

西径山森林公园夏季空气负离子日变化

高铭聪, 蒋文伟, 金竹秀, 郭慧慧, 梅艳霞

(浙江农林大学 风景园林与建筑学院, 浙江 临安 311300)

摘要: 对浙江省临安市西径山森林公园内 6 种典型植物群落的空气负离子浓度、气温、相对湿度、光照强度等进行测定, 将公园入口广场与临安市区人民广场作为对照, 以此来研究不同群落类型以及各环境因子对空气负离子浓度的影响。结果表明: 6 种参试群落的空气负离子浓度都明显高于对照, 西径山森林公园的平均环境质量明显优于市区; 各群落空气负离子浓度由高到低依次为香椿 *Toona sinensis* -紫楠 *Phoebe sheareri* 群落 > 樟树 *Cinnamomum camphora* -桂花 *Osmanthus fragrance* 群落 > 杉木 *Cunninghamia lanceolata* 群落 > 木荷 *Schima superba* -青冈 *Cyclobalanopsis glauca* 群落 > 青冈 -苦槠 *Castanopsis sclerophylla fragrance* 群落 > 毛竹 *Phyllostachys pubescens* 群落; 其中 5 个群落的空气质量达到了最清洁; 就植物群落负离子日间变化来看, 从 8: 00 到 17: 00 基本呈双峰状, 分别在 9: 00-10: 00 和 13: 00-14: 00 出现 2 次峰值; 对空气负离子与其他气象因子的相关分析显示, 空气负离子与相对湿度极显著正相关 ($P < 0.01$), 与气温显著负相关 ($P < 0.05$), 与光照强度无明显相关性。图 2 表 5 参 21

关键词: 森林生态学; 森林公园; 植物群落类型; 空气负离子; 日变化

中图分类号: S718.5 文献标志码: A 文章编号: 2095-0756(2011)04-0667-06

Daily variation of air anions in Mount Xijing Forest Park

GAO Ming-cong JIANG Wen-wei JIN Zhu-xiu GUO Hui-hui MEI Yan-xia

(School of Landscape Architecture, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China)

Abstract: The air anions concentration, temperature, relative humidity and light intensity of 6 plant communities in Mount Xijing Forest Park were measured and compared with the data of park entrance square and Lin'an People's Square to study the impacts of different community types and environmental factors on the concentrations of the air anions. The results showed that the air anions concentrations of the 6 communities were much higher than that of the two squares. The average environmental quality of the Mount Xijing Forest Park was much better than the downtown. The air anion concentrations were sorted as *Toona sinensis*-*Phoebe sheareri* > *Cinnamomum camphora*-*Osmanthus fragrance* > *Cunninghamia lanceolata* > *Schima superba*-*Cyclobalanopsis glauca* > *C. glauca* - *Castanopsis sclerophylla* > *Phyllostachys pubescens*. The air quality of 5 communities reached the cleanest standard. According to the diurnal variation curve between 8: 00 a.m. and 5 p.m., the air anion concentration had double peaks between 9: 00 a.m. - 10: 00 a.m. and 1: 00 p.m. - 2: 00 p.m. A correlation analysis showed an extremely significant ($P < 0.01$) positive correlation between air anion concentration and relative humidity, a significant ($P < 0.05$) negative correlation between air anion concentration and temperature and no significant correlation between air anion concentration and light intensity. [Ch, 2 fig. 5 tab. 21 ref.]

Key words: forest ecology; forest park; plant community species; air anion; daily variation

空气负离子是带负电荷的单个气体分子和轻离子团的总称^[1]。空气负离子具有明显的医疗保健作用^[2-4],

收稿日期: 2010-10-14; 修回日期: 2010-12-03

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30972342)

作者简介: 高铭聪, 从事园林植物应用与效益研究。E-mail: tt19860502@163.com。通信作者: 蒋文伟, 副教授, 博士, 从事景观生态学与城市生态学研究。E-mail: wenweijiang@zafu.edu.cn

