

# 浙江省气象及环境因子对负氧离子浓度的影响

郁珍艳,李正泉,樊高峰,高大伟\*,张 含 (浙江省气候中心,浙江 杭州 310017)

**摘要:** 基于 2019 年浙江省 89 个站的负氧离子浓度监测结果,结合气象及环境观测资料,开展了负氧离子浓度分布及气象和环境因子对负氧离子浓度的影响分析.结果表明:浙南和浙西的山区负氧离子浓度高,年平均浓度基本均在 1000 个/cm<sup>3</sup> 以上;浙北平原浓度相对较低,大部分站年平均浓度在 500~1000 个/cm<sup>3</sup> 左右.负氧离子浓度基本表现为高山林区>浅山景区>海岛、水体附近>郊区、平原公园>城镇.环境因素和气象因子对负氧离子浓度有一定的影响,负氧离子浓度与 AQI、PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>、SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、CO 等环境因子呈现出明显的负相关性.随着日照时数的增加,负氧离子浓度基本呈现出明显增大的变化趋势.当日平均气温在 2~15℃ 和 23~31℃ 时,随着气温的上升,负氧离子浓度基本呈现增大的变化趋势.50%~75% 为相对适宜的相对湿度,对应的负氧离子浓度也较高.降水量越大、风速越大,负氧离子浓度基本呈现出升高的变化趋势;但当雨量达到暴雨级别、风速达到强风级别以上时,负氧离子浓度开始有出现回落的变化趋势.

**关键词:** 负氧离子; 生态环境; 空气质量; 气象条件

中图分类号: X823 文献标识码: A 文章编号: 1000-6923(2023)02-0514-11

**Effects of meteorological and environmental factors on negative oxygen ions concentration in Zhejiang Province.** YU Zhen-yan, LI Zheng-quan, FAN Gao-feng, GAO Da-wei\*, ZHANG Han (Zhejiang Climate Center, Hangzhou 310017, China). *China Environment Science*, 2023,43(2): 514-524

**Abstract:** Based on the negative oxygen ions concentration data of 89 observatories and meteorological and environmental observational data in Zhejiang province, the effects of meteorological and environmental factors on negative oxygen ions concentration was analyzed, as well as the distribution of negative oxygen ions concentration. Results showed that: in the mountain areas of South and West Zhejiang, negative oxygen ions concentration was relatively high, with annual mean value generally higher than 1000cm<sup>-3</sup>; whereas in plain areas of North Zhejiang, negative oxygen ions concentration was relatively low, with annual mean value mostly amount to 500~1000cm<sup>-3</sup>. Generally, the spatial distribution of negative oxygen ions concentration showed a pattern of high-mountain forest areas > middle-hill scenic areas > areas near island or water bodies > parks in suburban and plain areas > urban areas. Meteorological and environmental factors had certain effects on negative oxygen ions concentration, showed noticeable negative correlation between negative oxygen ions concentration and environmental factors of AQI, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO. With the increase of sunshine duration, negative oxygen ions concentration also tended to increase. When daily mean air temperature ranged from 2~15℃ to 23~31℃, with the rose of air temperature, negative oxygen ions concentration tended to increase. When relative humidity was within the comfort range of 50%~75%, negative oxygen ions concentration was relatively high. With the increased of precipitation or wind speed, negative oxygen ions concentration generally increased. However, when precipitation was greater than torrential rain or wind speed was stronger than strong breeze, negative oxygen ions concentration tended to decrease with the increase of precipitation or wind speed.

**Key words:** negative oxygen ions; ecological environment; air quality; meteorological conditions

自然界中负氧离子的产生主要源于大气电离、水体 Lenard 效应、植被光合和植物尖端放电等,负氧离子与灰尘、有害气体和颗粒物等相结合,能起到杀菌、除尘净化和清洁空气的作用,负氧离子还能促进人体新陈代谢,强化细胞机能,增强机体免疫力,改善情绪<sup>[1-2]</sup>,有利于身心健康,被称为“空气维生素”<sup>[3]</sup>.

空气中的负氧离子不断生成,也不断地被正离子所中和,两个相反的过程时刻处于一种动态的平衡状态,决定着空气中负氧离子含量的高低.负氧离子含量越高,空气清洁度就越高.在环境评价中,负氧

离子浓度的高低常被作为空气清新与否的重要指标<sup>[4]</sup>.

近些年随着对空气污染问题的关注,负氧离子的研究也逐渐成为一个热点.目前负氧离子的研究大多集中在其自身的时空变化特征<sup>[5-6]</sup>,包括森林<sup>[7-8]</sup>、城市绿地<sup>[9-10]</sup>等区域,以及季节、植被等因素

收稿日期: 2022-06-27

基金项目: 浙江省气象科技计划重点项目(2019ZD07);国家自然科学基金资助项目(42005027);中国气象局气象发展与规划院政策研究项目(ZCYJ20220010)

\* 责任作者,高级工程师, davidgao82@163.com

对负氧离子浓度的影响<sup>[11-12]</sup>。大量研究表明,负氧离子浓度有明显日和季节变化规律<sup>[13]</sup>,多是午夜至早晨浓度较高、下午较低,夏秋季浓度较高、冬春季相对较低<sup>[14-16]</sup>。但负氧离子日变化的峰、谷出现的时间,由于周边环境、植被结构、人流量的不同而不同。在季节动态上,也受地理环境、时间和气象条件的差异,不同地区并非完全一致<sup>[17-19]</sup>。负氧离子浓度空间分布不均匀,由城市向郊区逐渐增大,随海拔高度的增加而增大;在森林和植物绿化较为丰富的地方浓度较高<sup>[20-21]</sup>。

除了与环境类型有关外,相关研究也得到负氧离子浓度与风速、温度、相对湿度、太阳辐射、天气现象等气象要素有较大相关性<sup>[22-23]</sup>,但在不同的地理环境或研究时段,呈现出的相关性也存在差异<sup>[24-25]</sup>。不同天气条件对负氧离子浓度有显著影响<sup>[26]</sup>,降雨能有效增加负氧离子浓度<sup>[27]</sup>,微风天气有利于负氧离子生成,而过大的风速会将负氧离子吹散,浓度降低<sup>[28]</sup>。负氧离子与大气污染物有一定的相关性<sup>[29]</sup>,与 PM<sub>2.5</sub> 和 O<sub>3</sub> 浓度表现出一致的负相关性<sup>[30]</sup>。

近年来,为深入贯彻“两山”理论,更好地挖掘和利用浙江生态气候资源潜力,推进浙江生态文明建设,浙江省气象、林业、环保等多部门开展了负氧离子浓度试验性监测,对负氧离子浓度水平有了初步了解<sup>[31-34]</sup>。但浙江省负氧离子的相关研究起步较晚,对其影响机理仍不明确。本文结合气象观测数据及空气质量监测数据,通过开展气象因子及大气环境对负氧离子浓度的影响分析,综合环境空气清洁度的评价,挖掘影响负氧离子浓度的敏感因子,以期今后负氧离子浓度预测模型的建立提供科学支撑。

## 1 数据来源与方法

### 1.1 数据来源

资料来源于浙江省气象局 2019 年 89 个气象站内监测数据,这 89 个监测站运行稳定、数据异常率较低,并均匀分布于全省,能较好的反应全省负氧离子资源的分布,弥补了前期研究站点稀少的不足。

