

DOI:10.12171/j.1000-1522.20190200

沙棘中白雀木醇表征方法及其分布规律

陶翠¹ 王捷² 姚玉军² 韩雪¹ 吕兆林^{3,4}

(1. 北京林业大学生物科学与技术学院, 北京 100083; 2. 内蒙古宇航人高技术产业有限责任公司, 内蒙古呼和浩特 011517;
3. 北京林业大学分析测试中心, 北京 100083; 4. 林业食品加工与安全北京市重点实验室, 北京 100083)

摘要:【目的】本论文基于一种高效、准确白雀木醇表征方法,对沙棘资源中的白雀木醇进行准确定量,探究沙棘资源中白雀木醇的含量变化规律,为沙棘中白雀木醇的开发利用提供参考。【方法】对比了气相色谱法(GC)和高效液相色谱法(HPLC)两种测试手段的优缺点,采用较优的液相色谱测试方法对包括沙棘果、沙棘籽、沙棘叶在内的沙棘资源中白雀木醇含量变化进行了研究。【结果】采用液相色谱-蒸发光散射法测定沙棘资源中的白雀木醇,该法呈现良好的线性关系($R^2 = 0.9985$),且精密度高($RSD \leq 0.53\%$)、准确度高($RSD \leq 1.16\%$)、重复性好($RSD \leq 1.71\%$)。研究结果显示,沙棘中不同部位的白雀木醇含量差异显著($P < 0.01$),其中沙棘叶中白雀木醇含量最高(59.73 mg/g,干叶),其次为沙棘果肉(2.19 mg/g,鲜果肉)和沙棘籽(0.39 mg/g,鲜籽);收集 5 月份至 9 月份不同生长阶段的沙棘叶,研究表明,随着叶子生长白雀木醇含量呈现为逐渐升高趋势,且 7 月份至 8 月份期间增速最大,9 月份含量积累至最高(64.79 mg/g,干叶)。【结论】液相色谱-蒸发光散射法检测白雀木醇含量,操作简便、并且精密度、准确度高、重复性好;沙棘叶中白雀木醇含量较果实丰富,沙棘叶中白雀木醇含量 9 月份累积至最高,本研究可为沙棘资源中白雀木醇的开发应用提供有效数据支撑。
关键词: 沙棘;白雀木醇;液相色谱法;气相色谱法;含量测定

中图分类号: S793.6 文献标志码: A 文章编号: 1000-1522(2020)01-0121-06

引文格式: 陶翠,王捷,姚玉军,等.沙棘中白雀木醇表征方法及其分布规律[J].北京林业大学学报,2020,42(1):121-126.
Tao Cui, Wang Jie, Yao Yujun, et al. Characterization and distribution rule of quebrachitol in *Hippophae rhamnoides* [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2020, 42(1): 121-126.

Characterization and distribution rule of quebrachitol in *Hippophae rhamnoides*

Tao Cui¹ Wang Jie² Yao Yujun² Han Xue¹ Lü Zhaolin^{3,4}

(1. School of Biological Sciences and Biotechnology, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;
2. Inner Mongolia Yuhangren High-tech Industrial (Group) Co., Ltd, Hohhot 011517, Inner Mongolia, China;
3. Analysis and Testing Center, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;
4. Department of Beijing Key Laboratory of Forest Food Process and Safety, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: [Objective] Based on an efficient and accurate characterization method, we accurately quantified quebrachitol and explored the changing rules of its content in seabuckthorn, providing references for the development and utilization of seabuckthorn resources. [Method] After the comparison of the two methods, HPLC was selected for the determination of content of quebrachitol in three different parts of seabuckthorn, including the flesh, seed and leaf. [Result] This method showed a good linear relationship ($R^2 = 0.9985$), with high precision ($RSD \leq 0.53\%$), high accuracy ($RSD \leq 1.16\%$) and good repeatability ($RSD \leq 1.71\%$). The results showed that there was a significant difference in the content of alcohol in different parts of seabuckthorn ($P < 0.01$), and the content in the leaves of seabuckthorn was the highest (59.73 mg/g dry leaves), followed by the flesh of seabuckthorn (2.19 mg/g fresh flesh) and the seeds of seabuckthorn

