

西北地区赤霞珠葡萄根际土壤中 AM 真菌的多样性

房玉林^{1,2}, 屈雁朋¹, 张稼涵¹, 孟江飞¹, 刘金串¹, 程宝森¹, 栾丽英¹

(1 西北农林科技大学葡萄酒学院, 陕西杨凌 712100; 2 陕西省葡萄与葡萄酒工程技术研究中心, 陕西杨凌 712100)

摘要: 对西北地区 5 个酿酒葡萄赤霞珠 (*Vitis vinifera* L. cv. Cabernet Sauvignon) 葡萄园根际土壤 0—60 cm 土层的 AM 真菌空间分布进行了研究。结果表明, 葡萄根系可形成丛枝菌根, 且侵染率较高, 最高达 79%; 在西北地区的 5 个样地中共分离出 AM 真菌 4 属 22 种, 其中球囊霉属 (*Glomus*) 15 种, 无梗囊霉属 (*Acaulospora*) 4 种, 盾巨孢囊霉属 (*Scutellospora*) 2 种, 巨孢囊霉属 (*Gigaspora*) 1 种。5 个样地孢子密度大小顺序为: 陕西泾阳 (JY) > 山西永济 (YJ) > 陕西杨凌 (YL) > 宁夏银川 (YC) > 甘肃莫高 (MG)。各样地葡萄根际土壤中 AM 真菌种的丰富度不同, 陕西泾阳地区最高; 分布于葡萄根际的 AM 真菌按种类多少排序的属依次是: 球囊霉属 > 无梗囊霉属 > 盾巨孢囊霉属 > 巨孢囊霉属, 球囊霉属占据的比例保持着绝对优势; 根内球囊霉、摩西球囊霉、地表球囊霉在不同样地中均为优势菌株, 副冠球囊霉, 集球囊霉, 细凹无梗囊霉是多数样地中的稀有种类。研究表明, 葡萄与 AM 真菌具有良好的共生关系, 二者协同进化产生了具有生态环境特异性的菌根真菌多样性; 葡萄根际存在较为丰富的丛枝菌根真菌资源, 可供进一步开发利用。

关键词: 西北地区; 葡萄; 根际土壤; AM 真菌; 多样性

中图分类号: S663; S154.37

文献标识码: A

文章编号: 1008-505X(2011)01-0000-07

The screening, identification of arbuscular mycorrhizal fungi in Northwestern vineyards

FANG Yu-lin^{1,2}, QU Yan-peng¹, ZHANG Jia-han¹, MENG Jiang-fei¹, LIU Jin-chuan¹, CHENG Bao-sen¹, LUAN Li-ying¹

(1 College of Enology, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2 Shaanxi Engineering Research Center for Viti-viniculture, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The distributions of arbuscular mycorrhizal (AM) Fungi at 0—60 cm soil layers of 5 vineyards in Northwestern area were studied in this paper. The results showed that grape has colonization with AM fungi, and the highest colonization is about 79%. 22 species of 4 genera of AM fungi are isolated from the soil samples in the 5 vineyards, and 15 species of them belong to *Glomus*, 4 belong to *Acaulospora*, 2 belong to *Scutellospora* and 1 belongs to *Gigaspora*. The diversities of AM fungi in the different sampling sites are different. The spore density in the Jingyang, Shaanxi (JY) sampling site is the highest, the second is Yongji, Shanxi (YJ), and followed by Yangling, Shaanxi (YL) and Yinchuan, Ningxia (YC) sampling sites. The sampling site with the lowest spore density is Mogao, Gansu (MG), which is less than 110 spore in per 100 grams sample. The AM fungi species richness is also varied in different sampling sites, Jingyang (JY) sampling site is the highest. The relative abundance of AMF genus is *Glomus* > *Acaulospora* > *Scutellospora* > *Gigaspora*. *Glomus* is the dominant genus at all times. The dominant stains are *G. intraradices*, *G. mosseae*, *G. versiforme* in different sample sites, while the *G. coronatum*, *G. fasciculatum*, *A. scrobiculata* are rare stains in most sample sites.

