

# 我国农田重金属污染生态补偿研究现状与展望 ——基于 CiteSpace 知识图谱分析

侯丽<sup>1,2</sup> 高阳<sup>1\*</sup> 刘路路<sup>1</sup>

(1. 中国农业大学 土地科学与技术学院,北京 100193;  
2. 浙江大学 公共管理学院,杭州 310058)

**摘要** 采用文献计量学结合 CiteSpace 软件,以数据可视化作为主要手段,绘制科学知识图谱,分析并总结了我国 2001—2018 年间农田重金属污染生态补偿的研究现状。结果发现:1)整体上我国在该领域的研究起步晚,相关研究首次出现在 2001 年,发文量大致可以分为缓慢增长、下降、迅速增长和波动下降 4 个阶段,尚未形成核心的研究作者或研究机构;2)研究热点主要围绕生态补偿、重金属污染、污染防治、生态文明等,污染防治在整个共线网络中起到了基础性的作用,热点关键词首次出现时间多集中在 2013-2017 年;3)研究主题具有多元化的特点,主要包括“重金属污染”、“法律制度研究”、“补偿机制研究”3 个研究主题;4)未来农田重金属污染生态补偿政策、方法与实践路径研究仍需进一步探索与完善。

**关键词** 农田; 重金属污染; 生态补偿; CiteSpace

中图分类号 F303.4 文章编号 1007-4333(2020)08-0132-12 文献标志码 A

## Current status and prospects of ecological compensation for heavy metal pollution in farmland in China: Based on CiteSpace knowledge mapping

HOU Li<sup>1,2</sup>, GAO Yang<sup>1\*</sup>, LIU Lulu<sup>1</sup>

(1. College of Land Science and Technology, China Agricultural University, Beijing 100193, China;  
2. School of Public Affairs, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

**Abstract** Based on CiteSpace, this study uses data visualization as the main means to draw scientific knowledge maps, analyzes and summarizes the research status and development trend of ecological compensation for heavy metal pollution in farmland in China from 2001 to 2018. The results show that: 1) On the whole, China's research in this field starts relatively late. The related research first appears on 2001. The number of publications can be roughly divided into four stages, which are slow growth, decrease, rapid growth and fluctuation decline. Core researchers and institutions have not yet formed. 2) The research hotspots mainly focus on topics such as ecological compensation, heavy metal pollution, pollution prevention and ecological civilization. Pollution prevention plays a fundamental role in the whole research. The hotspot keywords first appeared are mainly on 2013 – 2017. 3) The research themes display diversified characteristics, including three research themes of “Heavy metal pollution”, “Legal system research” and “Compensation mechanism research”. 4) In the future, the combination of national policies, the research on the theory, methods and practice path of agricultural heavy metal pollution ecological compensation still need further exploration and development.

**Keywords** farmland; heavy metal pollution; ecological compensation; CiteSpace

收稿日期: 2019-11-19

基金项目: 国家重点研发计划(2016YFD0800906)

第一作者: 侯丽, 硕士研究生, E-mail: 1019420594@qq.com

通讯作者: 高阳, 副教授, 主要从事农田生态系统服务研究, E-mail: yanggao@cau.edu.cn

农田是重要的半自然半人工生态系统,具有生产粮食、调节气候、维持生物多样性等多种功能。健康的农田生态系统是保障粮食安全与人类社会可持续发展的基础<sup>[1]</sup>。然而,在我国城镇化与工业化快速发展的背景下,过度地排放废水、废气、废物,导致农田生态系统受到了严重的破坏,尤其是重金属污染,已经成为了制约农业生产与损害农田生态系统服务功能的重要因素<sup>[2]</sup>。与其他农田污染类型相比,重金属污染具有来源广、难降解、隐蔽性等特点,并可以沿着食物链不断积聚<sup>[3]</sup>。长期食用受到重金属污染的农产品会对人们身体造成不可逆转的伤害。因此,在我国土壤点位率严重超标、污染面积逐步扩大的趋势下,亟待展开农田污染研究并进行生态治理<sup>[4]</sup>。

近年来,应用生态补偿手段进行农田重金属污染治理逐步受到广泛关注。农田重金属污染生态补偿是利用财政转移机制,将负外部性经济内部化以改善农田生态环境的经济措施,对从源头上控制污染源与激励农户自发进行农田保护具有十分重要的作用<sup>[5]</sup>。从研究时间来看,我国相关文献最早出现在 2001 年,周文斌<sup>[6]</sup>从农村可持续发展的角度,描述了中国工业化发展所带来的污染,并探讨了生态建设的机制。此后,随着国家与社会对重金属污染生态补偿的愈发重视,该领域逐渐成为研究热点,研究内容涵盖了经济学、法学等多学科理论,涉及补偿机制、补偿方式、补偿标准等多个方面<sup>[7-10]</sup>;汪霞<sup>[8]</sup>研究了干旱区绿洲的农田重金属污染现状与分布,并结合农业人口生态补偿意愿,构建了土壤重金属污染的生态补偿机制。赵越<sup>[9]</sup>调查了重金属污染区农户参与休耕的意愿,探讨了休耕农户对于补偿金额的最低期望。虞锡君等<sup>[10]</sup>针对长三角地区构建了我国农田土壤生态直接补偿制度,提出将生态补偿条款纳入承包地合同,以生态修复成本测定补偿标准。

在当今生态文明建设的背景下,为客观地对我国农田重金属污染生态补偿的现有研究成果进行梳理,本研究拟选择利用定量与定性结合的方式,基于 CiteSpace 绘制科学知识图谱,分析农田重金属污染生态补偿研究的知识结构、规律与分布情况,并通过文献研读的方式对研究中存在的问题与未来方向进行分析与展望,以期明晰我国目前研究现状,有助于进一步推动该领域的研究。

## 1 数据情况与研究方法

### 1.1 数据来源

以农田重金属污染生态补偿为研究对象,数据样本选取于中国知网(CNKI)数据库。综合考虑文献的数量与覆盖范围等,检索条件设置为“全文(农田 or 农地)and(生态系统服务付费 or 生态补偿)and(重金属污染)”,时间 2001—2018 年,共检索出 739 篇相关文献。经过对新闻、重复文献以及不相关文献进行去除,最终确定文献数量为 278 篇。

