

# 不同丛枝菌根真菌种类对生姜生长的影响

汪 茜<sup>1</sup>, 包 涵<sup>2,3</sup>, 张金莲<sup>1,4\*</sup>, 宋 娟<sup>1</sup>, 刘增亮<sup>1</sup>, 黄京华<sup>2,3</sup>, 陈廷速<sup>1\*</sup>

1. 广西农业科学院微生物研究所, 广西南宁 530007; 2. 广西大学农学院, 广西南宁 530004; 3. 广西高校作物栽培学与耕作学重点实验室, 广西南宁 530005; 4. 厦门大学公共卫生学院, 福建厦门 361102

**摘 要** 研究盆栽条件下, 接种不同丛枝菌根真菌 (arbuscular mycorrhizal fungi, AMF) 种类对生姜不同生育时期农艺性状的影响及其在生姜根内的定殖情况。采用生姜组培苗, 于幼苗期分别接种 12 株 AMF 进行生姜农艺性状比较试验, 在温室盆栽接种后每隔 30 d 对生姜根系进行取样分析, 比较菌根侵染率、侵染强度和丛枝丰度的大小, 以观察不同 AMF 菌株对生姜苗的侵染动态。结果表明, 所有接种 AMF 组的生姜植株, 其生长量均高于空白对照组。结合不同菌株在根系的侵染率, 筛选出生姜 AMF 优势种类为: 细凹无梗囊霉 (*Acaulospora scrobiculata*)、网状球囊霉 (*Glomus reticulatum*)、隐形球囊霉 (*Paraglomus occlum*)、摩西球囊霉 (*Glomus mosseae*)。说明苗期接种这 4 个优势菌种, 能够促进生姜生长, 是适宜生姜生长的优良 AMF 菌株。

**关键词** 生姜; 丛枝菌根真菌; 农艺性状; 侵染率; 优势菌株

中图分类号 Q945.12 文献标识码 A

## Effects of Different Arbuscular Mycorrhizal Fungi Species on the Growth of Ginger

WANG Qian<sup>1</sup>, BAO Han<sup>2,3</sup>, ZHANG Jinlian<sup>1,4\*</sup>, SONG Juan<sup>1</sup>, LIU Zengliang<sup>1</sup>, HUANG Jinghua<sup>2,3</sup>, CHEN Tingsu<sup>1\*</sup>

1. Microbiology Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning, Guangxi 530007, China; 2. College of Agriculture, Guangxi University, Nanning, Guangxi 530004, China; 3. Key Laboratory of Crop Cultivation and Tillage of Guangxi Universities, Nanning, Guangxi 530005, China; 4. School of Public Health, Xiamen University, Xiamen, Fujian 361102, China

**Abstract** An experiment was conducted to analyze the effects of arbuscular mycorrhizal (AM) fungi on the growth of ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) under greenhouse conditions. Ginger plantlets were inoculated with 12 different AM species, and the agronomic characters, the rate of colonization, infection intensity and arbuscular abundance were analyzed in every 30 days after inoculation. The results showed the ginger plantlets inoculated with AM fungi grew better than the ones without AM fungi. The dominant strains of AM fungi were *Acaulospora scrobiculata*, *Glomus reticulatum*, *Paraglomus occlum* and *Glomus mosseae* according to the growth simulation and infection in roots. It suggests that the inoculation of the four dominant strains improved the growth, yield and quality, and further research is needed to develop dominant strains.

**Keywords** ginger (*Zingiber officinale* Roscoe); arbuscular mycorrhizal fungi; agronomic characters; infection rate; dominant strains

**DOI** 10.3969/j.issn.1000-2561.2019.07.004

AMF 是一类在生物防治土传病害和提高植物抗/耐病性方面极具应用潜力的微生物资源。丛

枝菌根 (arbuscular mycorrhiza, AM) 是由球囊霉门 (Glomeromycota) 真菌与植物根系形成的互惠

收稿日期 2018-10-10; 修回日期 2019-01-14

基金项目 广西自然科学基金面上项目 (No. 2017GXNSFAA198210); 广西自然科学基金青年基金项目 (No. 2017GXNSFBA198-144); 广西科技基地和人才专项 (桂科 AD16380054)。