Key words: northwest area; grapevine; rhizosphere soil; arbuscular mycorrhizal fungi; diversity

收稿日期: 2010-01-28

接受日期: 2010-08-11

基金项目: 现代农业产业技术体系建设专项资金; 陕西省“13115”计划项目; 西北农林科技大学青年学术骨干支持计划资助。

作者简介: 房玉林(1973—), 男, 河南兰考人, 博士, 副教授, 硕士生导师, 主要从事葡萄与葡萄酒工程研究。E-mail: fangyulin@nwsuaf.edu.cn

AM 真菌是藻菌纲、内囊菌科 (*Endogonaceae*) 的真菌与农作物、园艺作物、林木和牧草等共生形成的泡囊-丛枝菌根 (*Vesicular-arbuscular mycorrhiza*) 的简称,在分类学上属于球囊菌门 (*Glomeromycota*) 球囊菌纲 (*Glomeromycete*) 球囊霉目 (*Glomales*)^[1],是自然界中分布最广的内生菌根。它能与自然界中约 90% 的维管植物共生形成丛枝菌根^[2],影响植物的生长和发育^[3-7],提高植物的抗病性^[8-9]、抗逆性及生产力^[10-12]。

葡萄是我国栽培历史悠久的果树资源,栽培面积逐年增加。我国西北地区属于干旱、半干旱地区,光照充足、昼夜温差大、土壤资源丰富、工业污染较少,具有生产优质葡萄与葡萄酒的良好条件。近年来,随着葡萄与葡萄酒产业的快速发展,西北地区已成为我国重要的葡萄与葡萄酒产区之一^[13]。但由于西北地区土壤相对贫瘠,尤其是土壤中有效磷含量较低^[14],导致葡萄生长势弱、抗逆性低、植株寿命短,贫瘠的土壤和脆弱的生态环境已成为制约葡萄种植业可持续发展的重要因素。

丛枝菌根真菌 (AMF) 是分布广泛的重要土壤微生物,可通过与陆地高等植物建立共生关系而影响植物的生长和发育,提高植物抗逆性及生产力。而且,AM 真菌还能提高植物对磷的吸收^[15]和转化难溶性磷为有效磷^[16],因此,筛选适合西北地区葡萄园应用,有效促进葡萄生长的优势菌株具有重要的实践意义。AM 真菌的多样性不仅受不同的生态气候条件和土壤理化性质等影响,还受植物种类的影响。同一地区的不同植物根际丛枝菌根的多样性差异很大,难以通过前人研究来推测其他植物丛枝菌根的多样性。目前,内外的

研究还没有将 AM 真菌大规模应用于葡萄生产的实例;国内也没有关于系统研究西北地区葡萄园中丛枝菌根的多样性的报道。本研究旨在了解西北地区葡萄园中丛枝菌根的多样性,并从葡萄根际土壤中筛选出优势的 AM 真菌菌株,为研制并推广菌根菌剂提供依据。

1 材料与方法

1.1 样品采集

在西北地区 5 地点的葡萄园分别采集葡萄根际土壤。葡萄品种均为赤霞珠 (*Vitis vinifera* L. cv. Cabernet Sauvignon),树龄和土壤类型分别为:陕西杨凌,8 年生,塿土 (YL);陕西泾阳,6 年生,黄绵土 (JY);山西永济,4 年生,盐碱土 (YJ);宁夏银川贺兰山东麓,15 年生,风沙土 (YC);甘肃莫高,葡萄 10 年生,风沙土 (MG)。各试验点土壤基本性状按常规方法^[17]分析,结果见表 1。

葡萄根际和根区 0—60 cm 土层土壤样品采集:分别挖取植物根系,轻轻抖掉根上的泥土,剪取带有细根的根系,将根系和根际土一同装入塑料袋中,记录采集人姓名、采集时间、地点、立地条件、宿主植物种类等。每个根系可在 4~5 个部位取下端幼根作为样品,用清水洗净,用 FAA 溶液固定保存。由于 AM 菌根首先从根端幼嫩部分入侵、发育,因此取根时力求完整。每个取样点挖取的葡萄根系和土壤样品,均重复 3 次。

1.2 孢子分离与种类鉴定

首先通过湿筛倾析法分离孢子,将得到的孢子在体视显微镜下观察,记载孢子的颜色、大小、连孢菌丝的特征、孢子果形态等。然后用微吸管挑取孢

表 1 试验点葡萄园土壤基本性状

Table 1 The basic soil properties of the sampling vineyards

试验地点 Test site	地理位置 Location	pH	有机质 OM (g/kg)	全氮 Tot. N (g/kg)	全磷 Tot. P (g/kg)	有效磷 Avail. P (mg/kg)	速效钾 Avail. K (mg/kg)	碱解氮 Alk-hydr. N (mg/kg)	土壤类型 Soil type
杨凌 YL	108°04'E, 34°16'N	8.24	11.13	0.51	0.72	7.81	120.4	44.55	CCS
泾阳 JY	108°48'E, 34°30'N	8.14	13.6	0.46	0.62	16.08	131.3	55.91	LS
永济 YJ	110°27'E, 34°52'N	8.85	10.8	0.71	0.79	24.41	221.3	69.12	FAS
银川 YC	106°22'E, 39°02'N	8.80	4.41	0.30	0.17	1.64	80.06	26.58	GCS
莫高 MG	102°55'E, 37°53'N	8.12	2.6	0.28	0.75	15.15	148.6	22.23	GDS

