

左家自然保护区坡地土壤动物物种—多度分布格局研究*

邱丽丽^{1,2} 殷秀琴^{1†}

(1 东北师范大学城市与环境科学学院, 长春 130024)

(2 绵阳师范学院资源环境系, 四川绵阳 621000)

摘要 根据对吉林省左家自然保护区坡地不同坡位土壤动物的调查,以物种多度为指标,运用对数级数分布模型、对数正态分布模型和分割线段模型综合研究了各坡位大型土壤动物群落和中小型土壤动物群落的物种—多度分布格局。结果表明,对数级数分布模型和对数正态分布模型能较好地拟合土壤动物群落物种—多度分布,形成富集种少,稀有种多的格局。但该区土壤动物物种—多度分布不符合分割线段模型。整体上来说,物种与多度呈正相关关系,对数级数分布模型是最优物种—多度模式。

关键词 土壤动物群落;物种—多度;模型;坡位

中图分类号 Q958.1 **文献标识码** A

生态系统是由各种不同生物群落所组成的,生物多样性是指群落的组成、结构和动态方面的多样化。生物群落多样性的测度方法有很多种,最常见的是多样性指数和物种—多度分布格局。在一个群落中,多样性指数与多度分布格局是密切相关的,二者的主要区别在于多样性指数是用一个数量值来表示群落中物种的多样性,而多度格局则是用一组多度值及其排列图或多度分布图来表示。对于认识一个群落来说,多度格局比多样性指数更有效^[1]。在国内以往的研究中,多倾向于探讨鸟类^[2]、海洋底栖生物^[3]以及森林植物群落^[4]和水生昆虫^[5]的物种—多度分布,而对土壤动物群落物种—多度分布格局的研究尚属空白。迄今为止,有关土壤动物多样性的研究仅局限于采用多样性指数简单描述群落的变化,忽略了优势种和稀有种对群落多样性的贡献的差异,本文主要研究了坡地不同部位土壤动物群落物种—多度的分布格局,旨在将物种—多度模型引入土壤动物研究中来,这将有利于深入揭示微地域内土壤动物群落多样性空间格局,同时也为土壤动物学和生态学向更高层次的方向发展奠定基础。

1 研究区概况

1.1 自然概况

左家自然保护区位于吉林省中部,隶属于吉林

市昌邑区,位于 44°3′~44°9′N,126°~126°2′E。地质构造属于舒兰—伊通地堑的西部边缘,地貌类型为低山丘陵,平均海拔 300 m。本区属于温带大陆性气候区,年降水量 580~600 mm,年平均气温 3.6~4.5℃。原生植被是红松针阔混交林,是长白山针阔混交林的西部边缘地带,现为次生落叶阔叶混交林,地带性土壤为暗棕壤。

1.2 样地环境概况

研究区选在左家北山的坡地面,为平均海拔 300 m 的低山半阴坡。整个坡地较缓,坡形为凸形,坡向为西北向 46.5°~59.5°,坡度平均变化范围为 12.4°~29.5°,土壤呈弱酸性,pH 值变化范围为 5.28~7.15。在研究区内沿坡地倾斜面走向由山麓到山脊按照高差每相隔 20 m 设置一个样地,整个山体分为山麓、下坡、中坡和山脊四个坡位。山麓点,仅有少量糠椴 (*Tilia mandshurica*) 零星分布,郁闭度小,光照强。草本层繁茂,以宽叶蒿 (*Artemisia latifolia*) 占优势,盖度达 90%;土壤干燥,团粒结构较差。下坡点,环境条件较山麓优越,为糠椴林,凋落物厚;土壤团粒结构好且较湿润,有机质含量高。中坡点,林冠郁闭度达 0.75,乔木优势种为糠椴,伴生有黑桦 (*Betula davurica*)、蒙古栎 (*Quercus mongolica*),灌木层优势种为小叶鼠李 (*Rhamnus parvifolia*)、山楂

