

大青山外生菌根真菌资源与生态研究

白淑兰^{1,2}, 刘 勇^{2*}, 周 晶³, 董 智¹, 樊 荣¹

(1. 内蒙古农业大学林学院, 呼和浩特 010019; 2. 北京林业大学资源与环境学院, 北京 100083; 3. 包头医学院基础医学部, 包头 014010)

摘要: 历经 5a, 采用踏查与样线调查相结合的方法, 对内蒙古大青山主要林区的外生菌根真菌资源与生态进行了系统研究。通过对子实体鉴定及对菌根组织的分离与回接研究, 并借鉴前人对大青山大型真菌调查资料, 初步认为在大青山分布的外生菌根真菌共 163 种, 占现有国内报道种的 26.6%, 它们分别隶属于 18 科、41 属。在大青山此次调查发现内蒙新记录种 54 种, 占大青山记录种的 33%, 还有 5 个存疑种; 通过对分布区内各生态因子研究表明, 在大青山外生菌根真菌喜欢生长在有机质丰富、林分郁闭度 0.7 ~ 0.9、海拔 1300 ~ 1900 m、阴坡的中部、坡度为 20 ~ 40° 的环境中, 而在陡坡、山顶或山麓分布较少; 通过对生境土壤理化因子分析结果表明, 菌根真菌的存在能够明显降低土壤 pH 值, 并对环境中全 N 含量有显著的提高, 对全 P、全 K 无显著影响, 但对速效态 N、P、K 释放均有显著的促进作用, 尤其速效 K 的释放与对照存在着极显著的差异; 从对共生关系研究表明, 白蘑科 (Tricholomataceae)、红菇科 (Russulaceae)、丝膜菌科 (Cortinariaceae)、鹅膏科 (Amanitaceae) 的大部分真菌, 以白桦 (*Betula platyphylla* Suks.)、山杨 (*Populus davidiana* Dode.)、云杉 (*Picea asperata* Mast.)、蒙古栎 [*Quercus mongolica* (Fisch.) Turcz.]、虎榛子 (*Ostryopsis davidiana* Decne.) 为主要宿主, 而牛肝菌科 (Boletaceae) 的大部分真菌主要以油松 (*Pinus tabulaeformis* Carr.)、华北落叶松 (*Larix principis-rupprechtii* Mayr.)、云杉、白桦、虎榛子等为主要宿主植物。

关键词: 大青山; 外生菌根资源调查; 菌根生态

文章编号: 1000-0933(2006)03-0837-05 中图分类号: S944 文献标识码: A

Resources investigation and ecological study on ectomycorrhizal fungi in Daqingshan Mountains, Inner Mongolia

BAI Shu-Lan^{1,2}, LIU Yong^{2*}, ZHOU Jing³, DONG Zhi¹, FAN Rong¹ (1. College of Forestry, Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot 010019; 2. College of Resources and Environment, Beijing Forestry University, Beijing, 100083; 3. Department of Preclinical Medicine, Baotou Medical College, Baotou 014010, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(3): 837 ~ 841.

Abstract: This paper summarized the comprehensive 5-year-survey of the ectomycorrhizal resources and their ecological characteristics for the major forested areas in Daqingshan Mountain, Inner Mongolia. Preliminary results obtained using either the fruit body identification in the field or culture inoculation in the laboratory suggest that there are 163 species of ectomycorrhizal fungi in Daqingshan Mountain. These 163 species, approximately comprising 26.6% of all the ectomycorrhizal species reported in China, belong to 18 families and 41 genera. In this survey, 54 species were first time reported for this region, approximately comprising 33% of all the ectomycorrhizal species reported in Daqingshan Mountain and 5 species were not identifiable at the species-level. These ectomycorrhizal fungi predominantly grow in the soil rich in organic matter, canopy closure of 0.7 ~ 0.9, altitude of 1300 ~ 1900 m, and the in the north-facing slope of 20 ~ 40°. Analysis of the soil physical and chemical properties indicates that the existence of ectomycorrhizal fungi significantly lowers soil pH, and enhances the total N content, but has no

