

针阔混交林和人参撂荒地土壤中 AM 真菌孢子种类和组成的比较研究

[摘要]: 长白山位于吉林省东南部地区,是我国人参种植的主产区。人参地通常是由当地的针阔混交林开垦来的,而且种植人参后就被撂荒,对当地的森林系统产生了严重影响。为了明确人参撂荒地恢复演替过程中的 AM 真菌种类组成和多样性的变化,本文以撂荒 5 年和 7 年的人参地以及针阔混交林土壤中的 AM 真菌孢子为研究对象,采用蔗糖密度梯度离心的方法提取 AM 真菌孢子,并采用形态学方法对孢子进行分类计数和形态学鉴定。实验中共鉴别得到 AM 真菌孢子 2 属 25 种,AM 真菌的孢子密度表现为 5 年人参撂荒地>7 年人参撂荒地>针阔混交林,但是统计学上没有显著差异;三个样地的共同优势种是地球囊霉(*Geosporum* (Nicol1 & Gerd1) Walker), AM 真菌的多样性指数为 5 年人参撂荒地>7 年人参撂荒地>针阔混交林。本实验的研究结果不但可以为长白山区的 AM 真菌研究提供基础数据,还可以为当地人参撂荒地的生态恢复提供理论依据。

[关键词]: AM 真菌; 物种多样性; 长白山; 人参撂荒地; 针阔混交林

菌根(Mycorrhizae)是土壤真菌与高等植物的根系形成的共生体,其中以丛枝菌根(Arbuscular Mycorrhiza, AM)真菌在自然界中分布最为广泛。它能够与 70%~80%的植物的营养根形成共生关系,获得维持生存的能量物质,并帮助提高宿主植物对土壤氮、磷和水分的吸收,提高植物对疾病的抵抗力和抗逆性,促进宿主植物生长,同时,在其宿主植物根系周围形成庞大菌丝网络和分泌的黏性物质可以改善土壤结构,在植被恢复和生态重建方面发挥着重要作用^[1-2]。AM 真菌的孢子是该类真菌的主要繁殖体,着生于根外菌丝上,孢子大小、形状、颜色及孢壁结构等因种而异,是分类的主要依据。

目前,菌根真菌物种多样性作为菌根学领域的一个研究热点,已取得了较大进展,但对不同生态系统中 AM 真菌物种多样性的了解还不够深入^[3],尤其是对于长白山区的森林生态系统来说,开展的关于 AM 真菌方面的研究并不多。也有学者对长白山区的森林生态系统的土壤真菌和人参地的土壤真菌进行过研究。辽宁师范大学等学者曾对长白山区人参根际土壤真菌多样性进行过研究,为科学

和有效地防治人参病害提供了理论依据^[4-5]；沈阳农业大学等学者曾对长白山自然保护区森林土壤真菌进行分类鉴定，并编写了长白山森林土壤真菌分类鉴定名录，为森林资源管理提供科学依据^[6-7]。虽然有关长白山地区土壤真菌的研究已经较多，但对其土壤的 AM 真菌的研究却相对较少。内蒙古农业大学杨秀丽^[8-9]调查了内蒙古大兴安岭兴安落叶松森林生态系统 AM 真菌多样性状况，旨在从菌根共生学入手研究落叶松森林生态系统植物多样性与菌根真菌多样性的关系，但是这些研究的范围并没有涉及到关于 AM 真菌与森林生态系统演替的关系方面的内容。

考虑到长白山区是我国人参地主产区，人参地被撂荒的现象极为普遍，严重损坏了当地的森林生态系统。弄清人参撂荒地向森林群落演替过程中土壤中 AM 真菌数量和种类的变化，对于加快人参撂荒地向森林群落演替的过程，从而加速受损地域恢复原貌和生态功能具有重要的意义。本实验以不同撂荒年限的人参地以及针阔混交林土壤中的 AM 真菌孢子为研究对象，采用蔗糖密度梯度离心的方法提取 AM 真菌孢子并对孢子进行分类计数和形态学鉴定，从而弄清人参撂荒地向森林群落演替的过程中土壤中 AM 真菌数量和种类的变化。本实验得到的结论不仅可以丰富长白山区 AM 真菌的研究，而且可以为加快人参撂荒地向森林群落演替的过程提供理论依据。

