

5种绿篱植物挥发性有机化合物成分分析

马楠¹, 周帅¹, 林富平¹, 高岩², 张汝民²

(1. 浙江农林大学风景园林与建筑学院, 浙江临安 311300; 2. 浙江农林大学省级林学基础实验教学示范中心, 浙江临安 311300)

摘要:为了探讨不同植物释放挥发性有机物(VOCs)组分和含量的差异,采用动态顶空采集法和热脱附-气相色谱-质谱(TDS-GC-MS)联用技术,分析了近自然状态下杭州地区常用绿篱植物金叶女贞 *Ligustrum quihoui* var. *aureaphylla*, 红花檵木 *Loropetalum chinense* var. *rubrum*, 瓜子黄杨 *Buxus sinica*, 龟甲冬青 *Ilex crenata* ‘Convexa’ 和无刺枸骨 *Ilex cornuta* var. *fortunei* 释放 VOCs 的种类和相对含量。结果表明:瓜子黄杨释放的 VOCs 主要有乙酸-3-己烯酯(相对含量为 27.10%), 芳樟醇(19.70%), 2-辛烯(7.20%); 红花檵木释放的挥发性物质主要有乙酸-3-己烯酯(26.10%), α -蒎烯(6.70%), 苯甲醛(6.50%); 金叶女贞主要有乙酸-3-己烯酯(16.30%), 苯甲醛(8.30%), 壬醛(5.50%)和对甲基苯乙烯(5.10%); 无刺枸骨主要有 β -蒎烯(12.10%), 癸醛(9.50%), 2-壬烯醇(7.40%), 月桂烯(7.20%), 兰烯(6.50%), 2-辛烯(6.10%) 和 6-甲基-5-庚烯-2-酮(6.01%); 龟甲冬青主要有癸醛(21.60%), 壬醛(13.60%), 己内酰胺(6.80%)和苯甲醛(5.60%)。图 2 表 1 参 17

关键词:植物学; 绿篱植物; 挥发性有机化合物; 热脱附-气相色谱-质谱联用技术

中图分类号: S718.4 文献标志码: A 文章编号: 2095-0756(2012)01-0137-06

Volatile organic compounds of five hedgerow plants in Hangzhou

MA Nan¹, ZHOU Shuai¹, LIN Fu-ping¹, GAO Yan², ZHANG Ru-min²

(1. School of Landscape Architecture, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 2. The General of Zhejiang Forestry Experiment Teaching Center, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China)

Abstract: To explore differences in volatile organic compounds (VOCs) from different plants, VOCs from *Ligustrum quihoui* var. *aureaphylla*, *Loropetalum chinense* var. *rubrum*, *Buxus sinica*, *Ilex crenata* ‘Convexa’, and *Ilex cornuta* var. *fortunei* were collected using the dynamic headspace air-circulation method. The main VOCs were identified with thermal-desorption cold trap-gas chromatography-mass spectrum (TCT-GC-MS). Results showed the following major VOCs: 3-hexen-1-ol, acetate (16.30%), benzaldehyde (8.30%), nonanal (5.50%), and p-methylstyrene (5.10%) in *Ligustrum quihoui*; 3-hexen-1-ol, acetate (26.10%), α -pinene (6.70%), and benzaldehyde (6.50%) in *Loropetalum chinense*; 3-hexen-1-ol, acetate (27.10%), linalool (19.70%), and 2-octene (7.20%) in *B. sinica*; decanal (21.60%), nonanal (13.60%), caprolactam (6.80%), and benzaldehyde (5.60%) in *I. crenata*; and β -pinene (12.10%), decanal (9.50%), 2-nonen-1-ol (7.40%), myrcene (7.20%), limonene (6.50%), 2-octene (6.10%), and 6-methyl-5-heptene-2-one (6.1%) in *I. cornuta*. These results could provide a reference for distribution of hedges. [Ch, 2 fig. 1 tab. 17 ref.]

