

重庆市丰都县紫色土养分空间变异及土壤肥力评价^①

陶睿¹, 王子芳^{1*}, 高明¹, 孙宇²

(1 西南大学资源环境学院, 重庆 400715; 2 黔西南州农业委员会, 贵州兴义 562400)

摘要:综合运用地统计学、GIS 和模糊数学相结合的方法, 分析了丰都县紫色土养分的空间变异规律, 对其土壤肥力进行综合评价, 并绘制了养分空间分布图和土壤综合肥力指数空间分布图, 为该县紫色土养分分区管理及精准施肥决策等提供理论依据。结果表明: 研究区内 5 种肥力指标中, 除有效磷属于强变异性外, pH、有机质、碱解氮和速效钾均具有中等变异性。土壤 pH、速效钾的最适模型是指数模型, 块金值与基台值之比分别为 17.07% 和 10.65%, 有较强的空间相关性; 用线性模型可较好地模拟有机质、碱解氮和有效磷, 块金值与基台值之比分别为 76.37%、84.21% 和 87.92%, 空间相关性较弱。土壤 pH、有机质、碱解氮、有效磷和速效钾的变程分别为 5.43、28.02、31.24、36.48 和 2.28 km。土壤 pH 在长江以北较高与较低区域都呈带状并相间分布, 在长江以南呈西低东高状态; 有机质、碱解氮、有效磷及速效钾的分布存在明显的方向不均匀性, 都呈零星斑状。丰都县土壤肥力质量呈现北低南高的趋势, 5 个等级地块分别占 8.14%、18.86%、31.75%、28.58%、12.67%。丰都县土壤肥力总体水平中等偏上, 这主要与该地区地形地质有关, 同时也受到社会经济与人为管理措施的影响。

关键词: 紫色土; 养分; 地统计学; 空间变异; 肥力

中图分类号: S159 **文献标识码:** A

土壤资源作为一种脆弱性的非再生资源^[1], 具有高度变异性的时空连续体, 受气候、母质、植被覆盖、地形等自然因素、人为作用的影响。土壤养分是土壤的基本属性和本质特征, 也是衡量土壤肥力的重要指标。土壤肥力是土地生产力的基础, 土壤肥力水平的高低直接关系到作物生长和农业生产的结构、布局及效益等方面。对土壤养分空间变异特征的合理分析和土壤肥力的客观评价, 可以有效地揭示土壤养分的空间分布情况与各区域土壤肥力状况, 为作物合理布局、土壤精准施肥、养分管理及防治土壤退化等提供科学依据, 对推动土壤科学量化研究与精准农业的实施也具有重要意义^[2]。

地统计学是在传统统计学基础上发展起来的空间分析方法, 不仅能有效地揭示属性变量在空间上的分布、变异和相关特征, 还能将空间格局与生态过程联系起来, 可有效地解释空间格局对生态过程与功能的影响^[3-5], 地统计学是分析土壤特性空间分布特征及其变异规律最为有效的方法之一^[6]。GIS 可以将系统变量的属性数据同地理数据相结合, 使大区域范围

内进行地统计分析变得较为方便。二者的有机结合可以取长补短, 充分发挥各自的优势。近年来, 在对土壤性质的空间变异特征研究的方法上利用地统计学和 GIS 技术相结合已成为土壤科学的研究热点之一^[7-8]。大量学者对农田、植烟区、城市郊区等的土壤养分空间变异特征及其土壤肥力评价作了相关研究^[9-14], 但有关三峡库区紫色土的相关研究仍不全面。

紫色土主要分布于我国亚热带地区, 重庆市是紫色土集中分布区之一, 重庆人多地少, 土壤养分失衡、坡耕地面积大、水土流失及侵蚀等问题日益突出, 特别是丰都县地处三峡库区腹心位置。因此本研究以重庆市丰都县紫色土为对象, 采用地统计学、GIS 和模糊数学相结合的方法研究该区紫色土养分的空间变异特征及肥力状况, 揭示其空间变异规律, 以期为该地区农业生产合理施肥和土壤肥力的培育提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

丰都县位于重庆中部, 介于 107°28'03" ~ 108°12'37"E,

基金项目: 国家“十二五”科技支撑计划项目(2012BAD14B18)资助。

* 通讯作者(zifangw@126.com)

作者简介: 陶睿(1992—), 女, 北京人, 硕士研究生, 主要从事土地利用规划研究。E-mail: 910674386@qq.com

29°33'18" ~ 30°16'25"N。全县地形呈南高北低、“四山”夹“三槽”的地形，县内最低海拔 175 m，最高海拔 2 000 m。丰都县地处三峡库区腹心地带，长江自西南向东北从县境中部横穿而过，境内长度为 47 km，长江以南多为深丘，中低山地地形地貌，长江以北多为浅丘陵地形地貌。属亚热带润湿季风气候区，气候温和，四季分明，年均气温 18.5℃，年均降雨量 823.8 mm。土壤类型以紫色土为主，主要分布在长江以北、长江沿岸及中部以东地区。丰都县地质结构较为复杂，地貌形态多样，各种物产、资源较为丰富。

