

北京东灵山地区森林的物种多样性和景观
格局多样性研究*

马克明 傅伯杰 周华锋

(中国科学院生态环境研究中心 北京 100085)

摘要 选取北京东灵山地区暖温带落叶阔叶林中7种主要森林和1个灌丛类型的11个样方,通过比较这些类型的物种多样性(物种丰富度和 Shannon 指数)和相关的环境因子,及运用亲和度分析测度景观格局多样性,揭示了这些类型物种多样性的差异,与环境因子的关系,及其空间分布规律。结果显示:1)各森林类型乔木层物种丰富度均较低,灌木层和草本层物种丰富度较高。大多数森林类型中,物种丰富度的垂直结构是:草本层>灌木层>乔木层。2)各森林类型的 Shannon 指数同物种丰富度具有相似的规律。3)落叶松林(Ⅱ-1)和白桦林(V-1)两种类型具有特殊的物种多样性垂直结构特征,灌木层的物种多样性高度发育。4)所有森林类型中,均未发现环境因子与物种多样性有明显的关系,仅坡位和坡向存在一些影响。5)亲和度分析表明,镶嵌多样性值为 $7.1541 > 3$,意味着该区没有明显强烈的环境梯度,景观是复杂的,由多个梯度控制。根据平均亲和度值,可将这些森林类型划分为3部分,即中心点(modal sites),类型Ⅱ-2(油松林),Ⅴ-1(山杨林)及Ⅵ-1(核桃楸林),它们的普遍种较多或物种数目多,代表了该区的典型生境。外点(outlier)是类型Ⅱ-1(油松林),它的普遍种较少或物种数目较少,是一个特殊类型。中间点(moderate site),类型Ⅴ-2(山杨林)>Ⅱ-2(落叶松林)>Ⅵ-1(杂灌丛)>Ⅱ-1(落叶松林)>Ⅰ-1(辽东栎林)>Ⅴ-1(白桦林)>Ⅳ-1(棘皮桦林),它们的物种多样性和普遍种数均为中等,但是占据了该区多数生境空间。另据平均相似度值,这些森林类型的顺序是:Ⅱ-2>Ⅴ-1>Ⅵ-1>Ⅱ-2>Ⅴ-2>Ⅵ-1>Ⅱ-1>Ⅴ-1>Ⅳ-1>Ⅰ-1>Ⅱ-1,相邻的森林类型比之较远的森林类型具有更多的共有种,它们可能空间上邻近或者分布在相似的生境中。

关键词 东灵山,物种多样性,景观格局多样性,环境因子。

STUDIES ON SPECIES AND PATTERN DIVERSITIES OF THE
FOREST LANDSCAPES OF DONGLINGSHAN MOUNTAIN
REGION, BEIJING, CHINA

MA Ke-Ming FU Bo-Jie ZHOU Hua-Feng

(Research Center for Eco-Environmental Sciences, the Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100085, China)

Abstract The warm temperate zone deciduous broad leaved forest has been seriously destroyed in Donglingshan Mountain region, Beijing, China. A total of 11 plots with 8 main forest types were chosen in this study. By comparing species diversity and the environmental factors, and measuring landscape pattern diversity with Affinity Analysis, the differences among these types, their correlation to the environmental factors, and their spatial

* 国家自然科学基金资助项目(编号39570148和39770150)。

感谢高天刚和李庆康硕士协助野外调查。

收稿日期,1998-01-12,修改稿收到日期,1998-04-25。

distributing regularity were disclosed. The results show that, 1) Species richness of tree layer was low, whereas it were higher in shrub and grass layers in all these forest types. The vertical structure of species richness was grass layer > shrub layer > free layer in most forest types. 2) Shannon index of the forest types had similar regularity with that of species richness. 3) No environmental factor had obvious correlation with species diversity, except slope position and aspect. 4) Affinity analysis showed that, mosaic diversity was $7.1541 > 3$. There was no obvious strong environmental gradient in this region. The landscape was complex and dominated by multiple gradients. These main forest types could be divided into 3 parts according to the mean affinity, i. e., modal sites, II-2, VI-1 and VII-1, which were rich in common species or had more species number, represented the typical habitats of the mountain region; outlier site, II-1, which had fewer common species or less species number with the typical forest types; and moderate sites with forest types VI-2 > III-2 > VII-1 > III-1 > I-1 > V-1 > N-1, which had moderate species diversity and common species, occupied most of the mountain habitats. The order of forest types according to mean similarity was II-2 > VI-1 > VII-1 > III-2 > VI-2 > VII-1 > III-1 > V-1 > N-1 > I-1 > I-1. The neighbouring forest types had more common species and they possibly distributed in space adjacently or in similar habitat.