收稿日期: 2019-04-26 修回日期: 2019-06-28

基金项目: 沙棘叶多酚高效提取技术研究及产品开发(2016HXFWSWXY011)。

第一作者: 陶翠。主要研究方向: 天然产物的分离与加工利用。Email: taocui1215@foxmail.com 地址: 100083 北京市海淀区清华东路 35 号北京林业大学生物科学与技术学院。

责任作者: 吕兆林, 博士, 副教授。主要研究方向: 天然产物的分离与加工利用。Email: zhaolinlv@bjfu.edu.cn 地址: 同上。

本刊网址: <http://j.bjfu.edu.cn>; <http://journal.bjfu.edu.cn>

(0.39 mg/g fresh seeds). The leaves of seabuckthorn at different growth stages from May to September were collected, and the results showed that the content of quebrachitol increased gradually with the growth of leaves, and the growth rate was the largest from July to August, and the content accumulated to the highest in September (64.79 mg/g dry leaves). [Conclusion] Liquid chromatography-evaporative light scattering detector was found easy operating, accurate, and repeatable for the determination of quebrachitol content. The quebrachitol content in the leaves of seabuckthorn was more abundant than that in the fruits, and it reached the highest in September. This study can provide effective data support for the development and application of quebrachitol in seabuckthorn resources.

Key words: *Hippophae rhamnoides*; quebrachitol; gas chromatography(GC); high performance liquid chromatography(HPLC); determination of content

沙棘 (*Hippophae rhamnoides*) 是胡颓子科 (Elaeagnaceae) 沙棘属 (*Hippophae*) 植物, 目前在中国、印度以及俄罗斯等国家广泛种植, 我国是沙棘资源大国, 种植面积约占世界沙棘种植总面积的 90% 以上, 主要分布于山西、内蒙古、辽宁、新疆、西藏等省份。沙棘作为一种药食同源植物, 具有丰富的营养物质和生理活性成分, 现代药理研究表明沙棘具有显著的调节血脂、抗炎、抗氧化、降血糖、抗菌、抗肿瘤等重要生理活性, 化学成分研究发现其主要活性成分是多糖、黄酮类、多酚类、肌醇化合物等^[1]。目前针对沙棘中的活性成分研究, 主要集中在沙棘中的多糖以及黄酮类化合物, 而对其他重要活性成分研究较少。

白雀木醇是一种肌醇的甲醚衍生物, 研究表明, 白雀木醇具有抗氧化^[2]、维持渗透压^[3]、降血糖、抗癌^[4] 以及治疗胃损伤^[5] 的作用, 是一种极具利用价值的天然活性成分, 目前受到国内外研究学者的广泛关注。已有研究表明, 白雀木醇存在于沙棘资源中, Zheng 等^[6] 曾对沙棘果汁中的活性成分进行含量表征, 探索了不同地区的沙棘果汁中白雀木醇的含量差异。但目前尚无研究对沙棘中其他部位, 如沙棘叶、沙棘籽等是否存在白雀木醇及其含量作出报道。本文探究了不同检测手段的检测效果, 优选出液相色谱法测定不同产地、不同部位的沙棘中白雀木醇的含量, 旨在全面分析沙棘资源中不同部位的白雀木醇含量, 为沙棘不同部位的开发利用提供科学参考和依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

沙棘果实、沙棘叶均采自辽宁省朝阳市, 共设置 5 个采样点进行采样, 采样样方规格为 20 m × 20 m, 每种样品在样方内不同位置随机采 5 株健康树株进行采集。沙棘果实采集后立即装入自封袋, 存放于冰盒中, 经处理得到相应沙棘籽和沙棘果肉, -20 °C

