

孙一梅,田青,吕朋,等.科尔沁沙地沙质草地与固定沙丘植物群落结构对极端干旱的响应[J].中国沙漠,2021,41(1):129-136.

科尔沁沙地沙质草地与固定沙丘植物群落结构对极端干旱的响应

孙一梅¹,田青¹,吕朋^{2,3},郭爱霞³,李平平¹,朱丽琴¹,左小安²

(1.甘肃农业大学 林学院,甘肃 兰州 730070; 2.中国科学院西北生态环境资源研究院 奈曼沙漠化研究站,甘肃 兰州 730000; 3.中国科学院大学,北京 100049)

摘要: 为了探究沙地植物群落结构特征对极端干旱的响应,通过野外模拟试验开展了极端干旱(生长季减雨60%与干旱60 d)对沙质草地和固定沙丘植物群落丰富度、地上生物量和叶性状等群落结构特征影响的研究。结果表明:(1)生境变化对植物群落地上生物量和叶干物质含量(LDMC)具有显著影响($P<0.05$),草地地上生物量和LDMC显著高于固定沙丘,而物种数、植被盖度、高度和比叶面积(SLA)在两种生境间无显著差异($P>0.05$);(2)极端干旱处理显著影响沙地植物群落盖度、地上生物量和LDMC($P<0.05$),减雨60%显著降低了植物群落盖度和地上生物量,而干旱60 d显著降低了植物群落盖度、地上生物量、高度和LDMC;植被特征和叶性状在减雨60%和干旱60 d处理间无显著差异($P>0.05$);(3)减雨60%和干旱60 d显著降低了草地和固定沙丘的植被盖度和地上生物量,而干旱60 d也降低了固定沙丘的植物高度和LDMC($P<0.05$);(4)相关分析表明,沙地植物群落地上生物量与盖度、高度和LDMC显著正相关($P<0.05$)。极端干旱事件的发生会极大地改变沙地一年生为主的植物群落组成和功能,而沙地不同生境植被则通过改变植物群落组成、优势种及其关键性状的变化来适应极端干旱。

关键词: 极端干旱; 生境类型; 植被特征; 叶性状

文章编号: 1000-694X(2021)01-129-08

DOI: 10.7522/j.issn.1000-694X.2020.00065

中图分类号: Q948.15

文献标志码: A

0 引言

人类活动的加剧显著影响全球大气循环格局,导致极端气候事件频发^[1-2]。1959—2009年中国南方降水高于正常水平,而北方降水低于正常水平,降水格局从“南干北湿”转变为“北干南湿”^[3]。中国内蒙古草原区多呈暖干化趋势^[4]。多个模型预测未来极端干旱和极端降水事件发生的频率和强度会逐渐增加^[2,5-6]。分布在干旱半干旱地区的沙地植物对降水变化较为敏感,一次有效的降水可能导致植物群落发生显著变化^[7]。封育作为退化沙地植被恢复和生态重建的重要措施,可以降低或完全排除人畜对草地生态系统的影响,促进植被生产力恢复^[8-9]。固定沙丘与沙质草地经过长期自然封育形

成,两种生境间土壤资源差异导致植物群落特征及功能性状存在明显差异^[10-11]。

植物群落组成和结构是自然演替的结果,对生态系统的稳定性具有深远影响^[12]。在持续围封固定过程中,沙丘植物群落的物种丰富度、生物量及生物多样性等发生明显变化。大部分研究发现退化植被恢复过程中物种丰富度、盖度、密度及生物量增加^[13-15],但也有学者认为过度封育反而会使植物群落出现逆行演替趋势,甚至退化现象^[8,16]。植物功能性状作为连接植物与环境的桥梁,反映了植物对环境变化的响应与适应以及不同性状间的相互权衡^[17],其中比叶面积(SLA)和叶干物质含量(LDMC)是研究植物功能性状普遍适用的指标^[18]。通常情况下,不同环境中的植物会采取不同的权衡

收稿日期:2020-03-09; 改回日期:2020-07-07

资助项目:国家自然科学基金项目(41622103,41571106);中国科学院青年创新促进会项目(1100000036);中国科学院大学生创新实践训练计划

作者简介:孙一梅(1995—),女,甘肃张掖人,硕士研究生,主要从事水土保持与植被恢复方面的研究。E-mail: 1142309846@qq.com

通信作者:田青(E-mail: 1620436081@qq.com)

