

云雾山自然保护区优势植物种群分布格局的分形特征

李鹏远¹, 程积民^{2,*}, 万惠娥², 彭少邦^{2,3}, 景 艳¹

(1. 西北农林科技大学 动物科技学院 陕西 杨凌 712100; 2. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 西北农林科技大学 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 3. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要:对宁夏云雾山草原自然保护区植物种群分布格局的分形计盒维数进行了研究。结果表明:本氏针茅、铁杆蒿和百里香是该区的优势种。3 种优势种的计盒维数在 1.7 左右,表明它们具有较大的空间占据能力。但是它们的计盒维数最大值出现的时间不同,本氏针茅、百里香计盒维数最大值出现在封育 20a 的样地中,铁杆蒿出现在封育 25a 的样地中。

关键词:云雾山自然保护区;分布格局;计盒维数

文章编号:1000-0933(2008)10-5161-05 中图分类号:Q145, Q148, Q16, Q948 文献标识码:A

Fractal properties of the distribution pattern of dominant species in Yunwushan Nature Reserve

LI Peng-Yuan¹, CHENG Ji-Min^{2,*}, WAN Hui-E², PENG Shao-Bang^{2,3}, JING Yan¹

1 College of Animal Science and Technology, Northwest A & F University, Yangling 712100, Shaanxi, China

2 Institute of Soil and Water Conservation, CAS, Yangling 712100, Shaanxi, China

3 Post-graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100099, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(10): 5161 ~ 5165.

Abstract: The fractal properties of the spatial distribution pattern of different populations in Yunwushan Nature Reserve were reflected through the box dimensions. The result shows that *Stipa bungeana* Trin., *Artemisia sacrorum* Ledeb., and *Thymus mongolicus* Ronn. are dominant species of this area. The box dimensions of these species are around 1.7, and these dominant species occupied large ecological space in the area. But they didn't get their highest box dimensions at the same time, *Stipa bungeana* Trin. and *Thymus mongolicus* Ronn. get their highest dimensions after enclosed for 20 years, and *Artemisia sacrorum* Ledeb. get the highest dimension in the 25th year of enclosure.

Key Words: Yunwushan Nature Reserve; fractal properties; box dimension

研究植物的空间分布格局对于研究种群特征和种内种间关系具有非常重要的意义,是进一步揭示植物群落特征的基础^[1]。

基金项目:国家重点基础研究发展计划 973 资助项目(2007CB106803);国家“十一五”科技支撑计划资助项目(2006BAD09B08);国家自然科学基金资助项目(40371077);国家林业局荒漠化监测专项资助项目

收稿日期:2007-03-23; **修订日期:**2008-07-01

作者简介:李鹏远(1983 ~), 男, 河南永城市人, 硕士, 主要从事草地生态学研究. E-mail: lipengyuan2000@126.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: gyzcjm@ms.iswc.ac.cn

Foundation item: The project was financially supported by National Project of 973, China (No. 2007CB106803); National Science & Technology Pillar Program in the Eleventh Five-year Plan Period(No. 2006BAD09B08); National Natural Science Foundation of China (No. 40371077); Special Fund in Desertation Supervision of National Forest State, China

Received date:2007-03-23; **Accepted date:**2008-07-01

Biography: LI Peng-Yuan, Master, mainly engaged in grassland ecology. E-mail: lipengyuan2000@126.com

植物种群空间分布格局是指在种群水平上,种群内个体在一定范围空间的分布状况。它是植物生物学特性、种间关系以及各种环境因素综合作用的结果^[2~4]。

植物种群个体空间分布具有分形特征,种群空间分布格局的分形维数能够反映植物种群对生态空间的占据情况和利用能力^[3]。近年来,分形理论被应用到种群分布格局分析上。分形理论主要研究某一测度指标随尺度变化的自相似规律。分形维数是描述这种自相似规律的指标,常用的是计盒维数、信息维数和关联维数^[4~6]。计盒维数是一种与标度无关的量,它描述植物个体空间分布的分形特征,反映植物对空间的占据程度。

