

泰和县耕地土壤养分空间分布及影响因素

赵越^{1,2}, 罗志军^{1,2}, 廖牧鑫³, 曹丽萍^{1,2}, 赵杰^{1,2}, 冉凤维^{1,2}

(1. 江西农业大学国土资源与环境学院, 南昌 330045;

2. 江西省鄱阳湖流域农业资源与生态重点实验室, 南昌 330045; 3. 江西农业大学计算机与信息工程学院, 南昌 330045)

摘要: 基于泰和县耕地中获取的 4 029 个土壤采样数据, 运用半变异分析、自相关分析、回归分析等分析方法, 对泰和县土壤各养分(有机质(OM)、碱解氮(AN)、速效钾(AK)、有效磷(AP))含量因子的空间分布规律及其影响因素进行分析。结果表明: 泰和县耕地土壤中 OM、AP、AK、AN 含量分别为 4.40~58.50 g/kg 和 1.50~62.80, 12.00~352.00, 29.00~341.00 mg/kg, 均属中等变异。4 类土壤养分因子最适宜模型均为指数模型, 块金效应均小于 25%, 表明各养分因子主要受结构性因素影响。各养分因子均显现出显著的聚集特征, 其中 HH 聚集类型多于桥头、灌溪、冠朝等乡镇分布; LL 聚集类型多于马市、万合等乡镇分布。根据相关分析与回归分析结果可知, 对土壤养分含量产生影响较大的因子主要为地形、成土母质等结构性因素; 交通、水利等随机性影响因素对其影响较弱。

关键词: 土壤养分; 空间变异; 聚类关系; 影响因素; 泰和县

中图分类号: S151.9

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2018)05-0296-08

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2018.05.046

Study on the Spatial Distribution of Soil Nutrients and Its Influencing Factors in the Cultivated Land of Taihe County

ZHAO Yue^{1,2}, LUO Zhijun^{1,2}, LIAO Muxin³, CAO Liping^{1,2}, ZHAO Jie^{1,2}, RAN Fengwei^{1,2}

(1. Academy of Land Resources and Environment, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045;

2. Key Laboratory of Poyang Lake Watershed Agricultural Resources and Ecology of Jiangxi Province, Nanchang 330045;

3. Academy of Computer and Information Engineering, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045)

Abstract: Based on the 4 029 soil samples data obtained from the cultivated land, the spatial distribution of soil nutrients (organic matter (OM), available nitrogen (AN), available potassium (AK) and available phosphorus (AP)) in Taihe county and its influencing factors were analyzed by means of semi variation analysis, autocorrelation analysis and regression analysis. The results showed that the contents of OM, AP, AK and AN were 4.40~58.50 g/kg and 1.50~62.80, 12.00~352.00, 29.00~341.00 mg/kg, respectively, and all belonged to the medium variation. The exponential model was the most suitable model for all the studied four soil nutrients. The nugget effect was less than 25%, indicating that the nutrients were mainly affected by structural factors. All nutrient factors showed significant aggregation characteristics. More HH accumulation types were observed than those of Qiaotou, guanxi, guachao and other townships, more LL accumulation types than those of Mashu and Wanhe township. According to correlation analysis and regression analysis, it was known that the factors that had great influence on soil nutrients contents were mainly structural factors such as landform and parent material, and random factors, such as traffic and water conservancy, had a weak influence.

Keywords: soil nutrients; spatial variability; clustering relationship; influencing factors; Taihe County

土壤养分是植物生长发展所必需的营养物质, 是保证耕地质量和粮食产量的重要条件, 土壤中养分因子的有效保持和长期稳定有利于区域生态环境的保护和生态系统的稳定^[1]。近年来, 国内外学者广泛采

用地统计学方法对土壤养分空间分布规律进行探索, 土壤养分的空间分布研究也成为土壤学、生态学、环境学研究的热点之一^[2]。武德传等^[3]对黔东南山地植烟土壤养分空间异质性研究表明, 土壤有机质、碱解

氮、有效磷和速效钾含量呈中等变异性,其变异主要受结构性因素影响。吕真真等^[4]研究了环渤海区域土壤养分空间变异特征,认为土壤碱解氮、全氮、有机质空间分布主要由结构性因素引起。不同的养分因子往往具有不同的空间分布规律,影响各类养分因子空间分布的环境因子也不尽相同^[5]。近年来,国内外专家学者对土壤养分因子产生影响因素进行了广泛的探讨,张兆永等^[6]通过对艾比湖流域农田土壤的研究发现土壤盐分过高会降低土壤养分的含量;陶冶等^[7]研究发现伊犁野果林土壤养分具有阴坡聚集、阳坡流失的特点,坡向、降水和温度对土壤养分含量影响最大。张彬等^[8]研究了陕西省礼泉县苹果产区土壤养分的主要影响因素,发现有机质、碱解氮、速效钾与地形因子显著相关。现有的研究中也主要针对土壤养分中的某一个或某几个因子进行探讨,所采用的方法也较为单一,且没有关注到土壤养分的空间聚类特点与影响因素的多样性。因此,对泰和县耕地土壤养分含量进行空间分析及影响因素研究具有重要的意义,可以为土壤养分含量的涵养与耕地生产功能的维系提供有价值的参考。

本研究通过对泰和县 2013 年耕地土壤进行测土采样获取土壤样点数据,经半变异分析与自相关分析探讨泰和县耕地土壤各养分因子的空间分布特征,再通过相关分析与回归分析,探讨各影响因素对各养分因子的影响程度,以期对泰和县耕地土壤养分管理和耕地资源的高效利用提供依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

