

DOI: 10.12101/j.issn.1004-390X(n).201801025

幼套球囊霉接种量对紫茎泽兰生长的影响*

李 胜¹, 姜丽娜¹, 宋洁蕾¹, 张顺杰¹, 吴华英², 桂富荣^{1,2,3**}

(1. 云南农业大学 植物保护学院, 云南省生物资源保护与利用国家重点实验室, 云南 昆明 650201;

2. 云南农业大学 科技管理处, 云南 昆明 650201;

3. 云南省高原特色农业产业研究院, 云南 昆明 650201)

摘要:【目的】探讨幼套球囊霉的不同接种量对紫茎泽兰各生长指标的影响, 并对比其菌根依赖性, 为利用不同途径防控紫茎泽兰提供参考。【方法】采用盆栽法, 以无菌剂盆栽为对照, 通过在灭菌土中接种不同剂量的幼套球囊霉(每株 5、10 和 15 g), 研究其对紫茎泽兰幼苗生长的影响。【结果】紫茎泽兰的菌根侵染率随接种量的增加而增大, 当单株接种量为 15 g 时, 侵染率最大, 达 80.16%; 接种幼套球囊霉可显著提高紫茎泽兰的生长速率, 其作用效果与接种时长和接种量有关, 当接种时长为 2 个月时, 单株接种量为 10 g 的紫茎泽兰生长速率最快, 为 0.61 cm/d。幼套球囊霉对紫茎泽兰生长的促进作用随接种量的增加而增强。与单株接种 5 g 相比, 单株接种 15 g 的紫茎泽兰株高增加 22.63%、叶总面积增加 61.29%、总根长增加 27.44%、总生物量增加 74.13%、茎生物量比增加 15.79%, 而根冠比、根生物量比则分别下降 39.42%、24.73%。紫茎泽兰对幼套球囊霉的菌根依赖性随接种量的增加而增强, 当单株接种量为 15 g 时菌根依赖性高达 510.21%。【结论】接种幼套球囊霉可以显著调节紫茎泽兰生物量的分配并促进其生长。

关键词: 幼套球囊霉; 丛枝菌根真菌; 接种量; 紫茎泽兰

中图分类号: S 451.1

文献标识码: A

文章编号: 1004-390X (2019) 02-0193-07

Effects of Arbuscular Mycorrhizal Fungi, *Glomus etunicatum* Inoculation and Different Inoculum Concentrations on the Growth of *Ageratina adenophora* Sprengel

LI Sheng¹, JIANG Lina¹, SONG Jielei¹, ZHANG Shunjie¹, WU Huaying², GUI Furong^{1,2,3}

(1. State Key Laboratory of Conservation and Utilization of Biological Resources of Yunnan, College of Plant

Protection, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China; 2. Division of Science & Technology,

Yunnan Agricultural University, Kunming 650201, China; 3. Yunnan Plateau Characteristic

Agriculture Industry Research Institute, Kunming 650201, China)

Abstract: [Purpose] To investigate the effects of different inoculum concentrations on the growth of *Ageratina adenophora* Sprengel, and compare the mycorrhizal dependency, which would provide essential information of using different methods for *A. adenophora* prevention and controlling. [Method] Seedlings of *A. adenophora* were planted in pots with sterilized soil and three inoculum concentra-

收稿日期: 2018-01-17

修回日期: 2018-04-25

网络出版时间: 2019-01-23

*基金项目: 国家重点研发计划课题(2016YFC1202100); 国家自然科学基金(31660546); 云南省科技人才培养计划项目(2013HB072)。

作者简介: 李胜(1991—), 男, 河南驻马店人, 硕士研究生, 主要从事入侵生物防控研究。

E-mail: 949844735@qq.com

**通信作者 Corresponding author: 桂富荣(1973—), 男, 云南会泽人, 博士, 教授, 主要从事外来生物入侵研究。

E-mail: furongui18@sina.com

网络出版地址: [http://dx.doi.org/10.12101/j.issn.1004-390X\(n\).201801025](http://dx.doi.org/10.12101/j.issn.1004-390X(n).201801025)