负氧离子观测仪器型号主要有威德创新科技(北京)有限公司的 WIMD 型和 FLZ 型、北京依派伟业数码科技有限公司的 EP 型。通过 2017 年 8 月 20

日至 9 月 5 日,在杭州下沙气象探测基地开展的国内主流型号负氧离子监测仪器的观测性能对比试验结果得到,本文资料涉及的监测仪均能观测出负氧离子浓度随天气环境变化而发生的趋势变化,且获得的观测趋势基本相似,浓度上升或下降的变化步调基本一致。个别因仪器不同造成的观测浓度差异或者异常值,应用《空气负(氧)离子观测与评价技术规范》(DB33/T 2226-2019)<sup>[35]</sup>规定的界限值检查、跳变值检查、空气湿度检查、正负氧离子比值检查等 4 项质控规则对数据进行了严格质量控制<sup>[13]</sup>。

### 1.2 站点分类

通过负氧离子站点位置及站点信息说明,结合三维遥感影像图,将海拔<150m 的站点分为 3 类,其中位于城镇且周围环境多建筑物或城市公路等的站划分为城镇站,位于郊区或平原公园且周围多为草地丘陵等的站划分为郊区、平原公园站,以及位于海岛、水体附近的站。海拔≥150m 的站,均位于山区林区,将 150m<海拔<300m 的站,归类为浅山景区站;将海拔≥300m,归类为高山林区站。

表 1 负氧离子站分类

Table 1 Classification of negative oxygen ions observatories

项目	海拔<150m			150m<海拔	海拔≥300m
	城镇	郊区、平原公园	海岛、水体附近	<300m	高山林区站
站点类型	城镇	郊区、平原公园	海岛、水体附近	浅山景区站	高山林区站
站点个数	26	33	9	11	10

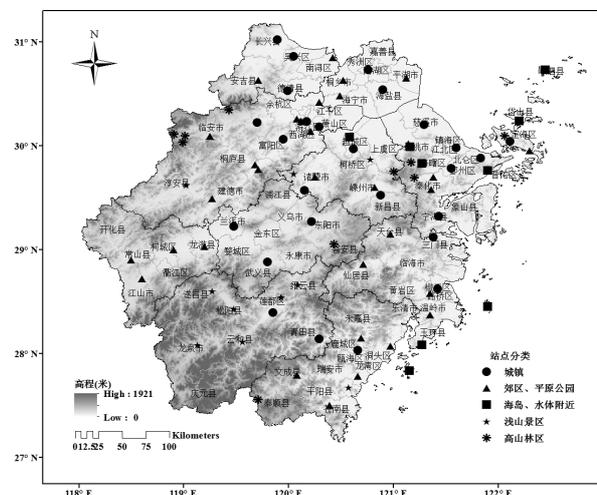


图 1 浙江省空气负氧离子监测站点分布

Fig.1 Distribution of negative oxygen ions observatories in Zhejiang province

### 1.3 评价方法

1.3.1 等级评价 世界卫生组织(WHO)规定(表 2): 每  $\text{cm}^3$  空气中负氧离子含量在 500~900 个为一般空气; 低于 500 个为不清新空气; 高于 1200 个的定为清新空气, 大于 2100 个为非常清新空气。

表 2 WHO 空气清新度等级划分中的负氧离子指标  
Table 2 Negative oxygen ions concentration indexes in WHO air cleanliness classification

等级	负氧离子浓度(个/ $\text{cm}^3$ )	空气清新度	环境条件	与健康的关系
一级	0~50	不清新	厂房区	诱发形成各种疾病
一级	50~200	不清新	都市内	易诱发生理障碍等
一级	200~500	不清新	街道绿化区	诱发生理障碍边缘
二级	500~900	一般	公园	维持人体健康基本需要
三级	900~1200	较清新	旷野	增强人体免疫力、抗菌力
四级	1200~1800	清新	山顶、森林	杀灭、减少疾病传染
五级	1800~2100	清新	山顶、森林	具有自然痊愈力
六级	$\geq 2100$	非常清新	森林、瀑布	具有治疗和康复功效

1.3.2 安培空气质量评价指数 安培空气质量评价指数反映了居住区空气中离子浓度接近自然界空气离子化水平的程度, 用  $CI=(n-1000 \times q)$  表示。其中, 1000 表示满足人体生物学效应最低需求的空气负氧离子浓度;  $n$ -代表负氧离子个数;  $n+$ 代表正氧离子个数;  $q=n+/n-$  为单极系数。CI 把空气负氧离子作为指标, 又考虑了正负氧离子的构成比, 因此较为全面和客观。评价标准见表 3。

表 3 空气清洁度与空气质量评价指数(CI)的关系  
Table 3 Correlation between air cleanliness and Air Quality Evaluation Index (CI)

等级	空气清洁度	指标(CI)	
A	最清洁	$> 1.00$	
B	清洁	$1.00 \sim 0.70$	
C	中等清洁	$0.69 \sim 0.50$	
D	允许	$0.49 \sim 0.30$	
E	E1	轻污染	$0.29 \sim 0.19$
	E2	中等污染	$0.18 \sim 0.1$
	E3	重污染	$< 0.09$

## 2 结果与分析

### 2.1 负氧离子浓度分布概况

如图 2 所示, 2019 年浙江省负氧离子年平均浓度在 316(宁波奉化)~3884(临安天目山)个/ $\text{cm}^3$  之间, 总体表现为山区高、平原低, 空气中的负氧离子可以

通过植物的尖端放电和光电效应产生, 高山林区的植被覆盖度较高、太阳辐射强, 并能大量吸收空气中的灰尘, 周边空气负氧离子的浓度增加<sup>[4]</sup>。因此, 森林覆盖率高高的山区是负氧离子的富集地。浙北平原地区城镇区域大, 森林覆盖率较低, 人类活动多, 污染物排放多, 因此负氧离子浓度相对较低。全省 89 个监测站中有 27 个站的年平均值达到 1200 个/ $\text{cm}^3$  以上, 其中 7 个站超过 2000 个/ $\text{cm}^3$ 。全省有 16 个站负氧离子日最高浓度达到 5000 个/ $\text{cm}^3$  以上, 其中有 7 个站超过 7000 个/ $\text{cm}^3$ 。

负氧离子浓度季节平均值分布与年平均值基本一致。春季负氧离子平均浓度值在 229(温州平阳)~5199(奉化三隐潭)个/ $\text{cm}^3$  之间, 夏季在 233(温州文成)~4571(临安天目山)个/ $\text{cm}^3$  之间, 秋季在 268(宁波奉化)~3531(丽水龙泉)个/ $\text{cm}^3$  之间, 冬季在 264(宁波奉化)~4079(临安天目山)个/ $\text{cm}^3$  之间。四个季节分别有 20 个、31 个、33 个、31 个站达到 1200 个/ $\text{cm}^3$  以上。对比邵海荣等<sup>[6]</sup>对北京地区及王薇等<sup>[21]</sup>对南方沿海城市的负氧离子浓度监测结果, 浙江省负氧离子浓度的分布特征与之前的研究基本一致。