泰和县位于赣中南吉泰盆地腹地、吉安市中南部(114°57′—115°20′E, 26°27′—26°59′N),东西长 105 km,南北宽 57 km,土地总面积约为 2 667 km²。境内地貌以平原与丘陵为主,海拔 50~1 123.22 m,中部平坦多平原,西部多丘陵,山地面积约占全域面积的 16%,多分布于研究区东南边界。年均气温 18.6℃,年降水量 1 726 mm,年均日照时间 1 756 h,属中亚热带湿润季风气候。土壤类型主要水稻土与红壤为主。泰和县耕地总面积约为 740.02 km²,其中水田面积为 656.65 km²,旱地面积为 83.37 km²,粮食作物以水稻为主,此外还盛产蔬菜、桑果、油茶等经济作物。

1.2 土壤样品采集

根据《全国耕地地力调查与质量评价技术规程》(NYT 1634—2008),样品于 2013 年秋收后进行采集,在综合考虑采样科学性、代表性、均质性等原则以及结合研究区地形地貌、土壤类型、成土母质等因素的基础上,对泰和县耕地土壤进行采样,每个样点采集 4 个点,将其充分混合后采用四分法提取 1 kg 样

本(图 1),采样深度为 0—20 cm。在采样过程中手持 GPS 标记采样点海拔信息与经纬度,共收集样品 4 029 个。将采集到的土壤样本进行编号,经过室内自然风干,再对样本进行人工过筛去除杂物,为获取土壤养分数据做好前期工作。本研究根据泰和县农业生产特点选取土壤有机质(OM)、碱解氮(AN)、速效钾(AK)、有效磷(AP)作为土壤养分的主要代表因子,其中土壤有机质采用重铬酸钾(K₂Cr₂O₇)外加热的方法测定^[9];土壤碱解氮采用碱解扩散法测定^[10];土壤速效钾用乙酸铵浸—提火焰光度计法测定;土壤有效磷采用 0.5 mol/L 碳酸氢钠浸提—钼锑抗比色法测定^[11]。

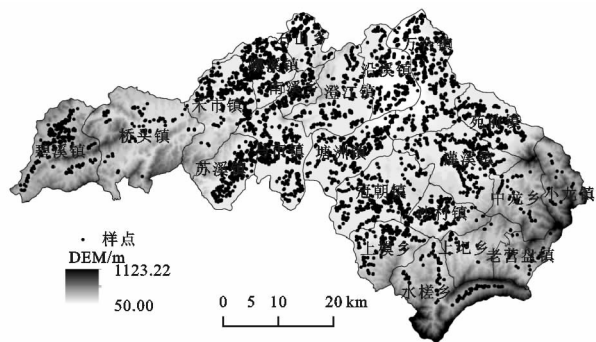


图1 研究区土壤样点分布及 DEM

1.3 数据资料来源

(1)成果数据:泰和县 2013 年 1:10 000 土地利用变更调查数据库、泰和县土地利用总体规划(2006—2020 年)数据库、2013 年泰和县耕地地力评价成果。(2)图件资料:泰和县排灌图、水土流失图等相关图件资料;(3)数字高程模型(DEM)数据:通过地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn>)获取,空间分辨率为 30 m。

1.4 数据处理与分析方法

通过土壤样本的采集、处理、试验等过程测定土壤各养分含量数据,但养分含量数据中难以避免出现异常值,为确保数据的准确性,采用拉依达准则法(3 倍的标准差)^[12],结合 SPSS 22.0 软件进行处理,消除可能存在的误差。对含有土壤 OM、AN、AK、AP 等数据的样点进行处理后,分别获得 12, 15, 21, 24 个异常值,将异常数据剔除后,将保留数据用以后续研究。DEM 数据(数字高程模型)来自于分辨率为 30 m 的江西省地形图,使用 Arc GIS 10.2 软件对土壤养分数据进行空间分析、空间插值等操作,为实现表达效果最优化,以研究区全域作为制图范围。此外,采用 GS+7.0 软件对研究区土壤各养分含量数据的半方差函数和结构参数模型进行最优拟合,再通过 Geoda 软件获取各养分因子聚类关系,借助 SPSS 22.0 软件对土壤养分因子之间、土壤养分因子与环境因子之间进行相关性分析等操作。

2 结果与分析

2.1 土壤养分描述性统计

由表 1 可知,泰和县耕地表层土壤中,OM、AP、AK、AN 含量均值分别为 29.79 g/kg 和 15.64, 102.95,163.06 mg/kg,范围为 4.40~58.50 g/kg 和 1.50~62.80,12.00~352.00,29.00~341.00 mg/

kg。AK、AN 离散程度更高,OM、AP 离散程度略低。土壤养分各因子变异系数为 29.94%~63.61%,均属中等变异水平,AK 变异系数最大,AN 最小。OM 数据属正态分布,AP、AK、AN 数据经对数转换后符合正态分布,可将其运用于地统计学软件进行半变异分析^[13]。

表 1 土壤养分描述性统计特征

养分指标	样本数	最小值	最大值	平均值	标准差	变异系数	偏度	峰度	分布类型
OM	4017	4.40	58.50	29.79	9.10	30.55	-0.10	-0.01	正态
AP	4005	1.50	62.80	15.64	9.54	61.00	-0.04	0.21	对数正态
AK	4008	12.00	352.00	102.95	65.49	63.61	-0.02	-0.79	对数正态
AN	4014	29.00	341.00	163.06	48.82	29.94	-0.73	0.93	对数正态