被誉为“空气维生素和生长素”，是评价环境空气清洁程度的重要指标^[2]。森林以其特有的森林小气候成为产生空气负离子的良好环境，人们已经认识到森林空气负离子是一种无形、健康的森林旅游资源，因此，森林公园空气负离子效应已成为研究的热点^[5-7]。同时，多项研究证明森林中的空气负离子浓度较高^[7-8]。研究森林中空气负离子的分布状况，有利于加强人们对森林保健的认识，对进一步开展森林旅游具有重要的现实意义。近年来，针对森林环境中不同植物群落的空气负离子浓度水平差异的研究也开始受到重视。研究表明，空气负离子浓度受植物密度、组成及种植方式的影响，不同群落类型对空气负离子的影响有很大的差异^[9-12]。本研究选择浙江临安西径山森林公园，对6个植物群落的空气负离子的浓度变化进行研究，期望分析空气负离子变化与气温、相对湿度、风速和光量子的关系，初步揭示西径山森林公园空气负离子的日变化特点及其对临安市环境质量的改善作用。

1 材料与方法

1.1 研究地概况

西径山森林公园位于浙江省杭州市西郊，优秀风景旅游城市临安市，29°56′~30°23′N，118°51′~119°52′E。西径山森林公园总占地面积为11.0 km²，主峰海拔为413 m，属低山丘陵宽谷型地貌类型；亚热带季风气候，温暖湿润，雨水充沛，四季分明，年均气温为14.0℃，夏季月均气温为25.0℃，具有良好的避暑度假功能；植被繁盛，生态保护完好，植被覆盖率达98%；山林中成片的马尾松 *Pinus massoniana* 林、杉木 *Cunninghamia lanceolata* 林、竹林和阔叶林以及众多古木构成了丰富多彩的四季植物景观。

西径山森林公园内具有普遍性和典型性的毛竹 *Phyllostachys pubescens* 群落(S1)，杉木群落(S2)，青冈 *Cyclobalanopsis glauca*-苦槠 *Castanopsis sclerophylla* 群落(S3)，樟树 *Cinnamomum camphora*-桂花 *Osmanthus fragrance* 群落(S4)，木荷 *Schima superba*-青冈群落(S5)和香椿 *Toona sinensis*-紫楠 *Phoebe sheareri* 群落(S6)作为研究对象，同时以西径山公园入口广场(S7)及临安市区人民广场(S8)为对照，进行空气正负离子及各项指标检测。

表1 植物群落模式特征

Table 1 Characteristics of plant communities

样地名称及编号	样地类型	群落特征		
		郁闭度/%	优势种平均高度/m	优势种平均胸径/cm
毛竹群落(S1)	竹林	95	12.4	4.6
杉木群落(S2)	针叶树	93	10.3	5.7
青冈-苦槠群落(S3)	阔叶树	90	15.5	36.0
樟树-桂花群落(S4)	阔叶树	80	8.7	4.4
木荷-青冈群落(S5)	阔叶树	85	12.0	10.0
香椿-紫楠群落(S6)	阔叶树	90	18.0	15.0
公园入口广场(S7)	硬质广场			
市区人民广场(S8)	疏林草坪			

1.2 测定内容与方法

用AIC-1000型空气负离子测定仪(测定离子浓度误差 $\leq \pm 10\%$ ，离子迁移率误差 $\leq \pm 10\%$)测定负离子值。该仪器的离子浓度测量范围为 $10 \sim 1.99 \times 10^6$ 个 $\cdot \text{cm}^{-3}$ 。采用TES-1362数字式温湿度测量仪测定气温和相对湿度；采用SUM-5284型光量子计测定光量子通量。

于2010年7月，选择晴朗无风的3 d，对空气正、负离子浓度、气温、相对湿度、光照强度进行同步测定。从8:00~17:00间隔1 h测定1组数据。观测时在各个群落内选择3个观测点，各个观测点取东南西北4个方向距离地面1.5 m处分别瞬间读数，各个方向读数5个，取4个方向的平均值为此观测点的观测值，取3个观测点的平均值为该群落正、负离子最后观测值。各个群落测定3 d，取平均值。

