

# 沙质草原沙漠化过程不同阶段稳定性与恢复性研究

杨 持, 朱志梅, 刘颖茹

(内蒙古大学生命科学学院 生态与环境科学系, 呼和浩特 010021)

**摘要:**应用 1984、2001、2002 年在内蒙古锡林郭勒盟多伦县的野外调查样方资料, 采用群落盖度变化; 植物种在样方中出现频度的变异性、生物量的变异性和  $\beta$  多样性指数作为指标, 综合的分析沙漠化过程不同阶段的稳定性。结果表明: (1) 沙漠化过程不同阶段盖度的下降比例并不是均匀的 (35% → 25% → 15% → 5% → 0%), 这种不均匀性可以反映出演变过程中不同阶段的保守性和易变性, 下降比例越小, 说明这一阶段越保守, 从而也越稳定; (2) 不同阶段 1m<sup>2</sup> 样方内所包含的物种数量, 以及物种数量的变异系数 (0.31 → 0.34 → 0.64 → 0.67) 反映了演变的不均匀性; (3) 不同阶段 1m<sup>2</sup> 样方内生物量的变异系数 (0.50 → 0.49 → 0.66 → 0.64) 反映出演变的不均匀性; (4) 通常  $\beta$  多样性指数被表示为群落间相似性指数 (0.81 → 0.60 → 0.32 → 0.00), 沙漠化过程中相邻两个阶段的相似性越高, 说明稳定性也越高。以上几个指标反映的趋势是一致的。恢复性与稳定性正好相反, 越稳定的阶段越不容易恢复, 反之, 越容易恢复。

**关键词:** 沙质草原; 沙漠化过程; 稳定性; 恢复性

## The study on stability and resilience in different stages of grassland desertification process

YANG Chi, ZHU Zhi-Mei, LIU Ying-Ru (Ecology and Environment Science Department of Life Science College, Inner Mongolia University, Huhhot 010021, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23 (12): 2545 ~ 2549.

**Abstract:** By using the sampling data surveyed in Duolun County of Xilingole League of Inner Mongolia in 1984, 2001 and 2002 respectively, the variability and recovery of grassland desertification process in different stages were studied and analyzed. Comprehensively adopting the changes of Community coverage in different stages of grassland desertification process, variability of species occurring frequency in sampling plots, variability of biomass and  $\beta$  diversity index reflecting the variability degree in different stages as the indexes. The results showed that: (1) the decline of vegetation coverage was the most object changing in desertification process, but the declining ratio was uneven in different stages (35% → 25% → 15% → 5% → 0%). This unevenness reflected the conservativeness and changeability in different stages of evolution process. The less the ratio declined, the more conservative the stage was. Thereby it reflected that this stage was more stable, otherwise, it would be more unstable. (2) The species numbers appeared in 1m<sup>2</sup> quadrat in different stages and its variation Coefficient (0.31 → 0.34 → 0.64 → 0.67) reflected the evolution unevenness. (3) The variation coefficient of biomass (0.50 → 0.49 → 0.66 → 0.64) in 1m<sup>2</sup> quadrat in different stages also reflected the unevenness. (4) The higher the similarity between the two neighbouring stages in desertification process was, the more the stable the stage was. Usually,  $\beta$  diversity

基金项目: 国家重点基础研究发展规划资助项目 (G2000048704)

收稿日期: 2003-04-10; 修订日期: 2003-07-15

作者简介: 杨 持 (1939~), 男, 北京市人, 教授, 主要从事植物种群生态学方向的研究。E-mail: Yangchi@mail.imu.edu.cn

致谢: 本研究得到中国科学院植物研究所多伦恢复生态学试验示范研究站和多伦县草原工作站的大力支持, 特此致谢。

Foundation item: National Key Basic Research Special Foundation Project (No. G2000048704)

Received date: 2003-04-10; Accepted date: 2003-07-15

Biography: YANG Chi, Professor, main research field: plant population ecology. E-mail: Yangchi@mail.imu.edu.cn

index was indicated as similarity index of inter-community ( $0.81 \rightarrow 0.60 \rightarrow 0.32 \rightarrow 0.00$ ). The tendency reflected by four indexes mentioned above was in coincidence.

