

冀翠华,王式功,王敏珍,等. 2001—2012年北京市空气污染指数节气分布及其与气象要素的关系[J]. 气象与环境学报, 2014, 30(6): 108–114.

Ji Cui-hua, WANG Shi-gong, WANG Min-zhen, et al. API characteristics and its relationships with meteorological factors in different solar terms from 2001 to 2012 in Beijing[J]. Journal of Meteorology and Environment, 2014, 30(6): 108–114.

2001—2012年北京市空气污染指数节气分布及其与气象要素的关系

冀翠华¹ 王式功¹ 王敏珍² 尚可政¹

(1. 兰州大学大气科学学院, 甘肃 兰州 730000; 2. 兰州大学公共卫生学院流行病与卫生统计学研究所, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 利用2001年1月1日至2012年12月31日北京市空气污染指数资料和地面气象观测数据,对北京市API的节气变化特征及其与气象因子在节气尺度上的相关关系进行统计分析。结果表明:2001—2012年北京市春季和冬季分别以清明和小雪节气API最高,空气质量最差;立秋节气API最低,空气质量最好。春分—霜降节气空气首要污染物为PM₁₀, SO₂作为首要污染物出现在立冬—大寒和立春—惊蛰节气,小寒达到最大。温度、风速和相对湿度是影响北京空气质量的主要气象因子,立春—谷雨节气空气质量主要受气压影响,立冬—大寒节气空气质量受相对湿度和日照时数影响较大,立夏—霜降节气API与平均气温和最低气温显著相关,风速主要影响春秋节气的空气质量。

关键词: 空气污染指数; 二十四节气; 气象要素

中图分类号: X16 文献标识码: A doi: 10.3969/j.issn.1673-503X.2014.06.016

引言

地球上的大气是环境的重要组成要素,并参与地球表面的各种物理化学过程,是维持一切生命活动所必需的^[1]。“环境—气象—健康”一直是世界各国卫生学家、环保学家和气象学家十分关心的问题。环境空气质量的好坏,对整个生态系统和人类健康有直接的影响。

近年来,北京市的空气质量总体呈逐年好转趋势,但雾霾等重度污染事件时有发生。2011年和2012年分别发生2次和5次雾霾天气,2014年1月北京地区又连续出现4次雾霾天,频繁持续的严重空气污染给公众健康带来严重威胁。众多学者^[2–5]也展开了大量的相关研究,主要针对季节尺度的污染特征和月尺度的相关气象要素进行了分析,但并未进行更小尺度空气污染的研究。二十四节气(Twenty-four Solar Terms)是按照地球与太阳的相对位置,固定划分的一种天文、季节和气候综合的历法,能更细致地反映中国四季交替的气候特征。同时二十四节气是对自然界季节变化规律的高度总结,其周期性的变化直接或间接地影响人体健康^[6]。因此,从节气尺度上分析北京市空气污染特征及其与气象要素的关系,可为科学有效地控制和治理大气污染提供

必要的理论依据,也可为北京市居民的健康保健提出更有针对性的建议。本文利用北京市空气质量日报资料,分析北京市空气质量节气变化的规律和空气质量与气象要素的关联性。

1 资料与方法

1.1 资料来源

北京市2001年1月1日至2012年12月31日空气污染指数数据来源于中华人民共和国环境保护部网站重点城市空气质量日报数据,包括逐日空气污染指数、首要污染物、空气质量级别和空气质量状况。同期北京市的气象资料来源于中国气象科学共享数据网《中国地面气候资料日值数据集》,包括逐日气压(平均、最高和最低)、气温(平均、最高和最低)、相对湿度(平均、最小)、风速及风向(最大、极大)、日照时数等气象要素。

1.2 研究方法

空气污染指数(Air Pollution Index, API)是一种向公众公布的,反映和评价空气质量状况的指标,API将常规监测的几种空气污染物浓度简化成单一的概念性指数值形式,并分级表征空气质量级别、空气质量状况和对人体健康的影响^[7]。空气污染的等级划分采用环境保护部2008年发布并实施的《城市

收稿日期: 2013-08-19; 修订日期: 2013-10-31。

资助项目: 公益性行业(气象)专项(GYHY201106034)、国家自然科学基金(41075103)和国家人口与健康科学数据共享平台“气象环境与健康”专题服务建设项目共同资助。

作者简介: 冀翠华,女,1989年生,在读硕士研究生,主要从事气象学研究, E-mail: 18109465108@163.com。

空气质量日报和预报技术规定》中规定的空气污染指数范围及相应的空气质量级别,分为优、良、轻度污染、中度污染和重度污染五级。

二十四节气是根据太阳在黄道上的位置划分的,因此节气在现行的公历中日期基本固定,随着年份的变化约有 2—3 d 的变化,所以每个节气对应的天数为 14—16 d 不等。本文分析了北京市空气污染的节气变化特征(包括 API、首要污染物和空气质量级别)及各节气 API 的年际变化趋势,并运用软件

