

沧州市优质果品产区土壤中碘的空间变异特征^①

王元杰, 李 阔, 刘会玲, 文宏达, 张毅功*

(河北农业大学资源与环境科学学院, 河北保定 071001)

摘 要: 以沧州市优质果品产区泊头、沧县和献县 3 县表层土壤 (0~20 cm) 全碘为研究对象, 利用地统计与 GIS 技术相结合的方法研究了该地区土壤中全碘的空间变异特征。结果表明沧县和献县表层土壤中全碘数据呈正态分布, 符合指数模型, 泊头表层土壤中全碘数据经对数转换后符合高斯模型。沧县和献县表层土壤全碘具有较强的空间相关性, 说明受气候、土壤母质、地形、土壤类型等自然结构性因素影响较大; 泊头表层土壤全碘具有中等的空间相关性, 说明由人类活动等随机因素引起的空间变异起很大作用。采用 Kriging 最优插值法得到了 3 县表层土壤全碘含量的空间分布图, 结果表明研究区内 3 县表层土壤全碘的空间分布不均匀, 主要受当地的水文地质地形影响, 河流两岸及低洼地带全碘含量较高, 反之则低, 而某些地区全碘含量由于受到人类活动的影响也表现出局部的异常性。

关键词: 地统计学; 土壤全碘; 半方差函数; 空间变异; Kriging 插值

中图分类号: S153.6

碘是与人体健康密切相关的必需微量元素, 在甲状腺素的合成中起着重要的作用, 具有重要的生理功能。土壤环境中的碘是水和食物中碘的主要来源, 人体所需要的碘主要来源于食物、水和空气, 食物中的碘是人体摄取碘最主要的来源, 约占 80% 以上, 而食物中含碘量的高低取决于本地区土壤及土壤背景含量^[1]。碘摄入量不足或摄入量过多均会引起地方性甲状腺肿^[2]。因此, 碘的土壤环境质量已经越来越受到人们的关注。相关研究大多集中在碘缺乏病或甲状腺肿大的某些局部发病区, 其研究的尺度相对较小^[3-4]。虽然也有一些较大尺度的研究, 但研究结果较抽象, 未能在较大尺度的空间进行全面、系统的研究^[5]。地统计学是研究土壤特性空间变异特征的较好方法, 有关土壤碘元素变异的统计学研究鲜有报道。本研究以地处河北省东南部的沧州市优质果品产区 3 个县土壤中碘元素的含量变化为对象, 以地统计与 GIS 技术相结合为研究手段, 对其表层土壤碘元素含量的空间分异特征进行分析, 以便为该区碘的土壤环境质量评价提供科学依据以及为该区优质果品鸭梨和金丝小枣的布局规划提供一定的依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

研究区地处河北省东南部, 位于 115°~117°09'E,

37°4'~38°33'N 之间, 包括泊头、献县、沧县 3 县, 属华北平原东部的黑龙港河流域。区内东西长、南北狭, 地势较平坦, 河流较多, 主要有滏阳河、滏阳新河、滹沱河、子牙河、子牙新河、南运河、清凉江、釜东排河、老盐河、江江河、南排河、黑龙港河等 12 支, 属华北冲积平原带, 母质为河流冲积物, 土壤类型主要为潮土和盐化潮土 (淡色潮湿锥形土和潮湿正常盐成土), 土壤肥沃, 适宜各种作物生长。研究区属于暖温带大陆性季风气候, 春夏秋冬四季分明, 日照充足。年平均气温 12℃~13℃, 年平均无霜期 187~196 天, 平均日照时数 2 780~2 890 h, 年平均降水 550~650 mm, 但年内年际分配不均, 年内主要集中于夏季。区内整个地形西南高、东北较低, 平均海拔约 10~13.2 m。

研究区既是河北省粮、棉、油集中产区之一, 也是著名的“鸭梨之乡”和“金丝小枣之乡”。金丝小枣、冬枣、鸭梨等土特产以其优良的品质驰名中外, 成为该区传统的出口创汇产品。

1.2 样品采集与分析

综合考虑沧州市泊头、献县、沧县 3 县的土壤类型状况、土体构型状况及 3 县的地形状况、土地利用方式, 我们采用 2 000 m×2 000 m 的规格对 3 县进行公里网格取样, 并采用 GPS 定位, 共在泊头、献县、沧县布置样点 931 个。表层土壤样品的采样深度为 0~20 cm。表层采样自地表向下 20 cm 采集样品, 在样点

