

# 钢丝绳产业区重金属对土壤-农产品的复合污染及生态风险评价

张琪<sup>1</sup>, 沈志群<sup>1</sup>, 江峰琴<sup>2</sup>

(1. 南通市环境监测中心站, 江苏 南通 226006; 2. 江苏省环境监测中心, 江苏 南京 210036)

**摘要:** 选取钢丝绳行业比较发达的某乡镇为研究区域, 对其地区周边土壤及农产品的污染状况进行了野外调查和实验分析研究。结果表明: (1) 土壤中铅、锌的含量均有不同程度的污染。(2) 土壤中重金属含量与废水灌溉方式有关。(3) 废水灌溉的农产品均有不同程度的污染。(4) 重金属主要富集在农产品的根部, 果实中富集的量很少。

**关键词:** 钢丝绳行业; 重金属; 土壤; 农产品

中图分类号: X820.4

文献标识码: B

文章编号: 1674-6732(2013)-06-0045-04

## Combined Pollution and Ecological Evaluation of Heavy Metals from Wire Rope Industries Wastes to Soil-Plant System

ZHANG Qi<sup>1</sup>, SHEN Zhi-qun<sup>1</sup>, JIANG Feng-qin<sup>2</sup>

(1. Nantong Environmental Monitoring Central Station, Nantong, Jiangsu 226006, China; 2. Jiangsu Provincial Environmental Monitoring Center, Nanjing, Jiangsu 210036, China)

**ABSTRACT:** The present situation of heavy metals pollution of the soil and plant in town was investigated and evaluated. The results showed that: In this town, the content of heavy metals Pb and Zn had been polluted in different degrees. The concentrations of heavy metals in soil had relations with the irrigation pattern. All of the agricultural product of waste water irrigation had the pollution in different degrees. The heavy metals mainly enrich in the root of agricultural product, and few enrich in the fruit of agricultural product.

**KEY WORDS:** wire rope industries; heavy metal; soil; farm crops

江苏省南通市钢丝绳的年产量占全国总量的1/3, 是中国典型的钢丝绳产业区, 已有十余年的历史, 每天产生大量的含铅和锌的废水, 有可能在附近的小河和土壤中累积, 造成其有害物质在农作物中积累, 同时也可能通过农作物叶片上的气孔从空气中吸收气态或尘态的重金属元素造成农作物中重金属的富集。随着中国工农业生产的迅猛发展, 农田土壤和主要农产品重金属污染问题已引起普遍关注<sup>[1,2]</sup>。因此, 有必要对钢丝绳行业周围的土壤和主要的粮食作物中重金属特征进行研究, 评价钢丝绳产业区周围环境的安全性, 为被重金属污染土壤环境的评价和防治提供科学依据。

### 1 样品采集与分析

#### 1.1 土壤样品的采集

对钢丝绳产业区主要受污染的中心河两边的

土壤进行布点。采集淹水环境下水稻田、少用受污染河水灌溉的棉花地以及不用受污染河水灌溉的自家蔬菜地耕作层(0~15 cm)土壤。不同灌溉方式的土壤沿河边各布10个点, 每点按梅花形采集5个土样混合作为该点样品。

#### 1.2 植物样品的采集

在钢丝绳产业区选择有代表性地块, 在水稻、小麦和油菜的成熟时采集农产品, 同时, 在未受污染地区(钢丝绳产业区以北的开发区)采集相对应的农产品。每个点上用梅花5点采样, 采样半径25 m。采样时将根系连同整株一起挖出, 5点混合为1个样品。同时在采集地采集土壤样品。

收稿日期: 2012-08-03; 修订日期: 2013-10-04

基金项目: 江苏省环境监测科研基金资助项目(0806)。

作者简介: 张琪(1979—), 女, 工程师, 硕士, 从事重金属监测工作。

### 1.3 样品的处理和分析

土壤样品室内自然风干,用玛瑙研钵碾碎,过80目尼龙筛,装瓶备用。植物样品按根、茎叶、果实分离,去离子水洗净后,80℃烘干,粉碎。土壤中铅、锌的分析分别按照《土壤质量 铅、镉的测定 石墨炉原子吸收分光光度法》(GB/T 17141—1997)和《土壤质量 铜、锌的测定 火焰原子吸收分光光度法》(GB/T 17138—1997)。水稻各部位的铅、锌的分析分别按照《食品中铅的测定方法》(GB/T 5009.12—1996)和《食品中锌的测定方法》(GB/T 5009.14—1996)测定。土壤和植物样品用原子吸收光谱 PE-AA600 和 PE-AA100(美国 PE 公司)检测铅和锌元素的含量。

