



七叶一枝花不同器官的成分含量变化规律

张晨阳¹, 梁宗锁¹, 李先恩², 秦振娴², 陈雅兰²

(1. 浙江理工大学生命科学与医药学院, 杭州 310018; 2. 中国医学科学院药用植物研究所, 北京 100085)

摘要: 以种植在北京市海淀区的七叶一枝花为材料, 研究不同器官在不同生长月份的营养元素以及有效成分的动态变化规律。在七叶一枝花的不同生长期, 测定生物量、糖类、皂苷类成分积累和氮、磷、钾动态变化规律。在七叶一枝花生长期的不同月份, 利用高效液相和超高效液相测定不同部位中的 5 种糖类和 8 种皂苷类成分, 使用凯氏定氮法、电感耦合等离子体发射光谱仪对氮、磷、钾含量进行定量分析, 并计算折干率。研究结果表明: 七叶一枝花在 4—8 月份, 地下部分干物质积累表现出“慢-快-慢”的 S 型增长规律, 地上部分干物质积累可以分为平缓积累期-快速积累期两个阶段; 地上部分的氮和钾元素含量在营养生长转变为生殖生长过程中逐渐降低。新根中上年积累的氮、磷、钾在 4—5 月份逐渐向地上部分营养器官转移, 6 月份开始进行当年的营养元素积累。七叶一枝花在 4—8 月份生长过程中, 茎叶部分富含果糖和葡萄糖, 在新根和老根中的糖类主要是蔗糖、果糖和葡萄糖, 糖分种类和含量相近; 而须根在 6—8 月份蔗糖含量约是新根和老根的 2 倍, 最高达到 12 858 mg/g。对皂苷类成分研究表明: 地上部分以薯蓣皂苷类含量较高, 地下部分以偏诺皂苷类含量较高; 重楼皂苷 V 只分布在地上部分, 地下部分未检测到重楼皂苷 V 的存在; 在新根和老根中所含重楼皂苷 VI 含量极少, 并且在部分月份没有检测到重楼皂苷 VI。该研究结论可为七叶一枝花在“北移”后的人工种植提供参考。

关键词: 七叶一枝花; 皂苷; 氮磷钾; 糖类; 成分含量; 变化规律

中图分类号: Q945.32

文献标志码: A

文章编号: 1673-3851(2020)11-0831-09

Change law of component content of different organs in *Paris polyphylla*

ZHANG Chenyang¹, LIANG Zongsuo¹, LI Xianen², QIN Zhenxian², CHEN Yalan²

(1. College of Life Sciences and Medicine, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China;

2. Institute of Medicinal Plants, Chinese Academy of Medical Sciences, Beijing 100085, China)

Abstract: In this study, *Paris polyphylla* planted in Haidian District of Beijing was taken as the object to investigate the dynamic change law of nutrient elements and effective components of different organs in different growth periods. The biomass, saccharides, and saponin components accumulated in different growth periods and the dynamic change law of nitrogen, phosphorus, and potassium were measured. In the different months of the growth period *Paris polyphylla*, High Performance Liquid Ultra High Performance Liquid Phase were used to determine the components of 5 kinds of saccharides and 8 kinds of saponins in different organs. Meanwhile, the Kjeldahl method and inductively coupled plasma emission spectrometer were used to quantitatively analyze the content of nitrogen, phosphorus, and potassium, and calculate the drying rate. The results of the study indicated that from April to August, the dry matter accumulation in the underground part showed an S-shaped "slow-fast-slow" growth rule. The dry matter accumulation in the aboveground part can be divided into two stages: gentle accumulation

收稿日期: 2020-04-22 网络出版日期: 2020-07-08

基金项目: 国家重点研发计划(2017YFC1700706); 中国医学科学院医学与健康科技创新工程(2017-I2M-3-013)

作者简介: 张晨阳(1995—), 男, 河南驻马店人, 硕士研究生, 主要从事作物栽培学方面的研究。

通信作者: 梁宗锁, E-mail: liangzs@ms.iswc.ac.cn

period and fast accumulation period. The content of nitrogen and potassium in the aboveground part gradually decreased during the transformation process from vegetative growth to reproductive growth. The nitrogen, phosphorus, and potassium accumulated in the new roots in the last year gradually transferred to the nutritive organs in the aboveground part from April to May, and the accumulation of nutrients began from June. During the growth process of *Paris polyphylla* from April to August, the stems and leaves were rich in fructose and glucose. The saccharides in the new and old roots were mainly sucrose, fructose and glucose, and the types and content of saccharides were close. The sucrose content of fibrous roots was about twice that of new roots and old roots from June to August, with a maximum of 12.858 mg/g. Studies on the components of saponins showed that: the content of diosgenin was higher in the aboveground part, and the content of partial pennogenin was higher in the underground part. Polyphyllin V was only distributed in the aboveground part, and Polyphyllin V was not detected in the underground part. The content of Polyphyllin VI in new roots and old roots was extremely low and was not detected in some months. The research conclusions can provide certain reference for artificial cultivation of *Paris polyphylla* after its "northward movement".

