

# Microwave-Assisted Hydro-Distillation Extraction Volatile Oil from *Schisandra chinensis* Fruits and the Antioxidant Activity Analysis by NIRS

Lihan Sun, Yibei Wang, Jiandong Wu, Chunhui Ma\*

College of Material Science and Engineering, Northeast Forestry University, Harbin Heilongjiang  
Email: \*mchmchmchmch@163.com

Received: Mar. 23<sup>rd</sup>, 2018; accepted: Apr. 16<sup>th</sup>, 2018; published: Apr. 23<sup>rd</sup>, 2018

## Abstract

In this study, taking *Schisandra chinensis* (Turcz.) Baill as raw materials, microwave-assisted hydro-distillation was applied to extract of the volatile oil. The main chemical components were analyzed by GC-MS. In addition, the antioxidant capacity of *S. chinensis* volatile oil was analyzed by DPPH, ABTS and NIR. The results showed that the volatile composition mainly consisted of olefins, including  $\alpha$ -ylangene (RA% = 30.463%),  $\beta$ -himachalene (RA% = 12.368%), and (E)- $\alpha$ -bergamotene (RA% = 10.296%). Furthermore, the free radicals scavenging capacity of volatile oil was analyzed using the characteristic spectrum of functional groups in NIRS. It is helpful to study the volatile oil of *S. chinensis* volatile oil in the future.

## Keywords

*Schisandra chinensis* (Turcz.) Baill, Volatile Oil, GC-MS, Chemical Composition, Radicals Scavenging, NIRS

# 基于近红外光谱抗氧化活性分析微波辅助蒸馏五味子挥发油

孙莉寒, 王艺蓓, 武剑栋, 马春慧\*

东北林业大学材料科学与工程学院, 黑龙江 哈尔滨  
Email: \*mchmchmchmch@163.com

\*通讯作者。

文章引用: 孙莉寒, 王艺蓓, 武剑栋, 马春慧. 基于近红外光谱抗氧化活性分析微波辅助蒸馏五味子挥发油[J]. 植物学研究, 2018, 7(3): 241-250. DOI: 10.12677/br.2018.73031

## 摘要

本研究以北五味子果实为原料,采用微波辅助蒸馏法提取北五味子挥发油,并经GC-MS分析其主要成分,此外,通过对北五味子挥发油DPPH、ABTS清除自由基能力的测试,以及近红外方法表征对其抗氧化能力进行分析,实验结果表明:北五味子果实挥发性成分主要为烯烴类化合物,其中含量较高的为 $\alpha$ -依兰烯,相对含量为30.463%; $\beta$ -檀香萜烯,相对含量为12.368%以及(E)- $\alpha$ -佛手甘氨酸,相对含量为10.296%。然后,应用近红外官能团的特征波谱对北五味子挥发油的清除自由基能力进行分析,为今后北五味子挥发油的研究提供技术支持。

## 关键词

北五味子,挥发油,气质联用法,化学组成,清除自由基,近红外光谱

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

北五味子(*Schisandra chinensis* (Turcz.) Baill)属木兰科植物,又名辽五味子,为五味子科藤本植物,其药用部位是果实[1]。五味子分为南五味子和北五味子两种,北五味子主要分布在我国东北、内蒙古、河北、山西和宁夏[2]。作为中药材,北五味子有很高的药用价值,具有养五脏、除热,补虚劳,令人悦泽,明目等功效[3]。其主要含有挥发油、木脂素、多糖、有机酸和三萜类等成分[4]。其中北五味子果实挥发油具有对药酶的诱导、抑制胃溃疡、对心血管系统、呼吸系统和免疫系统的保护、延缓衰老等作用[5]。目前主要提取精油的技术有水中蒸馏法,水蒸气蒸馏法,同时蒸馏压榨萃取法,超临界流体萃取法,亚临界水萃取法,无溶剂微波萃取法和即时控制降压萃取法[6] [7] [8]。水中蒸馏法应用范围最广,挥发油得率相对较高的萃取方法,本研究将微波辅助法作为水中蒸馏萃取的加热方式,微波辅助加热不同于传统的由外向内的加热方式,其具有升温速率快,传热效率高,加热选择性好等优势[9],近年来已被广泛地应用于萃取酚酸[6]、醌类[6]、精油[10]、多糖[11]、黄酮[12]、木脂素[13]等天然产物。对于精油抗氧化性常用的研究方法有:总酚含量测定法[5]、清除自由基能力[14]、铁还原能力[15]、 $\beta$ -胡萝卜素清除能力[16]等。

