

## 千岛湖姥山林场不同森林群落空气负离子浓度的比较

刘欣欣<sup>1</sup>, 华超<sup>1</sup>, 张明如<sup>2,3</sup>, 张建国<sup>2,3</sup>, 柳丹<sup>3</sup>

(1. 浙江农林大学 林业与生物技术学院, 浙江 临安 311300; 2. 浙江农林大学 风景园林与建筑学院, 浙江 临安 311300; 3. 浙江农林大学 旅游与健康学院, 浙江 临安 311300)

**摘要:** 为探讨不同类型森林群落空气负离子浓度的时间变化特征, 选择 2010 年春、夏、秋和冬 4 个季节的晴天, 对浙江淳安千岛湖姥山林场 6 种类型的森林群落的空气负离子、可吸入颗粒物( $PM_{10}$ )和小气候因子进行同步监测。结果表明: ①千岛湖姥山林场空气负离子浓度夏季最高, 秋季次之, 春季和冬季较低; ②6 种类型森林群落空气负离子年平均浓度均在 1 000 个· $cm^{-3}$  以上, 天然森林群落空气负离子浓度高于人工森林群落, 常绿阔叶树群落空气负离子浓度高于针叶树群落; ③不同季节空气质量评价系数变化顺序为夏季>秋季>春季>冬季; ④天然森林群落冬季空气清洁度为 B 级, 其他季节均为 A 级, 人工森林群落夏季和秋季空气清洁度为 A 级, 春季为 B 级, 而冬季仅为 C 级。综合比较不同季节单级系数和空气质量评价系数的变化差异, 认为天然森林群落空气质量高于人工森林群落。图 1 表 4 参 20

**关键词:** 森林生态学; 千岛湖; 森林群落; 空气负离子; 空气质量; 单优群落

中图分类号: S718.3 文献标志码: A 文章编号: 2095-0756(2012)03-0366-08

### Aero-anion concentration in different forest communities of Laoshan Forest Farm, Chun'an County

LIU Xin-xin<sup>1</sup>, HUA Chao<sup>1</sup>, ZHANG Ming-ru<sup>2,3</sup>, ZHANG Jian-guo<sup>2,3</sup>, LIU Dan<sup>3</sup>

(1. School of Forestry and Biotechnology, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 2. School of Landscape Architecture, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 3. School of Tourism and Health, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China)

**Abstract:** The seasonal variation of aero-anions for six forest community types (i.e. evergreen broad-leaved forest communities dominated with *Cyclobalanopsis glauca*, *Schima superba*, *Cyclobalanopsis glauca*, *C. sclerophylla*, *Lithocarpus glaber* and coniferous forest communities dominated with *Pinus massoniana*, *Cupressus funebris*, or natural forest communities dominated with *Cyclobalanopsis glauca*, *Schima superba*, *Cyclobalanopsis glauca*, *C. sclerophylla*, *Lithocarpus glaber*, *Pinus massoniana*, and artificial forest communities dominated with *Cupressus funebris*, *Myrica rubra*) was studied using synchronous monitoring of negative air ions,  $PM_{10}$  (particulate matter < 10  $\mu m$ ), and micro-climate factors at Laoshan Forest Farm, Qiandao Lake, Chun'an County, China, during the four seasons of 2010. Analysis included a comparison of the polarity ratio and an air quality assessment index. Results showed that: (1) the concentration of aero-anions was highest in summer and second in autumn. (2) The annual average aero-anion concentration for the six forest community types was above 1 000 ind· $cm^{-3}$ . Aero-anions by communities showed natural forest > artificial forest and evergreen broadleaved forest > coniferous forest. (3) The air quality assessment index by season was summer > autumn > spring > winter. (4) Natural forest air quality was at the B-level in winter, and A-level in other sea-

---

收稿日期: 2011-05-23; 修回日期: 2011-11-11

基金项目: 浙江省科学技术面上项目(2008C32021); 浙江省自然科学基金资助项目(Y307525); 浙江省旅游科学研究项目(ZJLYY13)。

作者简介: 刘欣欣, 从事森林植被恢复研究。E-mail: liuxinxin\_xs@163.com。通信作者: 张明如, 教授, 博士, 从事森林植被恢复、外来物种扩散和森林健康研究与评价研究。E-mail: mrzheco@yahoo.com.cn

sons, whereas artificial forest air quality was A-level in summer and autumn, B-level in spring, and C-level in winter. Comparing the polarity ratio and the air quality assessment index for different seasons in these forest communities, the air quality of natural forest communities was better than artificial forest communities. These results provided the theory basis for the seasonal variation characteristics of aero-anions for six forest community types. [Ch, 1 fig. 4 tab. 20 ref.]