冰箱冷冻保存待测; 沙棘叶经准确称取鲜质量后, 自然干燥, 室温贮藏保存待测。

1.2 试验方法

1.2.1 供试品溶液及对照品溶液的制备

供试品溶液的制备: 分别精密称取 3 g 干燥的沙棘叶粉、新鲜沙棘果肉和沙棘籽, 进行适当破碎, 加入乙醇溶液, 在 50 °C 条件下超声波提取 30 分钟, 抽滤分离上清液留存, 定容, 既得供试品溶液, 待测。

白雀木醇标准溶液的制备: 使用电子天平准确称取 36.5 mg 白雀木醇标准品(上海安谱科学仪器有限公司, 质量分数 > 98%), 超纯水溶解定容至 25 mL 容量瓶中, 配制质量浓度为 1.46 mg/mL 的白雀木醇标准溶液, 待测。

1.2.2 检测方法选择

1.2.2.1 气相色谱法

分别移取供试品溶液以及标准品溶液各 1 mL 于鸡心瓶中, 减压浓缩蒸干, 加入 1 mL 吡啶, 超声 5 min 使其溶解, 置于冰水浴中, 加入硅烷化试剂, 取上层清液移至进样瓶中, 进行气相色谱分析(气相色谱仪为 GC2010 气相色谱仪, 日本岛津公司)。色谱柱为 Rtx-5 石英毛细柱(0.25 mm × 30 m × 0.25 μm)。升温程序: 初温 180 °C, 保持 2 min, 以 6 °C/min 升至 200 °C, 保持 6 min, 再以 40 °C/min 升至 280 °C, 保持 8 min。FID 检测器温度为 300 °C, 进样口温度为 280 °C, H₂ 流速 30 mL/min, 尾吹气流速 30 mL/min, 柱内载气流速 0.8 mL/min, 空气流速 300 mL/min。

1.2.2.2 液相色谱法

分别取适量供试品溶液及标准品溶液于进样瓶中, 过 0.22 μm 滤膜, 用 LC-20AT 型高效液相色谱仪(日本岛津公司)进行液相色谱分析。色谱柱选择日本 GL-Sciences NH₂ 色谱柱(250 mm × 4.6 mm × 5 μm), 流动相为乙腈:水 = 75:25(v:v), 流速为 1.0 mL/min, 柱温为 30 °C, 进样量为 10 μL。

ESA6100 型蒸发光散射检测器(美国 ESA 公司)的漂移管温度为 60 °C, 雾化器温度为 45 °C, 增

益值设为 80, 载气体压力为 165.48 kPa。

1.2.3 优选方法的方法学考察

1.2.3.1 线性关系的考察

取白雀木醇标准品溶液, 分别进样 2、4、6、8、10 μL , 在 1.2.2 的色谱条件下进行检测, 记录峰面积, 以峰面积 $\times 10^{-7}$ 为纵坐标 y , 以白雀木醇标准品溶液的质量浓度为横坐标 x , 绘制出白雀木醇的标准曲线。

1.2.3.2 方法精密度

取白雀木醇标准品溶液进样分析, 平行测定 5 次, 根据 5 次进样所得峰面积计算相对标准偏差 (RSD) 值, 考察方法精密度。

1.2.3.3 重复性考察

取同一样品制备 5 份供试品溶液, 在 1.2.2 的色谱条件下进样分析, 计算 5 份样品的 RSD 值, 考察方法的重复性。

1.2.3.4 加标回收率

取同一样品制备 5 份供试品溶液, 并分别加入 1.00 mL 质量浓度为 50.8 mg/mL 白雀木醇标准溶液, 按照 1.3.2 色谱条件进样分析, 记录白雀木醇的峰面积, 计算回收率以及 RSD 值。

