

河南襄城植烟田土壤肥力空间变异性 与适宜性综合评价

陈海生^{1,2}, 裴孝钟², 魏跃伟¹, 刘国顺^{1*}

(1. 河南农业大学国家烟草栽培生理生化研究基地, 河南 郑州 450002; 2. 浙江同济科技职业学院, 浙江 杭州 311233)

摘 要: 采用统计学与地统计学相结合的方法, 结合 GIS 技术, 对河南省襄城县植烟田耕层(0~20 cm) 159 个土壤样本进行了数据处理, 分析了土壤有机质、pH、速效氮、有效磷和速效钾含量的空间分布特征, 结果表明: 土壤 pH 的变异系数最小, 而有效磷由于不同的耕作措施和不均衡施肥, 其变异系数最大。半方差分析表明, 土壤有机质、pH 和有效磷符合球状模型, 最大相关间距分别为 21 020、19 150 和 8 460 m, 而有效氮和速效钾符合指数模型。最大相关间距分别为 7 484 和 25 320 m, 土壤 pH 的 $C_0/sill$ 为 0.193 5, 具有强烈的空间自相关性, 而其他四种土壤肥力因子的 $C_0/sill$ 为 0.352 8~0.526 0, 为中等强度的空间自相关性。并采用 Kriging 方法进行最优内插, 绘制了襄城植烟田各土壤肥力因子含量的空间分布图。建立了烤烟土壤肥力适宜性评价指标体系, 运用模糊数学和层次分析法对土壤肥力水平进行了综合评价、分级。采用地理信息系统软件 mapGIS 绘制襄城县烤烟种植区土壤肥力状况图。结果表明, 烟草种植区土壤肥力适宜性水平存在着相当程度的差异, 表现出明显的空间异质性。土壤肥力适宜性最高的地区位于研究区的东南部, 占研究区总面积 5.02%; 适宜性为适宜的位于研究区的北部和中南部, 占研究区总面积的 80.15%; 而次适宜的植烟田横穿于研究区的中部, 占研究区总面积的 14.28%。

关键词: 地统计学; 空间变异性; 烤烟; 土壤肥力因子; 权重

中图分类号: S158

文献标识码: A

土壤的肥力具有时间和空间的连续性和变异性特征, 这种变化取决于各种内在的结构因子(如土壤形成因子, 包括土壤母质、地形等) 和外在的随机因子(如土壤耕作措施, 包括施肥、灌溉和作物轮作等) 的综合作用^[1]。地统计学已经被证明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^[2]。随着地理信息系统(GIS) 的广泛应用, 利用地统计学并结合 GIS 技术来研究土壤性质的空间变异, 已成为目前相关领域的研究热点之一。在县域范围内了解土壤特性的空间变异, 对于科学合理地制定农田施肥方案, 提高养分资源利用率, 使其对环境产生较小影响的同时增加产量、提高质量, 促进变量施肥技术的发展, 实现精确施肥都具有重要意

义^[3]。

土壤空间变异性的研究始于 1970 年代, 其理论依据是地统计学中的区域化随机变量理论^[4]。已有的大量的介绍和研究工作, 大都停留在对土壤空间变异性的定性描述上^[5]。1970 年代后期地统计学的理论和方法应用于土壤调查、制图和土壤空间变异性研究, 到 1980 年代成为土壤科学研究的重要内容, 并开始由定性描述转向定量研究, 同时还引进了 Kriging、Cokriging Punctual 等内插技术, 并用于土壤制图。1990 年代以来, 基于 GIS 技术的发展, 使得土壤空间变异性研究变得更加广泛和深入, 如 Cambardella 等^[6]报道了田间尺度水平土壤养分的时空变异性, 认为不同的土壤养分, 其空间变异模式

收稿日期(Received date): 2010-09-10; 改回日期(Accepted): 2011-03-01。

基金项目(Foundation item): 国家烟草专卖局重点资助项目(合同号 110200401021)。[Supported by the Major Project of the National Tobacco Monopoly Bureau, China(110200401021).]

作者简介(Biography): 陈海生(1965-), 男, 浙江临海人, 博士后, 副教授, 主要从事地理信息系统研究。[Chen Haisheng(1965-), Male, Born in Linhai, Zhejiang, Post-doctoral, Associate-professor, majors in Geographic information system.] E-mail: haishch@126.com

* 通讯作者(Corresponding author) E-mail: liugsh1851@163.com

有明显的差异,而且空间相关程度不同; Megraw^[7]研究了明尼苏达河谷流域农田土壤磷、钾、锌的空间变异特征,认为传统的测土施肥方法忽视土壤养分空间变异特征,因而不是经济的和有利于环境保护的方法; Tsegaye 等^[8]研究发现,精耕细作可在一定程度上消除土壤养分空间变异性,但植物生长对养分的不等量吸收可导致土壤养分空间变异的加剧。刘杏梅等^[9]利用第二次土壤普查的 617 个样点,对浙江平湖市 540 km² 面积土壤养分空间变异特征的分析表明,土壤全氮和速效磷块金系数 < 25%, 认为他们主要受到母质、土壤类型等自然因素的影响,而速效钾块金系数为 50%, 认为他主要受施肥等随机因素影响。张庆利等^[10]采集 42 个土样,江苏金坛市 967 km² 面积上土壤肥力指标的空间分布,根据空间变量块金系数大小,认为速效磷空间变异受随机因素影响最大,其次为全氮、有机质、速效钾和 CEC。郭熙等^[11]以江西泰和县苏溪镇苏溪村 120 hm² 耕地为研究区域,按照网格法采集 421 个样,对土壤养分空间变异进行研究,结果表明钾、磷、锰、有机质、硫块金系数大,认为他们主要受随机因素影响;而钙、镁、铁、硼块金系数小,认为自然因素对他们空间变异的影响大。关于县域范围内植烟田土壤肥力的空间异质性研究却不多见。

河南省襄城县早在明朝万历年间,就开始种植晒烟,清朝乾隆五年县志记载:“独烟、蒜、石器有名声,流传千百里外,与他地差别耳”。1913 年英美烟草公司在襄城试种了 2 hm² 烤烟成功,其烟叶被选送到美国旧金山万国商品会展览,襄城从此被称之为“东方弗吉尼亚”和“烤烟圣地”,地理学家则称之