### 1.2 研究方法

随着计算机与信息科学的发展,文献的可视化分析工具对某一领域的文献整理、研究现状与前沿分析起到了至关重要的作用。目前广为受到关注的可视化分析软件主要有 Refviz<sup>[11]</sup>、Histcite<sup>[12]</sup>、CiteSpace<sup>[13]</sup>等。与其他软件相比,CiteSpace 以其在图谱多样性、结果易读性和色彩丰富性等方面的优势,成为了目前计算机科学<sup>[14]</sup>、医学<sup>[15]</sup>、环境科学<sup>[16]</sup>等多个领域的主流分析软件。特别是在文献共引、知识转折点与关键点识别等方面,CiteSpace 能够准确地反映出研究文献的引文历史、主题演变趋势与热点之间的内在联系。

以 CiteSpace 5.3.R4 为分析工具,设置相关参数:时间切片长度=1 a,其余均为默认。选择作者、机构、关键词等节点,分别绘制作者合作网络、关键词网络图谱、聚类时间线图。并采用普赖斯定律衡量各个学科领域作者分布规律,即假设  $M$  为论文篇数, $N_{\max}$  为统计年限内最高产的作者的发文数,普赖斯公式可以表示为  $M=0.749 \times \sqrt{N_{\max}^{[17]}}$ 。最后,通过文献研读的方式对研究内容进行挖掘与总结,以期后续研究带来新的启示与思考。

## 2 结果与分析

### 2.1 发文数量

研究领域的发文数量随时间的变化以及增长的趋势能够在一定的程度上反映出该领域的发展历程与规律变化。将本研究中所确定的文献进行逐年统计,2001—2018 年国内农田重金属污染的生态补偿发文量趋势见图 1。由图 1 可见我国农田重金属污染的生态补偿相关文献数量可以分为缓慢增长、下降、迅速增长和波动变化 4 个阶段。2001—2018 年国内农田重金属污染的生态补偿发文时间及数量分

布见表1:2001—2008年间,发文数量整体属于缓慢增长阶段,该阶段累积发文量43篇。首次发文时间在2001年,且2005年以前每年发文数量均少于5篇,至2007年首次突破10篇。在这一时期我国农田重金属污染的生态补偿属于“起步”阶段;2008—2010年间,文献数量则呈现下降趋势;2010—2014年间,文献数量呈现迅速增长的态势,尤其是2014年,文献数量相比2013年增长6.47%,累积百分比为51.08%。这是由于在2013年,十八届三中全会发布的《中共中央关于全面深化改革若干重大问题的决定》中进一步明确要实行生态补偿制度,极大地推动了生态补偿的相关研究。此外,2014年,我国首次发布的《全国土壤污染状况调查公报》表明我国农田重金属污染的整体情况不容乐观,也引起了社会的广泛关注,从而促进了该领域的进一步发展。2014年以后,我国农田重金属污染的生态补偿的相

关文献数量呈现波动变化,但整体发文数量占总文献数量近50%,说明该领域相关研究主要集中在2014年以后。2016年发文最多,文献数量为42篇,占比15.11%。

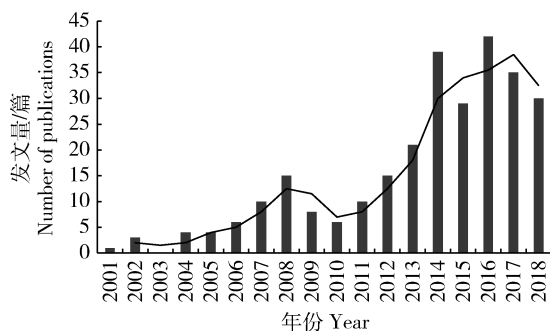


图1 2001—2018年国内农田重金属污染的生态补偿发文量

Fig. 1 Ecological compensation for heavy metal pollution in domestic farmland from 2001 to 2018

表1 2001—2018年国内农田重金属污染的生态补偿发文时间及数量分布

Table 1 Distribution of time and quantity of ecological compensation for heavy metal pollution in domestic farmland from 2001 to 2018

年份 Year	发文量/篇 Number of articles	百分比/% Percentage	累积发文量/篇 Cumulative publications	累积百分比/% Cumulative percentage
2001	1	0.36	1	0.36
2002	3	1.08	4	1.44
2003	0	0.00	4	1.44
2004	4	1.44	8	2.88
2005	4	1.44	12	4.32
2006	6	2.16	18	6.47
2007	10	3.60	28	10.07
2008	15	5.40	43	15.47
2009	8	2.88	51	18.35
2010	6	2.16	57	20.50
2011	10	3.60	67	24.10
2012	15	5.40	82	29.50
2013	21	7.55	103	37.05
2014	39	14.03	142	51.08
2015	29	10.43	171	61.51
2016	42	15.11	213	76.62
2017	35	12.59	248	89.21
2018	30	10.79	278	100.00

## 2.2 发文作者及机构

经统计在 2001—2018 年间我国农田重金属污染的生态补偿研究作者共 383 位,根据普赖斯公式推断高产作者共 16 位,占 4.18%,尚未出现领军人物。此外,利用 CiteSpace 绘制作者合作网络图谱(图 2),共有 9 名研究人员,研究合作 10 次,国内在该领域的作者分布较为分散,研究人员合作总体较少。主要团队为李海翔、严峻、陈同斌等组成,该团队以问卷调查的形式,分析了广西省环江地区农户受偿意愿与影响因素<sup>[18]</sup>。发文量前 3 的机构分别为桂林理工大学环境科学与工程学院、农业部环境保护科研监测所、中国科学院地理科学与资源研究所。3 所研究机构发文量共 7 篇(表 2),占统计文献的 2.52%,同样表明国