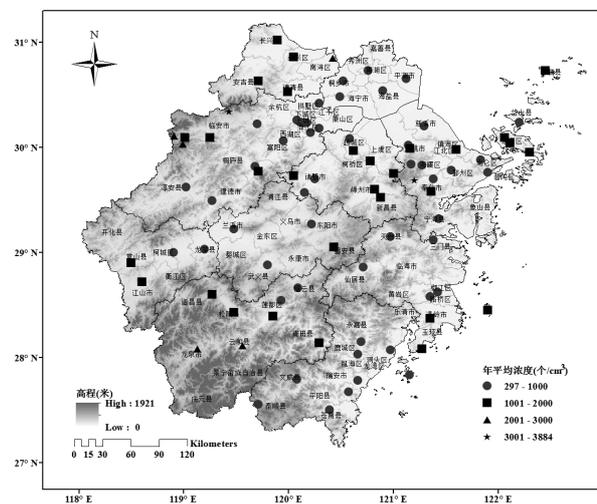


图 2 2019 年负氧离子监测年平均浓度值(个/ $\text{cm}^3$ )  
Fig.2 Annual mean observed negative oxygen ions concentration at year 2019 (atoms/ $\text{cm}^3$ )

如图 3 所示, 负氧离子的月变化趋势大致表现为 5~9 月浓度较高, 1~4 月浓度较低。高山林区站各月浓度均在 1600 个/ $\text{cm}^3$  以上; 浅山景区站各月浓度基本在 1000 个/ $\text{cm}^3$  以上; 海岛、水体附近的负氧离子浓度在 6~12 月达到 1000 个/ $\text{cm}^3$  以上; 郊区、平

原公园站除 7~8 月和 11 月外,大多月份都在 1000 个/cm<sup>3</sup> 以下;城镇站负氧离子浓度的月值基本在 1000 个/cm<sup>3</sup> 以下,与北京<sup>[30]</sup>、合肥<sup>[17]</sup>等地的负氧离子浓度变化一致。

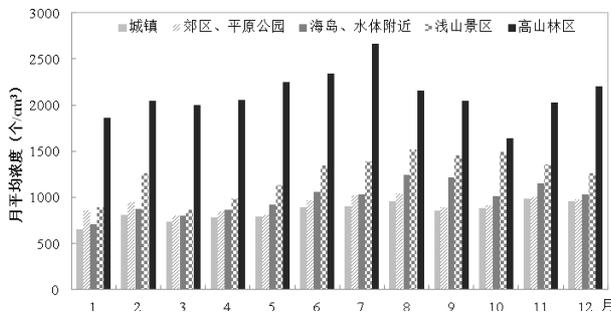


图 3 2019 年浙江省不同类型监测站负氧离子浓度月变化  
Fig.3 Monthly variations of negative oxygen ions concentration for different types of observatories in Zhejiang province at year 2019

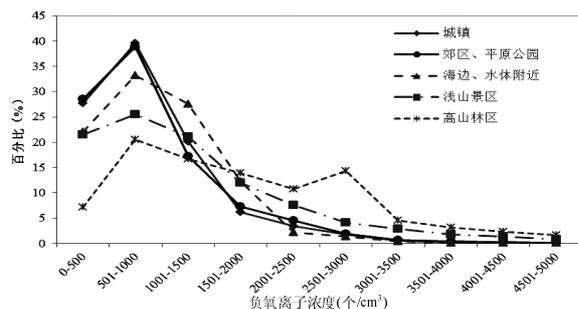


图 4 2019 年浙江省不同类型监测站不同负氧离子浓度占比  
Fig.4 Percentage distribution of different levels of negative oxygen ions concentration for different types of observatories in Zhejiang province at year 2019

如图 4 所示,城镇站的负氧离子日平均浓度在 501~1000 个/cm<sup>3</sup> 的概率最大,达到 40%左右。郊区、平原公园站的浓度在 1500 个/cm<sup>3</sup> 以下的概率较城镇站略小,而在 1500 个/cm<sup>3</sup> 以上的概率略大。海边、水体附近的浓度在 1001~2000 个/cm<sup>3</sup> 的概率较城镇站和郊区、平原公园站明显增大。浅山景区的日平均浓度在 2000 个/cm<sup>3</sup> 以上的概率较前 3 类站明显增大,1000 个/cm<sup>3</sup> 以上达到 50%以上,2000 个/cm<sup>3</sup> 以上达到 20%以上。高山林区的日平均浓度在 1000 个/cm<sup>3</sup> 以上的概率达到了 72%,2000 个/cm<sup>3</sup> 以上达到了 42%,低浓度概率较其他类型站点明显减小。

## 2.2 环境因子对负氧离子浓度的影响

### 2.2.1 负氧离子浓度与环境要素的相关关系

AQI 可以表征空气污染程度,PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub> 代表空气

中颗粒物含量,SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、CO 都是大气主要污染物。在污浊空气中,这些颗粒物和污染物对负氧离子具有吸附作用,使负氧离子生成速率低于中和速率,因此污浊空气中的负氧离子含量较低。

经统计计算,日平均负氧离子浓度与日 AQI、PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub> 的负相关性能通过显著性检验的站点均达到了 90%以上,与日 SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、CO 的负相关性能通过显著性检验的站点可达到 70%~80%左右,说明负氧离子浓度越高,环境要素浓度越低,空气质量越好。

如图 5 所示,负氧离子浓度与各环境要素的月际变化也呈现出明显的负相关性,10~12 月和 1~3 月的秋冬季,AQI、PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>、SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、CO 的浓度相对较高,负氧离子浓度明显降低。6~8 月的夏季,AQI、PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>、SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、CO 的浓度较低,负氧离子浓度达到年度峰值。负氧离子浓度与环境要素的负相关性与其他地区的研究结果一致<sup>[29-30]</sup>。

如图 6 所示,城镇、郊区、平原公园和海岛、水体附近站点的 AQI、PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub> 浓度相对高,对应的负氧离子浓度相对低;浅山景区和高山林区站点的 AQI、PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub> 浓度相对低,对应的负氧离子浓度相对高。SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub> 浓度基本呈现出城镇>郊区、平原公园>海岛、水体附近>浅山景区>高山林区,CO 浓度在城镇和郊区、平原公园区域较大,在海岛、水体附近、浅山景区和高山林区浓度接近,5 类站 SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、CO 的浓度和负氧离子浓度基本呈负相关。

分析季节变化,各区域负氧离子和环境要素的浓度分布与年平均浓度基本一致。夏季各类型站的负氧离子浓度最高,对应的环境要素浓度最低,冬季相反。春季各类型站环境要素浓度与年平均值的差异均在 10%以内,高山林区植被多,负氧离子浓度基本不受环境要素的影响;其余地区负氧离子浓度比年平均值得低 9%~19%,对环境要素的变化较敏感。秋季各地区差异较大,在城镇和郊区、平原公园地区,负氧离子以及环境要素浓度与年平均值差异较小;在海岛、水体附近,各环境要素浓度较年平均值得低,负氧离子浓度较年平均值得高 19%左右;在浅山景区和高山林区,各环境要素浓度较年平均值得高,负氧离子浓度较年平均值得低。总体来看,各地区四季负氧离子浓度与环境要素均呈负相关性。