## 2 评价方法与评价标准

### 2.1 评价方法

环境质量评价采用指数法,指数法分单项污染指数法和综合污染指数法。

单项污染指数法:  $P_i = \rho_i/S_i$

式中:  $P_i$ ——土壤中污染物  $i$  的污染指数;  $\rho_i$ ——土壤中污染物  $i$  的实测浓度, mg/kg;  $S_i$ ——污染物  $i$  的评价标准, mg/kg。其中:  $P_i \leq 1$  表示土壤未受污染;  $P_i > 1$  表示土壤已受污染;  $P_i$  越大, 污染程度越重。

内梅罗综合污染指数法:

$$P = \{[\text{avr}(P_i)^2 + \max(P_i)^2]/2\}^{1/2}$$

式中:  $P$ ——综合污染指数;  $\max(P_i)$ ——土壤污染物中单项污染指数的最大值;  $\text{avr}(P_i)$ ——土壤污染物污染指数的平均值。

土壤环境质量等级见表1。

表1 土壤环境质量等级

等级划分	综合污染指数	污染等级	污染水平
1	$P \leq 0.7$	安全	清洁
2	$0.7 < P \leq 1.0$	警戒限	尚清洁
3	$1 < P \leq 2.0$	轻污染	土壤污染物超出标准,作物开始受污染
4	$2 < P \leq 3.0$	中污染	土壤、作物受中度污染
5	$P > 3$	重污染	土壤、作物受污染已相当严重

### 2.2 评价标准

#### 2.2.1 土壤评价标准

分别采用国家《土壤环境质量标准》(GB 15618—1995)二级标准、南通市土壤元素背景值的均值、《绿色食品 产地环境技术条件》(NY/T 391—2000)和《无公害食品 蔬菜产地环境条件》(NY 5010—2002)及《无公害食品 水稻产地环境条件》(NY 5116—2002)的标准,作为评价标准(表2),并作出比较,按综合污染指数划分等级。

表2 土壤的重金属评价标准 mg/kg

采用标准(pH>7.5)	Pb		Zn	
	旱田	水田	旱田	水田
背景值(1987年) <sup>[3]</sup>	21.6 ± 5.4		51 ± 20	
《土壤环境质量标准》(GB 15618—1995)(二级)	≤350		≤300	
《绿色食品 产地环境技术条件》(NY/T 391—2000)	≤50	≤50	—	—
《无公害食品 蔬菜产地环境条件》(NY 5010—2002)	≤350	—	—	—
《无公害食品 水稻产地环境条件》(NY 5116—2002)	—	≤350	—	—

注:土壤环境质量标准(GB 15618—1995)(二级)主要适用于一般农田、蔬菜地、茶园、果园、牧场等土壤,土壤质量基本上对植物和环境不造成危害和影响。

#### 2.2.2 农产品评价标准

分别采用中华人民共和国国家标准《食品中锌限量卫生标准》(GB 13106—1991)、《食品中污染物限量》(GB 2762—2005)和中华人民共和国农业行业标准《无公害食品 稻米》(NY 5115—2008),作为评价标准(表3)。

表3 粮食中的重金属评价标准 mg/kg

采用标准	Pb	Zn
《食品中锌限量卫生标准》(GB 13106—1991)	—	≤50
《食品中污染物限量》(GB 2762—2005)	≤0.2	—
《无公害食品 稻米》(NY 5115—2008)	≤0.2	—

## 3 结果与讨论

### 3.1 土壤重金属含量及污染评价

由于小河两岸的农田均引河水作为灌溉水,而水中含有的重金属因灌溉、径流等方式迁移到周围农田土壤中。目前,该乡镇地区的农民除水稻一直

沿用河水灌溉外,对自家食用的蔬菜已不再采用河水灌溉,而棉花只在生产前期用了少量的河水进行灌溉。由于灌溉方式的不同,对其耕作层土壤进行采集,分析其重金属含量,结果见表4。

表4 各耕作层(0~15 cm)土壤的重金属含量 mg/kg

	$\omega(\text{Pb})$	$\omega(\text{Zn})$
水稻田	431 ± 198	125 ± 29
棉花田	85 ± 35	100 ± 25
蔬菜地	69 ± 32	81 ± 18

