

# 北京山区天然林乔木树种种间联结与生态位研究

刘淑燕, 余新晓\*, 陈丽华

(水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室, 北京林业大学 水土保持学院, 北京 100083)

**摘要:**应用 Pearson 相关系数和 Spearman 秩相关系数检验, 研究了北京山区天然林群落 13 个乔木种群的种间关联(或相关)性, 并对 13 种植物种群的生态位宽度和生态位重叠进行研究。结果表明: (1) 在种间联结方面, 山杨和色木槭、白桦和黑桦、白桦和色木槭、白桦和山杨、白蜡与胡桃楸等这些种群形成显著的正联结。在总的种群中, 总体上呈现负联结趋势, 呈极显著和显著正联结的种群所占比率较低, 说明北京山区以天然次生林为主的森林群落仍然处于不断的发展演替过程之中。 (2) 在生态位方面, 白桦、榉栎、白蜡、黑桦的生态位宽度较大, 而色木槭、大果榆、山杏、侧柏的生态位宽度较小。 (3) 在生态位重叠指数中, 白桦和山杨、色木槭和白桦、白蜡和胡桃楸、色木槭和山杨生态位重叠较大, 而侧柏、榉栎、臭椿和大果榆与其他的多个主要树种的生态重叠指数较小。

**关键词:**种间联结; 生态位; Pearson 相关系数; Spearman 秩相关系数

中图分类号: S718.551.1

文献标识码: A

文章编号: 1001-7461(2009)05-0026-05

## Interspecific Association and Niche Research of Natural Forest in Beijing Mountainous Area

LIU Shu-yan, YU Xin-xiao\*, CHEN Li-hua

(1. Key Laboratory of Soil and Water Conservation and Desertification Combating, Ministry of Education, School of Soil and Water Conservation, Soil and Water Conservation College, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** Using the Pearson correlation coefficient and Spearman rank correlation coefficient, the interspecific association of 13 species in different communities in Beijing mountainous area were investigated, and the niche breadth and niche overlap of 13 species were studied. The results showed that significantly positive interspecific associations were found between *Acer mono* and *Populus davidiana*, *Batula platyphylla* and *Betula dahurica*, *B. platyphylla* and *A. mono*, *B. platyphylla* and *P. davidiana*, *Fraxinus* spp. and *Juglans mandshurica*. There existed a trend of negative interspecific association in all the species-pairs, the proportions most significant and significant association among species-pairs were low, indicating that Beijing mountainous area was still in the unceasing development succession process. In the aspect of niche, the niche breath of *B. platyphylla*, *Quercus aliena*, *Fraxinus* spp., *B. dahurica* were big, but *A. mono*, *Ulmus macrocarpa*, *Armeniaca sibirica*, *Platycladus orientalis* were small. In niche overlaps, the niche overlap of *B. platyphylla* and *P. davidiana*, *B. platyphylla* and *A. mono*, *B. platyphylla* and *J. mandshurica* were big. Otherwise, *P. orientalis*, *Q. aliena*, *Ailanthus altissima*, *U. macrocarpa* with other species were small.

**Key words:** interspecific association; niche; Pearson correlation coefficient; Spearman rank correlation coefficient

物种的联结性与生态位研究是现代生态学的重要理论之一, 对于正确认识群落的结构和功能、群落

收稿日期: 2008-10-23 修回日期: 2009-04-12

基金项目: 国际科技合作项目(2006DFA01780)。

作者简介: 刘淑燕, 女, 在读博士, 主要从事森林生态、水土保持方面的研究工作。lshyaaa@126.com

\* 通讯作者: 余新晓, 教授, 主要研究方向为水土保持、流域水文和景观生态。yuxinxiao@bjfu.edu.cn

内物种间关系、生物多样性、群落动态演替和种群进化等方面有重要的作用,并能为植被的经营管理、自然植被恢复和生物多样性保护提供理论依据<sup>[1-2]</sup>。近年来,国内学者对植物群落中种群的联结性、生态位进行了一些研究<sup>[3-6]</sup>,主要集中于以某一优势树种的种群或群落为研究对象,但对于以几种优势树种的种群或群落研究较少。

