

南宁市典型森林公园空气负氧离子特征及影响因素研究*

陈绮锴¹ 陆晓婧¹ 邓嘉丽¹ 陆冰敏¹ 田红灯² 甘国娟¹

(1. 南宁师范大学, 广西 南宁 530001; 2. 广西壮族自治区林业科学研究院, 广西 南宁 530002)

摘要 以南宁市石门森林公园和狮子山公园为研究对象, 监测其空气负氧离子浓度和气温、相对湿度、PM_{1.0}、PM_{2.5}、PM₁₀ 等环境因子, 研究森林公园空气负氧离子变化特征及影响因素。结果表明: 不同区域负氧离子浓度为草坪 < 灌木林 < 乔木林; 空气负氧离子浓度城郊森林公园显著高于城区森林公园; 晴天两公园的负氧离子浓度均可达到第 5 级标准, 浓度日变化曲线交替出现波峰波谷, 晴天, 狮子山公园峰值在 12:00 时和 16:00 时出现, 石门森林公园峰值在 12:00 时和 15:00 时出现, 雨天负氧离子浓度基本呈 U 型分布, 两边高中间低; 空气负氧离子浓度为雨天 > 晴天 > 阴天; 此外, 空气负氧离子浓度与气温、相对湿度呈显著正相关, 与 PM_{1.0}、PM_{2.5}、PM₁₀ 均呈极显著负相关。

关键词 森林公园; 空气负氧离子; 特征; 气象因子

中图分类号: X823 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-2053 (2022) 03-0128-08

Characteristics and Influencing Factors of Air Negative Oxygen Ions in Typical Forest Parks in Nanning City

CHEN Qikai¹ LU Xiaojing¹ DENG Jiali¹ LU Bingmin¹
TIAN Hongdeng² GAN Guojuan¹

(1. Nanning Normal University, Nanning, Guangxi 530001, China; 2. Guangxi Zhuang Autonomous Region Forestry Research Institute, Nanning, Guangxi 530002, China)

Abstract Air negative oxygen ions have the effect of antibacterial and dust removal, promoting metabolism and improving human immunity, which is one of the indicators to measure the good and bad of urban green lung function. Taking Shimen Forest Park and Lion Mountain Park in Nanning City as research objects, and the air negative oxygen ion concentration and the meteorological environmental factors which include temperature, humidity, PM_{1.0}, PM_{2.5}, and PM₁₀ and so on were monitored to research the change characteristics and influencing factors of air negative oxygen ions in forest park. The results showed that the negative oxygen ion concentration in different areas was lawn < shrubbery < arbor forest, and in the same city was suburban forest park significantly higher than urban forest park. The concentration of negative oxygen ion in two parks could reach the level 5 standard on sunny day. The diurnal curve of negative oxygen ion concentration in two parks alternated peaks and troughs on sunny day, the peaks of Lion Mountain Park appeared at 12:00 and 16:00, and the peaks of Shimen Forest Park appeared at 12:00 and 15:00. The diurnal curve of negative oxygen ion concentration was a U-shaped that the middle is low, and the sides are high on rainy day. The air negative oxygen ion concentration was

* 基金项目: 南宁师范大学博士科研启动资金项目 (602021239143), 南宁师范大学大学生创新创业项目 (0620063786), 广西优良用材林资源培育重点实验室自主课题 (2020-A-04-02), 广西地表过程与智能模拟重点实验室联合开放或系统基金项目 (NNNU-KLOP-K1902)。

第一作者: 陈绮锴 (2000—), 女, 在读本科, 研究方向为环境工程, E-mail: 2207874021@qq.com。

通信作者: 甘国娟 (1987—), 女, 助理研究员, 主要从事环境工程相关研究工作, E-mail: 459791329@qq.com。

rainy day > sunny day > cloudy day. In addition, the negative oxygen ion concentration of air was significantly positively correlated with air temperature and relative humidity, and was significantly negatively correlated with $PM_{1.0}$, $PM_{2.5}$ and PM_{10} . The above results can provide data support for the construction layout, leisure and health care, vegetation collocation and forest planning of Nanning Forest Park.

