

沙棘植物柔性坝沟道土壤水分空间变异研究

杨方社^{1,2} 李怀恩¹ 杨联安² 毕慈芬³

(1 西安理工大学水利水电学院 2 西北大学环境科学系 3 黄河上中游管理局)

摘要:为了研究植物柔性坝对沟道土壤水分在立面区域分布格局的影响,在内蒙古准格尔旗典型砒砂岩地区东一支沟小流域开展沙棘植物柔性坝野外水保试验。根据2005年8月监测的土壤水分数据,运用地统计学方法分析沙棘植物柔性坝沟道不同空间立面二维区域不同方向的土壤水分空间变异特征。结果表明:在各向同性条件下,左边坡立面和右边坡立面土壤水分由空间自相关引起的变异在90%以上,沟槽立面由空间结构性引起的变异较弱;在各向异性条件下,左边坡立面土壤水分分布属几何异向性特征,沟槽和右边坡立面土壤水分分布属几何异向性和带状异向性的复合特征,3种立面在各个方向上的变异差异较大。其原因是沙棘植物柔性坝的存在改变了结构性因素与随机性因素的影响,也与土壤的空间异质性等因素有关。

关键词:沙棘;柔性坝;土壤水分;空间变异;各向异性

中图分类号: S714.5;S793.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1522(2008)05-0104-07

YANG Fang-she^{1,2}; LI Huai-en¹; YANG Lian-an²; BI Ci-fen³. **Spatial variability of soil moisture in the gully with seabuckthorn plant flexible dam.** *Journal of Beijing Forestry University* (2008) 30(5) 104-110 [Ch, 20 ref.]

1 Institute of Water Resources and Hydro-electric Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an, 710048, P. R. China;

2 Department of Environmental Science, Northwest University, Xi'an, 710069, P. R. China;

3 Administrative Bureau of the Upper and Middle Reaches of Yellow River, Xi'an, 710043, P. R. China.

The effects of seabuckthorn plant flexible dam on sediment retention and water conservation were studied in the small basin of Dongyizhigou gully in the representative soft rock region of Jungar Banner, Inner Mongolia. Based on measured field data of soil moisture, the spatial variability of soil moisture in different directions and vertical two-dimensional region of different spaces was analyzed with geostatistics method. The effect of plant flexible dam on the soil moisture distribution of different vertical sections in the gully was investigated. The results show that under the isotropic condition, the variation of soil moisture caused by spatial correlation in vertical sections of the left-side slope and the right-side slope was more than 90%, while that in vertical section of the gully channel was weak. Under the anisotropic condition, the distribution of soil moisture in vertical section of the left-side slope had an anisotropic characteristic of geometry, while those in vertical sections of the gully channel and the right-side slope were the compositive characteristics of both geometry and zone and the difference of spatial variation among the three vertical sections was significant. The reason is that the seabuckthorn plant flexible dam can influence the structure and random factors and the spatial heterogeneity of soil and other factors are also concerned.

Key words seabuckthorn; flexible dam; soil moisture; spatial variability; anisotropy

收稿日期:2007-04-12

<http://www.bjfujournal.cn>, <http://journal.bjfu.edu.cn>

基金项目:国家自然科学基金项目(50479067)、霍英东青年教师基金优选课题(944005)、西北大学211自然科学基金项目(05NW56)。

第一作者:杨方社,博士生。主要研究方向:水土保持与生态环境保护。电话:029-81116018 Email:yangfangshe978@163.com 现工作单位地址:710069 陕西省西安市太白北路229号西北大学环境科学系256信箱。

责任作者:李怀恩,教授,博士生导师。主要研究方向:生态水文、非点源污染、水土保持与生态环境保护。电话:029-82312087 Email:lhuaen@mail.xau.edu.cn 地址:710048 陕西省西安市金花南路5号西安理工大学651信箱

内蒙古鄂尔多斯市准格尔旗位于鄂尔多斯高原东南部,是典型的砒砂岩地区,也是较严重的沙尘暴多发区和黄河中游粗沙的主要来源区之一,这里水土流失剧烈,植被退化和土壤沙化严重,弱强度的沙尘暴频繁发生,生态环境异常恶劣。

沙棘(*Hippophae rhamnoides*)具有耐旱、耐瘠薄、能萌蘖自生繁殖的生物特性,是极能在恶劣生态环境地区(如砒砂岩地区)生长的灌木之一,具有良好的抑制土壤侵蚀和水土保持作用^[1-2]。沙棘植物柔性坝是一种新型防止沟道土壤侵蚀、拦沙保水的生物工程措施,它利用沙棘的生物特性,模拟拦沙蓄水的水库大坝,在小流域沟道中按一定的行距、株距和种植方式,在垂直于水流方向种植一排排能够透水的沙棘植物体,它是由我国水保专家毕慈芬等^[3]于 20 世纪 90 年代末提出的,是响应钱正英院士所提出的“把沙棘作为治理黄土高原的突破口”的思想具体实践。

