

VA 菌根对黄檗幼苗抗性生理指标的影响

李桂伶, 范继红

(北京农业职业学院, 北京 102442)

摘要:通过盆栽接种试验,研究 VA 菌根对黄檗(*Phellodendron amurense*)1 年生实生苗的抗性生理指标的影响。结果表明,VA 菌根可明显提高黄檗幼苗的抗性指标。可溶性糖含量随着侵染率的增加而增大,并能促进黄檗叶片中可溶性糖向根系中转移,游离脯氨酸和 MDA 含量逐渐降低,呼吸酶活性和保护酶活性增强。接种 *Glomus diaphanum* 的苗木可溶性糖,游离脯氨酸、CAT 活性及 POD 活性变化最为明显,叶片可溶性糖含量为 0.5736%, 叶片脯氨酸含量为 16.27 $\mu\text{g/g}$, 叶片 CAT 活性为 0.3186 $\text{mg}/(\text{g}\cdot\text{min})$, 叶片 POD 活性为 258.32 $\text{U}/(\text{g}\cdot\text{min})$ 。接种 *G. mosseae* 对黄檗苗木 MDA 含量、呼吸酶活性及 SOD 活性影响最大,叶片 MDA 含量为 0.0119 $\mu\text{mol/g}$, 叶片抗坏血酸氧化酶活性为 0.2714 $\text{mg}/(\text{g}\cdot\text{min})$, 叶片多酚氧化酶活性为 0.3487 $\text{mg}/(\text{g}\cdot\text{min})$, 叶片 SOD 活性为 274.18 $\text{U}/(\text{g}\cdot\text{FW})$ 。

关键词:VA 菌根;黄檗;渗透调节物质;呼吸酶;保护酶

中图分类号:Q945.14

文献标志码:A

论文编号:2010-3341

VA Mycorrhizal Influence on the *Phellodendron amurense* Seedling Resistance of Physiological Indexes

Li Guiling, Fan Jihong

(Beijing Vocation College of Agricultural, Beijing 102442)

Abstract: According to the potted inoculation experiment, we studied on VA mycorrhizal had influenced on *Phellodendron amurense* resistance physiological indexes of annual seedlings. The results showed that VA mycorrhizal fungi significantly increased the resistance physiological index of *Phellodendron amurense* seedlings, the content of soluble sugar increased by the enlarged infection rates; meanwhile promoted the soluble sugar in the leaves of *Phellodendron amurense* transferring to the roots, gradually decreased the content of Fpro and MDA and increased activities of respiratory enzyme and protective enzymes. After inoculated *Glomus diaphanum*, the seedling showed that soluble sugar, Fpro, the activity of CAT and POD had the most obviously changes. The content of soluble sugar of the leaf was 0.5736%, the content of leaf's Fpro was 16.27 $\mu\text{g/g}$, the activity of leaf CAT was 0.3186 $\text{mg}/(\text{g}\cdot\text{min})$, the activity of leaf's POD was 258.32 $\text{U}/(\text{g}\cdot\text{min})$. It had the greatest infect on the MDA content, the activity respiratory enzyme and SOD after inoculated *G. mosseae* for *Phellodendron amurense* seedlings. The content of MDA of the leaf was 0.0119 $\mu\text{mol/g}$, the activity leaf ascorbic acid oxidase was 0.2714 $\text{mg}/(\text{g}\cdot\text{min})$, the activity of leaf's polyphenol oxidase was 0.3487 $\text{mg}/(\text{g}\cdot\text{min})$, the activity of leaf SOD was 274.18 $\text{U}/(\text{g}\cdot\text{FW})$.

Key words: VA mycorrhiza; *Phellodendron amurense*; osmotic substance; respiratory enzyme; protective enzyme

0 引言

菌根(Mycorrhiza)是自然界中一种普遍存在的共

生现象,是土壤中的菌根真菌和高等植物的根系形成的共生体,是植物在长期的生存进化过程中与菌根真

第一作者简介:李桂伶,女,1973年出生,北京人,实验师,学士,主要从事实验教学工作。通信地址:102442 北京市房山区长阳镇稻田南里5号, Tel: 010-80358899 转 666, E-mail: liguiling0121@126.com。

通讯作者:范继红,女,1974年出生,河北沧州人,副教授,理学博士,主要从事植物生态学和菌根生态学教学和科研。通信地址:102442 北京市房山区长阳镇稻田南里5号 北京农业职业学院园艺系, Tel: 010-80358899-679, E-mail: jihongfan0502@sohu.com。

