

大果紫檀荧光组分提取分离方法的研究

朱续娜^{1,2}, 王宇寒¹, 张耀丽^{1*}, 吴优¹, 殷嘉昊¹

(1. 南京林业大学材料科学与工程学院, 南京 210037; 2. 上海建科检验有限公司, 上海 201108)

摘要:以大果紫檀水浸液的荧光性质为基础, 探究荧光组分的最佳提取方法, 利用聚酰胺固相萃取法和薄层色谱法分离纯化荧光组分, 优化出最佳条件。结果表明, 30~60 目的大果紫檀粉末在 60℃ 的水中浸取 30 min 时浸取效率最高; 聚酰胺固相萃取法的最佳条件是上样量 11 mL, 以水为洗脱剂; 最佳的薄层色谱条件为以体积比 50:50:5 的 CHCl₃:EtOH:H₂O 的混合溶液为展开剂, 点样量 1 μL。聚酰胺固相萃取法和薄层色谱法能有效分离纯化荧光组分, 分离出的 2 种荧光化合物的比移值分别为 0.05 和 0.52。

关键词: 大果紫檀; 荧光组分; 固相萃取; 薄层色谱

中图分类号: S792.29

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2019)04-0649-06

Study on extraction and separation method for fluorescent composition of *Pterocarpus macrocarpus* Kurz

ZHU Xuna^{1,2}, WANG Yuhan¹, ZHANG Yaoli¹, WU You¹, YIN Jiahao¹

(1. College of Materials Science and Engineering, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037;

2. Shanghai Jianke Technical Assessment of Construction Co., Ltd, Shanghai 201108)

Abstract: The optimal extraction method of fluorescence composition was studied based on the fluorescence properties of *Pterocarpus macrocarpus* kurz aqueous extraction. Fluorescence compounds were separated and purified by the optimized conditions of polyamide solid phase extraction and thin layer chromatography. The results showed that dried wood from *Pterocarpus macrocarpus* Kurz was ground to 30-60 powder and treated with water bath at 60℃ for 30 min, ensuring higher extraction efficiency; the best conditions of polyamide column were 11 mL loading quantity of sample and using ultrapure water as eluent; the best conditions of TLC(thin layer chromatography) were optimized by analyzing the separation effect of TLC with developing solvent of CHCl₃:EtOH:H₂O(50:50:5 V/V/V) and sampling amount of 1 μL. Polyamide column and TLC can effectively separate and purify two fluorescence compound crude products. The two fluorescence compounds with the R_f values of 0.05 and 0.52 in the same molecular structure were the final products of the spontaneous oxidation reaction of flavonoids in plants.

Key words: *Pterocarpus macrocarpus* Kurz; fluorescence composition; solid phase extraction; TLC

大果紫檀 (*Pterocarpus macrocarpus* Kurz), 蝶形花亚科 (*Papilionaceae*) 紫檀属 (*Pterocarpus*) 木材, 国标《红木》将其归为花梨木类, 主产缅甸、泰国、老挝、柬埔寨和越南^[1]。大果紫檀水浸液具有荧光性, 只需将几片木屑在水中放置几分钟, 水溶液表面会逐渐产生蓝色荧光, 此方法甚至作为红木鉴定的辅助方法。大果紫檀木材在干燥过程中也会产生大量具有蓝色荧光的液体, 这种含有未知成

分的荧光液体的排放给企业和环保部门造成了一定的困扰。自 1575 年 Monardes 首次记录 *Lignum nephriticum* 木材的蓝色荧光现象以来, 多位科学家相继对木材的荧光现象展开了研究: Muyskens 和 VITZ^[3] 观察了 narra 木材在 4 种不同光源下的荧光^[2]; Dyer^[4] 和 Silva Guzmán^[5] 等分别观察了 179 种南非阔叶材及 579 种墨西哥市场中常见木材提取液的荧光现象, 探索了荧光现象应用于木材识别的可行性。关

