

剑阁县植烟土壤养分的空间变异研究

周星¹, 彭毅², 吴绍军², 顾会战², 刘雷¹

(1. 四川农业大学 农学院, 成都 611130; 2. 四川广元市烟草公司, 四川 广元 628000)

摘要:运用地统计学和地理信息系统(GIS)相结合的方法研究了四川省剑阁县植烟土壤养分的空间变异特征。研究结果表明:土壤 pH 为弱变异性,全氮、有机质、碱解氮、速效磷、速效钾为中等强度变异。基于半方差模型理论研究表明:土壤 pH、碱解氮和速效磷表现为强烈的空间自相关性,其变异程度主要由结构性因素引起;有机质、全氮、速效钾表现为中等空间相关性,受到结构性因素和随机性因素的共同影响,养分空间自相关距离分别为 12~201 m 范围内;进而形成养分指标空间分布图,直观地反映出土壤养分分布状况和丰缺情况,为广元市剑阁县植烟土壤的差异化管理奠定了基础。

关键词:空间变异; GIS; 地统计学; 烟草; 土壤养分

中图分类号:S153.6;S572

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2015)01-0085-05

Spatial Variability of Soil Nutrients in Tobacco-Planting Area of Jian'ge County

ZHOU Xing¹, PENG Yi², WU Shaojun², GU Huizhan², LIU Lei¹

(1. College of Agronomy, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China;

2. Guangyuan Tobacco Corporation of Sichuan Province, Guangyuan 628000, China)

Abstract:Combination of Geostatistics with GIS was applied to analyze spatial variability of tobacco-growing soil nutrients in Jian'ge County of Sichuan Province. Results showed that variability of soil pH was low, while that of total N, soil organic matter, alkaline N, available P and available K was medium. Soil pH, alkaline N and available P showed strong spatial autocorrelation mainly produced by structural factor; soil organic matter, total N and available P showed moderate spatial autocorrelation primarily caused by the co-effects of structural and random factors. The spatial auto-correlation distances of these nutrient indexes range from 12 m to 201 m. Based on these results of semi-variograms analysis, the spatial distribution maps of soil nutrients in tobacco-planting area were made by ordinary Kriging. The results of this study provided useful information on differential management of soil nutrients in tobacco-planting area of Jiange county.

Keywords:spatial variability; GIS; geostatistics; tobacco; soil nutrients

土壤养分和施肥情况对烤烟生长情况、产量和质量有很大的影响。过去由于受“重产量轻质量”指导思想的影响,中国的烟叶品质受损严重。为了提高烤烟品质,国家主管部门和科技单位大力引导,努力贯彻主攻质量的生产方针。在此背景下,我国烟草工作者也加大了对烤烟营养和施肥技术的研究^[1]。

土壤是烤烟生产的基础条件之一,是一种形成和演化过程极其复杂的综合体。由于受气候、地形地貌、成土母质、生物和时间等自然因素和耕作习惯、施肥等人为因素的影响,土壤具有高度的空间异质性^[2]。土壤养分状况反映出土壤基本性质,它提供植物生长发育所需的营养条件及环境条件。土壤养分

中的大量元素和中、微量元素对植物各具生理功能,不能相互替代,对烟株的正常生长发育、产量和品质有着重要的意义。土壤养分状况在时间和空间上具有不同程度的变异性。在广阔的烟田上,土壤是不均一变化的时空连续体,即使在同一时刻、相同的区域内土壤质地(土壤物理、化学、生物学性质)也可能有明显差异,这种属性称为土壤空间变异性^[3]。空间变异性是土壤的自然属性之一,其中土壤养分的空间变异就是土壤中所含养分在不同空间位置所表现出的差异性^[4]。中国烟农在生产上通常忽视了土壤养分的空间变异,凭借经验进行均一化施肥,结果造成了田间养分分布不均匀^[5]。这样既不符合按需施肥的原则,

收稿日期:2013-12-14

修回日期:2014-05-15

资助项目:四川省烟草公司广元土壤研究项目“烟地土壤成分对烤烟生长和烟叶品质的影响”(20120829)

