

# 陕西省水蚀土壤因子指标插值方法比较研究

庞国伟<sup>1,2</sup>, 杨勤科<sup>1,2</sup>, 张爱国<sup>3</sup>, 李锐<sup>1,2</sup>

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100;

2. 中国科学院 水利部水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 3. 山西师范大学 地理系, 山西 临汾 041004)

**摘要:** 基于地统计学原理和半变异理论, 采用地理信息系统技术定量研究了陕西省水蚀土壤因子指标的空间变异特征。分析比较了反距离权重法、样条函数法与普通克吕格法对陕西省土壤因子指标空间插值的精度。结果表明, 研究区土壤抗冲系数具有中等强度的空间相关性, 块金系数为 32.29%, 而稳渗速率、崩解速率、抗剪强度均表现为强烈的空间相关性, 块金系数分别为 13.19%, 11.61% 和 12.98%。综合考虑平均相对误差、均方差及插值效果, 认为普通克吕格法最好, 更能反映土壤参数的空间特征并符合区域水土流失模型对数据的要求。对于普通克吕格法, 稳渗速率的 Lag 步长为 30 000 m, 半方差理论模型为指数模型; 抗冲系数、崩解速率、抗剪强度的 Lag 步长为 55 000, 半方差理论模型均为高斯模型。在空间分布上, 各指标随土壤类型由北到南呈现明显的地带性规律。

**关键词:** 水蚀土壤因子指标; 空间插值; 反距离权重法; 样条函数法; 普通克吕格法

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2009)02-0176-07

中图分类号: S157, S159-3

## Comparison of Spatial Interpolation Methods for Soil Variables of Regional Water Erosion Assessment in Shaanxi Province

PANG Guo-wei<sup>1,2</sup>, YANG Qin-ke<sup>1,2</sup>, ZHANG Ai-guo<sup>3</sup>, LI Rui<sup>1,2</sup>

(1. College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources,

Yangling, Shaanxi 712100, China; 3. Geography Department, Shanxi Normal University, Linfen, Shanxi 041004, China)

**Abstract:** Based on geo-statistical principle and semi-variability theory, this paper quantitatively studied the spatial variability of soil factor for modeling of soil erosion by water in GIS, comparing the accuracy of different interpolation methods, including IDW, Spline and Ordinary Kriging. The results showed that the spatial correlation of regional soil coefficient of soil anti-scourability was moderately, the nugget-to-sill ratio was 32.29%, while the spatial correlation of steady infiltration rate, collapse velocity and shear strength was very strongly correlated, the nugget-to-sill ratio was 13.19%, 11.61% and 12.98% respectively. In a word, taking account of MRE, RMSE and interpolation results, Ordinary Kriging interpolation was the best one, which represented the spatial characteristics of soil factors well and can be better used in regional soil erosion model in view of data requirement. To Ordinary Kriging, the lag step of the steady infiltration rate was 30 000 meters, and the semi-variance theory model was exponential model whereas the soil coefficient of restitution, collapse velocity and shear strength was 50 000 meters respectively, and the semi-variance theory was Gaussian Model. Besides, owing to the spatial distribution of soil type ranging from north to south, each index showed clear zonation differentiation character.

**Keywords:** soil variables for regional water erosion; spatial interpolation; IDW; Spline; Ordinary Kriging

区域土壤侵蚀研究已成为土壤侵蚀学科的前沿研究领域, 自 20 世纪 90 年代以来, 国内外学者对区域尺度土壤侵蚀研究给予了高度重视<sup>[1]</sup>。区域土壤

侵蚀模型作为区域土壤侵蚀研究的重要组成部分, 是进行大区域土壤侵蚀调查, 认识土壤侵蚀对环境的影响, 理解多种尺度土壤侵蚀过程及其相关现代地表过

收稿日期: 2008-10-31

修回日期: 2008-12-31

资助项目: 国家重点基础研究发展计划(2007CB407203)

作者简介: 庞国伟(1982—), 男(汉族), 山西省天镇县人, 硕士研究生, 主要从事 GIS 在区域水土流失中的应用研究。E-mail: gwpan@nwsuaf.edu.cn.

通信作者: 杨勤科(1962—), 男(汉族), 陕西省陇县人, 博士, 研究员, 主要从事区域水土流失与 GIS 应用研究。E-mail: qkyang@ms.iswc.ac.cn.