1.2.4 样品测定及白雀木醇含量计算

分别取各个部位样品, 按照 1.2.1 的方法制备供试品溶液, 按照 1.2.2 所优选的检测方法平行测定 3 次, 计算各个部位的白雀木醇含量。

将所得 3 次峰面积平均值代入标准曲线公式即得供试品中白雀木醇的质量浓度 (mg/mL), 参照以下公式计算得出样品中白雀木醇含量 (mg/g)。

$$M = \frac{c \times v}{m}$$

式中: M 表示白雀木醇含量 (mg/g), c 表示供试品中白雀木醇质量浓度 (mg/mL), v 表示供试品溶液体积 (mL), m 表示干叶质量 (g)。

1.3 数据处理

采用 SPSS17.0 软件进行统计学分析, $P < 0.05$ 为显著水平, $P < 0.01$ 为极显著水平。

2 结果与分析

2.1 白雀木醇检测方法选择

2.1.1 气相色谱法

由于白雀木醇具有多羟基结构, 沸点高, 对于具有一定测定范围局限性的气相色谱法^[7], 不能直接进样分析, 所以本实验以 Zheng 等^[6] 研究沙棘中糖类、有机酸类以及白雀木醇等物质含量测定时采用的硅烷化方法为依据, 对沙棘叶中白雀木醇进行柱前衍生化后气相色谱法测定其含量。

图 1 为通过气相色谱法检测沙棘叶中白雀木醇所得到的气相色谱图, 由图可知, 经衍生化处理后, 各物质峰的整体分离情况总体较好, 白雀木醇在保留时间 5.918 min 处出峰, 峰形好, 但是与一个保留时间相近的杂质峰分离度较低, 有所重叠, 给白雀木醇的准确定量分析带来影响。

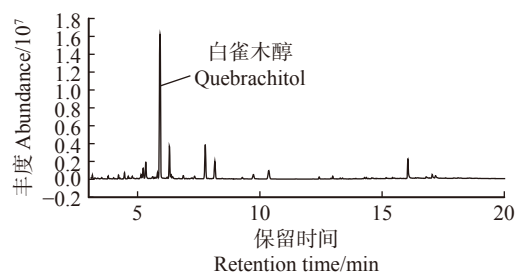


图 1 沙棘叶样品气相色谱图

Fig. 1 GC chromatogram of quebrachitol in seabuckthorn leaves

2.1.2 液相色谱法

为了优化白雀木醇测定方法, 本实验还选定了液相色谱法对沙棘叶中的白雀木醇含量进行分析, 依据白雀木醇没有紫外特征吸收峰的特点, 确定了蒸发光散射检测器作为检测器^[8], 并在张尧等^[9] 所采用的亲水色谱-蒸发光散射检测器的检测方法基础上, 改进部分实验条件, 对沙棘叶中白雀木醇的含量进行测定。

由液相色谱图(图 2)可知, 该检测方法得到的色谱图杂峰少、干扰小, 对样品中的白雀木醇的选择性高, 利于白雀木醇的准确定量。同时该方法无需对样品进行复杂的前处理和衍生化, 操作简便, 且可实现有效分离和检测。上述结果表明应用液相色谱法对沙棘叶样品中的白雀木醇进行定量分析是可行的。

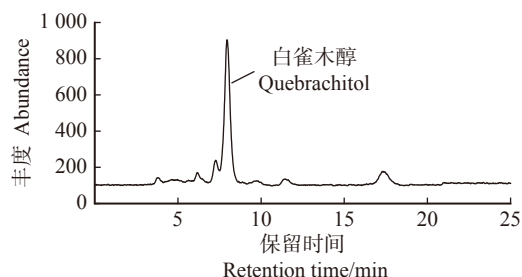


图 2 沙棘叶样品液相色谱图

Fig. 2 HPLC chromatogram of quebrachitol in seabuckthorn leaves

2.1.3 两种检测方法对比

根据以上色谱图可以看出, 两种方法均可以为理想的对沙棘叶样品中的白雀木醇进行分离和分析。利用白雀木醇标准品, 通过外标法分别对两种检测方法中的白雀木醇进行定量, 对比两种方法的

定量结果可以发现,在同一样品进行3次重复检测以减小误差的前提下,气相色谱法的检测结果显著低于液相色谱法所测定的结果($P < 0.01$),相对偏差达36.19%。详细定量结果见表1。

