

丛枝菌根真菌对茅苍术实生苗生长及根腐病发生的影响

曹敏^{1,2}, 胡开治^{1,2}, 刘燕琴^{1,2}, 杨小玉^{1,2}, 韩蓉蓉^{1,2}, 余米^{1*}

(1. 重庆市药物种植研究所, 重庆 408435; 2. 特色生物资源研究与利用川渝共建重点实验室, 重庆 408435)

摘要: 根腐病是目前茅苍术栽培中危害最严重的病害之一。丛枝菌根真菌(arbuscular mycorrhizal fungi, AMF)能与90%以上的维管植物互惠共生,对植物土传病害有一定的抑制作用。为明确AMF对茅苍术根腐病的防治效果,试验采用盆栽法研究了*Glomus mosseae* (Gm)、*Glomus intraradices* (Gi)和*Glomus etunicatum* (Ge)3种AMF对1年生茅苍术苗生长及根腐病发生的影响。结果表明:3个AMF接种组的茅苍术苗菌根感染率由高到低依次为Gm(60.44%)、Ge(55.89%)和Gi(52.33%);3种AMF均能显著促进茅苍术苗的营养生长,以Ge促生长效果最为显著,但Gm对茅苍术苗地下部分物质积累的促进作用更大,Gm组茅苍术苗地下部分鲜重和干重的菌根依赖性分别达260.34%和285.45%;另外,3种AMF均能降低茅苍术苗根腐病的发生,减轻病情指数,提高其根系抗病相关酶苯丙氨酸解氨酶(PAL)、 β -1,3-葡聚糖酶和几丁质酶的活性,其中*G. mosseae*和*G. etunicatum*防治效果较好,防效分别为53.15%和62.94%。AMF能促进茅苍术苗的营养生长,减轻其根腐病害的发生,*G. mosseae*和*G. etunicatum*可作为茅苍术根腐病防治的备选生物菌剂进行深入的研究与应用。

关键词: 丛枝菌根真菌; 茅苍术; 根腐病; 抗病相关酶

中图分类号: S432.4; S435.672

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X(2022)03-0418-06

Effects of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) on the seedling growth and root rot of *Atractylodes lancea* (Thunb.) DC.

CAO Min^{1,2}, HU Kaizhi^{1,2}, LIU Yanqin^{1,2}, YANG Xiaoyu^{1,2}, HAN Rongrong^{1,2}, YU Mi¹

(1. Chongqing Institute of Medicinal Plant Cultivation, Chongqing 408435;

2. Bio-resource Research and Utilization Joint Key Laboratory of Sichuan and Chongqing, Chongqing 408435)

Abstract: Root rot is one of the most serious diseases in the cultivation of *Atractylodes lancea* (Thunb.) DC.. Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) can coexist with more than 90% vascular plants and have a certain inhibitory effect on plant soil borne diseases. A pot experiment was conducted to investigate the effects of *Glomus mosseae* (Gm), *Glomus intraradices* (Gi) and *Glomus etunicatum* (Ge) on the seedling growth and the bio-effects of AMF against root rot of *A. lancea* (Thunb.) DC.. The results showed that the mycorrhizal infection rates of *A. lancea* (Thunb.) DC. seedlings in the three inoculation groups were in the order of Gm (60.44%), Ge (55.89%) and Gi (52.33%). All of the three AMFs could promote the vegetative growth of *A. lancea* (Thunb.) DC. seedlings, with Ge group showing the best performance. *G. mosseae* had a greater promoting effect on the underground material accumulation of *A. lancea* (Thunb.) DC. seedlings than Ge or Gi, with the mycorrhizal dependency of fresh weight and dry weight of underground part to mycorrhiza was 260.34% and 285.45%, respectively. In addition, the three AMFs could reduce the disease index, and improve the activities of the root disease resistance enzymes PAL, β -1,3-glucanase and chitinase. Namely, AMF could reduce the occurrence of root rot of *A. lancea* (Thunb.) DC. seedlings, among which *G. mosseae* and *G. etunicatum* had better control effects, with 53.15% and 62.94%, respectively. The results indicated that AMF can promote the vegetative growth of *A. lancea* (Thunb.) DC. seedlings and reduce the occurrence of root rot, and *G. mosseae* and *G. etunicatum* can be used as alternative biological agents for the control of root rot of *A. lancea* (Thunb.) DC..

