

AM 真菌对红地球葡萄促生效应的初步研究

张稼涵^{1,2}, 房玉林^{1,2}, 王美萍¹, 刘树文^{1,2}, 张振文^{1,2}, 孟江飞^{1,2}

(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] **【目的】**探讨 3 种丛枝菌根真菌促进葡萄生长和磷素吸收的能力,通过比较筛选出优势的 AM 真菌菌株,为丛枝菌根真菌应用于葡萄种植提供理论依据。**【方法】**采用温室盆栽试验,在人工控制温度(25 ℃)和湿度(50%)的条件下,向红地球葡萄幼苗的根部分别接种摩西球囊霉(*Glomus mosseae*)、根内球囊霉(*Glomus intraradices*)和地表球囊霉(*Glomus versiforme*)3 种 AM 真菌,定期测定幼苗的株高、干质量、含磷量、叶绿素含量、根际侵染率以及土壤有效磷含量等指标,研究这 3 种 AM 真菌对葡萄幼苗生长的促进作用。**【结果】**接种丛枝菌根真菌的葡萄苗叶绿素含量和全磷含量较对照有所增加,生长明显加快。接种 AM 真菌的葡萄植株样品干质量较对照提高 26% 以上,而叶绿素含量在葡萄植株生长第 28 天和第 56 天时高于对照 10% 以上。接种 AM 真菌后,葡萄幼苗根部生长发育优于对照,根部干质量显著增加;接种处理的葡萄植株在不同生长周期的总含磷量均有所增加,其地上部分和地下部分的磷含量均高于对照。**【结论】**在葡萄定植及种植过程中,接种 AM 真菌是一种有效的促生方法。3 种 AM 真菌中,在促进葡萄光合作用和磷素吸收方面的表现以地表球囊霉最优,摩西球囊霉次之,根内球囊霉较差。

[关键词] AM 真菌;葡萄;促生效应;全磷;有效磷

[中图分类号] S144.9;S663.1

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2010)12-0197-06

Preliminary study on promotion effects of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Red Globe Grape

ZHANG Jia-han^{1,2}, FANG Yu-lin^{1,2}, WANG Mei-ping¹, LIU Shu-wen^{1,2},
ZHANG Zhen-wen^{1,2}, MENG Jiang-fei^{1,2}

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

2 Grape and Wine Engineering Research Center in Shaanxi Province, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: **【Objective】**The study was done to understand promotion effects of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on grape growth and phosphorus uptaking capacity by comparing the advantages of selected strains to provide a theoretical basis for grape growing. **【Method】**Under a greenhouse pot, artificial control of temperature(25 ℃)and humidity conditions(50%), through root inoculation of AM fungi: *Glomus mosseae*, *Glomus intraradices*, *Glomus versiform*, we determined the growth of grape seedling, including plant height, dry weight, content of phosphorus, total chlorophyll, colonization rate and soil available phosphorus, and studied the promotion effects of the three AM fungi. **【Result】**Grape seedling growth accelerated noticeably, mainly in the photosynthetic pigment content and plant biomass, increasing by 26% and 10% or more respectively. After inoculated with AM fungi, the seedling root grew and developed significantly; phosphorus content of grape plant increased at different growing periods, the phosphorus content of aboveground part and underground part were both higher than that of non-inoculated seedlings. **【Conclu-**

* [收稿日期] 2010-04-20

[基金项目] 现代农业产业技术体系建设专项(Z225020901);西北农林科技大学青年学术骨干支持计划项目(Z111020611);西北农林科技大学基本科研业务费青年资助计划项目(QN2009060)

[作者简介] 张稼涵(1983—),女,河南新野人,在读硕士,主要从事葡萄园有益微生物研究。E-mail:sharonzhang1205@yahoo.com.cn

[通信作者] 房玉林(1973—),男,河南兰考人,副教授,博士,主要从事葡萄园有益微生物研究。E-mail:fangyulin@nwsuaf.edu.cn

sion】In grape planting and growing process, inoculating AM fungi is an effective way to promote the growth of grapes. In the promotion of grape photosynthesis and phosphorus absorption performance, *G. versiform* is the best, followed by *G. mosseae*, *G. intraradices* is relatively common.

