基于 GIS 的南京市溧水区富硒土地资源开发利用研究

郑先迪，刘友兆

（南京农业大学 公共管理学院，江苏 南京 210095）

摘　要：[目的] 对南京市溧水区富硒土地资源开发利用进行研究，为发展该区特色富硒农产品产业提供科学参考。[方法] 在对溧水全区土壤采样并测试土壤化学性质的基础上，采用 ArcGIS 对土壤硒含量进行地统计和插值分析，选取最合适的拟合模型和插值方法，根据样点数据预测整个研究区土壤含硒情况，综合文献资料和溧水实际情况将富硒土地分级，明确富硒土地空间分布，结合土壤酸碱度划分出适宜种植富硒农产品的区域及种类。[结果] 溧水区约有 4.25%的富硒土地资源，呈块状或点状分布于各个乡镇，可以综合土壤酸碱度等因素开发作为富硒农产品的种植地。[结论] 普通克里金方法中高斯模型可以很好地拟合出溧水区土壤富硒情况，并且研究区的富硒土地资源具有极大的开发空间和利用价值，需要进行合理规划，为开发区域特色农产品市场提供依据。

关键词：硒；富硒农产品；土壤酸碱度；南京市溧水区

文献标识码：A　　**文章编号**：1000-288X(2018)04-0282-06　　**中图分类号**：F301.24

文献参数：郑先迪，刘友兆. 基于 GIS 的南京市溧水区富硒土地资源开发利用研究[J]. 水土保持通报，2018,38(4):282-287. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2018.04.045. Zheng Xiandi, Liu Youzhao. Exploitation and utilization of selenium rich land resources in Lishui District of Nanjing City based on GIS[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2018,38(4):282-287.

Exploitation and Utilization of Selenium Rich Land Resources in Lishui District of Nanjing City Based on GIS

ZHENG Xiandi, LIU Youzhao

(*College of Public Administration, Nanjing Agricultural University, Nanjing, Jiangsu* 210095, *China*)

Abstract: [Objective] The development and utilization of selenium rich land resources in Lishui District of Nanjing City were studied in order to provide scientific reference for developing local characteristic selenium enriched agricultural products industry. [Methods] On the basis of sampling and testing of soil chemical properties at Lishui Distriat, analysis of statistics and interpolation of soil selenium content by ArcGIS, selecting the most appropriate model and interpolation method, according to the prediction of the soil selenium sample point data, literature data and the actual situation of Lishui District, selenium enriched land was graded to understand its selenium spatial distribution. Areas that are suitable for planting selenium-rich agriculture products and the species were maped and listed. [Results] There is approximately 4.25% of the land resource of selenium rich in Lishui District, which distributed in townships in the form of block or spot, which can be developed as the planting land of the selenium rich agricultural products by combining the soil acidity and alkalinity. [Conclusion] The Gauss model in the common Kriging method can well fit the situation of soil rich selenium in Lishui District, and the selenium rich land resources in the study area have great development space and utilization value. It is necessary to make rational planning and provide basis for the development of regional characteristric agricultural products market.

Keywords: **selenium; selenium rich agricultural products; soil acidity and alkalinity; Lishui District of Nanjing City**

收稿日期：2018-03-26　　**修回日期**：2018-04-15

资助项目：江苏省国土资源科技项目“农村土地整治生态风险调控研究”(2015005)；南京地质调查中心课题(宁地调合同[2015]09 号D-78)；中央高校基本科研业务费专项资金项目(KJQN201567)

