

基于地统计学和 GIS 的三峡库区土壤微量营养元素空间变异性研究

汪璇¹, 王成秋², 唐将³, 魏朝富¹, 谢德体^{1*}

(1. 西南大学 资源环境学院 重庆 400716 2. 中国农业科学院 柑橘研究所 重庆 400712 ;
3. 重庆市地勘局川东南地质大队 重庆 401329)

摘 要 :三峡库区优势农产品种植规划需要建立在查清区域土壤营养元素背景值及分布特征的基础之上。本文在地理信息系统(GIS)支持下,运用地统计学方法对三峡库区表层土壤中 B、Cu、Cl、 TFe_2O_3 、Mn、Mo、Zn 等微量营养元素背景值的空间变异特征进行了研究和分析。结果表明:研究区域土壤微量营养元素中, TFe_2O_3 为正态分布,其它均为偏态分布;在经过不同趋势阶数元素插值误差的综合比较基础上,确定 B、Cu、 TFe_2O_3 、Mn、Zn 的趋势效应参数宜选取二阶,Cl 及 Mo 的趋势效应参数宜选取无阶;B、Cu、 TFe_2O_3 、Mn、Mo、Zn 元素在 0° 、 45° 、 90° 、 135° 四个方向上的变异程度接近,但具有不同的变程,Cl 在 4 个方向上变异程度保持一致,具有明显的各向同性特征;研究区 7 种土壤微量营养元素中 B、Cu、 TFe_2O_3 、Mn 和 Mo 空间自相关性中等,而 Cl 和 Zn 的空间相关性较弱;总体上,B、Cu、 TFe_2O_3 、Mn、Mo 和 Zn 变化从东到西、从东北到西南呈逐渐递减的趋势,高值主要集中分布在东北部巫山、奉节和西南涪陵区域,Cl 的空间分布则没有明显的规律性。研究结果可为三峡移民工程中农业结构调整、优势农产品规划提供决策和数据支持。

关键词 地统计学;GIS;微量营养元素;空间变异;三峡库区

中图分类号 S158.3 文献标识码:A 文章编号 0564-3945(2009)02-0359-07

植物营养研究证实,植物生长所必需的微量元素有 Fe、Mn、Cu、Cl、Zn、Mo、B 等^[1]。虽然一般作物体内微量元素的含量仅占元素总量的百万分之几到十万分之几,但它们的作用十分重要。其中任何一种微量元素的缺乏或过量,都会影响到作物生长发育,导致产量、品质严重下降^[1-3]。在长期的地质历史演化中,由于各种自然因素的影响,造成了土壤中微量元素在空间上的不均匀分布^[4]。因此,对微量元素背景值空间分布状况进行研究,可为农业产业区划、合理种植、科学施肥提供重要的依据。

三峡库区农业经济处于半封闭、落后的状态,在三峡工程兴建和移民过程中,因地制宜,全面规划经济作物,建立多种经营的生态农业体系和高价值特色农产品将是发挥三峡工程综合效益的有效举措。全面的规划只有建立在清楚区域土壤营养元素背景基础之上,才能有的放矢。目前已有学者从传统统计学角度对该区域一种或多种植物生长必需微量元素的空间变异特征进行了研究,但由于传统统计学没有考虑到土壤的时空连续变异因素,其结果无法反映出土壤微量营养元素含量的空间结构性和随机特殊性变化^[5]。本文利用重庆市沿长江经济带生态地球化学土壤表层样分析结果,运用地统计学与 GIS 相结

合的方法,对该区域土壤微量营养元素的空间变异特征进行分析,在考虑趋势因子和各向异性的基础上用克立格(Kriging)插值方法绘制了土壤 7 种微量营养元素的空间分布图,其结果可为三峡移民工程中农业结构调整、优势农产品规划提供决策和数据支持。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区(经度 $107^\circ 00'$ 至 $110^\circ 07'E$, 纬度 $29^\circ 30'$ 至 $31^\circ 20'N$)位于举世瞩目的长江三峡水利枢纽工程库区范围内,主要包括重庆一巫山段的长江库区淹没区及移民迁移区,全长 400 余 km,范围在长江两岸 10~50km 的地区,面积 12326km^2 (如图 1)。区内地形高度、坡度变化大,地貌类型主要有河谷平坝、褶皱抬升地貌、侵蚀地貌、喀斯特地貌等。地层主要包括二叠系、三叠系、侏罗系,土壤类型主要为紫色土、石灰土、黄壤、水稻土(母质主要为紫色砂、灰岩和泥岩)等。