作者简介 汪 茜 (1984—), 女, 硕士, 助理研究员, 研究方向: 植物与内生真菌互作。\*通信作者 (Corresponding author): 张金莲 (ZHANG Jinlian), E-mail: zhangjinlian1@126.com; 陈廷速 (CHEN Tingsu), E-mail: chen20409@hotmail.com。

共生体,90%以上的陆地植物都能形成丛枝菌根,是自然界中最普遍的一种菌根类型。AMF与植物根系共生后,能够影响土壤理化性质和根围微生物区系,并通过菌根帮助宿主植物获取根际的碳、氮养分和水分,从而促进植物的生长,提高植物的耐旱和抗逆能力<sup>[1-3]</sup>。AMF在植物根际形成的庞大菌丝网络系统,对稳定土壤结构、控制水土流失、增强对土传病害的抑制、保持植物根际土壤生态系统良性发展有重要意义<sup>[4-7]</sup>。已有研究表明,丛枝菌根真菌能降低真菌、线虫、细菌等病原体对黄瓜(*Cucumis sativus*)、草莓(*Fragaria ananassa*)、西红柿(*Lycopersicon esculentum*)、柑橘(*Citrus reticulata*)、油橄榄(*Olea europaea*)、截形苜蓿(*Medicago truncatula*)、香瓜(*Cucumis melo*)、玉米(*Zea mays*)、马铃薯(*Solanum tuberosum*)、香蕉(*Musanana lour*)等植物的危害程度,减少农药使用量<sup>[8-10]</sup>。目前已经证实的可有效控制植物土传病害的AMF超过30种<sup>[11]</sup>。

生姜种植过程中由于土壤青枯劳尔氏菌(*Ralstonia solanacearum*)导致的姜瘟病(Ginger Wilt)的危害,严重影响生姜的产量和品质<sup>[12]</sup>。但是化学防治效果不理想,且会导致农药残留、环境污染、病原菌抗药性等负面影响<sup>[13]</sup>;而生物防治作为综合防治姜瘟病的措施之一,对生态平衡和可持续农业的发展具有特别重要的意义,一直是学者们的研究热点。

当前,生姜丛枝菌根真菌的研究相关文献相对较少。有研究表明,AMF对生姜某些生理指标具有一定影响。AMF明显增加生姜的株高、根茎产量、分枝数等,并能提高生姜叶片和根中N、P、K等元素的含量,提高单叶净光合速率<sup>[14]</sup>。接种AMF可以有效降低姜瘟病的病情指数,对姜瘟病起到抑制作用<sup>[15]</sup>。本文通过筛选出对生姜生长有益的优势AMF种类,探讨其对生姜生长的促进作用,对减少农业生产中化肥的使用量,改善土壤生态,实现农业可持续发展具有重要意义。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材 料

生姜组织培养种苗(品种来自广西柳州市柳江县当地种植品种)。

花盆(盆口直径为15 cm、深度为12.5 cm、花盆用酒精擦拭一遍再用)、营养液(Hogland)、

基质(塘泥:沙=1:1)。

AMF菌株由广西农业科学院微生物研究所土壤微生物课题组采样分离保藏,具体菌株及编号如表1所示。

生姜根系采集材料:剪刀、封口袋、50%酒精等。

生姜根系染色材料:氢氧化钾(广东省化学试剂工程技术研究开发中心)、30%过氧化氢(天津市致远化学试剂有限公司)、氨水(廉江市爱廉化试剂有限公司)、冰乙酸(成都市科龙化工试剂厂)、墨水(派克)、50 mL离心管、滤网、镊子、移液枪等。

