

# 北京典型园林植物区空气负离子分布特征研究

李少宁 王燕 张玉平 潘青华 金万梅 白金

(北京市农林科学院林业果树研究所)

**摘要:**对北京典型园林植物区香山、颐和园、植物园等地开展了不同季节空气负离子浓度的测定,并结合空旷地和市区的观测结果进行了对比分析。结果表明:园林植物的存在可以明显提高空气负离子的浓度,有植被地区空气负离子数值明显高于无植被区。空气负离子浓度随海拔高度的增加呈单峰曲线形式,与各海拔高度的植被状况关系密切,并随着空间梯度的增加而减小。空气负离子浓度在园林植物区日动态变化明显,呈双峰曲线形式。不同生境空气负离子浓度随季节不同变化明显,夏秋季节浓度较高。空气负离子浓度与温度和相对湿度成正相关关系。

**关键词:**园林植物区;空气负离子;北京

**中图分类号:** S718.51<sup>+2</sup> **文献标志码:**A **文章编号:** 1000-1522(2010)01-0130-06

LI Shaoning WANG Yan ZHANG Yiping PAN Qinghua JIN Wanmei BAI Jin Distribution characteristics of negative air ions in typical garden areas of Beijing Journal of Beijing Forestry University(2010) 32(1) 130-135 [Ch 16 ref] Forestry and Pomology Institute Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences 100093, P. R. China

The concentration of negative air ions in different seasons was monitored in typical garden areas of Beijing i.e. the Fragrant Hill, the Summer Palace and the Botanical Garden. Comparative analyses were conducted combined with the results from open spaces and urban areas. The results show that the presence of landscape plants can significantly enhance the negative air ion concentration, which was significantly higher in vegetation areas than that in non-vegetation areas. The negative air ion concentration showed a single peak curve with increasing elevation and was closely correlated with the condition of the vegetation at specific elevations. The diurnal fluctuation of negative air ion concentration in garden areas showed a bimodal curve. The negative air ion concentration in different habitats changed clearly with the seasons, with higher concentrations in the summer and autumn. The concentration of negative air ions was also positively correlated with temperature and relative humidity.

**Key words** flora garden; negative air ion; Beijing

空气负离子日益受到人们的关注,被誉为“空气维生素和生长素”,具有改善人体生理机能、提高免疫力的功能,并对人体多种疾病具有良好的辅助治疗作用<sup>[1-3]</sup>。医学研究表明,当空气负离子浓度达到600~1000个/cm<sup>3</sup>或以上时,不仅可以缓解紧张工作中的压力,调节人们的心情,使人精神焕发,而且对人体7个系统的30多种疾病具有抑制、缓解和辅助治疗作用。多吸入空气负离子可以改善人们的食欲、情绪、睡眠,对人体有明显的保健作用。有人甚至认为空气负离子与长寿有关,称它为“长寿

素”。由于空气负离子对人体健康的重要作用,以及它与大气污染密切的负相关性,因而生态环境评价中空气负离子浓度被列为衡量空气质量的重要指标。在旅游区,空气负离子是一种宝贵的旅游资源<sup>[4]</sup>,随着生态旅游的兴起和人们保健意识的增强,空气负离子的功能被愈来愈多的人所认识,以林业和旅游行业为基础的森林生态旅游、森林浴等活动相继兴起,有关空气负离子的研究也逐步展开<sup>[5]</sup>。当前,关于空气负离子的研究主要侧重在不同环境条件下空气负离子浓度水平及其相关影响因

收稿日期: 2008-11-20

基金项目: 北京市科委重点项目(2007-2008)。

第一作者: 李少宁,博士,助理研究员。主要研究方向: 生态功能监测与评价。电话: 010-82591641 Email: lishaoning@126.com 地址: 100093北京香山瑞王坟甲12号北京市农林科学院林业果树研究所。

