

陈能场, 郑煜基, 何晓峰, 等. 《全国土壤污染状况调查公报》探析[J]. 农业环境科学学报, 2017, 36(9): 1689–1692.

CHEN Neng-chang, ZHENG Yu-ji, HE Xiao-feng, et al. Analysis of the Report on the national general survey of soil contamination[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2017, 36(9): 1689–1692.

《全国土壤污染状况调查公报》探析

陈能场, 郑煜基, 何晓峰, 李小飞, 张晓霞

(广东省生态环境技术研究所 广东省农业环境综合治理重点实验室 广州 510650)

摘要: 土壤污染数据的解读对于土壤污染的判断、土壤修复方法的选择、土壤管理的策略乃至土壤污染立法都有巨大的影响。2014年《全国土壤污染状况调查公报》公布之后, 人们普遍对我国的土壤污染现状有了初步了解, 但公众也惊讶于其污染程度, 也有不少人对于污染程度的划分、点位超标率的判断不甚了解。本文从镉的特性、标准和时间、空间、粮食超标率等角度做一些解读, 旨在帮助人们对这些静态的调查结果产生动态的理解, 客观看待土壤污染, 高度重视粮食安全, 同时期待目前在向全社会征求意见的《土壤污染防治法》能在污染源削减问题上得到加强, 整个土壤污染防治工作, 不仅需要注意土壤重金属量的减少或者固定, 更应该重视土壤环境质量的概念, 以土壤健康为目标, 构建土壤污染的防治体系。

关键词: 镉; 土壤污染; 调查公报; 解读; 土壤污染防治法

中图分类号: X53 文献标志码: A 文章编号: 1672-2043(2017)09-1689-04 doi:10.11654/jaes.2017-1220

Analysis of the Report on the national general survey of soil contamination

CHEN Neng-chang, ZHENG Yu-ji, HE Xiao-feng, LI Xiao-fei, ZHANG Xiao-xia

(Guangdong Institute of Eco-environmental Science and Technology, Guangdong Key Laboratory of Agricultural Environment Pollution Integrated Control, GDAS CAS, Guangzhou 510650, China)

Abstract: Interpretation of data of soil heavy metals is crucial for correctly understanding soil pollution, choice of correct remediation method, soil management and even for effective soil legislation. On April 17, 2014, The release of the Report on the national general survey of soil contamination gave the public a rough understanding on the soil pollution status in China, more puzzles, however, provoked from this too-short article. This paper tries to give a clear picture on the pollution status from the point view of time and special scale, the properties of cadmium, and the exceedance rate of cadmium over hygiene standard in food safety. It is hoped the conclusion drawn from the paper could give some advice for the Law of Soil Pollution Prevention and Control.

Keywords: cadmium; soil pollution; report; interpretation; the Law of Soil Pollution Prevention and Control

2014年4月17日环保部联合国土部公布了《全国土壤污染状况调查公报》(以下简称《公报》)^[1], 为便于公众理解《公报》内容, 新华社记者秦迎编制了“从数字看我国土壤污染现状”概要图(图1)。但时至今日, 仍有很多人对于这张图充满困惑, 有些人将点位超标率误当超标面积, 很多人对镉的点位超标率高达

7.0%甚为不解。就此, 作者从镉的特性、标准和时间、空间、粮食超标率等角度做一些解读。

1 从标准角度解读《公报》的土壤镉点位超标率

超标率的计算基础是土壤环境质量标准(或者特定的评价参比值), 标准的高低影响超标率的数值。自

收稿日期: 2017-09-07

作者简介: 陈能场(1966—), 男, 博士, 研究员, 研究方向为污染物环境化学行为及其生物修复研究。E-mail: ncchen@soil.gd.cn

基金项目: 国家自然科学基金项目(41071300)

Project supported: The National Natural Science Foundation of China(41071300)

