研究论文

森林公园不同类型康养植物群落嗅闻时长对人体身心健康的影响*

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

1 河北农业大学 河北保定 071000
2 北京市园林绿化科学研究院 北京 100102
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 北京西城园林绿化有限责任公司 北京 100032

摘要：为深入探讨森林公园康养植物群落在不同嗅闻时长（10、20、30 min）条件下释放的挥发性有机物（BVOCs）对人体生理及心理状态的潜在影响，以北京西山国家森林公园内的 3 种典型康养植物群落类型（常绿针叶林、落叶阔叶混交林及针阔混交林）为研究对象，采用 MP160 等专业生理监测设备，精确测定受试者的 α 波、β 波、θ 波及心率、血氧饱和度等生理指标，同时运用 POMS 情绪量表，对受试者的心理变化特征进行评估。结果表明：1）α 波、β 波变化率与植物群落类型及嗅闻时长呈极显著相关性（$P<0.01$）。2）受试者的 α 波 β 波变化率在嗅闻 10、20、30 min 条件下均为针阔混交林>常绿针叶林>落叶阔叶混交林；受试者的心理保健效益 TMD 总估值变化率在嗅闻 10、20 min 条件下为针阔混交林>常绿针叶林>落叶阔叶混交林，在嗅闻 30 min 条件下为针阔混交林>落叶阔叶混交林>常绿针叶林。3）3 种康养植物群落类型对人体生理心理影响随嗅闻时长增加均呈正向增长趋势，且在嗅闻时长增加为 30 min 时，生理心理保健效益优于 10 min 和 20 min（除常绿针叶林在嗅闻 20 min 时心理保健效益最优）。综上，嗅闻针阔混交林 30 min，志愿者生理心理调节效果最显著；嗅闻不同时长对人体身心健康的影响也各不相同。

关键词：植物群落类型；挥发性有机物；嗅闻时长；生理心理健康与影响
DOI：10.12169/zgcsly.2024.02.22.0001

Effects of SniffingTime on Human Physical and Mental Health at Different Types of Medicinal Plant Communities in Forest Parks

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

(1. Agricultural University of Hebei, Baoding 071000, Hebei, China; 2. Beijing Academy of Landscape and Landscaping, Beijing 100102, China; 3. Beijing Jinglin Yicheng Landscape Engineering Co., Ltd., Beijing 250000, China; 4. Park Management Center, Xicheng District, Beijing 100044, China; 5. Beijing Xicheng Landscape Greening Co., Ltd., Beijing 100032, China)

Abstract: In order to further explore the potential effects of volatile organic compounds (BVOCs) released by healthcare plant communities within different sniffing periods of time (10, 20, 30 min) on human

收稿日期：2024-02-22
* 基金项目：国家自然科学基金青年科学基金项目（32201621）；园林绿地生态功能评价与调控技术北京市重点实验室（STZD202303）
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：聂庆娟（1972- ），女，博士，副教授，研究方向为园林植物选择与应用、园林规划与设计。E-mail：32828911@qq.com
王茜（1984- ），女，博士，教授级高级工程师，研究方向为森林康养。E-mail：674740947@qq.com

physiological and psychological conditions in forest parks, the paper takes 3 typical types of healthcare plant communities (evergreen coniferous forest, deciduous broad-leaved mixed forest and coniferous and broad-leaved mixed forest) in Beijing Xisan National Forest Park as the research subjects, to accurately measure the physiological indexes such as α wave, β wave, θ wave, heart rate and blood oxygen saturation using professional physiological monitoring equipment such as MP160, and test the characteristics of psychological change of the participating volunteers using the POMS mood scale. The results show as follows: 1) The change rates of α wave and β wave are significantly correlated with plant community type and sniffing periods of time ($P<0.01$); 2) After sniffing for 10, 20 and 30 min, the change rates of α wave and β wave are in the order of coniferous and broad-leaved mixed forest > evergreen coniferous forest > deciduous broad-leaved mixed forest. Under the condition of sniffing for 10 and 20 min, the estimated total change rates of TMD are in the order of coniferous and broad-leaved mixed forest > evergreen coniferous forest > deciduous broad-leaved mixed forest, and under the condition of sniffing for 30 min, the order is coniferous and broad-leaved mixed forest > deciduous broad-leaved mixed forest > evergreen coniferous forest; and 3) The physiological and psychological effects of the 3 types of healthcare plant communities on humans present a positive trend with the increase of sniffing time. When the sniffing time increases to 30 min, the physiological and psychological healthcare benefit is better than that of 10 min and 20min (except that the evergreen coniferous forests have the best psychological healthcare benefit when the sniffing time increases to 20min). In conclusion, the volunteers show the best physiological and psychological effect after sniffing for 30 min in coniferous and broad-leaved mixed forests, and different sniffing periods of time have different effects on human physical and mental health.

