

北京生态涵养区空气负离子浓度分布特征及影响因子

阎宏亮¹, 高 猛¹, 张 杰¹, 王 猛¹, 程婷婷¹, 王燕娜¹, 贾 良¹, 宋 楠¹, 张 曼^{2*}

¹北京市延庆区气象局, 北京

²北京市海淀区气象局, 北京

收稿日期: 2022年8月17日; 录用日期: 2022年9月15日; 发布日期: 2022年9月22日

摘 要

为了阐明各北京生态涵养区之间空气负离子的时空分布特征及影响因子, 本文分析研究了北京生态涵养区代表站为期2年的空气负离子浓度数据。结果表明, 北京生态涵养区空气负离子分布整体上呈现出西北部优于东南部, 夏秋季高于春冬季的特征, 在北京各生态涵养区代表站中怀柔区代表站全年平均负离子浓度值最高为1762个·CM⁻³; 除延庆外的其他代表站负离子浓度的日变化曲线呈单峰的形态, 峰值出现在上午9时至10时前后; 空气负离子浓度受站点周边环境、气象要素及大气气溶胶等因子的影响。北京生态涵养区代表站中负离子浓度与气温、相对湿度呈极显著正相关($P < 0.01$), 与风速及PM_{2.5}、PM₁₀的浓度呈极显著负相关($P < 0.01$)。本文结合负离子浓度分布特点为公众康养出行提供了建议。另外建议尽早开展各种负离子测量仪器的标校工作以利于提高数据可比性及可用性。

关键词

空气负离子, 空气质量, 生态涵养区, 日变化

Distribution Characteristics and Influencing Factors of Air Negative Ion Concentration in Beijing Ecological Conservation Area

Hongliang Yan¹, Meng Gao¹, Jie Zhang¹, Meng Wang¹, Tingting Cheng¹, Yanna Wang¹, Liang Jia¹, Nan Song¹, Man Zhang^{2*}

¹Yanqing District Meteorological Service, Beijing

²Haidian District Meteorological Service, Beijing

*通讯作者。

文章引用: 阎宏亮, 高猛, 张杰, 王猛, 程婷婷, 王燕娜, 贾良, 宋楠, 张曼. 北京生态涵养区空气负离子浓度分布特征及影响因子[J]. 气候变化研究快报, 2022, 11(5): 812-819. DOI: 10.12677/ccr.2022.115084

Received: Aug. 17th, 2022; accepted: Sep. 15th, 2022; published: Sep. 22nd, 2022

Abstract

In order to clarify the distribution characteristics and influencing factors of air negative ions among the ecological conservation areas in Beijing, this paper analyzes and studies the data of air negative ion concentration in the representative stations of Beijing ecological conservation areas for a period of two years. The results show that the average negative ion concentration in the representative station in Huairou District is the highest throughout the year, which is $1762 \cdot \text{CM}^{-3}$. The air ion distribution in Beijing shows that the northwest is better than the southeast on the whole, and the summer and autumn are higher than the spring and winter. Except for the representative station in Yanqing, the daily variation curve of negative ion concentration is in the form of a single peak, and the peak appears around 9:00 to 10:00 in the morning. The concentration of air negative ions is affected by the surrounding environment of the site, meteorological elements and atmospheric aerosols and other factors. The negative ion concentration is positively correlated ($P < 0.01$) with the air temperature and relative humidity, and negatively correlated ($P < 0.01$) with the wind speed and the concentrations of $\text{PM}_{2.5}$ and PM_{10} . Combined with the above characteristics, suggestions are provided for public health care travel. In addition, it is hoped that the calibration of various negative ion measuring instruments will be carried out as soon as possible to improve the comparability and usability of data.

