

丛枝菌根真菌和施氮量对茶树生长、矿质元素吸收与茶叶品质的影响

赵青华^{1,2}, 孙立涛¹, 王玉¹, 丁兆堂¹, 李敏^{1,*}

¹青岛农业大学菌根生物技术研究所, 山东青岛266109; ²滨州职业学院, 山东滨州256603

摘要: 采用盆栽法研究了不同施氮水平下接种丛枝菌根(arbuscular mycorrhiza, AM)真菌 *Glomus mosseae* 对茶树生长、矿质元素吸收及茶叶品质的影响。结果表明, 适量的施氮利于AM真菌的侵染和菌根发育, 当施氮过量时则会抑制菌根发育。在不同施氮水平下接种AM真菌均提高了茶树地上部、地下部和总干物质量, 其中又以接种AM真菌同时施氮量为0.53 g·kg⁻¹的茶树总干物质量最大, 为对照的1.63倍。不同矿质元素受AM真菌和氮肥的影响不一致, 在一定施氮水平下接种AM真菌可提高茶树叶片中N、P、K、Ca、Zn和Fe含量, 降低Mn和Cu含量; 显著增加根中N、P、K、Mg和Zn含量, 降低Mn含量, 施高浓度的氮(1.06 g·kg⁻¹)显著降低了根系Ca和Fe含量。不同施氮水平下AM真菌处理可增加茶叶中可溶性糖和可溶性蛋白含量, 提高了茶叶中茶多酚、咖啡碱、氨基酸和水浸出物含量, 降低酚氨比, 显著改善茶叶品质。本实验条件下, 茶树施氮量为0.53 g·kg⁻¹时, 接种AM真菌改善茶叶品质的效果最佳。

关键词: AM真菌; 氮; 茶树; 矿质元素; 茶叶品质

Effects of Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Nitrogen Regimes on Plant Growth, Nutrient Uptake and Tea Quality in *Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze

ZHAO Qing-Hua^{1,2}, SUN Li-Tao¹, WANG Yu¹, DING Zhao-Tang¹, LI Min^{1,*}

¹Institute of Mycorrhizal Biotechnology, Qingdao Agricultural University, Qingdao, Shandong 266109, China; ²Binzhou Polytechnic, Binzhou, Shandong 256603, China

Abstract: The effects of inoculation of an arbuscular mycorrhizal (AM) fungus *Glomus mosseae* on the growth and uptake of mineral nutrients of tea plant (*Camellia sinensis*), and the quality of tea under different nitrogen (N) application levels were investigated using the pot-culture method. The results indicated that the AM fungi promoted the growth of tea plant, including plant height, aboveground and underground biomass. Moreover, tea plants inoculated with AM fungi and applied with N 0.53 g·kg⁻¹ had the largest dry weight. Both inoculation and N applications increased nutrient acquisition, especially the contents of N, P, K, Ca, Zn and Fe in leaves and N, P, K, Mg and Zn in roots, while Mn and Cu contents in leaves and Mn contents in roots were decreased compared to uninoculated and non-fertilizer treatments. The contents of Ca and Fe in roots were decreased under high level of nitrogen (1.06 g·kg⁻¹). The concentration of soluble sugar, soluble protein, amino acids, caffeine, polyphenols and water-soluble substances in leaves increased, but the polyphenols/amino acids in leaves decreased in inoculated plants under different nitrogen levels. It indicated that the quality of tea was improved by inoculation with AM fungi under different nitrogen levels. Inoculation effect of AM fungi was the best with N level of 0.53 g·kg⁻¹ in this experiment.

Key words: arbuscular mycorrhizal fungus; nitrogen; tea tree (*Camellia sinensis*); mineral elements; tea quality

丛枝菌根(arbuscular mycorrhiza, AM)真菌能与90%以上的植物形成菌根(Bonfante和Genre 2010), 广泛分布于森林、草原、农田等生态系统中, 是与农业生产关系最为密切的一种真菌。目前已在果树、蔬菜、花卉和大田作物上做了大量研究。研究表明, AM真菌可以促进植物生长, 驱动土壤养分循环(Hodge和Fitter 2010), 改善根际环境(Willis等2013), 改善植物营养(王晓英等2010; Zhu等2012), 提高植物的抗逆性(Zhu等2012; Aroca