内研究该领域的机构分散,还未形成主要的研究力量。

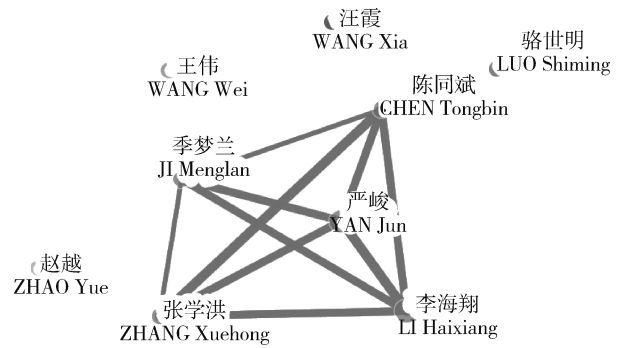


图 2 研究作者合作网络图谱

Fig. 2 Study authors' collaboration network map

表 2 主要研究机构发文量及时间统计

Table 2 Publications and time statistics of major research institutions

机构名称 Institution name	发文量 Number of publications	首次发文年份 First year of publication
桂林理工大学环境科学与工程学院	3	2016
中国科学院地理科学与资源研究所环境修复研究中心	2	2016
农业部环境保护科研监测所	2	2017

## 2.3 研究热点与主题分析

### 2.3.1 研究热点

关键词是论文中心的高度凝练,关键词的共现网络分析,在一定程度上可以反映出学科领域的研究热点<sup>[16]</sup>。利用 CiteSpace 的关键词节点对所确定的文献绘制关键词共线网络图谱,结果见图 3。图 3 中正方形节点的大小反映了关键词出现的频次,关键词出现的频次越多,节点越大。其中:排名第 1 的关键词为“生态补偿”,出现频次为 20 次,说明其为农田重金属污染的生态补偿的热点关键词;其次是“重金属污染(15 次)”、“污染防治(11 次)”、“生态文明(10 次)”。

为了探寻关键词在共线网络中的核心力度与重要性,考察关键词在不同时间出现的情况。本研究筛选了中心度 $\geq 0.10$ 的关键词,结果见表 3。通过分析核心关键词首次出现的时间变化来推测研究重点的转变,以了解研究发展历程:

1)2007 年以前,关键词中心度均 $\leq 0.1$ ,尚未发现研究重点,相关研究较为分散;

2)2007—2012 年,核心关键词有农业、农户、污染防治、生态补偿。农业与农户先后成为了研究的

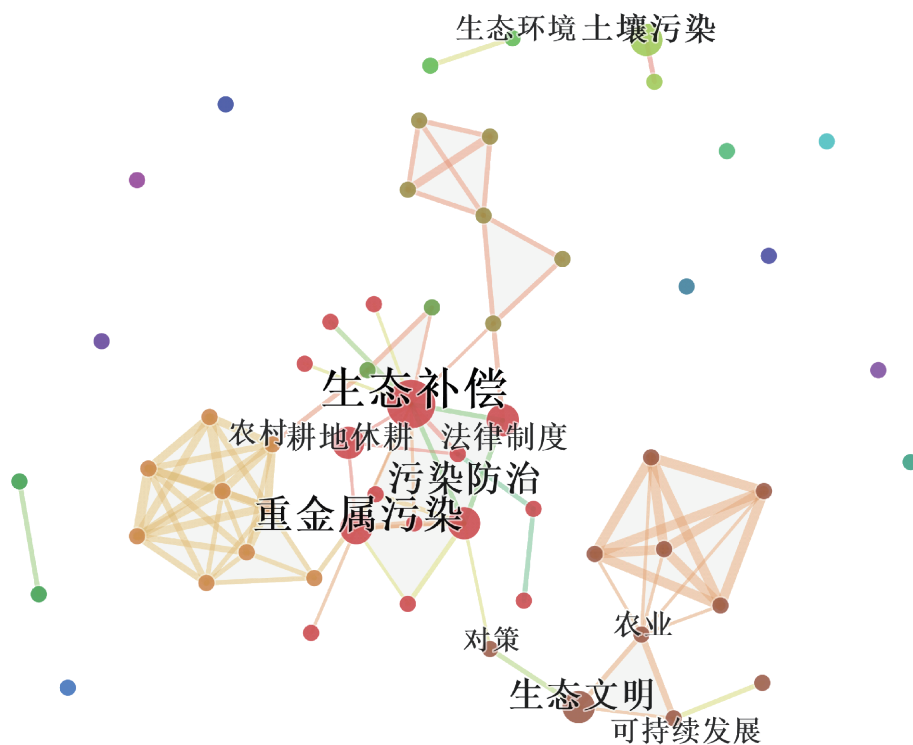
重点。此外,2011 年污染防治与生态补偿两个关键词作为重要的节点首次出现,频次与中心度均较高,但这一年发文量并不多,说明 2011 年是整个领域研究的转折年;

3)2013—2017 年,核心关键词占全部核心词的 2/3,主要有生态文明、对策、耕地、农业面源污染、农村、新型城镇化、PSR 模型等关键词,可见在这一时期内,更加注重生态文明建设与农村、农业的发展,同时伴随着城镇化进程的加快,更加重视人类活动对生态环境的影响。

从 2001—2018 年整个时间段进行分析,“污染防治”在整个研究中起到了基础性的作用。新型城镇化、PSR 模型等词不断涌现,说明生态系统的健康评价是学科研究的新增长点之一。

### 2.3.2 研究主题

为了更有效的把握重金属污染生态补偿的研究主题,在 CiteSpace 中采用对数极大似然率算法,将关系紧密的关键词进行聚类,同一聚类中值最大的为该类别的聚类名称。以时间线图呈现研究的时间跨度与主要研究内容(图 4,表 4),并通过梳理相关文献,对各个主题进行分析。



生态补偿 Ecological compensation; 重金属污染 Heavy metal pollution;  
 污染防治 Pollution prevention; 生态文明 Ecological civilization;  
 生态环境 Ecological environment; 土壤污染 Soil pollution;  
 农村 Countryside; 耕地休耕 Farmland fallow;  
 法律制度 Legal system; 农业 Agriculture;  
 对策 Strategy; 可持续发展 Sustainable development。

图 3 关键词共现网络图谱

Fig. 3 Keywords co-occurrence network map

表 3 关键词中心度与频次统计

Table 3 Keywords center and frequency statistics

序号 Serial number	关键词 Keywords	中心度 Centrality	频次 Frequency	年份 Year
1	污染防治	0.66	11	2011
2	生态补偿	0.58	20	2011
3	耕地	0.42	7	2015
4	对策	0.40	5	2013
5	生态文明	0.36	10	2013
6	农业	0.24	6	2007
7	新型城镇化	0.20	2	2017
8	农业面源污染	0.19	4	2015
9	农村	0.17	6	2015
10	农业部	0.16	2	2015
11	PSR 模型	0.15	2	2017
12	农户	0.10	4	2008
13	耕地生态补偿	0.10	2	2014