注 (Note): CCS—塿土 Cumulic cinnamon soil; LS—黄绵土 Loessial soil; FAS—潮土 Fluvo-aquic soil; GCS—灰钙土 Gray calcareous soil; GDS—灰漠土 Gray desert soil. YL—Yangling; JY—Jingyang; YJ—Yongji; YC—Yinchuan; MG—Mogao.

子置于载玻片上,滴加载浮剂(水、乳酸、PV等),在 Olympus 显微镜下观察测定孢子大小、颜色、形状,孢壁总厚度、连点形状及宽度、连孢菌丝的宽度,每层孢壁的类型、颜色、厚度及纹饰、连点特征,孢子附器的形状、大小、颜色等特征,并结合孢子果、孢子聚集方式、连孢菌丝、产孢子囊、发芽盾室、土生辅助细胞、内含物、孢囊、丛枝形态结构特征等进行分类鉴定。鉴定中可辅助使用 Melzer 试剂、棉蓝试剂来观察孢子的特异反应;对有代表性的或特异性的特征随时拍照。综合以上观察结果,根据 Scheck 的“VA 菌根鉴定手册”和国际丛枝菌根真菌保藏中心(INVAM)在 Internet (<http://invam.caf.wvu.edu>)上提供的种的描述及图片,并参阅有关鉴定材料和近年来发表的新种进行种属检索、确定。对于难确定的种或可能的新种、新记录种则需进一步进行单孢子培养,获得大量的同源孢子,再进行种类确定。

1.3 AM 真菌相关指标的测定

1.3.1 AM 真菌侵染率的测定 根系样品用蒸馏水冲洗 2~3 次,切成 1 cm 左右的根段;于 92℃ 下在 10% 的 KOH 溶液中脱色透明 20~60 min(幼嫩根段可适当缩短处理时间),再用蒸馏水冲洗干净;用 0.05% 翠盘蓝(tryPen-blue)乳酸甘油溶液染色 2~4 h(幼嫩根段可适当缩短染色时间),然后用乳酸分色、制片。

每个样品随机选取 25 个根段,在复式显微镜下检查其侵染情况。采用 McGonigle 等的网格交叉法^[18]和 Abbott 等的计数方法统计菌根侵染率^[19]:

菌根侵染率 = 被侵染的根段数/镜检总根段数 × 100%

1.3.2 多样性统计分析 参照张美庆等^[20]和贺学礼等^[21]的方法,统计 AM 真菌种的丰富度(SR)、孢子密度(SD)、频度(F)、相对多度(RA)。其中,物种丰富度(SR)指植物根际 100 g 土壤中含有的 AM 真菌种的数目:

SR = AM 真菌总种数/土壤总样本数

孢子密度(SD)指植物根际 1000 g 土壤中所含的孢子数:

SD = 所有孢子数/土壤总样本数

频度(F)指出现频率,指该种真菌的出现次数占所有物种出现次数之和:

$F = (\text{某属或种的出现次数}/\text{土样数}) \times 100\%$

相对多度(RA)指种的个体数在群落总物种数中的比率:

$RA = n(\text{某属或种的孢子数})/N(\text{该地区 AM 真菌孢子总数}) \times 100\%$ 。

数据采用 Excel(V 2003)和 DPS(V 7.55)软件进行统计分析,利用邓肯氏(Duncan's)新复极差法进行显著性检验。

2 结果与分析

2.1 西北地区葡萄园 AM 真菌筛选

在所采土壤样品中共分离出 AM 真菌 4 属 22 种,其中球囊霉属(*Glomus*) 15 种,无梗囊霉属(*Acaulospora*) 4 种,盾巨孢囊霉属(*Scutellospora*) 2 种,巨孢囊霉属(*Gigaspora*) 1 种(表 2)。