SPSS 19.0 中 Pearson 相关分析法对 API 与气象要素在节气尺度及各节气内日尺度上的相关性进行分析,检验水平为 $\alpha = 0.05$ 。

2 结果分析

2.1 空气污染节气变化特征

2.1.1 API 的节气变化

图 1 为 2001—2012 年北京市年平均空气污染指数的节气变化,由图可见,API 节气分布大致呈双峰

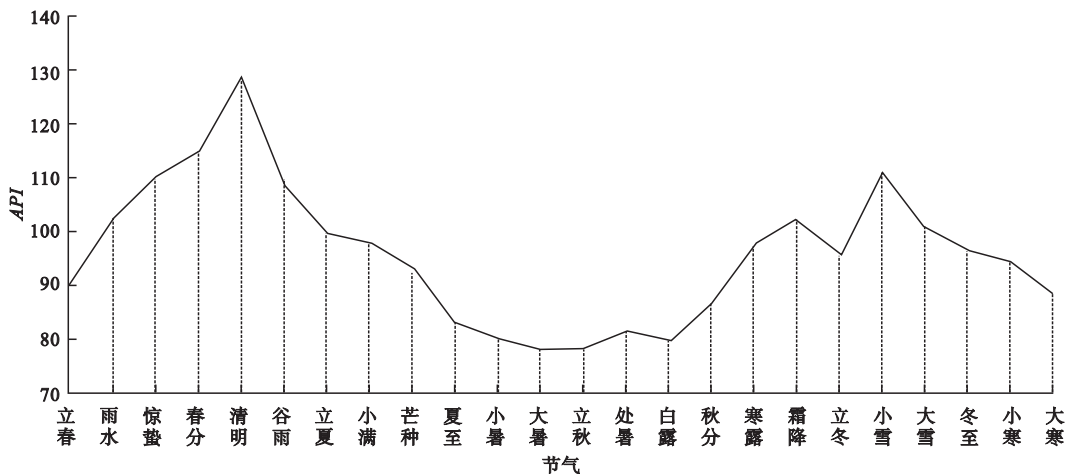


图 1 2001—2012 年北京市年平均 API 节气变化

Fig. 1 Curve of API variation in different solar terms from 2001 to 2012 in Beijing

型,两峰值分别出现在清明节气和小雪节气,API 分别为 129.6 和 111.0。霜降节气的空气污染指数也为一个小高峰,API 达 102.8。立秋节气的 API 为 78.5,年平均 API 为一年中最低。经分析,清明节气正好是 4 月北京地区沙尘天气较多的季节,春季气候干旱、风力大、多风沙或沙尘暴天气,PM₁₀ 浓度剧增,空气质量级别多为 4 级或 5 级,空气污染指数出现极高值^[8]。而小雪节气的 API 出现高峰,是由于小雪节气处于冬季采暖期,PM₁₀ 和 SO₂ 的浓度增加,且大气稳定层结出现频率较大,不利于污染物的扩散^[9]。霜降节气的空气污染指数出现的小高峰,主要由于处于采暖期前,气温偏低和相对湿度偏高。

如果以立春、立夏、立秋和立冬作为四季的开始,则北京市四季的空气污染指数呈不同的特点和趋势。春季 API 值持续走高,API 均高于 100,清明空气污染指数达最高,空气污染严重;夏季 API 值缓慢减小,空气质量逐渐好转;秋季 API 逐渐升高,空气质量随之下降;冬季,在小雪节气 API 达最高后,API 呈缓慢下降趋势,但空气质量仍持续较差。总体而言,北京市冬春季受沙尘和取暖的影响,空气质量最差;夏末初秋(夏至—秋分)具备有利的气象条件,气温高、对流性天气及降水相对较多,对空气的净化

作用较明显,空气质量最好。

2.1.2 首要污染物的节气分布

统计 12 a 内北京市首要污染物出现频率,PM₁₀ 高达 83.20%,SO₂ 出现频率仅为 5.13%,PM₁₀ 仍为北京市的主要首要污染物。图 2 为 2001—2012 年北京市 24 节气各种首要污染物的出现频率,如图所示,春分—霜降节气的空气首要污染物一直为 PM₁₀,SO₂ 作为首要污染物仅从立冬节气开始出现至春分节气。