Key words: botany; hedgerow plants; VOCs; TDS-GC-MS

植物挥发性有机物(volatile organic compounds, VOCs)是植物次生代谢产生的低沸点小分子化合物,

收稿日期: 2011-03-23; 修回日期: 2011-06-28

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30760193); 浙江农林大学科研发展基金资助项目(2010FR057); 浙江农林大学研究生科研创新基金资助项目(2112010018)

作者简介: 马楠, 从事园林植物研究。E-mail: w880403@126.com。通信作者: 高岩, 教授, 博士, 从事植物化学生态和植物发育生理学等研究。E-mail: gaoyan1960@sohu.com

虽然这类物质含量很低，但其较高的化学活性影响着人类的生存环境^[1]。随着全社会生态意识的加强，人们对生存环境质量要求越来越高，特别在城市园林绿化植物的配置时，不仅要注重其景观效果，更多的要关注其生态作用^[2]。植物不仅具有美化、净化环境的功能，在生长中释放的挥发物还具有杀菌和保健作用，如一些植物释放的萜类化合物可抑制空气中有害细菌、净化空气，同时还可以调节人体的心理和生理状态，发挥保健功效^[3]。而有一些植物释放的 VOCs 对人体有害，如珍珠梅 *Sorbaria sobifolia* 释放 VOCs 中含氮化合物能使人情绪紧张、焦虑，对人体健康会产生负面影响^[4]。因此，对于园林植物挥发物与环境质量及人体健康关系方面的研究具有重要的意义。动态顶空采集法和热脱附-气相色谱-质谱(TDS-GC-MS)联用技术是目前对植物 VOCs 收集、分离和鉴定最为有效方法之一。它能够采集活体植物释放的 VOCs，并对微量化合物进行定性分析，测定结果能够较真实地反应被测植物 VOCs 的组成及比例。本研究选取浙江杭州地区 5 种主要绿篱植物，采用动态顶空采集法和 TDS-GC-MS 联用技术，对植物叶片释放的 VOCs 成分进行分析，旨在为绿篱植物配置时树种的选择提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

实验地点设在浙江农林大学东湖校区，选取杭州地区 5 种常用绿篱植物：金叶女贞 *Ligustrum quihoui* var. *aureaphylla*，红花檵木 *Loropetalum chinense* var. *rubrum*，瓜子黄杨 *Buxus sinica*，龟甲冬青 *Ilex crenata* ‘Convexa’ 和无刺枸骨 *Iles cornuta* var. *fortunei*，树龄 8~10 a，株高 0.8 m，健康、无病虫害植株，当年生枝条上的叶片为实验材料。

1.2 挥发物成分的收集与鉴定

挥发物成分收集采用活体植物动态顶空套袋法^[5]。2010 年 7 月，选择晴朗无风的天气，利用 QT-1 型大气采样仪(北京市劳动保护科学研究所科技发展公司)，对植株向阳部位的枝条进行 VOCs 采集，采气袋容积为 0.1 m³，采气时间 30 min，流量 0.1 m³·min⁻¹。重复 3 次。

VOCs 组分采用 TDS-GC-MS 进行分析。TDS (TDS 3 型, Gerstel) 工作条件：系统载气压力 20 kPa，进样口温度 250 °C，热脱附温度 250 °C，冷阱温度 -100 °C(保持 3 min)，冷阱进样时温度骤然升到 260 °C。GC(7890A 型, Agilent) 工作条件：色谱柱为 HP-5MS 柱(30 m × 0.25 mm × 0.25 μm)，程序升温：初始温度 40 °C，保持 3 min 后以 10 °C·min⁻¹ 的速度升至 250 °C，保持 3 min 后升温至 270 °C，保持 5 min。MS(5975C 型, Agilent) 工作条件：EI 源，离子能量为 70 eV，离子源温度 230 °C，四级杆温度 150 °C，接口温度 280 °C，质谱扫描质量范围 28~450。

