

基于地统计学和 GIS 的喀斯特烟田 土壤肥力综合评价 ——以贵州省毕节地区为例

腊贵晓¹, 刘国顺^{1*}, 曹 杰², 李祖良¹, 翟 欣³

(1. 河南农业大学 烟草学院, 国家烟草栽培生理生化研究基地, 河南 郑州 450002;

2. 浙江省烟草公司 绍兴市公司, 浙江 绍兴 312000; 3. 贵州省烟草公司 毕节地区公司, 贵州 毕节 551700)

摘要: 以贵州省典型的喀斯特地区——毕节地区为研究区域, 利用地统计学和 GIS 相结合的方法, 对烟田土壤肥力进行综合评价。在确定评价因子隶属函数和权重的基础上, 建立土壤肥力综合评价指标 (*IFI*)。通过对土壤肥力综合评价指标进行半方差函数分析和普通克里格法 (Kriging) 最优内插, 绘制了毕节地区烟田土壤肥力综合评价指标的空间分布图。描述性统计结果表明, 毕节地区烟田土壤肥力综合评价指标值为 0.35~0.92, 变异系数为 14.25%。半方差函数分析表明, 毕节地区烟田土壤肥力综合评价指数的最适模型是指数模型; 块基比为 30%, 表明具有中度空间相关性; 烟田土壤肥力综合评价指数在空间分布上总体呈从内到外递减的趋势, 其中以 0.63~0.72 和 0.72~0.92 范围内的面积较大, 分别占到总面积的 68.20% 和 20.63%。由此表明, 该研究区域大部分土壤肥力状况良好。

关键词: 毕节地区; 烟田; 土壤肥力; 综合评价; 地统计学; 空间变异

中图分类号: S158 文献标志码: A 文章编号: 1004-3268(2012)04-0063-06

Comprehensive Evaluation of Soil Fertility in Karst Tobacco-growing Regions Using Geostatistics and GIS ——A Case Study in Bijie of Guizhou Province

LA Gui-xiao¹, LIU Guo-shun^{1*}, CAO Jie², LI Zu-liang¹, ZHAI Xin³

(1. National Tobacco Cultivation, Physiology and Bio-chemistry Research Center, College of

Tobacco Science, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China; 2. Shaoxing Branch of Zhejiang

Tobacco Company, Shaoxing 312000, China; 3. Bijie Branch of Guizhou Tobacco Company, Bijie 551700, China)

Abstract: Based on the method of geostatistics and GIS, the soil fertility comprehensive evaluation of karst tobacco-growing areas in Bijie of Guizhou province was conducted. Soil integrated fertility index (*IFI*) was obtained based on establishment of membership function and weight of each evaluation factor. According to the semi-variance analysis and Kriging methods, the spatial distribution map of *IFI* in Bijie tobacco-growing regions was drawn. Descriptive statistics indicated that *IFI* in Bijie tobacco-growing regions ranged from 0.35 to 0.92, and the coefficient of variation was 14.25%. By the semi-variance analysis, the theoretical semi-variogram model of *IFI* matched well exponential model. By analysis of nugget to sill ratio, *IFI* had moderate spatial correlation, the variation of which resulted from a co-working of the structural factors and random factors. By Kriging interpolation, *IFI* in tobacco-growing regions decreased spatially from internal to external

收稿日期: 2011-10-09

基金项目: 国家烟草专卖局科技项目 (30800076)

作者简介: 腊贵晓 (1981-), 男, 河南淅川人, 助教, 博士, 主要从事地理信息系统研究。E-mail: zju-l@163.com

* 通讯作者: 刘国顺 (1954-), 男, 河南叶县人, 教授, 博士生导师, 主要从事烟草栽培及生理生化研究。

E-mail: liugsh1851@163.com

Bijie area. The proportion of tobacco-growing regions with *IFI* of 0.63–0.72 and 0.72–0.92 accounted for 68.20% and 20.63% of Bijie area, respectively, which indicated that the soil fertility of Bijie tobacco-growing regions belonged to high level.

