

不同种植模式下丛枝菌根真菌对紫茎泽兰和黄花蒿竞争的影响*

王鹏鹏¹, 何跃军¹, 吴长榜^{1,2}, 蒋长洪¹, 吴春玉¹, 谢佩耘¹
(1. 贵州大学 林学院, 贵阳 550025; 2. 贵州省 林业调查规划院, 贵阳 550003)

摘要: 为研究丛枝菌根真菌(Arbuscular mycorrhizal fungi, AMF)对入侵植物紫茎泽兰(*Eupatorium adenophorum*)和土著植物黄花蒿(*Artemisia annua*)种间竞争的影响, 以喀斯特石灰土为培养基质, 在单一种植、分隔种植和混合种植3种不同竞争强度的种植模式下, 对紫茎泽兰和黄花蒿进行AMF接种和不接种处理, 比较二者的生长及磷营养状况, 分析接种AMF对紫茎泽兰和黄花蒿竞争的影响。结果表明: 与未接种相比, 接种AMF提高了3种不同种植模式下紫茎泽兰、黄花蒿的生物量及磷吸收量; 与单一种植相比, 随竞争强度增加, 紫茎泽兰对菌根依赖性降低, 黄花蒿对菌根依赖性则呈现增加趋势, 紫茎泽兰生物量及磷吸收量随植物间竞争增强呈现降低的趋势。对种间相对竞争能力和竞争比率的分析可以发现, 接种AMF在一定程度上削弱了紫茎泽兰的竞争力, 提高了黄花蒿的竞争力, 对抑制紫茎泽兰的入侵和维护生态安全、环境安全方面具有重要作用。

关键词: 丛枝菌根; 入侵植物; 土著植物; 竞争

中图分类号: Q948.12⁺2.3

文献标志码: A

文章编号: 1672-6693(2015)03-0000-00

外来入侵植物与土著植物间的竞争作用是入侵生态学在种间水平上的主要研究内容^[1]。菌根真菌作为土壤中的一类微生物在植物间相互作用中发挥着重要作用^[2-4]。土壤中丛枝菌根真菌(Arbuscular mycorrhizal fungi, AMF)是一类能与世界上80%的维管束植物形成互利共生关系的微生物^[6], 它们可以促进植物根系对水分及营养物质的吸收^[6-9], 提高植物光合速率^[10], 增强植物抗性^[11-15]。最新研究表明, 植物个体间可以通过菌丝实现对不同植物地上部分生物量再分配, 这对削弱优势植物对资源垄断能力、控制外来植物入侵、降低入侵植物对现有生态环境的破坏能力以及在维持生物多样性与生态系统稳定等方面有着重要作用^[2,16-17]。

国内外学者对AMF进行了大量研究, 但研究内容侧重于AMF在植物生长过程中发挥的生理效应, 而对诸如入侵植物与土著植物种间竞争等生态效应的研究较少^[4,16,18]。植物入侵过程中与AMF形成互利共生关系, 这种关系很可能对入侵植物的存活与繁殖起到关键作用, 影响入侵植物与土著植物间的竞争^[16,18]。紫茎泽兰(*Eupatorium adenophorum*), 菊科(Compositae)植物, 世界恶性杂草之一, 原产于中美洲的墨西哥和哥斯达黎加, 20世纪40年代左右, 紫茎泽兰开始由缅甸传入中国^[19-20], 目前已成为中国西南地区的重要入侵植物之一。黄花蒿(*Artemisia annua*)是西南地区常见的一种土著植物, 是与紫茎泽兰同属菊科的菌根植物^[21]。本研究选取西南喀斯特地区常见的入侵植物紫茎泽兰和土著植物黄花蒿作为研究对象, 拟在不同的种植模式下, 研究AMF对入侵植物紫茎泽兰和土著植物黄花蒿竞争的影响。本研究将有助于进一步阐明AMF在植物入侵中发挥的生态效应, 探索通过AMF来实现对入侵植物和土著植物竞争的调控。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试两种植物的种子采集于贵州省关岭布依族苗族自治县(105° 35'10"E~106° 0'50"E, 25° 25'19"N~26° 10'32"N)。挑选颗粒饱满、大小一致的种子, 经10% H₂O₂表面消毒10 min后去离子水反复冲洗干净, 在初温为40℃水中浸泡24 h, 置于25℃恒温培养箱中催芽, 露白后播种; 待幼苗出土10 d后间苗, 每一种植室保留2株长势一致的幼苗。

