

# 2014~2019年黑龙江省典型空气污染物 时空分布特征及空气质量评价研究

陈梦瑶

哈尔滨师范大学地理科学学院, 黑龙江 哈尔滨

收稿日期: 2023年12月16日; 录用日期: 2024年1月16日; 发布日期: 2024年1月23日

## 摘要

本研究获取2014~2019年黑龙江省12个地级市和1个地区空气中细颗粒物(PM<sub>2.5</sub>), 可吸入颗粒物(PM<sub>10</sub>), 二氧化硫(SO<sub>2</sub>), 二氧化氮(NO<sub>2</sub>), 一氧化碳(CO)和臭氧8小时平均(O<sub>3</sub>-8H)六种主要空气污染物的平均浓度。利用SPSS软件统计学分析方法和ArcGIS插值分析对研究区六种典型空气污染物的时空分布特征进行分析, 并结合空气质量分指数计算方法和空气质量等级评价方法对空气质量进行评价。研究结果表明: 2014~2019年空气污染物浓度有所降低, 污染物浓度变化具有一定的季节性。六项污染物城市间差异性显著, 总体呈现南高北低的态势, 但不同污染物的分布有所不同。黑龙江省空气污染主要污染物为PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>和O<sub>3</sub>-8H, 哈尔滨空气质量最差, 绥化、齐齐哈尔、鹤岗、双鸭山、大庆、七台河及牡丹江空气质量较差, 鸡西、佳木斯及黑河空气质量较好, 大兴安岭、伊春空气质量最好。植被覆盖率高的地区空气质量较好, 人口密集城市、农业城市空气质量较差。

## 关键词

PM<sub>2.5</sub>, SO<sub>2</sub>, 时空分布特征, 空气质量评价, 方差分析

# Research on the Spatiotemporal Distribution Characteristics and Air Quality Evaluation of Typical Air Pollutants in Heilongjiang Province from 2014 to 2019

Mengyao Chen

School of Geography Science, Harbin Normal University, Harbin Heilongjiang

Received: Dec. 16<sup>th</sup>, 2023; accepted: Jan. 16<sup>th</sup>, 2024; published: Jan. 23<sup>rd</sup>, 2024

## Abstract

This study obtained the average concentrations of fine particulate matter (PM<sub>2.5</sub>), inhalable particulate matter (PM<sub>10</sub>), sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>), nitrogen dioxide (NO<sub>2</sub>), carbon monoxide (CO), and ozone 8-hour average (O<sub>3</sub>-8H) in the air of 12 prefecture-level cities and 1 region in Heilongjiang Province from 2014 to 2019. Used the SPSS software statistical analysis method and ArcGIS interpolation analysis to analyze the spatiotemporal distribution characteristics of six typical air pollutants in the study area, and combined the air quality sub-index calculation method and air quality level evaluation method to evaluate air quality. The research results indicate that the concentration of air pollutants has decreased from 2014 to 2019, and the changes in pollutant concentration have certain seasonality. There are significant differences among cities in the six pollutants, showing an overall trend of high in the south and low in the north, but the distribution of different pollutants varies. The main pollutants in air pollution in Heilongjiang Province are PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, and O<sub>3</sub>-8H. Harbin has the worst air quality, while Suihua, Qiqihar, Hegang, Shuangyashan, Daqing, Qitaihe, and Mudanjiang have poor air quality. Jixi, Jiamusi, and Heihe have better air quality, while Daxing'anling and Yichun have the best air quality. Areas with high vegetation coverage have better air quality, while densely populated cities and agricultural cities have poorer air quality.

## Keywords

PM<sub>2.5</sub>, SO<sub>2</sub>, Spatiotemporal Distribution Characteristics, Air Quality Evaluation, Variance Analysis

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

空气污染研究一直以来是国内外大气科学领域专家的主要研究方向，空气污染物会对人体健康产生极大危害，长时间吸入会导致呼吸道疾病的发生。大气污染与健康的关系一直是我国环境、卫生领域讨论的热点之一。国内外大量研究表明颗粒粒径越小，越不易沉积，空气污染物浓度低时，仍能引起居民死亡率增加。

研究者从多角度进行空气污染物的分析，大多为相关与回归分析[1] [2]或描述过要素对污染物迁移扩散的影响[3] [4] [5] [6]。康恒元[7]等分析了黑龙江省 AQI (Air Quality Index)基本特征及与气象要素的关系，发现黑龙江省重点城市年平均 AQI 指数以哈尔滨最大(轻度污染级别)，其次牡丹江、大庆、齐齐哈尔(良级别)。卯生琼[8]等以黑龙江省城市 PM<sub>2.5</sub> 和 PM<sub>10</sub> 值为研究对象，进行时空分析，发现黑龙江省的 PM 污染具有明显的季节性，全局空间相关性较弱，且地级城市间的空气环境污染相关性并不明显。韩铮[9]等根据黑龙江省 13 个市(地)的大气监测数据结果，总结了黑龙江省 PM<sub>2.5</sub> 的超标原因。

黑龙江省为农业大省，农作物成熟后残留秸秆，经过焚烧产生的污染气体，使空气污染加剧，冬季供暖锅炉排放废气也成为主要的污染源。在全国城市空气污染程度排名中，黑龙江省哈尔滨市位居前列。本研究中对黑龙江省空气污染物：主要包括 PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>、SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、CO 和 O<sub>3</sub>-8H 的污染情况及其时间、空间分布特征进行研究，为建立大气污染物监测站、应对措施和提高环境质量提供依据。