1.3 数据分析

采用气质联用仪计算机的 NIST 2008 谱图库兼顾色谱保留时间，结合手工检索定性，采用面积归一法计算其组分的相对含量。数据计算与绘制采用 Excel 2003 软件进行。

2 结果与分析

2.1 绿篱植物叶片释放 VOCs 成分的种类

5 种绿篱植物叶片释放的 VOCs 通过 TDS-GC-MS 分析(图 1)共鉴定出 60 种化合物(表 1)，其中萜类 31 种，醇类 8 种，酯类 3 种，醛类 6 种，酮类 4 种，烃类 5 种，酚类 1 种，含氮化合物 1 种。瓜子黄

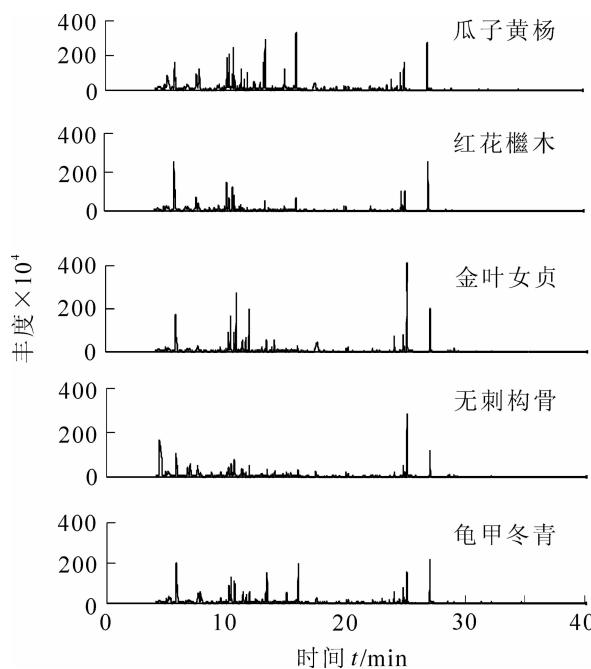


图 1 5 种绿篱植物 VOCs 总离子流图

Figure 1 TIC of VOCs from 5 hedgerow plants

表1 5种绿篱植物 VOCs 的成分及峰面积
Table 1 Component and area of the VOCs from 5 hedgerow plants

