

## 不同丛枝菌根真菌对滇重楼幼苗根际土壤养分的影响

朱芙蓉<sup>1</sup>, 周浓<sup>1,2</sup>, 杨敏<sup>2</sup>, 丁博<sup>1</sup>, 潘兴娇<sup>2</sup>, 祁俊生<sup>1</sup>, 郭冬琴<sup>1\*</sup>

(1. 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 404120; 2. 大理大学药学与化学学院, 云南大理 671000)

**[摘要]** 目的: 阐明不同丛枝菌根(arbuscular mycorrhizal, AM)真菌与滇重楼共生培养条件下, AM真菌对滇重楼幼苗根际土壤养分, AM真菌侵染率及根茎总皂苷的影响。方法: 通过室温盆栽接种试验与数据分析相结合的方法, 分析滇重楼实生苗接种外源性AM真菌后处理组与不接种对照(CK)组根系侵染率、根际土壤养分和根茎总皂苷含量的变化, 以及根际土壤因子与其侵染率和总皂苷含量的关系。结果: 与CK组相比, 接种AM真菌处理组根系侵染率显著增强( $P < 0.05$ ), 处理组滇重楼根际土壤中易提取球囊霉素含量、总球囊霉素含量、全氮含量较CK组显著提高, 速效钾含量和pH较CK组显著降低; 接种AM真菌后滇重楼根际土壤全磷、速效磷、速效氮、铵态氮、硝态氮、速效钾、有机质含量与CK组相比变化较大, 改善了土壤养分状况, 提高了滇重楼根茎总皂苷含量。结论: 接种AM真菌能够改善滇重楼根际土壤养分含量, 有助于根际土壤养分转化, 促进滇重楼生长, 提高药材的人药品质。

**[关键词]** 丛枝菌根真菌; 滇重楼; 球囊霉素; 土壤养分; 总皂苷

**[中图分类号]** R284.2; R289; R22; R2-031 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1005-9903(2020)22-0086-10

**[doi]** 10.13422/j.cnki.syfjx.20202078

**[网络出版地址]** <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3495.r.20200902.1019.004.html>

**[网络出版日期]** 2020-9-2 13:27

## Effect of Different Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Soil Nutrients in Rhizosphere Soil of *Paris polyphylla* var. *yunnanensis* Seedlings

ZHU Fu-rong<sup>1</sup>, ZHOU Nong<sup>1,2</sup>, YANG Min<sup>2</sup>, DING Bo<sup>1</sup>, PAN Xing-jiao<sup>2</sup>, QI Jun-sheng<sup>1</sup>, GUO Dong-qin<sup>1\*</sup>

(1. Green Planting and Deep Processing of Genuine Medical Materials in Three Gorges Reservoir Area, Chongqing Engineering Laboratory, College of Biology and Food Engineering, Chongqing Three Gorges University, Chongqing 404120, China;  
2. College of Pharmacy and Chemistry, Dali University, Dali 671000, China)

**[Abstract]** **Objective:** To clarify the effect of the arbuscular mycorrhizal (AM) fungi on the rhizosphere soil nutrient content, AM fungi infection rate and total rhizome saponins content of *Paris polyphylla* var. *yunnanensis* under symbiosis culture. **Method:** The changes in the root AM fungi infection rate, rhizosphere soil nutrient content, total rhizome saponins content of *P. polyphylla* var. *yunnanensis* and the relationship of the rhizosphere soil factors, the infection rate and the total rhizome saponins content after AM fungi inoculation were analyzed by the method of combining room temperature pot inoculation and data analysis. **Result:** As compared with the CK group, the root AM fungi infection rate of the AM inoculation group was significantly enhanced ( $P < 0.05$ ), the content of easily extractable glomalin, total glomalin, and total nitrogen increased significantly, while

**[收稿日期]** 20200210(019)

**[基金项目]** 国家自然科学基金项目(81260622); 云南省应用基础研究计划项目(2011FB081); 云南省教育厅科学研究基金重点项目(2012Z119)

**[第一作者]** 朱芙蓉, 在读硕士, 从事药用植物栽培与环境调控研究, E-mail: 837968133@qq.com

**[通信作者]** \* 郭冬琴, 博士, 副教授, 硕士生导师, 从事药用植物栽培与微生物营养研究, Tel: 023-58102522, E-mail: guodongqin1997@163.com

available potassium content and pH significantly decreased. After inoculation with AM fungi, the contents of total phosphorus, available phosphorus, available nitrogen, ammonium nitrogen, nitrate nitrogen, available potassium, and organic matter in the rhizosphere soil of *P. polyphylla* var. *yunnanensis* showed significant differences as compared with the CK group. The soil nutrient status was improved, and the total saponin content in the rhizome of *P. polyphylla* var. *yunnanensis* was increased. **Conclusion:** Inoculation with AM fungi can improve the rhizosphere soil nutrient status of *P. polyphylla* var. *yunnanensis*, promote the nutrient transformation in the rhizosphere soil, promote the growth of *P. polyphylla* var. *yunnanensis*, and improve the quality of medicinal herbs.

**[Key words]** arbuscular mycorrhizal fungus; *Paris polyphylla* var. *yunnanensis*; glomalin; soil nutrients; total saponins

滇重楼为百合科重楼属植物。其干燥根茎入药,具有清热解毒等功效,因此被列入2015年版《中国药典》作为中药材重楼的重要基源植物之一<sup>[1]</sup>。目前作为药材的滇重楼主要来自于野生资源,但野生重楼资源难以满足药材市场的需求,长期不可持续采挖使得滇重楼野生种群遭到了严重破坏,濒临灭绝<sup>[2-3]</sup>。因此,对滇重楼进行人工栽培,提高栽培滇重楼的品质成为了一个重要的课题。

丛枝菌根(arbuscular mycorrhizal, AM)真菌是地球上最古老、最广泛的植物共生体之一,能与绝大多数植物根系形成互惠共生体<sup>[4-5]</sup>,接种AM真菌可以提高植物的抗病性<sup>[6]</sup>、抗逆性<sup>[7]</sup>及抗旱性<sup>[8]</sup>等。前期研究表明,接种AM真菌可以促进滇重楼的光合作用<sup>[9]</sup>、调节植物内源激素量<sup>[10]</sup>、促进滇重楼对营养元素的吸收<sup>[5]</sup>、增加滇重楼根际土壤的微生物数量、调节滇重楼根际土壤酶活性<sup>[11]</sup>,提高滇重楼功能基因的表达<sup>[12]</sup>,从而可以提高滇重楼的人药品质<sup>[13]</sup>。而上述的多数方面与土壤养分密切相关,因此,接种不同AM真菌对滇重楼土壤养分的影响有待明确。