Key words forest park; air negative oxygen ion; characteristics; meteorological factors

空气负氧离子被誉为“空气维生素”，既可抑菌除尘，又可提高人体免疫力^[1-2]。随着人们生活水平的提高，对保健养生的追求，负氧离子的监测和预测研究显得尤为重要。鉴于空气负氧离子的重要性，国内外学者广泛开展研究并取得重要进展，揭示了空气负氧离子浓度的时空变化规律^[3-6]。高瑶瑶等^[7]发现不同的群落结构、树种以及植物种对环境内负氧离子浓度的影响差异显著；李巧云等^[8]发现空气负氧离子浓度与温度、降雨量、相对湿度基本呈正相关，降雨量对其存在显著影响；林锦冰等^[9]发现黄满寨瀑布旅游区的负氧离子浓度四季都有较明显的日变化特征；赵文涛等^[10]发现林芝市绿地公园空气负离子呈现明显的日变化趋势，峰值多出现在 11:00—14:00 时之间。众多研究显示，植被空间分布、气象因子及人类活动干扰等是影响空气负氧离子浓度的主要因素^[11-15]。城市公园被誉为“城市绿肺”，空气负氧离子作为衡量绿肺功能优劣指标之一^[16]，而目前关于华南地区城市森林公园负氧离子特征研究鲜有报道。

广西南宁市地处亚热带、北回归线以南，位于中国华南地区，本文以南宁市典型森林公园为研究对象，研究不同区域空气负氧离子浓度的变化情况，对比两公园空气负氧离子浓度的日均变化规律，分析不同环境因素对空气负氧离子浓度的影响，以期发现其基本规律，弥补数据空白，进而为城市居民的日常生活及南宁市生态建设，如加强森林公园建设布局、植被搭配等提供数据支持和参考依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

南宁市城市公园绿地面积占城市总面积的 36.2%，人均公园绿地面积达到 $13.22 m^2$ ^[17]。南宁市地处华南，风景秀丽，是城中有林、林围城市的绿城。石门森林公园坐落于南宁市青秀区，距南宁市市中心 5 km，地处 $22^{\circ}48' \sim 22^{\circ}49'N$ ，

$108^{\circ}23' \sim 108^{\circ}23'E$ 之间，森林覆盖率达 94.59%，是典型的城区森林公园；狮子山公园位于南宁市武鸣区，距南宁市市中心约 45 km，地处 $23^{\circ}9' \sim 23^{\circ}9'N$ ， $108^{\circ}15' \sim 108^{\circ}16'E$ 之间，森林覆盖率达 90.7%，是典型的城郊森林公园，监测样地概况见表 1。

1.2 数据采集与分析

武鸣区狮子山公园和青秀区石门公园监测时段为 2021 年 10 月 1 日—11 月 31 日，监测时间为每周日，正值南宁秋季。每个公园选择灌木区、草坪区和乔木区 3 个观测区，在每个区域采用梅花形布点法布设 5 个监测点，3 个区域共 15 个监测点。每个监测点进行 8 d 的监测，每天 08:00—18:00 时，每隔 1 h 记录 1 次数据。测定前仪器进行校正，待仪器稳定后读取数据。每个监测点分别进行东南西北 4 个方向数据的读取，每个方向读取 3 组数据，取均值得到该监测点的负氧离子浓度，同时记录相应的气温、相对湿度、 $PM_{1.0}$ 、 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 值。监测采用手持式空气负氧离子自动检测仪，其测量原理为电容式吸入法，测量范围是 $0 \sim 20$ 万 $PCs \cdot cm^{-3}$ ，测量精度 $\pm 15\%$ ，分辨率 $1 PCs \cdot cm^{-3}$ 。测量时，仪器测量口离地 1.5 m，并用三角支架水平放置监测仪器。

