

## 鄂尔多斯夏初不同地形土壤水分的空间变异

吕贻忠\* 李保国 胡克林 徐艳

(中国农业大学 资源与环境学院, 北京 100094)

**摘要** 为了研究鄂尔多斯夏初不同地形土壤水分的空间变异规律, 本试验在鄂尔多斯高原几种地形的沙质荒漠化土壤上, 用时域反射仪(TDR)测定表层土壤(0~ 30 cm)的含水量, 对表层土壤水分分布特征进行分析; 在不同地形部位选择典型土壤剖面, 测定各层土壤含水量。结果表明: 在2个地形断面上, 随着地势降低, 表层土壤含水量升高, 具有明显的空间相关关系, 其独立间距为16.38 m和28.90 m; 固定沙丘和半固定沙丘上的表层土壤含水量的半方差函数均呈球状模型, 且具有一定的空间异向性, 独立间距分别为18.86 m和22.50 m。固定沙丘和半固定沙丘表层土壤水分的 $C_0/C_{0+C}$ 值分别0.33和0.16, 表明随机因素引起的空间异质程度固定沙丘比半固定沙丘大; 半固定沙丘迎风面水分变异比背风面大, 而固定沙丘则相反; 从土壤剖面上看, 表层土壤的含水量最低, 其次是底层, 而剖面中间的层次土壤含水量较高。总之, 鄂尔多斯高原不同地形下土壤水分具有不同的空间变异特征, 这将影响草场植物的生长。

**关键词** 鄂尔多斯; 荒漠化; 水分; 空间变异

**中图分类号** S152.75

## Spatial Variability of Soil Water Under Different Landform in Erdos Plateau at Beginning of Summer

L üYizhong Li Baoguo Hu Kelin Xu Yan

(College of Natural Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University,  
Beijing 100094, China)

**Abstract** To study the spatial variability of the sandy desertification soil on the Erdos Plateau, the water content of top soil(0~ 30 cm) under different landforms was measured, and analysed by geostatics methods; and; each layer's water content ( $\theta_n$ ) was measured on some typical soil profiles along the landform section. The results showed that the content of soil water increased from the top to the bottom of hill which is one landform section selected, and so does it on the other landform section selected from the top of dune to the low-lying field. On the profiles, the water content ( $\theta_n$ ) of the top soil was the lowest, the  $\theta_n$  of the bottom layer was a little higher, and the highest value appeared on the middle layer. Different landforms and vegetation or landuse patterns lead to the spatial variability of soil water in the top soil layer within short effective distance (16.38 to 28.89 m). The spatial variability of soil water in the top soil layer on the fixed dune and semi-fixed dune followed the sphere models, both the  $C_0/C_{0+C}$  values was 0.33 and 0.16, the effective distance was 18.86 m and 22.50 m. It demonstrated that the water spatial variability on the fixed dune was more complex than that on the semi-fixed dune.

**Key words** Erdos; desertification; soil water; dune spatial variability

收稿日期: 2001-12-25

国家自然科学基金重大资助项目(39990490)

\* 吕贻忠, 副教授, 研究方向为土壤化学, 荒漠化防治, 北京圆明园西路2号

鄂尔多斯地区地处内蒙古自治区西南部, 气候属干旱和半干旱的过渡带, 地理上属草原- 草原化荒漠过渡地带。鄂尔多斯地区是我国北方重要的农牧交错带, 其中毛乌素沙地和库布齐沙漠占鄂尔多斯 49% 的面积, 其土壤荒漠化过程对我国北方尤其京津地区的生态环境有重要的影响。该地区年均降水量为 300~ 400 mm, 在无灌溉条件下, 天然降水成为农地、草地获取水分的主要来源。在干旱和半干旱地区, 水分是决定生境差异的主要因素。随着干旱度的增加, 物种数目及群落的物种多样性指数都逐渐减小<sup>[3]</sup>; 董学军等研究了毛乌素沙地沙地柏的水分生态特征<sup>[4]</sup>, 认为在鄂尔多斯沙地土壤上, 水分胁迫是影响植物生长和演替的主要因素。