Key words: Bijie; tobacco-growing regions; soil fertility; comprehensive evaluation; geostatistics; spatial variability

喀斯特地貌是地球上最脆弱的生态系统之一,其面积约占全球陆地总面积的 15%^[1]。喀斯特地貌广泛分布于我国西南部,该地区人地矛盾突出、生态系统脆弱,由于其复杂的地形地貌,土壤养分状况复杂^[2];同时,该地区也是我国重要的烤烟种植区,烤烟种植对当地的经济的发展起到非常重要的作用^[3]。烤烟施肥是否合理是影响喀斯特地区农业发展、农业面源污染控制、生态环境保护及恢复的关键问题之一^[4]。土壤肥力是土壤重要的生态功能之一,是精准施肥的基础,综合评价土壤肥力状况对于喀斯特地区科学施肥、脆弱生态系统的重建具有十分重要的意义。

利用 GIS 与地统计学相结合的方法是当前揭示土壤属性变量在空间分布、变异的最有效的方法之一^[5-6],这种方法弥补了以概率论为基础的经典统计分析方法在结构和过程分析方面的不足,能够有效地解释养分的空间分布格局对生态过程和功能的影响。近几年,国内外学者采用这种方法对土壤的空间异质性特征进行了大量的研究^[7-9],但是利用这种方法对土壤肥力进行综合评价的系统研究较少,尤其是喀斯特地区的烟田土壤。为此,以我国典型的喀斯特地区——贵州省毕节地区为例,在采用模糊数学隶属度函数确定烟田土壤肥力综合评价指标的基础上,采用地统计学方法对土壤肥力综合评价指标的空间分布格局进行分析,以期为区域烟田的合理施肥、烟田可持续利用及喀斯特地貌的生态环境保护提供科学依据,还可为其他类似地区提供一定的借鉴作用。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

毕节地区位于贵州省西北部,地处东经 103°36′~106°43′、北纬 26°21′~27°46′,属低纬高海拔山区,喀斯特地形地貌呈三级分布,境内海拔落差较大(457~2 300 m),地势西高东低。大部分地区属亚热带湿润气候,立体气候明显。夏无酷暑,冬无严寒,各地多年平均日照时数为 1 101.8~1 780.2 h,年平均气温为 10.5~15.0℃,有效积温为 2 544.6~4 617.1℃;雨量充沛,年平均降水量为 848.6~1 394.4 mm,月变率大,70%左右的降水量集中在 5—9 月;无霜期 205~297 d。烤烟种植面积每年保

持在 4.5 万~6.0 万 hm²,生产、加工烟叶 9 000~10 000 万 kg。所产烟叶颜色以正黄、金黄为主,烟叶光泽较强,叶片结构多为稍疏,油份较多。烟叶香型较齐全,以中间香型为代表,有一定比例的中偏清、中偏浓、清香型和浓香型,香气质好,香气量足,余味舒适干净,劲头适中,燃烧性良好。

1.2 土壤样品采集

采样地点为毕节烟区的织金、黔西、纳雍、金沙、赫章、大方、毕节和威宁等 8 个烤烟种植县(市),取样时期在烤烟收获后进行。土壤样品采集深度为 0~20 cm,每个采样地块取 8~10 个样点,混匀后,风干、磨碎、过筛后待测定。根据烟田地形地貌、成土条件、面积,共采集了 298 个土样样品,采样点均采用 GPS 定位。

1.3 测定项目及方法

土壤 pH 值采用 pH 计法测定(水土质量比为 2.5:1);有机质含量采用重铬酸钾—外加热法测定;全氮含量采用凯氏定氮法测定;全磷采用 NaOH 熔融—钼锑抗比色法测定;全钾含量采用 NaOH 熔融—火焰光度法测定;碱解氮含量采用碱解—扩散法测定;速效磷含量采用 0.5 mol/L NaHCO₃ 浸提—钼锑抗比色法测定;速效钾含量采用 NH₄AC 浸提—火焰光度法测定^[10]。