空气质量评价以空气负离子浓度为基本观测指数，以单极系数和空气离子评价系数作为空气质量的

评价指标^[13]。 $q=n^+/n^-$, $I_c=n^-/1\ 000 \times q$ 。其中： q 为单极系数， n^+ 为空气正离子浓度， n^- 为空气负离子浓度， I_c 为空气质量评价指数；1 000为满足人体生物学效应最低需求的空气负离子浓度。按照空气质量评价指数可以将空气质量划分为5个等级： $I_c \geq 1.00$ ，最清洁(A级)； $0.70 \leq I_c < 1.00$ ，一般清洁(B级)； $0.50 \leq I_c < 0.69$ ，中等清洁(C级)； $0.30 \leq I_c < 0.49$ ，允许(D级)； $I_c = 0.29$ 时为临界值，E级^[3]。

2 结果与分析

2.1 不同群落模式夏季负离子浓度昼间变化

从图1来看，空气负离子昼间变化曲线基本呈双峰状。不同的群落模式出现峰值的具体时间有所不同。总体来看，6个参试群落中，毛竹群落和杉木群落为单峰曲线，最大值分别出现在9:00和14:00，最小值出现在11:00-12:00；其余4个群落的空气负离子浓度变化日变化趋势基本一致，第1个峰值都出现在9:00，第2个峰值出现在13:00-14:00，最低值都出现在12:00；而对照点入口广场与人民广场的变化趋势则不同，全天变化幅度较小，变化范围为500~1 000个·cm⁻³，入口广场的最大值出现在9:00和14:00，最小值出现在12:00；人民广场最大值12:00，13:00之后，负离子浓度没有明显变化，一直处于最低水平，约400个·cm⁻³，而这与石彦军等^[14]做过的研究相似。

2.2 不同群落模式空气质量评价指数昼间变化

从图2可以发现：空气质量评价指数的变化趋势，与负离子变化趋势基本一致。这个结论再一次验证了前人的研究成果^[11,14]。各个群落都在9:00和13:00-14:00出现峰值，其中樟树-桂花群落、香椿-紫楠群落2个群落空气质量评价系数全天都达到最清洁，香椿-紫楠群落更在9:00时达到了13.2，空气质量非常好。这种情况可能由于这2个群落都处于山体的背面，且有溪流经过，气温较其他群落较低而湿度较高。竹林群落只在14:00时达到A级，其余时间空气质量评价指数相对其他群落较低，可见毛竹改善空气质量效果一般。6个参试群落全天的空气质量评价指数均明显高于2个对照，可见森林群落对于改善空气质量具有明显的效果。

2.3 不同群落模式对夏季日均负离子浓度的影响

研究表明：不同群落空气负离子浓度依次为：香椿-紫楠群落>樟树-桂花群落>杉木群落>木荷-青冈群落>青冈-苦槠群落>毛竹群落>入口广场>人民广场(表2)。香椿-紫楠群落日均负离子浓度值达到1 708个·cm⁻³， I_c 值为2.88，空气质量相当好；而6个被测群落的空气质量评价系数均明显高于对照，除竹林群落处于B级，属于一般清洁外，其余5个群落均达到了A级，属于最清洁；对照人民广场即可发现，西径山森林公园的空气质量明显优于市区，可见森林群落对改善空气质量具有很好的效果；而8个被测群落，只有入口广场 I_c 值处于C级，属于中等清洁，由于郁闭度太低且群落过于单调空气质量甚至低于市区对照点。

不同群落类型的方差分析结果表明(表3)：负离子浓度、正离子浓度、负离子评价指数等3个因子在不同群落间差异性极显著($P < 0.01$)。这表明不同植物群落产生负离子，改善环境质量的能力存在很

