

· 调查与评价 ·

宁连高速两侧土壤及小麦重金属污染特征研究

贺新星, 魏芳, 范健, 黄顺生, 吴新民, 汪媛媛
(江苏省地质调查研究院, 江苏 南京 210018)

摘要: 选择宁连高速沿线4个路段采集土壤和小麦样品, 研究Pb、Cd、Cr、Cu和Zn等5种重金属在高速两侧土壤及小麦中的分布特征、累积规律和影响因素。结果表明: 高速两侧距路肩0 m~350 m范围内, 土壤和小麦中5种重金属质量比均受到高速交通影响; 高速两侧农田内土壤和小麦综合质量影响指数IICQ均<1, 各路段农田土壤环境质量清洁; Pb同位素组成显示大气吸收是小麦中重金属累积的主要途径。交通污染是影响高速沿线土壤和农产品质量安全的主要因素。

关键词: 土壤; 小麦; 重金属; 高速公路; 交通污染

中图分类号: X825; X835

文献标志码: B

文章编号: 1006-2009(2020)05-0028-05

Research of Heavy Metals Pollution in Soils and Wheat on Both Sides of Lianyungang—Nanjing Expressway

HE Xin-xing, WEI Fang, FAN Jian, HUANG Shun-sheng, WU Xin-ming, WANG Yuan-yuan
(Geological Survey of Jiangsu Province, Nanjing, Jiangsu 210018, China)

Abstract: The distribution characteristics, accumulative laws and influence factors of 5 heavy metals (Pb, Cd, Cr, Zn and Cu) in soils and wheat from four typical sections of Lianyungang—Nanjing expressway were studied. The results showed that the mass ratio of these 5 heavy metals in the soils and wheat within 0 m~350 m to the road shoulder on both sides of the expressway were affected by the traffic. The influence index of comprehensive quality (IICQ) of the soils and wheat on both sides of the expressway were smaller than 1. The farmland soils environmental quality was clean at each section of the expressway. Pb isotopic composition reflected the accumulation of heavy metals in wheat was mainly by atmospheric absorption. It concluded that traffic pollution was the major factor affecting the safety of the soils and agricultural products along the expressway.

Key words: Soils; Wheat; Heavy metals; Expressway; Traffic pollution

随着我国高速公路建设的快速发展, 高速交通对沿线土壤及作物的重金属污染日益引起人们的重视。研究表明, 国内外主要高速沿线土壤及作物均在一定范围内受到不同程度的重金属污染^[1-6]。重金属污染范围广、持续时间长、污染物不易降解等特点, 不仅直接影响高速公路沿线土壤环境, 还会影响农产品安全质量, 进而危害人体健康^[7-9]。因此, 研究高速公路两侧土壤和作物中重金属空间分布特征、污染程度及迁移转化规律, 对控制高速交通污染和建设安全农产品基地具有重要意义。

宁连高速是江苏省内连接苏北和苏中的重要交通干线, 两侧分布有大量农田, 是全省重要的农业生产区。今选择该高速公路为研究对象, 对其两

侧土壤及小麦开展重金属污染调查研究。

1 材料与方法

1.1 布点与采样

选取宁连高速六合区竹镇段(E118°43'46", N32°30'24")、洪泽县三河段(E118°47'49", N33°09'01")、灌云县伊山段(E119°12'24", N34°21'47")及赣榆县班庄段(E118°59'59",

收稿日期: 2019-06-18; 修订日期: 2020-08-12

基金项目: 江苏省环保科研课题基金资助项目(2016021); 江苏省国土资源科技基金资助项目(KJXM2016039)

作者简介: 贺新星(1987—), 男, 湖北黄冈人, 工程师, 硕士, 主要从事地质矿产、生态地球化学调查与研究。

N34°48'29")为土壤和小麦采样路段,路段两侧分别布设 12 个平行于公路的取样断面,与高速路肩距离依次为 1 m、5 m、10 m、20 m、40 m、60 m、80 m、100 m、150 m、200 m、250 m、350 m。各路段附近无明显其他污染源,采样路段未见呈规模的防护林带建设。

