专题：城市森林康养

不同植物空间类型康养步道五感体验因子质量综合研究*

孙芸浩[1,2] 聂庆娟[2] 艾洪彦[3] 孙玉竹[4] 王 茜[1] 段文军[5]

1 北京市园林绿化科学研究院 北京 100102
2 河北农业大学 河北保定 071000
3 北京京林一诚园林景观工程有限公司 北京 250000
4 北京市西城区公园管理中心 北京 100044
5 北京市园林古建设计研究院有限公司 北京 100000

摘要：随着我国经济社会的快速发展，身体亚健康、人口老龄化等问题日益严重，人们崇尚绿色、向往自然，追求健康的愿望日益迫切。文章通过对比分析北京西山国家森林公园春秋两季 4 种植物空间类型下康养步道内五感体验因子质量优劣，探究其对人体健康的有效性，得出最适于康养的植物空间类型，以提高植物空间的设计质量和使用效果，促进森林康养高质量发展。结果表明：在触觉因子方面，受温湿度影响，两季舒适度日变化趋势存在差异，而植物空间类型上均为垂直空间最好，开敞空间最差。在嗅觉因子方面，两季空气负离子浓度日变化均为先降后升的趋势，而在两季各植物空间类型五感体验优劣排序中，嗅觉和视觉因子均为覆盖空间>半开敞空间>垂直空间>开敞空间。在听觉因子方面，两季声环境适宜性均为覆盖空间最好，开敞空间最差。在味觉因子方面，植物群落结构丰富且联觉感知最好的覆盖空间最优。综上，在森林康养步道中，五感体验最舒适的空间类型是覆盖空间，其次为半开敞空间，第三是垂直空间，最后为开敞空间。

关键词：西山国家森林公园；植物空间类型；康养步道；五感体验
DOI：10.12169/zgcsly.2023.06.13.0006

Comprehensive Study of Quality of Five Senses Experience Factors to Recreational Trails with Different Types of Plant Space

Sun Yunhao[1,2] Nie Qingjuan[2] Ai Hongyan[3] Sun Yuzhu[4] Wang Qian[1] Duan Wenjun[5]

(1. Beijing Academy of Landscape and Landscaping, Beijing 100102, China; 2. Agricultural University of Hebei, Baoding 071000, Hebei, China; 3. Beijing Jinglin Yicheng Landscape Engineering Co., Ltd., Beijing 250000, China; 4. Park Management Center, Xicheng District, Beijing 100044, China; 5. Beijing Ancient Garden Design and Research Institute Co., Ltd., Beijing 100000, China)

Abstract: With the rapid socioeconomic development in China, the issues such as sub-health and aging population have been more and more serious. People yearn for green nature, and have strong desires to keep healthy. The paper compares and analyzes the quality differences of five sense experience factors to recreational trails with 4 types of plant space in spring and autumn in Beijing Xishan National Forest Park, discusses their effectiveness in improving human health, and identify the type of plant space suitable for

收稿日期：2023-06-13
* 基金项目：国家自然科学基金青年科学基金项目“森林康养植物群落 BVOCs 释放规律及保健机理研究”(32201621)
第一作者：孙芸浩 (1997-)，男，硕士，研究方向为园林与景观设计。E-mail：974398128@qq.com
通信作者：王茜 (1984-)，女，博士，高级工程师，研究方向为森林康养。E-mail：674740947@qq.com；
段文军 (1987-)，男，高级工程师，研究方向为城市林业。E-mail：wenjunduan126@126.com

health and wellness the best, with the aims to improve the design quality and use effects of plant spaces and promote the high-quality development of forest based health and wellness. understand how different plant Spaces affect people's mental and physical health and explore their effectiveness on human health. The results show that in terms of tactile factors, the diurnal variation trend of comfort degree in the two seasons is different due to the influence of temperature and humidity, and the vertical space is the best, while the open space is the worst. In terms of olfactory factors, the diurnal variation of air negative ion concentration in the two seasons presents a trend of first decreasing and then increasing. If ranking the five sense experience of each type of plant space in the two seasons, the olfactory and visual factors are ranked as covered space > semi-open space > vertical space > open space. In terms of auditory factors, covered space has the best acoustic environment suitability in the two seasons, while open space is the worst. In terms of taste factors, the covered space outperforms other spaces with complex plant community structure and the best synesthetic perception. To sum up, of the recreational trails, the most comfortable type of space for the five sense experience is covered space, followed by semi-open space, vertical space and open space.

Keywords: Xishan National Forest Park; type of plant space; wellness trail; five sense experience

森林康养是一种利用森林环境和资源，开展有益于身心健康活动的方式，也是当今一种国际潮流和研究热点，森林康养因子是森林康养功能能否充分发挥的重要因素之一[1]。植物空间作为康养因子的一种承载基质，是由乔木、灌木和地被等植物构成的三维空间，可使处于空间中的人通过感受环境产生生理与心理反应激发自身的五感系统，并通过刺激嗅觉、味觉、触觉、视觉和听觉五种感官来改善人的身心健康[2]。因此，可以植物空间类型为媒介，借助五种感官探究康养功效。瑞士学者发现，多种感觉存在相互干扰，并且个体的感官之间存在联系，即联觉感知[3]。因此，在结果分析中，我们需要结合多感官相互影响的特性进行系统性分析。国外关于森林康养的基础理论研究较成熟，且国外学者对森林环境作用机理的医学实证研究较多[4]。国内学者对森林环境的光照、辐射热、风速、声压、两气一离子（植物精气、氧气、负氧离子）等影响因子含量的宏观分析较多[5]，有关不同林分对人体健康有效性的研究较少，如侯立松[6]曾指出应系统性地探讨森林康养环境因子与心理治疗之间的关联，并针对不同的林种及林地地形进行研究。故在研究中可综合森林环境因子医学功效，微、宏观相结合，借助感官因子针对性分析各林分空间类型下康养功效差异及其对人体健康的有效性。

