

科尔沁沙地差巴嘎蒿种群生态位适宜度分析

朴顺姬^{1 2} 王振杰¹ 颜秀灵¹ 张斌才¹ 尹航¹

(1 内蒙古大学生命科学学院 呼和浩特 010021)

(2 内蒙古草地生态学重点实验室-省部共建国家重点实验室培育基地 呼和浩特 010021)

摘要 以生长在科尔沁沙地的差巴嘎蒿(*Artemisia halodendron*)为研究对象,对其在不同类型沙地上的综合活力指数和生态位适宜度进行计算,主要结论如下:1)在生长旺季,差巴嘎蒿种群综合活力指数随着沙地的固定显著下降。2)在同一生长季内,综合生态位适宜度表现为半固定沙地>固定沙地和流动沙地,水分生态位适宜度表现为流动沙地>半固定沙地>固定沙地。随着土壤含水量的变化,土壤水分的限制土层深度也有所不同,7月各类型沙地均为15~30 cm土层,8月随着雨水的下渗,限制土层也有所加深,为45~60 cm土层,9月除流动沙地为15~30 cm外,半固定沙地和固定沙地均为30~45 cm。3)在同一生长季内的不同生境上种群的限制因子(NF_{min})不同,在流动沙地上为土壤有机质,而在半固定沙地和固定沙地上为土壤含水量,且土壤有机质和土壤水分的配置关系直接影响综合生态位适宜度值的高低。在一定范围内,二者的比值可直接反映有机质对植物细根的有效性,同时种群通过调节细根生长状况来适应限制因子间的配置关系。

关键词 科尔沁沙地 差巴嘎蒿种群 生态位适宜度

ANALYSIS OF NICHE FITNESS OF *ARTEMISIA HALONDENDRON* POPULATION ON HORQIN SANDY LAND

PIAO Shun-Ji^{1 2} WANG Zhen-Jie¹ YAN Xiu-Ling¹ ZHANG Bin-Cai¹ and YIN Hang¹

(1 College of Life Science, Inner Mongolia University, Huhhot 010021, China)

(2 Inner Mongolia Key Laboratory of Grassland Ecology-The Cultivation Base for the State Key Laboratory, Huhhot 010021, China)

Abstract Background and Aims Niche fitness of *Artemisia halondendron* population, that fixes shifting and semi-fixed sandy soils in Horqin sandy land, rarely has been explored. This study addresses 1) spatial and temporal differences in niche fitness and composite vigor and 2) limiting factors of niche fitness in different habitats.

Methods Mathematical models were adapted to calculate composite vigor index (CVI) and niche fitness values of a population of *A. halondendron* inhabiting shifting, semi-fixed, and fixed sandy lands. Data on CVI and niche fitness were collected by measuring height, size of canopy, branches, and biomass of individuals, as well as soil moisture content, nutrient content, and bulk density.

Key Results CVI was remarkably low on fixed sandy land, indicating that the ecological function of the population was weakened. Composite niche fitness values for different soils during the growing season ranked: semi-fixed > fixed > shifting sandy land. Moisture fitness values ranked: shifting > semi-fixed > fixed sandy land. As the soil moisture content changed, the limiting layer also changed. It was 15–30 cm in the different sandy lands in July, but with the infiltration of rain water, the layer deepened to 45–60 cm in August. In September, it was 30–45 cm in semi-fixed and fixed sandy lands, but remained 15–30 cm in shifting sandy land. The limiting factors in different habitats were different: soil organic matter content was limiting on shifting sandy land and soil moisture content was limiting on semi-fixed and fixed sandy lands.

Conclusions This study indicated that soil moisture content and nutrient content affected composite niche fitness. The relationship of soil moisture content and nutrient content directly influences composite niche fitness. Their ratio could reflect the importance of organic matter to fine roots, and the population could adapt to the ratio by adjusting the growth of fine roots.

Key words Horqin sandy land, *Artemisia halodendron* population, Niche fitness

生态位是现代生态学中的一个重要概念,它定量地反映出物种在群落中的地位及其与生境间的相互作用关系。自 1910 年 Johnson 最早使用“生态位”一词以来,生态位理论得到了迅速的发展(李 等, 2003)。李自珍等(1993)对各种生态位定义的内涵进行分析后,提出了生态位适宜度(Niche fitness)的概念——一个种居住地的现实生境条件与最适生境条件之间的贴近程度。它表征了拥有一定资源谱系生物种对其生境条件的适宜性,即生境资源条件对种特定需求的满足程度。并对沙坡头地区的主要植物及主要作物先后进行了水分生态位适宜度的分析研究,给出了大量的生态位适宜度模型(李自珍等, 1993, 1996, 2001, 2002; 李自珍和黃子琛, 1995; 李自珍和李文龙, 2003; 林红和李自珍, 1998)。

