

干旱胁迫对接种 AMF 的香樟幼苗生物量分配及生长的影响^{*}

吴春玉¹, 蒋长洪¹, 谢佩耘¹, 何跃军¹, 杨俊松^{1,2}

(1. 贵州大学 林学院, 贵阳 550025; 2. 贵阳市花溪区马铃乡林业站, 贵阳 550025)

摘要:采用 3 种丛枝菌根真菌(Arbuscular mycorrhizal fungi, AMF)——幼套球囊霉(*Glomus etunicatum*, GE)、摩西球囊霉(*Glomus mosseae*, GM)和层状球囊霉(*Glomus lamellosum*, GL)分别对香樟(*Cinnamomum camphora*)种子单一接种、混合接种以及不接种(对照)处理,对 90 d 大幼苗进行不同程度的干旱胁迫:正常供水(NW,土壤含水量为田间持水量的 80%~90%)、轻度干旱胁迫(MW,土壤含水量为田间持水量的 60%~70%)、中度干旱胁迫(MS,土壤含水量为田间持水量的 56%~60%)、重度干旱胁迫(SS,土壤含水量为田间持水量的 35%~40%);150 d 后对香樟生长指标进行测定。结果表明,在不同干旱胁迫下,除 GM 外接种 AMF 提高了香樟幼苗植株总生物量和抗旱性,而在 SS 条件下接种 AMF 显著促进了幼苗的生长($p < 0.05$);在干旱胁迫下接种 AMF 通过影响植株的生长性状来影响植物的生物量分配;在干旱胁迫下,菌种差异通过影响叶面积来影响幼苗根、叶生物分配从而影响幼苗的总生物量积累和生长;在干旱胁迫下,菌种组合的方式则对幼苗生物量分配与生长均无显著影响;在喀斯特地区多种菌种共存不是以简单的叠加来发挥它们的影响效应,而是通过多种菌种应对不同的水分条件,发挥不同的抗旱效应来影响植物的生长性状,从而优化植物生物量的分配,维持植物在干旱生境下的生长。

关键词:喀斯特;干旱胁迫;AMF;生物量;香樟

中图分类号:Q948.12⁺2.3

文献标志码:A

文章编号:1672-6693(2015)06-0109-07

石漠化是一种人为破坏占主导、土壤覆盖率减少、植物覆盖改变、岩石逐渐裸露的过程^[1]。喀斯特石漠化地区土壤含水少、含钙高、偏碱性,水分成为制约该地区植物生长的主要因子^[2],石漠化已成为该区域土地生产力和生活条件提高的限制因素^[3-4]。植物通过根系从土壤中吸收水分和养分供给植物生长,然而喀斯特土壤缺水、贫瘠的生境中维持了较高的植物多样性^[5-6],这些物种的生长维持可能与土壤环境因素,特别是微生物因素有关。土壤中一类重要的微生物丛枝菌根真菌(Arbuscular mycorrhizal fungi, AMF)能与世界上 80% 的陆地植物形成丛枝菌根^[7],菌根真菌与宿主植物通过菌丝体交换植物的碳水化合物和土壤养分实现互利共生,并可通过外延菌丝在远距离土壤中获取水分和养分^[8-9],从而增强了干旱地区 AMF 植物的抗旱性,提高了宿主植物在干旱逆境下的生存能力^[10-11]。如 Chen 等人^[12]发现桑树(*Morus alba* L.)接种 AMF 后能够显著增强根系吸水能力并提高其在喀斯特地区的成活率,Zhang 等人^[13]在喀斯特土壤中对水青冈(*Cyclobalanopsis glauca*)幼苗接种 AMF 后,发现 AMF 能显著提高幼苗的养分利用、生物量积累和渗透调节,并提高了水青冈幼苗的抗旱性。部分研究者已从 AMF 影响宿主植物的抗旱机制、营养利用、生物量分配等方面进行了探索^[14-15],越来越多的研究者开始关注这些问题,并从喀斯特土壤中开展基础性研究工作,如 Wei^[16]、Bavaresco 等人^[17]、Likar 等人^[18]研究指出喀斯特地区植物的根系周围存在较多的 AMF,维持了较高的 AMF 真菌多样性,其中球囊霉属(*Glomus*)是喀斯特生境中的优势属;他们还指出喀斯特生境中的 AMF 对石漠化退化生态系统恢复具有重要的应用意义。AMF 真菌侵染植物后碳水化合物和土壤养分的交换必然使得植物生物量再分配,但关于干旱缺水的条件下喀斯特适生植物如何实现资源的整合和再分配的研究还很薄弱。喀斯特生境中的混合的菌种是如何共同作用维持植物生长的?为解决这一问题,有必要做关于水分与 AMF 的控制实验研究。香樟(*Cinnamomum camphora*)是喀斯特地区常见树种,因它具有耐干旱、喜钙的特点,故而较适用于喀斯特地区生态恢复及造林工作^[19-20]。本研究通过对香樟幼苗接种 AMF 后植株生物量分配、生长方面等性状指标进行研究,从而探索 AMF 在喀斯特

* 收稿日期:2015-03-18 修回日期:2015-07-17 网络出版时间:2015-9-28 12:01

资助项目:国家自然科学基金(No. 31000204;No. 31360106);贵州省农业攻关项目(黔科合 NY[2014]3029 号);贵州省优秀青年科技人才专项基金(黔科合人字 2013(10));贵州大学引进人才项目(No. 2012-005)