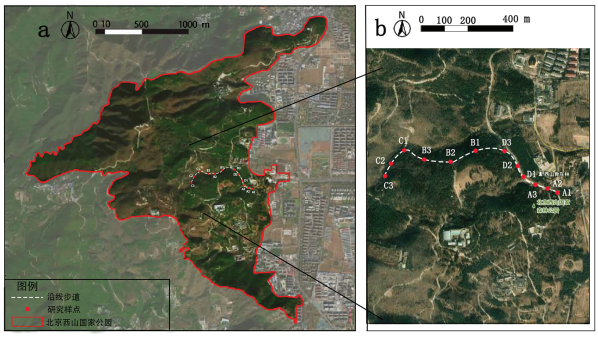
关于感官因子，陈睿智和董靓[7]研究证明，游客游憩行为与人体舒适度存在关联，因此，可通过人体舒适度指数对触觉因子质量进行客观反映。骆媛媛等[8]指出空气负离子与环境因子的相关性与季节有关，且研究证明通过负离子分布情况可以对人体嗅觉进行客观评价。同时，为形成鲜明对照，试验的开展选在春末和秋末。关于视觉因子，Zhang 等[9]研究证明人们视觉中绿色空间面积的大小可以引起情绪反应，接触绿色环境可有效舒缓精神压力。不同植物群落搭配可引起人视觉感知差异[10]，而不同植物群落内绿色空间面积大小不同即为绿视率不同，因此，本文通过绿视率对视觉因子质量变化进行客观反映。李梦圆[11]研究证明植物的组合类型和配置方式不仅会影响降噪程度，还可影响人们对声景空间的认知和评价。合理的植物营造能有效降噪并提升整体环境感知质量及声景舒适度，促进声景体验[12]。不同植物空间的声景舒适不同，因此噪声指数变化可以反映听觉因子质量。味觉体验因子更多取决于步道沿线的环境，丰富的植物群落空间可栽植多类型果树，不同植物空间所提供的栽植条件不同。

因此，研究选取以人体舒适度、空气负离子、绿视率、噪声指数、味觉为代表的五感体验因子，通过不同植物空间类型为研究对象探讨不同季节不同植物空间类型下五感因子质量差异，以明确五感体验因子质量最佳的植物空间类型，为康养基地植物材料选取和植物空间配置模式的构建提供理论参考。

1 研究区概况

北京西山国家森林公园地处于小西山（属太行山余脉）东部（图 1），西倚自然山脊，南起八大处公园，北至香山公园，东临香山南路和五环路，交通十分便捷，地带性植被为温带夏绿阔叶林[13]。景区总面积 739.4 hm^2，森林覆盖率 98.5%，年平均气温 16.2℃，平均湿度 80%，空气负离子浓度年变化范围为 296.67～1 090.00 个·cm^{-3}[14]。

试验选择开敞（灌草、草）、半开敞（乔灌草或乔草）、垂直（乔草）、覆盖（乔灌草）4 种植物空间类型对五感体验因子质量进行定量化研究，样地概况如表 1。



注：图 a 是北京西山国家森林公园的空中图像（红实线），沿线步道（白色虚线）以及研究样点（红色圆点），A、B、C、D 分别代表开敞、半开敞、垂直、覆盖 4 种植物空间类型，1、2、3 分别代表该空间类型下不同样点；图 b 是公园选点局部放大图。

