

文章编号:1000-5013(2014)03-0299-06

doi:10.11830/ISSN.1000-5013.2014.03.0299

# 泉州地区 28 种药用植物根围土壤中 AM 真菌的分布和侵染情况

王明元, 姜攀, 刘建福

(华侨大学 化工学院, 福建 厦门 361021)

**摘要:** 调查福建泉州地区 28 种药用植物根围土壤中丛枝菌根(AM)真菌的分布和侵染情况. 依据 AM 真菌孢子形态的鉴定, 分离出 AM 真菌 5 属 56 种, 其中优势属球囊霉属 35 种, 黑球囊霉为优势种; 27 种药用植物能与 AM 真菌形成良好共生关系, 17 种药用植物 AM 真菌侵染强度为 5 级, 土牛膝的侵染率为 0. 牡荊、络石根围 AM 真菌种的丰度最高为 14, 络石的 Shannon-Weiner 指数最高达到 2. 09, 桫欏的均匀度最高为 0. 95. 结果表明: 药用植物根围 AM 真菌多样性与土壤因子密切相关; Shannon-Weiner 指数与电导率极显著正相关, 与有机质、有效磷显著正相关; 均匀度与电导率、有效磷极显著正相关, 与 pH 值显著正相关.

**关键词:** AM 真菌; 药用植物; 侵染; 多样性; 土壤因子; 泉州地区

**中图分类号:** Q 948. 122. 2

**文献标志码:** A

丛枝菌根(AM)真菌是一类与植物共生的微生物群体, 能够与大多数的陆生植物形成互惠共生体<sup>[1]</sup>. AM 真菌在果蔬花、大田作物等植物中的研究已有几十年的发展历史, 药用植物领域的研究已成为当前 AM 真菌的研究热点之一<sup>[2-5]</sup>. Zubek 等<sup>[6]</sup>研究了 17 科 33 属 36 种药用植物丛枝菌根真菌分布情况, 发现其中 34 种药用植物有菌根存在. 黄文丽等<sup>[7]</sup>从四川 6 个产地的三角叶黄连中共分离出了 6 属 30 种 AM 真菌. 任嘉红等<sup>[8]</sup>从 10 个不同产区的三七根围中共分离出 15 种 AM 真菌. 目前, 药用植物面临着野生资源日趋枯竭, 药用成分不断下降的严重问题. 为了获得较高的药用植物生物量和质量较好的药材, 近年来研究重点是探索药用植物根围有益微生物, 而药用植物根围 AM 真菌则是重点的研究对象<sup>[6, 9]</sup>. 福建泉州位于北纬 24°22'~25°56', 东经 117°34'~119°05', 境内分布清源山、云中山、戴云山, 山峦起伏, 地势西北高东南低, 植被茂密, 年降雨量 1 000~1 800 mm, 造就了泉州丰富的药用植物资源. 本文研究泉州地区 28 种常见药用植物, 分析根围 AM 真菌的侵染, 探讨 AM 真菌的资源多样性.

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

2011 年 10 月, 在福建泉州云中山采集到 28 种野生常见药用植物根样及其根围土样. 28 种野生常见药用植物分别是五味子(*Schisandra chinensis* (Turcz.) Baill.)、福建青冈(*Cyclobalanopsis chungii* (Metc.) Y. C. Hsu et H. W. Jen ex Q. F. Zheng)、金毛狗(*Cibotium barometz* (L.) J. Sm.)、对叶百部(*Stemona tuberosa* Lour.)、福建莲座蕨(*Angiopteris fokiensis* Hieron.)、土茯苓(*Smilax glabra* Roxb.)、毛冬青(*Ilex pubescens* Hook. et Arn)、五加(*Acanthopanax gracilistylus* W. W. Smith)、山姜(*Alpinia japonica* (Thunb.) Miq.)、桫欏(*Alsophila spinulosa* (Wall. ex Hook.) R. M. Tryon)、山菅兰(*Dianella ensifolia* (L.) DC)、三叶崖爬藤(*Tetrastigma hemsleyanum* Diels et Gilg)、三叶鬼针草(*Bidens pilosa* L.)、三桠苦(*Evodia lepta* (Spreng.) Merr.)、半边旗(*Pteris semipinnata* L.)、石