等2013; Wu等2013; 韩冰等2012), 提高作物品质和产量(韩冰等2012)等。

茶园中广泛存在AM真菌, 并具有丰富的多样性(吴丽莎等2009), 在茶树菌根生态效应(吴丽莎等2011; 任明兴和骆耀平2005)、矿质元素的吸收

收稿 2013-09-12 修定 2014-01-06

资助 国家自然科学基金(31240085)和山东省科技发展计划(2013GNC11014)。

* 通讯作者(E-mail: minli@qau.edu.cn; Tel: 0532-88030113)。

(林智1993)、生长发育及品质(王曙光等2002; 王守生等1997)等方面做了相关研究。AM真菌能提高茶树生产力(Nepolean等2012)。AM真菌可通过促进盐胁迫下茶树对矿质营养的吸收, 促进茶树生长, 增强茶树对盐胁迫的耐性, 进而提高茶叶产量和改善其营养品质(柳洁等2013)。酸性土壤中接种AM真菌能提高实生茶苗和扦插茶苗叶中糖、氨基酸、蛋白质、总多酚和咖啡因等品质指标(Singh等2010)。初步证实AM真菌对茶树的生理生态、养分吸收、营养生长和茶叶品质改善等有着重要的意义。然而, 在伊朗北部栽培的茶树根系没有菌根侵染(Aliafgharad等2011)。

茶叶品质与总游离氨基酸、茶氨酸、儿茶素、戊醛和挥发性物质等含量呈正相关(Wang和Ruan 2009)。茶树鲜叶含氮量与鲜叶及成茶的氨基酸、儿茶素、茶多酚和碳水化合物含量密切相关, 与氨基酸含量呈显著正相关(张文锦1992); 磷、钾、镁、铝、锌含量在一定范围内有利于促进优质茶叶的品质形成(任明强等2010)。氮素既是影响茶叶产量的关键因子, 也是茶叶品质的调控因子。茶树氮素代谢的特点是喜铵耐铵, 并在体内合成积累高含量的游离氨基酸和嘌呤类生物碱, 使其成为影响茶树的特征成分。因此, 茶树的氮素营养与产量、品质密切相关。合理的施氮量能显著提高茶叶产量并改善其品质, 提高茶叶中的游离氨基酸、咖啡碱和水浸出物含量(苏有健等2011; 唐劲驰等2011)。缓释肥能显著提高氮素利用率, 促进茶树生长, 提高茶叶品质指标, 特别是游离氨基酸含量(Han等2008)。然而, 关于AM真菌与氮素协同作用对茶树生长和茶叶品质的影响尚未见报道。因此, 本文将在这方面展开研究, 筛选出提高茶叶产量和品质的AM真菌与氮肥配方, 以期应用菌根生物技术提高茶叶品质和优质绿茶生产开创新途径。

材料与方法

1 试验材料

本试验于2007年4月~2009年10月在青岛农业大学园艺学院实验基地进行。用保存在烟草或三叶草上的, 分离于山东茶园土壤的AM真菌*Glomus mosseae*的孢子、根段和培养基质作接种物, 在以

往的试验中*Glomus mosseae*促进茶苗生长的效果最好(吴丽莎等2011)。供试茶树[*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze]品种为‘鸪安坞坑’群体种。土壤采自崂山茶厂西北茶园的沙壤土, 养分含量为碱解氮127 mg·kg⁻¹、有效磷10.4 mg·kg⁻¹、速效钾68.3 mg·kg⁻¹、有机质0.97%, pH值6.3, 风干后过20目孔径筛, 高压湿热灭菌, 陶盆(22 cm×25 cm×20 cm)经福尔马林消毒灭菌。

2 试验设计

试验设接种AM真菌(+M)、不接种AM真菌(-M)和4个施氮(N)水平: 0、0.27、0.53和1.06 g·kg⁻¹, 共8个处理, 每个处理重复5次。

3 试验方法

3.1 播种与接种

每盆装土3.5 kg, 将接种物以12 000接种势单位加入花盆中并与灭菌土壤混合均匀(Liu和Luo 1994), 不接菌种的对照则加等量灭菌的接种物及滤液, 同时加施氮处理(以尿素为氮源, 不同处理每盆分别施入0、2、4和8 g尿素)。将茶种用75%酒精表面消毒后浸泡2 d, 用灭过菌的沙子进行层积。2007年4月8日发芽播种到消毒的花盆中, 每盆播6粒, 5月13日开始陆续出芽, 每盆选留生长一致的茶苗3株。

3.2 样品处理方法

2009年9月10日, 将茶苗带土取出, 用清水冲洗根系, 每盆随机选取白色的茶根数根(约5 g), 取中上部成熟叶片10~15片并用液氮固定, 待测。将其他茶苗按根、茎、叶分开, 于80 °C烘干至恒重, 分别称出地上部、地下部的生物量, 并研磨成粉状, 待测。

