

湘中南土地整理后烟田土壤肥力 指标评价及空间变异特征

廖超林¹, 傅灵芝¹, 张鹏博¹, 盛浩¹, 于庆涛², 邹凯², 张杨珠¹

(1. 湖南农业大学 资源环境学院, 长沙 410128; 2. 邵阳市烟草公司, 湖南 邵阳 422000)

摘要:掌握土地整理区土壤养分特征已成为烟田快速培肥和提升土壤质量的首要问题。采用GIS与地统计学相结合的方法,评价了土地整理后烟田土壤养分等肥力指标的适宜性等级状况及其空间变异特征。结果表明:研究区土壤偏酸,有机质、碱解氮含量普遍缺乏,存在较大面积的缺钾现象;各肥力指标均属于中等变异,变异系数大小顺序依次为有效磷>速效钾>碱解氮>有机质>全氮>全磷>全钾>pH值。有机质和速效钾的变异函数比较符合指数模型,全钾、碱解氮用高斯模型拟合效果好,而pH值、全磷、全氮和有效磷则以球状模型拟合效果最佳。肥力指标的块金系数 $[C_0/(C_0+C)]$ 中,土壤有机质、全钾、碱解氮分别为0.903,0.998,0.823,空间相关性较弱;而pH值、全氮、全磷和有效磷的块金系数 $[C_0/(C_0+C)]$ 变化范围为0.501~0.724,具有中等空间相关性;各肥力指标空间变程为99~1 003 m,最大和最小值分别为全钾和碱解氮;各肥力指标表现出不同的空间分布特征,其中,pH值呈斑块状,碱解氮及全钾呈条带状,全磷整体上呈从北至南含量增加的梯度分布格局。

关键词:土地整理; 烟田; 肥力指标; 空间变异

中图分类号:S153.6

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2017)02-0105-07

Assessment and Spatial Variation of Soil Fertility Indices in Tobacco Field After Land Consolidation in Central-Southern Hunan Province

LIAO Chaolin¹, FU Lingyi¹, ZHANG Pengbo¹, SHENG Hao¹,
YU Qingtao², ZOU Kai², ZHANG Yangzhu¹

(1. College of Resources and Environment, HNAU, Changsha 410128, China;

2. Shaoyang Municipal Tobacco Corporation, Shaoyang 422000, China)

Abstract: It is significant to explore soil nutrient features in tobacco field for fertilizer application and soil quality improvement in land consolidation area. The assessment and spatial variation of soil fertility indices in tobacco field after land consolidation had been explored based on a combination of geostatistics with GIS. The results showed that soil pH was relatively lower, most of soils were lacking organic matter (OM) and available nitrogen (AN) as well as potassium; all of soil fertility indices belonged to middle-grades variability and variation coefficients decreased in the order: available phosphorus (AP)>available (AK)>AN>OM>total phosphorus (TP)>total potassium (TK)>pH. Soil OM and AK were well described by exponential model, and the fitting semi-variance model for soil TK and AN was Gaussian, and the best matching effect of soil pH, TP, TN and AP was the spherical model. The results of semi-variance analysis showed that the nugget/still ratios of soil OM, TK, AN were 0.903, 0.998 and 0.823, respectively, and their spatial correlations were relatively weak, the nugget/still ratios of soil pH, TN, TP and AP ranged from 0.501 to 0.724, and their spatial correlations were relatively middle. The range of different soil fertility indices varied from 99 to 1 003 m, and the values of TK and AN were the maximum and minimum, respectively. Meanwhile, its kriging map differentiated each other, such as pH embodied spotted type, AN and TK showed stripped pattern, however, TP had the type of increasing gradient distribution from the northern area to the southern area.

Keywords: land consolidation; tobacco field; fertility indices; spatial variation

良好的土壤环境是实现烤烟稳产优质的必要条件^[1]。土壤养分等肥力指标是土壤肥力的物质基础,其丰缺状况直接影响作物产量和品质^[2]。科学、准确地掌握烟田土壤养分状况,对合理利用土壤资源、改善土壤肥力状况、调节土壤养分供给、指导烤烟合理施肥、促进烤烟生产发展具有重要意义^[3]。多年来,土壤养分等肥力指标的空间分布定量分析以及空间变异特征研究受到各国学者的普遍重视^[4],并在农业生产中尤其是在精准施肥等方面得到了越来越广泛的应用^[5-8]。近年来,随着全国范围内烟田土地整理的开展,通过对植烟土壤进行的翻压和客土填埋,导致土壤结构、土壤肥力和土壤生态环境都发生了较大的变化,在一定程度上限制了土壤综合生产能力的提高^[9],掌握土地整理区土壤养分特征及其土壤肥力状况已成为烟田快速培肥和提升土壤质量首要解决的问题。土地整理对土壤理化性质^[10]、土壤微生物多样性^[11]、土壤侵蚀^[12-13]、土壤质量^[14]、及生态环境^[15-16]的影响研究已做了大量工作。本文以湖南邵阳县金称市镇土地整理后的烟田为例,采用GIS与地统计学相结合的方法,评价土地整理后土壤养分等肥力指标的适宜性等级状况,分析其空间变异特征,为土地开发利用及土地整理耕地培肥提供依据。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