收稿日期: 2018-12-04

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31670558) 和大学生创新项目(2018NFUSPITP179)共同资助。

作者简介: 朱续娜, 硕士研究生。E-mail: 1619542570@qq.com

* 通信作者: 张耀丽, 教授, 博士生导师。E-mail: zhangyaoli@126.com

于木材中荧光组分的探究也从未停止: Cooke 和 Rae^[6]研究了 narra 的心材,在石油和丙酮提取物中发现 7-羟基-4-甲氧基异黄酮; Burns 等^[7]在 *Eysenhardtia polystachya* 的甲醇提取物中发现了 7-羟基-2',4',5'-三甲氧基异黄酮; Perez 等^[8]也从 *Eysenhardtia polystachya* 中分离出 7-羟基-2',4',5'-三甲氧基异黄酮和 7-羟基-4-甲氧基异黄酮 2 种物质,他们认为这些物质与木材水溶液的蓝色荧光现象有关,但是其水溶液不产生荧光,所以早期的相关研究并不能确认造成木材水溶液产生荧光现象的具体成分。随着分离提取技术的进步, Achari 等^[9]在 *Pterocarpus marsupium* 心材的提取物中分离出一种荧光化合物, Acuña 等^[10]优化分离提取方法,在 *Lignum nephriticum* 中分离出 2 种荧光物质,对比 3 种物质的化学结构发现造成 2 种木材产生荧光现象的不是同一种物质。

目前虽有大果紫檀水浸液荧光光谱的分析的研究^[11],但是其荧光组分的提取和分离方法依然是未知的。鉴于此,笔者根据大果紫檀水浸液的荧光性质,建立了荧光组分的最佳提取方法,利用聚酰胺固相萃取和薄层色谱法分离纯化荧光物质,优化分离纯化方法,以期为大果紫檀水浸液中荧光组分的进一步纯化和结构鉴定建立基础。

1 材料与方法

1.1 材料

大果紫檀心材来源于南京林业大学木材学标本室,产地缅甸;盐酸、氢氧化钠、95%乙醇、甲醇、2-丁醇、三氯甲烷,均为分析纯,南京化学试剂有限公司产品;甲基硅油,江西博扬有机硅公司生产;GF254 硅胶薄层板,青岛海洋化工厂生产;双槽薄层色谱展开缸;聚酰胺固相萃取柱(5 g/30 mL);实验用水均为超纯水。

Hitachi F-7000 荧光分光光度计; Perkin Elmer LS-55 荧光分光光度计; WTW inolab pH7110 pH 测试仪; Sigma 3-30KS 离心机; Heidolph 旋转蒸发器; Telstar LyoQuest-55 冷冻干燥机。

1.2 方法

1.2.1 提取方法 溶剂的选择:分别称取 0.01 g 30~60 目的大果紫檀木粉置于 50 mL 水、95%乙醇、甲醇、2-丁醇溶液浸泡 48 h,离心后取上清液稀释,测试其二维荧光光谱。

大果紫檀粉末尺寸的选择:称取不同尺寸的大果紫檀粉末(刨花、30~60 目、60~80 目、<80 目)各 0.05 g 置于 10 mL 60℃的水中恒温浸泡 30 min,

离心后取上清液稀释,测试其二维荧光光谱。

温度的选择:称取 0.05 g 30~60 目的大果紫檀木粉分别置于 10 mL 0、20、40、60、80 和 100℃的恒温水中浸泡 30 min,离心后取上清液稀释,测试其二维荧光光谱。

时间的选择:分别称取 0.01 g 30~60 目木粉置于 10 mL 水中 60℃恒温浸泡 10、20、30、40 和 50 min,1、2、4、6 和 12 h,离心后取上清液稀释,测试其二维荧光光谱。