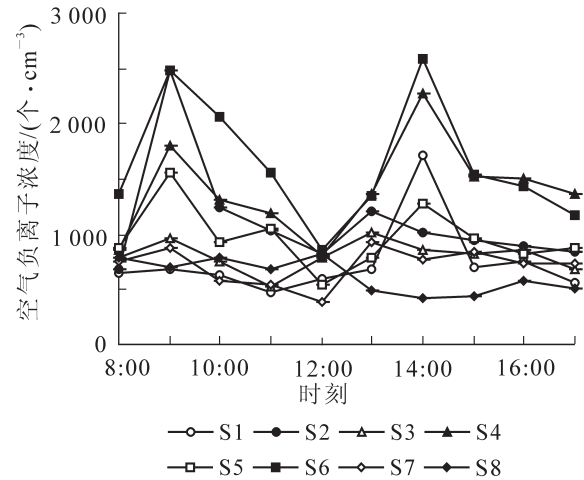


图1 空气负离子昼夜间变化

Figure 1 Diurnal change of aero-anion

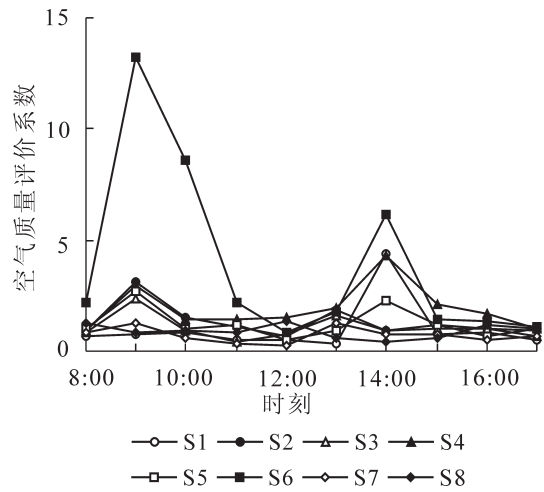


图2 I_c 值昼夜间变化

Figure 2 Diurnal change of I_c

表2 不同群落的空气负离子浓度

Table 2 Aero-anion in different structures of communities

样地名称及编号	不同群落的空气正负离子浓度/(个·cm ⁻³)		<i>q</i>	<i>I_c</i>	空气质量等级
	<i>n</i> ⁻	<i>n</i> ⁺			
毛竹群落(S1)	738	652	0.88	0.83	B
杉木群落(S2)	1 133	967	0.85	1.33	A
青冈-苦槠群落(S3)	819	657	0.80	1.02	A
樟树-桂花群落(S4)	1 527	1 090	0.71	2.14	A
木荷-青冈群落(S5)	965	790	0.82	1.18	A
和香椿-紫楠群落(S6)	1 708	1 014	0.59	2.88	A
西径山公园入口广场(S7)	712	747	1.05	0.68	C
临安市区人民广场(S8)	619	530	0.86	0.72	B

大差异。森林的树冠、枝叶的尖端放电以及光合作用过程的光电效应均会促使空气电解，产生大量的空气负离子^[15]，而不同植物不同的生理构造以及种植模式必然会造成产生空气负离子能力的差异，因此，研究群落间的这种差异性就具有极其重要的现实意义。

2.4 负离子浓度与气象因子相关分析

根据不同群落模式空气负离子浓度及气象因子观测数据，求出测定期间(3 d)不同时段的气温、相对湿度和光照强度的平均值和标准差(表4)，并利用SPSS统计分析软件

进行了空气负离子浓度和气象因子的相关性分析(表5)。结果表明：气温与相对湿度在各时间点的标准差均较小，而光照强度的标准差的很大；空气负离子浓度与气温呈显著负相关($P < 0.05$)，空气负离子浓度随着气温升高而降低；与空气相对湿度呈极显著正相关，研究表明：空气负离子的主要存在形式是 $O_2^-(H_2O)_n$ 、 $OH^-(H_2O)_n$ 和 $CO_3^-(H_2O_2)$ 。可以推测，相对湿度对空气负离子浓度影响较大。另外，空气负离子浓

表3 群落类型的方差分析

Table 3 Variance analysis of communities

变量名称	方差分析	
	<i>F</i>	<i>P</i>
负离子浓度	45.800	0.000
正离子浓度	12.492	0.000
独立子评价指数	39.761	0.000

