

· 资源与鉴定 ·

施钾对当归苯酐类成分含量动态的影响

杨雪, 王引权*, 樊秦, 荔淑楠, 姚周玲, 王丽娜, 杨栋
(甘肃中医药大学, 兰州 730000)

[摘要] 目的:研究施钾量对不同生长期当归根系中藜本内酯,洋川芎内酯 A,洋川芎内酯 H,洋川芎内酯 I,阿魏酸松柏酯,丁烯基苯酐及欧当归内酯 A 等苯酐类成分含量动态的影响,为合理制定当归施用钾肥方案提供科学依据。方法:在大田试验条件下,研究施 K_2O 量为 $0\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (K_0), $150\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (K_1), $300\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (K_2), $450\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (K_3), $600\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (K_4) 和 $750\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (K_5) 对当归苯酐类成分动态含量的影响,采用 HPLC 测定不同生长期当归根中上述 7 种成分含量。结果:施钾并不改变当归根中苯酐类成分含量随生长期变化而变化的趋势;不同施钾量对当归苯酐类成分含量有显著影响($P < 0.05$)。在本试验条件下, K_2O 以 $450\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 处理对增加当归根中苯酐类成分含量的效果最好。结论:施钾能提高当归根中苯酐类成分含量,但施钾不会改变整个生育期内当归根中苯酐类成分含量的总体变化趋势。

[关键词] 钾素; 当归; 苯酐类成分; 动态变化

[中图分类号] R284.1 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1005-9903(2017)19-0050-06

[doi] 10.13422/j.cnki.syfjx.2017190050

[网络出版地址] <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3495.R.20170711.1418.070.html>

[网络出版时间] 2017-07-11 14:18

Effect of Potassium Application on Dynamic Changes of Phthalides Components from Angelicae Sinensis Radix

YANG Xue, WANG Yin-quan*, FAN Qin, LI Shu-nan, YAO Zhou-ling, WANG Li-na, YANG Dong
(Gansu University of Traditional Chinese Medicine, Lanzhou 730000, China)

[Abstract] **Objective:** To investigate the effect of potassium nutrition levels on contents of ligustilide, senkyunolide A, senkyunolide H, senkyunolide I, coniferylferulate, *n*-butylidenephthalide and levistolide A from Angelicae Sinensis Radix in different growth periods, and provide a theoretical basis for reasonably formulating the application scheme of potassium fertilizer in the standardized production of Angelicae Sinensis Radix. **Method:** In field cultivation experiment conditions, the effects of K_2O of $0\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (K_0), $150\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (K_1), $300\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (K_2), $450\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (K_3), $600\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (K_4) and $750\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (K_5) on phthalides in Angelicae Sinensis Radix were studied. The contents of the above 7 phthalides components during different growth periods in roots of Angelicae Sinensis Radix were determined by HPLC method. **Result:** Potassium application did not change the variation trend of phthalides constituents along with the growth period in roots of Angelicae Sinensis Radix, but different volumes of potassium fertilizer application had significant effects on the contents of phthalides components ($P < 0.05$). Under the experimental conditions, K_2O $450\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ had the best effect on the contents of phthalides components in Angelicae Sinensis Radix. **Conclusion:** The appropriate level of potassium fertilizer can increase the contents of phthalides constituents in roots of Angelicae Sinensis Radix, but did not change the overall

[收稿日期] 20170314(003)

[基金项目] 国家自然科学基金项目(81060327,81660625,81260616);甘肃省高校协同创新科技团队支持计划项目(2016C-05FF09)

[第一作者] 杨雪,在读硕士,从事药用植物资源保护与利用研究,Tel: 18419377490,E-mail: 1015190719@qq.com

[通讯作者] *王引权,博士,教授,博士生导师,从事药用植物资源生理生态研究,Tel: 13309464855,E-mail: kjkfpp@163.com

dynamic changes trend of contents of phthalides components in the roots of *Angelicae Sinensis Radix*.

