

不同树种林分对空气负离子浓度的影响

周 斌, 余树全, 张 超, 伊力塔

(浙江农林大学 林业与生物技术学院, 浙江 临安 311300)

摘要: 为科学选择城镇造林或绿化树种, 对浙江省嘉兴市新塍镇 13 个树种林分内的空气负离子浓度进行日变化监测研究。结果表明: 不同树种林分的空气负离子浓度具有一定差异, 樱花 *Cerasus serrulata*-小叶黄杨 *Buxus sinica* var. *parvifolia* 混交林、红枫 *Acer palmatum* ‘Atropurpureu’ 纯林内空气负离子浓度相对较高, 黄山栎树 *Koelreuteria paniculata* 与无患子 *Sapindus mukorossi* 纯林内空气负离子浓度较低。不同结构林分的空气负离子浓度差异明显, 表现为乔灌混交林 > 灌木林 > 乔木林, 其空气负离子浓度日变化趋势较为一致, 均在上午 10:00 左右出现 1 个峰值, 在下午 16:00 - 18:00 呈上升趋势。对空气负离子与环境因子的相关性分析显示, 空气负离子与相对湿度呈极显著正相关 ($P < 0.01$), 而与温度极显著负相关 ($P < 0.01$), 与紫外线强度显著负相关 ($P < 0.05$)。对空气负离子与林分因子的相关性分析显示, 空气负离子浓度与林分密度呈显著正相关 ($P < 0.05$)。图 2 表 5 参 14

关键词: 森林生态学; 空气负离子; 树种; 环境因子; 林分

中图分类号: S718.5 文献标志码: A 文章编号: 2095-0756(2011)02-0200-07

Aero-anion ecological efficiency of 13 tree species in Zhejiang Province

ZHOU Bin, YU Shu-quan, ZHANG Chao, YI Lita

(School of Forestry and Biotechnology, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China)

Abstract: To provide a theoretical basis for choosing suitable tree species for urban afforestation, diurnal variation of the aero-anion concentration surrounding 13 different stand types (*Sapindus mukorossi*, *Michelia maudiae*, *Michelia chapensis*, *Elaeocarpus sylvestris*, *Cinnamomum camphora*, *Magnolia grandiflora*, *Acer palmatum* ‘Atropurpureu’, *Dendronthamia japonica* var. *chinensis*, *Osmanthus fragrans*, *Koelreuteria paniculata*, *Prunus serrulata*-*Buxus sinica*, *Magnolia denudata*-*Buxus sinica*, and *Liquidambar formosana*) in the nursery of Xincheng Town, Jiaxing City in Zhejiang Province was compared by LSD and studied using a correlation analysis with environmental factors and characteristic of plant communities. Results showed that among the 13 stand types, a mixed plantation of *Prunus serrulata* with *Buxus sinica* ($822 \text{ particle} \cdot \text{cm}^{-3}$) and a pure plantation of *Acer palmatum* ‘Atropurpureu’ ($743 \text{ particle} \cdot \text{cm}^{-3}$) had higher aero-anion concentrations with *Koelreuteria paniculata* ($533 \text{ particle} \cdot \text{cm}^{-3}$) and *Sapindus mukorossi* ($532 \text{ particle} \cdot \text{cm}^{-3}$) pure plantations having lower concentrations. A multilayer tree-shrub structure had the highest aero-anion concentration ($751 \text{ particle} \cdot \text{cm}^{-3}$) followed by shrubs ($700 \text{ particle} \cdot \text{cm}^{-3}$) then trees ($622 \text{ particle} \cdot \text{cm}^{-3}$). According to the 6:00 to 18:00 diurnal variation curves, the aero-anion concentration tended to peak at 10:00 and with an another general increase from 16:00 to 18:00. The correlation analysis showed a strong significant, positive correlation between aero-anion concentration and relative humidity ($P < 0.01$, $r = 0.473$); a strong significant, negative correlation for aero-anion concentration and temperature ($P < 0.01$, $r = -0.504$); a significant negative correlation between aero-anion concentration and ultraviolet radiation intensity ($P < 0.05$, $r = -0.305$); and a significant positive correlation for aero-anion concentration and planting density ($P < 0.05$, $r = 0.648$). The

