

# 无人机吸附和人工剪枝采样的杉木挥发物成分分析

文娟<sup>1</sup>,赵鹏飞<sup>2</sup>,黎贵卿<sup>2</sup>

(1. 广西壮族自治区森林资源与生态环境监测中心,广西 南宁 530028;2. 广西壮族自治区林业科学研究院,广西 南宁 530002)

**摘要:**为了分析无人机和人工采样2种方式获取的杉木挥发物出峰规律和物质种类,利用无人机搭载气体采样管和人工剪枝叶的方法,结合热脱附、热解析技术和GC-MS检测技术,对2种采样方式的杉木挥发物进行分析鉴定。结果如下:2种采样方式获得的杉木挥发物鉴定为40种,有2种相同物质。其中无人机采样鉴定的杉木挥发物23种,物质出峰的保留时间主要集中在20 min之后,物质种类数量占比78.3%;人工采样的杉木挥发物19种,保留时间前20 min物质出峰数量占总出峰数量的84.2%以上。2种采样方式的杉木挥发物归属以下6个大类:烷烃、苯、萜烯、酯、醇和醛类,人工采样的杉木含有萜烯、醇和醛类等3大类18种药理性挥发物,较无人机采样的种类多,无人机采样含有植株自我防护性物质烷烃的种类数量较人工采样多。上述结论阐述了不同采样方式获取的杉木挥发性化合物种类,为森林康养提供了重要的基础数据。

**关键词:**杉木;无人机采样;人工采样;挥发物;分析

中图分类号:O62;S727.5;S791.27

文献标志码:A

doi:10.3969/j.issn.1001-7380.2023.01.007

## Volatile analysis of *Cunninghamia lanceolata* based on UAV and manual sampling

Wen Juan<sup>1</sup>, Zhao Pengfei<sup>2</sup>, Li Guiqing<sup>2</sup>

(1. Guangxi Forest Resources and Environment Monitoring Center, Nanning 530028, China;

2. Guangxi Zhuang Autonomous Region Forestry Research Institute, Nanning 530002, China)

**Abstract:** In order to analyze the peak law and substance types of volatile matter from *Cunninghamia lanceolata* obtained by unmanned aerial vehicle (UAV) and manual sampling, the volatile matter with two sampling methods was identified by UAV carrying gas sampling tube and manually cutting branches and leaves combined with thermal desorption, thermal analysis technology and GC-MS detection technology. The results were found that 40 kinds of volatile matter obtained by two sampling methods were identified, among them two kinds were the same. 23 kinds sampled and identified by UAVs, with the retention time of the peak of the substances mainly concentrated after 20 min, and the number of substances accounting for 78.3%; In 19 kinds sampled artificially, the amount of material peaks in the first 20 minutes of retention time accounted for more than 84.2% of the total amount of peaks. The volatiles from the two sampling methods belong to the following six categories: alkanes, benzene, terpenes, esters, alcohols and aldehydes. *Cunninghamia lanceolata* sampled manually contains 18 kinds of pharmacological volatiles from three categories, such as terpenes, alcohols and aldehydes, more than those sampled by UAVs. The number of alkanes containing plant self-protective substances sampled by UAVs was more than that sampled manually.

**Key words:** *Cunninghamia lanceolata*; Unmanned aerial vehicle sampling; Manual sampling; Volatile; Analysis

杉木(*Cunninghamia lanceolata*)是我国南方主要造林树种之一,具有生长快、木纹通直、加工容易

等优点,在我国人工林选用的树种中具有重要地位<sup>[1]</sup>。研究发现,天然生物源的挥发性有机物大部

收稿日期:2022-10-11;修回日期:2022-10-29

基金项目:广西林业科技推广示范项目“基于森林VOCs的森林健康体系构建”(桂林科研[2022]第5号)

