

AM 菌剂对赤霞珠扦插苗生长及抗旱性的影响

王奇燕^a,张振文^{a,c},宋晓菊^a,杜小刚^b,丁春晖^a

(西北农林科技大学 a. 葡萄酒学院, b. 林学院, c. 陕西省葡萄与葡萄酒工程技术研究中心, 陕西 杨凌 712100)

[摘要] **【目的】**研究 AM 菌剂接种对酿酒葡萄赤霞珠(Cabernet sauvignon)生长和耐旱性的影响,为 AM 菌剂在生产实践中的推广应用提供理论依据。**【方法】**在盆栽试验条件下,用摩西球囊霉(*Glomus mosseae*,简称 Gm)、幼套球囊霉(*Glomus etunicatum*,简称 Ge)和 Gm+Ge 混合菌剂接种处理赤霞珠葡萄扦插苗,以接种高温灭菌的等量菌剂为对照,于接种处理 100 d 后,测定菌剂接种处理对赤霞珠植株的侵染率和营养生长的影响。随后进行了 30 d 的干旱胁迫,对不同菌剂处理后葡萄扦插苗的抗旱性进行了比较。**【结果】**接种 AM 菌剂能显著提高赤霞珠葡萄的生长量,并且菌根依赖性与赤霞珠根系菌根侵染率呈显著正相关;在干旱胁迫下,赤霞珠叶片中的 SOD、POD 和 CAT 3 种保护酶活性显著升高,MDA 含量和相对电导率降低,赤霞珠的耐旱性显著提高。**【结论】**3 种 AM 菌剂处理的效应由小到大依次为 Gm<Ge<Gm+Ge,AM 混合菌剂接种是值得研究与推广应用的一种菌根真菌利用方式。

[关键词] AM 菌剂;赤霞珠;扦插苗;生长量;抗旱性

[中图分类号] S663.101

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2008)11-0191-06

Effect of AM fungi on the growth and drought resistance
of Cabernet sauvignon cuttings

WANG Qi-yan^a,ZHANG Zhen-wen^{a,c},SONG Xiao-ju^a,DU Xiao-gang^b,DING Chun-hui^a

(a. College of Enology, b. College of Forestry, c. Shaanxi Engineering Research Center for Viti-viniculture,
Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: **【Objective】** The growth and the impact of drought tolerance of Cabernet Sauvignon after inoculating AM (Arbuscular mycorrhizal) fungi was studied in this experiment in order to provide theoretical basis for promoting the ues of AM fungi in production. **【Method】** Cutting seedlings were inoculated by *Glomus mosseae* (Gm), *Glomus etunicatum* (Ge) and the mixture of Ge and Gm in the pot and the control were treated by the same AM inoculants after disinfecting through high-temperature. The mycorrhizal colonization rate and the grape's growth were determinated after 100 d, then drought resistance of different cutting seedlings were compared with each other after drought stress for 30 d. **【Result】** AM fungi inoculation significantly enhanced the growth of Cabernet sauvignon, and Mycorrhizal dependency was correlated with the mycorrhizal colonization significantly. The activity of three protective enzymes, SOD, CAT and POD of Cabernet Sauvignon leaves, increased significantly, MDA content and relative conductivity decreased, and the drought tolerance of Cabernet Sauvignon was remarkably improved during drought stress. **【Conclusion】** The effect order of three AM fungi inoculants was Gm<Ge<Gm+Ge. The mixture of AM fungi inoculants was an effective quomodo for the ectomycorrhizal fungi utility.

Key words: AM fungi; Cabernet sauvignon; cutting seedling; growth amount ; drought resistance

* [收稿日期] 2007-11-23
[基金项目] 陕西省科技攻关项目(2004K02-G9)
[作者简介] 王奇燕(1982—),女,安徽蒙城人,在读硕士,主要从事葡萄栽培及其抗性研究。E-mail: wangqiyantpj@yahoo. com. cn
[通讯作者] 张振文(1960—),男,陕西耀县人,教授,博士生导师,主要从事葡萄与葡萄酒研究。E-mail: zhangzhw60@163. com

