

# 毛乌素沙地南缘生态过渡带植被和土壤的特性

许冬梅<sup>1</sup>, 王堃<sup>2</sup>, 龙澍普<sup>3</sup>

(1. 宁夏大学 农学院, 宁夏 银川 750021; 2. 中国农业大学 草地研究所, 北京 100094; 3. 宁夏盐池县科技局, 宁夏 盐池 751500)

**摘要:** 对毛乌素沙地南缘生态过渡带流动半流动沙丘、固定半固定沙地、盐化丘间低地和缓坡丘陵梁地 4 种不同生境植被和土壤特性进行了研究, 以探讨毛乌素沙地南缘沙漠化现状。结果表明, 从缓坡丘陵梁地, 经盐化丘间低地、固定半固定沙地到流动半流动沙丘, 植被总盖度、草本植物盖度、物种丰富度均呈下降趋势; 植被组成中多年生草本植物逐渐减少, 一年生草本植物及沙生灌木、半灌木逐渐增加。土壤含水量为流动半流动沙丘 < 固定半固定沙地 < 缓坡丘陵梁地 < 盐化丘间低地。土壤黏、粉粒及有机质、全氮等养分含量总体为由缓坡丘陵梁地到流动半流动沙丘逐渐降低, 砂粒含量逐渐增加。pH 和可溶性盐含量无明显变化规律。总体上看, 该地区植物群落多以耐瘠薄性强的植物组成, 一年生植物比例较高, 植被不稳定, 土壤组成主要以砂粒为主, 土壤含水量低, 养分贫瘠, 环境脆弱, 易产生风蚀、沙化。

**关键词:** 毛乌素沙地; 生态过渡带; 植被特征; 土壤特性

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2008)05-0039-05

中图分类号: S157.1, Q948.15

## Vegetation Characteristics and Soil Properties in the Transitional Zone in South Fringe of Mu Us Sandy Land

XU Dong-mei<sup>1</sup>, WANG Kun<sup>2</sup>, LONG Shu-pu<sup>3</sup>

(1. College of Agriculture, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021, China;

2. Institute of Grassland Science, China Agricultural University, Beijing 100094, China;

3. Bureau of Science and Technology of Yanchi County, Yanchi, Ningxia 751500, China)

**Abstract:** An experiment was conducted to reveal vegetation characteristics and soil properties under four different habitats in the transitional zone in south fringe of Mu Us sandy land and to explore sandy desertification status in the region. Results showed that total vegetation coverage, herbaceous coverage, and species richness were all decreased, and perennial species gradually gave place to psammophyte annuals, shrubs, and semi-shrubs from gentle slope hilly ridge, through saline bottomland and fixed and semi-fixed dune, and to shifting and semi-shifting dune. Landform units, in terms of soil water content, were in the ascendant order of shifting and semi-shifting dune, fixed and semi-fixed dune, gentle slope hilly ridge, and saline bottomland. Soil clay and silt particles, organic matter, total N and other nutrient contents decreased, while soil sand particles increased from gentle slope hilly ridge to shifting and semi-shifting dune as a whole. Changes of pH and soluble salinity concentrations had no obvious laws observed. Overall, vegetation was unstable, floristic composition was dominated by adversity-resistant species, and annual species had a higher ratio in this region. The dominant soil particle was sand and soil water and other nutrient contents were low. The environment was fragile and erodible.

**Keywords:** Mu Us sandy land; transitional zone; vegetation characteristic; soil property

土地沙漠化是当今世界面临的重大环境问题之一<sup>[1]</sup>。人类生存环境中, 土地沙漠化日益引起全球的广泛重视。土地沙漠化的加剧, 导致环境恶化, 植被覆盖度降低, 植物种类减少, 土地利用下降等, 直接

危害人类的生存。沙漠化的发生、发展过程首先表现为土壤—植物系统的退化。土地沙漠化和植被退化是密切相关并相互影响的过程, 植被的退化会导致土地的裸露, 给风蚀和水蚀提供了前提条件; 土壤的风

收稿日期: 2008-01-10

修回日期: 2008-03-20

资助项目: 国家“863”计划项目(2006AA10Z250); 教育部春晖计划项目(Z20061-75004); 宁夏大学基金项目(NS0507)

作者简介: 许冬梅(1970—), 女(汉族), 宁夏自治区中卫市人, 博士, 副教授, 主要从事草地生态与管理的研究工作。E-mail: nxxudongmei@163.com。