作者简介:文娟(1984-),女,广西全州人,高级工程师,硕士。主要从事森林资源与生态环境监测工作。

分来源于植物,特定的树种具有一定的挥发物化学指纹图谱的差异性,外在因素也会导致挥发物释放速率和种类产生变化,植物种类、生境、生理状况等指标的变化是影响植物挥发物释放规律、浓度和种类等的直接因素<sup>[2]</sup>。如孙启祥等<sup>[3]</sup>对自然状态下杉木木材挥发物进行分析,发现木材有35种萜类化合物、15种脂肪族化合物和5种芳香族化合物,并探讨了其主要组成成分萜类化合物在改善空气质量和促进人体身心健康等方面的作用。赖略等<sup>[4]</sup>对杉木离体鲜叶进行分析,鉴定出9种萜烯类化合物,1种烷烃化合物,其中以松柏烯的相对含量最高。目前,无人机技术较多地应用于资源与环境监测、救援防护、调查规划等方面<sup>[5-8]</sup>。如何诚等<sup>[9]</sup>提出了一种利用无人机搭载普通相机的林火识别技术,并在同一区域,结合地面调查数据,对无人机搭载普通相机林火识别技术精度进行检验。苏纯兰等<sup>[10]</sup>在同一区域利用无人机搭载激光雷达的空中无损监测技术和背包激光雷达的地面监测技术,分别获取林冠上层、林分下层参数信息,背包激光雷达可作为机搭载激光雷达的补充。付虹雨等<sup>[11]</sup>利用无人机搭载数码相机采集芭麻冠层数码图像,将无人机遥感为代表的高效无损诊断技术应用到植物的营养动态诊断中。姚小敏<sup>[12]</sup>应用无人机搭载传感器和模拟仿真等技术,设计了一套无人机CO<sub>2</sub>浓度实时监测系统。

受启发于孙启祥等<sup>[3-4]</sup>利用人工采集方法获取杉木挥发物,以及何诚等<sup>[9-11]</sup>利用无人机搭载设备开展低空资源监测、植物诊断、CO<sub>2</sub>浓度监测,并用地面调查数据与无人机作业数据进行检验、补充的研究,本研究利用无人机搭载吸附管采集健康杉木挥发性物质,并与人工采样分析结果进行比较,找出2种采样方式的杉木挥发性物质释放规律和种类差异,目前,利用无人机搭载吸附管采集植物挥发物的方法未见报道。探索植物挥发物无损采集方法,对保护植株(尤其是珍稀濒危植物)的完整性,促进森林健康发展、获取森林立体空间植物挥发物、揭示森林植物的康养功能具有重要意义,为开展森林健康管理和森林康养模式构建提供参考数据。

## 1 材料与方法

### 1.1 树种和样地概况

供试杉木位于广西壮族自治区柳州市三江

县。选择叶片绿色、枝条完整无明显缺损的健康杉木。

### 1.2 试验方法

1.2.1 无人机采样方法 利用无人机携带含有Tenax-TA吸附剂采样管的方法。采样杉木位置与公路和房屋建筑的直线距离1 km以上,采集时间上午9:00—11:00,天气晴朗,风速0.3—1.5 m/s,树叶无明显晃动,无人机可良好飞行。为避免机翼旋转带来其他挥发气体干扰,选择集中的10株以上杉木为1组,固定中间1株悬停,重复采集3次。飞机悬停后,采样管与杉木树冠上部距离保持在0.5 m以内。采样管连接气泵,气泵配装电池,再将上述采样管—气泵—电池连接装置固定于无人机机身底部,气泵固定流速为60 mL/min,采样时间为20 min,立即取下吸附管,旋好密封盖,标记后装入样品袋内,带回实验室分析。

1.2.2 无人机采样样品处理 将采样管分别用有机溶剂正己烷洗脱至容量为5 mL的试管中,每次用枪头规格为1 mL的移液枪吸取正己烷,每个样品洗脱5次。将洗脱好的液体样品移至氮吹浓缩仪,用氮气进行浓缩至1 mL,再用1次性注射器吸取浓缩后的样品,注射到规格为1.5  $\mu$ L的内衬管中,再将内衬管放入1.5 mL的进样瓶,拧好盖子,进行气相色谱—质谱联用仪(GC-MS)检测。

1.2.3 人工采样方法 在无人机采样区附近的健康杉木林区,用高枝剪采集杉木树冠位置的枝条30条,每个枝条长50 cm以上,立即装入密封袋,带回实验室分析。

1.2.4 人工采样样品处理 将样品用乙醇洗净并快速晾干,粉碎后混匀,再用电子天平称取1.0 g样品,放入顶空瓶密封,重复3次,加热平衡后抽取上层气体进样分析。顶空条件:平衡温度60  $^{\circ}$ C,平衡时间30 min,进样体积1 mL,振荡器振荡速率250 r/min。

1.2.5 气质检测方法 由广西壮族自治区分析测试中心利用气相色谱—质谱联用仪(仪器型号GCMS-TQ8050 NX)对处理好的样品进行检测。GC-MS检测和鉴定参考常明山、吴耀军等<sup>[13-14]</sup>的检测方法。

