

田间施加丛枝菌根真菌剂对滇重楼根际土壤理化性质的影响

黄艳萍^{1,2}, 甘秋霞¹, 杨敏², 祁俊生¹, 潘兴娇², 张杰¹, 周浓^{1*}

(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:探究田间条件下接种丛枝菌根(arbuscular mycorrhiza, AM)真菌对滇重楼(*Paris polyphylla* var. *yunnanensis*)根际土壤的影响,为指导滇重楼的规范化栽培,培育优质的滇重楼品种提供参考。方法:通过小规模的大田接种试验与室内分析相结合的方法,观察滇重楼根际土壤结构受田间接种菌根真菌所带来的影响,采用土壤农化法对各土壤指标进行测定。结果:接种外源AM真菌处理组对滇重楼根系AM真菌的侵染率以及侵染强度等方面具有调控作用;添加AM真菌后,土壤pH基本不受影响,有机质、速效氮、速效磷、速效钾含量增加;真菌的数量下降,细菌、放线菌的数量增加;根际土壤酶活性增加。相关性分析结果表明,各土壤理化指标之间存在显著正相关,特别是细菌数量与3种磷酸酶均极显著的相关性($r=0.849, 0.800, 0.804, P<0.01$)。结论:2种混合菌剂的施加能使滇重楼根际土中微生物数量、酶活性增加,各土壤因子之间具有一定的协同作用。在3个大田试验点中,贵州安顺和重庆万州的效果更为理想,这为大规模的推广大田栽培滇重楼提供理论和实践基础。

[关键词] 滇重楼; 丛枝菌根真菌; 侵染率; 土壤化学指标; 酶活性

[中图分类号] R284.2; R289; R22; R2-031 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1005-9903(2020)22-0110-06

[doi] 10.13422/j.cnki.syfjx.20202081

[网络出版地址] <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3495.R.20200910.1506.001.html>

[网络出版日期] 2020-9-11 11:40

Effect of Field Inoculation with Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Rhizosphere Soil Structure of *Paris polyphylla* var. *yunnanensis*

HUANG Yan-ping^{1,2}, GAN Qiu-xia¹, YANG Min², QI Jun-sheng¹, PAN Xing-jiao², ZHANG Jie¹, ZHOU Nong^{1*}

(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 investigate the effects of arbuscular mycorrhiza(AM) fungi inoculation on the rhizosphere soil of *Paris polyphylla* var. *yunnanensis* under field conditions, so as to provide a reference for the standardized cultivation and development of high-quality varieties of *P. polyphylla* var. *yunnanensis*. **Method:** The effects of inoculation with mycorrhizal fungi on the rhizosphere soil structure of *P. polyphylla* var. *yunnanensis* were observed through a combination of small-scale field inoculation test and laboratory analysis. Soil indexes were determined by soil agrochemical methods. **Result:** The treatment groups inoculated with exogenous AM fungi showed a regulatory effect on the infection rate and intensity of AM fungi infection in the

[收稿日期] 20200510(015)

[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] 黄艳萍,在读硕士,从事药用植物栽培与质量控制研究,E-mail:huangyanping94@163.com

[通信作者] *周浓,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

root system of *P. polyphylla* var. *yunnanensis*. After treatment with AM fungi, the soil pH was basically not affected, and the contents of organic matter, available nitrogen, available phosphorus, and available potassium increased. Moreover, the number of fungi decreased, the number of bacteria and actinomycetes increased, and soil enzyme activities increased. The results of correlation analysis showed that there was a significant positive correlation among the soil physical and chemical indexes, especially the bacterial number and the three types of phosphatases showed extremely significant correlation ($r=0.849, 0.800, 0.804, P<0.01$). **Conclusion:** The application of the two mixed fungicides could increase the number of microorganisms and enzyme activities in the rhizosphere of *P. polyphylla* var. *yunnanensis*, and there was a certain synergy effect among the soil factors. Among the three field trials, the effects in Anshun, Guizhou and Wanzhou, Chongqing were more ideal, which provided a theoretical and practical basis for large-scale promotion of *P. polyphylla* var. *yunnanensis* in the field.

