

过热水蒸气提取杉木精油及组成分析

马守肖, 段昊沅, 朱 凯*

(南京林业大学 化学工程学院, 江苏 南京 210037)

摘要: 以杉木屑为原料, 采用过热水蒸气蒸馏 (SSD) 法提取杉木精油。在投料量 350 g、蒸气流量 650 mL/h、蒸馏时间 4 h 的条件下, 考察不同温提取温度 (130、160、190、220、250、280 °C) 对杉木精油气味、得率及化学组成的影响。结果表明, SSD 法蒸气温度为 190 °C 时, 精油得率最高, 为 4.89%, 约是常压水蒸气蒸馏 (SD) 法的 3.2 倍。随着温度的升高, 木香、膏香气息降低, 焦甜味、酸味增加, 精油中的柏木醇相对含量由 100 °C 时的 49.99% 下降到 280 °C 时的 25.41%, α -柏木烯相对含量由 16.61% 上升至 30.14%, β -柏木烯相对含量由 4.10% 上升至 11.92%。SSD 法实现了杉木精油的高质、高效提取, 解决了高温提取需要高压锅炉等带来的设备投入大及安全性的问题, 大幅度提高了精油得率, 明确了精油化学组成及香气间的构效关系, 并满足了对杉木精油产品的不同需求。

关键词: 杉木; 精油; 过热水蒸气蒸馏; 化学成分; 分离提纯技术

中图分类号: TQ654.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-5214 (2022) 12-2521-06

Essential oil extraction from Chinese fir by superheated water steam distillation and its component analysis

MA Shouxiao, DUAN Haoyuan, ZHU Kai*

(College of Chemical Engineering, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, Jiangsu, China)

Abstract: Essential oil from Chinese fir was extracted by superheated steam distillation (SSD). Under the conditions of 350 g feeding amount, 650 mL/h steam flow, and 4 h distillation, the effects of extraction temperature (130, 160, 190, 220, 250 and 280 °C) on odor, yield, and chemical composition of Chinese fir essential oil were investigated. The result showed that, at steam temperature of 190 °C, the yield reached the highest (4.89%), about 3.2 times that of atmospheric steam distillation (SD). As temperature increased, the smell of wood and cream fragrance decreased, while sweet and sour taste increased. At the same time, the relative content of cedrol in the extracted essential oil decreased from 49.99% at 100 °C to 25.41% at 280 °C, while that of α -cedrene increased from 16.61% to 30.14%, and that of β -cedrene increased from 4.10% to 11.92%. The SSD method realized efficient extraction of high quality Chinese fir essential oil, solved the problem of large equipment investment and potential safety issues that caused by high-temperature extraction, greatly improved the yield of essential oil, and clarified the relationship between chemical composition and aroma. SSD method could meet different needs of Chinese fir essential oil products.

Key words: Chinese fir; essential oil; superheated water steam distillation; chemical composition; separation and purification technology

杉木精油是一种重要的天然香料, 可用于香水、熏香、化妆品等日化产品中, 此外, 其还具有抑菌免疫等作用^[1-5], 可用于药品和精细化学品^[6]。杉木精油与柏木精油的香气及化学组成相似, 主要成分均为柏木醇、柏木烯、罗汉柏木烯等萜类化合物。

而柏木精油是世界十大天然精油之一, 柏木精油及柏木系香料香气特殊、可贵、不可替代^[7]。但柏木生长周期长, 目前用于柏木精油提取的柏木资源严重匮乏, 已经影响到香料工业的发展, 杉木精油可代替柏木精油应用于香料行业。

收稿日期: 2022-04-15; 定用日期: 2022-06-20; DOI: 10.13550/j.jxhg.20220355

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2018YFD0600405)

作者简介: 马守肖 (1998—), 女, 硕士生, E-mail: 283856723@qq.com。联系人: 朱 凯 (1959—), 男, 教授, E-mail: zhukai53@163.com。

目前,提取杉木精油的方法主要有水蒸气蒸馏(SD)法、溶剂萃取法以及干馏法。水蒸气蒸馏法提取得到的杉木精油品质最好,澄清透明、香气纯正,最适合用于调香,但由于该法通常是常压蒸馏,温度低,芳香成分提取不完全,所以精油得率低^[8]。溶剂萃取法提取得率很高,芳香成分提取完全,但产品杂质多、流动性差、颜色深^[9-11],并且还存在溶剂残留的问题,所以在使用上受到限制。干馏法得到的杉木精油得率高^[12],但提取过程中高温,会产生局部过热,得到的杉木精油中酸类和酚类物质含量高,焦苦气味重,影响产品质量,且后续处理繁琐^[13]。因此,开发杉木精油新的高质、高效提取方法具有重要意义。

