

DOI:10.13275/j.cnki.lykxyj.2021.03.020

北京九龙山侧柏林空气负离子 时空分布特征

余海^{1,2}, 郭嘉^{1,2}, 李恩杰^{1,2}, 裴顺祥¹, 吴迪¹, 辛学兵^{1*}

(1. 中国林业科学研究院华北林业实验中心 北京 102300; 2. 北京九龙山自然保护区 北京 102300)

摘要: [目的] 探索北京近郊九龙山空气负离子浓度的分布特征, 了解森林植被对改善空气质量的重要作用。[方法] 采用定位观测方法, 选用 KEC-900 空气离子检测仪, 按日间时间、月份、海拔和坡向对北京九龙山 11 个侧柏林样地进行负离子浓度测定。[结果] (1) 北京九龙山不同季节的空气负离子浓度日变化趋势不同, 春、夏季日间浓度变化曲线为单峰型, 春季峰值出现在 12:00, 夏季峰值出现在 14:00, 秋、冬季日间浓度变化曲线为双峰型, 峰值均分别出现在 8:00 和 18:00; (2) 在月变化过程中, 分别于 5 月和 10 月出现两个峰值 (691 个·cm⁻³ 和 920 个·cm⁻³); (3) 空气负离子浓度随海拔高度升高先升后降, 海拔高于 450 m 后侧柏林内空气负离子浓度均大于林缘; (4) 海拔 140 m 处的泗涧沟侧柏林 4 月份阳坡的空气负离子浓度略低于阴坡 ($P > 0.05$), 8 月份阳坡的空气负离子浓度则显著高于阴坡 ($P < 0.05$)。[结论] 北京九龙山侧柏林空气负离子存在明显的时空分布特征, 即空气负离子浓度随时间表现为“单峰型”或“双峰型”; 随海拔表现为“单峰型”; 且受坡向和时间共同影响。

关键词: 九龙山; 空气负离子; 侧柏; 时空分布

中图分类号: S718.5

文献标志码: A

文章编号: 1001-1498(2021)03-0174-06

空气负离子 (Negative air ion, NAI) 不仅能够降尘和清洁空气, 还能杀菌、提高人体免疫力和调节身体机能平衡, 因而被称为“空气维生素和生长素”^[1-3]。气象和林业部门将空气负离子作为气象观测数据的重要参数, 其观测结果被列为空气质量评价的重要指标。伴随空气负离子受关注度的不断提高, 许多研究人员陆续在空气负离子的生物学效应和临床医学功效^[4-6]、空气质量的定量评价^[7-8]、空气负离子的产生环境和机制^[9-10]、空气负离子浓度变化规律和影响因素^[11-13] 以及空气负离子资源的开发利用^[14] 等方面进行了大量的研究。已有研究表明, 森林的空气负离子浓度远远高于城市室内, 有的甚至可达到 1 600 倍^[15]。

现如今, 国内的专家学者更加侧重对森林空气负离子浓度进行监测和分析不同环境因子对空气负

离子浓度动态变化的影响。在对森林公园内空气负离子浓度日变化分布特征研究过程中, 发现其日变化规律在不同的环境条件下会有所不同^[16-18]。鹅凰嶂林区空气负离子浓度观测结果发现, 林内、林缘相对位置会对空气负离子浓度造成显著的差异, 林内显著高于林缘^[19]。湖南借母溪自然保护区的空气负离子浓度分布具有很典型的垂直变化特征, 先随地势升高而逐渐上升, 在 550 m 附近浓度最高, 之后又逐渐降低^[20], 九华山景区的研究结果^[21] 也类似。河南省栾川老君山景区内各个典型地点空气负离子浓度空间分布特征观测也表明, 空气负离子浓度在不同海拔的差异比较大, 在海拔 1 500 m 附近达到最大, 但海拔相近生境相同类型的负离子浓度几无差异^[22]。

