

杨 贺,刘 杰. 矿业生产影响区水稻田系统砷、铅、镉的污染特征及风险评价——以西江流域大环江下游为例[J]. 江苏农业科学,2018,46(15):205–209.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.15.054

矿业生产影响区水稻田系统砷、铅、镉的污染特征及风险评价 ——以西江流域大环江下游为例

杨 贺,刘 杰

(桂林理工大学,广西桂林 541004)

摘要:以矿业生产密集区广西环江县福龙村农田为研究对象,进行为期 1 年的实地研究,考察大气干湿沉降、灌溉、施肥、水稻收获等输入、输出因素对土壤-水稻系统重金属累积的影响,基于重金属年净输入量和土壤重金属容纳量对超标年限进行预测。结果表明:大气干湿沉降、背景土壤、灌溉水、化肥对耕层土壤铅的贡献率分别为 37.5%、43.8%、12.4%、6.35%;研究区域农田土壤 Cd 的超标年限为 0.69 年,应将镉元素作为该区域农田土壤重金属污染的重点控制元素;水稻根部对重金属富集效应表现为 $Cd > As > Pb$,其富集系数分别为 6.32、5.59、0.80;水稻植株对 3 种重金属元素吸收富集和迁移能力的大小为 $Cd > As > Pb$,其富集系数分别为 0.028 8、0.024、0.000 625。大气干湿沉降、耕层土壤、灌溉水、化肥对水稻样品铅的贡献率分别为 67%、26%、5%、2%;该农田水稻籽实中 Pb 含量满足国家卫生标准;Cd 风险较低;As 轻度污染,应引起重视。

关键词:土壤-水稻系统;Pb;Cd;As;重金属污染;输入量;容纳量;超标年限;贡献率;风险评价;富集效应;迁移能力

中图分类号: X502;X75 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)15-0205-04

农田土壤重金属污染,尤其是在矿业生产密集区污染一直是环境科学与工程专关注的重点问题^[1]。矿业生产区重金属污染严重、污染源去除困难,而我国耕地资源紧缺,短期作为农用难以避免。因此,研究重金属污染区域土壤-农田系统重金属的来源特征与对可食用部分重金属进行风险评价,从源头上控制并解决水稻田重金属污染问题,对实施重金属污染治理具有重要意义。西江流域是一条贯穿云南、贵州、广西、广东、澳门 5 省(区)的资源密集型“金腰带”,由于上游矿业生产活动密集,沿岸土壤及农作物均不同程度受到重金属的污染^[2]。本试验以西江流域广西环江县福龙村水稻田生态系统为研究对象,研究土壤-水稻籽实中砷、铅、镉 3 种优先控制污染物含量和来源,作出风险评价,以期对污染农田修复和当地水稻安全种植提供科学依据。

1 材料与方法

研究区域(图 1)位于西江流域环江毛南族自治县大环江沿岸,在大环江上游分布着北山铅锌矿区、雅脉钢铁厂、都川铅锌矿区、驯乐铅锌矿区等有色金属矿区,矿业生产企业有近



图1 实验区域位置

百家,这对该地区水稻田系统造成了巨大的生态压力^[3]。

1.1 取样方法和时间

1.1.1 大气干湿沉降 在试验田南北两侧离地 5 m 高处各安放 2 个采样缸(有机玻璃材质,内径 15 cm,高 30 cm)。样品处理方法参考文献[4]。取样时间从 2015 年 4 月 10 日采样缸放置开始至 2016 年 7 月 10 日为止,每月取样 1 次。

1.1.2 灌溉水 于每年 3 月底水稻插秧前进行取样,灌溉水来源于水稻田所处地下游,依靠潜水泵进行输出。因为水深

收稿日期:2017-01-20

基金项目:国家自然科学基金(编号:41471270);广西自然科学基金项目(编号:2013GXNSFEA053002-2,2014GXNSFGA118009)。

作者简介:杨 贺(1986—),男,吉林白城人,硕士,从事土壤重金属修复的研究。E-mail:15766867770@163.com。

通信作者:刘 杰,博士,教授,博士生导师,从事受损环境生态修复和有害元素生物化学解析研究。E-mail:liujie@glite.edu.cn。

小于 5 m,故将采样位置设在水面下 0.5 m 水深处。

1.1.3 水稻 于水稻成熟季节 7 月底和 11 月初,分别采集整株水稻。根据稻田形状,采用梅花布点法取样,共取 5 株水稻样品。按照根、茎、叶、水稻籽实 4 个部分分开,经清洗、杀青、烘干、粉碎后进行分析检测。

