

DOI: 10.13758/j.cnki.tr.2020.02.021

向世鹏, 向德明, 田峰, 等. 湘西植烟土壤有机质和全氮时空变异特征研究. 土壤, 2020, 52(2): 372–377.

湘西植烟土壤有机质和全氮时空变异特征研究^①

向世鹏^{1,3}, 向德明², 田峰², 张黎明^{1,2}, 黎娟¹, 周米良², 田明慧², 李强^{1*}

(1 湖南农业大学农学院, 长沙 410128; 2 湖南省烟草公司湘西州公司, 湖南吉首 416000; 3 湖南省烟草公司长沙市公司, 长沙 410007)

摘要:为揭示湖南省湘西州烟区土壤有机质(SOM)和全氮(TN)的时空变异特征和为合理施用有机肥和氮肥提供科学依据, 采用经典统计学、地统计学和 GIS 等方法, 对湘西州 2000 年和 2015 年植烟土壤 SOM 和 TN 时空变异特征进行了研究。结果表明: 2015 年 SOM 和 TN 平均含量较 2000 年分别增加了 5.03 g/kg 和 0.31 g/kg, 增幅分别达 21.39% 和 21.99%, SOM 和 TN 含量的最小值变小, 变异系数、最大值和极差变大, Moran's I 指数标准化 Z 值下降, 块金效应增加; SOM 和 TN 含量“低”“适宜”等级面积分别下降了 3.42%、37.73% 和 2.04%、44.43%, “高”“极高”等级面积分别增加了 32.21%、8.94% 和 35.67%、10.80%。表明湘西植烟土壤 SOM 和 TN 含量和变异同时增加, SOM 和 TN 空间自相关性减弱, 随机变异性增强。植烟土壤 SOM 与 TN 含量表现出极显著的正线性相关, SOM 的矿化释放是 TN 的一个主要来源。

关键词: 湘西; 植烟土壤; 有机质; 全氮; 时空变异

中图分类号: S572.06 **文献标志码:** A

Temporal and Spatial Variability of Soil Total Nitrogen and Organic Matter in Tobacco-planting Area of Xiangxi, Hunan

XIANG Shipeng^{1,3}, XIANG Deming², TIAN Feng², ZHANG Liming^{1,2}, LI Juan¹, ZHOU Miliang², TIAN Minghui², LI Qiang^{1*}

(1 College of Agronomy, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; 2 Xiangxi Branch of Hunan Provincial Tobacco Company, Jishou, Hunan 416000, China; 3 Changsha Branch of Hunan Provincial Tobacco Company, Changsha 410007, China)

Abstract: Based on the methods of classical statistics and geostatistics, the spatiotemporal variation of soil organic matter (SOM) and total nitrogen (TN) from 2000 to 2015 in tobacco-planting area of Xiangxi were studied in order to provide scientific basis for reasonable application of organic and nitrogen fertilizers. The results showed that from 2000 to 2015 average SOM and TN increased by 5.03 g/kg (21.39%) and 0.31 g/kg (21.99%), respectively. For SOM and TN, their minima decreased while variation coefficients, maxima and ranges increased. In the past 15 years, the normalized Z values of Moran's I indexes of SOM and TN decreased, nugget effects increased; the “low” and “suitable” grade areas of SOM and TN decreased by 3.42%, 37.73% and 2.04%, 44.43%, respectively; while the “high” and “extremely high” grade areas of SOM and TN increased by 32.21%, 8.94% and 35.67%, 10.80%, respectively. In general, SOM and TN contents and their variations increased significantly in tobacco growing area of Xiangxi, the spatial autocorrelation of SOM and TN were weakened and the random variabilities were enhanced, and SOM showed an extremely significant positive linear correlation with TN, the mineralization and decomposition of soil SOM is the main source of TN.