* 国家自然科学基金项目(40171053)资助

† 通讯作者, E-mail: yinxq773@nenu.edu.cn

作者简介:邱丽丽(1979~),女,助教,主要从事土壤动物生态学和生物地理学研究。E-mail: qjull198@126.com

收稿日期:2005-05-25;收到修改稿日期:2005-10-29

(*Crataegus pinnatifida*) 等, 草本层优势种为白屈菜 (*Chelidonium majus*), 盖度为 60%; 土壤质地均一旦粘重。山脊点为蒙古栎纯林, 乔木稀疏, 林冠郁闭度为 0.4, 灌木层以花曲柳 (*Fraxinus rhynchophylla*) 为优势种, 草本层以阴地苔草 (*Carex planiculmis*) 占绝对优势, 盖度为 40%; 土层薄且贫瘠, 土壤为发育在花岗岩风化壳上的薄层暗棕壤。

2 研究方法

2.1 样品采集与处理

2004 年 6 月, 在每个样地设 4 个 50 cm × 50 cm 样方, 分凋落物层 0 ~ 5 cm、5 ~ 10 cm、10 ~ 15 cm、15 ~ 20 cm 等 5 层, 采用野外手捡法收集大型土壤动物^[6]。每个样地另设 4 个 10 cm × 10 cm 小样方, 也分 5 层采集土样 80 个, 采用干漏斗分离法获取中小型土壤动物^[7], 采用幼虫和成虫分开统计土壤动物数量。数据处理采用 Excel 2000 软件完成。

2.2 物种—多度分布模型

目前比较常用的物种相对多度分布模型包括对数级数分布模型、对数正态分布模型、几何级数分布模型和分割线段模型。由于研究区土壤动物种类丰富, 而几何级数分布模型一般适用于种类较少的简单群落物种—多度分析, 因此本文没有采用此模型, 只采用对数级数分布模型、对数正态分布模型和分割线段模型来拟合土壤动物群落物种—多度分布, 采用 χ^2 检验, 查 χ^2 表检验观测值与预测值之间的差异显著性, 数据处理采用 Bio-Dap 软件完成。

对数级数分布模型首次由 Fisher 提出^[8], 首先将各物种的个体数按多度从大到小排列, 再对多度分级并选择以 2 为底的对数, 作为各个多度级的上限值, 然后各上限值再加 0.5 以使各级之间的界限更明显^[9]。即具有 n 个个体数的物种数目 S_n 可表示为: $S_n = aX^n/n$ $n=1, 2, 3, \dots$, 其中 S_n 为具有 n 个物种数的多度, a 和 X 为参数。参数 X 计算式为: $S/N = [(1-X)/X][-\ln(1-X)]$, S 为群落物种总数, N 为群落个体总数。参数 a 则由参数 X 求得: $a = N(1-X)/X$ 。

对数正态分布模型由 Preston^[10] 引入物种—多度关系研究, 这种分布是一种左端截断的对数正态分布。对数正态分布的形式为: $S(R) = S_0 e^{(-\frac{R^2}{a^2 K^2})}$, $S(R)$ 为由众数开始第 R 个倍频程上种的数目, S_0 为模拟模型中的总物种数的估计值, 参

数 a 为正态分布曲线宽度的倒数, 是一个与样本大小有关的参数。

MacArthur 提出物种—多度分布的分割线段分布模型^[11], 又称随机生态位边界假说, 该模型中第 j 个物种的个体数量为 $N_j: N_j = \frac{N}{S} \frac{j}{i} [1/(S-i+1)]$, N_j 为第 j 个物种 (按优势程度由大到小顺序排列) 的个体数, N 为各物种个体数之和, S 为所调查物种总数。

3 结果与讨论

3.1 土壤动物组成

在研究区共获得土壤动物 7 801 个, 39 类, 隶属于环节动物门 (Annelida)、软体动物门 (Mollusca) 和节肢动物门 (Arthropoda) 等 3 门 6 纲 23 目。其中, 大型土壤动物 2 138 个, 33 类, 属于 3 门 6 纲 20 目, 以线蚓 (Enchytraeidae)、蚁 (Formicidae) 和鞘翅类幼虫 (Coleoptera) 为优势类群, 其个体数占总个体数 56.50%; 蚯蚓 (Lumbricidae)、隐翅虫 (Staphylinidae)、蜘蛛 (Araneida) 等 10 个类群为常见类群, 个体数占总个体数 40.22%; 稀有类群种类繁多, 共 20 类, 仅占总个体数 3.21%。中小型土壤动物 5 663 个, 23 类, 属于 2 门 5 纲 16 目, 以弹尾类 (Collembola)、革螨 (Gamasida)、甲螨 (Oribatida) 和辐螨 (Actinedida) 等 4 类动物占绝对优势, 个体数高达总个体数 91.56%。常见类群有鞘翅类、双翅类 (Diptera) 和线蚓 3 类, 个体数占总个体数 5.03%。稀有类群的类群数相对占优势, 达到 16 类, 占总类群数 70%, 个体数占总个体数 3.41%。

