

# Evaluation of Heavy Metal Pollution in Farmland Soil of Henan Province Based on Bibliometrics

Huaizhi Zhang<sup>1</sup>, Quanxin Li<sup>1</sup>, Hongjie Ji<sup>1\*</sup>, Kaiyu Lu<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing

<sup>2</sup>Institute of Agricultural Economics and Development, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing

Email: zhanghuaizhi@caas.cn, jihongjie@caas.cn

Received: Jan. 2<sup>nd</sup>, 2019; accepted: Jan. 17<sup>th</sup>, 2019; published: Jan. 24<sup>th</sup>, 2019

## Abstract

In order to comprehensively evaluate heavy metal pollution in farmland of Henan province and to improve product quality and increase economic benefits for planting industry, this thesis collected all survey bibliometrics about the heavy metal pollution of farmland in Henan province from Chinese Literature Net, Weipu Net and so on, published from 2007 to 2017. Bibliometrics were selected again based on the standard of investigation data containing the soil sample number, the average of elemental concentration and test methods, finally, Cr, As, Ni, Hg, Pb, Cd elements were chosen to estimate pollution according to the data distribution in each evaluation unit (city). Four kinds of heavy metal contamination evaluation methods, contamination factor (CF), single pollution index (SPI), modified contamination degree (mCd) and pollution load index (PLI), were used by authors. The results showed that in seventeen evaluation units (except Luohe city) in Henan province, the average concentration of Cr in three evaluation units, As in five evaluation units and Ni in three evaluation units were slightly higher than each element background value using CF classification. The maximum value of Cr CF, As CF and Ni CF was orderly sorted 1.75 (Xinxiang), 1.42 (Jiaozuo), 3.51 (Jiyuan), the average concentration of Cd in fourteen evaluation units, Hg of eleven evaluation units and Pb of twelve evaluation units were higher than each element background value, the maximum value of Cd CF, Hg CF and Pb CF was orderly sorted 388.39 (Xinxiang), 13.70 (Jiyuan city), 11.74 (Luoyang). Using single factor index classification, Cr, As Hg and Pb can be categorized as no pollution degree in the all seventeen evaluation units, Ni of one evaluation unit can be categorized as very low pollution degree, Cd of four evaluation units can be categorized as low pollution to high pollution degree. Four evaluation units can be categorized as moderate degree pollution using modified contamination degree classification and seven evaluation units can be categorized as moderate degree pollution using pollution load index classification. Xinxiang, Jiyuan, Luoyang and Kaifeng can be categorized as moderate degree of contamination to ultra high degree of contamination with mCd and PLI. The study also showed that the heavy metals in the soil of Henan were enriched. The heavy metal contents in the industrial park and its surrounding farmland were higher than the general farmland, and the pollution degree of the evaluation unit was improved. In practice, the farmland should be classified and evaluated.

\*通讯作者。

## Keywords

Henan Farmland, Heavy Metals, Pollution Assessment, Bibliometrics

# 基于文献研究的河南省土壤重金属污染评价

张怀志<sup>1</sup>, 李全新<sup>1</sup>, 冀宏杰<sup>1\*</sup>, 吕开宇<sup>2</sup>

<sup>1</sup>中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京

<sup>2</sup>中国农业科学院农业经济与发展研究所, 北京

Email: zhanghuaizhi@caas.cn, jihongjie@caas.cn

收稿日期: 2019年1月2日; 录用日期: 2019年1月17日; 发布日期: 2019年1月24日

## 摘要

为全面评价河南省农田重金属污染状况进而为种植业提质增效服务, 本文收集了中国知网等数据库2007~2017年发表的河南省农田土壤重金属污染调查与评价文献, 从中筛选了含有调查区域特征、调查点数量、质量分数平均值、测试方法等基本数据的文献, 根据数据分布情况, 最终选择了Cr、As、Ni、Hg、Pb、Cd等6个重金属元素进行评价。基于单个重金属元素污染以及评价单元(地级市)综合污染评价, 选用了污染因子法(Contamination Factor, CF)、单因子指数法(Single Pollution Index, SPI)、修订的污染程度(Modified Contamination Degree, mCd)和污染负荷法(Pollution Load Index, PLI)四种评价方法。结果表明, 17个评价单元(漯河市除外)中, 应用污染因子法评价, Cr、As、Ni、Cd、Hg和Pb的质量分数平均值分别有3个、5个、3个、14个、11个和12个评价单元高于背景值; 应用单因子指数评价, Cr、As、Pb、Hg整体处于无污染等级, Ni有1个评价单元处于轻微污染等级, Cd有4个评价单元处于轻度污染以上等级; 应用修订的污染程度法及污染负荷指数法评价分别有4个和7个评价单元处于中等污染及其以上等级。研究还表明, 河南土壤重金属存在富集现象; 与一般农田相比, 工业园区内及其周边农田的重金属含量较高, 提高了评价单元的污染程度, 具体应用时, 应对农田进行分类评价。

