

长期秸秆还田对污染农田土壤与农产品重金属的影响

郑顺安^{1,2}, 刘代丽^{1,2}, 章明奎³, 王京文⁴

(1.农业农村生态与资源保护总站,北京 100125;2.农业农村部资源循环利用技术与模式重点实验室,北京 100125;3.浙江大学环境与资源学院,杭州 310058;4.杭州市植保土肥总站,杭州 310020)

摘要:在浙东某地选择一污染农田,布设了秸秆还田、秸秆不还田、秸秆还田+石灰及秸秆不还田+石灰4个处理试验,进行了为期9年的土壤、秸秆、谷物、蔬菜等农产品中重金属动态监测。结果表明,污染农田中施用石灰可明显降低水稻秸秆和谷物及蔬菜中重金属的积累,但对土壤重金属含量影响不明显;施用石灰对水稻秸秆和谷物及蔬菜中重金属降低作用随试验时间逐渐减弱。与秸秆不还田比较,秸秆还田在短期内对土壤、水稻秸秆和蔬菜重金属积累的影响较小,但4~5年后秸秆不还田农田土壤镉、汞积累及水稻秸秆和蔬菜中镉、铅、汞积累明显低于秸秆还田农田,对土壤中铅积累的影响较小;随着试验时间的增加,秸秆还田与秸秆不还田农田之间土壤、水稻谷物及蔬菜中重金属积累的差异逐渐加大。秸秆还田农田土壤有机质和速效钾含量高于秸秆不还田农田。研究结果表明,在镉、汞污染农田中长期推行秸秆还田不利于农产品质量的提高,应控制重污染水稻秸秆还田。

关键词: 秸秆还田; 重金属污染; 食品安全; 水稻; 蔬菜

中图分类号:X53

文献标识码:A

文章编号:1009-2242(2020)02-0354-06

DOI:10.13870/j.cnki.stbcbx.2020.02.050

Effects of Long-term Straw Returning on Heavy Metals of Soil and Agricultural Products in the Polluted Farmland

ZHENG Shun'an^{1,2}, LIU Daili^{1,2}, ZHANG Mingkui³, WANG Jingwen⁴

(1.Agricultural and Rural Ecology and Resource Protection Station, Beijing 100125; 2.Key Laboratory of Resource Recycling Technology and Model, Ministry of Agriculture and Rural Areas, Beijing 100125; 3.College of Environmental and Resource Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310058; 4.Hangzhou Plant Protection and Soil-fertilizer Station, Hangzhou 310020)

Abstract: In this study, a polluted farmland in eastern Zhejiang province was selected. Four treatments, including straw returning, straw non-returned, straw returning+lime, and straw non-returned+lime were set up. The dynamic monitoring of heavy metals in soil, straw, cereals, and vegetables was carried out for nine years. The results showed that the accumulation of heavy metals in rice straw, grain, and vegetable was significantly reduced by applying lime in polluted farmland, but the effect of applying lime on the content of total heavy metals in soil was not obvious. The effect of applying lime on the reduction of heavy metals in rice straw, grain, and vegetable was gradually weakened with the experimental time. Compared with straw non-returned, straw returning had less effect on the accumulation of heavy metals in soil, rice straw, and vegetable in a short time. However, the accumulation of cadmium and mercury in soil and the accumulation of cadmium, lead, and mercury in rice straw and vegetable after 4~5 years were significantly lower in straw non-returned farmland than that in straw returning farmland, and the effect on the accumulation of lead in soil was less. With the increase of test time, the difference of heavy metal accumulation in soil, rice grain, and vegetable between straw returning farmland and straw non-returned farmland gradually increased. The content of soil organic matter and available potassium in straw returning farmland was higher than that in straw non-returned farmland. It was concluded that long-term application of straw returning in cadmium and mercury polluted farmland was not conducive to the improvement of agricultural product quality, and the heavy-polluted rice straw returning should be controlled.

Keywords: straw returning; heavy metal pollution; food safety; rice; vegetable

收稿日期:2019-08-25

资助项目:全国农用地土壤污染状况调查项目(2110399);国家重点研发计划专项“农田地质高背景重金属污染机理研究”(2017YFD0800305)

第一作者:郑顺安(1981—),男,安徽合肥人,博士,副研究员,主要从事耕地污染防治、产地环境调查监测研究。E-mail:zhengshunan1234@163.com