[Key words] potassium; *Angelicae Sinensis Radix*; phthalides; dynamic changes

当归为伞形科当归属草本植物,以干燥根入药。入肝、心、脾经,药性甘、辛、温,具有补血活血、调经止痛、润肠通便等功效^[1]。临床中常用于月经不调、经闭痛经、血虚等症,故素有“妇科要药”之称。从化学结构看,藁本内酯,洋川芎内酯 A,洋川芎内酯 H,洋川芎内酯 I,阿魏酸松柏酯,丁烯基苯酞及欧当归内酯 A 同属苯酞类成分^[2],是当归药材中的重要化学成分,具有活血化瘀、养血和血、缓急止痛等功效。现代药学研究表明,苯酞类成分对保护神经系统、改善心血管系统、抗氧化、镇痛、抗炎、抗肿瘤有显著作用^[3]。钾是植物生长发育必需的大量营养元素之一,对许多参与植株生理代谢的酶起活化作用^[4]。研究表明钾不仅能促进光合作用产物向根部运输,加速根部肉质化^[5],提高中药材产量,还能显著影响中药材有效成分含量^[6],对改善中药材品质具有重要意义。关于钾对当归的形态结构^[7]、抗性获得、产量^[8]等影响的研究已有较多报道,而施钾对当归苯酞类成分含量动态影响的研究较少。本试验在甘肃岷县当归道地产区开展了施钾对当归苯酞类成分含量动态影响的研究,旨在合理制定当归施用钾肥方案提供科学依据。

1 材料

1260 系列高效液相色谱仪(DAD 检测器,美国 Agilent 公司),BT125D 型 1/10 万分析天平(赛多利斯科学仪器北京有限公司),QE-10A 型中药粉碎机(武义县屹立工具有限公司),KH-500DE 型数控超声波清洗器(昆山禾创超声仪器有限公司)。

藁本内酯、洋川芎内酯 A 对照品均购自天津士兰科技有限公司(批号分别为 151024,150914,纯度均 >98%);洋川芎内酯 I,丁烯基苯酞,欧当归内酯 A 对照品均购自成都瑞芬思生物科技有限公司(批号分别为 Y-085-150825, D-057-150728, O-002-150730,纯度均 >97%);洋川芎内酯 H 对照品(云南西力生物技术有限公司,批号 150815,纯度 >96%),阿魏酸松柏酯对照品(上海如吉生物科技有限公司,批号 151102,纯度 >97%),乙腈和甲醇为色谱纯,乙酸为分析纯,水为超纯水。

2 方法

2.1 田间试验 田间试验于 2015 年 4 月 2 日~11 月 18 日在甘肃省岷县麻子川乡当归标准化种植试验基地进行。供试当归品种为岷归 1 号。试验站

海拔高度 2 354 m,年平均气温 5.7 ℃,年平均降水 451.4~817.8 mm,雨季多集中在 5~9 月份,占年降水量的 79.4%,年日照时数 2 429 h,无霜期 90 d,属高寒阴湿地区。试验区土壤为褐土,前茬为马铃薯,无灌溉条件。试验用当归幼苗由甘肃省岷县中药材生产技术指导站繁育,为伞形科植物当归 *Angelica sinensis* 的幼苗。

施肥量试验按基施 50% + 叶盛期追施 50% 方式进行。钾用量设 5 个水平,分别为在当归叶盛期施钾(K_2O) 150 $kg \cdot hm^{-2}$ (K_1), 300 $kg \cdot hm^{-2}$ (K_2), 450 $kg \cdot hm^{-2}$ (K_3), 600 $kg \cdot hm^{-2}$ (K_4), 750 $kg \cdot hm^{-2}$ (K_5),以不施钾肥为对照。试验采用随机区组设计,每处理重复 3 次,小区面积 4 m × 3 m,株行距 20 cm × 20 cm。于移栽前将 450 $kg \cdot hm^{-2}$ 尿素(含 N 46%), 900 $kg \cdot hm^{-2}$ 过磷酸钙(含 P_2O_5 14%)作为基肥一次施入,施肥深度 15~20 cm,钾肥为硫酸钾(含 K_2O 50%),按设计用量施入。其他田间管理按常规进行。