**收稿日期:** 2013-06-20

**通信作者:** 王明元(1980-), 男, 副教授, 主要从事园艺植物菌根的研究. E-mail: mywang@hqu.edu.cn.

**基金项目:** 福建省自然科学基金资助项目(2011J01222); 中央高校基本科研业务费专项基金资助项目, 华侨大学科研基金资助项目(JB-ZR1149)

蝉草(*Peperomia dindygulensis* Miq.)、野枇杷(*Machilus velutina* Champ. ex Benth.)、毛果算盘子(*Glochidion eriocarpum* Champ. ex Benth.)、土牛膝(*Achyranthes aspera* L.)、牡荆(*Vitex negundo* L. var. *cannabifolia* (Sieb. et Zucc.) Hand.-Mazz.)、余甘子(*Phyllanthus emblica* L.)、商陆(*Phytolacca acinosa* Roxb.)、大青(*Clerodendrum cyrtophyllum* Turcz.)、野芝麻(*Lamium barbatum* Sieb. et Zucc.)、九节木(*Psychotria rubra* (Lour.) Poir.)、山麦冬(*Liriope spicata* (Thunb.) Lour.)、薜荔(*Ficus pumila* Linn.)、络石(*Trachelospermum jasminoides* (Lindl.) Lem.)。每种植物随机取 6 株根围 0~30 cm 剖面土样(含植物细小根系),每份土样 1~2 kg,装袋编号。收集的根样切成 1 cm 根段,用于丛植菌根侵染率测定。土壤自然风干后过 2 mm 筛,用于测定土壤理化性质和分离 AM 真菌孢子。

### 1.2 试验方法

1.2.1 菌根侵染 药用植物菌根侵染率( $\eta$ )依照文献[10]方法测定。根据根系被 AM 真菌侵染的营养根数目,将侵染强度分为 5 个等级:0~5%为 1 级;6%~25%为 2 级;26%~50%为 3 级;51%~75%为 4 级;76%~100%为 5 级<sup>[11]</sup>。

1.2.2 种属的鉴定 采用湿筛倾析-蔗糖离心法<sup>[12]</sup>分离 AM 真菌孢子,通过体视镜观察并记录孢子的颜色、大小、连孢菌丝的特征、孢子果形态等。挑取孢子加不同浮载剂(水、Melzer's 试剂、PVLG)进行压片,在生物显微镜下测量孢子的大小,观察孢子的颜色、纹饰、类型等特征并进行拍照,并辅助使用 Melzer's 试剂观察孢子壁及内含物的特异反应。根据 AM 真菌鉴定手册<sup>[13]</sup>及国际 AM 真菌保藏中心(INVAM)的最新分类描述,结合国内外发表的新种、新记录种进行种属的检索、鉴定。

1.2.3 土壤理化性质测定 根据鲍士旦方法<sup>[14]</sup>测定土壤有机质、碱解氮、有效磷、速效钾、电导率。pH 值测定时的水土比为 5:1。

1.2.4 AM 真菌多样性计算及数据处理 参照张美庆等<sup>[15]</sup>方法计算 AM 真菌丰度(SR)、孢子密度密度(SD)、Shannon-Wiener 多样性指数( $H$  值)和物质均匀度( $J$  值)。采用 SPSS 18.0 软件进行 ANOVA 方差分析,利用 Pearson 法进行因子间相关关系分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 药用植物根围土壤理化性质