[Key words] *Paris polyphylla* var. *yunnanensis*; arbuscular mycorrhiza fungi; infection rate; soil chemical index; enzyme activity

云南重楼属于百合科药用植物,药材名为“滇重楼”,作为2015年版《中国药典》(一部)重楼药材项下的基原植物之一,以其根茎入药,具有清热解毒、消肿止痛、凉肝定惊等功效^[1],是多种中成药的主要原料药比如“云南白药”等,市场需求量巨大。过去市场上的重楼药材主要依赖野生资源,在无保护措施条件下过度挖采野生滇重楼已导致其资源几近枯竭^[2-3],所以培育和人工种植出高产高品质的滇重楼刻不容缓。

丛枝菌根(arbuscular mycorrhizal, AM)真菌是存在于土壤中的一类有益微生物,能与陆地80%以上的植物根系形成互惠共生体^[4]。AM真菌与植物共生形成菌根后能促进其根际土壤中的营养成分的吸收,如磷、氮元素等,使得植物根茎获得更多的营养成分^[5-6]。土壤微生物的数量和土壤酶活性能够迅速的反映出土壤质量的演变结果,故将其作为评价土壤微生态系统中的生物活性以及土壤肥力的重要指标,进而促进药用植物的生长发育来调控药材中活性成分的合成和积累^[7-9]。土壤微生物数量和土壤酶活性易受到施肥方式、根系分泌物等环境因子的影响,对生态环境的变化较为敏感^[9-11]。关于接种AM真菌对滇重楼根际土壤的微生态环境影响的报道较少,本课题组前期对较利于滇重楼生长的AM真菌进行了筛选,并在温室盆栽条件下进行了接种试验的初步研究,筛选出了较优菌剂组合^[12]。为了深入了解田间接种菌根真菌对滇重楼根际土壤pH,有机质,营养元素,微生物及活性酶等土壤结构的影响,探究AM真菌对滇重楼根际土壤结构的变化规律,培育优质的种植基质提高滇重楼品质,本研究采用前期筛选出的较优菌剂组合,对重庆万州、贵州安顺、云南保山3个滇重楼栽培地点

进行大田的小规模栽培实验,并对其根际土壤进行以上生理生化指标分析,研究它们之间的相关性,对科学改善滇重楼生长环境,指导滇重楼的规范化栽培,培育优质的滇重楼品种具有重要意义。

1 材料

AM真菌纯净菌剂是从美国国际丛枝菌根真菌种质资源保藏中心(INVAM)购买,接种菌剂为带有孢子、菌丝及侵染后根段的栽培基质。处理组S1的AM真菌组合 *Racocetra coralloidea*, *Scutellospora calospora*, *Cetraspora pellucida*, *Racocetra fulgida*; 处理组S2的AM真菌组合 *Scutellospora calospora*, *Cetraspora pellucida*, *Gigaspora margarita*, *Gigaspora gigantea*, *Septoglomus deserticola*, *Claroideoglomus claroideum*; CK组为空白对照组。

CP225D型1/1万分析天平(德国Sartorius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);YXQ-LS-50SL型高压灭菌锅(中国常仪仪器设备有限公司)。

2 方法

2.1 试验设计 2016年1月滇重楼成年植株选自贵州安顺种植基地同一批大小基本一致的样品,经重庆三峡学院生物与食品工程学院周浓教授鉴定为百合科重楼属植物云南重楼 *Paris polyphylla* var. *yunnanensis* 的成年植株。

采用大田栽培方法,设置2个处理组(AM真菌组, S1与S2)和1个对照组(CK组)共3处理,每处理重复50次(株)。2016年01月01日至09日分别将小一致的滇重楼根茎移栽到3个大田中(贵州省安顺市、云南省保山市、重庆市万州区),菌土均匀层施于表土下滇重楼根部,每株接种120个孢子的混合菌剂(均分)。生长期间按常规管理。

