

不同治理措施在文山受污染稻田的应用效果

胡兴钢, 宋瑞瑚*, 李晓梅, 刘润梅

(文山州农业环境保护与农村能源管理站, 云南文山 663099)

摘要:【目的】探索中轻度污染耕地上, 不同治理措施的应用效果。【方法】本研究分别选用石灰调节、叶面调控、优化施肥、土壤调理剂等安全利用措施技术, 开展轻中度污染耕地安全利用技术试验。【结果】结果表明: (1) 减少土壤中的镉和砷的含量, 均呈现土壤调理剂(D)>优化施肥(C)>石灰(A)>常规种植(CK)>叶面调控(B)的变化趋势; (2) 减少稻米中的重金属含量, 呈现土壤调理剂(D)>叶面调控(B)>优化施肥(C)>石灰(A)>常规种植(CK)的趋势。【结论】施用土壤调理剂能够明显降低土壤和稻米中的重金属含量, 且通过对比两种不同品种的水稻可以看出, 砷污染的土壤中更适合种植中浙优10号, 而在Cd污染的土壤中更适合种植科丰182。

关键词: 重金属污染; 土壤; 水稻; 治理措施

引言

土壤是人类赖以生存的主要资源之一, 土壤的质量在一定程度上决定了农作物的产量和品质, 农田土壤污染会直接导致粮食的减产和间接通过食物链的生物放大效应威胁人们的身体健康。重金属是指比重>5的金属, 在环境污染方面主要有汞、镉、铅、铬以及类金属砷等具生物毒性的重元素。重金属属于大气、水体、土壤环境中普遍存在, 并在3种环境间相互迁移^[1]。土壤中的重金属污染具有不可逆性、长期性、隐蔽性、易富集性和毒性强等特点^[2], 目前某些地方重金属已经对土壤造成了非常大的影响。水稻作为我国的主要粮食作物, 重金属在其稻米中的富集对人类健康存在潜在威胁。自20世纪以来, 我国稻米重金属超标问题日益严重。2014年全国土壤污染调查公报显示, 重金属镉、汞、铅、铬、锌的点位超标率分别为7.0%、1.6%、1.5%、1.6%、1.1%, 耕地土壤点位超标率为19.4%^[3], 林承奇等^[4]的研究结果表明闽西南地区稻米Cd、Ni、Cu含量超标率分别为8.9%、4.4%和2.2%。

通过采取不同的治理措施对重金属污染的稻田进行修复, 降低土壤中重金属污染物向水稻中的迁

移, 从而得到安全、可食用的稻米。降低重金属对稻田及水稻污染的治理措施有如下几种: 施加土壤调理剂, 通过对土壤重金属进行固定和钝化, 以降低重金属活性, 减少重金属向作物的迁移量; 采用农艺措施治理, 合理施肥, 可以有效减轻土壤中重金属的含量, 降低重金属的危害, 提高作物产量, 改善产品品质^[5]。丁凌云等^[6]通过采用石灰、过磷酸钙和有机物等改良剂对水稻产量和重金属吸收进行研究, 发现石灰+过磷酸钙(0.4kg/m^2)能够显著降低水稻中的重金属含量。刘登彪等^[7]通过设置不同叶面阻控剂浓度, 探究了其对土壤和稻米镉含量的影响。本研究根据农产品协同监测结果, 筛选出样品超标的轻中度污染耕地, 分别选用石灰调节、叶面调控、优化施肥、土壤调理剂等安全利用措施技术, 开展轻中度污染耕地安全利用技术试验, 为全州轻中度污染耕地安全利用提供技术支撑, 为推进受污染耕地安全利用工作奠定基础。

1 材料与方法

1.1 供试材料

试验于2021年2—12月在文山市某地, 地势平坦, 土壤肥力均匀, 试验地面积为390.05亩。根据土壤环境质量类别划分结果, 本试验地块属安全利用类。

选择的水稻品种为科丰182和中浙优10号。叶面调控剂由江苏天象生物科技有限公司提供、优化施肥的肥料为江苏天象生物科技有限公司生产的“威力特”、土壤调理剂为江苏天象生物科技有限公司提供的“天象1号”(降镉型)。