由于森林植被破坏严重,北京山区天然林主要以次生林为主,植被类型丰富,形成了一个以多个优势种群为斑块结构,而交织在一起的森林群落,具有典型的天然次生林特点。根据北京市“十五”森林资源二类调查结果,北京山区林地面积 8 809.07 km<sup>2</sup>, 占全市林地面积的 83.56%。其中森林面积最大,占北京山区林地面积的 53.24%。通过对北京山区的主要天然林乔木的种间联结性和生态位特征的研究,旨在揭示群落内各种群间的内在联系,可以更加深入地认识北京山区森林主要群落组成乔木的特点、资源利用状况和种间竞争机制,阐明各种群的生态功能,为该地区森林的植被保护、恢复和健康经营提供理论依据。

1 研究区概况与方法

北京市位于华北平原,地理坐标为 39°28′~41°05′N、115°25′~117°30′E。山区面积 1.04 万 km<sup>2</sup>, 占全市国土总面积的 62%。西部属太行山脉,北部和东部属燕山山脉,自西、北、东三面环抱北京,是北京重要的生态屏障。气候属暖温带半湿润大陆性季风气候,多年平均降水量 600 mm,地带性植被类型为暖温带落叶阔叶林。北京山区主要优势树种有油松(*Pinus tabulaeformis*)、侧柏(*Platycladus orientalis*)、桦属(*Betula* L.)、栎类(*Quercus* spp.)、山杨(*Populus davidiana*)等。

1.1 研究对象

在北京市“十五”森林资源二类调查的基础上,经过现场考察和对比分析,从北京山区典型森林类型乔木树种组成及分布规律的角度,对主要优势乔木树种种群进行全面调查,在北京山区的自然保护区或林场布设了 14 块公顷级标准地,将不同种群类型作为 14 个资源位(表 1),在每个资源位上设置 16~20 个 10 m×10 m 样方(受大样地的情况所限),对每个样方内进行每木检尺,记录全部乔木树种( $H\geq 3$  m)的出现情况(植物种数、个体数、高度、胸径和盖度等)并进行统计。于调查的样方内,根据大小顺序选取优势度较大并在群落中占有重要地位的 13 个主要乔木树种,

将各样方调查资料进行统计,进行种间联结关系和生态位分析。优势度( $D$ )分析采用 Simpson 优势度指数,计算公式为  $D=1-\sum_{i=1}^s p_i^2$ ,其中  $p_i$  是第  $i$  种个体数占总个体数的比率(表 3)。

1.2 研究方法

1.2.1 Pearson 相关分析和 Spearman 秩相关分析

在种间联结性方面,采用重要值,作为 Pearson 相关分析和 Spearman 秩(Rank)相关分析的数量指标<sup>[9]</sup>。

Pearson 相关系数(以下简称相关系数)如下:

$$r_{p(i,j)} = \frac{\sum_{k=1}^{44} (X_{ik} - X_i)(X_{jk} - X_j)}{\sqrt{\sum_{k=1}^{44} (X_{ik} - X_i)^2 \sum_{k=1}^{44} (X_{jk} - X_j)^2}} \quad (1)$$

Spearman<sup>[10]</sup>秩相关系数(以下简称秩相关系数),属于非参数检验,其表达式为:

$$r_{s(i,j)} = 1 - \frac{6 \sum_{k=1}^n d_k^2}{n^3 - n} \quad (2)$$

$n$  为样方数,  $d_k = (X_{ik} - \bar{X}_i)(X_{jk} - \bar{X}_j)$ ,  $X_{ik}$  为每个种的秩。