在植被演替的不同阶段,建群种的生态位变化直接反映着植物群落演替的方向。差巴嘎蒿(*Artemisia halodendron*)是生长在科尔沁流动沙地、半固定沙地上的建群种,对该种群生态特征的比较研究对科尔沁沙地植被的恢复重建有着重要的理论和现实意义。有关差巴嘎蒿种群格局及其生态位动态特征的研究曾有过报道,如用二维网函数插值法(潮洛蒙等, 1999)计算绘制出同一尺度下的科尔沁流动、半固定和固定沙地上差巴嘎蒿种群分布格局,张继义等(2003)与张继义和赵哈林(2004)对从流动沙地到固定沙地演替过程中差巴嘎蒿种群格局的变化特征进行了讨论,认为在流动沙地、半固定沙地上占优势的差巴嘎蒿种群,随着沙地的固定和群落环境的变化处于衰退阶段,其生态位宽度逐渐变小。但对科尔沁沙地差巴嘎蒿种群在流沙固定过程中生态位适宜度的研究尚未见报道。本文采用李自珍等的生态位适宜度模型,对流沙固定过程中差巴嘎蒿种群的综合生态位适宜度和水分生态位适宜度进行探讨,旨在进一步揭示差巴嘎蒿种群的衰退机理,为干旱、半干旱区沙地人工植被的营建和植被恢复提供理论依据。

1 研究对象和方法

1.1 研究区自然概况

研究地区位于中国科学院寒区旱区环境与工程研究所奈曼沙漠化研究站(120°42' E 42°55' N, 海拔 358 m)的周围地区,地处内蒙古科尔沁沙地腹地通辽市奈曼旗昂乃乡境内。科尔沁沙地为东北平原向

内蒙古高原过渡的地带,属农牧交错区,气候具有从半湿润向半干旱过渡的特征。该地区气候干旱且多大风,年平均气温 6.4 °C,年平均降水量 362.3 mm,年平均蒸发量 1 935.4 mm,雨热同季,属温带大陆性半干旱气候。最热月(7 月)平均气温 23.6 °C, ≥ 10 °C 的年积温 3 200 °C,生长期 150 d 左右。年均风速 $3.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 8 级以上大风年均 21 次,主要发生在春季 3~5 月。本区的土壤贫瘠,主要为风沙土和沙质栗钙土,部分为沙质草甸土(周瑞莲等, 2001)。

1.2 样地设置与实验方法

1.2.1 样地设置

科尔沁沙地中主要存在着流动、半固定和固定沙地 3 种类型。本文在这 3 种类型沙地上各设置两个样地,植物群落及生境特征如下:

从流动沙地到固定沙地,流动性的基质逐渐发育成砂土和壤质砂土,孔隙度和土壤含水量逐渐降低,土壤养分增加。植物种类由流动沙地的 6 种 $\cdot \text{m}^{-2}$ 增加到固定沙地的 18 种 $\cdot \text{m}^{-2}$ 。群落类型依次为差巴嘎蒿-一年生植物群聚、差巴嘎蒿-禾草类群丛和冷蒿(*A. frigida*)-黄蒿(*A. scoparia*) + 禾草类群丛。其中差巴嘎蒿种群的密度、株高和冠幅等各项指标均呈下降趋势,已明显呈现出衰退的迹象,并在沙地固定过程中逐渐退出群落,被一年生及多年生草本植物取代。

1.2.2 实验方法

2004 年 7~9 月分别在每个样地上进行差巴嘎蒿种群特征及细根生物量、草本植物样方、土壤含水量、容重的测定,同时取土样以备测定土壤养分。

1.2.2.1 样方数据的采集

每个样地上选取 3 个 $10 \text{ m} \times 10 \text{ m}$ 的差巴嘎蒿灌丛样方,测定样方内差巴嘎蒿种群的年龄、株数、株高、冠幅和地上生物量。植株年龄的判断方法采用枝级统计法,即以差巴嘎蒿株丛的枝龄来判断植株的年龄。在上述样方内同期做 6 个 $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ 的草本植物样方,登记样方内的物种数、株高、盖度等,并测定地上生物量干重。

1.2.2.2 差巴嘎蒿的细根取样

在每个样地上选取 6 株差巴嘎蒿成株,按照 Bohm 的土钻取样法(赵爱芬, 1998)环绕差巴嘎蒿植株的根际周围钻 3 个孔,孔间夹角 120°。每孔钻取 6 层,每层深度为 15 cm,然后将同一深度土层的 3 份钻土合并,带回室内清水冲洗,挑拣出活的细根,烘

干称重(65 ℃ 24 h)。

1.2.2.3 土壤含水量

采用土钻法在每个样地上取 6 层 ,每层深 15 cm ,取至 90 cm ,用烘干称重法测定。

1.2.2.4 土壤养分含量

与测定土壤含水量同步取得土样 ,带回室内测定土壤养分 :土壤全氮采用凯氏定氮法 ,全磷采用酸溶-钼锑抗比色法 ,有机质采用重铬酸钾外加热法 (中国科学院南京土壤研究所 ,1978)。

1.2.2.5 土壤容重

采用环刀法在每个样地中做土壤剖面 ,土层深度设置同 1.2.2.3 节 ,用烘干称重法测定。

1.2.2.6 数据处理

应用 Microsoft Excel 和 SPSS11.0 软件包对所得数据进行统计分析。

1.3 数据处理

1.3.1 种群综合活力指数

采用刘华民等(2005)的植物种群综合活力指数公式 ,即 $CVI = (RH + RB + RC + RT) / 4$ 来计算差巴嘎蒿种群的综合活力指数。式中 : RH (相对高度)= 差巴嘎蒿单株株高/最大株高 ; RB (相对生物量)= 差巴嘎蒿单株生物量/单株最大生物量 ; RC (相对冠幅)= $\pi [(D_1 + D_2) / 4]^2$, D_1 、 D_2 分别为长轴长和短轴长 ; RT (相对枝条数)= 差巴嘎蒿单株枝条数/单株最多枝条数。以此来表示在流沙固定过程中差巴嘎蒿种群的生长状态。