为种植烟草的“黄金地带。”随着卷烟工业对烟草质量的要求不断提高,如何科学合理施用肥料来提高烟叶品质是烤烟栽培上的关键。烤烟吸水吸肥力强,对某些营养元素有选择吸收和富集作用,因此植烟田土壤肥力的空间异质性和其他作物相比更有其特殊性。本研究利用 ArcGIS 技术,运用地统计学方法,分析植烟土壤大尺度区域性变量的分布和结构,并对其土壤肥力适宜性状况进行综合评价,旨在为烤烟种植的合理布局、为精确定位施肥以及进行土壤改良提供理论依据。

1 研究区域与研究方法

1.1 研究区描述

河南省襄城县位于 113°32' ~ 113°49'E, 33°42' ~ 34°02'N, 处在被地理学家称之为“烟草地带”的区域内。全县地势西高东低,西南部为山峦起伏的山区,北部为岗丘地带,中东部为平原,境内有北汝河、颍河两条较大河流,气候为暖温带,南缘季风气候。全年日照 2 281.9 h, 年平均气温 14.7℃, 无霜期 217 d, 年降水量 773.2 mm, 境内土质多为黄土、红黄土和二潮土,土层深厚,疏密适中,因而所产烟叶色泽金黄,油润丰满,香味浓郁,气味醇和,劲头大燃烧性好,内在化学成份协调,是高档卷烟的上好原料。

1.2 土样的采集和测定

为了避免施肥对采样的代表性和均衡性的影响,采样在烟叶收获以后进行。2008 - 10 在整个襄城县植烟田选取代表性土壤样点 159 个(图 1), 用 GPS 定位,五点法采混合样,采样深度为 0 ~ 20 cm,

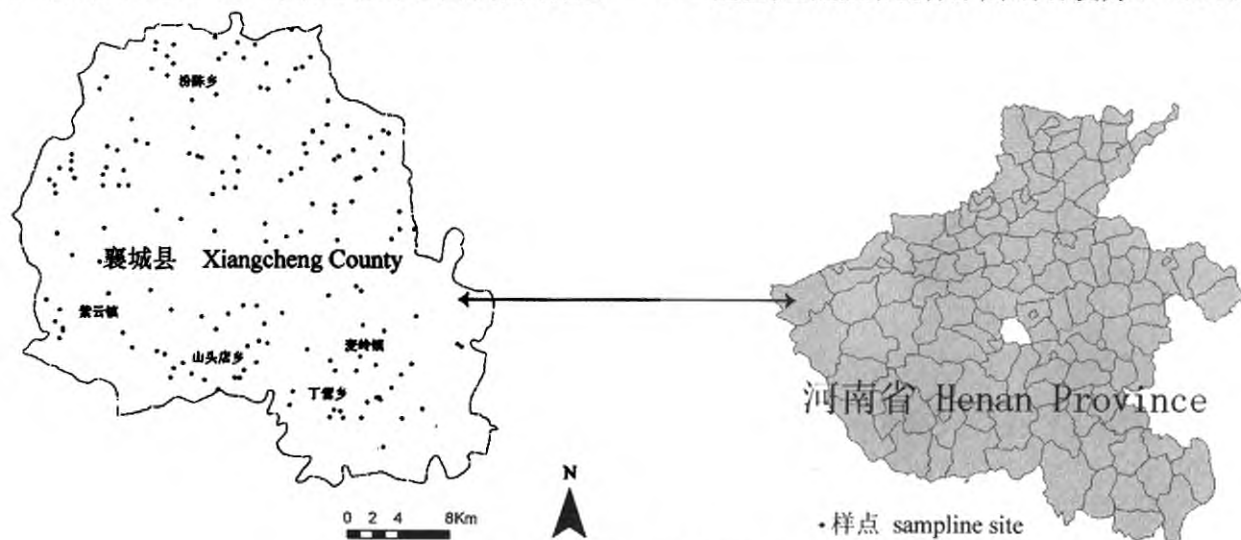


图 1 襄城植烟区土壤采样点分布

Fig. 1 Locations of Xiangcheng tobacco planting regions and sampling sites, Henan province

按土壤农业化学分析法^[12]测定土壤 pH 值、有机质、速效磷、速效钾和有效氮。

pH 值采用玻璃电极法,有机质采用重铬酸钾-硫酸溶液-油浴法,有效磷采用 Olseu 法,有效氮采用扩散法,速效钾用中性醋酸铵溶液浸提,火焰光度法测定。

1.3 数据处理

地统计学方法:利用半方差函数的相关参数对研究区土壤肥力进行空间结构分析。

软件平台:

- 1. SPSS11.5:描述性统计分析;
- 2. GS+5.3:半方差函数分析;
- 3. AoGIS:数字化地图、Kriging 插值。

2 结果与分析

2.1 襄城植烟田烤烟叶片的化学成分含量

襄城植烟田所产烤烟烟叶的各种化学成分含量均在优质烟叶的范围之内(表 1)。整个研究区内烤烟烟叶(中部)总氮含量平均值为 1.43%,高的田块达到 1.59%,但低于巴西的 1.71%,津巴布韦的 1.90%,烟碱含量平均值为 1.26%,高的田块达到 1.96%,仍低于巴西的 2.71%,津巴布韦的 2.09%。襄城烟叶还原糖含量平均值为 21.43%,高的田块达到 26.91%,高于巴西的 19%,和津巴布韦的 26.27%相接近。烟叶中钾含量平均值为 1.84%,高的田块达到 2.13%,仍低于巴西的 2.62%和津巴布韦的 2.73%。烟叶中氯含量平均值为 0.46%,高的田块达到 0.84%,已高于津巴布韦的 0.71%,和巴西的 0.84%相等。但襄城烟叶中氯含量的变异系数达到 53.49%,说明整个地域中存在着分布不

均的现象。

2.2 土壤肥力因子的描述性统计分析

表 2 表明了五种土壤肥力因子的经典统计学特征,样品的中数和平均数可以反映观测值的中心位置,标准差、变异系数、最大值和最小值表示数据的变异程度。从表 2 中可以看出,pH、有机质、有效氮、速效磷、速效钾的中数都小于平均值,说明了特异值对样本的数值影响不大。为了检验这些实验数据是否符合半方差函数分析的条件,用 Kolmogorov-Smirnov(K-S)正态分布检验概率对它们进行检验,区域内速效钾含量总体上呈正态分布,而其他四个土壤肥力因子都是在取对数后服从正态分布。其中 pH 的变异系数最小,为 2.34%;其次是有机质和速效钾,而速效磷的变异系数最大,为 85.59%,这可能与烟农施磷肥不均和土壤侵蚀等过程的不同所导致的不均一性有关。

