杨月巧，孔锋，刘京会，等. 基于时空分布特征的霾与区域经济关联性分析[J]. 灾害学，2019，34(2)：128 - 132. [YANG Yueqiao，KONG Feng，LIU Jinghui，et al. The Relevance Analyse of Haze and Regional Economy Based on the Characteristics of Temporal and Spatial Distribution[J]. Journal of Catastrophology，2019，34(2)：128 - 132. doi：10. 3969/j. issn. 1000 - 811X. 2019. 02. 024.]

基于时空分布特征的霾与区域经济关联性分析*

杨月巧[1]，孔　锋[2]，刘京会[1]，李海君[1]

（1. 防灾科技学院 应急管理学院，河北 三河 065201；2. 清华大学 公共管理学院应急管理基地，北京 海淀 100084）

摘　要：霾与经济相关性研究较多，这些研究假定霾处于污染状态作为不变的量。事实上霾是可以流动的，时刻处于动态变化中。对霾的时空格局变化过程进行动态分析，更有利于界定霾与区域经济的相关性。根据霾日数时空格局分布将所研究区域划分为四类，分别为：Ⅰ类长期性霾污染状态、Ⅱ类间歇性霾污染状态、Ⅲ类新出现霾污染状态和Ⅳ类无霾状态。分别针对这四类区域的霾次数、霾日数和 GDP 进一步进行对比分析和相关性分析。结果显示经济发展是霾污染的因素之一，但不是唯一因素，因此不同区域要采取不同的治霾措施。明确各区域霾污染产生的各种影响因素，采用多种手段，从多个方向入手，实现精准治霾。

关键词：霾；GDP；时空分布特征；精准治霾

中图分类号：X51；X915. 5；F061　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**1000 - 811X(2019)02 - 0128 - 05

doi：10. 3969/j. issn. 1000 - 811X. 2019. 02. 024

霾形成有天然的因素[1-3]，更是经济发展的产物。Renchang Yan 等证明了工业和城市化的快速发展产生严重的霾问题[4]；在此基础上，郭俊华等人研究认为产业结构失衡形成了雾霾天气[5]。茹少峰，雷振宇把经济发展方式分为粗放型经济发展和集约型经济，只有粗放型经济才产生霾污染[6]。持此观点的还有吴振磊和朱楠，他们也认为雾霾天气的频发与我国传统粗放型的城市化方式紧密相关[7]。马国顺和赵倩持不同观点，他们认为经济发展产生的汽车尾气、工厂制造、冬季取暖等才是霾产生的原因[8]。而石庆玲等的研究则说明中国雾霾高发可能还将持续很长一段时间，解决雾霾问题，政府的作用不可或缺，特别是地方政府的作用[9]。部分学者则把研究重点放在霾对经济产生的影响。吴春燕和王雪峰认为霾直接影响植物的光合作用，导致经济作物产量的下降，从而对农业造成影响[10]；刘星河发现重污染天气会导致公共压力的加大，从而增加企业的融资成本，使企业发展受阻[11]。学者们甚至利用不同的模型计算出霾造成的经济损失。王桂芝等运用投入产出模型，估算 2013 年霾给北京市交通运输业、建筑业等行业造成的产能损失[12]。姜绵峰等人计算出上海市 PM2. 5 的健康经济损失预计 2020 年损失值达到 261. 85 亿元[13]。以上研究假定霾是一个固定的状态，在霾与经济的相关性研究中，霾的量不变化，而只有经济的量在发生变化。事实上，霾的污染是处于不断动态变化过程中，通过对霾的时空格局变化过程进行动态分析得出的结论更有利于界定二者的相关性。

1　相关文献回顾

本文采用中国气象局提供的霾日数数据来源于“雾霾专题数据集(V1. 0)”。该数据集制作过程中，应用气候界限值或通话值检查、内部一致性检查和空间一致检查 3 类方法，进行质量控制，质量良好，各要素项数据的实有率均在 98% 以上，数据正确率均接近 100%。