植物种群分布格局分形特征方面的研究^[7,8],多集中在对木本植物的研究上^[9,10],而关于封育措施对草原植物空间分布的分形特征研究尚不多见。因此,本文对不同封育年限草地主要植物的计盒维数进行研究,并从分形理论的角度揭示了黄土高原典型草原区常见草本植物种群分布格局的动态变化规律。宁夏云雾山草原自然保护区是黄土高原典型草原区保护较好的天然典型草地之一^[11~13],经过 20 多年封育,草地植被进入顺向演替,为研究植物分布格局的动态变化提供了重要的科学依据。

1 研究区自然条件

1.1 实验区概况

实验区位于宁夏固原云雾山草原自然保护区,地理位置是东经 106°24' ~ 106°28' 和北纬 36°13' ~ 36°19', 海拔 1800 ~ 2100m。年均气温 6 ~ 7℃,年平均降水量 400 ~ 450mm,属半干旱区,7 ~ 9 月份占年降水量的 65% ~ 75%。≥10℃积温为 2100 ~ 3200℃,干燥度是 1.5 ~ 2.0。土壤是黑垆土、山地灰褐土和细黄土。

1.2 取样方法

实验共选取 5 个具有代表性的样地。其中 4 个围栏封禁样地,封禁期分别为 10、15、20、25a 和 1 个对照(CK)放牧草地。在每个样地中随机选择 8 个 1 m × 1 m 的样方,以样方一角为坐标原点,测量并记录样方中植物的种类及该种每个植株的坐标位置。由此,对每一个植物都得到了其在样方中的分布位置。数据输入计算机,建立数据集。各样地植被概况见表 1。

1.3 计算方法

以样方为单位进行数据分析。按不同边长 ε 的虚拟正方形把 1 m × 1 m 的样方分割成网格状。对每一个植物种,按照该种每个植株在样方中的分布位置,计算分布有该植物种的小网格数。这样,对每一种植物都得到一系列不同边长 ε 时的 $N(\varepsilon)$, $N(\varepsilon)$ 为对应于边长 ε 的相应的分布有该植物种的小网格子数。

计盒维数的计算公式为:

$$D_b = -\lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{\ln N(\varepsilon)}{\ln(\varepsilon)} \quad (1)$$

ε 取不同的值时,将每次划分所得的 $N(\varepsilon)$ 与对应的网格边长 ε 在双对数直线坐标下进行直线拟合,所得拟合直线斜率的绝对值即为该植物种的计盒维数估计。

在每个样地中,每一个植物种的计盒维数是在该样地中所选取的 8 个样方中这个植物种计盒维数的算术平均值。

所得数据由自程序和 SPSS 软件处理。

表 1 各样地植被概况

Table 1 Vegetation of the field sites

封育年限 Enclosure years (a)	植被类型 Vegetation types	覆盖度 (%) Coverage
CK	本氏针茅, 铁杆蒿, 猪毛蒿 + 狼毒	47
10	本氏针茅, 铁杆蒿 + 芨芨	84
15	本氏针茅 + 阿尔泰狗娃花, 铁杆蒿	89
20	本氏针茅, 铁杆蒿, 百里香	93
25	本氏针茅, 铁杆蒿, 百里香, 大针茅	92

本氏针茅 *Stipa bungeana*, 铁杆蒿 *Artemisia sacrorum*, 百里香 *Thymus mongolicus*, 猪毛蒿 *Artemisia scoparis*, 狼毒 *Euphorbiaceae fischeriana*, 芨芨 *Artemisia giraldii*, 阿尔泰狗娃花 *Euphorbia altaicus*, 大针茅 *Stipa grandis*

2 结果与分析

2.1 不同植物计盒维数的变化

图 1 说明了不同植物计盒维数的变化。这些植物分属禾本科、菊科、唇形科等。禾本科植物本氏针茅在各个样地的计盒维数都比较高, 大针茅的计盒维数在封育 15a 达到最高值。火绒草、猪毛蒿等菊科植物是放牧草地的主要植物, 它们的计盒维数一直不高, 并在封育 25a 的样地达到最低点。与之相反, 铁杆蒿在多样地的计盒维数均较高。唇形科植物百里香的计盒维数在 25a 样地值较大。由图 1 可以看出, 经过 25a 的封育, 本氏针茅、铁杆蒿、百里香的计盒维数远远高于阿尔泰狗娃花、天蓝苜蓿和二裂萎陵菜等其它植物, 成为占绝对优势的植物。

