

文章编号: 1003-8701(2015)03-0097-06

# 接种 AMF 对不同葡萄品种菌丝酶活性及无机营养吸收的影响

张永福, 任 禛, 韩 丽, 彭声静, 陈泽斌, 牛燕芬

(昆明学院农学院 昆明 650214)

**摘 要:** 本研究选用6个不同生长势的葡萄品种扦插苗为材料,通过盆栽接种试验,探讨摩西球囊霉(*Glomus mosseae*, Gm)对参试材料丛枝菌根真菌(AMF)侵染率及菌丝酶活性的影响,并分析AMF对试材无机营养吸收能力的影响。结果表明,接种Gm能够显著提高参试材料的AMF侵染率,且强生长势品种的侵染率显著高于弱生长势品种;接种后能够不同程度地提高试材的菌丝酶(ALP和SDH)活性,6个品种的菌丝酶活性大小依次为玫瑰蜜>早黑蜜>水晶>维拉莎>京秀>红地球;丛枝菌根的形成对各试材无机营养的吸收均有影响;其中,对促进大量元素吸收的效果优于微量元素,使试材根、茎、叶中的大量元素含量均显著高于CK,但却出现部分试材的微量元素含量低于CK的情况,其中以茎最为典型;接种对不同品种无机营养吸收的贡献率表现各异,相对而言弱生长势品种的贡献率大于强生长势品种。

**关键词:** 葡萄;丛枝菌根;侵染率;菌丝酶活性;无机营养

中图分类号: S663.1

文献标识码: A

DOI:10.16423/j.cnki.1003-8701.2015.03.026

## Effect of Inoculation with AMF on Hyphal Enzyme Activity and Inorganic Nutrient Absorption of Different Grape Cultivars

ZHANG Yong-fu, REN Zhen, HAN Li, PENG Sheng-jing, CHEN Ze-bin, NIU Yan-fen

(School of Agronomy, Kunming University, Kunming 650214, China)

**Abstract:** Through potted inoculation experiment, grape cutting seedlings of six cultivars with different growth potential were selected as plant material to explore the effect of *Glomus mosseae* (Gm) on arbuscular mycorrhizal fungus (AMF) infection rate and hyphal enzyme activity, and to analyze the effect of AMF on inorganic nutrient absorption capacity of the materials. The results showed that Gm vaccination could significantly improve AMF colonization of tested cultivars and infection rates of strong growth potential cultivars were significantly higher than the weak growth potential cultivars. Inoculation improved hyphal enzymes (ALP and SDH) activity of tested material in following order: Meiguimi > Zaoheimi > Shuijing > Weilasha > Jingxiu > Red globe. Inorganic nutrients absorption of tested grape cultivars were affected by the formation of AM, and absorption of major elements increased more than trace elements. Content of major elements in root, stem, leaf were significantly higher than CK, whereas trace elements in parts of the tested materials were lower than CK, especially in stem. Contribution rate of Gm to the absorption of inorganic nutrients behaved differently in different cultivars, contribution rate to relatively weak growth potential cultivars were higher than the stronger growth potential cultivars.

**Keywords:** Grape; Arbuscular mycorrhizal; Infection rate; Hyphal enzyme activity; Inorganic nutrient

菌根是普遍存在于自然界的一类真菌,其中

丛枝菌根真菌(AMF)能与80%以上的高等植物形成内生菌根关系<sup>[1]</sup>,改善植物的生理生化特性,调控其生长<sup>[2]</sup>。丛枝菌根可增强宿主植物从土壤中获取水分的能力,改善根系对磷、铜、锌、镉等矿质元素的吸收<sup>[3]</sup>,从而促进植物生长<sup>[4]</sup>。研究表明,接种AMF能明显促进茶树的生长和对无机营

收稿日期: 2015-01-12

基金项目: 云南省教育厅科学研究基金项目(2012Z097);昆明学院引进人才科研项目(YJL11030、YJL12002、YJL12007)

作者简介: 张永福(1981-),男,副教授,博士,主要从事果树抗性生理方面的研究。

养的吸收,尤其是对磷、钙、镁的吸收,且可以改善茶叶的品质<sup>[5]</sup>;还能显著提高菊花根、叶和花被中氮、磷、钾的含量,促进矿质营养的吸收<sup>[6]</sup>。王明元等<sup>[7]</sup>发现,AMF增加了枳实生苗的株高、茎粗和生物量,明显促进叶绿素含量和活性铁积累,显著提高了叶片Fe/P比值,减轻因缺铁引起的黄化现象。