而近红外光谱(near infrared spectroscopy, NIRS)是一种多组分绿色分析方法,可以无损原位对固体、液体和粘稠流体等多种样品直接进行扫描分析[17]。红外光谱技术主要是一种基于分子内部原子间的相对振动和分子转动等信息来确定物质分子结构和鉴别化合物的分析方法[18]。由于这种技术具有药品用量少、分析速度快、分析成本低、试用范围广等特点,所以在进入二十一世纪以来,近红外光谱分析技术在工业、农业、医药、化上等领域的应用也全面展开[19]。

本实验以微波辅助蒸馏萃取法所得的北五味子挥发油为研究对象,通过GC-MS分析精油的主要组成物质,并且利用近红外光谱分析技术对其自由基的清除能力进行评价,进一步对北五味子挥发油的化学组分以及抗氧化能力进行分析,为近红外光谱分析技术在其他领域的应用提供数据支持。

## 2. 实验

### 2.1. 材料与仪器

#### 2.1.1. 实验材料

北五味子资源采自黑龙江省大小兴安岭林区, 北五味子果实经振荡筛清理除杂, 粉碎至 40~60 目, 作为原料待用。

#### 2.1.2. 实验仪器

气相质谱联用仪采用 Agilent 6890N-5973 型气相质谱联用仪(Agilent Technologies, 美国), HP-5MS 5% Phenyl Methyl Si-loxane 弹性石英毛细管柱(30 m × 0.25 mm × 0.25 μm); 升温程序为柱温 60℃, 保持 5 min 后; 以 4℃/min 速率升温至 120℃, 保持 5 min; 再以 3℃/min 速率升温至 170℃, 保持 2 min; 以 10℃/min 速率升温至 280℃, 保持 5 min; 汽化室温度 230℃; 载气为高纯 He (99.999%); 柱前压 43 k Pa; 载气(He) 体积流量 1.6 mL/min; 进样量 1.0 μL, 不分流; 溶剂延迟时间 4.0 min。电子轰击(EI)离子源, 能量 70 eV; 离子源温度 230℃; 四极杆温度 150℃; 接口温度 280℃; 质量扫描范围 m/z 40~400, 化学组成的比对应用 NIST11 质谱库。

红外光谱仪采用傅立叶变换红外光谱仪(Thermo Scientific Nicolet iS10, 美国)。

### 2.2. 实验方法

#### 2.2.1. 北五味子含水率的测定

精确称取粉碎的北五味子 100.00 g (三份), 放入 105℃ ± 3℃ 的烘箱干燥至恒重, 计算含水率为 11.56%。

#### 2.2.2. 微波辅助蒸馏法萃取北五味子挥发油

将粉碎的北五味子原料五份, 每份 100.0 g 放入 2.0 L 烧瓶中, 以 1:12 g/mL 的料液比加入蒸馏水室温浸泡 24 小时后, 接精油提取器, 分别采用不同的微波功率进行萃取, 精油随水蒸气流出并收集, 每隔 5.0 min 记录精油的流出量, 直至精油体积不发生明显变化为止。萃取完成后收集精油提取器中的精油, 经无水硫酸钠干燥后, -20℃ 冷藏保存。

#### 2.2.3. 清除自由基能力测试

清除 DPPH 阴离子自由基能力测试: 用无水乙醇将北五味子挥发油样品分别配制成体积比为 0%、10.0%、20.0%、30.0%、40.0%、50.0% 和 60.0% 的北五味子精油样品溶液, 将 0.1 mL 上述不同浓度的精油样品与 380 mg/L 的 DPPH 乙醇溶液充分震荡混合, 并在黑暗处放置 30 min 后, 在 517 nm 处测定吸光值, 浓度为 0% 的样品溶液的吸光值为  $A_{\text{对照}}$ , 所有吸光值均测定三次取平均值。

DPPH 清除自由基的能力为:  $SC\% = (1 - A_{\text{样品}}) / A_{\text{对照}} \times 100\%$  [16]

清除 ABTS 阳离子自由基能力测试: 精密称取 ABTS 0.0406 g 和过硫酸钾 0.0070 g, 分别用去离子水定容到 10 mL, 并等量混合两种溶液, 在黑暗室温下反应 12 h, 然后吸取 1.0 mL 混合溶液用甲醇稀释 33 倍得到 ABTS 溶液, 在 744 nm 处获得一吸光值。用无水乙醇将北五味子挥发油样品分别配制成体积比为 0%、0.40%、0.60%、0.80%、1.00% 和 1.20% 的精油样品溶液, 分别精密吸取 0.150 mL 0%、0.40%、0.60%、0.80%、1.00% 和 1.20% 与 2.850 mL ABTS 溶液混合, 在黑暗室温下放置 2 h, 测定吸光值, 所有吸光值均测定三次, 取平均值。

