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

包玉英^{1 2} 闫 伟^{3 *}

1 (内蒙古农业大学生态环境学院, 呼和浩特 010018)
2 (内蒙古大学生命科学院, 呼和浩特 010021)
3 (内蒙古农业大学科技处, 呼和浩特 010018)

摘要 :2002 年 6-9 月,对内蒙古中西部草原建群植物及优势植物的丛枝菌根共生状况进行了调查。在观察的 28 科 125 种植物中,被丛枝菌根真菌侵染的植物有 104 种(占 83.2%) ;在过去认为不能侵染的莎草科植物中发现卵穗苔草(*Carex duriuscula*)和黄囊苔草(*C. korshinskyi*)有侵染现象。在所调查的植物中,多年生草本和灌木类植物被丛枝菌根真菌侵染的比例较高,占被调查该类植物总数的 90.4% ,而一年生和二年生草本植物被侵染的比例仅为 47.6% 。本地区野生植物的丛枝菌根结构类型多数为 Arum 类型,占 65.38% ,尤其在百合科(*Liliaceae*)、菊科(*Compositae*)、豆科(*Leguminosae*)和蔷薇科(*Rosaceae*)植物中比例较高,而 Paris 类型仅有 19.23% ,多见于禾本科(*Gramineae*)、唇形科(*Labiatae*)、桔梗科(*Campanulaceae*)和百合科。丛枝菌根的结构类型与植物的根系类型、生活型和菌根侵染率无关,而与植物所属的科属关系比较密切。

关键词 :草原植物,菌根类型,菌根侵染率,生活型

中图分类号 :Q938 文献标识码 :A 文章编号 :1005-0094(2004)05-0501-08

Arbuscular mycorrhizae and their structural types on common plants in grasslands of mid-western Inner Mongolia

BAO Yu-Ying^{1 2}, YAN Wei^{3 *}

1 College of Ecological and Environmental Sciences, Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot 010018
2 College of Life Science, Inner Mongolia University, Huhhot 010021
3 Science and Technology Bureau, Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot 010018

Abstract : We collected and studied 125 plant species from grasslands in the middle and western regions of Inner Mongolia, of which 104 species (83.2%), including two from the genus *Carex*, were infected by arbuscular mycorrhizal (AM) fungi. The colonization rate of AM fungi was higher in perennial and brush species (90.4%) than in annual and biennial plants (47.6%). Most wild plant species in the survey belonged to the Arum-type (65.38%), whereas only 19.23% belonged to the Paris-type. The intermediate type and undetermined type accounted for 10.58% and 4.81%, respectively. The results show that the structural type of AM fungi depends on the family and genus that their host plants belong to, rather than on the root forms, life forms and colonization rates of their host plants.

Key words : grassland plants, mycorrhizal type, colonization rate, life form

菌根是土壤真菌与高等植物的根系形成的共生联合体(symbiotic association)。丛枝菌根(arbuscular mycorrhizae, AM)具有两种类型:彗尾星型(Arum-type, 简称为 A-型)和重楼型(Paris-type, 简称为

P-型)。丛枝菌根的两种类型是 Gallaud 于 1905 年首先提出的。Arum 类型的特征为:菌丝在宿主皮层细胞间隙生长,形成大量胞间菌丝,并侧向分枝进入细胞,通过顶端不断分叉形成典型的丛枝结构。而

Paris 类型的菌丝在皮层细胞内卷曲、缠绕生长,并在皮层细胞间直接传播,胞间菌丝较少,丛枝结构形成于卷曲的菌丝之间,且多限于紧贴中柱的几层内部皮层细胞。据文献报道,在自然植物群落中,P-型较多见,尤其在苔藓、蕨类植物、裸子植物和野生的被子植物中占主导地位,而A-型则常见于栽培植物中(Smith & Smith,1997)。

Gallaud 对丛枝菌根结构类型的划分一直被普遍沿用。此后众多学者进一步的研究发现,除了上述两种类型外,还存在中间类型(Intermediate type,简称为I-型),即在寄主细胞内既有胞间菌丝,同时又有胞内圈状菌丝。Smith 和 Smith(1997)对此作了较全面的综述。3 种类型的划分得到了普遍采用,本文也采用该方法。

近年来国外对丛枝菌根形态结构特征及其类型的研究很关注(Smith & Smith,1997),旨在探索丛枝菌根形态结构与菌根功能之间的关系以及菌根共生体在自然生态系统演替和进化过程中的作用。而国内相关研究较少(Zhao *et al.*,2001;Zhang *et al.*,2004),野外的研究更不多见。