Keywords

Air Negative Ions, Air Quality, Ecological Conservation Area, Diurnal Variation

Copyright © 2022 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

近年来随着人民追求美好生活愿望的增长,国家大力发展康养产业,各地加强森林城市建设,申办“中国天然氧吧”称号,大家对环境及空气负离子的关注度逐年上升。据研究,空气中的负离子可以减少90%以上空气中的飘尘数量,同时可以净化空气,减少空气污染物对人体的损害[1],此外空气负离子还可以促进人体的新陈代谢,强化身体机能,增强免疫力[2]。近年来空气负离子的研究越来越深入,通常认为地理位置、天气条件、植被状况等因素共同影响着空气负离子浓度[1]。李琳[3]等认为一定范围的水体会影响负离子浓度。李吉玫等[4]通过对比不同天空状况下的空气负离子浓度发现,下雨天空气中的负离子浓度明显高于其他天气,而沙尘(浮尘)天气时其浓度最低。彭巍等[2]认为,不同的森林层次结构及生长周期都会对空气中负离子的浓度产生影响。目前的研究多集中在不同生态功能区之间的空气负离子浓度分布差异的分析,而对于同为严格限制了工业生产活动的生态涵养区之间的空气负离子特征研究较少。

北京市在2005年将门头沟、平谷、怀柔、密云、延庆五个区设立了生态涵养区,经过多年的建设生态涵养区绿色发展能力不断提升。本文旨在研究北京各生态涵养区空气负离子浓度的空间分布状况、时间变化规律及其与环境因子的关系,分析在整体生态环境较好的区域之间空气负氧离子的分布特征,以期为民康养出行提供参考,促进北京绿色经济高质量发展。

2. 资料与方法

2.1. 观测仪器及数据情况

监测站负离子浓度均采用 FLZ1 型大气负离子自动观测系统测定。FLZ1 型大气负离子自动观测系统采用“电容式吸入法”原理进行负离子检测，测量空气中的负离子浓度值。在离子传感器(或称采集桶、采集筒)的极化板(或称偏压板)上加载定量的极化电压，再让被测空气按设定速度匀速通过传感器。空气中特定的小粒径负离子在电场的作用下发生偏转，被采集板所捕获。采集到的负离子负电荷量经过采集器的处理，即可计算出负离子的电荷浓度值。

受限于数据资料完整性和可对比性，对北京五个生态涵养区(平谷区、密云区、延庆区、门头沟区和怀柔区)及城区 6 个代表站的 2017 年 8 月至 2018 年 7 月一整年的数据进行负离子浓度分布的分析；为了探究北京市负离子浓度与环境影响因子的关系，选取拥有“中国天然氧吧”称号的延庆区代表站的 2019 年全年的数据进行分析。

2.2. 站点

选取的 6 个代表站点分别位于延庆区气象局、平谷区气象局、门头沟斋堂气象站和北京市观象台站内，密云上甸子大气本底站内，怀柔区 APEC 会议中心院内，观测代表站的站网分布情况如图 1 所示。

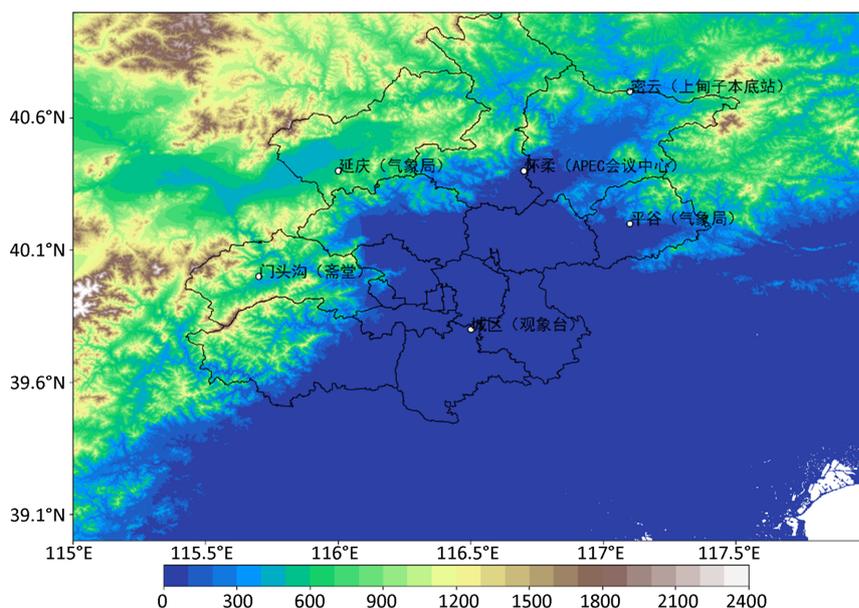


Figure 1. Distribution of Beijing air negative ion observation representative stations