供试土壤采自贵阳市花溪区贵州大学林学院苗圃喀斯特地段的碱性石灰土, 与河沙按照3:1体积比混合均匀, 于0.14 MPa和124~126℃条件下连续灭菌1 h。供试土壤理化性质为: pH值7.45, 全氮、全磷、全钾的含量分别为2.27, 0.9, 4.99 g kg⁻¹; 碱解氮、速效磷、速效钾含量分别为127.48, 11.48, 287.3 mg kg⁻¹。

供试菌种为幼套球囊霉(*Glomus etunicatum*), 购于北京农林科学院营养资源研究所。研究中所需接种剂为利用已灭菌的土壤种植的白三叶草(*Trifolium repens*), 扩繁3个月; 接种剂含AMF孢子(孢子密度不低于每克10个)、菌丝片段及侵染根段。

1.2 试验设计

本试验采用改进的三室空气隔板装置, 所用材料为2 mm的有机玻璃板。装置分为三室, 中间的隔室为竞争室, 两侧为种植室。种植室及竞争室大小约为10 cm×10 cm×10 cm(长×宽×高), 种植室与竞争室之间为2 mm的有机玻璃隔板, 隔板上均匀钻0.5 cm直径的圆孔, 孔间距0.5 cm, 隔板两侧表面覆盖孔径30 μm的尼龙网。

* 收稿日期: 2015-02-03

资助项目: 国家自然科学基金(No.31000204; No.31360106); 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); 贵州省农业攻关项目(黔科合NY[2014]3029号)

作者简介: 王鹏鹏,男,研究方向为生态恢复,E-mail: tsingpow@163.com; 通讯作者:何跃军,教授, E-mail:hyj1358@163.com

尼龙网作用为在允许菌丝自由穿过的同时阻碍植物根系通过。根据竞争程度从低到高分为单一种植、分隔种植、混合种植共3个不同种植方式: 1)单一种植为在根室两侧种植紫茎泽兰或黄花蒿; 2)分隔种植为一侧种植紫茎泽兰, 另一侧种植黄花蒿; 3)混合种植为紫茎泽兰和黄花蒿混合种植于同一侧根室。每一种植室和竞争室各装灭菌的土壤基质2.5 kg。

种植室分为接种(M+)种植室和不接种(M-)种植室。其中M+种植室中加入50 g菌剂, 播入5粒已处理的种子, 在覆盖约0.5 cm厚的灭菌表土后, 浇足无菌水后将处理放置在试验温室内培养, 待幼苗出土后10 d间苗, 每一种植室内留苗2株。M-种植室中加入50 g菌剂灭菌体(将接种菌剂在0.14 MPa和124~126 °C条件下湿热灭菌1 h), 再加入10 mL菌剂过滤液(称取接种菌剂50 g, 用双层试纸过滤后的滤液)到菌剂灭菌体, 以保证除目的菌以外的其他微生物区系一致, 其他处理和培养方法与M+一致。共计6个处理, 每个处理重复4次。

1.3 测定方法

植株生长84 d后收获, 分别对紫茎泽兰和黄花蒿进行生长指标测定, 收获植物和土壤材料进行处理分析。生物量测定按根、茎、叶分别收获植物材料, 105 °C杀青, 80 °C烘干至恒重称量。磷素测定采用钼锑抗比色法^[22]。侵染率测定为: 将完全清洗干净的新鲜细根样切成约1 cm长的根段, 用5% KOH溶液95 °C脱色40 min, 5%乳酸中酸化3~5 min, 0.05%的酸性品红溶液90 °C染色30 min, 乳酸甘油浸泡多次, 40倍光学显微镜下观察根系侵染率^[23]。