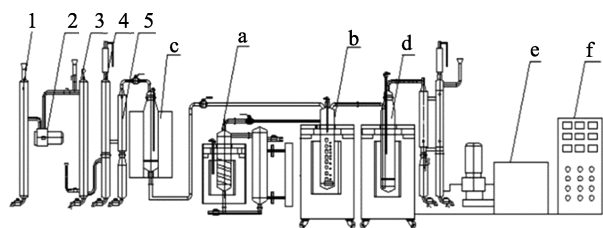
水蒸气蒸馏的温度对杉木精油提取效果影响很大。本研究使用实验室设计定制的新型多功能水蒸气蒸馏-干馏集成设备,通过过热水蒸气蒸馏(SSD)法提取杉木精油。考察不同过热水蒸气温度对杉木精油得率、气味及精油组成的影响,明确杉木精油组成与香气之间的构效关系,从而解决水蒸气蒸馏设备要求高及安全的问题,为满足不同产品需求提供依据。

1 实验部分

1.1 试剂与仪器

杉木屑,取自安徽黄山;乙酸乙酯,分析纯,无锡市亚盛化工有限公司;无水硫酸钠、无水乙醇,分析纯,南京化学试剂有限公司。

自行研究设计新型多功能水蒸气蒸馏-干馏集成设备,江苏溧阳市海佐机械制造有限公司加工,如图 1 所示;TRACE 1280-ISQ 型气相色谱-质谱联用仪(GC-MS),美国 Thermo Fisher Scientific 公司;RE-52 型旋转蒸发器,上海亚荣生化仪器厂。



a—水蒸气发生装置; b—过热蒸气装置; c—多功能水蒸气蒸馏装置; d—水蒸气蒸馏-干馏装置; e—水冷却系统装置; f—电气控制柜; 1—水泵用罐; 2—真空泵; 3—第二冷凝器; 4—第一冷凝器; 5—除尘装置

图 1 过热水蒸气蒸馏设备示意图

Fig. 1 Schematic diagram of superheated steam distillation equipment

1.2 提取方法

1.2.1 常压水蒸气蒸馏

用 15 目筛网筛取 85.0 g 杉木屑,置于水蒸气蒸

馏装置中,加热 100 °C 蒸馏 4 h,精油随水蒸气带出,经冷凝、油水分离后得杉木精油,计算得率^[14],用 GC-MS 检测精油化学组成。

1.2.2 过热水蒸气蒸馏

用 15 目筛网筛取 350.0 g 杉木屑,置于多功能水蒸气蒸馏装置,调节水蒸气发生装置温度使蒸气量为 650 mL/h,调节过热蒸气装置和多功能水蒸气蒸馏装置(保温作用)温度。每次蒸馏提取温度分别为 130、160、190、220、250、280 °C。待多功能水蒸气蒸馏装置温度稳定后,连续蒸馏 4 h,从冷凝器内放出冷凝液体,用分液漏斗分离得到粗油。经乙酸乙酯萃取、无水硫酸钠干燥除水、过滤、旋转蒸发除去乙酸乙酯,得到杉木精油。称重计算杉木精油得率,用 GC-MS 检测精油化学组成。

1.3 分析检测及数据处理

感官评价:香气评价参照 YC/T 497—2014《中式卷烟风格感官评价方法》及 GB/T 10220—2012《感官分析方法学总论》。组成 8 人评香小组(最大值为 10 分,最小值为 0 分,最小分值 1 分,最后计算单项指标平均得分,结果精确至 0.1)分别对木香、树脂香、焦甜香、清凉感、酸味、刺激感等方面进行评价。精油处理方法是 将 1.00 mL 精油溶于 5.00 mL 无水乙醇中。

