

茶陵县烟稻复种区土壤养分时空变异特征

张 阳^{1,2}, 屠乃美^{1*}, 谢会雅², 陈舜尧², 邓浏平³, 傅雪平³, 王 旋³, 何 伟³

(1. 湖南农业大学农学院, 湖南长沙 410128; 2. 湖南省烟草公司株洲市公司, 湖南株洲 412002;

3. 湖南省烟草公司茶陵县公司, 湖南株洲 412400)

摘 要: 采用传统统计学、地统计学的分析方法, 使用 2009 年、2014 年和 2018 年茶陵县烟稻复种区土壤养分含量数据, 对该区土壤养分的时空变异特征及其与地形因子的相关性进行了研究。结果表明: 2009 年土壤有机质、速效钾含量偏低, pH 适中, 全氮含量适宜, 全磷含量极低; 2009 年至 2014 年间土壤 pH 降低, 氮、磷、钾养分含量升高; 2014 年至 2018 年间, 土壤 pH 值升高, 有机质、全氮含量降低, 全磷、速效钾、可溶性氯含量继续升高。地统计学分析表明, 随烟稻复种年限的增加, 土壤 pH、有机质变化受随机因素影响增大, 速效钾、水溶性氯离子含量始终表现为强空间相关性。坡度对土壤 pH、有机质含量影响显著, 坡向对土壤速效养分含量影响较强, 而时间和地形双因素间的交互作用对土壤养分含量的影响不显著。综上所述, 湘东茶陵烟稻复种区的耕作制度有利于土壤肥力提高; 整体而言, 在现有施肥水平基础上, 应适当增加氮肥用量、稳定磷肥投入, 减少钾肥施用, 以确保作物高产、地力可持续提升。

关 键 词: 烟稻复种; 土壤养分; 时空变异; 地形因子

中图分类号: S147.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 0564-3945(2021)02-0297-09

DOI: [10.19336/j.cnki.trtb.2020081201](https://doi.org/10.19336/j.cnki.trtb.2020081201)

张 阳, 屠乃美, 谢会雅, 陈舜尧, 邓浏平, 傅雪平, 王 旋, 何 伟. 茶陵县烟稻复种区土壤养分时空变异特征 [J]. 土壤通报, 2021, 52(2): 297 - 305

ZHANG Yang, TU Nai-mei, XIE Hui-ya, CHEN Shun-yao, DENG Liu-ping, FU Xue-ping, WANG Xuan, HE Wei. Spatial and Temporal Variation of Soil Nutrients in Tobacco-rice Multiple-cropping Area of Chaling[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2021, 52(2): 297 - 305

土壤养分含量是作物、气象、地形、土壤、人为活动等多因子综合作用的结果^[1-4]。长期种植农作物的耕作方式和肥料施用等对土壤养分含量和比例产生了严重影响^[5-7], 同时不同地形因子对土壤养分也存在一定关系^[8]。植烟土壤各主要养分存在不同的时空变异性, 比如湖南浏阳植烟土壤有机质和 pH 空间结构减弱, 随机变异性增强^[9]; 贵州遵义植烟土壤速效钾和缓效钾含量增加, 但土壤 pH、有机质、全氮、有效磷和碱解氮含量下降^[10]。烟稻复种是湖南烟区常见的种植模式^[11], 年度肥料投入较大, 对土壤时空变异影响较大, 迄今为止, 烟稻复种区土壤养分变化研究虽多, 但湘东烟稻复种区土壤养分时间和空间变异的影响研究尚未见报道。本研究运用地理信息技术和地统计学相结合的方法, 首次研究了湘东烟稻复种区 2009 年、2014 年和 2018 年 3 个年份土壤主要养分含量的时空变异特征, 同时分析了地形因子对该区土壤养分的影响, 旨在了解烟稻复种

区土壤养分的时空变异规律, 为该地区烤烟生产测土配方施肥和养分精确管理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

株洲市茶陵县位于湖南东部的湘赣边界、罗霄山脉西麓, 地处东经 113°20' ~ 113°65', 北纬 26°30' ~ 27°7', 是中国历史上唯一以茶命名的行政县。该县地貌类型以山地为主, 丘陵次之, 岗、平地面积较少。茶陵县气候属于亚热带季风湿润气候, 年日照率 37%, 年均日照时数为 1744.7 h, 年平均气温 17.9 °C, 太阳辐射总量 470.24 J cm⁻³, 稳定通过 10 °C 的天数为 232 天, 活动积温 5509 °C, 无霜期 290 天, 年均降雨量 1423 mm。耕作制度以春烟—晚稻的复种制度为主, 春烟 3 月中下旬移栽, 7 月下旬采摘完毕; 晚稻 8 月上旬移栽, 10 月下旬至 11 月上旬收割。根据全国烤烟烟叶香型风格区划^[12], 茶陵烟区属于南岭

收稿日期: 2020-08-12; 修订日期: 2020-12-19

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项经费项目(201503123-05)资助

作者简介: 张 阳(1988-), 男, 湖南永州人, 博士研究生, 助理农艺师, 主要从事烟叶栽培研究。E-mail: 535956484@qq.com

*通讯作者: E-mail: tmm505@163.com

丘陵生态区—焦甜醇甜香型区域。

1.2 样品采集与数据来源

根据茶陵县烟稻复种区土壤类型、地形地貌、耕作施肥情况，并兼顾各地不同生态条件及不同肥力水平农田面积，采用 GPS 定位，按每 20 hm² 左右采集 1 个耕层 (0 ~ 20 cm) 土壤样品，于 2009 年采集耕层土壤样品 39 个，2014 年在 2009 年的采样点之外增加采样点 19 个，2018 年采样点与 2014 年一致，采集土壤样品 58 个，采样点的分布如图 1 所示。采样时间为当年的 1 月份，即晚稻收割后、烟田备耕开始前；采集的土样经风干、研磨处理，测定 pH、有机质、全氮、全磷、速效钾、水溶性氯等性质指标。由于 2009 年土样样品量有限，当年未做水溶性氯含量测定。