SO₂ 浓度虽远远小于 PM₁₀,但 SO₂ 对环境及人体呼吸系统的危害十分严重,不容忽视。北京市的 SO₂ 主要是燃煤排放的。在非采暖期,由于没有采暖用煤,且市区居民炊事气化率高,因此 SO₂ 浓度较低。在采暖期,遍布全市的采暖用小煤炉及锅炉等排放大量的 SO₂,使市区大气环境中的 SO₂ 浓度较高^[9]。立冬—春分节气也正好对应北京的城市采暖期(11 月至翌年 3 月)。从图 2 还可以看到,SO₂ 作为首要污染物出现的日数在小寒节气达最多,出现频率为 32.6%,由于小寒节气是一年中最低的节气,供暖强度加大,采暖燃煤量增多,导致 SO₂ 浓度剧增。

2.1.3 空气质量级别的节气变化

据统计 2001—2012 年北京市空气质量级别为

1—2级优良的频率为68% 3级轻度污染的频率为29% ,4级以上中重度污染的频率为3%。图3为

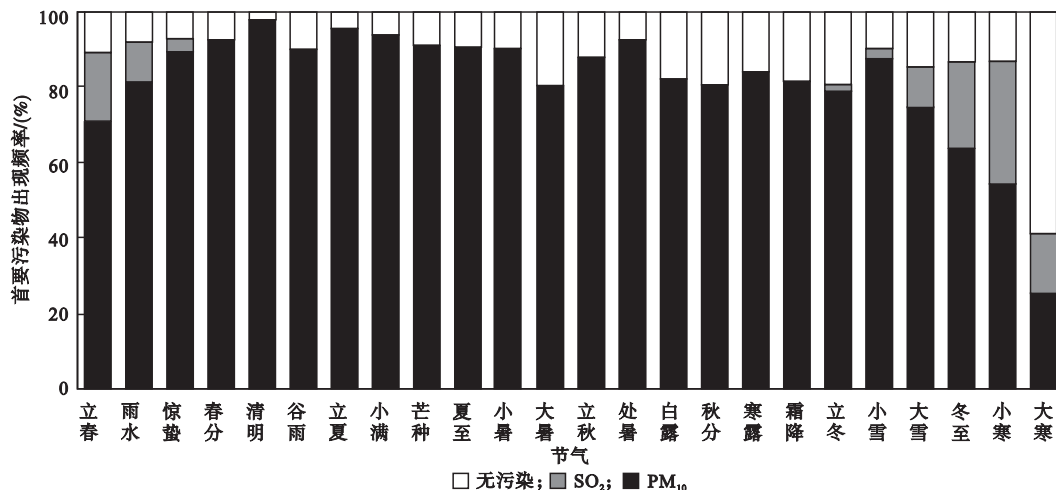


图2 2001—2012年北京市不同节气首要污染物出现频率

Fig. 2 Probability of primary pollutants in different solar terms from 2001 to 2012 in Beijing

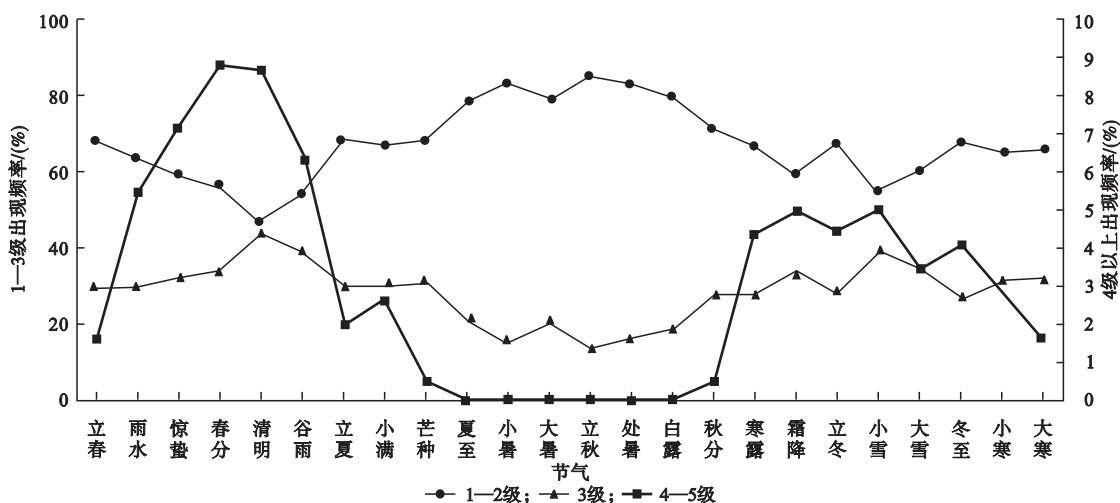


图3 2001—2012年北京市不同节气各空气质量级别出现频率

Fig. 3 Frequency of different air quality levels in different solar terms from 2001 to 2012 in Beijing

