

DOI: 10.14182/J.cnki.1001-2443.2019.03.011

安徽省 O_3 浓度的时空分布特征及影响因素

廖润霞, 程先富, 王佳佳

(安徽师范大学 地理与旅游学院, 安徽 芜湖 241003)

摘要: 基于2016年安徽省空气质量监测站的 O_3 数据, 分析 O_3 的时空分布特征, 运用地理探测器方法, 探讨 O_3 浓度的影响因素。结果表明: ①2016年安徽省 O_3 浓度在季度上呈现春夏高、秋冬低的规律; 在月度上5—9月 O_3 浓度中位值较高, 1月、2月、12月 O_3 浓度中位值较低; O_3 浓度日变化总体呈单峰型, 最高值出现在下午15:00, 最低值出现在7:00。②安徽省 O_3 浓度空间分布总体为北高南低。③因子探测结果表明, 对臭氧浓度影响较大的因子有 PM_{10} 、CO、相对湿度、气压、降水量、日照时数、风速、 $PM_{2.5}$ 、第三产业产值、工业企业个数、工业废气排放量、全社会用电量及公路里程。交互探测分析表明, 不同因子间的交互作用, 正向强化了各因子的解释力, 最大交互因子为相对湿度 $\cap$ 公路里程, 降水量 $\cap$ 气温, CO $\cap$ 常住人口。

关键词: O_3 ; 时空分布; 克里金插值法; 地理探测器; 安徽省

中图分类号: X 511

文献标志码: A

文章编号: 1001-2443(2019)03-0262-07

O_3 是光化学烟雾的主要成分, 是在有光照的情况下通过一系列复杂的反应产生的, 这些反应涉及氮氧化物(NO_x)和挥发性有机化合物(VOCs)。 O_3 对人类健康和植物的不利影响, 使对流层臭氧已成为近几十年来研究最多的主题之一^[1]。

目前, 国内外学者对 O_3 研究主要包括 O_3 的时空分布特征^[2-4]、 O_3 来源解析^[5-7]、 O_3 与前体物的关系^[8-9]、 O_3 的“周末效应”^[10-11]、 O_3 对人体健康和植物的影响^[12-13]以及 O_3 的影响因素^[14]等方面。在影响因素方面, 严仁娣等将 O_3 监测数据与遥感数据结合, 探讨 O_3 浓度的影响因素^[15]。曹庭伟等运用相关性分析考察太阳辐射、气温、相对湿度及流场对成渝城市群臭氧分布特征的影响^[16]。张祥志等运用经验正交分解法考察了经济发展水平对 O_3 浓度的影响^[17]。Wang等运用统计分析研究城市热岛效应对 O_3 浓度的影响^[18]。Dainius采用相关性分析考察太阳辐射强度和风向对 O_3 浓度的影响^[19]。

虽然学者们对 O_3 污染的研究越来越多, 但在地域上主要集中于长三角和珠三角以及北京上海等发达地区, 对中部省份研究较少, 在影响因素分析上多侧重于气象因素, 对社会经济因素研究较少。因此本研究基于2016年安徽省近地面 O_3 浓度监测数据, 分析安徽省 O_3 浓度时空分布特征, 并运用地理探测器方法研究其影响因素, 以期对安徽省大气污染污染防治与预测提供依据。

1 材料与方法

1.1 数据来源

安徽及周边省份共229个空气质量监测站点(图1)实时观测数据来自中国环境监测总站。根据我国新实施的《HJ663—2013 环境空气质量评价技术规范(试行)》要求^[20], 以各城市 O_3 日最大8h平均浓度(以下以“ O_3-8h ”表示)判定每日达标情况。气象数据来自中国气象局(<http://www.cma.gov.cn/>)和2016年安徽省气候公报, 高程数据由安徽省DEM提取所得, 产业、工业、人口、交通等数据均来自《2017年安徽省统计

收稿日期: 2019-03-06

基金项目: 国家自然科学基金项目(41271516)。

作者简介: 廖润霞(1993—), 女, 安徽合肥市人, 硕士研究生, 主要研究方向为大气污染研究; 通讯作者: 程先富(1967—), 男, 安徽合肥市人, 教授, 博士生导师。

引用格式: 廖润霞, 程先富, 王佳佳. 安徽省 O_3 浓度的时空分布特征及影响因素[J]. 安徽师范大学学报(自然科学版), 2019, 42(3): 262-268.

