

陈飞香,陈长成,胡月明,等. 农田土壤养分不确定性评价在高标准农田划定中的应用——以广州市增城区为例[J]. 江苏农业科学,2016,44(12):410-414.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.12.125

农田土壤养分不确定性评价在高标准农田划定中的应用 ——以广州市增城区为例

陈飞香^{1,2}, 陈长成^{1,2}, 胡月明², 谭正喜³

(1. 华南农业大学资源环境学院/农业部华南耕地保育重点实验室/广东省土地利用与整治重点实验室/
广东省土地信息工程技术研究中心, 广东广州 510642; 2. 广州市测绘地理信息行业工程中心, 广东广州 510055;
3. 美国地质调查局 EROS 数据中心, 美国苏福尔斯 SD57198)

摘要:以广东省广州市增城区为例,使用序贯指示模拟的方法,对农田土壤全氮、土壤有效磷、土壤铅含量进行不确定性评价。充分利用不确定性评价模拟结果,筛选出土壤养分与土壤重金属的高风险区。在满足高标准农田相关数量要求的前提下,尽可能剔除土壤全氮缺乏高概率区、潜在富营养化污染高概率区和土壤铅高值高概率区,从而优化高标准农田的划定,规避潜在风险,确保高标准农田的质量与维持。

关键词:高标准农田划定;土壤全氮;土壤有效磷;土壤铅;序贯指示模拟;不确定性评价

中图分类号: F323.211 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)12-0410-05

众多学者对高标准农田进行了定义^[1-4]。目前,比较一致认可的定义是高标准农田指土地平整、土壤肥沃、集中连片、设施完善、农电配套、生态良好、抗灾能力强,与现代农业生产和经营方式相适应的旱涝保收、持续高产稳产的农田。现行《全国高标准农田建设总体规划》明确提出到 2020 年,我国将建成集中连片、旱涝保收的高标准农田 0.53 亿 hm²。

高标准农田建设以提升耕地质量、提高农业综合生产能力为重点,农田质量建设是高标准农田建设优先重视的内容之一。土壤是农作物生长的物质基础,提高土壤质量是推广良种良法、实现农业增产增效的重要条件。长期以来,我国在基本农田划定时仅仅是按照一定时期人口和社会经济发展对农产品的需求来确定基本农田的数量指标,然后将指标分解到乡镇来确定基本农田的区域和位置,存在突出的重数量轻

质量的问题^[5]。而且,这些划定方法未考虑到农田高风险地块的分析。近年来,相关学者从耕地质量评价、地理信息系统技术应用等角度对科学划定基本农田进行研究并取得一定成果,但是都不能很好地解决上述问题^[6-8]。

本研究通过序贯指示模拟,充分运用农田土壤不确定性评价研究成果,在关注区域分布大体情况的前提下,进一步评价广东省广州市增城区土壤养分与土壤重金属高风险的不确定性,以便为广州市增城区对高标准农田进行科学划定和建设提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

依据 2008 年度土地变更调查数据,增城区耕地总面积为 26 544 hm²,其中灌溉水田大约占总面积的 80%,水浇地占 5.3%,旱地占 0.5%,菜地占 16.8%。全区农田面积最大的是石滩镇,为 5 464 hm²,中新镇、派潭镇次之,分别为 3 833 hm² 和 3 797 hm²,农田面积最小的是增江街道,仅为 802 hm²。

从 2005 年增城农用地分等成果可知,增城耕地的自然质量等有 12~17 这 6 个等别,最高等别为 17 等。水田(本研究中的农田)是增城耕地中面积最大的地类,14 等以上的总面

收稿日期:2016-07-26

基金项目:广东省科技计划(编号:2014B020206002)。

作者简介:陈飞香(1978—),女,广西靖西人,博士,讲师,主要从事土地规划与评价研究。E-mail:chfx@scau.edu.cn。

通信作者:胡月明,教授,博士生导师,从事地理信息系统及土地利用工程相关研究。Tel:(020)85288307;E-mail:ymhu163@163.com。

质量评价[J]. 南京林业大学学报:自然科学版,2006,38(9):1549-1552.