2.2.2 安培空气质量评价指数 挑选了具有代表性的不同环境场所的5个站点进行安培空气质量评价,其中温州站为城镇代表站,位于温州市五马街道;温州永嘉站为郊区、平原公园代表站,位于东城

街道浦口村小平山;温州洞头站为海岛、水体附近代表站,位于东屏镇后坑村;温州平阳站为浅山景区代表站,位于平阳县昆阳镇东门山;衢州钱江源站为高山林区代表站,位于开化县齐溪镇。

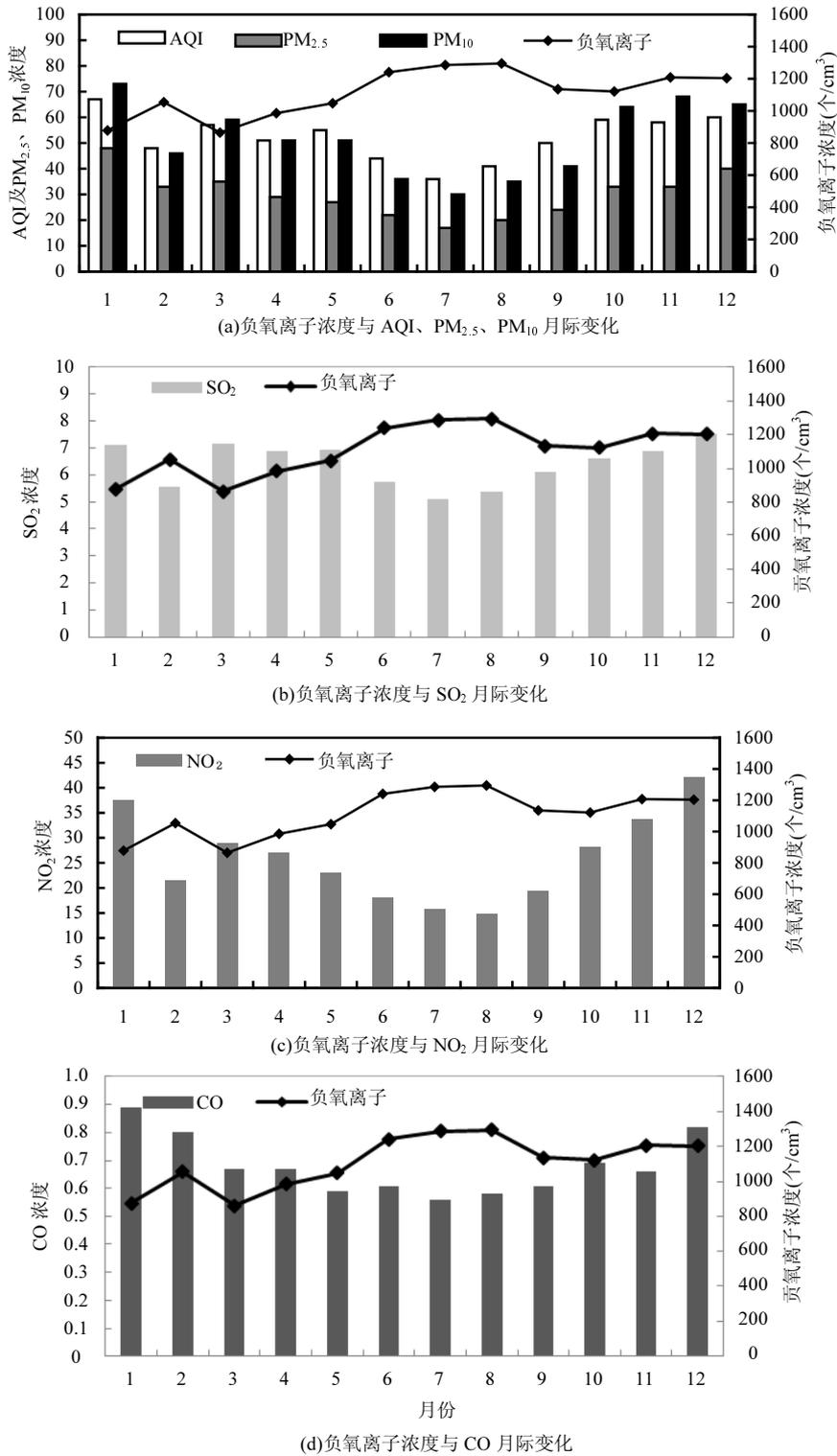


图5 负氧离子浓度与环境要素月际变化

Fig.5 Monthly variations of negative oxygen ions concentration and environmental factors

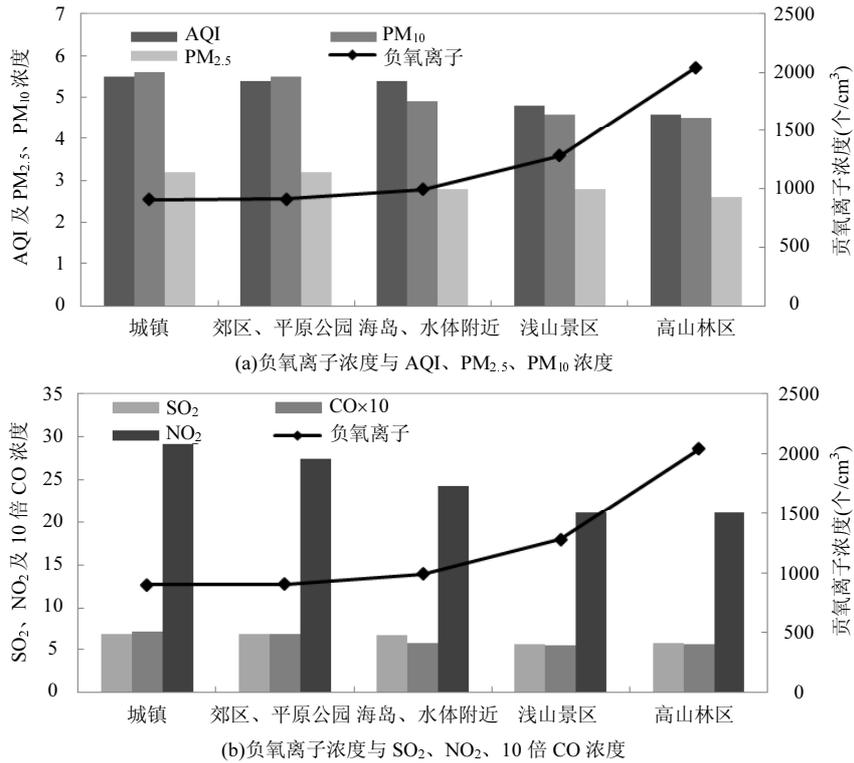


图 6 5 类站负氧离子浓度与环境要素对比图

Fig.6 Comparison of negative oxygen ions concentration and environmental factors for five types of observatories

