

基于GIS的黑龙江省空气质量监测

张 茜

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1日; 录用日期: 2024年1月5日; 发布日期: 2024年1月12日

摘 要

黑龙江省属于国界, 位于中国的北部。由于冬季的燃煤采暖和秸秆燃烧, 造成了冬季严重的雾霾状况, 近几年随着锅炉改造和禁止秸秆燃烧的相关措施实施出台, 黑龙江省的空气质量得到明显改善, 但还是存在各种状况。本文对黑龙江省13个市区的2020年空气质量数据进行分析, 分别从月份、季度、以及采暖期和非采暖期的角度, 主要对各个城市的AQI (空气质量指数Air Quality Index)、PM2.5等污染指数利用GIS可视化, 揭示黑龙江省全年空气质量的时间及地区差异, 为污染的防治提供依据。

关键词

AQI, PM2.5, 空间可视化, 采暖期, 非采暖期

Air Quality Monitoring of Heilongjiang Province Based on GIS Technology

Xi Zhang

College of Geographical Sciences, Harbin Normal University, Harbin Heilongliang

Received: Dec. 1st, 2023; accepted: Jan. 5th, 2024; published: Jan. 12th, 2024

Abstract

Heilongjiang Province belongs to the national border and is located in the north of China. Due to coal heating and straw burning in winter, serious winter haze conditions have been caused. In recent years, with the boiler transformation and the implementation of relevant measures to ban straw burning, the air quality in Heilongjiang Province has been significantly improved, but there are still various conditions. This paper analyzes the Air Quality data of 13 urban areas in Heilong-

jiang Province in 2020. From the perspectives of month, quarter, heating period and non-heating period, GIS is used to visualize the AQI (Air Quality Index), PM2.5 and other pollution indexes of each city, reveal the time and regional differences of air quality throughout the year in Heilongjiang Province, and provide basis for pollution prevention and control.

Keywords

AQI, PM2.5, Spatial Visualization, Heating Period, Non-Heating Period

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

近年来人们越加关注空气质量状况，已有大量关于空气质量的研究。有全国范围内大尺度的[1]，也有小尺度的[2]，有利用统计学中的时间序列对 APEC 期间的空气质量进行分析研究的[3]，有进行范围内的某年时空变化的[4]。当前各种空气质量模型已被广泛应用于环境影响评价、重大科学研究及环境管理与决策领域，已成为模拟臭氧、颗粒物、能见度、酸雨[5] [6]。甚至气候变化等各种复杂空气质量问题及研究区域复合型大气污染控制理论的重要手段之一，并发展成为一门学科方向。利用 2013 年和 2014 年全国城市空气质量数据，综合 ArcGIS 空间分析和统计分析，从年度、季节、月份、小时 4 个时间尺度比较归纳了全国城市空气质量的时空间演化特征，并采用空间计量模型，从全国和区域两个空间尺度，量化分析了城市空气质量变化的社会经济驱动力[7]。毕琳和曹连英有对哈尔滨市 2014 至 2018 年的空气质量进行了相关性的研究和分析，分析供暖、秸秆焚烧、温度、风速和湿度五个因素通过最小二乘法对常数系数和变系数进行估计进行哈尔滨市空气质量的影响分析[8]。对采暖期和非采暖期空气质量进行对比分析，得出采暖期 PM2.5 浓度大，空气质量状况要比非采暖期差[9]。康恒元和刘玉莲对 2014 年黑龙江省的四个重点城市的空气质量进行对比，分析得出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) [10]此外还有对黑龙江省的各个城市的首要污染物和相关性进行更加细致的论述[11]在全球范围看，比较著名的全球尺度空气质量模式包括 MOZART 和 GEOS-CHEM 等模型，其主要用于模拟全球尺度大气污染物的长距离传输及化学反应过程[12]。对比国外，中国环境空气质量标准的研究、制订和发布起步虽晚但发展很快，所包含的污染物指标更全面，能够客观地反映出中国空气污染的特征，也更贴近居民对空气质量的切身感受[13]。

本文通过黑龙江省 2020 年 13 个地区的 AQI、PM2.5 等空气质量数据进行分析，利用 ArcGIS 进行空间可视化，统计图表进行城市间、四个季度间以及月份间的空气质量状况的对比分析。可全面了解黑龙江的空气质量状况，对空气污染的防治与治理提供依据。