收稿日期:2010-11-19, 修回日期:2011-01-30。

菌一起协同进化的产物。丛枝菌根真菌是非常古老的真菌,化石证据表明,最早的丛枝菌根真菌起源于4.26~3.53亿年以前,几乎与陆生植物同时出现在地球上^[1]。

丛枝菌根在影响宏观的群落结构和微观的根际养分循环的同时,也影响植物个体的一些生理生化过程,包括对植物耐盐性、抗病性、抗旱性等方面的作用^[2-3]。丛枝菌根在植物逆境生理中的特殊作用一直引起人们广泛的研究兴趣。研究表明,植物感染丛枝菌根真菌后,可提高抗旱性、抗盐碱、抗极端温度等的能力,提高宿主植物在不利环境条件下的生存能力。丛枝菌根真菌本身就具有很强的忍受干旱能力,并能促进植物根系对水分的吸收,提高植物的抗旱性^[2-4]。何绍江等^[5]的研究结果还发现,人工接种的丛枝菌根化杉树苗较非菌根化杉树苗有较强的抗酚能力。

黄檗(*Phellodendron amurense*)为芸香科黄柏属落叶乔木,是中国东北地区阔叶红松林的重要伴生树种,是东北著名的“三大硬阔”之一,为珍贵的用材树种。黄檗也是名贵中药黄柏的药源植物,其内皮(韧皮部)入药,称为关黄柏,属“三木”药材之一,具有清热除湿、泻火除蒸、解毒疗疮之功能。近年来有关黄檗的研究主要集中在黄柏的炮制、药用成分分析提取及环境条件对生物碱含量的影响等方面^[6-9]。李霞等^[10-11]曾就环境条件对黄檗的生长及抗氧化活性的影响做过研究,但关于VA菌根对黄檗抗性生理特性的影响尚未见报道。笔者在盆栽条件下,研究了4种VA菌根真菌对黄檗幼苗渗透调节物质变化、呼吸酶活性、保护酶活性的影响,旨在为VA菌根真菌在黄檗上的应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验时间、地点

研究田间试验于2002年在北京农业职业学院进行,室内试验在北京农业职业学院植物生理实验室进行。

1.2 试验材料

供试菌种:(1)摩西球囊霉 *Glomus mosseae*; (2)幼套球囊霉 *G. etunicatum*; (3)地表球囊霉 *G. versiforme*; (4)透光球囊霉 *G. diaphanum*。所用菌种均由北京市农林科学院植物资源与营养研究所提供。

供试植物:黄檗种子由黑龙江省山河屯林业局提供。

1.3 试验方法

1.3.1 试验设计

(1)种子处理。将黄檗种子于前一年冬天进行砂

藏处理。砂藏前,将种子用1%高锰酸钾溶液消毒30 min,砂子经高压湿热灭菌2 h(121℃)。第2年3月取出种子,洗去泥沙,用1%高锰酸钾溶液消毒30 min。播种前,将苗盘用84消毒液浸泡1 h消毒,然后将种子播种在经高压灭菌的基质上,待幼苗刚刚长出第1对真叶时移栽。

(2)供试基质。供试基质为草炭+蛭石+沙子的混合基质,混合比例为1:0.5:1,有机质含量1.313%,碱解氮58.643 mg/kg,速效磷12.135 mg/kg,速效钾115.864 mg/kg, pH 7.32。基质经高压湿热灭菌2 h(121℃),选用上口口径15 cm、盆底直径12 cm、高15 cm的塑料花盆进行栽培,每盆装基质到12 cm处。

(3)试验方法。在移栽时,与根系与土壤的接触部分接种10 g接种剂。待苗木成活并形成菌根后进行采样测定。可溶性糖测定分别于7月、8月、9月各采样测定一次,采用蒽酮显色法测定。游离脯氨酸测定8月采样,采用酸性水合茚三酮显色法测定。MDA活性测定8月采样,采用硫代巴比妥酸显色法测定。呼吸酶活性测定8月采样,采用碘液滴定法测定。CAT活性测定8月采样,采用高锰酸钾滴定法测定。SOD活性测定8月采样,采用氮蓝四唑法测定。POD活性测定8月采样,采用愈创木酚法测定。