供试菌株(表1)统一扩繁均为含有侵染根段、菌丝、孢子和培养基质混合物,作为AMF接种体菌剂。孢子密度均多于10个/g,接入量为30 g/盆。

试验于2017年6月在广西农业科学院微生物研究所温室进行。

表 1 供试菌株及编号  
Tab. 1 Different species of AM fungi

序号 No.	学名 Scientific name	菌株编号 Strain number
1	<i>Acaulospora rugosa</i>	FC-2-8
2	<i>Claroideoglossum etunicatum</i>	FC-1-2
3	<i>Acaulospora scrobiculata</i>	GZ-1
4	<i>Claroideoglossum lamellosum</i>	YN-2-7
5	<i>Diversispora toutuosa</i>	FS-1-74
6	<i>Paraglossum occlum</i>	WM-2-76
7	<i>Claroideoglossum etunicatum</i>	LC-58-1
8	<i>Glomus versiforme</i>	GZ-10
9	<i>Glomus reticulatum</i>	LC39-10
10	<i>Paraglossum occlum</i>	BH-2-5
11	<i>Redeckera fulvum</i>	YN-2-8
12	<i>Rhizophagus intraradices</i>	E26-46

### 1.2 方 法

1.2.1 试验设计 选取生长健壮、大小一致的生姜组织培养种苗78株,用多菌灵冲洗消毒。将消毒后的生姜种苗移栽至洗净晾干的花盆中,每盆移栽两株生姜苗,并接入30 g/盆AMF菌剂。具体操作如下:花盆内底部垫上和其底部大小一致的圆形塑料纸后,放入约1/3已灭菌的基质;移栽2株生姜种苗,并在其根系附近放入提前准备好的AMF菌剂,且须保证根系与AMF菌剂相接触;继续往花盆倒入已灭菌的基质至花盆3/4,保证基质没过生姜根系、茎块;每盆按菌剂编号贴好标签。同时设

置不接种的空白对照（用于扩繁 AMF 的灭菌培养基质 30 g/盆），每个处理 3 个重复，共 39 盆。

将盆栽放置于 25 °C 恒温玻璃温室内，定期观察，每隔 1 d 适量浇水，每周浇一次营养液。

**1.2.2 生姜根系的采集** 生姜栽种 90 d 后，进行生姜根系采集，采集方法如下：用剪刀剪下约 1/3 根系，用于观察 AMF 侵染情况，分别记录根内菌丝、根外菌丝、孢囊的数量，计算侵染率，对比不同 AMF 侵染根系的能力。采集根系样品时尽量采集老、嫩、粗、细各级根段，使样品更具代表性。根系样品用自来水清洗干净根系上附着的基质后用去离子水清洗数次，随后将其浸泡于 50% 酒精中保存，并写上编号。

**1.2.3 根系染色处理及侵染率测定** 生姜根系的染色主要参考汪茜等<sup>[16]</sup>的方法，菌根侵染率的测定参考王幼珊等<sup>[17]</sup>的方法。

**1.2.4 测定项目与方法** 接种后每隔 30 d 取样 1 次，共 3 次。每次每处理取 3 株幼苗，每株幼苗随机选取鲜根 30 条，剪成 1 cm 根段，取一定样品，用墨水醋染色<sup>[16]</sup>、网格交叉法<sup>[17]</sup>测定根系侵染率。

全生育期 3 次采样，依次为：幼苗期，发根期，块茎膨大期。每次每处理取 3 株幼苗。农艺性状测定有效叶数、叶长、叶宽和株高。

生姜收获期将生姜地上部用自来水冲洗后再用去离子水洗净，于 105 °C 杀菌 30 min 后再置

70 °C 烘干、称重；株高及茎粗采用直接测量法。

### 1.3 数据处理

采用 Excel 软件和 DPS 统计软件对实验数据进行分析，置信水平为 95% ( $P < 0.05$ )。

## 2 结果与分析

### 2.1 接种不同 AMF 菌株的生姜根系侵染情况

不同 AMF 菌株对生姜根系侵染情况如表 2 所示。GZ-10 根外菌丝侵染率最高，其侵染率平均值为 31%，其次为 GZ-1，其根外菌丝侵染率的平均值为 22.5%，再次为 LC39-10，其根外菌丝平均侵染率为 22%。根内菌丝侵染率排名前三的为 GZ-10、GZ-1、LC39-10，其中，GZ-10 根内菌丝侵染率平均值为 49%，GZ-1 根内菌丝侵染率平均值为 35%，LC39-10 根内菌丝侵染率平均值为 29%。孢囊侵染率相对较高的为 LC58，其孢囊平均侵染率为 2.5%，其次为 FS-1-74，其孢囊的平均侵染率为 1%。FC-1-2、YN-2-7、GZ-10、LC39-10、E26-46 中均未出现孢囊结构。如表 2 所示，对照组 CK 均未观察到根外菌丝、根内菌丝和孢囊结构。根内菌丝、根外菌丝、孢囊结构及 CK 根段的染色图像如图 1 所示。