该地区的荒漠化过程主要为沙质荒漠化过程, 不同地形下土壤水分的分布特征、有效性高低决定植被的生长、恢复和演替过程, 也影响荒漠化的治理效果。只有合理充分地利用现有的土壤水分, 满足当地植被生长的需要, 才可能维护和建立良好的生态体系, 抑制荒漠化的进程。由于土壤的非均质性, 土壤水分存在着较大的空间变异<sup>[5, 6]</sup>, 研究该地区春季不同地形下土壤水分的空间变异和分布特征, 对研究春季牧场返青及本区荒漠化防治具有一定的指导意义。

## 1 研究方法

### 1.1 研究地点的选择

研究地点在中科院植物研究所鄂尔多斯沙地草地生态研究站(以下简称研究站)站区(北纬 39°29', 东经 110°10')附近。选‘艾碱壕’地形断面(研究站东 2 km 处)和‘深海沟’地形断面(研究站西南 2 km 处)、1 个半固定沙丘(研究站西 500 m 处)和 1 个固定沙丘(研究站西南 4 km 处)为调查对象。‘艾碱壕’地形断面具有典型的硬梁地-软梁-滩地逐渐过渡分布的景观结构, 从硬梁、软梁、滩地地形高度逐渐降低, 硬梁位于山顶(海拔 1 350 m), 软梁位于山坡, 滩地位于山脚低洼低(海拔 1 305 m)。“深海沟”地形断面靠近乌兰木仑河的支流——考考赖沟, 组成农田-丘间-沙丘的地形结构; 近考考赖沟滩地地势较低, 已开垦为农地, 主要种植玉米、向日葵和樟子松等; 固定沙丘和半固定沙丘均为中小沙丘, 高度 5~ 10 m。半固定沙丘已有沙柳、沙蒿等植物定植, 无结皮, 迎风坡局部有风蚀。固定沙丘表面普遍有结皮, 厚约 1 cm, 植被以油蒿为主。2 个地形断面的主要土壤性质见表 1。

### 1.2 取样与分析

在选定的‘艾碱壕’地形断面的滩田、软梁地、硬梁地上, ‘深海沟’地形断面上的农地、丘间地、丘顶部位挖取典型土壤剖面, 剖面深度均为 1 m 左右。根据剖面在不同深度上的颜色、松紧度、植物根系等差异划分出不同的层次, 并从剖面下层向上逐层取样分析。在 2 个地形断面上, 在‘深海沟’按沙丘—丘间—农田的地形组合, 选择一横断面, 沿直线每隔 5 m 取一点, 用 TDR 测定其表层 0~ 30 cm 的土壤水份, 共测 64 个点。同样, 在‘艾碱壕’从农田—软梁—硬梁选择一横断面, 每隔 10 m 间距测一点表层土壤含水量, 共测 52 个点。

在半固定沙丘和固定沙丘上以 5 m × 5 m 的间距各取 1 个长方形网格, 在网格的交叉点用 TDR 测定表层 0~ 30 cm 土壤容积含水量。由于沙丘的外形呈成带状, 考虑沙丘的形状, 网格的布局主要以顺风向来布置。半固定沙丘较小, 背风面为东南向, 基本为网格覆盖; 固定沙丘较长, 网格主要沿迎风面、丘脊和背风面, 呈长方形。由于该地区主要为风积沙地, 表层土壤的质地差异很小, 表层容重平均为  $1.51 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ , 故将 TDR 测定的容积含水量值换算成质量含量, 以便与剖面含水量统一。