程,分析评估全球变化与土壤侵蚀关系的基础<sup>[1-3]</sup>。土壤因子是影响土壤侵蚀的重要因子,也是土壤侵蚀模型的重要参数。

在我们初步提出的区域土壤侵蚀模型中,选用土壤抗冲系数、稳渗速率、崩解速率、抗剪强度这4个指标来定量评价土壤因子对区域土壤侵蚀的影响<sup>[4-6]</sup>。这些指标数据一般要通过野外实测才能获取,但是为了反映区域整体状况,进行空间插值是必须的。张爱国<sup>[7]</sup>、雷俊山<sup>[8]</sup>、曾光<sup>[9]</sup>等研究者们均在实测和预测数据的基础上进行过空间插值和制图研究,但对于插值中的参数的确定,插值结果精度评价等,仍须进行系统分析。

本文以陕西省为例,在分析插值数据分布特征的基础上,基于地统计学理论和空间分析方法,对插值参数设置,表面模型的精度等进行分析评价,确定适宜的插值方法。本研究将为陕西省土壤侵蚀普查区域土壤侵蚀模型开发等提供数据产品和数据处理方法的支持。

## 1 数据与方法

### 1.1 数据来源与特征分析

本文以陕西省为研究区域,考虑数据点在土壤类型(亚类)和县域的均匀分布,选取来自陕西省及其周边162个点的土壤因子(抗冲系数、稳渗速率、崩解速率、抗剪强度)作为插值基础数据(图1)。由于克吕格法对正态数据的预测精度最高,所以应先判断数据集是否呈正态分布,以判断数据集是否适合于克吕格法插值<sup>[10]</sup>。为此计算了4个指标的峰度和偏度,以便判断其分布类型。

### 1.2 插值方法及其参数优化

地统计学和空间分析中,发展了多种插值方法,包括反距离权重法、样条函数法和克吕格法等。为了得到满意的插值结果,需要通过对不同参数、不同方法下的插值结果进行分析比较。本研究中针对不同插值方法的特点,进行了多种方案的插值运算。对于反距离权重法和样条函数法,计算插值结果的均方根

误差(RMSE),依据其值越小,参数(模型)越优的原则<sup>[11-12]</sup>进行优化。

克吕格法通过计算变异函数来拟合最优理论模型。对于不规则网格数据,在计算变异函数时应设置Lag步长和最大步长(分离距离 $h$ 的最大值)这两个参数。要将分离距离控制在有意义的研究范围内,通常应保证分离距离 $|h| \leq L/2$ <sup>[10]</sup>, $L$ 为沿某方向的最大尺度。在对变异函数(半方差)进行分析时,将研究区最大距离的一半(约为471 800 m)作为最大步长值。

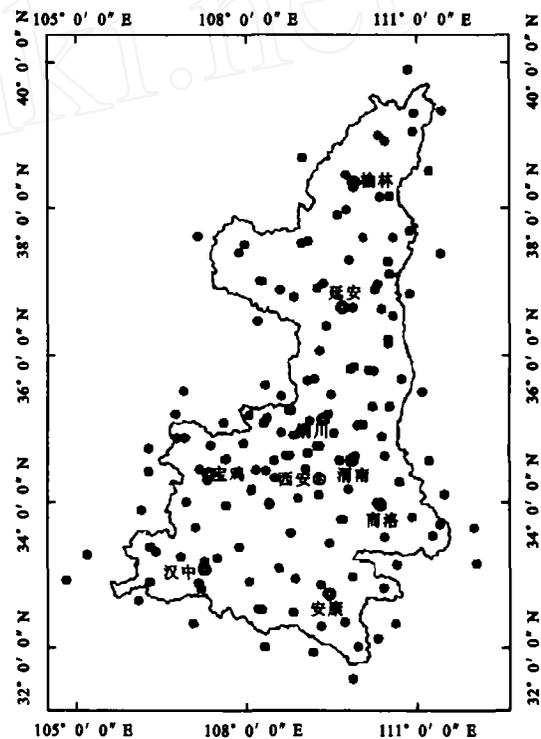


图1 陕西省及其周边测点分布图

对于Lag步长来说,其值的选取不宜过小,因为用以计算样本变异函数值的总数据量须足够大,在每一个分离距离上用来计算样本变异函数的数值一般应大于30个点对<sup>[10]</sup>,张仁铨<sup>[13]</sup>甚至建议至少应有100到200个样本数据。在对现有数据分析的基础上,通过多次设置比较来确定水蚀土壤因子指标的步长值。插值试验方案如表1所示。

表1 插值方法与参数优化试验方案

插值方法	优化内容	优化方法
反距离权重法	$P$ (距离的指数)	分别取 $P=1,2,3$ 进行插值比较
样条函数法	完全规则和张力	对两种方法进行插值比较
普通克吕格法	变异函数的最大步长	取研究区域最大距离的一半作为最大步长
	变异函数的Lag步长	保证最小点对为30对及模型拟合精度,多次设置比较
	变异模型	通过计算变异函数确定最佳理论模型

### 1.3 验证方法

常用的插值验证方法包括站点检验法<sup>[14-16]</sup>和交叉验证法<sup>[15-16]</sup>, 站点检验法是从所有的插值点中随即抽取一部分点作为检验点而不参与插值, 从而造成实际参与插值的点较少, 因此本研究采用交叉验证法(cross-validation)对 3 种插值方法的插值结果进行分析验证, 即假设每一个实测点的指标值未知, 用其周围实测点的值来估计该点的指标值, 通过计算所有测点的实际测量值与估计值之间的误差评价各插值方法的优劣。研究过程中, 对 162 个插值基础数据的插值结果进行了全交叉验证。运用相对平均误差(MRE)、均方根误差(RMSE)、均方差(MSE)作为检验的标准。平均相对误差可以反映误差的相对大小, 均方根误差可以反映利用测点数据的估值灵敏度和极值效应, 公式如下:

$$MRE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{Z_i - \hat{Z}_i}{Z_i}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z_i - \hat{Z}_i)^2}$$