取样断面处布设平行于高速公路的 5 个采样单元,每个采样单元内按梅花形布点采集 5 个子样,将 5 个采样单元的样品充分混合。土壤样品采样深度为 0 cm ~ 20 cm,小麦样品采样位置与土壤位置重合。在小麦成熟收割期采样。由于各路段两侧道路设施分布差异,以及农田内部分断面处无小麦种植,故土壤及小麦样品数量有差异。

1.2 样品分析与质量控制

(1) 土壤样品。样品经风干、研磨和过筛,用 HCl-HNO₃-HF-HClO₄ 加热分解,蒸干, HNO₃ 提取,在电感耦合等离子体质谱仪上测定 Cd、Cr、Cu、Pb、Zn,根据校准曲线计算其含量。按 8% 的比例插入国家一级标准物质 GSS-22、GSS-23、GSS-24、GSS-25 进行准确度控制。

(2) 小麦样品。样品自然晾干、脱粒,磨碎过筛,用微波消解仪消解处理,在电感耦合等离子体质谱仪上测定离子强度值,根据校准曲线计算其含量。每批次插入 2 个国家一级标准物质 GSB-2、GSB-24 进行准确度控制。

(3) Pb 同位素样品。土壤及道路灰尘样品经风干、研磨、过筛,小麦样品自然晾干、脱粒、磨碎过筛,具体测试分析方法参见文献[10]。

1.3 评价方法

利用综合质量影响指数(IICQ)评价环境质量状况。IICQ 由土壤综合质量影响指数(IICQ_s)和农产品综合质量影响指数(IICQ_{AP})组成,同时考虑土壤元素背景值、土壤元素标准和价态效应,以及农产品中目标元素含量和污染物限量等因素,各参数具体含义见文献[11-13]。

根据 IICQ 可将土壤环境质量分为 5 个等级: IICQ ≤ 1, 清洁(I); 1 < IICQ ≤ 2, 轻微污染(II); 2 < IICQ ≤ 3, 轻度污染(III); 3 < IICQ ≤ 5, 中度污染(IV); IICQ > 5, 重度污染(V)。当土壤或农产品之一超标时称为亚污染,其等级划分同样依据 IICQ 数值。

2 结果与讨论

2.1 宁连高速两侧土壤重金属污染特征

2.1.1 不同路段土壤中重金属质量比分布

表 1 为高速两侧土壤中重金属质量比。由表 1 可知,班庄段、三河段和竹镇段重金属质量比差异较小。伊山段西侧路基近乎平行于高速路面,东侧路基略低于路面,道路两侧无规模防护林带建设,高速交通产生的重金属颗粒更容易直接进入土壤,因而重金属质量比明显高于其他路段。

2.1.2 土壤重金属污染状况及分析

以土壤综合质量影响指数(IICQ_s)来表征宁连高速各路段中土壤环境质量,其中土壤重金属评价标准值参照《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准》(GB 15618—2018)中农用地土壤污染风险筛选值;土壤重金属背景值参照《江苏省 1:250 000 多目标区域地球化学调查报告》^[14],分别为 Cd 0.137 mg/kg、Cr 75.5 mg/kg、Cu 26 mg/kg、Pb 25.5 mg/kg、Zn 67 mg/kg。

表 2 为各路段土壤综合质量影响指数(IICQ_s)统计结果。由表 2 可知,宁连高速竹镇段、三河段和班庄段 IICQ_s 均 < 1,土壤未出现重金属超标污染;土壤 Y 值几乎均 ≥ 1,表明土壤重金属因受到外部交通因素影响而累积。伊山段西侧 1 m 处土壤 X 值为 4(仅 Pb 未超标),其 IICQ_s 为 11.43,土壤已达重度污染,污染因子为 Cd、Cr、Zn 和 Cu;其余各样点土壤 X 值为 0, IICQ_s 均 < 1,土壤 Y 值均为 5,表明该路段土壤重金属也受到了外部交通因素影响。