地形因子包括海拔和坡度、坡向 3 个因子，其数据根据 30 m 分辨率的 ASTER GDEM 运用 ArcToolbox 模块提取获得。地形因子分级参照李龙^[13] 研究方法进行，结合茶陵县烟稻复种实际情况，将烟稻复种农田坡度划分为三个级别，即 < 2° 无水土流失区，2° ~ 6° 轻度土壤侵蚀区，6° ~ 15° 中度水土流失区。海拔以 30 m 间隔由低到高等距划分为 < 130 m、130 ~ 160 m、160 ~ 190 m、> 190 m 4 个梯度。坡向划分为阴坡、半阴坡、半阳坡、阳坡 4 个，具体做法是以正北方向作为 0°，先以 22.5° 为一个角度单元依次

划分出 16 个坡向角，再将相邻的 4 个坡向角合并为一个坡向。

1.3 烟稻复种区土壤主要养分适宜性分级

参照罗建新等^[14] 构建的湖南省植烟土壤养分丰缺状况的五级体系对茶陵县植烟土壤养分含量做适宜性分级，结果如表 1。

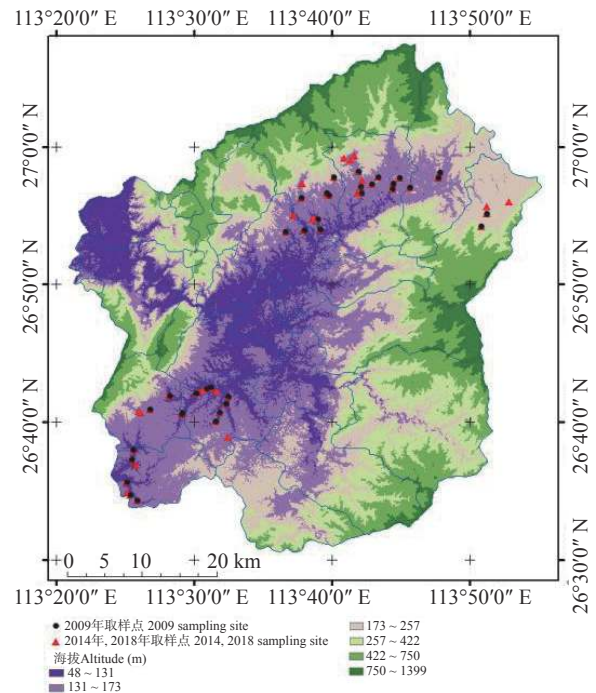


图 1 茶陵县地形图及土壤采样点分布图
Fig.1 Distribution of soil sampling sites in Chaling

表 1 湖南省植烟土壤的主要养分指标与等级
Table 1 The indexes and grades of the chief nutrient of tobacco-growing soil in Hunan

指标 Index	级别 Level				
	极低 Extremely low	低 Low level	适宜 Suitable level	高 High level	极高 Extremely high
酸碱度 pH	< 5.0	5.0 ~ 5.5	5.5 ~ 7.0	7.0 ~ 7.5	> 7.5
有机质 SOM (g kg ⁻¹)	< 15	15 ~ 25	25 ~ 35	35 ~ 45	> 45
全氮 TN (g kg ⁻¹)	< 0.5	0.5 ~ 1.0	1.0 ~ 2.0	> 2.0	
全磷 TP (g kg ⁻¹)	< 0.5	0.5 ~ 1.0	1.0 ~ 1.5	> 1.5	
速效钾 AK (mg kg ⁻¹)	< 80	80 ~ 160	160 ~ 240	240 ~ 350	> 350
水溶性氯离子 WSCL (mg kg ⁻¹)	< 5.0	5 ~ 10	10 ~ 20	20 ~ 30	> 30

1.4 数据分析

常规数据统计分析采用 SPSS 19.0 软件进行，地统计分析及其养分时空分布图绘制采用 GS+9.0 和 ArcGIS 10.2 软件完成。地统计学分析部分，先用 GS+9.0 软件自动求出烟稻复种区土壤养分指标的最优半方差函数及其相关参数，既选择决定系数 (R²) 最大、残差平方和 (RSS) 最小的模型参数^[15]，再使用 GIS 10.2 软件的半方差函数进行普通克里格插值绘图，得到土壤主要养分含量空间分布图，并利用 ArcGIS

10.2 软件自带的 ArcTool box 模块计算 3 个时期土壤养分不同级别的占比。

2 结果与分析

2.1 烟稻复种区土壤主要养分指标时间变化

将表 2 中各年度土壤养分平均值与养分分级指标相比较可知，2009 年烟稻复种区土壤 pH、全氮含量较为适宜、有机质、速效钾含量偏低，全磷含量处于极低级别，2014 年茶陵县烟稻复种土壤的 pH、

水溶性氯离子处于适宜级别, 有机质、全氮为高级别, 全磷、速效钾为低级别。2014 年~2018 年间, 土壤有机质、全氮含量有所降低, 处于适宜级别;

pH、全磷、水溶性氯离子含量均有所上升但级别未发生改变, 速效钾含量上升幅度较大, 但 2018 年仍处于适宜级别。

表 2 茶陵县烟稻复种区土壤主要养分含量状况
Table 2 The main nutrient contents of soil in Chaling

指标 Index	年份 Year	样本数 Sample size	平均值 average value	标准差 Standard deviation	变异系数 (%) Coefficient of variation
pH	2009	39	5.78 ab	0.44	0.08
	2014	58	5.50 b	0.95	0.17
	2018	58	5.85 a	0.85	0.15
有机质 (g kg ⁻¹)	2009	39	21.00 c	4.55	0.22
	2014	58	37.86 a	9.57	0.25
	2018	58	30.91 b	8.7	0.28
全氮 (g kg ⁻¹)	2009	39	1.16 b	0.35	0.30
	2014	58	2.05 a	0.52	0.25
	2018	58	1.97 a	0.51	0.26
全磷 (g kg ⁻¹)	2009	39	0.45 c	0.18	0.4
	2014	58	0.51 b	0.15	0.3
	2018	58	0.63 a	0.15	0.24
速效钾 (mg kg ⁻¹)	2009	39	138.31 b	60.86	0.44
	2014	58	144.01 b	48.24	0.33
	2018	58	238.21 a	76.13	0.32
水溶性氯离子 (mg kg ⁻¹)	2009	—	—	—	—
	2014	58	14.67 b	12.47	0.85
	2018	58	17.95 a	15.14	0.84