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z_i - \hat{Z}_i)^2$$

式中:  $Z_i$ ——实测值;  $\hat{Z}_i$ ——预测值。

## 2 结果分析

### 2.1 数据特征

数据特征分析结果(表 2)表明, 稳渗速率、崩解速率、抗剪强度 3 个指标峰度、偏度较小, 而且  $P-P$  图上其数据呈直线趋势, 表明服从正态分布。抗冲系数经过幂(Parameter=0.3)变换后呈正态分布。变异系数( $C_v$ )的大小表示土壤特性空间变异性的 大小, 变异系数  $C_v \leq 0.1$  时为弱变异性,  $0.1 < C_v < 1$  时为中等变异性,  $C_v \geq 1$  时为强变异性<sup>[17-18]</sup>。表 2 表明陕西省水蚀土壤抗冲系数、稳渗速率、崩解速率和抗剪强度均表现为中等变异。

表 2 陕西省水蚀土壤因子指标统计特征值

指标	最小值	最大值	范围值	均值	变异系数/%	峰度	偏度	分布类型
抗冲系数	0.040	21.978	21.938	4.513	84.57	0.153 <sup>①</sup>	-0.020 <sup>①</sup>	正态分布 <sup>①</sup>
稳渗速率	0.095	1.520	1.425	0.836	35.47	-0.496	-0.083	正态分布
崩解速率	1.230	136.13	134.900	39.480	64.84	0.080	0.560	正态分布
抗剪强度	0.090	2.680	2.590	1.260	47.62	-0.850	0.190	正态分布

注: ① 抗冲系数经过幂变换(Parameter=0.3)后呈正态分布。

### 2.2 参数和方法的优化结果

2.2.1 反距离权重法的参数优化 在反距离权重法中, 实测点在估计值的计算过程中所占权重的大小受参数  $P$ (距离的指数)的影响, 亦即选择不同的参数将得到不同的插值结果。对不同参数  $P$  产生的预测表面进行交叉验证, 计算结果见表 3。

表 3 陕西省水蚀土壤因子指标反距离权重法插值均方根误差比较

指标	一次插值 ( $P=1$ )	二次插值 ( $P=2$ )	三次插值 ( $P=3$ )
抗冲系数	2.791	2.373	2.415
稳渗速率	0.257	0.270	0.283
崩解速率	17.800	17.160	17.300
抗剪强度	0.444	0.453	0.467

由表 3 得知, 研究区水蚀土壤因子指标中的抗冲系数和崩解速率以 2 次反距离权重法插值效果最好, 稳渗速率和抗剪强度则以 1 次反距离权重法插值效果最好。

2.2.2 样条函数法插值结果分析 对不同样条函数法的预测表面进行交叉验证, 结果表明(表 4), 研究区水蚀土壤因子指标中抗冲系数、崩解速率以完全规则样条法插值效果最好, 稳渗速率、抗剪强度以张力样条法插值效果最好。

表 4 陕西省水蚀土壤因子指标样条函数法插值均方根误差比较

指标	完全规则样条法	张力样条法
抗冲系数	2.401	2.500
稳渗速率	0.252	0.250
崩解速率	16.380	16.650
抗剪强度	0.401	0.397

### 2.2.3 克吕格变异函数模型的拟合及空间变异分析

经过多次对步长值设置的比较, 稳渗速率的 Lag 步长值设为 30 000 m, 抗冲系数、崩解速率和抗剪强度的步长值设为 55 000 m, 这样保证参与水蚀土壤因子指标变异函数计算的点对数大于 30 个, 同时模型拟合精度也较高。

假设数据各向同性,则步长值和步长组数的乘积为研究变异函数特征的最大距离(471 800 m),由此获得抗冲系数、稳渗速率、崩解速率、抗剪强度的步长组数分别为 9,16,9,9。

根据设定的步长值和最大步长值参数及各变异函数模型,在 GS<sup>+</sup>9.0 软件中对陕西省水蚀土壤因子指标

进行半方差分析,得到各模型的拟合参数如表 5 所示。通过半方差分析,依据决定系数  $R^2$  越大,残差 RSS 越小模型越优的原则,由表 5 得知,稳渗速率的半方差理论模型为指数模型,抗冲系数、崩解速率、抗剪强度的半方差理论模型为高斯模型。陕西省水蚀土壤因子指标半方差理论模型拟合的半方差图如图 2 所示。