①基金项目: 国土资源部及农业厅河北省农业地质调查项目 (200040007-3-5) 资助。

* 通讯作者 (zhangyg63@hebau.edu.cn)

作者简介: 王元杰 (1984—), 男, 河北石家庄人, 硕士研究生, 主要从事土壤生态方向研究。E-mail: wangyuanjie1984@126.com

50 m 范围内采集 3 处 0 ~ 20 cm 的土柱样品, 组合为一件样品, 原始重量约 2 kg, 然后按四分法取分析样品 1.5 kg。采样时间为 2007 年 9 月中旬。样品采集严格执行中国地质调查局颁布的《1:25 万多目标区域地球化学调查规范》的技术标准和规定。利用 GIS 技术将土壤点位图数字化, 并根据相应土壤表层 0 ~ 20 cm 的数据资料, 绘成地统计分析的土壤采样点分布图 (图 1), 其中沧县未取样处为沧州市区。土壤样品带回实验室, 在室温下自然风干, 剔除石子、植物根系等杂质, 过 100 目筛, 密封待测。土壤样品中碘的测定采用的是催化比色法。土壤样品均由国土资源部保定矿产资源监督检测中心测试。

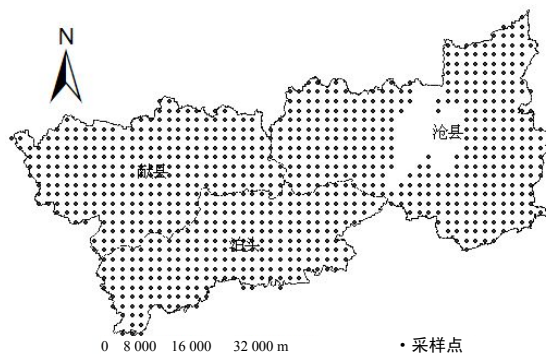


图 1 土壤采样点分布图

Fig. 1 Distribution of soil sampling sites

1.3 数据处理与分析

数据采用地统计学和GIS技术相结合的方法处理。大量研究表明, 地统计学方法中半方差图和Kriging分析在研究土壤特性空间变异中取得了相当大的成功, 并得到了广泛应用^[6]。半方差图是利用变异函数

研究土壤特性空间变异并产生一个合适的空间变异模型, 是地统计学解释土壤特性空间变异结构的基础, 它可以揭示土壤样本变异与因各个样本分离的偏离距离之间的关系, 它的精确估计是成功的空间内插的关键。而Kriging分析是利用了半方差图的模型进行测定点之间的最优内插的一种方法。半方差图揭示了土壤样本变异与由各个样本分离的偏离距离之间的关系。本文中半方差函数的计算、理论模型的拟合和Kriging插值均采用ArcGIS9.2完成。

原始数据处理及分析采用SPSS (Version 13.0) 软件, 利用Kolmogorov-Smirnov法检验数据正态性。

2 结果与分析

2.1 土壤中全碘含量的统计特征值

由表 1 的偏度和峰度系数可知, 沧县、献县供试土壤的全碘含量服从正态分布, 泊头全碘含量呈偏态分布, 但经对数转换后呈正态分布, 说明表层土壤受到外界的影响因素比较少。泊头、沧县、献县 3 县的网格取样点数分别为 250、386 和 295 个。3 县碘元素的变异系数范围为 20.73% ~ 26.99%, 均属于中等变异程度^[7], 说明耕作、地形地貌、母质等条件引起的元素含量变化不是很明显, 其中沧县变异系数最大, 为 26.99%, 而泊头最小, 为 20.73%, 因此在相同精度下沧县的合理取样数应最多, 泊头最少^[8]。泊头、沧县、献县土壤全碘含量均值分别为 2.407 3、2.216 7、2.020 2 mg/kg, 均低于中国土壤 (A 层) 碘背景值 3.76 mg/kg^[9], 尤其是献县全部样点土壤碘含量都小于全国土壤 (A 层) 碘背景值, 导致碘含量降低的一个原因可能是作物和瓜果蔬菜的吸收, 而其来源又很少。

表 1 泊头、沧县、献县土壤全碘含量的描述性统计 (mg/kg)

Table 1 Descriptive statistics of soil total iodine contents in Botou, Cangxian and Xianxian Counties