表4 气象因子的日变化及标准差

Table 4 Diurnal change and standard deviation of environmental factors

时刻	平均值			标准差		
	气温/°C	相对湿度/%	光照强度/ ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	气温/°C	相对湿度/%	光照强度/ ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)
8:00	27.12	82.35	142.44	0.81	2.83	38.18
9:00	28.86	78.56	282.51	0.55	2.83	27.93
10:00	29.65	76.01	247.63	0.33	1.78	39.89
11:00	31.48	71.61	88.16	0.87	1.03	67.32
12:00	32.52	66.51	203.83	0.91	2.91	95.37
13:00	31.78	69.91	65.77	0.41	2.18	34.40
14:00	31.02	69.18	58.88	0.47	1.79	27.34
15:00	29.93	70.45	60.78	0.37	3.16	44.33
16:00	28.73	71.91	27.33	0.80	8.27	15.11
17:00	29.13	77.67	29.83	0.52	2.16	10.08

表 5 负离子与气象因子相关分析矩阵

Table 5 Correlativity of aero-anion with other environmental factors

因子	负离子	正离子	气温	相对湿度	风速	光照强度
负离子	1					
正离子	0.437**	1				
气温	-0.564*	-0.279*	1			
相对湿度	0.427**	0.181	-0.846**	1		
风速	0.0110	0.116	0.064	-0.181	1	
光照强度	-0.162	0.048	0.079	-0.055	0.183	1

度与空气正离子浓度呈显著的正相关($P < 0.01$), 这个结论在以前的研究中很少被发现。

3 结论与讨论

西径山森林公园 6 个群落的日变化趋势基本一致, 除毛竹和杉木群落呈单峰曲线外, 其余都为双峰曲线, 且全天的负离子值都明显高于 2 个对照。其中樟树-桂花群落与香椿-紫楠群落呈明显的双峰曲线, 毛竹群落、青冈-苦槠群落与入口广场日变化趋势都很平缓, 全天负离子浓度波动较小。光合作用是植物生存的根本, 光合作用也是植物负离子产生的重要源泉^[16]。清晨, 植物光合作用较弱, 空气负离子较少; 随着太阳辐射的不断增强, 植物的光合作用也逐渐加强, 加之紫外线对植物叶片的光电效应^[11], 空气负离子浓度在 9:00-10:00 达到 1 个峰值; 12:00 左右, 太阳辐射达到最强, 这时气温升高, 植物光合作用也出现“午休”现象, 再加上空气湿度的降低, 使得空气负离子浓度降至最低; 之后随着气温降低和太阳辐射的减弱, 空气负离子浓度在 14:00 左右出现第 2 个峰值。而本研究中最小值和第 2 个峰值分别出现在 12:00 和 14:00, 比以往的研究^[11,14,17]提前了约 2 h, 可能由于海拔等地理因素, 温度和太阳辐射强度的变化区别于其他地区, 导致了这种现象的出现。

空气质量评价指数的昼间变化趋势基本与空气负离子浓度昼间变化趋势一致, 6 个群落均全天的空气质量指数都明显高于对照, 在 9:00 是达到了峰值, 除竹林群落属于一般清洁($I_c = 0.79$)外, 所有群落都达到了最清洁; 另外, 6 个群落也均在 12:00 时达到最小值, 而入口广场群落($I_c = 0.23$)则低于临界值($I_c = 0.28$), 由此建议游客在上午 9:00 左右游览公园, 可起到更好的保健作用。