表 2 我国西北地区分离的 AM 真菌种类
Table 2 AM fungi in northwest sampling sites

属 Genus	种 Species				
<i>Glomus</i>	<i>G. aggregatum</i>	<i>G. caledonium</i>	<i>G. claroideum</i>	<i>G. clarum</i>	<i>G. constrictum</i>
	<i>G. coronatum</i>	<i>G. dimorphicum</i>	<i>G. etunicatum</i>	<i>G. fasciculatum</i>	<i>G. geosporum</i>
	<i>G. intraradices</i>	<i>G. luteum</i>	<i>G. mosseae</i>	<i>G. reticulatum</i>	<i>G. versiforme</i>
<i>Acaulospora</i>	<i>A. lacunosa</i>	<i>A. rehmi</i>	<i>A. rugosa</i>	<i>A. scrobiculata</i>	
<i>Scutellospora</i>	<i>S. calospora</i>	<i>S. erythropha</i>			
<i>Gigaspora</i>	<i>Gi. decipiens</i>				

2.2 葡萄根际 AM 真菌资源和时空分布特征

2.2.1 葡萄根系侵染率 调查结果(图 1)表明,葡萄可形成丛枝菌根。葡萄根系平均丛枝菌根侵染率在 JY 地区最高,达 79% 且与另外四个样

地差异显著,菌根侵染率在样地 YL、YJ、YC 和 MG 间差异不显著。在 MG 地区葡萄根系菌根侵染率出现最低值,不足 65%。但与另外 3 个样地差异不显著。

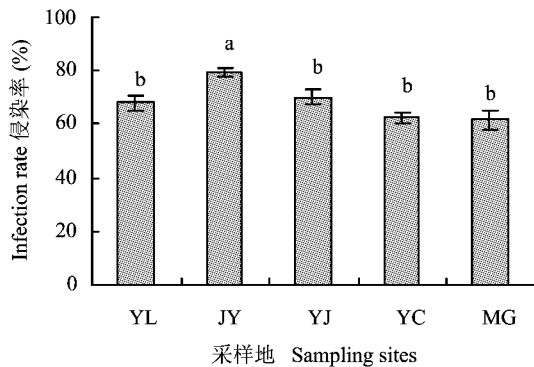


图1 不同取样点葡萄根系丛枝菌根感染率

Fig.1 The mycorrhizal infection rate of grapevine roots in different sampling sites

[注(Note): YL—陕西杨凌 Yangling; JY—陕西泾阳 Jingyang; YJ—山西永济 Yongji; YC—宁夏银川 Yinchuan; MG—甘肃莫高 Mogao. 柱上不同字母表示差异达5%显著水平 Different letters above the bars mean significant at 5% level.]

2.2.2 物种的丰富度 各样地中 AM 真菌种的丰富度不同,其中以 JY 地区最高,超过 17,其次为 YJ,为 14.5,二者均显著高于 YC 和 MG 地区,YC 地区和 MG 地区差异不显著,两个地区的 AM 真菌种丰富度均低于 10。YL 地区的物种丰富度为 12.5,与 YJ 地区和 YC 地区差异不显著。MG 地区 AM 真菌种的丰富度在 5 个样地中最低,仅为 7.5(图 2)。

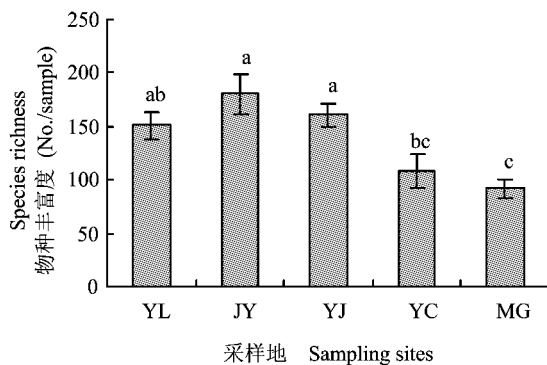


图2 不同取样点葡萄根际土壤中丛枝菌根物种丰富度

Fig.2 The changes of AMF species richness in grapevine root-zone soil for different sampling sites

[注(Note): YL—陕西杨凌 Yangling; JY—陕西泾阳 Jingyang; YJ—山西永济 Yongji; YC—宁夏银川 Yinchuan; MG—甘肃莫高 Mogao. 柱上不同字母表示差异达5%显著水平 Different letters above the bars mean significant at 5% level.]