1.2.2 分离方法 按照 1.2.1 中优化后的浸取方法,称取 150 g 30~60 目的大果紫檀木粉置于 5 L 水中 60℃恒温浸取 30 min,抽滤得水浸液。水浸液旋蒸浓缩冻干后 2-丁醇回流 12 h,回流液旋蒸去除 2-丁醇相,稀释后过聚酰胺固相萃取柱,编号 1 至 5,上样量分别为 3、5、10、15 和 20 mL,上柱流速为 1.0 mL·min⁻¹。每次用 1 倍上样量体积的蒸馏水洗脱萃取柱,收集洗脱液,检测其荧光强度,直至荧光强度为零,合并洗脱液。检测不同萃取柱洗脱液的荧光强度。取少量回流液和洗脱液测试三维荧光光谱。

1.2.3 纯化方法 取 1.2.2 中洗脱液浓缩为待测液。

点样量的选择:以体积比 50:50:5 的 CHCl₃:EtOH:H₂O 混合液为展开剂。吸取待测液 0.5、1 和 2 μL,点样于同一张薄层板上,室温下于展开缸中走板 40 min,在 365 nm 紫外灯下检视薄层板。

展开剂的选择:吸取待测液 1 μL,分别以 80:50:5、70:50:5、60:50:5、50:50:5(V/V/V)的 CHCl₃:EtOH:H₂O 混合液为展开剂,点样于薄层板上,走板,检视薄层板。

纯化:使用优化后的薄层色谱条件纯化待测液,测量薄层板中展开剂和荧光组分移动的距离并记录。

2 结果与分析

2.1 大果紫檀荧光组分提取方法的优化

2.1.1 不同溶剂对浸取效果的影响 采用溶剂法提取大果紫檀荧光组分,由水浸液荧光性质可知荧光组分为极性物质,因此以甲醇、95%乙醇、2-丁醇和水这 4 种溶剂作为提取剂,四者中水的极性最大,甲醇、乙醇次之,2-丁醇的极性最弱。

大果紫檀荧光组分的荧光光谱易受溶剂的影响,在甲醇、95%乙醇、2-丁醇、水 4 种溶剂中的荧光光谱结果(图 1)显示,最佳激发峰和最佳发射峰的位置均不相同,激发光谱和发射光谱随着溶剂极性的增大而逐渐向长波方向移动,最佳激发波

长从2-丁醇中的312 nm红移到水溶液中的430 nm, 最佳发射波长从2-丁醇中的374 nm红移到水溶液中的467 nm。溶剂的改变也使得光的吸收和再发射间的能量损失发生了改变, 相应的 Stokes 位移也随之变化, 水溶液中的能量损失较其他溶液最小。荧光强度也受到溶剂的影响, 由小到大依次为: 2-丁醇<甲醇<95%乙醇<水, 在水溶液中达到最大为415.2 (表1)。

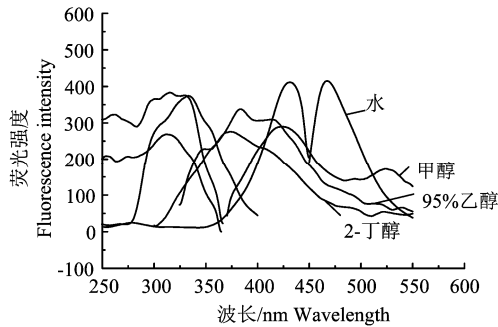


图1 不同溶剂的大果紫檀浸取液荧光光谱

Figure 1 Fluorescence spectra of *Pterocarpus macarocarpus* Kurz in various solvents ($\lambda_{ex}/\lambda_{em}$: 430/465 nm; Slit: 5/5 nm)

表1 不同溶剂的大果紫檀浸取液荧光强度

Table 1 Fluorescence intensity of *Pterocarpus macarocarpus* Kurz in various solvents

溶剂 Solvent	最佳激发 Optimum excitation		最佳发射 Optimum emission	
	波长/nm	荧光强度	波长/nm	荧光强度
甲醇 Methanol	334	374.2	425	289.9
95%乙醇 95% Ethanol	316	383.1	383	338.1
2-丁醇 2-Butanol	312	269.1	374	275.9
水 Water	430	411.5	467	415.2