研究区多年年均温 18.1°C ,最热月均温 28.4°C ,极端最高气温 43.5°C ,最低月均温 7°C ,极端最低气温 -4.4°C ,年降雨量 1087~1400mm, $\geq 10^\circ\text{C}$ 的年积温 5719~6384 $^\circ\text{C}$,多年年均无霜期 299d,多年年均日照 1302h,相对湿度 79%~82%^[6]。总体气候温暖湿润,适宜

收稿日期 2007-10-27;修订日期 2007-11-29

基金项目:重庆市科委项目(8021)资助

作者简介:汪璇(1976-),女,湖北武汉人,博士生,讲师,主要从事土地资源与信息技术研究。

* 通讯作者 Email:xdt@swu.edu.cn

包括柑橘、油桐、油茶、茶、桑、苎麻、乌柏、生漆等经济作物的生长。

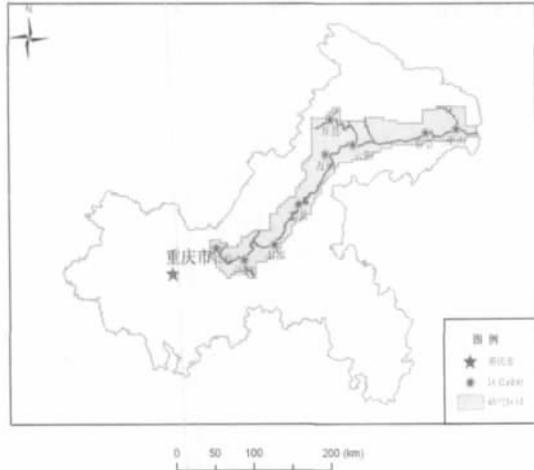


图 1 研究区位置示意图
Fig.1 Map of research area

1.2 样品采集与化学分析

根据中国地质调查局《多目标地球化学调查规范》，将工作区按 1km× 1km 的规格划分为网格状，野外调查时在每个基本网格内采集表层土壤样品 1~2 件，采样深度 0~20cm，样重 1.5kg，将相邻的 2km× 2km 大格中 4 个基本网格内野外采集原始样品等重量缩分、组合成 1 件样品进行分析，总计 3085 件。

样品交成都地质岩矿测试中心分析，其中 Cl、Cu、TFe₂O₃、Zn 采用 X 荧光法 (XRF)，B 采用发射光谱法 (ES)，Mn 采用等离子体光量计法 (ICP)，Mo 采用极谱法 (POL)^[1]，测试过程和结果均受中国地质调查局测试分析质量监控组监控及检查验收。

1.3 地统计学基本理论

地统计学方法是基于区域化变量理论基础上的—种空间分析方法，可利用随机函数对不确定的现象进行探索分析，并结合采样点提供的信息对未知点进

行估计和模拟^[7]。有关其原理和方法，很多文献都有详细介绍^[8-12]，本文只做简要说明。假设区域化变量满足二阶平稳和本征假设，其半方差函数可用下式表示：

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

式中 $\gamma(h)$ 为半方差函数， h 为分割两样点的矢量，称为步长； $N(h)$ 为相距为 h 的样点对数目； $Z(x_i)$ 和 $Z(x_i+h)$ 分别为区域化变量 $Z(x)$ 在位置 x_i 和 x_i+h 处的实测值。

Kriging 插值法是一种最优无偏线性估值方法，对变量在点 x 处的估计值 $Z^*(x)$ ，可以通过该点影响范围内的 n 个有效观测值 $Z(x_i)$ 的线性组合得到，即

$$Z^*(x) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (2)$$

式中 λ_i 是赋予观测值 $Z(x_i)$ 的权重，表示各观测值对估计值 $Z^*(x)$ 的贡献，其和为 1，在保证估值无偏性（即估值偏差的平均值为 0）和最优性（即估值方差最小）条件下，可由变量半方差函数计算。

1.4 数据处理

正态分布性检验由 SPSS13.0 完成，半方差函数的计算和理论模型的拟合均采用地统计学软件 GS+5.3，各向异性半方差函数计算时的角度容差 ($\pm 45^\circ$)，Kriging 插值由 ArcGIS9.2 完成。