已有研究结果显示,不同条件下接种不同AM真菌对土壤养分的影响不同。旱地小麦接种 *Acaulospora laevis*, *Glomus monosporum* 和 *Rhizophagus intraradices* 3种AM真菌后,土壤中有有机质、有效磷含量因小麦的生长消耗降低,全氮和有效钾增加<sup>[14]</sup>。在红花栽培中进行 *Funnelformis mosseae* 和 *R. intraradices* 两种AM真菌的单接和混接后,土壤有机质、速效磷含量增加,速效氮、速效钾和全磷含量降低<sup>[15]</sup>。在半干旱地玉米的露地、半覆膜、覆膜栽培中接种 *F. mosseae*, 土壤有机质、总球囊霉素、易提取球囊霉素的含量增加,全氮、速效磷、速效钾含量降低<sup>[16]</sup>。接种 *F. mosseae*, *Glomus versiforme* 和 *R. intraradices* 3种AM真菌后,土壤有

机质和铵态氮含量增加或降低,速效钾和速效磷含量均降低<sup>[17-18]</sup>,探讨生物炭和AM真菌提高矿区土壤养分有效性的机制时,接种 *R. intraradices* 后,土壤有机质、速效氮、磷、钾和土壤总球囊霉素、易提取球囊霉素均增加<sup>[19]</sup>。目前,接种AM真菌对土壤养分的研究主要集中在3~5种AM真菌,有待分析接种AM真菌对更多营养成分的影响。

本课题组前期的滇重楼菌根学研究,鉴定出了分属于4个属的24种AM真菌<sup>[20]</sup>,表明滇重楼根际AM真菌多样性丰富。为增加可用于滇重楼栽培的AM真菌的多样性,本研究在滇重楼幼苗期接种了分属于14属的28种不同AM真菌,测定不同AM真菌处理对滇重楼根系菌根侵染率、根际土壤球囊霉素含量、氮磷钾等11种土壤营养成分含量及根茎总皂苷含量的影响,旨在从改善土壤养分的效果方面为利用AM真菌提高滇重楼产量与入药品质提供更多理论基础。

## 1 材料

UV-2450型紫外-可见分光光度计(日本岛津公司);FP640型火焰光度计(上海悦丰仪器仪表有限公司);ML204型1/1万分析天平(梅特勒-托利多仪器上海有限公司);SZX2-FOF型体视显微镜,BX-53F型荧光生物照相显微镜(日本奥林巴斯集团);TDZ5-WS型多管架自动平衡离心机(湖南赛特湘仪离心机仪器有限公司);BS-2F型振荡培养箱(江苏省金坛市荣华仪器制造有限公司);pHB-10型pH计(杭州奥利龙仪器有限公司)。

曲利苯蓝,柠檬酸,氢氧化钾,氢氧化钠,苯酚,次氯酸钠重蒸酚,硼酸,30%过氧化氢,高锰酸钾,甲基红,溴钾酚绿,硫酸亚铁,阿拉伯胶,钼酸铵,酒石酸锶钾,抗坏血酸,重铬酸钾,邻菲罗啉,浓硫酸,浓盐酸,氨水,乙醇,氯化钠,乙酸铵,溴百里酚蓝,硫酸钙,碳酸钙,碳酸镁,氢氧化钙,硫酸银,高氯酸

(均为分析纯)。

本试验所用AM真菌为通过美国国际丛枝菌根真菌种质资源保藏中心(INVAM)购得的相应AM真菌菌剂,接种菌剂为带有孢子、菌丝及侵染后根段的栽培基质,见表1<sup>[13]</sup>。滇重楼的新鲜种子于2012年10月18日采自大理州农业科学推广研究院种植基地的滇重楼健壮植株,常温下河沙贮存4个月,并经重庆三峡学院生物与食品工程学院周浓教授鉴定为百合科植物滇重楼 *Paris polyphylla* var. *yunnanensis* 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<sup>[10]</sup>。

栽培基质为菜园土与河沙的混合物(体积比3:1,过2 mm筛,121 °C高压灭菌锅内灭菌2 h)。2013年2月24日,采用室温盆栽方法播种,设处理(接种28种AM真菌)组和CK(对照)组共29组处理,每处理2个重复,每重复3盆,每盆栽种15株滇重楼。生长期按常规管理,定期浇Hoagland营养液<sup>[12]</sup>。

2013年11月12日于滇重楼倒苗后,收获滇重楼根系和根际土壤。根系在冰水浴中洗净,剪成1.0~1.5 cm长的根段,一部分置于FAA固定液中固定后用于菌根侵染率的测定。根际土壤采用四分法取样<sup>[21-22]</sup>,收集根系及黏附其上的土壤即为根际土,将混匀的土壤放入无菌塑料袋中,低温迅速带回实验室,一份放入4 °C冰箱保存,用于分析根际土壤的铵态氮、硝态氮;另一份根际土自然风干,研磨,过1 mm土壤筛后,用于测定根际土壤的其他理化性质。

## 2 指标与方法

**2.1 滇重楼根系侵染率测定** 随机选取浸泡于FAA固定液中滇重楼根系30条,采用文献的方法染色、制片、镜检<sup>[17]</sup>,根据TROUVELOT等<sup>[23]</sup>的方法统计菌根的侵染率,侵染率=(AM真菌定殖根段数/检查总根段数)×100%。

**2.2 球囊霉素含量测定** 球囊霉素分为易提球囊霉素和总球囊霉素,采用文献<sup>[24]</sup>方法进行测定。

**2.3 重楼属植物根际土壤营养成分的测定** 土壤pH,有机质,全氮,速效氮,铵态氮,硝态氮,全磷,速效磷,全钾,速效钾的测定参照《土壤农化分析》的常规方法<sup>[21]</sup>进行测定。

**2.4 重楼属植物根茎总皂苷含量的测定** 重楼属植物根茎中总皂苷含量采用周浓等<sup>[25]</sup>所建立方法进行测定。

**2.5 数据处理** 采用Excel 2003软件以及SPSS 20.0软件对所测数据进行处理,并进行最小显著性

表1 不同处理组接种AM真菌及其滇重楼幼苗根系侵染率( $\bar{x}\pm s$ , n=3)

Table 1 AM fungi of different treatment group and their infection rate in root of *Paris polyphylla* var. *yunnanensis* seedlings ( $\bar{x}\pm s$ , n=3)