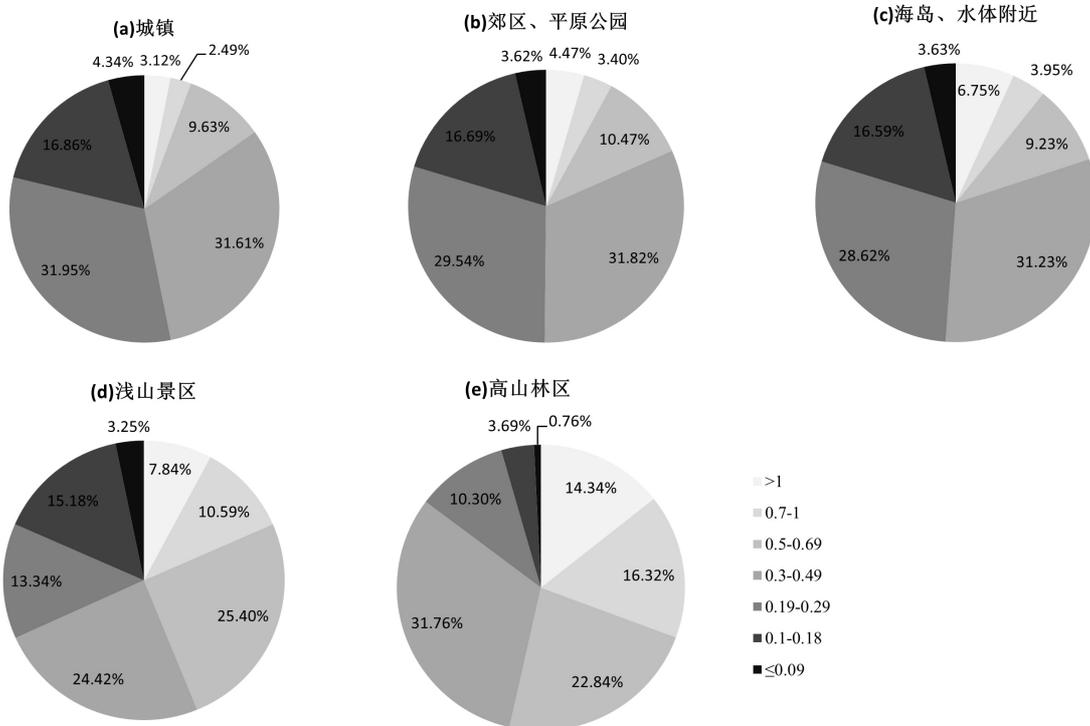


图 7 2019 年浙江省不同类型监测站安培空气质量评价指数分级占比

Fig.7 Percentage distribution of different levels of Ampere Air Quality Assessment Index for different types of observatories in Zhejiang province at year 2019

从安培空气质量评价情况来看,高山林区负氧离子含量高,空气质量最好,有 14%以上的观测频次

达到最清洁等级(CI>1.00),清洁(0.70≤CI≤1.0)和中等清洁(0.50≤CI<0.7)等级的比例也分别达到 16%以

上和 23%左右,达到允许(CI $\geq$ 0.3)以上等级的比例高达 85%.其次为浅山景区,负氧离子浓度较高,空气质量较好,约 8%左右的观测频次达到最清洁等级,清洁和中等清洁等级的比例分别达到 10%以上和 25%左右,达到允许以上等级的比例为 68%左右.海岛、水体附近和郊区、平原公园的空气质量条件比较接近,达到最清洁等级的比例海岛、水体附近要多于郊区、平原公园.城镇站的空气质量相对最差,达到中等清洁以上的比例明显减少,而轻污染比例有所增加.总体来看,空气质量与负氧离子浓度一致,基本表现为高山林区>浅山景区>海岛、水体附近>郊区、平原公园>城镇.

### 2.3 气象因子对负氧离子浓度的影响分析

**2.3.1 天气现象对负氧离子浓度的影响** 利用 89 个站共 48000 多次天气现象观测数据及对应的负氧离子浓度资料,统计了大风、雨、雷电、雪、雾、霾这 6 个天气现象发生时的平均负氧离子浓度,如图 8 所示.较大的风速使空气摩擦,继而产生负氧离子从而增加负氧离子浓度<sup>[36]</sup>,大风天气又有利于污染源的扩散,空气质量转好,所以负氧离子浓度也相对较高,平均值为 1235 个/cm<sup>3</sup>,达到清新级别.雨水对环境空气有冲刷清洁作用,雨水的冲击也会产生 Lenard 效应,提升周围空气的负氧离子浓度,因此负氧离子的平均浓度在雨天也能达到 994 个/cm<sup>3</sup>.空气中的氧分子在雷电的作用下,会分离出带负电的负氧离子,因此雷电发生时,会产生大量的负氧离子,瞬时值可以达 10000 个/cm<sup>3</sup>以上.加上雷电发生时,往往伴随着雷雨大风天气,空气质量也相对较好.因此雷电天气下负氧离子平均浓度能达到 1123 个/cm<sup>3</sup>,接近清新级别,浓度也较高.雪天由于气温低,光照少,植物光合作用微弱;但另一方面,可能由于人类活动减少,污染物排放减少,负氧离子浓度较高,为 828 个/cm<sup>3</sup>.雾、霾天空气污染较重,在污浊空气中,负氧离子的生成速率低于中和速率,负氧离子含量较低<sup>[4]</sup>,雾、霾天气发生时负氧离子浓度平均值分别为 692 个/cm<sup>3</sup>和 568 个/cm<sup>3</sup>.总体来看,负氧离子浓度为大风>雷电>雨>雪>雾>霾.

**2.3.2 气象要素对负氧离子浓度的影响** 选取 89 个站日降水量为 0mm、日平均风速 $\leq$ 1.5m/s 且非雾、霾天气的样本共计 7052 个,统计了日照时数、气温、相对湿度对应的负氧离子平均浓度.随着日照时数

的增加,负氧离子浓度基本呈现出明显增大的变化趋势.当日照时数为 0h,负氧离子平均浓度为 900 个/cm<sup>3</sup>左右;当日照时数达到 9h 以上,负氧离子平均浓度能达到 1000 个/cm<sup>3</sup>左右;当日照时数达到 12h,负氧离子平均浓度为 1200 个/cm<sup>3</sup>以上,达到“清新”级别.四季均表现出日照时数增加,负氧离子浓度增大的变化趋势,其中夏季最明显,秋、冬季其次,春季相对最弱.可见,晴天的负氧离子浓度高于阴天,因为日照时数越长,太阳辐射越强,植物光合作用越强,空气中的负氧离子通过植物的尖端放电和光电效应产生,因而周边空气负氧离子的浓度增加<sup>[4]</sup>.

