

Different Classification Standards of High Background Values of Farmland Soil Quality Evaluation of Heavy Metals Analysis of the Differences—In Youxi County

Li He

Fujian Monitoring Center of Geological Environment, Fuzhou
Email: 316411457@qq.com

Received: Jun. 4th, 2014; revised: Jul. 1st, 2014; accepted: Jul. 8th, 2014

Copyright © 2014 by author 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

Abstract

This paper selected the existing soil environmental quality standard GB, soil nutrient classification standard, environmental background value and limit of four human health risk assessment standards of our country to evaluate farmland soil quality, and comparatively evaluated the heavy metal pollution's situation of farmland soil by synthesizing index evaluation method. The results showed that due to soil environmental quality standards of the state, soil nutrient grading standard is low, leading to bad evaluation results of regional overall assessment, and the right evaluation of ecological quality of the local farmland soil cannot be given. Evaluating with the standard of the provincial level upper limit of regional environmental background values, there were still 7 kinds of heavy metal exceeding; the variable coefficient of copper, zinc, cadmium, lead, mercury was 131%, 137%, 111%, 237% and 103% respectively, which was large among others. Based on the research results, adopting the human health risk assessment method, it was found that the basic farmland soil was slightly polluted in Youxi County; the average total health risk index was 0.583, reaching chronic reference dose.

Keywords

Basic Farmland, Soil, Heavy Metals, Evaluation

不同分级标准对高背景值农田土壤重金属质量评价的差异性分析——以尤溪县为例

何 莉

福建省地质环境监测中心, 福州

Email: 316411457@qq.com

收稿日期: 2014年6月4日; 修回日期: 2014年7月1日; 录用日期: 2014年7月8日

摘 要

本文选用当前我国现行的土壤环境质量标准、土壤养分分级标准、环境背景值和人体健康风险评价限制四种标准值对矿区农田土壤质量进行评价, 同时综合指数评价法对比评价农田土壤重金属污染现状。结果表明: 由于国家土壤环境质量标准、土壤养分分级标准值较低, 导致区域整体评价结果较差, 均无法给予当地农田土壤生态质量正确的评估。以省级区域环境背景值上限值为标准进行评价, 7种重金属仍有超标, 其中铜、锌、镉、铅、汞变异系数较大, 分别为131%、137%、111%、237%和103%。基于现场调研结果, 采用人体健康风险评价法, 整体上尤溪县的基本农田土壤受到了轻度污染, 健康总风险指数平均值为0.583, 达到慢性参考剂量。

关键词

基本农田, 土壤, 重金属, 评价

1. 引言

尤溪县位于福建省中部, 素有“闽中明珠”之称, 是全国南方重点林业县、国家重要的商品粮基地, 并且矿藏资源丰富。尤溪县仍处于工业化前期的准备阶段。三大产业结构比重为 42.55:25.15:32.3。支柱产业为采矿业、林产品加工业、纺织业等。随着人口增长, 工农业发展及城镇化建设, 大量的生活垃圾和工业“三废”排放, 长期大量开采、冶炼矿产资源、污水灌溉及滥用化肥农药等导致基本农田土壤受到重金属污染[1]。

重金属在土壤中积累和作物体内残留, 并通过食物链的作用进入人体, 使人体产生慢性中毒, 即有长期性、隐蔽性、滞后性的特点。农田土壤重金属污染尤为关键, 严重影响到粮食产品安全[2], 本文选取尤溪矿区地区基本农田土壤重金属为研究对象有其重要的生态意义, 正确的评估重金属污染情况, 为政府部门综合治理农村环境污染、保护基本农田对保障国家粮食安全、维护社会稳定、促进经济社会全面、协调、可持续发展具有十分重要的意义。

2. 采样与处理方法

2.1. 取样地点布设

尤溪县有基本农田 34.65 万亩、耕地 42.3 万亩。根据工业布局、三废排放状况、灌溉水类型及基本农田保护区大小, 以均匀性原则布点, 共布设 150 个采样地点。本研究选取尤溪县为典型研究区域, 主要包括尤溪城关, 梅仙镇, 西滨镇, 联合乡, 溪尾乡, 汤川乡, 中仙乡, 台溪乡, 坂面镇, 新阳镇, 管