收稿日期: 2021-10-27

基金项目: 国家重点研发计划(2017YFC1700704), 重庆市自然科学基金(cstc2018jcyjAX0649)和重庆市卫健委中医药科技项目(ZY201802042)共同资助。

作者简介: 曹敏, 助理研究员。E-mail: caominyy@163.com

* 通信作者: 余米, 助理研究员。E-mail: yumi201509@163.com

Key words: arbuscular mycorrhizal fungi (AMF); *Atractylodes lancea* (Thunb.) DC.; root rot; disease resistance-related enzymes

茅苍术 (*Atractylodes lancea* (Thunb.) DC.) 为菊科苍术属多年生草本植物, 以干燥根茎入药, 是商品苍术之上品, 其道地产区为江苏茅山^[1]。由于野生资源严重匮乏, 江苏、重庆、浙江、湖北、四川等地对茅山苍术进行了大量的引种栽培^[2]。近年来, 太极集团为保证藿香正气液原料用药安全、稳定及产业扶贫需要, 先后在重庆市南川区、酉阳县、秀山县等地建设了茅苍术栽培基地。随着栽培年限增加, 病害问题日益突出, 连作障碍明显。其中, 根腐病是目前重庆地区茅苍术栽培危害最严重的病害之一, 主要病原菌有尖孢镰刀菌 *Fusarium oxysporum* 和茄病镰刀菌 *F. solani*^[3]。茅苍术根腐病一旦发生会造成大面积减产, 甚至绝收, 严重影响药材产量和种植户的积极性^[4]。因此, 亟须找到行之有效的防治方法解决药农困境, 而微生物防治因其具有高效低耗、对环境友好等诸多优点而受到学者们的广泛关注。

丛枝菌根真菌 (arbuscular mycorrhizal fungi, AMF) 是一类广泛分布于各类型土壤的特殊微生物, 能与地球上 90% 以上的维管植物根系形成“丛枝菌根” (arbuscular mycorrhizae, AM), 参与植物的生理代谢, 促进植物生长^[5-7]。研究表明 AMF 在提高植物抗病性方面也表现出了积极作用, 已发现的能有效控制植物土传病害的 AMF 超过 30 种^[8]。目

前, AMF 在中药材栽培上的应用研究还处于探索阶段, 且大多集中在对其产量和质量的影响方面。郭兰萍等^[9]研究发现摩西球囊霉 (*Glomus mosseae*) 促进苍术营养生长; 梁雪飞等^[10]还报道幼套球囊霉 (*G. etunicatum*) 和扭形球囊霉 (*G. tortuosum*) 能提高茅苍术组培苗的成活率, 促进其生长和主要挥发油成分的积累。目前, 关于 AMF 与茅苍术栽培中病害的关系还鲜见报道。本试验以摩西球囊霉 *G. mosseae*、根内球囊霉 *G. intraradices* 和幼套球囊霉 *G. etunicatum* 为接种菌剂, 研究不同的 AMF 对茅苍术苗生长发育影响的同时, 探索 AMF 对茅苍术根腐病发生和抗病相关酶活性的影响, 为中药材茅苍术栽培生产中合理利用 AMF 防治根腐病以及深入研究 AMF 的生防机制奠定理论基础。

1 材料与方法

1.1 材料

供试茅苍术为购自湖北英山茅苍术种植户的当年采集的茅苍术种子。

供试菌剂分别为摩西球囊霉 (*G. mosseae*)、根内球囊霉 (*G. intraradices*) 和幼套球囊霉 (*G. etunicatum*) 的全培养物, 均购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”, 菌种信息见表 1。

表 1 3 种供试的 AMF 菌株

Table 1 Three AMF strains used in the investigation

菌种名称	宿主植物	菌种库保藏号	菌种平台资源编号
摩西球囊霉 <i>G. mosseae</i>	葱	BJ01	1511C0001BGCAM0010
根内球囊霉 <i>G. intraradices</i>	番茄	BJ09	1511C0001BGCAM0042
幼套球囊霉 <i>G. etunicatum</i>	水稻	XJ03C	1511C0001BGCAM0018