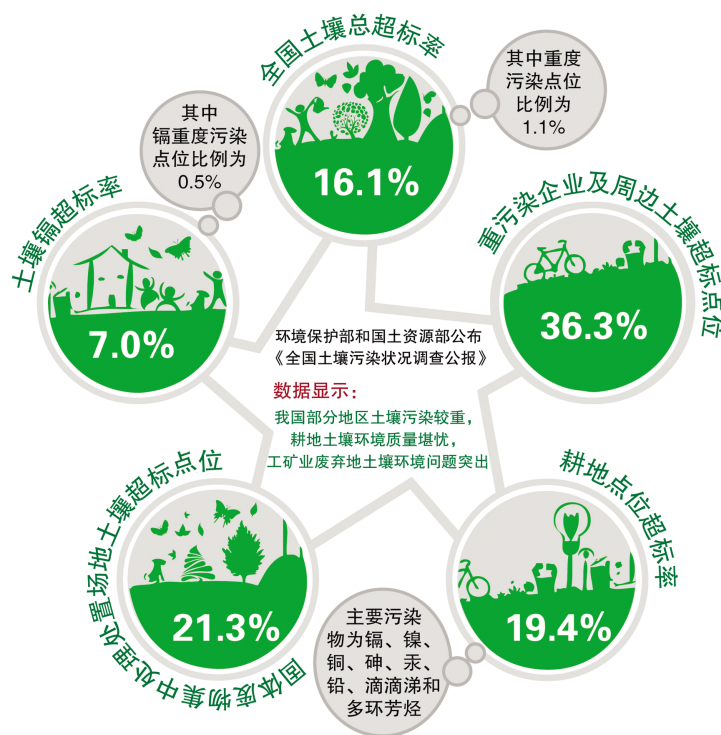


图1 从数字看我国土壤污染现状(新华社记者 秦迎 编制)

Figure 1 Digital reading of soil pollution status in China (Compiled by Qinying, reporter of Xinhua News Agency)

从20世纪中叶日本发生因为长期食用镉超标稻米而导致痛痛病的事件之后,很多国家先后对土壤镉含量制定了标准。目前,在全球所有的土壤标准中,镉的标准值有400个,最低的是2005年拉脱维亚制定的 $0.08 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,最高值为美国俄亥俄州环保局规定的 $83\,000 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,相差6个数量级(百万倍),这些标准值的90%都在 $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 以内^[2]。

对于农田,各个国家的标准也很不一致,我国农地镉标准为镉总量 $0.3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ($\text{pH} > 7.5$ 为 $0.6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$),而我国台湾制定的镉标准高达 $5.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,相差15.7倍^[3],英国2002年制定的标准为 $2.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 也是我国标准的6.7倍。除了丹麦和芬兰由于实施总量控制法管理土壤重金属,所定的标准也是 $0.3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之外,其他所有国家的耕地镉含量均高于我国,如捷克为 $0.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,加拿大为 $0.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,瑞士和荷兰为 $0.8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,爱尔兰为 $1.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,东欧(俄罗斯、乌克兰、摩尔多维亚和白俄罗斯)为 $2.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,德国沙土设定 $0.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,黏土设定 $1.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ^[4]。大多数国家以土壤镉全量为标准设定依据,韩国例外,以 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 盐酸提取态镉设置管制标准 $1.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、整治标准 $4.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ^[5],而日本考虑镉在土壤-水稻之间关系的复杂性,不设定土壤的镉

标准,而设定糙米镉含量 $1.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 为标准^[6]。不论以何种形式设定标准,我国和丹麦、芬兰的耕地镉标准是最低的,因此我国耕地土壤的镉超标率高达7.0%,其实是与我国实行最低的标准有关,以其他国家的土壤镉标准来计算,则我国耕地土壤的镉超标率会显著降低。

