

风险监测

空间统计在长江流域大米镉分布特征研究的应用

肖革新¹,何来英¹,杨冰²,杨锦涛³,杨大进¹(1. 国家食品安全风险评估中心,北京 100022; 2. 贵州省分析测试研究院,贵州 贵阳 550002;
3. 中国科学院地理科学与资源研究所,北京 100101)

摘要:目的 通过研究长江流域大米中镉含量的空间分布特征,为治理粮食作物镉污染提供科学依据。方法 利用空间自相关对镉污染的聚集水平进行分析。结果 湘江、岷江、涪江、沱江、青衣江、大度河支流流域的大米中镉含量高于长江流域的其他地区,2015年长江流域大米中镉含量的全局 Moran's I 指数值为 0.596,在 $\alpha=0.01$ 水平上具有统计学意义。长江流域的大米样品中镉含量呈现中度的空间聚集性。湘江支流流域、岷江支流流域形成了 2 个“高-高”聚集区域,在鸭池河及其周边地区形成了一个典型的“低-低”聚集区域。结论 长江流域整体上呈现中度的空间聚集性,局部地区呈现出空间异质性。

关键词:镉; 食品污染物; 大米; 空间自相关性; 空间统计学; 风险监测; 食品安全

中图分类号:R155 文献标志码:A 文章编号:1004-8456(2018)01-0059-04

DOI:10.13590/j.cjfh.2018.01.013

The application of spatial statistics on the cadmium contamination in rice around Yangze watershed

XIAO Ge-xin¹, HE Lai-ying¹, YANG Bing², YANG Jin-tao³, YANG Da-jin¹

(1. China National Center for Food Safety Risk Assessment, Beijing 100022, China;

2. Guizhou Academy of Testing and Analysis, Guizhou Guiyang 550002, China;

3. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Beijing 100101, China)

Abstract: Objective Cadmium content in rice originated from Yangze watershed was analyzed with spatial statistics, which aimed to provide scientific basis for source control of grain cadmium contamination. **Methods** The spatial autocorrelation indicated the spatial clustering of cadmium contamination. **Results** The result illustrated the rice planted around Xiang River, Min River, Pei River, Tuo River, Qingyi River and Dadu River hold a higher level of cadmium content than other places. The Moran's I is 0.596 (p with statistical significance), which presented a medium spatial clustering to the rice cadmium contamination. Therefore, Xiang River and Min River watershed presented “high-high” clustering while Yachi River presented a low-low clustering. **Conclusion** The rice cadmium contamination around Yangze watershed emerged a medium clustering while some areas presented spatial variability.

Key words: Cadmium; food contaminants; rice; spatial autocorrelation; spatial statistics; risk monitoring; food safety

镉(cadmium, Cd)是环境中污染较为严重的重金属之一。世界卫生组织(WHO)将镉列为优先研究的食品污染物之一^[1],土壤中镉的污染主要来源于采矿、冶炼、电镀及基础化工行业的废水、废气和废渣;施用含镉的化肥以及农用污泥也是土壤中镉污染的重要来源^[2]。2013年湖南省“镉大米”事件引起各方对大米食用安全性的高度关注^[3]。水稻

可以从土壤富集镉而造成大米镉污染,稻谷中镉含量还与空气污染、污水灌溉以及农药喷施等有关^[4-6]。镉可以通过多种途径进入人体,包括食物摄入、呼吸道吸入和经皮接触,其中生物富集作用和食物链食物摄入是人体暴露的最主要途径^[7-8],可引起急性或慢性中毒,具有致畸和致癌作用^[9-11]。迄今为止,众多学者针对稻米中镉的污染情况进行了较广泛的研究,主要在稻米的镉含量及其健康风险评估方面^[12-13],魏长帅等^[14]针对华东铀矿区稻米中的镉元素含量及其空间分布进行研究,发现该地区 10.53% 的稻米样品中镉含量超过国家标准,且集中分布在开采区下游及周边区域。国内以往的镉空间分布的研究,多数基于行政区域分析,而且主要集中于土壤中镉含量的分析^[15]。长江流域是