Key words Donglingshan Mountain, species diversity, landscape pattern diversity, environmental factors.

暖温带落叶阔叶林为北京东灵山地区的地带性植被。由于长期的开发利用,以及生境破碎化,致使该区森林景观受到严重破坏^[1]。各森林类型在空间分布上既间断又联系,植物物种多样性成为这种联系的主要体现。本文围绕这个问题,通过研究该区主要森林类型的物种多样性,测度景观格局多样性^[2],从而揭示这些森林类型之间的差异,与环境因子的关系,及其空间分布规律。

1 研究地区自然概况

东灵山($40^{\circ}00' \sim 40^{\circ}02'N$, $115^{\circ}26' \sim 115^{\circ}3'E$)位于北京市西北部,距市区约100km。东灵山为小五台山余脉,属太行山系。海拔高度大多高于1000m,最高峰为2303m。地貌以山地侵蚀结构类型为主,山势陡峭,河流下切严重。土壤类型多为肥沃棕壤。气候特征是寒冷期长,积温低,冻土期长,生长季短,年降雨量为500~650mm。

典型的地带性植被是暖温带落叶阔叶林,主要类型包括栎林(*Quercus* spp.),落叶阔叶混交林(如, *Tilia* spp., *Ulmus* spp., *Acer* spp., *Juglans mandshurica* 以及 *Fraxinus rhynchophylla* 等),桦木林(*Betula* spp.)和山杨林(*Populus* spp.)。还有两类人工针叶林类型,即油松林(*Pinus tabulaeformis*)和落叶松林(*Larix principis-rupprechtii*)。另有一些灌丛,如李灌丛(*Prunus* spp.)等。

2 研究方法

选取该区7个主要森林类型和1个灌丛,它们是辽东栎林(*Quercus liaotungensis*) (I),油松林(I),落叶松林(II),棘皮桦林(*Betula dahurica*) (IV),白桦林(*Betula platyphylla*) (V),山杨林(*Populus davidiana*) (VI),核桃楸林(VI)和杂灌丛(VII)。选择典型样地,在每一种森林类型中心设置样方,乔木层和灌木层的样方大小是 $10 \times 10m^2$ 。每个样地中,设置3~4个 $1 \times 1m^2$ 草本层样方。分别调查每个样方中的乔木、灌木、草本的物种数和相应的盖度,记录海拔高度、坡向、坡度、坡位,土壤含水量,样方灌木层和草本层的光照强度。为了涵盖一些森林类型的较大的变化,另外又选取了3个样地,它们是油松林(II-2),落叶松林(II-2)和

山杨林(VI-2)。

计数每一层中的物种数目,运用 Shannon 指数计算物种多样性^[2],运用亲和度分析的方法,在 Jaccard 指数的基础上测度景观格局多样性^[4,5]。

由于该区景观破碎化程度较高,一些景观类型虽然分布区较大,但斑块面积较小,有时20×20m²的样方已无法设置。为了兼顾代表性和可比性,本研究将样方面积确定为10×10m²。

3 结果与讨论

3.1 主要森林类型间物种丰富度的比较

表1 东灵山区主要森林类型的物种丰富度和 Shannon 指数

Table 1 The species richness and Shannon index of the main forest types in Donglingshan Mountain region