3.3 菌根侵染状况测定

随机选取茶树鲜根30条, 剪成长约1.0 cm的根段, 采用刘润进和陈应龙(2007)改进、Biermann和Linderman (1981)描述的方法测定菌根发育情况。

3.4 生理生化指标测定

叶片可溶性糖和可溶性蛋白含量的测定分别用蒽酮比色法和考马斯亮蓝法(李合生等2000)。水浸出物测定采用全量法, 参照GB/T8305-2002。茶多酚测定采用酒石酸亚铁比色法, 参照GB/T8313-2002。氨基酸、咖啡碱和儿茶素等用高效液相色谱法测定。叶片及根系氮、磷含量分别用

靛酚蓝比色法、钒钼黄比色法测定(鲍士旦2000)。K、Ca、Mg、Fe、Zn、Cu和Mn的浓度用岛津原子吸收分光光度计测定。

3.5 数据处理与统计分析

数据采用DPS 7.01软件进行双因子方差分析,采用最小显著差数法(LSD法)进行多重比较。

实验结果

1 不同施氮量对AM真菌侵染状况的影响

接种AM真菌的各处理均有菌根发育。施氮量对AM真菌侵染率、丛枝着生率和根内泡囊数

有不同程度的影响,其中侵染率依次为施氮量 $0.53 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} > 0.27 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} > 0 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1} > 1.06 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,即随着施氮量增加,AM真菌侵染率呈现先增加后降低的趋势,以施氮 $0.53 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的侵染率最高,达84.3%;其次是施氮 $0.27 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 处理,达76.7%;而施氮 $1.06 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 处理AM真菌侵染最低,比不施氮的低27.8%。丛枝着生率和根内泡囊数也表现相同的趋势(表1)。可见适量的氮有利于AM真菌的侵染和菌根的发育,当氮肥过量时则会抑制菌根发育。由于栽培土壤经过高温灭菌,因此,未接种的各处理均未发现AM真菌侵染。

表1 不同施氮量对AM真菌侵染率的影响

Table 1 Effects of different nitrogen application on infection rate of AM fungi

施氮量/ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	接种处理	AM侵染率/%	丛枝着生率/%	根内泡囊数/数目 $\cdot\text{mm}^{-1}$ (根长)
0	+M	74.0 ^b	60.5 ^b	6.1 ^a
0.27	+M	76.7 ^{ab}	69.8 ^{ab}	6.5 ^a
0.53	+M	84.3 ^a	72.8 ^a	7.3 ^a
1.06	+M	53.5 ^c	51.2 ^c	3.4 ^b

表中各列平均数后的不同小写字母分别表示差异达显著($P < 0.05$)水平。下表同此。

2 AM真菌与施氮量对茶树生长的影响

随着施氮量的增加无论接种与否,茶树地上、地下部干物质量和总干物质量呈先增大后减小的趋势(表2)。接种AM真菌后可显著提高茶树地上部、地下部干物质量和总干物质量,接种AM真菌的植株均高于不接种的植株。施氮量为0、0.27、0.53和 $1.06 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的处理地上部干重分别比各自不接种的处理高45.4%、50.6%、39.7%和13.2%,其中,施氮量 $0.27 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 接种AM真菌的茶树生长量最大。不同施氮量之间茶树地上部、地下部干物质量和总干物质量差异显著($P < 0.05$)。接种AM真菌和施氮的交互作用对地上部干物质影响不显著($P > 0.05$),对地下部干物质量和总干物质量影响显著($P < 0.05$) (表2)。由于生长过程中有部分老叶凋落,这部分未计算在地上部分的重量中,而施氮0.27和 $0.53 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的处理中,接种真菌的植株生长量大,叶片脱落的相对较多,因此根冠比值比不接种略有增大。

3 AM真菌与施氮量对茶树矿物质吸收的影响

AM真菌通常可扩大植物根系的吸收范围,从而增加植物对营养元素的吸收。由表3可以看出,

表2 AM真菌和施氮量对茶树生长量的影响

Table 2 Effects of AM fungi and nitrogen application on the dry weight of tea tree

施氮量/ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	接种处理	地上部干重/g	地下部干重/g	总干重/g
0	-M	11.75 ^d	19.77 ^c	31.52 ^{cd}
	+M	17.08 ^c	24.54 ^b	37.62 ^{bc}
0.27	-M	13.95 ^d	19.30 ^d	33.11 ^d
	+M	21.01 ^{ab}	26.01 ^b	43.02 ^b
0.53	-M	17.31 ^{ab}	19.66 ^{cd}	36.97 ^c
	+M	24.19 ^a	31.31 ^a	51.50 ^a
1.06	-M	18.39 ^{bc}	19.10 ^{cd}	37.49 ^c
	+M	20.81 ^b	24.98 ^b	45.79 ^{ab}

