

石门国家森林公园不同杉木群落类型 空气负离子浓度变化特征*

连人豪¹ 钱银兰² 张 华³ 曾维浩¹
莫志安¹ 马红岩² 李俊杰¹ 袁富坚²

(1. 广州市石门国家森林公园管理中心, 广东 广州 5109762; 2. 广州碳汇林业有限公司, 广东 广州 510650;
3. 广州市林业和园林科学研究院, 广东 广州 510405)

摘要 为给游客森林康养游览路线选择提供参考及公园景观生态景观规划设计提供数据支持, 于 2019 年 8 月 14 日-8 月 17 日及 2020 年 1 月 13 日—1 月 16 日对公园内 5 种杉木群落结构类型进行空气负离子浓度观测及分析。结果表明: (1) 夏季负离子日均浓度值从高到低为: 杉木 *Cunninghamia lanceolata*+ 水体旁>杉木+阔叶混交林>杉木+空旷地>杉木+阔叶林+竹林>杉木+竹林; (2) 冬季负离子浓度日均浓度值从高到低依次为杉木+水体旁>杉木+空旷地>杉木+阔叶混交林>杉木+阔叶林+竹林>杉木+竹林; (3) 不同杉木群落结构类型夏冬季负离子浓度变化趋势多数呈现“V”或“U”型; (4) 除杉木+竹林类型以外, 同种杉木群落结构均表现出夏冬季负离子浓度差异性显著, 夏季负离子平均浓度高于冬季; (5) 不同杉木群落类型空气负离子浓度的差异性在夏冬季表现为极显著、显著及不显著; (6) 夏季、冬季空气负离子浓度达到 4 级以上标准, 具有基本森林康养功效。研究结果表明石门森林公园夏季比冬季更适合做森林康养及户外旅游活动。

关键词 负离子浓度变化; 杉木群落; 石门森林公园

中图分类号: X823 文献标志码: A 文章编号: 2096-2053 (2022) 03-0140-09

Variation Characteristics of Air Anion Concentration in different *Cunninghamia lanceolata* Communities in Shimen National Forest Park

LIAN Renhao¹ QIAN Yinlan² ZHANG Hua³ ZENG Weihao¹
MO Zhian¹ MA Hongyan² LI Junjie¹ YUAN Fujian²

(1.Guangzhou Shimen National Forest Park Management Center, Guangzhou,Guangdong 510976,China; 2.Guangzhou carbon forest Co , Ltd, Guangzhou, Guangdong 510650, China;3.Guangzhou Institute of Forestry and Landscape Architecture, Guangzhou, Guangdong 510405,China)

Abstract To provide data support for the selection of tourist routes for forest health and wellness tours and the planning and design of park landscape ecological landscapes, observation and analysis of the concentration of negative ions were conducted in five types of *Cunninghamia lanceolata* community structure from August 14th to August 17th, 2019 and January 13th to January 16th, 2020. The results showed that: (1) The daily average concentration of negative ions in summer from high to low was *C. lanceolata* + beside the water> *C. lanceolata*+ broad-leaved mixed forests>*C. lanceolata*+open land> *C. lanceolata* +broad-leaved forests + bamboo

* 基金项目: 广州市林业和园林局资助项目 (穗石门公园资合字 [2018]13 号)。

第一作者: 连人豪 (1973—), 男, 工程师, 主要从事林业工程建设工作, E-mail: 2258013929@qq.com。

通信作者: 张华 (1979—), 男, 高级工程师, 主要从事园林绿化工作, E-mail: 35952758@qq.com。

forest>*C. lanceolata* + bamboo forest;(2) The daily average concentration of negative ions in winter from high to low was *C. lanceolata* + beside the water> *C. lanceolata* + open land> *C. lanceolata* + broad-leaved mixed forest>*C. lanceolata* + broad-leaved forest + bamboo forest> *C. lanceolata* + bamboo forest;(3) In summer and winter season,most of the negative ions concentration trend showed “V” or “U” shape in different types of *C. lanceolata* community structure;(4) Except for the type of *C. lanceolata* + bamboo forest,the same type of *C. lanceolata* community structure showed that there was a significant difference in the concentration of negative ions in summer and winter,and the average the concentration of negative ions in summer was higher than that in winter;(5)The differences in air anion concentrations of different *C. lanceolata* community types in summer and winter were extremely significant, significant, and insignificant.(6)In summer and winter, the concentration of negative ions in the air reaches the level 4 and above, which has the basic forest health function.(7)The research results showed that Shimen Forest Park was more suitable for forest health and outdoor tourism activities in summer than in winter.