## 关键词

河南农田, 重金属, 污染评价, 文献研究

Copyright © 2019 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

随着工业化以及经济的快速发展, Cd、Pb、Zn、Cu 等重金属元素通过肥料施用、污水灌溉、大气沉降、点源污染等多种途径进入土壤中[1], 重金属元素在土壤中移动性很小, 不易随水淋滤, 不被微生物降解, 一方面对土壤理化性质及土壤生物学特性和微生物群落结构产生不良影响[2], 另一方面影响农作物的生长发育, 还可以通过食物链的富集作用以数十倍乃至数百倍的能力富集在农作物体内, 进而通

过食物链对人体健康产生潜在威胁。土壤重金属污染已被认为是世界上重要的环境污染问题之一,受到各国广泛关注[3][4],研究人员先后提出了污染负荷指数法、地积累指数法等在内的多种重金属污染评价方法[5]-[10]。我国《“十三五”生态环境保护规划(2016~2020)》提出要严密防控重金属污染风险,并列出了16个重点区域和8个重点流域为综合整治示范区[11]。

我国各地广泛开展了重金属污染调查与评价工作[12][13][14][15][16],从研究尺度看,村级、乡镇级、县级、地市级尺度研究较多,省级尺度研究较少。文献研究法通过收集、鉴别和整理文献,采用定量或者定性分析方法,形成新的科学认识,该法在科学评价等领域具有广泛作用。现已有基于文献计量学的全国农田土壤重金属污染状况评价研究[17]。但鉴于土壤重金属污染调查多基于县域层面,评价区域范围较大时,用县域层面数据评价地市级污染情况差异较为适宜,县域层面数据用于评价全省土壤重金属污染情况值得商榷。因此本文采用文献研究法,收集中国知网、维普以及 Elsevier 等数据库 2007~2017 年公开发表的河南省土壤重金属调查与评价数据,研究河南省各地级市土壤重金属污染情况,以期为优质农产品种植布局提供依据。

## 2. 材料与方 法

### 2.1. 研究区域概况

河南省位于我国中部,界于北纬 31°23'~36°22',东经 110°21'~116°39'之间,总面积 16.7 万 km<sup>2</sup>,大部分位于半干旱暖温带,辖郑州市、开封市、洛阳市等 18 个地级市,其中 1 个为省直管市;土壤分属于潮土、水稻土、褐土、黄褐土、砂姜黑土、棕壤、黄棕壤等土类[18]。

### 2.2. 数据收集与处理

为较全面获取 2007~2017 年河南省土壤重金属污染的信息,本研究在中国知网、维普网、Elsevier 等数据库以“作者单位(河南)+ 主题词(土壤重金属)”为关键词进行搜索,剔除其中存在的点位重复、定性描述、仅有摘要、市区土壤调查、无调查点位数量、无重金属质量分数平均值以及不能确定点位所属区域等文献,共获取 25 个研究实例。根据文献中土壤采样点四周环境描述,将土壤采样点分为两类,一类是来自于周边无工矿园区的农田,称为一般农田,包括大田、菜地等;另一类是来自于工矿园区(油田、矿区、工业园区等)内农田及其周边农田,称为工矿园区及其周边农田,25 个实例中有 14 个实例为一般农田,11 个实例为工矿园区内及其周边农田。记录相应的统计数据:样本数量、平均值、最大值、最小值以及样品处理和分析方法、文献发表年份等。

一个地级市被确定为一个评价单元。某评价单元重金属元素质量分数平均值采用加权平均算法,即在该评价单元内,用每个案例内该重金属元素样本数乘以该元素质量分数平均值之总和,除以该重金属元素在该评价单元的样本数(见方程 1)。

$$HM_i = \sum S_{ij} * HM_{ij} / \sum S_{ij} \quad (1)$$

方程 1 中,  $HM_i$  为某评价单元重金属  $i$  的质量分数平均值,  $S_{ij}$  为重金属  $i$  的  $j$  文献的样本数,  $HM_{ij}$  为某评价单元某重金属  $i$  的  $j$  文献测定质量分数平均值。

### 2.3. 污染评价方法

根据收集到的数据情况,从单个重金属元素及评价单元污染评价的角度出发,选用污染因子法、单因子指数法、修订的污染程度法和污染负荷法等四种方法进行河南省重金属污染评价。