精油成分 GC-MS 分析:色谱柱为 DB-5MS,初温为 60 °C,保留时间为 2 min,以 5 °C/min 升温至 220 °C,再以 10 °C/min 升温至 280 °C,并保留 5 min。进样口温度为 250 °C, FID 检测器温度为 280 °C;以氦气为载气,进样量为 0.4 μL。采用面积归一化法确定各化学组分的相对含量,与数据库进行比对并参考文献校对,确定化合物。质谱条件为:EI 离子源 250 °C,四极杆 150 °C;电子能量 70 eV;电子倍增管电压 1347 V,扫描范围 45~450 amu。

采用绝干原料按式(1)计算精油得率:

$$\text{精油得率}/\% = \frac{m_1}{m_2} \times 100 \quad (1)$$

式中: m_1 为所得精油质量, g; m_2 为绝干原料质量, g。

2 结果与讨论

2.1 提取温度对杉木精油得率的影响

过热蒸气温度对杉木精油得率影响如图 2 所示。100 °C 为常压水蒸气蒸馏温度,每个实验重复 3 遍,取平均值。

由图 2 可知,随着过热水蒸气蒸馏法蒸馏温度的上升,精油得率呈快速增长趋势,当温度达到 190 °C 时,精油得率最高,为 4.89%,约是常压水蒸气蒸馏(SD)法(精油得率 1.52%)的 3.2 倍。250 °C 后,精油得率下降,280 °C 时,精油得率为 4.06%。

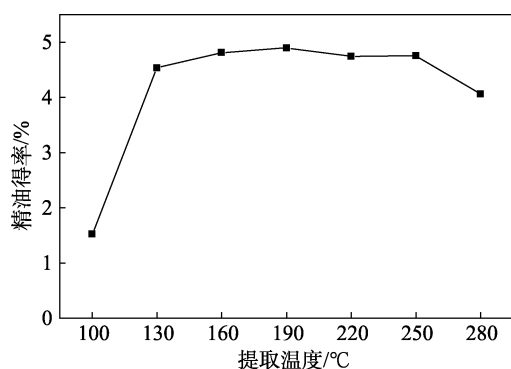


图 2 过热水蒸气温度对精油得率的影响

Fig. 2 Effect of superheated steam temperature on yield of essential oil

由此可知, 过热蒸气温度对精油得率影响非常大。温度高, 高沸点成分也能随水蒸气蒸出, 提取比较完全, 所以精油得率增加。而温度过高, 芳香成分易发生热解等反应, 低沸点成分也易损失, 从

而导致杉木精油得率降低。随着温度的升高, 蒸馏精油的结晶明显下降, 精油颜色也从淡黄色加重至淡红褐色。

2.2 精油化学组成及含量分析

2.2.1 化学组成分析

采用 GC-MS 分别对不同温度提取的杉木精油进行了化学成分分析, 通过计算机标准谱图库检索对比, 同时参考有关文献进行人工检索, 共鉴定出 48 种化合物。不同提取温度得到的精油组成见表 1。由表 1 可见, 主要为萜烯类化合物, 其中醇类 20 种、烯类 23 种、其他类 5 种。随着温度的上升, 木香、膏香气息降低, 焦甜味、酸味增加, 精油中的柏木醇相对含量由 100 °C 时的 49.99% 下降到 280 °C 的 25.41%, α -柏木烯相对含量由 16.61% 上升至 30.14%, β -柏木烯相对含量由 4.10% 上升至 11.92%。280 °C 时, 柏木烯相对含量为 42.06%。