保留时间/min	化合物名称	分子式	峰面积/ 10^5				
			瓜子黄杨	红花檵木	金叶女贞	无刺枸骨	龟甲冬青
4.94	2-辛烯 2-octene	C ₈ H ₁₆	11.1	0.78	1.05	9.39	2.23
5.12	辛烷 octane	C ₈ H ₁₈	—	1.38	—	4.32	3.49
6.19	糠醛 furfural	C ₅ H ₄ O ₂	—	1.74	1.33	—	2.99
7.97	庚醛 heptanal	C ₇ H ₁₄ O	—	—	1.10	—	—
8.73	α -蒎烯 α -Pinene	C ₁₀ H ₁₆	1.07	0.59	1.89	0.86	0.57
8.78	β -蒎烯 β -Pinene	C ₁₀ H ₁₆	6.80	—	18.70	3.26	—
8.95	5-甲基-1-己醇 5-methyl-1-hexanol	C ₇ H ₁₆ O	—	0.68	—	—	—
9.14	月桂烯 myrcene	C ₁₀ H ₁₆	—	0.53	0.53	11.10	—
8.61	水芹烯 phellandrene	C ₁₀ H ₁₆	—	3.33	1.62	6.89	—
9.17	二戊烯 dipentene	C ₁₀ H ₁₆	4.28	0.47	—	3.43	3.13
9.55	苯甲醛 benzaldehyde	C ₇ H ₆ O	6.65	5.45	4.82	1.21	2.48
9.90	3-蒈烯 3-carene	C ₁₀ H ₁₆	3.88	0.59	1.61	11.00	—
10.15	甲苯基乙烯 methylstyrene	C ₉ H ₁₀	1.93	—	1.50	—	—
10.26	6-甲基-5-庚烯-2-酮 6-methyl-5-heptene-2-one	C ₈ H ₁₄ O	—	—	1.83	9.35	0.38
10.41	癸烷 decane	C ₁₀ H ₂₂	—	—	—	0.84	—
10.59	乙酸-3-己烯酯 3-hexen-1-ol, acetate	C ₈ H ₁₄ O ₂	41.70	22.20	9.48	1.80	—
10.90	二氢月桂烯醇 dihydromyrcenol	C ₁₀ H ₂₀ O	—	1.19	1.19	—	0.71
11.03	伞花烃 cymene	C ₁₀ H ₁₄	—	3.24	—	5.17	1.02
11.17	蒈烯 limonene	C ₁₀ H ₁₆	5.21	2.32	1.41	10.0	—
11.27	桉树脑 cineole	C ₁₀ H ₁₈ O	—	2.50	—	—	—
11.38	松油烯 terpinene	C ₁₀ H ₁₆	2.01	4.19	—	0.89	—
11.49	芳樟醇 linalool	C ₁₀ H ₁₈ O	30.30	—	—	0.79	—
11.85	2-乙基己醇 ethylhexanol	C ₈ H ₁₈ O	1.67	4.40	1.90	2.40	1.77
11.97	2-乙基-己酸甲酯 methyl, 2-ethylhexanoate	C ₉ H ₁₈ O ₂	0.88	—	—	—	—
12.06	柠檬醛 citral	C ₁₀ H ₁₆ O	—	—	—	0.67	—
12.21	香芹醇 pinocarveol	C ₁₀ H ₁₆ O	1.21	0.66	0.37	—	0.69
12.45	乙酰苯 acetophenone	C ₈ H ₈ O	1.67	2.51	1.57	0.67	1.00
12.46	壬醛 nonanal	C ₉ H ₁₈ O	7.18	2.72	3.06	1.43	10.70
12.47	2-壬烯醇 2-nonen-1-ol	C ₉ H ₁₈ O	—	—	—	11.40	1.48
12.99	对甲基苯乙烯 p-methylstyrene	C ₁₀ H ₁₂	—	—	2.96	3.91	2.79
13.08	香茅醛 citronellal	C ₁₀ H ₁₈ O	0.85	0.62	0.68	—	—
13.34	香叶醇 geraniol	C ₁₀ H ₁₈ O	0.74	—	—	—	—
13.52	侧柏酮 chrysanthone	C ₁₀ H ₁₆ O	1.14	—	—	0.70	—
13.86	马鞭烯醇 berbenol	C ₁₀ H ₁₆ O	2.31	—	—	0.91	2.58
14.47	樟脑 camphene	C ₁₀ H ₁₇ O	0.69	0.95	0.82	1.40	1.05
15.04	十二醛 dodecanal	C ₁₂ H ₂₄ O	—	—	0.69	—	—
15.14	薄荷醇 menthol	C ₁₀ H ₂₀ O	—	—	1.89	3.92	—

表1(续)