1.2.2 生态宽度与生态位重叠指数 在生态位方面,本研究以不同样地为资源状态,以不同种的个体数为资源利用量,分别计算各种群的 Levins 生态宽度指数、Hurlbert 生态位宽度指数和 Levins 生态位重叠指数<sup>[7]</sup>。其中 Levins(1968)生态宽度指数的计算公式为

$$B_i = \frac{1}{\sum_{j=1}^r (P_{ij})^2} \quad (3)$$

式中  $B_i$  是种  $i$  的生态位宽度,  $P_{ij} = n_{ij}/N_i$ , 表示第  $i$  个种在第  $j$  个资源状态下的个体数占该种所有个体的比例。

Hurlbert(1978)生态位宽度指数的计算公式为:

$$B_i = \frac{\frac{1}{\sum_{j=1}^r (P_{ij})^2} - 1}{r - 1} \quad (4)$$

Levins 生态位重叠指数的计算公式为

$$O_{ik} = \frac{\sum_{j=1}^r (P_{ij} P_{kj})}{\sum_{j=1}^r (P_{ij})^2} \quad (5)$$

式中  $O_{ik}$  代表种  $i$  的资源利用与种  $k$  的重叠指数。数据统计计算采用 sas6.12 软件进行。

• 北京市森林资源规划设计调查——“十五”调查报告,北京市林业勘察设计院,2005

表 1 样地的基本情况  
Table 1 Basic information of the plots

位置	GPS 坐标	海拔 /m	坡度 /(°)	坡向	土壤 类型	土壤 质地	土壤厚度 /cm	优势 树种	样地规格 /m
西山林场	E:0430588 N:4435253	75	20	阴坡	山地褐土	砂壤土	60	油松	100×100
八达岭林场	E:0412264 N:4465548	200	30	阴坡	山地褐土	砂壤土	67	黑桦	100×50
松山保护区	E:0399462 N:4486198	829	30	阳坡	山地褐土	壤土	70~80	蒙古栎	100×80
十三陵林场	E:0438242 N:4458492	166	28	阳坡	山地褐土	砂壤土	51	臭椿、油松	100×100
密云水源站	E:0483996 N:4484976	194	32	阴、阳坡	山地褐土	轻、中、砂壤土	>60	油松、槲栎	100×100
密云水源站	E:0484069 N:4484996	203	23	阳坡	山地褐土	轻、中、砂壤土	33	侧柏、大果榆	100×50
密云不老屯镇	E:0496911 N:4500404	375	22	阴坡	山地褐土	轻壤土	>60	油松、槲栎	100×60
石城镇	E:0485629 N:4494808	258	27	阴坡	山地褐土	中、轻、砂壤土	44	槲树	70×50
雾灵山林场	E:0534765 N:4493162	1 260	21	阳坡	山地褐土	轻、中、重壤土	57	山杨、白桦	100×100
雾灵山林场	E:0534503 N:4493424	1 260	26	阴坡	山地褐土	轻、中 壤土	38	白桦、山杨	80×70
百花山 自然保护区	E:0378139 N:4412557	1 230	20	阳坡	山地褐土	轻、砂壤土	55	核桃楸、色木槭	80×80
百花山 自然保护区	E:0379496 N:4412268	1 810	32	阴坡	山地褐土	轻、砂壤土	58	大果榆、山杏、白蜡	50×50
百花山 自然保护区	E:0378711 N:4411686	1 500	12	阴坡	山地褐土	轻、砂壤土	71	辽东栎、山杏	60×80
松山保护区	E:0399462 N:4486198	829	30	阳坡	山地褐土	壤土	70~80	白桦、白蜡、山杏	100×80