1.3.2 生态位适宜度

1.3.2.1 综合生态位适宜度值(NF)的计算

将不同类型沙地土壤水分和土壤全氮、全磷、有机质含量等生态因子的实测值记作 x_i ,生态因子的观测变量(每层 15 cm ,共 6 层 ,90 cm)分别表示如下 : x_1 为含水量 ; x_2 为全氮含量 ; x_3 为全磷含量 ; x_4 为有机质含量 ; x_5 为土壤容重 ;最适值记作 x_{ai} 。根据李自珍和李文龙(2003)的数学模型对 6 层数据分别进行如下处理 :

首先对原始数据 x_i 进行无量纲化处理 ,无量纲化后的实际观测值记作 x_i' ,用实际观测值和其中的最大值(x_{\max})之比表示 ,即 $x_i' = x_i / x_{\max}$;无量纲化后的最适值记作 x_{ai}' , $x_{ai}' = x_{ai} / x_{\max}$ 。

其次进行数据标准化 :生态因子实测值的标准化值记作 x_i'' , $x_i'' = x_i' / \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i'$;最适值的标准化值记作 x_{ai}'' , $x_{ai}'' = x_{ai}' / \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ai}'$ ($i = 1, 2, \dots, n$)。

最适值的确定 :在生长旺季中 ,以差巴嘎蒿种群

综合活力指数最大值所对应生境中各生态因子实测值的均值作为最适值 ,即将近两年来流动沙地上 8 月的数据经统计处理后取其均值为最适值。各因子的最大值取 3 个月中 3 类沙地各层均值中的最大值。

最后用数学模型(1)计算求得综合生态位适宜度值(NF):

$$NF = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \min \{ x_i'' / x_{ai}'' , 1 \} } \quad (1)$$

1.3.2.2 水分生态位适宜度值的计算

仍采用数学模型(1)进行计算 ,只是式中 x_i'' 表示土壤含水量的实测值 , x_{ai}'' 表示土壤含水量最适值的实测值 , $i = 1, 2, \dots, n$,代表每层土壤含水量的重复数。

1.3.2.3 限制因子(NF_{\min})的确定

用数学模型(2)计算求得 NF_{\min} 。通过对各生态因子实测值与最适值比值的比较 ,将其最小值的生态因子确定为限制因子 :

$$NF_{\min} = \min \{ x_1 / x_{a1} , x_2 / x_{a2} , \dots , x_i / x_{ai} \} \quad (2)$$

式中 : x_i 在综合生态位适宜度计算中表示各生态因子 ,在水分生态位适宜度计算中表示各土层的含水量 ; x_{ai} 表示最适值。

2 研究结果与分析

2.1 不同类型沙地中差巴嘎蒿种群的生长动态

在同一类型沙地上土壤含水量随时间的变化趋势基本一致 ,表现为 8 月 > 7 月 > 9 月 ,且只有 8 月的土壤含水量极显著地高于 9 月($p = 0.000$) ;在生长季各月不同类型沙地上的土壤含水量均表现为流动沙地 > 半固定沙地 > 固定沙地(图 1) ,除 8 月无显著差异外 ,7 和 9 月都达到了显著差异水平 ,且流动沙地的土壤含水量显著高于其它类型沙地($p = 0.000$)。

土壤养分在不同类型沙地上随时间的变化趋势各不相同 :流动沙地上生长季各月的土壤养分含量基本相同 ,半固定沙地上与土壤水分的变化趋势相一致 ,即以 8 月最高 ,且显著高于 7 和 9 月($p = 0.002$) ,在固定沙地上则逐月下降 ;在生长季土壤养分的分布特征与土壤含水量的分布特征相反 ,表现为固定沙地 > 半固定沙地 > 流动沙地 ,且固定沙地的土壤养分始终极显著地高于流动沙地($p = 0.000$)。

