

## · 从枝菌根真菌对滇重楼根际土壤环境影响专题 ·

[编者按] 丛枝菌根(Arbuscular mycorrhiza, AM)真菌是一类可与80%以上陆生植物根系形成互利共生体的土壤微生物,与植物生长发育密切相关。在侵染植物根系后,AM真菌的根外菌丝可以延伸到更大范围的土壤中,从而扩大了植物根系的吸收范围,有助于宿主植物对营养物质、水分等的吸收,调节其体内代谢活动,因此可以促进宿主植物的生长发育,增强其抗逆性和抗病能力,从而提高植物的产量,改善品质,并且可以改良栽培地的土壤。AM真菌可以通过直接或间接地影响植物的次生代谢过程从而显著提高药用植物有效成分含量。该专题拟就AM真菌对濒危药用植物滇重楼(*Paris polyphylla* var. *yunnanensis*)根际土壤环境的影响进行深入探索,涵盖了单独和复合接种不同种类AM真菌对盆栽及大田种植环境下滇重楼共生栽培的根系AM真菌菌根生态和根际土壤球囊霉素、理化性质、养分含量、酶活性、微生物群落结构等因子的影响以及各种土壤因子之间的相关性,同时就接种AM真菌对滇重楼入药品质的影响进行了探讨,以期明晰滇重楼栽培过程中AM真菌的影响,为利用AM真菌改善栽培中药材品质提供参考。

### 不同丛枝菌根真菌处理对滇重楼土壤理化性质的影响

石汝杰<sup>1</sup>, 杨敏<sup>2</sup>, 郭冬琴<sup>1</sup>, 潘兴娇<sup>2</sup>, 丁博<sup>1</sup>, 祁俊生<sup>1</sup>, 周浓<sup>1,2\*</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, 大理 671000)

[摘要] 目的:探讨滇重楼接种不同丛枝菌根(AM)真菌条件下,不同时期的滇重楼根系侵染率、根际土壤养分的变化及各因子间的相关性。方法:采用单因素盆栽实验,对滇重楼幼苗接种28种AM真菌,在8月份(果熟期)和11月份(衰老期)2个时期进行采样,分析根系侵染率和根际土壤理化性质。结果:滇重楼果熟期和衰老期各AM真菌处理组菌根侵染率均在75%~100%;与CK组相比,2个时期的根际土壤易提取球囊霉素和总球囊霉素含量均有不同程度的增加,2个时期的处理组根际土壤pH均呈上升趋势,果熟期根际土壤有机质含量,均有明显下降,衰老期根际土壤有机质含量无显著性差异,2个时期的根际土壤全氮和全钾有所下降,2个时期的根际土壤其他理化性质增加或降低,无明显变化规律。相关性分析表明,菌根侵染率与根际土壤理化性质具有一定的相关性。结论:接种AM真菌在不同程度上影响滇重楼根际土壤理化性质,为AM真菌菌剂在滇重楼栽培中的应用提供参考价值。

[关键词] 丛枝菌根真菌; 滇重楼; 根际土壤; 球囊霉素; 理化性质

[中图分类号] R284.2; R289; R22; R2-031 [文献标识码] A [文章编号] 1005-9903(2020)22-0077-09

[doi] 10.13422/j.cnki.syfjx.20202079

[网络出版地址] <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3495.r.20200902.0826.003.html>

[网络出版日期] 2020-9-2 10:13

### Effect of Arbuscular Mycorrhizal Fungi Inoculation on Physical and Chemical Properties of Rhizosphere Soil of *Paris polyphylla* var. *yunnanensis*

SHI Ru-jie<sup>1</sup>, YANG Min<sup>2</sup>, GUO Dong-qin<sup>1</sup>, PAN Xing-jiao<sup>2</sup>, DING Bo<sup>1</sup>, QI Jun-sheng<sup>1</sup>, ZHOU Nong<sup>1,2\*</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)

[收稿日期] 20200210(020)

[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] 石汝杰,副教授,从事药用植物生态学研究, Tel:023-58102522, E-mail: yusrj@126.com

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

**[Abstract]** **Objective:** To investigate the infection rate of *Paris polyphylla* var. *yunnanensis* at different periods, the changes of mineral nutrients in rhizosphere soil and the correlation among the factors under different arbuscular mycorrhizal (AM) fungi conditions. **Method:** 28 kinds of AM fungi were inoculated into the seedlings of *P. polyphylla* var. *yunnanensis* by single factor pot experiment. The samples were collected in August (fruit ripening period) and November (senescence period) to analyze the infection rate and the physical and chemical properties of rhizosphere soil. **Result:** The mycorrhizal infection rate of each treatment group was 75%-100% in the fruit ripening period and senescence period. The contents of easily extracted *glomalin* and total *glomalin* in rhizosphere soil increased to different degrees in these two periods as compared with CK group, the pH of rhizosphere soil in the two treatment groups showed an increasing trend, the content of organic matter in rhizosphere soil decreased significantly in the fruit ripening period in all the treatment groups, and the organic matter in rhizosphere soil in the senescence period showed no significant differences. The total N and K contents in rhizosphere soil decreased in both periods, and the other physical and chemical properties of rhizosphere soil increased or decreased without significant change regularity. Correlation analysis showed that the infection rate was correlated with the physical and chemical properties of rhizosphere soil to a certain degree. **Conclusion:** Inoculation of AM fungi can affect the physical and chemical properties of rhizosphere soil of *P. polyphylla* var. *yunnanensis* to some extent, and provide reference value for the application of AM fungi in the cultivation of traditional Chinese medicine.

