大兴安岭落叶松林丛枝菌根真菌多样性*

杨秀丽[1] 闫 伟[1**] 包玉英[2] 樊永军[3] 姜海燕[1]

([1]内蒙古农业大学林学院,呼和浩特010010;[2]内蒙古大学生命科学学院,呼和浩特010021;[3]包头师范学院生物科学与技术学院,内蒙古包头 014030)

摘 要 对大兴安岭落叶松林17个科26种植物丛枝菌根(AM)定居情况和丛枝菌根真菌(AMF)多样性进行了调查。在26种植物根样中形成典型AM定居的有23种,占88.46%。菌根侵染率为0~78.7%,平均为21.69%。在26种植物根样中,4种植物形成重楼型(Paris-type)AM,占15.38%;10种植物形成疆南星型(Arum-type)AM,占38.46%;9种植物形成中间型(Intermediate type)AM,占34.62%,3种植物未能形成AM菌根,占11.54%。从23种植物根围土样中分离到50种AMF,分属于5个属,其中无梗囊霉属(*Acaulospora*)24种占48%;球囊霉属(*Glomus*)19种占38%;内养囊霉属(*Entrophospora*)5种占10%;原囊霉属(*Archaeospora*)1种占2%;巨孢囊霉属(*Gigaspora*)1种占2%。*Acaulospora*和*Glomus* 2属真菌在大兴安岭落叶松林土壤中占绝对优势;尼氏无梗囊霉(*A. nocolsonii*)和幼套球囊霉(*G. etunicatum*)是优势种。植物根围土壤中AMF的孢子密度平均为68.94个·100 g^{-1}风干土;AMF物种丰富度平均为7.83种。菌根侵染率与孢子密度和物种丰富度之间相关性不显著。

关键词 菌根;侵染率;菌根类型;孢子密度;物种丰富度;分离频度

中图分类号 Q938 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4890(2010)3-0504-07

Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in Dahurian larch forests in Da Hinggan Ling Mountains. YANG Xiu-li[1], YAN Wei[1], BAO Yu-ying[2], FAN Yong-jun[3], JIANG Hai-yan[1] ([1]*College of Forestry, Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot* 010010, *China*; [2]*College of Life Science, Inner Mongolia University, Huhhot* 010021, *China*; [3]*The Biology Science and Technological Department, Baotou Teachers College, Baotou* 014030, *Inner Mongolia, China*). *Chinese Journal of Ecology*, 2010, **29**(3): 504-510.

Abstract: An investigation was made on the colonization and diversity of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) on the root systems of 26 plant species of 17 families in the Dahurian larch forests in Da Hinggan Ling Mountains. It was found that 23 of the 26 plant species could form arbuscular mycorrhizae (AM). The average colonization rate was 21.69%, ranging from 0 to 78.7%. Four plant species formed Paris-type AM, 10 plant species formed Arum-type AM and 9 intermediate-type AM, and 3 species could not form AM. The 50 AMF species isolated from root zone soils belonged to five genera, among which, 24 AMF species belonged to *Acaulospora*, 19 belonged to *Glomus*, 5 belonged to *Entrophospora*, 1 belonged to *Archaeospora*, and 1 belonged to *Gigaspora*. *Acaulospora* and *Glomus* were the dominant genera, and *A. nocolsonii* and *G. etunicatum* were the dominant species. The average AMF spore density was 68.94 per 100 g air-dried soil, and the average species richness was 7.83 species per soil sample. No correlations were observed between the AM colonization rate and the spore density and species richness.

Key words: mycorrhizae; colonization rate; mycorrhizal type; spore density; species richness; isolation frequency.

* 国家自然科学基金项目(30660150)、教育部高等学校科技创新工程重大项目培育资金项目(707014)和内蒙自然科学基金重大资助项目(200607010501)。

** 通讯作者 E-mail: weiyan@imau.edu.cn

收稿日期:2009-07-14 接受日期:2009-10-24

大兴安岭是我国唯一的寒温带地区,以兴安落叶松分布为主体,黑龙江、嫩江的几十条支流都发源于大兴安岭林区,茫茫林海成为松嫩平原和呼伦贝尔草原的天然屏障。它为维护我国东北地区生态平衡起着重要作用。但大兴安岭森林从 19 世纪末开始采伐,百余年来,落叶松林遭到严重的人为破坏,可采资源日趋减少,落叶松林质量不断下降。关于大兴安岭兴安落叶松林型划分、种群结构(内蒙古森林编辑委员会,1989;徐化成,1998)、生产力状况(陆玉宝,2006)、水分状况(周梅,2003)、碳循环(张慧东和周梅,2007)、火干扰等(焦洪双,2001)已有很多研究,但对这类森林的地下微生物的认识却十分有限。

