

科尔沁沙地固定沙丘植被物种多样性对降水变化的响应

常学礼^{1,2} 赵爱芬¹ 李胜功¹

(1 中国科学院寒区旱区环境工程研究所,兰州 730000)

(2 内蒙古大学生环系,呼和浩特 010021)

摘 要 应用 1986 年到 1992 年固定沙丘样方调查数据和同期降水量资料,对科尔沁沙地物种多样性与年降水量的变化进行了分析。结果表明植物种丰富度对降水量变化的反响比较强烈,一个干旱年份可减少固定沙丘植物种丰富度,而随后的恢复却需要 3 年以上的时间。物种多样性指数随降水量变化而变化,二者呈正相关。灰色关联分析表明,物种多样性指数 D 对降水量变化的反响大于 H 。群落均匀度指数 C 对降水量变化的反响不明显。从不同时期降水量变化对物种多样性指数的影响来看,生长期降水量对物种多样性的影响大于年降水。在固定沙丘植被中,一年生植物种丰富度对降水量变化的反响最大,其次为多年生草本植物;灌木类植物种丰富度不受降水量变化的影响,在维持沙地物种多样性中具有重要意义。

关键词 物种多样性 降水量 固定沙丘植被 科尔沁地区

RESPONSES OF SPECIES DIVERSITY TO PRECIPITATION CHANGE ON FIXED-DUNES OF THE NAIMAN BANNER REGION

CHANG Xue-Li^{1,2} ZHAO Ai-Fen¹ and LI Sheng-Gong¹

(1 Cold and Arid Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Science, Lanzhou 730000)

(2 Department of Ecology and Environment, Inner Mongolia, Huhhot 010021)

Abstract The relationship between plant species diversity and precipitation change in fixed-dune vegetation of the Naiman Banner region was analyzed using quadrat and precipitation data. Species richness was affected by precipitation change, with more than three years of above average rainfall required for communities to restore to pre-drought conditions following a dramatic reduction in a single drought year. Species diversity indices increased with enhanced precipitation, with the Simpson index showing considerably more response than the Shannon-Wiener index to increased precipitation. Community evenness index change was lowest with irregular variation in precipitation. Growth period (May to September) precipitation more dramatically influenced species diversity than did total annual precipitation. Because shrub species richness doesn't vary with precipitation variation, it played a very important role in the conservation of species diversity of sandy land in the Naiman Banner region. Conversely, annual and perennial herb species richness was sensitive to precipitation change, with annual species richness being especially responsive.

Key words Species diversity, Precipitation, Fixed-dune vegetation, Naiman banner region

生物多样性是当前全球所关注的焦点之一,它与全球变化、持续发展一并成为世界各国所面临的主要问题。在生物多样性的研究中,人们的重点放在生物多样性的丧失及其预测、生物多样性保护和其分布格局特征等上(Connell, 1978; Stuart *et al.*, 1995; Corrie, 1991)。郭勤峰(1995)对生物多样性研

究现状的综述中指出,生物多样性与环境因子如:光照、水分、土壤等的关系也是当前研究的重点。钱迎倩等(1994)对生物多样性的研究方法在国内作了详尽的介绍。在 Millar 和 Ford (1988)的研究中,将生物多样性划分为 4 个层次:遗传多样性(Gene diversity)、物种多样性(Species diversity)、生境多样性

收稿日期:1998-01-11 修订日期:1998-06-01

基金项目:国家自然科学基金(49601020)、自然科学基金重大项目(39990490)和国家九·五重点攻关课题(96-920-13-02)资助。

(Habitat diversity)和景观多样性(Landscape diversity)。由于自然界中生态系统、生境与基因的多样性和复杂性,生物学家尚不能全面地、准确地对生物多样性的变化做出估价(邬建国,1995),因此,有关生物多样性的研究多局限于物种多样性(Tracy, 1994)。物种多样性的研究依赖于观测尺度,其中研究同一地点或群落的多样性称为 α 多样性,它是种间生态位差异的表征; β 多样性是指不同地点或群落中的物种更替(Replacement)或转换(Turnover),反映了种对不同生境的响应; γ 多样性反映了更远地点或群落中物种的不同(郭勤峰,1995)。