2 结果与分析

2.1 土壤微量营养元素统计特征

研究区土壤微量营养元素统计分析是以统计学为基础，采用样点的均值、标准差、峰度、偏斜度、最大值、最小值和变异系数等统计特征来描述土壤营养元素的含量和分布特征。均值和偏斜度反映样本的中心趋向及分布状况，变异系数和标准差反映样本的变异程度。研究区土壤微量营养元素基本统计表见表 1。

表 1 土壤微量营养元素全量描述性统计
Table 1 Statistics of soil total microelements

指标 Index	均值 Average	最大值 Max	最小值 Min	峰度 Kurtosis	偏斜度 Skewness	变异系数(%) Variation coefficient	标准差 Standard deviation	分布状态 Distribution
B (mg kg ⁻¹)	55.26	336.00	9.50	15.91	2.76	57.39	31.71	偏态分布
Cu (mg kg ⁻¹)	23.53	117.24	5.73	18.28	2.21	34.39	8.09	偏态分布
Cl (mg kg ⁻¹)	64.52	478.53	29.66	87.81	5.12	28.82	18.59	偏态分布
TFe ₂ O ₃ (g kg ⁻¹)	5.13	10.71	1.77	3.36	0.51	22.03	1.13	正态分布
Mn (mg kg ⁻¹)	575.91	278.70	102.70	19.99	2.16	31.74	184.08	偏态分布
Mo (mg kg ⁻¹)	0.64	24.00	0.21	683.39	19.75	100.00	0.64	偏态分布
Zn (mg kg ⁻¹)	71.60	182.04	22.62	5.40	0.27	20.83	14.91	偏态分布

与全国土壤背景值相比较^[13]，B、Mg、Fe 平均值均高于全国平均值，Mn 略低于全国平均值，Mo 远低于全国平均值。在研究区域表层土壤微量营养元素中，

TFe₂O₃ 的变异系数最小为 22.03%，Mo 的变异系数最大为 100%，其它元素的变异系数在这两者之间。—般认为，如果变量的偏斜度为 0，峰度为 3，那么这个变

量呈现正态分布,否则为偏态。从表 1 可以看出, TFe_2O_3 初步被认为服从正态分布,其它元素服从偏态分布。应用正态 QQ 分布方法对样本原始数据进行检验, TFe_2O_3 被确定服从正态分布,B、Cu、Cl、Mn、Mo、Zn 服从偏态分布。土壤中 B、Mn 标准差较大,表明研究区范围内两种元素含量差异较大。

然而,表 1 的描述性统计分析只能说明土壤微量营养元素样点的含量特征,无法完全反映整个景观单元的区域特征,也就是说不能反映土壤微量营养元素

背景含量的空间结构性和随机性,因此需要利用地统计学和 GIS 相结合的方法来弥补这一缺陷。

由于用正态分布的数据进行地统计学插值的效果要比用偏态分布的数据插值好,所以需对偏态分布的数据进行转化使其接近于正态分布。表 2 为采用对数转化后的统计表,从表中可以看出,B、Cu、Cl、Mn、Mo、Zn 的偏斜度和峰度都非常接近于 0 和 3,说明转化数据接近正态分布,适宜进行空间插值。

表 2 土壤微量营养元素全量数据对数装换
Table 2 Logarithm transformation of soil microelements

指标 Index	均值 Average	最大值 Max	最小值 Min	峰度 Kurtosis	偏斜度 Skewness	变异系数 Variation coefficient	标准差 Standard deviation
B (mg kg^{-1})	3.90	5.82	2.25	3.60	0.55	11.79	0.46
Cu (mg kg^{-1})	3.11	4.76	1.75	3.23	-0.23	10.61	0.33
Cl (mg kg^{-1})	4.14	6.17	3.39	3.02	0.79	5.80	0.24
Mn (mg kg^{-1})	6.31	7.93	4.63	3.56	-0.56	5.07	0.32
Mo (mg kg^{-1})	-0.57	3.18	-1.56	3.31	0.18	-75.44	0.43
Zn (mg kg^{-1})	4.25	5.20	3.12	3.99	-0.85	5.18	0.22