随着施氮量的增加,茶树叶片和根系中N的含量不断提高,接种AM真菌的茶树根、叶片的N含量均显著高于不接种的植株。在施氮量0、0.27、0.53和 $1.06 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时叶片N含量分别比不接种的植株高22.4%、19.0%、9.8%和8.9%,其中施氮 $1.06 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时叶片中N含量最高;不同施氮量下接种根系中N含量分别比各自不接种的对照植株高108.0%、133.8%、41.0%和2.4%。接种AM真菌的茶树根、叶片的P和K含量也均不同程度高于不接种的植

表3 AM真菌与施氮量对茶树根和叶中N、P和K含量的影响

Table 3 Effects of AM fungus and nitrogen application on N, P and K contents in roots and leaves of tea tree

施氮量/g·kg ⁻¹	接种处理	N含量/g·kg ⁻¹		P含量/g·kg ⁻¹		K含量/g·kg ⁻¹	
		叶	根	叶	根	叶	根
0	-M	36.26 ^d	14.92 ^c	8.25 ^d	2.06 ^d	19.81 ^c	7.77 ^d
	+M	44.38 ^c	31.04 ^a	8.92 ^d	2.51 ^d	21.48 ^{bc}	9.96 ^{bc}
0.27	-M	39.49 ^{cd}	13.45 ^c	9.22 ^c	3.40 ^c	21.30 ^{bc}	8.42 ^{cd}
	+M	47.01 ^b	31.45 ^a	8.33 ^{cd}	3.50 ^{bc}	24.26 ^a	11.25 ^b
0.53	-M	43.25 ^c	15.97 ^c	9.44 ^b	4.93 ^b	22.69 ^b	9.43 ^c
	+M	47.49 ^b	22.52 ^b	12.11 ^a	6.72 ^a	23.45 ^{ab}	12.16 ^b
1.06	-M	46.60 ^{bc}	18.90 ^{bc}	9.72 ^{bc}	2.26 ^d	16.70 ^c	10.29 ^{bc}
	+M	50.59 ^a	19.37 ^{bc}	9.76 ^b	3.30 ^{bc}	22.71 ^b	14.12 ^a

株。随着施氮量增加, 茶树叶片和根系中P的含量不断提高。施氮0.53 g·kg⁻¹时接种处理的叶片和根系中P含量最高, 当施氮量继续增大时接种AM真菌的茶树叶片和根中P含量则降低。K含量的变化趋势与P相似。可见, 接种AM真菌并适量施氮肥能显著增加茶树对N、P和K的吸收, 从而促进茶树生长。接种AM真菌与施氮对茶树叶片和根系N、P含量的交互作用达显著($P<0.05$)或极显著水平($P<0.01$), 对K含量的交互作用不显著($P>0.05$)。

在一定施氮水平下接种AM真菌可提高茶树叶片中Ca、Zn、Fe、Mg含量。施氮0.53 g·kg⁻¹时, 叶片Ca含量显著高于其他处理, 不同程度地降低了叶片Mn和Cu含量, Mg含量无显著差异。接种AM真菌与施氮对叶片Ca和Mn含量的交互作用显著($P<0.05$) (表4)。

由表5可知, 在施氮量1.06 g·kg⁻¹下, 无论接种AM真菌与否, 茶树根系中Ca和Fe含量均显著降低; 在其他施氮量下接种AM真菌对根系中Ca和Fe

表4 AM真菌与施氮量对茶树叶片中Mg、Fe、Cu、Zn、Mn和Ca含量的影响

Table 4 Effects of AM fungi and nitrogen application on Mg, Fe, Cu, Zn, Mn and Ca contents in leaves of tea tree

施氮量/g·kg ⁻¹	接种处理	Ca含量/g·kg ⁻¹	Mg含量/g·kg ⁻¹	Fe含量/mg·kg ⁻¹	Cu含量/mg·kg ⁻¹	Zn含量/mg·kg ⁻¹	Mn含量/mg·kg ⁻¹
0	-M	2.90 ^{bc}	1.27 ^a	90.6 ^b	13.2 ^b	20.5 ^c	772.4 ^b
	+M	3.14 ^b	1.25 ^a	109.8 ^a	11.7 ^{bc}	27.5 ^b	557.2 ^c
0.27	-M	2.90 ^{bc}	1.13 ^a	96.9 ^b	17.1 ^a	21.0 ^c	116.0 ^a
	+M	3.09 ^b	1.15 ^a	116.6 ^a	12.9 ^b	32.0 ^a	754.6 ^b
0.53	-M	2.87 ^{bc}	1.47 ^a	92.5 ^b	13.8 ^b	20.0 ^c	857.0 ^b
	+M	3.82 ^a	1.27 ^a	110.3 ^a	9.3 ^c	33.5 ^a	566.2 ^c
1.06	-M	2.67 ^c	1.28 ^a	86.7 ^b	10.2 ^c	20.5 ^c	833.2 ^b
	+M	3.06 ^b	1.20 ^a	89.7 ^b	9.9 ^c	29.0 ^b	757.0 ^b