葡萄(*Vitis vinifera* L.)作为世界大宗果树,因其外观和风味俱佳,营养丰富而深受广大消费者喜爱,在世界果树生产中占据重要位置。然而在葡萄生产中,对不同生长势品种的选择往往处于一种两难的窘境,无论生长势过强还是过弱均不利于生产,大量研究表明,果树品种生长势的强弱与根系吸收矿质营养的能力密切相关,生长势弱的品种无机营养含量低于生长势强的品种<sup>[8-9]</sup>。丛枝菌根形成后,对植物根系吸收能力的影响除了与侵染率相关外,还与根内碱性磷酸酶(ALP)和琥珀酸脱氢酶(SDH)的活性有关,根内ALP活性是AMF生长发育及菌根效应的指标之一<sup>[10]</sup>,而SDH活性是判断菌丝生活力的重要指标<sup>[11]</sup>,因此这两种酶活性对根系吸收能力影响较大。关于接种AMF后能否促进葡萄品种根系对无机营养的吸收,对促进强生长势品种的吸收能力与弱生长势品种之间有无差异,目前相关的研究较欠缺。本研究选用6个不同生长势的葡萄品种扦插苗为材料,通过盆栽接种试验,探讨摩西球囊霉(*Glomus mosseae*, Gm)对参试材料AMF侵染率及菌丝酶活性的影响,并分析AMF对试材无机营养吸收能力的影响。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料及接种处理

试验材料包括弱生长势品种京秀和维拉莎,中等生长势品种玫瑰蜜和水晶,强生长势品种红地球和早黑蜜共6个,由云南省弥勒市东风管理局提供。AMF菌剂为摩西球囊霉(Gm),由北京市农林科学院提供。2013年1月,选择健壮的1年生葡萄扦插苗,每个品种分为两组,每组6盆。其中1组为CK,另1组接种含有Gm孢子的菌土。每盆接种剂量为100 g,菌土均匀层播于土表下20 cm的根系部位。接种后置于室外培养,采用水、肥、光、温一体化管理。基质为本地红壤:腐殖土:珍珠岩=2:2:1(体积比),盆的直径为25 cm,高为40 cm,接种后每周浇一次1/2Hoagland's营养液。分别于接种后的第8周(萌芽期)、第16周(生长旺盛期)和第32周(落叶期)进行采样,检

测AMF侵染率和菌丝酶活性,于接种后第32周采样测定无机营养含量。

### 1.2 方法

AMF侵染率的测定参见Phillips<sup>[12]</sup>的方法,鲜根经透明、酸化、染色、脱色后,随机选取30条切片、镜检。菌丝酶活性测定方法为取1 cm长的鲜根0.5 g,室温透明2 h,冰水冲洗后立即进行染色,SDH采用Smith等<sup>[1]</sup>的方法,ALP采用Tisserant等<sup>[10]</sup>的方法,计算方法同菌根侵染率。

菌根侵染率(%)=(菌根侵染的根段数/检测的根段总数)×100

无机营养含量的测定方法为分别采集各样品的根、茎、叶,用去离子水清洗干净后置于烘箱中80℃烘至恒重,研磨成粉末状,用H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>消煮后,再用凯氏定氮仪定氮,钼蓝比色法测定磷含量,原子吸收光谱法测定各种金属元素含量。

数据用SPSS软件进行邓肯氏新复极差检测(P<0.05),用Excel 2003作图。

## 2 结果与分析

### 2.1 接种后对不同葡萄品种AMF侵染率的检测

接种Gm孢子菌土后,不同葡萄品种根系AMF侵染率在各检测时期均显著提高(图1)。如图所示,接种后的第8周发现,各品种Gm和CK被侵染并形成丛枝菌根的百分率均较低,但Gm的丛枝菌根形成率均不同程度地高于CK,且除京秀外差异显著;此时,侵染率最高的玫瑰蜜Gm仅为16.74%,与早黑蜜Gm差异不显著。到接种后的第16周,因各品种均处于旺盛生长期,所有试材的AMF侵染率较接种后8周有大幅度上升,接种后的AMF侵染率均比CK上升了1倍左右,接种后早黑蜜、红地球、玫瑰蜜和水晶的侵染率均达到80%左右,显著高于京秀和维拉莎,其中侵染率最高的早黑蜜比最低的京秀高出近50%;而各品种CK的侵染率仅在20%~50%之间,其中玫瑰蜜最高,维拉莎最低,差异显著。到接种后的第32周,各品种侵染率均比第16周大幅度下降,同样各品种接种后的侵染率比CK高1倍以上;早黑蜜Gm的侵染率最高,但与玫瑰蜜Gm差异不显著,而京秀Gm和维拉莎Gm则显著低于其他品种;在各品种的CK中,早黑蜜的侵染率显著高于其他品种,而水晶则显著低于其他品种。可见,无论接种与否,无论处于哪个生长阶段,总体上强生长势品种的AMF侵染率要显著高于弱生长势品种。