图 1 北京西山国家森林公园区位

表 1 样地调查概况

样地编号	步道类型	群落结构类型	平均株高/m	步道宽度/m	步道坡度/(°)	步道周边主要植物种类
A1	开敞空间	灌	1.77	2.8	8	蒲公英(*Taraxacum mongolicum*)、紫叶李(*Prunus cerasifera*)、龙葵(*Solanum nigrum*)、瘤枝卫矛(*Euonymus verrucosus*)、早熟禾(*Poa annua* L.)
		草	0.31			
A2	开敞空间	草	0.48	2.8	0	萱草(*Hemerocallis fulva* L.)、青蒿(*Artemisia carvifolia* Buch)
A3	开敞空间	草	0.52	2.8	1	二月兰(*Orychophragmus violaceus* L.)、车前草(*Plantago depressa* Willd)、斑种草(*Bothriospermum chinense* Bge.)
B1	半开敞空间	乔	6.42	1.5	12	榆树(*Ulmus pumila* L.)、朴树(*Celtis sinensis* Pers.)、黄栌(*Cotinus coggygria*)、构树(*Broussonetia papyrifera*)、胡枝子(*Lespedeza bicolor*)、扁担杆(*Grewia biloba*)、绣线菊(*Spiraea salicifolia* L.)
		灌	2.33			
		草	0.33			
B2	半开敞空间	乔	6.14	1.5	10	大叶白蜡(*Fraxinus chinensis*)、栓皮栎(*Quercus variabilis*)、黄栌、构树、胡枝子、君迁子(*DiospyrosIotus* L.)、求米草(*Oplismenus undulatifolius*)
		灌	1.43			
		草	0.20			
B3	半开敞空间	乔	6.55	1.5	5	油松(*Pinus tabuliformis*)、构树、黄栌、朴树、扁担杆
		灌	0.31			
		草	0.22			
C1	垂直空间	乔	6.25	1.8	16	金银木(*Lonicera maackii*)、绣线菊、佛甲草(*Sedum lineare* Thunb)
		草	0.29			
C2	垂直空间	乔	6.94	1.8	12	紫叶李、萱草
		草	0.26			
C3	垂直空间	乔	7.26	1.8	15	狗尾草(*Setaria viridis*)、艾蒿(*Artemisia argyi*)、蒲公英、野牛草(*Buchloe dactyloides*)
		草	0.56			
D1	覆盖空间	乔	7.02	2.2	9	桧柏(*Sabina chinensis*)、黄栌、扁担杆、臭椿(*Ailanthus altissima*)、胡枝子、珍珠梅(*Sorbaria sorbifolia*)、佛甲草
		灌	1.23			
		草	0.38			
D2	覆盖空间	乔	7.06	2.2	10	油松、构树、栓皮栎、油松、栾树(*Koelreuteria paniculata*)、紫花地丁(*Viola philippica*)
		灌	3.08			
		草	0.16			
D3	覆盖空间	乔	6.42	2.2	15	油松、黄栌、栓皮栎、刺槐(*Robinia pseudoacacia*)、山桃(*Amygdalus davidiana*)、扁担杆、孩儿拳头(*Cotoneaster horizontalis*)、荆条(*Vitex negundo*)、泥胡菜(*Hemistepta lyrata* Bunge)
		灌	1.96			
		草	0.23			

2 研究方法

2.1 康养五感体验因子指标测定及综合评价

研究通过采集春末和秋末两季的数据进行分析。每种空间类型选 3 个样地进行 3 次重复。监测时段为 7：00—17：00，以 2 h 等分为 5 个时间段，测量时间为每时段中分点时间，测定高度为地面高度 1.5 m。

2.1.1　触觉因子质量分析

使用德图 testo635-1 温湿度测量仪测量各样地空气温度、相对湿度、风速 3 个人体舒适度指标，依据公式得出不同时段、不同空间下人体舒适度并进行质量评价[15]。人体舒适度用陆鼎煌等[16]提出的舒适度指数进行评价（表 2），计算公式为：

$$S = 0.6(|T - 24|) + 0.07(|RH - 70|) + 0.5(|V - 2|) \quad (1)$$

式（1）中：S 为综合舒适度指数；T 为气温（℃）；RH 为相对湿度（%）；V 为风速（$m \cdot s^{-1}$）。将舒适度划分为 4 个等级，舒适度指数越小，人体感觉舒适程度越高，反之越低。

表 2　人体舒适度评价标准

评价等级	综合舒适度指数	体感舒适程度等级
Ⅰ	S≤4.55	很舒适
Ⅱ	4.55<S≤6.95	舒适
Ⅲ	6.95<S≤9.00	不舒适
Ⅳ	S>9.00	极不舒适

2.1.2　嗅觉因子质量分析

测量各样地空气负离子浓度，对比不同时段、不同空间下空气质量并进行评价分析。使用中国山东恒美空气负离子浓度测试仪（HM-FY2）进行数据采集，具体方法如下：分别取各试验样点中心和样点四周的 1.5 m 高处测量点，待仪器数值稳定后，每个试验点的测量值取 3 个点的平均值。评价方法选用潘剑彬和董丽[17]于 2010 年做出的局部修正森林环境空气负离子评价指数。设定 4 个空气质量等级，以 1 000 个·cm^{-3}作为负离子等级梯度值进行划分（表 3）。

$$FCI = n^{-}/(1\,000p) \quad (2)$$

式（2）中：FCI 为森林空气离子评价指数；p 为空气负离子系数；n^{-}为负离子浓度；1 000 为人体生物学效应最低负离子浓度。

表 3　城市森林环境空气负离子等级评价标准

等级	n^{-}/(个·cm^{-3})	FCI	空气质量
Ⅰ	>3 000	>2.5	优
Ⅱ	3 000~2 000	2.5~1.5	良
Ⅲ	2 000~1 000	1.5~0.5	中
Ⅳ	<1 000	<0.5	差

