

晋西黄土区基于地形因子的土壤水分分异规律研究*

刘鑫¹ 毕华兴^{1,2†} 李笑吟^{1,2} 李俊¹ 郭孟霞¹ 林靛靛¹ 郭超颖¹

(1 北京林业大学水土保持学院, 北京 100083)

(2 水土保持与荒漠化防治教育部重点实验室, 北京 100083)

摘要 以山西省吉县蔡家川小流域典型梁峁坡面为研究对象, 在研究区共布设 313 个土壤水分监测点, 用 TDR 测定土壤 (0~30 cm, 30~60 cm) 水分, 经克立格(kriging)插值得到了研究区土壤水分分布图, 并与基于数字高程模型(DEM)提取的研究区域坡向、坡度、高程 3 个地形因子分布图叠加, 生成土壤水分与地形因子相对应的数据库, 用以分析坡面尺度地形因子对土壤水分的影响情况及基于地形因子的土壤水分分异规律。通过主成分分析得出: 地形因子对土壤水分影响的次序依次为坡向> 高程> 坡度。通过对坡向和坡度聚类分析得出: 影响土壤水分分异的坡向可分为两类, 即 $292.5^{\circ} \sim 360^{\circ}$ (0°) $\sim 112.5^{\circ}$ (阴坡), $112.5^{\circ} \sim 292.5^{\circ}$ (阳坡); 影响土壤水分分异的坡度分为: $5^{\circ} \sim 20^{\circ}$, $20^{\circ} \sim 35^{\circ}$ 两类。依据坡度和坡向的分类结果, 分别拟合土壤水分和地形因子的函数关系, 求出不同坡度、坡向土壤水分的关系系数: 若假定坡度为 $5^{\circ} \sim 20^{\circ}$ 、坡向为阴坡时, 土壤水分关系系数为 1, 则坡度为 $5^{\circ} \sim 20^{\circ}$ 、坡向为时阳坡时土壤水分关系系数为 0.99, 坡度 $20^{\circ} \sim 35^{\circ}$ 、坡向为阴坡时土壤水分关系系数是 0.82, 坡度 $20^{\circ} \sim 35^{\circ}$ 、坡向为阳坡时土壤水分关系系数为 0.8。

关键词 地形因子; 土壤水分; 克立格插值; 多因素分析; 聚类分析

中图分类号 S152.7 文献标识码 A

土壤水分是黄土高原生态环境建设的决定性因子之一。地形因子(坡向、坡度、高度)对土壤水分有着重要影响, 它对土壤水分的作用是通过改变其他影响因子(气候、植被等因子)来实现的。从宏观上讲, 特殊的地形可能形成独特的小气候, 从而间接影响土壤水分的含量和分布。地形因子也可通过影响太阳辐射强度和降水的再分配来影响土壤水分含量。地形因子影响坡面的光照、气温、降水、土壤性质和植被格局, 使不同地形因子的土壤水分含量存在很大差异。根据刘梅^[1]、邱扬^[2]、王军^[3]、孙中锋^[4]等的研究表明在坡面尺度上坡向、坡度和小地形的地貌对土壤水分状况有明显影响, 对不同土层的土壤水分, 影响因子的影响程度也有差别, 0~20 cm 以地形因子为主, 20~60 cm 地形因子与植被因子共同起作用, 60~100 cm 植被因子占据主要地位。

根据前人的研究结果分析, 植被因子不是影响

浅层土壤水分分布状况的主要因子, 为此本研究以晋西黄土区典型梁峁作为研究对象, 不考虑植被因子的影响, 利用地理信息系统对地形因子与坡面 0~60 cm 土层的土壤水分进行空间叠加分析, 通过 kriging 插值方法对全坡面土壤水分进行估算, 避免了单点取样测量所带来的土壤水分数据量的偏差。进而研究地形因子和土壤水分的相关性, 建立经验方程, 得出不同地形因子影响土壤水分的比例系数, 为黄土区基于地形因子变异的土壤水分估算提供基础, 为造林树种和密度的选择提供参考。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区域特征

研究区位于山西省吉县蔡家川流域(北纬 $36^{\circ}14' \sim 36^{\circ}18'$, 东经 $110^{\circ}40' \sim 110^{\circ}48'$ 间), 流域主沟长 12.15 km, 面积 40.10 km²。年平均降水量为

