

孔锋. 1961–2016年中国雾与霾日数时空演变特征及区域差异研究[J]. 灾害学, 2020, 35(1): 131–137. [KONG Feng. Spatial and temporal evolution characteristics and regional differences of fog and haze days in China from 1961 to 2016[J]. Journal of Catastrophology, 2020, 35(1): 131–137. doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2020.01.024.]

# 1961–2016年中国雾与霾日数时空演变特征 及区域差异研究<sup>\*</sup>

孔 锋<sup>1,2,3</sup>

(1. 清华大学 公共管理学院, 北京 100084; 2. 清华大学 应急管理研究基地, 北京 100084;  
3. 中国气象局气象干部培训学院, 北京 100081)

**摘 要:**采用《雾霾专题数据集(V1.0)》的545个气象站点数据,从气候态特征、变化趋势和波动特征三个方面,诊断了1961–2016年中国不同强度雾日数和霾日数的时空分异特征。结果表明:①1961–2016年中国不同强度雾日数呈东南高、西北低的空间分异特征。重雾日数在云南西南、四川东部、华东沿海和海南等地区分布较多,超过了30 d。多数地区的轻雾日数在总雾日数中的比例超过了75%,两者的空间相关系数达0.61( $n=139579$ ),通过了0.05显著性水平的检验。霾日数在京津冀、长三角、珠三角和华中地区分布较多,全国其它地区分布较少。②1961–2016年中国轻雾日数和总雾日数在东南地区呈增加趋势,增加幅度超过了32 d/10年,两者的空间相关系数达0.59( $n=139579$ ),通过了0.05显著性水平的检验。重雾日数在长江以南呈减少趋势,而在华北、黄淮、江淮和四川东部呈增加趋势。霾日数在陕西东部至广西西部一线以东呈增加趋势,而在陕西呈减少趋势。轻雾日数的增加为霾日数的增多提供了潜在条件。③1961–2016年中国不同强度雾日数波动特征呈东南低、西北高的空间分异特征。轻雾日数与重雾日数和总雾日数的空间相关系数分别达0.57和0.63( $n=139579$ ),均通过了0.05显著性水平的检验。霾日数的波动特征整体高于不同强度雾日数,且呈东南低、东北居中、西北高的空间分异特征。研究结果对于了解全球变暖和快速城市化背景下的雾与霾的演变特征和制定应对措施具有参考意义。

**关键词:**雾与霾;区域分异;变化趋势;波动特征;气候变化;中国

**中图分类号:** P427; X43; X915.5      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1000-811X(2020)01-0131-07

**doi:** 10.3969/j.issn.1000-811X.2020.01.024

雾和霾在气象学上是两种截然不同的天气现象<sup>[1]</sup>。其中雾主要是水汽,一般是乳白色或青白色,具有明显的边界,其水平能见度低于1 km,相对湿度大于90%,厚度一般在200 m以下,主要在早晨出现,日变化明显,且一年四季均有发生<sup>[2]</sup>。霾主要是固体颗粒物,一般是黄色或橙灰色,没有明显的边界,其水平能见度低于10 km,相对湿度小于80%,厚度一般可达3 000 m<sup>[3]</sup>,日变化不明显,且发生频率上冬季多、夏季少、春秋居中,是人类活动和特定天气条件综合作用的结果<sup>[4]</sup>,但究其原因人类活动是霾产生的根本原因,例如汽车尾气排放、工业污染排放等,具有持续时间长,发生范围广的特点,是典型的环境污染问题<sup>[5]</sup>。相对湿度介于80%~90%之间的雾主要是雾和霾的混合物,且以霾为主<sup>[3]</sup>。雾的形成一般需要水汽和降温条件,而霾只要固体颗粒物达到一定浓度即可形成。雾一般对交通影响

较大,尤其是重(浓)雾的水平能见度低于200 m,这种天气下发生交通事故的概率比平常高出几倍,甚至几十倍;2018年春节期间琼州海峡和海南岛部分陆地连续7d出现大雾天气,对海峡通航、航空运输和公路交通造成一定影响,特别是造成琼州海峡过海车辆严重滞留。而霾除影响交通外,最主要的是影响公众的健康。

已有研究表明仅几十年来的中国东部地区的雾日数呈减少趋势,且其平均相对湿度在69%左右,而霾日数则呈增加趋势<sup>[6-11]</sup>。雾与霾转换的平均相对湿度阈值为82%左右<sup>[3]</sup>。全球变暖背景下,大气温度和饱和比湿增加,导致相对湿度减小,一定程度上导致了雾日数减少<sup>[5]</sup>;在此背景下,城市化的快速发展和近地面层风速的减小,使得大气自净能力减弱,平均能见度减小<sup>[12-14]</sup>,导致了我国东部地区霾事件频率和强度的增加<sup>[15-16]</sup>。

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2019-07-15      修回日期: 2019-09-25

基金项目: 北京市社科基金研究基地项目(19JDGLA008); 中国博士后科学基金资助项目(2019T120114; 2019M650756); 国家自然科学基金项目(71790611, 41801064); 中亚大气科学研究基金(CAAS201804)