2.2 土壤微量营养元素的趋势分析

受成土因素、自然地理条件及人类种植活动的影响,区域土壤属性的空间格局常呈显著的趋势分布和异向性特征。运用 ArcGIS 软件中的地统计学(Geo-Statistic)模块的趋势分析(Trend Analysis)工具,可以获得元素异向性分布特征以及趋势效应特征。趋势效应一般分为 0 阶(没有趋势效应)、常量(区域化变量沿一定方向呈常量增加或者减少)、一阶(区域化

变量沿一定方向呈直线变化)、二阶或多阶(区域化变量沿一定方向呈多项式变化)。研究区微量营养元素的趋势效应分析示意图中,X 轴表示正东方向,Y 轴表示正北方向,Z 轴表示各样点测定值的大小;左后投影面上曲线表示东—西向的全局性趋势效应变化,右后投影面上的深色线表示的是南—北向全局性的趋势效应变化。图 2 是研究区得到的各微量营养元素趋势效应分析图。

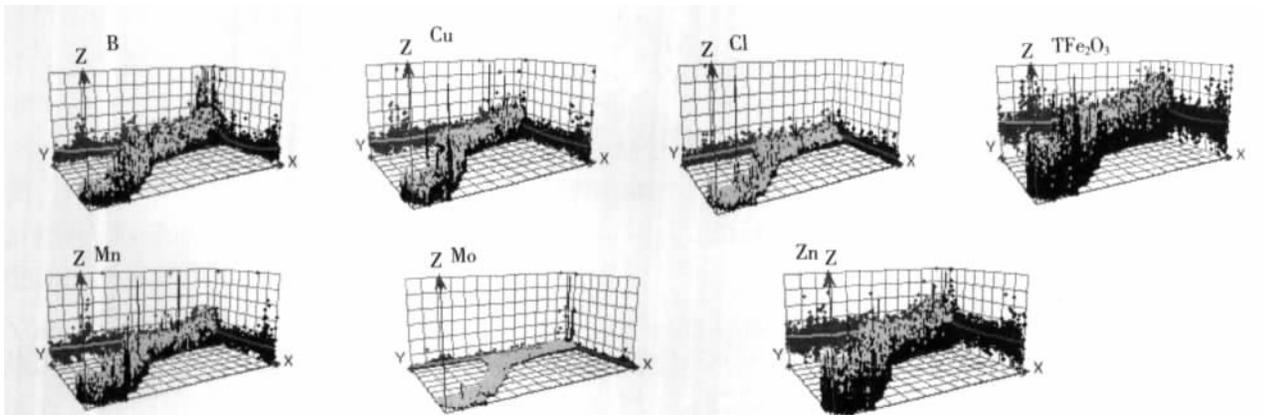


图 2 土壤微量营养元素趋势分析图
Fig. 2 Trend analysis of soil microelements

从图 2 可以看出,研究区 B、Cu、 TFe_2O_3 、Mn、Zn 在东西和南北方向上的分布趋势均为二阶趋势效应,具体表现为:在东西、南北方向上,B、Cu、 TFe_2O_3 、Mn、Zn 均呈现先减少后增加的趋势,而 Cl 和 Mo 的分布无阶趋势效应。

应用趋势分析和异向性轴轴向自动搜索功能,考

虑各向异性的情况下,选择 0 阶、一阶和二阶趋势效应参数,并结合普通 Kriging 插值法所造成的插值误差进行比较,综合评价 Kriging 模型及其参数的合适程度。评判标准包括:①平均误差 ME 的绝对值最接近于 0,②标准化平均误差 MSE 的绝对值最接近于 0,③平均标准误差 ASE 与均方根误差 RMSE 最接近,如果