作者简介: 胡兴钢, 农艺师, 硕士研究生, 从事土壤重金属污染防治、生物多样性保护、农业面源污染防治、沼肥的利用等方面的工作和研究。
Email: 56926168@qq.com

通讯作者: 宋瑞瑚, 农艺师, 大专, 从事土壤污染防治、外来入侵有害生物防治、农业面源污染防治、沼肥的利用等方面的工作和研究。Email: 215255248@qq.com

1.2 试验设计

试验设计5个处理：CK为对照试验（常规施肥），A为常规种植+石灰（石灰100kg/亩），B为常规种植+叶面调控（叶面阻控剂225g/亩），C为常规种植+优化施肥（复合微生物菌肥25kg/亩），D为常规种植+土壤调理剂（土壤调理剂250kg/亩）。每个处理设3次重复，共计设30个小区，每个小区面积30m²。每个小区之间至少留0.5m的保护行，整个试验区四边各预留0.5m以上保护行。水稻采用当地常规栽培，单行条栽，株行距为20cm*26cm，每穴1-2株，栽种密度为19.2万穴/hm²。

1.3 施肥处理

表1 试验处理

处理	内容	使用量	施用方法
CK	常规种植（对照）	有机肥1250kg/亩，N-P ₂ O ₅ -K ₂ O：18-8-9或相近配方复合肥60kg/亩，硫酸锌1.5kg/亩，移栽7天后施尿素5-8kg/亩作分蘖肥、拔节孕穗期根据苗长势施用尿素5-8kg/亩。	有机肥、复合肥、硫酸锌以基肥施用，施尿素作分蘖肥、穗肥追施。
A	常规种植+石灰	有机肥1250kg/亩，N-P ₂ O ₅ -K ₂ O：18-8-9或相近配方复合肥60kg/亩，硫酸锌1.5kg/亩，移栽7天后施尿素5-8kg/亩作分蘖肥，拔节孕穗期根据苗长势施用尿素5-8kg/亩。石灰100kg/亩。	石灰在整地时与有机肥、复合肥、硫酸锌以基肥一起施用，施尿素作分蘖肥、穗肥施用。
B	常规种植+叶面调控	有机肥1250kg/亩，N-P ₂ O ₅ -K ₂ O：18-8-9或相近配方复合肥60kg/亩，硫酸锌1.5kg/亩，移栽7天后施尿素5-8kg/亩作分蘖肥，拔节孕穗期根据苗长势施用尿素5-8kg/亩。叶面阻控剂225g/亩。	有机肥、复合肥、硫酸锌以基肥施用，施尿素作分蘖肥、穗肥施用。叶面阻控剂在拔节抽穗期和灌浆期各喷一次。
C	常规种植+优化施肥	有机肥1250kg/亩，N-P ₂ O ₅ -K ₂ O：18-8-9或相近配方复合肥60kg/亩，硫酸锌1.5kg/亩，移栽7天后施尿素5-8kg/亩作分蘖肥，拔节孕穗期根据苗长势施用尿素5-8kg/亩。复合微生物菌肥25kg/亩。	复合微生物菌肥在整地时与有机肥、复合肥、硫酸锌以基肥一起施用，施尿素作分蘖肥、穗肥追施。
D	常规种植+土壤调理剂	有机肥1250kg/亩，N-P ₂ O ₅ -K ₂ O：18-8-9或相近配方复合肥60kg/亩，硫酸锌1.5kg/亩，移栽7天后施尿素5-8kg/亩作分蘖肥，拔节孕穗期根据苗长势施用尿素5-8kg/亩。土壤调理剂（天象1号降镉型）250kg/亩。	土壤调理剂在整地时与有机肥、复合肥、硫酸锌以基肥一起施用，施尿素作分蘖肥、穗肥追施。

