

空气清新剂中挥发性有机物的组成及其 对室内空气质量的潜在影响*

付晓辛 王新明** Francois Bernard

(中国科学院广州地球化学研究所有机地球化学国家重点实验室, 广州, 510640)

摘 要 研究调查了广州市各大型超市销售的 14 个品牌, 15 种不同香型, 共 26 个盒装空气清新剂中挥发性有机物(VOCs)的成分. 通过顶空 GC-MS 分析获得的结果可以看出各个空气清新剂的成分组成差别较大, 即使是相同香型的产品, 其中的化合物种类和百分比浓度都不尽相同. 定性出 94 种化合物, 包括烯烃 18 种, 醇类 15 种, 醛类 14 种, 酮类 4 种, 醚类 5 种, 酚类 1 种, 酯类 25 种及其它化合物 12 种, 其中萜类化合物约占总化合物数量的 40%. β -月桂烯、罗勒烯、 α -蒎烯、苯乙醇、乙酸苄酯、 β -蒎烯、 β -水芹烯、伞花烃、1-甲基-4-(1-甲基乙基)苯、里拉醇等化合物在各种清新剂中出现频率为 100%. 空气清新剂中萜类化合物与臭氧反应, 可生成二次有机气溶胶, 对室内空气质量造成影响.

关键词 空气清新剂, 挥发性有机物(VOCs), 萜类化合物, 二次有机气溶胶.

随着生活水平的提高, 人们在使用空气清新剂的同时, 也愈加重视它在室内环境空气中对人体健康带来的影响. Cooper 等^[1]在 20 世纪 90 年代分析的 31 种芳香日用品, 其中最常见 VOCs 成分是乙醇、 α -蒎烯、里那醇、 β -苯乙醇、苯甲醇、苯甲醛、 α -萜品醇、 β -香茅醇和 α -蒎烯. Rastogi 等^[2]分析的 59 种家用芳香消费品, 常见的 VOCs 成分是 α -蒎烯、里那醇、香茅醇、桉叶醇、香叶醇和 α -蒎烯. Kwon 等^[3]分析的 59 种家用用品中, 常见的 VOCs 成分是 α -蒎烯、乙醇、丙酮、 α -蒎烯、二甲苯和癸烷.

空气清新剂的使用能使室内空气中萜类化合物达到每立方米几十到几百微克甚至更高. 萜类化合物与室内空气中臭氧、羟基和氮氧化物进行反应, 造成室内空气污染^[4-5], 反应生成产物有甲醛^[6]、过氧化物^[7]、羟基自由基^[8]和二次有机气溶胶^[9]. 这些二次污染物能引起相关的室内综合症, 造成嗜睡、刺激过敏反应、注意力不能集中以及肺部和呼吸道的健康问题^[10]. 在欧美国家, 针对室内环境中空气清新剂带来的活性气体所形成的二次污染物问题, 已有相关模拟实验和实测研究^[11-13].

本研究利用顶空分析方法, 广泛调查了广州市各大型超市所销售的盒装空气清新剂的挥发性物质组成, 旨在查明空气清新剂中挥发性成分, 为深入研究其在室内环境中生成二次污染物提供参考.

1 实验部分

1.1 实验样品

所选择 14 个品牌的 26 盒空气清新剂样品均是在广州市各大型超市广泛销售的产品, 包括薰衣草香型、茉莉香型、柠檬香型等 15 种不同的香型, 其中包括香港某品牌的空气清新剂 2 个, 日本进口空气清新剂 3 个(表 1). 26 盒空气清新剂的出厂日期距离实验日期均不超过一年.