虽然国内对森林空气负离子的研究已有不少,

收稿日期: 2020-04-27 修回日期: 2020-07-06

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务专项 (CAFYBB2014MA017)

* 通讯作者: 辛学兵, 副研究员。主要从事森林培育与森林生态研究。电话 010-69843002; E-mail: xinx01@163.com

但现阶段的研究区域主要集中在南方地区,北方地区尤其是华北一带的相关研究尚少,并且由于南北地域、生态以及环境因素等差异对空气负离子浓度的交叉影响,得出的研究结论也常出现较大的差异^[23]。北京作为中国的首都,一座国际大都市、“美丽中国”窗口,人口密集,市民对高质量森林旅游资源的需求日益强烈。北京九龙山林区环绕人口聚居的门头沟城区,是京西近郊森林旅游资源集中分布区,其地理位置十分优越。本研究通过2016—2018年3年时间对北京九龙山森林内不同时间尺度(日、月)、不同空间结构(海拔高度、阴阳坡)的空气负离子浓度变化特征进行分析,探索北京九龙山森林空气负离子浓度变化规律,为建设宜居城市和开发森林旅游资源提供科学依据。

1 研究区域概况和研究方法

1.1 研究区域概况

北京九龙山位于北京门头沟区东部,是京西生态公益林的重要组成部分,地处太行山北端东延余脉,属太行山向华北平原过渡的低山山地,地理坐标位于 $115^{\circ}59' \sim 116^{\circ}06' E$, $39^{\circ}54' \sim 39^{\circ}57' N$ 。南北宽约6 km,东西长约10 km,地势西高东低,境内最高峰——刺梅花坨位于北京九龙山西部,海拔990.31 m,山顶发育平坦;最低海拔100 m,位于北京九龙山最东端的草帽山东麓,谷地较开阔。土壤类型为山地褐土,土层普遍较薄,石砾含量高,是典型的华北石质山地。北京九龙山森林保护站周边分布植被以栓皮栎(*Quercus variabilis* Blume)、元宝枫(*Acer truncatum* Bunge)和侧柏(*Platycladus orientalis* L.)为主,树种组成为6:2:2,平均胸径13.1 cm,平均树高7.3 m,郁闭度0.6,团状分布荆条灌丛,灌草植被总覆盖度75.0%,2016年至2018年夏季北京九龙山森林保护站有办公区域改造项目施工作业;不同海拔观测点所在侧柏林林缘总体呈带状,林木平均胸径10.5 cm,平均树高7.5 m,郁闭度0.55,团状分布荆条灌丛,灌草植被总覆盖度45.0%;泗涧沟画家村北山侧柏林平均胸径10.9 cm,平均树高7.7 m,郁闭度0.8,均匀分布荆条灌丛,灌草植被总覆盖度50.0%。门头沟区属中纬度大陆性季风气候,春季干旱多风,夏季炎热多雨,秋季凉爽湿润,冬季寒冷干燥。年平均气温 $12.1^{\circ}C$,极端最高气温 $41.8^{\circ}C$ (1999年9月24日),极端最低气温 $-22.9^{\circ}C$ (1966年2月22日),夏季平均气温 $25.03^{\circ}C$,冬季平均气温

$-2^{\circ}C$,年平均日照时数2 470 h,年平均降雨日数79 d,年平均降水量528.70 mm。

1.2 研究方法

1.2.1 试验仪器 采用KEC-900空气离子检测仪(日本ONETEST公司)对空气负离子浓度进行测量,检测方式为平行电极,检测范围 $10 \sim 2 \times 10^6$ 个 $\cdot cm^{-3}$,检测时灵敏度设置在H段(10 个 $\cdot cm^{-3} \sim 19\ 990$ 个 $\cdot cm^{-3}$),该仪器精度 $\pm 30\%$,分辨率为10个 $\cdot cm^{-3}$,可在湿度小于95%的环境下连续测量。