2.3 土壤肥力各因子的空间变异特征

半方差函数曲线图,可以表示土壤各种指数的区域化变量在距离与方向上不同的所有成对点之间的观测值的空间相关性。通过半方差函数及半方差函数曲线图可以得到 3 个极为重要的参数,即变程(range)、基台值(sill)、块金值(nugget)。当半方差函数 $\gamma(h)$ 随着间隔距离 h 的增大,从非零值达到一个相对稳定的常数时,该常数称为基台值 $C_0 + C$;当间隔距离 $h = 0$ 时, $\gamma(0) = C_0$, 该值称为块金常数或块金方差。基台值是系统或系统属性中最大的变异,半方差函数 $\gamma(h)$ 达到基台值时的间隔距离 a 称为变程。变程表示在 $h \geq a$ 以后,区域化变量 $Z(x)$ 空间相关性消失。块金值表示区域化变量在小于抽样尺度时非连续变异,由区域化变量的属性,或测量误差决定。另外,块金方差/基台值 $[C_0$

表 1 襄城植烟田烤烟叶片的化学成分含量
Table 1 The contents of chemical components of tobacco leaves in Xiangcheng tobacco planting fields

变量 Variable	样本数 Number	最大值 Max.	最小值 Min.	平均值 Mean	中数 Median	标准差 SD.	变异系数 CV
总氮 TN/%	90	1.59	1.18	1.43	1.43	0.12	8.39
烟碱 Nic. /%	90	1.96	0.64	1.26	1.21	0.37	29.37
总糖 TS/%	90	30.96	22.52	25.49	25.90	2.89	11.34
还原糖 RS/%	90	26.91	18.52	21.43	21.17	2.57	11.99
淀粉 Starch/%	90	9.73	4.64	6.02	5.32	1.72	28.57
钾 K ⁺ /%	90	2.13	1.08	1.84	1.98	0.35	19.02
氯 Cl ⁻ /%	90	0.83	0.18	0.46	0.43	0.23	53.49

表 2 襄城植烟田土壤肥力因子描述性统计

Table 2 Descriptive statistics of soil fertility factors in the study region

变量 Variable	样本数 Number	最大值 Max.	最小值 Min.	平均值 Mean	中数 Median	标准差 SD.	变异系数 CV	偏度 Skewess	峰度 Kurtosis	分布类型 Distribution types
pH	159	8.60	7.40	8.11	8.10	0.19	2.34	-0.48	1.38	LN
有机质 Organic matter/%	159	2.78	0.98	1.55	1.5	0.28	18.06	1.72	4.60	LN
有效氮 Available N /mg/kg	159	117.97	33.18	49.36	47.92	11.70	23.70	2.02	7.99	LN
速效磷 Available P /mg/kg	159	85.03	2.38	8.47	7.31	7.25	85.59	7.86	80.39	LN
速效钾 Available K /mg/kg	159	250.46	72.73	173.12	134.46	26.84	19.57	1.04	2.46	N

$/C_0 + C]$ 可表示空间变异程度(由随机部分引起的空间变异占系统总变异的比例),如果该比值较高,说明由随机部分引起的空间变异性程度较大;相反,则由空间自相关部分引起的空间变异性程度较大。从结构性因素的角度来看, $C_0/ C_0 + C$ 可表示系统变量的空间相关性程度,如果比例 $< 25\%$,说明变量具有强烈的空间相关性;在 $25\% \sim 75\%$ 间,变量具有中等的空间相关性; $> 75\%$ 时,变量空间相关性很弱^[4]。

根据各个样点各项指标的数据,计算出实际半方差函数的值 $\gamma(h)$,绘制实际半方差函数曲线,然后选择几个(各向同性)模型分别进行拟合,从中选出最优的半方差函数理论模型。图 2 是土壤肥力各指标的半方差函数图,表 2 是根据各要素半方差函数模型得出的相应参数。

经理论模型的最优拟合发现 pH 和有机质、速效磷的最佳拟合模型为球状模型,有效变程分别为 21 020,19 150 和 8 460 m。而有效氮和速效钾的最佳拟合模型均为指数模型,有效变程分别为 25 320 和 7 484 m。五种土壤肥力因子的理论半方差函数与实验半方差函数拟合较好,决定系数在 0.643 ~ 0.887 0 间,说明理论模型较好地反映了这 5 种土壤肥力指标的空间结构特征。

五种土壤肥力因子的 $C_0/ C_0 + C$ 为 0.193 5 ~ 0.523 0。土壤 pH 的 $C_0/ C_0 + C$ 为最小,只有 0.193 5,其值 $< 25\%$,说明具有强烈的空间相关性,且主要是由结构性因素所至。其他四种土壤肥力因子的 $C_0/ C_0 + C$ 为 0.352 8 ~ 0.526 0,其值在 $25\% \sim 75\%$ 之间,具有中等强度的空间相关性。说明其空间变异是由随机性因素和结构性因素共同作用的结果。

从表 3 还可以看出,五种土壤肥力因子的分维数 D 值为 1.641 ~ 1.951,pH 的 D 值为最小,速效钾的 D 值为最大,这说明 pH 的空间依赖性要比速效钾的强。分维数 D 与块金值有一定程度的联系,如 pH 的块金值最小,因此 D 也最小,速效钾含量的块金值最大,因此 D 也最大。

2. 4 土壤肥力各因子的空间分布趋势

根据所得到的半方差函数模型,应用普通克立格法(Ordinary Kriging)进行最优内插,绘制了各种土壤养分含量的插值图。

图 2-3 是土壤 pH 值、速效氮、有效磷、有效钾和有机质的空间分布图,Kriging 插值图表明了襄城县植烟田的土壤肥力因子具有明显的空间异质性。

本研究区大部分植烟田田块的 pH 值都很高,pH 值高的土壤分布在研究区的东南部,占总面积的

表 3 襄城植烟田土壤肥力因子的变异函数理论模型及相关参数

Table 3 Semivariogram model and parameters of soil fertilizer factors in Xiangcheng tobacco planting fields