收稿日期:2018-01-12

基金项目:国家重点研发计划:食品安全管控多维动态关联分析技术研究(2017YFC1602002)

作者简介:肖革新 男 副研究员 研究方向为空间统计

E-mail: xiaogexin@cfsa.net.cn

通信作者:杨大进 男 研究员 研究方向为食品安全风险监测

E-mail: yangdajin@cfsa.net.cn

我国的鱼米之乡,是我国主要的水稻种植区域,探索长江流域稻谷中镉的污染空间分布规律具有重要意义。本研究通过对长江流域稻米中镉污染的空间分布及聚集性分析,定位重点污染区域,为镉污染精准防控和粮食作物质量安全保障提供科学依据。

1 资料与方法

1.1 资料

1.1.1 研究区域

长江流域耕地面积占全国耕地总面积的1/4,粮食产量占全国的40%,其中全国70%的水稻均产

自该地区^[16]。长江流域大部分地区都地处亚热带季风区,四季分明,气候湿润温暖,具有优越的农业生产条件(如合适的光、热、水、土),适合农作物特别是水稻的生长。湖南省、湖北省和江西省等地区是长江流域中下游主要的农业生产基地和商品粮基地。具体采样情况见图1。

1.1.2 数据来源

2015年食品安全风险监测工作中,对长江流域一带采集的1156份稻谷样品中镉含量的数据进行分析,监测样品来源于种植地。数据字段主要包括:样品编号、采样地区、样品产地、检测时间、检测项目、检测值等。

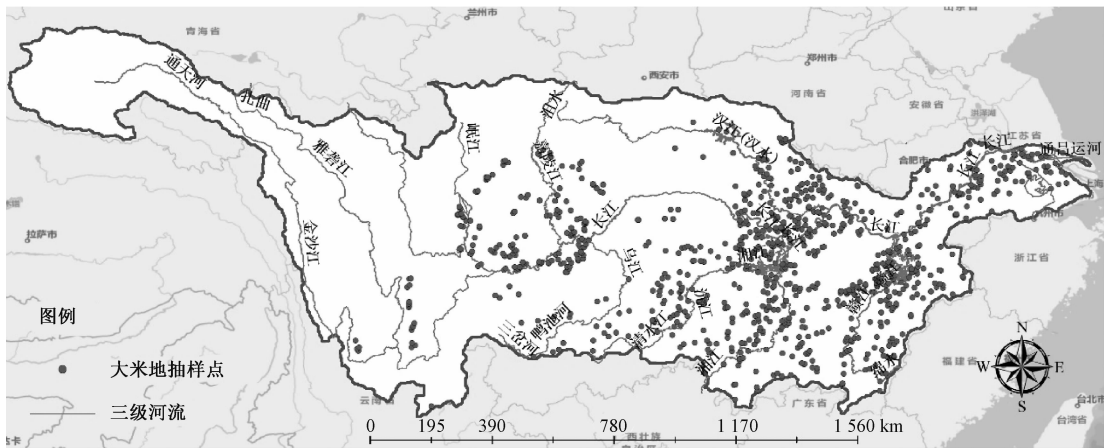


图1 长江流域大米抽样地分布情况

Figure 1 Distribution of rice sampling sites in Yangtze watershed

1.1.3 流域数据提取

流域指由分水线所包围的河流集水区,相比行政单元区划,同一流域内有着相似的水环境。基于ArcGIS平台对研究区1:25万数字高程模型(digital elevation model, DEM)进行流域数据提取,构建研究区域边界,共得出研究区的111个区域单元。

1.2 方法

1.2.1 空间自相关

空间自相关是指同一个变量在不同空间位置上的相关性^[17]。Moran's I自相关指数的表达式为:

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \omega_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \omega_{ij} (x_i - \bar{x})^2}$$

式中, x_i 为变量在单元 i 处的值; \bar{x} 为变量 x 的平均值; ω_{ij} 为空间权重函数; n 为研究对象空间的区域数,即流域的数量。之后通过 Z 检验来验证假设是否成立。当 Z 值为正且有统计学意义时,表明存在正的空间自相关,即相似的观测值趋于空间集聚;当 Z 值为负且有统计学意义时,表明存在负的空间自相关,相似的观测值趋于空间分散;当 Z 值为零时,则

