

文章编号: 1008-2786-(2009)5-538-07

# 基于地统计学和GIS的福建省降雨侵蚀力空间格局

张坤, 洪伟\*, 吴承祯, 俞新新

(福建省高校森林生态系统过程与经营重点实验室, 福建福州 350002)

**摘要:** 运用地统计学, 结合GIS技术研究了福建省降雨侵蚀力空间分布特征。采用变异函数定量描述空间分布结构特征和析取克里格法进行最优插值, 结果表明: 福建省降雨侵蚀力变异函数采用指数模型模拟较好, 有显著的空间结构性特点, 且具有中等空间相关性; 分形维数表明降雨侵蚀力表现出一定的方向性特点, 在NW-SE向相关性较好; 从Kriging插值结果可知, 析取克里格插值优于普通与简单克里格插值, 降雨侵蚀力较大值分布于研究区域的西北和东北部地区。

**关键词:** 降雨侵蚀力; 空间变异; 分形维数; 地统计学; Kriging

中图分类号: O213 S157

文献标识码: A

雨滴击溅、分离土壤颗粒和降雨形成径流产生的搬运作用导致土壤侵蚀, 降雨侵蚀力 (Rainfall Erosivity) 反映了降雨引起土壤侵蚀的这种潜在能力。准确评估计算由降雨引起土壤侵蚀的潜在能力, 对定量预报土壤流失、优化水土保持等具有重要意义。如何度量降雨侵蚀力, 很多学者对此进行了深入研究。Wischmeier和Smith<sup>[1]</sup>发现降雨动能E和最大30min雨强 $I_{30}$ 的乘积 $EI_{30}$ 与土壤流失量的相关性最好, 将其作为度量降雨侵蚀力的指标, 并应用于通用土壤流失方程USLE(Universal Soil Loss Equation)中, 从而预报多年平均土壤流失量。该指标也在世界其他国家得到了广泛应用, 但由于计算时以次降雨过程资料为基础, 而在许多国家和地区很难获得该类型资料, 且资料的整理计算十分繁琐, 国内外学者尝试采用气象站整编的不同类型的降雨资料计算降雨侵蚀力, 提出了不同形式的R指标值的简易计算方法<sup>[1-8]</sup>。Yu B<sup>[2]</sup>、章文波<sup>[3]</sup>、王万忠<sup>[4]</sup>等利用日降雨数据建立了估算多年平均降雨侵蚀力的简便算法; Renard K G<sup>[5]</sup>、吴素业<sup>[6]</sup>、周伏建<sup>[7]</sup>等应用月雨量整编资料建立估算降雨侵蚀力的简易模

型。

然而, 由于气象观测站点的数量有限, 加上经济和人力等原因, 降雨侵蚀力通常无法获得, 一些学者利用插值方法实现参数的离散化与空间化<sup>[9-11]</sup>。在降雨侵蚀力方面, 洪伟<sup>[9]</sup>、章文波<sup>[10]</sup>分别利用气象站数据计算了中国降雨侵蚀力和北方农牧交错带的降雨侵蚀力并采用kriging插值方法绘制了降雨侵蚀力等值线图。但是, 由于自然地理环境的复杂性和气象站点分布格局的不确定性, 如何根据已知气象站点的降雨数据合理估算未知点的降雨侵蚀力, 发展可靠的空间插值方法, 获取高精度的降雨侵蚀力网格数据, 这是目前亟待解决的一个问题。

地统计学是利用原始数据和变异函数的结构性, 对未采样点的区域化变量进行无偏估值的一种方法, 是研究空间变异的有效方法之一, 为实现参数的离散化与空间化提供了一种有效工具, 已经广泛用于地理学、生态学、环境科学、土壤学等诸多领域的研究中。本文利用地统计和GIS相结合的方法, 应用福建省气象台站的降雨数据以及前人对福建各县市降雨侵蚀力R值的测定, 揭示福建省降雨侵蚀

收稿日期 (Received date): 2008-06-29; 改回日期 (Accepted): 2008-11-01。

基金项目 (Foundation item): 福建省教育厅资助项目 (JA05227)。[Supported by Education Department of Fujian (JA05227).]