1.4 样品采集与处理

1.4.1 土壤样品的采集

试验田整平后灌水施肥插秧前，在整个试验区采集1个基础土样送检。收获后在每个处理小区采集1个样品送检。每个采集点要求用梅花5点法采集表层0-20cm混合土样。每一点采取的土样厚度、深浅、宽窄大体一致，各点差异不能大，土样混合后留样总量不少于3kg。土样风干后分别用干净塑料袋密封保存，标签牌编号与田间品种吊牌一致，测定土壤重金属Cd、Cr、As、Pb、Hg全量，重金属有效态Cd、Pb含量，pH值等。

1.4.2 水稻样品采集与处理

水稻样品与对应点位土壤样品同步采集。在90%谷粒变黄时，分品种分小区收获，成熟一个品种收获一个，避开小区两端边株，采集每个土壤样品分样点最近的整株稻穗（梅花5点法取样），去杂后单独装网袋。每一点采取的稻穗大体一致，各点差异不能大，样品混合后总量不少于2kg（按稻谷干重计），数量不够时增加取样稻穗数。标签牌编号与田间品种吊牌一致，检测糙米重金属Cd、Cr、As、Pb、Hg含量。

1.5 数据处理

试验数据采用Excel软件进行分析整理。

2 结果与分析

2.1 不同处理措施对土壤重金属的影响

不同的施肥措施会对土壤中的重金属元素产生影响，由表2可知，不同的施肥处理均能降低土壤中Hg、Cd、Cr、As、Pb的含量。其中土壤中的镉和砷超过了土壤环境质量标准（GB 15618—2018），其余的汞、铬、铅均未超过土壤环境质量标准。

在本研究中，不同处理措施对减少土壤中的镉和砷含量的影响均呈现土壤调理剂（D）>优化施肥（C）>石灰（A）>常规种植（CK）>叶面调控（B）。其中，叶面调控剂对土壤重金属含量无太大影响。种植科丰182的土壤中不同施肥措施的Cd含量呈现出差异，其中A和B与CK、C和D与CK呈现出显著的差异性；C、D与CK在As的含量上呈现出显著的差异性。种植中浙优10号的土壤中不同处理措施的Cd含量均与CK呈显著性差异，B、C、D的As的含量均与CK无显著的差异性。

表2 不同处理措施对土壤重金属的影响				
项目	处理	科丰182 平均值 (mg/kg)	中浙优10号 平均值 (mg/kg)	限量值 (mg/kg)
汞 (Hg)	CK	0.686	0.604	3.4
	A	0.679	0.633	
	B	0.682	0.598	
	C	0.659	0.603	
	D	0.657	0.584	
镉 (Cd)	CK	2.46 a	2.56 a	0.6
	A	2.47 b	2.33 b	
	B	2.48 b	2.50d	
	C	2.32 c	2.21 c	
	D	2.18 c	2.05 e	
铬 (Cr)	CK	73	68	250.0
	A	66	65	
	B	75	65	
	C	64	65	
	D	61	61	
砷 (As)	CK	55.0 a	54.2 a	25.0
	A	51.2 ab	51.0 b	
	B	53.8 ab	53.4 a	
	C	49.6 bc	49.2 a	
	D	46.7 c	46.8 a	
铅 (Pb)	CK	88	85	170.0
	A	76	82	
	B	84	82	
	C	73	78	
	D	62	73	

2.2 不同处理措施对水稻籽粒重金属的影响

如表3所示，不同处理措施对水稻籽粒的Hg、Cd、Cr、As有不同程度的影响。在施用石灰、叶面调控剂、土壤调理剂后，水稻籽粒中的重金属均有一定程度的下降，其中在施用土壤调理剂后，水稻籽粒中重金属含量下降最明显，呈现出土壤调理剂（D）>叶面调控（B）>优化施肥（C）>石灰（A）>常规种植（CK）的趋势。