1.4 土壤肥力综合评价方法

采用模糊(Fuzzy)综合评价法对土壤肥力进行数值化综合评价^[11]。

1.4.1 土壤肥力各指标的隶属函数选择 常用的隶属度函数有 2 类,分别是 S 型隶属度函数(1)和抛物线型隶属度函数(2)^[12]。根据各项土壤肥力指标对烟草生长及烟叶品质的重要性来确定各自所属的隶属度函数。

(1) S 型隶属度函数

$$f(x) = \begin{cases} 0 & x < x_1 \\ 0.9(x-x_1)/(x_2-x_1) + 0.1 & x_1 \leq x < x_2 \\ 1 & x \geq x_2 \end{cases}。$$

(2) 抛物线型隶属度函数

$$f(x) = \begin{cases} 0 & x \leq x_1 \text{ 或 } x \geq x_4 \\ 0.9(x-x_1)/(x_2-x_1) + 0.1 & x_1 \leq x < x_2 \\ 1.0 & x_2 \leq x < x_3 \\ 1.0 - 0.9(x-x_3)/(x_4-x_3) & x_3 \leq x < x_4 \end{cases}。$$

综合考虑烟田土壤中养分的实际含量和专家的经验^[13],土壤肥力指标中全氮、全磷、全钾、碱解氮、速效磷、速效钾隶属度函数采用 S 型函数,有机质和 pH 值的隶属度函数采用抛物线型隶属度函数。各评价指标的隶属度函数及阈值见表 1。

表 1 烟田土壤肥力评价指标隶属度函数类型及阈值

指标	下限 x_1	最优值 1(x_2)	最优值 2(x_3)	上限 x_4	隶属度函数类型
全氮/(g/kg)	0.80	1.50	—	—	S 型
全磷/(g/kg)	0.20	1.00	—	—	S 型
全钾/(g/kg)	6.00	25.00	—	—	S 型
碱解氮/(mg/kg)	30.00	100.00	—	—	S 型
速效磷/(mg/kg)	5.00	15.00	—	—	S 型
速效钾/(mg/kg)	50.00	200.00	—	—	S 型
pH	5.00	5.50	7.00	8.50	抛物线型
有机质/(g/kg)	8.00	14.00	16.00	30.00	抛物线型

1.5 地统计分析

采用 SPSS 16.0 对土壤肥力综合评价指标进行异常值及正态分布检验,通过对数转化或异常值替代,将数据的分布类型转换为正态分布或接近正态分布,满足半方差分析的要求。采用 GS+7.0 软件对经过检验的数据进行半变异函数拟合,得到土壤肥力综合评价指标半方差函数的理论模型及相关参数。利用 ArcGIS 9.1 软件、普通克里格法(Kriging)对土壤肥力综合评价指标进行最优、无偏 Kriging 插值,得到土壤肥力综合评价指标的空间变异图。

2 结果与分析

2.1 烟田土壤肥力各指标描述性统计结果

由表 2 可知,研究区内土壤肥力各指标变异系数为 27.78%~71.72%,离散度比较大,分布很不均匀。其中速效磷的变幅最大,含量在 1.54~80.51 mg/kg,最大值是最小值的 52.28 倍,而有机质的变幅最小,含量为 10.63~73.45 mg/kg。土壤

1.4.2 土壤肥力综合评价指标的计算 根据模糊数学中的加法原则,土壤肥力综合评价指标(integrated fertility index, IFI)采用下面公式计算: $IFI = \sum W_i \times N_i$,式中 W_i 和 N_i 分别为第 i 种评价指标的权重系数和隶属度值。