Keywords: plant community type; volatile organic compound; sniffing time; physical and psychological health and effect

随着社会经济快速发展，人们生活压力逐渐增大，肥胖症、失眠等一系列生理心理健康问题逐渐显现[1]，人们追求健康的愿望日益迫切。森林作为城市生态系统的关键组成部分，不仅具有净化环境的作用[2]，还能满足人们生理心理上保健养生的需求。植物释放的挥发性有机物（BVOCs）作为森林环境中的重要物质，对人体具有缓解焦虑、放松身心、调节生理心理指标等健康保健作用[3-4]。Joung 等[5]证明 BVOCs 具有益于人身心健康的功能。植物 BVOCs 主要是通过嗅觉感知影响人体生理指标[6]，不同植物释放的挥发物成分不同，对人体的影响效果也不同[7]。王艳英等[8]研究香樟（*Cinnamomum camphora*）和侧柏（*Platycladus orientalis*）的挥发物对人体平均心率、血氧含量等生理指标的影响发现，人处于侧柏环境中会感觉身心放松。这为本研究探究不同植物群落类型对人体影响提供了理论支持。

研究表明，保健性恢复措施，诸如休息与营养补充等，能有效且迅速调节特定的生理指标[9]。然而，随着个体在特定环境中暴露时间的增长，其生理恢复效应呈现出递减趋势[10]。以长时间暴露于香樟气味环境为例，个体可能经历紧张与不悦的情绪体验[11]，这进一步证实了嗅闻时长与挥发物对人体影响之间的非线性关系。当前，众多学者，如熊胁等[12]、Song 等[13]及绵赟[14]均采用 10~30 min 的短时嗅闻测量作为研究范式，探究不同植物挥发物对人体身心健康的具体影响，这些研究为当前研究提供了宝贵理论与方法论启示。进一步的研究揭示，人体生理水平差异导致对环境停留时间的反馈各异，而环境能在 10~30 min 显著影响情绪[14]。因此，本研究需综合生理与心理试验结果进行归纳。此外，不同植物释放的挥发物对人体生理和心理产生的影响不同[14-16]，多植物组合时，挥发物间相互作用可能形成显著保健效益的植物群落[16-17]。尽管已有研究关注植物挥发物对人体的影响[18-20]，但多聚焦于单一或少量植物，对植物群落组团综合影响的研究仍较少[14-16,20]，此领域存在较大探索空间。

因此，本研究基于嗅觉感知角度，建立植物群落类型层面 BVOCs 与人体健康的关联，探究30 min 内森林公园不同类型的康养植物群落下不同嗅闻时长对人体生理心理的保健效益，为促进森林康养基

地建设、营造恢复性环境提供理论参考。

1 研究区概况

北京西山国家森林公园（39°58′18.17″N，116°11′51.20″E）位于小西山东部，属典型的暖温带半湿润大陆性季风气候，并属太行山余脉的低山区，以其高达 98.50% 的森林覆盖率和 98.67% 的林木绿化率而著称，景区总面积 739.4 hm^2。其植被丰富多样，包括维管束植物 90 科 286 属 517 种，其中野生植物达 432 种，栽培植物 85 种。木本植物总计 157 种，包括 88 种乔木、56 种灌木和 13 种木质藤本；草本植物共 360 种。地带性植被为以油松（*Pinus tabulaeformis*）、华山松（*Pinus armandii*）、侧柏（*Platycladus orientalis*）等树种为主的常绿针叶林，以栓皮栎（*Quercus variabilis*）、元宝枫（*Acer truncatum*）、白蜡（*Fraxinus chinensis*）、黄栌（*Cotinus coggygria*）等树种为主的落叶阔叶混交林，以及以油松、侧柏与栎类树种等为主的针阔混交林[21]。

2 研究方法

2.1 试验场地

试验在北京西山国家森林公园封闭茶室中进行，茶室内有两个封闭房间，房间 1 为试验室，房间 2 为准备室。在每次试验前，保证房间充分通风，无异味；在试验过程中，关闭门窗，保持房间安静，以确保被试者免受外界干扰。