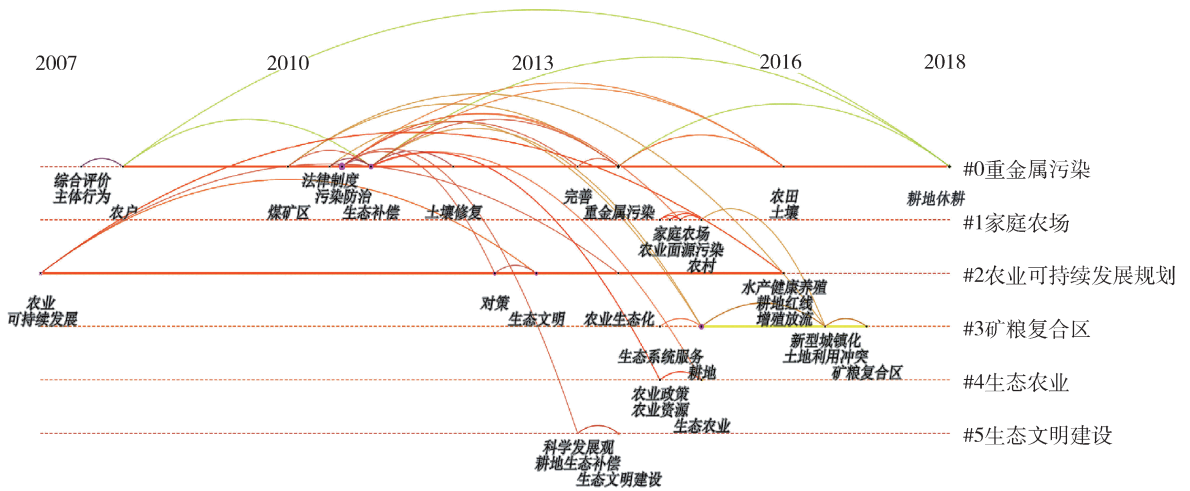


图 4 关键词聚类图

Fig. 4 Keyword clustering timeline diagram

表 4 不同聚类研究内容与特点一览表

Table 4 List of different clustering research contents and characteristics

聚类名称 Cluster name	聚类效率 Clustering efficiency	平均出现年份 Average year of occurrence	主要关键词 Main keywords
重金属污染 Heavy metal pollution	0.690	2012	重金属污染;耕地休耕;污染防治;完善;法律制度
家庭农场 Family farm	0.909	2015	家庭农场;农民专业合作社;危房改造;发展现代农业;农民增收
农业可持续发展规划 Agricultural sustainable development plan	0.937	2013	农业可持续发展规划;对策;耕地红线;水产健康养殖;增殖放流
矿粮复合区 Mineral and grain complex	0.757	2016	矿粮复合区;土地利用冲突;PSR 模型;耕地;利益相关者
生态农业 Ecological agriculture	0.900	2015	生态农业;农业资源;农业政策;农业转型;农业环境
生态文明建设 Construction of ecological civilization	0.911	2014	生态文明建设;科学发展观;耕地生态补偿;无锡市;水产种质资源保护区

1) 重金属污染 (#0)。以环境侵权理论为视角, 农田重金属污染是工矿企业、金属冶炼企业、农业生产者与劣质农药化肥生产商等直接、间接主体, 通过污水灌溉、大气沉降, 农资商品过度利用综合作用的结果<sup>[19]</sup>。我国农田以 Cd、Ni 与 Cu 重金属污染最为突出, 西南(云南、贵州等地), 中部(湖南、山西等地), 长三角以及珠三角地区农田重金属污染问题最

为严重<sup>[20-21]</sup>。对农田重金属污染现状与来源进行解析, 评价重金属污染对农田环境的影响, 是进行生态补偿的前提。目前, 重金属污染 (#0) 研究主要集中在 3 个方面: 一是对全国农田土壤中铜、铅、镉、铬、砷等重金属的时空分布信息进行统计, 讨论农田重金属聚集的时空分异规律与不同地区污染的主要来源<sup>[22-23]</sup>; 二是由重金属污染带来的生态危害性, 评价

特定污染区域的生态风险与区域农产品的质量<sup>[24]</sup>；三是从转变土地利用结构,实施休耕轮作制度角度探讨农田重金属污染治理与修复措施。特别是在近几年,针对重金属污染区的耕地休耕研究,主要包括对湖南长株潭、长三角等污染严重地区农户休耕意愿的实证分析<sup>[25]</sup>与“清洁去污型”休耕模式的探索等<sup>[26]</sup>。

2)生态补偿法律制度研究( # 2、# 4、# 5)。生态补偿的立法研究是保障补偿实施的关键。其中农业可持续发展规划( # 2)、生态农业( # 4)、生态文明建设( # 5)主要以国家出台的宏观性农业政策为基础,对全局性农业生态化发展现状进行剖析,探讨农业资源的利用与可持续农业发展的规划目标。既关注农田数量保护<sup>[27]</sup>,同时聚焦于生态农业建设的现状<sup>[28]</sup>、问题与对策<sup>[29]</sup>。然而,有研究指出我国现有的大部分生态补偿法律具有宏观性、抽象性的特点,尚未形成完整的工作规划,以至于立法缺乏系统性,实施中缺乏可操作性<sup>[30]</sup>。因此,对农田重金属污染生态补偿法律制度进行研究也是该领域的研究主题之一。王江等<sup>[31]</sup>以美国超级基金制度在实践中运行的效果为例,意图建立与我国国情相适应的环境损害赔偿基金制度,以保障污染受害者获得救济的权益。刘春霞<sup>[32]</sup>从日本颁布治污专门法规、德国建立污染治理综合体系等国际经验,认为我国土壤重金属污染治理亟待完善政策法规,构建资金保障制度。戚道孟等<sup>[33]</sup>借鉴日本、美国、澳大利亚的经验,提出我国土壤污染防治立法原则,政府责任制度、经济刺激制度和土壤恢复制度是保障土壤污染实施的根本保障。由此可见,借鉴国外相对完善的法律制度,可为我国农田重金属污染生态补偿相关立法提供可供参考的途径和方法。