2 结果与分析

2.1 种间联结性分析

在种间关联的研究中,相关系数检验要求物种数据服从正态分布,但大多数物种难以满足这一条件。已有研究表明群落中大多数物种服从集群分布,偶有少数物种服从随机分布,这极大限制了相关系数检验的应用范围。而秩相关系数属于非参数检验<sup>[10]</sup>,它并不要求知道物种服从何种分布,因此应用起来更为灵活和方便。采用 Pearson 相关系数和 Spearman 秩相关系数对北京山区主要乔木优势种群间联结进行分析(表 2),并根据检测结果作半矩阵(图 1、图 2)。检验结果表明 Spearman 秩相关系数检验极显著相关、显著相关的种群数要高于 Pearson 相关系数检验,这与张峰的研究结果一致<sup>[9]</sup>。山杨和色木槭、白桦和黑桦,白桦和色木槭、白桦和山杨、白蜡与胡桃楸等这些种群形成显著的正联结,说明它们之间对生境具有相同或相似的需求与适应并相互依存。但由于人为活动影响强烈,这些样地的群落通常处于不稳定状态。在总的种群中,呈极显著和显著正关联的种群所占比率较低,总体上呈现负联结趋势。这说明北京山区以天然次生林为主的森林群落仍然处于不断的发展演替过程之中。从 Pearson 相关系数和 Spearman 秩相关系数检验来看,油松和槲栎 2 种群之间没有联

结性,可见,物种间的相互作用是有一定空间范围的,一旦超出此范围,其相互作用就减弱,甚至不再有相互作用<sup>[11]</sup>。

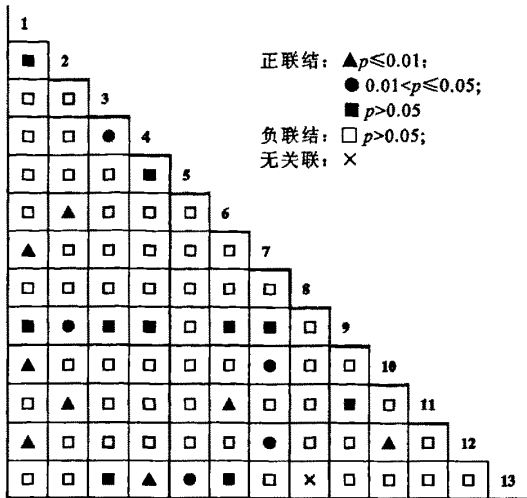
表 2 主要乔木优势种群相关系数检验比较  
Table 2 Correlation coefficient of main dominant populations

	显著关联的种群数		不显著关联的种群数		无关联的 种群数
	正关联	负关联	正关联	负关联	
相关系数	13	0	10	55	1
秩相关系数	15	0	11	52	1

2.2 生态位宽度

生态位宽度是反映物种群环境资源利用状况的尺度,它不仅与物种的生态学和进化生物学特征有关,而且与种间的相互适应与相互作用有密切的联系<sup>[14-15]</sup>。生态位宽度越大,表明物种群环境的适应能力越强,对各种资源的利用较为充分,分布范围越广,并且在群落中往往处于优势地位。在此基础上对北京山区天然林主要乔木树种的种群 14 个资源位进行分析(表 3)。

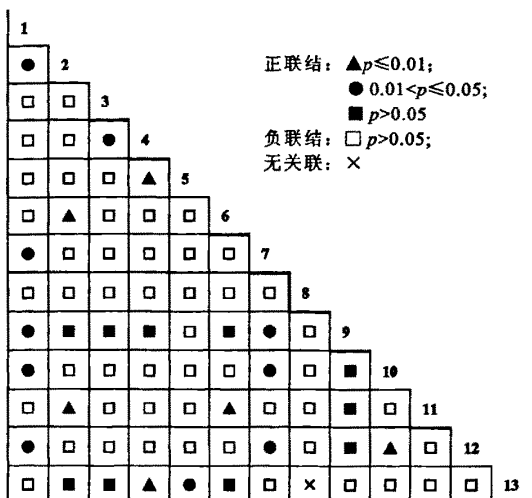
由表 3 中可以看出,白桦、槲栎、白蜡、黑桦的生态位宽度较大,生态位宽度的 Levins 和 Hurlbert 指数值分别是 3.682、2.990、2.903、2.628 和 0.206、0.153、0.146、0.125,色木槭、大果榆、山杏、山杏和侧柏的生态位宽度较低,生态位宽度的 Levins 和 Hurlbert 指数值分别是 1.574、1.220、1.220、1.180