1.1.4 化肥 在施肥过程中,随机取 1 kg 化肥样品,按照四分法浓缩至 0.2 kg 后保存分析检测。取样时间为 2015 年 5、9 月和 2016 年 4 月。

1.1.5 土壤 根据稻田形状,采用梅花布点法取样,在稻田内按照不同深度共取 10 个土壤样品,其中 0~60 mm 为耕层土壤,60~80 mm 为背景土壤,同时在水稻田周边采集 5 个土壤样品,设为对照。取样时间为 2015 年 8 月。

1.2 样品分析

Pb、Cd、As 含量的测定采用电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)。铅同位素含量的测定采用 DZ/T 0184.12—1997《岩石、矿物中微量铅的同位素组成的测定》,以 ISOPROBE-T 热表面电离质谱仪检测样品的铅同位素组成。

1.3 数据分析

1.3.1 大气沉降重金属年输入量

$$D=A(C_s V+C_i M)/S。(1)$$

式中: D 表示年沉降通量; S 表示接生面积(0.0354 m^2); A 表示试验地块面积(241.78 m^2); $C_{\text{湿}}$ 表示湿沉降中重金属的含量, V 表示湿沉降总体积; $C_{\text{干}}$ 表示干沉降中重金属的含量, M 表示干沉降总质量。

1.3.2 灌溉水重金属年通量

$$I=C_1 V_1-C_2 V_2。(2)$$

式中: C_1 表示灌溉进水中重金属的浓度; C_2 表示灌溉排水中重金属的浓度; V_1 表示灌溉进水的体积,为 75 m^3 ; V_2 表示灌溉出水的体积,无出水。

1.3.3 化肥重金属年输入量

$$F=\sum_{k=1}^n C_k M_k。(3)$$

式中: F 表示重金属的年输入通量; C_k 表示化肥 k 中的重金属含量; M_k 表示化肥 k 的年施用量; k 包括尿素、磷肥、复合肥、农家肥、农药等。

1.3.4 水稻重金属输出量

$$O_p=C_p Y_p。(4)$$

式中: C_p 表示稻谷中的重金属含量; Y_p 表示稻谷的产量。

1.3.5 水稻田重金属净累积量 根据前面几项的计算,则水稻田重金属每年的净输入量 N :

$$N=D+I+F-O_p。(5)$$

1.3.6 超标年限预测 污染超标年限 T 预测(匀速累积模型):

$$T=H/N。(6)$$

土壤重金属环境容量 H :

$$H=\rho \times V \times (C_0-C_i) \times 10^{-3}。(7)$$

式中: ρ 表示土壤密度,以 2.25 g/cm^3 计算; V 表示土地体积, cm^3 ,测量值; C_0 表示土壤重金属 i 的允许限值; C_i 表示土壤重金属 i 的现存含量,测量值;参照土壤环境质量二级标准,As、Cd、Pb 含量的允许值分别为 30、0.3、250 mg/kg。

1.4 铅同位素污染源解析模型

如果主要污染源和样品的铅的同位素特征已知,则可建

立铅源解析多元混合模型^[5-6],即:

$$\left(\frac{{}^{208}\text{Pb}}{{}^{204}\text{Pb}}\right)_s=f_1\left(\frac{{}^{208}\text{Pb}}{{}^{204}\text{Pb}}\right)_1+f_2\left(\frac{{}^{208}\text{Pb}}{{}^{204}\text{Pb}}\right)_2+f_3\left(\frac{{}^{208}\text{Pb}}{{}^{204}\text{Pb}}\right)_3+f_4\left(\frac{{}^{208}\text{Pb}}{{}^{204}\text{Pb}}\right)_4; (8)$$