表5 AM真菌与施氮量对茶树根中Mg、Fe、Cu、Zn、Mn和Ca元素含量的影响

Table 5 Effects of AM fungi and nitrogen application on Mg, Fe, Cu, Zn, Mn and Ca contents in roots of tea tree

施氮量/g·kg ⁻¹	接种处理	Ca含量/g·kg ⁻¹	Mg含量/g·kg ⁻¹	Fe含量/mg·kg ⁻¹	Cu含量/mg·kg ⁻¹	Zn含量/mg·kg ⁻¹	Mn含量/mg·kg ⁻¹
0	-M	11.13 ^a	4.26 ^b	115.1 ^a	20.3 ^a	28.5 ^c	665.4 ^a
	+M	12.32 ^a	5.66 ^a	109.9 ^a	20.5 ^a	44.3 ^{ab}	507.8 ^{bc}
0.27	-M	11.93 ^a	4.03 ^b	126.9 ^a	22.1 ^a	40.0 ^b	569.5 ^a
	+M	12.61 ^a	5.67 ^a	109.4 ^a	22.4 ^a	48.9 ^a	504.1 ^{bc}
0.53	-M	10.23 ^a	4.34 ^b	117.6 ^a	19.7 ^a	39.6 ^b	580.7 ^a
	+M	12.55 ^a	5.68 ^a	122.7 ^a	20.3 ^a	48.6 ^a	479.9 ^c
1.06	-M	6.43 ^b	4.14 ^b	95.5 ^{bc}	21.2 ^a	42.3 ^b	602.7 ^a
	+M	6.89 ^b	4.74 ^{ab}	88.3 ^c	18.9 ^a	47.5 ^a	521.5 ^b

含量无显著影响。接种AM真菌不同程度地降低了根系Mn含量,提高了根系Mg和Zn含量。各处理根系Cu含量无显著差异($P>0.05$)。接种AM真菌与施氮对根系各养分含量无协同作用($P>0.05$) (表5)。

4 AM真菌与施氮量对茶叶品质的影响

由表6可以看出, 无论是否接种AM真菌, 在一定水平的施氮量可显著提高茶叶可溶性糖和可溶性蛋白的含量, 其中施氮 $0.53 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时接种处理的茶叶中可溶性糖和可溶性蛋白的含量最高, 分别为 6.80 和 $7.73 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, 分别比不接种的提高 20.5% 和 58.7% 。随着施氮量的增加, 接种AM真菌茶叶的可溶性蛋白和可溶性糖含量均有不同程度的减少。在不同氮水平下接种AM真菌均能不同程度

地提高茶叶茶多酚、咖啡碱、氨基酸和水浸出物的含量($P<0.05$), 降低酚氨比($P<0.01$), 其中, 咖啡碱和氨基酸增加最为显著($P<0.01$)。接种AM真菌处理在施氮量 0 、 0.27 、 0.53 和 $1.06 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时叶片咖啡碱含量分别比各自不接种的对照高 53.9% 、 56.7% 、 98.1% 和 8.9% ; 氨基酸含量分别提高 38.4% 、 37.5% 、 31.9% 和 15.2% , 在施氮量 $0.27 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时的增幅最高; 酚氨比分别降低 16.8% 、 5.2% 、 37.4% 和 18.6% , 在施氮 $0.53 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的降幅最大。接种AM真菌和施氮对茶叶可溶性糖和可溶性蛋白质等含量的交互作用显著($P<0.05$), 对茶多酚含量的交互作用极显著($P<0.01$)。表明在一定范围接种AM真菌配施氮肥能够提高茶叶各品质指标的含量, 改善茶叶品质。