试验区位于湖南邵阳县金称市镇的西南部,地跨东经111°07'06"—110°8'34",北纬26°49'51"—26°50'42"。东连邵阳县东部,南连茆黄河,西连大塘村,北接金良村。项目区紧邻金称市镇,距邵阳县城28 km,金称市至东安公路从项目区附近通过,交通方便。研究区属大陆季风气候区,气候温和,光照充足,雨量充沛。年平均气温16.9℃,年日照1 593 h,无霜期280 d,年降雨量1 355 mm^[17]。试验区为湖南省现代烟草农业试点项目一金称市项目区烟田综合整治试点,总面积140.53 hm²,土壤母质为第四纪红色黏土和河流冲积物。该区土地整理于2012年开始,因区内相对高差较大,采取了土方挖、填与调配、移除岩石等重度整理方式,经过平整深翻,改造坡地,加深活土层等措施,扩大了耕地面积,改善了耕作和水利条件,工程于2013年1月完成并交付使用^[18]。耕作方式为烟—稻轮作。

1.2 研究方法

1.2.1 采样方法 采用GPS定位技术,根据田块形状,按照(80~100 m)×(100~120 m)的规格,对研究区土壤进行了网格五点梅花法采样,采用手持GPS标记各采样点坐标,共采集耕作层(0—20 cm)

土壤农化样213个,其中土地整理干扰土样157个,未干扰土样56个。

1.2.2 分析方法 采集的土壤样品带回实验室后,经风干、去杂、过10,100目筛后,供土壤pH值、有机质、全氮和碱解氮、全磷和有效磷、全钾和有效钾的分析。其中土壤有机碳含量的测定采用重铬酸钾—外加热法,全氮的测定采用凯氏定氮法,碱解氮的测定采用碱解扩散法,全磷的测定采用钼锑抗比色法,有效磷采用NaHCO₃提取,钼锑抗比色法测定,其他指标均采用常规分析法^[19]。

1.3 半变异函数分析方法

半变异函数又称半变差函数、半变异矩,是地统计分析的特有函数。区域化变量 $z(\chi)$ 在点 χ 和 $\chi+h$ 处的值 $z(\chi)$ 与 $z(\chi+h)$ 差的方差的1/2称为区域化变量 $z(\chi)$ 的半变异函数,记为 $\gamma(h)$, $2\gamma(h)$ 称为变异函数^[20]。根据定义有:

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

式中: h 为2样本点空间分隔距离; $\gamma(h)$ 为 h 的半方差函数值; $N(h)$ 为间隔距离等于 h 的样本点的对数; $Z(\chi_i)$ 为空间位置点 χ_i 处指标的实测值; $Z(\chi_i + h)$ 为空间位置点 $\chi_i + h$ 处指标的实测值。

1.4 数据处理

将手持GPS标记的各采样点坐标导入GS+9.0和ArcGIS 10.0软件,生成具有土壤肥力指标信息的采样样点数据,用以进行空间自相关分析、半方差函数计算以及克里格空间插值分析。

基于地统计学原理,采用GS+9.0软件完成半变异函数计算和理论模型拟合,并结合ArcGIS软件Geostatistical Analyst工具,对采样点各土壤肥力指标值进行克里格插值,生成研究区土壤肥力指标的空间分布图,完成各肥力指标空间部分面积统计。

传统的数据统计分析借助Excel 2010和SPSS 18.0软件完成。

2 结果与分析

2.1 土壤肥力指标评价及空间变异特征

根据湖南省种植烟草土壤肥力指标丰缺状况的五级体系^[21],研究区土壤肥力指标划分为极低、低、适宜、高、很高五个级别,分析研究区土壤养分含量丰缺状况,指导烤烟生产。

表1为土地整理区土壤主要肥力指标的基本特征。研究区土壤pH值变化为4.23~8.07,90.01%土壤属于低等级以下水平;有机质含量均值为15.57±5.94,属于适宜等级以上的仅占21.23%,极低等级的占14.62%;