$$\left(\frac{{}^{207}\text{Pb}}{{}^{204}\text{Pb}}\right)_s=f_1\left(\frac{{}^{207}\text{Pb}}{{}^{204}\text{Pb}}\right)_1+f_2\left(\frac{{}^{207}\text{Pb}}{{}^{204}\text{Pb}}\right)_2+f_3\left(\frac{{}^{207}\text{Pb}}{{}^{204}\text{Pb}}\right)_3+f_4\left(\frac{{}^{207}\text{Pb}}{{}^{204}\text{Pb}}\right)_4; (9)$$

$$\left(\frac{{}^{206}\text{Pb}}{{}^{204}\text{Pb}}\right)_s=f_1\left(\frac{{}^{206}\text{Pb}}{{}^{204}\text{Pb}}\right)_1+f_2\left(\frac{{}^{206}\text{Pb}}{{}^{204}\text{Pb}}\right)_2+f_3\left(\frac{{}^{206}\text{Pb}}{{}^{204}\text{Pb}}\right)_3+f_4\left(\frac{{}^{206}\text{Pb}}{{}^{204}\text{Pb}}\right)_4; (10)$$

$$f_1+f_2+f_3+f_4=1。(11)$$

式中: $\left(\frac{{}^{208}\text{Pb}}{{}^{204}\text{Pb}}\right)_s$ 、 $\left(\frac{{}^{207}\text{Pb}}{{}^{204}\text{Pb}}\right)_s$ 、 $\left(\frac{{}^{206}\text{Pb}}{{}^{204}\text{Pb}}\right)_s$ 为样品丰度比; $\left(\frac{{}^{208}\text{Pb}}{{}^{204}\text{Pb}}\right)_1$ 、 $\left(\frac{{}^{207}\text{Pb}}{{}^{204}\text{Pb}}\right)_1$ 、 $\left(\frac{{}^{206}\text{Pb}}{{}^{204}\text{Pb}}\right)_1$ 、 $\left(\frac{{}^{208}\text{Pb}}{{}^{204}\text{Pb}}\right)_2$ 、 $\left(\frac{{}^{207}\text{Pb}}{{}^{204}\text{Pb}}\right)_2$ 、 $\left(\frac{{}^{206}\text{Pb}}{{}^{204}\text{Pb}}\right)_2$ 、 $\left(\frac{{}^{208}\text{Pb}}{{}^{204}\text{Pb}}\right)_3$ 、 $\left(\frac{{}^{207}\text{Pb}}{{}^{204}\text{Pb}}\right)_3$ 、 $\left(\frac{{}^{206}\text{Pb}}{{}^{204}\text{Pb}}\right)_3$ 、 $\left(\frac{{}^{208}\text{Pb}}{{}^{204}\text{Pb}}\right)_4$ 、 $\left(\frac{{}^{207}\text{Pb}}{{}^{204}\text{Pb}}\right)_4$ 、 $\left(\frac{{}^{206}\text{Pb}}{{}^{204}\text{Pb}}\right)_4$ 分别为 4 个主要铅来源的铅同位素 ${}^{206}\text{Pb}$ 、 ${}^{207}\text{Pb}$ 、 ${}^{208}\text{Pb}$ 与 ${}^{204}\text{Pb}$ 的丰度比; f_1 、 f_2 、 f_3 和 f_4 分别为 4 个主要铅来源的相对贡献率,对应的 4 个端源分别为背景土壤、化肥、大气干湿沉降、灌溉水,通过实验室检测各个样品的丰度值。

1.5 污染评价方法

该农田中 As、Cd、Pb 的污染评价方法采用综合污染指数法(尼梅罗综合污染指数法)^[7],计算公式如下:

$$P_i=C_i/S_i; (12)$$

$$P_{\text{综}}=\sqrt{\frac{P_{\text{avg}}^2+P_{\text{imax}}^2}{2}}; (13)$$

式中: P_i 为求出的 As、Cd、Pb 单项污染指数; C_i 为该元素实测值; S_i 为国家规定的限量值; $P_{\text{综}}$ 为综合污染指数; P_{imax} 为最大单项污染指数; P_{avg} 为评价单项污染指数。