通信作者:章明奎(1964—),男,浙江绍兴人,博士,教授,主要从事土壤管理方面的研究。E-mail:mkzhang@zju.edu.cn

秸秆还田是当今世界上普遍重视的一项提升耕地地力的有效措施^[1],具有协调土壤水、肥、气、热的功能^[2-4],增加土壤有机质、钾素、磷素的积累^[5-7],改善土壤物理性状。大量的田间试验研究^[8-12]表明,秸秆还田可促进土壤中水稳定性团聚体的形成,增加土壤有机质水平和酶的活性,提高氮素和钾素的供应水平。然而,污染农田产生的秸秆还田在把营养物质带入土壤的同时也把秸秆中的重金属带入了土壤,并可能对土壤重金属的转化和生物有效性产生影响^[13-14]。近年来,随着耕地土壤污染的加剧,有关秸秆利用与环境中重金属污染的关系已引起人们的关注^[13-14]。因秸秆或改性秸秆对重金属有一定的吸附作用,有研究^[15-17]认为其可用作修复污染水体和污染土壤,并在重金属污染的农田中施用有机肥和秸秆可降低土壤中的有效态重金属含量,减少作物对土壤重金属的吸收。也有人^[18-25]注意到,由于以作物秸秆形式输入农田土壤的有机碳属于活性有机碳,秸秆还田后产生的溶解有机碳可作为重金属的有机配体,可增加土壤中重金属的移动性和迁移性,增加污染土壤重金属的活度。单玉华等^[21]研究表明,淹水土壤施用秸秆促进了 Cu、Cd 的溶出;卢萍等^[22]也指出秸秆还田可显著促进污染土壤 Cu、Cd 的溶出;陈同斌等^[19]研究指出,DOC 可显著降低土壤对 Cd 的吸附固化能力,从而提高土壤溶液中 Cd 的浓度。目前,有关秸秆还田对土壤重金属影响的研究多为短期观察结果,涉及的秸秆多为非污染农田的秸秆。在重金属污染农田中生产的秸秆中常常含有较高的重金属含量^[25],对此类秸秆还田是否会改变农田土壤中重金属的平衡及影响农产品品质的研究较少,为此,本研究以选择了某一污染农田,从 2008 年开始进行为期 9 年的秸秆还田与不还田对土壤、秸秆、谷物、蔬菜等农产品中重金属变化的对比分析,探讨秸秆还田对污染土壤重金属平衡与农产品质量的影响。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验农田为一历史时期受矿水污灌的农田,试验期间已不受矿水的影响。在高密度布点采样分析的基础上,选择了 1 个重金属污染水平比较均一、面积为 434 m² 农田进行试验,把农田等分为 4 个小区,布设了秸秆还田、秸秆不还田、秸秆还田+石灰及秸秆不还田+石灰 4 个处理。考虑到农事操作的方便,小区不再细分,试验不设置重复。试验初期农田耕作层土壤为水稻土,质地为壤土,土壤 pH 5.54,有机质含量 28.35 g/kg, Cd 含量 0.82 mg/kg, Pb 含量 134.73 mg/kg, Hg 含量 0.44 mg/kg, Cr 含量 137.14 mg/kg, Ni 含量 57.28 mg/kg, Zn 含量 168.41 mg/kg, Cu

含量 42.57 mg/kg。土壤 Cr、Ni、Zn、Cu 不超标,因此,文中主要研究 Cd、Pb、Hg 3 种重金属。

试验于 2008 年 4 月开始,设置秸秆还田(每年全部水稻秸秆还田)、秸秆不还田(水稻秸秆全部移除)、秸秆还田+施石灰石粉和秸秆不还田+施石灰石粉 4 个处理,石灰石粉以 300 kg/667 m² 在试验前一次性施入。其他施肥、管理完全按照当地习惯进行;种植模式为水稻与蔬菜连作,每次种植前结合秸秆还田对土壤进行翻耕。水稻和蔬菜(青菜)成熟时(品种分别为“甬粳 15”和“苏州青”)采集土壤、秸秆、谷物、蔬菜等农产品样品,分析其重金属含量。样品分小区采集,每一小区采 3 个重复样,每一样品由 10 个分点的样品混合,耕层采样深度统一为 0—15 cm。同时,采用同样方法对试验小区的水稻稻谷和稻秆产量进行估测。

1.2 分析方法

土壤 pH 采用常规方法测定^[26];土壤有机质含量采用 Vario.EL 元素分析仪测定;植物样品采用高氯酸消化法消化、石墨炉—原子吸收光谱法测定 Cd 和 Pb 含量,荧光原子吸收法测定 Hg 含量。土壤中重金属含量采用标准方法测定^[27],其中, Cd 含量用盐酸—硝酸—高氯酸消解,石墨炉原子吸收分光光度法测定; Hg 含量采用硝酸—高锰酸钾消解、冷原子吸收光谱法测定; Pb 含量采用盐酸—硝酸—氢氟酸—高氯酸消解、石墨炉原子吸收分光光度法测定。重金属测试采用标准物质进行准确度和精密度监控,各重金属元素测试精密度在 5% 左右;重复样间相对误差控制在 5% 以下。