**[Key words]** arbuscular mycorrhiza fungi; *Paris polyphylla* var. *yunnanensis*; rhizospheric soil; *glomalin*; physical and chemical characters

近年来,丛枝菌根(arbuscular mycorrhiza, AM)已经被越来越多的应用于提高植物的抗逆性、抗病性、活化土壤矿质养分等方面的研究<sup>[1-6]</sup>。在中药材栽培中,研究接种AM菌根对中药材生长发育和药用有效成分的影响具有重要意义,赵祥等<sup>[7]</sup>对中药材红花接种AM真菌,发现AM真菌接种处理显著促进了红花生物量的积累,且AM真菌混合接种效果显著高于AM真菌单接种;梁雪飞等<sup>[8]</sup>在中药材茅苍术的组培和栽培过程中接种AM真菌,发现接种AM真菌可以促进茅苍术的生长及主要挥发油成分的积累;穆帝秀<sup>[9]</sup>在中药材丹参栽培中通过接种AM真菌,发现AM真菌促进了丹参对矿质营养元素磷的吸收,提高了低磷环境下丹参对磷的利用效率;李志雅等<sup>[10-11]</sup>在中药材凤丹栽培中接种AM真菌,发现凤丹根际土壤酶活性与土壤菌丝、泡囊定殖率和孢子密度具有相关性,且接种AM真菌后,提高了凤丹中丹皮酚含量;施晓峰等<sup>[12]</sup>对不同产地的中药材半夏根际土中丛枝菌根真菌多样性进行分析,发现各地半夏均可形成丛枝菌根,半夏根际土壤中的AMF孢子具有丰富的多样性;巩晓芳等<sup>[13]</sup>对中药材当归种植中接种AM真菌的研究发现,当归不同生长时期根际丛枝真菌分布与土壤有机质、磷元素、酶活性的关系呈动态变化,这些以及更多的研究结果都表明了在中草药种植过程中,接种

AM真菌对中药材生物量、根际微环境和药用有效成分积累具有促进作用。

滇重楼为百合科重楼属多年生草本植物,其干燥块茎是云南白药、宫血宁、抗病毒颗粒和季德胜蛇药片等产品的主要原料,近年来由于野生滇重楼资源逐渐枯竭,滇重楼的引种驯化和人工栽培的相关研究受到广泛关注。本课题组前期从滇重楼根际土壤中分离出24种AM真菌,包含 *Acaulospora* 属11种, *Gloms* 属7种, *Gigaspora* 属3种, *Scutellospora* 属3种<sup>[14]</sup>;栽培滇重楼时,接种AM真菌可以增强滇重楼根内菌丝的琥珀酸脱氢酶(SDH)和碱性磷酸酶(ALP)活性<sup>[15]</sup>;滇重楼根际丛枝菌根真菌侵染率与其孢子密度呈显著的正相关,侵染率、孢子密度与其根茎总甾体皂苷含量呈一定的正相关<sup>[16]</sup>;接种AM真菌提高滇重楼幼苗根际土壤酶(蛋白酶、脲酶、磷酸酶、过氧化氢酶和蔗糖酶)活力<sup>[17]</sup>。目前,关于AM真菌接种对滇重楼不同生长时期根际土壤理化性质的研究未见报道,因此,在本课题组已有研究基础上,本研究通过滇重楼盆栽试验,分析接种AM真菌后在果熟期和衰老期时滇重楼根际土壤理化性质的变化,以及根际土壤理化性质与菌根真菌侵染率的相关性,为人工栽培滇重楼的生产实践中科学利用丛枝菌根提供依据。

## 1 材料

供试菌种为 *Gigaspora albida* (Ga), *Gigaspora decipiens* (Gd), *Gigaspora gigantea* (Gg), *Gigaspora margarita* (Gm), *Gigaspora rosea* (Gr), *Scutellospora calospora* (Sca), *Scutellospora dipurpurascens* (Scd), *Scutellospora pellucida* (Spe), *Dentiscutata heterogama* (Dh), *Racocetra coralloidea* (Rco), *Racocetra fulgida* (Rfu), *Septoglomus deserticola* (Sde), *Septoglomus viscosum* (Svi), *Funneliformis mosseae* (Fm), *Claroideoglomus claroideum* (Cc), *Rhizophagus clarus* (Rc), *Rhizophagus intraradices* (Ri), *Acaulospora foreata* (Afo), *Acaulospora koskei* (Ako), *Acaulospora scrobiculata* (Asc), *Acaulospora spinosa* (Asp), *Diversispora eburnea* (De), *Diversispora spurca* (Ds), *Entrophospora colombiana* (Ec), *Paraglomus brasiliense* (Pb), *Paraglomus occultum* (Po), *Ambispora leptoticha* (Ale), *Archaeospora trappei* (Atr), 以上菌种从美国国际丛枝菌根真菌种质资源保藏中心(INVAM)购得。

供试药用植物滇重楼购于云南省大理州农业科学推广研究院滇重楼种植基地,均为生长期一致,大小基本相同的滇重楼根茎,并经本课题组周浓教授鉴定为百合科植物滇重楼 *Paris polyphylla* var. *yunnanensis* 的根茎。

供试土壤取自重庆三峡学院温室内耕作层土壤,风干后,过2 mm筛,再与河沙3:1混合,经高温灭菌(121 °C, 1 h)后备用。

试验共设29个处理,分别为不接种AM真菌的对照(CK)组和分别接种28种AM真菌的处理组,栽培袋经消毒后,每袋装供试土壤7 kg,每处理重复6次,随机排列。

2013年2月24日,每栽培袋加入供试AM真菌接种剂约900个孢子,与土壤混匀后,每袋播种15株滇重楼,置于室外(自然光照条件),生长期间按滇重楼常规栽培管理。

在滇重楼的果熟期(2013年8月)和衰老期(2018年11月)采集各处理组滇重楼根茎和根际土壤。冰水浴中洗净根茎后剪成1.0~1.5 cm长的根段,置于FAA固定液中固定后。采用抖根法,收集黏附在滇重楼根茎上的土壤即为根际土,放入无菌塑料袋中,分别放入4 °C冰箱保存(分析根际土壤的铵态氮、硝态氮所用)和置于室内自然风干(用于测定根际土壤的其他理化性质)。