tions (5, 10, and 15 g/plant) of *Glomus etunicatum* were inoculated. [Result] The mycorrhizal infection rate on *A. adenophora* increased with the increase of inoculum concentration. The infection rate was the highest at 80.16% when the inoculum concentration was 15 g/plant. Inoculation of *G. etunicatum* significantly increased the growth of *A. adenophora* which was related to both inoculum concentration and the duration of inoculation. After 2 months of inoculation, the highest growth rate was 0.61 cm/d with inoculum concentration of 10 g/plant. *G. etunicatum* improved the growth of *A. adenophora* with the inoculum concentration increased. The plant height increased by 22.63%, the total leaf area by 61.29%, the total root length by 27.44%, the total biomass increased by 74.13%, and the stem biomass increased by 15.79% at the inoculum concentration of 15 g/plant, while the ratio of root to shoot and root biomass decreased by 39.42% and 24.73% respectively, compared with at the concentration of 5 g/plant. The mycorrhizal dependence of *A. adenophora* on *G. etunicatum* was higher as the inoculum concentration increased. The mycorrhizal dependency was up to 510.21% at the inoculum concentration of 15 g/plant. [Conclusion] Inoculation of *G. etunicatum* significantly promoted the growth of *A. adenophora* through the biomass regulation.

Keywords: *Glomus etunicatum*; arbuscular mycorrhiza fungi; inoculant quantity; *Ageratina adenophora* Sprengel

紫茎泽兰 (*Ageratina adenophora* Sprengel) 为菊科泽兰属多年生丛生型植物, 原产于南美洲的墨西哥与哥斯达黎加地区^[1]。紫茎泽兰耐贫瘠, 可排挤入侵地植物并引起当地植物物种多样性和生态系统发生改变, 具有较强的竞争优势和扩张性^[2], 现已广泛分布于世界热带、亚热带等 30 多个国家和地区。自 20 世纪 40 年代由缅甸传入云南后, 在中国西南地区迅速蔓延, 现已在云南、贵州、广西等地广泛分布, 其所到之处侵占农田、林地, 危害牲畜, 极大地影响了当地农业、畜牧业的发展, 并造成了严重的经济损失, 是具有强危害能力的入侵性杂草^[1,3]。

紫茎泽兰在入侵地表现出的较强的竞争优势与其和当地土壤中丛枝菌根真菌 (arbuscular mycorrhizal fungi, AMF) 建立良好的共生关系有一定的联系^[4-5]。研究表明: AMF 侵染宿主植物根部后与植物的根系紧密结合, 在根皮层细胞内、外生长形成共生结构, 产生的外生菌丝可以扩大根系的吸收范围, 从而加快根系对土壤营养物质的吸收和运输, 并显著改善植物的营养状况, 增加光合作用效率, 改变光合产物的分配, 提高耐逆境胁迫力^[6-8]; AMF 与植物的共生关系还可以决定植物群落的组成、改变植物的种间竞争关系, 在植物种群建立与扩展、群落竞争与演替、群落结构格局和植物入侵过程中发挥着重要作

用^[9-10]。于文清等^[11]研究表明: 紫茎泽兰改变了入侵地土著丛枝菌根真菌群落结构, 并在其根围积累了球囊霉属丛枝菌根真菌, 促进了其自身的生长, 从而增强了其与伴生植物的竞争力; 王鹏鹏等^[12]研究表明: 接种丛枝菌根真菌与不接种相比可提高紫茎泽兰的光合生理能力; 李立青等^[13]研究表明: 丛枝菌根真菌可显著促进紫茎泽兰的生长并降低本地植物香茶菜在竞争中对菌根的依赖性, 从而提高紫茎泽兰对香茶菜的竞争优势度。

丛枝菌根真菌虽然对共生植物生长有利, 但却有一定的限度。已有研究表明: 接种菌根真菌较未接种植株可显著提高植株的综合生长指标, 当接种量超过最佳水平时, 对植物生长的作用效果反而会随之降低^[14-16]。已有研究结果显示: 通过施加杀真菌剂处理, 也可以显著降低入侵植物紫茎泽兰^[5]、黄顶菊^[17]等的菌根侵染率, 同时其植株生长和种间竞争能力也明显降低。另外, 关于紫茎泽兰与菌根共生关系的研究多集中于丛枝菌根真菌对紫茎泽兰生长、竞争力、抗胁迫力以及群落结构变化等影响的研究上, 而土壤中丛枝菌根真菌的数量对紫茎泽兰的是否有影响, 以及影响的程度尚未见报道。因此, 本研究采用盆栽接种方法, 通过测定分析紫茎泽兰形态分化、生物量等的指标, 探索丛枝菌根真菌接种量对紫茎泽兰生长的影响, 以期利用菌根控制技术防治