It was found that two remarkable points should be mentioned after analyzing the stages of desertification process; the first one is that the stability presented a declining tendency along with the intensified desertification process; the second is that in desertification process the variation among each stages before Light stage (*A. frigida* stage) was small, but the similarity was high. There was really a leap forward change subsequently after *A. frigida* stage. The variation among the stages behind *A. frigida* stage increased, but similarity decreased.

Recovery was really on the contrary to stability. The more stable the stage was, the uneasier the stage would be recovered; the more unstable the stage was, the easier the stage would be recovered. Consequently, there was an important task of protecting *A. frigida* stage not only from grassland degradation, but also from grassland desertification.

**Key words:** grassland; desertification process; stability; resilience

文章编号:1000-0933(2003)12-2545-05 中图分类号:Q948 文献标识码:A

稳定性是生态系统的—个最基本的特征,由于生态系统稳定性研究不仅在理论上而且在实践中都有重大意义,因而受到极大的关注<sup>[1,2]</sup>。

—般用抵抗性和恢复性来表示生态系统对外界干扰的响应。由于生态系统在时空上的动态变化,使得生态系统稳定性的度量变得非常复杂。然而,最简便的度量方法是统计方差和频率<sup>[3~6]</sup>,因为统计方差和频率变异性的不均匀性就可以来说明稳定性。种群或群落参数的变异性不仅是系统抵抗力和恢复力的函数,而且是干扰频率和强度的函数,因而,实践上,变异性是用得比较广泛的稳定性定义。

可以把一切改变生态系统状态、结构和功能的现象统称为扰动,扰动可以看作是一种随机涨落,这里所谈及到的“涨落”可视为一种生态现象,是指生态系统在内部或外部因子的影响下偏离某一稳态的“波动”。因为本文是根据耗散结构理论来讨论生态系统的稳定性问题,所以这里使用“涨落”而没有使用“波动”。生态系统是通过功能、结构、涨落之间的相互作用达到有序和谐。从涨落和稳定性的关系来看,微涨落使系统偏离某一稳态但系统仍保持在该稳态,一旦随机的微涨落聚集成巨涨落,系统就会失稳定性,而达到一个新稳态。因此,从本质上看,系统的稳定性就意味着系统保持在稳态的能力。

本文将从扰动、变异、变异的不均匀性来考察沙质草原沙漠化过程中不同阶段的稳定性变化。草原沙漠化过程中,由于土壤颗粒组成、C、N 元素的变化,以及进而所引发的植物群落的变化,会形成一系列结构状态不同的阶段,这就破坏了原有的有序和谐,也就造成不同阶段稳定性和恢复性的差异。

草原沙漠化过程研究的重要意义在于,从“认识过程”到“过程控制”是解决沙漠化防治的基础,研究工作已有不少<sup>[7~9]</sup>,其多集中在沙漠化原因的探讨上,如赵哈林等通过在科尔沁沙地进行了为期 3 年的放牧试验,深入研究了沙质草地的放牧演变规律,探讨半干旱地区放牧草地的沙漠化机理。本文的研究地区是多伦县的沙质草地,按过程可以划分为 5 个阶段,即潜在阶段(羊草+隐子草阶段 *Leymus chinense*+*Cleistogenes squarrosa*);轻度阶段(冷蒿阶段 *Artemisia frigida*);中度阶段(褐沙蒿阶段 *A. intramongolica*);重度阶段(1 年生植物虫实、刺穗藜阶段 *Corispermum* spp.、*Chenopodium bryoniaefolium*);严重阶段(裸沙阶段)。本文将以不同阶段之间群落的盖度变化;植物种出现频度的变异性、生物量的变异性作为反映涨落的指标;采用  $\beta$  多样性指数反映不同阶段之间的变异性程度,用这些指标综合的分析不同阶段的稳定性变化。