作者简介:吴春玉,女,研究方向为喀斯特地区恢复生态学,E-mail:wuchunyu98@163.com;通信作者:何跃军,教授,E-mail:hyj1358@163.com

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/50.1165.n.20150928.1201.008.html>

干旱缺水的生境中对适生植物的维持机制。

1 实验材料与实验方法

1.1 实验材料

供试菌种为幼套球囊霉(*Glomus etunicatum*, GE)、摩西球囊霉(*Glomus mosseae*, GM)和层状球囊霉(*Glomus lamellosum*, GL),均购于北京农林科学院营资所。供试香樟种子为采自贵阳花溪典型喀斯特地段土壤中同一香樟母树。供试土壤为取自贵阳市花溪区喀斯特石灰土,土壤中全氮、全磷、全钾含量分别为 2.27, 0.90, 4.99 g · kg⁻¹、碱解氮、速效磷、速效钾含量分别为 127.48, 11.48, 287.30 mg · kg⁻¹, pH 值为 7.45。种子灭菌方法为 10% 的 H₂O₂ 浸泡香樟种子 20 min, 无菌水清洗 3 次。土壤灭菌方法为充分混合比例为喀斯特石灰土:河沙为 2:1 的培养基质, 0.14 MPa, 124~126 °C 湿热灭菌 1 h 留用。花盆灭菌方法为高压灭菌规格为 190 mm×150 mm 的塑料花盆 30 min。基质装盆留用, 每盆 1.5 kg。

1.2 试验方法

1.2.1 接种 实验设计 5 个接种处理, 每个处理 10 个重复; 4 个水分处理, 样本容量为 200。

1) 接种组。①混合接种(Co-inoculation, CI): 灭菌基质里分别均匀铺上 GM、GL、GE 各称取 30 g 共 90 g 混合的菌剂, 播入饱满灭菌的香樟种子, 将种子上覆盖一层疏松表土, 10 个重复。②单一接种(Single-inoculation, SI): 各菌剂 90 g 分别装入已含基质的盆内, 其余方法同上。

2) 对照组(CK)。①混合接种: 混合已完全灭菌的 GM、GL、GE 各 30 g 共 90 g 灭菌体(0.14 MPa, 124~126 °C 湿热灭菌 1 h), 均匀铺在灭菌基质上, 确保除目的菌种以外的其他微生物一致, 播入饱满灭菌的香樟种子, 每盆 1 粒, 再将种子上覆盖一层疏松表土, 10 个重复。②单独接种: 分别称取 90 g 已完全灭菌的 GM、GL、GE 菌剂灭菌体装入已含基质的盆内, 其余处理方法同上, 并与单一接种对照。

接种处理后, 所有处理组均放入培养室培养, 每天浇以无菌水, 出苗 30 d 后浇以蒸馏水。

1.2.2 干旱胁迫处理 幼苗生长 90 d 后按照 4 个干旱胁迫处理, 以称重法^[21]进行每日浇水管理, 分为重度干旱胁迫(Serious stressed, SS)、中度干旱胁迫(Moderate stressed, MS)、轻度干旱胁迫(Mild water stressed, MW)和正常浇水(Normal water, NW)。4 个干旱胁迫的土壤含水量分别为: NW 控制为田间持水量的 80%~90%; MW 控制为田间持水量的 60%~70%; MS 控制为田间持水量的 50%~60%; SS 控制为田间持水量的 35%~40%。干旱胁迫 60 d 后收获实验材料, 测定各项指标。

1.2.3 指标测定 生物量测定: 将幼苗单株从培养盆取出, 小心去掉根系泥土, 洗净, 分根、茎、叶 105 °C 杀青, 30 min 后 80 °C 烘干至质量恒定, 称重^[22]。采用英国 AM100 便携式叶面积仪测定植株叶面积。植株形态学指标苗高、地茎、用测量法测定。根冠比按照赵凤君等人^[23]的方法测定。

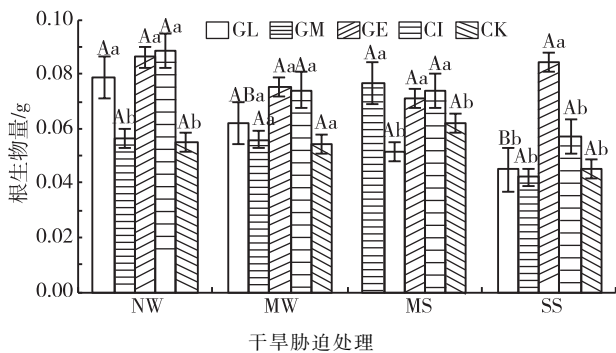
1.2.4 数据处理 运用 SPSS11.5 软件对数据进行统计分析, 相同干旱胁迫下接种组、CK 组处理采用单因素方差分析各性状指标在不同处理之间的差异, LSD 检验差异显著性; 通过 Two-ways ANOVA 分析 AM 真菌、不同菌种、菌种组合方式与干旱胁迫对植株生物量分配和生长的影响。显著性水平为 $p < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 干旱胁迫下 AMF 对香樟幼苗根、茎、叶生物量及总生物量的影响