污染因子法是各个重金属元素质量分数平均值与背景值的比值,表示土壤重金属元素积累情况,也可用来评价单个土壤重金属污染程度,计算见方程 2。本文采用文献中的河南省土壤各元素的平均值作

为背景值[19]。

$$CF = HM_i / C_b^i \quad (2)$$

方程 2 中, CF 为污染因子,  $HM_i$  意义同上文,  $C_b^i$  为元素  $i$  的土壤背景值。CF < 1, 低污染因子; 1 ≤ CF < 3, 中等污染因子; 3 ≤ CF < 6, 较高污染因子; CF ≥ 6, 高污染因子。

单因子指数法是质量分数平均值与国家标准值的比值, 用以直接对各个重金属元素的达标及污染情况进行评价; 计算模型见方程 3。

$$SPI = HM_i / C_i^i \quad (3)$$

方程 3 中, SPI 为单因子指数,  $HM_i$  意义同上文,  $C_i^i$  为元素  $i$  的国家二级标准值。本文采用国家土壤环境质量标准(GB15618-1995)中的二级标准值。当 SPI < 1 时, 达标无污染; 当 1 < SPI ≤ 2 时, 轻微污染; 当 2 < SPI ≤ 3 时, 轻度污染; 当 3 < SPI ≤ 5 时, 中度污染; 当 SPI > 5 时, 重度污染。

修订的污染程度法。该法是所有污染因子的算术平均值, 可用于综合评价区域土壤重金属污染情况, 计算见方程 4。

$$mCd = \sum_{i=1}^n CF_i / n \quad (4)$$

方程 4 中, mCd 为修订的污染程度值,  $n$  为评价元素个数, CF 意义同上文。mCd < 2, 低度污染; 2 ≤ mCd < 4, 中等程度污染; 4 ≤ mCd < 8, 较高程度污染; 8 ≤ mCd < 16, 高程度污染; 16 ≤ mCd < 32, 很高程度污染; mCd ≥ 32, 极高程度污染。

污染负荷指数法: 是所有重金属污染因子的几何平均值, 可用于区域土壤重金属污染综合性评价。

$$PLI = \sqrt[n]{CF_1 \times CF_2 \times \dots \times CF_n} \quad (5)$$

方程 5 中, PLI 为污染负荷指数, CF、 $n$  意义同上文。当 PLI < 1 时, 无污染; 当 1 ≤ PLI < 2 时, 中等污染; 当 2 ≤ PLI < 3 时, 强污染; 当 PLI ≥ 3 时, 极强污染。

### 3. 结果与讨论

#### 3.1. 基本数据信息

本研究所获得的 25 个研究实例以及作者 2015 年在夏邑县、西平县、安阳县以及许昌县采集的 16 个土壤样本数据, 共覆盖河南省 17 个省辖市, 其中漯河市没有信息; 鉴于 Cu、Zn 分别有 6 个、7 个评价单元没有测试信息, 因此本文只分析 As、Pb、Cr、Ni、Cd、Hg 等六种元素(见表 1)。所有文献中采样点位布设方法多样, 主要为随机布点或网格布点方法, 均取表层 0~20 cm 土壤样本; 各研究人员采用的测试方法并不一致, 但都是按照国家标准或者常用方法进行的, 测定结果间差异忽略不计。

本文收集的数据中, 新乡市、济源市、焦作市、洛阳市、濮阳市、开封市、三门峡市以及商丘市等 8 个评价单元含有来自工业园区内及其周边的农田的案例, 其它评价单元均为一般农田。

#### 3.2. 污染因子法评价

河南省各重金属元素背景值依次为: As 11.4 mg·kg<sup>-1</sup>, Cd 0.074 mg·kg<sup>-1</sup>, Cr 63.8 mg·kg<sup>-1</sup>, Hg 0.034 mg·kg<sup>-1</sup>; Ni 26.74 mg·kg<sup>-1</sup>, Pb 19.6 mg·kg<sup>-1</sup>。应用方程 2 计算的 17 个评价单元各重金属元素 CF 分布情况见图 1。从图 1 中可以看出, Cr、As 和 Ni 的积累情况不明显, Cr、As、Ni 的质量分数平均值分别有 17.65% (3 个)、23.53% (5 个)和 17.65% (3 个)评价单元略高于背景值; CF 最大值分别为 1.75 (新乡市)、1.42 (焦作市)、3.51 (济源市), 三重金属元素污染处于低或者中等等级; Cd、Pb、Hg 的质量分数平均值分别有 14 个、11 个和 12 个评价单元高于背景值, Cd 积累情况最为明显, CF 全部处于中等、较高及高