策略来适应环境,以实现资源的最优分配。

近年来,有关科尔沁沙地退化植被恢复方面的研究已经取得了许多重要进展^[19-20],但在极端干旱条件下,该区域环境条件相对较好的沙质草地和固定沙丘植被特征及叶性状变化差异的有关研究仍然较少。因此,本研究调查了沙质草地和固定沙丘两种生境的植物群落组成、高度、盖度和地上生物量,并对其主要优势种的SLA和LDMC进行测定,旨在探讨科尔沁沙地两种不同生境中植物群落特征和功能性状对极端干旱的响应与适应,为深入了解退化植被恢复过程中植物群落特征和性状对极端干旱的响应提供一定的理论依据和实践基础。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于科尔沁沙地中南部内蒙古通辽市奈曼旗(42°55′—42°57′N, 120°40′—120°43′E)境内,属温带大陆性季风半干旱气候,海拔约360 m,年均气温约6.4℃,其中1月最低气温-13.1℃,7月最高气温23.7℃,全年≥10℃的有效积温大于3 000℃,无霜期150 d,年降水量约360 mm,其中70%—80%的降水集中在6—8月,年蒸发量约1 972.8 mm。年均风速3.2—4.1 m·s⁻¹,春冬两季盛行西北风,夏秋两季为西南风。该研究区流动沙丘、半固定沙丘、固定沙丘、丘间低地等各种沙丘类型镶嵌分布,土壤类型以栗钙土为主。流动沙丘优势种为沙米(*Agriophyllum squarrosum*)和狗尾草(*Setaria viridis*);半固定沙丘优势种为大果虫实(*Corispermum macrocarpum*)和差巴嘎蒿(*Artemisia halodendrom*);固定沙丘优势种为冷蒿(*Artemisia frigida*)和黄蒿(*Artemisia scoparia*);草地优势种为黄蒿(*Artemisia scoparia*)、砂蓝刺头(*Echinops gmelini*)和糙隐子草(*Cleistogenes squarrosa*)等^[21]。

1.2 试验设计

本研究依托中国科学院西北生态环境资源研究院奈曼沙漠化研究站,选择长期动态监测的沙质草地和固定沙丘为研究对象。每种生境类型内设置不同的降雨处理:CK(自然降雨)、减雨60%(生长季5—7月)和干旱60 d(生长季5—6月)。每处理6个重复,共36个小区,试验小区在样地内随机布

设。模拟极端干旱试验采用搭建遮雨棚的方法进行,其中凹槽遮雨板的材质为高透光聚碳酸酯,透光率90%。每个试验小区的遮雨棚面积为6 m×6 m,相邻试验小区间过道宽度为2 m。为保证空气畅通将遮雨棚四面敞开,在每个遮雨棚的四周挖1 m深,用包有塑料纸的金属隔板隔开以减小水分侧向干扰。为减小边际效应,周边设置1 m的缓冲区。减雨60%的处理采用条形凹槽遮雨板等间距地固定于遮雨棚顶部,干旱60 d处理则用凹槽遮雨板将试验小区全部遮盖,试验处理结束后拆除遮雨板。

1.3 植被调查及性状测定

2019年8月生物量高峰期进行调查取样,为了避免边缘效应,限制调查采样点离边界至少1 m。在每个样地内随机设置3个1 m×1 m样方,调查每个样方中植物群落物种的组成、高度、盖度,并采用齐地面刈割法分物种收获每种植物,烘干后称重获得地上生物量。在每个样方中选择优势种作为研究对象,参照植物功能性状测定标准方法^[22],测定比叶面积(m²·kg⁻¹)和叶干物质含量(g·g⁻¹),计算公式为:SLA=单叶面积/叶干重;LDMC=叶干重/叶饱和鲜重。

1.4 数据分析

重要值=(相对高度+相对盖度+相对生物量)/3

样地物种数定义为3个调查样方中不同植物物种数之和。

群落水平的植物性状值用植物群落功能性状(CWM)表示^[23],计算公式为:

$$CWM = \sum_{i=1}^n P_i \cdot trait_i \quad (1)$$

式中: P_i 是物种*i*在群落内的相对生物量,即物种*i*的生物量与群落中全部植物物种生物量之和的比值; $trait_i$ 是物种*i*的性状值。

采用单因素方差分析比较不同降雨处理间、生境类型间植被群落特征和性状差异,双因素方差分析比较不同降雨处理、生境类型及其二者的交互作用对植被群落特征和叶性状的影响,多重比较采用最小显著差异法(LSD),所有数值均为平均值±标准误。采用皮尔逊相关分析法探究各指标间的相互关系。所有数据采用SPSS 20.0进行统计分析,Origin 9.0绘图。

2 结果与分析

2.1 不同降雨处理下沙质草地与固定沙丘植物重要值

沙质草地中,对照处理下优势种为糙隐子草和砂蓝刺头,重要值分别为 25.78%、23.18%;减雨 60%与干旱 60 d 处理下优势种均为黄蒿和砂蓝刺头,其重要值分别为 26.02%、20.56% (减雨 60%) 和 26.65%、26.14%(干旱 60 d)。在固定沙丘中,对照处理下优势种为砂蓝刺头和黄蒿,重要值分别为 20.95%、16.65%;减雨 60% 处理下的优势种为尖头叶藜和黄蒿,重要值分别为 25.52%、22.92%;干旱 60 d 处理下的优势种为砂蓝刺头和尖头叶藜,重要值分别为

30.67%、25.84%(表 1)。这说明减雨和短期极端干旱处理导致植物群落组成发生变化,改变了群落的竞争结构。一年生草本黄蒿的优势度在减雨和短期极端干旱条件下高于对照处理,一年生草本砂蓝刺头的优势度在短期极端干旱下达到最大,而多年生草本糙隐子草的优势度与黄蒿表现出相反的变化趋势,表明在极端干旱条件下一年生植物比多年生植物具有更大的优势度和更强的资源竞争能力。