本研究以黄河水利委员会黄河上中游管理局 1997 年设立在典型砒砂岩地区内蒙古准格尔旗东一支沟的沙棘植物柔性坝野外试验基地为基础,根据近几年野外监测资料,用地统计学方法研究植物柔性坝对沟道不同部位立面二维区域上土壤水分分布格局的影响。已有研究表明^[4],土壤水分对植物生长是最大的限制因子,影响到遏制和抑制土壤侵蚀、土壤风蚀与土壤沙漠化危害的可能性。因此,在干旱区内蒙古准格尔旗开展沙棘植物柔性坝对沟道土壤水分空间分布格局影响的研究,为沙棘植物柔性坝的生长和对土壤水分的利用、对深入研究柔性坝沟道水资源的再分配及生态水文效应等都具有重要意义。

1 研究区概况

试验研究小流域选在鄂尔多斯市典型砒砂岩地区的准格尔旗西召沟左岸东一支沟进行,该沟控制流域面积 1.67 km²,平均海拔 1 200 m,主沟长 839 m,左支沟长 297 m,右支沟长 249 m,均为东北—西南走向。主沟沟底平均比降 4.4%,沟谷平均坡度 36.4°,左支沟沟底平均比降 6.8%,沟谷平均坡度 39.7°,右支沟沟底平均比降 5.84%,沟谷平均坡度 49.3°,坡向东南—西北。准格尔旗年平均降水量 389 mm,降雨时空分布极不均匀,7—8 月降雨量占全年降水量的 70%,年平均气温 5.3~8.7℃,属半干旱大陆性气候,是典型的丘陵沟壑山区,素有“七山二沙一分田”之称^[5],生态环境十分脆弱。

2 研究方法

2.1 沙棘植物柔性坝平面位置

1997 年开始在东一支沟沟头布设沙棘柔性坝

若干座,采用 2~4 年生沙棘苗,按株距 0.3 m,行距 2 m,埋深 0.4 m 交错进行栽植。本研究对象选择典型的 5#坝,坝长 35 m(沿沟道水流方向),在上、中、下游各设 1 个监测断面,每个断面上设左边坡、沟槽和右边坡 3 个观测位置(见图 1)。

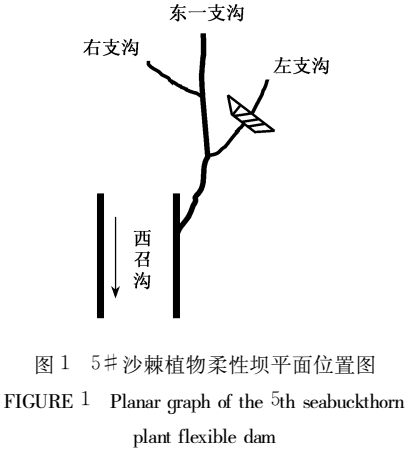


图 1 5#沙棘植物柔性坝平面位置图
FIGURE 1 Planar graph of the 5th seabuckthorn plant flexible dam

2.2 野外采样及样点处理

5#沙棘植物柔性坝共测 3 个断面 9 个位置。坝前淤积体监测断面为柔性坝上游断面,标记为 C_上;坝体中间为柔性坝中游断面,标记为 C_中;坝体末尾为下游断面,标记为 C_下。C_上与 C_中之间距离和 C_中与 C_下之间距离均为 17.5 m。每个断面取 3 个位置,分布在左边坡、沟槽、右边坡,每个位置沿土壤剖面取 10 个点(0~100 cm 每间隔 10 cm 采样),深度为 100 cm,采样点位置见图 2。2005 年 8 月采用灼烧称重法测定土壤含水量,每个样品测 3 次取其平均值。

