

重金属污染耕地治理技术： 农户采用特征及影响因素分析

李颖明¹ 王旭² 郝亮¹ 刘扬¹ 姜鲁光³

摘要：本文基于湖南湘潭试点区的调查，对三种主要的重金属污染耕地治理技术采用情况开展分析。基于试点区和非试点区样本农户的描述性统计，本文首先分析了重金属污染耕地治理技术采用的差异化特征，在此基础上分析了影响农户采用重金属污染耕地治理技术的因素。研究表明：农户采用重金属污染耕地修复技术的主要推动力量来自政府，耕地修复技术的政府推广效果最显著；种植业收入比重和耕地质量对农户种植结构调整的采用具有显著影响；户主特征、家庭特征及试点区对农户低镉水稻种植的采用没有显著影响，低镉水稻的推广需要探索生产体系以外的新路径。

关键词：耕地 重金属污染 技术采用 试点区

一、研究背景

中国耕地土壤重金属污染严重，国土资源部中国地质调查局于2015年发布的《中国耕地地球化学调查报告（2015年）》显示，截至2014年，在调查的9240万公顷耕地中，重金属轻度污染面积为526.6万公顷，中重度污染面积为232.5万公顷，共占调查耕地面积的8.22%^①。重金属污染不仅降低耕地土壤环境质量，而且由此带来的农产品重金属超标也给人体健康、区域经济和社会发展造成巨大冲击（王玉富，2015）。如何解决土壤重金属污染，特别是大面积的耕地污染问题，国际上尚没有成熟的经验可供借鉴（Arao et al., 2010; 路子显，2011）。土壤重金属污染治理面临的难点很多，有的技术经济成本高，例如利用日本的客土法修复1公顷被污染土地的费用大约是2000万~5000万日元；有的技术修复时间长，例如利用超积累植物吸收重金属方法修复需要几十年乃至上百年的时间（张桃林，2015）。在借鉴已有经验的基础上，中国探索出以农艺措施为主的风险管控综合治理方式，提出“边生产边修复”的治理战略，筛选出重金属低吸收的作物品种进行种植，在不中断农业生产的同时开展耕地治理。与场地污染治理不同，贯穿于种植过程中的重金属污染耕地治理需要农业生产者的全程参与，这不仅是重金属污染耕地治理技术的探索，对于农业管理部门也是一

^①资料来源：《中国耕地地球化学调查报告（2015年）》，全国地质资料信息网（<http://www.ngac.cn/GTInfoShow.aspx?InfoID=5146&ModuleID=73&PageID=1>）。

个挑战。

湖南省是全国重要的大宗农产品主产区，其水稻种植面积及产量连续 40 多年居全国首位，产量占全国总产量的 1/6。2013 年的“镉米”事件使得湖南省的农产品质量安全问题提上国家战略地位。国家农业部、财政部于 2014 年正式批准启动“湖南省重金属污染耕地修复及农作物种植结构调整试点”。湖南省农业厅制定了《湖南重金属污染耕地修复及农作物种植结构调整试点 2014 年实施方案》。首先，在生产领域，一方面通过低镉水稻品种或者非食用经济作物的替代种植，减少农产品的重金属含量；另一方面通过耕地修复技术，优化土壤种植环境。其次，在流通领域，粮食收购部门对重金属超标农产品进行管控，防止扩散。具体而言，在达标生产区^①，政府通过免费发放低镉水稻种子，补贴施用石灰、淹水灌溉、深耕改土和施用有机肥等，确保稻米重金属含量不超标；在管控专产区，推广临田检测，并进一步探索“四专一封闭”模式^②，确保镉超标稻米不流入口粮市场；在替代种植区，进行农作物种植结构调整，治理期间不再种植食用水稻。当地政府在试点区以项目的形式对低镉水稻种植和非食用经济作物的替代种植给予生产性补贴和收益损失补贴。试点实施一年取得了初步成效，在 2014 年底，试点区治理前后稻谷、土壤及灌溉水的监测结果显示，土壤酸碱度（PH 值）有所提高，土壤镉含量呈下降趋势，稻米镉含量达标率有所提高。

