浙 江 农 林 大 学 学 报，2011，**28**(6)：986－991
Journal of Zhejiang A & F University

樟树花挥发性有机化合物日动态变化分析

周 帅[1]，马 楠[1]，林富平[1]，张汝民[2]，高 岩[2]

(1. 浙江农林大学 园林学院，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：为探讨植物挥发物的日动态变化，以樟树 *Cinnamomum camphora* 花为实验材料，采用动态顶空气体循环采集法和热脱附/气相色谱/质谱联用技术(TDS-GC-MS)，对 5 个时间点(7:30，10:00，12:30，15:00，17:30)樟树花挥发物进行收集鉴定。结果表明：樟树花释放挥发物中共检测出 51 种化合物，主要成分为萜烯类化合物。15:00 时樟树花挥发物释放量及种类最多（40 种，8 049.5 峰面积单位），主要有芳樟醇（相对含量 37.0%），环氧芳樟醇(12.7%)，(Z)-罗勒烯(7.2%)和紫苏烯(6.2%)；樟树花挥发物释放量及种类显著增加与受到强光和高温胁迫有密切联系。图 3 表 1 参 15

关键词：植物学；樟树；挥发性有机化合物；日动态；TDS-GC-MS

中图分类号：S718.3；Q946　　**文献标志码**：A　　**文章编号**：2095-0756(2011)06-0986-06

Diurnal variation of volatile organic compounds emitted from *Cinnamomum camphora* flowers

ZHOU Shuai[1]，MA Nan[1]，LIN Fu-ping[1]，ZHANG Ru-min[2]，GAO Yan[2]

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

Abstract：In order to make clear the diurnal variation of plant volatiles，we collected the VOCs from *Cinnamomum camphora* flowers using the dynamic headspace air-circulation method at 7:30，10:00，12:30，15:00 and 17:30，identified the main compounds of VOCs with thermal desorption system/gas chromatography/mass spectrum (TDS-GC-MS). Results showed that *C. camphora* flowers emitted 51 types of VOCs，mainly as terpenoids. At 15:00，species and emission of the VOCs were highest (40 species and 8 049.5 peak area units)，mainly as linalool (relative content 37.0%)，epoxylinalol (12.7%)，(Z)-ocimene (7.2%) and perillene(6.2%). Thus，increases in species and emissions of the VOCs from *C. camphora* flowers at 15:00 are both visibly increased revealed a possible affinity have strong relevance for strong light and high temperature stress. [Ch，3 fig. 1 tab. 15 ref.]

Key words：botany；*Cinnamomum camphor*；volatile organic compounds；diurnal variation；TDS-GC-MS

植物挥发物是植物在生长发育过程中释放的分子量小于 250，沸点低于 340 ℃的次生代谢物，主要包括萜类、苯基/苯丙烷类和脂肪酸衍生物[1-2]。植物挥发物不仅能改变周围空气组成，而且在增强植物抗性[3]，促进植物间信息交流[4-5]和调节植物-昆虫-天敌三级营养关系[6]等方面也起着重要作用。目前，动态顶空气体循环采集法和热脱附-气相色谱-质谱联用技术（thermal desorption system-gas chromatography-mass spectrum；TDS-GC-MS)在活体植物挥发物的研究中已有很多报道，冷蒿 *Artemisia frigida* 挥发物的

收稿日期：2011-01-11；修回日期：2011-04-26
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)
作者简介：周帅，从事园林植物研究。E-mail：zhoushuai87@gmail.com。通信作者：高岩，教授，博士，从事植物发育生理研究。E-mail：gaoyan1960@sohu.com

主要成分是桉树脑、(E)-乙酸-3-已烯酯和 α-萜品醇[3]；长白落叶松 *Larix olgensis* 挥发物的主要成分是莰烯、β-月桂烯和 α-蒎烯[7]。樟树 *Cinnamomum camphora* 属常绿乔木，广泛分布于长江以南地区，是集珍贵用材、特用经济和城市园林绿化于一体的优良树种。目前，国内对樟树挥发油的研究较多[8-9]，通过应用蒸馏萃取法(SDE)和气相色谱-质谱联用仪(GC-MS)，已经鉴定出樟树叶片挥发油的主要成分是樟脑、β-芳樟醇、桉油醇和 α-松油醇[9]，同时还发现樟树精油能兴奋中枢神经和改善空气质量[10]。但现有文献报道多以樟树叶为对象，缺少对樟树花挥发物的研究。本实验采用动态顶空气体循环采集法与 TDS-GC-MS 联用技术，对樟树花挥发物进行采集与分析，探讨樟树花挥发物的组分、含量、特异性以及日动态变化，为进一步研究植物挥发物对环境空气质量的改变和园林绿化树种的合理科学配置提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　试验材料