[4]赵 蕾,谭荣建. 基于农用地分等的土地整理耕地质量评定方法[J]. 科学技术与工程,2012,12(17):4266-4270.

[5]余建新,魏 巍,廖晓虹,等. 土地整治项目区农用地质量分等方法的修正[J]. 农业工程学报,2013,29(10):234-240.

[6]边振兴,于 森,王秋兵. 基于土地开发整理修订农用地分等结果的一种方法[J]. 农业工程学报,2009,25(1):232-236.

[7]童陆亿,胡守庚,杨利富. 土地整治区耕地质量重估方法研究[J]. 中国土地科学,2015,29(2):60-66.

[8]高明秀,李占军,赵庚星. 面向土地整理的项目尺度耕地质量评

价[J]. 农业工程学报,2008,24(增刊1):128-132.

[9]中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. GB/T 28407—2012 农用地质量分等规程[S]. 北京:中国标准出版社,2012.

[10]中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. GB/T 28405—2012 农用地定级规程[S]. 北京:中国标准出版社,2012.

[11]张正峰,杨 红,谷晓坤. 土地整治对平原区及丘陵区田块利用的影响[J]. 农业工程学报,2013,29(3):1-8.

[12]赵 璐,郑新奇. 基于 GIS 和分等成果的县域内农用地定级方法研究[J]. 水土保持研究,2008,15(4):145-148.

积占增城灌溉水田总面积的 95%,说明增城的农田自然质量总体水平很高。

增城土地利用总体规划的基本农田分布见图 1,全区基本农田在石滩镇、新塘镇、派潭镇、中新镇均分布较多,连片性也较好。因此,在初步划定增城区高标准农田时,考虑到全区基本农田自然质量较好,依据优先将基本农田划入高标准农田的原则,将全部基本农田划入高标准农田。

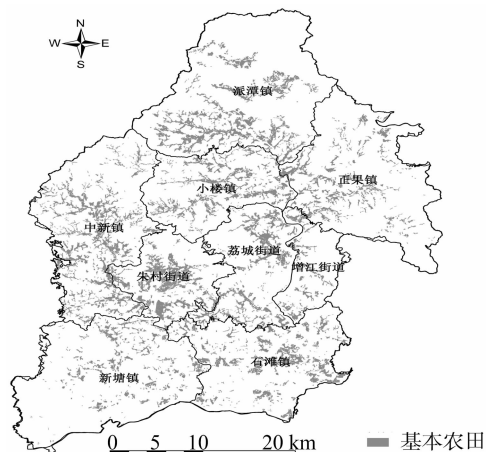


图1 增城区基本农田地块分布

1.2 数据来源

本研究的数据来源主要有增城区土壤采样数据;2008 年增城行政区划图(比例尺 1:50 000);2008 年增城土地利用现状图(比例尺 1:50 000);2008 年增城统计年鉴;2008 年增城土地利用变更成果;增城土壤类型图(第二次全国土壤普查成果,比例尺 1:50 000);2005 年增城耕地地力评价成果图;2003 年增城地形图(比例尺 1:25 000,等高距 5 m)。

1.3 方法

1.3.1 土壤采样和数据处理 增城市土壤采样利用分层采样和随机采样相结合的方法。以农用地利用现状为分层依据,同时兼顾均匀性,土壤采样深度为 0~20 cm。根据布点的原则,首先对 1:50 000 的土地利用现状图、基本农田保护区图和土壤分布图进行叠加,在叠加形成的工作图上进行采样点布设,然后将样点逐一转绘到 1:10 000 的土地利用现状图上,供野外调查取样时使用。根据调查样点的点位图(图 2),用 GPS 定位仪进行定位采样。