* 国家基础研究重点规划项目“森林植被调控区域农业水土资源与环境的尺度辨析与转换(2002CB111503)”和教育部重大项目“北方退耕还林区水土保持型植被恢复与重建技术研究(10407)”共同资助

† 通讯作者, 毕华兴(1969~), 男, 北京林业大学水土保持学院副教授, 主要从事森林水文和地理信息系统的研究。通讯地址: 北京市海淀区清华东路 35 号北京林业大学 67 信箱。E-mail: blhx@bjfu.edu.cn

作者简介: 刘鑫(1982~), 男, 内蒙古包头人, 硕士研究生, 主要从事林业生态方面的研究。E-mail: saint3041656@126.com

收稿日期: 2006-03-21; 收到修改稿日期: 2006-06-15

575.9 mm,降水主要集中在6月、7月、8月三个月份,约占全年降水量的80.6%。实验区为黄土区典型梁峁类型,位于蔡家川流域中部。主梁为南北走向,南北向长675 m,东西向长490 m;峁顶海拔1195 m,沟底海拔1060 m,高差135 m;坡度范围在 $7^{\circ} \sim 66^{\circ}$ 之间;土壤为褐土,黄土母质;梁峁坡面植被以人工林为主,包括果园、纯林、混交林、灌草坡;主要乔灌木有油松(*Pinus tabulaeformis* Cam)、侧柏(*Platycladus orientalis*)、刺槐(*Robinia pseudoscacia* L.)、沙棘(*Hippophae rhamnoides*)、梨(*Pyrus bretschneideri* Rehd.)、山桃(*Prunus davidiana* (Carr.) Franch.)、山杏(*var. ansu Maxim*)、黄刺梅(*Rosa Xanthina* Lindl.)、三裂绣线菊(*Spiraea trilobata* Lindl.)等。



图1 试验区位置图

Fig 1 Location of experiment region

1.2 研究方法

在试验区,采用均匀网格法布置土壤水分测定样点,按 $20\text{ m} \times 20\text{ m}$ 的网格选取样点,共布置土壤水分测点313个。在2005年4月25日至30日,使用TDR测定所选样点0~30 cm,30~60 cm土层水分含量(土壤水分容积百分比%)。TDR是目前土壤水分测量中最为快捷、准确的仪器。试验选用TRIME-TDR,并配合三针型P3探头(长30 cm)同时使用,可实现短时间大量取样点土壤水分数据的快速、直接、准确的测定^[5]。

建立测量点的土壤水分数据库,利用ArcGIS中的地统计模块对未测定区域土壤水分状况进行克里格插值计算,生成整个试验区梁峁坡面的土壤水分分布图^[6]。利用实验区域1:1万的等高线图生成数字高程图(DEM),分别提取高程、坡向、坡度三个地形因子,生成试验区高程分布图、坡向分布图、坡度分布图。将高程、坡向、坡度分布图与土壤水分分布

图进行叠加,得到地形因子(高程、坡向、坡度)与土壤水分相对应的属性数据库。

基于地形因子与土壤水分叠加数据库,使用SPSS统计学软件进行主成分分析,得出主成分因子和各因子的贡献率。并对主成分地形因子进行聚类分析。使用地形因子聚类分析结果,对不同地形因子与土壤水分的关系进行拟合,并且得出其回归方程^[7]。通过不同地形因子土壤水分回归方程的积分相比,得出不同地形因子影响的土壤水分的比例系数。

2 结果与分析

2.1 土壤水分含量的空间分布格局

根据实测的土壤水分值,在ArcGIS中建立土壤水分数据库,并采用普通克里格法进行最优内插,绘制土壤水分含量的空间分布图(kriging map),见图2。

如图2所示,土壤水分总体呈现自东北向西南减小的趋势,南向坡由于太阳辐射强度较大,土壤水分蒸发强烈,以至形成较低的土壤水分含量。这与邱扬等^[8]在黄土高原中部的研究结果一致。

2.2 地形因子提取

通过对试验区1:1万等高线图的数字化处理,生成DEM图,分别提取高程、坡向、坡度3个地形因子,生成试验区地形因子图,见图3。

2.3 地形因子对土壤水分影响的主成分分析

通过ArcGIS软件中Combine命令将高程、坡向、坡度三个地形因子图与土壤水分克里格插值图叠加,输出地形因子与土壤水分状况相对应的属性数据库,基于此数据库,首先对地形因子与土壤水分的关系进行主成分分析,结果如下:

通过表1中未旋转变量的公因子方差(Extraction)可以预测土壤水分和地形因子的多重相关性^[7]。由此可以看出在0~30 cm土层,地形因子与土壤水分的相关性由大到小为坡向、高程、坡度,(坡向为成分1,高程为成分2,坡度为成分3);在30~60 cm土层,地形因子与土壤水分的相关性由大到小为坡度、高程、坡向(坡度为成分1,高程为成分2,坡向为成分3)。基于上述分析结果,对各成分的贡献率进行进一步分析,以确定主成分个数,结果见表2。表2中相关矩阵的特征值决定了应保留为主成分的因子,其值 > 1 ,该因子可保留为主成分,其值 < 1 ,则因子不应保留为主成分。可以看出在0~30 cm土层中,坡向为主成分因子,在30~60 cm土层中,

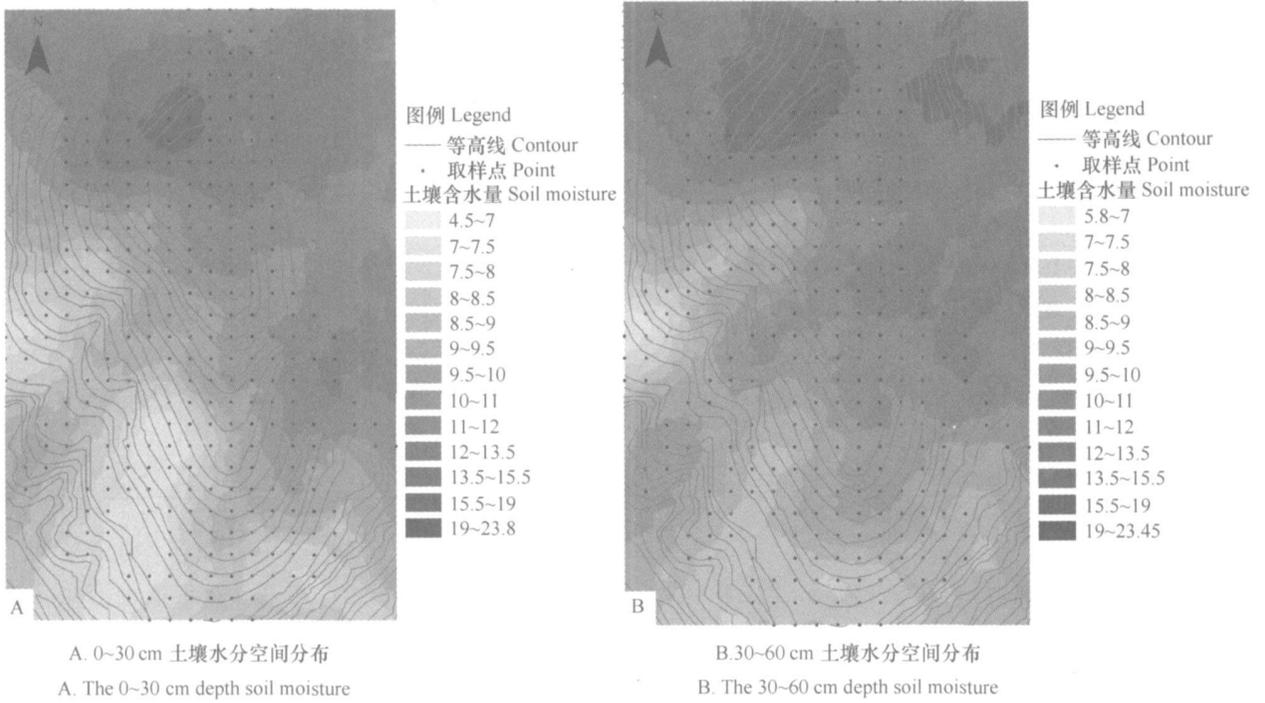


图 2 土壤水分空间分布图(2005 年 4 月)

Fig. 2 Spatial distribution of soil moisture(Apr. 2005)