作者简介 (Biography): 张坤 (1981-), 男 (汉), 山西长治人, 在读硕士, 主要从事水土保持与森林生态学研究。[Zhang Kun (1981-), Male Born in Changzhi Shanxi presently a candidate for master' degree majors on Soil and Water Conservation and Forest Ecology.] E-mail: zk0148@163.com

\* 通讯作者 (Corresponding author) E-mail: fhongwe@126.com

力的空间变异特征, 对降雨侵蚀力进行空间插值分析, 通过交叉验证, 提出一种最佳的降雨侵蚀力插值方法, 以期为福建省的土壤流失预测预报提供依据。

## 1 资料与方法

### 1.1 研究地区概况

福建省简称闽, 位于东南沿海,  $115^{\circ}50' \sim 120^{\circ}47'E$ ,  $23^{\circ}30' \sim 28^{\circ}19'N$ , 东濒台湾海峡, 与台湾省相望, 东北与浙江省毗邻, 西北横贯武夷山脉与江西省交界, 西南与广东省相连; 面积  $12 \times 10^4$  多  $km^2$ , 其中, 山地、丘陵占陆域的 80%, 仅东南沿海漳州、厦门、莆田一带为平原; 大部分地区为热带-亚热带季风气候, 无明显的四季区分, 年平均气温  $15 \sim 22^{\circ}C$ , 从西北向东南递升, 1月平均气温为  $7 \sim 13^{\circ}C$ , 7月为  $28 \sim 30^{\circ}C$ 。5~11月有台风登陆, 而以 7~9月 3个月为最多。年均降水量 1 200~2 200 mm, 沿海和岛屿偏少, 西北山地较多, 每年 5~6月降水最多, 夏

秋之交常有暴雨。

### 1.2 数据来源

本研究所用基础数据来源于福建省 67 个有代表性的台站气候整编资料 (图 1), 时间为 1961~1990 年, 数据内容为月降雨量、经度、纬度和海拔等。

### 1.3 研究方法

#### 1.3.1 地统计 (Geostatistics)

地统计又称地质统计, 是法国著名统计学家 G. Matheron 在大量理论研究的基础上逐渐形成的一门新的统计学分支。地统计学处理的对象为具有随机性和结构性两个显著特征的区域化变量。其主要用途, 是研究对象的空间自相关结构 (或空间变异结构) 以及变量值的估计和模拟。其核心是根据样本点来确定研究对象 (某一变量) 随空间位置而变化的规律, 以此去推算未知点的属性值。这个规律, 就是变异函数。样本点的变异函数计算公式为<sup>[12-13]</sup>