## 1 研究区概况

### 1.1 地形地貌特征

研究地多伦县位于内蒙古锡林郭勒盟南部。地跨东经  $115^{\circ}51' \sim 116^{\circ}54'$  和北纬  $41^{\circ}46' \sim 42^{\circ}36'$ , 南北长 110km, 东西宽 70km, 总面积 3891.7km<sup>2</sup>。由于自然、历史、人为等诸多因素的综合作用而形成了在土地利用方式上的耕地与草地共存,生产经营模式上农业与牧业并举的复合的生产、生活系统,成为脆弱而敏感

的地带——生态脆弱带。

县境处于内蒙古波状高原的南缘、阴山山脉的北坡,总的地形是:四周高,中间低,南部高,北部低,为一由南西向东北,然后转向东南的半环行盆地,海拔高度 1150~1800m。地貌属低山丘陵区,由于受阴山山脉、大兴安岭余脉和浑善达克沙地的影响,地貌类型较为复杂。按形态可分为低山丘陵、丘陵、河谷洼地及沟谷洼地、山前倾斜平原及高平台和堆积类型沙丘 5 类。

## 1.2 气候

冬季严寒而漫长,春季干旱多大风,夏季不热多雷阵雨,秋凉霜雪早。年平均气温 1.6℃。最暖月(7 月份)平均气温 18.7℃,最冷月(1 月份)平均气温 -18.3℃,气温年较差 37℃,极端最高气温 35.4℃,极端最低气温 -39.8℃。初霜平均在 9 月 6 日,终霜平均在 5 月 26 日,平均无霜期 100d。年降水量为 385.5mm,夏季雨量集中,平均为 258.4mm,占年降水量的 67.0%,冬季降水最少为 14.1mm,占年降水量的 3.7%。年蒸发量平均为 1748.0mm,是年降水量的 4.5 倍。

## 1.3 土壤

全县境内属栗钙土区,有土类 7 个,亚类 14 个,土属 29 个,土种 59 个。土壤类型主要可分为:灰褐土、黑钙土、栗钙土、草甸土和风沙土。土壤养分状况是:缺 P、少 N、K 有余。有机质含量一般为 2%~4%,平均 3.02%。

## 1.4 研究区植被特征

研究区湿润度为 0.54,属半干旱向半湿润过渡地带中温型草原植被带。

## 2 研究方法

2.1 整理 1984 年草原普查的样方资料,共调查 75 个样地,每个样地测定 3 个 1m<sup>2</sup> 样方,记录植被盖度、每个植物种的数量、生物量(干重),由于原始资料是以 3 个样方的平均值记录的,所以统计时以 75 个样方计算;在 2001 年 8 月根据 1984 年原资料记载的经纬度,利用 GPS 定位,选择出 34 个样地上做野外调查,每个样地仍然测定 3 个 1m<sup>2</sup> 样方,共测定了 102 个样方;2002 年选择了有明显的沙漠化梯度的 10 个样地,每个样地又分为 4 个梯度(冷蒿阶段;褐沙蒿阶段;虫实、刺穗藜阶段;裸沙阶段),除第 4 梯度裸沙阶段外,在另 3 个梯度上各调查 2 个 1m<sup>2</sup> 样方,由于个别样地的梯度不全,所以实际调查的样方是 45 个。统计 3a 的全部样方资料为 222 个样方。