内蒙古草原处于半干旱、干旱的大陆性气候带,随着水分由东向西递减,地理环境呈现明显的梯度变化,地带性植被也呈现出由草甸草原逐渐向典型草原和荒漠草原过渡的特征。内蒙古草原植被成分以多年生的旱生禾草类植物为主,具有较为丰富的物种多样性和特殊的地理特征(刘钟龄等,1985),因而也必然有其独特的菌根学特征。随着对草原生态系统研究的不断深入,对草原菌根学的研究也会成为一个必然涉及的内容。

对草原植物群落菌根状况的本底调查,对于了解菌根如何影响植物群落的组成、功能及其动态变化是十分必要的。因此,本文选择内蒙古中西部草原为对象,对主要植物的结构类型、根系特征及其被AM真菌侵染的状况以及AM真菌的分布进行了调查,填补了内蒙古草原天然植物群落菌根学研究的空白,为进一步探索丛枝菌根结构特征与其功能多样性的关系奠定基础。

1 材料和方法

1.1 样地

2002 年 6 - 9 月,在内蒙古中西部草原区选择具有代表性的区域作为样地,样地在气候、土壤及群

落组成上均有差异。样点有嘎松山草甸草原;典型草原区选在中国科学院内蒙古锡林郭勒草原生态系统定位研究站的羊草(*Leymus chinensis*) + 大针茅(*Stipa grandis*)原生群落及其退化恢复群落以及大针茅 + 羊草群落样地,荒漠草原区包括苏尼特、乌兰察布及鄂尔多斯草原,样点有赛汗塔拉、召河及杭锦旗。

1.2 样品采集

样品采集原则为所选样地的常见植物。以多年生草本为主,兼有一、二年生草本,少数小半灌木及小灌木。采集植物根系样品,固定于 FAA(5 mL 冰乙酸,5 mL 甲醛,90 mL 50% 乙醇)溶液中。

1.3 菌根类型的观察

根系样品用蒸馏水冲洗 2 - 3 次,并切成 1 cm 左右长度的根段;于 10% 的 KOH 溶液中 92℃ 下脱色透明 20 - 60 min,再用蒸馏水冲洗干净;用 0.05% 翠盘蓝(trypan-blue)乳酸甘油溶液染色 2 - 4 h,并用乳酸分色、制片(Phillings & Hayman,1970)。用 Nikon 显微镜观察菌根结构(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。

1.4 丛枝菌根侵染率测定

按上述方法制片,每个样品在显微镜下检查 50 个根段,并用根段法计算根系菌根侵染率(Abbott *et al.*,1984)。

2 结果与讨论

2.1 菌根植物多样性

本次调查在内蒙古中西部草原共采集了 28 科 77 属 125 种常见植物,植物丛枝菌根侵染率、结构类型与根系类型见表 1。

研究结果显示,在所调查的植物中有 104 种(83.2%)被丛枝菌根真菌侵染。其中,在多年生草本和灌木类植物中菌根植物比例较高,占 90.4%;而在一年生和二年生草本植物中菌根植物比例仅有 47.6%。这一结果与 Peat 和 Fitter(1993)的观察结果有较大的出入:后者的结果显示一年生植物菌根侵染率达到 100%,而多年生植物的菌根侵染状况与本研究的结果相近,比例为 92%。由于有些被认为不能被 AM 真菌侵染的一、二年生草本植物常出现在草原群落,尤其是荒漠草原群落中,而本次调查采集了它们,这就导致了一、二年生草本植物中

表 1 内蒙古中西部草原地区主要植物的生活型、根系类型以及丛枝菌根侵染率及其结构类型
Table 1 The life form , root type of the common plants and colonization rate and structure type of arbuscular mycorrhizae from grass-lands of Inner Mongolia

