

崇明岛不同生态用地空气负离子分布规律研究

关蓓蓓¹, 郑思俊², 崔心红^{1,2*}, 张 帅¹, 何小丽², 朱 义²

(1. 华东理工大学 资源与环境工程学院, 上海 200237; 2. 上海市园林科学研究所, 上海 200232)

摘 要:为获得崇明岛不同生态用地空气负离子的实时变化趋势,以崇明岛林地、绿地、湿地和对照点为研究对象,利用 Epex 空气离子测量仪进行实时监测,并采用单级系数和安倍空气质量评价系数进行空气等级评价。结果表明:不同生态用地空气负离子浓度的时间变化趋势有所差异,正离子浓度变化趋势与负离子不完全相同;空气负离子均值浓度表现为夏季:湿地>绿地>林地>对照;秋季:湿地>林地>绿地>对照;夏季和秋季湿地空气负离子浓度显著高于其他 3 个测点,且均以对照点空气负离子浓度最低;所有观测点空气负离子的单级系数 $q<1$,空气负离子浓度基本达到 $1\ 000\ \text{个}\cdot\text{cm}^{-3}$,空气质量良好。

关键词:崇明岛;生态用地;空气负离子;实时监测

中图分类号:S718.51 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2016)01-0280-06

Variation of Negative Air Ions in Different Ecological Lands in Chongming Island

GUAN Bei-bei¹, ZHENG Si-jun², CUI Xin-hong^{1,2*}, ZHANG Shuai¹, HE Xiao-li², ZHU Yi²

(1. School of Resources and Environmental Engineering, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, China;

2. Shanghai Landscape Gardening Research Institute, Shanghai 200232, China)

Abstract: In order to obtain real-time trends of negative air ions in different ecological lands of Chongming Island, woodland, parkland, wetland and control point were chosen as the research object, and the concentrations of negative air ions of real-time monitoring were measured by Epex air ion measuring instrument and evaluated with the methods of ion polarity ratio and air ion assessment index. The results showed that the concentrations of negative air ions varied with different ecological lands, and the concentrations of positive air ions were different from negative air ions. The order of negative air ions in summer was wetlands> parkland> woodland> control point; and in autumn, the order was wetlands> woodland> parkland> control point. The concentrations of negative air ions of wetland were significantly higher in summer and autumn, and the concentration of control point was the lowest. The ion polarity ratio in all observations is less than 1, and the concentrations of negative air ions reached to $1\ 000\ \text{ions}\cdot\text{cm}^{-3}$, that indicated the air quality was good.

Key words: Chongming Island; ecological land; negative air ion; real-time monitoring

空气负离子是空气中带负电荷的气体离子,氧分子较其他空气分子“捕获”电子的能力更强,而优先获得自由电子形成空气负离子,因而,空气负离子主要由负氧离子组成^[1]。空气负离子不仅具有杀菌、降尘、净化空气等作用,更易成为空气维生素和

生长素^[2-3],其浓度也是衡量空气质量好坏的重要标志之一^[4]。目前,空气负离子的研究主要集中于其时空变化规律^[5-7]、环境影响因子^[8-11]、林分类型^[12-14]、植被结构^[15-16]、不同生态功能区^[17-18]等,但由于其研究方法多采用定时测定^[12-20],实时监测较

收稿日期:2015-01-31 修回日期:2015-03-24

基金项目:崇明岛环境空气负离子监测、评价及跟踪评估研究与示范(12231204600)。

作者简介:关蓓蓓,女,硕士研究生,研究方向:环境生态学。E-mail:beibeiguan90@163.com

* 通信作者:崔心红,男,高级工程师,研究方向:城市生态、湿地园林、河道水域生态系统修复与景观设计等。E-mail:kysxinhongcui@163.com

少,因而本试验的主要目的在于探究空气负离子的实时变化规律,从而为崇明林绿地规划及建设提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