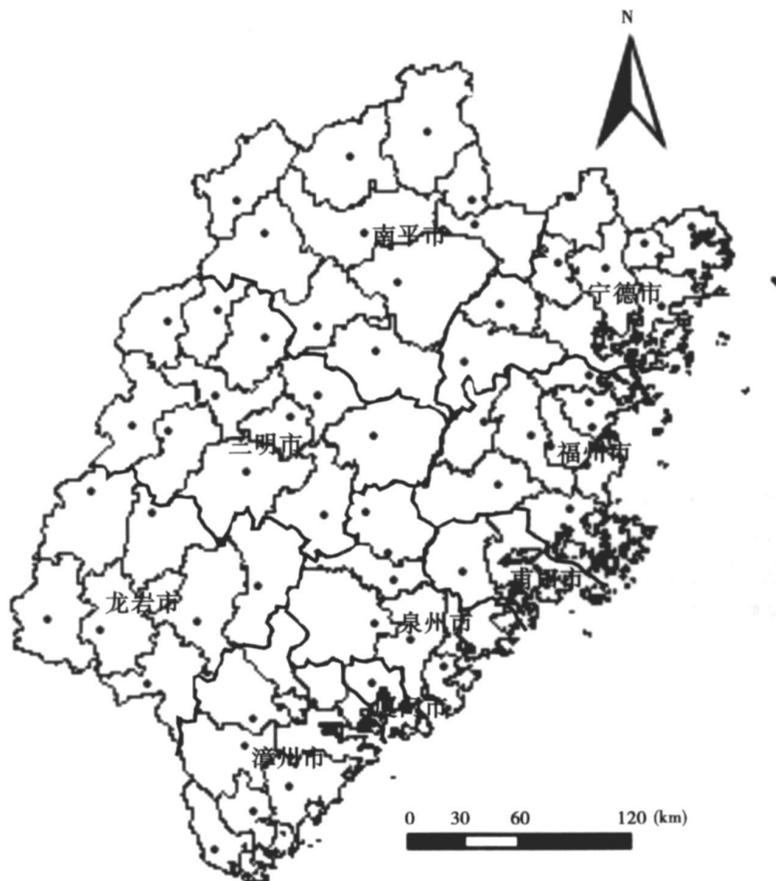


图 1 福建省有效气象站点分布图

Fig 1 Distribution of available meteorological station in Fujian Province

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

式中  $r(h)$  为变异函数;  $h$  为两样点的空间间隔距离, 称为步长;  $N(h)$  为距离等于  $h$  的点对数;  $Z(x_i)$  为处于点  $x_i$  处变量的实测值;  $Z(x_i + h)$  为点  $Z(x_i)$  偏离  $h$  处变量的实测值。常见的理论模型有: 线性模型、球状模型、指数模型、高斯模型、幂指数模型等。理论模型利用块金效应 (nugget)、基台值 (sill) 以及变程 (range) 3 个参数来描述研究对象的空间分布结构。变异函数的选取, 除需要地统计的理论和建模技术之外, 更主要的是要具有专业背景的分析能力。

克里格法 (Kriging) 也称空间局部插值法, 是以变异函数理论和结构分析为基础, 在有限区域内对区域化变量的取值进行无偏最优估计的一种方法, 不同形式的 Kriging 插值法是目前地统计学应用最广泛的最优内插法, 其实质是一个实行局部估计的加权平均值<sup>[14]</sup>, 满足下式

$$Z_k^* = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z_i, \quad \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \quad (2)$$

式中  $Z_k^*$  是该待估点或待估地段影响范围内的  $n$  个有效样品值的线性组合值;  $\lambda_i$  为区域化变量  $Z_i$  的权重。

### 1.3.2 降雨侵蚀力模型

本文利用周伏建等<sup>[7]</sup>通过月降雨量  $P_i$  (mm) 计算的  $R$  值, 即利用  $R = \sum_{i=1}^{12} (-1.5527 + 0.1792P_i)$  计算得到多年平均降雨侵蚀力, 以其作为降雨侵蚀力的近似真值。

### 1.3.3 统计分析方法

统计分析福建省降雨侵蚀力的平均值、方差和变异系数等数量特征, 并用 Kolmogorov - Smirnov 方法检验正态分布特征; 用  $GS^+$  做变异函数分析, 选取最优模型, 得到参数值, 并进行分形维数分析; 利用 ArcGIS 9.2 的地统计学 (geostatistics) 扩展模块进行降雨侵蚀力的克里格插值等。

### 1.3.4 模型检验方法

应用降雨侵蚀力模型计算得到各站点降雨侵蚀力值, 采用交叉验证法 (cross-validation) 来检验插值方法的效果。通常, 采用平均误差 (ME)、标准化平均误差 (MSDE)、平均标准误差 (ASDE)、均方根误差 (RMSE) 和标准化均方根误差 (RMSDE) 来衡量插值精度的高低以及模型是否反映出空间变异特征<sup>[11]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 降雨侵蚀力的统计特征与正态分布性检验

根据区域化变量定义, 区域化变量既有随机性又有结构性, 其随机性特征可用经典统计学进行描述, 降雨侵蚀力在空间上呈随机分布, 其变异系数 (CV) 的大小反映了随机变量的离散程度, 即表示降雨侵蚀力空间变异性的程度。变异系数  $CV \leq 0.1$  时呈弱变异性,  $0.1 < CV \leq 1$  为中等变异性,  $CV \geq 1$  呈强变异性<sup>[11]</sup>。经统计分析表明 (表 1), 福建省多年平均降雨侵蚀力属中等变异。

变异函数对区域化变量进行空间变异分析的前提是变量或变量的转化值必须符合正态分布<sup>[15]</sup>, 以消除比例效应。样点原始数据经 Kolmogorov - Smirnov 正态分布概率检验法 (K-S 检验) 检验后的参数值测定认为降雨侵蚀力显示出一定的偏斜效应 (表 1)。显著水平值 (K-S)  $> 0.05$ , 数据符合正态分布, 能直接在变异函数分析系统中使用, 用于随后的 Kriging 插值分析。

