

草原沙漠化过程中植物叶面积的变化及其与土壤因子的关系*

朱志梅^{1**} 杨 持² 曹明明¹ 刘 康¹

(¹ 西北大学城市与环境学院环境科学系, 西安 710127; ² 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 在自然状态下,对沙质草原沙漠化过程中主要植物叶面积变化及其与土壤因子的关系进行了研究。结果表明:随着沙漠化加剧,羊草和糙隐子草的比叶面积在沙漠化初期(梯度 I)下降显著($P < 0.01$),菊叶萎陵菜和冰草的比叶面积在沙漠化后期(梯度 III)下降显著($P < 0.05$),寸草苔比叶面积下降不显著($P > 0.05$),冷蒿比叶面积从沙漠化中、后期开始显著增加($P < 0.05$),扁蓿豆比叶面积从沙漠化初期开始显著增大($P < 0.01$);羊草、糙隐子草和冷蒿的叶面积指数总体上呈显著下降趋势($P < 0.01$),扁蓿豆叶面积指数显著增加($P < 0.01$);羊草、糙隐子草叶面积指数与土壤粘粒、C、N 含量、土壤含水量呈显著正相关($P < 0.01$),与土壤 C/N 比呈显著负相关($P < 0.01$);冷蒿和扁蓿豆叶面积指数与土壤因子的相关性和上述二者正好相反($P < 0.05$);在叶面积指数与土壤因子线性拟合中,糙隐子草叶面积指数与土壤 C/N 拟合最高($R^2 = 1$),其次是羊草叶面积指数与土壤含水量的拟合($R^2 = 0.992$),扁蓿豆叶面积指数与土壤 C/N 拟合最低($R^2 = 0.268$)。土壤 C/N 是影响草原沙漠化过程中共有种叶面积的关键因子($P < 0.05$),其影响大小为糙隐子草 > 羊草 > 冷蒿 > 扁蓿豆。

关键词 沙漠化; 沙质草原; 叶面积; 土壤因子

中图分类号 Q948.11 文献标识码 A 文章编号 1000-4890(2010)12-2384-06

Changes of plant leaf area and its relationships with soil factors in the process of grassland desertification. ZHU Zhi-mei¹, YANG Chi², CAO Ming-ming¹, LIU Kang¹ (¹Department of Environment Science, City and Environment College, Northwest University, Xi'an 710127, China; ²Department of Ecology and Environment Science, Life Science College, Inner Mongolia University, Hohhot 010021, China). *Chinese Journal of Ecology*, 2010, 29(12): 2384-2389.

Abstract: This paper studied the changes of the main plant species leaf area and their relationships with soil factors in the process of grassland desertification under natural conditions. With the intensification of desertification, the specific leaf area (SLA) of *Leymus chinensis* and *Cleistogenes squarrosa* decreased significantly ($P < 0.01$) at early desertification stage (gradient I), and that of *Potentilla tanacetifolia* and *Agrostis cristatum* decreased significantly ($P < 0.05$) at late desertification stage (gradient III). The SLA of *Carex duriuscula* had no significant change ($P > 0.05$), but that of *Artemisia frigida* and *Melilotoides ruthenica* decreased significantly from mid- and late desertification stage ($P < 0.05$) and from early desertification stage ($P < 0.01$), respectively. The leaf area index (LAI) of *M. ruthenica* increased significantly ($P < 0.01$), while that of the others decreased significantly ($P < 0.01$). The LAI of *L. chinensis* and *C. squarrosa* was significantly positively correlated with soil clay, C, N, and moisture contents ($P < 0.01$), and significantly negatively correlated with soil C/N ratio ($P < 0.01$); while the correlations of the LAI of *A. frigida* and *M. ruthenica* with the soil factors were quite opposite ($P < 0.05$) from those for *L. chinensis* and *C. squarrosa*. The linear fitting between the LAI of *C. squarrosa* and soil C/N was the highest ($R^2 = 1$), followed by that between the LAI of *L. chinensis* and soil

