

不同丛枝菌根对白三叶草生长的影响

郭 佳, 王 丹, 黄 炜, 贺 佳, 代 威

(西南科技大学 生命科学与工程学院, 四川 绵阳 621010)

摘 要:以白三叶草植株为试材,采用盆栽试验,在灭菌条件下研究了摩西球囊霉(GM)、地球囊霉(GG)、透光球囊霉(GD)、地表球囊霉(GV) 4种不同丛枝菌根(AM)真菌对白三叶草接种效应、生长、生理生化指标、菌根感染率及菌根依赖性的影响,并进行相关性分析。结果表明:4种AM真菌菌剂均能与白三叶草菌根形成共生体系,但不同种类的AM真菌其感染率不尽相同;其中,以接种GV菌剂对白三叶草菌根感染率、菌根依赖性和生长最有利,其菌根感染率达到85.8%;接种GD菌剂对白三叶草形成较大生物量最有利,菌根依赖性高达381.5%。

关键词:AM真菌;白三叶草;选择性;菌根感染率;菌根依赖性

中图分类号:Q 148 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2014)02-0066-05

丛枝菌根(*Arbuscular mycorrhiza*),也称AM菌根,是一类广泛分布于土壤中的微生物,它在土壤中的丛枝菌根真菌可与寄主植物根系形成的一种互惠互利共生体^[1-2],能帮助寄主植物从土壤中吸收更多的水分和矿质元素,从而成为土壤与植物间物质的运输载体,对植物的生长和发育显得尤为重要。AM真菌在促进宿主植物生长的同时,也完全依赖宿主植物供给自身生长所必需的碳水化合物^[3]。AM真菌共生系统通常会增加植物的生物量,提高光合作用,并且对光合作用的部分产物有分配的作用^[4],AM真菌促生功能的内在机制已经逐步明确,如今它作为一种新型的生物肥料^[5]已被广泛运用于各种农林生产中。

宿主植物是对AM真菌影响最大的生物因子,对AM真菌的生态分布、产孢、丛枝发育都有很大的影响。不同植物上AM真菌的种属组成和感染率均不同,通常豆科植物根围中AM真菌的种属数量较多。有研究发现,在分子水平上宿主植物中许多基因对丛枝的发育和消解有重要影响^[6]。宿主植物根系与菌根真菌的亲合力或它们之间的相互选择性在很大程度上决定着菌根的生长发育和功能。另一方面,也意味着宿主与菌根真菌之间有一个最佳共生组合,这对于AM真菌在生产中的应用就提出了菌种有效性的问题^[7]。贺学礼等^[8]测

定了4种AM真菌和6种植物之间的接种效应,得出*G. mosseae*对三叶草的菌根感染率和菌根依赖性仅为58.1%和57.7%,而*G. mosseae*与玉米和大蒜是较为理想的组合;贺学礼等^[9]还利用盆栽试验在灭菌条件下研究了玉米、葱、黑麦草和三叶草等4种宿主植物对丹参根围土著AM真菌生长和繁殖特性的影响,结果表明以三叶草为宿主对AM真菌生长最有利;刘立波等^[10]用4种VA菌根菌种对红三叶草进行接种得出根内球囊霉的感染率和感染强度比较高,地表球囊霉次之。从以上研究可看出,并不是所有种类AM真菌种类都能与白三叶草形成高效的互惠互利共生体系,虽然白三叶草被广泛运用于丛枝菌根真菌的扩繁,但AM真菌菌种与白三叶草之间仍有选择性。由此可见,筛选出适于运用白三叶草进行扩繁的丛枝菌根真菌,选择优势菌种与宿主植物组合对于丛枝菌根真菌的广泛应用及农业生产具有重要的实践意义。

现以白三叶草为试材,运用5种不同基质按一定比例掺在一起的混合营养土壤作为供试基质,通过研究4种不同丛枝菌根真菌处理对白三叶草生长、菌根感染率、菌根依赖性、生理生化指标的影响及其相关性分析,旨在选出适合白三叶草生长的优质丛枝菌根真菌种类,为评价丛枝菌根与植物间相互选择性及筛选优势菌种提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