通信作者: 王堃(1962—), 男(汉族), 内蒙古自治区赤峰市人, 教授, 博士生导师, 主要从事草地恢复生态及分子生态研究工作。E-mail: wangkun6060@sina.com。

蚀破坏了植被的生存条件,促进了植被的退化<sup>[2]</sup>。流动沙丘是沙地土壤—植物系统退化的极点,其特点是土壤极度贫瘠且基质极不稳定,植被的自我恢复能力十分微弱<sup>[3]</sup>。随着流沙的固定,植被种类及盖度增加,由于其产生的小气候效应和防风、抗蚀等生态服务功能,加之植物凋落物及草本层植物残体的积累、分解和养分的释放,使得土壤—植物系统发生变化。

沙漠化的首要前提是具备风沙地貌特征。我国沙区幅员辽阔,在沙区,周围往往形成沙地边缘带,其生态环境退化的主要形式就是沙漠化<sup>[4]</sup>。当人类经营活动过度干扰了沙地边缘带,就会促成沙漠化,使得边缘带植被、土壤遭到破坏,流动半流动沙丘向外推移。流沙扩展,首当其冲的受害地段就是沙漠边缘带,因此可以说,沙漠边缘带是沙漠化的前沿阵地,是防止沙漠化的最关键部位。

本研究通过对毛乌素沙地南缘生态过渡带不同生境植被和土壤特性的变化分析,探讨毛乌素沙地南缘沙漠化现状,为合理组织人类活动,监测沙地、草地生态系统动态,保护生态系统功能,防止土地沙漠化提供理论依据。

## 1 研究区自然概况

试验地点设在宁夏盐池县沙边子治沙基地。该基地地处毛乌素沙地南缘,是毛乌素沙地与荒漠草原的过渡带。位于北纬  $37^{\circ}52'30''$ — $37^{\circ}57'30''$ ,东经  $107^{\circ}26'15''$ — $107^{\circ}33'45''$ 。海拔 1 300~1 360 m;年均温  $7.5^{\circ}\text{C}$ ;年均降雨量 280 mm,其中 70% 以上集中在 6—9 月份,降水年际变率大,年蒸发量 2 710 mm (E601 蒸发皿)。依地貌单元,该地划分为沙丘地、盐化丘间低地和缓坡丘陵梁地 3 个类型。土壤类型依不同生境类型分别为风沙土、盐化草甸土和沙质淡灰钙土。地带性植被属荒漠草原带。

## 2 研究方法

### 2.1 野外调查

于 2006 年 8 月植物生长最旺盛时期,采用样线法调查。从流动半流动沙丘开始,经固定半固定沙地、盐化丘间低地,一直到缓坡丘陵梁地草地外围边界为止,设置 3 条重复样线,沿样线每隔 100 m 设置样方(草本  $1\text{ m}\times 1\text{ m}$  或  $2\text{ m}\times 2\text{ m}$ ;灌木  $10\text{ m}\times 10\text{ m}$  或  $5\text{ m}\times 20\text{ m}$ )。分别调查灌木和草本植物的物种组成、密度、高度、盖度、频度,记录样方所在的具体位置、微地形等。同时,在每个样方设 5 个取样点,分 0—5 cm, 5—20 cm, 20—50 cm, 50—100 cm 采取土样,将同层的 5 个样混合均匀。

### 2.2 分析方法

土壤机械组成采用比重计法;土壤水分采用烘干法;土壤有机质采用重铬酸钾容量法;土壤全氮采用凯氏定氮法;水解氮采用碱解扩散法;速效磷采用碳酸氢钠浸提—钼锑抗比色法;速效钾采用醋酸氨浸提,火焰光度法。pH 和可溶性盐采用 1:5 混悬液测定。采用 SPSS12.0 统计分析程序进行方差分析。