丛枝菌根(Arbuscular mycorrhizal, AM)是一种最常见的内生菌根,又称泡囊-丛枝菌根(Vesicular arbuscular mycorrhizal, VAM),其在自然界中分布极为广泛,陆地上 90% 以上的高等植物都能形成丛枝菌根^[1]。AM 真菌通过与植物根系建立共生关系,促进植物根系对矿质养分的吸收,改善植物的营养状况。大量研究表明,AM 真菌能够促进宿主对土壤 N、P、K 等矿质元素的吸收,提高宿主根系对根部病害的抵抗力,增强植物对干旱、高温、重金属的抗性^[2-4]。AM 菌剂作为一种很有前景的生物肥料和生物防治手段,已经得到人们的肯定。目前,AM 菌剂在国内果树上的研究,以抗旱性和矿质营养吸收较多,如提高沙棘^[5]、山杏实生苗^[6]等的抗旱性,促进枳壳苗^[7]、柚苗^[8]、酸枣实生苗^[9]等对矿质元素的吸收等。也有关于 AM 菌剂抗病性或耐盐性的研究,如其可减轻桃树根癌病的发病率^[10]、提高酸枣实生苗的耐盐性^[11]等。目前,国内关于 AM 菌剂在葡萄上的研究,主要集中在其对鲜食葡萄扦插苗成活率和葡萄植株营养生长的影响^[12-13]及对南方葡萄抗根结线虫^[14]的研究等方面,在酿酒葡萄抗旱性的研究上,国内还是空白。

干旱是一个世界性的问题,随着地球环境的不断恶化,全球干旱和半干旱地区的面积还在不断地扩大与蔓延^[6]。葡萄是世界第三大果树树种,尽管其是一个比较耐旱的树种,但我国葡萄主产区多以干旱半干旱气候为主,大陆性季风气候不但导致常年冬春干旱,夏季频发的高温干旱或秋旱也时常发生,对葡萄的品质和产量构成一定的威胁^[15]。本研究采用盆栽试验,通过对目前我国主要酿酒葡萄品种赤霞珠(Cabernet sauvignon)的扦插苗接种 AM 菌剂,对比不同 AM 菌剂及接种方式对赤霞珠幼苗生长和抗旱性的影响,以期为 AM 菌剂在葡萄栽培实践中的应用提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

1.1.1 试验地概况 试验地为西北农林科技大学葡萄酒学院可调控温室。供试土壤为塋土和河沙混合物(二者体积比为 1:1),装盆前先过 2 mm 土壤筛,然后于 121 ℃下高温灭菌 30 min。土壤基本理化性质为:有机质 6.02 g/kg,速效氮 19.5 mg/kg,速效磷 6.27 mg/kg,速效钾 60 mg/kg, pH 7.8。

1.1.2 供试菌剂 摩西球囊霉(*Glomus mosseae*, 简称 Gm, 编号 BGCHUB01A)和幼套球囊霉(*Glo-*

mus etunicatum, 简称 Ge, 编号 BGCTW01),均由北京市农林科学院植物营养与资源研究所“中国丛枝菌根真菌种质资源库(BGC)”提供,所用菌剂为培养基质(沸石和河沙)、侵染根段、菌丝和孢子的混合物,孢子浓度约为 30 mL⁻¹。

1.1.3 供试苗木 供试苗木为 2006 年冬剪保藏的欧洲酿酒葡萄品种(*V. vinifera* L.)赤霞珠(Cabernet sauvignon)一年生枝条的扦插苗。

1.2 试验方法

1.2.1 苗木处理 将冬剪枝条剪成 2 个芽的枝段,用体积分数 0.1% 的 HgCl₂ 消毒 5 min,无菌水清洗后,再用生根剂浸泡 12 h,扦插于无菌土苗床,待扦插苗长出 3~5 片叶时,选择生长一致的苗子移栽至花盆。花盆(上口内径×高=23 cm×17 cm)使用前经体积分数 75% 的酒精消毒,每盆装土 1.5 kg,定植 1 株扦插苗。

1.2.2 菌剂接种 试验设 4 个处理,即 Gm 单接种、Ge 单接种、Gm+Ge 混合接种(二者体积比为 1:1)和空白对照 CK。试验时在植株根系周围接种菌剂,接种量均为 30 mL/盆,对照接种经 121 ℃下高温灭菌的等量菌剂,每处理栽植 30 盆,共计 120 盆。

