

广东省新会地区耕地土壤全钾和有效磷的时空变异特征

甘海华, 彭凌云, 卢 瑛, 吴靖宇, 赖雪梅

(华南农业大学 资源环境学院, 广东 广州 510642)

摘要:运用地统计学,结合 GIS 技术研究了 20 年来广东省新会地区土壤全钾和有效磷的时空变异规律. 结果表明,研究区域耕地土壤由于 20 年来的耕作施肥使得土壤全钾和有效磷含量显著增加,土壤全钾在研究区域的南部变化最明显,与该地区的土壤类型为咸田有很大关系;耕地土壤全钾和有效磷的空间分布都表现为中等空间相关性;土壤全钾和有效磷变程的变化与土壤养分在土壤中化学行为有关.

关键词:耕地土壤; 时空变异; P; K; Kriging

中图分类号: S152.7

文献标识码: A

文章编号: 1001-411X(2007)01-0022-05

The Spatio-Temporal Variability of Available P and Total K in Cultivated Soil of Xinhui District in Guangdong Province

GAN Hai-hua, PENG Ling-yun, LU Ying, WU Jing-yu, LAI Xue-mei

(College of Resource and Environment, South China Agric. Univ., Guangzhou 510642, China)

Abstract: Geostatistical methods were used in combination of GIS to analyze the spatial distribution characteristics of total K and available P in cultivated soils in Xinhui district, Guangdong Province, over 20 years from 1982 to 2003. The results showed that the content of total K and available P significantly increased with the cultivation and fertilizer application in the past 20 years; the content of total K in the south significantly increased; the total K and available P in cultivated soils had moderate spatial relativity; the range of the total K and available P had relationships with the chemical action of soil nutrients.

Key words: cultivated soil; spatio-temporal variability; P; K; Kriging

改革开放 20 多年来,我国农业发展面临新的问题,表现在不少地方土壤退化现象严重,不仅有已退化面积较大,而且水土流失、土壤沙化、酸化和盐渍化等现象大多在继续扩展. 提高土壤质量、促进农业持续发展已成为 21 世纪土壤科学的研究重点. 同时,土壤质量的提高首先需要解决的问题就是对土壤质量时空变化与发展的认识. 关于土壤养分空间变异的地统计学研究已有很多比较详细的报道^[1-5],对土壤养分时空变异性的综合研究,国内外许多学者也做了一些研究^[6-9]. 本研究以广东

省新会地区耕地土壤为研究对象,在地理信息系统 (GIS) 的支持下,运用地统计学方法,进行前后 20 年的土壤 P、K 时空分布特征对比分析,探讨了新会地区土壤 P、K 时空变异规律,为进一步提高土壤资源的利用效率和进行有效、合理的田间管理提供科学依据.

1 研究区域与研究方法

1.1 研究区域

新会地区位于广东省珠江三角洲西南部,地处西

收稿日期: 2005-11-03

作者简介: 甘海华 (1966—), 男, 副教授, E-mail: haihgan@scau.edu.cn

基金项目: 广东省科技计划项目 (2004B33301012)

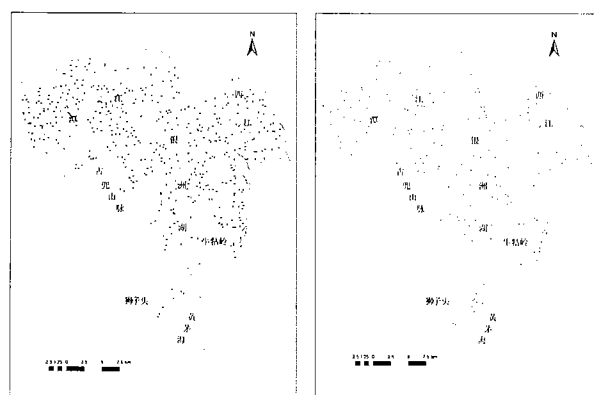
江、潭江下游,北纬 $22^{\circ}05'43'' \sim 22^{\circ}48'24''$,东经 $112^{\circ}47'13'' \sim 113^{\circ}15'24''$. 北面与江门市蓬江区、鹤山市相连,正西与开平市接壤,西南与台山,东南与中山、斗门毗邻,正南是浩瀚的南海,大陆海岸线 14.9 km ; 2002 年全区土地面积 $1\,387.0 \text{ km}^2$,耕地面积为 $27\,078 \text{ hm}^2$,其中水田 $21\,995 \text{ hm}^2$,旱地 $5\,083 \text{ hm}^2$.

