南宁青秀山雨林大观小气候环境特征研究*

欧阳子龙[1,2,3] 蔺中伟[4] 谭江锋[5] 苏大宏[1,2] 贾湘璐[1,2,3] 李 蓉[1,2] 秦志成[1,2]

1 南宁植物园 南宁 530002
2 南宁青秀山风景名胜旅游开发有限责任公司 南宁 530000
3 广西大学林学院 南宁 530004
4 南宁青秀山风景名胜旅游区建设工程和园林绿化所 南宁 530000
5 广西壮族自治区林业勘测设计院 南宁 530001

摘要：为充分了解南宁青秀山雨林大观小气候特征，以南宁青秀山雨林大观为研究对象，对不同区域、不同时段和不同群落进行负离子浓度、温度和湿度测定，分析小气候环境特征。结果表明：不同区域小气候环境质量为林下>水边>广场；不同时间段为上午>下午>中午；不同群落组成为草本>灌木>乔木>铺装。林下草本小气候环境优于其他群落，生态效益较好；广场铺装、广场乔木、广场灌木和水边铺装小气候环境相对较差。温度和湿度与负离子浓度存在显著的线性相关，且是负离子浓度重要的影响因子。据此提出以下建议：1）在林下设置更多活动和休憩区域；2）安排科普教育等活动时应考虑于小气候环境最佳的上午进行；3）注重植物群落构建，通过提高植物多样性促进小环境生态循环。

关键词：南宁青秀山雨林大观；小气候环境；负离子浓度；温度；湿度
DOI：10.12169/zgcsly.2023.09.20.0002

Microclimate Environment Characteristics at the Rainforest Garden of Qingxiu Mountain in Nanning

Ouyang Zilong[1,2,3] Lin Zhongwei[4] Tan Jiangfeng[5] Su Dahong[1,2] Jia Xianglu[1,2,3]
Li Rong[1,2] Qin Zhicheng[1,2]

(1. Nanning Botanical Garden, Nanning 530002, China; 2. Nanning Qingxiu Mountain Scenic Spots Tourism Development Co., Ltd., Nanning 530000, China; 3. College of Forestry, Guangxi University, Nanning 530004, China; 4. Construction Project and Greening Institute, Nanning Qingxiu Mountain Scenic Spots Tourism Management Unit, Nanning 530000, China; 5. Guangxi Forest Inventory & Planning Institute, Nanning 530001, China)

Abstract: In order to fully understand the microclimate characteristics at the Rainforest Grand of Nanning Qingxiu Mountain, we investigate the different locations of the rainforest at different time periods and with different community composition, and measure the negative ion concentration, temperature and humidity, for analyzing the characteristics of microclimate environment. The results show that the microclimate environmental quality is ordered: forest > proximity to water > square for locations, morning > afternoon > noon for time period, and herbaceous plants > shrub > arbor > pavement for community composition. The microclimate environment of the understory herbaceous layer is better than other layers, with better ecological benefits. The microclimate environment of square pavement, arbors in square, shrubs in square

收稿日期：2023-09-20
* 基金项目：南宁青秀山风景名胜区管理委员会重点植物研究课题（2023）
第一作者：欧阳子龙（1997-），男，硕士生，研究方向为园林植物资源及应用。E-mail：1627132117@qq.com
通信作者：秦志成（1978-），男，工程师，研究方向为园林植物资源及应用。E-mail：260890632@qq.com

and waterside pavement is relatively poor. Temperature and humidity have significant linear correlation with the concentration of negative ions, which are also the important influencing factors to negative ions concentration. Hence, it is suggested that the Rainforest Garden should be improved from the three aspects: 1) More spaces for recreation and leisure should be designated under forests; 2) Activities such as science popularization should be held in the morning when the microclimate environment is the best; 3) More attention should be paid to the reestablishment of plant communities to promote the ecological cycle of micro-environment through the improvement of plant diversity.

Keywords: Rainforest Garden; Nanning Qingxiu Mountain; microclimate environment; negative ion concentration; temperature; humidity

城市绿地可提供居民休闲游憩和康养锻炼的活动场地，同时形成生态环境缓冲区改善城市空气质量，以应对城市空气环境污染，是城市不可缺少的功能性区域[1-4]。城市绿地具有较好的小气候环境，如较高的负离子浓度、适宜的温湿度等，生态环境质量优于城市其他功能地块[5-6]。空气负离子有益于人体健康[7]，合适的温度和湿度是舒适气候的保证[8-10]，负离子浓度、温度和湿度在不同区域、植物群落、季节、天气，以及不同时段中均存在明显的时空变化[11-15]。