**Key words:** forest ecology; Qiandao Lake; forest community; aero-anion; air quality; monodominant community

空气负离子有着“空气维生素和生长素”的美誉，具有杀菌、降尘、清洁空气的功效，其浓度水平已成为评价一个地方空气清洁程度的指标。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，森林中空气负离子水平较高已被许多研究所证实。作为一项重要的森林旅游资源，空气负离子的研究受到广泛的重视。研究森林中空气负离子分布状况，对合理开展森林旅游、科学利用空气负离子旅游资源具有重要的现实意义<sup>[1]</sup>。目前，中国对于空气负离子方面的研究，主要侧重在人为干扰环境和自然环境中空气负离子水平、空气负离子资源的开发利用等<sup>[2]</sup>。近几年，中国林业工作者开始关注森林对空气负离子的响应，并着手开展了这方面的研究<sup>[1-7]</sup>。针对浙西北地区，特别是千岛湖国家森林公园空气负离子的研究案例偏少，尚缺少多点区域定位研究和系统定量的研究。本研究通过在千岛湖姥山林场进行定期监测研究，分析不同季节浙江淳安姥山林场 6 种类型的森林群落空气负离子浓度的差异及其与小气候因子的关系，以期对该地区空气质量评价提供科学依据，并为其他区域森林空气负离子浓度的长期研究提供借鉴。

## 1 研究地概况及研究方法

### 1.1 研究地概况

千岛湖姥山林场位于 29°32'34"N, 119°04'04"E, 属于中北亚热带的东北部，气候温暖湿润，雨水充沛，四季分明。地貌以低山丘陵为主。植被类型以天然林为主。总面积为 3 505.27 hm<sup>2</sup>，包括天然林 2 393.82 hm<sup>2</sup>，人工林 918.52 hm<sup>2</sup>，经济林 121.39 hm<sup>2</sup>。其中天然林以马尾松 *Pinus massoniana* 林占优势地位，人工林以马尾松人工林和杉木 *Cunninghamia lanceolata* 人工林为主。森林覆盖率为 95%。

本项研究检测设置在浙江省千岛湖的姥山林场，其地带性植被为常绿阔叶林，建群树种为木荷 *Schima superba*，青冈 *Cyclobalanopsis glauca*，甜槠 *Castanopsis eyrei*，苦槠 *C. sclerophylla*，石栎 *Lithocarpus glaber* 等常绿阔叶树种，以及由马尾松构成的暖性针叶林<sup>[8]</sup>。

测定地段主要类型的群落为：①马尾松构成的暖性针叶群落；②青冈-木荷常绿阔叶森林群落；③青冈-苦槠常绿阔叶森林群落；④苦槠-石栎常绿阔叶森林群落；⑤人工构建的柏木 *Cupressus funebris* 森林群落；⑥人工构建的杨梅 *Morella rubra*-茶 *Camellia sinensis* 园森林群落。研究地森林群落结构特征见表 1。各群落均距离水体水平距离约 80 m，垂直距离为 10 m 以上。

表 1 森林群落特征

Table 1 Characteristics of forest communities

群落类型	郁闭度	优势树种	数量比例/%	年龄/a	树高/m	胸径/cm	下层植被及盖度/%
青冈-木荷	0.8	青冈	70	44	14.3	20.2	灌丛, 60
青冈-苦槠	0.8	苦槠	70	44	14.3	20.2	灌丛, 60
苦槠-石栎	0.8	苦槠, 石栎		48	12.0	16.8	灌丛, 80
马尾松	0.8	马尾松		48	8.3	12.9	灌丛, 60
杨梅-茶园	0.7	杨梅, 茶		28			灌草, 60
柏木	0.5	柏木	100	28	12.6	20.0	蕨类植物, 50