Key words change in the concentration of negative ions; *Cunninghamia lanceolata* community; Shimen Forest Park

环境空气污染是全球范围内一个新兴的环境问题^[1]。空气负离子(Negative air ions, NAIs)是空气质量的重要指标,对于评估空气状况非常重要^[2]。研究表明,NAIs可以抑制病毒和细菌的生长^[3]。亦有学者研究发现,其不仅具有抑菌灭菌、沉降悬浮颗粒物、分解中和挥发性有害物质的作用,同时它还具有预防和辅助治疗呼吸道疾病、循环系统疾病和消化系统疾病的功能,改善呼吸系统绒毛的工作效率;降低血压,增强心肌功能,被誉为“空气维生素和生长素”^[4-6]。NAIs的发生和维持机制的研究表明,其主要是由自然界中的电效应产生,如通过植物叶尖端放电和光电效应促进空气的电离子形成,将空气中细颗粒物与正离子团聚变为较大的颗粒,后在重力作用下沉降从而净化空气^[7]。在不同情况下,NAIs会随着地球的公转和自转,季节性以及昼夜交替,呈现出一定的每日和季节性动态变化^[1]。郭云鹤等^[8]研究表明,NAIs浓度通常从午夜到清晨较高,在中午逐渐降低,在晚上逐渐升高,呈“U”形分布。朱思特等^[9]研究了3种不同林分结构类型的负离子浓度的日变化趋势,结果表明与郭云鹤等^[8]的研究结果一致。李高飞等^[10]研究结果表明夏季和秋季的NAIs浓度通常高于冬季和春季,不同区域的季节变化并非完全一致,这可能是由于观测区域的位置和气候的不同引起差异。崔会平等^[11]分析了不同竹群落类型NAIs在不同季节的变化规律,其变化表现为冬季>秋季>春季>夏季。

森林是陆地上分布最广、最复杂的生态系统。与其他类型的生态环境相比,森林中的NAIs浓度约增加了一倍^[12]。由于森林中NAIs浓度集中,已成为人们旅游和休闲的首选区域。但在不同树种、群落结构和林龄的影响下,通过改变森林中的微气象条件,NAIs的浓度也存在显著差异。如邵海荣等^[13]研究表明在不同绿化配置模式下,NAIs浓度存在差异,呈现为树木>灌木>草坪>裸地。此外,森林不同的物候期亦会随季节而变化,如在叶片形成阶段NAIs浓度最高,进而影响NAIs浓度变化。

有关气象、气体污染物、空气颗粒物和植被的NAIs的时空变化规律已有许多研究,但其中大多数研究都是在相同规模环境中进行,而针对森林公园夏冬季节的空气负离子变化规律的相关研究较缺乏。本研究以夏冬季石门国家森林公园为研究对象,进行空气负离子浓度的实地调查观测,研究了5种不同杉木林群落结构类型中空气负离子浓度变化情况及等级评价,通过分析数据结果,对夏冬季南方森林公园的游客游览路线选择提供参考,为森林游憩地景观生态规划设计提供数据支持。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

石门国家森林公园地处广州市从化区温泉镇,东邻南昆山自然保护区,南靠增城大封门

林场，西对温泉镇，北望广东流溪河国家森林公园，总面积 2 628 hm²。地理坐标为北纬 23°36'50"~23°39'20"，东经 113°46'16"~113°49'17"。属南亚热带湿润季风气候区，主要气候特征是温高湿重、雨量充沛。园内有丰富的植物资源，森林覆盖率达 96.76%，是一个集生态旅游、科普教育及旅游度假休闲为一体的综合性国家森林公园；园内有丰富多样的杉木群落结构，如纯杉木林、杉木+竹林、杉木+常绿阔叶林、杉木+空旷地、杉木+水溪等类型；选取该公园具有代表性的 5 种杉木群落结构类型观测夏冬季的空气负离子浓度变化，为规划该公园森林康养景点及康养旅游路线提供数据支撑。

1.2 样地选择

选取石门国家森林公园中以杉木+阔叶混交林、杉木+阔叶林+竹林、杉木+竹林、杉木+水体旁、杉木+空旷地 5 种杉木群落结构类型为研究样本，在群落选择样地大小为 20 m×20 m 作为观测范围，分别在样地的上坡位及下坡位进行观测；具体样地类型及特点详见表 1。