污染等级,最为突出的是新乡市、济源市、开封市、洛阳市,CF值分别为388.38、23.97、14.46和6.01;Pb积累情况较为突出的是洛阳市、济源市,CF值分别为11.74和8.66;Hg积累情况较为突出的是济源市,CF值为13.70。

应该指出的是,上述评价单元中,来自工业园区内及其周边农田的样本其重金属元素含量往往高于远离工业园区的一般农田,以新乡市为例,其工业园区内及其周边农田的Ni、Cd的质量分数平均值分别为 $134.42 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、 $51.12 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,分别是一般农田对应元素质量分数平均值的6.11倍、10.31倍;再比如济源市,其工业园区内及其周边农田的Ni的质量分数平均为 $42.84 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,是一般农田对应元素质量分数平均值的3.17倍。

**Table 1.** Static as number of heavy metals in each evaluation unit

**表 1.** 各评价单元测定的重金属元素数量统计表(个)

城市名称 City name	铬 Cr	砷 As	镍 Ni	镉 Cd	铅 Pb	汞 Hg
郑州市 Zhengzhou	194	3	3	191	191	3
开封市 Kaifeng	323	64	265	307	317	54
洛阳市 Luoyang	174	174	6	188	188	174
平顶山市 Pingdingshan	27	27	27	185	185	27
安阳市 Anyang	8	4	4	4	4	8
鹤壁市 Hebi	2	2	2			2
新乡市 Xinxiang	198	98	133	165	165	98
焦作市 Jiaozuo	72	50	72		69	3
濮阳市 Puyang	92	6	52	92	92	6
许昌市 Xuchang	5	1	1	4	4	5
三门峡市 Sanmenxia	5	5	5	40	40	5
南阳市 Nanyang	31	31	31	25	25	31
商丘市 Shangqiu	251	65	65	249	249	42
信阳市 Xinyang	8	8	8			8
周口市 Zhoukou	43	43	43	35	35	43
驻马店市 Zhumadian	8	4	4	4	4	8
济源市 Jiyuan	52	328	52	327	327	52
合计 Total	1493	913	773	1816	1895	569

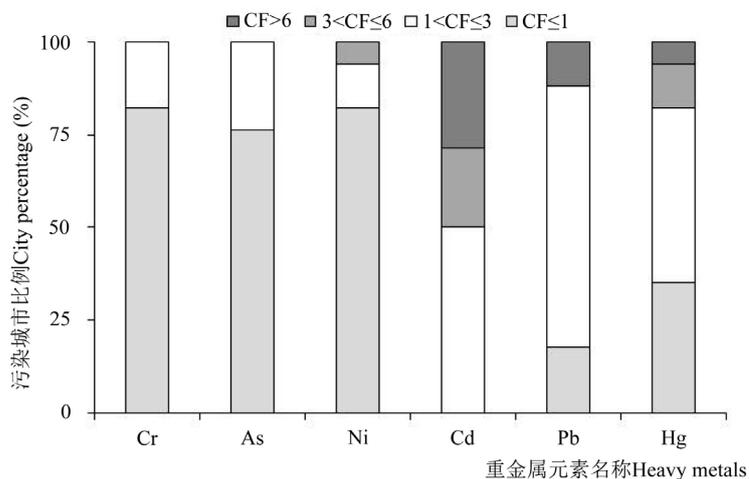
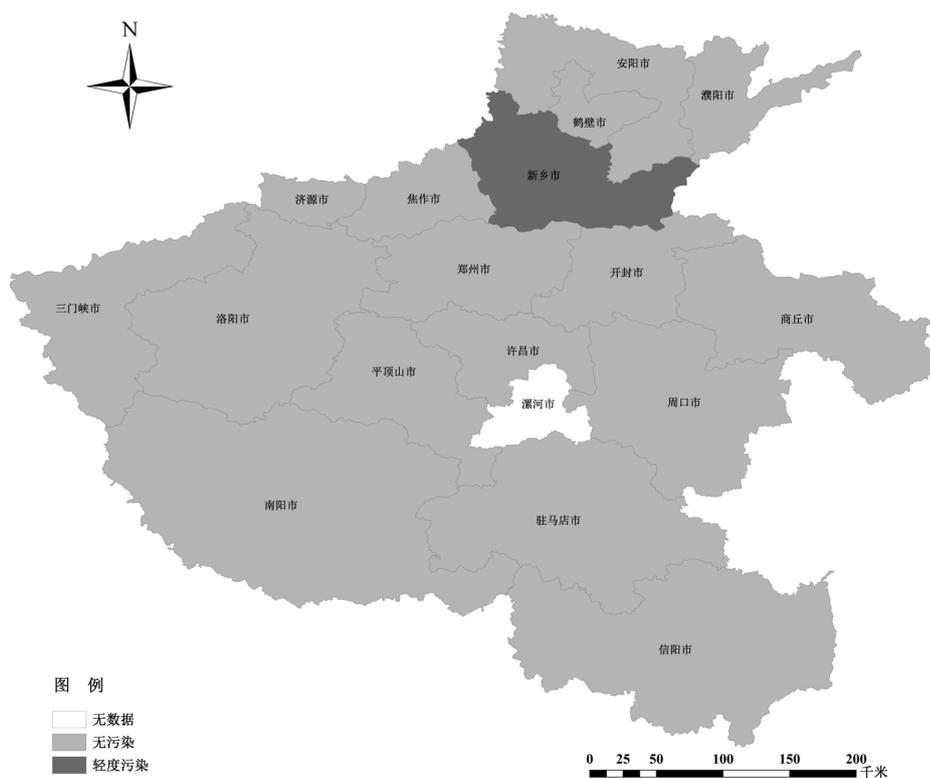