表 5 陕西省水蚀土壤因子指标变异函数模型拟合参数

指标	模型	变程/m	块金值( $C_0$ )	基台值( $C_0+C$ )	块金基台比/%	$R^2$	RSS
抗冲系数	球形	1 000 900	0.070 4	0.269 8	26.09	0.967	0.000 5
	指数	3 002 700	0.067 0	0.419 0	15.99	0.958	0.000 6
	高斯	837 100	0.091 0	0.281 8	32.29	0.989	0.000 2
稳渗速率	球形	37 100	0.000 4	0.085 0	0.47	0.651	0.000 6
	指数	68 700	0.011 4	0.086 4	13.19	0.715	0.000 5
	高斯	30 311	0.008 6	0.085 4	10.07	0.652	0.000 6
崩解速率	球形	1 000 900	177.000 0	1 301.000 0	13.60	0.915	39 842.000 0
	指数	3 002 700	160.000 0	2 133.000 0	7.50	0.899	46 944.000 0
	高斯	1 368 320	310.000 0	2 671.000 0	11.61	0.991	4 131.000 0
抗剪强度	球形	1 000 900	0.129 0	0.650 0	19.85	0.898	0.010 40
	指数	3 002 700	0.122 0	1.033 0	11.81	0.883	0.012 00
	高斯	1 514 852	0.191 0	1.472 0	12.98	0.984	0.001 60

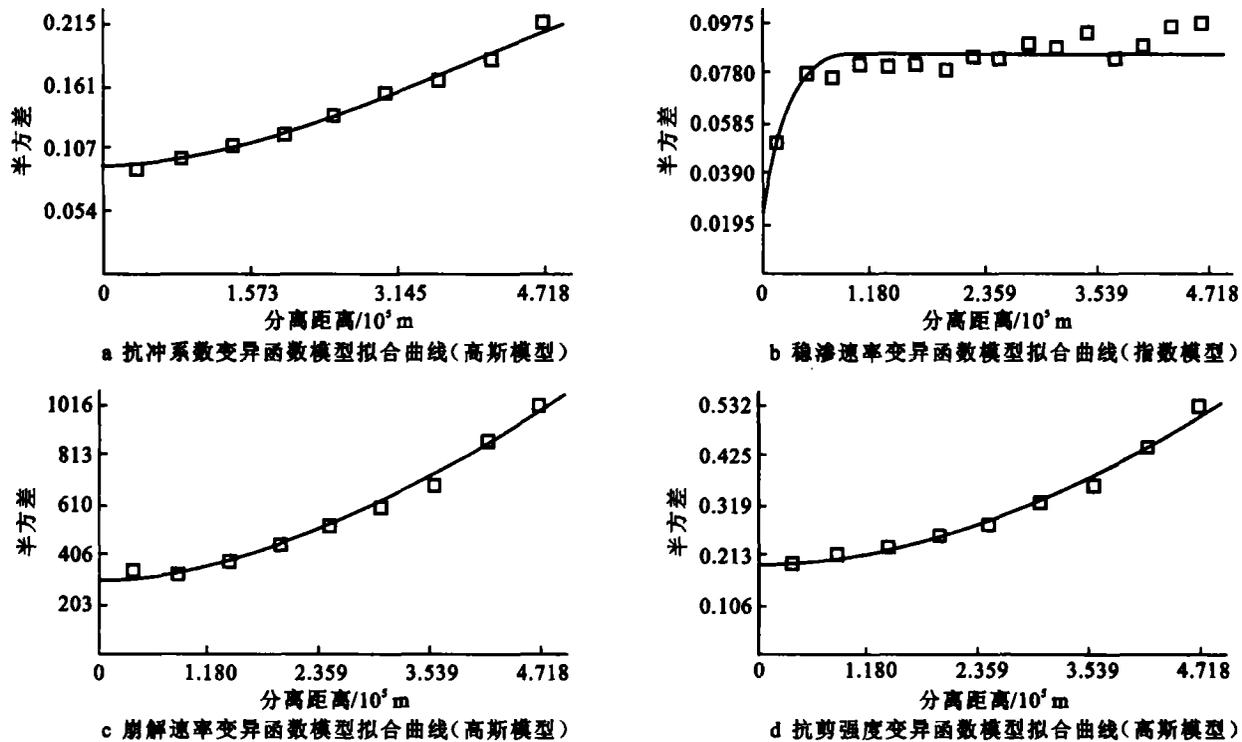


图 2 陕西省水蚀土壤因子指标变异函数模型拟合曲线

块金值( $C_0$ )表示由随机因素引起的变异,基台值( $C_0+C$ )表示系统内总的变异,块金值与基台值之比称为块金系数(块金效应),反映随机因素引起的空间异值性占系统总变异的大小。按照区域化变量空间相关性程度分级标准<sup>[19]</sup>,当块金系数 $<25\%$ 时,变

量具有强烈的空间相关性;在  $25\% \sim 75\%$  之间时,变量具有中等的空间相关性;大于  $75\%$ ,变量空间相关性很弱。当变量空间自相关程度为微弱时,反映其变异主要由随机变异组成,不适合采用插值方法进行空间插值。表 5 的结果表明,在水蚀土壤因子指标半方

差理论模型拟合的参数中,抗冲系数表现为中等的空间相关性,表明其空间变异性是由结构性(内在)因素和随机(外在)因素共同作用的结果;稳渗速率、崩解速率、抗剪强度均表现为强烈的空间相关性,表明其空间变异性主要是由结构性因素作用的结果;同时也说明水蚀土壤因子各指标均可进行空间插值。

