

大青沟自然保护区大型真菌群落多样性研究

图力古尔, 李 玉

(吉林农业大学菌物研究所, 长春 130118)

摘要: 采用取样调查法, 在按照群落演替系列将大青沟植物群落划分的苔草杂类草甸(群落 I)、柳灌丛(群落 II)、油桦 + 柃柳 + 茶条槭(群落 III)、水曲柳(群落 IV)、蒙古栎(群落 V) 和大果榆(群落 VI) 6 种类型植物群落中, 分别获得由真菌的相对密度、相对多度和相对生物量组成的综合指标, 并计算出 Margalef 的丰富度指数 (R_1)、Menhinick 的丰富度指数 (R_2)、Shannon-wiener 的多样性指数 (H')、Hill 的多样性指数 (N_1, N_2) 和 Pielou 的均匀度指数 (E)。结果表明, R_1, R_2 的变化趋势为 III > IV > II > I > V > VI, 认为茶条槭 + 柃柳 + 油桦群落是菌物物种多样化中心, 是保护区的“核心区”。 E_1 的变化为 I > V > III > IV > II > VI。 H' 和 N_1 的变化趋势是 III > IV > I > V > II > VI, N_2 也类似, 为 III > I > IV > V > II > VI。总之, 在旅游干扰严重的区域和几乎没有干扰的区域内菌物的多样性比较单一, 而受轻度干扰的区域内菌物多样性较为丰富, 各种指数随着植物群落的演替呈先增后减的变化趋势。

关键词: 大型真菌; 群落; 多样性

Fungal community diversity in Daqinggou Nature Reserve

Tolgor, Li Yu (Institute of Mycology, Jilin Agricultural University, Changchun 130118, China)

Abstract: The plant communities in Daqinggou Nature Reserve were divided into 6 types according to their sere by the sampling method. They are *Carex* spp. (Community I), *Salix* spp. (Community II), *Betula ovalifolia* + *Salix integra* + *Acer ginnala* (Community III), *Fraxinus mandshurica* (Community IV), *Quercus mongolica* (Community V) and *Ulmus macrocarpa* (Community VI). In every plant community, the synthetic indices including relative density, relative abundance and relative biomass of macrofungi were obtained, and Margalef index (R_1), Menhinick index (R_2), Shannon index (H'), Hill index (N_1, N_2) and Pielou indices (E) were calculated as well. The results showed that the change trend of R_1, R_2 is III > IV > II > I > V > VI. *Betula ovalifolia* + *Salix integra* + *Acer ginnala* Community is considered as the center of fungal species diversity and "key region" of this nature reserve; the change of E_1 is I > III > IV > II > VI; the change trend of H' and N_1 is III > IV > I > V > II > VI; N_2 is III > I > IV > V > II > VI. In a word, in the region disturbed seriously by tourism and the region almost no disturbed the fungal diversity is more unitary, but in the region disturbed lightly the diversity is very richer. All kinds of indices present the trend of increasing first and decreasing later with the successive change in the plant community.

Key words: macrofungi; community; diversity

文章编号: 1000-0933(2000)06-0986-06 中图分类号: Q949.32 文献标识码: A

生物群落多样性是生态学及生物多样性研究的主要内容。生物群落是在一定地理区域内, 生活在同一环境条件下的不同种群的集合体, 其内部存在着极为复杂的相互联系。而群落多样性就是指生物群落在组成、结构、功能和动态方面表现出的丰富多彩的差异^[1]。本文拟从(1)大青沟自然保护区植物群落与大型真菌群落多样性之间的关系; (2) 不同指数的涵义及其比较; (3) 测度方法对多样性研究的影响等方面对本地

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30070624)