* 国家自然科学基金项目(30700648)、陕西省自然科学基金项目(2006Z05)和陕西省教育厅资助项目(08JK442)。

** 通讯作者 E-mail: zhzhmx@126.com

收稿日期: 2010-04-15 接受日期: 2010-09-03

moisture content ($R^2 = 0.992$), and between the LAI of *M. ruthenica* and soil C/N ($R^2 = 0.268$). Our results suggested that in the process of grassland desertification, soil C/N was the key factor affecting the leaf area of common species ($P < 0.05$), with the order of the effect being *C. squarrosa* > *L. chinensis* > *A. frigida* > *M. ruthenica*.

Key words: desertification; sandy grassland; leaf area; soil factor.

草原沙漠化是我国4种类型的沙漠化过程之一(朱震达和刘恕,1984;赵哈林等,1996)。近年来,在4种类型中关于固定沙丘活化、农田风蚀沙漠化和沙丘迁移入侵方面的研究较多(赵哈林等,1996;苏永中等,2002;魏兴晓等,2005)。在我国北方,草原沙漠化危害较重,其治理速度、规模赶不上蔓延的速度、规模,从而导致我国沙漠化总体趋势仍在恶化(王涛等,2004)。沙漠化治理的实质是恢复与重建受损植被、土壤。恢复和重建的效率与植物种的选择及其配置方式、土壤因素有直接关系(王葆芳等,2003)。这就要求从植物与土壤的关键特性出发考虑问题。

植物叶片是生态系统生命物质同化系统的主要构件,是生态系统物质生产和能量转化的基础。许多研究认为,植物的一些叶片性状与植物的生长对策及植物利用资源的能力紧密联系,能够反应植物适应环境变化所形成的生存对策(Pontes *et al.*, 2007; Casadebaig *et al.*, 2008; Wei *et al.*, 2009)。有关植物叶特性与土壤的相关研究主要集中在农田和森林生态系统方面(Arain *et al.*, 2008; McIntyre, 2008; Wei *et al.*, 2009)。本文选取草原植物主要叶特性——比叶面积(specific leaf area, SLA)和叶面积指数(leaf area index, LAI)对沙漠化演变(自然状态下)的响应及其与土壤因子的关系进行研究,旨在为草原沙漠化治理提供基础,为受损生态系统恢复和重建提供科学依据。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

研究区设于内蒙古多伦县(41°46'N—42°36'N, 115°51'E—116°54'E),其位于内蒙古锡林郭勒盟东南部,海拔1150~1800 m。区内气候属我国东部季风区,湿润度0.54,年均温1.6℃,气温年较差36.8℃,日较差14.1℃,平均无霜期100 d。年均降水量385.5 mm,夏季雨量集中,占年降水量的67.0%。潜在年蒸发量是年降水量的4.5倍。年均风速3.6 m·s⁻¹,大风日数67.3 d,多在春季。该县处于内蒙

古高原南部,阴山山脉北坡,浑善达克沙地南缘,东部与大兴安岭余脉衔接。由于受地形的影响,地貌类型较复杂,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。县境土壤地带性属栗钙土,主要土壤类型所占面积由高到低依次为栗钙土70.1%,风沙土16.6%,草甸土6.95%,黑钙土3.38%。植被为中温型草原植被带,属半干旱向半湿润过渡地带,主要分为典型草原、森林草原、草甸草原、沙丘沙地等植被类型(多伦县志编纂委员会,2000)。

1.2 研究方法

1.2.1 样地的选择 研究在选择的沙漠化梯度上进行(表1)。依据1985年草原普察在多伦县境内的布点,2001年8月用GPS重新寻找到其中的35个样地,每个样地随机取3个1 m×1 m样方做生态学调查;2002和2003年的8月分别在县境内沙质草原地带分3个方向选取有明显沙漠化梯度的样地12个(包含4个梯度I、II、III和IV),每个样地随机取3个1 m×1 m样方做生态学调查。在对3年取得的群落、种群和土壤数据进行聚类分析的基础上对多伦县境内的沙质草原划分为I、II、III、IV、V阶段(表1)。