2.2 不同降雨处理下沙质草地与固定沙丘物种数、盖度及地上生物量

生境类型对植物群落地上生物量有显著影响 ($P<0.05$),极端干旱对植被盖度和地上生物量有极

表 1 科尔沁沙地植被在极端干旱条件下重要值的变化
Table 1 Changes of important values of vegetation in Horqin sandy land under extreme drought condition

物种	重要值/%					
	沙质草地			固定沙丘		
	CK	减雨 60%	干旱 60 d	CK	减雨 60%	干旱 60 d
白草(<i>Pennisetum centrasiaticum</i>)	10.20±0.64	7.75±3.22	2.92±0.97	5.42	4.82	
糙隐子草(<i>Cleistogenes squarrosa</i>)	25.78±1.65	14.72±4.31	17.26±3.88	15.08±3.74	15.17±1.29	16.09±4.47
大果虫实(<i>Corispermum macrocarpum</i>)		5.43	11.48	3.59±1.26		
达乌里胡枝子(<i>Lespedeza davurica</i>)	14.13±3.02	10.38±2.55	15.88±4.31		1.13±0.02	16.27
地锦(<i>Euphorbia humifusa</i>)				1.81±0.21	0.43±0.07	
地稍瓜(<i>Cynanchum thesioides</i>)	6.00	4.05	3.17±0.53	13.43		
防风(<i>Saposhnikovis divaricate</i>)				5.63	3.39±0.20	7.14±0.54
锋芒草(<i>Tragus racemosus</i>)	9.60			2.64±1.45	6.08±1.89	2.18±0.84
狗尾草(<i>Setaria viridis</i>)	8.87±3.22	10.09±2.39	4.04±1.13	8.05±2.18	2.27±0.85	4.75±2.19
虎尾草(<i>Chloris virgate</i>)			0.92	7.17		5.41±3.16
画眉(<i>Eragrostis pilosa</i>)	2.90		2.49±1.22	7.88±2.61	2.19	2.77±0.59
黄蒿(<i>Artemisia scoparia</i>)	19.85±2.43	26.02±6.75	26.65±5.44	16.65±3.51	22.92±3.97	22.44±4.26
蒺藜(<i>Tribulus terrester</i>)	3.50	4.63±1.68	6.21±1.51	1.31±0.13	8.84±2.26	11.49±5.70
尖头叶藜(<i>Chenopodium acuminatum</i>)	3.95±0.05	5.85±1.86	2.97±1.52	11.51±4.50	25.52±4.49	25.84±12.23
麻黄(<i>Ephedra sinica</i>)				6.15	8.86	17.99±5.82
马齿苋(<i>Portulaca oleracea</i>)				2.86	0.84±0.30	0.82
沙葱(<i>Allium mongolicum</i>)				6.39±3.23	8.77±2.20	7.77±2.44
砂蓝刺头(<i>Echinops gmelini</i>)	23.18±2.78	20.56±2.76	26.14±3.12	20.95±3.74	14.53±5.33	30.67±4.20
牻牛儿苗(<i>Erodium stephanianum</i>)	7.00±2.19	14.64±3.37	10.06±4.07	9.14		
五星蒿(<i>Bassia dasyphylla</i>)	1.30	6.65	3.04±2.46	4.94±0.77	3.46	
猪毛菜(<i>Salsola collina</i>)	3.70±1.12	11.15±4.98	5.03±2.84	5.18±2.32	4.35±1.10	4.04
总物种数	14	14	16	20	18	15

表中无数据处代表不同处理下进行植被调查时未调查到该物种。

显著影响($P<0.001$),两者交互作用对物种数、盖度和地上生物量无显著影响($P>0.05$,表2)。

沙质草地植物群落地上生物量显著高于固定沙丘($P<0.05$),而物种数和盖度在两种生境间无显著差异($P>0.05$)。不同干旱处理下,降雨60%和干旱60 d显著降低植物群落盖度和地上生物量($P<0.05$),而物种数无显著变化($P>0.05$)。交互处理下,同一生境类型不同干旱处理对植物群落物种数、盖度和地上生物量有不同影响。就沙质草地而言,减雨60%和干旱60 d显著降低群落盖度和地上生物量(P

<0.05),而对物种数无显著影响;固定沙丘中植物群落盖度、物种数和地上生物量在极端干旱处理下变化与沙质草地相同。相同干旱处理下不同生境间物种数、盖度和地上生物量均无显著差异($P>0.05$,图1)。这说明沙质草地和固定沙丘两种生境在响应极端干旱时植物群落特征变化差异较小。