收稿日期: 1999-09-14 修回日期: 1999-10-27

作者简介: 图力古尔(1962~), 男, 内蒙古通辽市人, 博士, 教授。主要从事菌物生物多样性研究。

区的真菌群落进行分析,以期为本地区真菌群落的性质、保护与利用提供依据。有关大青沟的自然概况和真菌种类与区系地理学的内容详见文献^[2~4]。

1 研究方法

1.1 植物群落类型的划分

大青沟自然保护区植物(以木本植物为主)群落类型的划分,依文献^[2]按照沟内植物的演替系列来进行。

1.2 样地调查

在不同地植物群落内分别设置样地,共设 6 个样地。测定真菌(以地表大型真菌为主)的组成、密度、多度(分为极多、很多、多、少、稀有 5 个等级)和生物量。从沟底到沟外的 6 个样地中依次随机取 5 个样方,样方面积为 10m×10m,共调查了 30 个样方,并分别取平均值。

取地表 0~10cm 深处土样带回测细菌、放线菌及真菌菌落数。细菌和放线菌的计数采用平板混菌法,真菌的计数采用表面涂抹平板法^[5,6]。

本项工作于 1997 年 8~9 月份进行。

1.3 测度方法

采用统计生态学中常用的几种计算方法^[7~9]。

计算样方内组成物种的综合指标。其计算公式为:

$$\text{综合指标} = 1/3(\text{相对密度} + \text{相对多度} + \text{相对生物量})$$

选用 Margalef 的丰富度指数(R_1 , 1958)、Menhinick 的丰富指数(R_2 , 1964)、Shannon-Weaver 的多样性指数(H' , 1949)、Hill 的多样性指数(N_1 和 N_2 , 1973)和 Pielou 的均匀度指数(E , 1975, 1977)。计算公式分别如下:

$$\text{Margalef 的丰富度指数}(R_1) \quad R_1 = s - 1 / \ln(n)$$

$$\text{Menhinick 的丰富度指数}(R_2) \quad R_2 = S / \sqrt{n}$$

$$\text{Shannon-Weaver 的多样性指数}(H') \quad H' = - \sum P_i \ln p_i$$

$$\text{Hill 的多样性指数}(N_1, N_2) \quad N_1 = e^{H'} \quad N_2 = 1/\lambda$$

$$\text{Pielou 的均匀度指数}(E) \quad E = H' / \ln(s) = \ln(N_2) / \ln(N_0)$$

式中, s 为种 i 所在样方的物种总数; n 为种 i 所在样方的各个种的综合指标之和; P_i 为种 i 的综合指标,本文采用综合指标作为多样性指数计算的依据; λ 为辛普森(Simpson)指数。

2 结果

2.1 大青沟植物群落类型及其主要特征

根据从水生到陆生,从草本到木本的演替规律,将大青沟植物群落类型划分为:鬼针草(*Bidens* spp.) + 香蒲(*Typha* spp.) 群落;大苔草(*Carex macroura*) + 芦苇(*Phragmites communis*) 群落;苔草(*Carex* spp.) 杂类草甸群落;柳(*Salix* spp.) 灌丛群落;油桦(*Betula ovalifolia*) + 杞柳(*Salix integra*) + 茶条槭(*Acer ginnala*) 群落;水曲柳(*Fraxinus mandshurica*) 群落;蒙古栎(*Quercus mongolica*) 群落;大果榆(*Ulmus macrocarpa*) 群落;人工栽培樟子松(*Pinus sylvestris* var. *mongolica*) 群落等 9 种类型。由于鬼针草 + 香蒲群落和大苔草 + 芦苇群落处于水生环境,而人工樟子松林与大青沟天然植物群落演替无相关,因此,不作调查对象。菌物多样性调查群落的特征见表 1。

2.2 地表大型真菌群落多样性与动态

在所调查的 I ~ VI 植物群落类型中,其生境条件有明显的差异,一般由湿生植物为主向中生、旱生植物群落演替,由群落内郁闭度大向郁闭度小,由地面温度低、相对湿度大、土壤含水量高向地面温度高、相对湿度小、土壤含水量低变化,林中地上枯枝落叶层由薄到厚再到薄的规律发生改变。因此,在不同类型植物群落中的大型真菌群落其组成、多样性也随之发生变化(见表 2),也就是说大型真菌群落的多样性与植物群落的多样性是紧密相关的。大型真菌群落多样性的变化,主要是由植物群落内的生态因子的变化,生