表3 不同趋势阶数插值误差比较

Table 3 Comparisons of semi- variogram parameters with different trends

指标 Index	趋势效应 Trend	平均误差 ME	均方根误差 RMSE	平均标准误差 ASE	标准化平均误差 MSE	标准化均方根误差 RMSSE
B	无	0.304	21.120	26.020	0.0239	0.7512
	一阶	-0.395	20.350	19.910	-0.0170	0.9429
	二阶	0.362	21.070	21.290	0.0186	0.9525
Cu	无	0.146	6.371	7.487	0.0203	0.8389
	一阶	0.207	6.420	7.578	0.0290	0.8330
	二阶	0.121	6.425	7.317	0.0205	0.8614
Cl	无	-0.108	17.000	15.060	-0.0061	1.0900
	一阶	-0.110	17.010	15.140	-0.0048	1.0910
	二阶	-0.114	17.010	15.110	-0.0051	1.0930
TFe ₂ O ₃	无	0.001	0.855	0.928	0.0007	0.9207
	一阶	0.001	0.860	0.975	0.0009	0.8820
	二阶	0.001	0.862	0.964	0.0016	0.8938
Mn	无	4.260	146.900	182.500	0.0258	0.8101
	一阶	4.650	147.200	182.700	0.0281	0.8113
	二阶	4.194	147.600	180.100	0.0256	0.8228
Mo	无	-0.010	0.569	0.277	0.0095	1.1840
	一阶	-0.007	0.570	0.273	0.0262	1.1030
	二阶	-0.010	0.570	0.254	0.0134	1.2740
Zn	无	0.050	12.090	13.510	-0.0015	0.9117
	一阶	0.198	12.250	14.710	0.0109	0.8523
	二阶	0.035	12.400	14.580	0.0114	0.9131

ASE>RMSE 则高估了预测值,反之则低估了预测值;④ 标准化均方根误差 RMSSE 最接近于 1,如果 RMSSE<1 则高估了预测值,反之则低估了预测值。

表 3 是土壤微量营养元素数据得到的指标全局趋势效应参数比较。可以看出,B、Cu、TFe₂O₃、Mn、Zn 的二阶趋势预测与无趋势预测和一阶趋势预测的结果相比,ME 和 MSE 的绝对值最接近于 0,ASE 与 RMSE 最接近,且 RMSSE 最接近于 1,故在进行 Kriging 插值时,趋势参数宜选择二阶;同理,Cl 及 Mo 无阶预测结果更为精确,趋势参数宜选择无。

2.3 土壤微量营养元素的地统计学分析

地统计学中半变异/协方差建模是空间描述与空间预测的关键。研究根据间距和计算出的半方差,采用半变异函数理论模型进行最优化拟合,并考虑元素的各向异性和趋势效应,构建研究区各个微量营养元素的半方差函数模型。表 4 是计算得到的半方差函数模型类型及参数值。

从表 4 可以看出,在各向同性条件下,研究区多数指标的块金值与基台值比值大于或等于在各向异性条件下对应的比值,说明在各向同性条件下指标的空间相关性要大于或等于在各向异性条件下相应的

空间相关性,其中 Cl 和 Zn 元素在各自变程范围内块金值/基台值普遍>0.75,呈现出弱的空间相关性,其他元素在各自对应的变程范围内块金值/基台值在 0.346~0.739 之间,具有中等空间相关。

进一步分析,在各向异性条件下,不同方向上指标的拟合模型和基台值表现不同。Cu 和 Mo 在 0°和 90°方向基台值相对较大,B、TFe₂O₃、Mn 和 Zn 则在 45°和 135°方向基台值相对较大。Cl 元素在四个方向上变异程度保持一致,具有明显的各向同性特征;其他元素在四个方向上的变异程度接近,但具有不同的变程,因此可以认为各个元素近似为几何异向性。综合表 4 的分析结果可以看出,研究区 7 种微量营养元素的各向同性半方差模型实际上是对各向异性半方差模型均化的结果,其差别并不大,这种较小的差异不会对 Kriging 插值产生明显的影响。因此,在 24km 步长变化域范围内,可直接采用各向同性半方差模型进行 Kriging 插值。

2.4 土壤微量营养元素的空间分布格局

图 3 为土壤 B、Cu、Cl、TFe₂O₃、Mn、Mo、Zn 含量的 Kriging 插值图,显示了不同级别养分含量的分布情况。从图 3 中可以看出,土壤微量营养元素 B、Cu、

