

# 天津市近五年空气质量变化特征及影响因素分析

李雪莹, 王爱爱

哈尔滨师范大学地理科学学院, 黑龙江 哈尔滨

收稿日期: 2024年1月23日; 录用日期: 2024年3月21日; 发布日期: 2024年3月31日

## 摘要

近年大气污染问题已经成为了世界性的问题, 天津市所处的特殊地理环境和其发达的商业贸易, 以及天津市民对于良好的大气环境的追求, 对天津市的大气环境污染的防治问题提出了新的挑战。本文基于GIS技术对天津市从2015年到2019年五年间天津市16个区空气质量的变化进行综合的评价。进一步选取PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>、SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、CO、O<sub>3</sub>作为大气主要污染物研究因子运用多元线性回归分析法, 单因素方差分析法, 以及克里金插值法, 分析污染物的时空变化趋势及空气质量的影响因素。对天津市的空气质量指数(AQI)进行综合评定和分析结果显示, 天津市的大气污染的主要原因是汽车尾气、工厂的废气、工地扬尘等、尤其是汽车尾气的排放。本研究的结果为揭示天津市空气污染的主要原因及寻求大气污染治理办法提供了科学的依据。

## 关键词

天津市, 大气质量, 污染物, 空气质量指数

# Analysis of Air Quality Characteristics and Influencing Factors in Tianjin in the Past Five Years

Xueying Li, Ai'ai Wang

School of Geographical Sciences, Harbin Normal University, Harbin Heilongjiang

Received: Jan. 23<sup>rd</sup>, 2024; accepted: Mar. 21<sup>st</sup>, 2024; published: Mar. 31<sup>st</sup>, 2024

## Abstract

In recent years, the problem of air pollution has become a worldwide problem. The special geo-

graphical environment of Tianjin and its developed commercial trade, as well as Tianjin citizens' pursuit of a good air environment, have brought new challenges to the prevention and control of air pollution in Tianjin. Based on the GIS technology, the air quality in districts of Tianjin from 2015 to 2019 was comprehensively evaluated. Further selecting  $PM_{2.5}$  and  $PM_{10}$ ,  $SO_2$ ,  $NO_2$ ,  $CO$ , and  $O_3$  as the main pollutant research factors, using multiple linear regression analysis, single factor variance analysis, and Kriging interpolation method to analyze the of the temporal and spatial changes of pollutants and factors affecting air quality. Comprehensive evaluation and analysis of Air Quality Index (AQI) of Tianjin showed that the main causes of air pollution of Tianjin were emissions of automobile and factory, and construction site dust, especially automobile. The results revealed the main causes of air pollution and the measures to control air pollution.

## Keywords

Tianjin, Air Quality, Pollutants, Air Quality Index (AQI)

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. 前言

中国经济的腾飞为人民带来了更加富足美好的生活,但同时空气污染的问题也随之而来,大气污染问题持续时间长,难治理影响广泛,天津市处于京津冀地区也是我国重要的对外开放的港口和运输口岸,天津市的空气质量问题更是得到人们广泛的关注,而天津市的开发也被纳入了国家发展战略之中,更是对天津市的环境提出了新的要求和挑战。

本文就天津市从2015年1月到2019年12月近五年间的空气质量问题运用了多元线性回归分析法,单因素方差分析法以及克里金插值法等方法,对天津市五年间的六种污染物( $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$ ,  $SO_2$ ,  $NO_2$ ,  $CO$ ,  $O_3$ )进行了研究,得出天津市污染物的时空分布变化特点,为天津市的空气污染问题的预防和治理提供了支持,也为天津市的市民重获良好的生活环境做出了努力。

## 2. 绪论

### 2.1. 研究背景及意义

近年来空气质量问题越来越受到国家和人民的关注,工业化和城市化的迅速发展提高了人民群众的生活水平和生活条件,但与此同时也带来了严重的生态环境问题,2012年初,原国家环境保护部颁布了《环境空气质量标准(GB 3095-2012)》首次将污染因子( $PM_{2.5}$ 、 $CO$ 、和  $O_3$ 等)纳入空气质量监测范围[1]。2015年1月1日《中华人民共和国环境保护法》发布并实施,新环保法加强了对大气污染,尤其是对雾霾问题的防治[2]。天津作为首都北京毗邻的城市,天津市的滨海新区的开发已经被国家发展战略放入其中,滨海新区将作为天津市的龙头来进行发展,天津的产业与基础设施以及大规模进行建造已经开始。随之而来的就是由于经济快速发展所带来的环境压力。空气环境的质量对天津市的生态环境有重要的影响,更是直接影响人民的生活质量,对于天津市的空气质量变化特征及影响因素进行分析具有重要的现实意义。

### 2.2. 国内外研究进展

由于国外的工业相对来说比较发达,大气污染的问题出现比我国要早一些,因此有许多研究都是针

对空气污染以及其评价方面。在西欧有许多国家对于大气的污染和预报也已经起步, 他们多是采用国际网络的方式, 跨国进行联合, 成效显著[3]。而在美国日本和许多西欧的国家, 已经对本国国内具体的污染情况作出了具有针对性的预测以及评价的软件[4]。Wolfgang [5]以 GIS 为平台, 通过比较检测数据计算的污染物浓度的分布和奥地利的污染排放清单中计算所得出的氮化物的污染浓度分布的出结论二者有相对来说比较好的拟合性。Carras [6]以 GIS 为平台, 对于香港的二氧化碳、氮氧化物等污染物的浓度利用大气污染物的化学传输模型进行模拟, 结果和实际测量数据十分接近。在污染物变化研究方面, 1995 年, 邓新民等[7]的研究中建立了一个 BP 神经网络模型, 使  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_2$  和  $\text{PM}_{10}$  作为监测值的评价因子进行区域环境质量的综合性的评价, 从而发现在空气神经质量预测中 BP 网络模型的精度非常高。周甘霖[8]将逐步回归模型运用到兰州的大气污染物( $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_2$  和  $\text{PM}_{2.5}$ )的浓度预测中。黄怡民[9]等学者在 2009 年对北京市冬、夏两季的天气溶胶中水溶性离子分布特征进行了研究, 研究认为夏季和冬季霾天大气细粒子污染均十分严重。