样方号 Sample No.	森林景观类型 Forest landscape type	物种数目 Species No.				Shannon 指数 Shannon index		
		乔木层 Tree layer	灌木层 Shrub layer	草本层 Grass layer	合计 Total	乔木层 Tree layer	灌木层 Shrub layer	草本层 Grass layer
I-1	辽乐栎林 ^①	3	7	6	16	0.766	0.827	1.266
I-1	油松林 ^②	2	3	6	11	0.325	0.756	1.251
I-2	油松林	1	7	10	18	0	1.577	1.625
II-1	落叶松林 ^③	2	17	6	25	0	1.858	1.038
II-2	落叶松林	1	5	23	29	0	0.779	1.102
IV-1	棘皮桦林 ^④	3	6	11	20	0.824	1.907	1.500
V-1	白桦林 ^⑤	3	9	8	20	0.687	1.756	1.565
VI-1	山杨林 ^⑥	2	12	15	29	0.501	2.023	0.795
VI-2	山杨林	1	9	20	30	0	1.630	2.302
VII-1	核桃楸林 ^⑦	3	5	16	24	0.509	0.918	2.003
VIII-1	杂灌丛 ^⑧	1	8	24	33	0	0.962	2.253

注:①*Q. Liaotungensis*, ②*P. tabulaeformis*, ③*L. principis-rupprechtii*, ④*B. dahurica*, ⑤*B. platyphylla*, ⑥*P. daurica*, ⑦*J. mandshurica*, ⑧mixed shrub.

表1给出东灵山区主要森林类型乔木层、灌木层、草本层的物种数目。在所有的森林类型中乔木层物种数目都很低(只有1~3个种),而灌木层和草本层的物种数目较高(3~24个种),样方中的物种总数是11~33个种。

在类型 I-2, II-2, VI-2和 VII-1中乔木层只有1个物种;在类型 I-1, II-1, VI-1中只有2个物种;在类型 I-1, IV-1, V-1, VII-1中有3个物种。因此,这些森林类型中乔木层因物种数目少而差异很小。灌木层物种数目的差异较大, I-1有3个种,而 II-1有17个种。森林类型的物种数目顺序是 II-1(3)< II-2(5)= VII-1(5)< IV-1(6)< I-1(7)= I-2(7)< VII-1(8)< V-1(9)= VI-2(9)< VI-1(12)< II-1(17)。在乔木、灌木和草本3层中草本层的物种数目最高,变化范围是6~24个种。它的顺序是: I-1(6)= II-1(6)= II-1(6)< V-1(8)< II-2(10)< IV-1(11)< VI-1(15)< VII-1(16)< VI-2(20)< II-2(23)< VII-1(24)。样方内物种总数的变化范围是11~33

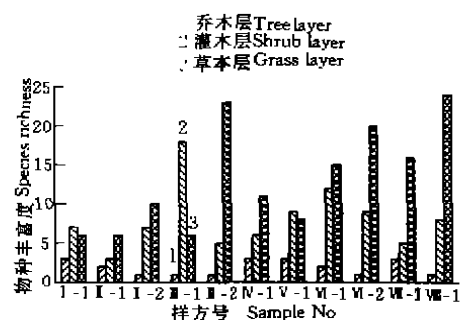


图1 东灵山区主要森林类型物种丰富度的垂直结构
Fig. 1 Vertical structure of species richness in the main forest types in Donglingshan Mountain region

个种.它的顺序是: I-1(11)< I-1(16)< I-2(18)< IV-1(20)= V-1(20)< VII-1(24)< II-1(25)< II-2(29)= VI-1(29)< VI-2(30)< VII-1(33)。

图1显示出不同森林类型中,乔木层、灌木层及草本层物种丰富度的关系。在大多数森林类型中,物种丰富度分布的垂直结构顺序是:草本层>灌木层>乔木层,只有类型 I-1, II-1和 V-1的草本层物种丰富度较低,而灌木层物种丰富度较高,意味着其灌木层高度发育。

综上所述,这些森林类型物种丰富度,乔木层较低,灌木层和草本层较高。多数森林类型中,物种丰富度的垂直结构是草本层>灌木层>乔木层。

3.2 主要森林类型间 Shannon 指数的比较

Shannon 指数包含有较多关于群落结构的信息。在一定程度上反映出各个物种在森林类型中的地位和作用,比物种丰富度的分析定量化程度更高,结果更准确、实际。表1同时显示了北京东灵山地区主要森林类型乔木层、灌木层和草本层的 Shannon 指数值。灌木层和草本层的 Shannon 指数值的变化范围是0.7~2.3,仍然高于乔木层(0~0.9)。