的 pH 值大小对植物和土壤微生物的生长发育及土壤养分的有效性影响很大,是衡量植烟土壤适宜性的重要指标之一。研究认为,pH 值为 5.5~7.0 的土壤上能生产出优质烤烟,pH 值过高时烟叶杂气、刺激性、香气等抽吸品质都会降低^[14]。尽管毕节地区植烟土壤中平均 pH 值为 6.77,处于十分适宜的范围内,但仍有部分的样品过酸或者过碱,在生产上对于这部分土地还要适当通过使用生石灰或者生物有机肥进行调节。土壤有机质含量是土壤肥力的主要标志。它既是土壤养分的供应者,又是土壤养分的保持者,而且还对土壤结构、微生物活动及吸收性能产生深刻的影响。对于烤烟而言,土壤中有有机质过高,烤烟后期贪青晚熟,不易落黄,烤后烟叶组织僵硬,工业可用性低,但有机质含量过低,则烤烟香气量不足。研究认为,烟田有机质最高不易超过 30 g/kg,最低不能低于 8 g/kg^[15]。本研究中,毕节地区烟田的有机质平均含量比较适宜,但仍有部分土壤中有有机质含量过高,应在烟草种植中对这部分土地适当控制有机肥的施用,以提高烤烟品质。

表 2 毕节地区烟田土壤养分含量的统计结果

指标	最大值	最小值	中值	平均值	标准差	变异系数/%
全氮/(g/kg)	7.49	0.99	2.20	2.24	0.62	27.78
全磷/(g/kg)	2.46	0.29	0.82	0.88	0.37	41.83
全钾/(g/kg)	50.19	3.85	15.49	16.67	7.90	47.36
碱解氮/(mg/kg)	169.79	7.18	26.35	33.07	23.72	71.72
速效磷/(mg/kg)	80.51	1.54	18.10	21.85	14.28	65.35
速效钾/(mg/kg)	500.85	13.96	193.82	203.42	84.42	41.50
pH	9.29	4.46	6.56	6.77	3.45	50.97
有机质/(g/kg)	73.45	10.63	26.48	28.07	9.27	33.04

根据表 3 中第 2 次土壤普查土壤养分分级标准^[16]来看,土壤中全氮、速效钾、平均含量及平均 pH 值超过一级标准,速效磷、全钾、有机质的平均含量在一级到三级标准之间,而全磷和碱解氮的平

均含量在三级到五级标准之间。根据烤烟的需肥特点来看,土壤各养分指标存在着一定的不平衡,即全磷、碱解氮的含量偏低,在烟草种植中应适当通过肥料养分的配方来调节土壤中养分的平衡。

表 3 土壤养分的评价标准

等级	全氮/ (g/kg)	全磷/ (g/kg)	全钾/ (g/kg)	碱解氮/ (mg/kg)	速效磷/ (mg/kg)	速效钾/ (mg/kg)	pH	有机质/ (g/kg)
一	2.00	2.00	25.00	150.00	40.00	200.00	6.00	40.00
二	1.50	1.50	20.00	120.00	20.00	150.00	5.50	30.00
三	1.00	1.00	15.00	90.00	10.00	100.00	5.00	20.00
四	0.70	0.70	10.00	60.00	5.00	50.00	4.50	10.00
五	0.50	0.40	5.00	30.00	3.00	30.00	4.00	6.00

2.2 烟田土壤肥力综合评价指标分析

2.2.1 烟田土壤肥力指标权重值的确定 评价指标权重表征单项肥力指标对土壤肥力综合评价的影响程度或者贡献率,体现了各指标在土壤肥力中作用或地位的不同。如何确定各单项肥力指标的权重是土壤肥力综合评价的关键问题。目前,确定土壤肥力各指标权重值的方法主要有专家经验打分法、指标相关系数法、主因子分析法、层次分析法或回归

分析法^[17]。本研究按照吕晓男等^[18]研究提出的指标相关系数法来确定权重系数,即通过计算某项肥力指标与其他养分指标间相关系数的平均值占有指标相关系数平均值的综合比例作为该养分指标的权重系数。毕节地区烟田土壤肥力指标的相关系数平均值及权重系数见表 4。从表 4 可以看出,有机质、全氮、全磷、速效磷之间的权重值差异不大,高于全钾、pH 值、碱解氮、速效钾的权重值。