收稿日期: 2010-08-15; 修回日期: 2010-11-07

基金项目: 浙江省重大科技攻关项目(2006C12060)

作者简介: 周斌, 从事城市生态学等研究。E-mail: zhouli3@126.com。通信作者: 余树全, 教授, 博士, 从事森林生态、城市生态和生态规划等研究。E-mail: yushq@zafu.edu.cn

plant communities were able to improve the aero-anion concentration of mini-surrounding. [Ch, 2 fig. 5 tab. 14 ref.]

Key words: forest ecology; aero-anion concentration; tree species; environmental factors; forest stand

空气负离子具有杀菌、降尘、清洁空气等作用, 被誉为“空气维生素”, 已被部分城市作为评价环境空气清洁程度的重要指标^[1-3]。城市绿地能够产生大量空气负离子, 其原因在于绿地具有降温增湿的作用, 并且可以通过光合作用释放氧气, 而氧气分子和水分子正是形成空气负离子的主要成分。目前, 关于空气负离子效应的研究对象多集中于风景区、公园、校园和城区等环境, 研究内容也以特定区域或群落类型的空气负离子浓度变化特征为主^[4-5], 而对不同树种林分内的负离子效应研究较少, 为数不多的研究成果也因当时人力物力的限制, 在试验方案制订方面存在问题, 难以揭示不同树种间的负离子效应差异。吴际友等^[6]在 2000 年 7 月中旬连续 3 d 于湖南南岳树木园对 8 种园林树种林分内的空气负离子浓度水平进行监测和排序, 但其观测时间仅为每天的 8:30, 由于大量实验已经证明不同林分内空气负离子浓度的日变化曲线不尽相同, 因此, 单一时刻的观测结论不足以推断林分的整体特征。邵海荣等^[5]自 1999 年至 2002 年多次在不同季节对北京市北部和西北部山区的林场和自然保护区的 12 种林分的空气负离子浓度水平进行测定, 因未在文中说明具体的监测时间, 所以我们无法判断该实验是否同样存在观测时间的偏颇问题, 但是相关研究已初步明确空气负离子浓度与局部环境温度及空气污染状况呈负相关, 与空气相对湿度呈正相关^[7-8], 而该实验中的样地在地理空间分布上跨度较大, 外部环境的差异极易影响到观测数据的可比性。因此, 选择环境条件一致, 唯一差异是树种林分差异的局地区域, 是揭示不同树种林分空气负离子效应差异的关键。为此, 笔者对实验方案进行了改进设计, 并于 2009 年夏季选择嘉兴市新塍镇苗圃基地的 13 个不同林分进行空气负离子浓度日变化的观测(该样地周围环境条件完全相同, 唯一差异是树种林分不同, 而且各林分面积大小基本相同), 旨在揭示不同城镇造林绿化树种林分空气负离子效应差异。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究地概况

浙江省嘉兴市地处长江三角洲南翼的杭嘉湖平原, 位于 30°19'39" ~ 31°01'57"N, 120°17'27" ~ 121°15'54"E, 全市森林覆盖率为 15.9%。嘉兴市新塍镇属太湖流域, 河网密布; 该区属亚热带海洋性季风气候, 四季分明, 光照充足, 雨水丰沛, 年均气温为 15.5 °C, 年降水量为 1 167.5 mm, 年日照时数达 2 007 h, 主导风向为东南风; 全镇地势平坦, 平原面积占 88.1%, 水域面积占 11.9%, 平均海拔高度为 3.7 m。