## 3 结果与分析

### 3.1 毛乌素沙地南缘不同生境条件下植被特征

从流动半流动沙丘到缓坡丘陵梁地所有调查样方中,共鉴定出 43 种植物(表 1),分属 12 科。其中主要是一些旱生、沙生灌木及半灌木、多年生草本和一年生草本植物。在流动半流动沙丘,植被主要由沙生灌木、半灌木如沙柳(*Salix psammophylla*)、白沙蒿(*Artemisia sphaeracephala*)、花棒(*Hedysarum scoparium*)及沙生草本植物如沙竹(*Psammochola mongolica*)、沙米(*Agriophyllum squarrosum*)、沙地旋覆花(*Inula salsoloides*)等组成;固定半固定沙地以油蒿(*Artemisia ordosica*)为主,并伴生大量的星状刺果藜(*Bassia dasyphylla*)、尖头叶藜(*Chenopodium acuminatum*)、中亚白草(*Pennisetum centrasiticum*)、苦豆子(*Sophora alopecuroides*)等;盐化丘间低地主要是白刺(*Nitraria sibirica*),同时伴生大量的星状刺果藜、尖头叶藜、赖草(*Leymus secalinus*)和苦豆子等。梁地主要有刺蓬(*Salsola pestifer*)、中亚白草、牛枝子(*Lespedeza potaninii*)、苦豆子和赖草等。

由表 2 可以看出不同生境植被总盖度、草本植物盖度及物种丰富度差异极显著( $P < 0.01$ ),均以流动半流动沙丘最低,缓坡丘陵梁地最高。在整个变化过程中,固定半固定沙地是一个重要转折点,从固定半固定沙地到流动半流动沙丘这一过程是植被盖度及物种丧失最快的时期。

根据植物种生活型来看,不同生境中一年生植物均占较高的比例,即使在缓坡丘陵梁地,一年生植物种数仍占到 50%。据实测,在干旱季节或年份,缓坡丘陵梁地草地植被总盖度仅为 37.83%。说明该地区植被极不稳定,在干旱少雨季节或年份,一年生植物萌发及生长受限,植被盖度极低,很容易产生风蚀,造成土地沙化。

### 3.2 毛乌素沙地南缘不同生境条件下土壤特性

3.2.1 不同生境土壤水分含量 毛乌素沙地南缘不同生境各深度土壤含水量均为盐化丘间低地>缓坡丘陵梁地>固定半固定沙地>流动半流动沙丘(表 3)。其中,盐化丘间低地各深度土层含水量均显著高于其它生境( $P < 0.05$ ),这可能是由于地形造成的,因其属

丘间低地,导致土壤含水量较高。从垂直分布看,在 0—100 cm 土层内,各生境土壤含水量随土层深度的增加而增加,均为 0—5 cm 土层最低,50—100 cm 土层

最高( $P < 0.05$ )。总体来看,除盐化丘间低地外,各生境土壤含水量均较低,尤其在植被覆盖度较低的流动半流动沙丘,土壤表层含水量仅为 0.38%。

表 1 毛乌素沙地南缘不同生境植被组成及其重要值(%)