供试病原菌为分离自茅苍术根腐病病株的主要病原菌之一的茄病镰刀菌 (*Fusarium solani*), GenBank 登录号为 MW227308。

培养基质为灭菌后的土沙混合物, 土沙比为 1 : 2。沙为过 2 mm 筛的粗沙, 土为田园土 (全氮 0.574 g·kg⁻¹, 全磷 0.172 g·kg⁻¹, 全钾 16.1 g·kg⁻¹, 有机质 7.75 g·kg⁻¹, pH 为 6.15), 土经晒干锤细过 2 mm 筛, 与沙混匀后灭菌, 备用。

1.2 方法

1.2.1 茅苍术种子无菌实生苗培育 2019 年 4 月, 在重庆市南川区三泉镇沙子坝选择半阴半阳荒坡沙壤土地进行播种。提前将土壤基质用 1% 甲醛溶液喷

洒均匀, 覆膜熏蒸 10 d, 于晴天揭开薄膜, 土壤基质晾晒至无甲醛味为止。播种前均匀撒施适量磷肥作为底肥, 将土壤翻匀, 欠细, 顺坡开厢, 厢面 80 cm。茅苍术种子播种前用 0.1% 的升汞浸泡 10 min, 再用无菌水清洗 5 次, 将灭过菌的种子撒播于彼此隔离的灭菌土壤基质中, 出苗后适时除草, 常规管理, 备用。

1.2.2 试验设计 2020 年 4 月在重庆市药物种植研究所温室进行盆栽试验, 选取长势良好且一致的 1 年生茅苍术苗进行, 茅苍术苗剪去多余的根系, 仅保留 2 cm 长, 并用多菌灵 800 倍液浸泡 30 min, 栽植到长方形花盆 (长 60 cm × 宽 34 cm × 高 18.5 cm) 中, 基质和其他材料器具提前经灭菌处理, 备用。共

设4个组：以不接种任何AMF的处理组作为对照记为CK；处理组分别接种3种AMF（包括*G. mosseae*、*G. intraradices*和*G. etunicatum*），分别记为Gm、Gi和Ge，每个组5个重复，每个重复20株茅苍术苗。移栽时先在花盆中装略低于2/3高度的土沙基质，均匀将50g菌剂撒于表面，再将茅苍术苗栽在菌剂表面，继续加入适量的土沙基质，覆盖住茅苍术苗的根系，浇足定根水。各处理组管理一致，每盆每个月浇1次微量水溶肥（含N、P、K和微量元素）1000倍液500mL，天气较干热时需随时观察基质表面，若太干要注意及时浇水，避免茅苍术苗缺水死亡。

8个月后各组选取生长良好的茅苍术苗进行病原菌接种，接种前记为P⁻，接种后记为P⁺，每个处理组3个重复，每个重复15株茅苍术苗。病原菌*F. solani*提前进行液体培养备用，接种时稀释为约1×10⁷个·mL⁻¹备用。接种时剪掉多余的根系，仅留5cm长，然后置于液体菌剂中静置15min，再回栽到圆形花盆（底径13.5cm×高18.5cm×口径20cm）中，浇50mL液体菌剂在根周围，最后覆土沙基质，浇适量定根水。

1.2.3 测定项目与方法 接种病原菌前随机取样进行各项基本生长指标检测，包括菌根侵染率、株高、叶片数、叶面积、根茎鲜重和干重等，分析AMF对茅苍术生长的影响。叶面积使用CID Bio-Science叶面积仪（CI-203）进行扫描，菌根侵染率采用墨水醋染色法测定^[1]，菌根依赖性计算参照Menge等^[2]的方法。

菌根侵染率=(0×根段数+10×根段数+20×根段数+30×根段数+...+100×根段数)/观察总根段数×100%

菌根依赖性(MD)=菌根苗营养生长量/对照茅苍术苗生长量×100%

各处理组于接种病原菌前和接种7d后，分别取根样检测几丁质酶(chitinase)、苯丙氨酸解氨酶(PAL)和β-1,3-葡聚糖酶(β-1,3-glucanase)活性，3种酶活性均使用酶检测试剂盒（上海泛柯实业有限公司）进行测定。1个月后统计病死率、发病率

和病情指数。

病死率/%=病死植株/总株数×100%

发病率/%=发病植株/总株数×100%

病情指数 = $\frac{\sum(\text{各级病情等级株数} \times \text{相应的病情等级})}{\text{调查总株数} \times \text{病情最高级代表值}} \times 100$