丛枝菌根真菌(arbuscular mycorrhizal fungi, AMF)是土壤中最为普遍(Gerdmann,1968)、最为重要的真菌类群(Read,1994)。在已做过研究的被子植物中,80% 以上的植物能与 AMF 形成丛枝菌根(arbuscular mycorrhizal, AM)(Trappe,1987)。丛枝菌根真菌是通过活化土壤中矿物质磷源和氮源,增加了磷素和氮素的有效性;通过土壤中的菌丝网扩大了根际吸收范围和根系吸收面积,提高土壤养分的空间有效性和长距离运输能力,促进寄主的生长和发育(李晓林和冯固,2001)。由于不同的丛枝菌根真菌种群对同一和不同植物的同时侵染以及植物根系间菌丝桥的形成使菌根菌作用表现出个体、群落和系统不同层次水平。菌根改变植物个体的营养状况而影响植物种的竞争能力和分布,改变植物群落组成结构;通过菌丝桥在植物根系间进行养分的运输和传递而影响系统能量与物质循环等过程(Newsham *et al.*,1995)。研究表明,自然生态系统中菌根真菌的多样性决定植物的生物多样性(van Der Heijden *et al.*,1998b;O'Connor *et al.*,2002)、生态系统的变化以及生产力(Gemma *et al.*,1992;Koske *et al.*,1992;van Der Heijden *et al.*,1998a;Klironomos *et al.*,2000)。

AMF 广泛分布于各陆地生境中,典型的、极端的生态系统中的 AMF 资源状况正在受到越来越多的关注(张美庆和黄磊,1994;王发园和刘润进,2001;乔红权等,2005;Shi *et al.*,2006)。国内对森林土壤内这类真菌的研究较少(Zhao *et al.*,2001),对大兴安岭落叶松林这种寒温带森林土壤内 AMF 的研究尚未见报道。

本文对内蒙古大兴安岭森林群落中的 AM 形态多样性和 AMF 物种多样性进行了初步研究,为进一步探讨菌根共生现象对兴安落叶松林植物群落多样性以及兴安落叶松林的演替、恢复和发展等奠定基础,为更好地维护、经营兴安落叶松林提供理论依据。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区域概况

选择内蒙古大兴安岭森林生态系统野外观察研究站所在的兴安落叶松林为研究区域。研究区地处根河市根河林业局潮查林场境内(50°49′N—50°51′N,121°30′E—121°31′E),属寒温带季风区。全年的平均温度 -2 ℃ ~ -4 ℃,≥10℃的积温为 1100 ℃ ~2000 ℃。年温差较大。1 月平均气温 -20 ℃ ~ -30 ℃,7 月平均气温 17 ℃ ~20 ℃,在北部和海拔较高的地方,生长季还时有霜冻发生。土壤主要有棕色针叶林土、暗棕壤和灰色森林土。大兴安岭地区永冻层的分布是比较普遍的,根河地区以北是连续的永冻层区,也是本实验所研究的区域(徐化成,1998)。

主要成林树种为兴安落叶松(*Larix gmelinii*)。主要林型有杜香(*Ledum palustre*)-兴安落叶松林、杜鹃(*Rhododendron dahuricum*)-兴安落叶松林、草类-兴安落叶松林、柴桦(*Betula fruticosa*)-兴安落叶松林、真藓(*Bryum argenteum*)-兴安落叶松林,伴生树种有白桦(*Betula platyphylla*)和山杨(*Populus davidiana*)。林下植物常见有杜香、杜鹃、越橘(*Vaccinium vitis-idaea*)、红花鹿蹄草(*Pyrola incarnata*)、山黧豆(*Lathyrus quinquenervius*)等(徐化成,1998)。

1.2 样品采集

于 2008 年 8 月对 5 种主要林型群落主要组成植物进行了取样调查,随机采集寄主植物带根土样(各样均为 3 次重复),共采取林下植物根样 78 份,土样 78 份,涉及 17 科 26 种植物。

土样具体采样方法是:先去掉上层的枯枝落叶层,采 5 ~30 cm 土层的根样以及贴近根系的土样,每株植物取土约 2 kg,装入土袋中,附上标签,记录采样人、采样时间、地点、宿主植物名称及周围环境等。