作者简介: 孔锋(1986-), 男, 山西临汾人, 助理研究员, 博士, 主要从事气候变化风险与自然灾害研究。

E-mail: kongfeng0824@foxmail.com

随着环境问题的日益突出,公众追求美好生活的向往受到限制。我国是全球第二石化大国、第一化工大国,中国石化产业对世界石化产业增长的贡献约为 38%。于经济发展和城市化进程的加快,中国区域性霾日益严重的主要因素是人为排放引起的  $\text{Pm}_{2.5}$  的爆发性增长。2016 年 12 月 16–21 日中国京津冀及周边地区出现大范围持续性霾天气,是近年来持续时间最长、影响范围最广、程度最重的霾过程之一,受霾影响区域面积达到 268 万  $\text{km}^2$ ,其中受重度霾影响区域面积达 71 万  $\text{km}^2$ ,石家庄、郑州等地  $\text{PM}_{2.5}$  浓度爆表,最低能见度不足 1 km。与此同时,《北京市气象灾害防治条例(草案)》中将“霾”列为气象灾害,不仅引发了环境和气象学界的激烈争论,更是引起公众和媒体沸沸扬扬的热议<sup>[17–20]</sup>。京津冀地区雾霾问题受到了国务院总理李克强的高度关注,并设立 6 亿元总理基金,组织近 2 000 名专家,从 2017 年 9 月展开了大气重污染成因与治理攻关项目。该项目认为京津冀及其周边地区高耗能、高排放的企业密集分布,导致该地区的大气污染物排放量超出全国平均水平 3 倍。其中京津冀地区的工业、燃煤、机动车和扬尘是大气污染物的主要来源,占比达到了 90% 以上。最受公众关注的  $\text{PM}_{2.5}$  的组成成分主要以硝酸盐、硫酸盐、铵盐和有机物为主,占比达到了 70% 以上<sup>[10]</sup>。

当前研究中较多关注霾事件的变化及其成因<sup>[21–24]</sup>,而对雾和霾事件的多属性变化特征的研究相对较少,尤其从全国尺度分析不同强度雾日数时空变化研究则更少。综上,本文从气候态特征、变化趋势和波动特征诊断 1961–2016 年中国不同强度雾日数和霾日数的时空变化特征,研究结果对于认识全球变暖背景下中国雾与霾的多属性变化区域差异和风险防范具有参考意义。

## 1 数据和方法

### 1.1 数据来源

本文采用的 1961–2016 年的中国不同强度雾日数和霾日数数据来自中国气象局国家气象信息中心提供的《雾霾专题数据集(V1.0)》。该数据集是中国气象局国家气象信息中心根据地面气象观测数据文件和实时上传的地面气象要素数据文件制作而成。该数据集包含了中国 2 474 个国家级地面气象站的霾天气现象观测数据。“轻雾”、“重雾”(雾)现象均来自连续天气现象段。当连续天气现象记录中记有上述现象时,对应要素日值数据标记为“1”,若未记录上述现象则标记为“0”,若连续天气现象缺测则标记为“8”。本文将“轻雾日数”和“重雾日数”日数之和称之为“总雾日数”。1961–2014 年“霾”现象均来自连续天气现象段,处理方法同“轻雾”、“重雾”。2015 年 1 月 1 日开始,除湖北和广东外,已实现霾现象自动判识的台站,当某日持续 6 个(含)以上时次现在天气现象有霾记录,则认定该日为霾日,对应霾日值数据标记为“1”,否则标记为“0”。上述统计时,如果统计时段内现在天气现象缺测率超过 50%,则从连续天气现象段中统计霾。未实现霾现象自动

判识的台站仍基于连续天气现象段统计。在质量控制方法上,本数据集制作过程中,应用气候界限值或允许值检查、内部一致性检查和空间一致性检查 3 类方法,进行了严格的“台站–省级–国家级”三级质量控制,质量良好。在此基础上,进一步对站点数据进行校对,如果缺测率超过 0.5%,则剔除该站点。对于缺测率小于 0.5% 的站点,采用临近站点或前后年份的值进行补缺。最终得到 545 个气象站点(图 1)。本文的气象站点不包括我国港、澳、台地区。

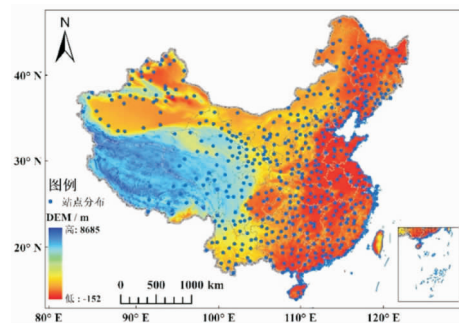


图 1 中国数字高程和气象站点分布

### 1.2 计算方法

首先,本文分析了 1961–2016 年中国不同强度雾日数和霾日数的气候态空间分异格局。其次,采用一元线性趋势方法计算了 1961–2016 年中国不同强度雾日数和霾日数的变化趋势,具体的计算方法如下<sup>[1,21–22]</sup>:

对于样本量为 56 的某一站点的中国不同强度雾日数或霾日数序列  $y_j$ ,用  $t_j$  表示所对应的时刻,建立  $y_j$  与  $t_j$  之间的一元线性回归方程:

$$\hat{y}_j = a + bt_j. \quad (1)$$

式中:  $a$  为回归常数,  $b$  为回归系数。利用最小二乘法可求出  $a$  和  $b$ 。

$$\begin{cases} b = \frac{\sum_{j=1}^n y_j t_j - \frac{1}{n} (\sum_{j=1}^n y_j) (\sum_{j=1}^n t_j)}{\sum_{j=1}^n t_j^2 - \frac{1}{n} (\sum_{j=1}^n t_j)^2}; \\ a = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n y_j - b \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n t_j. \end{cases} \quad (2)$$

回归系数  $b$  的符号表示某一站点的中国不同强度雾日数或霾日数序列的线性趋势。 $b > 0$  表明随时间增加,雾日数或霾日数序列呈增加趋势; $b < 0$  表示随时间增加,雾日数或霾日数序列呈减少趋势。 $b$  的大小反映了雾日数或霾日数序列增加或减少的速率。

最后,采用变异系数表征 1961–2016 年中国不同强度雾日数和霾日数的波动特征,其是标准差与平均数绝对值的比值,可以用于衡量数据的波动性,优点在于可消除单位和平均值不同对两个或多个资料变异程度比较的影响。其计算公式为:

$$v = \frac{S}{|\bar{x}|}. \quad (3)$$

式中:  $S$  和  $|\bar{x}|$  分别为标准差和平均值。在本文中,变异系数越小(大),表示 1961–2016 年中国不同强度雾日数和霾日数波动程度越小(大)<sup>[1,21]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 中国不同强度雾日数气候态的时空分异特征

从不同强度雾日数的气候态空间分异特征来看, 1961–2016 年中国气候态年均轻雾日数大致以胡焕庸线为界, 呈现出明显的东南高、西北低的空间分异格局(图 2a)。其中胡焕庸线以东的多数地区的年均轻雾日数超过了 135 d, 而胡焕庸线以西的多数地区则低于 15 d。东北多数地区的年均轻雾日数居中, 大多介于 30~45 d。两广地区的轻雾日数相比其北部毗邻省份明显偏少。重雾日数相比轻雾日数明显偏少。重雾日数在云南西南、四川东部及华东沿海地区和海南等是高值分布区, 大都超过了 30 d(图 2b), 这些地区大都是地形复杂的山地、丘陵和盆地地区, 水汽条件充足; 华南和胡焕庸线以西地区的重雾日数相对较低, 大都在 15 d 以下。青藏高原和西部地区深居东亚内陆腹地, 水汽来源匮乏, 加之日照早晚变化显著, 因此重雾日数相对较少。总雾日数的空间分布特征和轻雾日数分布类似, 也以胡焕庸线为界, 呈现出东南高、西北低的空间分异格局(图 2c); 总雾日数与轻雾日数的空间相关系数为 0.61 ( $n=139\ 579$ ), 通过了 0.05 显著性水平的检验。两者在空间上较高的一致性是因为轻雾日数在总雾日数中的比例较高, 多数地区的比例超过了 75%。中国不同强度雾日数的分布格局除了人类活动影响外, 主要受自然地理环境的影响, 尤其是水汽条件、地形和地势的影响<sup>[6,9,17]</sup>。

### 2.2 中国不同强度雾日数变化趋势和波动特征的时空分异特征

从不同强度雾日数的长期变化趋势来看, 1961

–2016 年中国不同强度雾日数表现出鲜明的空间分异格局(图 3)。其中轻雾日数以胡焕庸线为界, 该线以东多数地区的轻雾日数主要呈现出明显的增加趋势(图 3a), 多数地区的趋势增加幅度超过了 32 d/10 年, 且通过了 0.05 显著性水平的检验; 全球变暖背景下胡焕庸线以东地区的相对湿度和风速相对减小, 因此, 为轻雾的形成提供了有利的条件。而该线以西的绝大多数地区的轻雾日数增减趋势不明显, 未通过 0.05 显著性水平的检验。重雾日数变化趋势具有明显的区域和次区域分布特征, 且重雾日数的趋势增减幅度明显小于轻雾日数。东北大部分地区 and 长江流域以南地区的重雾日数主要以减少趋势为主, 且多数地区的减少幅度大多超过了 4 d/10 年, 通过了 0.05 显著性水平的检验(图 3b); 长江流域以北的华北、黄淮、江淮和四川东部等平原和盆地地区的重雾日数主要以增加趋势为主, 且增加幅度大多超过了 4 d/10 年, 通过了 0.05 显著性水平的检验。除上述地势较低的平原和盆地地区外, 在中国的东北北部和新疆北部也有部分地区的重雾日数呈增加趋势。总雾日数的变化趋势空间分异格局与轻雾日数变化趋势相类似(图 3c), 两者的空间相关系数为 0.59 ( $n=139\ 579$ ), 通过了 0.05 显著性水平的检验。中国西北广大地区的不同强度雾日数变化趋势均不明显, 这可能是因为西北地区的不同强度雾日数基数相比东南地区而言较少。另外, 轻雾日数比重雾日数而言, 相对湿度偏低, 因此趋势增加的轻雾日数, 辅以人类活动的固体排放, 为其转化为雾霾混合物提供了条件<sup>[3]</sup>。