表 4 半方差函数模型类型及其参数值

指标	主轴方向	模型	块金值	基台值	块金值 / 基台值	变程 (km)
Index	Major Angle	Model	Nugget	Sill	Nugget/Sill	Range
B	-	指数	0.123	0.272	0.451	291.630
	0	指数	0.089	0.258	0.346	124.615
	45	指数	0.106	0.252	0.421	92.090
	90	指数	0.089	0.250	0.357	124.615
	135	指数	0.106	0.252	0.421	86.670
Cu	-	指数	0.079	0.122	0.649	291.630
	0	球状	0.066	0.116	0.572	119.500
	45	指数	0.066	0.119	0.554	86.320
	90	指数	0.066	0.116	0.572	119.500
	135	指数	0.066	0.119	0.554	86.320
Cl	-	指数	0.048	0.063	0.773	291.640
	0	指数	0.048	0.063	0.773	291.640
	45	指数	0.048	0.063	0.773	291.640
	90	指数	0.048	0.063	0.773	291.640
	135	指数	0.048	0.063	0.773	291.640
TFe ₂ O ₃	-	指数	0.800	1.525	0.524	291.630
	0	指数	0.699	1.442	0.484	153.615
	45	指数	0.701	1.451	0.483	99.362
	90	指数	0.699	1.442	0.484	153.615
	135	指数	0.701	1.451	0.483	99.362
Mo	-	球状	0.119	0.246	0.486	291.630
	0	球状	0.111	0.229	0.487	188.982
	45	球状	0.106	0.230	0.458	110.438
	90	球状	0.111	0.229	0.487	188.982
	135	球状	0.106	0.230	0.458	110.438
Mn	-	指数	0.085	0.116	0.733	291.63
	0	指数	0.083	0.112	0.739	205.215
	45	指数	0.080	0.114	0.705	122.294
	90	球状	0.083	0.112	0.739	205.215
	135	球状	0.080	0.114	0.705	122.294
Zn	-	球状	0.045	0.052	0.870	291.630
	0	球状	0.036	0.050	0.720	64.581
	45	球状	0.040	0.052	0.770	71.235
	90	球状	0.036	0.050	0.720	64.581
	135	球状	0.040	0.052	0.770	71.235

TFe₂O₃、Mn、Mo 和 Zn 在空间上表现出非常类似的相似性,其整体变化从东到西,从东北到西南呈逐渐递减的趋势,但在西南角出现了异常高值。总体上高值区域表现出较为明显的斑块状分布特点,主要分布在东北部巫山、奉节和西南涪陵。Cl 的空间分布情况则不太规则,总的趋势并没有表现出带状的分布格局,东北部巫山、奉节、北部开县和西南涪陵地区具有部分高值,但总体含量与其它地区差异并不明显。

研究区土壤微量营养元素背景值呈以上分布格局,主要是受以下几种因素的影响 (1)成土母质。不同母质发育的土壤,养分分布具有差异性,同一母质在不同风化阶段养分含量分布也有所差异。研究区东

北巫山、奉节和西南涪陵地带土壤类型主要为石灰土,其成土母岩石灰岩形成于海相环境,物质来源丰富,母岩养分元素含量高于其它碎屑岩类。而中部和西部地区为紫色土和水稻土覆盖区域,其成土母岩泥岩、砂岩主要形成于侏罗纪陆相湖泊及河流相环境,元素在陆相搬运过程中溶解流失而贫化,其风化后形成土壤中的元素也相对贫乏^[4]。(2)地貌地形。三峡库区重庆段具有河谷、台地、丘陵、侵蚀低山、侵蚀中山、抬升低山、抬升中山及喀斯特 8 种地貌类型,前 5 种地貌地层主要是以碎屑岩为主的侏罗纪、下三叠纪,分布在研究区北部、中部、西部的大部分区域;后 3 种主要为以碳酸盐岩为主的上、中三叠纪及二叠纪地层,主要集中在研究区东北和西南的小部分地区。一般来说,时代较新的碎屑岩风化后形成的土壤微量元素含量总体较低,而时代较老的碳酸盐岩风化形成的土壤微量元素含量总体上较高。(3)人为因素。由于研究区作物种植多样,人工施用微肥水平不一,导致土壤微量营养元素的空间差异。

3 结论

本文应用地统计学和 GIS 相结合的方法,以三峡库区为例,研究了其土壤微量营养元素背景含量的空间变异特征,主要结论如下:

(1)通过半方差函数模型分析,发现研究区 7 种土壤微量营养元素中 B、Cu、TFe₂O₃、Mn 和 Mo 在一定范围内具有中等空间相关性,而 Cl 和 Zn 元素空间相关性较弱。

(2)在经过不同趋势阶数元素插值误差综合比较的基础上,确定 B、Cu、TFe₂O₃、Mn、Zn 的趋势效应参数宜选取二阶,Cl 及 Mo 的趋势效应参数宜选取无阶。