在数据处理前，将数据异常值及缺失值进行剔除，运用 Microsoft Excel 2010、SPSS Statistics 20.0 软件进行数据处理和制图。采用的统计方法主要是算数平均法以及数据显著性检验。

1.3 环境区域的等级划分标准

本文参照朱舒欣等^[18]对空气负氧离子在自然生态环境中的浓度分布与等级划分标准（表 2）进行划分。

2 结果与分析

2.1 不同区域空气负氧离子浓度的变化

2.1.1 公园内不同区域负氧离子浓度分布情况及等级评价 以南宁市典型森林公园晴天空气负氧

离子浓度为分析对象，分析公园内各区域负氧离子浓度分布情况及等级评价，从表 3 可知，不同区域负氧离子的浓度表现为草坪区 < 灌木区 < 乔木区。狮子山公园乔木林区域、灌木林区域和草坪区域的负氧离子平均浓度分别为 1 445、1 084、910 个·cm⁻³，其中草坪区域和灌木林区域达到 5 级标准，具有增强人体免疫力、抗菌力的作用，有利于人体健康；乔木林区域的空气负氧离子浓度可达 6 级标准，具有杀灭病菌、减少疾病传染的作用，对人体健康相当有利。石门森林公园乔木林区域、灌木林区域和草坪区域的负氧离子平均浓度分别为 1 000、915、850 个·cm⁻³，其中草坪区域空气负氧离子浓度为 4 级标准，具有维持人体健康基本需求的作用；灌木林区域和乔木林区域可达到 5 级标准，对人体健康有利。

2.1.2 负氧离子浓度与公园所处城市空间位置的关系 通过 10—11 月的定点监测，发现武鸣狮子山公园各时段各区域的负氧离子平均浓度均比石门森林公园的负氧离子平均浓度高（图 1）。由于武鸣狮子山公园远离市中心，地处郊外，其所受到的城市因素干扰及人类影响较少，空气负氧离子的消耗量小于石门森林公园的消耗量。

2.2 两公园空气负氧离子浓度的日均变化规律

2.2.1 武鸣区狮子山公园空气负氧离子浓度日变化特征 晴天武鸣区狮子山公园空气负氧离子平均浓度在 1 115~1 430 个·cm⁻³ 波动，达到 5 级和 6 级标准。其浓度日变化曲线交替出现波峰波谷（图 2），有 2 个波峰，分别出现在 12:00 时（1 375 个·cm⁻³）和 16:00 时（1 275 个·cm⁻³）；有 2 个波谷，分别出现在 10:00 时（1 145 个·cm⁻³）和 14:00 时（1 124 个·cm⁻³）。雨天空气负氧离子平均浓度在 1 750~2 125 个·cm⁻³ 范围内波动，其浓度变化动态与晴天有较大差异，波峰波谷出现的

频数相比于晴天出现的频数有所减少，浓度分布主要受到降雨影响，波峰往往出现在降雨时段。分析发现，雨天负氧离子浓度基本呈 U 型分布，两边高中间低，高浓度值主要集中在 08:00—10:00 时和 17:00—18:00 时。

2.2.2 青秀区石门公园空气负氧离子浓度日变化特征 晴天青秀区石门公园空气负氧离子浓度日变化幅度较小，在 847~1 068 个·cm⁻³ 波动（图 3），达到 4~5 级标准。其浓度随时间的日变化规律：08:00 时空气负氧离子浓度处于一个较高值（900 个·cm⁻³），12:00 时达到一个波峰（1 068 个·cm⁻³），随后逐渐波动下降，14:00 时降至较低值 867 个·cm⁻³，随后缓慢上升，在 15:00 时处达到一个小波峰（963 个·cm⁻³），整体上晴天的负氧离子浓度变化幅度较小。雨天空气负氧离子浓度日变化明显，大致呈现 U 型分布，存在 2 个峰值，分别出现在 10:00 时（1 486 个·cm⁻³）和 16:00（1 498 个·cm⁻³）。