3.2 物种—多度模型拟和结果

3.2.1 对数级数分布模型拟合 拟合结果见表 1, 沿坡位梯度变化, 大型土壤动物和中小型土壤动物群落均遵从对数级数分布, 特别是大型土壤动物, 形成富集种很少, 稀有种很多的格局。对数级数分布要求优势种的多度很大, 在递减的多度序列中每一物种都比下一物种的数量更丰富。四个坡位大型土壤动物群落的不均匀性较为明显, 物种间个体数差异显著, 多度级数比中小型土壤动物的级数相对小, 其多度级由 6 级至 8 级, 小型土壤动物主要集中在 8 级, 物种个体数不均匀分配程度较强, 经 χ^2 检验, 两种类型的土壤动物物种—多度分布的观察值和预测值之间均无明显差异 ($p < 0.05$)。就各坡位来讲, 下坡点大型土壤动物拟合度较高, 吻合概率达到 90%, 因为对数级数通常反映了一种随机过程即物种以无规则

的时间间隔侵入生境, a 是一个不受样本大小影响的一个参数,它反映了群落的内在性质,可以将 a 作为群落多样性的指标, a 值越大,多样性就越高, a 值越小,多样性就越低^[12]。如果以 a 作为多样性指数,则下坡点土壤动物群落的多样性最高,山脊位土壤动物

的多样性最低。这主要与各样点环境条件密切相关,下坡点土壤湿润,林冠郁闭度大,土壤有机质含量高,环境较其他三个样点都优越,导致该样点土壤动物多样性丰富。而其他三个样点,特别是山麓和山脊条件较差,水热条件不均,影响了土壤动物的分布。

表 1 对数级数分布模型的拟合结果

Table 1 Fitting of species-abundance with the log-series model

样地 Sampling area	大型土壤动物 Macrofauna				中小型土壤动物 Mesofauna			
	a	自由度 Degree of freedom	χ^2	吻合概率 Fitness probability (%)	a	自由度 Degree of freedom	χ^2	吻合概率 Fitness probability (%)
山麓 Piedmont	4.04	6	5.06	50	2.36	7	9.06	25
下坡 Down-slope	5.06	7	2.97	90	2.88	7	7.88	40
中坡 Mesoslope	3.82	5	8.48	25	2.26	7	6.18	50
山脊 Ridge	3.76	6	4.48	75	2.87	6	11.9	10

由于篇幅有限,仅作出中小型土壤动物群落多度分布/累积概率图,可直观地看出不同坡位土壤动物群落的物种—多度分布格局符合对数级数分布(图 1)。同时物种—多度模型可以说明生态系统的