1 研究方法

1.1 样地的选择

露水河地处中纬度内陆山区，位于长白山下，属北温带东亚季风气候。冬季漫长、寒冷，夏季多雨、气温潮热，春秋两季干燥，无霜期 110 天左右，属典型的长白山地带气候。露水河镇区自然资源丰富，素以“立体自然宝库”著称，该地森林资源丰富，林地面积 2565 公顷，森林覆盖率 78.5%，其中主要以针阔混交林为主，群落层次分明，土壤为暗棕色森林土。实验选择的撂荒五年的人参地（127° 50.742' E 42° 29.728' N）主要为一年生和两年生的草本植物为主，其优势种为宽叶苔草 (*Carex siderosticta* Hance)，灯芯草 (*Juncus concinnus* D.Don)；撂荒七年的人参地（127° 50.103' E 42° 30.002' N）同样以一年生和两年生的草

本植物为主，优势种为灯芯草，宽叶苔草，拂子茅 (*Calamagrostis epigeios* (Linn.) Roth)。针阔混交林 (127° 50.104' E 42° 30.004' N) 的草本植物优势种为拂子茅；木本植物的优势种为白桦 (*Betula platyphylla* Suk)，红松 (*Pinus koraiensis* Siebold et Zuccarini)。

1.2 样品采集

本研究选择撂荒 5 年、7 年和红松针阔混交林为取样样地。在五年和七年的人参撂荒地样地，随机取了 5 个 1m×1m 的样方，并把样方内的植物和枯落物清理掉，每个样方取 2 个样点，然后在每个样点用土钻取土壤表面至 20cm 深处的土壤样本 (约 100g)，分别装入袋中，封装编号。在针阔混交林样地，样地中间随机设定 5 个 50m×50m 的样方，在其中随机取了 2 个样点，然后在每个样点用土钻取土壤表面至 20cm 深处的土壤样本，混合均匀装入封口袋中，编号。所有的土壤样品带回室内，风干后带回学校实验室待测定。

1.3 测定的内容和方法 (湿筛—倾注—蔗糖离心法)

将土壤样品溶解，湿筛过滤后离心，再过滤取孢子，放在实体显微镜下计数，然后将孢子聚集收集到载玻片上，用甘油封片后，放在显微镜下观察记录并拍照，根据孢子形态学特征鉴定孢子种类并进行分类计数。

1.4 数据统计

(1) 群落种类组成的数量特征

①相对多度：是指样地内某一种 AM 真菌孢子的数量占全部 AM 真菌孢子数量的百分比。

②相对频度：是指群落中某一种 AM 真菌孢子出现的样方数占整个样方总数的百分比。

③相对优势度：某一种 AM 真菌孢子在整个样地内的优势度为该种 AM 真菌孢子在该样地内相对多度和相对频度的算术平均值。

(2) 群落多样性的测定

丰富度指数 (richness indices)：物种丰富度是最简单、最古老的物种多样性的测定方法。如果研究的区域或样地在时间上和空间上是确定的或可控的，则物种丰富度会提供很有用的信息。

Margalef 指数 (Margalef index)：物种丰富度除了用一定大小的样方内的物种

数表示外，还可以用物种数目与样方大小或个体总数的不同数学关系(d)来衡量。
d 是物种数目随样方面积增大而增大的速率^[10]。

用公式表示为：

$$d_{Ma} = (S-1) / \ln N$$

式中：d_{Ma}——Margalef 指数；

S——群落中物种数目；

N——样方中观察到的个体总数；

多样性指数(diversity indices)：多样性指数是丰富度和均匀度的综合指标。应该指出的是，应用多样性指数时，具有低丰富度和高均匀度的群落与具有高丰富度和低均匀度的群落，可能得到相同的多样性指数。