### 1.2 调查研究方法

于 2010 年春季(04-15—04-16)，夏季(07-26—07-27)，秋季(09-16—09-17)和冬季(12-30—12-31)每个季

节选择有代表性的晴天，在各群落内进行连续测定。每天从9:00—17:00进行测定，隔1 h 观测1组数据；每次在距离地面约1.5 m处同步测定6种类型森林群落内空气负离子浓度、可吸入颗粒物( $PM_{10}$ )含量以及气温、相对湿度、风速和光量子等小气候因子。

空气负离子采用ITC-201负离子仪测定，选择4个方位，每个方位各记录5个空气正离子、负离子浓度的波峰值，共计20个数据的平均值为此观测点的正、负空气离子浓度值。

### 1.3 数据处理与空气质量评价方法

运用Excel 2003软件进行数据处理，采用SPSS 13.0进行统计分析，Origin 8.0作图。

本研究采用空气负离子浓度评价法和空气离子评议系数法(安培系数法)对空气质量进行评价<sup>[9]</sup>，其计算公式为： $q=n^+/n^-$ 。其中 $n^+$ 为空气正离子浓度； $n^-$ 为空气负离子浓度。

日本学者安培通过对城市居民生活区空气离子的研究，建立了安培空气离子评议系数( $I_c$ )模型<sup>[10]</sup>：计算公式为： $I_c=(n^-/1\ 000)\times(1/q)$ 。其中 $I_c$ 是指空气中接近自然界空气离子化水平的程度， $I_c$ 值越大，空气质量越好。 $I_c$ 指标将空气负离子作为评价指标，同时考虑正、负离子构成。依据安培等提出的空气质量评价标准，即采用空气离子评价系数法评价空气负离子浓度所属等级(表2)。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同季节6种类型森林群落空气负离子浓度日变化特征

对比分析图1可知：千岛湖姥山林场6种类型森林群落春季和冬季的空气负离子浓度日变化过程呈“M”型，而夏季与秋季空气负离子浓度日变化过程接近于“L”型。

春季天然群落下层空气负离子浓度峰值均出现于上午11:00左右和下午14:00—15:00，谷值出现于12:00，而人工群落中峰值滞后天然群落1 h，峰值出现于中午12:00和下午15:00—16:00，谷值出现于14:00；夏季6种森林群落空气负离子浓度均在上午9:00达到最大值，此时青冈-木荷群落、青冈-苦槠群落、苦槠-石栎群落、马尾松群落和杨梅-茶园群落的空气负离子浓度分别为10 332，10 636，10 824，8 060，8 468和9 093个·cm<sup>-3</sup>，中午空气负离子浓度最低，下午有所回升，15:00均出现一较小峰值；秋季森林群落内空气负离子浓度峰值出现于10:00—11:00，下午空气负离子浓度在较低水平波动。冬季两峰值分别出现于中午12:00左右和下午16:00左右，谷值出现于14:00。监测分析结果表明：千岛湖姥山林场空气负离子浓度夏季最高，秋季次之，春、冬两季空气负离子浓度相对较低。

### 2.2 6种类型森林群落空气负离子年平均浓度的比较

基于2010年不同季节千岛湖姥山林场6种类型森林群落空气负离子浓度的测定值，取平均值近似作为6种类型森林群落空气负离子浓度年平均推算浓度。分析表明：天然次生森林群落空气负离子浓度高于人工森林群落，常绿阔叶森林群落内空气负离子浓度高于暖性针叶森林群落。据监测数据统计结果，不同森林群落类型空气负离子浓度年均值大小顺序依次为：青冈苦槠群落(1 924.3个·cm<sup>-3</sup>)>青冈木荷群落(1 879.2个·cm<sup>-3</sup>)>苦槠石栎群落(1 806.2个·cm<sup>-3</sup>)>马尾松群落(1 411.4个·cm<sup>-3</sup>)>柏木群落(1 320.2个·cm<sup>-3</sup>)>杨梅茶园群落(1 314.2个·cm<sup>-3</sup>)。