1.3.2 精密仪器和药品规格

(1)精密仪器。722N型分光光度计(上海凤凰光学仪器有限公司),电子分析天平(上海凤凰光学仪器有限公司),LG10-2.4A型离心机(北京时代北利离心机有限公司),DHG-9075A型烘箱(上海林频实验设备厂),10 mL微量滴定管(泰兴市铭泰科教仪器有限公司),澄明度检测仪(北京科技有限公司),QY系列可调移液器(北京青云卓立精密设备有限公司)。

(2)药品规格。蒽酮,无水葡萄糖,茚三酮,脯氨酸,三氯乙酸,硫代巴比妥酸,焦儿茶酚,抗坏血酸,愈创木酚,偏磷酸,高锰酸钾,草酸,甲硫氨酸,氮蓝四唑,EDTA-Na₂,核黄素,上述所用试剂均为国药集团化学试剂公司提供的分析纯试剂。

1.3.3 统计分析 采用DPS5.0软件进行数据分析,采用LSR法进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 VA菌根对黄檗幼苗主要渗透调节物质的影响

2.1.1 VA菌根对黄檗幼苗可溶性糖含量的影响 接种VA菌根菌后黄檗可溶性糖含量随着侵染率的增加而增大,并能促进黄檗叶片中可溶性糖向根系中转移。不同VA菌根菌对可溶性糖含量影响有较大差别,接种 *G. mosseae*和 *G. diaphanum*对苗木可溶性糖含量影

响较大。不同季节叶片和根系的可溶性糖含量有显著差异,整体看来是根系的可溶性糖含量相对高于叶片(图1~2)。

7月,叶片和根系中的可溶性糖含量较为接近,叶片可溶性糖含量稍低于根系。接种 *G. diaphanum* 的苗木可溶性糖含量增加最多,叶片可溶性糖含量为0.5736%,根系可溶性糖含量为0.6908%。接种 *G. etunicatum* 的苗木可溶性糖含量增加最少,叶片可溶性糖含量为0.3928%,根系可溶性糖含量为0.5174%。

8月,黄檗可溶性糖含量较7月有了较大提高,叶

片和根系的可溶性糖含量相比,叶片可溶性糖含量低于根系。接种 *G. diaphanum* 的苗木可溶性糖含量增加最多,叶片可溶性糖含量为0.3921%,根系可溶性糖含量为1.1447%,可溶性糖含量是对照的4.01倍。

9月与8月相比,可溶性糖总量增加速度变慢,叶片和根系的可溶性糖含量相比,叶片可溶性糖含量继续向根系转移,根系可溶性糖含量继续增加。接种 *G. diaphanum* 的苗木叶片可溶性糖含量为0.2991%,根系可溶性糖含量为1.3809%,可溶性糖含量是对照的4.24倍。