### 2.3. 研究内容及技术路线

本文主要通过单因素方差分析(One-Way ANOVA), 空间插值分析等方法建立天津市津南区, 蓟县, 宁河区, 西青区, 滨海新区, 河东区, 东丽区, 南开区, 河西区, 宝坻区, 和平区, 静海区, 武清区, 河北区, 红桥区, 北辰区 16 个区近五年控制质量差值图, 然后从年、月、季的时间尺度上对比  $\text{PM}_{2.5}$ 、 $\text{PM}_{10}$ 、 $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_2$ 、 $\text{CO}$ 、 $\text{O}_3$  六个主要污染物近五年来的时空变化特征, 以及污染物的总体分布特征, 探讨空气质量变化的主要影响因素。本文的技术路线如图 1 所示。前期进行天津市空气质量报告收集进行资料整合等工作, 对于天津市资料进行处理制作空气质量变化趋势图, 利用回归分析, 单因素方差分析, 以及空间插值法对其进行分析, 最后得出天津市空气质量变化原因以及空间分布规律分析。

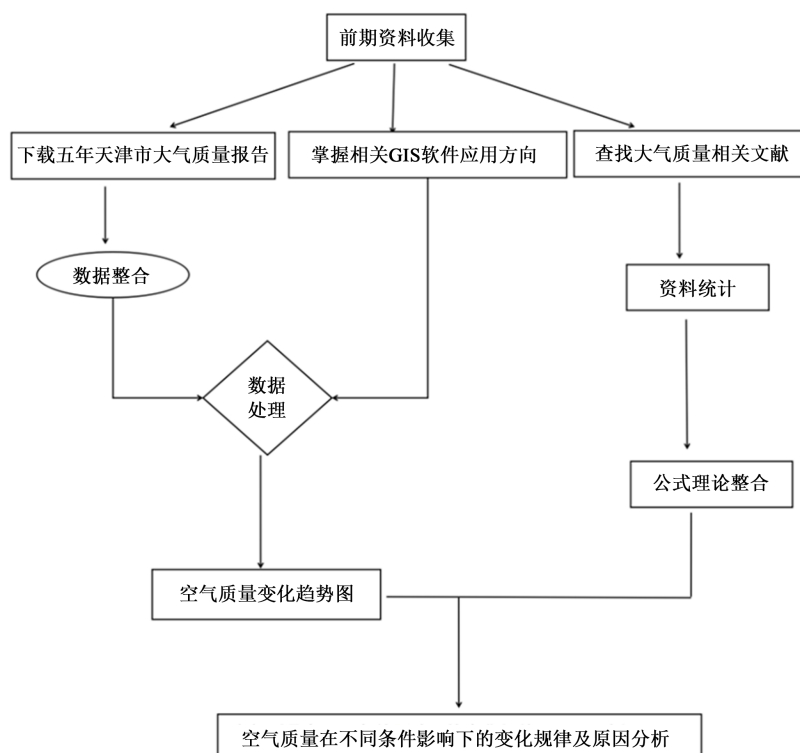


Figure 1. Research technology roadmap

图 1. 研究技术路线

### 3. 数据来源及处理方法

#### 3.1. 研究区域概况

##### 3.1.1. 自然环境概况

天津为中国直辖市之一, 北方沿海开放的最大城市, 介于北纬 38°34'至 40°15', 东经 116°43'至 118°04' 之间, 天津市处于华北平原东北部, 海河流域的下游, 海拔由南向北逐渐升高。天津温带大陆性季风气候占主导, 夏炎热湿润, 冬寒冷干燥。天津年平均气温约为 14℃, 年平均降水量为 600 mm 左右。

##### 3.1.2. 研究区监测点概况

天津市主城区一共设置 16 个环境空气质量监测站点, 依据《环境空气质量标准》(GB 3095-2012)对六个主要污染物 PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>、SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、CO、O<sub>3</sub> 进行实时监测[10]。16 个站点分布在整个天津市内如图 2 所示。

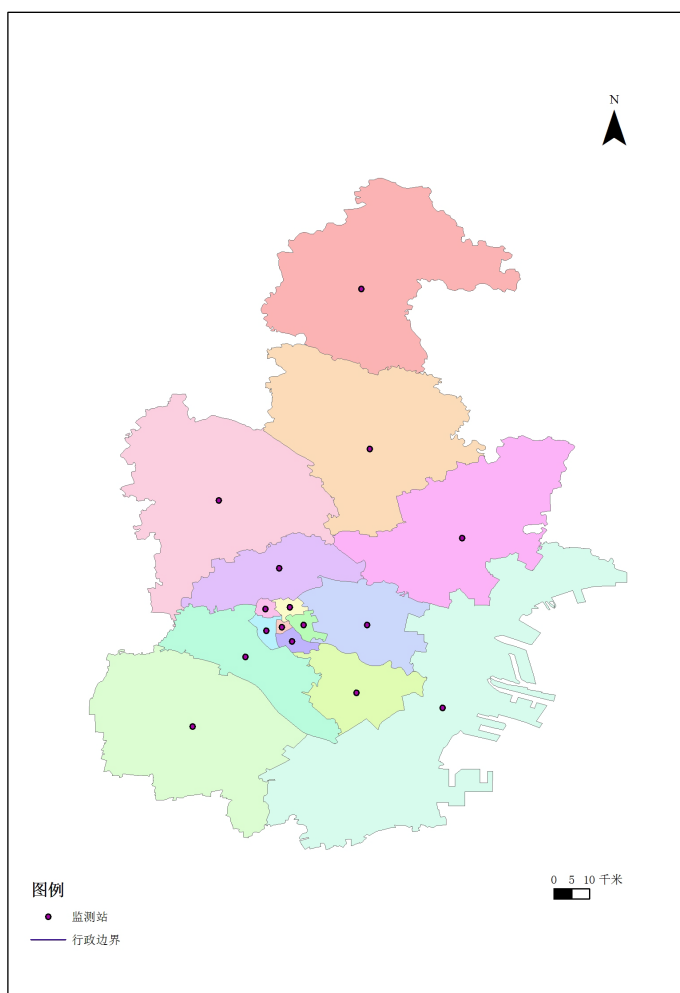


Figure 2. Administrative division map of Tianjin City  
图 2. 天津市行政区划图

#### 3.2. 数据来源

本研究课题数据主要来源于天津市生态环境局(<http://sthj.tj.gov.cn/>)公布的天津市市主城区 16 个国控

站点六个主要污染物 PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>、SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、CO、O<sub>3</sub> 实时空气质量数据。采集时间段为 2015 年 1 月至 2019 年 12 月。