Key words: *Paris polyphylla* Smith var. *chinensis*; saponins; nitrogen, phosphorus, and potassium; saccharides; component content; change rule

0 引言

七叶一枝花 (*Paris polyphylla* Smith var. *chinensis* (Franch.) Hara) 为百合科重楼属植物, 以干燥根茎入药。七叶一枝花主要化学成分为甾体皂苷类、黄酮类、三萜类和脂肪酸类^[1], 具有抗氧化性^[2]、抗菌^[3]、抗心肌缺血^[4]、止血驱蚊^[5]等功能。重楼属植物在全世界有 24 种, 在我国境内有 19 种, 主要分布在湖南、四川和云南等地^[6]。七叶一枝花的化学成分较为复杂, Zhao 等^[7]从重楼中分离出三种皂苷成分, Zhang 等^[8]采用 HPLC-ESI-MS/MS 和 HPLC-MS 在七叶一枝花粗提物中鉴定出 7 种皂苷, Man 等^[9]利用 HPLC-ELSD 技术对重楼皂苷 I、II、III、V、VI、VII、VIII、纤细薯蓣皂苷和薯蓣皂苷进行定性和定量分析。袁晓等^[10]利用分光光度计、高效液相色谱仪和等离子光谱仪检测出薯蓣皂甙元含量为 0.620% 和黄酮含量为 0.063%, 并且检测到丰富的微量元素和游离的氨基酸。

近年来, 随着对七叶一枝花的药理作用和临床研究的不断深入, 七叶一枝花的药用范围不断扩展, 市场需求量也在逐年增加。七叶一枝花的野生资源稀少, 在实际生产中, 品种混杂难辨, 药材质量和产量逐年下降, 难以满足市场需求, 采用人工种植的方法是解决目前难题的最佳途径之一^[11]。迄今关于七叶一枝花营养元素和有效成分含量的报道多集中在某个特定时期的含量^[12-13], 而对于不同生长时期营养器官的营养元素和有效成分的积累规律报道较

少。因此, 本文分析七叶一枝花的不同器官在生长发育过程中的氮、磷、钾元素含量, 糖类含量和重楼皂苷类含量的积累规律, 为七叶一枝花的规范化种植、药用部位扩展以及合理开发利用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

七叶一枝花 *Paris polyphylla* Smith var. *chinensis* (Franch.) Hara 来自湖南省慈利县, 于 2018 年秋栽种于北京中国医学科学院药用植物研究所试验地, 株行距为 25 cm×35 cm, 用遮阳网遮荫, 遮荫度 75%。

实验对照品重楼皂苷 I (MUST-17021905)、重楼皂苷 II (MUST-17021906)、重楼皂苷 VI (MUST-17052210) 和重楼皂苷 VII (MUST-17052211) 均购于成都曼斯特生物科技有限公司, 薯蓣皂苷 (Q4Y0-B3FL) 购于中国药品生物制品检定所, 纤细薯蓣皂苷 (HN1126XA14)、重楼皂苷 V (Y25O8H46682) 和重楼皂苷 H (B24084) 购于上海源叶生物科技有限公司, 乙腈 (色谱纯)、甲醇 (色谱纯)、乙醇 (分析纯) 均购于阿拉丁生化科技有限公司。

1.2 仪器

Waters 超高效液相色谱仪 PDA Detector Waters Empower 色谱工作站 (沃特世科技有限公司), ELSD 2424 蒸发光散射检测器 (美国 Waters 公司), KQ 5200 DV 超声波清洗仪 (昆山市超声仪器有限公司), XSE 205 Dual Range 电子天平 (上海

生物工程有限公司), 100 克手提式高速粉碎机(温州市林大机械有限公司)和 DHG-9030 A 电热恒温鼓风干燥箱(北京陆希科技有限公司)。

1.3 方 法

在 2019 年 4—8 月份, 每个月取样一次, 每次取样 3 株, 重复 3 次, 称取鲜重, 80 °C 烘箱烘干至恒重, 称干重, 后粉碎, 过 40 目筛, 备用。

1.3.1 皂苷含量测定方法

色谱条件: Waters Acquity HSST3 色谱柱(2.1 mm × 100 mm, 1.8 μm), 流动相为乙腈-水梯度, 梯度洗脱条件见表 1, 流速 0.5 mL/min、柱温 40 °C 和进样量 3 μL。

表 1 流动相梯度洗脱条件

时间/min	水/%	乙腈/%
0	73	27
6	70	30
9	63	37
28	48	52

对照样品溶液制备: 分别精密称取适量重楼皂苷 I、重楼皂苷 II、重楼皂苷 V、重楼皂苷 VI、重楼皂苷 VII、重楼皂苷 H、薯蓣皂苷、纤细薯蓣皂苷, 使用甲醇定容, 配成终浓度为 0.285、0.285、0.265、0.310、0.315、0.365、0.305 mg/mL 和 0.305 mg/mL 的混合对照品溶液, 用 0.22 μm 滤膜过滤, 备用。

供试品溶液制备: 称样品 0.5 g 放入锥形瓶中, 加入无水乙醇 25 mL, 称重标记。超声处理 40 min 后放冷, 称重后用乙醇补重。摇匀溶液后使用 0.22 μm 微孔滤膜过滤, 得到续滤液。每个样品设置 3 个生物学重复。

线性关系考察: 吸取以上 8 种混合对照品溶液逐级 2 倍稀释, 配制为 7 个不同浓度梯度, 每个浓度混合对照品进样 3.0 μL 注入超高效液相色谱仪。在上述色谱条件下分析, 以峰面积为纵坐标, 以各对照品的质量浓度为横坐标做标准曲线。以信噪比(SIGNAL-NOISE RATIO)10 为最低定量下限, 信噪比 3 为最低检测下限。分别吸取对照品溶液 0.1、0.5、1.0、3.0、5.0、7.0 μL 和 9.0 μL, 在色谱条件下测定 3 次, 取一份混合对照品溶液, 连续进样 6 次, 记录峰面积(RSD)值, 以进样量为横坐标, 峰面积为纵坐标进行回归。

稳定性试验: 取一份混合对照品溶液, 分别在 0、2、4、8、12 h 和 24 h 记录各成分保留时间。

重复性实验: 取 5 份相同的供试品溶液, 按照以上色谱方法进样, 计算出重楼皂苷 VII、重楼皂苷 H、

重楼皂苷 VI、重楼皂苷 II、薯蓣皂苷、纤细薯蓣皂苷、重楼皂苷 I 和重楼皂苷 V 的 RSD 值。

加样回收率实验: 取已测定的样品 0.2 g, 共 6 份, 精密称定, 分别加入到对照品溶液 1 mL, 按照上述的方法制备样品, 进样方法按照上述条件进行检测。