UV-2450型紫外-可见分光光度计, AP124型1/1万分析天平(日本岛津);FP6410型火焰光度计(上海精科);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);TD5A-WS型多管架自动平衡离心机(上海卢湘仪);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)等。

曲利苯蓝、柠檬酸、苯酚、次氯酸钠重蒸酚、硼酸、高锰酸钾、甲基红、溴钾酚绿、硫酸亚铁、阿拉伯胶、钼酸铵、酒石酸锑钾、抗坏血酸、溴百里酚蓝、氢氧化钙、硫酸银、高氯酸(均为分析纯)等。

## 2 方法

**2.1 AM真菌侵染率的测定** 利用PHILLIPS等和TROUVELOT等的方法<sup>[18-19]</sup>,随机选取浸泡于FAA固定液中的滇重楼根茎小段30条,对其进行染色、制片、镜检和侵染率的统计。

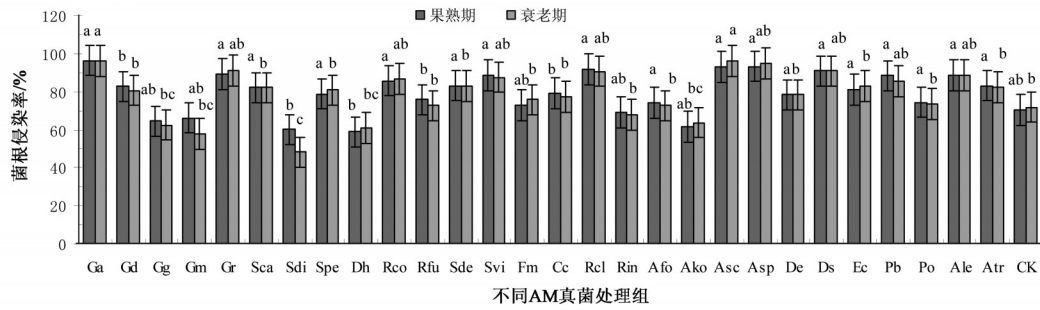
**2.2 根际土壤理化性质分析方法** pH测定采用电位法,参照GB7859-87;全氮测定采用凯氏法,参照GB7848-87;全磷测定碱溶-钼锑抗比色法,参照GB7852-87;全钾测定碱溶-火焰光度法,参照GB7855-87;水解氮测定碱解-扩散法,参照GB7849-87;有效磷测定盐酸浸提-钼锑抗比色法,参照GB7853-87。

**2.3 数据统计** 所有的实验数据均采用Excel 2003软件和SPSS 20.0软件处理,并进行多重比较, $P < 0.05$ 表示差异具有统计学意义。

## 3 结果与分析

**3.1 不同AM真菌处理对滇重楼根系侵染率的影响** 接种不同AM真菌的滇重楼根系侵染率的影响见图1。结果表明,各处理组和CK组的滇重楼根系均被AM真菌侵染,但侵染率的变化趋势不同。接种Ga, Gr, Spe, Sde, Svi, Rcl, Afo, Ds, Rco, Asp, Ec, Pb, Po, Ale, Atr和Asc处理后,滇重楼果熟期的根际AM真菌侵染率升高;在衰老期,由于土壤温度下降和根系活力下降,接种组和CK组的侵染率相比有所降低或差异不显著。由此可见,通过选择接种AM真菌,可以提高滇重楼根内AM真菌的侵染率,增强滇重楼和AM真菌的共生作用。

**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真菌的滇重楼根际土壤易提取球囊霉素的影响见图2。球囊霉素在调节土壤有机碳库和维持土壤团聚体结构等方面具有重要作用。结果表明,各处理组果熟期的滇重楼根际



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真菌对滇重楼根系丛枝菌根侵染的影响 ( $\bar{x} \pm s, n=10$ )

Fig. 1 Effect on mycorrhizal infection rate of *Paris polyphylla* var. *yunnanensis* inoculated by different AM fungi treatment groups ( $\bar{x} \pm s, n=10$ )

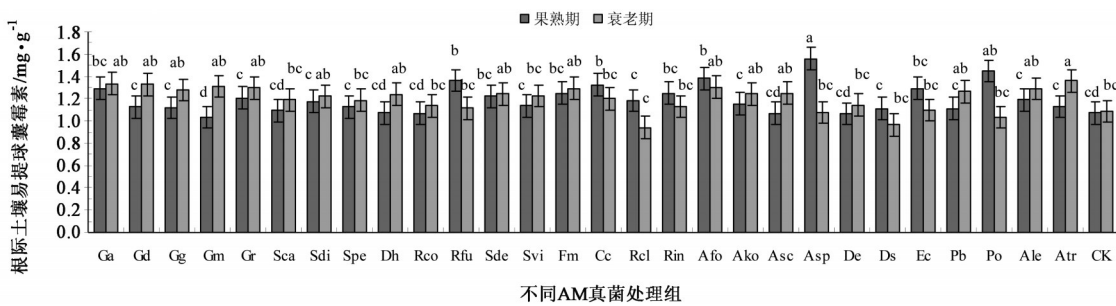


图2 接种不同AM真菌对滇重楼根际土壤易提取球囊霉素的影响 ( $\bar{x} \pm s, n=10$ )

Fig. 2 Effect on easily extracted glomalin of *Paris polyphylla* var. *yunnanensis* inoculated by different AM fungi treatment groups ( $\bar{x} \pm s, n=10$ )

土壤易提取球囊霉素与CK组相比均有不同程度的增加,其中Rfu,Cc,Afo,Asp和Po处理组质量分数最高,与CK组有显著性差异( $P < 0.05$ );在衰老期,除Rcl,Asp,Ds和Po处理组比CK组有所下降外,其他各处理组滇重楼根际土壤中已提取球囊霉素质量分数均与CK组相比有不同增加,但没有显著性差异。