本研究结果显示：青冈、苦槠、石栎等构成的常绿阔叶群落内空气负离子浓度高于马尾松群落，与刘凯昌等<sup>[11]</sup>的研究结果有一定的差异，却与邵海荣等<sup>[3]</sup>的研究结果相同。刘凯昌等研究结果表明：空气负离子浓度大小顺序为针叶林>阔叶林>经济林>草地>居民区；邵海荣等研究北京地区不同绿地的空气负离子浓度，认为春季、夏季针叶林的空气负离子浓度低于阔叶林，而在秋、冬季则高于阔叶林，因此，针叶林空气负离子浓度的年平均值高于阔叶林。很多学者还对森林群落结构与空气负离子浓度的关系进行了研究<sup>[12-14]</sup>，普遍认为森林群落结构愈复杂，空气负离子浓度愈高。所以，多树种构成的复层森林群落的空气负离子浓度高于单优森林群落。

表2 空气清洁度分级评价标准

Table 2 Criterion for evaluating air quality recommended

等级	清洁度	$I_c$
A级	最清洁	>1.00
B级	清洁	1.00~0.70
C级	中等清洁	0.69~0.50
D级	容许	0.49~0.30
E级	临界值	<0.29

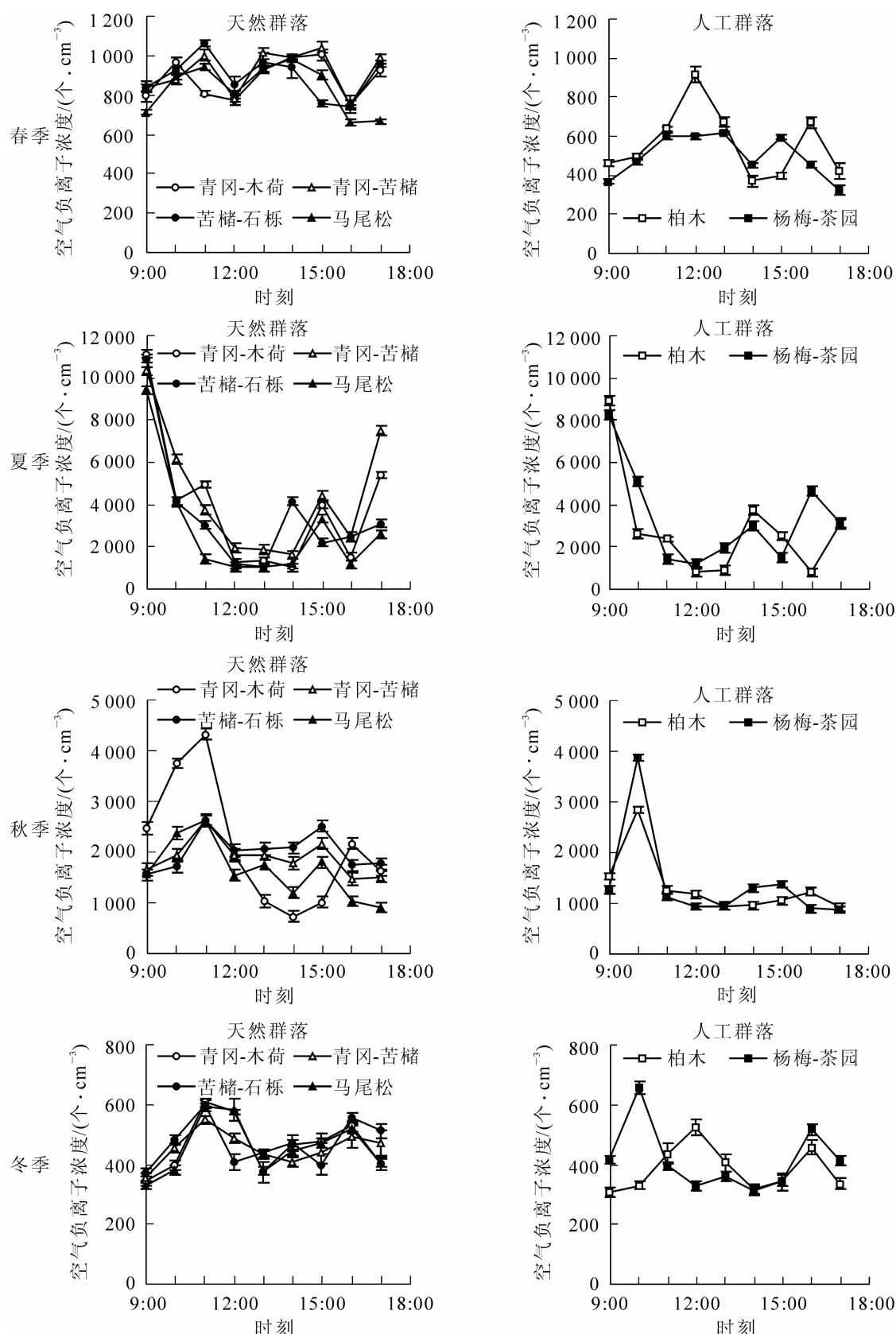


图 1 6种类型森林群落空气负离子不同季节日变化特征

Figure 1 Diurnal variation of aero-anion in different kinds of forest communities

我们测定的马尾松、柏木等针叶树种构成的森林群落树种单一，林相单调，所以暖性针叶森林群落的空气负离子浓度低于森林群落结构较复杂、郁闭度较高的常绿阔叶森林群落。推测天然森林群落与人工森林群落的空气负离子浓度差异可能在于，天然森林群落组成树种年龄较大，乔木层的郁闭度和群落下层植被的盖度较高，结果天然次生森林群落的空气负离子浓度较高。上述结论是基于不同季节大量实测数据得到的平均结果，事实上空气负离子浓度的变化还是比较复杂的，至少与森林群落的类型、郁闭度、林龄、生长势、空间结构等有一定的关系。