泉州地区 28 种药用植物根围土壤理化性质,如表 1 所示。表 1 中:同一列数据中字母不同者表示在 0.05 水平上差异有统计学意义。由表 1 可知:土壤有机质(OM)的质量浓度为 17.47~209.52 g·kg<sup>-1</sup>,其中对叶百部根围最高,达到 209.52 g·kg<sup>-1</sup>;土壤 pH 值为 3.98~6.68;电导率为 23~355  $\mu$ s·cm<sup>-1</sup>,其中薜荔根围土壤 EC 值最大,为 355  $\mu$ s·cm<sup>-1</sup>,显著高于其他药用植物;有效磷(AP)的质量浓度为 15.64~111.56 mg·(kg)<sup>-1</sup>,其中野枇杷根围 AP 最高,达到 111.56 mg·kg<sup>-1</sup>;碱解氮(AN)质量浓度为 15.4~140.0 mg·(kg)<sup>-1</sup>,其中大青的最高,达到 140.0 mg·kg<sup>-1</sup>;速效钾(AK)为 49.90~96.52 mg·(kg)<sup>-1</sup>,其中薜荔根围土壤 AK 质量浓度最高,达到 96.52 mg·kg<sup>-1</sup>。

表 1 28 种药用植物根围土壤理化性质

Tab. 1 Characteristics of rhizospheric soil in 28 medicinal plants

药用植物	$\rho$ (OM)/g·kg <sup>-1</sup>	pH 值	$k/\text{ms}\cdot\text{s}^{-1}$	$\rho$ (AP)/mg·kg <sup>-1</sup>	$\rho$ (AN)/mg·kg <sup>-1</sup>	$\rho$ (AK)/mg·kg <sup>-1</sup>
五味子	77.47 efgh	4.52 bcd	23 l	41.97 cde	36.4 jklm	72.76 bc
福建青冈	70.33 fghi	4.66 bed	50 ijkl	34.03 efgh	30.8 klmn	67.55 bc
金毛狗	129.07 bc	4.37 cd	60 ijkl	31.87 fghi	63.0 d	76.19 ab
对叶百部	209.52 a	4.14 d	193 d	78.39 b	119.0 b	72.10 bc
福建莲座蕨	32.72 jkl	4.63 bed	40 ijkl	18.53 hij	44.8 fghi	68.66 bc
土茯苓	79.87 efg	4.18 cd	73 hijk	23.22 ghij	61.6 de	69.57 bc
毛冬青	58.70 hijk	4.09 d	55 ijkl	21.77 ghij	26.6 klmn	66.38 bc
五加	67.75 fghi	4.26 cd	74 hijk	52.06 c	50.4 defg	72.60 bc
山姜	92.06 def	3.98 d	88 fghi	22.85 ghij	50.4 defg	74.93 ab
桫欏	46.94 hijk	4.52 bcd	84 ghij	26.82 fghi	39.2 jklm	71.14 bc
三叶崖爬藤	92.97 def	4.65 bed	97 fgh	27.90 fghi	47.6 efgh	75.18 ab
三叶鬼针草	27.03 l	6.68 a	283 b	20.33 hij	22.4l mn	61.88 bc

续表

Cotinue table

药用植物	$\rho(\text{OM})/\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$	pH 值	$k/\text{ms} \cdot \text{s}^{-1}$	$\rho(\text{AP})/\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	$\rho(\text{AN})/\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	$\rho(\text{AK})/\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$
山菅兰	63.65 ghij	4.34 cd	84 ghij	36.56 fghi	43.4 ghij	77.10 ab
三桠苦	102.72 cde	4.40 cd	120 ef	38.72 def	32.2 klmn	78.37 ab
半边旗	146.33 b	4.30 cd	155 de	80.55 b	37.8 jklm	78.47 ab
石蝉草	87.33 defg	6.02 ab	178 d	47.38 cd	21.0 mn	79.13 ab
野枇杷	92.96 def	4.47 bcd	240 bc	111.56 a	56.0 def	78.32 ab
毛果算盘子	117.12 bcd	4.66 bcd	103 fg	38.72 def	40.6 hijk	66.08 bc
土牛膝	30.85 kl	6.53 a	75 hijk	78.75 b	16.8 n	70.28 bc
牡荆	36.98 ijkl	6.56 a	62 ijkl	17.81 ij	15.4 n	67.29 bc
余甘子	59.21 hijk	4.29 cd	49 ijkl	24.30 ghij	16.8 n	65.93 bc
商陆	38.44 ijkl	5.78 abc	33 kl	19.61 hij	26.6 klmn	49.90 c
大青	17.47 l	4.73 bcd	63 ijkl	15.64 ij	140.0 a	67.19 bc
野芝麻	19.20 l	4.43 bcd	67 ijkl	25.02 ghij	23.8 klmn	69.52 bc
九节木	192.49 a	4.63 bcd	199 cd	81.63 b	28.0 klmn	79.73 ab
山麦冬	78.68 efg	4.50 bcd	159 de	50.62 c	93.8 c	77.81 ab
薜荔	138.51 b	6.65 a	355 a	88.12 b	40.6 hijk	96.52 a
络石	85.05 efg	4.63 bcd	68 hijk	28.98 fghi	37.8 jklm	56.27 bc