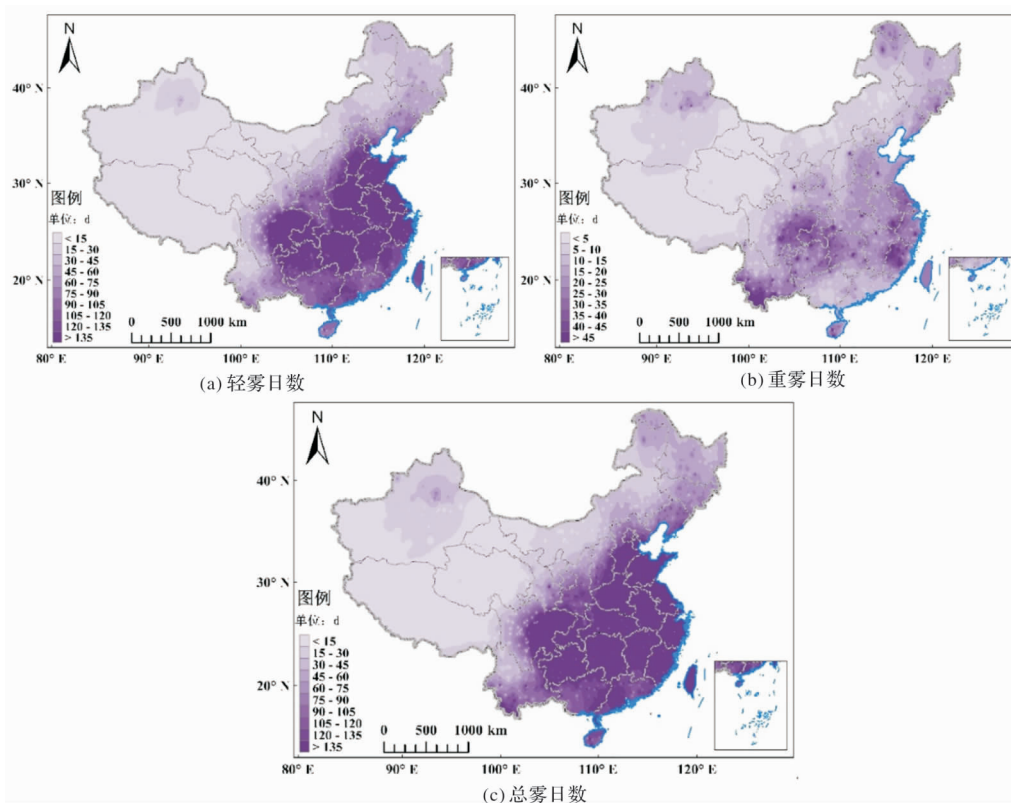


图2 中国不同强度雾日数时空分异格局(1961–2016 年)