落叶松林下不同植物的根系交错分布,取根样时顺着寄主植物主根进行挖掘,保证所取根系确实与所选植物的主根相连并尽量采取带根尖的根段。取新鲜根段若干固定于 FAA 固定液(福尔马林 5

ml,冰醋酸5 ml,70%酒精90 ml)中;土壤样品自然风干,存放于4 ℃冰箱内,并尽快分离土壤中的AMF孢子。

1.3 样品处理

1.3.1 菌根类型的观察 根系样品从FAA固定液中取出,用蒸馏水冲洗2~3次,并剪成1 cm左右长度的根段,于10%的KOH溶液中90 ℃的水浴中解离90 min(Koske *et al.*,1992),再用蒸馏水冲洗干净;用0.05%翠盘蓝乳酸甘油溶液90 ℃的水浴中染色60 min,并用乳酸分色、制片。用显微镜(OLYMPUS U-TV0.5×C-3 8F14567)观察菌根丛枝、泡囊及菌丝并摄影。根据Smith和Smith(1997)的研究确定菌根形态类型。

1.3.2 菌根侵染率测定 菌根侵染率测定采用根段频率常规法(Biermann & Linderman,1981)具体方法为:将经过染色处理的根样,用镊子和挑针挑选25条粗细一致的根段整齐地排列在干净载玻片上,加盖洁净的盖玻片后即可观察测定。每个处理需要测定200条根段。在显微镜下检查每条根段的侵染情况,根据每段根系菌根结构的多少,按0、10%、20%、30%、…、100%的侵染数量给出其侵染率的估计值。例如,没有菌根结构的根段,其侵染率为0,如果该条根段全部被侵染则为100%,只有1/2长度的根段被侵染形成菌根的根段,则该根段的侵染率为50%,依此类推,并记录各侵染率下根段出现的次数。依下列公式即可计算该样品菌根的侵染率:

侵染率 = ∑(0×根段数 + 10%×根段数 + 20%×根段数 + … + 100%×根段数)/观察总根段数

1.3.3 AMF孢子的分离与鉴定 从每份样品中取100 g风干土壤,用湿筛倾析-蔗糖离心法分离AM真菌孢子(Danniels & Skipper,1982),湿筛得到的孢子在体式显微镜下计数,计数时孢子果和丛生孢子按照1个孢子计算。湿筛得到的孢子一部分保存在5%的福尔马林中,另一部分分别用PVLG、PVLG和Melzer试剂(等量混合)制成标本片(Morton,1988)后于光学显微镜下观察并照相(OLYMPUS U-TV0.5×C-3 8F14567),根据孢子的大小、颜色、壁式结构和连孢菌丝的形态学特征,并参考Schenk和Perez(1988)的鉴定手册以及INVAM网(http://invam.caf.wvu.edu)上的鉴定图片对AMF进行鉴定,按照Morton和Redecker(2001)的分类系统对AMF进行鉴定分类。

1.3.4 AMF群落结构特征指标及数据分析 测定AMF孢子密度、物种丰富度和分离频度指标。孢子密度为每100 g风干土壤中含有的AMF的孢子数;分离频度为某一个种出现的样品数/总样品数×100%;物种丰富度指每个土样中AMF的种数。

按照频度将AMF划分为4个等级,即频度>50%为优势种,30%<频度≤50%为最常见种,10%<频度≤30%为常见种,频度≤10%为稀有种(Koske,1987)。

孢子密度和物种丰富度数据均用SPSS 11.5统计软件进行描述和分析,并用SPSS 11.5进行菌根侵染率与孢子密度和物种丰富度的相关分析,计算Pearson相关系数。

2 结果与分析

2.1 菌根侵染状况和菌根形态特征

在本研究中,只要有丛枝,或泡囊,或菌丝圈,或细胞间无隔菌丝的存在,都认为是被AMF侵染。在26种植物的78份根样中形成典型AM定居的有23种,占88.46%,无AM定居的3种占11.54%。

在26种植物的根样中,丛枝存在于15种植物根样中,占57.69%;泡囊存在于20种植物根样中,占76.92%;菌丝圈存在于13种植物根样中,占50.00%;细胞间无隔菌丝存在于18种植物根样中,占69.23%。4种植物根形成重楼型(Paris-type),占15.38%;9种植物根形成中间型(Intermediate type),占34.62%;10种植物根形成疆南星型(Arum-type),占38.46%,3种植物未能形成AM,占11.54%(表1)。

2.2 AMF孢子密度和物种丰富度

在26种植物的土样中,有3种植物的土样由于采集量较少,需要补充采样,所以未计入统计分析。在23种植物69份土壤样品中都分离到了AMF的孢子,各种植物的AMF的孢子密度和物种丰富度见表1。孢子密度变化范围较大,最低为唐松草10个·100 g^{-1}风干土,最高为女萎菜108个·100 g^{-1}风干土,平均为68.94个·100 g^{-1}风干土。每个土壤样品中AMF种数即物种丰富度在3~15种,平均为7.83种。另外,通过对根系AM侵染率与根际土壤AMF孢子密度和种的丰富度进行相关统计分析,表明其间无相关性。