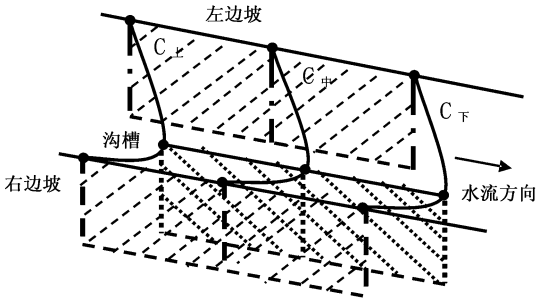


图 2 采样点位置图
FIGURE 2 Locations of sampling points

2.3 计算方法

以地统计学方法^[6]中的变异函数为工具进行分析研究。设 $Z(x)$ 为区域化随机变量,并满足二阶平稳和本征假设; h 为 2 样本点空间分隔距离; $Z(x_i)$ 和 $Z(x_i + h)$ 分别是区域化变量 $Z(x)$ 在空间位置 x_i 和 $x_i + h$ 上的观测值($i = 1, 2, \dots, N(h)$),根据变异函数的定义,变异函数的计算公式为:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (1)$$

式中, $N(h)$ 为以空间分隔距离 h 相分隔的数据对。

当定量描述研究区的变异特征时,还需要对实验变异函数进行理论拟合,理论模型有圆模型、球面模型、指数模型、高斯模型、线性有基台模型等,可以根据试验变异函数值进行理论模型曲线的确定和最优曲线的选择。如常见的球面模型方程如下:

$$\gamma(h)=\begin{cases}0 & (h=0) \\ C_0+C_1\left[\frac{3}{2}\frac{h}{a}-\frac{1}{2}\frac{h^3}{a^3}\right] & (0<h\leq a) \\ C_0+C_1 & (h>a) \end{cases} \quad (2)$$

一般经过理论模型拟合后,可得到 C_0 、 C_1 、 $C=C_0+C_1$ 、 a 4 个描述区域变量空间变异的参数。其中 C_0 是块金方差,它表示由小于测量取样尺度或区域测量误差的随机性引起的变异,较大的块金方差值表明较小尺度上的某种过程不容忽视^[13-14]; C_1 是结构方差,它表示由空间结构性引起的变异,较大的 C_1 说明由空间结构性引起的变异较强烈; $C_0+C_1=C$ 称为基台,表示由区域测量误差的随机性和区域空间结构性共同引起的空间总变异; a 是变程,表示区域化变量在空间结构上自相关的空间尺度范围,若当 $h\leq a$ 时,说明任意两点之间的观测值具有相关性,这个相关性随 h 的增大而减小,若当 $h>a$ 时,说明变量在两点间就不再具有相关性。块金值

与基台值的比例即 C_0/C 可以表明系统变量空间相关性的程度。如果比值小于 25%,说明系统具有强烈的空间相关性;如果比例在 25%~75%,表明系统具有中等的空间相关性;大于 75%说明系统空间相关性很弱^[15-18]。

本研究的试验数据用 Arc-GIS9.0 软件中的地统计学模块进行数据正态、趋势效应、各向同性及各向异性变异函数分析,最后对研究区域进行克立格空间局部插值估计。

3 结果与分析

3.1 土壤含水量的基本统计特征分析

各立面测点土壤含水量的统计结果见表 1。由表 1 中的各统计参数可见,右边坡变异和偏度均大于左边坡,峰形均属于低阔峰系列,这表明不同位置处的地层随不同的植被覆盖和地形条件,其土壤含水量特征表现出不同的差异性。通过 P-P 正态概率图和 Q-Q 正态概率图检验发现沟槽几乎接近标准的正态分布;左边坡和右边坡的土壤含水量数据经对数转换后通过 P-P 正态概率图和 Q-Q 正态概率图检验,发现为正态分布。假定三者都满足地统计学中的平稳假设^[6],因此可进行地统计学分析。

表 1 土壤水分的统计特征值
TABLE 1 Statistical results of soil moisture

立面位置	分布类型	最大值/%	最小值/%	平均值/%	变异系数/%	标准差	峰态系数	偏态系数
C _左	对数正态	8.44	2.20	5.26	38.0	2.05	1.672	0.02
C _槽	正态	6.33	3.25	4.81	14.9	0.72	2.77	-0.16
C _右	对数正态	6.55	1.46	3.47	41.0	1.44	2.20	0.75

注:C_左 为左边坡二维立面;C_槽 为沟槽二维立面;C_右 为右边坡二维立面,下同。

3.2 土壤水分空间变异分析

土壤是时空连续的变异体,具有高度的空间异质性,不论在大尺度上还是在小尺度上观察,土壤水分的空间异质性客观上均存在^[15,19-20]。

3.2.1 土壤水分在各向同性条件下的变异

表 2 是各向同性条件下各立面土壤水分变异函数的参数,均为球面模型拟合。从表 2 可以看出,在研究的立面区域内,土壤水分在各立面位置上分布

表 2 各向同性条件下变异函数的参数

TABLE 2 Parameters of variogram under the isotropic condition

立面位置	块金方差	结构方差	基台	块金与基台之比/%	变程/cm
C _左	0.062	1.083	1.144	5.4	32.7
C _槽	0.367	0.107	0.474	77.4	46.8
C _右	0.067	0.673	0.740	9.1	70.5