防治效果/% = $\frac{\text{对照组病情指数} - \text{处理组病情指数}}{\text{对照组病情指数}} \times 100$

1.2.4 数据统计分析 采用Excel、Graphad Prism 7等软件进行数据统计分析和作图。

2 结果与分析

2.1 不同AMF对茅苍术苗根系的侵染能力

茅苍术苗接种病原菌前，接种Gm、Gi和Ge的菌根侵染率分别为60.44%、52.33%和55.89%，对照组未检测到AMF侵染（表2）。3种AMF对茅苍术根系的侵染能力不同，说明AMF与茅苍术之间有一定的偏好性，具体侵染情况见图1。

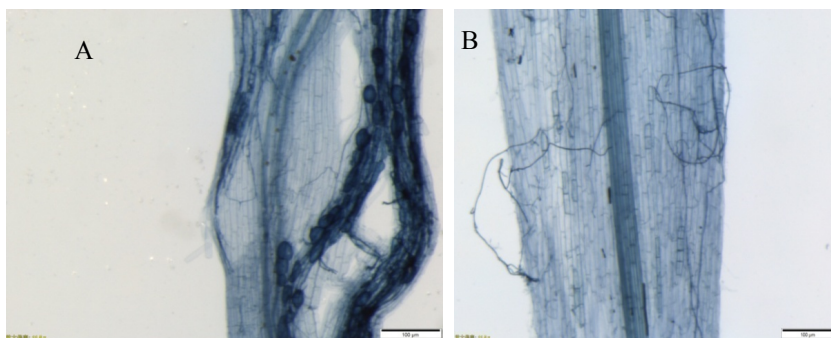
表2 丛枝菌根真菌对茅苍术菌根侵染率

项目	CK	Gm	Gi	Ge
侵染率/%	0 ^a	60.44±2.50 ^b	52.33±2.65 ^b	55.89±3.02 ^b

注：表中数据为平均值±标准差，各行（列）数值后字母不同表示组间差异显著（*P*<0.05，*n*=3）。下同。

2.2 不同AMF对茅苍术苗营养生长的影响

由表3可知，接种Gm菌株的处理组株高、茎基粗、芽点个数、叶片数和最大根系长均显著高于对照组（*P*<0.05），其叶面积略高于对照组，但差异不显著（*P*<0.05）。接种Gi菌株的处理组各项营养生长形态指标均显著高于对照组（*P*<0.05）；而Ge组的株高、茎基粗、芽点个数、叶面积、叶片数和最大根系长与对照组相比，分别增加了37.85%、37.60%、114.29%、58.35%、73.79%和85.80%。说明接种3种AMF总体上提高了茅苍术苗的生长形态指标，以Ge促进效果最为显著，其次为Gi和Gm。



A. 泡囊；B. 菌丝。

图1 茅苍术根系AMF侵染情况

Figure 1 The infection of AMF in roots of *A. lancea* (Thunb.) DC.

表 3 接种病原菌前 AMF 对茅苍术苗生长的影响

Table 3 Effects of AMF on the growth of *A. lancea* (Thunb.) DC. seedlings before infection with *F. solani*

处理	株高/cm	茎基粗/mm	芽点个数/个	叶面积/cm ²	叶片数/片	最大根系长/cm
CK	20.00±0.44 ^c	1.25±0.13 ^b	1.40±0.55 ^b	7.90±1.47 ^b	7.67±0.58 ^b	12.18±1.61 ^b
Gm	25.27±1.31 ^b	1.58±0.23 ^a	2.80±1.10 ^a	9.95±1.16 ^b	11.33±1.54 ^a	22.08±3.73 ^a
Gi	24.60±0.89 ^b	1.76±0.21 ^a	3.20±1.64 ^a	11.30±2.33 ^a	11.67±0.58 ^a	21.35±2.35 ^a
Ge	27.57±0.71 ^{ba}	1.72±0.13 ^a	3.00±0.71 ^a	12.51±3.03 ^a	13.33±0.58 ^a	22.63±2.74 ^a