Figure 1. Contamination factor distribution

图 1. 污染因子分布统计

### 3.3. 单因子指数评价

方程 3 计算结果表明, 17 个评价单元的 6 个重金属元素中, Cr、As、Pb、Hg 元素皆达标, 且 Cr、As 单因子指数均不足 0.5; 济源市 Hg、Pb 单因子指数分别为 0.93、0.57, 洛阳市 Pb 单因子指数为 0.77, 除此外, 其它评价单元这 2 个重金属元素的单因子指数也不足 0.5。17 个评价单元中, 仅有新乡市 Ni 超标, 且处于轻微污染等级; 新乡市、济源市、开封市、洛阳市、许昌市、三门峡市的 Cd 超标, 其他 8 个评价单元 Cd 不超标; 超标的评价单元中, 新乡市、济源市 Cd 处于重污染等级, 开封市 Cd 处于中度污染等级, 洛阳市、许昌市、三门峡市为轻微污染等级(见图 2)。



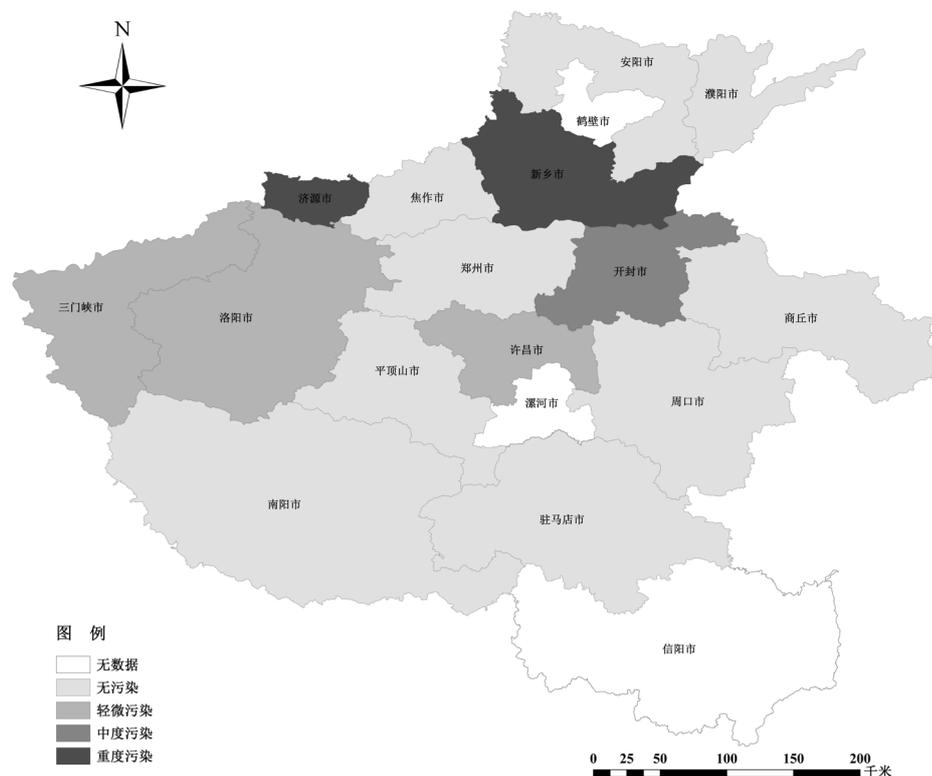


Figure 2. Single pollution index distribution map

图 2. 单因子指数评价结果图

应用单因子评价法, 一般农田中, 仅有新乡市和许昌市的 Cd 超标, 其它评价单元其它重金属元素均不超标; 而工业园区内及其周边农田, 6 个重金属元素中, 除焦作市、濮阳市外, 新乡市、济源市、洛阳市、开封市、三门峡市以及商丘市 Cd 全部超标, 最大超标倍数 170.4 倍, 另新乡市 Ni 超标 2.7 倍, 其它均不超标。