2.2 研究对象

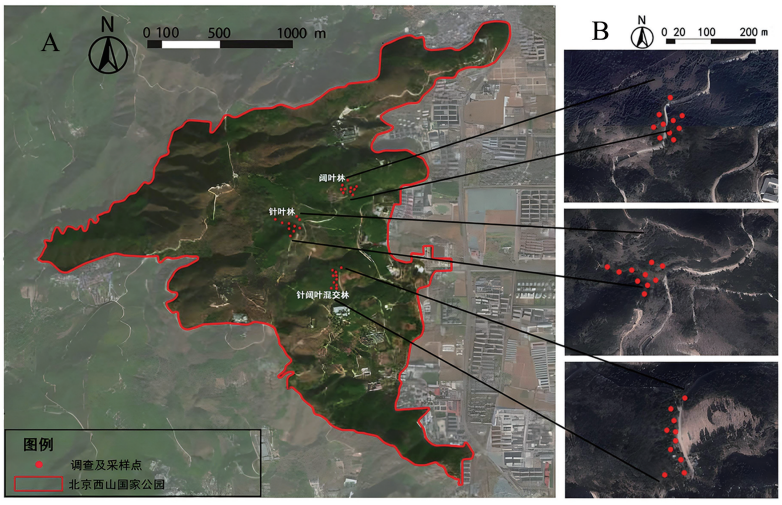
选取 30 名 20~30 岁的青年志愿者为试验人群，要求试验期间志愿者身体各项生理心理指标均正常，在嗅觉方面无已知相关疾病（如鼻窦炎等）以及花粉过敏史。在试验前应保持正常的作息习惯并保持放松的心态。

2.3 试验材料

在对北京西山国家森林公园的植物进行全面调查基础上，结合森林资源分布图，采用法瑞学派的典型选样原则，每种类型植物群落各选 10 个样点，共选取 30 个样点（图 1），空白对照选择在室内进行。选择时筛选具有典型性且于生长旺盛期能够释放种类丰富 BVOCs 物质且嗅闻起来具有气味的植物群落类型；分别在 3 种类型植物群落内采集 500 g 植物材料，采集部位及重量比例见表 1。通过便携式气味传感器测量各植物群落内气味浓度可知，3 种植物群落类型的气味浓度数值分别均为 20，为了使试验中的植物气味浓度与实际测量的浓度一致，最终测量的植物材料重量与容器体积的比值为常绿针叶林 20 g·L^{-1}、落叶阔叶混交林 20 g·L^{-1}、针阔混交林 20 g·L^{-1}。

2.4 试验流程

试验在夏季（5—6 月）植物挥发物释放旺盛时进行，共 12 天。分阶段对常绿针叶林（第 1~3 d）、落叶阔叶混交林（第 4~6 d）、针阔混交林（第 7~9 d）和空白对照（第 10~12 d）进行 10、20、30 min的生理心理试验。除试验干预环节设



注：A 为北京西山国家森林公园的平面图（红实线）及采样点（红色标点）；B 为公园 3 种植物群落类型采样点（红色标点）局部放大图。

图 1 试验地及采样点分布

表 1　植物取材样地调查汇总

植物群落类型	乔木平均株高/m	乔木平均胸径/cm	主要植物种类、采集部位及重量比例
常绿针叶林	8.3	24	采集侧柏(40%)、紫叶李(*Prunus cerasifera*，10%)、瘤枝卫矛(*Euonymus verrucosus*，15%)的叶片和枝条；龙葵(*Solanum nigrum*)、蒲公英(*Taraxacum officinale*)、早熟禾(*Poa annua*)共 5%的地上部分；未列举植物 30%的叶片
落叶阔叶混交林	10.5	21	采集栓皮栎、黄栌、构树(*Broussonetia papyrifera*)、白蜡共 50%的叶片和枝条，紫叶李 10%的叶片和枝条；二月兰(*Orychophragmus violaceus*)、车前草(*Plantago depressa* Willd)、斑种草(*Bothriospermum chinense*)共 10%的地上部分；未列举植物 30%的叶片
针阔混交林	12.3	23	采集油松、国槐(*Sophora japonica*)、榆树(*Ulmus pumila*)、朴树(*Celtis sinensis*)、黄栌、构树等 60%的叶片和枝条；胡枝子(*Lespedeza bicolor*)、紫叶李、扁担杆(*Grewia biloba*)等 20%的地上部分；绣线菊(*Spiraea salicifolia*)、二月兰、车前草、斑种草共 10%的地上部分；未列举植物 10%的叶片
空白对照	0	0	无

置的刺激类型不同外，其他各步骤的流程均相同(图 2)。

具体操作方法为：9∶00 前对采摘的新鲜叶子用剪刀、机械钳等工具进行一定程度的损伤并混合均匀[20]，然后将采集的各部位植物材料放入自制 600 ml 容器，按照植物群落类型置于志愿者身前，观察不同植物群落和嗅闻时长对人体生理心理指标的影响，试验前向被试者简介流程以缓解紧张，并安排休息以确保数据准确。