与物种丰富度的分析结果类似,乔木层与灌木层和草本层 Shannon 指数的差异也比较大。乔木层的 Shannon 指数有5个零点,其余森林类型的顺序是: I-1< VI-1< V-1< I-1< IV-1,它们的 Shannon 指数均低于0.9。灌木层的 Shannon 指数在0.7~2.1之间,草本层在0.7~2.4之间,均高于乔木层。灌木层的顺序是: II-1< II-2< I-1< VII-1< VII-1< IV-1< I-2< VI-2< V-1< II-1< VI-1;草本层的顺序是: VI-1< II-1< II-2< II-2< I-1< IV-1< V-1< I-2< VII-1< VII-1< VI-2。这些顺序都与物种数目的规律不尽一致。

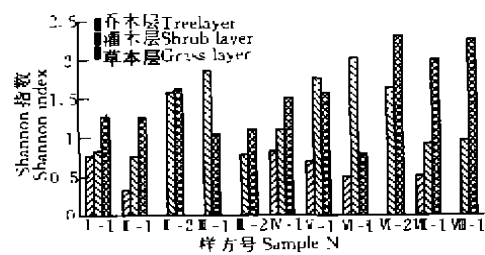


图2 东灵山区主要森林类型 Shannon 指数的垂直结构
Fig. 2 Vertical structure of Shannon index in the main forest types in Donglingshan Mountain region

表2 东灵山区主要森林类型的环境因子

Table 2 The environmental factors of the main forest types in Donglingshan Mountain region

样方号 Sample No.	森林类型 Forest type	海拔高度 Altitude (m)	坡向 Aspect	坡度(°) Slope degree	坡位 Slope position	土壤含水量 Soil water content(%)	光照 Sunshine(%)	
							灌木 Shrub layer	草本 Grass layer
I-1	辽东栎林 ⁽¹⁾	1260	阴坡 ⁽¹⁰⁾	31	中下 ⁽¹²⁾	16.57	4.28	1.04
I-1	油松林 ⁽²⁾	1160	阳坡 ⁽¹¹⁾	26	中下	9.40	15.35	0.50
I-2	油松林	1200	阳坡	22	中	5.03	11.23	4.54
II-1	落叶松林 ⁽³⁾	1140	阴坡	16	中	34.01	34.64	5.91
II-2	落叶松林	1200	阳坡	0	废弃梯田 ⁽¹³⁾	13.60	10.50	3.24
IV-1	棘皮桦林 ⁽⁴⁾	1400	阴坡	46	上 ⁽¹⁴⁾	18.15	15.73	0.86
V-1	白桦林 ⁽⁵⁾	1360	阴坡	13	上中 ⁽¹⁵⁾	26.30	6.45	1.31
VI-1	山杨林 ⁽⁶⁾	1150	阳坡	5	沟底 ⁽¹⁶⁾	25.60	13.35	0.69
VI-2	山杨林	1160	阴坡	0	沟底	7.90	28.31	15.84
VII-1	核桃楸林 ⁽⁷⁾	1050	阴坡	10	沟底	29.80	20.90	3.13
VII-1	杂灌丛 ⁽⁸⁾	1160	阳坡	20	中	9.60	35.21	10.42

注:①*Q. liaotungensis*, ②*P. tabulaeformis*, ③*L. principis-rupprechtii*, ④*B. dahurica*, ⑤*B. platyphylla*, ⑥*P. davidiana*, ⑦*J. mandshurica*, ⑧unixed shrub; ⑨Shady, ⑩Sunny, ⑪Middle-bottom, ⑫Middle, ⑬Abandoned terrace, ⑭Top, ⑮Top-middle, ⑯Bottom.