注:OM 单位为 g/kg;AP、AK、AN 最小值、最大值、平均值、标准差单位为 mg/kg。下同。

2.2 空间分布特征

在地统计学中,半方差函数往往用来度量区域化变量在分隔距离上变异程度,可以用以描述土壤养分因子的空间结构特征^[14]。由半变异函数参数模拟结果可知(表 2),泰和县 4 类土壤养分因子中最适宜模型均为指数模型,各拟合模型决定系数均在 0.6 以上,表明指数模型具有较好的拟合效果,块金效应用以描述变量中随机部分引起的空间占系统总变异的

比值,当其小于 25%时表示变量具有较强的空间相关性,OM、AP、AK、AN 块金效应值分别为 11.98%, 10.85%,11.85%,11.56%,均小于 25%,空间相关性较强,各因子空间变异主要受结构性因素(成土母质、地形、土壤类型等)影响,不易被随机因素(人类活动等)干扰^[15]。OM、AP、AK、AN 变程分别为 3 660,3 090, 4 770,3 420 m,表明 4 类养分因子空间自相关范围较均衡,AK 空间自相关范围最大,AP 最小。

表 2 土壤养分半变异函数参数

指标	样本数	模型	块金值	基台值	块金效应/%	变程/m	决定系数 R ²
OM	4017	指数	9.90	82.67	11.98	3660	0.71
AP	4005	指数	9.80	90.35	10.85	3090	0.60
AK	4008	指数	510.00	4302.00	11.85	4770	0.73
AN	4014	指数	275.00	2378.00	11.56	3420	0.69

为便于研究土壤养分因子空间变异特征,本研究在半变异分析的基础上,采用普通克里格插值法,对泰和县 OM、AP、AK、AN 数据进行空间插值,以得出泰和县各养分因子空间分布特征。由图 2 可知,4 类养分因子含量在桥头、灌溪、冠朝等乡镇均较高,在万合、水槎等乡镇普遍较低。为了获知各养分因子含量空间分布特征与聚类关系,借助 Geoda 软件对土壤养分数据进行处理,建立空间权重矩阵,将空间聚集情况借助 Arc GIS 10.2 软件进行展示,并制作 LISA 分布图,以展示各养分因子空间聚类关系^[16],其聚类结果包括高值—高值(HH)聚集、高值—低值(HL)聚集、低值—高值(LH)聚集、低值—低值(LL)聚集和无明显(NN)聚集,为了突出显示养分因子空间聚类关系,NN 聚集区不进行成图显示。分析结果表明,OM、AP、AK、AN 4 类土壤养分因子 Moran's I 值分别为 0.12,0.11,0.17,0.10,4 种情况下 P 值均小于 0.05,λ 值大于 1.96,表明 4 类土壤养分因子都具有显著的空间自相关性^[17],与前文中半变异函数拟合结果基本一致。

由图 3 可知,泰和县耕地 OM、AP、AK、AN 含量中的 HH 聚集在局部地区存在一定共性,均在桥头、灌溪、冠朝等乡镇有较大面积的分布,与前文空间变

异研究中的结果保持较高的一致性,除以上地区以外,OM 于螺溪、南溪等镇有较大面积分布;AP 于石山苏溪等乡镇有小面积分布;AK 于苑前、南溪等乡镇有较大面积分布;AN 于苑前、螺溪等乡镇有较大面积分布。HL 聚集分布面积较小,一般位于 HH 聚集与 LH 聚集交接地带,如苏溪、马市、澄江等乡镇,由于其自身养分含量较高,但相邻单元养分含量较低,造成了 HL 聚集分布。LH 聚集类型中,OM 中该聚类关系分布面积较小,主要集中在马市、万合、苏溪等乡镇;AP 中该类型主要分布于万合、马市、禾市、碧溪等乡镇;AK 中则主要分布于苏溪、马市、万合、水槎等乡镇,分布面积较大;AN 中该类型主要分布于马市、禾市、万合等乡镇。LL 聚集类型在 OM、AN 中分布较少,集中分布于万合镇;AP 主要分布于马市、万合、水槎等乡镇;AK 主要分布于马市、老营盘、石山等乡镇。

2.3 土壤养分因子空间分布影响因素

土壤养分的积累是众多影响因素综合作用的结果,往往受到地形、气候、人类活动等因素的影响^[18]。而对土壤养分因子含量产生影响的因素主要可分布结构性因素与随机性因素,半变异分析结果显示,4 类土壤养分各因子空间变异主要受结构性因素影响,