3)生态补偿机制研究( # 1、# 3)。生态补偿机制研究始终是农田重金属污染生态补偿研究的核心。目前,我国针对重金属污染生态补偿机制的研究主要以生态系统服务理论、外部性理论、效用价值论为基础,从法律角度、理论学说角度明确生态补偿主客体、确定生态补偿标准与形式<sup>[34]</sup>。机制构建主要针对于煤矿开采区、金属冶炼区等高风险土壤污染区。尤其是矿粮复合区( # 3)作为承载矿产资源生产、输出与粮食生产、输出功能的特殊地域<sup>[35]</sup>,利益相关者之间土地利用冲突与博弈一直是研究关注的主要问题<sup>[36]</sup>。李芳、李新举<sup>[37]</sup>针对煤矿区农田重金属污染的特点,从补偿主体、资金来源、补偿方式

方面构建了相应机制,机制的设计始终以“公平正义”、“谁污染谁治理”、“谁保护谁受益”为原则。汪霞等<sup>[38]</sup>以白银、金昌市郊农业区为例,测算了农户对于重金属污染的受偿意愿与影响因素。与此同时,家庭农场( # 1)作为新型农业规模经营主体之一,在农业种植过程中,不合理的施用含 Pb、As 等的农药、化肥,大量使用农用塑料膜也会造成重金属污染。如若建立生态补偿细分选择制度,各级政府推动家庭农场的发展中,引入生态补偿机制,制定不同的标准进行补偿,不仅有利于提高对生态环境的重视,同时也有利于促进经济、社会、生态效益的提高<sup>[39]</sup>。然而,补偿标准的确定也是生态补偿机制的构建的关键与难点。针对农田重金属污染生态补偿标准仍处于个案研究水平,主要集中在补偿标准的测度方法上,包括机会成本法、意愿调查法等。研究的主要目的都在于平衡补偿主客体之间的“供需关系”,探索合适的补偿形式,从而从理论与实践层面构建兼具效率与实用的生态补偿机制。

## 2.4 未来展望

我国农田重金属污染生态补偿虽然已经起步,但由于我国疆域辽阔,各地区生态资源禀赋、社会经济发展状况、农田重金属污染程度具有明显的差异,导致在农田重金属污染生态补偿具体实践过程中,仍然存在补偿主体单一化、补偿标准不合理等许多问题。结合研究现状,近年来国家颁布的相关政策(表5)。该领域的研究主要应关注以下3个方面:

### 2.4.1 补偿政策的完善

现有关于农田重金属污染治理的相关规定主要在上述法律中,尽管初步形成了土壤污染生态补偿的法律基础框架,但多数是技术性规范,过于强调法律原则,法律责任落实与激励的双重作用不明显<sup>[40]</sup>,地方各部门常常分头建设、协调性差,导致重金属污染生态补偿并未达到预期效果。因此,严格按照“谁污染谁治理、谁保护谁受偿”的原则,对侵权主体进行明确划分与追责,是实现环境正义,解决地方各部门分头建设的重要举措。同时也应结合休耕地农民制度意愿和当地土壤污染监测结果,在公平与效率层面探讨轮作休耕制度的参与度和可持续性。尤其在土地休耕对农民利益的侵害和补偿制度的可行性研究上,应将支付意愿、机会成本和政府支付能力相结合,进一步探讨农田重金属污染生态补偿的利益主体及全程监管追责体系。

表 5 2001—2018 年我国农田重金属污染相关政策

Table 5 The policies of preventing heavy metal pollution in domestic farmland from 2001 to 2018

法规名称 Regulatory name	年份 Year	重点内容 Important content
全国生态保护“十一五”规划	2006	综合防治土壤重金属、有机污染；选取典型区进行污染治理示范工程；研究土壤污染治理与修复技术。
“十二五”规划纲要	2011	加快建立生态补偿机制；研究设立国家生态补偿专项资金，积极探索市场化生态补偿机制。
《土壤污染防治行动计划》	2016	制定实施重度污染耕地种植结构调整或退耕还林还草计划；中央财政整合重金属污染防治专项资金等，设立土壤污染防治专项资金，用于土壤环境调查与监测评估、监督管理、治理与修复等工作
《建立市场化、多元化生态补偿机制行动计划》	2018	建立市场化、多元化生态保护补偿机制；探索建立生态保护地区排污权交易制度
《中华人民共和国土壤污染防治法》	2018	有关部门应当鼓励对严格管控类农用地采取调整种植结构、退耕还林还草、退耕还湿、轮作休耕、轮牧休牧等风险管控措施，并给予相应的政策支持
《关于加强涉重金属行业污染防控的意见》	2018	防范耕地重金属污染导致农产品质量超标事件
《国家乡村振兴战略规划》	2018	探索建立垃圾污水处理农户付费制度，完善财政补贴和农户付费合理分担机制；加大重点生态功能区转移支付力度，建立省以下生态保护补偿资金投入机制

#### 2.4.2 市场化多元化的补偿方式完善与创新

以往研究表明我国农田重金属污染生态补偿“重政府轻市场”，难以体现“污染者治理”原则。国家纵向资金补偿方式占据主导地位，融资渠道过于单一，导致资金提供环节具有明显的脆弱性与不稳定性<sup>[41]</sup>。而近期在新型城镇化和乡村振兴双轮驱动下，我国农田重金属污染的生态补偿方式研究视野已经开始从传统政府主导的补偿项目逐渐拓宽至市场化的多元补偿项目。研究重点逐渐从现象讨论追溯至发生机理分析。在补偿方式研究方面，也逐渐从单一化资金补偿开始向多主体多途径的复合补偿转变，以破解生态补偿的资金局限。如讨论引入日本生态农户制度，鼓励并引导社会资本参与生态补偿相关研究已经显现<sup>[42]</sup>。但如何成功实现全面转型，完善创新市场化、多元化补偿方式，有效激励农户进行污染农田的养护，建议应通过如反向招标等措施，使社会资本成为生态系统服务的提供者、生态补偿项目的投资者、专业知识的提供者，积极引导鼓励社会资本参与生态补偿实践，从而创新市场化、多元化生态补偿格局。