2. 研究区概况

黑龙江省位于祖国的东北部，西邻内蒙古，南邻吉林省，向北与俄罗斯隔海相望。黑龙江省地势大致呈西北、北部和东南部高，东北、西南部低，由山地、台地、平原和水面构成；地跨黑龙江、乌苏里江、松花江、绥芬河四大水系，流域面积 50 平方千米以上的河流有 2881 条。黑龙江省属寒温带与温带大陆性季风气候，春季低温干燥，夏季高温，冬季寒冷漫长。黑龙江省位于东北亚区域腹地，是亚洲与太平洋地区陆路通往俄罗斯和欧洲大陆的重要通道。总面积 47.3 万平方千米，精度范围为东经 121°11'

至东经 135°05′，南起北纬 43°26′，北至北纬 53°33′。现下辖 13 个地级行政区，其中有 12 个地级市，一个地区，共 54 个市辖区，21 个县级市，45 个县，一个自治县。黑龙江省的地理位置和 13 个地级市的位置如图 1。

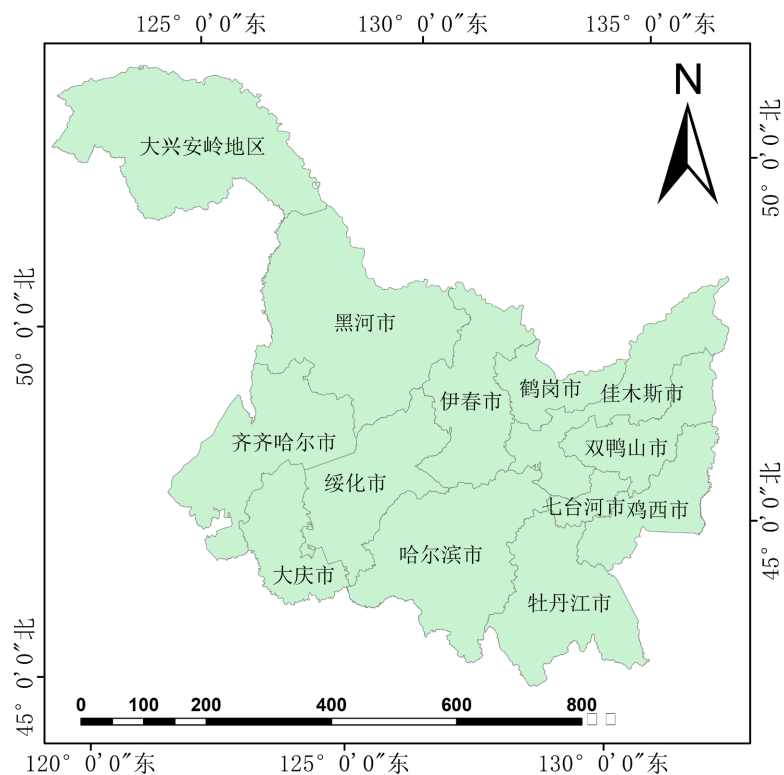


Figure 1. Location distribution map of prefecture-level cities in Heilongjiang Province

图 1. 黑龙江省地级市位置分布图

3. 数据与方法

3.1. 数据来源

本文中的各个地区的空气质量数据来源于中国空气质量在线分析平台 (<https://www.aqistudy.cn/historydata/>), 采用黑龙江省 13 个地级市的 2020 年每天的空气质量数据进行一系列分析, 其中七台河市空气质量数据缺失一天的数据, 由于数据样本大, 对于研究的影响可忽视。

3.2. 分析方法

本文采用统计研究中的统计数据, 包括平均值、上四位数、下分位数、标准差, 并利用 Arcgis 可视化分析了黑龙江各个地级市 2020 年四个季度及采暖期与非采暖期的空气污染情况。平均值与标准差的计算公式如下:

$$\bar{X} = (x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n) / n \quad (1)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad (2)$$