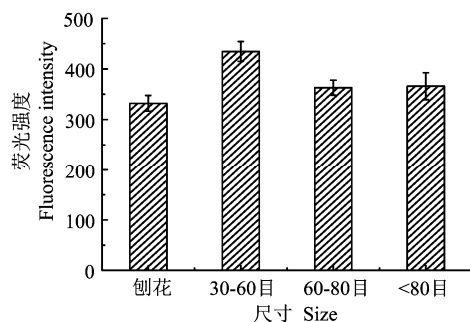


图2 不同尺寸大果紫檀粉末浸取液的荧光强度

Figure 2 Fluorescence intensity of various sizes of *Pterocarpus macarocarpus* Kurz aqueous extraction (λ_{em} = 465 nm; Slit: 5/5 nm)

2.1.3 不同温度对浸取效果的影响 不同浸取温度下的大果紫檀水浸液的荧光光谱的最佳激发峰和最佳发射峰的位置相同, 均位于 $\lambda_{ex}/\lambda_{em}$ = 430 nm/465 nm。但是荧光强度变化明显, 最佳发射峰处的荧光

强度如图3, 温度小于60℃时, 荧光强度随着浸取温度的升高逐渐增强, 温度升高有利于荧光组分的溶出, 在60℃时荧光强度达到最高, 温度大于60℃后, 反而呈现减弱的趋势。说明该荧光物质的分子结构在温度变化时保持原状, 荧光量子产率的变化引起荧光强度的变化, 荧光量子产率在60℃时达到最高。因此为了达到更好的浸取效果, 应选择浸取温度为60℃。

2.1.2 不同尺寸大果紫檀粉末对浸取效果的影响

不同尺寸的大果紫檀粉末的水浸液的荧光光谱的最佳激发峰和最佳发射峰的位置相同, 均位于 $\lambda_{ex}/\lambda_{em}$ = 430 nm/465 nm。但是荧光强度变化明显, 最佳发射峰处的荧光强度如图2, 粉末尺寸在30~60目之间的荧光强度达到最大, 随着粉末的进一步细化, 荧光强度反而呈现减弱的趋势。这可能是由于以大果紫檀尺寸为刨花时, 与水的接触面积较小, 在同样的时间内不能吸收足够的水分而膨胀, 刨花中的荧光物质无法充分的溶出; 而粉末尺寸越小, 水浸液的颜色越深, 说明水中溶解的水溶性色素及其他溶质也增加, 由于内滤效应和溶质间的相互作用使得荧光强度减弱^[12]。因此, 为了尽量减少其他杂质的影响, 提高提取率, 应选择尺寸在30~60目之间的大果紫檀粉末。

强度如图3, 温度小于60℃时, 荧光强度随着浸取温度的升高逐渐增强, 温度升高有利于荧光组分的溶出, 在60℃时荧光强度达到最高, 温度大于60℃后, 反而呈现减弱的趋势。说明该荧光物质的分子结构在温度变化时保持原状, 荧光量子产率的变化引起荧光强度的变化, 荧光量子产率在60℃时达到最高。因此为了达到更好的浸取效果, 应选择浸取温度为60℃。

2.1.4 不同时间对浸取效果的影响

不同浸取时间下的大果紫檀水浸液的荧光光谱的最佳激发峰和最佳发射峰的位置相同, 均位于 $\lambda_{ex}/\lambda_{em}$ = 430 nm/465 nm。但是荧光强度变化明显, 最佳发射峰处的荧光强度如图4, 荧光强度随着浸取时间的延长逐渐增强, 在30 min时达到最大, 时间大于30 min后, 反而呈现减弱的趋势。随着浸取时间的增加, 浸取液颜色由透明, 浅黄色逐渐变为暗黄色, 说明溶于水中