上海市崇明岛地处长江口,是中国第 3 大岛,地处北亚热带,具有典型的亚热带海洋性季风气候特征,全年温和湿润,年平均气温 15.3℃左右,四季分明,雨水充沛,平均降雨量 1 042.9 mm,雨量集中在 4—9 月。

本试验以裕安大道为对照点和绿地、林地及湿地 3 种生态用地。其中绿地主要为上层榉树树阵、下层灌木色块的常规广场绿化形式,林地主要为上层香樟、合欢混交间植,下层石楠随机散植的常规造林模式,而湿地以湖岸带按水位梯度丛植常规水生植物为主(表 1)。

1.2 研究方法

空气正、负离子的监测选择在各生态用地的中心位置,测试高度为人口呼吸高度,于 2013 年夏季和秋季进行(6—8 月、9—11 月),每季度选取

晴朗的数天进行观测,其均值作为对应季节数据,观测时间为 10:00—16:00。空气负离子浓度的监测采用北京依派伟业数码科技有限公司生产的 Epex 空气负离子在线监测仪,其离子迁移率测量范围为 1.0~0.4 cm²·v⁻¹·s⁻¹,每分钟记录 1 个数据。

1.3 数据处理

采用 ANOVA 单因素方差分析和 Duncan 多重比较检验各林分空气负离子浓度的显著性差异。用 Excel 2003 完成试验数据整理,用 Origin 8 完成作图,用 SPSS 19 对数据进行统计分析。以均值±标准误的形式计量结果。

1.4 空气负离子的评价

采用单极系数和安倍空气质量评价系数对不同生态用地空气负离子进行评价。即:单极系数: $q = n^+ / n^-$; n^+ 为空气正离子浓度(PAIC), n^- 为空气负离子浓度(NAIC);一般认为 q 在 1.2 左右,且当 $q \leq 1$ 时,才能给人舒适感。安倍空气质量评价系数: $CI = n - (1\ 000 \times q)$ 。一般认为 CI 值越大,空气质量越好。

按空气质量评价系数对空气质量进行分级,可分为 5 级(表 2)。

表 1 不同生态用地植物概况

Table 1 The plant general situations in different ecological lands

类型	植物名称	高度/m	胸径/cm	冠幅 EW/m	冠幅 SN/m	株数/(株·m ⁻²)	备注
林地	红叶石楠	1.2	—	0.7	0.8	54	散植株数
	香樟	7.0	10.0	4.0	5.0	60	散植株数
	合欢	4.5	5.0	3.0	4.0	18	散植株数
绿地	榉树	8.0	17.5	6.0	6.0	4	树阵株数
	绣线菊	0.8	—	0.5	0.7	10	色块面积
	石楠	1.5	—	0.8	1.2	20	色块面积
	六道木	1.2	—	0.7	0.9	70	色块面积
湿地	黄菖蒲	1.5	—	—	—	20	成片面积
	茭白	1.5	—	—	—	15	成片面积
	再力花	1.2	—	—	—	20	成片面积

表 2 空气质量分级标准

Table 2 Standard grades of air quality

等级	A	B	C	D	E
清洁度	最清洁	一般清洁	中等清洁	容许	临界值
CI	>1.0	1.0~0.7	0.69~0.50	0.49~0.30	0.29

2 结果与分析

2.1 不同生态用地空气负离子浓度的时间变化

不同生态用地不同时间空气负离子的浓度如图 1 所示,其中 A 代表夏季,B 代表秋季。由图 1A 可以看出,不同点空气离子浓度的时间变化趋势不同。林地基本呈“单峰”型,在 11:00 左右达到峰值,而后下降,在 12:00 以后,随时间的变化空气负离子浓度

变化幅度较小,在 1 000 个·cm⁻³上下波动;绿地空气负离子浓度在 10:00 较高,在 12:30 左右达到最低,而后升高,13:00 以后在 1 200 个·cm⁻³左右。湿地和对照点基本呈“双峰”变化曲线,峰值出现时间接近,基本都在 10:00—11:00 和 15:00—16:00。就正离子浓度而言,绿地和对照点正离子浓度变化趋势与负离子相同,且两者浓度相差不大;而林地和湿地正离子变化与负离子有所差别,林地正离子变