表1 两种方法对同一沙棘叶(干叶)样品中白雀木醇含量检测结果对比

Tab. 1 Content of quebrachitol in seabuckthorn leaf (dry leaf) detected by two methods

检测方法 Detection method	白雀木醇含量 Concentration of quebrachitol/(mg·g ⁻¹)	相对偏差 Relative deviation/%
气相色谱法 Gas chromatography	25.76 ± 0.10	36.19
液相色谱法 Liquid chromatography	35.08 ± 0.23	

2.2 HPLC 定量方法评价

2.2.1 线性关系考察

白雀木醇标准品的液相色谱结果如图3所示,峰形良好。以峰面积 $\times 10^{-7}$ 为纵坐标 y , 以白雀木醇标准品溶液的质量浓度为横坐标 x , 绘制出白雀木醇的标准曲线如图4所示。标准曲线的线性回归方程为 $y = 1.17x - 0.0636$, 相关系数为 $R^2 = 0.9985$, 表明可根据所得到的线性回归方程进行后续数据分析。

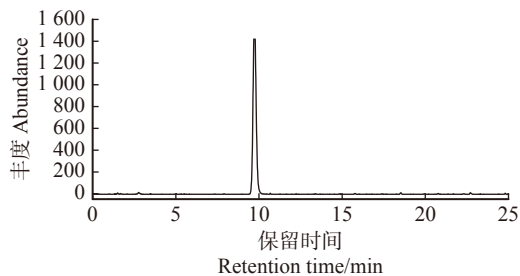


图3 白雀木醇标准品的液相色谱图

Fig. 3 HPLC chromatogram of the quebrachitol standard

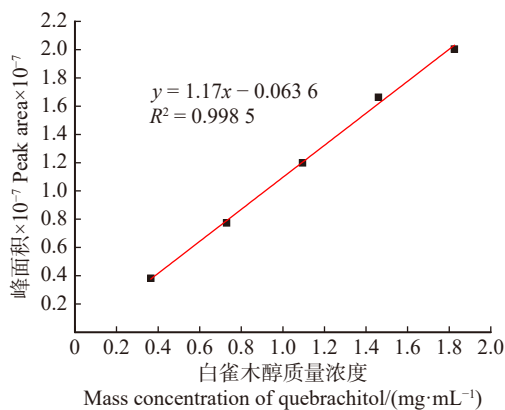


图4 标准品白雀木醇质量浓度与峰面积的关系

Fig. 4 Relationship between standard quebrachitol mass concentration and the peak area

2.2.2 精密度考察

利用连续进样5次所得峰面积(16 530 182、16 720 017、16 677 322、16 633 267、16 522 782)计算RSD值。结果显示白雀木醇峰面积的RSD值为0.53%, 小于1%, 表明方法精密度良好, 可以用于沙棘叶中白雀木醇的测定。

2.2.3 重复性考察

制备5份沙棘叶供试品溶液进样分析, 考察重复性, 所得RSD值为1.71%(表2), 说明该试验方法的重复性良好。

表2 样品中白雀木醇测定的重复性

Tab. 2 Repeatability of quebrachitol in samples

样品编号 Sample No.	样品质量 Sample mass/g	白雀木醇含量 Concentration of quebrachitol/(mg·g ⁻¹)	相对标准偏差RSD/%
1	3.009	53.855	1.71
2	3.006	54.555	
3	3.006	54.958	
4	3.010	53.335	
5	2.996	52.665	

2.2.4 加标回收率试验

回收率是反映试验准确度的重要指标。样品待测物质的回收率越接近100%, 说明试验过程中样品的待测物质损失越少。本试验中采用已知白雀木醇含量的5份沙棘叶供试品溶液, 加入精密称定的标准品, 经测定后计算加标回收率, 结果测得回收率为95.9%~98.7%, 平均回收率为97.2%, RSD值为1.16%(表3), 表明该方法准确度良好。