表6 AM真菌与施氮量对茶叶品质的影响

Table 6 Effects of AM fungi and nitrogen application on the quality of tea

施氮量/ $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$	接种处理	可溶性糖含量/ $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$	可溶性蛋白质含量/ $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$	茶多酚含量/%	咖啡碱含量/%	氨基酸含量/%	水浸出物含量/%	酚氨比
0	-M	4.26 ^d	0.36 ^d	12.42 ^c	2.30 ^b	1.72 ^c	48.39 ^{cd}	7.22 ^b
	+M	4.16 ^d	0.45 ^c	14.31 ^{bc}	3.54 ^a	2.38 ^{ab}	49.83 ^{bc}	6.01 ^c
0.27	-M	5.05 ^c	0.38 ^d	12.72 ^c	2.54 ^b	1.84 ^c	47.46 ^d	6.91 ^b
	+M	5.98 ^b	0.48 ^c	16.57 ^{ab}	3.98 ^a	2.53 ^{ab}	50.37 ^{bc}	6.55 ^{bc}
0.53	-M	5.41 ^{bc}	0.46 ^c	14.24 ^{bc}	2.07 ^b	2.04 ^{bc}	47.96 ^{cd}	6.98 ^b
	+M	6.80 ^a	0.73 ^a	17.94 ^a	4.10 ^a	2.69 ^a	51.67 ^a	4.37 ^d
1.06	-M	4.60 ^{cd}	0.61 ^{bc}	12.20 ^c	2.04 ^b	1.97 ^{bc}	48.32 ^{cd}	8.11 ^a
	+M	4.66 ^{cd}	0.59 ^{bc}	13.98 ^{bc}	3.72 ^a	2.27 ^b	49.08 ^c	6.60 ^{bc}

讨 论

AM真菌的菌根效应取决于真菌、宿主、土壤生态条件、真菌与寄主之间的协调性(Koide和Mosse 2004)。本试验表明, 接种AM真菌后施氮肥能够促进AM真菌对茶树根系的侵染能力, 提高茶树地上部、地下部和总干物质量的积累, 改善茶树对土壤中氮、磷、钾及部分微量元素的吸收利用, 提高茶叶品质。本实验中茶树根系在盆中自然分布, 收获时根系在整个盆中基本上是自然均匀分布, 这种条件下菌根的外延菌丝成为根系的延伸部分, 具有扩展养分吸收空间的作用, 同时也能促进根系对水分的吸收与利用, 从而保证茶树生长的营养需求。一般情况下, 接种AM真菌对植物生长代谢的促进作用只在一定施氮量下存在,

当施氮量过大时, 侵染率反而下降, 这是因为高浓度氮素会对菌根植物造成伤害, 且氮的用量越大, 伤害越严重(贺学礼等2006; 卢艳琦等2008)。王平等(2012)发现接种AM真菌有利于黄芩植株生长, 提高黄芩幼苗化学成分含量, 在施氮量为 $0.08\sim 0.12 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ (土)时黄芪接种AM真菌效果最好。本试验表明, 施氮量 $0.53 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时, AM真菌对茶树的侵染率最高, 达 84.3% ; 当施氮量为 $1.06 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 时, AM真菌对茶树根系的侵染率和茶树的干物质量均有不同程度的降低, 说明施氮过多时反而不利于AM真菌和茶树的生长发育, 这支持了前人的实验结果。

茶树能直接从土壤介质中吸收 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 $\text{NO}_3^-\text{-N}$, 尿素态氮在土壤中只有经氨化作用转变成 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 后才能被茶树所吸收。研究表明, AM真菌可以促

进宿主植物对氮素的吸收, 菌丝吸收氮素的形态包括 NH_4^+ 、 NO_3^- 和一些氨基酸(Frey和Schuepp 1993; Johansen等1992a, b), AM根外菌丝吸收传递 ^{15}N 能力因氮素形态而异, 根外菌丝吸收传递不同形态 ^{15}N 的能力为 $^{15}\text{NH}_4^+ > ^{15}\text{N-Gln} > ^{15}\text{N-Gly} > ^{15}\text{NO}_3^-$ (李侠和张俊伶2007)。AM根外菌丝吸收氮素后, 首先进入谷氨酰胺合成酶途径合成谷氨酰胺, 进而合成精氨酸, 并以精氨酸形式在根外菌丝中运输, 运输到根内菌丝后转化为不含碳的化合物- NH_4^+ , 并以 NH_4^+ 形式转移到根系(Govindarajulu等2005)。因此, 一定施氮量下接种真菌促进茶苗生长的可能机理是促进了AM真菌的侵染和菌根的发育, 而菌根根外菌丝的发育进一步促进了对土壤水分养分的吸收, 提高叶片光合速率等。