1.2.2 试验方法 本研究按不同日间时间、月份、海拔和坡向对空气负离子浓度进行观测。2016年到2018年每月选取3天,从8:00到18:00每隔2 h对北京九龙山森林保护站附近林缘进行负离子数据的采集;分别在海拔350, 400, 450, 500, 600, 650, 700, 840 m距林缘线5 m的侧柏林内、外各设置一处采样点进行空气负离子浓度的观测;在泗涧沟画家村北山选择中坡位140 m的相同海拔,测量阴、阳坡空气负离子浓度的大小,采集时间集中在2017年4月、8月和12月。上述空气负离子浓度的观测均在连续3个晴天后的第一个晴天开始观测,保证观测时气象条件的稳定,每次负离子的采样观测高度均为离地面1.5 m,每个观测点按东、南、西、北4个方向读取数据,求取平均值作为该次最终的负离子浓度观测结果。每日观测前,均通过FLZ1-ZW3型大气负离子自动观测系统(测量允许误差: $\pm 10\%$)对手持空气离子检测仪进行校正,具体校正方法如下,将两台仪器置于相同环境中,每隔20 s记录两个仪器负离子读数,连续记录20 min,建立手持仪器读数为x轴,固定仪器读数为y轴,建立散点图及拟合曲线,该次手持仪器观测数据均用以上拟合曲线校正。

1.2.3 数据处理 利用Microsoft Excel 2007软件对采集得到的空气负离子浓度数据进行记录,并根据不同时间、海拔、林内和林缘、坡向进行归类,采用SPSS Statistics 19.0软件对测量出来的各组负离子浓度数据进行方差分析,最小显著差数法(LSD)进行处理间显著性检验,并分别绘制图来进行对比与分析,图中数据均采用平均值 \pm 标准误表示。

2 结果与分析

2.1 北京九龙山空气负离子的时间分布特征

2.1.1 空气负离子浓度日变化特征 北京九龙山春

(3—5月)、夏(6—8月)、秋(9—11月)、冬(12—2月)4个季节空气负离子浓度的日变化见图1,夏季的空气负离子浓度普遍高于其它季节($P < 0.05$),不同季节的空气负离子浓度日变化趋势不尽相同。其中春季和夏季的空气负离子浓度随时间的变化趋势相反;春季日变化趋势是总体上呈先上升后下降,于12:00时左右会出现峰值;而夏季此时的空气负离子浓度则处于谷值,但二者的空气负离子浓度数值大小比较相近,约为700个 $\cdot\text{cm}^{-3}$;春季和夏季的空气负离子浓度在8:00—10:00时与16:00—18:00时均是略微平稳上升。秋季与冬季的空气负离子浓度日变化趋势相同,都是先下降后上升,8:00—10:00时之间的空气负离子浓度下降较快,10:00—16:00时处于平稳下降,16:00—18:00时则快速上升。

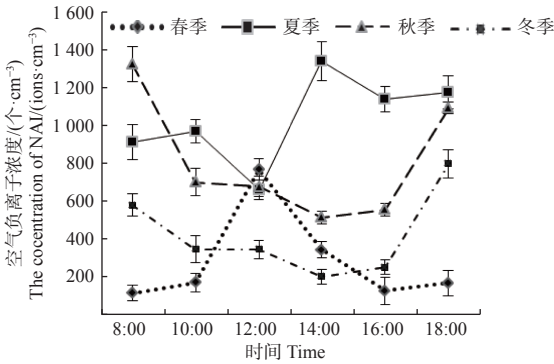


图1 不同季节的空气负离子浓度日均值变化

Fig. 1 Diurnal average variation of NAI concentration in different seasons

2.1.2 空气负离子浓度月变化特征 自2016年至2018年连续3年每月对北京九龙山空气负离子浓度进行观测记录并处理,得到的结果如图2所示;空气负离子浓度随月份时间变化呈波动起伏状态,分别在5月和10月出现峰值(691个 $\cdot\text{cm}^{-3}$, 920个 $\cdot\text{cm}^{-3}$),空气负离子浓度处于谷值分别是3月份(225个 $\cdot\text{cm}^{-3}$)、7月份(108个 $\cdot\text{cm}^{-3}$),其中7月份空气负离子浓度约是10月份峰值的1/9,夏季附近的施工作业可能会对观测结果有所影响。