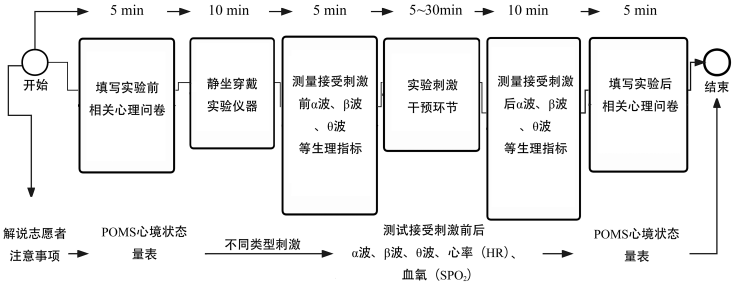


图 2　试验流程示意图

2.5　测试指标

生理指标选择人体脑电波 α 波、β 波、θ 波、心率（HR）、血氧（SpO_2）（表 2），这些指标可以充分体现人体生理状态。心理指标选择心境状态量表（POMS 量表），该量表被广泛应用于临床与科学研究中，被认为是一种有效的情绪测量工具[22]；同时检测试验对象情绪状态总估值（TMD 值），TMD 分数越低表示情绪状态越好。

表 2　生理指标范围对应状态及仪器设备

指标类型	范围	对应人体状态	采集数据	设备
α 波	8~13 Hz	在人身心放松时增加、意识集中警觉时下降	脑电波	美国 BIOPAC 公司 MP160 型 16 通道生理参数记录仪
β 波	14~30 Hz	在人的紧张兴奋状态时增加		
θ 波	4~7 Hz	在成人困倦和入眠初期出现		
HR	60~100 次	在焦虑和紧张状态时上升	心率	
SpO_2	>95%	在焦虑激动时降低	血氧	夹指式血氧仪

2.6　数据处理与分析

用 EXCEL2016 和 GraphPad Prism 9 统计制图，KS 检验验证正态性。SPSS 25.0 分析生理数据，计算变化率 Δ，单因素方差分析筛选显著差异指标，Spearman 相关性分析检验植物群落、嗅闻时长与显著差异指标的相关性。多元线性回归分析变化率 Δ 与各刺激因素关系。筛选相关性显著的生理指标深入分析，各组数据单因素方差分析后 LSD 事后检验。心理数据同样计算 TMD 变化率 Δ，进行方差分析和 LSD 检验。

为标准化数据，将志愿者嗅闻前生理指标与心理指标数据作为基线，刺激前后的变化率 Δ 根据以下计算方法获得：

$$\Delta(\%) = \frac{PSV—BSV}{BSV} \times 100\% \qquad (1)$$

式（1）中：Δ 为刺激前后指标变化数据；PSV 为刺激后指标数值；BSV 为基线值[11]。

3 结果与分析

3.1 植物群落类型及嗅闻时长对人体生理指标影响

单因素方差分析发现，所测生理指标中 α 波振幅、β 波振幅存在显著差异（$P<0.05$）。

3.1.1 植物群落类型及嗅闻时长与生理指标的相关性分析

由表 3 可知：植物群落类型与 Δα 波振幅和 Δβ 波振幅均有极显著正相关关系（$P<0.01$），且相关系数绝对值<0.3，表现为弱相关；不同嗅闻时长与 Δα 波振幅和 Δβ 波振幅均有极显著正相关关系（$P<0.01$），且相关系数绝对值均在 0.3～0.5，相关关系中等（表 3）。

表 3 植物群落类型及嗅闻时长与 α 波振幅、β 波振幅的相关性

生理指标	Δα 波	Δβ 波
植物群落类型相关系数	0.282**	0.295**
嗅闻时长相关系数	0.303**	0.323**
样本数	102	102

注：样本总数为 120，其中有效样本数为 102；** 表示二者之间差异极显著，$P<0.01$；* 表示二者之间差异显著，$P<0.05$；下同。

3.1.2 植物群落类型及嗅闻时长与生理指标的多变量分析

如表 4～5 所示，Δα 波振幅（F=20.145，$P<0.001$）和 Δβ 波振幅（F=22.216，$P<0.001$）为因变量的回归模型具有显著的统计学意义。显著性检验结果表明，在不同植物群落类型和不同嗅闻时长的条件下，人体的 α 波和 β 波振幅的变化数据 Δ 具有统计学意义。

表 4 多元相关系数模型摘要

因变量	系数		
	R	R^2	调整后的 R^2
Δα 波	0.413a	0.186	0.111
Δβ 波	0.396a	0.122	0.107

表 5 多元线性回归结果

因变量	项目	非标准化系数 B	标准系数 β	t	显著性
Δα 波	常量	−0.233	—	−3.044	0.003
	植物群落类型	0.054	0.177	5.741	<0.001
	嗅闻时长	0.131	0.351	6.257	<0.001
Δβ 波	常量	−0.316	—	−3.376	<0.001
	植物群落类型	0.093	0.201	4.273	<0.001
	嗅闻时长	0.157	0.327	5.041	<0.001