呈随机的空间分布。

1.2.2 局部 Moran's I

全局 Moran 指数是对镉含量在整个区域中的分布情况的描述。为了识别局部相关性,则需计算各个区域的自相关统计量的值,反映空间联系的局部指标(LISA)指数即为一种反映各区域自相关情况的统计量。局部空间 Moran's I 系数提供了每个空间单元相关性的判定,对于第 i 个区域单元来说, Moran's I 的 LISA 定义如下:

$$I_i = \frac{x_i - \bar{x}}{S^2} \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_j - \bar{x}), \text{且 } i \neq j$$

其中, n 表示研究对象空间的区域数, x_i 表示第 i 个区域内的属性值, x_j 表示第 j 个区域内的属性值, \bar{x} 表示所研究区域的属性值的平均值, $S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n$

$(x_i - \bar{x})^2$, $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$, w_{ij} 为空间权重矩阵。

同样利用 Z -score 得分检验对 Moran's I 的 LISA 统计量进行假设检验,即:

$$Z = \frac{I_i - E(I_i)}{\sqrt{\text{Var}(I_i)}}$$

当 $|Z| > 1.96$ 时, $P < 0.05$,认为 Moran's $I_i \neq 0$,存在局部空间自相关。

LISA 系数用于解释镉含量空间分布是否存在聚集性。 $LISA > 0$ 时表明局部空间单元与相邻空间单元之间存在空间正相关性,表现为“高-高”或“低-低”聚集, $LISA < 0$ 时表明局部空间单元与相邻空间单元之间存在空间负相关性,表现为“低-高”或“高-低”聚集。

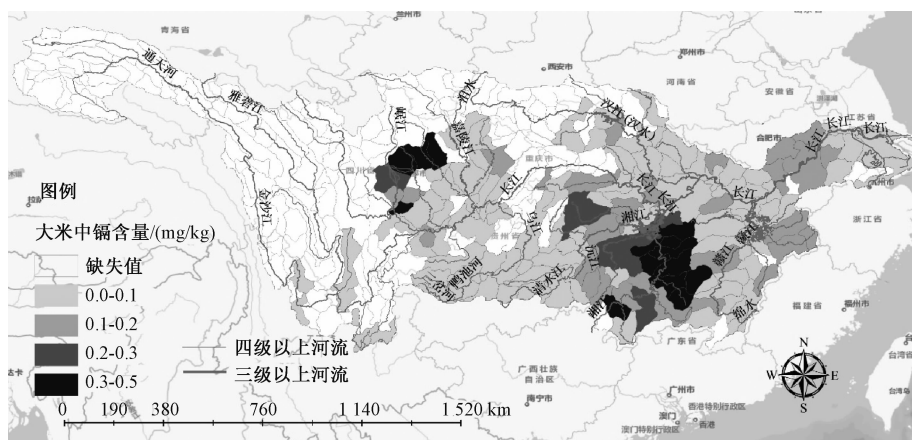


图2 长江流域大米中镉含量空间分布情况

Figure 2 Spatial distribution of cadmium level in rice around Yangtze watershed

2.2 长江流域大米中镉含量空间自相关分析

2015年长江流域大米中镉含量的全局 Moran's I 指数值为 0.596, $P < 0.01$,且 $Z > 2.58$ 。表明长江流域的大米样品中镉含量呈现出中等空间聚集性,见图3。

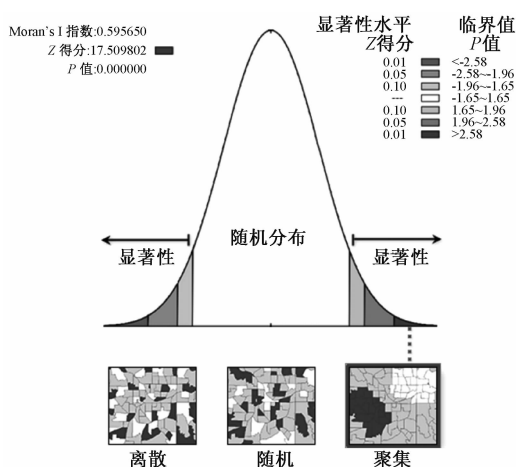


图3 长江流域大米中镉含量全局自相关性

Figure 3 Spatial autocorrelation of cadmium level in rice sample around Yangtze watershed