1.3 取样方法

该公园位于广州市从化区，地处南亚热带季风气候区，每年 6—8 月为夏季，12—2 月为冬季，在夏季的 8 月份及冬季 1 月份选择 4 天进行数据

测定；采样时天气状态相对稳定、风向、风速变化不大，且多为晴天或多云，对 5 个样点分别在 8:00—9:00、9:00—10:00、10:00—11:00、13:00—14:00、14:00—15:00、15:00—16:00 时对空气负离子浓度、温度、相对湿度进行数据采样。因为观测点较多，受景区的地形限制，观测不能同步，为使各点数据具有可比性，对所得的数据取均值得到负离子浓度。

空气负离子浓度（个·cm⁻³）采用日本原产的 COM-3200 PRO II 高精度负离子检测仪，进行测定，观测高度为距离地面 1.2~1.5 m 处，每个观测点开机并做归零调整后观察空气负离子读数，待负离子数值稳定在一定范围内，开始记录数据停顿 0.5~1 s 的数值，同步记录温度及相对湿度，跳动过快的数值不用记录，注意每个时间段观测取 30 组数据；每次记录时间持续 3~5 min。

1.4 分析方法

1.4.1 负离子浓度数据处理方法 本文采取 IBM SPSS Statistics 26.0 软件对负离子浓度在不同群落结构类型之间、同一时间段不同群落结构类型之间、同一群落类型不同季节之间的显著性进行分析。

1.4.2 负离子浓度等级划分方法 世界卫生组织（WHO）规定，每立方厘米空气负氧离子不低

表 1 杉木储备林试验示范区概况
Table 1 Survey of observation in the experimental demonstration area of *Cunninghamia lanceolata* reserve forest

样地编号 Plot Number	林地类型 Woodland Type	样地大小 /m Plot size	林下植被 understory vegetation	杉木平均胸径 / cm Mean breast diameter of <i>Cunninghamia lanceolata</i>	杉木株高 /m <i>Cunninghamia lanceolata</i> plant height	优势种 Dominant species	郁闭度 Canopy closure
A	杉木+阔叶混交林	20×20	乌毛蕨 <i>Blechnum orientale</i> L、芒 <i>Miscanthus sinensis</i> 、 润楠 <i>Machilus nanmu</i> 、短 叶黍 <i>Panicum brevifolium</i>	19.95	10.53	杉木	0.9
B	杉木+阔叶林+竹林	20×20	舟山新木姜子 <i>Neolitsea sericea</i> 、芒、短叶黍、狗 脊蕨 <i>Woodwardia japonica</i>	25.43	12.50	杉木	0.5
C	杉木+竹林	20×20	扇叶铁线蕨 <i>Adiantum flabellulatum</i> 、舟山新木姜 子、狗脊蕨	15.12	9.74	杉木	0.7
D	杉木+水体旁	20×20	扇叶铁线蕨、狗脊蕨、乌 毛蕨	21.04	12.27	杉木	0.8
E	杉木+空旷地	20×20	乌毛蕨、芒、粗叶榕 <i>Ficus hirta</i> 、短叶黍	28.12	13.21	杉木	0.6

于 1 000~1 500 个时为清新空气，并以 400 个作为旅游区空气负氧离子的临界浓度^[14]。对于负氧离子浓度等级的划分，目前并没有统一的标准。表 2 为常见的负氧离子等级标准及与健康的关系表，根据此标准对观测的夏冬季负离子浓度进行划分^[15]。

表 2 负氧离子等级标准及与健康的关系
Table 2 The relationship between negative ions grade and human health

负氧离子浓度 / (个·cm ⁻³) Negative ions concentration	等级 Grade	身体效应 Physical effects	对健康的 影响 Health effects
0~50	1	诱发形成各种疾病	极不利
51~200	2	易诱发生理障碍等	很不利
201~500	3	诱发生理障碍边缘	不利
501~900	4	维持人体健康基本需要	正常
901~1 200	5	增强人体免疫力抗菌力	有利
1 201~1 500	6	杀灭、减少疾病传染	相当有利
1 501~2 000	7	具有自然痊愈力	很有利
> 2000	8	具有治疗和康复功效	极有利

2 结果与分析

2.1 不同杉木群落结构类型夏季负离子日浓度变化分析

由表 3 得知，杉木 + 阔叶混交林、杉木 + 阔叶林 + 竹林、杉木 + 竹林、杉木 + 水体旁、杉木 + 空旷地 5 种不同杉木群落结构类型夏季负离子浓度日变化除杉木 + 空旷地类型组合呈现双峰趋势，其他杉木样地类型呈现单峰趋势；全天中空

气负离子浓度最低值除了杉木 + 水体旁样地出现在 14:00—15:00 时间段，其他杉木样地类型负离子浓度最低值均出现下午 13:00—14:00。杉木 + 水体旁群落类型负离子在 8:00—9:00 时达到全天负离子浓度数平均值的最大值。