2.2 AM 真菌资源

从泉州地区 28 种药用植物根围土壤中共分离、鉴定出 AM 真菌 5 属 56 种, 如表 2 所示. 其中: 球囊霉属(*Glomus*) 35 种、无梗囊霉属(*Acaulospora*) 14 种、盾巨孢囊霉属(*Scutellospora*) 5 种、原囊霉属(*Archaeospora*) 1 种、巨孢囊霉属(*Gigaspora*) 1 种. 球囊霉属在 28 种药用植物的根围均有分布, 为优势属; 黑球囊霉(*Glomus melanosporum*) 在 28 种药用植物的根围土壤中均有分布, 为共有优势种.

表 2 28 种药用植物根围的 AM 真菌

Tab. 2 AM fungi in the rhizosphere of the 28 medicinal plants

属	种
<i>Glomus</i>	<i>Glomus aggregatum</i> , <i>Glomus albidum</i> , <i>Glomus ambisporum</i> , <i>Glomus arenarium</i> , <i>Glomus aureum</i> , <i>Glomus badium</i> , <i>Glomus callosum</i> , <i>Glomus claroideum</i> , <i>Glomus clarum</i> , <i>Glomus constrictum</i> , <i>Glomus coronatum</i> , <i>Glomus deserticola</i> , <i>Glomus diaphanum</i> , <i>Glomus dimorphicum</i> , <i>Glomus dolichosporum</i> , <i>Glomus etunicatum</i> , <i>Glomus fasciculatum</i> , <i>Glomus fecundisporum</i> , <i>Glomus formosanum</i> , <i>Glomus geosporum</i> , <i>Glomus heterosporum</i> , <i>Glomus lamellosum</i> , <i>Glomus luteum</i> , <i>Glomus macrocarpum</i> , <i>Glomus melanosporum</i> , <i>Glomus microaggregatum</i> , <i>Glomus mosseae</i> , <i>Glomus multicaule</i> , <i>Glomus pansihalos</i> , <i>Glomus pustulatum</i> , <i>Glomus reticulatum</i> , <i>Glomus rubi forme</i> , <i>Glomus spurcum</i> , <i>Glomus verruculosum</i> , <i>Glomus viscosum</i>
<i>Acaulospora</i>	<i>Acaulospora bireticulata</i> , <i>Acaulospora cavernata</i> , <i>Acaulospora colossica</i> , <i>Acaulospora delicate</i> , <i>Acaulospora denticulata</i> , <i>Acaulospora elegans</i> , <i>Acaulospora excavate</i> , <i>Acaulospora foveata</i> , <i>Acaulospora gedanensis</i> , <i>Acaulospora gerdemannii</i> , <i>Acaulospora lacunose</i> , <i>Acaulospora rehmi</i> , <i>Acaulospora scrobiculata</i> , <i>Acaulospora spinosa</i>
<i>Scutellospora</i>	<i>Scutellospora erythropha</i> , <i>Scutellospora heterogama</i> , <i>Scutellospora nigra</i> , <i>Scutellospora persica</i> , <i>Scutellospora rubra</i> , <i>Scutellospora verrucosa</i>
<i>Archaeospora</i>	<i>Archaeospora gerdemannii</i>
<i>Gigaspora</i>	<i>Gigaspora ramisporophora</i>