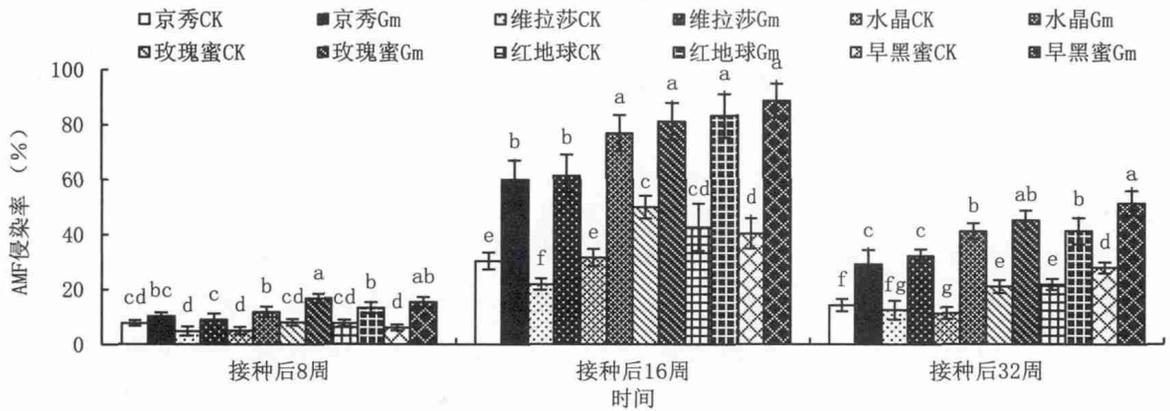


图1 接种后不同葡萄品种 AMF 侵染率的差异

注:图中柱体上的不同字母表示经邓肯氏新复极差检测后差异显著 ( $p < 0.05$ ),下同

2.2 接种 AMF 对不同葡萄品种碱性磷酸酶和琥珀酸脱氢酶活性的影响

根内菌丝碱性磷酸酶(ALP)活性反映了 AMF 功能菌丝在根内分布的最大潜力,琥珀酸脱氢酶(SDH)活性则反映了 AMF 活性菌丝在根内分布的最大潜力。从图 2 可看出,各葡萄品种 Gm 的 ALP 和 SDH 活性均高于 CK,但不同品种、不同时期的差异较大。总的来看,这两个酶的活性与 AMF 侵染率相似,接种后第 16 周明显高于接种后第 8 周和第 32 周。在接种后的第 8 周检测结果显示,在 Gm 的各品种中,玫瑰蜜的 ALP 和 SDH 活性

显著高于其他品种,早黑蜜次之,而各 CK 品种同样是玫瑰蜜和早黑蜜的较高;无论接种与否,ALP 活性相对较低的是红地球和京秀,SDH 活性较低的是红地球和水晶。接种后的第 16 周,各品种 ALP 活性规律类似于第 8 周,但早黑蜜的 SDH 活性上升到显著高于玫瑰蜜的水平。在接种后的第 32 周发现,Gm 的各品种中,玫瑰蜜和维拉莎的 ALP 活性显著高于其他品种,而红地球仍然最低;接种后的 SDH 活性仍是玫瑰蜜和早黑蜜显著高于其他品种,而红地球和京秀则相对较低。

