和年际变化(严华生等,2004;侯依玲等,2005;徐维新等,2012),但未就气候变化的其他主要特征(温度、相对湿度等)进行联动分析。

上述大部分研究是针对某个地区气候变化特征的指标分析,其中多为对单个特征指标进行变化分析,而较少考虑区域间及指标间的相互影响。鉴于此,本文运用空间计量方法,研究全国 31 个主要城市降水量、温度和湿度在时空上的分布特征及其相互作用关系。

二、数据来源与模型介绍

本文搜集了全国 31 个主要城市 1996~2011 年气象资料,并选取月均降水量(P)、月平均温度(T)和月均相对湿度(H)作为分析气候变化的特征指标^①。并采用空间面板模型^②进行分析,传统的面板数据模型难以明晰气候特征指标间的辐射带动作用,而空间面板数据模型却可以在彰显区域差异的同时探析气候变化特征的空间效应。空间面板模型通常有空间滞后模型(SAR): $y_{it}=\alpha_i+\rho W y_{it}+x_{it}\beta_i+\mu_{it}$;空间误差模型(SEM): $y_{it}=\lambda_i+x_{it}\gamma_i+\varepsilon_{it}, \varepsilon_{it}=\phi W \varepsilon_{it}+\eta_{it}$, $i=1,2,\dots,N;t=1,2,\dots,T$ 。其中, W 为 $N\times N$ 维的空间权重矩阵。空间权重可为经济权重、地理权重或其他权重,本文采用地理权重。 α_i 和 λ_i 为截距项, ρ 和 ϕ 为空间滞后和空间残差自回归系数; μ_{it} 和 η_{it} 为随机扰动项,服从均值为 0 的多元正态分布。

三、气候变化特征的空间效应检验

表 1 给出了 OLS 模型估计结果。由表 1 可知,不论是极大似然估计值还是稳健极大似然估计值,空间滞后模型(SAR)的均要高于空间误差模型(SEM),且 P 值通过显著性检验,因而选取 SAR 模型作为研究中国气候变化特征的空间计量模型。由表 1 的结果我们

还可做出判断,温度和相对湿度的增加都会刺激降水的增多,并且温度的刺激作用要更强。不难看出,由于传统 OLS 模型忽略了空间因素,导致得出与实际不符的结论,模型估计精度低,且由回归平方和 R^2 、调整 R^2 可知,温度和相对湿度变化仅能解释降水量变化的 37%左右,

表 1 OLS 模型估计结果

统计量	估计值	统计量	估计值
截距项	-109.2497*	LM_Error	748.5347*
T	3.4358*	稳健 LM_Error	19.2511*
H	2.0136*	LM_Lag	814.6423*
R ²	0.3676	稳健 LM_Lag	85.3586*
调整 R ²	0.3673		

注:* 表示估计系数通过 1%水平的显著性检验。

① 本文所用全部数据均来源于国家统计局数据库。
② 空间面板模型由 Anselin 于 1982 年提出,在传统计量模型的基础上融入了空间因素。

估计结果的准确性不能令人信服。因而,在对气候变化特征进行分析时,空间统计分析更为必要。

空间相关性检验描述的是由自变量的影响引起因变量产生的空间效应,具体量化体现在随机扰动项中。空间相关性检验通常有 Moran I 指数检验和 Geary 指数检验,本文采用目前常用的 Moran I 指数检验,检验由温度和相对湿度的影响而引起降水量产生的空间聚集性。全局 Moran I 指数检验结果显示,全局 Moran I 指数为 0.2758,t 统计值为 28.6186;通过 1% 水平的显著性检验,因此,可以认为中国气候系统的空间效应显著存在,且存在较为明显的区域间辐射效应。事实上,中国地形复杂多样,气候的多样性十分明显。三大阶梯的划分、南北差异的存在和地势高低的变化都影响着中国气候系统的空间联动性和异质性,因而南北温度的差异、沿海内陆温度的差异、高低海拔温度的差异、南北湿度的差异、海陆湿度的差异都会存在空间效应,得出全局 Moran I 指数显著的结论符合现实情况。