县域	均值	偏态	峰度	分布类型	变异系数	标准差	最小值	最大值	双尾检验概率	样本数
献县	2.020 2	0.121 1	2.629 1	正态	0.225 8	0.456 1	0.91	3.32	0.562	295
泊头	2.407 3	0.005 7	3.020 2	对数正态	0.207 3	0.205 2	1.33	3.79	0.117	250
沧县	2.216 7	0.307 6	2.7	正态	0.269 9	0.598 2	0.91	3.96	0.549	386

由于描述性统计特征分析只能概括研究区域内土壤养分变化的全貌, 而不能反映其局部的空间分布状况, 因而缺乏实际指导意义。因此本文进一步采用地统计方法对 3 县表层土壤中的全碘进行空间变异结构分析。

地统计学分析要求所分析的数据呈正态分布。特

异值的存在会导致插值连续表面中断, 而掩盖变量的空间结构特征, 所以需对实测值中的特异值进行处理。本文采用域法^[10]处理 3 县土壤氟元素数据, 本研究中泊头有 4 个特异值, 沧县有 2 个特异值, 此特异值大于平均值加 3 倍标准差, 在后续半方差函数分析中分别用正常最大值代替相应的特异值。

变异函数的计算一般要求数据符合正态分布, 否则可能存在比例效应^[11-12]。如表 1 所示, K-S法检验的双尾检验概率 p 值均大于显著性水平 0.05, 表明经处理特异值后, 各指标测试值的频数分布都呈正态分布。

2.2 土壤中全碘含量的空间结构分析

有关半方差函数模型类型的选取可参考 Prediction Error 中的几个指标。符合以下标准的模型是最优的: 标准平均值 (mean standardized) 最接近于 0, 均方根预测误差 (root-mean-square) 最小, 平均标准误差 (average standardized error) 最接近于均方根

预测误差 (root-mean-square), 标准均方根预测误差 (root-mean-square standardized) 最接近于 1^[13-14]。利用 Acr GIS 拟合土壤中碘元素含量值的半方差函数理论模型及其相关检验参数见表 2。根据模型的最优参考指标可知献县和沧县土壤碘元素半方差函数模型采用指数模型, 而泊头土壤碘元素半方差函数模型采用高斯模型, 选取的理论模型较好地反映了土壤碘元素空间结构特性。

利用 ArcGIS 拟合泊头、沧县、献县 3 县表层土壤中碘元素含量值的半方差函数理论模型及其相关参数如表 3 所示。

表 2 各模型及检验参数比较

Table 2 Validation data of different models

县域	插值模型	平均值	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
献县	球状模型	0.000 62	0.001 27	0.348 3	0.366 2	0.951 7
	指数模型	0.000 67	0.001 46	0.344 7	0.351 7	0.980 7
	高斯模型	0.000 57	0.001 16	0.351 5	0.365 7	0.961 5
泊头	球状模型	-0.001 53	-0.002 94	0.399 1	0.418 1	0.955 2
	指数模型	-0.001 57	-0.003 24	0.389 0	0.404 1	0.963 6
	高斯模型	-0.001 25	-0.002 19	0.409 1	0.423 8	0.965 9
沧县	球状模型	-0.000 47	-0.000 45	0.373 1	0.429 4	0.868 4
	指数模型	-0.001 48	-0.002 39	0.359 7	0.394 2	0.910 8
	高斯模型	-0.000 14	-0.000 04	0.389 9	0.442 4	0.882 1

表 3 最优半方差函数模型拟合参数值

Table 3 Parameters of Kriging model of soil iodine in three counties

县域	理论模型	块金值	基台值	块金值/基台值	变程 (m)
献县	指数模型	0.034 1	0.217 0	0.157 1	10 239.9
泊头	高斯模型	0.166 5	0.275 1	0.605 4	20 771.1
沧县	指数模型	0.083 0	0.406 2	0.204 3	28 546.7

半方差函数中的块金值 (C_0) 由测定误差和小于最小采样尺度的非连续性变异引起, 属于随机变异, 表示由随机部分引起的空间异质性, 块金值大表明较小尺度上的某种过程不可忽视; 基台值 ($C_0 + C_1$) 通常表示系统内的总变异, 它是结构性变异和随机性变异之和。块金值 C_0 与基台值 ($C_0 + C_1$) 之比是反映区域化变量空间异质性程度的重要指标, 又称为块金效应。该比值用以反映空间变异影响因素中区域因素 (自然因素) 和非区域因素 (人为因素) 的作用。当 $C_0/(C_0+C_1) < 25\%$ 时, 表明变量的空间变异以结构性变异为主, 变量具有较高的空间相关性; 当 $25\% < C_0/(C_0+C_1) < 75\%$ 时, 变量为中等程度空间相关; 当