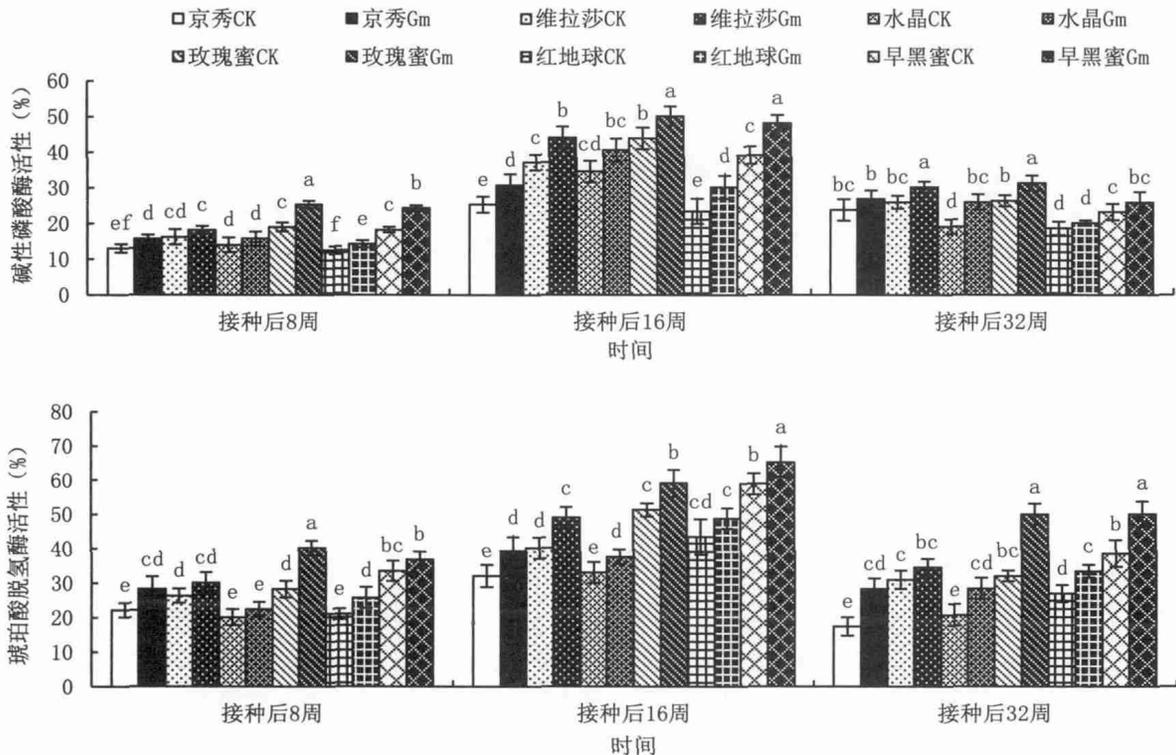


图2 接种 AMF 对不同葡萄品种碱性磷酸酶和琥珀酸脱氢酶活性的影响

可见,接种后,AMF 的功能菌丝和活性菌丝在玫瑰蜜和早黑蜜根内分布潜力较大,总体看

来,6 个品种的菌丝酶活性大小依次为玫瑰蜜>早黑蜜>水晶>维拉莎>京秀>红地球。

### 2.3 接种 AMF 对不同葡萄品种树体无机营养含量的影响

丛枝菌根的形成促进了各葡萄品种对氮、磷、钾、钙和镁等大量元素的吸收(表1)。如表1所示,接种 Gm 后所有参试品种根、茎、叶的氮含量均高于 CK,但在京秀和早黑蜜的茎中、维拉莎和水晶的叶中与 CK 差异不显著;接种后,根中氮含量红地球最高,玫瑰蜜最低,茎中维拉莎最高,红地球最低,叶中水晶最高,红地球最低,各自差异显著;与 CK 相比,接种后京秀和早黑蜜根中氮含量上升幅度均超过 1 倍,而红地球仅上升了 18.24%;茎中上升幅度维拉莎最大,而早黑蜜则有所降低;叶中上升幅度玫瑰蜜最大,水晶最小。

表1还显示,接种后在玫瑰蜜和早黑蜜的根中,水晶和早黑蜜的茎中,玫瑰蜜、红地球和早黑蜜的叶中磷含量与 CK 差异不显著;在各 Gm 中,根和茎中磷含量红地球最高,京秀最低,叶中水晶最高,红地球最低;与 CK 相比,接种后京秀根和茎中磷含量上升幅度最大,而玫瑰蜜根中则有所下降,维拉莎、水晶、玫瑰蜜和早黑蜜茎中则呈

不同程度的下降,维拉莎叶中上升幅度最大,而京秀和红地球则呈下降趋势。接种后,根中钾含量早黑蜜最高,维拉莎最低,茎中水晶最高,红地球最低,叶中早黑蜜最高,红地球最低,各自差异显著;与 CK 相比,接种后京秀根的钾含量上升幅度最大,但维拉莎和红地球均有所下降,茎中水晶上升幅度最大,叶中玫瑰蜜上升幅度最大,京秀最小。