本论文研究的时间区间确定为 1996 - 2012 年，其依据以下两个方面：PM2. 5 是衡量霾污染程度的重要指标。该指标是 1997 年美国首次提出，因此选用 1996 年作为研究的起始时间。我国是 2012 年底开始统计 PM2. 5 的值。这个期间是中国经济飞速发展的阶段，也是雾霾影响日趋严重的阶段。因此选取 1996 - 2012 年作为研究阶段可以有效判断二者关联性。

2　霾长期气候态时空格局分析

根据“雾霾专题数据集(V1. 0)”提供的数据，所研究区域内国家级地面气象站在 1996 - 2012 年不同历时的年总霾日数进行时空格局分析。

2. 1　时间序列分析

从时间序列来看，在长期气候态上，1996 - 2012 年持续了 7 d 及以上的年总霾日数仅占总霾日数的 12. 67 %，而持续 6 d 及以下的年总霾日数占

* 收稿日期：2018 - 09 - 13　　修回日期：2018 - 10 - 31

基金项目：河北省社会科学基金(HB17GL003)

第一作者简介：杨月巧(1972 -)，女，山西临汾人，博士，副教授，主要研究方向环境风险和应急管理理论.

E-mail：yangyueqiao@163. com

总霾日数的 87.33 %，持续 3 d 及以上的年总霾日数仅占总霾日数的 44%，持续 2 d 及以上的年总霾日数仅占总霾日数的 56%。在年际变化上，1996 –2012 年不同历时霾日数具有明显的变动。如图 1 所示。

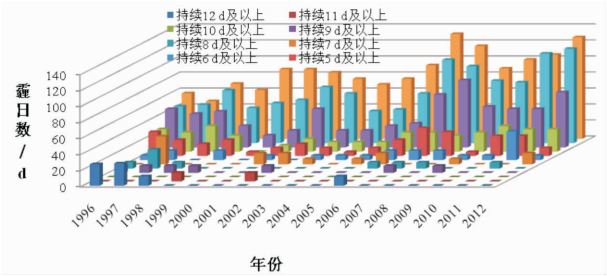


图 1　所研究区域内不同年份霾日数总和时间序列变化图(1996 –2012)

图 2 显示的是所研究区域在 1996 –2012 年间 GDP 年际变化趋势。通过图 2 显示，GDP 的变化是逐年递增的。

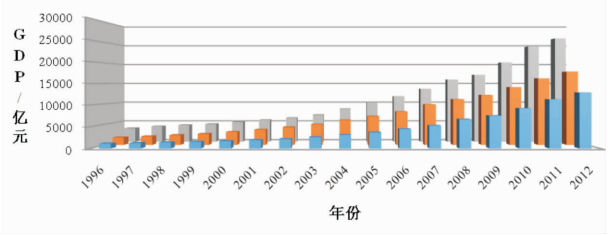


图 2　所研究区域内不同城市不同年份 GDP 变化图(1996 –2012 年)

通过图 1 和图 2 的对比分析可知，所研究区域的年霾日数总和时间序列变化和 GDP 变化趋势并不一致，因此两者之间无法判断相关性。

2.2　空间分布格局分析

从空间分布格局来看从 1996 –2012 年从持续 1 d 及以上的年总霾日数到持续 12 d 及以上的年总霾日数，其长期气候态均值高值范围依次缩小，如图 3 和图 4 所示。通过图 3 和 4 所显示的空间分布格局可以明显地看出霾空间分布大致可以分成以下四类。

Ⅰ类霾空间：从图 3 和图 4 可以看出从 1996 到 2012 年间这类区域一直是霾污染状态，因此其特征是长期性霾污染。

Ⅱ类霾空间：从图 3 和图 4 可以看这类区域虽然持续时间短，但是 20 年来经常性、反复性发生霾污染，因此其特征是间歇性霾污染。

Ⅲ类霾空间：以某一年为分界线，该年之前整个区域几乎没有出现过霾，该年以后才出现的霾，因此其特征是新出现霾污染。

Ⅳ类霾空间：从 1996 到 2012 年间从来没有发生霾污染，其特征是无霾污染。

3　不同区域霾与经济发展趋势分析

霾与经济相关性分析其中霾利用的是霾日数和霾次数作为研究指标，经济采用 GDP 增长率作为研究指标。

霾日数和霾次数是霾最直观的表象，GDP 是反映一个地区社会经济发展水平和程度的重要指标之一，但是 GDP 总量指标无法直观显示经济的发展程度，用 GDP 比上一年增长的百分比作为研究指标。因此选择不同霾空间所在区域的霾日数、霾次数与 GDP 增长率进行相关性研究，从而得出关联性。