$C_0/(C_0+C_1) > 75\%$ 时, 以随机变量为主, 变量的空间相关性很弱。变程表示空间自相关范围, 它与观测以及取样尺度上影响土壤性状的各种过程的相互作用有关, 在变程范围内, 变量有空间自相关性, 反之则不存在^[15]。

从表 3 中可以看出, 沧县、献县全碘的块金效应值分别为 0.204 3、0.157 1, 说明在本研究尺度上由试验误差和小于试验取样尺度引起的土壤微量元素含量的变异均较小, 而泊头全碘的块金效应值为 0.605 4, 说明在本研究尺度上由试验误差和小于试验取样尺度引起的土壤微量元素含量的变异均较大。从表 3 中可以看出, 沧县、献县土壤中全碘的 $C_0/(C_0+C_1) < 25\%$,

表现出较强的空间相关性,说明两县表层土壤中碘元素的空间变异主要是气候、土壤母质、地形、土壤类型等结构性因素引起的;而泊头的土壤中全碘为 $25\% < C_0/(C_0+C_1) < 75\%$,空间相关性中等,说明其在研究区域上主要是由施肥、管理水平等随机因素引起的空间变异占较大比重。

变程也称之空间最大相关距离,反映了变量空间自相关范围的大小,它与观测以及取样尺度上影响土壤性状的各种过程的相互作用有关。当两个样点间的距离大于变程时,它们是独立的,当间距小于变程时,样点之间存在着一定的空间相关性^[16]。从表3可以看出,3县表层土壤中全碘的变程大小顺序为:沧县>泊头>献县,其中沧县和泊头的变程较大,分别为28546.7 m和20771.1 m,说明两县表层土壤中碘元素含量在研究区域较大的范围内均有相关关系,反映了结构因素(土壤母质、地形、土壤类型等)对全碘的影响较大。献县土壤中全碘的变程较小,为10239.9 m,说明了随机因素(如施肥等)对全碘的影响较大,导致它们在一个较小的距离范围内存在相关性。

2.3 土壤中全碘含量的空间分布特征

Kriging插值法是对区域变量进行无偏最佳估值的一种可靠方法^[17]。根据所确定的研究区域表层土壤中全碘含量值的半方差函数,采用软件ArcGIS 9.2中普通Kriging方法对研究区域的表层土壤中全碘含量进行最优、无偏估值。插值结果如图2所示。

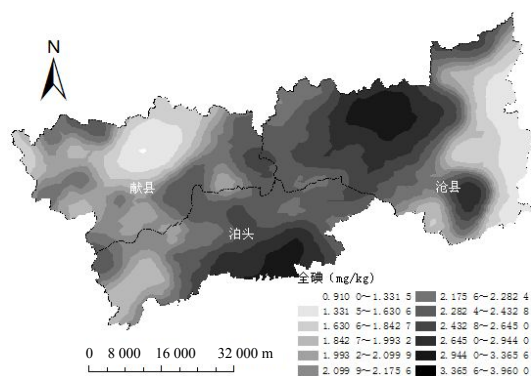


图2 泊头、沧县、献县全碘 kriging 插值图

Fig.2 Kriging interpolation maps of total iodine in Botou, Cangxian and Xianxian Counties

由图2可见,献县表层土壤全碘含量分布表现为东、西、南部偏高,含量为1.82~3.32 mg/kg之间,中部及中北部的商林乡东部、西城乡、本斋回族乡、十五级乡北半部、乐寿镇大部分为0.91~1.51 mg/kg之间,