重金属污染耕地的修复与治理具有技术不成熟、耕地修复时间长和污染治理贯穿于农作物种植全过程的特征。转型时期的农业生产模式、农户生计结构都发生很大变化，如何调动农业生产者的积极性，提高重金属污染耕地治理政策的执行效率，是推动重金属污染耕地治理的重要议题（刘扬等，2015）。基于近两年在试点地区的多次访谈和农户问卷调查数据，本文对重金属污染耕地治理技术的农户采用特征及影响因素进行研究。本文研究结果不仅对优化重金属污染耕地治理政策提供借鉴，对于探索农业环境治理模式、优化农业供给侧结构性改革也是有益的探索。

二、文献综述与研究方法

（一）文献综述

重金属污染耕地治理技术推广实施的关键是生产者行为的改变，即生产者在生产过程中采用耕地修复和种植结构调整等保护性耕作技术，实现重金属污染耕地的有效治理。从耕地保护的角度来看，影响农业生产者行为的因素有很多。王金霞等（2009）对黄河流域农民保护性耕作技术采用的研究发现，政策支持、项目实施、劳动力机会成本和灌溉条件等因素都影响农民保护性耕作技术的采用。陈志刚等（2009）发现，对于种植业收入比重较高的农户，保护耕地对于其家庭收入水平的提高是有利的，这类农户更易于采取耕地保护行为。杨志海等（2015）对江汉平原 368 户农户调查数

^①按照农业部、财政部稻田镉污染等级划分标准，将土壤镉含量>1.0 毫克/千克、稻米镉含量>0.4 毫克/千克的区域列为替代种植区；将土壤镉含量≤1.0 毫克/千克、稻米镉含量>0.4 毫克/千克的区域列为管控专产区；将稻米镉含量 0.2~0.4 毫克/千克的区域列为达标生产区。

^②即“专用品种、专区生产、专企收购、专仓储存”的方式封闭运行。

据的分析表明，户主受教育程度、农户土壤保护认知与耕地块数是影响农户耕地保护行为决策的显著因素。南灵等（2013）的研究表明，地力等级使得农户耕地保护的激励因素存在差异，需要制定个性化、差异化的耕地保护激励机制。石志恒等（2011）认为，扩大经营规模和延长经营期限，农户耕地保护的积极性才能提高。也有一些学者从农地产权的视角来分析农户耕地保护性投资行为，认为农地产权的稳定性和安全性对农户耕地保护性投资具有正向影响（例如Li et al., 1998；马贤磊，2009；Jacoby et al., 2002）。总体上，政府在耕地保护及污染治理中依然发挥主导作用（张紫云等，2014；毕继业等，2010）^①。

当前，就重金属污染耕地治理的研究而言，国内学者的研究主要集中在重金属污染治理技术路线的可行性分析、基于实验结果分析特定技术对耕地修复效果和作物生产质量的影响等领域（例如王玉军等，2015；樊霆等，2013）。对于农户采用重金属污染耕地治理技术的影响因素研究很少，更缺少相关的实证分析。

（二）研究方法 with 样本选择

政府为发挥试点区的示范作用，推动降镉技术的落实，在试点前期免费向农户提供降镉农资，并提供风险补偿，这是推动农户采用重金属污染耕地治理技术的重要因素。鉴于政府支持对重金属污染耕地治理的重要性，借鉴黄惠春等（2015）关于试点村与非试点村的划分方法，本文基于试点区和非试点区重金属污染耕地治理技术的农户采用情况对比，根据调查数据的描述性统计，分析重金属污染耕地治理技术采用的农户差异化特征。在此基础上运用计量经济模型分析影响农户采用重金属污染耕地治理技术的因素。本文所指的重金属污染耕地治理技术包括耕地修复技术、种植结构调整和低镉水稻种植。

本文使用的数据来源于2014年笔者对湖南省湘潭市的农户问卷调查，以及2014年和2015年对重金属污染耕地治理相关主体的多次访谈。农户调查问卷的内容包括农业生产者特征、农户对耕地重金属污染的认识、农户实施污染治理的行动、农户获得的补偿以及补偿方式等。访谈对象包括重金属污染耕地治理研究的高校和研究支撑机构、省级重金属污染耕地治理的技术指导单位（如湖南省农业环境监测站）、基层重金属污染耕地治理的执行部门（如湘潭市农业环境监测机构、湘潭市农业部门相关单位及乡镇技术推广站）。