紫茎泽兰的方法提供参考。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试土壤: 土壤采自云南农业大学后山无紫茎泽兰和本地杂草生长的红壤土, 土壤自然风干后过 2 mm 网筛, 经高温高压灭菌 2 次 (温度: 121 ℃; 压力: 0.14 MPa; 时长: 2 h), 7 d 后, 取部分灭菌后的土壤测定基本理化性质为: 全氮、全磷和全钾含量分别为 0.34、1.08 和 5.42 g/kg, 碱解氮、速效磷、速效钾含量分别为 41.03、9.34 和 171.75 mg/kg, 有机质含量 8.73 g/kg, pH 6.25。另取建筑工地的河沙淘洗干净、烘干后, 采用高温高压灭菌 2 次 (温度: 121 ℃; 压力: 0.14 MPa; 时长: 2 h)。灭菌的红壤土与灭菌的河沙 2: 1(V/V) 混合后作为供试土备用。塑料花盆冲洗后, 用 75% 乙醇溶液浸泡消毒后备用。

供试菌种: 试验选用紫茎泽兰入侵点可分离到的丛枝菌根真菌——幼套球囊霉 (*Glomus etunicatum*)^[18], 购自武威市林业综合服务中心, 以玉米幼苗纯化、扩繁。

供试植株: 紫茎泽兰种子采自云南省昆明市盘龙区茨坝镇, 用 10% H₂O₂ 浸泡 10 min, 再用无菌水冲洗数遍沥干后备用。灭过菌的培养土装至花盆的 2/3 处, 将种子撒播于培养土表面, 再均匀覆盖 1 层 1 cm 的培养土, 苗期每隔 2 周浇 50% Hoagland 营养液 100 mL。接种试验时选用长势一致、株高约 10 cm 的紫茎泽兰无菌苗进行移栽, 每盆装入培养土 1 kg。

1.2 试验方法

1.2.1 试验设计

试验综合耿云芬等^[14]和熊炳全等^[16]的研究, 共设置 3 个丛枝菌根真菌单株接种量, 分别为 5、10 和 15 g, 每个处理有 6 个重复, 共接种 18 盆, 每盆移栽 1 株株高、长势一致的紫茎泽兰幼苗。对照为添加 5 g 灭菌的丛枝菌根真菌菌剂和经微孔无菌滤膜滤除真菌后的土壤细菌群落滤液 10 mL, 设置 6 个重复, 共 6 盆, 每盆移栽 1 株紫茎泽兰幼苗。移栽后的植株随机摆放于温室中, 每隔 1 周变化 1 次位置, 并补充 100 mL Hoagland 营养液, 每 3 d 浇 1 次无菌水。试验用塑料花盆上口内径 13.5 cm、盆底内径 9.5 cm、盆高 12 cm, 整个试验期间使用纱网笼罩, 防止虫害。

1.2.2 生长指标的测定

试验时间为 2017 年 7 月 8 日至 2017 年 10 月 9 日。接种后每 31 d 用直尺测量 1 次株高并记录, 连续记录 4 次。紫茎泽兰生物量的测定于 2017 年 10 月进行, 株高测量后从盆中完整地取出紫茎泽兰, 洗去根部泥土, 尽量减少细根的损失, 收获整株。分别取叶、茎和根并测定叶片厚度、叶片数、总叶面积、叶柄长、节间距、地径和根系形态学参数。各指标获取时称重使用电子天平 (精确度 0.001 g); 叶面积采用扫描像素法测定, 即用扫描仪 (中晶 V700, 分辨率 100 bpi) 扫描叶片后利用 Photoshop CS6 分析图片计算出叶面积并记录^[19-20]; 根系清洗后用根系扫描仪 (Epson7500, 分辨率 600 bpi) 对根系进行扫描, 扫描后保存图片, 采用 WinRhizo Program 分析根长、平均根直径、根体积、根表面积等形态学参数并记录。各指标获取后在 105 ℃ 下杀青处理 5 min, 置于 70 ℃ 烘箱 (上海一恒 DHG-9075A) 烘干 72 h 至恒重, 再分别测定叶、茎、根的干重, 计算生物量 (紫茎泽兰总干重)、根冠比 (root mass/crown mass, 根干重/地上部干重)、根生物量比 (root mass ratio, 根重/植株总重)、茎生物量比 (stem mass ratio, 茎重/植株总重) 和叶生物量比 (leaf mass ratio, 叶重/植株总重)。