3.1　散点图分析

将表 1 中的数据以散点图表示出来如图 5 所示。

通过图 5 可知：

(1)霾次数(兰色点)：Ⅰ类区域呈波动状态，1996 年到 1998 年是第一个峰值，10 年后，在 2006 和 2007 又一次达到峰值；Ⅱ类区域特点是波

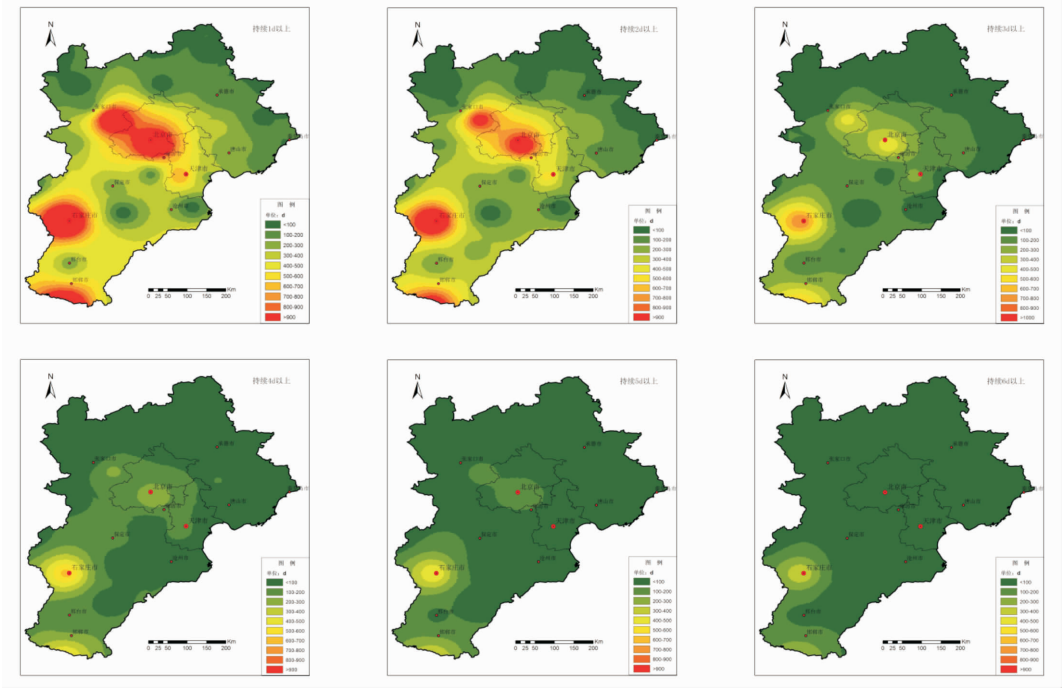


图 3　持续 7 d 以下霾日数空间格局(1996 –2012)