图 1. 北京空气负离子观测代表站站网分布

各代表站中海拔最低的是城区代表站为 37 米，海拔最高的是延庆代表站为 488 米，站点周边环境主要为城镇和林地，具体信息见表 1。

3. 结果分析

3.1. 负离子浓度分布及特征分析

3.1.1. 负离子浓度空间分布情况

通过对比分析各站点负离子平均浓度数据，发现怀柔区代表站负离子浓度最高，全年平均 1762

个·CM⁻³；延庆区代表站负离子浓度居第二，全年平均 1732 个·CM⁻³，平谷区代表站负离子浓度居第三，全年平均 1303 个·CM⁻³，门头沟区、密云区、城区负离子浓度依次减小，整体上呈现出北京西北部大于东南部的特征。具体结果见图 2。

Table 1. Site information of representative stations of Beijing ecological conservation zone and urban areas

表 1. 北京生态涵养区及城区代表站站点信息

站点名	经度/°	纬度/°	海拔高度/m	周边环境
城区(气象台)	116.5°	39.8°	37	城区
平谷(气象局)	117.1°	40.2°	65	城镇
密云(上甸子本底站)	117.1°	40.7°	484	林地
延庆(气象局)	116.0°	40.4°	488	城镇
门头沟(斋堂站)	115.7°	40.0°	786	林地
怀柔(APEC 会议中心)	116.7°	40.4°	90	林地