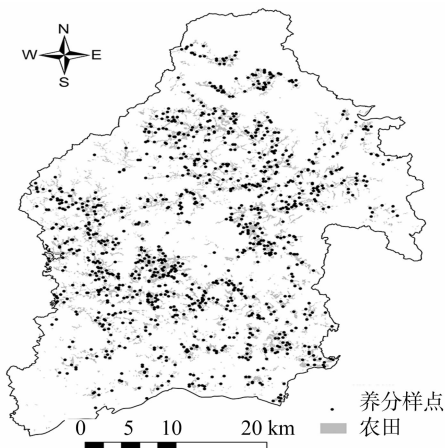


图2 土壤养分样点分布

1.3.2 序贯指示模拟 目前,评价土壤属性不确定性最常用的随机模拟方法包括序贯高斯模拟、序贯高斯协同模拟、序贯指示模拟和序贯指示协同模拟^[9-13]。序贯高斯(协同)模拟是参数化的方法,其前提是数据符合多高斯分布。在不少情况下,很难确定土壤属性是否满足多高斯分布。序贯指示模拟对原始数据分布没有严格要求,并在模拟前根据一定的阈值对原始数据重新赋值^[14]。序贯指示模拟是常见的模拟方法,其基本原理是基于指示半方差函数建立随机模型进行模拟。序贯指示模拟的每一次实现都不能模拟出土壤属性的具体含量,而是得到概率分布,以及这个概率与阈值接近的可能性的概率。该方法提供的不确定性研究结果能够反映出作物需肥量多少或对环境的风险性,有助于决策者从不确定性出发作出合理的决策。

当给定一个土壤属性阈值时,序贯指示模拟可以评价任一空间位置土壤属性值大于该阈值的概率,即描绘土壤属性值大于该阈值的空间不确定性。

根据 Goovaerts^[15]和赵永存等^[16-18]的方法,序贯指示模拟的基本步骤为:

(1)选取 K 个门槛值 z_1, \dots, z_k 对模拟集进行二态指示变换,指示变换 $i(u, z_k)$ 的定义为:

$$i(u, z_k) = \begin{cases} 1 & \text{if } z \leq z_k \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}, k = 1, \dots, K.$$

(2)建立指示变量 $i(u, z_k)$ 的半方差模型。

(3)定义一条遍历所有待模拟位置的随机路径,通过以下步骤实现序贯指示模拟:

对于随机路径上某一位置 u ,通过 kriging 估计指示随机变量 $i(u, z_k)$,其估计值 $i^*(u, z_k) = \text{Prob}^*(z \leq z_k)$;

纠正次序关系错误后,估计土壤属性值的累积分布函数 $F(z)$,从 $F(z)$ 随机获取 1 个模拟值并该值赋予位置 u 。

对随机路径上的每一位置都重复步骤(1)、(2)便获得 1 个随机模拟实现。重复 100 次序贯模拟,每次模拟均使用不同的随机路径则将产生 100 个等概率的模拟实现。

本研究用 SGeMS 软件对土壤养分和重金属含量进行不确定性评价。对土壤养分进行 100 次序贯指示模拟,栅格大小为 100 m × 100 m,模拟过程中采样点位置的土壤养分值保持不变。在模拟结束后将结果存为 Excel 数据格式,再转为 ASCII 文件,在 ArcGIS 10.0 中进行模拟图件制作。数据分析采用 Excel 的分析工具或编写宏语言实现。

2 结果与分析

根据《全国高标准农田建设总体规划》,高标准农田建成后,土壤有机质含量应该达到 12 g/kg 以上,各项养分含量指标应达到当地土壤养分丰缺指标体系的“中”或“高”值水平,土壤 pH 值保持在 5.5~7.5,耕作层土壤重金属含量指标符合国家有关标准规定。本研究涉及的土壤属性模拟包括对土壤养分全氮含量、有效磷含量、土壤重金属元素铅含量的模拟。

2.1 农田土壤养分模拟

2.1.1 土壤全氮含量 本研究随机从 100 次序贯指示模拟中抽取 1 次模拟(图 3)。图中颜色越深的区域代表大于阈值的可能性(概率)越高。从图 3 可以看出,增城区绝大部分区域图上显示的是高概率区,即对应的土壤全氮含量大于阈值