的水溶性色素及其他溶质也增加，由于内滤效应和溶质间的相互作用使得荧光强度减弱。因此应该选择浸取 30 min，此时的浸取率最高。

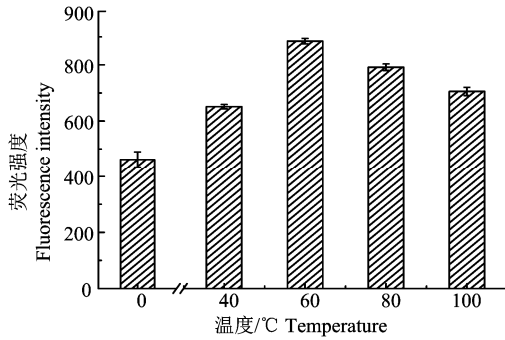


图 3 不同温度下大果紫檀浸取液的荧光强度

Figure 3 Fluorescence intensity of *Pterocarpus macarocarpus* Kurz aqueous extraction with different temperature ($\lambda_{em}=465\text{ nm}$; Slit: 3/3 nm)

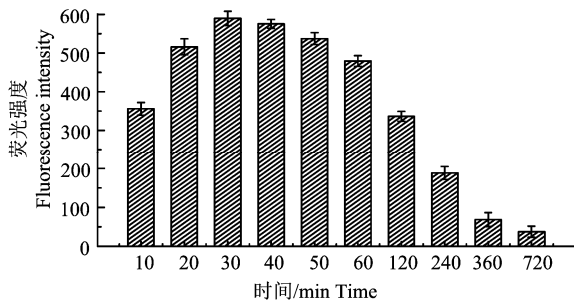


图 4 不同浸取时间下大果紫檀浸取液的荧光强度

Figure 4 Fluorescence intensity of *Pterocarpus macarocarpus* Kurz aqueous extraction with different soaked time ($\lambda_{em}=465\text{ nm}$; Slit: 5/5 nm)

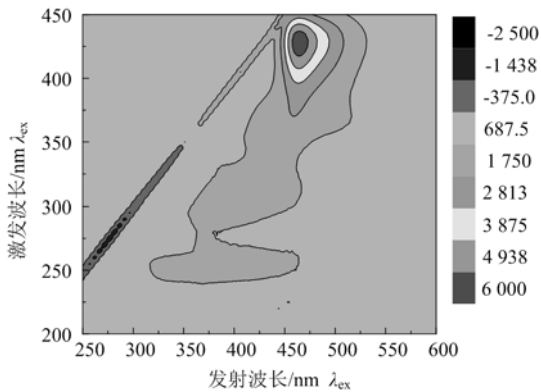


图 5 2-丁醇回流液的三维荧光等高线光谱图

Figure 5 Three-dimensional fluorescence spectra of the solution after 2-butyl alcohol reflux extraction(Slit: 5/5 nm)

2.2 大果紫檀荧光组分分离方法的优化

2.2.1 2-丁醇回流效果 水浸液经减压蒸馏、冷冻干燥去除水相后得到干燥蓬松的咖啡色粉末 4.77 g。经 2-丁醇回流 12 h 后得到天然黄色残留液，滤纸包内剩余灰尘状粉末 0.68 g。2-丁醇回流液经水

稀释后，测三维荧光光谱如图 5，在 $\lambda_{ex}/\lambda_{em}=430\text{ nm}/467\text{ nm}$ 出现荧光峰，说明 2-丁醇回流能去除部分杂质，荧光组分保留在回流液中。

2.2.2 聚酰胺固相萃取效果 由于大果紫檀中的荧光组分为极性物质，含有苯环和共轭双键，因此以聚酰胺为吸附剂。聚酰胺固相萃取的洗脱剂多选择水、甲醇、乙醇等或几种溶剂的混合液，但是相关研究表明采用有机溶剂做洗脱剂时，洗脱液中会存在少量低分子量的聚酰胺分子，因此本试验中选择水作为洗脱剂。

上样后的萃取柱由白色变为黄褐色，蒸馏水洗脱后萃取柱为淡黄色，对洗脱液进行三维荧光光谱测定，图 6 结果表明，荧光峰 $\lambda_{ex}/\lambda_{em}=430\text{ nm}/467\text{ nm}$ 依然存在，说明聚酰胺固相萃取对荧光组分起了进一步分离的作用，除去了部分色素和其他杂质，荧光成分仍保留在水洗脱液中。