1.2 样品采集与分析

土壤采样点遵循代表性、均匀性的原则，结合土地利用现状、地貌单元及植被，根据丰都县紫色土分布情况进行布置。研究区共布置 3 698 个取样点(图 1)，其中，山地地形设置采样点 1 650 个，区域主要种植玉米、水稻、马铃薯、烤烟和豆类，丘陵、平坝地形各设置采样点 1 872 个、176 个，种植玉米、水稻。因丰都县南部的南天湖镇、三抚林场、暨龙镇、都督乡、太平坝乡及七跃山林场的土壤类型主要是黄壤，所以采样区域及本文的相关分析均不涉及以上乡镇及林场。利用手持式 GPS 定位，记录采样点的经纬度和高程，以定位点为中心，在半径 10 m 的圆形区域内采集 4 点表层(0~20 cm)土样混合，四分法取大约 1 kg 土样带回室内分析。

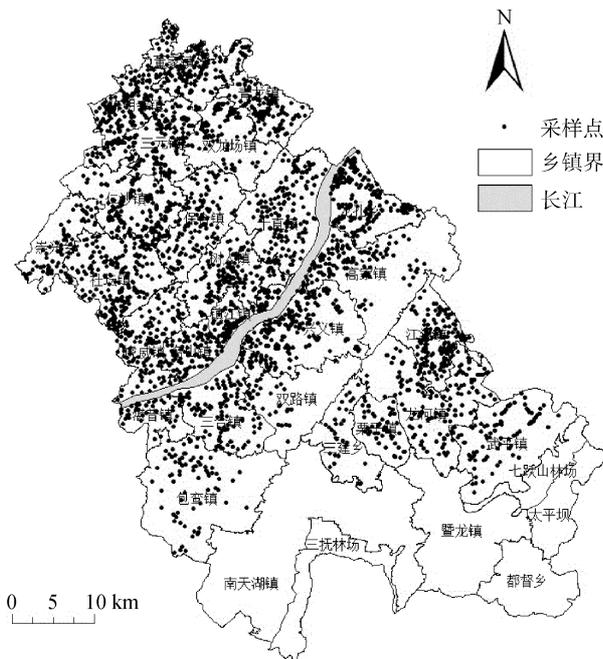


图 1 研究区采样点分布图
Fig. 1 Sampling sites in study area

样品带回实验室后经风干，研磨过筛备用。采用玻璃电极法测定土壤 pH；采用重铬酸钾氧化法测定

土壤有机质含量；采用碱解扩散法测定有效氮含量；采用钼锑抗比色法测定有效磷含量；采用火焰光度法测定速效钾含量^[15]。

1.3 数据处理

采用域法识别特异值，即平均值±3 倍标准差去除异常值，在此区间外的数据定位特异值，然后分别用正常最大值或最小值代替特异值。利用 SPSS18.0 软件对样品数据进行描述性分析，并对数据进行 Kolmogorov-Smirnov(K-S) 检验。采用地统计学软件 GS+ 7.0 对数据进行半方差函数的计算和理论模型拟合。在 ArcGIS9.3 平台上进行 Kriging 插值和图形编辑，制作土壤养分空间分布图和土壤综合肥力指数空间分布图。

1.3.1 评价指标的选取及权重的确定 因土壤肥力形成机制较为复杂，不同学者对土壤肥力的理解各不相同，其评价方法与评价指标也不尽一致。作为土壤肥力评价，应以土壤的养分含量为主^[16]。本研究按照指标对土壤生产力的影响，选取 pH、有机质、碱解氮、有效磷、速效钾 5 个指标，建立三峡库区紫色土肥力质量评价指标体系。各参评指标的权重(表 1)采用层次分析法^[17]确定，经随机一致性检验指标 CR = 0.002 < 0.10，通过一致性检验，判断矩阵无需调整。

表 1 土壤肥力各参评指标权重
Table 1 Weights of soil fertility indexes

指标	pH	有机质	碱解氮	有效磷	速效钾
权重	0.167	0.204	0.200	0.214	0.214

1.3.2 评价指标的隶属函数构建 根据土壤肥力指标与作物生长效应曲线将参评隶属度函数分为两种类型，即 S 型和抛物线型^[18]，并将曲线型函数转化为相应的折线型函数。将每个样本的原始统计资料分别代入相应的隶属函数公式，可以把不规则分布的、有单位的、定量或定性描述的原始数值转化为 0.1~1.0 分布的、无量纲差异的隶属度值。