1.2.2 取样与测定 在5种类型样地中每个样方分植物种测地上生物量、叶干重和叶面积,选取每个梯度(梯度V除外)上都有的植物种——羊草、糙隐子草、冷蒿和扁蓿豆,于植物生长旺盛期随机采集新鲜植物叶片(中部),分种混合,用于叶面积指数测定。

比叶面积和叶面积指数测定,将叶片平铺于确定面积的白色纸板上,垂直上方拍照,将照片输入计算机,利用Photoshop软件得出叶片所占像素点数,求得叶片面积(肖强等,2005),烘干称重法测定1 m×1 m样方植物叶片的干重,根据以下公式计算:

$$\text{叶片面积} = \text{叶片像素点数} / \text{纸板像素点数} \times \text{纸板面积}$$

$$\text{比叶面积} = \text{叶片面积}(\text{cm}^2) / \text{叶片干重}(\text{g})$$

$$\text{叶面积指数} = \text{比叶面积}(\text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}) \times 1 \text{ m}^2 \text{ 样方植物叶片的干重}(\text{g} \cdot \text{m}^{-2})$$

表1 沙质草原沙漠化过程中不同阶段群落类型

Tab.1 Community types of different desertification gradients on grassland during sandy desertification

沙漠化阶段	群落盖度 (%)	群落类型	建群种	主要伴生种	备注
I 原生植被	> 35	羊草 + 克氏针茅 + 丛生禾草	羊草 <i>Leymus chinensis</i>	糙隐子草、菊叶萎陵菜 <i>Potentilla tanacetifolia</i> 、阿尔泰狗娃花 <i>Heteropappus altaicus</i> 、冰草 <i>Agrostis cristatum</i> 、寸草苔 <i>Carex duriuscula</i> 、线叶菊 <i>Filifolium sibiricum</i> 和贝加尔针茅 <i>Stipa baicalensis</i>	无风蚀现象;是县境内典型草原的代表性群落,每平方米植物种30种左右
II 潜在沙漠化	25 ~ 35	隐子草 + 冰草	糙隐子草 <i>Cleistogenes squarrosa</i>	羊草、菊叶萎陵菜、寸草苔、线叶菊、达乌里胡枝子 <i>Lespedeza daurica</i> 、冷蒿和阿尔泰狗娃花	外表看不出风蚀现象;每平方米植物种28种左右
III 轻度沙漠化	15 ~ 25	冷蒿 + 冰草 + 隐子草 + 杂类草	冷蒿 <i>Artemisia frigida</i>	扁蓿豆 <i>Melilotoides ruthenica</i> 、糙隐子草、羊草、寸草苔、菊叶萎陵菜和地稍瓜 <i>Cynanchum thesiodes</i>	有局部风蚀现象,不明显;是草原植被受到一定程度破坏后的替代性群落,每平方米植物种18种左右
IV 中度沙漠化	5 ~ 15	沙蒿 + 杂类草	沙蒿 <i>Artemisia intramongolica</i>	扁蓿豆、冷蒿、寸草苔、地稍瓜和雾冰藜 <i>Bassia dasyphylla</i>	风蚀现象明显,随处可见风蚀坑;具有较强耐风蚀沙埋性的沙蒿优势明显,每平方米植物种10种左右。喜沙植物扁蓿豆在该阶段生长旺盛,表明沙漠化进入实质性阶段
V 重度沙漠化	< 5	1年生植物	藜 <i>Chenopodium album</i>	地锦 <i>Euphorbia humifusa</i> 和猪毛菜 <i>Salsola collina</i>	土壤沙化明显,植被已完全退化,物种结构较为单一,每平方米植物种仅4种左右