2 从空间角度解读《公报》的镉点位超标率

1990年《中华人民共和国土壤环境背景值图集》公布的全国范围内调查的4095个分析样点,其镉算术平均值为 $0.097 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,几何平均值为 $0.074 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,中位数为 $0.079 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,95%置信限为 $0.017 \sim 0.333 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ^[7],而在美国1986年发表的36个州偏远地区的作物生产区农业土壤(刻意避开污染)的3305个点的镉中位数为 $0.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,算术平均值为 $0.27 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,95%置信限为 $0.005 \sim 2.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ^[8]。可以看出同在这个时期,美国作物生产区的土壤镉的含量比我国要高得多,平均值接近我国土壤镉环境质量标准 $0.3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

很多国家都对土壤进行了详细调查,如英国以 $5 \text{ km} \times 5 \text{ km}$ 尺度调查全英土壤5692个点,镉的平均值高达 $0.7 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ^[9],荷兰调查708个点镉平均值为

$0.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 中位数为 $0.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ^[10], 瑞典调查 5138 个点, 镉平均值为 $0.24 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 中位数为 $0.19 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (2010 年数据), 日本稻田土壤的镉平均值为 $0.45 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ^[11], 可以看出这些国家的土壤镉含量都相当高, 如果用我国的土壤镉标准来评价以上国家的土壤镉含量, 则这些国家的土壤都已经超标。从空间角度来看, 以上这些发达国家“土壤污染”相当严重, 而相比之下我国的 7% 的点位超标率 (其中轻微 5.2%, 轻度 0.8%, 中度 0.5%, 重度 0.5%) 并不严重。

3 从时间角度解读《公报》的镉点位超标率

从时间角度来看, 我国与发达国家土壤污染存在着时间跨度的差异: 发达国家的“土壤污染”发生在两百多年来的工业革命进程中, 限于当初科学水平没有进行检测, 而我国则发生在近 30 多年改革开放过程中。我国土壤镉含量从 1990 年算术平均值 $0.097 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 上升到 2014 年的点位超标 ($0.3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) 7%, 表明有大量的镉进入土壤。

有研究表明, 我国年排放到大气中的镉高达 2186 t ^[12], 燃煤排放镉强度最高可大于 $0.20 \text{ kg} \cdot \text{km}^{-2}$ ^[13]。估算每年进入农田的镉高达 1417 t , 其中来自于大气沉降的镉高达 493 t , 占总量的 35%; 家畜粪便 778 t , 占总量的 55%^[14]; 很多人误以为化肥是镉的主要污染源, 但来自化肥的镉为 113 t , 占总量的 8%, 其中来自复合肥 6%, 磷肥 2%; 由于灌水进入农田的镉为 30 t , 占总量的 2%。在进入农田的总量为 1417 t 的镉中, 每年通过各种途径带走的镉为 178 t , 也就是每年只有 13% 的镉被输出, 而 87% 滞留在农田中。以耕层 20 cm 、土壤容重为 $1.15 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 进行计算, 则土壤镉含量年增 $0.004 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 按照这个速度, 从 1990 年的土壤背景值起算, 50 年内所有耕地土壤都将超过目前的标准 ($0.3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)^[14]。

以上数据不仅表明了土壤污染源, 而且也表明在这数十年中有大量的镉进入土壤, 造成《公报》中耕地重金属污染点位超标率达 19.4%, 而镉的点位超标率为 7.0%。

4 从镉的特性角度解读《公报》的镉点位超标率

镉在元素地球化学中是一种分散元素, 难以独立成矿。镉同铜、锌、汞、铅一样属于亲硫元素, 因此镉容易与这些元素的硫化物通过同晶替代存在于这些矿产中, 镉与钙的离子半径相近, 因此在方解石和羟基磷灰石等矿物中镉可替代钙, 因此磷矿含镉量较高。

此外镉的沸点为 767°C , 金属冶炼、燃煤发电、露天垃圾焚烧乃至吸烟都可以将镉排放到大气中。数十年来, 我国作为世界工厂, 金属冶炼的地区广泛、数量庞大, 煤为主要能源, 加之污染防控的法律和措施执行不力, 也就不难理解为什么镉在整个土壤污染的超标率变得突出了。