保留时间/min	化合物名称	分子式	峰面积/10 ⁵				
			瓜子黄杨	红花檵木	金叶女贞	无刺枸骨	龟甲冬青
15.30	4-异丙基-1,3-环己二酮 4-Isopropyl-1,3-cyclohexanedione	C ₉ H ₁₄ O ₂	—	2.52	0.39	—	0.54
15.70	水杨酸甲酯 methyl salicylate	C ₈ H ₈ O ₃	—	—	—	1.40	3.32
15.73	3,7-二甲基-1-辛醇 3,7-dimethyl-1-octanol	C ₁₀ H ₂₀ O	3.07	3.45	2.48	—	0.52
15.83	2-己基-1-辛醇 2-hexyl-1-octanol	C ₁₄ H ₃₀ O	1.39	0.75	—	—	—
15.88	1-癸醇 1-decanol	C ₁₀ H ₂₂ O	—	3.45	1.16	—	—
16.00	癸醛 decanal	C ₁₀ H ₂₀ O	5.19	1.98	2.74	14.60	17.10
16.72	3,5-二甲基环己醇 3,5-dimethyl-cyclohexanol	C ₈ H ₁₆ O	—	1.05	—	—	—
16.83	反-2-癸烯醇 trans-2-decenol	C ₁₀ H ₂₀ O	—	—	2.35	4.25	—
17.52	己内酰胺 caprolactam	C ₆ H ₁₁ NO	0.86	—	—	0.76	5.39
18.94	苯丙环庚三烯 benzocycloheptatriene	C ₁₁ H ₁₀	0.77	0.50	0.66	0.95	0.74
21.43	长叶环烯 longicyclene	C ₁₅ H ₂₄	—	1.39	1.02	—	—
22.43	长叶烯 longifolene	C ₁₅ H ₂₄	0.80	1.58	1.27	1.29	0.85
21.45	依兰烯 ylangene	C ₁₅ H ₂₄	—	—	—	1.02	—
21.59	可巴烯 copaene	C ₁₅ H ₂₄	—	—	—	1.52	—
22.06	榄香烯 elemen	C ₁₅ H ₂₄	0.88	—	—	—	0.70
22.62	雪松烯 cedrene	C ₁₅ H ₂₄	0.69	1.52	1.27	0.72	1.03
22.82	石竹烯 caryophyllene	C ₁₅ H ₂₄	2.58	—	8.16	1.17	1.12
23.64	香叶基丙酮 dihydropseudoionone	C ₁₃ H ₂₂ O	1.25	—	—	1.62	1.96
24.52	桉叶烯 eudesmene	C ₁₅ H ₂₄	—	0.91	—	—	0.44
24.73	芹子烯 selinene	C ₁₅ H ₂₄	—	—	—	1.02	—
25.10	2,4-二叔丁基苯酚 2,4-dimtertiary-butyl-phenol	C ₁₄ H ₂₂ O	0.83	—	0.40	—	—
25.37	菖蒲烯 calamene	C ₁₅ H ₂₄	0.92	—	—	0.97	—
27.15	雪松醇 cedrol	C ₁₅ H ₂₆ O	1.13	—	—	—	—

说明：“—”表示未检出。

杨和红花檵木 VOCs 鉴定出 34 种化合物，金叶女贞和龟甲冬青鉴定出 32 种，无刺枸骨 39 种。

2.2 绿篱植物叶片释放 VOCs 组成成分及相对含量差异性特征

5 种绿篱植物叶片释放 VOCs 组成成分及相对含量具有明显的差异(图 2)。瓜子黄杨叶片释放的 VOCs 中，含有萜类 19 种(相对含量为 44.10%)，醇类 3 种(4.00%)，酯类 2 种(27.60%)，醛类 3 种(12.40%)，酮类 2 种(1.90%)，烃类 3 种(8.90%)，酚类 1 种(0.50%)和含氮物质 1 种(0.60%)。其中萜类化合物主要有芳樟醇(19.70%)，β-蒎烯(4.42%)，蒈烯(3.39%)；醛类化合物主要是壬醛(4.66%)，苯甲醛(4.32%)；酯类化合物主要是乙酸-3-己稀酯(27.07%)。

红花檵木释放的 VOCs 中，含有萜类 17 种(37.60%)，醇类 6 种(12.10%)，酯类 2 种(26.10%)，醛类 4 种(13.90%)，酮类 2 种(5.90%)和烃类 3 种(3.10%)。其中萜类化

