

4、 外语能力证书

全国大学英语六级考试

成绩报告单

CET[®]



姓 名：尹文行

学 校：西南林业大学

院 系：化学工程学院

身份证号：

笔 试

准考证号：

考试时间：2024年6月

总分	听力 (35%)	阅读 (35%)	写作和翻译 (30%)
429	140	184	105

口 试

准考证号：--

考试时间：--

成绩	--
----	----

成绩报告单编号：

教育部教育考试院

证书专用章

11010210047228

P6

桉木刨花板及其干刨花挥发性成分和气味特征分析

尹文行¹ 武波晓¹ 杨兆金² 郭兆辉² 刘云¹ 何云凯²
许文熙² 黄鹤鸣² 杜官本¹ 赵平¹

(1. 西南林业大学西南地区林业生物质资源高效利用国家林业和草原局重点实验室, 云南昆明 650233;

2. 昆明飞林人造板集团有限公司, 云南昆明 650403)

摘要: 为了解桉木刨花板及其表层、芯层干刨花挥发性有机物(VOCs)的含量和气味特征, 采用顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用技术(HS-SPME-GC-MS)结合相对气味活性值(ROAV)对桉木刨花板和表层、芯层干刨花的VOCs组成和气味特征进行分析和评价。结果表明: 在桉木刨花板和表层、芯层干刨花中分别鉴定出105、97、104种VOCs, 包括芳香烃、烷烃、醛、酮、烯烃、醇及其他类化合物, 烯烃类化合物含量最高。其中, 相对含量较高的化合物为黄樟素、异黄樟素、(+)-香橙烯、 α -姜黄烯、(+)-喇叭烯和 Δ -杜松烯等。ROAV分析显示桉木刨花板和表层、芯层干刨花中气味活性成分分别有32、36、34种, 其中黄樟素、芳樟醇、1,8-桉叶素、正己醛、壬醛、(+)- α -蒎烯和(E)-2-壬烯醛等8种化合物贡献较大。HS-SPME-GC-MS结合ROAV方法分析桉木刨花板VOCs的气味特征, 能够直观地反映各类挥发物对板材的气味贡献情况, 可为后期板材气味消除以及高品质桉木刨花板的生产提供参考。

关键词: 桉木; 刨花板; 干刨花; 有机物; 气味**中图分类号:** F407.88**文献标志码:** A**文章编号:** 2095-1914(2025)02-0198-08

引文格式: 尹文行, 武波晓, 杨兆金, 等. 桉木刨花板及其干刨花挥发性成分和气味特征分析[J]. 西南林业大学学报(自然科学), 2025, 45(2): 198-205. Yin W H, Wu B X, Yang Z J, et al. Analysis on VOCs and Odor Characteristics of *Eucalyptus* Wood Particleboard and Its Dried Strands[J]. Journal of Southwest Forestry University, 2025, 45(2): 198-205. DOI: 10.11929/j.swfu.202309054

Analysis on VOCs and Odor Characteristics of *Eucalyptus* Wood Particleboard and Its Dried StrandsYin Wenhong¹, Wu Boxiao¹, Yang Zhaojin², Guo Zhaohui², Liu Yun¹, He Yunkai²,
Xu Wenxi², Huang Heming², Du Guanben¹, Zhao Ping¹

(1. Key Laboratory of National Forestry and Grassland Administration on Highly-efficient Utilization of Forestry Biomass Resources in Southwest China, Southwest Forestry University, Kunming Yunnan 650233, China; 2. Kunming Feilin Wood-based Panel Co. Ltd., Kunming Yunnan 650403, China)

Abstract: In order to clarify the content and odor characteristics of volatile organic compounds(VOCs) from *Eucalyptus* wood particleboard and its surface and core layer dried strands, their VOCs components and odor characteristics were evaluate by using a headspace solid-phase microextraction gas chromatography-mass spectrometry(HS-SPME-GC-MS) and relative odor activity value(ROAV). The results showed that 105, 97 and 104 VOCs including aromatic hydrocarbon, alkanes, aldehydes, ketones, alkenes, alcohols and other compounds, were identified in *Eucalyptus* wood particleboard and 2 dried strands, respectively, with the highest content of olefinic

收稿日期: 2023-09-22; 修回日期: 2023-10-15

基金项目: 云南(昆明)院士工作站项目(YSZJGZZ-2020001)资助; 新飞林产业创新基金项目(XFLCXJJ-202002)资助。

第1作者: 尹文行(1997—), 男, 硕士研究生。研究方向: 林产化工。Email: 1526294583@qq.com。

通信作者: 赵平(1965—), 男, 博士, 研究员。研究方向: 林产化工。Email: hypzhao2022@163.com。

compounds. The compounds with a higher relative content were safrole, isosafrole, (+)-aromadendrene, α -curcumene, (+)-ledene and Δ -cadinene. ROAV analysis showed that there were 32, 36 and 34 kinds of odor active ingredients in *Eucalyptus* wood particleboard and 2 dried strands, respectively. Among them, 8 compounds including safrole, linalool, 1,8-cineole, hexanal, nonanal, (+)- α -pinene and (*E*)-2-nonenal contributed significantly to the odor released from *Eucalyptus* wood particleboard and 2 dried strands. HS-SPME-GC-MS combined with ROAV method to analyze the odor characteristics of *Eucalyptus* particleboard VOCs, which can visually respond to the contribution of various VOCs to the odor of the boards, providing a basis and reference for the later research on the elimination of odor of the boards, and the results of the study provide a reference for the production of high-quality *Eucalyptus* particleboards.