受干扰程度^[13,14],在受干扰严重的生境中,物种—多度模型与对数级数分布模型相拟合,因此可以说该研究区受干扰程度较大。

3.2.2 对数正态分布模型拟合 经 χ^2 检验(表

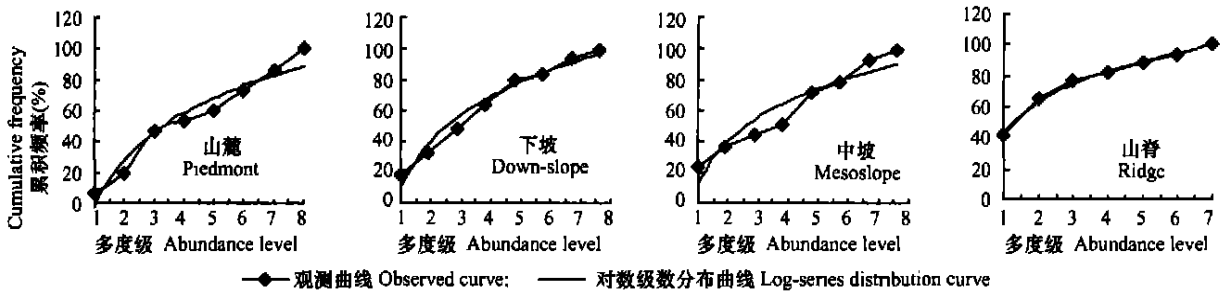


图 1 中小型土壤动物物种—多度观察曲线与对数级数分布曲线的比较

Fig. 1 Comparison between observed curve and log-series distribution curve of the mesofaunas species-abundance

2) 土壤动物群落基本符合对数正态分布,说明群落中稀有种和常见种对群落均匀度和多样性的贡献率较大。一般都是环境条件较好,物种丰富且比较均匀的群落符合对数正态分布。从表 2 中看出,同样是下坡点的土壤动物群落拟合较好,说明下坡点环

境条件比较适合土壤动物的生存和群落的发展。下坡点凋落物较厚,林冠郁闭度相对较好,草本层盖度达到 70%,同时该点是地表物质的“汇”,堆积作用大于侵蚀作用,土层深厚,有机质含量高,土壤养分丰富,利于土壤动物群落的发展。

表 2 对数正态分布模型的拟和结果

Table 2 Fitting of species-abundance with the log-normal distribution model

样地 Sampling area	大型土壤动物 Macrofauna			中小型土壤动物 Mesofauna		
	自由度 Degree of freedom	χ^2	吻合概率 Fitness probability (%)	自由度 Degree of freedom	χ^2	吻合概率 Fitness probability (%)
山麓 Piedmont	6	9.38	20	7	11.4	20
下坡 Down-slope	7	6.02	70	7	9.01	30
中坡 Mesoslope	5	15.7	2	7	11.2	15
山脊 Ridge	7	12.3	10	6	7.9	25

从物种—多度序列图(图2)中可以看出,山麓和山脊两样点物种—多度曲线下降的较陡,优势种作用较大,这两个样点环境条件较下坡点差,山麓点受堆积作用限制,山脊点受热量和淋溶作用的限制,

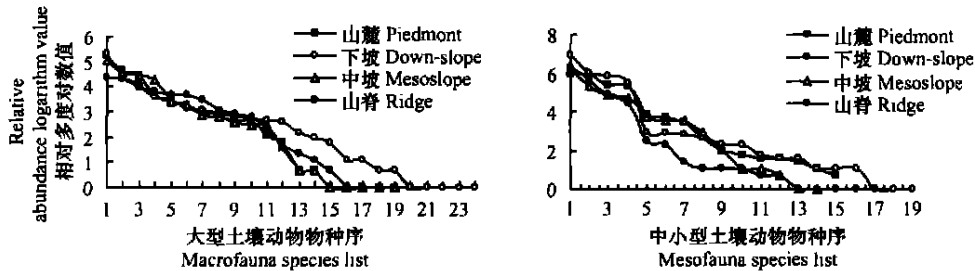


图2 对数正态分布的物种—多度序列图

Fig. 2 Abundance-species sequence diagram of log-normal distribution

3.2.3 分割线段模型拟合 表3分割线段模型拟合结果表明,四个样地土壤动物群落物种—多度分布不符合分割线段模型,说明两种类型的土壤动物

少数种先占据生态位,抑制了稀有种和常见种的发展。其他两样点的曲线下降的较缓,这表明群落的常见种和稀有种随坡位抬升逐渐增大的趋势,其中下坡点土壤动物群落的均匀性高。

群落中的物种不具有相近的多度,物种的生态地位也不接近,竞争能力也不相似,且不同时出现在各群落中。

表3 分割线段模型拟合结果

Table 3 Fitting of species-abundance with the broken-stick model

样地 Sampling area	大型土壤动物 Macrofauna			中小型土壤动物 Mesofauna		
	自由度 Degree of freedom	χ^2	吻合概率 Fitness probability (%)	自由度 Degree of freedom	χ^2	吻合概率 Fitness probability (%)
山麓 Piedmont	6	44.9	* ¹⁾	7	38.23	*
下坡 Down-slope	7	29.4	*	7	264.5	*
中坡 Mesoslope	5	40.3	*	7	74.78	*
山脊 Ridge	6	8.37	10	6	2117	*