(1) 辛普森多样性指数(Simpson's diversity index)：是基于在一个无限大小的群落中，随机抽取两个个体，它们属于同一物种的概率是多少这样的假设而推导出来的。用公式表示为：

$$D = 1 - \sum_{i=1}^S (N_i / N)^2$$

式中：N_i——种 i 的个体数；

N——群落中全部物种的个体数；

(2) 香农—威纳指数(Shannon-Weiner index)：是用来描述种的个体出现的紊乱和不确定性。不确定性越高，多样性也就越高。其计算公式为：

$$H = - \sum_{i=1}^S P_i \log_2 P_i$$

式中：S——物种数目；

P_i——属于种 i 的个体在全部个体中的比例；

H——物种的的多样性指数；

c. Pielou 均匀度指数 (Pielou evenness index)：Pielou(1969)把均匀度 J 定义为群落的实测多样性 H 与最大多样性 H_{max}，(即在给定物种数 S 下的完全均匀群落的多样性)之比，以 Shannon-Weiner 指数 H 为基础的群落均匀度为^[11]：

$$J = H / \log_2 S$$

式中：J——Pielou 均匀度指数；

S——物种数目；

H——物种的多样性指数；

2 结果与分析

2.1 土壤中 AM 真菌孢子组成比较

根据形态特征将孢子进行分类鉴定，实验采集的土壤样品中共鉴定出 2 属(球囊霉属和无梗囊霉属)共 25 种 AM 真菌孢子（见表 1），其中，五年人参撂荒地有 19 种 AM 真菌孢子；七年人参撂荒地有 17 种 AM 真菌孢子；针阔混交林有 13 种 AM 真菌孢子。三个样地都有的 AM 真菌有 10 种，包括地球囊霉、方竹球囊霉、幼套球囊霉、草莓球囊霉、地表球囊霉、聚生球囊霉、双型球囊霉、瑞士无梗囊霉、近明球囊霉和细凹球囊霉。五年人参撂荒地中没有具孢球囊霉、双网无梗囊霉、大果球囊霉、明球囊霉、未知种 3；七年人参撂荒地中没有摩西球囊霉、长孢球囊霉、具孢球囊霉、悬钩子球囊霉、团集球囊霉、网状球囊霉、未知种 1、未知种 3 和未知种 4；针阔混交林中无小果球囊霉、沙漠球囊霉、长孢球囊霉、悬钩子球囊霉、双网无梗囊霉、大果球囊霉、团集球囊霉、网状球囊霉、明球囊霉、未知种 1、未知种 2、未知种 4。五年和七年人参撂荒地土壤中丛枝菌根真菌孢子种类组成并无显著差异，优势种都是球囊霉属的地球囊霉，亚优势种分别为球囊霉属的方竹球囊霉和幼套球囊霉，针阔混交林的优势种为球囊霉属的地球囊霉，亚优势种为方竹球囊霉。

土壤中 AM 真菌的孢子的相对多度在三个类型植物群落中存在差异。优势种地球囊霉的相对多度随人参撂荒地年限的增加而增加；而方竹球囊霉、瑞士无梗囊霉等的相对多度随人参撂荒地年限增加而减少；幼套球囊霉、草莓球囊霉和地表球囊霉的相对多度在七年人参撂荒地比五年人参撂荒地和针阔混交林要高。