本刊网址: <http://www.bjfujournal.cn> <http://journal.bjfu.edu.cn>

子、空气负离子评价标准和分级标准、空气负离子在医疗保健中的作用及其机理、空气负离子资源的开发和利用等<sup>[1,6-10]</sup>,对城市绿地特别是园林植物区、山体的空气负离子时空动态变化及其关键影响因子的研究还亟待深入,作为北京典型园林植物区代表的香山、颐和园和植物园的空气负离子的对比研究更是空白。本研究将探究城市园林植物区空气负离子浓度的时空变化特征,得出影响空气负离子变化的关键因子,为城市建设中植物的选择与配置提供依据,也为居民的绿地休闲活动提供有益的参考。

## 1 研究方法

### 1.1 试验地概况

研究地选在北京的香山公园、颐和园景区和北京植物园的典型园林植物区。3地均位于北京西北郊,北纬 $39^{\circ}56'$ ,东经 $116^{\circ}20'$ 。地处暖温带半湿润地区,属大陆性季风气候。年平均气温 $13^{\circ}\text{C}$ ,1月份最冷,平均气温 $-3.7^{\circ}\text{C}$ ,7月份最热,平均气温

表 2 香山公园观测点生境状况  
Tab 2 Habitat of observation points in the Fragrant Hills

观测点	观测点生境描述
知松园	海拔 200 m, 以百年油松为主,下有草坪,平均树高约 22 m, 郁闭度 0.65
三岔口	海拔 300 m, 阔叶林区, 乔灌草结合的复层结构, 植被有侧柏、油松、荆条, 下有草地, 平均树高约 18 m, 郁闭度 0.85
平台下	海拔 350 m, 针阔混交林区, 植被有侧柏、黄栌、油松、荆条, 平均树高约 7.3 m, 郁闭度 0.9
平台上	海拔 400 m, 红叶区, 植被有黄栌、红栌、油松, 平均树高 7.3 m, 郁闭度 0.8
灌木林	海拔 450 m, 灌木林区, 植被有荆条、酸枣、山杏, 平均高 2.5 m, 郁闭度 0.95
香炉峰下	海拔 500 m, 松柏林区, 植被有油松、侧柏、荆条, 平均高 13.5 m, 郁闭度 0.75
香炉峰	海拔 550 m, 山顶针叶林, 灌木林区, 植被有油松, 平均高 5.5 m, 郁闭度 0.6

注:油松 (*Pinus tabulaeformis*)、侧柏 (*Platycladus orientalis*)、荆条 (*Vitex negundo var heterophylla*)、黄栌 (*Cotinus coggygria*)、红栌 (*C. coggygria var cinerea*)、酸枣 (*Ziziphus acidojubia*)、山杏 (*Amelanchier sibirica*)。

### 1.2.2 颐和园景区观测点布设

选择以水域为主体的颐和园国家级风景区,沿昆明湖畔设定 8 个观测点(其具体生境描述详见表 3),分别做 3 个层次(10、50、1 m)的观测。

表 3 颐和园观测点生境状况

观测点	观测点生境描述
北门	松树草地,植被为 300 年生油松,间或有侧柏,下面是草坪,平均树高为 21 m, 郁闭度 0.7
小山顶	万寿山顶柏树林区。海拔 150 m, 平均树高 6 m, 下面是草地, 郁闭度 0.8
玉带桥北	昆明湖西堤的玉带桥北。两旁均为百余年的柳树,两旁有草地
玉带桥	西堤中部,西湖和昆明湖交界处。阔叶树高约 20 m, 下有草地, 郁闭度 0.65
昆明湖南端	昆明湖南端,湖旁均为百余年的柳树
十七孔桥南	十七孔桥南,湖旁为百余年的柳树
十七孔桥头	十七孔桥头,主要是松柏林,下有草地,平均树高为 5 m, 郁闭度 0.8
十七孔桥北	北十七孔桥北,湖旁为 10 余年的柳树

注:柳树 (*Salix spp.*)。

$25.2^{\circ}\text{C}$ 。年平均降雨量 507.7 mm, 主要集中在 7—8 月份,无霜期 189 d, 3 地均为国家 4A 级旅游区。