2.2.3 孢子密度 孢子密度是 1000 g 土样里所含有的孢子个数。不同样地的孢子密度不同,其密度大小顺序为 JY > YJ > YL > YC > MG,其中 JY、YJ、YL 地区葡萄根际的孢子密度显著大于 MG 地区;而 YC 和 MG 地区间无显著差异(图 3)。

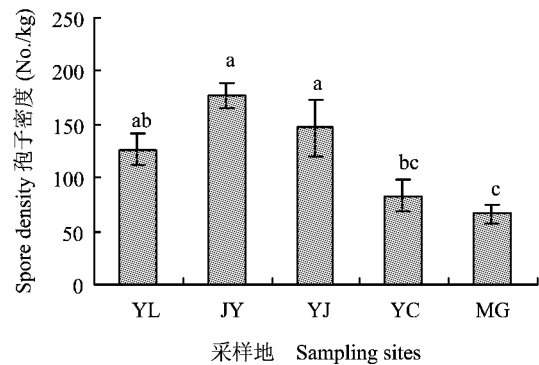


图3 不同取样点葡萄根际土壤中丛枝菌根孢子密度

Fig.3 The changes of spore density of AM fungi in grapevine root-zone soil for different sampling sites

[注(Note): YL—陕西杨凌 Yangling; JY—陕西泾阳 Jingyang; YJ—山西永济 Yongji; YC—宁夏银川 Yinchuan; MG—甘肃莫高 Mogao. 柱上不同字母表示差异达5%显著水平 Different letters above the bars mean significant at 5% level.]

2.2.4 频度 本研究中将种的出现频度 F(%)划分为 4 个等级,即优势种 ($F > 50\%$)、常见种 ($30\% < F \leq 50\%$)、少见种 ($10\% < F \leq 30\%$) 和稀有种 ($F < 10\%$)。各样地 AM 真菌频度状况(表 3)看出,根内球囊霉 (*Glomus intraradices*)、摩西球囊霉 (*Glomus mosseae*)、地表球囊霉 (*Glomus versiforme*) 在不同样地中均为优势菌株;副冠球囊霉 (*Glomus coronatum*)、集球囊霉 (*Glomus fasciculatum*)、细凹无梗囊霉 (*Acaulospora scrobiculata*) 是多数样地的稀有种类。

2.2.5 相对多度 图 4 看出,分布于葡萄根际的 AM 真菌按种类多少排序的属依次是:球囊霉属 (*Glomus*) > 无梗囊霉属 (*Acaulospora*) > 盾巨孢囊霉属 (*Scutellaspora*) > 巨孢囊霉属 (*Gigaspora*)。其中球囊霉属 (*Glomus*) 的比例保持着绝对优势,盾巨孢囊霉属 (*Scutellaspora*) 和巨孢囊霉属 (*Gigaspora*) 所占比例非常小。

2.3 AM 真菌、球囊霉属及土壤因子间的相关性

相关性分析结果表明(表 4),在西北地区葡萄根际土壤中,AM 真菌感染率、孢子密度以及物种丰富度之间的相关性达到极显著;三者与土壤有机质、全氮、全磷、有效磷、速效钾及碱解氮之间均呈正相关,其中与土壤有机质含量的相关性达到显著水平;AM 真菌孢子密度和物种丰富度与土壤碱解氮含量的相关性达到显著水平。三者与土壤 pH 均呈负相关,但未达到显著水平。

3 讨论

目前对 AM 菌根在葡萄上的研究多集中在促生效应方面,对葡萄园土壤中 AM 真菌资源的调查和筛

表 3 不同地区葡萄根围土壤中 AM 真菌种的频度

Table 3 The frequency of AMF species in grapevine root-zone soil of different sampling vineyards

种 Species	杨凌 YL	泾阳 JY	永济 YJ	银川 YC	莫高 MG
<i>G. aggregatum</i>	***	***	**	**	***
<i>G. caledonium</i>	**	**	***	**	****
<i>G. claroideum</i>	***	***	*	*	**
<i>G. clarum</i>	***	****	**	**	**
<i>G. constrictum</i>	***	***	**	***	***
<i>G. coronatum</i>		*		*	***
<i>G. dimorphicum</i>	**	***	*	**	*
<i>G. etunicatum</i>	**	***	***	*	**
<i>G. fasciculatum</i>		*	*		**
<i>G. geosporum</i>	**	***	**	**	*
<i>G. intraradices</i>	***	****	****	***	***
<i>G. luteum</i>	*	**	*	*	**
<i>G. mosseae</i>	****	****	****	***	***
<i>G. reticulatum</i>		**	*		***
<i>G. versiforme</i>	****	****	****	***	****
<i>A. lacunosa</i>	**	***	*		
<i>A. rehmi</i>	**	**	**	*	
<i>A. rugosa</i>	**	***		*	*
<i>A. scrobiculata</i>		**	*		**
<i>S. calospora</i>	**	***	**	**	***
<i>S. erythroa</i>	**	***	*		
<i>Gi. decipiens</i>	***	***	**	*	*

注 (Note): ****—优势种 Dominant species ($F > 50\%$); ***—常见种 Common species ($30\% < F \leq 50\%$); **—少见种 Seldom species ($10\% < F \leq 30\%$); *—稀有种 Rare species ($F < 10\%$). YL—Yangling; JY—Jingyang; YJ—Yongji; YC—Yinchuan; MG—Mogao.