第一作者：郑先迪(1994—)，女(汉族)，安徽省淮南市人，硕士研究生，研究方向为土地利用与信息技术。E-mail:563630342@qq.com。

通讯作者：刘友兆(1959—)，男(汉族)，江苏省涟水县人，博士，教授，研究方向为土地利用与信息技术。E-mail:yzliu@njau.edu.cn。

随着国家经济的发展和科学水平的提高,人们对于自身健康水平也越来越重视,近年来市面上出现了大量补充各类营养元素的食品和保健品。硒作为人体必需微量元素之一,医学方面的相关研究已经证实其对人体具有免疫调节、抗病毒、化学防癌等作用[1],癌症、心脑血管疾病、儿童智力低下、老年痴呆等 42 种疾病与缺硒有关[2]。常见硒的形态包括无机硒和植物活性硒,无机硒一般指亚硒酸钠和硒酸钠,不仅不易被人体和动物吸收,而且具有较大毒性。植物活性硒则是人体和动物允许使用的硒源,一般以硒蛋氨酸的形式存在,摄取高效且安全。由于地壳中硒的分布不均,目前国内外许多地区都属于缺硒或低硒地区,中国有 72%的地区缺硒[3]。新西兰、芬兰等国已经通过种植富硒作物和向动物饲料中添加硒来增加人体硒的摄入量,中国也于 20 世纪 80 年代开始关于富硒农产品的研究,富硒茶、富硒水、富硒谷物等产品在我国缺硒地区已经投入市场。通过日常食用富硒农产品提高硒的摄入量,对提高缺硒地区人民群众的健康水平意义重大。茶树作为天然集硒水平较高的植物,茶叶中 80%以上的硒以有机硒的形式存在[4],更易被人体吸收,研究表明长期饮用富硒茶是补充人体有机硒的有效途径。而水稻是大部分人的日常主食,富硒水稻除了具有普通水稻的营养成分外,还具有抗癌防癌、延缓衰老、提高人体免疫力等多种功效,是提高人体硒摄取的又一有效途径。由于国家对开发绿色无公害、有益人体健康的功能性农产品的鼓励支持,富硒农产品的发展前景广阔。对江苏省南京市溧水区富硒土地资源进行科学合理的开发利用,生产并推广富硒茶、富硒米等产品,有助于帮助改善中国部分地区人民日常饮食中缺硒的现状。溧水区作为国家重要农业科技基地之一,拥有富硒土地资源,为了能够有效利用这些资源,本文结合溧水区土壤采样检测数据和 GIS 的空间分析与制图功能,对溧水的富硒土地资源开发利用进行研究,依据土壤含硒量以及对应土壤 pH 值划分出富硒茶、富硒水稻等富硒农产品的适宜种植区,并提出富硒土地资源开发利用建议,为发展当地特色富硒农产品产业提供科学参考。

1　研究区概况与研究方法

1.1　研究区概况

溧水区位于江苏省南京市南部,地处东经 118°53′—119°13′,北纬 31°24′—31°48′之间,主要地质地貌为丘陵,是南京的重要副城。全区约 43.91 万人,2017 年的生产总值达到 700 亿元。溧水管辖区域内有 8 个镇,分别为永阳镇、白马镇、东屏镇、石湫镇、洪蓝镇、晶桥镇、和凤镇以及开发区,土地总面积为 1 067.4 km^2。其中位于和凤镇的石臼湖水面 90.4 km^2,中部和东部为丘陵地区,西北和西南为圩区,区内低山丘陵面积占全区土地总面积的 76.2%,圩区面积占全区土地总面积的 23.8%[5]。溧水区位于长江下游南岸,地处北亚热带,因海拔不高,气候无明显地域差异,且气候宜人,温和湿润。雨量丰沛,无霜期长,年平均气温 15.6 ℃、年降水总量 1 168.1 mm、年日照时数 2 077.4 h,无霜期 237 d,适宜粮食蔬果的种植。4.24×10^4 hm^2 的耕地面积,盛产水稻、小麦、棉花及油类等农作物,山林面积 1.47×10^4 hm^2,遍布林、桑、茶、果、麻等,有苍术、沙参、明党参等 500 余种中药材,还有 2.76×10^4 hm^2 的水域面积,鱼、蟹、藕等水生动植物资源丰富。溧水区有各类农用地,面积充足,适宜的气候和地形分布使得溧水区成为优质的农业发展基地,但对于富硒农产品的发展尚没有形成完整的产业链,市场有待开发与完善。