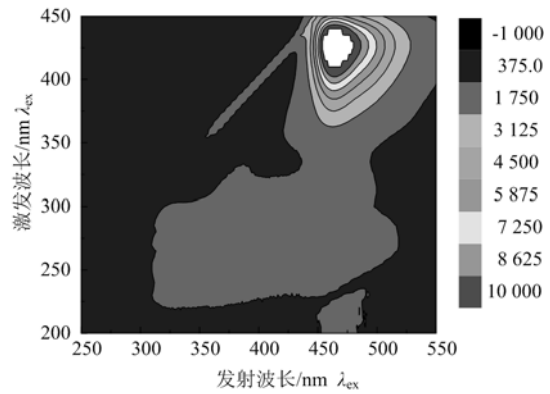


图 6 洗脱液的三维荧光等高线光谱图

Figure 6 Three-dimensional fluorescence spectra of eluent (Slit: 5/5 nm)

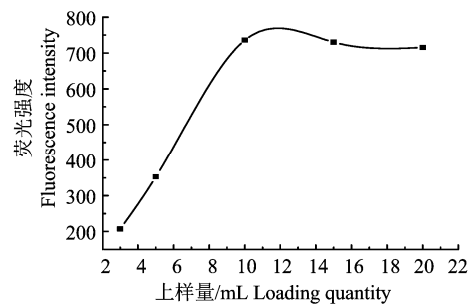


图 7 上样量对吸附效果的影响

Figure 7 The influence of loading quantity of sample on adsorption effect ($\lambda_{em}=465\text{ nm}$; Slit: 5/5 nm)

2.2.3 聚酰胺固相萃取条件的优化 测定洗脱液的荧光光谱，以最佳发射峰处的荧光强度代表吸附效果，则上样量对吸附效果的影响如图 7。由图 7 可知，随着上样量的增加，聚酰胺对荧光组分的吸附

量逐渐增强, 在上样量为 11 mL 左右时达到阈值, 上样量大于 11 mL 时, 荧光强度维持稳定, 总吸附量也维持稳定。因为上样量过多时, 聚酰胺的吸附量达到饱和, 会使部分荧光物质损失, 导致吸附率下降, 而上样量较少时, 虽然吸附量较大, 但是会增加萃取成本。故上样量为 11 mL 左右时, 对聚酰胺的利用率最高, 吸附效果达到最佳。

2.3 大果紫檀荧光组分纯化方法的优化

2.3.1 点样量对分离效果的影响 在紫外光源下检视不同点样量的薄层色谱图如图 8, A、B、C 分别代表点样量为 0.5、1 和 2 μL 时的走板结果, 可以看出不同点样量下待测液的走板情况类似, 均出现了 2 个荧光斑点, 根据距离点样点的距离大小从下到上分别标记为荧光斑点 1 和荧光斑点 2, 荧光斑点 1 的强度明显大于荧光斑点 2。

点样量过多时, 如图 8C, 点样点在向上走板的过程中同时以中心成圆形向外扩散, 边缘效应明显, 荧光斑点模糊、荧光强度低。当点样量为 1 μL 时, 荧光斑点更加清晰、边缘规整、分离度高、荧光较强, 因此应选择点样量为 1 μL 。

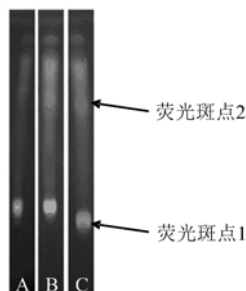


图 8 不同点样量的薄层色谱图

Figure 8 TLC with different loading amounts (A: 0.5 μL ; B: 1 μL ; C: 2 μL)