全氮变化范围为 0.62~3.39 g/kg,高等级仅占 6.14%;碱解氮变化范围为 23.15~288.30 mg/kg,含量为低级以下的高达 74.53%,说明研究区土壤偏酸,有机质、碱解氮含量普遍缺乏,应适当施肥,调节土壤酸碱性,增施有机肥和氮肥,分别增加土壤氮的供应强度和有效性。全磷变化范围为 0.34~1.50 g/kg,其中 71.23%为适宜

以上等级,处于高等级的仅占 6.60%;有效磷变化范围为 2.00~118.58 mg/kg,其中适宜以上等级的达 91.51%,处于很高等级的高达 30.19%,说明研究区土壤磷丰富;全磷含量高等级水平较少,表明土壤磷的供应潜力不足,适量施用磷肥,对防止土壤磷素的缺乏具有很好的防范作用。

表 1 土壤肥力指标描述性统计分析

土壤肥力	样品数	变幅	均值	变异系数/%	分布类型	各养分等级百分比/%				
						极低	低	适宜	高	很高
pH 值	213	4.23~8.07	5.55±0.74	13.32	正态	2.83	87.26	6.60	3.30	0.00
有机质	213	5.12~33.47	15.57±5.94	38.17	正态	14.62	64.15	18.87	2.36	0.00
全氮	213	0.62~3.39	1.26±0.44	34.65	正态	0.00	28.77	65.09	6.14	—
全磷	213	0.34~1.50	0.55±0.18	32.63	对数正态	0.00	27.36	66.04	6.60	—
全钾	213	10.26~32.74	18.25±5.78	31.66	对数正态	0.00	7.55	50.94	41.51	—
碱解氮	213	23.10~288.30	76.78±33.18	43.21	对数正态	18.87	55.66	22.64	2.36	0.47
有效磷	213	2.00~118.58	27.82±19.05	68.48	对数正态	2.36	6.13	30.66	30.66	30.19
速效钾	213	25.7~546.77	178.52±111.23	62.31	对数正态	2.36	35.85	20.28	8.49	33.02

注:有机质、全氮、全钾的单位为 g/kg;碱解氮、有效磷、速效钾的单位为 mg/kg。

全钾含量处于适宜等级以上的则高达 92.45%;速效钾含量呈现高低分异明显,处以低级以下水平的为 38.21%,适宜和很高等级的分别为 20.28%和 33.02%,说明研究区土壤供钾能力较强,但速效钾含量存在较大比例的极低等级,说明存在较大面积的缺钾现象,应及时使用钾肥。从变异系数(CV)来看,研究主要肥力指标均属于中等变异,其中 pH 值变异系数接近弱变异,为 13.32%;有机质和全量养分指标为中等变异,变化范围为 31.66%~38.17%;速效养分指标最大,碱解氮、有效磷和速效钾变异系数分别为 43.21%,68.48%和 62.31%。pH 值变异系数小,主要受土壤母质影响,速效养分变异系数高于全量养分,可能受土地整理区表土剥离、回填不均及施

肥管理的影响。K-S 检验表明,研究区 pH 值、有机质、碱解氮均符合正态分布;全氮、全磷、全钾、有效磷、速效钾经对数转换符合正态分布。

2.2 土壤肥力指标的空间变异结构特征

利用地统计学软件 GS+9.0 的 Semivariance Analysis 模块选用不同的函数模型对土壤肥力指标进行半方差函数拟合,根据决定系数(R^2)、残差(RSS)来选择最佳的拟合模型,得到各种模型拟合的特征参数值和半方差函数图^[22]。表 2 和图 1 为拟合的土壤肥力指标最优半方差函数模型的参数值和半方差函数图。由图中可以看出,有机质和速效钾的变异函数比较符合指数模型,全钾、碱解氮用高斯模型拟合效果好,而 pH 值、全磷、全氮和有效磷则以球状模型拟合效果最佳。

表 2 土壤肥力的半方差函数理论模型及其相关参数

类型	理论模型	块金值 C_0	基台值 C_0+C	变程/ m	块金值/基台 $C_0/(C_0+C)$	决定系数 R^2	残差 RSS
pH 值	球状	0.17300	0.56900	761	0.696	0.927	0.01570
有机质	指数	0.00265	0.02740	132	0.903	0.392	0.00005
全氮	球状	0.00524	0.01618	243	0.676	0.745	0.00002
全磷	球状	0.00376	0.01362	763	0.724	0.816	0.00003
全钾	高斯	0.00026	0.02552	1003	0.998	0.989	0.00001
碱解氮	高斯	0.00519	0.02928	99	0.823	0.294	0.00013
有效磷	球状	0.03920	0.07850	478	0.501	0.506	0.00105
速效钾	指数	0.03880	0.07770	729	0.501	0.831	0.00021