1.2　研究方法

1.2.1　*样品采集*　对溧水研究区的表层土壤进行采样,取理化性质最为明显的耕作层土壤作为样品,深度为 0—20 cm,土壤样品采集位置均选择在采样地块的中间部位,避开沟渠、林带、路边、旧房基、粪堆等无代表性地带[6],采样点均匀分布于研究区,根据所属行政区及顺序编号,并利用手持 GPS 记录对应采样点坐标,在研究区范围内共采集有效土壤样本 5 445 个。

1.2.2　*样品处理与检测*　对采集的样品进行风干,并将大土块碾碎以加速干燥,同时去除土壤中石子、草根等杂物,风干后用木棍将土壤样品压碎,并过 2 mm(10 目)的尼龙筛。样品全部过筛混合均匀后,称取 50 g 样品置于干净的自封袋中,用于后续检测。

土壤样品分析测试了 As,Cd,Cu,Hg,Pb,Zn,K_2O,Se,Ge,N,P,Ph,有机质等多种元素含量和数据,其中土壤样品中 Se 含量依据 NY1104-2006 选取原子荧光光谱法(AFS)测得。该方法作为原子光谱中一种高效分离富集技术,具有灵敏度高、干扰少、速度快等特点,仪器装置也简单便捷,易于实现自动化。

1.2.3　*特异值处理*　为避免测量数据中出现存在较大误差的数据而影响后期地统计分析的结果,可以采用 GS+判断并剔除不在研究区范围内的特异值。然后将有效样点的土壤属性对应点坐标输入,在 ArcGIS 中经过坐标转换和投影显示在地图上,便于后续的空间分析。

1.2.4　*地统计与插值分析*　采用 Excel,SPSS 软件分析采样点数据的统计学特征,并在 ArcGIS 地统计学模块进行土壤硒元素数据的正态分布检验,再对溧

水土壤含硒量数据进行探索性的空间分析，通过克里金(Kriging)表面预测和结果评估、检验其正态分布情况、选取插值方法和理论模型，最后进行空间插值分析。在克里金内插方法中采用高斯、指数和球面模型分别对半方差函数进行拟合，使用交叉验证统计数据，根据标准平均值越接近于 0 越好、最小的均方根预测误差、最接近该误差的平均标准误差，以及最接近于 1 的标准均方根预测误差的标准选取最合适的模型[7]。

2 结果与分析

2.1 土壤硒元素含量统计分析

利用 Excel，SPSS 等数据分析处理软件统计 5 445个样点表层土壤硒元素含量数据。统计结果如表 1 所示。5 445 个样品中，含硒量最小的仅有 0.005 mg/kg，最大值则达到 8.572 mg/kg，均值为 0.246 mg/kg，整体数据分布呈右偏态。

表 1 表层土壤硒含量描述统计

样品	数量/个	平均值/(mg·kg^{-1})	最小值/(mg·kg^{-1})	最大值/(mg·kg^{-1})	中值/(mg·kg^{-1})	标准差	峰度	偏度
Se	5445	0.246	0.005	8.572	0.224	0.281	470.56	19.399

2.2 土壤硒元素空间分析

2.2.1 土壤硒含量正态分布检验 在 ArcGIS 的地统计模块中对土壤的硒含量进行正态分布检验，根据检验结果发现，溧水区土壤硒含量在经过对数转换后基本符合正态分布，符合克里金插值的使用条件，转换前后分布如图 1—2 所示。