城市绿地既是城市面貌展示的重要场所，亦是城市生态环境质量监测的重点对象，其小气候特征对城市绿色发展至关重要。青秀山是南宁市关键的城市绿地，具有华南地区植物典型区系特征，也是华南地区城市绿地建设和管理水平的代表之一。雨林大观是青秀山主要的热带雨林生态示范区，近年来通过重点建设形成了较为良好的生态气候环境，吸引了大量游客，效益显著，但目前有关雨林大观小气候环境特征的调查研究尚未见报道。因此，本研究以空气负离子浓度、温度和湿度作为小气候环境特征指标，并对雨林大观不同的区域、时间段和植被组成三方面进行探究，为城市绿地规划提供更为准确的数据支撑，为后续发展和建设提供参考。

1 研究区概况

青秀山风景区（22°47′N，108°23′E）位于南宁市青秀区核心部位，风景资源位于全市前列[16]，是典型的“城市绿肺”。属热带季风气候区，阳光充足、温和少霜，年均温度为21.7 ℃，年均湿度为80%。气候条件优越，年均降雨量可达1 300 mm。雨林大观位于青秀山风景区南部区域，临近邕江，建成于1998年，占地约330 hm^2。雨林大观以展示热带雨林环境植物群落为主要特点，植物包含王莲（*Victoria amazonica*）、人面子（*Dracontomelon duperreanum*）、榕树（*Ficus microcarpa*）、火烧花（*Mayodendron igneum*）、扁担藤（*Tetrastigma planicaule*）、芭蕉（*Musa basjoo*）、海芋（*Alocasia odora*）、龟背竹（*Monstera deliciosa*）等。雨林大观采用雾森系统定时进行雾化喷淋，维持了较湿润的小气候特征。

2 研究方法

2.1 调查方法

调查于2023年8月22—24日进行，天气晴朗、无风、无降雨，气候稳定。根据南宁市实时天气情况，3日平均温度为29.33 ℃，温度平稳，适合连续测定。于早上（8：00—10：00）、中午（12：00—14：00）和下午（16：00—18：00）对广场、水边和林下区域进行调查，每处区域均选择地面铺装、乔木、灌木和草本植物群落作为观测群落对象。其中，各群落均随机选取10处样点作为重复，其中8月22和23日各测得3处样点数据，24日测得剩下的4处样点数据。测定时，每个样点均从东、南、西、北、中5个方向进行测定后取平均值，作为该样点的数据。地面铺装主要由花岗岩、砖石或水泥组成；乔木包括雅榕（*Ficus concinna*）、人面子、大王椰（*Roystonea regia*）等；灌木包括红背桂（*Excoecaria cochinchinensis*）、金花茶（*Camellia petelotii*）、香龙血树（*Dracaena fragrans*）、也门铁（*Dracaena arborea*）等；草本包括春羽（*Thaumatophyllum bipinnatifidum*）、小翠云（*Selaginella kraussiana*）、

绿巨人白鹤芋（*Spathiphyllum* ‘Mauna Loa Supreme’）、丛毛宝塔姜（*Costus comosus*）、银羽竹芋（*Ctenanthe setosa*）等。

测定指标包括负离子浓度和温湿度。使用 AIC 1000 空气负离子检测仪测定空气负离子浓度，使用 AR 837 空气温湿度计测定空气温湿度。使用负氧离子等级标准及健康的关系表作为负氧离子浓度评估参考（表 1）[16]。

表 1　负氧离子等级标准及健康的关系

负氧离子浓度/（个/cm^3）	等级	身体效应	对健康的影响
0~50	1 级	诱发形成各种疾病	极不利
51~200	2 级	易诱发生理障碍等	很不利
201~500	3 级	诱发生理障碍边缘	不利
501~900	4 级	维持人体健康基本需要	正常
901~1 200	5 级	增强人体免疫力抗菌力	有利
1 201~1 500	6 级	杀灭、减少疾病传染	相当有利
1 501~2 000	7 级	具有自然痊愈力	很有利
>2 001	8 级	具有治疗和康复功效	极有利