处理组	AM真菌	侵染率/%
Ga	<i>Gigaspora albida</i>	82.26±4.04 <sup>cd</sup>
Gd	<i>Gigaspora decipiens</i>	80.55±3.93 <sup>d</sup>
Gg	<i>Gigaspora gigantea</i>	100±0 <sup>a</sup>
Gm	<i>Gigaspora margarita</i>	100±0 <sup>a</sup>
Gr	<i>Gigaspora rosea</i>	100±0 <sup>a</sup>
Sca	<i>Scutellospora calospora</i>	100±0 <sup>a</sup>
Sdi	<i>Scutellospora dipurpurascens</i>	100±0 <sup>a</sup>
Spe	<i>Scutellospora pellucida</i>	100±0 <sup>a</sup>
Dh	<i>Dentiscutata heterogama</i>	100±0 <sup>a</sup>
Rco	<i>Racocetra coralloidea</i>	100±0 <sup>a</sup>
Rfu	<i>Racocetra fulgida</i>	100±0 <sup>a</sup>
Sde	<i>Septoglomus deserticola</i>	100±0 <sup>a</sup>
Svi	<i>Septoglomus viscosum</i>	100±0 <sup>a</sup>
Fm	<i>Funneliformis mosseae</i>	100±0 <sup>a</sup>
Cc	<i>Claroideoglomus claroideum</i>	89.90±1.43 <sup>b</sup>
Rcl	<i>Rhizophagus clarus</i>	87.30±2.24 <sup>e</sup>
Rin	<i>Rhizophagus intraradices</i>	80.56±3.93 <sup>d</sup>
Afo	<i>Acaulospora foreata</i>	100.00±0 <sup>a</sup>
Ako	<i>Acaulospora koskei</i>	77.50±3.54 <sup>d</sup>
Asc	<i>Acaulospora scrobiculata</i>	100.00±0 <sup>a</sup>
Asp	<i>Acaulospora spinosa</i>	100.00±0 <sup>a</sup>
De	<i>Diversispora eburnea</i>	100.00±0 <sup>a</sup>
Ds	<i>Diversispora spurca</i>	75.00±0 <sup>d</sup>
Ec	<i>Entrophospora colombiana</i>	100.00±0 <sup>a</sup>
Pb	<i>Paraglomus brasilianum</i>	90.28±1.96 <sup>b</sup>
Po	<i>Paraglomus occultum</i>	88.69±4.21 <sup>b</sup>
Ale	<i>Ambispora leptoticha</i>	100.00±0 <sup>a</sup>
Atr	<i>Archaeospora trappei</i>	100.00±0 <sup>a</sup>
CK	CK groups	0 <sup>e</sup>

注:不同小写字母表示差异显著(P<0.05)。

差异法(LSD)检验和DUNCAN多重比较及相关性分析。

## 3 结果与分析

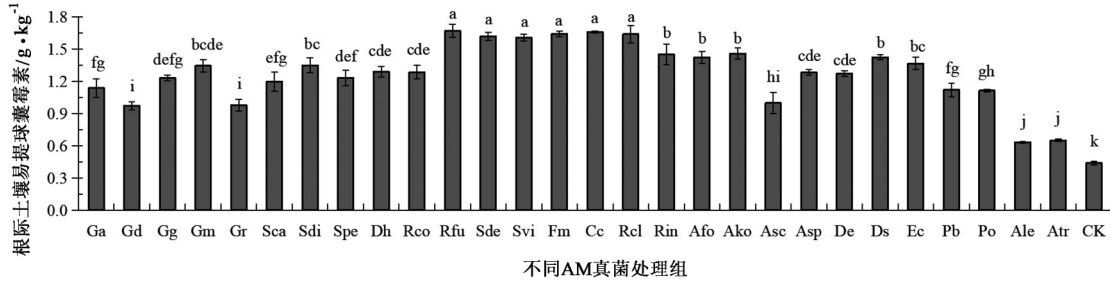
**3.1 不同AM真菌处理对滇重楼幼苗根系侵染率的影响** 接种不同AM真菌对滇重楼根系侵染率的影响见表1。结果表明,各AM真菌处理组滇重楼根系均被AM真菌侵染,形成了典型的丛枝菌根结构,而CK组的侵染率为0。与CK组相比,各AM真

菌处理组滇重楼根系侵染率均有所增强( $P < 0.05$ )。由此可见,外源AM真菌对滇重楼幼苗根系侵染率具有显著增强作用。

### 3.2 不同AM真菌处理对滇重楼根际土壤易提取球囊霉素的影响

接种不同AM真菌对滇重楼根际

土壤易提取球囊霉素的影响见图1。各AM真菌处理组的滇重楼根际土壤易提取球囊霉素含量均显著高于CK组( $P < 0.05$ )。Rfu, Sde, Svi, Cc, Fm和Rcl处理组的根际土壤易提取球囊霉素含量增加更为明显,并显著高于其余AM真菌处理组。



不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ )(图2~13同)

图1 接种不同AM真菌对滇重楼幼苗根际土壤易提取球囊霉素的影响( $\bar{x} \pm s, n=3$ )

Fig. 1 Effect on easily extracted glomalin content of *Paris polyphylla* var. *yunnanensis* inoculated by different AM fungi treatment ( $\bar{x} \pm s, n=3$ )

### 3.3 不同AM真菌处理对滇重楼根际土壤总球囊霉素的影响

接种不同AM真菌对滇重楼根际土壤总球囊霉素的影响见图2。结果表明,与CK组相

比,所接种AM真菌处理组的滇重楼根际土壤总球囊霉素含量均显著增加( $P < 0.05$ ),Rco, Svi和Pb处理组的根际土壤总球囊霉素含量增加最为显著。

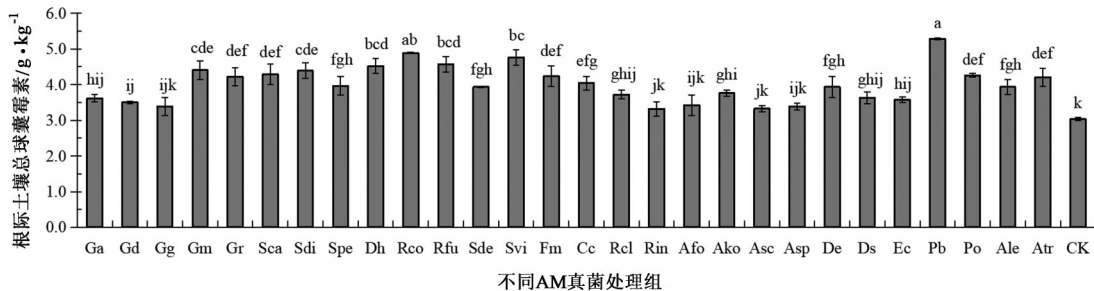


图2 接种不同AM真菌对滇重楼幼苗根际土壤总球囊霉素的影响( $\bar{x} \pm s, n=3$ )

Fig. 2 Effect on total glomalin content of *Paris polyphylla* var. *yunnanensis* inoculated by different AM fungi treatment ( $\bar{x} \pm s, n=3$ )

### 3.4 不同AM真菌处理对滇重楼根际土壤pH的影响

接种不同AM真菌对滇重楼根际土壤pH的影响见图3。结果表明,与CK组相比,各AM真菌处理组

的滇重楼根际土壤pH均显著降低( $P < 0.05$ ),其中Rco和Asp组降低最为显著。表明接种AM真菌在一定程度上能降低土壤pH,改变土壤的酸碱度。

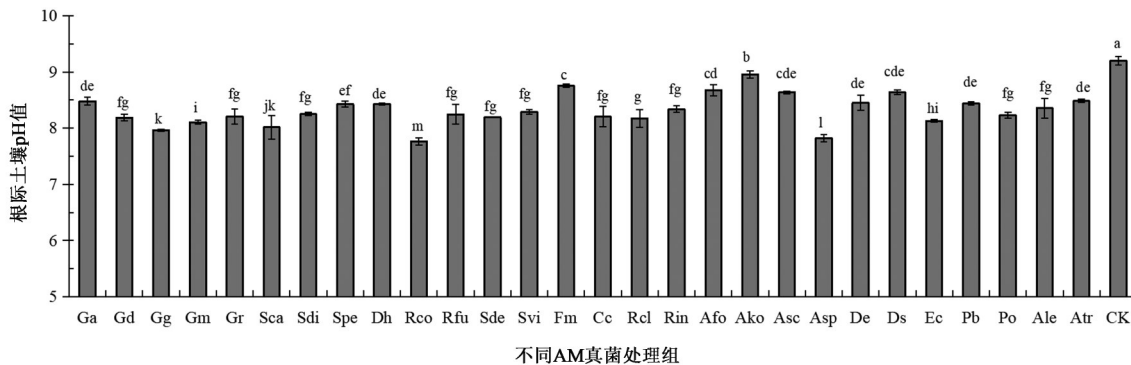


图3 接种不同AM真菌对滇重楼幼苗根际土壤pH的影响( $\bar{x} \pm s, n=3$ )