Key words: *Eucalyptus*; wood particleboard; dried strand; VOCs; odor

桉木 (*Eucalyptus* spp.) 是生长迅速、抗逆性较强速生林木, 用其作为原材料生产刨花板是较好的一种选择^[1-2]。桉木刨花板是以桉木为主要原料, 通过粉碎、干燥后制得表层和芯层干刨花, 再经施胶、铺装和热压等工艺制造成的一种人造木质板材^[3]。木质材料被认为是室内挥发性有机物 (VOCs) 的重要来源, 占总挥发性有机物 (TVOC) 释放量的 60% 左右^[4-5]。人造板的木质原料及各类板材胶黏剂都会释放出大量 VOCs, 造成室内空气污染, 损害人体健康^[6]。通常认为, 脲醛树脂和添加剂的使用是板材内甲醛残留的原因, 而 VOCs 的释放会产生令人不愉快的气味^[7-8]。武波晓等^[9]利用响应面优化法对桉木刨花板 VOCs 顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用 (HS-SPME-GC-MS) 的萃取条件进行了优化; Makowski 等^[10]、Que 等^[11]分别采用 GC-MS 分析了人造板 VOCs 释放水平和类型; Baumann 等^[12]发现人造板及其制品是室内萜烯类、醛类和酮类等物质的主要释放来源。气味较重的木材释放出来的气味既影响人们的生活品质, 在一定程度上也会影响板材的销售^[13-15], 因此分析 VOCs 的气味特征可为高品质板材的生产提供参考。

气味活性值 (OAV) 即化合物浓度与气味阈值的比值, 被广泛应用于气味强度的量化。通过 OAV 可评价 VOCs 的气味活性, 具有最大 OAV 的化合物被认为是气味的主要来源^[16]。近年来, 木材储存和加工过程中散发的气味越来越受到研究者的关注, 如 He 等^[17]从储存的森林残余物中发现释放的主要气味化合物为醇、萜烯、醛、酸、丙酮、苯、醚和酯类; Félix 等^[18]确定了木塑复合材料的 VOCs 排放, 并通过 GC-MS 结合嗅觉测定法分析了气味的释放特征; Liu 等^[19]通过 GC-MS 分析结合 OAV 对人造板 VOCs 进行

表征, 发现低浓度的 VOCs 即使低于检测极限, 也会产生负面影响; Manninen 等^[20]通过 GC-MS 分析比较了风干和热处理后樟子松 (*Pinus sylvestris* var. *mongolica*) 木材中 VOCs 的释放量, 发现烯烃是风干木材样品中的主要组分, 而醛、羧酸及其酯在热处理木材样品中占主导地位; 刘铭等^[14]发现饰面包装处理在一定程度上可以降低释放物的种类和含量, 以此达到降低挥发性气味的目的。本研究以桉木刨花板以及热压前的表层、芯层干刨花为研究对象, 通过 HS-SPME-GC-MS 分析比较供试样品 VOCs 的化学组成及其相对含量, 并结合每个 VOCs 的相对气味活性值 (ROAV) 评价其气味特征, 探究 VOCs 对整体气味的贡献率, 以期为高品质桉木刨花板的生产提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与设备

1.1.1 试验材料

昆明飞林人造板集团有限公司生产的桉木刨花板, 经粉碎、干燥处理的表层干刨花、芯层干刨花。

1.1.2 仪器和设备

75 μ m CAR/PDMS 萃取头 (Supelco 公司, 美国), 手动顶空固相微萃取装置 (Supelco 公司, 美国), 7090B/5977B 型气相色谱-质谱联用仪 (Agilent 公司, 美国), 巨宏锋 JHF-1000A 型高速多功能粉碎机 (昆明铁申商贸有限公司, 中国), AX224ZH/E 型电子天平 (奥豪斯仪器有限公司, 美国)。

1.2 试验方法

1.2.1 VOCs 的萃取采集

选择 75 μ m CAR/PDMS 萃取头, 置于 GC-MS 手动进样口 250 $^{\circ}$ C 老化 2 h。分别称取经过粉碎

后过40目筛的桉木刨花板、表层干刨花、芯层干刨花颗粒1.000 g置于40 mL顶空样品瓶中,将老化过后的萃取头插入顶空样品瓶,在萃取温度90℃、平衡时间35 min、萃取时间25 min、解析时间5 min的条件下进行VOCs萃取后,供GC-MS分析用^[9]。

1.2.2 GC-MS分析条件

GC条件:色谱柱为HP-5MS石英毛细管柱(30 m×250 μm×0.25 μm);进样口温度为300℃;升温程序为初始温度60℃,以10℃/min升至120℃,保持10 min,然后以5℃/min升至180℃,再以10℃/min升至240℃,保持8 min;载气为He;流速为0.8 mL/min;采用不分流进样。