寄主植物为白三叶草(*Trifolium repens*)。

供试菌剂为摩西球囊霉(*Glomus mosseae*),简称GM;地球囊霉(*Glomus geosporum*),简称GG;地表球囊霉(*Glomus versiforme*),简称GV;透光球囊霉(*Glomus*

第一作者简介:郭佳(1988-),女,硕士研究生,研究方向为柑桔容器育苗技术。E-mail:guojia19880321@163.com

责任作者:王丹(1962-),女,硕士,教授,现主要从事核废物与环境安全等研究工作。E-mail:wangdan@swust.edu.cn

基金项目:国家现代农业产业技术体系四川柑桔创新团队岗位专家资助项目(09zd0101)。

收稿日期:2013-09-09

diaphanum),简称GD。以上供试菌剂由华中农业大学王鹏提供。AM真菌接种物是盆栽扩繁后,含培养基质、孢子、菌丝和侵染根段的混合物。每10 g菌土中含有161个孢子。

将基质按黑土:园土:珍珠岩:石英砂:河砂为1:1:1:1:2的比例混和均匀装袋放入高压灭菌锅(121℃)进行湿热灭菌24 h,冷却待用。基质的理化性状:pH 7.6;有效氮219.13 mg/kg;有效磷10.34 mg/kg。

盆栽容器为白色塑料盆,规格(下口宽×高×上口宽)为11.5 cm×15 cm×18.5 cm。将塑料盆表面用0.5%高锰酸钾溶液浸泡20 min,之后用清水冲洗干净待用。

1.2 试验方法

1.2.1 种子处理与接种 将白三叶草种子在10%的H₂O₂中浸泡10 min,进行表面消毒,然后用蒸馏水冲洗干净置于湿润的滤纸上,25℃恒温培养箱放置一昼夜进行催芽。出芽后播入塑料盆容器中,每盆装1.5 kg土,每盆播种白三叶草种子50粒,在播种的同时进行AM真菌菌剂的接种,每盆接种菌剂200 g,采用二层接种法接种:首先在塑料容器中装入容器高1/3的灭菌基质,之后均匀的撒上1层AM菌剂(100 g),继续填入灭菌基质到容器高的3/4处,再均匀撒上1层AM菌剂(100 g),同时将表面消毒的白三叶草种子均匀撒播在基质上,最后再覆盖少量灭菌基质,注意最上层的灭菌基质不宜覆盖过厚,以免影响白三叶草出芽。浇足水后进行常规管理,试验在温室中进行,生长期维持室温20~25℃,光照时间为14 h/d。

1.2.2 试验设计 试验在西南科技大学(绵阳)温室大棚培养基地进行,采用单因素完全随机试验设计,设接种GM菌剂、接种GV菌剂、接种GD菌剂、接种GG菌剂4个处理,以不接种菌剂为对照(CK),9次重复,共计45盆。生长14周后收获植株。

1.3 项目测定

1.3.1 菌根侵染状况测定 将收获的植株用清水洗净后,随机选取白三叶草根段30条,剪成长约1 cm的根段,采用Philips等^[11]的染色方法染色、制片、镜检。菌根侵染率(%)=菌根感染的根段长度/检查根段的总长度×100%。

1.3.2 生长量测定 每个处理随机选取9株白三叶草,测定其株高、茎粗、主根长、叶片数、侧根数,然后将其根、茎、叶分开,105℃杀青30 min,75℃下烘至恒重,称重计算其各项生长指标。菌根依赖性(%)=接种植株干重/未接种植株干重×100%。

1.3.3 植株生理生化指标测定 过氧化物酶(POD)活性、超氧化物歧化酶(SOD)活性、根系活力和可溶性蛋白质含量测定分别采用Li^[12]愈创木酚法、氮蓝四唑(NBT)

法、TTC法和考马斯亮蓝G-250染色法;过氧化氢酶(CAT)活性采用王学奎^[13]紫外吸收法测定。

1.4 数据分析

试验数据采用Excel、DPS及SPSS 19.0统计软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 4种AM真菌对白三叶草菌根侵染率及菌根依赖性的影响