差巴嘎蒿的细根生物量在各类沙地上都表现为随时间而增加的趋势 ,但只有流动沙地和半固定沙

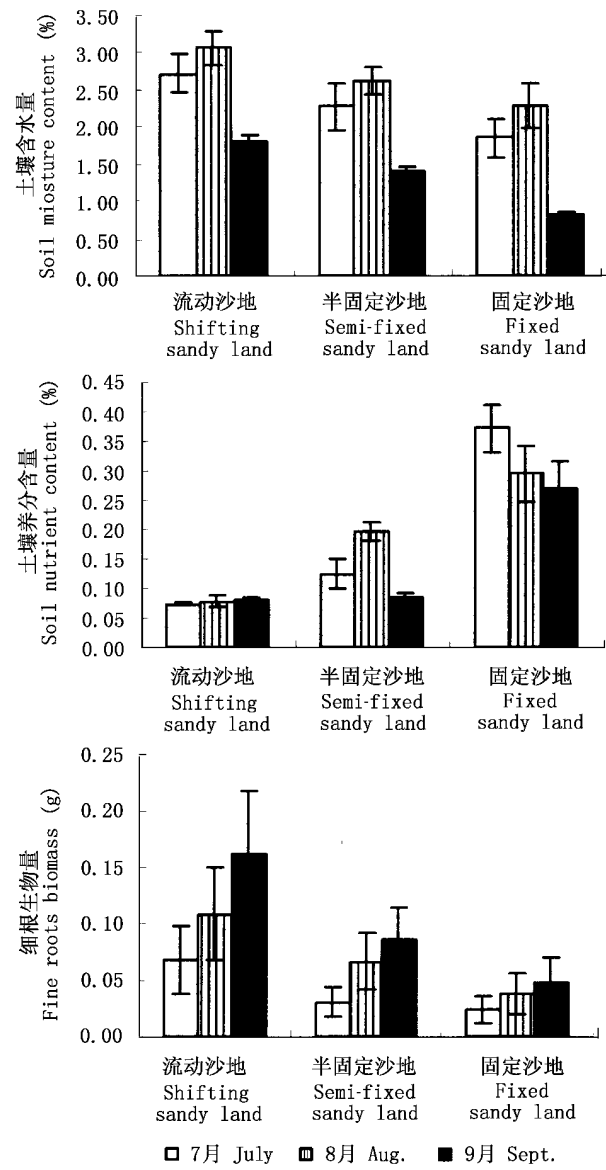


图1 不同类型沙地土壤因子及差巴嘎蒿细根生物量
Fig.1 Soil factors and biomass of fine roots in different sandy lands

地上9月的细根生物量表现出极显著地高于7月 ($p = 0.000$) ;不同类型沙地上的细根生物量在整个生长季都与土壤含水量的分布趋势相一致,表现为流动沙地 > 半固定沙地 > 固定沙地,但只有流动沙地上的达到极显著高于固定沙地的水平 ($p = 0.000$)。

上述因子直接影响着差巴嘎蒿种群的生长状态,差巴嘎蒿种群密度、株高、冠幅、单株枝条数和单株地上生物量等指标均随着沙地固定程度的增加而显著下降(表1),其结果表现为种群综合活力指数在流动沙地、半固定沙地、固定沙地依次下降,且达到极显著差异 ($p = 0.000$)。另外,用株高、冠幅、细根生物量3个指标计算的综合活力指数结果(表1

中以*标记)与上述计算结果体现了相同的规律,且3类沙地间也都达到了极显著水平。

2.2 差巴嘎蒿种群的综合生态位适宜度

表2给出了不同类型沙地中差巴嘎蒿种群在生长季各月的综合生态位适宜度值(NF)。从中可以看出:只有9月流动沙地的 NF 极显著高于半固定沙地 ($p = 0.006$),7和8月在各类沙地间均无显著差异,在同一类型沙地上随时间的变化趋势均以8月最高,且只有半固定沙地上8月的 NF 极显著高于9月 ($p = 0.009$),其余各类型沙地上随时间的变化均无显著差异。

从表2还可以看出,同一生长季内差巴嘎蒿种群的限制因子(NF_{min})在不同生境上的差异,表现为流动沙地上的土壤有机质,而在半固定沙地和固定沙地上表现为土壤含水量。

在同一生长季内,综合生态位适宜度总体表现为半固定沙地 (0.8721 ± 0.0086) > 固定沙地 (0.8579 ± 0.0063) > 流动沙地 (0.8575 ± 0.0095)。最大值出现在8月的半固定沙地上,最小值出现在7月的流动沙地上,且二者之间存在显著差异 ($p = 0.010$)。同期其限制因子的含量分别为:8月半固定沙地的有机质含量为 $0.18\% \pm 0.01\%$,土壤含水量为 $2.63\% \pm 0.19\%$;7月流动沙地的有机质含量为 $0.07\% \pm 0.00\%$,土壤含水量为 $2.72\% \pm 0.26\%$ 。

2.3 不同类型沙地上差巴嘎蒿种群的水分生态位适宜度

在以上分析中已明确指出差巴嘎蒿种群在半固定和固定沙地上的限制因子为土壤水分。从表3中可以看到差巴嘎蒿种群水分生态位适宜度值表现为流动沙地 > 半固定沙地 > 固定沙地。但其中,除雨量较为充沛的8月外,7月流动沙地的水分生态位适宜度值显著高于固定沙地 ($p = 0.046$),9月各类型沙地间都存在极显著差异 ($p = 0.000$);同一生境中水分生态位适宜度值随时间而波动,流动沙地上最大值出现在7月,在半固定沙地和固定沙地上则是8月,最小值都出现在9月,且各月间均达到显著差异水平 ($p_{流动沙地} = 0.012$, $p_{半固定沙地} = 0.020$, $p_{固定沙地} = 0.003$)。

值得注意的是,尽管水分生态位适宜度的最小值都出现在9月,但流动沙地上的值仍极显著地高于其它类型沙地,这为9月流动沙地上的综合生态位适宜度值极显著高于半固定沙地 ($p = 0.006$) 提供了条件。

另外,随着土壤含水量的变化,土壤水分的限制

表 1 差巴嘎蒿种群的基本特征(以 8 月份为例)
Table 1 Characters of *Artemisia halodendron* population (Aug.)