在本研究中，Hg的含量在土壤中不超标，但在水稻籽粒中超标，施加叶面调控剂和土壤调理剂后能够显著降低水稻籽粒中的汞含量。土壤中镉含量超标，以常规种植的方式进行种植，无论是科丰182还是中浙优10号，其籽粒中的Cd的含量都超标，通过不同处理措施进行处理后，科丰182籽粒中的Cd含量明显下降，大部分水稻都已满足食品限量标准。通过对比两种不同品种的水稻可以看出，中浙优10号对

Hg、As有低累积效应，而科丰182在Cd、Cr污染的土壤中种植效果更好。

表3 不同处理措施对水稻籽粒重金属的影响				
项目	处理	科丰182 平均值 (mg/kg)	中浙优10号 平均值 (mg/kg)	限量值 (mg/kg)
汞 (Hg)	CK	0.035	0.026	0.02
	A	0.026	0.019	
	B	0.017	0.013	
	C	0.023	0.015	
	D	0.015	0.011	
镉 (Cd)	CK	0.028	0.042	0.2
	A	0.021	0.035	
	B	0.014	0.025	
	C	0.017	0.029	
	D	0.010	0.018	
铬 (Cr)	CK	0.173	0.196	1.0
	A	0.151	0.179	
	B	0.117	0.119	
	C	0.106	0.143	
	D	0.084	0.085	
砷 (As)	CK	0.151	0.151	0.2
	A	0.139	0.111	
	B	0.114	0.100	
	C	0.123	0.104	
	D	0.106	0.087	

3 讨论

本研究是在中轻度污染的土壤中采用施加石灰、土壤调理剂、优化施肥、叶面阻控4项措施以及两种水稻品种，通过大田试验来探究其对土壤和稻米中重金属的降低效果。结果表明各项措施均能降低土壤中重金属的含量，使稻米中的重金属含量低于GB2762—2017限量，满足耕地安全利用的目的。

大量研究表明，在受重金属污染的农田上施用石灰、土壤调理剂等能有效降低土壤中的重金属含量。施加石灰和土壤调理剂能改变土壤pH值、阳离子交换量，从而直接影响重金属离子的生物化学行为。李鹏等^[8]研究发现，沉积物中的重金属Cu和Zn的释放量随pH值的增加而显著降低；徐明岗等^[9]通过比较Cu、Zn、Cd、Pb、Co、Ni等6中典型重金属在不同pH值下的解吸，结果发现其解吸比例随pH值升高而降低；陈诚等^[10]研究发现，施用土壤调理剂能显著降低稻米中的Cd含量，并且能够提高土壤pH值，从而

降低土壤有效Cd含量,降低土壤Cd活性。在本研究中,施用石灰和土壤调理剂后能明显降低土壤和稻米中Cd和As的含量。这也印证了以往的研究结果。

喷施叶面阻控剂能够显著降低稻米中的重金属含量。李伯平^[11]通过喷施叶面阻控剂,可以使镉停留在植物根、茎基部,阻止其向稻米中传送,喷施后稻米和稻草中重金属镉含量分别比对照降低了41.5%和25.3%;刘登彪等^[12]通过设置不同叶面阻控剂,探究其对土壤pH值、全镉、有效态镉,以及对稻米中镉含量的影响。研究表明:各处理的叶面阻控剂处理对稻米中镉含量均有不同程度的降低。本研究表明:喷施叶面阻控剂虽对土壤中重金属含量没有太大影响,但其能明显降低稻米中的重金属含量。

施肥方式的不同对土壤中重金属的含量产生影响,化肥和有机肥中除含有作物必须的养分外,还含有一定量的重金属元素,长期单一施用化肥会导致土壤中重金属含量升高^[13],尤其是施用磷肥会对土壤重金属累积产生影响^[14]。优化施肥能够有效降低土壤中重金属的含量,施用配方肥整体上可以降低土壤重金属污染风险^[15]。在本研究中,采用优化施肥能够有效降低土壤中重金属的含量。