同一时间段不同群落结构类型之间负离子浓度表现出一定的差异性，在 8:00—9:00 时间段内，除了杉木 + 阔叶林 + 竹林与杉木 + 竹林群落结构之间负离子浓度变化差异不显著，其它各群落结构之间负离子浓度变化均表现出差异显著；在 9:00—10:00 及在 15:00—16:00 时间段内，除了杉木 + 阔叶林与杉木 + 空旷地、杉木 + 阔叶林 + 竹林与杉木 + 竹林这两个群落类型之间负离子浓度变化差异不显著，其它各群落结构之间负离子浓度变化均表现出差异显著；在 10:00—11:00 时间段内，除了杉木 + 阔叶混交林与杉木 + 阔叶林 + 竹林群落结构之间负离子浓度变化差异不显著，其它各群落结构之间负离子浓度变化均表现出差异显著；在 13:00—14:00 时间段内，除了杉木 + 阔叶林与杉木 + 空旷地群落类型之间负离子浓度变化差异不显著，其它各群落结构之间负离子浓度变化均表现出差异显著；在 14:00—15:00 时间段内，各群落结构之间负离子浓度变化均表现出差异显著。

2.2 不同杉木群落结构类型冬季负离子日浓度变化分析

由表 4 得知，杉木 + 阔叶混交林、杉木 + 阔叶林 + 竹林、杉木 + 竹林、杉木 + 水体旁、杉木 + 空旷地 5 种不同杉木群落结构类型冬季负离子浓度日变化除了杉木 + 空旷地以外呈现双峰趋势，

表 3 不同杉木群落结构类型夏季各时间段负离子浓度
Table 3 Concentrations of negative ions in different periods of *Cunninghamia lanceolata* community structure in summer

群落类型 Community type	负离子浓度 / (个·cm ⁻³) Negative ions concentration					
	8:00—9:00	9:00—10:00	10:00—11:00	13:00—14:00	14:00—15:00	15:00—16:00
杉木 + 阔叶混交林	1 426.17 ± 59.15 a	1 431.83 ± 55.47 ab	1 369.17 ± 73.93 a	943.00 ± 50.75 a	1 619.17 ± 52.98 a	1 270.00 ± 68.23 a
杉木 + 阔叶林 + 竹林	875.75 ± 29.43 b	975.17 ± 73.45 b	1 260.50 ± 32.99 a	543.50 ± 40.07 b	759.83 ± 36.59 b	896.34 ± 51.56 b
杉木 + 竹林	813.00 ± 39.00 b	849.83 ± 39.62 b	481.00 ± 47.16 b	343.83 ± 19.30 ab	414.00 ± 30.71 ab	866.67 ± 46.86 b
杉木 + 水体旁	13 518.17 ± 48.22 ab	10 232.50 ± 58.27 bc	7 298.17 ± 71.48 ab	3 608.31 ± 67.51 bc	2 431.38 ± 32.15 ac	2 479.83 ± 32.43 ab
杉木 + 空旷地	1 215.33 ± 82.04 bc	1 554.33 ± 62.40 ab	1 040.00 ± 12.92 bc	1 017.83 ± 14.48 a	1 382.50 ± 21.31bc	1 241.17 ± 30.00 a

注：同列小写字母不同表示差异显著 $P < 0.05$ 。
Note:there was significant difference in different small letters in the same column ($P < 0.05$).

其他杉木群落结构类型呈现单峰趋势；5 种群落类型均有一天中的最高值和最低值，浓度变化差异较大。杉木 + 阔叶林 + 竹林、杉木 + 竹林及杉木 + 空旷地最高峰出现在 8:00—9:00 时、杉木 + 阔叶混交林及杉木 + 水体旁最高峰出现在 10:00—11:00 时。

同一时间段不同群落结构类型之间负离子浓度表现出一定的差异性，在 8:00—9:00 时间段内，除了杉木 + 水体旁与杉木 + 空旷地群落结构之间负离子浓度变化差异不显著，其它各群落结构之间负离子浓度变化均表现出差异显著；在 9:00—10:00 时间段内，除了杉木 + 阔叶林 + 竹林与杉木 + 竹林群落结构之间负离子浓度变化差异不显著，其它各群落结构之间负离子浓度变化均表现出差异显著；在 10:00—11:00、13:00—14:00、14:00—15:00 时间段内，各群落结构之间负离子浓度变化均表现出差异显著；在 15:00—16:00 时间段内，除了杉木 + 阔叶混交林与杉木 + 阔叶林 + 竹林群落结构之间负离子浓度变化差异不显著，其它各群落结构之间负离子浓度变化均表现出差异显著。