具有明显的差别,随着两点间距离的增大,这种差别也在增加。块金方差与基台之比表明,左边坡土壤水分由随机因素引起的空间变异占总空间变异的 5.4%,而且主要表现在 10 cm 以下的尺度上;而由空间自相关引起的变异占空间总变异的 94.6%,主要表现在 10~32.7 cm 尺度内。沟槽立面区域内随机性变异和结构性变异分别为 77.4%和 22.6%,表现在 10 cm 以下的小尺度和 10~46.8 cm 的尺度范围。右边坡立面区域内随机性变异和结构性变异分别为 9.1%和 90.9%,也表现在 10 cm 以下小尺度和 10~70.5 cm 的较大尺度上。比较 3 种不同立面区域上的土壤水分空间变异可以发现,左边坡和右边坡立面的块金效应较小,均不超过 10%,说明由空间自相关引起的变异占主体,都在 90%以上,但左边坡空间自相关范围明显小于右边坡空间自相关范

围;沟槽立面的块金效应较大,达到 77.4%,说明由空间结构性引起的变异较弱,结合变程可知沟槽在 0~46.8 cm 范围内土壤水分空间分布表现为较弱的空间相关性。这是因为土壤水分分布是由结构性因素和随机性因素共同作用的结果。

3.2.2 土壤水分在各向异性条件下的变异

图 3 是沙棘植物柔性坝不同立面位置处的土壤含水量的实际变异函数散点及拟合的理论变异函数曲线图,表 3 是 4 个方向上的变异参数,均为球面模型拟合。由表 3 可看出,3 个立面区域在 45°与 135°方向上变异相同,故只给出了该尺度下 3 个方向上(0°、45°、90°)的实际及拟合的最优理论变异函数曲线图,见图 3(a~c)。显然,不同立面区域在不同方向上具有明显的各向异性结构特征^[6-9,15]。

表 3 和图 3 还表明,在不同立面、不同方向上其块金值和基台值有一定的差异,但也有相似或相同,说明土壤水分在研究区域上具有几何异向性或带状异向性或二者兼有。左边坡在 0°、45°、90°和 135°4 个方向上基台值相同,但块金值和变程值有差异,是典型的几何异向性特征。沟槽和右边坡具有相同的变异特征,在沟槽或右边坡上 0°和 90°2 个方向上的基台值相同,变程不同,表现出几何异向性特征;45°和 135°2 方向上块金、基台及变程值均相同,说明变异在这 2 个方向上各向同性;但 0°与 90°、45°与 135°2 对方向上的基台值不同,表现出典型的带状异向性特征,充分说明沟槽和右边坡土壤水分的各向异性同时具有几何异向性和带状异向性特征。

3 种不同立面区域上的土壤水分在顺水流方向上空间变异尺度最小的是沟槽,为 16.8 cm,最大的是左边坡,为 54.8 cm,右边坡 36.4 cm 介于其中;在沿剖面方向上变异尺度最小的是左边坡,是 33.2 cm,最大的是右边坡,是 67.3 cm,沟槽 46.6 cm 介于其中。在 45°与 135°方向上变异尺度最大的是右边坡,达到 70.4 cm,最小的是左边坡,为 32.7 cm,沟槽

介于其中。说明土壤水分在空间立面分布的几何形状是极不规则的,这是因为土壤水分分布是由结构性因素与随机性因素共同作用,结构性因素,如母质、地形、颗粒级配组成、坡向、土壤质地类型、沟槽沙棘植物柔性坝的布置方式、地表植被的构成及分布等都可以导致土壤水分的空间相关性,而随机性因素,如气候、降雨空间分布、放牧及其他人类活动等使得土壤水分空间相关性减弱。

表 3 中块金与基台之比表明,左边坡与右边坡在空间上的变异具有相似性,由于各方向上随机因素引起的变异占空间总变异的比重均小于 25%,说明土壤水分在 2 立面区域各方向上具有较强的空间相关性,由空间自相关引起的空间变异占主体,不同的是左边坡 45°与 135°方向相关性略大于 0°与 90°方向,而右边坡 0°与 90°方向相关性略大于 45°与 135°方向;沟槽在 4 个方向上块金与基台值之比均介于 25%~75%,因此依据前述判断标准,沟槽土壤水分属于中度空间自相关,只不过 45°与 135°方向上相关性大于 0°与 90°方向。由上述分析可见,沟槽立面土壤水分与左边坡及右边坡立面土壤水分在空间各方向上的变异有较大差异,这是由于沟槽因沙棘植物柔性坝的存在,改变了某些结构性因素(如地表植被组成及分布、土壤机械组成、沟槽土壤水分的蒸散发结构、沟槽土壤水分的微循环结构等),从而弱化了结构性因素的影响,增强了随机性因素的影响,且这种变化有使沙棘植物柔性坝沟道土壤水分的空间分布朝着均一化方向发展的趋势^[13-16]。