#### 2.4.3 补偿标准测算方法的多样化探索

补偿标准的合理性是能否顺利实施生态补偿机制的关键，也是生态补偿研究的核心内容。由于不同区域重金属污染程度、自然本底条件具有一定差异，决定了补偿标准的制定要凸显“地方性”，避免“一刀切”。目前已有研究多采用机会成本法、意愿调查法、生态系统服务价值法等测算币值化补偿标准，但机会成本法、意愿调查法易受数据准确性、被调查者选择偏好等因素的影响，生态系统服务价值法缺乏统一的价值定量评估，常常导致区域补偿标准不合理，出现“过低或过高”补偿现象<sup>[43]</sup>，补偿效果不尽人意。因此建议研究通过引入蒂伯特模型、源强系数模型等，利用多方法科学量化不同区域重金属污染的防治效益与成本，同时考虑农户主观期望补偿值，实施差别化补偿。

### 3 研究结论

农田重金属污染生态补偿研究是生态补偿研究领域的具体分支，本文利用文献计量学和 CiteSpace 软件对近 18 年来我国农田重金属污染生态补偿研



究的发文量、作者、机构、研究热点与主题进行了分析,具有以下研究结论:

1)从发文量与研究力量上进行分析,我国在该领域研究起步晚、发文量较少,近一半文献集中在2014年以后;研究作者、机构十分分散,尚未形成核心的研究力量与广泛的学术共识;

2)从研究热点上进行分析,生态补偿、重金属污染、污染防治为热点关键词,污染防治在整个研究关键词中起到了基础性的作用,是整个关键词共现图谱的核心。此外,热点关键词多集中在2013—2017年,具有较明显的政策指向性,热点词的出现往往伴随着国家相关政策的出台;

3)从研究主题上进行研究,主要包括重金属污染( # 0)、家庭农场( # 1)、农业可持续发展规划( # 2)、矿粮复合区( # 3)、生态农业( # 4)、生态文明建设( # 5)6个聚类,结合文献内容,分为“重金属污染”、“法律制度研究”、“补偿机制研究”3个研究主题,研究内容多元化。

总之,在城市化、工业化快速发展的进程中,重金属污染是由于人类活动而造成的生态风险源,如何有效地治理农田重金属污染,生产质量安全的生态农产品是农田重金属污染生态补偿研究的根本目的,因此,未来在效率与公平的层面上,探讨我国未来补偿政策,完善补偿方式与标准,将成为主要关注点。

## 参考文献 References

[1] 杨林. 我国农业生态补偿制度研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2018  
Yang L. Research on ecological compensation system of agriculture in China [D]. Yangling: Northwest A & F University, 2018 (in Chinese)

[2] 王婧. 城镇化进程中耕地生态补偿法律问题研究[D]. 太原:山西大学, 2017  
Wang J. The research on the legal issue of cultivated land eco-compensation in the process of urbanization [D]. Taiyuan: Shanxi University, 2017 (in Chinese)

[3] 杨蕾. 我国土壤重金属污染的来源、现状、特点及治理技术[J]. 中国资源综合利用, 2018(2): 151-153  
Yang L. The sources, present situation, characteristics and treatment techniques of soil heavy metal pollution in China[J]. *China Resources Comprehensive Utilization*, 2018(2): 151-

153 (in Chinese)

[4] 陈能场, 何晓峰, 李小飞, 张晓霞. 《全国土壤污染状况调查公报》探析[J]. 农业环境科学, 2017, 36(9): 1689-1692  
Liu N C, He X F, Li X F, Zhang X X. Analysis of the bulletin of national soil pollution survey[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2017, 36(9): 1689-1692 (in Chinese)

[5] 杨欣, 蔡银莺. 农田生态补偿方式的选择及市场运作: 基于武汉市383户农户问卷的实证研究[J]. 长江流域资源与环境, 2012, 21(5): 591-596  
Yang X, Cai Y Y. Farmers' selection of farmland ecological compensation mode and its relevant factors: A case of 383 households in Wuhan[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2012, 21(5): 591-596 (in Chinese)

[6] 周文斌. 现代化进程中的中国农村可持续发展[D]. 北京:中国社会科学院研究生院, 2001  
Zhou W B. Sustainable development of rural China in the process of modernization [D]. Beijing: Graduate School of Chinese Academy of Social Sciences, 2001 (in Chinese)

[7] 王有强, 董红. 德国农业生态补偿政策及其对中国的启示[J]. 云南民族大学学报:哲学社会科学版, 2016, 33(5): 141-144  
Wang Y Q, Dong H. German agricultural ecological compensation policy and its enlightenment to China [J]. *Journal of Yunnan University for Nationalities: Philosophy and Social Sciences Edition*, 2016, 33(5): 141-144 (in Chinese)

[8] 汪霞. 干旱区绿洲农田土壤重金属污染生态补偿机制研究[D]. 兰州:兰州大学, 2012  
Wang X. The study on the ecological compensation mechanism of the contaminated arid oasis farmland[D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2012 (in Chinese)

[9] 赵越. 重金属污染区农户参与休耕的受偿意愿与方案选择[D]. 杭州:浙江大学, 2018  
Zhao Y. Willingness to accept payment and compensation scheme selection for farmers' fallow participation in heavy metal-contaminated areas[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2018 (in Chinese)

[10] 虞锡君, 刘晓红, 胡勇. 长三角地区农用土壤污染防治的制度创新探讨[J]. 农业经济问题, 2011, 32(3): 21-26  
Yu X J, Liu X H, Hu Y. Discussion on system innovation of agricultural soil pollution prevention and control in the Yangtze River Delta [J]. *Issues in Agricultural Economy*, 2011, 32(3): 21-26 (in Chinese)