选择在西五环附近的空旷地作为对照观测区,在中关村附近的公路旁作为市区的观测点。详见表 1。

表 1 各观测点列表

Tab 1 List of observation points

序号	实验区选择	观测地点	布点选择	布点数/个
A	山地林区为主	香山公园	不同海拔高度	7
B	以水域为主	颐和园	水域周边	8
C	园林植物	植物园	同一海拔不同植物	7
D	无植物空旷地	西五环附近	作为对照	3
E	市区内少植物	中关村附近	市区	3

### 1.2 试验点的布设

#### 1.2.1 香山观测点布设

选择以山地林区为主体的香山公园国家级风景区,在公园东门——香炉峰之间选定 7 个海拔梯度的典型生境,各选择 1 处观测点(其具体生境描述详见表 2),分别做 3 个层次(10、50、1 m)的观测。

表 2 香山公园观测点生境状况

Tab 2 Habitat of observation points in the Fragrant Hills

观测点	观测点生境描述
知松园	海拔 200 m, 以百年油松为主,下有草坪,平均树高约 22 m, 郁闭度 0.65
三岔口	海拔 300 m, 阔叶林区, 乔灌草结合的复层结构, 植被有侧柏、油松、荆条, 下有草地, 平均树高约 18 m, 郁闭度 0.85
平台下	海拔 350 m, 针阔混交林区, 植被有侧柏、黄栌、油松、荆条, 平均树高约 7.3 m, 郁闭度 0.9
平台上	海拔 400 m, 红叶区, 植被有黄栌、红栌、油松, 平均树高 7.3 m, 郁闭度 0.8
灌木林	海拔 450 m, 灌木林区, 植被有荆条、酸枣、山杏, 平均高 2.5 m, 郁闭度 0.95
香炉峰下	海拔 500 m, 松柏林区, 植被有油松、侧柏、荆条, 平均高 13.5 m, 郁闭度 0.75
香炉峰	海拔 550 m, 山顶针叶林, 灌木林区, 植被有油松, 平均高 5.5 m, 郁闭度 0.6

#### 1.2.3 北京植物园观测点布设

选择以园林植物为主体的北京植物园国家级风景区,分别选择 7 个典型生境设观测点(其具体生境描述详见表 4),分别做 3 个层次(10、50、1 m)的观测。

#### 1.2.4 市区和空旷地观测点布设

选择西五环外石景山射击场北面的一个停车场,平时往来车辆和行人少,宽 100 m,长 200 m,周围绿化植物很少。同时,选择在北四环海淀桥附近的公路旁作为城区观测点,同步开展观测,此观测点位于中关村核心地带,人、车流量大。

### 1.3 试验仪器

采用 GPS 进行海拔和测点位置的精确定位。利用 ITC-201A 型智能便携式空气负离子测试仪,在典型园林植物区香山、颐和园、北京植物园和市区等地开展不同季节空气负离子测定。该仪器同时可以记录实时空气温度、相对湿度及时间等。使用经统一校正过的 3 台仪器同步测定空气离子,在每个

表 4 北京植物园观测点生境状况  
Tab 4 Habitat of observation points  
in the Beijing Botanical Garden

观测点	观测点生境描述
东门水旁	位于喷泉水域旁。植被有柳树、碧桃，平均树高约 4 m，下有草地，郁闭度 0.6
银杏园	位于曹雪芹纪念馆前。主要树种是银杏，下有草地，平均高约 6.5 m，郁闭度 0.75
桃园	位于树木区。主要树种是碧桃，平均高 3.5 m，郁闭度 0.8
松柏园	位于树木园小山上。主要树种有侧柏、圆柏，平均高约 5.5 m，郁闭度 0.9
丁香园	位于丁香园区。主要树种有丁香，平均树高约 7.6 m，郁闭度 0.8
牡丹园	位于温室北面。主要植被是牡丹，树种有白皮松，平均高 20.5 m，郁闭度 0.7
万生苑草坪	位于万生苑温室西侧。是开阔的草坪，面积有 5 000 m <sup>2</sup>

注：碧桃 (*Prunus persica* var. *persica* f. *duplex*)、银杏 (*Ginkgo biloba*)、圆柏 (*Juniperus chinensis*)、丁香 (*Syringa* spp.)、牡丹 (*Paeonia suffruticosa*)、白皮松 (*Pinus bungeana*)。