## 2. 资料与方法

### 2.1. 研究区

研究区位于我国最东北部，西起 121°11′，东至 135°05′，南起 43°25′，北至 53°33′，南北跨 10 个纬度，2 个热量带；东西跨 14 个经度，3 个湿润区。黑龙江省东部和北部以乌苏里江、黑龙江为界河与俄罗斯为邻，与俄罗斯的水陆边界长约 3045 公里。西接内蒙古自治区，南连吉林省。

黑龙江省总面积约 47.3 万平方公里，西部为我国重要商品粮基地松嫩平原，东北部为三江平原，北部、东南部为山地，多处平原海拔 50~200 米，区域内包括 12 个地级市、1 个地区；63 个县(市)，其中县级市 19 个(图 1)。

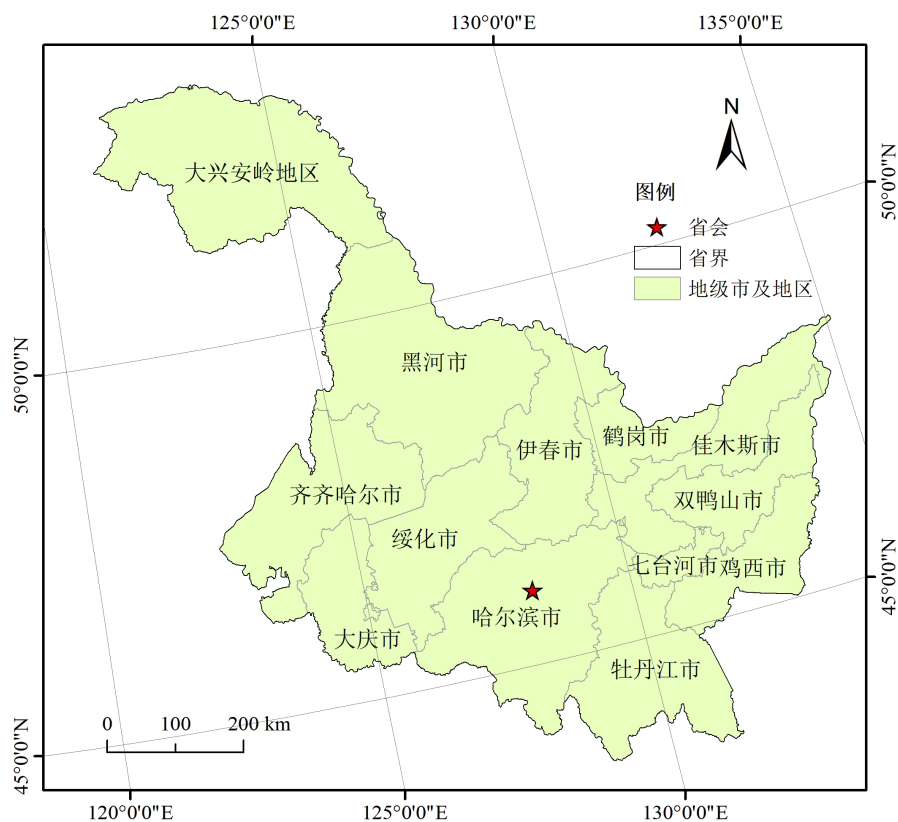


Figure 1. Geographical location of Heilongjiang Province

图 1. 黑龙江省地理位置

### 2.2. 数据来源

本研究所采用数据主要来自黑龙江省生态环境厅网站(<http://sthj.hlj.gov.cn/>)公开发布的空气环境质量月报中的 2014 年 4 月~2019 年 3 月各月空气污染指数统计数据。数据主要包括：黑龙江省哈尔滨、齐齐哈尔、大庆、牡丹江、鸡西、鹤岗、双鸭山、伊春、佳木斯、七台河、黑河、绥化、大兴安岭地区等 13 个城市的  $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$ 、 $SO_2$ 、 $NO_2$ 、 $CO$  和  $O_3$ -8H 六种主要空气污染物的实测数据。其中 2014 年  $O_3$ -8H、 $CO$  两项污染物浓度数据，鸡西、鹤岗、双鸭山、伊春、佳木斯、七台河、黑河、绥化、大兴安岭地区  $PM_{2.5}$  污染物数据，2015 年 1~3 月  $PM_{2.5}$ 、 $SO_2$ 、 $NO_2$  3 项污染物浓度数据，2015 年 1 月  $CO$  污染物数据及 2015 年 2 月  $PM_{10}$  污染物数据未得到检测，数值为空，未能获取其统计结果。

### 2.3. 分析方法

对 2014 年 4 月~2019 年 3 月五年 12 个月份各污染物浓度数据进行方差分析(one-way ANOVA)。将所有城市按月份分组,分为 4 组(3~5 月为春季,6~8 月为夏季,9~11 月秋季,12~2 月为冬季);对 2014 年 4 月~2019 年 3 月,12 个城市和 1 个地区的各污染物浓度数据进行方差分析,将城市间平均值的 LSD 检验,  $P > 0.05$  时没有显著差异,显著性特征均小于 0.05,具有统计学意义。

采用克里金插值方法绘制主要空气污染物( $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$ ,  $SO_2$ ,  $NO_2$ ,  $CO$  和  $O_3-8H$ )的空间分布图,利用 ArcGIS 连接属性表,将点数据与污染物浓度数据进行连接;对黑龙江省矢量点数据进行插值分析,范围为省域,再对其进行掩膜提取,提取出黑龙江省部分,在属性中对其符号进行分类。

### 2.4. 空气质量等级评价方法

#### 2.4.1. 空气质量分指数计算方法

污染物项目 P 的空气质量分指数按以下公式计算:

$$IAQI_p = \frac{IAQI_{Hi} - IAQI_{Lo}}{BP_{Hi} - BP_{Lo}} (C_p - BP_{Lo}) + IAQI_{Lo} \quad (1)$$