### 2.2 不同 AMF 菌株对生姜幼苗生长的影响

分别于生姜幼苗期、发根期和块茎膨大期测生姜的株高和叶片数，结果见表 3。对比生姜生

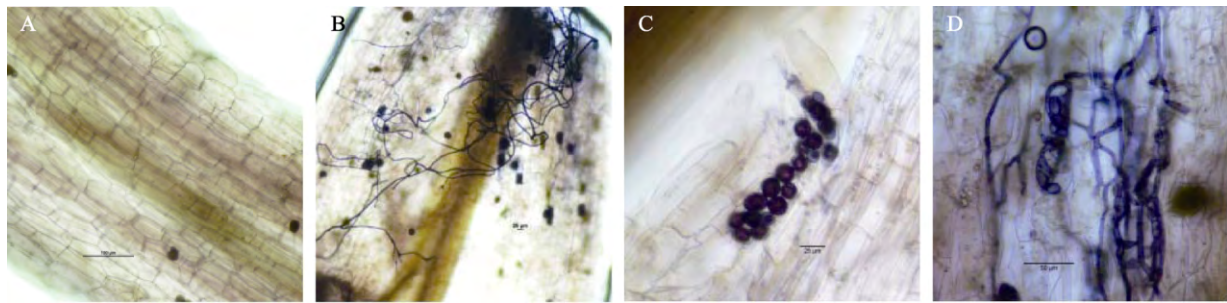
表 2 接种 AMF 菌株的生姜根系侵染情况

Tab. 2 The infection in the roots of ginger with different AMF

编号 No.	根外菌丝 Hyphae on root/%	根内菌丝 Internal hyphae/%	孢囊 Vesicles/%	总侵染率 The total AMF infection rate/%
FC-2-8	16.00±5.17 <sup>cd</sup>	21.00±8.76 <sup>de</sup>	0.20±4.21	30.00±6.24 <sup>def</sup>
FC-1-2	9.60±5.68 <sup>bc</sup>	25.00±8.50 <sup>cd</sup>	0.00±0.00	31.50±5.78 <sup>de</sup>
GZ-1	22.50±6.35 <sup>b</sup>	35.00±7.07 <sup>b</sup>	2.00±3.49	47.00±6.75 <sup>b</sup>
YN-2-7	3.10±3.41 <sup>e</sup>	2.60±4.20 <sup>h</sup>	0.00±0.00	3.60±4.03 <sup>i</sup>
FS-1-74	12.00±5.16 <sup>ef</sup>	18.50±8.18 <sup>ef</sup>	1.00±2.11	27.00±4.83 <sup>ef</sup>
WM-2-76	13.00±4.83 <sup>de</sup>	19.00±7.38 <sup>def</sup>	0.50±1.58	26.00±5.17 <sup>fg</sup>
LC58	10.50±4.71 <sup>ef</sup>	14.00±7.00 <sup>fg</sup>	2.50±4.25	21.50±3.37 <sup>g</sup>
GZ-10	31.00±5.68 <sup>a</sup>	49.00±8.76 <sup>a</sup>	0.00±0.00	55.00±5.27 <sup>a</sup>
LC39-10	22.00±4.22 <sup>b</sup>	29.00±7.38 <sup>bc</sup>	0.00±0.00	40.50±6.85 <sup>c</sup>
BH-2-5	7.00±2.58 <sup>fg</sup>	8.00±4.22 <sup>gh</sup>	0.60±1.58	11.00±2.11 <sup>h</sup>
YN-2-8	16.00±5.17 <sup>cd</sup>	25.00±8.50 <sup>cd</sup>	0.70±1.57	33.00±4.83 <sup>d</sup>
E26-46	19.00±5.68 <sup>bc</sup>	22.50±7.17 <sup>de</sup>	0.00±0.00	34.00±5.16 <sup>d</sup>
CK	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00	0.00±0.00

注：同列数据后不同小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ )。

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference ( $P < 0.05$ ).



