

短期极端干旱事件干扰下退化沙质草地 群落抵抗力稳定性的测度与比较

张继义^{1,*}, 赵哈林²

(1. 兰州理工大学石油化工学院, 兰州 730050; 2. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 兰州 730000)

摘要:利用对不同沙漠化程度的6个沙质草地群落样地在经历时间尺度约为0.5个生长季、强度约为正常降雨量15%的短期干旱事件干扰前后2a同期进行的植被调查资料,从抵抗力概念出发构建抵抗力指数,尝试性地对沙漠化过程退化沙质草地群落在短时间尺度极端干旱事件干扰下的抵抗力稳定性进行了量化测定与比较。结果表明:6个不同沙漠化程度沙质草地群落以活生物质盖度计算的抵抗力指数,除群落4由于其组成以差吧嘎蒿为主而抵抗力指数较高为0.8615,其余5个群落抵抗力指数较小,在0.1760—0.0217之间,且随沙漠化程度的提高,群落抵抗力指数减小,即群落稳定性下降;而以立枯和地面枯落物等非活生物质组分计算的抵抗力指数较高,分别在0.4394—2.4128和0.7983—5.3810之间,且在群落之间的变化与群落沙漠化程度并无一致性,这恰当地反映了立枯和地面枯落物等非活生物质受干旱影响较小、对维持群落功能稳定起着重要作用的事实。对群落抵抗力来源与构成进行的分析表明,群落抵抗力主要由多年生植物构成。通过本研究对群落抵抗力以群落内部生态过程为基础进行的数量测定与比较,证明生物多样性的损失,特别是多年生植物的严重缺失,是沙漠化过程植被抵抗力稳定性降低的主要机理和根本原因。研究结果从相反方面说明生物多样性促进退化沙质草地群落对短期极端干旱事件干扰的抵抗力稳定性,这一结论是对“多样性的生态系统功能”、“多样性与稳定性”等生态学基本问题给出的以所研究的特定生物气候带内退化沙质草地群落为例证的回答。

关键词:稳定性; 抵抗力; 多样性; 生态系统功能; 沙漠化

An example for study on vegetation stability in sandy desertification land: determination and comparison of resistance among communities under a short period of extremely aridity disturbance

ZHANG Jiyi^{1,*}, ZHAO Halin²

1 School of Petrochemical Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China

2 Cold and Arid Regions Environments and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China

Abstract: Ecological stability, changes of eco-system under natural and human-induced disturbances such as fire, grazing, cultivation etc., involved in how and to what extent human can utilize natural resources but without inducing eco-system degradation or collapse, is a problem worthy of study. From the reaction of an eco-system to disturbances, it has been concluded that ecological stability could be defined as resistance and resilience. Because of many complicated factors such as the type, the intensity, the temporal scale and spatial scale of disturbances, it has been difficult to make qualified measurements for a real community. Therefore, researches related to resistance and resilience has been stopped at concepts, and studies on qualified resistance and resilience about a real community were scarce. In order to make an tentative example for study on this topic, 6 communities in different desertification stage were sampled in a sandy desertified region, and community investigation was done one time for every half month from the beginning to the end of growth season. With the

基金项目:甘肃省自然科学基金资助项目(0809RJZA009);兰州理工大学科研发展基金资助项目(SB05200410);国家973资助项目(G2000048704)

收稿日期:2009-09-18; 修订日期:2009-12-31

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhangjiyi@lut.cn

investigation data made at the same time in continual two years before and during a special period when climate was extremely arid, an resistance index, which indicates the resistance stability of the 6 communities, were defined and calculated as the ratio of vegetation data at the same time in two years. It could be expressed as: resistance index = the vegetation data at the same time in the year during which the aridity event took place / the vegetation data in the year before aridity event took place. Results showed that, the resistance indexes of the other 5 communities calculated with living biomass coverage were between 0.1760 and 0.0217, decreasing with enhanced desertification except for community 4, of which the resistance index was higher with a value of 0.8615 because of *Artemisia halodendron* Turcz. ex Bess, an semi-shrub species which was dominated in the community. While the resistance indexes calculated with standing litter coverage and ground litter coverage were between 0.4394 – 2.4128 and 0.7983 – 5.3810 respectively, showing no consistent trend with the desertification level of the 6 communities, but be in line with the fact that standing litter and ground litter was less affected by drought and more stable in this extremely arid disturbance event. By further regression analysis made between living biomass coverage and each part of its components such as annual plants coverage and perennial plants coverage, showing that the correlation relationship between living biomass coverage and annual plants coverage was lower and weak, while that between living biomass coverage and perennial plants coverage was higher and significant, the source and constituents of the resistance could be understood and it could be concluded that living biomass was mainly consisted of perennial plants under this extremely aridity event. Therefore, it could be concluded that the resistance was mainly from perennial plants. Through the quantitative definition of vegetation stability with resistance, it could be concluded that, loss of biodiversity, especially loss of perennial plants, was the main mechanism and fundamental reasons for decreased community stability in desertification. The results could be explained from a reverse aspect as that biodiversity promoted the 6 desertified communities' resistance stability under the short period of aridity disturbance, and also could be seen as an answer to the ecological questions such as "biodiversity's function in ecological system" and "biodiversity and stability".

