

文章编号:1673-0062(2016)03-0119-05

植物挥发性有机物研究进展

廖建军, 齐增湘*, 李 涛, 王 宽

(南华大学 设计与艺术学院, 湖南 衡阳 421001)

摘 要:植物挥发性有机物的分析与评价为景观规划和设计提供了参考,对配置植物进行植物造景起着重要的作用,为园林绿地生态功能的发挥提供了重要的依据和保障.以植物挥发性有机物的分析与评价为基础,通过对植物挥发性有机物的成分、植物挥发性有机物的医疗与保健作用、影响植物挥发性有机物释放的因素等方面的分析,探讨了植物挥发性有机物的提取分离方法和应用研究进展,提出了植物挥发性有机物研究目前存在的不足并概括了未来的研究方向.结果显示:当前植物挥发性有机物研究在范围上逐渐从微观尺度发展到宏观尺度,日益强调多物种组合的生态功能,重点关注植物挥发性有机物的医疗与保健作用研究;指出了植物挥发性有机物研究的关键在于研究结果在植物造景和景观规划中的应用,在评价内容和评价方法上应该借助基础研究的长期监测、评价的量化以及多学科交叉.

关键词:植物挥发性有机物;成分分析;保健效应;影响因素;提取方法

中图分类号:Q94 **文献标识码:**B

Research Advances in Volatile Organic Compounds of Plant

LIAO Jian-jun, QI Zeng-xiang*, LI Tao, WANG Kuan

(School of Design and Art, University of South China, Hengyang, Hunan 421001, China)

Abstract: The analysis and evaluation in volatile organic compounds of plant (VOCP) provide a reference for landscape planning and design. It plays an important role in plant configuration and plant landscaping, and also guarantees the ecological function of gardens and greenbelt. Based on the analysis and evaluation of VOCP, the research methods and advances in the study of VOCP were reviewed, including composition analysis, medical and health effects, factors affecting the release of VOCP, extraction and separation methods as well as the application of VOCP. The deficiency and future research direction of VOCP are summarized. The results showed that the research field of VOCP ranges gradually from

收稿日期:2016-08-22

基金项目:湖南省重点基金资助项目(2014NK2012);湖南省教育厅重点基金资助项目(13A086)

作者简介:廖建军(1965-),女,湖南宁乡人,南华大学设计与艺术学院教授,硕士.主要研究方向:生态景观规划与设计.* 通讯作者.

micro scale to macro scale, increasing emphasis on the ecological functions of the combination of multiple species and with a focus on medical and health care effect of VOCP. The exploration of VOCP in community scale is still in its infancy. Among numerous research of VOCP, the key point was the application of results in landscaping and planning. The content and methods of assessment should be based on long-term monitoring and quantitative and interdisciplinary evaluation.

key words: volatile organic compounds of plant; composition analysis; health care effect; influence factors; extraction method

植物挥发性有机物是指植物在自然状态下释放出的挥发性气态有机物,由原苏联的植物生理学家 Toknh B P 博士在 1930 年首次提出,并将这种物质称为芬多精(Phytoncider),又称植物杀菌素、植物精气或植物挥发性有机物^[1-2],它在城市园林绿地系统中发挥着重要的生态功能。随着工业化及城市化发展,也带来了诸如热岛效应、大气污染、土壤污染、水污染、生物多样性丧失等一系列的环境问题,再加上城市快节奏的生活和竞争压力使人们的精神经常处于紧张状态,出现疲劳、失眠、情绪不稳定等亚健康症状。随着诸多人类健康与环境问题的加剧,具有杀菌、减压、调节、疗养、治病等多种保健功能的植物挥发性有机物的研究也日益受到重视。植物挥发性有机物的科学评价不仅有助于人们正确认识各种植物的功能,促进人民身心健康,更多的是为科学合理的植物配置和景观规划设计提供科学的参考价值,进而不断提高城市园林绿地植物种类的数量和质量,以为城市绿地系统规划和生态功能的有效发挥提供重要的理论基础。