第一作者:周星(1989—),男,四川遂宁人,在读硕士,研究方向:烟草栽培及烟叶品质。E-mail:184271760@qq.com

通信作者:刘雷(1972—),男,四川遂宁人,教授,从事烟草教学科研工作。E-mail:srars@126.com

也不能达到提高肥料利用率和“优质适产”的目的。合理施用化肥是我国农业可持续发展的重大技术问题之一,其重要性和紧迫性随农业生产的发展和肥料施用量的增加而日益突出。在充分了解植烟土壤养分空间变异情况和丰缺状况的基础上,通过优化配方施肥,使土壤养分达到适宜烟叶种植的范围,满足烟株正常生长发育所需的营养供应,这是保证烟叶优质适产的必要条件之一,同时也是农业可持续发展的基础。

20 世纪 70 年代,Burgess 等首次在土壤科学研究领域中使用到地统计学方法^[6],克服了传统统计理论分析在研究土壤性质的空间变异性方面未考虑空间方位因素的不足之处。随着地理信息系统(Geographic Information System, GIS)的发展,GIS 以其独特的优势和强大的功能,被广泛地应用于植烟土壤空间变异研究、适宜性评价和分区管理等多方面基础研究工作中^[7-9]。地统计学是定量分析土壤性质的空间分布、空间变异尺度等空间变异特性的有效方法;而 GIS 能有效解决土壤性质的空间数据与属性数据相关联的问题。近年来,GIS 与地统计学两者结合发展趋势非常迅速,极大地推动了区域土壤养分的空间变异性研究。本文在前人研究的基础上,运用地统计学和 GIS 相结合的方法研究广元市剑阁县烟田土壤养分的空间变异特征,揭示该研究区土壤养分空间分布状况及空间变异规律,为烟叶生产提供合理的施肥建议,以期通过提高当地农业管理措施来改善土壤养分的有效性,为生产高品质的烟叶提供参考。

1 试验材料与方法

1.1 研究区概况

剑阁县位于四川盆地北缘,地处川、陕、甘三省结合部,全县幅员面积 3 204 km²,辖 23 镇、34 乡,属亚热带湿润性季风气候,四季分明。年平均气温约 15.4℃,年均降水量 1 039.4 mm,全年无霜期约 270 d,年平均日照时数为 1 328.3 h。地理位置介于东经 105°09′—105°49′、北纬 31°31′—32°17′,地势西北高,东南低,低山地貌特点显著,地貌形态差异悬殊,海拔 500~700 m 的宽谷低山区占总面积的 50.34%;海拔 70~1 000 m 的窄谷低山区占 40.23%。地貌类型以低山区为主。境内土壤类型主要为中性、微酸性、微碱性的紫色土或黄壤土。

1.2 土样采集和测定

利用 GPS 定位技术在研究区内定点采样,见图 1,2012 年剑阁县土壤采样点的布点规划和土壤采集工作均由四川省广元市烟草专卖局完成。共采集样品 313 个,土样的测定方法均采用常规分析方法^[10],

测定共包括土壤 pH 值、全氮、碱解氮、有机质、速效磷和速效钾 6 个常规指标。



图 1 研究区采样点分布

1.3 数据分析

原始数据处理采用三倍标准差法代替异常离群数据,处理后数据采用 SPSS 17.0 软件进行描述性统计分析。使用 GS+9.0 软件对土壤养分数据进行分析,分析前采用 Kolmogorov-Simrnov (K-S) 正态分布概率(P_{KS})进行数据的正态性检测,对不成正态分布的数据进行转换使其符合正态分布以满足地统计分析的前提要求。地统计分析包括空间变异性分析、半方差函数计算、理论最佳模型的拟合。使用 Arc-GIS 9.3 软件中的普通克里金法(Kriging)对土壤养分各指标进行最优、无偏克里金插值,分别得到土壤养分各指标的空间分布格局图。

2 结果与分析

2.1 剑阁县烟田土壤养分的描述性统计分析

采用 SPSS 统计软件对研究区内 419 个采样点的植烟土壤养分处理数据进行描述性统计分析处理,结果如表 1 所示。参照《中国植烟土壤及烟草养分综合管理》^[11]提出的土壤养分丰缺标准(见表 2),对土壤养分各指标数据进行描述性统计分析。

检验土壤养分数据正态性时取显著水平 $\alpha = 0.05$,若 $P_{KS} > 0.05$,表明数据服从正态分布,对不成正态分布的数据进行转换使其符合正态分布以满足地统计分析的要求。由表 1 可知,土壤养分 pH、有机质、全氮和碱解氮含量 $P_{KS} > 0.05$,满足正态分布,速效磷和速效钾含量 $P_{KS} < 0.05$,但数据经过自然对数转换后也服从正态分布特征。变异系数(C.V.)表