变量 Variable	块金方差 Nugget (C_0)	基台值 Still ($C_0 + C$)	块金值/基台值 $C_0/(C_0 + C)$	变程 Effective range/m	分维数 D	决定系数 R^2	理论模型 Theoretic model
pH	0.012 8	0.066 2	0.193 5	21 020	1.641	0.887	Spherical
有机质 Organic matter/%	0.042 1	0.119 3	0.352 8	19 150	1.888	0.643	Spherical
有效氮 Available N/mg/kg	76.600 2	153.300 1	0.499 7	25 320	1.943	0.769	Exponential
速效磷 Available P/mg/kg	6.430 1	15.870 0	0.405 2	8 460	1.904	0.829	Spherical
速效钾 Available K/mg/kg	344.700 1	655.300 1	0.526 0	7 484	1.951	0.735	Exponential

32.27%, pH 值低的土壤主要分布在研究区的北部和西部一带。

大部分襄城植烟田的有机质含量都很低,土壤有机质含量在 0.99% ~ 1.59% 范围的植烟田主要分布在研究区的北部和东南部,占研究区总面积的 66.38%,土壤有机质含量高的植烟田主要分布于研究区的中部,占研究区总面积的 11.36% (见图 2)。

襄城植烟田土壤速效氮含量普遍较高,最高值区分布在研究区的东南部和西南部,占研究区总面积的 21.71%,土壤速效氮含量在 45.60 ~ 49.61 mg/kg 的植烟田面积最大,为研究区总面积的 34.69%,主要分布在研究区的北部和中部。

襄城植烟田的土壤有效磷含量处于中等水平,有效磷含量在 9.15 ~ 31.4 mg/kg 高值区主要分布在研究区的北部、东北部、西部和中部一带,占研究区总面积的 26.13%,有效磷含量在 3.74 ~ 7.41 mg/kg 的低值区主要分布在研究区的东南部、西南部一带,占研究区总面积的 45.03%。

襄城植烟田土壤的有效钾含量也处于中等水平,其含量在 154.77 ~ 184.98 mg/kg 的高值区分布在研究区的东南部,占研究区总面积的 12.76%,土壤有效钾含量在 114.00 ~ 128.70 mg/kg 的低值区主要分布于研究区的西部和北部,占研究区总面积的 22.61%,分布面积最大的是土壤有效钾含量在 128.71 ~ 140.34 mg/kg 的区域,占研究区总面积的 47.22%,主要分布在研究区的中部 (见图 3)。

2.5 土壤肥力适宜性综合指数的空间分布特征

2.5.1 土壤肥力适宜性综合指数的计算

1. 土壤肥力因子隶属函数的建立

各项土壤肥力因子对烟草生长和质量的影响程度是个模糊的概念,对土壤肥力适宜性评价中的各个指标建立相应的隶属函数,计算其隶属度值,以此表示评价指标的状态值。隶属度函数实际上就是所要评价的肥力指标与作物生长效应曲线之间关系的数学表达式,它可以将肥力评价指标标准化转变成范围为 0.1 ~ 1 的无量纲值 (即隶属度)^[13-14]。

隶属度函数通常有两类,分别是 S 型隶属度函数和抛物线型隶属度函数。本研究中,土壤中 pH、有机质含量适用于抛物线型隶属度函数,全氮、速效钾和有效磷则适用于 S 型隶属度函数。据此可计算出各项肥力指标的隶属度值,这些值在 0.1 ~ 1.0 间,其值的大小反映了其隶属的程度,最大值 1.0 表示土壤肥力的最良好状态,完全适宜优质烟草的生长,最小值 0.1 表示土壤肥力的严重缺乏或不协调。在这里,为了计算的方便,将最小值定为 0.1 而非 0,是符合生产实际情况的。这就消除了各参数指标间的量纲差异。

2. 各土壤肥力因子阈值的确定

对一般作物而言,土壤有机质含量较高是土壤肥沃的标志,对作物生长有利,但对烤烟而言,土壤有机质含量过高,生产出来的烟叶,后期贪青晚熟,不容易正常落黄,甚至黑暴,烘烤后烟叶主脉粗,叶片过厚,烟碱及蛋白质含量过高,色泽差,刺激性大,品质低劣^[15]。本烟区内,土壤有机质含量不能 > 2.5%。

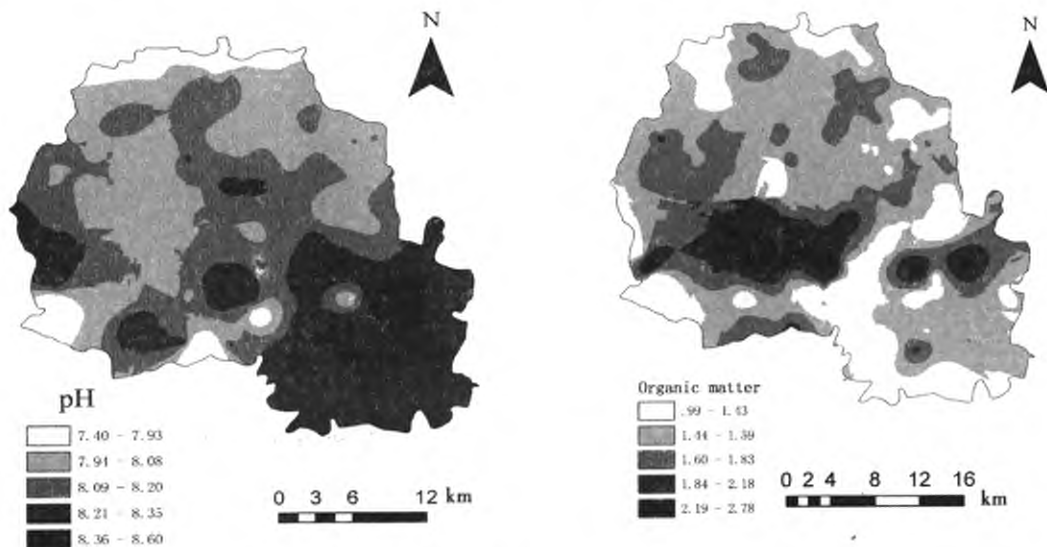


图 2 襄城植烟区土壤 pH 和有机质含量的空间分布

Fig. 2 Spatial distribution maps of pH and contents of organic matter in the soils of Xiangcheng tobacco planting regions, Henan province