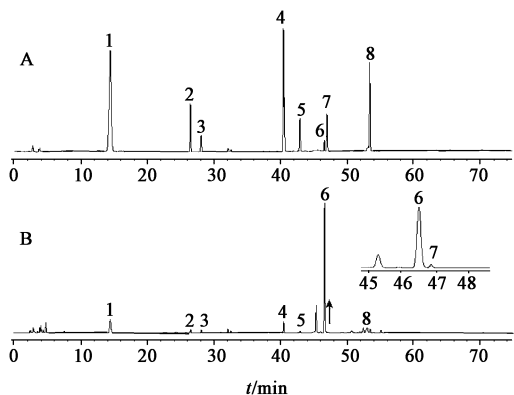
2.2 样品采集 于 2015 年 7 月 24 日起,每间隔 25 d 取样 1 次,共 5 次,2015 年 11 月 18 日收获根。采用多点随机混合取样,分地上和地下两部分。每次取样 5 株装入干冰保温箱,立即带回实验室后用清水清洗、沥干植株、剪切根系、将其阴干、粉碎、过 0.5 mm 筛后用塑料封口袋封存置于 42 ℃ 备用。

2.3 测定项目及方法 采用 HPLC 测定藁本内酯,洋川芎内酯 A,洋川芎内酯 H,洋川芎内酯 I,阿魏酸松柏酯,丁烯基苯酞及欧当归内酯 A 含量。

2.3.1 对照品储备液的制备 分别精密称定藁本内酯,洋川芎内酯 I,丁烯基苯酞,阿魏酸松柏酯,欧当归内酯 A,洋川芎内酯 H,洋川芎内酯 A 对照品 7.720, 0.843, 0.516, 3.620, 1.910, 0.550, 0.700 mg,分别置于 10 mL 量瓶中,加甲醇溶解并定容至刻度,作为贮备液。精密移取上述 7 个对照品溶液各 1.0 mL,置于 10 mL 量瓶中,加甲醇溶解并定容至刻度,即得混合对照品溶液,均于 4 ℃ 贮存。

2.3.2 供试品溶液的制备 精密称取当归药材粉末约 0.5 g,置于 100 mL 具塞锥形瓶中,精密加入 70% 甲醇溶液 25.0 mL,密塞后称定质量,超声提取 40 min(300 W, 70 Hz, 25 ℃),放冷至室温,再称重,用 70% 甲醇补足缺失的质量,摇匀,静置,0.22 μm 微孔滤膜过滤,取续滤液,得供试品溶液。

2.3.3 色谱条件 Merk RP-C₁₈ 色谱柱 (4.6 mm × 250 mm, 5 μm), 流动相 0.085% 乙酸溶液 (A)-乙腈 (B), 梯度洗脱 (0 ~ 20 min, 19% B; 20 ~ 60 min, 19% ~ 95% B; 60 ~ 75 min, 95% ~ 100% B), 检测波长 280 nm, 流速 1.0 mL·min⁻¹, 柱温 30 °C, 进样量 10 μL。混合对照品与供试品 HPLC 见图 1。



A. 混合对照品; B. 供试品; 1. 阿魏酸; 2. 洋川芎内酯 I; 3. 洋川芎内酯 H; 4. 阿魏酸松柏酯; 5. 洋川芎内酯 A; 6. 藁本内酯; 7. 丁烯基苯酐; 8. 欧当归内酯 A

图 1 混合对照品和当归样品的 HPLC

Fig. 1 HPLC profiles of mixed reference substances and sample solution of Angelicae Sinensis Radix

2.3.4 线性关系考察 取 2.3.1 项下混合对照品溶液, 稀释成系列质量浓度的混合对照品溶液, 按 2.3.3 项下色谱条件进样测定, 每个浓度进样 3 次, 取平均值。以各对照品峰面积为 Y, 质量浓度为 X, 考察各对照品线性关系, 见表 1。

表 1 当归中 7 种苯酐类成分的线性方程和范围

Table 1 Regression equation and linear ranges of 7 phthalides constituents of Angelicae Sinensis Radix