- [11] 田军. 信息可视化分析工具的比较分析: 以 CiteSpace、HistCite 和 RefViz 为例[J]. 图书馆研究, 2014, 14(16): 90-95  
Tian J. Comparative analysis of information visualization analysis tools: Taking CiteSpace, HistCite, and RefViz as examples[J]. *Research on Library Science*, 2014, 14(16): 90-95 (in Chinese)
- [12] 穆亚凤, 都平平. Histcite 引文分析工具在 ESI 学科评价分析中的应用研究[J]. 现代情报, 2017, 37(5): 157-161  
Mu Y F, DU P P. Application of Histcite citation analysis tool in ESI subject evaluation and analysis[J]. *Journal of Modern Information*, 2017, 37(5): 157-161 (in Chinese)
- [13] 李杰, 陈超美. CiteSpace: 科技文本挖掘及可视化(第二版) [M]. 北京: 首都经济贸易大学出版社, 2017  
Li J, Chen C M. *CiteSpace: Text Mining and Visualization in Scientific Literature* [M]. 2nd ed. Beijing: Capital Economic and Trade University Press, 2016 (in Chinese)
- [14] 曹洁. 基于 CiteSpace 的计算机网络领域可视化分析[J]. 电脑知识与技术, 2015, 11(32): 156-158  
Cao J. Analysis of computer network based on CiteSpace[J]. *Computer Knowledge and Technology*, 2015, 11(32): 156-158 (in Chinese)
- [15] 强威, 马丽. 基于 CiteSpace 的医学学科服务发展现状分析[J]. 新西部, 2018(20): 143-145  
Qiang W, Ma L. Analysis of the development status of medical subject service based on CiteSpace [J]. *New West*, 2018(20): 143-145 (in Chinese)
- [16] 施生旭, 童佩珊. 基于 CiteSpace 的城市群生态安全研究发展态势分析[J]. 生态学报, 2018, 38(22): 8234-8246  
Shi S X, Tong P S. Analysis of ecological security of the urban agglomeration development trend based on CiteSpace econometric analysis [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, 38(22): 8234-8246 (in Chinese)
- [17] 刘冬梅. 国内现代农业可视化分析: 基于 CiteSpace 图谱计量分析[J]. 农业图书情报学刊, 2016, 28(9): 51-54  
Liu D M. Visual analysis of modern agriculture in China: Bibliometric analysis based on CiteSpace [J]. *Journal of Library and Information Sciences in Agriculture*, 2016, 28(9): 51-54 (in Chinese)
- [18] 李海翔, 张学洪, 严峻, 季梦兰, 陈同斌. 重金属污染农田修复生态补偿的农户调查分析: 以广西环江为例[J]. 桂林理工大学学报, 2016, 36(4): 765-770  
Li H X, Zhang X H, Yan J, Ji M L, Chen T B. Investigation and analysis of farmers' compensation for ecological compensation of heavy metal polluted farmland: Taking Huanjiang River in Guangxi as an example [J]. *Journal of Guilin University of Technology*, 2016, 36(4): 765-770 (in Chinese)
- [19] 樊霆, 叶文玲, 陈海燕. 农田土壤重金属污染状况及修复技术研究[J]. 生态环境学报, 2013, 22(10): 1727-1736  
Fan T, Ye W L, Chen H Y. Review on contamination and remediation technology of heavy metal in agricultural soil [J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2013, 22(10): 1727-1736 (in Chinese)
- [20] 李秀军, 田春杰, 徐尚起, 罗莎莎. 我国农田生态环境质量现状及发展对策[J]. 土壤与作物, 2018, 7(3): 267-275  
Li X J, Tian C J, Xu S Q, Luo S S. Current situation of ecological quality and countermeasures in China's farmland [J]. *Soils and Crops*, 2018, 7(3): 267-275 (in Chinese)
- [21] 赵其国, 骆永明. 论我国土壤保护宏观战略[J]. 中国科学院院刊, 2015, 30(4): 452-458  
Zhao Q G, Luo Y M. The macro strategy of soil protection in China [J]. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2015, 30(4): 452-458 (in Chinese)
- [22] 张小敏, 张秀英, 钟太洋, 江洪. 中国农田土壤重金属富集状况及其空间分布研究[J]. 环境科学, 2014, 35(2): 692-703  
Zhang X M, Zhang X Y, Zhong T Y, Jiang H. Spatial distribution and accumulation of heavy metal in arable land soil of China [J]. *Environmental Science*, 2014, 35(2): 692-703 (in Chinese)
- [23] 陈奕云, 唐名祥, 王淑桃, 王奇, 詹皖欣, 黄冠. 基于文献计量的中国农田土壤重金属污染评价[J]. 土壤通报, 2016, 45(1): 219-225  
Chen Y Y, Tang M Y, Wang S T, Wang Q, Huang G. Evaluation of heavy metal pollution in farmland soil of China based on bibliometrics [J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2016, 45(1): 219-225 (in Chinese)
- [24] 郑国璋. 陕北黄土丘陵区农田土壤重金属污染及潜在生态风险评价[J]. 土壤通报, 2013(6): 1491-1495  
Zheng G Z. Evaluation of heavy metal contamination and its potential ecological risk to the farmland soils in loess hilly area of north Shanxi Province [J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2013(6): 1491-1495 (in Chinese)
- [25] 金声甜. 重金属污染区不同类型农户与政府的休耕行为策略