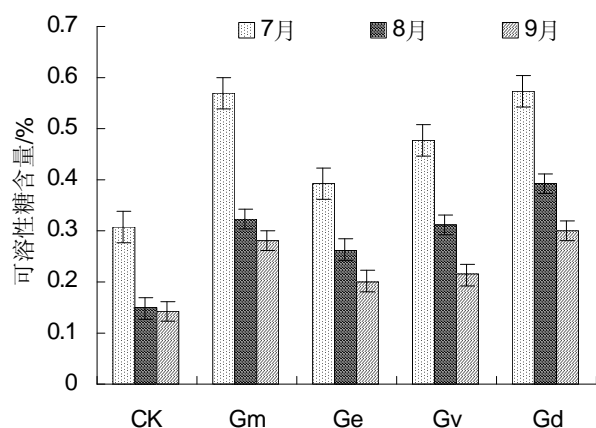


图1 VA菌根对叶片可溶性糖含量影响

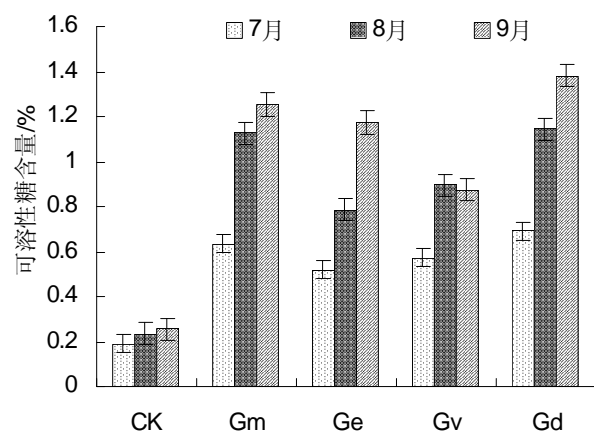


图2 VA菌根对根系可溶性糖含量影响

2.1.2 VA菌根对黄檗幼苗叶片脯氨酸含量的影响 试验发现随着丛枝菌根侵染率的增加,黄檗叶片游离脯氨酸含量逐渐降低,未接种丛枝菌根菌的黄檗幼苗叶片脯氨酸含量为16.27 $\mu\text{g/g}$,而所有接种丛枝菌根菌的植株均低于对照植株。接种 *G. diaphanum* 的苗木叶片游离脯氨酸含量为8.5745 $\mu\text{g/g}$;接种 *G. mosseae* 的苗木叶片游离脯氨酸含量为10.0349 $\mu\text{g/g}$;接种 *G. versiforme* 的苗木叶片游离脯氨酸含量为11.5631 $\mu\text{g/g}$;接种 *G. etunicatum* 的苗木叶片游离脯氨酸含量为

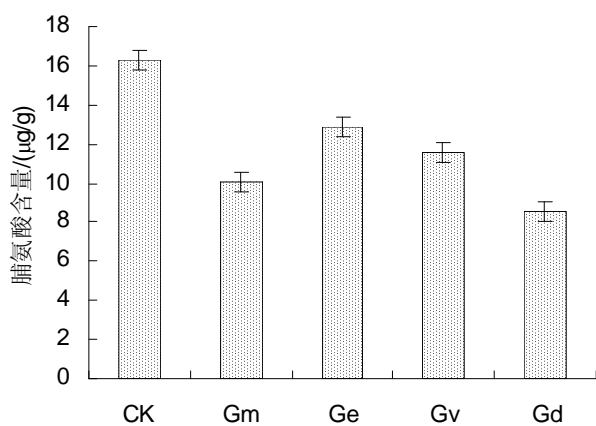


图3 不同处理间脯氨酸含量比较

12.9023 $\mu\text{g/g}$ (图3)。

2.1.3 VA菌根对黄檗幼苗MDA含量的影响 植物器官在逆境下受到伤害,通常发生膜脂的过氧化作用,其中丙二醛是膜脂过氧化最重要的产物之一,丙二醛的积累可能对膜和细胞造成一定的伤害。接种VA菌根菌后,对黄檗叶片丙二醛含量进行测定,结果表现为宿主植物受丛枝菌根菌侵染率越大,MDA含量越少,即细胞膜因干旱胁迫引起伤害程度越弱,VA菌根菌的侵染可以有效的减轻干旱胁迫对宿主细胞膜的破坏程度。

研究发现,感染VA菌根菌后,黄檗MDA含量降低,但不同VA菌根之间差异不显著。接种 *G. mosseae* 的苗木MDA含量最低,叶片MDA含量为0.0119 $\mu\text{mol/g}$,根系MDA含量为0.0151 $\mu\text{mol/g}$ 。接种 *G. etunicatum* 的苗木叶片MDA含量为0.0175 $\mu\text{mol/g}$,根系MDA含量为0.0177 $\mu\text{mol/g}$ (图4)。

2.2 VA菌根对黄檗幼苗呼吸酶活性的影响

植物体内含有多种呼吸氧化酶,这就使植物能适应各种外界条件。抗坏血酸氧化酶(ascorbate oxidase)和多酚氧化酶(polyphenol oxidase)就是其中的2种酶,它们都属于末端氧化酶(terminal oxidase)