1) * 表示不符合分布 * means not fit in with this model

不同模型代表了不同的生态学过程,一个群落的物种多度格局可能适合上述多个模型,由于每种模型的数学和生态学意义不同,群落每适合一个模型就表明了它的一种可能的生态学过程。在研究区四个坡位样地,土壤动物群落的物种与多度呈正相关关系,对数级数分布模型是最优模式。与传统的 Shannon-Wiener 多样性指数、Pielou 均匀度指数和 Mackintosh 优势度指数的分析结果⁽¹⁾,对比后发现对于大型土壤动物群落来说,下坡点的 a 值和 Shannon-Wiener 指数最大,而对于中小型土壤动物群落来说,由于受到弹尾类和寄螨类两种优势类群的影响,土壤动物群落的 Shannon-Wiener 指数变化规律与 a 值不一致,而 a 值表征的土壤动物群落的多样性特征更符合实际。各样点两种土壤动物群落的

Pielou 均匀度指数间的差别没有对数级数模型拟和结果明显。Mackintosh 优势度指数结果也表明山脊点优势种的作用最大。总之,物种—多度模型更直观更鲜明地体现了各样点土壤动物群落多样性的特征和差异。

4 结论

1) 沿坡位梯度变化,大型土壤动物和中小型土壤动物群落物种—多度分布格局均遵从对数级数分布和对数正态分布,说明群落中稀有种和常见种对群落均匀度和多样性的贡献率较大。土壤动物群落物种—多度分布不符合分割线段模型,说明土壤动物群落中的物种不具有相近的多度和生态位。

(1) 邱丽丽. 吉林省左家自然保护区坡地土壤动物多样性研究. 东北师范大学硕士学位论文, 2005. 1~38

2) 随坡位梯度的变化,从山麓到山脊,坡度逐渐增大,山麓点受堆积作用限制,山脊点受热量和淋溶作用的限制,从而形成在坡地的中部地区尤其是下坡点,土壤动物有最丰富的生物多样性分布格局。四个样地土壤动物群落的物种与多度呈正相关关系,对数级数分布模型是最优模式。