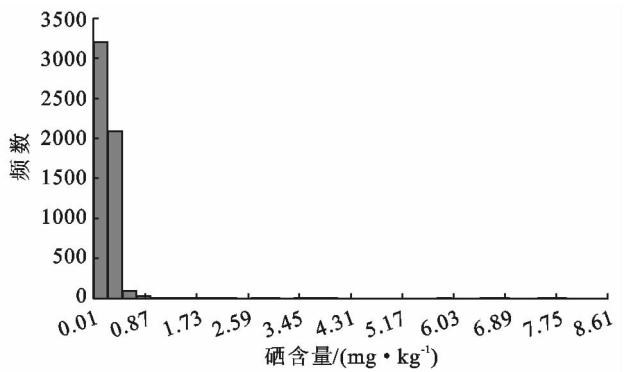


图 1 土壤硒含量分布直方图

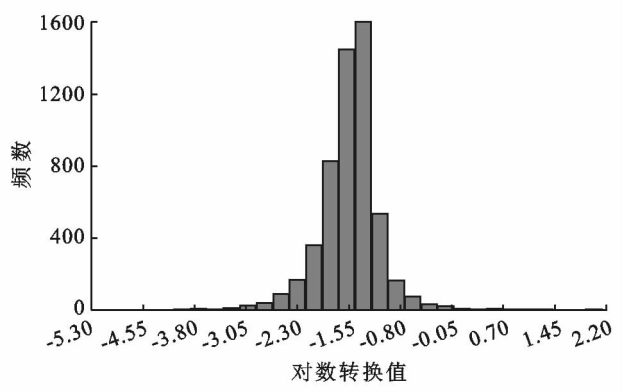


图 2 对数转换后土壤硒含量分布直方图

2.2.2 土壤硒含量的空间插值 ArcGIS 地统计分析模块中提供空间估值方法，在大量样本的基础上，通过分析探索样本间分布规律，并进行预测。其中克里金插值相较于其他几种插值方法多考虑了已知样本点的空间分布与未知样点的空间方位关系，是以空间自相关性为基础，在有限区域内对区域化变量进行无偏最优估计的一种方法[8]。

依据分析结果，选取普通克里金插值作为土壤富硒空间内插的模型，预测图的 Transformation Type 选择对数变换。由于标准平均值越接近 0 越好、均方根预测误差越小越好、平均标准误差越接近均方根预测误差越好、标准均方根预测误差越接近 1 越好等因素，根据预测标准化误差结果选择高斯模型作为半变异函数模型(表 2)，通过空间插值将测量的离散样点数据转换为连续的曲面数据，便于观察土壤富硒空间现象的分布模式(分布、变异及相关特征)。

表 2 几种模型类型预测结果比较

函数类型	标准平均值	均方根预测误差	平均标准误差	标准均方根预测误差
高斯函数	−0.065 2	0.266 2	0.097 6	1.795 0
指数函数	−0.065 2	0.266 9	0.096 9	1.818 5
球面函数	−0.134 0	0.271 1	0.101 0	2.001 1

生成溧水研究区土壤含硒空间插值如图 3 所示。通过 ArcGIS 的空间分析功能，从空间上把握溧水区表层土壤硒元素的分布趋势，研究富硒特色土地资源的分布情况，更加清楚的认识特色土地资源的开发利用价值。对生成的溧水研究区土壤含硒空间插值图进行分析发现，溧水总体看来土壤硒元素分布较均衡，有局部区域的硒含量较突出。其中土壤富含硒元素的区块主要呈块状聚集分布，少数呈斑点状分布，主要聚集于：开发区景山村、爱景村、联民村，东屏镇长乐村，永阳镇十里牌村、东庐村，石湫镇社东村，洪蓝镇傅家边村，晶桥镇笪村、枫香岭村；其次较高的地块主要位于：石湫镇横山村，永阳镇石巷村，洪蓝镇天生桥村、无想寺村、三里亭村，东屏镇方山村，晶桥镇