2.3 AMF种类及各属的分离频度和孢子密度

从土壤样品中共分离出AMF50种,其中22种鉴定至种,28种鉴定至属。50种分属于球囊霉目5

个属,其中无梗囊霉属(*Acaulospora*)24 种占 48%,球囊霉属(*Glomus*)19 种占 38%,此二属真菌在大兴安岭落叶松森林土壤中占绝对优势。内养囊霉属(*Entrophospora*)5 种占 10%,原囊霉属(*Archaeospora*)1 种占 2%,巨孢囊霉属 1 种占 2%(表 2)。

2.4 AMF 的优势种和最常见种

从表 3 可以看出,无梗囊霉属以尼氏无梗囊霉、丽孢无梗囊霉、和浅窝无梗囊霉3个种的出现频

表 1 不同植物的 AM 和 AMF 孢子密度和物种丰富度

Tab. 1 AM status of different plants and AMF spore density, species richness in rooting zone soils

植物种类	菌根侵染率(%)	细胞间无隔菌丝	菌丝圈	丛枝	泡囊	菌根类型	SD(个·100 g^{-1})	SR
杜鹃花科								
越橘 *Vaccinium vitis-idaea*	13.90	+	+	0	+	I	38.56	5.67
笃斯越橘 *V. uliginosum*	40.50	+	++	+	+	I	–	–
杜香 *Ledum palustre*	9.09	+	0	+	+	A	80.00	6.00
兴安杜鹃 *Rhododendron dauricum*	27.74	+	+	+	0	I	27.14	8.00
杜鹃 *R. simsii*	8.36	+	+	+	(+)	I	37.00	10.00
莎草科								
苔草 *Carex* spp.	13.32	+	0	+	++	A	61.14	9.67
禾本科								
小叶章 *Deyeuxia angustifolia*	27.71	0	+	+	+	I	–	–
大叶章 *D. langsdorffii*	16.88	0	+	+	(+)	P	25.71	9.00
蔷薇科								
蒙古绣线菊 *Spiraea mongolica*	9.21	+	0	++	++	A	10.00	3.00
绣线菊 *S. salicifolia*	24.38	++	0	0	+	A	22.00	8.00
山刺玫 *Rosa davurica*	14.17	+	0	+	+	A	20.00	5.00
莓叶委菱菜 *Potentilla fragarioides*	4.96	+	0	++	++	A	14.29	6.00
杨柳科								
大黄柳 *Salix raddeana*	12.10	+	+	+	+	I	740.0	9.00
细叶沼柳 *S. rosmarinifolia*	0.00	0	0	0	0	0	–	–
桦木科								
柴桦 *Betula fruticosa*	2.38	(+)	+	+	+	I	82.00	12.00
忍冬科								
蒙古荚蒾 *Viburnum mongolicum*	78.70	0	++	+	0	P	–	–
菊科								
白莲蒿 *Artemisia sacrorum*	45.83	+	0	+	+++	A	21.67	9.00
毛茛科								
唐松草 *Thalictrum aquilegifolium* var. *sibiricum*	50.02	+	0	++	++	A	10.00	3.00
鹿蹄草科								
兴安鹿蹄草 *Pyrola dahurica*	0.00	0	0	0	0	0	–	–
鸢尾科								
鸢尾 *Iris tectorum*	6.96	0	+	+	0	P	–	–
龙胆科								
龙胆 *Gentiana scabra*	6.04	+	+	+	0	I	12.00	7.00
豆科								
野豌豆 *Vicia sepium*	14.11	+	+	+	+	I	11.00	6.00
石竹科								
女娄菜 *Silene aprica*	63.13	+	0	++	++	A	108.0	12.00
麻黄科								
草麻黄 *Ephedra sinica*	0.00	0	0	0	0	0	42.00	9.00
木贼科								
节节草 *Equisetum ramosissimum*	34.50	++	0	0	++	A	–	–
桔梗科								
沙参 *Adenophora stricta*	39.98	0	++	+	0	P	18.70	7.67

A 疆南星型,P 重楼型,I 中间型,SD 孢子密度,SR 物种丰富度;++ 为多(50% 以上),+ 为较多(10% ~50%),(+)为少量(1% ~10%);0 为无侵染(0),– 为不确定。