0.75 g/kg 的可能性大,仅有少数区域图上显示是低概率,即对应的全氮含量大于阈值的可能性小,意味着小于阈值的可能性大,也就是很有可能是全氮缺乏的区域。

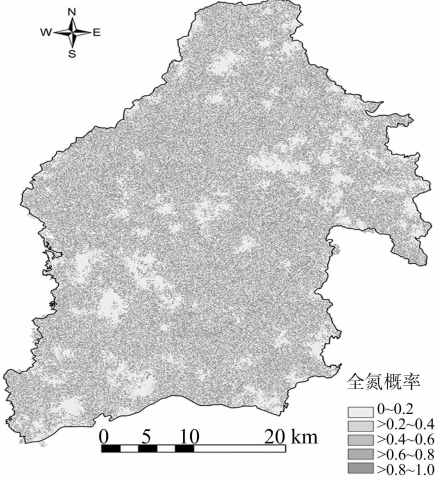


图3 随机抽取的土壤全氮序贯指示模拟

不确定性评价是对一定条件下的概率评价,这“一定条件”既包括在什么阈值条件下,也包括选用什么临界概率。以 100 次模拟为例,如果临界概率小于 0.5,即在 100 次模拟中只有不到 50 次的模拟值大于给定阈值,就认为实际值大于给定阈值;或者 100 次模拟中只有不到 50 次的模拟值小于给定阈

值,就认为实际值小于给定阈值,这时结果是不可靠的。所以,在进行不确定性评价时,临界概率的选择至少要大于 0.5。

分别以临界概率 0.9、0.8 和 0.7 为高概率条件下得到的不同临界概率下的模拟。从图 4 可以看出,在临界概率 0.9 的情况下,土壤全氮含量大于阈值的概率高于 0.9 的区域数量较多,在全区的分布较均匀。按序贯指示规则,这些区域的土壤全氮含量可以认为是大于 0.75 g/kg 的。随着临界概率的降低,土壤全氮含量可能大于 0.75 g/kg 的区域也在逐渐增加。在临界概率 0.7 的条件下,可以看出全区超过 50% 面积的土壤全氮含量超过 0.75 g/kg 的阈值。

在广东省土壤养分分级中,土壤全氮含量小于等于阈值 0.75 g/kg 为缺乏或极缺乏。在土壤施肥管理中,人们更关心的是是否有哪些区域属于全氮缺乏或极缺乏区。因此,在临界概率 0.1 的条件下进行序贯指示模拟,表明在 100 次模拟中模拟点有 10 次模拟全氮含量超过 0.75 g/kg 就认为该点的值是大于阈值。也就是说,在临界概率 0.1 条件下的 100 次模拟出现概率小于 0.1 的,可以认为是小于 0.75 g/kg 的高概率(概率为 0.9)区域。

由在临界概率 0.1 条件下的模拟,从图 4 可以看出,浅色区域是土壤全氮含量大于 0.75 g/kg 的概率小于 10%,换言之,小于等于 0.75 g/kg 的概率大于 90%,意味着全氮缺乏或极缺乏的可能性非常大,可以认为这些区域是缺乏或极缺乏氮的,在施肥决策中要特别引起重视。