这表明该地区植物计盒维数的高低与植物的科别没有必然的联系。本氏针茅、铁杆蒿、百里香是 3 种占绝对优势的植物, 它们都是成丛生团块状分布, 在其聚团中其它植物被强烈抑制^[12]。它们的计盒维数表明, 以成丛生团块状分布的方式占据一定的小区域, 然后向周围扩张的策略在这个地区可以占据较大的生态空间。

通过上述分析可以看出, 不同植物的计盒维数各不相同。这一方面反映了植物由于自身生物学特性、种内和种间相互作用, 以及环境因子等诸多因素的综合作用而造成植物对于生态空间的占有程度不同, 同时也说明了计盒维数可以用于描述植物占有生态空间的能力^[10]。

2.2 3 种优势植物计盒维数的变化

在自然情况下, 一个物种的水平分布维数总是小于或等于 2, 当其值为 2 时表明该物种已经占据了整个水平空间^[4]。本氏针茅在封育 25a 样地的计盒维数为 1.6866, 已经占据水平空间的 84.33%。这表明本氏针茅在云雾山草原自然保护区内是分布广泛的植物种。本氏针茅是一种喜暖旱生丛生禾草, 非常适合在该区生长, 占据了较大的生态空间, 成为优势种。铁杆蒿在封育 25a 样地中计盒维数值为 1.7839。它以根蘖繁殖为主, 丛生成团块状生长在黄土高原的典型草原^[12]。百里香在封育 25a 样地中计盒维数为 1.7179。它在该区片状分布, 常常形成大小不等的斑块。这 3 种植物是该区的优势植物。

本氏针茅计盒维数最低值为 1.3017, 出现在封育 15a 的草地中; 最高值为 1.8872, 出现在封育 20a 的草地中, 比最低值增加了 44.9%。铁杆蒿计盒维数最低值为 1.3357, 出现在封育 20a 的草地中; 最高值为 1.7839, 出现在封育 25a 的草地中, 比最低值增加了 33.6%。百里香计盒维数最低值为 0.7357, 出现在放牧草地, 这表明放牧活动对百里香的影响比较大; 另一个计盒维数低于 1 的情况出现在封育 15a 的草地中。在封育 25a 的草地中, 百里香的计盒维数为 1.7179, 比最低值增加了 133.5%。这表明随着封育年限的增加, 百里香计盒维数也在不断的增加, 其占据水平空间的能力也在不断的增强。

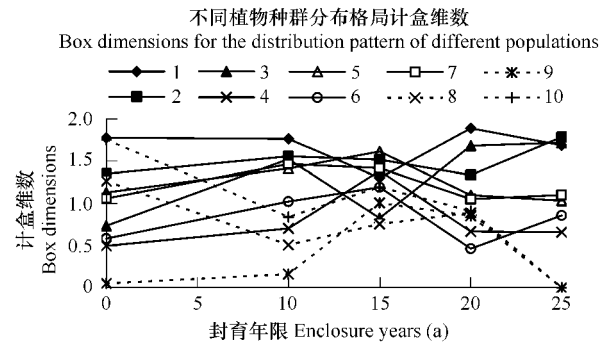


图 1 不同植物种群分布格局计盒维数变化

Fig. 1 Variation of box dimensions for the distribution pattern of different populations

1. 本氏针茅 *Stipa bungeana*, 2. 铁杆蒿 *Artemisia sacrorum*, 3. 百里香 *Thymus mongolicus*, 4. 大针茅 *Stipa grandis*, 5. 阿尔泰狗娃花 *Heteropappus altaicus*, 6. 二裂萎陵菜 *Potentilla bifurca*, 7. 天蓝苜蓿 *Medicago falcata*, 8. 猪毛蒿 *Artemisia scoparis*, 9. 野薄荷 *Mentha haplocalyx*, 10. 火绒草 *Leontopodium leontopodioides*

表 2 3 种植物种群分布格局计盒维数

Table 2 Box dimensions for the distribution pattern of three populations

封育年限(a) Enclosure years	本氏针茅计盒维数 <i>S. bungeana</i> box dimensions	铁杆蒿计盒维数 <i>A. sacrorum</i> box dimensions	百里香计盒维数 <i>T. mongolicus</i> box dimensions
CK	1.7767	1.3501	0.7357
10	1.7632	1.5557	1.5235
15	1.3017	1.5163	0.8258
20	1.8872	1.3357	1.6813
25	1.6866	1.7839	1.7179