Key words: Xiangxi; Tobacco-planting soil; Organic matter (SOM); Total nitrogen (TN); Spatiotemporal variation

土壤是决定烟草产量和品质的根本因素, 其供给状况直接影响烟株的生长发育^[1]。氮素是限制烟草生长和品质产量的首要因素^[2-6], 缺氮会导致烟株生长缓慢, 发育不良; 而氮素过量会导致烤烟生长过旺,

成熟延迟且落黄不好, 影响烤后烟叶品质, 严重的甚至造成黑暴烟, 失去使用价值^[7-11]。有机质是土壤固相部分的重要组成部分, 其含量与土壤肥力密切相关^[12-13]。对烟草而言, 土壤有机质含量过高或过低对于烟草的

①基金项目: 湖南省烟草公司项目(XX16-18Aa02)资助。

* 通讯作者(zqiangli@126.com)

作者简介: 向世鹏(1979—), 男, 湖南辰溪人, 博士研究生, 农艺师, 主要从事烟草遗传育种和烟叶生产技术研究。E-mail: 43190696@qq.com

生长发育都会产生不良影响^[14],只有在有机质含量适宜的条件下,才能生产出优质的烟叶^[15]。

湘西州位于湖南西北部,是湖南省重要的烤烟产区之一。虽然已有植烟土壤有机质(SOM)和全氮(TN)时空变异的研究报道^[16-20],关于湘西州植烟土壤方面,也已有了 SOM 含量分布特征以及 SOM 与有效养分的相关性研究报道^[21-22],但尚无 SOM 和 TN 时空变异及其之间关系的研究报道。为此,本研究以 2000 年和 2015 年两个时期湘西烤烟主产区土壤为研究对象,采用经典统计学和地统计学方法研究了 SOM 和 TN 含量特征以及时空变异特征,旨在为湘西州烤烟生产科学合理施用有机肥和氮肥提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 区域自然概况

湘西州位于湖南省西北部,东西宽约 170 km,南北长约 240 km,国土面积 15 462 km²,其中耕地面积 1.99 × 10⁶ hm²。全州地势呈西北高东南低的趋势,地形地貌以山原山地为主,兼有丘陵和小平原。湘西州属亚热带季风湿润气候,大陆性气候特征明显,夏季炎热多雨,冬季寒冷干燥,年均气温 16.5 ~ 17.5℃,年均降雨量 1 290 ~ 1 600 mm,年均日照时数 1 219 ~ 1 406 h。

湘西州是湖南主要烤烟产区之一,基本烟田 3.07 × 10⁵ hm²,其中水烟 1.32 × 10⁵ hm²,旱烟 1.75 × 10⁵ hm²,主要烤烟品种为云烟 87 和 K326,全州年均烟叶产量 2.25 × 10⁴ t,种植模式主要为烤烟-绿肥-玉米和烤烟-绿肥-水稻,土壤类型有发生分类上的水稻土、红壤、黄壤、黄棕壤、石灰土和紫色土等。

1.2 样品采集和分析

两次采样分别在 2000 年和 2015 年的 11—12 月进行。在烟田冬翻前,选取面积 ≥ 667 m² 的田块进行样品采集,用手持式 GPS 定位,记录田块中心的经纬度和海拔。根据采样田块的形状,采取“X”形或“W”形多点随机取样,用土钻采集耕作层土壤(0 ~ 20 cm),每个田块确保 5 个样点以上,将 5 个点的土样混合均匀后,用四分法取大约 1 kg 土样带回实验室,经风干、去杂、研磨、过 100 目(0.149 mm)筛后制成待测样品。SOM 测定采用重铬酸钾氧化法, TN 测定采用凯氏定氮法^[23]。