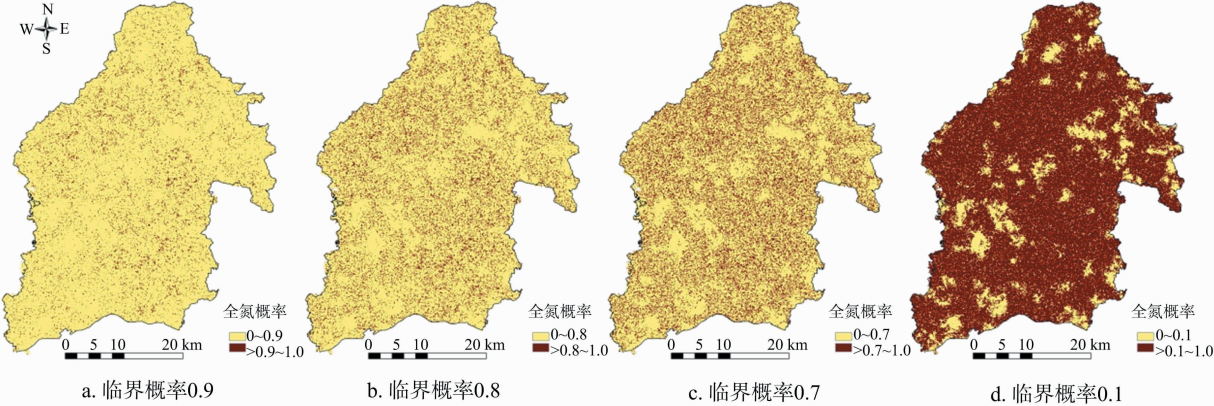


图4 土壤全氮含量不同临界概率下的序贯指示模拟(阈值0.75 g/kg)

2.1.2 土壤有效磷含量 本研究随机从 100 次序贯指示模拟中抽取 1 次模拟(图 5),从图 5 可以看出,图中颜色越深代表该次模拟中该区域土壤有效磷含量大于 40 mg/kg 的概率越高(可能性越大)。增城区大部分区域属于土壤有效磷含量大于 40 mg/kg 的高概率区域,主要分布在南部和中部。

这里所说的有效磷高值区,是指土壤有效磷含量取值大于广东省养分分级标准中的极丰富标准 40 mg/kg。有效磷含量过高,对附近水域形成潜在的富营养化污染,对地下水也造成不良影响^[19]。可以说土壤有效磷过高的区域也是一种环境脆弱区。

对该次模拟进行不同临界概率情况下的分析,临界概率越大,说明对模拟结果的认可越严格,在临界概率小于 0.5 时,模拟结果是不可靠的。分别以临界概率 0.9、0.8、0.7 为高概率条件(临界概率 0.9、0.8、0.7 分别描述了在 100 次模拟中,有 90、80、70 次的模拟值超过阈值,才认可模拟值是大