### 3.3. 数据分析方法

#### 3.3.1. 多元线性回归分析法

多元回归分析, 是利用 SPSS 软件来实现的一种分析方法, 天津市六种不同污染物季节变化运用此方法进行分析, 数据是天津市 2015 年~2019 年各污染物浓度的数据。将所有城区按月份(1 月~12 月)分组, 分为 4 组(12~1 月为冬季, 3~5 月为春季, 6~8 月为夏季, 9~11 月秋季)。回归分析主要研究影响关系之间的情况, 在实质上来说就是研究天津市不同的污染物因对天津市六种不同污染物的变化之间的关系。首先对天津市不同季节作为自变量, 而将天津市不同的污染物类型作为因变量进行线性回归分析结果如下表 1 所示。

Table 1. Regression test

表 1. 回归性检验

| R     | R <sup>2</sup> | 调整 R <sup>2</sup> | 模型误差  | DW 值  |
|-------|----------------|-------------------|-------|-------|
| 0.828 | 0.686          | 0.668             | 0.992 | 0.549 |

从上表可以看出, 模型 R 方值为 0.686, 意味着季节变化可以解释污染物类型的 68.6% 变化原因。然后建立回归模型如下图 3:

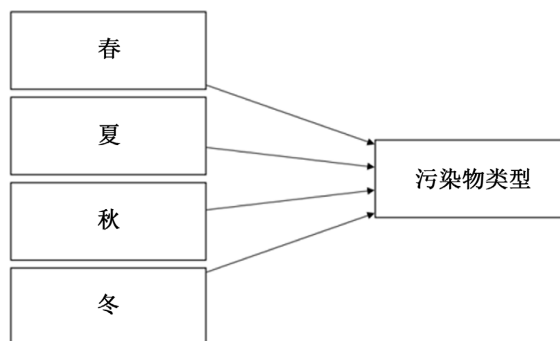


Figure 3. Regression model

图 3. 回归模型

#### 3.2.2. 单因素方差分析法

单因素方差分析法(One-Way ANOVA), 利用 SPSS 软件来实现的一种分析方法, 城区之间污染物差异性也运用此方法进行分析, 数据为 2018 年污染物浓度数据。将各城区津南区, 蓟县, 宁河区, 西青区, 滨海新区, 河东区, 东丽区, 南开区, 河西区, 宝坻区, 和平区, 静海区, 武清区, 河北区, 红桥区, 北辰区间平均值的 LSD 进行检验。在进行单因素方差时, 需要注意以下前提条件, 各个样本一定是随机进行抽取的, 各样本之间要求相对独立, 各样本所在的总体要服从正态分布并且要求方差相等。

#### 3.3.3. 空间插值法

利用 ArcMap 实现此方法

1) 空间差值法: 是将离散的采样点数据通过一定的数据处理从而生成的具有连续性特点的数据表面, 它将检测点的采样数据应用到整个范围之中, 并且考虑到空间位置的变异分布, 空间差值有两个必

须要考虑的要是分别是控制点选取与差值方法的运用, 必须有特殊的符合质心要求的样点否则无法进行差值。

2) 克里金插值法(Kriging): 是考虑的是在空间位置中空间属性的变异分布, 在对待差值点有影响的范围距离内进行采样并利用此采样点来确定待差值点的属性值。

### 3.4. 天津市空气质量评价方法

大气环境质量评价就是对于大气环境的质量优劣进行评价来判断天津市的大气质量到处于一个什么样的等级, 之后对在大气污染中各个污染因子起什么样的作用进行主次辨别, 并且能够体现出那种因素是大气污染中占主导的因素, 目前空气污染质量评价法是最主要的应用方法。综合六种常见空气污染物进行计算最后得出一个数值在与相应的国家出台的表来进行对应从而知道城市的空气质量是否符合国家标准或是占据哪个等级, 为防治大气污染做出了巨大的贡献。

#### 3.4.1. AQI 指数评价法

空气质量是对于某地区空气污染程度的衡量指标, 空气中污染物的浓度高低将直接影响它的好坏, 空气质量指数(AQI)是对空气污染指数(API)的一种修正它是对于六种污染物的反映, 根据我国 HJ 633-2012《环境空气质量指数(AQI)技术规定(试行)》[10]中规定的污染物浓度限值空气质量指数级别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见表 2。

Table 2. Corresponding relationship between air quality levels

表 2. 空气质量等级对应关系表

| AQI     | 空气质量 | 对人体影响   |
|---------|------|---|
| 0~50    | 优    | 空气质量状况十分良好多为名胜风景区人们可以适量进行户外的体育活动提高心肺功能        |
| 51~100  | 良    |   |
| 101~150 | 轻度污染 | 健康人群由于刺激可能出现相应症状患有心脏病和肺部疾病的患者应该采取相应措施减少户外活动   |
| 151~200 | 中度污染 |   |
| 201~300 | 重度污染 | 此时污染较为严重老年人, 心脏病患者和呼吸系统疾病的人群应该停留于室内, 不易开展户外活动 |
| >300    | 严重污染 | 此时空气污染以相当严重健康人也不应该随意去户外走动应该尽量停留于室内            |

#### 3.4.2. AQI 指数计算

根据 HJ 633-2012《环境空气质量指数(AQI)技术规定(试行)》中所规定的共有六项  $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$ 、 $SO_2$ 、 $NO_2$ 、 $CO$ 、 $O_3$  表中所列出了指数不同级别所使用的污染物限度值。