图 1 显示, 在 NW 条件下 GL、GE、CI 处理组与 CK 组差异显著($p < 0.05$), 且 GL、GE、CI 处理组中香樟幼苗根生物量显著提高($p < 0.05$)。在 MW 条件下, AMF 处理对根生物量没有显著影响。在 MS 条件下香樟幼苗根生物量变化趋势与之在 NW 条件下的变化趋势一致。在 SS 条件下, GE 处理显著提高了香樟幼苗根生物量的积累($p < 0.05$), 其余的 AMF 处理组与 CK 组之间差异则不显著。同一接种处理下, SS 处理较 NW、MS 显著减少了接种 GL 后的香樟幼苗根生物量($p < 0.05$), 香樟幼苗根生物量在进行 GM、GE、CI 处理后在 4 个水分处理下差异均不显著。

图 2 显示, 在 NW 条件下 AMF 处理组与 CK 组香樟幼苗茎生物量差异显著($p < 0.05$), 且在 NW 条件下接种 AMF 使该指标显著提高($p < 0.05$); 在 MW 与 MS 条件下, AMF 处理组与 CK 组之间该指标差异不显著。在 SS 条件下, GM、GE 处理组与 CK 组间香樟幼苗茎生物量差异不显著, 而 GL、GE 处理组与 CK 组间该指标差异显著($p < 0.05$), 表明在 SS 条件下接种 GL、GE 对香樟幼苗茎生物量有显著影响($p < 0.05$); 同一接种处理下, 4 个干旱胁迫处理对 AMF 处理的香樟幼苗茎生物量均没有显著影响。



注:小写字母为同一水分处理下不同 AMF 接种处理间差异显著($p<0.05$),大写字母为同一 AMF 处理下不同水分处理间差异显著($p<0.05$),下同。

图 1 不同干旱胁迫下接种 AMF 的香樟幼苗根生物量

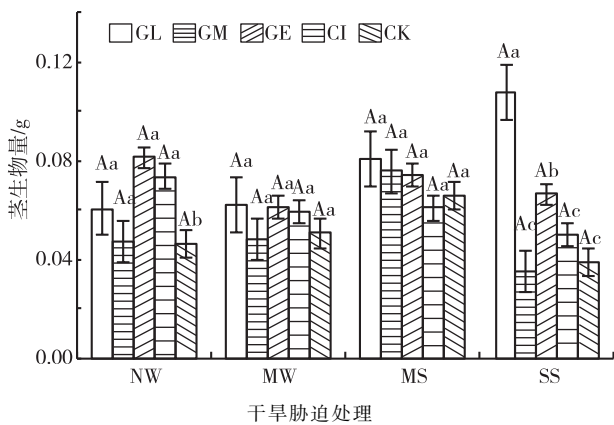


图 2 不同干旱胁迫下接种 AMF 的香樟幼苗茎生物量

从图 3 可知,在 NW 条件下,AMF 处理组与 CK 组之间差异均不显著;在 MW 条件下,接种 GL、GE 显著提高了香樟幼苗叶生物量($p<0.05$);在 MS 条件下,接种 GL 使香樟幼苗叶生物量有显著提高($p<0.05$);在 SS 条件下,接种 CI 显著提高了香樟幼苗叶生物量($p<0.05$);同一接种处理下,4 种干旱胁迫处理对 AMF 处理的香樟幼苗叶生物量均无显著影响。而图 4 则显示,在 NW 条件下,AMF 处理组与 CK 组幼苗总生物量之间差异不显著;在 MW 条件下,接种 GM 显著降低了香樟幼苗总生物量($p<0.05$);在 MS 条件下,接种 GL 后香樟幼苗总生物量有显著提高($p<0.05$);在 SS 条件下,接种 GL、GE、CI 显著提高了幼苗总生物量($p<0.05$)。在 GL 处理下,SS 处理与 MS 处理下的香樟幼苗总生物量有显著差异($p<0.05$),且 MS 处理下该指标较 SS 处理有显著提高($p<0.05$)。此外,4 种干旱胁迫对接种 GM、GE、CI 及 CK 处理的幼苗总生物量均无显著影响。接种 AMF 后,幼苗总生物量发生了不同变化,在 4 种干旱胁迫下接种 GL、GE、CI 均提高了香樟幼苗总生物量;在 NW、MS 条件下接种 GM 提高了幼苗总生物量,而在 MW、SS 条件下接种 GM 幼苗总生物量分别减少了 15.146%和 13.245%(表 1)。

表 1 接种 AM 真菌后香樟幼苗植株总生物量提高率 %

胁迫	GL	GM	GE	CI
NW	15.617	4.774	28.398	32.375
MW	18.381	-15.146	24.185	9.202
MS	45.078	0.355	17.162	19.928
SS	30.698	-13.245	32.518	24.604

