

丛枝菌根真菌群落对白三叶草生长的影响

王晓英¹, 王冬梅^{1,*}, 陈保冬², 黄益宗², 王幼珊³

(1 北京林业大学水土保持学院, 水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室, 北京 100083; 2 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085;
3 北京市农林科学院植物营养与资源研究所, 北京 100089)

摘要: 不同施肥处理影响 AMF (Arbuscular mycorrhizal fungi) 群体结构, 然而不同 AMF 群体结构对植物的生长以及养分吸收的影响尚未见报道, 试验利用盆栽实验研究了 7 种不同来源的丛枝菌根真菌 (AMF) 群落对白三叶草生长和 N、P、K 以及微量元素 Cu、Zn、Mn 的吸收的影响。7 种 AMF 群落分离自长期定位施肥试验地, 分别为 NPK、OM、CK、1/2OM、NP、NK 和 PK。每年施肥量是 300 kg N/hm², 135 kg P₂O₅/hm², 300 kg K₂O/hm²。有机肥处理的 N、P、K 养分量与试验地 NPK 处理含量相同, 原料以粉碎的麦秆为主, 加上适量的大豆饼和棉仁饼, 有机肥经堆制发酵后施用。试验土壤采用封丘试验地土壤, 经灭菌处理。试验结果表明, 接种不同 AMF 群落均能促进三叶草的生长, 对养分吸收则表现不同。分离自 CK 试验地的 AMF 群落对三叶草侵染率显著低于其它 6 种 AMF 群落。分离自 1/2OM 和 OM 试验地的 AMF 群落较分离自 NPK、CK、NP 和 NK 的 AMF 群落显著促进了三叶草对 P 的吸收; 各种 AMF 群落都促进了对 N 和 K 的吸收; 分离自 OM、CK、1/2OM、NP、NK 试验地的降低了三叶草植株 N 含量; 分离自 NPK 试验地的 AMF 群落提高了三叶草植物 K 含量; 对于 Cu、Zn、Mn 元素的吸收, 不同处理存在较大的差异。AMF 群落对三叶草生长以及养分吸收贡献不同, 这与不同施肥管理下不同 AMF 群落的优势种属的侵染率、养分转化以及菌丝发育及分布有关。

关键词: 丛枝菌根真菌群落; 施肥; 白三叶草 (*Trifolium repens* L.); 生长效应

Growth response of white clover to inoculation with different Arbuscular mycorrhizal fungi communities

WANG Xiaoying¹, WANG Dongmei^{1,*}, CHEN Baodong², HUANG Yizong², WANG Youshan³

1 School of Soil & Water Conservation, Key Laboratory of Soil and Water Conservation and Desertification Combating, Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

2 Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

3 Institute of Plant Nutrition & Resources, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Science, Beijing 100089, China

Abstract: Arbuscular mycorrhizal fungi community structure is affected by different fertilization but it is unclear how this affects plant growth and nutrient uptake. We studied the effects of 7 different mycorrhizal communities on growth and N, P, K, Cu, Zn, Mn uptake of white clover in pot experiments. The 7 AMF communities were collected from a long-term fertilization field trial, with the following treatments: control without amendment (CK), nitrogen + phosphorus + potassium fertilization (NPK), organic matter fertilization (OM), nitrogen + phosphorus + potassium + organic matter fertilization (1/2OM), nitrogen + phosphorus fertilization (NP), nitrogen + potassium fertilization (NK) and phosphorus + potassium fertilization (PK). The nutrients were applied annually at the following rates N 300 kg/hm² as urea, P₂O₅ 135 kg/hm² as Ca(H₂PO₄)₂, K₂O 300 kg/hm² as K₂SO₄ with similar rates in the NPK and the OM treatment. The OM treatment consisted of mix wheat straw and fermented soybean and cottonseed, organic fertilizer. For the pot experiment, the soil from a long-term fixed fertilization in Fengqiu was sterilized. All AMF communities had a positive effect on white clover growth, but their effects differed. The AMF colonization rate of the community from the control was

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (30872075); 中国科学院知识创新工程重要方向资助项目 (KSCX2-YW-N-41-05); 国家重点基础研究发展计划资助项目 (2005CB121105); 国家科技支撑计划资助项目 (2006BAD03A0301)

收稿日期: 2008-09-03; 修订日期: 2009-12-21

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: dmwang@bjfu.edu.cn

significant lower than all other treatments. AMF communities collected from 1/2OM and OM significantly improved P uptake. Compared to CK, most AMF communities improved uptake of N and K; Compared to the other treatments, AMF communities collected from OM, CK, 1/2OM, NP, NK reduced N concentration, and those collected from NPK increased K concentration. The concentrations of Cu, Zn, Mn differed between treatments. These results show that different AMF communities affect growth and nutrient uptake on white clover differentially, probably because of different dominant AMF species which may differ in colonization rate, nutrient transfer to the host and development of hyphae.

