

网络出版时间:2018-04-20 16:29

DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2018.09.010

网络出版地址:http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20180420.1628.020.html

非洲崖豆木的构造特征及挥发性气体化学成分

张启文^a, 宁莉萍^{a,b}, 王 杰^a, 杨 了^a, 李 静^a, 王天石^a

(四川农业大学 ^a 林学院, ^b 木材工业与家具工程高校重点实验室, 四川 成都 611134)

【摘 要】 【目的】研究非洲崖豆木(*Millettia laurentii*)的宏观和微观构造特征,分析其木材挥发性气体的化学成分,为非洲崖豆木的准确识别和木材利用提供依据。【方法】以非洲崖豆木为研究对象,借助仪器对其宏观和微观特征、密度、组织比量进行观察与测量;借助气相色谱-质谱(GC-MS)技术对非洲崖豆木木材的挥发性气体化学成分进行检测分析。【结果】非洲崖豆木宏观特征表现为材色黑褐色,光泽感不强,无明显香味,早晚材区分不明显;管孔肉眼清晰可见。微观特征为散孔材,导管横切面圆形或卵圆形,导管腔内含有少量树胶,木射线和薄壁组织内不含油细胞,射线组织为同形单列及多列,偶见单列。导管、木射线、轴向薄壁组织、木纤维组织比量分别为 2.85%, 18.11%, 20.70% 和 58.34%。从非洲崖豆木挥发性气体中鉴定出 27 种化合物。【结论】非洲崖豆木木材构造特征明显,密度较大;木材挥发性气体对人体安全且具有良好的养生保健作用。

【关键词】 非洲崖豆木;木材构造特征;化学成分;萜类化合物

【中图分类号】 S781.8

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2018)09-0075-06

Wood characteristics and volatile gas chemical composition of *Millettia laurentii*

ZHANG Qiwen^a, NING Liping^{a,b}, WANG Jie^a, YANG Liao^a,
LI Jing^a, WANG Tianshi^a

(^a Forestry College, ^b The Wood Industry and Furniture Projects Key Laboratory of Colleges and Universities, Sichuan Agricultural University, Chengdu, Sichuan 611134, China)

Abstract: 【Objective】 This study investigated the macro and micro structures of *Millettia laurentii* and analyzed the chemical composition of volatile gases to provide basis for identification and utilization of *Millettia laurentii* wood. 【Method】 The macro and micro wood structures, density and tissue ratio of *Millettia laurentii* were observed and measured and the chemical composition of wood volatile gases was analyzed using GC-MS. 【Result】 The macro structure included red brown wood color with dimmed lights without obvious fragrance. No obvious distinction was observed between early and late woods and pores were visible under naked eye. At the microscope scale, the wood was diffuse-porous, the cross section was circle or oval, and the wood catheter was filled with small amount of gum. The wood ray and parenchyma was in single and multiple columns of same shape with occasional single column. The tissue ratios of pipe, wood ray, longitudinal parenchyma and fiber were 2.85%, 18.11%, 20.70% and 58.34%, respectively. A total of 27 substances were identified. 【Conclusion】 The *Millettia laurentii* wood has significant structural features with large density, and the volatile gases are good to human health.

【收稿日期】 2017-06-09

【基金项目】 国家“十二五”科技支撑计划项目(2011BAC09B05)

【作者简介】 张启文(1994—),女,四川彭州人,本科生,主要从事木材科学研究。E-mail:15828422240@163.com

【通信作者】 宁莉萍(1972—),女,甘肃临潭人,教授,博士,主要从事木材科学与技术研究。E-mail:1374515621@qq.com

Key words: *Millettia laurentii*; wood characteristics; chemical component; terpenoid