Key Words: stability; resistance; biodiversity; ecological function; desertification

稳定性概念经历了从早期研究植被在演替过程中的变化到目前研究植被在人为干扰和自然干扰下的变化的演变过程^[1-2]。干扰可看作是使生态系统离开稳定状态的一切外部作用。干扰可能改变群落的物理环境,也可能改变群落的生物成分,从而破坏植被系统的稳定性。

已经提出可以从抵抗力和恢复力两个方面对系统受到干扰后的稳定性进行表达^[3-4]。尽管有了明确的定义,但对于抵抗力和恢复力的野外测定仍然有着巨大的困难。由于所涉及的群落物种组成、环境条件(土壤、温度、光照、降雨等)、干扰的类型和具体形式、干扰的强度和大小、干扰的时间尺度、干扰的空间尺度等多种复杂因素的可比性^[5]难以同时得到满足,无论是对实验群落进行人工操控实验,还是对自然群落在自然条件下的变化进行对比调查研究,都较为困难。致使对具体群落抵抗力和恢复力的量化研究十分缺乏,指标停留在概念阶段。

干旱半干旱区域的植被最经常受到的干扰是降雨量的缺乏对植被发育和群落生产力的影响,因而,干旱条件下植被的稳定性是较早受到注意的研究课题^[6-7]。研究干旱条件下植被的稳定性一个有利的条件是:干旱作为干扰的形式对于处在其作用范围内(所研究的群落处在同一区域或植被气候带内)的所有群落具有一致的尺度和强度(干扰的时间尺度、空间尺度和干扰的强度满足可比性条件),便于群落之间的比较;不利的条件是:当采用反映时间序列上植被变化程度的指标如变异系数或弹性(为了消除量纲影响采用植被的变异系数与环境变量的变异系数的比值)等对稳定性进行度量的直接分析方法时,需要以反映植被动态及其变化趋势的较长时间尺度的观测资料为基础,才有可能对稳定性做出评价^[8]。

沙漠化是主要发生在干旱、半干旱地区及部分半湿润地区以植被破坏为起点的土地质量下降和退化的生态过程。研究沙漠化过程植被的稳定性是深入认识沙漠化发生发展规律与机理、为沙漠化防治提供必要科学

基础和知识依据的需要^[9]。

本文以我国北方典型沙漠化区域科尔沁沙地处于不同沙漠化程度的退化沙质草地群落为对象,挖掘利用该地历年植被调查资料,结合2002—2003年发生在该区域的异常气候变化并由此引起的植被变化所提供的特殊事件,从抵抗力概念出发,构建抵抗力指数,尝试性地对不同沙漠化程度植物群落在极端干旱事件干扰下的抵抗力进行量化测度和比较分析,从群落稳定性角度进一步认识沙漠化发生发展的规律和机理,并为将抵抗力概念具体应用于实际群落稳定性研究提供借鉴。

1 研究区域自然概况

研究在位于科尔沁沙地中南部的内蒙古自治区奈曼旗境内中国科学院奈曼沙漠化研究站进行,地理位置120°41'E, 42°54'N。该地区属半干旱气候,多年平均降水量366mm,年蒸发量1935mm,年均气温6.5℃,1月份平均气温-12.7℃,7月份平均气温23.7℃,≥10℃积温3000℃以上,无霜期150d。年均风速3.5m/s,8级以上大风年均21次,主要发生在春季3—5月份。土壤类型为沙质栗钙土,经破坏后则退化为流动风沙土。沙土基质分布广泛,风沙活动强烈^[10]。

2 研究方法

2.1 研究思路和依据

根据历年在该地进行植被调查时的观察以及随后对相关气象观测数据进行的分析表明(图1),2003年科尔沁地区的降雨非常特殊,在6月9日以前基本未发生有效降雨,在这种情况下植被经受了极为严重的干旱,生长衰弱,群落盖度降低。而在生长季的中后期(6月9日以后)降雨频繁,连续集中的降雨使土壤水分明显改善,深层水分也得到了较高程度的补给,在土壤水分的影响下植被在中后期的生长良好,得到了很好的恢复,反而使生长季结束时的植被状况成为在此之前十多年来科尔沁地区植被发育最好的一年。截止当年最后一次植被调查时(8月10日)的总降雨量与2002年相差并不是非常大,但植被的变化却非常明显。

由于降雨情况的变化,使植被在一年内的变化完全表现出了从前期的经受极端干旱而生长衰弱到后期的迅速生长而呈现一片繁茂两个明显不同而完整的阶段。在连续2a(2002年,2003年)的时间尺度内,假定没有气候的异常情况及剧烈的人为干扰,植被无论在生长季末的发育程度(物种组成、盖度和生物量)还是在年内的节律和步骤上其变化应该不会太大。把植被在2003年的生长过程分为前期(生长季开始约4月20日至6月9日)和后期(6月9日以后至生长季结束约8月10日)两个阶段,与2002年同期的植被情况进行对比,联系两年之间的气候变异,则有理由把同一群落之间的差异归为异常气候事件所引起。因此,把2003年6月9日以前植被的表现与2002年同期的植被状况相比可看作是植被对极端干旱的抵抗力,从而使得利用连续2a(2002年,2003年)的资料对植被的抵抗力进行评价成为可能。

2.2 样地选择

区域植被是由不同退化程度的群落斑块构成的斑块镶嵌景观格局,具有高度的空间异质性,这就为不同沙漠化程度群落样地的选择提供了可能。从沙地表面环境状况、群落的物种组成与发育状况判断群落的沙漠化程度,用空间代替时间的方法,在野外选取了分别处于潜在沙化、轻度沙化、中度沙化、重度沙化、极严重沙化等6个群落样地,把它们按照沙漠化程度从轻到重的顺序排列为群落1、群落2、群落3、群落4、群落5、群落6(表1)。

表1 不同沙漠化程度群落样地概况

Table 1 The state of community plots

项目 Item	群落序号 The number of communities					
	1	2	3	4	5	6
沙地状态 State of the sandy land	FS	SFS	SMS	SMS	MS	MS
沙化程度 Desertification degree	ND	LD	MD	SD	SD	ED

FS: 固定沙地 Fixed sandy land; SFS: 半固定沙地 Semi-fixed sandy land; MS: 流动沙地 Mobile sandy land; SMS: 半流动沙地 Semi-mobile sandy land; ND: 潜在沙化 Non-desertified; LD: 轻度沙化 Lightly desertified; MD: 中度沙化 Medium desertified; SD: 重度沙化 Seriously desertified; ED: 极严重沙化 Extremely desertified