3.3. 数据描述

Table 1. Annual AQI statistics of cities in Heilongjiang Province in 2020

表 1. 黑龙江省 2020 年各城市全年 AQI 统计表

城市/统计数据	平均值	上四分位数	下四分位数	标准偏差	优、良天气百分比
哈尔滨	76.8	43.0	84.0	62.2	83.1%
齐齐哈尔市	57.0	35.0	62.0	46.3	92.1%
大庆	59.5	38.0	67.0	36.8	90.0%
大兴安岭	40.3	29.0	48.0	16.0	98.9%
黑河	39.4	29.0	45.0	17.1	98.6%
伊春	41.7	28.0	47.0	22.7	95.3%
绥化	69.4	36.0	75.0	60.8	84.1%
牡丹江	55.5	38.0	66.0	25.4	92.1%
七台河	59.1	39.0	67.0	38.6	91.8%
佳木斯	52.2	35.0	59.0	32.0	90.2%
双鸭山	49.6	34.0	57.0	30.4	95.4%
鸡西	51.2	33.0	57.0	37.8	94.0%
鹤岗	46.3	33.0	55.0	26.0	98.6%

AQI 是定量描述数据的无量纲指数, 根据 AQI 的数值大小, 可将空气质量类别分为优($0 < AQI \leq 50$)、良($50 < AQI \leq 100$)、轻度污染($100 < AQI \leq 150$)、中度污染($150 < AQI \leq 200$)、重度污染($200 < AQI \leq 300$)以及严重污染($AQI > 300$)六个级别。空气质量为优的空气状况基本不存在空气污染, 对人类活动不造成影响, 空气质量为良的空气污染物很少, 极少会对人体产生影响, 所以把优、良等级视为空气质量达标。而其它等级的空气质量则会对人体健康带来危害, 甚至引发疾病。表 1 对黑龙江省 2020 全年各个市区的 AQI 数据统计分析, 结果表明各市的 AQI 达标天数百分比均在 83% 以上, 其中哈尔滨市和绥化市达标天数百分比最少, 分别为 83.1% 和 84.1%, 大兴安岭的黑河达标天气百分比最多, 分别为 98.9% 和 98.6%。哈尔滨的 AQI 的平均值最大, 为 76.8, 大兴安岭和黑河的 AQI 的均值最小, 分别是 40.3 和 39.4。大兴安岭和黑河地区空气质量最好。标准差反映数据的离散程度, 标准差越小, 数据越集中。而四分位数反映数据的集中程度, 哈尔滨 AQI 的全年标准差最大, 为 62.2, 说明数据波动大, 除了哈尔滨市外绥化市 AQI 标准差也比较大。大兴安岭地区最小, 为 16.0。说明数据波动小, 数据比较集中。哈尔滨的四分位数均大于其他城市, 数据大多集中于 43.0 到 84.4 之间。大兴安岭、黑河、伊春的上下四分位数范围最小。通过以上数据, 可以知道黑龙江的 13 个市区中哈尔滨和绥化空气质量最差, 污染严重。大兴安岭、黑河、的空气质量最好。

4. 结果与分析

4.1. 季度分析

对 2020 年的四个季度的 AQI 及 PM2.5 取均值, 再利用 GIS 进行可视化, 观察 AQI 及 PM2.5 的空间和时间变化, 2020 年黑龙江省各市区 AQI 空间分布情况如图 2 所示。