表2 AMF不同属的分离频度、孢子密度和物种丰富度
Tab. 2 Isolation frequency, spore density and species richness of the AMF genera

属名	分离频度(%)	孢子密度	物种丰富度
Acaulospora	96.88	20.40 ± 3.29	3.56 ± 0.33
Archaeospora	3.13	0.04 ± 0.04	0.03 ± 0.03
Entrophospora	34.38	0.86 ± 0.23	0.41 ± 0.10
Gigaspora	3.13	0.59 ± 0.59	0.03 ± 0.03
Glomus	93.75	39.17 ± 21.64	3.66 ± 0.43

表3 AMF的优势种、最常见种的出现频率和孢子密度
Tab. 3 Isolation frequency and spore density of the AMF dominant species, the most common species

种名	分离频度(%)	孢子密度(个·100 g^{-1}土)
空洞无梗囊霉 *Acaulospora cavernata*	12.50	0.47 ± 0.24
膨胀无梗囊霉 *A. delicata*	28.13	1.38 ± 0.48
丽孢无梗囊霉 *A. elegants*	43.75	2.43 ± 0.79
浅窝无梗囊霉 *A. lacunosa*	34.38	3.04 ± 1.75
光壁无梗囊霉 *A. leavis*	21.88	0.49 ± 0.18
尼氏无梗囊霉 *A. nocolsonii*	56.25	3.34 ± 1.03
波兰无梗无囊霉 *A. polonica*	28.13	1.03 ± 0.44
刺状无梗囊霉 *A. spinosa*	25.00	3.49 ± 2.28
一种无梗囊霉 *Acaulospora* sp. 2	12.50	0.19 ± 0.10
一种无梗囊霉 *Acaulospora* sp. 3	12.50	0.94 ± 0.58
一种无梗囊霉 *Acaulospora* sp. 4	15.63	0.76 ± 0.51
一种无梗囊霉 *Acaulospora* sp. 15	25.00	0.34 ± 0.13
缩球囊霉 *Glomus constrictum*	31.25	2.01 ± 0.89
幼套球囊霉 *G. etunicatum*	56.25	4.15 ± 1.18
黄球囊霉 *G. fulvum*	25.00	0.56 ± 0.20
扭形球囊霉 *G. tortuosum*	12.50	0.21 ± 0.11
一种球囊霉 *Glomus* sp. 1	37.50	1.96 ± 0.79
一种球囊霉 *Glomus* sp. 2	25.00	1.10 ± 0.63
一种球囊霉 *Glomus* sp. 3	34.37	2.20 ± 0.77
一种球囊霉 *Glomus* sp. 7	15.63	0.48 ± 0.28
稀有内养囊霉 *Entrophospora infrequens*	12.50	0.37 ± 0.18

率较高;球囊霉属中则以幼套球囊霉、缩球囊霉、2种未知种 *Glomus* sp. 1 和 *Glomus* sp. 3 的出现频率较高。孢子密度则以幼套球囊霉最高,为(4.15 ± 1.18)个·100 g^{-1}风干土。

3 讨 论

在大兴安岭落叶松森林26种植物的根样中形成典型AM定居的有23种,占88.46%。表明大兴安岭森林菌根植物较丰富。与包玉英和闫伟(2004)对内蒙古草原和荒漠162种植物的调查研究结论相似(菌根植物占80.86%),但明显高于Zhao等(2001)对西双版纳热带雨林42种植物的研究结论(形成典型AM定居的种占67%);低于Andrade等(2000)对南美热带雨林中29种土著植物的菌根状况的研究结论(发现29种植物的根系上全部都有AMF定居)。有关研究认为,Paris类型是野生被子植物中常见的菌根类型,在自然环境中占据优势(Smith & Smith,1997)。但本调查结果疆南星型(Arum-type)占38.46%,中间型占34.62%,此2种占绝大部分,Paris-type占15.38%。寄主植物根系皮层细胞壁的结构差异和是否存在大的细胞间隙对形成这些不同AM结构有很大决定作用。Smith和Smith(1997)综合许多研究认为,菌根形态类型可能主要取决于植物种类本身,从系统演化角度研究植物种类与共生真菌之间的关系更为合理。本研究表明,内蒙古大兴岭森林植物丛枝菌根类型是该地区所分布的植物种与真菌种协同进化的结果。