非洲崖豆木(*Millettia laurentii*)俗称“非洲鸡翅木”、“黑鸡翅木”^[1],是豆科崖豆属鸡翅木类,分布于热带和亚热带,主要产自非洲扎伊尔,其次是喀麦隆、刚果、加蓬等中非地区^[2]。鸡翅木与海南黄花梨、酸枝、紫檀、黑酸枝、红酸枝、乌木、条纹乌木并称我国传统八大类红木,是制作家具、乐器及工艺品的上等木材^[3],其材色较深,有紫黑相间的鸡翅状花纹,适用于高级家具、刨切微薄木、运动器材等。

木材交易市场和收藏界对鸡翅木的分类及命名争议较大^[4-7],这样很容易误导消费者。另外目前市场上常有不法商家以毛榄仁、双龙瓣豆等几种木材冒充鸡翅木^[8],从中谋取暴利。目前,关于非洲崖豆木的研究尚未见其宏观和微观构造特征的详细报道,也未见其精气可挥发气体化学成分的研究报道。鉴于此,本研究对非洲崖豆木宏观和微观构造特征及精气化学成分进行了研究,旨在为其鉴定识别和木材利用提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料

非洲崖豆木,产自非洲刚果,尺寸为 3.5 cm×3.5 cm×13.5 cm。

1.2 仪器与设备

大型滑走式切片机(TU-231)、光学显微镜(OLYMPUS BX51),上海生物科技有限公司;体式显微镜(OLYMPUS X7),上海光密仪器有限公司;气相色谱-质谱联用仪(7890A-5975C),Agilent 公司。

1.3 试验方法

1.3.1 非洲崖豆木木材宏观和微观构造特征及参数的观测 利用木材解剖学的方法^[9-13],研究非洲崖豆木样品的宏观和微观构造特征。采用 GB/T 29894—2013《木材鉴别方法通则》^[14]对试材进行解剖。管孔平均个数、管孔大小和木射线密度,采用体视显微镜于放大 40 倍的横切面上测定,木射线高度和宽度则在相同条件下的弦切面上测定。木材密度按照 GB/T 1933—2009《木材密度测定方法》^[15]进行测定。

1.3.2 非洲崖豆木木材精气的化学成分分析 参照文献^[16-17]的方法提取非洲崖豆木木粉精气。将样品自然风干至含水率为 10%~15%,粉碎过筛,取能通过孔径为 600 μm 网筛的样品(10±0.1)

g 于萃取瓶中,在 85 °C 下保温 40 min,得其挥发性成分样品,进行气相色谱-质谱分析,解析时间 3 min。

色谱条件:HP-INNO Wax 柱(0.25 mm×30 m×0.25 μm);分流比 50:1;进样口温度:250 °C;载气为高纯氦气;柱温箱升温程序:80 °C 2 min,然后 5 °C/min 到 150 °C,3 °C/min 到 200 °C,10 °C/min 到 260 °C 保持 5 min;流速 1 mL/min。

质谱条件:离子源为 EI;电离能 70 eV;辅助加热区 260 °C;离子源 230 °C;四级杆 150 °C;采集模式为全扫描;质量扫描 50~550 m/z;溶剂延迟 1.5 min。

2 结果与分析

2.1 非洲崖豆木的宏观构造特征

非洲崖豆木肉眼观察下材色黑红褐色,其间带有黑色条纹;表面无油性,光泽感不强;纹理直,木材结构粗而不均。木材横切面质地较硬,指甲划过不留痕迹;纵切面可条状剥离。干材无明显香气,水煮后可产生淡淡的自然木香气。生长轮不明显,早晚材区分不明显。横切面上管孔较多,肉眼可见,在放大镜下更明显,为散孔材。轴向薄壁组织丰富,在肉眼下清晰可见。木射线在放大镜下明显。

