

# Distribution of Mycorrhizal Fungi in Poplar Communities in Jilin Province

Dawei Zhang<sup>1</sup>, Yifei Zhang<sup>1</sup>, Shuchun Li<sup>2</sup>, Liming Pan<sup>1</sup>, Yanyan Pan<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Jilin Provincial Academy of Forestry Sciences, Changchun Jilin

<sup>2</sup>Tree Seedling Management Station, Forestry Department of Jilin Province, Changchun Jilin

Email: 707769540@qq.com, <sup>1</sup>panyanyan123@126.com

Received: May 8<sup>th</sup>, 2019; accepted: May 22<sup>nd</sup>, 2019; published: May 29<sup>th</sup>, 2019

## Abstract

The species and distribution of mycorrhizal fungi were investigated in 13 natural communities in 7 regions of western Jilin province. 8 mycorrhizal fungi species were found which belong to 3 genera. There were the most abundant species of *Glomus*, 75% of all species. The maximum species richness of mycorrhizal fungi was 5, and the highest frequency of species of *Glomus* was 76.92%. The average infection frequency, infection intensity and spore density of mycorrhizal fungi on poplar roots was 49.44%, 37.59% and 22.08, respectively. There were significant positive correlations among infection frequency, intensity and spore density; the maximum correlation coefficient was 0.863. The results showed that there were abundant mycorrhizal fungi resources in poplar communities in Jilin province, which provided a theoretical basis for further utilization of poplar to improve saline-alkali land.

## Keywords

Mycorrhizal Fungi, *Populus*, Species Richness, Correlation Analysis

# 吉林省杨树群落中菌根真菌资源分布

张大伟<sup>1</sup>, 张义飞<sup>1</sup>, 李树春<sup>2</sup>, 潘丽铭<sup>1</sup>, 潘艳艳<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>吉林省林业科学研究院, 吉林 长春

<sup>2</sup>吉林省林木种苗管理站, 吉林 长春

Email: 707769540@qq.com, <sup>1</sup>panyanyan123@126.com

收稿日期: 2019年5月8日; 录用日期: 2019年5月22日; 发布日期: 2019年5月29日

\*通讯作者。

## 摘要

本研究在吉林省西部7个地区13个群落中,调查了杨树菌根真菌的种类和分布,共鉴定出菌根真菌3属8种,其中最多的是球囊霉属,占总种数的75%,在所有调查样点中,菌根真菌物种丰富度最大值为5,球囊霉属物种出现的频度最高为76.92%,各样点菌根真菌对杨树根系的侵染频率平均值为49.44%,侵染强度平均值为37.59%,孢子密度平均值为22.08,各样点菌根真菌侵染频率、侵染强度与孢子密度三者之间均呈极显著正相关,相关系数最大值为0.863。结果表明在吉林省西部杨树群落中存在较丰富的菌根真菌资源,为进一步利用杨树改良盐碱地提供理论依据。

## 关键词

菌根真菌, 杨树, 物种丰富度, 相关性分析

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

丛枝菌根真菌是迄今为止发现的广泛分布于土壤中且与植物关系最为密切的微生物之一,能与绝大多数的高等植物形成共生体系[1]。由于地区生存条件的差异,在不同区域的菌根真菌的种类和分布也不同,能够表现出地域和生境差异,从而形成丰富的种质资源[2] [3]。在不同生境中,菌根真菌的物种丰富度、孢子密度、侵染频度以及侵染强度也不同。菌根真菌的资源分布不仅受宿主植物影响外,还受到气候、土壤等环境因子的影响[4] [5]。近年来,AM真菌在盐碱地、荒漠土地、退化草地、以及工业污染区等生境中的分布问题已成为研究热点[6]。了解菌根真菌的资源分布,利用菌根真菌修复退化生态系统[7],具有较高的应用价值,是进一步开发利用菌根真菌的基础。

