

# 丛枝菌根真菌对掌叶大黄产量及次生代谢产物的影响

杨敏<sup>1</sup>, 张杰<sup>2</sup>, 张德全<sup>1</sup>, 何静<sup>2</sup>, 祁俊生<sup>2</sup>, 周浓<sup>1,2\*</sup>

(1. 大理大学 药学与化学学院, 云南 大理 671000;

2. 重庆三峡学院 生物与食品工程学院, 三峡库区道地药材绿色种植与  
深加工重庆市工程实验室, 重庆 404000)

**[摘要]** 目的: 观察丛枝菌根(AM)真菌在人工栽培条件下对掌叶大黄根和根茎的产量及化学成分含量的影响。方法: 通过室内盆栽对照试验, 设不接种 AM 组为 CK 组, 设接种摩西斗管囊霉(*Funneliformis mosseae*)为 AM 组, 每处理组重复 15 盆, 每盆播种掌叶大黄种子 10 粒, 出苗后间苗 3 株。采用文献方法计算菌根侵染率和侵染强度, 采用称重法测定掌叶大黄根和根茎产量, 采用高效液相色谱法测定掌叶大黄根和根茎中蒽醌类成分的含量, 比较施加 AM 真菌后, 掌叶大黄生物量、蒽醌类组分的变化。结果: AM 组与 CK 组的侵染率分别为(96.96 ± 1.57)% 和 0, 侵染强度分别为(62.07 ± 3.40)% 和 0; 与 CK 组比较, AM 组根和根茎产量提高了(42.96 ± 2.12)%, 总蒽醌类平均值提高了 127.43%, 差异均有统计学意义( $P < 0.05$ )。HPLC 分析结果表明, AM 组与 CK 组掌叶大黄蒽醌类在含量和成分间的比例上发生了一定的变化, 但接种 AM 真菌处理并未导致掌叶大黄有效成分的根本改变。结论: 接种 AM 真菌后, 能明显促掌叶大黄根和根茎的生长发育, 增加药用部位中有效成分的含量, 但在试验期间未造成掌叶大黄质量的变异。

**[关键词]** 掌叶大黄; 丛枝菌根; 产量; 蒽醌

**[中图分类号]** R931.2; R931.5; R2-031 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1005-9903(2018)10-0033-05

**[doi]** 10.13422/j.cnki.syfjx.20181007

**[网络出版地址]** <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3495.R.20180308.1714.006.html>

**[网络出版时间]** 2018-03-09 9:46

## Effect of Arbuscular Mycorrhizal on Yield and Secondary Metabolites of *Rheum palmatum*

YANG Min<sup>1</sup>, ZHANG Jie<sup>2</sup>, ZHANG De-quan<sup>1</sup>, HE Jing<sup>2</sup>, QI Jun-sheng<sup>2</sup>, ZHOU Nong<sup>1,2\*</sup>

(1. College of Pharmacy and Chemistry, Dali University, Dali 671000, China;

2. College of Biological and Food Engineering, The Chongqing Engineering Laboratory for Green  
Cultivation and Deep Processing of the Three Gorges Reservoir Area's Medicinal Herbs,  
Chongqing Three Gorges University, Chongqing 404000, China)

**[Abstract]** **Objective:** To observe the effect of arbuscular mycorrhizal (AM) fungi on the yield and chemical composition contents of root and rhizome of *Rheum palmatum* in artificial cultivation. **Method:** Through pot experiment in room, not inoculated AM fungi group was regarded as CK group, inoculated *Funneliformis mosseae* fungi as AM group, 15 pots repeated in each group, each pot planted 10 seeds, 3 strains were kept on in each pot when the seedlings came out. Literature establishment method was used to calculate the mycorrhizal colonization rate and colonization intensity, weighing method was adopted to determine the yield and HPLC was conducted to determine the contents of anthraquinones in root and rhizome of *Rheum palmatum*, then the change of the biomass and anthraquinones in *R. palmatum* was compared between CK group and AM group. **Result:**

