

老芒麦(*Elymus sibiricus*)种群地上生物量空间分布格局研究

李连芳¹, 王培², 王警龙³, 相翠萍³, 宋国兴³

(1. 中国农业大学生物学院, 北京 100094; 2. 中国农业大学草地所, 北京 100094; 3. 河北省红松洼自然保护区管理处, 围场 068457)

摘要:采用分形几何学的方法对老芒麦(*Elymus sibiricus*)种群地上生物量空间分布格局进行了研究。结果表明:1) 在某一时刻老芒麦不同植株地上生物量的空间分布格局具有相似性, 7月6日的分形维数最大, 为 1.5054; 6月16日、7月31日以及8月10日的分形维数较小, 分别为 0.7001、0.4675 和 0.3428。2) 虽然在整个生长季内, 老芒麦地上生物量与株高的对数值之间存在线性关系, 但仍然存在许多细节问题。3) 老芒麦株高在 20~59 cm 尺度范围内, 双对数半方差图存在明显的 2 个线性区域, 反映出生物量空间分布格局的异质性。4) 高度间隔为 4 cm 以下的分形维数为 1.63465, 高度间隔大于 4 cm 时的分形维数为 1.0407。

关键词:老芒麦; 生物量; 株高; 分形

The spatial distributing pattern of aboveground biomass of *Elymus sibiricus* population

LI Lian-Fang¹, WANG Pei², WANG Jing-Long³, XIANG Cui-Ping³, SONG Guo-Xing³ (1. College of Biology, CAU, Beijing 100094, China; 2. Institute of Grassland Science, CAU, Beijing 100094, China; 3. Hong-songwa Natural Protective Area, Weichang 068457, China)

Abstract: By use of methods of fractal geometry, the spatial distributing pattern of aboveground biomass of *Elymus sibiricus* population was studied of fifteen investigation dates in the growing season. The results show that, (1) On all the fifteen investigations, individuals of *Elymus sibiricus* population were similar to each another in a spatial distributing pattern of aboveground biomass. The maximum of fractal dimension was 1.5054 on 6 July. The minimums of fractal dimension are 0.7001, 0.4675 and 0.3428 in 16 June, 31 July and 10 August. (2) During the whole growing season, there was a linear relationship between Log value of aboveground biomass and plant height, but there were still a lot of problems in detail. (3) In a scale range from 20cm to 59cm, there were 2 linear areas in the semivariogram of *Elymus sibiricus*. The result shows that the spatial distributing pattern of aboveground biomass was heterogeneity. (4) The value of fractal dimension was 1.63465 when height interval was <4cm. The value of fractal dimension was 1.0407 when height interval was >4cm.

Key words: *Elymus sibiricus*; biomass; plant height; fractal.

文章编号: 1000-0933(2001)07-1208-04 中图分类号: Q948 文献标识码: A

老芒麦(*Elymus sibiricus*)为多年生疏丛型草本, 属旱中生植物。由于其适口性好, 营养较丰富, 且生态适应性强, 因此常作为栽培植物。对于该植物的栽培学研究始于 19 世纪初, 我国自 20 世纪 60 年代开始在三北地区推广种植以来取得了较好的效果。就生物量而言, 前人的研究主要集中于一些生态因子与生物量的相互关系等方面, 至于地上生物量的空间分布格局以及积累规律的研究报道较少。对于植物地上生物量的空间分布及积累规律的深入研究, 将有利于估测草地产量, 为草地的持续利用提供科学的理论基础。

基金项目: 中国农业大学基金资助

收稿日期: 1999-09-22 修订日期: 2000-02-22

作者简介: 李连芳(1963~), 男, 北京人, 博士。主要从事生态学及分类学研究。

自从 Mandelbrot 于 20 世纪 70 年代创立分形几何学以来,分形理论已被许多学科所应用。在生态学方面,Burrough^[1,2]首创了空间异质性的分形分析方法,并在土壤和景观数据的分析解释中成功地得以应用。Palmer^[3]将这种分形分析方法应用于植被空间格局的分析研究中,结果证明,该方法有利于人们对植被空间异质性更深入的认识。祖元刚等^[4]改进了 Burrough 和 Palmer 对数据处理的方法,并利用计算机模拟,系统地介绍了半方差等地统计学概念在生态学中的应用及其含义。马克明等^[5]对羊草种群地上生物量与株高的分形关系进行了研究,他们认为无论是静态(瞬时取样),还是动态(整个生长季取样)羊草(*Aneurolepidium chinense*)种群地上生物量与株高都存在很好的分形关系。