1.4 数据处理及分析

菌根依赖性(Mycorrhizal dependency, MD)是用来衡量不同植物对菌根真菌生长反应的指标^[24-25]。其计算公式为“MD菌根依赖性(%)=接种植物的干质量×100%÷对照(未接种)植物的干质量”。种间相对竞争能力是衡量植物表现的相对比值^[26]。以植物a相对植物b为例, 当 $R_{ab}>0$, 表明a竞争能力强于b; 当 $R_{ab}<0$, 表明b竞争能力强于a^[27]。 R_{ab} 具体计算公式为

$$R_{ab}=(Y_{ia}/Y_{sa})-(Y_{ib}/Y_{sb})。$$

式中, Y_{ia} 和 Y_{ib} 分别代表混合种植时植物a和植物b的生物量; Y_{sa} 和 Y_{sb} 分别代表单独种植时植物a和植物b的生物量。竞争比率是指示植物竞争强度和竞争重要性测度的一个重要指标^[26], 用来检验混合种植时某一植物相对于另一植物对某一养分竞争能力的大小的量化指标^[28]。该比率的计算公式为

$$CR_{ab}=(P_{ia}P_{sb})/(P_{sa}P_{ib})。$$

式中, CR_{ab} 为竞争比率, P_{ia} 和 P_{ib} 分别代表植物a和植物b混合种植磷的吸收量, P_{sa} 和 P_{sb} 分别代表植物a和植物b单独种植磷的吸收量。运用SPSS 19.0对试验相关数据进行统计分析, 在 $\alpha=0.05$ 水平下比较检验各处理平均值之间的差异显著性。

2 结果

2.1 不同种植模式下菌根侵染率

本研究中, 不接种AMF处理中两种植物菌根侵染率均为0。表1显示, 3种不同种植模式中两种植物在接种AMF后均观察到较高的菌根侵染率, 紫茎泽兰侵染率高于黄花蒿, 但不同种植模式对两种植物的菌根侵染率没有显著影响。

表1 紫茎泽兰和黄花蒿在接种 AMF 后的菌根侵染率 %

处理	紫茎泽兰	黄花蒿
单一种植	72.5±1.7 ^a	65.2±2.0 ^a
分隔种植	72.1±1.8 ^a	63.0±0.8 ^a
混合种植	72.1±1.6 ^a	64.3±0.8 ^a

注: 上标不同字母表示同列数据差异显著($p<0.05$)。

2.2 植株生长状况

表2显示, 紫茎泽兰和黄花蒿根、叶的生长受种植模式或接种模式显著影响($p<0.05$), 但在种植模式和接种模式共同影响并不显著。同一接种条件下单一种植的紫茎泽兰各部分生物量最大, 然后依次是分隔种植和混合种植的紫茎泽兰; 而同一接种条件下混合种植的黄花蒿各部分生物量最大, 然后依次是单一种植和分隔种植的黄花蒿。与对照不接种相比, 接种AMF对两种植物在不同的种植模式下的生长具有促进作用, 接种AMF显著提高了分隔种植模式下紫茎泽兰根干质量及混合种植模式下黄花蒿茎及叶的干质量($p<0.05$)。双因素方差分析表明, 接种方式对紫茎泽兰根茎叶干质量及黄花蒿茎、叶干质量均有显著影响($p<0.05$), 种植模式对紫茎泽兰根茎叶及黄花蒿根、叶干质量均有极显著影响($p<0.01$), 接种方式和种植模式交互作用对紫茎泽兰和黄花蒿各部分干质量没有显著影响(表3)。

图1显示, 紫茎泽兰的菌根依赖性在单一种植模式下最高, 然后依次为分隔种植、混合种植, 黄花蒿的菌根依赖性在混合种植模式下最高, 然后依次分隔种植、单一种植。该结果说明在接种条件下, 紫茎泽兰与黄花蒿的根系相互作用较大, 黄花蒿的菌根依赖性较强, 而紫茎泽兰的菌根依赖性较弱。与单一种植模式相比, 紫茎泽兰的菌根依赖性在分隔种植和混合种植模式下分别降低了2.4%和14.0%, 黄花蒿的菌根依赖性则在这两种种植模式下分别提高了2.5%和6.4%。从竞争能力的比较上看, 在分隔种植和混合种植模式下, 紫茎泽兰的竞争能力小于黄花蒿。与不接种对比, 分隔种植模式下, 紫茎泽兰相对于黄花蒿的竞争能力下降了17.6%;