**[收稿日期]** 20171028(016)

**[基金项目]** 国家自然科学基金项目(81260622)

**[第一作者]** 杨敏, 硕士, 讲师, 从事中药材质量标准化研究, Tel:0872-2219936, E-mail: yang\_min\_0302@163.com

**[通信作者]** \*周浓, 硕士, 教授, 从事药用植物栽培与质量控制研究, Tel:023-58576130, E-mail: erhaizn@126.com

Colonization rate of AM group and CK group were  $(96.96 \pm 1.57)\%$  and 0, colonization intensities were  $(62.07 \pm 3.40)\%$  and 0. Compared with CK group, the yield increased  $(42.96 \pm 2.12)\%$ , the average content of total anthraquinones increased 127.43% in AM group, there were statistical significances in difference ( $P < 0.05$ ). The result of HPLC showed that, there was a certain change on the contents and composition ratio of anthraquinones between AM group and CK group, but inoculation of AM fungi did not lead to fundamental change on the effective components in *R. palmatum*. **Conclusion:** It could obviously promote the growth and increase the contents of effective components in root and rhizome of *R. palmatum* after AM fungi were inoculated, however, the kinds of anthraquinones showed no difference.

[Key words] *Rheum palmatum*; arbuscular mycorrhizal; yield; anthraquinones

蓼科植物掌叶大黄 *Rheum palmatum* 是中药大黄的原植物之一,以其干燥的根和根茎入药,具有泻下攻积、清热泻火、凉血解毒、逐瘀通经、利湿退黄之功效,临床作为重要的清热泻火药,使用广泛<sup>[1-2]</sup>。大黄药材的质量控制以其蒽醌类衍生物为指标<sup>[1]</sup>,蒽醌类衍生物具有较强的泻下、抗病原微生物、抗肿瘤、保肝、抗心肌缺血、降血脂、降血糖等生物活性<sup>[3-4]</sup>。

掌叶大黄为我国药用大黄的主要栽培种,在我国已有多年的栽培历史<sup>[5]</sup>,其中大理市花甸坝地方国营药材场种植掌叶大黄面积已达数千亩<sup>[6]</sup>。随着大黄主产区的大面积规模化种植,病虫害发生普遍、入药品质不稳定等已成为生产实际中迫切需要解决的问题<sup>[7-8]</sup>,对产量和品质造成巨大的威胁,成为制约掌叶大黄可持续发展的重要因素,对当地药农经济带来巨大损失。研究表明,丛枝菌根(arbuscular mycorrhizal, AM)真菌在增强药用植物抗病能力、提高产量和改善品质等方面发挥着重要的作用<sup>[9-10]</sup>。到目前为止,关于掌叶大黄根际土壤 AM 真菌侵染与该药材蒽醌类成分含量变化间的关系还未见报道。为此,本研究以 AM 真菌与掌叶大黄的共生关系为切入点,比较接种和不接种 AM 真菌对掌叶大黄产量和活性成分的影响,为克服栽培掌叶大黄病虫害问题等探索新的思路和方法,为 AM 菌剂在掌叶大黄实际生产中的应用提供理论依据,为掌叶大黄的优质高产和产业基地建设提供保障。

## 1 材料

1100 系列高效液相色谱仪(美国 Agilent 公司);DM-BA300-B 型生物显微镜,SMZ-168 型体视显微镜,显微图像采集与分析系统(德国 Motic 公司);KQ-250B 型超声波清洗器(昆山市超声仪器有限公司);W2018 型恒温水浴锅(上海申生科技有限公司);RE-2000 型旋转蒸发仪(上海亚荣生化仪器

厂);AE240 型电子天平[梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司];FZ102 型微型植物试样粉碎机(北京中兴伟业仪器有限公司);LDZX-50KBS 型立式压力灭菌器(上海申安医疗器械厂)。

掌叶大黄来源于大理市花甸坝药材场的同基地栽培样品,经重庆三峡学院生物与食品工程学院周浓教授鉴定为蓼科植物掌叶大黄 *Rheum palmatum* 的成熟种子,种子采用单株保存,保证种质资源的稳定性和均一性。摩西斗管囊霉(*Funneliformis mosseae*)选自北京市农林科学院植物营养与资源研究所“丛枝菌根真菌种质资源库”(国家自然科技共享平台资源号 1511C0001BGCAM0013,菌种保藏编号 BGC YN05)。