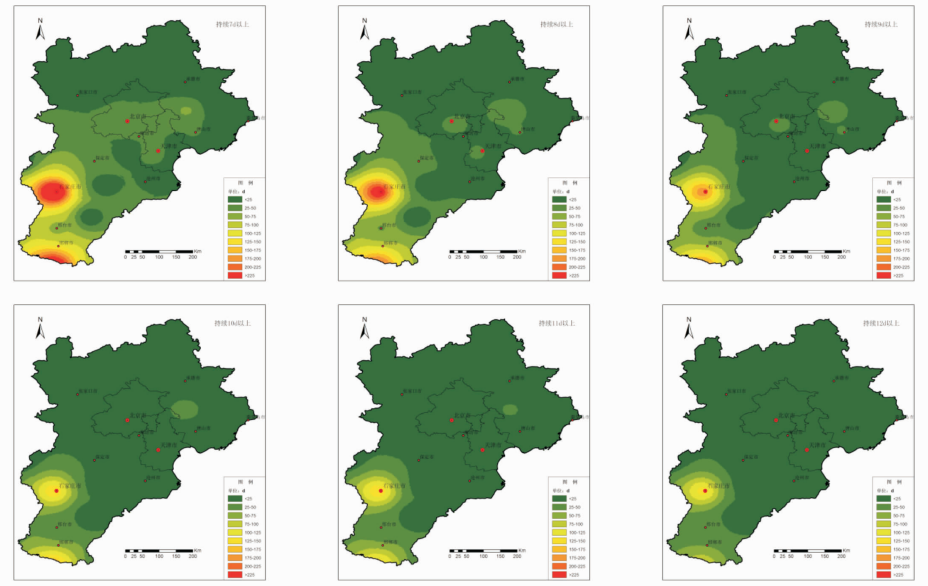
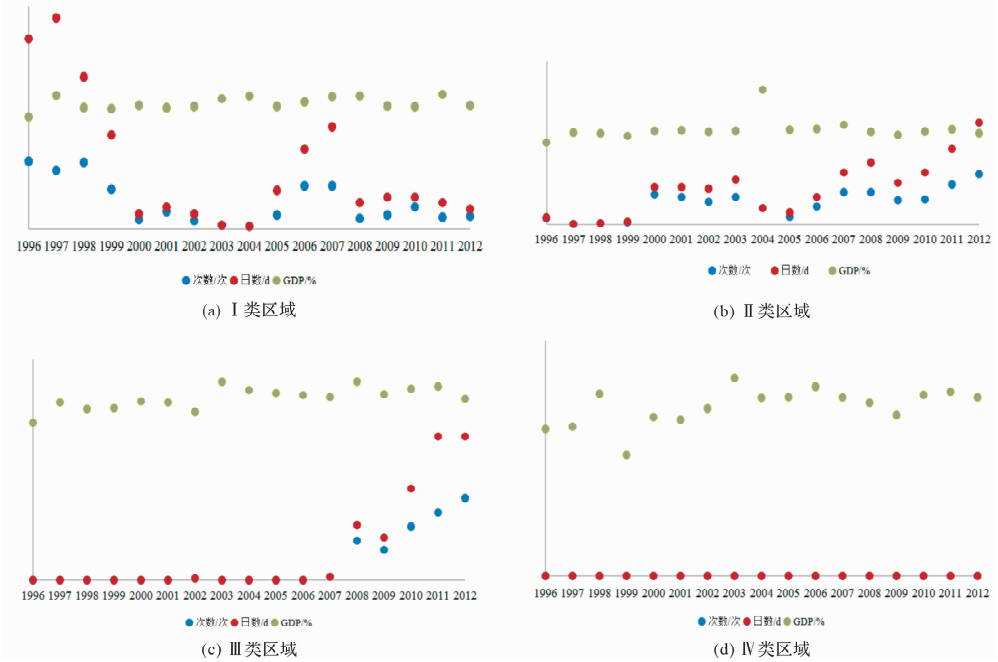


图 4 持续 7 d 以上(包括 7 d)霾日数空间格局(1996 – 2012)



(a) Ⅰ类区域 (b) Ⅱ类区域

(c) Ⅲ类区域 (d) Ⅳ类区域

图 5 霾发生次数、日数与 GDP 增长率散点图(1996 – 2012)

动上升，没有明显的峰值，呈现得是在 2000 ~ 2003 年区间较高，经过 2004 ~ 2006 年短暂下降后，又在 2007 年、2008 年上升，2009 年、2010 年回落，然后就一直保持攀升状态；Ⅲ类区域在 2007 年之前几乎没有霾现象，2008 年霾发展迅速，在 2009 年略有回落之后，就一直保持增高；Ⅳ类区域没有霾现象。

(2)霾日数(桔色点)：Ⅰ类区域的霾日数与霾次数保持相似的形状，只是在峰值时，桔色点比兰色点位置更高，说明在每次霾污染时霾日数较长；Ⅱ类区域的桔色点比兰色点位置相近，霾日数与霾次数保持相似的形状。与Ⅰ类区域不同的是，二者位置相近，说明每次发生霾污染时持续的时间比Ⅰ类区域短；Ⅲ类区域霾日数与霾次数保持相似的形状，与Ⅰ类区域相似的是：在峰值时，桔色点比兰色点位置更高，说明在发生每次发生时霾日数较长。