S 型隶属度函数：属于这类函数的土壤肥力指标有土壤有机质、碱解氮、有效磷、速效钾。相应的隶属度函数表达式为：

$$f(x) = \begin{cases} 0.1 & x < x_1 \\ 0.9(x-x_1)/(x_2-x_1)+0.1 & x_1 \leq x < x_2 \\ 1.0 & x \geq x_2 \end{cases} \quad (1)$$

抛物线型：属于这类函数的土壤肥力指标有土壤 pH。相应的隶属度函数表达式为：

$$f(x) = \begin{cases} 0.1 & x < x_1 \text{ 或 } x \geq x_4 \\ 0.9(x-x_1)/(x_2-x_1)+0.1 & x_1 \leq x < x_2 \\ 1.0 & x_2 \leq x \leq x_3 \\ 1.0-0.9(x-x_3)/(x_4-x_3) & x_3 < x < x_4 \end{cases} \quad (2)$$

本文根据重庆紫色土肥力特性、作物品种特点以及相关研究的结果^[9,12,19],确定各指标的拐点值(表 2)。

表 2 土壤肥力各参评指标隶属函数的拐点值
Table 2 Turning point values of soil fertility indexes

指标	拐点值			
	X_1	X_2	X_3	X_4
pH	4.5	5.5	6.5	8
有机质 (g/kg)	5	20		
碱解氮 (mg/kg)	30	120		
有效磷 (mg/kg)	20	90		
速效钾 (mg/kg)	60	150		

1.3.3 综合评价指数的计算 以模糊数学中权重加权求和来计算土壤综合肥力指数(integrated fertility index, IFI), 其表达式如下:

$$IFI = \sum_{i=1}^n (f_i \times w_i) \quad (3)$$

式中: n 为参评指标数量, f_i 为第 i 个指标的隶属度, w_i 为第 i 个指标的权重。由于隶属度取值范围在 $[0.1, 1.0]$, 因此, IFI 取值也处于 $[0.1, 1.0]$, 该值越接近于 1, 土壤肥力越高。

2 结果与讨论

2.1 丰都县紫色土养分的描述性统计分析

土壤养分含量数据及 K-S 检验结果见表 3。从表中可以看出, 研究区土壤 pH、有机质、碱解氮、有效磷和速效钾的平均含量分别为 6.39、13.43 g/kg、75.69 mg/kg、22.06 mg/kg、96.27 mg/kg, 其中有效磷含量较高, 其他养分含量适宜。5 种土壤养分变异系数在 19.71% ~ 106.76% 之间, 其中土壤 pH 的变异系数最小, 为 19.71%; 有机质、碱解氮、速效钾的变异系数比较接近, 在 37.35% ~ 51.92% 之间, 均属于中等变异强度; 有效磷的变异系数最大, 达到 106.76%, 属于高变异强度, 其原因除了与该地区不同土地利用类型、土壤母质等有关外, 更重要与施磷肥状况及磷在土壤中的化学行为有关, 当季磷肥的利用率低和土壤中的磷不易迁移等使较多的磷残留在土壤中, 最终使得土壤中磷分布不均匀^[19]。各土壤养分含量最大值和最小值差异明显, 这表明各地区间土壤养分含量存在本底差异, 盲目地平均施肥, 将会造成低养分地区养分继续不足和高养分地区养分过剩^[20]。

表 3 土壤养分的统计特征值
Table 3 Descriptive statistics of soil nutrient contents in study area

指标	样点数	最小值	最大值	均值	标准差	变异系数(%)	偏度	峰度
pH	3 698	3.90	8.80	6.39	1.26	19.71	0.026	-1.37
有机质 (g/kg)	3 698	1.00	49.30	13.43	5.26	39.14	1.36	4.14
碱解氮 (mg/kg)	3 698	13.00	273.00	75.69	28.27	37.35	1.59	6.09
有效磷 (mg/kg)	3 698	0.20	156.60	22.06	23.55	106.76	2.08	5.01
速效钾 (mg/kg)	3 698	10.00	379.00	96.27	49.99	51.92	1.65	4.45

经过 K-S 非参数检验结果显示, 土壤 pH 近似服从正态分布, 其他养分经对数转换后均较好地服从对数正态分布, 满足半方差函数分析要求。

2.2 丰都县紫色土养分的空间结构分析

由土壤养分半方差函数理论模型及其拟合参数(表 4)分析可以得到, 除速效钾的拟合度只有 0.546

外, 其余养分半方差函数模型的拟合度均在 0.65 以上, 可见半方差函数模型的选取符合基本要求。研究区紫色土有机质、碱解氮、有效磷的最适模型是线性模型, 其中碱解氮拟合效果最好, 拟合系数为 0.89, 而 pH、速效钾用指数模型拟合效果较好, 拟合系数分别为 0.757 和 0.546。