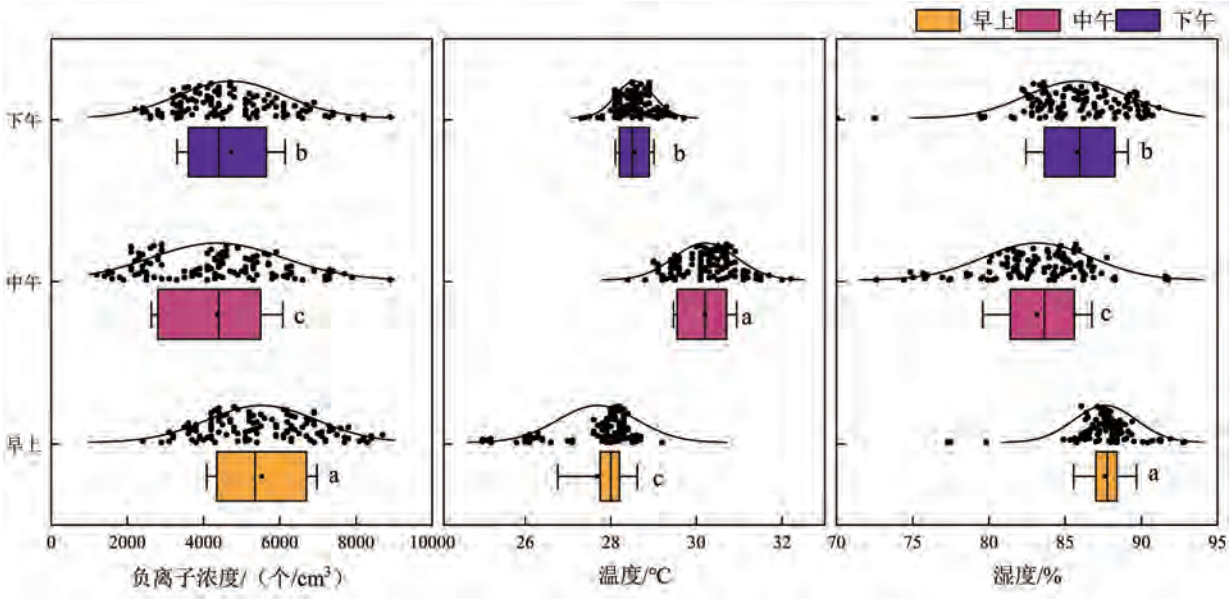
2.2　数据处理

使用 Excel 2019 软件对获取的数据进行统计，使用 SPSS 25.0 软件进行显著性差异分析。计算 R^2 和 Pearson’s r 的值并与拟合方程一同标注于图中；使用 Origin 2019b 的主成分插件进行主成分分析；以 Euclidean 距离作为相似度指标进行聚类分析。文中的图均使用 Origin 2019b 软件进行绘制。

3　结果与分析

3.1　不同时段空气负离子浓度和温湿度变化

如图 1 所示，不同时段负离子浓度差异显著（$P<0.05$）：早上（5 530.00 个/cm^3）>下午（4 726.67 个/cm^3）>中午（4 353.33 个/cm^3）；不同时段温度差异显著（$P<0.05$）：早上（27.69 ℃）<下午（30.20 ℃）<中午（28.56 ℃）；不同时段湿度差异显著（$P<0.05$）：早上（87.62%）>下午（85.78%）>中午（83.17%）。对于小气候特征来说，降温增湿均能提高人体环境舒适度[5]，相较于中午和下午，早上具有更低的温度和更高的湿度。根据表 1，早上、中午和下午的负离子浓度均处于 8 级标准，对健康极有利，且早上的负离子浓度最高。总体而言，早上的小气候更为适宜。



注：同列不同小写字母表示不同处理间差异显著（$P<0.05$），下同。

图 1　不同时间空气负离子浓度和温湿度变化

3.2 不同区域空气负离子浓度和温湿度变化

如图 2 所示，不同区域负离子浓度差异显著（$P<0.05$）：林下（5 894.17 个/cm^3）>水边（4 753.33 个/cm^3）>广场（3 962.50 个/cm^3）；不同区域温度差异显著($P<0.05$)：林下(28.25 ℃)<水边（28.99 ℃）<广场（29.21 ℃）；不同区域湿度差异显著（$P<0.05$）：林下（87.48%）>水边（85.31%）>广场（83.78%）。相较于水边和广场，林下具有更低的温度和更高的湿度。根据表 1，林下、水边和广场的负离子浓度均处于 8 级标准，对健康极有利，且林下的负离子浓度最高。总体而言，林下的小气候更为适宜。