1.2.3 菌根真菌侵染率的测定

每个处理随机剪取紫茎泽兰细根根段, 用酸性品红染色法染色后^[21], 平铺于划线培养皿中, 然后将培养皿放于 100 倍的解剖镜下观测, 使用交叉划线法统计菌根侵染率^[22]。计算公式如下:

$$\text{菌根侵染率}(\%) = \frac{\text{交叉点上的菌根数}}{\text{根段与线交叉点数}} \times 100\%。$$

1.2.4 菌根依赖性 MD 测定

菌根依赖性 (mycorrhizal dependency, MD) 是衡量某种植物对菌根依赖程度大小的指标, 也是衡量菌根真菌与植物共生效果及促生作用大小的标志之一, 因此, MD 数值越大说明植物对菌根的依赖性越强, 对植物的促生效果好。MD 计算公式为:

$$\text{MD} = \frac{\text{接种植株干重}}{\text{对照植株干重}} \times 100\%。$$

MD 可分为 3 个层次: MD<200% 时, 表示植物对菌根的依赖性较弱或没有依赖性; 300%>MD≥200% 时, 表示植物对菌根有中等强度的依

赖性; $MD \geq 300\%$ 时, 表明植物对菌根的依赖性较强^[23-24]。

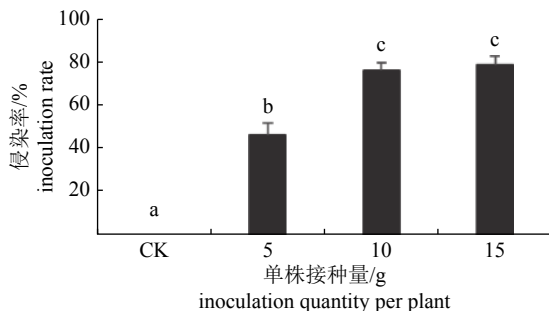
1.3 数据分析与处理

数据采用 SPSS 17.0 软件进行单因素方差分析 (one-way ANOVA), 图表均采用 Microsoft Excel 2016 制作。

2 结果与分析

2.1 幼套球囊霉不同接种量对紫茎泽兰侵染率的影响

由图 1 可知: 幼套球囊霉对紫茎泽兰的侵染率随接种剂量的增加而增加。对照植株无幼套球囊霉丛枝菌根真菌的侵染; 当单株接种量为 5 g 时, 幼套球囊霉的侵染率为 47.55%, 与对照有显著性差异; 当单株接种量为 10 g 时, 幼套球囊霉的侵染率为 77.50%, 与单株接种 5 g 处理的植株菌根侵染率有显著性差异; 当单株接种量为 15 g 时, 幼套球囊霉的侵染率为 80.16%, 与单株接种量为 10 g 的侵染率无显著性差异。



注: 不同字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$); 下同。

Note: Different letters indicate significant difference among treatments ($P < 0.05$); the same as below.

图 1 幼套球囊霉不同接种量下的紫茎泽兰侵染率

Fig. 1 The infection rates of different inoculum concentrations of *G. etunicatum* on *A. adenophora*

2.2 幼套球囊霉不同接种量对紫茎泽兰茎叶生长的影响

由图 2 可知: 当接种时长为 1 个月时, 与对照相比, 试验组的紫茎泽兰生长速率均有增加, 但差异均不显著; 当接种时长为 2 个月时, 对照组生长速率较第 1 个月仅有稍微增长, 但试验组的生长速率均明显增加, 且显著高于对照, 其中单株接种量为 10 g 与 15 g 的生长速率较单株接种量为 5 g 的生长速率分别提高 35.33% 和 26.95%; 当接种时长为 3 个月时, 对照组与试验组的生长

速率均较第 2 个月明显降低, 但试验组各植株的生长速率仍显著高于对照, 单株接种量为 10 g 与 15 g 的生长速率分别比单株接种量为 5 g 的生长速率增加 26.95% 和 29.89%, 后者与其差异达到显著性水平。由此可见, 接种幼套球囊霉真菌可显著提高紫茎泽兰的生长速率 ($P < 0.05$), 其作用效果与接种时长和接种量有关, 在一定范围内, 其生长速率随接种量的增加而加快。

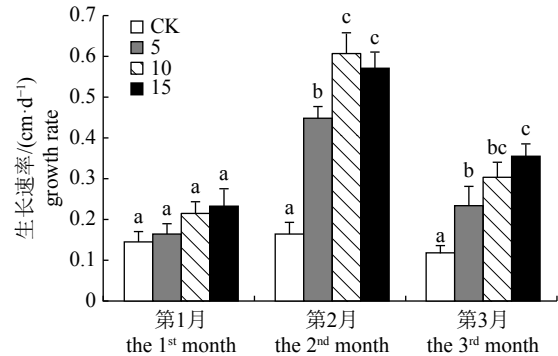


图 2 幼套球囊霉不同接种量处理下的紫茎泽兰生长速率

Fig. 2 The growth rate of *A. adenophora* seedlings under different inoculum concentrations of *G. etunicatum*