由表 2 可知,邵阳金称市镇土地整理区,各肥力指标中土壤 pH 值块金值为 0.173,其他肥力指标变化为 0.000 26~0.005 19,说明在当前采样尺度范围内,各肥力指标由采样误差、短距离的变异、随机因素引起的变异小。各肥力指标的块金系数 $[C_0/(C_0+C)]$ 中,土壤有机质、全钾、碱解氮分别为 0.903,0.998,0.823,其值均大

于 0.75,空间相关性较弱^[8],其空间变异是由随机性因素作用引起的^[19]。说明土壤有机质、全钾和碱解氮受自然因素影响小,主要受人为因素即土地整理、耕作、施肥等的影响;pH 值、全氮、全磷和有效磷的块金系数 $[C_0/(C_0+C)]$ 变化范围为 0.501~0.724,在 0.25~0.75,具有中等空间相关性,其空间变异是由随机性因素和结构

性因素共同作用引起的。说明存在一定自然因素即土壤气候、母质、地形等的影响。变程表示随机变量在空间上的自相关性尺度,也称为空间最大相关距离,反映了变量空间自相关范围的大小^[23]。区内以全钾的变程最大,为1 003 m,pH 值、全氮、全磷、有效磷和速效钾的

变程相对较大,变化范围 243~761 m,说明环境因素在较大尺度上控制着其空间异质性^[24];土壤有机质和碱解氮变程较小,分别为 132 m 和 99 m,说明这 2 种肥力指标在较小尺度下具有最显著的空间变异性,空间分布特征也最为复杂,与块金系数一致。