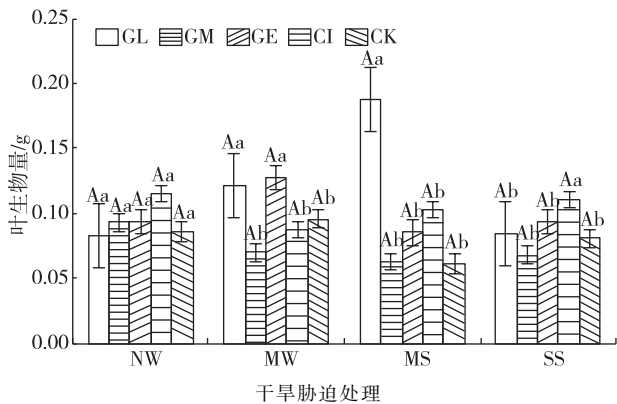


图 3 不同干旱胁迫下接种 AMF 的香樟幼苗叶生物量

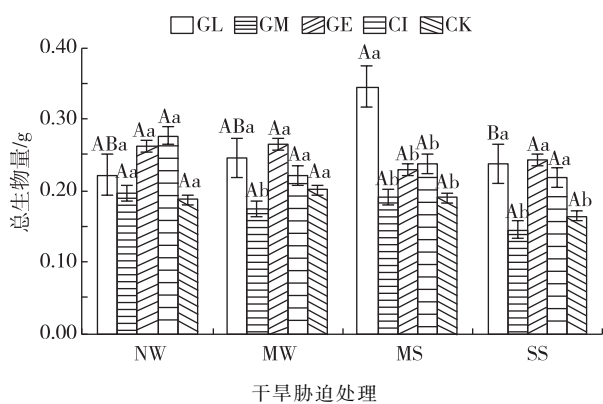


图 4 不同干旱胁迫下接种 AMF 的香樟幼苗总生物量

2.2 接种 AMF 对香樟树幼苗根冠比的影响

图 5 显示,在 NW 条件下,AMF 处理组与 CK 组差异不显著,表明该情况下接种 AMF 对香樟幼苗根冠比变化无显著影响。在 MW 条件下,GM、CI 处理组与 CK 组幼苗根冠比差异显著($p<0.05$),且接种 GM、CI 显著提高了这一指标($p<0.05$)。在 MS 条件下,接种 GL、GM 显著降低了香樟幼苗根冠比($p<0.05$)。而在 SS 条件下接种 GL、GE 显著提高了香樟幼苗根冠比($p<0.05$)。同一接种处理下,NW 条件下的 CK 处理幼苗根冠比显著大于 MS 条件下的 CK 处理($p<0.05$),表明该条件较 NW 条件可显著提高 CK 处理的幼苗根冠比($p<0.05$);此外,4 个干旱胁迫下 AMF 处理之间差异不显著。

2.3 接种 AMF 对香樟幼苗生长的影响

统计分析表明,接种 AMF 的香樟幼苗在 90 d 后与 CK 组相比形态分化出现了明显差异,除单株总叶片数没

有显著差异外,其余地茎,苗高,总叶面积,地上生物量和地下生物量均出现显著差异($p<0.05$)。接种 AMF 处理的幼苗地茎平均是 CK 组的约 1.3 倍,苗高约为后者的 1.2 倍,而总叶面积则约为后者的 5 倍。

从图 6 可知,4 种干旱胁迫条件下 AMF 处理的植株苗高与 CK 组相比均差异显著($p<0.05$),表明这 4 种条件下接种 AMF 对幼苗苗高有显著影响($p<0.05$)。同一接种处理下,SS 处理较 NW 处理更可提高接种 GL 的香樟幼苗苗高,且达到显著水平($p<0.05$);而 4 种干旱胁迫条件对 GM、GE、CI 处理组和 CK 组的幼苗苗高影响不显著。