1 植物挥发性有机物成分分析

植物在新陈代谢过程中通过花、叶、根等器官和组织分泌释放出具有不同芳香气味的物质,这些物质具挥发性且化学成分复杂。植物挥发性有机物的成分分析不仅有利于更好保护和管理现存的植物种类,而且对未来城市绿地景观的规划和设计有着重要的科学价值。当前,对植物挥发性有机物的成分分析主要包括实测研究和日益发展的排放量模拟研究。

通过实测研究来分析植物挥发性有机物的成分呈现从微观尺度逐渐发展到区域尺度的特点。在微观尺度上,植物挥发性有机物成分分析内容主要包括物种的不同器官,乔、灌、草个体等植被挥发性有机物成分分析。在中尺度和区域尺度上,植物挥发性有机物的成分分析集中在对不同物种

搭配及林地等精气分析和评价。国外的学者针对林地、多物种、单个物种、器官的植物挥发性有机物成分已经进行了大量的分析工作^[3-4]。研究表明,一般植物的挥发性气体主要由橡胶基质(异戊二烯)、萜类化合物[单萜(monoterpenes)、倍半萜(sesquiterpenes)]、碳酰基化合物(Carbonyl compounds)、醇一系列羟基化合物(alcohols)、氧化物和酯类(esters)等组成,其中异戊二烯含量最高,其次为单萜^[5]。国内学者在此领域也进行了一些有意义的探索。吴章文、郭希娟、陈颖等人开展了单个树种或多种植物挥发性有机物释放的研究,认为这些具有芳香气味的物质,其主要成分是芳香性的萜烯类物质,是一群不饱和的碳氢化合物,故又称异戊二烯类化合物。谢祝宇等研究结果表明,除了萜烯类化合物,还有碳酰基化合物、醇系列的烃基化合物、氧化物酯类物质等。

2 影响植物挥发性有机物释放的因素

植物不同器官和组织在合成和释放挥发性有机物的过程中,受到多种因素直接或间接的影响,这些因素包括了非生物因子和生物因子。非生物因子包括温度、光照、地下水位、土壤营养、季节性、水分、气候变化等,生物因子包括动物、树龄、叶龄、树种差异和人为干扰。诸多研究显示:异戊二烯和单萜烯的释放量与温度成指数关系。随温度升高,植物的合成和释放速率逐渐增加,使得植物挥发性有机物的释放有显著的季节变化、月变化和日变化特征,但是当温度高于一定程度时,释放速率会下降。通过对不同温度下薰衣草花挥发性有机物效应的监测和分析发现,不同温度条件下薰衣草花挥发性有机物各组分的含量不尽相同^[6]。光照在植物挥发性有机物合成中发挥着重要功能。通常认为,叶绿体内三磷酸腺苷(ATP)或二甲氨基丙基二磷酸(DMAPP)的浓度可控制异戊二烯合成酶的活性,而 ATP 或 DMAPP 的合成又受光合电子转移的影响。因此,光照可以通过间

接控制异戊二烯合成酶的活性,从而影响异戊二烯的合成及释放.还有研究发现,在无光照或低光照时,植物异戊二烯释放速率极低,随着光合有效辐射强度增加,异戊二烯的释放速率迅速增加^[8].但与异戊二烯的光依赖性相反的是,单萜烯的释放通常不需要光,光照强度对单萜类化合物合成、释放的影响不大.有关湿度对植物挥发性有机物的释放影响表现在不同树种和不同精气成分之间均有较大差异.研究发现不同程度的水分胁迫能诱导形成不同种类的芳香物质,且随着水分胁迫程度的加深,其诱导的芳香物质种类也随之增加^[8].另有研究表明,在环境 CO₂ 浓度提高时,精气释放量会降低,但是也有学者得出相反的结果.相关报道表明,土壤中的营养元素可通过影响植物体内非结构碳水化合物含量从而间接影响单萜的释放量.有研究表明,追加氮(N)肥可导致植物体内碳源向单萜类物质的分配模式进而引起挥发性有机物中的单萜类物质的减少,类似的结果在酚类释放中也有报道.进一步的研究表明,除了非生物因子外,树种差异,动物、树龄、叶龄、人为干扰等生物因子差异都可能对植物挥发性有机化合物排放存在的影响^[9].