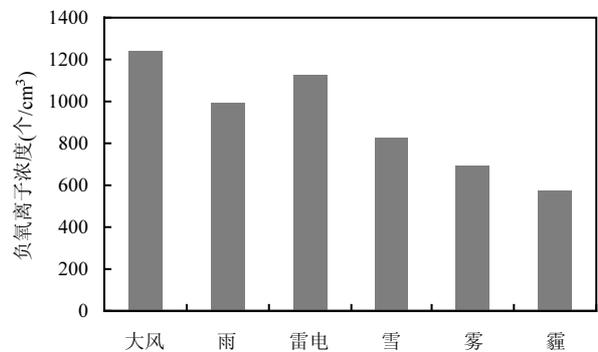


图 8 六类天气现象发生时的负氧离子平均浓度  
Fig.8 Average negative oxygen ions concentration when 6 types of weather phenomena occur

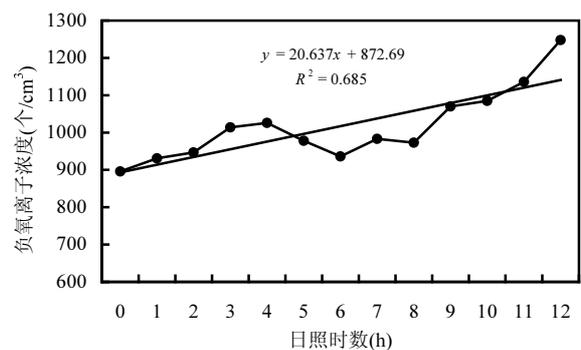


图 9 日照时数和负氧离子浓度对应变化  
Fig.9 Changes in negative oxygen ions concentration against changes in sunshine duration

温度升高可使分子运动速度加快,相互间碰撞几率增大,产生的负氧离子增多,当日平均气温在 2~15℃和 23~31℃之间时,随着气温的上升,负氧离子浓度基本呈现增大的变化趋势.另一方面,2~15℃气温上升阶段对应的季节是由冬季到春季,是植物由“休眠”到“生长发育”的阶段,植物能通过尖端放

电和光电效应产生负氧离子,大量吸收空气中的灰尘,因而周边空气负氧离子的浓度随之增加.23~31℃气温上升阶段对应的季节是夏季,是植物生长“繁盛”时期,随着温度的升高,植物光合作用增强,产生的负氧离子越多.夏季也是降水最丰沛的季节,水体Lenard 效应增强,产生的负氧离子也越多.当日平均气温在 15~23℃和 31~33℃之间时,随着气温的升高,负氧离子浓度呈现出减小趋势;15~23℃阶段对应的季节是最适宜出游的春季和秋季,人类活动增多,汽车尾气等污染物排放增多,产生的负氧离子容易被中和,浓度减小.当日平均气温达到 31~33℃时,为处于最高气温达 35℃以上甚至 37℃以上的盛夏,由于气温过高,植物体内的酶活性降低,光合作用受限,释放的负氧离子减少.

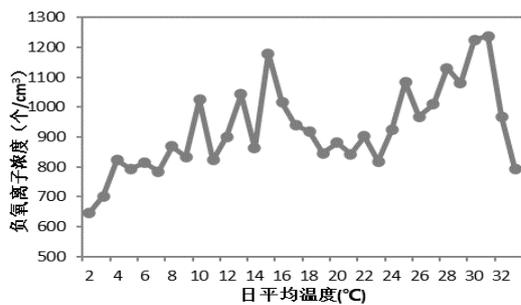


图 10 温度和负氧离子浓度对应变化

Fig.10 Changes in negative oxygen ions concentration against changes in air temperature

春季,相对湿度在 46%~80%时,负氧离子浓度随着相对湿度的增大呈缓慢增大的变化趋势,浓度在 800~950 个/cm<sup>3</sup> 左右;相对湿度达到 80%以上时,负氧离子浓度随着相对湿度的增大有比较明显的减小趋势,当相对湿度达到 90%以上时,负氧离子浓度减小至 600 个/cm<sup>3</sup> 左右.

夏季,相对湿度较其他季节高,负氧离子浓度基本呈现随相对湿度增大而减小的变化趋势,且减小的趋势比较显著.当相对湿度在 61%~65%时,负氧离子浓度达到峰值 1300 个/cm<sup>3</sup> 左右;而当相对湿度达到 90%以上时,负氧离子浓度只有 650~700 个/cm<sup>3</sup> 左右.

秋季,随着相对湿度的增大,负氧离子浓度呈现先增大后减小的变化趋势,相对湿度在 50%以下时,负氧离子浓度大概在 700 个/cm<sup>3</sup> 左右;当相对湿度达到 50%~75%时,负氧离子浓度约为 1000~1100 个

/cm<sup>3</sup> 左右;当相对湿度达到 75%以上时,负氧离子浓度开始减小,到相对湿度达 90%以上时,负氧离子浓度减小至 650 个/cm<sup>3</sup> 左右.

冬季,除相对湿度较低和较高时负氧离子浓度较小,在 550 个/cm<sup>3</sup> 左右;其余的相对湿度对应的负氧离子浓度基本在 800~950 个/cm<sup>3</sup> 左右.

总体来看,当相对湿度<75%时,随着湿度的增大,负氧离子浓度增大.因为根据负氧离子形成机理,环境空气中须有一定的含水量才可以形成空气负氧离子,因此随着湿度增大,空气中的水分子增多,负氧离子浓度也随之增大.相对湿度在 50%~75%时,为相对适宜的相对湿度,对应的负氧离子浓度也较高.但相对湿度太低或太高时,负氧离子浓度较低,高温高湿环境不利于负氧离子的产生.

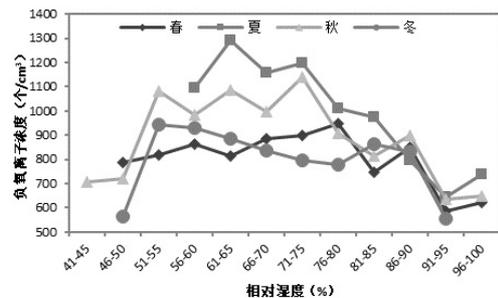


图 11 四季相对湿度和负氧离子浓度对应变化

Fig.11 Changes in negative oxygen ions concentration against changes in relative humidity at four seasons

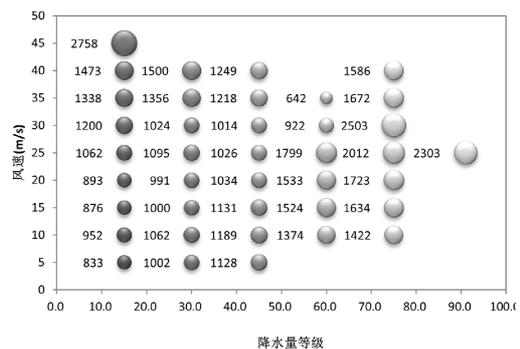


图 12 降水量、风速和负氧离子浓度对应变化

Fig.12 Changes in negative oxygen ions concentration against changes in precipitation and wind speed

选取 89 个站非雾、霾天气的样本共计 26047 个,统计了降水量及风速变化对负氧离子浓度变化的可能影响.当降水量为小雨、中雨和大雨时,负氧离子浓度基本随风速的增大而增大,且在小雨时增大最明显;而当降水量达到暴雨或大暴雨量级时,负氧离子浓度随风速增大有先增大后减小的变化.当

风速在一定范围内时,负氧离子浓度基本上随着降水量的增多而增大.四季均呈现出相似的变化特征.总体而言,降水量越大、风速越大,负氧离子浓度基本呈现出升高的变化趋势;但这个增大不是持续不断的,当雨量达到暴雨级别、风速达到强风级别以上时,负氧离子浓度开始出现回落的变化趋势.雨水的冲刷、风的扩散作用都有利于污染物的消散,提升负氧离子浓度,但是狂风暴雨可能也会破坏负氧离子的生成或维持.