2016年10月29日将2个AM真菌处理组和CK组倒苗的滇重楼,根际土壤采用四分法取样^[13],混匀后放入无菌保鲜袋中,采用低温保温箱迅速带回实验室,分2份单独保存。用于分析土壤微生物的分离与计数的一份置于4℃的冰箱中冷藏,另1份根际土经自然风干后,研磨,过1mm土壤筛,用于测定滇重楼的土壤酶活性。2016年11月21日至30日分别选择完整的收获滇重楼的根系、根茎,其中根茎分为新、老根茎。在冰水浴中洗净根系,剪成1.0~1.5cm长的根段,置于FAA固定液中进行固定,备用。根茎分类按照何忠俊等^[14]报道的进行操作。

2.2 指标测定

2.2.1 菌根侵染率 随机取30条FAA固定液中滇重楼根系,采用PHILIPS等^[15]和TROUVELOT等^[16]的操作方法对样品进行染色、制片、镜检处理,计算其根系的菌根侵染率。

2.2.2 根际土壤微生物的分离与计数 本文采用稀释平板计数的方法计算滇重楼根际土壤可培养微生物的数量。分别采用牛肉膏蛋白胨琼脂培养基、真菌采用马丁培养基、改良高氏I号培养基、有机磷细菌培养基、无机磷细菌培养基和硅酸盐培养基培养细菌、真菌、放线菌、解有机磷细菌、解无机磷细菌与解钾细菌^[17],然后分别进行各根际土壤微生物类群的分离与计数,并计算每克干土中的微生物数量(CFU·g⁻¹,干土)。

2.2.3 根际土壤酶活性的测定 对关松荫^[18]的方法进行改进,测定各种根际土壤酶的活性,过滤方法改为离心(5000 r·min⁻¹,5 min);蔗糖酶活性采用3,5-二硝基水杨酸比色法测定;脲酶活性采用苯酚钠-次氯酸钠比色法测定;磷酸酶活性采用磷酸苯二钠法测定;蛋白酶活性采用改良茚三酮比色法测定;过氧化氢酶活性采用紫外分光光度计法测定。

2.3 数据分析 为了更加客观准确地分析评价不同产地各指标的差异性,本研究对以上指标测定均做10个平行试验,采用Microsoft Excel 2010软件对测定的数据进行处理,采用SPSS 20.0软件对数据进行单因素方差分析和最小显著性差异法(LSD)法进行多重比较。

3 结果与分析

3.1 大田接种不同AM真菌混合处理对滇重楼根系菌根侵染率的影响 由表1可知,与CK组相比,处理组S1,S2中的菌根侵染率显著提高,并达显著性差异($P<0.05$),说明2个接种的处理组其根系侵染率得到了显著的增提高。所以,可以得知外源

AM真菌对滇重楼根系AM真菌的侵染率具有调控(增减)作用。这为后续在大田中接种AM真菌,进行大规模种植滇重楼提供了可行性指导。

表1 不同试验处理下滇重楼菌根侵染率的变化($\bar{x}\pm s, n=10$)

Table 1 Effect of different experimental treatments on root infection intensity of seedlings of *Paris polyphylla* var. *yunnanensis* ($\bar{x}\pm s, n=10$) %

处理组	重庆万州	贵州安顺	云南保山
S1	72.39±0.04 ^a	63.19±0.08 ^a	67.87±0.07 ^b
S2	76.57±0.04 ^a	63.96±0.06 ^a	82.72±0.11 ^a
CK	51.06±0.03 ^b	25.37±0.06 ^b	44.72±0.03 ^c