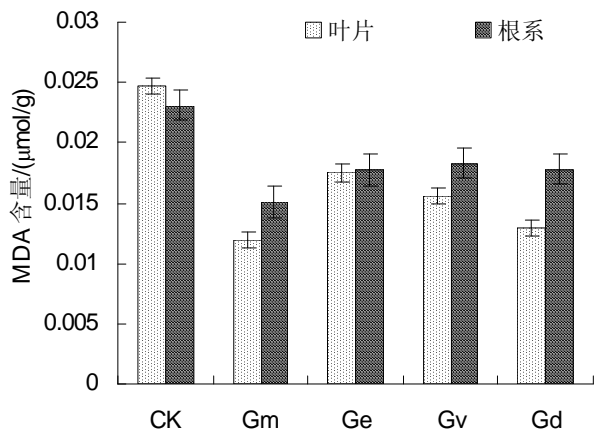


图4 接种VA菌根菌对MDA含量影响

类,存在于细胞质中,参与植物的生物氧化过程。试验结果显示,接种丛枝菌根菌后能增强植物体内抗坏血酸氧化酶和多酚氧化酶活性,增强植物的呼吸能力,增

强植物对各种环境的适应能力。

接种VA菌根菌后抗坏血酸氧化酶活性明显增加,根系酶活性较高些,但叶片和根系比较酶活性差别不显著。其中以接种*G. mosseae*的苗木酶活性最高,叶片抗坏血酸氧化酶活性为0.2714 mg/(g·min),根系抗坏血酸氧化酶活性为0.2862 mg/(g·min)。接种*G. versiforme*叶片抗坏血酸氧化酶活性为0.1972 mg/(g·min),根系抗坏血酸氧化酶活性为0.2093 mg/(g·min)(表1)。

接种丛枝菌根菌后多酚氧化酶活性明显增加。接种*G. mosseae*的苗木多酚氧化酶活性增加最多,叶片多酚氧化酶活性为0.3487 mg/(g·min),根系多酚氧化酶活性为0.3741 mg/(g·min)。接种*G. etunicatum*的苗木多酚氧化酶活性为0.1415 mg/(g·min),根系多酚氧化酶活性为0.1396 mg/(g·min)(表1)。

表1 接种VA菌根菌对黄檗抗坏血酸氧化酶和多酚氧化酶活性影响

mg/(g·min)

菌种名称	抗坏血酸氧化酶活性		多酚氧化酶活性	
	叶片	根系	叶片	根系
CK	0.1269±0.0073c	0.1351±0.0058c	0.1142±0.0082bc	0.1233±0.0035bc
<i>G. mosseae</i>	0.2714±0.0068a	0.2862±0.0037a	0.3487±0.0044a	0.3741±0.0056a
<i>G. etunicatum</i>	0.2135±0.0083ab	0.2315±0.0096ab	0.1414±0.0021b	0.1396±0.0091b
<i>G. versiforme</i>	0.1972±0.0041b	0.2093±0.0041b	0.1691±0.0033b	0.1862±0.0072b
<i>G. diaphanum</i>	0.2564±0.0051a	0.2894±0.0065a	0.3031±0.0053a	0.3893±0.0039a

注:数字后字母代表在0.05水平上差异显著。下同。

2.3 VA菌根对黄檗幼苗保护酶活性的影响

逆境条件下植物细胞由于代谢受阻而产生大量的活性氧、超氧自由基、H₂O₂等,这些活性氧、超氧自由基具有极强的氧化性,极易导致膜系统损伤和细胞器伤害,在此过程中植物将主动地调动抗氧化酶类和抗氧化物质来清除这些活性氧和超氧自由基,来减缓和抵御细胞伤害。SOD、POD和CAT为植物体内膜系统的三大保护酶,保护酶活性维持在一个较高水平时,能更有效清除超氧自由基和活性氧,降低膜脂过氧化水平,减轻不良环境下膜伤害程度,从而保证生物膜的能量转换、物质运输、信息传递和代谢调节等过程的正常进行。

接种VA菌根菌后能增强植物体内膜系统保护酶的活性,增强植物的抗氧化能力,增强植物对不良环境的适应能力。SOD、POD及CAT活性测定发现,接种菌根菌后,苗木SOD、POD和CAT活性增强(表2),接种*G. mosseae*和*G. diaphanum*的苗木保护酶活性都处于较高水平,充分说明接种VA菌根菌可以使宿主植

物更有效地清除体内的超氧自由基和活性氧,使其破坏降低到最低。接种不同类型的丛枝菌根菌对黄檗系统保护酶活性的影响能力有所不同。

CAT和POD活性变化以接种*G. diaphanum*的苗木活性最强,接种*G. etunicatum*的苗木活性最弱。接种*G. diaphanum*的苗木CAT增加最多,叶片CAT活性为0.3186 mg/(g·min),根系CAT活性为0.3751 mg/(g·min)。接种*G. etunicatum*的苗木叶片CAT活性为0.1894 mg/(g·min),根系CAT活性为0.2809 mg/(g·min)。接种*G. diaphanum*的苗木叶片POD活性为258.32 U/(g·min),根系POD活性为294.24 U/(g·min)。接种*G. etunicatum*的苗木叶片POD活性为158.33 U/(g·min),根系POD活性为139.34 U/(g·min)。