表 1 精油成分及相对含量

Table 1 Composition and relative content of essential oil

序号	保留时间/ min	化学式	化合物名称	相对含量/%						
				100 °C	130 °C	160 °C	190 °C	220 °C	250 °C	280 °C
1	6.19	C ₁₆ H ₂₄ N ₂ O ₃	癸酰间硝基苯胺	0.08	—	—	—	—	—	—
2	12.26	C ₁₀ H ₁₈ O	小茴香醇	0.14	—	—	—	—	—	—
3	12.95	C ₁₀ H ₁₈ O	龙脑	0.17	—	—	—	—	—	—
4	18.94	C ₁₀ H ₁₈ O	α -松油醇	0.16	—	—	—	—	—	—
5	19.11	C ₁₂ H ₂₀ O ₂	乙酸松油酯	0.40	0.36	0.36	0.36	0.38	0.62	0.59
6	19.36	C ₁₅ H ₂₄	<i>d</i> -雪松烯	1.93	1.50	1.54	1.47	1.54	1.80	1.75
7	19.71	C ₁₅ H ₂₄	β -榄香烯	0.32	0.25	0.27	0.23	0.27	0.36	0.33
8	20.03	C ₁₅ H ₂₄	α -柏木烯	16.61	16.30	17.90	17.87	19.11	26.66	30.14
9	20.26	C ₁₅ H ₂₄	β -柏木烯	4.10	7.33	8.09	7.64	8.31	11.01	11.92
10	20.52	C ₁₅ H ₂₄	罗汉柏烯	4.37	0.95	1.16	0.87	1.04	1.21	1.11
11	20.98	C ₁₅ H ₂₄	金合欢烯	1.84	0.46	0.49	0.26	0.34	0.61	0.50
12	21.10	C ₁₅ H ₂₄	依兰油烯	0.39	0.76	0.79	0.75	0.87	1.06	1.00
13	21.36	C ₁₅ H ₂₄	(1 <i>R</i> ,4 <i>R</i> ,5 <i>S</i>)-1,8-二甲基-4-(丙-1-烯-2-基)螺[4.5]癸-7-烯	1.04	0.41	0.44	0.37	0.42	0.48	0.48
14	21.65	C ₁₅ H ₂₂	姜黄烯	0.47	0.85	1.11	0.72	1.06	1.35	1.32
15	21.82	C ₁₅ H ₂₄	大根香叶烯	0.81	1.54	1.54	1.28	1.50	1.63	0.77
16	21.98	C ₁₅ H ₂₄	β -瑟林烯	0.91	0.79	0.86	0.81	0.88	1.14	1.17
17	22.2	C ₁₅ H ₂₄	α -芹子烯	0.95	1.33	1.43	1.42	1.44	1.90	2.20
18	22.34	C ₁₅ H ₂₄	α -雪松烯	1.48	0.26	0.23	—	—	0.31	—
19	22.49	C ₁₅ H ₂₂	花侧柏烯	0.74	0.66	0.68	0.70	0.77	1.01	0.94
20	22.63	C ₁₅ H ₂₄	α -阿拉斯加烯	1.41	1.27	1.30	1.05	1.29	1.57	1.81
21	22.86	C ₁₅ H ₂₄	<i>d</i> -紫穗槐烯	2.01	1.71	1.78	1.49	1.71	2.06	2.18
22	23.14	C ₁₅ H ₂₄	γ -没药烯	—	0.21	0.21	—	0.21	0.27	0.22
23	23.25	C ₁₅ H ₂₄	α -杜松烯	—	—	—	—	—	0.25	0.22
24	23.43	C ₁₅ H ₂₀	二去氢菖蒲烯	0.26	0.28	0.30	0.25	0.29	0.40	0.38
25	23.67	C ₁₅ H ₂₆ O	榄香醇	1.24	1.47	0.99	3.27	2.37	2.54	4.27
26	25.04	C ₁₅ H ₂₆ O	柏木醇	49.99	44.16	41.84	40.25	39.11	29.86	25.41
27	25.35	C ₁₅ H ₂₆ O	γ -桉叶醇	0.71	0.96	0.89	0.90	0.86	0.74	0.78
28	25.56	C ₁₅ H ₂₆ O	<i>t</i> -依兰油醇	0.11	0.24	0.22	—	—	—	—
29	25.66	C ₁₅ H ₂₆ O	α -毕澄茄醇	0.44	0.68	0.63	0.63	0.58	0.50	0.44
30	25.74	C ₁₅ H ₂₂ O	花侧柏醇	0.16	0.22	0.20	0.20	—	—	—