2.3 调查方法

对上述所选择的不同沙漠化程度的6个退化沙质草地群落样地从每年生长季开始(约为每年4月下旬)每隔半月进行定期群落调查,直至每年生长季结束(约为每年8月中旬左右)。主要调查植被的现存活生物量盖度和物种组成,以及立枯盖度和地面枯落物盖度。生长季结束的最后一次调查中测定生物量。每群落以样带法确定30个1m²样方进行调查。

2003年6月9日开始连续降雨,直至6月15日才停止,于是这个时间段的群落调查就在降雨后的6月17—19日进行。可以认为该次群落调查结果能够反映该年以第一次有效降雨为分界线的前一个阶段的植被状况,是植被经历严重干旱后的表现,反映植被对干旱的耐受能力和抵抗力。

2.4 分析方法

根据气候异常情况和植被的相应变化,以及为了满足反映植被抵抗力的需要,本文主要提取2003年6月17—19日通过上述调查方法得到的群落调查结果,并与2002年对应期间的群落调查结果进行比较分析,以抵抗力指数反映植被的抵抗力。

根据抵抗力概念,本文将经历干旱干扰后的植被指标与未受干旱干扰的正常年份的植被指标的比值,定义为抵抗力指数。本研究中采用的植被指标是区分活生物量、立枯、地面枯落物等不同组分的盖度,将2003年6月17—19日调查的植被各组分盖度指标分别与2002年同期对应指标相比,比值即为以不同组分(活生物量、立枯、地面枯落物等)表示的植被抵抗力分指数;将抵抗力分指数平均即为抵抗力综合指数:

$$\text{抵抗力分指数} = \frac{\text{2003年6月植被调查指标(活生物量盖度、立枯盖度、地面枯落物盖度)}}{\text{2002年同期对应植被指标}}$$

$$\text{抵抗力综合指数} = \frac{1}{n} \sum \text{抵抗力分指数}$$

抵抗力指数越大,表明植被的抵抗力越强,从抵抗力来看植被的稳定性也越高。

3 结果分析

3.1 研究期间异常气候条件及植被变化的一般描述

气温和降雨量是影响植被发育最为重要的两个气象因子。一般来说,年际间气温相对稳定,变化较小,在一个较短的时间尺度内气温的变化不致于引起植被很大的变化。而降雨量则是相对易变的因素,甚至在较短的时间尺度内如年际间经常发生大的变化而致植被盖度和群落第一性生产力大幅波动,特别是干旱半干旱区普遍存在着降水变率大的问题。

从气温来看,除3月份2a的差异较明显外,1—8月份各月的平均温度2002年和2003年没有大的差异(表2),说明两年的生长季基本同步,植物生长和植被发育的季节节律和热量基础不会有大的差异。

表2 2a 生长期的气温比较

Table 2 Temperature in 2002 and 2003/°C

年份 Year	月份 Month							
	1	2	3	4	5	6	7	8
2002	-8.84	-4.23	3.09	9.69	18.54	19.89	24.46	21.61
2003	-12.21	-6.41	-0.22	10.45	17.32	20.06	23.25	22.21

从降雨量来看,主要在降雨的时间分配上2002年和2003年有着较大的差异(图1)。2002年的降雨次数频繁,每次的降雨量小,在时间上分配比较均匀。而2003年的降雨主要集中在6月9日以后,在此之前从1月份开始计算的降雨量仅为7.7mm,而2002年同期的降雨量已经达到51.59mm。其次,2003年后期的降雨连续而集中,最大连续降雨量达到38.9mm,而这种一次连续降雨形成较大降雨量的情况在2002年要少得多(图2)。连续集中的降雨形式有利于深层土壤水分的补给和回升,少量频繁的降雨只能湿润浅层土壤,更有利于草本植被的发育。统计期间的总降雨量2003年比2002年多出26.25mm,约为12.80%,而降雨频次2003年则比2002年少11次,约少33.3%(图3)。