MS条件:采用电子轰击(EI)离子源,电子能量为70 eV;传输线温度为250℃;离子源温度为230℃;四级杆温度为150℃;采集方式为全扫描;质量扫描范围为35~550 *m/z*。

定性方式:采用NIST14标准谱库计算机检索定性,利用四级杆质谱排除非目标离子干扰后对目标谱峰进行积分及积分校正,并采用面积归一法计算出各挥发物的相对含量,对匹配度大于80(最大值100)的VOCs进行定性。

1.3 数据处理

1.3.1 ROAV的计算

将GC-MS的定性结果结合气味阈值(*T*)计算挥发性成分的ROAV,对样品气味贡献最大的挥发性气味化合物定义为 $ROAV_{\max}=100$, $ROAV \geq 1$ 的化合物为样品的关键气味贡献物质。计算公式为:

$$OAV = \frac{C_i}{T_i} \quad (1)$$

$$ROAV = \frac{OAV_i}{OAV_m} \times 100 \quad (2)$$

式中: C_i 为挥发性有机物*i*的相对含量; T_i 为*i*在空气中的气味阈值; OAV_i 为*i*的气味活性值; OAV_m 为所有挥发性气味化合物中的最大气味活性值。

1.3.2 数据处理

采用Excel 2019对原始数据进行处理,Origin 2021分析数据及绘图。

2 结果与分析

2.1 VOCs组分分析

由图1可知,干刨花经热压工艺加工成刨花

板后有少量的新化合物产生,部分化合物的相对含量发生了变化。但是,桉木刨花板和2种干刨花释放的VOCs差异性并不大,说明脲醛树脂和其他添加剂的使用对桉木刨花板VOCs释放情况影响不大,桉木刨花板挥发出的VOCs主要来源于木材原料本身。

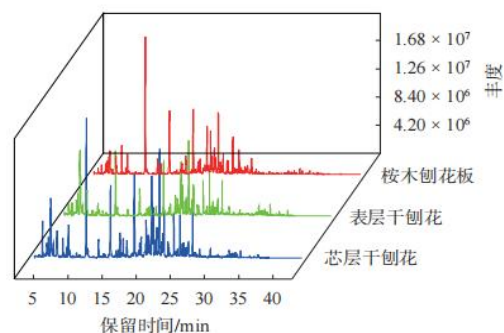


图1 桉木刨花板和2种干刨花VOCs总离子流图
Fig. 1 VOCs TIC of *Eucalyptus* wood particleboard and 2 dried strands

桉木刨花板和2种干刨花中相对含量大于1%的VOCs组成见表1,VOCs的分类和数量见图2~3。由表1可知,从桉木刨花板和2种干刨花中共检测出相对含量大于1%的化合物有36种,其中刨花板、表层和芯层干刨花分别有21、26、23种。结合图2~3可知,从桉木刨花板中共鉴定出105种VOCs,其中烯烃类41种、醛酮类21种、醇类16种、芳香烃类13种、烷烃类10种、其他类化合物4种,相对含量分别为72.72%、6.51%、12.12%、4.73%、3.24%和0.67%;从表层干刨花中共鉴定出97种VOCs,其中烯烃类38种、醛酮类21种、醇类16种、芳香烃类14种、烷烃类1种、其他类化合物7种,相对含量分别为63.12%、6.21%、15.29%、9.32%、0.70%和5.37%;从芯层干刨花中共鉴定出104种VOCs,其中烯烃类40种、醛酮类20种、醇类17种、芳香烃类16种、烷烃类2种、其他类化合物9种,相对含量分别为68.97%、5.66%、11.97%、8.12%、0.70%和4.58%。在单个化合物中,桉木刨花板和表层、芯层干刨花中的VOCs主要为黄樟素(16.74%、10.28%、12.65%)、异黄樟素(10.64%、7.67%、9.00%)、(+)-香橙烯(6.84%、5.81%、6.63%)、 Δ -杜松烯(5.48%、7.01%、6.67%)、(+)-喇叭烯(3.55%、5.42%、5.67%)、 α -姜黄烯(5.01%、1.34%、1.20%)。

表 1 桉木刨花板和 2 种干刨花中相对含量大于 1% 的 VOCs

Table 1 VOCs composition with a relative content more than 1% in *Eucalyptus* wood particleboard and 2 dried strands