吉林省西部由于过度开垦放牧,加上全球气候变暖等因素的影响,生态系统退化严重,主要表现为不同程度的盐碱化[8]。由于杨树具有较强的适应性,是吉林省西部造林绿化的主要树种,杨树菌根资源丰富,是菌根营养型树种[9]。本研究开展吉林西部杨树菌根真菌资源调查,了解侵染杨树根系的AM真菌种类和分布,为进一步利用杨树改良盐碱地提供理论依据。

## 2. 材料与方法

### 2.1. 采样地点

本次实验开始于2017年9月,对吉林省西部7个地区13个群落(见表1)进行调查研究,按林龄对所调查的群落进行划分,包括长春市农安县开安镇成过熟林、长春市农安县开安镇中幼龄林、长春市农安县哈拉海镇成过熟林、长春市农安县哈拉海镇中幼龄林、松原市长岭县中幼龄林、松原市前郭县王府站镇中幼龄林、松原市前郭县王府站镇成过熟林、松原市长山镇中幼龄林、松原市长山镇成过熟林、大安市中幼龄林、大安市成过熟林、大安市舍力镇成过熟林和大安市舍力镇中幼龄林。

### 2.2. 采样方法

对当地具有代表性的杨树群落进行调查,按照25 cm × 25 cm的取样面积,移除羊草地上部分后,去

掉表层土 2 cm, 根系和土壤利用撬挖深 20~30 cm, 取土约 2 Kg, 装入已经准备好的取样袋中, 袋上标明采样时间、地点、周围环境同时注明采样人员。为了将取得的新鲜杨树根系带回实验室进行实验, 需将其立即置于配好的福尔马林: 冰醋酸: 酒精(FAA 固定液)中, 样品确保 3 次重复。

**Table 1.** The information of sites where mycorrhizal fungi resources was investigated in rhizosphere of *Populus*

**表 1.** 杨树根际土壤菌根真菌资源调查地点基础情况

市区	地点	群落	经纬度
长春	农安县开安镇	杨树成过熟林	44°17'N, 125°19'E
长春	农安县开安镇	杨树中幼龄林	44°17'N, 125°19'E
长春	农安县哈拉海镇	杨树成过熟林	44°64'N, 125°12'E
长春	农安县哈拉海镇	杨树中幼龄林	44°64'N, 125°12'E
松原	长岭县八十八乡	杨树中幼龄林	44°85'N, 125°02'E
松原	前郭县王府站镇	杨树中幼龄林	44°86'N, 124°51'E
松原	前郭县王府站镇	杨树成过熟林	44°86'N, 124°51'E
松原	前郭县长山镇	杨树中幼龄林	45°29'N, 124°50'E
松原	前郭县长山镇	杨树成过熟林	45°29'N, 124°24'E
大安	大安市区	杨树中幼龄林	45°49'N, 124°25'E
大安	大安市区	杨树成过熟林	45°55'N, 123°33'E
大安	舍力镇	杨树成过熟林	45°55'N, 123°32'E
大安	舍力镇	杨树中幼龄林	44°29'N, 123°46'E

## 2.3. 样品处理

### 2.3.1. AMF 孢子分类及计数

AM 孢子进行分离采用湿筛倾析 - 蔗糖离心法[10]。利用四分法称取 100 g 土样, 放入准备好的烧杯中加水进行搅拌, 然后浸泡 30 min, 分别过 0.8 mm, 0.25 mm 和 0.05 mm 的筛子, 将筛出物装入离心管中, 转速调至 3000 r/min, 离心 3 min, 去掉上清液, 加入 50%的蔗糖溶液搅匀, 同样转速调至 3000 r/min 离心 1.5 min。把上清液过 0.05 mm 筛子后获得孢子。得到的孢子在体视显微镜下于培养皿内分格计数, 测定孢子密度(SD, spore density)和物种丰度(SR, species richness)。