成分	回归方程	线性范围 /mg·L ⁻¹	r
洋川芎内酯 A	$Y = 396.01X - 0.1259$	0.020 8 ~ 0.237 5	0.999 2
洋川芎内酯 H	$Y = 5171.7X - 0.5861$	0.002 0 ~ 0.008 4	0.999 7
洋川芎内酯 I	$Y = 22.159X + 0.0173$	0.001 6 ~ 0.039 7	0.999 7
藁本内酯	$Y = 342.23X + 172.14$	0.225 3 ~ 8.760 1	0.999 4
阿魏酸松柏酯	$Y = 1059.8X - 7.4446$	0.106 7 ~ 0.538 4	0.999 7
丁烯基苯酐	$Y = 8843.8X - 1.1704$	0.001 3 ~ 0.006 5	0.999 3
欧当归内酯 A	$Y = 3100.1X + 6.1546$	0.002 2 ~ 0.082 3	0.999 6

2.3.5 精密度试验 选取高、中、低 3 个浓度的对照品溶液, 于 1 d 内每个浓度连续进样 3 次, 所得峰面积的日内精密度 RSD, 藁本内酯, 洋川芎内酯 A, 洋川芎内酯 H, 洋川芎内酯 I, 阿魏酸松柏酯, 丁烯基苯酐, 欧当归内酯 A 峰面积 RSD 分别为 1.3%,

1.6%, 1.4%, 1.6%, 1.0%, 1.4%, 0.9%。取 1 个浓度的对照品溶液, 连续 3 d, 每天进样 3 次, 所得峰面积的日间精密度 RSD, 藁本内酯, 洋川芎内酯 A, 洋川芎内酯 H, 洋川芎内酯 I, 阿魏酸松柏酯, 丁烯基苯酐, 欧当归内酯 A 峰面积 RSD 分别为 1.2%, 1.0%, 0.4%, 1.1%, 0.8%, 0.3%, 0.7%, 表明本方法精密度良好。

2.3.6 稳定性试验 取同一供试品溶液, 分别在 0, 3, 6, 12, 18, 24 h 测定, 每次进样 10 μL, 记录峰面积, 得藁本内酯, 洋川芎内酯 A, 洋川芎内酯 H, 洋川芎内酯 I, 阿魏酸松柏酯, 丁烯基苯酐, 欧当归内酯 A 峰面积的 RSD 分别为 1.8%, 1.9%, 1.6%, 1.5%, 1.2%, 1.8%, 2.0%, 表明供试品溶液在 24 h 内稳定。

2.3.7 重复性试验 精密称取当归样品粉末, 共 6 份, 按 2.3.2 项下方法制备供试品溶液, 按 2.3.3 项下色谱条件进行测定, 记录峰面积, 计算得藁本内酯, 洋川芎内酯 A, 洋川芎内酯 H, 洋川芎内酯 I, 阿魏酸松柏酯, 丁烯基苯酐, 欧当归内酯 A 质量分数分别为 32.04%, 0.57%, 0.02%, 0.25%, 1.73%, 0.01%, 0.17%, RSD 分别为 1.4%, 1.9%, 1.7%, 1.0%, 1.6%, 1.8%, 1.2%, 表明该方法重复性良好。

2.3.8 加样回收试验 称取已知含量的当归样品 6 份, 每份约 0.1 g, 精密称定。按照当归样品含量 100% 的比例分别加入藁本内酯, 洋川芎内酯 A, 洋川芎内酯 H, 洋川芎内酯 I, 阿魏酸松柏酯, 丁烯基苯酐, 欧当归内酯 A 对照品, 按 2.3.2 项下方法制备, 按 2.3.3 项下色谱条件进行测定, 计算加样回收率。结果见表 2。

表 2 当归样品中 7 种待测成分的加样回收率 ($\bar{x}, n = 6$)

Table 2 Recovery of seven analyzed constituents of Angelicae Sinensis Radix ($\bar{x}, n = 6$)

成分	回收率/%	RSD/%
藁本内酯	100.1	1.8
洋川芎内酯 A	100.9	2.0
洋川芎内酯 H	98.4	1.9
洋川芎内酯 I	99.2	1.6
阿魏酸松柏酯	101.7	2.8
丁烯基苯酐	98.4	1.2
欧当归内酯 A	98.9	1.9