2.3 不同降雨处理下沙质草地与固定沙丘株高、SLA和LDMC

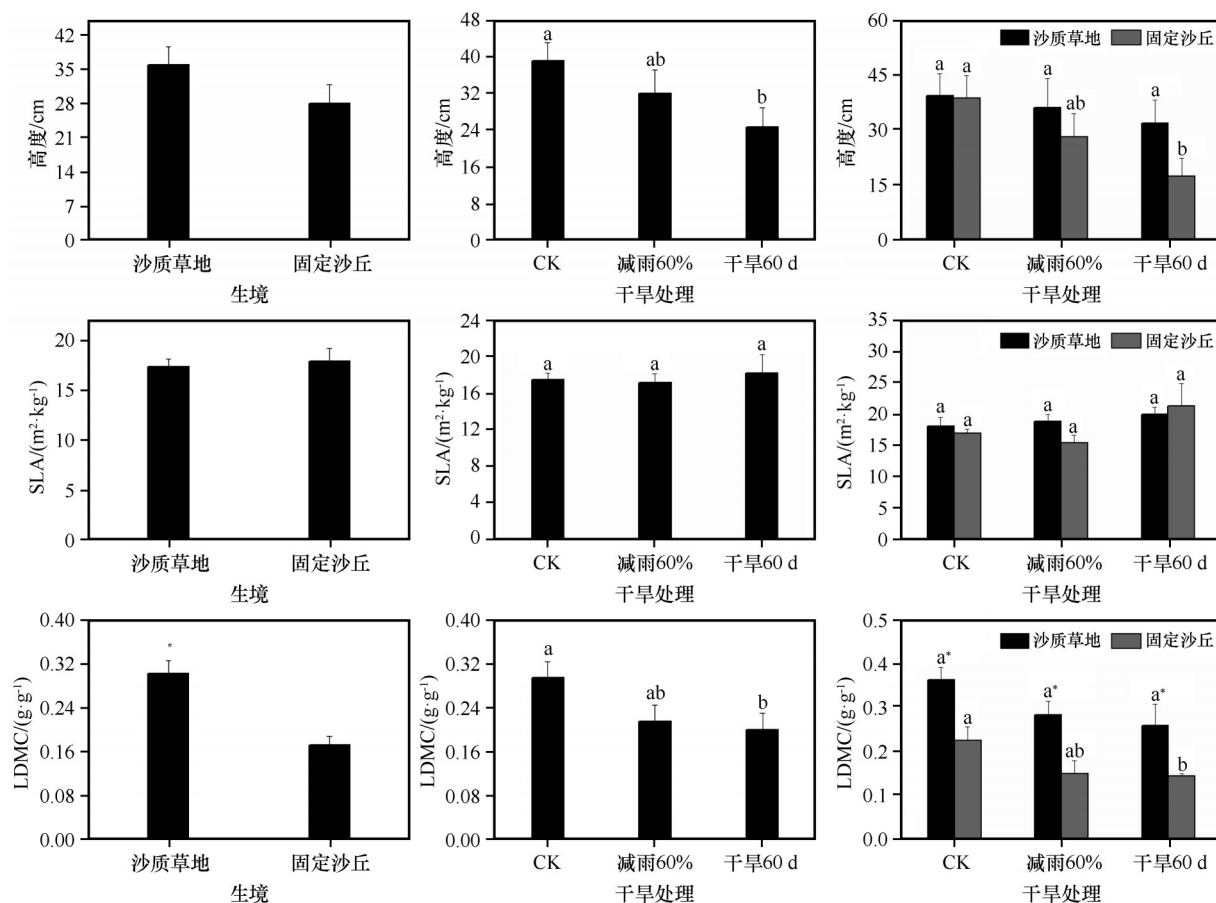
生境变化对植物群落LDMC有极显著影响($P<$

表2 生境、极端干旱及其交互作用对科尔沁沙地植物群落特征和叶性状的影响(方差分析)

Table 2 Effects of habitat, extreme drought and its interactions on community characteristics and leaf traits in Horqin Sandy Land

处理	物种数	盖度	地上生物量	高度	比叶面积	叶干物质含量
生境	0.043	1.335	5.455*	2.239	0.125	24.332***
极端干旱	0.639	29.854***	21.056***	2.607	0.168	4.914*
生境×极端干旱	0.447	2.603	2.240	0.605	3.986*	0.084

*表示在0.05水平上影响显著;***表示在0.001水平影响显著。



*表示不同生境间差异显著, $P<0.05$;小写字母表示不同干旱处理间差异显著, $P<0.05$

图1 不同生境、不同干旱条件及两者间交互作用下植被特征比较

Fig.1 Variation of vegetation characteristics under different habitats, drought conditions and its interaction