### 3.4. 修订的污染饱和度评价

17 个评价单元的 mCd 法评价结果见图 3, 从图中可以看出, 新乡市重金属处于极高程度污染, 济源市处于高程度污染, 开封市、洛阳市处于中等程度污染, 其它评价单元皆处于低度污染状态。应用修订的污染程度法对一般农田和工业园区内及其周边农田的污染风险评价发现, 一般农田中, 只有新乡市为高程度污染, 其它评价单元均处于低度污染; 而工业园区内及其周边农田中, 新乡市处于极高程度污染等级、济源市处于高程度污染等级, 开封市、洛阳市处于较高程度污染等级, 三门峡市为中等程度污染, 商丘市、濮阳市、焦作市为低度污染; 同一评价单元内, 工业园区内及其周边农田污染风险高于一般农田。

### 3.5. 污染负荷指数评价

17 个评价单元的 PLI 法评价结果见图 4, 从图中可以看出, 新乡市、济源市重金属处于极强污染等级, 洛阳市处于强污染等级, 开封市、焦作市、平顶山市和驻马店市为中等污染等级, 其它评价单元皆处于无污染状态。进一步分析发现, 一般农田中, 只有新乡市处于高强度污染, 焦作市等 4 个评价单元为中等污染, 其它评价单元均为无污染, 至于工业园区内及其周边的农田, 皆处于中等污染及其以上等级, 其中新乡市、洛阳市及济源市均为极强度污染, 开封市、三门峡市处于强污染, 商丘市、濮阳市、焦作市为中等污染。