接种幼套球囊霉对紫茎泽兰的茎叶生长具有促进作用 (表 1)。与对照相比, 试验组紫茎泽兰植株各茎叶生长指标均显著增加 ($P < 0.05$); 其中, 紫茎泽兰的节间距、叶柄长度、叶片厚度和分枝数虽然随着幼套球囊霉接种量的增加而增加, 但不同接种量间差异不显著 ($P > 0.05$); 当单株接种量为 15 g 时, 紫茎泽兰的株高、叶总面积和叶片数较单株接种量为 5 g 的植株分别增加了 22.63%、61.49% 和 49.78% ($P < 0.05$), 其地径虽有所增粗, 但差异不显著。

2.3 幼套球囊霉不同接种量对紫茎泽兰根系生长的影响

由表 2 可知: 接种不同量幼套球囊霉的紫茎泽兰总根长、根系表面积、根系体积以及根尖数均随着幼套球囊霉接种量的增加而增加, 且与对照的差异达到显著性水平 ($P < 0.05$), 根直径均与对照基本一致, 无显著差异。试验组中, 单株接种量为 15 g 的紫茎泽兰植株总根长、根系表面积、根系体积与单株接种量为 10 g 的相应指标差异不显著, 但与单株接种量为 5 g 的植株相应指标分别显著地增加了 27.44%, 30.38%, 33.65%。不同接种量的紫茎泽兰根尖数虽逐次递增, 但差异不显著 ($P > 0.05$)。

表 1 幼套球囊霉不同接种量对紫茎泽兰茎叶生长的影响 (mean±SE)

生长指标 growth indexes	单株接种量/g inoculation quantity per plant			
	CK	5	10	15
株高/cm height	25.08±1.39 a	39.48±2.30 b	45.00±2.59 bc	48.42±1.91 c
节间距/cm internodal distance	1.95±0.23 a	4.08±0.57 b	5.14±0.43 b	5.30±0.43 b
叶柄长度/cm petiole length	1.68±0.07 a	2.49±0.19 b	2.84±0.14 b	2.84±0.12 b
叶片厚度/mm leaf thickness	0.27±0.02 a	0.45±0.03 b	0.49±0.01 b	0.49±0.02 b
地径/mm ground diameter	2.68±0.08 a	3.65±0.30 b	4.69±0.14 c	4.31±0.34 bc
总叶面积/cm² total leaf area	117.32±9.94 a	351.27±38.20 b	508.97±37.88 c	567.16±37.70 c
叶片数 leaf numbers	11.67±0.76 a	37.17±6.01 b	39.50±4.46 b	55.67±5.74 c
分支数 tillers	1.00±0.00 a	5.83±1.42 b	6.67±1.09 b	8.17±1.08 b

注: 同一行不同小写字母表示不同接种量间差异显著 ($P<0.05$); 下同。
Note: Different letters on the same rows indicate significant difference among treatments ($P<0.05$); the same as below.

表 2 不同接种量处理的紫茎泽兰根系生长状况

根系 root system	单株接种量/g inoculum concentration per plant			
	CK	5	10	15
总根长/cm total root length	6 582.13±315.13 a	10 535.46±594.47 b	11 974.65±724.01 bc	13 426.72±1 071.82 c
根系表面积/cm² root area	635.73±24.51 a	1 005.40±59.00 b	1 172.05±74.34 bc	1 310.00±62.69 c
根系体积/cm³ root volume	4.90±0.15 a	7.69±0.49 b	9.27±0.64 bc	10.27±0.89 c
根直径/mm root diameter	0.31±0.00 a	0.30±0.00 a	0.31±0.01 a	0.31±0.00 a
根尖数 tips	34 856.67±1 980.32 a	58 938.83±3 844.29 b	66 661.83±5 440.01 b	77 386.50±12 023.74 b

2.4 幼套球囊霉不同接种量对紫茎泽兰生物量及分配的影响

由表 3 可知: 与对照相比, 接种幼套球囊霉可以显著增加紫茎泽兰的各生物量指标 ($P<0.05$)。

与单株接种量为 5 g 的紫茎泽兰相比, 当单株接种量为 10 g 和 15 g 时, 其地上生物量、地下生物量和总生物量分别显著增加了 63.40% 和 88.69%、20.38% 和 45.08%、49.03% 和 74.13%。