### 2.2 降雨侵蚀力的空间变异特征

经 GIS 软件分析得到福建省降雨侵蚀力变异函数模型有关参数值 (表 2), 其中块金效应值 ( $C_0$ ) 表示小于取样尺度和分析误差等引起的随机方差,  $C$  值表示由结构因素引起的结构方差, 基台值 ( $C_0 + C$ ) 表示数据序列的最大方差。结构效应值  $C/(C_0 + C)$  表示结构方差占总方差的比例, 即数据序列的结构效应, 反映出降雨侵蚀力的空间依赖性。通常,  $C/(C_0 + C) > 75\%$  时说明空间相关性极强, 其空间异质性主要由空间结构性因素引起; 在  $25\% \sim 75\%$  时具有中等空间相关性; 当  $< 25\%$  时空间相关性较弱<sup>[14]</sup>。变程 (Range) 是指变异函数达到基台值所对应的距离, 即降雨侵蚀力的空间自相关距, 变程变化也反映出引起降雨侵蚀力变异主要过程的变化。样本间距小于变程的样点是空间自相关的, 大于变程的样点则为空间不相关。本文选择线性、指数、球状和高斯 4 种模型模拟研究区域降雨侵蚀力空间变异规律, 鉴于最优模型的选择取决于变异函数理论模型的 5 个拟合参数, 首先考虑决定系数  $R^2$ , 其次是残差 RSS, 然后是变程和块金值的大小。依据该原则, 认为指数模型对降雨侵蚀力拟合程度最好, 故选指数模型为降雨侵蚀力的最优模型。

表 1 福建省多年平均降雨侵蚀力描述性统计

Table 1 Descriptive statistical values of rainfall erosivity in Fujian Province

项目	样点数	最小值	最大值	均值	中数	标准差	变异系数	偏度	峰度	K-S 值	分布类型
Item	Sample points	Min value	Max value	Mean	Median	S.D	CV	Skeness	Kurtosis	K-S value	Distribution type
R	67	167.09	348.35	268.15	271.92	37.12	0.14	-0.416	0.437	0.677	正态分布

表 2 降雨侵蚀力理论变异函数模型及其参数

Table 2 Theoretical variogram models and its parameters of rainfall erosivity

项目	模型	块金效应 ( $C_0$ )	基台值	$C/(C_0+C)$	变程 Range	决定系数	RSS
Item	Model	Nugget variance	Sill( $C_0+C$ )	(%)	(m)	$R^2$	
R	线性 <sup>1)</sup>	822.54	1436.96	42.8	241717.81	0.443	623247
	指数 <sup>2)</sup>	815.00	2374.00	65.7	153300.00	0.606	664682
	球状 <sup>3)</sup>	1.00	1141.00	99.9	10600.00	0.000	1119546
	高斯 <sup>4)</sup>	1.00	1141.00	99.9	3117.69	0.000	1119546

1) Linear 2) Exponential 3) Spherical 4) Gaussian

指数模型中,  $C_0$  值 > 0 说明存在由于采样误差、短距离变异或分析引起的各种正基底效应<sup>[14]</sup>。 $C/(C_0+C)$  值为 65.7%, 介于 25% ~ 75% 间, 表明降雨侵蚀力具有中等空间自相关性, 是结构性因素和随机性因素共同影响的结果, 其中, 随机因素的影响占 34.7%, 结构性因素的影响占 65.7%。

步长和半方差的双对数曲线具有良好的线性相关<sup>[16-17]</sup>, 这可以通过由双对数半方差所计算的分形维数  $D$  和决定系数  $R^2$  来比较不同方向上的空间分布格局。分形维数  $D$  不仅考虑了样本之间简单的数值变化, 同时综合了样本的空间地理属性<sup>[14-18]</sup>, 因而可以把不同区域不同地块以及不同地区的属性相互比较。分形维数  $D$  是没有特征尺度的自相似结构, 其几何意义是空间相关性(空间异质性)程度的度量,  $D$  越小, 被研究对象的差异越大, 即均一程