	流动沙地 Shifting sandy land	半固定沙地 Semi-fixed sandy land	固定沙地 Fixed sandy land	<i>p</i> 值 <i>p</i> value
密度 Dencity (m ⁻²)	1.11 ± 0.20 ^{AB}	0.74 ± 0.12 ^A	0.18 ± 0.05 ^B	0.005
株高 Height (cm)	46.07 ± 3.05 ^a	40.62 ± 2.64 ^a	32.92 ± 1.03 ^b	0.012
冠幅 Size of canopy (cm × cm)	(60.78 ± 13.93) × (46.54 ± 11.64) × (53.53 ± 7.62) × (39.53 ± 6.12) × (45.74 ± 11.25) × (31.40 ± 8.18)			0.560
单株枝条数 Branches of single body	97.80 ± 8.01 ^A	87.50 ± 22.08 ^A	26.50 ± 2.46 ^B	0.004
单株地上生物量 Biomass of single body (g)	115.23 ± 10.86 ^A	44.87 ± 5.89 ^B	12.35 ± 1.44 ^C	0.000
综合活力指数 Value of <i>CVI</i>	0.62 ± 0.04 ^A	0.39 ± 0.04 ^B	0.22 ± 0.01 ^C	0.000
综合活力指数 * Value of <i>CVI</i> *	0.57 ± 0.05 ^A	0.35 ± 0.09 ^B	0.22 ± 0.04 ^C	0.000

表中带“*”为用株高、冠幅、细根生物量 3 个指标计算的综合活力指数“*” indicates value of *CVI* calculated by height , size of canopy and biomass of fine roots 表中大写字母标注表示在 0.01 水平差异显著 ,小写字母标注表示在 0.05 水平差异显著 Different capital letters show significant difference at *p* = 0.01 level , different small letters show significant difference at *p* = 0.05 level

表 2 不同类型沙地差巴嘎蒿种群的综合生态位适宜度值及 x_i/x_{ai}
Table 2 Values of compositive niche-fitness(*NF*) of *Artemisia halodendron* population and x_i/x_{ai} in different sandy lands

月份 Month	样地类型 Sample land type	<i>NF</i>	x_1/x_{a1}	x_2/x_{a2}	x_3/x_{a3}	x_4/x_{a4}	x_5/x_{a5}
7 月 July	流动沙地 Shifting sandy land	0.831 5 ± 0.013 9	0.954 7	0.548 8	1.284 1	0.548 1 *	1.103 1
	半固定沙地 Semi-fixed sandy land	0.875 6 ± 0.014 5	0.715 9 *	1.429	1.606 8	0.822 7	0.961 7
	固定沙地 Fixed sandy land	0.845 4 ± 0.007 7	0.402 1 *	4.971 9	1.353 9	1.695 8	0.613 5
	<i>p</i> 值 <i>p</i> value	0.066					
8 月 Aug.	流动沙地 Shifting sandy land	0.875 8 ± 0.022 3	1.061 2	1.123 6	1.039 1	0.565 5 *	1.060 9
	半固定沙地 Semi-fixed sandy land	0.899 7 ± 0.012 4	0.695 1 *	2.514 8	1.637 1	1.083 8	0.777 5
	固定沙地 Fixed sandy land	0.874 9 ± 0.009 1	0.541 1 *	3.696 1	1.511 3	1.466 7	0.677 8
	<i>p</i> 值 <i>p</i> value	0.465					
9 月 Sept.	流动沙地 Shifting sandy land	0.865 1 ± 0.003 3 ^A	0.637 2	1.887 2	1.355 1	0.574 8 *	1.113 4
	半固定沙地 Semi-fixed sandy land	0.840 9 ± 0.006 1 ^B	0.486 4 *	2.030 3	1.739 5	0.564 5	1.057 2
	固定沙地 Fixed sandy land	0.853 5 ± 0.012 8 ^{AB}	0.207 7 *	4.449 3	1.717 4	1.374 3	0.745 4
	<i>p</i> 值 <i>p</i> value	0.006					

表中带“*”为限制因子(NF_{min})值“*” indicates value of NF_{min} 表中大写字母标注表示在 0.05 水平差异显著 Different capital letters show significant difference at *p* = 0.05 level

土层深度也有所不同(表 3):7 月各类型沙地均为 15 ~ 30 cm 土层,8 月随着雨水的下渗,限制土层也有所加深,均降至 45 ~ 60 cm 土层。9 月土壤水分的蒸发和植物的蒸腾利用使得限制差巴嘎蒿种群生长的土壤水分重新浅表化,除流动沙地回升到原来的土层(15 ~ 30 cm)外,半固定沙地和固定沙地均升至 30 ~ 45 cm 土层。限制土层的同期土壤含水量的最大值为 7 月流动沙地 15 ~ 30 cm 土层的 2.31% ± 0.32%,最小值为 9 月固定沙地 30 ~ 45 cm 土层的 0.72% ± 0.07%,且存在显著性差异(*p* = 0.000)。

3 结论与讨论

1)在生长旺季,差巴嘎蒿种群综合活力指数在流动沙地、半固定沙地、固定沙地依次下降,且达到极显著差异(*p* = 0.000)。而计算综合活力指数的生物学指标可依据研究对象的生态、生物学特征以及测定条件来确定。

从流动沙地到固定沙地,土壤含水量逐渐减少,土壤养分逐渐增加,差巴嘎蒿细根量也随之逐渐减少,土壤含水量的减少制约着差巴嘎蒿根系对养分

表 3 不同类型沙地差巴嘎蒿种群水分生态位适宜度值及限制土壤水分层

Table 3 Values of the moisture niche fitness (*NF*) of *Artemisia halodendron* population and limiting soil moisture layer in different sandy lands