因此本研究重点选取地形、母质等结构性因素进行影响因素分析,以交通及水利设施方式等随机性影响因

素为辅,探索可能对土壤养分含量产生影响的各因素与各养分因子之间的相互关系。

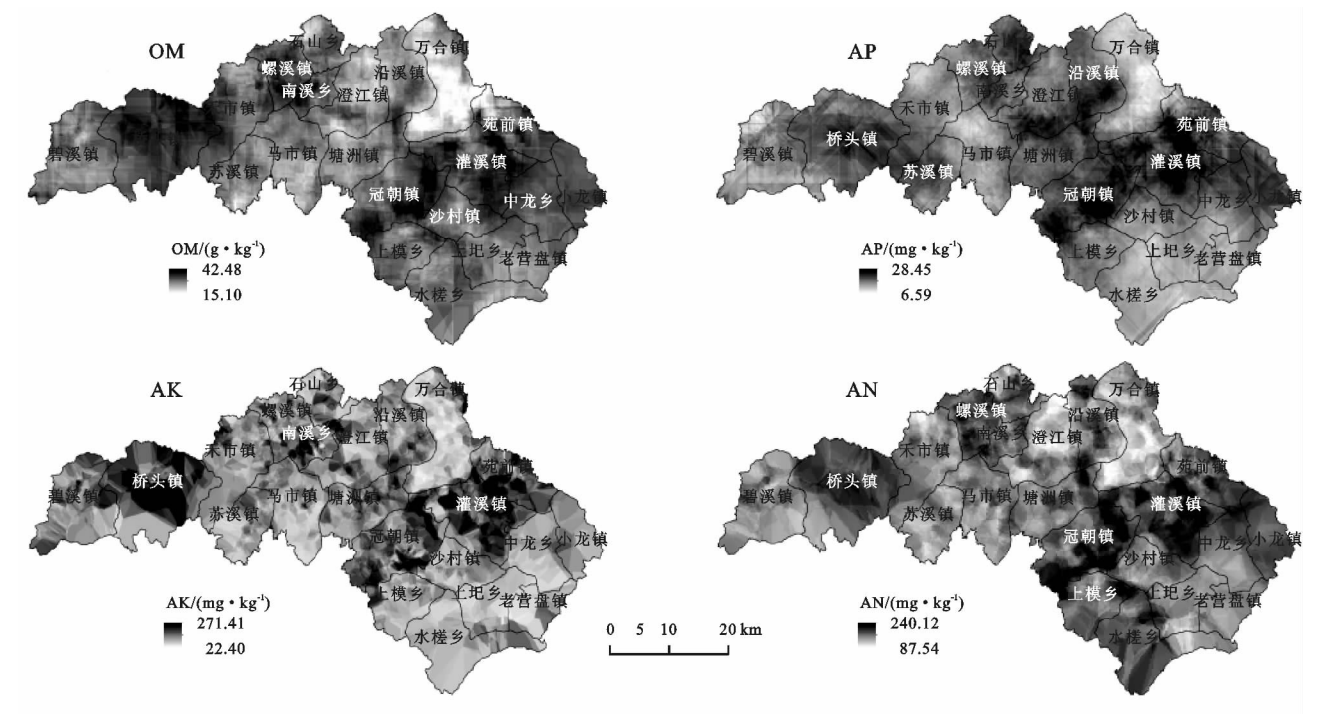


图 2 泰和县耕地养分含量空间分布

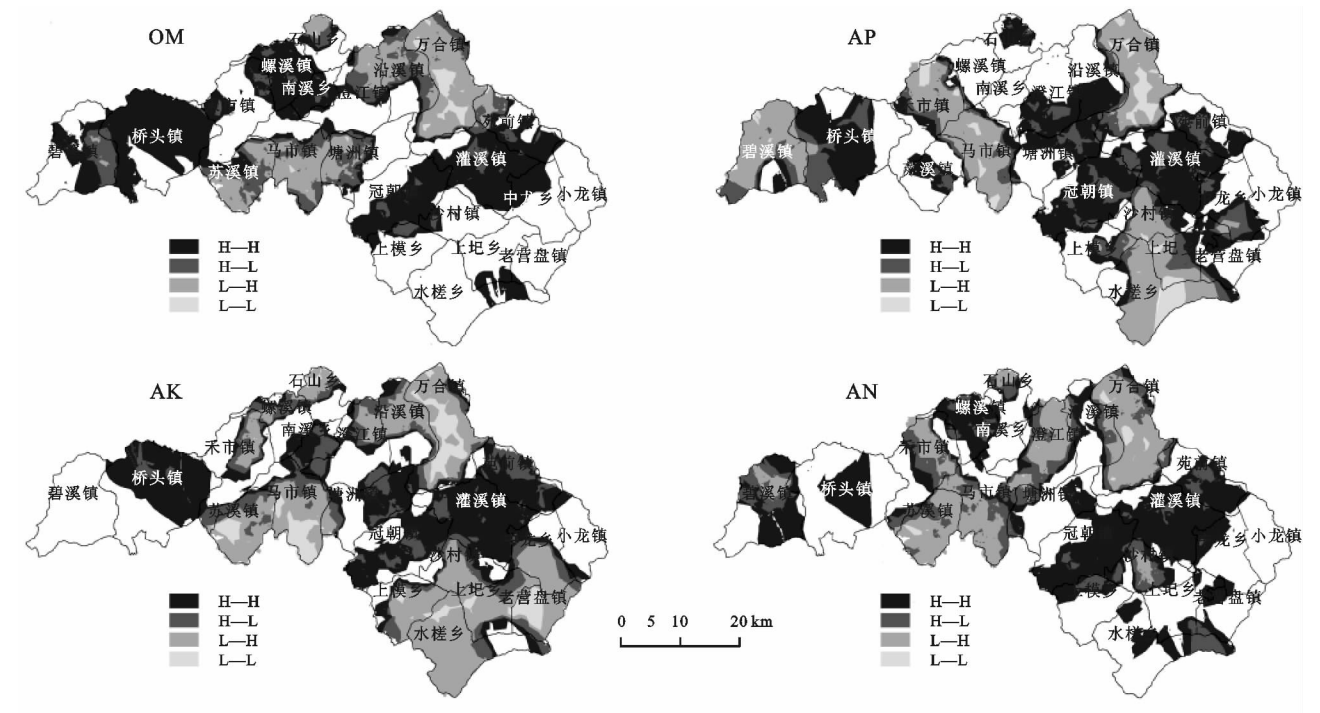


图 3 泰和县耕地养分含量聚类关系

2.3.1 地形因子 借助 Arc GIS 10.2 平台对 DEM 数据进行坡度、坡向、曲率、坡度变率等地形因子的提取,并借助 SPSS 22.0 软件将各地形因子与 OM、AP、AK、AN 4 类土壤养分因子进行相关性分析,坡度、曲率、坡度变率等因子可在获取后直接运用于计算,坡向则需要根据其向阳程度进行赋值以便计算。由表 3 可知,地形因子中,高程与 OM、AK、AN 之间的相关性均未能通过显著性检验($\alpha=0.05$),AP 则