年鉴》。

1.2 研究方法

1.2.1 克里金插值法 由于 O₃ 监测数据是点状数据, 本研究采用普通克里金插值方法, 将 O₃ 浓度插值成连续数据表面, 来反映安徽省 O₃ 浓度四季分布情况。普通克里金插值法以变异函数理论和结构分析为基础, 可在有限区域对区域变量进行无偏最优估计^[21]。

1.2.2 地理探测器 地理探测器是由王劲峰等^[22]开发的用以检验地理现象与其潜在驱动因素之间关系的空间分析模型, 在土地利用^[23-24]、区域经济^[25-26]、环境污染^[27-28]等领域有广泛应用。地理探测器分为风险探测器、因子探测器、生态探测器和交互作用探测器 4 个部分, 文中主要运用因子探测器分析单因子对臭氧浓度的影响, 得出臭氧浓度各影响因子的解释力大小, 并运用交互作用探测器分析各影响因子之间的交互作用。

(1) 因子探测。因子探测用来探测臭氧浓度的空间分异性, 探测各影响因子对臭氧浓度的解释程度, 其表达式如下:

$$P_{Df} = 1 - \frac{1}{N\sigma^2} \sum_{i=1}^L N_i \sigma_i^2 \quad (1)$$

式中: P_{Df} 是影响因子 D 对臭氧浓度 I 的探测力值, 值域为 $[0, 1]$, 值越大说明影响因子对臭氧浓度的影响力越大; N 、 σ^2 分别为整个流域的样本量和方差; N_i 、 σ_i^2 分别为 i ($i=1, 2, \dots, L$) 层样本量和方差。

(2) 交互探测。交互探测用于定量表征 2 个影响因子对于旅游空间分异的作用关系, 由以下表达式构成: 设交互后驱动力为 $q(X_a \cap X_b)$, 若 $q(X_a \cap X_b) < \min(q(X_a), q(X_b))$, 说明因子 X_a 与 X_b 交互后非线性减弱; 若 $\min(q(X_a), q(X_b)) < q(X_a \cap X_b) < \max(q(X_a), q(X_b))$, 则 X_a 和 X_b 交互后单因子非线性减弱; 若 $q(X_a \cap X_b) > \max(q(X_a), q(X_b))$, 则因子 X_a 和 X_b 交互后为双因子增强; 若 $q(X_a \cap X_b) = q(X_a) + q(X_b)$, 2 因子 X_a 和 X_b 相互独立; 若 $q(X_a \cap X_b) > q(X_a) + q(X_b)$, 说明 X_a 和 X_b 交互后为非线性增强。

由于地理探测器不能识别影响因子的影响方向, 因此借助相关性分析来确定因子的影响方向, 影响因子与 O₃ 浓度呈正相关关系确定为正向影响, 负相关关系确定为负向影响。

1.3 影响因素选取

根据 O₃ 形成机理及前人研究的成果^[29], 从自然要素、污染物排放、工业、产业、人口及交通等方面构建臭氧浓度影响因素指标体系(表 1)。在污染物排放要素中, 用全社会用电量、工业废气排放量来反映石油化工能源燃烧过程中产生的废气对 O₃ 浓度的影响; 用房屋建筑施工面积、房屋建筑竣工面积来反映建筑涂料所释放的挥发性有机物; 产业要素用来表示地区产业结构对臭氧浓度的影响; 工业要素用来表示工业发展对臭氧浓度的影响; 人口要素用来表示人类活动产生的生活污染对臭氧浓度的影响; 在交通要素中, 用公路里程来反映交通源对 O₃ 浓度的影响。

2 结果分析

2.1 O₃ 浓度时间分布特征

2.1.1 O₃ 浓度季节变化特征 将 2016 年 O₃-8h 日值按气候学分类的春季(3—5 月)、夏季(6—8 月)、秋季(9—11 月)和冬季(12—2 月)统计求季均值, 得到图 2。从图 2 可以看出, 安徽省夏季 O₃ 浓度最高, 为 103.72 μg/m³, 其次是春季, 为 93.62 μg/m³, 冬季 O₃ 浓度最低, 为 57.58 μg/m³。

2.1.2 O₃ 浓度月变化特征 如图 3 所示, 安徽省 O₃ 浓度在 5—9 月中位值较高, 依次为 110.15、105.72、97.23、121.82 和 127.37 μg/m³, 相对应各月平均值为 107.14、98.57、94.6、118 和 122.93 μg/m³。其中 6、7



图 1 安徽省及周边省份空气监测站点分布图

Fig. 1 Distribution map of air monitoring stations in Anhui province and surrounding provinces