Fig. 3 Effect on pH in rhizosphere soil by different AM fungi treatment ( $\bar{x} \pm s, n=3$ )

**3.5 不同AM真菌处理对滇重楼根际土壤有机质的影响** 接种不同AM真菌对滇重楼根际土壤有机质的影响见图4。结果表明,与CK组相比,多数

AM接种处理组滇重楼根际土壤有机质含量增加,其中Sde,Fm,Ale处理组有机质含量显著增加( $P < 0.05$ ),Gg,Gr和Rcl处理组有机质含量显著降低。

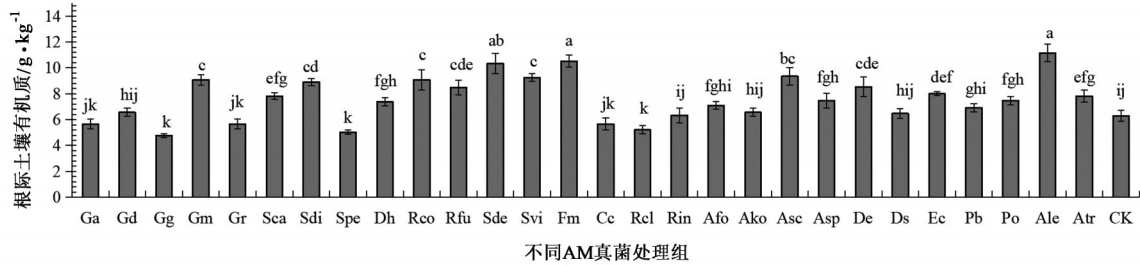


图4 接种不同AM真菌对滇重楼幼苗根际土壤有机质的影响( $\bar{x} \pm s, n=3$ )

Fig. 4 Effect on organic matter content in rhizosphere soil by different AM fungi treatment ( $\bar{x} \pm s, n=3$ )

**3.6 不同AM真菌处理对滇重楼根际土壤全氮的影响** 接种不同AM真菌对滇重楼根际土壤全氮的影响见图5。结果表明,与CK组相比,各AM真菌

处理组的滇重楼根际土壤全氮含量显著增加( $P < 0.05$ ),其中Ga,Gm,Gr与Dh处理组根际土壤全氮含量较CK组明显高于其余AM真菌处理组。

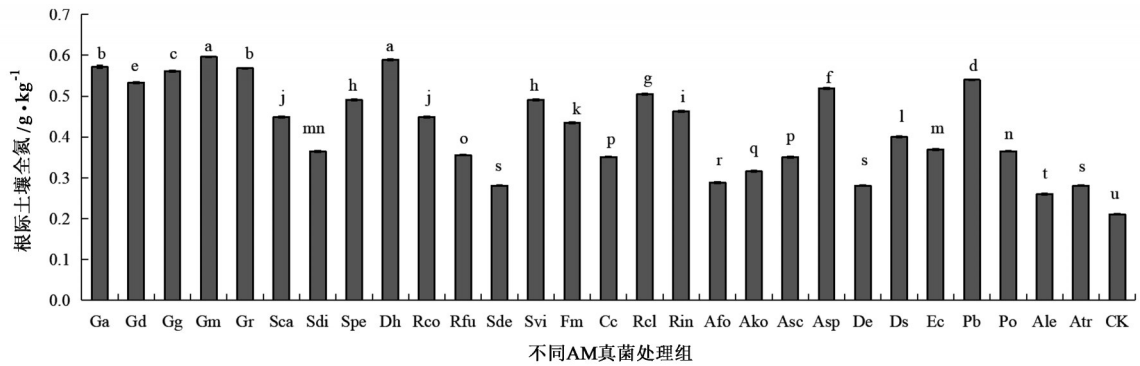


图5 接种不同AM真菌对滇重楼幼苗根际土壤全氮的影响( $\bar{x} \pm s, n=3$ )

Fig. 5 Effect on total nitrogen content in rhizosphere soil by different AM fungi treatment ( $\bar{x} \pm s, n=3$ )

**3.7 不同AM真菌处理对滇重楼根际土壤全磷的影响** 接种不同AM真菌对滇重楼根际土壤全磷的影响见图6。结果表明,与CK组相比,多数AM接

种处理组滇重楼根际土壤全磷含量显著降低,Rcl,Ds,Gg和Sdi处理组的全磷含量显著增加,Ga,Spe,Rco,Svi,Rin,De处理组全磷含量显著降低。

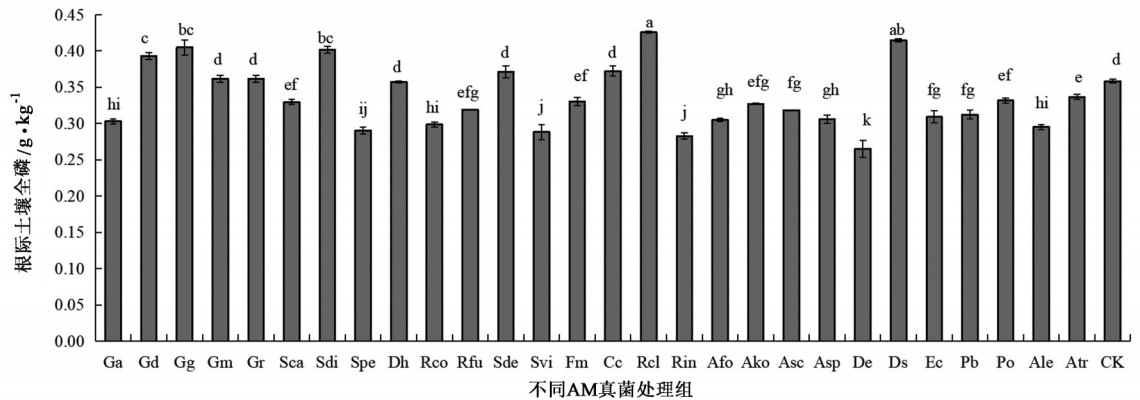


图6 接种不同AM真菌对滇重楼幼苗根际土壤全磷的影响( $\bar{x} \pm s, n=3$ )