注:每组同列不同的小写字母代表具有显著性差异(表2~7同)。

3.2 大田接种不同AM真菌混合处理对滇重楼根际土壤化学指标的影响 由表2可知,与CK组比较,各处理组pH无显著性变化,说明接种AM真菌对大田中土壤的pH影响不大;与CK组相比,AM真菌处理组滇重楼根际土壤中有有机质含量无显著性变化;与CK组相比,AM真菌处理组滇重楼根际土壤中速效氮、速效磷、速效钾的含量增加较为明显,部分处理组达到显著性差异($P<0.05$),表明处理组中AM真菌与宿主植物根系形成良好的菌根共生体,促进了根际土壤中氮磷钾的积累。

3.3 大田接种不同AM真菌混合处理对滇重楼根际土壤中细菌总量的影响 不同AM真菌处理下滇重楼根际土壤细菌数量的影响见表3。通过分析,发现AM真菌处理组中滇重楼根际土壤可培养细菌的数量在 $41.944\times 10^7\sim 54.111\times 10^7$ CFU·g⁻¹,与CK组相比,处理组S1,S2根际土壤细菌数量均有增加,并达到显著性差异($P<0.05$)。

3.4 大田接种不同AM真菌混合处理对滇重楼根际土壤中真菌总量的影响 不同AM真菌处理下滇重楼根际土壤真菌数量的影响见表4。结果AM真菌处理组滇重楼根际土壤可培养真菌的数量在 $31.778\times 10^3\sim 49.167\times 10^3$ CFU·g⁻¹,与CK组相比,AM真菌处理组滇重楼根际土壤中真菌数量均显著下降,并达显著性差异($P<0.05$),尤其是处理组S2。

3.5 大田接种不同AM真菌混合处理对滇重楼根际土壤中放线菌总量的影响 不同试验处理下滇重楼根际土壤可培养放线菌数量的影响见表5。结果显示,AM真菌处理组滇重楼根际土壤放线菌的数量在 $43.111\times 10^5\sim 56.333\times 10^5$ CFU·g⁻¹,与CK组相比,3个产地2个处理组中真菌含量均增加,并达

表2 不同试验处理下滇重楼根际土壤pH和基本养分含量的变化 ($\bar{x} \pm s, n=10$)

Table 2 Effect of different experimental treatments on pH and basic nutrient contents in rhizosphere soil of *Paris polyphylla* var. *yunnanensis* ($\bar{x} \pm s, n=10$)

处理组	试验基地	pH	有机质/g·kg ⁻¹	速效氮/mg·kg ⁻¹	速效磷/mg·kg ⁻¹	速效钾/mg·kg ⁻¹
S1	重庆万州	6.650±0.080 ^a	34.099±0.109 ^a	9.460±0.069 ^c	100.565±0.091 ^c	66.495±0.114 ^c
	贵州安顺	6.498±0.064 ^e	34.107±0.219 ^a	26.643±0.068 ^a	177.010±0.013 ^a	227.190±0.026 ^a
	云南保山	6.348±0.032 ^d	25.769±0.202 ^c	14.629±0.149 ^d	95.204±0.041 ^c	148.012±0.198 ^b
S2	重庆万州	6.640±0.100 ^{ab}	35.147±0.079 ^a	14.617±0.106 ^d	99.683±0.041 ^c	64.541±0.137 ^c
	贵州安顺	6.535±0.079 ^{bc}	33.750±0.165 ^a	18.945±0.061 ^c	181.082±0.016 ^a	246.967±0.061 ^a
	云南保山	6.358±0.017 ^d	25.663±0.197 ^c	22.748±0.130 ^b	98.505±0.100 ^c	137.407±0.097 ^b
CK	重庆万州	6.720±0.110 ^a	36.657±0.057 ^a	10.254±0.096 ^c	95.699±0.095 ^c	68.597±0.105 ^c
	贵州安顺	6.513±0.053 ^c	32.702±0.088 ^{ab}	13.462±0.088 ^d	136.520±0.129 ^b	239.571±0.057 ^a
	云南保山	6.345±0.028 ^d	26.982±0.102 ^{bc}	8.843±0.256 ^e	92.774±0.083 ^c	157.025±0.113 ^b