表 2 给出了空间效应的逐年时序数值,从中可以看出,中国气候系统的空间相关性显著,除个别年份外,Moran I 指数围绕 0.3 上下小幅波动,但在2000 和 2008 年明显偏低。实际上,2000 年左右,中国大部分地区降水偏少,干旱范围广、持续时间长、灾情严重;全国大部分地区气温偏高,夏季连遭热浪袭击。由于气候遭受了严重的冲击,降水、温度、相对湿度分别出现结构性突变,因而导致 Moran I 指数出现明显下降,空间效应急剧下滑。而 2001~2007 年,无较大气候波动,气候变化趋于缓和,局部地区的小范围灾害致使 Moran I 指数围绕 0.3 小幅波动。直至 2008 年中国南方罕见低温雨雪冰冻灾害为 50 年之最,汛期暴雨洪涝灾害频繁;大部分地区夏季高温天气多,部分省市高温创历史纪录。高温气候与 2000 年相似,虽然中间年份降水较为稳定,但 2008 年激增,过度降水导致气候遭到严重破坏,生态失衡,系统内部的聚集效应下降,异质效应上升,Moran I 指数急剧下降。自 2008 开始,近年来气候变化波动较为稳定。

表 2 1996~2011 年 Moran I 指数

年份	Moran I 指数	年份	Moran I 指数
1996	0.3762*	2004	0.2858*
1997	0.2315*	2005	0.2698*
1998	0.3041*	2006	0.2963*
1999	0.2915*	2007	0.2268*
2000	0.1540*	2008	0.1935*
2001	0.3085*	2009	0.3226*
2002	0.2666*	2010	0.3234*
2003	0.2038*	2011	0.3179*

注:* 表示 Moran I 指数通过 1%水平的显著性检验。

四、气候变化特征的空间统计分析

空间相关性检验结论揭示了气候系统内部空间效应的客观存在性。为了更好地剖析中国气候的变化特征,结合 OLS 回归的估计结果,本文采用空间滞后模型(SAR)研究温度、相对湿度对降水量的影响。根据 Anselin(1995)、Bera 等(2007)的研究成果,结合本文研究变量,构造模型为:

$$P=\rho WP+\beta_1T+\beta_2H+\mu$$

其中,P 为降水量,T 为温度,H 为相对湿度;W 是一个二元对称权重矩阵,本文选取 Queen

邻接 0-1 二进制权重测算算法^①; ρ 是空间滞后项系数; β_1 、 β_2 为回归系数; μ 是随机扰动项,服从均值为 0 的多元正态分布。

面板模型包含随机效应和固定效应,由 Hausman 检验确定^②。表 3 显示,Hausman 检验结果均拒绝原假设,可以认为气候变化系统仅存在固定效应。而空间面板模型由于融入了空间因素,还包含混合效应、时间效应、地区效应和地区时间效应^③。

从表 3 的估计结果看,两种效应在气候系统内部实际存在,影响中国气候特征的变化。一方面,从模型的 R^2 及估计方差 σ^2 都可以判断地区效应比时间效应更为明显,即由于各省特有的属性特征而影响降水量的变化程度要高于由结构性变化而致使降水量随着时间的推移而产生的波动。另一方面,从空间滞后系数 ρ 的估计值也可判断出,地区效应所产生的空间聚集效应要明显高于时间效应。因而,中国各省因各自所处的地形、地势、海陆位置、经纬度的不同而导致其温度和相对湿度对降水量产生的影响是有显著差异的,也从模型的角度印证了中国气候多样性的客观事实。本文将从系数显著性、温度、相对湿度、空间效应 4 个方面对气候系统进行分析。

第一,系数显著性。从地区时间效应模型的回归系数显著性出发,温度(T)、相对湿度(H)及空间滞后项 $W \times P$ 的估计系数均通过 1%水平的显著性检验,温度、相对湿度显著影响降水量的变化,气候系统的区域间辐射效应显著。