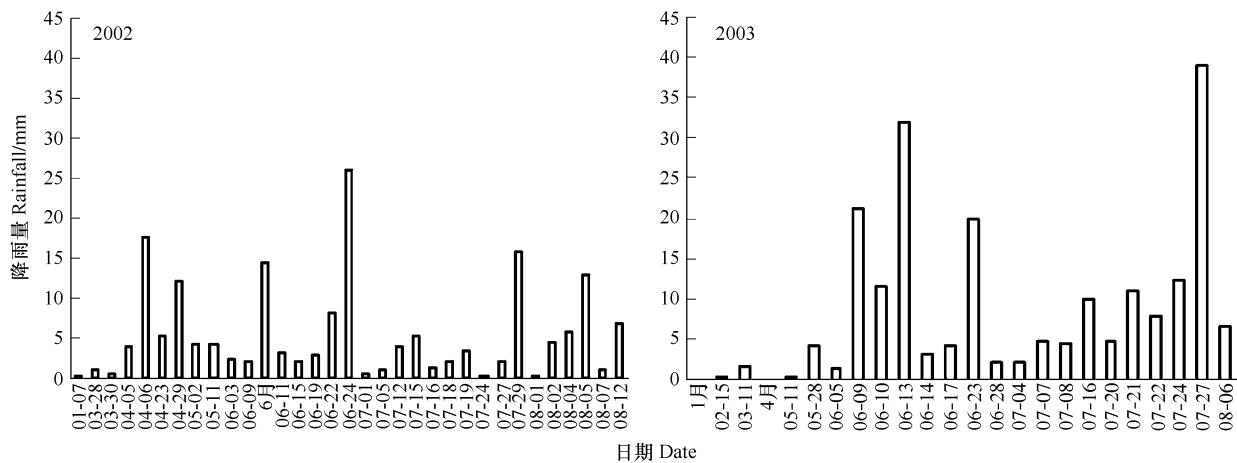


图1 降雨时间分布

Fig. 1 Temporal distribution of precipitation in 2002 and 2003

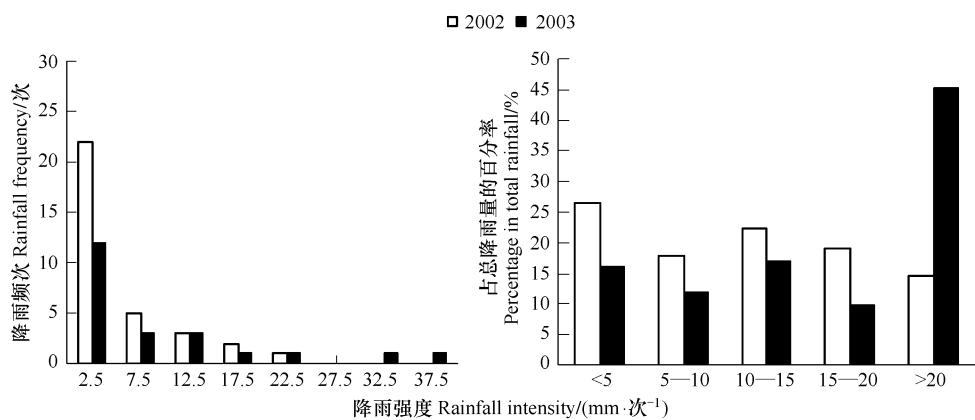


图2 降雨的强度分布

Fig. 2 Rainfall intensity distribution in 2002 and 2003

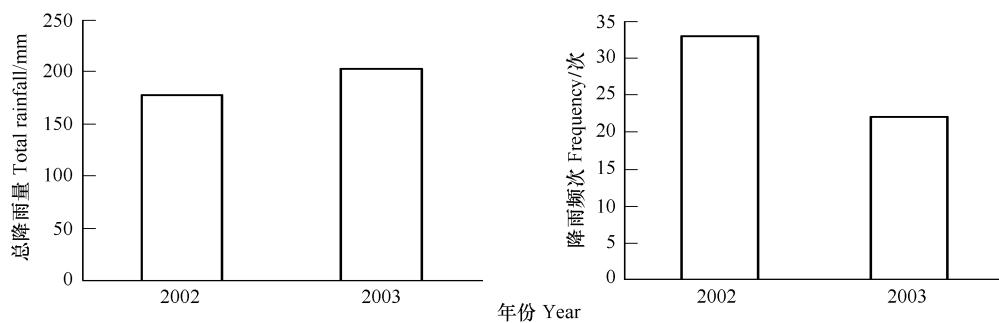


图3 总降雨量和总降雨频次

Fig. 3 Total rainfall and total frequency

3.2 不同退化程度沙质草地群落抵抗力的比较

以现存活生物质盖度指标计算的6个不同沙漠化程度群落抵抗力分指数除群落4为0.8615,其余都很小,为0.0217—0.1760(表3)。除群落4外,从群落1到群落6随着退化程度的加重,群落活生物质的抵抗力

逐渐减小。抵抗力指数的情况说明,在干旱的影响下群落的生长受到严重影响,在生长季基本无有效降雨的情况下地面层植物群落的生长很差。而群落4的抵抗力指数最高,是由于差巴嘎蒿占有较高的优势度(表5),使群落盖度仍达到了11%(表4),说明差巴嘎蒿作为一种多年生半灌木植物对干旱的抵抗力较强。但差巴嘎蒿也仅仅是保持存活,生长很差。除群落4外,其它5个群落地上现存活生物质的有效盖度低于5%。根据当年植被调查时的现场观察和记录,从外貌景观上看,已进入初夏的整个草原一片枯黄、毫无生机,只有道路、农田地埂边的树木等木本植物给干旱枯黄的草原点缀上斑驳的绿色,带来一点生机。

但以立枯和地面枯落物等死生物质盖度指标计算的抵抗力分指数则表现出不同的特征(表3)。以立枯盖度计算的6个群落的抵抗力分指数在0.4394—3.1292,平均值为1.6582;以地面枯落物盖度计算的6个群落的抵抗力分指数在0.7983—1.5455,平均值为1.9133。都显著高于以活生物质盖度计算的抵抗力分指数。

表3 退化沙质草地群落的抵抗力指数

Table 3 The resistance index of sandy range land communities

类型 Components	群落序号 The number of communities						平均 Mean
	1	2	3	4	5	6	
现存活生物质 Living biomass	0.1760	0.1263	0.1164	0.8615	0.1882	0.0217	0.2484
立枯 Standing litter	2.4128	1.2517	0.4394	1.4055	1.3104	3.1292	1.6582
地面枯落物 Ground litter	1.3206	0.7983	5.3810	1.2805	1.1538	1.5455	1.9133
各群落抵抗力综合指数 CRI	1.3031	0.7254	1.9789	1.1825	0.8841	1.5655	1.2733

CRI: 抵抗力综合指数

表4 退化沙质草地群落的生长情况(盖度/%)

Table 4 Plants growth of sandy range communities (Coverage) Mean (SD)

类型 Components	2002年6月 June in 2002						2003年6月 June in 2003					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
LB	24.20 (6.99)	13.94 (9.55)	10.14 (6.77)	12.56 (6.23)	8.29 (3.00)	6.91 (3.11)	4.26 (2.73)	1.76 (2.12)	1.18 (1.45)	10.82 (5.93)	1.56 (1.59)	0.15 (0.43)
SL	10.32 (5.18)	8.78 (5.66)	3.30 (1.23)	8.68 (6.45)	4.22 (4.31)	2.71 (1.81)	24.9 (17.78)	10.99 (17.88)	1.45 (1.83)	12.2 (12.14)	5.53 (4.65)	8.48 (9.81)
GL	5.77 (5.13)	3.52 (3.78)	0.21 (0.33)	0.82 (1.06)	0.13 (0.23)	0.11 (0.10)	7.62 (4.81)	2.81 (2.79)	1.13 (1.01)	1.05 (1.15)	0.15 (0.42)	0.17 (0.91)