2.3 不同环境因素对空气负氧离子浓度的影响

2.3.1 不同天气条件下负氧离子浓度特征 选取所测数据中晴天、阴天、雨天 3 种天气类型，其中晴天有 3 d，雨天有 3 d，阴天有 2 d，计算 3 种不同的天气条件下空气负氧离子浓度平均值（表 4），比较得出负氧离子浓度大小关系：雨天 > 晴天 > 阴天。武鸣区狮子山公园晴天、阴天、雨天的平均负氧离子浓度分别为 1 249.90、907.65、1 917.73 个·cm⁻³；青秀区石门公园晴天、阴天、雨天的平均负氧离子浓度分别为 927、609.12、1 377.18 个·cm⁻³，可以发现城郊武鸣区狮子山公园和城中心青秀区石门森林公园的负氧离子浓度均为雨天 > 晴天 > 阴天。整体上，南宁市森林公园雨天的负氧离子浓度相对高于晴天负氧离子浓度，空气更为清新。

表 1 两公园样地选取概况
Tab. 1 The overview of sample plots selection in two parks

地点 Location	草坪 Lawn		灌木林 Shrubbery		乔木林 Arbor forest	
	面积 /m ² Area	建群种 Group species	面积 /m ² Area	建群种 Group species	面积 /m ² Area	建群种 Group species
狮子山公园 Lion Mountain Park	415.0	地毯草 <i>Axonopus compressus</i>	25	杜鹃花 <i>Rhododendron simsii</i>	300.00	铁杉 <i>Tsuga chinensis</i>
石门森林公园 Shimen Forest Park	460.8	地毯草	27	鹅掌柴 <i>Schefflera octophylla</i>	264.42	润楠 <i>Machilus nanmu</i>

表 2 空气负氧离子浓度等级标准^[18]

Table 2 Air negative oxygen ion concentration level standards

负氧离子浓度 / (个 · cm ⁻³) Negative oxygen ion concentration	等级 Grade	身体效应 Physical effects	对健康的影响 Health effects
0~50	1	诱发形成各种疾病	极不利
51~200	2	易诱发生理障碍等	很不利
201~500	3	诱发生理障碍边缘	不利
501~900	4	维持人体健康基本需求	正常
901~1 200	5	增强人体免疫力抗菌力	有利
1 201~1 500	6	杀灭、减少疾病传染	相当有利
1 501~2 000	7	具有自然痊愈力	很有利
>2 000	8	具有治疗和康复功效	极有利

表 3 两公园不同区域等级评价

Table 3 Grade evaluation of different areas in two parks

公园 Park	区域 Region	负氧离子浓度 / (个 · cm ⁻³) Negative oxygen ion concentration	等级 Grade	身体效应 Physical effects	对健康的影响 Health effects
狮子山公园 Lion Mountain Park	草坪区 Lawn area	910	5	增强人体免疫力抗菌力	有利
	灌木区 Shrub area	1 084	5	增强人体免疫力抗菌力	有利
	乔木区 Arbor area	1 445	6	杀灭、减少疾病传染	相当有利
石门森林公园 Shimen Forest Park	草坪区 Lawn area	850	4	维持人体健康基本需求	正常
	灌木区 Shrub area	915	5	增强人体免疫力抗菌力	有利
	乔木区 Arbor area	1 000	5	增强人体免疫力抗菌力	有利

表 4 不同天气条件下空气负氧离子浓度 个 · cm⁻³
Table 4 Air negative oxygen ion concentration under different weather conditions

公园 Park	晴天 Sunny day	阴天 Cloudy day	雨天 Rainy day
狮子山公园 Lion Mountain Park	1 249.90	907.65	1 917.73
石门森林公园 Shimen Park	927.00	609.12	1 377.18