续表 1

序号	保留时间/ min	化学式	化合物名称	相对含量/%						
				100 °C	130 °C	160 °C	190 °C	220 °C	250 °C	280 °C
31	25.89	C ₁₅ H ₂₆ O	红没药醇	0.45	0.69	0.63	0.63	0.57	0.50	0.47
32	25.99	C ₁₅ H ₂₄ O	柏木-8-烯-15-醇	0.15	0.34	0.30	0.30	0.27	0.26	0.24
33	26.21	C ₁₇ H ₂₈ O ₂	乙酸柏木酯	1.36	1.83	1.69	1.76	1.45	1.20	1.15
34	26.48	C ₁₅ H ₂₂ O ₂	莜术醇	0.15	0.33	0.31	0.23	—	0.20	—
35	26.59	C ₁₅ H ₂₄ O	木香醇	0.57	0.86	0.74	0.80	0.74	0.42	0.35
36	26.68	C ₂₀ H ₃₄ O	7a-异丙烯基-4,5-二甲基辛氢 茛满-4-基甲醇	0.49	1.02	0.91	0.90	0.81	0.25	0.25
37	26.87	C ₂₀ H ₃₂	异唑吡马拉-9(11),5-二烯	0.17	0.45	0.35	0.38	0.34	0.78	0.70
38	28.78	C ₂₀ H ₃₂	西柏烯	0.86	1.11	2.05	2.35	2.26	1.78	1.79
39	32.01	C ₂₀ H ₃₂	海松-8(14),15-二烯	—	—	—	0.23	—	0.19	0.17
40	32.34	C ₁₅ H ₂₄	香树烯	—	1.41	1.49	1.83	1.80	1.43	1.33
41	33.11	C ₂₀ H ₃₂	泪柏醚	—	—	0.23	0.30	0.32	0.27	0.27
42	33.20	C ₂₀ H ₃₄ O	7a-异丙烯基-4,5-二甲基辛氢 茛满-4-基甲醇	—	1.06	1.12	1.43	1.40	1.03	1.00
43	33.48	C ₁₅ H ₂₆ O	维替西洛尔	—	0.68	0.73	0.95	0.94	0.60	0.44
44	33.70	C ₂₀ H ₃₄ O	13-表泪杉醇	—	0.56	0.60	0.81	0.80	0.51	—
45	34.89	C ₂₀ H ₃₆ O ₂	香紫苏醇	1.43	2.90	2.55	3.11	2.81	0.87	0.83
46	36.13	C ₂₀ H ₃₆ O	5-(7a-异丙烯基-4,5-二甲基 八氢茛-4-基)-3-甲基-2-戊烯	—	0.23	—	—	—	—	—
47	36.29	C ₂₀ H ₃₂ O	枞醇	0.13	0.50	0.44	0.53	0.49	—	0.17
48	37.49	C ₂₀ H ₃₀ O ₂	湿地松酸	—	—	—	0.22	0.21	0.20	0.27

注：“—”表示未检测出。

2.2.2 常压水蒸气蒸馏与过热水蒸气蒸馏提取杉木精油比较

常压水蒸气蒸馏和过热水蒸气蒸馏所得到的杉木精油成分与相对含量有所不同。常压水蒸气蒸馏得到的杉木精油中含有龙脑及小茴香醇等单萜类物质，主要提供樟脑及松木香^[15]，在高温时，精油中未检测到单萜类物质，罗汉柏木烯相对含量也下降了70%~80%。这解释了温度升高，木香特征香气下降的原因。

常压水蒸气蒸馏提取的杉木精油共鉴定出 38 种化合物，检出率 99.00%。精油中单萜类化合物共 3 种(相对含量为 0.47%)、倍半萜类化合物 28 种(相对含量为 93.61%)、二萜类化合物 5 种(相对含量为 3.08%)、其他化合物相对含量为占 1.84%。与过热水蒸气蒸馏提取的杉木精油相比，倍半萜化合物相对含量明显高，二萜类化合物种类及相对含量均减少。

2.2.3 不同温度的过热水蒸气蒸馏提取杉木精油比较

不同温度的过热水蒸气蒸馏提取杉木精油的主要差异表现在精油相对含量上。柏木烯和柏木醇是杉木精油中主要成分，柏木醇是一种倍半萜醇，广泛用于木香、辛香和东方型香精中^[16]；也大量用于消毒剂和卫生用品中的榄香醇作为定香剂、修饰剂，

能与檀香油、愈创木油、柳酸酯类等多种原料很好地融合，改善香精中某些原料的化学气息而使香气圆和甜醇，广泛用于日化香精配方中^[17]；在医药方面被广泛用于抗菌及抗癌^[18]。 α -柏木烯主要作为合成系列的柏木油衍生物，如柏木酮、乙酰基柏木烯、柏木烯醛、柏木烯醇、环氧柏木烯等香料^[19]。随着提取温度的变化，这两者的相对含量发生明显变化。