表 3 不同接种量处理的紫茎泽兰植株生物量及生物量分配状况

生物量/g biomass	单株接种量/g inoculum concentration per plant			
	CK	5	10	15
地上生物量/g shoot biomass	0.73±0.04 a	2.17±0.31 b	3.54±0.28 c	4.09±0.22 c
地下生物量/g root biomass	0.38±0.02 a	1.09±0.09 b	1.31±0.18 bc	1.58±0.17 c
总生物量/g total biomass	1.11±0.04 a	3.25±0.37 b	4.85±0.39 c	5.66±0.37 c
根冠比 root to crown ratio	0.533±0.04 a	0.534±0.06 a	0.372±0.04 b	0.383±0.03 b
叶生物量比 leaf mass ratio	0.339±0.023 a	0.276±0.018 b	0.270±0.016 b	0.285±0.005 b
根生物量比 root mass ratio	0.345±0.020 a	0.343±0.025 a	0.267±0.023 b	0.275±0.016 b
茎生物量比 stem mass ratio	0.32±0.02 a	0.38±0.02 b	0.46±0.01 c	0.44±0.01 c
菌根依赖性/% mycorrhizal dependency	—	293.01±33.69 a	436.68±35.27 b	510.21±33.58 b

但接种幼套球囊霉对紫茎泽兰生物量分配比的影响则各有不同。与对照相比, 接种幼套球囊霉后紫茎泽兰植株的根冠比、叶生物量比、根生物量比均有所降低, 而茎生物量比则显著上升,

当单株接种量为 15 g 时其下降或上升的趋势与单株接种量为 10 g 的植株相比稍有缓和但与对照之间仍有显著性差异。单株接种量为 5 g 的紫茎泽兰根冠比和根生物量比与对照无显著性差异, 但

显著高于单株接种量为 10 g 与 15 g, 其中, 根冠比分别显著高了 43.66%、39.48%; 根生物量比分别显著高了 28.40%、24.78%。单株接种量为 5 g 的紫茎泽兰叶生物量比与对照相比显著降低 ($P<0.05$)。当单株接种量为 10 g 时紫茎泽兰的茎生物量比最高, 较对照和单株接种量为 5 g 分别显著增加了 46.36% 和 21.52% ($P<0.05$), 而与单株接种量为 15 g 之间差异不显著 ($P>0.05$)。

同时, 紫茎泽兰对幼套球囊霉不同接种量均表现一定的依赖性。随着接种量的增加, 其菌根依赖性增强, 当单株接种量为 15 g 时菌根依赖性高达 510.21%。

3 讨论

紫茎泽兰属于菌根依赖性植株, 本研究结果表明: 幼套球囊霉对紫茎泽兰的侵染率随着接种量的增加而增大。当单株接种量为 15 g 时, 侵染率达到最高为 80.16%。在本研究中, 接种幼套球囊霉显著提高了紫茎泽兰的生长速率, 在一定范围内, 其生长速率随接种量的增加而加快。有研究表明: 紫茎泽兰生长较快的时期是在每年的 6—8 月, 进入 9 月后紫茎泽兰的株高生长降低^[25-26]。本研究也显示: 接种第 2 个月时 (8 月) 的生长速率最快, 进入第 3 个月 (9 月) 其生长速率下降。这可能与紫茎泽兰的生长周期有关, 也可能与外界气温下降导致幼套球囊霉的活性降低以至于作用效果下降有关, 其具体原因还有待进一步研究。

本研究表明: 与对照相比, 接种幼套球囊霉可以显著提高紫茎泽兰茎、叶、根的各生长指标, 这说明接种丛枝菌根真菌可以促进紫茎泽兰的生长, 该结论与王鹏鹏等^[12]的研究结果一致, 而本研究通过施加不同剂量的幼套球囊霉, 进一步研究了土壤中初始丛枝菌根真菌含量对紫茎泽兰生长的影响。研究结果显示: 丛枝菌根真菌的促进作用随着幼套球囊霉接种量的增加而增大。当单株接种量为 15 g 时, 紫茎泽兰的株高、叶总面积、分支数、根系体积等分别达到了 48.42 cm、567.16 cm²、8.17 个、10.27 cm³ 等, 与对照相比差异显著。但接种幼套球囊霉对紫茎泽兰生物量分配比的影响则各有不同, 与对照相比, 接种幼套球囊霉后紫茎泽兰植株的根冠比、叶生物量比、根生物量比均呈整体下降趋势, 而茎生物量比则显著增加。该结果与王进^[27]、甄莉娜等^[28]的