(3)GDP 增长率(绿色点)：四个城市增长幅度略有变化，但是幅度不大，没有霾次数和日数那样大幅度的波动。

通过对各散点的分析，可得出如下结论：

(1)霾次数和霾日数对比分析，四个城市变化趋势都相近。因此，各城市的霾次数和日数之间具有相关。

(2)霾次数和与 GDP 对比分析，Ⅰ类区域较为散乱、无法从图中直接发现相关性。Ⅱ类区域、Ⅲ类区域在霾次数较低时，GDP 增长值较高，而霾次数上升时，GDP 变化率在下降；Ⅳ类区域县，因为霾次数均为 0，GDP 的变化率略有变化，因此，完全不相关。

表 1　霾发生次数、日数和 GDP 增长率汇总表(1996 – 2012)

年份	Ⅰ类区域			Ⅱ类区域			Ⅲ类区域			Ⅳ类区域		
	次数/次	日数/d	GDP/亿元	次数/次	日数/d	GDP/亿元	次数/次	日数/d	GDP/亿元	次数/次	日数/d	GDP/亿元
1996	60	170	100.00	7	8	100.00	0	0	100.00	0	0	100.00
1997	52	189	119.04	0	0	112.03	0	0	112.72	0	0	101.61
1998	59	136	108.25	1	1	111.12	0	0	108.70	0	0	124.01
1999	35	84	107.39	2	3	108.11	0	0	109.19	0	0	82.34
2000	8	13	110.43	36	45	113.99	0	0	113.39	0	0	108.27
2001	15	19	108.21	33	45	114.80	0	0	112.76	0	0	106.44
2002	7	13	109.34	27	43	112.90	1	1	106.86	0	0	113.90
2003	3	3	116.10	33	54	114.02	0	0	125.71	0	0	134.45
2004	2	2	118.54	19	19	164.70	0	0	120.67	0	0	121.23
2005	12	34	109.39	9	14	115.52	0	0	118.86	0	0	121.62
2006	38	71	113.42	21	33	116.48	0	0	117.49	0	0	128.70
2007	38	91	118.08	39	63	121.30	2	2	116.25	0	0	121.45
2008	9	23	118.61	39	75	112.88	25	35	125.82	0	0	117.76
2009	12	28	109.74	29	50	109.34	19	27	118.04	0	0	109.63
2010	19	28	109.15	30	63	113.37	34	58	121.44	0	0	123.28
2011	10	23	120.08	48	92	116.13	43	91	122.86	0	0	125.35
2012	11	17	110.23	61	124	111.25	52	91	115.14	0	0	121.50

表 2　GDP 增长率、霾次数、霾日数的相关性表

		Ⅰ类区域			Ⅱ类区域			Ⅲ类区域		
		GDP/%	次数/次	日数/d	GDP/%	次数/次	日数/d	GDP/%	次数/次	日数/d
GDP/%	皮尔逊相关性	1	−0.409*	−0.312	1	−0.082	−0.189	1	0.112	0.040
	显著性(单尾)		0.037	0.090		0.366	0.213		0.319	0.433
	个案数	20	20	20	20	20	20	20	20	20
次数/次	皮尔逊相关性	−0.409*	1	0.956**	−0.082	1	0.927**	0.112	1	0.981**
	显著性(单尾)	0.037		0.000	0.366		0.000	0.319		0.000
	个案数	20	20	20	20	20	20	20	20	20
日数/d	皮尔逊相关性	−0.312	0.956**	1	−0.189	0.927**	1	0.040	0.981**	1
	显著性(单尾)	0.090	0.000		0.213	0.000		0.433	0.000	
	个案数	20	20	20	20	20	20	20	20	20