新会地区地势自西北向东南倾斜,丘陵山地主要分布在区境西北、西南部,有圭峰山地、古兜山地、牛牯岭山地. 平原主要分布在区境东南、中南、中西部沿西江、潭江和银洲湖两岸,有海湾冲积平原、三角洲冲积平原、山谷冲积平原. 新会地区耕地土壤成土母质主要有花岗岩风化物、砂页岩风化物、洪积物、宽谷冲积物和河流冲积物等类型. 花岗岩风化物主要分布于新会地区东南和西南部的花岗岩赤红壤地区,砂页岩风化物主要分布于新会地区北部的砂页岩赤红壤地区;在丘陵小山丘之下的峡谷地,其母质多为坡积物或洪积物;潭江和西江的两岸为河流冲积物.

1.2 土样的采集

根据第 2 次土壤普查(1982 年)的《农化样本处理登记表》、《新会县土壤普查报告书》和新会地区土壤采样点分布图,除去样点数据的缺失值和异常值,经整理得到 466 个耕地土壤样点和相应的理化性状数据(图 1a).

2003 年 10 月,参照第 2 次土壤普查时的采样点位置,同时也考虑了土地利用类型、地形地貌,在研究区域内选取代表性耕地土壤样点 196 个(图 1b),用 GPS 定位,“X”法均匀随机采样. 所有样品经风干、剔除杂质、研磨、分别过 20 目和 100 目筛后,用于土壤理化性状的分析.



a: 1982 年土壤普查样点
sampling sites in 1982

b: 2003 年耕地地力调查样点
sampling sites in 2003

图 1 研究区域和土壤样点分布图

Fig. 1 Location of study region and distribution map of sampling sites

1.3 土样的测定

1982 年和 2003 年土壤全钾采用氢氧化钠熔融-火焰光度法,有效磷采用 $0.5 \text{ N Na}(\text{HCO}_3)_2$ -钼锑抗比色法.

1.4 土壤全钾和有效磷的描述性统计分析

为了检验这些实验数据是否符合地统计学插值条件,用 Kolmogorov-Smirnov(K-S) 正态分布检验概率对它们进行检验^[9-10]. 由于特异值的存在会造成连续表面的中断,直接影响变量的分布特征,致使变异函数失去了结构性,因而本研究采用域法识别特异值,即按标准方差的倍数来识别特异值,一般特异值定为样品均值(m)加减三倍均方差(δ): $m \pm 3\delta$,然后用正常值的最大值、最小值替代特异值^[10].

1.5 时空变异特征分析

土壤全钾和有效磷的时空变化特征是用 Kriging 法完成的. 通过 GIS,利用已建立的 1982 和 2003 年的土壤样点分布图,步长的划分以 2 km 为间距;样点的属性数据包括土壤全钾和有效磷,存储在包含地理坐标的土壤养分属性数据库中. 变异函数的计算和理论模型的拟合均采用地统计学软件 GS+ for windows 完成. 具体步骤为:土壤全钾和有效磷的时空变异分析首先用 ArcGis8.1 的地统计分析模块 Geostatistics Analyst 进行空间内插,得到各个肥力指标的插值图,并用研究区域的耕地现状图进行裁剪;然后将 1982 和 2003 年采样点生成的 grid 插值图用 ArcGis 8.1 的空间分析模块 Spatial Analyst 进行叠加,得到土壤养分的插值变化图,正值表示从 1982—2003 年是增加,负值则表示减少.

2 结果与分析

2.1 土壤养分的 t 检验

表 1 是 1982 年土壤普查与 2003 年调查土壤全钾和有效磷的 t 检验,结果表明:2003 年土壤全钾和有效磷与 1982 年相比显著增加($P < 0.05$).