作为试点区划分依据的土壤质量检测采样点呈非连续的点状分布，最理想的样本选择方法是根据采样点涉及的农户名单随机选择调查对象。在难以获得该农户名单的情况下，先确定要调查的试点区村庄和非试点区村庄，然后以村庄为单位随机选择样本农户。具体的抽样方法如下：根据试点方案确定的村级试点表格选择要调查的试点区村庄，在选定的村庄中随机选择样本农户。由于土壤质量检测采样点的点状分布，有些农户虽然属于试点村庄，但其耕地并不是试点耕地。为了克服这一缺陷，本文将试点耕地面积占该村耕地面积比例较大的村庄作为样本村。非试点区调查以非试点

^①例如，针对耕地质量退化等问题，政府近年来不断加大投入力度，仅2012年中央财政就安排土壤有机质提升补贴项目资金8亿元用于推广应用土壤改良技术。

耕地面积占比较大的村庄作为样本村。农户问卷的总样本量为 400 户农户，调查范围涉及 4 个乡镇和 1 个城郊区。

三、重金属污染耕地治理技术采用的差异化特征

（一）样本农户特征的描述性统计

在对样本农户特征的描述性统计分析中，本文将是否试点区和农户土地经营规模作为分析农户重金属污染耕地治理技术采用的两个重要影响因素。首先，政府为试点区提供了技术支持和激励补偿资金，因此，试点的实施可能对农户的重金属污染耕地治理技术采用产生正向作用。其次，随着土地承包经营权流转加快，农户在土地经营规模上产生了分化（郜亮亮等，2011；游和远、吴次芳，2013），不同土地经营规模农户的耕地收益在家庭生计中的作用产生分异，因而不同土地经营规模的农户对于是否采用重金属污染耕地治理技术的态度也可能不同。

样本农户的户主特征及家庭特征的描述性统计如表 1 所示。

表 1 样本农户户主特征及家庭特征

	总体样本			小农户			大农户		
	试点区 均值	非试点 区均值	t 值	试点区 均值	非试点 区均值	t 值	试点区 均值	非试点 区均值	t 值
户主年龄 (岁)	51.66	51.14	0.63	51.78	51.91	0.74	50.44	49.89	0.85
户主受教育 年限(年)	9.45	8.57	0.02**	9.22	9.38	0.44	9.61	9.23	0.52
户主以务农 为主(是=1)	0.73	0.68	0.18	0.72	0.66	0.29	0.96	1.00	0.55
家庭人口数	4.32	4.38	0.51	4.39	4.25	0.21	4.17	4.36	0.54
家庭年纯收 入(元)	34165.71	26182.14	0.03**	30237.45	35376.22	0.23	43456.52	41636.36	0.83
种植面积 (亩)	6.25	5.89	0.75	4.45	4.33	0.59	23.00	15.41	0.39
种植业收入 比重	0.24	0.19	0.16	0.20	0.23	0.31	0.39	0.39	0.97

注：**表示在 5% 的统计水平上显著。

从表 1 中的数据可以看出，就总体样本而言，试点区和非试点区农户除了户主受教育年限、家庭年纯收入存在显著差异外，其他特征均没有显著差异。在土地经营规模上，本文以 10 亩为标准，将实际种植面积在 10 亩以下的农户认定为小农户，将实际种植面积在 10 亩及以上的农户认定为大农户

①。统计结果显示，不论是在小农户样本中，还是在大农户样本中，试点区和非试点区农户户主特征及家庭特征均没有显著差异。

（二）重金属污染耕地治理技术采用的差异化特征

试点区与非试点区重金属污染耕地治理技术的农户采用情况如表 2 所示。本文不仅对总体样本农户的耕地修复技术、种植结构调整以及低镉水稻种植的采用情况给予分析，还分别探讨不同土地经营规模的农户对重金属污染耕地治理技术采用的差异化特征。