混合种植模式下, 紫茎泽兰相对于黄花蒿的竞争能力下降了12.0%(图2)。

表 2 不同处理条件下紫茎泽兰和黄花蒿的根、茎和叶干质量

处理条件		紫茎泽兰			黄花蒿			g
		根	茎	叶	根	茎	叶	
单一种植	接种	1.15 ^{aA}	2.41 ^{aA}	1.97 ^{aA}	1.23 ^{aB}	2.59 ^{aA}	2.41 ^{aB}	
	不接种	0.73 ^b	1.10 ^b	1.09 ^b	0.69 ^a	1.05 ^b	1.43 ^a	
分隔种植	接种	1.04 ^{aA}	1.74 ^{aA}	1.46 ^{aA}	0.92 ^{aB}	2.00 ^{aA}	1.67 ^{aB}	
	不接种	0.66 ^b	1.20 ^a	1.06 ^a	0.78 ^a	1.30 ^a	1.27 ^a	
混合种植	接种	0.19 ^{aB}	0.39 ^{aB}	0.38 ^{aB}	1.96 ^{aA}	2.91 ^{aA}	3.54 ^{aA}	
	不接种	0.09 ^a	0.38 ^a	0.35 ^a	1.63 ^a	1.64 ^b	2.50 ^b	

注: 同列上标中不同小写字母表示同一种种植模式下不同接种处理指标差异显著($p < 0.05$); 不同大写字母表示接种处理后不同种植模式下指标差异显著($p < 0.05$)。下同。

表 3 接种方式和种植模式对紫茎泽兰和黄花蒿根、茎和叶干质量影响的方差分析

处理方式		紫茎泽兰			黄花蒿		
		根	茎	叶	根	茎	叶
接种方式	F 值	18.191 0	7.999 0	6.535 0	3.601 0	7.467 0	8.334 0
	p 值	0.000 0	0.009 0	0.017 0	0.070 0	0.012 0	0.008 0
种植模式	F 值	41.173 0	11.908 0	14.035 0	9.233 0	0.637 0	9.205 0
	p 值	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.001 0	0.538 0	0.001 0
接种方式×种植模式	F 值	1.601 0	2.978 0	2.029 0	0.558 0	0.437 0	0.631 0
	p 值	0.222 0	0.070 0	0.153 0	0.580 0	0.651 0	0.541 0