测定树木选取生长在浙江农林大学东湖校区的樟树，采集健康无损伤，树龄 20 a，处于盛花期的樟树花挥发物。

1.2　挥发物采集方法

于 2010 年 5 月中旬选择晴朗天气，采用动态顶空气体循环法 [10]采集 7:30，10:00，12:30，15:00 和 17:30 的盛花期樟树花挥发物。采样部位为树冠阳面中部盛花期花枝(各个时间点重复采样 3 次)，用可塑性强、自身挥发物少的塑料袋套住实验材料，将袋内空气抽成瞬时真空，随即利用大气采样仪泵入经活性炭过滤后的空气，密闭系统，循环充气稳定 30 min 后开始采样，采样时间 25 min。

1.3　挥发物分析方法

樟树花挥发物成分分析采用 TDS-GC-MS 联用技术。仪器及参数设置条件参考文献[10]。TDS(德国 GERSTEL 公司生产的 TD3 型)工作条件：系统载气压力为 20 kPa；进样口温度 250 ℃；脱附温度 250 ℃(10 min)；冷阱温度−100 ℃(保持 3 min)；冷阱进样时温度骤然升温至 260 ℃。GC(7890A，Agilent)工作条件：色谱柱为 30 m × 250 μm × 0.25 μm 的 HP-5MS 柱；程序升温：初始温度为 40 ℃，保持 4 min 后以 6 $℃\cdot min^{-1}$ 的速率升至 250 ℃，保持 3 min 后以 10 $℃\cdot min^{-1}$ 的速率升至 270 ℃，保持 5 min。MS(5975C，Agilent)工作条件：电离方式为 EI，电子能量为 70 eV，质量范围 28~450，接口温度 280 ℃，离子源温度为 230 ℃，四级杆温度 150 ℃。

1.4　数据处理

采用 NIST 2008 谱库兼顾色谱保留时间，同时结合手工检索进行挥发物成分的定性；采用总离子流色谱图中各峰峰面积定量分析比较樟树花挥发物各成分。

2　结果与分析

2.1　樟树花挥发物成分分析

按照上述实验条件，得到 5 个时段樟树花挥发物成分的总离子流图(图 1)。全天共确认 6 类 51 种化合物(表 1)。其中在 7:30，10:00，12:30，15:00 和 17:30 分别检出 32，30，32，40 和 30 种化合物，各时段释放量分别为 1 463.6(峰面积)，1 624.4，973.5，9 321.4 和 6 883.1。以挥发物种类及释放量最多的时刻 15:00 为例，包括 24 种萜烯类化合物，总相对含量为 86.4%，主要成分是芳樟醇(相对含量 37.0%)、环氧芳樟醇(12.7%)，(Z)-罗勒烯(7.5%)，紫苏烯(6.2%)，D-柠檬烯(3.2%) 等；7 种醛类化合物，总相对含量为 5.8%，主要成分是壬醛(2.5%)，辛醛(1.0%) 等；4 种烷烃类化合物，总相对含量为 1.4%，主要成分是 1-壬烯(0.7%)，(E)，(E)-2,6-二甲基-1,3,5,7-辛四烯(0.4%)等；2 种酯类化合物，总相对含量为 3.8%，主要成分是(Z)-乙酸-3-己烯酯(3.5%)和水杨酸甲酯(0.4%)。

2.2　樟树花挥发物不同化合物类型日变化动态

2.2.1　萜烯类化合物分析　樟树花挥发物中含有大量萜烯类化合物，其释放量上午较低，午后明显升高。7:30 时总释放量为 1 302.7，10:00 增加了 13.9%；12:30 释放量为全天最低，仅是 7:30 的70.2%；15:00 挥发物释放量迅速回升至 8 049.5，释放量是 7:30 的 6 倍；17:30 下降为 7:30 释放量的 5 倍(图 2)。樟树花挥发物中萜烯类化合物种类最多，在 7:30 有 25 种，12:30 减少到 22 种，15:00 时为 24 种，到