注：* 为在 0.05 级别(单尾)，相关性显著；** 为在 0.01 级别(单尾)，相关性显著。

3.2　相关性分析

判断霾次数、霾日数与 GDP 增长率的相关性分析，其中 GDP 增长率只有一个变量，而霾次数和霾日数是两个变量。测量一个变量与其他多个变量之间的线性相关程度指标是利用复相关系数。为了测定一个变量 y 与其他多个变量 x_1，x_2，…，x_k 之间的相关系数，可构造一个关于 x_1，x_2，…，x_k 的线性组合。通过计算该线性组合与 y 之间的简单相关系数作为变量 y 与 x_1，x_2，…，x_k 之间的复相关系数。具体计算过程如下。

用 y 与 x_1，x_2，…，x_k 作回归，得：

$$\hat{y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_1 + \cdots + \hat{\beta}_k x_k。\quad (1)$$

计算 y 与 $\hat{y}$ 的复相关系数，用 R 表示复相关系数，R^2 是线性回归方程的决定系数。R 的相关系数计算公式为：

$$R = \frac{\sum (y-\bar{y})(\hat{y}-\bar{y})}{\sqrt{\sum (y-\bar{y})^2 \sum (\hat{y}-\bar{y})^2}}。\quad (2)$$

将表 1 中Ⅰ类区域、Ⅱ类区域和Ⅲ类区域的值输入 SPSS23 软件，结果如表 2 – 表 4 所示。

通过表 2 分析可知

(1)Ⅰ类区域的霾次数与 GDP、霾日数与 GDP 增长率之间表现为弱相关。

(2)Ⅱ类区域的霾次数与 GDP、霾日数与 GDP 增长率之间表现为极强相关。并且霾日数与 GDP 增长率的相关程度要大于霾次数与 GDP 增长率的相关程度。即霾发生的日数比次数对Ⅱ类区域的 GDP 增长率影响更大。

(3)Ⅲ类区域的霾次数与 GDP、霾日数与 GDP 增长率之间表现为极强相关。并且霾日数与 GDP 增长率的相关程度略大于霾次数与 GDP 增长率的相关程度。即霾发生的日数对Ⅲ类区域的 GDP 增长率的影响程度略大于次数的影响程度。

由于Ⅱ类和Ⅲ类区域霾次数与 GDP、霾日数与 GDP 之间表现为极强相关，因此需要进一步判断相关系数。

通过表 3 和表 4 可知：Ⅱ类区域复相关系数为 0.929，Ⅲ类区域复相关系数为 0.931，这两个区域的拟合程度较好，并且回归模型的概率为 0，小于显著性水平 0.01，线性关系成立。说明Ⅱ类区域和Ⅲ类区域两个城市霾次数、霾日数与 GDP 线性相关。

表 3　相关分析模型汇总

模型	R	R^2	调整 R^2	标准估计的误差
Ⅱ类区域	0.929	0.863	0.847	2727.414
Ⅲ类区域	0.931	0.867	0.851	2038.272

表 4 相关分析 ANOVA

模型		平方和	自由度	均方	*F*	显著性
Ⅱ类区域	回归	794623754.592	2	397311877.296	53.411	0.000
	残差	126459353.067	17	7438785.475		
	总计	921083107.660	19			
Ⅲ类区域	回归	459031954.364	2	229515977.182	55.244	0.000
	残差	70627426.711	17	4154554.512		
	总计	529659381.075	19			

4 研究结论与建议

(1)霾时空格局分布特征可以明显地看出霾空间分布大致可以分成以下四类。Ⅰ类霾空间：这类区域在 1996 ~ 2012 年期间一直是霾污染状态，因此其特征是长期性霾污染。Ⅱ类霾空间：这类区域虽然持续时间短，但是 20 年来经常性、反复性发生霾污染，因此其特征是间歇性霾污染。Ⅲ类霾空间：以某一年为分界线，该年之前整个区域几乎没有出现过霾，该年以后才出现的霾，因此其特征是新出现霾污染。Ⅳ类霾空间：从来没有发生霾污染，其特征是无霾污染。