表3 不同试验处理下滇重楼根际土壤细菌数量的影响 ($\bar{x} \pm s, n=10$)

Table 3 Effect of different experimental treatments in rhizosphere soil bacteria of *Paris polyphylla* var. *yunnanensis* ($\bar{x} \pm s, n=10$)

处理组	重庆万州	贵州安顺	云南保山
S1	47.944±4.716 ^{bc}	41.944±1.794 ^d	46.944±3.396 ^c
S2	54.111±1.530 ^a	50.000±2.290 ^{bc}	51.444±1.985 ^{ab}
CK	36.111±1.858 ^c	30.556±1.642 ^f	33.222±1.870 ^{ef}

表4 不同试验处理下滇重楼根际土壤真菌数量的影响 ($\bar{x} \pm s, n=10$)

Table 4 Effect of different experimental treatments in rhizosphere soil fungus of *Paris polyphylla* var. *yunnanensis* ($\bar{x} \pm s, n=10$)

处理组	重庆万州	贵州安顺	云南保山
S1	38.333±0.816 ^e	49.167±2.383 ^b	43.722±3.574 ^b
S2	31.778±0.750 ^e	35.167±3.153 ^d	34.000±1.193 ^{de}
CK	45.167±1.986 ^a	51.500±1.952 ^a	49.167±1.346 ^a

到显著性差异 ($P < 0.05$)。

表5 不同试验处理下滇重楼根际土壤放线菌数量的影响 ($\bar{x} \pm s, n=10$)

Table 5 Effect of different experimental treatments in rhizosphere soil actinomycetes of *Paris polyphylla* var. *yunnanensis* ($\bar{x} \pm s, n=10$)

处理组	重庆万州	贵州安顺	云南保山
S1	52.667±1.054 ^b	43.111±2.177 ^d	47.667±1.491 ^c
S2	56.333±2.431 ^a	48.444±1.205 ^c	51.833±0.723 ^b
CK	42.222±1.747 ^d	33.944±1.482 ^f	37.056±1.611 ^e

3.6 大田接种不同AM真菌混合处理对滇重楼根际土壤酶活性的影响 由表6可知,与CK组相比,各栽培地点的脲酶、酸性磷酸酶、中性磷酸酶、碱性磷酸酶活性均增加,并达到显著性差异 ($P < 0.05$),

而蔗糖酶、蛋白酶活性部分AM真菌处理组达显著性变化,但过氧化氢酶活性变化不显著。进一步表明,大田条件下接种不同AM真菌混合在一定程度上对滇重楼根际土壤酶活性产生了影响,处理组S1, S2增加了土壤酶活性,在3个大田栽培地点,以重庆万州和贵州安顺2个栽培地点中土壤酶活性影响更为明显。

3.7 相关性分析 滇重楼根际土壤化学指标的相关系数见表7。结果显示, pH与有机质含量存在极显著正相关 ($r=0.935, P < 0.01$); 速效钾与速效磷、脲酶含量存在极显著正相关 ($r=0.801, 0.848, P < 0.01$); 速效磷与脲酶、过氧化氢酶含量存在极显著正相关 ($r=0.938, 0.845, P < 0.01$); 脲酶与过氧化氢酶含量存在极显著正相关 ($r=0.928, P < 0.01$); 酸性磷酸酶与放线菌数量、细菌数量存在极显著正相关 ($r=0.891, 0.849, P < 0.01$), 与真菌数量存在极显著负相关 ($r=-0.838, P < 0.01$); 中性磷酸酶与碱性磷酸酶、细菌数量存在极显著正相关 ($r=0.977, 0.800, P < 0.01$); 碱性磷酸酶与细菌数量存在极显著正相关性 ($r=0.804, P < 0.01$); 放线菌数量与真菌数量在极显著负相关 ($r=-0.917, P < 0.01$), 与细菌数量存在极显著正相关 ($r=0.964, P < 0.01$), 而真菌数量与细菌数量存在极显著负相关 ($r=-0.912, P < 0.01$), 速效氮与中性磷酸酶、碱性磷酸酶的活性存在显著正相关 ($r=0.743, 0.746, P < 0.05$), 蛋白酶与速效磷、脲酶的活性存在显著正相关 ($r=0.747, 0.770, P < 0.05$), 过氧化氢酶与速效钾、蛋白酶的活性存在显著正相关 ($r=0.709, 0.775, P < 0.05$)。