表 4 3 种 AMF 对茅苍术苗生长质量指标的影响

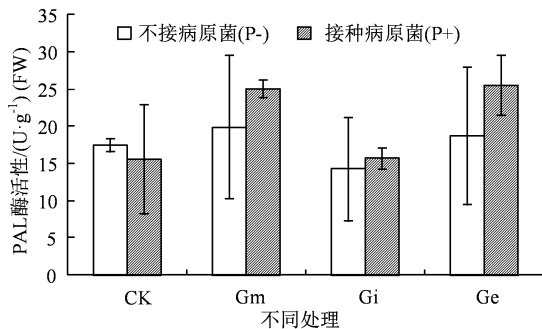
Table 4 Effects of three AMF on growth indexes of *A. lancea* (Thunb.) DC. seedlings

指标	CK	Gm	Gi	Ge
地下部分鲜重/g	2.32 ± 0.41 ^a	6.04 ± 2.28 ^b	3.83 ± 0.51 ^{ab}	4.06 ± 0.99 ^b
菌根依赖性 (MD) /%	/	260.34	165.09	175.00
地下部分干重/g	0.55 ± 0.07 ^b	1.57 ± 0.71 ^a	0.88 ± 0.21 ^b	0.89 ± 0.23 ^b
菌根依赖性 (MD) /%	/	285.45	160.00	161.82

表 5 接种病原菌后茅苍术根腐病的发病情况及 AMF 防治效果

Table 5 Incidence of root rot of *A. lancea* (Thunb.) DC. after inoculation with pathogens and the control effect of AMF

处理	发病率/%	病情指数	防治效果/%
CK	66.67±5.77 ^a	52.96±5.70 ^a	/
Gm	43.33±5.77 ^b	24.81±2.80 ^{bc}	53.15
Gi	56.67±5.77 ^{ab}	34.44±5.77 ^b	34.97
Ge	43.33±5.77 ^b	19.62±3.57 ^c	62.94

图 2 接种 AMF 和病原菌对茅苍术根系 PAL 酶活性的影响
Figure 2 Effects of AMF and pathogenic on PAL enzyme activity in roots of *A. lancea* (Thunb.) DC.

如表 4 所示, 与对照相比, 3 种 AMF 处理组茅苍术苗的地下部分鲜重和干重均显著高于对照组, 表明接种 3 种 AMF 均能提高茅苍术苗地下部分质量, 其中 Gm 效果最佳, 其次为 Ge 和 Gi。茅苍术苗地下部分鲜重和干重对 Gm 的菌根依赖性分别达 260.34% 和 285.45%, 这与菌根侵染率的规律一致, 表明 AMF 很可能是通过菌根结构促进了茅苍术的生长。结果表明 Gm 对茅苍术苗地下部分物质积累促进作用更大。

2.3 AMF 对茅苍术苗根腐病发生情况的影响

由表 5 可知, 接种 *F. solani* 1 个月未接种 AMF 的 CK 组根腐病发病率最高, 达 66.67%; 而接种 Gm、Gi 和 Ge 的处理组均在一定程度上降低了茅苍术根腐病的发病率和病情指数。其中 Gm 和 Ge 组

根腐病的发病率降低了 35.01%, 且与 CK 间差异显著 ($P < 0.05$); Gi 组发病率降低了 15.00%, 但未达显著性差异 ($P < 0.05$)。表 5 还显示了 CK 组的病情指数最高, 为 52.96; 接种 Gm、Gi 和 Ge 均降低了茅苍术根腐病的病情指数, 且均达到显著性差异 ($P < 0.05$), 病情指数由低到高依次为 $Ge < Gm < Gi$ 。3 种 AMF 对茅苍术苗根腐病均有一定的防治效果, 其中 *Gmosseae* 和 *Getunicatum* 防治效果较好, 防效均大于 50%, 其次为 *Gintraradices*。

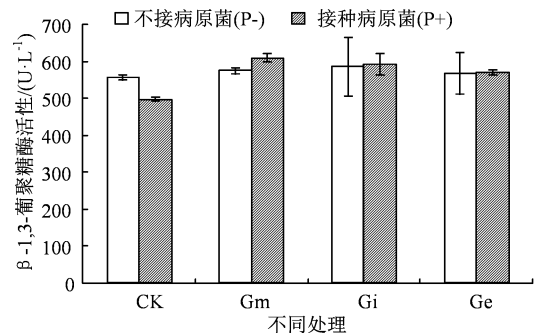


图 3 接种 AMF 和病原菌对茅苍术根系 β-1,3-葡聚糖酶活性的影响

Figure 3 Effects of AMF and pathogenic on β-1,3-glucanase enzyme activity in roots of *A. lancea* (Thunb.) DC.