A: CK; B: AMF 的根外菌丝; C: AMF 的泡囊; D: 有隔菌丝及微菌核。

A: Micrograph of CK; B: Micrograph of hyphae on root; C: Micrograph of vesicles; D: Micrograph of DSE microsclerotia and hyphae.

图 1 生姜根系 AMF 侵染

Fig. 1 The infection of AM fungi in ginger roots

表 3 接种不同 AMF 菌株生姜的株高

Tab. 3 The ginger plant height inoculated with different AM fungi

编号 No.	株高 Plant height			叶片数 Leaf number		
	幼苗期 Seedling period	发根期 Tillering period	块茎膨大期 Tuber maturing period	幼苗期 Seedling stage	发根期 Tillering period	块茎膨大期 Tuber maturing period
FC-2-8	27.83±3.62 <sup>bc</sup>	31.67±2.25 <sup>ab</sup>	36.70±2.18 <sup>bc</sup>	8.00±1.00 <sup>ab</sup>	10.67±1.15 <sup>ab</sup>	11.22±1.07 <sup>cde</sup>
FC-1-2	30.83±4.54 <sup>abc</sup>	35.47±5.15 <sup>ab</sup>	39.53±3.51 <sup>abc</sup>	8.33±1.53 <sup>ab</sup>	10.67±2.52 <sup>ab</sup>	13.00±1.00 <sup>abcd</sup>
GZ-1	32.17±2.93 <sup>ab</sup>	37.83±2.33 <sup>a</sup>	44.70±1.80 <sup>a</sup>	8.00±1.00 <sup>ab</sup>	11.33±1.53 <sup>a</sup>	13.33±1.15 <sup>abc</sup>
YN-2-7	30.17±2.75 <sup>abc</sup>	36.17±2.57 <sup>ab</sup>	41.87±2.09 <sup>abc</sup>	8.33±0.58 <sup>ab</sup>	11.67±1.55 <sup>a</sup>	13.33±0.58 <sup>abc</sup>
FS-1-74	32.83±3.75 <sup>ab</sup>	37.27±3.14 <sup>a</sup>	41.80±2.94 <sup>abc</sup>	9.00±1.73 <sup>a</sup>	12.00±2.00 <sup>a</sup>	14.22±1.57 <sup>a</sup>
WM-2-766	33.33±7.09 <sup>ab</sup>	37.33±8.08 <sup>a</sup>	42.70±6.25 <sup>ab</sup>	8.33±1.53 <sup>ab</sup>	11.67±1.53 <sup>a</sup>	13.44±2.50 <sup>ab</sup>
LC58-①	29.83±4.25 <sup>abc</sup>	33.33±4.01 <sup>ab</sup>	39.53±4.73 <sup>abc</sup>	7.00±1.00 <sup>ab</sup>	10.67±1.53 <sup>ab</sup>	12.78±0.39 <sup>abcd</sup>
GZ-10	28.67±3.55 <sup>abc</sup>	33.33±4.04 <sup>ab</sup>	38.53±2.47 <sup>abc</sup>	7.33±1.53 <sup>ab</sup>	10.33±0.58 <sup>ab</sup>	12.56±0.51 <sup>abcd</sup>
LC39-10	34.83±4.31 <sup>a</sup>	38.50±5.07 <sup>a</sup>	43.52±4.93 <sup>a</sup>	9.00±1.00 <sup>a</sup>	11.67±1.55 <sup>a</sup>	14.00±2.00 <sup>a</sup>
BH-2-5	30.00±3.12 <sup>abc</sup>	34.00±3.61 <sup>ab</sup>	38.87±4.54 <sup>abc</sup>	8.68±2.08 <sup>ab</sup>	10.67±2.08 <sup>ab</sup>	10.89±1.65 <sup>de</sup>
YN-2-8	29.33±4.04 <sup>abc</sup>	33.23±5.17 <sup>ab</sup>	38.53±4.73 <sup>abc</sup>	7.67±1.15 <sup>ab</sup>	10.67±2.08 <sup>ab</sup>	11.00±1.00 <sup>de</sup>
E26-46	26.83±3.33 <sup>bc</sup>	31.87±2.90 <sup>ab</sup>	35.70±2.60 <sup>c</sup>	8.68±2.08 <sup>ab</sup>	10.67±2.08 <sup>ab</sup>	10.89±1.65 <sup>de</sup>
CK	24.33±1.53 <sup>c</sup>	28.67±2.57 <sup>b</sup>	32.03±2.36 <sup>d</sup>	6.67±0.58 <sup>b</sup>	8.33±0.58 <sup>b</sup>	9.56±0.51 <sup>e</sup>

