

丛枝菌根对黄檗生长及 NPK 吸收的影响

范继红, 邹原东, 高琼

(北京农业职业学院, 北京 102442)

摘要: 在盆栽条件下用丛枝菌根真菌 (Arbuscular mycorrhiza fungi) 接种黄檗一年生实生苗, 研究丛枝菌根对黄檗 (*Phellodendron amurense* Rupr.) 生长代谢的影响。结果表明, 丛枝菌根显著提高了黄檗的生长及吸收能力, 苗木株高、地径及主根长等都显著大于对照植株, 增强了苗木根系活力, 提高了叶片吸收 NPK 的能力; 接种 *G.mosseae* 和 *G.diaphanum* 的苗木平均高比对照苗木增加了近 20 cm; 根系活力与对照相比提高了 2.5~2.7 倍。丛枝菌根促进了黄檗的生长发育, 提高了叶片光合效率, 促进根系对矿质营养的吸收, 叶片 N、P、K 含量均有提高, 其中接种 *G.diaphanum* 的苗木光合效率提高最为突出, 光合速率为 $12.23 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。研究结果可以为黄檗的菌根化育苗和资源保护提供技术依据。

关键词: 丛枝菌根; 黄檗; 生长; NPK 吸收

中图分类号: Q939.96

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2013)05-0815-04

Effects of VAM on the growth and NPK absorption of amur cork tree

FAN Ji-hong, ZOU Yuan-dong, GAO Qiong
(Beijing Vocation College of Agriculture, Beijing 102442)

Abstract: *Phellodendron amurense* was inoculated with four species of VA mycorrhizal(VAM) fungi under the pot condition, and the effects of VAM on the growth, root activity, nutrient uptake, photosynthetic characteristics, water metabolism and alkaloid content of annual seedlings were studied. The results showed that VAM significantly increased the growth and metabolism of *Ph. amurense*. VAM could obviously promote the growth of seedlings of *Ph. amurense*, and the height, basal diameter and main root length of seedling infected by mycorrhizal fungi were significantly bigger than those of the control seedlings. The root activity and nutrient uptake of *Ph. amurense* seedling were also increased. After inoculation the seedling with *G.mosseae* and *G.diaphanum*, the sapling height exceeded 20 cm and the root activity increased by 2.5-2.7 times compared with the control group. After VAM was formed, the nutritional contents of the leaves were increased at different levels, which obviously improved the photosynthesis characteristics of the seedlings, and further promoted the growth and metabolism of the whole plant. Inoculated with *G.diaphanum*, the seedling photosynthesis was $12.23 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.

Key words: VA mycorrhizal; amur cork-tree; growth; NPK absorption

菌根(Mycorrhiza)是自然界中普遍存在的共生现象, 是植物在长期的生存进化过程中与菌根真菌一起协同进化的产物^[1]。丛枝菌根 (Arbuscular mycorrhiza) 是所有菌根中出现时间最早、生存历史最长的菌根类型, 形成于陆生植物形成的初期^[2], 80%~90%的被子植物都能形成丛枝菌根^[3]。近年来, 许多研究表明丛枝菌根有利于植物对养分的吸收^[4], 改善宿主植物的生长状况, 增强宿主的光合

速率, 提高宿主营养元素的含量^[5-11]。

黄檗 (*Phellodendron amurense* Rupr.) 是重要的药用植物和用材树种, 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^[12-14]。作者研究了盆栽条件下丛枝菌根对黄檗幼苗生长及叶片 NPK 吸收的影响, 为丛枝菌根在黄檗上的应用提供了理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与处理

1.1.1 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，由黑龙江省山河屯林业局提供。

1.1.2 种子处理 将黄檗种子于前一年冬天进行沙藏处理。种子沙藏前用 1%高锰酸钾溶液消毒 30 min，沙子经高压湿热灭菌 2 h。次年 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，苗盘用 84 消毒液浸泡 1 h 消毒，然后将种子播种在高压灭菌的基质上，等幼苗刚刚长出第 1 对真叶时移栽。移栽时接种 VA 菌剂。

1.1.3 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⁻¹，速效磷 12.135 mg·kg⁻¹，速效钾 115.864 mg·kg⁻¹，pH 7.32。基质经高压湿热灭菌 2 h (121℃)，选用上口径 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。