注:1、白桦 (*Batula platyphylla*) 2、白蜡 (*Fraxinus* spp.) 3、侧柏 (*Platycladus orientalis*) 4、臭椿 (*Ailanthus altissima*) 5、大果榆 (*Ulmus macrocarpa*) 6、胡桃楸 (*Juglans mandshurica*) 7、黑桦 (*Betula dahurica*) 8、槲栎 (*Quercus aliena*) 9、蒙古栎 (*Q. mongolica*) 10、色木槭 (*Acer mono*) 11、山杏 (*Armeniaca sibirica*) 12、山杨 (*Populus davidiana*) 13、油松 (*Pinus tabulaeformis*)

图 1 Pearson 相关系数检验结果半矩阵图

Fig. 1 Semi-matrix diagram of Pearson correlation coefficient



注:1、白桦 (*Batula platyphylla*) 2、白蜡 (*Fraxinus* spp.) 3、侧柏 (*Platycladus orientalis*) 4、臭椿 (*Ailanthus altissima*) 5、大果榆 (*Ulmus macrocarpa*) 6、胡桃楸 (*Juglans mandshurica*) 7、黑桦 (*Betula dahurica*) 8、槲栎 (*Quercus aliena*) 9、蒙古栎 (*Q. mongolica*) 10、色木槭 (*Acer mono*) 11、山杏 (*Armeniaca sibirica*) 12、山杨 (*Populus davidiana*) 13、油松 (*Pinus tabulaeformis*)

图 2 Spearman 秩相关系数检验结果半矩阵图

Fig. 2 Semi-matrix diagram of Spearman correlation coefficient

表 3 主要乔木树种生态位宽度

Table 3 Niche breadth of the main tree species

种号	种名	优势度	Levins 生态位宽度	Hurlbert 生态位宽度
1	白桦 ( <i>Batula platyphylla</i> )	0.833	3.682	0.206
2	槲栎 ( <i>Quercus aliena</i> )	0.665	2.990	0.153
3	白蜡 ( <i>Fraxinus</i> spp.)	0.655	2.903	0.146
4	黑桦 ( <i>Betula dahurica</i> )	0.662	2.628	0.125
5	蒙古栎 ( <i>Q. mongolica</i> )	0.524	2.102	0.085
6	山杨 ( <i>Populus davidiana</i> )	0.484	1.995	0.077
7	胡桃楸 ( <i>Juglans mandshurica</i> )	0.441	1.976	0.075
8	臭椿 ( <i>Ailanthus altissima</i> )	0.375	1.790	0.061
9	油松 ( <i>Pinus tabulaeformis</i> )	0.367	1.600	0.046
10	色木槭 ( <i>Acer mono</i> )	0.294	1.574	0.044
11	大果榆 ( <i>Ulmus macrocarpa</i> )	0.18	1.220	0.017
12	山杏 ( <i>Armeniaca sibirica</i> )	0.18	1.220	0.017
13	侧柏 ( <i>Platycladus orientalis</i> )	0.152	1.180	0.014

和 0.044、0.017、0.017、0.014, 这些结果反映了北京山区不同乔木树种在该地区各种群的地位、分布的广度与均匀程度。白桦、黑桦分别是坡面植被演替过程中的主要次生优势树种, 在不同演替阶段成连续较广分布, 数量多, 对资源利用能力强, 生态幅度大, 因此生态位宽度指数较高。而在生态位宽度较低的树种中, 大果榆、山杏是伴生树种, 在乔木层中地位较低, 资源利用能力较弱, 数量较少, 分布范围较窄。油松、侧柏虽然是北京地区的天然乔木优势树种, 然而, 由于它在演替阶段逐渐被次生优势种所代替, 分布面积较少, 因此, 生态位宽度值较低。