ABTS 清除自由基的能力为:  $SC\% = (1 - A_{\text{样品}}) / A_{\text{对照}} \times 100\%$  [20]

#### 2.2.4. 近红外光谱数据的采集

光谱数据的采集波数范围为 4000~400。光谱扫描前先进行杂质的剔除, 然后将 2.2.3 中所述的反应

后的自由基溶液分别滴入样品池进行扫描。

### 3. 单因素分析

#### 3.1. 微波辅助蒸馏法萃取北五味子精油动力学研究

将上述滤干水分的粉碎的北五味子在微波功率为 175 W 的情况下微波 60 分钟,每隔 3 分钟记录精油体积,直至精油体积不发生变化,如图 1(a)。随着时间的增长,精油的得率越高,精油体积的增长速率变慢,当时间为 48 min 以后,精油的体积不再发生变化,为了节省时间并且获得较大的精油得率,选取萃取时间为 48 min。

#### 3.2. 微波功率对北五味子精油提取率的影响

分别取 5 份粉碎的北五味子,每份 100.00 g 于烧杯中,加入足量的蒸馏水浸泡 24 h,滤干水分,选取表中最佳提取时间 48 min,并在不同的微波功率下进行提取,记录精油体积随微波功率的变化,如图 1(b)。随着微波功率的增大,精油的率随之增大,但是当功率大于 500 W 之后,精油的得率降低,是由于功率过大,原料温度迅速上升导致的受热不均,影响精油的产率,综合上述因素,最终确定的最佳萃取功率为 500 W。

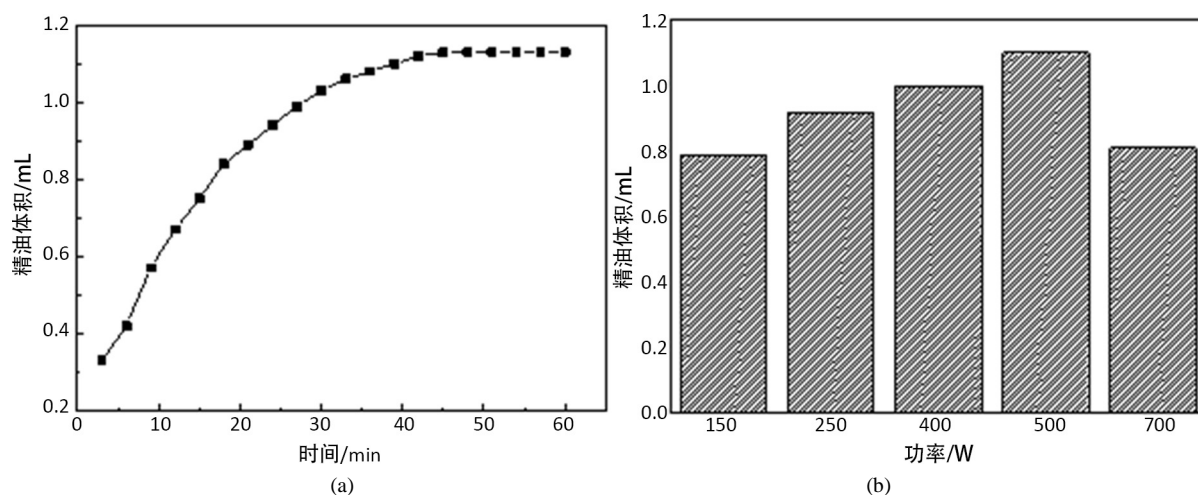
## 4. 实验结果与分析

#### 4.1. 不同提取方法处理过的北五味子果实形貌分析

通过扫描电子显微镜观察提取精油后原料与未处理的原料相比,北五味子果实的细胞发生了变化,如图 2,图 a 为未经处理的北五味子原料的电镜图,图 b 为无溶剂微波辅助萃取 48 min 后原料的电镜图。从图中可以看出,图 a 中的细胞基本都很饱满,完整。与未经处理的原料相比,图 b 中经微波辅助处理的细胞多成不规则形状,细胞呈干瘪状,主要是由于在微波辐射条件下,细胞内部被加热后,温度骤然上升,局部压力升高,造成大多数细胞的细胞壁被打破和损坏[5]。