表3 样品中白雀木醇的加标回收率

Tab. 3 Recovery of quebrachitol in samples

编 号 No.	取样量 Sample mass/g	本底值 Background/ mg	加标量 Standards added/mg	加标测 定值 Found/mg	平均回收率 Average recovery/%	相对标 准偏差 RSD/%
1	3.010	163.51	50.8	212.2	97.2	1.16
2	3.009	163.45	50.8	213.6		
3	3.007	163.34	50.8	213.1		
4	3.005	163.24	50.8	212.5		
5	3.006	163.29	50.8	212.3		

2.3 沙棘不同部位中白雀木醇的含量比较

按照1.2.1制备沙棘的果肉、籽和叶3个部位样品的供试溶液, 每种样品平行测定3次, 按照1.2.2中的方法对各供试品溶液中的白雀木醇含量进行考察。结果发现沙棘中3个不同部位中均发现了白雀木醇的存在, 但其含量却差异明显, 其中沙棘叶中的白雀木醇含量最高(59.73 mg/g, 干叶),

远远高于沙棘果肉(2.19 mg/g, 鲜果肉)和沙棘籽(0.39 mg/g, 鲜籽)中白雀木醇的含量。为了进一步为试验材料的采集提供指导,我们选取沙棘叶作为后续研究材料,选择不同月份采摘的沙棘叶样品,探讨不同季节沙棘叶中白雀木醇的含量变化规律。

2.4 不同生长阶段沙棘叶中白雀木醇的含量比较

分别于2018年5—9月份在辽宁朝阳市(122°25'~123°48'E、41°12'~42°17'N)采摘沙棘叶样品,制成供试品溶液后进样分析,计算沙棘叶中白雀木醇含量,得到结果如图5。

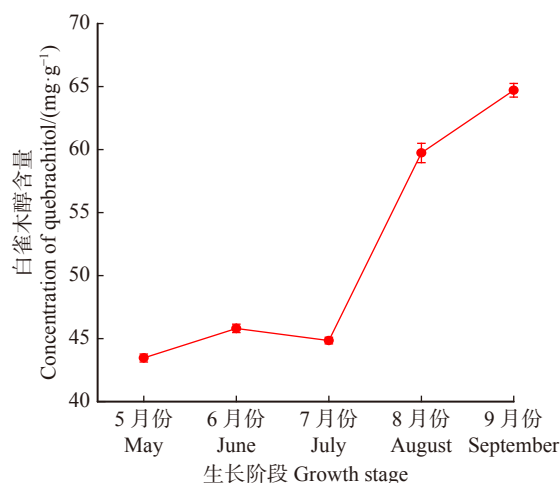


图5 不同采集时间沙棘叶白雀木醇含量变化

Fig. 5 Content of quebrachitol in the seabuckthorn leaves collected in different time

由图5可知,随着采摘时间的推迟,沙棘叶中白雀木醇含量呈现逐渐增多的趋势,说明白雀木醇在沙棘叶中是一个逐渐积累的过程。其中,在5月至7月份之间含量较平稳,甚至稍有下降;7月份至8月份则显著增加,由44.84 mg/g(干叶)增长至59.73 mg/g(干叶);8月份至9月份期间增速减缓,其含量由59.73 mg/g(干叶)增长至64.70 mg/g(干叶)。

3 讨论与结论

3.1 液相色谱法方法选择分析

本文首先对比了气相色谱法和液相色谱法两种方法对白雀木醇的分离效果及定量结果的差异,优选出液相色谱法,其操作更为简便,无需复杂的样品前处理,并且对白雀木醇的选择性高,干扰小,方法重现性好,定量准确,因此液相色谱法相较气相色谱法更适用于白雀木醇的准确定量分析,分析原因如下:

(1)气相色谱方法对单一组分的选择性差。本试验中参考Zheng等人^[6]在研究沙棘汁中营养成分所采用的方法来检测沙棘叶中白雀木醇含量,该方法在同时检测多种难挥发的化合物含量时具有简便、