2.3 同种杉木群落结构类型夏冬季节空气负离子浓度比较分析

同种杉木群落结构类型在夏冬季节的负离子浓度方差比较分析详见表 5，比对结果表明，在夏冬季节之间空气负离子浓度之间杉木 + 竹林类型浓度差异不显著，杉木 + 阔叶林 + 竹林差异显著，杉木 + 阔叶混交林、杉木 + 水体旁、杉木 + 空旷地空气负离子差异极显著。此外，表 5 结果显示在夏季和冬季杉木 + 水体旁群落结构空气负离子平均浓度均显著高于其它群落结构类型，为

这 5 种群落类型的最高值，且夏季在杉木 + 水体旁的负离子浓度比冬季的高出 3 倍，达到 6586.47 个 · cm⁻³；综上所述，夏季比冬季更适合出行游玩并进行一系列森林康养活动，靠近水体旁的杉木群落结构空气质量更优，在此地开展森林旅游活动更为舒适。

2.4 不同杉木群落结构类型夏冬季空气负离子浓度差异性分析

由表 5 和表 6 可得出，杉木 + 阔叶混交林与杉木 + 空旷地及杉木 + 阔叶林 + 竹林与杉木 + 竹林、杉木 + 阔叶林 + 竹林与杉木 + 空旷地这 3 种群落结构类型之间负离子浓度差异性不显著，杉木 + 阔叶混交林与杉木 + 阔叶林 + 竹林、杉木 + 竹林与杉木 + 空旷地群落结构类型之间在夏季的负离子浓度表现出显著的差异；其它杉木群落结构类型之间负离子浓度均表现出极显著的差异；其中杉木 + 水体旁的负离子浓度为这 5 种群落结构类型在夏季负离子浓度的最大值，其它群落类型负离子浓度大小依次为杉木 + 阔叶混交林 > 杉木 + 空旷地 > 杉木 + 阔叶林 + 竹林 > 杉木 + 竹林。

由表 5 及表 7 可得出，除了杉木 + 阔叶混交林与杉木 + 空旷地、杉木 + 空旷地与杉木 + 水体旁群落类型在冬季负离子浓度差异性不显著以外，其它群落结构类型之间在冬季的负离子浓度均表现出极显著的差异；其中杉木 + 水体旁在冬季负离子浓度达到这 5 种群落结构类型最大值，其它群落类型负离子浓度大小依次为杉木 + 空旷地 > 杉木 + 阔叶混交林 > 杉木 + 阔叶林 + 竹林 > 杉木 + 竹林。

表 4 不同杉木群落结构类型冬季各时间段负离子浓度

Table 4 Concentrations of negative ions in different periods of *Cunninghamia lanceolata* community structure in winter

群落类型 Community type	负离子浓度 / (个 · cm ⁻³) Negative ions concentration					
	8:00—9:00	9:00—10:00	10:00—11:00	13:00—14:00	14:00—15:00	15:00—16:00
杉木 + 阔叶混交林	1 076.33 ± 18.98 a	1 027.00 ± 17.12 a	1 387.23 ± 17.12 a	959.00 ± 26.74 a	880.50 ± 12.94 a	929.83 ± 18.77 a
杉木 + 阔叶林 + 竹林	1 213.67 ± 25.45 b	570.67 ± 4.59 b	748.67 ± 24.44 b	694.83 ± 35.28b	1019.33 ± 22.35b	784.17 ± 23.83 a
杉木 + 竹林	946.17 ± 75.70 ab	628.17 ± 4.86 b	602.83 ± 6.05 ab	636.50 ± 6.74 ab	692.83 ± 15.67 ab	502.67 ± 11.47 b
杉木 + 水体旁	2 913.33 ± 50.13 bc	2 307.17 ± 17.48 bc	3 410.00 ± 61.24 ac	1407.83 ± 40.23 ac	1 272.33 ± 73.01 ac	1 283.00 ± 117.70 ab
杉木 + 空旷地	2 810.00 ± 29.30 bc	2 435.33 ± 69.95 ac	1 539.67 ± 26.97bc	1 883.17 ± 38.52 bc	1 504.50 ± 34.14 bc	1 934.33 ± 55.65 ac

注：同列小写字母不同表示差异显著 $P<0.05$ 。

Note:there was significant difference in different small letters in the same column ($P<0.05$).