观测点设置 3 个观测梯度 (10、50、100 cm)，待仪器稳定后，每个梯度分别取 8~12 个波峰值和数据变化频率集中的范围值，取平均值作为该测点的空气负离子数值进行分析。

表 5 各观测区空气负离子年平均浓度

Tab 5 Average annual negative air ion concentration in the observation points

个·cm<sup>-3</sup>

香山	负离子平均浓度	颐和园	负离子平均浓度	植物园	负离子平均浓度
知松园	452	北门	467	东门水旁	487
三岔口	609	小山顶	550	银杏园	471
平台下	748	玉带桥北	356	桃园	567
平台上	882	玉带桥	414	松柏园	530
灌木林	671	昆明湖南端	360	丁香园	600
香炉峰下	651	十七孔桥南	365	牡丹园	491
香炉峰	400	十七孔桥头	425	万生苑草坪	373
平均值	630	十七孔桥北	381		
		平均值	415	平均值	502

各观测区空气负离子浓度随高度的变化呈现相同的变化趋势，即随着高度的增加空气负离子的浓度逐渐减小。其中，植物园空气负离子浓度随高度变化最剧烈，市区内变化最平缓(见图 1)。

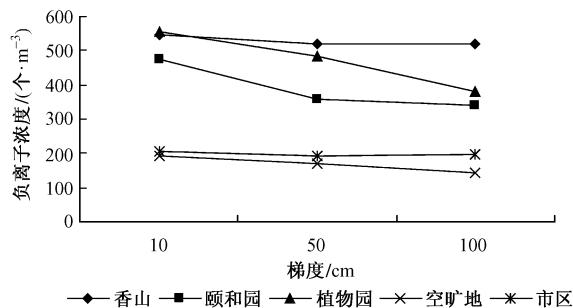


图 1 各观测区空气负离子浓度空间梯度变化曲线

Fig 1 Space gradient of negative air ion concentration in the observation points

从图 2 可以看到，随着海拔高度的增加，香山空气负离子浓度基本呈现单峰变化趋势，峰值出现在

## 1.4 观测时间

从 2007 年 10 月—2008 年 9 月，依据研究目的在所选各生境观测点分别进行空气负离子及其相关因子的观测。实验选择在天气状况良好，大气状态相对稳定，风向、风速变化不大的晴天进行。每月 5 日、15 日、25 日 9:00—12:00 进行观测，并在 7、8、9 月 7:00—19:00 做全天日变化观测，每 2 h 观测 1 次。

## 2 结果与分析

### 2.1 园林植物区空气负离子浓度时空变化特征

#### 2.1.1 各园林植物区空气负离子浓度空间变化特征

对各测点全年的空气负离子浓度进行测定，结果如表 5 所示。香山、颐和园、植物园、空旷地和市区空气负离子浓度年平均值为 630、415、502、171 和 45 个/cm<sup>3</sup>。全年平均空气负离子浓度香山最大，市区最小。这主要是由于香山和植物园的林木比颐和园多，其生物的“绿量”明显高于颐和园。而空旷地缺少植被，市区人流、车流多且污染严重，其空气负离子的存在量少，存在时间短，使得负离子浓度极明显低于 3 个园林植物区。

海拔 400 m 处。这是由于山顶植被覆盖相对较低，而且最大的因素是风速很大，负离子很难停下来。山中部 400 m 处的红叶区阳光充足，空气较山底清新，利于光合作用产生更多的负离子，并较长时间的存留。

经 SPSS 统计软件回归分析得到，空气负离子浓度和海拔的回归关系为：

$$y = -0.01x^2 + 8.58x - 847.31 (R^2 = 0.8197)$$

式中：y 为负离子浓度 (个/cm<sup>3</sup>)，x 为海拔高度 (m)。

对该方程进行显著性检验，得  $\text{sig} = 0.03 < 0.05$ ，即该回归方程回归性显著，表明空气负离子浓度与海拔较好地符合了以上函数关系式，故可用此式来计算香山不同海拔高度的空气负离子浓度值。