2.1.3　视觉因子质量分析

使用日本尼康 D5600 获取照片，分析各样地及不同植物空间绿视率占比，并对各样地植物配置进行满意度调查。

2.1.4　听觉因子质量分析

使用日本 RION 噪音分析仪（NL-52 噪音计）测量各样地不同时段声级数据，对其进行声环境适宜性评价分析（表 4），得出不同时间、不同空间下声环境质量。

表 4　声环境旅游适宜性评价标准

等级	高度适宜	中度适宜	勉强适宜	不适宜	很不适宜
平均环境声级/dB	≤35	35.1~45	45.1~60	60.1~75	≥75.1

2.1.5　味觉因子质量分析

通过调查步道沿途是否有安全可食用的果树等，为康养步道休憩点选取、节点设计等方面提供理论参考。

2.2　数据统计分析

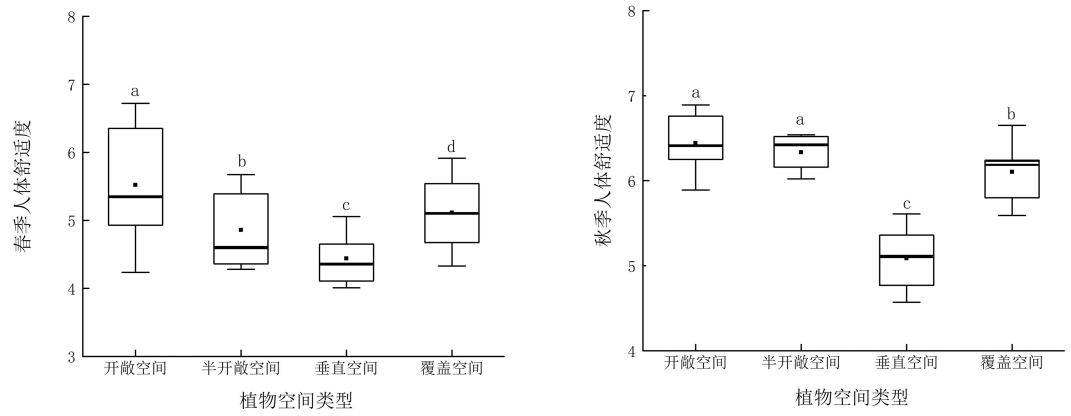
为了解不同植物空间类型下森林康养五感体验效果及影响因素，试验对过程和结果进行量化和定性分析。触觉、嗅觉和听觉因子通过 Excel2010 计算均值，随后导入 SPSS21.0 进行 ANOVA 单因素方差分析，同时借助邓肯检验法组间差异进行比较分析[13]，最后借助 Origin9.0 绘制折线和箱线图。视觉因子通过 photoshop2019 计算绿视率，并借助 Excel2010 统计分析绘制成饼状图。味觉因子通过实地调研分析样地周边水源及果树分布情况。

3　结果与分析

3.1　五感体验因子质量

3.1.1　触觉因子质量

图 2 表明，春末和秋末不同植物空间类型下的人体舒适度指数均呈极显著差异（$P<0.01$）。春末开敞空间舒适度指数全天变化范围在 4.24~6.72，半开敞空间的变化范围在 4.28~5.67，垂直空间的在 4.01~5.06，覆盖空间的在 4.33~5.91。按人体舒适度等级依次为：垂直空间>半开敞空间>覆盖空间>开敞空间。这说明春末植物空间类型中触觉因子质量最优为垂直空间，最差为开敞空间。



注：不同小写字母表示同一月份不同植物空间类型差异显著（$P<0.05$），下同。

图 2　4 种植物空间类型春秋人体舒适度指数箱线分布比较

秋末开敞空间舒适度指数全天变化范围在 5.89～6.89，半开敞空间的在 6.02～6.54，垂直空间的在 5.59～6.65，覆盖空间的在 4.57～5.61。按人体舒适度等级依次为：覆盖空间>垂直空间>半开敞空间>开敞空间。这说明秋末植物空间类型中触觉因子质量最优为覆盖空间，最差为开敞空间。

由图 3 可知：春末 4 种植物空间类型下人体舒适度指数变化均为“一峰两谷”型，其中最舒适的植物空间类型为垂直空间，此空间内舒适度指数分别比开敞空间低 19.58%、比半开敞空间低 8.64%、比覆盖空间低 13.19%。秋末 4 种植物空间类型均为“两峰一谷”型，其中触觉因子质量最好的植物空间类型亦为垂直空间，此空间内舒适度指数分别比开敞空间低 21.05%，比半开敞空间低 19.69%，比垂直空间低 16.65%。