分析数据采用 Microsoft Excel 2003 处理,差异显著性统计分析在 DPS 3.0 软件实现。

2 结果与分析

2.1 秸秆还田与施石灰对水稻产量与土壤肥力的影响

不同年份因气候等因素的变化水稻稻谷和稻秆产量有较大的变化,但同一年份不同处理之间的变化较小。总体上,施用石灰比不施用石灰的稻谷和稻秆产量略有提高,秸秆还田处理的稻谷和稻秆产量也略高于秸秆不还田处理。秸秆还田、秸秆不还田、秸秆还田+石灰及秸秆不还田+石灰 4 个处理的稻谷平均产量分别为 7 018, 6 732, 7 284, 6 933 kg/hm², 稻秆平均产量分别为 7 900, 7 313, 8 168, 7 477 kg/hm²。

施用石灰可提高土壤 pH, 这种影响在试验前期非常显著。但随着试验时间的增加,施石灰处理与不施石灰处理之间土壤 pH 的差距逐渐下降。从试验的结果还可知,秸秆还田对土壤 pH 也可产生轻微的影响,特别是在试验后期,秸秆还田的土壤 pH 略高于相应的秸秆不还田处理的土壤,试验结束时秸秆还田、秸秆不还田、秸

秆还田+石灰及秸秆不还田+石灰 4 个处理的土壤 pH 分别为 5.47,5.28,5.82,5.63。在试验初期,施石灰可引起土壤有机质的下降,但这种影响随试验时间的增加逐渐变小。秸秆还田有利于土壤有机质的积累,无论是否施用石灰,秸秆还田土壤的有机质含量均高于秸秆不还田处理土壤,并随试验时间的增加,两者差异逐渐加大,试验结束时秸秆还田、秸秆不还田、秸秆还田+石灰及秸秆不还田+石灰 4 个处理的土壤有机质含量分别为 29.44,28.02,29.33,27.76 g/kg。

秸秆还田可影响土壤速效钾状况,一般秸秆还田土壤的速效钾高于秸秆不还田土壤,这种影响随试验时间增加逐渐明显;秸秆还田对土壤有效磷的影响较小,但平均含量也呈秸秆还田土壤高于不还田土壤,试验结束时秸秆还田、秸秆不还田、秸秆还田+石灰及秸秆不还田+石灰 4 个处理的土壤速效钾含量分别为 118,85,124,83 mg/kg。施石灰与否对土壤有效磷的影响较小,但土壤有效磷一般是施石灰处理的略高于不施石灰处理的,这对于同时进行秸秆还田处理的土壤更为明显。

2.2 秸秆还田和施石灰对土壤重金属的影响

由表 1 可知,施用石灰对土壤中 3 种重金属元素含量影响均不明显。但秸秆还田可影响土壤中 3 种重金属的平衡。无论是施石灰处理的农田还是不施石灰处理的农田,在试验前期秸秆还田与不还田处理之间的重金属含量差异均不显著,大约至试验 4~5 年后,秸秆不还田处理的土壤重金属含量已明显低于秸秆还田的土壤。在试验第 5 年,不施石灰与施石灰处理的农田,秸秆不还田处理土壤 Cd 含量分别比秸秆还田处理的土壤下降-16.25%和-14.81%,土壤 Pb 含量分别下降-0.66%和-1.47%,土壤 Hg 含量分别下降-7.32%和-9.30%;在试验第 9 年,不施石灰与施石灰处理的农田,秸秆不还田处理土壤 Cd 含量分别比秸秆还田处理土壤下降-28.00%和-28.57%,土壤 Pb 含量分别下降%-3.70 和-3.46%,土壤 Hg 含量分别下降-17.07%和-16.67%。秸秆不还田对土壤 3 种重金属的降低效果为 Cd>Hg>Pb,从降低幅度的数值来看,秸秆不还田对降低土壤 Cd 和 Hg 的效果非常明显,但对 Pb 的效果较小。