表 4 毕节地区烟田土壤肥力指标的相关系数平均值和权重

指标	全氮	全磷	全钾	碱解氮	速效磷	速效钾	pH	有机质
相关系数平均数	0.20	0.24	0.12	0.16	0.22	0.15	0.12	0.23
权重值/%	14.05	16.81	8.33	11.01	15.55	10.17	8.28	15.80

2.2.2 烟田土壤肥力综合评价指标的计算及分析

在计算出土壤各评价指标的隶属度函数值和权重值后,可计算出土壤肥力综合评价指标(*IFI*)。土壤肥力综合评价指标值的取值范围为 0~1,值越大,表明该土壤的土壤肥力水平越高。经计算,研究区土壤的

IFI 在 0.35~0.92,平均值为 0.68,标准差为 0.10,变异系数为 14.25%。毕节地区所取土壤样品按照 *IFI* 值从小到大排序绘制而成的变化曲线见图 1。由图 1 可以看出,大部分土壤样品的 *IFI* 在 0.60~0.85,这表明所取土壤样品的土壤肥力状况良好。

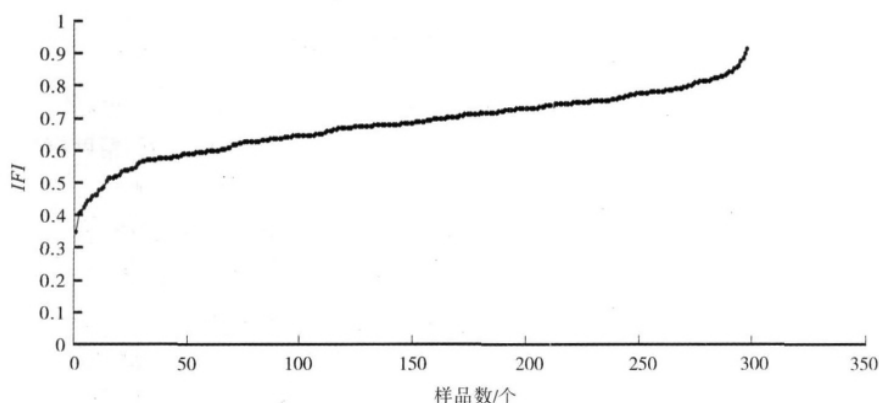


图 1 毕节地区烟田土壤肥力指标值积累频率的分布(F)

2.3 烟田土壤肥力综合评价指标的空间变异

用 GS+7.0 对毕节地区 289 个烟田土壤样品的 *IFI* 做半方差分析,结果表明,毕节地区烟田 *IFI*

的最佳拟合模型为指数模型,块金值/基台值 $[C_0/(C_0+C)]$ 为 30%。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变异占系统总变异

的比例,该比值 $<25\%$,表明结构性因素引起的空间变异起主要作用;该比值在 $25\%\sim75\%$,表明结构性因素和随机性因素共同起主要作用;该比值 $>75\%$,则说明随机部分在引起空间异质性程度中起主要作用^[19]。毕节地区烟田IFI块金值/基台值 $[C_0/(C_0+C)]$ 介于 $25\%\sim75\%$,具有中等程度的空间相关性,这表明毕节地区烟田土壤肥力分布由结构性因素和随机性因素共同作用的结果。结构性因素,如土壤母质、气候、土壤类型、地形等自然因素可以导致土壤肥力存在强的空间相关性;而随机性因素,如耕作、施肥、工业污染等人为活动使得土壤养分的空间相关性减弱,朝均一化方向发展^[20]。为更直观地了解研究区域土壤肥力的空间分布特征,利用ArcGIS 9.1软件中的geostatistical analysis功能模块,采用普通克里格法(Kriging)对毕节地区烟田IFI进行插值,绘制毕节地区烟田IFI空间分布图(图2)。由图2可以看出,毕节地区IFI总体上呈