根据 P 值的变化划分为 4 个污染等级:非污染, $P \leq 1$;轻度污染, $1 \leq P \leq 2$;中度污染, $2 \leq P \leq 3$;重污染, $P \geq 3$ ^[8]。

2 结果与分析

2.1 土壤中砷、铅和镉含量特征及风险评价

2.1.1 超标年限预测 从 2015 年 4 月 10 日 2 组大气干湿沉降采样缸放置开始至 2016 年 7 月 10 日为止,对大气干湿沉降每月采样 1 次,统计试验数据并计算大气沉降重金属年输入量如表 1、表 2 所示。农田土壤系统重金属输入部分主要来源于大气干湿沉降、灌溉水、化肥和农药等;重金属输出部分主要是水稻植株部分对重金属富集从而在收割后输出农田的部分。根据公式(1),大气干湿沉降 As、Cd、Pb 的年输入量分别为 8 815.29、1 373.31、23 575.96 mg。于 2016 年 3 月对该水稻田灌溉 1 次,灌溉水经三角堰测量约 75 m^3 ,根据公式(2)计算灌溉水 As、Cd、Pb 的年输入量分别为 122.62、33.15、35.1 mg。该水稻田使用化肥量约 23 kg,根据公式(3)计算化肥 As、Cd、Pb 的年输入量分别为 0.088、0.000 115、0.014 mg;在 2015 年 11 月和 2016 年 6 月底共收割水稻产量约 300 kg,经检测并根据公式(4)、公式(5)计算该水稻田 As、Cd、Pb 的年净输入量分别为 8 876.21、1 405.98、23 604.78 mg。

根据上述统计结果,结合公式(6)、(7),As、Cd、Pb 的环境容量分别为 2.47×10^6 、 0.97×10^3 、 $23.82 \times 10^6\text{ mg}$;在目前的种植模式下,根据已有的研究结果进行计算,As、Cd、Pb 的

表 1 大气干沉降重金属元素年输入量

元素	方位	大气干沉降重金属元素的年输入量(mg)												合计	干沉降含量 (mg/m ²)
		2015 年						2016 年							
		7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月		
As	南侧	4.26	14.66	3.68	49.89	42.36	0.50	32.69	2.16	7.77	137.400	12.14	51.14	622.01	17.57
	北侧	55.50	9.12	2.60	33.47	38.71	1.63	2.75	8.55	34.37	31.67	15.21	29.78		
Cd	南侧	5.26	4.70	1.35	4.40	0.52	0.04	1.51	0.10	0.50	13.83	2.27	5.10	80.83	2.28
	北侧	10.87	5.32	2.28	13.04	0.28	0.04	0.21	0.32	1.83	2.06	3.68	1.32		
Pb	南侧	201.18	146.41	56.96	256.98	0.15	4.69	54.62	11.61	15.90	124.68	174.23	190.62	2 682.85	75.78
	北侧	123.33	303.04	60.23	421.73	3.00	7.98	6.54	16.69	66.01	195.31	11.89	229.07		

注:合计项计算方式为试验期间大气干沉降采样缸收集空气降尘总量。干沉降计算方式根据检测各重金属浓度计算得试验整个周期内单位面积该大气干沉降重金属量。

表 2 大气湿沉降中的重金属年输入量

元素	方位	大气湿沉降重金属元素的年输入量(mg)												合计	湿沉降含量 (mg/m ²)
		2015 年						2016 年							
		7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月		
水量(mL)		2 838	4 420	3 160	3 332	5 190	765	2 010	936	990	2 244	5 190	5 190		
As	南侧	4.54	3.82	2.968	3.81	0.16	2.49	3.45	5.89	6.09	2.65	13.60	25.20	668.74	18.89
	北侧	7.36	6.28	3.51	3.45	0.88	2.05	3.30	8.10	5.93	2.75	13.50	27.90		
Cd	南侧	0.58	0.55	0.18	0.31	0.19	0.60	0.64	1.55	0.92	0.37	4.95	0.09	107.58	3.04
	北侧	0.64	1.83	0.17	0.38	0.15	0.77	0.58	2.16	0.93	0.43	8.30	1.10		
Pb	南侧	6.13	17.89	4.31	3.03	2.70	5.18	18.20	29.20	13.40	8.13	3.94	1.95	769.27	21.73
	北侧	16.01	13.92	1.78	3.13	2.39	8.09	15.40	52.30	13.20	3.69	4.48	0.39		