2.4 AMF 对茅苍术根系抗病相关酶活性的影响

各试验组茅苍术接种病原菌前后根系抗病相关酶活性的变化见图 2、图 3 和图 4。由图 2 可知, 接种病原菌前 Gm 和 Ge 组的茅苍术根系 PAL 酶活性

略高于对照组, Gi 组的茅苍术根系 PAL 酶活性略低于对照组, 但各处理组间 PAL 酶活性差异不显著 ($P < 0.05$)。接种病原菌 7 d 后对照组 PAL 酶活性降低, 而 Gm、Gi 和 Ge 处理组接种病原菌后 PAL 酶活性均升高, PAL 酶活性 $Gm > Ge > Gi > CK$, 其中 Gm 组 PAL 酶活性显著高于对照组 ($P < 0.05$)。说明接种 AMF 能提高茅苍术苗根系的 PAL 酶活性。

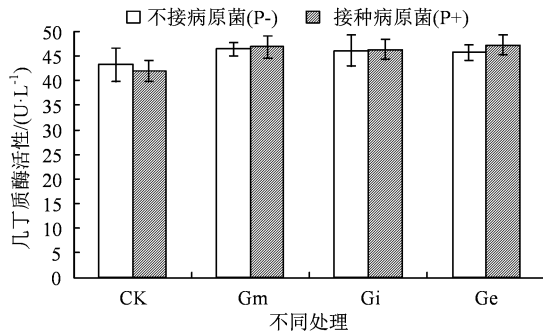


图 4 接种 AMF 和病原菌对茅苍术根系几丁质酶活性的影响
Figure 4 Effects of AMF and pathogenic on chitinase enzyme activity in roots of *A. lancea* (Thunb.) DC.

图 3 表明, 接种病原菌前 Gm、Gi 和 Ge 组的茅苍术根系 β -1,3-葡聚糖酶活性均略高于对照组, 但各处理组间 β -1,3-葡聚糖酶活性差异不显著 ($P < 0.05$)。接种病原菌 7 d 后对照组 β -1,3-葡聚糖酶活性低于接种前, 而 Gm、Gi 和 Ge 处理组接种病原菌后 PAL 酶活性均高于接种病原菌前, 且显著高于对照组 ($P < 0.05$)。说明接种 AMF 能提高茅苍术苗根系的 β -1,3-葡聚糖酶活性。

由图 4 可知, 接种病原菌前 Gm、Gi 和 Ge 组的茅苍术根系几丁质酶活性均略高于对照组, 但各处理组间几丁质酶活性差异不显著。接种病原菌 7 d 后对照组几丁质酶活性降低, 而 Gm、Gi 和 Ge 处理组接种病原菌后 PAL 酶活性均较接病原菌前升高, 且显著高于对照组。说明接种 AMF 能提高茅苍术苗根系的几丁质酶活性。

3 讨论

3.1 AMF 与茅苍术根系共生良好且具有一定的偏好性

前期研究发现茅苍术根际土壤中 AMF 资源丰富, 其中 *Glomus* 为优势属^[13]。本研究从 *Glomus* 属中选择在其他植物上已表现出良好共生效应的 3 种 AMF, 研究其与茅苍术间的共生情况。结果表明 *G. mosseae*、*G. intraradices* 和 *G. etunicatum* 对茅苍术均表现出了较高的侵染水平。杨光等报道不同的 AMF 对同一药用植物间侵染差异较大^[14], 与之研究

结论一致, 本试验结果也表明不同的 AMF 与茅苍术根系间的共生存在差异, 3 种 AMF 对茅苍术根系的侵染率为 $G. mosseae > G. etunicatum > G. intraradices$ 。因此, 如若仅考虑共生亲和性, *G. mosseae* 更适合作为茅苍术栽培的接种菌剂, 这与郭兰萍^[9]、梁雪飞^[10] 等的研究结论一致, 说明 *G. mosseae* 与茅苍术根系共生的偏好性是普遍存在的。但在实际生产中, 不同的环境下 AMF 与茅苍术的共生效应是否一致, 有待进一步研究。