注: 同列数据后不同小写字母表示差异显著 ( $P<0.05$ )。

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference ( $P<0.05$ ).

长幼苗期、发根期和块茎膨大期株高的变化, 可以发现, 幼苗期和发根期各处理株高相差不大, 仅有 4 个处理和 CK 有显著差异。块茎膨大期各处理和对照的株高差异变大, 所有处理均和对照表现差异显著。综上所述, 和 CK 相比, 施加 AMF 菌剂均有效增加生姜株高。其中, 菌株 GZ-1、LC39-10、YN-2-7、WM-2-76、YN-2-7、FS-1-74、FC-1-2、LC58、GZ-10、BH-2-5、YN-2-8 对株高增加的作用较好。

生姜种植 90 d 后, 对其地上部分鲜重及干重、地下部分茎块重进行处理和统计后, 其结果如表 4 所示。和 CK 相比, 施加 AMF 菌剂大部分能有效增加生姜的地上部分鲜重、地上部分干重和茎块重。其中, GZ-1、FS-1-74、LC39-10、WM-2-76、YN-2-7、FC-2-8 对地上部分鲜重的增加效果较明显, FS-1-74、GZ-1、LC39-10、WM-2-76 对地上部分干重的增加效果较为明显, LC39-10、

表 4 接种不同 AMF 的生姜地上部鲜重、地上部干重、块茎重

Tab. 4 The ginger aboveground fresh biomass, overground dry weight and tuber weight with inoculated of different AM fungi

编号 No.	地上鲜重	地上干重	姜块质量
	Aboveground fresh biomass	Overground dry weight	Tuber weight for ginger
FC-2-8	40.96±2.38 <sup>abc</sup>	11.56±1.98 <sup>bcde</sup>	44.94±9.96 <sup>abcd</sup>
FC-1-2	39.39±7.73 <sup>abcd</sup>	12.08±2.34 <sup>bcde</sup>	43.85±8.07 <sup>abcd</sup>
GZ-1	47.65±2.20 <sup>a</sup>	14.80±2.62 <sup>ab</sup>	52.06±10.25 <sup>ab</sup>
YN-2-7	41.09±6.69 <sup>abc</sup>	11.87±2.67 <sup>bcde</sup>	42.38±8.43 <sup>bcd</sup>
FS-1-74	46.30±4.07 <sup>ab</sup>	15.93±2.31 <sup>a</sup>	50.40±9.89 <sup>ab</sup>
WM-2-76	44.30±6.90 <sup>abc</sup>	13.72±1.62 <sup>abcd</sup>	49.16±16.02 <sup>abcd</sup>
LC58-①	37.40±6.78 <sup>bcd</sup>	10.39±2.92 <sup>cde</sup>	34.12±10.49 <sup>bcd</sup>
GZ-10	37.50±2.18 <sup>bcd</sup>	10.02±2.03 <sup>de</sup>	32.15±2.45 <sup>cde</sup>
LC39-10	45.75±6.92 <sup>abc</sup>	13.92±2.47 <sup>abc</sup>	57.64±4.93 <sup>a</sup>
BH-2-5	36.46±9.96 <sup>bcd</sup>	9.63±3.06 <sup>e</sup>	34.11±5.94 <sup>de</sup>
YN-2-8	38.86±5.26 <sup>abcd</sup>	10.24±1.08 <sup>cde</sup>	34.57±9.00 <sup>de</sup>
E26-46	36.46±9.96 <sup>bcd</sup>	9.63±3.06 <sup>e</sup>	32.70±6.67 <sup>de</sup>
CK	30.60±3.82 <sup>d</sup>	8.71±0.72 <sup>e</sup>	26.45±3.48 <sup>e</sup>

注: 同列数据后不同小写字母表示差异显著 ( $P<0.05$ )。

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant differences ( $P<0.05$ ).