2.3.9 样品测定 精密称取样品 0.5 g, 根据上述

供试品溶液制备方法和色谱条件测定峰面积,由标准曲线法以峰面积计算含量。

2.3.10 统计方法 用 SPSS 21.0 统计软件进行方差分析及显著性检验。用 Origin 软件作图。

3 结果与分析

施钾并不改变整个生育期内当归根中苯酞类成分含量总体变化趋势,但不同施钾量对当归根中苯酞类成分含量有显著影响($P < 0.05$)。全生育期当归根中苯酞类成分含量因施钾水平而异,总体表现为中等施钾量效果最好,施钾量过多对当归苯酞类成分含量的提高有抑制效应,而少量施钾调控效应不明显。但当归药材收获期(11月18日)而言,施钾量 $450 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (K_3) 处理对增加当归根中苯酞类成分含量的效果最好。

图 2 中全生长期不同处理当归根中藁本内酯含量平均增幅 141.0%,其中 K_3 处理增幅最大,达到 168.5%。当归根中藁本内酯含量变化如下:①从 7 月 24 日至 8 月 18 日藁本内酯含量平均降幅 35.3%, K_5 处理降幅最大达 38.1%,其次为 $K_4 > K_1 > K_2 > K_3$ 。②8 月 18 日至 9 月 13 日藁本内酯含量平均增幅 205.8%, K_5 处理增幅 232.3%,其次为 $K_4 > K_1 > K_2 > K_3$ 。③9 月 13 日至 10 月 11 日藁本内酯含量持续增加,平均增幅 9.7%, K_5 处理增幅 14.6%,其次为 $K_3 > K_2 > K_1 > K_4$ 。④10 月 11 日至 11 月 18 日藁本内酯含量缓慢增加,平均增幅 12.5%, K_3 增幅 22.5%,其次为 $K_2 > K_1 > K_4 > K_5$ 。

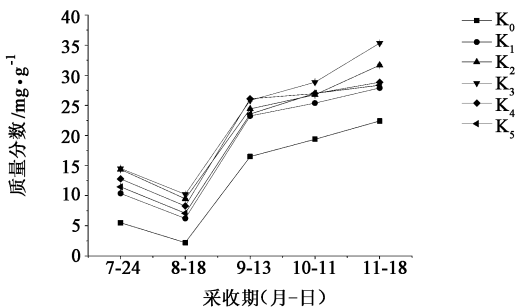


图 2 不同施钾水平下当归藁本内酯含量的动态变化
Fig. 2 Dynamic change of content of ligustilide from different potassium levels of Angelicae Sinensis Radix

图 3 中全生长期不同处理当归根中洋川芎内酯 A 含量平均增幅 85.1%,其中 K_3 处理增幅最大,达到 131.9%。当归根中洋川芎内酯 A 含量变化如下:①从 7 月 24 日至 8 月 18 日洋川芎内酯 A 含量平均增幅 151.5%, K_3 处理增幅 236.5%,其次为 $K_4 > K_5 > K_2 > K_1$ 。②8 月 18 日至 9 月 13 日洋川芎内酯 A 含量平均降幅 6.2%, K_1 降幅最大为

15.1%,其次为 $K_5 > K_3 > K_4 > K_2$ 。③9 月 13 日至 10 月 11 日洋川芎内酯 A 含量迅速降低,平均降幅 40.6%, K_1 降幅 61.3%,其次为 $K_2 > K_3 > K_5 > K_4$ 。④10 月 11 日至 11 月 18 日洋川芎内酯 A 含量迅速增加,平均增幅 37.1%, K_1 处理增幅 90.3%,其次为 $K_2 > K_5 > K_3 > K_4$ 。

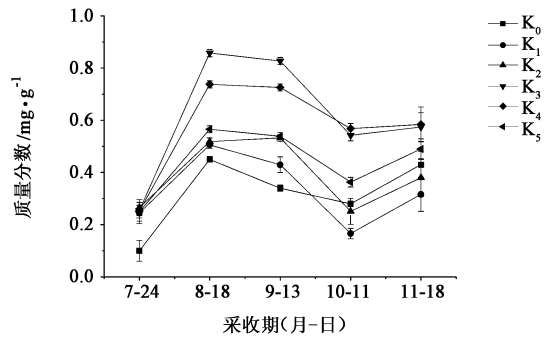


图 3 不同施钾水平下当归洋川芎内酯 A 含量的动态变化
Fig. 3 Dynamic change of content of senkyunolide A from different potassium levels of Angelicae Sinensis Radix