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (30260086, 30560122)

收稿日期: 2005-09-12; **修订日期:** 2005-11-30

作者简介: 白淑兰 (1960 -), 女, 蒙古族, 内蒙古通辽市人, 博士, 教授, 主要从事菌根基础与应用研究. E-mail: Baishulan2004@163.com

通讯作者: Author for correspondence. E-mail: liuyongd@public3.bta.net.cn

致谢: 中国科学院微生物研究所卯晓岚研究员及内蒙古师范大学生物系张功教授对菌种给予了鉴定, 在此道表谢忱

Foundation item: The project was supported by National Natural Science Foundation of China (No. 30260086, 30560122)

Received date: 2005-09-12; **Accepted date:** 2005-11-30

Biography: BAI Shu-Lan, Ph. D., mainly engaged in biochemical and physiological theory of mycorrhizae and its application. E-mail: Baishulan2004@163.com

apparent enhancing effect on the soil total P and K contents. By contrast, the existence of ectomycorrhizal fungi significantly increases the availability of labile N, P and K, especially that of K. Additional analysis shows that (1) the host tree species for Tricholomataceae, Russulaceae, Cortinariaceae and Amanitaceae are *Betula platyphylla* Suks., *Populus davidiana* Dode., *Picea asperata* Mast., *Quercus mongolica* (Fisch.) Turcz., and *Ostryopsis davidiana* Decne; and (2) the host tree species for Boletaceae mainly are *Pinus tabulaeformis* Carr., *Larix principis-rupprechtii* Mayr., *Picea asperata* Mast., *Betula platyphylla* Suks., and *Ostryopsis davidiana* Decne.

Key words: Daqingshan Mountain; survey of ectomycorrhizal resources; mycorrhizal ecology

菌根是植物根系与菌根真菌形成的一种互惠共生体系,它是植物与真菌在长期生命进化过程中协同进化的产物。其中,外生菌根是北方乔灌木树种菌根的主要类型。据估计,目前在全球范围内能够形成外生菌根的真菌约 90 个属,5000 ~ 6000 种^[1~3]。约有 650 种的外生菌根真菌被命名^[4,5]。早在 1895 年 Patouillard N. 就对我国鹅膏科真菌做过零星记载,但后来我国菌根资源调查基本处于停滞状态,直到 20 世纪 80 年代,随着全国性和地区性科学考察、资源普查及大型真菌专题调查,我国菌根真菌资源研究才有了长足发展。据不完全统计,我国现已报道能形成外生菌根的真菌分别隶属 3 个亚门,49 科,共 133 属,近 600 种^[6]。近年来,每年还发现一些新记录种。

大青山位于内蒙古呼和浩特市和包头市一线北侧,属阴山山脉中段,北为内蒙古草原,南为土默特-冲积平原,海拔在 1100 ~ 2300 m 之间,它是呼、包二市的重要生态屏障。在对大青山外生菌根真菌资源调查的基础上,对其生态因子也进行了较为全面的研究,旨在探明大青山外生菌根真菌的生态分布特性,为大青山乡土外生菌根真菌资源开发与区划,乃至菌根化苗木定向培育提供理论依据。

1 调查与研究方法

1.1 调查方法与菌种鉴定

根据海拔、坡向、植被类型、土壤等划分调查区,在调查区内采用踏查与样线调查相结合的方法寻找子实体,对子实体所有特征及生境进行详细记录。同时沿子实体基部菌丝进行菌索追踪调查,以确定子实体与树木的菌根关系,采集相关宿主的小根进行菌套与哈蒂氏网形态学与解剖学特征观察。菌种的鉴定主要是通过子实体、孢子等形态学特征进行。同时查阅大量相关资料确定菌根菌种。