#### 4.2. 北五味子挥发油的化学组成分析

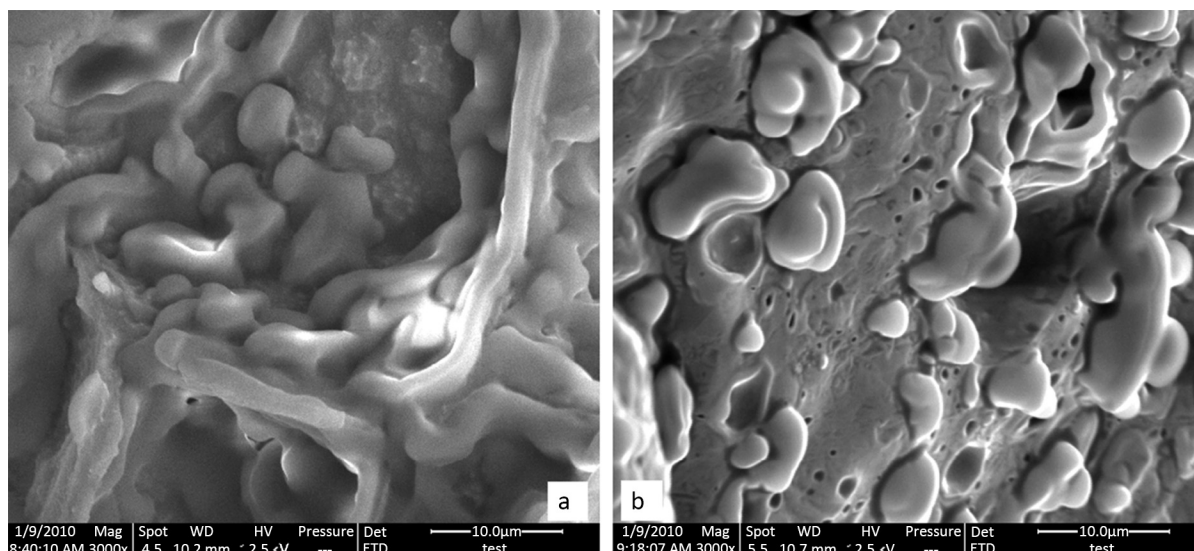
将北五味子挥发油通过气质联用法分析其化学组成,挥发性成分的名称、分类、CAS 号、分子式、



**Figure 1.** Single-factor experiment of microwave-assisted hydro-distillation extraction; (a) Extraction kinetics of microwave-assisted hydro-distillation; (b) Effect of microwave power on the yield of essential oil

**图 1.** 微波辅助蒸馏单因素实验; (a) 微波辅助蒸馏萃取动力学; (b) 微波功率对精油提取率的影响





**Figure 2.** SEM images of raw material (a) and residues (b) after microwave-assisted hydro-distillation extraction  
**图 2.** 北五味子原料(a)与微波辅助蒸馏后残渣(b)扫描电镜图像

化学结构式及相对含量详见表 1。

选取组分在 2% 以上的五味子挥发分列于表 1 中, 从表 1 和图 3 可以看出, 北五味子挥发性成分多为烯烃类化合物, 还有少量的苯系物、醇、酯等化合物。其中含量最高的为  $\alpha$ -依兰烯, 相对含量为 30.463%; 其次是  $\beta$ -檀香萜烯, 相对含量为 12.368%; (E)- $\alpha$ -佛手甘氨酸, 相对含量为 10.296%; 角鲨烯, 相对含量为 5.320%, 此外 2,4-二甲基苄醇、(-)- $\beta$ -花柏烯、长叶蒎烯等的含量都较高。由于在分析过程中有柱流失现象, 所以各种成分之和达不到 100%。

### 4.3. 挥发油抗氧化活性测试

#### 4.3.1. 挥发清除 DPPH 阴离子自由基能力

DPPH (N,N-二苯基三硝基苯肼自由基) 为稳定的阴离子自由基, 由于苯环的共扼和位阻影响硝基的吸电子作用, 是非常稳定的自由基[21]。新配置的 DPPH 溶液呈紫色, 在 517 nm 处取得最大吸光值, 为 1.157。在测定过程中, 北五味子精油中的单个电子与 DPPH 中稳定的自由基结合, 生成的产物为无色化合物, 进而使溶液颜色变浅, 吸光值逐渐降低。溶液吸光值变化如图 4 所示, 当样品浓度为 10.00% 时, SC% = 19.10%; 浓度为 20.00% 时, SC% = 24.63%; 浓度为 30.00% 时, SC% = 32.67%; 浓度为 40.00% 时, SC% = 42.52%; 浓度为 50.00% 时, SC% = 47.54%; 浓度为 60.00% 时, SC% = 74.07。