度越差; 相反,  $D$  越大, 被研究对象的差异越小, 即均一程度越好,  $R^2$  是表明这个模型对被研究对象的解释。通过对不同区域降雨侵蚀力分形维数分析的计算(表 3), 可以看出, 降雨侵蚀力在 S-N( $0^\circ$ ) 方向上的分形维数最小, 决定系数较大, 说明降雨侵蚀力在这个方向上空间自相关性较强, 空间变异较大, 主要受结构性因素的影响; 降雨侵蚀力在 NW-SE( $135^\circ$ ) 方向上分形维数最大, 说明降雨侵蚀力在这个方向上空间自相关性较弱, 随机性因素的影响占主要地位; 在 NE-SW( $45^\circ$ )、E-W( $90^\circ$ ) 方向上分形维数差异不大。在全方位上分形维数也较大, 但其决定系数小。在分形维数小、决定系数大所代表的方向, 是指降雨侵蚀力在这些方向上的空间自相关较强, 在这些方向上的空间变异受结构性因素影响也较大。

表 3 降雨侵蚀力空间分形维数分析

Table 3 Spatial fractal dimension analysis of rainfall erosivity

项目	S-N( $0^\circ$ )		NE-SW( $45^\circ$ )		E-W( $90^\circ$ )		NW-SE( $135^\circ$ )		全方位 Om n irange	
	$D$	$R^2$	$D$	$R^2$	$D$	$R^2$	$D$	$R^2$	$D$	$R^2$
R	1.644	0.588	1.735	0.450	1.733	0.747	1.990	0.601	1.930	0.021

### 2.3 降雨侵蚀力的最优 Kriging 插值结果

根据所得到的变异函数模型, 在指数模型条件下, 探索不同的插值方法对降雨侵蚀力的拟合效果。采用普通、简单、析取克里格对降雨侵蚀力进行空间插值分析(表 4)并绘制拟合效果图(图 2)。空

间插值分析表明采用析取克里格方法拟合降雨侵蚀力,  $ME$  最小,  $RMSE$  与  $ASDE$  最接近,  $RMSDE$  也较接近 1 因此认为应用析取克里格方法能较好的拟合降雨侵蚀力。并且从对降雨侵蚀力拟合的效果图看, 采用析取克里格方法无论从整体还是局部, 都能

反映降雨侵蚀力变化的基本格局。采用不同的插值方法,各插值方法反映整体趋势与局部分布格局有所差异,在析取克里格下,突出地反映了降雨侵蚀力的局部信息,如在建宁东部、宁化东南、德化南部地区出现小的斑块,都说明该方法对于细节的反映灵敏。