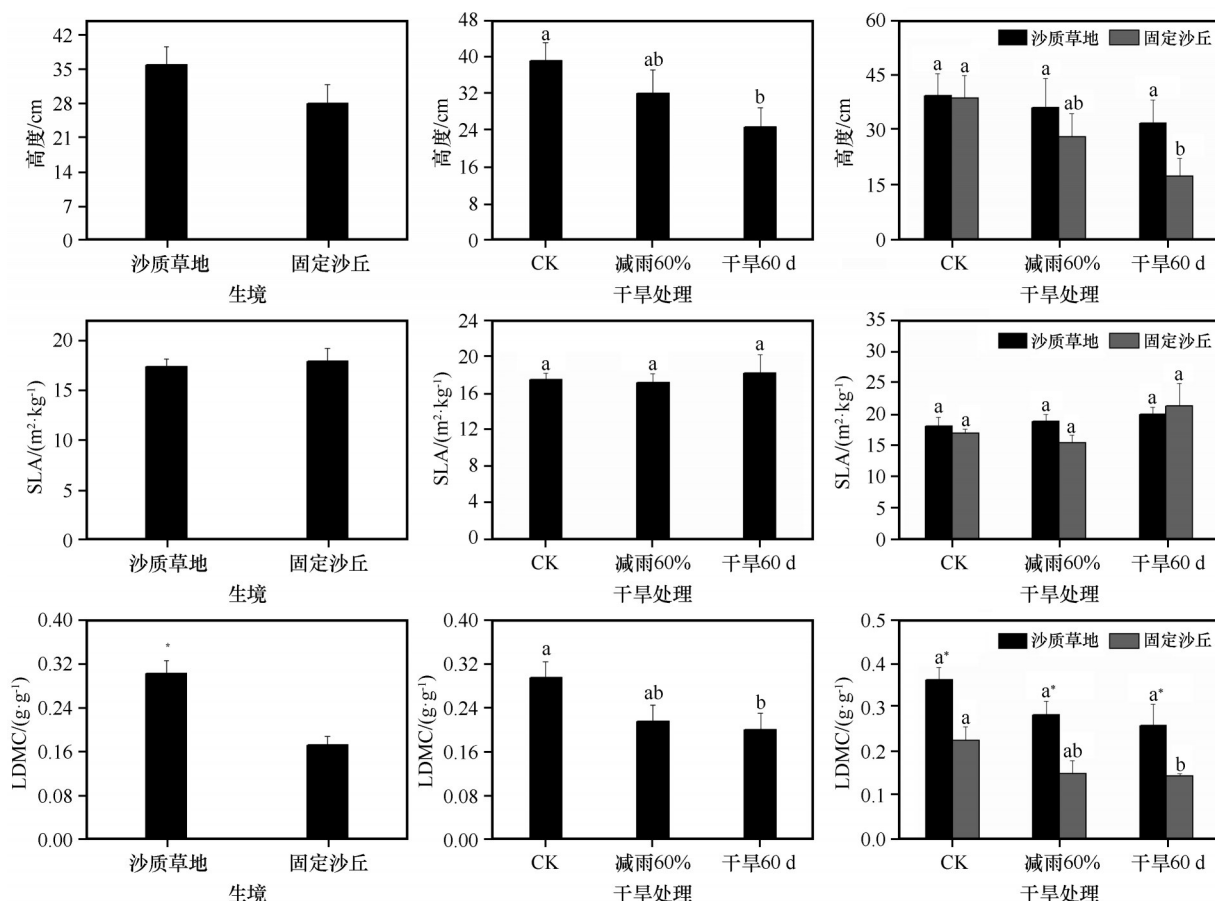
0.001), 极端干旱对 LDMC 有显著影响 ($P < 0.05$), 两者交互作用对植物群落 SLA 有显著影响 ($P < 0.05$, 表 2)。

两种生境类型间植物群落叶性状存在明显差异, 其中群落高度和 SLA 在沙质草地和固定沙丘间无显著差异 ($P > 0.05$), 而沙质草地 LDMC 显著高于固定沙丘 ($P < 0.05$)。不同干旱处理对群落性状有不同的影响, 其中干旱 60 d 显著降低植物群落高度和 LDMC ($P < 0.05$), 对 SLA 无显著影响, 减雨 60% 对群落高度、SLA 和 LDMC 均无显著影响 ($P > 0.05$)。交互处理后, 同一生境类型不同降雨处理对叶性状有不同的影响。就沙质草地而言, 减雨 60% 降低了植物群落高度和 LDMC, 增加了 SLA, 但影响均不显著 ($P > 0.05$); 固定沙丘中, 减雨 60% 降低植物群落高度、SLA 和 LDMC, 但影响均不显著 ($P > 0.05$), 而干旱 60 d 显著降低植物群落高度和 LDMC ($P < 0.05$), SLA 无显著变化。相同降雨处理不同生境间

植物群落性状具有明显差异, 其中高度和 SLA 在两种生境间无显著变化 ($P > 0.05$), 而沙质草地植物群落 LDMC 在干旱处理下均显著高于固定沙丘 LDMC ($P < 0.05$, 图 2)。以上说明沙质草地和固定沙丘植物群落通过主要叶性状的变化来在响应极端干旱环境。

2.4 植被特征和叶性状间的相互关系

沙地植物群落性状间存在显著的相关关系。相关分析表明地上生物量与盖度、高度及 LDMC 显著正相关 ($P < 0.05$), 盖度与物种数和 LDMC 极显著正相关 ($P < 0.01$), SLA 与 LDMC、物种数和盖度以及高度与物种数和 LDMC 间呈不显著的负相关关系 ($P > 0.05$), 物种数与地上生物量和 LDMC, SLA 与地上生物量和高度以及盖度与高度间呈不显著的正相关关系 ($P > 0.05$, 表 3), 由此表明植物群落通过不同的性状组合来响应环境变化。



*表示不同生境间差异显著, $P < 0.05$; 小写字母表示不同干旱处理间差异显著, $P < 0.05$

图2 不同生境、不同干旱条件及两者间交互作用下植物功能性状比较

Fig.2 Variation of plant functional traits under different habitats, drought conditions and its interaction

表3 科尔沁沙地沙质草地与固定沙丘植被特征和功能性状间的相互关系

Table 3 Relationship between vegetation characteristics and functional traits in Horqin sandy grassland and fixed dune