SOD的活性变化以接种*G. mosseae*的苗木增加最多,接种*G. etunicatum*的苗木增加最少。接种*G. mosseae*的苗木叶片SOD活性为274.18 U/(g·FW),根系SOD活性为259.15 U/(g·FW)。接种*G. etunicatum*

表2 VA菌根对黄槿膜脂抗氧化系统酶活性的影响

菌种名称	CAT活性/(mg/(g·min))		POD活性/(U/(g·min))		SOD活性/(U/(g·FW))	
	叶片	根系	叶片	根系	叶片	根系
CK	0.1093±0.0071c	0.1378±0.0024c	101.36±15.53d	112.09±12.51c	115.34±11.25c	117.64±15.82c
<i>G. mosseae</i>	0.2860±0.0061a	0.3781±0.0066a	236.67±20.58a	269.01±15.91a	274.18±25.13a	259.15±14.23a
<i>G. etunicatum</i>	0.1894±0.0085b	0.2809±0.0028b	158.33±11.39c	139.34±10.68b	164.12±16.22b	185.91±18.65b
<i>G. versiforme</i>	0.1826±0.0096b	0.2936±0.0049b	241.67±16.41bc	259.17±15.17b	177.63±20.17b	191.55±15.87b
<i>G. diaphanum</i>	0.3186±0.0075a	0.3751±0.0019a	258.32±14.26b	294.24±13.99a	217.26±18.31a	254.27±18.46a

的苗木叶片SOD活性为164.12 U/(g·FW),根系SOD活性为185.91 U/(g·FW)。

3 结论与讨论

一些试验发现接种丛枝菌根菌后宿主可溶性糖含量增加,丛枝菌根菌能促进叶片中的可溶性糖向根系转移,为菌根共生体的生长创造适宜的物质条件^[12-13]。作者试验所接种的菌根菌都明显增加了黄槿可溶性糖的含量,并且提高根系与叶片可溶性糖的比例。从试验结果可以看出,以接种*G. mosseae*和*G. diaphanum*对黄槿可溶性糖含量影响效果最显著。任嘉红等^[4]在研究丛枝菌根对沙棘抗旱机理时报道,在干旱胁迫条件下,随着丛枝菌根感染率的增加,沙棘叶片可溶性糖含量、叶绿素含量、超氧化物歧化酶及过氧化氢酶活性逐渐增加,叶片游离脯氨酸含量、丙二醛含量、细胞膜相对透性值逐渐降低。表明丛枝菌根菌能增加细胞的渗透调节能力,增加植物体内膜系统保护酶的活性,更有效地清除因干旱胁迫产生的超氧自由基和活性氧,减轻因干旱胁迫对宿主造成的伤害程度。齐国辉等^[14]研究了西府海棠根内可溶性糖含量对丛枝菌根感染的影响,发现丛枝菌根感染降低了根内可溶性糖的含量,而且菌根感染率随着根内可溶性糖含量的降低而降低。

丛枝菌根能增强植物根系吸水能力而提高植株抗旱性。鹿金颖等^[15]研究了在不同土壤含水量条件下,接种丛枝菌根真菌后酸枣实生苗的抗旱生理和节水效果,发现接种丛枝菌根真菌显著增强了植株的生长量和抗旱性。接种丛枝菌根菌后,对黄槿幼苗的游离脯氨酸和丙二醛含量进行测定,结果表现为宿主植物受丛枝菌根菌感染率越大,游离脯氨酸和MDA含量越少,表明丛枝菌根菌的感染可以有效的减轻干旱胁迫对宿主细胞膜的破坏程度。

植物的呼吸氧化酶与植物适应环境的能力及抵御病原微生物的侵害有密切关系,这一点也正是植物病理学家利用丛枝菌根防治植物病害的主要依据之一。刘润进等^[16]发现VA菌根可以降低棉花黄萎病的病情指数。刘冰江等^[17]研究发现接种丛枝菌根真菌后,可

提高防御性酶的活性,激活棉花的防御反应,使棉花对黄萎病菌的侵染产生强烈而迅速的反应,从而抵制了病原菌的入侵。李敏等^[18]研究发现丛枝菌根真菌能增强感病西瓜品种根系的防御酶活性,增强西瓜对镰刀菌的抵抗能力。