Key Words: Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) community; fertilization; white clover; growth effects

我国在世界化肥需求中所占比例大于 1/4,而且对化肥的需求还在日益增长,但目前我国的化肥的利用率仅为 30%—40%,同发达国家的 50%—60% 相比仍有差距^[1]。超量、不合理施肥造成的生态环境质量明显下降,同时化肥施用过程所引起的土壤环境污染的问题和土壤重金属含量过高等问题也日益突出。因此减少化肥用量,提高化肥利用率,恢复退化土壤成为我国农业可持续发展所面临的一个突出环境问题。

丛枝菌根真菌(AMF)是自然界中普遍存在的一种土壤微生物,绝大多数植物种类可以和 AMF 形成菌根共生体。大量研究表明,AMF 能促进寄主对土壤中矿质元素 P、N、K 以及微量元素的吸收,提高寄主根系对根部病菌的抵抗力并增强植物对干旱、高温、重金属的抗性^[2],是严重受扰群落和生态系统恢复的主要调节者,在退化生态系统恢复和重建中具有重要作用。利用 AMF 进行土壤环境质量调控和生物修复是目前环境领域研究的热点之一。目前,利用单一的 AMF 接种效应研究较多,关于 AMF 群体的研究也主要集中在长期施肥对 AMF 生长发育及其群落结构和生态分布的影响^[3-5],而关于接种长期定位施肥处理下的 AMF 群体对植物生长效应的研究尚未见报道。本文则报道针对来自不同施肥体制下的 AMF 群落对三叶草生长和养分吸收的影响的初步结果,旨在为进一步研究不同施肥体制下菌根真菌群落与植物的互作关系提供基础。

1 试验材料与方法

1.1 供试材料

1.1.1 供试土壤

盆栽土壤采自中国科学院封丘农业生态实验站,土壤 pH7.9(水浸提,水土比 2.5:1),有机质 1.66%,有效 P 5.49 mg/kg(0.5mol/L 的 NaHCO₃ 提取),全 N 0.68 mg/g,全 K 9.28 mg/g(ICP-OES, Optima2000DC, Perkin-Elmer Co U. S. A 测定)。供试土壤风干后,过 2mm 筛,并于北京大学第三附属医院电离辐射灭菌(20K Gy)后待用。

1.1.2 供试菌剂

供试菌剂分离自封丘农业生态实验站 7 个长期定位试验地。

封丘实验站土壤为轻壤质黄潮土,定位施肥试验始于 1989 年秋,采用小麦-玉米一年两熟轮作方式。7 个不同施肥处理的试验地依次为:①NPK(施 N、P、K 化肥)②OM(施有机肥);③CK(不施任何肥);④1/2OM + 1/2NPK(有机肥和化肥各占一半,该试验地总的 N、P、K 养分含量和试验地①相同);⑤NP(施 N、P 化肥);⑥NK(施 N、K 化肥);⑦PK(施 P、K 化肥)。每年施肥量是 300 kg N/hm²(尿素),135 kg P₂O₅/hm²(过磷酸钙),300 kg K₂O/hm²(硫酸钾)。有机肥处理的 N、P、K 养分量与试验地①化肥 NPK 处理含量相同,原料以粉碎的麦秆为主,加上适量的大豆饼和棉仁饼,有机肥经堆制发酵后施用,每年施用量约 18t/hm²(以鲜重计)。

2007 年 8 月加富培养分离获得的 AMF 群落,依次记为 M_{npk}、M_{om}、M_{ck}、M_{1/2om}、M_{np}、M_{nk}、M_{pk}。菌剂由北京市农林科学院植物营养与资源研究所分离制备,含寄主植物根段、菌根真菌孢子及根外菌丝的根际砂土。

1.1.3 试验植物及种子处理

供试植物为白三叶草(*Trifolium repens* L.)。播种的前一天将三叶草种子在 10% H₂O₂ 溶液中浸泡 10min 进行表面消毒,然后用蒸馏水冲洗干净置于湿润的滤纸上,25℃ 恒温培养箱放置一昼夜催芽,出芽后播种入