表 1 高速两侧土壤中重金属质量比

Table 1 Mass ratio of heavy metals in the soils on both sides of the expressway

路段	样品数 n/个	w(Pb)/(mg·kg ⁻¹)		w(Cd)/(mg·kg ⁻¹)		w(Cr)/(mg·kg ⁻¹)		w(Cu)/(mg·kg ⁻¹)		w(Zn)/(mg·kg ⁻¹)	
		范围	平均值	范围	平均值	范围	平均值	范围	平均值	范围	平均值
竹镇段	23	22.0~30.4	26.9	0.08~0.28	0.14	63.8~83.6	75.0	22.5~33.9	28.8	52.9~108	69.5
三河段	23	24.8~31.7	27.3	0.07~0.18	0.11	68.9~90.7	81.2	25.2~33.2	29.1	61.5~84.8	66.8
伊山段	22	31.0~168	42.4	0.16~3.24	0.42	77.1~435	105	28.9~154	44.5	93.3~842	156
班庄段	19	31.2~40.8	35.1	0.08~0.20	0.12	63.2~84.2	74.6	22.0~28.5	24.8	54.0~73.6	63.9

表 2 各路段土壤综合质量影响指数 (IICQs) 统计结果^①

Table 2 Statistical results of IICQs in the soils at each section of the expressway^①

路段	X	Y	RIE	DDDB	DDSB	IICQs	
竹镇段	东侧	0	0~5	0.512~0.608	0.893~1.100	8.926~10.242	0~0.50
	西侧	0	2~5	0.481~0.696	0.950~1.165	7.730~10.242	0.19~0.68
三河段	东侧	0	1~4	0.578~0.694	0.957~1.047	7.508~10.242	0.12~0.55
	西侧	0	2~5	0.501~0.674	0.958~1.053	7.730~10.242	0.21~0.52
伊山段	东侧	0	5	0.579~0.745	1.159~1.523	10.242	0.57~0.74
	西侧	0~4	5	0.579~1.487	1.155~3.040	10.242	0.56~11.43
班庄段	北侧	0	2~5	0.599~0.739	0.968~1.100	7.508~8.926	0.25~0.71
	南侧	0	1~2	0.557~0.671	0.949~0.998	7.508~8.926	0.11~0.26

①表中各参数含义参见文献[11]。

从影响范围来看[见图 1(a)(b)],各路段两侧 IICQs 整体随与公路距离的增加出现先升高后降低的变化趋势,多数路段还出现多个高值区与低值区交替的情况,即土壤中重金属质量比并不是越靠近公路越高,而是在距公路一定距离时达到极值,高速交通对沿线两侧土壤最大影响范围可达 350 m。研究表明,高速两侧土壤中的 Pb 主要来自汽车尾气,尾气扩散至距公路一定距离后才能与地面接触而进入土壤,从而出现极值^[15];在汽车所排放的烟尘颗粒物中, >9 μm 的颗粒迅速沉降在公路两侧,1 μm ~ 9 μm 的颗粒在空中短距离扩散,而 <1 μm 的颗粒则能长时间滞留在空气中,迁移距离较远,故土壤重金属的峰值往往出现在离公路路基一定距离处^[16]。

2.2 宁连高速两侧小麦籽实重金属污染特征

2.2.1 不同路段小麦籽实中重金属质量比分布

表 3 为高速两侧小麦籽实中重金属质量比。由表 3 可知,与《食品安全国家标准 食品中污染物限量》(GB 2762—2017)中 Pb、Cd 和 Cr 元素限量值和《粮食(含谷物、豆类、薯类)及制品中铅、铬、镉、汞、硒、砷、铜、锌等八种元素限量》(NY 861—2004)中 Zn 和 Cu 元素限量值相比,各路段小麦籽实中未出现重金属质量比超标;与对照点相比,伊山段小麦籽实中的 Pb 和 Zn、班庄段的 Pb 和 Cd,以及三河段的 Cu 质量比均超过对照点,小麦籽实中重金属质量比可能受到了高速交通影响。