保留时间/min	化合物名称	类别	相对含量%		
			桉木刨花板	表层干刨花	芯层干刨花
5.26	邻伞花烃	芳香烃	—	3.95	—
5.26	对伞花烃	芳香烃	0.46	—	1.42
5.29	间伞花烃	芳香烃	—	—	1.51
5.34	β -水芹烯	烯	1.16	—	—
5.36	1,8-桉叶素	醇	1.62	1.86	2.85
6.17	2-甲基-1-苯基丙烯	烯	—	1.28	0.97
6.24	芳樟醇	醇	0.96	1.16	1.01
6.30	壬醛	醛	0.74	1.63	0.86
7.10	D-樟脑	酮	1.08	0.34	0.57
7.92	L- α -松油醇	醇	1.10	1.27	1.34
10.56	黄樟素	烯	16.74	10.28	12.65
12.33	异黄樟素	烯	10.64	7.67	9.00
15.46	甲基丁香酚	其他	0.16	2.28	2.37
15.92	β -橄榄烯	烯	0.97	0.87	1.23
16.45	α -檀香烯	烯	—	1.32	—
16.48	(+)-长叶环烯	烯	1.86	—	1.29
17.56	(+)-香橙烯	烯	6.84	5.81	6.63
18.35	(Z)- β -法尼烯	烯	1.31	—	0.90
18.56	香树烯	烯	1.95	1.66	1.77
19.02	α -姜黄烯	烯	5.01	1.34	1.20
19.28	γ -依兰油烯	烯	0.79	2.41	2.73
19.72	β -芹子烯	烯	0.57	1.17	1.18
20.11	(+)-喇叭烯	烯	3.55	5.42	5.67
20.30	(-)- α -依兰油烯	烯	1.89	3.85	3.77
20.65	β -双沙伯烯	烯	2.65	—	—
20.87	(R)- γ -杜松烯	烯	1.20	1.46	1.44
21.24	δ -杜松烯	烯	5.48	7.01	6.67
21.75	α -杜松烯	烯	0.45	1.13	0.97
21.91	A-二去氢菖蒲烯	烯	—	2.94	2.91
22.51	(+)-白千层醇	醇	1.36	2.41	0.70
22.67	橙花叔醇	醇	1.05	—	—
23.35	(-)-蓝桉醇	醇	2.78	0.80	1.96
23.78	愈创醇	醇	—	1.10	0.87
24.26	肉豆蔻醛	醛	1.96	2.37	1.74
25.47	α -桉叶醇	醇	—	1.11	0.84
26.11	4-异丙-1,6-二甲萜	芳香烃	1.21	2.19	1.91

注：“—”表示未检出。

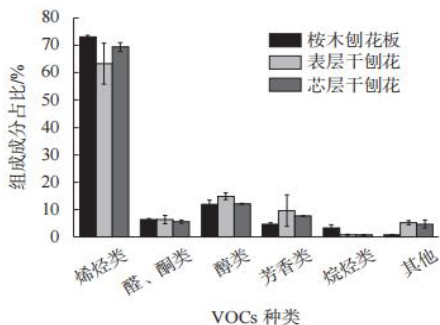


图2 桉木刨花板和2种干刨花 VOCs 组成占比
Fig. 2 Proportion of VOCs composition in *Eucalyptus* wood particleboard and 2 dried strands

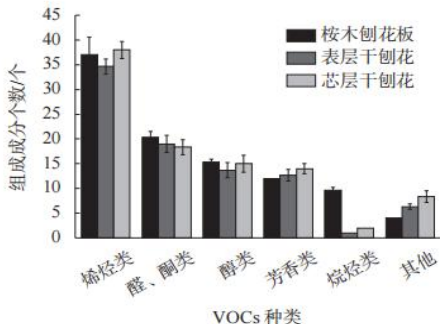


图3 桉木刨花板和2种干刨花 VOCs 组成成分个数
Fig. 3 VOCs number in *Eucalyptus* wood particleboard and 2 dried strands

对比桉木刨花板和热压前干刨花 VOCs 的释放情况, 烯烃类化合物是桉木刨花板和2种干刨花释放的主要化合物, 且烯烃类化合物的相对含量基本不变。由此可知, 烯烃类化合物主要来自桉木刨花板的原料(桉木及少量松木)本身, 而

不是来自人造板生产中加入的脲醛树脂和其他添加剂^[21-22]。烯烃类、醇类、醛酮类化合物是桉木、松木等原料木材 VOCs 的重要组成部分^[23], 桉木刨花板的主要原料桉木属于秋季落叶树, 松木属于针叶树, 这也是桉木刨花板内烯烃类化合物占主导的原因, 在针叶树和落叶树的木材中, 烯烃类化合物的存在主要与树脂有关, 树脂在薄壁细胞和分泌组织树脂管中流动, 运输到木材的各个部位, 从而导致烯烃类化合物分布于桉木和松木的各个部位和组织中, 同时, 木材的实质细胞主要由烯烃类和酯组成^[24]。由图2~3可知, 桉木刨花板中烷烃类和其他类化合物的数量和相对含量均有所增加, 这可能与脲醛树脂和其他添加剂的使用有关, 干刨花在加入脲醛树脂和其他添加剂热压过程中, 木材中的部分化合物和添加剂在高温下容易发生反应, 从而产生新的化合物^[6]。当然, 含量较多的化合物并不意味着对桉木刨花板气味有更大的贡献, 气味阈值较小的化合物, 即使在板材中释放的含量低, 仍然可以较容易地检测和嗅到^[25]。