土壤的取样及土壤含水量、土壤有机C含量、土壤全N含量、土壤颗粒分析的测定见文献(Zhu et al., 2007)。

1.2.3 数据处理 综合2001—2003年的测试数据,分别对每种植物比叶面积和叶面积指数进行梯度间方差分析,采用最小显著差异法(LSD)比较每种植物比叶面积和叶面积指数梯度间差异。采用Pearson相关系数检验共有种叶面积指数与不同土壤因子间的相关性,并进行线性回归分析。

2 结果与分析

2.1 不同沙漠化梯度主要植物比叶面积的变化

表2 不同沙漠化阶段主要植物比叶面积($\text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$)

Tab.2 Specific leaf area of the main plants in different desertification stages

植物种类	I	II	III	IV	F值	P值
羊草	111.35±27.41	69.46±14.91	55.39±2.30	40.52±5.65	11.279	0.002**
糙隐子草	146.84±44.54	71.14±21.93	70.27±2.11	61.28±1.26	7.155	0.008**
冷蒿	95.35±0.01	97.83±18.13	129.45±3.08	134.62±33.82	3.942	0.043*
扁蓿豆	53.04±0.01	75.91±0.01	100.71±0.01	102.01±13.95	33.357	0.000**
菊叶萎陵菜	109.46±0.01	100.53±9.58	93.57±11.12	61.34±8.00	18.600	0.000**
寸草苔	178.86±11.43	138.92±16.24	125.80±53.10	112.18±14.49	2.901	0.102
冰草	68.54±0.01	65.44±6.32	48.19±3.81	—	17.448	0.002**
克氏针茅	57.87±6.39	—	28.68±0.01	—	—	—
线叶菊	129.22±0.01	—	98.21±0.01	—	—	—
贝加尔针茅	46.94±0.01	—	39.33±0.01	—	—	—
沙蒿	—	—	—	20.59±0.01	—	—

数值为平均值±标准差,* $P<0.05$; ** $P<0.01$,"—"表示样方中未发现此种。下同。

在沙漠化进展演替过程中,所调查的植物中多数比叶面积呈降低趋势,且羊草、糙隐子草、菊叶萎陵菜和冰草各沙漠化梯度间差异极显著($P<0.01$),寸草苔沙漠化梯度间差异不显著($P>0.05$)。说明随着沙漠化程度加剧,沙漠化抑制了多数植物叶片的伸展。同时,冷蒿和扁蓿豆的呈显著上升趋势($P<0.05$),且扁蓿豆($P<0.01$)的增大程度高于冷蒿($P<0.05$)(表2),其增加是长期适应环境的表型特征。

不同植物比叶面积对沙漠化的响应存在区别,在随沙漠化程度加剧而减小的植物类群中,菊叶萎陵菜、冰草、羊草和糙隐子草的表现要突出一些,它们的叶片形态受到的损伤较严重,而分布广泛的寸

表 3 不同沙漠化阶段主要植物比叶面积的多重比较

Tab. 3 Multiple comparisons between different desertification stages in specific leaf area of the main plants

梯度	比较梯度	P 值						
		羊草	糙隐子草	冷蒿	扁蓿豆	菊叶萎陵菜	寸草苔	冰草
I	II	0.004 **	0.003 **	0.862	0.004 **	0.202	0.133	0.408
	III	0.001 **	0.005 **	0.053	0.000 **	0.048 *	0.057	0.001 **
	IV	0.000 **	0.003 **	0.030 *	0.000 **	0.000 **	0.023 *	-
II	III	0.249	0.964	0.046 *	0.002 **	0.312	0.598	0.002 **
	IV	0.030 *	0.618	0.024 *	0.002 **	0.000 **	0.295	-
III	IV	0.274	0.684	0.746	0.825	0.001 **	0.584	-

表 4 不同沙漠化梯度共有种叶面积指数的变化 ($\text{cm}^2 \cdot \text{m}^{-2}$)