2000 年采集土壤样品 446 个,2015 年采集土壤样品 1 242 个,2015 年的采样点包括 2000 年的采集点(图 1)。

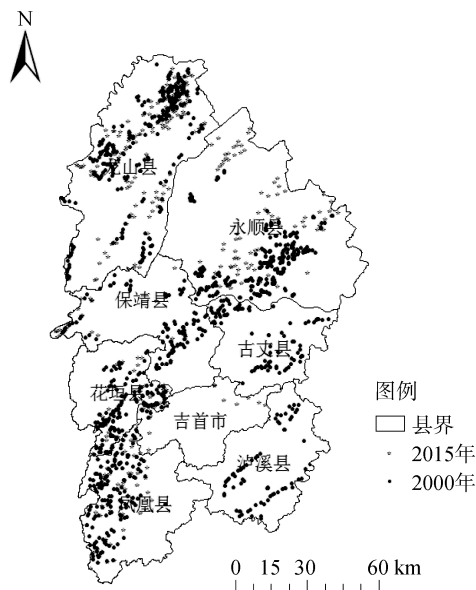


图 1 样点分布图

Fig.1 Sampling sites in 2000 and 2015

1.3 土壤有机质和全氮评价标准

本研究参照他人的研究结果^[24-25],制定了湘西烟区养分指标的评价标准,详见表 1。

表 1 湘西州植烟土壤 SOM 和 TN 分级标准

Table 1 Classification standards of SOM and TN

项目	级别				
	极低	低	适宜	高	极高
有机质(g/kg)	<10	10 ~ 15	15 ~ 25	25 ~ 35	>35
全氮(g/kg)	<0.7	0.7 ~ 1.0	1.0 ~ 1.5	1.5 ~ 2.0	>2.0

1.4 数据分析

采用 IBM Statistics SPSS20.0 进行 SOM 和 TN 含量的描述性统计和 K-S 检验^[26]。半方差函数模型的计算和理论模型拟合采用 GS+9.0 完成^[27], Kriging 插值、绘图及面积统计均在 ENRI ArcGIS 10.2.2 中实现^[28-30]。

2 结果与分析

2.1 湘西植烟土壤有机质和全氮基本统计特征

15 a 来,湘西植烟土壤 SOM 和 TN 含量均值均增加显著,2015 年较 2000 年分别上升了 5.03 g/kg 和 0.31 g/kg,上升幅度分别达 21.39% 和 21.99%,从“适宜”等级变为“高”等级,最小值变小,而变异系数、最大值、极差均变大,表明 SOM 和 TN 含量在大幅增加的同时,其变异也在变大。

2.2 湘西植烟土壤有机质和全氮时空变异特征

采用多种函数模型对湘西植烟土壤 SOM 和 TN 含量空间分布特征进行拟合,获得最佳函数模型及其

表 2 不同时期湘西州植烟土壤 SOM 和 TN 含量状况
Table 2 Statistics of SOM and TN in tobacco-planting area in 2000 and 2015 in Xiangxi

统计值	SOM (g/kg)			TN (g/kg)		
	2000 年	2015 年	增量	2000 年	2015 年	增量
均值	23.52	28.55	5.03	1.41	1.72	0.31
标准差	5.87	10.68	4.81	0.29	0.61	0.32
变异系数	24.95	37.42	12.47	20.57	35.48	14.91
极小值	8.70	3.73	-4.97	0.66	0.36	-0.30
极大值	50.10	91.30	41.20	2.72	4.47	1.75
极差	41.40	87.57	46.17	2.06	4.11	2.05

相关参数(表 3), 两个年度的 SOM 和 TN 含量的最佳函数模型为均为指数模型, 各模型均具有较高的拟合精度(RMSSE 接近 1, MSE 接近 0), 能够很好地反映

表 3 湘西植烟土壤 SOM 和 TN 的半方差函数模型及相关参数
Table 3 Semi-variogram models and parameters of SOM and TN in tobacco-planting area in Xiangxi

指标	年份	模型	块金值	基台值	块金效应	变程 (km)	Moran's I	标准化 Z 值	插值精度	
			C ₀	C ₀ +C	C ₀ /(C ₀ +C)				RMSSE	MSE
SOM	2000 年	指数模型	22.77	36.21	62.89%	0.589	0.364	11.17	0.963	-0.005
	2015 年	指数模型	94.60	141.45	66.88%	0.049	0.263	7.42	0.907	-0.003
TN	2000 年	指数模型	0.003	0.070	4.627%	0.027	0.342	10.110	0.973	-0.004
	2015 年	指数模型	0.020	0.262	7.057%	0.039	0.213	6.960	0.929	0.000