1.2 生态因子调查与统计分析方法

在不同调查区内采集典型子实体根际 0 ~ 25cm 深土壤混合样品共 80 份,同时采集具有代表性的腐生伞菌根际 0 ~ 25cm 深土壤混合样品和相应林型区边缘土样各 20 份作对照(以下简称 CK₁ 与 CK₂)。对新鲜子实体与菌根组织通过组织分离的方法进行菌种分离,用于回接研究与菌种保藏。土壤样品测定指标包括:pH 值、有机质、全氮、全磷、全钾、速效氮、速效磷、速效钾等,具体方法参见文献^[7]。数据统计分析方法采用 SPSS 软件进行。

2 结果与分析

2.1 大青山外生菌根真菌种类分布

研究结果表明,目前在大青山共发现的外生菌根真菌隶属于 18 科、41 属、163 种,占现有国内报道种类的 26.6%。子囊菌亚门(Ascomycotina)5 科、6 属、8 种,担子菌亚门(Basidiomycotina)13 科、35 属、155 种。此次调查共发现 54 个内蒙古新记录种,还有 5 个存疑种。其中,红菇科(Russulaceae)46 种,占总数的 28.2%;牛肝菌科(Boletaceae)32 种,占总数的 19.6%;丝膜菌科(Cortinariaceae)25 种,占总数的 14.5%;白蘑科(Tricholomataceae)18 种,占总数的 11.0%;鹅膏科(Amanitaceae)11 种,占总数的 6.7%。此 5 个科共 114 种,占总数的 69.9%。从而说明大青山虽然植被退化较为严重,但外生菌根真菌资源尚保存较多,这也充分证实菌根真菌较宿主植物具有更强的适应性与抗逆性,作为森林生态系统的重要组成部分,菌根真菌的多样性是维持生态系统多样性及其功能多样性的一个重要因素^[8]。因此,在生态系统保护与重建时对菌根真菌多样性的

保护应给予足够重视。

2.2 生态因子对大青山外生菌根真菌分布的影响

2.2.1 海拔高度 调查结果表明,大青山外生菌根真菌的分布存在着明显的垂直分布规律(表 1)。这应该是受生态环境垂直梯度变化影响的结果,因为在大青山中山区的阴坡水热状况较好,并分布有大量的杨桦阔叶次生林或针阔混交林,具备菌根真菌生存与共生的条件。

表 1 不同海拔高度对大青山外生菌根真菌种类分布的影响

Table 1 Effect of altitude on the abundance of ectomycorrhizal fungi in Daqingshan Mountain					
海拔 Altitude(m)	< 1300	1300 ~ 1500	1500 ~ 1700	1700 ~ 1900	> 1900
种 Species	16	45	81	28	20
百分比 Percentage(%)	9.7	27.3	49.1	16.9	12.1

* 百分比是指不同海拔范围内分布的种类占大青山调查种类的百分比 Percentage was taken as the ratio of the number of species in a certain altitude to the total number of species surveyed in this study