化幅度较小,基本维持在 $1\,300\text{个}\cdot\text{cm}^{-3}$;湿地正离子浓度在11:00左右出现峰值,之后变化不明显,但其远低于负离子浓度。

由图1B可知,林地、绿地空气负离子浓度的时间变化趋势较为相似,分别在10:30和10:00出现

极值,而后变化较平缓;而湿地和对照点空气负离子浓度无明显峰值,变化不明显,湿地在 $1\,300\text{个}\cdot\text{cm}^{-3}$ 左右,上午浓度高于下午,而对照点在 $1\,000\text{个}\cdot\text{cm}^{-3}$ 左右,但下午浓度高于上午。

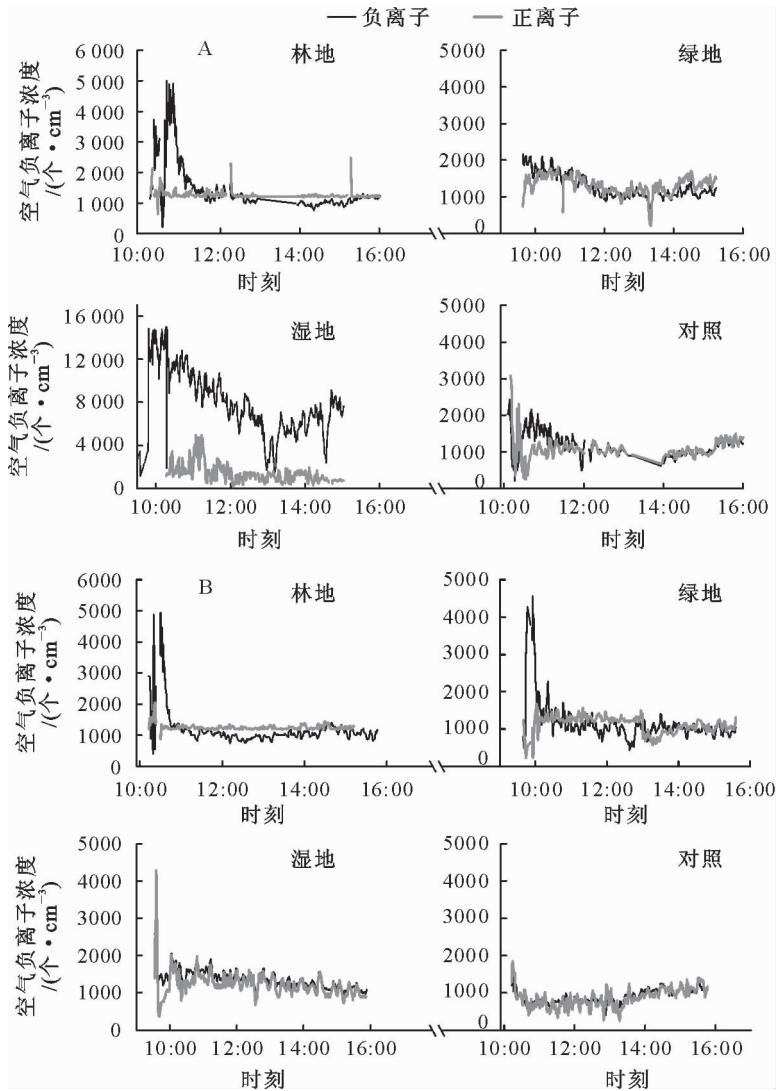


图1 不同生态用地不同时间空气负离子浓度

Fig. 1 The air ion concentration of different ecological lands in different time

2.2 不同生态用地空气负离子浓度比较

将不同生态用地空气负离子浓度按夏季和秋季分别取均值,得出空气负离子均值浓度,如图2。由此图可知,夏季湿地空气负离子浓度最高为 $7\,510\text{个}\cdot\text{cm}^{-3}$,是对照点($1\,180\text{个}\cdot\text{cm}^{-3}$)的6倍,具体的次序为:湿地($7\,510\text{个}\cdot\text{cm}^{-3}$)>绿地($1\,426\text{个}\cdot\text{cm}^{-3}$)>林地($1\,406\text{个}\cdot\text{cm}^{-3}$)>对照($1\,180\text{个}\cdot\text{cm}^{-3}$)。不同生态用地空气负离子浓度的Duncan多重检验结果表明:湿地空气负离子浓度显著高于其他几种类型的生态用地($p<0.01$),而绿地、林地、对照间无显著性差异($p<0.05$)。秋季也是湿地空气负离子浓度最高,对照点处的最低,依次

为:湿地($1\,374\text{个}\cdot\text{cm}^{-3}$)>林地($1\,187\text{个}\cdot\text{cm}^{-3}$)>绿地($1\,173\text{个}\cdot\text{cm}^{-3}$)>对照($901\text{个}\cdot\text{cm}^{-3}$)。不同生态用地空气负离子浓度的Duncan多重检验表明:湿地空气负离子浓度显著高于其他3种类型($p<0.05$),绿地、林地显著高于对照($p<0.05$);而绿地、林地间无显著性差异($p<0.05$)。