2.2 北京九龙山空气负离子的空间分布特征

2.2.1 空气负离子浓度垂直梯度变化特征 北京九龙山侧柏林内与林缘的空气负离子浓度随海拔高度增加的变化趋势见图3。随着海拔高度的增加,侧柏林内的空气负离子浓度先升高后降低,在海拔高度为500 m时,处于峰值(533个 $\cdot\text{cm}^{-3}$);侧柏林缘

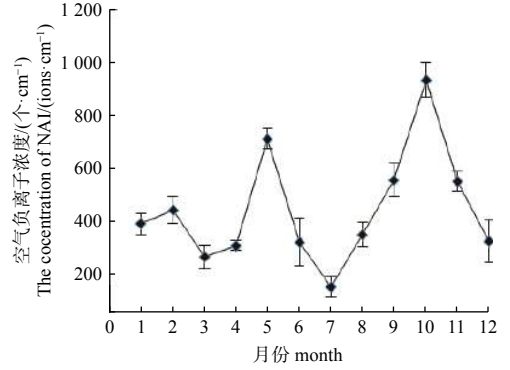


图2 2016—2018年空气负离子浓度月变化

Fig. 2 Monthly changes of NAI concentration from 2016 to 2018

的空气负离子浓度则呈现波动起伏变化,分别在海拔高度为400 m和600 m时出现峰值。海拔高度由450 m增加后,侧柏林内的空气负离子浓度大小都高于林缘的;海拔高度到达600~840 m范围时,侧柏林内和林缘的空气负离子浓度大小比较接近($P > 0.05$);而且变化趋势也几乎一致。

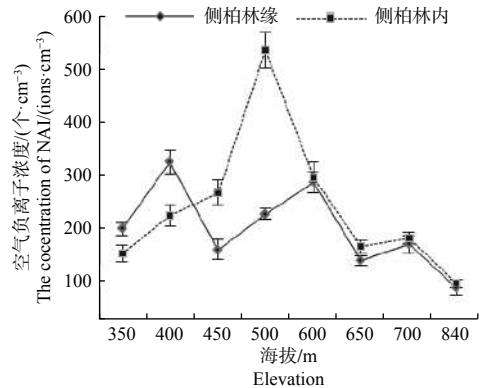


图3 侧柏林内和林缘空气负离子浓度垂直变化特征
Fig. 3 The vertical gradient changes of negative air ion concentration inside and at forest edge of *P. orientalis*

2.2.2 空气负离子浓度的坡向分布特征 在4月、8月、12月分别于中午12:00时对北京九龙山泗涧沟地区对侧柏林阳坡与阴坡观测空气负离子浓度,经过整理分析得到的结果如图4所示,在侧柏林阳坡,8月的空气负离子浓度约是4月的3倍,而在阴坡,8月的空气负离子浓度仅是4月的一半多;4月份,阳坡的空气负离子浓度略低于阴坡($P > 0.05$),而8月份、阳坡的空气负离子浓度则明显高于阴坡的($P < 0.05$);12月份,阳坡与阴坡的空气负离子浓度大小几乎无差异($P > 0.05$)。