2.2 根据统计的样方资料计算有关的群落数量特征。

## 3 结果分析

### 3.1 沙漠化过程中各阶段盖度、物种出现频率的比较

表 1 中给出了每个阶段的植被盖度差异。盖度的下降是沙漠化过程最直观的变化,然而下降的比例并不是均匀的,从这种不均匀性可以反映出演变过程中各阶段的保守性和易变性,下降比例越小,说明这一阶段越保守,从而也越稳定,反之,则越不稳定。不难看出,下降的比例是 29%→40%→67%→100%。在冷蒿阶段以前的相对稳定性较高,退化到 1 年生植物阶段的稳定性最差,极容易形成裸沙地。

每个阶段所调查的样方数不一样,总共调查了 222 个样方,在潜在阶段的 88 个样方中总共有 90 个植物种,90 个种中在 88 个样方中出现频度 >10% 的有 58%,在这 58% 的植物种中,在 88 个样方中的出现数量也不是均匀的,变异系数 >1 的占到 62%。以此类推,可以从表 1 中看到每个阶段的变化,从这些变化中不难判断不同阶段的变化也是不均匀的,在中度阶段以前,阶段之间的转化过程比较平缓,中度阶段以后的变化就比较显著了。

### 3.2 沙漠化过程不同阶段物种数量和生物量的涨落

表 2 中列出了不同阶段 1m<sup>2</sup> 所包含的物种数量,以及物种数量的变异系数;还有不同阶段 1m<sup>2</sup> 生物量的变异系数。从这两项变异系数可以看出,沙漠化过程中不同阶段每个样方中的物种数量和生物量是变化的,然而这种变化却是不均匀的,以潜在阶段为例,1m<sup>2</sup> 样方内平均有 14.39 个种,在 88 个样方的变异系数是 0.32;而中度阶段 1m<sup>2</sup> 样方内平均仅有 8.69 个种,在 36 个样方的变异系数却是 0.64。从轻度阶段到中度阶段的转变的不均匀性很明显。

表 1 不同阶段的盖度差异及物种出现频率的比较

Table 1 The community coverage and species occurring frequency in the different stages

阶段 Stages	群落盖度 Community coverage(%)	样方数 Number of samples	种数 Number of species	频度>10%比例 Frequency>10% ratio	变异系数>1比例 Variance Coefficient>1 ratio
潜在阶段 Potential stage	35%	88	90	0.58	0.62
轻度阶段 Light stage	25%	69	76	0.63	0.67
中度阶段 Medium stage	15%	36	72	0.65	0.64
重度阶段 Heavy stage	5%	29	28	0.46	0.50
极度阶段 Extreme stage	0%				

表 2 不同阶段样方物种数量和生物量的涨落

Table 2 The fluctuation of species number and biomass in 1 m<sup>2</sup> in different stage

阶段 Stages	物种数量 Species number			生物量 Biomass		
	均值 Mean	方差 Variance	变异系数 Variance coefficient	均值 Mean	方差 Variance	变异系数 Variance coefficient
潜在阶段 Potential stage	12.75	3.95	0.31	95.60	47.90	0.50
轻度阶段 Light stage	11.41	3.89	0.34	89.06	43.21	0.49
中度阶段 Medium stage	8.69	5.58	0.64	106.64	70.32	0.66
重度阶段 Heavy stage	4.28	2.86	0.67	70.33	45.08	0.64

### 3.3 沙漠化过程不同阶段之间的相似性比较

通常  $\beta$  多样性指数被表示为群落间相似性指数或是同一地理区域内不同生境中生物物种的周转率。不同生境间或某一生境梯度上不同地段间生物种类组成的相似性越差,  $\beta$  指数越高。

一般来说, 每一群落类型总是与其下一阶段最邻近的群落具有最高的相似度, 相似系数在 0.9 左右。随着演替进展, 群落之间的间隔时间越长, 则相似性系数越低, 表明群落物种组成差异不断增加, 生态距离变远。