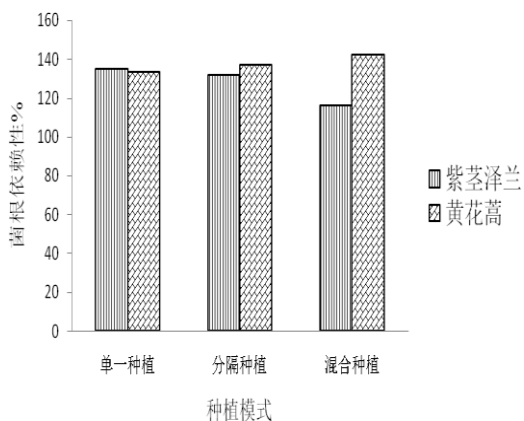


图1 紫茎泽兰和黄花蒿菌根依赖性

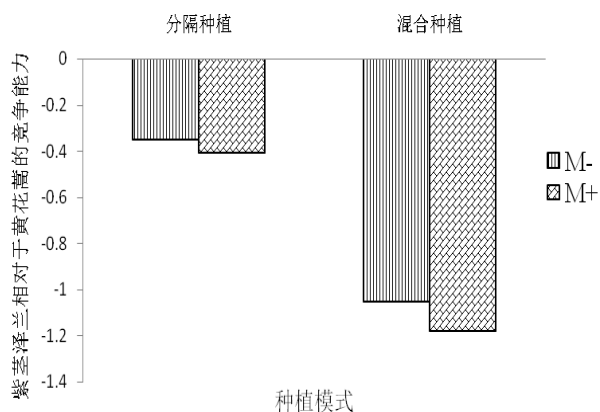


图2 紫茎泽兰相对于黄花蒿的竞争能力

2.3 植株磷吸收状况

表4显示, 接种AMF显著提高了紫茎泽兰各部分磷的吸收量($p < 0.05$), 但并未显著提高黄花蒿各部分磷的吸收量。接种AMF条件下, 黄花蒿在不同的种植模式下差异并不显著, 与单一种植和分隔种植相比, 混合种植模式下显著降低了紫茎泽兰各部分磷吸收量($p < 0.05$)。表5显示, 接种方式对紫茎泽兰各部分磷吸收量及黄花蒿茎磷吸收量均有显著影响($p < 0.05$), 种植模式对紫茎泽兰各部分磷吸收量有极显著影响($p < 0.01$), 接种方式和种植模式对紫茎泽兰磷吸收量有极显著的交互作用($p < 0.01$)。

表 4 不同处理条件下紫茎泽兰及黄花蒿的磷吸收量

处理条件		紫茎泽兰			黄花蒿			mg
		根	茎	叶	根	茎	叶	
单一种植	接种	3.04 ^{aA}	5.97 ^{aA}	6.38 ^{aA}	1.71 ^{aA}	2.91 ^{aA}	7.82 ^{aA}	
	不接种	1.39 ^b	1.34 ^b	2.55 ^b	1.41 ^a	1.47 ^b	5.82 ^a	
分隔种植	接种	3.06 ^{aA}	6.08 ^{aA}	4.95 ^{aA}	1.37 ^{aA}	3.35 ^{aA}	7.99 ^{aA}	
	不接种	1.11 ^b	1.38 ^b	2.50 ^b	1.11 ^a	1.61 ^a	4.91 ^a	
混合种植	接种	0.34 ^{aB}	0.94 ^{aB}	0.80 ^{aB}	2.05 ^{aA}	4.81 ^{aA}	11.86 ^{aA}	
	不接种	0.08 ^b	0.33 ^b	0.53 ^a	1.36 ^a	1.80 ^a	6.60 ^a	

表 5 接种方式和种植模式对紫茎泽兰和黄花蒿根、茎和叶磷吸收量影响的方差分析

处理方式		紫茎泽兰			黄花蒿		
		根	茎	叶	根	茎	叶
接种方式	F 值	77.333 0	294.900 0	64.987 0	3.240 0	9.894 0	1.487 0
	p 值	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.097 0	0.008 0	0.246 0
种植模式	F 值	78.599 0	112.484 0	74.183 0	1.410 0	1.037 0	0.512 0
	p 值	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.282 0	0.384 0	0.612 0
接种方式 * 种植模式	F 值	12.661 0	48.766 0	14.685 0	0.366 0	0.540 0	2.619 0
	p 值	0.001 0	0.000 0	0.001 0	0.701 0	0.596 0	0.114 0

由图3可见, 在分隔种植模式下, 紫茎泽兰相对于黄花蒿对磷的竞争比率在不接种AMF时大于1, 接种AMF条件下小于1, 说明在不接种AMF时紫茎泽兰对磷的吸收能力大于黄花蒿, 接种AMF能显著降低紫茎泽兰对磷的竞争比率, 使得紫茎泽兰对磷的吸收能力弱于黄花蒿; 在混合种植模式下, 接种AMF后紫茎泽兰相对于黄花蒿对磷的竞争比率在接种前后均小于1, 与不接种AMF的对照相比, 接种AMF使得紫茎泽兰相对于黄花蒿的竞争比率降低, 说明接种AMF在一定程度上降低了紫茎泽兰对磷的吸收。接种AMF后, 紫茎泽兰相对于黄花蒿对磷的竞争比率在分隔种植模式下降低了29.75%, 而混合种植条件下降低了31.8%。