### 2.3 6种类型森林群落下层空气质量的变化特征

通过分析千岛湖姥山林场6种类型的森林群落不同季节空气离子的单极系数 $q$ 和空气质量评价系数 $I_c$ (表3)可知：在不同的季节，单极系数 $q$ 和空气质量评价系数具有一定的差异。所测定森林群落的单级系数一般以夏季和秋季较高，春季和冬季较低。不同季节天然群落的单级系数变化于0.77~0.93，均小于1.00；而人工群落夏季单级系数高于1.00，秋季、冬季和春季单级系数低于1.00。

表3中数据结果还显示：不同季节空气质量评价系数 $I_c$ 值的大小顺序为夏季>秋季>春季>冬季，1年中冬季空气负离子的浓度和空气质量明显下降， $I_c$ 值处于最低水平。冬季天然森林群落空气清洁度为B级，其他季节均为A级；夏季和秋季人工森林群落空气清洁度为A级，春季为B级，而冬季为C级。分析原因冬季植物的光合速率减弱，对空气的净化能力相对较低，因此，导致空气质量下降。而对于不同森林群落而言，天然森林群落空气质量明显要高于人工森林群落。

综合比较不同季节的单级系数和空气质量评价系数，表明春季、夏季和秋季天然森林群落的空气质量较高，其单级系数小于1.00， $I_c$ 值均在1.00以上；而人工森林群落夏季和秋季空气质量较高，春季和冬季的空气清洁等级分别下降至B级和C级。

表3 千岛湖姥山林场空气质量季节变化特征

Table 3 Seasonal variations of air quality in Laoshan Forest Farm of Qiandao Lake

季节	天然森林群落					人工森林群落				
	$n^+$	$n^-$	$q$	$I_c$	清洁度	$n^+$	$n^-$	$q$	$I_c$	清洁度
春季	695	882	0.79	1.12	A	342	511	0.67	0.76	B
夏季	3 049	3 612	0.84	4.28	A	3 065	2 853	1.07	2.66	A
秋季	1 826	1 962	0.93	2.11	A	1 312	1 461	0.90	1.63	A
冬季	435	565	0.77	0.73	B	326	443	0.74	0.60	C

### 2.4 空气负离子与环境因子的相关性分析

将6种类型的森林群落空气负离子浓度与小气候因子(气温、相对湿度、风速和光量子密度)、可吸入颗粒物PM<sub>10</sub>浓度进行相关性分析，得出如下结论(表4)：负离子浓度水平受林分因子、气候因子的综