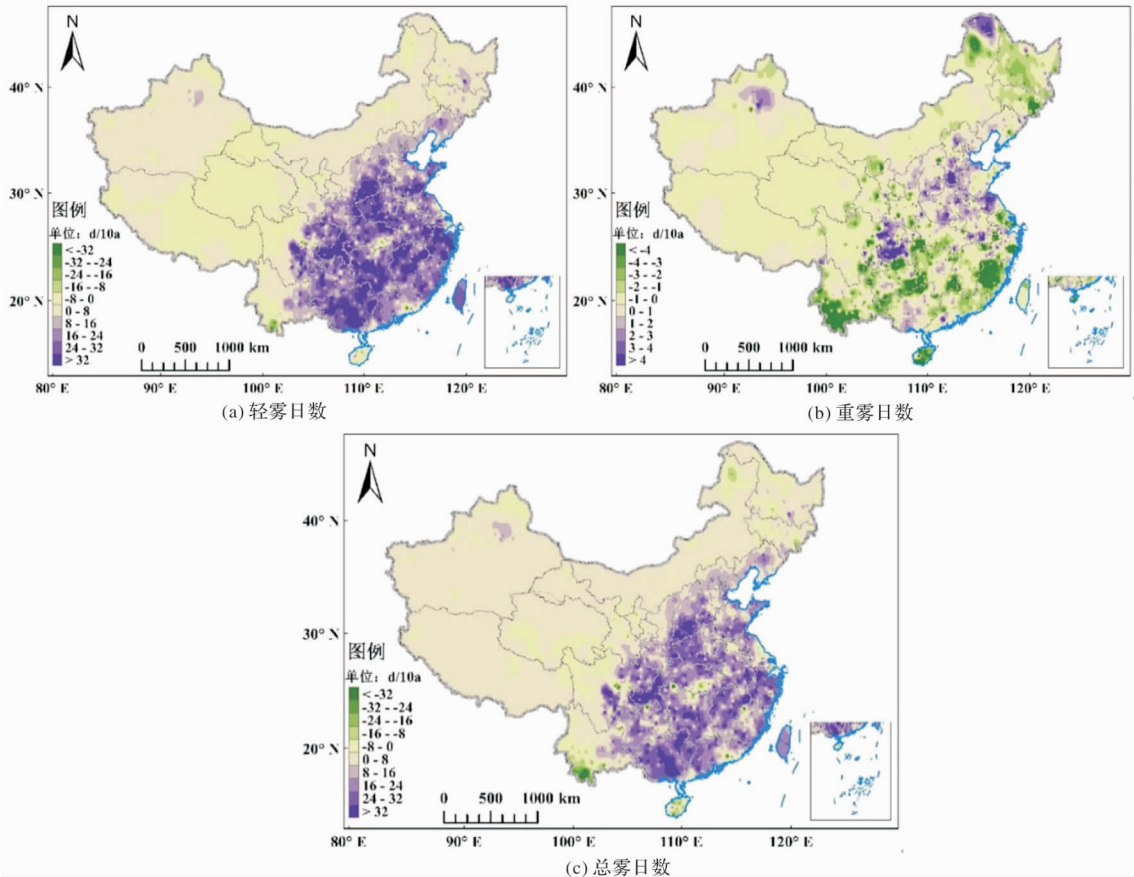


图3 中国雾日数变化趋势时空分异格局(1961 – 2016 年)

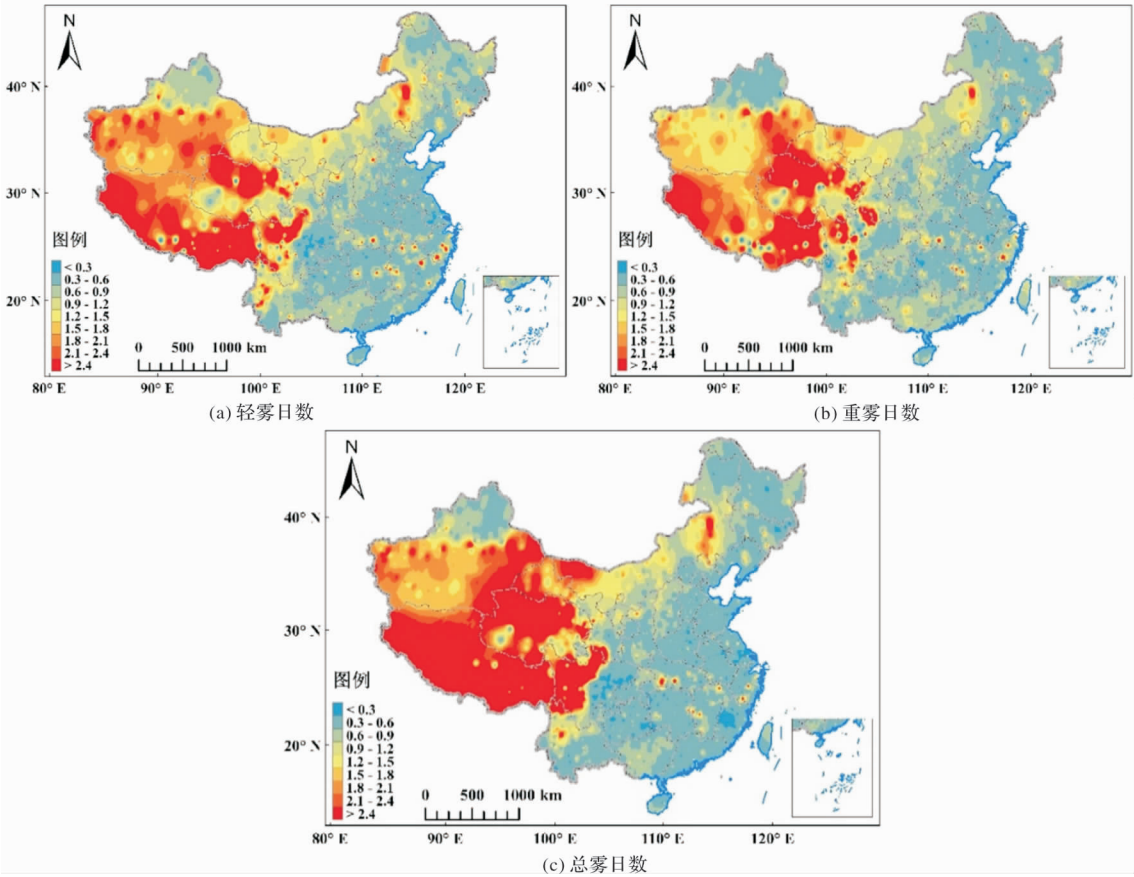


图4 中国雾日数波动特征时空分异格局(1961 – 2016 年)

以变异系数来衡量不同强度雾日数的波动特征,可以看出 1961–2016 年中国轻雾日数、重雾日数和总雾日数的波动特征均呈明显的东南低、西北高的空间分异特征(图 4),其中轻雾日数与重雾日数和总雾日数的空间相关系数分别为 0.57 和 0.63 ( $n=139\ 579$ ),均通过了 0.05 显著性水平的检验。内蒙古中西部至四川中部一线以西的西北地区中除新疆北部波动较低外,其它地区的不同强度雾日数波动特征都较高。这些地区那个较高的原因主要是不同强度的雾天气在不同年份出现的频次差异较大。