### 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真菌的滇重楼根际土壤

总球囊霉素的影响见图3。结果表明,包括CK组在内的所有处理组根际土壤中都检测到总球囊霉素。果熟期各处理组根际土壤中总球囊霉素含量均显著高于CK组,衰老期各处理组根际土壤总球囊霉素含量比CK组也有不同程度的增多,其中Ga,Gd,Gg,Gm,Gr,Sdi,Spe,Dh,Rco,Fm,Cc,Rcl,Afo,Ds,Po和Ale处理组与CK组有显著性差异,其他各处理组差异不显著。

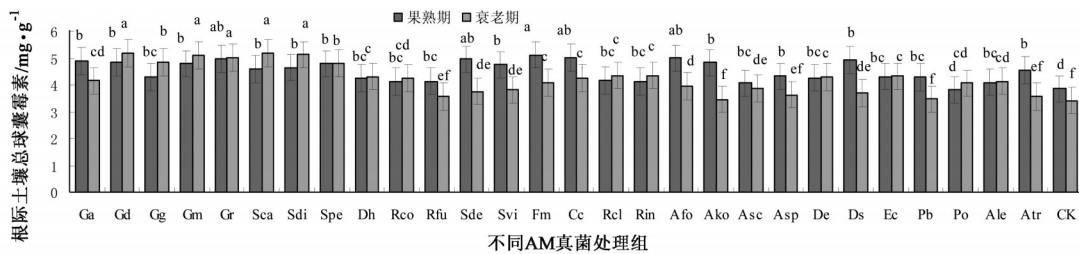


图3 接种不同AM真菌对滇重楼根际土壤总球囊霉素的影响 ( $\bar{x} \pm s, n=10$ )

Fig. 3 Effect on total glomalin of *Paris polyphylla* var. *yunnanensis* inoculated by different AM fungi treatment groups ( $\bar{x} \pm s, n=10$ )

3.4 不同AM真菌处理对滇重楼根际土壤pH的影响 根系分泌物的种类和数量是决定根际土壤pH的主要因素,pH对植物根际微生物群落的动态变化有重要影响。由图4可见,衰老期滇重楼根际土壤pH在接种处理组和CK组间没有显著性差异,原因可能是根系活力下降,AM真菌与根系的共生作用被解除,根系分泌物也显著降低;果熟期是滇重楼

生长旺盛时期,接种丛枝菌根处理组的土壤pH均比CK组高,其中Rcl处理组根际pH升高最大( $\Delta pH$  1.25),变化最小为Afo和Ako处理组( $\Delta pH$  0.44)。

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真菌的滇重楼根际土壤有机质含量的影响见图5。结果表明,衰老期滇重楼根际土壤有机质含量在处理组和CK组间没有显著性差

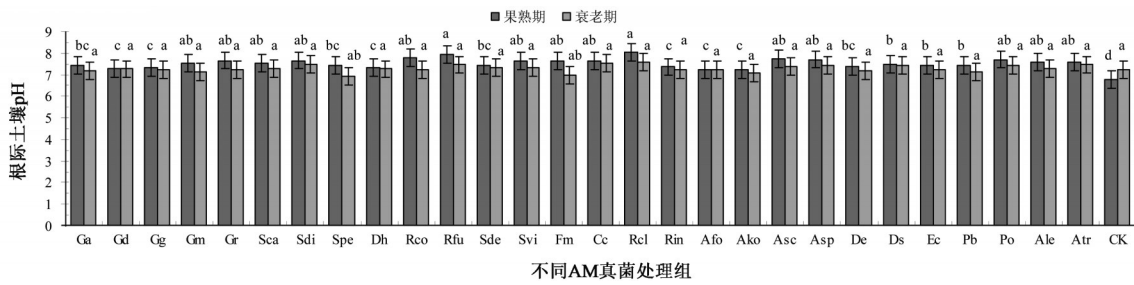


图4 接种不同AM真菌对滇重楼根际土壤pH的影响 ( $\bar{x} \pm s, n=10$ )

Fig. 4 Effect on rhizosphere pH changes of *Paris polyphylla* var. *yunnanensis* inoculated by different AM fungi treatment groups ( $\bar{x} \pm s, n=10$ )

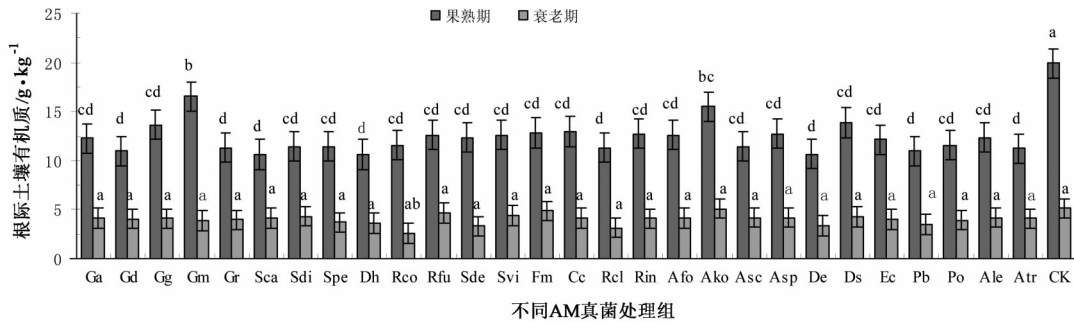


图5 接种不同AM真菌对滇重楼根际土壤有机质的影响 ( $\bar{x} \pm s, n=10$ )

Fig. 5 Effect on rhizosphere organic matter changes of *Paris polyphylla* var. *yunnanensis* inoculated by different AM fungi treatment groups ( $\bar{x} \pm s, n=10$ )