1.2.3 干旱胁迫处理 接种处理 100 d 后,对 4 个处理再进行 30 d 的干旱胁迫处理。干旱胁迫前充分灌溉,使每盆土壤含水量保持一致,此时盆栽土壤持水量为 300 g/kg,待土壤相对含水量下降到 75% 左右开始水分胁迫,设干旱胁迫(+M)和正常供水(-M)两个处理,用 TDR 表层式水分探头测定土壤含水量,干旱胁迫处理保持土壤相对含水量为 40%~45%,正常供水处理保持土壤相对含水量为 70%~75%,采用称重法于每天傍晚补足白天损失的水分^[16]。

1.2.4 测定指标及方法 (1)植株生长量。于接种处理 100 d 时,测定植株生长量和菌根侵染率。植株生长量的测定包括植株干重(烘干法)、株高(皮尺测定)、茎基粗(游标卡尺测定茎基部 2~3 节位间的直径)等生长指标。(2)菌根侵染率。菌根侵染率的测定采用 Phillips 等^[17]的方法并作改良,利用曲利苯兰对根段染色后用交叉划线法测定,用“侵染率/%=(侵染交叉点/所有根系与划线的交叉点)×100%”^[1]计算菌根侵染率。(3)生理指标测定。在干旱胁迫 30 d 后,取新梢基部向上 7~9 节的叶片,每个处理均随机取样,5 次重复,放入冰盒,带回实验室进行各种生理指标的测定。超氧化物歧化酶(SOD)活性的测定采用氮蓝四唑(NBT)法;过氧化

氢酶(CAT)活性的测定采用过氧化氢比色法;过氧化氢酶(POD)活性的测定采用愈创木酚法;膜质过氧化物丙二醛(MDA)含量的测定采用硫代巴比妥酸(TBA)分光光度计法;细胞膜透性的测定采用 DDS 电导仪法。用相对电导率表示细胞膜受胁迫伤害的程度,相对电导率/ $\%$ =处理电导率/煮沸后电导率 $\times 100\%$ ^[18]。3 种保护酶活性均以鲜重计算,其单位分别为:SOD, U/(g·h);CAT 和 POD, U/(g·min)。

1.3 数据分析

数据采用 Excel(V 2007)和 DPS(V 7.55)软件进行统计与分析,利用邓肯(Duncan)新复极差法进行显著性检验。以“+M”表示干旱胁迫条件,以“-M”表示正常供水条件。在同一水分条件下,对不同 AM 菌剂处理进行显著性分析,数值用“平均值 $\pm$ 标准误”表示。

2 结果与分析

2.1 AM 菌剂对赤霞珠扦插苗生长指标的影响

由表 1 可知,接种 100 d 后,接种菌剂处理与对

照相比,赤霞珠葡萄扦插苗的株高、茎基粗、地上部干重、地下部干重和根冠比 5 个指标的差异均达到显著水平。Gm、Ge 2 个单菌剂接种处理间,葡萄株高、茎基粗和地上部干重的差异不显著,但地下部干重和根冠比差异显著;Gm+Ge 混合菌剂接种处理,除茎基粗与 Ge 单接种处理的差异不明显外,其余指标均优于单菌剂接种。根冠比能够反映植物根系对地上部分的促生作用,根冠比越小根系对地上部分的促生作用越明显,不同处理间植株根冠比的差异均达到显著水平,4 个处理中,以对照的根冠比最高,混合菌剂接种处理的根冠比最低,但与 Gm 单接种的差异不显著,说明接种菌剂处理能够较好地促进植株的生长。

以上分析说明,各处理对赤霞珠幼苗生长的促进作用表现不同,接种菌剂可以显著提高赤霞珠扦插苗的植株生物量,且以混合菌剂接种优于单菌剂接种;单菌剂接种处理间,株高、茎基粗、地上部干重 3 个指标均以 Ge 单接种略高于 Gm 单接种,但差异不显著;地下部干重和根冠比 2 个指标均以 Ge 单接种显著高于 Gm 单接种。