研究结果相似。幼套球囊霉不同接种量对紫茎泽兰生物量分配有一定的影响。低单株接种量 (5 g) 时, 紫茎泽兰植株与对照一样仍需将较多的生物量分配到根系以获取营养; 当单株接种量增加后 (10 g 或 15 g), 紫茎泽兰植株就可以将更多的生物量用来增加分支数及茎的生长。这说明紫茎泽兰在不同菌种量的生境下表现出了不同的生长状况, 这可能与紫茎泽兰具有较强的表型可塑性有关^[29]。表型可塑性是同一基因不同环境条件下产生不同表型的特性, 表型可塑性强的植物能通过改变其形态、生长、生物量分配和生理特性增加对各种资源的获得、占据多样的生境^[26]。不同菌种量对紫茎泽兰表现型的作用机制及接种量与其表型可塑性的相关性如何则有待进一步研究。

紫茎泽兰与菌根真菌拥有良好的共生关系, 进而能够通过改变入侵地的土壤微生物群落结构以增加土壤中丛枝菌根真菌的含量^[4, 11, 18], 从而促进其根茎的发育及分枝, 有助于其竞争、排除或取代原生植被, 构建自己的群落结构^[1]。本试验侧面反映了土壤中菌根真菌及其含量对紫茎泽兰的生长、形态分化及生物量积累有显著的影响, 土壤中菌根真菌的含量与紫茎泽兰各生物量比的相关性研究具有重要意义, 其相关程度与作用效应还有待深入探究。由此推测, 通过使用真菌杀菌剂降低土壤中丛枝菌根真菌含量, 可以达到降低紫茎泽兰的生长和竞争力的目的^[5], 因此, 杀菌剂处理对紫茎泽兰生长和竞争力的影响如何也具有研究的理论和实践意义。

[参考文献]

- [1] WAN F H, LIU W X, GUO J Y, et al. Invasive mechanism and control strategy of *Ageratina adenophora* (Sprengel)[J]. Science China Life Sciences, 2010, 53 (11): 1291. DOI: 10.1007/s11427-010-4080-7.
- [2] 宋红霞. 紫茎泽兰入侵对生物多样性及土壤养分的影响[J]. 广东农业科学, 2014, 41(18): 51. DOI: 10.16768/j.issn.1004-874x.2014.18.021.
- [3] 桂富荣, 蒋智林, 王瑞, 等. 外来入侵杂草紫茎泽兰的分布与区域减灾策略[J]. 广东农业科学, 2012, 39(13): 93. DOI: 10.16768/j.issn.1004-874x.2012.13.028.
- [4] 肖博, 周文, 刘万学, 等. 紫茎泽兰入侵地土壤微生物对紫茎泽兰和本地植物的反馈[J]. 中国农业科技导报, 2014, 16(4): 151. DOI: 10.13304/j.nykjdb.2014.069.
- [5] 李会娜, 刘万学, 万方浩. 杀真菌剂对入侵植物紫茎泽兰与伴生植物生长的反馈作用[J]. 中国农业科学, 2011, 44(11): 2269. DOI: 10.3864/j.issn.0578-1752.2011.11.008.