从表4可知,水稻田、棉花田以及蔬菜地土壤中铅和锌的含量依次为:水稻田 > 棉花田 > 蔬菜地。根据表2中各土壤重金属评价标准,发现铅的含量分别超过20年前南通市平均土壤背景值的19.0, 2.9和2.2倍;锌的含量分别超过20年前南通市平均土壤背景值的1.5, 1.0和0.6倍,说明土壤受重金属污染。若以国家土壤环境质量二级标准来评价,各采样点土壤中锌均未超标;而土壤中铅只有水稻田超标,超过允许限值0.2倍。若以《绿色食品 产地环境技术条件》(NY/T 391—2000)来评价,不论何种灌溉方式,耕作层土壤都受到严重的铅污染,均不符合绿色农业的生产标准。若以无公害生产基地的指标来评价,蔬菜地还能进行无公害的蔬菜生产,而水稻田由于长期经受含铅废水的灌溉,已不符合无公害生产基地的指标。

土壤环境质量评价一般采用单项污染指数法和综合污染指数法。单项污染指数只能表明土壤中某一重金属的污染情况,而土壤是一个复杂的体系,只有综合污染指数才能较好地评判其重金属的污染程度。土壤元素背景值是指在不受或很少受现代工业与破坏的情况下,土壤原来固有的化学组成和特征,是反映区域土壤环境质量比较真实的统计数据,用区域土壤背景值评价能较真实地反映区域环境的污染情况。而土壤环境质量标准是依据全国的土壤环境质量实际情况制定的,在全国范围内有一定的可比性。以土壤元素背景值和国家土壤环境质量二级标准为评价标准,对钢丝绳产业区土壤环境质量进行单项污染指数和综合污染指数的评价,评价结果见表5。

表5 钢丝绳产业区附近农田土壤环境单项污染指数和综合污染指数

耕作层 (0~15 cm)	土壤元素背景值 标准评价			国家土壤环境质量 二级标准评价		
	$P_{\text{Pb}}$	$P_{\text{Zn}}$	$P_{\text{综}}$	$P_{\text{Pb}}$	$P_{\text{Zn}}$	$P_{\text{综}}$
水稻田	19.95	2.45	16.18	1.23	0.42	1.05
棉花田	3.94	1.96	3.48	0.24	0.33	0.31
蔬菜地	3.19	1.59	2.82	0.20	0.27	0.25

由表5可见,用土壤元素背景值评价各调查土壤的综合污染指数都超过1,除蔬菜地外,均为重度污染。用国家土壤环境质量二级标准评价,各调查土壤的综合污染指数,只有水稻田超过1,其他综合污染指数 ≤ 0.7,说明土壤未受污染。

### 3.2 农产品重金属含量及污染评价

钢丝绳产业区主要的农产品与其他未受污染地区的农产品中,其可用部分的元素铅和锌的含量见图2。

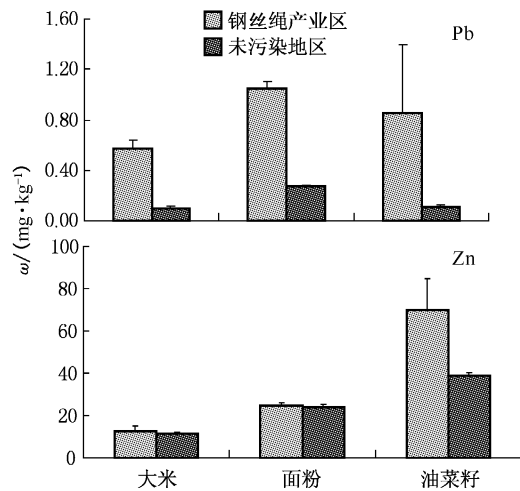


图2 钢丝绳产业区与未污染地区大米、面粉和油菜籽中重金属含量的比较

从图2可知,钢丝绳产业区中大米、面粉和油菜籽中元素铅含量明显高于未污染的地区,通过T检验,钢丝绳产业区的主要农产品与未污染地区具有极显著的差异。说明钢丝绳产业区农产品已受到一定的污染。而钢丝绳产业区中大米、面粉和油菜籽中元素锌含量稍高于未污染的地区,通过T检验,钢丝绳产业区与其他地区农产品中元素锌并没有显著差异,说明钢丝绳产业区农产品的主要超标元素为铅。