表 1 各试验小区土壤和秸秆中重金属含量

单位:mg/kg

重金属	年份	土壤				秸秆			
		还田	不还田	还田+石灰	不还田+石灰	还田	不还田	还田+石灰	不还田+石灰
Cd	2008	0.78±0.03a	0.81±0.02a	0.79±0.03a	0.82±0.03a	1.43±0.11a	1.48±0.12ab	1.28±0.08c	1.32±0.07bc
	2009	0.79±0.02a	0.79±0.03a	0.81±0.04a	0.82±0.03a	1.38±0.07a	1.43±0.08a	1.18±0.06b	1.28±0.06ab
	2010	0.76±0.03a	0.74±0.02a	0.75±0.02a	0.75±0.02a	1.36±0.06a	1.38±0.06a	1.23±0.05ab	1.19±0.06b
	2011	0.78±0.01a	0.71±0.03b	0.80±0.03a	0.71±0.03b	1.56±0.05a	1.21±0.05c	1.41±0.04b	1.17±0.07c
	2012	0.80±0.02a	0.67±0.04b	0.81±0.03a	0.69±0.03b	1.43±0.07a	1.28±0.07b	1.34±0.06ab	1.29±0.05b
	2013	0.77±0.02a	0.66±0.03b	0.76±0.03a	0.64±0.04b	1.35±0.08a	1.17±0.06b	1.36±0.07a	1.13±0.06b
	2014	0.79±0.03a	0.61±0.04b	0.81±0.04a	0.61±0.02b	1.42±0.07a	1.29±0.05bc	1.37±0.06ab	1.14±0.04c
	2015	0.81±0.02a	0.62±0.02b	0.80±0.02a	0.63±0.03b	1.39±0.06a	1.24±0.04b	1.37±0.05a	1.08±0.05c
	2016	0.75±0.03a	0.54±0.03b	0.77±0.03a	0.55±0.04b	1.46±0.07a	1.15±0.06b	1.42±0.07a	1.07±0.06b
Pb	2008	134.74±2.01a	134.56±2.14a	136.45±2.07a	136.74±2.33a	1.77±0.11a	1.79±0.09a	1.34±0.04b	1.35±0.03b
	2009	135.45±1.74a	133.67±1.65a	134.87±1.28a	134.52±1.54a	1.68±0.06a	1.72±0.07a	1.25±0.05b	1.21±0.03b
	2010	133.54±1.67ab	132.89±2.51ab	135.25±2.33a	131.58±2.87b	1.73±0.08a	1.68±0.05a	1.43±0.03b	1.38±0.04b
	2011	134.25±2.04a	133.65±1.87a	136.74±2.23a	134.25±1.97a	1.62±0.05a	1.57±0.06a	1.39±0.04b	1.26±0.03c
	2012	132.56±1.66ab	131.69±1.45b	134.52±1.65a	132.54±1.32a	1.59±0.06a	1.48±0.05b	1.42±0.05b	1.23±0.04c
	2013	131.56±1.42ab	129.54±1.56b	132.18±1.68a	130.18±1.78ab	1.66±0.05a	1.59±0.06a	1.41±0.04b	1.32±0.03c
	2014	133.65±1.64a	130.98±1.45b	135.41±1.98a	129.87±1.74b	1.67±0.06a	1.56±0.04b	1.37±0.03c	1.24±0.04d
	2015	134.65±1.67a	127.26±2.01b	135.62±1.54a	128.54±2.24b	1.62±0.05a	1.48±0.06b	1.45±0.03b	1.34±0.04c
	2016	135.14±1.98a	130.14±1.76b	136.25±2.11a	131.54±1.87b	1.84±0.06a	1.49±0.05b	1.54±0.04b	1.28±0.03c
Hg	2008	0.43±0.02a	0.42±0.02a	0.44±0.02a	0.43±0.02a	0.14±0.02a	0.15±0.03a	0.082±0.012b	0.091±0.011b
	2009	0.44±0.03a	0.40±0.03a	0.45±0.03a	0.41±0.03a	0.12±0.01a	0.13±0.02a	0.073±0.011b	0.068±0.007b
	2010	0.41±0.02a	0.41±0.03a	0.40±0.03a	0.43±0.01a	0.14±0.02a	0.13±0.02a	0.068±0.008b	0.058±0.005b
	2011	0.43±0.02a	0.39±0.02ab	0.42±0.02a	0.38±0.02b	0.13±0.02a	0.11±0.01ab	0.082±0.006b	0.052±0.004c
	2012	0.41±0.03ab	0.38±0.03b	0.43±0.02a	0.39±0.02	0.12±0.02a	0.11±0.03a	0.065±0.003b	0.053±0.005b
	2013	0.42±0.02a	0.39±0.03a	0.41±0.03a	0.39±0.03a	0.15±0.03a	0.09±0.02c	0.130±0.006b	0.052±0.004d
	2014	0.41±0.03a	0.37±0.03b	0.41±0.04a	0.36±0.02b	0.13±0.02a	0.08±0.02c	0.11±0.008b	0.051±0.003d
	2015	0.44±0.04a	0.36±0.02b	0.43±0.04a	0.37±0.02b	0.11±0.03a	0.09±0.01b	0.087±0.007b	0.043±0.004c
	2016	0.41±0.03a	0.34±0.03b	0.42±0.02a	0.35±0.03b	0.16±0.03a	0.08±0.01b	0.13±0.011a	0.052±0.005c

注:表中数据为平均值±标准差;同行数值后不同字母表示同一元素不同处理间差异显著($p<0.05$)。下同。

2.3 秸秆还田和施石灰对水稻秸秆和农产品中重金属的影响

2.3.1 秸秆还田和施石灰对水稻秸秆的影响 由表 2 可知,秸秆还田和施石灰对水稻秸秆中 3 种重金属的含量均有影响。在不施石灰的情况下,秸秆还田对试验前 3 年秸秆中重金属含量影响较小;与土壤重金属的变化相似,至第 4 年时秸秆不还田处理的水稻秸秆 3 种重金属含量已明显低于秸秆还田处理,并随试验时间的增加两者差异增大。在试验第 4 年时,水稻秸秆 Cd 含量分别比对照下降-22.44%,水稻秸秆壤 Pb 含量分别比对照下降-3.09%,水稻秸秆 Hg 含量分别比对照下降-15.38%;在试验第 9 年,不施石灰处理的农田,水稻秸秆 Cd 含量分别比对照下降-21.23%,水稻秸秆 Pb 含量分别比对照下降-19.02%,水稻秸秆 Hg 含量分别比对照下降-50.00%。总体上,秸秆还田对水稻秸秆中重金属的影响比对相似年份土壤重金属的影响更为明显。