本文以位于科尔沁地区奈曼旗中部沙区的中国科学院兰州沙漠所奈曼沙漠化研究站周围的固定沙丘植被为对象,进行植物多样性对降水量响应的研究,旨在分析降水量变化对该区固定沙丘植被植物多样性的影响及其二者之间的关系。

1 研究区概况

研究区位于科尔沁沙地南部,行政区划隶属于内蒙古自治区哲里木盟奈曼旗。地理位置东经 $120^{\circ}19'40''\sim 121^{\circ}31'44''$,北纬 $42^{\circ}14'10''\sim 43^{\circ}32'20''$,属温带大陆性半干旱气候类型。年平均温度 $6.1\sim 6.4^{\circ}\text{C}$, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年积温为 3161.1°C ;多年平均降水量 366mm ,其中 6、7、8 三个月占全年降水量的 67.4% ;年蒸发量 1935mm 。研究区地带性土壤为沙质栗钙土,由于沙漠化的影响在多数地区已退化成风沙土。

该区的地貌类型以固定沙丘、半固定沙丘和流动沙丘和甸子地相间分布为特征。主要植物种有小叶锦鸡儿(*Caragana microphylla*)、差巴嘎蒿(*Artemisia halodendron*)、冷蒿(*Artemisia frigida*)、扁蓿豆(*Melilotus ruthenicus*)、糙隐子草(*Cleistogenes squarrosa*)和狗尾草(*Setaria viridis*)等。沙丘植被由灌木、多年生和一年生草本植物组成。

2 研究方法

本项研究采用 1986 年至 1992 年的固定沙丘植被调查数据和同期的降水资料进行分析。植被数据采集于有保护措施(围封)的固定沙丘区,调查的时间为每年的 8 月中旬,样方面积为 $1\text{m}\times 4\text{m}$ 。调查地点的植被类型为小叶锦鸡儿-冷蒿-糙隐子草-扁蓿豆群落,主要调查内容有植物种组成、频度和盖度,频度用某个植物种在调查样方中出现的概率。调查样方数除 1986 年为 15 个外,其它年份都为 20 个。

物种多样性指数采用广泛应用的群落植物种丰富度(Species richness)、Shannon-Wiener 指数(H)、Simpson 指数(D)和均匀度指数(C)来测定(Peet, 1974)。具体定义如下:

$$H = - \sum P_i \times (\ln P_i) \quad (P_i = N_i/N) \quad (1)$$

$$D = 1/\sum P_i^2 \quad (2)$$

$$C = H/\ln S \quad (3)$$

其中, H 、 D 和 C 定义同前, P_i 为第 i 个种的相对个体数, N_i 为第 i 个种的个体数, N 为群落中所有种的个体数之和。当各个种的个体数目相等时,种数越多, H 和 D 值越大;而群落之间种数相等时,种间的均匀度(Evenness)越高, H 和 D 值越高。而均匀度指数则直接反映群落的均匀性。在实际应用中 H 和 D 指数中的 N_i 和 N 还可以是其它参数(如生物量、盖度等)。在本文的研究中 N_i 定义为:

$$N_i = \sum (F_i \times C_i)^{1/2} \quad (4)$$

其中, F_i 和 C_i 分别是调查中的第 i 个种的平均出现频率和平均盖度,本项研究中的数据来自于同一小区中同一植被类型,属 α 多样性。

降水量对物种多样性指数的影响用灰色关联度来分析(邓聚龙,1986),设:

$$|X_0(k) - X_i(k)| = \Delta_i(k) \quad (5)$$

其中, X_0 为参考母列,在本文中分别为年降水量和生长期降水量; X_i 为比较数列, $i=1,2,3,4$,分别为多样性指数 H 和 D 以及均匀度指数 C 和植物种丰富度。用公式(5)计算原始矩阵,得一由 $\Delta_i(k)$ 组成的新矩阵。用公式(6)分别来计算比较数列与母列的关联系数。

$$\zeta_i(k) = \frac{\hat{i}k\Delta_i(k) + \rho \times \check{i}k\Delta_i(k)}{\Delta_i(k) + \rho \times \check{i}k\Delta_i(k)} \quad (6)$$