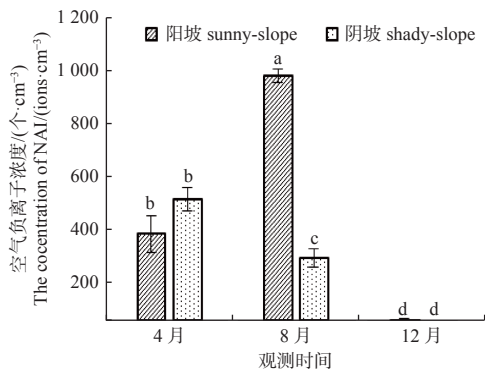


图4 不同时间泗涧沟侧柏林阳坡、阴坡空气负离子浓度分布

Fig. 4 Negative air ion concentration distribution on sunny-slope and shady-slope in Sijiagou forest of *P. orientalis* at different time

3 讨论

3.1 北京九龙山空气负离子浓度日间动态变化

本研究发现北京九龙山空气负离子浓度日间变化在春季 12:00 时为最高值,而夏季则在 12:00 时达到最低值;导致这种现象的原因可能是春季气候比较干燥,温度在空气负离子浓度变化中起主要作用,在春季,随着日时间的推移,温度也随之变化,进而导致空气负离子浓度的变化,中午 12:00 时,温度最高,空气负离子产生明显增加,空气质量也显著提高;而在夏季,空气比较湿润,湿度、温度和光照强度都会是影响空气负离子产生的重要因素,中午 12:00 时,光照强度与温度的变大,会降低空气湿度,也会抑制植物光合作用,同时降低空气负离子的产生,由此导致中午 12:00 时的空气负离子浓度减少^[24-25]。秋季与冬季的空气负离子浓度日间变化趋势相同,早晚比较高,在 14:00 时—16:00 时范围间,空气负离子浓度会降到最低,可能由此段时间光照逐渐减弱,温度下降,湿度也下降所导致的。夏季的日空气负离子浓度高于其他季节的,主要取决于温度和湿度,夏季温度高、雨水多,空气中水分子喷筒电效应和绿色植物的光电效应都较多,空气负离子产生量也大^[26]。此外,空气负离子浓度同气溶胶含量的变化密切相关。而空气负离子浓度又受温度、湿度和光照等因素的影响,所以一年四季北京九龙山森林保护站空气负离子浓度以及空气质量的日间变化既有温度、湿度和光照强度日间变化所直接导致的,也有通过大气气溶胶含量变化间接导致的^[27]。

3.2 北京九龙山空气负离子浓度月份动态变化

北京九龙山空气负离子浓度分别在 5 月和 10 月出现峰值,这个结果与奥林匹克森林公园^[28]和北京地区^[27]观测的结果有所不同,主要区别是在 6—9 月植物季节性发育期间,北京地区和奥林匹克森林公园的空气负离子浓度均高于 5 月的,且几个月的空气负离子浓度与空气质量也比较平稳,这也符合绿色植被的季节性发育影响空气负离子浓度的论证^[27]。而造成北京九龙山 6—9 月空气离子浓度下降的原因可能是试验误差抑或该段时间周围施工致使空气中大量的粉尘。另外,侧柏林内的空气负离子浓度普遍高于无森林覆盖的空地,也与刘洋和段文标等在莲花湖库区水源涵养林观测的结果一致^[29],之所以侧柏林内空气负离子浓度会大大提高,是因为太阳光照射到侧柏的尖端叶片会更容易发生光电效应^[15]。总之 5 月和 10 月北京九龙山的空气负离子浓度比较高。

学者普遍认为中国北方地区的空气负离子浓度和空气质量季变化规律是夏季最高^[12, 27, 30],这一点在本研究的空气负离子浓度和空气质量季变化也得到了印证。邵海荣等^[27]人认为北京地区的空气负离子浓度和空气质量的变化特征顺序是:夏季 > 春季 > 秋季 > 冬季,潘剑彬等^[28]和曹建新等^[12]的研究结果表明的空气负离子浓度和空气质量变化特征顺序为:夏季 > 秋季 > 冬季 > 春季;本研究与潘剑彬和曹建新等人的结果相类似,这可能是北京地区夏秋两季气候高温湿润,保护区的植物在这两个季节具有最佳的生长环境和状态,进而起到了提高和改善空气负离子浓度与空气质量的作用。冬季空气负离子浓度和空气质量虽好于春季,但差异并不显著,这可能与北京地区春季多风干燥,致使空气中存在大量的悬浮颗粒物而影响了空气负离子的形成机会和存活时间有关^[31]。