(3)B、Cu、TFe₂O₃、Mn、Mo、Zn 元素在 0°、45°、90°、135°四个方向上的变异程度接近,但具有不同的变程;Cl 在 4 个方向上变异程度保持一致,具有明显的各向同性特征。总体来看,研究区 7 种微量营养元素的各向同性半方差模型实际上是对各向异性半方差模型均化的结果。其空间分布高值斑块零星分布,无条带状的特点,也从另一个角度确认了变异函数所揭示的方向不太明显的特征。

(4)土壤微量营养元素 B、Cu、TFe₂O₃、Mn、Mo 和 Zn 整体变化从东到西、从东北到西南呈逐渐递减的趋势,高值区域主要分布在东北部巫山、奉节和西南涪陵,Cl 的空间分布情况无规律性,东北部巫山、奉节、北部开县和西南涪陵地区具有部分高值,但总体含量与其它地区差异并不明显。

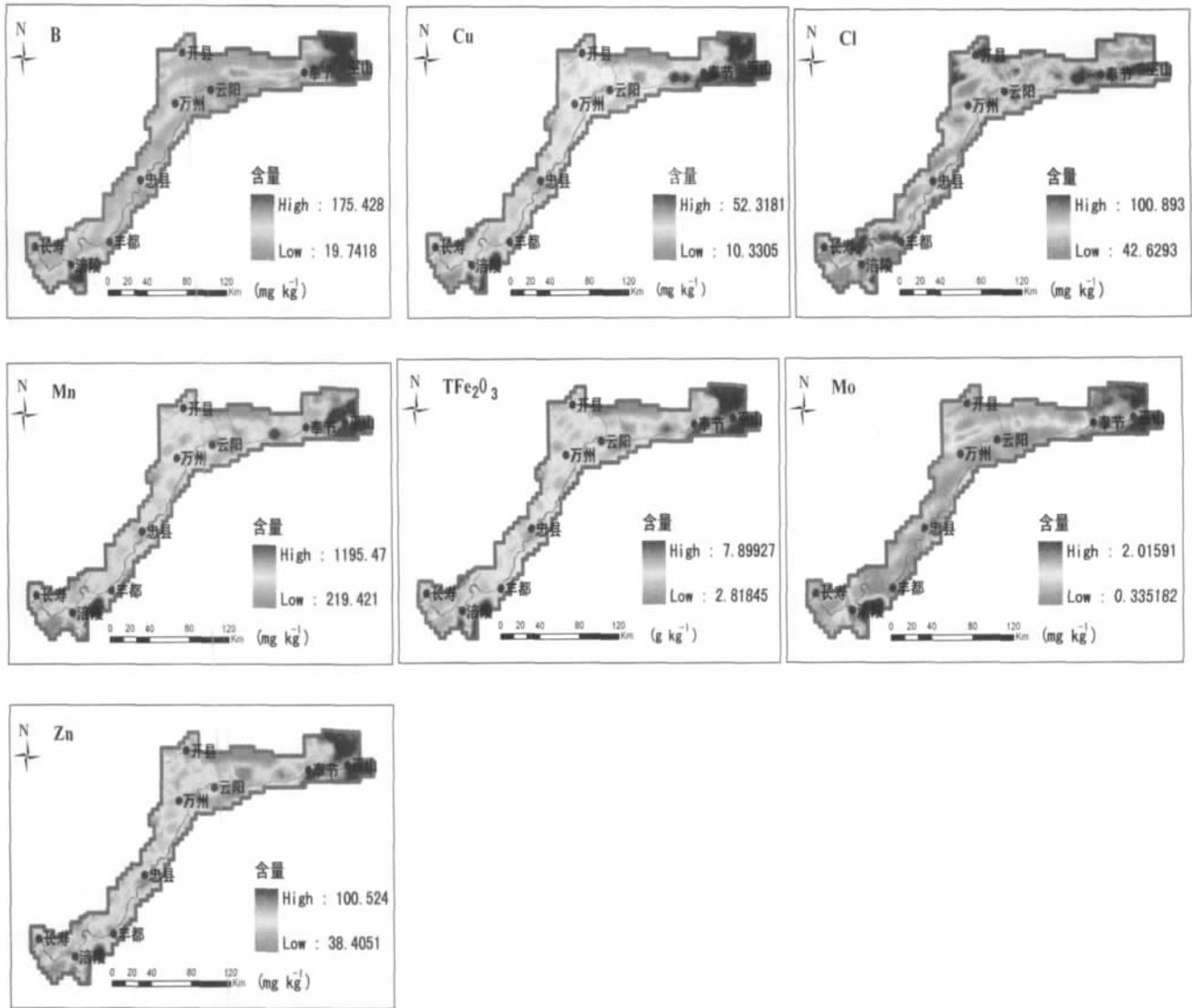


图 3 土壤微量营养元素 Kriging 插值图
Fig. 3 Map of Kriging estimates for soil microelements

(5)土壤微量营养元素的空间分布主要受土壤类型、成土母质、地貌地形影响,除此之外还与土壤的酸碱度、土壤质地与发育熟化程度等因素有关。

尽管对植物生长直接有用的是微量营养元素的有效态,但对研究区 7 种土壤微量营养元素背景值空间变异的定量分析可为该区域农业结构调整、优势农产品规划和布局提供有效的决策依据和数据支持。

参考文献:

[1] 王 忠. 植物生理学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000 :80- 89.
 [2] 冯子道, 安智珠. 生命元素 [M]. 成都: 四川教育出版社, 1989 : 55- 174.
 [3] 黄昌勇. 土壤学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000 :192- 193.
 [4] 林崇献. 土壤与农业地质土壤[J]. 广西地质, 2001, 14(1) :40- 45.
 [5] 唐 将, 李 勇, 邓富银, 等. 三峡库区土壤营养元素分布特征研究 [J]. 土壤学报, 2005, 42(03) :473- 478.

[6] 重庆市统计局. 重庆统计年鉴(2005)[M]. 北京: 中国统计出版社, 2006 :12- 25.
 [7] MATHERON G. The theory of regionalized variables [M]. Fontainebleau: Centre de Morphologie Mathematique, 1971: 10- 31.
 [8] WEBSTER R. Quantitative spatial analysis of soil in the field[J]. Advance in soil science., 1985(3): 2- 16.
 [9] CAMARDELLA C A, MOORMAN T B, NOVARK J M. Field- scale variability of soil properties in central Iowa soils[J]. Soil science society of American Journal, 1994(58): 1501- 1511.
 [10] 王政权. 地统计学极其在生态学中的应用[M]. 北京: 科学出版社, 1999 :33- 36.
 [11] 李 艳, 史 舟, 徐建明, 等. 地统计学在土壤科学中的应用及展望 [J]. 水土保持学报, 2003, 17(1) :178- 182.
 [12] 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(02) :268- 274.