从表 3 中可以看出, 沙漠化过程中的不同阶段之间的演变并不是均匀的, 相邻两个阶段的相似性越高, 说明稳定性也越高, 反之, 说明稳定性也越差。由此可以推论, 沙质草原沙漠化过程轻度阶段以前的稳定性较高; 中度阶段的稳定性要比轻度阶段低; 而重度阶段比中度阶段更低, 从这里认识一个问题, 就是对于防止沙质草原沙漠化来说, 最关键的是保护好冷蒿阶段。

表 3  $\beta$  多样性指数Table 3  $\beta$  diversity index

阶段 Stages	轻度阶段 Light stage	中度阶段 Medium stage	重度阶段 Heavy stage
潜在阶段 Potential stage	0.81		
轻度阶段 Light stage		0.66	
中度阶段 Medium stage			0.32

## 4 讨论

近年来对草原生态系统稳定性的研究, 多从群落结构的复杂性与稳定性的关系来研究稳定性问题<sup>[10~14]</sup>, 白永飞的研究指出, 植物功能群组成对群落稳定性具有更强烈的影响, 在植物生活型功能群组成中多年生根茎禾草与多年生丛生禾草和多年生杂草功能群, 在生物量的年度变化上具有补偿作用, 在生态类群组成中旱生植物与中生植物也具有补偿作用, 群落是通过不同响应类型(功能群)间的补偿作用使群落稳定性增加。张云飞等以内蒙古锡林郭勒盟草原为研究对象, 从群落的生物量结构及植物种类组成结构入手, 从功能 $\leftrightarrow$ 结构 $\leftrightarrow$ 涨落之间的相互关系出发, 在区域尺度及群落尺度上, 通过物种多样性与微涨落种群的比例、物种多样性与群落涨落之间的相关分析, 评价了多样性与稳定性二者之间的相互关系。研究认为, 多样性与稳定性的关系具有明显的尺度效应, 在群落尺度上(同一群系内的不同群丛), 多样性指数与稳定性指标相关不显著, 在区域尺度上(不同群系之间), 二者相关显著。本文比较的是沙质草原沙漠化过程中不同阶段的稳定性变化, 实质上是考察草原退化过程中, 随着一系列群落类型的演变, 多样性变化与稳定性变化的关系。从尺度上看, 从羊草+隐子草阶段和冷蒿阶段看, 可看作是群落尺度上的变化, 而从

冷蒿阶段以后的沙蒿阶段;一年生植物阶段;明沙阶段,则是区域尺度上的变化。

## 5 结论

通过沙质草原沙漠化过程不同阶段之间的群落盖度变化;植物种在样方中出现频度的变异性、生物量的变异性 and 反映不同阶段之间的变异性程度的  $\beta$  多样性指数作为指标,综合的分析不同阶段的稳定性。盖度下降的比例是 29%→40%→67%→100%;物种数量变异系数的变化是 0.31→0.34→0.64→0.67;生物量变异系数的变化是 0.50→0.49→0.66→0.64; $\beta$  多样性指数的变化是 0.81→0.60→0.32→0.00。从这些不均匀性可以反映出演变过程中阶段的保守性和易变性,下降比例越小,说明这一阶段越保守,从而也越稳定,反之,则越不稳定。 $\beta$  多样性指数越高,反映相邻两个阶段的相似性越高,说明稳定性也越高。

联系具体的沙漠化过程阶段来分析,有两点是最明显的,一是随着沙漠化过程的加剧,稳定性呈现下降的趋势;二是沙质草原沙漠化过程中,轻度阶段(冷蒿阶段)前的各个阶段之间的变异性小而相似性高,从冷蒿阶段以后的确有一个跳跃式的变化,冷蒿阶段后的各个阶段之间的变异性增大而相似性减小,因此,对于防止沙质草原沙漠化来说,最关键的是保护好冷蒿阶段。