2.2 ROAV 及气味特征分析

2.2.1 ROAV 分析

ROAV 对于刨花板气味评价具有重要作用, 通常从浓度和阈值两个方面来评价 VOCs 对刨花板气味的影响。一般而言, ROAV > 1 的化合物被认为对刨花板整体气味影响较大, 其数值越大表明对整体气味贡献越大^[26]。参照文献 [27] 得到挥发性气味化合物的气味阈值, 计算刨花板 ROAV, 产生气味的化合物、气味特征、气味阈值及 ROAV 值见表2。

表2 桉木刨花板和2种干刨花 VOCs 组分的 ROAV 分析
Table 2 ROAV analysis of VOCs in *Eucalyptus* wood particleboard and 2 dried strands

序号	中文名	气味特征	气味阈值/(mg·kg ⁻¹)	桉木刨花板		表层干刨花		芯层干刨花	
				相对含量/%	ROAV	相对含量/%	ROAV	相对含量/%	ROAV
1	正戊醇	药草味	1.0000	—	—	0.01	0.0003	—	—
2	甲苯	矿物气味	0.5270	0.01	0.0009	0.07	0.0001	0.06	0.0045
3	正己醛	药草味	0.0003	0.19	9.5619	0.47	19.5652	0.19	9.1765
4	糠醛	麦香味	0.2500	0.04	0.0068	—	—	—	—
5	苯乙烯	芳香味	0.7300	—	—	0.12	0.0056	0.03	0.0016
6	正庚醛	油脂味	0.1500	—	—	0.15	0.0337	—	—
7	(+)- α -蒎烯	—	0.0053	0.15	1.2099	0.43	2.7802	0.91	6.7999
8	(E)-7-癸烯醛	—	0.0220	—	—	0.05	0.0819	0.04	0.0720
9	苯甲醛	肉香味	0.0850	0.05	0.0265	0.18	0.0712	0.13	0.0606
10	β -蒎烯	青草味	35.0000	—	—	0.15	0.0001	0.15	0.0002
11	(-)- β -蒎烯	—	2.0000	0.12	0.0025	—	—	—	—

续表 2

序号	中文名	气味特征	气味阈值/(mg·kg ⁻¹)	桉木刨花板		表层干刨花		芯层干刨花	
				相对含量/%	ROAV	相对含量/%	ROAV	相对含量/%	ROAV
12	月桂烯	酒精味	0.1125	0.91	0.3357	—	—	0.77	0.2711
13	2-戊基呋喃	草香味	0.0190	—	—	0.76	1.3675	—	—
14	α -水芹烯	柠檬味	2.9000	0.62	0.0089	0.77	0.0091	0.61	0.0083
15	α -松油烯	柠檬味	7.9000	0.18	0.0010	—	—	0.16	0.0008
16	邻伞花烃	—	0.0040	—	—	3.95	33.8729	—	—
17	对伞花烃	芳香味	0.1960	0.46	0.0979	—	—	1.42	0.2869
18	间伞花烃	—	0.8000	—	—	—	—	1.51	0.0748
19	D-柠檬烯	柠檬味	2.2000	0.97	0.0184	—	—	—	—
20	β -水芹烯	药草味	0.5000	1.16	0.0967	—	—	—	—
21	1,8-桉叶素	芳香味	0.0027	1.62	25.2397	1.86	23.9580	2.85	42.2739
22	E-2-辛烯醛	药草味	0.0027	—	—	0.11	1.4497	—	—
23	γ -松油烯	矿物气味	1.4000	0.20	0.0060	0.36	0.0089	0.47	0.0133
24	芳樟醇	花香味	0.0004	0.96	100.0000	1.16	100.0000	1.01	100.0000
25	壬醛	草香味	0.0200	0.74	1.5394	1.63	18.0965	0.86	1.7030
26	葑醇	芳香味	0.1400	—	—	—	—	0.04	0.0113
27	D-樟脑	—	1.3600	1.08	0.0330	0.34	0.0085	0.57	0.0166
28	(E)-2-壬烯醛	草香味	0.0011	0.14	5.3059	0.28	8.7632	0.23	8.2808
29	异冰片	药草味	0.0085	—	—	0.11	0.4396	0.12	0.5591
30	4-萜烯醇	矿物气味	0.5900	0.29	0.0205	0.23	0.9341	0.34	0.0228
31	L- α -松油醇	—	0.5900	1.10	0.0776	1.27	0.0737	1.34	0.0899
32	癸醛	柠檬味	0.0940	0.33	0.1450	0.52	0.1902	—	—
33	2,4-壬二烯醛	油脂味	0.0020	—	—	0.05	0.8604	—	—
34	橙花醛	柠檬味	0.0088	0.03	0.1543	—	—	—	—
35	(E)-2-十二烯醛	青草味	0.0110	—	—	0.27	0.8471	—	—
36	(E)-2-癸烯醛	柠檬味	0.0027	—	—	0.17	2.2170	0.21	3.0803
37	柠檬醛	柠檬味	0.0600	—	—	—	—	0.06	0.0396
38	黄樟素	甜味	0.0100	16.74	69.8562	10.28	35.3035	12.6	50.0990
39	正十三烷	矿物气味	42.0000	0.67	0.0007	0.70	0.0006	0.62	0.0006
40	香芹酚	—	0.0110	—	—	0.84	2.6332	0.37	1.3321
41	十一醛	油脂味	0.1400	0.24	0.0714	0.16	0.0383	0.11	0.0311
42	乙酸松油酯	油脂味	2.5000	—	—	0.05	0.0007	0.09	0.0014
43	甲基丁香酚	甜味	0.7750	0.16	0.0088	2.28	0.1011	2.37	0.1211
44	十二醛	花香味	0.0330	—	—	0.59	0.6093	0.40	0.4800
45	月桂醛	花香味	0.0330	0.74	0.9310	—	—	—	—
46	(E)-异丁香酚	花香味	0.0100	—	—	—	—	0.20	0.7921
47	石竹烯	草香味	11.0000	—	—	0.81	0.0025	—	—
48	α -榄香醇	草香味	0.1000	0.05	0.0211	—	—	—	—
49	橙花叔醇	—	0.0100	1.05	4.3904	—	—	—	—
50	肉豆蔻醛	花香味	0.0640	1.96	1.2748	2.37	1.2705	1.74	1.0767
51	十七烯	—	8.0000	0.20	0.0010	—	—	—	—
52	十五醛	—	1.0000	0.19	0.0081	0.40	0.0323	0.26	0.0103