异;土壤微生物是土壤有机质的分解者,真菌可以促进根际土壤各类菌群的生长和繁殖,利于有机质的分解,果熟期是滇重楼生长旺盛时期,处理组的根际土壤有机质含量比CK组低,有显著性差异,Dh处理组有机质含量下降最大,比对照减少46%,Ako处理组有机质含量下降最小,比对照减少了22%。

### 3.6 不同AM真菌处理对滇重楼根际土壤全氮的影响

影响 接种不同AM真菌对滇重楼根际土壤全氮含量的影响,见图6。结果表明,果熟期处理组根际土壤全氮质量分数低于CK组,平均比对照下降了93%,经方差分析,具有显著性差异( $P < 0.05$ );在衰老期,除Atr处理组与CK组没有差异外,其他27组处理都与CK组具有显著差异( $P < 0.05$ ),但27个处理组间没有显著差异。

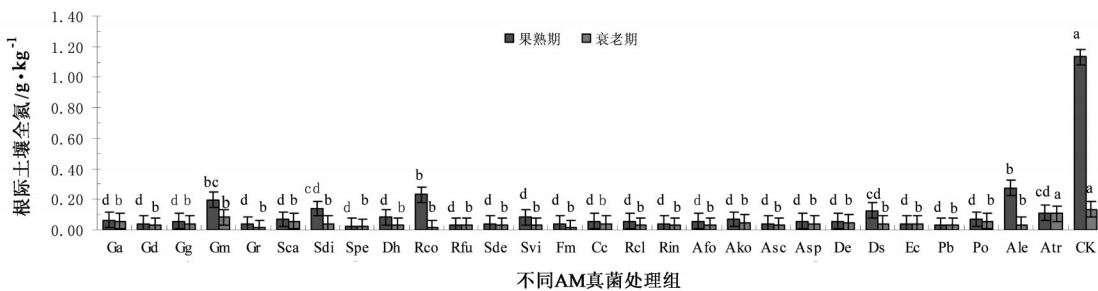


图6 接种不同AM真菌对滇重楼根际土壤全氮的影响 ( $\bar{x} \pm s, n=10$ )

Fig. 6 Effect on rhizosphere total nitrogen changes of *Paris polyphylla* var. *yunnanensis* inoculated by different AM fungi treatment groups ( $\bar{x} \pm s, n=10$ )

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含量的影响见图7。结果表明,处理组滇重楼根际土壤全磷含量与CK组相比,有高有低,没有十分明显

的规律。在果熟期,Atr处理组滇重楼根际土壤全磷含量比CK组下降了56%,Rfu处理组和Asc处理组根际土壤全磷含量比CK组增加了27%,其余处理组间没有显著差异。在衰老期,Dh处理组根际土

壤全磷含量比CK组下降了24%,其余各处理组根际土壤全磷含量平均比CK组下降了15%。

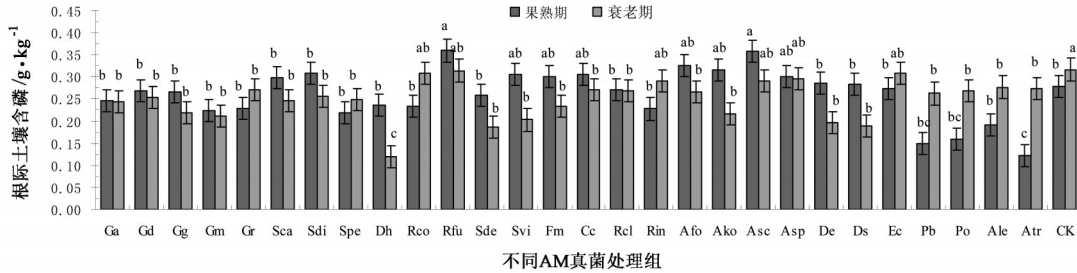


图7 接种不同AM真菌对滇重楼根际土壤全磷的影响 ( $\bar{x}\pm s, n=10$ )

Fig. 7 Effect on rhizosphere total phosphorus changes of *Paris polyphylla* var. *yunnanensis* inoculated by different AM fungi treatment groups ( $\bar{x}\pm s, n=10$ )

3.8 不同AM真菌处理对滇重楼根际土壤全钾的影响 处理组根际土壤全钾影响与对照相比,均有下降趋势。在果熟期,Sdi处理组,Sde处理组和Asp处理组平均根际土壤全钾含量比CK组下降了

40%,其余25个处理组平均根际土壤全钾含量比CK组下降了24%;在衰老期,各处理组平均根际土壤全钾含量比CK组下降了15%,其中Asc处理组下降最大,为30%。见图8。

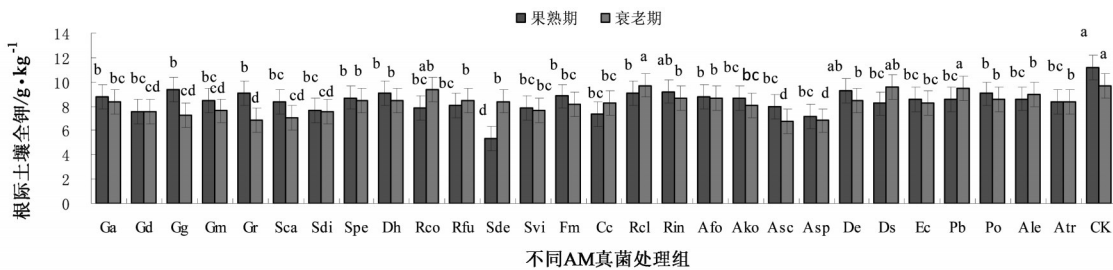


图8 接种不同AM真菌对滇重楼根际土壤全钾的影响 ( $\bar{x}\pm s, n=10$ )

Fig. 8 Effect on rhizosphere total potassium changes of *Paris polyphylla* var. *yunnanensis* inoculated by different AM fungi treatment groups ( $\bar{x}\pm s, n=10$ )