低山区(< 1300 m)种类较少,主要分布白蘑科的一些种,如:棕灰口蘑[*Tricholoma terreum* (Schaeff; Fr.) Quèl.],条纹口蘑[*T. virgatum* (Fr.) Gill.], 粉紫香蘑[*Lepista personata* (Fr.: Fr.) Sing.], 紫晶蜡蘑[*Laccaria amethystea* (Bull.) Murr.]等;中山区(1300 ~ 1900 m)分布的种类最多,占总数的 70% 以上,即有白蘑科的一些种,也有牛肝菌科牛肝菌属(*Boletus* Dill. ex Fr.)、粘盖牛肝菌属(*Suillus* Mich. ex Gray.)、绒盖牛肝菌属(*Xerocomus* Quèl.)、疣柄牛肝菌属(*Leccinum* Gray.)的一些种,丝膜菌科丝盖伞属[*Inocybe* (Fr.) Fr.]、丝膜菌属(*Cortinarius* Fr.)、滑锈伞属[*Hebeloma* (Fr.) Kumm.]、白丝膜菌属[*Leucocortinarius* (Alb. et schw.) sing.]中的大部分种,又有红菇科红菇属[*Russula* (Pers. ex Fr.) Gray.]、乳菇属(*Lactarius* Pers. ex Gray.)的许多种,还有鹅膏科鹅膏属(*Amanita* Pers. ex Gray.)的一些种,如:褐黄鹅膏菌[*A. crocea* (Quèl.) Kihm. & Romagn.], 姜黄柄鹅膏菌(*A. flavipes* Imai.), 毒蝇鹅膏菌[*A. muscaria* (L.: Fr.) Pers. ex Hook.], 橙盖鹅膏菌[*A. caesarea* (Scop.: Fr.) Pers.: Schw.], 角鳞灰鹅膏菌(*A. spissacea* Imai.), 金疣鹅膏菌[*A. ceciliae* (Berk. & Br.) Bas.], 片鳞鹅膏菌[*A. agglutinata* (Berk. et Curt.) Lloyd.], 美女毒蝇菌[*A. muscaria* var. *Puella* (Batsch.) Cda.]等;高山区(> 1900 m)种类分布明显减少,主要分布有牛肝菌科中粘盖牛肝菌属、疣柄牛肝菌属、褶孔牛肝菌属(*Phylloporus* Quèl.)的一些种,红菇科乳菇属的云杉乳菇[*Lactarius deliciosus* (L.: Fr.) Gray. var. *piceus* Smotl.], 松乳菇[*L. deliciosus* (L.: Fr.) Gray.]等个别种。

2.2.2 坡向、坡度、坡位 由表 2 表明,阴坡、坡度为 20 ~ 40°、山体中部种类分布最多,因为这些地段分布有大量的次生林;低山阳坡、陡坡以及山顶土壤干旱,植被稀少,多为旱生草本,甚至裸岩,同时山麓人为活动过于频繁,菌类生存与共生环境较差,因此种类较少。

表 2 不同坡向、坡度、坡位对外生菌根真菌分布的影响

Table 2 Effect of slope (i.e., its direction, steepness and location) on the abundance of ectomycorrhizal fungi in Daqingshan Mountain									
因素 Factors	坡向 Direction			坡度 Degree (°)			坡位 Location		
	阳坡 South-facing	阴坡 North-facing	半阳坡 East- and west facing	< 20	20 ~ 40	> 40	山顶 Top	中部 Middle	山脚 Bottom
种 Species	8	119	38	25	119	21	8	125	7

2.2.3 林分郁闭度及宿主植物 调查结果表明,林分郁闭度越大,种类就越多,当林分郁闭度达 0.7 ~ 0.9 时,分布的种类可占调查种类的 70% 以上。另外,地被物以苔草、羊草为主时外生菌根种类明显减少。从对宿主植物研究分析认为,口蘑科、红菇科、丝膜菌科、鹅膏科以白桦、山杨、云杉、蒙古栎、虎榛子等为主要共生者;而牛肝菌科宿主植物主要为油松、华北落叶松、云杉、白桦、虎榛子。

2.3 外生菌根真菌与土壤理化性状的关系

通过对样品土壤 pH 值测定结果表明,菌根真菌可以大幅度降低土壤 pH 值,而腐生伞菌类真菌对土壤

pH 值的影响与林缘土无显著差异(表 3)。

通过对土壤养分测定结果表明,无论是菌根真菌还是腐生伞菌均喜欢生长于土壤有机质含量高的地段,因为这些地段能为这些真菌生长提供必要的营养,从而有利于真菌菌丝的发育;另外,菌根真菌能够显著提高土壤中全氮含量,说明菌根真菌对有机质的转化速率显著高于腐生伞菌和林缘,但对全磷、全钾无显著影响,这也许是大青山自然生态系统中全磷、全钾主要来源于岩石中矿物的缘故。同时还证实,菌根真菌能显著促进土壤中速效态 N、P、K 的释放,使环境中的速效态养分显著高于 CK₁ 和 CK₂,尤其是速效钾比对照提高了 76.5%(表 4),说明菌根真菌的存在对环境中矿质钾的释放具有重要的作用。