表 1 人参撈荒地与针阔混交林 AM 真菌孢子的种类及组成

孢子种类		五年人参撈荒地			七年人参撈荒地			针阔混交林		
中文名	拉丁文名	相对多度	相对频度	相对优势度	相对多度	相对频度	相对优势度	相对多度	相对频度	相对优势度
地球囊霉	<i>G. geosporum</i> (Nicoll & Gerd1) Walker	0.8041	1.0000	0.9021	0.8208	1.0000	0.9104	0.9218	1.0000	0.9609
方竹球囊霉	<i>G. chimonobambusae</i> Wu & Liu	0.0357	0.8000	0.4179	0.0276	0.8000	0.4138	0.0132	1.0000	0.5066
幼套球囊霉	<i>G. et unicum</i> Becker & Gerdemann	0.0322	0.8000	0.4161	0.0413	0.8000	0.4207	0.0373	0.8000	0.4187
草莓球囊霉	——	0.0077	0.6000	0.3039	0.0339	0.6000	0.3170	0.0029	0.6000	0.3015
地表球囊霉	<i>G. versiforme</i> Berch	0.0044	0.4000	0.2022	0.0204	0.5000	0.2602	0.0011	0.4000	0.2006
聚生球囊霉	<i>G. fasciculatum</i> (Thaxter) Gerdemann & Trappe	0.0044	0.3000	0.1522	0.0065	0.3000	0.1533	0.0080	0.6000	0.3040
双型球囊霉	<i>G. ambisporum</i> Smith & Schenck	0.0104	0.3000	0.1552	0.0139	0.4000	0.2070	0.0011	0.2000	0.1006
瑞士无梗囊霉	<i>A. rehmi</i> Sieverding & Toro	0.0106	0.4000	0.2053	0.0099	0.2000	0.1050	0.0012	0.2000	0.1006
近明球囊霉	<i>G. claroideum</i> Trappe & Gerdemann	0.0203	0.4000	0.2102	0.0002	0.1000	0.0501	0.0011	0.2000	0.1006
摩西球囊霉	<i>G. mosseae</i> (Nicoll & Gerd1) Gerdemann & Trappe	0.0241	0.4000	0.2120	——	——	——	0.0029	0.2000	0.1015
细凹无梗囊霉	<i>A. scrobiculata</i> Trappe	0.0084	0.2000	0.1042	0.0017	0.1000	0.0509	0.0017	0.2000	0.1009
小果球囊霉	<i>G. microcarpum</i> Tull & Tull	0.0033	0.3000	0.1517	0.0047	0.1000	0.0524	——	——	——
沙漠球囊霉	<i>G. deserticola</i>	0.0132	0.2000	0.1066	0.0053	0.1000	0.0527	——	——	——
长孢球囊霉	<i>G. dolichosporum</i> Zhang & Wang	0.0022	0.3000	0.1511	——	——	——	——	——	——
具孢球囊霉	<i>G. pustulatum</i> Koske, Friese, Walker & Dalpe	——	——	——	——	——	——	0.0058	0.2000	0.1029
悬钩子球囊霉	<i>G. rubiforme</i> Gerdemann & Trappe	0.0040	0.2000	0.1020	——	——	——	——	——	——
双网无梗囊霉	<i>Acaulospora bireticulata</i> Rothwell & Trappe	——	——	——	0.0029	0.1000	0.0515	——	——	——
大果球囊霉	<i>G. macrocarpum</i> Tull & Tull	——	——	——	0.0027	0.1000	0.0514	——	——	——
团集球囊霉	<i>G. glomerulatum</i> Sieverding	0.0015	0.1000	0.0508	——	——	——	——	——	——

网状球囊霉	<i>G. reticulatum</i> Bhattacharjee & Mukerji	0.0009	0.1000	0.0504	—	—	—	—	—	—
明球囊霉	<i>G. clarum</i> Nicolson & Gerdemann	—	—	—	0.0007	0.1000	0.0504	—	—	—
未知种 1 ^①	—	0.0066	0.2000	0.1033	—	—	—	—	—	—
未知种 2 ^②	—	0.0007	0.1000	0.0503	0.0047	0.1000	0.0524	—	—	—
未知种 3 ^③	—	—	—	—	—	—	—	0.0017	0.2000	0.1009
未知种 4 ^④	—	0.0052	0.1000	0.0526	—	—	—	—	—	—