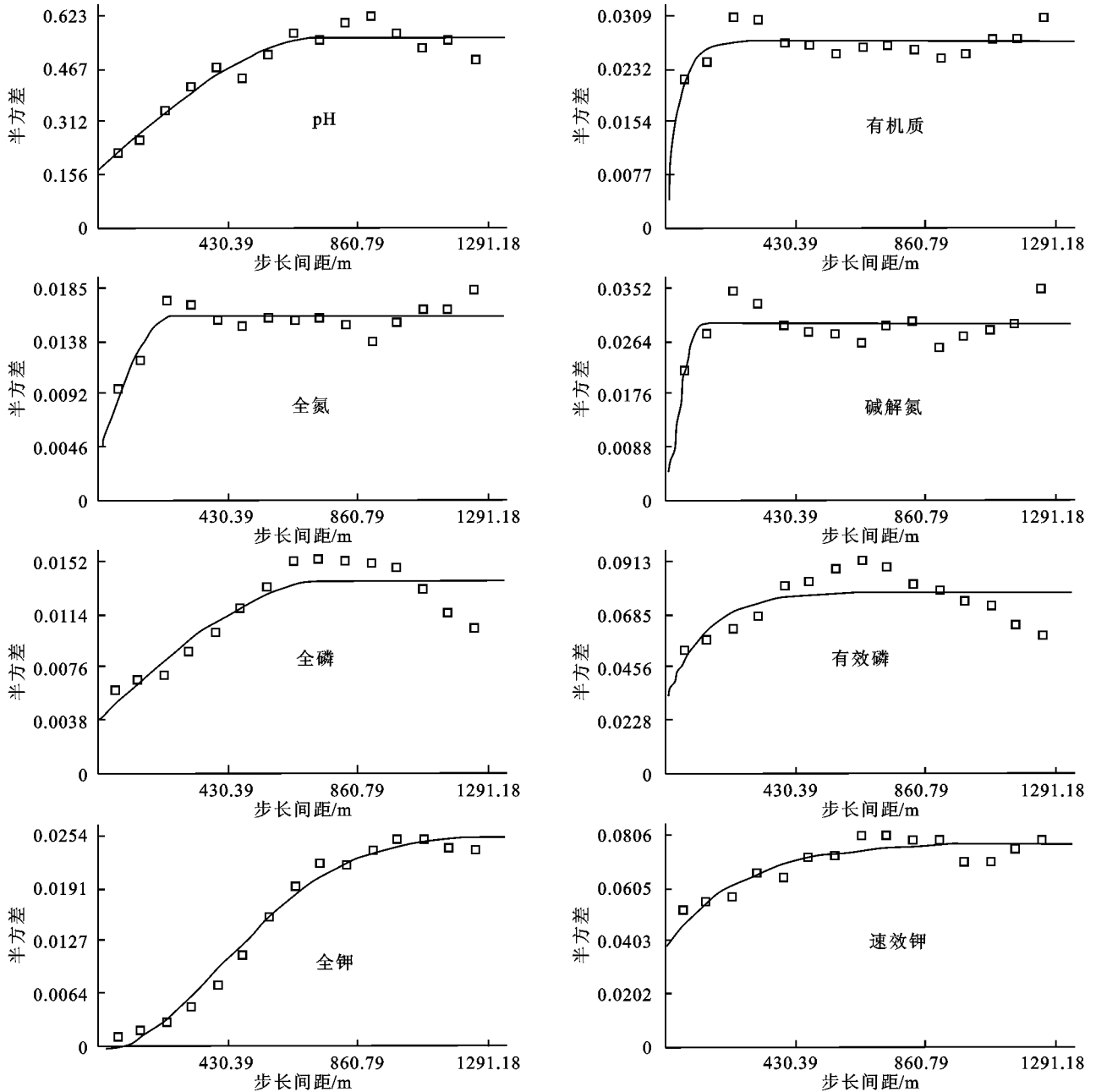


图 1 土壤肥力指标半方差函数

2.3 土壤肥力指标空间分布格局分析

依据地统计学原理,根据待测点周边范围内已测点的数据,在考虑已测点与待测点之间样点的形状、大小、空间相互位置关系及结构信息后,对待测点进行的线性无偏最优估计。在半方差函数理论模型的基础上,采用 Krging 法绘制土壤肥力指标的空间分布图。研究区土壤有机质、全氮、碱解氮等肥力指标的正态或对数正态分布保证了 Krging 空间插值的有

效性。

图 2,3 可以看出,研究区土壤 pH 值呈区域斑块状分布,通过矢量化面积统计表明,金称市镇土地整理区以 pH 值为 5.1~5.7 的土壤分布面积最大,为 93.83 hm²,占区域总面积的 65.64%;pH 值为 4.8~5.1,5.7~6.6,6.6~8.1 的土壤分布面积分别占 6.38%,26.33%和 1.64%,其中 pH 值为 6.6~8.1 的区域主要为土地整理连片未干扰区和土壤母质为