与高程之间具有极显著相关水平($P<0.01$),且属于极显著负相关,表明 AP 随着高程增加而降低,海拔越高越不利于耕地土壤中 AP 的含量积累。坡度与 AP、AK 之间显示呈现极显著负相关($P<0.01$),表明 AP、AK 含量很容易受到坡度影响,坡度越大,土壤受到的地表径流等作用影响越大,从而导致土壤中 AP、AK 的流失。OM、AP、AK、AN 均与坡向之间存在显著正相关($P<0.05$)关系,坡向越向阳,水热条

件通常越好,植被越茂盛,越有助于植被与土壤之间的养分转换,增强土壤对其养分的涵养与保持能力。曲率与土壤养分的相关性均未通过显著性检验,表明曲率对土壤养分影响较弱。坡度变率中只有 AK 与其存在显著负相关关系($P<0.05$),随着坡度变化幅

度的加大,土壤中 AK 含量越低。AP、AK 与地形起伏度之间产生极显著负相关关系($P<0.01$),AN 则与地形起伏度之间存在显著负相关关系($P<0.05$)。表明地形起伏越大,越不利于土壤养分中 AP、AK、AN 含量积累^[19]。

表 3 土壤养分与地形因子相关性分析

指标	高程	坡度	坡向	曲率	坡度变率	地形起伏度
OM	0.018	0.007	0.064**	-0.002	-0.010	-0.003
AP	-0.087**	-0.086**	0.176**	-0.001	-0.027	-0.062**
AK	-0.001	-0.068**	0.108**	0.002	-0.034*	-0.066**
AN	-0.005	-0.029	0.094**	-0.003	-0.012	-0.036*

注: * 表示 $P<0.05$; ** 表示 $P<0.01$ 。下同。

2.3.2 土壤侵蚀 土壤侵蚀可以通过风力、水力、重力等外力作用对土壤及母质带来剥离、搬运和沉积等效果,从而影响土壤养分的含量大小和空间分布^[20]。根据水利部 2002 年批准修订计划,采用经过修订后的 SL190—96《土壤侵蚀分类分级标准》,通过对实地采样得出平均侵蚀模数,再利用通用土壤流失方程,对采样点数据进行土壤侵蚀计算,得出其土壤侵蚀分级情况(表 4),并根据侵蚀度等级赋值,经相关性分析可知,土壤养分中只有 OM 与土壤侵蚀间存在极显著负相关关系($P<0.01$),相关系数为-0.050,表明土壤侵蚀程度越高,受到外力作用较多,OM 含量越低。

表 4 土壤侵蚀分级

指标	无明显 侵蚀	轻微 侵蚀	中度 侵蚀	重度 侵蚀	极强度 侵蚀	剧烈 侵蚀
侵蚀级别	1	2	3	4	5	6
样点数	448	124	129	239	11	3078

2.3.3 耕作利用方式 泰和县耕地以水田与旱地为主,其熟制、种植作物、相应的管理措施较为多样,而

其多样的耕地利用方式也影响着土壤养分的输入输出量,土壤的各养分因子积累和释放速率也有所差异,从而进一步影响土壤各养分因子的空间分布^[21]。泰和县耕地熟制主要分为一年一熟、一年两熟、一年三熟,其耕地利用方式主要为一季水田、两季水田、三季水田、一季旱地。由表 5 可知,大多数样点耕作利用方式为两季水田,三季水田中的 OM、AP、AK、AN 含量数据均值均为最大,二季水田次之;一季旱地在各利用方式中 OM、AP、AK、AN 含量数据均值最小。体现出水田中的养分含量普遍高于旱地的特点,水田长期处于淹水状态,灌溉条件好,保肥能力较强,其秸秆还田率较高,造成其土壤养分含量较高,其中三季水田作物生长期短,为了保证植物生长营养需要,提高粮食产量,往往施肥量较高。一季旱地灌溉排水条件较差,主要靠天然降水补充水源,秸秆还田效率较低,因此其养分含量普遍较低。由变异系数观察得知,各耕作方式下的土壤养分因子变异系数均处于 20.02%~69.59%,均为中等变异。

表 5 不同耕作利用方式下的土壤养分含量描述性统计特征

耕作利用方式	样点数	土壤养分	最小值	最大值	平均值	标准差	变异系数/%	分布类型
一季水田	310	OM	5.70	55.90	28.23	9.01	31.92	正态
		AP	1.60	62.80	14.29	9.79	68.51	正态
		AK	12.00	334.00	96.25	66.98	69.59	正态
		AN	45.00	337.00	151.03	49.43	32.73	正态
两季水田	3639	OM	4.40	58.50	29.84	9.06	30.36	正态
		AP	1.50	60.40	15.66	9.46	60.41	正态
		AK	12.00	352.00	102.80	64.87	63.10	正态
		AN	29.00	341.00	163.76	48.43	29.57	正态
三季水田	63	OM	17.50	49.40	36.27	7.26	20.02	正态
		AP	4.40	46.20	22.07	10.33	46.81	正态
		AK	29.00	338.00	149.70	76.33	50.99	正态
		AN	74.00	259.00	192.84	42.87	22.23	正态
一季旱地	17	OM	8.10	38.30	21.64	9.66	44.64	正态
		AP	1.80	31.20	12.79	8.40	65.68	正态
		AK	14.00	188.00	83.29	53.07	63.72	正态
		AN	44.00	227.00	121.27	60.34	49.76	正态