芝山村,白马镇石头寨村。高硒含量地块整体上聚集于溧水研究区北部偏东地区、中部偏西南地区以及南部偏西地区。

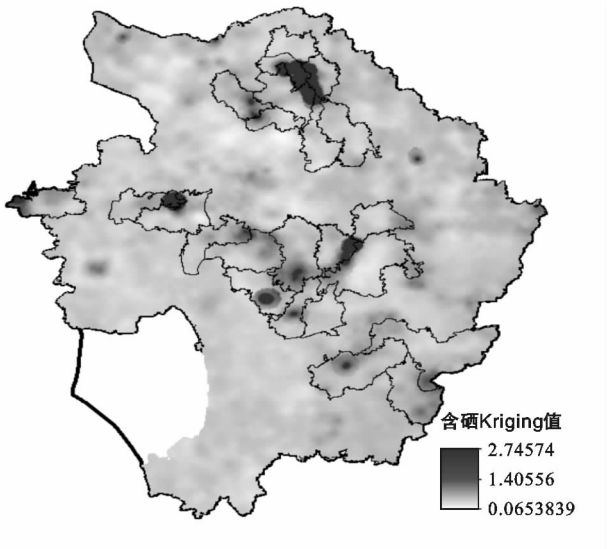


图 3　溧水区土壤含硒空间插值

2.3　土地富硒级别划分

随着土地资源管理的人性化、高科技、精细化要求越来越高,特色土地资源的开发可以健全耕地功能,提高农用地利用价值。目前,我国对于富硒土壤还没有统一的地球化学评价标准,国内外文献资料中对于富硒土地分级的研究也较少。从文献中看,国内对土壤硒含量划分的相关研究主要有:贾十军[9]依据安徽省调查分析数据,结合地球化学统计和生态效应提出的安徽省富硒土壤界定标准,划分安徽省硒元素的界限值,其中小于 0.2 mg/kg 为缺硒土壤、0.2～0.29 mg/kg 为少硒土壤、0.29～0.35 mg/kg 为足锗土壤、0.35～3.0 mg/kg 为富硒土壤、大于 3.0 mg/kg 为过硒土壤;郦逸根、董岩翔等[10]把土壤分为低硒土壤(0.1～0.2 mg/kg)、中硒土壤(0.2～0.4 mg/kg)、富硒土壤(≥0.4 mg/kg);申锐莉、杨军、徐宏林等[11]将江汉平原土壤硒含量划为低硒土壤(<0.2 mg/kg)、中硒土壤(0.2～0.4 mg/kg)、富硒土壤(0.4～3.0 mg/kg)和硒过量(≥3.0 mg/kg)4 级。相关文献中通常将土壤硒含量划分为 3—5 级,不同地区的划分依据与指标也不尽相同。现借鉴《土壤环境质量标准》、土壤评价标准、稀有元素评价标准及多篇文献[12-15],并根据溧水区表层土壤样本硒含量空间插值图,充分考虑溧水区土壤硒元素分布变异特征及其分布状况,初步划分出土壤硒元素等级(表 3),并对空间插值图进行重分类,做出溧水区土壤硒含量级别图(图 4),为保护特色富硒土地资源,进一步提高富硒土壤的开发利用水平提供依据。

表 3　溧水区土壤硒含量分级

硒含量分级	硒含量/(mg·kg^{-1})	含硒标准
1 级	≥0.4	富硒
2 级	0.2～0.4	含硒
3 级	<0.2	缺硒

将溧水区表层土壤硒含量划分为 3 个等级,具体划分为:①1 级区。土壤硒含量范围大于≥0.4 mg/kg,为富硒土地,呈块状聚集的主要分布在溧水永阳镇东庐村东南部、秋湖村西北部、石巷村南部,洪蓝镇傅家边村中南部、无想寺村东北部、三里亭村东部,石湫镇社东村东部、横山村西部,晶桥镇笪村中南部、枫香岭村西北部,东屏镇景山村、长乐村和爱景村交界处等,还有部分一级区呈点状分布于村落中,约占总面积的 4.25%。②2 级区。土壤硒含量范围为 0.2～0.4 mg/kg,为含硒土地,含硒量不足以称为富硒。2 级区分布范围和面积均大于Ⅰ级区,也主要呈块状聚集分布、少数成斑点状分布,主要环绕Ⅰ级区周围地块分布,约占总面积的 68.17%。③3 级区。土壤硒含量小于 0.2 mg/kg,属于缺硒土壤,3 级区的面积约占比 27.58%,少于 2 级区,在研究区各个乡镇均有分布。