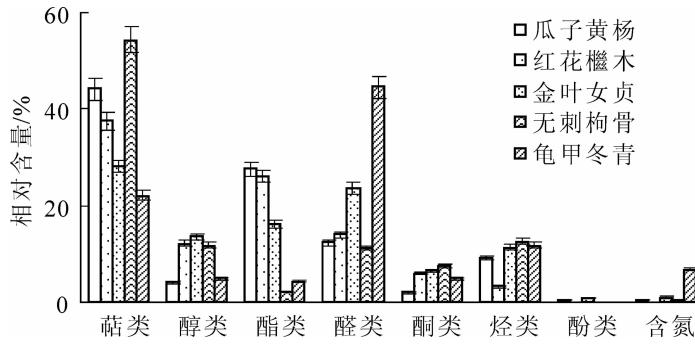


图 2 5 种绿篱植物挥发物种类及含量比较

Figure 2 Comparison of 5 hedgerow plants in VOCs and relative contents

合物主要有 α -蒎烯(6.96%)，松油烯(4.95%)，伞花烃(3.81%)；醛类化合物主要有苯甲醛(6.42%)，壬醛(3.20%)，癸醛(2.32%)；酯类化合物主要是乙酸-3-己稀酯(26.10%)；醇类化合物主要有 3,7-二甲基-1-辛醇(4.06%)，3,5-二甲基环己醇(4.06%)。金叶女贞释放的 VOCs 中，含有萜类 14 种(28.10%)，醇类 4 种(13.50%)，酯类 1 种(16.30%)，醛类 5 种(23.60%)，酮类 3 种(8.50%)，烃类 4 种(11.40%)和酚类 1 种(0.70%)。其中萜类化合物主要有 α -蒎烯(3.24%)，薄荷醇(3.23%)，莰稀(2.79%)；醛类化合物主要有苯甲醛(8.27%)，壬醛(5.25%)，癸醛(4.70%)；酯类化合物主要是乙酸-3-己稀酯(16.25%)；醇类化合物主要有 3,7-二甲基-1-辛醇(4.26%)、3,5-二甲基环己醇(4.03%)。无刺枸骨释放的 VOCs 中，含有萜类 22 种(54.40%)，醇类 3 种(11.70%)，酯类 2 种(2.10%)，醛类 3 种(11.20%)，酮类 3 种(7.60%)，烃类 5 种(12.60%)，含氮物质 1 种(0.50%)。其中萜类化合物主要有 β -蒎烯(12.14%)、环葑烯(7.22%)、3-蒈烯(7.12%)；醛类化合物主要是癸醛(9.49%)；醇类化合物主要是 2-壬稀醇(7.37%)。龟甲冬青释放的 VOCs 中，含有萜类 15 种(21.00%)，醇类 3 种(4.80%)，酯类 1 种(4.20%)，醛类 4 种(44.50%)，酮类 4 种(4.90%)，烃类 4 种(11.70%)，含氮物质 1 种(6.80%)。其中萜类化合物主要有 β -蒎烯(4.13%)、马鞭烯醇(3.26%)，罗勒烯(3.13%)；醛类化合物主要有癸醛(21.58%)、壬醛(13.58%)、苯甲醛(5.60%)。

3 讨论

在自然界中，植物释放的 VOCs 大约有 10 000 种^[6]，主要包括异戊二烯、萜类、烷烃类、烯烃类、醇类、酯类、碳酰类和酸类^[7]。不同类型植物所释放的 VOCs 存在着很大的差异，其中针叶植物释放的 VOCs 主要以单萜化合物为主，而阔叶植物的 VOCs 种类较为复杂^[8-9]。周帅等^[10]对樟树 *Cinnamomum camphora* 花挥发物日动态研究发现其释放的 VOCs 主要是萜类化合物。马昆仑等^[11]研究发现：大叶黄杨 *Buxus megistophylla* 释放的 VOCs 主要以萜类、醛类和酮类化合物为主。本研究对 5 种绿篱阔叶植物研究表明，叶片释放的 VOCs 主要是萜类化合物，其次是酯类和醛类化合物，醇类化合物较少，这与前人的工作存在着一定的差异。