对于负离子浓度日均值而言, 香椿-紫楠群落明显高于其他群落, 且空气质量评价指数也远高于其他群落, 原因在于该群落不仅郁闭度极高, 而且处于山谷之间, 有山泉流经, 温度较低, 而相对湿度较高, 这样的环境条件决定了该群落较高的负离子水平; 而所有群落中, 竹林群落负离子日均值最低, 且空气质量评价指数也明显低于其他群落, 是 6 个参试群落中, 唯一处于 B 级(一般清洁)的群落。从已有的研究结果来看, 有阔叶混交群落比竹子群落负离子浓度高的报道^[18]。由于阔叶群落叶面积指数较大, 生物量较高, 郁闭度较大, 群落和外部的空气交流也闭塞很多, 植物通过光合作用、气体交换等方式能够产生较高浓度、较高质量的空气负离子^[13,19]。而竹林群落往往结构较单调, 缺少灌木层而导致通透性比较好, 和群落外部的空气交流比较容易。人民广场的空气质量评价指数高于入口广场, 这是可能因为入口广场虽然处在自然环境中, 但附带有停车场及大面积的硬质广场, 绿化以草坪为主, 较人民广场相对完整的群落结构而言, 郁闭度太低。

有关空气负离子效应与其他气象因子相关性的研究已有很多^[8,20-21]。大多数研究认为, 空气负离子与空气温度呈显著负相关, 与空气湿度呈显著正相关^[11-12], 即空气负离子浓度随气温升高而降低, 随空气湿度升高而增加。也有人提出相反的观点, 即空气负离子浓度与气温成正相关, 而与空气湿度成负相关^[3]。对于这一点, 本次试验的结论支持了大多数研究的成果, 得出空气负离子浓度与空气温度呈显著负相关, 与空气湿度呈显著正相关。石彦军等^[11]的研究表明空气负离子浓度与太阳辐射呈负相关, 而本研究结论为空气负离子与太阳辐射无明显相关性。

参考文献:

- [1] TERMAN M, TERMAN J S. Treatment of seasonal affective disorder with high-output negative ionizer [J]. *J Altern Com Med*, 1995, **1** (1): 87 - 92.
- [2] 章志攀, 俞益武, 孟明浩, 等. 旅游环境中空气负离子的研究进展[J]. 浙江林学院学报, 2006, **23** (1): 103 - 108.
ZHANG Zhipan, YU Yiwu, MENG Minghao, *et al.* Progresses of aero anion in tourism environments[J]. *J Zhejiang For Coll*, 2006, **23** (1): 103 - 108.
- [3] 邵海荣, 贺庆棠. 森林与空气负离子[J]. 世界林业研究, 2000, **13** (5): 19 - 23.
SHAO Hairong, HE Qingtang. Forest and air anion [J]. *World For Res*, 2000, **13** (5): 19 - 23.
- [4] KRUEGER A P. Air ions and physiological function [J]. *J Gen Physiol*, 1962, **45**: 233 - 241.
- [5] 吴楚材, 黄绳纪. 桃源洞国家森林公园空气离子含量及评价[J]. 中南林学院学报, 1995, **15** (1): 9 - 12.
WU Chucai, HUANG Shengji. Measurement of negative air ion concentration and assessment for Taoyuandong National Forest Park [J]. *J Cent South For Univ*, 1995, **5** (1): 9 - 12.
- [6] 张荣健. 龙岩国家森林公园云顶茶园空气负离子浓度的测定与评价[J]. 福建林业科技, 2005, **32** (4): 86 - 89.
ZHANG Rongjian. Determination and value on air anion concentration in yunding tea garden of Longyan National Forest Park[J]. *J Fujian For Sci Technol*, 2005, **32** (4): 86 - 89.
- [7] 王资荣, 赫小波. 张家界国家森林公园环境质量变化及对策研究[J]. 中国环境科学, 1998, **8** (4): 36 - 39.
WANG Zirong, HE Xiaobo. Changes of the environmental quality and the strategy study for Zhangjiajie National Forest Park [J]. *China Environ Sci*, 1998, **8** (4): 36 - 39.
- [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.
SHAO Hairong, HE Qingtang, YAN Haiping, *et al.* Spatiotemporal changes of negative air ion concentrations in Beijing [J]. *J Beijing For Univ*, 2005, **27** (3): 35 - 39.
- [9] 范亚民, 何平, 李建龙, 等. 城市不同植被配置类型空气负离子效应评价[J]. 生态学杂志, 2005, **24** (8): 883 - 886.
FAN Yamin, HE Ping, LI Jianlong, *et al.* Effect evaluation of air negative ions under different vegetation arrangements in Nanning City [J]. *Chin J Ecol*, 2005, **24** (8): 883 - 886.
- [10] 郑文俊, 王金叶, 李海铭, 等. 森林游憩区不同植被类型的空气负离子浓度水平的初步研究[J]. 福建林业科技, 2009, **36** (2): 99 - 100.
ZHENG Wenjun, WANG Jinye, LI Haiming, *et al.* Preliminary study on aero-anion concentration of different vegetation types in forestry recreational areas [J]. *J Fujian For Sci Technol*, 2009, **36** (2): 99 - 100.
- [11] 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 Yanjun, YU Shuquan, ZHENG Qinglin. Aero-anion ecological efficacy in six types of plant communities [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2010, **27** (2): 185 - 189.
- [12] 蒋文伟, 张振峥, 赵丽娟, 等. 不同类型森林绿地空气负离子生态效应[J]. 中国城市林业, 2008, **6** (4): 49 - 51.
JIANG Wenwei, ZHANG Zhenzheng, ZHAO Lijuan, *et al.* The research on aero-anion ecological efficacy in different types of urban forest green space [J]. *Chin Urban For*, 2008, **6** (4): 49 - 51.
- [13] 吴际友, 程政红, 龙应忠, 等. 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 Jiyu, CHENG Zhenhong, LONG Yingzhong, *et al.* The variation of aero-anion concentration on landscape forest [J]. *J Nanjing For Univ Nat Sci Ed*, 2003, **27** (4): 78 - 80.
- [14] 胡国长. 不同林分类型空气离子的时空分布及其影响因素研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2008.
HU Guochang. *The Study of Air Ion' Space-time Distribution and Influential Factors of Different Forest Types* [D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2008.
- [15] 马云慧. 空气负离子应用研究新进展[J]. 宝鸡文理学院学报: 自然科学版, 2010, **30** (1): 42 - 45.
MA Yunhui. New progress in the research into negative air ions and their applications [J]. *J Baoji Univ Arts Sci Nat Sci*, 2010, **30** (1): 42 - 45.