1.2 实验条件

所有样品通过顶空进样, 利用气相色谱/质谱(Agilent 7890 GC/Agilent 5975 MSD)联用系统进行分析. 称取约 15 g 空气清新剂, 快速装入用于顶空进样的 40 mL 棕色玻璃瓶. 玻璃瓶采用有特氟龙材质内垫片螺旋盖. 顶空瓶放入 50 °C 的恒温箱中保持 90 min, 使空气清新剂中挥发性组分扩散到顶空气相中. 进样时采用带有鲁尔阀的气密性进样针, 抽取 500 μ L 顶空气体手动进样. GC-MSD 使用 HP-5 (60 m $\times$

2011 年 4 月 15 日收稿.

* 国家自然科学基金-广东省联合基金(U0833003)和国家自然科学基金(41025012)资助.

** 通讯联系人, E-mail: wangxm@gig.ac.cn

0.32 mm I. D. ×1.00 μm)的毛细管柱,色谱升温程序设定为 40 ℃起温,保留 5 min;之后以5 ℃·min⁻¹升温至 250 ℃,保留 20 min. 质谱条件设定为离子源温度 230 ℃;辅助接口温度 290 ℃;EI 电压 70 eV;扫描方式为全扫描 (full scan);电子倍增器电压 1300 V;质量范围为 35—350 amu.

表 1 空气清新剂实验样品
Table 1 Description of air freshener samples

产品品牌	香型	产地	产品品牌	香型	产地
JL	茉莉、紫罗兰、柠檬、百合、清风、玫瑰、木棉香型	上海	JYZH	海洋清风香型	广东
QQW	桂花香型	广东	JS	柠檬、茉莉香型	广东
CL	柠檬、茉莉香型	河北	XJY	茉莉香型	上海
AJ	薰衣草香型	江苏	SAD	柠檬香型	上海
BJS	茉莉香型	天津	BY	薰衣草、柚子香型	香港
XL	兰花香型	广东	ST	葡萄柚	日本
DDF	薰衣草、古龙香型	广东	KDA	—	日本

1.3 定性及定量方法

实验使用的单个萜烯化合物标准物质为购于美国 SIGMA-ALDRICH 公司的液体标样,包括 α-蒎烯、β-蒎烯、苧烯、罗勒烯、α-萜品烯、γ-萜品烯、α-水芹烯、β-水芹烯等. 对于这些有标样比对的化合物,采用保留时间 (RT) 并结合质谱图进行定性;定量方面,取 1 μL 这些标准物质稀释到充有 10 L 氮气的特氟龙材质的 Tedlar 气体采样袋,于 50 ℃的恒温箱中保持 10 min 后,用气密性进样针分别抽取 100、200、400 μL 气体,与样品同样方法进行分析,做出质量-峰面积响应曲线. 对于没有标样的未知物,主要依据质谱图,通过与标准谱图和文献中出峰顺序比对来定性. 由于很多物质没有标样,本研究采用了总离子流色谱图 (TIC) 归一化峰面积百分比来粗略指示检出挥发有机物中的百分含量.

2 结果和讨论

2.1 化学成分

图 1 是典型空气清新剂的总离子流质谱图 (JL 牌幽兰清风香型). 实验分析结果显示出各空气清新剂中的 VOCs 组成差异很大. 即使是相同香型的产品,其组成也不同,这可能与各个厂家采用的调香技术工艺与产品配方的差异有关. 共定性出 94 种不同的化合物,包括烯烃化合物 18 种,醇类化合物 15 种,醛类化合物 14 种,酮类化合物 4 种,醚类化合物 5 种,酚类化合物 1 种,酯类化合物 25 种以及其余化合物 12 种 (表 2). 检出最多的组分是酯类,检出的萜类化合物大约占总化合物数量的 40%,而前人的研究认为萜类物质是光化学臭氧和二次有机气溶胶生成的重要前体物^[4].