表 1 AM 菌剂对赤霞珠扦插苗各生长指标的影响

Table 1 Effect of the AM fungi on the growth of Cabernet sauvignon cutting

处理 Treatment	株高/cm Plant height	茎基粗/cm Stem thickness	地上部干重/g Shoot dry weight	地下部干重/g Root dry weight	根冠比/% Root/Shoot
Gm	35.83 $\pm$ 0.216 b	0.447 $\pm$ 0.004 3 b	4.886 $\pm$ 0.016 4 b	2.310 $\pm$ 0.002 5 c	47.28 $\pm$ 0.110 c
Ge	36.23 $\pm$ 0.233 b	0.458 $\pm$ 0.001 7 ab	4.895 $\pm$ 0.004 7 b	2.376 $\pm$ 0.028 3 b	48.53 $\pm$ 0.609 b
Gm+Ge	39.38 $\pm$ 0.098 a	0.467 $\pm$ 0.001 9 a	5.298 $\pm$ 0.007 1 a	2.486 $\pm$ 0.002 5 a	46.91 $\pm$ 0.423 c
CK	26.25 $\pm$ 0.220 c	0.366 $\pm$ 0.006 0 c	3.884 $\pm$ 0.008 2 c	2.053 $\pm$ 0.009 3 d	52.86 $\pm$ 0.128 a

注:同一列数据后标相同字母者表示差异不显著($P<0.05$)。下表同。
Notes: In the same row, same letters behind the figures mean insignificant differences at $P<0.05$. The following tables are the same.

2.2 不同 AM 菌剂处理对赤霞珠扦插苗菌根侵染率和菌根依赖性的影响

在进行干旱处理前,测定了赤霞珠扦插苗菌根侵染状况,并分析了其菌根依赖性。从图 1 可以看出,接种菌剂处理后赤霞珠扦插苗的菌根侵染率均显著高于对照。3 种接种菌剂处理相比,混合菌剂接种菌根的侵染率显著高于单菌剂接种,Ge 单接种处理的菌根侵染率高于 Gm 单接种处理,但二者差异不显著。菌根依赖性分析表明,赤霞珠葡萄扦插苗对不同菌剂的依赖性不同,其中对混合菌剂接种菌根的依赖性(131.11%)最强,与 Ge(122.47%)、Gm(121.21%)单菌剂接种处理差异显著,但单菌剂接种间差异不明显。相关性分析表明,赤霞珠扦插苗菌根侵染率与菌根依赖性呈显著正相关,相关系数 $r=0.998$, $P<0.05$ 。说明赤霞珠扦插苗与 AM

菌剂的亲和性及依赖性因菌剂不同而存在一定差异。对植株根系侵染率强的菌剂,能显著促进植株生物量的提高,即植株对菌剂的依赖性也较高。

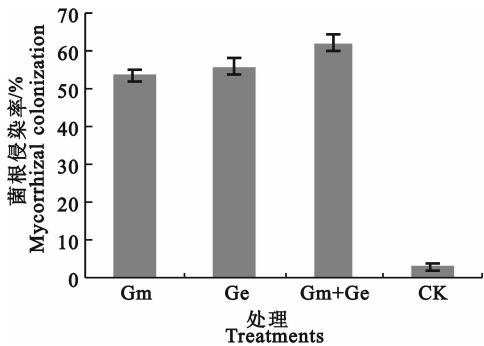


图 1 不同 AM 真菌对赤霞珠根系侵染率的影响
Fig. 1 Effect of different AM fungi on the root infection rate of Cabernet sauvignon

2.3 干旱条件下 AM 菌剂对赤霞珠扦插苗叶片保护酶活性的影响

从表 2 可以看出,在同一水分条件下,接种菌剂处理的赤霞珠叶片保护酶 SOD、POD 和 CAT 活性均显著高于对照,3 种保护酶活性均以混合菌剂处理高于 2 个单菌剂处理,且差异均达显著水平。干旱胁迫条件下,土壤水分含量降低,接种菌剂处理的赤霞珠葡萄叶片保护酶 SOD、POD 和 CAT 活性增强,而对照叶片保护酶仅 SOD 活性有少量增加,POD 和 CAT 活性反而降低。对于干旱胁迫和正常供水处理下 3 种保护酶活性变化值的分析表明,干旱胁迫处理后,3 种接菌处理葡萄叶片 SOD 的变化值表现为 $Ge(283.35\text{ U}/(\text{g}\cdot\text{h})) > Gm+Ge(264.53\text{ U}/(\text{g}\cdot\text{h})) > Gm(169.64\text{ U}/(\text{g}\cdot\text{h})) > CK(4.98\text{ U}/(\text{g}\cdot\text{h}))$,POD 的变化值表现为 $Gm+Ge(29.68$