气相色谱条件:色谱柱安捷伦 InertCap 5MS (30 m $\times$ 0.5 mm $\times$ 0.5  $\mu$ m),载气为氮气,进样量1  $\mu$ L,起始温度50  $^{\circ}$ C,保持2 min,以5  $^{\circ}$ C/min升温至250  $^{\circ}$ C,再以10  $^{\circ}$ C/min升温至300  $^{\circ}$ C,保持10 min。

质谱离子扫描范围为 30—650 m/z,全扫描方式。将检出的离子流图与 NIST11 标准谱库进行对比,根据匹配度 85% 以上的物质鉴定挥发物种类。采用峰面积归一法进行定量。

1.3 数据处理

进气质分析后,归一化法计算各组分相对含量(以百分比表示相对含量)。利用 GC-MS 自带的软件进行数据前处理和图像分析,导出 EXCEL 格式的数据列表和 PDF 格式的总离子流图,离子图的保留时间按照 10 min 为 1 个间隔<sup>[15]</sup>,制作图表统计分析。

2 结果与分析

2.1 杉木主要挥发物种类和相对含量

从表 1 可以看出,无人机采样的杉木树冠共鉴定出 23 种挥发性物质。首先鉴定出来的物质为 2,4-二甲基己烷(相对含量 0.41%)、1,1,2,2-四甲基戊烷(相对含量 0.66%)、乙基环己烷(相对含量 0.26%)和蒎烯(相对含量 1.82%)等短链的烷烃和烯烃,其次为十六烷(相对含量 0.46%)、二十烷(相对含量 0.21%)、长叶烯(相对含量 1.16%)和棕榈酸甲酯(相对含量 0.79%)等长链烷烃、烯烃和酯类。相对含量最高的物质为 [1R-(1R\*,4Z,9S\*)]-4,11,11-三甲基-8-亚甲基-二环[7.2.0]4-十一烯(28.31%),其次为间二甲苯(25.36%)。无人机采样杉木挥发物离子流图见图 1。无人机采样杉木挥发物成分分析见表 1。

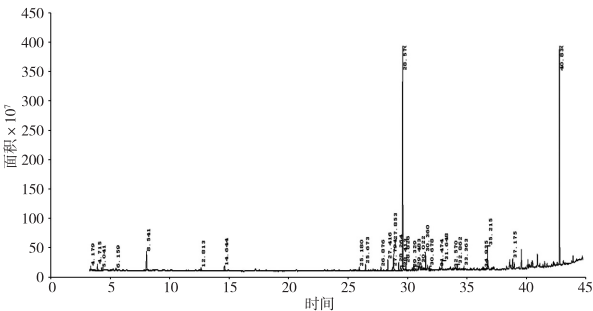


图 1 无人机采样杉木挥发物离子流图

从表 2 可以看出,人工采样的杉木树冠共鉴定出 19 种挥发性物质。首先鉴定出来的物质为 1-戊烯-3-醇(相对含量 0.20%)、(E)-3-己烯-1-醇(相对含量 1.43%)、反式-2-己烯醛(相对含量 0.16%)、蒎烯(相对含量 0.24%)、左旋-beta-蒎烯(相对含量 1.91%)和 4-乙基邻二甲苯(相对含量 0.13%)等短

链的醇、醛、蒎烯和苯,其次为(?)-α-蒎烯(相对含量 0.07%)、[1R-(1R\*,4Z,9S\*)]-4,11,11-三甲基-8-亚甲基-二环[7.2.0]4-十一烯(相对含量 0.28%)和 BETA-律草烯(相对含量 0.29%)等长链蒎烯。相对含量最高的物质为 2-蒎烯(59.21%),其次为(1S)-(+)-3-蒎烯(2.74%)。人工采样杉木挥发物总离子流图见图 2。人工采样杉木挥发物成分分析见表 2。