嘉兴市新塍镇苗圃基地占地面积约 2.5 hm², 地势开阔平整, 形状为长方形。沿纵轴方向 1 条 5 m 宽的水泥路将苗圃均分, 13 种林分沿路规则排布两侧, 面积为 1 600 ~ 2 500 m², 形状为长方形。同一林分内树种规格相同, 株行距相同。林分长势良好, 无病虫害, 除 2 块为乔灌混交林外(带状间隔栽植), 其他均是乔木或灌木纯林, 各树种林分所处的大气、土壤等环境条件完全一致。林分特征见表 1。

1.2 观测内容与方法

空气负离子的观测选择在各种林分的中心位置, 距地面 1.5 m 高, 分别测定东南西北 4 个方向, 各个方向读取 10 个稳定值, 取平均值作为该林分的负离子观测值进行分析。于 2009 年 7 - 8 月, 每月各选择晴朗无风的 3 d 对 13 种林分以及 1 块对照空地(水泥地面)进行观测, 从早上 6:00 至下午 18:00, 隔 2 h 测定 1 次, 同时记录温湿度、紫外线强度和可吸入颗粒物(P_{M10})浓度。

1.3 观测仪器

负离子浓度监测使用 ITC-201A 型智能便携式空气离子测试仪。该仪器的离子浓度测量范围为 10.00 ~ 1.99×10^6 个·cm⁻³, 测定离子浓度误差 ≤ ± 10%, 离子迁移率误差 ≤ ± 10%; 采用台湾产 TES-1362 型数字式温湿度测量仪测定气温和相对湿度, 气温测量范围为 - 20 ~ + 85 °C, 测量精度 ± 0.1 °C, 相对湿度测量范围为 0 ~ 100%, 测量精度 ± 0.1%; 采用 Apogee 紫外线辐射计测定紫外线强度, 该仪器的测量范围为 0 ~ 400 μmol·m⁻²·s⁻¹(全光照的紫外强度为 170 μmol·m⁻²·s⁻¹), 测量精度为 ± 10%; 采用 LD-3C 型

表1 林分特征

Table 1 Characteristics of 13 plant communities

编号	树种名称	林分结构	林分特征			
			郁闭度/%	树高/m	胸径/cm	密度/(株·m ⁻²)
L1	无患子 <i>Sapindus munorossi</i>	单层乔木林	80	6.0	9.72	0.25
L2	深山含笑 <i>Michelia maudiae</i>	单层乔木林	60	5.0	6.96	1.00
L3	乐昌含笑 <i>Michelia chapensis</i>	单层乔木林	60	5.5	10.34	0.44
L4	杜英 <i>Elaeocarpus decipiens</i>	单层乔木林	50	6.0	13.60	0.25
L5	樟树 <i>Cinnamomum camphora</i>	单层乔木林	80	6.5	16.50	0.25
L6	广玉兰 <i>Magnolia grandiflora</i>	单层乔木林	80	4.0	8.60	0.44
L7	红枫 <i>Acer palmatum</i> ‘Atropurpureu’	单层灌木林	90	1.5	3.30	1.00
L8	四照花 <i>Dendrobenthamia japonica</i> var. <i>chinensis</i>	单层灌木林	90	2.0		1.00
L9	桂花 <i>Osmanthus fragrans</i>	单层灌木林	40	2.5		0.44
L10	黄山栾树 <i>Koelreuteria paniculata</i>	单层乔木林	60	4.5	6.18	0.50
L11	樱花 <i>Ceranus serrulata</i> -小叶黄杨 <i>Buxus sinica</i> var. <i>parvifolia</i>	乔灌复层混交林	70	4.0	8.80	1.00
L12	白玉兰 <i>Magnolia denudata</i> -小叶黄杨 <i>Buxus sinica</i> var. <i>parvifolia</i>	乔灌复层混交林	80	4.0	4.26	1.00
L13	枫香 <i>Liquidambar formosana</i>	单层乔木林	70	5.0	9.38	0.27
L14	空地					