境的不同和人为干扰程度等来决定的。

表 1 大型真菌群落样地特征简表

Table 1 The basic characters of macrofungal community plots

样地 Plot	优势种 Dominant species	海拔(m) Elevation	土壤含水量(%) [*] The water content of soil value	pH 值 pH	微生物区系(1g 干土) Microbial flora(1g dry soil)		
					放线菌 Actino myces	细菌 Bacteria	真菌 Fungi
I 苔草杂类草甸	苔草 <i>Carex</i> spp.	170~190	45.53	6.2	—	2300	138
II 柳灌丛群落	多种灌木柳 <i>Salix</i> spp.	180~200	44.40	6.2	—	2500	148
III 油桦、杞柳、茶条槭群落	油桦 <i>Betula ovalifolia</i> 、杞柳 <i>Salix integra</i> 、茶条槭 <i>Acer ginnala</i>	190~210	35.60	6.2	—	1900	650
IV 水曲柳群落	水曲柳 <i>Fraxinus mandshurica</i>	200~220	30.72	6.3	57	180	36
V 蒙古栎群落	蒙古栎 <i>Quercus mongolica</i>	210~230	28.77	6.3	388	160	29
VI 大果榆群落	大果榆 <i>Ulmus macrocarpa</i>	230~250	15.48	6.4	757	140	14

* 雨季取样,故水分偏高

在全部的 6 个样地(即 6 种植物群落)中共出现真菌 89 种。从组成上看,在群落 I ~ VI 中真菌种数由少变多、IV、V、VI 群落中再变少,其中在油桦、杞柳、茶条槭群落中种类最丰富(34 种),沟外大果榆群落中种类较单调。为了进一步比较在不同植物群落中的大型真菌的多样性,在以上 6 种植物群落(样地)中分别进行取样调查,依据群落组成、密度、多度和生物量计算出其综合指标、获得不同植物群落中的大型真菌群落的物种丰富度指数(R_1 、 R_2)物种多样性指数(H')和物种均匀度指数(E),见表 3。

在大青沟 6 种不同的植物群落中,地表大型真菌的物种丰富度指数 R_1 和 R_2 的变化均为: III > IV > II > I > V > VI, 见图 1。在群落类型 III、即油桦、杞柳、茶条槭群落中达到最大值,分别为 3.477 和 1.703。说明该植物群落内比较适合真菌的生长。在实地调查中了解到该群落闭郁度大,总盖度约 90%~100%,以各种乔木为主,层次发达,土壤含水量适中,相对湿度较大,地面枯枝落叶层厚、倒木、腐木多、土质肥沃,为真菌的生长提供良好的生态环境条件。群落类型 IV 和 II,即水曲柳群落和柳灌丛群落中丰富度指数也比较高,其中水曲柳群落虽然在群落外貌上与油桦、杞柳、茶条槭群落接近,但是该群落内受人为干扰较严重,地表常常裸露,群落的闭郁度低,地面蒸发量大,土质较干燥,腐殖质含量低,大型真菌的生长受影响;灌木柳群落中总盖度大,约 95%~100%,植物十分茂密,土壤湿度过大,又缺乏腐生真菌生长的环境,因此,这两种植物群落内的大型真菌丰富度指数较油桦、杞柳、茶条槭群落要低。但是它比极度湿润和极度干燥的群落 I 和群落 V、VI,即苔草杂类草甸群落和蒙古栎群落、大果榆群内的丰富度指数要高。说明极度的湿润与极度的干燥环境均不适合真菌的生长。

均匀度指数(E_1)与丰富度指数(R_1 、 R_2)不同,它在不同植物群落类型中的变化趋势是: I > V > III > IV > II > VI。群落类型 I 和 V,即苔草、杂类草甸群落和蒙古栎群落中均匀度指数较高。在苔草、杂类草甸群落中虽然湿度大,出现的真菌种类少,但由于环境的异质性较差,以小型子实体的种类(以 Hygrophoraceae 为主)在样方中出现的频度相当高,从而提高了均匀度指数;而在蒙古栎群落中出现的 6 种真菌中除了 *L. 厉厉数据* 余的 5 种在其它植物群落中是没有的(称为群落特有种),这些种较适合于沟坡沙土中生长,因此指数较高。在群落 III、VI、II 中均匀度指数适中,而群落 VI,即大果榆群落中的指数最低。因