3.1.3 显著相关生理指标分析

1）α 波振幅变化。单因素方差分析发现，9 个试验组的 Δα 波振幅与对照组具有显著差异（$P<0.05$）。由图 3 可知，3 种植物群落类型 α 波均随嗅闻时长的增加呈上升趋势。其中，常绿针叶林组内各嗅闻时长均存在显著差异（$P<0.05$），且 α 波振幅变化在嗅闻 30 min 时升幅最显著（升幅值为 17.64%）；落叶阔叶混交林组内除嗅闻 20 min与 30 min 差异不显著（$P>0.05$），其他嗅闻时长之间均存在显著差异（$P<0.05$），且 α 波振幅变化在嗅闻 30 min 时升幅最显著（升幅值为 14.32%）；针阔混交林组内各嗅闻时长均存在显著差异，且 α 波振幅变化在嗅闻 30 min 时升幅最显著（升幅值为 21.08%）。此外，在嗅闻时长均为 10 min 时，仅落叶阔叶混交林和针阔混交林之间具显著性差异（$P<0.05$），其他植物群落类型之间均不具有显著差异（$P>0.05$），其中针阔混交林 α 波升幅最显著（升幅值为 9.01%）；在嗅闻时长均为 20 min 时，3 种植物群落间均不具显著差异（$P>0.05$），其中针阔混交林 α 波升幅相较显著（升幅值为 14.27%）；在嗅闻时长均为 30 min时，仅落叶阔叶混交林和针阔混交林之间具显著性差异（$P<0.05$），其他植物群落类型之间均不具有显著差异（$P>0.05$），其中针阔混交林 α 波升幅相较显著（升幅值为 21.08%），常绿针叶林次之（升幅值为 17.64%），落叶阔叶混交林提升幅度最低（升幅值为 14.32%）。综上可知，3 种植物群落类型的 α 波振幅变化均在嗅闻时长为 30 min 时升幅最显著，且在相同嗅闻时长条件下，均为嗅闻针阔混交林最显著，因此可推测嗅闻 30 min 针阔混交林对人体 α 波提升效果最显著。

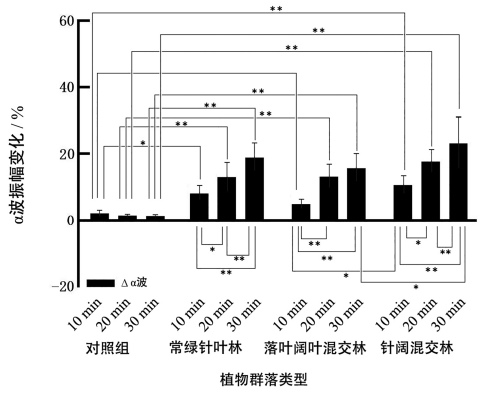


图 3 3 种植物群落类型及嗅闻时长对 α 波振幅的影响

2）β 波振幅变化。单因素方差分析发现，9 个试验组的 Δβ 波振幅与对照组均具有显著差异（$P<0.05$）。由图 4 可知，3 种植物群落类型 β 波均随嗅闻时长的增加呈下降趋势。常绿针叶林组内除嗅闻 20 min 与 30 min 差异不显著（$P>0.05$），其他嗅闻时长均存在显著差异（$P<0.05$），且 β 波振幅变化在嗅闻 30 min 时降幅最显著（降幅值为 11.22%）；落叶阔叶混交林组内仅嗅闻 10 min 与 30 min 存在显著差异（$P<0.05$），其他组间均不存在显著差异（$P>0.05$），且 β 波在嗅闻 30 min 时降幅最显著（降幅值为 10.14%）；针阔混交林组内各嗅闻时长均存在显著差异（$P<0.05$），且 β 波振幅变化在嗅闻 30 min时降幅最显著（降幅值为 17.58%）。此外，在嗅闻时长均为 10 min 时，除常绿针叶林和落叶阔叶混交林之间不存在显著差异（$P>0.05$），其他植物群落间均存在显著差异（$P<0.05$），且针阔混交林 β 波降幅最显著（降幅值为 8.26%）；在嗅闻时长均为 20 min 时，仅落叶阔叶混交林和针阔混交林之间具显著性差异（$P<0.05$），其他植物群落类型之间均不具有显著差异（$P>0.05$），其中针阔混交林 β 波降幅最显著（降幅值为 14.27%）；在嗅闻时长均为 30 min 时，除常绿针叶林和落叶阔叶混交林不存在显著差异（$P>0.05$），其他植物群落类型均存在显著差异（$P<0.05$），且嗅闻针阔混交林 β 波降幅最显著（降幅值为 17.58%）。综上可知，3 种植物群落类型的 β 波振幅变化均在嗅闻时长为 30 min 时降幅最显著，在相同嗅闻时长条件下，均为嗅闻针阔混交林最显著，因此可推测志愿者在嗅闻针阔混交林植物群落材料后，身体紧张程度显著下降，且嗅闻时长增加到 30 min 时身体疲劳有显著缓解。