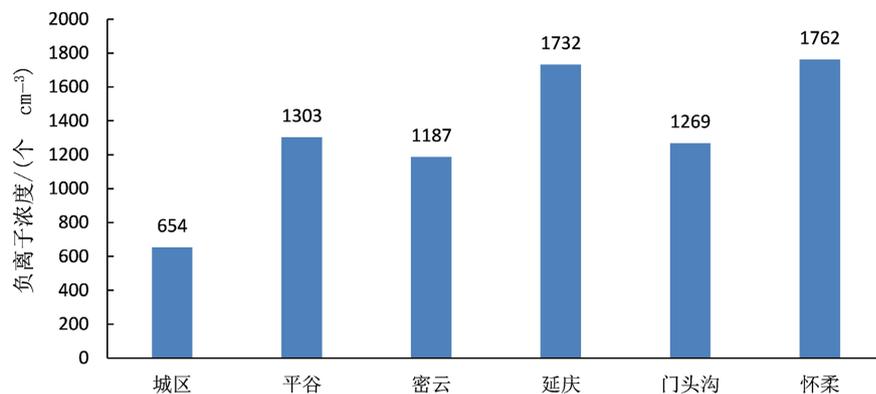


Figure 2. Negative ion concentration at each site from August 2017 to July 2018

图 2. 2017 年 8 月至 2018 年 7 月各站点负离子浓度情况

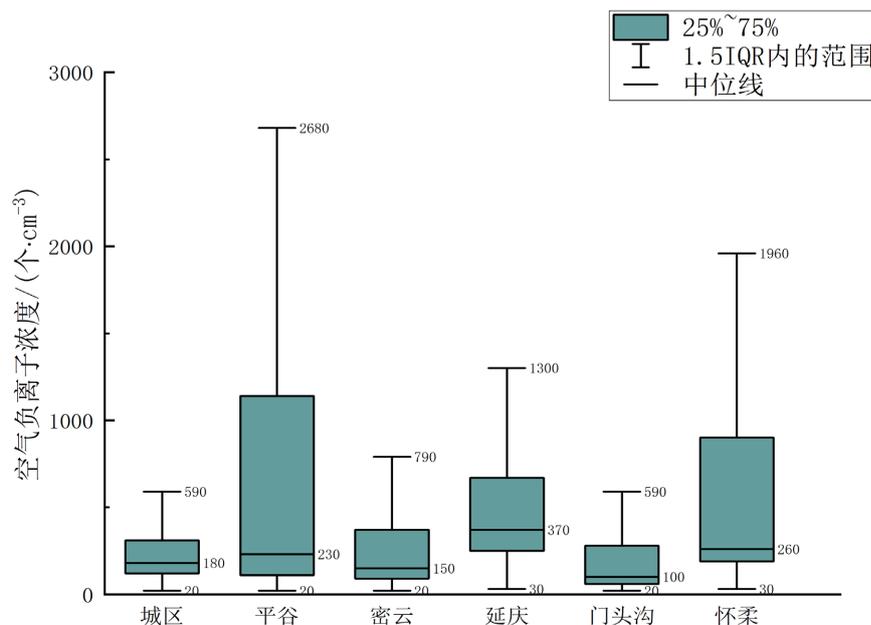


Figure 3. Boxplot of negative ion concentration distribution at each site in the ecological conservation area

图 3. 生态涵养区各站点负离子浓度分布箱线图

从各站负离子分布箱线图中可以看出在各代表站中延庆站的中位数值最高，且上下百分位所处的浓度分布区间相对集中，怀柔区、平谷区代表站的负离子的浓度分布区间离散度相对偏大。具体结果见图 3。

3.1.2. 负离子浓度四季时间序列分布特征

通过分析不同季节各站点的负离子浓度情况，由图 4 可以看出各站均呈现夏季最高，春秋季次之，冬季最低的特征。这与廖荣俊等的研究结果相一致[5]。在春季、夏季及秋季负离子浓度最高的是怀柔代表站，在秋季负离子浓度最高的延庆代表站。

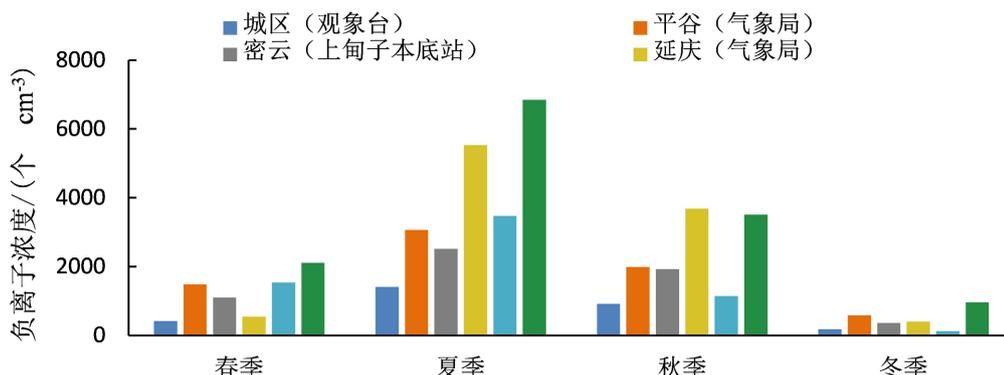


Figure 4. Characteristics of negative ions in each season from August 2017 to July 2018
图 4. 2017 年 8 月至 2018 年 7 月各季节负离子特征情况

3.1.3. 负离子浓度分布日变化特征

在图 5 中通过分析各代表站负离子浓度日变化曲线，发现 6 个代表站的变化趋势较为一致，基本上凌晨到上午时段的负离子浓度大于下午到晚上。各站点的最大峰值出现时间略有区别，一般峰值出现在上午 9 时至 10 时，其中延庆出现峰值时间稍晚出现在 11 时，此外延庆代表站在下午 13 时至 16 时再次出现了一段峰值。据研究，植被枝叶的尖端放电以及各类植物的光合作用形成的光电效应会加快空气自身电解产生空气负离子[6]，由于凌晨时段植物尚未进行有效光合作用且光照较弱、温度较低，“尖端放电效应”