表 1 臭氧浓度影响因素探测指标

Table 1 Index system of O₃ concentration influencing factor

指标层	自然要素	污染物排放要素	产业要素	工业要素	人口要素	交通要素
指标因子	降水/mm (X ₁)	工业废气排放量/t (X ₁₂)	GDP 总产值/亿元 (X ₁₈)	工业企业个数 (X ₂₂)	常住人口/万人 (X ₂₄)	公路里程/km (X ₂₆)
	气温/℃ (X ₂)	工业 SO ₂ 排放量/t (X ₁₃)	第一产业产值/亿元 (X ₁₉)	规模以上工业总产值/亿元 (X ₂₃)	城镇人口/万人 (X ₂₅)	
	气压/hpa (X ₃)	工业烟粉尘排放量/t (X ₁₄)	第二产业产值/亿元 (X ₂₀)			
	相对湿度 (X ₄)	房屋施工面积/km ² (X ₁₅)	第三产业产值/亿元 (X ₂₁)			
	日照时数/h (X ₅)	房屋竣工面积/km ² (X ₁₆)				
	风速/m/s (X ₆)	全社会用电量/亿千瓦时 (X ₁₇)				
	PM _{2.5} /μg/m ³ (X ₇)					
	PM ₁₀ /μg/m ³ (X ₈)					
	CO/mg/m ³ (X ₉)					
	NO ₂ /μg/m ³ (X ₁₀)					
	高程/m (X ₁₁)					

月份的 O₃ 浓度相较于 5 月、8 月、9 月低。1 月、2 月、12 月最低 ,O₃ 浓度中位值分别为 48.34、68.7 和 59.13μg/m³ ,对应月份的 O₃ 浓度平均值分别为 48.82、63.56、60.37μg/m³。

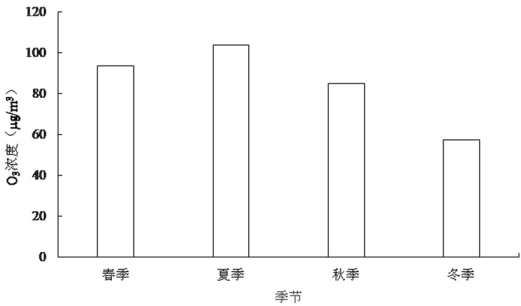


图 2 安徽省 O₃ 浓度季度变化

Fig. 2 Quarterly change of O₃ concentration in Anhui province

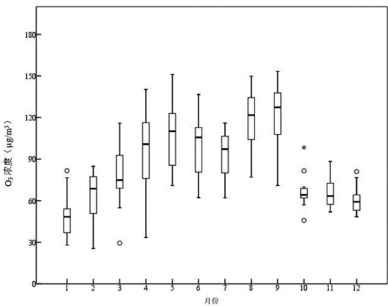


图 3 安徽省各月 O₃ 浓度水平

Fig. 3 The monthly O₃ concentration level in Anhui province

2.1.3 O₃ 浓度小时变化特征 如图 4 所示 ,安徽省 O₃ 浓度小时变化呈单峰型 ,早晨 7:00O₃ 浓度开始上升 ,在 15:00 出现最大值后下降。在一天之内 ,臭氧浓度在 15:00 出现峰值 ,在上午 7:00 出现低谷值 ,这与刘芷君^[30] 等人的研究结果一致。原因可能是日出后日照增强 ,光化学反应逐渐增强 ,臭氧浓度升高 ,在下午 15:00 左右光化学反应最为剧烈 ,使得臭氧浓度在一日之内达到最高。之后随着光照强度减少 ,臭氧浓度降低 ,夜间人们活动较少 ,机动车尾气及各种污染源排放量减少 ,臭氧浓度较低 ,日出前大气边界层较低 ,大气层处于静稳状态 ,使

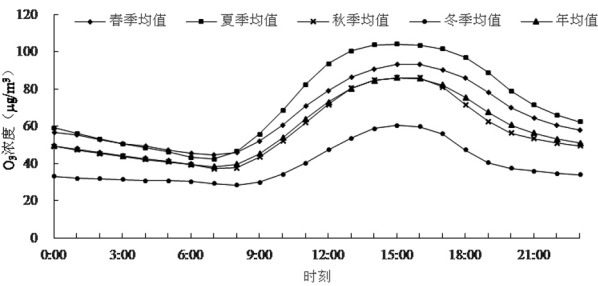


图 4 安徽省 O₃ 浓度小时变化曲线

Fig. 4 The hourly curve of O₃ concentration in Anhui province

臭氧浓度出现最低值。

2.2 O_3 浓度空间分布特征

借助 Arcgis 地统计分析工具,对安徽省及周边省份共 229 个有效站点的 O_3-8h 数据用克里金插值分析,通过行政边界图裁剪得到安徽省 O_3 浓度插值分布图(图 5)。结果显示:从全年来看,安徽省 O_3 浓度北高南低。春季黄山、宣城、安庆等城市 O_3 浓度较低,淮北、滁州和蚌埠 O_3 浓度较高;夏季除安徽省东南部 O_3 浓度较低以外,其他城市 O_3 浓度均较高;秋季北部、中部 O_3 浓度较高,南部较低;冬季安徽省东部 O_3 浓度稍高,西部和中部较低,黄山、宣城等城市 O_3 浓度相对较高。