3 讨论

大量研究表明, 菌根真菌中的AMF的存在会对宿主植物的竞争能力产生影响^[2,17], 导致这种竞争能力变化的原因可能是不同的物种对菌根真菌的生理反应存在着细微的差异^[29]。本研究中, 紫茎泽兰和黄花蒿在3种不同种植模式下均有较高的菌根侵染率, 且紫茎泽兰高于黄花蒿的菌根侵染率。这可能与菌根侵染率因宿主而异有关^[30-32]。菌根对植物的促进或抑制作用取决于植物的菌根依赖性, 在土著植物菌根依赖性较强的条件下, 菌根的存在可能未能增强入侵植物的相对竞争力^[16]。Bever等人^[33]在对南加州归化植物的研究发现, 归化植物在菌根的减少的条件下表现出更高的生长优势。李敏等人^[18]在对入侵植物护花米草(*Spartina alterniflora*)及本地植物芦苇(*Phragmites australis*)的研究中发现, AMF的存在影响了互花米草氮、磷含量; 但与芦苇相比互花米草氮、磷吸收能力较弱, 故并未增强互花米草对芦苇的竞争能力。本研究中, 接种AMF条件下根系相互作用较大, 紫茎泽兰的菌根依赖性、各部分生物量及磷吸收量降低, 说明高密度种植条件下, 接种AMF对紫茎泽兰的生长具有抑制作用, 这证实了AMF具有降低入侵植物竞争力的作用。分析相对竞争能力和磷竞争比率可以发现, 接种AMF能够降低紫茎泽兰的竞争能力及相对于黄花蒿对磷的竞争比率, 进一步证实了接种AMF在一定程度上削弱入侵植物的竞争力。

总之, 本研究结果显示AMF明显地影响了入侵植物与土著植物的相互竞争: 接种AMF可以降低入侵植物紫茎泽兰生物量及磷吸收量, 使得该物种相对竞争能力和对磷的竞争比率降低。这说明AMF在一定程度上对入侵植物和土著植物间竞争起到了调控的作用。下一步将选择更多的菌种和植物进行研究, 以加深对AMF有关调控作用的认识。

参考文献:

- [1] Reitz S R, Trumble J T. Competitive displacement among insects and arachnids[J]. Annual Review of Entomology, 2002, 47: 435-465.
- [2] Fitter A H. Influence of mycorrhizal infection on competition for phosphorus and potassium by two grasses[J]. New Phytol, 1977, 79(1): 119-125.
- [3] Wilson G, Hartnett D. Effects of mycorrhizae on plant growth and dynamics in experimental tall grass prairie microcosms[J]. American Journal of Botany, 1997, 84(4): 478-482.
- [4] 梁宇, 郭良栋, 马克平. 菌根真菌在生态系统中的作用[J]. 植物生态学报, 2002, 26(6): 739-745.
Liang Y, Guo L D, Ma K P. The role of mycorrhizal fungi in ecosystems[J]. Acta Phytocologica Sinica, 2002, 26(6): 739-745.
- [5] Van der Heijden M G A, Boller T, Wiemken A, et al. Different arbuscular mycorrhizal fungal species are potential determinants of plant community structure[J]. Ecology, 1998, 79(6): 2082-2091.
- [6] Augé R M. Water relations, drought and vesicular arbuscular mycorrhizal symbiosis[J]. Mycorrhiza, 2001, 11(1): 3-42.
- [7] 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 absorption on *Broussonetia papyrifera* seedlings to