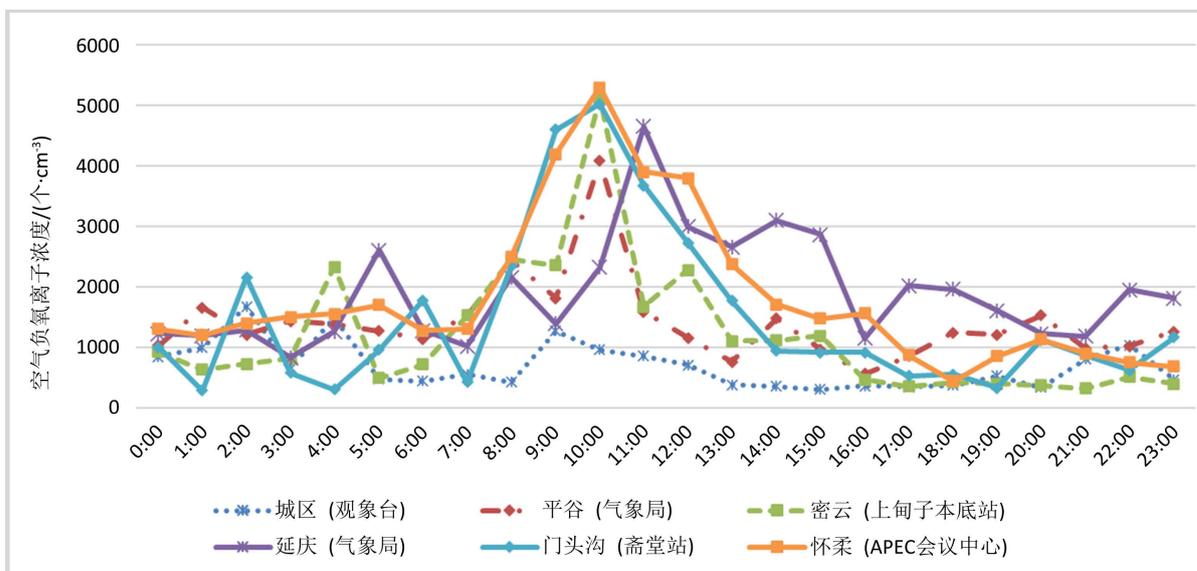


Figure 5. Daily average change curve of atmospheric negative ion concentration (August 2017~July 2018)
图 5. 大气负离子浓度日均变化曲线(2017 年 8 月~2018 年 7 月)

不明显, 不利于空气负离子形成及释放。随着光照强度的增强以及气温的上升植物光合作用及“尖端放电效应”开始增强, 一天中负离子释放的高效阶段到来[7]。各代表站之间生态涵养区空气负离子浓度峰值出现在 10 时前后, 随着影响因素强度减弱, 空气负离子浓度开始下降, 其中延庆代表站在午后再次出现峰值, 这可能与延庆站海拔相对较高, 气温低于其他代表站, 光合抑制解除的时间较早有关。从浓度整体分布上看, 生态涵养区高于城区, 上午时段怀柔站和门头沟站浓度较高, 下午时段延庆站浓度水平高。

3.2. 不同影响因子与负离子浓度关系

3.2.1. 气象条件和负离子的关系

通过对比分析 2019 年延庆代表站负离子浓度与其日平均气温、日平均相对湿度、日平均风速的关系发现, 负离子浓度同日平均气温呈极显著正相关($P < 0.01$), 与日平均风速呈极显著负相关($P < 0.01$), 这与邵海荣等[8]的研究基本吻合。负离子浓度与日平均相对湿度呈极显著正相关($P < 0.01$, 见表 2)。

Table 2. Correlation between air negative ions and environmental factors

表 2. 空气负离子与环境因子的相关性

		温度 Temperature	风速 Wind speed	相对湿度 Relative humidity	PM _{2.5}	PM ₁₀
空气负离子	Pearson 相关性	0.593**	0.252**	0.495**	0.172**	0.215**
	显著性(双侧)	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000