表 5 同种杉木群落类型夏冬季节的空气负离子浓度比较

Table5 Comparison of negative ion concentration in summer and winter of the same *Cunninghamia lanceolata* community types

群落类型 Community type	夏季负离子浓度 / (个·cm ⁻³) Negative ions concentration in summer	冬季负离子浓度 / (个·cm ⁻³) Negative ions concentration inwinter	显著性 /p Significance
杉木 + 阔叶混交林	1 343.22 ± 30.47 a	1 043.32 ± 37.14 b	0.000 1
杉木 + 阔叶林 + 竹林	885.18 ± 22.87 a	838.56 ± 16.73 b	0.01
杉木 + 竹林	628.06 ± 23.89 a	668.19 ± 14.09 a	0.148
杉木 + 水体旁	6 586.47 ± 324.50 a	2 098.94 ± 54.46 b	0.000 1
杉木 + 空旷地	1 241.86 ± 25.39 a	2 017.83 ± 36.13 b	0.000 1

注：同行小写字母不同表示同一群落结构类型不同季节之间差异显著 $P < 0.05$ 。
Note: different lowercase letters in the same line indicate significant differences between different seasons of the same community structure type $P < 0.05$.

表 6 夏季负离子浓度差异性系数

Table 6 Difference coefficient of negative ions concentration in summer

群落类型 Community type	杉木 + 阔叶混交林 <i>Cunninghamia lanceolata</i> + broad-leaved mixed forest	杉木 + 阔叶林 + 竹林 <i>Cunninghamia lanceolata</i> + broad-leaved forest + bamboo forest	杉木 + 竹林 <i>Cunninghamia lanceolata</i> + bam-boo forest	杉木 + 水体旁 <i>Cunninghamia lanceolata</i> + water body	杉木 + 空旷地 <i>Cunninghamia lanceolata</i> + open land
杉木 + 阔叶混交林	1				
杉木 + 阔叶林 + 竹林	0.028*	1			
杉木 + 竹林	0.000 1**	0.216	1		
杉木 + 水体旁	0.000 1**	0.000 1**	0.000 1**	1	
杉木 + 空旷地	0.626	0.086	0.003*	0.000 1**	1

注：* 表示差异显著 ($P < 0.05$)，** 表示差异极显著 ($P < 0.01$)。
Note: * indicates significant difference ($P < 0.05$), ** indicates extremely significant difference ($P < 0.01$).

2.5 空气负离子浓度等级评价

根据表 6 可知观测的 5 种不同杉木结构类型中负离子浓度均达到 4 级以上，其中杉木 + 空旷地及杉木 + 水体旁群落结构类型负离子等级达到 7 级以上，对于健康极其有利，具有杀灭细菌、减少疾病传染、自然痊愈、治疗和康复功效的森林

康养作用。

3 讨论与结论

3.1 本研究得出不同杉木群落结构类型在夏季、冬季负离子浓度日变化特征表现为差异极显著；差异显著及差异不显著，负离子浓度日变化趋势

表 6 石门国家森林公园不同杉木群落结构类型负氧离子浓度等级评价

Table 6 Evaluation of negative ions concentration level of different fir community structure types in Shimen National Forest Park

群落类型 Coenotype	负氧离子浓度 / (个·cm ⁻³) Negative ions concentration	负氧离子等级 Negative ions level	身体效应 Physical effects	与健康的关系 The relationship with health
杉木 + 空旷地	1 629.85	7	具有自然痊愈力	很有利
杉木 + 水体旁	4 355.38	8	具有治疗和康复功效	极有利
杉木 + 阔叶混交林	1 193.27	5	增强人体免疫力抗菌力	有利
杉木 + 阔叶林 + 竹林	861.87	4	维持人体健康基本需要	正常
杉木 + 竹林	648.13	4	维持人体健康基本需要	正常

表 7 冬季负离子浓度差异性系数
Table 7 Difference coefficient of negative ions concentration in winter

群落类型 Community type	杉木 + 阔叶混交林 <i>Cunninghamia lanceolata</i> + broad-leaved mixed forest	杉木 + 阔叶林 + 竹林 <i>Cunninghamia lanceolata</i> + broad-leaved forest + bamboo forest	杉木 + 竹林 <i>Cunninghamia lanceolata</i> + bamboo forest	杉木 + 水体旁 <i>Cunninghamia lanceolata</i> + water body	杉木 + 空旷地 <i>Cunninghamia lanceolata</i> + open land
杉木 + 阔叶混交林	1				
杉木 + 阔叶林 + 竹林	0.000 1**	1			
杉木 + 竹林	0.000 1**	0.001**	1		
杉木 + 水体旁	0.001**	0.000 1**	0.000 1**	1	
杉木 + 空旷地	0.626	0.0001**	0.000 1**	0.102	1

注：* 表示差异显著 ($P < 0.05$), ** 表示差异极显著 ($P < 0.01$)。
Note: * indicates significant difference ($P < 0.05$), ** indicates extremely significant difference ($P < 0.01$).