首先，试点区农户重金属污染耕地治理技术的采用率高于非试点区农户。试点区农户的耕地修复技术采用率为 89.71%，非试点区农户的耕地修复技术采用率为 46.89%，前者比后者高 42.82 个百分点；试点区农户的种植结构调整采用率为 30.29%，非试点区农户的种植结构调整采用率为 23.40%，前者比后者高 6.89 个百分点；试点区农户的低镉水稻种植采用率为 32.23%，非试点区农户的低镉水稻种植采用率为 12.21%，前者比后者高 20.02 个百分点。而且，就耕地修复技术采用率和低镉水稻种植采用率而言，试点区和非试点区的农户在统计上都具有显著差异。

其次，试点项目对大农户采用重金属污染耕地治理技术具有很大的推动作用。对于大农户而言，试点区的重金属污染耕地治理技术采用率明显高于非试点区。试点区的大农户耕地修复技术采用率、种植结构调整采用率、低镉水稻种植采用率比非试点区的大农户分别高 62.01 个百分点、37.30 个百分点和 37.68 个百分点。而且，不论是耕地修复技术采用率、种植结构调整采用率，还是低镉水稻种植采用率，试点区和非试点区的大农户在统计上都具有显著差异。

再次，试点项目对小农户采用耕地修复技术和低镉水稻种植具有较大的推动作用。对于小农户而言，试点区的耕地修复技术采用率和低镉水稻种植采用率在统计上显著高于非试点区，分别比非试点区高 38.67 个百分点和 16.25 个百分点；试点区的种植结构调整采用率仅比非试点区高 2.13 个百分点，但 t 检验的结果不显著。可能的原因是，对于小农户而言，农业收入在家庭总收入中的比重很小，小农户不愿承担种植结构调整的风险。

最后，与耕地修复技术相比，试点区的种植结构调整和低镉水稻种植的采用率较低。无论是在大农户范围、小农户范围，还是在总体农户范围中，试点区的种植结构调整采用率和低镉水稻种植采用率都远低于耕地修复技术采用率。可能的原因是：第一，经济作物种植替代水稻种植存在技术、资金、销售等方面的风险，农户基于规避风险的考虑，不愿改变已有的种植模式；第二，政府推出的低镉水稻在产量上不稳定，导致农户对水稻产量没有很好的预期。

表 2 试点区与非试点区农户重金属污染耕地治理技术采用的差异

样本类型	技术类型	试点区农户技术采用率 (%)	非试点区农户技术采用率 (%)	差异 (百分点)	t 值
总体样本	耕地修复技术	89.71	46.89	42.82	0.0000

①该标准与黄惠春等（2015）关于大小农户划分的标准一致。

重金属污染耕地治理技术：农户采用特征及影响因素分析

	种植结构调整	30.29	23.40	6.89	0.2018
	低镉水稻种植	32.23	12.21	20.02	0.0002
大农户	耕地修复技术	89.29	27.28	62.01	0.0000
	种植结构调整	46.44	9.14	37.30	0.0288
	低镉水稻种植	46.37	8.69	37.68	0.0047
小农户	耕地修复技术	91.12	52.45	38.67	0.0000
	种植结构调整	29.36	27.23	2.13	0.7265
	低镉水稻种植	31.25	15.00	16.25	0.0043

四、重金属污染耕地治理技术采用的影响因素分析

(一) 模型设定与变量描述

本文建立 Probit 模型来估计是否试点区、户主特征、家庭特征以及耕地特征对农户重金属污染耕地治理技术采用的影响。Probit 模型的表达式如下：

$$\Pr(Y = 1 | X_1, X_2, \dots, X_K) = \Phi(\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_K X_K) \quad (1)$$

在(1)式中， $Y = 1$ 表示农户采用了重金属污染耕地治理技术， $Y = 0$ 表示农户没有采用重金属污染耕地治理技术； X_1, X_2, \dots, X_K 为影响农户对重金属污染耕地治理技术采用的解释变量； β_0 为截距参数； $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_K$ 为回归系数，表示解释变量对被解释变量的影响程度。

本文的被解释变量分别为：农户是否采用耕地修复技术、农户是否采用种植结构调整、农户是否采用低镉水稻种植。上述变量都为二元变量，若采用，则赋值为1；没有采用，则赋值为0。其中，耕地修复技术包括施用石灰、增施有机肥、种植绿肥、喷施叶面肥、深耕改土、优化水分管理等。若农户采用其中的一种或一种以上技术则认定为该农户采用了耕地修复技术。种植结构调整包括：种植高粱替代种植水稻；种植桑树、果树等苗木替代种植水稻；种植花卉替代种植水稻；种植饲用玉米替代种植水稻。若农户选择其中一种或一种以上做法则认定为该农户采用了种植结构调整。低镉水稻品种包括政府推出的湘早粳32号、湘晚粳13号、株两优819号以及其他低镉水稻品种。若农户种植其中一种或一种以上品种则认定为该农户采用了低镉水稻种植。