图 4 中全生长期不同处理当归根中洋川芎内酯 H 含量平均降幅 5.1%。当归根中洋川芎内酯 H 含量变化如下:①从 7 月 24 日至 8 月 18 日洋川芎内酯 H 含量平均增幅 38.36%, K_3 处理增幅 49.4%,其次为 $K_5 > K_1 > K_2 > K_4$ 。②8 月 18 日至 9 月 13 日洋川芎内酯 H 含量持续增加,平均增幅 51.6%, K_3 处理增幅 77.4%,其次为 $K_4 > K_5 > K_2 > K_1$ 。③9 月 13 日至 10 月 11 日洋川芎内酯 H 含量迅速降低,平均降幅 54.4%, K_3 处理降幅最大达 71.4%,其次为 $K_2 > K_4 > K_1 > K_5$ 。④10 月 11 日至 11 月 18 日洋川芎内酯 H 含量缓慢增加,平均增幅为 3.6%, K_1 处理增幅 7.1%,其次为 $K_2 > K_3 > K_4 > K_5$ 。

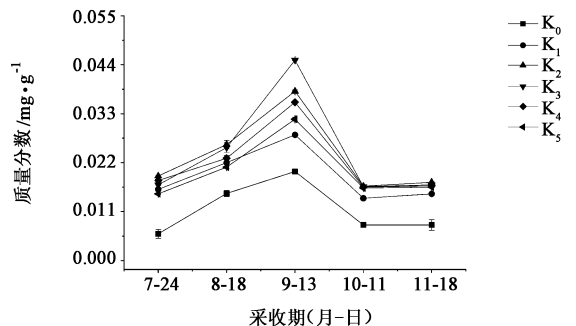


图 4 不同施钾水平下当归洋川芎内酯 H 含量的动态变化
Fig. 4 Dynamic change of content of senkyunolide H from different potassium levels of Angelicae Sinensis Radix

图 5 中全生长期不同处理当归根中洋川芎内酯 I 含量平均降幅 20.4%。当归根中洋川芎内酯 I 含量变化如下:①从 7 月 24 日至 8 月 18 日洋川芎内

酯 I 含量平均增幅 145.3%, K_4 处理增幅 163.6%, 其次为 $K_2 > K_1 > K_5 > K_3$ 。②8 月 18 日至 9 月 13 日洋川芎内酯 I 含量迅速降低, 平均降幅 82.1%, K_1 处理降幅 83.8%, 其次为 $K_2 > K_4 > K_3 > K_5$ 。③9 月 13 日至 10 月 11 日洋川芎内酯 I 含量平均增幅 15.8%, K_3 处理增幅最大达 38.6%, 其次为 $K_4 > K_2 > K_5 > K_1$ 。④10 月 11 日至 11 月 18 日洋川芎内酯 I 含量快速增加, 平均增幅为 64.3%, K_1 处理增幅最大达 102.5%, 其次为 $K_2 > K_5 > K_4 > K_3$ 。

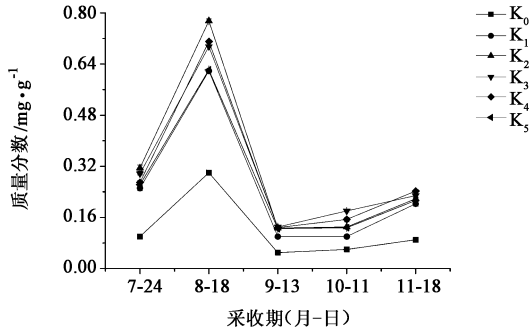


图 5 不同施钾水平下当归洋川芎内酯 I 含量的动态变化
Fig. 5 Dynamic change of content of senkyunolide I from different potassium levels of Angelicae Sinensis Radix