表 1 樟树花挥发物日动态变化

Table 1 Diurnal variation of VOCs from the flowers of *Cinnamomum camphora*

序号	保留时间/min	挥发性有机化合物	化学式	峰面积 $A \times 10^5$				
				7：30	10：00	12:30	15:00	17:30
1	4.96	1-辛烯 1-octene	C_8H_{16}				4.50	
2	5.21	己醛 hexanal	$C_6H_{12}O$	9.41	10.61	11.65		179.13
3	6.62	(E)-2-己烯醛 2-hexenal，(E)-	$C_6H_{10}O$			5.15	4.97	
4	6.77	3-戊烯-1-醇 3-hexen-1-ol	$C_6H_{12}O$			4.13	55.35	3.42
5	7.59	1-壬烯 1-nonene	C_9H_{18}	31.34			64.26	3.18
6	7.82	壬烷 nonane	C_9H_{20}				24.83	
7	7.89	庚醛 heptanal	$C_7H_{14}O$				72.75	12.73
8	8.58	α-侧柏烯 α-thujene	$C_{10}H_{16}$	12.07	75.28	8.70	39.27	
9	8.78	α-蒎烯 α-pinene	$C_{10}H_{16}$	225.73	242.50	29.91	113.66	147.34
10	9.16	莰烯 camphene	$C_{10}H_{16}$	115.18	122.03	3.20		
11	9.54	苯甲醛 benzaldehyde	C_7H_6O			4.43	50.91	
12	9.92	香桧烯 sabinene	$C_{10}H_{16}$	61.08	45.90			
13	9.98	β-蒎烯 β-pinene	$C_{10}H_{16}$	73.68	86.85	27.53	10.41	142.57
14	10.23	苯酚 phenol	C_6H_6O	14.81	14.47	9.78	137.09	49.13
15	10.28	6-甲基-5-庚烯-2-酮 5-hepten-2-one，6-methyl-	$C_8H_{14}O$			5.27	44.30	49.56
16	10.41	月桂烯 myraene	$C_{10}H_{16}$	47.02	46.99	13.01	189.39	149.97
17	10.70	辛醛 octanal	$C_8H_{16}O$			6.05	92.94	63.32
18	10.73	水芹烯 phellandrene	$C_{10}H_{16}$	9.07	9.39	61.68	190.48	105.09
19	10.86	(Z)-乙酸-3-己烯酯 3–hexen-1-ol，acetate，(Z)-	$C_8H_{14}O_2$	31.92	41.71	17.77	323.30	65.12
20	11.07	α-萜品烯 α-terpinene	$C_{10}H_{16}$	56.51	58.36	6.84	57.16	26.83
21	11.29	伞花烃 ρ-cymene	$C_{10}H_{14}$	11.85	76.94	7.54	47.35	27.89
22	11.40	D-柠檬烯 D-limonene	$C_{10}H_{16}$	48.65	40.35	54.34	297.69	293.59
23	11.47	桉树脑 cineole	$C_{10}H_{18}O$	16.62	18.48	19.45	93.33	75.17
24	11.67	(E)-罗勒烯 (E)-ocimene	$C_{10}H_{16}$	28.16	30.04	28.26	264.92	248.04
25	11.78	苯乙醛 benzeneacetaldehyde	C_8H_8O				22.03	
26	11.96	(Z)-罗勒烯 (Z)-ocimene	$C_{10}H_{16}$	95.78	120.96	89.32	699.62	711.09
27	12.21	β-萜品烯 β-terpinene	$C_{10}H_{16}$	65.40	63.37	7.07	41.42	
28	12.57	环氧芳樟醇 epoxylinalol	$C_{10}H_{18}O_2$		4.27	84.75	1 185.35	740.20
29	12.99	萜品油烯 terpinolene	$C_{10}H_{16}$	8.82	8.50			
30	13.31	芳樟醇 linalool	$C_{10}H_{18}O$	53.09	70.90	247.98	3 455.15	2 381.11
31	13.40	壬醛 nonanal	$C_9H_{18}O$	3.02	44.78		234.55	72.43
32	13.66	苯乙醇 phenylethyl alcohol	$C_8H_{10}O$	21.83				
33	13.71	紫苏烯 perillene	$C_{11}H_{18}$	35.97	56.56	49.21	577.78	339.89
34	13.82	(E)，(E)-2，6-二甲基-1，3，5，7-辛四烯 2，6-dimethyl-1，3，5，7-octatetraene，E，E-	$C_{10}H_{14}$				40.27	3.45
35	14.06	香芹醇 carveol	$C_{10}H_{16}O$		3.80			
36	14.46	樟脑 camphor	$C_{10}H_{16}O$	111.31	129.31			