本文的解释变量包括是否试点区、户主特征、家庭特征和耕地特征。户主特征包括户主年龄、户主受教育年限、户主是否以务农为主；家庭特征包括是否是大农户、家庭人均耕地面积、种植业收入占家庭总收入的比重；耕地特征包括耕地质量虚拟变量。具体变量的描述性统计如表3所示。

表3 主要变量描述统计

变量名	变量定义	均值	标准差	最小值	最大值
被解释变量					
是否采用耕地修复技术	是=1; 否=0	79.21	0.38	0	1
是否采用种植结构调整	是=1; 否=0	29.59	0.45	0	1

重金属污染耕地治理技术：农户采用特征及影响因素分析

是否采用低镉水稻种植	是=1；否=0	26.62	0.44	0	1
解释变量					
是否试点区	是=1；否=0	0.75	0.43	0	1
户主年龄	实际年龄	51.53	9.11	28	77
户主受教育年限	不识字=0；小学=6；初中=9；高中/中专=12；大专=15；大学本科=16；本科以上=19	9.08	3.64	0	19
户主是否以务农为主	是=1；否=0	0.71	0.45	0	1
是否大农户	是=1；否=0	0.11	0.31	0	1
人均耕地面积	实际亩数	1.47	2.25	0.16	30
种植业收入比重	种植业收入占家庭总收入的比重	0.23	0.28	0	1
耕地质量虚拟变量（参照组：耕地质量很好）					
耕地质量可以短期内修复	是=1；否=0	0.22	0.41	0	1
耕地质量需要很长时间才能修复	是=1；否=0	0.49	0.50	0	1
耕地质量难以修复	是=1；否=0	0.06	0.23	0	1

（二）估计结果

本文运用 Stata12.0 软件对 Probit 模型进行回归。表 4 的估计结果分别报告了是否试点区、户主及家庭特征、耕地特征对农户采用耕地修复技术、种植结构调整、低镉水稻种植的系数估计值。

表 4 基于 Probit 模型回归的农户重金属污染耕地治理技术采用影响因素估计结果

	耕地修复技术		种植结构调整		低镉水稻种植	
	系数	Z 值	系数	Z 值	系数	Z 值
是否试点区	1.67***	3.65	0.21	0.63	0.17	0.50
户主年龄	0.02	1.12	0.02*	1.71	0.02	1.45
户主受教育年限	0.27	1.39	0.23*	1.65	0.05	0.38
户主是否以务农为主	0.21	0.54	0.12	0.48	0.11	0.45
是否大农户	0.56	0.33	0.67	1.08	0.77	1.21
人均耕地面积	0.22	0.90	0.12	0.83	0.03	0.24
种植业收入比重	0.27	0.30	0.98*	1.92	0.36	0.69
耕地质量可以短期内修复	1.19*	1.77	0.47	0.90	0.38	0.77
耕地质量需要很长时间才能修复	0.75	1.24	0.88*	1.81	0.81*	1.73
耕地质量难以修复	0.76	0.88	1.25**	2.03	0.82	1.37
常数项	-2.52	-1.52	-2.97***	-2.62	-2.18**	-2.02
LR χ^2	32.25		16.59		13.25	
Prob> χ^2	0.0004		0.0841		0.2101	

Pseudo R ²	0.3365	0.0796	0.0619
-----------------------	--------	--------	--------