Key words: AM fungi; grape; promotion effect; total phosphorus; available phosphorus

菌根是植物根系与土壤真菌形成的互惠共生体,绝大多数植物都有菌根。丛枝菌根(*Arbuscular mycorrhizas*, AM)是球茎门真菌侵染植物根系所形成的共生体,大部分真菌侵染后产生孢囊(VAM),故将形成的孢囊简称为丛枝菌根^[1]。AM 真菌具有较强的溶解难溶性磷酸盐的能力,故接种 AM 真菌不但可以促进植物对磷的吸收^[2]和转化难溶性磷为有效磷^[3],改善植物的磷营养,而且也能促进植物对水分的吸收和利用,提高植物的抗旱能力^[4],还能够增强叶片光合作用,增加植物的碳素营养,促进植物生长,增加植物的质量^[1]。

我国西北地区土地资源丰富,光照充足,是葡萄的重要产区。然而该区土壤较为贫瘠,尤其是土壤有效磷含量较低^[5],这对葡萄的生长和发育有不利影响,在一定程度上制约了葡萄产业的可持续发展。由于目前还没有可有效改善西北地区葡萄根际有效磷的方法,因此探索利用溶磷微生物来改善葡萄磷营养很有必要。丛枝菌根真菌在提高植物磷营养方面有显著作用^[6],近年来有关丛枝菌根的研究证明,丛枝菌根真菌在促进植物生长、提高养分吸收率、改善生态系统养分循环及保护植物抵御不良环境胁迫中有重要作用^[7-8],但目前有关将丛枝菌根真菌应用于葡萄种植的研究还比较少。

葡萄是能形成丛枝菌根的植物,可被多种丛枝菌根真菌侵染,并且其生长发育在很大程度上依赖于丛枝菌根真菌的侵染及丛枝菌根的形成^[9-10],因此给葡萄根部接种 AM 真菌,筛选能够转化土壤难溶性磷为可溶性磷并促进葡萄植株生长、适合葡萄园应用的 AM 真菌优势菌株具有重要意义。本研究利用温室盆栽试验,通过接种摩西球囊霉(*Glomus mosseae*, GM)、根内球囊霉(*Glomus intraradices*, GI)和地表球囊霉(*Glomus versiforme*, GV),比较研究了 3 种丛枝菌根真菌对葡萄生长和磷素吸收能力的影响,以期筛选出优势的 AM 真菌菌株,为丛枝菌根应用于葡萄种植提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试菌剂及苗木

摩西球囊霉、根内球囊霉和地表球囊霉,均由西

北农林科技大学葡萄酒学院提供,在玉米上繁殖后,用含有侵染菌根和菌丝的土壤作为菌根接种剂接种于葡萄苗根部。

供试葡萄苗为 2008 年冬剪埋土保藏的鲜食葡萄品种“红地球”(Red-globe grape)扦插苗。“红地球”葡萄又名红提、晚红,是美国加州大学采用[皇帝×L12-18(多亲本杂交实生苗)]×S45-48(L12-48×Nocera),于 1980 年培育成功并获得专利的品种。

1.2 材料处理

试验地点为西北农林科技大学葡萄酒学院可控温室,温度控制在 25℃左右。供试土样为杨凌葡萄园垆土,于阳光下晾晒烘干后过 2 mm 筛并混匀,参照文献[11]的方法测定其基本理化性质。供试土壤的基本理化性质为:有机质 11.13 g/kg,速效氮 44.55 mg/kg,速效磷 7.8 mg/kg,速效钾 120.4 mg/kg, pH 为 8.24。

选择已经长出 3~5 片叶子且生长基本一致、无病虫害的扦插苗移栽至花盆。花盆(上口内径×高=23 cm×17 cm)使用前进行清洗消毒,每盆装土 1.5 kg,定植 1 株扦插苗。

1.3 试验设计及管理

试验设 4 个处理,分别为 GM 单接种、GI 单接种、GV 单接种和不接种对照(CK)。在植株根系周围接种菌剂,所用菌剂为含有侵染菌根和菌丝的土壤,其中 GM、GI 和 GV 接种处理所用菌剂每克土所含的孢子个数分别为 7.12、6.73 和 8.04,接种量均为 100 g/盆,对照不接种,每个处理移栽 30 盆,共计 120 盆。