接种后根中钙含量维拉莎最高,京秀最低,茎中京秀最高,玫瑰蜜最低,叶中水晶最高,京秀最低,各自差异显著;与 CK 相比,接种后钙含量根中红地球上上升幅度最大,早黑蜜最小,茎中维拉莎上升幅度最大,玫瑰蜜略有下降,叶中早黑蜜上升幅度最大。接种后显著增加了根、茎和叶中镁的含量,其中根中镁含量玫瑰蜜最高,水晶最低,茎中水晶最高,红地球最低,叶中玫瑰蜜最高,水晶最低;与 CK 相比,接种后根中镁含量玫瑰蜜上升幅度最大,京秀最小,茎中早黑蜜上升幅度最大,维拉莎最小,叶中水晶上升幅度最大,红地球最小(表1)。

表1 接种 AMF 对不同葡萄品种树体大量元素含量的影响

mg/g

品种	处 理	N			P			K			Ca			Mg		
		根	茎	叶	根	茎	叶	根	茎	叶	根	茎	叶	根	茎	叶
京秀	CK	21.87d	31.46b	42.00b	3.91d	2.21e	7.07b	8.49d	8.60d	16.04b	20.00d	17.93b	9.93c	2.27b	1.44d	2.28d
	Gm	44.89b	34.16b	51.61a	6.22bc	2.96c	5.93c	12.79b	10.04c	16.23b	25.55c	20.74a	11.74b	2.29b	2.16b	2.43c
维拉莎	CK	31.90c	24.32c	41.25b	5.97c	3.43ab	5.81c	6.96e	6.85e	12.58d	39.04a	16.68c	9.68c	1.77d	2.18b	2.37c
	Gm	45.99b	41.95a	49.60ab	6.56b	2.93c	8.18a	6.95e	10.88bc	16.18b	43.44a	19.97a	12.97a	2.33b	2.27b	2.71b
水晶	CK	29.90cd	25.40c	52.87a	3.94d	2.47d	6.18c	8.86d	8.73d	16.05b	21.09d	16.30c	12.30a	2.02c	2.07b	1.76e
	Gm	51.35ab	32.23b	56.99a	5.65c	2.32de	8.28a	10.25c	16.13a	16.49b	29.09bc	18.04b	14.04a	2.09c	2.82a	2.26d
玫瑰蜜	CK	17.89e	21.70d	28.41d	5.95c	2.98c	7.41ab	8.18d	12.98b	12.62d	38.78ab	18.73b	12.73a	1.83d	1.43d	2.54c
	Gm	26.84d	25.17c	52.87a	5.60c	2.30de	7.93a	10.70c	10.21c	16.48b	43.27a	17.76bc	11.76b	3.16a	2.15b	2.99a
红地球	CK	47.85b	16.40f	36.13c	6.12bc	3.31b	5.50c	10.08c	10.42c	12.51d	24.81c	18.99b	10.99b	1.91d	1.51d	2.23d
	Gm	56.58a	18.66e	43.33b	7.92a	3.96a	5.30c	8.46d	8.34d	14.06c	35.79b	20.43a	12.43a	2.31b	1.85c	2.27d
早黑蜜	CK	16.83e	26.53c	41.35b	6.90b	3.45ab	7.20ab	12.63b	10.87bc	16.65b	35.65b	17.39bc	8.39c	2.35b	1.43d	2.48c
	Gm	35.21c	25.22c	51.85a	7.18ab	3.09bc	7.88a	16.11a	12.64b	18.38a	33.35b	19.52ab	12.52a	3.12a	2.17b	2.77b

注:表中同一列中的不同字母表示经邓肯氏新复极差检测后差异显著( $p < 0.05$ ),下同

接种 Gm 使各葡萄品种对铁、锰、锌、铜和硼等微量元素的吸收造成了较大的影响(表2)。表2所示,接种后,根中铁含量水晶最高,早黑蜜最低,茎中玫瑰蜜最高,维拉莎最低,叶中维拉莎最高,玫瑰蜜最低,各自差异显著;与 CK 相比,接种后根中铁含量水晶上升幅度最大,京秀最小,茎中京秀上升幅度最大,玫瑰蜜最小,叶中玫瑰蜜上升幅度最大,水晶最小。接种后根中锰含量玫瑰蜜最高,京秀最低,茎中京秀最高,早黑蜜最

低,叶中水晶最高,红地球最低,差异显著;与 CK 相比,接种后根中锰含量维拉莎上升幅度最大,京秀和红地球则下降,茎中水晶上升幅度最大,玫瑰蜜和早黑蜜则显著下降,叶中京秀上升幅度最大,维拉莎和红地球则下降。