注:水量是指当月南北两侧大气湿沉降取样缸合并后水量体积。

超标年限分别为 27.8×10^3 、0.689、 1.01×10^3 年^[9-11]。因此,应将 Cd 作为该区域农田土壤重金属污染的重点控制元素,制定污染物定量控制方案并采取相应的农田修复措施以遏制和扭转目前污染形势。

2.1.2 土壤砷、镉和铅的含量特征及风险评价 参照国家土壤环境质量标准(表 3),对该农田土壤及对照进行重金属污染评价,结果如表 4 所示^[12]。该区域农田耕层土壤 As、Pb、Cd 平均含量分别为 7.29、31.0、0.29 mg/kg,其中 As、Pb 含量均低于 HJ 332—2006《食用农产品产地环境质量评价标准》,远低于 GB 15618—1995《土壤环境质量标准》中二级标准限值。该区域对照土壤为附近高地未受污染地块,其 As、Pb、Cd 平均含量分别为 15.98、24.00、0.267 mg/kg,均未超过 HJ 332—2006《食用农产品产地环境质量评价标准》标准限值。土壤中 As、Pb、Cd 空间变异存在较大差异,变异系数表现为 Cd > As > Pb。通过对该区域土壤中 As、Pb、Cd 单因子

表 3 各标准重金属安全限值

样品	标准类型	重金属标准限值 (mg/kg)		
		As	Pb	Cd
土壤	GB 15618—1995《土壤环境质量标准》的二级标准	30	250	0.3
	HJ 332—2006《食用农产品产地环境质量评价标准》	30	80	0.3
	EU2002《欧盟标准》		300	3.0
植物	GB 2762—2005《食品中污染物限量》	0.15	0.2	0.2
	GB 2715—2005《粮食卫生标准》	0.15	0.2	0.2
	EC:No629/2008《欧盟标准》	0.10	0.2	0.2

污染指数比较(表 4),发现该区域农田土壤 As、Pb 污染指数均小于 1,均属于非污染,而 Cd 污染指数为 1.004,属于轻度污染水平^[12]。

表 4 土壤砷、镉和铅的含量特征

元素	土壤类型	重金属含量(mg/kg)			单因子污染指数		超标率 (%)
		范围	均值±标准差	几何平均值	范围	均值	
As	农田土壤	6.950~8.220	7.292±1.282	7.276	0.242~0.274	0.243	0.258 0
	对照土壤	9.400~23.000	15.982±13.165	12.342			
Cd	农田土壤	0.282~0.310	0.292±0.030	0.291	0.940~1.030	0.970	1.000 4
	对照土壤	0.079~0.499	0.267±0.245	0.129			
Pb	农田土壤	29.400~32.800	31.000±2.561	30.978	0.117~0.131	0.124	0.127 0
	对照土壤	21.100~31.170	24.000±7.170	24.293			

2.1.3 耕层土壤铅来源解析 由表 5 可以看出,耕层土壤²⁰⁸Pb/²⁰⁶Pb 较高,²⁰⁶Pb/²⁰⁷Pb 较低,并且其同位素比率介于化肥、大气干湿沉降、灌溉水与背景土壤之间,这与赵多勇等研究结论一致,即人为来源产生的铅同位素比率²⁰⁶Pb/²⁰⁸Pb 低,

在 0.96~1.20 之间^[13];自然背景产生的铅同位素比率表现为²⁰⁶Pb/²⁰⁷Pb 较高,一般高于 1.20。将表 5 中化肥、大气干湿沉降、灌溉水、耕层土壤及背景土壤铅同位素比率分别代入铅源混合多元模型中求解,得到大气干湿沉降、背景土壤、灌