植物种名	科名	生活型	iv(%)	㉔(%)	㉕(%)	㉖(%)	㉗(%)
多枝棘豆( <i>Oxytropis ramosissima</i> )	豆科	多年生草本	14.36	—	—	—	—
沙竹( <i>Psammodictyon mongolicum</i> )	禾本科	多年生草本	12.41	—	—	—	—
沙米( <i>Agripophyllum squarrosum</i> )	藜科	一年生草本	13.89	3.66	0.97	0.01	—
地稍瓜( <i>Cynanchum thesioides</i> )	萝藦科	多年生草本	11.85	1.01	—	1.55	—
白沙蒿( <i>Artemisia sphaerocephala</i> )	菊科	半灌木	13.02	—	—	—	—
油蒿( <i>Artemisia ordosica</i> )	菊科	半灌木	—	39.99	—	—	—
花棒( <i>Hedysarum scoparium</i> )	豆科	灌木	7.39	—	—	—	—
沙柳( <i>Salix psammophylla</i> )	杨柳科	灌木	8.18	—	—	—	—
杨柴( <i>Hedysarum laeve</i> )	豆科	灌木	8.04	—	—	—	—
沙地旋覆花( <i>Inula salsoloides</i> )	菊科	多年生草本	10.86	—	0.06	—	—
瘤果虫实( <i>Corispermum tylocarpum</i> )	藜科	一年生草本	—	2.44	2.46	9.38	—
星状刺果藜( <i>Bassia dasycarpa</i> )	藜科	一年生草本	—	16.61	17.06	1.36	—
尖头叶藜( <i>Chenopodium acuminatum</i> )	藜科	一年生草本	—	11.34	16.12	7.81	—
蒺藜( <i>Tribulus terrestris</i> )	蒺藜科	一年生草本	—	0.23	0.08	0.78	—
刺蓬( <i>Salsola pestifer</i> )	藜科	一年生草本	—	6.19	5.19	19.86	—
中亚白草( <i>Pennisetum centrasiaticum</i> )	禾本科	多年生草本	—	6.00	2.02	13.14	—
地锦( <i>Euphorbia humifusa</i> )	大戟科	一年生草本	—	0.88	—	0.42	—
狗尾草( <i>Setaria viridis</i> )	禾本科	一年生草本	—	2.14	0.71	3.40	—
赖草( <i>Leymus secalinus</i> )	禾本科	多年生草本	—	1.95	8.96	8.59	—
苦豆子( <i>Sophora alopecuroides</i> )	豆科	半灌木	—	5.43	5.32	9.48	—
猪毛菜( <i>Salsola collina</i> )	藜科	一年生草本	—	—	0.38	1.26	—
白茎盐生草( <i>Halogelion arachnoideus</i> )	藜科	一年生草本	—	0.03	0.95	0.25	—
老瓜头( <i>Cynanchum komarovii</i> )	萝藦科	多年生草本	—	1.58	2.37	0.32	—
披针叶黄华( <i>Thermopsis lanceolata</i> )	豆科	多年生草本	—	0.10	1.96	1.20	—
飞廉( <i>Carduus crispus</i> )	菊科	二年生草本	—	0.15	—	0.16	—
叉枝鸭葱( <i>Scorzonera divaricata</i> )	菊科	多年生草本	—	—	—	3.27	—
脓疮草( <i>Panzeria alaschanica</i> )	唇形科	多年生草本	—	—	0.20	—	—
砂珍棘豆( <i>Oxytropis psammocharis</i> )	豆科	多年生草本	—	—	—	0.49	—
碱地风毛菊( <i>Saussurea runcinata</i> )	菊科	多年生草本	—	—	0.38	—	—
蒙山莴苣( <i>Lactuca tatarica</i> )	菊科	多年生草本	—	0.04	2.76	1.84	—
草地风毛菊( <i>Saussurea amara</i> )	菊科	多年生草本	—	—	2.17	—	—
银灰旋花( <i>Convolvulus ammannii</i> )	旋花科	多年生草本	—	—	0.11	1.58	—
西伯利亚蓼( <i>Polygonum sibiricum</i> )	蓼科	多年生草本	—	—	—	—	—
碱蓬( <i>Suaeda salsa</i> )	藜科	一年生草本	—	—	6.11	—	—
小画眉草( <i>Eragrostis poaeoides</i> )	禾本科	一年生草本	—	—	0.03	—	—
西伯利亚滨藜( <i>Atriplex sibirica</i> )	藜科	一年生草本	—	—	4.68	—	—
地肤( <i>Kochia scoparia</i> )	藜科	一年生草本	—	—	0.75	—	—
细弱隐子草( <i>Cleistogenes griacilis</i> )	禾本科	多年生草本	—	—	0.50	0.41	—
白刺( <i>Nitraria sibirica</i> )	蒺藜科	灌木	—	—	17.60	—	—
牛枝子( <i>Lespedeza potaninii</i> )	豆科	半灌木	—	0.23	0.19	11.27	—
乳浆大戟( <i>Euphorbia esula</i> )	大戟科	多年生草本	—	—	0.02	0.84	—
匍根骆驼蓬( <i>Peganum nigellastrum</i> )	蒺藜科	多年生草本	—	—	0.11	0.91	—
丝叶山苦菜( <i>Ixeris chinensis</i> var. <i>graminifolia</i> )	菊科	多年生草本	—	—	—	0.62	—

注: iv: 流动半流动沙丘; ㉔: 固定半固定沙地; ㉕: 盐化丘间低地; ㉖: 缓坡丘陵梁地。

表 2 毛乌素沙地南缘不同生境植被特征

生境	总盖度	草本植物盖度	物种总数	物种丰富度
流动半流动沙丘	8.58±1.03c	3.47±0.38d	9	3.53±0.41
固定半固定沙地	41.17±1.34	19.50±1.54c	19	6.21±0.24
盐化丘间低地	45.89±1.77b	28.31±1.34b	29	7.73±0.30
缓坡丘陵梁地	57.17±2.97a	57.17±2.97a	26	7.78±0.52
<i>F</i> 值	64.56**	98.71**		22.16**