多数呈现“V”或U型,从早上8点开始随着太阳上升而缓慢上升至下午1:00点,温度达到一天中最高值,而负离子浓度基本达到一天最低值,整体表现为早上和傍晚的浓度较高,中午时间段浓度较低,这与冯燕珠等^[16]研究结果一致,原因是随着太阳光照强度增加空气湿气消散,从而减少负离子的产生,因而负离子浓度降低。杉木+水旁负离子浓度则在早上8:00—9:00时之间达到一天中最大值,原因是杉木+水体旁类型由于水体旁群落类型林地内的相对湿度比其它群落类型的相对湿度大,易于受到从清晨到中午随着太阳光照的强度增加而水蒸气迅速减少的影响,导致造成林地内相对湿度的迅速减少;而负离子浓度与相对湿度呈正相关^[17],因此负离子浓度变化的差异比其他群落类型大。

3.2 根据夏季观测的5种不同杉木群落结构类型负离子浓度得出石门国家森林公园夏季的负离子平均浓度为2 142.03个·cm⁻³,冬季负离子平均浓度为1 333.37个·cm⁻³,负离子浓度在季节变化中,夏季负离子浓度高于冬季,空气质量夏季优于冬季,该研究与李高飞等^[10]、王磊等^[18]、刘欣欣等^[19]的研究结果一致。原因是由于温度对植物光合作用的影响,当温度较低时,光合作用随温度的升高而增加,从而将更多的氧气释放到空气中并促进NAIs的产生。当温度升高到一定程度,叶片气孔关闭,光合作用降低,导致释放到空气中的氧气减少,从而NAIs浓度降低。随着夏季温度升高,在光合作用下酶催化反应的速率增加。本研究中的林分质量和林地生产力较高,与释放

更多的氧气有着紧密的联系。

3.3 石门国家森林公园负离子浓度均值达到了1 400个·cm⁻³左右,达到了6级标准,对人体健康的影响是相当有利,具有较高的森林康养作用;比刘端等^[20]研究中所测的森林公园浓度高,但与朱舒欣等^[15]研究的结果相比:负离子浓度偏低,原因可能在其研究的主要是亚热带常绿阔叶林中空气负离子,在同等气候条件下杉木林群落结构针叶的叶片总面积比常绿阔叶林的小,光合作用比常绿阔叶林弱,释放的氧气较少,因此NAIs浓度偏低,还可能与气象因子及观测的时间不同,因此与其研究结果不完全一致。

3.4 不同杉木群落结构类型负离子浓度比较分析不同杉木群落结构类型中负离子浓度大小排序为杉木+水体旁>杉木+空旷地>杉木+阔叶混交林>杉木+阔叶林+竹林>杉木+竹林,由此得出在杉木群落组成中竹林对于负离子浓度的影响不占优势,这可能与竹林释放的挥发性有机化合物(VOCs)对空气负离子的产生起到了一定的抑制作用有关,这一结果与吕嘉欣等^[21]结果不一致;原因可能是由竹林组成的杉木群落的叶面积指数、冠层覆盖度低于无竹林的杉木林群落,有竹林组成的杉木群落结构天空可视度大于无竹林的杉木群落结构,而空气负离子浓度与叶面积指数和冠层覆盖度具有显著或极显著正相关,与天空可视度呈负相关^[22]。因此在有竹林的杉木林群落结构中空气负离子浓度比无竹林的空气负离子浓度小。

3.5 石门国家森林公园5种不同杉木群里结构类型夏季负离子日均浓度值从高到低依次为杉木+

水体旁>杉木+阔叶混交林>杉木+空旷地>杉木+阔叶林+竹林>杉木+竹林,冬季负离子日均浓度值从高到低依次为杉木+水体旁>杉木+空旷地>杉木+阔叶混交林>杉木+阔叶林+竹林>杉木+竹林;这5种不同杉木群落结构类型各时间段的峰值和谷值存在明显的差异。