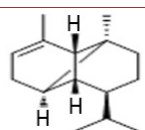
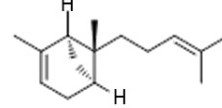
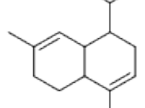
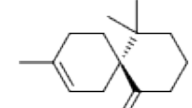
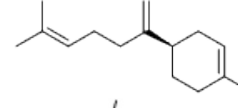
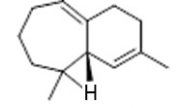
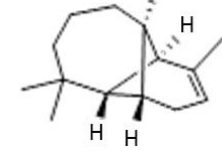
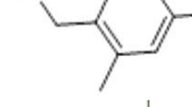
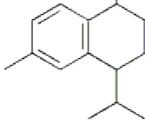
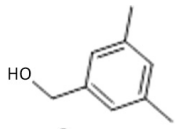
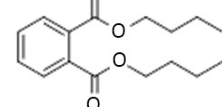
#### 4.3.2. 挥发油清除 ABTS 阳离子自由基能力

ABTS 经活性氧化后生成稳定的蓝绿色阳离子自由基 ABTS, 如果加入其中的样品溶液有抗氧化成分, 那么该物质就会与 ABTS 阳离子自由基发生反应而使溶液褪色[20]。新配置的 ABTS 溶液在 744 nm 处取得最大吸光值为 1.383。加入精油样品之后, 溶液颜色变浅, 加入的精油样品浓度越大, 溶液颜色越浅, 溶液吸光值的变化如图 5 所示, 当样品浓度为 0.40% 时, SC% = 40.85%; 浓度为 0.60% 时, SC% = 61.42%; 浓度为 0.80% 时, SC% = 77.05%; 浓度为 1.00% 时, SC% = 85.16%; 浓度为 1.20% 时, SC% = 91.39%。

### 4.4. 挥发油清除自由基能力的近红外光谱测试

DPPH 和 ABTS 溶液采集的样品原始的近红外光谱取波数为 2500~800  $\text{cm}^{-1}$  之间数据, 所得波谱图如图 6(a) 和图 7(a) 所示, 考虑到在检测过程中存在各方面产生的干扰, 对原始谱图数据进行处理, 如图 6(b)

**Table 1.** Chemical compositions of volatile oil from *S. chinensis* fruits**表 1.** 北五味子挥发油主要化学组成

编号	保留时间 min	化合物名称	CAS 号	分子式	相对含量 RA%	结构式
1	18.209	$\alpha$ -依兰烯	14912-44-8	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	30.463%	
2	25.007	(E)- $\alpha$ -佛手甘氨酸	13474-59-4	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	10.296%	
3	25.524	$\alpha$ -紫穗槐烯	483-75-0	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	2.836%	
4	26.015	(-)- $\beta$ -花柏烯	18431-82-8	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	4.897%	
5	26.26	红没药烯	495-61-4	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	3.506%	
6	27.01	$\beta$ -檀香萜烯	1461-03-6	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	12.368%	
7	27.721	长叶蒎烯	5989-08-2	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	3.555%	
8	33.795	2,4-二甲基苯醇	16308-92-2	C <sub>9</sub> H <sub>12</sub> O	4.019%	
9	36.405	角鲨烯	6617-49-8	C <sub>15</sub> H <sub>22</sub>	5.320%	
10	39.507	4,6,6-三甲基-2-(3-甲基-1,3-二丙烯)-3-氧三环[5.1.0.0(2,4)]辛烷		C <sub>15</sub> H <sub>22</sub> O	4.616%	
11	39.623	3,5-二甲基苯甲醇	27129-87-9	C <sub>9</sub> H <sub>12</sub> O	2.587%	
12	43.099	邻苯二甲酸二丁酯	84-74-2	C <sub>16</sub> H <sub>22</sub> O <sub>4</sub>	30.463%	

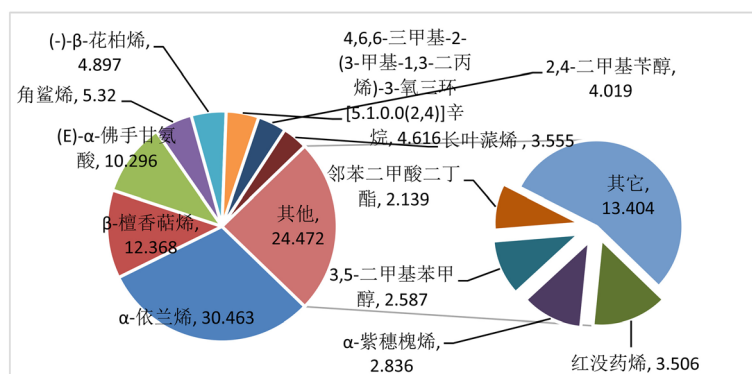


Figure 3. Chemical composition of volatile oil from *Schisandra chinensis* fruits  
图 3. 北五味子挥发油主要组成化合物