### 3 结论

**3.1** 浙南和浙西森林覆盖率高的山区空气负氧离子含量高,年平均浓度基本均在 1000 个/cm<sup>3</sup> 以上;浙北平原负氧离子浓度相对较低,大部分站年平均浓度在 500~1000 个/cm<sup>3</sup> 左右.全省有 27 个站的年平均浓度达到 1200 个/cm<sup>3</sup> 以上,其中 7 个站超过 2000 个/cm<sup>3</sup>.负氧离子浓度基本表现为高山林区>浅山景区>海岛、水体附近>郊区、平原公园>城镇,5~9 月浓度较高,1~4 月浓度较低.

**3.2** 从安培空气质量评价情况来看,高山林区有 14% 以上的观测频次达到最清洁等级,中等清洁等级以上的比例达到 53% 左右;其次为浅山景区,约 8% 左右达到最清洁,中等清洁等级以上的比例达到 43% 左右;海岛、水体附近和郊区、平原公园的空气质量条件比较接近,城镇站的空气质量相对最差,达到中等清洁以上的比例明显减少.

**3.3** 环境因素对负氧离子浓度有一定的影响,90% 以上站点的日 AQI、PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub> 和 70%~80% 左右站点的日 SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、CO 与日平均负氧离子浓度呈显著负相关.负氧离子浓度与环境因素的月际、季节变化也呈现出明显的负相关性,说明 AQI、PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>、SO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、CO 值越低,负氧离子浓度越高,空气质量越好.

**3.4** 气象因子对负氧离子浓度有一定的影响.负氧离子平均浓度在大风天和雨天分别为 1235 和 994 个/cm<sup>3</sup>,雷电天为 1123 个/cm<sup>3</sup>,雪天为 828 个/cm<sup>3</sup>,雾、霾天分别为 692 和 568 个/cm<sup>3</sup>.随着日照时数的增加,负氧离子浓度基本呈现出明显增大的变化趋势.当日平均气温在 2~15℃ 和 23~31℃ 之间时,随着气温的上升,负氧离子浓度基本呈现增大的变化趋势;其余温度时相反.50%~75% 为相对适宜的相对湿度,对

应的负氧离子浓度也较高.降水量越大、风速越大,负氧离子浓度基本呈现出升高的变化趋势;但这个增大不是持续不断的,当雨量达到暴雨级别、风速达到强风级别以上时,负氧离子浓度开始有出现回落的变化趋势.

### 参考文献:

- [1] Pino O, Ragione F L. There's something in the air: Empirical evidence for the effects of negative air ions (NAI) on psychophysiological state and performance [J]. *Science & Education*, 2013,14(4):48-53.
- [2] Krueger A P, Reed E J. Biological impact of small airions [J]. *Science*, 1976,25(193):1209-1213.
- [3] Stavrovskaja I G, Sirota T V, Saakian I R, et al. Optimization of energy dependent processes in mitochondria from rat liver and brain after inhalation of negative air ions [J]. *Bipofizika*, 1998,43(5):766-771.
- [4] 王薇,余庄.中国城市环境中空气负氧离子研究进展 [J]. *生态环境学报*, 2013,22(4):705-711.  
Wang W, Yu Z. Research progress on negative air ions in urban environment in China [J]. *Ecology and Environment Sciences*, 2013, 22(4):705-711.
- [5] 曹建新,张宝贵,张友杰.海滨、森林环境中空气负氧离子分布特征及其与环境因子的关系 [J]. *生态环境学报*, 2017,26(8):1375-1383.  
Cao J X, Zhang B G, Zhang Y J. Characteristics of air anion distribution in beach and forest environment and the correlation between air anion and the environmental factors [J]. *Ecology and Environment Sciences*, 2017,26(8):1375-1383.
- [6] 邵海荣,贺庆棠,阎海平,等.北京地区空气负氧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.  
Shao H R, He Q T, Yan H P, et al. Spatio-temporal changes of negative air ion concentrations in Beijing [J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2005,27(3):35-39.
- [7] 石强,钟林生,吴楚材.森林环境中空气负氧离子浓度分级标准 [J]. *中国环境科学*, 2002,22(4):33-36.  
Shi Q, Zhong L S, Wu C C. Grades standard of aeroanion concentration in forest surroundings [J]. *China Environmental Science*, 2002,22(4):33-36.
- [8] 王顺利,刘贤德,金铭,等.甘肃省森林区空气负氧离子分布特征研究 [J]. *生态环境学报*, 2010,19(7):1563-1568.  
Wang S L, Liu X D, Jin M, et al. Distribution characteristics of negative air ions in forest region of Gansu [J]. *Ecology and Environment*, 2010,19(7):1563-1568.
- [9] 穆丹,梁英辉.城市不同绿地结构对空气负氧离子水平的影响 [J]. *生态学杂志*, 2009,28(5):988-991.  
Mu D, Liang Y H. Effects of urban greenbelt structure on air negative ions concentration [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2009,28(5):988-991.
- [10] 赵文涛,华和安,邢震,等.基于空气负氧离子浓度的林芝市城市绿地公园空气清洁度评价 [J]. *高原农业*, 2021,5(2):128-134.  
Zhao W T, Hua H A, Xing Z, et al. Evaluation of air cleanliness of urban green space parks in nyingchi based on the concentration of negative oxygen ions [J]. *Journal of Plateau Agriculture*, 2021,5(2):