	物种数	盖度	地上生物量	高度	比叶面积
盖度	0.46**				
地上生物量	0.08	0.56**			
高度	-0.29	0.21	0.34*		
比叶面积	-0.29	-0.14	0.18	0.01	
叶干物质含量	0.21	0.48**	0.40*	-0.08	-0.02

*表示在0.05水平显著相关;**表示在0.01水平显著相关。

3 讨论

植物群落组成和结构对生态系统稳定性具有十分重要的作用^[24-25]。本研究发现,极端干旱处理下,沙质草地与固定沙丘中一年生植物的优势度有所增加,而多年生植物优势度有所下降,其原因可能是一年生植物通常会采取“资源快速投资利用”策略,在短时间内快速完成资源的累积,即使在水分受限或缺乏的条件下,也能充分利用仅有的资源迅速完成其生活史^[26]。因此,在极端干旱处理后养分利用效率较高的植物迅速生长,而利用效率较低的多年生植物无法适应干旱环境,从而使其生长发育受到影响,最终导致其数量的减少。

之前的大部分调查研究发现随着退化植被的恢复,植物群落高度、盖度、物种丰富度及生物量明显增加,但沙质草地和固定沙丘间变化较小^[13]。本研究发现,除地上生物量外,植物群落高度、盖度和物种数在沙质草地和固定沙丘之间差异不显著,与前人研究结果基本一致^[13,27]。植物叶性状能够通过改变微环境条件直接影响植物个体的响应从而间接影响群落的动态变化对环境的响应与适应^[28]。Zuo^[29]等发现,沙质草地与固定沙丘间植物群落SLA和LDMC无明显差异,而本研究中沙质草地LDMC显著高于固定沙丘间,SLA间无显著差异。同一研究区却出现不同的研究结果,造成这种结果的原因可能是由于试验时间不同导致该区域降雨量不同,而降雨量的变化会影响植物叶片本身的结构,使得叶片含水量、叶片厚度及组织密度发生变化,进一步影响LDMC^[18]。此外,由于试验时间不同,土壤资源储量存在差异,从而造成植物群落组成和结构发生变化,研究表明种间差异对植物群落

叶性状变化具有重要贡献^[10,30]。

水分是限制干旱半干旱地区植物生长的主要因子,降水变化会引起植物群落特征发生变化^[31]。对科尔沁沙地草地和固定沙丘调查发现,极端干旱使得两种不同生境下的植被群落高度、盖度和地上生物量显著降低,这与之前的大部分研究结果相一致^[3,32]。但也有学者认为草地生物量变化与降雨量间相关性较弱^[33],造成这种不一致的原因可能是研究区间的差异。本研究发现减雨60%对植物群落SLA和LDMC无显著影响,这可能是由于降雨量变化对植物的影响具有滞后效应^[34-35]。干旱60 d显著降低植物群落LDMC,而SLA无显著变化,说明在降水较少的沙地中植物群落通过降低LDMC来适应生长季干旱60 d,同时进一步反映了植物群落LDMC对短期极端干旱更敏感。Wilson^[18]等也认为相较于SLA,LDMC能更好地指示植物对资源的利用,而岳喜元等^[36]发现,短期极端干旱对植物群落SLA影响显著,对LDMC影响不显著,与本研究结果不一致,可能由于干旱处理方法不同或研究区不同。

沙质草地植物群落高度和LDMC在极端干旱处理下无明显变化,而固定沙丘植物群落高度和LDMC在干旱60 d处理下明显降低,这可能是由于两种生境间土壤环境差异。王明明等^[8]通过典型相关分析(CCA)发现草地植物群落物种与土壤养分间具有很强的相关性,而固定沙丘与土壤水分间关系密切,黄小^[37]等认为土壤养分对植物功能性状具有一定程度的影响。沙质草地土壤有效氮含量和含水量高于固定沙丘^[8],这种资源分布的差异导致不同生境植物群落对降雨变化响应不同。因此外界环境发生变化时沙质草地土壤中的养分可以起到一定的缓冲作用,以补偿干旱对植物生长造成的胁迫,故没有造成沙质草地植物群落叶性状的快速变化。然而当植物自身所处环境较差,且外界环境发生不利变化时,植物为了生存繁殖只能快速调节自身性状来适应环境,因此固定沙丘植物群落叶性状对极端干旱更为敏感。

权衡关系是植物功能性状间最普遍的一种联系方式,即群落性状之间并不是相互孤立存在的,会随着环境的变化不断进行平衡,从而形成最佳的性状组合来适应环境^[38-39]。群落生产力是表示草地生态系统恢复进程最直接的指标,从沙地植物群落各特征性状间的关系来看,盖度和高度的增加显著提高

沙地植物群落地上生物量,这与其他研究结果基本一致。此外,本研究通过相关分析发现,地上生物量与LDMC间也存在显著正相关关系,说明沙地植物群落叶性状的变化会影响地上生物量的累积。李玉霖等^[40]通过比较10种一年生植物和10种多年生植物的SLA和LDMC发现,一年生植物SLA与LDMC间的负相关性不显著,而多年生植物SLA与LDMC间显著负相关。本研究中SLA与LDMC间呈不显著的负相关关系,因为两种生境中均以一年生植物为主,该结果与李玉霖等^[40]的研究结果一致。