参考文献

- [1] Tokeshi M. Species abundance patterns and community structure. *Advances in Ecological Research*, 1993, 24:112 ~ 186
- [2] 廖成章,徐永兴,柳江,等. 福建将石自然保护区鸟类物种相对多度模型的拟合研究. *中国生态农业学报*, 2004, 12(2):36 ~ 39. Liao C Z, Xu Y X, Liu J, *et al.* Application of various patterns to the study on relative abundance of bird species in the Jiangshi Natural Reserve Zone of Fujian Province (In Chinese). *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2004, 12(2):36 ~ 39
- [3] 张志南,林岍旋,周红,等. 东、黄海春秋小型底栖生物丰富和生物量研究. *生态学报*, 2004, 24(3):997 ~ 1 005. Zhang Z N, Lin K X, Zhou H, *et al.* Abundance and biomass of meiobenthos in autumn and spring in the East China Sea and the Yellow Sea (In Chinese). *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(3):997 ~ 1 005
- [4] 石培礼,李文华,王金锡,等. 四川卧龙亚高山林线生态交错带群落的物种—多度关系. *生态学报*, 2000, 20(3):384 ~ 389. Shi P L, Li W H, Wang J X, *et al.* Species-abundance relation of herb communities in subalpine timberline ecotone of Wulong Natural Reserve, Sichuan Province, China (In Chinese). *Acta Ecologica Sinica*, 2000, 20(3):384 ~ 389
- [5] 王淼,姬兰柱,赵敏,等. 东北山地水生鞘翅目昆虫多样性的比较研究. *应用生态学报*, 1998, 9(4):411 ~ 415. Wang M, Ji L Z, Zhao M, *et al.* Diversity of aquatic beetles in mountainous region of northeastern China (In Chinese). *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1998, 9(4):411 ~ 415
- [6] 殷秀琴,吴东辉,韩晓梅,等. 小兴安岭森林土壤动物群落多样性的研究. *地理科学*, 2003, 23(3):316 ~ 322. Yin X Q, Wu D H, Han X M, *et al.* Diversity of soil animals community in Xiao Hinggan Mountains (In Chinese). *Scientia Geographica Sinica*, 2003, 23(3):316 ~ 322
- [7] 殷秀琴,马立名,董炜华. 小兴安岭天然林土壤革螨的生态分布特征. *土壤学报*, 2004, 41(5):767 ~ 773. Yin X Q, Ma L M, Dong W H. Ecological distribution of soil Gamasida in forests in Xiao Hinggan Mountains, China (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2004, 41(5):767 ~ 773
- [8] Fisher R A, Corbet A S, Williams C B. The relation between the number of species and the number of individuals in random sample of animal population. *Journal of Animal Ecology*, 1949, 25:254 ~ 283
- [9] Magurran A E. *Ecological diversity and its measurement*. Sydney: Rinceton University Press, 1988. 1 ~ 79
- [10] Preston F W. The commonness and rarity of species. *Ecology*, 1948, 25:254 ~ 283
- [11] MacArthur R H. On the relative abundance of bird species. *Pron. Acad. Sci. USA*, 1957, 43:293 ~ 295
- [12] 庞雄飞,尤民生. *昆虫群落生态学*. 北京:中国农业出版社, 1996. 77, 84. Pang X F, You M S. *Insect Community Ecology* (In Chinese). Beijing: Chinese Agriculture Press, 1996. 77, 84
- [13] Hill J K, Hamer K C. Using species-abundance models as indicators of habitat disturbance in tropical forests. *Appl. Ecol.*, 1998, 5:458 ~ 460
- [14] 赵洪峰,雷富民. 岷江上游典型退化生态系统鸟类物种多样性的初步研究. *应用与环境生物学报*, 2003, 9(1):42 ~ 48. Zhao H F, Lei F M. Bird diversity in typical degraded ecosystem in the upper reaches of Minjiang River in Sichuan (In Chinese). *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 2003, 9(1):42 ~ 48

SOIL FAUNA ABUNDANCE PATTERN IN A SLOPING FIELD OF ZUOJIA NATURE RESERVE, JILIN PROVINCE, CHINA

Qiu Lili^{1,2} Yin Xiuqin^{1†}

(1 College of Urban and Environmental Science, Northeast Normal University, Changchun 130024, China)

(2 Department of Resources and Environment, Mianyang Normal University, Mianyang, Sichuan 621000, China)

Abstract There are several ways available to measure diversity of biological communities, but the methods of diversity index and species-abundance pattern are the common ones used. To get to know characters of a community, the species-abundance pattern method is more efficient than the diversity index method. In this paper species-abundance distribution of soil animal communities in different positions of a sloping field was studied with a view of introducing a species-abundance distribution model into the study on soil fauna and disclosing in depth the spatial pattern of soil fauna diversity in a micro-region. Based on investigation of the macrofauna and mesofauna communities in piedmont, and the lower, middle and upper parts of a sloping field in the Zuoja Nature Reserve, Jilin Province, China, and by using the log-series distribution model, log-normal distribution model and broken-stick model for fitting of the curves of the species-abundance of the macrofauna and mesofauna communities in different parts of the sloping field, with species-abundance as index, spatial distribution patterns of species-abundance of the two types of soil fauna communities were studied. Results of the analysis were collated with traditional Shannon-wiener index, Pielou index and Mackintosh index. Mechanisms of the formation of such patterns were analyzed and explained, taking into account the characteristics of the natural environment of the study zone. The results showed that the log-series and log-normal distribution models fit well the species-abundance distribution of soil fauna communities, displaying a pattern of enriched species being few, and rare species being plentiful, but the broken-stick model could not. All in all, species was positively correlated with abundance and log-series was the best model. Compared with the traditional method of diversity indexes, the species-abundance pattern was more intuitionistic and more vivid in expressing the characters and difference in diversity of soil fauna communities between different parts of the sloping field.

Key words Soil fauna community; Species-abundance; Model; Position of the slope