表4 空气负离子影响因素相关性分析

Table 4 Correlativity of aero-anion with other environmental factors

季节	相关性	气温	相对湿度	风速	光量子密度	PM <sub>10</sub>	正离子
春季	相关系数	0.272	0.224	0.285	0.460	-0.002	0.838**
	显著水平	0.479	0.561	0.457	0.213	0.996	0.005
夏季	相关系数	-0.666*	0.465*	-0.250	0.318	-0.769	0.991**
	显著水平	0.025	0.023	0.258	0.202	0.008	0.000
秋季	相关系数	-0.573	0.512	0.365	0.490*	-0.745	0.992**
	显著水平	0.053	0.082	0.167	0.020	0.011	0.000
冬季	相关系数	0.480	0.727*	0.222	-0.015	0.101	0.527
	显著水平	0.096	0.013	0.283	0.485	0.398	0.072

说明： $*P<0.05$ ， $**P<0.01$ 。

合作用影响, 春季森林群落内植物生长较为缓慢, 空气负离子浓度较低, 相关分析揭示气温、相对湿度、光照强度等气候因子影响较小, 空气负离子浓度与气候因子未表现出显著的相关性; 夏季空气负离子浓度明显升高, 与气温呈显著负相关, 与相对湿度呈显著正相关; 秋季负离子浓度与光量子密度呈显著性正相关, 气温和相对湿度对空气负离子浓度的影响作用较小, 相关性不显著; 冬季负离子水平偏低, 负离子浓度水平与气温、风速和光照的相关性不显著, 但相对湿度对负离子浓度影响较大, 空气负离子浓度与相对湿度呈显著性正相关。

### 3 讨论与结论

#### 3.1 讨论

关于针叶森林群落和阔叶森林群落对空气负离子浓度的影响, 目前得出的结论并不一致。邵海荣等<sup>[3]</sup>认为: 针叶森林群落和阔叶森林群落改善空气质量的作用明显不同, 并具有一定的差异, 针叶森林群落空气负离子的年平均浓度高于阔叶森林群落, 但在春季和夏季阔叶森林群落的空气负离子浓度较针叶森林群落高, 而在秋季和冬季, 针叶森林群落高于阔叶森林群落。李印颖等<sup>[15]</sup>对黄土高原植被空气负离子浓度进行研究时认为: 针叶森林群落的空气负离子浓度以及当前强度指数(ICI 值)明显高于阔叶森林群落。本研究结果表明: 由青冈、苦槠构成的常绿阔叶森林群落内空气负离子浓度高于由马尾松、柏木构成暖性的单优森林群落, 分析原因可能是由于所测群落空间结构不同, 下垫面差异大, 从而影响空气负离子的存在时间。我们的研究结论是经不同季节大量实测数据得到的平均结果, 事实上影响空气负离子浓度变化的情况是复杂的。

已有研究<sup>[1-3]</sup>认为: 动态水如喷泉、瀑布、流动的溪流能够对空气负离子产生很大的影响, 而静态水的影响较小。本研究中夏季空气负离子浓度较其他季节高, 其原因在于一方面夏季森林植物光合速率较高, 释放的氧气数量较多; 另一方面测定前降雨较多导致水面上升, 因此, 夏季空气负离子浓度要大于其他季节。

大气中空气负离子与空气正离子总是同时存在的, 理论上空气正负离子的浓度水平保持动态平衡。我们测定结果表明: 空气负离子与空气正离子在春、夏、秋 3 个季节呈极显著性正相关(表 4)。此外, 其他气象因子对空气负离子浓度水平具有重要的影响, 太阳辐射为空气中各种电离反应提供了能量, 而电离反应是空气中正负离子的来源, 再加上国内外的许多研究都表明植物的光合作用对空气负离子的产生有直接贡献; 阵风对空气负离子浓度的影响亦较大, 阵风时的空气负离子浓度高于静风, 但张翔<sup>[16]</sup>认为: 风速、风向与空气负离子浓度无关; 林金明等<sup>[17]</sup>认为: 空气中可吸入颗粒物浓度增加时, 空气负离子容易吸附在可吸入颗粒物上, 变成重离子而沉降消失; 部分学者认为: 空气负离子浓度与气温呈负相关<sup>[12,18]</sup>, 也有人认为气温与空气负离子浓度呈正相关<sup>[19-20]</sup>。