将接种后的葡萄幼苗置于温室中自然培养,温室自然采光,昼夜温度自然过渡(18~28℃),湿度为 60%~70%。移栽 1 周后各处理统一追施氮、钾和微量元素营养液,用量为每盆 20 mL。每升营养液组成为:KCl 0.3 g, (NH₄)₂SO₄ 0.5 g, MnSO₄·H₂O 0.03 g, MgSO₄·7H₂O 0.3 g, FeSO₄·7H₂O 0.03 g, 整个生长期不再施肥。试验于 2009-07-10 进行接种,置于室温中生长至 2009-10-01,葡萄幼苗接种后最长生长时间为 84 d。试验期间每隔 28 d 分别测定葡萄苗质量、菌根侵染率及植株全磷、土壤有效磷含量等生理生化指标。

1.4 葡萄生长指标和生理生化指标的测定

1.4.1 葡萄生长指标的测定 1)植株高度(cm)。用软尺测量,为从营养钵上表面到生长点的长度。

2)干、鲜质量测定(g)。烘干后的植株质量即为干质量,测定方法是先烘干葡萄植株,将地上部分(茎叶)和地下部分(根系)分别称量;鲜质量测定方法为直接称量。

1.4.2 菌根侵染率 取长根段先置于 FAA 液中固定,将根段剪成长度为 2 mm 的小段,按照改良的 Phillips 和 Hayma 方法^[8]对根样进行染色,交叉划线法进行侵染率测定。菌根侵染率=(侵染根段数/观察根段数)×100%^[12]。

1.4.3 菌根依赖性(MD) 菌根依赖性=菌根植株干质量/非菌根植株干质量^[13]。

1.4.4 叶绿素含量的测定 取葡萄植株新梢第5~8 节位大小和颜色较为一致的成熟叶片,用 80%丙酮溶液提取叶绿素,用分光光度计法测其含量。根据吸光度和提取液总量分别计算叶绿素 a(Ca)和叶绿素 b(Cb)含量,计算公式为:

$$Ca(\text{mg/L})=12.7A_{663}-2.68A_{645};$$
$$Cb(\text{mg/L})=22.9A_{645}-4.68A_{663}。$$

式中:A₆₆₃表示样品在 663 nm 处的吸光度,A₆₄₅表示样品在 645 nm 处的吸光度^[14]。

1.4.5 光合指标的测定 净光合速率(*Pn*)、蒸腾速率(*Tr*)、气孔导度(*Gs*)和胞间 CO₂ 浓度(*Ci*)用 Li-6400 型光合仪测定,在红地球葡萄苗生长至第

28,56 和 84 天时,于早上 09:00~11:00 测定^[13],测定叶片为植株新梢 5~8 节的成熟叶片。

1.4.6 植株全磷及土壤有效磷含量的测定 1)植株地上部和地下部含磷量的测定。植物生长每 28 d 收获 1 次,分别收取地上茎叶和地下根系,烘干称质量,然后采用 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮,钒钼黄比色法测定植株全磷含量^[15];

2)土壤有效磷的测定。采用五点取样法取各样品根际土壤,充分风干,过孔径 1 mm 的筛,称取一定量用 0.50 mol/L 碳酸氢钠溶液浸提,用钼锑抗比色法^[16]测定土壤有效磷含量。

1.5 数据处理

采用 SPSS 软件对试验数据进行统计与分析,利用 LSD 进行差异显著性检验,并对不同处理进行差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 接种 AM 真菌对葡萄生长的影响

从表 1 可以看出,AM 真菌对葡萄生长的影响主要集中在根部,在根系的鲜质量上表现尤为明显,接种 AM 真菌后 28,56 和 84 d,各接种处理葡萄的根系鲜质量与对照之间均有显著差异(*P*<0.05)。在根系干质量上,所有接种处理均高于对照,28 d 时 GV 处理、56 d 时所有处理及 84 d 时 GI 和 GV 处理与对照差异显著。