2.3 不同生态用地空气负离子浓度的频率分布及高斯拟合曲线

频率分布图直观反映各数据区域的分布情况,某个区域频率越高,表示数据在该区域越集中。为获得各组数据的频率分布图,本试验将各组数据大致分为10组,同时做出高斯拟合曲线。高斯分布可

以反映数据的概率密度是否符合正态分布,以及在满足正态分布的情况下,得出数据的期望值和标准差,从而明确空气负离子浓度的分布区间。

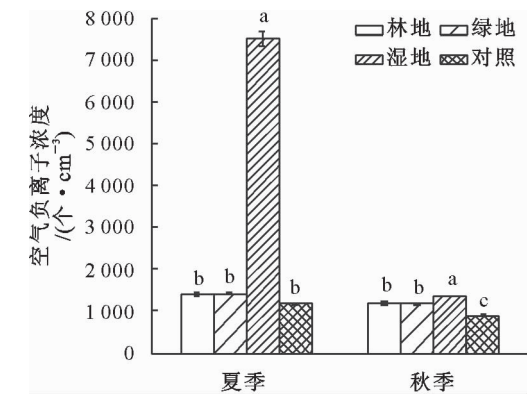


图2 不同生态用地空气负离子浓度比较

Fig. 2 The comparison of negative air ion concentration in different ecological lands

高斯分布概率密度函数为： $y = y_0 + Ae^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$ ；式中 A 、 y_0 、 μ 、 σ 为高斯参数，其中， μ 表示数据的期望值即平均值，该值对应最大的概率密度； σ 反映数

据的标准差，其决定高斯曲线的陡峭程度。不同生态用地空气负离子的频率分布和高斯拟合曲线如图3所示，其中，A代表夏季，B代表秋季，图中可直观看出空气负离子的最大频率分布区间。由表3可知，拟合系数大部分达到0.9以上，表明拟合效果较好；期望值的大小变化规律与2.2中的大小变化规律相吻合。

表3 不同生态用地高斯拟合参数
Table 3 The Gaussian fitting parameters in different ecological lands

季节	生态用地	期望值 (μ)	标准差 (σ)	拟合系数 (R^2)	显著性水平 (p)
夏季	林地	1 176.4	270.5	0.994	<0.01
	绿地	1 320.3	313.3	0.978	<0.01
	湿地	7 305.6	2 844.6	0.884	<0.01
	对照	1 125.9	248.3	0.970	<0.01
秋季	林地	1 063.6	231.6	0.999	<0.01
	绿地	1 050.4	286.4	0.998	<0.01
	湿地	1 335.9	228.2	0.988	<0.01
	对照	878.4	173.3	0.980	<0.01