变程是指变异函数达到基台值所对应的距离,代表水蚀土壤因子指标的空间自相关范围。由表 5 和图 2 可以看出,在省级尺度上,水蚀土壤因子 4 个指标并非一致,抗剪强度变程最大(1 514 852 m),崩解速率、抗冲系数次之(分别为 1 368 320 m 和 837 100 m),稳渗速率最小(68 700 m),抗剪强度、崩解速率、抗冲系数空间自相关范围明显大于稳渗速率,自相关范围比较大,表明对其空间变异的确定需要在更大的尺度上进行采样和分析。

### 2.3 不同插值方法精度分析

将由反距离权重法、样条函数法、普通克吕格法

在最优参数(模型)条件下所得拟合值及插值结果与相应的测量值进行比较,计算其相对平均误差(MRE)和均方差(MSE),比较结果见表 6。

由表 6 可知,在所得的插值结果中,抗冲系数的平均相对误差(MRE)与均方差(MRE)最小的分别是普通克吕格法和反距离权重法;稳渗速率的平均相对误差(MRE)与均方差(MRE)最小的分别是普通克吕格法和张力样条法;崩解速率的平均相对误差(MRE)与均方差(MRE)最小的分别是普通克吕格法和规则样条法;抗剪强度的平均相对误差(MRE)与均方差(MRE)最小的分别是普通克吕格法和规则样条法。

综合考虑平均相对误差(MRE)和均方差(MSE),抗冲系数以反距离权重法和普通克吕格法为较好;稳渗速率以张力样条法和普通克吕格法为较好;崩解速率以规则样条法和普通克吕格法为较好;抗剪强度以张力样条法和普通克吕格法为较好。

表 6 陕西省水蚀土壤因子指标不同插值方法精度比较

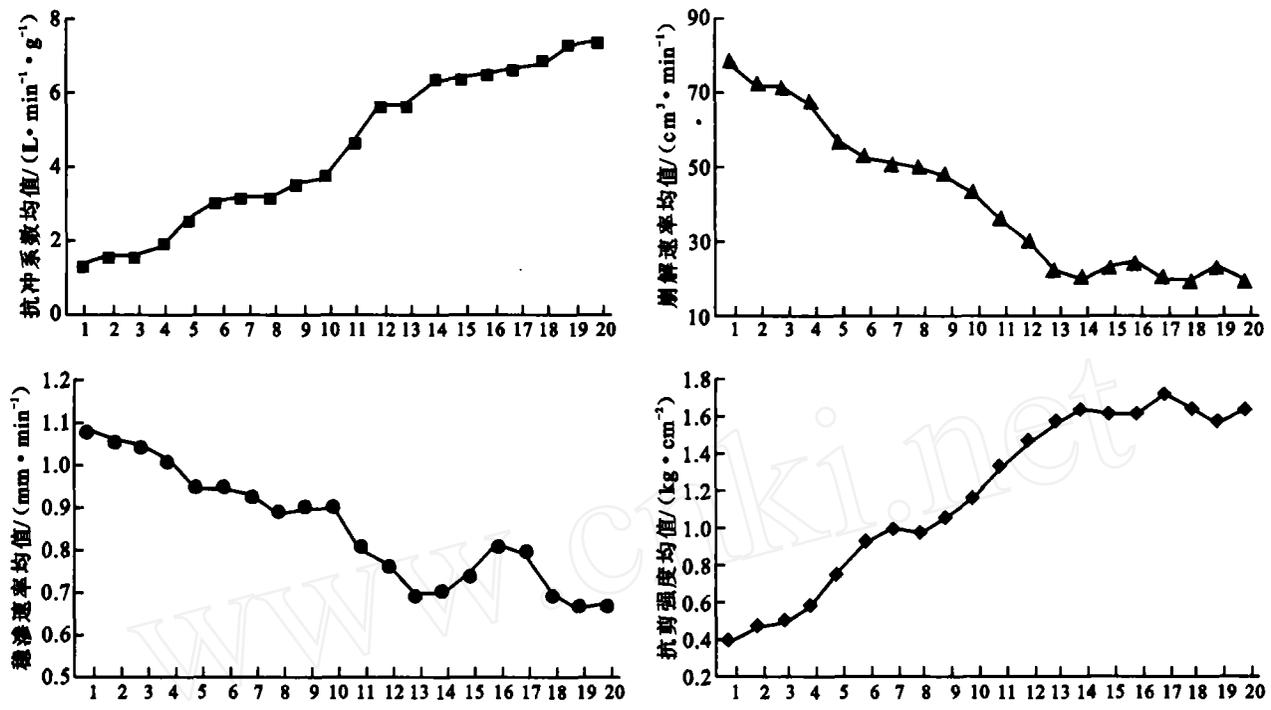
指标	插值方法	参数(模型)	平均相对误差(MRE)	均方差(MSE)
抗冲系数	反距离权重法	$P=2$	0.376 6	5.631 0
	样条函数法	规则样条法	0.174 2	5.818 0
	普通克吕格法	高斯模型	0.003 6	9.536 0
稳渗速率	反距离权重法	$P=1$	0.014 1	0.066 0
	样条函数法	张力样条法	0.009 0	0.062 6
	普通克吕格法	指数模型	0.001 0	0.073 4
崩解速率	反距离权重法	$P=2$	-3.127 0	294.466 0
	样条函数法	规则样条法	-1.849 0	268.304 0
	普通克吕格法	高斯模型	0.301 6	328.697 0
抗剪强度	反距离权重法	$P=1$	0.056 2	0.197 0
	样条函数法	张力样条法	0.038 6	0.158 0
	普通克吕格法	高斯模型	-0.004 4	0.204 0