多数森林类型中,3层的 Shannon 指数关系仍然是:草本层>灌木层>乔木层,只有Ⅲ-1、Ⅴ-1和Ⅵ-1灌木层的 Shannon 指数比草本层要高(图2)。结合物种数目的分析结果,可以发现Ⅲ-1和Ⅴ-1同其它的森林类型相比具有不同的物种多样性垂直结构,它们灌木层的物种多样性高度发育。由于林内光照的限制,发达的灌木层势必会降低草本层的光照强度,并与草本层争夺其它环境资源,从而降低了草本层的物种多样性(参见表2)。

3.3 物种多样性与环境因子的关系

表2的环境因子数据表明,该区的森林类型主要分布在海拔1050~1400m,在阴坡和阳坡,坡度0°~31°,包括所有的坡位类型,土壤含水量为5.03%~34.01%,灌木层光照强度4.28%~35.21%,草本层光照强度为0.50%~15.83%。

再由图3a可知,类型Ⅲ-1、Ⅳ-2、Ⅴ-1及Ⅵ-1分布在阳坡,而类型Ⅰ-1、Ⅱ-1、Ⅳ-1、Ⅴ-1、Ⅵ-2、Ⅶ-1分布在阴坡。多数阴坡分布的森林类型具有较高的物种多样性(图1和2)。图3b和表1显示,分布在山坡中部到底部的森林类型物种多样性较高,然而坡顶处也同样能有高的物种多样性,这表明坡位对物种多样性的分布不是一个起决定作用的环境因子,但影响着物种多样性的分布。这些森林类型的坡度顺序是:Ⅲ-2=Ⅵ-2<Ⅵ-1<Ⅶ-1<Ⅴ-1<Ⅲ-1=Ⅳ-1<Ⅰ-2<Ⅰ-1<Ⅶ-1<Ⅰ-1(图3c)。海拔高度的顺序是:Ⅶ-1<Ⅲ-1<Ⅵ-1<Ⅲ-1=Ⅵ-2=Ⅶ-1<Ⅰ-2=Ⅲ-2<Ⅰ-1<Ⅴ-1<Ⅳ-1(图3d)。很难发现这两个环境因子梯度与物种多样性的分布有明显的对应关系。灌木层光照强度的顺序是:Ⅰ-1<Ⅴ-1<Ⅲ-2<Ⅳ-2<Ⅵ-1<Ⅲ-1<Ⅳ-1<Ⅶ-1<Ⅵ-2<Ⅲ-1<Ⅶ-1(图3e),这一顺序与灌木层物种多样性的顺序比较接近,它们具有正相关趋势。草本层光照强度的顺序是:Ⅰ-1<Ⅵ-1<Ⅳ-1<Ⅰ-1<Ⅴ-1<Ⅵ-1<Ⅲ-2<Ⅲ-2<Ⅲ-1<Ⅶ-1<Ⅵ-2(图3f),该因子与草本层的物种多样性没有明显的相关性。各个森林类型土壤含水量的顺序是:Ⅳ-2<Ⅵ-2<Ⅲ-1<Ⅶ-1<Ⅲ-2<Ⅰ-1<Ⅳ-1<Ⅵ-1<Ⅴ-1<Ⅵ-1<Ⅲ-1,它也同物种多样性有一定的相关性(图3g)。总体说来,该区的湿润生境一般具有较高的物种多样性。

综上所述,虽然环境因子对森林物种多样性的空间分布存在一定影响,但任何一个都不能决定物种多

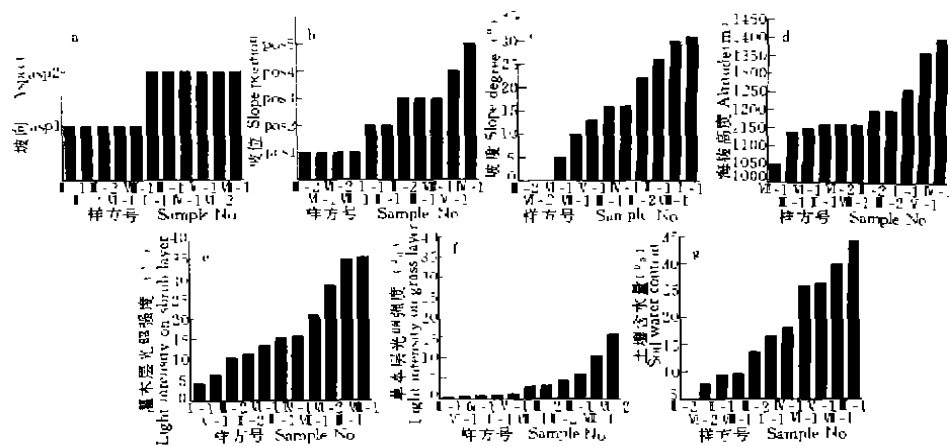


图3 东灵山区主要森林类型按环境因子的排列顺序

Fig. 3 The orders on environmental factors of the main forest types in Donglingshan Mountain region