LB: 活生物质; SL: 立枯; GL: 地面枯落物

3.3 退化沙质草地群落抵抗力的来源和构成分析

对6个不同沙漠化程度草地群落的物种构成进行的分析比较则说明(表5),多年生草本植物和多年生的半灌木植物具有一定的抵抗力。植被调查现场的观察结果也显示,在这种极端干旱的情况下植被有限的一点活生物量覆盖基本都由多年生植物所贡献。

进一步以各群落活生物质盖度分别与多年生植物的盖度和1年生植物的盖度进行的回归分析表明(图4),6个群落都表现出活生物质盖度与多年生植物的盖度密切相关,而与1年生植物盖度无相关,说明群落的活生物质盖度主要来源于多年生植物,一年生植物的贡献很小。由此可以说,植被的抵抗力主要来源于多年生草本植物及多年生的半灌木植物。

把群落总盖度分别与活生物质盖度、地面枯落物(立枯)盖度进行回归分析表明(图5),群落总盖度与活生物质盖度之间相关性微弱,而与枯落物(立枯)盖度相关性较强。这说明,受干旱影响植物生长很差,活生物质在群落总生物质构成中的地位和作用较小,而地面枯落物和立枯等非活生物质则在群落总生物质构成中占重要地位。抵抗力指数的计算也表明(表3),分别以群落立枯盖度和地面枯落物盖度计算的抵抗力指数在各群落都保持较高的值。说明由于植被在干旱条件下生长衰弱,活生物量不能对地表产生有效覆盖。而相反,在这种情况下立枯和地面枯落物等非活生物质受干旱的影响较小,其在群落中的地位和作用显得重要,对维持群落生态功能稳定起重要作用,它们对地表的覆盖具有显著的防风固沙作用,是植被生态功能的重要方

面和具体体现形式之一。

表5 退化沙质草地群落的物种组成(盖度/%) (2003年6月)

Table 5 Species composition of sandy range land communities(coverage) June in 2003 Mean(SD)

群落序号 NC	1年生植物 Annual plants					多年生植物 Perennial plants					总计 Total
	沙米 As	狗尾草 Sv	防风 Sd	其它 Others	合计 Total	差巴嘎蒿 Ah	隐子草 Cs	冷蒿 Af	其它 Others	合计 Total	
1	0	0	0.06 (0.17)	0.02 (0.06)	0.08 (0.18)	0	3.49 (2.57)	0.10 (0.40)	0.59 (1.25)	4.18 (2.73)	4.26 (2.73)
2	0	0	0.06 (0.40)	0.08 (0.48)	0.15 (0.61)	0.38 (0.93)	0.9 (0.94)	0.14 (0.63)	0.70 (1.41)	1.62 (2.00)	1.76 (2.12)
3	0	0	0	0.20 (0.34)	0.20 (0.34)	0.21 (0.85)	0	0	0.77 (1.36)	0.98 (1.50)	1.18 (1.45)
4	0	0	0	0.21 (0.69)	0.21 (0.69)	8.93 (6.25)	0	0	1.68 (3.58)	10.61 (5.97)	10.82 (5.93)
5	0	0	0	0	0	1.46 (1.52)	0	0	0.1 (0.28)	1.56 (1.59)	1.56 (1.59)
6	0	0	0	0	0	0.09 (0.26)	0	0	0.07 (0.37)	0.15 (0.43)	0.15 (0.43)

NC: the number of communities; As: *Agriophyllum squarrosum* (L.) Moq.; Sv: *Setaria viridis* (L.) Beauv.; Sd: *Saposhnikovia divaricata* (Turcz.) Schischk; Ah: *Artemisia halodendron* Turcz. ex Bess; Cs: *Cleistogenes squarrosa* (Trin.) Keng; Af: *Artemisia frigida* Willd

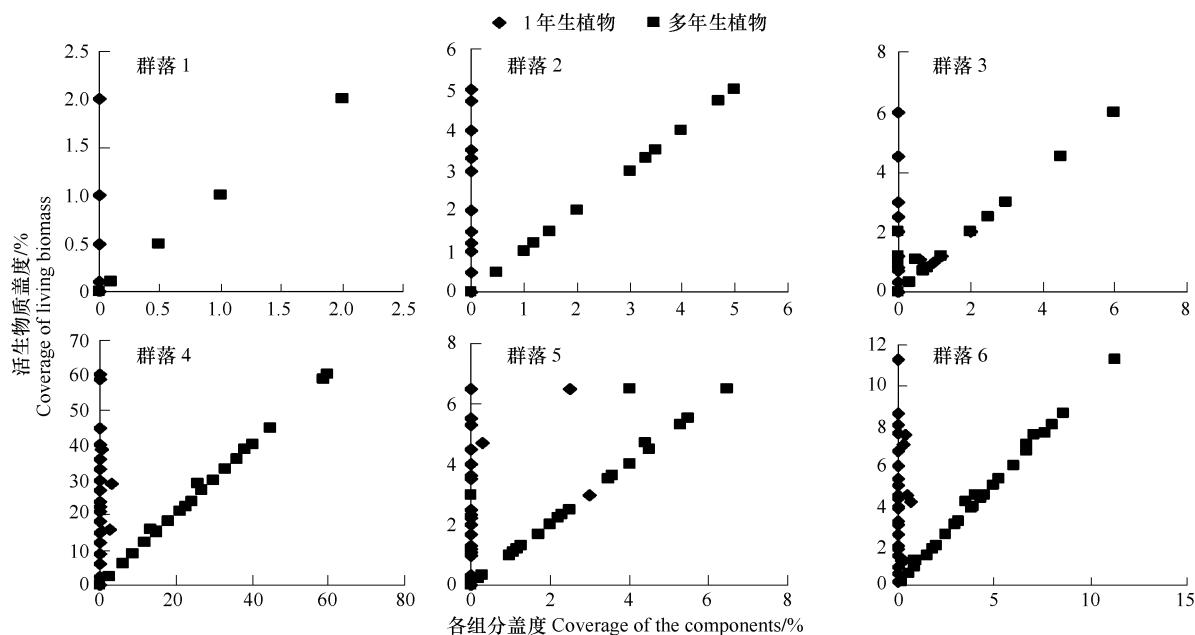


图4 群落中活生物质盖度与1年生植物和多年生植物生活型组分的相关性(2003年6月)(n=30)