为,在大果榆群落中真菌随着植物群落呈孤岛状分布。 $E_2 \sim E_5$ 也有类似的趋势。丰富度、均匀度与多样性之间的关系(见图 2)。

表 2 植物群落与大型真菌群落组成

Table 2 Compositions of plant community and macrofungi community

植物群落类型 Type of plant community	样地中出现的真菌种类 Fungi occurring in the sample land
类型 I Type I	<i>Hygrophorus pratensis</i> , <i>Hygrocybe conica</i> , <i>Hygrocybe miniata</i> , <i>Trichoglossum velutipes</i> , <i>Hygrophorus subviolaceus</i> , <i>Rhodophyllus ater</i> , <i>Ascocoryne cylichnium</i> ; 共 7 种
类型 II Type II	<i>Hygrophorus virgineus</i> , <i>Clavulinopsis amoena</i> , <i>Hygrocybe miniata</i> , <i>Russula kansaiensis</i> , <i>Lycoperdon pyriforme</i> , <i>Rhodophyllus lampropus</i> , <i>Hygrophorus pratensis</i> , <i>Hygrocybe cantharellus</i> , <i>Hygrocybe acutoconica</i> F. japonica, <i>Ramariopsis</i> sp., <i>Helvella lacunosa</i> , <i>Mycena alcalina</i> , <i>Inocybe rimosa</i> , <i>Laccaria tortilis</i> , <i>Russula omiensis</i> , <i>Xylaria polymorpha</i> , <i>Pluteus aurantiorugosus</i> ; 共 17 种
类型 III Type III	<i>Psathyrella candolleana</i> , <i>Trametes soraolens</i> , <i>Hygrophorus virgineus</i> , <i>Flammulina velutipes</i> , <i>Oligoporus caesius</i> , <i>Bolbitius vitellinus</i> , <i>Pluteus nanus</i> , <i>Inocybe lilacina</i> , <i>Helvella lacunosa</i> , <i>Rhodophyllus</i> sp., <i>Coprinus micaceus</i> , <i>Conocybe tenera</i> , <i>Russula omiensis</i> , <i>Pholiota aurivella</i> , <i>Paxillus involutus</i> , <i>Inocybe umbrinella</i> , <i>Cortinariopsis albaviolaceus</i> , <i>Lepista sordida</i> , <i>Macrocyttidia cucumis</i> , <i>Helvella crispa</i> , <i>Helvella elastica</i> , <i>Clavulinopsis amoena</i> , <i>Pterula multifida</i> , <i>Dermocybe cinnamomea</i> , <i>Geastrum triplex</i> , <i>Hebeloma</i> sp., <i>Clitocybe sinopica</i> , <i>Rhodophyllus ater</i> , <i>Laccaria laccata</i> , <i>Hygrophorus subviolaceus</i> , <i>Trichoglossum velutipes</i> , <i>Pluteus umbrosus</i> , <i>Xylaria polymorpha</i> , <i>Hygrophorus cantharellus</i> ; 共 34 种
类型 IV Type IV	<i>Agaricus arvensis</i> , <i>Clavulinopsis amoena</i> , <i>Pleurotus</i> sp., <i>Conocybe tenera</i> , <i>Melanoleuca</i> sp., <i>Lycoperdon pyriforme</i> , <i>Gloeophyllum saepiarium</i> , <i>Coriolus hirsutus</i> , <i>Flammulina velutipes</i> , <i>Rhodophyllus</i> sp., <i>Coprinus micaceus</i> , <i>Marasmius oreades</i> , <i>Lepiota cristata</i> , <i>Inocybe</i> sp., <i>Pluteus atricapillus</i> , <i>Pholiota aurivella</i> , <i>Oudemansiella radicata</i> , <i>Gloeostereum incarnatum</i> , <i>Lactarius</i> sp., <i>Poronidulus conchifer</i> , <i>Auricularia polytricha</i> , <i>Armillaria mellea</i> , <i>Ganoderma applanatum</i> , <i>Agaricus placomyces</i> , <i>Hygrophorus pratensis</i> , <i>Hygrophorus virgineus</i> ; 共 26 种
类型 V Type V	<i>Bovistella radicata</i> , <i>Cordyceps militaris</i> , <i>Lepiota cristata</i> , <i>Marasmiellus albus-corticis</i> , <i>Amanita phalloides</i> , <i>Tulostoma bonianum</i> ; 共 6 种
类型 VI Type VI	<i>Agaricus campestris</i> , <i>Coprinus atramentarius</i> , <i>Marasmius</i> sp., <i>Lepiota excoriata</i> , <i>Russula rosacea</i> ; 共 5 种