#### 2.1.2 各园林植物区空气负离子浓度时间变化特征

测定 7、8、9 月份的各观测点空气负离子的日变化情况，并进行综合统计和分析(见图 3)。

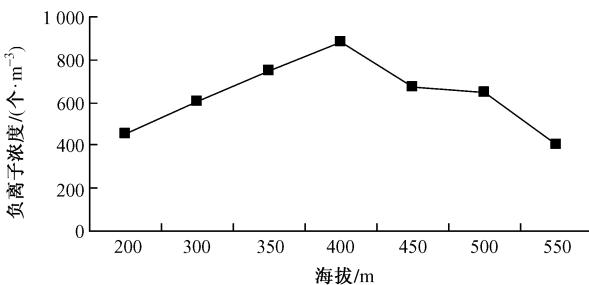


图 2 香山公园空气负离子垂直分布变化图

Fig 2 Vertical distribution curve of negative air ion concentration in the Fragrant Hills

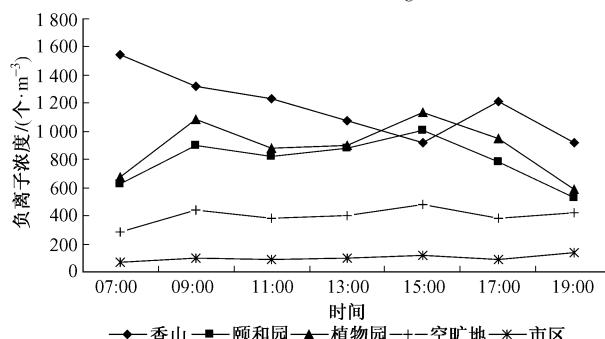


图 3 各实验区空气负离子浓度日变化曲线

Fig 3 Daily mean curve of negative air ion concentration in the observation points

结果表明,不同观测区空气负离子浓度水平日变化特征有所差异。香山空气负离子浓度日间变化剧烈,而其他 4 区变化则相对平缓。这是因为海拔高度不同,空气负离子浓度日变化差异明显,从而使整个香山的空气负离子浓度与其他观测区表现出很大的差异性。观测时段内,香山的空气负离子浓度最大,市区最小。植物园、颐和园、空旷地及市区的空气负离子浓度 9:00 和 15:00 有较大值,最大值均出现在 15:00,分别为 1 134、1 011、477 及 113 个/ $\text{cm}^3$ ;最小值出现时刻则有所差异,植物园和颐和园均出现在 19:00,分别为 587、525 个/ $\text{cm}^3$ ,空旷地和市区均出现 7:00,分别为 288、69 个/ $\text{cm}^3$ 。香山的空气负离子浓度日变化特征与其他观测区显著不同,最大值出现在 7:00,为 1 545 个/ $\text{cm}^3$ ;随后,浓度降低,在 17:00 时又出现一峰值;最小值在 15:00,为 921 个/ $\text{cm}^3$ 。

各观测区空气负离子浓度的年变化曲线变化特征相似,大体呈现单峰变化形式(见图 4)。香山、植物园、颐和园、空旷地及市区空气负离子浓度最大值均出现在 9 月,分别为 1 880、888、688、304 及 77 个/ $\text{cm}^3$ ;最小值均出现在 2 月,分别为 166、144、164、14 及 12 个/ $\text{cm}^3$ ;年变幅分别为 1 714、744、524、290 及 65 个/ $\text{cm}^3$ 。这表明空气负离子浓度受“绿量”、温度、湿度等因素影响显著。

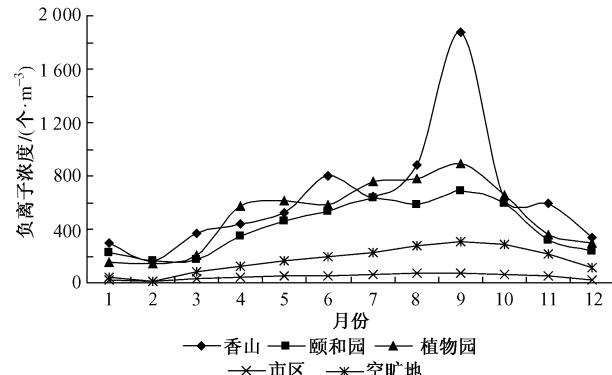


图 4 各观测区空气负离子浓度年变化曲线

Fig 4 Mean annual curve of negative air ion concentration in the observation points