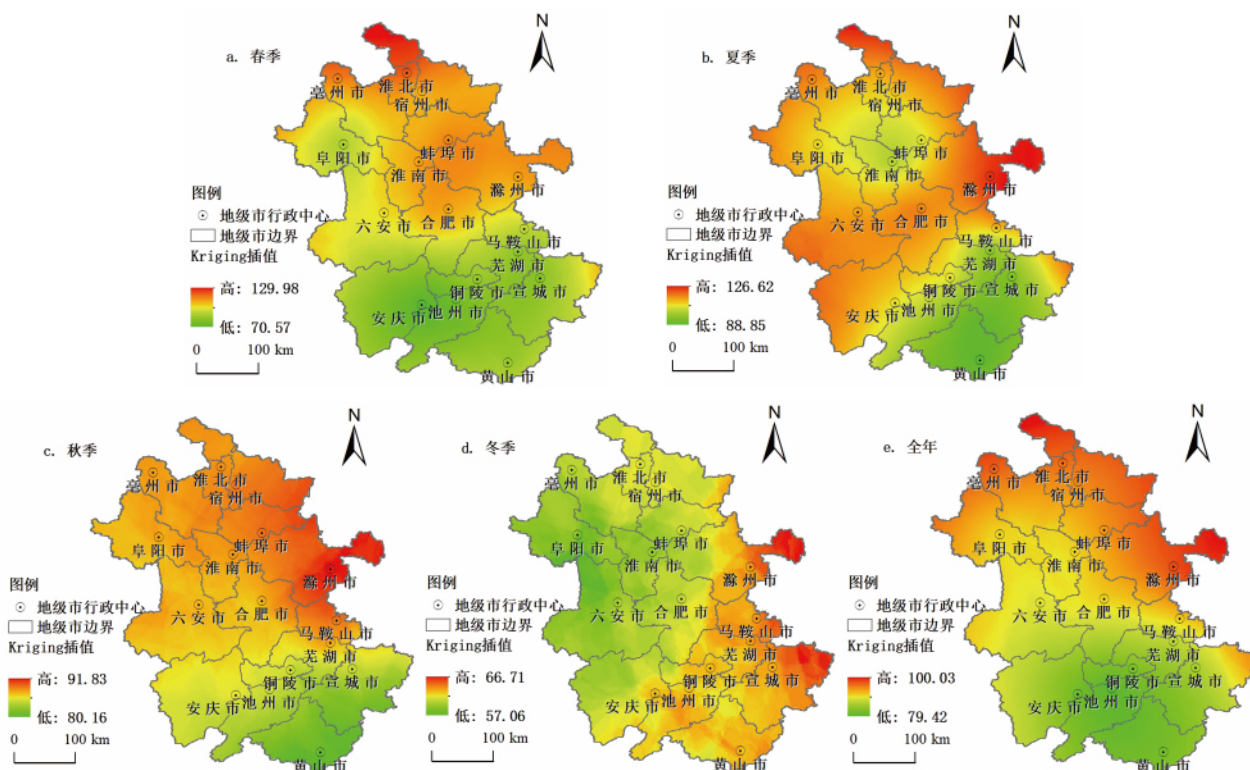


图 5 2016 年安徽省 O_3 浓度空间分布

Fig.5 Spatial distribution of O_3 concentration in Anhui province in 2016

2.3 O_3 影响因素分析

根据已掌握的数据,将选取的 26 个影响因子初始数据运用分位数法进行分级,针对不同的城市,各影响因子采取一致的分类标准,确保不同城市之间结果的可比性。借助地理探测器的因子探测及交互探测方法,从两个层面探讨臭氧浓度的影响因素。因子探测器的探测结果如下:

由表 2 可知,在自然要素方面, PM_{10} 、CO、相对湿度、气压、降水量、日照时数、风速及 $PM_{2.5}$ 的 q 值较大,说明以上因素对臭氧浓度的影响力较大。气温的 q 值较小,说明此研究中气温对臭氧浓度的单因子影响不显著,并且气温对臭氧浓度的影响是负向的,原因是气温的影响被同时期相对湿度、降水量、日照时数等因子的影响所抵消。这与黄小刚等人^[27]的研究