注: 不同小写字母表示不同年份间存在显著差异 ($P < 0.05$) (T 检验)。

2.2 烟稻复种区主要养分时空变化

C_0 为块金值, 是间距 h 为 0 时的半方差, 表示由随机因素引起的变异; C 为偏基台值, 是结构性因素的变异^[16]。块金值与基台值之比为块金效应, 用于表征系统变量的空间相关性程度, 当比值 $< 25\%$, 说明系统具有强烈的空间相关性, 空间变异主要受结构性因素影响; 如果比值在 $25\% \sim 75\%$, 表明系统具有中等的空间相关性; 比值 $> 75\%$ 则说明系统空间相关性很弱, 空间变异主要受随机因素影响^[17]。由表 3 可知: 2009 年土壤 pH、有机质的块金效应均小于 25% , 表现为强空间相关性, 而 2014 年、2018 年 2 个时期土壤 pH、有机质的块金效应均在 $25\% \sim 75\%$ 范围, 表现为中等空间相关性, 表明随机因素 (如施肥、田间管理等) 对土壤 pH 和有机质含量空间变异中的主导作用加强^[18]; 3 个时期的土壤速效钾和 2 个时期的水溶性氯的块金效应均小于 25% , 表现为强空间相关性, 表明速效养分主要受结构性因素 (如地形、气候、成土母质、土壤类型、时间等) 影响^[19]; 全氮、全磷 3 个时期空间依赖性表现不同, 2014 年表现为中等空间相关性, 而在 2009 年和 2018 年表现为强空间相关性。

由图 2 及表 4 可知, 2009 年 89.13% 的烟稻复种

区域土壤 pH 适中, 土壤 pH 较低的区域主要集中在茶陵县北部的腰陂镇; 71.67% 烟稻复种区域土壤有机质含量低为 $15 \sim 25 \text{ g kg}^{-1}$; 92.41% 的土壤全氮含量为适宜级别, 腰陂镇、枣市镇部分区域土壤全氮含量处于低级别; 88.12% 的植烟土壤全磷含量极低; 86.60% 的植烟土壤速效钾含量低, 仅 12.63% 的植烟土壤速效钾含量处于适宜级别, 主要分布在腰陂、火田、秩堂、高陇 4 镇。

由图 3 及表 4 可知, 2014 年 61.32% 的烟稻复种区域土壤 PH 低于 5.5, 较 2009 年土壤酸化面积和程度增加, 茶陵县北部最为明显, 而枣市、马江 2 镇植烟土壤的 pH 值较 2009 年有所上升; 土壤有机质含量大幅上升, 高级别土壤占比达 65.36%; 近 45% 的烟稻复种区域土壤全氮含量上升至高水平, 火田、高陇、秩堂三镇上升幅度较大; 2014 年土壤速效钾含量较 2009 年变化不大, 马江、枣市 2 镇部分区域速效钾含量有所上升; 2014 年的土壤水溶性氯含量适中、低、极低分别占比 46.05%、22.52%、24.25%, 土壤水溶性氯含量极低区域集中在茶陵县北部区域, 位于县域南端的界首镇基本为水溶性氯含量低的级别, 其他植烟土壤主要为适宜级别。

表 3 土壤养分半变异函数理论模型及其参数
Table 3 Semivariogram models of soil nutrients and their parameters

指标 Index	年度 Year	模型 Model	块金值 C ₀ Nugget	基台值 C ₀ +CStill	变程 (km) Range	块金效应 (%) Nugget effect
酸碱度 pH	2009	指数	0.0009	0.1538	2.31	0.59
	2014	球面	0.245	0.792	7.84	30.93
	2018	球面	0.187	0.633	7.22	29.54
有机质 (g kg ⁻¹)	2009	球面	12.8	60.1	1.14	21.3
	2014	指数	29.3	82.3	6.84	35.6
	2018	球面	20.2	77.4	9.98	26.1
全氮 (g kg ⁻¹)	2009	指数	0.0394	0.1828	0.09	21.55
	2014	指数	0.0876	0.2382	6.48	36.78
	2018	指数	0.0047	0.2354	5.46	2
全磷 (g kg ⁻¹)	2009	球面	0.0053	0.0349	1.14	15.19
	2014	球面	0.00707	0.02024	5.8	34.93
	2018	球面	0.00001	0.02122	2.2	0.05
速效钾 (mg kg ⁻¹)	2009	球面	110	3532	1.14	3.11
	2014	球面	1	1847	1.16	0.05
	2018	球面	10	4461	1.46	0.22
水溶性氯离子 (mg kg ⁻¹)	2009	-	-	-	-	-
	2014	高斯	8.8	195.4	0.33	4.5
	2018	球面	1	211.6	1.14	0.47