从图 2 中的析取克里格插值法可看出,福建省降雨侵蚀力格局基本分布是武夷山、光泽几个主要

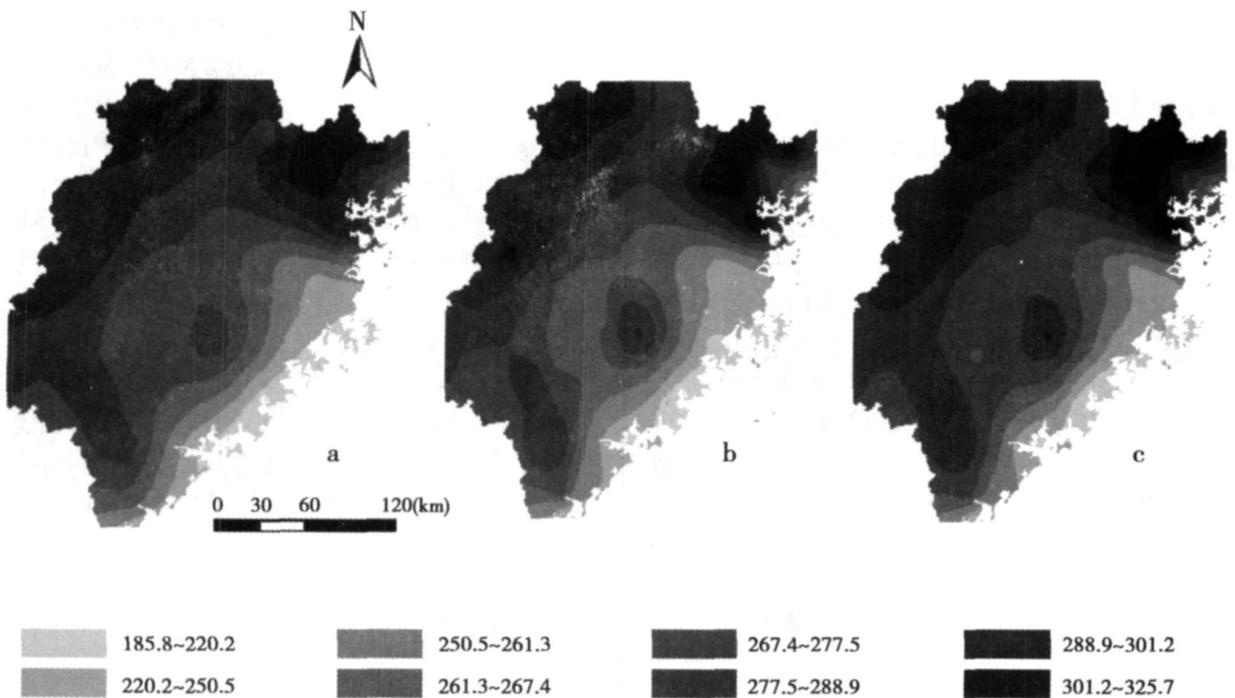
山脉附近,以及北部的周宁、寿宁最大,范围为 270~320,其次是闽西、闽中河谷盆地区,范围为 220~270 沿海降雨侵蚀力最小,范围为 180~220 呈明显的东南-西北向递增,这与福建省多年平均降雨量的分布格局是一致的;同时,降雨侵蚀力在地势较低处偏小,在地势较高处偏大,这与洪伟等<sup>[9]</sup>、吴素业<sup>[6]</sup>、阮伏水<sup>[8]</sup>的研究是一致的。

表 4 降雨侵蚀力变异函数模型及各种内插方法的预测误差

Table 4 Types of variogram and prediction errors of diferent interpolation methods of rainfall erosivity

模型 Model	插值方法 Methods	预测误差 Prediction errors				
		ME	RMSE	ASDE	MSDE	RMSDE
指数 Exponential	普通克里格 <sup>a)</sup>	0.649 8	25.47	30.1	0.022 89	0.881 9
	析取克里格 <sup>b)</sup>	0.635 3	27.23	28.92	0.016 24	0.933 6
	简单克里格 <sup>c)</sup>	0.869 5	26.97	32.66	0.032 37	0.843 3

a) Ordinary Kriging b) Disjunctive Kriging c) Simple Kriging



a 普通克里格 Ordinary Kriging b 析取克里格 Disjunctive Kriging c 简单克里格 Simple Kriging

图 2 降雨侵蚀力采用不同插值方法的分析结果

Fig. 2 Analyzed results with different interpolation methods for rainfall erosivity in Fujian Province

### 3 结论与讨论

本文应用地统计学与 GIS 相结合的方法,在传统统计学的协助下,研究了福建省多年平均降雨侵

蚀力的空间变异特征,并采用析取 Kriging 内插法生成了研究区域的降雨侵蚀力空间分布图。得出如下结论:

1 降雨侵蚀力的原始数据存在一定程度偏斜效应,使用 Kolmogorov-Smirnov 正态分布概率检验 (K

- S 检验)对原始数据进行分析后,符合正态频率分布,能直接在变异函数分析系统中使用。

2 降雨侵蚀力表现出明显的空间相关性,较好地拟合了地统计学模型。变异函数理论模型的参数值差异较大,依据模型决定系数为第一选择项的原则,本研究选择了指数函数模型。结果表明,降雨侵蚀力具有中等空间相关性。

3 不同方向上降雨侵蚀力的空间分布格局可以通过分形维数  $D$  和决定系数  $R^2$  来比较。结果表明,降雨侵蚀力在空间 4 个方向 ( $0^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $90^\circ$ 、 $135^\circ$ ) 上的分形维数差异较大,在  $0^\circ$  方向的分形维数最小,决定系数较大,空间异质性较大;在  $135^\circ$  方向的空间异质性较小。