2.3.2 展开剂对分离效果的影响 在紫外灯下检视不同体积比的展开剂的薄层色谱图, A、B、C、D 分别为体积比 80:50:5、70:50:5、60:50:5 和 50:50:5 时的走板结果 (图 9), 可以看出不同展开剂下待测液的走板情况差异显著。A 中只出现了一个荧光斑点, 边缘模糊且呈火焰形, 带有严重的拖尾现象。降低展开剂中三氯甲烷的比例, B 中开始出现两个荧光斑点, 但是荧光点依然呈火焰状, 拖尾的高度和宽度与 A 相比有所减小。三氯甲烷的挥发性较大, 造成展开剂蒸汽上升的速度较快, 从而产生严重的拖尾现象。随着三氯甲烷的比例逐渐降低, 火焰逐渐变小, 拖尾现象逐渐减弱, 色谱斑点增多, 当体积比为 50:50:5 时, 出现两个荧光斑点, 且清晰可见、荧光较强、边缘规整, 此时的分离度较高。因

此为了更好地分离荧光化合物 1 和荧光化合物 2, 应选择体积比为 50:50:5 的三氯甲烷:乙醇:水的混合溶液作为展开剂。

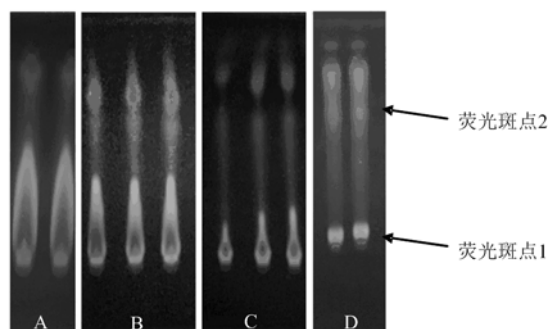


图 9 不同展开剂的薄层色谱图

Figure 9 TLC with different developing solvents (CHCl_3 : EtOH : H_2O (V/V/V) A:80:50:5; B:70:50:5; C:60:50:5; D:50:50:5)

2.3.3 薄层色谱法纯化效果 在自然光和紫外光下观察薄层色谱板, 斑点个数相同, 都具有荧光斑点 1 和 2, 荧光斑点 1 的荧光强度较强, 在日光下为略带荧光的黄色, 荧光斑点 2 的荧光强度较弱, 在日光下为无色, 走板后的点样点在日光下为棕色, 此棕色点在紫外灯下不产生荧光现象。所以薄层色谱法能够有效去除待测液中色素和其他水溶性杂质, 分离出荧光组分粗品。

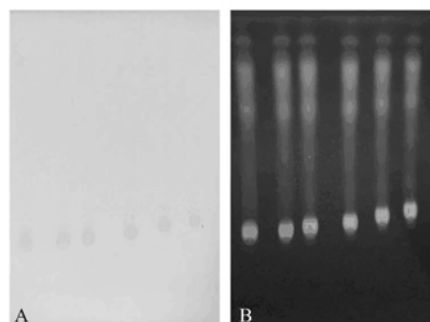


图 10 优化条件后的薄层色谱图(A:自然光源下; B: 紫外光源下)

Figure 10 TLC after optimization of parameters (A:under natural light; B: under ultraviolet light)

按照优化后的薄层色谱条件进行重复性实验, 所有的薄层色谱具有相同的特征点, 荧光斑点 1 和 2 出现的位置相似, 显示相同的颜色, 移动的距离基本一致 (图 10)。测量荧光化合物移动的距离和展开剂展开的距离, 统计求平均值, 得到荧光化合物 1 和荧光化合物 2 的 R_f 分别为 0.05 和 0.52, 且数据变异系数小, 具有代表性。

按照优化后的薄层色谱方法进行重复性实验,

证明建立的点样量为 1 μL , 展开剂为体积比 50:50:5 的三氯甲烷:乙醇:水的混合溶液的薄层色谱方法, 专属性强、可行性良好, 分离效果稳定, 重复性较好, 可靠性高。收集比移值 (R_f) 为 0.05 和 0.52 的组分, 溶于甲醇溶液中, 离心取上清液得到荧光化合物粗品 1 和荧光化合物粗品 2, 在紫外灯下检视, 二者均表现出强烈的蓝色荧光。