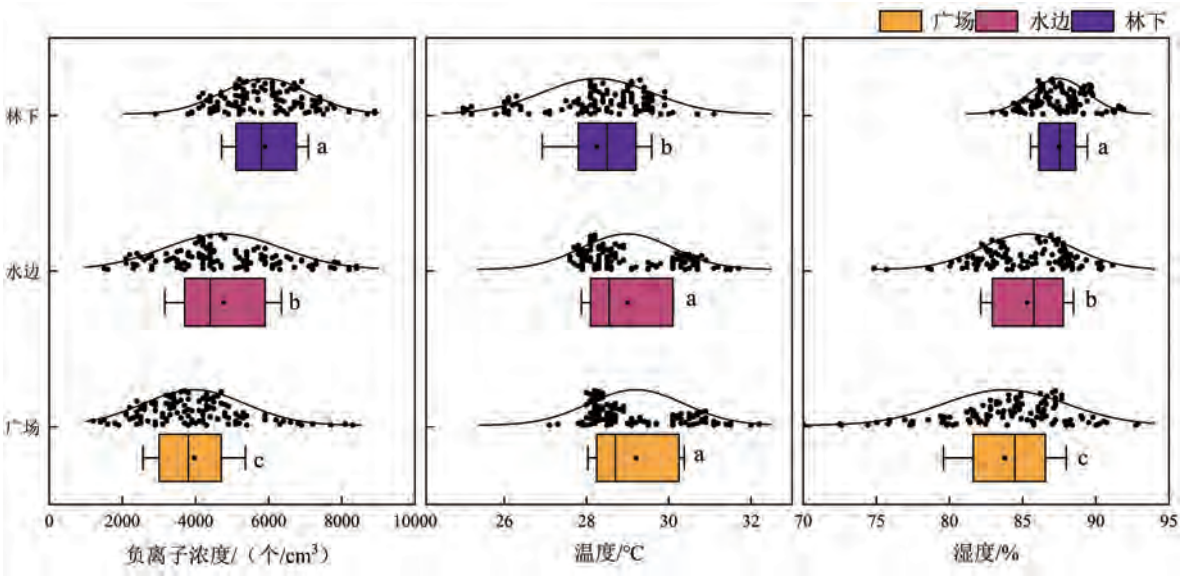


图 2 不同区域空气负离子浓度和温湿度变化

3.3 不同群落空气负离子浓度和温湿度变化

如图 3 所示，不同群落负离子浓度差异显著（$P<0.05$）：草本（6 410.00 个/cm^3）>灌木（4 796.67 个/cm^3）>乔木（4 227.78 个/cm^3）>铺装（4 045.56 个/cm^3）；不同群落温度差异不显著（$P>0.05$）；不同群落湿度差异显著（$P<0.05$）：草本（86.81%）>乔木（85.55%）>灌木（85.39%）>铺装（84.34%）。相较于灌木、乔木和铺装，草本具有更低的温度和更高的湿度。根据表 1，草本、灌木、乔木和铺装的负离子浓度均处于 8 级标准，对健康极有利，且草本的负离子浓度最高。总体而言，草本的小气候更为适宜。

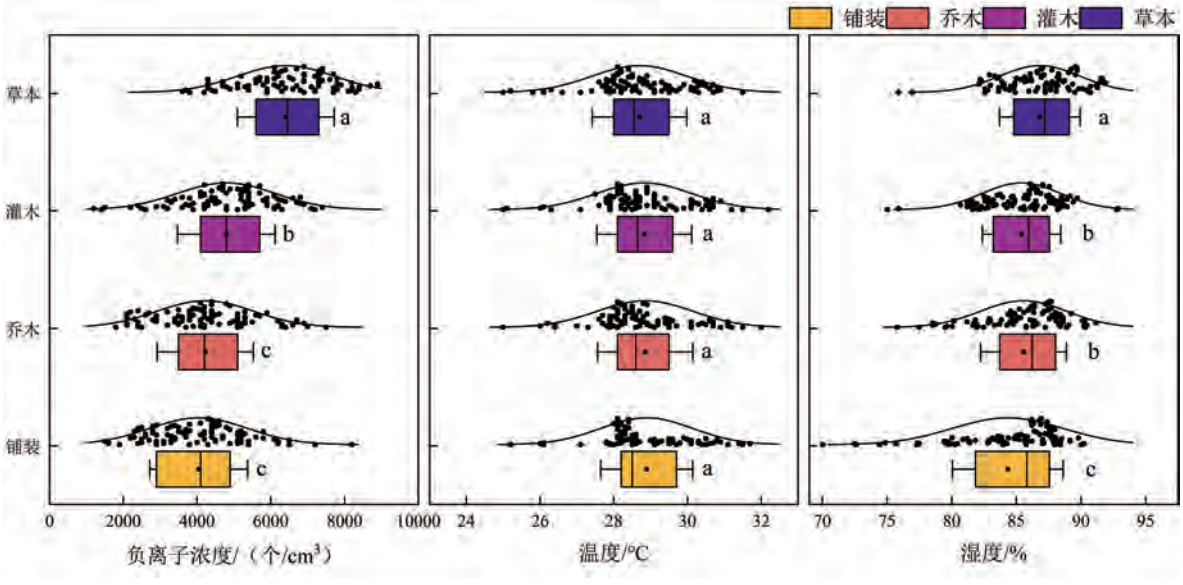


图 3 不同群落空气负离子浓度和温湿度变化

3.4　不同环境下空气负离子浓度和温湿度变化

如图 4 所示：12 种模式中，林下草本和水边草本的负离子浓度显著（$P<0.05$）高于其他环境；林下草本、林下灌木、林下乔木和林下铺装的温度显著（$P<0.05$）低于其他环境；林下草本的湿度显著（$P<0.05$）高于其他环境。总体而言，林下草本具有更低的温度、更高的湿度和负离子浓度，小气候更为适宜。