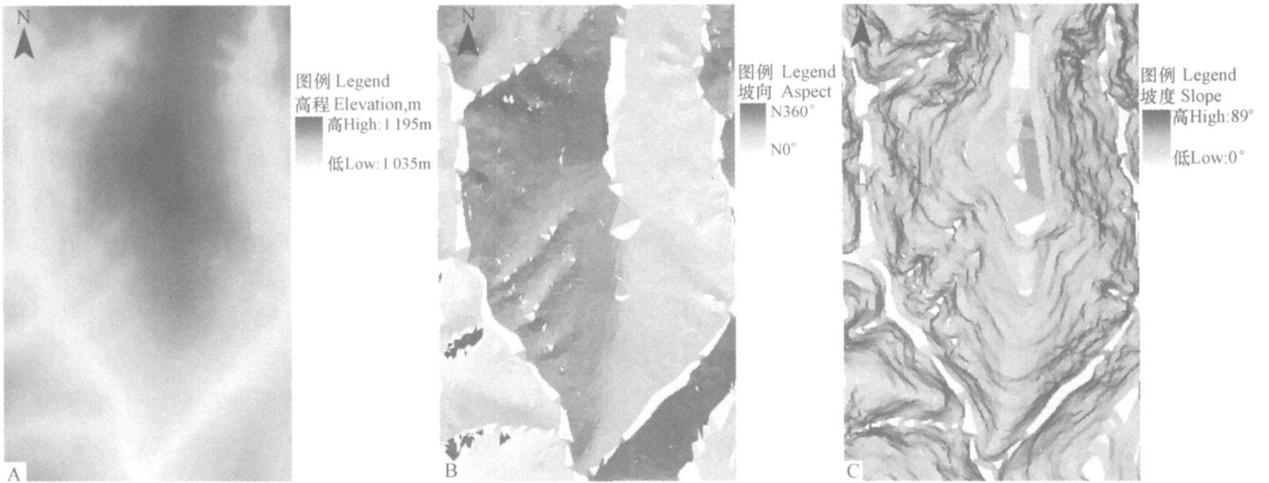


图 3 试验区地形因子图(A. 高程图; B. 坡向图; C. 坡度图)

Fig. 3 Topographic factor maps of the experiment region (A. Elevation; B. Aspect; C. Slope)

表 1 变量共同度分析表

Table 1 Communalities of the variables

地形因子 Topographic factors	0~ 30 cm 土层 0~ 30 cm soil depth		30~ 60 cm 土层 30~ 60 cm soil depth	
	公因子方差	未旋转的公因子方差	公因子方差	未旋转的公因子方差
	Initial	Extraction	Initial	Extraction
高程 Elevation	1. 000	0. 556	1. 000	0. 553
坡向 Aspect	1. 000	0. 651	1. 000	0. 149
坡度 Slope	1. 000	0. 144	1. 000	0. 650

表2 特征变量分析
Table 2 Characteristic variables

土层 Soil depth	成份 Component	原始变量特征值 Initial eigenvalues			提取的主成分 Extraction sums of squared loadings		
		特征值 Eigenvalue	贡献率 Contribution rate(%)	累计贡献率 Cumulative contribution rate(%)	特征值 Eigenvalue	贡献率 Contribution rate(%)	累计贡献率 Cumulative contribution rate(%)
0~ 30 cm	成分 1(坡向 Aspect)	1.35	45.00	45.00	1.35	45.00	45.00
	成分 2(高程 Elevation)	0.978	32.59	77.59			
	成分 3(坡度 Slope)	0.672	22.41	100.00			
30~ 60 cm	成分 1(坡度 Slope)	1.35	45.05	45.05	1.35	45.05	45.05
	成分 2(高程 Elevation)	0.976	32.55	77.60			
	成分 3(坡向 Aspect)	0.672	22.40	100.00			

坡度为主成分因子。

通过主成分分析可得,在 0~ 30 cm 土层坡向为主成分,高程的影响程度次之,坡度最小;在 30~ 60 cm 土层,坡度为主成分,高程的影响程度次之,坡向最小。坡向作为 0~ 30 cm 影响土壤水分状况的主成分因子,其原因在于表层土壤水分的状况受气象因子,尤其是太阳辐射强度的影响最甚,坡向的差异可以最大程度的反映太阳辐射强度的差异,进而反映土壤水分含量的差异^[9]。在 30~ 60 cm 土层,由于随着土壤深度的增加,气象因素的作用能力减弱,因此坡向的影响程度降低;而坡度成为对土壤水分状况影响的主成分因子,坡度的差异导致了水分在土壤中的流动和保蓄,这是造成深一层次的土壤水分差异的主要原因^[10]。