### 2.3 中国霾日数时空变化格局

进一步地,我们从霾日数的多属性变化格局,结果如图 5~图 7 所示。从气候态空间分异特征来看,1961–2016 年中国霾日数具有明显的东南高、西北低的空间分异特征(图 5)。其中东南地区的年均霾日数超过了 9 d,而西北地区的年均霾日数低于 1 d。东北多数地区的年均霾日数介于 1~2 d 之间。其中京津冀、长三角、珠三角和华中地区是全国年均霾日数最高的地区,超过了 9 d。全国年均霾日数的空间分异格局,是以城市化和工业化为标志的人类活动主导下综合作用结果。从长期变化趋势来看,1961–2016 年中国霾日数在东南地区呈现出明显的增加趋势,多数地区的增加速率超过了 4 d/10 年(图 6)。陕西的霾日数则呈现出减少趋势,且多数地区的减少速率超过了 4 d/10 年。除此之外,全国其它地区的增减趋势均较小。从波动特征来看,1961–2016 年中国霾日数波动特征呈现出东南低、东北居中、西北高的空间分异特征。西北地区可能是因为霾日数偏低且年际差异较大,导致年际变异偏大。东南地区的霾日数相对较多,且年际差异相对基底值偏小,因此,东南地区的霾日数年际变异较小(图 7)。对比 1961–2016 年中国霾日数与不同强度雾日数的波动特征可以发现,前者的波动整体高于后者,但两者波动的空间高低分异格局基本一致。

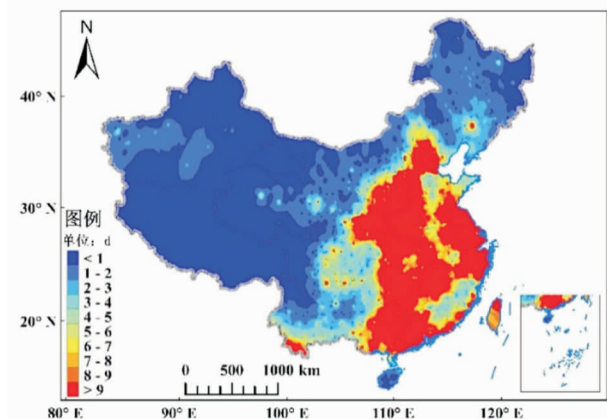


图 5 中国霾日数时空分异格局(1961–2016 年)

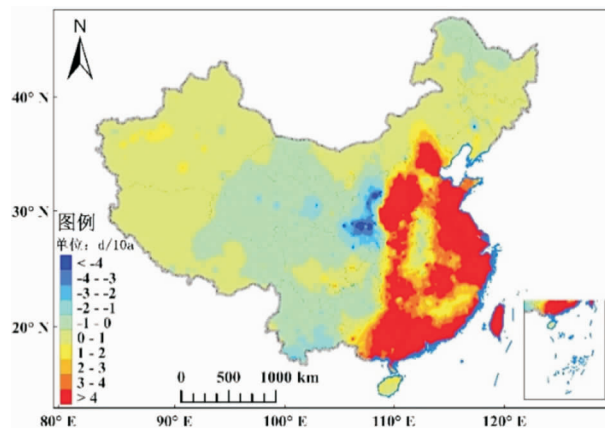


图 6 中国霾日数变化趋势的时空分异格局(1961–2016 年)

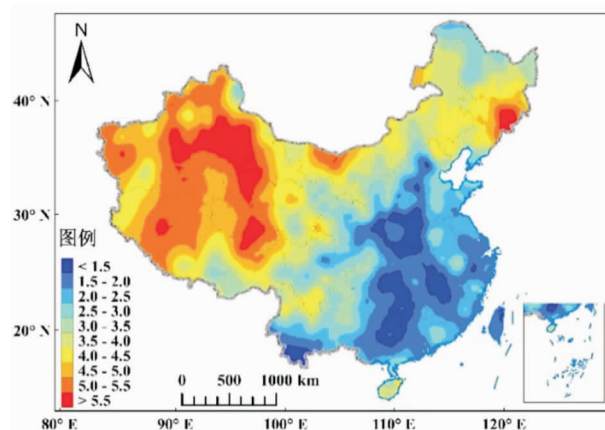


图 7 中国霾日数波动特征的时空分异格局(1961–2016 年)

## 3 结论和讨论

### 3.1 结论

(1)在气候态特征上,1961–2016 年中国年均轻雾日数、重雾日数和总雾日数呈现东南高、西北低的空间分异特征。其中轻雾日数和总雾日数的这种空间分异格局比重雾日数明显。由于多数地区轻雾日数在总雾日数中的比例超过了 75%,因此,轻雾日数与总雾日数的空间格局一致性较高,两者的空间相关系数达 0.61 ( $n=139\ 579$ ),通过了 0.05 显著性水平的检验。中国霾日数也呈现东南高、西北低的空间分异特征,但其与雾日数的分布相比在西南东部具有差异性,霾日数明显低于不同强度雾日数。