快速、范围广的优势,但是对于其中某一种组分的准确定量则选择性较差,故在对白雀木醇这一组分进行准确定量时不具优势。

(2)复杂样品前处理引入多重误差因素。柱前衍生化是个复杂的样品前处理过程,操作中难免引入方法误差以及人为操作误差,从而引起定量分析不准确。

(3)样品和标准品硅烷化程度不同。本实验中所采用的外标法定量,虽然保证了样品溶液和白雀木醇样品溶液在相同条件下进行硅烷化处理,但是由于样品溶液中还含有很多其他杂质影响硅烷化进程,可能会造成样品溶液与标准溶液中的白雀木醇最终硅烷化程度不同,由此造成定量误差。

3.2 沙棘不同部位白雀木醇含量差异显著

早有研究证明,植物资源中不同部位所含化学成分在含量和组成方面均存在显著差异。除了沙棘,很多其他植物材料中也存在此现象,如环烯醚萜苷成分在山茱萸(*Cornus officinalis*)果核、果肉和果梗中的含量差异显著,其中莫诺昔和马钱昔在果肉中含量显著高于果梗和果核^[10];梔子(*Gardenia jasminoides*)中的梔子苷和西红花苷I在果仁中的含量显著高于果皮^[11]。由于化学成分在植物不同部位的含量差异现象,在对植物资源进行深加工利用之前,探讨活性物质的分布规律非常有必要。

本研究对比分析了沙棘果肉、沙棘籽、沙棘叶3种不同部位的白雀木醇含量,其中,沙棘叶中白雀木醇含量最高(59.73 mg/g, 干叶),其次为沙棘果肉(2.19 mg/g, 鲜果肉)和沙棘籽(0.39 mg/g, 鲜籽)。上述数据显示,沙棘叶中白雀木醇含量较为丰富,是白雀木醇来源的重要材料,可为后期沙棘资源白雀木醇的开发利用提供数据支撑。

3.3 不同生长阶段沙棘叶白雀木醇含量呈规律性变化

植物的次生代谢产物是植物在长期繁衍进化过程中与环境相互作用的结果^[12]。植物所处环境多种多样,并且随着季节变换,紫外辐射、光照强度、气候条件、土壤条件等发生变化,会对植物中的代谢过程产生影响,进而影响植物中次生代谢产物的合成。吕兆林等^[13]研究发现,竹(*Phyllostachys heterocycla*)叶中黄酮化化合物的种类和含量会随着四季的变化而变化,为竹叶适宜采集时间的确定奠定基础。本试验继续选取沙棘叶为后续研究材料,探究了不同生长阶段对白雀木醇含量的影响,结果发现,白雀木醇在沙棘叶中是一个逐渐积累的过程,7—8月份间增长速度最快,9月份时积累达到最高(64.70 mg/g, 干叶)。白雀木醇含量随着沙棘叶生长而不断积累,可

能是由于白雀木醇作为沙棘中产生的一种重要的次生代谢产物,其不断积累对提高沙棘自我保护和生存竞争能力,帮助其适应恶劣的生长环境有重要作用。由于目前对白雀木醇在沙棘中的形成途径和过程研究较少,无法对其含量变化的根本原因进行探索,还需后续进一步从化合物形成层面进行深入研究。但目前所得结论可以从应用层面为沙棘叶资源科学、高效利用提供参考依据。

综上所述,本研究建立的液相色谱-蒸发光散射检测法操作简单易行,定量准确,适用于沙棘中白雀木醇含量的测定。沙棘资源中沙棘叶的白雀木醇含量最高,并且其含量随着叶子生长呈现逐渐升高的趋势,以上结论为沙棘叶的采收期提供参考,为沙棘叶实现产业转化奠定指导性的研究基础。