注：气味贡献物质的气味描述依据<http://www.thegoodscentscompany.com>/网站查询所得。

桉木刨花板、表层和芯层干刨花经 GC-MS 定性分析后，结合 ROAV 分别鉴定出 32、36 和 41 种气味活性化合物，三者分别有 9、13 和 10 种化合物的 ROAV 高于其气味阈值。由表 2 可知，芳樟醇和黄樟素对桉木刨花板和干刨花的气味贡献最大，1,8-桉叶素和己醛次之；表层干刨花中单独存在邻伞花烃，对其气味有一定程度的贡献；桉木刨花板和干刨花中贡献气味的化合物

主要是烯烃、醛和醇类。尽管部分化合物的相对含量较少，如气味阈值较小的己醛（0.0003）和芳樟醇（0.0004）虽然含量很少，但是对板材的气味贡献较大。己醛是由不饱和脂肪酸氧化形成的，干刨花内的不饱和脂肪酸的氧化是产生醛类化合物的主要原因^[28]。ROAV 结果显示，桉木刨花板和干刨花产生气味的主要化合物基本相同，芳樟醇和黄樟素等化合物对刨花板气味贡献较

大,桉木刨花板热压前后产生气味的化合物基本不变。因此,刨花板内主要气味化合物来源于桉木和松木中,脲醛树脂和其他添加剂对气味的贡献较小。

2.2.2 气味特征分析

结合表2中化合物的气味描述,将同类气味特征的关键气味贡献物质 ROAV 相加并构建气味轮廓图(图4)。由图4可知,桉木刨花板及其热压前的干刨花气味特征基本没有变化,桉木刨花板和2种干刨花主要以花香味、甜味和青草味为主。其中,花香味在桉木刨花板和2种干刨花中气味强度基本相同,这可能与该类化合物较高沸点有关系,热压过程中的高温不易使其分解和挥发释放。甜味化合物气味强度在桉木刨花板中有所增加,这可能与脲醛树脂等胶黏剂的添加有关,脲醛树脂胶黏剂在高温下容易分解成直链烷烃,其他类型的气味强度基本不变。刨花板热压前后,整体气味特征变化不大,进一步说明脲醛树脂和其他添加剂的添加并不是桉木刨花板 VOCs 释放及气味产生的主要原因。

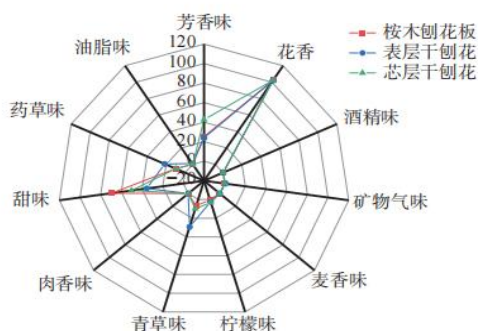


图4 桉木刨花板和2种干刨花气味轮廓图
Fig. 4 Odor profile of *Eucalyptus* wood particleboard and 2 dried strands

3 结论

本研究所使用的桉木刨花板经中国林业科学研究院木材工业研究所检测,其TVOC释放率(72 h)为0.10 mg/(m²·h),符合标准^[29]。本研究利用HS-SPME-GC-MS结合ROAV分析了桉木刨花板热压前后VOCs的释放情况,筛选出了桉木刨花板的气味特征成分。从桉木刨花板和表层、芯层干刨花中分别检测出105、97、104种VOCs,包括芳香烃、烷烃、醛、酮、烯烃、醇和其他类化合物。其中,烯烃类化合物在桉木刨花板和2种干刨花中占主导地位。与干刨花相比,