表 1 葡萄接种 AM 真菌后不同时期的生长情况及菌根侵染率、菌根依赖性的比较

Table 1 The growth,colonization rate and mycorrhizal dependency of grapes at different periods after inoculated with AM fungi								
接种后 时间/d Time after inoculation	处理 Treatment	株高/cm Plant height	茎叶质量/(g·株 ⁻¹) Biomass of shoot		根质量/(g·株 ⁻¹) Biomass of root		菌根侵染率/% Colonization rate	菌根依赖性/% Mycorrhizal dependency
			鲜质量 Fresh wt	干质量 Dry wt	鲜质量 Fresh wt	干质量 Dry wt		
28	GM	50.83 a	22.10 a	7.47 a	11.00 ab	2.57 ab	26.82 b	162.13 b
	GI	54.33 a	20.77 a	8.93 ab	7.43 a	2.70 ab	32.34 a	138.95 c
	GV	50.33 ab	21.03 a	12.63 a	7.47 a	3.03 a	29.60 a	187.10 a
	CK	40.33 b	17.37 a	6.00 b	6.70 b	1.67 b		
56	GM	51.83 ab	23.43 a	8.87 a	23.87 a	5.43 a	49.13 a	176.51 a
	GI	56.00 a	23.20 a	8.07 b	20.67 a	5.60 a	47.33 a	158.25 b
	GV	55.00 a	23.90 a	8.13 ab	22.77 a	6.30 a	49.33 a	175.12 a
	CK	44.33 b	24.53 a	7.63 c	13.43 b	3.17 b		
84	GM	52.67 ab	24.00 a	14.00 a	24.00 a	10.27 ab	53.25 b	128.83 b
	GI	59.00 a	23.13 a	10.90 b	25.40 a	11.63 a	52.75 b	139.21 a
	GV	55.33 ab	25.67 a	12.13 ab	22.03 a	11.37 a	57.13 a	125.56 b
	CK	47.67 b	23.17 a	8.33 c	19.00 a	7.60 b		

注:同列数据后标不同小写字母表示处理间差异显著(*P*<0.05)。下表同。
Note:Different letters after data in same line show significantly different(*P*<0.05). The following tables are the same.

AM 真菌对葡萄地上部生长的影响较小,除在葡萄生长初期对茎叶干质量有影响外,3 个接种处理葡萄茎叶鲜质量与对照差异均不显著。AM 真菌对葡萄株高也有影响,在接种处理的不同时期,所有

处理与对照都有差异,其中 GI 处理在葡萄生长期间,与对照相比均有显著差异。综合而言,接种 GM 对葡萄根系的鲜质量影响较大,接种 GI 对葡萄株高影响较大,而接种 GV 对葡萄植株的影响主要体现在根系干质量方面。

总体而言,接种 AM 真菌的葡萄植株干质量比对照高 26% 以上。菌根侵染率分析表明,接种处理 28 d 时,GM 处理菌根侵染率显著低于 GI 和 GV 处理;接种处理 56 d 时,3 株 AM 真菌对葡萄根部的侵染率差异不显著;接种处理 84 d 时,GV 处理的菌根侵染率最高,达 57.13%,与接种 GM、GI 相比差异显著;随着葡萄植株的生长,各接种处理菌根侵染率均有不同程度的提高。菌根依赖性分析表明,接种 GV 处理生长前期(处理后 28 d)的菌根依赖性最强,28 d 时达 187.10%,接种 GM 处理次之,接种 GI 处理生长前期的菌根依赖性较弱;随着葡萄植株的生长,各处理菌根依赖性总体逐渐减弱。

2.2 接种 AM 真菌对葡萄磷素吸收的影响

2.2.1 接种 AM 真菌对葡萄根际土壤有效磷含量的影响 由图 1 可见,在葡萄生长初期,各处理葡萄根际土壤有效磷含量总体高于对照;接种后 56 d(生长中期)与接种 28 d 相比,除 GI 处理外,其他处理土壤有效磷含量均有所下降,这是因为在此之前葡萄生长旺盛,吸磷量较大所致。在葡萄整个生长期,接种 AM 真菌处理的土壤有效磷含量均高于不接种的对照。在接种处理后 28 d 时,所有处理的土壤有效磷含量与对照相比均差异显著($P<0.05$),但是到了葡萄生长后期,所有处理与对照均无显著差异。