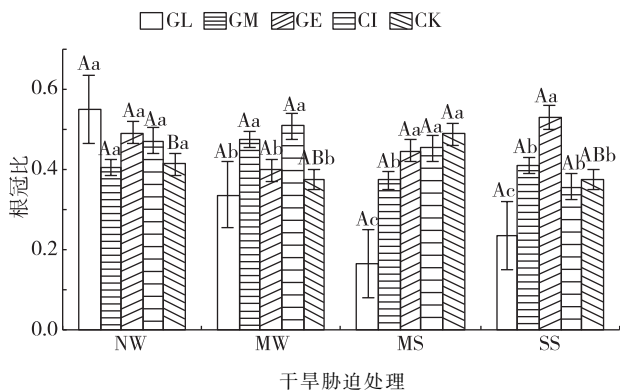


图 5 不同水分处理下接种 AMF 的香樟幼苗接根冠比

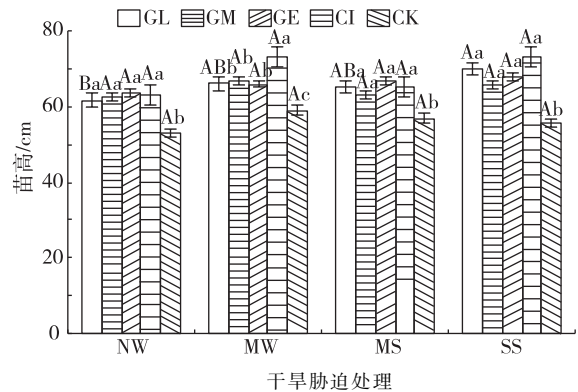


图 6 不同水分处理下接种 AMF 的香樟幼苗苗高

在 NW 条件下,接种 GL、GE 后香樟幼苗地茎有显著提高($p<0.05$);在 MW 和 MS 条件下,AMF 处理与 CK 差异均不显著;在 SS 条件下,接种 AMF 可显著提高香樟幼苗地茎($p<0.05$)。同一接种处理下,SS 条件较 NW 条件可显著提高接种 CI 后的香樟幼苗地茎($p<0.05$),4 种干旱胁迫对接种 GL、GM、GE 和 CK 组的幼苗地茎影响均不显著(图 7)。从图 8 可见,在 NW、MS、SS 条件下,AMF 处理组与 CK 组的香樟幼苗相比叶面积有显著提高($p<0.05$);而在 MW 条件下,AMF 处理组与 CK 组的该指标差异不显著。同一接种处理下,接种 GL 的香樟幼苗中,SS 处理的幼苗的叶面积显著大于 MS 处理的幼苗($p<0.05$);接种 GE 的香樟幼苗中,SS 处理的幼苗的叶面积显著低于 MW、MS 处理的幼苗($p<0.05$);而 MW 处理较 NW、MS、SS 处理显著提高了 CK 处理幼苗叶面积($p<0.05$)。表 2 显示,接种 AMF 对香樟幼苗地茎有显著影响($p<0.05$),对根生物量、苗高、叶面积有极显著影响($p<0.01$);干旱胁迫极显著地影响了幼苗叶面积($p<0.01$),而接种 AMF 与干旱胁迫交互作用对叶面积影响未达显著水平,对幼苗生物量影响不显著。另外,接种菌种差异对香樟幼苗叶生物量、叶面积有显著影响($p<0.05$),极显著地影响了根生物量、总生物量($p<0.01$);干旱胁迫显著影响了香樟幼苗叶生物量、总生物量、苗高($p<0.05$);菌种差异与干旱胁迫交互作用显著影响了根生物量、叶生物量、叶面积($p<0.05$)。表 4 显示,干旱胁迫对香樟幼苗地茎有显著影响($p<0.05$),对根生物量苗高有极显著影响($p<0.01$);而菌种组合方式以及菌种组合方式与干旱胁迫的交互作用对幼苗的生物量积累和生长影响均不显著。

表 2 AMF 与干旱胁迫对香樟幼苗生物量积累及生长影响

方差来源	F 值		
	AMF	干旱胁迫	AMF×干旱胁迫
根生物量	11.242**	1.939	0.342
茎生物量	0.099	1.767	0.391
叶生物量	2.396	0.482	0.610
总生物量	3.264	1.423	0.151
苗高	22.838**	1.248	0.545
地茎	5.311*	0.155	0.133
叶面积	37.336**	4.954**	2.500

注:AMF 因素为接种与不接种处理;干旱胁迫为 NW、MW、MS、SS 处理;* 为差异显著 $p<0.05$,** 为差异极显著 $p<0.01$ 。

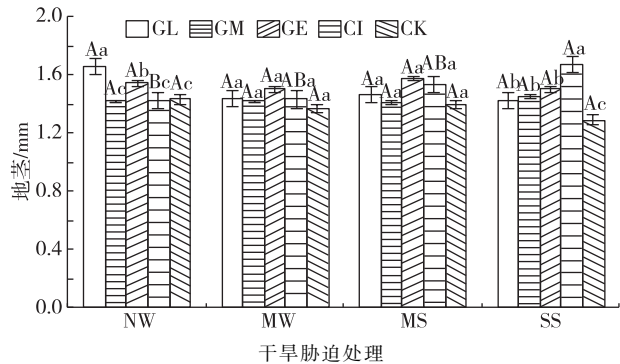


图 7 不同水分处理下接种 AMF 的香樟幼苗地茎

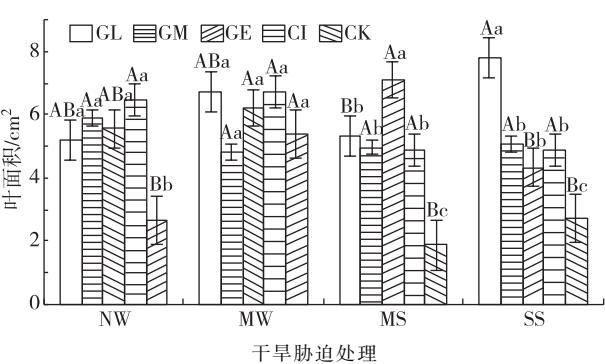


图 8 不同水分处理下接种 AMF 的香樟幼苗叶面积

表 3 菌种差异与干旱胁迫对香樟幼苗生物量积累及生长影响			
方差来源	F 值		
	菌种差异	干旱胁迫	菌种差异×干旱胁迫
根生物量	10.027**	2.272	2.247*
茎生物量	1.433	0.985	0.834
叶生物量	4.263*	2.810*	2.404*
总生物量	6.666**	3.253*	1.050
苗高	0.096	2.938*	0.291
地茎	1.899	0.369	0.167
叶面积	3.384*	0.302	2.826*

注:菌种差异因素为 3 个不同的菌种 GL、GM、GE 处理,干旱胁迫为 NW、MW、MS、SS 处理;* 为差异显著 $p<0.05$,** 为差异极显著 $p<0.01$ 。

表 4 菌种组合方式与干旱胁迫对香樟幼苗生物量积累和生长影响			
方差来源	F 值		
	菌种组合方式	胁迫	菌种组合方式×胁迫
根生物量	2.661	4.029**	0.608
茎生物量	0.012	0.245	0.490
叶生物量	1.280	0.766	0.846
总生物量	0.482	0.859	1.134
苗高	2.613	4.645**	0.577
地茎	0.949	3.045*	1.902
叶面积	0.052	1.605	0.671