1.5L 的塑料盆(为避免污染装土前内垫自封袋),每盆装 1kg 土,每盆播种 25 粒,出苗 4d 后每盆间至长势相近的 12 株。

1.2 试验处理及设计

试验设不接种对照(-M)和分别接种 7 种 AMF 群落(分别记为 +M_{npk}、+M_{om}、+M_{ck}、+M_{1/2om}、+M_{np}、+M_{nk}、+M_{pk})共 8 个处理,每个处理 4 次重复。种苗期间称重浇水,土壤含水量保持在重量含水量为 15% 左右。每盆在距土表 1/3 处层接 20g 接种剂,不接种处理每盆加入灭菌处理的接种剂 20g 和 20ml 浸泡 20g 接种剂滤液(本次实验为 M_{1/2om} 的接种滤液)以保证土壤微生物区系基本一致。

为保证三叶草能获得充足的养分,在种植植物前将 NH₄NO₃、KH₂PO₄ 和 K₂SO₄ 按 N 100 mg/kg, P 30 mg/kg, K 150 mg/kg 的用量均匀混入土壤中。试验于 2007 年 10 月在中国科学院生态环境研究中心控温温室进行,温度控制在 15—25℃ 左右,自然采光。

1.3 收获

植物生长 14 周后分别收获其地上部分和地下部分,去离子水洗净晾干。随机选取 0.6—1g 左右的新鲜根系样品,50% 的乙醇保存,待测定菌根侵染率用。其余的植株样品经 65℃ 烘干至恒重。

1.4 样品制备及分析

新鲜根系样品用蒸馏水冲洗 2—3 次,并剪成 1cm 左右长度的根段,于 10% KOH 溶液中 90℃ 下脱色透明 10min,再用蒸馏水冲洗干净,用 0.05% 台盼蓝于乳酸甘油溶液染色 15 min,并用甘油保存、制片^[6]。按上述方法制片,每个样品在显微镜下检查 25 个根段,并用根段频率法计算菌根侵染率^[7]。

植株地上地下部分分别烘干称重测定生物量。烘干植株样品粉碎后用 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮,用等离子体电感耦合发射光谱仪(ICP-OES, Optima2000DC, Perkin Elmer Co U. S. A)分别测定植物样品地上地下部分的 P、K、Cu、Zn、Mn 元素的浓度,利用元素分析仪(Vario EL III, CHNOS Elemental Analyzer, Elementar Co Germany)测定植物样品中 N 元素含量。各种元素的含量与各部分生物量的乘积即为该部分某元素的吸收量。

1.5 数据分析

所有数据处理均在 SPSS11.5 统计软件下完成,采用单因素方差分析(one-way ANOVA)和 LSD 多重比较各处理间的差异显著性,显著水平 5%。

2 结果与分析

2.1 三叶草根系菌根侵染状况

接种不同 AMF 群落,侵染率存在较大差异:接种 M_{om}、M_{nk}、M_{pk} 处理的菌根侵染率最高,而且在接种 M_{nk} 的菌根中观察发现大量的泡囊结构,其他接种处理则仅有个别的泡囊结构;接种 M_{ck} 处理菌根侵染率最低,与不接种处理无显著性差异,与其它接种处理之间的侵染率差异显著;接种 M_{1/2om}、M_{np} 处理与接种 M_{npk}、M_{om}、M_{nk}、M_{pk} 处理差异显著(图 1)。

2.2 接种 AMF 对白三叶草生长的影响

三叶草生长 1 个月后,接种处理植株长势明显好于不接种处理,而各个接种处理之间差异不显著;收获时发现接种处理须根明显多于不接种处理。表 1 表明菌根真菌的侵染显著促进了三叶草的生长,接种处理无论

是地下部分还是地上部分的生物量均显著高于不接种处理。接种 M_{nk} 对三叶草的地下部分促进生长作用优于接种 M_{npk}、M_{ck}、M_{pk},接种 M_{nk} 处理根系部分生物量几乎达到不接种处理的 2 倍。接种 M_{1/2om} 对地上部分的促生作用优于接种 M_{npk}、M_{ck},接种 M_{1/2om} 处理地上部分生物量可达不接种处理的 2 倍以上。接种 M_{nk} 对植物