图 6 中随生长期延长不同处理当归根中阿魏酸松柏酯含量平均增幅 83.2%, 其中以 K_3 处理增幅最大, 达到 122.4%。当归根中阿魏酸松柏酯含量变化如下:①从 7 月 24 日至 8 月 18 日阿魏酸松柏酯含量平均增幅 82.7%, K_5 处理降幅 126.3%, 其次为 $K_4 > K_3 > K_1 > K_2$ 。②8 月 18 日至 9 月 13 日阿魏酸松柏酯含量迅速增加, 平均增幅 55.6%, K_2 处理增幅最大达 113.8%, 其次为 $K_3 > K_1 > K_5 > K_4$ 。③9 月 13 日至 10 月 11 日阿魏酸松柏酯含量平均降幅 7.9%, K_1 处理降幅 24.9%, 其次为 $K_3 > K_2 > K_4 > K_5$ 。④10 月 11 日至 11 月 18 日阿魏酸松柏酯含量快速降低, 平均降幅为 40.1%, K_1 处理降幅最大达 91.0%, 其次为 $K_5 > K_2 > K_3 > K_4$ 。

图 7 中全生长期不同处理当归根中丁烯基苯酞含量平均增幅 10.1%, 以 K_4 处理增幅最大, 达 13.8%。当归根中丁烯基苯酞含量变化呈如下:①从 7 月 24 日至 8 月 18 日丁烯基苯酞含量平均降幅 19.8%, K_3 处理降幅 34.9%, 其次为 $K_4 > K_1 > K_5 > K_2$ 。②8 月 18 日至 9 月 13 日丁烯基苯酞含量迅速降低, 平均降幅 30.6%, K_5 处理降幅 43.9%, 其次为 $K_2 > K_1 > K_4 > K_3$ 。③9 月 13 日至 10 月 11 日丁烯基苯酞含量迅速增加, 平均增幅 46.5%, K_5 处理增幅 78.3%, 其次为 $K_1 > K_2 > K_4 > K_3$ 。④10 月 11 日至 11 月 18 日丁烯基苯酞含量缓慢增加, 平均

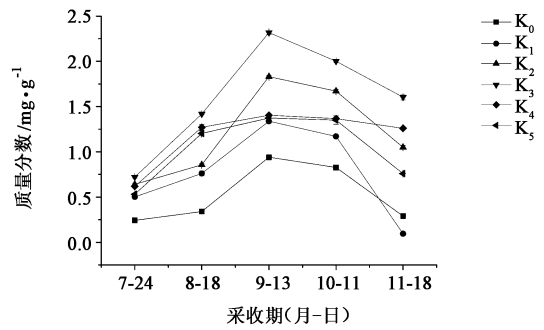


图 6 不同施钾水平下当归阿魏酸松柏酯含量的动态变化
Fig. 6 Dynamic change of content of coniferyl ferulate from different potassium levels of Angelicae Sinensis Radix

增幅 30.0%, K_4 处理增幅 46.3%, 其次为 $K_1 > K_5 > K_3 > K_2$ 。

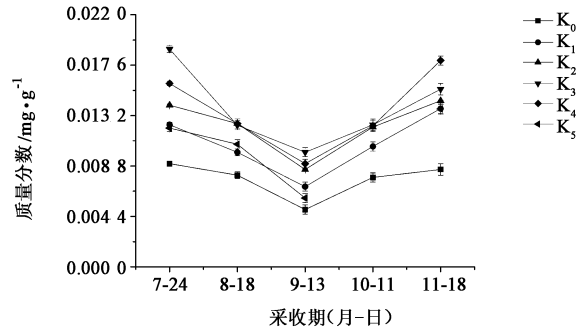


图 7 不同施钾水平下当归丁烯基苯酞含量的动态变化
Fig. 7 Dynamic change of content of n-butylideneephthalide from different potassium levels of Angelicae Sinensis Radix

图 8 中全生长期不同处理当归根中欧当归内酯 A 含量平均降幅 47.0%, 以 K_3 处理降幅最大。当归根中欧当归内酯 A 含量变化如下:①从 7 月 24 日至 8 月 18 日欧当归内酯 A 含量平均降幅 79.3%, K_1 处理降幅最大达 85.0%, 其次为 $K_5 > K_2 > K_4 > K_3$ 。②8 月 18 日至 9 月 13 日欧当归内酯 A 含量持续下降, 平均降幅 40.5%, K_2 处理降幅 50.0%, 其次为 $K_3 > K_4 > K_1 > K_5$ 。③9 月 13 日至 10 月 11 日欧当归内酯 A 含量迅速增加, 依次为 $K_3 > K_2 > K_5 > K_4 > K_1$ 。④10 月 11 日至 11 月 18 日欧当归内酯 A 含量降低, 平均降幅 20.8%, K_2 处理降幅 27.0%, 其次为 $K_1 > K_3 > K_5 > K_4$ 。