由于分形体具有自相似性特性,所以可以通过研究某一尺度下的异质性规律,经外推便知晓其他尺度下的异质性规律,既分形维数与尺度无关。然而切忌盲目外推,因为自相似性具有一定的尺度域,当超出尺度域时,将不具有自相似性特征。另外,即使在一定的尺度域内,虽然分形维数不随尺度变化,但生态学格局有可能与尺度有关^[6]。因此,应用分形理论时要谨慎。本次研究旨在探讨分形分析方法在老芒麦种群生物量积累规律方面的应用,为尺度转换时提供一定的数据。

1 研究方法

1.1 样地的自然概况

1.1.1 该实验是在红松洼国家级草原生态系统自然保护区内进行的。保护区位于北纬 42°10'~42°20',东经 117°18'~117°35' 之间的范围内,行政区划上,隶属于河北省围场满族蒙古族自治县的最北部。由于历史上该地区一直是皇家狩猎围场的一部分,因此植被发育较为自然。据初步调查^[7]仅被子植物就有 65 科,283 属,620 种。植被覆盖率达 90% 以上,1 m² 样方物种数达 25~34 种,平均每公顷产鲜草 4428.65 kg。植被类型属于山地草甸,以中生杂类草占优势,如地榆(*Sanguisorba officinalis*)、珠芽蓼(*Polygonum viviparum*)、裂叶蒿(*Artemisia laciniata*)等。

1.1.2 实验样地海拔为 1390 m,土壤为山地黑土,腐殖质含量达 6.54%,含氮 0.294%,含磷 0.108%。pH 值 6.68,为中性。实验当年的气象资料见表 1。

表 1 河北省围场县 1999 年 1~8 月份月均温度和月均降水量

Table 1 The average monthly temperature and average monthly precipitation from January to August, 1999 in Weichang county, Hebei Province

月份 Month	1 月 Jan.	2 月 Feb.	3 月 Mar.	4 月 Apr.	5 月 May	6 月 June	7 月 July	8 月 Aug.
月均温 ^① (°C)	-10.7	-6.0	-2.2	8.4	14.7	19.4	22.7	19.5
月均降水量 ^② (mm)	0.5	0.0	13.2	40.0	61.6	83.0	125.2	55.2

① Average monthly temperature; ② Average monthly precipitation

1.2 研究方法

1.2.1 取样方法 实验样地每年秋季打草 1 次,其余季节围封。从 6 月 6 日到 8 月 15 日止,每 5 d 随机齐地剪取 30 株老芒麦草样。室内将草样 80°C 烘干至恒重,记录株高,同时使用精度为 1/10 000 g 的电子天平称其干重。

1.2.2 计算方法 将老芒麦的每株株高(H)和干重(W)在双对数坐标下进行线性回归,每 5d 的草样分别做 1 次静态线性回归,然后从每次草样数据中随机取 10 个,进行动态线性回归。计算半方差时,在所有的草样数据中选取 20~59 cm 高的植株,将株高相同的归并,其干重取平均值。本次半方差计算的空间尺度(株高)间隔最大为 39 cm,具体计算时,株高间隔从 1 cm 到 30 cm,按每次加 1 进行设计的。半方差及分形维数^[4]计算公式如下:

$$r(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} (W(h_0) - W(h_0 + h))^2$$

$$D = (4 - k)/2$$

公式中 $r(h)$ 为半方差, $W(h_0)$ 为株高是 h_0 时植株的干重, h 为株高间隔, $N(h)$ 为高度间隔是 h 的点对数量, $W(h_0+h)$ 为株高是 h_0+h 时植株的干重。 D 为分形维数, k 为双对数拟合直线的斜率。

2 结果与分析

2.1 株高与地上生物量的静态关系

6~8 月份每隔 5 d 取 1 次草样, 共 15 次。由于每次均为瞬时取样, 所以株高与地上生物量的分形关系是静态的。表 1 前 15 个方程为静态的, 它们的相关系数均大于 0.96, 可见每次取样老芒麦种群株高与生物量在双对数坐标下均具有较好的线性关系。也就是说, 在某一瞬间老芒麦不同植株地上生物量的空间分布格局具有相似性, 已知某一高度植株的生物量就可以求出另一高度植株的生物量。马克明^[5], 沼田真^[8]认为: 同一时刻不同高度的植株物质积累在各器官中的分布具有相同的规律, 本次研究的结果支持这一观点。所以老芒麦在同一时刻, 地上生物量在各器官的分布规律是独立于株高的。