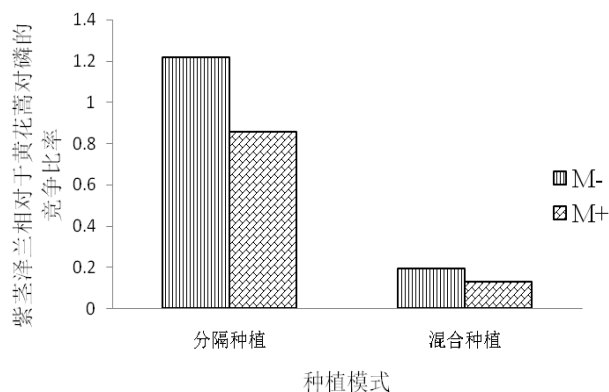


图 3 紫茎泽兰相对于黄花蒿对磷的竞争比率

- inoculate Vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(11): 4840-4847.
- [8] 何跃军, 钟章成, 刘济明, 等. 构树幼苗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.
- [9] 张宇亭, 王文华, 申鸿, 等. 接种AMF对菌根植物和非菌根植物竞争的影响[J]. *生态学报*, 2012, 32(5): 1428-1435.
Zhang Y T, Wang W H, Shen H, et al. Influence of arbuscular mycorrhizal associations on the interspecific competition between mycorrhizal and nonmycorrhizal plants[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(5): 1428-1435.
- [10] 何跃军, 钟章成, 刘锦春, 等. 石灰岩土壤基质上构树幼苗接种丛枝菌根(AM)真菌的光合特征[J]. *植物研究*, 2008, 28(4): 452-457.
He Y J, Zhong Z C, Liu J C, et al. Photosynthetic Characteristics of *Broussonetia papyrifera* Seedlings Inoculated AM Fungus in Limestone Soil Substratum[J]. *Bulletin of Botanical Research*, 2008, 28(4): 452-457.
- [11] 何跃军, 钟章成. 喀斯特土壤上香樟幼苗接种不同AM真菌后的耐旱性效应[J]. *植物研究*, 2011, 31(5): 597-602.
He Y J, Zhong Z C. Drought Resistance of *Cinnamomum camphora* Seedlings Inoculated with Different AM Fungi in Karst Soil[J]. *Bulletin of Botanical Research*, 2011, 31(5): 597-602.
- [12] Gupta R, Krishnamurthy K V. Response of mycorrhizal and nonmycorrhizal *Arachis hypogaea* to NaCl and acid stress [J]. *Mycorrhiza*, 1996, 6(2): 145-149.
- [13] Charest C, Dalpé Y, Brown A. The effect of vesicular-arbuscular mycorrhizae and chilling on two hybrids of *Zea mays* L[J]. *Mycorrhiza*, 1993, 4(2): 89-92.
- [14] Tylka G L, Hussey R S, Roncadori R W. Interactions of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi, phosphorus, and heterodera glycines on soybean[J]. *Journal of Nematology*, 1991, 23(1): 122-133.
- [15] Vigo C, Norman J R, Hooker J E. Biocontrol of the pathogen phytophthora parasitica by arbuscular mycorrhizal fungi is a consequence of effects on infection loci[J]. *Plant Pathol*, 2000, 49(4): 509-514.
- [16] 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): 973-980.
Ji Y H, Liu W X, Liu R J, et al. Functions and mechanisms of arbuscular mycorrhizal fungi in succession of exotic invasive plants[J]. *Plant Physiology Journal*, 2013, 49(10): 973-980.
- [17] Hall I R. Effects of endomycorrhizas on the competitive ability of white clover[J]. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 1978, 21(3): 509-515.
- [18] 李敏, 陈琳, 肖燕, 等. 丛枝真菌对互花米草和芦苇氮磷吸收的影响[J]. *生态学报*, 2009, 29(7): 3960-3969.
Li M, Chen L, Xiao Y, et al. Effects of arbuscular mycorrhiza on absorption of nitrogen and phosphorus of *Spartina alterniflora* and *Phragmites australis*[J]. *Acta ecologica sinica*, 2009, 29(7): 3960-3969.
- [19] 鲁萍, 桑卫国, 马克平. 外来入侵种紫茎泽兰研究进展与展望[J]. *植物生态学报*, 2005, 29(6): 1029-1037.
Lu P, Sang W G, Ma K P. Progress and prospects in research of an exotic invasive species, *Eupatorium Adenophorum*[J]. *Acta Phytoecologica Sinica*, 2005, 29(6): 1029-1037.
- [20] Sun X, Lu Z, Shang W. Review on studies of *Eupatorium adenophorum* important invasive species in China[J]. *Journal of Forestry Research*, 2004, 15(4): 319-322.
- [21] Rapparini F, Llusià J, Peñuelas J. Effect of arbuscular mycorrhizal (AM) colonization on terpene emission and content of *Artemisia annua* L[J]. *Plant Biology*, 2008, 10(1): 108-122.
- [22] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
Bao S D. Soil and Agricultural Chemistry Analysis[M]. 3rd ed. Beijing: China Agriculture Press, 2000.
- [23] Philips J M, Hayman D S. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society*, 1970, 55(1): 158-161.
- [24] 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.
- [25] 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.
Gong M, Chen Y L, Zhong C L. Mycorrhizal research and application[M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 1997.
- [26] 蒋智林, 刘万学, 万方浩, 等. 植物竞争能力测度方法及其应用评价[J]. *生态学杂志*, 2008, 27(6): 985-992.
Jiang Z L, Liu W X, Wan F H, et al. Measurements of plant competition ability and their applications: A review[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2008, 27(6): 985-992.
- [27] Willey W R. Intercropping its importance and research needs. part II. agronomy and research approaches[J]. *Field Crop Abstracts*, 1979, 32(2): 72-85.
- [28] Willey R W, Rao M R. A Competitive ratio for quantifying competition between intercrops[J]. *Experimental Agriculture*, 1980, 16(2): 117-125.
- [29] 李博, 陈家宽, 沃金森 A R. 植物竞争研究进展[J]. *植物学通报*, 1998, 15(4): 18-29.
Li B, Chen J K, Watkinson A R. A literature review on plant competition[J]. *Chinese Bulletin of Botany*, 1998, 15(4): 18-29.
- [30] 张峰峰, 唐明, 盛敏, 等. 甘肃盐碱土植物VA菌根真菌侵染研究[J]. *西北植物学报*, 2007, 27(1): 115-120.
Zhang F F, Tang M, Sheng M, et al. VA mycorrhizal fungi infecting plants in saline-alkali soil of Gansu[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2007, 27(1): 115-120.
- [31] Hart M M, Reader R J, Klironomos J N. Plant coexistence mediated by arbuscular mycorrhizal fungi[J]. *Trends in Ecology & Evolution*, 2003, 18(8): 418-423.
- [32] 贺学礼, 赵丽莉. 非灭菌条件下VA菌根真菌对小麦生长发育的影响[J]. *土壤通报*, 1999, 30(2): 57-59.
He X L, Zhao L L. Infect of the arbuscular mycorrhizal fungi on wheat growth in nonsterilize soil[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 1999, 30(2): 57-59.
- [33] Bever J, Schultz P, Miller R, et al. Prairie mycorrhizal fungi inoculant may increase native plant diversity on restored sites[J]. *Ecological Restoration*, 2003, 21(4): 311-312.