植物所处的环境往往是多种环境因素综合作用的结果,目前以围绕影响植物挥发性有机物释放的因素的分析主要集中在非生物环境和生物环境的单个因子的效应研究,结合植物所处环境综合探讨影响植物挥发性有机物释放鲜有研究.鉴于目前尚没有综合探讨影响植物挥发性有机物释放环境因子的案例研究,建议在对单个非生物环境和生物环境因子效应研究的基础上,结合环境因子对植物挥发性有机物释放影响机理分析,探讨影响植物挥发性有机物释放的主要环境因子,找出多因子耦合作用机理及来源,明确影响植物挥发性有机物合成和释放的主导因子.通过影响植物挥发性有机物合成和释放的主导因子的探析,建立影响植物挥发性有机物释放环境因子评价完整体系.

3 植物挥发性有机物分析方法研究

植物挥发性有机物具有含量低、易挥发、活性高、成分复杂等特点,一般仪器检测限难以达到其浓度水平.因此,建立高效灵敏的测定方法是对植物挥发性有机物进行准确的定性和定量分析的关键.采样方法正确与否直接关系到测定结果的可靠性和准确性,研究表明,不锈钢罐采样具有采集

分析方便,不发生光分解,一次样品可多次分析的优点,较塑料袋采样、吸附剂采样有更好的精度和准确度而被广泛采用.鉴于空气中植物挥发性有机物的含量低,国内外形成了溶剂解析法、固相微萃取法、超临界流体萃取、低温预浓缩、热解析法、吸附柱吸附法、水蒸汽蒸馏提取法、同时蒸馏萃取法、静态顶空、吹扫捕集、微波萃取、纤维素酶提取等预处理方法.通过富集空气中低浓度的植物挥发性有机化合物,使其达到能定量检测的含量.结果发现,无论是采集样品的方便性还是富集的效果,罐采样/冷冻预浓缩方法更好.DNPH 化学衍生法及高效液相色谱(NDPH-HPLC)分析技术在过去的40多年里得到了长足的发展,为降低测量的检测限,气相色谱技术被引入的测量中.近年来,随着气质联机技术日臻完善,将GC-MS联用技术应用于植物挥发性有机物检测的研究受到了重视,逐步成为痕量物质的检测手段^[10].值得关注的是,美国环保局(EPA)根据不同的采样方法、预处理方式与GC/GC-MS结合,公布了TO-1, TO-2, TO-14, TO-15 和 TO-17 等测定环境空气中VOCS的方法体系.最新研究还表明,在线气相色谱技术和质子转移质谱(PTR-MS)技术具有高时间分辨率,不需要色谱分离,检测限和时间分辨率都大为改善^[11].此外还有反射干涉光谱法、离线超临界流体萃取-GC-MS法和脉冲放电检测器法等都有发展,但其中应用最多的是GC和GC-MS法.国内对在此领域进行了一些有意义的探索,梁淑雯、贾静、刘芮伶采用不同方法对大气挥发性有机物进行分析^[12],李哲民根据国内的实际情况,提出固体吸附/热脱附/GC或GC-MS方法和罐采样/冷冻预浓缩/GC或GC-MS方法在我国具有较高可行性及推广性,但未建立统一的测定方法^[13].总结国际最新研究成果表明,植物在自然状态下释放的植物挥发性有机物不仅含量低,而且反应活性高,容易降解或化学反应转化.虽然初步建立了一系列针对不同植物挥发性有机物的提取和分析试验体系,但目前各种采样方法的缺陷、环境条件对样品采集的影响以及样品存放过程中植物挥发性有机物的降解或化学反应转化都会使监测结果出现偏差,暴露出其在植物挥发性有机物成分分析中的局限性.因此,如何优化影响植物挥发性有机物采样方法灵敏度的技术,确定较佳的样品预处理方法及参数,成为分析植物挥发性有机物组成结构的关键,有待进一步完善.