4 讨论

研究表明,通过接种AM真菌优化土壤结构进而提高大黄、木香等药材的药效成分和内在品

表 6 不同试验处理下滇重楼根际土壤酶活性的变化($\bar{x}\pm s, n=10$)

Table 6 Effect of different experimental treatments on soil enzyme activities in rhizosphere soil of *Paris polyphylla* var. *yunnanensis* ($\bar{x}\pm s, n=10$)

处理组	试验基地	脲酶 /g·kg ⁻¹	蔗糖酶 /g·kg ⁻¹	酸性磷酸酶 /g·kg ⁻¹	中性磷酸酶 /g·kg ⁻¹	碱性磷酸酶 /g·kg ⁻¹	过氧化氢酶 /g·kg ⁻¹	蛋白酶 /mg·kg ⁻¹
S1	重庆万州	14.074±0.027 ^{de}	2.305±0.155 ^{ef}	0.121±0.009 ^b	0.058±0.008 ^c	0.055±0.008 ^d	0.641±0.023 ^c	2.877±0.077 ^a
	贵州安顺	55.149±0.028 ^a	3.498±0.192 ^{de}	0.035±0.010 ^d	0.085±0.025 ^b	0.093±0.007 ^b	0.731±0.042 ^b	3.022±0.229 ^a
	云南保山	11.588±0.078 ^{fe}	6.295±0.123 ^b	0.060±0.008 ^c	0.070±0.008 ^{bc}	0.051±0.005 ^d	0.603±0.012 ^{cd}	1.980±0.153 ^b
S2	重庆万州	15.024±0.043 ^d	1.474±0.337 ^f	0.148±0.020 ^a	0.075±0.003 ^{bc}	0.075±0.011 ^c	0.639±0.016 ^c	2.175±0.262 ^b
	贵州安顺	46.749±0.027 ^c	8.445±0.276 ^a	0.084±0.019 ^c	0.115±0.020 ^a	0.112±0.008 ^a	0.756±0.014 ^{ab}	2.726±0.050 ^a
	云南保山	12.798±0.039 ^{ef}	4.216±0.233 ^{cd}	0.070±0.027 ^c	0.090±0.007 ^b	0.079±0.003 ^c	0.577±0.037 ^d	2.092±0.348 ^b
CK	重庆万州	9.898±0.045 ^h	5.655±0.106 ^{bc}	0.009±0.006 ^e	0.021±0.016 ^d	0.008±0.004 ^e	0.634±0.013 ^c	2.234±0.212 ^b
	贵州安顺	49.338±0.023 ^b	2.515±0.088 ^{ef}	0.007±0.002 ^e	0.033±0.025 ^d	0.008±0.010 ^e	0.782±0.045 ^a	2.722±0.125 ^a
	云南保山	11.282±0.057 ^g	8.461±0.196 ^a	0.036±0.024 ^d	0.018±0.017 ^d	0.004±0.001 ^e	0.591±0.019 ^d	2.076±0.325 ^b

表 7 滇重楼根际土壤化学指标的相关系数

Table 7 Correlation coefficient rhizosphere soil chemical index of *Paris polyphylla* var. *yunnanensis*