2.3.4 成土母质 由表 6 可知,采样点中红砂岩类 风化物数量最多,紫色岩类风化物数量最少,不同土

壤母质之间的的养分均值差异明显,紫色岩类风化物中各养分因子均值最大,已有研究^[22]表明,紫色岩类风化物磷、钾含量均较高,且具有较高的供钾能力,宜种性广,耕作潜力大,是成土母质中养分含量最富集的

种类之一;而河湖冲积物中养分含量普遍较低。由变异系数观察得知,不同母质、各养分类型均属于中等变异,砂质冲积物中的 AK 变异系数最高,为 66.83%,紫色岩类风化物中 AN 变异系数最低,为 24.18%。

表 6 不同成土母质类型下土壤养分描述性统计特征

成土母质	样点数	土壤养分	最小值	最大值	平均值	标准差	变异系数/%	分布类型
壤质冲积物	771	OM	4.40	55.60	29.13	9.41	32.30	正态
		AP	1.50	59.90	17.05	9.50	55.72	正态
		AK	12.00	299.00	101.07	63.24	62.57	正态
		AN	38.00	337.00	162.26	50.13	30.89	正态
第四纪红色黏土	538	OM	4.90	55.40	29.79	8.69	29.17	正态
		AP	1.80	61.80	14.80	8.93	60.34	正态
		AK	22.00	350.00	94.07	59.03	62.75	正态
		AN	44.50	289.00	161.55	45.20	27.98	正态
河湖冲积物	606	OM	4.80	55.90	29.14	9.15	31.40	正态
		AP	1.80	60.40	14.48	9.57	66.09	正态
		AK	12.00	316.00	97.92	64.93	66.31	正态
		AN	29.00	300.00	157.58	47.62	30.22	正态
红砂岩类风化物	1144	OM	4.90	57.50	29.90	9.39	31.40	正态
		AP	1.50	61.40	15.88	10.21	64.29	正态
		AK	12.00	352.00	109.41	70.66	64.58	正态
		AN	34.00	337.00	165.85	50.74	30.59	正态
砂质冲积物	278	OM	8.00	51.70	31.11	9.29	29.86	正态
		AP	1.60	53.00	15.37	9.89	64.35	正态
		AK	22.00	330.00	101.85	68.07	66.83	正态
		AN	48.00	341.00	167.92	51.05	30.40	正态
酸性结晶岩类风化物	601	OM	4.60	57.80	30.23	8.23	27.22	正态
		AP	1.70	56.40	15.03	8.30	55.22	正态
		AK	18.00	342.00	103.30	60.52	58.59	正态
		AN	44.00	326.00	161.96	46.86	28.93	正态
紫色岩类风化物	91	OM	8.50	58.50	31.19	8.78	28.15	正态
		AP	5.00	61.20	18.31	8.56	46.75	正态
		AK	31.00	347.00	119.84	69.05	57.62	正态
		AN	74.00	274.00	172.51	41.71	24.18	正态

2.3.5 交通及水利设施 土壤养分含量的大小不仅受到成土母质、地形等结构性因素的影响,还受到人类的施肥活动和水利设施等随机性因素的影响^[23]。借助 Arc GIS 10.2 中近邻分析工具获取采样点与村庄、交通干线的距离;灌溉及排水能力则根据各采样点灌溉及排水能力的强弱情况进行分类并赋值。由表 7 可知,AP、AK、AN 含量均与距村庄距离存在极显著正相关关系($P<0.01$);AK、AN 含量与距交通干线距离具有极显著正相关关系($P<0.01$);表明交通条件的便捷程度会对土壤养分的含量产生一定的影响,便捷程度高的区域更便于农业机械化操作,更容易受到人类施肥、翻耕的影响,有益于土壤养分的涵养。常年降水量与 AP、AN 之间存在极显著负相关关系($P<0.01$);灌溉能力与 AP、AN 为极显著正相关关系($P<0.01$),与 OM 为显著正相关关系($P<0.05$);排水能力中仅 AP 与其存在极显著正相关关系($P<0.01$)。

表 7 土壤养分与交通及水利设施相关性分析

指标	距村庄 距离	距交通 干线距离	常年 降水量	灌溉 能力	排水 能力
OM	0.029	-0.021	-0.025	0.068*	-0.002
AP	0.049**	0.026	-0.096**	0.121**	0.109**
AK	0.055**	0.128**	-0.022	0.012	0.006
AN	0.047**	0.055**	-0.058**	0.074**	-0.015

2.3.6 施肥条件 选取氮(N)、磷(P₂O₅)、钾肥(K₂O)投入量与土壤养分因子进行相关分析,分析结果显示(表 8):磷肥施用量与土壤 AP 含量具有极显著正相关关系($P<0.01$);与土壤 AK 含量具有极显著负相关关系($P<0.01$)。钾肥使用率与土壤 OM、AN 具有极显著负相关关系($P<0.01$);与土壤 AP 显示极显著正相关关系($P<0.01$)。钾肥使用率与土壤各养分因子均显示极显著正相关关系($P<0.01$)。表明合理的进行化肥施用能明显改善土壤肥力状况,但过量的施肥则可能会阻碍土壤中其他养分因子的保持,肥料的构成、配比和种类等因素也可能

会影响施肥的效果,从而影响土壤养分的含量,这与许敏^[24]的研究结果一致。

表 8 土壤养分与施肥条件相关性分析

指标	磷肥施用量	钾肥施用量	氮肥施用量
OM	0.020	-0.046**	0.077**
AP	0.045**	0.072**	0.153**
AK	-0.062**	-0.022	0.119**
AN	0.023	-0.033**	0.109**