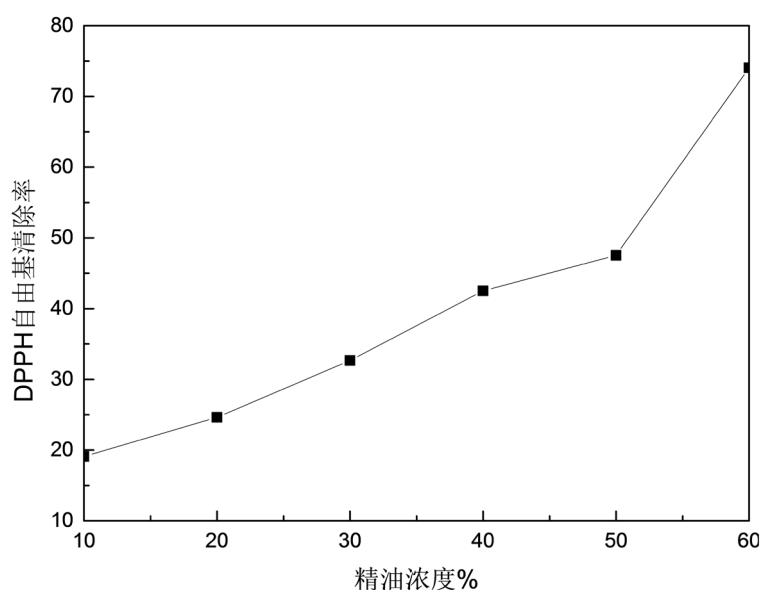


Figure 4. DPPH free radicals scavenging ability of essential oil  
图 4. 精油清除 DPPH 自由基能力

和图 7(b)所示,对原始红外数据进行二阶微分求导。综合图 6~图 7 可以看出相同溶液不同精油浓度所得的光谱图走向,出峰位置基本一致,可见精油浓度对北五味子精油清除自由基能力没有影响。两种不同的溶液的红外谱图走向基本一致,都在波数为  $1100\sim 1000\text{ cm}^{-1}$  处存在酯的对称伸缩峰,但是 DPPH 的谱图在在波数为  $880\text{ cm}^{-1}$  处存在芳香烃的 C-H 吸收峰。可以看出,北五味子精油对 DPPH 和 ABTS 溶液的自由基均有很强的清除能力,但是均无法清除脂类化合物,并且无法清除 DPPH 溶液中的芳香烃类化合物,可见其对不同类型的自由基清除能力存在差异。

## 5. 结论

本研究采用微波辅助水中蒸馏法萃取北五味子挥发油,结果表明在最优条件下,挥发油的产量为  $1.13\text{ mL}/100\text{ g}$  原料。经 GC-MS 分析北五味子挥发油的主要成分有烯烃类化合物,还有少量的苯系物、醇类、酯类等化合物。其中含量最高的为  $\alpha$ -依兰烯,相对含量为  $30.463\%$ ;其次是  $\beta$ -檀香萜烯,相对含量为  $12.368\%$ ; (E)- $\alpha$ -佛手甘氨酸,相对含量为  $10.296\%$ ;角鲨烯,相对含量为  $5.320\%$ ,此外 2,4-二甲基苯醇 (RA% =  $4.019\%$ )、(-)- $\beta$ -花柏烯 (RA% =  $4.897\%$ )、长叶蒎烯 (RA% =  $3.555\%$ ) 等的含量都较高。此外通过对