2.3.2 气象因子与大气负氧离子浓度的相关性分析 选取远离城市中心的武鸣区狮子山公园为对象,对空气负氧离子浓度和气象要素数据进行相关分析,由表 5 可知,空气负氧离子浓度与

气温、相对湿度、PM_{1.0}、PM_{2.5}、PM₁₀ 的相关系数分别为: 0.580*、0.546**、-0.613**、-0.604**、-0.596**。空气负氧离子浓度与气温、相对湿度呈现显著的正相关,而与 PM_{1.0}、PM_{2.5}、PM₁₀ 呈现极显著负相关。

3 结论与讨论

南宁市典型森林公园不同区域负氧离子浓度大小关系为: 草坪 < 灌木林 < 乔木林, 其中乔木林区域的空气负氧离子浓度均可达 5 级及以上的标准, 具有增强人体免疫力、抗菌力的作用, 有利于人体健康。空气负氧离子浓度与植被郁闭度存在较大关系, 植被郁闭度关乎到植被类型, 由

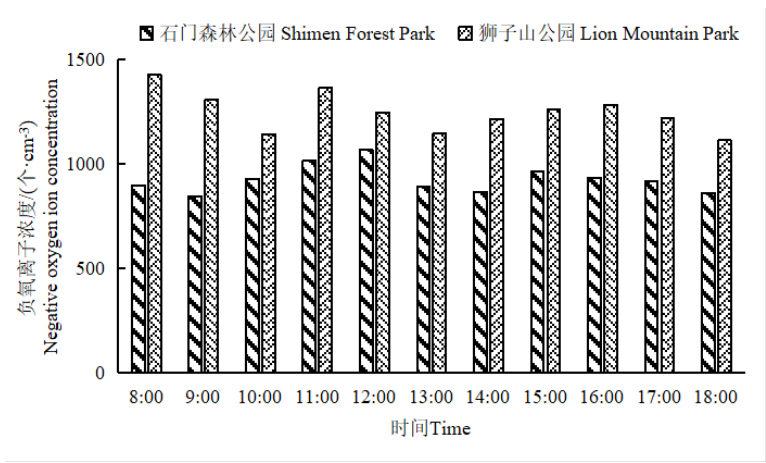


图 1 相同时刻两公园负氧离子平均浓度对比

Fig. 1 Comparison of average concentration of negative oxygen ions in two parks at the same time

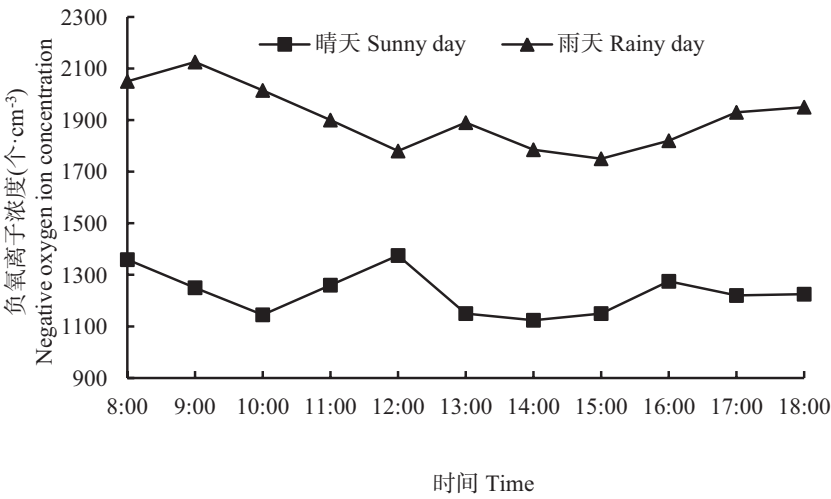


图 2 狮子山公园负氧离子浓度日变化

Fig. 2 Daily variation of negative oxygen ion concentration in Lion Mountain Park