表 4 土壤养分半方差函数理论模型及其参数
Table 4 Semi-variogram models and parameters of soil nutrients

指标	模型类型	块金值 C_0	基台值 C_0+C	块金值/基台值 $C_0/(C_0+C)$ (%)	残差 RSS	R^2	变程 (km)
pH	指数模型	0.007	0.041	17.07	5.364×10^{-5}	0.757	5.43
有机质	线性模型	0.139	0.182	76.37	1.727×10^{-3}	0.815	28.02
碱解氮	线性模型	0.112	0.133	84.21	1.712×10^{-4}	0.890	31.24
有效磷	线性模型	1.048	1.192	87.92	1.300×10^{-2}	0.689	36.48
速效钾	指数模型	0.028	0.263	10.65	6.010×10^{-4}	0.546	2.28

表 4 中块金值(C_0)表示取样误差和小于取样尺度下的空间变异。基台值(C_0+C)表示变量在研究范围内总的空间变异强度。块金值与基台值的比值 $C_0/(C_0+C)$ 表示随机部分引起的空间异质性占系统总变异的比,表明系统变量的空间相关性的程度^[21]。有研究表明,气候、母质、地形、土壤类型等结构性因素可以导致土壤养分强的空间相关性;而施肥、耕作方式、种植制度等人为活动使得土壤养分空间相关性减弱,朝均一化方向发展^[22]。从表 4 可以看出研究区紫色土各养分的块金值均为正值,说明存在着由采样误差、短距离的变异、随机和结构变异引起的各种正块金效应。速效钾和 pH 的块金值与基台值之比均小于 25%,为 10.65% 和 17.07%,说明要素具有强烈的空间相关性,其变异主要受结构性因素影响;有机质、碱解氮、有效磷的块金值与基台值之比都大于 75%,为 76.37%、84.21%、87.92%,要素表现出较弱的空间相关性,说明其随机性因素引起的空间异质性占主导地位,即土壤的空间变异性主要与土地利用类型、种植制度、管理措施、污染等人为活动有直接关系^[23]。

变程反映空间最大相关距离,它表明土壤养分变量空间自相关范围的大小^[24]。在研究区域内,5 种土壤养分的变程在 2.28 ~ 36.48 km 内变化,其中有效磷、碱解氮、有机质的变程较大,分别为 36.48、31.24、28.02 km pH 和速效钾的变程仅为 5.43 km 和 2.28 km。说明它们空间自相关范围具有明显的差异,除取样间