表1 不同土壤剖面各层次土壤有机质含量与物理性粘粒(粒径 $< 0.01\text{ mm}$ )含量

‘艾碱壕’断面	土层深度/ cm	有机质/ ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	物理粘粒/ %	‘深海沟’断面	土层深度/ cm	有机质/ ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	物理粘粒/ %
滩地剖面	0~20	11.6	16.0	农地剖面	0~20	8.4	10.8
	20~75	8.4	20.0		20~26	10.3	12.8
	75~95	5.8	16.0		26~90	27.1	12.8
	95~110	13.8	28.0		90~110	7.1	9.8
软梁地剖面	0~12	5.0	12.0	丘间地剖面	0~10	10.9	13.8
	12~30	3.6	12.0		10~60	18.2	14.8
	30~60	4.0	11.6		60~100	62.0	18.8
	60~100	4.0	12.0	丘顶地剖面	0~10	0.9	8.4
硬梁地剖面	0~12	1.8	11.0		10~70	0.7	7.2
	12~52	2.7	10.4		70~100	0.4	6.8
	52~75	1.1	8.0	半固定沙丘	0~10	2.5	4.7
	75~130	0.5	6.0		固定沙丘	0~10	4.9
130~150	2.1	13.0					

## 2 结果与分析

### 2.1 不同剖面层次土壤水分含量的差异

在‘艾碱壕’和‘深海沟’二个地形断面上,从高处到低处分别选取3个典型地形部位的土壤剖面,测定剖面上各层土壤的水分。从图1,2可以看出,除丘间地外,剖面水分自上而下的变化规律是:土壤水分含量由低渐高,然后又降低(依软梁、硬梁、丘顶、农地)。剖面水分的这种分布特征符合沙地长期的蒸发规律,各剖面的表层土壤均含有1个干沙层,干沙层的厚度为7~10 cm。较厚的干沙层可显著抑制土壤蒸发作用,同时由于冬季土壤冻融作用,使底部的水分向上运动并在干沙层下聚集。剖面底部水分含量较低,可能与近2年来该地区严重干旱(降水量只有平均值的一半左右),降水不是对底层的直接补给作用很弱有关。

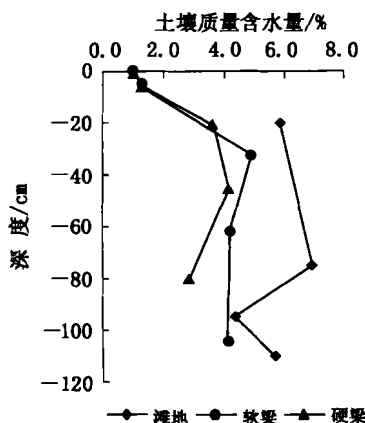


图1 ‘艾碱壕’各剖面水分分布

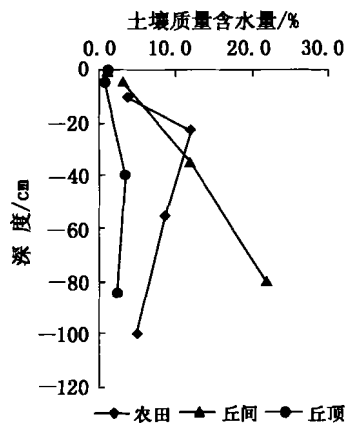


图2 ‘深海沟’各剖面水分分布

从图 1, 2 还可以看出, 滩地、丘间地剖面的水分含量普遍高于其他剖面, 质地分析也表明, 这 2 个剖面的物理性粘粒含量也高于其他剖面(表 1)。这 2 个剖面水分的垂直分布特征可显著地说明, 而丘间地土壤水分在所测剖面从上到下持续增加, 剖面上土壤含水量显著高于其他剖面, 这与该剖面土壤有机含量较高有关, 丘间地底层土壤有机质含量是丘顶剖面底层土壤有机质含量的 155 倍。本研究中表层土壤深度为 0~ 30 cm, 中层土壤为 30~ 60 cm, 底层为 60~ 120 cm。硬梁、软梁、沙丘、农田各剖面中层土壤含水量较高, 而滩地、丘间剖面上底层土壤含水量较高。相关分析表明: 土壤水分含量与有机质含量的决定系数( $R^2 = 0.57$ )比土壤含水量与物理粘粒的相关系数( $R^2 = 0.32$ )大, 说明在该沙质荒漠化土壤含水量与土壤有机质含量之间有较密切的关系。