Fig. 4 Correlation between total live biomass and biomass of annual plants and perennial plants (June in 2003) (n=30)

4 讨论

4.1 植物生活型与抵抗力稳定性

经过上面的分析可以看出:群落的抵抗力主要来源于多年生植物,6个不同退化程度沙质草地群落除群落4外基本都由草本植物组成,而群落4由于差巴嘎蒿这种半灌木植物的存在而表现出6个群落中最高的抵抗力稳定性。这种现象是由于植物生活型差异引起与环境条件的关系和适应方式不同而产生。草本植物的根系分布浅,吸水范围小,主要靠降水补充的表层或浅层土壤水分来源,造成植物对干旱的抵抗力较低,在气候十分干旱和长期没有降雨的情况下,浅表层土壤由于长期得不到水分补给,其有效水含量极低,这时植物就不能萌发生长,无法形成可观的活生物量和对地表的有效覆盖,植被表现为一片枯黄、毫无生机,植被的稳

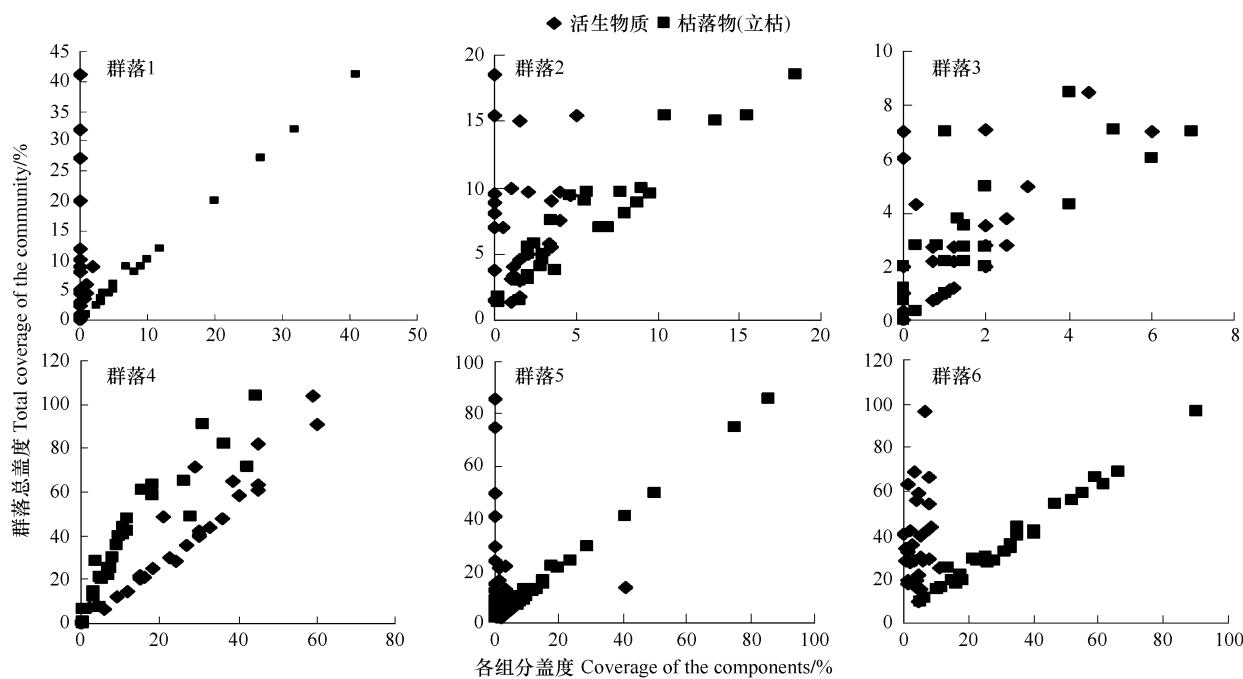


图5 群落总盖度与活生物质和枯落物(立枯)组分盖度的相关性(2003年6月)($n=30$)

Fig. 5 Correlation between community cover and cover of live plants and litters (June, 2003) ($n=30$)

定性差。相对于草本植物,差巴嘎蒿作为一种半灌木型木本植物的根系则分布较为深广,吸水的范围较大,在极端干旱的条件下,其水分供应的保证率高于草本植物,因而抵抗力较强,稳定性较高。

在草本植物中,1年生草本植物依靠种子繁殖,个体小而数量大的种子具有非常强的散布能力,以及种子在土壤中的多年积累形成了库容庞大的土壤种子库,保证了种群恢复和植被稳定的种源条件。但1年生植物每年都要经过种子萌发阶段,对于主要由1年生植物构成的植被,种子萌发成功与否是种群繁殖和维持植被繁衍与稳定的基础。其中,水分条件是否满足是决定种子萌发成功与否的主要因素。

草本植物中,多年生草本植物在极端干旱条件下仍保持根系和生长点的存活,在土壤水分得不到充分补充的情况下能继续萌发生长,形成生物量,其所需的水分条件低于1年生植物种子萌发所需要的水分条件。因而如上所述,多年生植物构成群落抵抗力的主要来源,其抵抗力稳定性高于1年生植物。因此,植物的生活型、生活史特征和对环境的适应方式等生态特性是构成植被稳定性的来源和基础。