距的影响外,还可能是由于研究区生态条件、种植作物和农事操作的不同^[7]。

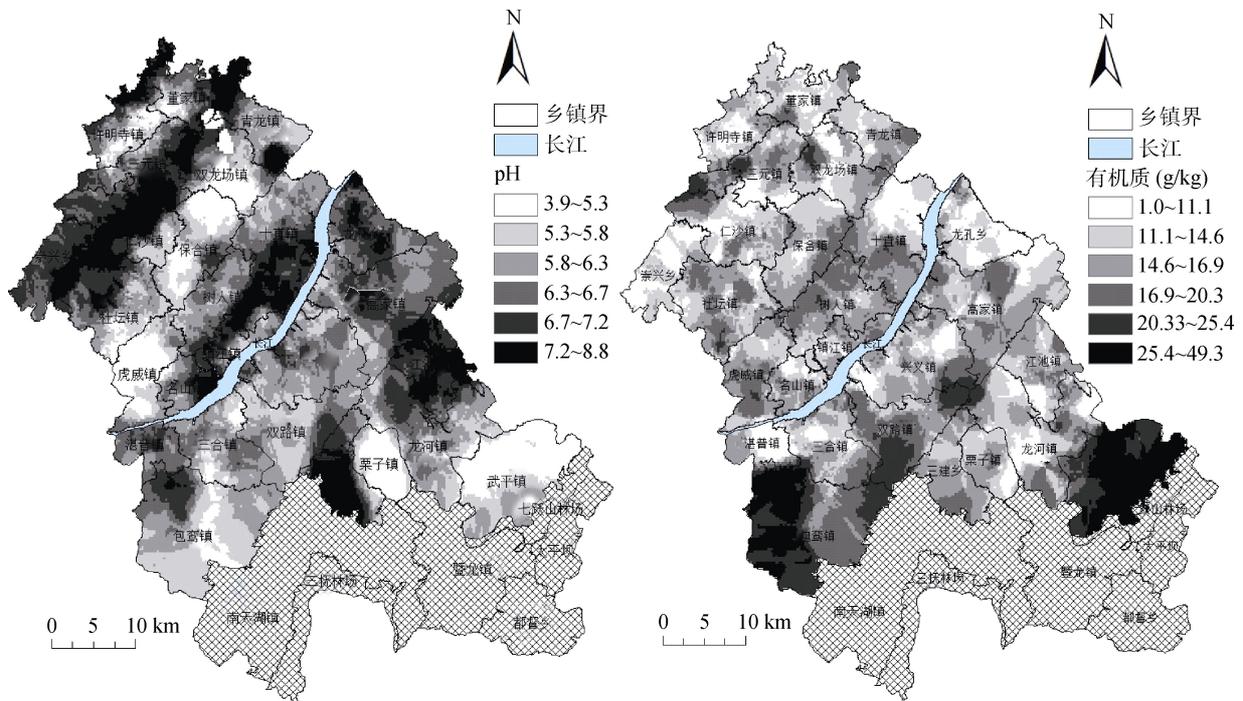
2.3 丰都县紫色土养分空间分布特性

为了能够更深刻、全面和直观地反映土壤养分在空间上的分布特征,在 GS + 7.0 建立半方差函数的基础上,应用 ArcGIS 对土壤养分进行 Kriging 插值,得到各养分含量的空间分布图(图 2)。

由图 2 可知,在长江以北 pH 较高与较低区域都呈带状并相间分布;长江以南 pH 西低东高,除三建乡、江池镇大于 7.2 和栗子镇、武平镇小于 5.3 以外,其他区域 pH 差异不明显。有机质、碱解氮、有效磷及速效钾的分布存在明显的方向不均匀性,都呈零星斑状。有机质有多个低值中心,相邻区域含量差异不大,最高区域主要在包鸾镇和武平镇;碱解氮较高区域分布在研究区东南角,较低区域主要在西北角,其空间分布与有机质基本一致,说明主要受该区土壤质地影响,这与前人的研究一致^[25]。有效磷变化较强烈,斑块小而生多,相邻区域含量差异明显,规律性不强,有多个高值中心,有效磷含量低于 13.4 mg/kg 的区域较连续,主要在北部及长江以南中部。速效钾的含量分布在长江以北平均低于长江以南,最高区域主要在武平镇和三元镇,较低区域主要是零星斑状散落在长江以北和研究区中部。