GZ-1、FS-1-74、WM-2-76、FC-1-2、FC-2-8 对茎块重的增加效果较为明显。

### 3 讨论

AMF 在自然界中广泛分布, 同一种 AMF 可以和不同的宿主植物形成共生关系, 同一种植物根系也可以和多种不同的 AMF 形成共生关系<sup>[18]</sup>。不同的 AMF 对同一种植物所表现的效果不同, 宿主植物和 AMF 之间存在相互选择性<sup>[19]</sup>。AMF 和宿主植物相互选择后, 对宿主植物的生长发育产生促进作用的 AMF, 可以作为该植物的优势种<sup>[20]</sup>。本试验中, 细凹无梗囊霉 (*Acaulospora scrobiculata*), 网状球囊霉 (*Glomus reticulatum*), 隐形球囊霉 (*Paraglomus occltum*) 3 种 AMF 均有效的促进了生姜的生长, 可以选为生姜生长的优势种。另一方面, 由于 AMF 对宿主植物具有一定的选择性, 同一种宿主植物, 不同的 AMF 的侵染率会有所不同, 其原因可能是宿主植物和不同的 AMF 的亲性和性有所不同, 相对较高侵染率的 AMF, 说明其和宿主植物的亲和性相对较强<sup>[21]</sup>。试验中, 对比 12 种不同 AMF 在生姜根系的侵染率, 摩西球囊霉 (*Glomus mosseae*) 的侵染率最高, 说明该 AMF 和生姜根系的亲和度较高, 两者能更有效的互相识别, 故该菌株也可以作为优势菌株。

研究表明, 所有 12 个菌株均能侵染生姜根系, 而对照组的株高最为矮小、茎块质量最轻, 且染色后没有检测到菌根特有结构。说明施用 AMF 后对生姜的促生起到一定作用。其中, 促生作用较为明显的优势菌株为细凹无梗囊霉 (*Acaulospora scrobiculata*), 网状球囊霉 (*Glomus reticulatum*) 和隐形球囊霉 (*Paraglomus occltum*), 在生姜根系的定殖率试验中发现, 其侵染率虽不是 12 种菌剂中最高, 但均排在前列。而摩西球囊霉 (*Glomus mosseae*) 的供试菌株对生姜根系的侵染率最高, 但其株高、茎块重等生长量并不是最优, 说明该菌株虽然具有高侵染率, 但其对生姜体现的并不是促生作用。有研究表明, AMF 与宿主植物形成共生后, 通过改变宿主植物根系结构, 与病原微生物竞争获取所需的营养、诱导宿主植物抗病防御体系的形成等方式来实现抗病<sup>[22]</sup>。目前, 还不能判断 AMF 对植物的促生和抗病能力能百分之百同时体现, 而摩西球囊霉 (*Glomus mosseae*) 菌株与生姜在具有高亲和性

的前提下, 可在土壤中形成大量菌丝网, 有可能在提高生姜的抗病能力方面发挥一定的作用, 故选其作为优势种, 其抗病性的效果还需要在今后做进一步的研究。且生姜根系很不发达, 根毛退化严重, 对菌根的依赖性较高。因此, 应加强在大田条件下对生姜菌根的研究, 并且使菌根生物肥料能够应用于生姜生产。

### 4 结论

接种 AMF 后, 生姜株高、叶片数、地上部分干重、地上部分湿重、茎块重均优于未接种 AMF 的对照组。对比不同 AMF 对生姜的促生效果, 细凹无梗囊霉 (*Acaulospora scrobiculata*), 网状球囊霉 (*Glomus reticulatum*), 隐形球囊霉 (*Paraglomus occltum*) 可选为优势 AMF。对比不同 AMF 菌剂侵染生姜根系的侵染率, 摩西球囊霉 (*Glomus mosseae*) 可选为优势种。