说明：本研究所涉及的灌木纯林规格较大，平均树高为2 m左右，近似小乔木。

激光粉尘仪测定粉尘含量，测定范围为0.01 ~ 100.00 mg·m⁻³和0.001 ~ 10.000 mg·m⁻³，测量精度±10%。

1.4 数据分析

采用单因素方差分析比较13种林分及对照空地的日均空气负离子浓度差异。将13种林分按结构差异分为单层乔木林、单层灌木林、乔灌结合复层混交林3种类型，以空地为对照比较其林分内部空气负离子浓度的日变化特征。将空气负离子浓度和气温、相对湿度、紫外线强度及粉尘含量进行平均值处理，以日变化时间为周期单位，进行空气负离子浓度和环境因子的相关性分析。将空气负离子浓度与林分的平均胸径、树高、郁闭度和密度等结构特征进行相关性分析。

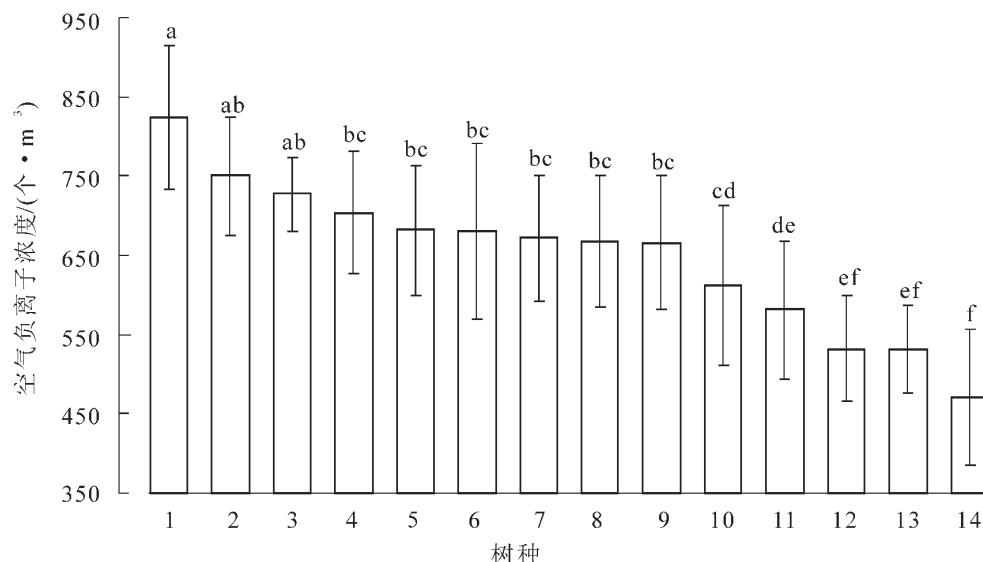
在数据分析前，对所有数据进行正态性与齐性检验。数据处理分析利用SPSS 15.0软件进行，使用Origin 8.0软件完成相关图表制作。

2 结果与分析

2.1 不同树种林分对夏季日均空气负离子浓度的影响

方差分析表明：除无患子 *Sapindus munorossi* 和黄山栾树 *Koelreuteria paniculata* 外，其他树种林分的空气负离子浓度均显著高于空地(图1)，13种林分与空地的负离子浓度平均差异为193个·m⁻³。将各林分空气负离子浓度与空地的平均差值以ΔC表示，其中ΔC高于300个·m⁻³的林分只有L11，占总数的7.7%；ΔC值在100 ~ 200个·m⁻³的林分有5个，占总数的38.5%，分别是L2, L3, L5, L9, L13；ΔC值在200 ~ 300个·m⁻³的林分有5个，分别是L4, L6, L7, L8和L12。