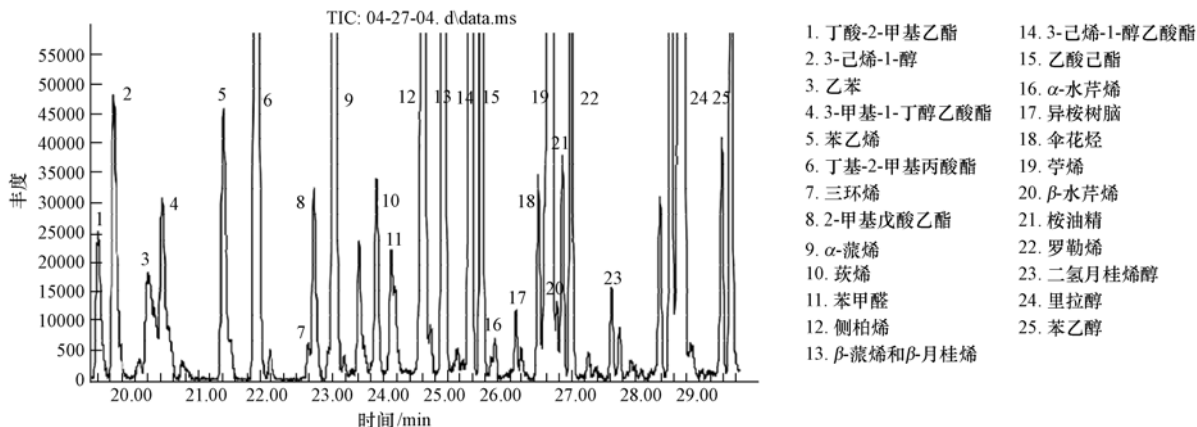


图 1 典型空气清新剂挥发性有机物总离子流色谱图
Fig.1 Typical TIC of VOCs in air fresheners

在 26 个实验样品中,有 13 个样品百分比浓度最大的组分是苧烯.此外,里拉醇、 β -水芹烯、 β -蒎烯、罗勒烯、二氢月桂烯醇和乙酸苄酯也是百分比浓度较高的化合物.市场上的空气清新剂最常见的香型是茉莉、柠檬以及薰衣草香型.由成分分析可以看出,茉莉香型的主要成分是乙酸苄酯,柠檬香型和古龙香型的主要成分是苧烯,薰衣草香型的主要成分是里拉醇,柚子香型的主要成分是丁酸乙酯.