1.3.2 糖类含量测定

采用高效液相法(HPLC)测定果糖、葡萄糖、蔗糖、鼠李糖和木糖 5 种糖类成分的含量, 具体方法参考文献[14-15]。色谱条件: 0.1% 三乙胺水-乙腈配比: 27:73, 流速: 1 mL/min, 增益: 100, 漂移管温度: 68 °C, 气体压力: 275.790 kPa, 柱温: 25 °C。

对照样品溶液制备: 精密称取鼠李糖、果糖、葡萄糖、蔗糖和木糖标准品, 分别重 1.1×10^{-3} 、1.1、0.9、1.1 mg 和 1.3 mg, 将每个对照品加到 1 mL 的 10% 乙腈-水中混匀, 各取 100 μL, 混匀定容至 1 mL 备用。

供试品溶液制备: 取样品 0.2 g 置入锥形瓶中, 加入 25 mL 的 70% 乙醇溶液并称重, 超声提取 30 min, 放冷, 称重, 用 70% 乙醇溶液补足失重, 经 0.22 μm 微孔滤膜过滤, 取续滤液。每份样品制备 3 个重复, 备用。

线性关系考察: 精密吸取以上 5 种混合对照品溶液逐级 2 倍稀释, 配制为 6 个不同浓度梯度, 每个浓度混合对照品使用 2 μL 注入到高效液相色谱仪中。在上述色谱条件下, 把峰面积设置为纵坐标, 将对照品的质量浓度设置为横坐标, 制作标准曲线。

精密度试验: 取一份混合对照品溶液, 连续进样 6 次, 记录峰面积, 计算得出鼠李糖、木糖、果糖、葡萄糖和蔗糖的峰面积 RSD 值。

稳定性试验: 取一份混合对照品溶液, 分别在 0、2、4、8、12 h 和 24 h 记录各成分保留时间, 计算出鼠李糖、果糖、葡萄糖和蔗糖的 RSD 值。

1.3.3 氮磷钾含量测定方法

植株样品经硫酸-双氧水消解定容转移形成待测液, 全氮测定采用凯氏定氮法, 全磷、全钾用电感耦合等离子发射光谱仪(ICP-OES)进行定量分析。

1.4 数据分析

使用 Microsoft Office Excel 2019, SPSS Statistics 22.0 和 GraphPad Prism 7 进行数据处理和分析。

2 结果与讨论

2.1 七叶一枝花生长期生物量的变化

七叶一枝花干物质和折干率在不同月份的变化情况如图 1 所示。由图 1 可知, 在北京市海淀区种

植的七叶一枝花,地上、下部的干物质变化规律存在差异:地下部位以快-慢-快的方式进行干物质积累,即4—5月七叶一枝花地上部分干重迅速增加,5—6月增加缓慢,6—7月再次迅速增加。地上部分以快-慢的方式进行干物质的积累,即在4—5月份干物质迅速增加,5—8月份的干物质积累变得缓慢。

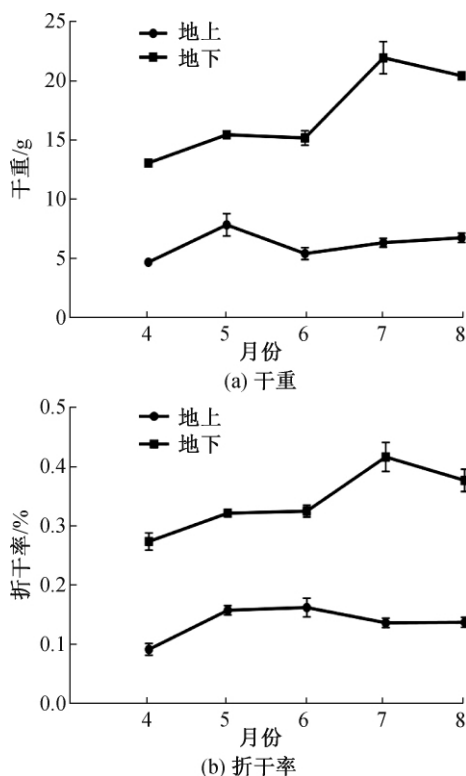


图1 七叶一枝花不同部位干重和折干率随时间变化曲线

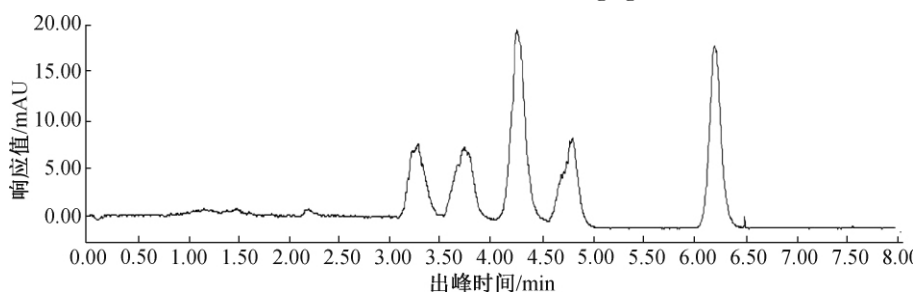


图2 七叶一枝花糖类标准品色谱图

表2 糖类对照品溶液线性回归方程

化合物	时间/min	线性回归方程	R^2
鼠李糖	3.265	$y=421512.125x-14541.166$	0.9992
木糖	3.722	$y=1016478.065x-76219.875$	0.9996
果糖	4.237	$y=1674085.257x-156302.833$	0.9994
葡萄糖	4.781	$y=2045601.768x-195960.416$	0.9991
蔗糖	6.170	$y=2653086.571x-241250.541$	0.9992

逐月减少,4、5月份含量最高,分别达到了2.481 mg/g和2.402 mg/g,8月份减少到了1.307 mg/g。葡萄糖的含量在6—8月份逐月减少,在6月份含量最