Fig. 6 Effect on total phosphorus content in rhizosphere soil by different AM fungi treatment ( $\bar{x} \pm s, n=3$ )

**3.8 不同AM真菌处理对滇重楼根际土壤全钾的影响** 结果表明,与CK相比,多数接种AM真菌处

理组滇重楼根际土壤全钾含量降低,Spe,Dh,Rco,Fm等8个处理组土壤全钾含量较CK组显著降低,

Svi, Sdi, Gg, Gm, Gr 处理组的全钾含量显著增加 ( $P < 0.05$ )。见图 7。

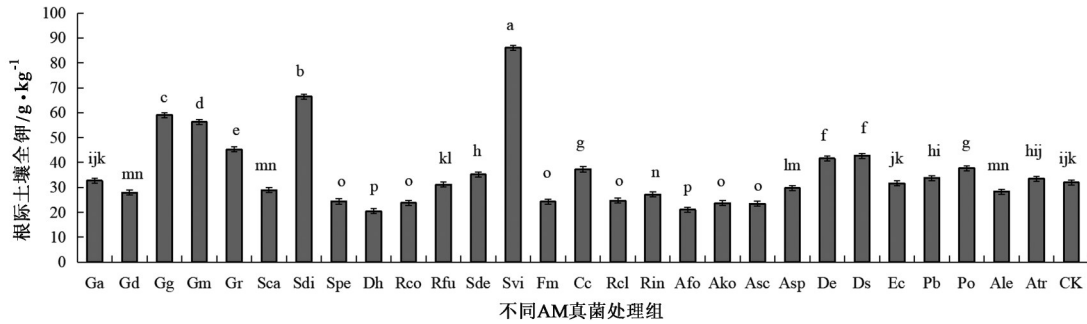


图 7 接种不同 AM 真菌对滇重楼幼苗根际土壤全钾的影响 ( $\bar{x} \pm s, n=3$ )

Fig. 7 Effect on total potassium content in rhizosphere soil by different AM fungi treatment ( $\bar{x} \pm s, n=3$ )

3.9 不同 AM 真菌处理对滇重楼根际土壤速效氮的影响 接种不同 AM 真菌对滇重楼根际土壤速效氮的影响见图 8。结果表明,与 CK 组相比,除 Svi

外,其余处理组滇重楼幼苗根际土壤速效氮均增加,其中 Asp, Sca 和 Dh 处理组的效氮含量显著增加 ( $P < 0.05$ )。

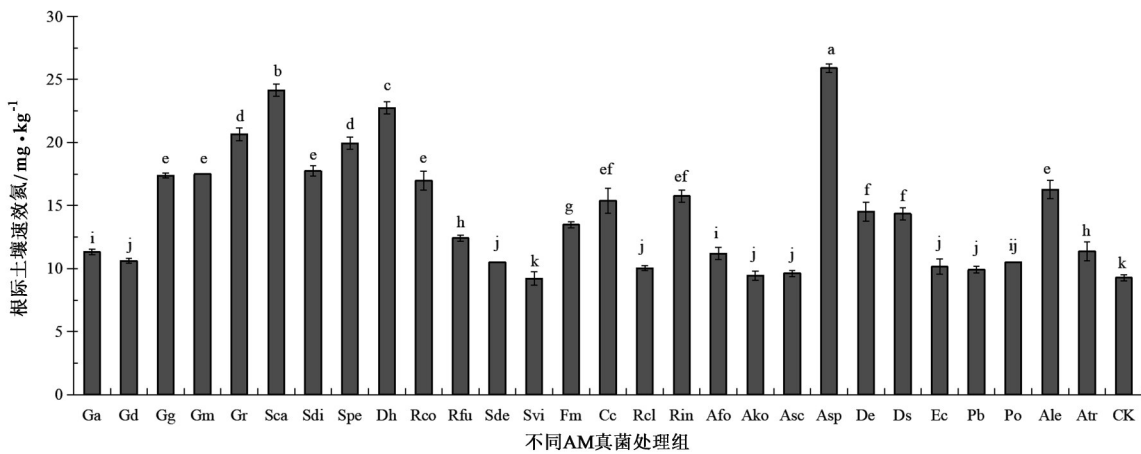


图 8 接种不同 AM 真菌对滇重楼幼苗根际土壤速效氮的影响 ( $\bar{x} \pm s, n=3$ )

Fig. 8 Effect on available nitrogen content in rhizosphere soil by different AM fungi treatment ( $\bar{x} \pm s, n=3$ )

3.10 不同 AM 真菌处理对滇重楼根际土壤速效磷的影响 接种不同 AM 真菌对滇重楼根际土壤速效磷含量的影响见图 9。结果表明,与 CK 组相比,多数 AM 接种处理组滇重楼根际土壤速效磷含量显著

增加,其中 Gd, Rcl, Asp 和 Ec 处理组的滇重楼根际土壤速效磷含量增加最为明显 ( $P < 0.05$ ), Ga, Svi 处理组滇重楼根际土壤速效磷含量较 CK 组显著降低。

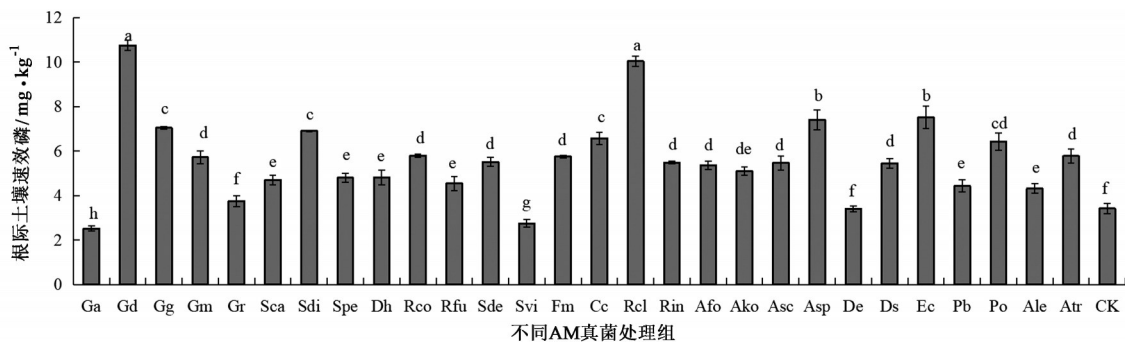


图 9 接种不同 AM 真菌对滇重楼幼苗根际土壤速效磷的影响 ( $\bar{x} \pm s, n=3$ )

Fig. 9 Effect on the available phosphorus content in rhizosphere soil by different AM fungi treatment ( $\bar{x} \pm s, n=3$ )

**3.11 不同AM真菌处理对滇重楼根际土壤速效钾的影响** 接种不同AM真菌对滇重楼根际土壤速效钾的影响见图10。结果表明,与CK组相比,各AM

真菌处理组的滇重楼根际土壤速效钾含量均显著降低 ( $P<0.05$ ), Ako, Ga, Sca, Spe, Rco, Afo 和 Asp 处理组土壤速效钾含量较CK组降低最为明显。