其中 $\zeta_i(k)$ 为 $X_i(k)$ 对 $X_0(k)$ 在 k 时刻的关联系数, ρ 为辨分系数(软因子),可根据实际经验而定(加权值和要等于1),一般取0.5。则第 i 列与母列的关联度为:

$$r_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \zeta_i(k) \quad (7)$$

关联度 r_i 大小表示了比较列与母列的密切程度, r_i 越大关系越密切,反之亦然。

3 结果与分析

3.1 降水量对固定沙丘植物种丰富度的影响

Prance(1995)指出,某一地区植物种的丰富度是决定该区生物多样性的一个最重要的因子,是生

物多样性研究中的基础,没有它们其它的部分将不复存在。杨持等(1996)的研究表明,气候变化在不同的尺度上影响着物种多样性,特别是对处于交错带(Ecotone)中的植被。对处于不同植物区系交错带的科尔沁沙地而言,其植物种组成和种丰富度受年度间的降水变化影响较大(见表 1 和图 1)。从表 1 和表 2 中不同年份的植物种丰富度和组成的变化来看,在降水条件较好的 1986 年植物种丰富度最高为 23 个种,其中灌木类植物 3 个种,多年生草本植物 5 个种,一年生植物 15 个种。在水分条件较差的 1988 年植物种丰富度仅为 14 个种,其中灌木类植物 3 个种,多年生草本植物 3 个种,而一年生植物只有 8 个种。该区多年平均降水量为 366mm,从图 1 可以明显看出在 1988 和 1989 两年降水低峰期,植物种丰富度降低到 14~15 个种。其后在降水条件较好的 1990~1992 三年内,固定沙丘植物种丰富度有较大

幅度的升高,植物种丰富度由 15 个种增加到 20 个种。其中多年生草本植物增加了 1 个种,一年生植物增加了 4 个种(见表 1)。从 1990 年到 1992 年年降

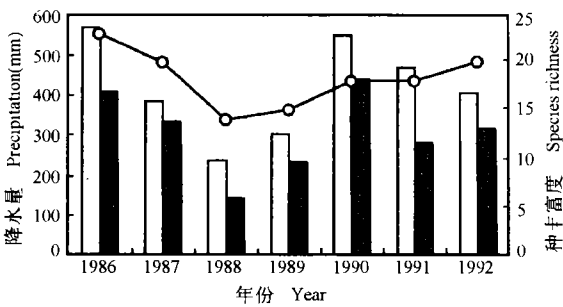


图 1 固定沙丘植物种丰富度对降水变化的响应
Fig.1 Plants species richness responses to precipitation change in fixed-dune
□:年降水 Annual rainfall ■:生长期降水 Growth period rainfall —○—:一种丰富度 Species richness

表 1 固定沙丘植物种组成和重要值的年度变化
Table 1 The yearly changing of composition and importance value in fixed-dune vegetation