2.3.7 各影响因子影响程度 采用虚拟变量法^[25]对地形、成土母质、侵蚀程度等进行赋值,再通过回归分析对各影响因素对土壤养分含量的影响程度进行分析(表 9)。

表 9 各影响因子对土壤养分因子的回归分析

指标	影响因素	F	决定系数	调整决定系数	P
OM	地形	16.62	0.004	0.004	<0.01
	成土母质	35.21	0.024	0.024	<0.01
	侵蚀程度	7.55	0.002	0.002	<0.01
	交通条件	3.39	0.003	0.003	<0.01
	水利设施	2.43	0.004	0.004	<0.01
	耕地利用方式	3.58	0.002	0.002	<0.01
	施肥条件	1.53	0.001	0.001	<0.01
AP	地形	127.86	0.031	0.031	<0.01
	成土母质	32.67	0.021	0.020	<0.01
	侵蚀程度	0.017	0.001	0.001	<0.01
	交通条件	9.88	0.002	0.002	<0.01
	水利设施	19.47	0.015	0.014	<0.01
	耕地利用方式	3.84	0.003	0.003	<0.01
	施肥条件	53.81	0.013	0.013	<0.01
AK	地形	47.56	0.012	0.011	<0.01
	成土母质	33.95	0.022	0.022	<0.01
	侵蚀程度	1.94	0.001	0.001	<0.01
	交通条件	12.42	0.003	0.003	<0.01
	水利设施	2.00	0.001	0.001	<0.01
	耕地利用方式	5.21	0.003	0.003	<0.01
	施肥条件	0.49	0.001	0.001	<0.01
AN	地形	35.49	0.009	0.009	<0.01
	成土母质	35.78	0.025	0.025	<0.01
	侵蚀程度	2.21	0.001	0.001	<0.01
	交通条件	9.10	0.002	0.002	<0.01
	水利设施	7.28	0.006	0.005	<0.01
	耕地利用方式	2.86	0.002	0.002	<0.01
	施肥条件	6.77	0.002	0.002	<0.01

由表 9 可知,地形、成土母质、侵蚀程度、施肥条件、交通条件等影响因子对各养分因子影响程度均较显著($P<0.01$),但不同影响因素对各养分因子的影响程度存在较为明显的差异,根据回归分析结果观察可知,成土母质对各类养分因子的影响均较大,成

土母质对 OM、AP、AK、AN 的影响程度分别为 2.4%,2.0%,2.2%,2.5%,均为各影响因素中影响程度较大的因子;地形在各类养分因子中的影响较明显,地形对 OM、AP、AK、AN 的影响程度分别为 0.40%,3.10%,1.20%,0.90%,其中地形对 AP 的影响最为明显,土壤中的磷扩散系数较小,移动较慢,较平坦的地形条件有助于土壤中磷的保留;侵蚀程度与交通条件对各养分因子的影响均较弱,可能由于泰和县耕地中土壤侵蚀差异、交通条件差异较小,不足以对各影响因素产生较大影响。水利设施对土壤 AP 含量的影响较大,可能由于土壤中的磷很容易被地表径流携带而流失。土地利用方式的变化也在一定程度上影响土壤养分含量的大小,而泰和县耕地利用方式差异较小,对土壤养分的影响较为有限。施肥条件对土壤 AP 含量影响较为明显。根据回归分析结果可知,对土壤养分含量数据产生影响较大的因子主要为地形、成土母质等结构性因素,交通、水利等随机性影响因素对其影响较弱,与前文中半变异分析结果保持一致。

3 讨论

参照高灯州等^[26]对耕地土壤养分含量等级指标划分标准,泰和县耕地土壤中 OM、AK、AN 整体含量较丰富;AP 则含量较为适中。针对泰和县 AP 含量中等偏低的现状可通过合理施用磷肥进行改善,不同作物对磷肥的需求和吸收能力不一,蔬菜复种系数高,根系不发达,对磷的吸收作用差,可通过选用水溶性的过磷酸钙补充其磷元素;豆科、薯类对磷肥的需求量较大,可以适当的多施磷肥;禾本科需磷量较少,可以适当少施。此外,酸性的土壤有助于提高磷肥有效性,可通过改善土壤酸碱性提高土壤中磷肥溶解性。钾肥可通过及时追肥与使用草木灰等有机肥料进行改善。

根据土壤养分因子与各影响因素的相关分析可知,OM、AP、AK、AN 均与坡向具有极显著正相关关系,某个或某几个养分因子与高程、坡度、坡度变率、地形起伏度存在负相关关系,经回归分析可知地形土壤养分因子有一定程度的影响,其原因可能为较为平整、向阳的地形更适宜养分的积累,而较背阴、复杂的地形容易引起土壤养分的流失。已有研究^[27]表明,不同的植被种类与植被的更替速度也会对土壤养分含量产生影响,可以通过土壤养分的输入输出、与植被的养分传输来实现土壤养分含量的积累,复种指数较高的地区往往为了保证产量而大量施用有机肥,且秸秆还田率高,根茬残留量大,植物残体可通过腐殖化补充耕地土壤养分。土壤侵蚀对土壤 OM 含量大小有一定的影响,侵蚀越严重,OM 含量越低,但回归

分析结果显示其对土壤养分含量的影响较为有限。成土母质可以通过影响土壤的物理化学组成和风化淋溶进程对土壤养分含量产生影响。回归分析结果显示成土母质为对泰和县耕地土壤养分含量产生影响最为显著,交通及水利设施条件、施肥条件等对土壤养分含量的影响较为有限。

