

# 毛乌素沙地东南缘沙漠化过程中植被的退化和稳定性

杨梅焕<sup>1</sup>, 曹明明<sup>2</sup>, 朱志梅<sup>2</sup>

(1. 西安科技大学 测绘科学与技术学院, 陕西 西安 710054; 2. 西北大学 城市与环境学院, 陕西 西安 710027)

**摘要:** [目的] 揭示毛乌素沙地东南缘沙漠化过程中植被退化及其稳定性变化机制, 为沙漠化修复和治理提供科学依据。[方法] 综合应用野外调查、取样、室内试验和统计分析相结合的多种方法, 对研究区沙漠化过程中植被特征变化进行分析。[结果] 结构和功能特征中, 植被盖度、密度、物种丰富度、多样性指数均呈下降趋势, 地上生物量呈现先升高后降低趋势; 营养特征中, 有机质含量变化规律并不明显, 全氮含量在沙漠化进程中逐渐降低, C/N 不断升高; 且轻度沙漠化阶段植被特征发生突变, 是沙漠化逆转的关键阶段。对植被稳定性定量测度结果认为, 沙漠化过程中, 植被稳定性指数不断降低, 稳定性等级非沙漠化阶段和潜在沙漠化阶段为稳定和基本稳定, 轻度沙漠化阶段开始均处在不稳定状态。[结论] 沙漠化过程伴随着植被的退化和植被稳定性程度的降低, 维持土壤—植被系统的良性循环是植被恢复的关键, 也是沙漠化治理的关键。

**关键词:** 毛乌素沙地; 植被退化; 植被稳定性; 定量测度

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-288X(2017)05-0010-06

**中图分类号:** P951

**文献参数:** 杨梅焕, 曹明明, 朱志梅. 毛乌素沙地东南缘沙漠化过程中植被的退化和稳定性[J]. 水土保持通报, 2017, 37(5): 10-15. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2017.05.002; Yang Meihuan, Cao Mingming, Zhu Zhimei. Vegetation degradation and its stability in desertification at southeastern edge of Mu Us sandy land [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2017, 37(5): 10-15. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2017.05.002

## Vegetation Degradation and Its Stability in Desertification at Southeastern Edge of Mu Us Sandy Land

YANG Meihuan<sup>1</sup>, CAO Mingming<sup>2</sup>, ZHU Zhimei<sup>2</sup>

(1. College of Geomatics, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an, Shaanxi 710054, China;

2. College of Urban and Environment, Northwest University, Xi'an, Shaanxi 710127, China)

**Abstract:** [Objective] To analyze the mechanisms of vegetation degradation and stability maintenance during the process of desertification at the southeastern edge of Mu Us sandy land, and to provide scientific basis for the repairing and controlling of desertification. [Methods] The methods of field investigation, field sampling, indoor assay and statistical analysis were integrated to analyze the change of vegetation characteristics during desertification in the study area. [Results] The results of functional and structural characteristics showed that the vegetation coverage, density, richness and Simpson diversity index reduced; The aboveground biomass increased first and then decreased. The changing regularity of organic matter was not obvious, while the total nitrogen content decreased and C/N increased. Vegetation characteristics changed suddenly in the mild desertification stage which was the key stage for desertification repairing. Furthermore, the quantitative measurement of vegetation stability showed that the stability index decreased in the process of desertification, stable and basically stable in non-desertification stage and potential desertification stage, unstable in other stages. [Conclusion] The vegetation degrades and the stability indexes decrease with desertification deepens. Therefore, maintain the virtuous circle of plant-soil system is the key of vegetation restoration and desertification control.

**Keywords:** Mu Us sandy land; vegetation degradation; vegetation stability; quantitative measurement

收稿日期: 2017-03-16

修回日期: 2017-04-11

资助项目: 国家自然科学基金项目“陕北沙漠化逆转过程中土壤—植被反馈机制及植被演替效应研究”(41501571); 陕西省自然科学基金基础研究项目“陕北沙漠化逆转过程中土壤—植被反馈机制研究”(2015JQ4110); 陕西省教育厅专项科学研究项目“陕北生态脆弱区沙漠化驱动力量化研究”(14JK1479)