注: 同列字母 a, b, c, d 不同者表示差异显著 ( $P < 0.05$ ) 或极显著 ( $P < 0.01$ ), 字母相同者为差异不显著 ( $P > 0.05$ ); \*\*  $P < 0.01$ , \*  $P < 0.05$ 。

表 3 毛乌素沙地南缘不同生境土壤水分含量

生境	0—5 cm	5—20 cm	20—50 cm	50—100 cm
流动半流动沙丘	0.38±0.01b	0.59±0.16b	1.02±0.08b	2.09±0.52b
固定半固定沙地	0.50±0.08b	1.73±0.32b	2.26±0.46b	2.42±0.97b
盐化丘间低地	2.56±0.83a	6.47±2.17a	8.74±1.14a	9.16±1.48a
梁缓坡丘陵地	1.21±0.30ab	2.34±0.75b	3.57±1.08b	3.77±0.70b
<i>F</i> 值	5.45*	4.88*	17.13**	11.2**

3.2.2 不同生境土壤的机械组成 图 1 显示了不同生境土壤颗粒组成。各层土壤砂粒含量均为缓坡丘陵梁地 < 盐化丘间低地 < 固定半固定沙地 < 流动半流动沙丘; 黏、粉粒含量呈现出与砂粒含量相反的趋势。土壤颗粒组成从缓坡丘陵梁地到流动半流动沙丘表现出明显的梯度变化, 说明随着沙漠化的进程, 土壤逐渐粗粒化。从垂直分布看, 缓坡丘陵梁地 0—20 cm 土层砂粒含量显著高于 20—100 cm 土层 ( $P < 0.05$ ), 而流动半流动沙丘、固定半固定沙地 0—20 cm 土层砂粒含量则低于 20—100 cm 土层 ( $P < 0.05$ ), 表明土地沙化主要发生在土壤表层, 而且整个生态过渡带空间变化动态具有双向性, 其邻接的草地

生态系统和沙地生态系统交互影响, 交互作用。总体看, 该地区土壤组成主要以砂粒为主, 分布范围为 88.52%~97.61%, 土壤环境脆弱, 极易产生风蚀。

3.2.3 不同生境土壤养分含量 不同生境土壤养分含量见表 4—5。其中, 0—5 cm 土层有机质含量、全氮含量和水解氮含量为缓坡丘陵梁地 > 固定半固定沙地 > 盐化丘间低地 > 流动半流动沙丘 ( $P < 0.05$ ), 但固定半固定沙地和盐化丘间低地之间差异不显著 ( $P > 0.05$ )。速效磷含量和速效钾含量均为缓坡丘陵梁地 > 盐化丘间低地 > 固定半固定沙地 > 流动半流动沙丘 ( $P < 0.05$ )。pH 和可溶性盐含量无明显变化规律, 但均表现为盐化丘间低地最高。