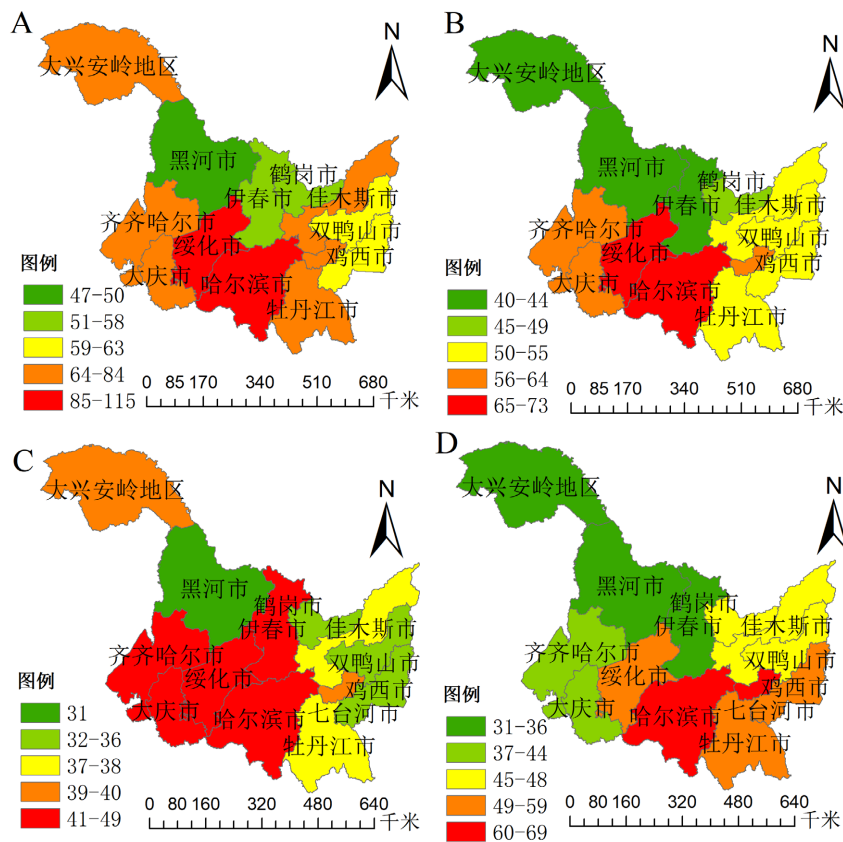


Figure 2. Spatial distribution of AQI in urban areas of Heilongjiang Province in 2020. A, B, C and D are the first, second, third and fourth quarters respectively

图 2. 2020 年黑龙江省各市区 AQI 空间分布情况图。A、B、C、D 分别为一、二、三、四季度

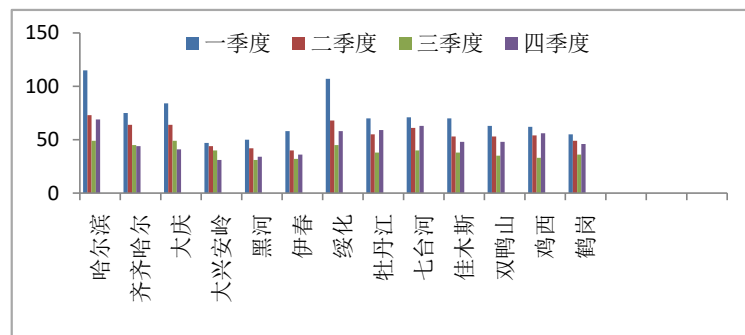


Figure 3. AQI bar graph for the fourth quarter of 2020 in urban areas of Heilongjiang Province

图 3. 2020 年黑龙江省各市区四季度 AQI 柱状图

由图 2 和图 3 可知黑龙江省 2020 年四个季度的 AQI 均值大约在 30 到 115 的范围中变化。利用 ArcGIS 进行可视化分析，可以清晰明显地看出在四个季度中黑龙江省的空气质量状况存在着明显的地区差别，可以看出，位于黑龙江省北部的两个城市，大兴安岭和黑河四个季度的空气质量均较良好，位于中南部的哈尔滨和绥化空气质量全年空气质量达标率最低。第三季度中除了哈尔滨和绥化外，齐齐哈尔、大庆和伊春的空气质量处于同一级别，空气状况全省最差。哈尔滨市为黑龙江省的省会城市，存在数量较多

的工厂，还有例如哈飞、哈电、哈锅、哈汽轮厂等重工业的工厂。工厂的运作会消耗大量的煤，释放大量的 CO 、 SO_2 、 NO_2 等有害气体。与此同时，哈尔滨机动车的数量也比较大，2014 年已经有 100 万辆，汽车尾气中含有的 CO 和 NO_2 同样对大气状况带来严重影响。基于上述原因导致哈尔滨市四个季度的空气质量状况均比其他 12 个城市差。而综合来看，绥化市污染物一方面来源于本地污染排放，其另一方面为南向的污染物的传输，且传输影响较大，而南向部分区域为哈尔滨和大庆管辖区域，因此哈尔滨和大庆区域污染物输送会对绥化市空气质量造成影响。大庆市由于石油的开采的燃烧所释放的 O_3 会对环境质量产生影响。

根据图 4 可知，13 个城市中，第一季度的空气质量均全年最差，AQI 均值在 55~115 之间。三季度 AQI 均值最低，均值在 30~50 之间，空气质量最好。