表 2 安徽省 O_3 浓度影响因子 q 值统计

Table 2 The q values of influencing factors to O_3 concentration in Anhui province

影响因子	q 值	影响因子	q 值	影响因子	q 值
X_1	-0.40	X_{10}	0.19	X_{19}	0.10
X_2	-0.08	X_{11}	-0.21	X_{20}	0.07
X_3	0.40	X_{12}	0.19	X_{21}	0.23
X_4	-0.41	X_{13}	0.17	X_{22}	0.23
X_5	0.37	X_{14}	0.11	X_{23}	0.06
X_6	-0.33	X_{15}	0.06	X_{24}	0.14
X_7	0.33	X_{16}	0.04	X_{25}	0.05
X_8	0.45	X_{17}	0.17	X_{26}	0.17
X_9	0.41	X_{18}	0.11		

结果相似。在社会经济方面,第三产业产值、工业企业个数、工业废气排放量、全社会用电量及公路里程等因子的 q 值较大,说明以上因素对臭氧浓度的影响较大。具体而言, PM_{10} 浓度与 O_3 浓度呈正相关,即在一年内出现复合污染的现象,原因是在排放源及气温、太阳辐射等气象因素的影响下,细颗粒物与 O_3 浓度出现同增

共减的正相关情况。 CO 是 O_3 的重要前体物,为 O_3 的生成提供基础物质。空气湿度、降水与 O_3 呈负相关,由于云雨天气会减少日照时数,减弱光化学反应,并且降水对 O_3 及其前体物有着湿沉降作用,因此会降低臭氧浓度。安徽省 6—7 月即梅雨季节期间,降水量较大,致使臭氧浓度较低。风速与 O_3 浓度呈负相关,因为风速增加会吹散局地臭氧及其前体物,从而稀释 O_3 浓度。日照时数的增加会加剧光化学反应,使臭氧浓度升高,夏季日照时数较多,臭氧浓度较高,冬季日照时数较少,臭氧浓度较低。在社会经济方面,由于近年来娱乐餐饮等行业的发展,第三产业产值提高,但与此同时,餐饮等行业产生的烟尘及烹饪过程排放的废气也间接对臭氧浓度产生一定的影响。工业生产排放的废气含有生成臭氧的 CO 、氮氧化物等前体物,如合肥、马鞍山、淮南等城市工业发达,工业废气排放较多,臭氧浓度相对较高。公路里程可代表机动车油耗,机动车在行驶过程中排放氮氧化物、碳氢化合物及 CO ,促进了臭氧浓度的增加。如滁州市,作为安徽省与江苏省交流的门户,交通网密布,公路里程量大,机动车尾气排放量大,臭氧浓度较高。

以上内容是对影响臭氧浓度的单因子分析,运用交互探测器对臭氧影响因子进行交互探测,得到结果如表 3。

表 3 安徽省 O_3 浓度影响因子交互作用探测Table 3 Interaction detection of O_3 concentration influencing factors in Anhui province