施石灰对水稻秸秆中 3 种重金属含量的影响较为复杂。在施石灰的情况下,无论秸秆是否还田,在试验初期均呈现出显著降低水稻秸秆中 3 种重金属的含量。在施石灰和秸秆同时不还田的情况下,水稻秸秆中 3 种重金属的含量随试验时间均呈现下降的趋势。与秸秆还田的不施石灰农田比较,在试验第 1 年、第 4 年和第 9 年,水稻秸秆 Cd 含量分别下降 7.69%,25.00%,26.71%,水稻秸秆 Pb 含量分别下降 23.73%,22.22%,30.43%,水稻秸秆 Hg 含量分别下降 35.00%,60.00%,67.50%。但对于在施石灰和秸秆同时还田的情况下,虽然其秸秆中重金属含量明显低于秸秆还田的不施石灰农田,但秸秆中重金属含量随试验时间增加(试验 3~5 年后)有回升的现象,因此,在试验后期其秸秆中重金属含量相对较高。与秸秆还田的不施石灰农田比较,在试验第 1 年、第 4 年和第 9 年,水稻秸秆 Cd 含量分别下降 10.49%,9.62%,2.74%,水稻秸秆 Pb 含量分别下降 24.29%,14.20%,16.30%,水稻秸秆 Hg 含量分别下降 41.43%,36.92%,18.7%。

2.3.2 秸秆还田和施石灰对谷物的影响 由表 3 可知,秸秆还田和施石灰对谷物中 3 种重金属的含量均有影响。与秸秆还田处理比较,秸秆不还田、秸秆还田+石灰、秸秆不还田+石灰 3 个处理均可降低谷物中重金属的含量。对于秸秆还田处理,其谷物中重金属含量在年度之间有一定的波动,但没有呈现随试验时间的变化趋势。对于秸秆不还田和秸秆不还田+石灰处理,随着试验时间的增加,其谷物中重金属含量均呈现下降趋势,在试验第 4 年,谷物中 Cd 含量分别下降 12.50%和 56.25%,谷物中 Pb 含量分别下降 15.38%和 70.77%,谷物中 Hg 含量分别下降

9.76%和 39.02%;在试验第 9 年,谷物中 Cd 含量分别下降 33.33%和 61.11%,谷物中 Pb 含量分别下降 40.74%和 72.96%,谷物中 Hg 含量分别下降 42.59%和 55.56%。对于秸秆还田+石灰处理,其谷物中重金属含量在试验初期较低,但随试验时间的增加呈现增加的趋势。与秸秆还田处理的农田比较,在试验第 1 年,谷物中 Cd、Pb、Hg 含量分别下降 47.06%,47.22%和 23.81%;在试验第 4 年,谷物中 Cd、Pb、Hg 含量分别下降 50.00%,63.46%和 31.71%;在试验第 9 年,谷物中 Cd、Pb、Hg 含量分别下降 36.11%,44.44%和 22.22%。总体效果以秸秆不还田+施石灰处理的最好。

2.3.3 秸秆还田和施石灰对蔬菜的影响 蔬菜中重金属的变化与同年度的谷物中镉的变化相似(表 2)。与秸秆还田处理比较,秸秆不还田、秸秆还田+石灰、秸秆不还田+石灰 3 个处理均可降低蔬菜中重金属的含量。对于秸秆不还田和秸秆不还田+石灰处理,随着试验时间的增加,其蔬菜中重金属含量均呈现下降趋势,在试验第 4 年,蔬菜中 Cd 含量分别下降 4.47%和 39.43%,Pb 含量分别下降-2.27%和 59.74%,Hg 含量分别下降 34.48%和 48.28%;在试验第 9 年,蔬菜中 Cd 含量分别下降 28.90%和 35.74%,Pb 含量分别下降 18.45%和 53.48%,Hg 含量分别下降 50.00%和 42.11%。对于秸秆还田+石灰处理,其蔬菜中重金属含量在试验初期较低,但随试验时间的增加呈现增加的趋势。与秸秆还田处理的农田比较,在试验第 1 年,蔬菜中 Cd、Pb、Hg 含量分别下降 36.60%,62.10%和 21.43%;在试验第 4 年,蔬菜中 Cd、Pb、Hg 含量分别下降 34.15%,58.12%和 44.83%;在试验第 9 年,蔬菜中 Cd、Pb、Hg 含量分别下降 22.05%,35.03%和 18.42%。总体效果以秸秆不还田+施石灰处理的最好。