菌根侵染率是衡量AM真菌在宿主植物根系扩展能力的重要指标,侵染率越高,说明其在宿主根系上扩展的能力越大。由表1可以看出,4种AM真菌处理的白三叶草均可形成菌根,但不同菌种处理在白三叶草上菌根形成能力及效果不尽相同。接种不同AM菌种,白三叶草根菌根侵染率存在较大差异,接种GV处理的菌根侵染率最高,达到85.8%,与其它几种接种菌种白三叶草的侵染率相比,均呈极显著差异;其次,接种GD和GM处理的菌根侵染率次之,分别达到52.7%和47.7%;接种GG处理的菌根侵染率较低,仅有13.0%,接种GG处理的菌根侵染率与对照处理的白三叶草菌根相比无显著差异;而其它3种(GM、GV、GD)接种菌剂的白三叶草菌根侵染率均与对照处理呈极显著差异。4种AM真菌均表现出较好的菌根依赖性,其中GD的菌根依赖性最高,达到381.5%,GD与GM的菌根依赖性差异显著,GV和GG的菌根依赖性次之,但与其它几种接种菌种无显著差异。GM相比其它3种菌种菌根依赖性较弱。

表1 AM真菌对白三叶草菌根侵染率及菌根依赖性的影响

Table 1 Effect of AM fungi on the plant colonization percentage and mycorrhizal dependency of *Trifolium repens*

AM真菌	侵染率	依赖性
AM fungi	Plant colonization percentage/%	Mycorrhizal dependency/%
GV	85.8Aa	298.2Aab
GD	52.7Bb	381.5Aa
GM	47.7Bb	210.1ABbc
GG	13.0Cc	298.1Aab
CK	0.0Cc	100.0Bc

注:表中数据为9次重复的平均值,同一列中不同小写字母表示差异达到5%显著水平,不同大写字母表示差异达到1%极显著水平,下同。

Note: Datas in the table are the average of 9 times, the different small letters in the same column mean significant difference at 5% level, and different capital letters mean extremely significant difference at 1% level, the same as follows.

2.2 4种AM真菌对白三叶草生长的影响

由表2可知,AM菌剂对白三叶草的生长有显著影响,接种真菌处理的白三叶草长势明显好于对照处理,无论是株高、茎粗、主根长、叶片数、侧根数、地上部地下部干重及总干重相对于对照处理的白三叶草均有不同程度的增加。其中接种GV菌剂的白三叶草与对照白三叶

草差异最为显著,其株高、茎粗、主根长、叶片数、地上部干重及总干重分别为对照的 2.1、3.5、2.4、4.5、2.9、2.6 倍, GV 菌根效应最好。其次,接种 GD 菌剂的白三叶草长势也较好,且其生物量最大,地上部、地下部干重及总干重与对照组白三叶草相比均差异极显著,其株高、茎粗、主根长、叶片数、地上及地下部干重、总干重分别为对照的 1.9、

3.2、1.9、2.9、3.3、2.5、3.2 倍, GD 表现出较好的菌根效应。接种 GM 菌剂的白三叶草其主根长、叶片数、侧根数、地上部干重、地下部干重及总干重与对照白三叶草相比均无显著差异,未能明显提高白三叶草植株的生物量。可见接种 AM 真菌能促进白三叶草的生长,但对白三叶草侧根数没有显著影响。

表 2

AM 真菌侵染对白三叶草生长的影响

Table 2

Effect of AM fungi colonization on the plant growth of *Trifolium repens*

AM 真菌	株高	茎粗	主根长	叶片数	侧根数	地上部干重	地下部干重	总干重
AM fungi	Plant height/cm	Stem diameter/cm	Main root length/cm	Leaf number/片	Lateral root number/条	Shoot dry weight/mg	Root dry weight/mg	Total dry weight/mg
GV	22.26Aa	1.39Aa	27.27Aa	18.8Aa	3.2Aa	230Aa	38Bb	266ABa
GD	21.02Aa	1.29ABa	21.56Bb	12.0Bb	4.4Aa	260Aa	63Aa	328Aa
GM	15.46Bb	1.08BCb	13.09Cc	4.8Cc	3.2Aa	130BCb	26Bb	156BCb
GG	13.21BCc	0.99Cb	22.57Bb	12.3Bb	4.4Aa	200ABab	62Aa	258ABa
CK	10.78Cd	0.40Dc	11.47Cc	4.2Cc	2.9Aa	80Cc	25Bb	104Cb