通过对该公园杉木群落结构类型冬夏季负离子浓度的研究与分析,石门森林公园内夏季及冬季日均负离子浓度均达到了6级以上,已具有杀灭细菌、减少疾病传染、自然痊愈、治疗和康复的森林康养功效。通过负离子浓度对比研究发现石门森林公园夏季比冬季更适合做森林康养及户外旅游活动;游客可选择出游时间在夏季早上8:00—10:00时之间,在靠近水体旁或是较为空旷的杉木林群落结构中游玩,对身心健康有更大的益处;今后可以将负离子浓度作为规划森林康养景点及规划森林康养路线的重要指标并为森林公园森林康养建设提供借鉴,使得森林发挥更大的经济、社会、生态效益。

参考文献

- [1] LIU SHAN, HUANG QINGYU, WU YAN, et al. Corrigendum to "Metabolic linkages between indoor negative air ions, particulate matter and cardiorespiratory function: A randomized, double-blind crossover study among children" [Environ. Int. 138 (2020) 105663][J]. Environment International, 2020, 143: 106073-.
- [2] WANG HUI, WANG BING, NIU XIANG, et al. Study on the change of negative air ion concentration and its influencing factors at different spatio-temporal scales[J]. Global Ecology and Conservation, 2020, 23.
- [3] AP KRUEGER, EJ REED. Biological impact of small air ions[J]. Science, 1976, 193(4259): 1209-1213.
- [4] SAGHAFI SAIEDEH, SINGH GURDEV. There's something in the Air: Empirical Evidence for the Effects of Negative Air Ions (NAI) on Psychophysiological State and Performance[J]. Research in Psychology and Behavioral Sciences, 2013, 1(4): 48-53.
- [5] 李正泉, 郑健, 胡晓, 等. 负氧离子浓度等级预测[J]. 林业与环境科学, 2021, 375): 84-90.
- [6] 罗丰, 卢紫君, 潘倩虹, 等. 广州下半年空气负离子分布的时空特征[J]. 广东林业科技, 2009, 25(5): 35-40.
- [7] 朱丽娜, 温国胜, 王海湘, 等. 空气负离子的研究综述[J]. 中国农学通报, 2019, 35(18): 44-49.
- [8] 郭云鹤, 王咸钟, 张凯, 等. 西安城市公园空气负离子浓度变化[J]. 城市环境与城市生态, 2015, 28(1): 35-37.
- [9] 朱思特, 李峰, 靳文斌. 嫩江公园空气负离子浓度观测研究[J]. 现代农村科技, 2019(2): 63.
- [10] 李高飞, 李巧云, 颜立红, 等. 城市森林空气负氧离子浓度变化规律研究[J]. 湖南林业科技, 2019, 46(2): 52-56.
- [11] 崔会平, 张建国, 徐文俊, 等. 竹群落空气负离子及空气质量评价[J]. 福建林业科技, 2013, 40(4): 56-61.
- [12] 闫秀婧. 青岛市森林与湿地负离子的空间分布特征[J]. 林业科学, 2010, 46(6): 65-70.
- [13] 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(3): 35-39.
- [14] 李伟, 王经业, 陆勇, 等. 大气负离子自动测报仪的研制[J]. 气象科技, 2008, 36(6): 834-836.
- [15] 朱舒欣, 崔杰, 刘起雨, 等. 石门国家森林公园负氧离子浓度等级评价及其与环境因素的相关性分析[J]. 林业与环境科学, 2019, 35(5): 14-22.
- [16] 冯燕珠, 陈旭, 高欢欢, 等. 公园不同植物配置群落空气负离子变化特征[J]. 福建农业学报, 2019, 34(1): 95-103.
- [17] 苏木荣, 胡新颖, 李召青, 等. 云勇生态林空气负离子浓度及变化规律[J]. 广东林业科技, 2012, 28(4): 11-16.
- [18] 王磊, 万欣, 黄利斌, 江浩. 南京城郊森林空气负离子动态变化研究[J]. 江苏林业科技, 2016, 43(6): 24-28; 55.
- [19] 刘欣欣, 华超, 张明如, 等. 千岛湖姥山林场不同森林群落空气负离子浓度的比较[J]. 浙江农林大学学报, 2012, 29(3): 366-373.
- [20] 刘端, 白志强, 韩燕梁. 喀纳斯国家级森林公园景区夏秋季空气负离子浓度变化特征[J]. 西北林学院学报, 2015, 30(3): 253-257.
- [21] 吕嘉欣, 王翔, 项亨旺, 等. 毛竹释放挥发物对空气负离子及微生物的影响[J]. 竹子学报, 2020, 39(3): 49-57.
- [22] 吴仁武, 舒也, 晏海, 等. 夏季竹类植物群落冠层结构对空气负离子浓度的影响[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(19): 118-126.