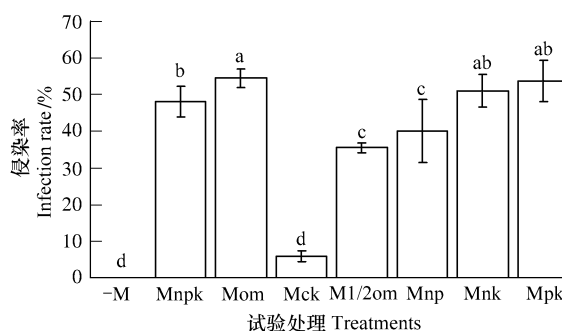


图 1 不同处理菌根的侵染率

Fig. 1 Infection rate in different treatments

注:图中数据为 4 次重复的平均值 ± 标准差,标注不同字母表示在 5% 水平差异显著

整体的生长明显优于接种 M_{npk} 和 M_{pk} , 其单株生物量可达不接种处理的 2 倍。除接种 M_{nk} 处理外, 其它接种处理植株根冠比均显著低于不接种处理。

表 1 不同处理下白三叶草的生物量和根冠比

Table 1 White clover biomass and root shoot ratio of different treatments

接种处理 Treatments	生物量 Biomass / (g/pot)		每株重量 Dry weight / (g/plant)	根冠比 Root/shoot
	地下部分 Root	地上部分 Shoot		
- M	0.42 ± 0.01c	1.12 ± 0.19c	0.128 ± 0.017d	0.392 ± 0.056a
+ M_{npk}	0.58 ± 0.04b	1.95 ± 0.25b	0.211 ± 0.024c	0.302 ± 0.021b
+ M_{om}	0.67 ± 0.05ab	2.14 ± 0.26ab	0.234 ± 0.031abc	0.313 ± 0.017b
+ M_{ck}	0.65 ± 0.05b	1.94 ± 0.11b	0.216 ± 0.013abc	0.334 ± 0.013b
+ $M_{1/2om}$	0.71 ± 0.09ab	2.31 ± 0.14a	0.252 ± 0.025ab	0.307 ± 0.058b
+ M_{np}	0.73 ± 0.07ab	2.30 ± 0.10ab	0.252 ± 0.011ab	0.318 ± 0.027b
+ M_{nk}	0.81 ± 0.02a	2.24 ± 0.17ab	0.254 ± 0.025a	0.358 ± 0.035ab
+ M_{pk}	0.60 ± 0.08b	1.97 ± 0.20ab	0.214 ± 0.016bc	0.305 ± 0.054b

表中数据为 4 次重复的平均值 ± 标准差, 同一列中数值标注不同字母表示在 5% 水平差异显著, 下同

2.3 接种 AMF 对白三叶草吸收 P 的影响

由表 2 可以看出, 接种 M_{npk} 、 M_{om} 、 $M_{1/2om}$ 显著提高了植株地上和地下部分 P 含量。接种 M_{ck} 处理仅地上部分 P 含量显著高于不接种处理, 接种 M_{pk} 处理仅地下部分 P 含量显著高于不接种处理。接种显著增加了植株地上和地下部分 P 吸收量。接种 M_{om} 、 $M_{1/2om}$ 处理地下部分 P 吸收量显著高于接种 M_{ck} 、 M_{nk} 处理; 接种 M_{om} 、 $M_{1/2om}$ 处理的地上部分和整株 P 吸收量均显著高于接种 M_{npk} 、 M_{ck} 、 M_{np} 、 M_{nk} 、 M_{pk} 处理。可见, 不同来源的 AMF 群落对 P 的吸收存在一定的差别, 接种处理总 P 吸收量可达不接种处理的 1.8—2.6 倍。

表 2 不同处理三叶草植株 P 含量和吸收量

Table 2 P concentration and uptake of clover shoots and roots under different treatments