2.3 生态位重叠

当 2 个物种利用同一资源或共同占有某一资源因素(食物、营养成分、空间等)时, 就会出现生态位重叠现象<sup>[12]</sup>。生态位重叠较大的种群要么有相近的生态特性, 要么对生境因子有互补性的要求, 即生态位重叠是 2 个种在其与生态因子联系上的相似性<sup>[13]</sup>。由表 4 可以看出, 乔木不同种群中色木槭和山杨、白桦和山杨、色木槭和白桦、白蜡和胡桃楸具有较大的生态位重叠, 他们的生态位重叠指数分别为 0.956、0.795、0.733、0.789, 从以上种群来看, 对生境的相似要求是生态位重叠指数高的主要原因。

调查中发现如色木槭和山杨、色木槭和白桦、白蜡和胡桃楸等常同时出现同在一个群落中,各种群对环境条件有相似的要求,同时生长的条件相似。而白桦和山杨在各群落中分布广泛,在北京地区属于生态幅度大,分布广泛的树种,因此生态位重叠度较大。很多树种虽然生态位重叠不高,但是与很多种都有重叠例如油松、蒙古栎与很多优势种都有重叠,这是因为油松、蒙古栎为北京山区的优势植物种,分

布较为广泛,对生境的要求不高。在生态位重叠分析中,有一些植物种与其他的植物种的生态位重叠值非常小,甚至为 0,这与该植物种的分布数量与范围和对生境的特殊要求密不可分的,调查中也发现,榿栎基本上都是成片分布,很少有其他树种混交。侧柏、臭椿和大果榆与其他的多个主要树种的生态重叠指数值为 0,这与该类植物数量较少,分布集中和对环境条件的要求有较严的特性密不可分。

表 4 主要乔木树种生态位重叠  
Table 4 Niche overlap of the main tree species

植物种	白桦	白蜡	侧柏	臭椿	大果榆	胡桃楸	黑桦	榿栎	蒙古栎	色木槭	山杏	山杨	油松
白桦	1												
白蜡	0.141	1.000											
侧柏	0	0	1.000										
臭椿	0	0	0.025	1.000									
大果榆	0.558	0	0	0.151	1.000								
胡桃楸	0.056	0.789	0	0	0	1.000							
黑桦	0.567	0.050	0	0	0.098	0.089	1.000						
榿栎	0	0	0.144	0	0	0	0	1.000					
蒙古栎	0.369	0.432	0.006	0.025	0.026	0.102	0.239	0	1.000				
色木槭	0.733	0	0	0	0.423	0	0.226	0	0.112	1.000			
山杏	0.021	0.602	0	0	0	0.849	0	0	0.204	0	1.000		
山杨	0.795	0	0	0	0.639	0	0.225	0	0.107	0.956	0	1.000	
油松	0.065	0.623	0.015	0.348	0.133	0.412	0.005	0	0.018	0.008	0.040	0.009	1

3 结论与讨论

在北京山区天然林种群中,山杨和色木槭、白桦和黑桦、白桦和色木槭、白桦和山杨、白蜡和胡桃楸等这些种群形成显著的正联结,说明它们之间对生境具有相同或相似的需求和适应并相互依存。在总的种群中,呈极显著和显著关联的种群所占比率较低,总体上呈现负联结趋势。山杨、色木槭、白桦、黑桦、山杨、白蜡均为北京山区次生种,由于它们对生境要求较为相似,争夺空间,阳光,相互促进,竞相生长,这说明北京山区以天然次生林为主的森林群落仍然处于不断的发展演替过程之中。