2.3 4 种 AM 真菌对白三叶草生理生化指标的影响

由表 3 可以看出,接种 AM 真菌极显著增强 CAT 活性,接种 4 种 AM 真菌(GM、GV、GD 和 GG)的白三叶草叶片 CAT 活性均极显著高于对照处理,且达到极显著水平,其活性分别提高了 465.7%、805.1%、501.8%、625.7%,其中接种 GV 菌剂的白三叶草叶片 CAT 活性最高,达到 $125.17 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW} \cdot \text{min}^{-1}$ 。接种 AM 真菌极显著促进白三叶草叶片 POD 活性,与对照相比,接种处理的白三叶草 POD 活性均表现出极显著差异,其活性分别提高了 308.4%、367.5%、331.2%、355.1%,其中接种 GV 菌剂的白三叶草叶片 POD 活性最高,达到 $219.21 \text{ U} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW} \cdot \text{min}^{-1}$ 。接种 AM 菌种显著降低白三叶草叶片 SOD 活性,对照处理的白三叶草叶片 SOD 活

性极显著高于 4 种接种 AM 真菌(GM、GV、GD、GG)的白三叶草,而 4 种接种不同 AM 真菌品种的白三叶草之间叶片 SOD 活性均差异不显著。植株根系活力是反映植物根系吸收功能的综合指标。由表 3 可以看出,接种 GV 菌剂的白三叶草根系活力最强,达到 $31.32 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW} \cdot \text{h}^{-1}$,但与除 GM 以外的其它类型(GD、GG、CK)相比,其根系活力没有显著差异。而接种 GM 菌剂的白三叶草根系活力最弱,仅为 $4.66 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW} \cdot \text{h}^{-1}$ 。可溶性蛋白质属植物的渗透调节物质,其含量是了解植物总代谢的一个重要指标。接种 GD 菌剂的白三叶草叶片可溶性蛋白质含量最高,达到 7.95 mg/g ,与含量最低的接种 GV 菌剂白三叶草存在显著差异,而与其它接种各菌剂及对照的白三叶草差异均不显著。

表 3

AM 真菌对白三叶草生理生化指标的影响

Table 3

Effect of AM fungi on physiological and biochemical indexes of *Trifolium repens*

AM 真菌	过氧化氢酶活性	过氧化物酶活性	超氧化物歧化酶活性	根系活力	可溶性蛋白质含量
AM fungi	CAT activity	POD activity	SOD activity	Root activity	Soluble protein content
	$/\text{U} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW} \cdot \text{min}^{-1}$	$/\text{U} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW} \cdot \text{min}^{-1}$	$/\text{U} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW} \cdot \text{h}^{-1}$	$/\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW} \cdot \text{h}^{-1}$	$/\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \text{FW}$
GV	125.17Aa	219.21Aa	286.89Bb	31.32Aa	4.01Ab
GD	83.23ABb	202.17Aa	324.52Bb	13.41ABbc	7.95Aa
GM	78.23Bb	191.49Aa	397.50Bb	4.66Bc	5.38Aab
GG	100.37ABab	213.31Aa	807.51ABb	22.04ABab	6.82Aab
CK	13.83Cc	46.89Bb	1 625.25Aa	26.65ABab	7.69Aab

注:表中数据为 3 次重复的平均值。

Note: Datas in the table are the average of 3 times.

2.4 AM 真菌对白三叶草生长、菌根侵染率、菌根依赖性及生理生化相关性分析

由表 4 可以看出,在接种 GV 菌种的白三叶草植株中,白三叶草株高与 SOD 活性、菌根侵染率、菌根依赖性及根系活力均显著相关($P < 0.05$);而白三叶草茎粗与菌根依赖性极显著相关($P < 0.01$);白三叶草总干重与植株 SOD 活性极显著相关($P < 0.01$),与 CAT 活性、菌根侵染率、菌根依赖性及根系活力均相关显著($P < 0.05$);白三叶草叶片 CAT 活性及 SOD 活性均与植株根系活力显著相关($P < 0.05$);POD 活性与白三叶草叶片