孢子密度: 采用每 100 g 观测土样内 AM 真菌孢子总数。

$SD = AM \text{ 真菌所有物种的孢子总数} / 100g \text{ 土壤}$

物种丰富度: 即统计某样点 100 g 土壤中含有的 AM 真菌物种的数目

$SR = AM \text{ 真菌所有物种的数目}$

在体视显微镜下先观察并记录孢子的大小、颜色、连孢菌丝特征等。再用移液枪挑取孢子放置于载玻片上, 用 PVLG、PVLG 和 Melzer 试剂制成标本, 根据孢子的大小、颜色、类型、厚度、内含物性质等特征, 并参考 Schenck 和 Perez [11]的“VA 菌根真菌鉴定手册”, 以及国际丛枝菌根真菌保藏中心(INVAM)网站上提供的鉴定图片对 AMF 进行鉴定, 按照 Morton 和 Redecker [12]的分类系统对 AMF 进行鉴定分类。

### 2.3.2. 杨树根系透明、染色和侵染情况

对杨树根系采用 KOH 透明 - 乳酸甘油酸性品红染色法进行染色[12]。首先将选出的根系切成 1~2 cm 的根段, 蒸馏水冲洗 5 次, 将根段放入 10% KOH 溶液中, 溶液完全淹没根段, 放置于 90°C 水浴锅中 60 min, 蒸馏水冲洗 5 次, 放入碱性双氧水(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)中软化 20 min 后, 用清水清洗干净, 放入 2%的盐酸(HCl)

中酸化 4 min, 盐酸倒出, 加入配置好的酸性品红溶液(85%乳酸 500 ml + 甘油 500 ml + 水 500 ml + 酸性品红 0.75 g), 然后在 90℃水浴锅中继续染色 30 min。取出样根, 放在乳酸甘油溶液(1:1)中浸泡脱色。将根样从乳酸甘油溶液中取出进行压片, 每个样品随机选取 50 条根段, 在显微镜下观察每条根的侵染长度(以 mm 记录), 并记录侵染根段数和总根段数。按照公式计算侵染频率(Colonization Rate, CR %)和侵染强度(Infection Intensity, II %), 如下:

$$\text{侵染频率} = (\text{侵染根段数} / \text{总根段数}) \times 100$$

$$\text{侵染强度} = (\text{侵染根长} / \text{总根长}) \times 100$$

## 2.4. 分析方法

数据使用 SPSS 19.0 进行处理, 同时利用线性回归法, 分析了侵染频率、侵染强度与孢子密度三者之间的关系。

## 3. 结果与分析

### 3.1. 杨树 AM 真菌种源分布

通过对吉林省西部 7 个地区 13 个群落中杨树林进行根际丛枝菌根真菌资源调查, 初步了解了该地区杨树 AM 真菌的种类, 结果见表 2。共鉴定出 AM 真菌 3 属 8 种, 其中球囊霉属(*Glomus*) 6 种, 球囊霉属包括聚生球囊霉(*G. fasciculatum*)、聚丛球囊霉(*G. aggregatum*)、摩西球囊霉(*G. mossea*)、近明球囊霉(*G. claroideum*)、地球囊霉(*G. geosporum*)、微丛球囊霉(*G. microaggregatum*), 占总种数的 75%; 无梗囊霉属(*Acaulospora*) 1 种, 为光壁无梗囊霉(*A. laevis*), 占总种数的 12.5%; 类球囊霉属(*Paraglomus*) 1 种, 为隐类球囊霉(*P. occultum*), 占总种数的 12.5%。在所有调查样点中, AM 真菌物种丰富度最小值为 1, 出现在地块 2(农安县开安镇中幼龄林)中; 最大值为 5, 出现在地块 3(农安县哈拉海镇成过熟林)中。在所有鉴定出的杨树根际土壤的 AM 真菌中, 球囊霉属物种出现的频度最高, 其中聚生球囊霉在 10 个调查样点中出现, 频度达到 76.92%, 其次是聚丛球囊霉和摩西球囊霉, 出现频度均为 46.15%, 双型球囊霉的出现频度最低, 仅为 7.69%(见表 2)。