- 128-134.
- [11] 刘双芳,张维康,韩静波,等.不同植被结构对空气质量的调控功能[J]. 生态环境学报, 2020,29(8):1602-1609.
- Liu S F, Zhang W K, Han J B, et al. Regulation of air quality by different vegetation structures in a green space [J]. *Ecology and Environment Sciences*, 2020,29(8):1602-1609.
- [12] 王晓磊,李传荣,许景伟,等.济南市南部山区不同模式庭院林空气负氧离子浓度[J]. 应用生态学报, 2013,24(2):373-378.
- Wang X L, Li C R, Xu J W, et al. Air negative ion concentration in different modes of courtyard forests in southern mountainous areas of Jinan, Shandong Province of East China [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2013,24(2):373-378.
- [13] 姚益平,郁珍艳,李正泉,等.浙江省空气负氧离子浓度分布特征[J]. 气象科技, 2019,47(6):1006-1013.
- Yao Y P, Yu Z Y, Li Z Q, et al. Concentration distribution characteristics of negative oxygen ions over Zhejiang Province [J]. *Meteorological Science and Technology*, 2019,47(6):1006-1013.
- [14] Wang J, Li S H. Changes in negative air ions concentration under different light intensities and development of a model to relate light intensity to directional change [J]. *Journal of Environmental Management*, 2009,90(8):2746-2754.
- [15] 穆丹,梁英辉.佳木斯绿地空气负氧离子浓度及其与气象因子的关系[J]. 应用生态学报, 2009,20(8):2038-2041.
- Mu D, Liang Y H. Air negative ion concentration and its relationships with meteorological factors in greenbelts of Jiamusi, Heilongjiang Province [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2009,20(8):2038-2041.
- [16] 王薇,张之秋.城市住区空气负氧离子浓度时空变化及空气质量评价—以合肥市为例[J]. 生态环境学报, 2014,23(11):1783-1791.
- Wang W, Zhang Z Q. Spatio-temporal change of negative air ion concentration of urban residential area and air quality assessment-case study of Hefei City [J]. *Ecology and Environment*, 2014,23(11):1783-1791.
- [17] 韦朝领,王敬涛,蒋跃林,等.合肥市不同生态功能区空气负氧离子浓度分布特征及其与气象因子的关系[J]. 应用生态学报, 2006,17(11):2158-2162.
- Wei C L, Wang J T, Jiang Y L, et al. Air negative charge ion concentration and its relationships with meteorological factors in different ecological functional zones of Hefei City [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006,17(11):2158-2162.
- [18] 毛成忠,于乃莲,杜佳乐,等.典型城市区与森林区空气负氧离子特征比较分析[J]. 气象科技, 2014,42(6):1083-1089.
- Mao C Z, Yu N L, Du J L, et al. Characteristic comparison of negative oxygen ions between typical urban and forest areas [J]. *Meteorological Science and Technology*, 2014,42(6):1083-1089.
- [19] 王薇.空气负氧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.
- Wang W. Characteristics of negative air ion concentration and its relationships with environmental factors [J]. *Ecology and Environment*, 2014,23(6):979-984.
- [20] Ling X, Jayaratne R, Morawska L. Air ion concentrations in various urban outdoor environments [J]. *Atmospheric Environment*, 2010,44:2186-2193.
- [21] 王薇,余庄,郑非艺.不同环境场所夏季空气负氧离子浓度分布特征及其与环境因子的关系[J]. 城市环境与城市生态, 2012,25(2):38-40.
- Wang W, Yu Z, Zheng F Y. Characteristics of negative air ion concentration and its relationships with environmental factors in various environments in summer [J]. *Urban Environment and Urban Ecology*, 2012,25(2):38-40.
- [22] 余海,辛学兵,裴顺祥,等.九龙江林缘地区空气负氧离子浓度变化特征及与气象因素关系[J]. 生态科学, 2018,37(6):191-198.
- Yu H, Xin X B, Pei S X, et al. Characteristics of air anion change and its relationship with meteorological factors in forest margin area of Jiulong Mountain [J]. *Ecological Science*, 2018,37(6):191-198.
- [23] 李少宁,赵旭,王君怡,等.北京西山国家森林公园空气负氧离子与NO<sub>x</sub>浓度动态特征分析[J]. 生态环境学报, 2021,30(8):1654-1661.
- Li S N, Zhao X, Wang J Y, et al. Dynamic characteristic analysis of negative air ion and NO<sub>x</sub> concentration in Beijing Xishan National Forest Park [J]. *Ecology and Environment Sciences*, 2021,30(8):1654-1661.
- [24] 叶彩华,王晓云,郭文利.空气中负氧离子浓度与气象条件关系初探[J]. 气象科技, 2000,28(4):51-52.
- Ye C H, Wang X Y, Guo W L. Preliminary study on the relationship between the concentration of anion in air and meteorological conditions [J]. *Meteorological Science and Technology*, 2000,28(4):51-52.
- [25] 何张齐,刘其闻,林玲春,等.城区空气负氧离子日变化及其与环境、气象因子的相关性研究[J]. 安徽农业科学, 2015,43(28):260-262.
- He Z Q, Liu Q C, Lin L C, et al. Research on the aero anion concentration's diurnal variation and its correlation with environmental factors and meteorological factors of urban areas [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2015,43(28):260-262.
- [26] 冯鹏飞,于新文,张旭.北京地区不同植被类型空气负氧离子浓度及其影响因素分析[J]. 生态环境学报, 2015,24(5):818-824.
- Feng P F, Yu X W, Zhang X. Variations in negative air ion concentrations associated with different vegetation types and influencing factors in Beijing [J]. *Ecology and Environment Sciences*, 2015,24(5):818-824.
- [27] Retalis D, Pitta A, Psallidas P. The conductivity of the air and other electrical parameters in relation to meteorological elements and air pollution in Athens [J]. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 1991,46(3):197-204.
- [28] 常艾,刘敏,李常陵.探讨空气负氧离子浓度与气象条件的关系[J]. 北京农业, 2015,(6):116-117.
- Chang A, Liu M, Li C L. Probing into the relationship between air anion concentration and meteorological conditions [J]. *Beijing Agriculture*, 2015(6):116-117.
- [29] 熊丽君,王卿,龚静香,等.城市2种用地空气负氧离子与污染因子的关联性[J]. 环境科学与技术, 2019,42(S1):163-172.
- Xiong L J, Wang Q, Gong J X, et al. Correlation between air anions and pollution factors on two city sites [J]. *Environmental Science and Technology*, 2019,42(S1):163-172.
- [30] 李媛,鲁绍伟,李少宁,等.北京城市森林空气负氧离子与臭氧特征及相互作用[J]. 西南林业大学学报, 2021,41(3):53-61.
- Li A, Lu S W, Li S N, et al. Characteristics and interaction of negative

- air ions and ozone in Beijing urban forest [J]. Journal of Southwest Forestry University, 2021,41(3):53-61.
- [31] 顾小丽,钱燕珍,鲍岳建,等.宁波市负氧离子浓度分布与预测模型及其在旅游气象中的应用 [J]. 气象与环境学报, 2013,29(6):128-133.  
Gu X L, Qian Y Z, Bao Y J, et al. The distribution of oxygen anion concentration, forecasting model in Ningbo and its application in tourism meteorology [J]. Journal of Meteorology and Environment, 2013,29(6):128-133.
- [32] 任晓旭,陈勤娟,董建华,等.杭州城区空气负氧离子特征及其与气象因子的关系 [J]. 环境保护科学, 2016,42(3):109-112.  
Ren X X, Chen Q J, Dong J H, et al. Characteristics of negative air ions and their relationship with meteorological factors in the inhabited areas of Hangzhou City [J]. Environmental Protection Science, 2016,42(3):109-112.
- [33] 史 琰,金荷仙,唐宇力.杭州西湖山林与市区空气负氧离子浓度比较研究 [J]. 中国园林, 2009,25(4):82-85.  
Shi Y, Jin H X, Tang Y L. Comparative study of negative air ions of the West Lake forest and urban district in Hangzhou [J]. Chinese Landscape Architecture, 2009,25(4):82-85.
- [34] 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.  
Liao R J, Yan X J, Jiang B, et al. Variation characteristics of negative air ions concentrations and influencing factors in Lingjiushan Mountain National Forest Health Base [J]. Journal of Zhejiang Forestry Science and Technology, 2021,41(5):36-41.
- [35] DB33/T 2226-2019 空气负(氧)离子观测与评价技术规范 [S].  
DB33/T 2226-2019 Specification on observation and evaluation on air negative oxygen ion [S].
- [36] 吴志湘,黄 翔,黄春松,等.空气负氧离子浓度的实验研究 [J]. 西安工程科技学院学报, 2007,(6):803-806.  
Wu Z X, Huang X, Huang C S, et al. Experimental research on the concentration of negative air ions [J]. Journal of Xi'an University of Engineering Science and Technology, 2007,(6):803-806.

**作者简介:** 郁珍艳(1984-),女,硕士,高级工程师,主要从事气候变化与生态环境方面研究.发表论文 20 余篇.