表 1 1982 年土壤普查与 2003 年耕地土壤全钾和有效磷的 t 检验

Tab. 1 Paired samples t test of soil nutrients in 1982 and 2003

养分 nutrients	1982	2003	t	v	P
全钾 total K/($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	12.97 ± 0.18	16.85 ± 0.48	9.24	568	0.000*
有效磷 available P/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	10.05 ± 0.50	45.31 ± 3.37	15.17	660	0.000*

2.2 土壤全钾和有效磷的描述性统计分析

1982年土壤普查有效磷经对数转换后服从正态分布,而全钾既不服从正态分布,也不服从对数正态分布.仔细分析全钾数据,发现它们呈阶梯状分布,同值的情况较普遍.虽然全钾数据的非正态分布会产生比例效应,抬高基台值和块金值,使实验变异函数发生畸变,增大估值误差;但是从全钾的描述性统计分析中可以看出,这并不是由于特异值产生的影响^[9],因此采用全钾数据做地统计分析(表2).

2003年调查土壤肥力指标经Kolmogorov-Smirnov(K-S)检验后,土壤全钾服从正态分布,有效磷经对数转换后服从正态分布.

1982和2003年都显示出土壤有效磷的变异系数最大,原因可能有两方面:一是与磷在土壤中的化学行为及施磷状况有关,因施入土壤中的磷移动性小、当季利用率低等,使土壤中磷残留较多,导致土壤中磷的分布不均;二是与整个区域中不同部位的地形、土壤类型、土壤质地等土壤特征有关.

表2 1982、2003年土壤全钾和有效磷的描述性统计结果

Tab. 2 Descriptive statistics of soil total K and available P in 1982 and 2003

养分 nutrients	年份 year	样本数 number	最大值 max.	最小值 min.	平均值 mean	中数 median	SE	CV/%	K-S值 K-S value
全钾 total K/(g·kg ⁻¹)	1982	466	24.79	1.01	12.97	13.90	0.18	30.38	0.000
	2003	196	34.42	2.25	16.85	17.84	0.48	36.85	0.128
有效磷 available P/(mg·kg ⁻¹)	1982	466	42.57	0.20	10.05	6.00	0.50	107.86	0.097
	2003	196	186.85	1.10	45.31	26.93	3.37	104.13	0.315

2.3 土壤全钾和有效磷的变异特征分析

1982年土壤全钾和有效磷的理论模型很好地符合指数模型(表3),其决定系数分别为0.991和0.974,决定系数的F检验都达到极显著水平;2003年调查土壤有效磷的理论模型很好地符合指数模型,其决定系数为0.498,全钾的理

论模型很好地符合球状模型,其决定系数为0.954,全钾决定系数的F检验为极显著水平.由于1982年计算变异函数的样点数要多于2003年的样点数,样点的分布也较2003年均匀(图1a、图1b),所以1982年变异函数的理论模型的模拟结果要好于2003年.

表3 1982、2003年同方向上土壤全钾和有效磷的理论模型及相应的参数

Tab. 3 The theory models and corresponding parameters of soil total K and available P in 1982 and 2003

养分 nutrients	年份 year	理论模型 model	块金值 nugget	基台值 sill	变程 range/m	块金值:基台值 nugget:sill/%	R ²
全钾 total K	1982	指数	0.471	1.157	7 880	40.7	0.991
	2003	球状	0.554	1.109	21 970	50.0	0.954
有效磷 available P	1982	指数	0.333	1.039	1 910	32.1	0.974
	2003	指数	0.271	0.971	740	27.9	0.498

1982年土壤全钾块金值与基台值之比为40.7%,2003年升高到50.0%,反映出人为活动对土地的影响程度加大,主要是施用钾肥增多,削弱了结构性因素造成的强自相关作用.1982年土壤有效磷的块金值与基台值之比为32.1%,2003年为27.9%,比值变小,这是由于近年来磷肥施用明显高于1982年,磷在土壤中容易固定,而有效磷受土壤质地等特性的影响比较严重,因此导致样点之间的空间自相关作用加强.

1982年土壤全钾与2003年相比,变程明显增加,表明其空间分布均一性加强,在小范围内的变异减弱;而有效磷的变程明显减小,表明土壤有效磷分布的均一性减弱,在小范围内的变异加强,整体分布趋向复杂.这可能是由于农田生态系统中磷素施用

的区域性差异,或不同土壤类型磷肥施用后,在土壤中的残留量或形态不同,导致土壤有效磷含量的空间自相关距离较小.