Tab. 4 Changes of leaf area index of the common species under different desertification gradients

共有种	I	II	III	IV	F 值	P 值
羊草	2984±5	317±1	150±0	45±0	145.11	0.000 **
糙隐子草	294±1	1165±4	163±0	424±0	20.25	0.000 **
冷蒿	1194±0	1133±2	8347±1	640±1	3546.95	0.000 **
扁蓿豆	25±0	110±0	321±0	832±0	10265.44	0.000 **

草苔,作为草原的伴生成分,虽也出现受损状态,但没有达到显著水平。不同植物比叶面积沙漠化梯度间差异均显著大于同梯度样地间差异。

多重比较(表 3)表明,梯度 I 建群种羊草和梯度 II 建群种糙隐子草的比叶面积从沙漠化初期(梯度 I)即下降显著($P < 0.01$),主要伴生种菊叶萎陵菜和冰草在沙漠化后期(梯度 III)下降显著($P < 0.05$);梯度 III 建群种冷蒿的显著增加($P = 0.046$)是从沙漠化中、后期开始,而扁蓿豆从沙漠化初期即开始显著增加($P = 0.004$)。

2.2 共有种叶面积指数的变化

叶面积指数反映单位面积植被捕获光资源的潜在最大面积,直接依赖于草地生态系统内植物的生长、衰老(死亡)和动物的采食这 3 个物质流之间的平衡。沙漠化过程中 4 个共有种中羊草、糙隐子草和冷蒿叶面积指数总体上呈下降趋势(表 4),冷蒿在梯度 III 有一高峰,原因是其为建群种的阶段单位面积株数显著增加(朱志梅和杨持,2004),并且单株叶片发达,干重较大(因测定时无法将其营养枝条与叶片分离,故有少量枝条也归入叶片),导致单位面积叶干重和地上生物量急剧增加。另外,扁蓿豆显著上升,且梯度间均差异极显著($P < 0.01$)。由表 4 和表 5 可知,梯度 I 羊草叶面积指数与其他梯度间均差异极显著($P < 0.01$),梯度 II 糙隐子草与其他梯度间均差异极显著($P < 0.01$),除此之外,羊草和糙隐子草梯度间差异不显著($P > 0.05$)。冷蒿除了梯度 I、II 间差异不显著外,其他梯度间彼此均差

异极显著($P < 0.01$)。4 个共有种叶面积指数沙漠化梯度间差异均显著大于同梯度样地间差异。

随着沙漠化的发展,羊草和糙隐子草叶面积指数均在各自为建群种的阶段与其他梯度相比,变化显著,而在它们不是建群种的阶段(即作为伴生种存在)变化不明显;冷蒿是从轻度沙漠化阶段开始变化明显;在沙漠化发展过程中,扁蓿豆是唯一的叶面积指数持续增大的物种,可见其在土壤沙漠化过程中捕获光资源的能力较强。

2.3 土壤因子的变化

随着草原沙漠化的进展,0~20 cm 土层土壤含水量、粘粒、C、N 含量降低,土壤 C/N 增加(表 6,朱志梅等,2007)。

2.4 共有种叶面积指数与土壤因子的相关性

羊草、糙隐子草叶面积指数与 0~20 cm 土层土壤粘粒、C、N 含量、土壤含水量呈显著正相关,与土壤 C/N 呈显著负相关,冷蒿和扁蓿豆的叶面积指数与土壤因子的相关性和上述二者的正好相反(冷蒿

表 5 不同沙漠化阶段共有种叶面积指数的多重比较

Tab. 5 Multiple comparisons between different desertification stages in leaf area index of the common species