随着封育年限增加,3种植物的计盒维数出现了明显的变化。在轻度放牧的草地中它们的计盒维数本氏针茅 $1.7767 > \text{铁杆蒿 } 1.3501 > \text{百里香 } 0.7357$,而且计盒维数顺序差值达到 0.3 以上。在封育 10a 后,3种植物的计盒维数呈现集中的趋势,本氏针茅为 1.7632,铁杆蒿为 1.5557,百里香为 1.5235。在封育 25a 后,本氏针茅、铁杆蒿、百里香 3种植物的计盒维数分别为 1.6866、1.7839、1.7179,顺序差值小于 0.1,3种植物的计盒维数已经集中在 1.7 左右。

由图 1 和表 2 可以看出,本氏针茅、铁杆蒿、百里香的计盒维数在 0~25a 间出现了明显的波动。在封育 10a 后,它们的计盒维数都出现了一个较高的数值。这是由于在封育的早期,这 3 种植物相对其它的植物有较强的竞争能力,迅速地占据了较大分布范围,从而在封育 10a 后计盒维数都达到了 1.5 左右。程积民^[13]对黄土高原宁南典型草原地带草地植被封育的研究表明,在封育 10a 后,该地区典型草原地带的本氏针茅、百里香群落的植物种类达到了 20 种左右,禾本科、菊科植物干重已占植物总干重的 32%、22% 左右。而在封育 15~20a 后,它们的计盒维数又都出现了一个较低的数值。这是由于在本氏针茅、铁杆蒿、百里香等植物占据了优势地位后,它们之间的竞争更加地激烈,导致它们的空间占据能力出现了不同程度地下降。同时,程积民的研究还表明,在经过多年的封育之后,累积的枯草会抑制植物种子的萌发和幼苗的形成,从而降低它们的计盒维数,这一影响对本氏针茅最为明显。由于凋落物的厚度和累积量在封育的第 10~15a 达到峰值,而后则有所降低^[14],所以在封育 20~25a 后,它们的计盒维数又有所恢复。

3 结论

3.1 计盒维数反映植物空间分布的分形特征,也反映植物占有生态空间的能力。同盖度指标相比,计盒维数包含有植物的空间位置信息,可以更真实的反映植物的分布情况和占据生态空间的能力。本文应用分形理论计盒维数的方法得到的结果与程积民^[14]等的研究结果一致,表明采用计盒维数作为描述种群对生态空间占有程度的指标是合理的。

3.2 在云雾山草原自然保护区,本氏针茅、铁杆蒿、百里香占据了较大的生态空间,是该区的优势种。本氏针茅的计盒维数在 1.3~1.8 之间,铁杆蒿的计盒维数在 1.3~1.7 之间,百里香的计盒维数在 0.7~1.7 之间。本氏针茅、百里香计盒维数的最高值出现在封育了 20a 的样地,铁杆蒿计盒维数的最高值出现在封育了 25a 的样地。这种峰值出现时间的不同,在一定程度上反映了植物的竞争能力。

References:

- [1] Nie S Q, Guan W B, Yang G T, *et al.* Study on *tilia amurensis* Rupr. population (I) ——Compilation and Analysis of Fertility Schedule. In: Zhu N. Advanced in the development of Plant Ecology. Harbin: Heilongjiang Scientific & Technological Press, 1994. 56—63.
- [2] Qu Z X, Wu Y S, Wang H X, *et al.* Plant Ecology (Second Edition). Beijing: Higher Education Press, 1983. 190—193.
- [3] Zu Y G, Ma K M. Fractal theory and ecology. In: Li Bo. A course of modern Ecology. Beijing: Science Press, 1995. 65—72.
- [4] Deng H B, Zhou Y B, Wang Q L. Fractal character rustics of distribution pattern of plant specie in secondary *Cupressus funebris* forest in the Three Gorges region. Chin J Appl Ecol, 1999, 10(5): 518—520.
- [5] Liang S C. Fractal characteristics of distribution pattern of *Carpinus pubescens* population. J Wuhan BotRes, 2001, 19(4): 263—268.
- [6] Ni H W, Ma K M, Zhao F C. The fractal character of the distribution pattern of *Deyeuxia angustifolia* population I. Box dimension. Bull BotRes, 2000, 2(2): 229—234.
- [7] Ma K M, Zu Y G. Fractal properties of vegetation pattern. Acta Phytoecol Sin, 2000, 24(1): 111—117.
- [8] Ma K M, Zu Y G. Fractal properties of spatial pattern of *larix gmelini* population: information dimension. Acta Phytoecol Sin, 2000, 24(1): 111—117.
- [9] Shi S Y, Guo Q G, Cheng M H, *et al.* Fractal properties of the spatial pattern of *Alsophila spinulosa* population in Mopangou, Fuling. Chinese Journal of Ecology, 2005, 24(5): 581—584.
- [10] Tian Y Q, Li X, Jiang M X. Fractal properties of the spatial pattern of rare and endangered plant populations in Houhe Nature Reserve in Hubei: Box dimension. Chin J Appl Ecol, 2003, 14(5): 681—684.
- [11] Cheng J M. The discussion about grassland construction in Loess Plateau experienced from development of grassland animal husbandry in Australian and New Zealand. Acta Bot Borea-Occident Sin, 1999, 19(5): 82—86.