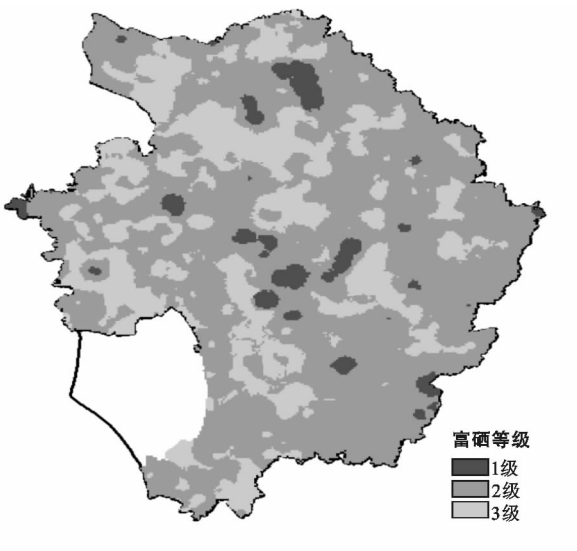


图 4　溧水区土壤硒含量级别图

2.4　富硒土壤酸碱度

土壤酸碱度是影响植物生长的重要因素之一,由于在酸性环境下植物会更容易吸收阴离子,而在碱性环境中会更多的吸收阳离子,抑制阴离子交换,植物吸收物质和土壤肥力均受到土壤 pH 值的影响,因此各地会选择种植和土壤酸碱度相适应的作物和植物[16]。中国西北及北方干旱地区土壤大多呈碱性,pH 值大,南方土壤则多呈酸性或中性,可在南方种植

喜酸的茶树，如“十大名茶”多出自我国南方地区，而苜蓿的抗碱能力强。土壤酸碱度对养分的有效性影响也很大，如中性土壤中磷的有效性大；碱性土壤中微量元素有效性差等。在农业生产中应该注意土壤的酸碱度，积极采取措施，加以调节。通常，适宜茶树生长的土壤 pH 值为 5.0～6.0，土壤 pH 值在 6.0～7.0 之间则适合水稻、小麦、玉米等谷物的种植，以及西瓜、番茄等蔬果，还有部分植物如棉花、苹果、南瓜、甜菜等适合在酸碱度为 6.0～8.0 的土壤条件下生长。实验中依据国家标准 NY/T1377-2007 采用电位法对采样区内土壤样品的 pH 值进行测定，并运用 ArcGIS 10.1 的空间分析功能对样点数据进行分析。通过栅格计算公式从富硒土地中提取出土壤酸碱度在 5.0～6.0 以及 6.0～7.0 的区域，可分别作为开发富硒茶叶和富硒水稻用地，具体划分如图 5—6 所示。



图 5 溧水区富硒茶开发区



图 6 溧水区富硒水稻开发区

3 富硒土地资源开发利用规划

3.1 合理区划，因地制宜，直接利用

富硒土壤是天然优质土地资源，富硒土地的直接利用最为简单。目前，溧水区对于当地富硒土地资源还处于调查规划的阶段，需要根据本地资源环境的实际情况，结合市场需求和经济效益，做到因地制宜，合理规划种植区域，提高生产效率，直接在已知的富硒耕地上发展适合土壤环境和地理条件的优势农产品产业。对于大面积的块状土地可以开发为茶叶或大豆、水稻、小麦等谷物种植基地，较分散的点状富硒土地则可以开发为富硒蔬菜种植基地，提升蔬菜品质，使溧水的富硒农产品市场逐步向地质环境适宜、生产技术优势和市场优势靠拢。