4.2 植被稳定性对水分条件的依赖

水分是植物生长和植被发育的条件,也是植被维持稳定的条件。植被盖度和群落生产力随降水波动具有必然性,是植被稳定性对水分条件依赖的具体表现。植被生态功能表现出对水分条件的强烈依赖是植被稳定性的本质特征,是由植物个体生长与水分关系的本质属性所决定。根据时间序列上的长期资料对青藏高原高寒草甸植被的研究结果表明,以变异系数和弹性为稳定性指标,与年降水量的较高波动性相比,高寒草甸植被的生物量和生产力表现出相当高的稳定性^[8]。这种以时间系列上群落生物量和生产力的变异系数和弹性为指标的直接分析方法得到的稳定性应该是群落抵抗力和恢复力的综合表现。但植物对干旱的抵抗和忍耐是有限度的,抵抗力稳定性是在一定的水分条件范围内植被的表现。植被的稳定性有许多复杂的特性^[8],需要从环境条件与群落生态过程的联系中具体地认识它的特征。很多时候并不存在“稳定或不稳定”、“稳定性强或弱”这样简单明确的结论。对一个具体的研究对象,稳定性是群落一切生态过程的结果,由于生态因素和生态过程的错综复杂,它总是与一定的条件相联系,并随着所讨论问题的时空尺度而变化^[11],它是相对的,而非绝对的。

4.3 稳定性的时间尺度特征

从水分平衡和耗水量的角度看,草地植被是比木本植被更稳定的植被类型,因为草本植物耗水量低,且以消耗浅表层的土壤水分为主,木本植物则以消耗更为深层的土壤水分为主,而在干旱半干旱地区降水对浅表层土壤水分补给的保证率大于对深层补给的保证率。在一个较大的时间尺度内(至少一个世代),随着时间的延续,乔灌木植物对深层储藏的水分消耗加剧,深层土壤含水量越来越低,降水对土壤水分的补给不足以满足乔灌木树种对水分的需求,这时,木本植物植被便不能再继续稳定地存在下去。在一个较短的时间尺度内如1a或更多一些,如在遇到2003年这样极端的干旱气候下,木本植物由于其很强的抵抗力和深层水分供给的保证率,仍能积累生物量,在这种情况下其稳定性又高于草本植被。因此,稳定性的评价还涉及到时间尺度问题^[5],不同时间尺度下群落稳定性具有显著的差异,在进行稳定性的比较时应确保群落或生态系统所受干扰的时间尺度与讨论稳定性概念所隐含的时间尺度是一致的。

4.4 群落演替与植被稳定性

沙漠化过程植被的变化具有明显的群落演替特征^[12]。由于群落演替是群落在时间上的变化,很自然就与稳定性相联系,就有不少稳定性研究主要针对演替过程群落物种组成的变化^[13],但是这种稳定性的含义稍有不同,它主要研究演替过程中群落物种组成的变化,以物种组成作为群落稳定的指标,很少涉及群落生态功能的维持,认为当群落越接近于顶级时,物种组成变化就越小,群落相对稳定。同时,演替也是群落内部的变化,在讨论演替过程中的稳定性时,一般不与外部的作用力(干扰)联系起来。最早在植被领域提出稳定性概念也是针对群落演替提出^[14],而目前大多数关于稳定性研究是指群落受到干扰后的变化。

4.5 枯落物、立枯等非活生物质与植被稳定性

植被稳定性主要指现存活生物量的稳定性。植物生长具有年周期,植被作为陆地表面最大的生态系统其主要功能和本质特征是进行第一性生产,只有现存生物量维持稳定,植被的生态功能才能维持稳定。但是也要看到,枯落物、立枯等非活生物质是群落活生物量转化的重要形式,构成群落总生物量的重要部分,是群落的重要组成部分,是群落生态功能得以实现的一个环节。枯落物、立枯等非活生物质具有重要的生态功能,是生态系统物质循环的一种形式,是植物第一性生产力的积累,是生物有机物质向土壤有机质转化并最终归还土壤、释放养分的中间环节,枯落物对地表的覆盖是群落涵养水源、保持水土、防风固沙等生态作用得以实现的重要途径。对于沙地脆弱生态系统来说,由于植被第一性生产力很低,特别是在严重沙漠化阶段群落生态功能非常薄弱,地表风沙流活动强烈,土壤贫瘠,严重制约植物生长和植被发育,立枯以及地面枯落物构成了群落总生物量的重要部分,它们在地表的存留同样具有抵御风沙流的显著作用^[15],而且枯落物是启动植被-土壤之间物质转化、实现良性循环的通路。可以看到,在极端严重干旱条件现存活生物量很低的情况下,立枯和枯落物构成群落生物量和地表覆盖的主要部分,它们受干旱的影响较小,成为群落抵抗力稳定性的重要来源。因此,立枯和地面枯落物等非活生物质具有稳定群落生物量的作用,对于维持群落生态功能具有重要意义。

4.6 沙漠化过程植被稳定性变化机制及多样性的生态系统功能

通过对不同退化程度沙质草地群落抵抗力来源与构成的比较与分析,结果表明,沙漠化过程随沙漠化程度的发展,群落稳定性下降,其机制主要在于随沙漠化程度的发展,多年生植物在群落中的比例和作用下降,物种多样性降低,群落物种组成单一化。多年生植物具有许多重要的生态功能,它们更有利于保持种群稳定,具有高的抵抗力稳定性(相对于1年生植物)。