第二,温度。与 OLS 模型对比发现,融入空间因素后,温度对降水量产生的是负向冲击,温度的提高将致使降水量减少;反之,降水量增加。在相对湿度不变的条件下,温度升高,空气中的水汽温度升高,水汽蒸发速度加快,蒸发耗损量增大,径流深和水储备相对减少,进而降

水量随之减少。近年来,促使温度加速攀升的最主要原因是温室气体的排放。政府间气候变化专门委员会(IPCC)的研究表明,大气中温室气体浓度加倍,平衡态气候变化将使全球地表平均温度升高 $1.5^{\circ}\text{C} \sim 3.5^{\circ}\text{C}$ 。这与人类直接或间接向大气排放温室气体有关。

表 3 空间面板模型的估计结果

变量	混合效应	时间效应	地区效应	地区时间效应
T	1.9351*	0.5512*	1.7266*	-4.1849*
H	0.2460*	2.0808*	1.7485*	1.4738*
$W \times P$	0.4660*	0.3020*	0.4780*	0.2890*
R^2	0.4296	0.5006	0.5127	0.5619
σ^2	4423.4699	3872.6898	3397.4087	3379.7543
Hausman	1861.0881*	-427.9578*	-14.9974*	-636.9439*

注:* 表示估计系数通过 1%水平的显著性检验。

① Queen 邻接权重测算矩阵是指 $W_{ij} = \begin{cases} 1, i \text{ 和 } j \text{ 区域有公共边界或顶点} \\ 0, i \text{ 和 } j \text{ 区域无公共边界或顶点} \end{cases}$ 。

② Hausman 检验 $\begin{cases} H_0: \text{面板模型包含随机效应} \\ H_1: \text{面板模型包含固定效应} \end{cases}$ 。

③ 混合效应是指解释变量对被解释变量的影响不随时间和空间的改变而改变的效应;时间效应是指由于结构性变化,解释变量对被解释变量的影响随时间发生变化;地区效应是指因各地区特有的属性特征而导致被解释变量产生的空间差异;地区时间效应是指同时包含时间效应和地区效应的空间效应。

大气中温室气体含量增加,气温升高,抑制降水形成。

从图 1 可见,碳排放的增长率变化周期与工业总产值增长率变化周期近乎完全一致,也印证了上文所提人类活动直接或间接地影响温室气体的排放,从而导致温度升高,降水减少。事实上,图 1 所示与本文时间效应分析结论高度吻合(见图 2)^①。具体来讲,20 世纪 90 年代初期电信业的垄断和城镇居民户口的严格管制,限制了电信业的发展和人才的流动,也就限制了工业的发展,碳排放处于较低水平甚至负增长,气温稳定变化。为了加快经济增长速度,陆续开放了金融保险、旅游、文化、体育等产业的投资,改善经济增长的同时,也付出了气候、环境、生态恶化的代价,至 1997 年亚洲金融危机前出现一轮碳排放和工业总产值快速增加的小周期。亚洲金融危机的爆发,以及 1998 年 7 月东南亚经济危机的出现,限制了中国工业的发展,降低了能耗,碳排放增长率也随之下跌为负值,气温整体下降,气候环境状况得到了一定的缓冲。1999 年经济回暖,轻轨交通设备的加快生产、粮库建设设备的开发、经济适用房建材的生产等,使中国经济走出了亚洲金融危机的阴影。但是,仅追求增长的“速度”而忽视了增长的“质量”,致使 1999 年开始碳排放增长率的持续攀高,至 2004 年达到顶峰。

进入 21 世纪以来,随着改革开放的进一步深化,片面追求经济高增长的情况仍然没有改善,能源资源的非有效利用,电力、煤炭的过度使用,无疑都加速了温室气体的排放,使碳排放增长率迅速拉升,平均温度也不可避免地快速升高,气候系统不良运转。2004 年对外贸易的摩擦不断升级,美国对中国反倾销制裁的加剧,限制了钢铁、彩电、纺织品、家具等生产,进而抑制了制造业的发展。对于气候来说则是新一轮的缓冲期,碳排放增长率的放缓,温度和降水状况都得到改善,气候出现良性变化。