月份 Month	样地类型 Sample land type	<i>NF</i>	0 ~ 15 cm	15 ~ 30 cm	30 ~ 45 cm	45 ~ 60 cm	60 ~ 75 cm	75 ~ 90 cm
7 月 July	流动沙地 Shifting sandy land	0.821 0 ± 0.035 0 ^a	1.272 6	0.729 5 *	0.775 4	0.781 2	0.813 6	0.785 3
	半固定沙地 Semi-fixed sandy land	0.686 1 ± 0.061 7 ^{ab}	1.215 7	0.598 2 *	0.633 2	0.598 6	0.616 9	0.649 8
	固定沙地 Fixed sandy land	0.581 7 ± 0.079 5 ^b	0.912 2	0.367 9 *	0.380 0	0.629 0	0.602 7	0.604 8
	<i>p</i> 值 <i>p</i> value	0.046						
8 月 Aug.	流动沙地 Shifting sandy land	0.798 6 ± 0.082 1	1.769 6	1.210 9	0.662 4	0.589 5 *	0.631 8	0.936 1
	半固定沙地 Semi-fixed sandy land	0.760 5 ± 0.231 5	1.342 9	1.226 0	0.715 1	0.496 7 *	0.561 0	0.642 5
	固定沙地 Fixed sandy land	0.742 4 ± 0.084 0	1.762 1	1.030 5	0.344 4	0.338 9 *	0.375 7	0.471 8
	<i>p</i> 值 <i>p</i> value	0.964						
9 月 Sept.	流动沙地 Shifting sandy land	0.577 8 ± 0.030 3 ^A	0.582 2	0.427 1 *	0.558 7	0.609 8	0.641 4	0.575 3
	半固定沙地 Semi-fixed sandy land	0.471 4 ± 0.032 1 ^B	0.497 9	0.381 3	0.327 4 *	0.394 8	0.501 4	0.544 7
	固定沙地 Fixed sandy land	0.266 7 ± 0.016 4 ^C	0.329 7	0.253 1	0.227 6 *	0.238 2	0.249 7	0.286 1
	<i>p</i> 值 <i>p</i> value	0.000						

表中带 * 为限制差巴嘎蒿生长的土壤水分层的 *NF*_{min} 值 “ * ” indicates value of *NF*_{min} limiting the growth of *Artemisia halodendron* 表中大写字母标注表示在 0.01 水平差异显著 表中小写字母标注表示在 0.05 水平差异显著 Different capital letters show significant difference at *p* = 0.01 level , Different small letters show significant difference at *p* = 0.05 level

的吸收 ,进而影响其地上部分的正常生长 种群生物学特征指标值也有所下降 种群生态作用明显减弱。通过株高、冠幅和细根生物量 3 个指标计算的综合活力指数结果与应用刘华民等(2005)提出的模型计算结果趋势完全一致 ,差巴嘎蒿种群综合活力指数值在不同类型沙地间差异均表现为极显著(*p* = 0.000) ,并呈现出显著下降的趋势。这与刘华民等(2005)、赵文智和赵存玉(1994)对褐沙蒿(*A. intra-mongolica*)的相关研究结论一致。

因此 ,反映植物种群在不同生境中生长状况的综合活力指数模型中的各生物学指标只要是能够充分反映植物种群生长状况的指标即可 ,具体指标可依据实际情况而定。例如 :本文为了避免因获得地上生物量对植被造成的大面积的破坏 ,且根系吸水最重要和最活跃的部分是细根 ,它的生长与分布动态在某种程度上能反映出植物根系的生长活力和适应能力 ,从而对植物种群的生存产生重要影响(刘士刚等 2003) ,故采用细根生物量代替之。

2)差巴嘎蒿种群综合生态位适宜度总体表现为半固定沙地(0.872 1 ± 0.008 6) > 固定沙地(0.857 9 ± 0.006 3)和流动沙地(0.857 5 ± 0.009 5)。其直接受生境中限制因子——土壤含水量和土壤养分的影响 ,并随着限制因子的时空变化而改变。而差巴嘎蒿种群可通过调节细根的生长状况来同步适应土壤水分和有机质的配置关系。

例如 7 月 ,虽然 3 类沙地中以流动沙地上的土壤水分生态位适宜度最高(0.821 0 ± 0.035 0) ,但因其限制因子土壤有机质含量最少(0.69 ± 0.03) ,使

得综合生态位适宜度的最高值出现在半固定沙地(0.875 6 ± 0.014 5) ,而不是流动沙地 ;8 月 ,随着土壤水分和土壤有机质含量的增加 ,各类沙地的综合生态位适宜度都有所提高 ;9 月 ,尽管各类型沙地的土壤含水量均为 3 个月中的最低 ,但流动沙地仍显著高于其它类型沙地 ,其土壤有机质含量除与半固定沙地无显著差异外 ,极显著低于固定沙地 ,充足的土壤水分补偿了土壤有机质的缺乏 ,使得综合生态位适宜度表现为流动沙地高于其它类型沙地 ,且显著高于半固定沙地 ;固定沙地的土壤有机质含量虽然极显著地高于流动沙地和半固定沙地 ,但其土壤含水量为同期的最低值 ,限制了土壤有机质的有效性 ,致使其综合生态位适宜度值极显著地低于流动沙地和半固定沙地。另外 ,流动沙地上细根量显著高于半固定沙地和固定沙地 ,这也进一步表明差巴嘎蒿种群通过调节细根生长状况来适应土壤水分和有机质间的配置关系。周瑞莲等(2001)、张铜会等(2000)和刘士刚等(2003)分别从土壤养分和土壤颗粒组成方面对不同类型沙地土壤特征的变化规律作过分析 ,均认为流动沙地水分条件较好 ,差巴嘎蒿仍能很好的生长 ,而固定沙地正好相反 ,半固定沙地居于二者之间。