表 1(续)

序号	保留时间/min	挥发性有机化合物	化学式	峰面积 $A\times10^5$				
				7:30	10:00	12:30	15:00	17:30
37	15.69	水杨酸甲酯 methyl salicylate	$C_8H_8O_3$			3.33	36.77	
38	15.79	龙蒿脑 esdragol	$C_{10}H_{12}O$				38.48	
39	16.00	癸醛 decanal	$C_{10}H_{20}O$	32.31	40.08	7.58	68.03	64.81
40	16.72	乙基芳樟醇 ethyl linalool	$C_{12}H_{22}O$				65.44	
41	17.53	胡椒酚 chavicol	$C_9H_{10}O$				57.70	
42	17.74	8-羟基芳樟醇 8-hydroxylinalool	$C_{10}H_{18}O_2$				4.34	
43	22.10	榄香烯 α-elemene	$C_{15}H_{24}$	5.03		12.61		
44	22.90	α-石竹烯 α-caryophyllene	$C_{15}H_{24}$	114.10	104.65	77.49	261.90	672.28
45	23.78	β-石竹烯 β-caryophyllene	$C_{15}H_{24}$	25.24	23.38	11.73	48.13	94.22
46	24.49	α-荜澄茄油烯 α-cubebene	$C_{15}H_{24}$	10.85	9.41	21.63	60.55	109.84
47	24.62	α-桉叶烯 α-eudesmene	$C_{15}H_{24}$	19.53	19.44			
48	24.85	α-蛇床烯 α-selinene	$C_{15}H_{24}$	16.93	15.70	41.80	192.19	223.92
49	24.96	癸烷 pentadecane	$C_{15}H_{32}$	29.75				
50	26.32	α-古芸烯 α-gurjunene	$C_{15}H_{24}$					3.24
51	26.48	(E)-α-橙花叔醇 (E)-α-nerolidol	$C_{15}H_{26}O$			11.12	57.78	3.65

17:30 只保留有 19 种(图 3)。在 15：00 主要萜烯类化合物芳樟醇、环氧芳樟醇、(Z)-罗勒烯和紫苏烯等的释放量较 7:30 时迅速增加，其中芳樟醇和(Z)-罗勒烯释放量分别增长 64 倍和 7 倍；环氧芳樟醇在 7:30 没有检测到；紫苏烯增长 15 倍。在 17:30 芳樟醇、环氧芳樟醇和紫苏烯分别较 15:00 下降 31.1%，37.6%和 41.2%，只有(Z)-罗勒烯较 15:30 增长 1.6%。

2.2.2　醛类化合物分析　醛类化合物释放量在午后明显增加。12:30 释放量与 7:30 相比下降 48.9%；15:00 释放量迅速增长，是 7:30 释放量的 15 倍；17:30 释放量再次下降为 7:30 释放量的 6 倍(图2)。醛类化合物在 7:30 只有 3 种，至 15:00 达到 7 种，之后在 17:30 减少为 5 种(图 3)。

樟树花挥发物中醛类化合物主要有己醛、(E)-2-己烯醛、庚醛、苯甲醛、辛醛、苯乙醛、壬醛和癸醛。除己醛，其他醛类在 15:00 时均能检测到，并且释放量都在 15：00 达到峰值。