3.2 科学开发，改善富硒土地环境

由于溧水富硒土地环境状况参差不齐，在进行开发利用前需要充分了解土壤环境，做到科学开发，对于土壤酸碱度不适合或土壤受到污染的富硒土地资源，坚持先治理后开发的原则。通过施入草木灰可中和土壤酸性，对于碱性土壤，可以用石膏作为基肥进行改良，或加入硫酸铝稀释水等化学物质降低土壤 pH 值[17]，使土壤更适合对应的作物生长。而对于环境质量不达标的土地，应当先治理污染，待质量检验达标后再进行农作物的开发种植。由相关单位牵头，组织开展富硒农产品种植田间试验，适当施加富硒肥，通过改变土壤的理化性质[18]，提高土壤中硒元素的可溶性和水溶硒含量，改良土壤质量，以达到提高作物中硒含量和提升农产品质量的目的。

3.3 富硒非农用地耕作土层转移

对于已经规划批准农用地转为建设用地的富硒耕地，虽然富硒土层的异地利用操作复杂且要考虑诸多因素，但是富硒耕作土壤是宝贵的土地资源，对此类土地，经过评估后若确定含硒量很高，符合转移条件的，应采取表土剥离、异地培肥等工程手段，快速改善新开发耕地的质量。还可以结合高标准农田建设和中低产田改造项目，充分发挥农业部门对农田土壤性状了解和把握的优势，使富硒土层异地利用带来的效益更为显著。

3.4 建设富硒特色农作物种植园，发展绿色农业

对于溧水富硒土地资源的开发利用，当地已有企业开始生产富硒茶、富硒米等产品，但是在相关政策上和制度规范上还没有跟上，需要政府尽快通过政策对相关行业加以引导和扶持，大力推进规模化、规范化的富硒特色农作物产业，将传统农业与现代化发展相结合，组织农民正确利用富硒土地资源建设富硒特

色农作物种植园,这些种植园区域可分为种植区,采摘区和观赏区,与当下流行了农家乐结合。

加强市场规范化管理,开发富硒农产品要先培训后实施,并且要按专家制定的技术规程进行,进一步提高蔬菜以及其他经济作物的产品质量安全水平,提升农作物的产业竞争力。出台相应的富硒肥、富硒农产品标准,对市场进行严格管控,避免出现食品安全问题。

改良技术,要求开发企业与农产品检验、农业科研单位合作,不要盲目生产,全面了解土壤质量,科学规划,建立天然富硒优势发展区,可以建设蔬菜园或将茶与果树如枇杷,杨梅,橘子等间作的茶园,选取一些优良的蔬菜品种,结合科学种植技术,基本上保证全年有果,采用种植茶树、对茶园进行作物或果树等间作的方式,既能保证对土地的充分利用同时还能增加收入,减轻人力压力。根据实际需求以及田间的管理保证提高生态自我调控和作物保护能力,另外种植园区还需要保证养分的封闭性循环建设,种植园的产品为无公害农产品,进行标准化管理,采用大量施用有机肥、种植园种草覆草、实行轮作或间作等生态措施来管理增强种植园区肥力,减少农药的用量,实现绿色无污染农业,提高特色农作物的品质和产量,通过人民的日常饮食提升总体健康水平。

4　讨论与结论

4.1　结 论

(1) 溧水区土壤样点数据空间插值选用普通克里金方法中高斯模型预测结果最佳,可以很好的拟合出研究区土壤富硒情况。

(2) 溧水区不同地理位置的土壤含硒量存在差异,跨度为 0.005 ~8.572 mg/kg,均值超过国际公布的正常临界值 0.1 mg/kg ,达到 0.246 mg/kg。存在富硒(≥0.4 mg/kg)土地资源,呈块状聚集的主要分布在溧水永阳镇、洪蓝镇、石湫镇、晶桥镇、东屏镇均有分布,还有部分呈点状分布,约占总面积的4.25%。综合溧水区土壤样本含硒量和 pH 值的空间插值情况,通过栅格计算和不同作物适宜的土壤酸碱度范围,划分了富硒茶叶开发区和富硒水稻开发区。