从插值效果来看(附图 6),对于抗冲系数、稳渗速率、崩解速率、抗剪强度 4 个指标而言,反距离权重法的插值表面不平滑,出现“牛眼”现象;样条函数法的插值表面同样不光滑,而且其值域范围远远超出原有数据,甚至出现负值;普通克吕格法的插值表面比较连续、光滑,对于较大区域范围的土壤属性变化,可以认为是一个类似场的模型,因而普通克吕格法的插值表面更符合土壤因子连续变化的特征和区域水土流失模型对数据的要求。

### 2.4 水蚀土壤因子指标的空间分布特征

陕西全省南北狭长,跨越纬度约  $8^{\circ}$ ,5 个生物气候带。在生物气候带的影响下,形成了陕西省土壤水平分布的地带谱结构,从北向南依次为:栗钙土、黑垆土、褐土(塬土)、黄褐土<sup>[20]</sup>。而水蚀土壤因子指标与土壤类型及其性质有关,将普通克吕格插值表面(附

图 6)与陕西省土壤图叠加,统计不同土壤类型对应的水蚀土壤因子指标平均值,发现二者的空间分布规律趋于一致(图 3)。随着土壤类型由北到南的地带性变化,土壤抗冲系数总体呈增大趋势,其中位于栗钙土、黑垆土带的榆林地区均值最小,从陕北黄土高原的黑垆土带到关中平原的褐土带其均值逐渐增大,在陕南黄褐土、黄棕壤带达到最大,最大值分布在安康南部地区。稳渗速率总体呈减小趋势,其中陕北榆林地区为高值区,两个低值区分布在商洛东南部的丹江流域,秦岭南麓到汉江北岸,汉中东南部与安康西北部地区之间。崩解速率总体呈减小趋势,秦巴山区崩解速率较小,而陕北榆林地区崩解速率最大。抗剪强度总体呈增大趋势,其中陕北延安和榆林地区为低值区,黄龙、宜川、黄陵一带,太白、汉中、安康一带为高值区。



1 栗钙土;2 风沙土;3 沼泽土;4 石质土;5 盐碱土;6 黄绵土;7 红土;8 潮土;9 新积土;10 黑垆土;  
11 褐土;12 粗骨土;13 水稻土;14 黄褐土;15 棕壤;16 山地草甸土;17 暗棕壤;18 黄棕壤;19 紫色土;20 石灰岩

图3 水蚀土壤因子指标均值随土壤类型分布变化规律

### 3 结论

内插方法是研究区域变量空间分布的基本方法,其手段是多种多样的,如何选择适宜于实际情况并且能得到最佳应用的理论方法,仍是一个值得探讨和深入研究的问题。本文在分析插值基础数据分布特征及对空间插值方法模型(参数)优化的基础上,从多个角度对反距离权重法、样条函数法、普通克吕格法的插值结果进行分析比较。

(1) 插值所用4个水蚀土壤因子指标中,稳渗速率、崩解速率、抗剪强度3个指标呈正态分布,抗冲系数通过幂函数变换后呈正态分布。在省级尺度上,各指标的空间自相关范围(变程)不尽一致,抗剪强度最大,崩解速率、抗冲系数次之,稳渗速率最小,差异较大。空间结构上,抗冲系数的空间相关性属于中等程度,表明结构性因素和随机因素作用相当,而稳渗速率、崩解速率、抗剪系数均表现为强烈的空间相关性,表明结构性因素起主导作用。

(2) 通过分析交叉验证精度和插值结果,认为陕西省土壤水蚀因子指标均以普通克吕格方法为首选的插值方法,该方法插值结果既消除了奇异值对各指标分布的影响,又保留了变量在整个研究区和局部地区的各自分布特点,可反映土壤属性连续变化的特征,也能满足区域土壤侵蚀模型对参数的要求。

(3) 针对克吕格方法,抗冲系数、稳渗速率、崩解

速率、抗剪强度的最佳插值模型分别选择高斯模型、指数模型、高斯模型、高斯模型;Lag步长分别为55 000,30 000,55 000,55 000 m;最大步长为研究区最大距离的一半,约为471 800 m。