(2)在变化趋势上,1961–2016 年中国东南地区的轻雾日数呈明显的增加趋势,且多数地区的增加幅度超过了 32 d/10 年,通过了 0.05 显著性水平的检验;西北地区的轻雾日数则增减趋势不明显。重雾日数在长江以南主要以减少趋势为主。华北、黄淮、江淮和四川东部等地区重雾日数呈增加趋势;西北绝大多数地区的重雾日数增减

趋势较小。总雾日数的变化趋势空间分异格局与轻雾日数具有较高的一致性,两者的空间相关系数达 0.59 ( $n=139\ 579$ ),通过了 0.05 显著性水平的检验。同时段的霾日数在陕西东部至广西西部一线以东呈明显的增加趋势,增加幅度超过了 4 d/10 年,通过了 0.05 显著性水平的检验,这主要与人类活动密切相关。而陕西省则呈明显的减少趋势,全国其它地区增减幅度较小。轻雾日数的增多为霾日数的增多提供了潜在条件。

(3)在波动特征上,1961–2016 年中国不同强度雾日数的波动特征呈现东南低、西北高的空间分异特征,且具有较高的一致性。其中轻雾日数与重雾日数和总雾日数在波动特征上的空间相关系数分别达 0.57 和 0.63 ( $n=139\ 579$ ),均通过了 0.05 显著性水平的检验。霾日数的波动整体高于不同强度雾日数,其波动特征呈东南低、东北居中、西北高的空间分异特征。

### 3.2 讨论和展望

亟待加强雾与霾转换的驱动因素分析。本文发现中国相对湿度较高的重雾日数在长江以南地区主要以减少趋势为主,而相对湿度较低的轻雾日数则在东南地区以增加趋势为主。在这种背景下,探究人类活动中的哪项因素可能触发轻雾天气向霾天气的转换是当前城市发展中的重要问题,也是事关广大公众健康的问题。本文仅分析了我国陆地雾日数的时空演变特征,未分析海上雾的演变特征。随着“一带一路”建设的深入推进,海上贸易将持续增长,因此,全面评估海上雾日数的演变特征,对于合理规划海运、规避风险具有重要的现实意义。

1962 年美国科普作家蕾切尔的《寂静的春天》出版,该书将近代环境污染对生态系统的影响透彻地展示在读者面前,给予了人类强有力的警示<sup>[25]</sup>。1972 年联合国人类环境会议在瑞典首都斯德哥尔摩召开。该次会议是人类历史上探讨保护全球环境战略的第一次国际会议。与会的各国政府共同讨论当代环境问题,通过了《联合国人类环境会议宣言》。2022 年分别是上述两个重要事件发生的 60 和 50 周年纪念日。在人类认识到环境问题半个世纪以来,人类社会所采取的措施是否有效缓解或改善了生态环境,这一问题评价人类功与过和实现可持续发展途径的重要方面,亟待未来从多维度、多尺度、多过程、多要素等方面开展地球环境安全边界阈值和承载力的系统评估。在我国,随着生态文明建设国家战略的深入推进,霾的治理作为“城市病”的表征,通过调整能源结构,优化产业布局,推动绿色发展,实现天人合一,为生态环境持续向好发展提供了难得的机遇。

### 参考文献:

- [1] 孔锋,吕丽莉,方建,等.不同时间角度下的中国霾日数时空变化格局研究(1961 年–2015 年)[J]. 华中师范大学学报(自然科学版),2017,51(3):370–377,388.
- [2] YIN Z C, WANG H J, GUO W L. Climatic change features of fog and haze in winter over North China and Huang-Huai Area[J]. Science China Earth Sciences, 2015, 58(8): 1370–1376.
- [3] DING Y H, LIU Y J. Analysis of long-term variations of fog and haze in China in recent 50 years and their relations with atmospheric humidity[J]. Science China Earth Sciences, 2014, 57(1): 36–46.
- [4] MA J, XU X B, ZHAO C S, et al. A review of atmospheric chemistry research in China: photochemical smog, haze pollution, and gas-aerosol interactions[J]. Advances in Atmospheric Sciences, 2012, 29(5): 1006–1026.
- [5] LI L, LIU D J. Study on an Air Quality Evaluation Model for Beijing City Under Haze-Fog Pollution Based on New Ambient Air Quality Standards[J]. International Journal of Environmental Research & Public Health, 2014, 11(9): 8909–8923.
- [6] 周弘媛,钱卓蕾,季丹丹,等绍兴地区大雾时空特征分析[J]. 浙江农业科学,2018,59(11):2125–2128.
- [7] 黄鑫,李亚丽,王靖中,等.1980–2016 年陕西省冬季霾日数时空变化及霾日数增多成因初探[J/OL]. 中国环境科学: 1–16 [2019–07–10]. <https://doi.org/10.19674/j.cnki.issn1000-6923.20190527.001>.
- [8] 刘遥,陈子韬,吴建南.中国城市雾霾的形成与治理:从分析框架到实践创新[J]. 城市发展研究,2019,26(5):86–93.
- [9] 胡跃文,秦杰,苏静文,等.2016–2017 年贵州大雾时空分布及气象要素演变分析[J]. 气象,2019,45(5):659–666.
- [10] 刘晓红.中国城市雾霾污染的时空分异、动态演化与影响机制[J]. 西南民族大学学报(人文社科版),2019,40(2):98–113.
- [11] 袁家峰,黄俊,浦吉存,等.1961–2010 年曲靖地区雾的时空变化特征分析[J]. 贵州气象,2017,41(6):66–71.
- [12] IPCC AR5. Intergovernmental panel on climate change 2013 fifth assessment report (AR5) [R]. London: Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2013.
- [13] IPCC SREX. Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation[R]. London: Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2012.
- [14] IPCC SR1.5. Global warming of 1.5°C: an IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [R]. London: Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2018.
- [15] 王亚,杨令.湖南省近 46a 雾霾天气时空分布特征分析[J]. 中低纬山地气象,2018,42(6):50–53.
- [16] 孔锋.1961–2015 年中国城市化进程对雾霾时空变化的潜在影响[C]//第 35 届中国气象学会年会 S1 灾害天气监测、分析与预报,2018:12.
- [17] 陈翔翔,许爱华,许彬,等.2000–2012 年江西省三类区域性大雾时空分布及影响因素特征[J]. 气象与环境学报,2018,34(3):37–47.