2001—2012年北京市空气质量级别出现频率的节气分布。由图3可知,3级轻度污染出现频率的节气分布与API的节气分布相似,即在清明节气出现频率(44.3%)最大,小雪节气出现频率(40.1%)次之,在立秋节气出现频率(14.4%)最小。优良级别的节气分布与API节气分布大致相反。4级及以上的中重污染仅出现在立春—芒种和秋分—大寒节气,夏至—白露节气没有重污染发生;5级重污染在春分和清明节气出现的天数最多,均达16 d(10.1%),在冬季霜降和小雪节气出现天数次之,出现频率达5.0%。

2.1.4 节气空气质量的年变化

综上所述,北京市冬春季空气污染相对较严重,虽然大部分节气空气质量均明显改善,但程度略有不同。图4为2001—2012年北京市春冬季节气空气污染指数的分布,小雪和小寒节气的空气质量从2002年一直得到改善,效果显著。清明节气在2008

年前空气污染指数一直呈波动变化,之后空气质量保持良好,但也有少数节气(如雨水、冬至)空气质量无明显改善。图5为2001—2012年北京市春冬季节气空气污染日数的分布,大部分节气空气污染日数均呈下降的趋势,其中小寒、大寒、立春、春分和清明下降幅度明显,大雪、大雪和惊蛰空气污染日数则无明显下降;少数节气在2008年前有一个较大幅度的下降与奥运会空气质量保障有直接关系。

2.2 空气污染与气象要素的相关分析

2.2.1 节气尺度上API与气象要素的相关关系

研究表明,气象条件对污染物的扩散、稀释和积累有一定作用,在污染源一定的条件下,污染物的浓度主要取决于气象条件^[10]。表1为2001—2012年北京市空气污染指数与气象要素的相关分析,由表可以看出,在节气尺度上,对北京市空气污染起主要作用的气象因子为平均气温、最高气温、最低气温、平均风速、最大风速及平均相对湿度、最小相对湿度。

图6为 2001—2012 年北京市 API 与气象要素 的节气变化, API 与地面风速的相关性最好,呈显著

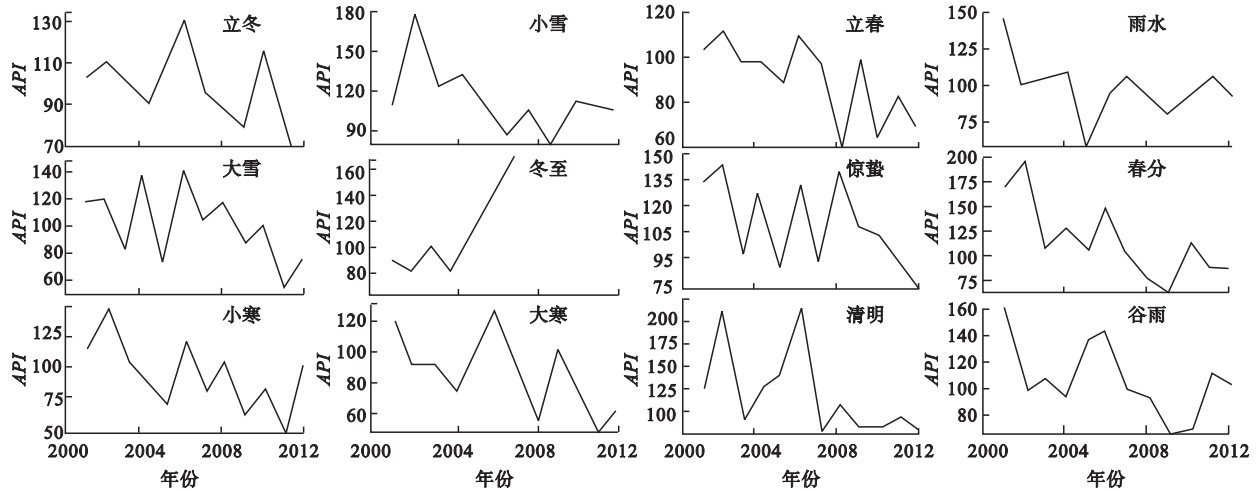


图4 2001—2012 年北京市不同节气空气污染指数的年变化

Fig. 4 Inter-annual variation of air pollution index in different solar terms from 2001 to 2012 in Beijing