$IAQI_p$  为污染物项目 P 的空气质量分指数,  $C_p$  为污染物项目 P 的质量浓度值,  $BP_{Hi}$  为表 1 中与  $C_p$  相近的污染物浓度限值的高位值,  $BP_{Lo}$ : 与  $CP$  相近的污染物浓度限值的低位值,  $IAQI_{Hi}$  为与  $BP_{Hi}$  对应的空气质量分指数;  $IAQI_{Lo}$  为与  $BP_{Lo}$  对应的空气质量分指数。

#### 2.4.2. 首要污染物确定方法

$$AQI = \max \{IAQI_1, IAQI_2, IAQI_3, \dots, IAQI_n\} \quad (2)$$

$AQI$  为空气质量分指数,  $n$  为污染物项目;  $AQI$  大于 50 时,  $IAQI$  最大的污染物为首要污染物。

#### 2.4.3. 等级评价方法

根据我国 HJ633-2012《环境空气质量指数(AQI)技术规定(试行)》和 HJ663-2013《环境空气质量评价技术规范(试行)》[10]中规定的污染物浓度限值(表 1)、空气质量指数级别(表 2)及空气质量指数计算公式,计算各城市污染物空气污染指数(AQI),主要污染物及对应的空气质量等级。

**Table 1.** Air quality sub-index and corresponding daily average concentration limit (company:  $mg/m^3$ )

**表 1.** 标准试验系统结果数据

IAQI	$PM_{2.5}$	$PM_{10}$	$SO_2$	$NO_2$	$O_3-8H$	CO
50	0.035	0.050	0.050	0.040	0.100	2.0
100	0.075	0.150	0.150	0.080	0.160	4.0
150	0.115	0.250	0.475	0.180	0.215	14.0
200	0.150	0.350	0.800	0.280	0.265	24.0
300	0.250	0.420	1.600	0.565	0.800	36.0
400	0.350	0.500	2.100	0.750	-	48.0
500	0.500	0.600	2.620	0.940	-	60.0

注:  $O_3-8H$  浓度值高于  $0.800 mg/m^3$  时,不进行空气质量分指数计算。

**Table 2.** Air quality index level  
**表 2.** 空气质量指数级别

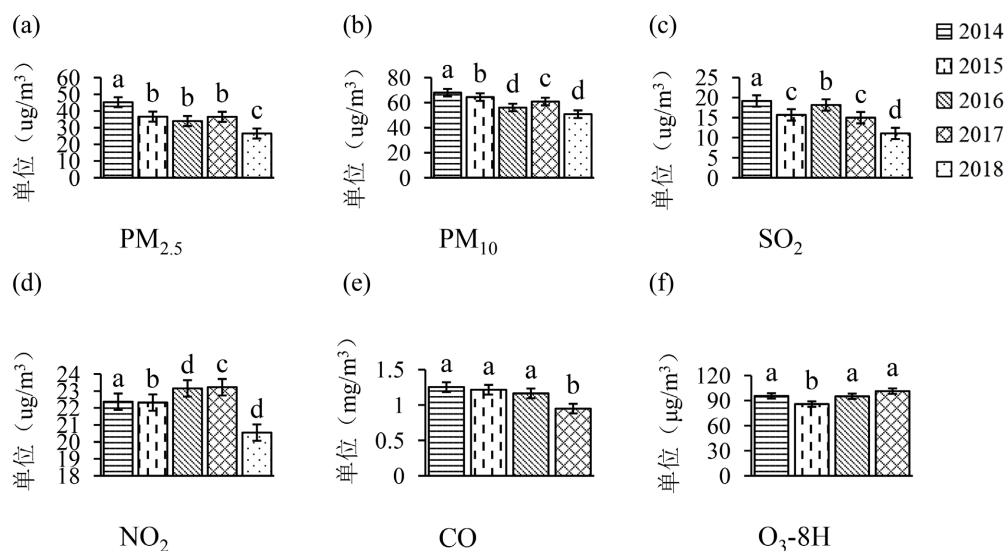
AQI	空气质量指数级别	空气质量指数类别
0~50	一级	优
51~100	二级	良
101~150	三级	轻度污染
151~200	四级	中度污染
201~300	五级	重度污染
>300	六级	严重污染

### 3. 研究结果

#### 3.1. 空气污染物时间变化特征

##### 3.1.1. 年际变化趋势

2014年~2018年五年间PM<sub>2.5</sub>污染物浓度值2015年、2016年和2017年间无显著差异，2014年浓度值最高，与其他年份有较大差异；PM<sub>10</sub>污染物浓度值2016年和2018年无显著差异，其他年份间差异性显著；SO<sub>2</sub>污染物浓度值2015年和2017年无显著差异，其他年份间差异性显著；NO<sub>2</sub>污染物浓度值2014年、2015年和2018年间无显著差异，2016年和2017年无显著差异，但两组间有显著差异；O<sub>3</sub>-8H污染物浓度值2015年、2017年和2018年间无显著差异，2016年和其他年份差异性显著；CO污染物浓度值2015年、2016年和2017年间无显著差异，2018年与其他年份差异性显著(图2)。



**Figure 2.** Annual variation of air pollutants PM<sub>2.5</sub> (a), PM<sub>10</sub> (b), SO<sub>2</sub> (c), NO<sub>2</sub> (d), CO (e), and O<sub>3</sub>-8H (f) in Heilongjiang Province