芦荟大黄素、大黄酸、大黄素、大黄酚、大黄素甲醚对照品(中国食品药品检定研究院,批号分别为 110795-200806, 110757-200206, 110756-200110, 110796-201017, 110758-200912);甲醇为色谱纯(德国默克试剂公司),水为超纯水或蒸馏水,蔗糖、盐酸、过氧化氢、无水乙醇、氢氧化钾、冰乙酸、甘油、甲醛、乳酸、曲利苯蓝、苯酚、三氯甲烷、甲醇、磷酸均为分析纯。

## 2 方法

**2.1 掌叶大黄幼苗培养及栽培管理** 掌叶大黄种子的前处理顺序为先用蒸馏水洗净,再用 10% 次氯酸钠溶液浸泡 15 min,最后用蒸馏水冲洗干净;将花盆用 10% 次氯酸钠溶液消毒 15 min 后,用蒸馏水清洗干净,备用。栽培基质为大理市花鸟市场的林下腐殖土与大理学院校园内砂壤土按照 3:1 比例混合,过 2 mm 筛,121 ℃ 高压灭菌锅灭菌 2 h,每盆装混匀土壤 2.0 kg。采用室温盆栽方法,设不接种(CK 组)和接种摩西斗管囊霉菌株(AM 组)共 2 组,每处理组重复 15 盆。2010 年 2 月 14 日,选择子粒饱满、质地均匀、无病虫害的掌叶大黄新鲜种子,每盆播种掌叶大黄种子 10 粒,菌土均匀层施于种子

的表土下,接种剂量为每盆 5 mL(接种菌剂为带有孢子、菌丝及感染后根段的栽培基质混合样品,每 1 mL 约含 150 个孢子),出苗后间苗 3 株。生长期按掌叶大黄植株的常规管理,定期浇 Hoagland 营养液。

**2.2 掌叶大黄实验样品采集** 不同处理组掌叶大黄幼苗出苗后,于 2010 年 12 月 12 日收获掌叶大黄幼苗的根、根茎和根系,根和根茎洗净后测定新鲜生物量,置于 35 °C 烘箱烘干至恒重,称定质量,用于品质分析;根系在冰水浴中洗净,剪成 1.0 ~ 1.5 cm 长的根段,置于甲醛-乙酸-乙醇 (FAA) 固定液中固定后用于菌根感染率的测定。

**2.3 掌叶大黄根系菌根学评价** 随机选取浸泡于 FAA 固定液中掌叶大黄根系 30 条,采用文献 [11-12] 的方法染色、制片、镜检,统计菌根感染率、根系的菌根感染强度。

**2.4 掌叶大黄幼苗生物量的测定** 2010 年 12 月份收获掌叶大黄后,测定不同处理单株掌叶大黄根和根茎生物量作为根鲜质量,烘干至恒重后分别测定其质量作为根和根茎干质量,并用以上相关数据计算个体平均根和根茎鲜质量、根和根茎干质量、根和根茎含水量 ( $\frac{\text{根鲜质量} - \text{根干质量}}{\text{根鲜质量}} \times 100\%$ ),折干率 ( $\frac{\text{根干质量}}{\text{根鲜质量}} \times 100\%$ ),根和根茎增重率 ( $\frac{\text{AM 组根鲜质量} - \text{CK 组根鲜质量}}{\text{CK 组根鲜质量}} \times 100\%$ )。

**2.5 掌叶大黄根茎和根中蒽醌类成分的含量测定** 分别取掌叶大黄药材粉末(过三号筛)适量,采用 2015 年版《中国药典》(一部)大黄药材项下含量测定方法测定 5 种蒽醌类含量<sup>[1]</sup>。HPLC 指纹图谱分析采用周浓等<sup>[13]</sup>所用的方法进行测定。

**2.6 数据分析** 运用 SPSS 18.0 软件进行单因素方差分析。

### 3 结果

**3.1 AM 真菌处理对掌叶大黄根系感染率和感染强度的影响** AM 真菌处理组掌叶大黄幼苗根系已被 AM 真菌感染,并形成典型的丛枝菌根,感染率为 (96.96 ± 1.57)%,感染强度为 (62.07 ± 3.40)%,而 CK 组掌叶大黄幼苗根系均无菌根真菌感染,未形成丛枝菌根,AM 真菌组与 CK 组处理间比较,感染率和感染强度差异均有统计学意义 ( $P < 0.05$ ),说明人工栽培条件下是否施用外源性 AM 真菌对掌叶大黄根系的菌根真菌感染具有显著的影响。