a)中的 asp1和 asp2分别代表阳坡和阴坡,b)中的 pos1到 pos5分别代表坡底、中下、中、中上坡位和坡顶, asp1 and 2 in a represent sunny and shady slope respectively, pos1 to pos5 in b represent bottom, middle-bottom, middle, top-middle and top position separately.

样性的空间分布,因此该区物种多样性的分布同环境因子间没有明显的相关规律,环境异质性复杂。

3.4 景观格局多样性

既然该区物种多样性分布同单一环境因子梯度间没有明显的相关规律,下面试图检测这些森林类型的分布是否具有镶嵌性(patchiness),或者说在景观水平上森林类型的空间分布是否具有某种规律性。本文基于每个森林类型的物种数目,采用亲和度分析来测度该景观的格局多样性。

亲和度分析(affinity analysis)能够提供一个景观两方面的信息,1)景观亚单元的空间排布;2)镶嵌多样性(mosaic diversity)。镶嵌多样性(m)是综合了亲和度分析所有信息的一个指标,用来描述格局多样性。它是物种格局两个特性的函数:不同群落间物种丰富度的变化及不同物种间普遍度或稀有度的变化。镶嵌多样性值低,表明景观简单,由一个或少数几个环境梯度组成并为少数几个物种所占据;镶嵌多样性值高,表明景观复杂,具有多个环境梯度或没有普遍种(ubiquitous)^[4]。镶嵌多样性不同的取值范围反映出景观格局的不同特性。 $m < 1$,表明景观是间断的,组成群落以内部种为主,不同群落间共有种稀少; $m = 1 \sim 3$,表明景观简单,仅由少数几个梯度控制; $m > 3$,表明景观复杂,或者由多个生态梯度综合作用;或者不存在明显的生态梯度^[4]。

图4是对东灵山地区主要森林类型进行亲和度分析的结果。相关系数是0.9705, $P < 0.01$,显著线性相关。镶嵌多样性值为7.1541 > 3 ,表明该区不存在明显的环境梯度,景观复杂,由多个环境梯度支配着。该结果与前面的物种多样性与环境因子的分析结果相吻合。

因为平均亲和度(mean affinity)值收敛于0.5,并且 $0.5 \pm 1SD$ 客观地划分了中心点和外点^[4],因此森林类型的亲和度图可以划分成3部分,即中心点(modal site),中间点(moderate site)和外点(outlier)。中心点是景观的中心类型,它们与其它类型之间具有最大的平均亲和度和平均相似度,相当于区域的地带性类型。I-2(油松林),VI-1(山杨林)和VII-1(核桃楸林)是该区3类典型的森林类型,代表了3种典型的环境类型,即类型I-2,中坡位,阳坡,较大坡度(22°),土壤干燥(土壤含水量5.03%),物种丰富度低,普遍种较多,类型VI-1,低坡位(山谷),阳坡,小坡度(0°),土壤含水量较高(25.80%),物种丰富度高,普遍种多,类型VII-1,下坡位(山谷),阴坡,中等坡度(10°),土壤含水量高(29.80%),中度物种丰富度,普遍种多。这3种森林类型拥有该区大多数普遍种,代表了该区大多数环境类型。另一方面,类型I-1(油松林)在景观中属于外点,它同其它的类型间具有最低的平均相似度和平均亲和度。该类型分布在低坡位,阳坡,较大坡度(26°),低土壤含水量(9.40%)和低的物种丰富度,因此这种类型的人工林在物种多样性同该区其它典型森林类型共同点很少。余下的森林类型是中间点,平均亲和度值在 $0.5 \pm 1SD$ 之间。它们既没有很高,也没有很低的物种多样性和普遍种数,普遍分布在该区的森林景观中,占据了大多数生境空间,这些类型是:VI-2(山杨林),II-2(落叶松林),VII-1(杂灌丛),II-1(落叶松林),I-1(辽东栎林),V-1(白桦林)以及IV-1(棘皮桦林)。