前镇，西城镇。其中梅仙镇西南部为铅锌矿集中区域，而西滨镇北部则为选矿区。为了研究整个矿区的重金属分布情况，以及对居民区的潜在的重金属健康影响程度，在以上区域的各个村庄布设采样点(见图1所示)。选样过程中为了避免汽车尾气等因素影响，在村庄的远离交通区域进行。不同镇的采样区域尽量选择相同地质类型，避免成土母质不同而产生差异。以每个采样地点为中心，每采样点按梅花形布点采集土壤样品。采样为表层 0~20 cm 的耕层土，按四分法混匀为一个样品。

2.2. 样品处理分析

土样室内风干，研细过 20 目尼龙网筛，用于土壤常规理化分析。进行土壤重金属分析的样品，需进一步以玛瑙研钵碾磨过 100 目筛(可留大约 100 克)，储存于磨口玻璃瓶中备用[3]。

微波消解步骤：称取样品 0.2000 g 于聚四氟乙烯消解罐内，加入 4 mL 王水和 3 mL 高氯酸，盖上内帽并压紧，装好高压防爆膜，依次拧紧过压阀、外盖，放入微波消解系统转盘上[4]。设置消解程序，进行样品消解，5 min 程序升温至 150℃，后恒温 3 min，升温至 200℃，恒温 15 min 后冷却至室温，超纯水定容至 50 mL。Cu、Pb、Zn、Cd 均采用火焰原子吸收法测定，Hg 采用冷原子荧光法，土壤 pH 采用玻璃电极法。

3. 评价方法及评价标准

3.1. 评价方法

单因子指数法是国内通用的一种重金属污染评价的方法[5]，是国内评价土壤、水、大气和河流沉积物重金属污染的常用方法：

$$P_i = C_i / S \quad (1)$$

式中， P_i 为污染物单因子指数； C_i 为实测浓度，mg/kg； S 为土壤环境质量标准 mg/kg。 $P_i < 1$ 则表明未受污染， $P_i > 1$ 则表示已经受到污染， P_i 数值越大，说明受到的污染越严重。单因子指数法可以判断出环境中的主要污染因子，但环境是一个复杂的体系，环境污染往往是由多个污染因子复合污染导致的，因此这种方法仅适用于单一因子污染特定区域的评价；单因子指数法和其他环境质量指数、环境质量分级和综合评价的基础[6]。

综合指数法是一种通过单因子污染指数得出综合污染指数的方法，能够较全面地评判重金属的污染程度。内梅罗指数法是人们在评价土壤重金属污染时运用最为广泛的综合指数法：

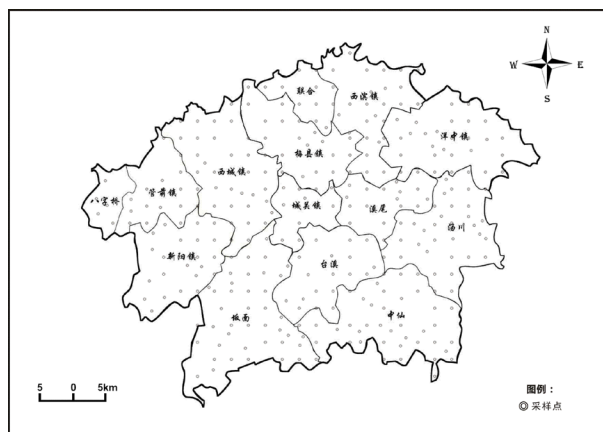


Figure 1. Youxi mine sampling points distribution of basic farmland

图 1. 尤溪矿区基本农田采样点分布图

$$P_{\square} = \sqrt{\left[(C_i/S_i)_{\max}^2 + (C_i/S_i)_{\text{ave}}^2 \right]} / 2 \quad (2)$$

$(C_i/S_i)_{\max}$ 为土壤污染中污染指数最大值,

$(C_i/S_i)_{\text{ave}}$ 为土壤污染中污染指数的平均值。

人体健康风险评价方法是[7]定量描述污染对人体健康产生危害的重要方法。土壤中重金属主要通过以下两个途径进入体内:第一,通过口和呼吸直接摄入空气中污染的土壤飞尘。第二,通过人体皮肤直接接触污染的土壤而摄入土壤中的重金属[8]。在风险评价过程中,暴露因子和其他相关参数的确定是推算健康风险的关键,其中土壤表层化学物质浓度、暴露频率、暴露年限、土壤摄入量、体重、平均作用时间、皮肤接触面积、皮肤吸附系数和皮肤接触面积等构成了计算过程中的主导参数。目前这些参数的确定大都沿用欧洲与美国的标准[9]。本研究除了参照美国标准外,还根据国情与研究区域特征进行了补充和修正,其中暴露频率根据我国国情修正为 $350 \text{ d}\cdot\text{a}^{-1}$ [10]。健康风险值将通过平均到整个暴露作用期的日摄入量处于每一途径的慢性参考剂量来计算,公式如下:

$$\text{RISK} = D_i / \text{RFD} \quad (3)$$

式中, RISK——健康风险指数,当 $\text{RISK} < 1$ 时,可认为风险较小;当 $\text{RISK} > 1$ 时,可认为一般存在风险。 D_i ——平均到整个暴露作用期的日摄入量, $\text{mg}\cdot(\text{kg}\cdot\text{d})^{-1}$; RFD——参考剂量, $\text{mg}\cdot(\text{kg}\cdot\text{d})^{-1}$; 每个化学物质总的健康风险等于通过各种途径健康风险值的总和。对于单污染物的健康风险值将通过各种摄入途径引起的健康风险值叠加来计算得到。

3.2. 评价标准

本文选取的第一种评价标准为国家土壤环境质量标准(GB15618-1995)的二级标准(见表1、表2)[11],本标准按土壤应用功能、保护目标和土壤主要性质,规定了土壤中污染物的最高允许浓度指标值及相应的监测方法。本标准适用于农田、蔬菜地、茶园、果园、牧场、林地、自然保护区等地的土壤。第二种评价标准为绿色食品产地环境质量评价纲要标准(NY/T391-2000)(见表3)[8],本标准规定了绿色食品产地的环境空气质量、农田灌溉水质、渔业水质、畜禽养殖水质和土壤环境质量的各项指标及浓度限值,监测和评价方法。适用于绿色食品AA级和A级农场的农田、蔬菜地、果园、茶园、饲养场、放牧场和水产养殖场。本标准还提出了绿色食品产地土壤肥力分级,供评价和改进土壤肥力状况时参考[12]。第三种评价标准为福建省土壤背景值[10]。第四种评价标准为人体健康风险评价参考剂量(见表4)[13]。

Table 1. Soil environmental quality standard value
表1. 土壤环境质量标准值

| 项目 | 二级标准 | | |
|----|-------|---------|-------|
| pH | <6.5 | 6.5~7.5 | >7.5 |
| Cu | ≤50 | ≤100 | ≤100 |
| As | ≤40 | ≤30 | ≤25 |
| Pb | ≤250 | ≤300 | ≤350 |
| Zn | ≤200 | ≤250 | ≤300 |
| Cr | ≤150 | ≤200 | ≤250 |
| Cd | ≤0.30 | ≤0.60 | ≤0.60 |
| Hg | ≤0.30 | ≤0.50 | ≤1.0 |

Table 2. Soil pollution grading standards

表 2. 土壤污染分级标准

| 等级划定 | 综合污染指数 | 污染等级 | 污染水平 |
|------|------------------------|------|---------------------------|
| 1 | $P_{综} \leq 0.7$ | 安全 | 清洁 |
| 2 | $0.7 < P_{综} \leq 1.0$ | 警戒线 | 尚清洁 |
| 3 | $1 < P_{综} \leq 2.0$ | 轻污染 | 土壤污染物超过背景值, 视为轻污染, 作物开始污染 |
| 4 | $2 < P_{综} \leq 3.0$ | 中污染 | 土壤、作物均受到中度污染 |
| 5 | $P_{综} > 3$ | 重污染 | 土壤、作物受污染已相当严重 |

Table 3. The pollutant content of the soil limits

表 3. 土壤各项污染物的含量限值

| 项目 | 标准值(旱地) | | |
|----|---------|---------|------|
| | <6.5 | 6.5~7.5 | >7.5 |
| pH | <6.5 | 6.5~7.5 | >7.5 |
| Cd | 0.30 | 0.30 | 0.40 |
| Hg | 0.25 | 0.30 | 0.35 |
| As | 25 | 20 | 20 |
| Pb | 50 | 50 | 50 |
| Cr | 120 | 120 | 120 |
| Cu | 50 | 60 | 60 |

Table 4. Human health risk assessment reference dose

表 4. 人体健康风险评价参考剂量

| 重金属 | RFD | RFD 皮肤 |
|-----|--------|--------|
| As | 0.003 | 0.003 |
| Cd | 0.001 | 0.001 |
| Zn | 0.3 | 0.3 |
| Hg | 0.0001 | 0.0001 |
| Cr | 0.005 | 0.005 |
| Cu | 0.038 | 0.038 |
| Pb | 0.004 | 0.004 |