AQI 指数计算分为三步首先计算出各污染物所占用的指数计算方法如下公式:

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

之后计算出各污染的污染分数之后, 互相之间进行比价取最大的分数作为待评价区域的最大分数, 则与其相对应的污染物作为该区域的主要污染物公式如下:

$$AQI = \max \{IAQI_1, IAQI_2, IAQI_3, \dots, IAQI_n\}$$

$IAQI_n$  是污染分指数;  $n$  是分指数个数。

## 4. 大气污染物时空分布特征

### 4.1. 大气污染物时间序列变化特点

#### 4.1.1. 大气污染物年际变化特点

由表 3 的数据可以看出, 从 2015 年到 2019 年, 天津市  $PM_{2.5}$  的浓度发展趋势逐年递减,  $PM_{10}$  的浓度逐年下降 11.55%, 从这两种可吸入颗粒都呈现下降趋势可以看出, 天津市在治理空气污染方面加大了力度, 环境效应明显。2015 年到 2019 年  $SO_2$  年均浓度为  $16.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 总体呈现下降趋势, 主要原因应该是为了防治硫化物的污染天津市许多会造成硫化物污染的工厂关闭了。天津市近五年的  $NO_2$  浓度波动不大。 $CO$  的浓度逐渐降低但降幅不大, 天津市  $O_3$  浓度从 2015 到 2018 逐年下降在 2018 年达到历史最低, 但却在 2019 年重新反扑, 主要原因大幅度的高温, 机动车排放量增大等等。综上所述, 天津市主要的问题是要时刻注意保持大气环境的治理保持逐年递减的趋势, 主要工作是注意  $NO_2$  和  $O_3$  的治理。

**Table 3.** Inter annual variation of atmospheric pollutants (unit:  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

**表 3.** 大气污染物年际变化(单位:  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

| 年份     | $PM_{2.5}$ | $PM_{10}$ | $SO_2$ | $NO_2$ | $CO \text{ mg}/\text{m}^3$ | $O_3$ |
|--------|------------|-----------|--------|--------|----------------------------|-------|
| 2015 年 | 72         | 125       | 24     | 45     | 2.6                        | 202   |
| 2016 年 | 69         | 103       | 21     | 48     | 2.7                        | 157   |
| 2017 年 | 62         | 94        | 16     | 50     | 2.8                        | 192   |
| 2018 年 | 52         | 82        | 12     | 47     | 1.9                        | 201   |
| 2019 年 | 51         | 76        | 11     | 42     | 1.8                        | 200   |

#### 4.1.2. 大气污染物季节变化特点

对于不同季节的污染物类型种类的变化, 使用多元线性回归检验来了解不同季节对于污染物的影响程度, 首先检验不同的季节对于不同的污染物类型是否有影响。进行 F 检验检验此模型建立是否有意义结果如下表 4。

**Table 4.** ANOVA table

**表 4.** ANOVA 表格

|    | 平方和     | df | 均方     | F      | p 值   |
|----|---------|----|--------|--------|-------|
| 回归 | 144.125 | 4  | 36.031 | 36.647 | 0.000 |
| 残差 | 65.875  | 67 | 0.983  |        |       |
| 总计 | 210.000 | 71 |        |        |       |

从上表可知, 对模型进行 F 检验, F 检验通过( $F = 36.647, p = 0.000 < 0.05$ ), 这也就证明了模型的构建是有意义的。之后进行多元线性回归检验, 检验结果如下表 5。

**Table 5.** Results of linear regression analysis

**表 5.** 线性回归分析结果

|    | 非标准化系数 | 标准化系数 | t    | p      | VIF     | $R^2$ | 调整 $R^2$ | F     |                               |
|----|--------|-------|------|--------|---------|-------|----------|-------|-------------------------------|
|    | B      | 标准误   | Beta |        |         |       |          |       |                               |
| 常数 | 4.390  | 0.217 | -    | 20.262 | 0.000** | -     | 0.686    | 0.668 | $F(4,67) = 36.647, p = 0.000$ |

续表

|   |        |       |        |        |         |        |
|---|--------|-------|--------|--------|---------|--------|
| 春 | -0.032 | 0.007 | -0.728 | -4.846 | 0.000** | 4.817  |
| 夏 | 0.009  | 0.006 | 0.359  | 1.430  | 0.157   | 13.440 |
| 秋 | 0.018  | 0.005 | 0.725  | 3.338  | 0.001** | 10.061 |
| 冬 | -0.013 | 0.005 | -0.290 | -2.489 | 0.015*  | 2.901  |

因变量：污染物类型；D-W 值：0.549； $p < 0.05$ ， $p < 0.01$ 。

从上表可知，将天津市不同的季节作为自变量，而将天津市大气不同污染物类型作为因变量进行线性回归分析，模型为  $R^2 = 0.686$ ，意味着季节的变化对污染物的影响占比为 68.6%。对模型进行 F 检验时发现模型通过 F 检验 ( $F = 36.647$ ,  $p = 0.000 < 0.05$ )，也即说明四个季度之中至少有一个季度会对污染物的变化产生影响，所得出的模型公式为：污染物类型 =  $4.390 - 0.032 * \text{春} + 0.009 * \text{夏} + 0.018 * \text{秋} - 0.013 * \text{冬}$ 。另外，针对模型的多重共线性进行检验发现，模型中 VIF 值出现大于 10，意味共线性问题存在。最终具体分析可知：