按照气候学季节划分标准,当候(5 d)平均气温小于 10℃ 开始便进入了冬季;候平均气温在 10~22℃ 之间为春、秋季;当候平均气温大于 22℃ 便进入夏季。故本次研究中北京四季的划分按照:春季(4—5 月)、夏季(6—8 月)、秋季(9—10 月)、冬季(11—3 月)。

各观测区空气负离子浓度季节变化值见表 6。由表 6 可知,各观测区空气负离子浓度除香山外以夏季最高,秋季次之,最低值出现在冬季。说明夏秋季节是空气负离子高浓度季节。季节变幅最大的是香山,为 900 个/ $\text{cm}^3$ ;最小的是市区,仅为 60 个/ $\text{cm}^3$ 。

表 6 各观测区不同季节空气负离子平均浓度

Tab 6 Average concentration of negative air ion in different seasons in the observation points 个· $\text{cm}^{-3}$

	香山	颐和园	植物园	空旷地	市区
春	483	407	597	144	46
夏	1 166	877	1 063	347	87
秋	1 252	643	775	297	71
冬	352	224	232	94	27
变幅	900	653	831	253	60

## 2.2 园林植物区空气负离子浓度与环境因子关系

各观测区空气负离子浓度变化趋势与环境因子变化趋势基本一致,呈正相关关系(见图 5~9)。随着温度和湿度的升高,各观测区空气中负离子的浓度不断增加。全年中,温度和湿度随时间呈现单峰变化形式,峰值一般出现在 7—8 月份,负离子浓度峰值出现在 9 月份。其原因主要是由于秋季秋高气爽,空气清新,湿度相对比较小,同时绿色植物旺盛的光合作用也可以直接影响空气负离子的产生和存在,从而会比夏季略高。而在冬季许多条件都不利于负离子的产生和存在,所以会低很多。空气中负离子浓度的变化是多重因子共同作用的结果,但温

度和湿度起着至关重要的作用。已有研究发现,空气中负离子浓度的变化与空气温度、相对湿度、风、雨、雾、太阳辐射等环境因子都有密切关系<sup>[6, 11-16]</sup>。

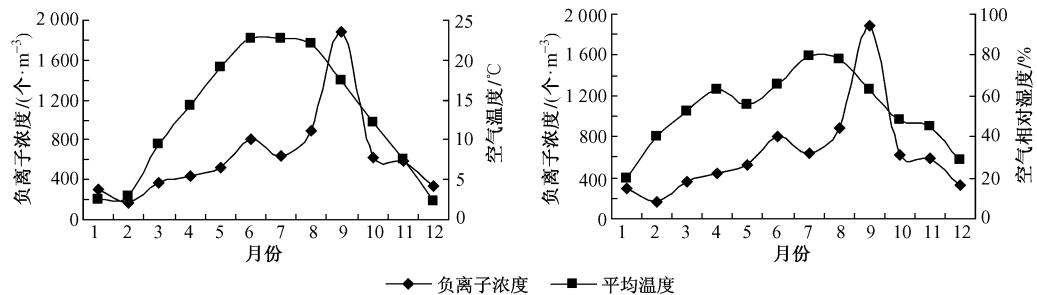


图 5 香山空气负离子浓度与环境因子关系

Fig 5 Relationship between aero anion concentration and environmental factors in the Fragrant Hills