* 类型 I: 苔草 *Cares* spp. 杂类草草甸群落; 类型 II: 柳 *Salix* spp.) 灌丛群落; 类型 III: 油桦 *Betula ovalifolia* + 杞柳 *Salix integra* + 茶条槭 *Acer gimala* 群落; 类型 IV: 水曲柳 *Fraxinus mandshurica* 群落; 类型 V: 蒙古栎 *Quercus mongolica* 群落; 类型 VI: 大果榆群落 *Ulmus macrocarpa* 群落, 以下同。

表 3 大青沟植物群落演替与大型真菌的多样性

Table 3 Macrofungi diversity and sere of plant community in Daqinggou

指数 Index	I	II	III	IV	V	VI
种数	7	17	34	26	6	5
R1	0.8548	0.8875	3.4774	1.5138	0.6534	0.2174
R2	0.4818	0.5252	1.7034	0.7913	0.4029	0.2000
H'	1.4617	0.9780	2.2139	1.5282	1.2211	0.3793
N1	4.3134	2.6592	9.1510	4.6099	3.3908	1.4613
N2	3.8241	1.8853	6.3296	3.3777	3.0623	1.2869
E1	0.9082	0.6077	0.7814	0.7349	0.8808	0.5472
E2	0.8627	0.5318	0.5383	0.5762	0.8477	0.7306
E3	0.8283	0.4148	0.5094	0.5157	0.7969	0.4612
E4	0.8856	0.7089	0.6917	0.7327	0.9031	0.8807
E5	0.8523	0.5336	0.6539	0.6586	0.8626	0.6219

多样性指数 H' 和 $N1$ 的变化趋势为: $III > IV > I > V > II > VI$ 。除了群落 III 和 IV 具有较高的多样性指数外, 群落 I 和群落 V 的值也较高, 是因为群落 I 和 V 的均匀度指数偏高所致。同理, 群落 II 和 VI 由于丰富度指数和均匀度指数均低, 因此群落的多样性指数也偏低。多样性指数 $N2$ 也类似的趋势: $III > I > IV > V > II > VI$ (见图 3)。

从图 1、图 3 可见, 6 个植物群落中真菌丰富度指数 $R1$ 、 $R2$ 的变化趋势基本上与多样性指数 H' 和 $N1$ 、 $N2$ 的变化趋势一致。均呈先增后减的变化趋势。这一点上恰好符合 Margalef 和 Odum 指出的植物多样性的群落演替中先增后减的理论。唯均匀度指数的变化趋势与多样性指数和丰富度指数的变化略不相同。 $R1$ 、 E 、 H' 和 $N1$ 四种指数的相关性, 见图 4。