**3.2 AM 真菌处理对掌叶大黄幼苗生长量的影响** 由表 1 可见,与 CK 组相比,AM 真菌处理组掌叶大黄幼苗的根及根茎生物量显著增加,AM 组根和根茎增重率比 CK 组提高了 (42.96 ± 2.12)%,具有显著性差异。而 AM 处理组根和根茎含水量略低于 CK 组,但未达到显著性差异。以上结果表明,人工栽培条件下接种外源性 AM 真菌能明显促进掌叶大黄根和根茎生物量的积累。

表 1 AM 真菌对掌叶大黄幼苗药用部位生物量的影响 ( $\bar{x} \pm s, n = 5$ )

Table 1 Effect of root and rhizome yield of AM fungi on young *Rheum palmatum* ( $\bar{x} \pm s, n = 5$ )

组别	根和根茎鲜质量/g	根和根茎干质量/g	根和根茎含水量/%	折干率/%	根和根茎增质量率/%
AM	7.827 2 ± 0.418 8	1.930 2 ± 0.187 7	75.37 ± 1.075	24.63 ± 1.07	42.96 ± 2.12 <sup>1)</sup>
CK	5.475 0 ± 0.24 98	1.186 6 ± 0.002 1	78.30 ± 1.030	21.70 ± 1.03	

注:与 CK 组比较<sup>1)</sup>  $P < 0.05$ (表 2,3 同)。

**3.3 AM 真菌处理对掌叶大黄根和根茎中蒽醌类含量与成分比的影响** 由表 2 可见,接种 AM 真菌不同程度的影响了掌叶大黄根及根茎中 5 种蒽醌类化合物的代谢过程。与 CK 组相比,除游离蒽醌的大黄素含量未达到显著性差异外,其余 4 种蒽醌类成分、总游离蒽醌、总结合蒽醌和总蒽醌含量具有显著的促进作用,达到显著性差异,同时改变了 5 种蒽醌类化合物的结构比,但接种 AM 真菌处理并未导致掌叶大黄有效成分的根本改变,进一步表明外源性 AM 真菌诱导处理刺激了掌叶大黄药用部位的次生代谢,增加了药用部位中有效成分的含量,从而提

高了药材的内在品质。

**3.4 AM 真菌处理对掌叶大黄根和根茎中蒽醌类成分的影响**

**3.4.1 掌叶大黄特征指纹图谱的建立** 分别取掌叶大黄 CK 组 (S1 ~ S8) 和 AM 真菌处理组 (S9 ~ S16) 样品粉末,精密称定,照周浓等<sup>[13]</sup>所用的方法制备供试品溶液,精密吸取 20 μL,分别进样测定,记录 115 min 的 HPLC 色谱图,采用国家药典委员会的“中药色谱指纹图谱相似度评价系统 (2012 年)”软件进行数据分析处理,设定匹配模板,进行谱峰多点校正,生成掌叶大黄对照指纹图谱和特征

表 2 AM 真菌对掌叶大黄幼苗根和根茎中蒽醌类含量的影响( $\bar{x} \pm s, n=5$ )

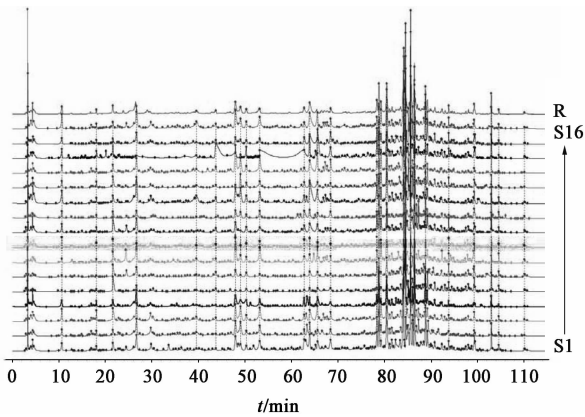
Table 2 Effect of anthraquinones contents in root and rhizome yield of AM fungi on young *Rheum palmatum* ( $\bar{x} \pm s, n=5$ )