许多研究表明,丛枝菌根能增强宿主植物保护酶活性,增强植物对环境胁迫的抵抗能力。贺学礼等^[19]在盆栽条件下研究NaCl胁迫下丛枝菌根真菌对棉花生长和保护酶系统的影响时发现,在盐分浓度较高的情况下,接种丛枝菌根真菌能显著提高SOD、POD、CAT的活性,增强了棉花的抗盐性。吴强盛等^[20]在盆栽条件下研究了水分胁迫对枳和脐橙的影响,试验结果表明,接种丛枝菌根真菌提高的可溶性蛋白质和可溶性糖的含量,显著增强了SOD、POD、CAT活性,增强了苗木的渗透调节和保护防御能力,提高了苗木的抗旱能力。笔者在试验中发现接种VA菌根菌能提高黄槿1年生实生苗呼吸酶和保护酶的活性,建议以后继续测定多年生菌根化苗木,以进一步明确VA菌根菌对黄槿呼吸酶和保护酶活性的影响。

参考文献

- [1] 李晓林,冯固.丛枝菌根生理生态[M].北京:华文出版社,2001:1-5.
- [2] 唐明.VA菌根提高植物抗盐碱和抗重金属能力的研究进展[J].土壤,1998,30(5):251-254.
- [3] 冯固.不同生态型摩西球囊霉菌株对棉花耐盐性的影响[J].生态学报,2001,21(2):259-264.
- [4] 任嘉红,张晓刚.VA菌根真菌提高沙棘抗旱性机理的研究[J].晋东南师范专科学校学报,2002,19(5):17-20.
- [5] 何绍江,毛新国.VA菌根化杉树苗抗能力研究[J].湖北农学院学报,1999,19(2):107-109.
- [6] 秦彦杰,张玉红,王洋,等.黄槿中生物碱含量的高效液相色谱分析[J].林产化学与工业,2004,24(Z1):115-118.
- [7] 李霞,杨立学,阎秀峰.一年生黄槿幼苗药用生物碱的分布及其含量的变化[J].东北师大学报:自然科学版,2006,38(2):101-104.
- [8] 李霞,阎秀峰,刘剑锋.氮素形态对黄槿幼苗生长及氮代谢相关酶类的影响[J].植物学报,2006,23(3):255-261.
- [9] 周海燕.关黄柏化学成分的研究[D].沈阳:沈阳药科大学,2001.

- [10] 李霞,王洋,阎秀峰.水分胁迫对黄檗幼苗三种生物碱含量的影响[J].生态学报,2007,27(1):0058-0064.
- [11] 李霞,于涛,阎秀峰.光强对黄檗幼苗生长及抗氧化酶活性的影响[J].东北林业大学学报,2007,35(1):25-30.
- [12] 齐国辉,丁平海.西府海棠幼苗根内可溶性糖含量对VA菌根侵染的影响[J].河北林果研究,2000,15(1):39-41.
- [13] 宋福强.大青杨VA菌根生理生态学研究[D].黑龙江:东北林业大学,2002.
- [14] Davies F T, Potter J R, Linderman P G. Mycorrhiza and repeated drought exposure affect drought resistance and extraradical hypha development of pepper plants in development of pepper plants in dependent of plant size and nutrient content[J]. Plant Physiol,1992 (139):289-294.
- [15] 鹿金颖,毛永民,申连英,等.VA菌根真菌对酸枣实生苗抗旱性的影响[J].园艺学报,2003,30(1):29-33.
- [16] 刘润进,裘维蕃.内生菌根菌(VAM)诱导植物抗病性研究的新进展[J].植物病理学报,1994,24(1):1-4.
- [17] 刘冰江,李敏,刘润进.AM真菌对棉花根内防御性酶活性的影响[J].西北农林科技大学学报:社会科学版,2005,33(Z1):73-78.
- [28] 李敏,刘润进.AM真菌和镰刀菌对西瓜根系几种酶活性的影响[J].菌物系统,2001,20(4):547-551.
- [19] 贺学礼.NaCl胁迫下AM真菌对棉花生长和叶片保护酶系统的影响[J].生态学报,2005,25(1):188-193.
- [20] 吴强盛,夏仁学.丛枝菌根真菌对柑橘嫁接苗枳/红肉脐橙抗旱性的影响[J].应用生态学报,2005,16(5):865-869.