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含量与CK组相比,没有明显的规律。果熟期Atr和Sca处理组根际土壤速效氮含量显著高于CK组,分别是CK组的1.5,1.4倍;Gg,Cc,Asc,De和Ds处

理组显著低于CK组,平均根际土壤速效氮含量是CK组的0.4倍;衰老期时Asp处理组根际速效氮显著高于CK组,是CK组的2.1倍,Rcl处理组根际速效氮明显小于CK组,并具有显著性差异( $P<0.05$ ),只有CK组的0.29倍。见图9。

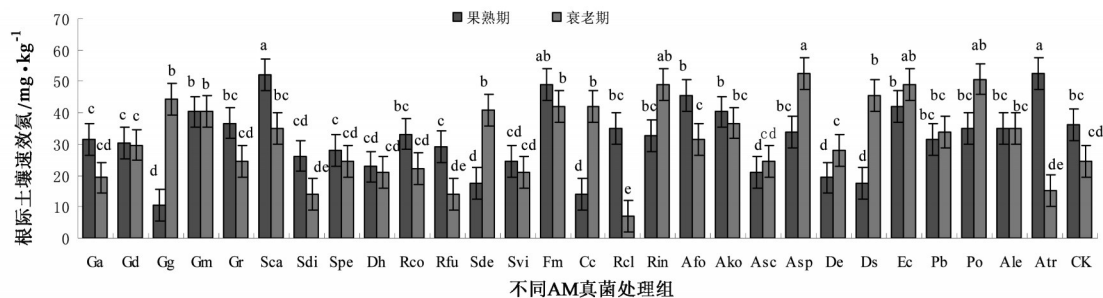


图9 接种不同AM真菌对滇重楼根际土壤速效氮的影响 ( $\bar{x}\pm s, n=10$ )

Fig. 9 Effect on rhizosphere available nitrogen changes of *Paris polyphylla* var. *yunnanensis* inoculated by different AM fungi treatment group ( $\bar{x}\pm s, n=10$ )

3.10 不同AM真菌处理对滇重楼根际土壤速效磷的影响 结果表明,果熟期Atr处理组,Rcl处理组,Asc处理组和Pb处理组的根际土壤速效磷含量低

于CK组,但差异不显著;其他各处理组的根际土壤速效磷含量均高于CK组,其中Gd处理组,Cc处理组,Afo处理组和Ako处理组与CK组差异最为显

著,分别是CK组的1.9,1.6,1.8,1.7倍;衰老期时,比CK组根际速效磷高的有Sca,Sdi,Rco,Cc,Ako,Asc和Asp处理组,其中Ako和Asc处理组显著高于CK

组,是CK组的1.5倍,其他处理组根际速效磷小于CK组,其中Pb组与CK组差异显著,只有CK组的0.5倍。见图10。

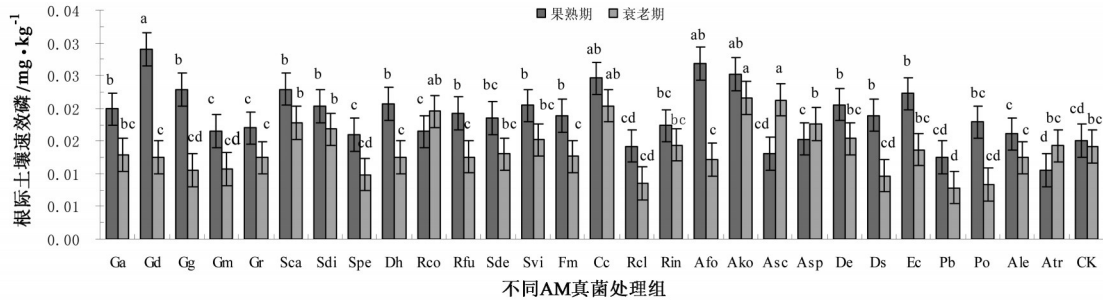


图10 接种不同AM真菌对滇重楼根际土壤速效磷的影响( $\bar{x}\pm s, n=10$ )

Fig. 10 Effect on rhizosphere available phosphorus changes of *Paris polyphylla* var. *yunnanensis* inoculated by different AM fungi treatment groups ( $\bar{x}\pm s, n=10$ )

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真菌的滇重楼根际土壤速效钾的影响见图11。结果表明,果熟期各处理组根际土壤速效钾含量均高于CK组,且差异显著,其中

Spe组与CK组差异最为显著,是CK组的3倍;衰老期时,Ga,Asc和Asp处理组根际速效钾显著高于CK组,其他处理组根际速效钾与CK组没有显著差异。

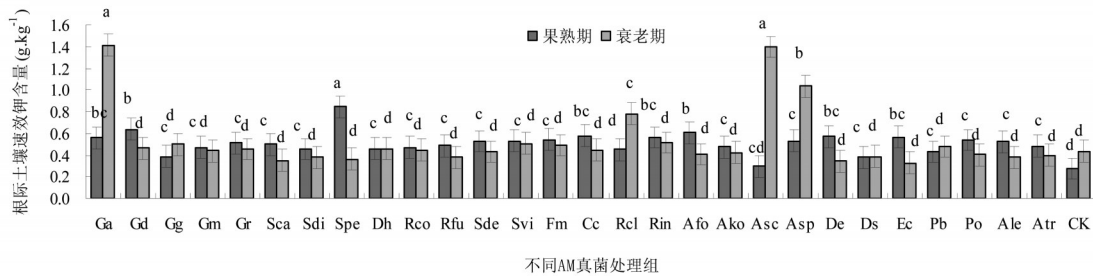


图11 接种不同AM真菌对滇重楼根际土壤速效钾的影响( $\bar{x}\pm s, n=10$ )

Fig. 11 Effect on rhizosphere available potassium changes of *Paris polyphylla* var. *yunnanensis* inoculated by different AM fungi treatment groups ( $\bar{x}\pm s, n=10$ )