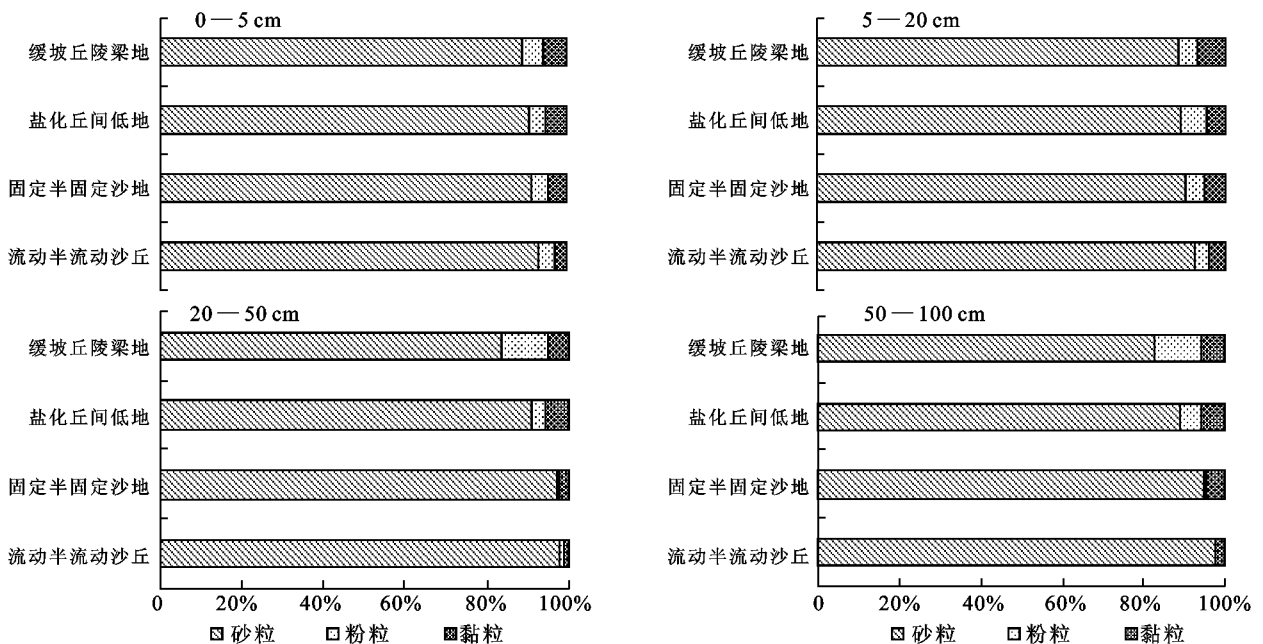


图 1 毛乌素沙地南缘不同生境土壤粒级分布

表4 毛乌素沙地南缘生态过渡带不同生境 0—5 cm 土壤养分含量

生境	有机质/ (g·kg <sup>-1</sup> )	全氮/ (g·kg <sup>-1</sup> )	水解氮/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	速效磷/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	速效钾/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	pH	全盐/%
流动半流动沙丘	0.71±0.13c	0.24±0.03b	6.58±1.08b	1.81±0.30c	35.39±13.75b	8.99±0.05	0.26±0.06b
固定半固定沙地	2.64±0.38b	0.26±0.03b	10.61±2.70b	2.77±0.29bc	84.59±13.63b	9.12±0.06	0.67±0.11b
盐化丘间低地	2.34±0.24b	0.25±0.03b	9.72±2.98b	3.29±0.36b	85.62±11.84b	9.20±0.82	4.25±1.54a
缓坡丘陵梁地	4.27±0.51a	0.49±0.06a	21.40±5.97a	4.27±0.33a	200.59±27.62a	8.96±0.03	0.59±0.06b
F 值	9.97**	8.43**	3.88*	9.16**	11.72**	1.18 <sup>ns</sup>	3.36*

注: ns 表示  $P > 0.05$ 。下同。

表5 毛乌素沙地南缘生态过渡带不同生境 5—20 cm 土壤养分含量

生境	有机质/ (g·kg <sup>-1</sup> )	全氮/ (g·kg <sup>-1</sup> )	水解氮/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	速效磷/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	速效钾/ (mg·kg <sup>-1</sup> )	pH	全盐/%
流动半流动沙丘	0.61±0.10c	0.19±0.02b	6.06±6.10b	1.51±0.16c	24.19±9.61b	9.05±0.04	0.20±0.03b
固定半固定沙地	1.87±0.27b	0.28±0.04b	7.67±1.62b	2.29±0.20bc	45.49±7.45b	9.05±0.05	0.55±0.05b
盐化丘间低地	2.26±0.21b	0.27±0.05b	11.39±3.34b	2.66±0.41b	82.32±64.27b	9.27±0.09	4.33±0.88a
缓坡丘陵梁地	3.46±0.45a	0.44±0.06a	20.02±6.02a	3.65±0.33a	192.09±16.07a	9.02±0.07	0.59±0.04b
F 值	10.12**	4.92**	4.02*	8.13**	17.82**	0.96 <sup>ns</sup>	11.11**

在 5—20 cm 土层,除全氮含量为缓坡丘陵梁地草地> 固定半固定沙地草地> 盐化丘间低地草地> 流动半流动沙丘草地 ( $P < 0.05$ ) 外,其它养分含量均为缓坡丘陵梁地草地> 盐化丘间低地草地> 固定半固定沙地草地> 流动半流动沙丘草地 ( $P < 0.05$ )。pH 值和全盐含量无明显规律,但同样为盐化丘间低地草地最高。说明随着土壤细粒的吹蚀,土地沙化,土壤养分含量也随之降低。从垂直分布看,各养分含量均为 0—5 cm 高于 5—20 cm。