3.3 Kriging 插值及等值线图分析

由于研究区域具有明显的各向异性结构,根据各向异性结构的变异函数理论模型(表 3),通过空间局部估计,采用普通克里格法(Ordinary Kriging)绘制成不同立面区域上土壤水分分级及等值线图(见图 4)。

表 3 各向异性条件下变异函数的参数
TABLE 3 Parameters of variogram under the anisotropic condition

立面位置	方向/(°)	块金方差	结构方差	基台	块金与基台之比/%	变程/cm
C _左	0	0.139	1.005	1.144	12.1	33.2
	45	0.061 5	1.082 6	1.144 1	5.4	32.7
	90	0.149 5	0.994 7	1.144 2	13.1	54.8
	135	0.061 5	1.082 6	1.144 1	5.4	32.7
C _槽	0	0.320 5	0.154	0.474	67.5	46.6
	45	0.366 8	0.107	1.436 8	25.5	46.8
	90	0.320 5	0.154	0.474	67.5	16.8
	135	0.366 8	0.107	1.436 8	25.5	46.8
C _右	0	0.000	0.734 9	0.734 9	0.0	67.3
	45	0.066 7	0.672 8	0.739 5	9.0	70.4
	90	0.000	0.734 9	0.734 9	0.0	36.4
	135	0.066 7	0.672 8	0.739 5	9.0	70.4