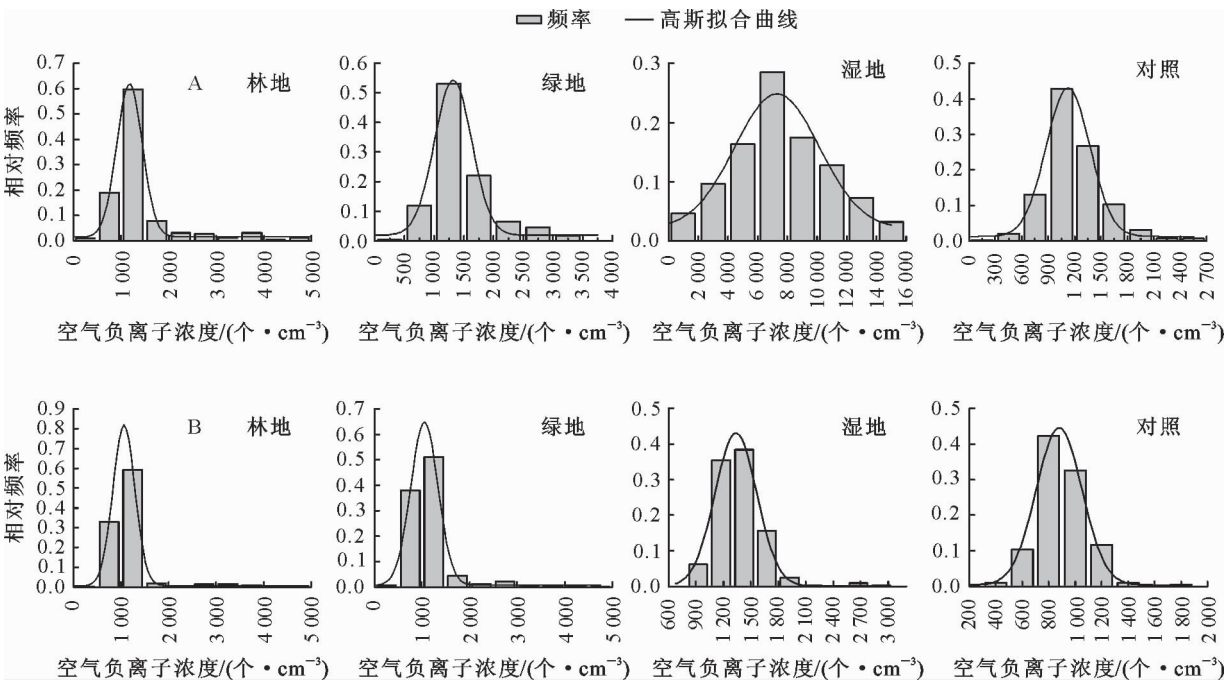


图3 空气负离子浓度的频率分布和高斯拟合曲线

Fig. 3 The frequency distribution and Gaussian fitting curve of negative air ion concentration

2.4 空气负离子评价

由表4可知，不同生态用地在夏季和秋季的 q 值均 <1 ，除对照点外，空气等级均处于A级，说明不同生态用地空气质量非常清洁。此外，世界卫生组织规定，空气负离子浓度不低于1 000~1 500 个· cm^{-3} 时为清新空气，这进一步说明各观测点空气质量良好。崇明岛地广人稀，四面环水，受污染较小，且崇明岛绿地面积大，林木生长茂盛，能有效延

长空气负离子寿命。

3 结论与讨论

- 1)夏季和秋季空气负离子的 q 值均 <1 ，且除秋季对照点外，空气负离子浓度均 $\geq 1\,000$ 个· cm^{-3} ，表明崇明岛空气质量清新。
- 2)不同观测点空气负离子的时间变化趋势有所差异。夏季林地空气负离子基本呈“单峰”型趋势，