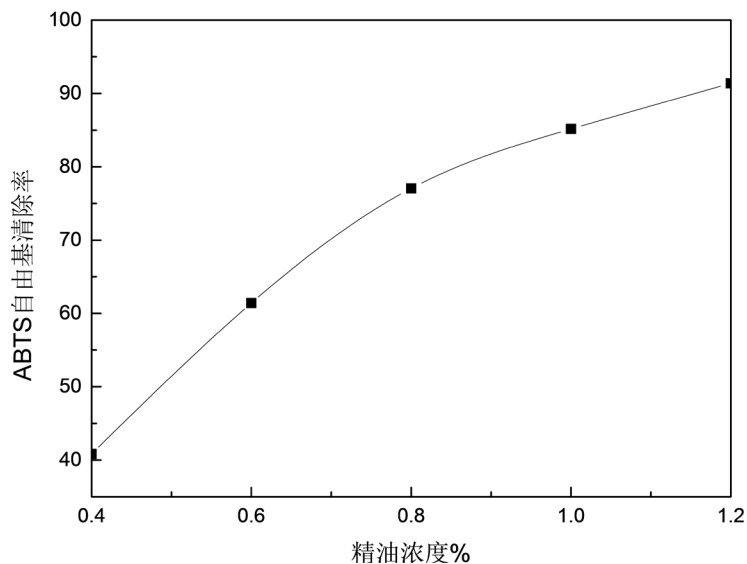


Figure 5. ABTS free radicals scavenging ability of essential oil

图 5. 精油清除 ABTS 自由基能力

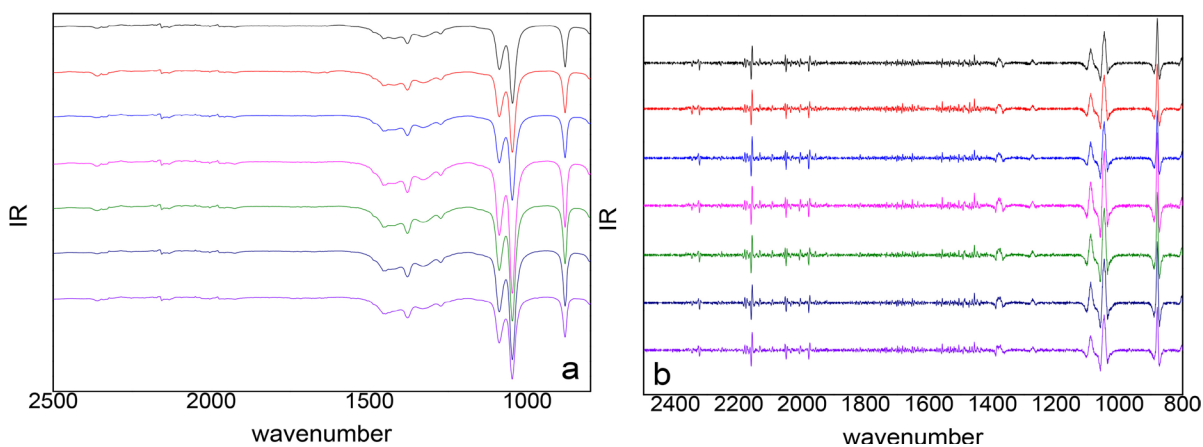


Figure 6. Near infrared spectrum (a) and second derivative spectra (b) of DPPH free radicals scavenging ability

图 6. DPPH 清除能力; (a) 近红外光谱; (b) 近红外光谱的二阶导数

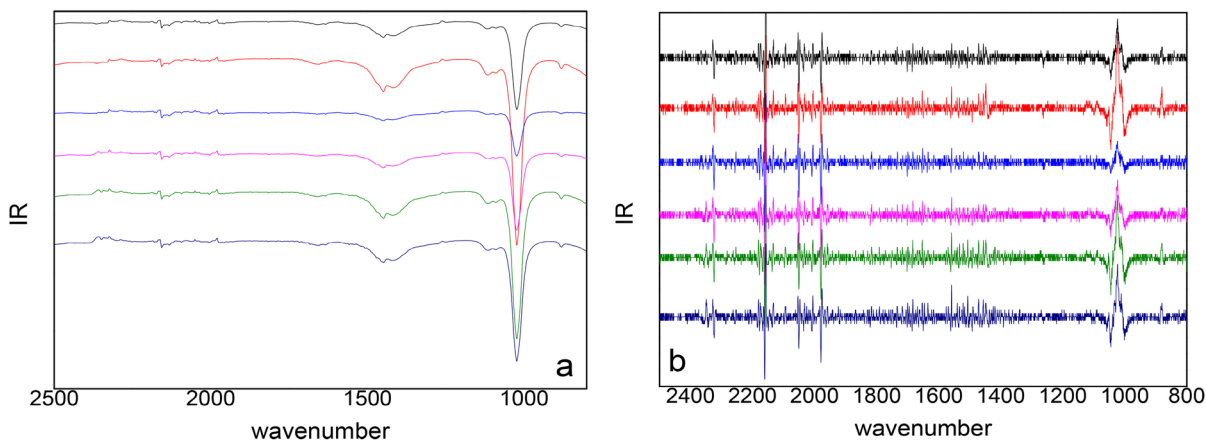


Figure 7. Near infrared spectrum (a) and second derivative spectra (b) of ABTS free radicals scavenging ability

图 7. ABTS 清除能力; (a) 近红外光谱; (b) 近红外光谱的二阶导数



挥发油自由基清除能力的测试, 得出体积浓度为 60% 的精油样品对 DPPH 阴离子自由基的清除率为 74.07%; 浓度为 1.20% 的精油样品对 ABTS 阳离子自由基的清除率为 91.39%, 可以看出北五味子精油对不同离子自由基的抗氧化活性存在较大差异。通过近红外光谱对北五味子的清除自由基能力进行进一步分析, 得出北五味子挥发油可以清除 DPPH 和 ABTS 溶液中大部分自由基, 但是均无法清除脂类化合物, 并且无法清除 DPPH 溶液中的芳香烃类化合物。以期近红外光谱技术应用于天然产物的对于北五味子挥发油的抗氧化研究提供一定的数据支持。