**图 2.** 黑龙江省空气污染物 PM<sub>2.5</sub> (a), PM<sub>10</sub> (b), SO<sub>2</sub> (c), NO<sub>2</sub> (d), CO (e)和 O<sub>3</sub>-8H (f)年际变化

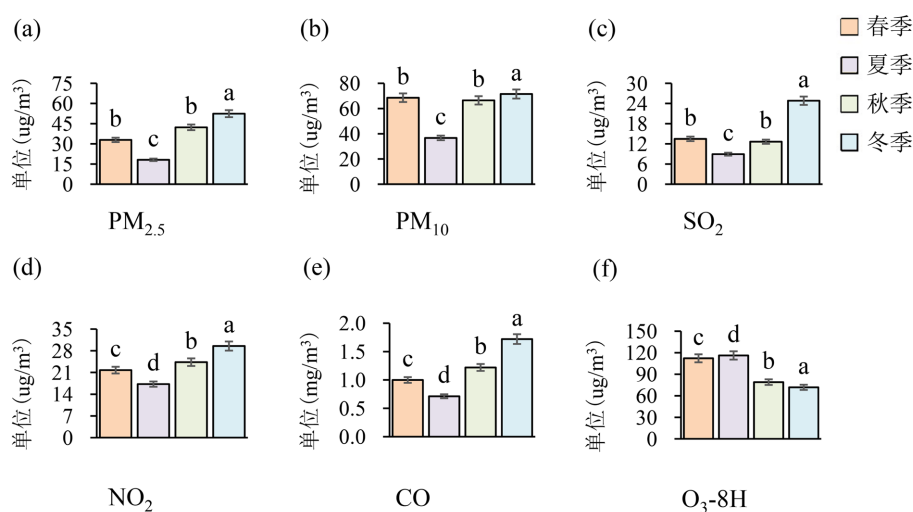
2014年~2018年五年间主要空气污染物浓度变化分析结果显示PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>这两种代表性颗粒物2017年和2016年差异性显著，这是由于冬季秸秆大面积燃烧的结果。NO<sub>2</sub>污染物浓度五年间差异性不大是由于每年冬季供暖，排放的锅炉废气数量相差较小，污染物排放未得到根治。O<sub>3</sub>-8H污染物浓度2017年、

2018 年和 2016 年呈显著性差异是由于对于臭氧层产生 O<sub>3</sub>-8H 的负面作用。

### 3.1.2. 季节变化趋势

PM<sub>2.5</sub> 浓度值四季呈现显著性差异, 夏季与冬季差异性最大, 冬季 PM<sub>2.5</sub> 浓度明显高于其他季节; PM<sub>10</sub> 浓度值春季和秋季间无显著差异, 夏季和冬季间有显著性差异; SO<sub>2</sub> 浓度值和 PM<sub>10</sub> 的差异性相同, 冬季浓度值略高; NO<sub>2</sub> 浓度值夏季和冬季有显著性差异; O<sub>3</sub>-8H 浓度值春季、夏季间无显著性差异, 其余季节间差异显著; CO 浓度值四季呈现显著性差异, 与 PM<sub>2.5</sub> 差异性相同, 冬季最高(图 3)。

春季到夏季间为植物生长期, 可吸收一定的污染物(如: PM<sub>2.5</sub>、SO<sub>2</sub>), 因此污染物浓度较低, 在此期间, 日照时间较长, 太阳辐射较大, 造成 O<sub>3</sub>-8H 浓度值在一年中最大; 夏季汽车尾气排放量较大, 导致 NO<sub>2</sub> 相较其他季节偏高; 进入秋季, 进入采暖期, 煤炭燃烧排放大量污染物, 因此从秋季开始上升; 冬季燃烧秸秆, PM<sub>10</sub>、CO 浓度值都有所上升。



**Figure 3.** Seasonal variation of air pollutants PM<sub>2.5</sub> (a), PM<sub>10</sub> (b), SO<sub>2</sub> (c), NO<sub>2</sub> (d), CO (e), and O<sub>3</sub>-8H (f) in Heilongjiang Province

**图 3.** 黑龙江省空气污染物 PM<sub>2.5</sub> (a), PM<sub>10</sub> (b), SO<sub>2</sub> (c), NO<sub>2</sub> (d), CO (e)和 O<sub>3</sub>-8H (f) 季节变化

## 3.2. 空气污染物空间分布特征

### 3.2.1. 空间分布特征

2014 年 4 月~2019 年 3 月间污染物 PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub> 空间分布特征相似, 呈南高北低态势。黑龙江省中北部两项污染物浓度分布较低, 西南地区浓度分布最高。污染物 SO<sub>2</sub> 的空间分布特征为南部地区浓度分布较高, 中部地区浓度较低, 其余地区相对中部略高。污染物 NO<sub>2</sub> 的空间分布特征为黑龙江省西南地区浓度较高, 其余地区浓度较低, 其中, 中东部浓度最低。污染物 CO 的空间分布特征为南部、东部大部分地区浓度较高, 其余地区以上地区为中心逐渐降低。污染物 O<sub>3</sub>-8H 的空间分布特征为以南部地区为中心浓度向北部逐渐降低, 中东部地区浓度较低(图 4)。