2.2.2 接种 AM 真菌对葡萄植株磷素含量的影响

通过对试验中葡萄植株全磷的测定,可以衡量各个 AM 菌株在实际应用中的溶磷能力。本次试验所使用的 3 株 AM 真菌均具备较强的溶磷能力,与对照相比,其均可明显提高葡萄植株的磷含量。

从表 2 可以看出,随着葡萄的生长,各处理葡萄植株总磷含量均迅速上升,到生长后期增长趋势有所减缓,而茎叶和根系含磷量大多数处理均呈下降趋势;在葡萄生长期,不论是茎叶和根系的含磷量,还是植株总含磷量,3 个接种处理均高于对照,其中以接种 GV 处理表现最好,其植株总含磷量在 28、56 和 84 d 时分别是对照的 2.5、2.6 和 1.6 倍。总体而言,3 个接种处理的植株总磷含量表现为 $GV>GM>GI$ 。

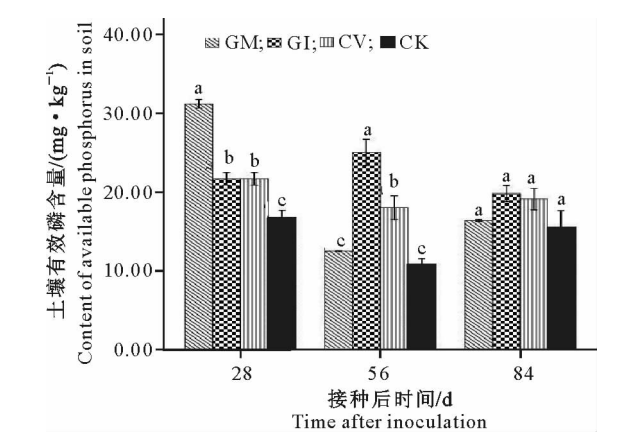


图 1 接种 AM 真菌对土壤有效磷含量的影响
同一时间柱状图上方不同小写字母
表示处理间差异显著($P<0.05$)。下同。
Fig. 1 Changes of soil available phosphorus
after inoculated with AM fungi
Different letters above each bar in a group show significantly
different ($P<0.05$). The following bar chart is the same.

表 2 接种 AM 真菌后不同时期葡萄植株含磷量的变化				
Table 2 Changes in phosphorus content of plants after grapes were inoculated with AM fungi				
接种后时间/d Time after inoculation	处理 Treatment	茎叶含磷量/($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$) Phosphorus of shoot	根系含磷量/($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$) Phosphorus of root	植株总含磷量/($\mu\text{g} \cdot \text{株}^{-1}$) Total phosphorus
28	GM	$1.78 \pm 0.08 \text{ ab}$	$2.40 \pm 0.11 \text{ b}$	$25.58 \pm 4.65 \text{ a}$
	GI	$1.62 \pm 0.07 \text{ b}$	$2.45 \pm 0.04 \text{ b}$	$20.54 \pm 1.31 \text{ ab}$
	GV	$1.87 \pm 0.11 \text{ a}$	$2.78 \pm 0.05 \text{ a}$	$32.29 \pm 6.78 \text{ a}$
	CK	$1.44 \pm 0.10 \text{ c}$	$1.73 \pm 0.11 \text{ c}$	$12.52 \pm 0.55 \text{ b}$
56	GM	$1.65 \pm 0.03 \text{ b}$	$2.69 \pm 0.08 \text{ a}$	$54.00 \pm 4.14 \text{ a}$
	GI	$1.92 \pm 0.12 \text{ a}$	$1.91 \pm 0.11 \text{ c}$	$50.12 \pm 6.84 \text{ a}$
	GV	$1.87 \pm 0.11 \text{ a}$	$2.40 \pm 0.03 \text{ b}$	$57.87 \pm 9.63 \text{ a}$
	CK	$1.34 \pm 0.04 \text{ c}$	$1.31 \pm 0.12 \text{ d}$	$21.71 \pm 3.58 \text{ b}$
84	GM	$1.58 \pm 0.10 \text{ ab}$	$1.74 \pm 0.16 \text{ a}$	$55.94 \pm 4.49 \text{ a}$
	GI	$1.66 \pm 0.05 \text{ a}$	$1.39 \pm 0.09 \text{ b}$	$59.11 \pm 8.20 \text{ a}$
	GV	$1.71 \pm 0.11 \text{ a}$	$1.92 \pm 0.17 \text{ a}$	$60.30 \pm 10.60 \text{ a}$
	CK	$1.46 \pm 0.06 \text{ b}$	$1.32 \pm 0.08 \text{ b}$	$37.60 \pm 3.68 \text{ a}$