第一作者: 杨梅焕(1982—), 女(汉族), 山东省济宁市人, 博士, 副教授, 主要从事沙漠化生态过程研究。E-mail: ymh8307024@163.com。

植被稳定性是植被结构和功能的综合表征指标。当前对稳定性的研究建立在稳定性的 3 个基本概念基础上:①演替稳定性;②抵抗力稳定性;③恢复力稳定性。要全面认识和了解植被的稳定性,就要具体地研究稳定性测度的指标体系和方法<sup>[1-4]</sup>。由于群落和生态系统的复杂性,对其稳定性的研究要根据具体的研究对象综合多变量进行评定<sup>[5-7]</sup>。种群生态学家用种群数量或大小的变动来衡量种群稳定性<sup>[8]</sup>;群落生态学家则用多度、物种组成、优势种、生产力等变量的变异性来评估生态系统稳定性<sup>[9-10]</sup>。稳定性是生态系统的综合特征,对稳定性的判定和测度需要考虑系统的结构和功能特征及其所依赖的特定环境条件<sup>[2,5]</sup>。国内学者张继义等<sup>[2]</sup>率先从综合角度构建了稳定性衡量指标体系,对科尔沁沙地的植被稳定性进行了评价,并构建了恢复力指数和抵抗力指数对短时间尺度干旱干扰后不同沙质草地群落的恢复力稳定性和抵抗力稳定性进行了定量测度。

在沙漠化过程中,随着环境的恶化,一些植物适宜生存的稳定生境被破坏,而被一些适应恶劣环境的植物群落取代,形成了沙漠化植被的逆行演替过程<sup>[11]</sup>。同时,植被的结构、功能和营养特征都发生了变化,进而影响了植被的稳定状况。本研究在对沙漠化过程中植被结构、功能和营养特征变化分析的基础上,以张继义、赵哈林植被稳定定律测度模型为理论依据,构建植被稳定性评价指标体系,衡量沙漠化过程中植被稳定性状态变化,将有助于进一步了解沙漠化的生态学过程,为沙漠化防治提供科学依据。

## 1 研究区概况

选择毛乌素沙地东南缘陕西榆林地区沙质草原地带沙漠化程度明显的区域为研究区,该区辖榆阳区、横山区、神木县、定边县和靖边县 2 区 3 县,位于 107°15'—110°54'E, 36°49'—39°27'N,海拔 800~1 400 m,相对高度 10~50 m。该区属陕北风沙滩地区,属温带寒冷半干旱气候,年均温绝大部分地区小于 8℃。年降水量 250~440 mm,集中于 7—9 月,占全年降水的 60%~75%。区内土壤主要为风沙土,丘间低地主要为草甸土,还有淡栗钙土、栗钙土、黑焦土等。沙地占区域总面积的 80%左右,其中流沙(流动沙丘)、半固定沙丘、固定沙丘在沙地面积中各占 1/3 左右。沙生植被、草原、草甸、盐生植被、盐生草甸等群落类型均易见。

## 2 研究方法

### 2.1 样地选择

采用植被动态学中群落的空间序列方法(空间代替时间法),以一定的沙漠化空间梯度序列代表不同的演替阶段,在结合野外调查和图像资料的基础上将沙漠化过程分为 6 个阶段。2009 年于植被生长旺季在榆阳区、神木县、横山县和靖边县具有明显沙漠化的区域选取 6 个样地,样地包括非沙漠化、潜在、轻度、中度和重度沙漠化 5 个阶段,在每个阶段随机选取 3 个 1 m×1 m 的样方,进行样方的调查和样品的采集,采样区植被状况见表 1。

表 1 采样区植被类型

沙漠化梯度	植被盖度	选取群落类型	建群种
非沙漠化阶段(I)	>35%	针茅+糙隐子草+丛生禾草类	针茅
潜在沙漠化阶段(II)	25%~35%	糙隐子草+针茅+达乌里胡枝子	糙隐子草
轻度沙漠化阶段(III)	15%~25%	达乌里胡枝子+油蒿	达乌里胡枝子
中度沙漠化阶段(IV)	5%~15%	油蒿+牛心朴子	油蒿
重度沙漠化阶段(V)	裸沙	一年生草本	藜

注:针茅(*Stipa capillata*);糙隐子草(*Cleistogenes squarrosa*);达乌里胡枝子(*Lespedeza davurica*);油蒿(*Artemisia ordosica*);牛心朴子(*Cynanchum komarovii*)。