通过计算 LISA 值,湘江支流、岷江支流、鸭池河周边 3 个地区形成明显的空间正相关。如图 4 所示,鸭池河及其周边地区形成了一个典型的“低-低”聚集区域,湘江支流流域、岷江支流流域形成了

2 结果

2.1 长江流域大米中镉含量分布情况

湘江、岷江、涪江、沱江、青衣江及大度河支流流域周边的大米中镉含量超过 GB 2762—2017《食品安全国家标准 食品中污染物限量》^[18] (≤ 0.2 mg/kg)。个别地区抽检的大米样品中镉含量超标情况较为严重,有的大米镉含量超过 0.3 mg/kg,其中,湘江支流流域情况最为严重,见图 2。

2 个“高-高”聚集区域,其余灰色地区表示无聚集性。

3 讨论

本研究发现长江流域大米中镉污染呈现中度聚集性,其中湘江流域呈现“高-高”聚集现象,大米中镉含量“高-高”聚集地区与其他研究结果基本一致,刘周萍^[19]发现长江流域地区中湖南省益阳市、衡阳市、株洲市的大米镉污染较为严重,抽样样品中,镉的超标率达到 42.50%。陈一清等^[20]研究发现,湘江支流水体沉积物中镉含量较高,稻米中的镉含量也与水中镉浓度成正比^[21]。同时,雷鸣等^[22]发现湘江流域内的水体、土壤和农作物受到不同程度的镉污染,因此推测稻米中镉污染和河流镉污染分布有相关性。

由此可见,要解决稻米镉污染问题不仅需要考虑耕地土壤污染的防治修复,还应考虑灌溉水相关流域污染的源头治理。建议环保部门、农业部门、食药部门、国家卫生和计划生育委员会等相关部门加强对流域重金属污染状况的基础数据采集,建立多源数据的综合监测与数据共享交换机制,同时进一步开展数据的深度挖掘分析,实现对粮食中镉污染的快速识别、溯源分析、风险预测和预警,全面提升我国粮食污染的现代化治理水平。