徐莺等^[12]对萎蒿 *Artemisia selengensis* 的香气成分进行了分析，发现乙酸-3-己烯酯具有强烈的青草气味，壬醛具有玫瑰香气，癸醛具有类似柑橘的甜香。瓜子黄杨、红花檵木和金叶女贞所释放的乙酸-3-己烯酯最高，它可能是这 3 种植物的特征香气成分。在龟甲冬青中，壬醛和癸醛最高，所以推测：龟甲冬青除了可以在园林绿化中应用之外，还可以用于香精的提取和配制。

植物释放的 VOCs 对人体生理和心理都具有一定的影响^[13]。茶树 *Camellia sinensis* 释放的蒈稀、月桂烯、水芹烯等可以调节人的神经系统，对大脑起到镇静的作用^[14]；薰衣草 *Lavandula pedunculata* 释放的芳樟醇可以使人们紧张的情绪得到缓解^[15]；罗勒属 *Ocimum* 植物释放的罗勒烯等化合物可以促进心血管系统的循环，降低心血管疾病的发生^[16]。瓜子黄杨和红花檵木释放的 VOCs 中含有蒈稀，红花檵木、金叶女贞和无刺枸骨中含有水芹烯，瓜子黄杨中含有芳樟醇，这些化合物对中枢神经系统具有刺激作用，能缓解人精神疲惫，提神醒脑，而且其自然清新的香味能使紧张的神经得到缓解，因此建议在绿篱配置中广泛应用。但是值得注意的是， β -蒎烯对皮肤和呼吸道具有刺激作用，3-蒈烯会刺激皮肤和鼻黏膜，长期接触可以导致过敏性皮炎乃至慢性肺功能损伤，无刺枸骨中 β -蒎烯和 3-蒈烯含量很高，所以，无刺枸骨作为绿篱植物，应远离人群密集的区域，如居住区、公园等，可以适当应用于道路绿化。植物释放的柠檬醛、苯甲醛、芳樟醇和伞花烃等物质对环境中的微生物具有抑制作用^[17]。瓜子黄杨释放的 VOCs 中含有芳樟醇，红花檵木中含有伞花烃等，这 2 种绿篱植物应多用于道路绿化，城市道路周围的环境质量一般较差，植物所产生的 VOCs 可以抑制空气中的细菌，对改善道路环境可以起到一定的作用。

参考文献：

- [1] THEIS N, LERDAU M. The evolution of function in plant secondary metabolites [J]. *Int J Plant Sci*, 2003, 164(3): 93–102.
- [2] 王永峰, 李庆军. 陆地生态系统植物挥发性有机化合物的排放及其生态学功能研究进展[J]. 植物生态学报, 2005, 29(3): 487–496.