表 1 无人机采样杉木挥发物成分分析

序号	分子式	保留时间	化合物名称	相对含量/%
1	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	4.179	2,4-二甲基己烷	0.41
2	C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>	4.715	1,1,2,2-四甲基戊烷	0.66
3	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub>	5.041	乙基环己烷	0.26
4	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	6.159	间二甲苯	25.36
5	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	8.541	蒎烯	1.82
6	C <sub>16</sub> H <sub>34</sub>	25.18	十六烷	0.46
7	C <sub>21</sub> H <sub>44</sub>	25.673	二十一烷	0.71
8	C <sub>17</sub> H <sub>36</sub>	26.876	十七烷	0.34
9	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	27.416	(+)-α-长叶蒎烯	2.84
10	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	27.853	长叶烯	1.16
11	C <sub>14</sub> H <sub>30</sub>	28.413	十四烷	0.56
12	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	28.570	巴伦西亚橘烯	1.5
13	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	28.826	[1R-(1R*,4Z,9S*)]-4,11,11-三甲基-8-亚甲基-二环[7.2.0]4-十一烯	28.31
14	C <sub>20</sub> H <sub>42</sub>	29.329	二十烷	0.21
15	C <sub>18</sub> H <sub>37</sub> I	30.022	1-碘代十八烷	0.71
16	C <sub>14</sub> H <sub>22</sub> O	30.360	2,4-二叔丁基苯酚	0.37
17	C <sub>16</sub> H <sub>33</sub> I	30.678	碘代十六烷	0.47
18	C <sub>26</sub> H <sub>54</sub>	31.474	二十六烷	0.17
19	C <sub>32</sub> H <sub>66</sub>	32.862	三十二烷	0.51
20	C <sub>24</sub> H <sub>50</sub>	34.935	二十四烷	0.23
21	C <sub>17</sub> H <sub>34</sub> O <sub>2</sub>	35.215	棕榈酸甲酯	0.79
22	C <sub>19</sub> H <sub>38</sub> O <sub>2</sub>	37.175	硬脂酸甲酯	2.16
23	C <sub>24</sub> H <sub>38</sub> O <sub>4</sub>	40.830	邻苯二甲酸二(2-乙基己)酯	1.08

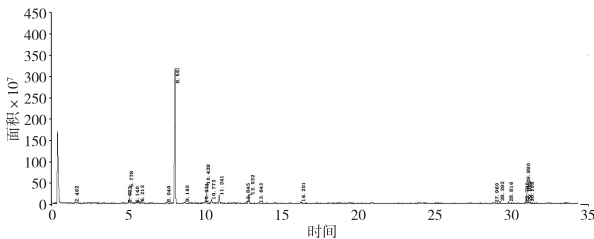


图 2 人工采样杉木挥发物总离子流图

表 2 人工采样杉木挥发物成分分析				
序号	分子式	保留时间	化合物名称	相对含量/%
1	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	8.04	蒎烯	0.24
2	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	8.562	2-蒎烯	59.21
3	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	9.16	苈烯	0.44
4	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	10.334	3-蒎烯	0.15
5	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	10.428	左旋-beta-蒎烯	1.91
6	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	11.241	月桂烯	2.33
7	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	13.032	(1S)-(+)-3-蒎烯	2.74
8	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	13.643	(Z)-3,7-二甲基-1,3,6-十八烷三烯	0.14
9	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	16.201	萜品油烯	0.54
10	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	27.96	(?)-α-蒎烯	0.07
11	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	28.816	[1R-(1R*,4Z,9S*)]-4,11,11-三甲基-8-亚甲基-二环[7.2.0]4-十一烯	0.28
			BETA-律草烯	
12	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	30.105	BETA-律草烯	0.29
13	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O	2.462	1-戊烯-3-醇	0.20
14	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O	5.778	(E)-3-己烯-1-醇	1.43
15	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O	6.14	顺-2-己烯-1-醇	0.11
16	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> O	6.213	正己醇	0.37
17	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O	10.773	1-辛烯-3-醇	1.1
18	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O	5.683	反式-2-己烯醛	0.16
19	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub>	12.845	4-乙基邻二甲苯	0.13

2.2 不同保留时间挥发物种类数量比例

从图 3 可以看出,无人机采样鉴定的挥发物保留时间在前 10 min 的物质数量占总物质数量的 21.7%;保留时间在 10—20 min 未鉴定出挥发物;保留时间在 20 min 之后鉴定出来的物质占比 78.3%,其中 20—40 min 鉴定的物质数量占比 73.9%。人工采样鉴定的挥发物保留时间前 20 min 物质种类出峰比较密集,物质数量占总物质数量的 84.2%以上,其余物质数量的保留时间在 20 min 以后,占比为 15.8%。不同保留时间挥发物种类比例见图 3。