2.2.3　烷烃类化合物分析　烷烃类化合物的释放高峰出现在 15:00。其释放量在 7:30 为 29.8；10:00 和 12:30 均未检测到；15:00 达到最大释放量 133.9，较 7:30 增长 4.5 倍；17:30 释放量迅速下降为 6.6，仅是 7:30 释放量的 22.1%(图 2)。烷烃类化合物在 7:30 有 1 种，15:00 为 4 种，17:30 减少到 2 种(图 3)。樟树花挥发物中烷烃类化合物主要包括 1-壬烯、(E)，(E)-2,6-二甲基-1,3,5,7-辛四烯、壬烷、1-辛烯和癸烷。癸烷只在 7:30

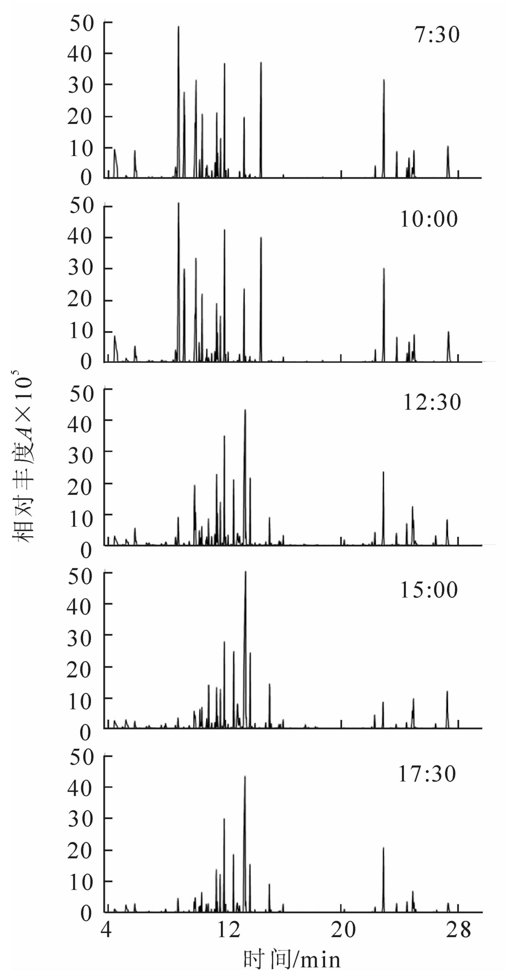

图 1　樟树花挥发物总离子流图

Figure 1　Total ion current (TIC) of volatile from *Cinnamomum camphora* flowers

检测到，壬烷只在 15:00 检测到。

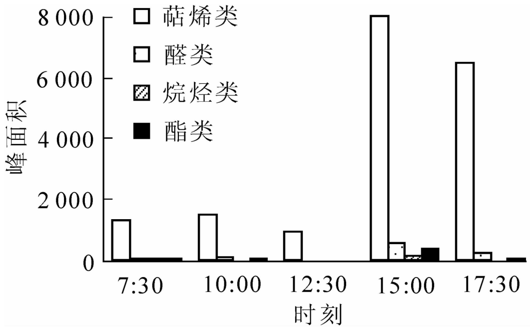

图 2 主要化合物类型释放量日动态变化

Figure 2 Emission diurnal variations of the VOCs of *Cinnamomum camphora* flowers

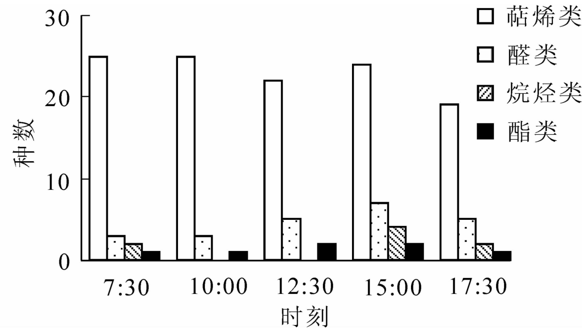

图 3 主要化合物类型数目日动态变化

Figure 3 Number diurnal variations of the VOCs of *Cinnamomum camphora* flowers

2.2.4 酯类化合物分析 酯类化合物全天释放量先升后降。7:30 的释放量仅为 31.9，15:00 达到最大值，较 7:30 增长 11 倍，17:30 释放量迅速下降，较 15:00 下降 81.9%(图 2)。全天酯类化合物种类变化不大，在 12:30 和 15:00 都检测到 3 种，其余时段为 2 种(图 3)。樟树花挥发物中酯类化合物主要包括(Z)-乙酸-3-己烯酯和水杨酸甲酯。其中(Z)-乙酸-3-己烯酯释放量最大值出现在 15:00；水杨酸甲酯只在 12:30 和 15:00 检测到，释放量从 3.3 上升到 36.8，