3 讨论

农田系统中重金属的平衡与重金属的收支有关,进行农田系统中的重金属主要包括大气沉降、肥料投入、秸秆还田和其他农用物资的投入,重金属的支出主要通过农作物收获物的移出。本试验在同一农田中进行,土壤重金属的本底值相同,大气环境一致,肥料试用量和其他投入品一样;试验用石灰中重金属含量较低,对土壤重金属影响不明显。因此,不同处理之间小区重金属的平衡主要与农产品的收获与秸秆还田有关。从表 3 可以看出,水稻秸秆还田是影响农田重金属移出量最为重要的因素,谷物和蔬菜收获移出农田的重金属量相对较小,秸秆还田和秸秆还田+石灰处理的重金属累计量移出量明显低于秸秆不还田及秸秆不还田+石灰的处理。这一结果表明,秸秆还田是影响试验处理之间土壤重金属积累的主要原因。

表 2 试验各小区谷物和蔬菜中重金属的积累									单位:mg/kg	
重金属	年份	谷物				蔬菜				
		还田	不还田	还田+石灰	不还田+石灰	还田	不还田	还田+石灰	不还田+石灰	
Cd	2008	0.34±0.02a	0.36±0.02a	0.18±0.01b	0.17±0.01b	0.26±0.01a	0.27±0.02a	0.17±0.01b	0.15±0.01b	
	2009	0.31±0.01a	0.32±0.01a	0.15±0.01b	0.16±0.02b	0.23±0.01a	0.23±0.01a	0.14±0.01b	0.13±0.01b	
	2010	0.35±0.03a	0.33±0.03a	0.16±0.02b	0.15±0.01b	0.29±0.02a	0.31±0.02a	0.16±0.01b	0.17±0.01b	
	2011	0.32±0.02a	0.28±0.02b	0.16±0.01c	0.14±0.01c	0.25±0.01a	0.24±0.01a	0.16±0.01b	0.15±0.01b	
	2012	0.29±0.01a	0.27±0.02a	0.14±0.01b	0.12±0.01c	0.23±0.01a	0.21±0.01b	0.16±0.01c	0.13±0.01d	
	2013	0.33±0.03a	0.26±0.01b	0.18±0.02c	0.11±0.01d	0.31±0.02a	0.28±0.03b	0.19±0.02c	0.14±0.01d	
	2014	0.31±0.02a	0.24±0.01b	0.21±0.02c	0.15±0.02d	0.27±0.02a	0.22±0.02b	0.17±0.01c	0.16±0.01c	
	2015	0.34±0.02a	0.26±0.02b	0.25±0.03b	0.13±0.01c	0.27±0.01a	0.22±0.01b	0.26±0.02a	0.17±0.02c	
	2016	0.36±0.03a	0.24±0.01b	0.23±0.02b	0.14±0.02c	0.26±0.01a	0.19±0.01b	0.20±0.01b	0.17±0.01c	
Pb	2008	0.18±0.01b	0.22±0.01a	0.095±0.023c	0.087±0.005c	0.31±0.03a	0.33±0.03a	0.12±0.01b	0.13±0.02b	
	2009	0.32±0.03a	0.34±0.03a	0.087±0.014b	0.091±0.006b	0.40±0.03a	0.42±0.04a	0.13±0.02b	0.13±0.02b	
	2010	0.25±0.02a	0.26±0.02a	0.110±0.022b	0.098±0.007b	0.42±0.03a	0.40±0.03a	0.14±0.01b	0.14±0.01b	
	2011	0.26±0.02a	0.22±0.01b	0.095±0.012c	0.076±0.005d	0.31±0.02a	0.32±0.03a	0.13±0.01b	0.12±0.02b	
	2012	0.21±0.01a	0.19±0.01b	0.13±0.013c	0.083±0.003d	0.41±0.03a	0.38±0.03a	0.15±0.02b	0.13±0.02b	
	2013	0.26±0.02a	0.21±0.02b	0.15±0.005c	0.063±0.005d	0.37±0.03a	0.32±0.02b	0.17±0.01c	0.15±0.02c	
	2014	0.19±0.01a	0.15±0.01b	0.14±0.006c	0.074±0.005d	0.31±0.02a	0.26±0.02b	0.23±0.02b	0.17±0.03c	
	2015	0.25±0.03a	0.18±0.01b	0.17±0.021b	0.058±0.003c	0.37±0.04a	0.34±0.03a	0.19±0.01b	0.14±0.02c	
	2016	0.27±0.03a	0.16±0.01b	0.15±0.004b	0.073±0.004c	0.37±0.04a	0.30±0.02b	0.24±0.02c	0.17±0.02d	
Hg	2008	0.042±0.004a	0.041±0.002a	0.032±0.002b	0.035±0.003ab	0.028±0.002a	0.033±0.003a	0.022±0.002b	0.021±0.002b	
	2009	0.054±0.003a	0.056±0.003a	0.038±0.003b	0.042±0.004b	0.035±0.003a	0.034±0.003a	0.026±0.003b	0.028±0.003b	
	2010	0.038±0.003a	0.043±0.003a	0.023±0.004b	0.031±0.005ab	0.019±0.003a	0.024±0.002a	0.021±0.002a	0.023±0.003a	
	2011	0.041±0.002a	0.037±0.003b	0.028±0.002c	0.025±0.002c	0.029±0.002a	0.019±0.003b	0.016±0.002bc	0.015±0.002c	
	2012	0.037±0.003a	0.033±0.002a	0.032±0.003bc	0.028±0.002c	0.034±0.003a	0.024±0.003b	0.024±0.002b	0.021±0.002c	
	2013	0.036±0.004a	0.031±0.003a	0.033±0.002a	0.023±0.003b	0.013±0.004ab	0.015±0.002a	0.011±0.001b	0.013±0.001ab	
	2014	0.041±0.003a	0.032±0.002b	0.032±0.002b	0.021±0.003c	0.028±0.003a	0.018±0.003bc	0.021±0.002b	0.016±0.002c	
	2015	0.037±0.002a	0.031±0.002b	0.029±0.003bc	0.027±0.002c	0.037±0.004a	0.021±0.004b	0.034±0.003a	0.024±0.002b	
	2016	0.054±0.003a	0.031±0.003c	0.042±0.002b	0.024±0.003d	0.038±0.004a	0.019±0.003c	0.031±0.003b	0.022±0.003c	