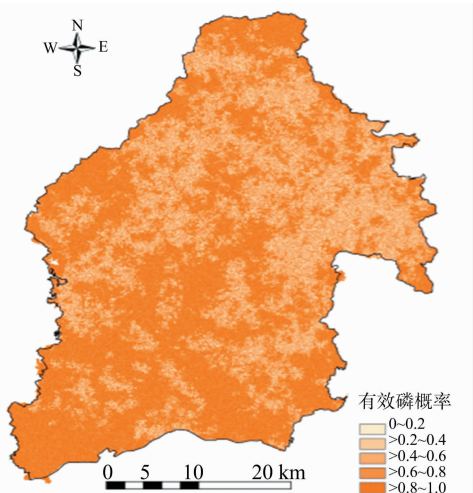


图5 随机抽取的土壤有效磷序贯指示模拟

于阈值,否则认为模拟值是小于阈值的),得到该次模拟不同临界概率下的模拟(图6)。

从图6可以看出,随着临界概率的降低,土壤有效磷含量大于阈值(40 mg/kg)的区域越来越大,大于阈值的模拟点也越来越密集。

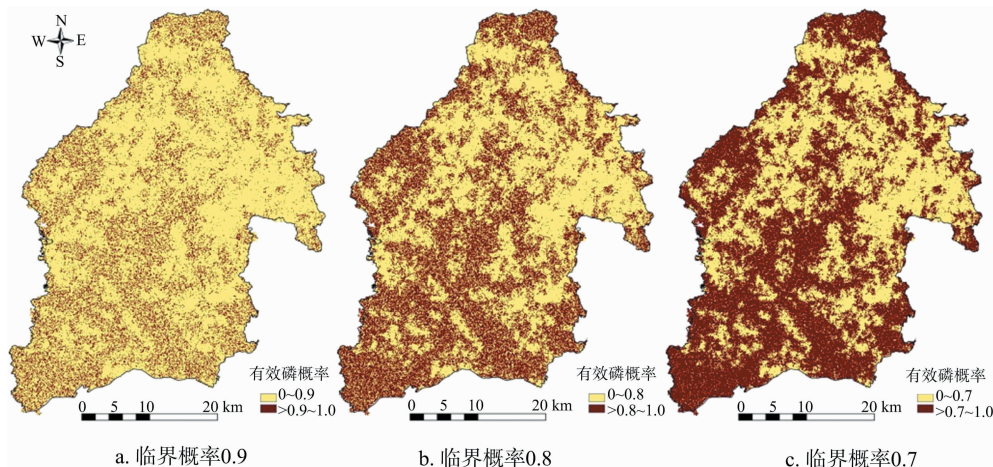


图6 土壤有效磷含量不同临界概率的序贯指示模拟(阈值40 mg/kg)

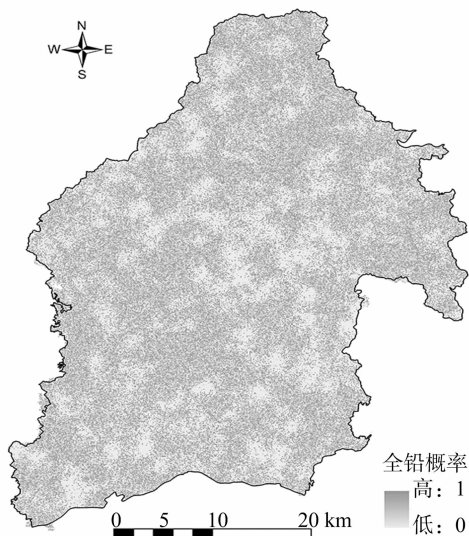


图7 随机抽取的土壤铅序贯指示模拟

2.2 农田土壤重金属元素铅含量模拟

本研究随机从100次土壤铅含量序贯指示模拟中抽取1次模拟(图7)。

从图7可以看出,颜色越深代表该次模拟中该点土壤铅含量大于50 mg/kg的概率越高,即取值越有可能是大于50 mg/kg的,增城区土壤铅含量大于50 mg/kg的高概率区域占全区面积极小。

对该次模拟进行不同临界概率情况分析。临界概率越大,说明对模拟结果的认可条件越严格,临界概率小于0.5时,模拟结果取值不可靠。下面分别以临界概率0.9、0.8、0.7为高概率条件(临界概率0.9、0.8、0.7分别描述了在100次模拟中,有90、80、70次的模拟值超过阈值,才认可模拟值是大于阈值,否则认为模拟值是小于阈值的),得到该次模拟不同临界概率下的模拟(图8)。从图8可以看出,随着临界概率的降低,土壤铅含量大于阈值50 mg/kg的区域越来越大,大于阈值的模拟点也越来越密集。但没有出现非常集中的区域。