茶叶品质是茶叶中的众多化合物, 特别是能溶于茶汤的物质对人体感官刺激的综合效应。茶叶品质随茶多酚、咖啡碱、氨基酸和水浸出物的含量增加而提高(钟萝1989)。茶多酚是呈味的主体物质, 茶多酚含量高的茶味浓。茶多酚氧化产物茶黄素与咖啡碱结合产生的络合物呈鲜爽味。氨基酸是组成茶叶鲜爽味的主要物质。咖啡碱也是茶叶重要的滋味物质。水浸出物的多寡直接关系到茶叶的品质, 水浸出物含量的增加能提高茶汤浓度, 增进茶色和滋味。控释肥与尿素配施显著增加茶叶中氨基酸含量和咖啡碱含量, 降低酚氨比, 能有效提高绿茶品质(付乃峰等2010)。AM真菌侵染茶树, 使茶叶咖啡碱含量明显增加, 儿茶素含量明显减少, 酚氨比值降低, 茶叶苦涩味减轻, 因而茶叶品质有所改善(王守生等1997; Singh等2011)。这些研究表明, 适量施用氮肥或接种AM真菌具有相似的效应。本试验表明, AM真菌与氮肥结合对于提高茶叶品质有一定的作用, 能够显著提高茶叶中茶多酚、咖啡碱、氨基酸和水浸出物含量, 降低了酚/氨基酸比, 对茶叶品质的提升和茶树品种改良有重要的意义。

综上所述, 施氮量为 $0.53 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 能够提高茶树接种AM真菌菌根侵染率, 促进茶树生长和对营养元素的吸收, 提升茶叶品质。本实验为盆栽, 茶苗生长时间为2年零5个月, 在田间条件下, 由于土壤理化条件, 尤其是其他微生物等因素的影响, 结论可能不完全相同, 因此, 今后应进一步开展接种

AM真菌和施氮肥的田间试验, 为AM真菌大规模用于茶叶生产提高理论依据。

参考文献

- 鲍士旦(2000). 土壤农化分析. 北京: 中国农业出版社
- 付乃峰, 洪永聪, 丁兆堂(2010). 控释肥与尿素配施对茶园土壤碱解氮含量和茶叶品质的影响. 西北农业学报, 19 (4): 106~109
- 韩冰, 郭世荣, 贺超兴, 闫妍, 于贤昌(2012). 丛枝菌根真菌对盐胁迫下黄瓜植株生长、果实产量和品质的影响. 应用生态学报, 23 (1): 154~158
- 贺学礼, 王东雪, 赵丽莉(2006). AM真菌和施氮量对烟叶生长和部分矿质元素含量的影响. 核农学报, 20 (20): 154~158
- 李合生(2000). 植物生理生化实验原理和技术. 北京: 高等教育出版社
- 李侠, 张俊伶(2007). 丛枝菌根根外菌丝对不同形态氮素的吸收能力. 核农学报, 21 (2): 195~200
- 林智(1993). VA菌根对茶树生长和矿质元素吸收的影响. 茶叶科学, 13 (1): 15~20
- 柳洁, 肖斌, 王丽霞, 李俊, 蒲国涛, 高婷, 刘雯(2013). 盐胁迫下丛枝菌根(AM)对茶树生长及茶叶品质的影响. 茶叶科学, 33 (2): 140~146
- 刘润进, 陈应龙(2007). 菌根学. 北京: 科学出版社
- 卢艳琦, 崔岩, 贺学礼(2008). AM真菌与施氮量对白术生物产量和氮素含量的影响. 河南农业科学, 4: 94~97
- 任明强, 赵宾, 赵国宣, 陈旭晖(2010). 不同叶位新梢绿茶的品质及其影响因素探讨. 贵州农业科学, 38 (12): 77~79
- 任明兴, 骆耀平(2005). 茶树VA菌根的研究进展. 茶叶, 30 (1): 28~31
- 苏有健, 廖万有, 丁勇, 王宏树, 夏先江(2011). 不同氮营养水平对茶叶产量和品质的影响. 植物营养与肥料学报, 17(6): 1430~1436
- 唐劲驰, 吴利荣, 吴家尧, 唐颢, 黎健龙, 庞式(2011). 初投产茶园氮磷钾配比施用与产量、品质的关系研究. 茶叶科学, 31 (1): 11~16
- 王平, 贺学礼, 赵丽莉, 马丽, 郭辉娟(2012). AM真菌和施氮量对黄芩幼苗生长和微量元素的影响. 华北农学报, 27 (增刊): 259~263
- 王守生, 何首林, 王德军, 方德华, 吴光权, 别之龙(1997). VAM真菌对茶树营养生长和茶叶品质的影响. 土壤学报, 34 (1): 97~102
- 王曙光, 林先贵, 董元华, 罗质超, 施亚琴(2002). 丛枝菌根(AM)对无性繁殖茶苗生长及茶叶品质的影响. 植物学通报, 19 (4): 462~468
- 王晓英, 王冬梅, 陈保冬, 黄益宗, 王幼珊(2010). 丛枝菌根真菌群落对白三叶草生长的影响. 生态学报, 30 (6): 1456~1462
- 吴丽莎, 王玉, 李敏, 丁兆堂, 刘润进(2009). 崂山茶区茶树根围AM真菌多样性. 生物多样性, 17 (1): 499~505
- 吴丽莎, 王玉, 赵青华, 李敏, 刘润进(2011). 丛枝菌根真菌对实生茶树叶片光合性能的影响. 青岛农业大学学报, 28 (1): 13~15
- 张文锦(1992). 鲜叶氮磷钾含量与乌龙茶品质关系的研究. 福建茶叶, 16 (3): 16~19
- 钟萝(1989). 茶叶品质理化分析. 上海: 上海科技出版社
- Aliasgharzarad N, Hajiboland R, Olsson PA (2011). Lack of arbuscular mycorrhizal colonisation in tea (*Camellia sinensis* L.) plants cultivated in Northern Iran. Symbiosis, 55: 91~95