樱花 *Ceranus serrulata*-小叶黄杨 *Buxus sinica* var. *parvifolia* 混交林日均空气负离子浓度明显高于其他林分，达822个·m⁻³，红枫 *Acer palmatum* ‘Atropurpureu’ 纯林和白玉兰 *Magnolia denudata*-小叶黄杨混交林次之，分别为743个·m⁻³和731个·m⁻³，其共同特征表现为林冠层位置较低，距地面1.5 m高度处叶面积较大，林分密度较高。无患子和黄山栾树纯林内的空气负离子浓度较低，分别为532个·m⁻³和533个·m⁻³，与杜英 *Elaeocarpus decipiens*，深山含笑 *Michelia maudiae* 以及枫香 *Liquidambar formosana* 纯林等空气负离子浓度较高的林分比较，这2种林分没有表现出相对独特的结构特征。综合来看，经最小显著差数法(LSD)多重比较分析，13种林分中8种林分内的空气负离子浓度差异并不显著，占总数的



1. 樱花 *Cerasus serrulata*-小叶黄杨 *Buxus sinica* var. *parvifolia*; 2. 红枫 *Acer palmatum* 'Atropurpureu'; 3. 白玉兰 *Magnolia denudata*-小叶黄杨; 4. 杜英 *Elaeocarpus decipiensis*; 5. 四照花 *Dendrobenthamia japonica* var. *chinensis*; 6. 广玉兰 *Magnolia grandiflora*; 7. 乐昌含笑 *Michelia chapensis*; 8. 深山含笑 *Michelia maudiae*; 9. 桂花 *Osmanthus fragrans*; 10. 枫香 *Liquidambar formosana*; 11. 樟树 *Cinnamomum camphora*; 12. 黄山栎树 *Koelreuteria paniculata*; 13. 无患子 *Sapindus munorossi*; 14. 空地

图 1 不同树种林分空气负离子浓度的显著性差异

Figure 1 Notability difference of aero-anion concentrations in different tree species

61.5%，其浓度水平集中分布在 650 ~ 750 个·m⁻³。由此可以推断，多数树种林分内空气负离子浓度差异并不大，空气负离子效应较强或较弱的树种林分只占少数，樱花 + 小叶黄杨混交林应作为重点观察对象，在持续监测验证的基础上进行推广。

2.2 不同林分结构夏季空气负离子浓度日变化

将 13 种林分按林分结构差异，分为单层乔木林、单层灌木林以及乔灌复层混交林 3 种类型，比较其空气负离子浓度日变化(6:00 - 18:00)特征(图 2)。经方差分析，不同结构林分的空气负离子浓度差异明显，具体表现为乔灌复层混交林(751 个·m⁻³)>单层灌木林(700 个·m⁻³)>单层乔木林(622 个·m⁻³)>空地(472 个·m⁻³)。

不同结构林分日变化趋势较为一致，在 10:00 左右空气负离子浓度达到峰值后逐渐下降，在 16:00 - 18:00 又有一个明显的上升趋势。原因在于早晨植物光合作用较弱，随着太阳辐射不断增强，植物光合作用逐渐加强，因而产生大量空气负离子，至 9:00 - 10:00 达到峰值。中午前后，由于太阳辐射达到最强，植物光合作用也出现“午休”现象，再加上夏季温度偏高，空气相对湿度较低，在 12:00 - 16:00 空气负离子浓度基本上呈逐渐降低趋势。相关研究认为 14:00 过后，随着太阳辐射的减弱，植物光合作用逐渐加强，空气相对湿度也逐渐变大，至 16:00 左右空气负离子浓度会达到第 2 个峰值^[9]。然而，本研究中的空气负离子浓度并没有在 16:00 左右出现第 2 个峰值，而是在 18:00 达到一个峰值，笔者认为：这与夏季日照时间较长，16:00 时空气相对湿度仍然较低有关。

2.3 空气负离子浓度与环境因子的关系

将空气负离子浓度和气温、相对湿度、紫外线强度和可吸入颗粒物进行平均值处理，以日变化时间为周期单位，进行空气负离子浓度和环境因子的相关性分析，结果如表 2 所示：①空气负离子浓度与空气相对湿度呈极显著正相关($P < 0.01$)。根据大地测量学和地理物理学国际联盟大气联合委员会的理论，