由表 4 可知: 空气负离子浓度与环境因子的相关性因不同季节而表现出一定的差异。在春季和冬季, 空气负离子浓度与气温呈显著正相关; 而在夏季和秋季, 空气负离子浓度与气温呈显著负相关。因此, 可以得出结论当气温<16.0 °C 时, 空气负离子浓度与气温呈正相关关系; 当气温变化于 16.0 ~ 32.0 °C 时, 空气负离子浓度与温度呈负相关关系; 同样地, 当相对湿度<64%, 空气负离子浓度与相对湿度呈负相关关系, 当相对湿度变化于 60%~96% 时, 空气负离子浓度与相对湿度呈正相关关系。而负离子与光量子、风速和 PM<sub>10</sub> 浓度等其他气象因子则未表现出明显的相关性。关于气象因子与空气负离子浓度关系研究结果的差异可能是由研究地区不同所致, 因此, 具体的影响机制有待进一步研究。

#### 3.2 结论

千岛湖姥山林场 6 种类型森林群落空气负离子浓度季节变化特征明显, 夏季空气负离子浓度最高, 秋季次之, 春季和冬季较低。夏季与秋季 6 种类型森林群落空气负离子浓度日变化呈现“L”型, 春季和冬季空气负离子浓度日变化呈现“M”型; 而在 1 d 的测定期段内, 6 种类型森林群落空气负离子浓度在上午和下午的不同时间均出现 2 个峰值。

6 种类型森林群落空气负离子年平均浓度均在 1 000 个·cm<sup>-3</sup> 以上, 其中天然森林群落中空气负离子浓度高于人工森林群落, 常绿阔叶森林群落树中空气负离子浓度高于针叶森林群落。

千岛湖姥山林场不同类型森林群落的空气质量表现出一定的时间差异, 不同森林群落中单级系数一

般在夏季和秋季较高，春季和冬季较低。空气质量评价系数 $I_c$ 值夏季最高，秋季次之，冬季空气负离子数量和空气质量明显下降， $I_c$ 值最低。

天然森林群落冬季空气清洁度为B级，春、夏、秋3个季节均为A级，人工森林群落夏季和秋季空气清洁度为A级，春季为B级，冬季为C级。

空气负离子浓度与气象因子相关性因不同季节而表现出一定的差异，随着季节变化，气温和相对湿度对于空气负离子具有不同的影响作用。而负离子与光量子、风速和PM<sub>10</sub>浓度等其他气象因子则未表现出明显的相关性。

#### 参考文献：

- [1] 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.
- [2] 曾曙光, 苏志尧, 陈北光. 我国森林空气负离子研究进展[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2006, **30**(5): 107–111.  
ZENG Shucui, SU Zhiyao, CHEN Beiguang. Review on forest negative air ions in China [J]. *J Nanjing For Univ Nat Sci Ed*, 2006, **30**(5): 107–111.
- [3] 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: 自然科学版, 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 Nat Sci Ed*, 2005, **27**(3): 35–39.
- [4] 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 ion [J]. *World For Res*, 2000, **13**(5): 19–23.
- [5] 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 Bin, YU Shuquan, ZHANG Chao, et al. Aero-anion ecological efficiency of 13 tree species in Zhejiang Province [J]. *J Zhejiang A & F Univ*, 2011, **28**(2): 200–206.
- [6] 张明如, 陈建新, 俞益武, 等. 浙西山地森林小气候变化特征及其对休闲旅游活动的影响[J]. 内蒙古农业大学学报, 2007, **28**(1): 13–18.  
ZHANG Mingru, CHEN Jianxin, YU Yiwu, et al. Characteristics of forest microclimate in the mountains of western part of Zhejiang and its effects on the leisure tour activity [J]. *J Inner Mongolia Agric Univ*, 2007, **28**(1): 13–18.
- [7] 李少宁, 王燕, 张玉平, 等. 北京典型园林植物区空气负离子分布特征研究[J]. 北京林业大学学报, 2010, **32**(1): 130–135.  
LI Shaoning, WANG Yan, ZHANG Yuping, et al. Distribution characteristics of negative air ions in typical garden areas of Beijing [J]. *J Beijing For Univ*, 2010, **32**(1): 130–135.
- [8] 徐高福. 针叶林阔叶化改造的森林生态防火效果初报[J]. 浙江林业科技, 2009, **29**(3): 84–87.  
XU Gaofu. Experiment on ecological firebreak of broadleaved-oriented transformation of coniferous forest [J]. *J Zhejiang For Sci Technol*, 2009, **29**(3): 84–87.
- [9] 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.
- [10] 石强, 贺庆棠, 吴章文. 张家界国家森林公园大气污染物浓度变化及其评价[J]. 北京林业大学学报, 2004, **24**(4): 20–24.  
SHI Qiang, HE Qingtang, WU Zhangwen. Variations of air pollutant concentrations and their evaluation in Zhangjiajie National Forest Park, China [J]. *J Beijing For Univ*, 2004, **24**(4): 20–24.
- [11] 刘凯昌, 苏树权, 江建发, 等. 不同植被类型空气负离子状况初步调查[J]. 广东林业科技, 2002, **18**(2): 37–39.