采用普通 Kriging 插值法获取 2000 年和 2015 年湘西州植烟土壤 SOM 和 TN 含量空间分布图(图 2), 并利用 ArcGIS 软件 ArcTool box 模块统计不同等级面积, 可知, 两个时期 SOM 和 TN 空间分布无明显规律性, 2015 年湘西植烟土壤 SOM 和 TN 分级面积与 2000 年相比发生较大变化。

2000 年湘西植烟土壤 SOM 含量总体较适宜, “适宜”等级面积高达 83.05%, “低”和“高”的面积比例分别仅为 3.52% 和 13.43%。2015 年 SOM 含量较 2000 年有较大变化的趋势, 新增了 2000 年未出现的“极高”等级, 面积为 8.94%; “高”等级亦由原来的小范围分布增加至 45.64%, 相应地“适宜”等级的面积下降至 45.32%。综上, 2015 年湘西植烟土壤 SOM “高”和“极高”等级的面积显著增加, 分别增加了 32.21% 和 8.94%; 而“低”和“适宜”等级则大幅下降, 分别下降了 3.42% 和 37.73%。SOM 这一大幅增加的趋势与有机物料投入增加有关。

2000 年湘西植烟土壤 TN 含量总体较适宜, TN “适宜”的面积高达 83.33%, “低”、“高”和“极高”的面积比例分别仅为 4.20%、12.33% 和 0.14%。2015 年植烟土壤 TN 较 2000 年有较大的变化趋势, “极高”等级由原来的零星分布增加至

SOM 和 TN 空间结构特征。两个年度的 SOM 块金效应均在 25% ~ 75%, 而 TN 的块金效应均<25%, 表明 SOM 的空间变异由随机因素和结构因素共同决定, 而 TN 则主要由结构性因素决定。2015 年各指标的块金效应数值均较 2000 年有所增大, 反映出随机性因素对 SOM 和 TN 的作用变大, 表明 SOM 和 TN 的空间结构性减弱, 随机变异性增强。此外, 15 a 来 SOM 和 TN 的 Moran's I 值也均有较大下降。经标准化计算, 两个年份 Moran's I 的标准化 Z 值均大于 2.58, 说明两个年度植烟土壤 SOM 和 TN 均表现为显著空间自相关, 2015 年标准化 Z 值低于 2000 年, 表明 SOM 和 TN 的空间自相关性在减弱, 随机性因素对其影响在增强。

10.94%, “高”等级亦由原来的小范围分布增加至 48.00% 而成为主要等级, 相应地“适宜”等级的面积下降至 38.90%。综上, 2015 年湘西植烟土壤 TN “高”和“极高”等级的面积显著增加, 分别增加了 35.67%和 10.80%; 而“低”和“适宜”等级则大幅下降, 分别下降了 2.04%和 44.43%, 15 a 来湘西植烟土壤 TN 含量大幅增加。

2.3 湘西植烟土壤有机质与全氮的关系

本研究进一步对两个年度湘西植烟土壤 SOM 与 TN 含量的关系进行了深入研究。2000 年的数据分析结果表明, 土壤 SOM 与 TN 含量呈极显著的正线性相关($r=0.853$, $P=0.000$); 进一步采用决策树模型分析土壤 SOM 对 TN 含量的影响, 结果表明土壤 SOM 对 TN 影响的拐点分别为 21.80 g/kg 和 24.10 g/kg, 2 个拐点将土壤按 SOM 高低分成 3 组, 各分组土壤 TN 均值分别为 1.196、1.377、1.652 g/kg, 土壤 TN 在土壤 SOM 分组间差异达极显著水平(图略); 采用等样本数平滑回归分析的方法分析土壤 SOM 与 TN 含量的关系, 结果显示烤烟土壤 SOM 与 TN 含量呈极显著的线性正相关($R^2=0.9803$, $P=0.000$), 土壤 SOM 每增加 10 g/kg, TN 相应增加 0.424 g/kg(图 3)。