图 2 为高速两侧小麦籽实中重金属质量比分布。由图 2 可见,小麦籽实中重金属质量比存在较大的空间变异,整体表现为随高速路肩距离增加出现升高-降低-升高-降低的循环趋势,高值区范围可达 350 m。这可能存在两方面原因:一方面在道路的建设过程中部分路段靠近高速的农田耕作

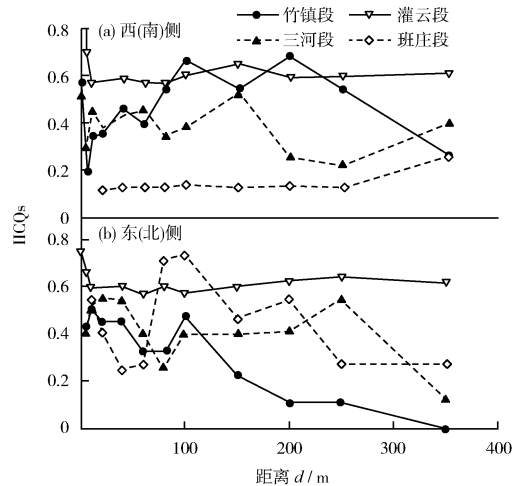


图 1 高速各路段两侧 IICQs 随距离变化
Fig. 1 Variation of IICQs with the distance on both sides of the expressway

层土壤被取走,而回填的土壤中重金属有效态质量比和有机质质量比相对下降,从而减少了作物对土壤中重金属的吸收和累积^[17];另一方面,高速两侧作物中累积的重金属可能部分来源于叶片对大气颗粒物中重金属的吸收,由于高速公路的路面通常高于路旁农田,尾气扩散至一定距离后才能与地面或作物接触从而被截留和吸收^[18]。

2.2.2 不同路段小麦籽实重金属污染现状

表 4 为高速两侧农田中土壤和小麦综合质量影响指数。由表 4 可知,高速两侧农田中小麦籽实的 IICQ_{AP} 均 < 1,小麦籽实中重金属质量比符合相应质量标准,无超标现象。

各路段与小麦对应的农田土壤样品中 IICQ_s 均 < 1,未出现重金属超标或污染;5 种重金属质量比均超过土壤重金属背景值,表明重金属的累积仍受到了外部高速交通源的影响。整体而言,伊山段

表 3 高速两侧小麦籽实中重金属质量比

Table 3 Mass ratio of heavy metals in wheat grain on both sides of the expressway

路段	样品数 n/个	$w(\text{Pb})/(\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})$		$w(\text{Cd})/(\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})$		$w(\text{Cr})/(\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})$		$w(\text{Cu})/(\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})$		$w(\text{Zn})/(\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})$		
		范围	平均值	范围	平均值	范围	平均值	范围	平均值	范围	平均值	
竹镇段	东侧	7	0.057 ~ 0.074	0.064	0.014 ~ 0.042	0.025	0.16 ~ 0.22	0.194	3.82 ~ 5.84	4.73	17.6 ~ 28.8	23.7
	西侧	9	0.049 ~ 0.090	0.067	0.029 ~ 0.072	0.044	0.17 ~ 0.24	0.207	3.55 ~ 5.71	4.36	21.6 ~ 34.4	26.4
三河段	东侧	10	0.053 ~ 0.079	0.065	0.031 ~ 0.062	0.051	0.17 ~ 0.23	0.197	4.29 ~ 4.91	4.59	27.7 ~ 37.7	33.1
	西侧	8	0.046 ~ 0.066	0.059	0.024 ~ 0.033	0.027	0.15 ~ 0.24	0.183	4.32 ~ 11.8	5.68	20.6 ~ 29.1	25.5
对照点	1		0.073		0.049		0.270		4.64		35.0	
伊山段	东侧	7	0.055 ~ 0.081	0.065	0.014 ~ 0.028	0.022	0.16 ~ 0.29	0.217	3.78 ~ 5.12	4.54	18.7 ~ 36.5	27.5
	西侧	6	0.052 ~ 0.074	0.064	0.018 ~ 0.037	0.026	0.18 ~ 0.30	0.227	4.60 ~ 5.18	4.92	21.8 ~ 26.9	24.2
对照点	1		0.061		0.024		0.250		4.90		24.6	
班庄段	北侧	10	0.056 ~ 0.089	0.072	0.022 ~ 0.047	0.031	0.17 ~ 0.26	0.197	4.36 ~ 5.38	4.82	19.2 ~ 29.2	22.6
	南侧	9	0.059 ~ 0.096	0.073	0.015 ~ 0.027	0.021	0.20 ~ 0.33	0.241	4.50 ~ 5.62	4.92	19.7 ~ 29.0	23.7
对照点	1		0.055		0.021		0.230		5.15		26.1	