示土壤特性空间变异性的强弱。变异系数 $\leq 10\%$ 为弱变异性, $10\% < C.V. < 100\%$ 为中等变异性, $C.V. \geq 100\%$ 为强变异性。土壤 pH 变异系数最小,仅为 8.336%,为弱变异性,土壤 pH 平均值为 7.85,表明土壤总体上呈现为碱性。其余养分指标含量变异系数均在 10%~100% 范围内,为中等强度变异,但变异程度各不相同,其中速效钾变异系数最大,为 59.486%;有机质、全氮、碱解氮和速效钾变异系数相

近且数值较小,在土壤中相对稳定。由于人为原因导致植烟土壤管理措施有所差异和地形因子等相关性的影响导致土壤养分含量变异程度也有所差异。描述性统计结果结合丰缺指标表可知,土壤养分碱解氮、速效磷、速效钾平均值均在中等丰缺范围内;有机质平均值为 15.079 g/kg,全氮平均值为 0.877 g/kg,两者皆处于植烟土壤养分缺乏等级,属于土壤养分肥力指标较不适宜范围,会导致烟叶品质与产量的下降。

表 1 土壤养分的描述性统计

土壤养分	平均值	标准差	最大值	中值	最小值	变异系数	K-S 值	分布类型
pH 值	7.854	0.650	9.30	7.90	6.10	8.336	0.092	正态分布
有机质/(g·kg ⁻¹)	15.079	4.321	27.50	15.10	4.81	28.657	0.069	正态分布
全氮/(g·kg ⁻¹)	0.877	0.291	1.63	0.91	0.09	33.121	0.199	正态分布
碱解氮/(mg·kg ⁻¹)	84.690	20.141	144.00	87.00	45.00	23.782	0.062	正态分布
速效磷/(mg·kg ⁻¹)	12.246	7.285	37.10	10.30	2.10	59.486	0.705	对数分布
速效钾/(mg·kg ⁻¹)	134.199	51.137	291.00	119.80	51.40	38.106	0.174	对数分布

表 2 植烟土壤养分丰缺标准

指标	很丰富	丰富	中等	缺乏	很缺乏
有机质/(g·kg ⁻¹)	>45	30~45	20~30	10~20	<10
全氮/(g·kg ⁻¹)	>2	1.5~2	1~1.5	0.5~1	<0.5
碱解氮/(mg·kg ⁻¹)	>150	120~150	60~120	30~60	<30
速效磷/(mg·kg ⁻¹)	>30	20~30	10~20	5~10	<5
速效钾/(mg·kg ⁻¹)	>350	200~350	120~200	50~120	<50

然而描述性统计学分析只能片面地分析土壤养分的整体情况,相关数值代表具有一定局限性,反映出的信息较模糊。为了进一步了解研究区植烟土壤

养分空间变异特征和影响因素,将应用地统计学方法进一步研究。

2.2 剑阁县烟田土壤养分的地统计分析

地统计学中半变异函数模型是空间描述与空间预测的关键。应用半方差函数理论模型对剑阁县植烟土壤属性数据进行最优拟合。土壤养分指标含量都满足正态分布,从而可以减少统计学分析的估计预测误差。利用地统计软件 GS+来对土壤养分指标含量进行半方差分析,根据首要考虑因素(决定系数与残差和次要考虑因素块金值与变程的大小)来选择最优函数模型,决定系数越大或残差越小拟合出的半方差函数模型精度越高,依据模型进一步得出土壤属性半方差函数的相应参数,见表 3。

表 3 土壤属性半方差函数理论模型及模型参数

土壤养分	模型	块金值(C ₀)	基台值(C+C ₀)	块金效应 C ₀ /(C+C ₀)/%	变程/m	残差 RSS	决定系数
pH	高斯	0.04	0.41	9.93	21	9.32 E-03	0.39
有机质	球状	8.12	17.62	46.08	167	18.2	0.87
全氮	高斯	0.04	0.08	49.94	117	4.25 E-04	0.69
碱解氮	球状	12	375.5	3.20	21	92	0.46
速效磷	高斯	8.1	48.52	16.69	36	2.57 E+02	0.58
速效钾	高斯	1409	2819	49.98	201	2.48 E+05	0.87