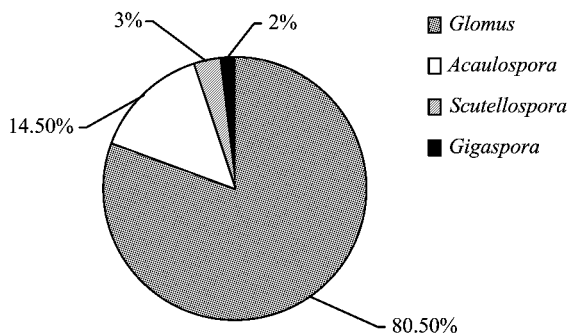


图 4 AM 真菌属的相对多度平均值

Fig. 4 The average of relative abundance of AMF genus

选进行得较少。张万红、唐明^[24]的研究表明,中国北方葡萄上的菌根真菌主要有:球囊霉属(*Glomus*)的摩西球囊霉(*G. mosseae* Gerdemann & Trappe)、地球囊霉 *G. geosporum* (Nicolson & Gerdemann)、地表球囊霉(*G. versiforme* Karsten Berch)和苏格兰球囊霉(*G. caledonium* Nicolson & Gerdemann); Cheng 等^[23]在美国北加州的 5 个葡萄园均发现了 AM 真菌的孢子,种类和丰度因地区而异。这些 AM 真菌主要属于球囊霉属和类球囊霉属。本研究从西北地区葡萄园土壤中共分离出 AM 真菌 4 属 22 种,其中球囊霉属(*Glomus*) 15 种,无梗囊霉属(*Acaulospora*) 4 种,

表 4 葡萄根际 AM 真菌与土壤因子间的相关性分析(r)

Tab. 4 Relativity analysis between AM fungi and soil factors in the root-zone soil of grapevine in different vineyards

项目 Item	孢子密度 Spore density	物种丰富度 Species richness	pH	有机质 OM	全氮 Tot. N	全磷 Tot. P	有效磷 Avail. P	速效钾 Avail. K	碱解氮 Alk-hydrol. N
感染率 Infection rate	0.94**	0.96**	-0.24	0.91*	0.52	0.29	0.44	0.24	0.76
孢子密度 Spore density		0.99**	-0.04	0.99**	0.74	0.33	0.44	0.34	0.89*
物种丰富度 Species richness			-0.05	0.97**	0.71	0.32	0.48	0.35	0.89*

注 (Note): *— $P < 0.05$; **— $P < 0.01$

盾巨孢囊霉属 (*Scutellospora*) 2 种, 巨孢囊霉属 (*Gigaspora*) 1 种。其中无梗囊霉属、盾巨孢囊霉属和巨孢囊霉属在张万红、唐明等^[24]的研究中未见报道。

土壤养分对 AM 真菌分布和孢子密度具有重要影响。本研究中陕西泾阳、杨凌和山西永济 3 个样地土壤有机质、速效磷、碱解氮等指标优于甘肃莫高和宁夏银川, 与之相应, 前 3 个样地的 AM 真菌孢子密度和物种丰富度也高于后者, 表明土壤养分对 AM 真菌的分布和发育有着重要的影响。这与刘润进^[24]、贺学礼等^[21]的研究结果相一致。一些研究认为, 在一定范围内, AM 真菌种类和孢子密度会随着土壤有机质含量的增加而增多, 但这种趋势会在土壤有机质超过一定范围后停止甚至逆转^[2,20,22]。