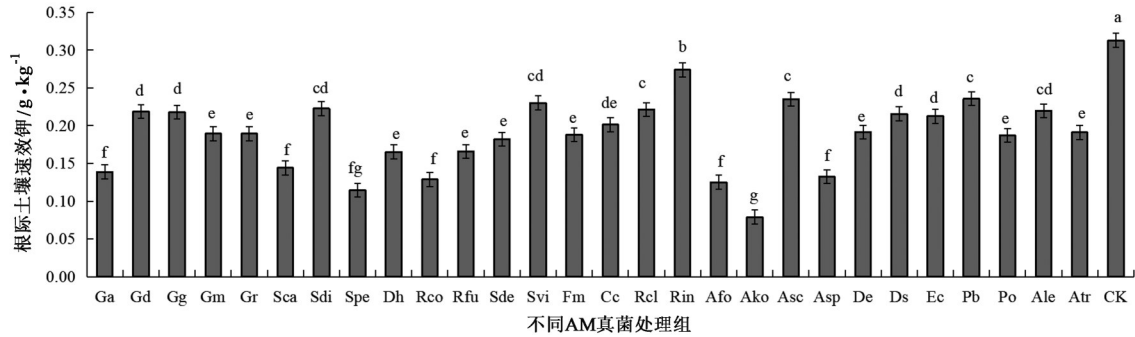


图10 接种不同AM真菌对滇重楼幼苗根际土壤速效钾的影响 ( $\bar{x}\pm s, n=3$ )

Fig. 10 Effect on available potassium content in the rhizosphere soil by different AM fungi treatment ( $\bar{x}\pm s, n=3$ )

**3.12 不同AM真菌处理对滇重楼根际土壤铵态氮的影响** 结果表明,与CK组相比,约46%的AM接种处理组滇重楼根际土壤铵态氮含量显著增加,其中De, Po, Asc和Atr处理组的土壤铵态氮含量增加

较为明显 ( $P<0.05$ ), Rco, Gr, Gd, Ds, Sde和Rcl处理组的滇重楼根际土壤铵态氮含量较CK组显著降低 ( $P<0.05$ ),约32%AM真菌处理组较CK组无显著性差异。见图11。

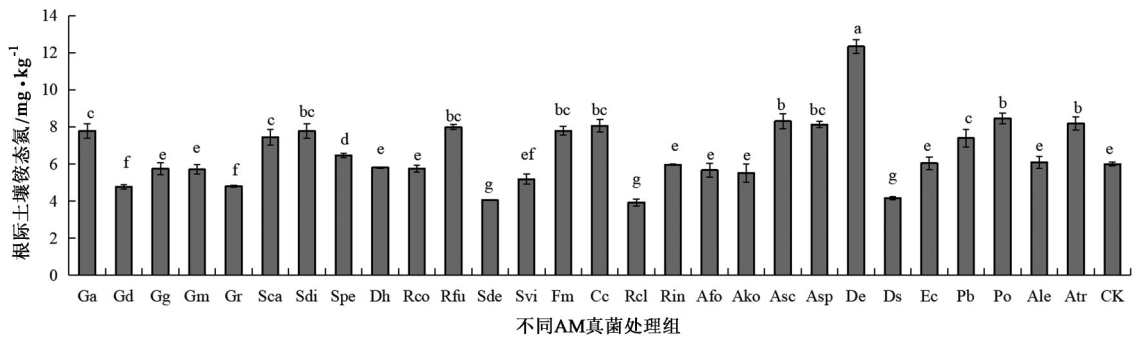


图11 接种不同AM真菌对滇重楼幼苗根际土壤铵态氮的影响 ( $\bar{x}\pm s, n=3$ )

Fig. 11 Effect on ammonium nitrogen content in rhizosphere soil by different AM fungi treatment ( $\bar{x}\pm s, n=3$ )

**3.13 不同AM真菌处理对滇重楼根际土壤硝态氮的影响** 接种不同AM真菌对滇重楼根际土壤硝态氮含量的影响见图12。结果表明,与CK组相比,约64%的AM接种处理组滇重楼根际土壤硝态氮含量显著增加,其中Sca, Sdi, Sde, Afo和Asp处理组的土壤硝态氮含量增加最为明显 ( $P<0.05$ ), Ga, Svi, Ale和Gr处理组的根际土壤硝态氮含量较CK组显著减少 ( $P<0.05$ ),其余AM真菌处理组较处理组无显著性差异。

**3.14 不同AM真菌处理对滇重楼根茎总皂苷含量的影响** 接种不同AM真菌对滇重楼幼苗根茎总皂苷含量的影响见图13。与CK组相比,约39%的AM接种处理组滇重楼根茎总皂苷含量显著增加,其中Fm, Afo, Ako处理组的滇重楼根茎总皂苷含量增加最为明显 ( $P<0.05$ ), Gr, Spe, Cc, Ds和Pb处理

组的滇重楼根茎总皂苷含量较CK组显著降低 ( $P<0.05$ )。

**3.15 相关性分析** 接种不同AM真菌对滇重楼根茎总皂苷、菌根侵染率与根际土壤养分含量相关性分析见表2。结果表明,根茎总皂苷与根际土壤总球囊霉素含量呈显著性负相关 ( $r=-0.447, P<0.05$ ),总球囊霉素与速效磷呈显著性负相关 ( $r=-0.378, P<0.05$ ), pH与全氮、速效氮、速效磷之间呈显著性负相关 ( $r=-0.464, r=-0.419, r=-0.374, P<0.05$ ),全磷与速效磷之间呈极显著正相关 ( $r=0.587, P<0.01$ ),全磷与铵态氮呈显著性负相关 ( $r=-0.436, P<0.05$ ),硝态氮与速效氮、速效磷之间呈显著性正相关 ( $r=0.371, r=0.412, P<0.05$ )。其他指标之间呈正相关或负相关,均未达到显著性水平。

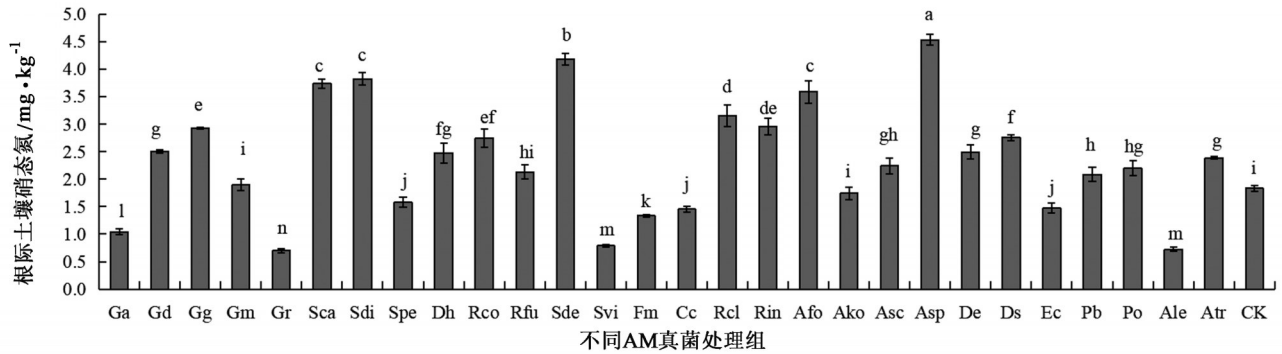


图12 接种不同AM真菌对滇重楼幼苗根际土壤硝态氮的影响( $\bar{x}\pm s, n=3$ )