组别	种类	芦荟大黄素/ $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$	大黄酸/ $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$	大黄素/ $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$	大黄酚/ $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$
AM	游离蒽醌总量	0.749 9 ± 0.039 9 <sup>1)</sup>	1.803 6 ± 0.080 6 <sup>1)</sup>	0.573 9 ± 0.014 5	1.839 2 ± 0.050 8 <sup>1)</sup>
	结合蒽醌总量	1.003 7 ± 0.040 9 <sup>1)</sup>	1.692 0 ± 0.064 0 <sup>1)</sup>	0.932 4 ± 0.051 9 <sup>1)</sup>	1.216 5 ± 0.074 0 <sup>1)</sup>
CK	游离蒽醌总量	0.375 9 ± 0.007 8	1.035 6 ± 0.025 1	0.529 9 ± 0.004 6	0.793 1 ± 0.012 1
	结合蒽醌总量	0.233 0 ± 0.033 3	0.685 5 ± 0.080 7	0.268 3 ± 0.058 1	0.353 8 ± 0.060 9

组别	种类	大黄素甲醚/ $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$	芦荟大黄素-大黄酸-大黄素- 大黄酚-大黄素甲醚	蒽醌总量 / $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$	总蒽醌 / $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$
AM	游离蒽醌总量	1.443 4 ± 0.043 0 <sup>1)</sup>	1.00:2.41:0.77:2.45:1.92	6.410 0 ± 0.223 4 <sup>1)</sup>	11.843 4 ± 0.429 0 <sup>1)</sup>
	结合蒽醌总量	0.592 6 ± 0.083 6 <sup>1)</sup>	1.00:1.69:0.93:1.21:0.59	5.437 2 ± 0.214 7 <sup>1)</sup>	
CK	游离蒽醌总量	0.742 2 ± 0.009 5	1.00:2.76:1.41:2.11:1.97	3.476 6 ± 0.055 5	5.207 5 ± 0.121 0
	结合蒽醌总量	0.190 3 ± 0.076 5	1.00:2.94:1.15:1.52:0.82	1.730 9 ± 0.173 7	

图谱,结果见图 1,2。



R. 共有模式

图 1 16 份掌叶大黄样品 HPLC 指纹谱

Fig.1 HPLC fingerprint of 16 batches of *Rheum palmatum*

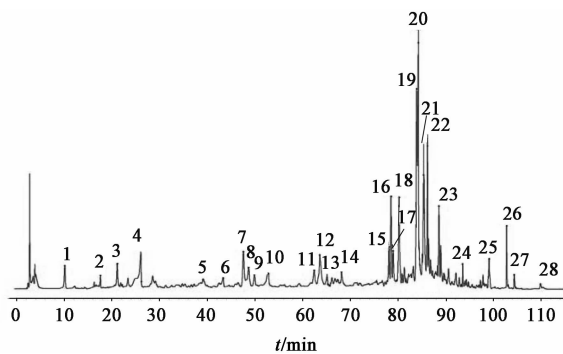


图 2 掌叶大黄 HPLC 特征谱

Fig.2 HPLC specific chromatogram of *Rheum palmatum*

**3.4.2 掌叶大黄特征峰的标定** 根据 16 批掌叶大黄不同处理组的特征图谱检测结果,共标定 28 个特征峰。经过与 5 种蒽醌类对照品比对可知,23 号峰为芦荟大黄素,24 号峰为大黄酸,25 号峰为大黄素,26 号峰为大黄酚,27 号峰为大黄素甲醚。所选 28 个共有峰面积之和占色谱峰总面积的 90% 以上,可

以较为全面地反映掌叶大黄的内在品质。

**3.4.3 AM 真菌处理组与 CK 处理组特征图谱的比较** 从建立的掌叶大黄特征图谱可知,AM 真菌处理的与 CK 处理组掌叶大黄药材在色谱峰数量上并无较大差异,但在共有色谱峰的丰度上有所差异,相对峰面积的 RSD 差异较大(27.25% ~ 69.15%),说明不同处理组掌叶大黄 HPLC 指纹图谱中主要峰群的整体面貌基本一致,但各共有峰的成分含量存在一定差异。同时,以 28 个共有峰峰面积进行统计分析,CK 组的峰面积为  $51.343 \times 10^3$ ,AM 真菌组的峰面积为  $63.490 \times 10^3$ ,两组比较具有统计学差异 ( $P < 0.05$ ),结果表明,在人工栽培条件下,AM 真菌的添加可使掌叶大黄人工栽培品的质量更优。以共有色谱峰 12 号参照峰(S),计算 16 份样品共有色谱峰的相对峰面积,结果见表 3。