恢复性正好与稳定性相反,越是稳定的阶段,越是不容易恢复,越是不稳定的阶段,越是容易恢复。所以说,冷蒿阶段的保护无论对草原退化还是对草原沙漠化,都是极其重要的。

## References:

- [1] Zhou J Z, Ma S J. Ecosystem Stability. In: Ma S J. *Modern ecology perspective*. Beijing: Science Press, 1990. 54~71.
- [2] Yue T X, Ma S J. Ecosystem Stability and its Analysing Model. *Acta Ecologica Sinica*, 1991, **11**(4):361~366.
- [3] Leigh E G. On the relationship between productivity, biomass, diversity, and stability of a community. *Proc. Nat. Acad. Sci.*, 1965, **53**:777~783.
- [4] Leigh E G. The ecological role of Volterra's equations. In: *some mathematical problems in biology*. Gerstenhaber, M. ed, American Mathematics Society, Providence, R. I, 1968. 1~14.
- [5] Wolda H "Long term" stability of tropical insect populations. *Res. Popul. Ecol. Suppl.*, 1983, **3**: 112~126.
- [6] Den Boer P J. On the survival of populations in a heterogeneous and variable environment. *Oecologia*, 1981, **50**: 39~53.
- [7] Zhu Z D, Liu S. *Desertification Process and Division of Control in Northern China*. Beijing: Chinese Forestry Press, 1981.
- [8] Zhu Z D, Chen G T. *Desertification of Sandy Grassland in China*. Beijing: Science Press, 1994.
- [9] Zhao H L, Masayuki NEMOTO, Toshiya OHKURO. Study on Desertification Process of Overgrazing Grassland in HORQIN Sandy Land in Inner Mongolia, China. *Journal of Desert Research*, 1997, **17**(Supp. 1):15~24.
- [10] Bai Y F, Chen Z Z. Effects of Long-term Variability of Plant Species and Functional Groups on Stability of a *Leymus Chinensis* Community in the XILIN River Basin, Inner Mongolia. *Plant Phytoecologica Sinica*, 2000, **24**(6):816~844.
- [11] Zheng Y R. Stability of Dqinggou Forest Communities. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, **19**(4):65~72.
- [12] Huang J. H. Biodiversity and ecosystem stability. *Biodiversity*, 1995, **3**(1):31~37.
- [13] He F. L. Ecological complexity and stability. *Ecology Advance*, 1988, **5**(3):157~162.
- [14] Zhang Y F, WU Y N, YANG C. The Relationship between Biodiversity and Structure Stability Among Grassland Plant Communities. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Neimongol*, 1997, **28**(3):419~423.

## 参考文献:

- [1] 周集中, 马世骏. 生态系统稳定性. 见: 马世骏主编. 现代生态学透视. 北京: 科学出版社, 1990. 54~71.
- [2] 岳天祥, 马世骏. 生态系统稳定性研究. 生态学报, 1991, **11**(4):361~366.
- [7] 朱震达, 刘恕. 中国北方地区的沙漠化过程及其治理区划. 北京: 中国林业出版社, 1981.
- [8] 朱震达, 陈广庭, 等. 中国土地沙质荒漠化. 北京: 科学出版社, 1994.
- [9] 赵哈林, 根本正之, 大黑俊哉, 等. 内蒙古科尔沁沙地放牧草地的沙漠化过程研究. 中国沙漠, 1997, **17**(1): 15~24.
- [10] 白永飞, 陈佐忠. 锡林河流域羊草草原植物种群和功能的长期变异及其对群落稳定性的影响. 植物生态学报, 2000, **24**(6):816~844.
- [11] 郑元润. 大青沟植物群落稳定性研究. 生态学报, 1999, **19**(4):65~72.
- [12] 黄建辉. 生物多样性和生态系统稳定性. 生物多样性, 1995, **3**(1):31~37.
- [13] 何芳良. 生态系统的复杂性与稳定性. 生态学进展, 1988, **5**(3):157~162.
- [14] 张云, 马世骏. 草原植物群落物种多样性与结构稳定性之间的相关性分析. 内蒙古大学学报 1997, **28**(3):419~423.