注：***、**、* 分别表示在 1%、5% 和 10% 的水平上显著。

（三）估计结果分析

1. 政府试点是农户耕地修复技术采用的重要推动因素。估计结果显示，在影响农户耕地修复技术采用的因素中，试点区在 1% 的水平上对农户耕地修复技术采用具有显著的正向影响。这表明，试点区项目显著提高了农户参与重金属污染耕地修复的积极性。调查问卷的统计分析结果也显示，试点区农户的重金属污染耕地修复技术采用率比非试点区农户高。从农户采用重金属污染耕地治理技术的影响因素的横向比较来看，设立试点区对耕地修复技术的推广效果是显著的，对种植结构调整和低镉水稻种植的推广效果则不显著。统计分析也显示，与耕地修复技术采用率相比，试点区农户的种植结构调整和低镉水稻种植采用率较低。在现有农业生产经营体系下，耕地修复由单个农业生产者承担，属于成本较高且具有显著外部效应的领域，需要政府给予政策和资金上的支持。这也表明，在重金属污染耕地治理技术中，耕地修复技术的政府推广效果最显著。与耕地质量很好相比，耕地质量可以在短期内修复对农户耕地修复技术采用具有显著的正向影响，而耕地质量需要很长时间才能修复和难以修复对农户耕地修复技术采用的影响并不显著。这表明，农户作为理性人，倾向于采用修复技术来修复那些相对容易修复的耕地。

2. 种植业收入比重、耕地质量是影响农户采用种植结构调整的重要因素。在影响农户采用种植结构调整的因素中，种植业收入比重在 10% 的水平上具有显著的正向影响。种植业收入在家庭收入中的比重越大，农户越愿意调整种植结构。这表明，农户生计对耕地的依赖程度对其参与重金属污染耕地治理具有正向影响。与耕地质量很好相比，耕地质量需要很长时间才能修复在 10% 的水平上对农户采用种植结构调整具有显著的正向影响；耕地质量难以修复在 5% 的水平上对农户采用种植结构调整具有显著的正向影响。这表明，耕地质量越差，农户越倾向于调整种植结构，不愿意再继续种植水稻。户主年龄和户主受教育年限在 10% 的水平上对农户采用种植结构调整具有显著的正向影响。这可以从两个方面解释：第一，户主年龄越大、受教育程度越高，其保护耕地、治理重金属污染耕地的意识就越强；第二，户主较高的受教育程度会影响其思想观念，从而使农户更容易接受新的种植结构和种植方式。

3. 户主特征及家庭特征和试点区对低镉水稻种植都没有显著影响。估计结果显示，只有耕地质量对农户采用低镉水稻种植有显著影响。与耕地质量很好相比，耕地需要很长时间才能修复对农户采用低镉水稻种植具有显著的正向影响。户主年龄、户主受教育年限、农户家庭特征以及试点区对农户采用低镉水稻种植的影响都不显著。事实上，很多低镉水稻品种是农户种植过且因产量不稳定而被淘汰的品种。

五、结论与政策启示

本文用实地调查数据分析了湖南湘潭试点区农户对重金属污染耕地治理技术采用的差异化特

征，并进一步分析了影响农户重金属污染耕地治理技术采用的因素。本文研究表明，重金属污染耕地治理技术采用取得了一定进展，技术采用受政府支持、农户特征、耕地质量等因素的影响。第一，当前以政府为主导的试点区技术推广模式仍是重金属污染耕地修复的主要推动力量，重金属污染耕地修复需要大量资金和技术支持，单个农业生产者难以承担。第二，种植业收入比重较大的生产者更倾向于采用种植结构调整，这类生产者是种植结构调整采用的主体和种植结构调整推广的重点对象。即只有当农业收入与生产者的生计密切相关时，技术推广和实施才会有效。第三，户主特征及家庭特征和试点区对农户低镉水稻种植的采用没有显著影响。“边种植边修复”的治理模式将修复技术贯穿于整个生产过程，需要生产者的积极参与，生产者特征对农户选择低镉水稻种植的影响不显著，说明低镉水稻品种的推广需要探索生产体系以外的新路径。例如，可以通过加强监管、完善市场监测标准以及政策鼓励等方法，来提高生产者对重金属污染产品的认识，引导治理技术的应用。

本文分析还表明，在试点区，大农户成为重金属污染耕地治理技术的主要采用者，应成为重金属污染耕地治理政策实施的重要对象。规模经营是现代农业发展的必然趋势，大农户成为农业技术创新的主体，“边种植边修复”的治理模式需要各个生产要素的有效配合和实施过程的有效反馈；而大量的小农户经营将产生较高的交易成本。同时，随着农业收入在农户家庭收入中的比重越来越小，小农户不愿付出更多的时间和劳动成本（刘扬等，2015）。重金属污染耕地治理技术仍处于探索阶段，具有很大的不确定性，政府要加大重金属在土壤—作物系统中的转移机理研究，提高治理技术的稳定性。同时要创新治理模式，探索利益相关者积极参与、风险分担的重金属污染耕地治理技术推广模式。