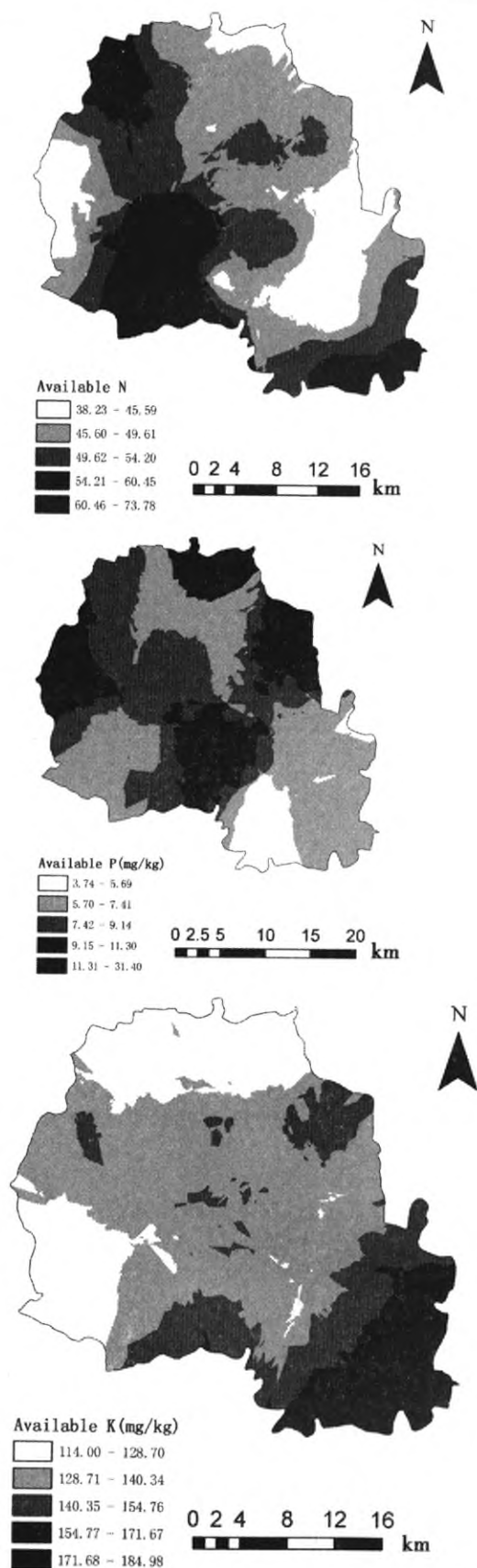


图3 襄城植烟区土壤速效N、有效P和有效K含量的空间分布

Fig. 3 Spatial distribution maps of contents of available N, available P and available K in the soils of Xiangcheng tobacco planting regions, Henan province

但土壤有机质含量过低,所产烤烟香气不足。本烟区内,如有机质含量低于0.8%时,已不适宜于烤烟的种植,最适宜的土壤有机质含量为1.4%~1.8%。

烤烟品质都是在一定的pH范围内最好。综合来看,世界各国推荐的最适烤烟生长pH范围为5.5~7.0,这同许多国家烤烟种植区皆为酸性土壤区有关^[16]。本烟区也采用这一最适指标范围。

同其他作物相比,烤烟的营养特点是对钾的需求量大,较高的含钾量能保持烟叶较好的可燃性,满足烤烟的需钾量是保证烟株正常生长、获得优质烟叶的重要条件之一^[16]。本烟区土壤中速效钾含量如>150 mg/kg,则赋值为1,最低不能低于80 mg/kg。氮以蛋白质、核酸、叶绿素、烟碱等形式存在于烟株体内,氮素供应不足,烟株生长缓慢,植株矮小,叶色浅淡,早衰黄化,叶小而薄,品质差,本烟区土壤全氮含量以>0.15 g/kg为适宜,最低不得少于0.08 g/kg。磷能增强烟株抗旱抗寒能力,促进叶片成熟,提高烟叶品质。本烟区土壤中有效磷含量以>15 mg/kg为适宜,最低不得少于5 mg/kg(表4)。

3. 权重的确定

权重是指评价因子对评价对象的影响程度或贡献率。为了弱化人为主观因素的影响,本研究采用层次分析法确定其权重^[14]。

由于烟草是典型的忌氯作物,对氯元素十分敏感,土壤中氯含量过高会损害烟叶和卷烟的燃烧性^[17-18]。本研究区将土壤中水溶性氯含量>60 mg/kg的直接赋值为0.1,确定为不适宜区。其他指标则根据烟草种植区的实际情况,听取了有关专家的意见,分别比较了各评价因子的相对重要性,构造了各因子判断矩阵

$$R = \begin{bmatrix} \text{有机质} & \text{pH} & \text{速效钾} & \text{全氮} & \text{有效磷} \\ \text{O. M} & \text{pH} & \text{Available K} & \text{Total N} & \text{Available P} \\ 1 & & & & \\ 1/3 & 1 & & & \\ 1/2 & 6/5 & 1 & & \\ 1/4 & 3/4 & 1/2 & 1 & \\ 1/5 & 1/3 & 1/4 & 1/2 & 1 \end{bmatrix}$$

通过该矩阵计算出各因子的权重,并对计算结果进行了一致性检验,结果表明,CR的值为0.053,<0.1,说明判断矩阵具有满意的一致性。评价指标权重如表5所示。

表4 襄城县烟草种植区土壤肥力各评价指标隶属度函数类型及阈值

Table 4 Type of membership function and threshold value of fertility index in Xiangcheng planting regions

指标 Index	隶属度函数类型 Type of membership function	下限(L) Lower limit value	上限(U) Upper limit value	最大值(O ₁) Optimal value 1	最优值(O ₂) Optimal value 2
有机质 O. M/%	抛物线型函数	0.8	2.5	1.4	1.8
pH	Parabola function	5.0	8.0	5.50	7.0
全氮/mg·kg ⁻¹	S型函数 S-type function	0.8	1.5		
有效磷/mg·kg ⁻¹		5	15		
速效钾/mg·kg ⁻¹		80	150		

表5 各土壤肥力因子的权重值

Table 5 Weight value of evaluating indexes

评价因子 Index	有机质 Organic matter	pH	全氮 Total N	速效钾 Available K	有效磷 Available P
权重 Weights	0.445 8	0.170 1	0.155 4	0.148 1	0.080 6