2.4 土壤肥力综合评价

2.4.1 土壤综合肥力指数(IFI)描述性统计 对研究区 3 698 个采样点的 IFI 值进行统计分析表明,样



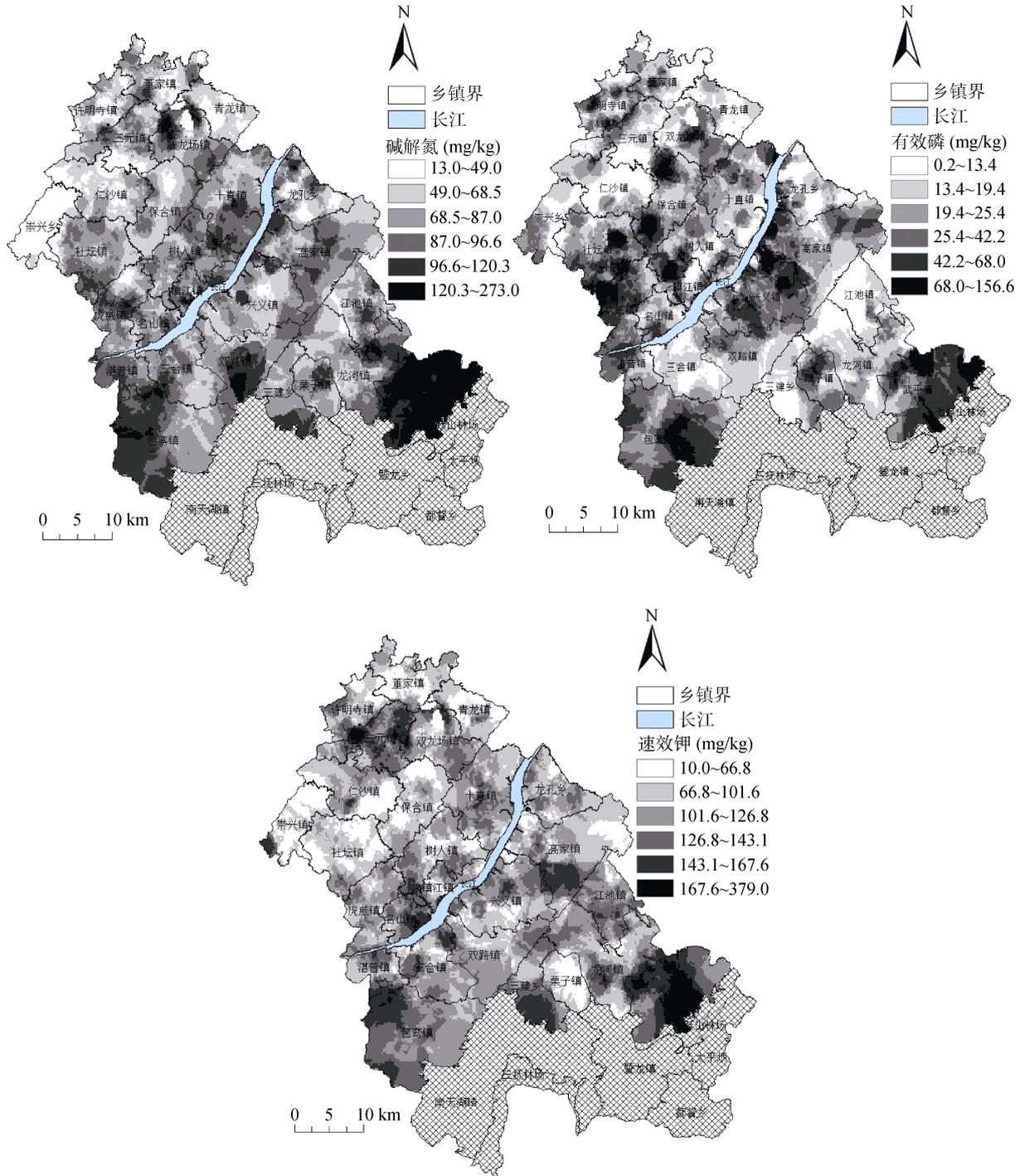


图 2 研究区紫色土养分的空间分布
 Fig. 2 Spatial distribution of nutrients of purple soil in study area

点的 IFI 值近似服从正态分布, 处于 0.115 ~ 0.893 之间, 平均为 0.457, 变异系数为 32.31%, 属于中等强度变异。

2.4.2 土壤综合肥力指数 (IFI) 空间变异特征及空间分布状况 利用 GS+7.0 对研究区紫色土综合肥力指数进行半变异函数的计算和理论模型拟合 (表 5), 可知研究区综合肥力指数的最适模型是指数模型, 并

且拟合效果较好, 决定系数达到 0.916, 残差仅为 3.69×10^{-5} , 块金值与基台值的比值为 86.146%, 表现出较弱的空间相关性, 说明其随机部分引起的空间异质性占主导地位。

对研究区紫色土综合肥力指数 (IFI) 进行分级, 分为优 (>0.8)、良好 (0.7 ~ 0.8)、一般 (0.6 ~ 0.7)、中等 (0.4 ~ 0.6) 和差 (<0.4) 5 个等级, 采用地统计的 Kriging 插值

表 5 土壤综合肥力指数的半方差函数模型及相关参数
Table 5 IFI semi-variogram model and parameters

指标	模型类型	块金值 C_0	基台值 C_0+C	块金值/基台值 $C_0/(C_0+C)$ (%)	残差 RSS	R^2	变程 (km)
土壤肥力综合指数(IFI)	指数模型	0.108 2	0.125 6	86.146	3.69×10^{-5}	0.916	37.442

方法绘制了丰都县紫色土综合肥力指数空间分布图(图 3)。从全局看研究区北部到南部土壤肥力有逐渐升高的趋势,最高区域在西南角和东南角。利用 GIS 中空间分析功能进一步对研究区各等级区域的面积进行统计,结果表明,研究区紫色土综合肥力指数为优的区域较缺乏,仅占研究区域的 8.14%,主要分布在武平镇与包鸾镇,这两个区域土壤肥力较高主要是与该区域以浅丘低山槽坝地形为主,气候湿润,适宜农作物生长,盛产水稻、玉米、茶叶、蔬菜等经济作物,还与人为管理有关;为良的区域占 18.86%,主要分布在研究区中部丰都县主城区附近,长江河谷地带,交通便捷,土地集约化程度高,土壤养分受到社会经济因素的影响剧烈,因此肥力整体水平较高;一般的区域占 31.75%,在除崇兴乡以外的乡镇均有分布;中等的区域占 28.58%,占据了三建乡、栗子镇、龙河镇、江池镇、三合镇和保合镇等乡镇的大部分区域,属低山丘陵区,土壤质地偏砂,容易漏肥,区域内多以林粮牧相结合方式发展;为差的区域占 12.67%,主要在研究区西北角及龙孔乡,区域内地质结构较为复杂,地貌形态多样,养分含量较低,可因地制宜发展林木业。