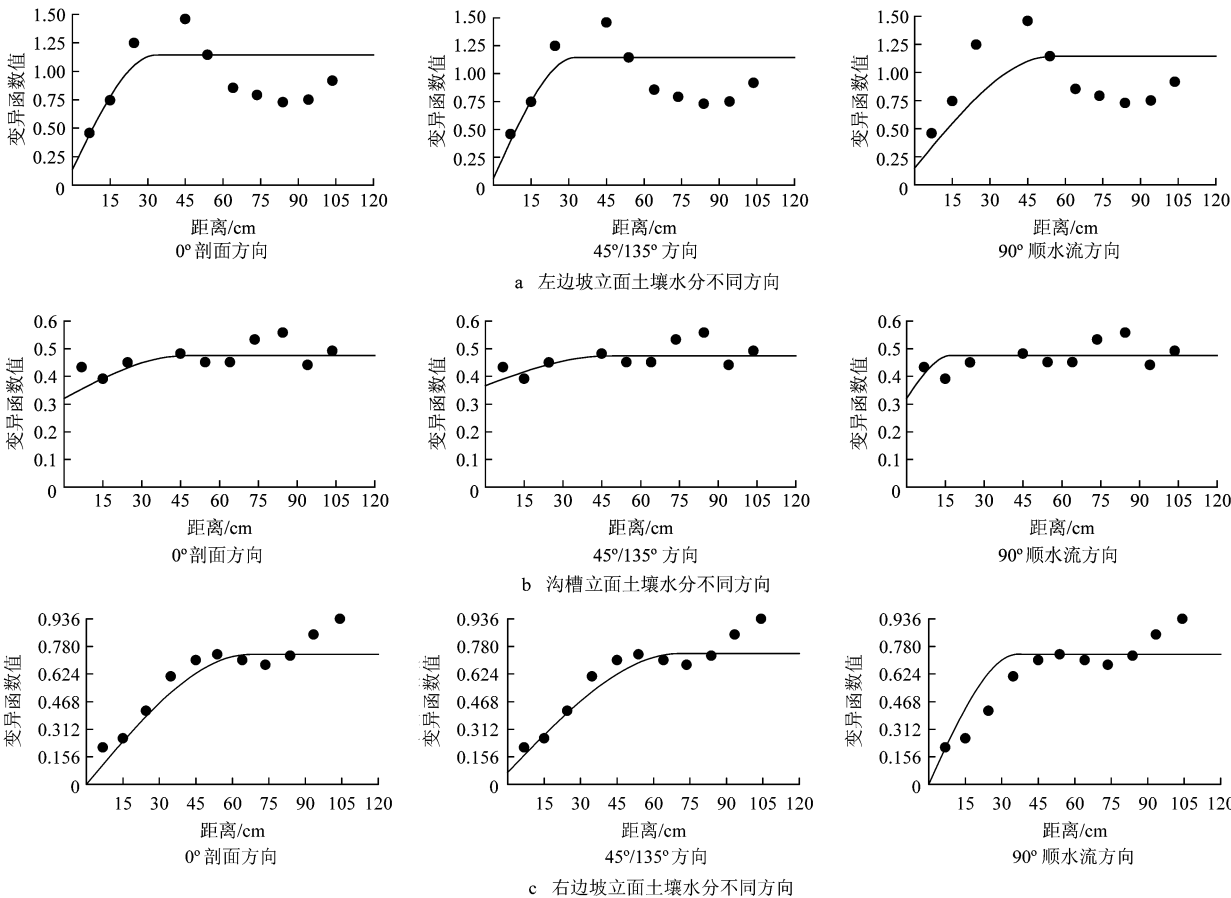


图3 不同立面区域不同方向土壤水分变异函数结构图

FIGURE 3 Variograms of soil moisture in different directions and different vertical sections

图4显示,柔性坝所在沟道不同空间部位立面土壤水分分布格局差异较大。图4a表明左边坡顺水流方向在柔性坝中游断面处土壤水分最大,为6.3%~8.37%,在坝上游和下游断面土壤水分最小,为2.2%~6.3%,顺水流方向土壤水分表现出从柔性坝中游断面向上、下游逐渐增大的特征;在中游位置土壤剖面方向上表层(0~20 cm)和底层(80~100 cm)的土壤水分都比中间部位的高。这可能是由于柔性坝根系、地表植物、左边坡坡度较缓,地势较低及土壤颗粒本身物理化学特性等造成的。另外在任何方向上土壤水分都存在由低到高的分布梯度,只不过在顺水流方向土壤水分梯度变化最大,可以看出在45°和135°方向上的结构性变异大致相同且最大,呈现出几何异向性特征,这与前述分析是一致的。

图4b表明,沟槽立面土壤水分分布呈现出几何和带状异向性特征。沟槽立面在45°方向上的结构性变异较大,因为这个方向上的土壤水分梯度最大。在剖面方向,底层附近(75~100 cm)处土壤水分最大,为5.6%~6.3%,表现出从表层到底层逐渐增大的特征;顺水流方向,土壤水分也是从柔性坝上游向

下游逐渐增大,下游断面平均含水量最大。这是因为降雨、气候等因素,加之沟槽中柔性坝和土壤水分的相互作用,造成沟槽立面土壤水分呈现出这种分布格局。

图4c表明,右边坡立面土壤水分分布也呈现出几何和带状异向性特征。顺水流方向,土壤水分从上游向下游增大,从表层向底层增大;在任何方向上都存在较强的土壤水分梯度,等值线沿45°方向逐渐增大,土壤水分呈现出由弱到强的趋势。沿剖面方向,土壤水分从表层到底层表现为逐渐增大。这可能是由于右边坡坡度较陡、地形起伏较大,在重力作用下,土壤水分向下游沟槽内汇流及其他降雨、植被等因素共同作用的结果。

上述分析表明,左边坡立面在柔性坝中游断面处土壤水分最大,上、下游断面都较小,沟槽立面和右边坡立面具有相似的分布格局,土壤水分从上游向下游逐渐增大,但3种立面在各个方向上的变异差异较大。这可能是由于沙棘植物柔性坝的存在改变了结构性因素与随机性因素的影响,当然也与土壤的高度空间异质性及降雨的时空分布等诸多因素有关。