进入秋季会对污染物类型产生十分显著的正趋向影响。以及进入春季，冬季会对污染物类型产生显著的负趋向影响。但是进入夏季并不会对污染物类型产生影响。

模型结果图如下图 4：

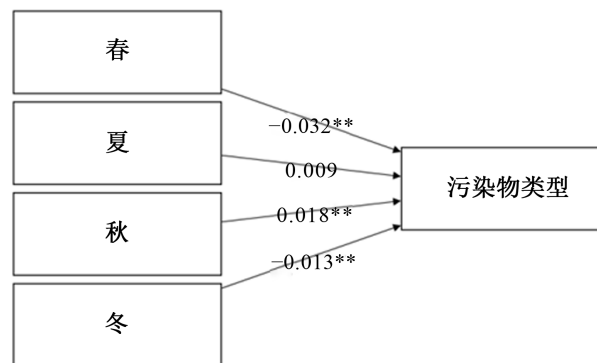


Figure 4. Regression Model  
图 4. 回归模型

## 4.2. 大气污染物空间序列变化特点

使用单因素方差分析对于不同城市的污染物类型进行分析详情见下表 6：

Table 6. Results of one-way ANOVA for different types of pollutants in cities (unit:  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )  
表 6. 不同城市污染物类型单因素方差分析结果(单位:  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

| 污染物类型 | PM <sub>2.5</sub> | PM <sub>10</sub> | SO <sub>2</sub> |
|-------|-------------------|------------------|-----------------|
| 宝坻区   | 66.00 ± 18.09     | 108.75 ± 21.70   | 21.75 ± 1.89    |
| 北辰区   | 62.25 ± 14.17     | 104.25 ± 19.96   | 16.00 ± 3.74    |
| 滨海新区  | 63.67 ± 12.58     | 88.33 ± 11.15    | 16.33 ± 3.06    |
| 东丽区   | 67.67 ± 16.80     | 93.33 ± 15.95    | 19.67 ± 2.52    |
| 和平区   | 65.67 ± 17.16     | 92.00 ± 13.75    | 17.67 ± 2.89    |



续表

|       |                 |                      |                |
|-------|-----------------|----------------------|----------------|
| 河北区   | 59.33 ± 18.82   | 92.00 ± 13.08        | 14.67 ± 3.06   |
| 河东区   | 64.00 ± 16.09   | 92.33 ± 15.95        | 16.67 ± 1.53   |
| 河西区   | 63.33 ± 11.68   | 89.00 ± 15.10        | 18.67 ± 1.53   |
| 红桥区   | 68.00 ± 14.42   | 95.33 ± 11.15        | 18.33 ± 2.52   |
| 蓟州区   | 64.33 ± 28.54   | 93.67 ± 32.50        | 20.00 ± 1.00   |
| 津南区   | 65.00 ± 12.12   | 94.33 ± 11.93        | 16.00 ± 2.00   |
| 静海区   | 66.67 ± 12.66   | 93.33 ± 7.09         | 20.33 ± 2.52   |
| 南开区   | 64.33 ± 12.10   | 97.67 ± 12.66        | 17.33 ± 4.04   |
| 宁河区   | 65.00 ± 21.38   | 86.33 ± 24.83        | 22.00 ± 1.73   |
| 武清区   | 69.00 ± 15.72   | 93.67 ± 20.60        | 19.33 ± 2.08   |
| 西青区   | 71.67 ± 12.50   | 96.67 ± 10.69        | 16.33 ± 2.08   |
| F     | 0.094           | 0.369                | 2.374          |
| p     | 1               | 0.979                | 0.018          |
| 污染物类型 | NO <sub>2</sub> | CO mg/m <sup>3</sup> | O <sub>3</sub> |
| 宝坻区   | 47.00 ± 7.62    | 2.90 ± 0.42          | 125.25 ± 55.40 |
| 北辰区   | 48.50 ± 9.47    | 2.00 ± 0.37          | 139.25 ± 65.46 |
| 滨海新区  | 51.67 ± 8.50    | 2.13 ± 0.40          | 96.67 ± 34.53  |
| 东丽区   | 54.67 ± 9.71    | 2.17 ± 0.25          | 101.33 ± 39.11 |
| 和平区   | 47.67 ± 7.57    | 2.13 ± 0.25          | 106.67 ± 51.59 |
| 河北区   | 52.67 ± 6.11    | 2.00 ± 0.20          | 105.67 ± 42.78 |
| 河东区   | 49.33 ± 9.29    | 1.83 ± 0.21          | 117.67 ± 40.00 |
| 河西区   | 52.00 ± 10.44   | 2.27 ± 0.12          | 111.67 ± 42.03 |
| 红桥区   | 50.67 ± 9.71    | 2.07 ± 0.46          | 107.33 ± 48.05 |
| 蓟州区   | 34.33 ± 9.71    | 3.17 ± 0.49          | 116.00 ± 47.44 |
| 津南区   | 54.67 ± 9.07    | 2.40 ± 0.30          | 98.33 ± 40.87  |
| 静海区   | 44.00 ± 8.89    | 3.00 ± 0.82          | 104.33 ± 49.34 |
| 南开区   | 50.00 ± 9.64    | 1.97 ± 0.25          | 94.00 ± 33.06  |
| 宁河区   | 51.33 ± 12.01   | 2.77 ± 0.06          | 75.33 ± 26.08  |
| 武清区   | 51.00 ± 7.94    | 2.37 ± 0.15          | 92.33 ± 31.02  |
| 西青区   | 49.67 ± 7.57    | 2.73 ± 0.23          | 96.33 ± 40.15  |
| F     | 0.868           | 4.157                | 0.37           |
| p     | 0.602           | 0.000**              | 0.978          |

上表为利用单因素方差分析去研究不同区对于  $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$ 、 $SO_2$ 、 $NO_2$ 、 $CO$ 、 $O_3$  共 6 项的差异性。从上表可以看出：不同的区样本对于  $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$ 、 $NO_2$ 、 $O_3$  这 4 种污染物不会表现出显著性( $p > 0.05$ )影响，意味着 16 个区采集的样本对于  $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$ 、 $NO_2$ 、 $O_3$  这四种污染物全部均表现出一致性，并不存在差异性。另外 16 个区采集的样本对于  $SO_2$ 、 $CO$  这两种污染物呈现出显著性( $p < 0.05$ )，意味着 16 个区中采集的样本对于  $SO_2$ 、 $CO$  这两种污染物有着差异性。具体分析可知：不同地区采集的样本对于  $SO_2$  呈现出 0.05 水平显著性( $F = 2.374$ ,  $p = 0.018$ )，对样本进行具体对比，对比结果为见下图 5。