接种后,根中锌含量较 CK 有所上升,其中京秀、水晶和早黑蜜与 CK 差异显著,茎中维拉莎和早黑蜜显著上升,京秀、水晶和玫瑰蜜则显著下降,叶中上升幅度最大的是红地球,玫瑰蜜则下

降;接种后根中锌含量早黑蜜最高,京秀最低,叶中水晶最高,玫瑰蜜最低。接种后,根中铜含量上升幅度最大的是水晶,维拉莎和早黑蜜则显著下降,茎中京秀和叶中红地球的上升幅度最大;此外,在所有试材中,根中铜含量早黑蜜 CK 最高,京秀 CK 最低,茎中维拉莎 Gm 最高,玫瑰蜜 Gm 最低,叶中水晶 Gm 最高,红地球 CK 最低。接种后,根中硼含量除京秀外均处于下降趋势,其中红地球的下降幅度与 CK 差异显著,茎中维拉

莎上升幅度最大,而京秀、水晶和玫瑰蜜均呈不同程度的下降,叶中红地球上升幅度最大,而水晶、玫瑰蜜和早黑蜜均有不同程度的下降;此外,接种后根中硼含量早黑蜜 CK 最高,红地球 Gm 最低,茎中维拉莎 Gm 最高,玫瑰蜜 Gm 最低,叶中玫瑰蜜 CK 最高,红地球 CK 最低(表 2)。可见,接种 Gm 后,葡萄植株对微量元素的吸收状况变得复杂,但从枝菌根的形成总体上还是促进了植株对各种微量元素的吸收。

表 2 接种 AMF 对不同葡萄品种树体微量元素含量的影响

品种	处 理	Fe			Mn			Zn			Cu			B		
		根	茎	叶	根	茎	叶	根	茎	叶	根	茎	叶	根	茎	叶
京秀	CK	97.09d	37.39d	69.76e	58.12f	31.31de	57.84d	18.89c	9.99bc	24.64c	11.45e	5.60d	8.76d	22.20c	9.00cd	37.27b
	Gm	105.67c	57.17c	97.76c	28.71h	78.11a	98.87bc	19.17b	8.87d	27.43b	13.67d	9.00a	8.40d	25.24b	8.68d	39.60a
维拉莎	CK	97.42d	42.88d	112.99b	43.73g	49.83c	105.18b	19.48b	9.41c	27.22b	16.50c	7.27b	12.16b	25.56b	9.08cd	36.67b
	Gm	149.52a	55.60c	137.68a	82.52d	51.08c	100.24b	19.93b	11.10a	27.73b	13.79d	9.28a	8.95d	23.48bc	12.64a	40.46a
水晶	CK	92.65d	52.58c	73.72de	46.14g	21.92e	100.19b	18.64c	9.54c	27.32b	11.67e	5.78d	11.59bc	25.96b	9.44c	39.77a
	Gm	155.61a	69.95b	80.32d	53.62f	63.03b	130.85a	19.18b	8.96d	30.82a	17.08bc	5.87d	15.64a	23.48bc	8.24de	40.38a
玫瑰蜜	CK	100.64cd	79.38a	36.27f	96.18c	38.56d	105.71b	19.50b	11.84a	27.95b	14.85d	7.25b	13.91b	21.24c	9.12cd	43.97a
	Gm	131.43b	82.54a	61.51e	145.43a	29.46e	110.75ab	19.77b	8.22d	27.25b	14.85d	4.28e	10.01c	21.24c	7.04f	38.69ab
红地球	CK	111.12c	55.83c	64.23e	83.84d	35.10d	104.30b	19.22b	10.33b	24.23c	13.48d	6.02c	7.67d	25.12b	7.96e	28.04c
	Gm	123.21bc	71.14ab	85.48d	75.21e	49.93c	91.97c	19.30b	10.38b	27.57b	19.01b	7.25b	12.15b	19.24d	9.92c	38.40ab
早黑蜜	CK	84.08e	66.43b	77.85d	91.58c	37.24d	96.99bc	19.32b	8.75d	27.30b	25.48a	6.35c	10.98c	28.36a	10.84b	42.60a
	Gm	96.13d	73.67ab	99.04c	113.88b	26.94e	113.73ab	20.37a	9.54c	27.48b	18.75b	7.39b	10.38c	27.28a	7.28ef	39.05a