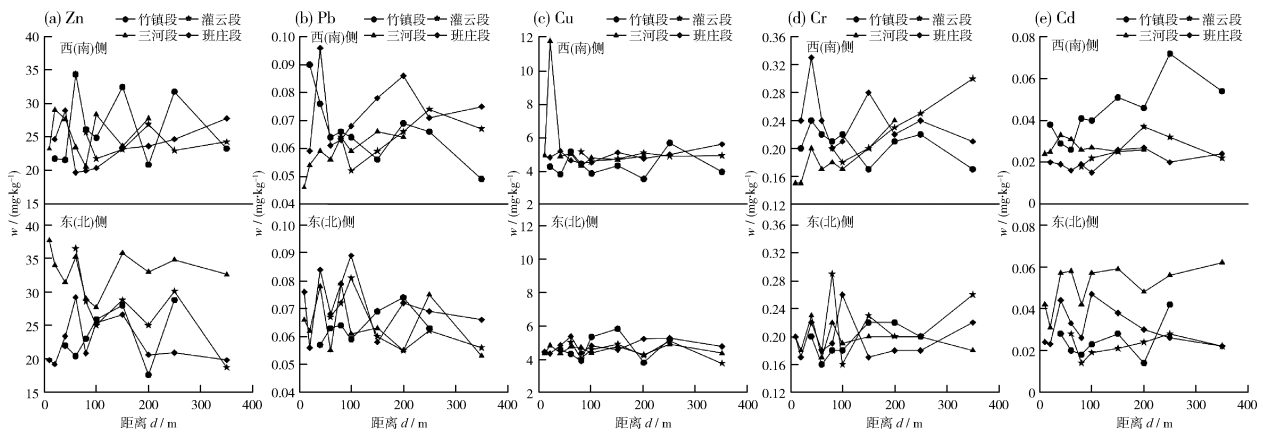


图 2 高速两侧小麦籽实中重金属质量比分布

Fig. 2 Distribution of mass ratio of heavy metals in wheat grain on both sides of the expressway

表 4 高速两侧农田中土壤和小麦综合质量影响指数^①

Table 4 IICQ of the farmland soils and the wheat on both sides of the expressway^①