表 5 各样本中的铅同位素比率

样品名称	样本数(份)	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁷ Pb	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁶ Pb
耕层土壤	5	1.181 1±0.008 4	2.084 7±0.009 1
背景土壤	5	1.209 2±0.008 5	2.055 1±0.007 5
化肥	3	1.162 4±0.002 8	2.109 1±0.002 6
大气干湿沉降	6	1.126 7±0.004 2	2.132 2±0.003 8
灌溉水	3	1.173 1±0.003 6	2.090 1±0.003 2

表 6 样品铅浓度及同位素组成

序号	样品	数量(份)	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb
1	耕层土壤	5	38.448~38.454	15.614~15.616	18.443~18.445
2	背景土壤	5	38.942~38.948	15.669~15.671	18.947~18.951
3	化肥	3	38.279~38.285	15.619~15.621	18.150~18.152
4	大气干湿沉降	6	37.370~37.380	15.570~15.574	17.525~17.531
5	灌溉水	3	38.311~38.325	15.626~15.632	18.313~18.336
6	水稻根	4	38.278~38.285	15.611~15.615	18.234~18.238
7	水稻茎	4	37.676~37.682	15.578~15.582	17.960~17.962
8	水稻叶	4	37.668~37.672	15.571~15.574	17.942~17.951
9	水稻籽实	4	37.403~37.433	15.532~15.545	17.582~17.569

由图 2 可知,水稻根部与耕层土壤相比,重金属含量较高,说明水稻根部对于重金属有富集效应,其富集效应顺序为 Cd>As>Pb,其富集系数分别为 6.32、5.59、0.80,这与柳检等的研究结果^[14-15]一致。从水稻根、茎、叶及籽实来看,各元素含量依次减少;水稻茎中元素含量远低于稻根,这可能是水稻根对重金属元素的运移起到截留作用;尤其是对于 As、Pb 等植物毒害元素,从根茎叶稻谷的含量衰减速率远高于植物营养元素 Cu、Zn^[16-17]。水稻对不同重金属元素吸收富集能力不一样,不同重金属元素在水稻植株中的迁移能力也有差异。通过比较籽实和耕层土壤中不同重金属元素的富集积累系数后得出,水稻植株对 3 种重金属元素吸收富集和迁移能力的大小顺序为 Cd>As>Pb,其富集系数分别为 0.028 8、0.024、0.000 625。

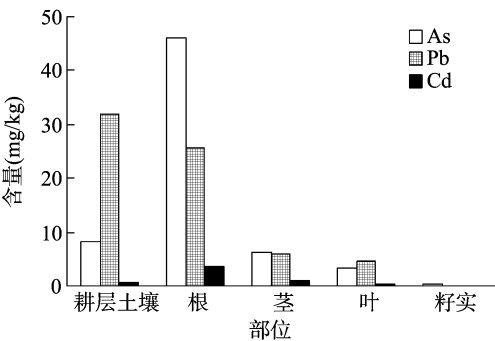


图 2 耕层土壤及水稻各部位重金属含量特征

由表 7 可知,大气降尘和耕层土壤对水稻籽实是主要铅污染源。同理求得大气干湿沉降、耕层土壤、灌溉水、化肥对水稻样品铅的贡献率分别为 67%、26%、5%、2%。

2.3 水稻籽实风险评价

对该农田所产水稻重金属含量进行统计(表 7),与表 5 对照可知,该农田水稻籽实中 Pb 含量满足 GB 2762—2005《食品中污染物限量》、GB 2715—2005《粮食卫生标准》;籽实中 Cd 超标率为 6.2%,单项污染指数为 0.030~0.105,综合污染指数为 0.092,基本对水稻无健康或安全风险;而 As 超

溉水、化肥对耕层土壤铅的贡献率分别为 37.5%、43.8%、12.4%、6.35%。

2.2 水稻各部位 As、Pb、Cd 的含量特征

为了研究土壤及水稻植株部分中铅的来源,分别对耕层土壤、背景土壤、化肥、大气干湿沉降、灌溉水、水稻根、水稻茎、水稻叶及水稻籽实进行同位素比率测定,结果如表 6 所示。