2.4 土壤养分的时空分布分析

2.4.1 土壤全钾的时空分布分析 从图2a可以看出,1982年研究区域全钾质量分数在10.00~15.00 g·kg⁻¹的面积最大,为16 968 hm²,占研究区域耕地面积的62.6%,主要分布于研究区域西部、西北部、东北部和南部的大部分地区;其次为质量分数在15.00~20.00 g·kg⁻¹的面积为5 891 hm²,占研究区域耕地面积的21.7%,主要分布在中部和东部的部分地区.

2003年研究区域耕地土壤全钾质量分数在15.00~20.00 g·kg⁻¹的面积最大(图2b),为

18 226 hm^2 , 占研究区域耕地面积的 67.2%, 分布于研究区域的西部、北部和中部的部分地区. 研究区域的西北部、西部和中部的部分地区, 全钾质量分数为 $5.00 \sim 10.00 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 面积为 7 193 hm^2 , 占研究区域耕地面积的 26.5%. 调查结果显示整个研究区域全钾含量属于中等水平. 通过比较 1982 和 2003 年全钾含量的分布可以看出, 水田土壤全钾含量要高于旱地土壤全钾含量.

全钾的插值变化图(图 2c)显示, 土壤全钾含量除在研究区域的中部靠近银洲湖的地方呈降低趋势

外, 在其他地方都呈增加趋势. 虽然有研究表明, 钾肥的施用能提高土壤速效钾含量, 但对土壤全钾影响不大^[11]. 但是, 在研究区域长时间对钾肥大量投入, 仍然会使整个区域的全钾有不同程度的升高, 只是增加的幅度没有速效钾的明显; 同时研究区域大部分近年来实行冬种蔬菜和水田改种菜地也是土壤全钾量含量增加的原因之一; 此外在研究区域的南部滩涂、由于土壤类型为咸田, 土壤全钾含量本身较高, 再加上近 20 年来围海造田, 种植香蕉, 钾肥大量投入, 使得土壤全钾含量增加显著.