水稻的品种对稻米中重金属的积累量也具有显著影响^[16]。不同水稻品种在不同器官之间对重金属的富集能力也不相同。仲维功等^[17]通过在土壤中添加重金属,研究了43个不同类型的水稻品种对重金属的吸收规律,发现不同水稻对重金属的累积能力具有显著的差异。本研究结果表明:中浙优10号对Hg、As有低累积效应,而科丰182在Cd、Cr污染的土壤中种植效果更好。

4 结束语

在Cd和As超标的污染农田中,种植水稻后分别采用石灰、叶面阻控、优化施肥、土壤调理剂四种措施配用结果如下。

(1) 除叶面阻控外,其余三种措施均使得污染农田上的土壤Cd和As含量下降;

(2) 四种处理措施均能降低稻米中的重金属含量,呈现出土壤调理剂(D)>叶面调控(B)>优化施肥(C)>石灰(A)>常规种植(CK)的趋势;

(3) 通过对比两种不同品种的水稻可以看出,砷污染的土壤中更适合种植中浙优10号,而在Cd污染的土壤中更适合种植科丰182。

参考文献

- [1] 帅正彬,王逸红,杨斌,等.蔬菜的重金属污染与治理措施研究进展[J].四川农业科技,2016(9):32-38.
- [2] 韩春梅,王林山,巩宗强,等.土壤中重金属形态分析及其环境学意义[J].生态学杂志,2005(12):1499-1502.
- [3] 全国土壤污染状况调查公报(2014年4月17日)[J].环境教育,2014(6):8-10.
- [4] 林承奇,蔡宇豪,胡恭任,等.闽西南土壤-水稻系统重金属生物可给性及健康风险[J].环境科学,2021,42(1):359-367.
- [5] 孙吉林,蒋玉根,徐祖详,等.农艺措施治理重金属严重污染农田土壤效果初探[J].农业环境与发展,2002(1):32-33.
- [6] 丁凌云,蓝崇钰,林建平,等.不同改良剂对重金属污染农田水稻产量和重金属吸收的影响[J].生态环境,2006(6):1204-1208.
- [7] 刘登彪,刘建华,苗雪雪,等.不同叶面阻控剂对土壤和稻米降镉效果的影响[J].湖南农业科学,2021(7):36-39.
- [8] 李鹏,曾光明,蒋敏,等.pH值对霞湾港沉积物重金属Zn、Cu释放的影响[J].环境工程学报,2010,4(11):2425-2428.
- [9] 徐明岗,李菊梅,张青.pH对黄棕壤重金属解吸特征的影响[J].生态环境,2004(3):312-315.
- [10] 陈诚,铁柏清.土壤调理剂对不同成土母质Cd污染稻田的修复效果[J].湖南农业科学,2016(6):26-29.
- [11] 李伯平.叶面阻控剂与土壤调理剂对稻米降镉效果研究[J].湖南农业科学,2016(9):30-32.
- [12] 刘登彪,刘建华,苗雪雪,等.不同叶面阻控剂对土壤和稻米降镉效果的影响[J].湖南农业科学,2021(7):36-39.
- [13] 陈芳,董元华,安琼,等.长期肥料定位试验条件下土壤中重金属的含量变化[J].土壤,2005(3):308-311.
- [14] 鲁如坤,时正元,熊礼明.我国磷矿磷肥中镉的含量及其对生态环境影响的评价[J].土壤学报,1992(2):150-157.
- [15] 邵赛男,徐君,顾万帆,等.不同施肥方式对土壤重金属累积的影响[J].浙江农业科学,2017,58(1):180-182.
- [16] 李坤权,刘建国,陆小龙,等.水稻不同品种对镉吸收及分配的差异[J].农业环境科学学报,2003(5):529-532.
- [17] 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.