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}	X_{15}	X_{16}	X_{17}	X_{18}	X_{19}	X_{20}	X_{21}	X_{22}	X_{23}	X_{24}	X_{25}	X_{26}	
X_1	0.40																										
X_2	0.77	0.08																									
X_3	0.53	0.70	0.40																								
X_4	0.59	0.69	0.46	0.41																							
X_5	0.64	0.67	0.58	0.60	0.37																						
X_6	0.59	0.61	0.53	0.60	0.58	0.33																					
X_7	0.67	0.56	0.52	0.67	0.57	0.58	0.33																				
X_8	0.62	0.72	0.53	0.50	0.56	0.60	0.75	0.45																			
X_9	0.61	0.58	0.69	0.70	0.73	0.75	0.57	0.66	0.41																		
X_{10}	0.60	0.40	0.62	0.66	0.61	0.67	0.55	0.62	0.57	0.19																	
X_{11}	0.67	0.55	0.62	0.62	0.54	0.59	0.52	0.56	0.65	0.49	0.21																
X_{12}	0.57	0.43	0.63	0.60	0.63	0.67	0.54	0.66	0.59	0.47	0.43	0.19															
X_{13}	0.55	0.48	0.59	0.57	0.51	0.58	0.57	0.64	0.44	0.54	0.41	0.56	0.17														
X_{14}	0.50	0.49	0.59	0.66	0.50	0.55	0.58	0.64	0.52	0.50	0.49	0.34	0.52	0.11													
X_{15}	0.57	0.26	0.57	0.52	0.47	0.71	0.43	0.55	0.49	0.49	0.53	0.41	0.59	0.31	0.06												
X_{16}	0.52	0.38	0.47	0.56	0.49	0.61	0.45	0.57	0.47	0.42	0.48	0.60	0.56	0.43	0.15	0.04											
X_{17}	0.70	0.46	0.59	0.55	0.53	0.63	0.51	0.52	0.66	0.42	0.47	0.52	0.62	0.34	0.41	0.47	0.16										
X_{18}	0.52	0.34	0.52	0.50	0.48	0.56	0.67	.53	0.65	0.41	0.44	0.45	0.48	0.41	0.34	0.30	0.44	0.11									
X_{19}	0.61	0.18	0.68	0.69	0.71	0.55	0.50	0.72	0.50	0.41	0.55	0.31	0.42	0.38	0.32	0.35	0.35	0.27	0.10								
X_{20}	0.53	0.31	0.51	0.49	0.47	0.54	0.57	0.51	0.61	0.46	0.45	0.30	0.38	0.29	0.36	0.22	0.28	0.31	0.29	0.07							
X_{21}	0.60	0.53	0.56	0.57	0.51	0.58	0.57	0.60	0.60	0.46	0.42	0.50	0.49	0.39	0.41	0.28	0.39	0.38	0.35	0.35	0.23						
X_{22}	0.58	0.46	0.64	0.62	0.72	0.61	0.66	0.72	0.62	0.58	0.58	0.46	0.48	0.45	0.52	0.50	0.53	0.46	0.44	0.33	0.53	0.23					
X_{23}	0.49	0.32	0.54	0.46	0.43	0.57	0.46	0.52	0.60	0.55	0.48	0.23	0.37	0.37	0.39	0.36	0.39	0.24	0.26	0.15	0.39	0.31	0.06				
X_{24}	0.69	0.33	0.60	0.63	0.70	0.61	0.62	0.71	0.76	0.56	0.44	0.40	0.51	0.57	0.37	0.39	0.53	0.40	0.19	0.25	0.41	0.38	0.29	0.14			
X_{25}	0.46	0.30	0.52	0.46	0.46	0.51	0.55	0.54	0.61	0.39	0.47	0.38	0.39	0.33	0.30	0.39	0.36	0.23	0.26	0.30	0.32	0.49	0.31	0.48	0.05		
X_{26}	0.72	0.38	0.75	0.77	0.75	0.64	0.74	0.75	0.62	0.49	0.41	0.48	0.49	0.37	0.38	0.36	0.43	0.40	0.44	0.38	0.47	0.53	0.41	0.49	0.27	0.17	

由表 3 可以看出,交互作用解释力排名前 3 位的是相对湿度 $\cap$ 公路里程(0.77),降水量 $\cap$ 气温(0.77), $\text{CO}\cap$ 常住人口(0.76),以影响因子 CO 为例,与常住人口交互后解释力为 0.76,显著大于 CO 的解释力(0.41)与常住人口解释力(0.14)之和,原因是 CO 对臭氧浓度的影响较为单一,常住人口表示人类活动规模大小,在人类活动的影响下,如汽车尾气排放、锅炉中化石燃料燃烧、煤气煤炉的使用使 CO 浓度升高,从而使臭氧浓度升高。通过分析表 3 可知,双因子交互增强效应大多出现在社会经济因子与自然气象因子结合时。这说明,两个影响因子相互交互后的因子解释力要强于原来单个影响因子之和,即影响因子两两共同作

用,均双线性或非线性的加强了对臭氧空间分布的解释力,同时也说明臭氧浓度受到多影响因素的共同制约,这弥补了单因子探测的不足。

3 结 论

(1) 时间尺度上: 安徽省 O_3 浓度在季度上呈现春夏高、秋冬低的规律; 在月度上 5—9 月 O_3 浓度中位值较高,1 月、2 月、12 月 O_3 浓度中位值较低; O_3 浓度日变化总体呈单峰型,最高值出现在下午 15:00,最低值出现在上午 7:00。

(2) 空间尺度上: 安徽省全年 O_3 浓度空间分布总体为北高南低,春季淮北、滁州和蚌埠 O_3 浓度较高; 夏季除安徽省东南部 O_3 浓度较低以外,其他城市 O_3 浓度均较高; 秋季北部、中部 O_3 浓度较高,南部较低; 冬季安徽省东部 O_3 浓度稍高,西部和中部较低。