半方差函数中块金值(C₀)与基台值(C+C₀)的比值,也就是随机变异占系统空间总变异的比列,能直接反映出系统变量的空间相关性程度,称之为块金效应。从表 3 可以看出,研究区内土壤 pH、碱解氮、速效磷的 C₀/(C+C₀) 小于 25%,均表现为强烈的空间自相关性,说明结构性因素(土壤类型、成土母质、地形地貌和气候等自然因素)对其空间变异起主导性作用,土壤中的 pH、碱解氮、速效磷的含量相对稳定;有机质、全氮、速效钾的 C₀/(C+C₀) 在 25%~75% 之间,表现为中等空间相关性,说明研究区内其土壤养分指标受到结构性因素和随机性因素(试验测量误差和耕作、施肥、管

理水平及种植制度等人为因素)的共同影响,人为活动相关的随机因素已逐渐对土壤养分中有机质、全氮、速效磷、速效钾的含量变异起着较大的影响,与结构性因素共同影响土壤的空间分布。

变程表示土壤养分空间相关性作用范围,其值的大小受观测尺度的影响。变程范围内,样点间的距离越小,空间相关性越大。由表 3 可知,研究区内土壤养分指标的变程在 12~201 m 范围内变化,具有明显差异,说明 6 种土壤养分指标的影响因素在不同的尺度上起作用,其大小顺序为速效钾>有机质>全氮>速效磷≥pH≥碱解氮。

植烟土壤有机质和碱解氮的半方差理论模型以球状模型为最佳,其余土壤养分各指标的理论模型拟合均选择高斯模型。速效钾和有机质的决定系数都为 0.87,表明拟合效果理想;全氮和速效磷的拟合效果次之,分别为 0.69 和 0.58;碱解氮和土壤 pH 的决定系数较低,拟合效果较差。

2.3 剑阁县烟田土壤养分的空间分布特征

根据半方差函数参数的建立和最优拟合模型的选择,分别对植烟土壤养分指标进行普通 Kriging 插值,对未采样区域土壤属性含量进行估算,绘制出研究区土壤养分属性含量的空间分布图参照土壤养分丰缺标准,对研究区植烟土壤养分指标进行分布图中阴影处为非植烟乡镇。

由图 2 可知,土壤养分各指标空间分布情况。剑阁县整体土壤属性偏碱,处于中等偏下适宜等级范围,应根据植烟土壤不同碱性程度适量进行施用硫酸亚铁和硫磺粉等酸性肥料来改善土壤碱性环境至适宜的土壤酸度范围 pH5.5~7;植烟土壤有机质含量整体较为欠缺,将妨碍烟株生长和根系发育,降低烟株抗逆性和主要经济性性状指标,不利于烟草优良品质的形成。持续增长的化肥施用量导致土壤中的养分

耗竭,因此在生产上应增施有机粪肥、提倡秸秆还田、实行轮作或间作制度,保持和提高有机质含量,改善农业生态环境及土壤的理化性状;大部分植烟土壤全氮处于较适宜范围,可进行氮肥的适量补充以保证土壤含氮量适当,同时应注意施氮肥量的平衡,加强对其使用量的控制,以及使用时间的掌握,避免烟株出现后期贪青晚熟,烟叶高氮高烟碱,降低烟叶品质及可用性;植烟土壤碱解氮含量整体处于优异水平;烟草的生长发育及代谢过程中速效磷具有重要的生理功能,植烟土壤速效磷含量分布均在较适宜至适宜范围内,针对植烟土壤速效磷含量较适宜区,可适量增加磷肥的施用量,提高土壤磷素水平至适宜等级,同时应注意磷肥施肥方式,以提高速效磷利用效率。钾是烤烟最重要的品质元素之一,既能增强烟草的抗逆能力,提高烟叶的燃烧性和吸湿性,又能降低烟叶带来的危害^[12]。绝大部分植烟土壤速效钾含量处于 120~200 mg/kg 较适宜范围内。剑阁县植烟土壤多为中性偏碱性土壤,土壤中交换性钙离子对烟株吸收钾离子有着颉颃作用,从而影响烟叶的正常生长代谢和品质。故生产中应注重加强钾肥的施用,以提高土壤中钾素水平和烟株营养含钾量。