表 2 不同类型空气清新剂 VOCs 组成

Table 2 Compositions of VOCs in different types of air fresheners		
产品	香型	百分比含量最多的 5 种化合物
AJ	薰衣草	里拉醇 13.55%,乙酸苄酯 13.36%, β -月桂烯 9.27%, β -蒎烯 9.22%,丁酸戊酯 6.43%
DDF	薰衣草	苧烯 25.15%, β -水芹烯 22.25%,罗勒烯 22.19%, α -蒎烯 14.52%, β -蒎烯 3.78%
BY	薰衣草	桉油精 19.22%, α -蒎烯 18.97%,异桉树脑 13.19%, β -水芹烯 8.68%,里拉醇 6.92%
DDF	薰衣草	苧烯 31.25%, β -水芹烯 25.80%,罗勒烯 25.76%, β -蒎烯 3.51%,伞花烃 3.16%
JL	茉莉	乙酸苄酯 32.50%, β -蒎烯 17.77%, β -月桂烯 16.26%,里拉醇 6.95%,甲基苧香醚 4.22%
BJS	茉莉	甲基苧香醚 18.04%,1-甲氧基-4-甲基苯 18.03%,里拉醇 13.27%,丁酸-2-甲基乙酯 12.39%,乙酸苄酯 9.63%
CL	茉莉	乙酸苄酯 33.17%,庚酸烯丙酯 12.60%,里拉醇 10.65%,3-己烯-1-醇-乙酸酯 8.95%,辛醛 8.85%
JS	茉莉	苧烯 30.45%, β -水芹烯 26.19%,罗勒烯 26.18%,二氢月桂烯醇 2.88%,乙酸苄酯 2.12%
XJY	茉莉	苧烯 17.50%,3-甲基-1-丁醇乙酸酯 15.92%,罗勒烯 14.33%,乙酸苄酯 8.82%, β -蒎烯 6.53%
JL	柠檬	苧烯 18.81%, β -水芹烯 16.73%,罗勒烯 16.73%, β -蒎烯 14.92%, α -蒎烯 10.92%
JS	柠檬	苧烯 28.06%, β -水芹烯 24.71%,罗勒烯 24.67%, α -蒎烯 6.72%, β -蒎烯 3.81%
SAD	柠檬	苧烯 30.71%,罗勒烯 27.05%, β -水芹烯 27.00%, β -蒎烯 2.40%,月桂烯 1.66%
ST	柠檬	苧烯 29.33%,罗勒烯 24.90%,丁酸-2-甲基乙酯 9.94%,3-甲基-1-丁醇乙酸酯 7.29%, β -蒎烯 5.56%
CL	柠檬	苧烯 21.37%,罗勒烯 19.16%, β -水芹烯 18.88%,丁酸乙酯 12.77%,丁酸-2-甲基乙酯 11.19%
JYZH	海洋清风	二氢月桂烯醇 52.36%,里拉醇 17.06%, β -月桂烯 6.98%, β -蒎烯 6.48%,苯甲酸甲酯 4.18%
JL	百合	乙酸-3,5,5-三甲基己酯 26.55%,庚酸烯丙酯 19.14%, α -蒎烯 10.85%,苧烯 9.94%, β -蒎烯 7.68%
JL	紫罗兰	苧烯 34.12%,罗勒烯 30.52%,桉油精 7.00%,二氢月桂烯醇 6.18%,伞花烃 4.19%
JL	玫瑰	乙酸己酯 26.80%,乙酸苄酯 15.79%,里拉醇 12.68%, β -蒎烯 10.71%,1-甲氧基-4-甲基苯 7.41%
JL	幽兰清风	柠檬醛 14.87%,罗勒烯 11.44%,辛醛 9.67%,3-己烯-1-醇-乙酸酯 9.67%,里拉醇 8.17%
JL	木棉	乙酸己酯 30.44%,苧烯 14.14%,罗勒烯 11.36%,乙酸-3,5,5-三甲基乙酯 9.42%,庚酸烯丙酯 6.50%
XL	兰花	苧烯 26.88%, β -水芹烯 23.90%,罗勒烯 23.83%, β -蒎烯 6.24%,乙酸己酯 3.39%
QQW	桂花	里拉醇 27.62%,乙酸苄酯 15.16%,酞酸二乙酯 8.12%, β -蒎烯 6.91%,侧柏烯 6.88%
DDF	古龙	苧烯 29.56%,罗勒烯 26.23%, β -水芹烯 26.23%, β -蒎烯 4.15%, α -蒎烯 3.19%
BY	柚子	丁酸乙酯 35.69%,苧烯 12.99%,罗勒烯 10.22%, α -甲基苯甲基乙酸酯 6.52%,里拉醇 6.13%
ST	葡萄柚	苧烯 38.36%,罗勒烯 32.83%, β -蒎烯 10.44%, β -月桂烯 4.50%, α -蒎烯 3.18%
KDA	—	丁酸-2-甲基乙酯 20.66%,伞花烃 17.96%,薄荷醇 14.75%,冰片 14.12%,苧烯 7.62%

必须指出,根据 TIC 峰面积得到的百分比浓度能在一定程度反映空气清新剂中 VOCs 主要组成特征,但在严格意义上,这些成分和百分比浓度与实际空气清新剂中的组成是有一定的差异的,不仅是因为缺乏标样而造成准确定量困难,更是由于顶空中 VOCs 组成与清新剂中实际组成存在差异,这种差异与化合物的挥发性、实验过程中的平衡条件、温度、湿度等都有关系^[14].但在实际应用这些清新剂时,进入空气中的挥发物组成也是由很多因素共同作用的结果,包括产品本身成分及特性、使用量、扩散迁移特征、建筑物通风条件、建筑物表面吸附以及室内反应过程等^[11],应该说实验中检测到的易进入顶空的组分在实际使用过程中也易挥发进入室内环境.