## 4 结论

(1) 土地沙漠化和植被的退化总是密切相关的<sup>[5]</sup>。植物群落的逆行、进展演替实质上对应着沙漠化的正、逆过程<sup>[6]</sup>。对毛乌素沙地南缘生态过渡带不同生境植被变化的研究表明,植被总盖度、草本植物盖度及物种丰富度均表现为从缓坡丘陵梁地到流动半流动沙丘逐渐降低的趋势。在缓坡丘陵梁地,多年生草本物种数占 50%,其重要值比值达 55.35%,随着土地进一步沙化,一年生草本植物和沙生灌木、半灌木逐渐入侵,降低了多年生草本植物的竞争能力,到沙化顶级阶段,即流动半流动沙丘,植被主要由沙生灌木、半灌木和一些沙生一年生草本植物组成。总体看,从缓坡丘陵梁地到沙化顶级阶段,植物群落组成均以耐瘠薄性很强的植物为主。

(2) 土壤水分是气候、植被、地形及土壤因素等自然条件的综合反映,对整个生态系统的水热平衡起决定作用<sup>[7]</sup>。毛乌素沙地南缘不同生境各土层土壤

含水量为流动半流动沙丘< 固定半固定沙地< 缓坡丘陵梁地< 盐化丘间低地。盐化丘间低地土壤含水量显著高于其它 3 种生境,这是由于盐化丘间低地处于地形起伏的下伏部位,地势低洼,低洼地能容纳水分,水分在土壤表面的保持和滞留,可使水分入渗的时间增加,从而提高了土壤含水量。从土壤水分含量的垂直分布看,总的特点是表层土壤含水量最低,随着土层深度的增加,土壤含水量从上层向下逐渐增加。这是由于干沙层可以阻碍深层水分的散失,有利于入渗水分的保存。

(3) 土壤是生态系统中诸多生态过程的参与者和载体,土壤结构和养分状况是度量生态系统生态功能维持的关键指标之一<sup>[8]</sup>。作为一项基本的土壤特性,土壤颗粒组成的变化能指示土壤遭受风蚀情况,并且可作为监测土地退化和估测土地沙化的一项参数<sup>[9]</sup>。在土地沙化过程中,由于风蚀带走土壤中细小颗粒,造成土壤养分损失<sup>[10-12]</sup>。毛乌素沙地南缘生态过渡带从缓坡丘陵梁地,经盐化丘间低地、固定半固定沙地到流动半流动沙丘,砂粒含量逐渐增加,黏、粉粒含量逐渐降低,表明沙化促进了土壤风蚀,导致土壤粗粒化。

从缓坡丘陵梁地到流动半流动沙丘,除 pH 和可溶性盐外,其它土壤养分总体呈下降趋势。Lobe 等研究发现,土壤有机碳和其它养分含量与土壤细粒含量有关。在土壤沙化过程中,由于风蚀导致土壤表层细粒的损失,从而造成土壤养分,特别是土壤有机碳的损失<sup>[9,13]</sup>。

(下转第 47 页)

导喀斯特地区水资源规划及可持续利用有借鉴意义。由于径流量时间序列的发展变化受多种自然、人为因素的制约, 演变规律极其复杂, 水文时间序列表现出高度非线性和多时间尺度特性, 包含确定成分和随机成分。在喀斯特地区有独特的流域结构, 喀斯特流域可溶性的双重含水介质, 以及地表地下二元流场所组成的独特水文地貌结构及其产生的功能效应, 使得其水系发育、水文动态上表现出与非喀斯特流域的巨大差异。所以对喀斯特地区流域径流预报是在考虑周期项的同时还要考虑趋势项和随机项, 对喀斯特地区径流的准确预报还有待于利用其它方法进一步研究。

## [ 参 考 文 献 ]

- [ 1 ] 杨明德, 谭明, 梁虹. 喀斯特流域水文地貌系统[ M ]. 北京: 地质出版社, 1998: 2—25.
- [ 2 ] 邢兰辉, 吕惠萍, 张锦辉. 周期叠加方差分析法预报河川径流量[ J ]. 2007, 27( 4 ): 41—44.
- [ 3 ] 黄忠恕. 波谱分析方法及其在水文气象中的应用[ M ]. 北京: 气象出版社, 1983.