### 2.2 不同地形下表层土壤水分的空间变异特征

1) ‘艾碱壕’与‘深海沟’2 地形断面的表层土壤水分分布 通过克里格插值计算, 得到 2 个地形断面上表层土壤含水量的分布图(图 3)。

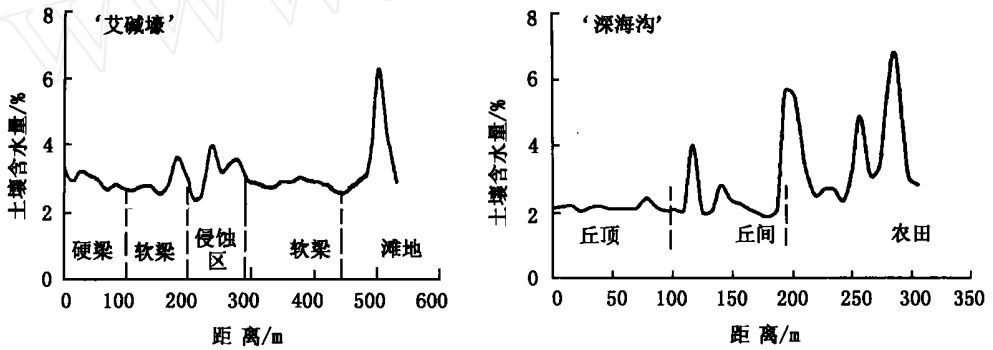


图 3 不同地形断面表层土壤(0~ 30 cm)水分分布图(克里格插值)

围为 1.97%~ 6.04%, 平均质量含水量为 2.90%。‘深海沟’断面上的土壤含水量范围为 1.81%~ 7.05%, 平均土壤含水量为 2.8%。这说明‘艾碱壕’和‘深海沟’2 个断面的表层土壤质量含水量都很低, 而且相差极小, 主要原因是这 2 个地形断面的表层土壤都为风积沙土, 质地组成相似, 故含水量较低。但随着地势由高到低, 表层土壤含水量增加。‘艾碱壕’和‘深海沟’2 个断面的表层土壤水分的变异系数分别为 0.389 和 0.442, 属于中等变异强度(图 4)。

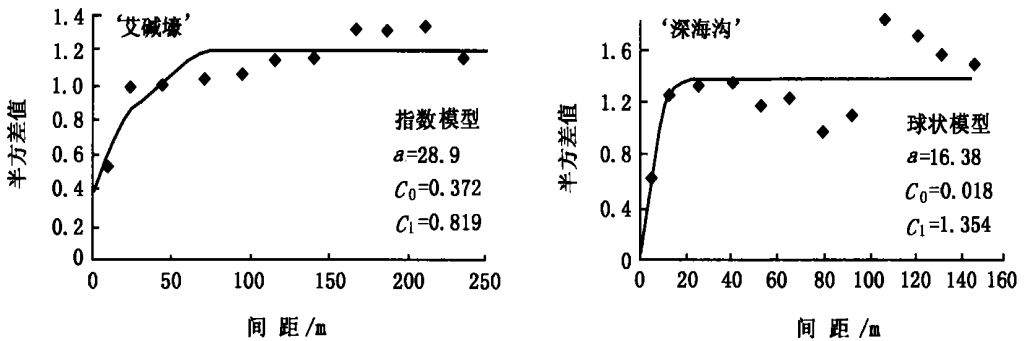


图 4 不同断面表层土壤水分半方差函数图

2) 半方差函数分析 ‘艾碱壕’和‘深海沟’2断面表层土壤含水量的半方差模型分别为指数模型和球状模型。它们的表层含水量的独立间距分别为28.9和16.38 m。‘艾碱壕’断面表层土壤含水量的块金值为0.372,由随机因素引起的空间异质性程度占总空间异质性的31.2%;‘深海沟’表层土壤含水量的块金值为0.018,由随机因素引起的空间异质性程度占总空间异质性的1.32%,这说明它们的变异均主要是由空间自相关部分引起的。