Influence of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on the Competition between *Eupatorium adenophorum* and *Artemisia annua* in Different Competitive States

WANG Pengpeng¹, HE Yuejun¹, WU Changbang^{1,2}, JIANG Chang-hong¹, WU Chunyu¹, XIE Peiyun¹

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

2. Guizhou Forest Inventory and Planning Institute, Guiyang 550003, China)

Abstract: In order to study the effect of interspecific competition on invasive plant *Eupatorium adenophorum* and indigenous plant *Artemisia annua* inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi, *Eupatorium adenophorum* and *Artemisia annua* inoculated with AMF or uninoculated were cultivated in three different competitive states of monoculture, nylon mesh split and mix cropping in karst limestone soil. The biomass and phosphorus uptake of the two species were measured and relative competitive strength of the two species were evaluated. The results showed that: Two species growth and P uptake was improved compared with the non-inoculated treatment in three different competitive state; With the strengthen of plant inter-specific competition, the mycorrhizal dependency of *E. adenophorum* was suppressed compared with monoculture treatment in the patterm of nylon mesh split and mix cropping, but *A. annua* was improved, The biomass and phosphorus uptake of *E.adenophorum* varied in similarity law. Analysing the competition index, inoculation with AMF could decreased the competitiveness of *E. adenophorum*, and improved the competitiveness of *A. annua*. The inoculation with AMF has weakened the competitiveness of invasion plants on the competition between invasive plants and aboriginal plants, AMF played an important role in decreasing *Eupatorium adenophorum* invasion and maintainng ecological security and environmental safety in the ecosystems.

Key words: arbuscular mycorrhiza; invasion plant; aboriginal plant; competition