桉木刨花板在热压过程中并没有产生较多的新化合物。通过ROAV分析,芳樟醇、黄樟素、1,8-桉叶素、正己醛、(E)-2-壬烯醛、橙花叔醇、壬醛、肉豆蔻醛和(+)- α -蒎烯等化合物对桉木刨花板的整体气味贡献较大。桉木刨花板和2种干刨花VOCs贡献气味的化合物基本相似,表明刨花板内主要气味化合物主要来源于桉木和松木原料本身,刨花板生产过程中添加的脲醛树脂和其他助剂对刨花板气味的贡献较小。本研究中并未从桉木刨花板和表层、芯层干刨花中检测出甲醛的存在,对于改变普通消费者“家具异味就是甲醛超标”的认知误区起到积极作用。由于高温暴晒、雨淋等对桉木等原料VOCs的释放有较大影响,开展不同存储条件下桉木等原料中VOCs的化学组成和气味特征分析研究,可为人造板饰面材料进一步的研发提供参考。

[参考文献]

- [1] 祁述雄. 中国桉树: 第2版 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2002.
- [2] 柯少秋, 张凯, 何中天, 等. 桉木单板剩余物定向刨花板的制备 [J]. 包装工程, 2020, 41(11): 135-144.
- [3] 冯旋雪, 吴章康, 郑平, 等. 异氰酸酯胶定向刨花板VOCs的释放特征和组成成分分析 [J]. 西南林业大学学报(自然科学), 2023, 43(4): 173-178.
- [4] 李世杰, 殷宝辉, 赵雪艳, 等. 家具板材排放VOCs成分谱及排放因子研究 [J]. 环境科学研究, 2020, 33(4): 859-867.
- [5] Ayilimis N, Lee Y K, Kwon J H, et al. Formaldehyde emission and VOCs from LVLs produced with three grades of urea-formaldehyde resin modified with nanocellulose [J]. Building and Environment, 2016, 97: 82-87.
- [6] 郑云武, 朱丽滨, 顾继友, 等. 环境友好型胶合板用脲醛树脂胶黏剂的研究 [J]. 西南林学院学报, 2011(2): 66-69.
- [7] 王璐璐, 默路祥, 朱仁成, 等. 装修板材甲醛释放特征及净化剂性能评价 [J]. 应用化工, 2021, 50(5): 1192-1194, 1198.
- [8] 朱黎明, 邹献武, 吕斌, 等. 人造板甲醛检测方法的相关性研究 [J]. 木材工业, 2020, 34(5): 34-39, 48.
- [9] 武波晓, 王军民, 万辉, 等. 桉木刨花板VOCs的顶空固相微萃取条件优化 [J]. 西南林业大学学报(自然科学), 2023, 43(2): 163-171.
- [10] Makowski M, Ohlmeyer M. Comparison of a small and

- a large environmental test chamber for measuring VOC emissions from OSB made of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) [J]. Holz Als Roh- Und Werkstoff, 2006, 64(6): 473–474.
- [11] Que Z L, Wang F B, Li J Z, et al. Assessment on emission of volatile organic compounds and formaldehyde from building materials [J]. Composites Part B: Engineering, 2013, 49: 36–42.
- [12] Baumann M G D, Lorenz L F, Batterman S A, et al. Aldehyde emissions from particleboard and medium density fiberboard products [J]. Forest Products Journal, 2000, 50(9): 75–82.
- [13] 王启繁. 饰面刨花板气味释放特性及环境因素影响研究 [D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2018.
- [14] 刘铭, 沈隽, 王伟东, 等. 饰面刨花板 VVOC 及气味释放分析 [J]. 北京林业大学学报, 2021, 43(8): 117–126.
- [15] 杨俊魁, 林秋兰. 人造板气味控制技术的研究 [J]. 中国人造板, 2017, 24(3): 14–18.
- [16] Wu C D, Liu J M, Yan L C, et al. Assessment of odor activity value coefficient and odor contribution based on binary interaction effects in waste disposal plant [J]. Atmospheric Environment, 2015, 103: 231–237.
- [17] He X, Anthony L T, Sokhansanj S, et al. Dry matter losses in combination with gaseous emissions during the storage of forest residues [J]. Fuel, 2012, 95: 662–664.
- [18] Félix J S, Domeño C, Nerin C. Characterization of wood plastic composites made from landfill-derived plastic and sawdust: volatile compounds and olfactometric analysis [J]. Waste Management, 2013, 33(3): 645–655.
- [19] Liu Y, Zhu X D, Qin X, et al. Identification and characterization of odorous volatile organic compounds emitted from wood-based panels [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2020, 192(6): 348.
- [20] Manninen A M, Pasanen P, Holopainen J K. Comparing the VOC emissions between air-dried and heat-treated Scots pine wood [J]. Atmospheric Environment, 2002, 36(11): 1763–1768.
- [21] Sun S J, Zhao Z Y, Shen J. Effects of the manufacturing conditions on the VOCs emissions of particleboard [J]. BioResources, 2019, 15(1): 1074–1084.
- [22] Johansson I, Karlsson T, Wimmerstedt R. Volatile organic compound emissions when drying wood particles at high dewpoints [J]. Chinese Journal of Chemical Engineering, 2004, 12(6): 767–772.
- [23] Bajer T, Šulc J, Ventura K, et al. Volatile compounds fingerprinting of larch tree samples for Siberian and European larch distinction [J]. European Journal of Wood and Wood Products, 2020, 78(2): 393–402.
- [24] Back E L. Pattern of parenchyma and canal resin composition in softwoods and hardwoods [J]. Journal of Wood Science, 2002, 48(3): 167–170.
- [25] Roffael E. Volatile organic compounds and formaldehyde in nature, wood and wood based panels [J]. Holz Als Roh- Und Werkstoff, 2006, 64(2): 144–149.
- [26] Tan F L, Wang P, Zhan P, et al. Characterization of key aroma compounds in flat peach juice based on gas chromatography-mass spectrometry-olfactometry (GC-MS-O), odor activity value (OAV), aroma recombination, and omission experiments [J]. Food Chemistry, 2022, 366: 130604.
- [27] 范海默特. 化合物香味阈值汇编 [M]. 刘强, 冒德寿, 汤峨, 译. 北京: 科学出版社, 2015.
- [28] Risholm-Sundman M, Lundgren M, Vestin E, et al. Emissions of acetic acid and other volatile organic compounds from different species of solid wood [J]. Holz Als Roh- Und Werkstoff, 1998, 56(2): 125–129.
- [29] 国家林业和草原局. 人造板及其制品 VOCs 释放下的室内承载量规范: LY/T 3229—2020[S]. 北京: 中国标准出版社, 2021.