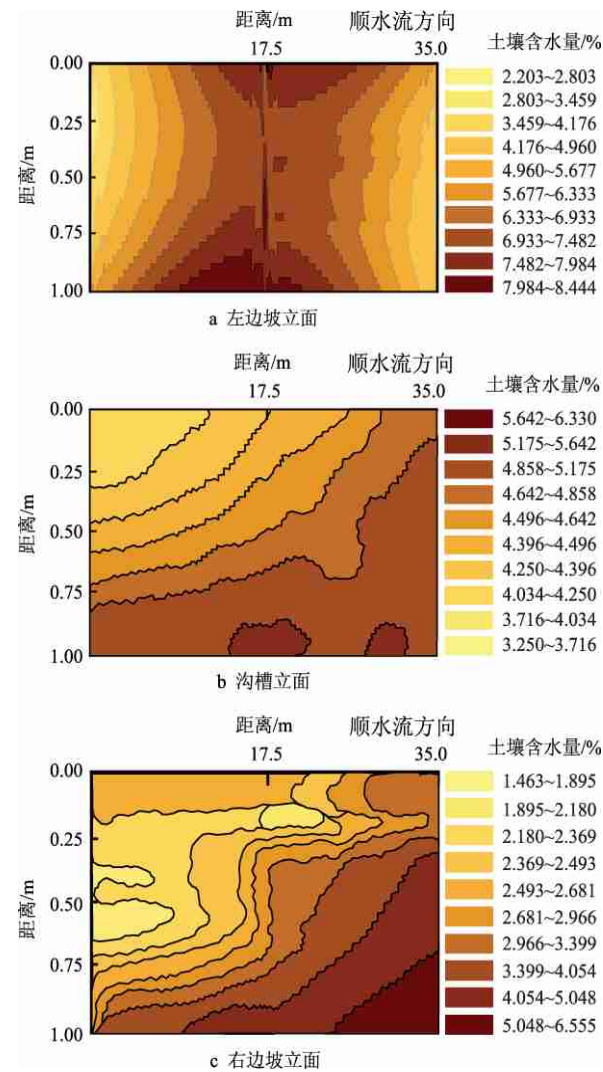


图 4 不同立面土壤水分分级及等值线图
FIGURE 4 Grade and contour map of soil moisture
in different vertical sections

4 结论与讨论

综上所述表明，沙棘植物柔性坝和土壤水分具有较强的交互作用，沙棘植物柔性坝具有影响沟道不同空间立面土壤水分分布格局和空间相关性的作用，这可为深入研究植物柔性坝与土壤水分相互作用提供理论依据与参考。造成沟道不同立面区域土壤水分的空间格局差异，可能是沙棘植物柔性坝的存在改变了沟道土壤的机械组成、蒸发、下渗以及土壤的局部理化性质等，增大了随机性对空间变异的影响，减小了结构性的影响，弱化了空间土壤水分的相关性。应当指出的是，当研究范围较大时，土壤水分的空间异质性还与土壤的高度空间异质性及降雨的时空分布等诸多复杂因素有关。受观测资料限制，本研究未能分析土壤水分这种分布格局变异在时间尺度上的动态变化，以及植物柔性坝的生长变化与土壤水分分布格局变异的相互关系，这有待今

后进一步研究。

参 考 文 献

[1] WU Q X, ZHAO H Y. Soil and water conservation functions of seabuckthorn and its role in controlling and exploiting Loess Plateau [J]. *Forestry Studies in China*, 2000, 2(2): 50-56.

[2] 陈云明, 刘国彬, 侯喜录. 黄土丘陵半干旱区人工沙棘林水土保持和土壤水分生态效益分析[J]. *应用生态学报*, 2002, 13(11): 1 389-1 393.

CHEN Y M, LIU G B, HOU X L. Ecological benefits of artificial seabuckthorn stands in semi-arid hilly region of Loess Plateau soil and water conservation and soil moisture [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(11): 1 389-1 393.

[3] 毕慈芬, 李桂芬. 砒砂岩地区沟道沙棘植物“柔性坝”原型拦沙研究[J]. *国际沙棘研究与开发*, 2003, 1(1): 6-12.

BI C F, LI G F. Field model research on sediment retention by seabuckthorn plant “flexible dam” in gully channel in the soft rock region [J]. *The Global Seabuckthorn Research and Development*, 2003, 1(1): 6-12.

[4] BERNDTSSON R, CHEN H. Variability of soil water content along a transect in a desert area[J]. *Journal of Arid Environments*, 1994, 27: 127-139.

[5] 李忠锋, 王一谋, 马安青. 准格尔旗土地利用变化与影响因素分析[J]. *水土保持通报*, 2003, 23(3): 42-44.

LI Z F, WANG Y M, MA A Q. Analysis of land use change and driving forces in Zhungeer county [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2003, 23(3): 42-44.

[6] 侯景儒, 黄竟先. 地统计学及其在矿产储量计算中的应用[M]. 北京: 地质出版社, 1982.

HOU J R, HUANG J X. *Geostatistics and its application in calculating ore reserves* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1982.

[7] CAMPBELL J B. Spatial variation of sand content and pH within single contiguous delineations of two soil mapping units [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1978, 42(3): 460-464.

[8] BURGESS T M, WEBSTER R. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties I: The semi-variogram and punctual kriging[J]. *Journal of Soil Science*, 1980, 31(2): 315-331.

[9] WEBSTER R, BURGESS T M. Spatial variation in soil and the role of kriging [J]. *Agricultural Water Management*, 1983, 6(2-3): 111-122.

[10] 杨玉玲. 土壤空间变异研究现状及展望[J]. *干旱区研究*, 2001, 18(2): 50-55.