河流冲积物的区域,说明 pH 值空间分布格局受土壤母质和土地整理区域分布影响,连片未干扰区和河流

冲击物母质土壤 pH 值相对较高,连片干扰区,土壤 pH 值低,酸化作用明显。

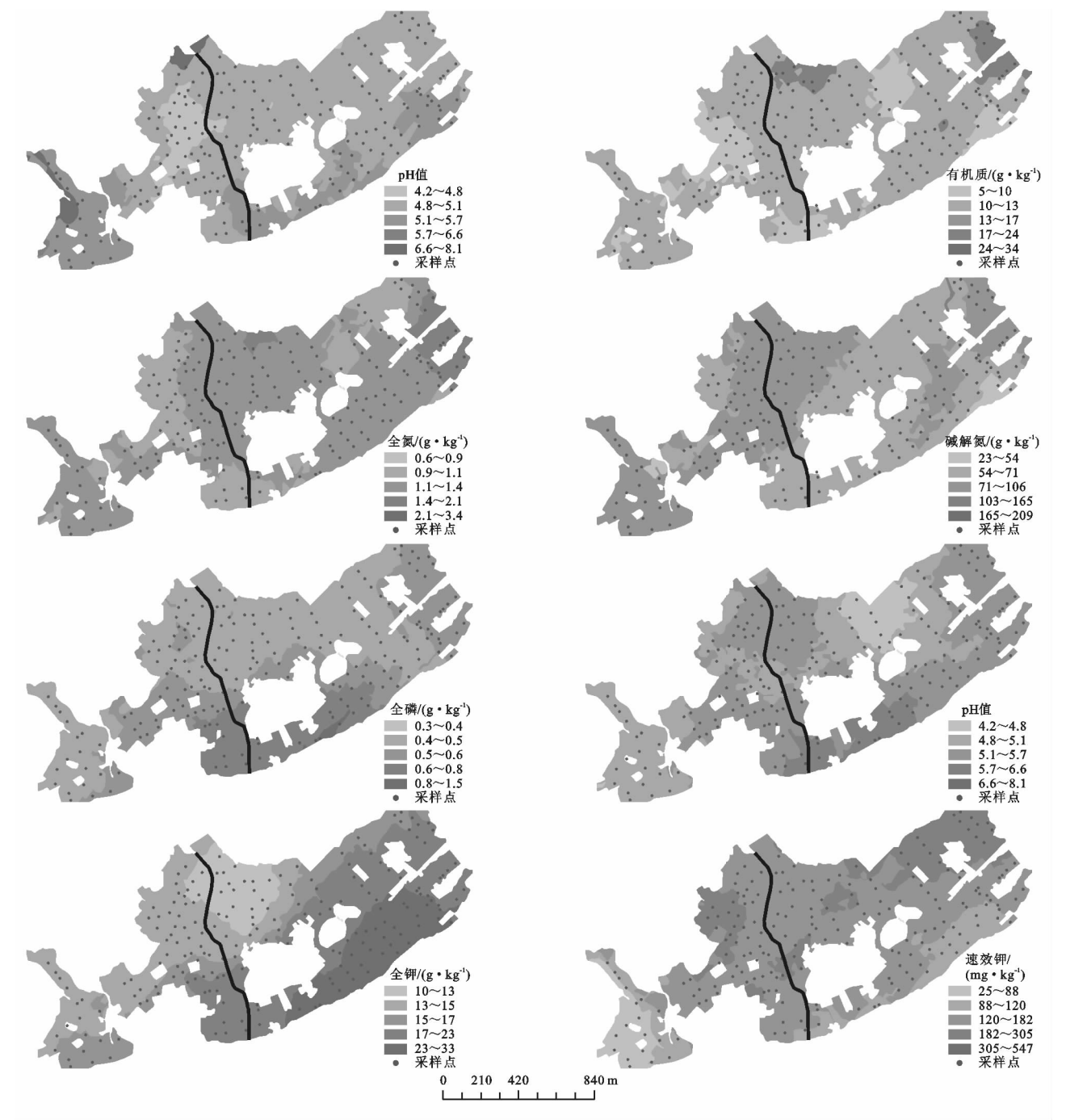


图 2 土壤肥力指标空间分布

土壤有机质含量以 13~17 g/kg 空间分布面积最大,占区域总面积的 78.34%,土壤有机质含量最低和最高值均分布在研究区四周,与土地整理强度的边际效应相关,核心区土地整理强度大,区域边际则土地整理作用强度相对小。土壤全氮以 1.1~1.4 g/kg 的分布面积最大,占区域总面积的 70.69%,与有机质呈一致的分布规律,与土壤全氮受有机质影响相关,土壤有机质含量增加,则全氮含量升高。土壤碱解氮以含量为 23~54 mg/kg 的分布面积最少,为

2.46 hm²,占区域总面积的 1.72%,54~71 mg/kg 和 71~103 mg/kg 分别占区域总面积的 48.64%和 49.64%,从西北—东南呈增加—降低—增加—降低的条带形分布格局。全磷以含量为 0.4~0.5 g/kg 的土壤分布面积最广,为 80.11 hm²,占区域总面积的 56.04%,含量为 0.8~1.5 g/kg 的土壤分布面积仅占 0.51%,含量为 0.5~0.6、0.6~0.8 g/kg 的土壤分布面积分别占 28.70%和 14.75%,分布格局除呈现东端高于西端外,核心区整体上呈现从北至南,

含量增加的梯度分布规律。有效磷以含量为 21~35 mg/kg 的土壤分布面积最大,占区域的 49.64%;其次为含量在 15~21 mg/kg 范围的土壤,占区域的 36.83%;以南端河流冲积物母质发育的土壤较高,土壤有效磷含量范围为 35~62 mg/kg,占区域总面积的 6.82%;区域整体空间分布格局与全磷较为一致,南高北低,东端高于西端。全钾含量从西北—东南逐渐升高,呈现明显的条带状分布规律,与研究区阶梯地形分布一致,说明其分布受地形影响明显;此外,

全钾含量为 23~33 g/kg 的土壤分布面积为 25.03 hm²,占区域面积的 17.51%,且土壤主要为河流冲积物母质,表明土壤母质对全钾含量也具有影响作用。土壤速效钾含量以西端土地整理未干扰的土壤和南部边缘河流冲积物母质发育的土壤含量较低;土地整理核心区速效钾含量相对较高,均处在 120~182, 182~305 mg/kg,分别占区域面积的 60.44%和 19.74%,可能是由于土地整理对土壤的破坏和翻填作用,促进了土壤中矿物钾的风化和释放的结果。