植物种 Species	年 份 Year						
	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
小叶锦鸡儿 <i>Caragana microphylla</i>	15.07	11.44	11.45	10.35	14.45	15.78	16.26
冷蒿 <i>Artemisia frigida</i>	7.87	7.38	3.90	5.22	6.78	7.55	8.49
差巴嘎蒿 <i>Artemisia halodendron</i>	19.47	18.73	14.01	15.59	18.73	17.92	18.25
扁蓿豆 <i>Melissitus ruthenicus</i>	4.73	3.55	3.79	3.38	4.38	5.10	5.29
糙隐子草 <i>Cleistogenes squarrosa</i>	4.43	3.61	3.46	3.55	4.31	4.58	6.20
达呼里胡枝子 <i>Lespedeza davurica</i>	2.97	2.53	2.83	1.90	3.10	2.85	3.29
狗尾草 <i>Setaria viridis</i>	11.31	9.06	7.21	8.25	10.05	9.38	10.95
画眉草 <i>Eragrostis pilosa</i>	1.55	1	0	0	1.18	0	0.63
茅马唐 <i>Digitaria sanguinalis</i>	3.58	2.19	0.89	2.68	2.68	0.89	1.82
白草 <i>Pennisetum flaccidum</i>	2.86	0	0	0	1.79	0	0
尖头叶藜 <i>Chenopodium acuminatum</i>	3.58	2.45	2	1.73	3.13	3.29	2.24
地锦 <i>Euphorbia humifusa</i>	1.34	0.78	0.63	0.63	1.22	0.95	1.10
虫实 <i>Corispermum dilutum</i>	1.87	2.45	1	0.89	0.84	1	1.10
猪毛菜 <i>Salsola collina</i>	1	0.55	0.45	0.45	0.77	0.63	0.63
硬阿魏 <i>Ferula bungeana</i>	0.45	0.32	0	0	0	0	0
细叶苦卖菜 <i>Ixeris chinensis</i>	1.41	1.10	1.10	0.89	0.77	0.55	1.22
地梢瓜 <i>Cynanchum thesioides</i>	0.63	0.55	0	0.45	0.63	0.63	1.22
田旋花 <i>Convolvulus arvensis</i>	0.55	0	0	0	0.45	0.32	0.55
芦苇 <i>Phragmites australis</i>	3.79	1.90	0	0	0	1.10	2.10
乳浆大戟 <i>Euphorbia esula</i>	0.89	0	0	0	0	0	0
刺藜 <i>Bassia dasyphylla</i>	1.58	0.63	0	0	0	0.32	0.32
沙葱 <i>Aillum bidentatum</i>	1.41	1.55	0.63	0.71	1.22	1.41	0.55
牻牛儿苗 <i>Erodium stephanianum</i>	0.89	0.63	0	0	0	0	0.55
种丰富度 Species richness	23	20	14	15	18	18	20

水量持续保持在 400mm 以上,固定沙丘植物种丰富度由 18 个种增加到 20 个种,所增加的 2 个种都为一年生植物。以上分析表明,植物种丰富度对降水量变化的反响比较敏感,其中一年生植物在固定沙丘植被中消失和侵入定居随降水量的变化发生频繁,多年生草本植物则较差,而灌木类植物则不随降水量变化而消失或定居。

3.2 降水量对固定沙丘植被物种多样性的影响

在研究植物种多样性中,如何选定参数 N ,不同的研究者针对不同的研究对象和目的所选用的参数属性不同(常学礼等,1997)。在本文的研究中,旨在分析固定沙丘植物多样性对降水变化的响应,所以参数 N 选用了由植物种频度和盖度所计算而得的综合指数“重要值”来表示。经公式(4)计算的结果如表 1,然后采用公式(1)、(2)、(3)分别计算物种多样性指数 H 、 D 和均匀度指数 C ,结果见表 2。

从物种多样性指数 H 和 D 的变化来看(见图 2),两个指数随降水量的变化而变化呈正相关, H 的变化幅度小于 D 的变化。多样性指数 H 和 D 在降水条件最好的 1986 年达到 2.61 和 9.53,在降水条件最差的 1988 年仅为 2.16 和 6.52。此外,从降水量和群落均匀度指数的关系来看(见图 3),均匀度指数 C 对降水量的年度变化反应不明显。从 1986 年到 1992 年共有两个高峰期,一个是在降水条件最好的 1986 年,一个是在降水条件最差的 1988 年,分别为 0.83 和 0.82。总的来说,均匀度指数在降水量变化在 234.3mm 到 567.1mm 之间时变化不明显,其值在 0.79~0.83 之间。

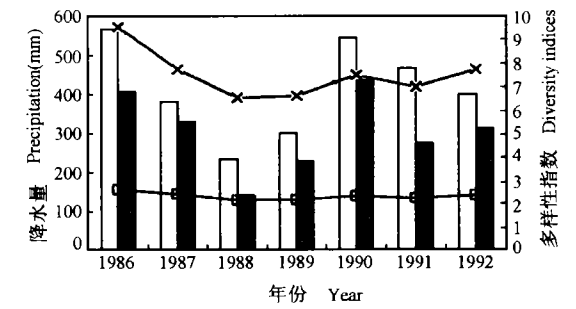


图 2 物种多样性指数对降水变化的响应
Fig. 2 Species diversity indices response to precipitation changing in fixed-dune
□: 年降水 Annual precipitation 黑: 生长期降水 Growth period rainfall
□: Shannon-Wiener 指数 Shannon-Wiener index
-x-: Simpson 指数 Simpson index