以 AM 真菌处理组和 CK 处理组掌叶大黄生成的对照指纹图谱的共有模式为参照图谱,以相关系数(中位数)代表其相似度,AM 真菌处理组的相似度为  $0.791 \pm 0.080$ ,CK 处理组的相似度为  $0.761 \pm 0.079$ 。从相似度角度分析,掌叶大黄 AM 真菌处理组和 CK 处理组之间无显著性差异,特征图谱较为相似,说明接种外源性 AM 真菌对掌叶大黄的化学成分组成影响不大。以上结果表明,掌叶大黄接种外源性 AM 真菌诱导处理后并未导致其药材化学成分的根本改变,这为 AM 真菌诱导处理掌叶大黄药用部位的安全性提供了根本保证。

#### 4 讨论

本实验结果表明,掌叶大黄能与 AM 真菌形成良好的互惠共生关系,接种 AM 真菌能够明显提高根系菌根侵染率和侵染强度,促进了掌叶大黄的生长发育,AM 真菌组根及根茎增重百分率比 CK 组提高了  $(42.96 \pm 2.12)\%$ ,AM 真菌组总蒽醌类平均值

表 3 不同处理组掌叶大黄中蒽醌部位共有峰的相对峰面积

Table 3 Relative peak areas of common peaks of anthraquinones in *Rheum palmatum* between AM group and CK group

组别	1	2	3	4	5	6	7
AM	0.495 ± 0.089 <sup>1)</sup>	0.198 ± 0.132 <sup>1)</sup>	0.668 ± 0.110 <sup>1)</sup>	0.919 ± 0.257 <sup>1)</sup>	0.392 ± 0.182 <sup>1)</sup>	0.513 ± 0.344 <sup>1)</sup>	1.026 ± 0.319 <sup>1)</sup>
CK	0.490 ± 0.245	0.277 ± 0.107	1.450 ± 0.542	1.465 ± 0.260	0.507 ± 0.117	0.517 ± 0.246	1.161 ± 0.267
组别	8	9	10	11	12	13	14
AM	0.643 ± 0.105 <sup>1)</sup>	0.585 ± 0.122 <sup>1)</sup>	0.920 ± 0.189 <sup>1)</sup>	0.529 ± 0.157 <sup>1)</sup>	1.000 ± 0.000 <sup>1)</sup>	1.003 ± 0.361 <sup>1)</sup>	0.695 ± 0.190 <sup>1)</sup>
CK	0.843 ± 0.359	0.740 ± 0.166	1.117 ± 0.311	0.683 ± 0.204	1.000 ± 0.000	0.808 ± 0.272	0.710 ± 0.193
组别	15	16	17	18	19	20	21
AM	0.783 ± 0.237 <sup>1)</sup>	1.366 ± 0.397 <sup>1)</sup>	0.783 ± 0.264 <sup>1)</sup>	1.853 ± 0.471 <sup>1)</sup>	2.760 ± 0.930 <sup>1)</sup>	3.314 ± 1.375	2.572 ± 1.173
CK	1.045 ± 0.314	2.207 ± 0.561	0.981 ± 0.357	2.658 ± 0.740	3.740 ± 0.514	3.919 ± 0.448	2.619 ± 0.389
组别	22	23	24	25	26	27	28
AM	1.878 ± 0.612 <sup>1)</sup>	1.231 ± 0.493 <sup>1)</sup>	0.282 ± 0.173 <sup>1)</sup>	0.329 ± 0.132 <sup>1)</sup>	0.531 ± 0.172 <sup>1)</sup>	0.132 ± 0.056 <sup>1)</sup>	0.068 ± 0.029 <sup>1)</sup>
CK	3.486 ± 0.689	1.711 ± 0.614	0.574 ± 0.233	0.803 ± 0.452	1.037 ± 0.562	0.318 ± 0.279	0.166 ± 0.106