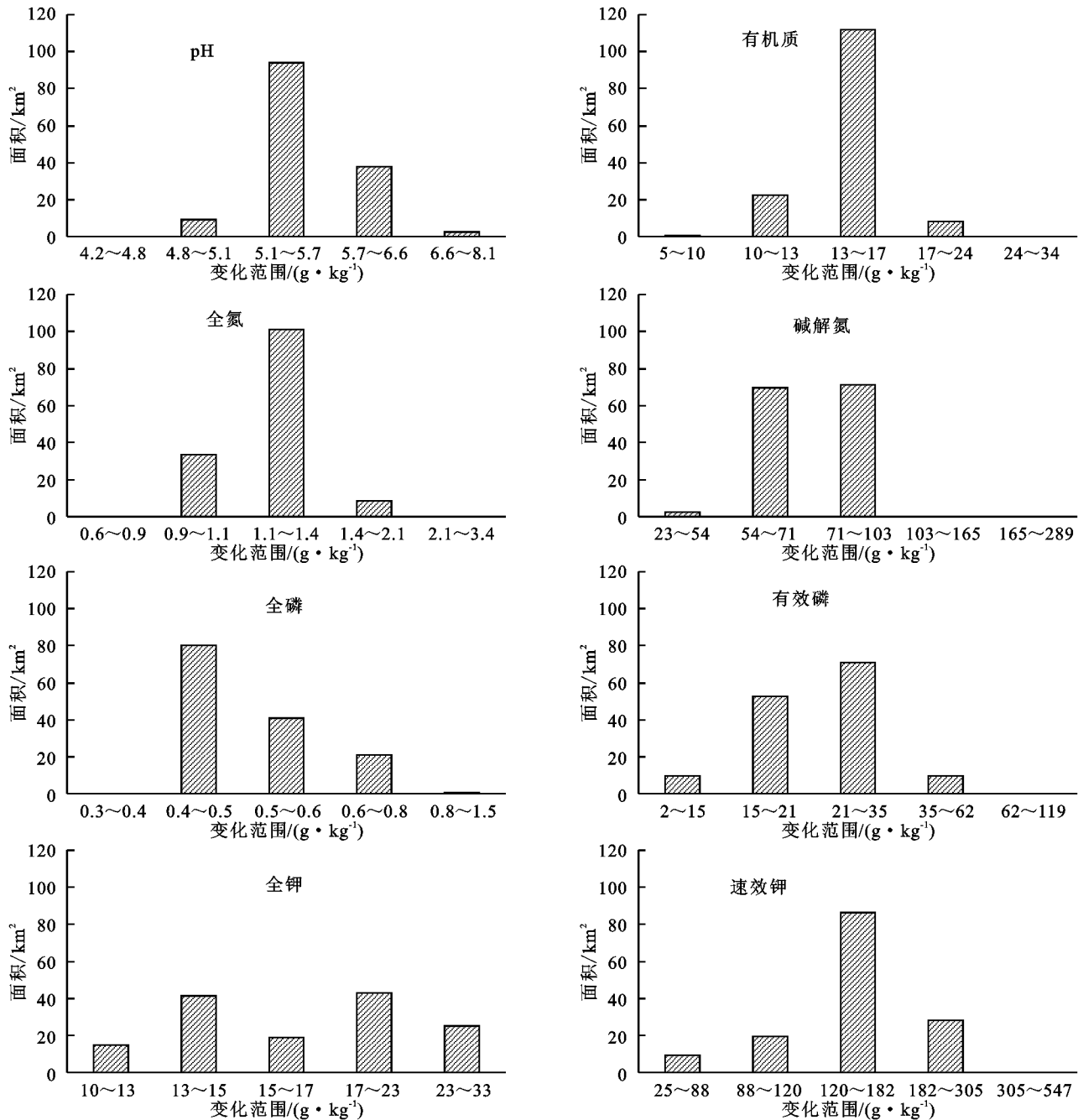


图 3 土壤肥力指标空间分布面积统计

3 结论

(1) 研究区土壤 pH 值 90.01%属于低等级以下

水平;有机质含属于适宜等级以上的仅占 21.23%;全氮高等级仅占 6.14%;碱解氮含量为低级以下的高达 74.53%,说明研究区土壤偏酸,有机质、碱解氮

含量普遍缺乏。全磷 71.23% 为适宜以上等级;有效磷适宜以上等级的达 91.51%,处于很高等级的高达 30.19%,说明研究区土壤磷丰富;全钾含量处于适宜等级以上的则高达 92.45%;速效钾含量呈现高低分异明显,存在较大比例的极低等级,说明存在较大面积的缺钾现象。在今后施肥过程中需要调节土壤酸碱性,增施有机肥,适量施用氮磷钾肥。从变异系数(CV)来看,研究主要肥力指标均属于中等变异。

(2) 有机质和速效钾的变异函数比较符合指数模型,全钾、碱解氮用高斯模型拟合效果好,而 pH 值、全磷、全氮和有效磷则以球状模型拟合效果最佳。土壤有机质、全钾、碱解氮空间相关性较弱主要受土地整理\耕作管理等人为因素影响;pH 值、全氮、全磷和有效磷具有中等的空间相关性,存在土壤母质地形等因素的影响。区内土壤有机质和碱解氮变程在较小尺度下具有最显著的空间变异性。