(3) 溧水富硒土地资源具有极大的开发空间和价值,需要进行合理规划,为更好地开发区域特色农产品市场提供依据。

4.2　讨 论

(1) 植物本身对于硒的富集能力存在差异,不同种类作物以及不同品种的同一种作物富硒能力均有不同,需要对多种植物的多个品种进行培育和对比试验,挑选出富硒能力强,市场前景广阔的植物,用做大面积种植开发。

(2) 农产品富硒不仅仅与土壤含硒量有关,还与土壤中硒的存在形态、土壤 pH 值、土壤质地和有机质等因素有关[19],具体的相关性和影响程度还需要进一步研究。

[参 考 文 献]

[1] Rayman M P. The importance of selenium to human health[J]. Lancet, 2000, 356(9225):233-241.

[2] 于敬红,李环,杨丹妮,等. 微量元素硒与健康[J]. 中国地方病防治杂志,2009(4):265-266.

[3] 王锐,余涛,曾庆良,等. 我国主要农耕区土壤硒含量分布特征、来源及影响因素[J]. 生物技术进展,2017,7(5):359-366.

[4] 翁蔚,白堃元. 中国富硒茶研究现状及其开发利用[J]. 茶叶,2005,31(1):24-27.

[5] 王屏,王哲. 加强溧水县工业开发园区水利基础设施建设的思考[J]. 江苏水利,2011(8):43-44.

[6] 宋旭,高灯州,曾从盛,等. 基于 GIS 地统计学的海坛岛农田养分变异研究[J]. 实验室科学,2017,20(1):25-28.

[7] 石小华,杨联安,张蕾. 土壤速效钾养分含量空间插值方法比较研究[J]. 水土保持学报,2006,20(2):68-72.

[8] 李俊晓,李朝奎,殷智慧. 基于 ArcGIS 的克里金插值方法及其应用[J]. 测绘通报,2013(9):87-90.

[9] 贾十军. 安徽省富硒土壤评价标准及富硒土壤成因浅析[J]. 华东地质,2013,34(2):133-137.

[10] 郦逸根,董岩翔,郑洁,等. 浙江富硒土壤资源调查与评价[J]. 第四纪研究,2005,25(3):323-330.

[11] 马芳宇. 江汉平原富硒土壤与农产品质量初探[J]. 资源环境与工程,2012,26(2):194-200.

[12] 王少华. 瑞安市土壤和农作物中硒调查分析及富硒农产品开发策略研究[D]. 江苏 南京:南京农业大学,2010.

[13] 胡婷,李文芳,聂亚文,等. 张家界市土壤硒分布规律和富硒作物研究[J]. 农业现代化研究,2014,35(6):821-824.

[14] 王松山. 土壤中硒形态和价态及生物有效性研究[D]. 陕西 杨凌:西北农林科技大学,2012.

[15] 宋明义,蔡子华,黄春雷,等. 杭嘉湖平原区富硒土壤特征与成因分析[J]. 广东微量元素科学,2011,18(8):20-26.

[16] 赵军霞. 土壤酸碱性与植物的生长[J]. 内蒙古农业科技,2003(6):33-33.

[17] 王文婧,戴万宏. 安徽主要土壤酸碱性及其酸缓冲性能研究[J]. 中国农学通报,2012,28(15):67-72.

[18] 赵成义. 土壤硒的生物有效性研究[J]. 中国环境科学,2004,24(2):184-187.

[19] 朱薇,杨守祥,刘庆. 影响植物富硒因素的研究进展[J]. 山东农业大学学报:自然科学版,2016,47(4):636-640.