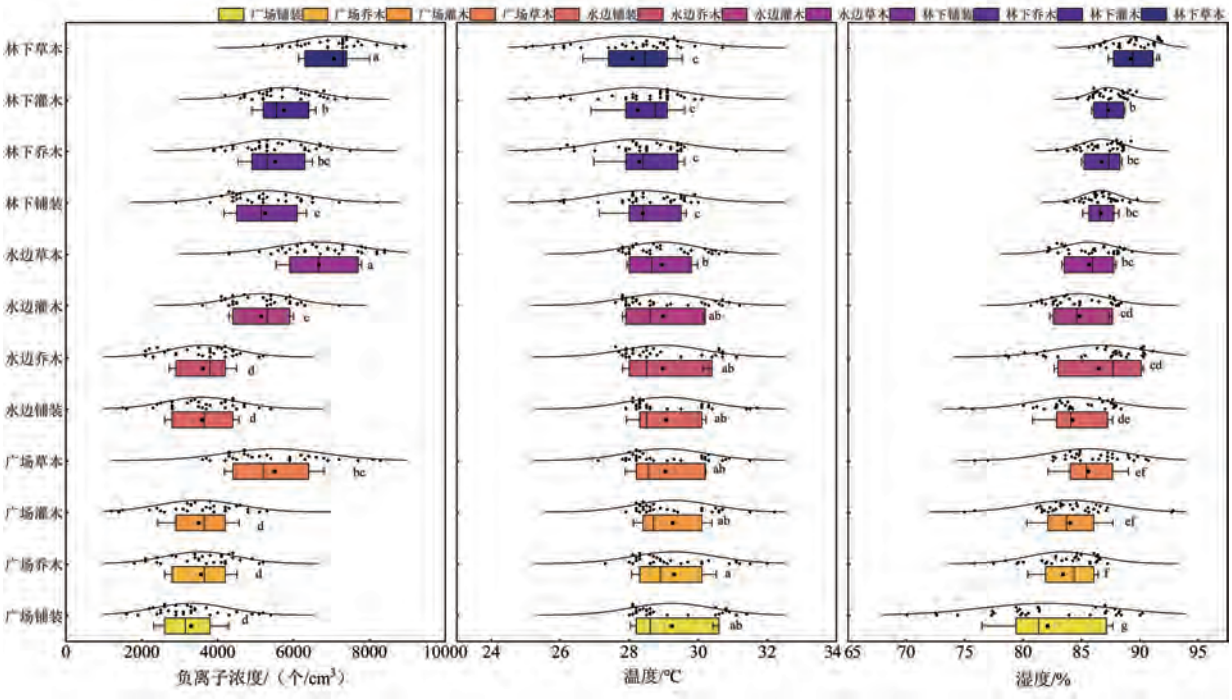


图 4　不同环境下空气负离子浓度和温湿度变化

3.5　空气负离子浓度和温湿度的拟合关系

通过对负离子浓度、温度和湿度的线性拟合分析（图 5）发现，三者间均存在显著的线性相关，其中负离子浓度与温度呈显著负相关（$R^2=0.29$，Pearson's r=−0.54），与湿度呈显著正相关（$R^2=0.42$，Pearson's $r=0.65$）；温度与湿度呈显著负相关（$R^2=0.47$，Pearson's $r=-0.69$）。这说明温度和湿度均能影响负离子浓度。

3.6　空气负离子浓度和温湿度的主成分分析

如图 6a，不同时段的主成分分析显示早上和中午两个时间段小环境区别较明显：早上与湿度较接近，而中午与温度较接近，说明早上小环境好于中午。如图 6b，不同区域的主成分分析显示林下和广场两个区域小环境区别较明显：林下与负氧离子和湿度较接近，而广场与温度较接近，说明林下小环境好于广场。如图 6c，不同群落的主成分分析显示草本和铺装两个群落小环境区别较明显；草本与负氧离子较接近，而铺装、乔木与负氧离子更远，说明草本小环境好于铺装、乔木。

3.7　不同环境下的聚类分析

以 Euclidean 距离作为标准，对 12 种模式进行系统聚类分析，结果被聚为 3 类（图 7）：林下草本为单独一类，而广场铺装、广场乔木、广场灌木和水边铺装被聚为一类，其余被聚为一类。总体而言，林下草本小环境好于其他模式，生态效益最佳；而广场铺装、广场乔木、广场灌木和水边铺装小环境最差，生态效益相对较小。

4　讨论

通过对负离子浓度、温度和湿度进行测定，并对比不同区域、时段和植被组成小气候环境特征，可筛选出小气候最佳的组合。空气中负离子浓度的影响因素较多，如温度、湿度、风速、风向、气压高低等[17]。大量研究表明，负离子浓度与温度和湿度存在明显的相关性[18-20]，根据负氧离子等级标准及健康的关系（表 1），青秀山雨林大观不同的区域、时间段和植被组成中负离子浓