注：①球形，透明，无梗，表面密布凹陷 ②椭圆形，透明，壁内侧又一圈红色条带 ③球形，暗黄色，表面凹凸不规则 ④圆形或椭圆形，亮黄色，无梗，有油滴状内容物

2.2 土壤中 AM 真菌孢子密度的比较

由图 1 可知,五年的人参撂荒地和七年的撂荒人参地土壤中 AM 真菌的孢子密度几乎没有什么差别,而针阔混交林土壤中 AM 真菌的孢子密度低于五年和七年的撂荒人参地,但差异并不明显。另外,不同种类孢子的密度变化趋势存在差异。地球囊霉、聚生球囊霉的孢子度随人参撂荒地年限的增加而增加;方竹球囊霉、瑞士无梗囊霉的孢子密度随着人参撂荒地年限的增加而逐渐降低;地表球囊霉、幼套球囊霉、草莓球囊霉的孢子密度为七年人参撂荒地最高,五年人参撂荒地、针阔混交林依次降低;近明球囊霉和的孢子密度为五年人参撂荒地最高,针阔混交林、七年人参撂荒地依次降低;双型球囊霉的孢子密度则是七年人参撂荒地最高,针阔混交林、六年人参撂荒地依次降低。

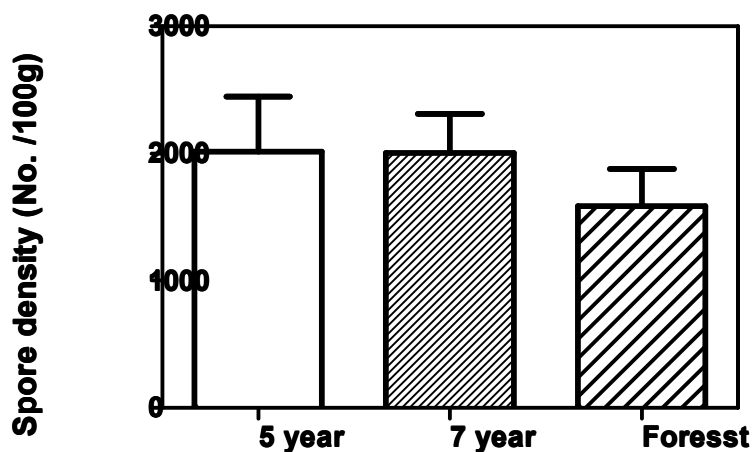


图 1 不同年限人参撂荒地与针阔混交林 AM 真菌孢子密度比较

2.3 土壤中 AM 真菌孢子多样性比较

物种的多样性具有两种涵义:其一是种的数目或丰富度,它是指一个群落或生境中的物种数目的多寡,是不少生态学家经常使用的一个反应群落物种多样性的指标;其二是种的均匀度,它是指一个群落或生境中的全部物种个体数目的分配情况,它反映的是各物种个体数目分配的均匀程度。多样性指数则是反映丰富度和均匀度的综合指标。

不同年限人参撂荒地与针阔混交林 AM 真菌孢子种类丰富度指数、均匀度指数和多样性指数分别在撂荒人参地和针阔混交林之间呈现随撂荒年限的增加而减少的趋势(如图 2 至图 5)。