2.3 高标准农田划定结果

结合基本农田土壤养分与土壤重金属模拟评价的结果,在满足高标准农田划定标准的前提下,尽可能剔除土壤养分缺乏高概率区、潜在富营养化污染高概率区和土壤重金属高值高

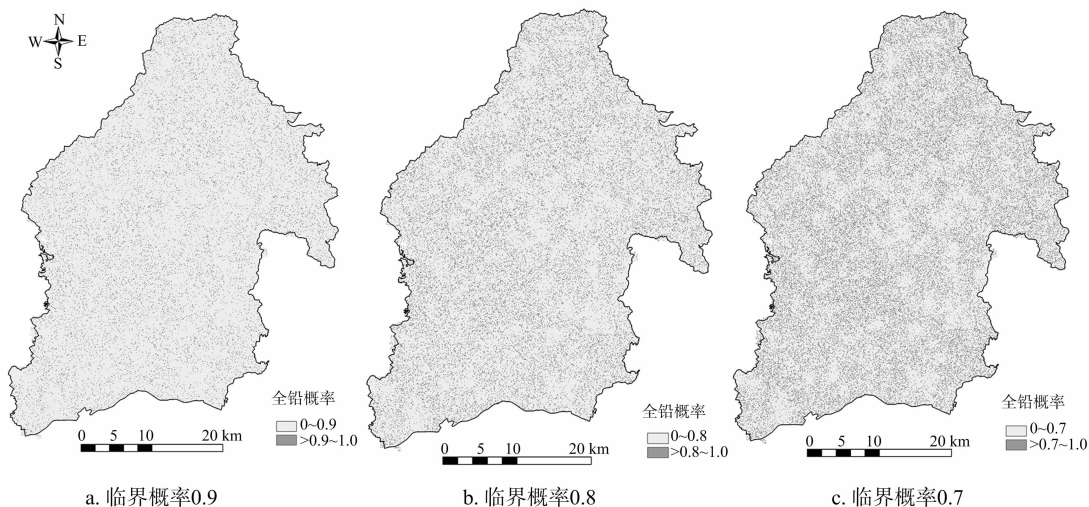


图8 土壤铅含量不同临界概率的序贯指示模拟

概率区,重新调整高标准农田划定,获得本研究的增城区高标准农田分布(图9)。

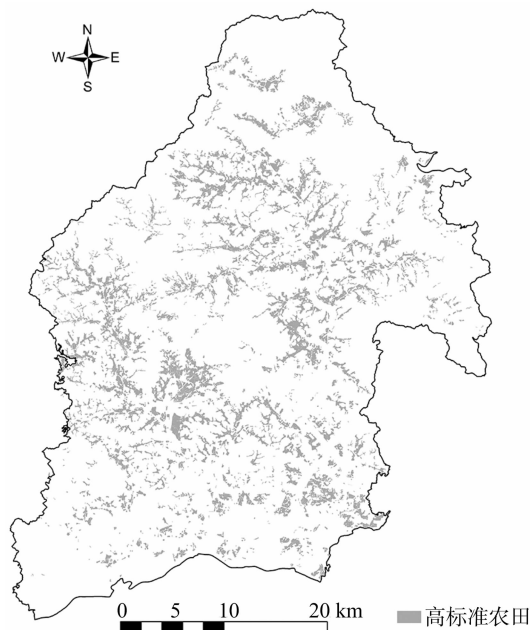


图9 广州市增城区高标准农田分布

3 讨论与结论

长期以来,我国在高标准农田划定时仅仅是按照一定时期人口和社会经济发展对农产品的需求来确定基本农田的数量指标,然后将指标分解到乡镇来确定基本农田的区域和位置,存在突出的重数量轻质量的问题。而且,这些划定方法未考虑到农田高风险地块的分析。本研究对增城区农田土壤养分与重金属含量的不确定性进行评价模拟,在划定高标准农田时,剔除土壤全氮缺乏高概率区、潜在富营养化污染高概率区和铅含量高值高概率区,在一定程度上规避了潜在高风险的地块,优化了高标准农田的划定工作。为推进增城区农田精准施肥工作,加强农田生态保护,有效控制氮、磷等肥料的过度施用等提供了有效的技术支撑。

本研究仅对增城区农田土壤氮、磷元素以及铅元素的不确定性进行了评价模拟。但是,农田土壤属性不确定性评价是一个复杂的过程,受到诸多因素的影响,还可以增加对其他因素的模拟,以提高不确定性评价的准确性。本研究仅模拟了农田土壤的不确定性,模拟了土壤氮、磷元素和铅元素潜在的高风险区,但缺少对农田土壤属性含量的预测。在以后工作中,若能加强预测这部分的工作,在划定高标准农田时,比较土壤属性预测含量以及土壤属性不确定性模拟结果,将在很大程度上有助于完善高标准农田的划定工作。

本研究根据高标准农田要优先在基本农田地块进行划定的原则,以广东省土壤养分含量分级标准为依据,用序贯指示模拟的方法,对广州市增城区基本农田土壤养分氮、磷元素和重金属铅元素进行不确定性评价,基于土壤养分不确定性评价模拟结果剔除全氮缺乏高概率区和潜在富营养化污染高概率区,从而将养分良好的地块划为高标准农田;应用土壤重金