(3) 运用地理探测器对臭氧浓度影响因子进行分析,因子探测结果表明,对臭氧浓度影响较大的因子有 PM_{10} 、CO、相对湿度、气压、降水量、日照时数、风速、 $PM_{2.5}$ 、第三产业产值、工业企业个数、工业废气排放量、全社会用电量及公路里程。交互探测分析表明,不同因子间的交互作用,正向强化了各因子的解释力,最大交互因子为相对湿度 $\cap$ 公路里程,降水量 $\cap$ 气温,CO $\cap$ 常住人口。

4 臭氧污染防治对策

根据目前安徽省臭氧污染状况以及对安徽省臭氧影响因素分析的结果,提出以下几点臭氧防控的对策:

(1) 集中整治餐饮业油烟问题,督促餐饮部门完成油烟净化设施的安装,使其达到排放标准,从而减少 CO 及其他前体物的排放。对违反规定的餐饮业要依法进行整顿,减少露天烹饪方式,如夜间烧烤、大排档等。

(2) 进一步优化工业空间布局,促进产业升级,优化产业结构,淘汰重污染企业,加大科研力度,助力发展绿色环保材料,提升企业的生产技术水平,减少重污染原材料的使用量,多使用清洁能源,减少工业废气及工业烟尘的排放量。

(3) 对机动车尾气排放进行管控,减少机动车尾气排放量,可采取错峰限行、车牌限号等举措,从而减少氮氧化物等臭氧前体物的排放量。加强对可持续交通体系的建设,鼓励购买新能源交通工具,制定新能源汽车替代计划,倡导绿色出行方式,鼓励市民多使用公共交通、自行车等出行方式。

参考文献:

- [1] BELL M L, MCDERMOTT A, ZEGER S L, et al. Ozone and Short-term Mortality in 95 US Urban Communities, 1987—2000 [J]. *Jama*, 2004, 292 (19): 2372—2378.
- [2] 柴敏平, 罗勇, 商娟, 等. 江西省城市空气臭氧污染状况及时空分布特征[J]. *江西科学*, 2018 (1): 95—100.
- [3] 刘闯, 王闯, 侯乐, 等. 沈阳臭氧污染时空分布特征及变化趋势[J]. *中国环境监测*, 2017, 33 (4): 126—131.
- [4] 程麟钧, 王帅, 宫正宇, 等. 京津冀区域臭氧污染趋势及时空分布特征[J]. *中国环境监测*, 2017, 33 (1): 14—21.
- [5] 沈劲, 黄晓波, 汪宇, 等. 广东省臭氧污染特征及其来源解析研究[J]. *环境科学学报*, 2017, 37 (12): 4449—4457.
- [6] 贾海鹰, 尹婷, 瞿霞, 等. 2015 年北京及周边地区臭氧浓度特征及来源模拟[J]. *中国环境科学*, 2017, 37 (4): 1231—1238.
- [7] 黄争超, 洪礼楠, 尹佩玲, 等. 保定市夏季臭氧污染来源及大气传输影响研究[J]. *北京大学学报(自然科学版)*, 2018, 54 (3): 665—672.
- [8] 陈宜然, 陈长虹, 王红丽, 等. 上海臭氧及前体物变化特征与相关性研究[J]. *中国环境监测*, 2011, 27 (5): 44—49.
- [9] 单源源, 李莉, 刘琼, 等. 长三角地区典型城市臭氧及其前体物时空分布特征[J]. *沙漠与绿洲气象*, 2016, 10 (5): 72—78.
- [10] 王俊秀, 安俊琳, 邵平, 等. 南京北郊大气臭氧周末效应特征分析[J]. *环境科学*, 2017, 38 (6): 2256—2263.
- [11] 吕慧珂, 何红弟, 郝杨杨. 香港港口氮氧化物和臭氧的变化特征和周末效应[J]. *环境工程学报*, 2017, 11 (7): 4196—4201.
- [12] KARLSSON P E, KLINGBERG J, ENGARDT M, et al. Past, present and future concentrations of ground-level ozone and potential impacts on ecosystems and human health in northern Europe [J]. *Science of the Total Environment*, 2017, 576: 22—35.
- [13] LEFOHN A S, MALLEY C S, SIMON H, et al. Responses of human health and vegetation exposure metrics to changes in ozone concentration distributions in the European Union, United States, and China [J]. *Atmospheric Environment*, 2016, 152: 123—145.
- [14] 王磊, 刘端阳, 韩桂荣, 等. 南京地区近地面臭氧浓度与气象条件关系研究[J]. *环境科学学报*, 2018, 38 (4): 1285—1296.
- [15] 严仁嫦, 叶辉, 林旭, 等. 杭州市臭氧污染特征及影响因素分析[J]. *环境科学学报*, 2018, 38 (3): 1128—1136.
- [16] 曹庭伟, 吴锴, 康平, 等. 成渝城市群臭氧污染特征及影响因素分析[J]. *环境科学学报*, 2018, 38 (4): 1275—1284.
- [17] 张祥志, 陈文泰, 黄樱, 等. 江苏省 2013—2016 年臭氧时空分布特征[J]. *中国环境监测*, 2017, 33 (4): 50—59.