2.4 地形因子聚类分析

由主成分分析得出坡向是影响 0~ 30 cm 土层土壤水分状况的主要因子,坡度为影响 30~ 60 cm 土层土壤水分状况的主要因子,利用其相应的土壤水分属性数据库,基于土壤水分含量进行坡向(0~ 30 cm)、坡度(30~ 60 cm)的模糊聚类分析。从而以坡面土壤水分为依据划分立地类型。

以正北向 0° 为起始点,按顺时针方向,每 11.25° 为一递增量对坡向进行模糊聚类分析,计算欧式距离,指定观测量聚类为最小方差法,得出聚类分析图(见图 4),按 $\lambda = 2.56$ (λ 为临界近似程度取类间距),将坡向划分为两大类即:按顺时针方向 282.5° ~ 112.5° 为阳坡,112.5° ~ 282.5° 为阴坡。

坡向的聚类结果显示按土壤水分状况的坡向划分与传统林学按太阳辐射划分的阴、阳坡地(阴坡: 292.5° ~ 360°, 0° ~ 112.5°; 阳坡: 112.5° ~ 292.5°)

基本一致,这很好地反映出坡向作为主要因子对浅层土壤水分的影响,坡向的差异在最大程度地反映太阳辐射强度的差异。

在 5° ~ 35° 坡度范围之间按 5° 为一级,以同样的方法进行聚类分析,其结果如图 5 所示,当 $\lambda = 3$ 时,其聚类结果将坡度划分为两个类别,分别为: 5° ~ 20° 和 20° ~ 35°。

2.5 土壤水分与地形因子关系系数的确立

利用坡向、坡度和相应的土壤水分状况的属性数据库,建立土壤水分含量与坡向、坡度的关系模型。

在相同坡度范围内坡度的影响视为一致,对土壤与坡向之间的关系进行分析研究,用曲线描述它们的关系。曲线参数估计法(Curve Estimation)模块能自动拟合 11 种曲线,所输出的曲线模型都给出了相关指数 R^2 值与显著水平 p 值,可以结合曲线方程与变量得出相关指数 R^2 , 标准误差 F 值与 p 值,根据需要选择某一个表达式。

用 SPSS 软件中的 11 种曲线模型对土壤水分和坡向作曲线参数拟合(其中 y 为土壤水分含量, x 为坡向),根据其 F 值的大小从中筛选出最适合模型,结果如表 3。

由表 3 中的方差结果可以看出其显著水平 $p < 0.0001$ 。四个回归方程均有统计学意义。

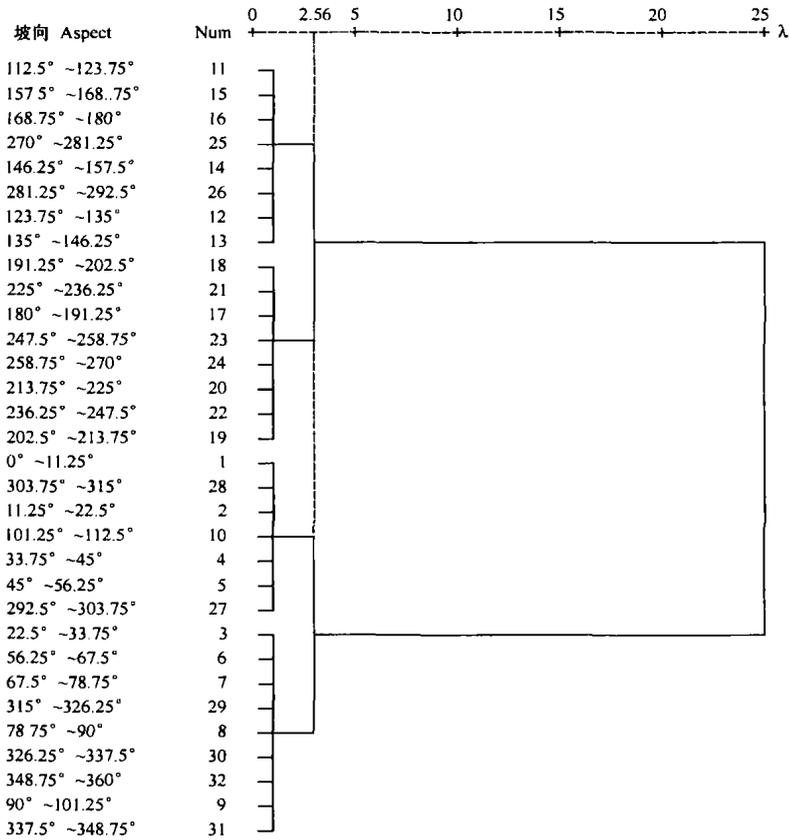
在坡度为 5° ~ 20° 时阴坡的土壤水分方程:

$$f(x_1) = -3.71 \times 10^{-7} x_1^3 + 0.00026x_1^2 - 0.045x_1 + 14.03 \quad x_1 \in (292.5^\circ \sim 360^\circ, 0^\circ \sim 112.5^\circ)$$

在坡度为 5° ~ 20° 时阳坡的土壤水分方程:

$$f(x_2) = 1.16 \times 10^{-6} x_2^3 - 0.00035x_2^2 + 14.31x_2 \quad x_2 \in (112.5^\circ \sim 192.5^\circ)$$

在坡度为 20° ~ 35° 时阴坡的土壤水分方程:



注: 按顺时针方向 282.5° ~ 112.5° 为阳坡, 112.5° ~ 282.5° 为阴坡

As the clock the 282.5° ~ 112.5° is sunny aspect, the 112.5° ~ 282.5° is shady aspect

图 4 坡向聚类分析图

Fig 4 Cluster analysis of aspect

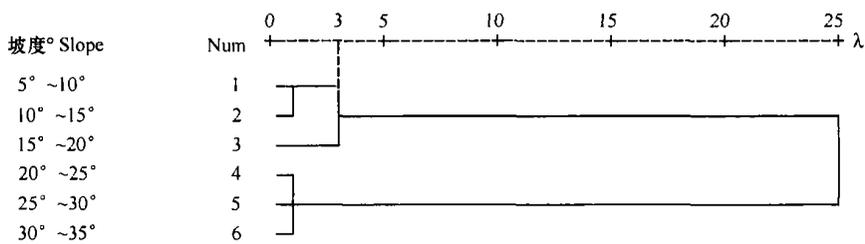


图 5 坡度聚类分析图

Fig.5 Cluster analysis of slope

表 3 多种曲线拟合结果

Table 3 Fitting of different types of curves

坡度 Slope	坡向 Aspect	曲线模型 Curves	方程 Function	R ²	F 值	p 值
5° ~ 20°	阴坡 112.5° ~ 282.5°	三次模型 Cubic	$y = -0.045x + 0.00026x^2 - 3.71 \times 10^{-7}x^3 + 14.03$	0.42	10.23	< 0.0001
	阳坡 282.5° ~ 112.5°	三次模型 Cubic	$y = -0.00035x^2 + 1.16 \times 10^{-6}x^3 + 14.31$	0.69	56.25	< 0.0001
20° ~ 35°	阴坡 112.5° ~ 282.5°	三次模型 Cubic	$y = 0.022x - 2.2 \times 10^{-5}x^2 - 8.83 \times 10^{-8}x^3 + 10.63$	0.43	11.47	< 0.0001
	阳坡 282.5° ~ 112.5°	三次模型 Cubic	$y = -0.00046x^2 + 1.44 \times 10^{-6}x^3 + 15.24$	0.79	261.43	< 0.0001

$$f(x_3) = -8.83 \times 10^{-8} x_3^3 - 2.2 \times 10^{-5} x_3^2 + 0.022x_3 + 10.63 \quad x_3 \in (292.5^\circ \sim 360^\circ, 0^\circ \sim 112.5^\circ)$$

在坡度为 $20^\circ \sim 35^\circ$ 时阳坡的土壤水分方程:

$$f(x_4) = 1.44 \times 10^{-6} x_4^3 - 0.00046x_4^2 + 15.24x_4 \in (112.5^\circ \sim 192.5^\circ)$$

通过对四个土壤水分方程求积分, 然后分别与 $f(x_1)$ (坡度 $5^\circ \sim 20^\circ$, 坡向 $292.5^\circ \sim 360^\circ, 0^\circ \sim 112.5^\circ$) 的积分相比, 其比值即为基于地形因子分异的土壤水分关系系数, 所得公式如下:

$$\alpha_i = \frac{\int f(x_i) d(x_i)}{\int f(x_1) d(x_1)} \quad i \in (1, 2, 3, 4)$$