2.3 接种 AM 真菌对葡萄叶片叶绿素总量的影响
由图 2 可以看出,接种后 28 和 56 d 时,各处理葡萄叶片叶绿素总量均显著高于对照,但 56 d 时 GI

和 CK 处理差异不显著;接种处理 84 d 时,除 GI 处理外,GM 和 GV 处理葡萄叶片的叶绿素总量均高于对照,且与对照相比差异达显著水平($P<0.05$);

各处理葡萄叶片叶绿素总量均随着葡萄植株的生长而增加,但增加趋势逐渐减缓。接种处理后 28~56 d 是葡萄生长的旺盛期,叶片中叶绿素含量急剧增加,各接种处理叶片叶绿素总量均高于对照 10% 以上;处理后的 56~84 d,叶片中叶绿素含量只有少量增长。总体来看,这 3 株菌对叶绿素总量的影响表现为:GV>GM>GI。

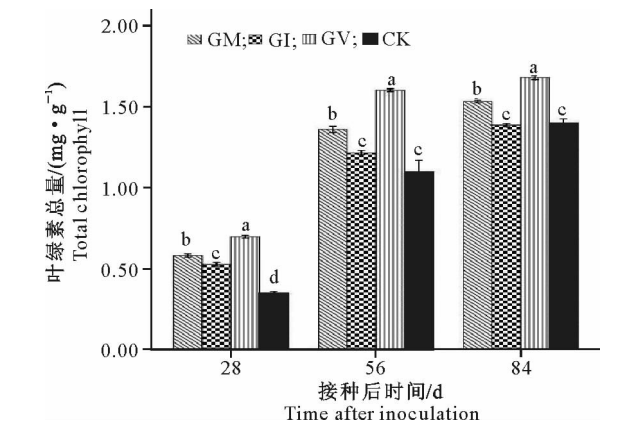


图 2 接种 AM 真菌对葡萄叶片叶绿素总量的影响
Fig. 2 Effect of inoculated AM fungi on the total chlorophyll

表 3 接种 AM 真菌对葡萄叶片净光合速率、气孔导度和蒸腾速率等光合指标的影响

Table 3 Effect of inoculated AM fungi on the net photosynthetic rate, stomatal conductance and transpiration rate of seedling leaves

接种后时间/d Time after inoculation	处理 Treatment	净光合速率/ ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) Net photosynthetic rate	气孔导度/ ($\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) Stomatal conductance	胞间 CO_2 浓度/ ($\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$) Intercellular carbon dioxide concentration	蒸腾速率/ ($\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) Transpiration rate
28	GM	12.50±1.20 a	0.44±0.08 a	3.23±3.45 a	3.91±0.34 a
	GI	11.33±1.45 a	0.33±0.13 a	3.13±7.21 a	2.94±0.63 b
	GV	12.06±1.92 a	0.32±0.08 a	3.09±6.45 a	2.92±0.43 b
	CK	10.48±1.06 a	0.27±0.04 ab	3.09±7.02 a	2.95±0.27 b
56	GM	12.07±0.74 a	0.34±0.04 a	2.96±3.51 a	3.95±0.27 a
	GI	10.82±1.74 ab	0.17±0.04 b	2.54±7.05 b	2.38±0.52 c
	GV	11.42±1.36 a	0.33±0.04 a	3.01±6.81 a	3.69±0.22 ab
	CK	9.04±0.21 b	0.24±0.03 b	2.89±6.81 a	3.06±0.27 b
84	GM	11.53±0.25 ab	0.32±0.05 a	3.12±7.81 a	3.46±0.33 a
	GI	10.90±1.29 b	0.29±0.13 a	3.04±12.81 a	3.01±0.93 a
	GV	13.63±1.60 a	0.37±0.06 a	3.06±9.08 a	3.84±0.49 a
	CK	8.22±0.98 c	0.35±0.45 a	3.50±3.06 b	3.75±0.27 a