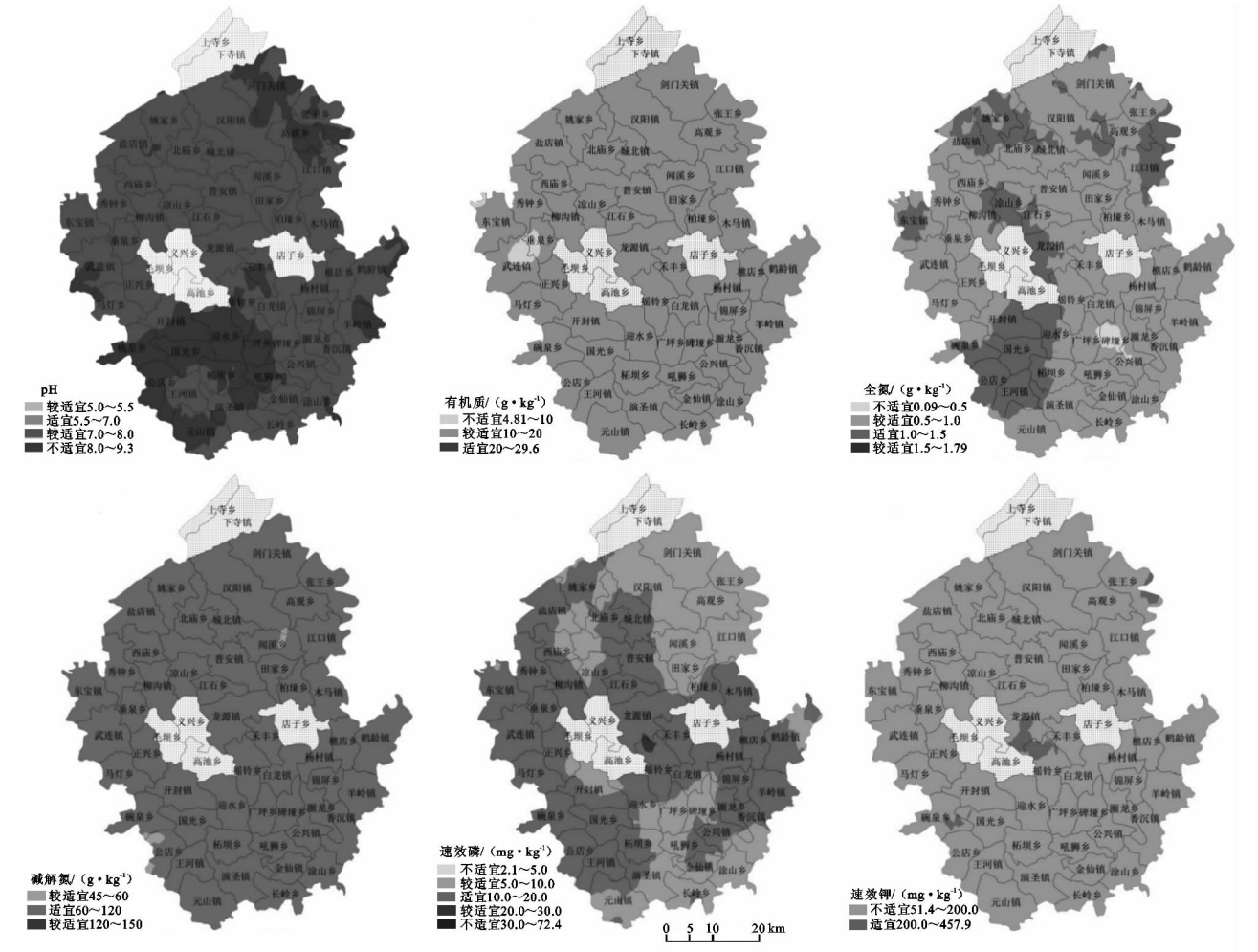


图 2 土壤养分的空间分布

3 结论

(1) 剑阁县植烟土壤 pH 平均值为 7.85,呈碱性,pH 变异系数最小,仅为 8.336%,为弱变异性,其余养分指标含量均为中等变异性,但变异程度各不相同。植烟土壤养分含量平均值表现出不同丰缺等级,有机质和全氮的平均值处于植烟土壤养分缺乏等级水平,碱解氮、速效磷和速效钾平均值均在中等丰缺范围内。描述性结果与腊贵晓^[13]和吕小娜^[14]研究中土壤描述性结果具有明显的差异,地域性差异对描述结果具有较大的影响。