1.1.4 菌根合成 在移栽时，于根系与土壤的接触部分接种 10 g 接种剂。采样观察确定形成菌根后进行试验测定。

1.2 试验方法

1.2.1 生长量测定 9 月在苗木生长结束时用直尺及游标卡尺测量黄檗幼苗的苗高、地径及主根长。

1.2.2 根系活力测定 在 7 月菌根形成后，植物旺盛生长期采样测定，采用 TTC 染色法。根系活力 /mg·g⁻¹·h⁻¹=TTC 还原量(μg) / 根重(g)×时间(h)×1000

1.2.3 光合作用测定 利用 LI-COR 公司的 LI-6400 便携式光合作用测定系统，测定从 8:00 到 18:00 的光合作用指标，通过光响应曲线获得光饱和点、光补偿点，分析不同处理的黄檗幼苗光合作用日变化情况。测定时间为 7 月。

1.2.4 叶片 N 素测定 采用蒸馏法，N(%)=[(滴定样品消耗酸标准溶液的体积—滴定空白消耗酸标准溶液的体积)×盐酸标准溶液的浓度×0.014]×100 / 风干样品的质量(g)

1.2.5 P 素测定 采用钼锑抗比色法，P(%)=[标准曲线上查得的 P 含量(mg·L⁻¹)×显色液体积(mL)×分取倍数]×100 / 风干土样质量(g)×10⁶

1.2.6 K 素测定 采用火焰光度法，K(%)=[查得 K 含量(mg·L⁻¹)×测定液的定容体积(mL)×分取倍数]

×100 / 风干土样质量(g)×10⁶

实验数据统计分析采用 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 丛枝菌根对黄檗生长的影响

从表 1 可看出，接种 *G.mosseae* 和 *G.diaphanum* 对黄檗的苗高、地径、主根长、根系活力的影响最大。苗木平均高度分别为 25.1 和 27.2 cm，比对照苗木高了近 20 cm；苗木地径分别为 5.78 和 5.80 mm，与对照相比增加了 3 mm 以上；苗木主根长度分别达到 24.7 cm 和 26.8 cm，比对照分别增加了 19.6 和 21.7 cm；苗木根系活力分别为 16.40 和 17.40 mg·g⁻¹·h⁻¹，与对照相比提高 2.5~2.7 倍，大大增强了根系吸收能力。*G.etunicatum* 和 *G.versiforme* 对黄檗的影响虽然较小，但也达到了显著水平。而未接种丛枝菌根的对照处理生长速度极其缓慢，经过一个生长季，平均苗高仅 7.6 cm，平均地径约 2.04 mm，过半数苗木没能完成一个生长季就死亡了。

2.2 丛枝菌根对黄檗光合作用的影响

实验结果显示，不同丛枝菌根菌对黄檗幼苗的光合作用的影响有明显区别。试验中所采用的 4 个丛枝菌根菌接种后对提高黄檗光合作用的影响存在较大差异，苗木光合作用增强，光合速率、蒸腾速率、光饱和点、光补偿点、最大表观量子效率和气孔导度等都高于对照。

4 个接种处理中，由于光合速率的差异，苗木的生长状况有明显区别。接种 *G.mosseae* 和 *G.diaphanum* 的苗木生长健壮，植株高大，生物量增加迅速。接种 *G.diaphanum* 的苗木光合速率最大，苗木光合速率为 12.23 μmol·m⁻²·s⁻¹。接种 *G.mosseae* 和 *G.diaphanum* 的苗木气孔导度、蒸腾速率和最大表观量子效率也显著高于对照和接种 *G.etunicatum* 和 *G.versiforme* 的苗木。接种 *G.diaphanum* 的苗木气孔导度为 0.258 mol·m⁻²·s⁻¹，蒸腾速率为 3.26 mmol·m⁻²·s⁻¹；最大表观量子效率是接种 *G.mosseae* 的苗木增加较多，为 35.18 mmol·mol⁻¹ (表 2)。接种丛枝菌根的苗木光饱和点和光补偿点都有不同程度的提高。其中接种 *G.diaphanum* 的苗木光饱和点为 644.39 μmol·m⁻²·s⁻¹，光补偿点为 65.44 μmol·m⁻²·s⁻¹，增加最多。接种 *G.mosseae* 的苗木光饱和点为 637.14 μmol·m⁻²·s⁻¹，光补偿点为 61.33 μmol·m⁻²·s⁻¹，略低一些(图 1 和图 2)。