有研究表明,石竹科(Caryophyllaceae)植物中,没有发现AMF侵染(Treu *et al.*,1996;包玉英和闫伟,2004),本研究却发现石竹科的女娄菜(*Silene aprica*)有侵染,而且侵染率较高(63.13%);在过去未发现AMF侵染的少数几个科中,莎草科(Cyperaceae)为其中之一(Harley & Smith,1983),但也有研究表明,莎草科植物也有AMF真菌侵染的情况出现(Haselwandter & Read,1982;包玉英和闫伟,2004),本研究中也发现了莎草科中的苔草(*Carex* spp.)有侵染(13.32%)。说明植物与AMF的侵染关系与不同时空环境变化及土壤等条件变化有关。也充分说明,植物种之间侵染率的差异与植物和AMF的亲和性有关(Dodd & Thomson,1994),在某些条件下有些被认为不会被侵染的种类也会形成丛枝菌根(Harley & Harley,1987)。但菌根侵染率能够在一定程度上反映落叶松林下植物种类的菌根亲和性。

菌根植物根围孢子密度为10~108个·100 g^{-1},平均为68.94个,高于西双版纳4种壳斗科植物丛枝菌真菌的孢子密度(14~22个·100 g^{-1}土壤)(房辉等,2007),但低于Zhao等(2001)研究的热带雨林土壤中丛枝菌根真菌的孢子密度(116~1560个·100 g^{-1}土壤,平均478个),也低于都江堰蕨类植物AMF的孢子密度(2~796个·100 g^{-1}风干土,平均为23个·100 g^{-1}风干土)(Zhang *et al.*,2004),较高孢子密度的研究结论还有很多文献报道(Molina *et al.*,1978;Liu & Wang,2003)。菌根植物AMF物种丰富度在3~15种,平均为7.83种,高于以往的研究,如中国西南热带雨林中AMF的物种

丰富度在 2 ~ 7 种,平均为 4.5 种(Zhao *et al.*, 2001),中国西南都江堰蕨类植物的物种丰富度平均为 3.7 种(Zhang *et al.*,2004)。影响 AMF 在一定植物根际土壤中的孢子密度和物种丰富度的因素很多,其中季节变化、土壤条件、AMF 对植物的依赖程度、宿主植物的年龄、AMF 产孢子的能力、孢子的休眠以及孢子在土壤中的分布方式都是重要的影响因素(Koske & Havorson,1981;Slyvia,1986;Fricse & Koske,1991;赵之伟,1999)。本研究菌根孢子密度和 AMF 物种丰富度与大兴安岭落叶松林的林分特点有关,兴安落叶松林林分组成单一,大多为落叶松,郁闭度较大,如杜香落叶松林的郁闭度为 0.6 ~ 0.8(徐化成,1998),对林下植被发展有很大的限制性,林下植被一般生长较弱,这就极大地影响了孢子的发展。研究表明,弱光照会减少侵染和产孢(Ferguson & Menge,1982),AMF 是一种严格的营共生生活的真菌,只能依靠宿主获得碳源,不能够脱离宿主独立生存,因此,环境变化引起的植物光合作用、资源需求尤其是碳分配的变化都会对 AMF 产生重要影响(Gampe *et al.*,2004),这可能是 AMF 孢子密度和菌根侵染率较低的重要原因。其次,有些土样中的孢子在处理过程中逐渐老化腐败,也影响了孢子密度。再次,本研究在筛析孢子的过程中采用了蔗糖离心法,在离心的过程中,可能会损失一部分孢子,也可能造成孢子密度较低的原因之一。

统计分析结果表明,根系菌根侵染率与 AMF 的孢子密度及种的丰富度之间无显著相关关系,与以前的研究结论相似(Zhao *et al.*,2001;包玉英和闫伟,2004;Zhang *et al.*,2004)。菌根侵染率与孢子密度之间的关系比较复杂,受很多环境因素的影响(Smith & Smith,1996;Liu & Wang,2003)。张英等(2003)认为厚垣孢子产生的误差影响较大,包玉英和闫伟(2004)认为不同 AMF 产孢能力的差异、孢子萌发能力以及侵染能力的差异是造成上述结果更主要的原因。

本研究中,从无 AMF 定居的草麻黄根际土壤中分离到了 AMF 的孢子,其孢子密度为 42 个·100 g^{-1}风干土,物种丰富度为 9 种。这一现象反映了 AMF 在落叶松森林土壤中分布的复杂性,因为在实际工作中由于植物种类繁多,各种植物的根系交织分布,几乎不可能采集到只含一种植物根系的土样,因此在落叶松森林中根系的分布结构也是影响 AMF 孢子密度和物种丰富度的因素。植物根际土壤中 AMF 孢子的密度和物种丰富度只反映其在土壤中的分布情况,而不能与植物作直接对应。另外,菌根植物可能会影响到非菌根植物根围 AMF 孢子的数量(Zhao *et al.*,2001)。

本研究表明,*Acaulospora* 和 *Glomus* 是大兴安岭落叶松林的优势属,此 2 属 AMF 是广谱生态型。尼氏无梗囊霉和幼套球囊霉是大兴安岭落叶松森林的优势种,此 2 种在兴安落叶松森林的演替和植被恢复中有很重要的作用,有待于进一步发掘利用。

参考文献

包玉英,闫 伟. 2004. 内蒙古中西部草原主要植物的丛枝菌根及其结构类型研究. 生物多样性,**12**(5):501-508.