2.2 出现频率

26 个样品中定性检出 94 种化合物,出现频率大于 30% 的化合物有 74 种,列于表 3. β -月桂烯、罗勒烯、苧烯、苯乙醇、乙酸苄酯、 β -蒎烯、 β -水芹烯、伞花烃、1-甲基-4-(1-甲基乙烯基)苯、里拉醇 10 种化合物的检出率为 100%,可以认为它们是在各种空气清新剂产品中普遍存在的化合物.

表 3 空气清新剂中化合物出现频率

Table 3 Frequencies of compounds' occurrence in the air fresheners

化合物	频率	百分比/%	化合物	频率	百分比/%
β -月桂烯	26	100	乙酸橙花酯	18	69
罗勒烯	26	100	1-己醇	17	65
苧烯	26	100	乙酸己酯	17	65
苯乙醇	26	100	樟脑	17	65
乙酸苻酯	26	100	(3-甲基丁氧基)-乙酸-2-丙烯酸酯	17	65
β -蒎烯	26	100	1-己醇	17	65
β -水芹烯	26	100	庚酸烯丙酯	17	65
伞花烃	26	100	枞油烯	17	65
1-甲基-4-(1-甲基乙烯基)苯	26	100	苯甲酸甲酯	16	62
里拉醇	26	100	丁酸乙酯	16	62
α -蒎烯	25	96	香茅醛	16	62
α -水芹烯	25	96	3-己烯-1-醇	15	58
桉油精	25	96	1-甲氧基-4-甲基苯	14	54
萜品醇	25	96	己酸-2-丙烯基乙酯	14	54
香叶醇	25	96	冰片	14	54
苻基乙基醚	24	92	香芹醇	14	54
二氢月桂烯醇	23	88	3-甲基丁酸丁酯	14	54
3-己烯-1-醇乙酸酯	23	88	丁酸戊酯	14	54
辛醛	23	88	乙酸异冰片酯	14	54
癸醛	23	88	庚醛	14	54
α -甲基苻基乙酸酯	23	88	乙酸-3,5,5-三甲基己酯	13	50
苯甲醛	22	85	降冰片烯	13	50
蒎烯	22	85	4-(1,1-二甲基乙基)-环己烯	13	50
侧柏烯	22	85	薄荷醇	13	50
三环烯	22	85	异冰片	12	46
3-辛酮	21	81	乙酸-2-苻基乙酯	11	42
顺式-柠檬醛	21	81	玫瑰醚	11	42
香茅醇	20	77	醋酸冰片酯	11	42
蒎烯	20	77	萜品烯	10	38
异桉树脑	20	77	3-甲基-1-丁醇乙酸酯	10	38
丁酸-2-甲基乙酯	20	77	己基肉桂醛	9	35
壬醛	20	77	酞酸二乙酯	9	35
苯乙烯	19	73	十六烷	9	35
甲基茴香醚	19	73	石竹烯	8	31
4-(1-甲基乙基)-苯甲醛	19	73	2-甲基戊酸乙酯	8	31
反式-柠檬醛	18	69	乙酸诺卜酯	8	31
茴香甲酯	18	69	乙酰苯	8	31