### 2.2 样方调查和样品采集

2.2.1 样方调查和植物样采集 在选取的每个样地进行植被盖度的测算,划分不同的沙漠化梯度,并记录各样方物种密度、丰富度,计算 Simpson 多样性指数。采样方内新鲜植物叶片供植物有机质、全氮的测定,取样方内地上全部植物带回烘干称重测定地上生物量。

#### 2.2.2 测定方法

(1) 生物量的测定。70℃烘干 48 h 后称重<sup>[12]</sup>;

(2) 有机质的测定。采用重铬酸钾容量法,全 C = 有机质 × 0.58<sup>[12]</sup>;

(3) 全氮的测定。采用凯氏定氮法<sup>[12]</sup>。

## 3 结果与分析

### 3.1 沙漠化过程中主要植被特征的变化

沙漠化过程中植被赖以生存的环境基质遭到破

坏,导致植被结构特征和功能特征随之退化,各指标具体变化过程见表 2。

由表 2 可见,沙漠化过程中,伴随着植被的逆向演替,植被盖度持续降低,同前一阶段相比,各阶段盖度降低幅度分别为 33.3%,33.3%,50.0% 和 75.0%,降幅在 I→II,II→III 阶段相当,III→IV→V 阶段降幅大幅增加;植被密度也发生了明显的变化,各阶段降幅分别为 23.4%,25.3%,33.8%,68.0%,同样在 III→IV→V 阶段降幅增大,且 IV→V 阶段降幅最大;物种丰富度也逐渐降低,降幅分别为 6.7%,35.7%,44.4%,60.0%,II→III 阶段降幅变大,之后降幅均较高,V 阶段物种仅 4 种左右;地上生物量是衡量群落生态系统功能最重要的指标,在沙漠化进程中,地上生物量并未随植被密度和物种丰富度的降低而降低,而是呈波动性降低趋势,在 III 阶段最大,这主要与群落生活型组成变化密切相关,在 I,II 阶段丛生禾草较多,禾草较为低矮,重量偏低,到 III 阶段达乌

里胡枝子、沙蒿等物种占据优势,其枝干较多,质量较重,导致该阶段地上生物量较高,而随着沙漠化程度的加剧,物种密度迅速降低而使地上生物量进一步降低;群落的多样性是群落的重要特征之一,任何生态系统和群落都有其物种多样性的特征,其特征是维持生态系统功能的物质基础,沙漠化过程中物种的多样性指数不断降低,各阶段降幅分别为 7.1%,15.2%,25.4%,46.3%,说明随着沙漠化程度的加剧,群落结构趋于单一化,功能趋于简单化。对植被特征增降幅变化分析发现,除地上生物量外,其它植被指标值均在 III,IV 或 IV,V 阶段出现了降幅的突变,而众多土壤指标值在 II,III 阶段出现了增降幅的突变,这表明沙漠化过程首先导致土壤的退化,土壤质量的下降进一步导致植被的退化。另一方面也说明植被对土壤具有积极的内在适应性,其本质是处于不断的进展演替过程中的,进而使其退化过程滞后于土壤的退化过程。

表 2 采样区沙漠化过程中植被特征变化

沙漠化梯度	植被盖度/%	密度/(株·m <sup>-2</sup> )	物种丰富度/种	地上生物量/(g·m <sup>-2</sup> )	多样性指数
I	45	124±15.20	30±8.67	197.85±15.98	0.85±0.07
II	30	95±13.72	28±6.35	190.47±11.20	0.79±0.03
III	20	71±9.63	18±3.87	224.95±24.17	0.67±0.04
IV	10	47±5.46	10±2.57	146.83±19.85	0.54±0.03
V	2.5	15±2.16	4±1.29	90.45±8.76	0.29±0.02

### 3.2 沙漠化过程中植被营养特征的变化

在沙漠化进程中,随着土壤基质环境的改变,土壤为植被提供营养物质的能力也发生转变,沙生植被在适应生境的过程中,其营养特征也有所变化。对沙漠化过程中植被营养特征变化分析见表 3。