4 结论

两种生境中植被通过改变植物群落组成、优势种及关键性状来响应和适应极端干旱。沙质草地和固定沙丘中植物重要值在不同降雨处理下发生波动变化,一年生植物黄蒿和砂蓝刺头的重要值在极端干旱条件下更高,而多年生植物糙隐子草的重要值在极端干旱条件下降低,说明极端干旱环境中一年生植物具有更大的优势。沙质草地植物群落LDMC显著高于固定沙丘,而物种数、植被盖度、地上生物量及高度均无明显变化。极端干旱处理下,植物群落盖度、高度及地上生物量显著降低。生境类型与降雨交互作用下,沙质草地和固定沙丘在极端干旱处理后,植被盖度和地上生物量显著降低,且植物群落主要通过调节叶性状来适应环境,如增加SLA,降低LDMC,以增强干旱环境中植物对资源的获取能力。相关性分析表明,沙地植物群落地上生物量与盖度和高度显著正相关,且性状的改变也会显著影响沙地植物群落地上生物量。

参考文献:

- [1] IPCC. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [R]. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2007.
- [2] Huang J, Xue Y, Sun S, et al. Spatial and temporal variability of drought during 1960–2012 in Inner Mongolia, north China [J]. Quaternary International, 2015, 355: 134–144.
- [3] Sun Y, Ding Y H. A projection of future changes in summer precipitation and monsoon in East Asia [J]. Science in China: Earth Sciences, 2009, 53: 284–300.
- [4] 赵哈林, 大黑俊哉, 周瑞莲, 等. 人类活动与气候变化对科尔沁沙质草地植被的影响 [J]. 地球科学进展, 2008(4): 81–87.
- [5] Easterling D R, Meehl G A, Parmesan C, et al. Climate extremes: observations, modeling, and impacts [J]. Science, 2000, 289: 2068–2074.
- [6] 张彬, 朱建军, 刘华民, 等. 极端降水和极端干旱事件对草原生态系统的影响 [J]. 植物生态学报, 2014, 38(9): 1008–1018.
- [7] Schwinning S, Starr B I, Ehleringer J R, et al. Dominant cold desert plants do not partition warm season precipitation by event size [J]. Oecologia, 2003, 136(2): 252–260.
- [8] 王明明, 刘新平, 何玉惠, 等. 科尔沁沙地封育恢复过程中植物群落特征变化及影响因素 [J]. 植物生态学报, 2019, 43(8): 672–684.
- [9] 闫玉春, 唐海萍, 辛晓平, 等. 围封对草地的影响研究进展 [J]. 生态学报, 2009, 29(9): 5039–5046.
- [10] Zuo X A, Yue X Y, Lv P, et al. Contrasting effects of plant inter- and intraspecific variation on community trait responses to restoration of a sandy grassland ecosystem [J]. Ecology & Evolution, 2016, 7(4): 1125–1134.
- [11] Zuo X A, Wang S K, Lv P, et al. Plant functional diversity enhances associations of soil fungal diversity with vegetation and soil in the restoration of semiarid sandy grassland [J]. Ecology & Evolution, 2015, 6(1): 318–328.
- [12] 赵哈林, 苏永中, 周瑞莲. 我国北方沙区退化植被的恢复机理 [J]. 中国沙漠, 2006, 26(3): 323–328.
- [13] 吕朋, 左小安, 岳喜元, 等. 科尔沁沙地封育过程中植被特征的动态变化 [J]. 生态学杂志, 2018, 37(10): 2880–2888.
- [14] 高露, 张圣微, 朱仲元, 等. 放牧对干旱半干旱草原植物群落结构和生态功能的影响 [J]. 水土保持研究, 2019, 26(6): 205–211.
- [15] 张雄伟, 李刚, 董宽虎, 等. 放牧和围封对赖草草地群落特征和生物多样性的影响 [J]. 草学, 2019(4): 21–26.
- [16] 杨晓晖, 张克斌, 侯瑞萍. 封育措施对半干旱沙地草场植被群落特征及地上生物量的影响 [J]. 生态环境, 2005(5): 730–734.
- [17] 孟婷婷, 倪健, 王国宏. 植物功能性状与环境及生态系统功能 [J]. 植物生态学报, 2007(1): 154–169.
- [18] Wilson P J, Thompson K, Hodgson J G. Specific leaf area and leaf dry matter content as alternative predictors of plant strategies [J]. New Phytologist, 1999, 143(1): 155–162.
- [19] 左小安, 赵学勇, 赵哈林, 等. 沙地退化植被恢复过程中植被的空间异质性 [J]. 生态环境学报, 2010, 19(7): 1513–1518.
- [20] 李雪华, 韩士杰, 蒋德明, 等. 科尔沁沙地不同演替阶段植被特征及固沙作用 [J]. 辽宁工程技术大学学报, 2006, 25(5): 789–791.
- [21] 吕朋, 左小安, 张婧, 等. 放牧强度对科尔沁沙地沙质草地植被的影响 [J]. 中国沙漠, 2016, 36(1): 34–39.
- [22] Cornelissen J H C, Lavorel S, Garnier E, et al. A handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide [J]. Australian Journal of Botany, 2003, 51(4): 335.
- [23] Naeem S, Li S. Biodiversity enhances ecosystem reliability [J]. Nature International Weekly Journal of Science, 1997, 390(6659): 507–509.
- [24] 张继义, 赵哈林, 张铜会, 等. 科尔沁沙地植被恢复系列上群落演替与物种多样性的恢复动态 [J]. 植物生态学报, 2004(1): 86–92.