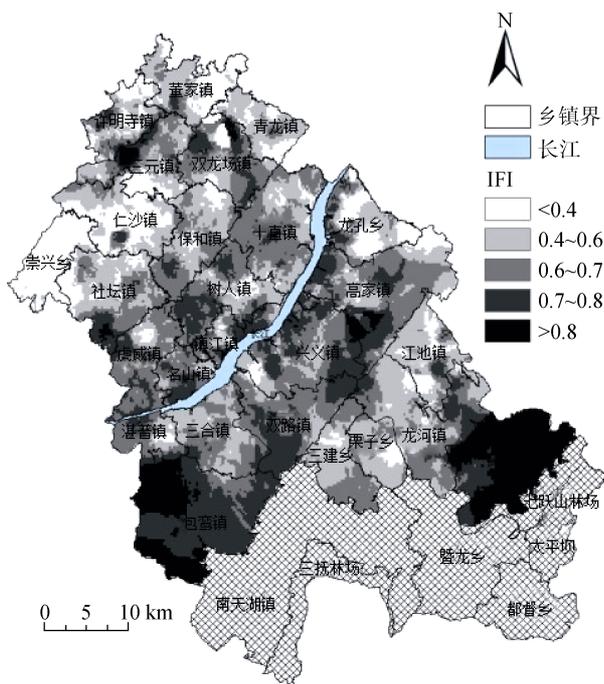


图 3 丰都县紫色土综合肥力指数空间分布图
Fig. 3 IFI spatial distribution of purple soil in Fengdu

3 结论

1) 研究区 pH、有机质、碱解氮、有效磷和速效钾的平均含量分别为 6.39、13.43 g/kg、75.69 mg/kg、22.06 mg/kg、96.27 mg/kg。除有效磷属于强变异性外,其他均属于中等变异性,其中土壤 pH 的变异系数最小(19.71%),有效磷的变异系数最大(106.76%)。

2) 土壤 pH、有机质、碱解氮、有效磷和速效钾的变程分别为 5.43、28.02、31.24、36.48 和 2.28 km。土壤 pH 和速效钾的最适模型是指数模型,有机质、碱解氮、有效磷的最适模型是线性模型。其中速效钾和 pH 具有较强的空间相关性,有机质、碱解氮、有效磷表现出较弱的空间相关性。

3) 研究区土壤 pH 在长江以北较高与较低区域都呈带状并相间分布, pH 在长江以南呈西低东高状态;有机质、碱解氮、有效磷及速效钾的分布存在明显的方向不均匀性,都呈零星斑状,有机质有多个低值中心,相邻区域差异不大;碱解氮含量随着地势增高而略有增加;有效磷变化较强烈,斑块小而多,相邻区域差异明显;速效钾含量高值中心主要分布在长江以南。

4) 研究区紫色土肥力质量呈现出明显的北低南高的趋势,5 个等级地块分别占 8.14%、18.86%、31.75%、28.58%、12.67%,土壤肥力总体水平中等偏上,这主要与该地区地形地貌因素有关,同时也受到社会经济与人为管理措施的影响。

参考文献:

- [1] 赵其国,孙波,张桃林. 土壤质量与持续环境 I. 土壤质量的定义及评价方法[J]. 土壤, 1997, 29(3): 113-120
- [2] 张玉铭,毛任钊,胡春胜,等. 华北太行山前平原农田土壤养分空间变异性研究[J]. 应用生态学报, 2004, 15(11): 2049-2054
- [3] 李建辉,李晓秀,张汪寿,等. 基于地统计学的北运河下游土壤养分空间分布[J]. 地理科学, 2011, 31(8): 1001-1006
- [4] 马渝欣,李徐生,李德成,等. 江淮丘陵区农田表层土壤有机碳空间变异——以定远县为例[J]. 土壤, 2014, 46(4): 638-643
- [5] 张文敏,姜小三,吴明,等. 杭州湾南岸土壤有机碳空间异质性研究[J]. 土壤学报, 2014, 51(5): 1087-1095