接种处理 Treatments	P 含量 P concentration / (mg/g)		P 吸收量 P uptake / (mg/pot)		
	地下部分 Root	地上部分 Shoot	地下部分 Root	地上部分 Shoot	总量 Total
- M	1.59 ± 0.51c	1.72 ± 0.05c	0.65 ± 0.08c	1.96 ± 0.17c	2.61 ± 0.09c
+ M_{npk}	2.25 ± 0.30a	2.12 ± 0.13a	1.31 ± 0.11ab	4.10 ± 0.17b	5.41 ± 0.22b
+ M_{om}	2.33 ± 0.25a	2.37 ± 0.14a	1.55 ± 0.19a	5.05 ± 0.47a	6.60 ± 0.65a
+ M_{ck}	1.59 ± 0.17c	2.10 ± 0.18ab	1.04 ± 0.14b	4.06 ± 0.11b	5.10 ± 0.20b
+ $M_{1/2om}$	2.15 ± 0.43ab	2.23 ± 0.32a	1.55 ± 0.56a	5.17 ± 0.87a	6.72 ± 0.25a
+ M_{np}	1.77 ± 0.24bc	1.58 ± 0.20c	1.30 ± 0.23ab	3.63 ± 0.40b	4.93 ± 0.26b
+ M_{nk}	1.43 ± 0.17c	1.60 ± 0.28c	1.15 ± 0.18b	3.58 ± 0.48b	4.73 ± 0.71b
+ M_{pk}	2.33 ± 0.24a	1.74 ± 0.01bc	1.37 ± 0.07ab	3.45 ± 0.14b	4.82 ± 0.19b

2.4 接种 AMF 对白三叶草吸收 N 的影响

由表 3 可以看出, 除接种 M_{npk} 处理外, 接种显著降低了植株地下部分 N 含量; 同时, 接种 M_{nk} 处理地下部分 N 含量显著低于接种 M_{npk} 、 M_{om} 、 M_{pk} 处理。接种处理也降低了植株地上部分 N 含量, 最高可降低 29%; 除接种 M_{pk} 处理外, 接种处理与不接种处理地上部分 N 含量差异显著, 且接种 M_{pk} 处理与接种 M_{nk} 处理差异显著。从植株地下部分 N 吸收量来看, 接种 M_{om} 、 $M_{1/2om}$ 、 M_{np} 、 M_{nk} 处理高于不接种处理, 差异显著; 接种 M_{nk} 处理显著高出接种 M_{ck} 、 M_{pk} 处理 26% 以上。整株吸 N 量与地上部分表现一致, 接种处理均显著高于不接种处理, 而接种处理之间无显著差异。接种处理地上部分含 N 量最高可高出接种处理 56%, 整体含 N 可高出 55%。

2.5 接种 AMF 对白三叶草吸收 K 的影响

由表 4 可以看出, 接种 M_{npk} 、 M_{om} 、 M_{np} 、 M_{pk} 处理地下部分 K 含量显著高于不接种处理, 且接种 M_{pk} 处理显著高于接种 M_{ck} 、 M_{nk} 处理; 接种 M_{npk} 、 M_{nk} 地上部分 K 含量显著高出接种处理 14% 和 16%。从植株 K 吸收

量来看,无论是地下部分、地上部分,还是植株整体,接种处理均显著高于不接种处理,而各接种处理间差异不显著。

表 3 不同处理三叶草植株 N 含量和吸收量

Table 3 N concentration and uptake of clover shoots and roots under different treatments

接种处理 Treatments	N 含量 N concentration / (mg/g)		N 吸收量 N uptake / (mg/pot)		
	地下部分 Root	地上部分 Shoot	地下部分 Root	地上部分 Shoot	总量 Total
- M	35.8 ± 4.8a	48.0 ± 7.6a	16.0 ± 1.5c	54.3 ± 3.0b	70.3 ± 7.1b
+ M _{npk}	34.1 ± 2.5ab	40.3 ± 3.9bc	19.9 ± 0.7abc	78.8 ± 5.2a	98.7 ± 6.0a
+ M _{om}	32.4 ± 0.8bc	38.5 ± 1.4bc	21.7 ± 3.2ab	79.7 ± 8.4a	100.3 ± 11.2a
+ M _{ck}	28.8 ± 1.5de	40.3 ± 1.8bc	18.7 ± 1.7bc	78.2 ± 4.1a	96.9 ± 4.4a
+ M _{1/2om}	29.3 ± 0.4cde	38.0 ± 2.1bc	20.8 ± 2.9ab	87.6 ± 7.5a	108.5 ± 10.5a
+ M _{np}	28.7 ± 1.5de	36.9 ± 1.8bc	21.0 ± 2.4ab	84.7 ± 1.8a	105.7 ± 4.1a
+ M _{nk}	27.4 ± 1.0e	34.3 ± 1.4c	23.6 ± 1.6a	77.0 ± 3.9a	94.6 ± 2.3a
+ M _{pk}	31.3 ± 2.4bcd	41.9 ± 2.7ab	18.7 ± 2.6bc	82.3 ± 4.5a	101.0 ± 6.9a