4. 综合评价指标值的计算

综合评分法通过使用隶属函数标准化后的指标分值与层次分析法求出的各因子指标权重值,利用如下模型对河南省襄城县烟草种植区土壤肥力适宜性进行综合评分

$$IFI = \sum_{i=1}^n P_j X_{ij} (i = 1, 2, 3, \dots, n, j = 1, 2, 3, \dots, m)$$
 (2)

式(2)中 IFI(Integrated Fertility Index)是评价单元的土壤肥力综合评分值,n 为评价因子的总数,P_j为第j个评价指标的权重,X_{ij}为评价单元在第i个评价指标上的隶属度。IFI 取值范围为0.11。其值越高,表明土壤肥力对烟草生长和品质的贡献率也越高。本研究计算的结果 IFI 的范围为0.141,平均值为0.793,标准差为0.179,变异系数为22.57%。对于每个评价单元的综合评分值,通过编程计算后直接写入图斑对应的属性数据表中。

2.5.2 土壤肥力适宜性综合指数的空间分布特征

根据计算所得的综合肥力指标 (IFI),等分为四等,即将襄城县烟草种植区烟草土壤肥力适应性水平划分为最适宜(0.72 > IFI > 0.62),适宜(0.61 > IFI > 0.52),次适宜(0.51 > IFI > 0.42),不适宜(0.41 > IFI > 0.32)。分布情况如图4。

从烟草土壤肥力适宜性来看,襄城县烟草种植区土壤肥力水平存在相当程度的差异,表现出明显的空间异质性。综合评价值最高(即最适宜)的地

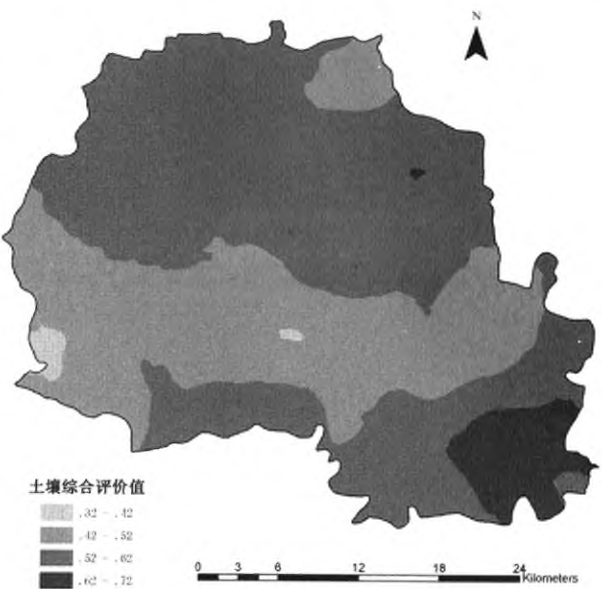


图4 河南省襄城县烤烟种植适宜性分布
Fig.4 Suitability evaluation for tobacco plantation in Henan province

区位于研究区的东南部,面积为86.18 km²,占研究区总面积的5.02%;土壤肥力适宜性为适宜的地区位于研究区的北部和中南部,面积为1 374.98 km²,占研究区总面积的80.15%;土壤肥力适宜性为次适宜的植烟田横穿于研究区的中部,面积为245.02 km²,占研究区总面积的14.28%;综合评价值最低(即不适宜)的地区位于研究区的西南部一个很少的区域,面积为9.38 km²,只占研究区总面积的0.55%。

3 结论

1. 襄城植烟田土壤中速效钾含量遵循正态分布,而土壤 pH、有机质、有效氮和速效磷则遵循对数正态分布。在所有的变量中,土壤 pH 的变异系

数最少,而速效磷的变异系数最大。半方差分析表明,速效氮和速效钾的理论模型与指数模型拟合最好,有效变程分别为 25 340 m 和 7 484 m,而土壤 pH、有机质、速效磷则符合球状模型,有效变程分别为 21 020 m、19 150 m 和 8 460 m。土壤 pH 具有较强的空间自相关,而土壤速效钾则具有中等强度的空间相关性。

2. 植烟田土壤中 pH 高值区分布在研究区的东南部,占研究区总面积的 32.27%,而 pH 低值区则主要分布在研究区的北部和西部。土壤有机质含量在 0.99%~1.59% 范围内的植烟田主要分布在研究区的北部和东南部,占研究区总面积的 66.38%。植烟田土壤有效氮高值区主要分布在研究区的东南部和西南部,占研究区总面积的 21.71%。土壤速效钾含量在 154.77~184.98 mg/kg 范围的植烟田主要分布在研究区的东南部,只占研究区总面积的 12%~76%,而土壤速效磷含量在 9.15~31.4 mg/kg 范围的植烟田,占研究区总面积的 26.13%,主要分布在研究区的北部、东北部、西部和中部地区。

3. 襄城县烟草种植区土壤肥力适宜性综合指数存在相当程度的差异,表现出明显的空间异质性。综合评价价值最高(即最适宜)的地区位于研究区的东南部,占研究区总面积的 5.02%;土壤肥力适宜性为适宜的地区位于研究区的北部和中南部,占研究区总面积的 80.15%;土壤肥力适宜性为次适宜的植烟田横穿于研究区的中部,占研究区总面积的 14.28%;综合评价价值最低(即不适宜)的地区位于研究区的西南部一个很少的区域,只占研究区总面积的 0.55%。

4 讨论

1. 本文采用地统计与 GIS 相结合的方法,分析了河南省襄城植烟田表层土壤(0~20 cm)各土壤肥力因子的空间变异性。GIS 能将属性数据和地理信息数据结合起来,使地统计技术在大区域范围上的应用变得更加方便。

2. 地理信息系统强大的空间数据处理和分析功能,可以成功地支持植烟区土壤肥力的评价过程和可视化土壤养分的空间分布。本文的研究和实地调查验证表明,在 GIS 的支持下,可以快速有效地对河南省襄城植烟区肥力适宜性进行科学的综合评价,比传统的评价方法可以节约大量的人力、财力和

物力。

3. 评价结果的科学性和可靠性取决于基础数据的完整性,以及评价方法选择上的合理性。利用层次分析法和多因素综合评价方法而获得的评价结果,可以克服凭经验确定分级而容易产生主观偏差的弊端,能够准确地反映烟草种植区的肥力等级差异。本研究的评价结果与生产实际情况基本符合。