可溶性蛋白质含量极显著相关($P < 0.01$)。

由表 5 可以看出,在接种 GD 菌种的白三叶草植株中,白三叶草株高与菌根侵染率极显著相关($P < 0.01$),而与菌根依赖性、根系活力及可溶性蛋白质含量显著相关($P < 0.05$);白三叶草茎粗则与菌根依赖性极显著相关($P < 0.01$);而白三叶草总干重与菌根依赖性显著相关;CAT 活性、POD 活性、SOD 活性与植株生长指标、菌根侵染率、菌根依赖性、根系活力及可溶性蛋白质含量均无显著相关性($P > 0.05$);白三叶草菌根侵染率和根系活力均与植株叶片可溶性蛋白质含量差异显著($P < 0.05$)。

表 4 接种 GV 菌种的白三叶草生长、菌根侵染率、菌根依赖性及其生理生化指标的相关性

Table 4 Correlation analysis of each growth, plant colonization percentage, mycorrhizal dependency and physiological and biochemical indexes of plant inoculation with GV strain

相关分析 Correlation analysis										
	PH	SD	GDW	CAT	POD	SOD	PCP	MD	RA	SPC
PH	1	0.880 **	0.992 **	0.997	0.971	0.999 *	0.965 *	0.797 *	1.000 *	0.971
SD	0.880 **	1	0.870 **	0.871	0.783	0.885	0.850	0.864 **	0.899	0.781
GDW	0.992 **	0.870 **	1	1.000 *	0.983	1.000 **	0.956 *	0.763 *	0.999 *	0.982
CAT	0.997	0.871	1.000 *	1	0.987	1.000 *	0.852	0.936	0.998 *	0.987
POD	0.971	0.783	0.983	0.987	1	0.983	0.758	0.980	0.976	1.000 **
SOD	0.999 *	0.885	1.000 **	1.000 *	0.983	1	0.866	0.926	0.999 *	0.982
PCP	0.965 *	0.850	0.956 *	0.852	0.758	0.866	1	0.758	0.882	0.756
MD	0.797 *	0.864 **	0.763 *	0.936	0.980	0.926	0.758	1	0.913	0.980
RA	1.000 *	0.899	0.999 *	0.998 *	0.976	0.999 *	0.882	0.913	1	0.975
SPC	0.971	0.781	0.982	0.987	1.000 **	0.982	0.756	0.980	0.975	1

注:PH:株高;SD:茎粗;GDW:总干重;PCP:菌根侵染率;MD:菌根依赖性;RA:根系活力;SPC:可溶性蛋白质含量;*,**在0.01水平(双侧)上显著相关,*在0.05水平(双侧)上显著相关,下同。

Note:PH means plant height;SD means stem diameter;GDW means gross dry weight;PCP means plant colonization percentage;MD means mycorrhizal dependency;RA means root activity;SPC means soluble protein content;*,** Correlation is significant at the 0.01 level. * Correlation is significant at the 0.05 level,the same as follows.

表 5 接种 GD 菌种的白三叶草生长、菌根侵染率、菌根依赖性及其生理生化指标的相关性分析

Table 5 Correlation analysis of each growth, plant colonization percentage, mycorrhizal dependency and physiological and biochemical indexes of plant inoculation with GD strain

	PH	SD	GDW	CAT	POD	SOD	PCP	MD	RA	SPC
PH	1	0.957 **	0.922 **	0.920	0.874	0.866	1.000 **	0.730 *	1.000 *	0.998 *
SD	0.957 **	1	0.933 **	0.839	0.891	0.898	0.656	0.830 **	0.582	0.613
GDW	0.922 **	0.933 **	1	0.918	0.954	0.959	0.591	0.739 *	0.710	0.736
CAT	0.920	0.839	0.918	1	0.995	0.993	0.959	0.856	0.931	0.944
POD	0.874	0.891	0.954	0.995	1	1.000 *	0.924	0.905	0.888	0.905
SOD	0.866	0.898	0.959	0.993	1.000 *	1	0.918	0.912	0.880	0.897
PCP	1.000 **	0.656	0.591	0.959	0.924	0.918	1	0.724	0.996	0.999 *
MD	0.730 *	0.830 **	0.739 *	0.856	0.905	0.912	0.724	1	0.608	0.638
RA	1.000 *	0.582	0.710	0.931	0.888	0.880	0.996	0.608	1	0.999 *
SPC	0.998 *	0.613	0.736	0.944	0.905	0.897	0.999 *	0.638	0.999 *	1