3)在同一生长季内的不同生境上差巴嘎蒿种群的限制因子(*NF*_{min})不同 :在流动沙地上为土壤有机质 ,而在半固定沙地和固定沙地上为土壤含水量。

在同一生长季内 ,流动沙地上土壤含水量均为各类沙地中的最高 ,除 8 月各类沙地间无显著差异外 ,7 和 9 月都达到了显著差异水平 ,且流动沙地的

土壤含水量显著高于其它类型沙地 ($p = 0.000$)。土壤有机质含量却显著低于其它类型沙地 ($p = 0.000$) ,使得其限制因子为土壤有机质 ;而半固定沙地和固定沙地上的限制因子为土壤含水量。张继义等 (2003) 与张继义和赵哈林 (2004) 的研究认为 ,随着沙地的固定 ,群落环境的变化使得差巴嘎蒿种群处于衰退阶段 ,其生态位宽度逐渐变小 ,差巴嘎蒿种群由于环境旱化而衰退 ,聚集程度增强。而本文中不同类型沙地的综合生态位适宜度均以 8 月最高 ,9 月较低 ,水分生态位适宜度与其生态位宽度的变化一致 (张继义等 ,2003 张继义和赵哈林 ,2004) ,而综合生态位适宜度的高低却与其生态位宽度的变化趋势并不一致 ,如流动沙地上水分生态位适宜度最高的是 7 月 ,其综合适宜度反而最低 ,说明它受限于土壤水分和土壤有机质间的配置关系。

4)在一定范围内 ,土壤有机质含量/土壤含水量的比值可直接反映有机质对植物细根的有效性。

土壤有机质对植物根系的有效性与综合生态位

适宜度和细根量的相关性分析结果表明(图 2):当土壤有机质含量/土壤含水量的比值 < 1 时 ,与综合生态位适宜度呈显著正相关 ($p = 0.019$, $R^2 = 0.168$) ,与细根量呈负相关 ($p = 0.431$, $R^2 = 0.019$)。这说明综合生态位适宜度随着该比值的减小而降低 ,细根生物量反而增加 ;当二者的比值 > 1 时与综合生态位适宜度呈极显著负相关 ($p = 0.001$, $R^2 = 0.540$) ,与细根量呈正相关 ($p = 0.117$, $R^2 = 0.139$) ,表明此时较高的土壤养分和较低的土壤含水量的配置 ,降低了土壤养分的有效性 ,不利于根系的吸收 ,使得综合生态位适宜度值也会随之降低。因此可以说 ,差巴嘎蒿种群的综合生态位适宜度受到各限制因子间的补偿和制约以及生物生长调节的综合作用影响 ,尤其是限制因子土壤水分和土壤有机质的配置关系直接影响着其值的高低。差巴嘎蒿种群通过调节细根生长状况来适应土壤水分和有机质的配置关系(图 2)。

如唐海萍和史培军 (2001) 所述 ,通过综合生态

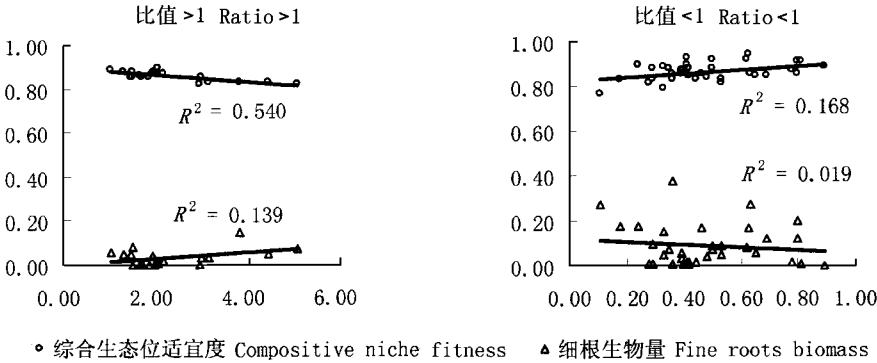


图 2 土壤有机质/土壤水分比值和细根量与综合生态位适宜度的关系
Fig.2 The correlation of the moisture , organic matter , biomass of fine roots and composite niche fitness

位适宜度和水分生态位适宜度的分析 ,很好地反映了植物生长过程中以沙地水分动态表现出的耗水及土壤养分利用状况。但本文作者认为还应在更大时间尺度上进行跟踪实验 ,进一步揭示差巴嘎蒿与水分及其它环境因子之间供需平衡的动态变异规律。

参 考 文 献

Chao LM (潮洛蒙), Piao SJ (朴顺姬), Zhi RN (智瑞年), Song MH (宋明华) (1999). The distribution patterns of *Artemisia halodendron* in different sandland types. *Journal of Desert Research* (中国沙漠), 19(Suppl.1), 45 - 48. (in Chinese with English abstract)