3.12 不同AM真菌处理对滇重楼根际土壤铵态氮的影响 接种不同AM真菌对滇重楼根际土壤铵态氮含量的影响见图12。结果表明,处理组滇重楼根际土壤铵态氮含量与CK组相比,无明显变化规律。在果熟期,Gg,Sde,Cc,Asp和Alr处理组滇重楼根际土壤铵态氮含量高于CK组,其中Gg处理组铵态氮质量分数为21.235 7 mg·kg<sup>-1</sup>,CK组质量分数为16.092 9 mg·kg<sup>-1</sup>,两者有显著性差异( $P<0.05$ );其余各组与CK组相比均有下降,其中Sca,Afo,Rcl,Dh和Sca处理组与CK组相比差异显著( $P<0.05$ ),Afo处理组铵态氮质量分数仅为1.403 6 mg·kg<sup>-1</sup>,减少最为显著。在衰老期,有Ga,Gg,Sdi,Spe,Dh,Rco,Rfu,Svi,Cc,Rcl,Rin,Ako,Asc,De,Ds,Ec,Pb,Ale和Atr 19个处理组根际土壤铵态氮含量高于CK组,Gd,Gm,Gr,Sca,Sde,Fm,Afo,Asp和Po处理组根际土壤铵态氮含量低于CK组,其中Spe和Rco处

理组质量分数较高,分别为13.682 1 mg·kg<sup>-1</sup>和14.389 3 mg·kg<sup>-1</sup>,Gd处理组质量分数最低,仅为1.328 6 mg·kg<sup>-1</sup>。

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13。处理组滇重楼根际土壤硝态氮含量与CK组相比,在果熟期均呈下降趋势,CK组硝态氮质量分数为35.081 6 mg·kg<sup>-1</sup>,而Ale处理组质量分数为4.057 8 mg·kg<sup>-1</sup>,减少最为明显。在衰老期,处理组滇重楼根际土壤铵态氮含量与对照无明显变化规律,各处理组间没有显著差异。

3.14 滇重楼根际土壤理化性质与根系菌根侵染率的相关性 果熟期接种组土壤根际土壤全氮、速效氮、全磷、速效磷、全钾、有机质和硝态氮含量的变化与菌根侵染率呈一定的负相关关系,总球囊霉素,易提取球囊霉素,速效钾,pH和铵态氮与菌根侵

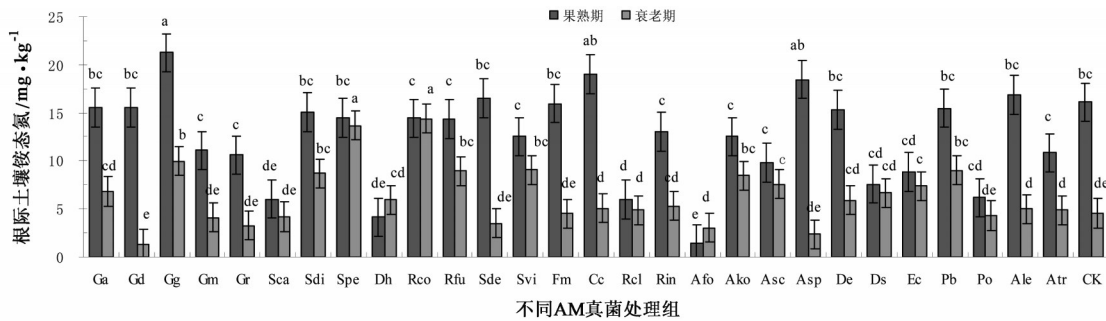


图12 接种不同AM真菌对滇重楼根际土壤铵态氮的影响( $\bar{x}\pm s, n=10$ )

Fig. 12 Effect on rhizosphere ammonium nitrogen changes of *Paris polyphylla* var. *yunnanensis* inoculated by different AM fungi treatment groups( $\bar{x}\pm s, n=10$ )

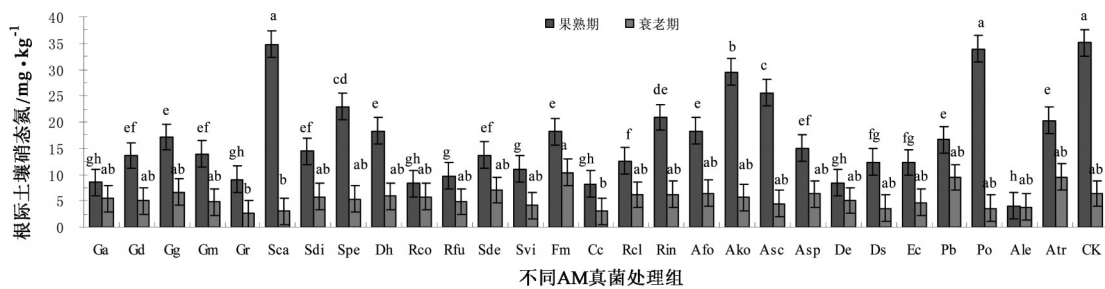


图13 接种不同AM真菌对滇重楼根际土壤硝态氮的影响( $\bar{x}\pm s, n=10$ )

Fig. 13 Effect on rhizosphere nitrate nitrogen changes of *Paris polyphylla* var. *yunnanensis* inoculated by different AM fungi treatment groups( $\bar{x}\pm s, n=10$ )

染率呈一定的正相关关系;衰老期接种组土壤根际土壤总球囊霉素、易提取球囊霉素、全氮、速效氮、有机质、铵态氮和硝态氮含量的变化与菌根侵染

率呈一定的负相关关系,全磷,速效磷,全钾,速效钾, pH与菌根侵染率呈一定的正相关关系。见表1。

表1 滇重楼根际土壤理化性质与不同采样时期侵染率的相关性

Table 1 Correlation between physical and chemical properties of rhizosphere soil and mycorrhizal infection rate of *Paris polyphylla* var. *yunnanensis*