### 2.3 固定沙丘和半固定沙丘上层土壤水分的空间变异

本研究选取2个中小型沙丘,一个为半固定沙丘,另一为固定沙丘。沙丘表层土壤的水分有季节性的变动,一般春季含水量是上半年的峰值<sup>[1]</sup>。

固定沙丘和半固定沙丘的表层土壤含水量的半方差函数均呈球状模型(图5)。固定沙丘表层土壤水分含量的块金值为0.118,其独立间距分别为18.86 m,由随机因素引起的空间异质程度占总空间异质性的33%;半固定沙丘表层土壤水的块金值为0.008,其独立间距为22.54 m,由随机因素引起的空间异质程度占总空间异质性的16%。固定沙丘上随机因素引起的空间异质性是半固定沙丘的2倍,其独立间距也比半固定沙丘小,说明固定沙丘上层土壤水分的空间变异比半固定沙丘大。在沙地上植物根系主要分布在0~40 cm的土层中<sup>[1]</sup>,因此表层土壤水分含量与根系的分布有密切的关系,表层土壤根系较多,对土壤水分的空间分布的影响大,因而造成土壤水分的空间变异程度加大。

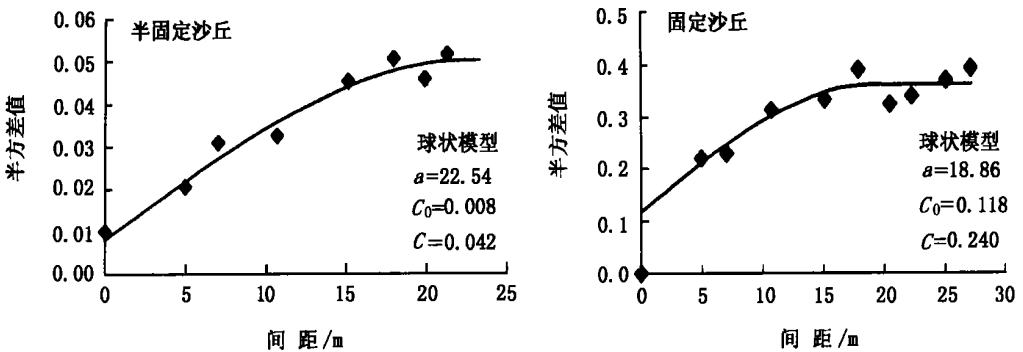


图5 半固定沙丘和固定沙丘表层土壤水分半方差函数图

从图6可看出,固定沙丘和半固定沙丘不同部位的表层土壤水分含量不同。半固定沙丘和固定沙丘大部分背风面的含水量比迎风面的含水量高,且在沙丘下部的丘间部位含水量较高均明显比丘顶高。从等值线密度来看,半固定沙丘迎风面表层土壤水分的变异比背风面大,而固定沙丘背风面表层土壤水分的变异比迎风面大。董学军,陈仲新等<sup>[3]</sup>对毛乌素的沙地柏的水分生态研究也表明沙丘顶部的土壤含水量明显低于丘间地土壤含水量,且丘顶沙地柏的水分胁迫作用比丘间地大得多。

固定沙丘和半固定沙丘属于不同荒漠化程度的沙质土壤,其表层土壤水分空间分布的差异与沙丘的微地表形态及植被状况有密切关系。冯金朝等<sup>[7]</sup>对腾格里沙漠沙坡头地区人工植被蒸散耗水与水量平衡的研究表明:降水的时空分布和地表结皮的形成对人工植被水分平衡与水分利用产生较大的影响。固定沙丘结皮的形成能显著地降低沙地表层土壤的入渗速率和饱和导水率。沙地土壤水分的变化可导致植被的相互演替,从而导致流动沙丘、半固定沙丘与