3 结论

建立了大果紫檀荧光组分提取流程: 30~60 目的粉末在 60 $^{\circ}\text{C}$ 的水中浸取 30 min, 减压蒸馏浓缩水浸液, 2-丁醇回流 12 h, 聚酰胺固相萃取, 收集洗脱液。

聚酰胺固相萃取时最佳上样量为 11 mL, 最佳洗脱剂为水, 此时聚酰胺的吸附率达到最高。在回流液和洗脱液的三维荧光光谱中存在 $\lambda_{\text{ex}}/\lambda_{\text{em}}=430\text{ nm}/467\text{ nm}$ 处的荧光峰, 因此 2-丁醇回流和聚酰胺固相萃取在去除水浸液中的部分色素和其他杂质的同时能有效保留荧光组分。

采用薄层色谱法分离纯化荧光化合物, 优化出最佳的薄层色谱条件, 即以体积比 50:50:5 的 $\text{CHCl}_3:\text{EtOH}:\text{H}_2\text{O}$ 混合溶液为展开剂, 点样量 1 μL , 在紫外灯下检视, 薄层色谱板出现两个边缘清晰、规整的荧光斑点, 该方法能有效分离出荧光组分。

重复性实验验证优化后的薄层色谱方法分离效果良好、专属性强、稳定可靠, 确定两组荧光化合物的比移值分别是 0.05 和 0.52。

参考文献:

[1] 国家林业局. GB/T18107-2017 红木[S].北京: 中国标准

出版社, 2017.

- [2] PARTINGTON J R. Lignum nephriticum[J]. Ann Sci, 1955, 11(1): 1-26.
- [3] MUYSKENS M, VITZ E. The fluorescence of lignum nephriticum: a flash back to the past and a simple demonstration of natural substance fluorescence[J]. J Chem Educ, 2006, 83(5): 765.
- [4] DYER S T. Wood fluorescence of indigenous South African trees[J]. IAWA J, 1988, 9(1): 75-87.
- [5] SILVA GUZMÁN J A, RICHTER H G, RODRÍGUEZ ANDA R, et al. Wood fluorescence of commercial timbers marketed in Mexico[J]. IAWA J, 2008, 29(3): 311-322.
- [6] COOKE R G, RAE I D. Isoflavonoids. I. Some new constituents of *Pterocarpus indicus* heartwood[J]. Aust J Chem, 1964, 17(3): 379.
- [7] BURNS D T, DALGARNO B G, GARGAN P E, et al. An isoflavone and a coumestan from *Eysenhardtia polystachya*: Robert Boyle's fluorescent acid: base indicator[J]. Phytochem, 1984, 23(1): 167-169.
- [8] PEREZ G R M, VARGAS S R, PEREZ G S, et al. Anti-ulcerogenic activity of 7-hydroxy-2', 4', 5'- trimethoxyisoflavone and 7-hydroxy-4' -methoxyisoflavone from *Eysenhardtia polystachya*[J]. J Herbs Spices Med Plants, 2000, 7(2): 27-34.
- [9] ACHARI B, DUTTA P K, ROY S K, et al. Fluorescent pigment and phenol glucosides from the heartwood of *pterocarpus marsupium*[J]. J Nat Prod, 2012, 75(4): 655-660.
- [10] ACUÑA A U, AMAT-GUERRI F, MORCILLO P, et al. Structure and formation of the fluorescent compound of lignum nephriticum[J]. Org Lett, 2009, 11(14): 3020-3023.
- [11] 朱续娜, 张耀丽, 王翔. 大果紫檀水浸液的荧光光谱研究[J]. 林业工程学报, 2017, 31(4): 46-50.
- [12] 许金钩, 王尊本. 荧光分析法[M]. 3版. 北京: 科学出版社, 2006:154-160.