含量偏低;并且献县整体西南至东北向碘含量较低,四周碘含量逐渐上升。由于碘元素是一种多价态较活泼的非金属元素,极易氧化还原,又易挥发^[18],不易与金属结合成沉淀沉积下来,而会随河流迁移,因而环境中碘的流动与水的流动方向相一致,碘分布趋势也随地势而成。与平原相比,高山区更易于成为缺碘区;流水通畅的山区、丘陵地带,蓄积碘能力差,易于成为缺碘地区;而流水滞郁的低洼地区和大平原地区蓄积的碘多,易成为高碘地区。而献县境内被3个小的构造单元所分割,中间为献县凸起,位于滹沱河、滏阳河、子牙河以及子牙新河两侧,东部南部为阜城凹陷,西部为河间凹陷,献县低碘地区处于凸起内,高碘地区处于这些凹陷区内。献县境内子牙河、子牙新河、滏阳河、滹沱河、黑龙港河5大河流纵横交错,其流向大多为西南-东北向及近东西向,这导致了该方向上碘含量较低,并且远离河床处碘含量呈渐增趋势。

沧县位于华北冲积平原中下部,由冲积平原向滨海平原的过渡地带,整个地形西南高、东北低,使得表层碘元素由高处随地表水的径流迁移到低洼处,东北地区地势低洼,由于蒸发量大于降雨量,使得碘元素在该地区不断浓缩堆积,形成了一个高富碘区;又由于南运河纵贯南北,将县城自然分为运东、运西两部分,运西坡降较大,运东坡度平缓,因此运西全碘空间变异趋势大于运东。运西中部地区形成了一个高碘区,是由于当地农业较发达,近年来钾肥和含碘复合肥的大量施用,导致该地区碘元素含量偏高(图2所示)。

由图2可见,泊头表层土壤全碘含量分布整体为东部>西部。在东部中,东南部>东北部。全县东南部最高。该县碘元素空间分布主要受水文地势影响,泊头地势自南向东北缓倾,最高点为处于西南部的西辛店乡秦村,海拔16.1 m,最低点为处于东北部的文庙镇楚贾杜村,海拔10.1 m,而境内又有釜阳新河、釜东排河、老盐河、南排水河、清凉江、黑龙港河、南运河等河流自西南向东北方向通过,碘元素随水流的迁移,在河床的两侧越远离河流的位置碘元素含量越高。东南部形成了一个高碘区,是由于东南部处于清凉江和南排河包围的狭长地带,受两条河流冲积作用明显,而且当地农业发达,土壤肥沃,有机质黏土矿物含量较高,对于碘的吸附作用较强^[19],此外这里靠近县城,工业化燃料的燃烧也会促使土壤中碘含量增加^[20]。

3 结论

(1) 沧州市优质果品产区中献县、沧县表层土壤的全碘服从正态分布, 泊头表层土壤的全碘服从对数正态分布。3 县表层土壤全碘的变程大小为: 沧县 > 泊头 > 献县, 说明沧县和泊头土壤全碘的含量在较大范围内均有相关关系, 而献县表层土壤全碘在较小的范围内存在相关关系。沧县、献县土壤全碘变异函数理论模型符合指数模型, 泊头土壤全碘经对数转换后符合高斯模型。3 县表层土壤全碘的空间变异程度也有明显不同, 其中泊头表层土壤全碘具有中等的空间相关性, 主要是由施肥、管理水平等随机因素引起的空间变异占较大比重, 沧县、献县表层土壤全碘具有较高的空间相关性, 主要是气候、土壤母质、地形、土壤类型等结构性因素引起的。

(2) 泊头、沧县、献县 3 县土壤全碘含量为 0.91 ~ 3.96 mg/kg 之间, 整体偏低, 大部分小于中国土壤(A 层) 碘背景值 3.76 mg/kg。利用 Kriging 插值法绘制了全碘的分级图, 结果表明研究区 3 县内土壤全碘的空间分布不均匀, 主要受当地的水文地质地势影响, 河流两岸及低洼地带全碘含量较高, 而河流附近及海拔较高地带全碘含量则低, 某些地区由于受到人类活动的影响也表现出局部的异常性。

参考文献:

- [1] 赵琦, 姜庆五. 高碘与健康. 上海预防医学杂志, 2002, 14(8): 398-400
- [2] 陈学敏, 吴德生. 环境卫生学. 4 版. 北京: 人民卫生出版社, 2001: 148
- [3] 李明琴, 刘远明, 廖丽萍. 贵州地氟病与碘缺乏病区环境中氟和碘的研究. 环境科学研究, 2001, 14(6): 44-46
- [4] 雒昆利, 潘云唐, 王五一, 谭见安, 李海蓉, 李日邦, 王丽珍. 陕西南部大巴山区碘的分布规律与克汀病. 中国科学院研究生院学报, 2000, 17(2): 68-73
- [5] 龚子同, 黄标. 土壤中硒、氟、碘元素的空间分异与人类健康. 土壤学进展, 1994, 22(5): 1-12
- [6] 祝锦霞, 许红卫, 王珂, 陈祝炉. 基于GIS和地统计学的低丘红壤地区三种土壤性质空间变异性研究. 土壤, 2008, 40(6): 960-965
- [7] 华孟, 王坚. 土壤物理学. 北京: 北京农业大学出版社, 1992: 214-243
- [8] 李柳霞, 沈方科, 赵凤芝, 黄景, 郭志荣, 顾明华. 柚子园主要土壤肥力属性空间变异及合理取样数研究. 广西农业科学, 2007, 38(4): 433-436
- [9] 中国环境监测总站. 中国土壤元素背景值. 北京: 中国环境科学出版社, 1990: 480-481
- [10] 王绍强, 朱松丽, 周成虎. 中国土壤土层厚度的空间变异性特征. 地理研究, 2001, 20(2): 161-170
- [11] Rossi RE, Mulla DJ, Journel AG, Franz EH. Geostatistical tools for modeling and interpreting ecological spatial dependence. Ecological Monographs, 1992, 62: 277-314
- [12] 李海滨, 王政权, 王庆成. 空间异质性定量研究理论与方法. 应用生态学报, 1998, 9(6): 651-657
- [13] 汤国安, 杨昕. ArcGIS 地理信息系统空间分析实验教程. 北京: 科学出版社, 2006: 420-430
- [14] 郭旭东, 傅伯杰, 陈利顶, 马克明, 李俊然. 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. 地理学报, 2000, 55(5): 555-566
- [15] Cambardella CA, Moorman TB, Novak JM, Parkin TB, Karlen KL, Turco RE, Konopka AE. Field scale variability of soil properties in central Iowa soils. Soil Sci.Soc.Am.J., 1994, 58: 1 501-1 511
- [16] 李红伟, 李立平, 邢维芹. 不同小尺度下潮土重金属有效性空间变异研究. 土壤, 2006, 38(6): 782-789
- [17] 郭旭东, 傅伯杰, 马克明, 陈利顶. 基于 GIS 和地统计学的土壤养分空间变异特征研究—以河北省遵化市为例. 应用生态学报, 2000, 11(4): 557-563
- [18] Rao RR, Chatt A. Microwave acid digestion and preconcentration neutron activation analytical of biological and diet samples for iodine. Analytical Chemistry, 1991, 63: 1 298-1 303
- [19] Sheppard MI, Thibault DH. Chemical behavior of iodine in organic and mineral soils. Appl.Geochem., 1992, 7: 265-272
- [20] 戴九兰. 碘在土壤-植物系统中的生物有效性(博士学位论文). 泰安: 山东农业大学, 2004: 10-14

Spatial Variation of Soil Iodine in High-quality Fruit Producing Area of Cangzhou

WANG Yuan-jie, LI Kuo, LIU Hui-ling, WEN Hong-da, ZHANG Yi-gong

(*College of Resources and Environmental Science, Agricultural University of Hebei, Baoding, Hebei 071001, China*)

Abstract: Taking the total contents of iodine in surface soils (0 – 20 cm) of high-quality fruit producing area in Botou, Cangxian, Xianxian three counties of Cangzhou city as studied object, the spatial variations of iodine were analyzed by geostatistics and GIS techniques. The results showed that iodine in Cangxian and Xianxian were of normal distribution and fitted with exponential model, while iodine in Botou fitted with Gaussian model after logarithm conversion. Iodine in Cangxian and Xianxian showed higher spatial correlation, which suggested the greater influences from natural structural factors, such as climate, soil parent material, topography and soil type; iodine in Botou showed medium spatial correlation, which stated the greater influences from random factors, such as human activities. By adopting the most excellent Kriging method, the spatial distribution maps of iodine in the three countries were edited, the results showed that the spatial distributions of iodine in three countries were asymmetrical, it was mostly affected by hydrology, geology and topography. Iodine contents in both shores of the rivers and low-lands were higher than other areas, whereas iodine contents in some areas showed partial abnormality owing to the influence of human activities.

Key words: Geostatistics, Soil total iodine, Semivariance, Spatial variability, Kriging method