如果再根据平均相似度(mean similarity)的大小对森林类型进行排序,从中心点到外点的顺序则是:II-2 $>$ VI-1 $>$ VII-1 $>$ II-2 $>$ VI-2 $>$ VII-1 $>$ II-1 $>$ V-1 $>$ IV-1 $>$ I-1 $>$ I-1。表明邻近的森林类型同较远的森林类型相比具有更多的共有种,它们可能分布在邻近的空间或相类似的生境中。

4 结论

通过对北京东灵山地区森林的物种多样性和景观格局多样性研究,得出如下结论。

1)在该区所有森林类型中,乔木层物种丰富度低,而灌木层和草本层较高。多数森林类型的物种丰富

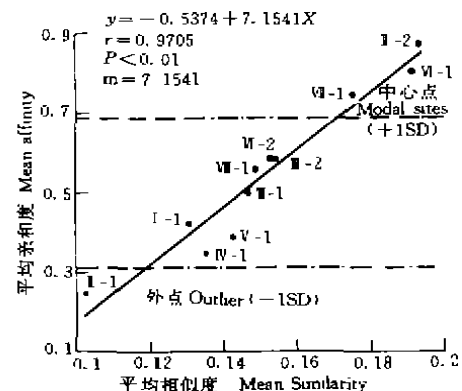


图4 东灵山区森林景观格局多样性的亲和度
Fig. 4 Affinity analysis of the forest landscape pattern diversity in Donglingshan Mountain region

度的垂直结构是:草本层>灌木层>乔木层。

2)该区森林类型的 Shannon 指数与物种丰富度具有大体相似的规律。

3)结合物种丰富度分析和 Shannon 指数,发现Ⅲ-1(落叶松林)和Ⅴ-1(白桦林)具有特殊的物种多样性垂直结构特征,它们的灌木层高度发育。

4)在该区所有的森林类型中,没有发现一个环境因子梯度与物种多样性分布存在明显相关,只有坡位和坡向具有某些影响。

5)亲和度分析表明,镶嵌多样性值为7.1541>3,意味着该区没有明显强烈的环境梯度,景观复杂,由多个环境梯度控制。根据平均亲和度值,可将主要森林类型分为3个部分,即中心点,Ⅰ-2(油松林),Ⅵ-1(山杨林)和Ⅶ-1(核桃楸林),它们的普遍种丰富,物种数目较多,代表了该区的典型生境;外点是Ⅰ-1(油松林),普遍种少,物种数目也少;中间点森林类型是:Ⅵ-2(山杨林)>Ⅲ-2(落叶松林)>Ⅶ-1(杂灌丛)>Ⅲ-1(落叶松林)>Ⅰ-1(辽东栎林)>Ⅴ-1(白桦林)>Ⅵ-1(棘皮桦林),物种多样性和普遍种的数目均中等,但占据了大多数的森林生境。根据平均相似度的值,森林类型的排列顺序则是:Ⅲ-2>Ⅵ-1>Ⅶ-1>Ⅲ-2>Ⅵ-2>Ⅶ-1>Ⅲ-1>Ⅴ-1>Ⅳ-1>Ⅰ-1>Ⅰ-1,邻近的森林类型比相隔较远的森林类型具有更多的共有种,它们可能分布在相邻的空间或相似的生境中。

参 考 文 献

- 1 陈灵芝. 东灵山在暖温带落叶阔叶林中的重要性. 陈灵芝主编. 暖温带森林生态系统结构和功能研究. 北京: 科学出版社, 1997. 1~9
- 2 傅伯杰. 景观多样性分析及其制图研究. 生态学报, 1995, 15(4): 345~350
- 3 马克平. 生物群落多样性的测度方法. 钱迎倩、马克平主编. 生物多样性研究的原理与方法. 北京: 中国科学出版社, 1994. 141~165
- 4 Scheiner S M. Measuring pattern diversity. *Ecology*, 1992, 73(5): 1860~1867
- 5 马克明, 傅伯杰, 周华峰. 景观多样性测度: 格局多样性的亲和度分析. 生态学报, 1998, 18(1): 93~98