表 2 老芒麦种群株高与地上生物量双对数的线性回归方程

Table 2 Linear regression equation of *Elymus sibiricus* population about Log value of height and aboveground biomass

日期 Date (month/day)	回归方程 Regression equation	相关系数 (r^2) Correlation	分形维数(D) Fractal dimension
6/6	$Y=1.9913X-8.3902$	0.9886	1.0044
6/11	$Y=1.9453X-8.3564$	0.9795	1.0274
6/16	$Y=2.5998X-10.7550$	0.9657	0.7001
6/21	$Y=1.7039X-7.5319$	0.9826	1.1481
6/26	$Y=1.9179X-8.2224$	0.9618	1.0411
7/1	$Y=1.2083X-5.5247$	0.9847	1.3959
7/6	$Y=0.9892X-4.7121$	0.9991	1.5054
7/11	$Y=1.8162X-8.4177$	0.9882	1.0919
7/16	$Y=1.3135X-6.0332$	0.9720	1.3433
7/21	$Y=1.2838X-5.6538$	0.9644	1.3581
7/26	$Y=2.1832X-10.0470$	0.9934	0.9084
7/31	$Y=3.0650X-14.7280$	0.9898	0.4675
8/5	$Y=1.6848X-7.7248$	0.9740	1.1576
8/10	$Y=3.3144X-15.6720$	0.9845	0.3428
8/15	$Y=1.1704X-5.2041$	0.9675	1.4148
6/6~8/15	$Y=1.3697X-6.2641$	0.9298	1.3152

表 1 所示, 最大的分形维数出现于 7 月 6 日, 为 1.5054, 表明老芒麦在此前后地上生物量在空间的积累较少, 不同高度植株间生物量差异性较小。6 月 16 日、7 月 31 日以及 8 月 10 日的分形维数较小分别为 0.7001、0.4675 和 0.3428, 表明此时老芒麦生物量的空间异质性较强, 地上生物量在空间的积累较多, 不同高度植株间生物量差异性较大, 生物量与高度的相关性较大且积累速率较快。老芒麦一般在 7 和 8 月份进入生殖生长阶段, 7 月 31 日和 8 月 10 日前后生物量的积累速率最快, 即植株高度的较小变化会引起生物量的强烈增加。而 6 月 16 日前后恰好是营养生长最快的时期, 生物量的积累速率也较大。其余时间, 老芒麦的分形维数均在 1 左右, 表明其生物量的积累与株高具有一定的梯度性质。

2.2 株高与地上生物量的动态关系

植物地上生物量积累的动态研究将有利于准确估测草地初级生产力。表 1 中第 16 个方程是老芒麦 6 月到 8 月株高与生物量在双对数坐标下的线性关系, 然而随着季节的变化, 植物生长的速率是有阶段性的, 地上生物量的积累和展布特性也有一定的差异。

也就是说, 随着时间的变化或植物发育时期的变化, 植物地上生物量的空间分布格局及积累速率会有所变化。所以, 尽管老芒麦在整个生长季内株高与生物量在双对数坐标下存在线性关系, 但仍需细致研究。

地统计学中的半方差概念和双对数半方差图将有利于进一步了解老芒麦地上生物量空间分布的异质性问题。图 1 表明, 老芒麦株高在 20~59 cm 尺度范围内, 双对数半方差图存在明显的 2 个线性区域, 反映出生物量空间分布格局的层次性和异质性。在每个线性区域内生物量的空间积累规律与株高无关, 但线性区域之间却存在明显的格局差异, 拐点处是老芒麦地上生物量分布格局发生变化的尺度。这一研究结果说明老芒麦生物量空间分布规律的自相似性是有一定尺度域的。在线性区域内, 不同尺度间具有相似分布格局; 而当尺度间隔超出拐点时, 空间相关规律将发生显著变化。因此老芒麦在 6 月到 8 月地上生物量的空间分布格局必然存在较为复杂的异质性。所以尽管株高与生物量的双对数坐标下存在线性关系, 但还存在许多细节问题。本研究结果不仅揭示了老芒麦生物量积累的规律性, 而且避免了研究结果的盲目外推。