2.3 丛枝菌根对黄檗叶片营养元素含量的影响

在生长季节测定黄檗叶片 N、P、K 含量，实验结果显示，接种丛枝菌根菌后黄檗叶片 N、P、K 含

量都有所增加, P 的增加最为显著。不同季节含量变化明显, 呈逐渐减少的趋势。不同丛枝菌根菌对黄檗叶片养分含量影响有较大差别, 其中接种 *G.mosseae* 和 *G.diaphanum* 的苗木影响明显。

表 1 丛枝菌根对黄檗生长的影响

Table 1 The effect of VAM on the growth of *Ph.amurensis*

菌种名称 Name	苗高/cm Height	地径/mm Ground diameter	主根长/cm Main root length	根系活力/mg·g ⁻¹ ·h ⁻¹ Root activity
CK	7.6±0.9 ^c	2.04±0.08 ^d	5.1±0.6 ^c	6.35±0.073 ^c
<i>G.mosseae</i>	25.1±2.2 ^a	5.78±0.52 ^a	24.7±2.3 ^a	16.40±0.119 ^a
<i>Getunicatum</i>	18.4±1.1 ^b	3.88±0.36 ^c	17.9±1.4 ^b	8.00±0.058 ^b
<i>Gversiforme</i>	19.8±1.3 ^b	4.16±0.34 ^b	19.0±1.2 ^b	9.60±0.107 ^b
<i>G.diaphanum</i>	27.2±2.1 ^a	8.80±0.48 ^a	26.8±3.0 ^a	17.40±0.098 ^a

注: 数字后的小写字母代表在 0.05 水平上差异显著。下同。

Note: The small letters followed the data refer to significant difference at the 0.05 level. The same below.

表 2 丛枝菌根对黄檗光响应曲线参数的影响

Table 2 Photosynthetic characteristics and fitted parameters for responses of *Ph.amurensis* by VAM

菌种名称 Name	光合速率 /μmol·m ⁻² ·s ⁻¹ Photosynthetic rate	气孔导度 /mol·m ⁻² ·s ⁻¹ Stomatal conductance	蒸腾速率 /mmol·m ⁻² ·s ⁻¹ Transpiration rate	最大表观量子效率 /mmol·mol ⁻¹ Apparent quantum yield
CK	4.17±0.173 ^c	0.099±0.013 ^c	1.34±0.174 ^c	24.53±3.11 ^b
<i>G.mosseae</i>	11.39±0.907 ^a	0.211±0.012 ^a	2.78±0.219 ^{ab}	37.26±2.18 ^a
<i>Getunicatum</i>	7.91±0.415 ^b	0.149±0.007 ^b	2.08±0.374 ^b	30.12±2.94 ^{ab}
<i>Gversiforme</i>	8.91±0.329 ^b	0.157±0.010 ^b	2.17±0.245 ^b	31.67±2.69 ^{ab}
<i>G.diaphanum</i>	12.23±0.843 ^a	0.258±0.009 ^a	3.26±0.209 ^a	35.18±3.00 ^a

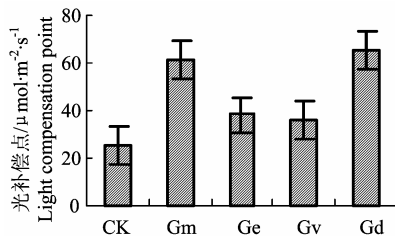


图 1 不同丛枝菌根对黄檗光补偿点的影响

Figure 1 The light compensation point of *Ph.amurensis* leaves under different treatments by VAM

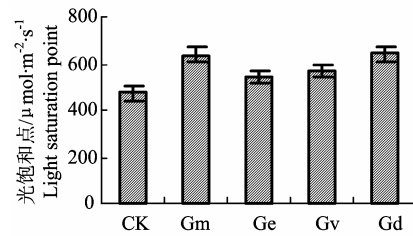


图 2 不同丛枝菌根对黄檗光饱和点的影响

Figure 2 The light saturation point of *Ph.amurensis* leaves under different treatments by VAM