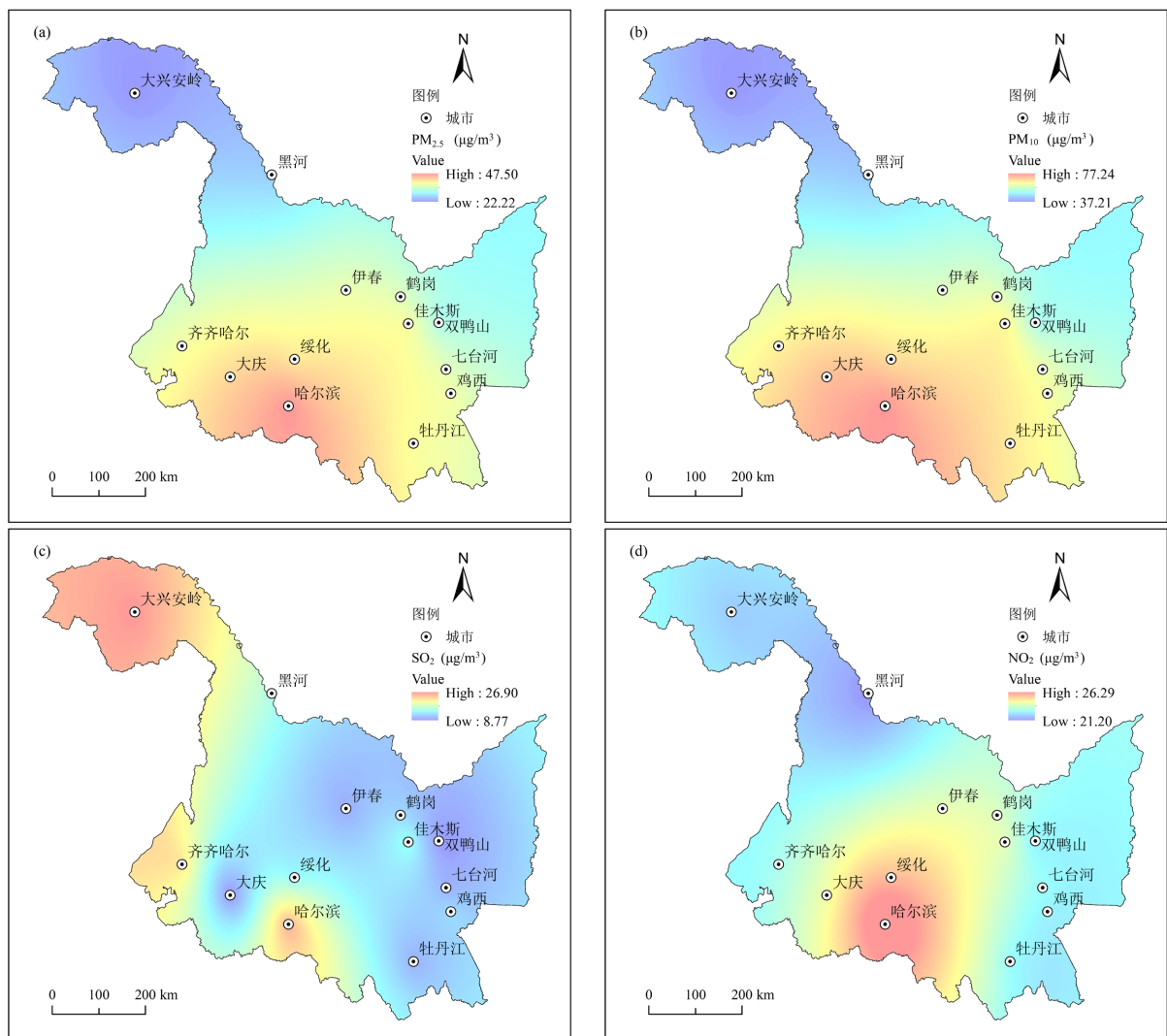
### 3.2.2. 不同城市间差异性分析

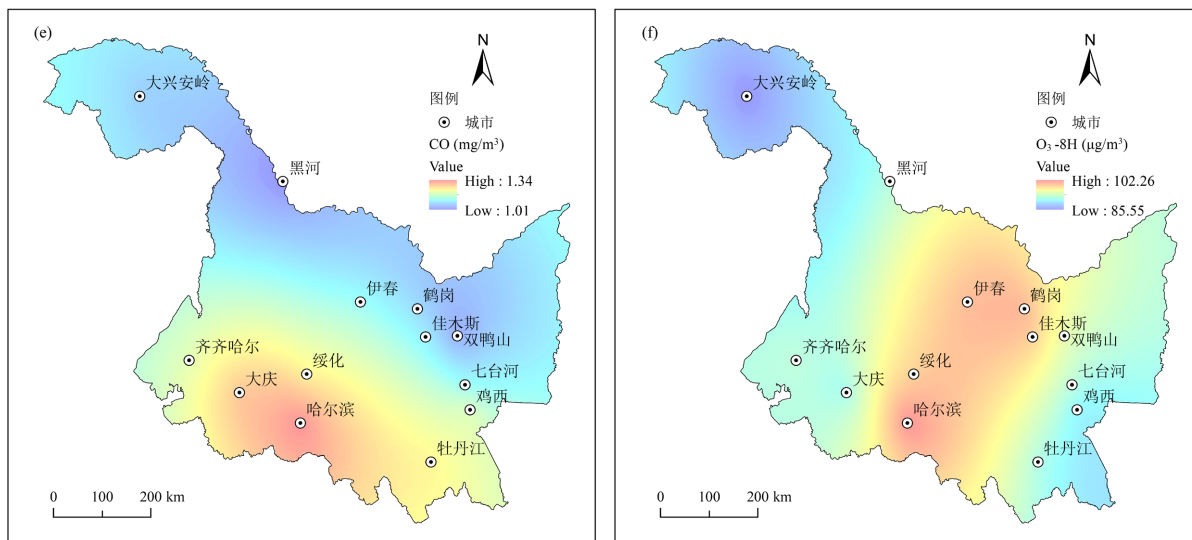
2014 年 4 月~2019 年 3 月期间, 各项污染物中, PM<sub>2.5</sub> 浓度值在哈尔滨、大兴安岭地区与其他城市有显著性差异, 大庆、双鸭山、牡丹江、绥化、七台河间无显著差异, 齐齐哈尔、鸡西间无显著差异, 鹤岗、伊春、佳木斯间无显著差异, 但几组间有显著性差异。PM<sub>10</sub> 浓度值在哈尔滨、七台河、牡丹江、大