3.2 AMF 对茅苍术营养生长的促进作用

大量研究已证实 AMF 能促进其宿主植物的营养生长^[9-10,15-16], 前人初步研究^[10]已发现茅苍术对 AMF 有很高的菌根依赖性, 接种摩西球囊霉 (*G. mosseae*) 可以促进苍术根系对土壤养分的吸收, 提高苍术根际土壤微生物的多样性及代谢活性, 促进苍术的营养生长和苍术苗挥发油的积累。本研究通过给 1 年生茅苍术种子苗分别接种 *G. mosseae*、*G. intraradices* 和 *G. etunicatum* 3 种 AMF, 研究其对茅苍术苗生长的影响, 发现 3 种 AMF 均能很好地侵染其根系, 形成菌根。3 种 AMF 均能显著提高茅苍术苗的株高、茎基粗、芽点个数、叶面积、叶片数和最大根系长, 促进其营养生长, 增加地下部分的鲜重和干重。究其原因, 可能是由于 AMF 能以其庞大的菌丝网络系统将植物与土壤有机地联合起来, 促进植物对矿质营养和水的吸收, 增强植物体内的代谢活动, 这与前人研究结论一致。本试验结果表明, AMF 对茅苍术苗有较好的促生效应, 其中 *G. mosseae* 和 *G. etunicatum* 的对茅苍术的促生效果优于 *G. intraradices*。

3.3 AMF 对茅苍术根腐病发生及抗病相关酶活性的影响

AMF 是陆地生态系统中的关键微生物之一, 已有研究表明 AMF 在抗植物土传病害方面具有很大的潜力, 前提是病原物入侵之前 AMF 与植物间已形成菌根并发育良好^[17]。郭开发等^[18]报道摩西球囊霉可有效地防治番茄根腐病, 具有较好的应用前景。本试验以分别接种 *G. mosseae*、*G. intraradices*、*G. etunicatum* 的菌根苗和不接种 AMF 的茅苍术为材料, 研究 AMF 对茅苍术苗根腐病的抗病潜力, 结果发现 3 种 AMF 对茅苍术苗根腐病均有一定的防治效果。与对照组相比, *G. mosseae* 和 *G. etunicatum* 均能显著降低茅苍术苗根腐病的发病率、病死率和病情指数, 防效分别为 53.15%和 62.91%; 而接种 *G. intraradices* 防治效果一般, 防效为 34.97%。

前人的研究^[17]表明 AMF 能激活植物的防御反

应来抵抗病原物的进攻, 包括苯丙氨酸解氨酶 (PAL)、 β -1,3-葡聚糖酶和几丁质酶等。这 3 种酶均是植物抗病相关的防御酶, 其中苯丙氨酸解氨酶 (PAL) 是植物次生代谢, 特别是本丙烷途径的关键酶和限速酶; 而几丁质酶和 β -1,3-葡聚糖酶能通过水解真菌细胞壁, 抑制病原物的生长。杨立研究发现, 双接种 AMF 和病原菌能显著提高丹参 PAL、几丁质酶和 β -1,3-葡聚糖酶活性^[19]。王倡宪等^[20]也发现 *G. versiforme* 和 *G. intraradices* 能诱导几丁质酶、 β -1,3-葡聚糖酶和几丁质酶活性, 从而减轻黄瓜苗期由 *Fusarium oxysporum* 引起的枯萎病。与之结论一致, 本试验结果表明, 当受到病原菌侵染时, 接种 *G. mosseae*、*G. intraradices* 和 *G. etunicatum* 的茅苍术菌根苗 PAL、 β -1,3-葡聚糖酶和几丁质酶活性显著提高。接种病原菌 7 d 时, 茅苍术菌根苗的 3 种酶活性均高于接种前, 而对照组的非菌根苗的酶活性低于接种病原菌前。这可能是由于非菌根苗受到 *F. solani* 侵入后不断生长, 逐步侵染到维管柱中, 破坏了茅苍术根系的防御体系, 而导致的防御酶活性下降; 而菌根苗受到 *F. solani* 入侵时, AMF 激发其根系的防御反应, 如几丁质酶和 β -1,3-葡聚糖酶活性的增强, 将病原菌菌丝逐步瓦解在表皮和皮层组织, 从而减轻根腐病的发生和发病程度^[17]。