植物种类 Plant species	生活型 Life form	根系类型 Root type	侵染率 Colonization rate(%)	菌根结构 类型 AM type
榆科 Ulmaceae				
榆 <i>Ulmus pumila</i>	乔木 Tree	直根 Tap root	44	P
蓼科 Polygonaceae				
篇蓄 <i>Polygonum aviculare</i>	一年生草本 Annual herb	直根 Tap root	0	
拳参 <i>P. bistorta</i>	多年生草本 Perennial herb	须根 Fibrous root	0	
柳叶刺蓼 <i>P. bungeanum</i>	一年生草本 Annual herb	直根 Tap root	0	
酸模叶蓼 <i>P. lapathifolium</i>	一年生草本 Annual herb	直根 Tap root	0	
藜科 Chenopodiaceae				
雾冰藜 <i>Bassia dasyphylla</i>	一年生草本 Annual herb	直根 Tap root	0	
驼绒藜 <i>Ceratoides latens</i>	半灌木 Semi-shrub	直根 Tap root	0	
藜 <i>Chenopodium album</i>	一年生草本 Annual herb	直根 Tap root	0	
蒙古虫实 <i>Corispermum mongolicum</i>	一年生草本 Annual herb	直根 Tap root	0	
木地肤 <i>Kochia prostrata</i>	半灌木 Semi-shrub	直根 Tap root	0	
苋科 Amaranthaceae				
反枝苋 <i>Amaranthus retroflexus</i>	一年生草本 Annual herb	直根 Tap root	0	
马齿苋科 Portulacaceae				
马齿苋 <i>Portulaca oleracea</i>	一年生草本 Annual herb	直根 Tap root	0	
石竹科 Caryophyllaceae				
石竹 <i>Dianthus chinensis</i>	多年生草本 Perennial herb	直根 Tap root	0	
细叶石头花 <i>Gypsophila licentiana</i>	多年生草本 Perennial herb	直根 Tap root	0	
毛茛科 Ranunculaceae				
兴安翠雀花 <i>Delphinium hsinganense</i>	多年生草本 Perennial herb	须根 Fibrous root	57	P
展枝唐松草 <i>Thalictrum squarrosum</i>	多年生草本 Perennial herb	须根 Fibrous root	31	P
十字花科 Cruciferae				
花旗杆 <i>Dontostemon dentatus</i>	一、二年生草本 Annual and biennial herb	直根 Tap root	0	
独行菜 <i>Lepidium apetalum</i>	一、二年生草本 Annual and biennial herb	直根 Tap root	0	
景天科 Crassulaceae				
八宝 <i>Hylotelephium erythrostictum</i>	多年生草本 Perennial herb	直根 Tap root	13	A
瓦松 <i>Orostachys fimbriatus</i>	二年生肉质草本 Biennial herb	直根 Tap root	25	A
费菜 <i>Sedum aizoon</i>	多年生草本 Perennial herb	直根 Tap root	26	A
堪察加景天 <i>S. kamtschaticum</i>	多年生草本 Perennial herb	直根 Tap root	19	A
蔷薇科 Rosaceae				
龙牙草 <i>Agrimonia pilosa</i>	多年生草本 Perennial herb	须根 Fibrous root	10	A
野杏 <i>Armeniaca vulgaris</i> var. <i>ansu</i>	乔木 Tree	直根 Tap root	61	A
蚊子草 <i>Filipendula palmata</i>	多年生草本 Perennial herb	直根 Tap root	51	A
路边青 <i>Geum aleppicum</i>	多年生草本 Perennial herb	须根 Fibrous root	58	A
星毛委陵菜 <i>Potentilla acaulis</i>	多年生草本 Perennial herb	直根 Tap root	64	A
二裂委陵菜 <i>P. bifurca</i>	多年生草本 Perennial herb	直根 Tap root	73	A
金露梅 <i>P. fruticosa</i>	灌木 Shrub	直根 Tap root	55	A
菊叶委陵菜 <i>P. tanacetifolia</i>	多年生草本 Perennial herb	直根 Tap root	52	A
地榆 <i>Sanguisorba officinalis</i>	多年生草本 Perennial herb	直根 Tap root	56	A
蒙古绣线菊 <i>Spiraea mongolica</i>	灌木 Shrub	直根 Tap root	38	A
豆科 Leguminosae				
达乌里黄芪 <i>Astragalus dahuricus</i>	一、二年生草本 Annual and biennial herb	直根 Tap root	34	A
灰叶黄芪 <i>A. discolor</i>	多年生草本 Perennial herb	直根 Tap root	23	A
草木樨状黄芪 <i>A. melilotoides</i>	多年生草本 Perennial herb	直根 Tap root	51	I
糙叶黄芪 <i>A. scaberrimus</i>	多年生草本 Perennial herb	直根 Tap root	20	A
中间锦鸡儿 <i>Caragana intermedia</i>	小灌木 Shrub	直根 Tap root	38	A
小叶锦鸡儿 <i>C. microphylla</i>	小灌木 Shrub	直根 Tap root	64	I

表 1 (续) Table 1 (continued)