评价指标分类:

第一类: 严控环境指标: 汞、铅、砷、镉、铬和铜, 如有一项超标, 就该视为该产地环境治理不符合要求, 不适宜发展绿色食品。

第二类: 一般控制环境指标: 其他重金属、有机物, 如有一项或一项以上超标, 则该基地不适宜发展 AA 级绿色食品, 但可从实际出发, 根据超标物的性质、程度等具体情况及综合污染指数全面衡量, 然后确定是否符合发展 A 及绿色食品要求。

4. 结果与讨论

在自然环境影响下, 土壤中的重金属的来源主要是成土母质、大气沉降以及生物物质的残留。但本

次调查中，所采集的土壤样品所在区域均为人为活动剧烈的区域，人类矿业活动及对土地耕作成为土地重金属元素的外源性来源，导致重金属元素在地理空间分布上产生差异性。在本次调查中，尤溪县的铬、铜、铅、锌、汞、镉、砷的含量变幅较大，分别为 5.733~193.627、3.511~307.500、17.594~5100.592、92.740~3069.712、0.0107~1.236、0.609~91.085、0.985~31.95 mg·kg⁻¹，其中铜、锌、镉、铅、汞变异系数较大，分别为 131%、137%、111%、237%和 103%，表明当地土壤重金属含量外源性较大(表 5)。

研究表明：农田土壤基本呈中偏酸性，pH 值范围为 4.09~7.12，基本处于酸性土壤范围(见图 2)。首先，采用国家绿色土壤养分分级标准和国家二级土壤质量标准均远小于土壤实际测量均值，导致区域整体评价结果较差，基本处于综合评价指标 P 综 > 2.56，重度污染的范围，土壤样品测定值超标范围较广，均无法给予当地农田土壤生态质量正确的评估。同时，以省级区域环境背景值上限值为标准进行评价，7 种重金属仍均处于大面积超标范围，其中铜、锌、镉、铅、汞变异系数较大，分别为 131%、137%、111%、237%和 103%，与的矿山及工业污染源较多有关。

采用人体健康风险评价法，基于现场调研结果，整体上尤溪县的基本农田土壤受到了轻度污染，健康总风险指数最小值仅为 0.03，平均值为 0.6，仅有个别地区为 2.4，达到慢性参考剂量。铬、铜、汞、锌、镉、砷的日摄入量不会对居民健康构成威胁，分别为：0.029、0.00163、0.00156、0.0022、0.023、

Table 5. Heavy metals in soil as well as relevant background statistics compare Youxi
表 5. 尤溪县土壤重金属统计以及相关背景比较

| 元素 | 矿区影响区域土壤重金属含量 | | | | 福建土壤背景值(mg/kg)[11] [14] | 中国土壤平均值(mg/kg) |
|----|-----------------|---------|---------|---------|-------------------------|----------------|
| | 范围(mg/kg) | 均值 | 标准偏差 | 变异系数 | | |
| Cr | 5.733~193.627 | 80.440 | 41.988 | 74.32% | 20.5 | 65 |
| As | 0.985~31.95 | 7.894 | 5.793 | 73.40% | 2.5 | 10 |
| Cu | 3.511~307.500 | 34.381 | 45.008 | 130.91% | 10.4 | 24 |
| Zn | 92.740~3069.712 | 369.588 | 505.259 | 136.71% | 82.7 | 68 |
| Cd | 0.609~91.085 | 12.786 | 14.136 | 110.56% | 0.05 | 0.09 |
| Pb | 17.594~5100.592 | 368.531 | 873.627 | 237.06% | 34.9 | 23 |
| Hg | 0.0107~1.236 | 0.124 | 0.128 | 102.61% | 0.03 | 0.04 |

*样品数 n = 150。

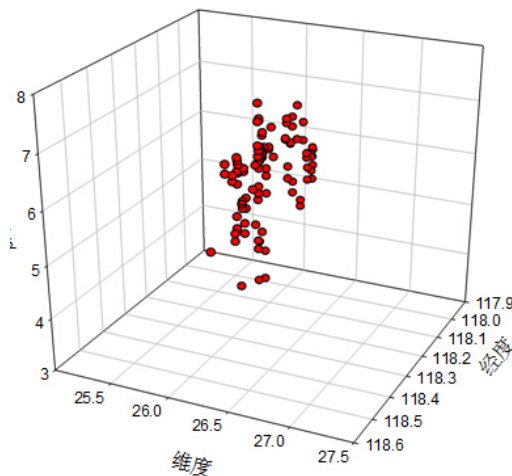


Figure 2. pH value of 3D maps
图 2. pH 值 3D 分布图

0.0047, 远远小于 1, 可认为这 6 种土壤元素不会对当地居民的健康造成风险。而铅的整体平均值为 0.529, 日摄入量风险值相对较大, 在地理空间分布上西部地区的健康风险高于东部地区, 最大风险值出现在西滨镇北部选矿区。其他区域大部分区域风险值均不到 0.3, 健康风险状况较好。梅仙镇附近的健康风险值已经超出 1, 说明该地区外源铅来源较多, 人为扰动较大。