表 3 外生菌根真菌典型科、属对土壤 pH 值的影响

Table 3 Effect of the representative ectomycorrhizal fungi on soil pH

属 Genera	B.b	B.l	B.s	C.c	R.l	R.r	A.a	CK ₁	CK ₂
pH	6.32a	6.71a	6.96a	6.21a	6.45a	6.31a	6.35a	7.18b	7.34b

字母不同表示多重比较差异显著(LSD 检验, $p = 0.05$); B.b、B.l、B.s 分别代表牛肝菌科中牛肝菌属、疣柄牛肝菌属、粘盖牛肝菌属; C.c 代表丝膜菌科丝膜菌属; R.r、R.l 分别代表红菇科红菇属、乳菇属; A.a 代表鹅膏科、鹅膏属; CK₁ 代表腐生伞菌对照土样; CK₂ 代表林缘对照土样,下同 Different letters (i.e., a and b in the second row) indicate statistically significant levels(LSD test, $p = 0.05$); B.b, B.l, B.s, C.c, R.l, R.r, A.a, CK₁ and CK₂ denote *Boletus* Dill. ex Fr., *Leccinum* Gray., *Suillus* Mich. ex Gray.; *Cortinarius* Fr.; *Lactarius* Pers. ex Gray.; *Russula* (Pers. ex Fr.) Gray., *Amanita* Pers. ex Gray., saprophytic fungi; and soil samples from forest edge without ectomycorrhizal fungi, respectively. the same below

表 4 外生菌根真菌对土壤理化因子的影响

Table 4 Effect of ectomycorrhizal fungi on soil physical and chemical properties

处理 Treatments	pH	有机质 Organic matter (g/kg)	全氮 Total N (g/kg)	全磷 Total P (g/kg)	全钾 Total K (g/kg)	速效氮 labile N (mg/kg)	速效磷 labile P (mg/kg)	速效钾 labile K (mg/kg)
ECMF	6.47a	100.77a	2.23a	0.39a	22.42a	102.74a	5.67a	231.81a
CK ₁	7.18 b	93.24a	1.34b	0.34a	21.69a	73.45 b	4.59a	141.42a
CK ₂	7.34b	74.23b	1.32b	0.40a	21.69a	65.29b	3.00b	131.30b

同一列内字母不同表示多重比较差异显著(LSD 检验, $p = 0.05$), ECMF 代表外生菌根真菌 The different letters indicate significant difference (LSD test, $p = 0.05$), ECMF represents ectomycorrhizal fungi

3 讨论

菌根真菌作为森林生态系统的重要组成部分,对维持生态系统的功能和生物多样性有着不可替代的作用,尤其像内蒙古大青山如此退化的生态系统中,残存的菌根真菌可能具有更重要的生态意义。因为很多研究已经证实菌根真菌可以提高宿主植物在恶劣环境中的生存能力,而且它比宿主具有更强的抗逆性^[1]。

国外对自然生态系统中外生菌根真菌生态、共生生理、共生机制等研究较多^[9,10]。而我国外生菌根基础与生态研究还较滞后,许多树种的外生菌根共生关系尚不清楚,资源调查力度也不够,适合于各地区主要造林树种的优良外生菌根真菌的筛选研究更少。通过对大青山外生菌根真菌资源与生态研究初步认为,在大青山乡土外生菌根真菌资源较为丰富,具有较高的开发利用价值。同时,这些菌种分布存在着明显的垂直分布规律,因为在大青山影响菌根真菌生存与共生的环境因子就存在着明显的垂直梯度变化。另外,外生菌根真菌在生长与共生的过程中会产生大量的有机酸^[11],在降低土壤 pH 值的同时,还能促进土壤矿物中速效态 N、P、K 的释放,尤其是矿质 K 的释放更为显著。袁玲等研究表明,外生菌根真菌分泌的草酸对含钾矿物云母、长石中钾离子的释放具有重要的作用,外生菌根的菌索可以给宿主植物提供 10% 的钾^[12,13]。Read 通过对林下菌丝系统在生态系统中的功能研究认为,整个生态系统是不可分割的整体,很多菌根真菌没有严格的共生专化性,一种菌种可能与多个宿主连在一起,形成十分复杂的地下菌丝网络系统,成为地下生态系统中生物之间进行营养交换与信息传递的重要枢纽^[14],因此,生态系统中菌根真菌对环境的作用是十分复杂和多层次的,而且,外生菌根真菌的多样性对于极度退化生态系统的养分循环可能具有更重要的生态意义,在我国应该加强这方面的研究力度。