28 种药用植物的菌根侵染率、侵染强度、孢子密度、种的丰度、Shannon-Weiner 指数、均匀度, 如表 3 所示. 从表 3 可知: 半边旗、大青、山麦冬的菌根侵染率最高达到 100%; 土牛膝根系未检测出 AM 真菌侵染; 五味子、福建青冈、福建连座蕨、土茯苓、五加、山姜、山菅兰、三叶崖爬藤、三叶鬼针草、半边旗、石蝉草、野枇杷、余甘子、商陆、大青、九节木、山麦冬等 17 种药用植物的侵染强度最高为 5 级, 显著高于叶百部、野芝麻、络石; 金毛狗根围中的孢子的密度最高为 20.8 个 · g<sup>-1</sup>, 桫欏根围中的最少, 只有 0.8 个 · g<sup>-1</sup>, 二者差异显著; 但桫欏根围 AM 真菌的均匀度最高达到 0.95; 络石根围 AM 真菌种的丰度和 Shannon-Weiner 指数均最高, 分别达到 14 和 2.09, 福建连座蕨均最低, 只有 2 和 0.35, 二者差异明显.

2.3 AM 真菌多样性与土壤因子的相关关系

28 种药用植物根围 AM 真菌多样性与土壤因子相关性分析, 如表 4 所示. 从表 4 可看出: AM 真菌孢子密度与土壤因子均无显著相关, 但与种的丰度极显著相关, 与均匀度负相关; Shannon-Weiner 指数与电导率极显著正相关, 与有机质、有效磷显著正相关; 均匀度与电导率、有效磷极显著正相关, 与 pH 值显著正相关.

表 3 28 种药用植物菌根侵染率、侵染强度和多样性

Tab. 3 Mycorrhizal colonisation, infection intensity and diversity in 28 medicinal plants

药用植物	$\eta/\%$	侵染强度	SD/个 $\cdot$ g <sup>-1</sup>	SR	<i>H</i>	<i>J</i>
五味子	92 a	5 a	12.50 def	11 bc	1.12 hijk	0.47 hi
福建青冈	84 ab	5 a	19.40 a	8 de	0.42 lm	0.20 j
金毛狗	62 bc	4 ab	20.80 a	9 cd	0.83 ijkl	0.38 ij
对叶百部	8 fg	2 cd	2.80 lmn	5 fgh	1.22 hijk	0.76 bcde
福建莲座蕨	76 ab	5 a	1.80 mn	2 i	0.35 m	0.50 ghi
土茯苓	90 a	5 a	10.00 defg	9 cd	0.83 ijkl	0.38 ij
毛冬青	50 cd	3 bc	5.40 jkl	5 fgh	0.90 hijk	0.56 fghi
五加	76 ab	5 a	3.60 klmn	4 ghi	0.76 jklm	0.55 fghi
山姜	92 a	5 a	5.80 ijkl	6 efg	0.96 hijk	0.54 ghi
桫欏	30 def	3 bc	0.80 n	3 hi	1.04 hijk	0.95 a
山菅兰	80 ab	5 a	2.70 lmn	7 def	1.47 cdef	0.75 bcde
三叶崖爬藤	82 ab	5 a	8.70 fghi	9 cd	1.58 bcde	0.72 efgh
三叶鬼针草	87 a	5 a	4.70 lmn	7 def	1.50 cdef	0.77 abcd
三桠苦	38 cde	3 bc	6.30 hijk	6 efg	1.00 hijk	0.56 fghi
半边旗	100 a	5 a	17.80 ab	11 bc	1.74 abc	0.73 efgh
石蝉草	88 a	5 a	11.20 cd	9 cd	1.62 bcd	0.74 bcde
野枇杷	94 a	5 a	9.40 efgh	8 de	1.83 ab	0.88 ab
毛果算盘子	30 def	3 bc	12.80 cd	6 efg	1.34 defg	0.75 bcde
土牛膝	0 g	1 d	1.80 mn	4 ghi	1.00 hijk	0.72 efgh
牡荆	62 bc	4 ab	12.60 cd	14 a	1.63 bcd	0.62 efgh
余甘子	90 a	5 a	9.70 defg	13 ab	1.84 ab	0.72 efgh
商陆	96 a	5 a	3.20 klmn	3 hi	0.97 hijk	0.89 ab
大青	100 a	5 a	4.00 klm	4 ghi	0.71 klm	0.51 ghi
野芝麻	15 efg	2 cd	5.40 jkl	8 de	1.17 hijk	0.56 fghi
九节木	86 ab	5 a	2.80 lmn	7 def	1.59 bcde	0.82 abc
山麦冬	100 a	5 a	15.20 bc	12 ab	1.58 bcde	0.64 efgh
薜荔	62 bc	4 ab	1.60 mn	5 fgh	1.30 defg	0.81 abc
络石	12 fg	2 cd	7.70 ghij	14 a	2.09 a	0.79 abc