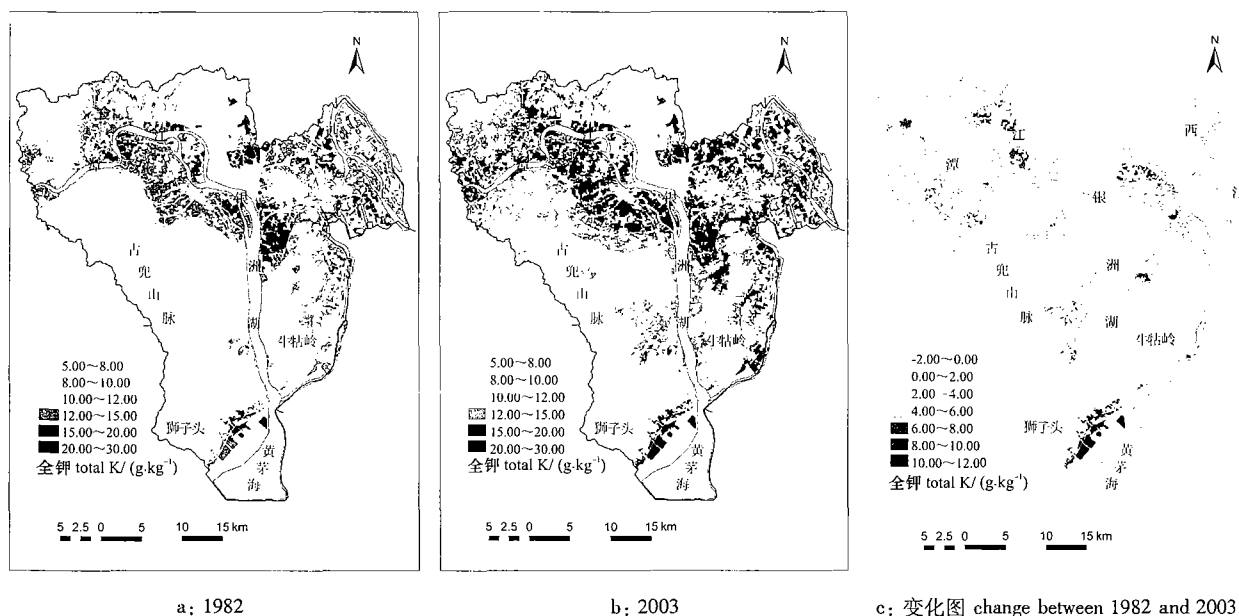


图2 土壤全钾插值分布图
Fig. 2 Kriging map of soil total K

2.4.2 土壤有效磷的时空分布分析 从图 3a 可以看出, 1982 年耕地土壤有效磷质量分数在 $5 \sim 10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的面积最大, 为 8 351 hm^2 , 占研究区域耕地面积的 30.8%; 其次为质量分数在 $10 \sim 20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的, 面积为 8 314 hm^2 , 占研究区域耕地面积的 30.7%, 主要分布在西北部和西部的部分地区.

2003 年耕地土壤有效磷质量分数 $>40 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的面积最大(图 3b), 为 14 325 hm^2 , 占研究区域耕地面积的 52.9%, 主要分布于研究区域西部、西北部的大部分地区和研究区域东北部的部分地区. 其次为质量分数在 $20 \sim 40 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的, 面积为 11 236 hm^2 , 占研究区域耕地面积的 41.5%, 主要分布于中部和东南部. 根据 2003 年调查, 发现在研究区域的司前、双水和三江等镇的磷肥施用量较大, 磷(P_2O_5)的纯养分量平均值为 $412.1 \text{ kg} \cdot \text{hm}^2$, 所以西部和西北部, 以及东部和东北部的有效磷含量较高.

从图 3a、3b 可以看出, 不同土壤类型的有效磷含量是不同的, 其中沿西江和潭江两岸发育的潮沙

泥土为最高, 滨海砂质田土为最低; 同时耕地土壤的利用方式也影响其有效磷含量, 其中有效磷含量以菜地最高, 依次为旱地、稻田.

从有效磷插值变化图(图 3c)可以看出, 有效磷含量在整个研究区域都是呈增加的趋势, 质量分数 $>40 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的面积从 1982 年的 172 hm^2 增加到 2003 年的 14 325 hm^2 ; 其次, 有效磷质量分数在 $20 \sim 40 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的面积也由 1982 年的 3 574 hm^2 增加到 2003 年的 11 236 hm^2 . 研究区域近 20 年来磷、钾施用的比重明显增加. 1982 年研究区域化肥施用中以过磷酸钙为主的磷肥约为 4 500 t, 以氯化钾为主的钾肥约为 2 400 t, 按有效养分计算, 当年磷钾施用比例约为 $m(\text{P}_2\text{O}_5):m(\text{K}_2\text{O}) = 0.084:0.045$; 2003 年调查的统计结果表明, 研究区域大田农户共施磷肥 94 400 t, 钾肥 53 100 t, 按有效成分计, 磷钾施用比例约为 $m(\text{P}_2\text{O}_5):m(\text{K}_2\text{O}) = 0.4:0.8$. 长期施用磷肥可明显增加土壤有效磷的积累.