3.2　植物群落类型及嗅闻时长对人体心理指标影响

单因素方差分析发现，有 6 个试验组的 ΔTMD 与对照组具有显著差异（$P<0.05$），分别为嗅闻 20、30 min 的常绿针叶林，嗅闻20、30 min的落叶阔叶混交林，嗅闻 20、30 min 的针阔混交林。由图 5 可知，3 种植物群落类型 TMD 分值变化均随嗅闻时长增加呈下降变化。3 种植物群落类型的嗅闻10 min均与嗅闻 30 min 存在显著差异（$P<0.05$）。其中，常绿针叶林组内，除嗅闻 20 min 与 30 min 差异不显著（$P>0.05$），其他嗅闻时长均存在显著差异（$P<0.05$），且在嗅闻 20 min 时 TMD 降幅最显著（降幅值为 14.11%）；落叶阔叶混交林组内，除嗅闻 20 min 与 30 min 差异不显著（$P>0.05$），其他嗅闻时长均存在显著差异（$P<0.05$），且在嗅闻 30 min 时 TMD 降幅最显著（降幅值为 14.87%）；针阔混交林组内，各嗅闻时长均存在显著差异（$P<0.05$），且在嗅闻30 min 时 TMD 降幅最显著（降幅值为 18.01%）。

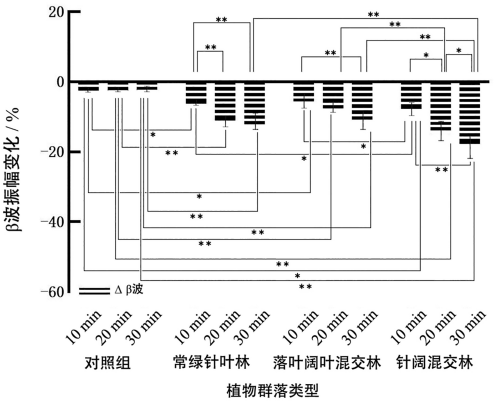


图 4　3 种植物群落类型及嗅闻时长 β 波振幅变化

各时长均为针阔混交林对心理调节作用最显著，且各植物群落类型（除常绿针叶林在嗅闻 20 min时 TMD 降幅显著于其他时段）均在嗅闻 30 min时的 TMD 降幅显著于 10 min 和 20 min。

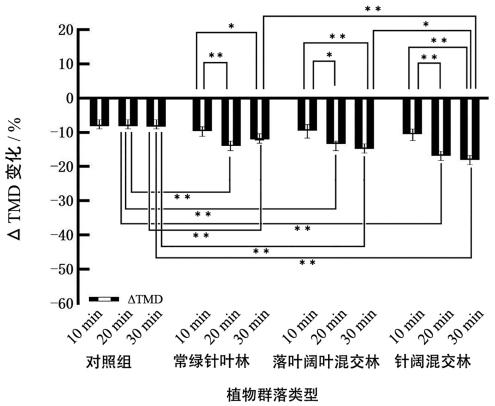


图 5　不同植物群落类型及嗅闻时长 ΔTMD 变化

4　讨论

4.1　植物群落类型及嗅闻时长对人体生理指标影响

综合试验结果来看，志愿者生理指标中的 α 波和 β 波随嗅闻时长和植物群落类型变化发生显著变化，这与张新果和张启翔[11]有关 α 波和 β 波变化与嗅觉刺激相关性的结论一致。由于人体的

嗅觉系统与刺激源及人体神经系统的功能机制等有密切关系，植物嗅觉刺激后人体各项指标的反应也有所不同[6-20]，如 θ 波等变化不显著，而 α 波、β 波均显著变化，而本试验中的心率、血氧均未发生显著变化，这一点与前人研究类似。如樊甜甜等[23]研究苦水玫瑰（*Rosa setate* × *R. rugosa*）等植物的香气对人体身心影响时，收缩压、心率等指标的变化量均未达到显著差异；Jo 等[18]研究赤松（*Pinus densiflora*）的自然挥发气味对人体身心影响时，人的血压、脉搏等指标也未达到显著差异。因此，在短时的嗅觉刺激对人体生理效益的评估中以 α 波、β 波结果为考量。