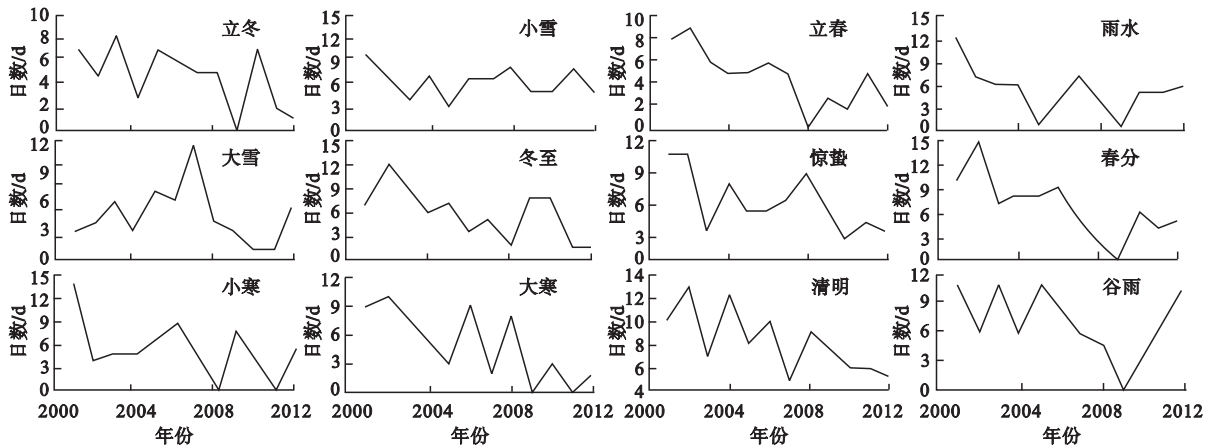


图5 2001—2012 年北京市不同节气空气污染日数的年变化

Fig. 5 Inter-annual variation of the number of air pollution days in different solar terms from 2001 to 2012 in Beijing

表1 2001—2012 年北京市 API 与气象要素在节气尺度上的相关关系

Table 1 Relationship between air pollution index and meteorological elements on the scale of average solar terms from 2001 to 2012 in Beijing

项目	平均 气压	平均 风速	平均 气温	平均相对 湿度	日照 时数	最高 气压	最低 气压	最高 气温	最低 气温	最小相对 湿度	最大 风速
Pearson 相关系数	0.068	0.274**	-0.154**	-0.185**	0.032	0.094	0.036	-0.133*	-0.180**	-0.251**	0.256**
显著性水平(双尾)	0.249	0.000	0.009	0.002	0.593	0.112	0.546	0.024	0.002	0.000	0.000
样本数 N /个	288	288	288	288	288	288	288	288	288	288	288

注: ** 为通过 0.01 信度的显著性检验; * 为通过 0.05 信度的显著性检验。

正相关 相关系数为 0.256—0.274; 立春—大暑节气 API 与风速正相关最好, 风速越大, 污染越重, 立秋之后 API 与风速相关性减小; 即春季风速对空气质量的影响主要为负效应, 冬季小雪—大寒节气风速对空气质量的影响为弱的正效应^[11]。 API 与相对湿度的相关性次之, 呈显著负相关, 相关系数为 -0.251 ~ -0.185, 由此可见相对湿度对空气质量有显著的正效应作用, 主要表现在雨水—立秋—小

雪节气期间。 API 与气温(平均、最高、最低)呈显著负相关, 相关系数为 -0.154、-0.133、-0.180, 与最低气温关系最密切, 主要体现在清明—立秋—小雪节气期间, 说明气温对空气质量有显著的正效应作用, 气温越高, 空气质量越好; 这是由于近地面气温较高时, 大气垂直对流作用加强, 有利于污染物向上输送, API 降低; 当气温较低时, 情况则相反^[12]。