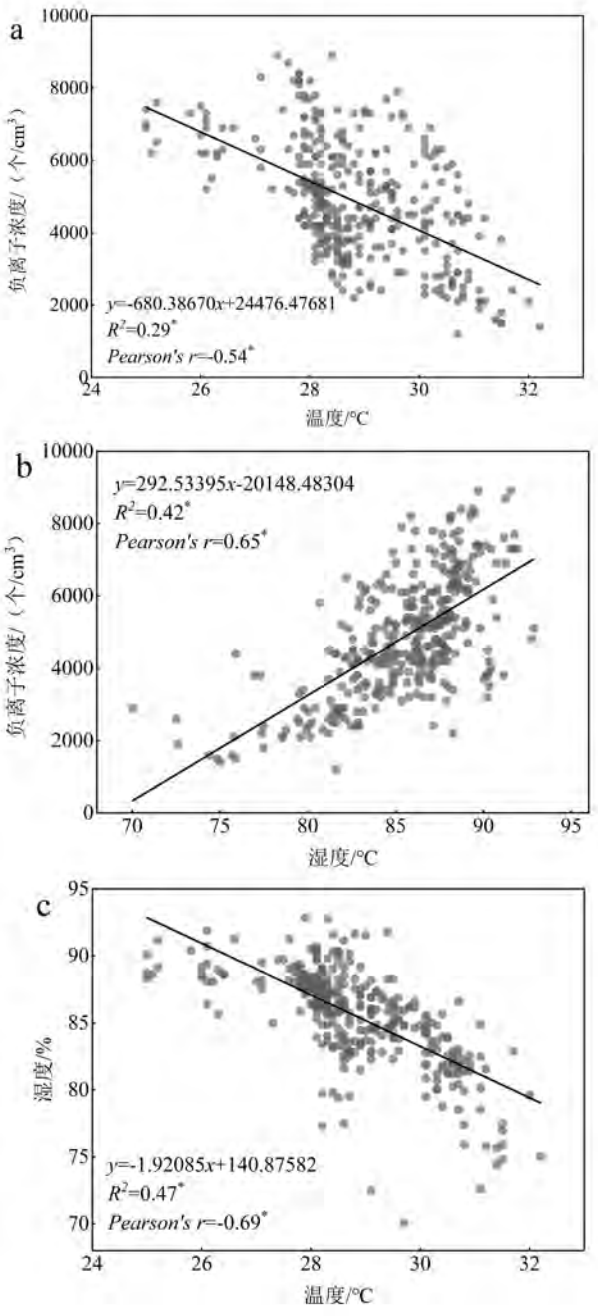


图 5 空气负离子浓度和温湿度的线性拟合

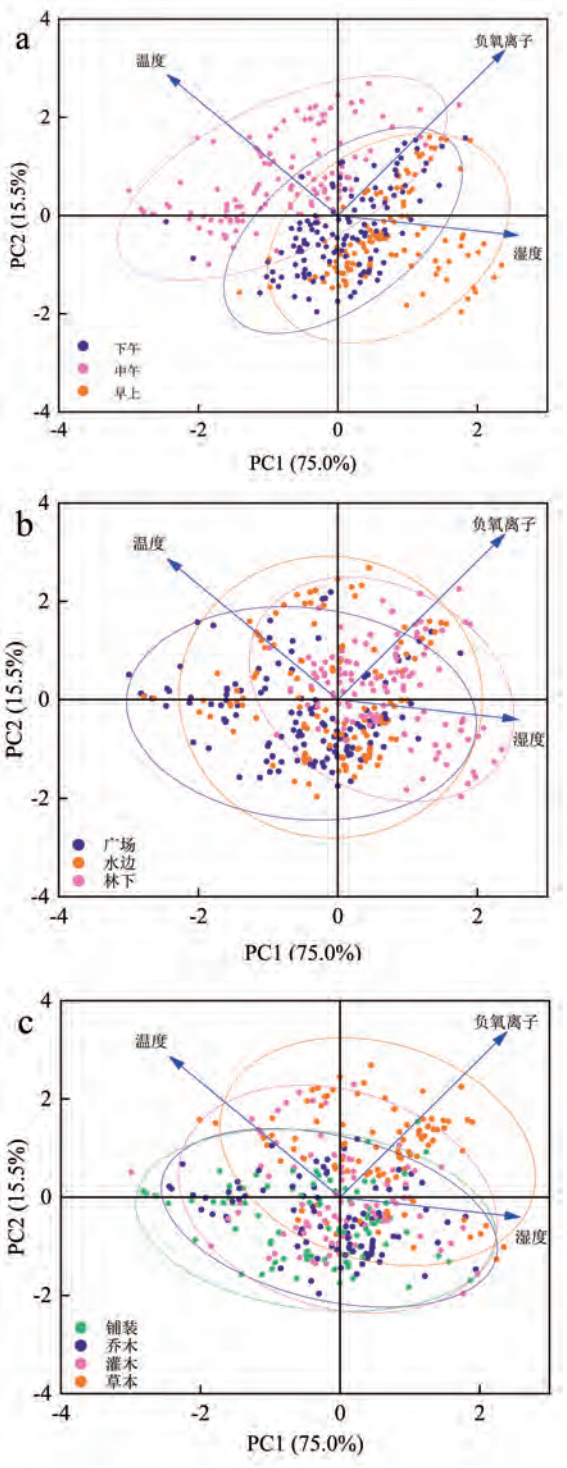


图 6 空气负离子浓度和温、湿度主成分分析

度均较高，均处于 8 级标准，具有一定的治疗和康复功效，对健康极有利。本研究发现，由于早晚温度较低，且湿度较高，更有利于负离子形成和维持，中午则相反，与公园[21]、城市[22]、森林[23]等区域负离子浓度呈早晚高、中午低的分布模式的研究结论一致。本研究还发现，无论是负离子浓度或湿度，均为早上最高，而温度早上最低，说明上午最适宜休闲游憩、锻炼健身等活动。现场观察表明，雨林大观一日内以上午游客数最多，这正与小气候数据的测定结果相吻合，说明小气候舒适度可能对游客的感官体验发挥积极作用。因此，后期雨林大观进行科普研学、知识教育、植物宣传等活动应集中在上午，以充分发挥生态景区的社会性功能。