标率为 85.0%,单项污染指数为 0.750~1.587,综合污染指数为 1.321,污染程度为轻度污染,对健康有一定的风险,应引起相关部门的重视。

表 7 水稻籽实中 As、Pb、Cd 检测结果及风险评价

元素	含量(mg/kg)		超标率 (%)	单项污染 指数	综合污染 指数
	范围	均值			
As	0.113~0.238	0.208	85.0	0.750~1.587	1.321
Pb	0.009~0.031	0.021	0.0	0.045~0.155	0.072
Cd	0.006~0.021	0.015	6.2	0.030~0.105	0.092

3 结论

研究区域农田土壤中在当前种植模式下,Cd 超标年限为 0.69 年,应将 Cd 作为该区域农田土壤重金属污染的重点控制元素,制定污染物定量控制方案并采取相应的农田修复措施以遏制和扭转目前的污染形势。

该区域农田土壤砷、铅均属于非污染,而镉达到轻度污染水平。通过将化肥、大气干湿沉降、灌溉水、耕层土壤及背景土壤的铅同位素比率代入铅源混合多元模型中求解,得到大气干湿沉降、背景土壤、灌溉水、化肥对耕层土壤铅的贡献率分别为 37.5%、43.8%、12.4%、6.35%。

水稻根部对重金属富集效应顺序为 Cd>As>Pb,分别为 6.32、5.59、0.80 倍;水稻植株对 3 种重金属元素吸收富集和迁移能力的大小顺序为 Cd>As>Pb,分别为 0.028 8、0.024、0.000 625 倍。大气干湿沉降、耕层土壤、灌溉水、化肥对水稻样品铅的贡献率分别为 67%、26%、5%、2%。

该农田产水稻中籽实中 Pb 含量满足国家卫生标准要求;Cd 风险较低,基本不产生健康或安全风险;As 污染程度为轻度污染,应引起重视。

参考文献:

[1] 王德光,宋书巧,蓝唯源. 环江县大环江沿岸土壤重金属污染与蔬菜安全评价[J]. 农业环境与发展,2008,25(2):8-11.
[2] 陆素芬,宋 波,蒙冬柳,等. 环江尾砂库溃坝影响区农田土壤和

牛翠云,王树涛,郭艳杰,等.白洋淀芦苇型水陆交错带湿地 CH_4 和 CO_2 的排放特征[J].江苏农业科学,2018,46(15):209-213.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.15.055

白洋淀芦苇型水陆交错带湿地 CH_4 和 CO_2 的排放特征

牛翠云^{1,3},王树涛²,郭艳杰^{1,3},刘微⁴,张俊梅²

(1.河北农业大学资源与环境科学学院,河北保定 071001; 2.河北农业大学国土资源学院,河北保定 071001;

3.河北省农田生态环境重点实验室,河北保定 071001; 4.河北大学化学与环境科学学院,河北保定 071002)

摘要:选取河北省白洋淀地区典型的芦苇型水陆交错带作为研究对象,运用静态箱-气相色谱法对该水陆交错带湿地甲烷(CH_4)和二氧化碳(CO_2)排放通量的时空规律进行研究,取回土壤样品及气体样品,对土壤有机碳含量及土壤温度、表层土壤含水率、pH 值等相关环境因子进行测定。结果表明,2 个采样点(东里庄村东、南刘庄,分别设为 S_1 、 S_2 点) CH_4 排放通量的最大值均出现在夏季的 8 月,分别是 406.27、435.91 $\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$; 2 个采样点 CH_4 全年排放通量中值(平均值)分别为 144.35、146.48 $\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$; 2 个采样点 CO_2 排放通量最大值也出现在夏季的 8 月,分别为 356.53、533.09 $\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,在全年的 CO_2 排放通量中值(平均值)方面, S_2 点高于 S_1 点,分别为 262.21、178.49 $\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$; 2 个采样点表层土壤(0~20 cm)中的有机碳含量平均值分别为 13.44、14.19 g/kg,且夏季的含量小于春季、秋季和冬季,夏季温度较高,深层土壤中的有机碳含量基本维持在 7.0 g/kg 左右的水平;采样箱内温度、土壤含水率、土壤温度和 pH 值等相关环境因子与甲烷、二氧化碳的排放通量也具有较高关联度。