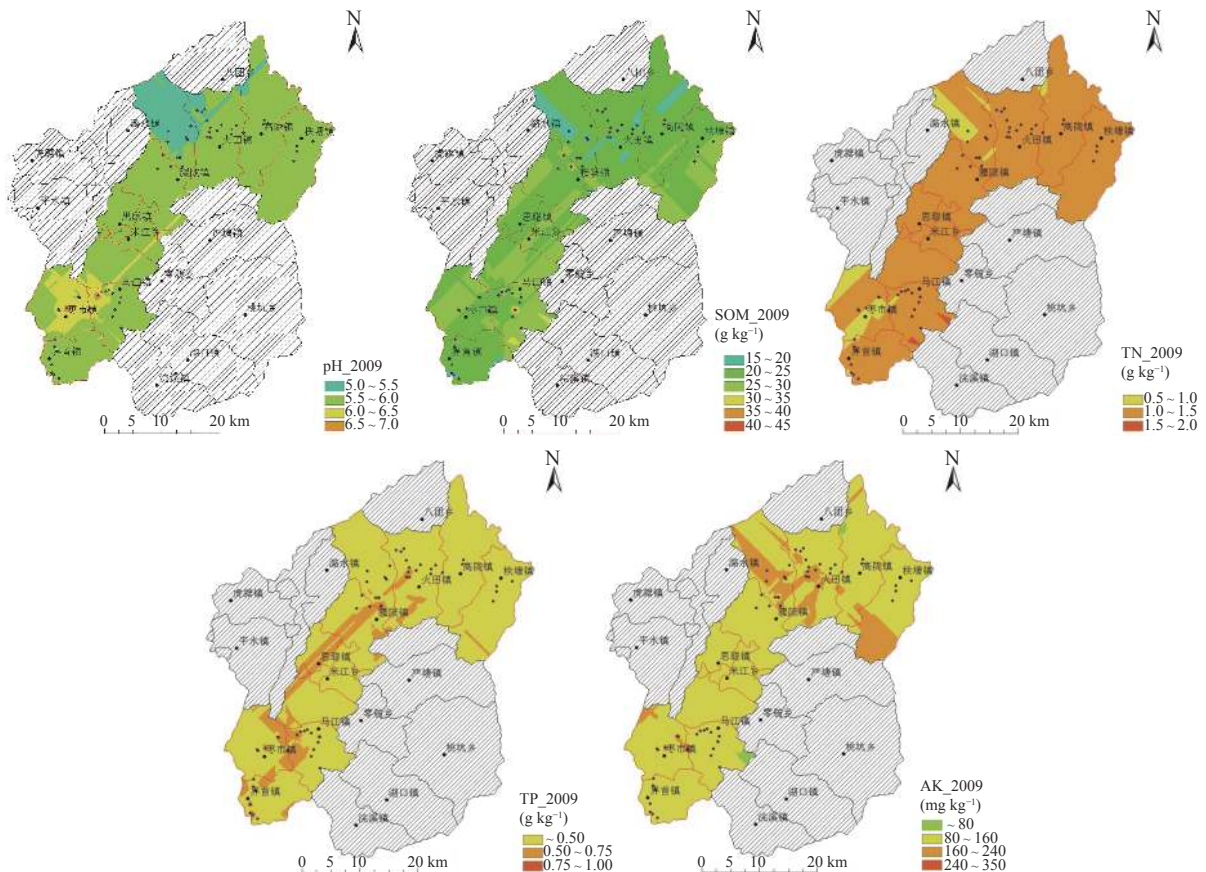


图 2 2009 年茶陵县烟稻复种区土壤主要养分含量分布图
Fig.2 Distribution of main soil nutrients in Chaling in 2009

表 4 稻烟复种区土壤养分含量变化
Table 4 Distribution of soil nutrients

指标 Index	等级 Level	年度 Year		
		2009	2014	2018
pH	极低	0.00%	13.57%	0.13%
	低	10.87%	47.75%	25.52%
	适中	89.13%	35.97%	69.86%
	高	0.00%	2.71%	3.25%
	极高	0.00%	0.00%	1.24%
有机质	极低	0.00%	0.00%	0.00%
	低	71.67%	0.00%	4.13%
	适中	28.30%	27.25%	81.49%
	高	0.04%	65.36%	11.92%
全氮	极高	0.00%	7.38%	2.47%
	高	0.00%	0.00%	0.00%
	低	7.59%	0.00%	0.00%
	适中	92.41%	50.83%	68.94%
全磷	高	0.00%	49.17%	31.06%
	极高	0.00%	0.00%	0.00%
	低	11.86%	39.19%	93.41%
	适中	0.00%	0.00%	0.00%
速效钾	极高	0.00%	0.11%	0.02%
	高	86.60%	86.85%	4.23%
	适中	12.63%	13.01%	54.01%
	低	0.02%	0.01%	41.57%
	极低	0.00%	0.00%	0.15%
水溶性氮	极高	—	24.25%	1.12%
	高	—	22.52%	6.81%
	适中	—	46.05%	57.88%
	低	—	7.12%	34.18%
	极低	—	0.06%	0.01%