庆与其他城市有显著性差异,齐齐哈尔、鸡西、鹤岗、双鸭山、绥化间无显著差异,但几组间有显著性差异。 $\text{SO}_2$  浓度值在哈尔滨、大兴安岭地区、齐齐哈尔、黑河均与其他城市有显著差异,其余城市间无显著差异,但几组间有显著性差异。 $\text{NO}_2$  浓度值在哈尔滨、七台河与其他城市有显著性差异,大庆、牡丹江间无显著差异,齐齐哈尔、双鸭山、佳木斯、绥化间无显著差异,鸡西、鹤岗、伊春、黑河、大兴安岭地区间无显著差异,但这几组间有显著性差异。 $\text{CO}$  浓度值在鸡西与其他城市有显著性差异,哈尔滨、鹤岗、双鸭山间无显著差异,齐齐哈尔、佳木斯、七台河、牡丹江间无显著差异,大庆、绥化、大兴安岭间无显著差异,但几组间有显著差异。 $\text{O}_3$ -8H 浓度值在大庆与其他城市有显著性差异,佳木斯、哈尔滨间无显著差异,齐齐哈尔、鹤岗、七台河、牡丹江、绥化间无显著差异,双鸭山、伊春、黑河间无显著差异,其余城市间无显著差异,但几组间有显著性差异(表 3)。

哈尔滨为省会城市,人口密集,尾气排放量、煤炭燃烧量较高,因此各污染物浓度位居黑龙江省首位。鸡西、鹤岗、双鸭山及七台河为煤炭产区,大庆是中国最大油田所在城市,对煤炭、油田开采都会产生一定的空气污染物。大兴安岭地区、伊春、牡丹江是黑龙江省森林资源的主体地区,大量植被的覆盖,会吸收部分空气污染物,这些城市污染较轻,森林发生火灾,会导致污染物浓度上升,城市间差异性上与以上因素有关。同为农业、工业城市等间无显著性差异,农业、工业、林区城市等间差异性显著。





**Figure 4.** Spatial distribution of air pollutants PM<sub>2.5</sub> (a), PM<sub>10</sub> (b), SO<sub>2</sub> (c), NO<sub>2</sub> (d), CO (e), and O<sub>3</sub>-8H (f) concentrations in Heilongjiang Province

**图 4.** 黑龙江省空气污染物 PM<sub>2.5</sub> (a), PM<sub>10</sub> (b), SO<sub>2</sub> (c), NO<sub>2</sub> (d), CO (e)和 O<sub>3</sub>-8H (f)浓度空间分布

**Table 3.** Differences in Air Pollutant Concentrations among Cities in Heilongjiang Province (average value ± standard error, company: CO: mg/m<sup>3</sup>, others: μg/m<sup>3</sup>), 1: Harbin, 2: Qiqihar, 3: Daqing, 4: Mudanjiang, 5: Jixi, 6: Hegang, 7: Shuangyashan, 8: Yichun, 9: Jiamusi, 10: Qitaihe, 11: Heihe, 12: Suihua, 13: Daxing'anling

**表 3.** 黑龙江省各城市空气污染物浓度差异性(平均值 ± 标准误差, 单位: CO 为 mg/m<sup>3</sup>, 其它为 μg/m<sup>3</sup>), 1: 哈尔滨, 2: 齐齐哈尔, 3: 大庆, 4: 牡丹江, 5: 鸡西, 6: 鹤岗, 7: 双鸭山, 8: 伊春, 9: 佳木斯, 10: 七台河, 11: 黑河, 12: 绥化, 13: 大兴安岭