**Table 2.** The resources and distribution of AM fungi in *Populus*

**表 2.** 杨树土壤 AM 真菌资源及地区分布

属名 Genus	学名 Latin name	调查地点 Investigation sites													频度 Frequency (%)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
球囊霉 ( <i>Glomus</i> )	聚生球囊霉( <i>G. fasciculatum</i> )	+	+	+	+		+	+	+	+		+	+		76.92%
	聚丛球囊霉( <i>G. aggregatum</i> )			+		+	+		+	+			+		46.15%
	摩西球囊霉( <i>G. mossea</i> )			+	+	+			+	+				+	46.15%
	近明球囊霉( <i>G. claroideum</i> )					+			+		+		+	+	38.46%
	微丛球囊霉 ( <i>G. microaggregatum</i> )			+							+				15.38%
	地球囊霉( <i>G. geosporum</i> )	+		+											15.38%
无梗囊霉属 ( <i>Acaulospora</i> )	光壁无梗囊霉( <i>A. laevis</i> )							+			+			15.38%	
类球囊霉属 ( <i>Paraglomus</i> )	隐类球囊霉( <i>P. occultum</i> )													+	7.69%
物种丰富度 Species richness		2	1	5	2	3	2	2	4	3	3	2	2	3	

### 3.2. 杨树 AM 真菌侵染情况及影响因素

在所调查的杨树群落中, 各样点 AM 真菌对杨树根系的侵染频率范围为 30.00%~71.33%, 平均值为 49.44%, 侵染强度范围为 9.33%~50.67%, 平均值为 37.59%, 孢子密度范围为 12.33%~35.33%, 平均值为 22.08 (见表 3)。

**Table 3.** The resources and distribution of AM fungi in rhizosphere of *Populus*

**表 3.** 各调查地点杨树根系侵染频度、侵染强度和孢子密度

地点	侵染频率 Colonization Rate CR (%)	侵染强度 Infection Intensity II (%)	孢子密度 Spore Density SD (No./100g soil)
1	30.00 ± 2.00	22.00 ± 2.00	12.33 ± 0.58
2	33.33 ± 1.16	14.673 ± 1.16	21.33 ± 0.58
3	50.00 ± 2.00	34.00 ± 4.00	16.67 ± 0.58
4	42.67 ± 1.16	29.33 ± 1.16	23.00 ± 1.00
5	49.33 ± 3.01	38.00 ± 2.00	22.67 ± 0.58
6	42.00 ± 2.00	9.33 ± 1.16	22.67 ± 0.58
7	42.67 ± 1.16	30.67 ± 1.16	9.00 ± 1.00
8	52.67 ± 1.16	42.00 ± 2.00	24.33 ± 0.58
9	48.00 ± 2.00	42.67 ± 1.16	17.67 ± 0.58
10	71.33 ± 2.31	50.00 ± 2.00	35.33 ± 0.58
11	63.33 ± 1.16	50.67 ± 1.16	28.00 ± 1.00
12	65.33 ± 4.16	48.00 ± 2.00	30.00 ± 1.00
13	52.00 ± 2.00	47.33 ± 3.06	24.00 ± 1.00
总计	49.44 ± 11.83	37.59 ± 10.92	22.08 ± 6.91

### 3.3. 杨树 AM 真菌侵染情况相关性分析

在所调查的杨树群落中, 各样点 AM 真菌侵染频率、侵染强度与孢子密度三者之间均呈极显著正相关, 相关系数最大值为 0.863 (侵染频率与侵染强度), 即 AM 菌侵染的杨树根系数量越多, 其在每条根上侵染的长度越长(见表 4)。

**Table 4.** Correlation coefficients among infection frequency, intensity and spore density in rhizosphere of *Populus*

**表 4.** 各调查地点杨树根系侵染频度、侵染强度和孢子密度相关性分析

性状	侵染频率	侵染强度
侵染强度	0.863**	
孢子密度	0.764**	0.634**

\*\*在 0.01 水平(双侧)上显著相关。

## 4. 讨论

自然界中, 广泛存在着 AM 真菌与高等植物的共生关系[13]。AM 真菌属于专性共生真菌, 宿主植物的多样性在一定程度上决定 AM 真菌的多样性[14], 不同宿主植物根围的 AM 真菌组成和数量不同。