梯度	比较梯度	P 值			
		羊草	糙隐子草	冷蒿	扁蓿豆
I	II	0.000 **	0.000 **	0.494	0.000 **
	III	0.000 **	0.367	0.000 **	0.000 **
	IV	0.000 **	0.370	0.000 **	0.000 **
II	III	0.330	0.000 **	0.000 **	0.000 **
	IV	0.121	0.000 **	0.000 **	0.000 **
III	IV	0.535	0.083	0.000 **	0.000 **

表 6 不同沙漠化阶段土壤含水量、土壤粘粒、C、N 含量、土壤 C/N 的变化

Tab. 6 Soil moisture and the content of clay, C, N, C/N in soil under different desertification stage

沙漠化阶段	土壤含水量 (%)	土壤粘粒含量 (%) (<0.01 mm)	土壤有机 C 含量 (%)	土壤全 N 含量 (%)	土壤 C/N
II	24.84±3.96	12.53±6.76	1.33±0.82	0.16±0.06	8.11
III	15.13±2.68	4.86±3.82	1.07±0.58	0.08±0.03	13.96
IV	10.86±1.83	2.49±2.35	0.82±0.48	0.07±0.04	12.36
V	4.28±0.01	2.19±1.32	0.29±0.14	0.03±0.02	28.17

叶面积指数与土壤 C 含量虽也是正相关,但不显著,相关系数仅为 0.046)(表 7)。

沙漠化发展过程中,糙隐子草叶面积指数随土壤 C/N 增大而直线减少($Y=25.57-1.719X$),且其拟合度($R^2=1$)最高,说明土壤 C/N 是影响其叶性状的關鍵因子;其次,羊草叶面积指数随土壤含水量减少而直线减少($Y=-1.523+0.191X$, $R^2=0.992$),说明土壤含水量是影响羊草叶性状的关键因子。同时,冷蒿叶面积指数随土壤 C/N 增加而增大($Y=-75.996+9.561X$, $R^2=0.449$),土壤 C/N 也是影响其叶性状的关键因子;扁蓿豆随土壤 C/N 增加而增大($Y=-3.038+0.635X$),其拟合度($R^2=0.268$)最

表 7 共有种叶面积指数(Y)与土壤因子(X)的相关性分析和线性回归方程

Tab. 7 Correlations and the linear regression equations between LAI in four common species and soil moisture, the content of clay, C, N, C/N in soil

共有种	土壤因子	相关系数	拟合方程	R^2
羊草	土壤含水量	0.996**	$Y=-1.523+0.191X$	0.992
	土壤 C/N	-0.790**	$Y=5.818-0.358X$	0.624
	土壤粘粒含量	0.986**	$Y=-0.002+0.258X$	0.973
	土壤有机 C 量	0.993**	$Y=-4.026+5.341X$	0.986
	土壤全 N 含量	0.958**	$Y=-1.046+26.637X$	0.918
糙隐子草	土壤含水量	0.850**	$Y=-4.6+0.616X$	0.722
	土壤 C/N	-1.000**	$Y=25.57-1.719X$	1.000
	土壤粘粒含量	0.886**	$Y=0.023+0.878X$	0.786
	土壤有机 C 量	0.721**	$Y=-9.927+14.689X$	0.519
	土壤全 N 含量	0.938**	$Y=-4.369+98.795X$	0.879
冷蒿	土壤含水量	-0.164	-	-
	土壤 C/N	0.670**	$Y=-75.996+9.561X$	0.449
	土壤粘粒含量	-0.236	-	-
	土壤有机 C 量	0.046	-	-
	土壤全 N 含量	-0.357	-	-
扁蓿豆	土壤含水量	-0.897**	$Y=12.085-0.465X$	0.805
	土壤 C/N	0.518*	$Y=-3.038+0.635X$	0.268
	土壤粘粒含量	-0.862**	$Y=8.252-0.61X$	0.743
	土壤有机 C 量	-0.970**	$Y=19.392-14.114X$	0.940
	土壤全 N 含量	-0.792**	$Y=10.365-59.568X$	0.626