3.3 海拔对北京九龙山空气负离子分布的影响

北京九龙山侧柏林内空气负离子浓度先随海拔高度的增加而升高,到达海拔 500 m 达到最高,之后逐渐降低,有着明显的垂直变化规律。这与借母溪国家自然保护区和九华山风景区对空气离子含量与海拔关系的研究结果一致^[20-21],与 Reitier 的研究结果有所偏差^[9];究其原因,可能是北京九龙山林区山麓一带靠近居民居住区,汽车尾气和生活炉灶排出的大量烟雾灰尘与空气中的正负电荷发生中和形成中性分子,加上环境悬浮颗粒物增多,更容易吸附空气中的负离子,导致空气负离子变成重离子

而沉降消失,另外也有可能是山麓的土壤层较厚,岩石裸露较少,山地岩石的放射性物质较少,空气分子的电离现象少^[11]。在山顶,由于山风较大,侧柏林又不易抑制气体流动,致使空气负离子扩散;而在山体中部,与袁尧清等人的研究结果类似,可能也是由于地形原因,风力极小,再加上人类活动较少,故空气负离子浓度较高^[20]。至于林缘在海拔450 m出现空气负离子浓度降低,可能与该地区地势平坦,爬山爱好者活动频繁、护林员生活和森林防火道工程建设有关。

3.4 坡向对北京九龙山空气负离子分布的影响

对北京九龙山泗涧沟侧柏林阴、阳坡的空气负离子含量对比分析的结果说明,4月份侧柏阴坡的空气负离子浓度略高于阳坡,可能由于春季气候干燥,植物光合作用和蒸腾作用较弱,阴坡空气湿度略高于阳坡,与棋盘山的研究结果一致^[32],而8月份阳坡的空气负离子浓度远远高于阴坡;造成这种差异的原因可能是8月份阳坡的温度相对较高,相对湿度偏低,植物光合作用较强,因而有利空气负离子的生成;阴坡温度较低,植物光合作用弱与阳坡,风力较大,容易造成空气离子扩散,再加上空气湿度较高,虽会对空气正离子和悬浮颗粒物有一定的吸附作用,但相应也会造成空气负离子的损失。

空气负离子浓度同气溶胶含量的变化密切相关。而空气负离子浓度又受温度、湿度和光照等因素的影响,所以一年四季九龙山森林保护站空气负离子浓度以空气质量的日变化既有温度、湿度和光照强度日变化所直接导致的,也有通过改变大气气溶胶含量间接导致的。由于缺乏相应的温度、湿度和光照强度日变化数据,所以本研究无法直接阐述不同季节的空气负离子浓度、空气质量和温度、湿度、光照强度的相关关系。这需要通过获取温湿度等数据进一步对它们之间的相关关系进行综合分析。至于空气负离子含量和坡向之间的相互关系,还需要增加一系列的时间和不同气象条件进行观测以取得更多的数据,才能更加合理、准确地阐述阴、阳坡之间空气负离子浓度大小的差异。

4 结论

通过对北京九龙山侧柏林空气负离子时空分布特征分析得出:北京九龙山不同季节的空气负离子浓度日变化趋势不同,春、夏季日间浓度变化曲线为单峰型,春季峰值出现在12:00,夏季峰值出