表 4 28 种药用植物菌根侵染率与土壤因子的相关关系

Tab. 4 Correlation between mycorrhizal colonization and rhizospheric soil factors of the 28 medicinal plants

参数	SD	H	SR	J	OM	pH	EC	AP	AN	AK
SD	1.000									
H	0.130	1.000								
SR	0.629**	0.639**	1.000							
J	-0.470**	0.639**	-0.084	1.000						
OM	0.168	0.267*	0.076	0.025	1.000					
pH	-0.170	0.153	-0.019	0.304*	-0.258	1.000				
EC	-0.161	0.403**	-0.060	0.465**	0.466**	0.388**	1.000			
AP	-0.188	0.327*	-0.031	0.381**	0.597**	0.089	0.626**	1.000		
AN	-0.020	0.201	-0.173	-0.153	0.225	-0.364	0.077	0.074	1.000	
AK	0.043	0.099	0.041	0.025	0.449**	0.018	0.527**	0.590**	0.080	1.000

注：\* 表示在 0.05 水平上有统计学意义；\* \* 表示在 0.01 水平上有统计学意义

3 讨论

从泉州地区 28 种常见药用植物根围土壤中分离鉴定出 56 种 AM 真菌的属和形态种的总数看,药用植物的 AM 真菌多样性不低于其他类似结果<sup>[16]</sup>. 由此可见,泉州地区药用植物根围 AM 真菌资源丰富. 实验结果显示:球囊霉属 AM 真菌种类最多,占 62.5%,巨孢囊霉属和原囊霉属种类最少. 泉州位于

福建东南沿海地区, 土壤为赤红壤, 富含含游离铁、铝, 良好的土壤环境和亚热带季风气候创造了球囊霉属丰富的种类. 研究表明: 球囊霉属在所有土壤类型中分布最广, 数量最多, 是广幅生态型<sup>[17]</sup>.

泉州地区 28 种药用植物中有 27 种能够与 AM 真菌形成良好共生关系. 土牛膝的侵染率为 0, 侵染强度最小. 研究发现: AM 真菌对苋科植物侵染少, 即使有侵染, 侵染程度比较轻, 往往带有不确定性<sup>[18]</sup>. 研究中的材料土牛膝为苋科植物, 因此, 土牛膝根系未见侵染属于正常现象. 泉州 28 种药用植物根围土壤 AM 真菌孢子密度、物种多样性存在明显差异, 这是由于 AM 真菌与宿主植物间的相互选择, 以及 AM 真菌所处生态环境的共同作用的结果<sup>[19-20]</sup>. 相关性分析结果表明, AM 真菌孢子密度与土壤因子均无显著相关关系. 研究显示: 土壤 pH 值直接影响 AM 真菌的分布和产孢量<sup>[21-22]</sup>; 自然界中 AM 真菌有对应的适宜生存的 pH 值<sup>[23]</sup>; AM 真菌孢子密度与土壤 pH 无显著相关关系, 可能是土壤样品 pH 值刚好处在 AM 真菌的适宜范围内.