“多样性的生态系统功能”、“多样性与稳定性”是具有重要理论意义和实践指导价值的生态学基本问题^[16-17]。多年来相关研究结论仍然存在着争议,但大多数实验研究结论是肯定的^[8, 17-19],认为多样性促进稳定性,但二者未必是正比关系^[8],而主要是种间补偿作用^[19],或功能群之间的补偿作用^[17-19]。多年生植物和1年生植物是草本植物的2种基本生活型,具有不同的生活史特征和对环境的适应方式,是生物多样性的具体表现形式。本研究中,多年生植物和1年生植物抵抗力的不同表现是对“多样性的生态系统功能”、“多样

性与稳定性”问题¹给出的以所研究的沙漠化过程退化沙质草地群落在特定生物地理气候条件下的变化和反映为例证的回答。研究结果表明,物种多样性(生活型多样性)促进退化沙质草地群落在短期极端干旱事件干扰下的抵抗力稳定性。

References:

- [1] Zhang J Y, Zhao H L. Review on the study of vegetation stability. Chinese Journal of Ecology, 2003, 22(4) : 42-48.
- [2] Liu X W, Zhou H C, Li P, Peng S L. A conceptual analysis on ecosystem stability. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(11) : 2635-2640.
- [3] May R M. Will a large complex system be stable. Nature, 1972, 238(5364) : 413-414.
- [4] Pimm S L. The complexity and stability of ecosystems. Nature, 1984, 307(5949) : 321-326.
- [5] Han B P. Ecosystem stability: concepts and their expression. Journal of South China Normal University (Natural Science Edition), 1994, 38(2) : 37-45.
- [6] Tilman D. Biodiversity: population versus ecosystem stability. Ecology, 1996, 77(2) : 350-363.
- [7] Frank D A, McNaughton D. Stability increases with diversity in plant communities: empirical evidence from the 1988 Yellowstone drought. Oikos, 1991, 52(2) : 360-362.
- [8] Zhou H K, Zhou L, Zhao X Q, Liu W, Li Y N, Gu S, Zhou X M. Stability of alpine meadow ecosystem on the Qinghai-Tibetan Plateau. Chinese Science Bulletin, 2006, 51(1) : 63-69.
- [9] Wang T. The progress of research on aeolian desertification. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2009, 24(3) : 290-296.
- [10] Zhao H L, Zhou R L, Su Y Z. Changes of soil organic C and total N contents as affected by desertification in Horqin Sand Land, north China. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(3) : 0976-0982.
- [11] Lacroix G, Abbadie L. Linking biodiversity and ecosystem function: an introduction. Acta Oecologica, 1998, 19(3) : 189-193.
- [12] Zhang J Y, Zhao H L, Zhang T H, Zhao X Y. Community succession along a chronosequence of vegetation restoration on sand dunes in Horqin Sandy Land. Journal of Arid Environments, 2005, 62(6) : 555-566.
- [13] Zheng Y R. Comparison of methods for studying stability of forest community. Scientia Silvae Sinicae, 2000, 36(5) : 28-32.
- [14] Clements F E. Nature and structure of the climax. Journal of Ecology, 1936, 24(2) : 252-284.
- [15] Zhang J Y, Zhao H L, Cui J Y, Zhang T H. Biomass of *Agriophyllum squarrosum* community and its function on mobile sand dune in Horqin Sandy Land. Journal of Soil Water Conservation, 2003, 17(3) : 152-155.
- [16] Huang J H, Han X G. Biodiversity and ecosystem stability. Chinese Biodiversity, 1995, 3(1) : 31-37.
- [17] Bai Y F, Li L H, Huang J H, Chen Z Z. The influence of plant diversity and functional composition on ecosystem stability of four *Stipa* communities in the Inner Mongolia Plateau. Acta Botanica Sinica, 2001, 43(3) : 280-287.
- [18] 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. Acta Phytocologica Sinica, 2000, 24(6) : 641-647.
- [19] Tilman D, Lehman C L, Bristow C E. Diversity-stability relationships: statistical inevitability or ecological consequence. American Naturalist, 1998, 151(3) : 277-282.

参考文献:

- [1] 张继义, 赵哈林. 植被(植物群落)稳定性研究评述. 生态学杂志, 2003, 22(4) : 42-48.
- [2] 柳新伟, 周厚诚, 李萍, 彭少麟. 生态系统稳定性定义剖析. 生态学报, 2004, 24(11) : 2635-2640.
- [5] 韩博平. 生态系统稳定性: 概念及其表征. 华南师范大学学报(自然科学版), 1994, 38(2) : 37-45.
- [8] 周华坤, 周立, 赵新全, 刘伟, 李英年, 古松, 周兴民. 青藏高原高寒草甸生态系统稳定性研究. 科学通报, 2006, 51(1) : 63-69.
- [9] 王涛. 沙漠化研究进展. 中国科学院院刊, 2009, 24(3) : 290-296.
- [10] 赵哈林, 周瑞莲, 苏永中. 科尔沁沙地沙漠化过程中土壤有机碳和全氮含量变化. 生态学报, 2008, 28(3) : 0976-0982.
- [13] 郑元润. 森林群落稳定性研究方法初探. 林业科学, 2000, 36(5) : 28-32.
- [15] 张继义, 赵哈林, 崔建垣, 张铜会. 科尔沁沙地流动沙丘沙米群落生物量特征及其防风固沙作用. 水土保持学报, 2003, 17(3) : 152-155.
- [16] 黄建辉, 韩兴国. 生物多样性和生态系统稳定性. 生物多样性, 1995, 3(1) : 31-37.
- [17] 白永飞, 李凌浩, 黄建辉, 陈佐忠. 内蒙古高原针茅草原植物多样性与植物功能群组成对群落初级生产力稳定性的影响. 植物学报, 2001, 43(3) : 280-287.
- [18] 白永飞, 陈佐忠. 锡林河流域羊草草原植物种群和功能群的长期变异性及其对群落稳定性的影响. 植物生态学报, 2000, 24(6) : 641-647.