房 辉,Damodaran PN,曹 敏. 2007. 西双版纳四种壳斗科植物丛枝菌根状况的初步研究. 生态学杂志,**26**(9):1393-1396.

焦洪双. 2001. 采伐干扰和火干扰对兴安落叶松林更新及种群结构影响的研究(硕士学位论文). 哈尔滨:东北林业大学.

李晓林,冯 固. 2001. 丛枝菌根生态生理. 北京:华文出版社.

陆玉宝. 2006. 兴安落叶松天然林林分结构与生产力特征的研究(硕士学位论文). 呼和浩特:内蒙古农业大学.

内蒙古森林编辑委员会. 1989. 内蒙古森林. 北京:中国林业出版社.

乔红权,张 英,郭良栋,等. 2005. 新疆北部地区常见植物根围的丛枝菌根真菌. 菌物学报,**24**(1):130-136.

王发园,刘润进. 2001. 黄河三角洲盐碱土壤中 AM 真菌的初步调查. 生物多样性,**9**(4):389-392.

徐化成. 1998. 中国大兴安岭森林. 北京:科学出版社.

张 英,郭良栋,刘润进. 2003. 都江堰地区丛枝菌根真菌多样性与生态研究. 植物生态学报,**27**(4):537-544.

张慧东,周 梅. 2007. 寒温带兴安落叶松林土壤二氧化碳释放特征研究(硕士学位论文). 呼和浩特:内蒙古农业大学.

张美庆,王幼珊,张 弛,等. 1994. 我国北方 VA 菌根真菌某些属和种的生态分布. 真菌学报,(3):166-172.

赵之伟. 1999. 四种蕨类植物根际土壤中 VA 菌根真菌孢子种群组成和季相变化. 云南植物研究,**21**(4):437-441.

周 梅. 2003. 大兴安岭落叶松林生态系统水文过程与规律研究(博士学位论文). 北京:北京林业大学.

Andrade ACS, Queiroz MH, Hermes RAL, *et al*. 2000. Mycorrhizal status of some plants of the Araucaria forest and the Atlantic rainforest in Santa Catarina, Brazil. *Mycorrhiza*, **10**:131-136.

Biermann B, Linderman RG. 1981. Quantifying vercular-arbuscular mycorrhizas: A proposed method towards standardization. *New Phytologist*, **87**:63-67.

Daniels BA, Skipper HD. 1982. Methods for the recovery and quantitative estimation of propagules from soil// Schenec NC, ed. Methods and Principles of Mycorrhizal Research. St. Paul, Minn: American Society for Phytopathology.

Dodd JC, Thomson BD. 1994. The screening and selection of inoculant arbuscular mycorrhizal and ectomycorrhizal fungi. *Plant and Soil*, **159**: 149-158.

Ferguson JJ, Menge JA. 1982. The influence of light intensity and artificially extended photoperiod upon infection and sporulation of *Glomus fasciculatus* on Sudan grass and on root exudation of Sudan grass. *New Phytologist*, **92**: 183-191.

Fricse CF, Koske RE. 1991. The spatial distribution of spores of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in a sand dune: Microscale patterns associated with the root architecture of American beach grass. *Mycological Research*, **95**: 952-957.

Gamper H, Peter M, Jansa J, *et al*. 2004. Arbuscular mycorrhizal fungi benefit from 7 years of free air CO_2 enrichment in well-fertilized grass and legume monocultures. *Global Change Biology*, **10**: 189-199.

Gemma JN, Koske RE, Flynn T. 1992. Mycorrhizae in Hawaiian pteridophytes: Occurrence and evolutionary significance. *American Journal of Botany*, **79**: 843-852.

Gerdmann JW. 1968. Vesicular-arbuscular mycorrhiza and plant growth. *Annual Review of Phytopathology*, **6**: 397-418.

Harley JL, Harley EL. 1987. A check-list of mycorrhiza in the British flora. *New Phytologist*, **105**: 1-102.

Harley JL, Smith SE. 1983. Mycorrhizal Symbiosis. London: Academic Press.