表 3 9 年试验期间各小区收获物带出的重金属累计量												单位:g/hm ²
处理	蔬菜			谷物蔬菜			秸秆蔬菜			合计蔬菜		
	Cd	Pb	Hg	Cd	Pb	Hg	Cd	Pb	Hg	Cd	Pb	Hg
还田	7.29	10.06	0.80	20.64	15.39	2.66	0	0	0	27.93	25.45	3.46
不还田	6.21	8.79	0.60	17.19	13.00	2.26	84.93	104.92	7.08	108.33	126.71	9.94
还田+石灰	5.19	4.83	0.66	12.02	8.17	2.10	0	0	0	17.21	13.00	2.76
不还田+石灰	4.25	3.96	0.57	8.80	4.88	1.77	79.75	86.74	3.87	79.75	95.58	6.21

试验结果表明,秸秆还田在短期内对土壤和农产品中重金属积累的影响不明显,但其累积效果不可忽视。秸秆还田 4~5 年后,土壤重金属含量及农产品中重金属的积累明显高于秸秆不还田的处理,特别是对农产品中镉和汞的积累更为显著。本研究谷物中镉等重金属属于中轻度污染,其秸秆中的重金属积累也基本上属于中下水平。许多研究^[28-30]表明,在重金属污染农田上生长的水稻其秸秆对镉的累积能力远远高于籽实部分,前者重金属含量一般为后者的 5~10 倍,对于重金属污染较为严重的农田,水稻秸秆可从镉污染土壤

中吸收积累大量的镉,对于镉重度污染的农田,水稻秸秆中重金属含量可达到 10 mg/kg 以上。镉污染作物秸秆还田后对土壤重金属的积累及对农产品的影响是相当可观的。因此,对于重金属中至重度污染的农田,应避免进行秸秆的长期或全量还田。

秸秆还田作为一种保护性耕作措施,可增加土壤有机质含量,培肥土壤,促进土壤微生物活力和土壤养分的转化,在促进农业的可持续发展和维护生态平衡方面起重要作用。从本研究的结果可知,对于农产品安全来说,施用石灰可减免因秸秆还田带来的农产

品重金属超标问题,但施用石灰降低农产品中重金属积累的效应可随时间的增加而减弱。因此,仅仅依靠施用石灰来解决土壤重金属积累的负面影响并非是长效之计。

4 结 论

连续 9 年的监测表明,与秸秆不还田比较,秸秆还田在短期内对土壤、水稻秸秆和蔬菜重金属积累的影响不明显;但长期(4~5 年以上)秸秆不还田农田土壤镉、汞积累及水稻秸秆和蔬菜中镉、铅、汞积累明显低于秸秆还田农田,表明污染农田中减少秸秆还田可有效降低土壤重金属的积累与降低农产品的污染风险。结果还表明,污染农田中施用石灰可明显降低水稻秸秆和谷物及蔬菜中重金属的积累,但施用石灰对水稻秸秆和谷物及蔬菜中重金属降低作用随试验时间逐渐减弱。

参考文献:

[1] 李文革,李倩,贺小香.秸秆还田研究进展[J].湖南农业科学,2006(1):46-48.

[2] 韩鲁佳,闫巧娟,刘向阳,等.中国农作物秸秆资源及其利用现状[J].农业工程学报,2002,18(3):87-91.