由表 3 可见,沙漠化过程中,混合植物(优势种)有机质含量变化规律并不明显,在整个沙漠化进程中有所波动,但变化较小,表明植物在不同的生长环境

下对有机质的需求并未发生重大改变,有机质含量较低的土壤只能支持有限的植物生存。同时植物对土壤提供有机质的能力与地上生物量密切相关。混合植物(优势种)全氮含量在沙漠化进程中逐渐降低,这与土壤中全氮含量不断降低有关,其对植物中氮素的累积影响较大。混合植物(优势种)有机质的相对稳定以及全氮含量的降低导致植物 C/N 不断升高,植物生长的缺 N 状况越来越严重。

表 3 采样区沙漠化过程中植被营养特征变化

指标	沙漠化过程				
	I	II	III	IV	V
有机质/(g·kg <sup>-1</sup> )	705.21±24.35	706.93±37.71	705.79±44.44	690.51±36.89	704.21±26.49
全氮/(g·kg <sup>-1</sup> )	28.75±14.75	26.29±8.75	25.21±12.04	23.88±7.31	23.10±6.77
C/N	14.23±7.33	15.60±4.92	16.24±8.23	16.77±6.44	17.68±5.96

### 3.3 沙漠化过程中植被稳定性评价指标体系

沙漠化过程是由不同演替程度的群落斑块构成的镶嵌式景观格局,对其植被稳定性的测度是对整个沙漠化生态过程的研究<sup>[2]</sup>,将有助于全面了解和认识

沙漠化的植被演替规律,也可为不同沙漠化类型区植被的恢复提供理论依据。本文在结合相关文献对植被稳定性测定的基础上<sup>[2,10,13]</sup>,根据研究区实际情况,对沙漠化过程中植被稳定性进行了测算。

通过上述研究发现,植被群落的结构和功能特征随沙漠化程度加剧呈规律性的响应,可作为评价稳定性的关键指标;同时,植物群落的演替过程,是群落的植物部分与土壤环境部分的协同演替过程,土壤是维持植被稳定性的基质环境,土壤环境的变化对植被稳定性形成机制至关重要;因此,通过对沙漠化过程中土壤、植被功能和结构特征的研究,选取了植被属性和土壤属性 2 个方面 6 个指标作为评价植被稳定性的具体指标,植被属性指标表征了植被结构和功能在沙漠化过程中的变化,土壤属性指标表征了土壤物理、化学和生物学特性随沙漠化的变化。土壤指标值见文献[14],本研究中土壤指标取值为表层土壤(0—5 cm)各指标值。

### 3.3.1 植被属性指标

(1) 植被盖度( $V_1$ )。植被是沙漠化过程中最活跃、最敏感的指标,而最能体现植被保护性的是植被盖度。植被盖度即可反映植物群落的最大生产力、地上生物量,也可反映植被防风固沙、水土保持的能力。植被盖度越高,不仅对土壤的发育和土壤质量的改善具有积极的作用,同时也可防止地表土壤的风蚀和水蚀作用,表现出较强的生态功能。因此,植被盖度通常会作为植被稳定性评价的首选指标。本研究中以非沙漠化阶段作为沙漠草地植被演替的顶级阶段,以该阶段观察和测定植被和土壤指标的最大值作为其阈值,据此,植被盖度阈值为 75%。

(2) 物种丰富度( $V_2$ )。物种丰富度是单位面积内物种的数目,是测定物种多样性最古老的概念。物种丰富度在代替物种多样性的研究中假定了各物种对生态系统功能的等值性,因此受到质疑。但这种高度简化的指标在表征群落变化时仍具备其优势。沙漠化过程中物种丰富度表现出规律性变化,本研究将其作为衡量植被稳定性的指标,其阈值为 38。

(3) 多样性指数( $V_3$ )。相关研究表明,在群落和系统尺度,物种多样性和群落稳定性呈正相关关系,即物种多样性越高,群落或生态系统在结构和功能上越完备,生态系统的稳定性越高。多样性指数是改进的物种多样性表征指标,物种多样性的恢复是植被稳定性提高的显著标志。本研究以 Simpson 指数作为多样性指数表征物种多样性,其阈值为 0.92。