2.2 糖类含量变化

5种糖类标品色谱图和对照品溶液的线性回归方程如图2和表2所示。由图2可知,糖标品出峰的顺序为:鼠李糖、木糖、果糖、葡萄糖和蔗糖。从表2可知,5种糖类对照品的线性回归方程 R^2 值均大于0.999,表明拟合效果良好。精密度试验得出鼠李糖、木糖、果糖、葡萄糖和蔗糖的峰面积(RSD)值分别为0.084%,0.086%,0.069%,0.063%和0.044%,均小于3%。根据各成分RSD值分析,表明仪器的精密度良好。稳定性试验得出鼠李糖、木糖、果糖、葡萄糖和蔗糖的RSD值分别为0.288%,0.113%,0.076%,0.036%。各成分保留时间的RSD值均小于1%,表明实验在48 h内处于稳定。

对4—8月份七叶一枝花不同器官的糖类含量进行方差分析和多重比较,结果如图3图、图4和图5所示。从图3—图5中可以看出,新根当中果糖和葡萄糖的含量在4月份最高,分别为1.457 mg/g和1.137 mg/g;4月份新根的蔗糖含量最高,为3.509 mg/g,5—8月份间蔗糖的含量无显著性差异,含量在2.762~3.270 mg/g内。七叶一枝花的老根果糖含量在4—6月份逐渐降低,从1.638 mg/g减少到1.235 mg/g,6—8月份之间含量无显著性差异。葡萄糖的含量在5—8月份变化不大,4月份含量最多,为1.427 mg/g。蔗糖的含量在5月份最低,为2.286 mg/g,6—8月份的蔗糖含量在3.127~3.256 mg/g间。七叶一枝花须根中的果糖含量

高达到了3.329 mg/g,在8月份含量最低为1.444 mg/g。蔗糖的含量在5—7月份差异性显著,须根的含量逐月增加,积累迅速:从5月份的5.097 mg/g增加到了到7月份的12.858 mg/g。七叶一枝花地上部分在4月份果糖的含量最高,达到了8.610 mg/g,5—8月份间没有显著性差异,在3.370~4.517 mg/g的范围内变化。葡萄糖的含量在8月份最高,为14.381 mg/g,同4—7月份相比含量存在显著性差异。蔗糖的含量在4—6月份不存在显著性差异,7月份的蔗糖含量最少,为

3.636 mg/g。在 4—8 月份七叶一枝花地下部分的蔗糖含量高于地上部分,地下部分的葡萄糖含量高于地上部分。七叶一枝花当中鼠李糖含量极低,只在 4 月份的新根和老根中被检测到,分别为 0.821 mg/g 和 0.589 mg/g。而在 4—8 月份七叶一枝花的营养器官中都没有检测到木糖的存在。七叶一枝花在 4—8 月份的生长发育过程中,葡萄糖和果糖主要集中分布在地上部分,地下部分含量较少。须根在 6—8 月份的蔗糖含量超过其余营养器官,约是新根、老根的 2 倍,而新根和老根在每个月份所含的单糖种类和含量差别不大。

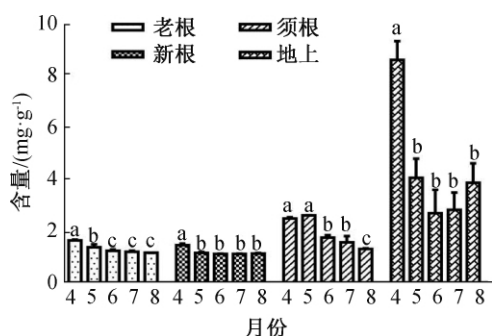


图 3 七叶一枝花生长期不同部位的果糖含量变化和多重比较

注:图中字母表示数值的差异显著性,字母相同表示差异不显著 ($P>0.05$),字母不同表示差异显著 ($P<0.05$)。后图同。

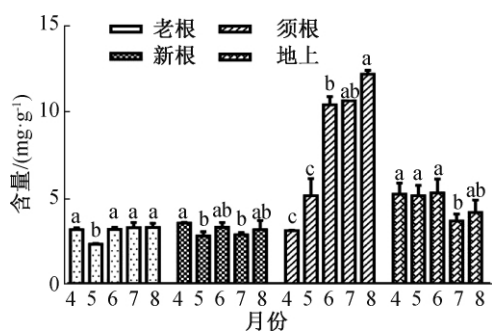


图 4 七叶一枝花生长期不同部位的蔗糖含量变化和多重比较

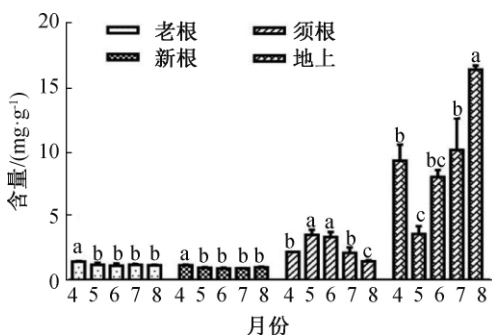


图 5 七叶一枝花生长期不同部位的葡萄糖含量变化与比较

2.3 氮、磷、钾含量变化

新根、老根、茎和叶在不同生长月份的氮、磷、钾元素含量进行方差分析和多重比较,结果如图 6—图 8 所示。由图 6—图 8 可知,七叶一枝花新根氮、磷、钾含量均呈“V”型变化,6 月份含量最低,7—8 月份含量无显著性差异。老根的氮元素量在 4、5 月份最高,分别为 1.073% 和 1.011%,6—8 月份含量逐渐降低;磷元素含量随月份逐渐升高,在 8 月份达到 0.218%;4 月份的钾元素含量为 0.523%,5—8 月份钾元素含量无显著性变化。茎的氮元素含量在 4—8 月份持续降低,从 1.237% 降低到 0.704%;磷元素含量在 4—8 月份无显著性差异,在 0.222%~0.289% 范围内变化;钾元素含量在 4 月份最高,7 月份最低,7 月含量仅有 1.130%,4 月份钾元素的含量约为 7 月份的 2 倍,达到了 2.280%。叶片的氮元素含量在 4—8 月份连续减少,各月间份的氮元素含量出现显著性差异;其中 4 月份氮元素的含量最高达到了 3.737%,7 月份氮元素含量最低,仅有 1.863%。磷元素含量在 5 月份降低到了 0.252%,6—8 月份的磷元素含量无明显变化。钾元素的含量逐月降低,且 4 月份的钾元素含量约为 8 月份的 3 倍,分别为 1.307%、0.422%。