注:菌种组合方式为单一接种与混合接种,干旱胁迫为 NW、MW、MS、SS 处理;* 为差异显著 $p<0.05$,** 为差异极显著 $p<0.01$ 。

3 讨论与结论

本研究结果表明在不同干旱胁迫条件下,接种 AMF 对香樟幼苗根、茎、叶生物量的分配影响不同:在无干旱胁迫下(正常浇水)接种 AMF 能显著提高香樟幼苗生物量,这与闫秀峰等人^[24]的结论一致;在不同的干旱胁迫下,除接种 GM 外 AMF 处理均提高了幼苗总生物量,与前人提出的干旱胁迫下接种 AMF 能够影响宿主植物生长、生物量积累的结论^[25-26]相符。本研究中,MW 与 SS 条件下接种 GM 使幼苗总生物量降低,这与吴强盛等人^[27]提出接种地表球囊霉(*G. versiforme*)与接种 GM 分别能在正常浇水下和干旱胁迫下很好的影响枳(*Poncirus trifoliata* (L.) Raf)实生苗的水分代谢的结论不同,原因可能是不同宿主植物在接种同一 AMF(GM)后对不同程度干旱胁迫抗旱响应不同,香樟幼苗接种 GM 对 MW、SS 条件比较敏感,从而降低了抗旱性。根冠比一定程度上代表了植物抗旱能力大小,根冠比越大,植物更能利用土壤中的水分。何跃军等人^[15]、韦莉莉等人^[28]研究指出接种 AMF 能够增大宿主植物的根冠比;但也有研究指出水分亏缺情况下 AMF 对一年生、多年生植物的根冠比无影响^[29]。但本研究结果显示,在 MS 条件下,接种 GL、GM 显著降低了幼苗根冠比($p<0.05$),而接种 GL 较 CK 组显著提高了幼苗根生物量($p<0.05$),原因可能是 MS 条件下接种 AMF 使根生物量再分配到了宿主植物地上部分以维持正常生长,但具体机制有待进一步研究。在 4 种干旱胁迫下,AMF 处理组与 CK 组相比幼苗苗高均显著提高($p<0.05$),且在 SS 条件下,AMF 处理组较 CK 组幼苗地茎、叶面积有显著提高($p<0.05$),表明在该条件下 AMF 处理也能显著促进对幼苗的生长($p<0.05$);因此,接种 AMF 促进了幼苗在干旱环境中的生长,这与唐明等人^[30]的研究结论结果一致。

在缺水生境中,香樟幼苗接种 AMF 与否在很多指标上未表现出差异性,这与不同植物、菌种对于干旱敏感程度不同有关:有报道指出在一定的水分早胁迫下紫穗槐(*Amorpha fruticosa* L.)根 AMF 的浸染率高于正常浇水处理^[31];而接种 GM 在干旱条件下也能较正常浇水提高三叶鬼针草(*Bidens pilosa* L.)的抗旱能力^[32];接种地表球囊霉能在正常浇水情况下对枳实生苗的水分代谢有显著影响^[27];等等。本研究中接种 AMF 与否对香樟幼苗茎、叶生物量的影响不显著,对根生物量有显著影响($p<0.05$),最终表现为对总生物量无显著影响。显然在干旱条件下 AMF 通过影响香樟幼苗生长性状来影响幼苗根系生物量的分配,说明植物各器官对生物量的积累表现不同,这也是香樟幼苗接种 AMF 与否后在很多指标上未表现出差异性的原因之一。而菌种差异导致了香樟幼苗的生长指标不同,说明不同菌种对增强香樟幼苗抗旱性的贡献不同。此外,本研究中尽管接种 AMF 提高了香樟幼苗总生物量,增强了幼苗的抗旱能力,但由于不同 AMF 对于干旱程度的响应不同,多菌种共存对喀斯特适生植物的生物量分配和生长分别有着不同的影响,干旱胁迫下 AMF 的单一接种或者混合结接种对幼苗生物量的分配和生长没有显著影响的结果就说明喀斯特地区多种菌种共存不是以简单的叠加来发挥其影响效应,而是通过多种菌种应对不同的水分条件,发挥不同的抗旱效应来影响植物的生长性状;而宿主植物各器官对生物量分配有不同的表现,反过来又作用于植物,从而优化植物生物量的分配,维持植物在干旱生境下的生长。

参考文献:

[1] Yang Q Q, Wang K L, Zhang C H, et al. Spatio-temporal evolution of rocky desertification and its driving forces in karst areas of northwestern Guangxi, China[J]. Environmental Earth Sciences, 2011, 64(2):383-393.

[2] 黄威廉. 贵州植被[M]. 贵阳: 贵州人民出版社, 1988: 416-426.

[3] Huang W L. Guizhou vegetation [M]. Guiyang: Guizhou People's Publishing House, 1988: 416-426.

[3] Zhou G Q, Shi Y J, Zhang R T, et al. Co-location decision tree model for extracting exposed carbonate rocks in karst