- [6] 江厚龙, 王新中, 刘国顺, 等. 烟田土壤质地的空间变异性研究[J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(4): 724–729
- [7] 刘国顺, 常摇栋, 叶协锋, 等. 基于 GIS 的缓坡烟田土壤养分空间变异研究[J]. 生态学报, 2013, 33(8): 2586–2595
- [8] 马渝欣, 李徐生, 李德成, 等. 皖北平原蒙城县农田土壤有机碳空间变异[J]. 土壤学报, 2014, 51(5): 1153–1159
- [9] 崔潇潇, 高原, 吕贻忠. 北京市大兴区土壤肥力的空间变异[J]. 农业工程学报, 2010, 26(9): 327–333
- [10] 于洋, 赵叶婷, 常庆瑞. 渭北台塬区耕地土壤速效养分时空变异特征[J]. 土壤学报, 2015, 52(5): 1251–1261
- [11] 王军, 傅伯杰, 邱扬, 等. 黄土高原小流域土壤养分的空间异质性[J]. 生态学报, 2002, 22(8): 1173–1178
- [12] 叶回春, 张世文, 黄元仿, 等. 北京延庆盆地农田表层土壤肥力评价及其空间变异[J]. 中国农业科学, 2013, 46(15): 3151–3160
- [13] 于洋, 赵业婷, 常庆瑞. 渭北台塬区耕地土壤速效养分时空变异特征[J]. 土壤学报, 2015, 52(6): 1251–1261
- [14] 宋效东, 郭卢, 赵安, 等. 皖北亳州烟区土壤肥力定量评价[J]. 土壤通报, 2016, 47(1): 8–14
- [15] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000
- [16] 周 勇, 张海涛, 汪善勤, 等. 江汉平原后湖地区土壤肥力综合评价方法及其应用[J]. 水土保持学报, 2001, 15(4): 70–74
- [17] 曹茂林. 层次分析法确定评价指标权重及 Excel 计算[J]. 江苏科技信息: 信息技术, 2012(2): 39–40
- [18] 孙波, 张桃林, 赵其国. 我国东南丘陵山区土壤肥力的综合评价[J]. 土壤学报, 1995, 32(4): 362–368
- [19] 崔潇潇, 高原, 吕贻忠. 北京市大兴区土壤肥力的空间变异[J]. 农业工程学报, 2010, 26(9): 327–333
- [20] 庞夙, 李廷轩, 王永东, 等. 土壤速效氮、磷、钾含量空间变异特征及其影响因子[J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(1): 114–120
- [21] Cambardella C A, Moorman T B, Parkin T B, et al. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils[J]. Soil Science Society of America Journal, 1994, 58: 1501–1511
- [22] 王子芳, 高明, 魏朝富, 等. 植烟土壤养分的空间变异特征及适宜性评价——以重庆市彭水县为例[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2008, 30(1): 98–103
- [23] 胡江玲, 张高. 新疆精河流域土壤质量空间分异规律分析[J]. 干旱区资源与环境, 2011, 25(6): 113–121
- [24] 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: 65–132
- [25] 王淑英, 路苹, 王建立, 等. 不同尺度下土壤有机质和全氮的空间变异特征: 以北京市平谷区为例[J]. 生态学报, 2008, 28(10): 4957–4964

Spatial Variability of Soil Nutrients and Assessment on Fertility of Purple Soil in Fengdu City of Chongqing

TAO Rui¹, WANG Zifang^{1*}, GAO Ming¹, SUN Yu²

(1 College of Resources and Environment, Southwest University, Chongqing 400715, China;

2 Southwest Guizhou Agriculture Commission, Xingyi, Guizhou 562400, China)

Abstract: The spatial variability of soil nutrients of purple soil in Fengdu City of Chongqing was comprehensively analyzed by geostatistics, GIS platform and fuzzy mathematics method. Scatter diagrams of the spatial distribution of soil nutrients were then quantitatively constructed on order to potentially provides theoretical bases not only for the use of management zones (MZs) with purple soil in Fengdu, but also for decision-making inprecision fertilization. The results showed that moderate level of spatial variability occurred in 4 nutrients contents in the research region except available P(AP) which belonged to the strong level. The nugget/still ratios were 17.07% for pH and 10.65% for available K (AK), respectively, which showed strong spatial correlation, and could be modeled with the exponential model. While the nugget/still ratios were 76.37%, 84.21% and 87.92% for organic matter (SOM), available N (AN) and available P (AP), respectively, which showed weak spatial correlation, and could be well modeled with the spherical model. The ranges of pH, SOM, AN, AP and AK were 5.43, 28.02, 31.24, 36.48 and 2.28 km, respectively. pH showed banding distribution both in the higher and lower regions in the north of the Yangtze River, but showed high in the west region and low in the south region in the south of the Yangtze River; all the distribution of SOM, AN, AP and AK showed apparent direction inhomogeneity and were sporadic and patchy. The soil fertility quality of Fengdu decreased from south to north, but generally was above the middle level, the areas of the five grades of fertility quality were 8.14%, 18.86%, 31.75%, 28.58% and 12.67% of the total area, respectively. The fertility quality of Fengdu was affected by soil texture, socio-economic and artificial cultivation management.

Key words: Purple soil; Nutrients; Geostatistics; Spatial variability; Fertility