杨树是一种内外生菌根植物, AM 真菌的共生能够在杨树的苗期发挥重要作用, 为后期杨树的健康生长奠定基础, 同时也有研究发现 AM 真菌的共生能够促进杨树生长和营养吸收[15]。

我国对 AM 真菌的研究从 20 世纪 80 年代开始。已报道发现了 7 属 99 种 AM 真菌[16]。张美庆[17]、王幼珊[18]等进行了以北方、东南沿海和西南、华中等地区为主的全国范围的丛枝菌根调查, 已报道 AM 真菌 51 种, 内含一个新种, 13 个国内新纪录种。

根据孢子的大小、颜色、类型、厚度、内含物性质等特征为主要依据, 并参考“VA 菌根真菌鉴定手册”, 以及国际丛枝菌根真菌保藏中心(INVAM)网站上提供的鉴定图片对 AMF 进行鉴定。本研究中, 根据这个方法, 鉴定出 AM 真菌 3 属 8 种, 其中球囊霉属(*Glomus*) 6 种, 无梗囊霉属(*Acaulospora*) 1 种, 类球囊霉属(*Paraglomus*) 1 种。对杨树菌根菌的研究也有很多, 利用同样的方法, 赵忠等[19]在陕西省的杨树中发现外生菌根真菌 11 种。这种鉴定方法要求熟悉鉴定材料, 同时需要对孢子的各项形态特征进行综合分析, 反复比较以减少鉴定误差, 使鉴定结果较为准确可靠。

对吉林省西部 7 个地区 13 个群落杨树根围 AM 真菌的调查, 发现在吉林省西部盐碱化土壤中存在较丰富的 AM 真菌资源, 侵染率很高, 根围土壤中的孢子密度大。在所有鉴定出的杨树根际土壤的 AM 真菌中, 球囊霉属物种出现的频度最高, 其中聚生球囊霉(*G. fasciculatum*)在 10 个调查样点中均出现, 频度达到 76.92%, 可能为此地区的优势菌种, 这与王桂君[20]对吉林省西部盐碱化羊草草原的研究结果一致。王发园等[21]在黄河三角洲盐碱土壤中丛枝菌根真菌的资源状况中也有同样的结论, 共分离鉴定出 32 种菌根真菌, 其中球囊霉属(*Glomus*)有 24 种。而刘润进等[22]对我国盐碱土壤中丛枝菌根菌的种属进行了研究, 结果发现盐渍化砂土、壤土和粘土中存在大量的 AM 真菌, 球囊霉属(*Glomus*)中的摩西球囊霉(*G. mosseae*)则是分布最为广泛的菌种。摩西球囊霉在本地区数量也较多, 一些研究证明摩西球囊霉是重度盐土中最优势的物种[23] [24], 并且地球囊霉也是重度退化地区的优势种[25] [26]。

土壤中 AM 真菌孢子的多少对菌化植物的形成意义重大, 本研究表明, 各个调查样点的孢子密度变化较大, 孢子密度范围为 12.33%~35.33%, 因此, 强烈的土壤干扰和侵蚀可能是影响 AM 真菌繁殖体数量的主要原因之一。通过相关性分析发现, AM 真菌对杨树根系的侵染频率和侵染强度在各个调查样点间变化较大。各样点 AM 真菌侵染频率、侵染强度与孢子密度三者之间均呈极显著正相关, 即 AM 菌侵染的杨树根系数量越多, 其在每条根上侵染的长度越长。不同 AM 真菌对相同植物的侵染率不同[27], 这说明植物和 AM 真菌的亲和性影响侵染速度[28], 也与根系生长的土壤条件和环境因子有很大关系[29]。已有研究表明植物对营养元素的选择性吸收受 AM 真菌的影响, 但是植物的生长还与盐碱胁迫有关[30] [31], 在重度盐碱化草地植被恢复中, 只有耐盐能力强的 AM 菌种才能发挥积极作用[32]。