Haselwandter K, Read DJ. 1982. The significance of a root-fungus association in two *Carex* species of high-alpine plant communities. *Oecologia*, **53**: 352-354.

Klironomos JN, McCune J, Hart M, *et al*. 2000. The influence of arbuscular mycorrhizae on the relationship between plant diversity and productivity. *Ecology Letters*, **3**: 137-141.

Koske RE, Gemma JN, Flynn T. 1992. Mycorrhizae in Hawaiian angiosperms: A survey with implications for the origin of the native flora. *American Journal of Botany*, **79**: 853-862.

Koske RE, Halvorson WL. 1981. Ecological studies of vesicular-arbuscular mycorrhizae in a barrier sand dune. *Canadian Journal of Botany*, **59**: 1413-1422.

Koske RE. 1987. Distribution of VA mycorrhizal fungi along altitudinal temperature gradient. *Mycologia*, **79**: 55-68.

Liu RJ, Wang FY. 2003. Selection of appropriate host plants used in trap culture of arbuscular mycorrhizal fungi. *Mycorrhiza*, **13**: 123-127.

Molina RJ, Trappe JM, Strickler GS. 1978. Mycorrhizal fungi associated with Festuca in western United States and Canada. *Canadian Journal of Botany*, **56**: 1691-1695.

Morton JB, Redecker D. 2001. Two new families of Glomales, Archaeosporaceae and Paraglomaceae, with two new genera *Archaeospora* and *Paraglomus*, based on concordant molecular and morphological characters. *Mycologia*, **93**: 181-195.

Morton JB. 1988. Taxonomy of VA mycorrhizal fungi: Classification, nomencalture, and identification. *Mycotaxon*, **32**: 267-324.

Newsham KK, Fittea AH, Watkinson AR. 1995. Multi-functionality and biodiversity in arbuscular mycorrhizas. *Trends in Ecology and Evolution*, **10**: 401-411.

O'Connor PJ, Smith SE, Smith EA. 2002. Arbuscular mycorrhizas influence plant diversity and community structure in a semiarid herbland. *New Phytologist*, **154**: 209-218.

Read DJ. 1994. Plant-microbe mutualisms and community structure// Schulza ED, Mooney HA, eds. Biodiversity and Ecosystem Function. New York: Springer-Verlag Press.

Schenk NC, Perez Y. 1988. Manual for identification of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi (2nd ed.). INVAM, Florida: Synergistic Publications.

Shi ZY, Feng G, Christie P, *et al*. 2006. Arbuscular mycorrhizal status of spring ephemerals in the desert ecosystem of Junggar Basin, China. *Mycorrhiza*, **16**: 269-275.

Smith FA, Smith SE. 1996. Mutualism and parasitism: Diversity in function and structure in the "arbuscular" (VA) mycorrhizal symbiosis. *Advances in Botanical Research*, **22**: 1-43.

Smith FA, Smith SE. 1997. Structural diversity in (vesicular) arbuscular mycorrhizal symbioses. *New Phytologist*, **137**: 373-388.

Sylvia DM. 1986. Spatial and temporal distribution of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi association with *Uniola paniculata* in Florida foredunes. *Mycologia*, **78**: 728-734.

Trappe JM. 1987. Phylogenetic and ecologic aspects of mycotrophy in the angiosperms from an evolutionary standpoint// Safir GR, ed. Ecophysiology of VA Mycorrhizal Plants. Boca Raton, FL: CRC Press.

Treu R, Laursen GA, Stephenson SL, *et al*. 1996. Mycorrhizae from Denali Nation Park and Preserve, Alaska. *Mycorrhiza*, **6**: 21-29.

van Der Heijden MGA, Klironomos JN, Ursic M, *et al*. 1998a. Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. *Nature*, **396**: 69-72.

van Der Heijden MGA, Boller T, Wiemken A, *et al*. 1998b. Different arbuscular mycorrhizal fungi species are potential determinants of plant community structure. *Ecology*, **79**: 2082-2091.

Zhang Y, Guo LD, Liu RJ. 2004. Arbuscular mycorrhizal fungi associated with common pteridophytes in Dujiangyan, southwest China. *Mycorrhiza*, **14**: 25-30.

Zhao ZW, Xia YM, Qin XZ, *et al*. 2001. Arbuscular mycorrhizal status of plants and the spore density of arbuscular mycorrhizal fungi in the tropical rain forest of Xishuangbanna, southwest China. *Mycorrhiza*, **11**: 159-162.

作者简介 杨秀丽,女,1983年生,博士研究生。主要从事菌根方面的研究。E-mail: yangxiuli4390@163.com

责任编辑 魏中青