- [18] WANG Y ,DU H ,XU Y ,et al. Temporal and spatial variation relationship and influence factors on surface urban heat island and ozone pollution in the Yangtze River Delta ,China [J]. Science of the Total Environment 2018 ,s 631 –632(1 August 2018) :921 –933.
- [19] JASAITIS D ,VASILIAUSKIEN Ė V ,CHADYŠIEN Ė R ,et al. Surface ozone concentration and its relationship with UV radiation ,meteorological parameters and radon on the eastern coast of the Baltic Sea [J]. Atmosphere 2016 ,7(2) :27.
- [20] 环境保护部科技标准司. 环境空气质量评价技术规范(试行) :HJ663—2013[S]. 北京: 中国环境科学出版社 2013:2 –3.
- [21] BRUS D J ,HEUVELINK G B M. Optimization of sample patterns for universal kriging of environmental variables [J]. Geoderma 2007 ,138(1) :86 –95.
- [22] 王劲峰 ,徐成东. 地理探测器: 原理与展望[J]. 地理学报 2017 ,72(01) :116 –134.
- [23] 赵小凤 ,李娅娅 ,赵雲泰 ,等. 基于地理探测器的土地开发度时空差异及其驱动因素[J]. 长江流域资源与环境 2018(11) :2426 –2433.
- [24] JU H R ,ZHANG Z X ,ZUO L J ,et al. 2016. Driving forces and their interactions of built-up land expansion based on the geographical detector: A case study of Beijing ,China [J]. International Journal of Geographical Information Science 30(11) :2188 –2207.
- [25] 李宗哲. 陕西省县域经济发展水平空间差异及影响因素研究[D]. 兰州: 兰州交通大学 2018:25 –35.
- [26] 武鹏. 山阳县农村贫困化空间分异及其影响因素[D]. 西安: 西北大学 2018:30 –39.
- [27] 黄小刚 ,赵景波 ,曹军骥 ,等. 中国城市 O_3 浓度时空变化特征及驱动因素[J]. 环境科学 2019(3) :1 –14.
- [28] 周磊 ,武建军 ,贾瑞静 ,等. 京津冀 $PM_{2.5}$ 时空分布特征及其污染风险因素[J]. 环境科学研究 29(4) :484 –493.
- [29] 南国卫 ,孙虎. 基于灰色关联模型对陕西省 O_3 浓度影响因素分析[J]. 环境科学学报 2017(12) :4519 –4527.
- [30] 刘芷君 ,谢小训 ,谢旻 ,等. 长江三角洲地区臭氧污染时空分布特征[J]. 生态与农村环境学报 2016 ,32(3) :445 –450.

Temporal and Spatial Distribution Characteristics and Influencing Factors of O_3 Concentration in Anhui Province

LIAO Run-xia , CHENG Xian-fu , WANG Jia-jia

(School of Geography and Tourism ,Anhui Normal University ,Wuhu 241003 ,China)

Abstract: This study is based on the O_3 data of the 2016 Anhui Air Quality Monitoring Substation ,analyzes the temporal and spatial distribution characteristics of O_3 ,and uses the geo-detector method to explore the influencing factors of O_3 concentration. The results show that: ①In 2016 ,the concentration of O_3 in Anhui Province showed a pattern of high in spring and summer and low in autumn and winter. The median value of O_3 concentration in May–September was higher ,and the concentration of O_3 in January ,February and December was higher. The median value was lower; the daily variation of O_3 concentration was generally unimodal ,with the highest value occurring at 15:00 pm and the lowest value appearing at 7:00. ②The spatial distribution of O_3 concentration in Anhui province is generally high in North and South. ③Factor detection results show that the factors that have a greater impact on ozone concentration are PM_{10} ,CO ,relative humidity ,air pressure ,precipitation ,sunshine hours ,wind speed , $PM_{2.5}$,tertiary industry output value ,number of industrial enterprises ,industrial exhaust emissions ,total social electricity consumption and highway mileage. The interactive detection analysis shows that the interaction between different factors positively enhances the explanatory power of each factor. The maximum interaction factor is relative humidity $\cap$ highway mileage ,precipitation $\cap$ temperature ,CO $\cap$ resident population.

Key words: O_3 ; time and space distribution; Kriging interpolation; geographic detector; Anhui province

(责任编辑: 巩 劼)