现在14:00,秋、冬季日间浓度变化曲线为双峰型,峰值均分别出现在8:00和18:00;在月变化过程中,分别于5月和10月出现两个峰值(691个·cm⁻³和920个·cm⁻³);空气负离子浓度随海拔高度升高先升后降,海拔高于450 m后侧柏林内空气负离子浓度均大于林缘;海拔140 m处的泗涧沟侧柏林4月份阳坡的空气负离子浓度略低于阴坡($P > 0.05$),8月份阳坡的空气负离子浓度则显著高于阴坡($P < 0.05$)。北京九龙山侧柏林空气负离子存在明显的时空分布特征,即空气负离子浓度随时间表现为“单峰型”或“双峰型”,随海拔表现为“单峰型”,且受坡向和时间共同影响。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 倪军,徐琼,石登荣,等.城市绿地空气负离子相关研究——以上海公园为例[J].中国城市林业,2004,2(3):30-33.
- [3] 王薇,余庄.中国城市环境中空气负离子研究进展[J].生态环境学报,2013,(4):705-711.
- [4] Goldstein N, Arshavskaya T V. Is atmospheric superoxide vitally necessary? Accelerated death of animals in a quasi-neutral electric atmosphere[J]. Zeitschrift für Naturforschung C, 1997, 52(5-6): 396-404.
- [5] Stavrovskaja I G, Sirota T V, Saakian I R, et al. Optimization of energy-dependent processes in mitochondria from rat liver and brain after inhalation of egative air ions[J]. Biofizika, 1998, 43(5): 766-771.
- [6] 宗美娟,王仁卿,赵坤.大气环境中的负离子与人类健康[J].山东林业科技,2004(2):32-34.
- [7] Daniell W, Camp J, Horstman S. Trial of a negative ion generator device in remediating roblems related to indoor air quality[J]. Journal of Occupational Medicine, 1991, 33(6): 681-687.
- [8] Korubue I H. The clinical effect of aero-ionization[J]. Medical Biometeorology, 1990, 33(2): 25-29.
- [9] Reiter R. Part B. Frequency distribution of positive and negative small ion concentration, based on many years' recordings at two mountain stations located at 740 and 1780 m ASL[J]. International journal of biometeorology, 1985, 29(3): 223-231.
- [10] Stephen M K.A public healthy approach to evaluating the significance of air ion[D]. San Antonio: the University of Texas Healthy Science Center, 1997.
- [11] 王淑娟,王芳,郭俊刚,等.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:自然科学版,2008,29(1):243-247.
- [12] 曹建新,张宝贵,张友杰.海滨、森林环境中空气负离子分布特征及其与环境因子的关系[J].生态环境学报,2017,(8):1375-1383.
- [13] 赵怡宁,史常青,许荡飞,等.崇礼区典型林分空气负离子浓度及影响因素[J].林业科学研究,2018,31(3):127-135.
- [14] 姚成胜.岳麓山空气负离子分布规律及开发利用研究[D].长沙,湖南师范大学,2005.