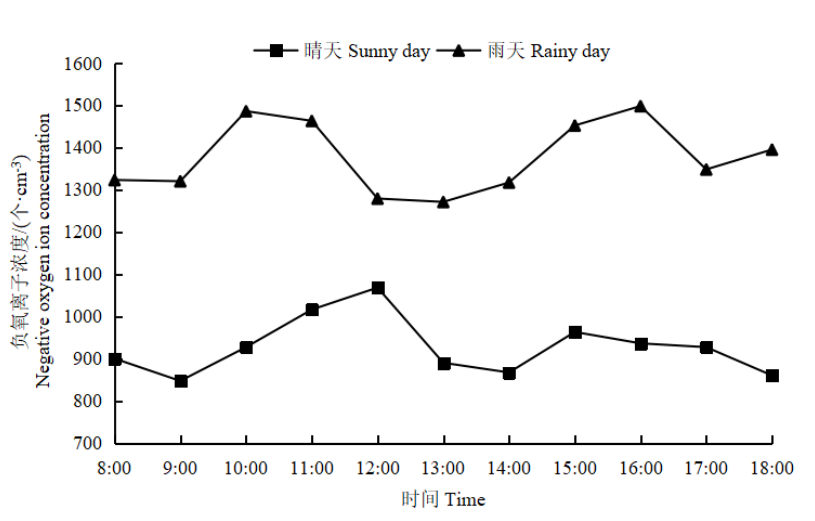


图 3 石门森林公园负氧离子浓度日变化

Fig. 3 Daily variation of negative oxygen ion concentration in Shimen Forest Park

表 5 狮子山公园空气负氧离子浓度与气象因子的相关系数

Table 5 Correlation coefficient between air negative oxygen ion concentration and meteorological factors in Lion Mountain Park

项目 Item	气温 Air temperature	相对湿度 Relative humidity	PM _{1.0}	PM _{2.5}	PM ₁₀
相关系数 Pearson correlation	0.580*	0.546**	-0.613**	-0.604**	-0.596**
显著性 Significance	0.018	0.000	0.000	0.000	0.000

注：* 表示相关系数通过 95% 显著性水平检验，** 表示相关系数通过 99% 显著性水平检验。

Note: * indicates that the correlation coefficient has passed the 95% saliently level test, ** indicates that the correlation coefficient has passed the 99% significance level test.

于灌木树冠和叶幕比乔木小，以及光合效率都有限，而乔木林树冠及叶幕都比较大，阳光能够优先照射到树冠层叶片上，有利于植物叶片发生光合作用和光电效应，从而增加空气中的负氧离子浓度^[19]。空气负氧离子有利于促进人体新陈代谢、调节人体机能^[20-21]，当人们进行健身疗养活动时，选择在乔木林区域下进行效果更佳。据此结果，南宁市在生态建设中，建议增加乔木林和灌木林的种植比例使森林康养效果达到较佳水平。

城郊武鸣狮子山公园各时段各区域的空气负氧离子平均浓度比城区石门森林公园高，即城郊森林公园的负氧离子浓度显著高于城市绿地森林公园。胡梦玲等^[22]对江宁区负氧离子变化特征及其与气象因素关系的研究结论显示城郊森林区的负氧离子浓度显著高于城市绿地区。本研究结果与该结论相符，由于武鸣狮子山公园远离市中心，地处郊外，其所受到的城市干扰及人类影响比较少，空气负氧离子受人类活动影响较小。石门森林公园距市中心近，人为干扰所致的气溶胶较多，环境空气质量相对较差，再加上城市热岛效应等城市环境因子的影响，其空气负氧离子浓度总体上低于城郊武鸣狮子山公园。建议城市市民可多到郊区森林公园开展健身疗养活动，以获取最佳的森林康养效果。