参考文献

- 1.黄惠春、祁艳、程兰，2015：《农村土地承包经营权抵押贷款与农户信贷可得性——基于组群配对的实证分析》，《经济评论》第3期。
- 2.张紫云、王金霞、黄季焜，2014：《农业生产抗冻适应性措施：采用现状及决定因素研究》，《农业技术经济》第9期。
- 3.陈志刚、黄贤金、卢艳霞、周建春，2009：《农户耕地保护补偿意愿及其影响机理研究》，《中国土地科学》第6期。
- 4.杨志海、麦尔旦·吐尔孙、王雅鹏，2015：《不同类型农户土壤保护认知及行为决策研究——以江汉平原368户农户调查为例》，《华中农业大学学报（社会科学版）》第3期。
- 5.南灵、李阳、唐玉洁，2013：《农户耕地保护行为激励因素分析——以郑州市1034户微观调查数据为例》，《华中农业大学学报（社会科学版）》第1期。
- 6.石志恒、李世平，2011：《经营规模对农户耕地保护积极性影响的检验分析》，《中国农业资源与区划》第5期。
- 7.马贤磊，2009：《现阶段农地产权制度对农户土壤保护性投资影响的实证分析》，《中国农村经济》第10期。
- 8.王金霞、张丽娟、黄季焜、Scott Rozelle，2009：《黄河流域保护性耕作技术的采用：影响因素的实证研究》，

《资源科学》第4期。

9.毕继业、朱道林、王秀芬, 2010: 《耕地保护中农户行为国内研究综述》, 《中国土地科学》第11期。

10.王玉富, 2015: 《黄麻、红麻在重金属污染农田修复中的应用研究进展》, 《“第五届重金属污染治理及风险评估研讨会”暨重金属污染治理专业委员会2015年学术年会论文集》。

11.路子显, 2011: 《粮食重金属污染对粮食安全、人体健康的影响》, 《粮食科技与经济》第4期。

12.刘扬、李颖明、姜鲁光、周金芝, 2015: 《农业种植结构调整补偿政策研究——基于湘潭市农户调查问卷及种植结构调整试点调查》, 《中国农学通报》第32期。

13.郜亮亮、黄季焜、Rozelle Scott、徐志刚, 2011: 《中国农地流转市场的发展及其对农户投资的影响》, 《经济学(季刊)》第4期。

14.游和远、吴次芳, 2010: 《农地流转、禀赋依赖与农村劳动力转移》, 《管理世界》第3期。

15.张桃林, 2015: 《科学认识和防治耕地土壤重金属污染》, 《土壤》第3期。

16.王玉军、陈能场、刘存、王兴祥、周东美、王慎强、陈怀满, 2015: 《土壤重金属污染防治的有效措施: 土壤负载容量管控法——献给2015“国际土壤年”》, 《农业环境科学学报》第4期。

17.樊霆、叶文玲、陈海燕、鲁洪娟、张颖慧、李定心、唐子阳、马友华, 2013: 《农田土壤重金属污染状况及修复技术研究》, 《生态环境学报》第10期。

18.Li, G., S. Rozelle, and L. Brandt, 1998: Tenure, Land Rights and Farmer Investment Incentives in China, *Agricultural Economics*, 19(1): 63-71.

19.Jacoby, H. G., G. Li, and S. Rozelle, 2002: Hazards of Expropriation: Tenure Insecurity and Investment in Rural China, *American Economic Review*, 92(5): 1420-1447.

20.Arao, T., S. Ishikawa, M. Murakami, K. Abe, Y. Maejima, and T. Makino, 2010: Heavy Metal Contamination of Agricultural Soil and Countermeasures in Japan, *Paddy Water Environ*, 8(3): 247-257.

(作者单位: ¹中国科学院科技战略咨询研究院;

²中国人民大学农业与农村发展学院;

³中国科学院地理科学与资源研究所)

(责任编辑: 何欢)