2.2.2 各节气日平均 API 与气象要素的相关关系

表2为 2001—2012 年北京市不同节气的 API

日平均值与同期气象要素日值之间的相关关系。

不同节气空气质量的主要气象影响因子不同。

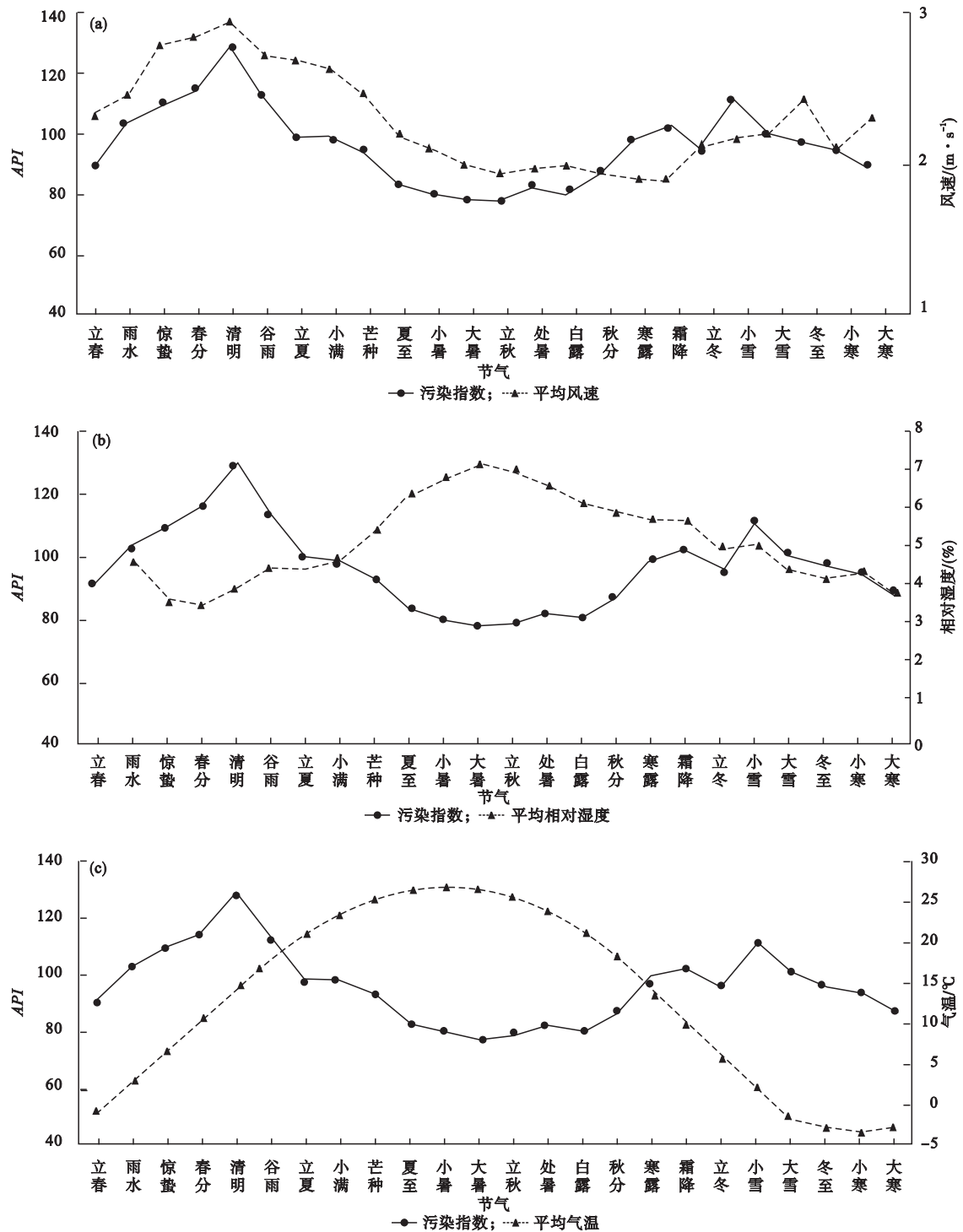


图 6 2001—2012 年北京市风速 (a)、相对湿度 (b) 和气温 (c) 与空气污染指数的节气变化

Fig. 6 Variation of API and wind speed (a) API and relative humidity (b) API and air temperature (c) in different solar terms from 2001 to 2012 in Beijing

如影响清明节气空气质量的气象因子为气压、风速、日照时数和日最低气温,其中 API 与气压(平均、最高和最低)呈显著负相关,相关系数分别为 -0.351 、 -0.374 和 -0.328 ,通过显著水平 $\alpha = 0.01$ 检验;与最低气温和平均风速呈显著正相关,相关系数分别为 0.194 和 0.179 。影响小雪节气空气质量的气象

因子为相对湿度和日照时数,其中 API 与日照时数呈显著负相关,相关系数为 -0.215 ;与相对湿度(平均、最小)呈显著正相关,相关系数分别为 0.441 和 0.387 ,通过了显著水平 $\alpha = 0.01$ 检验。立秋节气的空气质量则仅与气温和相对湿度有关,API 与日照时数呈显著负相关,相关系数为 -0.215 ;与气温(平

均、最高和最低)、相对湿度(平均、最小)均呈显著正相关 相关系数分别为0.365、0.255、0.403和0.227、

表2 2001—2012 年北京市不同节气日平均 API 与气象要素的相关系数

Table 2 Correlation coefficients between daily air pollution index and meteorological elements in different solar terms from 2001 to 2012 in Beijing