- [12] Cheng J M, Wan H E. Vegetation construction & soil and water conservation in the Loess Plateau. Beijing: China Forestry Publishing House, 2002. 263 – 270.
- [13] Cheng J M. Recovery and reconstruction of degraded shrub-grass vegetation in semi-arid region of the Loess Plateau. *Sci Silvae Sin*, 2001, 37(4): 50 – 57.
- [14] Cheng J M, Wan H E, Hu X M, *et al.* Accumulation and decomposition of litter in the semiarid enclosed grassland. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 14(5): 1207 – 1212.

参考文献:

- [1] 聂绍荃, 关文彬, 杨国亭, 等. 紫椴种群生态学研究 (I) —— 性生殖表的编制与分析. 见: 祝宁. 植物生态学研究进展. 哈尔滨: 黑龙江科技出版社, 1994. 56 ~ 63.
- [2] 曲仲湘, 吴玉树, 王焕校, 等. 植物生态学 (第二版). 北京: 高等教育出版社, 1983. 190 ~ 193.
- [3] 祖元刚, 马克明. 分形理论与生态学. 见: 李博. 现代生态学讲座. 北京: 科学出版社, 1995. 65 ~ 72.
- [4] 邓红兵, 周永斌, 王庆礼. 三峡库区次生柏木林中物种分布格局的分形特征. *应用生态学报*, 1999, 10(5): 518 ~ 520.
- [5] 梁士楚. 云贵鹅耳枥种群分布格局的分形特征. *武汉植物学研究*, 2001, 19(4): 263 ~ 268.
- [6] 倪红伟, 马克明, 赵伏臣. 湿地小叶章种群分布格局的分形特征 I. 计盒维数. *植物研究*, 2000, 2(2): 229 ~ 234.
- [7] 马克明, 祖元刚. 植被格局的分形特征. *植物生态学报*, 2000, 24(1): 111 ~ 117.
- [8] 马克明, 祖元刚. 兴安落叶松种群格局的分形特征: 信息维数. *植物生态学报*, 2000, 24(1): 111 ~ 117.
- [9] 石胜友, 郭启高, 成明昊, 等. 涪陵磨盘沟自然保护区桫欏种群分布格局的分形特征. *生态学杂志*, 2005, 24(5): 581 ~ 584.
- [10] 田玉强, 李新, 江明喜. 后河自然保护区珍稀濒危植物种群分布格局的分形特征: 计盒维数. *应用生态学报*, 2003, 14(5): 681 ~ 684.
- [11] 程积民. 从澳大利亚、新西兰草地畜牧业发展论黄土高原草地建设. *西北植物学报*, 1999, 19(5): 82 ~ 86.
- [12] 程积民, 万惠娥. 中国黄土高原植被建设与水土保持. 北京: 中国林业出版社, 2002. 263 ~ 270.
- [13] 程积民. 黄土高原半干旱区退化灌草植被的恢复与重建. *林业科学*, 2001, 37(4): 50 ~ 57.
- [14] 程积民, 万惠娥, 胡相明, 等. 半干旱区封禁草地凋落物的积累与分解. *生态学报*, 2006, 26(4): 1207 ~ 1212.