**在 0.01 水平(双侧)上显著相关。

采用线型回归的方法分析了空气负离子浓度与日平均气温、日平均风速和日平均相对湿度这些环境因子之间的关系(见图 6), 发现空气负离子浓度与气温呈正相关($y = 2461.35 + 286.23x, r = 0.593^{**}$)、与相对湿度呈正相关($y = 2461.35 + 286.23x, r = 0.252^{**}$), 与风速呈负相关($y = 2461.35 + 286.23x, r = 0.495^{**}$)。由结果可以看出, 由于北京所处气候带的原因全年日平均气温的上限还处于利于植被光合作用的区间, 所以空气负离子浓度是与气温呈正相关的。对于风速来说, 随着风速的增加, 空气中粒子的碰撞频率增加, 不利于负离子在空气中的长时间留存, 故空气负离子浓度与风速呈负相关。空气负离子实际上是空气分子吸附了电子后的产物, 空气中的相对湿度越大水汽分子越易电离出电子, 进而增加氧分子等空气粒子结合电子的几率, 故空气负离子浓度与相对湿度呈负相关。关于空气负离子与环境因子的关系, 不同学者得到的研究结果不尽相同, 有研究者[8] [9]认为空气负离子浓度与空气温度呈正相关关系, 与空气相对湿度呈负相关关系, 但有的研究者[6] [10]的研究结果却恰恰与其相反。这可能与空气负离子的产生机制有关。空气负离子的产生主要有物理过程和生物过程, 物理过程主要指瀑布水分子撞击、雷电放电催化等物理作用促进产生的负离子, 而生物过程主要指树枝及叶片的尖端放电及在光合作用伴随的光电效应等产生的负离子[6]。由于不同于研究地点周边的地理环境不尽相同, 再加之所处的气候带不同, 其主要的植被类型光合作用最适宜的温度区间不同, 故空气负离子浓度随气象因子的变化趋势就会有差异。

3.2.2. PM_{2.5}、PM₁₀ 和负离子的关系

通过对比分析 2019 年延庆代表站负离子浓度与 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 的相关性发现(图 7), PM_{2.5} 和 PM₁₀ 均与负离子呈极显著负相关($P < 0.01$), 采用线型回归的方法分析得到其回归方程分别为 $y = 6713.92 - 32.62x, r = 0.172^{**}$ 及 $y = 7290.53 - 26.31x, r = 0.215^{**}$ 。在冯鹏飞[11]以及王非[12]等学者的研究中, 空气负离子与 PM_{2.5}、PM₁₀ 均呈现负相关关系。这主要与空气中的负离子因为电性的原因易与颗粒物粘附沉降有关[1]。