3 讨 论

接种 AM 真菌能够显著增加宿主植物对矿质营养,特别是磷素的吸收。AM 真菌的溶磷作用为作物提供了较多的有效磷。然而,在溶磷微生物的应用中,经常遇到作物增产作用明显但未表现出溶磷效果^[6],或有较高的溶磷能力但是作物产量没有提高^[17],或连年接种溶磷菌剂并不能年年增产^[8]等 3 种情况。AM 真菌的溶磷能力和对作物的促生效果是 AM 真菌筛选的主要指标,所以在 AM 真菌筛

2.4 接种 AM 真菌对葡萄叶片光合指标的影响

大量试验证明,AM 真菌不仅能够增加叶片叶绿素含量,而且还能够改善叶片气孔传导和蒸腾速率,进而提高植物净光合速率^[1]。接种 AM 真菌对葡萄叶片光合指标的影响结果见表 3,由表 3 可见,各处理葡萄叶片的净光合速率在生长过程中有一定的波动,但总体变化不大。接种 AM 真菌葡萄植株生长初期的净光合速率与对照没有明显差异,但在生长后期,显著高于对照,3 株供试真菌对净光合速率的影响表现为:GV>GM>GI。

在生长初期,各接种处理与对照葡萄叶片的气孔导度差异较明显,但是随着葡萄的生长,差异有所减小;对于叶片的胞间 CO₂ 浓度,在接种后 28 和 56 d 时,接种处理与对照间没有显著差异(除 56 d 时 GI 处理外),但是在生长后期,对照的胞间二氧化碳浓度显著高于 3 个接种 AM 真菌处理;总体来看,接种 AM 真菌对葡萄叶片蒸腾速率没有明显的促进作用,但葡萄生长前期的 GM 处理和中期的 GM、GI 处理与对照之间差异显著。

选和应用潜力研究过程中,应选择既能有效提高作物产量又可促进作物生长的菌株。

本试验将 AM 真菌对葡萄生长指标、根际有效磷含量、植株全磷和叶绿素含量的促进作用作为高效 AM 真菌的筛选标准,结果表明,AM 真菌对葡萄生长的促进主要体现在根部,如增加根系质量。AM 真菌促进葡萄植株对磷素的吸收主要表现在植株(包括地上部分和地下部分)全磷的增加上。AM 真菌能够转化土壤难溶性磷为有效磷,表现为葡萄根际土壤有效磷含量增加。溶磷真菌对光合作用的

促进作用则主要表现为叶片叶绿素含量的增加,但是对气孔导度、蒸腾速率和胞间 CO₂ 浓度基本上没有明显影响。总体而言,在本试验所用的摩西球囊霉、根内球囊霉和地表球囊霉 3 种 AM 真菌中,促生效应最好的是地表球囊霉,其次是摩西球囊霉,根内球囊霉较差。

虽然在短期试验中,供试 AM 真菌表现出良好的促进葡萄植株生长的作用,但是在长期且不再接种 AM 真菌的情况下,葡萄植株是否能继续保持较好的生长状态,还有待于进一步研究。另外,除了在种植前将 AM 真菌接种至葡萄根际的方法外,能否在葡萄生长过程中使用一种新的方法进行接种,如液体注射,还需要进一步探讨。

[参考文献]

[1] 邹碧堂,张云翼. 丛枝菌根(AM)真菌对植物营养代谢的影响研究进展 [J]. 现代农业科学,2008,15(4):10-13.
Zou B Y,Zhang Y Y. Research of AM fungi on plant nutrient metabolism [J]. Modern Agricultural Science,2008,15(4):10-13. (in Chinese)

[2] 于秀英,张 宁. DNA 分子标记在真菌系统分类与鉴定中的应用 [J]. 内蒙古民族大学学报:自然科学版,2006(4):411-415.
Yu X Y,Zhang N. The use of DNA molecular markers in fungal taxonomy and identification [J]. Journal of Inner Mongolia University for Nationalities,Natural Science Edition,2006(4):411-415. (in Chinese)

[3] Koide R T,Kabir Z. Extraradical hyphae of the mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* can hydrolyze organic phosphate [J]. New Phytologist,2000,148(3):511-517.