采样时期	总球囊霉素	易提取球囊霉素	全氮	速效氮	全磷	速效磷	全钾	速效钾	有机质	pH	铵态氮	硝态氮
果熟	0.041	0.151	-0.164	-0.005	-0.078	-0.347	-0.298	0.047	-0.327	0.401 <sup>1)</sup>	0.030	-0.353
衰老	-0.288	-0.148	-0.213	-0.047	0.267	0.009	0.048	0.490 <sup>2)</sup>	-0.238	0.147	-0.069	-0.135

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

#### 4 讨论

接种AM真菌后,滇重楼根际土壤pH有不同程度的上升,这与王发园等<sup>[20]</sup>的研究结果相似,AM真菌可以降低根际土壤有机酸的总量,使得根际土壤pH升高。毛玉东等<sup>[21]</sup>研究发现,滇重楼栽培土壤pH在6.54~7.99,根茎总皂苷含量显著高于低pH处理,本实验研究结果表明,接种AM真菌后土壤pH升高,但基本都在6.54~7.99这个范围,因此,从pH这个指标来说,接种AM真菌后,至少不会降低滇重楼总皂苷含量。

接种AM真菌对滇重楼根际土壤N,P,K营养元素的有效性有一定影响,且不同AM真菌的效果

有所差异,例如在果熟期,接种Sca,Fm,Ec和Atr处理,滇重楼根际土壤速效氮含量显著高于CK组;接种Gd,Cc,Afo和Ako处理,滇重楼根际土壤速效磷含量显著高于CK组;接种Spe,Afo,Ec和Gd处理,滇重楼根际土壤速效钾含量显著高于CK组。通过分析相关性,发现侵染率与土壤根际土壤全氮、速效氮、全磷、速效磷、全钾、有机质和硝态氮含量没有显著的相关性,这与张美庆等<sup>[22]</sup>的研究结果相似。

通过对比研究滇重楼不同时期的侵染率和根际土壤理化性质,发现各处理组衰老期根际土壤理化性质与对照相比差异不明显。原因可能一方面

是衰老期滇重楼的根系活力降低,与AM真菌的共生作用减弱,另一方面是衰老期采样时间为11月份,土壤温度下降会导致土壤微生态系统发生变化。

[参考文献]

- [1] 王浩,方燕,刘润进,等. 丛枝菌根中养分转运、代谢、利用与调控研究的最新进展[J]. 植物生理学报, 2018,54(11):1645-1658.
- [2] 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.
- [3] 赵青华,孙立涛,王玉,等. 丛枝菌根真菌和施氮量对茶树生长、矿质元素吸收与茶叶品质的影响[J]. 植物生理学报,2014,50(2):164-170.
- [4] 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.
- [5] 马通,刘润进,李敏. 丛枝菌根真菌对生菜耐热性的效应[J]. 植物生理学报,2015,51(11):1919-1926.
- [6] 王强,王茜,王晓娟,等. AM真菌在有机农业发展中的机遇[J]. 生态学报,2016,36(1):11-21.
- [7] 赵祥,曾广萍,杨盼,等. AM真菌对红花生长及其有效成分的影响[J]. 干旱区研究,2019,36(4):935-942.
- [8] 梁雪飞,唐梦君,吕立新,等. 三种丛枝菌根真菌对茅苍术的生长、生理及主要挥发油成分的影响[J]. 生态学杂志,2018,37(6):1871-1879.
- [9] 穆帝秀. 不同磷水平下AM真菌对丹参生长发育的影响[D]. 成都:成都中医药大学,2018.
- [10] 李志雅,杨安娜,汤冬梅,等. 不同年生凤丹根际AM真菌与土壤酶活性的相关性分析[J]. 生物学杂志,2018,35(1):32-36.
- [11] 李志雅,贾乃心,陈志英,等. 地道药材凤丹根际AM真菌与丹皮酚含量的相关性分析[J]. 安徽师范大学学报:自然科学版,2017,40(5):473-478.
- [12] 施晓峰,黄晶晶,史亚,等. 半夏丛枝菌根真菌多样性研究[J]. 陕西中医药大学学报,2017,40(3):75-81.
- [13] 巩晓芳,祝英,彭轶楠,等. 当归不同生长时期根际丛枝真菌分布及土壤养分和酶活性的动态变化[J]. 微生物学通报,2017,44(11):2596-2605.
- [14] 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.
- [15] 周浓,丁博,冯源,等. 接种不同AM真菌对滇重楼菌根感染率和入药品质的影响[J]. 中国中药杂志,2015,40(16):3158-3167.
- [16] 黄艳萍,张杰,杨敏,等. 接种时期对丛枝菌根真菌感染的滇重楼幼苗生长发育及甾体皂苷含量的影响[J]. 中草药,2019,50(18):4438-4448.
- [17] 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.
- [18] PHILLIPS J M, HAYMAN D S. Improved procedures for clearing and attaining parasitic and vesicular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection[J]. Trans Br Mycol Soc, 1970, 55: 158-162.
- [19] TROUVELOT A, KOUGH J L, GIANINAZZI P V. *Mesure Du Taux De Mycorrhization VA D'un Système Radiculaire. Recherche De Méthodes D'estimation Ayant Une Signification Fonctionnelle* [M]. Paris: INRA Publications, 1986:217-224.
- [20] 王发园,林先贵,尹睿. 不同施铜水平下接种AM真菌对海州香薷根际pH的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2006(6):922-925.
- [21] 毛玉东,梁社往,何忠俊,等. 土壤pH对滇重楼生长、养分含量和总皂苷含量的影响[J]. 西南农业学报,2011,24(3):985-989.
- [22] 张美庆,王幼珊,邢礼军. 环境因子和AM真菌分布的关系[J]. 菌物系统,1999(1):3-5.

[责任编辑 顾雪竹]