### 参考文献

- [1] 李元敬, 刘智蕾, 何兴元, 等. 丛枝菌根共生体中碳、氮代谢及其相互关系[J]. 应用生态学报, 2014, 25(3): 903-910.
- [2] Hiiesalu I, Partel M, Davison J, et al. Species richness of arbuscular mycorrhizal fungi: Associations with grassland plant richness and biomass[J]. New Phytologist, 2014, 203: 233-244.
- [3] Liu L L, Liu R D, Huang R H. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) on accumulation capability for Se and photosynthesis characteristics of *Actinidia chinensis* 'Hongyang' leaves[J]. Science & Technology of Food Industry, 2014, 10: 234-242.
- [4] 王 瑾, 毕银丽, 张延旭, 等. 接种丛枝菌根对矿区扰动土壤微生物群落及酶活性的影响[J]. 南方农业学报, 2014, 45(8): 1417-1423.
- [5] Erik V, Wilfred F M R, Hannes A G, et al. Positive effects of organic farming on below-ground mutualists: large-scale comparison of mycorrhizal fungal communities in agricultural soils[J]. New Phytologist, 2010, 186(4): 968-979.
- [6] Sikes B A, Cottenie C, Klironomos J N. Plant and fungal identity determines pathogen protection of plant roots by arbuscular mycorrhizas[J]. Journal of Ecology, 2009, 97: 1274-1280.
- [7] Borowicz V. Do arbuscular mycorrhizal fungi alter plant-pathogen relations[J]. Ecology, 2001, 82: 3057-3068.
- [8] Garg N, Chandel S. Arbuscular mycorrhizal networks: process and functions. A review[J]. Agronomy for Sustainable Development, 2010, 30(3): 581-599.

- [9] Artursson V, Finlay R D, Jansson J K. Interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and bacteria and their potential for stimulating plant growth[J]. *Environmental Microbiology*, 2006, 8(1): 1-10.
- [10] 曾维爱, 龙世平, 李宏光, 等. 苗期接种不同丛枝菌根真菌对烟草青枯病防治效果的影响[J]. *南方农业学报*, 2011, 42(6): 612-615.
- [11] 李海燕, 刘润进, 束怀瑞. 丛枝菌根真菌提高植物抗病性的作用机制[J]. *菌物系统*, 2001, 20(3): 435-439.
- [12] Yang W, Xu Q, Liu H X, *et al.* Evaluation of biological control agents against *Ralstonia wilt* on ginger[J]. *Biological Control*, 2012, 62: 144-151.
- [13] 陈婧怡. 姜瘟病病原拮抗菌的筛选与鉴定[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2017.
- [14] 王维华, 李敏, 刘润进, 等. AMF 对生姜某些生理指标的影响[J]. *青岛农业大学学报(自然科学版)*, 2003, 20(3): 175-177.
- [15] 刘贵猛, 谭树朋, 孙文献, 等. AMF 和 PGPR 对生姜青枯病的影响[J]. *菌物研究*, 2017, 15(1): 1-7.
- [16] 汪茜, 张金莲, 龙艳艳, 等. 广西柳江生姜根际土壤丛枝菌根真菌资源研究[J]. *西南农业学报*, 2016, 29(1): 115-119.
- [17] 王幼珊, 张淑彬, 张美庆. 中国丛枝菌根真菌资源与种质资源[M]. 北京: 中国农业出版社, 2011.
- [18] Millerwideman M A, Watrud L S. Sporulation of *Gigaspora margarita* on root cultures of tomato[J]. *Canadian Journal of Microbiology*, 1984, 30(5): 642-646.
- [19] 龙宣杞. 丛枝菌根真菌(AMF)高效菌种的选育[D]. 天津: 天津大学, 2009.
- [20] 王颖. 甘草植物根际 AMF 多样性及其生长效应的研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古大学, 2008.
- [21] 齐国辉, 陈贵林, 吕桂云, 等. 丛枝菌根真菌对重茬草莓产量和品质的影响[J]. *果树学报*, 2001, 18(6): 341-344.
- [22] 王倡宪, 李晓林, 宋福强, 等. 两种丛枝菌根真菌对黄瓜苗期枯萎病的防效及根系抗病相关酶活性的影响[J]. *中国生态农业学报*, 2012, 20(1): 53-57.