(2)散点图和相关性分析结果说明不同霾空间与 GDP 增长率相关程度不同。因此在治理时不同区域要采取不同的治霾措施。Ⅰ类区域霾次数、霾日数和 GDP 增长率之间没有明显的线性关系，说明Ⅰ类区域市的霾污染产生原因不仅仅是经济发展造成的，具有多方面原因，要探讨霾污染产生的各方面因素，采用多种手段，从多个方向入手解决霾污染问题，因此需要全方位的进行治理。Ⅱ类区域和Ⅲ类区域霾次数、霾日数与 GDP 增长率呈线性相关，说明经济发展不合理造成霾污染，要治理霾就需要调整产业结构。Ⅳ类区域近 20 年没有出现过霾，因此要经济发展过程中要注重不能造成新的污染。

参考文献：

[1] Pastuszka J S, Rogula-Kozłowska W, Zajusz – Zubek E. Characterization of PM10 and PM2.5 and associated heavy metals at the crossroads and urban background site in Zabrze, Upper Silesia, Poland, during the smog episodes[J]. Environmental Monitoring & Assessment, 2010, 168(1-4): 613-627.

[2] Goldberg M S, Burnett R T, Brook J R, et al. Identifying subgroups of the general population that may be susceptible to short-term increases in particulate air pollution: a time-series study in Montreal, Quebec[J]. Research Report, 2000, 97(97): 7.

[3] 王勇，郝振航，任栋，等. 中国大陆地区 GNSS 对流层延迟与 PM2.5 浓度的相关性研究[J]. 灾害学，2017，32(4)：6-10.

[4] Yan R, Yu S, Zhang Q, et al. A heavy haze episode in Beijing in February of 2014: Characteristics, origins and implications[J]. Atmospheric Pollution Research, 2015, 6(5): 867-876.

[5] 郭俊华，刘奕玮. 我国城市雾霾天气治理的产业结构调整[J]. 西北大学学报(哲学社会科学版)，2014，44(2)：85-89.

[6] 茹少峰，雷振宇. 我国城市雾霾天气治理中的经济发展方式转变[J]. 西北大学学报(哲学社会科学版)，2014，44(2)：90-93.

[7] 吴振磊，朱楠. 我国雾霾天气治理的城市化方式的转变[J]. 西北大学学报(哲学社会科学版)，2014，44(2)：98-102.

[8] 马国顺，赵倩. 雾霾现象产生及治理的演化博弈分析[J]. 生态经济，2014，30(8)：169-172.

[9] 石庆玲，郭峰，陈涛一. 雾露治理中的“政治性蓝天”——来自中国地方“两会”的证据[J]. 中国工业经济，2016.5：40-56.

[10] 吴春燕，王雪峰. 叶面滞尘量对大叶黄杨反射光谱的影响[J]. 林业科学，2015，51(3)：49-56.

[11] 刘星河. 公共压力、产权性质与企业融资行为——基于“PM2.5 爆表”事件的研究[J]. 经济科学，2016(02)：67-80.

[12] 王桂芝，顾赛菊，陈纪波. 基于投入产出模型的北京市霾间接经济损失评估[J]. 环境工程，2016，34(1)：121-125.

[13] 姜绵峰，叶春明，盛真真，等. 上海市雾霾健康经济损失风险评估[J]. 生态科学，2017，36(3)：90-97.

The Relevance Analyse of Haze and Regional Economy Based on the Characteristics of Temporal and Spatial Distribution

YANG Yueqiao, KONG Feng, LIU Jinghui and LI Haijun

(1. *Institute of disaster prevention Emergency management*, *Sanhe* 065201, *China*;
2. *Emergency Management Base*, *School of Public Policy and Management*, *Tsinghua University*, *Beijing* 100084, *China*;

Abstract: There are many studies on the correlation between haze and economy. The studies assume that haze is a constant quantity. In fact, haze can flow and keep in a dynamic change. The change of haze is analyzed dynamically. Four typical states have been gotten by the characteristics of temporal and spatial distribution. Ⅰ is long-term haze state. Ⅱ is intermittent haze pollution state. Ⅲ is haze appeared from a certain year. Ⅳ is no haze state. Different regions have different states. In every region, the relation of time number, day number and GDP were analyzed by comparison and correlation. The results show the change trend of haze and GDP is not the similarity and the relevance of the haze and GDP is different among four types. The advice is different areas should adopt different measures to reduce haze.

Key words: Haze; GDP; Characteristics of Temporal and Spatial Distribution; Targeted Haze Alleviation