(2) 剑阁县植烟土壤 pH 值、碱解氮和速效磷含量相对稳定,成土母质、地形、土壤类型、气候等稳定性结构性因素对其空间变异起主导性作用;有机质、全氮和速效钾为中等空间相关性,受到结构性因素和随机性因素的共同影响。人为活动等随机因素已逐渐对土壤养分中有机质、全氮等养分空间变异产生较大的影响,与结构性因素共同对土壤的空间分布起贡献作用。养分空间自相关距离具有明显差异,分别在 12~201 m 范围内,在不同的尺度上起作用。经过半方差理论模型拟合,有机质和碱解氮以球状模型为最佳,其余养分指标以高斯模型为适。这与张英^[15]研究土壤养分空间变异结果有所差异,可能受自然因素、人为因素等多方面综合共同影响导致。

(3) 土壤养分空间分布图可以直观呈现出剑阁县植烟区整体土壤 pH 值、全氮、碱解氮、有机质、速效磷和速效钾 6 个养分指标的分布情况,同时反映出剑阁县植烟乡镇各养分指标的丰缺状况,可为烟叶种植为施肥提供指导,针对不同乡镇不同养分指标等级进行相应的施肥管理,对当地农业管理具有一定的指导作用,为广元市剑阁县植烟土壤的差异化管理奠定了基础。植烟土壤养分管理中,应以优质适产为目的,不能盲目地提高某一种营养元素的用量,要注重平衡施肥的基本原则,否则会导致烟叶质量受到影响。要根据土壤类型、烤烟需肥量和肥料养分性质,制定合理科学的方法,来满足烟草生长对养分的需求,维持土壤肥力的平衡稳定,提高施肥利用率,提高烟叶的产量和品质。

在今后研究中,需完善广元市剑阁县烟叶种植生产的自然属性数据(如地形地貌、气象、水文等资源数据),以及相应的社会属性数据,使结果分析更合理准确,为研究区精准农业施肥提供理论基础和决策依据。

参考文献:

- [1] 宋国菡,杨献营,潘吉焕.我国烤烟施肥现状、存在问题及对策[J].中国烟草科学,1998(4):34-36.
- [2] Goovaerts P. Geostatistics in soil science: state-of-the-art and perspectives[J]. Geoderma,1999,89(1):1-45.
- [3] 华孟,王坚.土壤物理学[M].北京:北京农业大学,1992.
- [4] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2000.
- [5] 江厚龙,刘国顺,杨永锋,等.基于 GIS 和多种土壤属性的烟田养分分区管理研究[J].土壤,2011,43(5):736-745.
- [6] Burgess T M, Webster R. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties[J]. Journal of Soil Science,1980,31(2):315-331.
- [7] 高博超,娄翼来,金广远,等.基于 GIS 和地统计学的植烟土壤养分空间分析[J].中国烟草学报,2009,15(1):35-38.
- [8] 王新中,刘国顺,张正杨,等.基于 GIS 的烟田土壤养分管理分区划分[J].烟草科技,2011(8):68-72,83.
- [9] 赵康,李佛琳,赵志明,等.基于 GIS 技术的丽江金沙江流域烟区土壤肥力空间分析研究[J].云南农业大学学报,2011,26(S2):189-196.
- [10] 中国土壤学会.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国科技出版社,1999.
- [11] 陈江华,刘建利,李志宏.中国植烟土壤及烟草养分综合管理[M].北京:科学出版社,2008.
- [12] 廖晓勇,向明,秦毅.土壤施钾对烤烟品质的影响研究[J].中国生态农业学报,2005,13(4):124-126.
- [13] 腊贵晓,顾怀胜,刘国顺,等.喀斯特地区烟田土壤养分的空间变异特征[J].水土保持研究,2012,19(3):48-53.
- [14] 吕小娜,庞凤,李廷轩,等.四川省凉山州新植烟区土壤养分状况分析及综合评价[J].土壤通报,2013,44(3):691-697.
- [15] 张英.会理新植烟区土壤养分含量状况及其空间变异特征分析[D].北京:中国农业科学院,2011.