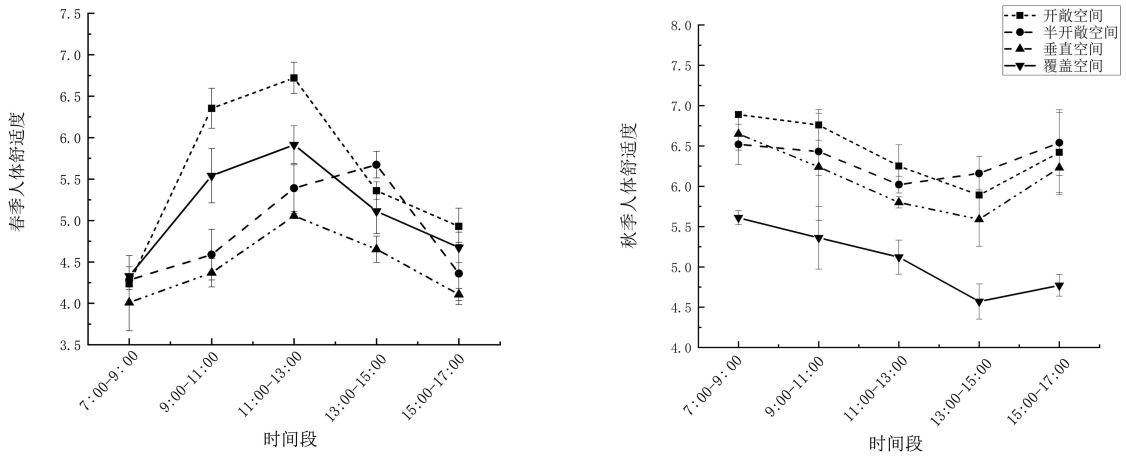


图 3　4 种植物空间类型春秋人体舒适度指数变化比较

3.1.2　嗅觉因子质量

图 4 显示，春末和秋末不同植物空间类型下的空气负离子浓度均呈极显著差异（$P<0.01$）。春末开敞空间空气负离子浓度全天变化范围在 654.89～717.33 个·cm^{-3}，半开敞空间的在 838.00～1 200.17 个·cm^{-3}，垂直空间的在 678.77～938.33 个·cm^{-3}，覆盖空间的在 918.89～1 244.44 个·cm^{-3}。按均值大小依次为：覆盖空间>半开敞空间>垂直空间>开敞空间。秋末开敞空间空气负离子浓度全天变化范围在 730.00～950.00 个·cm^{-3}，半开敞空间的在 1 043.33～1 497.33 个·cm^{-3}，垂直空间的在 1 024.33～1 479.00 个·cm^{-3}，覆盖空间的在 1 414.00～1 827.67 个·cm^{-3}。按均值大小依次为：覆盖空间>半开敞空间>垂直空间>开敞空间。

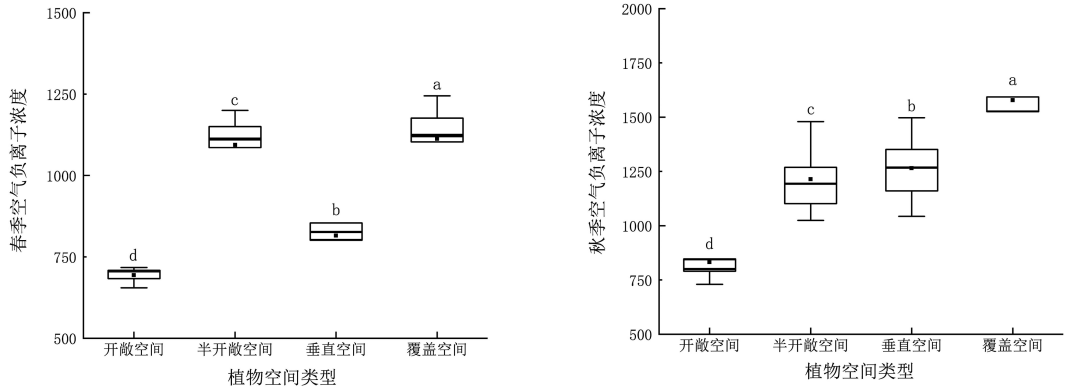


图 4　4 种植物空间类型春秋空气负离子浓度箱线图比较

由图 5 可知：春末 4 种植物空间类型空气负离子浓度变化均为“两峰一谷”型，覆盖空间的空气负离子浓度分别比开敞空间高 60. 36%，比半开敞高 3. 33%，比垂直高 36. 46%；春末嗅觉因子质量最优的植物空间类型为覆盖空间，最差的为开敞空间。秋末均为“两峰一谷”型，覆盖空间舒适度指数分别比开敞空间高 89. 62%，比半开敞高 24. 79%，比垂直高 30. 02%；秋末为覆盖空间最优，开敞空间最差。

在嗅觉因子质量上，春秋两季最舒适植物空间类型均为覆盖空间，其次为半开敞空间，第三是垂直空间，最差的植物空间类型均为开敞空间。

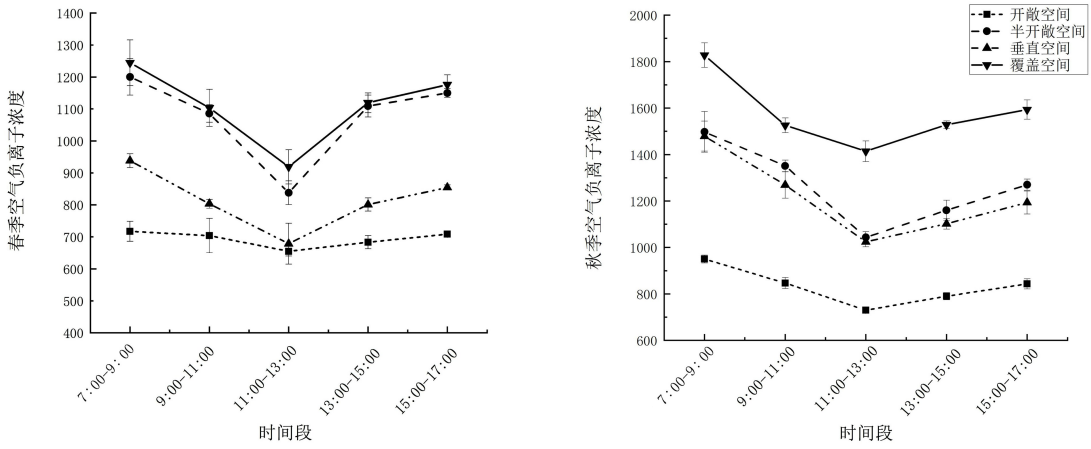


图 5　4 种植物空间类型春秋空气负离子浓度变化比较

3. 1. 3　视觉因子质量

通过拍摄并选择最有代表性步道样点的 12 张照片，采用 Photoshopcc2019 软件处理所得绿视率，结果如下图 6 所示。从植物空间类型来看，春末覆盖空间平均绿视率最高达 74. 10%，其次为垂直空间 63. 33%、半开敞空间 55. 87%，最后为开敞空间 32. 63%，符合对人体产生积极功效的要求。秋末覆盖空间平均绿视率最高达 52. 20%，其次为垂直空间 43. 57%、半开敞空间 34. 53%，最后为开敞空间 19. 57%，同样符合对人体产生积极功效的要求。