## 基金项目

吉林省公益性行业科研专项促进杨树生长的菌根化造林技术研究; 十三五项目: 东北苏打盐碱地生态治理关键技术研发与集成示范。

## 参考文献

- [1] Mangan, S.A., Eom, A.H., Adler, G.H., *et al.* (2004) Diversity of Arbuscular Mycorrhizal Fungi across a Fragmented Forest in Panama: Insular Spore Communities Differ from Mainland Communities. *Oecologia*, **141**, 687-700. <https://doi.org/10.1007/s00442-004-1684-2>
- [2] Jansa, J., Mozafar, A., Anken, T., *et al.* (2002) Diversity and Structure of AMF Communities as Affected by Tillage in a Temperate Soil. *Mycorrhiza*, **12**, 225-234. <https://doi.org/10.1007/s00572-002-0163-z>
- [3] Lugo, M.A. and Cabello, M.N. (2002) Native Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) from Mountain Grassland (Cordoba, Argentina) I. Seasonal Variation of Fungal Spore Diversity. *Mycologia*, **94**, 579-586. <https://doi.org/10.1080/15572536.2003.11833186>

- [4] Entry, J.A., Fuhrmann, J.J., Sojka, R.E., *et al.* (2004) Influence of Irrigated Agriculture on Soil Carbon and Microbial Community Structure. *Environmental Management*, **33**, S363-S373. <https://doi.org/10.1007/s00267-003-9145-y>
- [5] Nilsson, L.O., Giesler, R., Bååth, E., *et al.* (2005) Growth and Biomass of Mycorrhizal Mycelia in Coniferous Forests along Short Natural Nutrient Gradient. *New Phytologist*, **165**, 613-622. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2004.01223.x>
- [6] Greipsson, S. and El-Mayas, H. (2000) Arbuscular Mycorrhizae of *Leymus arenarius* on Coastal Sands and Reclamation Sites in Iceland and Response to Inoculation. *Restoration Ecology*, **8**, 144-150. <https://doi.org/10.1046/j.1526-100x.2000.80021.x>
- [7] Kiers, E.T., Lovelock, C.E., Krueger, E.L., *et al.* (2000) Differential Effects of Tropical Arbuscular Mycorrhizal Fungal Inocula on Root Colonization and Tree Seedling Growth: Implications for Tropical Forest Diversity. *Ecology Letters*, **3**, 106-113. <https://doi.org/10.1046/j.1461-0248.2000.00126.x>
- [8] 张义飞, 毕琪, 杨允菲, 等. 松嫩平原盐碱化羊草群落中 AM 真菌物种资源及侵染率研究[J]. 草业学报, 2015(9): 80-88.
- [9] 安迎锋. 杨树苗木菌根化的研究[D]: [硕士学位论文]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2002.
- [10] 盛敏, 唐明, 张峰峰, 等. 土壤因子对甘肃、宁夏和内蒙古盐碱土中 AM 真菌的影响[J]. 生物多样性, 2011, 19(1): 85-92.
- [11] Schenck, N.C. and Perez, Y. (1988) Manual for Identification of Vesicular Arbuscular Mycorrhizal Fungi. University of Florida, Gainesville.
- [12] 张美庆, 王幼珊, 刑礼军. AM 真菌在我国东南沿海地区各土壤气候带的分布[J]. 菌物系统, 1999, 18(2): 145-148.
- [13] Rabie, G.H. (2005) Influence of Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Kinetin on the Response of Mungbean Plants to Irrigation with Seawater. *Mycorrhiza*, **15**, 225-230. <https://doi.org/10.1007/s00572-004-0345-y>
- [14] Chaturvedi, S., Tewari, V., Sharma, S., *et al.* (2012) Diversity of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Oak-Pine Forests and Agricultural Land Prevalent in the Kumaon Himalayan Hills, Uttarakhand, India. *British Microbiology Research Journal*, **2**, 82-96. <https://doi.org/10.9734/BMRJ/2012/1136>