### 3.3.2 土壤属性指标

(1) 土壤含水量( $S_1$ )。壤含水量是植物生存、生长和繁衍最重要的控制因子,对植被的演替起着关键性的作用。沙漠化过程中,植物生长最主要的限制因子就是土壤水分的亏缺,土壤含水量的高低反映了其对植物提供水分的潜能,因此,其对植被的恢复和植

被稳定性的维持具有重要作用。对土壤与植被指标的相关性分析显示,表层土壤特性与植被之间的相关性更为密切,表明土壤—植被系统的协同演化过程关键在于土壤环境的改善。对土壤指标的阈值选取表层土壤相应指标最大值,因此,土壤含水量阈值为 17.59%。

(2) 土壤有机质含量( $S_2$ )。植被演替的某一阶段受其前一阶段土壤地下过程的影响,土壤质量状况对其上生长的植物斑块格局具有决定性作用,而土壤有机质的变化是土壤质量变化的重要表征指标。在植被演替过程中,土壤有机质含量呈增加趋势。因此,土壤有机质含量的高低能够反映植被的恢复状况,并在一定程度上表征植被稳定性变化。其阈值为 15.63 g/kg。

(3) 土壤脲酶活性( $S_3$ )。土壤酶参与土壤中各种生物化学过程,如腐殖质的分解与合成、动植物残体和微生物残体的分解、有机化合物的水解与转化、某些无机化合物的氧化、还原反应。土壤酶活性随土壤理化性质的变化而变化,且与其关系密切,具有重要的生态学意义。脲酶是土壤酶中的一种常见酶,对改善土壤质量,促进土壤—植被系统的良性循环和维持其稳定性具有重要的作用。其阈值为 0.43 mg/(g·d)。

## 3.4 沙漠化过程中植被稳定性指数测度

3.4.1 植被稳定性指数的计算方法 所选取的各指标均有其独立的代表性,因此认为各指标的权重值相当;各指标值与阈值的比值作为其测度值,其值在 0~1。植被和土壤质量指数的测定则是其选取指标测度值的算术平均数,植被稳定性指数的测定以植被质量指数和土壤质量指数的平均值测度,具体计算公式如下:

$$V = \frac{1}{3} \left( \frac{V_1}{75\%} + \frac{V_2}{38} + \frac{V_3}{0.92} \right) \quad (1)$$

式中:  $V$ ——植被质量指数;  $V_1$ ——植被盖度;  $V_2$ ——物种丰富度;  $V_3$ ——多样性指数。下同。

$$S = \frac{1}{3} \left( \frac{S_1}{17.59\%} + \frac{S_2}{15.62} + \frac{S_3}{0.43} \right) \quad (2)$$

式中:  $S$ ——土壤质量指数;  $S_1$ ——土壤含水量;  $S_2$ ——土壤有机质含量;  $S_3$ ——土壤脲酶活性。下同。

$$S_i = \frac{1}{2} (V + S) \quad (3)$$

式中:  $S_i$ ——植被稳定性指数。

可见,植被稳定性指数的取值范围为 0~1,植被稳定性指数越高,其稳定性越好,指数越低,稳定性越差。

3.4.2 植被稳定性指数的测算与评价 对不同沙漠化阶段植被稳定性指数测算结果见表 4。

表 4 研究区不同沙漠化阶段植被稳定性指数

指标名称	不同沙化阶段				
	I	II	III	IV	V
植被盖度( $V_1$ )	0.600	0.400	0.267	0.133	0.033
物种丰富度( $V_2$ )	0.789	0.737	0.474	0.263	0.105
多样性指数( $V_3$ )	0.924	0.859	0.728	0.587	0.315
植被质量指数( $V$ )	0.771	0.665	0.490	0.328	0.151
土壤含水量( $S_1$ )	0.709	0.508	0.380	0.208	0.131
土壤有机质( $S_2$ )	0.852	0.750	0.469	0.435	0.311
土壤脲酶活性( $S_3$ )	0.760	0.620	0.284	0.163	0.081
土壤质量指数( $S$ )	0.773	0.626	0.378	0.269	0.174
植被稳定性指数( $S_7$ )	0.772	0.646	0.434	0.298	0.163

由表 4 可见,从非沙漠化阶段至重度沙漠化阶段,植被质量指数不断降低,同前一阶段相比,各阶段降幅分别为 13.7%,26.3%,33.1%,53.4%;土壤质量指数也不断降低,同前一阶段相比,各阶段降幅分别为 19.0%,39.6%,28.8%,39.4%;植被质量指数和土壤质量指数决定的植被稳定性指数不断下降,同