图 3 为过热水蒸气温度对柏木烯、柏木醇相对含量的影响。

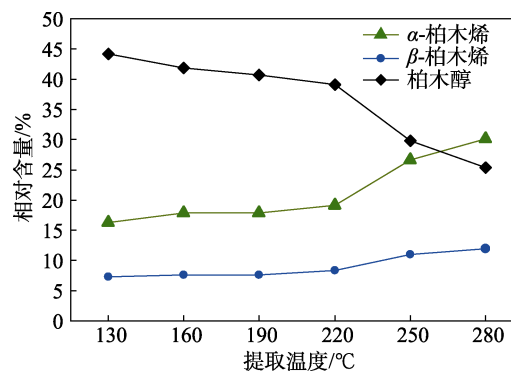


图 3 过热水蒸气温度对柏木烯、柏木醇相对含量的影响
Fig. 3 Effect of superheated steam temperature on relative content of cypress olefin and cypress alcohol

由图 3 可知，过热水蒸气蒸馏得到的杉木精油中柏木醇相对含量随提取温度的升高而下降，柏木

烯相对含量随提取温度的升高而上升。当水蒸气温度 >220 °C 时, α -柏木烯、 β -柏木烯相对含量数明显上升, 柏木醇相对含量明显下降。柏木醇和柏木烯相对含量产生差异的原因主要是高温下柏木醇发生了 Wagner-Meerwein Rearrangement 反应。

图 4 为柏木醇脱水反应示意图。

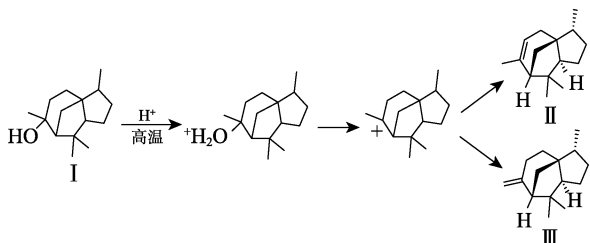


图 4 柏木醇脱水反应式

Fig. 4 Dehydration reaction of cupressol

如图 4 所示, 柏木醇在高温下脱水生成柏木烯, 由于木材在过热水蒸气中会发生部分热解反应, 释放出酸性物质, 产生木醋液。在高热和具有酸性条件下, 导致柏木醇发生质子化脱水反应, 形成的碳正离子再发生脱氢得到柏木烯。提取温度越高, 柏木醇脱水越容易, 精油中柏木烯相对含量数增加越明显。

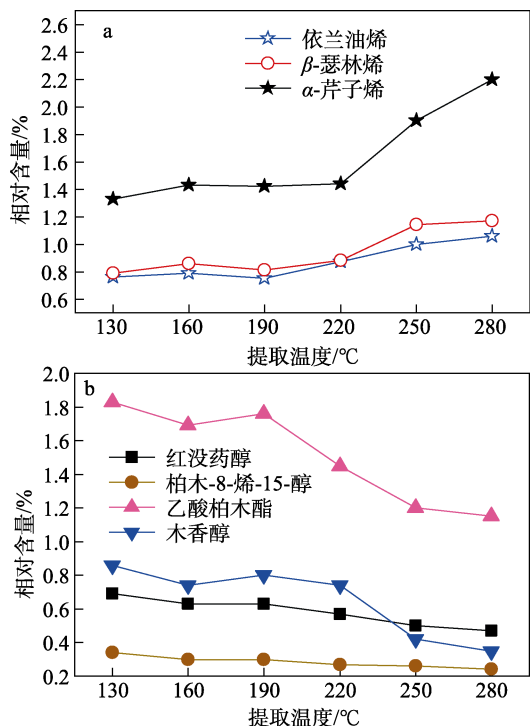


图 5 部分成分随温度变化图

Fig. 5 Variation diagrams of some components with temperature

除柏木烯、柏木醇外, 依兰油烯、 β -萜烯、 α -芹子烯等化合物也随过热水蒸气温度升高呈线性变

化, 如图 5a 所示。当提取温度为 130 °C 时, 依兰油烯、 β -萜烯、 α -芹子烯相对含量分别为 0.76%、0.79%、1.33%。当过热水蒸气温度含量 280 °C 时, 相对含量分别升高至 1.00%、1.17%、2.20%。当温度 >220 °C 时, 物质相对含量上升明显, 说明升高温度有利于提高这几种化合物的相对含量。如图 5b 所示, 当温度 >190 °C 后, 乙酸柏木酯、木香醇、红没药醇等具有强烈的木香、雪松气息和岩兰草样香气, 随着温度的升高, 这些化合物相对含量下降。这些物质相对含量的减少可能会降低精油药理作用以及降低气味中的木香。