节气	平均 气压	平均 风速	平均 气温	平均相对 湿度	日照 时数	日最高 气压	日最低 气压	日最高 气温	日最低 气温	最小相对 湿度	最大 风速
立春	-0.539**	-0.163*	0.428**	0.410**	-0.200**	-0.521**	-0.530**	0.439**	0.333**	0.246**	-0.087
雨水	-0.386**	-0.132	0.330**	0.294**	-0.301**	-0.384**	-0.401**	0.339**	0.343**	0.272**	-0.135
惊蛰	-0.492**	0.189**	0.465**	0.034	-0.127	-0.470**	-0.539**	0.391**	0.578**	-0.084	0.314**
春分	-0.449**	0.201**	0.294**	0.011	-0.156*	-0.481**	-0.432**	0.240**	0.357**	0.021	0.211**
清明	-0.351**	0.179*	0.053	0.054	-0.222**	-0.374**	-0.328**	0.001	0.194**	0.074	0.074
谷雨	-0.306**	-0.026	0.285**	0.042	-0.101	-0.329**	-0.335**	0.230**	0.375**	0.059	-0.093
立夏	-0.086	0.090	0.230**	-0.094	0.014	-0.077	-0.108	0.208**	0.241**	-0.115	0.112
小满	-0.290**	0.183*	0.149*	-0.048	0.007	-0.295**	-0.301**	0.105	0.218**	-0.041	0.139
芒种	0.074	-0.043	0.442**	0.056	-0.167*	0.039	0.087	0.348**	0.606**	0.060	-0.081
夏至	-0.123	0.124	0.190*	0.085	-0.263**	-0.117	-0.098	0.139	0.381**	0.081	0.136
小暑	0.018	0.133	0.211**	0.193**	-0.306**	0.001	0.018	0.118	0.384**	0.185*	0.015
大暑	-0.086	-0.015	0.349**	0.171*	-0.308**	-0.121	-0.033	0.250**	0.448**	0.148*	-0.069
立秋	-0.029	0.019	0.365**	0.227**	-0.215**	-0.043	-0.027	0.255**	0.403**	0.204**	-0.004
处暑	-0.199**	-0.026	0.316**	0.397**	-0.372**	-0.187**	-0.153*	0.210**	0.388**	0.285**	-0.040
白露	-0.176*	-0.088	0.469**	0.187**	-0.115	-0.212**	-0.137	0.418**	0.359**	0.101	-0.010
秋分	-0.243**	-0.302**	0.237**	0.400**	-0.237**	-0.274**	-0.156*	0.270**	0.229**	0.269**	-0.216**
寒露	-0.193**	-0.282**	0.191**	0.471**	-0.315**	-0.210**	-0.139	0.175*	0.262**	0.361**	-0.192**
霜降	-0.392**	-0.225**	0.157*	0.485**	-0.434**	-0.401**	-0.350**	0.170*	0.190**	0.342**	-0.209**
立冬	-0.349**	-0.169*	0.093	0.392**	-0.326**	-0.337**	-0.335**	0.117	0.077	0.312**	-0.151*
小雪	-0.128	-0.102	0.023	0.441**	-0.365**	-0.104	-0.130	-0.050	0.014	0.387**	-0.116
大雪	-0.225**	-0.228**	0.017	0.471**	-0.446**	-0.219**	-0.217**	0.038	0.029	0.285**	-0.206**
冬至	-0.166*	-0.114	-0.009	0.366**	-0.329**	-0.170*	-0.153*	0.007	0.008	0.254**	-0.049
小寒	-0.459**	-0.318**	0.265**	0.579**	-0.441**	-0.470**	-0.443**	0.242**	0.212**	0.483**	-0.338**
大寒	-0.346**	-0.123	0.292**	0.557**	-0.463**	-0.328**	-0.329**	0.215**	0.318**	0.466**	-0.138

注: ** 为通过 0.01 信度的显著性检验; * 为通过 0.05 信度的显著性检验。

0.204 通过了显著水平 $\alpha = 0.01$ 检验。不同节气地面风速对空气污染的影响作用也不同,惊蛰和春分节气的 API 与地面风速(平均、最大)呈显著正相关,秋分、寒露、霜降、立冬、大雪和小寒节气的 API 则与地面风速(平均、最大)呈显著负相关。通常来说,风速越大越有利于空气中污染物的稀释扩散。秋冬季 API 大小与燃煤排放污染物的扩散快慢相关,风速增大有利于污染物的扩散,可减小空气污染程度。而春季节气 API 大小则主要决定于北京春季沙尘暴的强弱,风速越大空气中沙尘颗粒越多,PM₁₀ 浓度增加,加剧空气污染程度。

从季节上看,春季立春—谷雨节气的 API 均与气压(平均、最高、最低)呈显著负相关,与最低气温呈显著正相关。立夏—大暑和立秋—霜降节气的 API 均与平均气温和最低气温呈显著正相关。冬季立冬—大寒节气 API 与日照时数呈显著负相关,与相对湿度(平均、最小)呈显著正相关。