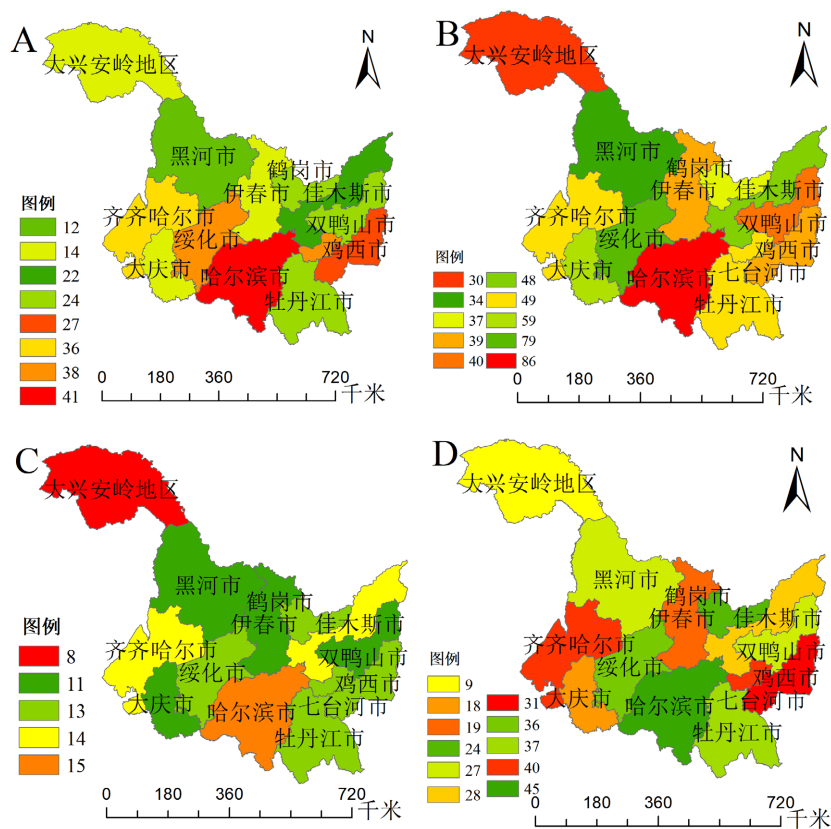


Figure 4. Spatial distribution of mean value and standard deviation of $\text{PM}_{2.5}$ in Heilongjiang Province in the fourth quarter of 2020. A, B, C and D are the first, second, third and fourth quarters respectively

图 4. 黑龙江省 2020 年四季度 $\text{PM}_{2.5}$ 均值及标准差空间变化分布图。A、B、C、D 分别为一、二、三、四季度

现将黑龙江省 2020 年四个季度的 $\text{PM}_{2.5}$ 的平均值进行可视化，可以清晰直观的显示出各个市区 $\text{PM}_{2.5}$ 的污染状况(图 4)。在时间方面，可以看出，第三季度各个市区的 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度最少。第一季度的 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度最高，第二、四季度的 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度相差不大。分析原因，黑龙江地区天气寒冷，最冷月份在一月，平均气温在 14.7°C 以下，黑龙江北部大兴安岭地区温度要低于 30°C 。冬季时间长，夏季短。黑龙江省供暖时间在 10 月末到下一年的四月中旬。期间煤炭的燃烧会释放出大量的 $\text{PM}_{2.5}$ 等物质。其次，三月或四月进入农忙季节，农民会燃烧土地里的秸秆，秸秆燃烧也是造成雾霾天气的主要原因。虽然黑

龙江省近几年进行了锅炉改进，也加大力度整治秸秆焚烧现象，这些措施大大的改善了环境状况。但还是不可避免的出现 PM2.5 的释放。另外，中国的春节一般在一月份或二月份。一般持续 7 到 15 天。期间爆竹的燃放释放的可吸入颗粒物、SO₂、NO₂ 会高于多数其他的日期。这些原因导致了第一季度的 PM2.5 的浓度高于其他时间。期间的降雪会对空气污染物起到清除和冲刷的作用，较大的降雪对空气污染物粉尘颗粒也有有效的清除作用。所以，在降雪之后，空气质量状况会得到明显的改善，PM2.5 的浓度会下降，所以第一季度的 PM2.5 浓度会出现极端情况，这解释了第一季度 PM2.5 的标准差与其他季度比较会偏大。

黑龙江省第三季度基本无极端天气，多晴朗天气，降水集中于七月中旬至八月末，雨水会溶解空气中的污染物质，洗涮空气。所以第三季度 PM2.5 浓度最低，且空气质量无明显的地区差异。