4 植物挥发性有机物保健效应研究

植物挥发性有机物具有极强的消毒特性和皮肤渗透性,可以通过人体皮肤、黏膜或被人体呼吸道黏膜吸收后产生适度刺激作用,促进免疫蛋白增加,有效调节植物神经平衡,从而增强人体的抵抗力。目前国外相关研究多来自于芳香疗法或芳香治疗学领域,德国蒂宾根大学药物科学研究所的 Kovar 和 Ammon 研究小组以及奥地利维也纳大学药物化学研究所 Buchbauer 研究小组最早通过动物实验和人健康受试者实验,开展了监测人体吸入一定量芳香物质后伴随性阴性脑电波变化(CNV)、外周血压(Peripheral Blood Pressure)、心率(Heart Rate)、皮肤电活性(Electrodermal Activity)、瞳孔放大(Pupil Dilation)、脑电波(Brain waves)、脑血流(Cerebral Blood Flow, CBF)等生理、心理指标的变化,来证明芳香物质对人体的生理和药理活性。如 Sugano 测试了人体吸入桉叶油素前后的 CBF 变化,说明使用香料对人体是非常安全的,而且不会成瘾,Ch.Nasel 和 B.Nasel 使用经颅多普勒(TCD)也得到了相同的结果。Buchbauer 证明了精油和芳香化合物除了使人产生愉快感受外,香料分子被人体吸收并转移进血液中对人体产生保健功效^[14]。最近的报道更提示,玫瑰油能缓解抑郁症引起的大脑氧化毒性。国内研究认为植物挥发性有机物具有杀菌、减压、调节、疗养、治病等多种保健功能。郑华等对植物挥发性有机物开展了人体生理层面的研究,李晓储等研究了不同品种的含笑对癌细胞的抑制作用。这些结果提示,植物挥发性气体主要从生理、心理等多方面来调节人体健康。

需要指出的是,芳香疗法领域相关的人体保健效果研究多针对某单一芳香物质的功效,而从不同群落中提取的植物挥发性有机物为复杂的有机混合物,其保健效应是某种物质起主导作用还是混合物整体效果更佳,起保健作用的植物挥发性有机物浓度或剂量标准如何,是否存在负面影响以及如何鉴定,如何在多项不同评价标准的人体生理、心理指标中筛选最优测定指标以及建立统一、明确的整体评价体系还有待进一步深入细致的研究。

5 植物挥发性有机物应用研究

鉴于植物挥发性有机物具有保健功效,植物挥发性有机物在国外正被广泛利用。德国、日本、

俄罗斯、台湾等国家和地区开始利用植物挥发性有机物的杀菌和保健等多种功能开展“森林浴”、“森林疗法”等生态旅游并取得了成效,强调在造林和城市绿化树种的选择上不仅考虑园艺和景观因素,还要考虑树种的挥发性有机物的排放潜力。我国对植物挥发性有机物的利用也进行了有益的尝试,近年也在一些林区建立了一批森林浴场,如北京开发的红螺松林浴园、浙江天目山森林健康医院及广东鼎湖山的天然氧吧等,基于这些研究探讨了保健植物的分类、康复性花园的景观设计,提出在城市构建养生保健型生态群落的概念^[15]。通过构建生态群落,为城市创造出安静、清新、健康的生态环境。不过,所有的这些应用大多集中在传统的旅游开发或造景层面,如何根据不同植物群落精气成分保健效应的差别和人们保健康复的不同需求进行植物群落的构建尚为空白。

6 结论与展望

6.1 植物挥发性有机化合物的量化研究

植物挥发性有机化合物的量化研究是当前植物代谢产物研究的热点问题。当前对植物挥发性有机化合物释放成分和排放量的相关研究多基于单一环境条件和单一物种水平的比较和探讨,相关研究为园林绿化部门和景观设计师针对特定场所进行物种选择和植物空间配置决策提供了重要的参考,为城市景观规划和设计以及良好人居环境的营建提供了重要的保证。但是,由于植物挥发性有机化合物释放受到的多物种要素和多环境压力影响的复杂性特征,多物种或群落、多个生态系统的植物挥发性有机化合物释放以及综合环境因子下的量化鲜见有研究,未来这方面的研究需要受到研究者的关注。除此之外,对影响植物挥发性有机物采样灵敏的技术处理方法和参数以及量化研究方法的准确性和实用性更值得进一步的关注。

6.2 植物挥发性有机化合物保健效应的长期监测研究

植物挥发性有机化合物具有保健作用的浓度或剂量标准,是否存在负面影响以及如何鉴定等都需要建立在对植物挥发性有机化合物保健效应的长期实测研究基础之上。一些基础性的研究如物种或群落结构的差异对保健效应的影响,监测时对人体生理、心理最优指标的筛选以及建立统一、明确的整体评价体系等尤其需要受到人们的关注,这些基础性生态效应研究对理解植物造景