4 结论

G. mosseae、*G. intraradices* 和 *G. etunicatum* 对茅苍术苗根腐病均有一定的防效。苗期接种 AMF 可显著促进茅苍术苗的营养生长和地下部分的物质积累, 与非菌根化苗相比, 接种 *F. solani* 7 d 后, 菌根化苗根系 PAL、几丁质酶和 β -1,3-葡聚糖酶活性显著高于对照, 说明 AMF 在一定程度上提高了茅苍术幼苗的抗病性, 即 AMF 对茅苍术根腐病有一定的抗病潜力。但不同的 AMF 防治效果不同, 以 *G. etunicatum* 和 *G. mosseae* 对茅苍术苗根腐病的抗病效果较好, 而 *G. intraradices* 防治效果不显著。因此, 今后可将 *G. etunicatum* 和 *G. mosseae* 可作为茅苍术根腐病防治的备选生物菌剂, 进行更深入的研究与应用。

参考文献:

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典-一部: 2020 年版分辑号: 一部[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2020: 168.
- [2] 贺善安, 贺慧生, 吕晔, 等. 茅苍术资源的保护和利用

- [J]. 植物资源与环境, 1993, 2(1): 1-6.
- [3] 唐贵婷, 蒋欢, 苏宇, 等. 重庆南苍术根腐病原鉴定[J]. 植物病理学报, 2021, 51(4): 641-645.
- [4] 王铁霖, 郭兰萍, 张燕, 等. 苍术常见病害的病原、发病规律及综合防治[J]. 中国中药杂志, 2016, 41(13): 2411-2415.
- [5] TRESEDER K K. The extent of mycorrhizal colonization of roots and its influence on plant growth and phosphorus content[J]. Plant Soil, 2013, 371(1/2): 1-13.
- [6] 唐许, 刘代军, 涂波, 等. 菌根系的促生效应及耐旱生理生化机制分析[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2013, 35(8): 19-26.
- [7] 曹敏, 余米, 卢敏, 等. 菌根桑苗在石漠化和消落带地区逆境胁迫下的生态适应性[J]. 蚕业科学, 2017, 43(2): 189-195.
- [8] 刘润进, 陈应龙. 菌根学[M]. 北京: 科学出版社, 2007: 304-305.
- [9] 郭兰萍, 汪洪钢, 黄璐琦, 等. 泡囊丛枝菌根(AM)对苍术生长发育及挥发油成分的影响[J]. 中国中药杂志, 2006, 31(18): 1491-1496.
- [10] 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.
- [11] 王幼珊, 张淑彬, 张美庆. 中国丛枝菌根真菌资源与种质资源[M]. 北京: 中国农业出版社, 2012: 166-168.
- [12] MENGE J A, JOHNSON E L V, PLATT R G. Mycorrhizal dependency of several *Citrus* cultivars under three nutrient regimes[J]. New Phytol, 1978, 81(3): 553-559.
- [13] 曹敏, 胡开治, 刘燕琴, 等. 高通量测序分析重庆地区茅苍术根际丛枝菌根真菌多样性[J]. 微生物学通报, 2020, 47(9): 2877-2886.
- [14] 杨光, 郭兰萍, 郭晓恒, 等. 药用植物与丛枝菌根真菌的选择性侵染研究[J]. 中国中医药信息杂志, 2012, 19(1): 53-55.
- [15] 许凌峰, 黄艳萍, 郭冬琴, 等. 菌根真菌与不同苗龄滇重楼幼苗的共生效应[J]. 西南农业学报, 2021, 34(7): 1444-1450.
- [16] 李文彬, 卢文倩, 谢佳委, 等. 丛枝菌根真菌对郁金香生长及其切花生理的影响[J]. 菌物学报, 2018, 37(4): 456-465.
- [17] 李海燕, 刘润进, 束怀瑞. 丛枝菌根真菌提高植物抗病性的作用机制[J]. 菌物系统, 2001, 20(3): 435-439.
- [18] 郭开发, 王斌, 王志霞, 等. 两株 AM 真菌防治加工番茄根腐病的研究[J]. 新疆农业科学, 2012, 49(8): 1427-1433.
- [19] 杨立. 丛枝菌根真菌对丹参根部病害的抗病性及其机理研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2012.
- [20] 王倡宪, 李晓林, 宋福强, 等. 两种丛枝菌根真菌对黄瓜苗期枯萎病的防效及根系抗病相关酶活性的影响[J]. 中国生态农业学报, 2012, 20(1): 53-57.