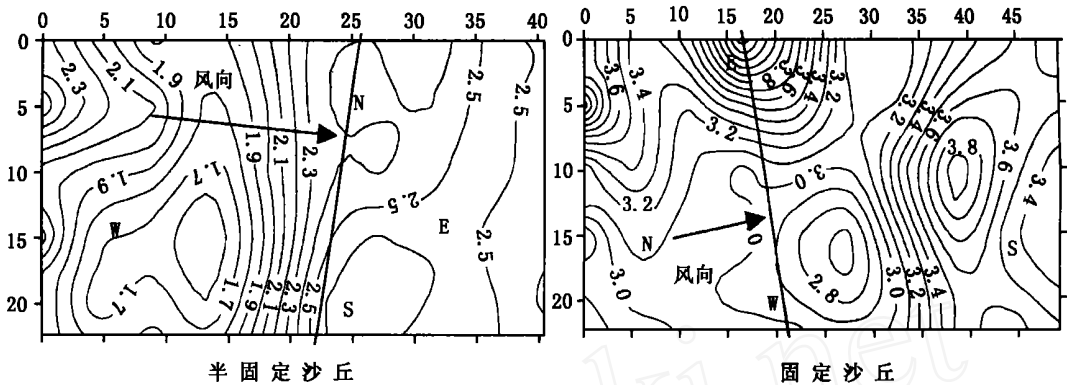


图 6 半固定沙丘和固定沙丘表层土壤水分含量(%)的等值线图

固定沙丘之间相互转化<sup>[8]</sup>。

### 3 结 论

1) 在夏初季节各地形断面的典型土壤剖面上, 土壤水分表现出表层和底层较低, 而中间较高的趋势。

2) 不同的鄂尔多斯地形断面上, 表层土壤水分存在着不同程度的空间变异。在硬梁—软梁—滩地和沙丘—丘间—农田地形断面上, 通过克立格插值计算分析, 从地形高的部位到地形低的部位, 表层土壤水分含量呈上升趋势; 通过对两断面上表层土壤水分的一维半方差函数分析, 艾碱壕和深海沟 2 个地方表层土壤的含水量的半方差模型分别可以用指数模型和球状模型来进行拟合。它们的表层土壤含水量的独立间距分别为 28.9 m 和 16.38 m。

3) 固定沙丘春季表层土壤平均含水量比半固定沙丘略高, 迎风面含水量比背风面略低。

4) 固定沙丘和半固定沙丘表层土壤水分都可以用球状模型拟合。固定沙丘的空间变异程度比半固定沙丘高, 其独立间距比半固定沙丘大。不论固定沙丘和半固定沙丘, 其表层土壤水分含量表现出一定的各向异性。在半固定沙丘上, 迎风面变异性比背风面大, 而固定沙丘则相反。

### 参 考 文 献

- 1 张国盛, 王林和, 董智, 等. 毛乌素沙区风沙土机械组成及含水率的季节性变化. 中国沙漠, 1999, 19(2): 145~150
- 2 王政权 编著. 地统计学及在生态学中的应用. 北京: 科学出版社, 1999
- 3 乌云娜, 张云飞. 锡林郭勒草原植物物种多样性的水分梯度特征. 内蒙古大学学报, 1998, 29(3): 407~413
- 4 董学军, 陈仲新, 阿拉腾宝, 等. 毛乌素沙地沙地柏的水分生态初步研究. 植物生态学报, 1999, 23(4): 311~319
- 5 白由路, 李保国, 胡克林. 黄淮海平原土壤盐分及其组成的空间变异特征研究. 土壤肥料, 1999, (3): 22~26
- 6 龚元石, 廖超子, 李保国. 土壤含水量与容重的空间变异及其分形特征. 土壤学报, 1998, 35(1): 11~15
- 7 冯金朝, 陈荷生, 康跃虎, 等. 腾格里沙漠沙坡头地区人工植被蒸散耗水与水量平衡的研究. 植物学报, 1995, 37(10): 815~821
- 8 Kobayashi T. Studies on ecology and water relations of revegetation plants in the Muus sandy district in China. Technical Bulletin of Faculty of Horticulture, 1994, (48): 329~381