植物种类 Plant species	生活型 Life form	根系类型 Root type	侵染率 Colonization rate(%)	菌根结构 类型 AM type
狭叶锦鸡儿 <i>C. stenophylla</i>	小灌木 Shrub	直根 Tap root	42	A
甘草 <i>Glycyrrhiza uralensis</i>	多年生草本 Perennial herb	直根 Tap root	30	A
山岩黄芪 <i>Hedysarum alpinum</i>	多年生草本 Perennial herb	直根 Tap root	56	A
胡枝子 <i>Lepedeza bicolor</i>	灌木 Shrub	直根 Tap root	68	A
牛枝子 <i>L. potaninii</i>	半灌木 Semi-shrub	直根 Tap root	35	A
花苜蓿 <i>Medicago ruthenica</i>	多年生草本 Perennial herb	直根 Tap root	39	A
紫苜蓿 <i>M. sativa</i>	一、二年生草本 Annual and biennial herb	直根 Tap root	38	A
草木樨 <i>Melilotus suaveolens</i>	多年生草本 Perennial herb	直根 Tap root	60	A
缘毛棘豆 <i>Oxytropis ciliata</i>	多年生草本 Perennial herb	直根 Tap root	0	
山泡泡 <i>O. leptophylla</i>	多年生草本 Perennial herb	直根 Tap root	28	A
苦马豆 <i>Sphaerophysa salsula</i>	多年生草本 Perennial herb	直根 Tap root	17	A
蒺藜科 Zygophyllaceae				
蒺藜 <i>Tribulus terrestris</i>	一年生草本 Annual herb	直根 Tap root	0	
远志科 Polygalaceae				
远志 <i>Polygala tenuifolia</i>	多年生草本 Perennial herb	直根 Tap root	52	P
大戟科 Euphorbiaceae				
乳浆大戟 <i>Euphorbia esula</i>	多年生草本 Perennial herb	直根 Tap root	29	I
瑞香科 Thymelaeaceae				
狼毒 <i>Stellera chamaejasme</i>	多年生草本 Perennial herb	直根 Tap root	0	
胡颓子科 Elaeagnaceae				
中国沙棘 <i>Hippophae rhamnoides</i> ssp. <i>sinensis</i>	灌木 Shrub	直根 Tap root	15	I
伞形科 Umbelliferae				
红柴胡 <i>Bupleurum scorzonrifolium</i>	多年生草本 Perennial herb	直根 Tap root	20	P
迷果芹 <i>Sphallerocarpus gracilis</i>	一、二年生草本 Annual and biennial herb	直根 Tap root	10	*
龙胆科 Gentianaceae				
达乌里秦艽 <i>Gentiana dahurica</i>	多年生草本 Perennial herb	直根 Tap root	19	P
萝藦科 Asclepiadaceae				
老瓜头 <i>Cynanchum komarovii</i>	多年生草本 Perennial herb	须根 Fibrous root	0	
紫花杯冠藤 <i>C. purpureum</i>	多年生草本 Perennial herb	直根 Tap root	74	A
地梢瓜 <i>C. thesioides</i>	多年生草本 Perennial herb	直根 Tap root	32	I
旋花科 Convolvulaceae				
银灰旋花 <i>Convolvulus ammannii</i>	多年生草本 Perennial herb	直根 Tap root	41	A
唇形科 Labiatae				
香青兰 <i>Dracocephalum moldavica</i>	一年生草本 Annual herb	直根 Tap root	7	*
香薷 <i>Elsholtzia ciliata</i>	多年生草本 Perennial herb	直根 Tap root	40	I
冬青叶兔唇花 <i>Lagochilus ilicifolius</i>	多年生草本 Perennial herb	直根 Tap root	50	I
糙苏 <i>Phlomis umbrosa</i>	多年生草本 Perennial herb	须根 Fibrous root	50	I
裂叶荆芥 <i>Schizonepeta tenuifolia</i>	一年生草本 Annual herb	直根 Tap root	38	P
并头黄芩 <i>Scutellaria scordifolia</i>	多年生草本 Perennial herb	须根 Fibrous root	11	I
百里香 <i>Thymus serpyllum</i> var. <i>mongolicus</i>	小灌木 Shrub	直根 Tap root	48	P
玄参科 Scrophulariaceae				
细叶婆婆纳 <i>Veronica linariifolia</i>	多年生草本 Perennial herb	须根 Fibrous root	41	A
车前科 Plantaginaceae				
平车前 <i>Plantago depressa</i>	多年生草本 Perennial herb	直根 Tap root	63	A
桔梗科 Campanulaceae				
狭叶沙参 <i>Adenophora gmelinii</i>	多年生草本 Perennial herb	直根 Tap root	45	P
聚花风铃草 <i>Campanula glomerata</i>	多年生草本 Perennial herb	直根 Tap root	35	P
大青山风铃草 <i>C. golmerata</i> ssp. <i>daqingshannica</i>	多年生草本 Perennial herb	直根 Tap root	31	P
菊科 Compositae				
艾 <i>Artemisia argyi</i>	多年生草本 Perennial herb	直根 Tap root	45	A