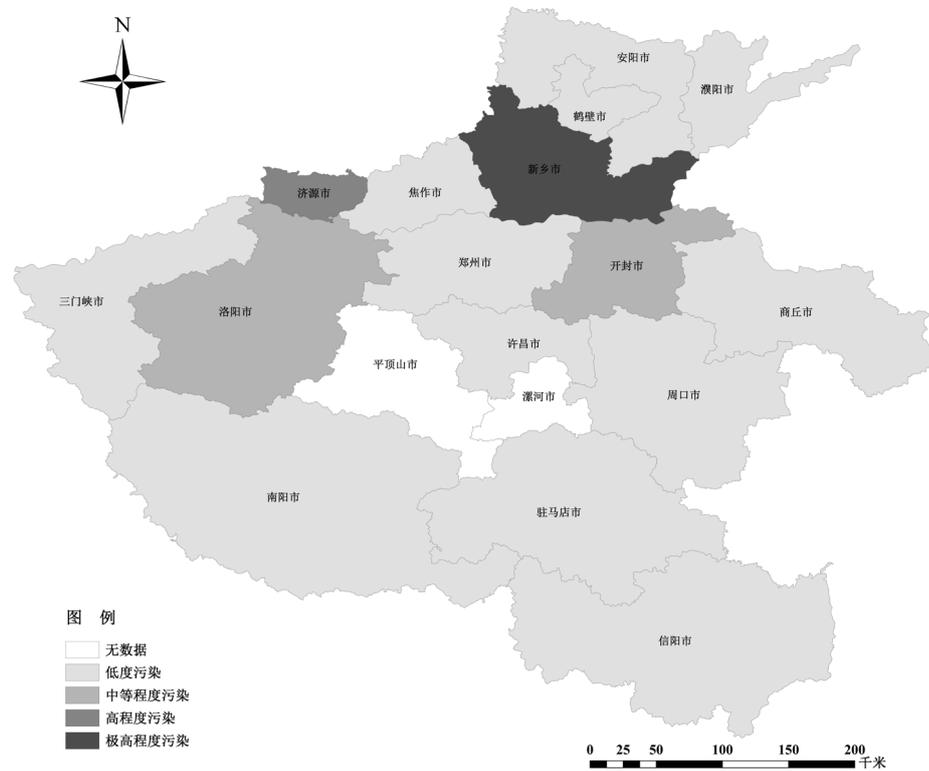


Figure 3. Modified contamination degree distribution map  
图 3. 修订的污染饱和度评价结果图

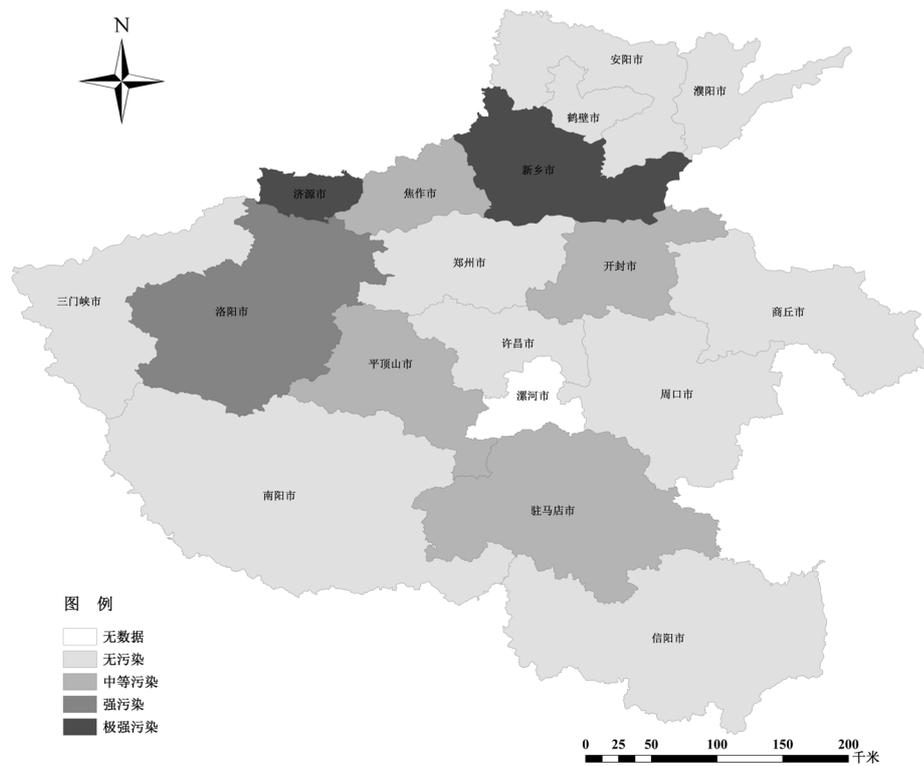


Figure 4. Pollution load index distribution map  
图 4. 污染负荷指数评价结果图

可见, 工业园区内工厂排放的污染物增加了周边一定范围内农田的有关重金属含量, 提高了评价单元的重金属污染等级, 这跟前人研究结论是一致的[20] [21] [22]。

#### 4. 结论

根据收集到的 Cr、As、Ni、Hg、Pb、Cd 等 6 个重金属元素有效数据, 污染因子法评价结果表明, 河南省 17 个评价单元(漯河市除外)中, Cr、As、Ni 的质量分数平均值分别有 3 个、5 个和 3 个评价单元略高于背景值, Cr、As 和 Ni 的 CF 最大值分别为 1.75 (新乡市)、1.42 (焦作市)、3.51 (济源市), Cd、Hg 和 Pb 的质量分数平均值分别有 14 个、11 个和 12 个评价单元高于背景值, Cd、Hg 和 Pb 的 CF 最大值分别为 388.39 (新乡市)、13.70 (济源市)和 11.74 (洛阳市); 单因子指数评价结果表明, Cr、As、Pb、Hg 整体处于无污染等级, Ni 有 1 个评价单元处于轻微污染等级, Cd 有 4 个评价单元处于轻度污染以上等级, Cd 是河南省农田的主要污染物; 应用修订的污染程度法及污染负荷指数评价分别有 4 个和 7 个评价单元处于中等污染及其以上等级, 两种方法均表明所有评价单元中, 新乡市、济源市、洛阳市和开封市均为中等及其以上污染等级。