4 由于降雨侵蚀力存在空间变异结构,可用克里格法绘制等级图。析取 Kriging 插值图较好地反映了降雨侵蚀力的空间分布特点,降雨侵蚀力的最高值区域主要集中在东北与西北部地区,范围为 270~320,制图结果有助于精确、量化地估算土壤侵蚀风险,为科学制定区域水土保持规划和管理策略提供支持。

然而,降雨侵蚀力与所研究地区降雨的分布格局和特点等因素有关,本文根据福建省气象资料建立的简易模型来估算福建省降雨侵蚀力,须用经典的方法进一步验证结果的科学性,这是今后研究的一个重要的方面。此外,由于福建省面积较大,地形地貌复杂多变,气候变异性大,加之气象站点分布的随机性和不确定性。因此,为保证降雨侵蚀力估算的准确性,更好地反映降雨侵蚀力空间分布特征,考虑利用地统计分不同区域进行拟合插值,也是今后研究的一个重要的方面。

## 参考文献 (References)

- [1] W ischmeier W H, S mith D D. Rainfall energy and its relationship to soil loss [ J ]. *Transactions American Geophysical Union*, 1958, 39: 285~ 291
- [2] Yu B, Rosewell C J. An assessment of a daily rainfall erosivity model for New South Wales [ J ]. *Australian Journal of Soil Research*, 1996, 34( 1): 139~ 152
- [3] Zhang Wenbo, X ie Yu, Liu Baoyuan. Rainfall erosivity estimation using daily rainfall amounts [ J ]. *Scientia Geographica Sinica*, 2002, 22: 705~ 711 [章文波, 谢云, 刘宝元. 利用日雨量计算降雨侵蚀力的方法研究 [ J ]. *地理科学*, 2002, 22: 705~ 711]
- [4] Wang Wanzhong, Jiao Juying, Hao Xiaopin, et al. Study on rainfall erosivity in China ( I ) [ J ]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1995, 9 ( 4): 5~ 18 [王万忠, 焦菊英, 郝小品, 等. 中国降雨侵蚀力 R 值的计算与分布 ( I ) [ J ]. *水土保持学报*, 1995, 9 ( 4): 5

- ~ 18]
- [5] Renard K G, Freimund J R. Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the revised USLE [ J ]. *Journal of Hydrology*, 1994, 157: 287~ 306]
- [6] Wu Suye. Calculation model of the sediment delivery ratio on sloping land in gullied rolling hess region [ J ]. *Soil and Water Conservation in China*, 1994 ( 4): 12~ 13 [吴素业. 安徽大别山区降雨侵蚀力简化算法与时空分布规律 [ J ]. *中国水土保持*, 1994 ( 4): 12~ 13]
- [7] Zhou Fujian, Chen Minghua, Lin Fuxing, et al. The rainfall erosivity index in Fujian Province [ J ]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1995, 9 ( 1): 13~ 18 [周伏建, 陈明华, 林福兴, 等. 福建省降雨侵蚀力指标 R 值 [ J ]. *水土保持学报*, 1995, 9 ( 1): 13~ 18]
- [8] Ruan Fushui. A preliminary study on erosivity of precipitation in the southeast of Fujian Province [ J ]. *Tropical Geography*, 1995, 15 ( 2): 138~ 146 [阮伏水. 闽东南地区降雨侵蚀力的初步研究 [ J ]. *热带地理*, 1995, 15 ( 2): 138~ 146]
- [9] Hong Weijiu, Chengzhen. Application of Kriging method for study of geographic distribution law of rainfall erosivity in China [ J ]. *Journal of Soil Erosion and Soil and Water Conservation*, 1997, 3( 1): 91~ 96 [洪伟, 吴承祯. Kriging 方法在我国降雨侵蚀力地理分布规律研究中的应用 [ J ]. *土壤侵蚀与水土保持学报*, 1997, 3( 1): 91~ 96]
- [10] Zhang Wenbo. Spatial distribution of precipitation extremum in the ecotone between agriculture and animal husbandry in northern China [ J ]. *Advances in Natural Science*, 2003, 13 ( 6): 651~ 654 [章文波. 北方农牧交错带降雨侵蚀力的时空分布 [ J ]. *自然科学进展*, 2003, 13 ( 6): 651~ 654]
- [11] Men Mingxin, Yu Zhenrong, Xu Hao. Study on the spatial pattern of rainfall erosivity based on geostatistics of Hebei Province [ J ]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2006, 39( 11): 2270~ 2277 [门明新, 宇振荣, 许噪. 基于地统计学的河北省降雨侵蚀力空间格局研究 [ J ]. *中国农业科学*, 2006, 39( 11): 2270~ 2277]
- [12] Sun Yingjun, Wang Jinfeng, Bai Yanchen. Study on progress of methods in Geostatistics [ J ]. *Advance in Earth Sciences*, 2004, 19 ( 2): 67~ 74 [孙英君, 王劲峰, 柏延臣. 地统计学方法进展研究 [ J ]. *地球科学进展*, 2004, 19( 2): 67~ 74]
- [13] Wang Zhengquan. *Geo-statistics and Its Application in Ecology* [ M ]. Beijing: Science Press, 1999 [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]
- [14] Qin Yusheng, Tu Shihua, Feng Wenqiang, et al. Study on spatial variability of soil available nutrients based on geostatistical and GIS analyses——a case study of two natural villages in Sichuan Basin [ J ]. *Journal of Mountain Research*, 2006, 24( suppl ): 153~ 160 [秦鱼生, 涂仕华, 冯文强, 等. 基于地统计学和 GIS 的土壤速效养分空间变异研究——以四川盆地两个自然村为例 [ J ]. *山地学报*, 2006, 24(增): 153~ 160]
- [15] Lu Peng, Peng Peiqin, Song Biankun, et al. Geostatistical and GIS analyses on soil total P in the typical area of Dongting Lake Plain [ J ]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2005, 30( 6): 1204~ 1212 [路鹏, 彭佩钦, 宋变兰, 等. 洞庭湖平原区土壤全磷含量地统计学和 GIS 分析 [ J ]. *中国农业科学*, 2005, 30( 6): 1204~ 1212]