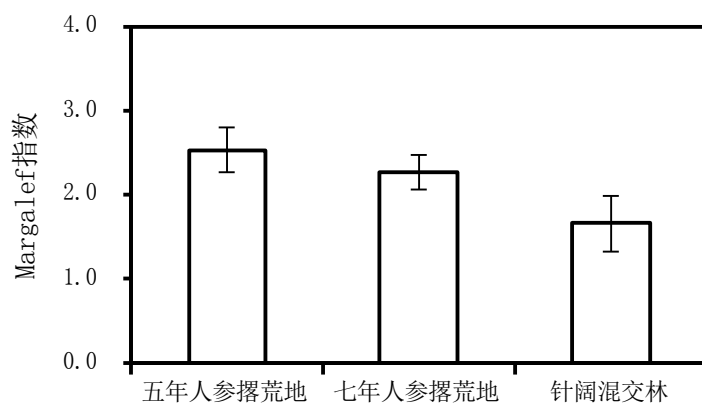


图2 不同年限人参撂荒地与针阔混交林 AM 真菌孢子丰富度指数

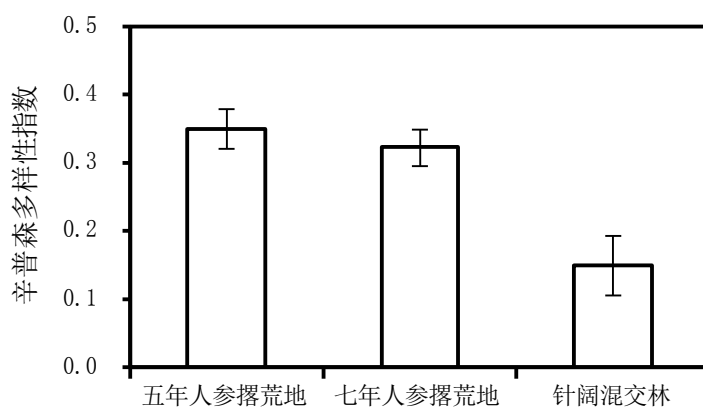


图3 不同年限人参撂荒地与针阔混交林 AM 真菌孢子多样性指数

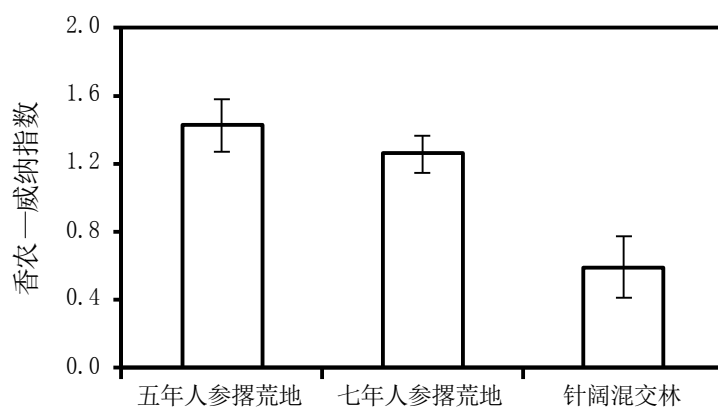


图4 不同年限人参撂荒地与针阔混交林 AM 真菌孢子多样性指数

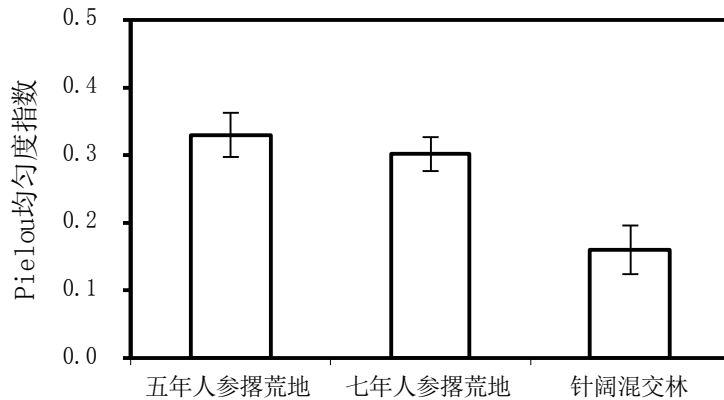


图5 不同年限人参撂荒地与针阔混交林 AM 真菌孢子均匀度指数

2 结论与讨论

通过我们的研究可以得到以下结论：撂荒年限对土壤孢子的密度和组成是存在影响的。五年的人参撂荒地和七年的撂荒人参地土壤中 AM 真菌的孢子密度几乎没有什么差别，而针阔混交林土壤中 AM 真菌的孢子密度却低于五年和七年的撂荒人参地，但差异并不明显。另外，不同年限人参撂荒地与针阔混交林 AM 真菌孢子种类丰富度指数、均匀度指数和多样性指数分别在撂荒人参地和针阔混交林之间呈现随撂荒年限的增加而减少的趋势。