4 结论

(1)泰和县耕地土壤中 OM、AP、AK、AN 4 类养分因子均属于强空间变异,最适宜模型均为指数模型,其空间变异主要受到结构性因素影响。

(2)各养分因子的空间分布具有明显的聚类特征,桥头、灌溪、冠朝等乡镇为各养分因子中 HH 聚类类型集中分布区域;LL 聚集类型在各养分因子中分布范围均较小,OM、AN 主要分布于万合镇;AP、AK 主要分布于马市、万合等乡镇。

(3)地形条件、成土母质、侵蚀程度、耕地利用方式等对泰和县各养分因子均有显著影响($P < 0.01$),其中成土母质是对各养分因子产生影响的各类因素中影响最大的因子,是对土壤养分含量空间变异产生影响的主控因素。

参考文献:

- [1] Matías L, Castro J, Zamora R. Soil-nutrient availability under a global change scenario in a Mediterranean mountain ecosystem [J]. *Global Change Biology*, 2015, 17(4): 1646-1657.
- [2] 赵海燕,徐福利,王渭玲,等.秦岭地区华北落叶松人工林地土壤养分和酶活性变化[J]. *生态学报*, 2015, 35(4): 1086-1094.
- [3] 武德传,罗红香,宋泽民,等.黔南山地植烟土壤主要养分空间变异和管理分区[J]. *应用生态学报*, 2014, 25(6): 1701-1707.
- [4] 吕真真,刘广明,杨劲松,等.环渤海沿海区域土壤养分空间变异及分布格局[J]. *土壤学报*, 2014, 51(5): 944-952.
- [5] 张伟,王克林,刘淑娟,等.喀斯特峰丛洼地植被演替过程中土壤养分的积累及影响因素[J]. *应用生态学报*, 2013, 24(7): 1801-1808.
- [6] 张兆永,李菊英,祖皮艳木·买买提,等.艾比湖流域小尺度农田土壤养分的空间分布和盐渍化风险评价[J]. *生态学报*, 2017, 37(3): 819-828.
- [7] 陶冶,张元明,周晓兵.伊犁野果林浅层土壤养分生态学计量特征及其影响因素[J]. *应用生态学报*, 2016, 27(7): 2239-2248.
- [8] 张彬,杨联安,杨粉莉,等.苹果主产区土壤养分空间分布特征及其影响因素:以陕西省礼泉县为例[J]. *土壤*, 2016, 48(4): 777-784.
- [9] 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.
- [10] 赵业婷,李志鹏,常庆瑞.关中盆地县域农田土壤碱解氮空间分异及变化研究[J]. *自然资源学报*, 2013, 28(6): 1030-1038.
- [11] 魏佳宁,马红梅,邵新庆,等.三江源区土壤微生物和土壤养分空间分布特性研究[J]. *中国土壤与肥料*, 2016(2): 27-31.
- [12] 张世文,叶回春,王来斌,等.景观高度异质区土壤有机质时空变化特征分析[J]. *农业机械学报*, 2013, 44(12): 105-113.
- [13] 李启权,王昌全,岳天祥,等.基于定性和定量辅助变量的土壤有机质空间分布预测:以四川三台县为例[J]. *地理科学进展*, 2014, 33(2): 259-269.
- [14] 张维,李启权,王昌全,等.川中丘陵县域土壤 pH 空间变异及影响因素分析:以四川仁寿县为例[J]. *长江流域资源与环境*, 2015, 24(7): 1192-1199.
- [15] 吴晓妮,付登高,刘兴祝,等.柴河流域典型景观类型土壤氮磷含量的空间变异特征[J]. *土壤*, 2016, 48(6): 1209-1214.
- [16] 王小艳,冯跃华,李云,等.黔中喀斯特山区村域稻田土壤理化特性的空间变异特征及空间自相关性[J]. *生态学报*, 2015, 35(9): 2926-2936.
- [17] 陈英,冯定邦,蔡立群,等.耕作层土壤养分含量的空间自相关分析:以秦安县郭嘉镇为例[J]. *干旱地区农业研究*, 2016, 34(1): 66-73, 107.
- [18] 肖烨,商丽娜,黄志刚,等.吉林东部山地沼泽湿地土壤碳、氮、磷含量及其生态化学计量学特征[J]. *地理科学*, 2014, 34(8): 994-1001.
- [19] 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, 35(12): 2434-2443.
- [20] 胡婵娟,刘国华,郭雷,等.土壤侵蚀对土壤理化性质及土壤微生物的影响[J]. *干旱区研究*, 2014, 31(4): 702-708.
- [21] 赵亚丽,薛志伟,郭海斌,等.耕作方式与秸秆还田对土壤呼吸的影响及机理[J]. *农业工程学报*, 2014, 30(19): 155-165.
- [22] 赵莉荣.不同成土母质条件下土壤养分空间变异研究[D].重庆:西南大学,2010.
- [23] 徐敬敬.基于 GIS 的崇明土壤养分空间变异及肥力综合评价研究[D].上海:上海交通大学,2010.
- [24] 许敏.渭北高原红富士苹果园土壤养分特征及施肥管理研究[D].陕西 杨凌:西北农林科技大学,2015.
- [25] 陈春瑜,和树庄,胡斌,等.土地利用方式对滇池流域土壤养分时空分布的影响[J]. *应用生态学报*, 2012, 23(10): 2677-2684.
- [26] 高灯州,闵庆文,陈桂香,等.联合梯田农业文化遗产稻田土壤养分空间变异特征[J]. *生态学报*, 2016, 36(21): 6951-6959.
- [27] 戴雅婷,侯向阳,闫志坚,等.库布齐沙地两种植被恢复类型根际土壤微生物和土壤化学性质比较研究[J]. *生态学报*, 2016, 36(20): 6353-6364.