Institute of Soil Sciences of the Chinese Academy of Sciences (中国

科学院南京土壤研究所) (1978). *Physical and Chemical Analysis Methods of Soils* (土壤理化分析方法). Shanghai Scientific and Technical Publishers, Shanghai, 7 - 59. (in Chinese)

Li Q (李), Zhu JZ (朱金兆), Zhu QK (朱清科) (2003). A review on niche theory and niche metrics. *Journal of Beijing Forestry University* (北京林业大学学报), 25, 100 - 107. (in Chinese with English abstract)

Li ZZ (李自珍), Huang ZC (黄子琛) (1995). Fitness analysis of water niches of artificial forest plants in Shapotou area. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica* (西北植物学报), 15, 97 - 101. (in Chinese with English abstract)

Li ZZ (李自珍), Huang ZC (黄子琛), Tang HP (唐海萍) (1996). Numerical simulation of niche fitness process of plants in

- sandy area. *Journal of Lanzhou University* (Natural Science) (兰州大学学报(自然科学版)), 32, 108 – 114. (in Chinese with English abstract)
- Li ZZ (李自珍), Hui C (惠苍), Xu ZM (徐中民), Liu FM (刘发明) (2002). Mathematical model of niche construction for desert vegetation and its applications. *Journal of Glaciology and Geocryology* (冰川冻土), 24, 387 – 392. (in Chinese with English abstract)
- Li ZZ (李自珍), Li WL (李文龙) (2003). The effect of water-fertilizer conditions on crops niche-fitness and yield in semi-arid regions of the Loess Plateau. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica* (西北植物学报), 23, 28 – 33. (in Chinese with English abstract)
- Li ZZ (李自珍), Shi WL (施维林), Tang HP (唐海萍), Wang XP (王新平) (2001). Studies on numerical simulation of moisture niche fitness procedure of arid plants. *Journal of Desert Research* (中国沙漠), 21, 281 – 285. (in Chinese with English abstract)
- Li ZZ (李自珍), Zhao SL (赵松岭), Zhang PY (张鹏云) (1993). Niche fitness theory and its application in crop growth system. *Journal of Lanzhou University* (Natural Science) (兰州大学学报(自然科学版)), 29, 219 – 224. (in Chinese with English abstract)
- Lin H (林红), Li ZZ (李自珍) (1998). The niche-fitness model of crop in semi-arid regions and the quantitative analysis of the results of water-fertilizer regulation experiment. *Journal of Lanzhou University* (Natural Science) (兰州大学学报(自然科学版)), 34, 100 – 105. (in Chinese with English abstract)
- Liu HM (刘华民), Piao SJ (朴顺姬), Wang LX (王立新), Liu F (刘芳), Wei Y (尉云), Liu SG (刘士刚) (2005). Population characteristics of *Artemisia intramongolica* at different successional stages. *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志), 24, 497 – 502. (in Chinese with English abstract)
- Liu SG (刘士刚), Piao SJ (朴顺姬), An MZ (安卯柱), Liu F (刘芳) (2003). Distribution dynamics of *Artemisia halodendron* absorbent roots in different kinds of sandy land. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), 27, 684 – 689. (in Chinese with English abstract)
- Tang HP (唐海萍), Shi PJ (史培军) (2001). Variation in growth characteristics among different planting patterns of *Artemisia ordosica* and *Caragana korshinskii* under carrying water availability regimes. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), 25, 6 – 10. (in Chinese with English abstract)
- Zhang JY (张继义), Zhao HL (赵哈林) (2004). Spatial pattern of main species of the grassland community in the recovering succession in Horqin sandy land. *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志), 23(2), 1 – 6. (in Chinese with English abstract)
- Zhang JY (张继义), Zhao HL (赵哈林), Zhang TH (张铜会), Zhao XY (赵学勇) (2003). Niche dynamics of main population of plants communities in the restoring succession process in Horqin sandy land. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 23, 2741 – 2746. (in Chinese with English abstract)
- Zhang TH (张铜会), Zhao HL (赵哈林), Chang XL (常学礼), Yaushio S (大黑俊哉), Toshiya O (白户康人), Ichiro T (谷山一郎) (2000). Various measures for moving-sand dune control and changes of vegetation in Horqin sandy land. *Journal of Desert Research* (中国沙漠), 20(Suppl. 1), 48 – 52. (in Chinese with abstract)
- Zhao AF (赵爱芬) (1998). Root system biomass distribution and sampling techniques comparison in sandy grass land vegetation. *Journal of Desert Research* (中国沙漠), 18(Suppl. 2), 41 – 45. (in Chinese with English abstract)
- Zhao WZ (赵文智), Zhao CY (赵存玉) (1994). Soil habitat characteristics of *Artemisia* plants in desertified land of Bashang, Hebei Province. *Journal of Desert Research* (中国沙漠), 14(4), 25 – 28. (in Chinese with English abstract)
- Zhou RL (周瑞莲), Zhao HL (赵哈林), Wang HO (王海鸥) (2001). Physiological mechanism of succession of the plants in Horqin sandland, China. *Arid Zone Research* (干旱区研究), 18, 13 – 19. (in Chinese with English abstract)

责任编辑: 张金屯 责任编辑: 刘丽娟