Fig. 12 Effect on nitrate nitrogen content in rhizosphere soil by different AM fungi treatment ( $\bar{x}\pm s, n=3$ )

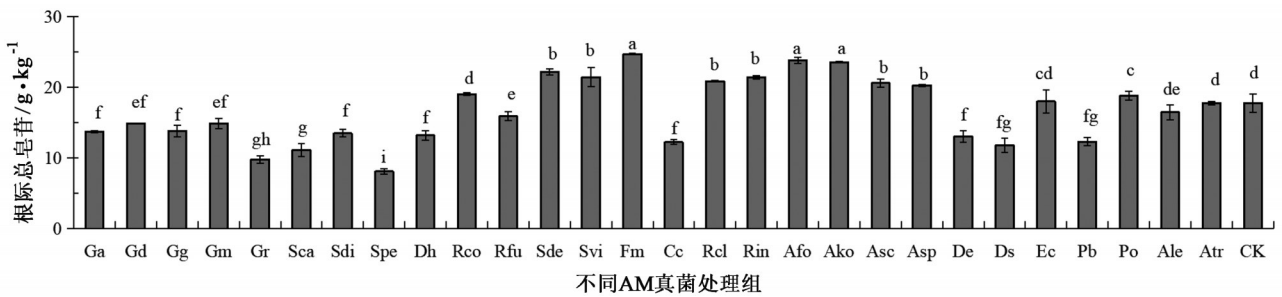


图13 接种不同AM真菌对滇重楼幼苗根茎总皂苷含量的影响( $\bar{x}\pm s, n=3$ )

Fig. 13 Effect on total saponin content in rhizosphere soil by different AM fungi treatment ( $\bar{x}\pm s, n=3$ )

表2 不同AM真菌处理滇重楼根茎总皂苷、菌根侵染率与根际土壤相关性分析

Table 2 Correlation analysis of total saponins, mycorrhizal infection rate and rhizosphere soil by different AM fungi treatment

指标	总皂苷	侵染率	易提取球囊霉素	总球囊霉素	pH	有机质	全氮	全磷	全钾	速效氮	速效磷	速效钾	铵态氮	硝态氮
总皂苷	-													
侵染率	-0.060	-												
易提取球囊霉素	0.287	0.014	-											
总球囊霉素	-0.447 <sup>1)</sup>	0.281	-0.034	-										
pH	0.082	-0.349	-0.124	0.096	-									
有机质	0.064	0.221	0.016	0.151	-0.105	-								
全氮	-0.230	-0.083	0.175	-0.038	-0.464 <sup>1)</sup>	-0.168	-							
全磷	-0.179	-0.242	-0.033	0.040	-0.064	-0.275	0.165	-						
全钾	-0.151	0.173	0.104	0.275	-0.218	0.201	0.176	0.192	-					
速效氮	-0.293	0.366	-0.062	0.161	-0.419 <sup>1)</sup>	0.074	0.219	0.007	0.074	-				
速效磷	0.160	-0.181	0.090	-0.378 <sup>1)</sup>	-0.374 <sup>1)</sup>	-0.183	0.168	0.587 <sup>2)</sup>	-0.177	0.058	-			
速效钾	-0.155	-0.072	-0.347	-0.166	0.177	0.103	-0.125	0.261	0.307	-0.096	0.106	-		
铵态氮	-0.239	0.257	-0.062	0.301	0.139	-0.041	-0.293	-0.436 <sup>1)</sup>	-0.013	0.128	-0.302	-0.017	-	
硝态氮	0.222	0.057	0.270	-0.095	-0.296	-0.167	-0.089	0.236	-0.148	0.371 <sup>1)</sup>	0.412 <sup>1)</sup>	-0.130	-0.036	-

注: <sup>1)</sup>P<0.05, <sup>2)</sup>P<0.01。

#### 4 讨论

接种不同AM真菌实验表明,28种不同AM真菌均能与药用植物滇重楼幼苗形成共生关系,但各AM真菌处理组对滇重楼根茎总皂苷和根际土壤养分含量的影响存在差异。有研究表明,在一定范围

内,土壤有机质含量对AM真菌产孢和菌丝分泌等具有重要影响,有机质及土壤养分含量的升高有利于AM真菌的生长繁殖,可促进球囊霉素的分泌<sup>[26-27]</sup>,球囊霉素是AM真菌分泌的一种糖蛋白,可以为退化土壤提供碳源,促进水分稳定的土壤团聚

体的形成,改善土壤的通透性和持水性<sup>[28-29]</sup>。本研究各AM真菌处理组的根系侵染率较高,分泌的易提取球囊霉素和总球囊霉素较CK组有所增加,且易提取球囊霉素和总球囊霉素含量均与有机质和全钾含量正相关,说明有机质和土壤养分含量的适度增加有利于AM真菌的生长扩繁,促进球囊霉素的分泌,与徐莹莹等<sup>[26]</sup>的研究结果一致。

本研究结果表明,接种不同AM真菌对滇重楼根际土壤养分含量具有一定影响。有研究表明,植物在生长过程中会分泌出一类有机酸,AM真菌与植株构建的共生体系会加快植物对有机酸等物质的分泌,进而降低了土壤的pH<sup>[30]</sup>。土壤N含量是影响AM真菌生长的重要因子,真菌与植物形成共生关系后,能够将吸收的氮和氨基酸等转化为NH<sup>4+</sup>后参与植物氮素代谢<sup>[31]</sup>。氮、磷和钾是植物在生长过程中必不可少的3大营养元素,其含量是影响土壤质量的重要指标,接种AM真菌对土壤中氮、磷和钾的含量有显著影响,可改善土壤微环境,促进土壤中矿物养分的活化,提高土壤肥力<sup>[32-34]</sup>。

本研究结果表明,与CK组相比,接种AM真菌后,各AM真菌处理组的土壤pH均下降,其中Rco处理组降低的幅度最大,与江彬等<sup>[33]</sup>对玉米的研究结果相一致;各AM真菌处理组土壤全氮、速效氮含量均增加,铵态氮和硝态氮含量增加或无显著差异,其中Asp处理组增加的较明显,与悦飞雪等<sup>[19]</sup>接种AM真菌显著提高玉米土壤氮含量结果一致;各处理组土壤全磷、全钾和速效磷含量有所增加或降低,其中Gg、Ds及Sdi处理组土壤含量增加较明显,与王海娟等<sup>[34]</sup>对苜蓿的研究结果一致;各AM真菌处理组土壤速效钾含量均下降,与裘浪等<sup>[16]</sup>在研究AM真菌对玉米根际土壤中速效钾含量降低的结果相一致;各处理组滇重楼幼苗总皂苷含量普遍增加,且Fm、Afo及Ako处理组增加较明显,具有显著性差异,与周浓等<sup>[35]</sup>对滇重楼成年植株的研究结果相似。