- [16] Guo Xudong, Fu Bojie, Chen Liling, *et al.*. 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 [郭旭东, 傅伯杰, 陈利顶, 等. 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]
- [17] Peng Lingyun, Gan Haihua, Wu Jingyu. Spatial variability of soil available Silicon, Calcium and Magnesium in cultivated soil of Xinhui District, Jiangmen City [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2005, 19(2): 80~83 [彭凌云, 甘海华, 吴靖宇. 江门市新会区耕地土壤有效性 Si Ca Mg 的空间变异特征 [J]. *水土保持学报*, 2005, 19(2): 80~83]
- [18] Guo Xiaomin, Niu Dekui, Guo Xijie, *et al.* Study on spatial variance of soil nutrients for moso bamboo forest of fertilization [A]. In *Proceedings of international symposium on information technology in soil fertility and fertilizer management* [C]. Beijing: China Agricultural Press, 2005, 230~241 [郭晓敏, 牛德奎, 郭熙, 等. 平衡施肥毛竹林土壤养分空间变异研究 [A]. 见: *信息技术与土壤养分管理国际学术讨论会论文集* [C]. 北京: 中国农业出版社, 2005, 230~241]

## Study on the Spatial Pattern of Rainfall Erosivity Based on Geostatistics and GIS of Fujian Province

ZHANG Kun, HONG Weij, WU Chengzhen, DING Xinxin

(Fujian Forest Ecological System Process and Management Key Laboratory, Fuzhou 350002, Fujian, China)

**Abstract** Geostatistical methods were used in combination of GIS technology to analyze the spatial distribution characteristics of rainfall erosivity in Fujian province. The spatial distribution features were quantitatively described by variogram. Based on the variogram, Disjunctive Kriging interpolation was performed. The results indicated that rainfall erosivity in Fujian province was fitted to exponential model and had good spatial structures and was moderately spatially dependent. The fractal dimension indicated that the rainfall erosivity showed some directional features and had relatively good correlations in the directions of NW-SE. With the Kriging analysis, Disjunctive Kriging interpolation method performed better than Ordinary Kriging and Simple Kriging, the bigger value of rainfall erosivity mainly distributed in the northwest and the northeast.

**Key words** rainfall erosivity; spatial variability; fractal dimension; geostatistics; Kriging