[4] 夏建国,李 静. 利用丛枝菌根真菌(AMF)提高植物抗旱性的研究进展 [J]. 中国农学通报,2005(2):326-330.
Xia J G,Li J. Study of the use of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) to improve drought resistance of plant [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin,2005(2):326-330. (in Chinese)

[5] 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]. Journal of Earth Sciences and Environment,2004,26(4):85-89. (in Chinese)

[6] 范丙全,金继运,葛 诚. 溶磷真菌促进磷素吸收和作物生长的作用研究 [J]. 植物营养与肥科学报,2004,10(6):620-624.
Fan B Q,Jin J Y,Ge C. Effects of phosphorus dissolving fungi on phosphorus uptake and crop growth [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science,2004,10(6):620-624. (in Chinese)

[7] 刘润进,李晓林. 丛枝菌根及其应用 [M]. 北京:科学出版社,

2000.
Liu R J,Li X L. Arbuscular mycorrhizal fungi and their applications [M]. Beijing:Science Press,2000. (in Chinese)

[8] Mukerji K G,Chamalo B P,Singh J. Mycorrhizal biology [M]. New York:KluwerAcademic /Plenum Publishers,2000:336.

[9] 张 勇. 丛枝菌根真菌离体培养及其对葡萄微繁殖生长效应的研究 [D]. 重庆:西南农业大学,2003.
Zhang Y. Study of arbuscular mycorrhizal fungi *in vitro* and effect on growth of micropropagation of grape seedlings [D]. Chongqing: Southwest Agricultural University,2003. (in Chinese)

[10] 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. Effect of AM fungi on growth and yield of ginger [J]. Agricultural Sciences of Shandong,2002(4):22-23. (in Chinese)

[11] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 北京:中国农业出版社,2000.
Bao S D. Analysis of agricultural soil [M]. Beijing:China Agriculture Press,2000. (in Chinese)

[12] 熊丙全,阳 淑. 丛枝菌根真菌接种时期和剂量对葡萄扦插苗生长的效应 [J]. 中国果树,2009(5):14-18.
Xiong B Q,Yang S. AMF inoculation period and dosage and effect of the growth of grape cuttings [J]. China Fruit,2009(5):14-18. (in Chinese)

[13] 郑世学,董秀丽,喻子牛,等. 四种 AM 真菌接种剂的田间效应及其分子检测研究 [J]. 土壤学报,2004(9):742-749.
Zheng S X,Dong X L,Yu Z N,et al. Effect and molecular detection of four types of AM fungal inoculum in field [J]. Acta Pedologica Sinica,2004(9):742-749. (in Chinese)

[14] 易时来,温明霞,李学平,等. 菌根改善植物磷素营养的研究进展 [J]. 土壤肥料科学,2004(11):23-26.
Yi S L,Wen M X,Li X P,et al. Research of the improvement of Mycorrhizal on phosphorus nutrition of plants [J]. Soil and Fertilizer Science,2004(11):23-26. (in Chinese)

[15] Beckie H J,Schlechte D,Moulin A P,et al. Response of alfalfa to inoculationwith *Penicillium bilaji* (Provide) [J]. Can J Plant Sci,1998,78:91-102.

[16] 王 芹,徐清波,姚振琴. 土壤中有有效磷的测定 [J]. 仪器仪表与分析监测,2009(4):36-40.
Wang Q,Xu Q B,Yao Z Q. Determination of available phosphorus in soil [J]. Instrument and Analysis,2009(4):36-40. (in Chinese)

[17] Rachewad S N,Raut R S,Malewar G U,et al. Effect of phosphate solu-bilizing biofertilizer on biomass production and uptake of phosphorus by sunflower [J]. J Maharashtra Agric Univ,1992,17(3):480-481.