2.3 2 种采样方式的杉木挥发物大类分析

无人机采样的杉木鉴定出 23 种挥发性物质归为烷烃、苯、萜烯和酯等 4 大类物质。其中烷烃 13 种,苯 2 种,萜烯 5 种,酯 3 种。其中,烷烃化合物 13 种,较其他大类多。人工采样杉木鉴定出 19 种挥发性物质归为苯、萜烯、醇和醛类等 4 大类物质,与无人机采样鉴定出的挥发物大类数量一致,但是种类差别较大,人工采样未鉴定出烷烃和酯类物质。2 种采样方式所获得的挥发物从物质数量、种类上都有较大不同之处。杉木挥发物种类见图 4。

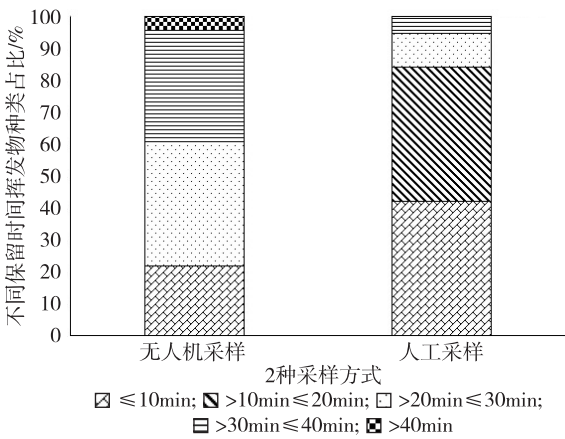


图 3 不同保留时间挥发物种类数量比例

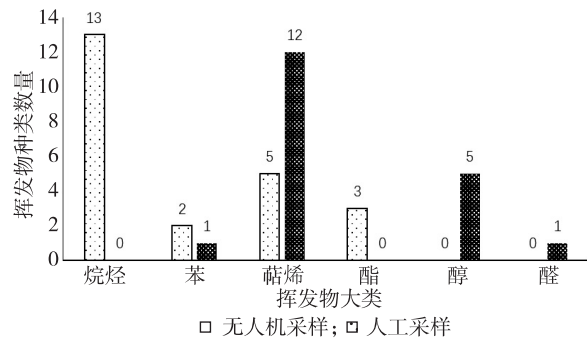


图 4 杉木挥发物种类

3 结论与讨论

植物挥发物是植物自身的一系列次生代谢活动产生的易挥发性有机化合物<sup>[16]</sup>。目前有关植物挥发物研究较多的是围绕昆虫与植物的选择、取食等方面<sup>[17]</sup>。应用的挥发物提取技术有顶空、固相微萃取、热脱附等,主要使用仪器为 GC、GC-MS。本次试验研究针对同树种 2 种采样方式的挥发物成分进行研究,使用的是挥发物常规提取技术和仪器,应用无人机携带 Tenax 采样管对杉木挥发物进行收集,该采样技术尚未见报道。无人机采样的杉木挥发物中有 21 种不同挥发物,人工采样的杉木挥发物中有 17 种不同挥发物。从 2 种采样方式鉴定出的杉木挥发物出峰规律、种类和相对百分含量来看,都有明显的不同,这与孙启祥等<sup>[3-4]</sup>研究发现的杉木挥发物种类均不相同。同时,本研究也发现了 2 种采样方式鉴定出的 2 种相同的挥发物,分别为蒎烯和[1R-(1R\*,4Z,9S\*)]-4,11,11-三甲基-8-亚甲基-二环[7.2.0]4-十一烯,说明这 2 种化合物在 2



种采样方式获取的杉木体内均存在,但是相对百分含量不同。

不同类型的植物挥发物对人体的生理和药理作用已有报道<sup>[3]</sup>。本次检测的 2 种采样方式下的杉木化合物种类可以归为 6 个大类:烷烃、苯类、萜烯、酯、醇和醛类,且两种采样方式获取的采样样品均含有上述 6 大类物质的 4 个大类物质,其中无人机采样未检测到醇和醛类物质,人工采样未检测到烷烃和酯类物质。其中萜烯、酯、醇和醛等类型的化合物具有抗炎、抗真菌、抗感染、祛痰、止咳等功效<sup>[18-19]</sup>,人工采样获取的萜烯类化合物种类较多,而无人机较少,说明活体植物组织内有些种类的萜烯化合物并不能完全释放出来。但是 2 种采样方式鉴定出的相对含量最高的挥发物均为萜烯类化合物。研究发现,植物体表存在的蜡质层主要为烷烃类物质,是植物自身的一种防御屏障,主要作用是减少蒸腾作用、抵御外来入侵,不同的植物都具有相应的烷烃指纹图谱<sup>[20]</sup>。本次检测的 2 种采样方式的杉木无人机采样鉴定出较多的烷烃类物质,人工采样的杉木未鉴定出烷烃类物质,说明烷烃类物质可能是由活体植株才能散发出的成分,起到自我保护的作用。