与一般农田相比, 工业园区及其周边农田的重金属含量增加, 污染风险程度增加, 也提高了整个评价单元的重金属污染等级。

#### 基金项目

国家十三五重点研究计划(2016YFD0801006)、公益性行业(农业)科研专项(201503121)。

#### 参考文献

- [1] Ang, X.W., Sethu, V.S., Andersen, J.M., *et al.* (2013) Copper (II) Ion Removal from Aqueous Solutions Using Biosorption Technology: Thermodynamic and SEM-EDX Studies. *Clean Technologies and Environmental Policy*, **15**, 401-407. <https://doi.org/10.1007/s10098-012-0523-0>
- [2] Hiroki, M. (1992) Effects of Heavy Metal Contamination on Soil Microbial Population. *Soil Science and Plant Nutrition*, **38**, 141-147. <https://doi.org/10.1080/00380768.1992.10416961>
- [3] Brian, J.A. (2013) Heavy Metals in Soils Trace Metals and Metalloids in Soils and Their Bioavailability. Springer, Dordrecht, 11-237.
- [4] Wang, J.L. and Chen, C. (2015) The Current Status of Heavy Metal Pollution and Treatment Technology Development in China. *Environmental Technology Reviews*, **4**, 39-53. <https://doi.org/10.1080/21622515.2015.1051136>
- [5] Eva, S., Magdalena, B. and Marian, H. (2016) Heavy Metal Contamination and Its Indexing Approach for Sediment in Smolnik Creek (Slovakia). *Clean Technologies and Environmental Policy*, **18**, 305-313. <https://doi.org/10.1007/s10098-015-0991-0>
- [6] Tomlinson, D.L., Wilson, J.D., Harris, C.R., *et al.* (1980) Problem in Assessment of Heavy Metal Levels in Estuaries and the Formation of a Pollution Index. *Helgoländer Meeresuntersuchungen*, **33**, 566-575. <https://doi.org/10.1007/BF02414780>
- [7] Hakanson, L. (1980) An Ecological Risk Index for Aquatic Pollution Control—A Sedimentological Approach. *Water Research*, **14**, 975-1001. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(80\)90143-8](https://doi.org/10.1016/0043-1354(80)90143-8)
- [8] Sylvester, C.I., Sunday, E.B. and Elujah, I.O. (2017) Assessment of Pollution Load Indices of Heavy Metals in Cassava Mill Effluents Contaminated Soil: A Case Study of Small-Scale Processors in a Rural Community in the Niger Delta, Nigeria. *Bioscience Methods*, **8**, 1-17.
- [9] Vaezi, A.R., Karbassi, A.R. and Fakhræe, M. (2015) Assessing the Trace Metal Pollution in the Sediments of Mahshahr Bay, Persian Gulf, via a Novel Pollution Index. *Environmental Monitoring and Assessment*, **187**, 613. <https://doi.org/10.1007/s10661-015-4833-7>
- [10] Abraham, G.M.S. and Parker, R.J. (2008) Assessment of Heavy Metal Enrichment Factors and the Degree of Contamination in Marine Sediments from Tiamaki Estuary, Auckland, New Zealand. *Environment Monitoring and Assessment*, **136**, 227-238. <https://doi.org/10.1007/s10661-007-9678-2>

- [11] 中华人民共和国国务院. “十三五”生态环境保护规划[DB/OL]. [http://www.gov.cn/zhengce/content/2016-12/05/content\\_5143290.htm](http://www.gov.cn/zhengce/content/2016-12/05/content_5143290.htm), 2018-01-10.
- [12] 赵云霞, 杨自军. 河南省义马市及其周边地区土壤重金属含量调查与分析[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2012, 40(4): 171-174.
- [13] 周凯, 王智芳, 马玲玲, 等. 新乡市郊区大棚菜地土壤重金属 Pb、Cd、Cr 和 Hg 污染评价[J]. 生态环境学报, 2013, 22(12): 1962-1968.
- [14] 屈吉鸿, 梁奇, 胡亚男, 等. 济源某铅锌产业区土壤重金属空间变异特征及污染评价[J]. 华北水利水电大学学报, 2016, 36(2): 47-51.
- [15] 陈志凡, 范礼东, 陈云增, 等. 城乡交错区农田土壤重金属总量及形态空间分布特征与源分析——以河南省某市东郊城乡交错区为例[J]. 环境科学学报, 2016, 36(4): 1317-1327.
- [16] 张怀志, 冀宏杰, 徐爱国, 等. 潍坊市菜地重金属调查与环境风险评价研究[J]. 生态环境学报, 2017, 26(12): 2154-2160.
- [17] 陈奕云, 唐名阳, 王淑涛, 等. 基于文献计量的中国农田土壤重金属污染评价[J]. 土壤通报, 2016, 47(1): 219-225.
- [18] 河南省土壤普查办公室. 河南土壤[M]. 北京: 中国农业出版社, 2004.
- [19] 中国环境监测总站. 中国土壤元素背景值[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1990.
- [20] Kien, C.N., Noi, N.V., Son, L.T., et al. (2010) Heavy Metal Contamination of Agricultural Soils around a Chromite Mine in Vietnam. *Soil Science and Plant Nutrition*, 56, 344-356. <https://doi.org/10.1111/j.1747-0765.2010.00451.x>
- [21] 郭朝晖, 涂卫佳, 彭驰, 等. 典型铅锌矿区河流沿岸农田土壤重金属分布特征及潜在生态风险评价[J]. 农业环境科学学报, 2017, 36(10): 2029-2038.
- [22] 张东明, 吕新, 王海江, 等. 工业区周边农田重金属污染评价及来源分析[J]. 土壤通报, 2017, 48(3): 715-723.

**知网检索的两种方式:**

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2164-5507, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [hjas@hanspub.org](mailto:hjas@hanspub.org)