3. 1. 4　听觉因子质量

图 7 表明，春末和秋末不同植物空间类型下的噪声指数均呈极显著差异（$P<0.01$）。春末开敞空间噪声指数全天变化范围在 53. 57 ~ 60. 77 dB，半开敞空间的在 48. 60 ~ 59. 00 dB，垂直空间的在 49. 63 ~ 58. 63 dB，覆盖空间的在 46. 97 ~ 55. 50 dB。按声环境旅游适宜性等级依次为：覆盖空间>半开敞空间>垂直空间>开敞空间。

秋末开敞空间噪声指数全天变化范围在 52. 18 ~ 57. 52 dB，半开敞空间的在 42. 40 ~ 56. 17 dB，垂直空间的在 46. 73 ~ 54. 10 dB，覆盖空间的在 42. 00 ~ 53. 30 dB。按声环境旅游适宜性等级依次为：覆盖空间>半开敞空间>垂直空间>开敞空间。

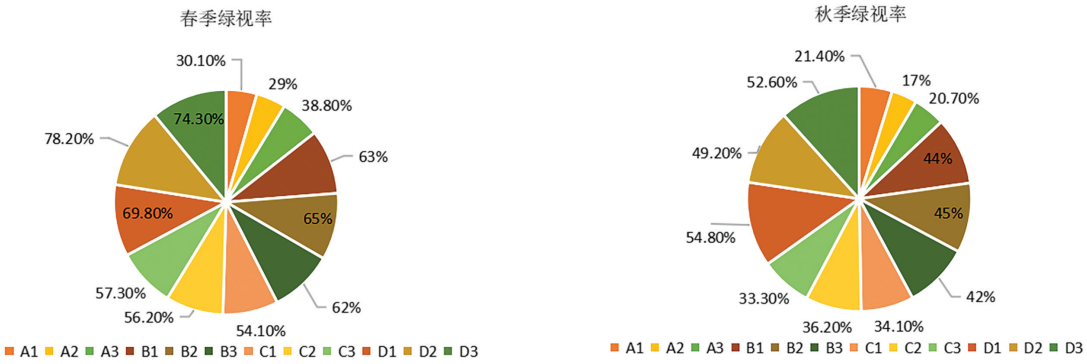


图 6 4 种植物空间类型春秋绿视率比较

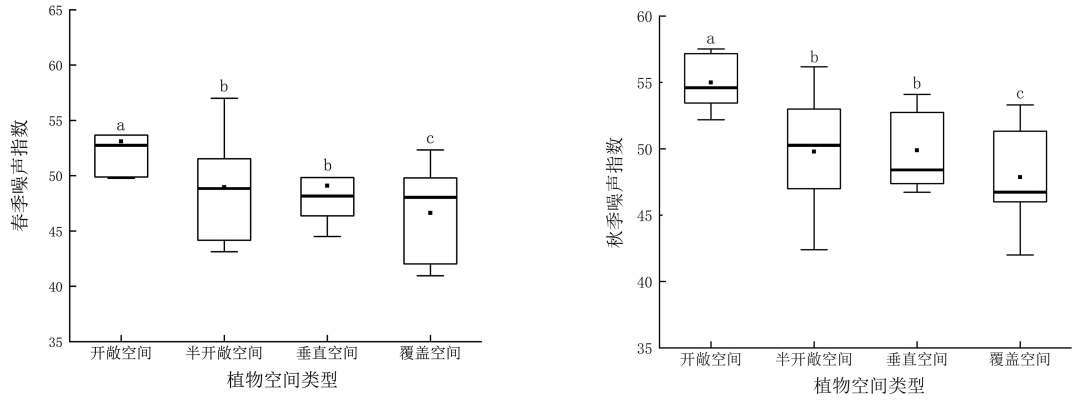


图 7 4 种植物空间类型春秋噪声指数箱线分布比较

由图 8 可知：春末 4 种空间类型的噪声指数除覆盖空间为“两峰两谷”型、半开敞空间为“一峰一谷”型外，开敞和垂直空间均为“两峰三谷”型。覆盖空间的噪声指数分别比开敞空间低 8. 67%，比半开敞空间低 3. 30%，比垂直空间低 3. 50%。春末听觉因子质量最优的植物空间类型为覆盖空间，最差的为开敞空间。

除了覆盖空间为“一峰”型，秋末时其他植物空间类型的噪声指数变化均为“两峰三谷”型，其中覆盖空间噪声指数分别比开敞空间低 12. 97%，比半开敞空间低 3. 86%，比垂直空间低 4. 05%。秋末听觉因子质量最优的植物空间类型为覆盖空间，最差的为开敞空间。