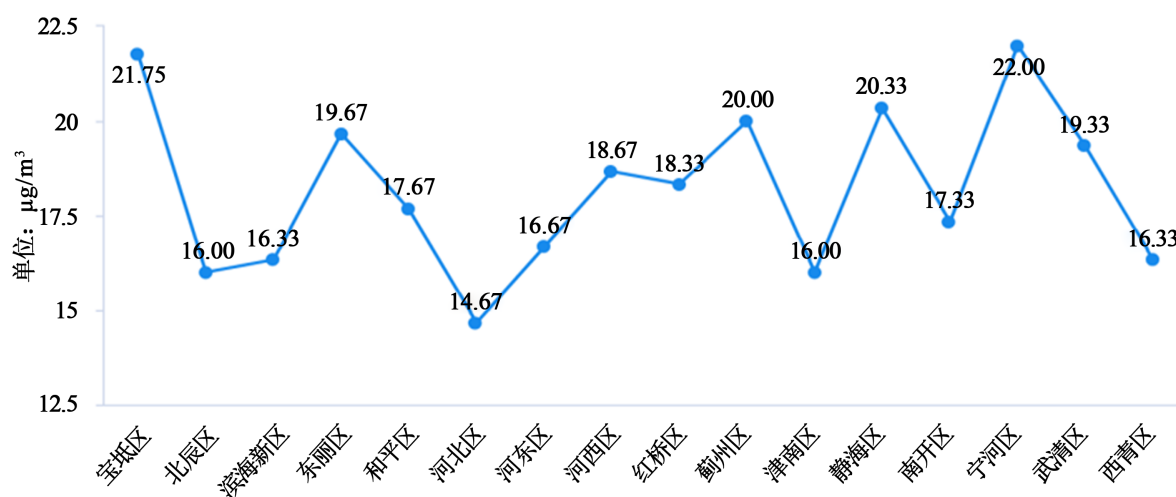


Figure 5. Comparison of  $SO_2$  content between different urban areas

图 5. 不同城区之间  $SO_2$  含量对比

不同地区采集的样本对于  $CO$  呈现出 0.01 水平显著性( $F = 4.157$ ,  $p = 0.000$ )，对样本进行具体对比，对比结果为见下图 6。

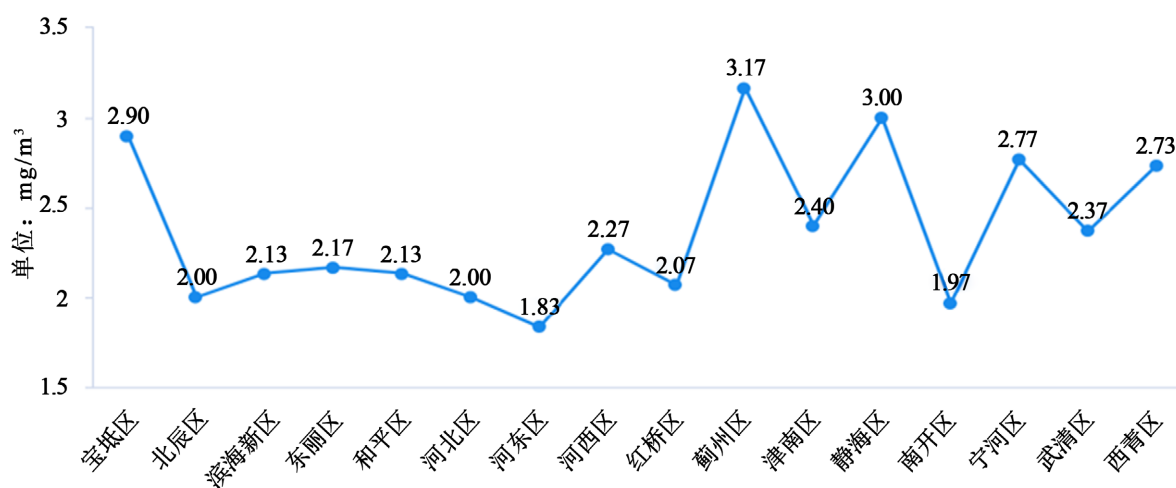
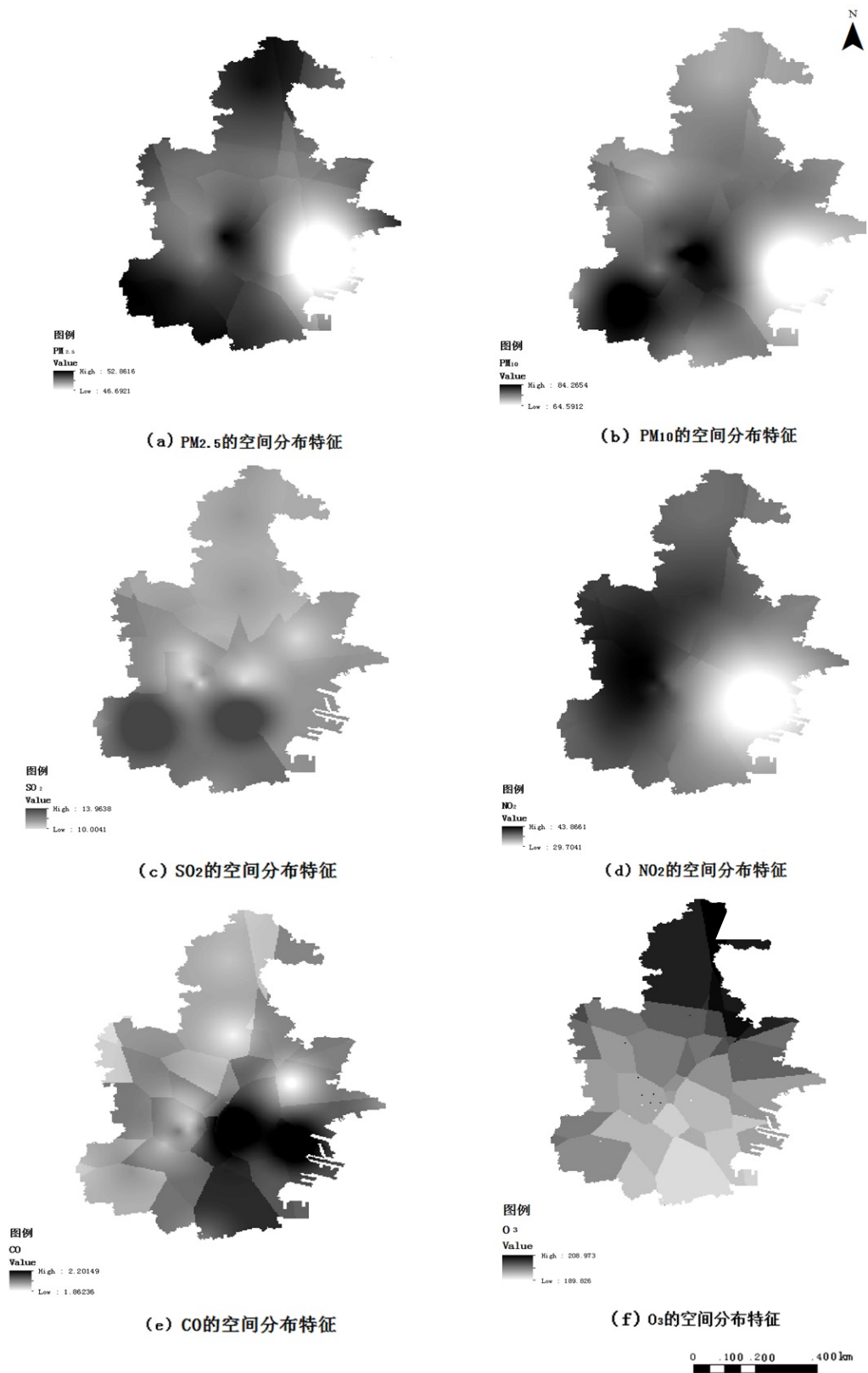