## 基金项目

作者感谢中央高校基本科研业务费专项资金项目(2572016BB01)和东北林业大学大学生创新训练项目(201710225018)的资助。

## 参考文献

- [1] 邓妍君, 于泓鹏, 陈刚, 吴克刚, 柴向华. 超临界 CO<sub>2</sub> 流体萃取五味子精油及精油成分区域性差异研究[J]. 食品科技, 2011, 36(8): 202-205 + 210.
- [2] 孙庆龙. 北五味子种质资源及评价研究[D]: [硕士学位论文]. 哈尔滨: 黑龙江中医药大学, 2006.
- [3] 程振玉, 杨英杰. 北五味子化学成分系统研究[J]. 吉林化工学院学报, 2013, 30(5): 36-39.
- [4] 黄鑫, 宋凤瑞, 刘志强, 刘淑莹. 现代质谱及其联用技术在中药五味子研究中的应用[J]. 世界科学技术(中医药现代化), 2009, 11(1): 115-119.
- [5] 马春慧. 北五味子活性成分高效分离纯化技术及资源多级利用工艺研究[D]: [博士学位论文]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2013.
- [6] 赵天明. 植物精油提取技术研究进展[J]. 广州化工, 2016, 44(13): 16-17 + 44.
- [7] Eikani, M.H., Golmohammad, F. and Rowshanzamir, S. (2007) Subcritical Water Extraction of Essential Oils from Coriander Seeds (*Coriandrum sativum* L.). *Journal of Food Engineering*, **80**, 735-740.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodeng.2006.05.015>
- [8] Lucchesi, M.E., Chemat, F. and Smadja, J. (2004) Solvent-Free Microwave Extraction of Essential Oil from Aromatic Herbs: Comparison with Conventional Hydro-Distillation. *Journal of Chromatography A*, **1043**, 323-327.  
<https://doi.org/10.1016/j.chroma.2004.05.083>
- [9] 赵华, 张金生, 李丽华. 植物精油提取技术的研究进展[J]. 辽宁石油化工大学学报, 2006, 26(4): 137-140.
- [10] 蔡基智, 林杰. 植物精油提取新技术的研究进展[J]. 精细与专用化学品, 2012, 20(1): 14-16.
- [11] 马涛, 毛红燕, 石太渊, 等. 五味子多糖的微波辅助-半仿生法提取工艺优化[J]. 中国食品学报, 2011, 11(1): 98-105.
- [12] 许正虹, 高彦祥, 石素兰, 等. 微波辅助萃取紫甘薯色素的研究[J]. 食品科学, 2005, 26(9): 234-239.
- [13] 黄天辉, 沈平孀. 均匀设计优选微波萃取五味子的工艺研究[J]. 中成药, 2006, 28(8): 1111-1113.
- [14] 温朋飞, 彭艳. 植物精油抗氧化作用机制研究进展[J]. 饲料工业, 2017, 38(2): 40-45.
- [15] Meir, S., Kanner, J., Akiri, B., et al. (1995) Determination and Involvement of Aqueous Reducing Compounds in Oxidative Defense Systems of Various Senescing Leaves. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **43**, 1813-1819.  
<https://doi.org/10.1021/jf00055a012>
- [16] Ma, C., Yang, L., Zu, Y., et al. (2012) Optimization of Conditions of Solvent-Free Microwave Extraction and Study on Antioxidant Capacity of Essential Oil from *Schisandra chinensis* (Turcz.) Baill. *Food Chemistry*, **134**, 2532-2539.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.04.080>
- [17] 李采怿, 张国英, 董秀英, 张海英, 吕青涛, 凌建亚. 基于近红外光谱的生药醇提物抗氧化性预测[J]. 光谱学与光谱分析, 2017, 37(8): 2402-2405.
- [18] 焦爱权, 徐学明, 金征宇. 基于近红外及中红外光谱融合技术快速检测黄酒中的总酚含量及其抗氧化能力[J]. 食品与生物技术学报, 2016, 35(4): 357-363.
- [19] 赵婷婷. 黍稷近红外测定方法及其抗氧化品质性状分析[D]: [硕士学位论文]. 太原: 山西大学, 2011.

- [20] 朱玉昌, 焦必宁. ABTS 法体外测定果蔬类总抗氧化能力的研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2005, 31(8): 77-80.
- [21] 周芸. 莲房原花青素制备工艺及抗氧化活性研究[D]: [硕士学位论文]. 杭州: 浙江大学, 2012.

**知网检索的两种方式:**

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2168-5665, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>  
期刊邮箱: [br@hanspub.org](mailto:br@hanspub.org)