- LIU Kaichang, SU Shuquan, JIANG Jianfa, *et al.* Investigation of anion content of environment on some types of vegetation [J]. *J Guangdong For Sci Technol*, 2002, **18** (2): 37 – 39.
- [12] 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 Jiyou, 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.
- [13] 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** (2): 59 – 64.
- PAN Jianbin, DONG Liliao, SHENG Xiao, *et al.* Negative air ion concentration and affecting factors in Beijing Olympic Forest Park [J]. *J Beijing For Univ*, 2011, **33** (2): 59 – 64.
- [14] 郭圣茂, 杜天真, 赖胜男, 等. 城市绿地对空气负离子的影响[J]. 城市环境与城市生态, 2006, **19** (2): 1 – 4.
- GUO Shengmao, DU Tianzhen, LAI Shengnan, *et al.* Relationship between air anions and urban green spaces [J]. *Urban Environ & Urban Ecol*, 2006, **19** (2): 1 – 4.
- [15] 李印颖, 苏印泉, 李继育, 等. 黄土高原植被与空气负离子关系的研究[J]. 干旱区资源与环境, 2008, **22** (1): 71 – 73.
- LI Yinying, SU Yinquan1, LI Jiyu, *et al.* Relations between loess plateau vegetation and aero-anion concentration [J]. *J Arid Land Resour Environ*, 2008, **22** (1): 71 – 73.
- [16] 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.
- ZHANG Xiang. On the related factors influences on air negative ions [J]. *J Hunan Environ-Biol Polytechnic*, 2004, **10** (4): 346 – 351.
- [17] 林金明, 宋冠群, 赵利霞, 等. 环境、健康与负氧离子[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.
- [18] 刘新, 吴林豪, 张浩, 等. 城市绿地植物群落空气负离子浓度及影响要素研究 [J]. 复旦学报: 自然科学版, 2011, **50** (2): 206 – 212.
- LIU Xin, WU Linhao, ZHANG Hao, *et al.* Study on the concentration of negative air ions and the influential factors in different urban plant communities [J]. *J Fudan Univ Nat Sci*, 2011, **50** (2): 206 – 212.
- [19] 王继梅, 冀志江, 隋同波, 等. 空气负离子与温湿度的关系[J]. 环境科学研究, 2004, **17** (2): 68 – 70.
- WANG Jimei, JI Zhijiang, SUI Tongbo, *et al.* Influence of temperature and humidity on negative ion concentration [J]. *Res Environ Sci*, 2004, **17** (2): 68 – 70.
- [20] 张明如, 俞益武, 赵明水, 等. 天目山国家级自然保护区柳杉群落空气负离子浓度日变化特征[J]. 浙江林学院学报, 2009, **26** (5): 701 – 707.
- ZHANG Mingru, YU Yiwu, ZHAO Mingshui, *et al.* Diurnal changes in the negative ion concentration of the air for two *Cryptomeria fortunei* communities of National Nature Reserve of Mount Tianmu [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2009, **26** (5): 701 – 707.