表 1（续） Table 1（continued）

植物种类 Plant species	生活型 Life form	根系类型 Root type	侵染率 Colonization rate(%)	菌根结构 类型 AM type
南牡蒿 <i>A. eriopoda</i>	多年生草本 Perennial herb	直根 Tap root	60	A
冷蒿 <i>A. frigida</i>	小半灌木 Semi-shrub	直根 Tap root	56	A
蒙古蒿 <i>A. mongolica</i>	多年生草本 Perennial herb	直根 Tap root	63	A
猪毛蒿 <i>A. scoparia</i>	多年生草本 Perennial herb	直根 Tap root	39	A
线叶菊 <i>Filifolium sibiricum</i>	多年生草本 Perennial herb	直根 Tap root	41	A
阿尔泰狗娃花 <i>Heteropappus altaicus</i>	多年生草本 Perennial herb	直根 Tap root	57	A
鞑靼狗娃花 <i>H. tataricus</i>	多年生草本 Perennial herb	直根 Tap root	31	A
女蒿 <i>Hippolytia trifida</i>	多年生草本 Perennial herb	直根 Tap root	42	A
火绒草 <i>Leontopodium leontopodioides</i>	多年生草本 Perennial herb	须根 Fibrous root	34	I
狭苞囊吾 <i>Ligularia intermedia</i>	多年生草本 Perennial herb	须根 Fibrous root	23	A
柃叶蒿 <i>Neopallasia pectinata</i>	一、二年生草本 Annual and biennial herb	直根 Tap root	47	A
叉枝鸦葱 <i>Scorzonera muriculata</i>	多年生草本 Perennial herb	直根 Tap root	53	A
麻花头 <i>Serratula centauroides</i>	多年生草本 Perennial herb	直根 Tap root	50	A
蒲公英 <i>Taraxacum mongolicum</i>	多年生草本 Perennial herb	直根 Tap root	46	A
禾本科 Gramineae				
沙芦草 <i>Agropyron mongolicum</i>	多年生草本 Perennial herb	须根 Fibrous root	34	P
虎尾草 <i>Chloris virgata</i>	一年生草本 Annual herb	须根 Fibrous root	35	A
糙隐子草 <i>Cleistogenes squarrosa</i>	多年生草本 Perennial herb	须根 Fibrous root	24	A
无芒隐子草 <i>C. songorica</i>	多年生草本 Perennial herb	须根 Fibrous root	10	A
画眉草 <i>Eragrostis pilosa</i>	一年生草本 Annual herb	须根 Fibrous root	5	A
羊茅 <i>Festuca ovina</i>	多年生草本 Perennial herb	须根 Fibrous root	56	P
荻草 <i>Koeleria cristata</i>	多年生草本 Perennial herb	须根 Fibrous root	39	P
羊草 <i>Leymus chinensis</i>	多年生草本 Perennial herb	须根 Fibrous root	41	P
赖草 <i>L. secalinus</i>	多年生草本 Perennial herb	须根 Fibrous root	37	P
白草 <i>Pennisetum centrsiaticum</i>	多年生草本 Perennial herb	须根 Fibrous root	12	A
硬质早熟禾 <i>Poa sphondylodes</i>	多年生草本 Perennial herb	须根 Fibrous root	39	A
沙鞭 <i>Psammochoa villosa</i>	多年生草本 Perennial herb	须根 Fibrous root	36	A
短花针茅 <i>Stipa breviflora</i>	多年生草本 Perennial herb	须根 Fibrous root	15	A
长芒草 <i>S. bungeana</i>	多年生草本 Perennial herb	须根 Fibrous root	38	A
大针茅 <i>S. grandis</i>	多年生草本 Perennial herb	须根 Fibrous root	20	I
石生针茅 <i>S. klemenzi</i>	多年生草本 Perennial herb	须根 Fibrous root	51	A
锋芒草 <i>Tragus racemosus</i>	一年生草本 Annual herb	须根 Fibrous root	7	A
莎草科 Cyperaceae				
卵穗苔草 <i>Carex duriuscula</i>	多年生草本 Perennial herb	须根 Fibrous root	+	*
黄囊苔草 <i>C. korshinskyi</i>	多年生草本 Perennial herb	须根 Fibrous root	+	*
柄穗苔草 <i>C. pediformis</i>	多年生草本 Perennial herb	须根 Fibrous root	0	
百合科 Liliaceae				
矮韭 <i>Allium anisopodium</i>	多年生草本 Perennial herb	须根 Fibrous root	44	A
沙韭 <i>A. bidentatum</i>	多年生草本 Perennial herb	须根 Fibrous root	59	A
黄花葱 <i>A. condensatum</i>	多年生草本 Perennial herb	须根 Fibrous root	66	A
蒙古韭 <i>A. mongolicum</i>	多年生草本 Perennial herb	须根 Fibrous root	16	A
多叶韭 <i>A. plurifoliatum</i>	多年生草本 Perennial herb	须根 Fibrous root	74	A
碱韭 <i>A. polyrhizum</i>	多年生草本 Perennial herb	须根 Fibrous root	26	A
蒙古野韭 <i>A. prostratum</i>	多年生草本 Perennial herb	须根 Fibrous root	71	A
野韭 <i>A. ramosum</i>	多年生草本 Perennial herb	须根 Fibrous root	66	A
山韭 <i>A. senescens</i>	多年生草本 Perennial herb	须根 Fibrous root	53	A
细叶韭 <i>A. tenuissimum</i>	多年生草本 Perennial herb	须根 Fibrous root	65	A
知母 <i>Anemarrhena asphodeloides</i>	多年生草本 Perennial herb	须根 Fibrous root	57	P
戈壁天门冬 <i>Asparagus gobicus</i>	半灌木 Semi-shrub	须根 Fibrous root	16	A
小黄花菜 <i>Hemerocallis minor</i>	多年生草本 Perennial herb	须根 Fibrous root	56	P