 [13] 王 云, 魏复盛. 土壤环境化学 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1995 :25- 34.
 [14] 吴泰然. 普通地质学[M]. 北京: 北京大学出版社, 2003 :17- 23.

Geostatistics and GIS-based Spatial Distribution of Microelements in the Three Gorges Reservoir Area

WANG Xuan¹, WANG Chen-qiu², TANG Jiang³, WEI Cao-fu¹, XIE De-ti¹

(1. College of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing, 400716, China 2. Chinese Academy of Cirtus Research Institute, Chongqing, 400712, China 3. Sichuan Southeast Institute of Geological Survey, Chongqing, 401329, China)

Abstract: In this paper, spatial patterns of soil microelements were studied in Three Gorege Reservior Area. Results showed that TFe₂O₃ took on normal distribution while the others were subjected to Asymmetric distribution. The integrative comparisons of semivariogram parameters with different trends of the kriging prediction errors of elements indicated that the 2-order trend effect was preferable for B, Cu, TFe₂O₃, Mn and Zn, while none trend effect was preferable for Cl and Mo. Spatial variation of B, Cu, TFe₂O₃, Mn, Mo and Zn was similar in four directions but with different ranges, and Cl was homorogeneous in all directions. B, Cu, Tfe₂O₃, Mn and Zn were characterized by medium spatial correlation, while the others by weak one. These microelements showed that the trend decreased from east to west, from northeast to southwest, and the higher contents were found in northeast Wushan county, Fengjie county and southwest Fuling country. And no any trend could be found for Cl spatial distribution.

Key words: Geostastics; GIS; Microelement; Spatial distribution; Three Gorege Reservior Area