- rocky esertification area[C]//The International Society for Optics and Photonics. Photonics Asia 2014,2014.
- [4] Yang Q, Jiang Z, Yuan D, et al. Temporal and spatial changes of karst rocky desertification in ecological reconstruction region of southwest China[J]. Environmental Earth Sciences, 2014, 72 (11): 4483-4489.
 - [5] 马遵平. 喀斯特区域森林活力评价初步研究[D]. 昆明: 云南师范大学, 2006.
Ma Z P. A preliminary study karst regional forest vitality evaluation[D]. Kunming: Yunnan Normal University, 2006.
 - [6] 屠玉麟. 贵州喀斯特森林的初步研究[J]. 中国岩溶, 1989, 8 (4): 33-41.
Tu Y L. Preliminary study of karst forest[J]. Carsologica Sinica, 1989, 8(4): 33-41.
 - [7] Smith S E, Smith F A. Roles of arbuscular mycorrhizas in plant nutrition and growth; new paradigms from cellular to ecosystem scales[J]. Annual Review of Plant Biology, 2011, 62: 227-250.
 - [8] Smith S E, Smith F A. Fresh perspectives on the roles of arbuscular mycorrhizal fungi in plant nutrition and growth[J]. Mycologia, 2012, 104(1): 1-13.
 - [9] 仲凯, 刘红霞. 菌根研究的新特点及应用[J]. 生态科学, 2008, 27(3): 169-178.
Zhong K, Liu H X. New features and application of mycorrhizal research[J]. Ecological Science, 2008, 27(3): 169-178.
 - [10] 魏源, 王世杰, 刘秀明, 等. 丛枝菌根真菌及在石漠化治理中的应用探讨[J]. 地球与环境, 2012, 40(1): 84-92.
Wei Y, Wang S J, Liu X M, et al. Arbuscular mycorrhizal fungia and their application in kast rocky desertification control [J]. Earth and Environment, 2012, 40(1): 84-92.
 - [11] 何跃军, 钟章成, 刘济明, 等. 构树幼苗对接种丛枝菌根真菌的生长响应[J]. 应用生态学报, 2007, 18(10): 2209-2213.
He Y J, Zhong Z C, Liu J M, et al. Growth response of *Broussonetia papyrifera* seedlings to VA mycorrhizal fungi inoculation[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2007, 18(10): 2209-2213.
 - [12] Chen K, Shi S M, Yang X H, et al. Contribution of arbuscular mycorrhizal inoculation to the growth and photosynthesis of mulberry in karst rocky desertification area[J]. Applied Mechanics and Materials, 2014, 488(8): 769-773.
 - [13] Zhang Z, Zhang J, Huang Y. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on the drought tolerance of *Cyclobalanopsis glauca* seedlings under greenhouse conditions [J]. New Forests, 2014, 45(4): 545-556.
 - [14] Augé R M, Toler H D, Saxton A M. Arbuscular mycorrhizal symbiosis alters stomatal conductance of host plants more under drought than under amply watered conditions: a meta-analysis[J]. Mycorrhiza, 2015, 25(1): 13-24.
 - [15] 何跃军, 钟章成, 刘济明, 等. 构树(*Broussonetia papyrifera*)幼苗氮、磷吸收对接种 AM 真菌的响应[J]. 生态学报, 2007, 27(11): 4840-4847.
He Y J, Zhong Z C, Liu J M, et al. Response of N and P absorptionon *Broussonetia papyrifera* seedlings to inoculate N Vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus[J]. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(11): 4840-4847.
 - [16] Wei Y. Molecular diversity and distribution of arbuscular mycorrhizal fungi in karst ecosystem, Southwest China [J]. African Journal of Biotechnology, 2012, 11 (80): 14561-14568.
 - [17] Bavaresco L, Cantù E, Trevisan M. Chlorosis occurrence, natural arbuscular-mycorrhizal infection and stilbene root concentration of ungrafted grapevine rootstocks growing on calcareous soil[J]. Journal of Plant Nutrition, 2000, 23 (11/12): 1685-1697.
 - [18] Likar M, Hančević K, Radić T, et al. Distribution and diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in grapevines from production vineyards along the eastern Adriatic coast[J]. Mycorrhiza, 2013, 23(3): 209-219.
 - [19] 田大伦, 罗勇, 项文化, 等. 樟树幼树光合特性及其对 CO₂ 浓度和温度升高的响应[J]. 林业科学, 2004, 40(5): 88-92.
Tian D L, Luo Y, Xiang W H, et al. Photosynthetic characteristics of *Cinnamomum camphora* and its response to elevation of CO₂ and temperature[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2004, 40(5): 88-92.
 - [20] 王丁, 姚健, 薛建辉. 土壤干旱胁迫对樟树(*Cinnamomum camphora* (L.) Presl)苗木水力结构特征的影响[J]. 生态学报, 2009, 29(5): 2725-2731.
Wang D, Yao J, Xue J H. Effects of soil drought stress on hydraulic architecture characteristics of *Cinnamomum camphora* seedlings [J]. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29 (5): 2725-2731.
 - [21] 邓英春, 许永辉. 土壤水分测量方法研究综述[J]. 水文, 2007, 27(4): 20-24.
Deng C Y, Xu Y H. Review of the soil moisture measurement method[J]. Journal of China Hydrology, 2007, 27 (4): 20-24.
 - [22] Fumanal B, Plenchette C, Chauvel B, et al. Which role can arbuscular mycorrhizal fungi play in the facilitation of *Ambrosia artemisiifolia* L. invasion in France[J]. Mycorrhiza, 2006, 17(1): 25-35.
 - [23] 赵凤君, 沈应柏, 高荣孚, 等. 黑杨无性系间长期水分利用效率差异的生理基础[J]. 生态学报, 2006, 26(7): 2079-2086.
Zhao F J, Shen Y B, Gao R F, et al. Physiological foundation for the differences of long-term water use efficiency among *Populus deltoids* clones[J]. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(7): 2079-2086.
 - [24] 赵昕, 阎秀峰. 丛枝菌根对喜树幼苗生长和氮、磷吸收的影响[J]. 植物生态学报, 2006, 30(6): 947-953.
Zhao X, Yan X F. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on the growth and absorption of nitrogen and phosphorus in *camptotheca acuminata* seedlings[J]. Journal of Plant Ecology, 2006, 30(6): 947-953.
 - [25] 张燕, 李娟, 姚青. 丛枝菌根真菌对枇杷不同水分条件下