表 1 (续) Table 1 (continued)

植物种类 Plant species	生活型 Life form	根系类型 Root type	侵染率 Colonization rate(%)	菌根结构 类型 AM type
山丹 <i>Lilium pumilum</i>	多年生草本 Perennial herb	须根 Fibrous root	8	P
鸢尾科 Iridaceae				
野鸢尾 <i>Iris dichotoma</i>	多年生草本 Perennial herb	须根 Fibrous root	35	*
白花马蔺 <i>I. lactea</i>	多年生草本 Perennial herb	须根 Fibrous root	0	
细叶鸢尾 <i>I. tenuifolia</i>	多年生草本 Perennial herb	须根 Fibrous root	31	P

A , 疆南星型 Arum-type ; P , 重楼型 Paris-type ; I , Intermediate-type ; * 未确定 Undetermined ; + 有侵染而未计侵染率 Infected but the colonization rate uncounted

菌根植物的比例降低。

百合科、菊科、禾本科、豆科、蔷薇科、唇形科、景天科和桔梗科等科植物种基本都有侵染,且多数侵染率较高,说明它们与 AM 真菌具有相对高的亲和性。在藜科(*Chenopodiaceae*)、蓼科(*Polygonaceae*)、十字花科(*Cruciferae*)、苋科(*Amaranthaceae*)和石竹科(*Caryophyllaceae*)植物中,没有发现 AM 真菌侵染,这与国内外诸多研究结果一致(Bolan , 1991 ; Treu *et al.* , 1996)。在过去未发现 AM 真菌侵染的少数几个科中,莎草科(*Cyperaceae*)为其中之一(Harley & Smith , 1983)。但有研究表明莎草科植物也有 AM 真菌侵染的情况出现(Haselwandter & Read , 1982)。本次调查中发现莎草科的卵穗苔草(*Carex duriuscula*)和黄囊苔草(*C. korshinskyi*)均有一定的 AM 真菌侵染,但在这两种植物的根系中仅观察到泡囊而未发现丛枝。然而,在根样中观察到的侵染菌丝及泡囊结构表明,莎草科植物并非完全的非菌根植物,在某些条件下有些种类也会形成丛枝菌根(Harley & Harley , 1987)。

豆科植物具有很高的 AM 真菌侵染率,豆科植物同时与根瘤菌及 AM 真菌形成混合共生是一个很普遍的现象。AM 真菌通过混合共生直接参与固氮细菌的能量与物质代谢,对豆科植物的生存竞争十分有利(李晓林和冯固 2001)。同样发现与放线菌(*Frankia*)共生形成根瘤的中国沙棘(*Hippophae rhamnoides* ssp. *sinensis*)也有 AM 真菌侵染。研究表明,AM 真菌与根瘤菌或放线菌的混合共生,对宿主均有更积极的促进作用,相对于单一共生而言,不仅可进一步促进固氮作用,而且可明显改善宿主对矿物质营养和水分的吸收利用(李晓林和冯固 2001)。

禾本科植物是该地区植被中的建群种,是优良牧草。本实验中所采集的禾本科植物基本都受到 AM 真菌侵染,但侵染率较低。原因是其中某些种

类为 C₃ 植物,可能由于 C₃ 植物光合产物较 C₄ 植物少,因而不能给 AM 真菌提供足够的能量。禾本科 C₃ 和 C₄ 植物对 AM 真菌侵染的响应是不同的,这与根系结构相关(Newsham *et al.* , 1995)。Hetrick 等(1988)认为 C₄ 植物由于具有粗大的根,因而在获取营养方面比 C₃ 植物更依赖 AM 真菌。C₃ 植物菌根依赖性低与菌根侵染之间的关系需进一步研究。

从根系类型看,直根系植物中菌根植物占 77.9% ,须根系植物中占 91.7% 。表明须根系植物丰富的须根有更多被 AM 真菌侵染的机会。

单子叶植物和双子叶植物中菌根植物的比例分别是 94.6% 和 78.4% 。由于单子叶植物根系多为须根类型,因此菌根植物比例相对较高是正常的。

2.2 菌根侵染率

各种植物的菌根侵染率见表 1。侵染率的高低因植物的种类不同而异。菌根植物比例较高的科中,平均侵染率最高的是蔷薇科,为 51.8% ;其次是百合科(48.36%)、菊科(45.8%)和豆科(40.19%)、唇形科较低(34.86%) ;而禾本科最低(29.29%)。植物种之间侵染率的差异与植物和 AM 真菌的亲合性有关(Dodd & Thomson , 1994) ,也与真菌群落在不同时空环境变化及土壤等条件下的变化有关(Fitter , 1989 ; Smith & Smith , 1996)。另外,样本的数量及个体差异也可以造成误差。但菌根侵染率能够在一定程度上反映草原植物种类的菌根亲和特性,因而可为研究牧草植物的菌根依赖性提供参考。