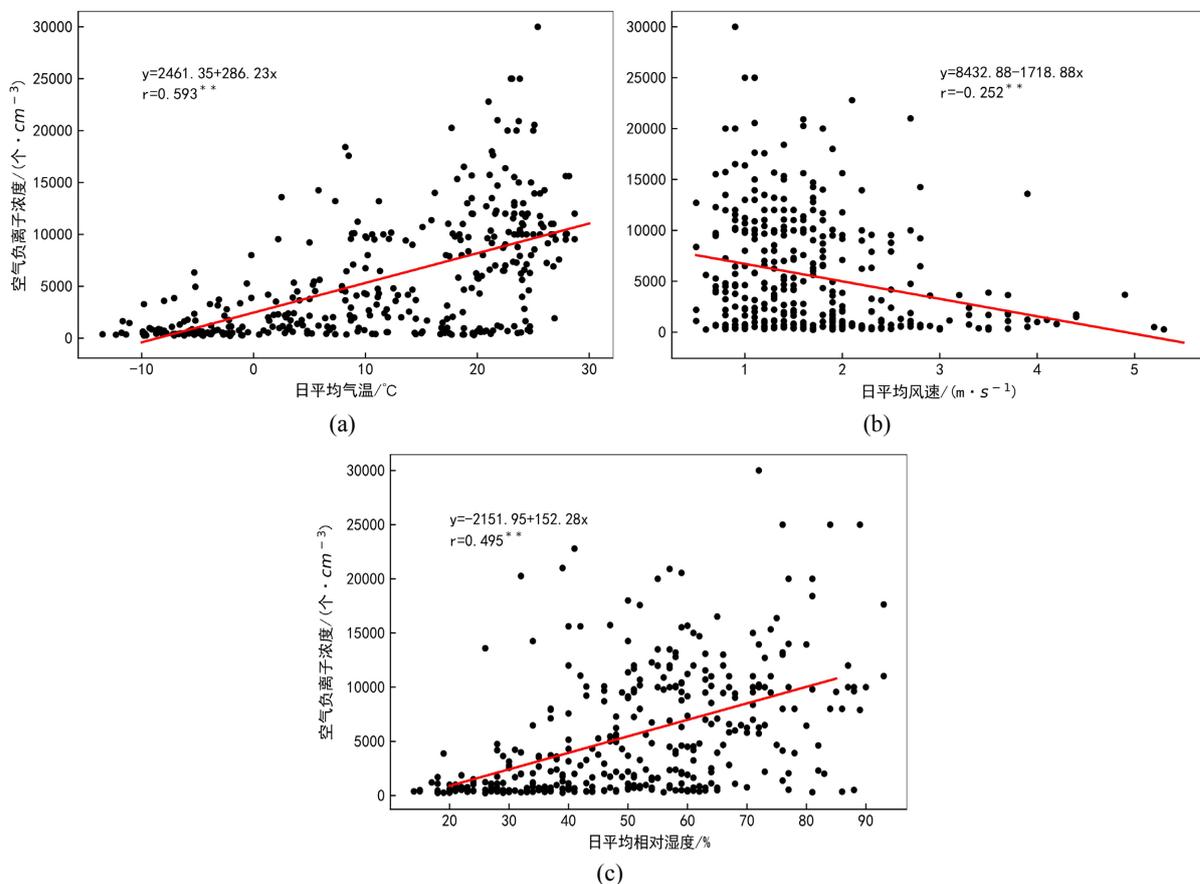


Figure 6. Correlation of negative ion concentration with air temperature (a), wind speed (b) and relative humidity (c)
 图 6. 负离子浓度与气温(a)、风速(b)、相对湿度(c)的相关关系

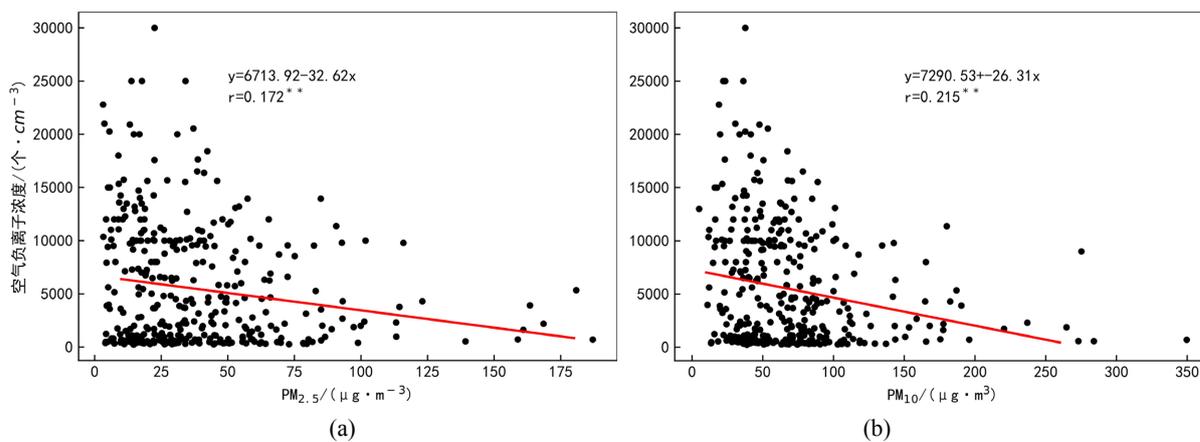


Figure 7. Correlation between negative ion concentration and PM_{2.5} (a) and PM₁₀ (b)
 图 7. 负离子浓度与 PM_{2.5} (a)和 PM₁₀ (b)相关关系

4. 结论与讨论

通过对比分析 2017 年 8 月至 2018 年 7 月北京各个生态涵养区(延庆、密云、怀柔、平谷、门头沟)及城区(观象台)负离子浓度数据, 发现:

- 1) 北京生态涵养区各站点全年平均负离子浓度在空间分布上呈现出北京西北部优于东南部的特征,

从高到低排序依次为怀柔、延庆、平谷、门头沟、密云、城区。各代表站中延庆站的中位数值最高，且浓度分布区间相对集中，负离子浓度的整体水平更优。据王薇等[13]研究，植被丰富有瀑布等动态水存在的环境空气负离子浓度较高。因此建议公众可以将北京西部北部森林植被茂盛，针叶林分布较多，有动态水的地方作为康养旅游的目的地。