$\text{U}/(\text{g}\cdot\text{min})) > Ge(25.51\text{ U}/(\text{g}\cdot\text{min})) > Gm(7.31\text{ U}/(\text{g}\cdot\text{min})) > CK(-20.83\text{ U}/(\text{g}\cdot\text{min}))$,CAT 的变化值表现为 $Gm+Ge(16.19\text{ U}/(\text{g}\cdot\text{min})) > Ge(13.32\text{ U}/(\text{g}\cdot\text{min})) > Gm(6.58\text{ U}/(\text{g}\cdot\text{min})) > CK(-6.82\text{ U}/(\text{g}\cdot\text{min}))$,说明在干旱条件下,Ge 单接种处理对 SOD 酶活性的增幅作用最大,而混合菌剂接种处理对 POD 和 CAT 酶活性的增幅作用最强。不同接种菌剂处理对保护酶活性增幅作用虽然不同,但均高于对照,说明接种 AM 菌剂能够提高赤霞珠扦插苗叶片中的保护酶活性。因为干旱胁迫会导致植株活性氧自由基累积,而接种 AM 菌剂能够迅速提高保护酶活性,清除自由基从而降低干旱对宿主植物的伤害,所以接种 AM 菌剂能增强赤霞珠扦插苗的抗旱性。

表 2 干旱胁迫下 AM 菌剂对赤霞珠扦插苗叶片保护酶的影响

处理 Treatment	SOD/(U·g ⁻¹ ·h ⁻¹)		POD/(U·g ⁻¹ ·min ⁻¹)		CAT/(U·g ⁻¹ ·min ⁻¹)	
	+M	-M	+M	-M	+M	-M
Gm	563.70±2.402 c	394.06±2.821 c	64.11±0.672 c	56.80±0.404 c	157.18±0.640 c	150.60±0.640 c
Ge	943.61±5.409 b	660.26±8.670 b	88.63±0.751 b	63.12±0.319 b	177.10±0.863 b	163.78±3.062 b
Gm+Ge	998.54±1.466 a	734.01±2.533 a	127.23±0.788 a	97.55±0.580 a	188.45±0.498 a	172.26±0.177 a
CK	306.78±2.599 d	301.80±2.107 d	23.94±0.377 d	44.77±0.463 d	72.92±0.306 d	79.74±0.578 d

2.4 干旱条件下 AM 菌剂对赤霞珠扦插苗叶片 MDA 含量和相对电导率的影响

植物器官在逆境(干旱、盐渍、冷害等)条件下受到伤害后,通常会发生膜脂过氧化作用,产生二烯共轭化合物、脂类过氧化物、丙二醛和乙烯等,其中丙二醛(MDA)是膜脂过氧化出现的最重要产物之一,因此常用 MDA 含量评价植物受伤害的程度^[19]。从表 3 可以看出,在正常水分条件和干旱胁迫条件下,MDA 含量的变化趋势相同,均表现为 $Gm+Ge < Ge < Gm < CK$,且接种菌剂处理的 MDA

含量均显著低于对照。正常水分条件下,3 种接种菌剂处理间 MDA 含量的差异不显著;干旱胁迫条件下,混合菌剂接种显著低于 2 个单菌剂接种。说明接种菌剂处理可以显著降低赤霞珠扦插苗遭受干旱胁迫时叶片膜质过氧化物 MDA 的含量,接种不同菌剂对宿主植物 MDA 含量的降低作用不同,但以混合菌剂接种处理优于单菌剂接种处理,Ge 单接种处理优于 Gm 单接种;且在干旱胁迫下,混合菌剂接种对植株缓解干旱胁迫伤害的作用显著高于 2 个单菌剂接种。

表 3 干旱胁迫下 AM 菌剂对赤霞珠扦插苗 MDA 含量和相对电导率的影响

处理 Treatment	MDA/(mmol·g ⁻¹)		相对电导率/% Relative conductivity	
	+M	-M	+M	-M
Gm	4.33±0.008 b	4.31±0.005 b	10.43±0.057 b	2.80±0.044 b
Ge	4.26±0.071 b	4.22±0.006 b	9.78±0.078 b	2.54±0.077 b
Gm+Ge	3.90±0.046 c	3.86±0.215 b	7.52±0.029 c	2.06±0.046 c
CK	5.43±0.010 a	5.00±0.298 a	18.37±0.347 a	6.81±0.168 a