负离子浓度和湿度在林下均高于水边和广场，

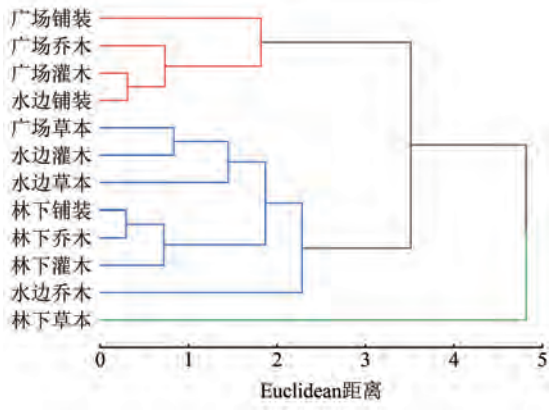


图 7　不同环境下的聚类分析

温度则相反。有研究表明，水环境下负离子浓度高于其他环境，且高郁闭度高于空旷环境[24-25]，与本结论并不完全一致。原因可能是雨林大观雾化喷淋的覆盖面积较广，涵盖了林下区域，加之林下郁闭度高且定期进行人工浇水管理，持续维持了较高湿度；而水边郁闭度低，直接暴露于光照下，湿度难以稳定，负离子浓度相较于林下较低。广场郁闭度最低且植物种类少，广场路面无法为负离子形成提供有利环境，这可能是导致小气候较差的直接原因。结合实际调查，应在林下设置更多的活动空间和休憩设施，提高游客体验感。

从群落小气候的角度看，最优排序为草本>灌木>乔木>铺装，可能的原因是草本植物最接近于土壤，蓄水保湿能力较强于其他群落，且系统的人工管理模式使土壤环境整体较为湿润，具有更低的温度。随着植物生态位不断升高，整体湿度迅速降低，负离子浓度也随之下降。但有研究表明，南宁市石山公园和狮山公园负离子浓度为乔木>灌木>草本[26]，与本结论相反，由上文推测可能的原因是雨林大观雾化喷淋体系较为成熟、人工因素影响较大且常年维持适宜的湿润度。也有研究表明，负离子浓度为乔灌混交林>灌木林>乔木林[27]，复合植物群落能产生较大的生态效益，维持较好的小气候环境[28-29]。张翼[30]的研究也表明，针阔混交林空气质量最佳，其负离子浓度大于阔叶纯林和油杉林。因此，后期雨林大观应考虑加强植物混合种植模式，尤其是提高以植物群落为主的景观应用，在模拟雨林生态系统的同时，注重植物群落中的多样性。

拟合分析表明，负离子浓度、温度和湿度三者间存在较强的相关性，温度和湿度是负离子浓度的重要影响因子，这与北京西山国家森林公园[11]、海口市凤翔湿地公园[14]、广州帽峰山森林公园[16]、九连山国家森林公园[21]、西宁市城市典型绿地[18]等区域观测的结果一致。主成分分析表明，小气候环境最优顺序为早上>下午>中午；林下>水边>广场；草本>灌木>乔木>铺装。对 12 种模式（林下草本、林下灌木、林下乔木、林下铺装、水边草本、水边灌木、水边乔木、水边铺装、广场草本、广场灌木、广场乔木、广场铺装）进行显著性差异分析和聚类分析，结果发现整体小气候以林下草本最好，单独为一类；较差的为广场铺装、广场乔木、广场灌木和水边铺装，被聚为一类；其余的处于中间水平，被聚为另一类。由此可见，雨林大观后期应充分利用草本地被结合游憩活动设施建设，在提供更多活动场地的同时保证最大化的生态效益。

5　结论

南宁青秀山雨林大观小气候环境存在较明显的变差异：对于不同时间段而言，早上>下午>中午；对于不同区域而言，林下>水边>广场；对于不同群落而言，草本>灌木>乔木>铺装。总体来看，林下草本的小气候环境最佳，且林下整体小环境均优于其他区域，故在林下应设置更多活动和休憩区域，以充分利用良好的生态环境。负离子浓度与温度呈显著负相关，与湿度呈显著正相关；温度与湿度呈显著负相关，温度和湿度是负离子浓度的重要影响因子。从景区的经营活动上看，一日内小气候环境最佳时间在上午，因此在科普研学、知识教育、植物宣传等活动安排时，应集中考虑设置在上午，以充分发挥生态景区的社会性功能。同时，为营造更好的生态气候环境，后期应继续注重植物群落构建，提高植物多样性。

参考文献

[1]魏嘉馨,干晓宇,黄莹,等.成都市城市绿地景观与生态系统服务的关系[J].西北林学院学报,2022,37(6):232-241.