城市	PM <sub>2.5</sub>	PM <sub>10</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	CO	O <sub>3</sub> -8H
1	56.09 ± 8.90 <sup>a</sup>	87.20 ± 10.02 <sup>a</sup>	27.78 ± 6.23 <sup>a</sup>	41.43 ± 2.43 <sup>a</sup>	1.45 ± 0.15 <sup>b</sup>	100.05 ± 10.04 <sup>b</sup>
2	35.74 ± 4.79 <sup>c</sup>	61.90 ± 4.15 <sup>d</sup>	21.26 ± 4.24 <sup>c</sup>	20.91 ± 1.49 <sup>d</sup>	1.10 ± 0.11 <sup>c</sup>	90.28 ± 8.40 <sup>c</sup>
3	35.48 ± 4.25 <sup>d</sup>	62.21 ± 5.00 <sup>d</sup>	14.54 ± 1.56 <sup>e</sup>	19.52 ± 1.19 <sup>e</sup>	1.48 ± 0.20 <sup>s</sup>	81.31 ± 5.27 <sup>e</sup>
4	34.68 ± 2.22 <sup>c</sup>	66.64 ± 3.51 <sup>d</sup>	11.64 ± 1.10 <sup>e</sup>	17.53 ± 1.41 <sup>e</sup>	1.42 ± 0.16 <sup>b</sup>	95.93 ± 6.96 <sup>c</sup>
5	36.38 ± 3.77 <sup>b</sup>	60.32 ± 4.98 <sup>d</sup>	14.12 ± 1.37 <sup>e</sup>	21.52 ± 1.35 <sup>d</sup>	1.36 ± 0.07 <sup>b</sup>	86.09 ± 5.95 <sup>d</sup>
6	36.27 ± 5.74 <sup>c</sup>	57.32 ± 4.94 <sup>c</sup>	13.98 ± 1.81 <sup>e</sup>	24.84 ± 1.72 <sup>c</sup>	1.00 ± 0.09 <sup>d</sup>	106.08 ± 9.35 <sup>a</sup>
7	23.26 ± 2.52 <sup>b</sup>	41.76 ± 3.89 <sup>f</sup>	9.52 ± 0.48 <sup>e</sup>	16.33 ± 1.48 <sup>e</sup>	0.91 ± 0.06 <sup>e</sup>	88.73 ± 6.84 <sup>d</sup>
8	33.15 ± 4.29 <sup>d</sup>	51.89 ± 5.56 <sup>e</sup>	10.88 ± 1.01 <sup>e</sup>	22.42 ± 1.54 <sup>d</sup>	1.13 ± 0.13 <sup>c</sup>	100.33 ± 7.76 <sup>b</sup>
9	44.74 ± 4.97 <sup>c</sup>	82.74 ± 6.96 <sup>b</sup>	14.09 ± 0.78 <sup>e</sup>	26.94 ± 1.38 <sup>b</sup>	1.10 ± 0.12 <sup>c</sup>	98.32 ± 7.77 <sup>c</sup>
10	40.15 ± 7.14 <sup>b</sup>	72.34 ± 6.28 <sup>c</sup>	13.52 ± 2.10 <sup>e</sup>	25.13 ± 1.15 <sup>c</sup>	1.11 ± 0.16 <sup>c</sup>	96.76 ± 8.28 <sup>c</sup>
11	22.69 ± 1.53 <sup>d</sup>	40.54 ± 1.75 <sup>f</sup>	18.01 ± 1.93 <sup>d</sup>	15.63 ± 0.83 <sup>e</sup>	0.80 ± 0.06 <sup>e</sup>	89.01 ± 6.34 <sup>d</sup>
12	36.06 ± 5.31 <sup>c</sup>	59.73 ± 7.48 <sup>d</sup>	14.45 ± 2.11 <sup>e</sup>	21.09 ± 1.95 <sup>d</sup>	1.07 ± 0.12 <sup>d</sup>	92.48 ± 6.82 <sup>c</sup>
13	20.88 ± 2.43 <sup>d</sup>	42.29 ± 2.69 <sup>f</sup>	24.04 ± 1.79 <sup>b</sup>	18.62 ± 0.94 <sup>e</sup>	1.06 ± 0.03 <sup>d</sup>	81.53 ± 4.74 <sup>e</sup>

注: 表中字母(a, b, c, d, e, f)数值间差异为 0.05 水平显著。

### 3.3. 空气质量评价

黑龙江省春季首要污染物为 O<sub>3</sub>-8H 月数远大于其它污染物月数, 多达污染月份的 50% 以上。夏季首要污染物为 O<sub>3</sub>-8H 的月数占污染月数的 87%, 其余污染物都占 10% 及以下。秋季首要污染物为 PM<sub>2.5</sub>、



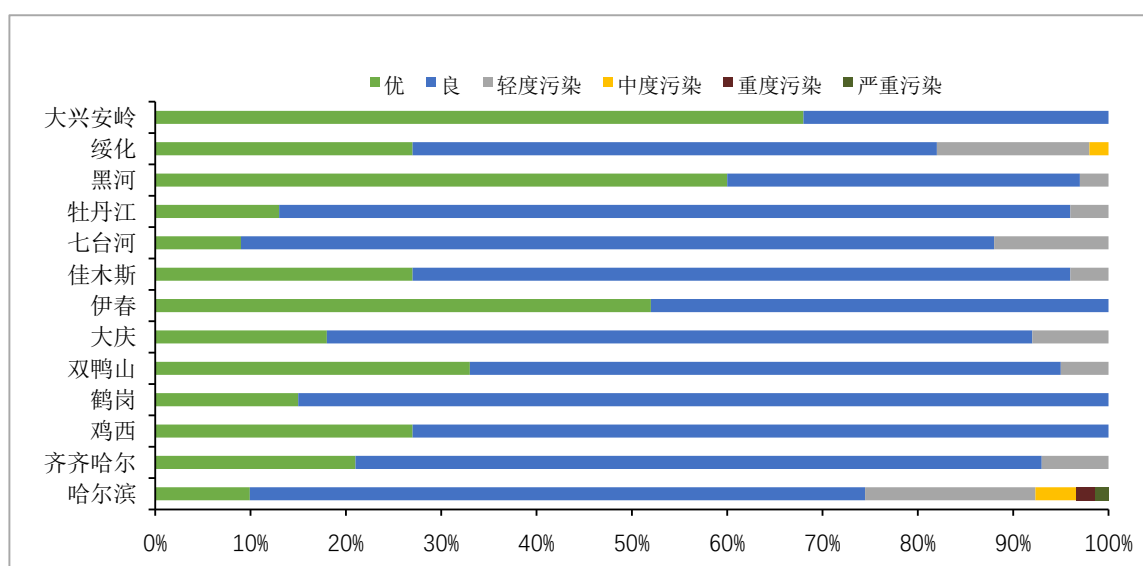
PM<sub>10</sub>月数大于其它污染物月数且分别占污染月数的44%和41%，较为相近。冬季首要污染物为PM<sub>2.5</sub>月数远大于其它污染物月数，占污染物月数的65%，其中CO为首要污染物的月数最少(表4)。