的科学依据有着重要的意义。

6.3 植物挥发性有机化合物研究在园林景观规划中的应用

植物挥发性有机化合物研究可以为城市园林景观规划设计和管理工作,营建宜居的城市人居环境提供重要的支持。植物挥发性有机化合物成分和释放量的研究成果可以为城市园林绿地规划提供重要的信息,如物种的选择,植物群落结构的调整等;植物挥发性有机化合物保健效应分析和监测一方面可以为病患者缓解或者消除压力,另一方面可以为城市绿化植物配置的选择、生态群落的构建和深度开发植物保健产品制定相应对策,为下一步合理的规划城市绿化树种和植物配置提供重要的参考价值。目前植物挥发性有机化合物的研究成果在应用方面的研究还远远不够。所以,在未来的城市绿地空间构建中,植物挥发性有机化合物研究结果应该被纳入相关部门的决策中,以为城市创造出更多安静、清新、健康的生态环境。

参考文献:

- [1] 吴章文,吴楚材,石强.榲桲树精气的研究[J].中南林业学院学报,1999,19(4):38-40.
- [2] Kim J C, Kim K J, Kim D S, et al. Seasonal variations of monoterpene emissions from coniferous trees of different ages in Korea[J]. *Chemosphere*, 2005, 59(11):1685-1696.
- [3] Kim K J, Kim Y J, Ma Y I, et al. A modeling study of the impact of natural and urban forest on ambient ozone[J]. *Korean J. Chem. Eng.*, 2008, 25(3):483-492.
- [4] Paris C I, Llusia J, Peñuelas J. Changes in Monoterpene emission rates of *Quercus ilex* infested by aphids tended by native or invasive *Lasius* ant species [J]. *J Chem Ecol*, 2010, 36(7):689-698.
- [5] Guenther A, Karl T, Harley P, et al. Estimates of global terrestrial isoprene emissions using MEGAN(model of emissions of gases and aerosols from nature) [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics Discussions*, 2006, 6(11):3181-3210.
- [6] 徐洁华,文首文.温度胁迫薰衣草花精气挥发的机理分析[J].中南林业科技大学学报,2012,32(4):194-199.
- [7] 贾凌云,孙坤,冯汉青,等.呼吸作用对叶片光合作用和异戊二烯释放的影响[J].植物科学学报,2012,30(2):193-197.
- [8] Li D W, Shi Y, He X Y, et al. Effects of elevated CO₂ and O₃ concentrations on isoprenoid emissions from *Pinus tabulaeformis* [J]. *Applied Mechanics & Materials*, 2014, 522-524:264-271.
- [9] 吴章文,吴楚材,陈奕洪,等.8种柏科植物的精气成分及其生理功效分析[J].中南林业科技大学学报,2010,30(10):1-9.
- [10] 贾静,李国傲.热脱附—吹扫捕集—气相色谱质谱联用在大气挥发性有机物分析中的应用探索[J].分析试验室,2012,31(12):61-65.
- [11] Inomata S, Tanimoto H, Kato S, et al. PTR-MS measurements of non-methane volatile organic compounds during an intensive field campaign at the summit of Mount TaiChina, in June 2006 [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2010, 10(15):7085-7099.
- [12] 梁淑雯,卢瑜,禹伟腾.扩散采集—气相色谱法测定空气中7种挥发性有机物[J].分析科学学报,2011,27(6):773-775.
- [13] 李哲民.环境空气中挥发性有机物的测定方法探讨[J].环境保护与循环经济,2012,32(7):54-58.
- [14] Nazlıroğlu M, Kozlu S, Yorgancıgil E, et al. Rose oil (from *Rosa × damascena* Mill.) vapor attenuates depression-induced oxidative toxicity in rat brain [J]. *J Nat Med*, 2013, 67(1):152-158.
- [15] 乔昕,张德顺.药用植物在康复花园景观规划设计中的运用——以新加坡植物园康复花园为例[J].沈阳农业大学学报(社会科学版),2012,14(2):222-226.