3 讨论

研究表明,4种AM真菌菌剂均能与白三叶草侵染形成共生体系,与对照的白三叶草植株相比,4种丛枝菌根真菌均能促进植株各方面生长,同时,接种AM菌种极显著增强白三叶草叶片过氧化氢酶(CAT)活性和过氧化物酶(POD)活性,而降低了其超氧化物歧化酶(SOD)活性。植物在逆境条件下,植物自动获被动地调节保护酶类(CAT、POD、SOD)保护物质,以缓解细胞伤害。细胞代谢受阻,产生大量的活性氧,如过氧化氢(H₂O₂)等,而超氧化物歧化酶是一种普遍存在于动、植物体内清除超氧阴离子自由基的酶,催化下列反应:O₂⁻+2H⁺→H₂O₂+O₂。有研究表明,接种AM真菌能降低烟草幼苗叶片过氧化氢(H₂O₂)含量和沙棘细胞质膜相对透性^[14-15],该研究结果中,接种4种AM菌剂的白三叶草叶片SOD活性均低于对照的白三叶草叶片,说明在接种AM菌剂的白三叶草植株中,以上催化反应的产物H₂O₂含量也相应减少,进一步说明在逆境过程中,AM真菌通过降低活性氧的产生达到减轻细胞膜脂过氧化。这与Tang等^[14]、Wang等^[15]和烟草为试材所

获得的试验结果相一致。

虽然4种AM真菌菌剂均能与白三叶草侵染形成共生体系,但不同种类的AM真菌菌剂对白三叶草的菌根侵染率及菌根依赖性都及不尽相同。其中接种GV菌剂的白三叶草植株,其菌根侵染率、生长状况、根系活力及CAT活性、POD活性均优于其它菌种处理,根系活力是反映植物根系吸收功能的综合指标,它反映了植株对水分和矿质营养吸收的能力,说明GV菌剂的生态适应性最强,能有效的从土壤中吸收各种营养元素,因而表现出较强的菌根效应;而接种GD菌剂的白三叶草生物量最大,菌根依赖性和可溶性蛋白质含量都最高,可溶性蛋白质属植物的渗透调节物质,其含量是了解植物总代谢的一个重要指标,其含量的提高对植物体的抗逆性有帮助。可见,接种GD菌剂的白三叶草,能有效促进蛋白质的合成,其吸收的营养物质主要用于植株地上部分叶片、株高及茎粗等各方面的生长,说明GD菌剂能有效提高植株生物量。

白三叶草生长、菌根侵染率、菌根依赖性及其生理生化指标的相关性分析结果表明,接种GV菌剂的白三叶

草生长状况与菌根依赖性直接相关,白三叶草植株越高、茎粗越粗、生物量越多,其菌根依赖性越大;白三叶草生长状况还与菌根侵染率及根系活力呈现部分相关性。接种 GD 菌剂的白三叶草生长状况与菌根依赖性直接相关,白三叶草植株越高、茎粗越粗、生物量越多,其菌根依赖性越大;由此可见,白三叶草生长好坏与植株菌根依赖性存在最直接的关系,它反映了植株积累干物质的能力。同时,接种 GD 菌剂的白三叶草植株株高与菌根侵染率、根系活力及可溶性蛋白质含量均存在相关性。

在该研究中,根据白三叶草菌根侵染率、植株生长状况、根系活力及植株叶片 CAT 活性、POD 活性、SOD 活性的表现,以接种 GV 菌剂对白三叶草菌根效应最好,这与孙丹萍^[16]以白三叶草做宿主植物,采用单孢和双孢接种,发现了各种菌种侵入点数量从大到小为 GV>GM>GG, GV 产孢量较高, GM 次之, GG 列第三的研究结果基本一致。而根据白三叶草菌根依赖性、干物质积累量及可溶性蛋白质含量的表现以接种 GD 菌剂对白三叶草积累最大生物量较有利。由此可见,并不是所有菌种都可以利用白三叶草进行扩繁,白三叶草转繁对菌种有很大的选择性。有效的筛选出适于运用白三叶草进行扩繁的丛枝菌根真菌显得尤为重要。