4.2. 采暖期与非采暖期对比分析

根据黑龙江省特殊的地理位置及气候状况，全年分为供暖期(一般为 1 月 1 日~4 月 15 日及 10 月 15 日~12 月 31 日)和非供暖期(通常为 4 月 16 日~10 月 14 日)统计各个城市在供暖期和非供暖期污染天气及轻度污染、中度污染、重度污染和严重污染的天数和所占百分比(图 5)。统计发现供暖期全省污染天气共 311 天，非供暖期 111 天，比例约为 3:1。供暖期间，哈尔滨污染天气有 118 天，占全部供暖天数的 64.5%，所占百分比最高。大兴安岭、黑河、鹤岗污染天数均在 5 天之内。其余城市污染天数在 10 到 50 之间，集中在 10 到 25 的范围内。所占百分比集中在 7%到 17%之间。非供暖期间，大兴安岭和黑河几乎没有出现污染天数，其余城市污染天数约在 4 到 10 之间，城市之间相差不大。在黑龙江省的所有城市中哈尔滨在采暖期和非采暖的空气质量状况差别最大，哈尔滨在供暖期间污染天数有 118 天，而在非采暖期间污染天数仅有 10 天。大兴安岭、黑河和鹤岗无明显差别。

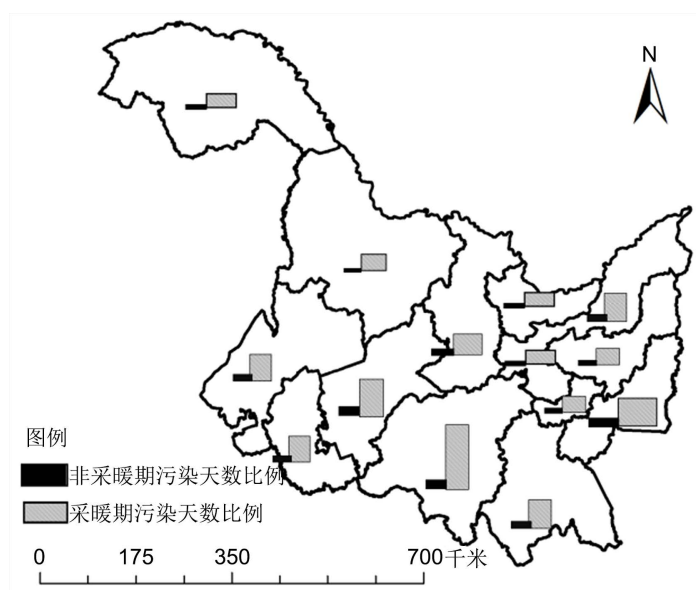


Figure 5. Proportion of pollution days between heating and non-heating periods

图 5. 采暖与非采暖期污染天数比例图

4.3. 月份分析

对比位于黑龙江省北部、南部、西部以及东部的四个城市，及大兴安岭、牡丹江、齐齐哈尔、鸡西

四个城市 2020 年 AQI 月均值, 并绘制成如图 6 的折线图进行对比分析。从图中发现, 四个城市一月份的 AQI 月均值基本为全年最大值, 除一月份, 12 月份的 AQI 均值也较大。一月齐齐哈尔月均值达到了 110, 为轻度污染等级。12 月份牡丹江的 AQI 均值超出其他城市。四个城市 AQI 月均值变化趋势彼此相似。一月份 AQI 月均值全年最大, 到二月骤然下降, 表明二月份空气质量有所提高, 到三月 AQI 值平缓下降至四月骤然上升, 出现峰值。之后不断下降、上升、下降, 出现第二个峰值后(一般为八月份)AQI 月均值又在一次呈现上升趋势。对比四个城市可以发现齐齐哈尔和鸡西在 1~6 月份 AQI 月均值变化趋势基本相同。均在四月份出现峰值。六月份之后, 及 7~12 月份, 齐齐哈尔和大兴安岭的变化趋势基本相同。