Figure 6. Comparison of  $CO$  content in different urban areas

图 6. 不同城区  $CO$  含量对比

### 4.3. 大气污染物空间分布特征

使用克里金插值法对天津市的六种污染物进行插值处理的结果图如下图 7。



**Figure 7.** Spatial distribution characteristics of atmospheric pollutants  
**图 7.** 大气污染物空间分布特征

由上图可以明显看出天津市的可吸入颗粒物( $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$ )的污染情况东南方明显好于其他地区而中部地区和北部地区最为严重; 天津市的东南方向为滨海新区而滨海新区地广人稀并且地邻海, 人员的稀少减少了小部分可吸入颗粒物( $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$ )的排放量, 而海陆风的存在带来丰富水汽, 对于空气中的可吸入颗粒物( $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$ )含量具有抑制作用。而中部地区是城市中心  $PM_{2.5}$  的排放量本就偏高而且远离海洋空气流动速度慢, 比较不易散开。由上图可以见到  $SO_2$  在整个天津城区几乎没有过于明显的区别只在南部的部分地区污染的数值稍微偏高, 空气  $SO_2$  的主要来源是化工厂产生的废气以及车辆排气, 天津市空气中的  $SO_2$  含量整体证明硫化物的处理较为完善。 $NO_2$  的分布也与可吸入颗粒物相同东南少西部较多,  $CO$  的分布和  $O_3$  呈现良好的负相关趋势, 生成  $O_3$  的光化学反应需要  $CO$  [11], 而  $O_3$  的生成还与光照有着密不可分的关系, 光照加强温度升高空气中臭氧含量就高对呼吸道的危害越大[11]。

#### 4.4. 空气质量等级评定

##### 4.4.1. 天津市大气质量评价标准

本论文中以 HJ 633-2012《环境空气质量指数(AQI)技术规定(试行)》为污染物浓度执行标准[10]。此标准中将污染物的浓度划分为两类标准并有所对应的不同浓度标准要求。标准中对于不同地区的不同规划见表 7。

Table 7. Functional area classification

表 7. 功能区分类

| 分类  | 功能区             |
|-----|-----------------|
| 第一类 | 自然保护区等需要特殊保护的区域 |
| 第二类 | 除一类功能区之外所有区域    |

##### 4.4.2. 天津市 2015~2019 大气质量状况

为了能够更加直观地将天津市的 AQI 指数在 2015~2019 年的分布状况将各个月份的分级区间在不同年份的表现情况由柱状图 8 所示。

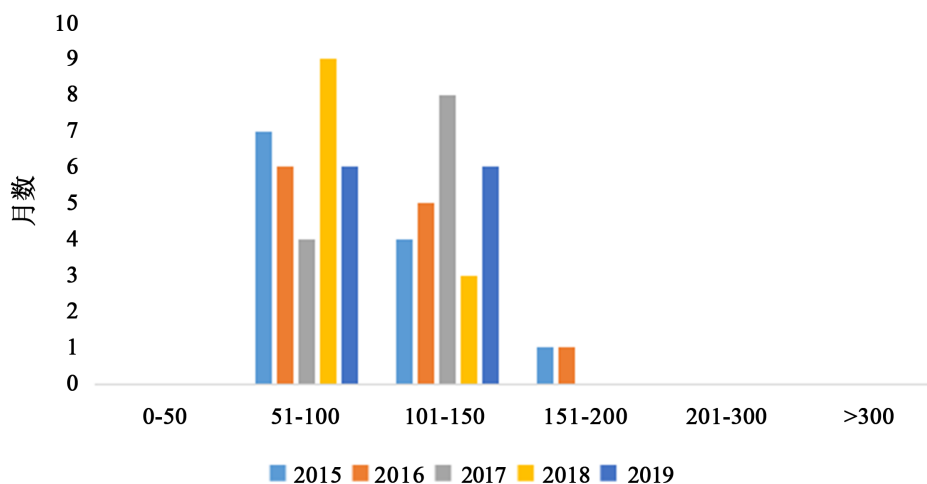


Figure 8. Monthly AQI distribution in Tianjin from 2015 to 2019

图 8. 2015~2019 年度天津市每月 AQI 分布情况

由图可以看出 2015 年空气质量为良的月份有 7 个月占全年的 58%; 空气质量为轻度污染的月份有四

个月, 占全年的 33%; 空气质量为中度污染的有一个月占全年的 8%。2018 年的空气质量都在良和轻度污染之内, 中度污染已经消除; 2019 年全年无中度污染发生明显好于 2015 年, 但良的月份比 2018 年减少了 8%, 天津市要继续努力提高空气质量水平。