不同属或种的 AM 真菌的生态环境适应性不同, 某些种环境适应性强, 宿主范围广, 而另一些对环境适应性较差, 对生态条件要求较严或对宿主选择性较高, 因此可分为广谱生态型和窄谱生态型^[25]。张美庆等^[25]研究发现, 球囊霉属在中性或碱性的土壤条件下出现较多, 在 pH 5~9 的范围内, 土壤碱性越大, 球囊霉属所占比例越大。赵莉等^[26]的研究表明, 球囊霉属是荒漠地区的优势种, 对生长在干旱地区的植物和葡萄根际 AM 真菌种类及多度的调查得出同样结论。本试验所调查的葡萄分布区土壤均偏碱性, 平均 pH 值为 8.89, 因此球囊霉属所占比例最大。由于受葡萄品种和生态条件的限制, 在某一区域对某一品种来讲表现优秀的丛枝菌根真菌未必适用于其他区域和品种; 反之同样。因此小范围的试验只能得出局部的结论, 下一步开发利用方面的研究也需要一个完善的试验设计。

参 考 文 献:

- [1] 王发园, 林先贵, 周健民. 丛枝菌根真菌分类最新进展[J]. 微生物学杂志, 2005, 25(5): 341-345.
Wang F Y, Lin X G, Zhou J M. Latest advances in the classification of arbuscular mycorrhizal fungi[J]. J. Microbiol., 2005, 25(5): 341-345.
- [2] 李晓林, 冯固. 丛枝菌根生态生理[M]. 北京: 华文出版社, 2001. 4-5.
Li X L, Feng G. The physiological and ecological of arbuscular mycorrhiza[M]. Beijing: Chinese Press, 2001. 4-5.
- [3] Caglar S, Bayram A. Effects of vesicular-arbuscular mycorrhizal (VAM) fungi on the leaf nutritional status of four grapevine rootstocks[J]. Eur. J. Horticult. Sci., 2006, 71(3): 109-113.
- [4] 王春梅, 韩振海, 李晓林, 等. 磷与 VA 菌根真菌对小金海棠苹果苗生长及营养的影响[J]. 园艺学报, 2001, 28(1): 1-6.
Wang C M, Hang Z H, Li X L et al. Effects of phosphorus levels and VA mycorrhizae on growth and mineral contents of apple seedlings[J]. Acta Horticult. Sin., 2001, 28(1): 1-6.
- [5] 王琦燕, 张振文, 宋晓菊, 等. AM 菌剂对赤霞珠扦插苗生长及抗旱性的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2008, 36(11): 191-196.
Wang Q Y, Zhang Z W, Song X J et al. Effect of AM fungi on the growth and drought resistance of Cabernet sauvignon cuttings[J]. J. Northwest A & F Univ. (Nat. Sci. Ed.), 2008, 36(11): 191-196.
- [6] 蔡晓布, 盖京苹, 钱成, 等. 西藏高原天然长芒草丛枝菌根真菌接种效应[J]. 应用生态学报, 2006, 17(11): 2121-2126.
Cai X B, Gai J P, Qian C et al. Field distribution pattern and metabolic activity of AM fungi and their effects on ipomoea batatas growth[J]. Chin. J. Appl. Ecol., 2006, 17(11): 2121-2126.
- [7] 全瑞建, 杨晓红, 李东彦. 丛枝菌根真菌种间差异对柚苗营养生长及矿质含量的影响[J]. 应用生态学报, 2006, 17(7): 1229-1233.
Tong R J, Yang X H, Li D Y. Effects of interspecies difference of arbuscular mycorrhizal fungi on *Citrus grandis* cv. Changshou ShatianYou seedlings vegetative growth and mineral contents[J]. Chin. J. Appl. Ecol., 2006, 17(7): 1229-1233.
- [8] 黄京华, 骆世明, 曾任森. 丛枝菌根诱导植物抗病的内在机制[J]. 应用生态学报, 2003, 14(5): 819-822.
Huang J H, Luo S M, Ceng R S. Mechanisms of plant disease resistance induced by arbuscular mycorrhizal fungi[J]. Chin. J. Appl. Ecol., 2003, 14(5): 819-822.
- [9] 朱红惠, 龙良坤, 羊宋贞, 等. AM 真菌对青枯菌和根际细菌群落结构的影响[J]. 菌物学报, 2005, 24(1): 137-142.
Zhu H H, Long L K, Yang S Z et al. Influence of AM fungus on ralstonia solanacearum population and bacterial community structure in rhizosphere[J]. Mycosyst., 2005, 24(1): 137-142.
- [10] Borkowska B. Growth and photosynthetic activity of micro propagated strawberry plants inoculated with endo-mycorrhizal fungi (AMF) and growing under drought stress[J]. Physiol. Aplant., 2002, 24(4): 365-370.
- [11] Mohammad M J, Malkawi H I, Shibli R. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi and phosphorus fertilization on growth and nutrient uptake of barley grown on soils with different levels of salts[J]. J. Plant Nutr., 2003, 26(1): 125-137.
- [12] Horst W J. The effect of different stains of AMF on growth and heavy metal uptake of cucumber (*Cucumis sativus*) [J]. Plant Nutr.-Food Secu. Sustain. Agro-Ecosyst., 2001, 9: 478-479.
- [13] 李华, 沈忠勋. 发挥西北地区资源优势促进葡萄酒产业化发展[J]. 中国食物与营养, 2001, (1): 6-7.
Li H, Shen Z X. Make full use of the resource superiority in Northwest China to promote the development of wine industry [J]. Food Nutr. China, 2001, (1): 6-7.
- [14] 易秀, 李侠. 西北地区土壤资源特征及其开发利用与保护[J]. 地球科学与环境学报, 2004, 26(4): 85-89.
Yi X, Li X. Characteristics of soil resources and development and protection in the Northwest region [J]. J. Earth Sci.