土壤因子	pH	有机质	速效钾	速效氮	速效磷	脲酶	蔗糖酶	酸性磷酸酶	中性磷酸酶	碱性磷酸酶	蛋白酶	放线菌数量	真菌数量	细菌数量	过氧化氢酶
pH	-														
有机质	0.935 ²⁾														
速效钾	-0.442	-0.144													
速效氮	-0.286	-0.089	0.513												
速效磷	0.054	0.361	0.801 ²⁾	0.631											
脲酶	0.025	0.341	0.848 ²⁾	0.562	0.938 ²⁾										
蔗糖酶	-0.430	-0.379	0.323	-0.107	0.108	-0.078									
酸性磷酸酶	0.226	0.110	-0.455	-0.012	-0.152	-0.283	-0.339								
中性磷酸酶	-0.129	-0.037	0.313	0.743 ¹⁾	0.550	0.359	-0.006	0.512							
碱性磷酸酶	-0.023	0.085	0.241	0.746 ¹⁾	0.571	0.362	-0.058	0.558	0.977 ²⁾						
蛋白酶	0.384	0.580	0.436	0.300	0.747 ¹⁾	0.770 ¹⁾	-0.309	-0.023	0.248	0.327					
放线菌数量	0.223	0.062	-0.527	0.196	-0.179	-0.366	-0.308	0.891 ²⁾	0.631	0.663	-0.126				
真菌数量	-0.199	-0.045	0.412	-0.154	0.133	0.327	0.152	-0.838 ²⁾	-0.637	-0.631	0.202	-0.917 ²⁾			
细菌数量	0.054	-0.043	-0.296	0.375	-0.002	-0.204	-0.195	0.849 ²⁾	0.800 ²⁾	0.804 ²⁾	-0.098	0.964 ²⁾	-0.912 ²⁾		
过氧化氢酶	0.286	0.544	0.709 ¹⁾	0.283	0.845 ²⁾	0.928 ²⁾	-0.137	-0.236	0.214	0.208	0.775 ¹⁾	-0.367	0.289	-0.259	-

注: ¹⁾P<0.05, ²⁾P<0.01。

质^[19-20]。本研究通过对田间条件下接种菌根真菌对滇重楼根际土壤结构的影响研究表明,在 3 个大田种植中,不同 AM 真菌混合菌剂均能较好地侵染滇重楼根系,并形成良好的菌根共生体。从试验基地的 pH,有机质含量,速效氮含量,速效磷含量和速效钾含量的测定结果可见,与 CK 组比较,处理组滇重楼根际土壤 pH 无明显变化,说明本实验接种的两组 AM 真菌混合菌剂几乎没有改变土壤酸碱性,有机质含量略微增加,说明处理组 S1, S2 滇重楼根际土壤中营养物质更容易富集;与 CK 组比较,速效

氮、速效磷、速效钾的含量增加明显,说明处理组 S1, S2 滇重楼根际土壤中可以直接利用的氮、磷、钾元素含量增加。说明在大田环境中,接种较为合适 AM 真菌在滇重楼育苗中具有可行性,这与潘兴娇等^[21]的研究结果相似。

基于土壤微生物作为土壤中最活跃的生命体之一,故其生理活动极大的影响着土壤的性质以及营养成分的累积^[9]。而药用植物生长环境周围土壤微生物的数量及其构成比在一定程度上会影响药用植物的生长。本次研究表明,处理组滇重楼根际

土壤在接种AM真菌后,细菌、放线菌、真菌的数量增加,这说明通过接种外源性AM真菌后的根际土壤中微生物区系发生了改变,使其从低肥力的“真菌型”转化成了高肥力的“细菌型”,从而促进滇重楼生长发育,这一研究结果与文献中欧洪等^[12]的结论相吻合。说明接种外源性AM真菌可以改善滇重楼根际土壤微生物结构,增强土壤肥力。