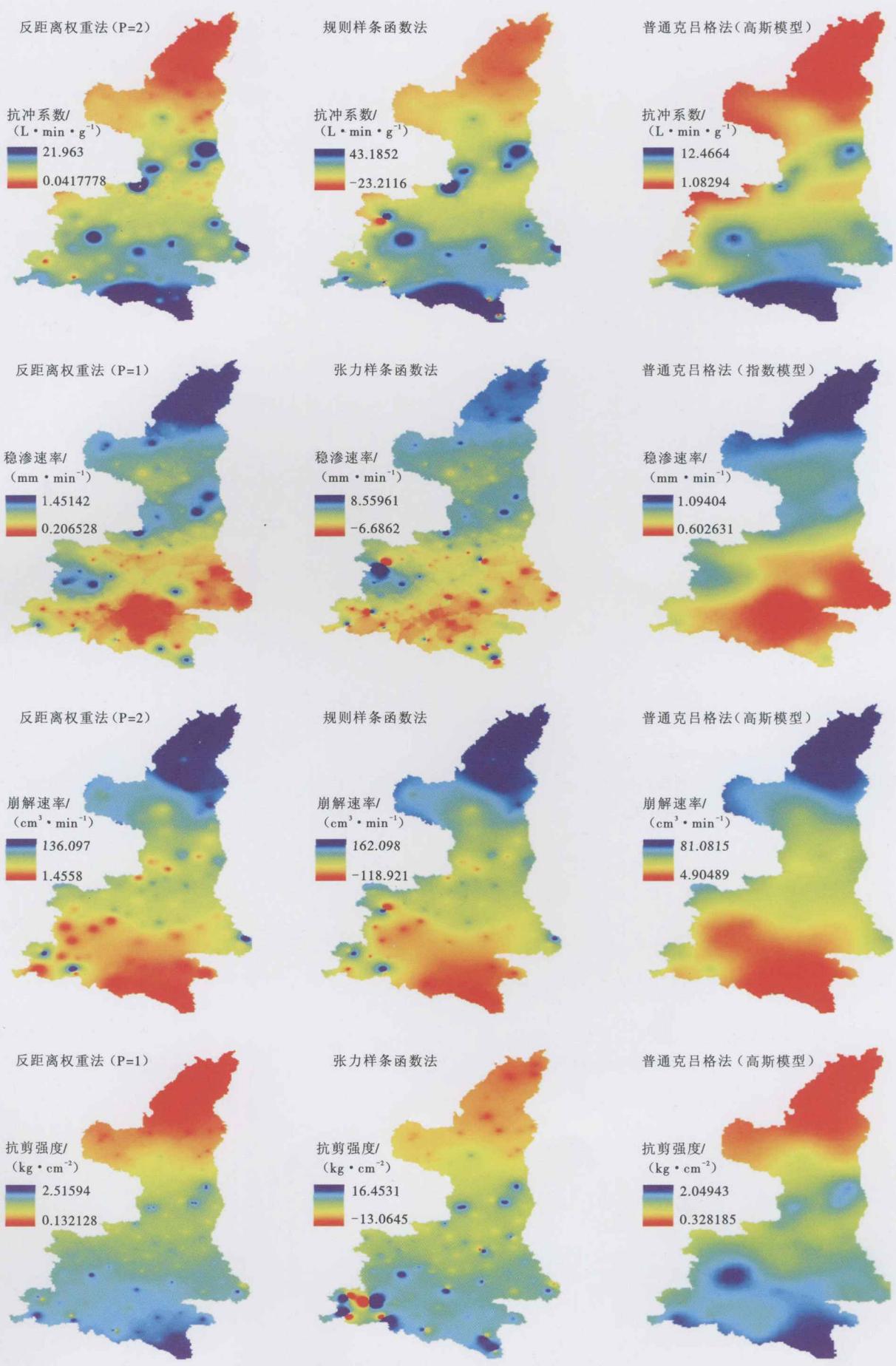
(4) 空间分布上,各指标随土壤类型由北到南的分布特征呈现明显的地带性规律,土壤抗冲系数总体呈增大趋势,稳渗速率总体呈减小趋势,崩解速率总体呈减小趋势,抗剪强度总体呈增大趋势。

考虑到陕西省土壤分布的水平地带性规律大致表现为南北方向,本文在分析水蚀土壤因子指标的空间变异结构时仅假定各向同性,对于各指标在不同方向上是否存在不同程度的空间变异还需进一步探讨。

有关各种插值方法的评价标准,本文只用了平均相对误差(MRE)和均方差(MSE)进行评价分析,在今后的研究中应将这两个指标与插值表面的空间特征结合,以便对插值结果做出更为完整准确的评价。

#### [ 参 考 文 献 ]

[1] 冷疏影,冯仁国,李锐,等. 土壤侵蚀与水土保持科学重点研究领域与问题[J]. 水土保持学报,2004,18(1):1-6.  
[2] 杨勤科,李锐,刘咏梅. 区域土壤侵蚀普查方法初步讨论. 中国水土保持科学[J],2008,6(3):1-7.  
[3] 王礼先,张有实,李锐,等. 关于我国水土保持科学技术的重点研究领域[J]. 中国水土保持科学,2005,3(1):1-6.  
[4] 杨勤科,李锐,徐涛,等. 区域水土流失过程及其定量描述