- [6] WU Q S, ZOU Y N, LIU W, et al. Alleviation of salt stress in citrus seedlings inoculated with mycorrhiza: changes in leaf antioxidant defense systems[J]. *Plant Soil and Environment*, 2010, 56(10): 470. DOI: [10.17221/54/2010-PSE](#).
- [7] LIU T, SHENG M, WANG C Y, et al. Impact of arbuscular mycorrhizal fungi on the growth, water status, and photosynthesis of hybrid poplar under drought stress and recovery[J]. *Photosynthetica*, 2015, 53(2): 250. DOI: [10.1007/s11099-015-0100-y](#).
- [8] 金樑, 赵洪, 李博. 我国菌根研究进展及展望[J]. *应用与环境生物学报*, 2004, 10(4): 515. DOI: [10.3321/j.issn:1006-687X.2004.04.027](#).
- [9] 季彦华, 刘万学, 刘润进, 等. 丛枝菌根真菌在外来植物入侵演替中的作用与机制[J]. *植物生理学报*, 2013, 49(10): 973. DOI: [10.13592/j.cnki.ppj.2013.10.001](#).
- [10] DEYN G B D, RAAIJMAKERS C E, VAN D P W H. Plant community development is affected by nutrients and soil biota[J]. *Journal of Ecology*, 2010, 92(5): 824. DOI: [10.1111/j.0022-0477.2004.00924.x](#).
- [11] 于文清, 刘万学, 万方浩. 外来植物紫茎泽兰入侵对菌根群落的影响[J]. *中国生态农业学报*, 2011, 19(4): 883. DOI: [10.3724/SP.J.1011.2011.00883](#).
- [12] 王鹏鹏, 何跃军, 吴长榜, 等. 接种丛枝菌根真菌对紫茎泽兰生长及氮磷营养的影响[J]. *西部林业科学*, 2015(5): 85. DOI: [10.16473/j.cnki.xblykx19722015.05.017](#).
- [13] 李立青, 张明生, 梁作盼, 等. 丛枝菌根真菌促进入侵植物紫茎泽兰的生长和对本地植物竞争效应[J]. *生态学杂志*, 2016, 35(1): 79. DOI: [10.13292/j.1000-4890.201601.011](#).
- [14] 耿云芬, 邱琼, 卯吉华, 等. 丛枝菌根真菌接种量对铁力木幼苗的生长效应[J]. *福建林业科技*, 2016, 43(3): 67. DOI: [10.13428/j.cnki.fjlk.2016.03.014](#).
- [15] 韦中强, 李品明, 杨成前, 等. VA 菌根真菌对白芷生长效应的研究[J]. *湖南农业科学*, 2013(1): 10. DOI: [10.16498/j.cnki.hnnykx.2013.01.023](#).
- [16] 熊丙全, 阳淑, 张勇, 等. 丛枝菌根真菌接种时期和剂量对葡萄扦插苗生长的效应[J]. *中国果树*, 2009(5): 14. DOI: [10.16626/j.cnki.issn1000-8047.2009.05.007](#).
- [17] 李慧燕, 陈冬青, 王慧, 等. 不同混种密度下杀真菌剂对黄顶菊与反枝苋种间竞争的影响[J]. *生态学杂志*, 2015, 34(4): 1013. DOI: [10.13292/j.1000-4890.20150304.023](#).
- [18] 于文清, 刘万学, 桂富荣, 等. 外来植物紫茎泽兰入侵对土壤理化性质及丛枝菌根真菌 (AMF) 群落的影响[J]. *生态学报*, 2012, 32(22): 7027. DOI: [10.5846/stxb201110091468](#).
- [19] 李宝光, 陶秀花, 倪国平, 等. 扫描像素法测定植物叶面积的研究[J]. *江西农业学报*, 2006, 18(3): 78. DOI: [10.19386/j.cnki.jxnyxb.2006.03.028](#).
- [20] 于守超, 张秀省, 冀芦莎. 基于 Photoshop CS5 的植物叶面积测定方法[J]. *湖北农业科学*, 2012, 51(15): 3340. DOI: [10.14088/j.cnki.issn0439-8114.2012.15.049](#).
- [21] PHILLIPS J M, HAYMAN D S. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection[J]. *Transactions of the British Mycological Society*, 1970, 55(1): 158. DOI: [10.1016/S0007-1536\(70\)80110-3](#).
- [22] 弓明钦, 陈应龙, 仲崇禄. 菌根研究及应用[M]. 北京: 中国林业出版社, 1997.
- [23] 弓明钦, 王凤珍. 西南桦对菌根的依赖性及其接种效应研究[J]. *林业科学研究*, 2000, 13(1): 8. DOI: [10.13275/j.cnki.lykxyj.2000.01.002](#).
- [24] 陆耀东, 赵鸿杰, 田雪琴, 等. 10 种绿化苗木对 VA 菌根的依赖性及其接种效应[J]. *热带亚热带植物学报*, 2007, 15(3): 237. DOI: [10.3969/j.issn.1005-3395.2007.03.009](#).
- [25] 周世敏, 欧国腾, 李吉松, 等. 紫茎泽兰生物生态学特性调查[J]. *杂草学报*, 2010(2): 42. DOI: [10.19588/j.issn.1003-935x.2010.02.011](#).
- [26] 欧国腾, 李吉松, 徐德全, 等. 紫茎泽兰入侵机理及治理对策[J]. *中国森林病虫*, 2009, 28(6): 33. DOI: [10.3969/j.issn.1671-0886.2009.06.011](#).
- [27] 王进. 丛枝菌根真菌对核桃幼苗接种效应研究[D]. 荆州: 长江大学, 2015.
- [28] 甄莉娜, 王润梅, 周凤, 等. 不同施磷水平下 AM 真菌对羊草生长的影响[J]. *中国草地学报*, 2015, 37(6): 56. DOI: [10.3969/j.issn.1673-5021.2015.06.009](#).
- [29] 张常隆, 李扬苹, 冯玉龙, 等. 表型可塑性和局域适应在紫茎泽兰入侵不同海拔生境中的作用[J]. *生态学报*, 2009, 29(4): 1940. DOI: [10.3321/j.issn:1000-0933.2009.04.038](#).

责任编辑: 何馨成