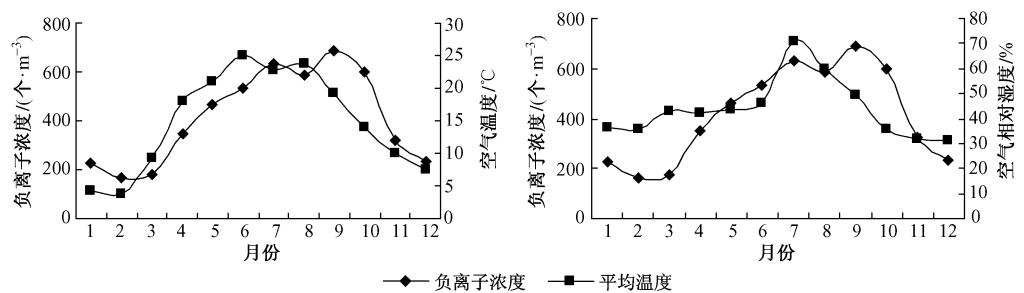


图 6 颐和园空气负离子浓度与环境因子关系

Fig 6 Relationship between aero anion concentration and environmental factors in the Summer Palace

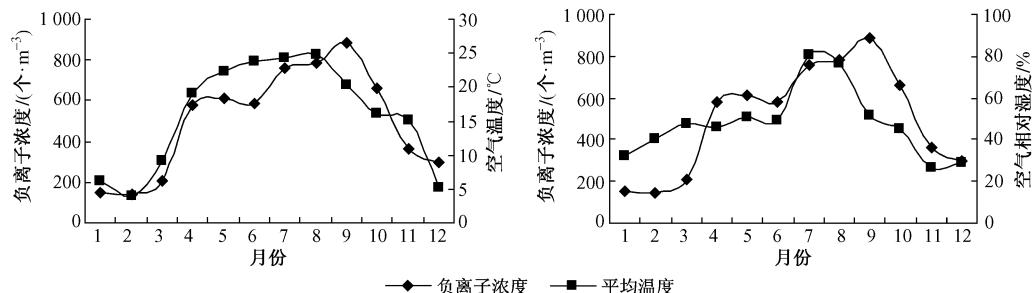


图 7 植物园空气负离子浓度与环境因子关系

Fig 7 Relationship between aero anion concentration and environmental factors in the Botanical Garden

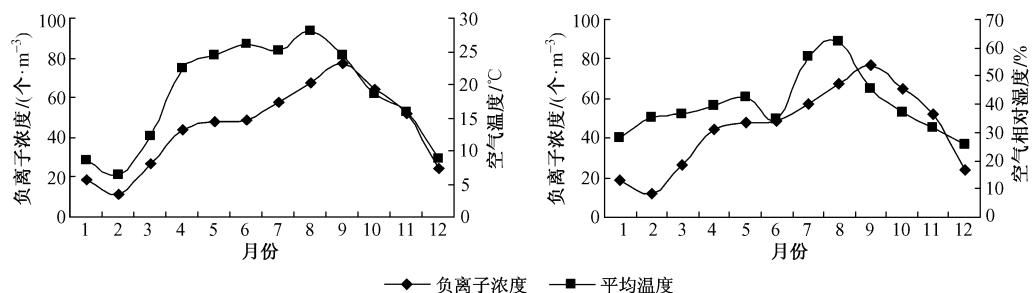


图 8 市区空气负离子浓度与环境因子关系

Fig 8 Relationship between aero anion concentration and environmental factors in urban areas

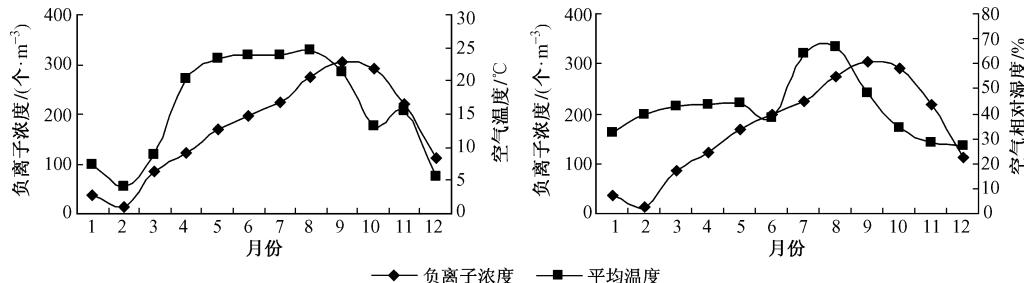


图 9 空旷地空气负离子浓度与环境因子关系

Fig 9 Relationship between aero anion concentration and environmental factors in open spaces