2.3 菌根结构类型

2.2.1 菌根结构类型比例

从表 1 可知,内蒙古中西部草原建群和优势野生植物菌根形态结构绝大多数为 A-型(65.38%) ;仅少数为 P-型(19.23%) ;部分植物(11 种,占

表 2 菌根结构类型与植物根系类型的关系
Table 2 The relationship between AM type and root type of plants

	直根系 Tap root system				须根系 Fibrous root system			
	P-type	A-type	I	*	P-type	A-type	I	*
种数 No. of species	11	40	7	2	9	28	4	3
比例 %	18.3	66.7	11.7	3.3	22.5	63.6	9.1	6.82

I , Intermediate-type ; * 未确定 Undetermined

10.6%)同时具有胞间菌丝和胞内菌丝圈 ,因而将其划为 I-型 ;只有极少数植物受 AM 真菌侵染后产生少量泡囊或只观察到胞内菌丝 ,这些植物难以确定其菌根结构类型。过去很多研究(Smith & Smith , 1997)认为 ,P-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 ,而 A-型常见于栽培植物中。但我们的调查结果却出现相反的情形。本地区野生植物的菌根类型是草原植物与其共生真菌协同进化的结果 ,菌根类型的形成与地理、气候环境因素之间的关系需要进行进一步的研究。

2.2.2 菌根结构类型与根系类型

从表 2 可以看出 ,无论是直根系还是须根系 ,A-型都占绝大多数 ,因此认为 :菌根类型与根系类型关系不密切。但 P-型在须根系中的比例较直根系中高。根系结构影响 AM 真菌的侵染和菌丝的分布 (Cavagnaro *et al.* , 2001a) ,但不同根系类型与菌根结构类型的关系尚需深入研究 ,以便更好地阐述菌根在自然系统中的功能。

2.2.3 菌根结构类型与菌根侵染率

表 1 还表明 ,两种类型菌根的侵染率没有很大差别 :A-型菌根的平均侵染率为 38.34% ,而 P-型也为 40.14% ,因而菌根类型与侵染率也没有显著关系。研究证实 ,光照、土壤磷水平和温度影响菌根侵染率和结构相对丰度(Sanders & Fitter , 1992 ; Simth & Simth , 1996)。侵染率不同表现在结构中丛枝圈和菌丝圈的比例不同 ,侵染比例可能反映功能的差异(Cavagnaro *et al.* , 2001b) ;但没有证据说明菌根结构类型与侵染率之间有密切关系。

2.2.4 菌根结构类型与植物生活型

将多年生与一、二年生植物分别进行菌根结构类型的统计 ,结果显示多年生植物中 A-型与 P-型的比值为 4 : 1 ,而一、二年生植物则为 8 : 1。这一结果的生态学意义还不能确切阐述。Imhof 和 Weber (1997)认为在胁迫和低营养条件下 ,P-型是一个相

对先进的结构类型 ,因为圈状菌丝可能是被植物控制的信号 ,但 Smith 却怀疑这种先进性 ,因为 P-型常出现于低等植物中 ,提出应从系统发育的观点去分析。而 Cavagnaro 等(2001a)认为形成 P-型菌根所需时间比 A-型长 ,因为菌丝圈的形成需要时间和空间 ,因此 ,一、二年生植物中 P-型比例少可能是由于植物生育期短的缘故。在干旱和半干旱的内蒙古草原群落中两种菌根类型比例的高低或许对群落的结构及其稳定性或群落的演替动态有一定的指示意义。

2.2.5 菌根结构与植物种类

表 1 显示 ,丛枝菌根两种形态结构类型在不同科植物中比例不同。本实验中 105 种菌根植物中 P-型只有 20 种 ,集中在禾本科(5/17 种)、桔梗科(3/3 种)、百合科(3/14 种)、毛茛科(Ranunculaceae)(2/2 种)和唇形科(2/7 种)中 ,最集中的属包括禾本科的赖草属(*Leymus*)、桔梗科的风铃草属(*Campanula*)及百合科的百合属(*Lilium*)与知母属(*Anemarrhena*)中 ;而豆科、百合科、菊科、蔷薇科等数量较多的科大多为 A-型。由此推断 ,丛枝菌根不同形态类型的形成可能主要取决于植物种类本身。Barrett 早在 1958 年就观察到从 A-型的菌根植物中分离出的真菌可以在其他宿主植物中形成 P-型菌根 ,因而认为是宿主植物决定共生关系的菌根结构类型。此后的研究(Smith & Smith , 1997 ; Cavagnaro *et al.* , 2001a)表明 ,不同科属植物根细胞形态结构的差异可能是导致真菌侵染行为产生差异的基础 ,较大细胞间隙的存在与否和皮层细胞壁结构的差异是决定形成何种结构类型的主导因素。