4 讨论

本研究表明, 施钾并不改变当归整个生育期内苯酞类成分总体变化趋势。藁本内酯、丁烯基苯酞、欧当归内酯 A 含量变化趋势基本一致, 即随当归生育期的推进呈先降后增的趋势。洋川芎内酯 A, 洋川芎内酯 I 含量变化趋势基本一致, 即随当归生育期的推进呈先升再降后升的趋势。总体来看, 上述 5 种苯酞类成分含量变化有相似处, 即在当归盛叶

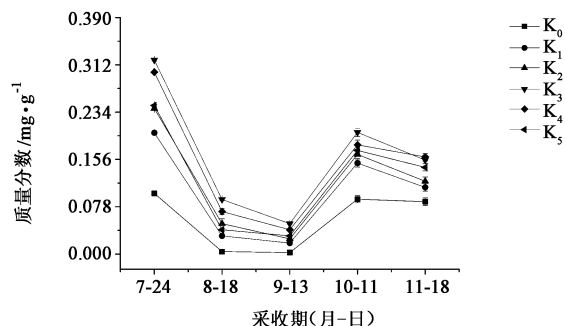


图 8 不同施钾水平下当归欧当归内酯 A 含量的动态变化
Fig. 8 Dynamic change of content of levistilide A from different potassium levels of Angelicae Sinensis Radix

期至根系膨大期间(7月24日至9月13日),植株地上部分光合作用增强,代谢产物运转到地上茎叶中参与组织构建,进而导致根系中苯酞类成分含量略有下降。根系膨大期至药材采收期(9月13日至11月18日),随着根系生长和代谢作用加强,茎叶中合成的代谢产物又回流到根系中并不断积累,进而促进根系中苯酞类成分含量增加。但阿魏酸松柏酯、洋川芎内酯 H 含量变化均随当归生育期的推进呈先增后降的趋势,其原因可能是生物代谢机制不同^[9]。

施钾能显著促进当归根系中苯酞类成分含量增加,其可能是钾素能促进光合作用,提高二氧化碳的同化率,进而提高了次生代谢产物的生物合成和积累^[10]。

对本研究结果进行综合分析,生产上施钾量以每公顷施 K₂O 450 kg 对促进当归药材苯酞类成分

含量的效果较好。

[参考文献]

[1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典. 一部[M]. 北京:中国医药科技出版社,2015:133-134.

[2] 刘露丝,彭成,熊亮. 当归苯酞类化合物的研究进展[J]. 世界科学技术—中医药现代化,2015,17(5):958-962.

[3] 张来宾,吕洁丽,陈红丽,等. 当归中苯酞类成分及其药理作用研究进展[J]. 中国中药杂志,2016,41(2):167-176.

[4] 陆志峰,鲁剑巍,潘勇辉,等. 钾素调控植物光合作用的生理机制[J]. 植物生理学报,2016,52(12):1773-1784.

[5] 郝艳淑,姜存仓,夏颖,等. 植物钾的吸收及其调控机制研究进展[J]. 中国农学通报,2011,27(1):6-10.

[6] 严辉,段金殿,钱大玮. 不同产地当归药材及其土壤无机元素的关联分析与探讨[J]. 中药材,2011,34(4):512-516.

[7] 荔淑楠,王引权,温随超,等. 钾素营养水平对当归光合生理的影响[J]. 中国现代中药,2016,18(4):462-468,496.

[8] 王增绘,李文涛,黄林芳,等. 土壤无机元素对当归品质的影响[J]. 中国现代中药,2014,16(5):349-354,390.

[9] 孙红梅,张本刚. 甘肃地区当归生长动态调查[J]. 中国农学通报,2010,26(17):386-389.

[10] 饶碧玉,罗绍芹,吴占景,等. 水肥耦合对当归产量和品质的影响效应研究[J]. 中国农学通报,2012,28(34):274-278.

[责任编辑 顾雪竹]