前一阶段相比,各阶段植被稳定性降幅分别为 16.3%,32.8%,31.3%和 45.3%。该指标综合反映了土壤—植被协同作用下植被稳定性的变化,植被质量指数和土壤稳定性指数均降低,反映了沙漠化过程中植被结构和功能特征的变化和植被赖以生长的土壤环境的变化,能够为认识沙漠化过程中植被稳定性状况提供支持。

为进一步明确以稳定性指数表征的植被稳定性状况,构建了植被稳定性评价标准(表 5),将 0~1 范围的稳定性指数值划分为 5 种稳定性类型。据此对测定的各阶段稳定性状况进行评价(表 5),结果发现,非沙漠化阶段植被处于稳定状态,稳定性状况较好,植被状况和土壤质量状况均较好,系统的结构和功能均较完善;潜在沙漠化阶段植被处于基本稳定状态,相较之下处于中等水平,比非沙漠化阶段土壤—植被系统均有所退化,但整体功能仍能正常发挥;轻度沙漠化阶段植被处于不稳定状态,稳定性较差,从潜在沙漠化阶段至轻度沙漠化阶段稳定性指数突降,表明该阶段土壤—植被系统的退化均较为明显,是沙漠化过程中的敏感阶段;中度和重度沙漠化阶段植被状况则非常不稳定,土壤—植被系统严重退化。

表 5 研究区植被稳定性指数评价标准及评价结果

项目	植被稳定性指数 $S_i$				
	$\geq 0.9$	0.89~0.70	0.69~0.50	0.49~0.30	$\leq 0.29$
评价标准	非常稳定	稳定	基本稳定	不稳定	非常不稳定
评价结果	—	I (0.772)	II (0.646)	III (0.434)	IV (0.298), V (0.163)

通过以上分析发现,因为植被的演替过程依赖土壤—植被系统的良性反馈,故综合了土壤、植被信息确定的植被稳定性指数具有其优越性;同时发现,依据评价标准进行的评价能反映出不同沙漠化阶段的植被稳定性状况,表明该评价标准的划分具有其合理性。但是,该方法的普适性问题还有待进一步的研究。

### 3.5 沙漠化过程中植被稳定性维持机制

植被稳定性的形成是土壤—植被系统在环境因子作用下的结果,同时受到干扰因素的影响,因此植被稳定性的维持机制除保证土壤—植被系统的良性循环反馈作用外,还应维持良好的环境条件。

3.5.1 确保土壤—植被系统的良性循环 土壤—植被系统的演化反映了沙漠化的生物学机理,同时也是沙漠化修复的重要理论基础,植被稳定性的提高也有赖于二者的协同演进。在生态系统尺度上,植物种对有限土壤资源的竞争是影响植物群落物种组成、结构

和功能的关键因素,土壤性质在小尺度的空间异质性对植物的群落类型具有决定作用;同时,土壤环境的维持依赖于植被系统的协同作用。在沙漠化过程中,通过植被盖度的提高减轻或抑制地表风蚀,降低水分蒸发,以利于植物种的生长发育,提高物种多样性和丰富度,同时,植物种入侵产生的根系和残体又会进一步促进土壤的发育和改良。可见,土壤—植被系统自身的相互作用过程是一个循环进化的过程,沙漠化的整个过程反过来也可以看做沙漠化逆转过程,在每个阶段的土壤、植被特性都是其对沙漠化的适应过程,且都向着不断增强群落生态功能和提高土壤质量进而提高植被稳定性的方向演进,从而遏制沙漠化进程。因此,沙漠化的每个阶段都可作为沙漠化修复的起点,创造适宜的环境并加以适度的干扰将其向上一阶段引导,将有助于加快植被稳定性的提高,实现沙漠化的逆转。

3.5.2 创造适宜植物生长的微环境 环境是植物生

长和发育的基础,不同尺度上的群落都受环境的影响,因此,维持良好的环境条件对维持植被稳定性至关重要。

环境的可持续性依赖于稳定的生态系统,即一种生态平衡的状态。平衡的生态系统其结构完整、功能健全,且结构和功能之间能相互适应形成最优化的协调关系。在免受外界干扰的自然状态下,生态系统的这种平衡状态是一种良性平衡,会朝着更成熟、更复杂、更稳定的方向发展,且具有一定的“弹性”和抗干扰能力,在一定的阈值范围内保持平衡状态。