2.2 非洲崖豆木的显微构造特征

由图 1 可知,非洲崖豆木横切面上管孔多为圆形或卵圆形,分布较为均匀,大小基本一致;管孔组合以单管孔为主,偶见 2 个短径列复管孔;部分导管腔内含有树脂。导管细胞端部的穿孔以单穿孔为主;导管间纹孔式以互列纹孔为主,偶见梯状纹孔。木纤维细胞在横切面上呈椭圆形和多角形,细胞沿径向整齐排列,沿弦向交错排列,细胞壁较薄。轴向薄壁组织主要为傍管带状或聚翼状。木射线叠生,射线组织为同形多列和单列,以多列为主,偶见单列。单列木射线高 3~9 个细胞;多列木射线宽 3~5 个细胞,高 9~12 个细胞。木射线和轴向薄壁组织内均不含油细胞和晶体。

由表 1 可知,非洲崖豆木木材单位面积管孔数量甚少,为 3 个/mm²;管孔大小中等,最大弦径 297.41 μm,平均弦径 183.27 μm,平均径向直径 233.13 μm;导管双壁厚平均为 10.99 μm,壁腔比为 0.06,导管细胞壁较薄。

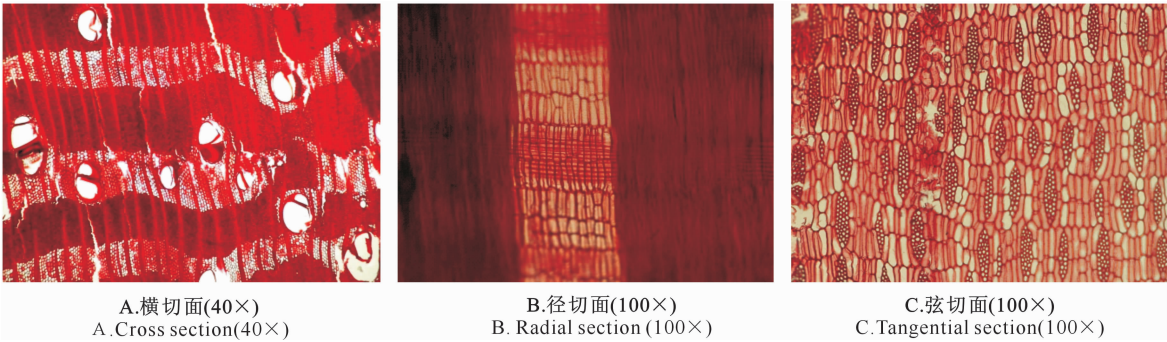


图 1 非洲崖豆木木材三切面微观构造

Fig.1 Microscopic structures of tree sections of *Millettia laurentii*

表 1 非洲崖豆木木材管孔构造特征参数

Table 1 Pore parameters of *Millettia laurentii*

参数 Parameters	测定值 Measured value	变异系数/% Variable coefficient	参数 Parameters	测定值 Measured value	变异系数/% Variable coefficient
管孔数量/(个·mm ⁻²) Pipe numbers	3	25.61	平均径向直径/μm Average radial diameter	233.13	54.18
平均弦径/μm Average chord wise	183.27	39.77	导管双壁厚/μm Catheter double-wall thick	10.99	4.11
最大弦径/μm Longest chord wise	297.41	—	壁腔比 Ratio of wall to cavity	0.06	0.02

由表 2 可知,非洲崖豆木木材的导管形状以圆柱形为主,导管较短,其平均长度为 129.87 μm;木纤维壁薄,纤维长度中等,平均长度为 1 522.21 μm。

表 2 非洲崖豆木的离析参数

Table 2 Isolation parameters of *Millettia laurentii*

项目 Item	测定值 Measured value	变异系数/% Variable coefficient	项目 Item	测定值 Measured value	变异系数/% Variable coefficient
导管分子平均长度/μm Catheter length	129.87	10.03	纤维双壁厚度/μm Xylon double-wall thick	3.73	1.78
纤维平均长度/μm Xylon length	1 522.21	15.61	纤维壁腔比 Xylon ratio of wall to cavity	0.23	0.13
纤维宽度/μm Xylon width	20.81	4.46			

组织比量是衡量木材性能的重要指标,与木材的密度和强度相关^[18]。本研究在测量非洲崖豆木木材导管、木射线、木纤维以及轴向薄壁组织体积的基础上,计算了各部分占整个木材组织的比例(组织比量),结果见表 3。