由图可以看出 AQI 指数位于 0~50 天的月份没有基本集中在 51~100 和 101~150 之间, 在 151~200 之间的基本减少至没有, 在 51~100 之间的呈倒 V 型分布在 2018 年到达最高值, 101~150 之间呈现倒 V 分布在 2017 达到最高值。表图基本说明天津市月平均的空气质量以良和轻度污染为主, 人们在全年大约一半的时间可以进行户外活动而另一半的时间里出现了轻度污染使得某些易感人群不能进行户外活动或减少活动时间。

## 5. 结论

天津市大气环境监测点主要对于六种大气污染物进行了监测, 分别为  $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$ 、 $SO_2$ 、 $NO_2$ 、 $CO$ 、 $O_3$ 。本文整理了天津市监测点对于这六项污染物的月均浓度值, 五年间的数据统计数据利用相关分析从时间和空间两个维度分析了天津市的空气质量特征以及污染物的分布情况, 通过多元线性回归分析对于季节不同对于天津市带来的影响建立回归模型进行回归分析; 单因素方差分析对于不同地区的污染物进行了一致性的检验了解了不同地区之间的变化规律; 对克里金插值法进行分析 6 种污染物的空间分布情况。最后利用环境空气质量指数对天津市近几年的不同地区的大气质量情况进行了评价, 本文得出结论如下:

1) 2015 年到 2019 年截至天津市的可吸入颗粒物( $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$ ),  $SO_2$  和  $CO$  明显呈现下降趋势, 证明天津市在这四种污染物的治理上初见成效, 而近五年间  $NO_2$  几乎没有变化  $O_3$  更是出现反扑趋势, 天津市要加大治理  $NO_2$  和  $O_3$  的力度。

2) 不同季节对于天津市的污染物有较大的影响进入秋季会对污染物类型产生显著的正趋向影响。以及进入春季、冬季会对污染物类型产生显著的负趋向影响。但是进入夏季并不会对污染物类型产生影响关系。天津市的污染物具有季节变化的特点。天津市是北方城市因此设计到冬季供暖的问题,

3) 不同地区的  $SO_2$  和  $CO$  的含量有明显差距波动较大  $SO_2$  的含量宁河区达到最高  $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$  河北区最低  $14.67 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $CO$  的含量河东区最低达到  $1.83 \text{mg}/\text{m}^3$  蓟州区最高  $3.17 \text{mg}/\text{m}^3$  可以证明不同城市大气污染的治理方向不同。

4) 天津地区的 AQI 指数多集中在良和轻度污染之间基本说明天津市月平均的空气质量以良和轻度污染为主, 人们在全年大约一半的时间可以进行户外活动而另一半的时间里出现了轻度污染使得某些易感人群不能进行户外活动或减少活动时间

本研究利用天津主城区 2015~2019 五年的数据对于这五年内的时间空间序列进行分析在影响因素上采用了年际、季节, 地点的不同进行研究虽然得到一定的规律但是还存在一些不足之处, 在今后的研究中以期进行进一步的完善。空间分析特征上, 采用的是主城区 16 个采样点的数据, 运用克里金插值法得到的此方法虽然在一定程度上可以补偿空间数据不足。但是由于样本点相对较少, 得到的插值还是不够精确。对污染物具有影响的因素考虑的不足够全面比如说极端的天气, 烟花爆竹的燃放还有人类的特殊活动等, 对于大气环境质量的评价本文采用了环境空气质量指数评定法此方法比较简单容易实现, 在此后要尽量在去寻找一些更易于与 GIS 相结合并且可以考虑更多影响因素的方法。

## 参考文献

- [1] 环境保护部. GB 309-2012. 环境空气质量标准[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2012.
- [2] 环境保护部政策法规司. 新《环境保护法》及配套文件汇编[M]. 北京: 中国环境出版社, 2015.

- 
- [3] 国家环境保护总局, 国家质量监督检验检疫总局. GB 3095-2012. 中华人民共和国空气质量标准[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2012.
- [4] 赵金霞, 高颖, 靳振华, 邢蕊. 天津市滨海新区雾霾及臭氧对大气污染成因分析[J]. 天津科技, 2019, 46(11): 117-120.
- [5] Tooley, P.W., Carras, M.M. and Falkenstein, K.F. (1996) Relationships among Group IV Phytophthora Species Inferred by Restriction Analysis of the ITS2 Region. *Journal of Phytopathology*, **144**, 363-369.  
<https://doi.org/10.1111/j.1439-0434.1996.tb00307.x>
- [6] Portin, H., Leskinen, A., Hao, L., *et al.* (2014) The Effect of Local Sources on Particle Size and Chemical Composition and Their Role in Aerosol-Cloud Interactions at Puijo Measurement Station. *Atmospheric Chemistry & Physics*, **14**, 32133-32173.
- [7] 邓新民, 李祚泳. 城市环境质量的 B-P 网络综合评价研究[J]. 苏州城建环保学院学报, 1995(1): 78-82.
- [8] 周甘霖. 兰州市空气污染特征及其与气象条件关系研究[D]: [硕士学位论文]. 兰州: 兰州大学, 2012.
- [9] 黄怡民, 刘子锐, 陈宏, 王跃思. 北京夏冬季霾天气下气溶胶水溶性离子粒径分布特征[J]. 环境科学, 2013, 34(4): 1236-1244.
- [10] 杨继东, 刘佳泓, 杨光辉, 徐建京. 天津市环境空气中一氧化碳污染特征及变化趋势研究[J]. 环境科学与管理, 2012, 37(6): 89-90-104.
- [11] 黄杏元, 马劲松, 汤勤. 地理信息系统概论[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002: 93.