碳排放增长率在 2006 年出现了短暂的“着陆”,随着私家车的普及,电子产业的快速成长,矿物质燃料燃烧量的增大、森林的过度砍伐、工业废气排放的增加等,经济增长幅度不大的同时,碳排放增长率再次攀升,气温升高,降水减少也就在所难免。地震、汛期的暴雨洪涝、夏季屡屡突破的高温上限,气候环境急剧恶化,经济的不良化增长达到了顶峰,这也是发展资源节

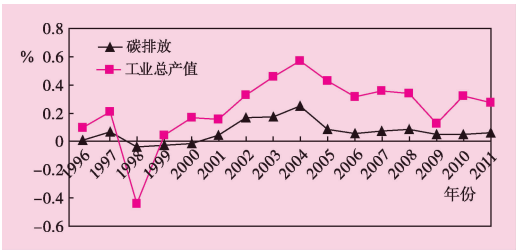


图 1 1996~2011 年碳排放与工业总产值增长率时序变化

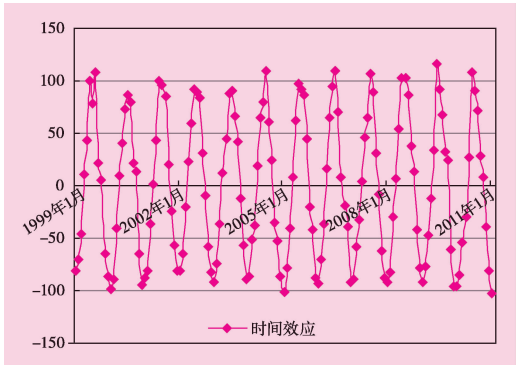


图 2 1999~2011 年各月时间效应的时序变化

① 鉴于篇幅原因,图 2 中 1999、2004 和 2009 年波动性仅小幅显现,将纵坐标(时间效应系数)缩小 5 倍后结构性变动显而易见。

约型、环境友好型社会,发展循环经济、低碳经济政策颁布的直接诱因,经济发展与生态环境相协调已经提升到国家发展战略,气候环境状况的改善迫在眉睫。

2008年美国次贷危机的爆发,进而世界经济危机全面爆发,使原本非有效的经济结构遭受重创,工业总产值增长率急剧下滑,碳排放增长率轻微下滑,处于低位稳定变化中,气温变化持平,气候环境也在经济危机的背景下没有进一步恶化,但情况并无改善迹象。2009年为了使经济增长迅速回暖,中国采取了积极的财政政策和宽松的货币政策,这种反周期性的调节,取得了良好的效果。工业总产值增长率稳步回升,也推动了城镇化的发展、产业结构的调整。值得注意的是,自2009年开始,碳排放增长率并无显著变化,在零增长率附近“着陆”。这与2009年哥本哈根全球气候大会京都议定书缔约的减排协议、中国及时贯彻落实是分不开的。同时,贸易保护主义再次来袭,中国出口连续10个月负增长,遭遇了以美国、欧盟为首的19个国家和地区的“两反两保”贸易抵制,钢铁、纺织和化工业遭到重创,矿物质燃料燃烧的减少,工业废气排放的减少等也一定程度上“软化”了碳排放的增长。因而,2009~2011年,中国碳排放低位增长,温度增幅放缓,降水稳步提高,气候良性变化。

第三,相对湿度。从相对湿度的回归系数可知,相对湿度对降水量产生一个正向冲击,整体而言,相对湿度的增加将带来降水量的增加;反之,降水量减少。在温度不变的条件下,空气相对湿度增加,空气中水汽的饱和度增加,当饱和水汽进入低层大气后,受低层大气高温的影响,会迅速容纳更多的水汽,达到100%的饱和度后即形成降水。这说明相对湿度对降水的影响会“缓冲”掉一部分温度对降水的影响,因此若考虑到温度、相对湿度及其他因素的合力影响,不同地区的温度、相对湿度对降水量的综合影响度存在差异(见图3)。

第四,空间效应。从图2可以看出,总体上中国11月至次年3月气候效应^①为负,认为受气候变化的影响,降水量明显减少;而4~10月间降水量明显增多,即中国冬春两季气候变化不利于降水形成,夏秋两季促进降水形成。