以上说明听觉因子质量在两季最优的植物空间类型均为覆盖空间，其次为半开敞空间，第三是垂直空间，最差的均为开敞空间。

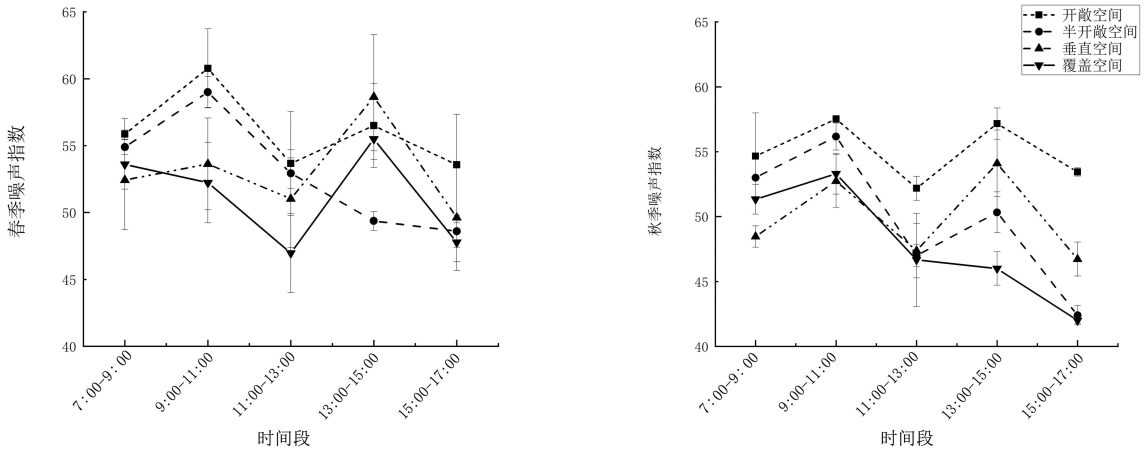


图 8 4 种植物空间类型春秋噪声指数变化比较

3.1.5　味觉因子质量

对康养步道进行饮食供给、步道用餐环境、森林美食 3 方面实地调查得出：1）康养步道内较开阔的开敞空间附近有 1 处商店；2）步道沿途设有 2 处观景平台可为游客提供简单的用餐环境；3）经实地调查，步道沿途种有少许果树，可充分利用步道中果树制定森林康养食品食疗课程。

4　讨论

4.1　植物空间类型变化对五感因子质量影响

1）视觉因子。绿色是视觉神经调节和休息的理想颜色[18]，试验在考虑视觉因子质量时以绿视率作为评判方式，结果说明群落结构层次丰富的乔灌草结构下绿视率最大，因此绿视率与群落结构有一定关联。随着植物空间的变化，视觉因子有明显差异。

2）嗅觉因子。有研究证明，植物群落配置模式与空气负离子浓度空间变化与分布特征有显著相关关系[17,19-22]，且不同的植物群落层次结构能直接影响植物群落三维绿量，从而显著影响空间区域内的空气负离子浓度。试验实证了潘剑彬等[19]对于不同植物群落结构下空气负离子浓度大小的排序：乔草>乔灌>灌草，同时也说明了空气负离子受植物空间类型变化影响，且植物资源越丰富负离子差异越明显。

3）触觉因子。有研究证明微气候因子、舒适指数与群落冠层特征具有一定的相关性[22]，不同植物群落结构形成的空间类型直接影响局部微气候环境。森林茂密的林冠层可有效降低林内风速，同时丰富的植被通过遮挡、吸收太阳辐射等对环境有降温增湿的作用[23]。试验实证了乔草和乔灌木对舒适度有明显的改善[24]，也实证了晏海等[23]对不同群落结构下人体热舒适度排序为乔草>乔灌草>灌草>草地。

4）听觉因子。研究表明，植物可以衰减环境噪声[25]，而绿化量和森林茂密程度与声景感知有密切关系[13]。当绿化率从 30%增加到 60%时，噪声干扰的衰减效果显著增加[26-27]。试验结果也实证了杨畅等[14]提出的关于不同植物群落结构下平均减噪率为乔灌草>乔草>灌草的结论。

5）味觉因子。经调查，北京西山国家森林公园康养步道附近的自然观察景点设有 2 处商店供给食物，步道沿途还种有少许零散果树，如杏树、李子树、桃树等。味觉因子与环境既有条件关联较大，层次结构丰富的植物空间可种植品种多样的果树。

4.2　季相变化对植物空间内五感因子质量影响

为进一步明确五感因子质量最佳的植物空间类型，试验选择了植物生长旺盛的春末和可形成对照的秋末进行试验。结合绿视率季节差异仅与植物引起的绿视内因相关的特性[28]，试验结果证明视觉因子受季相影响较明显；由于空气负离子浓度与单一环境因子之间的相关性可能随季节的变化而有差异[19]，试验在进行季相性对比后，得出秋季空气负离子浓度高于春季，这与潘剑斌和董丽[17]的结论一致；触觉因子受温度湿度等环境因素影响有较明显的差异，本试验证明了触觉因子上不同群落结构存在季相性差异；听觉因子上，秋末植物生长状况与春末存在明显差异，秋末噪音隔绝效果相较春末明显下降，根据丰富的植物群落结构有助于削减噪声的特性[26-27]，听觉因子受季相变化影响差异较明显。味觉因子与种植果树品种和步道周边设施条件相关，受季相变化影响不明显。

4.3　展望

相较于郝亮[15]对森林公园康养步道内五感体验研究，本研究以不同林分为基础综合植物空间概念与植物群落结构特性，采集春末和秋末两季数据进行季相性对比，对五感因子质量进行了量化研究。试验结果证明了这 4 种植物空间类型处于不同季相时五感因子存在明显差异，为后续针对不同季相不同林分进行五感因子研究做了铺垫。

考虑到目前的研究趋势，未来可开展针对不同暴露人群的差异性研究，对各植物空间类型下五感因子等康养指标进行长期的动态监测，进一步明确康养因子的影响机制，为森林康养基地建设与规划提供理论依据。