生态位宽度是一个种群所利用各种不同资源的总和,以度量种群利用资源多样化的水平<sup>[13]</sup>。生态位宽度较大的物种,对资源的利用能力较强,分布较广,对环境因子的适应性较强<sup>[14]</sup>,本文的研究结果,如白桦、榿栎、白蜡、黑桦,对应的 Levins 生态位宽度分别为 3.682、2.990、2.903、2.628,白桦、黑桦分别是坡面植被演替过程中的主要次生优势树种,在不同演替阶段成连续分布,数量多,对资源利用能力强,生态幅度大。榿栎是北京山区地带性的落叶阔叶林顶级群落,是北京山区面积最大,分布最广的基本森林类型,其分布较广,生态位较宽。生态位宽度指数较低的种群中,山杏、大果榆为伴生树种,其均

适应耐旱、耐贫瘠的环境,但在乔木层中地位较低,资源利用能力较弱,数量较少,分布范围较窄。侧柏是北京地区的天然乔木优势种,其生态位宽度指数较低,主要与生物学特性有关,它为喜暖旱中生植物,幼苗和幼树有一定的耐阴性,幼树在其他乔木树种的林冠下生长良好,对温度条件有一定要求,自然分布多在年平均温度为 8℃ 以上,随着侧柏林龄的增大,种间竞争激烈,竞争的结果,多形成大片的侧柏纯林,很少与其他树种混交,这也是侧柏的生态位宽度较低,生态位重叠较少的原因所在。

种群的生态位宽度和生态位重叠之间存在一定的联系。宽生态位种群与其他种群的生态位重叠的机会大<sup>[16]</sup>,但 2 个窄生态位宽度组成的种群的生态位重叠也可能较大。如山杨与大果榆,山杨的生态位宽度为 1.995,大果榆的生态位宽度为 1.220,而种群的生态位重叠为 0.639,山杨为喜光耐寒植物,生长较快,对生境的要求不高,大果榆的生活习性为喜光、耐寒、耐干旱贫瘠、根系发达,具有同样生境的 2 个树种在天然林更新的过程中,成为主要的次生林树种。同样,山杏与胡桃楸,山杏的生态位宽度为 1.220,胡桃楸的生态位宽度为 1.976,而种群的生态位重叠为 0.849,色木槭与山杨,山杨的生态位宽度为 1.995,色木槭的生态位宽度为 1.574,而种群

(下转第 81 页)

量的增加基质对高羊茅生长促进作用越明显。

由于试验条件以及高羊茅的生长周期所限,本试验是在温室大棚内进行的,由于植物所生长的环境与自然状态下有较大差别,研究结论有一定的局限性。而且时间的紧迫性使得制成的基质只有4种,至于这所选的4种物质能否以更好的比例搭配对植物生长更为有益,所造基质在进行其他植物无土栽培能否发挥作用,有待进一步研究。