### 3 结论与讨论

丛枝菌根真菌(AMF)对植物无严格的专一性,一种 AMF 能够与多种植物形成共生,反之,一种植物也可以与多种 AMF 形成共生。典型的丛枝菌根共生体是由宿主植物根系、皮层内的真菌结构泡囊、丛枝及土壤中的根外菌丝和孢子组成。摩西球囊霉(Gm)是一类适应性强的广谱生态型菌种,存在于所有的生态环境中,接种 Gm 可显著提高植物根系的 AMF 侵染率<sup>[13]</sup>。本研究结果显示,接种 Gm 后的不同时期均能显著提高不同生长势葡萄品种的 AMF 侵染率,特别是在接种后的第 16 周和 32 周,接种 Gm 总体上能够使各试材 AMF 侵染率提高 50% 以上,且强生长势品种的侵染率显著高于弱生长势品种,说明 Gm 与各葡萄品种之间的侵染率均良好。

土壤中的 AMF 孢子在受到植物分泌物信号刺激时开始萌发,菌丝生长并与宿主植物建立共生关系,随后菌丝的一端侵入植物根系,在根皮层细胞内形成丛枝结构,另一端延伸到土壤中,增加根的吸收面积和长度,增强吸收能力。植物

生长发育期根内碱性磷酸酶(ALP)和琥珀酸脱氢酶(SDH)活性能够有效地反映丛枝菌根形成后的生理功能强弱<sup>[10-11]</sup>。本研究发现,接种 Gm 后总体上能够明显提高 ALP 和 SDH 的活性,促进丛枝菌根功能的发挥,但不同品种间菌丝酶的活性与 AMF 侵染率并不成比例,如红地球的 AMF 侵染率较高,但其菌丝酶活性却较低,而维拉莎的 AMF 侵染率较低,但菌丝酶活性却相对较高。总体看来,6 个品种的菌丝酶活性大小依次为玫瑰蜜>早黑蜜>水晶>维拉莎>京秀>红地球。

AMF 通过大量伸展到土壤中的菌丝体吸收土壤中的水分和矿质营养,并将其输送到植物根内进行利用<sup>[14]</sup>。由于 AMF 能够增加根区吸收面积,帮助植物根系吸收矿质营养和水分,所以能够对植物的生长势进行有效地调控。大量研究表明,AMF 与宿主植物的互利共生可增强植物从土壤中获取水分,改善植物根系对磷、铜、锌、镉等矿质元素及养分的吸收<sup>[3]</sup>,丛枝菌根的形成能够促进宿主植物对氮素营养的吸收<sup>[15]</sup>,从而促进植物的生长。但也有报道<sup>[16]</sup>,丛枝菌根的形成不利于植物对氮素营养的吸收,主要体现在叶片的氮含

量上,而促进植物对磷素营养的吸收,主要体现在根的磷含量上。本研究发现,接种Gm后,总体上能够促进葡萄对大量元素和微量元素的吸收,其中,对促进大量元素的吸收效果优于微量元素,主要表现在接种后几乎所有参试品种根、茎和叶中的大量元素含量均显著高于CK;但对促进微量元素吸收的效果较差,如接种后,有部分品种表现出微量元素含量低于CK的情况,其中以茎最为典型;接种后,Gm对无机营养吸收的贡献率各品种表现各异,相对而言弱生长势品种的贡献率要大于强生长势品种,因此接种Gm对弱生长势品种的生长势调控效果优于强生长势品种。