2015 年的数据分析结果与 2000 年的结果高度一

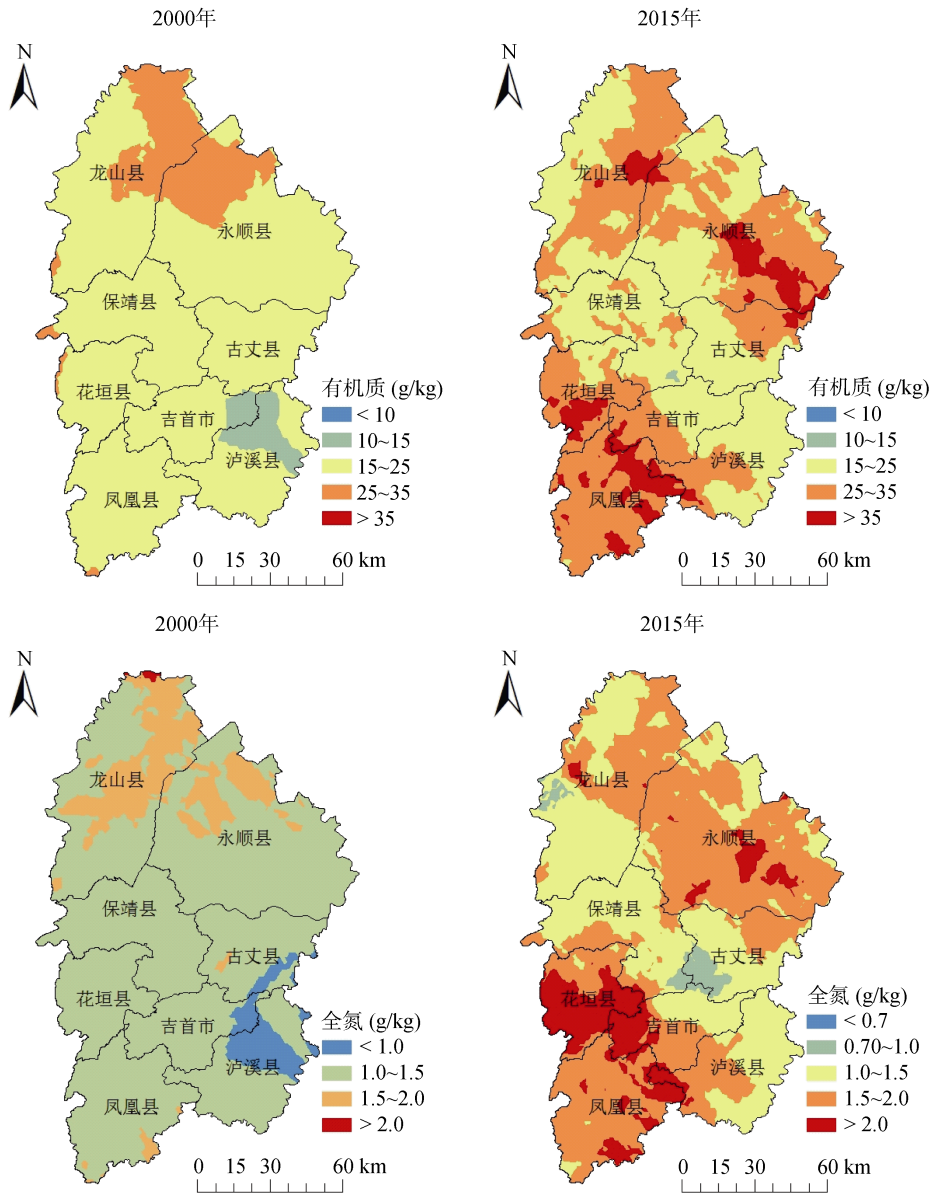


图 2 湘西植烟土壤 SOM 和 TN 含量时空分布

Fig. 2 Spatial distribution of SOM and TN in 2000 and 2015 in Xiangxi

表 4 不同时期湘西植烟土壤 SOM 和 TN 各等级面积变化
Table 4 Area changes of SOM and TN under different grades from 2000 to 2015 in tobacco-planting area in Xiangxi