3 结论与讨论

从樟树花 5 个时段释放的挥发物中鉴定出 6 类 51 种化合物，包括萜烯类、醛类、烷烃类、酯类、醇类和酮类，其中萜烯类化合物释放量较大，通过与其他学者对樟树叶挥发物成分测定结果[9]比较可以确定芳樟醇、罗勒烯和石竹烯是樟树花的特征芳香物质。实验结果与樟树叶挥发物成分的一致之处是：都以萜烯类化合物为主，芳樟醇均为相对含量最高的化合物。樟树挥发物具有抑菌杀菌的作用，主要功效物质是芳樟醇。鉴于芳樟醇在樟树花挥发物中所占比重与叶片中的比重接近，因此，推测樟树花挥发物与叶片同样具有抑菌和杀菌的功效[8]。

植物受到胁迫时，其挥发物的种类及释放速率会发生变化，这些胁迫诱导物能参与调控植物生理代谢，并能将胁迫信息传递给相邻植株[11-13]。高温和强光胁迫能增加 α-蒎烯、莰烯、石竹烯的释放量[11-12]，还会诱导醛类挥发物大量释放[13]。试验中，醛类化合物在 15:00 达到全天最大释放量，种类比 7:30 增加 4 种，同时 α-蒎烯、莰烯、石竹烯的释放量在 15:00 时也达到最大值，说明 15:00 时樟树花挥发物种类及释放量的大幅增加很可能是由午后的高温和强光胁迫引起的。Schade 等[4]和 Cojocariu[5]曾提出温度胁迫可能诱导产生水杨酸和水杨酸甲酯等植物信号分子，这 2 种物质负责在植物间传递胁迫信息。本试验只在 12:30 和 15:00 检测到水杨酸甲酯，说明 15:00 释放高峰的出现与高温和强光胁迫有关。水杨酸甲酯释放量从 12:30 的 3.3 上升到 15:00 的 36.8，与当时温度和光照的变化趋势正相关，可能表示水杨酸甲酯不仅能在植物间传递胁迫信息，而且能通过改变释放量传递胁迫的程度。

樟树花挥发物 12:30 的释放量较前一时段减少 40.1%，较后一时段减少 89.6%，推测是樟树需要时间进行功能性调整以适应高温和强光胁迫，而调整期为维持体内水分代谢平衡，短时期内气孔导度会急速下降，从而阻碍挥发物释放。实验结果表明：樟树花挥发物 12:30 时较 10:00 新增 1 种化合物，而 15:30 则较 10:00 新增 9 种化合物，这些新增化合物大多属于疏水性化合物，根据 Singsaas 的假说，疏水性萜烯类化合物能与叶绿体中类囊体膜结合增强其稳定性，避免高温对类囊体膜造成伤害[14]。此外，新增化合物沸点普遍较低，因此，能及时汽化以带走多余热量，使植物免受高温损伤。如果上述假设成立，则可以确定 12:30 至 15:00 之间樟树确实对挥发物种类进行了调整，以增强自身抗热性。

现有研究表明：萜烯类化合物能增强空气清新感[8]，樟脑具有刺激性气味。试验中发现：樟树花挥发物上午具有类似樟树叶挥发油的刺激性气味，同期的试验结果显示：10:00 时其他萜烯类化合物释放量均下降，而樟脑所占比重上升；午后樟树花气味转为温和，此时其他萜烯类释放量大幅上升，樟脑几

乎检测不到，因此判断樟脑在挥发物中所占比重的变化导致樟树花特征香味改变。但需要指出，花朵的特征香味是很多挥发性分子组成的混合物[15]，樟树花香气特征改变的过程中也许还存在其他未知化合物的参与。

参考文献：

[1] DUDAREVA N. Biochemistry of plant volatiles [J]. *Plant Physiol*, 2004, **135**: 1993 – 2011.