5 从粮食超标率看我国土壤重金属问题的核心

上述表明, 我国土壤的镉含量和其他发达国家相比并不很高。但为什么我国的粮食镉超标率在近些年变得很突出, 以至于 2013 年“镉大米”新闻频出, 而其他国家包括日本、韩国等以水稻为主要作物的国家的大米相对较为安全? 这与我们在数十年来施肥结构发生变化有很大的关系。数十年来我国化肥特别是氮肥施用量不断攀升, 很多学者指出, 化肥施用量超过了世界 $225 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的警戒线近 1 倍, 其后果是造成了土壤的酸化, 加上以燃煤为主要能源导致的酸雨, 使我国土壤酸化加剧。有研究表明, 我国土壤在 1980 年到 2010 年整体 pH 值下降 $0.13 \sim 0.81$ 个单位^[15], 这就意味着土壤酸度最高增加了 6 倍多, 如果是自然界慢慢变化, 到这个酸化程度需要好几万年的时间。在长三角有些土壤 20 年间土壤酸度增加了 10 倍, 而在珠三角, 30 年间耕地土壤 pH 值从 5.7 下降到 5.4^[16]。

土壤本身对污染物具有缓冲性, 土壤胶体对重金属具有很强的吸附能力。通常进入土壤中的重金属迅速被土壤胶体固定而“老化”, 从而降低其对植物的有效性。但在酸性环境中, 镉很难被“老化”。有研究者开展了 818 d 的试验, 证明除非土壤 $\text{pH} > 6.5$, 否则外源 (污染的) 镉的有效性降低不到 20%^[17]。因此可以看出我国土壤的重金属问题不在于重金属含量本身, 而在于污染速度快, 且土壤被酸化, 导致进入土壤的重金属对作物的有效性很高。

欧美、日本等国家及我国台湾地区的大量试验表明, 当土壤的酸碱度处于 $4.5 \sim 5.5$ 区间时, 最容易产生镉大米^[18-21]。本文作者的很多试验结果也证实了这一结论, 如在 pH 为 5.33, 土壤全镉量为 $0.22 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 品种筛选试验中的 33 个品种的大米镉含量均超过我国规定的食品卫生标准 ($0.20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), 也就是在酸性条件下, 镉不超标的土壤一样产生镉大米。

6 结语

综上所述, 我国土壤重金属污染问题不在于土壤镉总量, 而在于数十年来大量镉快速进入土壤, 且因

土壤酸化导致的外源镉植物有效性很高,因而很有必要客观看待土壤污染,高度重视粮食安全。认识到这一问题有助于我国对土壤重金属污染修复的方法选择,也期待目前在向全社会征求意见的《土壤污染防治法》能在污染源削减问题上得到加强,整个土壤污染防治,不仅需要注意土壤重金属量的减少或者固定,更应该重视土壤环境质量的概念,以土壤健康为目标,构建土壤污染的防治体系。

致谢:

成稿前,中国科学院南京土壤研究所陈怀满研究员对本文进行了修改、提出了宝贵的意见,特此感谢!

参考文献:

- [1] 全国土壤污染状况调查公报[EB/OL]. (2014-04-17). http://www.zhb.gov.cn/gkml/hbb/qt/201404/t20140417_270670.htm.
Report on the national general survey of soil contamination [EB/OL]. (2014-04-17). http://www.zhb.gov.cn/gkml/hbb/qt/201404/t20140417_270670.htm.
- [2] Jennings A A. Analysis of worldwide regulatory guidance values for the most commonly regulated elemental surface soil contamination[J]. *Journal of Environmental Management*, 2013,118:72-95.
- [3] 土壤污染管制标准[EB/OL]. [2017-09-07]. <http://www.doc88.com/p-400982559064.html>.
Soil pollution control standards[EB/OL]. [2017-09-07]. <http://www.doc88.com/p-400982559064.html>.
- [4] De Vries W, Bakker D J. Manual for calculating critical loads of heavy metals for terrestrial ecosystem: Guidelines for critical limits, calculation methods and input data[M]. Den Helder: TNO Institute of Environmental Sciences, Energy Research and Process Innovation, 1998:144.
- [5] Yong S O, Jung E L, Deok H M. Stabilization of Pb and Cd contaminated soils and soil quality improvements using waste oyster shells[J]. *Environmental Geochemistry and Health*, 2011,33:83-91.
- [6] Watanabe T, Koizumi A, Fujita H, et al. Role of rice in dietary cadmium intake of farming population with no known man-made pollution in Japan Tohoku[J]. *J exp Med*, 1984, 144(1): 83-90.
- [7] 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: 98-100.
China Environmental Monitoring Center. Background values of soil elements in China[M]. Beijing: China Environmental Science Press, 1990: 98-100.
- [8] Page A L, Chang A C, El-Amamy M. Chapter 10 cadmium levels in soils and crops in the United States[C]// Hutchinson T C, Meema K M. Lead, mercury, cadmium and arsenic in the environment. 1987:119-156.
- [9] McGrath S P, Loveland P J. The soil geochemical atlas of England and Wales[M]. Glasgow: Blackie Academic and Professional, 1992.
- [10] Wiersma W, van Goor B J, van der Veen N G. Cadmium, lead, mercury and arsenic concentrations in crops and corresponding soils in the Netherlands[J]. *J Agric Food Chem*, 1986, 34:1067-1074.
- [11] Iimura K. Background contents of heavy metals in Japanese soils[M]// Kitagawa K, Yamane I. Heavy metal pollution in soils of Japan. Tokyo: Japan Scientific Societies Press, 1981:19-26.
- [12] Shao X, Cheng H G, Li Q, et al. Anthropogenic atmospheric emissions of cadmium in China[J]. *Atmospheric Environment*, 2013, 79:155-160.
- [13] Tian H Z, Cheng K, Wang Y, et al. Temporal and spatial variation characteristics of atmospheric emissions of Cd, Cr, and Pb from coal in China[J]. *Atmospheric Environment*, 2012, 50:157-163.
- [14] Luo L, Ma Y B, Zhang S Z, et al. An inventory of trace element inputs to agricultural soils in China [J]. *Journal of Environmental Management*, 2009, 90(8): 2524-2530.
- [15] Guo J H, Liu X J, Han W X. Significant acidification in major Chinese croplands[J]. *Science*, 2010, 327(5968):1008-1010.
- [16] 郭治兴, 王 静, 柴 敏, 等. 近 30 年来广东省土壤 pH 值的时空变化[J]. 应用生态学报, 2011, 22(2): 425-430.
GUO Zhi-xing, WANG Jing, CHAI Min, et al. Spatiotemporal variation of soil pH in Guangdong Province of China in past 30 years[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2011,22(2): 425-430.
- [17] Tye A M, Young S D, Crout N M J, et al. Predicting the activity of Cd²⁺ and Zn²⁺ in soil pore water from the radio-labile metal fraction[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2003, 67: 375-385.
- [18] Page A L, Bingham F T, Chang A C. Cadmium[M]//Lepp N W. Effect of heavy metal pollution on plants. London: Applied Science Publishers, 1981, 1:72-109.
- [19] Jackson A P, Alloway B J. Transfer of cadmium from soils to the human food chain[C]//Adriano D C. Biogeochemistry of trace metals. Botan Rouge: Lewis Publisher, 1992: 109-158.
- [20] Kitagishi K, Yamane I. Heavy metal pollution in soils of Japan[M]. Tokyo: Japan Sci Soc Press, 1981.
- [21] Bingham F T, Page A L, Strong J E. Yield and cadmium content of rice grain in relation to addition rates of cadmium, copper, nickel, and zinc with sewage sludge and liming[J]. *Soil Sci*, 1980, 130(1):32-38.