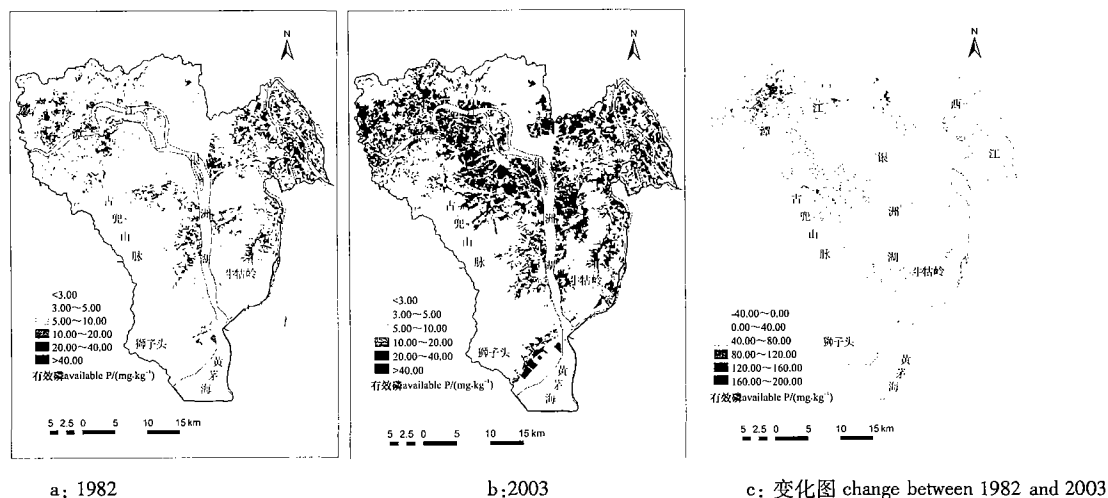


图3 土壤有效磷插值分布图

Fig.3 Kriging map of available P

3 结论

研究区域耕地土壤全钾和有效磷含量 2003 年土壤调查与 1982 年土壤普查相比显著增加,这主要是由人类施肥、耕作措施的改变和土地利用变化引起的.通过施用磷肥进入土壤中的磷容易被固定,使得土壤中磷残留较多,分布不均,含量增加.研究区域成土母质大部分是宽谷冲积物和河流冲积物,土壤质地粘重,因此土壤中的钾不容易淋溶流失,全钾在研究区域的南部增加最明显,与该地区的土壤为咸田有很大关系.

研究区域耕地土壤全钾和有效磷的空间分布都表现为中等的空间相关性,1982 年与 2003 年相比,土壤全钾变程明显增加,而有效磷的变程明显减小.

1982 年土壤全钾和有效磷模型以及 Kriging 插值结果都好于 2003 年调查,这是因为 1982 年样点数目较多,而且分布较为均匀.地统计学研究通常要求规则取样,但规则取样产生的样点数过多,给野外采样和实验室分析带来了较大的负担,特别是在较大的研究区域.在国内外的一些文献中都提到一种巢穴采样,这种采样方法能够较好地反映出不同尺度上土壤指标的变异,并使产生的样点数相对较少,是一种值得研究的好方法.

参考文献:

- [1] 张有山,林启美,秦耀东,等.大比例尺土壤养分空间变异定量分析[J].华北农学报,1998,13(1):122-128.

- [2] 黄绍文,金继运.土壤特性空间变异研究进展[J].土壤肥料,2002(1):8-14.
- [3] HUSSON O, VERBURG P H. Spatial variability of acid sulphate soils in the Plain of Reeds, Mekong Delta, Vietnam[J]. Geoderma,2000(97):1-19.
- [4] JOSE A, YONG W. Fine-scale spatial variability of physical and biological soil properties in Kingston, Rhode Island[J]. Geoderma,2000(98):83-94.
- [5] 甘海华,彭凌云.江门市新会区耕地土壤养分空间变异特征[J].应用生态学报,2005,16(8):1437-1442.
- [6] 郭旭东,傅伯杰,马克明,等.基于地统计学的土壤养分空间变异特征研究:以河北遵化市为例[J].应用生态学报,2000,11(4):557-563.
- [7] ANDREW W W, CUNTER B, RODGER B G. Geostatistical characterization of soil moisture patterns in Tarrawarra catchments[J]. Journal of Hydrology,1998,205:20-37.
- [8] STUTTER M I, DEEKS L K, BILLETT M F. Spatial variability in soil Ion exchange chemistry in a granitic upland catchment[J]. Soil Science Society of America Journal, 2004, 68(4):1304-1314.
- [9] 郭旭东,傅伯杰,陈利顶,等.河北省遵化平原土壤养分的时空变异特征:变异函数与 Kriging 插值分析[J].地理学报,2000,55(5):555-566.
- [10] 刘付程,史学正,潘贤章,等.太湖流域典型地区土壤磷素含量的空间变异特征[J].地理科学,2003,23(1):77-81.
- [11] 王军,傅伯杰,邱扬,等.黄土高原小流域土壤养分的空间异质性[J].生态学报,2002,22(8):1173-1178.

【责任编辑 周志红】