等级	SOM 面积比例(%)			TN 面积比例(%)		
	2000 年	2015 年	增量	2000 年	2015 年	增量
极低	-	-	0.00	-	-	-
低	3.52	0.10	-3.42	4.20	2.16	-2.04
适宜	83.05	45.32	-37.73	83.33	38.90	-44.43
高	13.43	45.64	32.21	12.33	48.00	35.67
极高	-	8.94	8.94	0.14	10.94	10.80

致，土壤 SOM 与 TN 呈极显著正线性相关($r=0.749$, $P=0.000$)；决策树模型分析结果表明，土壤 SOM 对

TN 含量影响的拐点分别为 16.50、19.94、25.00、29.50、36.20、42.10 g/kg，6 个拐点将土壤按 SOM 含量高低分成 7 组，各分组土壤全氮含量均值分别为 0.953、1.298、1.474、1.681、1.929、2.162、2.647 g/kg，TN 在土壤 SOM 分组间差异达到极显著水平(图略)。等样本数平滑回归分析结果显示(图 3)，烤烟土壤 SOM 与 TN 含量呈极显著的线性正相关($R^2=0.9799$, $P=0.000$)，SOM 每增加 10 g/kg，TN 相应增加 0.431 g/kg。综上，两个年份 SOM 与 TN 含量的关系高度一致。

3 讨论

SOM 和 TN 均是植烟土壤肥力评价的关键指标，

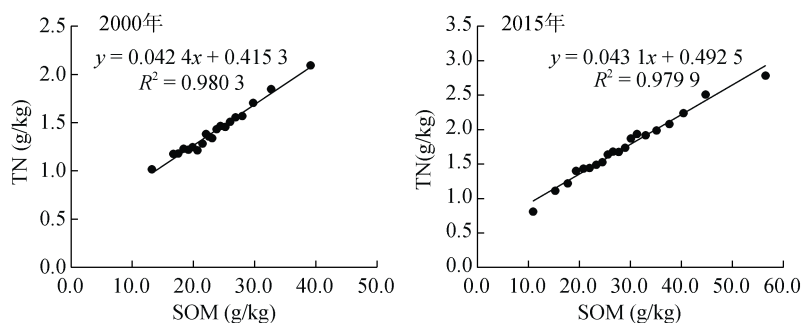


图 3 2000 年和 2015 年土壤 SOM 与 TN 含量的平滑回归分析

Fig. 3 Correlation between soil SOM and TN in 2000 and 2015

对烟株生长和烟叶品质影响显著^[31]。烟草生长对 SOM 含量的适应性虽然较广,但过高或过低不利于烟叶品质,一般认为 15~35 g/kg 对优质烟叶形成最为有利^[32]。同样地,虽然在不同氮素含量的土壤上烟草一般均能完成其生活史,但有利于烟叶品质的土壤 TN 适宜含量范围为 1.0~1.5 g/kg。土壤理化性状有很强的空间异质性和时空变异性, SOM 和 TN 含量的变化是一个随时间和空间变化而动态变化的过程。粮食作物土壤的相关报道较多,近年来有关植烟土壤 SOM 和 TN 含量的时空变异也有报道。邓小华等^[33]研究发现,近 10 a 来湖南邵阳烟区土壤 SOM 呈上升趋势,各县平均增幅达 8.73%~23.67%,与本研究结果一致。15 a 来,湘西植烟土壤 SOM 从 23.52 g/kg 上升到 28.55 g/kg,逐渐偏离烤烟生长的适宜范围,增幅达 21.39%,这与当地的土壤保育措施如秸秆还田、绿肥种植、商品有机肥施用等措施密不可分。刘勇军等^[34]等研究发现,从 2000 年至 2015 年湖南宁乡烟区土壤 TN 含量增幅达 6.63%,且空间分布特点发生巨大变化,也与本研究的结果基本一致。15 a 来,湘西植烟土壤 TN 含量从 1.41 g/kg 上升到 1.72 g/kg,增幅达 21.99%,从“适宜”等级变为“高”等级,这可能与氮肥投入量增加以及植烟土壤氮素的逐年累积有关。