附图6 陕西省水蚀土壤因子指标不同插值方法空间插值图

- 的初步研究[J]. 亚热带水土保持, 2006, 18(2): 849-856.
- [5] 姚志宏, 杨勤科, 吴喆, 等. 区域尺度降雨径流估算方法研究 I: 算法设计[J]. 水土保持研究, 2006, 13(5): 306-308.
- [6] 姚志宏, 杨勤科, 吴喆, 等. 区域尺度侵蚀产沙估算方法研究[J]. 中国水土保持科学, 2007, 5(4): 13-17.
- [7] 张爱国. 区域水土流失土壤因子研究[M]. 北京: 地质出版社, 2003.
- [8] 雷俊山. 基于 GIS 的区域土壤侵蚀因子研究[D]. 陕西杨凌: 中国科学院水利部水土保持研究所, 2004.
- [9] 曾光. 基于 GIS 区域水土流失模型土壤抗侵蚀性因子研究[D]. 陕西杨凌: 中国科学院水利部水土保持研究所, 2007.
- [10] 吴学文, 晏路明. 普通 Kriging 法的参数设置及变异函数模型选择方法: 以福建省一月均温空间内插为例[J]. 地球信息科学, 2007, 9(3): 104-108.
- [11] 汤国安, 杨昕. ArcGIS 地理信息系统空间分析实验教程[M]. 北京: 科学出版社, 2006: 27-28.
- [12] 吴秀芹, 张洪岩. ArcGIS 9 地理信息系统应用与实践[M]. 北京: 清华大学出版社, 2007.
- [13] 张仁铎. 空间变异理论及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2005.
- [14] 方书敏, 秦将为, 李永飞, 等. 基于 GIS 的甘肃省气温空间分布模式研究[J]. 兰州大学学报: 自然科学版, 2005, 41(2): 6-9.
- [15] 封志明, 杨艳昭, 丁晓强, 等. 气象要素空间插值方法优化[J]. 地理研究, 2004, 23(3): 357-364.
- [16] 鲁振宇, 杨太保, 郭万钦. 降水空间插值方法应用研究: 以黄河源区为例[J]. 兰州大学学报: 自然科学版, 2006, 42(4): 11-14.
- [17] 陈彦, 吕新. 基于 GIS 和地统计学的土壤养分空间变异特征研究: 以新疆农七师 125 团为例[J]. 中国农学通报, 2005, 21(7): 389-465.
- [18] 苏伟, 聂宜民, 胡晓洁, 等. 利用 Kriging 插值方法研究山东龙口北马镇农田土壤养分的空间变异[J]. 安徽农业大学学报, 2004, 31(1): 76-81.
- [19] Combardella C A, Moorman T B, Novak J M, et al. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils[J]. Soil Science Society of American Journal, 1994, 58: 1501-1511.
- [20] 郭兆元, 黄自立, 冯立孝. 陕西土壤[M]. 北京: 科学出版社, 1992.

(上接第 120 页)

#### 4.2 有关建议

(1) 加强监测宣传, 增强监测意识。要继续开展面向各级政府领导的宣传, 不断增强各级领导对水土保持监测的认识, 形成全社会都来关心和支持水土保持监测的良好局面。当前, 尤其要加强对水利系统自身的宣传, 杜绝只看重水土保持监测事业的市场经济性, 忽略水土保持监测事业公益性的行为, 维护好水土保持监测的权威性。

(2) 加大投入力度, 确保资金到位。各级监测机构要尽力争取地方财政支持, 配套监测点运行经费, 保障投入, 确保水土保持监测点工作的正常开展。建议在国家重点水土保持生态建设项目中安排一定数量的监测经费, 特别是第 4 季度中央新增投资和 2009 年中央新增投资水土保持项目中列支监测费, 带动各监测点开展面上的水土保持监测工作, 支持各监测点的运行。各监测点也要加强与大专院校、科研院所的合作, 承担部分科研项目, 多渠道保证监测工作的资金投入。

(3) 加强监测培训, 提高人员素质。进一步开展

监测网络管理, 水土流失观测, 3S 技术应用等方面的培训, 不断提高监测人员的业务素质。用 2~3 a 时间, 对现有监测技术人员再培训一次。同时, 根据监测技术的发展, 定期开展监测人员再培训, 保证监测知识和技术更新。各监测点也要注意引进人才, 培养人才, 提高监测工作人员业务能力。

(4) 加强监测技术研究, 提高科技水平。建议水利部水土保持监测中心联合各省级监测总站对目前制约水土保持监测发展的几个课题进行专题研究。如不同空间尺度(径流小区、小流域控制站、水文站等)水土保持监测数据的融合技术; 水土保持监测自动化设备的研制; 水土保持监测数据的整编与分析方法等。

(5) 加强技术标准和监测制度的制定, 规范监测点工作。建议水利部水土保持监测中心进一步加强对水土保持监测相关技术标准的制定, 尤其要统一全国水土保持监测点的监测内容、监测方法、监测频次和统一的监测工作用表。及时制定各级监测机构的工作制度, 要“责、权、利、奖、惩、罚”全面考虑, 规范监测工作的行为, 促进监测事业持续健康发展。