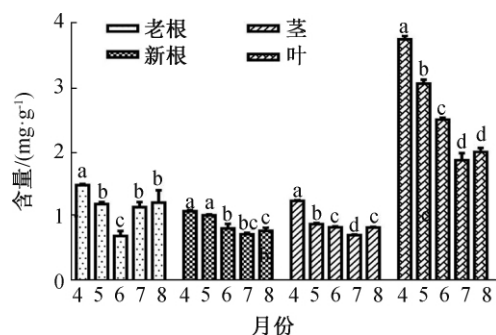


图 6 七叶一枝花生长期不同部位的氮元素含量变化和多重比较

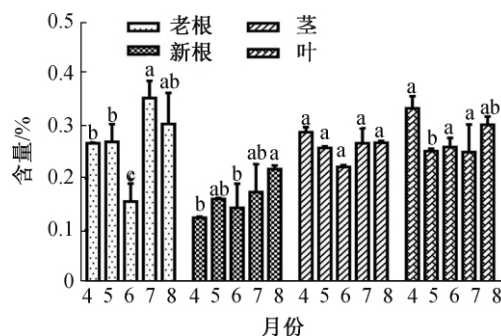


图 7 七叶一枝花生长期不同部位的磷元素含量变化和多重比较

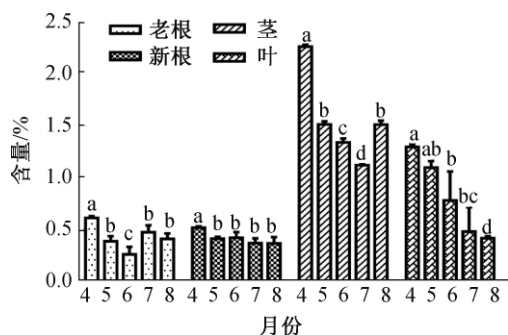


图8 七叶一枝花生长期不同部位的钾元素含量变化 and 多重比较

在4—8月份,七叶一枝花的地上部分的营养生长转变为生殖生长,导致营养元素从叶片和茎当中转移至果实部位^[16],因此茎和叶的氮、钾元素在4—8月份逐渐降低。新根中氮、磷、钾元素呈现“V”型

变化,变化规律与菰蓝^[17]和玄参^[18]营养元素积累方式相同,因此新根中上年所积累的氮、磷、钾含量在4—5月份逐渐向地上部分转移,自6月份才开始进行当年的营养元素积累。七叶一枝花的老根随着生长不断地膨大,磷元素在4—8月份出现增长的趋势,这一结果与陈波浪等^[19]的报道相一致。

2.4 不同月份皂苷含量变化

七叶一枝花重楼皂苷的样品和标准品的色谱图,结果如图9和图10所示。由图9可知,7种重楼皂苷按照时间的出峰顺序为:重楼皂苷Ⅶ、H、Ⅵ、Ⅱ、薯蓣皂苷、纤细薯蓣皂苷、重楼皂苷Ⅰ和重楼皂苷Ⅴ。图10结果表明:七叶一枝花的不同器官检测样品中,重楼皂苷出峰时间与标准品的出峰时间一致。

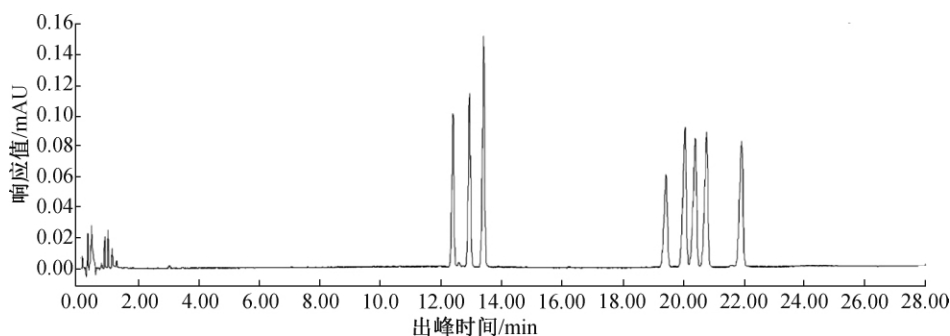


图9 七叶一枝花皂苷标准品检测色谱图

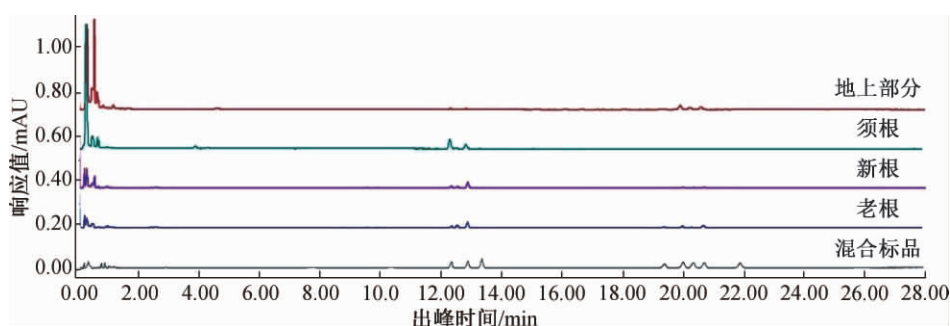


图10 七叶一枝花样品检测色谱图

经实验线性关系考察,得到线性回归方程如表3所示,7种重楼皂苷的线性回归方程所得 R^2 值均大于0.999,表明拟合效果良好。按照1.3.1方法对七叶一枝花的检测样品进行精密度试验、稳定性试验和重复性实验,结果如下:

精密度试验结果得出重楼皂苷Ⅶ,重楼皂苷H,重楼皂苷Ⅵ,重楼皂苷Ⅱ,薯蓣皂苷,纤细薯蓣皂苷,重楼皂苷Ⅰ以及重楼皂苷Ⅴ峰面积RSD值分别为1.990%, 1.380%, 1.180%, 2.100%, 1.850%, 2.180%, 1.580%, 0.650%,均小于3.000%。根据各成分峰面积RSD值分析,表明仪器的精密度良好。

经过稳定性试验的计算,得出重楼皂苷Ⅶ,重楼皂苷H,重楼皂苷Ⅵ,重楼皂苷Ⅱ,薯蓣皂苷,纤细薯蓣皂苷,重楼皂苷Ⅰ和重楼皂苷Ⅴ的保留时间RSD值分别为0.170%, 0.150%, 0.140%, 0.170%, 0.200%, 0.170%, 0.170%。各成分保留时间的RSD值均小于1%,表明实验在48 h内处于稳定。

重复性实验计算出重楼皂苷Ⅶ,重楼皂苷H,重楼皂苷Ⅵ,重楼皂苷Ⅱ,薯蓣皂苷,纤细薯蓣皂苷,重楼皂苷Ⅰ和重楼皂苷Ⅴ的RSD值分别为2.100%, 0.380%, 0.660%, 3.100%, 4.800%, 7.400%, 3.400%。

表 3 重楼皂苷对照品溶液线性回归方程

化合物	时间/min	线性回归方程	R ²
重楼皂苷Ⅶ	12.424	$y=1639860.398x+2875.192$	0.9998
重楼皂苷 H	12.968	$y=1685965.570x+5221.346$	0.9997
重楼皂苷Ⅵ	13.437	$y=2692151.898x+6309.859$	0.9995
重楼皂苷Ⅱ	19.453	$y=1597958.056x+3947.317$	0.9998
薯蓣皂苷	20.081	$y=2007279.332x+3832.717$	0.9997
纤细薯蓣皂苷	20.424	$y=1919394.992x+5111.234$	0.9998
重楼皂苷Ⅰ	20.791	$y=2278429.920x+5287.676$	0.9997
重楼皂苷Ⅴ	21.951	$y=2494475.281x+4364.805$	0.9997

加样回收率实验表明：重楼皂苷Ⅶ，重楼皂苷 H，重楼皂苷Ⅵ，重楼皂苷Ⅱ，薯蓣皂苷，纤细薯蓣皂苷，重楼皂苷Ⅰ和重楼皂苷Ⅴ的回收率分别为 93.900%，95.110%，96.360%，95.120%，94.890%，96.530%，96.810%和 97.860%，RSD 值为 0.771%，2.351%，2.163%，2.034%，1.947%，1.369%，1.115%和 1.176%，符合分析要求。

利用 SPSS 对七叶一枝花的新根、老根、须根和地上部分当中已检测的 7 中重楼皂苷成分进行方差分析和多重比较，结果如表 4 和表 5 所示。表 4 和表 5 结果显示，七叶一枝花地上部分重楼皂苷Ⅰ、重楼皂苷Ⅱ和重楼皂苷Ⅶ在 4 月份和 7 月份含量最高，最高值分别达到了 0.289%、0.180%和 0.055%。老根含有重楼皂苷Ⅰ和重楼皂苷Ⅱ在 4 月份居多，分别为 0.144%、0.099%。从 5 月份开始逐渐升高，因此 4 月份当中的重楼皂苷Ⅰ和重楼皂苷Ⅱ与上一年积累有关。重楼皂苷Ⅵ在 4 月份和 5 月份未在老根部位检测到，重楼皂苷Ⅶ在老根的生长过程当中含量无显著性差异。七叶一枝花的新根在 4 月份和 5 月份均可以检测到重楼皂苷Ⅵ，说明根部的重楼皂苷Ⅵ含量主要从新根当中产生并逐渐积累。重楼皂苷Ⅰ和重楼皂苷Ⅱ在新根生长过程中含量无显著性

差异，分别在 0.036%~0.104%和 0.018%~0.130%之间变化。表 4 和表 5 结果还表明，七叶一枝花在生长的过程中须根含有的重楼皂苷Ⅰ为 0，同样在 4 月份和 8 月份也未检测到重楼皂苷Ⅵ，所以须根部位当中重楼皂苷成分含量是不稳定的。须根当中重楼皂苷Ⅵ在 7 月份含量最高，为 0.853%。研究发现诸多药用植物如白芨^[20]、西洋参^[21]等，不同部位的皂苷存在类型和分布模式具有多样性。七叶一枝花在 4—8 月份的生长过程中，地上部分的薯蓣皂苷类(重楼皂苷Ⅱ、薯蓣皂苷、纤细薯蓣皂苷、重楼皂苷Ⅰ、重楼皂苷Ⅴ)含量较高，而地下部分的偏诺皂苷类(重楼皂苷Ⅵ、重楼皂苷 H、重楼皂苷Ⅶ)含量较高，与杨亚利等^[22]所报道的湖北产区的七叶一枝花的重楼皂苷分布特征相反，造成这种差异的原因可能与种植地区的环境改变有关。所用材料为湖南省慈利县的七叶一枝花栽子，经过“北移”后，空气湿度及光照等因素对地上部分影响较为剧烈。梁玉勇等^[23]对贵州省不同产地的七叶一枝花 9 种重楼皂苷进行检测，结果发现贵州产地的七叶一枝花根部的重楼皂苷Ⅰ、Ⅱ、Ⅵ、Ⅶ、H、纤细薯蓣皂苷、薯蓣皂苷含量分别达到了 0.109%、0.199%、0.024%、1.417%、0.650%、0.298%，其中重楼皂苷Ⅵ、Ⅶ、纤细薯蓣皂苷和薯蓣皂苷的含量高于移栽至北京的七叶一枝花。