#### 参考文献:

- [1] 周嘉友,汤承,卢建霖,等.草坪过渡带优质草坪建植与管理综合技术研究——I 坪床配方[J]. 草业科学,1998,15(5):44-48.
- [2] 张广楠.无土栽培技术研究的现状与发展前景[J]. 甘肃农业科技,2004(2):6-8.
- [3] NOGUERA P, ABAD M. Coconut coir dust waste, a new and viable ecologically-friendly peat substitute[J]. Acta Hort, 2000,517:279-286.
- [4] MUNO P. Physical, chemical and biological properties of coir dust[J]. Acta Hort, 1997,450:21-27.
- [5] HANDRECK K A. Properties of coir dust and its use in the formulation of soilless potting media[J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 1993,24(3-4):349-363.
- [6] MEEROW A W. Growth of two tropical foliage plants using coir dust as a container medium amendment[J]. Hort Technology, 1995,5(3):237-239.
- [7] 游学文.锯末基质无土栽培[J]. 福建农业科技,1983(3):51.
- [8] 吴立业,胡美如.草莓无土促成栽培的研究[J]. 江苏农业科学,1986(1):21.
- [9] 蒋卫杰.我国无土栽培的现状与展望[J]. 中国农业科技导报,1997,7(2):71-72.
- [10] 李谦盛,郭世荣,李式军.利用工农业有机废弃物生产优质无土栽培基质[J]. 自然资源学报,2002,17(4):516-519.
- [11] 史正军,廖伟文.含煤渣营养基质的理化特性及应用效果研究[J]. 广东林业科技,2004,20(2):42-46.
- [12] 多立安,赵树兰.生活垃圾生产地毯式草皮环境生态工程基质选配研究应用[J]. 应用生态学报,2000,11(5):767-772.
- [13] 尤云桂,罗仰奋,李长春,等.马尼拉草坪毯的无土栽培技术及其应用[J]. 西南园艺,2003,31(4):38-39.

~~~~~  
(上接第30页)

的生态位重叠为0.956。从以上分析可以看出窄生态位种如果生态学特性较为相似,其生态位重叠也就较大。研究中还发现虽然油松种群的生态位宽度指数并不是很高,但与其他种群的生态位重叠较多,主要是因为油松是北京山区分布较为广泛的树种,主要生长于海拔600~970 m,调查中发现油松林中常常混生有蒙古栎种群,局部地带蒙古栎与油松形成混交林,在山脊及山坡上部一些特殊生境蒙古栎甚至取代油松林成为优势种,其他的一些植物种在油松林中也常大量出现,呈现油松与多数种群之间的生态位重叠较多。

#### 参考文献:

- [1] 张金屯.数量生态学[M]. 北京:科学出版社,2004.
- [2] 林长松,李玉英.珍稀植物十齿花群落乔木优势种群间联结性[J]. 生态学杂志,2008,27(2):178-184.
- [3] 廖宝文,李玫,郑松发,等.海南岛东寨港几种红树植物种间生态位研究[J]. 应用生态学报,2005,16(3):403-407.
- [4] 张桂莲,张金屯.关帝山神尾沟优势种生态位分析[J]. 武汉植物学研究,2002,20(3):203-208.
- [5] 黄启堂.毛竹天然混交林乔木层主要伴生种群生态位的研究[J]. 福建林学院学报,2008,28(2):101-107.
- [6] 艾训儒.百户湾森林群落优势种群空间生态位研究[J]. 西北林学院学报,2006,21(1):12-17.
- [7] 何小娟,洪滔,何东进,等.武夷山风景名胜区天然林主要种群生态位特征研究[J]. 中国生态农业学报,2008,16(2):285-291.
- [8] 张恩玉.杉栎群落内主要乔木种群的种间联结性[J]. 应用与环境生物学报,2001,7(4):335-339.
- [9] 张峰,上官铁梁.山西翅果油树群落种间关系的数量分析[J]. 植物生态学报,2000,24(3):369-374.
- [10] 孙中伟,赵士洞.长白山北坡椴树阔叶红松林群落木本植物种间联结性与相关性研究[J]. 应用生态学报,1996,7(1):1-5.
- [11] 郭志华,卓正大.庐山常绿阔叶、落叶阔叶混交林乔木种群种间联结性研究[J]. 植物生态学报,1997,21(5):424-432.
- [12] 云南大学生物系.植物生态学[M]. 北京:人民教育出版社,1980:192-195.
- [13] 林伟强,贾小容,陈北光,等.广州帽峰山次生林主要种群生态位宽度与重叠研究[J]. 华南农业大学学报,2006,27(1):84-87.
- [14] 孟广涛,柴勇,方向京,等.云南富源光皮桦种群与主要伴生树种生态位研究[J]. 南京林业大学学报:自然科学版,2006,30(2):63-66.
- [15] 袁建国,翁国杭,董蔚.石埭森林公园常绿阔叶林主要种群的种间联结性[J]. 浙江林学院学报,2008,25(3):324-330.
- [16] 陈伟,兰国玉,安峰.海南外来杂草——假臭草群落生态位特征研究[J]. 西北林学院学报,2007,22(2):24-27.