- [25] 苗仁辉,蒋德明,王永翠.科尔沁沙质草地封育过程中的植被变化及其机制[J].干旱区研究,2013,30(2):264-270.
- [26] Wright I J, Reich P B, Westoby M, et al. The worldwide leaf economics spectrum[J]. Nature, 2004, 428(6985): 821.
- [27] 周欣,左小安,赵学勇,等.半干旱沙地生境变化对植物地上生物量及其碳、氮储量的影响[J].草业学报,2014,23(6):36-44.
- [28] 梁潇洒,马望,王洪义,等.呼伦贝尔草原3种植物的功能性状对氮磷添加的响应[J].中国草地学报,2019,41(1):63-69.
- [29] Zuo X A, Zhang J, Lv P, et al. Plant functional diversity mediates the effects of vegetation and soil properties on community-level plant nitrogen use in the restoration of semiarid sandy grassland[J]. Ecological indicators, 2016, 64: 272-280.
- [30] Wellstein C, Chelli S, Campetella G, et al. Intraspecific phenotypic variability of plant functional traits in contrasting mountain grasslands habitats [J]. Biodiversity and Conservation, 2013, 22(10): 2353-2374.
- [31] Liu R, Cieraad E, Li Y, et al. Precipitation pattern determines the inter-annual variation of herbaceous layer and carbon fluxes in a phreatophyte-dominated desert ecosystem[J]. Ecosystems, 2016, 19(4): 601-614.
- [32] 张腊梅,刘新平,赵学勇,等.科尔沁固定沙地植被特征对降雨变化的响应[J].生态学报,2013,34(10):2737-2745.
- [33] 辛晓平,张保辉,李刚,等.1982-2003年中国草地生物量时空格局变化研究[J].自然资源学报,2009,24(9):1582-1592.
- [34] 张蕊,赵学勇,左小安,等.荒漠草原沙生针茅(*Stipa glareosa*)群落物种多样性和地上生物量对降雨量的响应[J].中国沙漠,2019,39(2):1-8.
- [35] 梁艳,干珠扎布,张伟娜,等.气候变化对中国草原生态系统影响研究综述[J].中国农业科技导报,2014,16(2):1-8.
- [36] 岳喜元,左小安,庾强,等.降水量和短期极端干旱对典型草原植物群落及优势种羊草(*Leymus chinensis*)叶性状的影响[J].中国沙漠,38(5):113-120.
- [37] 黄小,姚兰,王进,等.土壤养分对不同生活型植物叶功能性状的影响[J].西北植物学报,2018,38(12):145-154.
- [38] 刘晓娟,马克平.植物功能性状研究进展[J].中国科学:生命科学,2015,45(4):325-339.
- [39] 闫建成,梁存柱,付晓明,等.草原与荒漠一年生植物性状对降水变化的响应[J].草业学报,2013,22(1):68-76.
- [40] 李玉霖,崔建垣,苏永中.不同沙丘生境主要植物比叶面积和叶干物质含量的比较[J].生态学报,2003,25(2):304-311.

Response of structure of plant community to extreme drought in fixed dunes and grassland in the Horqin Sandy Land

Sun Yimei¹, Tian Qing¹, Lv Peng^{2,3}, Guo Aixia³, Li Pingping¹, Zhu Liqin¹, Zuo Xiaolan²

(1. College of Forestry, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China; 2. Naiman Desertification Research Station, Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China; 3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: In order to investigate the response of structure of plant community to extreme drought in different habitats in sandy land, the effects of extreme drought (rain reduction 60% and 60 days drought in growing season) on vegetation community characteristics and leaf traits in sandy grassland and fixed dunes were studied. The results showed that: (1) Habitat change has a significant impact on the above-ground biomass and leaf dry matter content (LDMC) of plant communities ($P < 0.05$). Above-ground biomass and LDMC in grasslands are significantly higher than in fixed dunes, while species numbers, vegetation coverage, height and specific leaf area (SLA) no significant difference between the two habitats ($P > 0.05$); (2) Extreme drought treatment significantly affected plant community coverage, above-ground biomass, and LDMC ($P < 0.05$), 60% rainfall reduction significantly reduced plant community coverage and above-ground biomass, and 60 days of drought significantly reduced plant community coverage, above-ground biomass, height and LDMC; there were no significant differences in vegetation characteristics and traits between 60% rainfall reduction and 60 days drought treatment ($P > 0.05$); (3) 60% rainfall reduction and 60 days of drought significantly reduced the vegetation coverage and above-ground biomass of grassland and fixed dunes, and 60 days of drought also reduced the plant height and LDMC of fixed dunes ($P < 0.05$); (4) Correlation analysis showed that above-ground biomass of sandy plant communities was significantly positively correlated with coverage, height, and LDMC ($P < 0.05$). Vegetation in different habitats of sandy land adapts to extreme drought through changes in plant community composition, dominant species and their leaf dry matter content.

Key words: extreme drought; habitat types; vegetation characteristics; leaf traits