- [18] 孔锋, 王一飞, 吕丽莉. 基于遥感影像的北京市裸土地表面积变化对比研究[J]. 现代农业科技, 2018(2): 234–236.
- [19] 刘少军, 吴胜安, 李伟光, 蔡大鑫, 田光辉, 张国峰. 基于 FY-3B 卫星资料的中国南海海区 1–3 月海雾时空分布特征研究[J]. 海洋气象学报, 2017, 37(4): 85–90.
- [20] 林艳, 游铮, 林龙官. 1961–2015 年福州地区雾日数的时空变化特征及其原因[J]. 海峡科学, 2017(12): 58–60, 68.
- [21] 孔锋, 代光烁, 李曼, 等. 中国不同历时霾日数时空变化特征及其与城镇化和风速的关联性研究(1961–2015)[J]. 灾害学, 2017, 32(3): 63–70, 95.
- [22] 孔锋, 吕丽莉, 方建, 等. 中国空气污染指数时空分布特征及其变化趋势(2001–2015)[J]. 灾害学, 2017, 32(2): 117–123.
- [23] 郭婷. 长三角和京津冀地区雾日、霾日的时空变化特征及影响因素研究[D]. 南京: 南京信息工程大学, 2016.
- [24] 李芳, 张熙, 马丽, 等. 济宁市雾和霾时空分布对比分析[J]. 现代农业科技, 2016(4): 244–251.
- [25] SOUTHGATE M T. Silent spring[J]. Journal of the American Medical Association, 1962, 182(6): 704.

## Spatial and Temporal Evolution Characteristics and Regional Differences of Fog and Haze Days in China from 1961 to 2016

KONG Feng<sup>1,2,3</sup>

(1. School of Public Policy and Management, Tsinghua University, Beijing 100084, China;  
2. Center for Crisis Management Research, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 3. Training Center,  
China Meteorological Administration, Beijing 100081, China )

**Abstract:** Based on 545 meteorological stations in “Fog and Haze Special Data Set (V1.0)”, the spatial and temporal variations of fog days with different intensities and haze days in China from 1961 to 2016 were diagnosed from three aspects: climatic characteristics, variation trend and fluctuation characteristics. The results showed that: Firstly, the fog days of different intensities showed spatial differentiation characteristics of high in Southeast and low in Northwest in China from 1961 to 2016, Heavy fog days distributed more in Southwestern Yunnan, Eastern Sichuan, coastal areas of East China and Hainan Province, exceeding 30 days. The proportion of light fog days in total fog days were more than 75% in most areas, and the spatial correlation coefficient of the two intensity fogs was 0.61 ( $n=139579$ ), which passed the test of 0.05 significance level. Haze days were more distributed in Beijing, Tianjin, Hebei, Yangtze River Delta, Pearl River Delta and Central China, but less in other parts of China. Secondly, light fog days and total fog days showed an increasing trend in the Southeastern China from 1961 to 2016, with an increasing trend of more than 32 d/10 年. The spatial correlation coefficient between them was 0.59 ( $n=139579$ ), which passed the test of 0.05 significance level. Heavy fog days decreased in the south of the Yangtze River, while increased in North China, Huanghuai, Jianghuai and Eastern Sichuan. Haze days increased from the east of Shaanxi to the west of Guangxi, but decreased in Shaanxi Province. The increasing of light fog days provided potential conditions for the increasing of haze days. Thirdly, the fluctuation characteristics of fog days with different intensities in China were characterized by spatial differentiation of low in Southeast China and high in Northwest China from 1961 to 2016. The spatial correlation coefficients of light fog days, heavy fog days and total fog days were 0.57 and 0.63 ( $n=139579$ ), respectively, which passed the test of 0.05 significance level. The fluctuation characteristics of haze days were higher than those of fog days with different intensities, and showed the spatial differentiation characteristics of low in Southeast China, middle in Northeast China and high in Northwest China. The results were of great significance for understanding the evolution characteristics of fog and haze under the background of global warming and rapid urbanization and formulating countermeasures.

**Key words:** fog and haze; regional differentiation; change trend; fluctuation characteristics; climate change; China