通过计算得出的土壤水分关系系数见表 4。

表 4 土壤水分含量关系系数

Table 4 Coefficients relation of soil moisture and slope

	坡向 Aspect	坡度 Slope	
		$5^\circ \sim 20^\circ$	$20^\circ \sim 35^\circ$
关系系数	阴坡 Shady aspect	1	0.99
Coefficient	阳坡 Sunny aspect	0.82	0.8

从上述关系系数可以看出: 土壤水分呈现按阳坡高坡度、阳坡低坡度、阴坡高坡度、阴坡低坡度顺序递增的空间变化规律。

3 结论

地形因子对浅层土壤水分有着重要的影响, 其中坡向对其影响呈现自东北向西南减小的趋势。对地形因子与土壤水分的属性数据库进行主成分分析得出: 在 $0 \sim 30$ cm 土层坡向为主成分, 高程的影响程度次之, 坡度最小; 在 $30 \sim 60$ cm 土层, 坡度为主成分, 高程的影响程度次之, 坡向最小。通过聚类分析得出: 坡向按顺时针方向分 $282.5^\circ \sim 112.5^\circ$, $112.5^\circ \sim 282.5^\circ$ 两类, 与传统的阴、阳坡划分基本相吻合。坡度划分为: $5^\circ \sim 20^\circ$ 和 $20^\circ \sim 35^\circ$ 两类。

在坡度为 $5^\circ \sim 20^\circ$ 时阴坡的土壤水分方程: $f(x_1) = -3.71 \times 10^{-7} x_1^3 + 0.00026x_1^2 - 0.045x_1 + 14.03$ $x_1 \in (292.5^\circ \sim 360^\circ, 0^\circ \sim 112.5^\circ)$; 在坡度为 $5^\circ \sim 20^\circ$ 时阳坡的土壤水分方程: $f(x_2) = 1.16 \times 10^{-6} x_2^3 - 0.00035x_2^2 + 14.31x_2 \in (112.5^\circ \sim 192.5^\circ)$; 在坡度为 $20^\circ \sim 35^\circ$ 时阴坡的土壤水分方程: $f(x_3) = -8.83 \times 10^{-8} x_3^3 - 2.2 \times 10^{-5} x_3^2 + 0.022x_3 + 10.63$ $x_3 \in (292.5^\circ \sim 360^\circ, 0^\circ \sim 112.5^\circ)$; 在坡度为 $20^\circ \sim 35^\circ$ 时阳坡的土壤

水分方程: $f(x_4) = 1.44 \times 10^{-6} x_4^3 - 0.00046x_4^2 + 15.24x_4 \in (112.5^\circ \sim 192.5^\circ)$ 。土壤水分系数分别为: 1 (坡度 $5^\circ \sim 10^\circ$, 阴坡)、0.82 ($5^\circ \sim 20^\circ$, 阳坡)、0.99 ($20^\circ \sim 35^\circ$, 阴坡)、0.8 ($20^\circ \sim 35^\circ$, 阳坡), 可以看出土壤水分的呈现阴坡大于阳坡, 低坡度优于高坡度的规律。