两个典型森林公园的负氧离子浓度日变化曲线交替出现波峰波谷，晴天，狮子山公园峰值在 12:00 时和 16:00 时出现，石门森林公园峰值在 12:00 时和 15:00 时出现，雨天负氧离子浓度基本呈 U 型分布，两边高中间低。由于上午太阳辐射不断增强，植物光合作用强度增加，故空气负氧离子产量增大，在 12:00 时达到峰值。在 12:00 时后，由于太阳辐射达到一定强度，植物为了降低

蒸腾作用而关闭部分气孔，使得光合作用强度降低，空气负氧离子浓度下降^[22]。彭琳玉等^[23]对九连山国家森林公园负氧离子浓度时空变化及影响要素研究也发现相似规律。但本研究进一步发现在两个典型森林公园中，峰值出现的时间存在差异。石门森林公园的空气负氧离子浓度下午峰值出现的时间比狮子山公园早，由于石门森林公园位于城市中心，附近人流和车流量大，汽车尾气的排放等人类活动增加了空气颗粒物浓度，而这些物质与空气负氧离子发生凝聚而沉降，促使空气负氧离子未能得到相应的持续提升和积累，导致下午峰值提早出现，且峰值较低。

两个典型森林公园的负氧离子浓度在不同天气条件下均为：雨天 > 晴天 > 阴天。整体上，南宁市森林公园雨天的负氧离子浓度相对高于晴天，空气更为清新。阴天湿度虽比晴天湿度大，但由于阴天气压低，易产生逆温条件，不利于污染物扩散，晴天颗粒物含量低，有利于空气流动，不利于污染物积累，进而出现阴天大气颗粒物大于晴天^[24]，由于大气颗粒污染物浓度较大，颗粒物间分子运动的碰撞几率增加，对空气负氧离子的吸收增强，从而导致其浓度下降^[25]。胡梦玲等^[22]关于江宁区负氧离子变化特征及其与气象因素关系的研究也发现城郊森林区负氧离子浓度雨天 > 晴天 > 阴天的相似规律。

显著性检验结果显示，气温、相对湿度、PM_{1.0}、PM_{2.5}、PM₁₀对负氧离子浓度有显著影响，其中与气温和相对湿度呈显著正相关，与 PM_{1.0}、PM_{2.5}、PM₁₀呈极显著负相关。气温升高可使分子或原子热运动速度加快，相互间碰撞电离几率增大，氧气被电离的能力加强，因此负氧离子增多，浓度升高^[26]。当相对湿度升高，植物光合作

用效率提升,氧气产量提高,促进了空气负氧离子的合成进而提高了其浓度。随着 $PM_{1.0}$ 、 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 的增加,颗粒物容易使空气中的负氧离子相互碰撞,发生电荷中和,形成中性分子,从而降低了空气负氧离子的浓度^[27]。彭琳玉等^[23]与朱冬梅^[28]等的研究也发现相似规律,上述气象因子可作为森林公园空气负氧离子浓度的预测因子,更好地推进森林康养科学建设。