- WANG Yongfeng, LI Qingjun. BVOCs emitted from plants of terrestrial ecosystems and their ecological functions [J]. *Acta Phytoecol Sin*, 2005, **29** (3): 487 – 496.
- [3] GAO Yan, JIN Youju, LI Haidong, et al. Volatile organic compounds and their roles in bacteriostasis in five conifer species [J]. *J Integr Plant Biol*, 2005, **47** (4): 499 – 507.
- [4] 高岩, 金幼菊, 邹祥旺, 等. 珍珠梅花挥发物对小鼠旷场行为及学习记忆能力的影响[J]. 北京林业大学学报, 2005, **25** (2): 54 – 59.
- GAO Yan, JIN Youju, ZOU Xiangwang, et al. Influence of volatile organic compounds from flower of *Sorbaria kirilowii* on open field behavior and abilities of learning and memory of rats [J]. *J Beijing For Univ*, 2005, **25** (2): 54 – 59.
- [5] 陈华君, 洪蓉, 金幼菊, 等. 近自然状态下植株挥发物的采集和热脱附-GC-MS 分析[J]. 分析测试学报, 2003, **22** (增刊1): 226 – 228.
- CHEN Huajun, HONG Rong, JIN Youju, et al. Sampling and analysis of plant volatiles in natural status by TCT-GC-MS [J]. *J Instrum Anal*, 2003, **22** (suppl 1): 226 – 228.
- [6] 何念鹏, 韩兴国, 潘庆民. 植物源 VOCs 及其对陆地生态系统碳循环的贡献[J]. 生态学报, 2005, **25** (8): 2041 – 2048.
- HE Nianpeng, HAN Xingguo, PAN Qingmin. Volatile organic compounds emitted from vegetation and their contribution to the terrestrial carbon cycle [J]. *Acta Ecol Sin*, 2005, **25** (8): 2041 – 2048.
- [7] 邓晓军, 陈晓亚, 杜家纬. 植物挥发性物质及其代谢工程[J]. 植物生理与分子生物学学报, 2004, **30** (1): 11 – 18.
- DENG Xiaojun, CHEN Xiaoya, DU Jiawei. Plant volatiles and their metabolic engineering [J]. *J Plant Physiol Mol Biol*, 2004, **30** (1): 11 – 18.
- [8] PICHERSKY E, JONATHEN G. The formation and function of plant volatiles: perfumes for pollinator attraction and defense [J]. *Curr Opin Plant Biol*, 2002, **5** (3): 237 – 243.
- [9] DUAREVA N, PICHERSKY E. Biochemistry and molecular aspects of floral scent [J]. *Plant Physiol*, 2000, **122** (3): 627 – 634.
- [10] 周帅, 马楠, 林富平, 等. 樟树花挥发性有机化合物日动态变化分析[J]. 浙江农林大学学报, 2011, **28** (6): 986 – 991.
- ZHOU Shuai, MA Nan, LIN Fuping, et al. Diurnal variation of volatile organic compounds emitted from cinnamomum camphora flowers [J]. *J Zhejiang A & F Univ*, 2011, **28** (6): 986 – 991.
- [11] 马昆仑, 田媛, 王琦, 等. 大叶黄杨挥发性有机物日变化规律的实验观测[J]. 环境科学与技术, 2010, **33** (6): 40 – 43.
- MA Kunlun, TIAN Yan, WANG Qi, et al. Diurnal variation of VOCs of *Euonymus japonicus* Thunb. in Jiufeng area of Beijing [J]. *Environ Sci & Technol*, 2010, **33** (6): 40 – 43.
- [12] 徐莺, 倪光远, 陈清婵, 等. 气相色谱-嗅觉测量法鉴定萎蒿中的香气化合物[J]. 园艺学报, 2009, **36** (11): 1676 – 1680.
- XU Ying, NI Guangyuan, CHEN Qingchan, et al. Identification of the aroma compounds in seleng worm wood by gas chromatography-olfactometry [J]. *Acta Hortic Sin*, 2009, **36** (11): 1676 – 1680.
- [13] EDRIS A E. Pharmaceutical and therapeutic potentials of essential oils and their individual volatile constituents: a review [J]. *Phytother Res*, 2007, **21** (4): 308 – 323.
- [14] HOSSAIN S, AOSHIMA H, KODA H, et al. Fragrances in oolong tea that enhance the response of GABA receptors [J]. *Biosci Biotechnol Biochem*, 2004, **68** (9): 1842 – 1848.
- [15] YAMA D K, MIMAKI Y, SASHIDA Y. Effects of inhaling the vapor of *Lavandula burnatii* super-derived essential oil and linalool on plasma adrenocorticotropic hormone (ACTH), catecholamine and gonadotropin levels in experimental menopausal female rats [J]. *Biol & Pharm Bull*, 2005, **28** (2): 378 – 379.
- [16] LAHLOU S, INTERAMINENSE F, LEAL-CARDOSO J, et al. Cardiovascular effects of the essential oil of *Ocimum gratissimum* leaves in rats: role of the autonomic nervous system [J]. *Clin Exp Pharm Physiol*, 2004, **31** (4): 219 – 225.
- [17] ALVAREZ P P, BISHOP C D, PASCUAL M J. Antifungal activity of the essential oil of flowerheads of garland chrysanthemum (*Chrysanthemum coronarium*) against agricultural pathogens [J]. *Phytochemistry*, 2001, **57** (1): 99 – 102.