药用植物根际土壤微生物及其根系分泌物是土壤酶类的主要来源,因此,土壤微生物与根系分泌物的增加有利于提高土壤酶活性^[22]。土壤酶活性在土壤生态系统的新陈代谢中占主导地位,与CK组比较,大多数处理组土壤中的脲酶、蔗糖酶、过氧化氢酶、蛋白酶以及各类磷酸酶的活性增加,说明添加AM真菌利于土壤中酶活性的增强,有利于滇重楼植株的生长发育。

AM菌剂处理后的各土壤因子之间相互关联,土壤养分中的速效钾、速效磷与土壤活性酶中的脲酶、过氧化氢酶之间具有极显著的相关性,土壤活性酶中的磷酸酶与各种微生物之间具有极显著的相关性,特别是细菌数量与3种磷酸酶均极显著的相关性,表明接种AM菌剂后的滇重楼根际土壤肥力增强是各土壤因子之间相互作用协调的结果。

接种AM真菌能增加滇重楼根际土壤中的微生物数量,提高了土壤中各种酶活性,AM菌剂的接种能促进土壤养分的转化和滇重楼对土壤中养分的吸取,对种植品质较优的滇重楼药材具有重要意义。

[参考文献]

[1] 国家药典委员会编. 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] 张朝阳,赵庭周. 重楼资源再生策略及其关键技术环节探讨[J]. 中草药,2009,40(2):319-323.

[3] 黄璐琦,肖培根,王永炎. 中国珍稀濒危药用植物资源调查[M]. 上海:上海科学技术出版社,2011:2-4.

[4] 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):1557-1661.

[5] 陈美兰,郭兰萍,杨光,等. 药用植物AM共生体系评价方法和关键技术的探讨[J]. 中国中药杂志,2011,36(21):3051-3056.

[6] 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,2010,34(14):1768-1772.

[7] 肖艳红,李菁,刘祝祥,等. 药用植物根际微生物研究

进展[J]. 中草药,2013,44(4):497-504.

[8] MAZZOLA M. Assessment and management of soil microbial community structure for disease suppression[J]. Ann Rev Phytopathol,2004,42:35-59.

[9] 谭晓燕,杨润亚,薛军于,等. AM菌剂对葡萄根围土壤微生物数量及酶活性的影响[J]. 鲁东大学学报:自然科学版,2012,18(1):50-53.

[10] 王渭玲,杜俊波,徐福利,等. 不同施肥水平对桔梗土壤微生物和土壤酶活性的影响[J]. 中国中药杂志,2013,38(22):3851-3856.

[11] 谷岩,邱强,王振民,等. 连作大豆根际微生物群落结构及土壤酶活性[J]. 中国农业科学,2012,45(19):3955-3964.

[12] 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.

[13] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,2000:14-24.

[14] 何忠俊,梁社往,曾波,等. 钼对滇重楼生长、养分和总皂甙含量的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2011,17(6):1481-1486.

[15] PHILIPS 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.

[16] 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.

[17] 林先贵. 土壤微生物研究原理与方法[M]. 北京:高等教育出版社,2010:32-45.

[18] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京:农业出版社,1986:274-339.

[19] 杨敏,张杰,张德全,等. 丛枝菌根真菌对掌叶大黄产量及次生代谢产物的影响[J]. 中国实验方剂学杂志,2018,24(10):33-37.

[20] 张杰,潘兴娇,罗静,等. 丛枝菌根真菌对云木香根产量及其木香烯内酯和去氢木香烯内酯含量的影响[J]. 中国药房,2017,28(16):2179-2182.

[21] 潘兴娇,张杰,路风中,等. 重楼属植物根茎有效成分与菌根侵染率、土壤营养成分之间的相关性[J]. 中国药房,2016,27(22):3037-3040.

[22] 赵萌,李敏,王淼焱,等. 西瓜连作对土壤主要微生物类群和土壤酶活性的影响[J]. 微生物学通报,2008(8):1251-1254.

[责任编辑 顾雪竹]