本研究通过无人机和人工采样共鉴定出杉木挥发物 40 种,说明自然和离体的杉木挥发物在种类、保留时间上有很大差别。其中,人工采样的杉木含有的萜烯、醇和醛类物质较无人机采样的多,而无人机采样的杉木鉴定出的烷烃类物质,人工采样未鉴定出。说明人工采样的杉木含有更多具有药理作用的化合物种类,而无人机采样的植株挥发出更多的自我保护的烷烃类物质。上述结论对了解植物在不同采样方式下挥发性化合物种类以及森林康养提供了参考作用。同时,开展森林挥发物无损采样方法研究,提高无损采样的精确性,促进森林挥发物长期性、动态性、精准性的监测与分析研究,并建立相应数据库,将成为下一步研究的重要内容。

#### 参考文献:

[1] 陈梅琴.杉木叶插枝技术优化及光自氧微繁殖技术在杉木叶

插中的应用研究[D].福州:福建农林大学,2015.

- [2] 鄧光发,王 成,彭镇华.森林生物挥发性有机物释放速率研究进展[J].应用生态学报,2005,16(6):1151-1155.
- [3] 孙启祥,彭镇华,张齐生.自然状态下杉木木材挥发物成分及其对人体身心健康的影响[J].安徽农业大学学报,2004,31(2):158-163.
- [4] 赖 略,徐金柱,秦长生,等.杉木叶片挥发物中对雀丽毒蛾的活性成分鉴定[J].林业与环境科学,2022,38(6):23-28.
- [5] 锥朝辉.基于无人机的森林火情监测与路径规划研究[D].西安:西安理工大学,2021.
- [6] 白旭乾.采样尺度对无人机多光谱遥感监测土壤含水率的影响研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2022.
- [7] 史洁青.无人机影像森林资源调查系统设计及试验研究[D].北京:北京林业大学,2018.
- [8] 李兴杰.无人机技术在林业中的应用浅析[J].南方农业,2022,16(1):129-131.
- [9] 何 诚,张明远,杨 光,等.无人机搭载普通相机林火识别技术研究[J].林业机械与木工设备,2015,43(4):27-30.
- [10] 苏纯兰,朱韦光,严朝东,等.基于激光雷达的东莞常绿阔叶林结构参数提取与生物量估算[J].热带林业,2022,50(2):4-9.
- [11] 付虹雨,赵 亮,王 辉,等.基于无人机可见光遥感的苧麻冠层氮素营养动态诊断[J].中国麻业科学,2021,43(3):114-121.
- [12] 姚小敏.基于无人机的空气 CO<sub>2</sub> 浓度实时监测技术及系统研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2020.
- [13] 常明山,郝 建,文 娟,等.荔枝异形小卷蛾危害的格木挥发物物质差异分析[J].广西林业科学,2021,50(5):570-574.
- [14] 吴耀军,常明山,黎贵倾,等.桉叶挥发物变化及桉树枝瘿姬小蜂趋性反应[J].森林与环境学报,2015,35(1):38-44.
- [15] 马清芝.竹材高品质资源化利用途径分析研究[D].长沙:中南林业科技大学,2011.
- [16] 孔德龙,梁永婵,曹春雷,等.5 种黄檀属植物挥发物成分分析[J].江苏农业科学,2020,48(12):197-203.
- [17] 莫圣书,赵冬香,陈 青.植物挥发物与昆虫行为关系研究进展[J].热带农业科学,2006,26(6):84-89,93.
- [18] 姚 雪,张少艾.新世纪农业丛书:芳香植物[M].上海:上海教育出版社,2002.
- [19] 金紫霖,张启翔,潘会堂,等.芳香植物的特性及对人体健康的作用[J].湖北农业科学,2009,48(5):1245-1247.
- [20] 郭 娜,高建花,刘明秀,等.蓼科 7 种植物叶表皮蜡质晶体形态及其正烷烃分布特征[J].草地学报,2013,21(6):1194-1199.