表 3 丛枝菌根对黄檗叶片养分含量的影响

Table 3 The effect of VAM on the abio-nutrient of the leaf of *Ph.amurensis*

菌种名称 Name	7 月叶片养分/% Leaf nutrient in July			8 月叶片养分/% Leaf nutrient in August			9 月叶片养分/% Leaf nutrient in September		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K
CK	2.373±0.131 ^c	0.206±0.020 ^c	1.099±0.067 ^c	1.954±0.087 ^c	0.167±0.010 ^c	0.891±0.071 ^{bc}	1.302±0.097 ^b	0.096±0.024 ^c	0.546±0.043 ^c
<i>G.mosseae</i>	3.513±0.146 ^a	0.414±0.026 ^a	1.717±0.051 ^a	3.123±0.061 ^a	0.381±0.016 ^a	1.316±0.082 ^a	1.664±0.110 ^a	0.241±0.021 ^a	0.873±0.051 ^a
<i>Getunicatum</i>	2.924±0.087 ^b	0.301±0.029 ^b	1.301±0.088 ^b	2.134±0.083 ^b	0.291±0.009 ^b	1.021±0.078 ^b	1.317±0.093 ^b	0.176±0.023 ^b	0.734±0.067 ^b
<i>Gversiforme</i>	2.816±0.114 ^b	0.348±0.015 ^b	1.346±0.062 ^b	2.291±0.095 ^b	0.303±0.021 ^b	0.986±0.063 ^{bc}	1.423±0.086 ^b	0.171±0.018 ^b	0.701±0.055 ^b
<i>G.diaphanum</i>	3.415±0.207 ^a	0.401±0.031 ^a	1.603±0.049 ^a	3.002±0.046 ^a	0.367±0.032 ^a	1.269±0.109 ^a	1.641±0.102 ^a	0.236±0.011 ^a	0.817±0.091 ^a

丛枝菌根显著提高了植株 P 素含量, 接种不同丛枝菌根菌的差异较大, 接种 *G.mosseae* 的苗木增加最为显著。7 月, 接种 *G.mosseae* 的苗木 P 含量为 0.414%, 是对照的 2.01 倍。8 月, 植株 P 素含量

有所下降, 但与对照的差距却明显增加, 苗木 P 含量为 0.381%, 是对照的 2.28 倍。9 月, 植株 P 素含量继续降低, P 含量为 0.241%, 是对照的 2.51 倍。接种丛枝菌根菌后黄檗叶片 N 和 K 的含量也有所增

加,但增加幅度稍低于P的比例。接种 *G.mosseae* 的苗木增加最多,7月,苗木N含量为3.513%,是对照的1.48倍;K含量为1.717%,是对照的1.58倍。8月,苗木N含量为3.123%,是对照的1.60倍;K含量为1.316%,是对照的1.48倍。9月,苗木N含量为1.664%,是对照的1.28倍;K含量为0.873%,是对照的1.60倍。

3 小结与讨论

丛枝菌根能显著提高黄檗幼苗的生长量,形成丛枝菌根后株高、地径、主根长等都显著大于对照植株,以接种 *G.mosseae* 和 *G.diaphanum* 对黄檗的苗高、地径、主根长、根系活力的影响最大。丛枝菌根促进黄檗苗木的生长,促进叶片中光合产物向根部运输,以满足根系与真菌共生体生长发育的需要,同时光合产物的及时运出,也会促进光合速率,增强光合作用。接种 *G.mosseae* 和 *G.diaphanum* 的苗木气孔导度、蒸腾速率和最大表观量子效率也显著高于对照,接种 *G.diaphanum* 的苗木光合速率最大,苗木光合速率达到 $12.23 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,气孔导度为 $0.258 \text{ mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。形成丛枝菌根后光饱和点和光补偿点也有不同提高,但光饱和点差异不明显,光补偿点差异较明显,接种 *G.diaphanum* 的苗木光饱和点为 $644.39 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$,光补偿点为 $65.44 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。形成丛枝菌根后,叶片的N、P、K含量均有不同程度的提高,以接种 *G.mosseae* 的苗木增加最为显著。