- [ 4 ] 陈葆仁, 洪再吉. 地下水动态及其水文预测[ M ]. 北京: 科学出版社, 1988.
- [ 5 ] Hall David, Fitzpatrick, Caroline S B. Spectral analysis of pressure variations during combined air and water backwash of rapid gravity filters[ J ]. Water Research, 1999, 33( 17 ): 3666—3672.
- [ 6 ] 邢纪元. 谐波分析在短期气候预测中的应用[ J ]. 山东气象, 2005, 25( 2 ): 14—15.
- [ 7 ] 黄友波, 谢平, 夏军. 频谱分析方法在水文时间序列代表性分析中的应用[ J ]. 浙江水利水电专科学校学报, 2002, 14( 3 ): 1—3.
- [ 8 ] 郭彬锋, 尹伟平. 利用皮普分析法预测地下水动态[ J ]. 勘察科学技术, 1993( 3 ): 41—44.
- [ 9 ] 李平, 卢文喜, 王福林. 频谱分析在挠力河流域年降水量中的应用[ J ]. 水文, 2007( 27 ): 25—27.
- [ 10 ] 拉尔斯登 A, 维尔夫 H S. 数字计算机上用的数学方法[ M ]. 上海: 上海科学技术出版社, 1983.
- [ 11 ] 华罗庚, 王元. 数值积分及其应用[ M ]. 北京: 科学出版社, 1963.
- [ 12 ] 王文圣, 丁晶, 向红莲. 小波分析在水文学中的应用研究及展望[ J ]. 水科学进展, 2002, 13( 4 ): 515—517.

( 上接第 43 页 )

## [ 参 考 文 献 ]

- [ 1 ] Kazuhiro K, Kazuhiko T, Jiang D M, et al. Vegetation restoration by seasonal enclosure in the Kerqin sandy land, Inner Mongolia[ J ]. Plant Ecology, 1998, 139: 133—144
- [ 2 ] 杨持, 刘颖如, 刘美玲, 等. 多伦县沙质草原植被的变化趋势分析[ J ]. 中国沙漠, 2002, 22( 4 ): 393—397.
- [ 3 ] 曹成有, 蒋德明, 阿拉木萨, 等. 小叶锦鸡儿人工固沙区植被恢复生态过程的研究[ J ]. 应用生态学报, 2000, 11( 3 ): 349—354.
- [ 4 ] 崔全山, 刘冬梅. 内蒙古生态环境脆弱带浅析[ J ]. 科学管理研究, 1995, 13( 3 ): 69—72.
- [ 5 ] 文海燕, 赵哈林. 退化沙质草地植被与土壤分布特征及其相关分析[ J ]. 干旱区研究, 2004, 21( 1 ): 76—80.
- [ 6 ] 赵丽娅, 赵哈林. 我国沙漠化过程中的植被演替研究概述[ J ]. 中国沙漠, 1999, 19( 增刊 ): 40—44.
- [ 7 ] 赵成义, 王玉朝. 荒漠—绿洲边缘区土壤水分时空动态研究[ J ]. 水土保持学报, 2005, 19( 1 ): 124—127.
- [ 8 ] 苏永中, 赵哈林, 张铜会, 等. 不同强度放牧后自然恢复

的沙质草地土壤性状特征[ J ]. 中国沙漠, 2002, 22( 4 ): 333—338.

- [ 9 ] Su Y Z, Zhao H L, Zhao W Z, et al. Fractal features of soil particle size distribution and the implication for indicating desertification [ J ]. Geoderma, 2004, 22( 1 ): 43—49.
- [ 10 ] Lobe, I, Amenlung W, Du Preez C C. Losses of carbon and nitrogen with prolonged arable cropping from sandy soils of the South African Highveld [ J ]. Eur. J. Soil Sci., 2001, 52: 93—101.
- [ 11 ] 苏永中, 赵哈林. 农田沙漠化过程中土壤有机碳和氮的衰减及其机理研究[ J ]. 中国农业科学, 2003, 36( 8 ): 928—934.
- [ 12 ] Zalibekov Z G. Changes in the soil cover as a result of desertification [ J ]. Eurasian Soil Sci., 2002, 35: 1276—1281.
- [ 13 ] Li X R, Zhang Z S, Zhang J G, et al. Association between vegetation patterns and soil properties in the southeastern Tengger desert, China[ J ]. Arid Land Research and Management, 2004, 18: 369—383.