表 4 空气负离子评价

Table 4 The evaluation of negative air ions

季节	生态用地	正离子浓度 /(个·cm ⁻³)	负离子浓度 /(个·cm ⁻³)	<i>q</i>	<i>CI</i>	等级	清洁度
夏季	林地	313	1 406	0.22	6.3	A	非常清洁
	绿地	1 322	1 426	0.93	1.5	A	非常清洁
	湿地	1 427	7 510	0.19	39.5	A	非常清洁
	对照	1 066	1 180	0.90	1.3	A	非常清洁
秋季	林地	286	1 187	0.24	4.9	A	非常清洁
	绿地	658	1 170	0.56	2.1	A	非常清洁
	湿地	1 208	1 374	0.88	1.2	A	非常清洁
	对照	892	901	0.99	0.9	B	中度清洁

在 10:30 达到极值,湿地和对照基本为“双峰”型变化趋势,大致在 10:00—11:00 和 15:00—16:00 出现峰值,13:00 左右出现最低值;绿地空气负离子浓度在 10:00 较高,13:00 以后基本维持在 1 200 个·cm⁻³左右。秋季林地、绿地空气负离子浓度的时间变化趋势较为相似,分别在 10:30 和 10:00 出现极值,而后变化较平缓;而湿地和对照点空气负离子浓度无明显峰值,变化不明显。

这些变化特征可能与植物光合作用有关,植物光合作用是增加空气负离子含量的重要来源之一^[21],9:00—10:00 植物光合作用达到峰值,而在中午前后,太阳辐射最强,植物蒸腾作用增强,植物出现“光合午休”现象,导致空气负离子浓度降低^[7,14]。

3)夏季空气负离子的大小次序为:湿地>绿地>林地>对照;秋季为:湿地>林地>绿地>对照。

2 个季节均表现为,湿地空气负离子浓度最高,对照的最低,表明有植物覆盖的区域空气负离子水平高于无树木覆盖区,这与邵海荣^[22]等的结果相同。这可能与植物有关,植物的光合作用、叶片的光电效应、尖端放电、森林的滞尘及植物释放的挥发性有机物等均有利于增加空气负离子浓度^[23-24],且有植被的地方,土壤有较好的通气性和渗透性,有利于土壤微生物利用氧时土壤中氧离子或氧离子团的释放^[25],而对照点则主要以水泥为下垫面,阻碍了土壤中的电离源^[26],减少空气负离子的产生。夏季和秋季湿地空气负离子浓度均最高,是因为水体对空气具有淋洗、清洁作用,能降低空气中的悬浮颗粒物,减少空气中凝结核的数量,增大空气的清洁度,延长空气负离子的寿命,使得空气负离子的生成速率大于消亡速率,从而增加空气负离子浓度^[27],此外,水中水生植物的大量繁殖也有利于空气负离子的产生。夏季空气负离子浓度均高于秋季,这可能是由于夏季植物生长茂盛,处于最佳生长状态,叶面积指数大,植物光合作用强,产氧量也大^[9],而秋季植物代谢功能下降,叶片逐渐凋谢。总之,有植被覆

盖的生态用地空气负离子浓度高于无植被的对照点,有水体的湿地高于无水体的其他 3 种类型。

这些结论表明,邻近水体的空气负离子浓度更高,更适宜健身活动和旅游,且空气洁净的地方,早上和下午空气质量更好。此外,建议崇明岛进行林、绿地建设或重整时,可适当增加湿地面积,既能增加整体美观感,又能增加生态服务价值。

参考文献:

[1] 王洪俊,王力,孟庆繁.城市不同功能区对空气负离子水平的影响[J].中国城市林业,2004,2(2):49-52.

[2] 孟丽红,张敏,姚青.2009 年天津城区空气负离子变化规律[J].气象与环境学报,2011,27(1):27-29.