- Aroca R, Ruiz-Lozano JM, Zamarreño AM, Paz JA, García-Mina JM, Pozo MJ, López-Ráez JA (2013). Arbuscular mycorrhizal symbiosis influences strigolactone production under salinity and alleviates salt stress in lettuce plants. *J Plant Physiol*, 170: 47~55
- Bierman B, Linderman RG (1981). Quantifying vesicular-arbuscular mycorrhizal: a proposed method towards standardization. *New Phytol*, 87: 63~67
- Bonfante P, Genre A (2010). Mechanism underlying beneficial plant-fungus interactions in mycorrhizal symbiosis. *Nat Commun*, 1 (4): 48
- Frey B, Schuepp H (1993). Acquisition of nitrogen by external hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi associated with *Zea mays* L.. *New Phytol*, 124: 221~230
- Govindarajulu M, Pfeffer PE, Jin HR, Abubaker J, Douds DD, Allen JW, Bucking H, Lammers PJ, Shachar-Hill Y (2005). Nitrogen transfer in the arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Nature*, 435: 819~823
- Han WY, Ma LF, Shi YZ, Ruan JY, Kemmitt SJ (2008). Nitrogen release dynamics and transformation of slow release fertiliser products and their effects on tea yield and quality. *J Sci Food Agr*, 88: 839~846
- Hodge A, Fitter AH (2010). Substantial nitrogen acquisition by arbuscular mycorrhizal fungi from organic material has implications for N cycling. *Proc Natl Acad Sci USA*, 107: 13754~13759
- Johansen A, Jakobsen I, Jensen ES (1992a). Hyphal N transport by a vesicular arbuscular mycorrhizal fungus associated with cucumber grown at three nitrogen levels. *Plant Soil*, 160: 1~9
- Johansen A, Jakobsen I, Jensen ES (1992b). Hyphal transport of ¹⁵N-labeled nitrogen by a vesicular arbuscular mycorrhizal fungus and its effect on depletion of inorganic soil N. *New Phytol*, 122: 281~288
- Koide RT, Mosse B (2004). A history of research on arbuscular mycorrhiza. *Mycorrhiza*, 3: 145~163
- Liu RJ, Luo XS (1994). A new method to quantify the inoculum potential of arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytol*, 128: 89~92
- Nepolean P, Jayanthi R, Pallavi RV, Balamurugan A, Kuberan T, Beulah T, Premkumar R (2012). Role of biofertilizers in increasing tea productivity. *Asian Pac J Trop Biomed*, 2: S1443~S1445
- Singh S, Pandey A, Kumar B, Palni LMS (2010). Enhancement in growth and quality parameters of tea [*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze] through inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi in an acid soil. *Biol Fertil Soils*, 46: 427~433
- Wang KB, Ruan JY (2009). Analysis of chemical components in green tea in relation with perceived quality, a case study with Longjing teas. *Int J Food Sci Tech*, 44: 2476~2484
- Willis A, Rodrigues BF, Harris PJC (2013). The ecology of arbuscular mycorrhizal fungi. *Crit Rev Plant Sci*, 32 (1): 1~20
- Wu QS, Zou YN, Huang YM (2013). The arbuscular mycorrhizal fungus *Diversispora spurca* ameliorates effects of waterlogging on growth, root system architecture and antioxidant enzyme activities of citrus seedlings. *Fungal Ecol*, 6: 37~43
- Zhu XC, Song FB, Liu SQ, Xu HW (2012). Arbuscular mycorrhizae improves photosynthesis and water status of *Zea mays* L. under drought stress. *Plant Soil Environ*, 58 (4): 186~191