从内到外递减的趋势。毕节地区烟田土壤肥力高($0.72<IFI<0.92$)的地方主要分布在西南部分和中东部,中低肥力($0.55<IFI<0.63$)和低肥力($0.35<IFI<0.55$)除在区域西部有斑点分布外,主要都分布在毕节地区的外围。为了更科学、精确地反映毕节地区烟田土壤肥力状况,以便更准确地为农业生产、环境管理和决策提供参考和服务,利用ArcGIS 9.1软件的空间分析(spatial analyst)模块对各不同等级烟田土壤肥力水平的土地面积进行提取。结果表明,烟田土壤肥力在 $0.63<IFI<0.72$ 的地区范围最大,面积达到 $1\,830\,945.31\text{ hm}^2$,占到毕节地区总面积的 68.20% ,其次为土壤肥力在 $0.72<IFI<0.92$ 的地区,面积达到 $553\,944.18\text{ hm}^2$,占总面积的 20.63% ,再次为土壤肥力在 $0.55<IFI<0.63$ 的地区,面积达到 $299\,398.64\text{ hm}^2$,占总面积的 11.15% ,最小的为土壤肥力在 $0.35<IFI<0.55$ 的地区,面积为 211.88 hm^2 ,仅占毕节地区总面积的 0.01% 。

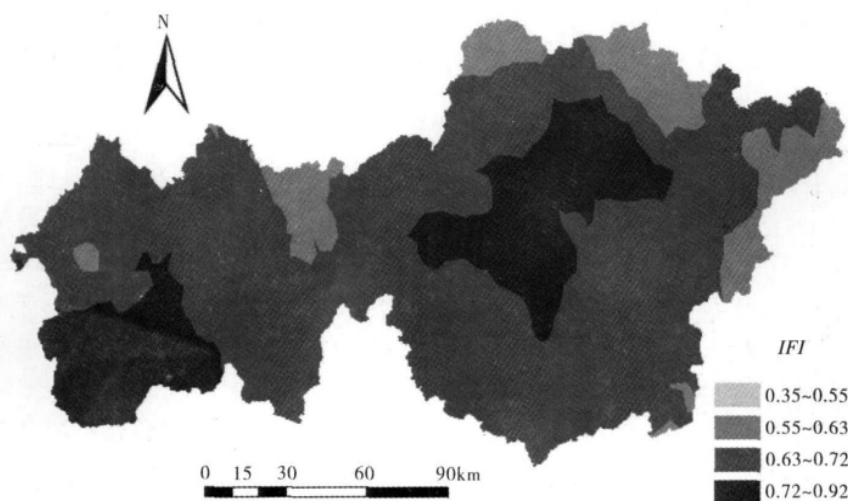


图2 毕节地区烟田土壤肥力综合评价指数空间分布

3 讨论

土壤环境是一个非常复杂的生态体系,因此,在土壤肥力综合评价的标准化和矢量化过程中,评价指标的选择是评价的关键,由于目前没有统一的标准,这对土壤肥力综合评价指标的普适性带来一定的难度。因此,在土壤肥力综合评价过程中评价因子的选择应尽量遵循稳定性原则、主导性原则、差异性原则及定量化原则,减少片面选择或者主观因素对评价结果造成的影响^[21]。同时,本研究对烟田土壤肥力各评价指标的权重的确定是按照指标相关系数法,该种方法是采用实际测定的数据来统计分析,

这在一定程度上减少了评价者主观人为因素的影响,但是由于受数据本身的精度影响较大,如能将其与专家库相结合,权重的确定将更符合实际。

根据土壤肥力综合评价得出的结果仅代表毕节地区烤烟种植区内潜在的生产能力,尤其对于喀斯特地区而言,生态环境复杂,呈现“一山分四季,十里不同天”的复杂气候类型及“地无三尺平”的复杂地貌条件,应该根据当地的生产实际情况,将气候、地貌、施肥习惯等因素综合加以分析,才能全面评估土壤的实际生产力^[22]。