### 3 结论与建议

1)北京香山、颐和园、植物园、空旷地和市区空气负离子浓度年平均值为 630、415、502、171 和 45 个/ $\text{cm}^3$ 。全年平均空气负离子浓度香山最大, 市区最小。表明园林植物区空气清洁, 适宜人们开展户外休闲健身活动。

2)各观测区空气负离子浓度随梯度的增加逐渐减小。植物园空气负离子浓度随梯度变化最剧烈, 市区内变化最平缓。空气负离子随山体海拔高度增高呈单峰型曲线变化。说明在一定高度范围内, 随海拔高度的增加, 空气质量改善明显, 建议人们闲暇进行适当的登山活动。

3)不同观测区空气负离子浓度水平日变化特征有所差异。香山空气负离子浓度日间变化剧烈, 其他观测区变化则相对平缓。观测时段内, 香山的空气负离子浓度最大, 市区最小。植物园、颐和园、空旷地及市区的空气负离子浓度在 9:00 和 15:00 有较大值, 香山与其他观测区显著不同, 最大值出现在 7:00。

4)各观测区空气负离子浓度的年变化曲线特征相似, 呈单峰曲线形式。空气负离子浓度以夏秋季最高, 最大值出现在 9 月份。除了环境因子的影响外, 绿量的增加是一个主要的原因, 因此可以通过增加绿化面积来增加空气负离子的浓度, 改善空气质量。

5)各观测区空气负离子浓度与温度和相对湿度正相关。随着温度和湿度的升高, 各观测区空气中负离子的浓度不断增加。建议在相关景点建设及改造过程中, 适当增加水体设施数量, 人工创造负离子产生源, 以增加负离子数量, 进一步改善景点的空气质量, 增强其生态服务功能。

6)负离子对人体健康有益, 但在实验过程中发现很多市民对相关知识缺乏科学的认识, 应进一步开展相关的科学教育宣传活动, 提高市民的健康意识, 增强全民的体质。

7)由于空气负离子浓度的测定受时间、空间、环境等因素影响显著, 测定数值存在一定的误差, 还需做进一步的跟踪监测, 使测定结果更加客观。

### 参 考 文 献

- [1] 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.
- [2] 夏廉博. 医疗气象学 [M]. 上海: 上海知识出版社, 1984.
- [3] 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(21): 36-40.
- [4] 黄建武, 陶家元. 空气负离子资源开发与生态旅游 [J]. 华中师范大学学报(自然科学版), 2002, 36(2): 257-260.
- [5] 赵雄伟, 李春友, 葛静如, 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.
- [6] 吴楚材, 郑群明, 钟林生. 森林游憩区空气负离子水平研究 [J]. 林业科学, 2001, 37(5): 75-81.
- [7] 李安伯. 空气离子研究近况 [J]. 中华理疗杂志, 1988, 11(2): 100-104.
- [8] 曾曙光, 苏志尧, 陈光北. 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): 108-111.
- [9] 王淑娟, 王芳, 郭俊刚, 等. 我国森林空气负离子及其主要影响因子的研究进展 [J]. 内蒙古农业大学学报, 2008, 29(1): 243-247.
- [10] 石强, 钟林生, 吴楚才. 森林环境中空气负离子浓度分级标准 [J]. 中国环境科学, 2002, 22(4): 320-323.
- [11] 钟林生, 吴楚材, 肖笃宁. 森林旅游资源评价中的空气负离子研究 [J]. 生态学杂志, 1998, 17(6): 72-75.
- [12] 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.
- [13] 邵海荣, 贺庆棠. 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): 36-39.
- [14] 叶彩华, 王晓云, 郭文利, 等. 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.
- [15] 蒙晋佳, 张燕. 广西部分景点地面上空气负离子浓度的分布规律 [J]. 环境科学研究, 2004, 17(3): 25-27.
- [16] 刘云国, 吕健, 张合平, 等. 大型人造园林中的空气负离子分布规律 [J]. 中南林学院学报, 2003, 23(1): 53-55.

(责任编辑 赵 劲)