(责任编辑 刘永梅)

云南省科技厅科学技术普及专项经费资助

图解分析仪器

TUJIE FENXI YIQI

杨晓琴 主编

姜倩 郑云武 侯英 副主编



化学工业出版社

内容简介

随着科学技术的飞速发展，分析仪器持续迭代升级并取得突破性进展，为化学、材料科学、生物医药、食品、环境监测及微电子等领域的研发和工业生产提供了不可或缺的技术支撑。《图解分析仪器》是面向相关专业技术人员的一部科普读物，通过图解形式直观解析了数十种专业分析仪器的原理、结构、使用注意事项和应用领域等，为读者选择和精准应用适宜的分析仪器提供指导和帮助。

本书适宜化学、材料科学、生物医药、食品工程、环境监测及微电子等领域技术人员阅读，也可供相关专业的普通读者参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

图解分析仪器 / 杨晓琴主编；姜倩，郑云武，侯英
副主编. — 北京：化学工业出版社，2025. 3. — ISBN
978-7-122-47033-1

I. TH83-64

中国国家版本馆 CIP 数据核字第 2025PH9929 号

责任编辑：邢 涛 装帧设计：韩 飞
责任校对：王鹏飞

出版发行：化学工业出版社
（北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011）
印 装：北京云浩印刷有限责任公司
710mm×1000mm 1/16 印张 20½ 字数 400 千字
2025 年 2 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询：010-64518888 售后服务：010-64518899
网 址：<http://www.cip.com.cn>
凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。

定 价：98.00 元

版权所有 违者必究

《图解分析仪器》

编写人员

主 编：杨晓琴

副主编：姜 倩 郑云武 侯英

编 者：（按姓氏汉语拼音排序）

曹 龙	陈保森	丁章帅
桂磊进	韩康佳	何远平
侯 英	姜 倩	李光鑫
李剑锋	李云仙	刘梦哲
彭宗铸	钱 雯	秦秀娟
谭浩雪	夏 娇	谢 东
解思达	徐俊明	杨发忠
杨晓琴	杨 洋	姚传慧
尹文行	喻艳华	张璟雯
张茜棉	张晓旭	赵 平
郑云武	朱国磊	邹丽花

前言

随着科学技术的快速发展，各类分析仪器在化学、生物、环境、材料等领域的应用日益广泛，这些仪器为我们提供了丰富的信息。然而，对于非专业人士来说，理解和掌握这些复杂的仪器和分析方法常常是一大难题。

《图解分析仪器》是一本面向广大读者的科普读物，旨在通过图解的方式，使复杂的分析仪器知识变得通俗易懂。无论是学生、科研人员，还是对科学技术感兴趣的普通读者，都能通过本书轻松理解和掌握各种仪器的基本工作原理、使用方法和应用领域。

在通用分析仪器部分，我们将带领读者了解光学类、电化学类、色谱类和质谱类等常用分析仪器的工作原理和应用领域；在专用分析仪器领域，我们将从生物技术专用和材料科学专用两个维度，解析生物和材料专业领域常用仪器的工作原理和应用领域。

本书力求在科学性和通俗性之间找到平衡，使读者在轻松愉快的阅读过程中，获得有价值的知识和技能。希望读者通过本书不仅能够系统地了解各类分析仪器的基础知识，还能通过丰富的图示分析，直观地感受到科学仪器在各个领域中的重要性和实际应用价值。

本书的出版得到了云南省科技厅科学技术普及专项（No. 202404AM350011）的经费资助和西南林业大学“十四五”校级规划教材项目的立项支持，在此表示特别感谢。在大家慷慨资助和共同努力下，本书得以顺利出版。

希望本书能够成为您进入科学世界的一把钥匙，激发您对科学探索的兴趣，并在实际应用中帮助您更好地理解和使用各种分析仪器。

杨晓琴

2024年7月24日于昆明