另外,中国气候效应变化规律性明显,1~7月边际气候效应为正,气候状况逐渐改善,7~12月边际气候效应为负,气候状况逐渐变差。图2时间效应的时序变化显示,1999、

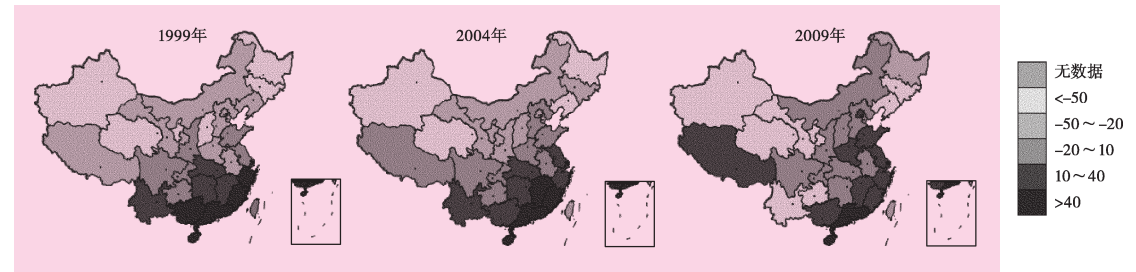


图3 1999、2004和2009年气候变化的时间效应时序

① 气候效应无绝对定义,在本文系指受温度和相对湿度的综合作用使降水发生的变化。气候效应合力为正代表温度和相对湿度对降水起到促进的综合作用。

2004 和 2009 年为气候效应的结构性变点。1996~2011 年,中国气候变化情况与碳排放和工业总产值增长率数据所示结果高度吻合,说明气候变化与人类活动息息相关。从波动性角度来看,1999~2004 年时间效应同期逐年下降,气候状况日渐恶化,温度和相对湿度综合效应不利于降水的形成。这与 1999 年国民经济回暖,轻轨交通设备、粮库建设设备、经济适用房建材的大量低效生产,基础产能过剩、重复建设等密不可分。正是由于这些人类活动的加剧,导致碳排放增长率逐年攀升,大气中温室气体的浓度增大,温度提高,降水减少,气候环境恶化,至 2004 年达到气候波动最高峰。2004~2009 年,气候效应的波动降低,当年与上年同期相比气候效应逐年增加,温度增幅趋于平缓,降水增加,全国气候环境有所改善。在此 5 年间,制造业发展受阻,由出口拉动经济增长的经济结构有所优化,开始放眼于经济发展的质量,通过拉动内需来促进经济增长,资源能源的有效利用,都有利于气候环境的优化。且自 2009 年世界气候大会召开以来,中国高度重视经济与气候环境、生态的协调发展,经济发展方式的调整也上升为国家战略,循环经济、低碳经济的快速成长,促进了气候环境的良性运转。

为了进一步剖析中国气候变化特征的地区差异,下面将对中国气候变化的地区效应进行时间序列分析。从图 3 可以看出,中国气候效应整体呈南高北低、东高西低,以东南沿海为中心向外逐渐降低的态势。东南沿海地区气候运行效率最高,华南与华东地区次之,华北、华中、西南地区较低,东北、西北气候效应最低。这与各地区所处的地理位置、地形、地势等密不可分,因而绝对量并不能衡量气候变化的情况,而应从各地区时间序列气候效应的变化来描述气候变化的情况。

一是东北地区。东北地区气候效应整体水平较低,温度和相对湿度综合影响不利于降水的形成,但各地区也有所区别。黑龙江省位于三江平原一带,纬度最高,温度和相对湿度较低,气候效应长期为负,随时间推移没有有效改善,但也没有恶化迹象。吉林省和内蒙古自治区的情况逐年好转,气候效应也逐渐提高,虽然温度的增加将会抑制降水的形成,但由于该地区本身纬度较高,温度增高幅度有限,且由于暖冬可以推动农业生产的发展,生产结构和生产条件的改善将“反哺”气候变化,从而提高气候效应。辽宁省则受温度影响相对较大,气温攀高,SAR 模型所体现的温度对降水的负效应高于相对湿度的正效应,气候整体效应下滑,气候状况逐年恶化。