YANG Y L. The status quo and prospect of spatial variability of soil [J]. *Arid Zone Research*, 2001, 18(2): 50-55.

[11] 史海滨, 陈亚新. 土壤水分空间变异的套合结构模型及区域信息估值[J]. *水利学报*, 1994(7): 70-77.

SHI H B, CHEN Y X. Combination structure model of soil moisture spatial variability and regional information estimation[J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 1994(7): 70-77.

[12] 李裕元, 邵明安, 张兴昌. 侵蚀条件下坡地土壤水分与有效磷的空间分布特征[J]. *水土保持学报*, 2001, 15(2): 41-44.

LI Y Y, SHAO M A, ZHANG X C. Spatial distribution of soil moisture and available phosphorus content on eroded sloping land [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2001, 15(2): 41-44.

[13]

CAMBARDELLA C A, MOORMAN T B, NOVAK J M, *et al.* Field-scale variability of soil properties in central low a soils[J]. *Soil Sci Soc Am J*, 1994, 58, 1 501-1 511.

[14]

CHIEN Y J, DAR-YUAN L, HORNG-YUH G, *et al.* Geostatistical analysis of soil properties of mid-west Taiwan soils[J]. *Soil Science*, 1997, 162(4), 291-298.

[15]

王政权. 地统计学及在生态学中的应用[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
WANG Z Q. *Geostatistics and its application in ecology* [M]. Beijing: Science Press, 1999.

[16]

郭旭东, 傅伯杰, 陈利顶. 河北省遵化平原土壤养分的时空变异特征—变异函数与 Kriging 插值分析[J]. *地理学报*, 2000, 55(5), 555-566.
GUO X D, FU B J, CHEN L D. The spatio-temporal variability of soil nutrients in Zunhua plain of Hebei Province: Semivariogram and kriging analysis[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2000, 55(5), 555-566.

[17]

ROBERTSON C P. Soil resources, microbial activity, and primary production across an agricultural ecosystem [J]. *Ecological Applications*, 1997, 7, 158-170.

[18]

张世熔, 黄元仿, 李保国. 冲积平原区土壤颗粒组成的趋势效应与异向性特征[J]. *农业工程学报*, 2004, 20(1), 56-60.
ZHANG S R, HUANG Y F, LI B G. Trend effect and anisotropy of soil particle composition in alluvial regions[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2004, 20(1), 56-60.

[19]

贾志清, 宋红竹, 陈涛, 黄家二. 小流域土壤水分空间分布特征[J]. *北京林业大学学报*, 1999, 21(5), 88-91.
JIA Z Q, SONG H Z, CHEN T. Soil moisture space distribution features in huangjiaercha small watershed [J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 1999, 21(5), 88-91.

[20]

胡克林, 李保国, 陈德立, 等. 农田土壤水分和盐分的空间变异性及其协同克立格估值[J]. *水科学进展*, 2001, 12(4), 460-466.
HU K L, LI B G, CHEN D L, *et al.* Spatial variability of soil water and salt in field and their estimations by the co-kriging [J]. *Advances in Water Science*, 2001, 12(4), 460-466.

(责任编辑 李 契 李 慧)

《中国林学(英文版)》征稿启事

《中国林学(英文版)》(Forestry Studies in China)始创于 1992 年,是一份由北京林业大学主办的全英文刊物,目前为季刊,大 16 开本。主要发表经同行评议的研究论文、简报、综述。内容包括森林生态学、森林培育学、森林经理学、林木遗传与育种、林木生理学、森林病虫害防治、森林资源信息管理、林业经济学以及林业相关学科如水土保持科学、木材科学与技术、林产品加工等,面向国内外征稿和发行。

《中国林学(英文版)》致力于促进国内外林业领域科研人员的学术交流,缩短中国与其他国家在相关领域的差距。本刊从 2007 年开始与全球著名的学术出版机构——德国 Springer 出版社正式合作出版,全文链接于 SpringerLink 数据库,并委托其代理本刊在中国大陆以外地区的发行权,进一步加快了本刊的国际化步伐。详细信息请登录 <http://www.springer.com/journal/11632>。

《中国林学(英文版)》为中国科学技术信息所核心刊物、中国期刊网全文数据库、万方数据库刊源期刊。目前收录、检索本刊的国外著名的检索机构、数据库有 CA(美国化学文摘)、JA(俄罗斯文摘杂志)、CABI(国际农业与生物科学中心)等。

地址:北京市清华东路 35 号北京林业大学 148 信箱《中国林学(英文版)》编辑部
邮编:100083
电话:010-62337915
Email: pjcheng@bjfu.edu.cn