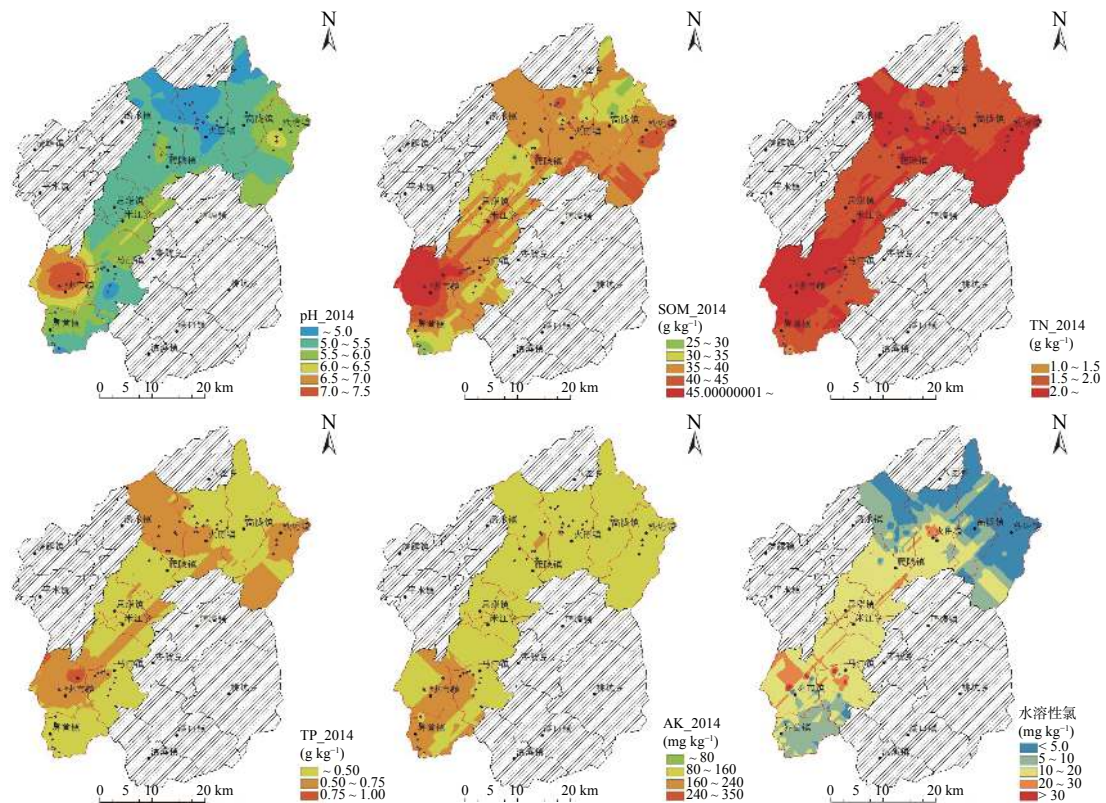


图 3 2014 年茶陵县土壤主要养分含量分布图
Fig.3 Distribution of main soil nutrients in Chaling in 2014

由图 4 及表 4 可知, 2018 年土壤 pH 适中区域扩大至 69.86%, 火田镇土壤 pH 明显改善; 2018 年烟稻复种土壤有机质含量以适中为主, 大部分地区得以改善; 2018 年全氮含量适中区域增加, 但整个烟稻复种区域均在适中和高级别上; 土壤全磷含量

依然集中在极低与低级别, 土壤速效钾含量上升, 含量高区域增至 41.57%, 土壤水溶性氯含量适中区域小幅度扩大, 水溶性氯含量逐渐上升, 火田、高陇、秩堂 3 镇最为明显, 而从东北至西南连线的土壤存在氯含量极高的风险。

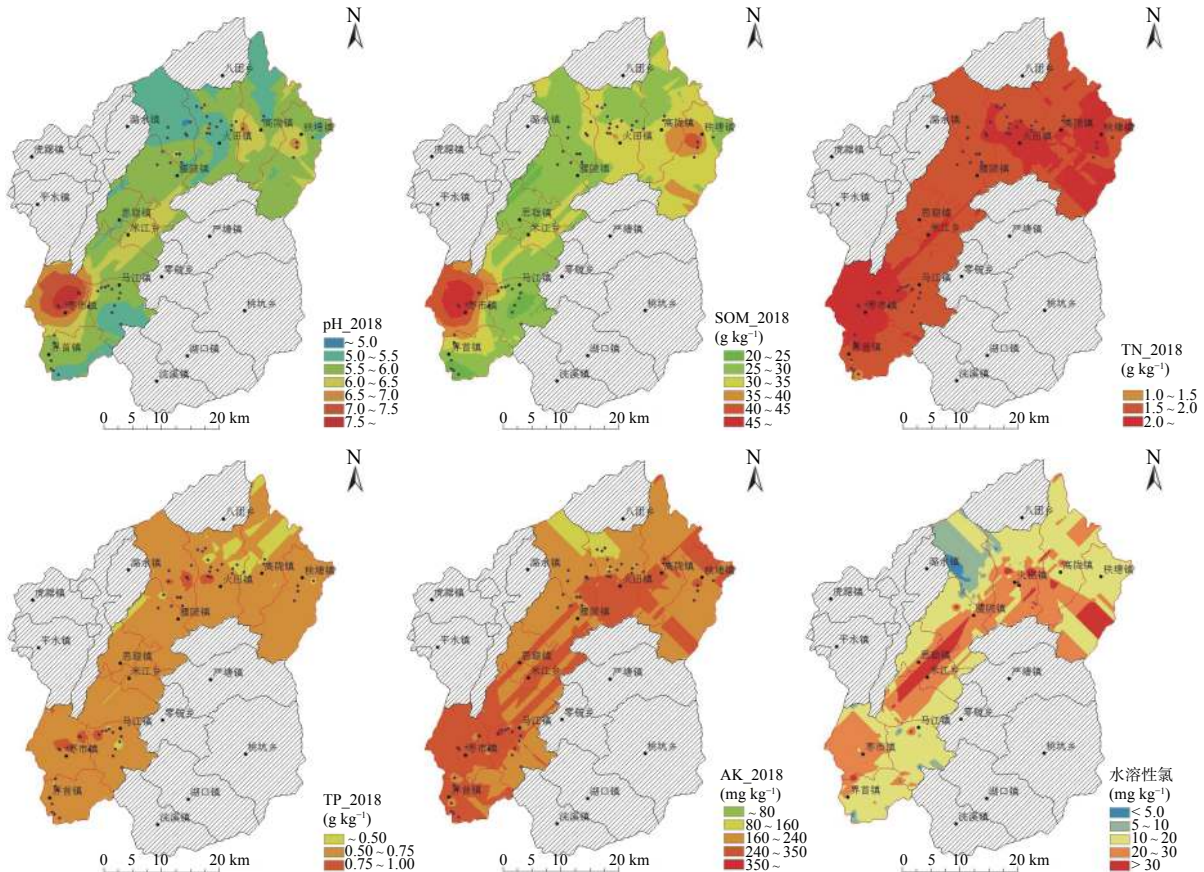


图 4 2018 年茶陵县水稻烟草复种土壤主要养分含量分布图
Fig.4 Distribution of main soil nutrients in Chaling in 2018