α 波显著上升时，人体身心能量消耗降低，灵感和直觉敏锐度提升[11,13,16]。9 个试验组中的 α 波均呈上升变化。由 α 波与人体身心放松状态呈正相关可知[11,16]，Δα 波变化显著时，生理水平较稳定，这可推测嗅闻针阔混交林对缓解疲劳更有效，且 30 min 的嗅闻时间相较于 10 min 和 20 min在调节人体生理水平上更为有效。在 β 波显著下降时，身体和大脑准备进入休息和放松状态，脑部的专注力提高[11,13,16]。本试验中的 9 个组中的 β 波均呈下降变化，即人体警觉状态下降，这一趋势再次证实针阔混交林在调节人体身心放松方面的优越性，且 30 min 嗅闻时长效果最佳。

前人在研究嗅闻不同植物材料 10、20、30 min时，多数研究结果显示在嗅闻 20～30 min 时，人体的多项生理指标有显著变化[13-15]，这与试验中关于嗅闻时长的研究结果一致。本试验中不同嗅闻时长条件下，3 种植物群落类型的生理调节效果均表现为 30 min>20 min>10 min；而在同一嗅闻时长条件下，3 种植物群落类型的生理保健效益水平为针阔混交林>常绿针叶林>落叶阔叶混交林，此结果在一定程度上支持了针叶林保健效益优于阔叶林[24]。

4.2 植物群落类型及嗅闻时长对人体心理指标影响

心理指标结果显示，嗅闻 3 种类型植物群落挥发物不同时长均可有效降低紧张、慌乱等情绪，提升精力恢复。有关芳香疗法对人体心理影响的研究表示气味能影响情绪[16]，3 种植物群落类型在气味的主观感知上可能存在差异而使心理结果存在差异。试验结果显示 20～30 min 的嗅闻心理调节效益较好，这与前人关于嗅闻时长对人体心理影响的研究结果一致[13-15]。其中，处于 10、20 min嗅闻条件下针阔混交林>常绿针叶林>落叶阔叶混交林，嗅闻 30 min 条件下针阔混交林>落叶阔叶混交林>常绿针叶林，出现这种差异的原因可能是针阔混交林含有更多种类和浓度的挥发物，提供了更丰富的气味体验，志愿者的心理预期和即时反应可能更倾向于复杂而多样的气味环境。在较短的嗅闻时间内，相对单一而稳定的常绿针叶林气味环境相较于落叶阔叶混交林可能更有助于志愿者进入更深度的放松状态，而随着嗅闻时长增加，成分相对复杂的落叶阔叶混交林，相比单一的常绿针叶林更能吸引人的兴趣。在长时间嗅闻过程中，对于每一种植物群落类型而言，心理保健效益都会随着嗅闻时长的增加而呈现出递增的趋势。但在常绿针叶林中，30 min 的嗅闻效果略逊于 20 min，这可能是初始 10 min 为志愿者适应期，20 min 时达到最佳心理保健效果，30 min时可能因嗅觉适应或疲劳而效果减弱。对于落叶阔叶林和针阔混交林，志愿者可能需要更长时间来适应和处理相对复杂的气味信息。综合来看，这些差异可能源于不同植物群落释放的挥发物种类多样性及其与人心理反应的独特交互作用。此外，个体差异也可能影响心理保健效益的感知。

4.3 植物群落类型与嗅闻时长的关系及对人体生理心理影响的综合评价

植物群落类型与嗅闻时长可能存在协同作用，不同植物群落类型涉及不同的植物组合，而不同植物组合产生的挥发物类型不同。嗅闻时长除受个体的行为、生理和认知因素的影响[14]，对植物挥发物的感知也受植物群落类型的影响。相较于对照组生理心理指标数据，单一变量的嗅闻时长增加对提升人体舒适感有一定促进作用，在适当的 30 min 嗅闻时长下，针阔混交林表现出较佳的调节效果，能显著缓解焦虑感和身心疲劳程度，使人体趋向平静状态。此外，3 种植物群落类型对人体健康保健均有积极效果，在公园设计应用中可根据功能需求选择对应植物群落类型。

本文在有限试验条件下以 10、20、30 min 为时间标度进行研究，针对的植物群落类型仅以西

山典型植物配置为代表，难免存在局限性。后续研究可细化嗅闻时长分段，并丰富植物群落类型中植物配置搭配，以更准确探究人体嗅闻阈值及不同植物群落搭配对人体健康的影响。

5　结论

1）人体受嗅觉刺激影响后，人体生理指标 α 波、β 波变化较显著，且变化率与植物群落类型及嗅闻时长有极显著相关性（$P<0.01$）。

2）针阔混交林在嗅闻各时长下对 α 波、β 波影响最大，常绿针叶林次之，最后是落叶阔叶混交林；心理保健效益方面，嗅闻时长与群落类型交互作用显著，针阔混交林总体最优。