表 3 非洲崖豆木木材细胞组织比量

Table 3 Cell tissue ratios of *Millettia laurentii*

组织 Tissue	组织比量/% Tissue proportion	变异系数/% Variable coefficient
导管 Catheter	2.85	9.01
木射线 Wood ray	18.11	25.86
木纤维 Xylon	58.34	4.20
轴向薄壁组织 Axial parenchyma type	20.70	36.24

表 3 表明,非洲崖豆木导管、木射线和轴向薄壁组织的组织比量分别为 2.85%,18.11%和

20.70%;木纤维组织比量为 58.34%,是木材的主要组成部分。由于导管组织比量明显偏小,推测非洲崖豆木的密度和强度可能较高。

2.3 非洲崖豆木的密度和含水率

由表 4 可知,非洲崖豆木木材的气干密度为 0.84 g/cm³,绝干材密度为 0.82 g/cm³,木材密度较大,这与组织比量的计算结果相符合。木材相对含水率为 9.80%,低于我国木材含水率(12%~18%);其绝对含水率为 8.90%,在我国规定的含水率(3%~10%)范围内。

2.4 非洲崖豆木木粉精气的化学成分

本试验从非洲崖豆木木粉精气中共分离出 41 个组分,从中鉴定出 27 种化合物,具体如表 5 所示。

表 4 非洲崖豆木木材的密度和含水率

Table 4 Density and water content of *Millettia laurentii*

项目 Item	测量值 Measured value	项目 Item	测量值 Measured value
气干体积/cm ³ Air-dry volume	177.14	气干密度/(g·cm ⁻³) Air-dry density	0.84
绝干体积/cm ³ Oven-dry volume	165.24	绝干密度/(g·cm ⁻³) Oven-dry density	0.82
气干质量/g Air-dry quality	148.80	相对含水率/% Relative water content	9.8
绝干质量/g Oven-dry quality	135.50	绝对含水率/% Absolute water content	8.9

表 5 非洲崖豆木木粉精气化学成分及相对含量

Table 5 Chemical composition and relative contents of wood volatile gases

化学成分 Chemical compound	分子式 Molecular formula	保留时间/min Retention time	相对含量/% Relative content
δ-榄香烯 Delta-elemene	C ₁₅ H ₂₄	9.222	0.864
α-依兰烯 Alpha-ylangene	C ₁₅ H ₂₄	9.520	0.503
α-古巴烯 Alpha-copaene	C ₁₅ H ₂₄	9.724	2.849
4,5-α,α-桉叶烷 4,5-Alpha,alpha-eudesmane	C ₁₅ H ₂₈	10.743	3.509
姜烯 Zingiberene	C ₁₅ H ₂₄	11.120	0.743
α-佛手柑油烯 Alpha-bergamotene	C ₁₅ H ₂₄	11.414	4.692
石竹烯-2,6-β-氧化物 Caryophyllan-2,6-beta-oxides	C ₁₅ H ₂₄ O	11.602	1.043
β-榄香烯 Beta-elemene	C ₁₅ H ₂₄	11.965	3.489
α-依兰油烯 Alpha-murolene	C ₁₅ H ₂₄	12.084	10.177
3,7-愈创木二烯 3,7-Guaiadiene	C ₁₅ H ₂₄	12.298	44.799
别香橙烯 Alloaromadendrene	C ₁₅ H ₂₄	13.133	0.618
β-倍半水芹烯 Beta-sesquiphellandrene	C ₁₅ H ₂₄	13.451	2.770
α-蛇麻烯 Alpha-humulene	C ₁₅ H ₂₄	13.669	0.712
β-金合欢烯 beta-Farnesene	C ₁₅ H ₂₄	13.977	2.201
α-古芸烯 Alpha-gurjunene	C ₁₅ H ₂₄	14.445	1.023
β-酞没药烯 Beta-bisabolene	C ₁₅ H ₂₄	14.897	1.766
α-柏木烯 Alpha-cedrene	C ₁₅ H ₂₄	15.205	0.791
δ-杜松烯 Delta-cadinene	C ₁₅ H ₂₄	15.577	5.329
苯,1-(1,5-二甲基-4-六乙基)-4-甲基 Benzene,1-(1,5-dimethyl-4-hexenthy)-4-methyl	C ₁₅ H ₂₂	15.945	1.155
去氢白菖烯 calamenene	C ₁₅ H ₂₂	17.217	1.766
二乙二醇丁醚醋酸酯 Ethanol,2-(2-butoxyethoxy)-,acetate	C ₁₀ H ₂₀ O ₄	17.615	0.519
α-二去氢菖蒲烯 Alpha-calacorene	C ₁₅ H ₂₀	19.160	1.517
白菖烯 Calarene	C ₁₅ H ₂₄	20.646	0.419
石竹烯氧化物 Caryophyllene oxide	C ₁₅ H ₂₄ O	20.725	0.339
榄香醇 Elemol	C ₁₅ H ₂₆ O	23.195	0.287
愈创蓝油烃 Guaiazulene	C ₁₅ H ₁₈	26.852	0.713
愈创木萸 Azulene,1,4-dimethyl-7-(1-methylethyl)	C ₁₅ H ₁₈	31.567	0.608