植物组织在受到逆境胁迫时,细胞膜的结构和功能受到伤害,细胞膜透性增大,导致细胞渗出物含量增加,相对电导率亦随之发生变化,因此可以通过相对电导率的变化反映细胞膜受伤害的程度^[19]。

由表 3 可知,在正常水分条件和干旱胁迫条件下,4 个处理相对电导率的变化趋势相同,均表现为 $Gm+Ge < Ge < Gm < CK$,且接种菌剂处理的电导率均显著低于对照。3 种不同接种菌剂处理中,均以混合

菌剂接种的相对电导率最低,单菌剂接种处理间差异不显著。由表 3 还可以看出,无论是否接种 AM 菌剂,与正常水分条件相比,干旱胁迫条件下赤霞珠叶片的相对电导率均有提高,但接种 AM 菌剂后能显著降低相对电导率的增幅。无论是否进行干旱胁迫,接种不同菌剂对降低电解质透出率的影响不同,3 种接种处理中,以混合菌剂接种处理的相对电导率显著低于单菌剂接种,Ge 单接种处理后相对电导率略低于 Gm 单接种,但二者差异不显著。Ge 与 Gm 单接种处理相对电导率的差异,与前面分析的 3 种保护酶活性均以 Ge 单接种处理显著高于 Gm 单接种相对应,即保护酶活性高的,叶片受伤害较小,相对电导率也较低。

3 讨论与结论

目前,国内关于 AM 菌剂在葡萄栽培领域的研究较少,本试验通过 AM 菌剂接种处理和干旱胁迫处理,较为系统地研究了 AM 菌剂对我国主栽酿酒葡萄品种赤霞珠扦插苗生长及抗旱性的影响,结果发现,赤霞珠扦插苗的菌根侵染率与菌根依赖性变化有显著相关性,接种菌剂处理能够显著促进扦插苗的生长,提高植株生物量;根冠比分析表明,接种菌剂处理的根冠比低于对照,其对地上部分的促生作用较大;干旱胁迫条件下,接种菌剂处理显著提高了葡萄叶片保护酶 SOD、POD 和 CAT 的活性,降低了 MDA 含量和相对电导率(细胞膜透性),说明接种菌剂处理能够提高赤霞珠扦插苗的抗旱性,试验结果均表现为接种菌剂处理优于对照,混合菌剂接种较单菌剂接种效果明显。这与黄华成等^[20]在木薯上及赵平娟等^[21]在连翘幼苗上接种菌剂处理的试验结果一致,这可能是因为混合菌剂的不同菌种在侵染空间上存在互补作用,而使接种效应更为明显^[20]。本试验发现,Ge 单接种与 Gm 单接种的接种效应存在种间差异,混合菌剂接种处理较单菌剂接种处理效果明显,这说明应加强 AM 菌种与葡萄品种之间的筛选工作,同时应选择合适的接种方式并加以推广。但对于 AM 菌剂能否改善酿酒葡萄的品质和口感,尚需做进一步研究。

关于 AM 菌剂处理提高宿主植物抗旱性的研究较多,目前学术界较为认同刘润进等^[22]的观点,认为菌根真菌主要通过菌根菌丝吸收的直接作用,以及通过改善植物矿质营养状况及内源激素平衡状况,间接地影响寄主植物的水分代谢。本研究发现,接种 AM 菌剂的赤霞珠扦插苗,能够通过提高

SOD、POD 和 CAT 的活性增强其抗旱性,这与于桂宝等^[23]在沙田柚和唐明等^[5]在沙棘上得到的结论一致。这可能是因为保护酶活性的提高,能够清除因干旱胁迫而累积的活性氧自由基,抑制膜脂过氧化进程和程度,使细胞膜透性降低,植株抗旱性增强。试验中还发现,MDA 含量和相对电导率均以接种菌剂处理显著低于对照,该结论佐证了上述推断。