耕地土壤变异可分为系统变异和随机变异,这两种变异分别由结构因子和人为因子导致^[35]。本研究采用目前常用的半方差函数法进行土壤 SOM 和 TN 含量的时空变异研究^[27],不仅可以探明两者的空间异质性,还可以解析其随时间变异性,同时可避免样本方差的影响。本研究中两个年份植烟土壤的 SOM 和 TN 的最佳函数均为指数模型,模型的 RMSSE 接近 1,且 MSE 接近 0,表明模型的拟合精度较高,可以精确反映土壤 SOM 和 TN 的空间结构特征和时间变化。15 a 间, SOM 和 TN 的块金效应有所增加,表明随机因子(农艺措施、肥料投入等)对其影响

程度增强, Moran's I 值的计算结果也印证了这一结论,这与唐春闰等^[19]在浏阳烟区的研究基本结论一致。说明长期的种植制度、耕作措施和养分管理等人为干预措施对植烟土壤 SOM 和 TN 均会产生显著的影响。两个年份植烟土壤 SOM 与 TN 含量呈极显著线性正相关,与王丰等^[36]的研究结果基本一致,说明 SOM 的矿化释放是 TN 的一个主要来源。

4 结论

本研究主要通过地统计学和 GIS 技术对湘西植烟土壤 SOM 和 TN 含量时空变异特征进行了研究。从基本统计特征来看,湘西植烟土壤 SOM 和 TN 含量均值增加,最小值变小,而变异系数、最大值、极差均变大,表明两者在大幅增加的同时,其变异也在变大。从空间分布和面积统计结果来看,15 a 来 SOM 和 TN 变化较大,“低”和“适宜”等级的面积下降,“高”和“极高”等级的面积增加, SOM 和 TN 空间自相关性在减弱,随机变异性在增强。植烟土壤 SOM 与 TN 含量呈极显著的线性正相关, SOM 的矿化释放是 TN 的一个主要来源。

参考文献:

- [1] 高林,董建新,武可峰,等. 土壤类型对烟草生长发育的影响研究进展[J]. 中国烟草科学, 2012, 33(1): 98-101.
- [2] 韩锦峰. 烟草栽培生理[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003.
- [3] 刘青丽,任天志,李志宏,等. 我国主要植烟土壤氮素矿化潜力研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(6): 1266-1272.
- [4] 刘维智,贾宏昉,尹贵宁,等. 缺氮及氮素形态对烟草幼苗糖代谢的影响机理初探[J]. 西北植物学报, 2015, 34(3): 530-535.
- [5] 陈义强,刘国顺,习红昂,等. 烟草栽培中氮、磷、钾肥及水分因子与产值的经验模型[J]. 中国农业科学, 2008, 41(2): 480-487.
- [6] 肖浪涛,王三根. 植物生理学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003.