有效磷与  $H$  值显著正相关, 与  $J$  值极显著正相关. 土壤有效磷会直接影响 AM 真菌的发育与功能<sup>[24]</sup>. 当土壤磷浓度处于植物生长的亚适中状态时, 有利于 AM 真菌的生长. 在有效磷较高的情况下, 常观察到 AM 的形成和发育受到限制<sup>[25]</sup>. 有机质与  $H$  值显著正相关. 在一定范围内有机质质量浓度越高, AM 真菌种和属的种类就越多, AM 真菌菌丝的生长加快<sup>[26]</sup>. 土壤 pH 值与  $J$  值显著正相关. 泉州地区的土壤 pH 值偏酸性, AM 真菌适宜于中性-微酸性土壤, pH 值除了对孢子发芽和菌丝生长有直接影响外, 还可通过提高土壤中的一些物质的可溶性, 从而对菌根形成产生间接作用, 土壤 pH 值过高或过低均不利于 AM 真菌侵染和菌根形成<sup>[27]</sup>. 电导率与  $H$  值,  $J$  值极显著正相关, 与  $SD$  负相关, 这可能是因为在盐胁迫条件下叶绿素质量浓度的降低必然影响色素蛋白复合体的功能, 使类囊体膜比例减小, 叶绿体中基粒数量和质量下降, 光合作用强度降低, 进而减少光合产物向根部的输送, 影响 AM 真菌孢子的生长和发育<sup>[28-29]</sup>.

参考文献:

[1] SMITH S E, READ D J. Mycorrhizal Symbiosis[M]. London: Academic Press, 2008: 45-49.

[2] PUSHPA K K, LAKSHMAN H C. Biochemical assessment on three medicinal plants with inoculation of arbuscular mycorrhiza and growth regulators[J]. Academic Journal of Plant Sciences, 2011, 4(3): 84-93.

[3] KARAGIANNIDIS N, THOMIDISA T, LAZARI D, et al. Effect of three Greek arbuscular mycorrhizal fungi in improving the growth, nutrient concentration, and production of essential oils of oregano and mint plants[J]. Scientia Horticulturae, 2011, 129(2): 329-334.

[4] PRASAD A, KUMAR S, KHALIQ A, et al. Heavy metals and arbuscular mycorrhizal (AM) fungi can alter the yield and chemical composition of volatile oil of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) [J]. Biology and Fertility of Soils, 2011, 47(8): 853-861.

[5] ZUBEK S, MIELCAREK S, TURNAU K. Hypericin and pseudohypericin concentrations of a valuable medicinal plant *Hypericum perforatum* L. are enhanced by arbuscular mycorrhizal fungi[J]. Mycorrhiza, 2012, 22(2): 149-156.

[6] ZUBEK S, BLASZKOWSKI J, MLECZKO P. Arbuscular mycorrhizal and dark septate endophyte associations of medicinal plants[J]. Acta Societatis Botanicorum Poloniae, 2011, 80(4): 285-292.

[7] 黄文丽, 范昕建, 严铸云, 等. 三角叶黄连丛枝菌根真菌的多样性研究[J]. 中药材, 2012, 35(5): 689-693.

[8] 任嘉红, 刘瑞祥, 李云玲. 三七丛枝菌根(AM)的研究[J]. 微生物学通报, 2007, 34(2): 224-227.

[9] 程俐陶, 刘作易, 郭巧生, 等. 药用植物丛枝菌根研究进展[J]. 中草药, 2009, 40(1): 156-160.

[10] 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): 158-161.

[11] 刘润进, 陈应龙. 菌根学[M]. 北京: 科学出版社, 2007: 1-75.

[12] DANIELS B A, SKIPPER H D. Methods for the recovery and quantitative estimation of propagules from soil[C]// Methods and Principles of Mycorrhizal Research. Saint Paul: American Society for Phytopathology, 1982: 29-37.

[13] SCHENCK N C, PEREZ Y. Manual for the Identification of VA mycorrhizal fungi[M]. Saint Paul: American Phytopathological Society, 1989: 1-197.

[14] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 30-37.