在不同生态系统中，AM 真菌数量及种类的差异应该主要取决于不同生态系统的物种组成和气候条件的变化。我们在三个取样地点的土壤中 AM 真菌孢子密度之间没有显著差异，但是不同年限人参撂荒地与针阔混交林 AM 真菌孢子种类丰富度指数、均匀度指数和多样性指数呈现随撂荒年限的增加而减少的趋势。然而，郑克军^[12]等分析了在森林演替过程中菌根资源的变化情况和可能的影响因素。通过对演替初期的马尾松 (*Pinus massoniana*) 林、演替中期的针阔叶混交林、演替顶级的季风常绿阔叶林三个典型区域从枝根菌多样性的研究发现：森林生态系统中 AM 真菌的多样性却随着土壤演替的等级呈现先降后升的现象。演替系列上的森林生态系统的菌根的差异与植物物种多样性和群落结构，尤其是林下的灌木、草本层密度存在一定的相关性，同时也受土壤养分状况的影响。本实验的研究结果与三个样地中草本植物的丰富度具有很好的对应关系。在四年和六年人参撂荒地内，分别有 32 和 39 种草本植物，在针阔混交林的林地共调查有 26 种草本植物。从枝菌根真菌-宿主植物间的共生关系可能是决定孢子密度和种类的最

重要因素。

关于加速老参地恢复的生态指导策略方面，不少学者提出了各自的见解。杨利民^[13]等在现有人参撂荒地地形条件及其生态恢复的长期性等基础上，提出了以地形条件为基础的参后地生态恢复与再利用模式，包括较陡坡地模式、缓坡地模式和岗平地模式；提出了目前参后地生态恢复与再利用急需解决的几个关键问题，包括制定合理的参后地生态恢复与再利用总体规划、参后地还林与再利用政策的调整、提高参后地生态恢复与再利用的科技含量。而从本文的角度来说，我们更关注的是丛枝菌根在退化生态系统中土壤和植被恢复和重建中的作用。丛枝菌根不仅能够促进土壤营养物质循环和利用，稳定和改良土壤结构，而且能够调节植物种间关系、影响群落的演替和结构以及维持物种多样性。同时，丛枝菌根真菌种类和数量以及生长状况的差异都能对生态系统中由于自然或人类活动所引起土壤和植被的变化起指示作用。所以笔者认为，关注丛枝菌根真菌在退化生态系统恢复和重建中的作用对于老参地恢复的生态指导策略有着重要的参考价值。

参 考 文 献

- [1] 边秀举, 胡 林, 李晓林等. VA 菌根对坪草矿质养分吸收及草坪质量影响的研究[J]. 草业学报, 2001, 10 (3) : 42-46
- [2] Vogel-Mikus K, Drobne D, Regvar M. Zn, Cd and Pb accumulation and arbuscular mycorrhizal colonisation of pennycress *Thlaspi praecox* Wulf.(Brassicaceae) from the vicinity of a lead mine and smelter in Slovenia [J]. Environmental Pollution, 2005, 133: 233-242
- [3] 刘润进, 焦 惠, 李 岩, 李 敏, 朱新产. 丛枝菌根真菌物种多样性研究进展[J]. 应用生态学报, 2009, 20 (9): 2301-2307
- [4] 陈 曦, 孙晓东, 毕思远, 吕国忠. 东北地区人参根际土壤真菌多样性研究[J]. 安徽农业科学, 2010,

- [8] 杨秀丽, 闫伟, 包玉英, 樊永军. 大兴安岭兴安落叶松森林不同林型 AMF 分布特性[J]. 微生物学通报. 2009, 36 (12): 1818-1825
- [9] 杨秀丽. 大兴安岭兴安落叶松森林生态系统菌根及其真菌多样性研究[D]. 内蒙古农业大学, 2010, 1-119
- [10] 李振基, 陈小麟, 郑海雷, 连玉武等. 生态学[M]. 科学出版社. 2000, 9: 200-210
- [11] 李振基, 陈圣宾等. 群落生态学[M]. 气象出版社. 2011, 2 (1): 15-20
- [12] 郑克举, 唐旭利, 张静, 韩天丰. 季风常绿阔叶林演替系列菌根及其与群落多样性的关系[J]. 生态环境学报. 2013, 22(5): 729-738
- [13] 杨利民, 陈长宝, 王秀全, 张连学, 田义. 长白山区参后地生态恢复与再利用模式及其存在的问题[J]. 吉林农业大学学报. 2004, 26(5):546~549, 553