- 演化博弈研究[D]. 南昌:江西财经大学, 2018
- Jin S T. Evolutionary game research on fallow tactics of different types of farmers and governments in heavy metal contamination areas [D]. Nanchang: Jiangxi University of Finance and Economics, 2018 (in Chinese)
- [26] 陈展图, 杨庆媛. 中国耕地休耕制度基本框架构建[J]. 中国人口·资源与环境, 2017, 27(12): 126-136
- Chen Z T, Yang Q Y. Fundamental framework of China's fallow system [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2017, 27(12): 126-136 (in Chinese)
- [27] 韩倍雷. 我国农田土壤重金属污染现状及检测技术分析[J]. 环境与发展, 2018, 30(11): 160-162
- Han B L. Analysis of present situation and detection technology of heavy metal pollution in farmland soils in China [J]. *Environment and Development*, 2018, 30(11): 160-162 (in Chinese)
- [28] 刘潇凌. 湖南省农业生态化发展水平评价研究[D]. 长沙:中南林业科技大学, 2018
- Liu X L. Evaluation and research on agricultural ecological development in Hunan Province[D]. Changsha: Central South University of Forestry and Technology, 2018 (in Chinese)
- [29] 姚迪. 关于建设生态友好型农业的思考[J]. 现代农村科技, 2014(14): 70-73
- Yao D. Thoughts on building an eco-friendly agriculture[J]. *Xiandai Nongcun Keji*, 2014(14): 70-73 (in Chinese)
- [30] 温华. 农业生态补偿立法探析[J]. 农业经济, 2017(7): 10-12
- Wen H. Analysis on the legislation of agricultural ecological compensation[J]. *Agricultural Economy*, 2017(7): 10-12 (in Chinese)
- [31] 王江, 梁艳凤. 环境污染损害赔偿基金制度探究:以美国超级基金法为例[C]//生态安全与环境风险防范法治建设:2011年全国环境资源法学研讨会(年会)论文集(第三册). 桂林:中国法学会环境资源法学研究会, 2011(8): 272-278
- Wang J, Liang Y F. Research on the environmental pollution damage compensation fund system: Taking the US Super Fund Law as an example[C]. In: *Construction of the Rule of Law for Ecological Security and Environmental Risk Prevention- Proceedings of the 2011 National Conference on Environmental Resources Law (Annual Meeting) (Volume III)*. Guilin: Chinese Law Society Environmental Resources Law Research Association, 2011(8): 272-278 (in Chinese)
- [32] 刘春霞. 土壤重金属污染的国际治理经验及对我国的启示[J]. 许昌学院学报, 2018(3): 86-89
- Liu C X. The international management experience of soil heavy metal pollution and its enlightenment to China [J]. *Journal of Xuchang University*, 2018(3): 86-89 (in Chinese)
- [33] 戚道孟, 周庆春. 国外土壤污染防治立法及对我国的启示[C]//环境法治与建设和谐社会:2007年全国环境资源法学研讨会(年会)论文集(第三册). 兰州:中国法学会环境资源法学研究会, 2007(8): 141-146
- Qi D M, Zhou Q C. Foreign soil pollution prevention legislation and its inspiration to China[C]. In: *Environmental Rule of Law and Building a Harmonious Society: Proceedings of the 2007 National Conference on Environmental Resources Law (Annual Meeting) (Volume III)*, Lanzhou: Chinese Law Society Environmental Resources Law Research Association, 2007(8): 141-146 (in Chinese)
- [34] 邓雅萍. 耕地生态补偿法律问题的研究[J]. 法制博览, 2017(13): 45-47
- Deng Y P. Research on the legal issues of cultivated land ecological compensation[J]. *Legal Vision*, 2017(13): 45-47 (in Chinese)
- [35] 吕鹏, 马守臣, 孙瑞, 王锐, 李园园. 矿粮复合区生态系统健康评价:以河南省焦作市为例[J]. 湖北农业科学, 2018, 51(20): 4481-4484, 4495
- Lv P, Ma S C, Sun R, Wang R, Li Y Y. Ecosystem health assessment on the overlapped areas of crop and mine mixed zone: A case of Jiaozuo in Henan Province [J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2018, 51(20): 4481-4484, 4495 (in Chinese)
- [36] 李争, 宋振江, 杨俊. 矿粮复合区生态补偿各方利益主体多阶段动态博弈分析[J]. 科技管理研究, 2017, 37(13): 215-222
- Li Z, Song Z J, Yang J. The multistage dynamic games theory analysis on the ecological compensation's stakeholders in mine-grain mixed zone [J]. *Science and Technology Management Research*, 2017, 37(13): 215-222 (in Chinese)
- [37] 李芳, 李新举. 煤矿区农田重金属污染生态补偿机制探讨[J]. 山东农业大学学报:自然科学版, 2017, 48(6): 807-812
- Li F, Li X J. Discussion on ecological compensation mechanism of heavy metal pollution in mine farmland [J]. *Journal of Shandong Agricultural University: Natural Science Edition*, 2017, 48(6): 807-812 (in Chinese)
- [38] 汪霞, 南忠仁, 郭奇, 贾艳艳, 沈子露. 干旱区绿洲农田土壤污染生态补偿标准测算:以白银、金昌市郊农业区为例[J]. 干

- 旱区资源与环境, 2012(12): 46-52
- Wang X, Nan Z R, Guo Q, Jia Y Y, Shen Z L. Calculation of ecological compensation standard for farmland soil pollution in oasis of Arid Area: a case study of Baiyin and Jinchang suburb agricultural areas[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2012(12): 46-52 (in Chinese)
- [39] 陈碧芬, 刘飞翔, 张文明. 生态文明视角下福建养殖业家庭农场经营模式选择研究[J]. 福建农林大学学报: 哲学社会科学版, 2015, 18(3): 31-36
- Chen B F, Liu F X, Zhang W M. Family farm management modes in livestock breeding from the perspective of ecological civilization in Fujian[J]. *Journal of Fujian Agriculture and Forestry University: Philosophy and Social Sciences*, 2015, 18(3): 31-36 (in Chinese)
- [40] 靳乐山, 吴乐. 我国生态补偿的成就、挑战与转型[J]. 环境保护, 2018, 46(24): 7-13
- Jin L S, Wu L. Achievements, challenges and transformation of China's ecological compensation [J]. *Environmental Protection*, 2018, 46(24): 7-13 (in Chinese)
- [41] 李晓燕. 健全农业生态环境补偿制度研究[J]. 农村经济, 2015(11): 35-40
- Li X Y. Research on sound agricultural ecological compensation system[J]. *Rural Economy*, 2015(11): 35-40 (in Chinese)
- [42] 陈卫平, 杨阳, 谢天, 王美娥, 彭驰, 王若丹. 中国农田土壤重金属污染防治挑战与对策[J]. 土壤学报, 2018, 55(2): 261-272
- Chen W P, Yang Y, Xie T, Wang M E, Peng C, Wang R D. Challenges and countermeasures for heavy metal pollution control in farmlands of China[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2018, 55(2): 261-272 (in Chinese)
- [43] 李晓光, 苗鸿, 郑华, 欧阳志云, 肖燧. 机会成本法在确定生态补偿标准中的应用: 以海南中部山区为例[J]. 生态学报, 2009(9): 4875-4883
- Li X G, Miao H, Zheng H, OUYANG Z Y, Xiao Y. Application of opportunity cost method in determining ecological compensation standard: A case study in the central mountainous area of Hainan[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2009(9): 4875-4883 (in Chinese)

责任编辑: 杨爱东