2.3 潜在影响浅析

臭氧污染是当前我国城市群及其周边地区突出的空气质量问题. 以珠江三角洲地区为例, 区内本底臭氧浓度 1994—2007 年期间以平均每年 0.58 ppbv 的速率增长, 且在秋冬季经常观测到超过 120 ppbv 的空气臭氧浓度^[15]. 室外空气中的臭氧很容易通过与室内空气交换进入室内, 使室内空气中臭氧浓度增加, 可达到室外空气浓度的 20%—70%^[16]. 而空气清新剂中挥发出来的具有碳-碳不饱和键的萜类化合物, 能与臭氧迅速反应, 成为室内二次污染物的一个重要来源. 而且这些二次氧化产物一般挥发性相对有所降低, 具有相对较低的蒸汽压, 通过气粒分配, 对室内空气中二次有机气溶胶的生成有贡献, 可导致室内二次有机气溶胶的浓度大幅增加^[17]. 据报道, 使用了空气清新剂和其它清洁用品的办公室, 室内空气苧烯的浓度达到 113—241 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 而没有使用空气清新剂和清洁用品的办公室的室内空气则没

有可以检出的苧烯^[18]. 研究表明,人为引入苧烯到办公室环境空气中后,与不添加苧烯的办公室比较,亚微米级粒子数量可增加几十倍^[19]. 另外,即使在很低浓度下,这些萜类物质与臭氧反应也能导致新粒子生成, α -蒎烯、 β -蒎烯和苧烯与臭氧反应的成核临界浓度可低至 2 ppbv 左右^[20]. 因而,室内环境使用了空气清新剂后,可能引起细粒子特别是超细粒子暴露水平的升高,这种影响在臭氧本底浓度和污染水平较高的地区,可能尤为突出.

3 结论

利用顶空方法分析了广州市场上销售的 26 盒空气清新剂的 VOCs 组成,定性出包括烯烃、醇类、醛类、酮类、醚类、酚类、酯类等化合物共 94 种. 萜类化合物约占总化合物数量的 40%. 13 个样品中 VOCs 组分的百分比浓度最大的是苧烯. 此外,里拉醇、 β -水芹烯、蒎烯、罗勒烯、二氢月桂烯醇和乙酸苎酯也是百分比浓度较大的化合物. 由化合物在空气清新剂中的出现频率来看, β -月桂烯、罗勒烯、苧烯、苯乙醇、乙酸苎酯、 β -蒎烯、 β -水芹烯、伞花烃、1-甲基-4-(1-甲基乙烯基)苯、里拉醇这 10 种化合物是在各种清新剂中都存在的化合物. 我国高浓度城市群及周边地区,户外大气臭氧水平较高,由室内外气体交换进入室内环境的臭氧,与空气清新剂等室内日用品释放的活性气体反应,会产生二次有机气溶胶等二次产物,从而对室内空气质量带来潜在影响.