二是西北地区。西北地区与东北地区气候效应整体分布类似,都处于较低水平,常年为负值,不利于降水的形成。甘肃省气候状况逐年恶化,新疆维吾尔自治区有所改善,青海省遭遇了恶化之后又有所改善。西北地区虽然降水较多,但其昼夜温差大,仍然处于缺水状态。农牧交错带和绿洲—沙漠边缘带的面积逐年扩大(谭灵芝、王国友,2012),使甘肃省和青海省气候状况恶化。新疆维吾尔自治区实施的退耕还林还草,以及农村涝坝水改造工程等,水资源向更为干旱的地区倾斜,水资源得到有效配置,进而气候状况有所改良。

三是华北、华中和华东地区。这些地区近十几年来气候效应逐渐提高,温度和湿度的综合作用为正,有利于降水的形成。这一看似不合理的结论,背后却暗含着气候学和经济

学的客观原理。事实上,该地区地处水汽辐合区,偏南气流较强,大气中的可降水量较多,相对湿度的气候效应较温度更为显著。因此,随着温度的升高,降水量实际上是会增加的,也就表现为气候效应逐年上升。从图 3 中可见,2009 年华北地区的气候效应达到历史最高水平,这说明中国针对气候变化制定的政策取得了成效,资源节约型、环境友好型社会的建设,循环经济、低碳经济的发展政策在该地区都得到了有效落实。

四是西南地区。西南地区的气候效应整体水平较低,气候运行不利于降水的形成,气候环境陷入不良运行周期。西南各省近十几年来气候效应逐年降低,与该地区的山地活动频率、范围、规模的增加和扩大密不可分。这需要相关部门加强技术支撑,提高技术水平,提前做好对自然灾害的预警准备。另外,当地政府也应着重改善生态环境,发展生态经济,而不是将注意力放到单纯提高经济增长上。

五是华南和东南沿海地区。东南沿海地区整体气候并无较明显变化,气候效应整体水平最高,温度和相对湿度的综合效应为正,有利于降水的形成。然而,随着温度的升高,海平面逐年上升,珠江三角洲地区的经济发展会逐渐受到气候变化的影响,这也是温室效应的一个直接后果。华南地区情况不容乐观,湖南、湖北二省气候效应逐年降低,气候环境也逐渐恶化。因为随着温度的逐年提高,该地区旱涝交替的情况逐年加重,虽降水较多,但却使气候变化进入极端的运行周期。降水的极端交替也致使各类粮食产量逐年下滑,经济发展水平受到自然环境恶化的限制,区域农业的辐射效应也逐年减弱。

通过上述分析,我们得出中国温度、相对湿度和降水量近年来发生变化的主要原因是温室效应,在此基础上,我们用空间计量模型再次论证了温室效应的作用。因此,通过构建温度、相对湿度、降水量的空间计量体系所得的时间效应在很大程度上反映了温室效应的作用强度(见表 4)。

从表 4 可见,大部分月份的强度系数^①都有所提高,表明温室效应的加剧。我们将强度系数进行加总,得出 1996 年的总强度系数为 675.32,2011 年的总强度系数为 726.09,温室效应强度增加约 7.52%,增加程度明显。结合图 2 的分析结论,我们将 11 月至次年 3 月的秋冬两季归为寒季,4~10 月归为暖季。通过加总分析,得出 1996 年的寒季和暖季总强度系数

表 4 1996 和 2011 年各月时间效应强度系数

月份	1996 年	2011 年	月份	1996 年	2011 年
1	-80.68	-102.87	7	78.78	91.48
2	-69.46	-80.85	8	68.20	69.43
3	-45.77	-43.82	9	21.33	28.59
4	11.41	-7.51	10	5.06	9.98
5	43.23	32.76	11	-65.31	-68.63
6	99.68	109.59	12	-86.42	-95.60