- 的生长和养分吸收的影响[J]. 园艺学报, 2012, 39(4): 757-762.
- Zhang Y, Li J, Yao Q, et al. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on growth and nutrient uptake of *Eriobotrya japonica* plants under different water regimes[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2012, 39(4): 757-762.
- [26] 何跃军, 杜照奎, 吴长榜, 等. 喀斯特土壤接种 AM 菌剂对光皮树幼苗形态特征和生物量分配的影响[J]. 西南大学学报: 自然科学版, 2012, 34(10): 35-40.
- He Y J, Du Z K, Wu C B, et al. Effects of AMF inoculation on morphological characteristics and biomass allocation of *Cornus wilsoniana* Seedlings growing in karst soil[J]. Journal of Southwest University: Natural Science Edition, 2012, 34(10): 35-40.
- [27] 吴强盛, 王幼珊, 夏仁学. 枳实生苗抗旱丛枝菌根真菌菌种比较的研究[J]. 园艺学报, 2006, 33(3): 613-616.
- Wu Q S, Wang Y S, Xia R X. Comparison of arbuscular mycorrhizal fungi for drought resistance of Trifoliate orange (*Poncirus trifoliata* L. Raf.) Seedlings[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2006, 33(3): 613-616.
- [28] 韦莉莉, 张小全, 侯振宏, 等. 杉木苗木光合作用及其产物分配对水分胁迫的响应[J]. 植物生态学报, 2005, 29(3): 294-302.
- Wei L L, Zhang X Q, Hou Z H, et al. Effects of water stress on photosynthesis and carbon allocation in *Cunninghamia lanceolata* Seedlings[J]. Journal of Plant Ecology, 2005, 29(3): 294-302.
- [29] Jayne B, Quigley M. Influence of arbuscular mycorrhiza on growth and reproductive response of plants under water deficit: a meta-analysis[J]. Mycorrhiza, 2014, 24(2): 109-119.
- [30] 唐明, 陈辉, 商鸿生. 丛枝菌根真菌 (AMF) 对沙棘抗旱性的影响[J]. 林业科学, 1999, 35(3): 50-54.
- Tang M, Chen H, Shang H S. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) on *Hippophae rhamnoides* drought-resistance[J]. Scientia Silvae Sinicae, 1999, 35(3): 50-54.
- [31] 陈婕, 谢靖, 唐明. 水分胁迫下丛枝菌根真菌对紫穗槐生长和抗旱性的影响[J]. 北京林业大学学报, 2014, 36(6): 142-148.
- Chen J, Xie J, Tang M. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on the growth and drought resistance of *Amorpha fruticosa* under water stress[J]. Journal of Beijing Forestry University, 2014, 36(6): 142-148.
- [32] 宋会兴, 彭远英, 钟章成. 干旱生境中接种丛枝菌根真菌对三叶鬼针草 (*Bidens pilosa* L.) 光合特征的影响[J]. 生态学报, 2008, 28(8): 3744-3751.
- Song H X, Peng Y Y, Zhong Z C. Photosynthetic responses of AMF-infected and AMF-free *Bidens pilosa* L. to drought stress conditions[J]. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(8): 3744-3751.

Effects of Campora Seedlings on Biomass Allocation and Growth under Drought Stress and Inoculated AMF

WU Chunyu¹, JIANG Changhong¹, XIE Peiyun¹, HE Yuejun¹, YANG Junsong^{1,2}

(1. College of Forestry, Guizhou University, Guiyang 550025;

2. Forestry Station of Maling Township, Huaxi District, Guiyang City, Guiyang 550025, China)

Abstract: The experiment about 4 drought stress and AM fungi were conducted by single respectively inoculation with *Glomus mosseae*, *Glomus etunicatum* and *Glomus lamellosum*, and mixed inoculation with the three, which the aim was to explore the effects of campora (*Cinnamomum camphora* (L.) Presl) seedlings on biomass allocation and growth under drought stress and inoculated AMF. The 4 drought stress were Normal Drought stressed (NW, soil moisture content of 80%~90% of field capacity), Mild Drought stressed (MW, soil moisture content of 60%~70% of field capacity), Moderate Stressed (MS, soil moisture content of 50%~60% of field capacity), and Serious Stressed (SS, soil moisture content of 35%~40% of field capacity); Campora seedlings were drought treated after 3month and measured the physiological indicators after 5 month. The results showed that; Under different drought stress, AMF improved camphor seedlings total biomass and drought resistance except GM, and in severe drought stress of AMF significantly contributed to the growth of seedlings; Under drought stress inoculation AMF by influencing plant growth traits to influence plant biomass allocation; Under drought stress, AMF species differences influenced the allocation of root and leaf biomass by influenced seedling leaf area to affect seedling biomass accumulation and growth; Under drought stress, AMF species combination approach the seedling biomass allocation and growth were not significantly affected; Many AMF species coexist in karst areas is not a simple superposition effect exerts its influence, but to deal with a variety of species of different water conditions, to exert different effects of drought on growth traits in plants to optimize plant biomass allocation, maintain plant growth in drought habitats.

Key words: karst; drought stress; AMF; biomass; *Cinnamomum camphora*