尽管环境自身具有保持稳定的能力,但外界自然的和人为的干扰常常会打破这种平衡状态。干扰的形式多种多样,自然的干扰无法控制,但人类可以通过人为的干扰改善环境状态,营造植物生长的适宜环境。如在沙漠化区通过模拟植被的斑块格局,选择适宜的物种,重视植被的合理布局,使不同植物生长的微环境尽可能适宜。

## 4 结论

(1) 对植被群落结构和功能特征分析发现,植被盖度、密度、物种丰富度、多样性指数均呈下降趋势,地上生物量呈现先升高后降低趋势;对各阶段升降幅分析发现,沙漠化过程中植被的变化是由渐变至突变的过程,发生这一突变的转折点主要在Ⅲ阶段,即轻度沙漠化阶段,从另外一个意义上讲,该阶段也是植被恢复与沙漠化逆转的关键阶段。

(2) 对植被营养特征分析发现,在沙漠化过程中,混合植物(优势种)有机质含量变化规律并不明显,全氮含量在沙漠化进程中逐渐降低,有机质的相对稳定以及全氮含量的降低导致植物 C/N 不断升高,表明植物生长的缺 N 现象越来越严重。

(3) 对基于土壤和植被属性的植被稳定性状况分析发现,沙漠化过程中,植被稳定性指数不断降低;根据其评价标准研究发现,除非沙漠化阶段和潜在沙漠化阶段为稳定和基本稳定外,从轻度沙漠化阶段开始均处在不稳定状态;为实现沙漠化的逆转,应在尊

重自然规律的基础上,进行适当的人为干扰,创造适宜植物生长的微环境,保证各阶段自身稳定性的维持,并在此基础上引导其向上一阶段演替,形成沙漠化的良性逆转过程。

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 党承林. 植物群落的冗余结构:对生态系统稳定性的一种解释[J]. 生态学报, 1998, 8(6): 578-583.
- [2] 张继义, 赵哈林. 植被(植物群落)稳定性研究评述[J]. 生态学杂志, 2003, 22(4): 42-48.
- [3] Pimm S L. The complexity and stability of ecosystems [J]. Nature, 1984, 307: 3221-3226.
- [4] 吕光辉, 杜昕, 杨建军, 等. 阜康绿洲:荒漠交错带荒漠植被群落稳定性[J]. 干旱区地理, 2007, 30(5): 660-665.
- [5] Doak D F. The statistical inevitability of stability diversity relationship in community ecology[J]. The American Nature, 1998, 151: 264-276.
- [6] Holing C S. Resilience and stability of ecological systems[J]. Annual Review of Ecological System, 1973, 4: 1-23.
- [7] Sennhauser E B. The concept of stability in connection with the gallery forests of the Chaco region[J]. Vegetation, 1991, 94: 1-13.
- [8] 左小安, 赵学勇, 赵哈林, 等. 科尔沁沙地草地退化过程中的物种组成及功能多样性变化特征[J]. 水土保持学报, 2006, 27(1): 181-185.
- [9] 常兆丰, 段小峰, 韩福贵, 等. 民勤荒漠区主要植物群落的稳定性及生态效应[J]. 西北植物学报, 2014, 34(12): 2562-2568.
- [10] 张继义. 沙漠化过程沙地植被稳定性变化研究[D]. 兰州:中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 2004.
- [11] 邵立业, 董光荣. 共和盆地草原沙漠化的正逆过程与植被演替规律[J]. 中国沙漠, 1988, 8(1): 30-40.
- [12] 南京农业大学. 土壤农化分析[M]. 北京:农业出版社, 1980: 27-28.
- [13] 赵哈林, 赵学勇, 张铜会, 等. 沙漠化的生物过程及退化植被的恢复机理[M]. 北京:科学出版社, 2007: 283-322.
- [14] 杨梅焕. 毛乌素沙地东南缘沙漠化演变机制与植物的耐胁迫性研究[D]. 西安:西北大学, 2010.