2.3 地形因素对土壤主要养分的影响

由表 5 可知, 3 个地形因子与时期因素交互的显著性检验值均大于 0.05, 表明地形与时期的交互作用对土壤养分含量影响不显著。3 个地形因子对土壤养分影响不同, 海拔因素对土壤主要养分含量无显著影响; 坡向因素对土壤 pH、有机质、全氮、全磷、速效钾含量无显著性影响, 但对土壤水溶性氯离子含量影响显著, 表明不同坡向间土壤水溶性氯离子含量存在显著差异; 坡度因素对土壤全氮、全磷、速效钾、水溶性氯含量无显著性影响, 但显著影响土壤 pH、有机质含量。

由表 6 可知, 不同海拔的土壤 pH、有机质、全氮、全磷、速效钾和水溶性氯含量均无显著差异, 这可能是因为茶陵烟稻复种区域均位于低海拔 (130 ~

190 m) 区域, 海拔差异不大; 不同坡度的 pH、有机质、全氮含量存在显著差异, 土壤 pH 以 $2^{\circ} \sim 6^{\circ}$ 最大, 显著高于 $< 2^{\circ}$ 和 $6^{\circ} \sim 15^{\circ}$, 有机质、全氮含量以 $2^{\circ} \sim 6^{\circ}$ 最大, 显著高于 $< 2^{\circ}$, 但与 $6 \sim 15^{\circ}$ 无显著差异; 不同坡向的水溶性氯含量存在显著差异, 以阴坡向最高, 为 20.95 mg kg^{-1} , 显著高于半阴坡向, 但与半阴坡向、阳坡向间无显著差异。

3 讨论

(1) 土壤养分高低直接影响着作物的生长发育优劣和产量质量高低^[20-21], 分析湘东烟稻复种区的土壤养分变异和地形因子对土壤养分的影响, 从而为烟叶生产及土壤保育提供参考依据。研究表明, 2009 年至 2018 年间湘东茶陵烟稻复种区土壤 pH 有

表 5 地形与时期双因素方差分析表
Table 5 Effects of topography and time and their interaction on soil nutrients

方差来源 Source	因变量 Dependent variable	平方和 sum of squares	自由度 d.f.	均方和 Mean square	F值 F value	显著性检验 Significance.
海拔	pH	1.167	3	0.389	0.572	0.634
	有机质	287.924	3	95.975	1.307	0.275
	全氮	0.858	3	0.286	1.244	0.296
	全磷	0.033	3	0.011	0.435	0.728
	速效钾	26503.982	3	8834.661	2.37	0.073
	氯含量	201.043	3	67.014	0.28	0.84
坡度	pH	8.55	2	4.275	6.962	0.001
	有机质	449.197	2	224.599	3.153	0.046
	全氮	1.256	2	0.628	2.753	0.067
	全磷	0.041	2	0.020	0.791	0.455
	速效钾	17600.49	2	8800.245	2.203	0.114
	氯含量	677.551	2	338.775	1.525	0.222
坡向	pH	0.784	3	0.261	0.383	0.765
	有机质	79.802	3	26.601	0.342	0.795
	全氮	0.101	3	0.034	0.141	0.935
	全磷	0.02	3	0.007	0.248	0.862
	速效钾	2227.959	3	742.653	0.180	0.910
	氯含量	2079.727	3	693.242	3.24	0.025
时期×海拔	pH	0.988	6	0.165	0.242	0.962
	有机质	584.484	6	97.414	1.326	0.249
	全氮	1.506	6	0.251	1.091	0.371
	全磷	0.174	6	0.029	1.144	0.34
	速效钾	36463.338	6	6077.223	1.63	0.143
	氯含量	291.656	3	97.219	0.406	0.749
时期×坡度	pH	0.468	4	0.117	0.19	0.943
	有机质	501.052	4	125.263	1.758	0.14
	全氮	0.754	4	0.189	0.827	0.51
	全磷	0.014	4	0.003	0.132	0.97
	速效钾	1803.183	4	450.796	0.113	0.978
	氯含量	1241.508	2	620.754	2.795	0.065
时期×坡向	pH	1.023	6	0.17	0.25	0.959
	有机质	240.613	6	40.102	0.516	0.795
	全氮	1.198	6	0.2	0.835	0.545
	全磷	0.035	6	0.006	0.22	0.97
	速效钾	10367.351	6	1727.892	0.419	0.865
	氯含量	1156.739	3	385.58	1.802	0.151

表 6 不同地形因子土壤养分含量
Table 6 Simple correlation between topographic factors and soil nutrients

土壤养分指标	海拔 Altitude				坡度 Slope			坡向 Slope direction			
	< 130 m	130 ~ 160 m	160 ~ 190 m	> 190 m	< 2°	2° ~ 6°	6 ~ 15°	阴坡	半阴坡	半阳坡	阳坡
pH	5.73 a	5.69 a	5.42 a	5.93 a	5.27 b	5.86 a	5.38 b	5.69 a	5.78 a	5.73 a	5.59 a
有机质 (g kg ⁻¹)	29.18 a	33.15 a	31.52 a	33.81 a	26.69 b	32.75 a	29.29 ab	29.71 a	31.60 a	32.29 a	31.83 a
全氮 (g kg ⁻¹)	1.65 a	1.89 a	1.81 a	1.86 a	1.51 b	1.85 a	1.70 ab	1.72 a	1.79 a	1.81 a	1.81 a
全磷 (g kg ⁻¹)	0.53 a	0.56 a	0.54 a	0.49 a	0.52 a	0.55 a	0.51 a	0.56 a	0.55 a	0.53 a	0.53 a
速效钾 (g kg ⁻¹)	191.72 a	171.63 a	152.30 a	152.88 a	176.47 a	184.43 a	154.86 a	182.35 a	180.95 a	176.10 a	171.66 a
水溶性氯离子 (g kg ⁻¹)	13.47 a	16.26 a	14.27 a	14.77 a	19.29 a	13.39 a	18.34 a	20.95 a	16.64 ab	8.56 b	13.63 ab