5　结论

关于视觉因子，绿视率最优空间类型为覆盖空间，其次是垂直空间、半开敞空间，最后为开敞空间。关于嗅觉因子，覆盖空间（乔灌草）的

空气负离子浓度平均值最高，其次为半开敞空间（乔灌草、乔草），第三是垂直空间（乔草），最后是开敞空间（灌草）。关于触觉因子，不同植物空间类型存在季相差异，在春末，垂直空间最为舒适，其次为半开敞空间、第三为覆盖空间，最后为开敞空间；而秋末气候偏冷，覆盖空间最为舒适，其次为垂直空间，第三为半开敞空间，最后为开敞空间。关于听觉因子质量为覆盖空间>半开敞空间>垂直空间>开敞空间。关于味觉因子，其体验质量与环境既有条件关联较大，拥有丰富植物群落结构的覆盖空间更好。

综合各项因子试验结果得出，五感体验因子质量最好、体验最舒适的植物空间类型是覆盖空间，其次为半开敞空间，第三是垂直空间，最后为开敞空间。

参考文献

[1]陈荣,张云路.县域森林康养建设适宜性评价指标体系构建:以三明市将乐县为例[J].中国城市林业,2023,21(3):155-160.

[2]CHEN X X, MARZBALI M H. Review of the impact of urban parks on public health during the covid-19 pandemic [J]. Malaysian Journal of Sustainable Environment, 2023, 10: 165-192.

[3]周浩然,徐宏炟,高田田,等.联觉程度对味觉感受性的影响[J].技术与市场,2020,27(1):105-106.

[4]李泓沄,万泉徐,徐洪,等.国际森林康养研究综述及启示[J].武夷学院学报,2022,41(10):23-30.

[5]杨利萍,孙浩捷,黄力平,等.森林康养研究概况[J].林业调查规划,2018,43(2):161-166,203.

[6]侯立松.四道林场森林康养冥想空间探析[J].城市建筑,2022,19(15):191-194.

[7]陈睿智,董靓.基于游憩行为的湿热地区景区夏季微气候舒适度阈值研究:以成都杜甫草堂为例[J].风景园林,2015(6):55-59.

[8]骆媛媛,李明文,王慧,等.五大连池风景区空气负离子浓度的变化规律[J].温带林业研究,2019,2(4):37-40.

[9]ZHANG J, YANG Z, CHEN Z, et al. Optimizing urban forest landscape for better perceptions of positive emotions[J].Forests, 2021,12(12):1691.

[10]左云舟.天际岭森林公园植物景观游客满意度研究[J].中南林业科技大学学报(社会科学版),2014,8(3):9-12.

[11]李梦圆.八种园林植物不同排列方式对降噪效果的影响[D].北京:北京林业大学,2019.

[12]BRAMBILLA G,GALLO V,ASDRUBALI F,et al.The perceived quality of soundscape in three urban parks in Rome[J].The Journal of the Acoustical Society of America,2013,134(1):832-839.

[13]王茜,王成,张中霞,等.夏季旗山森林公园福建柏林生态保健功能探索[J].生态与农村环境学报,2019,35(12):1573-1581.

[14]杨畅,王月容,汤志颖,等.不同群落结构风景游憩林生态保健效应:以北京西山国家森林公园为例[J].生态学报,2022,42(16):6499-6513.

[15]郝亮.基于五感体验的旗山国家森林公园康养步道优化研究[D].福州:福建农林大学,2020.

[16]陆鼎煌,吴章文,张巧琴,等.张家界国家森林公园效益的研究[J].中南林学院学报,1985,5(2):160-170.

[17]潘剑彬,董丽.城市绿地空气负离子评价方法:以北京奥林匹克森林公园为例[J].生态学杂志,2010,29(9):1881-1886.

[18]HE M,WANG Y Y,WANG W J,et al.Therapeutic plant landscape design of urban forest parks based on the Five Senses Theory:a case study of Stanley Park in Canada[J].International Journal of Geoheritage and Parks,2022,10(1):97-112.

[19]潘剑彬,李佳妮,李树华,等.城市绿地植物群落与空气负离子空间分异特征相关关系研究:以北京奥林匹克森林公园为例[J].中国园林,2022,38(6):57-62.

[20]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.

[21]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.

[22]余娇,周恬仪,杨雨清,等.公众感知视角下的森林公园嗅觉景观评价体系构建[J].中国城市林业,2022,20(6):106-111

[23]刘海轩,金桂香,吴鞠,等.林分规模与结构对北京城市森林夏季温湿效应的影响[J].北京林业大学学报,2015,37(10):31-40.

[24]晏海,王雪,董丽.华北树木群落夏季微气候特征及其对人体舒适度的影响[J].北京林业大学学报,2012,34(5):57-63.

[25]BAO Y,GAO M,LUO D,et al.The influence of plant community characteristics in urban parks on the microclimate[J].Forests,2022,13(9):1342.

[26]税依妮,甘永洪,杨林鹏,等.基于视听二元感知的公园景观交互评价[J].中国城市林业,2023,21(1):101-108.

[27]CHUNG W K,LEUNG T M,CHAU C K,et al.Comparing the effects of visibility of different neighborhood greenery settings on the preference ratings and noise annoyance responses to road traffic noises[J].Applied Acoustics,2020,169:107474.

[28]朱怀真,杨凡,包志毅,等.居住区冬夏绿视率与绿视因子相关性研究[J].风景园林,2022,29(1):122-128.