从表 5 可以看出,非洲崖豆木木材精气中相对含量超过 1% 的主要化学成分有 3,7-愈创木二烯(44.799%)、α-依兰油烯(10.177%)、δ-杜松烯(5.329%)、α-佛手柑油烯(4.692%)、4,5-α,α-桉叶烷(3.509%)、β-榄香烯(3.489%)、α-古巴烯(2.849%)、β-倍半水芹烯(2.770%)、反-β-金合欢烯(2.201%)、β-酞没药烯(1.766%)、1S,顺去氢白菖烯(1.766%)、α-二去氢菖蒲烯(1.517%)、苯,1-(1,5-二甲基-4-六乙基)-4-甲基(1.155%)、石竹烯-2,6-β-氧化物(1.043%)和 α-古芸烯(1.023%)等。

非洲崖豆木木材挥发性气体化学成分主要由萜烯类化合物及萜类氧化物组成,且以倍半萜为主。

萜类化合物多有芳香气味,是多种药物的有效成分,可治疗疾病,如用以提神、抗菌消炎和镇痛等。其中的 β-榄香烯(3.489%)能对抗多种肿瘤,显著提高肿瘤患者的生存质量,且毒副作用轻微,是温莪术抗肿瘤作用的主要活性成分^[19]。而氧化石竹烯(石竹烯-2,6-β-氧化物)具有抗菌消炎、平喘、治疗老年慢性支气管炎等作用^[20]。气体中最主要的成分 3,7-愈创木二烯也是广藿香的主要成分之一,而广藿香具有开胃止呕、发表解暑的功效^[21]。通过对挥发性气体中主要成分的功效分析得知,非洲崖豆木精气不仅安全,而且具有良好的养生保健作用,甚至具有开发为抗肿瘤药物的潜力。

3 结 论

非洲崖豆木木材的识别特征为心材材色黑褐色,带有黑色条纹;材表无油性,光泽感不强。散孔材,管孔肉眼下可见,生长轮不明显,早晚材区分不明显。干材无明显香气。管孔圆形或卵圆形,以单管孔为主,少数短径列复管孔(2~3个);单位面积管孔数量偏少,管孔分布较均匀,大小中等;部分导管腔内含树胶。导管壁上纹孔排列方式以互列纹孔为主,偶见梯状纹孔。木纤维壁薄;木射线在放大镜下明显。木射线叠生,射线组织同形单列及多列,单列偶见,主为多列。单列木射线高3~9个细胞;多列木射线宽3~5个细胞,高9~12个细胞。轴向薄壁为傍管带状或聚翼状。木材结构粗而不均,纹理直。木材密度较大。