参考文献

- [1] 张勇, 陈兰英, 刘婷, 等. 峨眉山景区负氧离子浓度变化特征及预测模型研究[J]. 气象与环境学报, 2018, 34(2): 61-68.
- [2] NUNAYON S S, ZHANG H H, CHAN V, et al. Study of synergistic disinfection by UVC and positive/negative air ions for aerosolized *Escherichia coli*, *Salmonella typhimurium*, and *Staphylococcus epidermidis* in ventilation duct flow[J]. Indoor Air, 2021, 32(1): 10-22.
- [3] 杨传金. 国家储备林划定及后期管理面临的问题与建议[J]. 中南林业调查规划, 2015, 34(4): 1-3.
- [4] 彭泰来, 杨传金, 刘金山, 等. 国家储备林划定现状及后期经营管理探讨[J]. 中南林业调查规划, 2018, 37(4): 9-12.
- [5] LI C, XIE Z, CHEN B, et al. Different time scale distribution of negative air ions concentrations in Mount Wuyi National Park[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2021, 18(9): 5037.
- [6] HUI W, BING W, XIANG N, et al. Study on the change of negative air ion concentration and its influencing factors at different spatio-temporal scales-science direct[J]. Global Ecology and Conservation, 2020, 9(11): 53-57.
- [7] 高瑶瑶, 熊咏梅, 潘勇军. 石门国家森林公园负离子浓度动态变化及评价[J]. 广东园林, 2019, 41(5): 37-41.
- [8] 李巧云, 李高飞, 廖菊阳, 等. 湖南省森林植物园空气负氧离子浓度特征及影响要素研究[J]. 湖南林业科技, 2019, 46(1): 18-23.
- [9] 林锦冰, 李晓桃, 陈浩, 等. 揭西县负氧离子浓度特征及与气象条件的关系[J]. 广东气象, 2021, 43(4): 40-44.
- [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.
- [11] 张翔. 浅析相关因子对空气负离子水平的影响[J]. 湖南环境生物职业技术学院学报, 2004, 10(4): 346-351.
- [12] 叶彩华, 王晓云, 郭文利. 空气中负离子浓度与气象条件关系初探[J]. 气象科技, 2000(4): 51-52.
- [13] 陈佳瀛, 宋永昌, 陶康华, 等. 上海城市绿地空气负离子研究[J]. 生态环境, 2006, 15(5): 1024-1028.
- [14] 王衍. 城市空气离子浓度的时空变化特征及其与环境因子的相关关系[D]. 上海: 上海师范大学, 2006.
- [15] 韦朝领, 王敬涛, 蒋跃林, 等. 合肥市不同生态功能区空气负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.
- [16] 郑涛禹, 张绿水, 郭晓敏, 等. 不同森林郁闭度环境内空气负氧离子的时空变化及环境影响要素研究: 以广州帽峰山为例[J]. 生态环境学报, 2021, 30(11): 2204-2212.
- [17] 胡书勇. 广西南宁城市园林绿化之现状及对策[J]. 现代园艺, 2014(6): 130-131.
- [18] 朱舒欣, 崔杰, 刘起雨, 等. 石门国家森林公园负氧离子浓度等级评价及其与环境因素的相关性分析[J]. 林业与环境科学, 2019, 35(5): 14-22.
- [19] 潘剑彬, 董丽, 廖圣晓, 等. 北京奥林匹克森林公园空气负离子浓度及其影响因素[J]. 北京林业大学学报, 2011, 33(02): 59-64.
- [20] 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 and Education Publishing, 2013, 1(4): 48-53.
- [21] ALEXANDER D D, BAILEY W H, PEREZ V, et al. Air ions and respiratory function outcomes: a comprehensive review[J]. Journal of Negative Results in Biomedicine, 2013, 12(1): 12-14.
- [22] 胡梦玲, 庆涛, 朱鑫君, 等. 江宁区负氧离子变化特征及其与气象因素关系[J]. 环境科学与技术, 2021, 44(S2): 32-40.
- [23] 彭琳玉, 许方岳, 王立夫, 等. 九连山国家森林公园负氧离子浓度时空变化及影响要素研究[J]. 西北林学院学报, 2020, 35(5): 233-239.
- [24] 于丽胖. 城市道路绿化配置对空气颗粒物和CO扩散的影响[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2009.
- [25] 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.
- [26] 王继梅, 冀志江, 隋同波, 等. 空气负离子与温湿度的关系. 环境科学研究, 2004, 70(2): 70-72.
- [27] PAWAR S D. Air ion and pollution index variation for indoor and outdoor atmosphere at rural station Ramanandnagar (17°4'N, 74°25'E) India[J]. Journal of Earth System Science, 2013, 122(1): 229-237.
- [28] 朱冬梅, 曾璐, 刘春盛. 空气负氧离子浓度预报模型在旅游气象中的应用[J]. 中国资源综合利用, 2021, 39(8): 73-75; 86.