AM 真菌作为一种宝贵的菌种资源,能够提高植物抗逆性,促进植物生长发育。筛选合适的 AM 菌种应用于酿酒葡萄的生产,将具有十分广阔的市场空间。因此,后续研究应该从酿酒葡萄 AM 真菌资源的调查入手,通过筛选组合,建立“适地、适树、适菌”的最佳搭配,为酿酒葡萄的生产及酿造高品质葡萄酒提供保证。

[参考文献]

[1] 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,1997:139-140.
Gong M Q,Chen Y L,Zhong C L. Study and application of Mycorrhizal [M]. Beijing:Chinese Forestry Publishing Company, 1997:139-140. (in Chinese)

[2] Sanders F E,Tinker P B. Phosphorus flow into mycorrhizal root [J]. Pestic Sci,1973,4:385-395.

[3] 杨振寅,廖声熙. 丛枝菌根对植物抗性的影响研究进展 [J]. 世界林业研究,2005,18(2):26-29.
Yang Z Y,Liao S X. Advances in the research on the effects of Arbuscular mycorrhizal fungi on plant stress resistance [J]. World Forestry Research,2005,18(2):26-29. (in Chinese)

[4] 余卓玲,梁计南. VA 菌根真菌对植物吸收能力及抗逆性的影响研究进展 [J]. 广东农业科学,2005(3):44-47.
Yu Z L,Liang J N. Study on effect of plant absorbency and tolerance for VA mycorrhizal [J]. Guangdong Agricultural Science,2005(3):44-47. (in Chinese)

[5] 唐明,薛蕊,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.
Tang M,Xue S,Ren J H,et al. Mechanism of the promotion of drought resistance of Hippophae rhamnoides with Arbuscular Mycorrhizal Fungi [J]. Journal of Northwest Forestry University,2003,18(4):29-31. (in Chinese)

[6] 黄世臣,李熙英. 水分条件下接种菌根菌对山杏实生苗抗旱性的影响 [J]. 东北林业大学学报,2007,35(1):31-36.
Huang S C,Li X Y. Effects of VA Mycorrhizal Fungi on drought resistance of Armeniaca mandachurica seedlings[J]. Journal of Northeast Forestry University,2007,35(1):31-36. (in Chinese)

[7] 王春华,杨晓红,李东彦,等. AM 真菌种间差异对枳壳苗营养生长及矿质含量的影响 [J]. 中国农学通报,2006,22(12):199-203.