从非洲崖豆木木材的挥发性气体中共鉴定出27种化合物,其中相对含量超过1%的化合物有15种,这些化合物主要为萜烯类化合物及萜类氧化物,且以倍半萜为主。非洲崖豆木的挥发性气体不仅对环境友好,对人体安全,而且部分成分还具有好的养生保健作用,甚至有抗肿瘤潜力。因此,非洲崖豆木是适合制作与人类密切接触的家具和建材的良材。

[参考文献]

- [1] 秋 泉. 鸡翅木鉴别知识 [J]. 林业与生态, 2014(1): 32.
Qiu Q. Recognition of wenges [J]. Forestry and Ecology, 2014 (1): 32.
- [2] 刘 鹏, 姜笑梅, 张立非. 非洲热带木材 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2008.
Liu P, Jiang X M, Zhang L F. African tropical wood [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2008.
- [3] 姬 宁, 潘 彪. 常用商用鸡翅木的特征比较与应用 [J]. 贵州林业科技, 2016, 44(2): 41-46.
Ji N, Pan B. Property comparison and application of commercial wenge wood [J]. Guizhou Forestry Science and Technology, 2016, 44(2): 41-46.
- [4] 蔡国声. 鸡翅木针雕书案 [J]. 收藏界, 2012(2): 106-107.
Cai G S. Wenge sculptur writing desk [J]. Collection World, 2012(2): 106-107.
- [5] 马未都. 风格迥异的鸡翅木家具 [J]. 收藏家, 1997(4): 24-26.
Ma W D. Widely different wenge furnitures [J]. Collectors, 1997(4): 24-26.
- [6] 周 默. 木鉴 [M]. 太原: 山西古籍出版社, 2006.
Zhou M. Mu jian [M]. Taiyuan: Shanxi Ancient Books Publishing House, 2006.
- [7] 谭秋祝, 梁林庆. 红木识别 [J]. 广东林业科技, 2005, 21(3): 59-62.

- Tan Q Z, Liang L Q. Recognition of rosewood [J]. Forestry Science and Technology, 2005, 21(3): 59-62.
- [8] 张文强, 徐 峰. 市场上冒充鸡翅木的树种辨析 [J]. 绿色科技, 2014(6): 308-312.
Zhang W Q, Xu F. Discrimination of varieties of trees pretended as wenges [J]. Journal of Green Science and Technology, 2014(6): 308-312.
- [9] 姜笑梅, 殷亚方, 刘 波. 木材树种识别技术现状、发展与展望 [J]. 木材工业, 2010, 24(4): 36-39.
Jiang X M, Yin Y F, Liu B. Current status, development and prospect of wood identification technology [J]. China Wood Industry, 2010, 24(4): 36-39.
- [10] 高 昂, 李 鑫, 赵 兵, 等. 木材鉴定技术研究概况 [J]. 安徽农业科学, 2012, 40(7): 4097-4098.
Gao A, Li X, Zhao B, et al. Overview of research on wood identification technology [J]. Journal of Anhui Agricultural Science, 2012, 40(7): 4097-4098.
- [11] 汪杭军, 张广群, 祁亨年, 等. 木材识别方法研究综述 [J]. 浙江林学院学报, 2009, 26(6): 896-902.
Wang H J, Zhang G Q, Qi H N, et al. A review of research on wood recognition technology [J]. Journal of Zhejiang Forestry College, 2009, 26(6): 896-902.
- [12] 杨家驹. 木材识别 [M]. 北京: 中国建材工业出版社, 2009.
Yang J J. Wood identification [M]. Beijing: China Building Materials Press, 2009.
- [13] 成俊卿. 木材学 [M]. 北京: 中国林业出版社, 1985.
Cheng J Q. Wood science [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 1985.
- [14] 全国木材标准化技术委员会. GB/T 29894—2013 木材鉴别方法通则 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2013.
National Technical Committee for Standardization of Wood. GB/T 29894—2013 General method of wood identification [S]. Beijing: China Standard Press, 2013.
- [15] 全国木材标准化技术委员会. GB/T 1933—2009 木材密度测定方法 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
National Technical Committee for Standardization of Wood. GB/T 1933—2009 Method for determination of the density of wood [S]. Beijing: China Standard Press, 2009.
- [16] 张方达. 七种酸枝类木材的红外光谱与二维相关红外光谱研究 [D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2014.
Zhang F D. Study on FT-IR and two-dimensional correlation IR spectra of seven dalbergia species wood [D]. Beijing: Chinese Academy of Forestry, 2014.
- [17] 陈晓水, 侯宏卫, 边照阳, 等. 气象色谱-串联质谱 (GC-MS/MS) 的应用研究进展 [J]. 质谱学报, 2013, 34(5): 308-315.
Chen X S, Hou H W, Bian Z Y, et al. Research progress on application of GC-MS/MS [J]. Journal of Chinese Mass Spectrometry Society, 2013, 34(5): 308-315.
- [18] 马大燕, 王喜明, 薛振华. 基于构造的木材密度与组织比量的研究 [J]. 蒙古科技大学学报, 2012, 2(29): 167-170.
Ma D Y, Wang X M, Xue Z H. Study on wood density and organic proportion based on structure [J]. Journal of Inner