3 讨论

(1) 干扰对生物多样性的影响 一般学者认为水曲柳群落是大青沟沟下植物群落演替的顶极群落, 而沟坡上的蒙古栎群落则是沟外植物群落演替的顶极群落^[2,10]。就沟底群落而言, 苔草、杂类草草甸群落和灌木柳群落基本不受干扰 (Disturbance) 或者称轻度干扰区; 水曲柳群落是受人为干扰最重的区域, 很多景点和游览区都在此处, 人类活动频繁, 受污染较重, 可称重度干扰区; 而物种丰富的油桦、柃柳、茶条槭群落则是二者之间, 虽受一些人为干扰但是其植被未被破坏, 是中度干扰区。生态学中有一个著名的假说, 叫“干扰假说”^[11]。认为: ①最大的多样性产生于中等范围的逆境物理逆度或中等的干扰水平; ②干扰对资源水平和环境异质性的影响是非线性的, 一定低水平的干扰会增加物种的多样性, 但超过某一点后, 干扰就降低物种多样性; 同时承认人类是干扰的主源。大青沟自然保护区真菌群落的多样性动态变化特征符合中等干扰假说, 即中度干扰区内的多样性指数高于轻度和重度干扰区内的多样性指数。从这一点上讲, 沙化环境中真菌多样性的变化规律与放牧演替中的植物群落多样性的变化有相似之处^[6]。属于中度干扰区的油桦、柃柳、茶条槭群落是整个保护区内物种最为丰富的区域, 是物种“多样化中心”, 从自然保护区的角度讲是“核心区”。除了大型真菌外, 其它生物类群的研究也有可能得出类似的结论。因此, 在就地保护生物多样性时应对此群落类型加以重点保护, 大型真菌的就地保护更是如此。在沟坡、沟外的蒙古栎群落和大果榆群落因沙化等自然干扰较严重, 降低了它们的多样性, 可以说沙化是一个物种多样性衰减的过程, 与植物群落多样性的研究结果相类似^[12]。

(2) 测度方法对真菌多样性研究结果的影响 菌物多样性的保护与研究作为生物多样性科学中面临的重大研究课题而被许多权威人士所重视^[13]。目前, 菌物多样性的研究同动物和植物相比属于刚刚起步阶段, 研究方法和手段极不成熟, 在此情况下本文只对大青沟自然保护区的地表大型真菌的多样性进行了比较分析, 只能说初步尝试。采用的方法是在植物群落多样性研究方法的基础上改进而成的。我们认为在真菌, 尤其在大型真菌多样性研究中不能单靠物种数的多少来衡量多样性, 至少还要考虑一定面积内的个

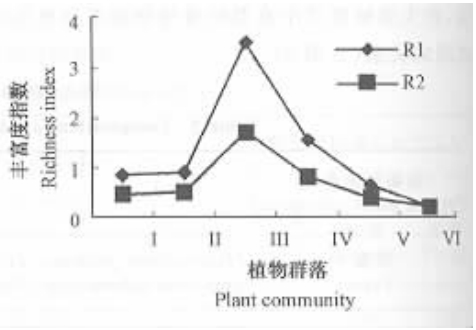


图 1 不同植物群落中的真菌丰富度指数
Fig. 1 Richness indexes of fungi in different plant communities

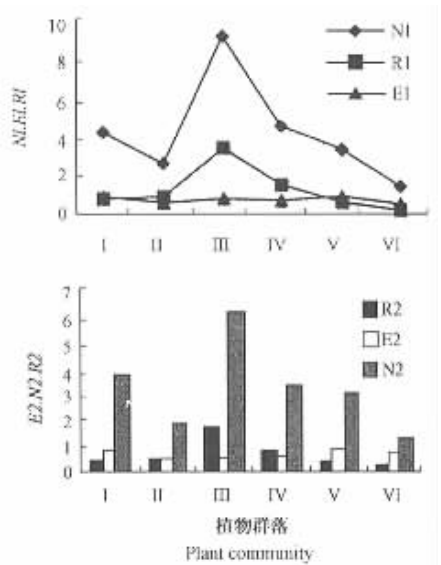


图 2 真菌物种丰富度、均匀度与多样性之间的相关性
Fig. 2 Relativity of species richness, evenness and diversity of fungi