表 4 七叶一枝花生长期不同部位的偏诺皂苷元含量变化和多重比较

部位	重楼皂苷Ⅶ含量/%	重楼皂苷 H 含量/%	重楼皂苷Ⅵ含量/%
4 月份老根	0.126±0.004 ^a	0.448±0.011 ^{ab}	0
5 月份老根	0.242±0.061 ^a	0.211±0.875 ^a	0
6 月份老根	0.288±0.251 ^a	0.456±0.761 ^a	0.007±0.001 ^a
7 月份老根	0.285±0.011 ^a	1.023±0.065 ^b	0.003±0.001 ^a
8 月份老根	0.287±0.075 ^a	0.220±0.088 ^b	0.002±0.001 ^a
4 月份新根	0.194±0.048 ^b	0.527±0.017 ^a	0.002±0.001 ^b
5 月份新根	0.267±0.075 ^{ab}	0.933±0.023 ^a	0.012±0.004 ^a
6 月份新根	0.134±0.038 ^{bc}	0.618±0.014 ^b	0.001±0 ^b
7 月份新根	0.317±0.070 ^{ab}	1.195±0.018 ^b	0.007±0.001 ^{ab}
8 月份新根	0.318±0.064 ^a	1.177±0.309 ^{ab}	0.005±0.001 ^{ab}
4 月份须根	0.633±0.009 ^b	0.323±0.034 ^a	0

表 4 续

部位	重楼皂苷Ⅶ含量/%	重楼皂苷 H 含量/%	重楼皂苷Ⅵ含量/%
5 月份须根	0.656±0.074 ^{ab}	0.351±0.027 ^b	0.003±0.001 ^b
6 月份须根	0.450±0.015 ^a	0.142±0.028 ^a	0.090±0.005 ^a
7 月份须根	0.853±0.123 ^{ab}	0.563±0.024 ^{ab}	0.007±0.001 ^b
8 月份须根	0.560±0.013 ^b	0.343±0.007 ^a	0
4 月份地上部分	0.039±0.016 ^{ab}	0.033±0.015 ^b	0
5 月份地上部分	0.010±0.009 ^{bc}	0.031±0.003 ^b	0
6 月份地上部分	0.026±0.019 ^{ab}	0.022±0.002 ^b	0
7 月份地上部分	0.055±0.020 ^a	0.043±0.007 ^{ab}	0
8 月份地上部分	0.007±0.001 ^c	0.011±0.006 ^a	0

注:字母表示数值的差异显著性,字母相同表示差异不显著($P>0.05$),字母不同表示差异显著($P<0.05$)。后表同。

表 5 七叶一枝花生长期不同部位的薯蓣皂苷元含量变化和多重比较

部位	重楼皂苷Ⅱ含量/%	薯蓣皂苷/%	纤细薯蓣皂苷/%	重楼皂苷Ⅰ/%	重楼皂苷Ⅴ/%
4 月份老根	0.099±0.003 ^a	0.126±0.002 ^a	0.050±0.001 ^b	0.174±0.002 ^a	0
5 月份老根	0.007±0.004 ^b	0	0.028±0.032 ^b	0.020±0.022 ^b	0
6 月份老根	0.043±0.058 ^{ab}	0.033±0.030 ^b	0.047±0.093 ^{ab}	0.026±0.041 ^b	0
7 月份老根	0.046±0.021 ^{ab}	0.009±0.002 ^b	0.109±0.020 ^a	0.041±0.022 ^b	0
8 月份老根	0.032±0.028 ^b	0.001±0.002 ^b	0.129±0.089 ^a	0.040±0.034 ^b	0
4 月份新根	0.032±0.002 ^a	0.024±0.005 ^b	0.039±0.035 ^c	0.057±0.002 ^a	0
5 月份新根	0.018±0.012 ^a	0.001±0.003 ^a	0.052±0.014 ^c	0.036±0.011 ^a	0
6 月份新根	0.130±0.109 ^a	0.039±0.042 ^a	0.140±0.077 ^{ab}	0.104±0.076 ^a	0
7 月份新根	0.064±0.036 ^a	0.0215±0.015 ^b	0.152±0.050 ^{ab}	0.104±0.049 ^a	0
8 月份新根	0.071±0.043 ^a	0	0.195±0.116 ^a	0.077±0.034 ^a	0
4 月份须根	0.002±0.001 ^{ab}	0	0	0	0
5 月份须根	0	0	0.002±0.002 ^a	0	0
6 月份须根	0.003±0.001 ^a	0	0	0	0
7 月份须根	0	0	0	0	0
8 月份须根	0.031±0.001 ^b	0	0	0	0
4 月份地上部分	0.083±0.001 ^b	0.321±0.053 ^d	0.180±0.037 ^b	0.186±0.013 ^{ab}	0
5 月份地上部分	0.043±0.025 ^{bc}	0.768±0.138 ^c	0.448±0.143 ^a	0.086±0.011 ^b	0.012±0.001 ^a
6 月份地上部分	0.058±0.038 ^{bc}	1.587±0.447 ^b	0.661±0.073 ^a	0.097±0.066 ^b	0.022±0.009 ^a
7 月份地上部分	0.180±0.038 ^a	2.088±0.983 ^a	0.554±0.171 ^a	0.289±0.188 ^a	0.014±0.002 ^a
8 月份地上部分	0.015±0.006 ^c	2.353±0.212 ^a	0.661±0.352 ^a	0.034±0.013 ^c	0.017±0.007 ^a