图 1 所示, 2 个线性区域的拐点是植株高度间隔为 4 cm, 小于 4 cm 线性区域的分形维数为 1.63465, 而大于 4 cm 线性区域的分形维数为 1.0407。分形维数的大小表明植物生物量空间分布异质性的尺度变化特征, 是对植物地上生物量积累、展布及其速率复杂性的表征。分形维数大意味着双对数半方差图的直线

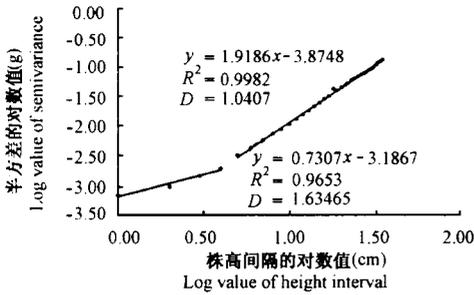


图 1 老芒麦种群株高与地上生物量分形关系的半方差图

Fig. 1 Semivariograms of fractal relation between height and aboveground biomass of *Elymus sibiricus* population

较平缓,即植物地上生物量空间分布格局的变化对株高的变化反映不敏感,只有较显著的高度变化才引起生物量格局的微小变化。因此,当老芒麦植株高度差异在 4 cm 以内时,不同个体之间地上生物量的空间分布格局不仅具有相似的规律,而且彼此间的差异较小,即异质性程度较弱。分形维数小意味着双对数半方差图的直线较陡,即植物地上生物量空间分布格局的变化对株高的变化反映敏感,只要高度有微小的变化,就能引起生物量格局的显著变化。因此,当老芒麦植株高度差异大于 4 cm 时,不同个体之间地上生物量的空间分布格局虽然具有相似的规律,但是彼此间的差异较大,即异质性程度较强。

3 结论

3.1 禾草在某一时刻生物量的积累规律虽然相似,但在整个生长季中却存在着格局的变化。株高在 20~59 cm 尺度范围内,老芒麦双对数半方差图存在明显的 2 个线性区域,高度间隔为 4 cm 是老芒麦地上生物量分布格局发生变化的尺度。当老芒麦植株高度差异小于 4 cm 时,不同个体之间地上生物量的空间异质性程度较弱,大于 4 cm 时,异质性程度较强。

3.2 植物高度的变化与时间因子密切相关,就某一个体而言,株高的增长意味着时间的演进,所以在某种意义上讲,分形分析方法在本次研究与在一般的植被或景观研究中不同,该研究实际上是以空间因子替代时间因子对植物生物量积累、分布及其速率规律的研究。由于植物生长阶段(物候期)的不同,随着季节的变化生长速率会发生差异,生物量的积累以及在各器官的分布格局也具有异质性,跨越较大尺度的草地估产结果的误差较大。

3.3 分形分析方法不仅在土壤、植被和景观等空间异质性方面能成功地予以应用,而且在禾草种群生物量的空间异质性研究方面也能发挥其独特的作用,使人们对禾草种群生物量的空间分布格局有一个更完整和深入的认识。在一定的尺度域内,生物量的空间分布格局具有自相似性,通过详细研究某一尺度下的规律外推到另一尺度中,从而对草地初级生产力的预测提供理论基础。

参考文献

- [1] Burrough P A. Fractal dimensions of landscapes and other environmental data. *Nature*, 1981, **294**: 240~242.
- [2] Burrough P A. Multiscale sources of spatial variation in soil. I. The application of fractal concept to nested levels of soil variation. *Journal of Soil Science*, 1983, **34**: 577~597.
- [3] Palmer M W. Fractal geometry, a tool for describing spatial patterns of plant communities. *Vegetatio*, 1988, **75**: 91~102.
- [4] 祖元刚, 马克明, 张喜军. 植被空间异质性的分形分析方法. *生态学报*, 1997, **17**(3): 333~337.
- [5] 马克明, 祖元刚. 羊草种群地上生物量与株高的分形关系. *应用生态学报*, 1997, **8**(4): 417~420.
- [6] 邹建国. 生态学中的格局与尺度——可塑性面积单元问题. 见: 李博主编, 现代生态学讲座. 北京: 科学出版社, 1995. 1~9.
- [7] 李连方, 王培, 殷甫铭, 等. 不同保护措施对山地草甸植物多样性的影响. *草地学报*, 1999, **7**(2): 106~112.
- [8] 沼田真. 姜恕, 祝廷成译. 草地调查法手册. 北京: 科学出版社, 1986. 64~79.