部分化合物相对含量和提取温度无关, 但在特定温度具有较高的相对含量, 如榄香醇在 280 °C 时相对含量是其他提取温度的 1.3~4.3 倍。所以, 可以考虑高温提取精油后, 分离精制榄香醇单体香料。西柏烯、香紫苏醇在 190 °C 提取的精油中有较高的相对含量。因此, 可以有针对性地选择合适的温度, 来提高某些化合物的相对含量。

2.3 香气评价

测试者随机进入实验室, 测试时, 每隔 10 min 在通风处放松休息 1 次, 以免造成嗅觉混乱或迟钝。根据测试者给每项气味打分后, 求得平均值如图 6 所示。

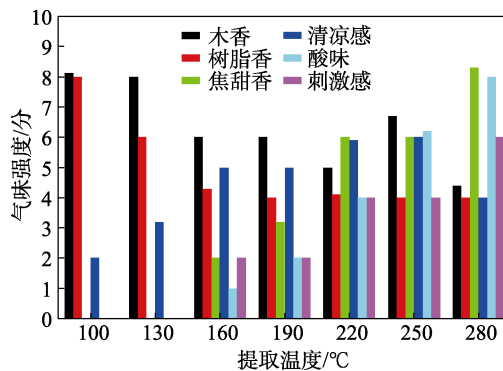


图 6 杉木精油的气味评价图

Fig. 6 Odor evaluation chart of Chinese fir essential oil

由图 6 可知, 杉木精油的木香和树脂香的气味强度随着温度的升高而降低, 因为提取温度过高会使沸点低的化合物含量减少(龙脑、罗汉柏木烯等), 这类物质是主要致香成分, 随着这些物质含量的减少, 导致精油的木香和树脂香减少。而焦甜香产生的主要原因是木材热解产生的糖类物质, 故低温时提取的精油焦甜味不足, 高温焦甜味明显。清凉感主要来自醇类物质含量的增加, 温度越高, 低沸点物质越少, 醇类物质种类越多, 清凉感气味越明显。随着温度的升高, 木材发生部分热解, 产生酸类物质^[20], 导致酸味及刺激感也随之增加。

3 结论

采用过热水蒸气提取杉木精油,发现水蒸气蒸馏法和过热水蒸气蒸馏法得到的杉木精油在得率、气味和组成成分等方面存在差异。过热水蒸气蒸馏法比水蒸气蒸馏法得到的精油得率更高,蒸气温度为 190 °C 下时,精油得率最高,为 4.89%,约是常压水蒸气蒸馏(SD)法的 3.2 倍。随着过热水蒸气温度的升高,蒸馏得到的杉木精油结晶量减少,精油颜色加深,木香、树脂香减少,焦甜味、酸味增加。精油组成成分中柏木醇相对含量减少,柏木烯相对含量增加,当温度达到 280 °C 时,柏木烯相对含量为 42.06%,柏木醇相对含量为 25.41%。过热水蒸气蒸馏法大大提高了精油的得率,研究得出了不同过热水蒸气温度变化与精油化学组成及香气间的构效关系,可满足对杉木精油产品的不同需求。此方法有很好的工业化应用前景,对其他芳香精油提取也具有借鉴及示范作用。

参考文献:

- [1] WEI D Y, LIU S J. Inhibition of the growth of alexandriumtamarensis by algicidal substances in Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*)[J]. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 2009, 83: 537-541.
- [2] ZENG Z K, ZHANG S, WANG H L, et al. Essential oil and aromatic plants as feed additives in non-ruminant nutrition: A review[J]. Journal of Animal Science and Biotechnology, 2015, 7(6): 2-10.
- [3] ZHAO C (赵琛), DING J (丁健), LI Y L (李艳玲). Biological activity of plant essential oils and their application in animal immunity[J]. Journal of Animal Nutrition (动物营养学杂志), 2020, 32(9): 4070-4077.
- [4] LIAN H (连欢), WEI W W (魏雯雯), WANG D (王达), et al. Research progress of controlled release polysaccharide-plant essential oil antibacterial packaging materials[J]. Food and Fermentation Industries (食品与发酵工业), 2022, (5): 1-6.
- [5] LI M T (李孟滕), SONG Y J (宋熠杰), ZHUANG W D (庄雯迪), et al. Studies on chemical constituents and antibacterial and antioxidant activities of essential oils from cunhamialancea[J]. Contemporary Animal Husbandry (当代畜牧), 2020, (12): 28-32.
- [6] KREIDEL M K, JHRIAVE M. Introduction to essential oils and essential oil processing[J]. Integrative Dermatology, 2021, 1(20): 99-122.
- [7] YAO L. Efficacy and safety of essential oils[J]. China Detergent and Cosmetics, 2017, 2(4): 19-25.
- [8] SUN W Q (孙吴倩), ZHANG X F (张秀芳), XIN X D (忻晓东), et al. Comparative study on extraction of volatile oil from artemisia argyifolium by steam distillation and water extraction coupling rectification[J]. Academic Journal of Shanghai University of Traditional Chinese Medicine (上海中医药大学学报), 2022, 36(1): 27-32.
- [9] NING N (宁娜), HAN J J (韩建军), YANG G A (杨广安), et al. Research progress on extraction technology of polysaccharides from ganoderma lucidum[J]. Shandong Chemical Industry (山东化工), 2020, 49(20): 63-66.
- [10] WANG X F (王雪芙), CHEN H T (陈洪涛), BAO Z H (包志红), et al. Research progress in supercritical carbon dioxide fluid extraction of active ingredients from botanicals[J]. Journal of Shenyang Pharmaceutical University (沈阳中医药大学学报), 2022, 39(2): 227-232.
- [11] LOPRESTO C G, MELUSO A, SANZO G D, et al. Lemonenerecovery from waste lemon peels with supercritical extraction[J]. Technology and Innovation, 2018: 1147-1149.
- [12] MENG B B (孟斌斌), ZHU K (朱凯). Destructive distillation of Chinese fir chips and components of its products[J]. Chemistry and Industry of Forest Products (林产化学与工业), 2018, 38(6): 88-94.
- [13] SAMEJO M Q, MEMON S, BHANGER M I, et al. Comparison of chemical composition of *Aerva javanica* seed essential oils obtained by different extraction methods[J]. Pakistan Journal of Pharmaceutical Sciences, 2013, 26(4): 757-760.
- [14] WANG Q (王侨), WAN F X (万福绪), MAO P (毛萍), et al. Composition of essential oil from cupressuslusitanice and its screened chemical characteristics[J]. Journal of Forestry Engineering (林业工程学报), 2020, 5(3): 96-100.
- [15] LIANG Z Y (梁忠云), LI G Z (李桂珍), CHEN H Y (陈海燕), et al. Study on the chemical constituents of leaves oil of *Cinnamomum camphora* (L) Sieb after vacuum suction filtration[J]. Flavour Fragrance Cosmetics (香料香精化妆品), 2016, (1): 1-4.
- [16] CHEN H C (陈华成). Study on the synthesis of epoxy cedar[D]. Nanjing: Nanjing Forestry University (南京林业大学), 2006.
- [17] ZHANG Y (张岩), QU F Z (曲凡志), ZHAO Y Q (赵余庆). Research progress on pharmacological effects of cedrol[J]. Journal of Shenyang Pharmaceutical University (沈阳药科大学学报), 2014, 31(7): 584-588.
- [18] CHANG K F, HUANG X F, CHANG J T, et al. Cedrol, a sesquiterpene alcohol, enhances the anticancer efficacy of temozolomide in attenuating drug resistance via regulation of the DNA damage response and MGMT expression[J]. Journal of Natural Products, 2020, 83: 3021-3029.
- [19] GAO W L (高伟琳), ZHU K (朱凯). Synthesis of epoxycedarane catalyzed by quaternary ammonium peroxyphosphotungstate[J]. China Surfactant Detergent and Cosmetics (日用化学工业), 2019, 49(2): 108-112.
- [20] CARPENTER D, TYLER L W, CZERNIK S, et al. Biomass feedstocks for renewable fuel production: A review of the impacts of feedstock and pretreatment on the yield and product distribution of fastpyrolysis bio-oils and vapors[J]. Green Chemistry, 2014, 16: 384-406.