表 4 不同处理三叶草植株 K 浓度和吸收量

Table 4 K concentration and uptake of clover shoots and roots under different treatments

接种处理 Treatments	K 含量 K concentration / (mg/g)		K 吸收量 K uptake / (mg/pot)		
	地下部分 Root	地上部分 Shoot	地下部分 Root	地上部分 Shoot	总量 Total
- M	18.9 ± 2.6c	27.4 ± 2.0b	8.2 ± 0.5b	31.3 ± 2.9b	39.5 ± 3.8b
+ M _{npk}	23.0 ± 1.7ab	31.3 ± 1.1a	13.4 ± 0.7a	61.0 ± 3.0a	74.4 ± 7.1a
+ M _{om}	24.1 ± 2.3ab	30.5 ± 2.7ab	16.0 ± 1.8a	65.1 ± 1.0a	81.1 ± 8.8a
+ M _{ck}	21.6 ± 1.6bc	30.6 ± 1.5ab	14.0 ± 1.6a	59.4 ± 3.7a	73.5 ± 4.9a
+ M _{1/2om}	22.4 ± 2.4abc	26.5 ± 0.1b	15.9 ± 0.3a	61.0 ± 5.3a	77.2 ± 5.6a
+ M _{np}	23.5 ± 2.2ab	29.9 ± 2.9ab	17.2 ± 0.5a	68.4 ± 3.7a	85.6 ± 3.4a
+ M _{nk}	19.7 ± 1.3c	31.9 ± 2.8a	15.9 ± 0.6a	71.5 ± 6.3a	87.4 ± 8.8a
+ M _{pk}	25.1 ± 2.1a	29.0 ± 2.3ab	14.9 ± 0.9a	57.5 ± 5.5a	73.2 ± 7.2a

2.6 接种 AMF 对白三叶草微量元素 Cu、Zn、Mn 含量的影响

由表 5 可以看出,各处理间植株地下部分微量元素 Cu 含量差异性较大;接种 M_{om}、M_{ck} 处理较不接种处理分别低了 54% 和 63%, 差异显著;其它接种处理均显著高于不接种处理,接种 M_{np} 处理 Cu 含量最高且高出接种处理 166%。从植株地上部分 Cu 含量来看,接种 M_{pk} 处理显著高于不接种处理 80% 以上;其它接种处理均较不接种处理 Cu 含量低,且差异显著,最低仅为不接种的 50% 左右;接种处理间也存在一定的差异显著性。

表 5 不同处理三叶草植株 Cu、Zn、Mn 含量

Table 5 Cu, Zn, Mn concentration of clover shoots and roots under different treatments

接种处理 Treatments	Cu 含量		Zn 含量		Mn 含量	
	Cu concentration / (mg/g)		Zn concentration / (mg/g)		Mn concentration / (mg/g)	
	地下部分 Root	地上部分 Shoot	地下部分 Root	地上部分 Shoot	地下部分 Root	地上部分 Shoot
- M	31.8 ± 4.1e	3.5 ± 0.7b	82.2 ± 6.6c	14.6 ± 5.6bc	102.7 ± 3.2b	69.2 ± 1.9a
+ M _{npk}	78.5 ± 10.5ab	1.7 ± 0.2e	140.8 ± 11.6b	19.4 ± 2.2ab	65.2 ± 1.0e	61.4 ± 5.5ab
+ M _{om}	14.5 ± 2.4f	2.7 ± 0.0c	94.0 ± 7.6c	15.0 ± 4.4b	79.9 ± 4.6d	59.1 ± 5.5b
+ M _{ck}	11.8 ± 0.8f	2.4 ± 0.4cd	76.1 ± 8.4c	18.5 ± 5.6ab	92.5 ± 4.0c	68.2 ± 8.0a
+ M _{1/2om}	53.4 ± 6.4d	2.5 ± 0.2cd	139.0 ± 18.8b	15.2 ± 1.4ab	127.7 ± 9.3a	65.4 ± 11.3ab
+ M _{np}	84.7 ± 2.5a	1.8 ± 0.2de	172.8 ± 4.2a	7.8 ± 1.8c	121.3 ± 9.1a	57.5 ± 5.3b
+ M _{nk}	69.7 ± 3.7bc	1.9 ± 0.0cde	142.6 ± 9.5b	14.2 ± 3.4bc	48.5 ± 1.4f	62.2 ± 2.7ab
+ M _{pk}	62.7 ± 7.9cd	6.4 ± 0.5a	134.5 ± 11.2b	23.0 ± 1.7a	67.0 ± 3.0e	57.5 ± 2.4b