Mongolia University of Science and Technology,2012,2(29):167-170.

[19] 花文峰,蔡绍晖. β -榄香烯抗肿瘤作用的基础与临床研究 [J]. 中药材,2006,29(1):93-96.
Hua W F,Cai S H. Foundation and CR of beta-elemene opposing tumour [J]. Journal of Chinese Medicinal Materials, 2006,29(1):93-96.

[20] 唐小江,黄华荣,方铁铮,等. 毛大丁草根止咳化痰活性成分的研究 [J]. 中国中药杂志,2003,28(5):426-429.
Tang X J,Huang H R,Fang T Z,et al. The study on the active ingredients for cough and phlegm of *Gerbera pilosel-loi-descass* [J]. China Journal of Chinese Materia Medica,2003,28(5):426-429.

[21] 关 玲,权丽辉,丛浦珠. 广藿香挥发油化学成分的研究 [J]. 天然产物研究与开发,1992(2):34-37.
Guan L,Quan L H,Cong P Z. Study on chemical composition of patchouli volatile oil [J]. Natural Product Research and Development,1992(2):34-37.

(上接第 74 页)

[40] 杨吉华,王华田,张光灿,等. 花椒光合特征及生物量分布规律的研究 [J]. 林业科技通讯,1996(12):26-27.
Yang J H,Wang H T,Zhang G C,et al. Study on photosynthetic characteristics and biomass distribution of *Zanthoxylum bungeanum* [J]. Journal of Forestry Science and Technology,1996(12):26-27.

[41] Epron D. Effects of drought on photosynthesis and on the thermotolerance of photosystem II in seedlings of cedar (*Cedrus atlantica* and *C. libani*) [J]. Journal of Experimental Botany, 1997,48(10):1835-1841.

[42] 曹福亮,蔡金峰,汪贵斌,等. 淹水胁迫对乌桕生长及光合作用的影响 [J]. 林业科学,2010,46(10):57-61.
Cao F L,Cai J F,Wang G B,et al. Effects of waterlogging stress on the growth and photosynthesis of *Sapium sebiferum* [J]. Forestry Science,2010,46(10):57-61.

[43] 唐罗忠,徐锡增,方升佐. 土壤涝渍对杨树和柳树苗期生长及生理性状影响的研究 [J]. 应用生态学报,1998,9(5):24-27.
Tang L Z,Xu X Z,Fang S Z. Influence of soil waterlogging on growth and physiological properties of poplar and willow seedlings [J]. Journal of Applied Ecology,1998,9(5):24-27.