低,说明土壤 C/N 对其影响不及其他土壤因子(土壤 C、土壤含水量、粘粒、N 含量)。

由表 7 可知,4 个共有种叶面积指数只与土壤因子中 C/N 均显著相关($P<0.05$),说明土壤 C/N 是影响共有种叶面积的共同关键因子,其生态作用塑造了植物抗性差异,影响大小依次为糙隐子草>羊草>冷蒿>扁蓿豆。

3 讨论

在沙漠化过程中,多数植物比叶面积减小,揭示了它们的叶片形态生长受到抑制,进而叶片增厚;同时植物通过降低比叶面积可以减少蒸发消耗和增加碳的获得(Sampson & Allen, 1999; Quétier *et al.*, 2007),因此也是一种适应策略。在沙漠化这种环境胁迫下,伴随着一些植物生长受到抑制,另一些植物的抗性和适应性增大,如扁蓿豆和冷蒿,通过增加比叶面积来增大生长和抵抗逆境的能力,这与其种群生长状况是一致的(朱志梅和杨持, 2004a)。它们的叶面积指数随土壤含水量的降低而增大,与乔木的叶面积指数变化相似(曾小平等, 2004),明显区别于本文的羊草、糙隐子草。在北方草原区,土壤水分是植物生长的重要环境因子,植物与水分的不同关系,预示其适应策略不同。沙漠化梯度 IV 的建群种——沙蒿,其比叶面积(表 2 的最小值 $20.59 \text{ cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$)较小,但却在沙漠化进展演替的后期,能够优势生长,可见在可利用资源(水分、养分等)不断缩小的情况下,具有较小比叶面积的植物,能够获得更大的生存能力(收获同等光合器官生物量时)。有学者指出,比叶面积在不同生长型中变化显著,其中草本与灌木和乔木差异显著,灌木与乔木差异不显著(刘金环等, 2006),与本研究似有吻合之处。

冰草和寸草苔是草原的主要伴生种。在退化草原的过渡类型中,冰草常常处于优势地位(如本文的梯度 II、III),寸草苔则广泛分布,研究发现,冰草比叶面积对沙漠化的敏感性大于寸草苔(表 2)。外貌相似的羊草和冰草,同为牲畜喜食的根茎型禾草,且均随着沙漠化进展到中度沙漠化阶段成为“消失种”,但羊草比叶面积对沙漠化的敏感性大于冰草(表 2)。由此推测沙漠化对群落中建群种的影响要大于伴生种。

4 个共有种叶面积指数与土壤因子的相关分析(表 7)表明,土壤粘粒、C、N 含量和土壤含水量也对植物叶面积有一定的生态作用,尤其是对羊草、糙隐

子草和扁蓿豆有显著作用。总体上看,羊草和糙隐子草叶面积指数与土壤因子的相关水平高于冷蒿和扁蓿豆,这提示在沙漠化演变过程中土壤环境的变化是重要因子,而不同植物受土壤的影响是存在差异的,羊草、糙隐子草受到严重影响,较明显地区别于冷蒿和扁蓿豆,而扁蓿豆叶面积指数与土壤因子的相关性同羊草、糙隐子草有相反方向,结合它们生理反应的变化(朱志梅和杨持,2004b),说明沙漠化过程中羊草和糙隐子草光合能力、营养生长受损加重,而扁蓿豆绿色同化组织的生长状况却有所增加。

草原沙漠化对土壤影响颇深(刘颖茹等,2004;朱志梅等,2007),基于植物叶特性的沙漠化响应,还需要深入植物-土壤系统来揭示其演变机制。

参考文献

多伦县志编纂委员会. 2000. 多伦县志. 呼和浩特:内蒙古文化出版社.

刘金环,曾德慧, Lee DK. 2006. 科尔沁沙地东南部地区主要植物叶片性状及其相互关系. 生态学杂志, **25**(8): 921-925.

刘颖茹,杨持,朱志梅,等. 2004. 我国北方草原沙漠化过程中土壤碳、氮变化规律研究. 应用生态学报, **15**(9): 1604-1606.