MENG L H,ZHANG M,YAO Q.Characteristics of air anion in 2009 in Tianjin,China[J].Journal of Meteorology and Environment,2011,27(1):27-29.(in Chinese)

[3] 李青山,刘军,狄有波,等.北戴河空气负离子浓度测定与负离子评价标准[J].中国环境管理干部学院学报,2008,18(4):1-3.

LI Q S,LIU J,DI Y B,*et al.* Observing air anion concentration in Beidaihe and anion's evaluation standard[J].Journal of Environmental Management College of China,2008,18(4):1-3.(in Chinese)

[4] 袁相洋,孙迎雪,田媛,等.北京市不同功能区空气负氧离子及影响因素研究[J].环境科学与技术,2014,37(6):97-102.

YUAN X Y,SUN Y X,TIAN Y,*et al.* Experimental research of air negative oxygen ion and their affecting factors in different ecological functional areas of Beijing[J].Environmental Science & Technology,2014,37(6):97-102.(in Chinese)

[5] 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.

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.(in Chinese)

[6] 范海兰,胡喜生,陈灿,等.福州市空气负离子空间变化特征[J].福建林学院学报,2008,28(1):27-30.

FAN H L,HU X S,CHEN C,*et al.* Spatial changes of negative air ions in Fuzhou[J].Journal of Fujian College of Forestry,2008,28(1):27-30.(in Chinese)

[7] 高铭聪,蒋文伟,金竹秀,等.西径山森林公园夏季空气负离子日变化[J].浙江农林大学学报,2011,28(4):667-673.