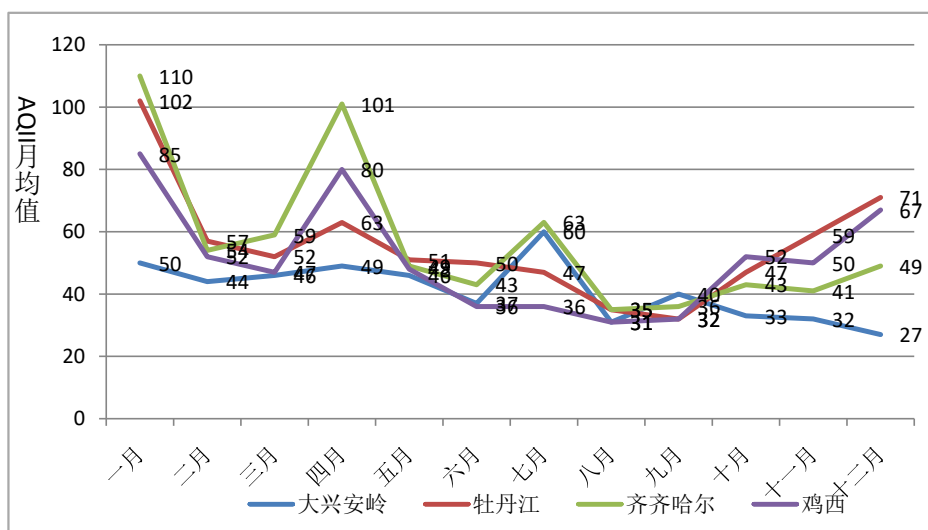


Figure 6. Line chart of AQI monthly mean value

图 6. AQI 月份均值折线图

5. 结论

本文通过对 2020 年黑龙江省各个城市的空气质量指数, 利用 GIS 可视化和基本统计数据进行分析, 得出以下结论:

- (1) 从全年空气质量数据分析, 基于全年 AQI 指数、优、良空气质量百分比及 PM_{2.5} 浓度可看出, 2020 年全年哈尔滨市和绥化市的空气质量最差, 大兴安岭和黑河市的空气质量较好。
- (2) 黑龙江全省第一季度空气质量状况最差, 第三季度空气质量状况最好, 而第二和第四季度基本并无明显差别。
- (3) 在黑龙江省的 13 个城市中, 非采暖期的空气质量要明显好于采暖期的空气质量, 但大兴安岭、黑河和鹤岗三个城市在采暖期和非采暖期几乎没有出现污染情况, 哈尔滨市在采暖期与非采暖期污染天数有着非常明显的差别, 并且在采暖期污染天数所占的比例要明显高于其他城市。

参考文献

- [1] 向堃. 我国空气污染的空间效应研究[D]: [博士学位论文]. 武汉: 华中科技大学, 2016.
- [2] 朱红蕊, 刘赫男, 张洪玲, 等. 哈尔滨市空气质量特征及其与气象要素的关系[J]. 气象与环境学报, 2019, 35(1): 53-58.
- [3] 李文涛, 高庆先, 刘俊蓉, 等. APEC 期间北京空气质量改善对比分析[J]. 环境科学, 2015, 36(12): 4340-4347.
- [4] 王丽娜, 李博, 赵彦博. 2018 年黑龙江省环境空气质量时空变化特征分析研究[J]. 环境科学与管理, 2019, 44(7):

135-140.

- [5] 刘慧, 鲁斌. 鸡西市酸雨分析[J]. 黑龙江气象, 2013, 30(2): 28-30.
- [6] 顾晟. 基于 GIS 的泰州市 SO₂ 时空变化研究[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京师范大学, 2008.
- [7] 蔺雪琴, 王岱. 中国城市空气质量时空演化特征及社会经济驱动力[J]. 地理学报, 2016, 71(8): 1357-1371.
- [8] 毕琳, 曹连英. 哈尔滨市空气质量变化趋势研究[J]. 哈尔滨市空气师范(大学自然科学学报), 2019, 23(6): 14-20.
- [9] 薛婧雯, 赵雨霏, 等. 哈尔滨采暖季与非采暖季 PM_{2.5} 质量浓度变化特征研究[J]. 环境科学与管理, 2018, 43(7): 39-44.
- [10] 康恒元, 刘玉莲, 刘涛. 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.
- [11] 王雪娇. 黑龙江省不同类型城市空气质量变化特征研究[D]: [硕士学位论文]. 哈尔滨: 哈尔滨师范大学, 2019.
- [12] 李文涛, 刘俊蓉, 高庆先, 等. 中美空气质量指数(AQI)对比研究及启示[J]. 环境科学, 2015, 36(4): 1141-1148.
- [13] 宁淼, 孙亚梅, 杨金田. 国内外区域大气污染联防联控管理模式分析[J]. 环境与可持续发展, 2012, 37(5): 11-18.