许多研究证实,接种丛枝菌根菌能提高宿主的光合速率,大多数试验结果表明光合速率的增强是由于丛枝菌根菌增加寄主叶片叶绿素a、b的含量及提高叶绿素a/b的比值^[10]。刘润进等发现干旱条件下则能提高气孔传力、蒸腾速率和叶片相对含水量,延迟气孔关闭,并能降低叶片水势和永久萎蔫点。王维华等^[15]在温室盆栽条件下研究了丛枝菌根真菌对生姜的影响,结果表明接种丛枝菌根真菌能增强植株的营养生长,提高根茎产量,提高经济系数和叶片中叶绿素的含量,显著提高单叶净光合速率、蒸腾速率、气孔导数、水分利用效率等光合指标,增加了叶片和根系中的N、P、K及微量元素的含量,而且随着生育期的延长生姜植株对菌根真菌的依赖性增大。本实验通过对黄檗进行光合测定发现,接种丛枝菌根后叶片气孔导度和蒸腾速率明显增加,表明丛枝菌根能改善黄檗的水分代谢,提高水分的利用率,光合速率的提高说明丛植菌根能

增强黄檗光合产物的生产能力,进而促使生物量增加,促进生长。

光补偿点是表明植物利用弱光能力的一个重要指标,光饱和点则反映了植物利用强光的能力,光补偿点和光饱和点可以作为植物需光特性的主要指标,用来衡量需光量。通过本次研究初步发现,接种丛枝菌根后黄檗光饱和点都有不同程度的提高,但提高幅度不大,表明丛枝菌根对黄檗利用强光的能力影响不大;而接种丛枝菌根后光补偿点的变化则比较明显,表明丛枝菌根对黄檗利用弱光的能力影响更大。本次试验只选用了1种植物和4个菌种,其他植物接种丛枝菌根是否也会出现这种变化,具体生理机制还需要进一步研究。

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.
- [2] 小川真.作物と土をつなぐ共生微生物菌根の生态学[M].农文协,1987.
- [3] Koide R T, Schreiner R P. Regulation of the vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis[J]. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 1992, 43: 557-581.
- [4] Smith S E, Read D J. Mycorrhizal Symbiosis (2nd ed) [M]. San Diego: Academic Press Inc, 1997: 605.
- [5] Jonse M D, Durall D M, Tinker P B. A comparison of arbuscular and ectomycorrhizal *Eucalyptus coccifera* growth response phosphorus uptake efficiency and external hyphal production[J]. New Phytologist, 1998, 140: 125-134.
- [6] Mahen R, Deepak A, Singh A. Positive growth responses of the medicinal plants *Spilanthes calva* and *Withania somnifera* to inoculation by *Piriformospora indica* in a field trial[J]. Mycorrhiza, 2001, 11: 123-128.
- [7] Cui M, Coldwell M. Effect of soil and plant phosphorus concentrations on vesicular arbuscular mycorrhizal in sorghum plants[J]. New Phytol, 1989, 112: 405-410.
- [8] Dixon R X, Garrett H E, Cox G S. Cytokini in the presence exudates of citrus jambhiri colonized by vesicular-arbuscular mycorrhizae[J]. Tree Physiology, 1988, 4: 9-18.
- [9] Wright D P, Scholes J D, Read D L. Effects of VA mycorrhizal colonization on photosynthesis and biomass production of *Triplaris epens* L[J]. Plant Cell and Environment, 1998, 21: 209-216.
- [10] 刘润进,罗新书. VA 菌根对中国樱桃实生苗营养和生长的影响[J]. 莱阳农学院学报, 1988, 5(1): 6-13.
- [11] 吴志刚,郭兰萍,黄璐琦.接种 VA 菌根对苍术生长发育影响的初步观察[J]. 中药研究与信息, 2005, 7(11): 27-28.
- [12] 秦彦杰,张玉红,王洋.黄檗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(增刊): 115-118.
- [13] 李霞,阎秀峰,刘剑锋.氮素形态对黄檗幼苗三种生物碱含量的影响[J]. 生态学报, 2005, 25(9): 2156-2164.
- [14] 李霞,阎秀峰.滤光膜对黄檗幼苗三种生物碱含量的影响[J]. 生态学报, 2009, 29(3): 1292-1299.
- [15] 王维华,李敏. 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.