- [15] 赵忠, 马刊欣, 段安安. 毛白杨 VA 菌根与外生菌根关系的研究[J]. 林业科学, 1994, 30(2): 111-116.
- [16] Bhaskaran, C. and Selvaraj, T. (1997) Seasonal Incidence and Distribution of VA-Mycorrhizal Fungi in Native Saline Soils. *Journal of Environmental Biology*, **18**, 209-212.
- [17] 张美庆, 王幼珊, 黄磊. 我国北部的八种 VA 菌根真菌[J]. 菌物学报, 1992, 11(4): 258-267.
- [18] 王幼珊, 张美庆. 我国北部的七种 VA 菌根真菌[J]. 真菌学报, 1991, 10(1): 13-21.
- [19] 赵忠, 马刊欣, 段安安. 毛白杨外生菌根类型及其生态学特性的研究[J]. 林业科学, 1993, 29(1): 12-18.
- [20] 王桂君. 吉林省西部盐碱化羊草草原的丛枝菌根共生多样性[D]: [硕士学位论文]. 哈尔滨: 东北师范大学, 2005.
- [21] 王发园, 刘润进. 黄河三角洲盐碱地的丛枝菌根真菌[J]. 菌物学报, 2002, 21(2): 196-202.
- [22] 刘润进, 刘鹏起. 中国盐碱土壤中 AM 菌的生态分布[J]. 应用生态学报, 1999, 10(6): 721-724.
- [23] Al-Karaki, G.N., Hammad, R. and Rusan, M. (2001) Response of Two Tomato Cultivars Differing in Salt Tolerance to Inoculation with Mycorrhizal Fungi under Salt Stress. *Mycorrhiza*, **11**, 43-47. <https://doi.org/10.1007/s005720100098>
- [24] Thrall, P.H., Bever, J.D. and Slattery, J.F. (2008) Rhizobial Mediation of Acacia, Adaptation to Soil Salinity: Evidence of Underlying Trade-Offs and Tests of Expected Patterns. *Journal of Ecology*, **96**, 746-755. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2008.01381.x>
- [25] 刘润进, 刘鹏起, 徐坤, 等. 中国盐碱土壤中 AM 菌的生态分布[J]. 应用生态学报, 1999, 10(6): 721-724.
- [26] Carvalho, L.M., Caçador, I. and Martinsloução, M. (2001) Temporal and Spatial Variation of Arbuscular Mycorrhizas in Salt Marsh Plants of the Tagus Estuary (Portugal). *Mycorrhiza*, **11**, 303. <https://doi.org/10.1007/s00572-001-0137-6>
- [27] Smith, F.A. and Smith, S.E. (1996) Mutualism and Parasitism: Diversity in Function and Structure in the "Arbuscular" (VA) Mycorrhizal Symbiosis. *Advances in Botanical Research*, **22**, 1-43. [https://doi.org/10.1016/S0065-2296\(08\)60055-5](https://doi.org/10.1016/S0065-2296(08)60055-5)
- [28] 盖京苹, 刘润进. 土壤因子对野生植物 AM 真菌的影响[J]. 应用生态学报, 2003, 14(3): 470-472.
- [29] 张英, 郭良栋, 刘润进. 都江堰地区丛枝菌根真菌多样性与生态研究[J]. 植物生态学报, 2003, 27(4): 537-544.
- [30] 冯固, 李晓林, 张福锁, 等. 施磷和接种 AM 真菌对玉米耐盐性的影响[J]. 植物资源与环境学报, 2000, 9(2): 22-26.
- [31] Sheng, M., Tang, M., Chen, H., *et al.* (2009) Influence of Arbuscular Mycorrhizae on the Root System of Maize Plants under Salt Stress. *Canadian Journal of Microbiology*, **55**, 879-886. <https://doi.org/10.1139/W09-031>

- 
- [32] Zhang, Y.F., Wang, P., Yang, Y.F., *et al.* (2011) Arbuscular Mycorrhizal Fungi Improve Reestablishment of *Leymus chinensis* in Bare Saline-Alkaline Soil: Implication on Vegetation Restoration of Extremely Degraded Land. *Journal of Arid Environments*, **75**, 773-778. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2011.04.008>

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2168-5665, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [br@hanspub.org](mailto:br@hanspub.org)