铅锌矿作为尤溪县主要的矿产资源产品, 土壤中重金属元素锌和铅具有明显的相关性[13]。而尤溪县整体健康风险空间分布呈现的富集特征: 在梅仙镇东南矿区以及西滨镇东北选矿区, 锌和铅的健康风险均出现极大值; 而其他区域土壤中重金属健康风险保持在一个轻度污染或无污染范围。尤溪县铅锌矿开采历史悠久, 而发生粮食食品安全或是人体健康危害事件并不常见, 因此采用国家土壤标准、绿色土壤限制标准和区域背景值标准均未能真实反映该高风险区域的土壤环境质量, 而采用人体健康风险评估法却能够更好的反映该区域的生态环境质量情况。

5. 结语

采用国家土壤标准、绿色土壤限制标准、虽然便于在实际测量值中的对比, 但其无法真实的反映土壤受到外源性污染的严重程度, 而区域土壤背景值, 虽然能够更为真实的接近土壤受到外源性污染的程度, 但也无法较为充分体现出生态环境损害程度。在本文中对比的结果表明, 以上三种方法均无法真实反映出高风险背景值下的农田土壤环境质量, 而环境健康风险评估方法, 能够较好的适用于该类区域。

基金项目

本文受国土资源部公益性行业科研专项(201111020-2)资助。

参考文献 (References)

- [1] 李润林, 姚艳敏, 唐鹏钦 (2011) 农产品产地土壤环境质量评价研究进展. *中国农学通报*, **6**, 296-300.
- [2] 陈迪云, 谢文彪, 宋刚, 罗定贵, 张鸿郭, 杨军华 (2010) 福建沿海农田土壤重金属污染与潜在生态风险研究. *土壤通报*, **1**, 194-199.
- [3] 李海光, 施加春, 吴建军 (2013) 污染场地周边农田土壤重金属含量的空间变异特征及其污染源识别. *浙江大学学报: 农业与生命科学版*, **3**, 325-334.
- [4] 陈贺海, 荣德福, 付冉冉, 余清, 廖海平, 任春生, 鲍惠君 (2013) 微波消解-电感耦合等离子体质谱法测定铁矿石中 15 个稀土元素. *岩矿测试*, **5**, 702-708.
- [5] 邵日晶, 许洋 (2014) 辽宁省部分花生产区土壤重金属污染评价. *辽宁农业科学*, **1**, 42-44.
- [6] 孙波, 周生路, 赵其国 (2003) 基于空间变异分析的土壤重金属复合污染研究. *农业环境科学学报*, **2**, 248-251.
- [7] 陈鸿汉, 谌宏伟, 何江涛, 刘菲, 沈照理, 韩冰, 孙静 (2006) 污染场地健康风险评价的理论和方法. *地学前缘*, **1**, 216-223.
- [8] 中华人民共和国农业行业标准 (2000) 绿色食品产地环境质量标准.
- [9] USEPA, E. (1997) Exposure factors handbook. Office of Research and Development, Washington DC.
- [10] 陈振金, 陈春秀, 刘用清, 吴瑜端, 杨孙楷, 卢昌义 (1992) 福建省土壤环境背景值研究. *环境科学*, **4**, 70-75.
- [11] 中华人民共和国国家标准 (1995) 中华人民共和国国家标准土壤环境质量标准.
- [12] 黄国锋, 吴启堂 (2000) 绿色食品产地土壤环境质量现状评价标准的修正. *农业环境保护*, **2**, 123-125.
- [13] 陈奔, 邱海源, 郭彦妮, 汪立宜, 王宪 (2012) 尤溪铅锌矿集区重金属污染健康风险评估研究. *厦门大学学报: 自然科学版*, **2**, 245-251.
- [14] 刘用清 (1995) 福建省海岸带土壤环境背景值研究及其应用. *海洋环境科学*, **2**, 68-73.