[2] 高群英，高岩，张汝民，等. 3 种菊科植物香气成分的热脱附气质联用分析[J]. 浙江农林大学学报，2011，**28** (2)：326 – 332.
GAO Qunying, GAO Yan, ZHANG Ruming, *et al*. Aromatic composition in three plant species using TDS-GC/MS [J]. *J Zhejiang A & F Univ*, 2011, **28** (6): 326 – 332.

[3] 左照江，张汝民，王勇，等. 冷蒿挥发性有机化合物主要成分分析及其地上部分结构研究[J]. 植物生态学报，2010，**34** (4)：462 – 468.
ZUO Zhaojiang, ZHANG Rumin, WANG Yong, *et al*. Analysis of main volatile organic compounds and study of aboveground structures in *Artemisia frigida* [J]. *Chin J Plant Ecol*, 2010, **34** (4): 462 – 468.

[4] SCHADE G W, GOLDSTEIN A H. Fluxes of oxygenated volatile organic compounds from a ponderosa pine plantation [J]. *Geophys*, 2001, **106**: 3111 – 3124.

[5] COJOCARIU C. Correlation of short-chained carbonyls emitted from *Picea abies* with physiological and environmental parameters [J]. *New Phytol*, 2004, **162**: 717 – 727.

[6] 左照江，张汝民，王勇，等. 损伤冷蒿挥发性有机化合物(VOCs)成分分析及其对牧草根系生长发育的影响[J]. 生态学报，2010，**30** (19)：5131 – 5139.
ZUO Zhaojiang, ZHANG Rumin, WANG Yong, *et al*. The composition of volatile organic compounds (VOCs) emitted from damaged *Artemisia frigida* Willd. plants and their effects on root growth and development of pasture plants [J]. *Acta Ecol Sin*, 2010, **30** (19): 5131 – 5139.

[7] 孟昭军，严善春，徐伟，等. 长白落叶松 8 个家系挥发性化合物的比较分析[J]. 林业科学，2008，**44** (6)：91 – 96.
MENG Zhaojun, YAN Shanchun, XU Wei, *et al*. Comparative analysis of volatile profiles of eight families of *Larix olgensis* [J]. *Sci Silv Sin*, 2008, **44** (6): 91 – 96.

[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 – 32，37.
WANG Yanying, WANG Cheng, JIANG Jihong, *et al*. Effect of VOCs from branch and leaf of *Platycladus orientalis* and *Cinnamomum camphora* on human physiology [J]. *Urban Environ & Urban Ecol*, 2010, **23** (3): 30 – 32, 37.

[9] 刘亚，李茂昌，张承聪，等. 香樟树叶挥发油的化学成分研究[J]. 分析试验室，2008，**27** (10)：88 – 92.
LIU Ya, LI Maochang, ZHANG Chengcong, *et al*. Study on the chemical constituents of the volatile oil from *Cinamomum camphora* leaves [J]. *Chin J Anal Lab*, 2008, **27** (10): 88 – 92.

[10] GAO Y, JIN Y, LI H, *et al*. Volatile organic compounds and their roles in bacteriostasis in five conifer species [J]. *J Integrat Plant Biol*, 2005, **47** (4): 499 – 507.

[11] SHARKEY T D, LORETO F. Water stress, temperature, and light effects on the capacity for isoprene emission and photosynthesis of kudzu leaves [J]. *Oecologia*, 1993, **95**: 328 – 333

[12] HENRIK B J, CARL E O. Influence of climatic factors on emission of flower volatiles in situ [J]. *Planta*, 1994, **192** (3): 365 – 371.

[13] KANAKO S, TAKUYA S, MARI L. Plants utilize isoprene emission as a thermotolerance mechanism [J]. *Plant Cell Physiol*, 2007, **48** (9): 1254 – 1262.

[14] SINGSAAS L. Terpenes and the thermotolerance of photosynthesis [J]. *New Phytol*, 2000, **146**: 1 – 16.

[15] 缪旻珉，陈建春，张宗东. 花朵香味的生理、遗传及调控[J]. 分子植物育种, 2007, **5** (6)：67 – 74.
MIAO Minmin, CHEN Jianchun, ZHANG Zongdong. Physiology, genetics and manipulation of flower fragrance [J]. *Mol Plant Breed*, 2007, **5** (6): 67 – 74.