路段	小麦				土壤				IICQ _s	IICQ	
	Z	QIAP	IICQ _{AP}	X	Y	RIE	DDDB	DDSB			
竹镇段	东侧	0	0.56 ~ 0.66	0.01	0	1 ~ 4	0.554 ~ 0.608	0.996 ~ 1.055	8.926	0.11 ~ 0.47	0.12 ~ 0.49
	西侧	0	0.61 ~ 0.72	0.01 ~ 0.02	0	2 ~ 5	0.585 ~ 0.696	1.008 ~ 1.052	7.730 ~ 8.926	0.26 ~ 0.68	0.28 ~ 0.70
三河段	东侧	0	0.64 ~ 0.70	0.02	0	1 ~ 4	0.631 ~ 0.694	0.957 ~ 1.047	7.508 ~ 7.730	0.12 ~ 0.55	0.14 ~ 0.56
	西侧	0	0.58 ~ 0.68	0.01 ~ 0.02	0	2 ~ 4	0.566 ~ 0.670	0.960 ~ 1.022	7.730 ~ 8.926	0.25 ~ 0.52	0.26 ~ 0.54
伊山段	东侧	0	0.57 ~ 0.65	0.01	0	5	0.579 ~ 0.653	1.159 ~ 1.311	10.242	0.57 ~ 0.64	0.58 ~ 0.65
	西侧	0	0.58 ~ 0.65	0.01	0	5	0.579 ~ 0.661	1.155 ~ 1.324	10.242	0.56 ~ 0.65	0.58 ~ 0.66
班庄段	北侧	0	0.57 ~ 0.68	0.01 ~ 0.02	0	2 ~ 5	0.599 ~ 0.739	0.968 ~ 1.100	7.508 ~ 8.926	0.25 ~ 0.73	0.27 ~ 0.75
	南侧	0	0.58 ~ 0.66	0.01 ~ 0.02	0	1 ~ 2	0.557 ~ 0.671	0.949 ~ 0.998	7.508 ~ 8.926	0.11 ~ 0.26	0.12 ~ 0.28

①表中 Z、QIAP、IICQ_{AP} 及 IICQ 等参数含义参见文献 [12]。

IICQ_s 高于其余三路段, 该路段农田土壤可能受到外部交通源的影响更大。

综合考虑高速两侧农田内小麦籽实和土壤综合质量影响指数 (IICQ_{AP} 和 IICQ_s), 农田综合质量

影响指数 (IICQ) 均 < 1, 表明宁连高速各路段农田土壤环境质量属于清洁。

2.3 小麦不同器官中稳定性 Pb 同位素示踪

通过测定高速沿线附近农田中小麦根、茎、叶、

籽实、根系土及高速路面灰尘中稳定性 Pb 同位素组成 (见图 3), 示踪小麦各器官中 Pb 元素的来源。由图 3 可见, 小麦根部与土壤中稳定性 Pb 同位素比值分布相似, 表明其主要来自对土壤的吸收。小麦茎中 Pb 同位素组成介于土壤和高速公路路面灰尘之间, 表明其可能部分来自根系对土壤的吸收, 也有部分来自叶片或表皮对扩散到公路两侧汽车尾气颗粒物的吸收。小麦叶中的 Pb 稳定性同位素组成与根部和土壤中稳定性 Pb 同位素组成差异明显, 整体与高速公路路面的灰尘中 Pb 同位素组成类似, 表明其应该主要来源于叶片对扩散到公路两侧汽车尾气颗粒物的吸收, 少量来自根系对土壤的吸收。籽实中 Pb 同位素组成较复杂, 与小麦根、茎和叶中的 Pb 同位素组成有较明显差异, 表明其来源可能也存在差异, 可能部分来源于叶片对扩散到公路两侧汽车尾气颗粒物的吸收, 同时也有部分来自根系对土壤的吸收。

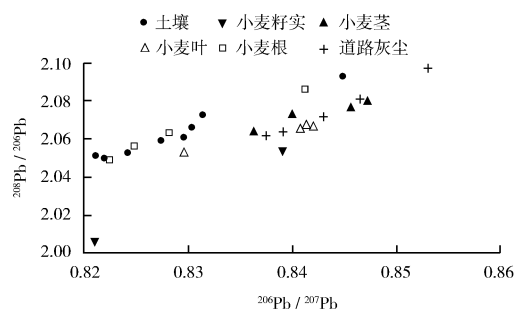


图3 高速沿线土壤、道路灰尘及小麦器官中稳定性 Pb 同位素组成

Fig. 3 Pb isotope composition in the soils, road dust and wheat organs along the expressway

3 结论

(1) 高速交通污染是影响沿线土壤和作物重金属累积的主要因素。宁连高速两侧 350 m 范围内土壤和小麦中 Pb、Cd、Cr、Cu 和 Zn 5 种重金属的累积均受到高速交通的影响, 个别点位土壤重金属超标污染达重度。