属不确定性评价模拟结果,将土壤铅含量高值高概率区排除在高标准农田之外。最后,若所划定的高标准农田数量没有达到上级下达指标,可以按先后顺序将全氮缺乏高概率区、潜在富营养化污染高概率区和土壤铅含量超过 50 mg/kg 的高概率区在制订了针对性的施肥措施或防范污染措施的前提下划入高标准农田。

参考文献:

- [1] 吴海洋. 高要求与硬任务迸发新动力——谈如何推进农村土地整治和建设 4 亿亩高标准基本农田[J]. 中国土地, 2011(10): 16-18.
- [2] 冯锐, 吴克宁, 王倩. 四川省中江县高标准基本农田建设时序与模式分区[J]. 农业工程学报, 2012, 28(22): 243-251.
- [3] 李少帅, 郎文聚. 高标准基本农田建设存在的问题及对策[J]. 资源与产业, 2012, 14(3): 189-193.
- [4] 沈明, 陈飞香, 苏少青, 等. 省级高标准基本农田建设重点区域划定方法研究——基于广东省的实证分析[J]. 中国土地科学, 2012, 26(7): 28-33, 90.
- [5] 王德起, 曲福田. 我国耕地保护机制研究[J]. 中国土地科学, 1997(1): 15-20.
- [6] 闫宁, 郑宏刚. 农用地分等在基本农田划分中的应用研究[J]. 国土与自然资源研究, 2009(3): 28-30.
- [7] 董秀茹, 尤明英, 王秋兵. 基于土地评价的基本农田划定方法[J]. 农业工程学报, 2011, 27(4): 336-339.
- [8] 王新盼, 姜广辉, 张瑞娟, 等. 高标准基本农田建设区域划定方法[J]. 农业工程学报, 2013, 29(10): 241-250.
- [9] Goovaerts P. Geostatistics in soil science: state-of-the-art and perspectives[J]. Geoderma, 1999, 89(1/2): 1-45.
- [10] Juang K, Chen Y, Lee D. Using sequential indicator simulation to assess the uncertainty of delineating heavy-metal contaminated soils[J]. Environmental Pollution, 2004, 127(2): 229-238.
- [11] Zhao Y, Shi X, Yu D, et al. Uncertainty assessment of spatial patterns of soil organic carbon density using sequential indicator simulation, a case study of Hebei province, China[J]. Chemosphere, 2005, 59(11): 1527-1535.
- [12] 史舟, Lark R M. 土壤学的新分支——计量土壤学(Pedometrics)的形成与发展[J]. 土壤学报, 2007, 44(5): 919-924.
- [13] 史舟, 李艳, 金辉明. 基于方差四叉树法的滨海盐土电导率采样布局研究[J]. 土壤学报, 2007, 44(2): 294-299.
- [14] 史舟, 李艳, 程街亮. 水稻土重金属空间分布的随机模拟和不确定评价[J]. 环境科学, 2007, 28(1): 209-214.
- [15] Goovaerts P. Geostatistical modelling of uncertainty in soil science[J]. Geoderma, 2001, 103(1/2): 3-26.
- [16] 赵永存, 孙维侠, 黄标, 等. 不同随机模拟方法定量土壤镉含量预测的不确定性研究[J]. 农业环境科学学报, 2008, 27(1): 139-146.
- [17] 赵永存, 黄标, 孙维侠, 等. 张家港土壤表层铜含量空间预测的不确定性评价研究[J]. 土壤学报, 2007, 44(6): 974-981.
- [18] 赵永存, 史学正, 于东升, 等. 不同方法预测河北省土壤有机碳密度空间分布特征的研究[J]. 土壤学报, 2005, 42(3): 379-385.
- [19] 周永章, 卢焕章. 地下水污染及水文地质地球化学[J]. 第四纪研究, 1992(3): 282-288.