- [16] 秦俊, 王丽勉, 高凯, 等. 植物群落对空气负离子浓度影响的研究[J]. 华中农业大学学报, 2008, **27** (2): 303 – 308.
QIN Jun, WANG Limian, GAO Kai, *et al.* Improvement of negative air ions concentration by plant communities [J]. *Huazhong Agric Univ*, 2008, **27** (1): 303 – 308.
- [17] 章志攀, 俞益武, 张明如, 等. 天目山空气负离子浓度变化及其与环境因子的关系[J]. 浙江林学院学报, 2008, **257** (4): 481 – 485.
ZHANG Zhipan, YU Yiwu, ZHANG Mingru, *et al.* Negative air ion concentration and environmental factors for Mount Tianmu of Zhejiang Province [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2008, **25** (4): 481 – 485.
- [18] 苏树全. 不同林分类型对空气质量的影响研究[J]. 中南林业调查规划, 2002, **21** (4): 47 – 48.
SU Shuquan. Study on different stand type's influence to air quality [J]. *Cent South For Inventory Plann*, 2002, **21** (4): 47 – 48.
- [19] 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 Hairong, DU Jianjun, SHAN Hongchen, *et al.* Assessment of air cleanness degree in Beijing using negative air ion concentration as an index [J]. *J Beijing For Univ*, 2005, **27** (4): 56 – 59.
- [20] 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.
CHEN Jiaying, SONG Yongchang, TAO Kanghua, *et al.* Study on the air anions of the urban greenery patches in Shanghai [J]. *Ecol Environ*, 2006, **15** (5): 1024 – 1028.
- [21] 李陈贞, 甘德欣, 陈晓莹. 不同生态环境条件对空气负离子浓度的影响研究[J]. 现代农业科学, 2009, **16**(5): 174 – 176.
LI Chenzhen, GAN Dexin, CHEN Xiaoying. Different ecological conditions on the concentration aero anion research [J]. *Mod Agric Sci*, 2009, **16** (5): 174 – 176.