比 CK 组提高 127.43%，说明接种 AM 真菌整体上提高了掌叶大黄生长发育的质量，优化了其生物量及入药质量，为掌叶大黄的 actual 生产及提高品质提供了新的有价值的信息。

因不同植株同一采收期的化学成分有所差异，本实验采用随机单株掌叶大黄采样与分析，以减少实验误差。掌叶大黄以根及根茎入药，大黄的主要活性成分为大黄素、大黄酸等蒽醌类成分。其质量分数的高低是衡量大黄药材品质的主要标准<sup>[14]</sup>。结果表明，接种菌株显著提高了大黄药材活性成分的质量分数，游离蒽醌总含量明显高于等文献报道结果(0.54%)，显著高于 2015 年版《中国药典》<sup>[1]</sup>规定的不低于 0.20% 的限度，总蒽醌接近 2015 年版《中国药典》<sup>[1]</sup>规定的不低于 1.50% 的限度。结果表明，接种外源性 AM 真菌在掌叶大黄生物量的增加以及活性成分的累积方面有着积极作用。

值得注意的是，掌叶大黄为多年生药用植物，其生物量和活性成分的积累是一个漫长的动态过程。虽然在短期试验中，未能体现不同处理组下掌叶大黄的蒽醌类积累的差异，供试 AM 真菌表现出良好的促进掌叶大黄植株生长的作用，但是在长期且不再接种 AM 真菌的情况下，掌叶大黄植株是否能继续保持较好的生长状态，还有待于进一步研究。

[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: 23-24.  
[2] 王勤, 邸多隆, 蒋生祥. 大黄类药物分析方法研究概况[J]. 中成药, 2007, 29(8): 1199-1202.  
[3] 颜永刚, 尹立敏, 王红艳, 等. HPLC 法同时测定大黄炮制品中 10 种化学成分的含量[J]. 中国药房, 2016, 27(27): 3839-3842.

[4] 刘静, 王丽. 大黄素的研究进展[J]. 中国药房, 2014, 25(35): 3351-3354.  
[5] 石有太, 陈垣, 郭凤霞, 等. 掌叶大黄种子灌浆动态及其发芽特性研究[J]. 草业学报, 2009, 18(3): 178-183.  
[6] 杨颖, 杨晓莉, 周平, 等. 大理花甸坝药材场五种药材中重金属含量的测定[J]. 大理学院学报, 2010, 9(6): 10-13.  
[7] 刘亚亚, 陈垣, 郭凤霞, 等. 掌叶大黄根腐病原菌的分离与鉴定[J]. 草业学报, 2011, 20(1): 199-205.  
[8] 杨敏, 潘兴娇, 江静, 等. 不同产地栽培掌叶大黄中游离蒽醌、结合蒽醌和总蒽醌量的差异分析[J]. 大理大学学报, 2016, 1(10): 9-13.  
[9] 肖文娟, 杨光, 陈美兰, 等. 丛枝菌根真菌在中药栽培病害防治研究中的应用[J]. 中国中药杂志, 2011, 36(3): 252-257.  
[10] 周浓, 丁博, 冯源, 等. 接种不同 AM 真菌对滇重楼菌根侵染率和入药品质的影响[J]. 中国中药杂志, 2015, 40(16): 3158-3167.  
[11] Philips J M, Hayman D S. Improved procedures for clearing and attaining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection[J]. Trans Br Mycol Soc, 1970, 55: 158-161.  
[12] Trouvelot A, Kough J L, Gianinazzi-Pearson V. Mesure du taux de mycorrhization VA d'un système racinaire. Recherchede méthodes d'estimation ayant une signification fonctionnelle [J]. Physiol Genet Aspects Mycorrhizae, 1985(1): 217-221.  
[13] 周浓, 庞婕, 胡文帅, 等. 甘肃道地药材掌叶大黄药材的 HPLC 指纹图谱研究[J]. 南京中医药大学学报, 2013, 29(2): 187-191.  
[14] 敬勇, 李敏, 齐景梁, 等. 大黄游离蒽醌含量与产地及生长年限的相关性研究[J]. 中药材, 2012, 35(10): 1568-1571.

[责任编辑 顾雪竹]