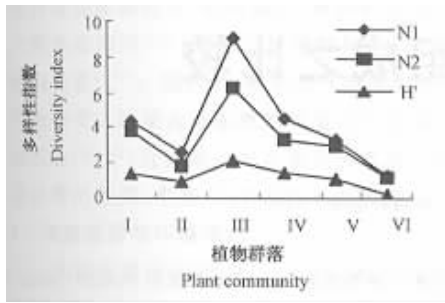


图3 不同植物群落中的真菌多样性指数

Fig 3 Diversity indexes of fungi in different plant community

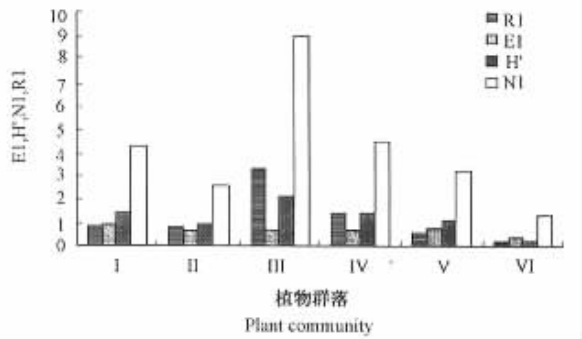


图4 植物群落演替与真菌的多样性

Fig 4 Succession of plant community and fungal diversity

体数(密度)及多少的程度(多度)、某物种在样方内出现的次数(频度)及重量(生物量)等参数。当然,真菌的很多生物学特性与植物不同,如在植物调查中常用的盖度、优势度等群落特征不宜在真菌研究中应用。就拿“个体”的概念仅在大型真菌中勉强可以应用。因此,在真菌多样性(尤其是小型菌)的测度方法上还需要做大量的工作。

本文的研究是在当地大量发生真菌的最有利季节并结合植物群落类型来进行的。众所周知,由于真菌的生物学特性,这类生物的发生与降水量与温度有着密切的关系。从某种程度上讲,其对基物水分条件的敏感性比季节周期还要明显。因此,在不同的季节,不同的气候条件下真菌多样性研究结果可能有所出入。

另外,多样性研究需要多年的积累资料。在同一个地区、同一条件下不同年代之间的生物多样性比较研究更富有实际意义。

参考文献

- [1] 马克平,黄建辉,等.北京东灵山地区植物群落多样性的研究. III 丰富度、均匀度和物种多样性指数. 生态学报, 1995, **15**(3):267~277.
- [2] 曹新孙,南寅镐,等.大青沟残遗森林植物群落与西辽河流域造林问题的初步研究. 植物生态学与地植物学丛刊, 1981, **6**:185~206.
- [3] 图力古尔,李玉.大青沟自然保护区大型真菌物种多样性的研究. 吉林农业大学学报, 1999, **21**(3):36~45.
- [4] 图力古尔,李玉.大青沟自然保护区大型真菌区系多样性的研究. 生物多样性, 2000, **8**(1):73~80.
- [5] 沼田真(姜恕等译).草原调查手册.北京:科学出版社,1986.208~209.
- [6] I B P Handbook. Methods of studying the ecology of soil microorganisms. 1977, **19**:19~39.
- [7] 王仁忠.放牧对松嫩草原碱化羊草地生物多样性的影响. 草业学报, 1997, **6**(4):17~23.
- [8] 马克平,刘玉明.生物群落多样性的测度方法 I α 多样性的测度方法(下). 生物多样性, 1994, **2**(4):231~239.
- [9] Jhon A. 拉德维格, James F. 蓝诺兹. 李育中,等译.统计生态学——方法和计算入门. 呼和浩特:内蒙古大学出版社, 1990.55~65.
- [10] 郑元润.大青沟植物群落稳定性研究. 生态学报, 1999, **19**(4):578~580.
- [11] 蒋有绪,刘世荣.关于区域生物多样性保护的若干问题. 自然资源学报, 1983, **8**(4):289~297.
- [12] 常学礼, 鄂建国.科尔沁沙地沙漠化过程中的物种多样性. 应用生态学报, 1997, **8**(12):151~156.
- [13] Hawksworth D L. The fungal dimension of biodiversity: magnitude, significance, and conservation. *Mycol. Res.*, 1991, **95**(6): 641~655