[2]加雨灵,赵丹.兼顾生态功能和健康福祉的北京城市绿地生态修复策略研究[J].北京规划建设,2021(5):36-40.

[3]胡博伟.京津冀城市群绿地景观吸收雾霾生态服务价值测度

及时空分异[D].兰州:兰州交通大学,2020.
[4]同丽嘎,宁小莉,张靖.基于RS与GIS的包头市城市公园绿地休闲游憩服务半径研究[J].干旱区资源与环境,2013,27(3):202-208.
[5]张彪,AMANI-BENI M,史芸婷,等.北京奥林匹克公园夏季绿地小气候及人体环境舒适度效应分析[J].生态科学,2018,37(5):77-86.
[6]朱蕊蕊,张晓彤,刘亦斌,等.城市人居环境小气候研究综述:基于Web of Science文献的知识图谱分析[J].中国城市林业,2021,19(4):36-41.
[7]司艳萍,陈俊,曹凌仪,等.热带湿季不同海拔林分的空气负离子特征及微气候效应[J].中国城市林业,2024,22(1):111-117.
[8]冯新灵,罗隆诚,张群芳,等.中国西部著名风景名胜区旅游舒适气候研究与评价[J].干旱区地理,2006,29(4):598-608.
[9]WU R W, WU N, NAN X G, et al. Effects of the bamboo communities on microclimate and thermal comfort in subtropical climates[J].Forests,2023,14(6):1231.
[10]DENG W, XIA C H, CHEN J Y, et al. An examination of the thermal comfort impacts officus altssima on the climate in lower subtropical China during the winter season[J]. Sustainability, 2023,15(3):2427.
[11]李少宁,赵旭,王君怡,等.北京西山国家森林公园空气负离子与NO_x浓度动态特征分析[J].生态环境学报,2021,30(8):1654-1661.
[12]余海,郭嘉,李恩杰,等.北京九龙山侧柏林空气负离子时空分布特征[J].林业科学研究,2021,34(3):174-179.
[13]李少宁,李嫒,鲁绍伟,等.北京西山国家森林公园中空气负离子浓度与气象因子的相关性研究[J].生态环境学报,2021,30(3):541-547.
[14]马荣,王志高,黄玉洁,等.午潮山国家森林公园秋季空气负离子浓度及影响因素[J].森林与环境学报,2021,41(1):26-34.
[15]阮梦婕,关艺蕾,朱春阳.城市广场不同空间尺度下空气温湿度与环境因子的相关性[J].中国城市林业,2022,20(1):43-48.
[16]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.
[17]关昶翔,许新宇,林双毅,等.福州国家森林公园空气负氧离子浓度变化特征与影响因素[J].中国城市林业,2022,20(6):79-84.
[18]龙飞,董斌,彭阳,等.海口市凤翔湿地公园空气负氧离子及影响因素研究[J].林业调查规划,2022,47(5):22-26.
[19]郑诗禹.广州帽峰山森林公园空气负氧离子动态及环境影响研究[D].南昌:江西农业大学,2022.
[20]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(5):84-90.
[21]彭琳玉,许方岳,王立夫,等.九连山国家森林公园负氧离子浓度时空变化及影响要素研究[J].西北林学院学报,2020,35(5):233-239.
[22]耿生莲,王志涛,辛永清,等.西宁市城市典型绿地空气负氧离子浓度特征研究[J].山西林业科技,2016,45(4):4-9.
[23]李哲.对不同林分中空气负氧离子含量变化规律的研究[D].长沙:中南林业科技大学,2017.
[24]薛爱爱,马国强,廉梅霞.太原东山林场森林空气负氧离子浓度研究[J].农业技术与装备,2022(2):104-105.
[25]郑诗禹,张绿水,郭晓敏,等.不同森林郁闭度环境内空气负氧离子的时空变化及环境影响要素研究:以广州帽峰山为例[J].生态环境学报,2021,30(11):2204-2212.
[26]陈绮锴,陆晓婧,邓嘉丽,等.南宁市典型森林公园空气负氧离子特征及影响因素研究[J].林业与环境科学,2022(3):128-134.
[27]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.
[28]王永华.浙江农林大学东湖校区人工植物群落结构与生态保健效应研究[D].杭州:浙江农林大学,2012.
[29]金竹秀.临安市城区绿地植物群落结构与生态效益研究[D].杭州:浙江农林大学,2011.
[30]张翼.青山湖植物群落空气负离子及其功能评价研究[D].杭州:浙江农林大学,2011.