参照表3粮食中的重金属评价标准,对钢丝绳

产业区的水稻、小麦和油菜的食品安全进行评价,结果见表6。以《食品中锌限量卫生标准》(GB 13106—1991)、《食品中污染物限量》(GB 2762—2005)和《无公害食品 稻米》(NY 5115—2008)允许限值来评价农产品果实中铅和锌的含量,则各采样点农产品果实中铅的含量均超过允许限值,而锌的含量除油菜超标0.4倍外,水稻和小麦均未超标。说明钢丝绳产业区主要农作物重金属污染问题应为元素铅的污染。

表6 钢丝绳产业区周边农产品铅和锌的评价结果

评价标准	元素	超标倍数		
		大米	面粉	油菜籽
《食品中锌限量卫生标准》 (GB 13106—91)	Zn	0	0	0.4
《食品中污染物限量》 (GB 2762—2005)	Pb	1.8	10.2	6.7
《无公害食品 稻米》 (NY 5115—2008)	Pb	1.8	10.2	6.7

3.3 铅和锌元素在农产品各器官内的分布

农田重金属污染是由多种元素共存和作用造成的,元素之间的交互作用使复合污染的生态效应有别于单元素污染,对重金属在土壤-植物系统的迁移也会产生不同的影响<sup>[4]</sup>,植物能够有效吸收的重金属与土壤中重金属的形态密切相关<sup>[5,6]</sup>。小河沿岸的土壤均引河水为灌溉水,水中重金属在土壤中积累可能会被农产品吸收,污染农作物产品。同时由于大气污染,重金属进入大气后,叶片可以从空气中吸收气态或尘态的重金属元素,重金属也可以吸附在大气颗粒物上,并随着颗粒物的沉降附着在植物叶片上并进入叶片。分别采集钢丝绳产业区的主要农产品水稻、小麦和油菜,监测各器官重金属的含量,其重金属在各器官中的分布结果见表7。

表7 各农产品不同器官重金属含量 mg/kg

器官	水稻		小麦		油菜	
	Pb	Zn	Pb	Zn	Pb	Zn
根	14.7±5.3	3096±1988	11.4±4.5	119±36	39.6±5.4	354±76
茎	3.6±1.1	969±335	1.2±0.3	27±6.2	3.4±0.8	38±7.4
叶	27.5±7.5	2632±927	34.5±9.9	40±4.8	13.9±4.2	53±5.1
果实	3.1±0.8	45±12.1	6.1±1.9	36±6.5	0.8±0.2	70±3.6
土壤	333±42	154±23	274±30	136±17	238±25	127±16

注:此器官中的果实包含食用部分和糠、麸皮等。

从表7可见,重金属主要富集在农产品的根部,果实中富集的量很少,反映金属离子不易向地上部位转移的特点。不同器官中元素锌的含量高于元素铅的含量,说明锌比铅较易在水稻中富集。

4 结论

钢丝绳行业周围的土壤和主要的粮食作物中重金属污染状况及风险评价结果表明:

(1) 钢丝绳行业地区土壤中铅、锌的含量均有不同程度的污染。污染程度依次为:水稻田 > 棉花田 > 蔬菜地。

(2) 土壤中重金属含量与废水灌溉方式有关。不用或少用受污染河水灌溉的棉花田及蔬菜地的耕作层以下的土壤并没有受到污染,而水稻田50 cm以下的土壤已受到严重的污染。

(3) 废水灌溉的农产品均受不同程度的污染,其中主要超标元素是铅。

(4) 重金属主要富集在农产品的根部,果实中富集的量很少,反映金属离子不易向地上部位迁移的特点。

[参考文献]

[1] ZHOU Z Y, FAN Y P, WANG M J. Heavy metal contamination in vegetables and their control in China[J]. Food Rev Int, 2000,16(2):239-255.

[2] WANG Q, DONG Y, CUI Y, et al. Instances of soil and crop heavy metal contamination in China[J]. Soil and Sediment Contamination, 2001,10(5):497-510.

[3] 南通市土壤有机氯、重金属含量调查协作组. 南通市农业土壤环境背景值[M]. 1987:7-9.

[4] 王真辉,林位夫. 农田土壤重金属污染及其生物修复技术[J]. 海南科学学报:自然科学版,2002,20(4):386-393.

[5] 安森,周琪,李永秋. 城市污泥中重金属的形态分布和处理方法的研究[J]. 农业环境科学学报,2003,22(2):199-202.

[6] 李佑国,彦世波,潘剑君,等. 城市化进程中的南京市土壤重金属污染调查[J]. 四川师范大学学报:自然科学版,2004,27(1):93-96.

(栏目编辑 周立平)