- [15] 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.
- [16] 江立行. 三叠井森林公园空气负离子的时空分布特征[J]. 福建林业科技, 2012, 39(4): 41-45.
- [17] 肖楠, 李峰, 王炜焯, 等. 黑龙江省森林植物园不同类型林分空气负离子分布规律研究[J]. 防护林科技, 2017, (4): 27-29.
- [18] 周文昌, 潘磊, 崔鸿侠, 等. 九峰国家森林公园空气负离子浓度变化规律[J]. 湖北林业科技, 2018, (1): 1-4.
- [19] 林喜珀. 鹅凰嶂自然保护区空气负离子时空分布及其与环境因子的关系[J]. 林业与环境科学, 2016, 32(3): 14-18.
- [20] 袁尧清, 文红. 借母溪自然保护区空气负离子浓度分析及旅游开发探讨[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(17): 9106-9109.
- [21] 刘和俊, 夏尚光, 丁增发, 等. 九华山风景区空气负离子水平分析与评价[J]. 中国城市林业, 2012, 10(5): 14-17.
- [22] 薛兴燕, 卫淑芸, 沈连峰, 等. 河南老君山风景区空气负离子浓度的时空特征[J]. 西南林业大学学报: 自然科学, 2016, 36(5): 144-151.
- [23] 李彦鹏, 张乾隆, 周海博. 西安市典型功能区空气小离子浓度分布特征与评价[J]. 地球科学与环境学报, 2010, 32(3): 297-301.
- [24] 任淑年, 刘超, 何小弟, 等. 扬州蜀冈西峰生态公园春季林地的空气负离子密度[J]. 湖南农业大学学报: 自科版, 2010, 36(6): 662-665.
- [25] 汤秋嫫, 邢海莹, 张冬有. 北极村樟子松与落叶松林区空气负离子浓度及其与气象因子的关系[J]. 中国农学通报, 2017, 33(13): 107-111.
- [26] 杨建松, 杨绘, 李绍飞, 等. 不同植物群落空气负离子水平研究[J]. 贵州气象, 2006, 30(3): 23-27.
- [27] 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.
- [28] 潘剑彬, 董丽, 晏海. 北京奥林匹克森林公园绿地空气负离子密度季节和年度变化特征[J]. 东北林业大学学报, 2012, 40(9): 44-50.
- [29] 刘洋, 段文标. 莲花湖库区水源涵养林负离子含量研究[J]. 森林工程, 2009, 25(1): 8-12+20.
- [30] 王荣新. 北京九龙山侧柏栓皮栎林两种净化大气功能研究[D]. 北京, 中国林业科学研究院, 2016.
- [31] 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, (6): 56-60.
- [32] 季玉凯, 周永斌, 米淑红, 等. 棋盘山风景区空气负离子浓度的研究[J]. 辽宁林业科技, 2007, (3): 16-18.

Temporal and Spatial Distribution Characteristics of Negative Air Ion in *Platycladus orientalis* Forest of Jiulong Mountain, Beijing

YU Hai^{1,2}, GUO Jia^{1,2}, LI En-jie^{1,2}, PEI Shun-xiang¹, WU Di¹, XIN Xue-bing¹

(1. Experimental Center of Forestry in North China, Chinese Academy of Forestry, Beijing 102300, China;

2. Jiulong Mountain Nature Serve of Beijing, Beijing 102300, China)

Abstract: [Objective] To investigate the distribution of negative air ion (NAI) concentration in Jiulong Mountain which locates in suburb of Beijing, and understand the role of forest vegetation in improving air quality. [Method] KEC-900 air ion detector was used to measure and record the NAI concentration at 11 plots of *P. orientalis* stand in Jiulong Mountain of Beijing according to day, month, altitude and aspect by the method of fixed observation. [Result] The diurnal variation of NAI concentration in Jiulong Mountain differed among seasons. The curves of diurnal variation of NAI concentration in spring and summer followed a single-peak type, and the spring and summer peak values appeared at 12: 00 and 14: 00. The curves of diurnal variation of NAI concentration in autumn and winter followed a double-peak type, and the peak values appeared at 8: 00 and 18: 00. The monthly average concentration of NAI was characterized by two peaks in May and October, with values of 691 ions per cm³ and 920 ions per cm³. The concentration of NAI rose at first and then decreased with the increase of altitude. When the altitude is higher than 450 m, the NAI concentration in the *P. orientalis* forest was greater than in the forest edge. In the *P. orientalis* forest locates in Sijiangou with the altitude of 140m, the NAI concentration on the sunny slope was slightly lower than that on the shaded slope ($P > 0.05$) in April, and the NAI concentration on the sunny slope was significantly higher than that on the shaded slope ($P < 0.05$) in August. [Conclusion] The NAI concentration in the *P. orientalis* forest of Jiulong Mountain have obvious spatial and temporal distribution characteristics, that is, the concentration of NAI shows "single peak type" or "double peak type" with time, and shows "single peak type" with altitude, and is affected by both the aspect and the time.

Keywords: Jiulong Mountain of Beijing; negative air ion; *Platycladus orientalis*; temporal and spatial distribution