- Environ. , 2004, 26(4) : 85-89.
- [15] 徐敏,史庆华,李敏. AM 真菌对姜生长和产量的影响[J]. 山东农业科学,2002,(4) : 22-23.
Xu M, Shi Q H, Li M. Effects of AM fungi on growth and production of Ginger[J]. Shandong Agric. Sci. , 2002, (4) : 22-23.
- [16] Koide R T, Kabir Z. Extraradical hyphae of the mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* can hydrolyze organic phosphate [J]. New Phytol. , 2000, 148(3) : 511-517.
- [17] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社,2000.
Bao S D. Soil analysis in agricultural chemistry [M]. Beijing: China Agricultural Press, 2000.
- [18] McGonigle T P, Miller M H, Evans D G *et al.* A new method which gives an objective measure of colonization of roots by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi[J]. New Phytol. , 1990, 115(3) : 495-501.
- [19] Abbott L K, Robson A D, Deboer G. The effect of phosphorus on the formation of hyphae in soil by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus, *Glomus fasciculatum*[J]. New Phytol. , 1984, 97 : 437-446.
- [20] 张美庆,王幼珊,邢礼军. 我国东南沿海地区 AM 真菌群落生态分布研究[J]. 菌物系统,1998,17(3) : 274-277.
Zhang M Q, Wang Y S, Xing L J. The ecological distribution of AM fungi community in south and east coast of china[J]. Mycosyst. , 1998, 17(3) : 274-277.
- [21] 贺学礼, Mouratov S, Steinberger Y. 荒漠植物根际 AM 真菌的空间分布和定殖[J]. 植物生态学报,2002,26(2) : 223-229
He X L, Mouratov S, Steinberger Y. Spatial distribution and colonization of arbuscular mycorrhizal fungi in the rhizosphere of desert shrubs[J]. Acta Phytocol. Sin. , 2002,26(2) : 223-229.
- [22] 张万红,唐明. 中国北方 VA 菌根真菌资源[J]. 西北林学院学报,2006,21(2) : 121-125.
Zhang W H, Tang M. On VA. Mycorrhiza fungi resources in the north of China [J]. J. Northwest For. Univ. , 2006, 21(2) : 121-125.
- [23] Cheng X, Baumgartner K. Survey of arbuscular mycorrhizal fungal communities in Northern California vineyards and mycorrhizal colonization potential of grapevine nursery stock [J]. Hortsci. , 2004,39(7) : 1702-1706.
- [24] 刘润进,刘鹏起,徐坤,吕志范. 中国盐碱土壤中 AM 菌的生态分布[J]. 应用生态学报,1999,10(6) : 721-724.
Liu R J, Liu P Q, Xu K, Lü Z F. Ecological distribution of arbuscular mycorrhizal fungi in saline-alkaline soils of China [J]. Chin. J. Appl. Ecol. , 1999, 10(6) : 721-724.
- [25] 张美庆,王幼珊,张弛. 我国北部 VA 菌根真菌某些属和种的生态分布[J]. 真菌学报,1994,3(3) : 166-172.
Zhang M Q, Wang Y S, Zhang C. The ecological distribution characteristics of some genera and species of vam fungi in northern china[J]. Mycosyst. , 1994, 3(3) : 166-172.
- [26] 赵莉,贺学礼. 毛乌素沙地 3 种豆科植物根际 AM 真菌生态分布研究[J]. 干旱地区农业研究,2007,25(2) : 199-201.
Zhao L, He X L. Colonization of arbuscular mycorrhizal fungi from the rhizosphere of three legume species in maowusu sandland [J]. Agric. Res. Arid Areas, 2007, 25(2) : 199-201.