3 结论与讨论

(1) 北京市冬春季的空气质量最差,夏季空气质量最好。节气上,清明和小雪节气的 API 最高,空气污染严重,主要是受春季沙尘天气和秋冬季采暖的影响;立秋节气 API 最低,空气污染较轻,与有利的气象条件有关,气温高、对流性天气及降水相对较多,对空气的净化作用较明显。

(2) 非采暖期节气首要污染物为 PM₁₀,采暖期节气首要污染物为 PM₁₀ 和 SO₂。SO₂ 作为首要污染物出现在立冬—大寒和立春—惊蛰节气,且出现频率在小寒节气达最大,由于该节气最寒冷,采暖强度增大,燃煤排放的 SO₂ 浓度大幅度增加所致。

(3) 在节气尺度上,各地面气象要素与 API 的关系,以风速最密切,其次为相对湿度;气温三要素中以最低气温与 API 最相关。不同节气影响 API 的气象因子不同,如立春—谷雨主要受气压影响,立冬—大寒受相对湿度和日照时数影响较大,立夏—霜降

与平均气温和最低气温显著相关,风速主要影响春秋季节气的空气质量。

参考文献

- [1] 陈灿. 广州市 2002—2003 年空气污染指数分析[J]. 四川环境, 2005, 24(5): 20–23.
- [2] 李令军, 王英, 李金香, 等. 2000—2010 北京大气重污染研究[J]. 中国环境科学, 2012, 32(1): 23–30.
- [3] 李文杰, 张时煌, 高庆先, 等. 京津石三市空气污染指数(API)的时空分布特征及其与气象要素的关系[J]. 资源科学, 2012, 34(8): 1392–1400.
- [4] 郭建斌, 陈珏. 北京市空气污染季节变化规律研究及污染控制建议[J]. 生态环境学报, 2009, 18(3): 952–956.
- [5] 李德平, 程兴宏, 于永涛, 等. 北京地区三级以上污染日的气象影响因子初步分析[J]. 气象与环境学报, 2010, 26(3): 7–13.
- [6] 史桂荣. 试论二十四节气与中医学的关系[J]. 中医药导报, 2011, 17(3): 17–18.
- [7] 冯斌, 张成军, 陆萍. 宁夏固原市 24 节气的气象要素统计特征[J]. 甘肃农业, 2010(5): 17–19.
- [8] 王淑英, 张小玲. 北京地区 PM₁₀ 污染的气象特征[J]. 应用气象学报, 2002, 13(z1): 177–184.
- [9] 段欲晓, 徐晓峰, 张小玲, 等. 北京地区 SO₂ 污染特征及气象条件分析[J]. 气象科技, 2001, 29(4): 11–14.
- [10] 游荣高, 任丽新. 北京采暖期间和采暖前大气气溶胶物理特性对比研究[J]. 大气科学, 1990, 14(3): 354–363.
- [11] 郑美秀, 周学鸣. 厦门空气污染指数与地面气象要素的关系分析[J]. 气象与环境学报, 2010, 26(3): 53–57.
- [12] 林俊, 刘卫, 李燕, 等. 大气气溶胶粒径分布特征与气象条件的相关性分析[J]. 气象与环境学报, 2009, 25(1): 1–5.

API characteristics and its relationships with meteorological factors in different solar terms from 2001 to 2012 in Beijing

JI Cui-hua¹ WANG Shi-gong¹ WANG Min-zhen² SHANG Ke-zheng¹

(1. College of Atmospheric Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China; 2. Department of Epidemiology and Health Statistics, School of Public Health, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Based on air pollution index (API) data from 2001 to 2012 and ground observed meteorological data in Beijing, API characteristics in different solar terms and its relationships with meteorological factors were analyzed. The results indicate that API values in spring and winter from 2001 to 2012 is the highest in Tomb-sweep solar term and Lesser Snow solar term respectively, so air quality is the worst during these two periods. API value is the lowest in the beginning of Autumn of the solar term, so the air quality is the best. The primary pollutant is PM₁₀ from Vernal equinox to Frost fall solar terms, while it is SO₂ from the beginning of Winter to Great cold and from the beginning of Spring to Insects awaken solar terms, especially in Slight cold solar term. The air quality in Beijing is influenced by temperature, wind speed and relative humidity. Pressure plays an important role for API from the beginning of Spring to Grain rain solar terms, and relative humidity and sunshine duration are important from the beginning of Winter to Great cold solar terms. API has a significant correlation with mean air temperature and maximum air temperature from the beginning of Summer to Frost fall solar terms. Wind speed mainly affects air quality in solar terms of spring and autumn.

Key words: Air Pollution Index (API); Twenty-four solar terms; Meteorological elements