(2) 宁连高速两侧农田内土壤和小麦籽实综合质量影响指数 IICQ 均 < 1, 农田土壤环境质量属于清洁。

(3) 稳定性 Pb 同位素示踪表明, 除土壤-根系吸收途径外, 大气吸收也是小麦中重金属累积的重要途径。

[参考文献]

- [1] BECKERMAN B, JERRETT M, BROOK J R, et al. Correlation of nitrogen dioxide with other traffic pollutants near a major expressway[J]. Atmospheric Environment, 2008, 42(2): 275-290.
- [2] LIN J, DU Z X, CHEN J A, et al. Distribution of cadmium and lead in soil and rice along road polluted by traffic exhaust[J]. Journal of Environment and Health, 2002, 19(2): 119-121.
- [3] 冯金飞. 高速公路沿线农田土壤和作物的重金属污染特征及规律[D]. 南京: 南京农业大学, 2010: 87-88.
- [4] 郭广慧, 雷梅, 陈同斌, 等. 交通活动对公路两侧土壤和灰尘中重金属含量的影响[J]. 环境科学学报, 2008, 28(10): 1937-1945.
- [5] 李波, 林玉锁, 张孝飞, 等. 沪宁高速公路两侧土壤和小麦重金属污染状况[J]. 农村生态环境, 2005, 21(3): 50-53, 70.
- [6] 邵劲松, 高芹, 余云飞, 等. 沪宁高速公路两侧水稻中重金属污染研究[J]. 江苏农业科学, 2011, 39(3): 543-544.
- [7] 钱永忠, 王芳. 我国农产品质量安全存在问题及成因分析[J]. 农业经济, 2008(2): 78-79.
- [8] 林玉锁. 农产品产地环境安全与污染控制[J]. 科技与经济, 2004, 17(4): 40-44.
- [9] 宋启道, 方佳, 李玉萍, 等. 农业产地环境污染与农产品质量安全探讨[J]. 农业环境与发展, 2008(2): 61-64.
- [10] ZHAO D, WANG J Y, TANG N, et al. Coupling bioavailability and stable isotope ratio to discern dietary and non-dietary contribution of metal exposure to residents in mining-impacted areas[J]. Environment International, 2018, 120: 563-571.
- [11] 王玉军, 刘存, 周东美, 等. 一种农田土壤重金属影响评价的新方法: 土壤和农产品综合质量指数法[J]. 农业环境科学学报, 2016, 35(7): 1225-1232.
- [12] 徐玉霞, 汪庆华, 彭囿凯, 等. 煤矿周边土壤重金属影响评价及来源分析[J]. 环境监测管理与技术, 2018, 30(3): 32-36, 45.
- [13] 范荣伟, 王时雄, 王俊霞, 等. 硒、砷及重金属在苏州地区水稻中分布特征及风险评价[J]. 环境监测管理与技术, 2018, 30(4): 37-41.
- [14] 廖启林, 吴新民, 张登明, 等. 江苏省 1: 250 000 多目标区域地球化学调查报告[R]. 南京: 江苏省地质调查研究院, 2007: 95-124.
- [15] 秦莹, 姜翼来, 姜勇, 等. 沈哈高速公路两侧土壤重金属污染特征及评价[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(4): 663-667.
- [16] BOHEMEN H D V, JANSSEN V D, LAAK W H. The influence of road infrastructure and traffic on soil, water, and air quality[J]. Environmental Management, 2003, 31(1): 50-68.
- [17] HJORTENKRANS D S, BERGBACK T. Transversal immission patterns and leachability of heavy metals in road side soils[J]. Journal of Environment Monitoring, 2008, 10(6): 739-746.
- [18] HARRISON R M, CHIRGAWI M B. The assessment of air and soil as contributors of some trace metals to vegetable plants II. Translocation of atmospheric and laboratory-generated cadmium aerosols to and within vegetable plants[J]. Science of the Total Environment, 1989, 83(12): 35-45.