#### 参考文献:

- [ 1 ] Smith S E, Read D J. Mycorrhizal symbiosis (3rd. Edition)[M]. New York: Academic Press, 2008 .
- [ 2 ] Aysan E, Demir S. Using arbuscular mycorrhizal fungi and rhizobium leguminosarum biovar phaseoli against Sclerotinia sclerotiorum (Lib.) de Bary in the common bean (Phaseolus vulgaris L.)[J]. Plant Pathology Journal, 2009, 8(2): 74-78 .
- [ 3 ] Dodd J C, Dougall T A, Clapp J P. The role of arbuscular mycorrhizal fungi in plant community establishment at samphire Hoe, Kent, UK—the reclamation platform created during the building of the Channel tunnel between France and the UK[J]. Biodiversity and Conservation, 2002(11): 39-58 .
- [ 4 ] Al-Askar A A, Rashad Y M. Arbuscular mycorrhizal fungi: a biocontrol agent against common bean Fusarium root rot disease [J]. Plant Pathology Journal, 2010, 9(1): 31-38.
- [ 5 ] 王曙光,林先贵,董元华,等.丛枝菌根对无性繁殖茶苗生长及茶叶品质的影响[J].植物学通报,2002,19(4):462-468 .
- [ 6 ] Kong P P, Yang S H, Jia R D, et al. Effect of difference arbuscular mycorrhizal fungi strains on mineral nutrition and antioxidant enzymes of Chrysanthemum morifolium[J]. Agricultural Science & Technology, 2011, 12(10): 1477-1480 .
- [ 7 ] 王明元,夏仁学,王幼珊,等.缺铁和过量重碳酸盐胁迫下丛枝菌根真菌对枳生长的影响[J].园艺学报,2008,35(4):469-474 .
- [ 8 ] Jones O P. Endogenous growth regulators rootstock /scion interactions in apple and cherry trees[J]. Acta Horticulturae, 1986 (179): 177-184 .
- [ 9 ] 张永福,卢博彬,潘丽佳,等.荔枝矮化品种的相关机制研究[J].果树学报,2011,28(4):624-629 .
- [ 10 ] Tisserant B, Gianinazzi-Pearson V, Gianinazzi S, et al. In planta histochemical staining of fungal alkaline phosphatase activity for analysis of efficient arbuscular mycorrhizal infections[J]. Mycological Research, 1993, 97(2): 245-250 .
- [ 11 ] 赵斌,董昌金.几种玉米大田除草剂对AM真菌侵染及其酶活性的影响[J].土壤学报,2004,41(5):750-755 .
- [ 12 ] Phillips J M, Hayman D S. Improve procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection[J]. Trans Brit Mycol Soc, 1970, 55(1): 158-161 .
- [ 13 ] 吴强盛,夏仁学,胡正嘉.丛枝菌根对枳实生苗抗旱性的影响研究[J].应用生态学报,2005,16(3):459-463 .
- [ 14 ] 毕银丽,丁保健,李晓林.VA菌根真菌对冬小麦养分和水分利用的影响[J].土壤通报,2001,32(3):99-101 .
- [ 15 ] 王维华,李敏,刘润进,等.AM真菌对生姜某些生理指标的影响[J].莱阳农学院学报,2003,20(3):175-177 .
- [ 16 ] 赵昕,阎秀峰.丛枝菌根对喜树幼苗生长和氮、磷吸收的影响[J].植物生态学报,2006,30(6):947-953 .

(上接第75页)

- [ 3 ] 蒋选利,李振岐,康振生.过氧化物酶与植物抗病性研究进展[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2001,29(6):124-128 .
- [ 4 ] 宋志文,曹军,杨光.东北地区野豌豆属植物过氧化物酶同工酶研究[J].植物研究,2001,21(1):131-135 .
- [ 5 ] 邹春静,盛晓峰,韩文卿,等.同工酶分析技术及其在植物研究中的应用[J].生态学杂志,2003,22(6):63-69 .
- [ 6 ] 梁琼,侯明生.玉米不同品种(系)抗感粗缩病(RBSDV)与3种防御酶同工酶关系的研究[J].植物病理学报,2004,34(6):501-506 .
- [ 7 ] 杨春平,田双梅,周苗苗,等.抗玉米丝黑穗病品种鉴定及抗性机制初探[J].西南农业学报,2012,23(3):739-743 .
- [ 8 ] 徐建龙,童富淡,胡家恕,等.水稻细菌性条斑病抗性与过氧化物酶同工酶关系的初步研究[J].农业生物技术学报,2000,8(1):71-75 .
- [ 9 ] 穆西玉,赵延明,张海艳.粗缩病对玉米产量和籽粒品质的影响[J].植物生理学报,2013,49(11):1233-1237 .
- [ 10 ] 李合生.植物生理生化实验原理和技术[M].北京:高等教育出版社,2000 .
- [ 11 ] 王世华,高双成,施江,等.10个玉米品种间过氧化物同工酶的研究[J].河南科技大学学报(自然科学版),2011,32(2):60-62 .
- [ 12 ] 梁琼,侯明生.玉米品种抗感玉米粗缩病毒与过氧化物酶关系的研究[J].云南农业大学学报,2004,19(5):546-549 .
- [ 13 ] 洪健,李德葆,周雪平.植物病毒分类图谱[M].北京:科学出版社,2001 .
- [ 14 ] 许仁林,易琼华.接种烟草花叶病毒后不同抗性番茄品系叶片可溶性蛋白组成的变化[J].植物病理学报,1989,19(2):79-84 .