苏永中,赵哈林,张铜会,等. 2002. 农田沙漠化演变中土壤质量的生物学特性变化. 干旱区研究, **19**(4): 64-68.

王涛,朱震达,赵哈林. 2004. 我国沙漠化研究的若干问题——4. 沙漠化的防治战略与途径. 中国沙漠, **24**(2): 115-123.

王葆芳,王志刚,江泽平,等. 2003. 干旱区防护林营造方式对沙漠化土地恢复能力的影响研究. 中国沙漠, **23**(3): 236-241.

魏兴琥,杨萍,李森,等. 2005. 西藏沙漠化典型分布区沙漠化过程中的生物生产力 and 物种多样性变化. 中国沙漠, **25**(5): 663-667.

肖强,叶文景,朱珠,等. 2005. 利用数码相机和 Photoshop 软件非破坏性测定叶面积的简便方法. 生态学杂志, **24**(6): 711-714.

曾小平,赵平,蔡锡安,等. 2004. 不同土壤水分下焕镭木幼苗的生理生态特性. 生态学杂志, **23**(2): 26-31.

赵哈林,黄学文,何宗颖,等. 1996. 科尔沁地区农田土壤沙漠化演变的研究. 土壤学报, **33**(3): 242-248.

朱震达,刘恕. 1984. 关于沙漠化的概念及其发展程度的判断. 中国沙漠, **4**(3): 2-8.

朱志梅,杨持,曹明明,等. 2007. 多伦草原土壤理化性质在沙漠化过程中的变化. 水土保持通报, **27**(1): 1-5.

朱志梅,杨持. 2004a. 草原沙漠化过程中植物的耐胁迫类型研究. 生态学报, **24**(6): 1093-1100.

朱志梅,杨持. 2004b. 沙漠化过程中四个共有种的生长和抗氧化系统酶类变化. 应用生态学报, **15**(12): 2261-2266.

Arain MB, Kazi TG, Jamali MK, et al. 2008. Hazardous impact of toxic metals on tobacco leaves grown in contaminated soil by ultrasonic assisted pseudo-digestion: Multivariate study. *Journal of Hazardous Materials*, **155**: 216-224.

Casadebaig P, Debaeke P, Lecoer J. 2008. Thresholds for leaf expansion and transpiration response to soil water deficit in a range of sunflower genotypes. *European Journal of Agronomy*, **28**: 646-654.

McIntyre S. 2008. The role of plant leaf attributes in linking land use to ecosystem function in temperate grassy vegetation. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, **128**: 251-258.

Pontes LDS, Soussana JF, Louault F, et al. 2007. Leaf traits affect the above-ground productivity and quality of pasture grasses. *Functional Ecology*, **21**: 844-853.

Quétier F, Thébault A, Lavorel S. 2007. Plant traits in a state and transition framework as markers of ecosystem response to land-use change. *Ecological Monographs*, **77**: 33-52.

Sampson DA, Allen HL. 1999. Regional influences of soil available water-holding capacity and climate, and leaf area index on simulated loblolly pine productivity. *Forest Ecology and Management*, **124**: 1-12.

Wei LY, Huang YQ, Li XK, et al. 2009. Effects of soil water on photosynthetic characteristics and leaf traits of *Cyclobalanopsis glauca* seedlings growing under nutrient-rich and-poor soil. *Acta Ecologica Sinica*, **29**: 160-165.

Zhu ZM, Yang C, Cao MM, et al. 2007. Analysis on the soil factor and physiological response of the plants in the process of sandy desertification on grassland. *Acta Ecologica Sinica*, **27**: 48-56.

作者简介 朱志梅,女,1972年生,博士,副教授。主要从事植物生态学、干扰生态与恢复生态和环境生物学研究,发表论文10余篇。E-mail: zhzhmx@126.com

责任编辑 刘丽娟