- Wang C H, Yang X H, Li D Y, et al. Effects of the different species of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on the vegetative growth and mineral contents in Trifoliate Orange seedlings [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2006, 22 (12): 199-203. (in Chinese)
- [8] 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 Shatian You seedlings vegetative growth and mineral contents [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2006, 17 (7): 1229-1233. (in Chinese)
- [9] 鹿金颖, 毛永民, 申连英, 等. VA 菌根对酸枣实生苗吸收土壤磷锌铁元素的影响 [J]. 河北农业大学学报, 2002, 25 (1): 42-47.
- Lu J Y, Mao Y M, Shen L Y, et al. The effects of VA mycorrhizal on P, Zn, Fe absorption of wild jujube (*Zizyphus spinosus* Hu) seedling [J]. Journal of a Cultural University of Hebei, 2002, 25 (1): 42-47. (in Chinese)
- [10] 宋福强, 王 焱, 田兴军, 等. 丛枝菌根(AM)与桃树根癌病关系初探 [J]. 植物病理学报, 2005, 36 (6): 192-195.
- Song F Q, Wang Y, Tian X Y, et al. Preliminary study on relationship between arbuscular mycorrhizas and crown gall of peach trees [J]. Plant Pathology Journal, 2005, 36 (6): 192-195. (in Chinese)
- [11] 申连英, 毛永民, 鹿金颖, 等. 丛枝菌根对酸枣实生苗耐盐性的影响 [J]. 土壤学报, 2004, 41 (3): 426-433.
- Shen L Y, Mao Y M, Lu J Y, et al. Effects of Arbuscular Mycorrhizae on salt tolerance of wild jujube (*Zizyphus spinosus* Hu) seedling [J]. Acta Pedologica Sinica, 2004, 41 (3): 426-433. (in Chinese)
- [12] 刘晓捷, 曾 明, 杜建斌, 等. AMF 对葡萄扦插苗矿质营养及生长的影响 [J]. 西南农业大学学报: 自然科学版, 2006, 28 (2): 286-289, 318.
- Liu X J, Zeng M, Du J B, et al. Effects of AMF on the growth and mineral nutrition of grape cuttings [J]. Journal of Southwest Agricultural University: Natural Science Edition, 2006, 28 (2): 286-289, 318. (in Chinese)
- [13] 孙建明, 冉成玺, 段 宁. VA 菌根对葡萄扦插成活率的影响 [J]. 绵阳农专学报, 1990, 7 (1): 43-46.
- Sun J M, Ran C X, Duan N. Effect of Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal on survival rates of grape cuttings [J]. Journal of Mianyang Agricultural Collge, 1990, 7 (1): 43-46. (in Chinese)
- [14] 李海燕, 刘润进, 束怀瑞. 丛枝菌根真菌与葡萄南方根结线虫的相互作用及其对寄主的影响 [J]. 园艺学报, 2002, 29 (6): 510-514.
- Li H Y, Liu R J, Shu H R. Interaction between AM Fungi and Grape *Meloidogyne incognita* [J]. Acta Horticultural Sinica, 2002, 29 (6): 510-514. (in Chinese)
- [15] 蔡 伟, 李瑞臣, 徐月华, 等. 葡萄抗旱性研究进展 [J]. 中外葡萄与葡萄酒, 2005 (3): 33-36.
- Qi W, Li R C, Xu Y H, et al. Advances in increasing grape drought resistance [J]. Sino-Overseas Grapevine & Wine, 2005 (3): 33-36. (in Chinese)
- [16] 惠竹梅, 房玉林, 郭玉枝, 等. 水分胁迫对葡萄幼苗 4 种主要生理指标的影响 [J]. 干旱地区农业研究, 2007, 25 (3): 146-149.
- Xi Z M, Fang Y L, Guo Y Z, et al. The effect of water stress on main physiological indexes of wine grape leaf [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2007, 25 (3): 146-149. (in Chinese)
- [17] 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]. Trans Br Mycol Soc, 1970, 55: 158-161.
- [18] 高俊凤. 植物生理学实验技术 [M]. 西安: 世界图书出版公司, 2000, 192-200.
- Gao J F. Plant Physiology experimental technique [M]. Xi'an: World Books Publishing Company, 2000, 192-200. (in Chinese)
- [19] 蒋学玮, 薛 蕙. AMF 提高刺槐抗旱性的研究 [J]. 新疆农业科学, 2005, 42 (3): 181-184.
- Jiang X W, Xue S. Study on promotion of drought resistance of with arbuscular mycorrhizal (AM) fungi [J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2005, 42 (3): 181-184. (in Chinese)
- [20] 黄华成, 唐光大, 罗晓堂, 等. 3 种球囊霉属真菌对盆栽木薯生长的影响 [J]. 华南农业大学学报, 2005, 26 (4): 44-47.
- Huang H C, Tang G D, Luo X Y, et al. The effects of three *Glomus* fungi on growth of *Manihot esculenta* [J]. Journal of South China Agricultural University, 2005, 26 (4): 44-47. (in Chinese)
- [21] 赵平娟, 安 锋, 唐 明. 丛枝菌根真菌对连翘幼苗抗旱性的影响 [J]. 西北植物学报, 2007, 27 (2): 396-399.
- Zhao P J, An F, Tang M. Effects of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on drought resistance of *Forsythia suspensa* [J]. Acta Bot Boreal-Occident Sin, 2007, 27 (2): 396-399. (in Chinese)
- [22] 刘润进, 李晓林. 丛枝菌根及其应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2000, 111-122.
- Liu R J, Li X L. Arbuscular Mycorrhizal Fungi and it's application [M]. Beijing: Science Publishing Company, 2000: 111-122. (in Chinese)
- [23] 于桂宝, 杨晓红, 朱 钧, 等. AM 真菌对长寿沙田柚耐旱性的影响 [J]. 南方农业, 2007, 1 (1): 24-27.
- Yu G B, Yang X H, Zhu J, et al. Effects of AM fungi on drought resistance of *Citrus grandis* cv. Changshou Shatian shaddock [J]. Southward Agriculture, 2007, 1 (1): 24-27. (in Chinese)