(3) 土壤 pH 值呈区域斑块状分布,受土壤母质及土地整理区域分布影响;土壤有机质和全氮呈一致的分布规律,与土地整理强度的边际效应相关;土壤碱解氮西北—东南呈增加—降低—增加—降低的条带形分布格局。全磷分布格局除呈现东端高于西端外,核心区整体上呈现从北至南,含量增加的梯度分布规律。有效磷以南端河流冲积物母质发育的土壤较高,南高北低,东端高于西端。全钾含量呈现明显的条带分布规律,可能受地形影响;速效钾含量以西端土地整理未干扰的土壤和南部边缘河流冲积物母质发育的土壤含量较低。

参考文献:

- [1] 杨义三. 玉溪烤烟土壤管理与施肥[M]. 昆明:云南科学技术出版社,2008.
- [2] 张杨珠,黄运湘,王翠红,等. 菜园土壤肥力特征与蔬菜硝酸盐污染的控制技术[J]. 湖南农业大学学报:自然科学版,2004,30(3):229-232.
- [3] 邱学礼,高福宏,李忠环,等. 昆明市植烟土壤肥力状况评价[J]. 中国土壤与肥料,2012(5):11-16.
- [4] 姜广辉,赵婷婷,段增强,等. 北京山区耕地质量变化及未来趋势模拟[J]. 农业工程学报,2010,26(10):304-311.
- [5] 李强,周冀衡,杨荣生,等. 曲靖植烟土壤养分空间变异及土壤肥力适宜性评价[J]. 应用生态学报,2011,22(4):950-956.
- [6] 王小艳,冯跃华,李云,等. 黔中喀斯特山区村域稻田土壤理化特性的空间变异特征及空间自相关性研究[J]. 生态学报,2014,35(9):1-14.
- [7] Iqbal J, Thomasson J A, Jenkins J N, et al. Spatial variability analysis of soil physical properties of alluvial soils[J]. Soil Science Society of America Journal, 2005, 69(4):1338-1350.
- [8] Cambardella 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 America Journal, 1994, 58(5):1501-1511.
- [9] 徐大兵,邓建强,刘冬碧,等. 整治区植烟土壤养分空间变异及肥力适宜性,等级评价[J]. 应用生态学报,2014, 25(3):790-796.
- [10] 王媛玲,赵庚星,王庆芳,等. 丘陵区土地整理对土壤理化性状的影响[J]. 农业工程学报,2011,27(9):311-315.
- [11] Zhang Q, Luo H, Yan J. Integrating biodiversity conservation into land consolidation in hilly areas: A case study in southwest China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2012,32(6):274-278.
- [12] Liu S L, Dong Y H, Li D, et al. Effects of different terrace protection measures in a sloping land consolidation project targeting soil erosion at the slope scale[J]. Ecological Engineering, 2013,53:46-53.
- [13] 刘世梁,董玉红,王军. 基于 WEPP 模型的土地整理对长期土壤侵蚀的影响[J]. 水土保持学报,2014,28(4): 18-22.
- [14] 徐畅,高明,谢德体,等. 土地整理年限对紫色丘陵区土壤质量的影响[J]. 农业工程学报,2009,25(8):242-248.
- [15] Yu G, Feng J, Che Y, et al. The identification and assessment of ecological risks for land consolidation based on the anticipation of ecosystem stabilization: A case study in Hubei Province, China[J]. Land Use Policy, 2010,27(2):293-303.
- [16] Guo B B, Jin X B, Yang X H, et al. Determining the effects of land consolidation on the multi-functionality of the cropland production system in China using a SPA-fuzzy assessment model[J]. European Journal of Agronomy, 2015,63:12-26.
- [17] 于庆涛,廖超林,刘丁林,等. 金称市镇土地整理对垦复烟田耕作层土壤主要养分含量变化的影响[J]. 湖南农业科学,2013(9):50-54.
- [18] 廖超林,黄渤,张鹏博,等. 不同有机肥对土地整理后烟田的培肥效果[J]. 土壤通报,2015,46(6):1466-1471.
- [19] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京:中国农业出版社,2005.
- [20] 李龙,姚云峰,秦富仓. 黄花甸子流域土壤全氮、速效磷、速效钾的空间变异[J]. 生态学杂志,2015,34(2):373-379.
- [21] 罗建新,石丽红,龙世平. 湖南主产烟区土壤养分状况与评价[J]. 湖南农业大学学报:自然科学版,2005,31(4):376-380.
- [22] 王政权. 地统计学及其在生态学中的应用[M]. 北京:科学出版社,1999:135-149.
- [23] 杨美玲,王雪梅,罗梦媛. 基于 GIS 的库车县耕层土壤养分空间变异研究[J]. 水土保持研究,2015,22(1):61-65.
- [24] 张伟,刘淑娟,叶莹莹,等. 典型喀斯特林地土壤养分空间变异的影响因素[J]. 农业工程学报,2013,19(1):93-99.