- [15] 张美庆,王幼珊,邢礼军. AM 真菌在我国东、南沿海各土壤气候带的分布[J]. 菌物系统,1999,18(2):145-148.
- [16] 赵婧,贺学礼. 河北省安国市药用植物 AM 真菌资源和分布研究[J]. 河北农业大学学报,2010,33(1):39-44.
- [17] WANG Y Y, VESTBERG M, WALKER C, et al. Diversity and infectivity of arbuscular mycorrhizal fungi in agricultural soils of the Sichuan Province of mainland China[J]. Mycorrhiza,2008,18(2):59-68.
- [18] 杨玲,王国华,任立成,等. 菟科植物的丛枝菌根[J]. 云南植物研究,2002,24(1):37-40.
- [19] 孙向伟,王晓娟,陈牧,等. 生态环境因子对 AM 真菌孢子形成与分布的作用机制[J]. 草业学报,2011,20(1):214-221.
- [20] TAHAT M M, KAMARUZAMAN S, RADZIAH O, et al. Plant host selectivity for multiplication of *Glomus mosseae* spore[J]. International Journal of Botany,2008,4(4):466-470.
- [21] RILLIG M C, ALLEN M F. What is the role of arbuscular mycorrhizal fungi in plant-to-ecosystem responses to elevated atmospheric CO<sub>2</sub> [J]. Mycorrhiza,1999,9(1):1-8.
- [22] 王发园,刘润进. 环境因子对 AM 真菌多样性的影响[J]. 生物多样性,2001,9(3):301-305.
- [23] 许秀强,李敏,刘润进. 农药污染土壤中 AM 真菌多样性初步调查[J]. 青岛农业大学学报:自然科学版,2009,26(1):1-3.
- [24] 王银银. 沙蒿根围 AM 真菌多样性与生态分布研究[D]. 保定:河北大学,2011:39.
- [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,1997:1-223.
- [26] ANGELA H, CAMPBELL C D, FITTER A H. An arbuscular mycorrhizal fungus accelerates decomposition and acquires nitrogen directly from organic material[J]. Nature,2001,413(20):297-299.
- [27] 刘润进,李晓林. 丛枝菌根及其应用[M]. 北京:科学出版社,2000:1-224.
- [28] LANDIS F C, GARGAS A, GIVNISH T J. The influence of arbuscular mycorrhizae and light on Wisconsin (USA) sand savanna understories[J]. Mycorrhiza,2005,15(7):555-562.
- [29] JAHROMI F J, AROCA R, PORCEL R, et al. Influence of salinity on the in vitro development of *Glomus intraradices* and on the in vivo physiological and molecular responses of mycorrhizal lettuce plants[J]. Microbial Ecology,2008,55(1):45-53.

## Colonisation and Distribution of AM Fungi in the Rhizosphere of 28 Medicinal Plants in Quanzhou Area

WANG Ming-yuan, JIANG Pan, LIU Jian-fu

(College of Chemical Engineering, Huaqiao University, Xiamen 361021, China)

**Abstract:** The colonisation and distribution of arbuscular mycorrhiza (AM) fungi in the rhizosphere of 28 medicinal plants species in Quanzhou area of Fujian Province were investigated. The results showed that 56 species of 5 genera of AM fungi were isolated, of which 35 species belonged to *Glomus* genera, according to the morphologic identification of AM fungi spores. *Glomus* was the dominant genera and *Glomus melanosporum* was the prevalent AM fungi. Fine symbiosis relation formed between AM fungi and 27 medicinal plants species. The AM infection intensity ranked 5 were showed in the rhizosphere of 17 medicinal plants species, however, the colonization was 0 in *Achyranthes aspera* L. In addition, the highest species richness (ranked 14) was found in *Vitex negundo* and *Trachelospermum jasminoides* (Lindl.) Lem. The highest Shannon-Weiner index (ranked 2.09) was in *Trachelospermum jasminoides* (Lindl.) Lem and the highest evenness (ranked 0.95) was in *Alsophila spinulosa* (Hook.) Tryon. The AM fungi biodiversity was correlated with the soil factors. Shannon-Weiner index had a highly positive correlation with electrical conductivity ( $P < 0.01$ ), and significantly positive correlation with organic matter and available  $P$  ( $P < 0.05$ ). Evenness had a highly significantly positive correlation with electrical conductivity and available  $P$  ( $P < 0.01$ ), and significantly positive correlation with pH values ( $P < 0.05$ )

**Keywords:** arbuscular mycorrhizal fungi; medicinal plants; colonisation; biodiversity; soil factors; Quanzhou area

(责任编辑: 陈志贤 英文审校: 刘源岗)