References:

- [1] Brundrett M, Bougher N, Dell B, *et al.* Working with Mycorrhizas in Forestry and Agriculture. Canberra: ACIAR Monograph, 1996. 221 ~ 268.
- [2] Michael A C, Bougher N L. Consideration of the taxonomy and biodiversity of Australia ectomycorrhizal fungi. *Plant and soil*, 1994, 159:37 ~ 46.
- [3] Myra C C. Mycorrhizal fungi of *Pinus radiata* in New Zealand. *Soil Biol. Biochem.*, 1979, 11:557 ~ 562.
- [4] Rincón A, Álvarez I F, Pera J. Ectomycorrhizal fungi of *Pinus pinea* L. in northeastern Spain. *Mycorrhiza*, 1999, 8: 271 ~ 276.
- [5] Tam P C F. Mycorrhizal associations in *Pinus massoniana* Lamb. and *Pinus elliottii* Engel. Inoculated with *Pisolithus tinctorius*. *Mycorrhiza*, 1994, 4:255 ~ 263.
- [6] Yu F Q, Liu P G. Reviews and Prospects of the Ectomycorrhizal Research and Application. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(12):2217 ~ 2225.
- [7] Edited by Nanjing Agriculture College. Chemical analysis of agricultural soils. Beijing : Agriculture Publishing House, 1980. 106 ~ 196.
- [8] Johnson D, Ijdo M, Genney D R, *et al.* How do plants regulate the function, community structure, and diversity of mycorrhizal fungi? *Journal of Experimental Botany*, 2005, 56(417): 1751 ~ 1760.
- [9] Simard S W, Perry D A, Jones M D, *et al.* Net transfer of carbon between ectomycorrhizal tree species in the field. 1997. *Nature*, 388:579 ~ 583.
- [10] Graves J D, Watkins N K, Fitter A H, *et al.* Intraspecific transfer of carbon between plants linked by a common mycorrhizal network. *Plant and Soil*, 1997, 192:153 ~ 159.
- [11] Van Breeman N, Finlay R, Lundstrom U, *et al.* Mycorrhizal weathering: a true case of mineral plant nutrition? *Biogeochemistry*, 2000, 49:53 ~ 67.
- [12] Yuan L, Fang D H, Wang Z H, *et al.* Effects of potassium on the secretion of proton and oxalate by ectomycorrhizal fungi and the concentrations of nitrogen, phosphorus and potassium in their hyphae. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(2):254 ~ 258.
- [13] Yuan L, Huang J G, Li X L, *et al.* Biological mobilization of potassium from clay minerals by ectomycorrhizal fungi and eucalypt seedling roots. *Plant and Soil*, 2004, 262:351 ~ 361.
- [14] Read D. The ties that bind. *Nature*, 1997, 338:517 ~ 518.

参考文献:

- [6] 于富强,刘培贵.外生菌根研究及展望.生态学报,2002, 22(12):2217 ~ 2225.
- [7] 南京农学院主编.土壤农化分析.北京:农业出版社,1980.106 ~ 196.
- [12] 袁玲,方德华,汪智慧,等.钾对外生菌根真菌的分泌作用及氮、磷、钾含量的影响.生态学报,2001,21(2):254 ~ 258.