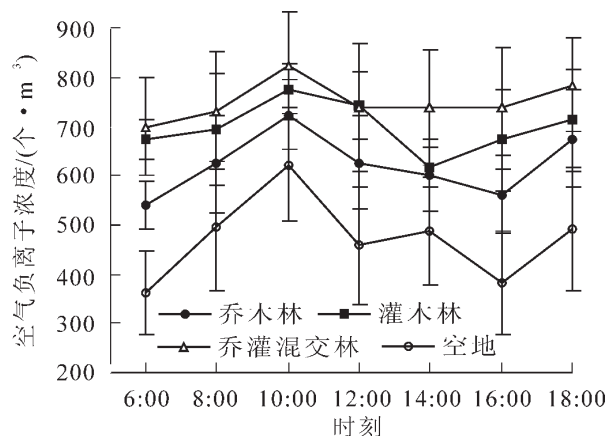


图 2 空气负离子日间变化

Figure 2 Diurnal change of aero-anion concentrations

空气负离子的主要存在形式是 $O^{2-}(H_2O)_n$, $OH^-(H_2O)_n$ 和 $CO_3^{2-}(H_2O)_2$, 由此可以推测, 相对湿度对空气负离子浓度影响较大^[10]。本研究对空气负离子与空气相对湿度的分析结果支持了这一结论。②空气负离子浓度与气温呈极显著负相关 ($P < 0.01$), 这与气温升高导致空气相对湿度的降低有关。③与以往研究结论^[4]不同的是本研究中空气负离子浓度并没有与空气中的粉尘含量呈显著负相关, 其原因是本实验所选择的苗圃基地环境条件较好, 人为活动干扰少, 空气中的可吸入颗粒物 (P_{M10}) 含量较低且变化不大所致, 这也从侧面反映出本实验样地选择的合理性。④空气负离子浓度与紫外线辐射强度呈显著负相关 ($P < 0.05$)。

2.4 空气负离子浓度与林分因子的关系

2.4.1 空气负离子浓度与林分结构特征相关性分析 将空气负离子浓度与林分平均胸径、树高、郁闭度和密度进行相关性分析, 结果如表 3 所示: ①空气负离子浓度与林分的密度呈显著正相关 ($P < 0.05$)。密度较大的林分, 降温保湿效果较好, 单位面积内生物量较大、叶面积指数较高, 从而有利于空气负离子的产生, 这一点与秦俊等^[11]的结论基本一致。②空气负离子浓度与树高和胸径呈负相关, 但未达统计学显著水平。空气中的负离子一直处于动态平衡中, 其寿命很短, 只有几十秒至数分钟, 不易在环境中积累^[12]。据研究证明空气负离子在环境中的衰减距离为 20 cm^[13], 而植物叶片在光合作用过程中的光电效应及其所释放的氧气又是产生空气负离子的主要途径之一。因此, 我们推测高大乔木在林冠处产生的大量空气负离子不易逾越数米距离扩散至地面, 从而导致了 1.5 m 处观测位置较低的浓度水平。③空气负离子浓度与林分郁闭度无相关性。由于本研究各林分郁闭度差异不大, 以致空气负离子浓度与林分郁闭度在统计学上的相关性不明显。

2.4.2 不同树种林分空气负离子浓度与林分密度的协方差分析 本研究通过对空气负离子浓度与林分结构特征的相关性分析, 得出“空气负离子浓度与林分密度呈显著正相关”的结论, 然而本文的研究重点在于探索不同树种林分内空气负离子浓度的差异情况, 观测的时候就必须要求各林分的密度尽量一致。这在实际研究中是难以控制的。因此, 我们采用协方差分析法, 将林分密度因素作为协变量, 消除其对空气负离子浓度的线性影响后, 比较不同树种林分内空气负离子浓度的差异。使用聚类分析将 13 种林分的夏季日均空气负离子浓度值按高、中、低分成 3 个组, 最小显著差数法 (LSD) 多重分析显示 3 组林分间空气

表 2 负离子与环境因子相关分析矩阵

Table 2 Correlativity of aero-anion concentrations with other environmental factors