参 考 文 献

- [1] Cooper S D, Raymer J H, Pellizzari E D, et al. The identification of polar organic-compounds found in consumer products and their toxicological properties[J]. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*, 1995, 5(1): 57-75
- [2] Rastogi S C, Heydorn S, Johansen J D, et al. Fragrance chemicals in domestic and occupational products[J]. *Contact Dermatitis*, 2001, 45(4): 221-225
- [3] Kwon K D, Jo W K, Lim H J, et al. Characterization of emissions composition for selected household products available in Korea[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2007, 148(1/2): 192-198
- [4] Nazaroff W W, Weschler C J. Cleaning products and air fresheners: exposure to primary and secondary air pollutants[J]. *Atmospheric Environment*, 2004, 38(18): 2841-2865
- [5] Liu X Y, Mason M, Krebs K, et al. Full-scale chamber investigation and simulation of air freshener emissions in the presence of ozone[J]. *Environmental Science Technology*, 2004, 38(10): 2802-2812
- [6] Fan Z H, Liy P, Weschler C, et al. Ozone-initiated reactions with mixtures of volatile organic compounds under simulated indoor conditions[J]. *Environmental Science Technology*, 2003, 37(9): 1811-1821
- [7] Li T H, Turpin B J, Shields H C, et al. Indoor hydrogen peroxide derived from ozone/d-limonene reactions[J]. *Environmental Science Technology*, 2002, 36(15): 3295-3302
- [8] Weschler C J, Shields H C. Measurements of the hydroxyl radical in a manipulated but realistic indoor environment[J]. *Environmental Science Technology*, 1997, 31(12): 3719-3722
- [9] Sarwar G, Olson D A, Corsi R L, et al. Indoor fine particles: The role of terpene emissions from consumer products[J]. *Journal of the Air Waste Management Association*, 2004, 54(3): 367-377
- [10] Wolkoff P, Schneider T, Kildeso J, et al. Risk in cleaning: chemical and physical exposure[J]. *Science of the Total Environment*, 1998, 215(1/2): 135-156
- [11] Sarwar G, Corsi R, Allen D, et al. The significance of secondary organic aerosol formation and growth in buildings: experimental and computational evidence[J]. *Atmospheric Environment*, 2003, 37(9/10): 1365-1381
- [12] Destailats H, Lunden M M, Singer B C, et al. Indoor secondary pollutants from household product emissions in the presence of ozone: A bench-scale chamber study[J]. *Environmental Science Technology*, 2006, 40(14): 4421-4428
- [13] Long C M, Suh H H, Koutrakis P. Characterization of indoor particle sources using continuous mass and size monitors[J]. *Journal of the Air Waste Management Association*, 2000, 50(7): 1236-1250
- [14] Bridges B. Fragrance: emerging health and environmental concerns[J]. *Flavour and Fragrance Journal*, 2002, 17(5): 361-371
- [15] Wang T, Wei X L, Ding A J, et al. Increasing surface ozone concentrations in the background atmosphere of Southern China, 1994—2007[J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2009, 9(16): 6216-6226
- [16] Weschler C J. Ozone in indoor environments: Concentration and chemistry[J]. *Indoor Air-International Journal of Indoor Air Quality and Climate*, 2000, 10(4): 269-288
- [17] Weschler C J, Shields H C. Indoor ozone/terpene reactions as a source of indoor particles[J]. *Atmospheric Environment*, 1999, 33(15):

2301-2312

- [18] Ongwandee M, Moonrinta R, Panyametheekul S, et al. Investigation of volatile organic compounds in office buildings in Bangkok, Thailand: Concentrations, sources, and occupant symptoms[J]. *Building and Environment*, 2011, 46(7): 1512-1522
- [19] Wainman T, Zhang J F, Weschler C J, et al. Ozone and limonene in indoor air: A source of submicron particle exposure[J]. *Environmental Health Perspectives*, 2000, 108(12): 1139-1145
- [20] Bonn B, Moortgat G K. Sesquiterpene ozonolysis: Origin of atmospheric new particle formation from biogenic hydrocarbons[J]. *Geophysical Research Letters*, 2003, 30(11), 1585, doi:10.1029/2003GL017000

Volatile organic compounds in air fresheners and their potential impacts on indoor air quality

FU Xiaoxin WANG Xinming Francois Bernard

(State Key Laboratory of Organic Geochemistry, Chinese Academy of Sciences,
Guangzhou Institute of Geochemistry, Guangzhou, 510640, China)

ABSTRACT

This study investigated the compositions of volatile organic compounds (VOCs) in typical air fresheners sold on the markets. Selected air fresheners covered 15 odor types from 14 manufacturers. Headspace GC-MS analysis revealed that compositions of air fresheners were quite different even for those of the same odor type. 94 VOCs were identified in the air fresheners, including 18 olefins, 15 alcohols, 14 aldehydes, 4 ketones, 5 ethers, 1 phenol, 25 esters and 12 other compounds. Terpenoids accounted for about 40% of the compounds detected. β -Myrcene, ocimene, limonene, phenethylalcohol, benzylacetate, β -pinene, β -phellandre, cymene, 1-methy-4-(1-methyl-vinyl)benzene and linalool were found in all air fresheners. These terpenoids contained in the air fresheners, when introduced into indoor environment, might react with ozone to form secondary organic aerosols, and thus have potential impacts on indoor air quality.

Keywords: air freshener, volatile organic compounds (VOCs), terpenoids, secondary organic aerosols.