参考文献

- [1] 吴强盛,夏仁学,张琼华. 果树上的一种新型生物肥料—丛枝菌根[J]. 北方园艺, 2003(6): 27-28.
- [2] Zhang Y, Zeng M, Xiong B, et al. Ecological significance of arbuscular mycorrhiza biotechnology in modern agricultural system[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2003, 14(4): 613-617.
- [3] Hodge A, Campbell C, Fitter A H. An arbuscular mycorrhizal fungus accelerates decomposition and acquisition nitrogen directly from organic material[J]. Nature, 2001, 413: 297-299.
- [4] Awhins H J, George E. Effect of plant nitrogen status on the contribution of arbuscular mycorrhizal hyphae to plant nitrogen uptake[J]. Physiologia Plantarum, 1999, 105(4): 694-700.
- [5] 李晓林,姚青. VA 菌根与植物的矿质营养[J]. 自然科学进展, 2000, 10(6): 524-531.
- [6] Franken P, Requena N. Analysis of gene expression in arbuscular mycorrhizas: new approaches and challenges[J]. New Phytologist, 2001, 150: 517-523.
- [7] 龙宣纪. 丛枝菌根真菌(AMF)高效菌种的选育[D]. 天津: 天津大学, 2009.
- [8] 贺学礼,李斌. VA 菌根真菌与植物相互选择性的研究[J]. 西北植物学报, 1999, 19(3): 471-475.
- [9] 贺学礼,李君,高爱霞,等. 不同宿主植物对丹参根围土著 AM 真菌生长发育的影响[J]. 河北大学学报(自然科学版), 2009(5): 533-537.
- [10] 刘立波,张志环,程国彬. 几种 VA 菌根真菌载体繁殖的比较测定[J]. 林业科技, 2003(3): 26-28.
- [11] Philips J M, Hayman D S. Improve procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular - arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection[J]. Tran British Mycol Soc, 1970, 55: 158-161.
- [12] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [13] 王学奎. 植物生理生化实验原理与技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [14] 唐明,薛莲,任嘉红,等. AMF 提高沙棘抗旱性的研究[J]. 西北林学院学报, 2003, 18(4): 29-31.
- [15] 王元贞,柯玉琴,潘廷国. 不同类型菌根菌对烟草幼苗生理代谢的影响[J]. 应用生态学报, 2002, 13(1): 87-90.
- [16] 孙丹萍. 丛枝菌根真菌扩繁技术研究[J]. 河南林业科技, 2004(2): 12-13.

Influence of Different Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Growth and Physiological and Biochemical Indicators of *Trifolium repens*

GUO Jia, WANG Dan, HUANG Wei, HE Jia, DAI Wei

(College of Life Science and Engineering, Southwest University of Science and Technology, Mianyang, Sichuan 621010)

Abstract: Taking *Trifolium repens* as material, the effects of (*Glomus mosseae*, *Glomus geosporum*, *Glomus versiforme*, *Glomus diaphanum*) four different arbuscular mycorrhizal fungus on the inoculum effect, growth, physiological and biochemical indexes, plant colonization percentage and mycorrhizal dependency were studied in potted culture under sterilized condition, correlation analysis was carried on. The results showed that symbiosis relationship could be formed between and four different AM fungus, while plant colonization percentage of host plant had significant differences. Among those, the white clover inoculated with mycorrhizal inoculant GV was the most beneficial on plant colonization percentage, mycorrhizal dependency and plant growth compared to the other treatment, the plant colonization percentage reached 85.8%. While the white clover inoculated with mycorrhizal inoculant GD plant biomass significant higher than all other treatment, the mycorrhizal dependency reached 381.5%.

Key words: arbuscular mycorrhizal(AM) fungi; *Trifolium repens*; selectivity; plant colonization percentage; mycorrhizal dependency