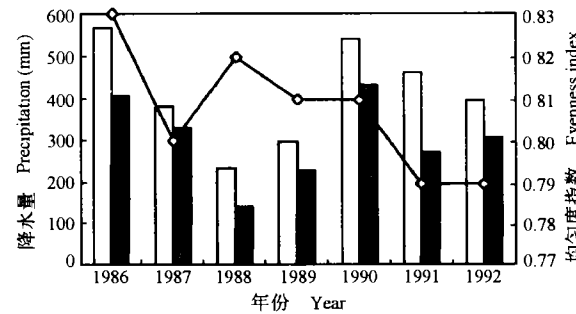


图 3 均匀度指数对降水量变化的响应
Fig. 3 Evenness index responses to precipitation changing in fixed-dune
□: 年降水 Annual precipitation 黑: 生长期降水 Growth period rainfall
—○—: 均匀度指数 Evenness index

表 2 年降水量、生长期降水量和物种多样性指数

Table 2 Annual precipitation, growth period rainfall and species diversity indices

年 份 Year	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
年降水 Annual rainfall(mm)	567.1	381.6	234.3	299.8	545.5	466.2	400.6
生长期降水 Growth period rainfall(mm)	406.1	330.7	141.6	230.2	430.2	277.1	312.1
Shannon-Wiener 指数 ¹⁾	2.61	2.41	2.16	2.18	2.34	2.25	2.36
Simpson 指数 ²⁾	9.53	7.73	6.52	6.61	7.49	6.99	7.72
均匀度指数 ³⁾	0.83	0.80	0.82	0.81	0.81	0.79	0.79

1) Shannon-Wiener index(H) 2) Simpson index(D) 3) Evenness index(C)

表 3 不同时期的降水量与物种丰富度、多样性和群落均匀度指数的灰色关联度

Table 3 The grey correlative degree between precipitation of different temporal scale and diversity indices

	Shannon-Wiener 指数 Shannon-Wiener index	Simpson 指数 Simpson index	均匀度指数 Evenness index	植物种丰富度 Species richness	平均 Mean
年降水量 Annual precipitation(mm)	0.6732	0.7064	0.6291	0.7173	0.6815
生长期降水量 Growth period rainfall(mm)	0.6706	0.7829	0.6321	0.7501	0.7129
平均 Mean	0.6759	0.7447	0.6306	0.7337	

上述的分析表明,植物种丰富度、物种多样性和群落均匀度不同程度的受到了降水量的影响,在本文的研究中分别用年降水量和生长期(5~9月)降水量来分析各种指数对降水量变化的响应。分析方法用灰色关联度法,刘玉成等(1994)对缙云山森林优势群落与生态因子间相互关系的研究表明,灰色关联度分析所需要的数据较少,但是其结果却能较好地反映母列和比较数列二者的关系。首先用表2中的数据和表1中植物种丰富度数据组成一个新的矩阵,其中年降水量和生长期降水量分别为参考母列,多样性和均匀度指数以及植物种丰富度分别为比较列,用公式(5)、(6)、(7)进行计算结果如表3。

表3的结果表明,物种多样性指数 D 对降水量的变化反响最大,其次为植物种丰富度和多样性指数 H ,群落均匀度 C 对降水量的变化反响最小。从不同时期的降水量的变化对物种多样性的影响来看,生长期降水大于年降水。

4 结束语

在科尔沁地区降水量的变化可以导致固定沙丘物种多样性的波动,二者呈正相关。其中植物种丰富度对降水量变化的反响较大,平均关联度为0.7337。一个降水条件较差的年份将导致物种丰富度极大的减少,而且在以后的年份中即使降水量增加其种丰富度恢复也较慢。固定沙丘植物种丰富度变化的主要动因是一年生植物种随降水量减少和增加而消失和侵入定居。灌木类植物种丰富度不受降水量变化的影响,这也反证了灌木类植物在科尔沁沙地固定沙丘植被中重要作用和“缓冲种”的特征(常学礼等,1996)。