除接种 M_{ck} 、 M_{om} 处理外,其它接种处理植株地下部分 Zn 含量均较不接种处理高,最高可高出对照 110%。地上部分 Zn 含量与地下部分表现不一致,仅接种 M_{pk} 处理显著高于对照处理 58%,且与接种 M_{np} 、 M_{om} 处理差异显著,较最低含量接种 M_{np} 处理高出 195%。

接种 $M_{1/2om}$ 和 M_{np} 显著增加植株地下部分 Mn 含量,而接种 M_{npk} 、 M_{om} 、 M_{ck} 、 M_{nk} 、 M_{pk} 显著降低了植株地下部分 Mn 含量。接种 M_{om} 、 M_{np} 、 M_{pk} 处理均显著降低了地上部分 Mn 含量。

3 讨论与结论

AMF 在特定土壤上功能的效应,主要表现在它在此土壤上对宿主植物生长的促进和营养状况的改善能力方面。AMF 的分布和环境因子有密切关系^[8],长期施用化肥使 AMF 群落结构发生了转变;受生态条件的影响,AMF 表现出明显的生物多样性和功能多样性,从而影响到宿主植物。本研究首次提供了长期不同施肥处理对 AMF 群落功能影响植物生长的直接证据。以分离自 18a 施肥处理试验地的 AMF 群落为接种剂,接种处理均显著促进了宿主植物白三叶草的生长和增加对 P、N、K 的吸收,但接种植株对分离自不同施肥试验地的 AMF 群落的生长响应存在差异,说明长期不同土壤肥力环境影响了 AMF 群落的结构,从而影响到 AMF 群落的功能。

侵染率是表示真菌与宿主之间亲和力的重要指标,衡量其生态适应性。接种两种菌根体(分别包括 2 种 AMF 种和 5 种 AMF),试验表明两个接种处理保持了相似的和较高的侵染率,两种接种体有相同的菌根势,生物量没有显著差异^[9]。贺忠群等研究^[10]表明高侵染率的菌根菌对植物生长促进效果优于低侵染菌系,而且侵染率与地上生物量和根系生物量呈显著的正相关。然而本实验中,即使较低的侵染率(分离自 CK 未施肥实验地的 AMF)仍然显著促进了植物的生长和营养吸收,其生物量与分离自施肥实验地的处理没有显著差异,但在养分吸收上存在显著差异。

AMF 群落对三叶草生长以及养分吸收贡献不同,这与真菌种属以及菌丝发育及分布有关。AMF 的功能受真菌种类、宿主种类和土壤生态环境条件等各种因素共同决定。在宿主植物一致的条件下,土壤有效养分极大地影响菌根的机能。两块试验地上以每年施 P 肥 45kg/hm²,5a 后两块试验地的 AM 真菌孢子频度降低了 50% 和 7%;而每年施 P 5kg/hm² 和 15kg/hm²,不会影响到孢子频度^[11]。8a 的施肥改变了 AMF 群落的组成、种属的丰度,施肥土壤 AMF 的菌丝和丛枝较少(从土壤中提供宿主植物较少的无机养分),但孢囊与不施肥土壤一样多(这样提供了存储结构在同一水平);接种分离自施肥试验地的 AMF 较接种分离自未施肥试验地的 AMF 的大须芒草明显要小、开花较少^[12]。Corkidi^[13] 研究同样证明,N 肥转变了 AMF 的功能,分离自长期不施肥土壤的 AMF 群体效应优于长期施 N 肥的土壤。本研究则发现长期的 NPK 化肥混施试验地较有机质和化肥混施、NP 混施、NK 混施降低了 AMF 群落的效应。

在不同肥力管理下出现不同的优势菌种,在宿主植物生长的不同阶段,有效的 AMF 随时变化,这是受侵染菌株的活跃性的影响^[14],因而对 N、P、K 及其它微量元素的吸收不同。张功等^[15]研究 *Glomus epigeaum*, *Glomus mosseae*, *Glomus caledonium* 三菌种对马铃薯生长的影响表明 3 种 AMF 均可侵染植物,促进植株 N、P 吸收和生长发育,其中 *Glomus mosseae* 接种植株对 P、N 的吸收优于其它接种处理。