参考文献

Abbott, L. K., Robson, A. D. and de Boer, G. 1984. The effect of phosphorus on the formation of hyphae in soil by vesicular mycorrhizal fungus, *Glomus fasciculatum*. *New*

- Phytologist*, **97**: 437 – 446.
- Bolan, N. S. 1991. A critical review on the role of mycorrhizal fungi in the uptake of phosphorus by plants. *Plant and Soil*, **134**: 202 – 207.
- Cavagnaro, T. R., Smith, F. A., Lorime, M. F., Haskard, K. A., Ayling, S. M. and Smith, S. E. 2001a. Quantitative development of Paris-type arbuscular mycorrhizas formed between *Asphodelus fistulosus* and *Glomus coronatum*. *New Phytologist*, **149**: 105 – 113.
- Cavagnaro, T. R., Gao, L. L., Smith, F. A. and Smith, S. E. 2001b. Morphology of arbuscular mycorrhizas is influenced by fungal identity. *New Phytologist*, **151**: 469 – 475.
- Dodd, J. C. and Thomson, B. D. 1994. The screening and selection of inoculant arbuscular mycorrhizal and ectomycorrhizal fungi. *Plant and Soil*, **159**: 149 – 158.
- Fitter, A. H. 1989. The role and ecological significance of vesicular-arbuscular mycorrhizas in temperate ecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **29**: 137 – 151.
- Harley, J. L. and Harley, E. L. 1987. A check-list of mycorrhiza in the British flora. *New Phytologist*, **105**: 1 – 102.
- Harley, J. L. and Smith, F. A. 1983. *Mycorrhizal Symbiosis*. Academic Press, London & New York.
- Haselwandter, K. and Read, D. J. 1982. The significance of a root-fungus association in two *Carex* species of high-alpine plant communities. *Oecologia*, **53**: 352 – 354.
- Hetrick, B. A. D., Kitt, D. G. and Wilson, G. W. T. 1988. Mycorrhizal dependence and growth habit of warm-season and cool-season tallgrass prairie plants. *Canadian Journal of Botany*, **66**: 1376 – 1380.
- Imhof, S. and Weber, H. C. 1997. Root anatomy and mycotrophy (AM) of the achlorophyllous *Voyria truncata* (Standley) Standley & Steyermark (Gentianaceae). *Botanica Acta*, **110**: 127 – 134.
- Liu, Z. L. (刘钟岭), Zhu, Z. Y. (朱宗元), Yong, S. P. (雍世鹏), Wang, Y. F. (王义凤), Zhao, X. Y. (赵献镔) and Kong, D. Z. (孔德珍). 1985. *Vegetation of Inner Mongolia* (内蒙古植被). Science Press, Beijing, 1 – 884. (in Chinese)
- Li, X. L. (李晓林) and Feng, G. (冯固). 2001. *Arbuscular Mycorrhizal Ecophysiology* (丛枝菌根生态生理). Huawen Publishing House, Beijing, 1 – 358. (in Chinese)
- Newsham, K. K., Fitter, A. H. and Watkinson, A. R. 1995. Multi-functionality and biodiversity in arbuscular mycorrhizas. *Trends in Ecology and Evolution*, **10**: 407 – 411.
- Phillings, J. M. and Hayman, D. S. 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society*, **55**: 158 – 160.
- Sanders, I. R. and Fitter, A. H. 1992. The ecology and functioning of vesicular arbuscular mycorrhizas in coexisting grassland species. I. Seasonal patterns of mycorrhizal occurrence and morphology. *New Phytologist*, **120**: 517 – 524.
- 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.
- Smith, F. A. and Smith, S. E. 1997. Structural diversity in (vesicular)-arbuscular mycorrhizal symbioses. *New Phytologist*, **137**: 373 – 388.
- Treu, R., Laursen, G. A., Stephenson, S. L., Landolt, J. C. and Densmore, R. 1996. Mycorrhizae from Denali National Park and Preserve, Alaska. *Mycorrhiza*, **6**: 21 – 29.
- Zhang, Y., Guo, L. D. and Liu, R. J. 2004. Arbuscular mycorrhizal fungi associated with common pteridophytes in Dujiangyan, Southwest China. *Mycorrhiza*, **14**: 25 – 30.
- Zhao, Z. W., Xia, Y. M., Qin, X. Z., Li, X. W., Cheng, L. Z., Sha, T. and Wang, G. H. 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.

(责任编辑:时意专)