- [7] 赵军, 窦玉青, 宋付朋, 等. 有机和无机烟草专用肥配合施用对烟草生产效益和肥料氮素利用率的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(3): 613–619.
- [8] 孙楦淑, 杨军杰, 周骏, 等. 不同氮素形态对烟草硝态氮含量和 TSNA 形成的影响[J]. 中国烟草学报, 2015, 21(4): 78–84.
- [9] 张本强, 马兴华, 王术科, 等. 施氮方式对烤烟氮素吸收积累及品质的影响[J]. 中国烟草科学, 2011, 32(5): 56–62.
- [10] 樊玉星, 张洁洁, 闫凯龙, 等. 不同施氮水平对水稻土氮素供应和烤烟氮素吸收积累的影响[J]. 土壤, 2016, 48(3): 455–462.
- [11] 穆金丽, 谭钧, 刘国顺, 等. 腐植酸和氮肥用量及其互作对植烟土壤质量的影响[J]. 土壤, 2017, 49(1): 27–32.
- [12] 赵明松, 张甘霖, 李德成, 等. 江苏省土壤有机质变异及其主要影响因素[J]. 生态学报, 2013, 33(16): 5058–5066.
- [13] 万川. 植烟土壤有机质状态对有机肥的响应及其与烟草品质的关联规律研究[D]. 重庆: 西南大学, 2015.
- [14] 孙燕, 高焕梅, 和林涛. 土壤有机质及有机肥对烟草品质的影响[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(20): 6160–6161.
- [15] 尚斌, 邹焱, 徐宜民, 等. 贵州中部山区植烟土壤有机质含量与海拔和成土母质之间的关系[J]. 土壤, 2014, 46(3): 446–451.
- [16] 唐杰, 王昌全, 李启权, 等. 川北植烟土壤有机质和全氮空间变异研究[J]. 中国烟草学报, 2014, 20(5): 66–72.
- [17] 肖怡, 李珊, 李启权, 等. 泸州烟区土壤有机质和全氮空间变异特征及其影响因素[J]. 西南农业学报, 2016, 29(8): 1924–1931.
- [18] 张薇, 高明, 王辉, 等. 丘陵地区植烟土壤有机质空间变异研究——以重庆市彭水县为例[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2007, 32(6): 98–103.
- [19] 唐春闰, 李帆, 杨红武, 等. 浏阳植烟土壤 pH 和有机质时空变异及丰缺评价[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2017, 32(1): 134–139.
- [20] 贺凡. 高有机质背景下四川凉山植烟田土壤养分空间变异及分区管理研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2012.
- [21] 刘逊, 邓小华, 周米良, 等. 湘西植烟土壤有机质含量分布及其影响因素[J]. 核农学报, 2012, 26(7): 1037–1042.
- [22] 杨舟非, 张明发, 田峰, 等. 湘西州植烟土壤有机质特征及与土壤养分的相关性研究[J]. 中国农学通报, 2015, 31(1): 69–75.
- [23] 张甘霖, 龚子同. 土壤调查实验室分析方法[M]. 北京: 科学出版社, 2012.
- [24] 中国农业科学院烟草研究所. 中国烟草栽培学[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2005: 319–332.
- [25] 曹志洪. 优质烤烟生产的土壤与施肥[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1991.
- [26] 郝黎仁, 攀元, 郝哲欧. SPSS 实用统计分析[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2002.
- [27] 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.
- [28] 赵业婷, 常庆瑞, 李志鹏, 等. 基于 Cokriging 的耕层土壤全氮空间特征及采样数量优化研究[J]. 土壤学报, 2014, 51(2): 415–422.
- [29] 赵明松, 张甘霖, 王德彩, 等. 徐淮黄泛平原土壤有机质空间变异特征及主控因素分析[J]. 土壤学报, 2013, 50(1): 1–11.
- [30] 吴秀芹, 张洪岩, 李瑞改, 等. ArcGIS9 地理信息系统应用与实践(下册) [M]. 北京: 清华大学出版社, 2007: 463–517.
- [31] 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.
- [32] 王彦亭, 谢剑平, 李志宏. 中国烟草种植区划[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [33] 邓小华, 邓井青, 宾波, 等. 邵阳植烟土壤有机质含量时空特征及与其他土壤养分的关系[J]. 烟草科技, 2014, 47(6): 82–86.
- [34] 刘勇军, 黎娟, 唐春闰, 等. 宁乡植烟土壤主要养分时空分布研究[J]. 湖南农业科学, 2018(2): 58–62.
- [35] 李强, 周冀衡, 李迪秦, 等. 曲靖烟区土壤有效中量元素的空间变异特征及影响因子研究[J]. 核农学报, 2011, 25(3): 540–547.
- [36] 王丰, 邓小华, 王少先, 等. 黔西南州植烟土壤有机质含量及与其他土壤养分的关系[J]. 山地农业生物学报, 2014, 33(5): 63–67.