从多样性指数 D 和 H 的变化来看,Simpson指数对降水量的反响大于Shannon-Wiener指数,二者的平均关联度分别为0.7447和0.6759。多样性指数 D 对降水量变化最敏感,是用来分析物种多样性和降水之间关系的最佳指标。群落多样性指数 C 对降水量变化的反响不敏感,在4个指标中最低,关联度仅为0.6306。

从生长期降水量和年降水量对固定沙丘物种多样性的影响来看,生长期降水的变化对物种多样性的影响大于年降水,两者的关联度分别为0.7129和0.6815。这说明不仅年降水量的变化影响固定沙丘的物种多样性而且年度间降水格局对物种多样性也有重要的影响。此外,奈曼旗气象资料表明在1984和1985年,年降水量分别达到515.6mm和471.5

mm,1984到1986年三年降水量平均达到518mm,远远超过了该区的平均降水量。所以在水分条件最好的1986年固定沙丘植物种丰富度和多样性在整个研究期间内最高,这也说明了降水对固定沙丘植物种多样性有极大地影响。

参 考 文 献

- Connell, J. H. 1978. Diversity in tropical rainforests and coral reefs. *Science*, **199**:1302~1310.
- Corrie, D. J. 1991. Energy and large-scale patterns of animal- and plant-species richness. *American Naturalist*, **137**:27~49.
- Chang, X. L. (常学礼) & J. G. Wu (邬建国). 1997. Change in species diversity during desertification in Kerqin sandy land. *Chinese Journal of Applied Ecology (应用生态学报)*, **8**(2):151~156. (in Chinese)
- Chang, X. L. (常学礼), X. Y. Zhao (赵学勇) & S. G. Li (李胜功). 1996. Role of *Artemisia halodendron* in pasture vegetation in Kerqin sandy land. *Journal of Chinese Desert (中国沙漠)*, **16**(1):27~31. (in Chinese)
- Deng, J. L. (邓聚龙). 1986. Grey prediction and decision. Wuhan: Central China Industrial College Press. 261~274. (in Chinese)
- Guo, Q. F. (郭勤峰) 1995. Advances and trends in species diversity studies. In: Li, B. (李博) ed. *Lectures of modern ecology*. Beijing: Science Press. 89~107. (in Chinese)
- Liu, Y. C. (刘玉成), D. L. Du (杜道林) & Q. Yue (岳泉). 1994. Analysis of the relatedness of dominant population and ecological factors in the secondary succession forest communities of Jinyun Mountain. *Acta Phytocologica Sinica (植物生态学报)*, **18**(4):283~289. (in Chinese)
- Millar, C. I. & L. D. Ford. 1988. Managing for nature conservation. *BioScience*, **38**:456~457.
- Peet, R. K. 1974. Measurement of species diversity. *Annual Review of Ecology and Systematics*, **5**:285~307.
- Prance, G. T. 1995. Biodiversity. *Encyclopedia of environmental biology*. Cambridge: Academic Press, Inc. Vol. 1. 183~193.
- Qian, Y. Q. (钱迎倩) & K. P. Ma (马克平). 1994. Principles and methodologies of biodiversity studies. Beijing: Chinese Science and Technology Press. (in Chinese)
- Stuart, L. P., G. J. Russell, J. L. Gittleman & T. M. Brooks. 1995. The future of biodiversity. *Science*, **269**:347~350.
- Tracy, C. R. & P. F. Brussard. 1994. Preserving biodiversity: species in landscapes. *Ecological Applications*, **4**:205~207.
- Wu, J. G. (邬建国). 1995. Nature conservation and conservation biology: concepts and models. In: Li, B. (李博) ed. *Lectures of modern ecology*. Beijing: Science Press. 174~186. (in Chinese)
- Yang, C. (杨持), B. Ye (叶波) & T. P. Xing (邢铁鹏). 1996. Effects of grassland regional climatic change on plant species diversity. *Acta Phytocologica Sinica (植物生态学报)*, **20**(1):35~40. (in Chinese)

责任编辑:孙冬花