参 考 文 献

- [1] 马瑜红. 沙棘的有效成分及药理研究进展[J]. 四川生理科学, 2005, 27(2): 75-77.
Ma Y H. Research progress on active ingredients and pharmacology of seabuckthorn[J]. Sichuan Journal of Physiological Sciences, 2005, 27(2): 75-77.
- [2] Nobre J H V, Cunha G M, Moraes M O, et al. Quebrachitol (2-O-methyl-L-inositol) attenuates 6-hydroxydopamine-induced cytotoxicity in rat fetal mesencephalic cell cultures[J]. Food & Chemical Toxicology, 2006, 44(9): 1544-1551.
- [3] Richter A, Popp M. The physiological importance of accumulation of cyclitols in *Viscum album* L.[J]. New Phytol, 1992, 121(3): 431-438.
- [4] Liu X, Moody E C, Hecht S S, et al. Deoxygenated phosphorothioate inositol phosphate analogs: synthesis, phosphatase stability, and binding affinity[J]. Bioorganic & Medicinal Chemistry, 2008, 16(6): 3419-3427.
- [5] Olindaa T M, Lemosb T L G, Machadob L L, et al. Quebrachitol induced gastroprotection against acute gastric lesions: role of prostaglandins, nitric oxide and K⁺ ATP channels[J]. Phytomedicine, 2008, 15(5): 327-333.
- [6] Zheng J, Kallio H, Linderborg K, et al. Sugars, sugar alcohols, fruit acids, and ascorbic acid in wild Chinese sea buckthorn (*Hippopha rhamnoides* ssp. *sinensis*) with special reference to influence of latitude and altitude[J]. Food Research International, 2011, 44(7): 2018-2026.
- [7] 罗志琴. 医药中间体三氯丙酸和三苯基甲烷的柱前衍生化色谱分析研究[D]. 长沙: 中南大学, 2012.
- Luo Z Q. Precolumn derivatization and chromatographic analysis of pharmaceutical intermediates trichloropropionic acid and triphenylmethane[D]. Changsha: Central South University, 2012.
- [8] 张尧. 白坚木皮醇表面印迹材料的制备及其识别特性研究[D]. 太原: 中北大学, 2015.
- Zhang Y. Preparation of molecular imprinting polymer on silica gel particles for quebrachitol and specific binding property[D]. Taiyuan: North University of China, 2015.
- [9] 张尧, 桂红星, 李积华, 等. 聚4-乙烯基吡啶功能微粒的制备及其对白坚木皮醇的吸附[J]. 石油化工, 2015, 44(2): 218-222.
- Zhang Y, Gui H X, Li J H, et al. Preparation of grafted poly(4-Vinyl Pyridine)/SiO₂ particles and its adsorption to quebrachitol[J]. Petrochemical Technology, 2015, 44(2): 218-222.
- [10] 王雪纯, 高陆, 姜文月, 等. 山茱萸不同部位4种环烯醚萜苷成分含量比较研究[J]. 现代中药研究与实践, 2015, 44(2): 218-222.
- Wang X C, Gao L, Jiang W Y, et al. Comparative study on contents of four iridoid glycosides in different parts of corni fructus[J]. Research and Practice on Chinese Medicines, 2015, 44(2): 218-222.
- [11] 许林, 皮家菊, 满海燕, 等. 梔子不同部位梔子苷和西红花苷I的提取工艺和含量测定[J]. 中国农学通报, 2019, 35(4): 136-142.
- Xu L, Pi J J, Man H Y, et al. Geniposide and crocin I in different parts of gardenia: extraction technology and content determination[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2019, 35(4): 136-142.
- [12] 李彦, 周晓东, 楼浙辉, 等. 植物次生代谢产物及其影响其积累的因素研究综述[J]. 江西林业科技, 2012(3): 54-60.
- Li Y, Zhou X D, Lou Z H, et al. Review on secondary metabolites and factors affecting their accumulation in plants[J]. Jiangxi Forestry Science and Technology, 2012(3): 54-60.
- [13] 吕兆林, 任美玲, 欧阳屹林, 等. 竹叶黄酮化合物季节变化规律[J]. 北京林业大学学报, 2011, 33(4): 81-84.
- Lü Z L, Ren M L, Ouyang Y L, et al. Seasonal variations of flavonoid contents in leaves of four of bamboo species[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2011, 33(4): 81-84.

(责任编辑 范娟 崔艳红
责任编辑委 赵秀海)