综上所述,接种AM真菌能够改善滇重楼幼苗根际土壤养分含量,改善土壤的通透性,增强土壤肥力,促进植物对营养元素的吸收,从而达到促进滇重楼生长,提高滇重楼品质。以土壤养分和总皂苷含量为主要指标,并结合前期的生理生化、品质等研究结果<sup>[3,9-10,12-13]</sup>,接种效果较佳的菌株是*Racocetra fulgida*, *Septoglomus deserticola*, *Septoglomus viscosum*, *Funneliformis mosseae*, *Rhizophagus clarus*, *Rhizophagus intraradices*, 这6

种AM真菌具有较强应用价值,为今后滇重楼进行人工栽培时提供合理施肥的理论基础。

#### [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,2015:260.
- [2] 杨永红,戴丽君,何昆鸿,等. 土壤营养与人工栽培滇重楼品质相关性评价[J]. 中药材,2012,35(10):1557-1561.
- [3] 张华,郭冬琴,周浓,等. 丛枝菌根化滇重楼幼苗根际土壤微环境的研究[J]. 西南农业学报,2019,32(8):1845-1851.
- [4] 李洋,严俊鑫,陈晓玲. AM真菌对植物虫害防治作用研究进展[J]. 农业生物技术学报,2019,27(9):1692-1702.
- [5] 张海珠,李杨,张彦如,等. 菌根真菌处理下滇重楼对营养元素的吸收和积累[J]. 环境化学,2019,38(3):615-625.
- [6] 王晓瑜,丁婷婷,李彦忠,等. AM真菌与根瘤菌对紫花苜蓿镰刀菌萎蔫和根腐病的影响[J]. 草业学报,2019,28(8):139-149.
- [7] 刘婷婷. 低温胁迫下AM真菌调控水稻脯氨酸代谢机制[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2019.
- [8] 彭飞. 丛枝菌根真菌与营养互作对羊草抗旱性的影响[D]. 长春:东北师范大学,2019.
- [9] 潘兴娇,郭冬琴,张杰,等. 接种菌根真菌滇重楼幼苗光合作用的光响应曲线[J]. 中药材,2016,39(12):2680-2685.
- [10] 周浓,张杰,潘兴娇,等. 丛枝菌根真菌对滇重楼内源激素的影响[J]. 中草药,2017,48(23):4970-4978.
- [11] 欧洪,郭冬琴,林俊杰,等. AM真菌对滇重楼根际土壤微生物数量及酶活性的影响[J]. 中药材,2016,39(5):948-955.
- [12] 张杰,周浓,潘兴娇,等. 基于生物量和活性成分的滇重楼幼苗优良菌根真菌筛选[J]. 中草药,2018,49(8):1897-1906.
- [13] 张华,杜慧慧,郭冬琴,等. 接种不同AM真菌对滇重楼幼苗功能基因表达的影响[J]. 天然产物研究与开发,2019,31(2):318-324.
- [14] 祝英. 丛枝菌根真菌接种对旱地小麦生产力和土壤质量的影响及机理[D]. 兰州:兰州大学,2016.
- [15] 王振楠,杨美玲,刘鸯,等. 丛枝菌根真菌对红花生根及根际土壤微环境的影响[J]. 江苏农业学报,2016,32(4):904-909.
- [16] 裘浪,毕银丽,江彬,等. 覆膜与接种AM真菌对半干旱区玉米根际土壤理化性质的影响[J]. 菌物学报,2017,36(7):904-913.
- [17] 王维华,孙丹丹,郑锦龙,等. AM真菌与作物秸秆对

- 土壤养分和植物生长的影响[J]. 青岛农业大学学报:自然科学版,2018,35(2):83-89.
- [18] 谢宏鑫,李香,马静,等. AM真菌和砧木嫁接对西瓜根区土壤理化性状的影响[J]. 青岛农业大学学报:自然科学版,2018,35(2):90-95.
- [19] 悦飞雪,李继伟,王艳芳,等. 生物炭和AM真菌提高矿区土壤养分有效性的机理[J]. 植物营养与肥料学报,2019,25(8):1325-1334.
- [20] 周浓,夏从龙,姜北,等. 滇重楼丛枝菌根的研究[J]. 中国中药杂志,2009,34(14):1768-1772.
- [21] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京:中国农业出版社,2000:14-35.
- [22] PHILLIPS 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: 158-162.
- [23] TROUVELOT A, KOUGH J L, GIANINAZZI P V. *Mesure Du Taux De Mycorhization VA D'un Système Radiculaire. Recherche De Méthodes D'estimation Syant Une Signification Fonctionnelle*[M]Paris: INRA Publications, 1986:217-224.
- [24] 仲召亮,王文杰,张文天,等. 不同林分及农田土壤中球囊霉素蛋白组成特征差异研究[J]. 北京林业大学学报,2016,38(4):107-115.
- [25] 周浓,丁博,郭冬琴,等. 三峡库区驯化栽培重楼属药材活性成分检测与质量评价[J]. 中药材,2015,38(5):894-898.
- [26] 徐莹莹,王俊河,刘玉涛,等. 秸秆还田方式对玉米田AM真菌侵染效应及球囊霉素含量的影响[J]. 黑龙江农业科学,2019(3):36-39,45.
- [27] 王晓英,王冬梅. 丛枝菌根真菌与土壤养分交互作用的生态效应研究[J]. 北方园艺,2009(6):111-115.
- [28] 王建,周紫燕,凌婉婷. 球囊霉素相关土壤蛋白的分布及环境功能研究进展[J]. 应用生态学报,2016,27(2):634-642.
- [29] RILLIG M C, WRIGHT S F, EVINER V T. The role of arbuscular mycorrhizal fungi and glomalin in soil aggregation: comparing effects of five plantspecies[J]. Plant Soil, 2002, 238(2): 325-333.
- [30] 陈媛,王立,马放,等. 丛枝菌根真菌对鸢尾的促进作用研究[J]. 农业资源与环境学报, 2014, 31(3): 265-272.
- [31] 汪晓红,郭绍霞. 土壤养分含量对牡丹根区土壤中AM真菌分布的影响[J]. 青岛农业大学学报:自然科学版,2018,35(4):251-257,277.
- [32] 赵一楠. 氮、磷添加及AM真菌调控对松嫩草地土壤养分与植物群落特征的影响[D]. 长春:东北师范大学,2017.
- [33] 江彬,毕银丽,申慧慧,等. 氮营养与AM真菌协同对玉米生长及土壤肥力的影响[J]. 江苏农业学报, 2017,33(2):327-332.
- [34] 王海娟,包玉英,牛天心,等. 菌剂与肥料配施对露天矿排土场苜蓿生长及土壤养分含量的影响[J]. 华北农学报,2014,29(4):186-191.
- [35] 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.

[责任编辑 顾雪竹]