3 结 论

本文通过对七叶一枝花 4—8 月份生长过程中不同部位的干物质积累、糖类含量、氮磷钾含量和重楼皂苷含量的测定,主要结论如下:

a) 七叶一枝花的地上部分和地下部分干物质积累速度存在差异,地上部分表现为“慢-快-慢”的增长规律,地下部分干物质积累分为平缓积累期-快速积累期两个阶段进行;根部在往年所积累的氮、磷、钾元素在 4—6 月份向其他营养器官转移,自 6 月份开始进行当年的营养元素积累。地上部分营养生长转变为生殖生长的过程中,茎和叶的氮、钾元素

的含量在 4—8 月份逐渐降低。

b) 七叶一枝花的地上部分在 4—8 月份生长过程中,果糖和葡萄糖含量高于其它营养器官,最大值分别达到了 4 517 mg/g 和 14 381 mg/g。须根在 6—8 月份的蔗糖含量高于其它器官,最高为 12 858 mg/g。新根和老根在 4—8 月份的生长过程中,所含单糖种类相同,含量差别不大。

c) 七叶一枝花在 4—8 月份的生长过程中,地上部分以薯蓣皂苷类的含量居多,地下部分以偏诺皂苷类的含量居多。地上部分富含重楼皂苷Ⅴ,而地下部分未检测到重楼皂苷Ⅴ的存在。重楼皂苷Ⅵ在地下部分的含量极少,而且在部分月份含量为 0。

参考文献:

- [1] 王羽, 张彦军, 高文远, 等. 滇重楼的抗肿瘤活性成分研究[J]. 中国中药杂志, 2007, 32(14):1425-1428.
- [2] Pan Y, Liang Y, Wang H, et al. Antioxidant activities of several Chinese medicine herbs[J]. Food Chemistry, 2004, 88(3):347-350.
- [3] 杨远贵, 张霁, 张金渝, 等. 重楼属植物化学成分及药理活性研究进展[J]. 中草药, 2016, 47(18):3301-3323.
- [4] 彭一凡, 张欣, 李焘, 等. 七叶一枝花提取物对小鼠的止血作用[J]. 陕西师范大学学报(自然科学版), 2019, 47(4):97-101.
- [5] 管鑫, 李若诗, 段宝忠, 等. 重楼属植物化学成分、药理作用研究进展及质量标志物预测分析[J]. 中草药, 2019, 50(19):4838-4852.
- [6] 叶漪, 梁娟. 七叶一枝花的研究与开发利用[J]. 中国野生植物资源, 2018, 37(2):73-75.
- [7] Zhao Y, Kang L, Liu Y, et al. Three new steroidal saponins from the rhizome of *Paris polyphylla* [J]. Magnetic Resonance in Chemistry, 2007, 45(9):739-744.
- [8] Zhang T, Liu H, Liu X, et al. Qualitative and quantitative analysis of steroidal saponins in crude extracts from *Paris polyphylla* var. *yunnanensis* and *P. polyphylla* var. *chinensis* by high performance liquid chromatography coupled with mass spectrometry [J]. Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis, 2010, 51(1):114-124.
- [9] Man S, Gao W, Zhang Y, et al. Antitumor and antimetastatic activities of *Rhizoma Paridis* saponins [J]. STEROIDS, 2009, 74(13-14):1051-1056.
- [10] 袁晓, 袁萍, 严海燕, 等. 野生珍稀药用植物七叶一枝花的成分含量分析[J]. 武汉植物学研究, 2004, 22(6):575-577.
- [11] 高妍, 李德旺, 过立农, 等. 基于国家药品评价性抽验的全国重楼饮片质量情况分析与研究[J]. 中国药事, 2019, 33(7):754-759.
- [12] 尹伟, 宋祖荣, 刘金旗, 等. 七叶一枝花地上部分化学成分研究[J]. 中药材, 2015, 38(9):1875-1878.
- [13] 叶菲菲, 徐海波, 汪春霞, 等. 七叶一枝花中4种重楼皂苷同时测定与聚类分析[J]. 中成药, 2016, 38(11):2413-2418.
- [14] 依明·尕哈甫, 王晓梅, 热娜·卡斯木, 等. 高效液相色谱-蒸发光散射检测法同时测定牛舌草提取液中的5种单糖[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(24):6455-6459.
- [15] 张雪, 李铮, 张英涛, 等. HPLC-CAD法同时测定白及中单糖、双糖的含量[J]. 国际药学研究杂志, 2018, 45(2):154-157.
- [16] Xie Y, Kristensen H L. Intercropping leek (*Allium porrum* L.) with dyer's woad (*Isatis tinctoria* L.) increases rooted zone and agro-ecosystem retention of nitrogen[J]. European Journal of Agronomy, 2017, 82(1):21-32.
- [17] 刘灵娣, 刘梦星, 孙学, 等. 菰蓝干物质积累及氮磷钾吸收、分配动态变化规律研究[J]. 中国农业科技导报, 2017, 19(6):39-45.
- [18] 张雪, 陈大霞, 李隆云, 等. 玄参不同生长期氮、磷、钾的积累与分配特点研究[J]. 中国药房, 2016, 27(31):4353-4356.
- [19] 陈波浪, 盛建东, 李建贵, 等. 红枣树氮、磷、钾吸收与累积年周期变化规律[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(2):445-450.
- [20] He X R, Wang X X, Fang J C, et al. *Bletilla striata*: Medicinal uses, phytochemistry and pharmacological activities[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2017, 195(195):44-50.
- [21] Ma X, Xiao H, Liang X. Identification of Ginsenosides in *Panax quinquefolium* by LC-MS [J]. Chromatographia, 2006, 64(1-2):31-36.
- [22] 杨亚利, 刘佳, 张鹏, 等. 4种重楼不同部位薯蓣皂苷及皂苷元含量的分析[J]. 时珍国医国药, 2016, 27(5):1035-1038.
- [23] 梁玉勇, 刘振, 高文远, 等. HPLC测定贵州不同产地的七叶一枝花中9种甾体皂苷的含量[J]. 中国中药杂志, 2012, 37(15):2309-2312.

(责任编辑:唐志荣)