	负离子	气温	湿度	紫外线	可吸入颗粒物(粉尘)
负离子	1				
气温	-0.504**	1			
湿度	0.473**	-0.819**	1		
紫外线	-0.305*	0.330*	-0.420**	1	
粉尘	-0.166	0.300	-0.157	-0.113	1

说明: * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$ 。

表 3 负离子与林分特征结构相关分析矩阵

Table 3 Correlativity of aero-anion concentrations with characteristic of plant communities

	负离子	胸径	树高	郁闭度	密度
负离子	1				
胸径	-0.295	1			
树高	-0.460	0.821**	1		
郁闭度	0.055	-0.296	-0.243	1	
密度	0.648*	-0.729*	-0.640*	0.353	1

说明: * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$ 。

表 4 树种与密度的协方差分析

Table 4 Covariance of tree species and density

变差来源	平方和	自由度	均方	F 值	显著性概率
模型	72 020.980	3	24 006.993	19.538	0.000
密度	41.073	1	41.073	0.033	0.859
组类	35 390.177	2	17 695.088	14.401	0.002
误差	11 058.327	9	1 228.703		

说明: * $R^2 = 0.867$ 。

表 5 3 组林分空气负离子浓度 LSD 多重比较

Table 5 LSD multiple comparisons of aero-anion concentration in different tree species

空气负离子浓度分组	空气负离子浓度分组	平均差异	标准差	显著性概率
高浓度组	中浓度组	95.537	30.705	0.012
	低浓度组	213.160	41.044	0.001
中浓度组	高浓度组	-95.537	30.705	0.012
	低浓度组	117.623	26.372	0.002

负离子浓度差异显著。空气负离子高浓度组包括樱花+小叶黄杨混交林、红枫纯林和白玉兰-小叶黄杨混交林等 3 种林分; 中浓度组包括杜英, 四照花 *Dendrobenthamia japonica* var. *chinensis*, 广玉兰 *Magnolia grandiflora*, 乐昌含笑 *Michelia chapensis*, 深山含笑, 桂花 *Osmanthus fragrans* 和枫香等 7 种纯林; 低浓度组包括樟树 *Cinnamomum camphora*, 无患子和黄山栎树等 3 种纯林。以空气负离子浓度为自变量, 林分密度为协变量, 对 3 组林分进行协方差分析, 结果如表 4 所示: 密度因素对空气负离子浓度的影响没有达到显著水平($P = 0.859$), 结合表 3 结论可知, 就本研究而言, 林分密度对空气负离子浓度水平具有一定的积极影响, 但就程度而言, 尚不能起到决定性作用。对 3 组林分的空气负离子浓度进行密度因素修正之后进行最小显著差数法(LSD)多重比较, 如表 5 所示, 其空气负离子浓度差异依然显著。

3 结论

研究发现樱花+小叶黄杨混交林具有较高的空气负离子浓度, 为 $822 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-3}$, 黄山栎树纯林与无患子纯林内空气负离子浓度较低, 分别为 $532 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-3}$ 和 $533 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-3}$ 。多数树种林分内空气负离子浓度差异并不大, 空气负离子效应较强或较弱的树种林分只占少数, 樱花-小叶黄杨混交林应作为重点观察对象, 在持续监测验证的基础上进行推广。不同结构林分的空气负离子浓度差异明显, 具体表现为乔灌混交林($751 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-3}$) > 灌木林($700 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-3}$) > 乔木林($622 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-3}$) > 空地($472 \text{ 个} \cdot \text{m}^{-3}$)。其日变化趋势较为一致, 表现为上午 10:00 左右出现一个峰值, 下午 16:00 - 18:00 有一个上升趋势。乔灌混交林是产生高空气负离子浓度的林分类型, 能够最大限度地发挥生态效益, 有利于提高人居环境质量^[14]。