利用GIS和地统计学结合的方法能更直观、全面地了解毕节地区植烟土壤综合肥力状况。从土壤

肥力综合评价指数的空间分布来看,毕节地区大部分植烟土壤的肥力状况良好,低土壤肥力($0.35 < IFI < 0.55$)烟田面积仅占总面积的 0.01%;同时,土壤肥力综合肥力存在着中度的空间相关性,受自然因素和人为因素的双重影响。因此,在以后的烤烟栽培中,应根据当地的生态特点和土壤肥力状况,适当控制肥料的过量投入,避免肥料过剩造成肥料利用率的下降和因表面径流、下渗等对脆弱的喀斯特地貌生态环境造成难以修复的污染。

参考文献:

- [1] Lang Y C, Liu C Q, Zhao Z Q, *et al.* Geochemistry of surface and ground water in Guiyang, China: Water/rock interaction and pollution in a karst hydrological system[J]. *Applied Geochemistry*, 2006, 21(6): 887-903.
- [2] 罗绪强,王世杰,刘秀明.喀斯特石漠化过程中土壤营养元素含量变化特征[J]. *矿物岩石地球化学通报*, 2008, 27(增刊): 489-490.
- [3] 李洪勋,唐远驹.毕节地区烤烟化学成分分析[J]. *河南农业科学*, 2007(1): 52-54.
- [4] 赵文田,刘海轮,吕家珑,等.陕西陇县烤烟种植区土壤养分的测定与肥力综合评价[J]. *西北农林科技大学学报:自然科学版*, 2009, 37(9): 123-128.
- [5] 史舟,李艳.地统计学在土壤学中的应用[M].北京:中国农业出版社,2006.
- [6] 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.
- [7] 朱静,黄标,孙维侠,等.长江三角洲典型地区农田土壤有机质的时空变异特征及其影响因素[J]. *土壤*, 2006, 38(2): 158-165.
- [8] Chien Y J, Lee D Y, Guo H Y, *et al.* Geostatistical analysis of soil properties of mid-west Taiwan soils [J]. *Soil Science*, 1997, 162(4): 291-298.
- [9] Röver M, Kaiser E A. Spatial heterogeneity within the plough layer low and moderate variability of soil properties[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1999, 31(2): 175-187.
- [10] 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.
- [11] 颜雄,张杨珠,刘晶.土壤肥力质量评价的研究进展[J]. *湖南农业科学*, 2008(5): 82-85.
- [12] 王子龙,付强,姜秋香.土壤肥力综合评价研究进展[J]. *农业系统科学与综合研究*, 2007, 21(3): 15-18.
- [13] 李晓宁,高明,王子芳.重庆市植烟土壤肥力数值化综合评价[J]. *西南农业学报*, 2007, 20(1): 67-71.
- [14] 石俊雄,秦松,熊德勇.贵州不同区域尺度植烟土壤养分特征及其养分管理初探[J]. *西南农业学报*, 2008, 21(3): 709-713.
- [15] 刘国顺.烟草栽培学[M].北京:中国农业出版社,2003.
- [16] 全国土壤普查办公室.第二次全国土壤普查技术规程[M].北京:中国农业出版社,1979.
- [17] 郑立臣,宇万太,马强,等.农田土壤肥力综合评价研究进展[J]. *生态学杂志*, 2004, 23(5): 156-161.
- [18] 吕晓男,陆允甫,王人潮.土壤肥力综合评价初步研究[J]. *浙江大学学报:农业与生命科学版*, 1999, 25(4): 378-383.
- [19] 施加春.浙北环太湖平原不同尺度土壤重金属污染评价与管理信息系统构建[D].杭州:浙江大学,2006.
- [20] 陈晶中.基于GIS的北京周边地区土壤环境质量空间变异研究[D].南京:中国科学院南京土壤研究所,2003.
- [21] 陈海生,魏跃伟,刘国顺,等.基于GIS的平顶山烟区土壤肥力适宜性研究[J]. *河南农业大学学报*, 2008, 42(5): 545-549.
- [22] 彭志良,赵泽英,李中元,等.喀斯特山区村级尺度下农田土壤养分空间变异特性[J]. *贵州农业科学*, 2008, 36(5): 81-84.