关键词: CH_4 排放; CO_2 排放; 有机质; 水陆交错带

中图分类号: S181 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)15-0209-05

碳(C)是全球气候变化的重要影响因素之一,在大气圈碳库中主要以甲烷(CH_4)和二氧化碳(CO_2)的形式存在。其

收稿日期:2017-03-01

基金项目:国家自然科学基金青年科学基金(编号:21307025)。

作者简介:牛翠云(1990—),女,河北沧州人,硕士研究生,主要从事土壤学方面的研究。E-mail:niucuiyun@qq.com。

通信作者:郭艳杰,博士,讲师,主要从事土壤环境科学方面的研究。

E-mail:guoyanjie928@126.com。

蔬菜中重金属含量测定与健康风险评价[J].环境工程,2015,33(10):130-134.

[3]翟丽梅.矿业活动密集区农田土壤重金属的污染特征——以广西西江流域为重点.[D].北京:中国科学院研究生院,2007.

[4]张凯,杨晴,柴发合,等.一种适用于大气干湿沉降中重金属分析的样品采集及提取方法:CN 201310065214.2[P].2013-06-26.

[5]刘勇,王成军,刘华,等.铅同位素解析技术在工业园污染源中的应用[J].环境工程学报,2015,9(6):3031-3036.

[6]王成,袁旭音,陈旸,等.苏州地区水稻土重金属污染源解析及端元影响量化研究[J].环境科学学报,2015,35(10):3269-3275.

[7]范中亮,季辉,杨菲,等.不同土壤类型下镉和铅在水稻籽粒中累积特征及其环境安全临界值[J].生态环境学报,2010,19(4):792-797.

[8]李世区.市售大米中 Pb 和 Cd 污染状况及对人体健康的影响[J].微量元素与健康研究,2015,32(4):34-36.

[9]杨梦昕,杨东璇,李萌立,等.湘江长沙段沿岸常见农作物重金属污染研究——Zn、Cu、Pb 和 Cd 的富集规律及污染评价[J].中南林业科技大学学报,2015,35(1):126-131.

中,作为主要温室气体的甲烷对全球气候变暖的贡献率达到了 20%~39%[联合国政府间气候变化专门委员会(intergovernmental panel on climate change,简称 IPCC),2007 年]。大气中的 CH_4 含量已从工业革命前(1750 年)的 0.72 $\mu\text{mol}/\text{mol}$ 上升到了 2012 年的 1.82 $\mu\text{mol}/\text{mol}$,提高了约 1.5 倍(IPCC,2014 年)。 CO_2 浓度已经从工业革命前的 280 $\mu\text{mol}/\text{mol}$ 增加到现在的 393 $\mu\text{mol}/\text{mol}$ (IPCC,2014)^[1]。土壤碳库也是地球碳库的一个重要组成系统,土壤碳库与大

[10]孙亚芳,王祖伟,孟伟庆,等.天津污灌区小麦和水稻重金属的含量及健康风险评价[J].农业环境科学学报,2015,34(4):679-685.

[11]仲维功,杨杰,陈志德,等.水稻品种及其器官对土壤重金属元素 Pb、Cd、Hg、As 积累的差异[J].江苏农业学报,2006,22(4):331-338.

[12]国家环境保护总局.中国土壤元素背景值[M].北京:中国环境科学出版社,1990:329-492.

[13]赵多勇,魏益民,魏帅,等.基于铅同位素解析技术的土壤铅污染来源研究[J].安全与环境学报,2015,15(6):329-333.

[14]柳检,罗立强. As、Cd 和 Pb 植物根系吸收途径和影响因素研究现状与进展[J].岩矿测试,2015,34(3):269-277.

[15]王腾云,周国华,孙彬彬,等.福建沿海地区土壤-稻谷重金属含量关系与影响因素研究[J].岩矿测试,2016,35(3):295-301.

[16]张潮海,华村章,邓汉龙,等.水稻对污染土壤中镉铅铜锌的富集规律的探讨[J].福建农业学报,2003,18(3):147-150.

[17]王小玲,刘腾云,幸学俊,等.水稻对土壤重金属元素富集差异及农艺调控措施研究进展[J].江西科学,2016,34(3):311-315.