[3] 吕小荣,努尔夏提,朱马西,等.我国秸秆还田技术现状与发展前景[J].现代化农业,2004(9):41-42.

[4] 朱玉芹,岳玉兰.玉米秸秆还田培肥地力研究综述[J].玉米科学,2004,12(3):106-108.

[5] 洪春来,魏幼璋,黄锦法,等.秸秆全量直接还田对土壤肥力及农田生态环境的影响研究[J].浙江大学学报(农业与生命科学版),2003,29(6):627-633.

[6] 曾研华,吴建富,潘晓华,等.不同稻草还田方式下土壤碳库管理指数的研究[J].中国农学通报,2011,27(30):77-81.

[7] 段华平,牛永志,李凤博,等.耕作方式和秸秆还田对直播稻产量及稻田土壤碳固定的影响[J].江苏农业学报,2009,25(3):706-708.

[8] 钟杭,朱海平,黄锦法.稻麦等秸秆全量还田对作物产量和土壤的影响[J].浙江农业学报,2002,14(6):344-347.

[9] 马宗国,卢绪,万丽,等.小麦秸秆还田对水稻生长及土壤肥力的影响[J].作物杂志,2003(5):37-38.

[10] 刘义国,林琪,王月福,等.秸秆还田与氮肥耦合对冬小麦光合特性及产量形成的影响[J].中国生态农业学报,2007,15(1):42-44.

[11] 徐祖祥.连续秸秆还田对作物产量和土壤养分的影响[J].浙江农业科学,2003(1):35-36.

[12] 彭英湘,王凯荣,谢小立,等.水肥条件与稻草还田对土壤供氮及水稻产量的影响[J].中国土壤与肥料,2007(4):40-43,48.

[13] 余贵芬,蒋新,孙磊,等.有机物质对土壤镉有效性的影响研究综述[J].生态学报,2002,22(5):770-776.

[14] 汤文光,肖小平,唐海明,等.长期不同耕作与秸秆还田对土壤养分库容及重金属 Cd 的影响[J].应用生态学报,2015,26(1):168-171.

[15] 陈晨.添加秸秆对污染土壤重金属活度的影响及对水体重金属的吸附效应[D].江苏 扬州:扬州大学,2008.

[16] 刘婷,杨志山,朱晓帆,等.改性稻草秸秆对重金属吸收作用[J].环境科学与技术,2012,35(12):41-44.

[17] 朱灵峰,龚诗雯,郭毅萍,等.小麦秸秆对农田土壤中重金属 Cu 吸附的影响[J].江苏农业科学,2016,44(1):326-328.

[18] 王艮梅,周立祥,占新华,等.水田土壤中水溶性有机物的动态及对土壤中重金属活性的影响:田间微区试验[J].环境科学学报,2004,24(5):158-161.

[19] 陈同斌,陈志军.土壤中溶解性有机质及其对污染物吸附和解吸行为的影响[J].植物营养与肥料学报,1998,4(3):201-210.

[20] Kalbitz K, Wennrich R. Mobilization of heavy metals and arsenic in polluted wetland soils and its dependence on dissolved organic matter[J].Science of the Total Environment,1998,209(1):27-39.

[21] 单玉华,李昌贵,陈晨,等.施用秸秆对淹水土壤镉、铜溶出的影响[J].生态学杂志,2008,27(8):1362-1366.

[22] 卢萍,单玉华,杨林章,等.秸秆还田对稻田土壤溶液中溶解性有机质的影响[J].土壤学报,2006,43(5):736-741.

[23] 贾乐,朱俊艳,苏德纯.秸秆还田对镉污染农田土壤中镉生物有效性的影响[J].农业环境科学学报,2010,29(10):1992-1998.

[24] 陈国华.秸秆还田对土壤 Cd 活度及水稻 Cd 积累的影响[D].江苏 扬州:扬州大学,2012.

[25] 高秀丽.重金属污染及污染秸秆施用对土壤质量影响的研究[D].郑州:河南工业大学,2012.

[26] 中国科学院南京土壤研究所.土壤理化分析[M].上海:上海科技出版社,1978.

[27] Spark D L. Methods of soil analysis, Part 3: Chemical methods[M].Madison: SSSA and ASA, 1996:703-919.

[28] 汤文光,肖小平,唐海明,等.长期不同耕作与秸秆还田对土壤养分库容及重金属 Cd 的影响[J].应用生态学报,2015,26(1):168-176.

[29] Peng C, Wang M E, Chen W P. Modelling cadmium contamination in paddy soils under long-term remediation measures: Model development and stochastic simulations [J].Environmental Pollution,2016,216:146-155.

[30] Yada S, Arao T, Kawasaki A, et al. Natural cadmium loading and balance in a non-polluted rice paddy field in Japan[J].Water Science and Technology, 2008, 58: 2243-2249.