4. 本文中土壤肥力综合评价得出的结果仅代表河南省襄城烟草种植区内潜在的生产能力,还应该将气候、地貌和社会经济状况等因素综合加以分析,才能表示土壤的现实生产能力。土壤肥力综合评价的目的正是使土壤的潜在生产力能够得到准确有效的评估,探明并改善导致现实生产力与潜在生产力之间产生差距的主要因子,从而可提出相应的措施来提高烟草种植区内烟叶的品质和产量。

参考文献 (References)

- [1] Yang Yuling, Wen Qikai, Tian Changyan, et al. The status quo and prospect of spatial variability of soil[J]. *Arid Zone Research*, 2001, 18 (2): 50~55[杨玉玲, 文启凯, 田长彦, 等. 土壤空间变异研究现状与展望[J]. *干旱区研究*, 2001, 18 (2): 50~55]
- [2] Gao Xiangzhao, Hu Kelin, Guo Yan, et al. Spatial variability of soil nutrients and crop yield and site-specific fertilizer management[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2002, 35 (6): 660~666[高祥照, 胡克林, 郭焱, 等. 土壤养分与作物产量的空间变异特征与精确施肥[J]. *中国农业科学*, 2002, 35 (6): 660~666]
- [3] Huang Shaowen, Jin Jiyun, Yang Liping, et al. Spatial variability and regionalized management of soil nutrients in the grain crop region in yutian county[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2003, 40 (1): 79~88[黄绍文, 金继运, 杨俐苹, 等. 县级区域粮田土壤养分空间变异与分区管理技术研究[J]. *土壤学报*, 2003, 40 (1): 79~88]
- [4] Wang Zhengquan. Geostatistics and its application in ecology[M]. Beijing: Science Press, 1999: 35~149[王政权. 地统计学及其在生态中的应用[M]. 北京: 科学出版社, 1999: 35~149]
- [5] Burrough P A. Soil Variability: A late 20 th century view[J]. *Soils and Fertilizer*, 1993, 56 (5): 529~562
- [6] Cambardella C A, Moorman AT, Novak J M, et al. Field-scale heterogeneity of soil properties in central Iowa soils[J]. *Soil Sci. soc. Am. J.*, 1994, 58: 1501~1511
- [7] Megraw T. Fertility variability in the Minnesota river valley watershed in 1993, as determined from grid testing result on 52000 acres in commercial fields. Site-Specific Management for Agricultural Systems[J]. ASA-CSSA-SSSA, 1995: 167~174
- [8] Tsegaye T, Hill R L. Intensive tillage effects on spatial variability of soil test, plant growth, and nutrient up take measurement[J]. *Soil Sci*, 1998, 163 (2): 155~165
- [9] Liu Xingmei, Xu Jianmin, Zhang Mingkui, et al. Study on spatial variability of soil nutrients in Taihu Lake region—A case of Pinghu

- city in Zhejiang province[J]. Journal of Zhejiang Agricultural University: Agric. & Life Sci., 2003, 29 (1): 76-82[刘杏梅, 徐建民, 章明奎, 等. 太湖流域土壤养分空间变异特征分析——以浙江省平湖市为例[J]. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 2003, 29 (1): 76-82]
- [10] Zhang Qingli, Pan Xianzhang, Wang Hongjie, et al. Study on spatial distribution of soil quality and quantitative evaluation of soil fertility quality under middle spatial scale[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2003, 34 (6): 493-497[张庆利, 潘贤章, 王洪杰, 等. 中等尺度上土壤肥力质量的空间分布研究及定量评价[J]. 土壤通报, 2003, 34 (6): 493-497]
- [11] Guo Xi, Guo Xiaomin, Tan Xue-ming, et al. A study on spatial variability of red soil nutrient status in hill field[J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 2004, 26 (1): 73-77[郭熙, 郭晓敏, 谭雪明, 等. 农田养分空间变异研究: 以江西省泰和县苏溪镇为例[J]. 江西农业大学学报, 2004, 26 (1): 73-77]
- [12] Lu Rukun. Agricultural chemistry analyses methods for soils[M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000[鲁如坤. 土壤农业化学分析法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000]
- [13] Xing Shihe, Huang Ji. Quality evaluation of regional cultivated land based on GIS[J]. Journal of Fujian Agricultural University: Natural Science, 2002, (3): 378-382[邢世和, 黄吉. GIS支持下的区域耕地质量评价[J]. 福建农林大学学报: 自然科学版, 2002, (3): 378-382]
- [14] Wang Ruiyan, Zhao Gengxing. GIS supported quantitative evaluation of cultivated land fertility[J]. Transactions of The Chinese Society of Agricultural Engineering, 2004, (20)1: 307-310[王瑞燕, 赵庚星. GIS支持下的耕地地力等级评价[J]. 农业工程学报, 2004, (20)1: 307-310]
- [15] Liu Guoshun. Tobacco cultivation[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2003[刘国顺. 烟草栽培学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003]
- [16] Hu Guosong, Zheng Wei. Tobacco nutrient principle[M]. Beijing: Science Press, 2000[胡国松, 郑伟. 烤烟营养原理[M]. 北京: 科学出版社, 2000]
- [17] Zhang Xiang, Fan Yikuan. Present situation of salinity and chlorine content in irrigation water in tobacco-growing areas in Henan[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2003, (22), 4: 71-72[张翔, 范艺宽. 河南省烟区灌溉水全盐量和氯含量状况[J]. 灌溉排水学报, 2003, (22), 4: 71-72]
- [18] Zhang Zhenping. Discussions on chlorine content of tobacco leaves in Luonan county[J]. Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry: Natural Science, 2002, 30 (4): 33-36[张振平. 洛南县烟叶氯含量问题商榷[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2002, 30 (4): 33-36]

Spatial Variability and Comprehensive Suitability Evaluation of Soil Fertility Factors in Xiangcheng Tobacco Planting Region

CHEN Haisheng^{1,2}, PEI Xiaozhong², WEI Yuewei¹, LIU Guoshun¹

(1. National Tobacco Cultivation and Physiological and Biochemical Center, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China;