由此可见,分离自不同施肥形成的 AMF 群落,形成的 AM 菌根功能不同,因而对植株生长发育的效应也不同。适当的施肥能增加 AMF 群落对寄主的侵染,提高了寄主根系吸收矿质元素等的的能力,不同施肥处理影响到 AM 对寄主吸收不同矿质元素的能力。

References:

- [1] <http://www.chinabgao.com/reports/12029.html>.
- [2] Liu R J, Chen Y L. Mycorrhizology. Beijing: Science Press, 2007.
- [3] Porras-Alfaro A, Herrera J, Natvig D O, Sinsabaugh R L. Effect of long-term nitrogen fertilization on mycorrhizal fungi associated with a dominant grass in a semiarid grassland. Plant Soil, 2007, 296: 65-75.
- [4] Wang M Y, Xu Q, Liu R J. Colonization status of arbuscular mycorrhizal fungi on host plants grown in long-term fixed fertilization field.

- Mycosystema, 2006, 25(1): 131-137.
- [5] Zhang X H, Zhu Y G, Wang Y S, Lin A J, Chen B D, Zhang M Q. Effect of long-term fertilization on the diversity and distribution of arbuscular mycorrhiza fungi in Northeast China. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(9): 3081-3086.
- [6] Phillips J M and Hayman D S. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. Transactions of the British Mycological Society, 1970, 55:158-161.
- [7] Biermann B, Linderman R G. Quantifying vesicular-arbuscular mycorrhizas: a proposed method towards standardization. New Phytol., 1981, 87: 63-67.
- [8] Zhang M Q, Wang Y S, Xing L J. The relationship between the distribution of AM fungi and environmental factors. Mycosystema, 1999, 18(1): 25-29.
- [9] Gisela Cuenca, Zita De Andrade, Milagros Lovera, Laurie Fajardo, and Erasmo Meneses. The effect of two arbuscular mycorrhizal inocula of contrasting richness and the same mycorrhizal potential on the growth and survival of wild plant species from La Gran Sabana, Venezuela. Proquest Biology Journals, 2004, 82(5): 582-588.
- [10] He Z Q, He C X, Zhang Z B, Zou Z R, Wang H S. Physiological study of tomato growth effects induced by different arbuscular mycorrhizal fungus strains. Journal of Shenyang Agricultural University, 2006, 37(3): 308-312.
- [11] M rtensson A M and Carlgren K. Impact of phosphorus fertilization on VAM diaspores in two Swedish long-term field experiment. Agric. Ecosyst. Environ, 1994, 47, 327-334.
- [12] Johnson N C. Can fertilization of soil select less mutualistic mycorrhizae? Ecological Application, 1993, 3(4): 749-757.
- [13] Corkidi L, Rowland D L, Johnson N C, Allen E B. Nitrogen fertilization alters the functioning of arbuscular mycorrhizas at two semiarid grassland. Plant and Soil, 2002, 240: 299-310.
- [14] Jansa J, Smith F A and Smith S E. Are there benefits of simultaneous root colonization by different arbuscular mycorrhizal fungi? New Phytologist, 2008, 177: 779-789.
- [15] Zhang G, Wang Q, Zheng R, Wang R J. Effects of different VA Mycorrhizal fungi on the growth of potatoes. Acta Agriculture Borcali-sinica, 2001, 16(4): 115-118.

参考文献:

- [2] 刘润进, 陈应龙. 菌根学. 北京:科学出版社,2007.
- [4] 王森焱,徐倩,刘润进. 长期定位施肥土壤中 AM 真菌对寄主植物的侵染状况. 菌物学报, 2006, 25(1): 131-137.
- [5] 张旭红,朱永官,王幼珊,林爱军,陈保冬,张美庆. 不同施肥处理对丛枝菌根真菌生态分布的影响. 生态学报, 2006, 26(9): 3081-3086.
- [8] 张美庆,王幼珊. 邢礼军. 环境因子和 AM 真菌分布的关系. 菌物系统, 1999, 18(1): 25-29.
- [10] 贺忠群,贺超兴,张志斌,邹志荣,王怀松. 不同丛枝菌根真菌对番茄生长及相关生理因素的影响. 沈阳农业大学学报,2006, 37(3): 308-312.
- [15] 张功,旺庆,峥嵘,王瑞君. 不同 VA 菌根真菌对马铃薯生长的影响. 华北农学报, 2001, 16(4): 115-118.