3）3 种康养植物群落对人体生理心理的正向影响随嗅闻时长增加而增强，30 min 时普遍优于 10 min 和 20 min（除常绿针叶林心理保健效益在 20 min 时较好）。

4）植物群落类型及嗅闻时长存在一定协同作用，总体上，嗅闻 30 min 的针阔混交林挥发物有较好生理心理保健效益，可对森林康养、园艺疗法、康复景观设计植物材料的选择提供依据。

参考文献

[1]朱芷贤,陈其兵.观赏竹林对人体生理心理响应的研究体系及其应用[J].竹子学报,2020,39(1):38-45.

[2]沈林骏,张宇晨,张桐,等.沈阳市夏季 6 种城市绿地景观对使用者身心恢复的影响[J].中国城市林业,2024,22(1):118-125.

[3]贾梅,金荷仙,王声菲.园林植物挥发物及其在康复景观中对人体健康影响的研究进展[J].中国园林,2016,32(12):26-31.

[4]李少宁,陶雪莹,李绣宏,等.植物释放有益挥发性有机物研究进展[J].生态环境学报,2022,31(1):187-195.

[5]JOUNG D,SONG C,IKEI H,et al.Physiological and psychological effects of olfactory stimulation with D-Limonene[J].Advances in Horticultural Science,2014,28(2):90-94.

[6]李卿.森林医学[M].王小平,陈峻崎,刘晶岚,等译.北京:科学出版社,2013.

[7]代瑶,郭阿君.含萜烯类挥发物物质植物在森林康养中的保健作用[J].现代园艺,2021(23):39-40,44.

[8]王艳英,王成,蒋继宏,等.侧柏、香樟枝叶挥发物对人体生理的影响[J].城市环境与城市生态,2010,23(3):30-32.

[9]ALVARSSON J J,WIENS S,NILSSON M E.Stress recovery during exposure to nature sound and environmental noise[J].International Journal of Environmental Research and Public Health,2010,7(3):1036-1046.

[10]HARTIG T.Nature experience in transactional perspective[J].Landscape and Urban Planning,1993,25(1/2):17-36.

[11]张新果,张启翔.园林植物嗅景对人体健康的影响[J].林业科学,2023,59(4):100-116.

[12]熊胙,金荷仙,黄倩.盛花期常绿钩吻藤挥发物日动态变化及其对人体生理心理健康的影响[J].中国园林,2022,38(8):117-122.

[13]SONG X H,LI H,LI C R,et al.Effects of VOCs from leaves of Acer truncatum Bunge and Cedrusdeodara on human physiology and psychology[J].Urban Forestry & Urban Greening,2016,19:29-34.

[14]缑赟.五种芳香植物挥发成分测定及对大学生焦虑情绪的影响[D].南昌:江西农业大学,2023.

[15]何雪雁,金荷仙,姜嘉琦.芳香植物的应用历史及园林应用研究进展[J].浙江林业科技,2019,39(4):87-94.

[16]汤景琛,金荷仙,周艳慧,等.小叶栀子花叶枝条挥发物成分及其对人体身心健康的影响[J].中国城市林业,2024,22(5):18-26.

[17]FARQUHARSON K L.Secrets of the forest:volatiles first discovered in pine trees propagate defense signals within and between plants[J].The Plant Cell,2017,29(6):1181-1182.

[18]JO H J,FUJII E,CHO T.An experimental study on physiological and psychological effects of pine scent[J].Journal of the Korean Institute of landscape Architecture,2010,38(4):1-10.

[19]JO H,RODIEK S,FUJII E,et al.Physiological and psychological response to floral scent[J].HortScience,2013,48(1):82-88.

[20]贾梅.康复景观中几种芳香植物挥发物及其对人体健康影响的研究[D].杭州:浙江农林大学,2017.

[21]奚露.基于视觉和听觉体验的西山国家森林公园典型景观评价研究[D].北京:中国林业科学研究院,2020.

[22]迟松,林文娟.简明心境量表(BPOMS)的初步修订[J].中国心理卫生杂志,2003,17(11):768-770,767.

[23]樊甜甜,姚雷,李燕来,等.3 种芳香植物香气物质的急性抗焦虑作用[J].上海交通大学学报(农业科学版),2017,35(3):24-30.

[24]AMEYE M,ALLMANN S,VERWAEREN J,et al.Green leaf volatile production by plants:a meta-analysis[J].New Phytologist,2018,220(3):666-683.