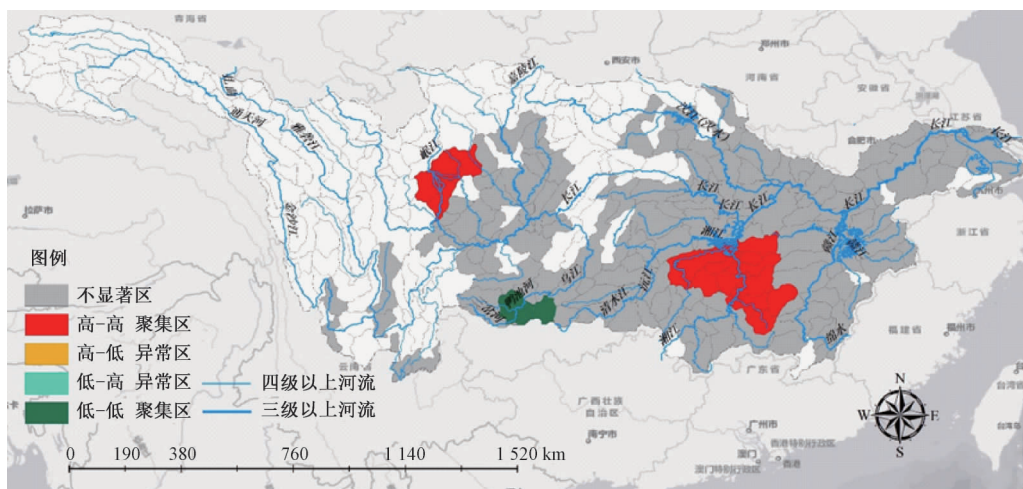


图4 长江流域大米中镉含量局部自相关性

Figure 4 Spatial clustering of cadmium level in rice around Yangtze watershed

参考文献

- [1] 刘杰堪. 镉的毒性和毒理学研究进展[J]. 中华劳动卫生职业病杂志, 1998, 16(1):2-4.
- [2] 黄顺生, 华明, 金洋, 等. 南京郊区某菜地土壤镉污染水平及其来源调查[J]. 土壤通报, 2008, 39(1):129-132.
- [3] 毛雪飞, 汤晓艳, 王艳, 等. 从“镉大米”事件谈我国种植业产品重金属污染的来源与防控对策[J]. 农产品质量与安全, 2013(4):57-59,73.
- [4] CUI Y J, ZHU Y G, ZHAI R H, et al. Exposure to metal mixtures and human health impacts in a contaminated area in Nanning, China[J]. Environment International, 2005, 31(6): 784-790.
- [5] CHARY N S, KAMALA C T, RAJ D S S. Assessing risk of heavy metals from consuming food grown on sewage irrigated soils and food chain transfer[J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2008, 69(3):513-524.
- [6] HUANG S S, LIAO Q L, HUA M, et al. Survey of heavy metal pollution and assessment of agricultural soil in Yangzhong district, Jiangsu Province, China[J]. Chemosphere, 2007, 67(11): 2148-2155.
- [7] JÄRUP L, ÅKESSON A. Current status of cadmium as an environmental health problem [J]. Toxicology & Applied Pharmacology, 2009, 238(3): 201-208.
- [8] JÄRUP L. Hazards of heavy metal contamination [J]. British Medical Bulletin, 2003, 68(1): 167-182.
- [9] SATARUG S, GARRETT S H, SENS M A, et al. Cadmium, environmental exposure, and health outcomes[J]. Environmental Health Perspectives, 2011, 16(5):2587-2602.
- [10] LIU J G, QIAN M, CAI G L, et al. Uptake and translocation of Cd in different rice cultivars and the relation with Cd accumulation in rice grain [J]. Journal of Hazardous Materials, 2007, 143(1/2): 443-447.
- [11] GRANT C, SHEPPARD S. Fertilizer impacts on cadmium availability in agricultural soils and crops [J]. Human and Ecological Risk Assessment, 2008, 14(2): 210-218.
- [12] 宋雯, 李优琴, 吕康, 等. 江苏省稻米镉含量调查及其膳食暴露评估[J]. 农业环境科学学报, 2016, 35(5):886-893.
- [13] 涂杰峰, 刘兰英, 罗钦, 等. 福建省稻米镉含量及其健康风险[J]. 农业环境科学学报, 2015, 34(4):695-701.
- [14] 魏长帅, 刘平辉, 张淑梅. 华东某铀矿区稻米中 Cd 含量及空间分布特征研究[J]. 安徽地质, 2016, 26(1):75-78.
- [15] DUAN Q N, LEE J C, LIU Y S, et al. Distribution of heavy metal pollution in surface soil samples in China: a graphical review [J]. Bulletin of Environmental Contamination & Toxicology, 2016, 97(3):303-309.
- [16] 孙尚清. 长江综合开发构想[J]. 科技导报, 1986, 4(1): 20-26.
- [17] 刘庆, 夏江宝, 谢文军. 半方差函数与 Moran's I 在土壤微量元素空间分布研究中的应用——以寿光市为例[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2011, 36(9):1129-1133.
- [18] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. 食品安全国家标准 食品中污染物限量:GB 2762—2017[S]. 北京:中国标准出版社, 2017.
- [19] 刘周萍. 长江流域稻米重金属污染及水杨酸调控镉积累的分子生理机制[D]. 杭州:中国计量大学, 2016.
- [20] 陈一清, 黄钟霆, 毕军平, 等. 湘江干流沉积物中铅和镉的污染特征与评价[J]. 中国环境监测, 2014, 30(2):62-66.
- [21] 姜国辉, 周雪梅, 李玉清, 等. 不同浓度镉水灌溉对土壤及水稻品质的影响[J]. 水土保持学报, 2012, 26(5):264-267.
- [22] 雷鸣, 秦普丰, 铁柏清. 湖南湘江流域重金属污染的现状与分析[J]. 农业环境与发展, 2010, 27(2):62-65.