分别为 334.33 和 327.69,2011 年寒季和暖季的总强度系数分别为 391.76 和 347.64。近 15 年来,中国寒季温室效应强度增加约 12.69%,暖季温室效应强度增加约 2.03%。可见,寒季的温室效应加剧严重,暖季加剧程度较为温和。自 1996 年以来,随着改革开放的进一步深化,制造业蓬勃发展,加之

① 本强度系数为计算温室效应的相对变化百分比而设计,本身不具有绝对数意义。

城市化发展过程中能耗的增大等原因导致大气中二氧化碳等温室气体的含量迅速增加,气温明显上升,温室效应加剧。且冬季冷空气活动位置偏北、势力偏弱、南北交换少,带来的大风降温次数少,以及冬季能耗程度的非线性指数扩张,导致冬季温室效应强度加剧严重。

五、结 语

本研究发现,中国气候特征类型和变化趋势主要体现在以下几方面:(1)中国地区与地区间气候特征的相关性和差异性显著,气候系统的时间效应和地区效应实际存在;(2)整体而言,温度的升高将抑制降水量的增加,相对湿度的增大将促进降水的形成;(3)中国自1996年以来气候变化经历“低—高—低—高”运行周期,周期较短,气候变化波动剧烈,且出现1999、2004、2009年3个结构性气候变点;(4)受温度、相对湿度影响,中国华北、东北、西南、西北地区整体气候效应较低,华南和东南沿海地区较相对较高,其中华北地区情况逐年好转,华南地区逐年恶化;(5)自1996年来,中国温室效应加剧,整体增加约7.52%,冬季温室效应加剧严重,温室效应强度增加约12.69%,夏季加剧程度较为温和,增加约2.03%。因此,合理利用中国特殊的地理多样性,结合气候特征的变化情况,有针对性地控制人类过度开采活动和不合理的开发行为,有效配置水资源的时间与空间分布,通过建设资源节约型、环境友好型社会,提倡节能减排、发展循环经济和低碳经济等政策的实施来抑制气候变化不利因素的加剧,将是中国气候变化状况改善的一条合理路径,促进人口、经济、生态的可持续发展。

参考文献:

1. 龚道溢、王绍武(1999):《中国近一个世纪以来最暖的一年》,《气象》,第8期。
2. 侯依玲等(2005):《50年来我国东北及邻近地区年降水量的年代际异常变化》,《冰川冻土》,第6期。
3. 任国玉等(2000):《我国降水变化的空间特征》,《应用气象学报》,第3期。
4. 谭灵芝、王国友(2012):《脆弱性影响的空间分析——以新疆于田绿洲为例》,《中国人口科学》,第2期。
5. 徐铭志、任国玉(2004):《近40年中国气候生长期的变化》,《应用气象学报》,第3期。
6. 徐维新等(2012):《1971~2010年三江源地区干湿状况变化的空间特征》,《干旱区地理》,第1期。
7. 严华生等(2004):《用正交小波分析近百年来中国降水气候变化》,《大气科学》,第1期。
8. 杨凯、陈彬彬(2011):《福建省气候变化特征分析》,《中国农学通报》,第8期。
9. Anselin L.(1995), Local Indicators of Spatial Association—Lisa. *Geographical Analysis*. Vol.27(2), 93–115.
10. Bera A.K., Y. Biliyas, M.J. Yoon(2007), Adjustments of Rao's Score Test for Distributional and Local Parametric Misspecifications. Working Paper.
11. Kousari, Asadi(2010), Minimum, Maximum and Mean Annual Temperatures, Relative Humidity, and Precipitation Trends in Arid and Semi-arid Regions of Iran. *Arabian Journal of Geoscience*. Vol.4(5–6), 907–914.
12. Ragab, Prudhomme(2002), Climate Change and Water Resources Management in Arid and Semi-arid Regions: Prospective and Changes for the 21st Century. *Biosystems Engineering*. Vol.81(1), 3–34.
13. Saji NH, T. Yamagata(2003), Possible Impacts of Indian Ocean Dipole Mode Events on Global Climate. *Climate Research*. Vol.25(2), 151–169.

(责任编辑:朱 犁)