参考文献

- [1] 刘梅, 蒋定生, 黄国俊. 不同坡面位置土壤水分差异规律分析. 水土保持通报, 1990, 10(2): 16~20. Liu M, Jiang D S, Huang G J. An analysis to the differences of soil water in varied places of hillslopes (In Chinese). Bulletin of Soil and Water Conservation, 1990, 10(2): 16~20
- [2] Qiu Y, Fu B, Wang J, et al. Spatial variability of soil moisture content and its relation to environmental indices in a semiarid gully catchment of the Loess Plateau, China. Journal of Arid Environments, 2001, 49: 723~750
- [3] 王军, 傅伯杰, 邱扬. 黄土丘陵小流域土壤水分的时空变异特征——半变异函数. 地理学报, 2000, 55(4): 431~433. Wang J, Fu B J, Qiu Y. Spatiotemporal variability of soil moisture in small catchment on Loess Plateau—Semivariograms (In Chinese). Acta Geographica Sinica, 2000, 55(4): 431~433
- [4] 孙中峰, 张学培, 张晓明. 晋西黄土区林地坡面土壤水分异质性研究. 干旱地区农业研究, 2004, 22(2): 81~86. Sun Z F, Zhang X P, Zhang X M. Heterogeneity of soil moisture and its influencing factors on forest land in the loess hilly areas (In Chinese). Agricultural Research in the Arid Areas, 2004, 22(2): 81~86
- [5] Topp G C, Davis J L, Amann A P. Measurement of soil water content using time domain reflectometry (TDR): A field evaluation. Soil Sci. Soc. Am. J., 1985, 49: 19~24
- [6] 王政权. 地统计学及其在生态学中的应用. 北京: 科学出版社, 1999. Wang Z Q. Geostatistics and Its Application in Ecology (In Chinese). Beijing: Science Press, 1999
- [7] 薛薇. 统计分析与SPSS的应用. 北京: 中国人民大学出版社, 2001. Xue W. Statistic Analyses and SPSS Application (In Chinese). Beijing: China Renmin University Press, 2001
- [8] 邱扬, 傅伯杰, 王军. 黄土丘陵小流域土地利用的时空分布及其与地形因子的关系. 自然资源学报, 2003, 18(1): 20~29. Qiu Y, Fu B J, Wang J. Spatiotemporal distribution of land use in relation to topography in a gully catchment of the Loess Plateau, China (In Chinese). Journal of Natural Resources, 2003, 18(1): 20~29
- [9] 朱德兰, 吴发启. 不同地形部位土壤水分的年变化分析. 中国水土保持科学, 2003, 1(4): 28~31. Zhu D L, Wu F Q. Study on annual variation of soil moisture in different positions of topography (In Chinese). Science of Soil and Water Conservation, 2003, 1(4): 28~31
- [10] 李洪建, 王孟本, 柴宝峰. 黄土高原土壤水分变化的时空特征分析应用. 生态学报, 2003, 14(4): 515~519. Li H J, Wang M B, Chai B F. Spatial and temporal characteristics of soil moisture dynamics in Loess Plateau (In Chinese). Chinese Journal of Applied Ecology, 2003, 14(4): 515~519

VARIATION OF SOIL MOISTURE IN RELATION TO TOPOGRAPHIC FACTORS IN LOESS REGION OF WEST SHANXI

Liu Xin¹ Bi Huaxing^{1,2†} Li Xiaoyin^{1,2} Li Jun¹ Guo Mengxia¹ Lin Liangliang¹ Guo Chaoying¹

(1 School of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

(2 Key Laboratory of Soil and Water Conservation and Desertification Combating, Ministry of Education, Beijing 100083, China)

Abstract A typical slope in the Caijiachuan watershed, Loess Plateau of China was an object of research. A total of 313 soil moisture monitoring points were laid out in a 20 m × 20 m grid pattern in the experiment site for measuring soil moisture in two layers, 0~ 30 cm and 30~ 60 cm, with TDR (time-domain reflectometry) in 2005. Based on the data, a soil moisture distribution map was plotted with the Kriging method and then superposed over on the topographic factor maps of aspect, slopes and elevation, derived from DEM, thus forming a database of relationships between soil moisture and different topographic factors for analysis of effects of different topographic factors on soil moisture, and variation of soil moisture attributed to topographic factors. Results show that in the 0~ 30 cm soil layer, the topographic factors were in the order of aspect > elevation > slope in effect on soil moisture, while in the 30~ 60 cm soil layer, the sequence is slope > elevation > aspect. The cluster analysis of aspects and slopes indicated that aspects could be sorted into two categories: 292.5° ~ 360° (0°) ~ 112.5° (shady slope) and 112.5° ~ 292.5° (sunny slope), and so could slopes, 5° ~ 20° and 20° ~ 35° according to their effects on soil moisture. Based on the sorting models for fitting functional relations between soil moisture and the topographic factors were established and coefficients of the relations worked out. Assuming the soil moisture modulus is set as 1 when a shady slope is 5° ~ 20° in gradient, and it is 0.99 on a sunny slope the same in gradient, 0.82 on a shady slope, 20° ~ 35° in gradient, and 0.80 on a sunny slope the same in gradient.

Key words Topographic factor; Soil moisture; Kriging; Multifactor analysis; Cluster analysis