- GAO M C,JIANG W W,JIN Z X,*et al.* Daily variation of air anions in Mount Xijing forest park[J]. Journal of Zhejiang A&F University,2011,28(4):667-673. (in Chinese)
- [8] 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.
- 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. (in Chinese)
- [9] 徐猛,陈步峰,栗娟,等. 广州帽峰山林区空气负离子动态及与环境因子的关系[J]. 生态环境,2008,17(5):1891-1897.
- XU M,CHEN B F,SU J,*et al.* Dynamic of negative air ions and its relationship to environmental factors in Maofeng Mountain,Guangzhou[J]. Ecology and Environment,2008,17(5):1891-1897. (in Chinese)
- [10] 曾曙才,苏志尧,陈北光. 广州绿地空气负离子水平及其影响因素[J]. 生态学杂志,2007,26(7):1049-1053.
- ZENG S C,SU Z Y,CHEN B G. Air negative ion concentrations and their affecting factors in greenbelts of Guangzhou [J]. Chinese Journal of Ecology,2007,26(7):1049-1053. (in Chinese)
- [11] 穆丹,梁英辉. 佳木斯绿地空气负离子浓度及其气象因子的关系[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[J]. Chinese Journal of Applied Ecology,2009,20(8):2038-2041. (in Chinese)
- [12] 周斌,余树全,张超,等. 不同树种林分对空气负离子浓度的影响[J]. 浙江农林大学学报,2011,28(2):200-206.
- ZHOU B,YU S Q,ZHANG C,*et al.* Aero-anion ecological efficiency of 13 tree species in Zhejiang Province[J]. Journal of Zhejiang A & F University,2011,28(2):200-206. (in Chinese)
- [13] 吴际友,程政红,龙应忠. 园林树种林分中空气负离子水平的变化[J]. 南京林业大学学报:自然科学版,2003,27(4):78-80.
- WU J Y,CHENG Z H,LONG Y Z. The variation of aero-anion concentration on landscape forest[J]. Journal of Nanjing Forestry University:Natural Science Edition,2003,27(4):78-80. (in Chinese)
- [14] 石彦军,余树全,郑庆林. 6 种植物群落夏季空气负离子动态及其与气象因子的关系[J]. 浙江林学院学报,2010,27(2):185-189.
- SHI Y J,YU S Q,ZHENG Q L. Aero-anion ecological efficacy in six types of plant communities[J]. Journal of Zhejiang Forestry College,2010,27(2):185-189. (in Chinese)
- [15] 穆丹,梁英辉. 城市不同绿地结构对空气负离子水平的影响[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. (in Chinese)
- [16] 裴伶俐,王洪俊. 城市不同绿地结构对空气负离子水平的影响研究[J]. 安徽农业科学,2012,40(10):6068-6070.
- [17] 孙明珠,田媛,刘效兰,等. 北京不同功能区空气负离子差异的实验研究[J]. 环境科学与技术,2010,33(Supp. 2):515-519.
- SUN M Z,TIAN Y,LIU X L,*et al.* Experimental research of negative oxygen ion in different functional areas of Beijing [J]. Environmental Science & Technology,2010,33(Supp. 2):515-519. (in Chinese)
- [18] 王东良,金荷仙,唐宇力,等. 疗养院植物绿化三维量与空气负离子浓度的关系[J]. 西北林学院学报,2013,28(4):61-65.
- WANG D L,JIN H X,TANG Y L,*et al.* Three-simentional green biomass and aero-anions in sanatorium areas[J]. Journal of Northwest Forestry University,2013,28(4):61-65. (in Chinese)
- [19] 崔晶,薛兴燕,胡秀丽,等. 河南黄淮海平原农田防护林空气负离子变化规律[J]. 西北林学院学报,2014,29(1):30-35.
- CUI J,XUE X Y,HU X L,*et al.* Variation regularity of air anion in agroforestry ecosystem in Huang-Huai-Hai plain in Henan province[J]. Journal of Northwest Forestry University,2014,29(1):30-35. (in Chinese)
- [20] 雷静,田媛,王晓剑. 玉渊潭不同功能区春季负离子浓度变化研究[J]. 环境科学与技术,2014,37(3):159-164.
- LEI J,TIAN Y,WANG X J. Anions concentration variation in different functional areas in spring in Beijing Yuyuantan park[J]. Environmental Science & Technology,2014,37(3):159-164. (in Chinese)
- [21] 吴甫成,姚成胜,郭建平,等. 岳麓山空气负离子及空气质量变化研究[J]. 环境科学学报,2006,26(10):1737-1744.
- WU F C,YAO C S,GUO J P,*et al.* Distribution of negative air ions and its relation to air quality of the Yuelu Mountain [J]. Acta Scientiae Circumstantiae,2006,26(10):1737-1744. (in Chinese)
- [22] 邵海荣,杜建军,单宏臣,等. 用空气负离子浓度对北京地区空气清洁度进行初步评价[J]. 北京林业大学学报,2005,27(4):56-59.
- SHAO H R,DU J J,SHAN H C,*et al.* Assessment of air cleanness degree in Beijing using negative air ion concentration as an index[J]. Journal of Beijing Forestry University,2005,27(4):56-59. (in Chinese)
- [23] 蒙晋佳,张燕. 地面上的空气负离子主要来源于植物的尖端放电[J]. 环境科学与技术,2005,28(1):112-113.
- [24] 王洪俊,孟繁黎. 城市绿地中空气负离子水平的初步研究[J]. 北华大学学报:自然科学版,2005,6(3):264-268.
- WANG H J,MENG Q F. Preliminary study on aero-anion concentration in urban green spaces[J]. Journal of Beihua University:Natural Science Edition,2005,6(3):264-268. (in Chinese)
- [25] 高炎冰,王大庆,张黎黎,等. 绥芬河国家森林公园生态因子效应分析[J]. 东北林业大学学报,2007,35(11):39-43.
- GAO Y B,WANG D Q,ZHANG L L,*et al.* Effects analysis of ecological factors in Suifenhe forest park[J]. Journal of Northeast Forestry University,2007,35(11):39-43. (in Chinese)
- [26] 齐冰,杜荣光,邵碧嘉. 杭州市空气负离子变化特征分析[J]. 气象与减灾研究,2011,34(4):68-71.
- [27] 王洪俊,裴伶俐. 吉林江源干饭盆森林公园空气负离子水平的测定与评价[J]. 安徽农业科学,2009,37(32):16095-16097.