黑龙江空气首要污染物与季节相关，春季主要污染物为O<sub>3</sub>-8H，夏季主要污染物为O<sub>3</sub>-8H，秋季主要污染物为PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>，冬季主要污染物为PM<sub>2.5</sub>。PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>和O<sub>3</sub>-8H为黑龙江省空气污染主要污染物。在2014年4月~2019年3月间，黑龙江省范围内，哈尔滨空气质量为轻度污染以上月数最多，共计19个月，占5年间月数的32%；绥化、齐齐哈尔、鹤岗、双鸭山、大庆、七台河及牡丹江空气质量多为良，在37~51个月之间，占比63%~85%，在部分月份空气质量为轻度污染以上；大兴安岭、伊春无轻度污染类别月份，空气质量多为优，分别有30个月及35个月，分别占比63%、50%(图5)。

**Table 4.** The number of days and proportion of primary pollutants in different seasons in Heilongjiang Province

**表 4.** 黑龙江省不同季节首要污染物天数及所占比例

季节	PM <sub>2.5</sub>		PM <sub>10</sub>		CO		O <sub>3</sub> -8H	
	天数/d	比例/%	天数/d	比例/%	天数/d	比例/%	天数/d	比例/%
春季	480	11.6	1350	32.6	62	1.4	2175	54.3
夏季	93	2.8	341	10.1	0	0.0	2945	87.2
秋季	1148	43.6	1131	41.5	62	2.1	360	12.8
冬季	2842	64.9	1302	27.8	290	6.6	31	0.7



**Figure 5.** The proportion of air quality index categories in cities of Heilongjiang Province

**图 5.** 黑龙江省各城市空气质量指数类别占比

#### 4. 结论

本文利用2014年4月~2019年3月各月PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>、SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、CO和O<sub>3</sub>-8H六项空气污染指数统计数据，进行方差分析，采用克里金插值法，对黑龙江省六项空气污染物数据进行插值分析，对污染物浓度进行空间分布分析，得出如下结论：

1) 五年间，黑龙江省PM<sub>2.5</sub>污染物浓度值2014年与其他年份有较大差异，CO污染物浓度值2018年和其他年份差异性显著。PM<sub>2.5</sub>、CO浓度值四季呈现显著性差异，夏季与冬季差异性最大，O<sub>3</sub>-8H浓

度值春季、夏季节间无显著性差异, 其余季节间差异显著。

2) 黑龙江省空气污染物浓度总体呈现南高北低的态势。从六项污染物总体来看, 哈尔滨浓度值相较于其他城市差异显著, 齐齐哈尔、牡丹江、鹤岗、佳木斯、绥化几个城市间差异性不显著, 大庆、鸡西、七台河、双鸭山几个城市间差异性不显著, 黑河、伊春、大兴安岭地区间差异性不显著。

3)  $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$  和  $O_3-8H$  为黑龙江省空气污染主要污染物。黑龙江空气首要污染物与季节相关, 春季主要污染物为  $O_3-8H$ , 夏季主要污染物为  $O_3-8H$ , 秋季主要污染物为  $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$ , 冬季主要污染物为  $PM_{2.5}$ 。

4) 哈尔滨空气质量最差, 绥化、齐齐哈尔、鹤岗、双鸭山、大庆、七台河及牡丹江空气质量较差, 鸡西、佳木斯及黑河空气质量较好, 大兴安岭、伊春空气质量最好。

## 参考文献

- [1] Gupta, A., Patil, R. and Gupta, S. (2004) A Statistical Analysis of Particulate Data Sets for Jawaharlal Nehru Port and Surrounding Harbour Region in India. *Environmental monitoring and assessment*, **95**, 295-309. <https://doi.org/10.1023/B:EMAS.0000029910.17854.c4>
- [2] Mok, K.M. and Hoi, K.I. (2005) Effects of Meteorological Conditions on  $PM_{10}$  Concentrations—A Study in Macau. *Environmental Monitoring and Assessment*, **102**, 201-223. <https://doi.org/10.1007/s10661-005-6022-6>
- [3] 刘沙沙. 哈尔滨市大气环境质量现状研究与预测[D]: [硕士学位论文]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2008.
- [4] 卢家鑫, 张明时, 王爱民, 赵小毛. 国内外大气颗粒物中有机污染物研究工作进展[J]. 贵州师范大学学报: 自然科学版, 1996, 14(4): 62-71.
- [5] 吴虹, 张彩艳, 王静, 宣肇菲, 楚翠娟, 冯银厂, 徐虹. 青岛环境空气 $PM_{10}$ 和 $PM_{2.5}$ 污染特征与来源比较[J]. 环境科学研究, 2013, 26(6): 583-589.
- [6] 周江兴. 北京市几种主要污染物浓度与气象要素的相关分析[J]. 应用气象学报, 2005, 16(z1): 123-127.
- [7] 康恒元, 刘玉莲, 李涛. 黑龙江省重点城市 AQI 指数特征及其与气象要素之关系[J]. 自然资源学报, 2017, 32(4): 692-703.
- [8] 卯生琼, 杨旭, 王雪微, 令健康, 王秀俐, 张远正, 李天慧. 黑龙江省城市空气质量时空演化特征及气象影响因素研究[J]. 哈尔滨师范大学自然科学学报, 2018, 34(4): 92-96.
- [9] 韩铮, 邢延峰, 李广来, 任伊滨. 黑龙江省  $PM_{2.5}$  监测现状及结果分析[J]. 环境科学与管理, 2013, 38(1): 134-136.
- [10] 王艳琴. 环境保护部发布 HJ633-2012《环境空气质量指数(AQI)技术规定(试行)》[J]. 中国标准导报, 2012(4): 49.