2) 对于时间分布上，分别从季节和日变化上做了分析：在季节变化上，各站都呈现了夏秋季负离子浓度高于春冬季的特征；在日变化上，各代表站中除了延庆站一天中负离子浓度的峰值表现为单峰形态，峰值出现在上午 9 时至 10 时，延庆代表站出现峰值的时间稍晚在 11 时前后且在下午时段(13 时至 16 时)再次出现了一段峰值。由此可见公众可以依据各代表站的空气负氧离子峰值浓度出现时间合理安排行程，以便更长时间地享受负氧离子带来的康养效果。

3) 空气负离子浓度受气象要素(气温、相对湿度、风速)及大气气溶胶等因子的影响，基于本研究中得到的相关关系，建议在生态涵养区选择气温适宜，风速不大，细颗粒物浓度低的天气出行。

4) 负离子浓度会受地理位置、下垫面环境、气象条件、测量原理以及仪器维护情况等多种因素影响。建议在今后有关空气负氧离子的研究中提前制定科学合理的观测站网布设规划，增加负离子观测站数量及代表性，另外由于现有的空气负离子观测仪器种类繁多，仪器的测量原理也不尽相同，不同的仪器间测量的数据差距较大[14]，建议对各种负离子测量仪器开展标校工作以提高数据可比性及可用性。

致 谢

本文作者非常感谢以下专家和人员提供的帮助：北京市气象局的张曼高级工程师为本论文的整体框架提供了的宝贵意见，李迅正研级高级工程师为本论文的行文结构、语言表述提供了深入指导，以及中国气象局张晓春教授为本论文提供了重要数据支撑及分析建议，在此一并致谢！

参考文献

- [1] 朱丽娜, 温国胜, 王海湘, 等. 空气负离子的研究综述[J]. 中国农学通报, 2019(18): 44-49.
- [2] 彭巍, 李明文, 王慧, 等. 空气负离子国内外研究进展及其在森林康养方面的积极作用综述[J]. 温带林业研究, 2020, 3(3): 11-14, 54.
- [3] 李琳, 杜倩, 刘铁男, 等. 空气负离子研究进展[J]. 现代化农业, 2017(12): 30-31.
- [4] 李吉玫, 张毓涛. 塔里木盆地主要城市空气负离子浓度分布特征[J]. 干旱区资源与环境, 2013, 27(6): 172-176.
- [5] 廖荣俊, 颜晓捷, 江波, 等. 灵鹫山国家森林公园康养基地空气负氧离子浓度变化特征及其影响因素研究[J]. 浙江林业科技, 2021, 41(5): 36-41.
- [6] 刘晴, 高鹏, 李成, 等. 泰安市典型生态功能区空气负离子的时空分布及影响因素分析[J]. 环境化学, 2019(1): 169-176.
- [7] 郭云鹤, 王咸钟, 张凯, 等. 西安城市公园空气负离子浓度变化[J]. 城市环境与城市生态, 2015, 28(1): 35-37, 41.
- [8] 邵海荣, 贺庆棠, 阎海平, 等. 北京地区空气负离子浓度时空变化特征的研究[J]. 北京林业大学学报, 2005, 27(3): 35-39.
- [9] 高郟, 卢杰, 李江荣. 林芝市主城区空气负离子特征及影响因素研究[J]. 高原农业, 2019, 3(3): 323-331.
- [10] 穆丹, 梁英辉. 佳木斯绿地空气负离子浓度及其与气象因子的关系[J]. 应用生态学报, 2009(8): 2038-2041.
- [11] 冯鹏飞. 北京地区不同植被类型空气负离子浓度及其影响因素分析[J]. 生态环境学报, 2015, 24(5): 818-824.
- [12] 王非, 李冰, 周蕴薇. 城市森林公园空气负离子浓度与气象因子的相关性[J]. 东北林业大学学报, 2016, 44(2): 18-20, 38.
- [13] 王薇. 空气负离子浓度分布特征及其与环境因子的关系[J]. 生态环境学报, 2014, 23(6): 979-984.
- [14] 罗昶, 丁妙增, 杨安良, 等. 空气负离子测量误差分析和评估[J]. 气象科技, 2020, 48(6): 795-800.