林分密度对空气负离子浓度水平具有一定的积极影响, 但就程度而言, 尚不能起到决定性作用。空气负离子浓度与相对湿度显著正相关, 与气温呈负相关, 这一点学界已有一定共识。本次研究发现, 空气负离子浓度与紫外线辐射强度呈显著负相关, 这与石彦君等^[9]的研究不一致, 紫外线辐射能够促进植物的光电效应, 增加空气中负离子的含量, 但是其强度会随着光照强度的增大而增大, 光照强度的增大又会导致空气相对湿度的下降, 从而降低空气负离子浓度。本研究仅对紫外线辐射强度与空气负离子浓度的关系做了初步探索, 相关结论应在持续观测的基础上加以完善。

因条件所限, 我们并未在同一林分的林冠层位置与树干层位置分别进行空气负离子浓度的监测, 而是统一定位在林内 1.5 m 高度处(该位置较适于人们获得空气负离子的医疗效果)。研究发现: 林冠层位置较低, 距地面 1.5 m 高度处叶面积较大, 密度较高的树种林分, 其空气负离子浓度也较高。由于目前森林植被空气负离子效应的形成机制并无明确的量化结论, 因此, 林冠层结构对空气负离子浓度的影响作用, 还要在今后的研究工作中进一步论证。

参考文献:

- [1] 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): 3158 - 3162.
WEI Chaoling, WANG Jingtao, JIANG Yuelin, et al. Air negative charge ion concentration and its relationships with meteorological factors in different ecological functional zones of Hefei City [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2006, **17** (11): 3158 - 3162.
- [2] 王洪俊. 城市森林结构对空气负离子水平的影响[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2004, **28** (5): 96 - 98.
WANG Hongjun. The influence of urban forest structure to negative air ion level [J]. *J Nanjing For Univ Nat Sci Ed*, 2004, **28** (5): 96 - 98.
- [3] 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 aeroanion in tourism environments [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2006, **23** (1): 103 - 108.
- [4] 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, **25** (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.

- [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 Hairong, HE Qingtang, YAN Haiping, *et al.* Spatio-temporal changes of negative air ion concentrations in Beijing [J]. *J Beijing For Univ*, 2005, **27** (3): 35 - 39.
- [6] 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 Zhenghong, 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.
- [7] 吴楚材, 郑群明, 钟林生. 森林游憩区空气负离子水平的研究[J]. 林业科学, 2001, **37** (5): 75 - 81.
WU Chucai, ZHENG Qunming, ZHONG Linsheng. A study of the aero-anion concentration in forest recreation area [J]. *Sci Silv Sin*, 2001, **37** (5): 75 - 81.
- [8] 石强, 舒惠芳, 钟林生, 等. 森林游憩区空气负离子评价研究[J]. 林业科学, 2004, **40** (1): 36 - 40.
SHI Qiang, SHU Huifang, ZHONG Linsheng, *et al.* The study of negative air ion evaluation in forestry recreation area [J]. *Sci Silv Sin*, 2004, **40** (1): 36 - 40.
- [9] 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.
- [10] 赵雄伟, 李春友, 葛静茹, 等. 森林环境中空气负离子研究进展[J]. 西北林学院学报, 2007, **22** (2): 57 - 61.
ZHAO Xiongwei, LI Chunyou, GE Jingru, *et al.* Progress of aero-anion in forest environment [J]. *J Northwest For Univ*, 2007, **22** (2): 57 - 61.
- [11] 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]. *J Huazhong Agric Univ*, 2008, **27** (2): 303 - 308.
- [12] 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.
- [13] 吴志湘, 黄翔, 黄春松, 等. 空气负离子浓度的实验研究[J]. 西安工程科技学院学报, 2007, **21** (6): 803 - 806.
WU Zhixiang, HUANG Xiang, HUANG Chunsong, *et al.* Experimental research on the concentration of negative air ions [J]. *J Xi'an Univ Eng Sci Technol*, 2007, **21** (6): 803 - 806.
- [14] 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 Dan, LIANG Yinghui. Effect of urban greenbelt structure on air negative ions concentration [J]. *Chin J Ecol*, 2009, **28** (5): 988 - 991.