2. Zhejiang Tongji Science and Technology Vocational College, Hangzhou 311233, China)

Abstract: It is essential to understand spatial variability of soil properties in tobacco planting regions, for the right decision can be made as to how many fertilizer rates are likely to be appropriate for the high quality tobacco production. In this paper, a total of 159 soil samples were taken from surface soil (0~20) of Xiangcheng tobacco planting fields, Henan province in April 2007 for examining the concentration of soil organic matter, pH, available N, available P and available K. Spatial variability of above mentioned was evaluated using geostatistics and geographic information system (GIS) analyses. The objective of this study was to provide a scientific basis for field management targeting at improving soil quality in this tobacco planting region. The results showed that among those five soil fertility factors, the variation coefficient of soil pH is the smallest, while that of available P is the greatest which demands more samples under the same precisions, which are resulted from different cultivation methods and uneven fertilization. Analysis of the isotropic variogram indicated that the soil pH, organic matter and available P semivariogram were well described with spherical models, with the distance of spatial dependence being 21 020, 19 150 and 8 460 m respectively, while the available N and available K semivariogram were well described with exponential model, with the distance of spatial dependence being ranged from 7 484 to 25 320 m. Soil pH value was strongly spatially

dependence with $C0/sill$ being 0.193 5, while other four soil fertility factors were moderately spatial dependent with $C0/sill$ being range from 0.352 8 to 0.526 0. With the kriging analysis, the spatial distribution maps of soil properties in Xiangcheng tobacco planting regions was drawn. In the paper, the index system of soil fertility suitability of tobacco was established. S-or parabola-type dependence functions were developed according to their effect on tobacco crop and the function value was also calculated. AHP was applied to judge the weight of each evaluation factor. then the integrated index values for every evaluation unit were obtained. And the fertility map of Xiangcheng tobacco planting regions was drawn with GIS software mapGIS. The results indicated that the optimum fields for Flue-tobacco crops growth were found in the east-southern part of the investigated regions, accounting for 5.02% of the whole area, while the soil with suitability fields were mainly distributed in the northern and middle-southern part of the investigated regions, occupying 80.15% of the whole area. And the fields with less suitability existed in the middle of this given regions, accounting for 14.28% of the whole area.

Key words: geostatistics; spatial variability; flue-cured tobacco; soil fertility factor; suitability evaluation

《山地学报》作者、读者意见调查表

姓名_____ 年龄_____ 职务或职称_____

E-mail _____

您对本刊总体印象(优√ 良△ 差× 一般○)

☐文稿学术性 ☐编辑质量 ☐印刷质量 ☐其他

您希望本刊新增哪类文稿或减少哪类文稿:_____

本刊存在的问题及您的建议:_____

注:①凡填写本调查表者,将赠送本刊百期光盘一张以示谢意。

②调查表与反馈信息请寄:成都市人民南路四段9号中科院成都山地所《山地学报》编辑部 冯海燕
邮编:610041

《山地学报》编辑部

年 月 日

作者: 陈海生, 裴孝钟, 魏跃伟, 刘国顺, CHEN Haisheng, PEI Xiaozhong, WEI Yuewei, LIU Guoshun
作者单位: 陈海生, CHEN Haisheng (河南农业大学国家烟草栽培生理生化研究基地, 河南郑州450002; 浙江同济科技职业学院, 浙江杭州311233), 裴孝钟, PEI Xiaozhong (浙江同济科技职业学院, 浙江杭州, 311233), 魏跃伟, 刘国顺, WEI Yuewei, LIU Guoshun (河南农业大学国家烟草栽培生理生化研究基地, 河南郑州, 450002)
刊名: 山地学报 ISTIC PKU
英文刊名: Journal of Mountain Science
年, 卷(期): 2011, 29(4)

参考文献(18条)

1. 杨玉玲;文启凯;田长彦 土壤空间变异研究现状与展望[期刊论文]-干旱区研究 2001(02)
2. 高祥照;胡克林;郭焱 土壤养分与作物产量的空间变异特征与精确施肥[期刊论文]-中国农业科学 2002(06)
3. 黄绍文;金继运;杨俐苹 县级区域粮田土壤养分空间变异与分区管理技术研究[期刊论文]-土壤学报 2003(01)
4. 王政权 地统计学及其在生态中的应用 1999
5. Burrough P A Soil Variability:A late 20 th century view 1993(05)
6. Cambardella C A;Moorman AT;Novak J M Field-scale heterogeneity of soil properties in central Iowa soils 1994
7. Megraw T Fertility variability in theMinnesota river valleywatershed in 1993,as determined from grid testing result on 52000 acres in commercial fields.Site-Specific Management for Agricultural Systems 1995
8. Tsegaye T;Hill R L Intensive tillage effects on spatial variability of soil test,plant growth,and nutrient up take measurement[外文期刊] 1998(02)
9. 刘杏梅;徐建民;章明奎 太湖流域土壤养分空间变异特征分析--以浙江省平湖市为例[期刊论文]-浙江大学学报(农业与生命科学版) 2003(01)
10. 张庆利;潘贤章;王洪杰 中等尺度上土壤肥力质量的空间分布研究及定量评价[期刊论文]-土壤通报 2003(06)
11. 郭熙;郭晓敏;谭雪明 农田养分空间变异研究:以江西省泰和县苏溪镇为例[期刊论文]-江西农业大学学报 2004(01)
12. 鲁如坤 土壤农业化学分析法 2000
13. 邢世和;黄吉 GIS支持下的区域耕地质量评价[期刊论文]-福建农林大学学报(自然科学版) 2002(03)
14. 王瑞燕;赵庚星 GIS支持下的耕地地力等级评价[期刊论文]-农业工程学报 2004(1)
15. 刘国顺 烟草栽培学 2003
16. 胡国松;郑伟 烤烟营养原理 2000
17. 张翔;范艺宽 河南省烟区灌溉水全盐量和氯含量状况[期刊论文]-灌溉排水学报 2003(4)
18. 张振平 洛南县烟叶氯含量问题商榷[期刊论文]-西北农林科技大学学报(自然科学版) 2002(04)

引证文献(2条)

1. 赵玉成;谷小青;顿文涛;蔡滨;张凤仙;袁超 无线传感器网络在土壤肥力监测中的应用[期刊论文]-现代农业科技 2013(9)
2. 仇正路;喜巧梅;马泉虎;杨柳;李慧;刘燕霞 荒漠草原区土壤养分空间变异及评价[期刊论文]-宁夏农林科技 2013(11)

本文链接: http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_sdx201104009.aspx