注: 相同地形因素同行不同小写字母表示存在显著差异 ($P < 0.05$) (新复极差法)。

所改善, 5 个土壤养分指标均有所增加, 这可能跟茶陵县烟稻复种区域趋向连片且均一化发展、耕作和施肥方式逐渐标准化相关, 也与土壤养分在作物种植区域变化结果基本一致^[22]。2018 年有机质、全氮、

速效钾、水溶性氯离子含量均以适中为主, 表明经过较长时间的规范耕作和科学施肥烟稻复种区土壤养分可以得到良好的调控。2009 ~ 2018 年间土壤全磷含量不断增加, 表明湘东茶陵烟稻复种区的施磷

量较多, 需要谨防磷施用过量带来的问题^[23-24]。2018 年湘东茶陵 41.57% 的烟稻复种区土壤速效钾含量达到高级别, 这与近年来钾肥施用过量有关, 按照目前施钾量的增速, 未来湘东烟区土壤速效钾含量可能存在超标的问题。因此烟稻复种的耕作制度有利提高土壤肥力^[17,25-26], 但也可能存在元素过量的风险。

(2) 利用空间插值法对湘东茶陵烟稻复种区土壤养分进行分析表明, 湘东烟区土壤养分(除水溶性氯以外)在 2009 年均表现为强空间依赖性, 这是因为在 1999~2008 年间茶陵县年度平均植烟面积仅为 573 hm²^[27], 这一阶段土壤养分含量受烟稻复种制度的影响较小, 主要受自然因素的影响; 2009 年以后烤烟种植区域及面积逐步稳定, 烟稻复种栽培成为一种主要耕作制度, 这一阶段, 作物种植和施肥等人类活动开始产生较大影响, 至 2014 年土壤 pH、有机质、全氮、全磷含量均表现为中等空间依赖性; 2018 年土壤 pH 和有机质含量表现为中等空间依赖性, 但全氮、全磷含量表现为强空间依赖性, 可能是因为晚稻种植及其他外因影响而导致空间依赖性增强^[28]。

(3) 速效钾、水溶性氯离子 2 个速效养分含量在土壤中易变化, 研究表明, 在不同年度 2 个速效养分均表现为强空间依赖性, 烟稻复种区速效养分含量更多是受空间位置等自然因素影响, 3 个地形因子中坡向显著影响速效养分含量, 阴坡和半阴坡的水溶性氯及速效钾含量高于阳坡及半阳坡, 这可能与速效养分的易淋融性相关, 也与邓欧平等^[29]研究认为坡向对土壤速效养分含量差异性分布作用较强的结论一致。但由于钾、氯等速效养分含量受降水量、灌溉水、施肥, 地势及是否盐演化等多种因素影响^[30-35], 其变化规律应进一步深入研究。

4 结论

烟稻复种区的耕作制度有利于土壤肥力提高, 2009 年至 2018 年间湘东茶陵烟稻复种区土壤 pH 有所改善, 土壤有机质、全氮、全磷、速效钾、水溶性氯离子含量均增大。地统计学分析表明: 所有年份的钾、氯 2 个速效养分含量表现为强空间相关性, 地形因子中的坡向因素显著影响水溶性氯的含量; 土壤 pH 和有机质含量从 2009 年的强空间相关性, 变化为 2014 年及 2018 年的中等空间相关性, 地形

因子中的坡度显著影响土壤 pH 和有机质含量。在湘东茶陵目前的烟稻复种耕作制度下, 整体应适当增加氮肥用量、稳定磷肥投入, 减少钾肥施用, 以确保作物高产、地力可持续提升。

参考文献:

- [1] 钱 旎, 王建林, 钟维勇, 等. 重庆烟区土壤养分丰缺状况研究[J]. 江西农业学报, 2018, 30(8): 60-64.
- [2] 杨 森, 潘义宏, 刘云霁, 等. 宣威典型植烟区土壤养分综合评价[J]. 贵州农业科学, 2019, 47(3): 39-44.
- [3] Zhao Z, Liu G, Liu Q, et al. Distribution Characteristics and Seasonal Variation of Soil Nutrients in the Mun River Basin, Thailand[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2018, 15(9): 1818.
- [4] Bhunia G, Shit K P, Pourghasemi H R. Soil organic carbon mapping using remote sensing techniques and multivariate regression model[J]. *Geocarto International*, 2019, 34(2): 215-226.
- [5] 高中超, 宋柏权, 王翠玲, 等. 不同机械深耕的改土及促进作物生长和增产效果[J]. 农业工程学报, 2018, 34(12): 79-86.
- [6] 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.
- [7] Laekemariam F, Kibret, Mamo T, et al. Accounting Spatial Variability of Soil Properties and Mapping Fertilizer Types Using Geostatistics in Southern Ethiopia[J]. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2018, 49(1): 124-137.
- [8] 郭 婷, 李宏光, 李 文, 等. 湘南稻作烟区土壤有效硼的时空变异及影响因素分析[J]. 烟草科技, 2019, 52(7): 27-34.
- [9] 段淑辉, 刘天波, 李建勇, 等. 湖南浏阳植烟土壤肥力评价及土壤养分变化[J]. 中国烟草科学, 2017, 38(2): 33-38.
- [10] 张 恒, 黄 莺, 刘明宏, 等. 基于空间插值法的遵义烟区植烟土壤养分时空变化[J]. 中国烟草科学, 2020, 3(19). <http://kns.cnki.net/kcms/detail/37.1277.s.20200318.1410.002.html>
- [11] 黄新杰, 屠乃美, 李艳芳, 等. 湖南省烟稻轮作区土壤养分的空间变异特征[J]. 中国烟草科学, 2012, 33(3): 13-16.
- [12] 罗登山, 王 兵, 乔学义. 《全国烤烟烟叶香型风格区划》解析[J]. 中国烟草学报, 2019, 25(4): 1-9.
- [13] 李 龙. 赤峰市敖汉旗土壤有机碳时空变异研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2017.
- [14] 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.
- [15] 赵业婷. 基于 GIS 的陕西省关中地区耕地土壤养分空间特征及其变化研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2014.
- [16] 张婵婵. 县域土壤速效氮磷钾含量及空间变异研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2013.
- [17] 向德明, 闫晨兵, 黎 娟, 等. 湘西植烟土壤主要养分时空变异特征研究[J]. 云南农业大学学报(自然科学), 2019, 34(5): 852-859.

- [18] 赵明松, 张甘霖, 吴运金, 等. 江苏省土壤有机质含量时空变异特征及驱动力研究[J]. 土壤学报, 2014, 51(3): 448 – 458.
- [19] 郭 熙, 谢 文, 胡国瑞, 等. 南方丘陵地区水田土壤养分时空变异研究[J]. 天津农业科学, 2010, 16(6): 85 – 92,95.
- [20] Wang X Y, Tong Y A, Gao Y M, et al. Spatial and temporal variations of crop fertilization and soil fertility in the loess plateau in china from the 1970s to the 2000s[J]. *PLoS ONE*, 2014, 9(11): e112273.
- [21] Dinesh Panday, Ojha Roshan-Babu, Chalise Devraj, et al. Spatial variability of soil properties under different land use in the Dang district of Nepal[J]. *Cogent Food & Agriculture*, 2019, 5(1): 1600460.
- [22] 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.
- [23] 李 强, 唐春围, 李 帆, 等. 水旱轮作植烟土壤有效磷的时空变异及风险评估[J]. 烟草科技, 2016, 49(6): 22 – 29.
- [24] 李 强, 戴美玲, 向德明, 等. 湘西喀斯特区植烟土壤有效磷时空变异及风险评估[J]. 土壤, 2018, 50(1): 181 – 189.
- [25] 王育军, 周冀衡, 孙书斌, 等. 云南省罗平县烟区土壤肥力适宜性评价及养分时空变异特征[J]. 土壤, 2015, 47(3): 515 – 523.
- [26] 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, (6): 82 – 86.
- [27] 张红兵. 烤烟生产现代化探索与实践-湖南省株洲市浓香型烟叶生产关键技术集成[M]. 长沙: 湖南科学技术出版社, 2016.
- [28] 钱笑杰, 肖 靖, 洪雅芳, 等. 福建龙岩烟区植烟土壤 pH 时空变异研究[J]. 热带作物学报, 2019, 40(10): 2061 – 2067.
- [29] 邓欧平, 周 稀, 黄萍萍, 等. 川中紫色丘区土壤养分空间分异与地形因子相关性研究[J]. 资源科学, 2013, 3(12): 2434 – 2443.
- [30] 朱宗璞. 施用含氯肥料对柑橘产量品质及土壤氯离子残留的影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2017.
- [31] 赵智慧. 中国陆地土壤卤族元素时空变化特征及其生态效应[D]. 北京: 中国地质大学, 2020.
- [32] 孙慧敏. 农田土壤氯离子累积与迁移机理[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2004.
- [33] 蒋文惠. 地形和土地利用对山区土壤养分空间变异的影响[D]. 泰安: 山东农业大学, 2014.
- [34] 张美丽, 姚云峰, 李 龙, 等. 梯田不同作物土壤有机碳含量及其影响因素分析[J]. 中国土壤与肥料, 2017, (1): 14 – 20.
- [35] 全思懋, 管晓进, 王绪奎, 等. 江苏省域农田土壤速效钾含量变化及其影响因子研究[J]. 土壤, 2019, 51(2): 257 – 262.

Spatial and Temporal Variation of Soil Nutrients in Tobacco-rice Multiple-cropping Area of Chaling

ZHANG Yang^{1,2}, TU Nai-mei^{1*}, XIE Hui-ya², CHEN Shun-yao²,
DENG Liu-ping³, FU Xue-ping³, WANG Xuan³, HE Wei³

(1. College of Agronomy, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; 2. Zhuzhou Tobacco Company of Hunan Province, Zhuzhou 412002, China; 3. Chaling Tobacco Company of Hunan Province, Zhuzhou 412400, China)

Abstract: In order to explore the temporal and spatial variation characteristics of soil nutrients and their correlations with topographical factors in tobacco-rice multiple-cropping area of eastern Hunan, the soil nutrients in Chaling in 2009, 2014 and 2018 were analyzed by using the traditional statistical and geostatistical analysis methods. The results showed that the contents of soil organic matter (SOM) and available potassium (AK) were at low levels, pH and the content of total nitrogen (TN) were at suitable level, and the content of total phosphorus (TP) was very low in 2009. From 2009 to 2014, soil pH value was decreased, while the contents of other nutrients were all increased. From 2014 to 2018, the pH value of soil was increased, the contents of SOM and TN were decreased, and the contents of TP, AK and water soluble chlorine were increased. The effects of random factors on soil pH and organic matter were more and more significant with the increase of years of tobacco rice multiple cropping. The contents of available potassium and water-soluble chloride always showed strong spatial correlation. Topographic factor analysis showed that the interaction between period and topographic factor was not significant. Different slopes had significant effects on soil pH and SOM content. Slope direction had strong effects on the distribution of available nutrients contents in soil. The cultivation system in the tobacco-rice multiple-cropping area of Chaling in the eastern Hunan was beneficial to improve soil fertility. Thus, increasing the application of N fertilizer, stable phosphate fertilizer input and reducing the application of K fertilizer could ensure the sustainable development of soil fertility.

Key words: Tobacco-rice multiple-cropping; Soil nutrient; Spatial and temporal variation; Topographical factor

[责任编辑: 孙福军]