OUKA
The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	Integrated Assessment of Heavy Metal Pollution, Health Risks, and Sustainable Remediation in Agricultural Land
Author(s)	Chen, Hanrui
Citation	大阪大学, 2026, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/107136
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

Form 3

Abstract of Thesis

Name (CHEN HANRUI)	
Title	Integrated Assessment of Heavy Metal Pollution, Health Risks, and Sustainable Remediation in Agricultural Land （農地における重金属汚染・健康リスク・持続可能な修復の統合的評価）

Abstract of Thesis

The widespread dispersion and accumulation of metals in environmental media have become a growing challenge for sustainable metal resource management and environmental protection. As an important environmental sink of diffuse metal resources, agricultural land is increasingly threatened by heavy metal (HM) contamination, posing significant risks to ecosystems and human health. However, how to formulate effective prevention and control strategies according to the distribution characteristics, health risks, and source identification of HMs remains an urgent issue.

So, in Chapter 1, the research background, objectives, and overall framework of the study are introduced. This chapter reviews the status of HM pollution in agricultural land, summarizes source identification methods and accumulation pathways of soil HMs, and discusses recent advances in the sustainable remediation and resource management of contaminated soils. Based on these reviews, the knowledge gaps and research objectives of this study are identified.

In Chapter 2, the pollution characteristics, driving forces, and probabilistic health risks of HMs in agricultural land in Wenling City, southeastern China are investigated. The results indicate that Cd and Cu are the major pollutants and pose relatively high ecological risks. Probabilistic health risk assessments reveal that HM contamination may threaten human health, with children being more vulnerable than adults. Industrial activities are identified as the dominant drivers of Cd, Cu, Zn, and Pb accumulation, whereas natural factors play a more important role in Ni accumulation. Significant spatial correlations are observed between industrial activities and soil HM concentrations.

In Chapter 3, the temporal evolution of source-oriented health risks and early warning under policy intervention are evaluated. The results revealed that environmental policy interventions significantly reduced HM accumulation in soils, Cd contamination in rice, and associated health risks. Although industrial-source contributions declined over time, they remained the primary contributors to health risks. Future scenario analysis indicated that continued policy strengthening would further improve soil environmental quality and reduce contaminated farmland areas.

In Chapter 4, an integrated life cycle assessment framework is developed to evaluate the sustainability of agricultural land remediation technologies. Cd is selected as the target contaminant because of its high pollution level and associated health risks. Four remediation technologies are assessed using a multi-scale and hierarchical hybrid life cycle assessment framework. The results show that significant differences were observed among Cd remediation technologies in terms of environmental sustainability. Phytoextraction and alternative planting achieved the best environmental performance, whereas chemical stabilization and excavation–elution generated relatively higher environmental burdens. Sustainable remediation of contaminated farmland requires balancing pollution reduction effectiveness, environmental side effects, and life-cycle impacts.

In Chapter 5, the major conclusions and future perspectives of this study are summarized. Overall, this study provides a comprehensive understanding of the pollution characteristics, driving mechanisms, and sustainable remediation pathways of heavy metals in agricultural land. The findings contribute to diffuse metal resource management and support the development of effective strategies for agricultural land pollution prevention, risk reduction, and sustainable remediation.

様式 7

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名　（　CHEN HANRUI　）		
論文審査担当者	（職）	氏　名
	主 査　准教授	中久保　豊彦
	副 査　教授	嶋寺　光
	副 査　教授	増井　利彦
	副 査　招へい教授	今泉　圭隆
	副 査　招へい教授	小口　正弘

論文審査の結果の要旨

本論文は、農地における重金属汚染を対象に、発生源特定手法の構築とヒト健康リスク評価、政策介入によるヒト健康リスクの低減効果分析、ライフサイクルアセスメント（LCA）を用いた修復技術の導入による効果分析に取り組んだ研究成果をとりまとめたものである。農地の重金属汚染問題の解決支援に向けたリスク評価手法の開発は依然として重要な研究課題であり、本研究で得られた成果が評価手法の確立に向けてその一翼を担いうる学術成果であることを審査の過程で確認した。

第 1 章では、農地の重金属汚染問題に着目して、発生源の特定、動態解析、リスク評価、修復策と持続可能な物質管理に関する最新の知見をとりまとめている。その上で、リサーチギャップに基づき本研究の目的を特定している。

第 2 章では、中国南東部の温嶺市の農地における重金属汚染の要因分析と、汚染によるヒト健康リスクの評価が行われている。評価の結果、Cd と Cu が主要な汚染物質であること、確率論的評価によりハザード比（ヒト健康リスク判定指標）においてリスクありと判定される可能性があり、特に子どもは大人よりも影響を受けやすいことを明らかにしている。人間の健康を脅かす Cd、Cu、Zn、Pb の農地土壌での蓄積は産業活動が主要な要因であることを明らかにした一方、Ni の蓄積においては自然起源がより重要な役割を果たしていると結論付けている。産業活動と土壌中の重金属濃度との相関分析にあたり、空間的相関の有無を判定する手法の構築に挑戦的に取り組んでいる。

第 3 章では、発生源に起因する農地の重金属汚染と健康リスクの経時的変化を、政策介入下で評価する研究が行われている。評価の結果、過去の政策介入により、土壌中の重金属蓄積量、米のカドミウム濃度、および関連する健康リスクが大幅に低減したことを明らかにしている。産業活動からの寄与は時間の経過とともに減少したものの、依然として健康リスクの主な要因であり続けることを示す結果となった。将来に対するシナリオ解析の結果では、政策の継続的な強化により、土壌環境中の重金属濃度がさらに低下すること、汚染農地の面積が減少することが示された。

第 4 章では、LCA を基盤として、農地土壌の修復技術の持続可能性を統合的に評価するための方法論を構築している。これまでのリスク評価結果を踏まえ、対象物質として Cd を選定した。多階層かつ階層的なハイブリッド LCA の枠組みを用いて、4 つの修復技術を比較評価した。健康被害を含む環境の持続可能性評価は、農地汚染の低減効果（直接影響）に限定せず、修復技術の導入に伴う資材やエネルギーの消費に起因する間接影響も内包しており、評価結果では持続可能性の側面から顕著な違いが認められた。ファイトエクストラクションと代替作物栽培が最も優れた環境性能を示す結果となり、化学的安定化と掘削・溶出法は比較的低い性能を示した。農地の重金属汚染に対して、修復技術の導入とその持続可能性評価にあたり、汚染低減効果（直接影響）に加えて、環境への副作用（間接影響）とのバランスをとる必要性を明らかにした。得られた科学的知見はまさに、技術のライフサイクル全体を捉え、間接影響を含めて評価することの有用性に着目している LCA のコンセプトを体現したものと言える。

第 5 章では、本研究の主な結論と今後の展望をまとめている。全体として、農地の重金属汚染事象を対象に、発生源の特定、健康リスクの低減、修復技術の導入とその持続可能性に基づく統合的管理を支援するものである。

以上のように、本論文は、自然起源と人為起源の両方を含む複雑な農地の重金属汚染問題を対象に、人為起源の特定とリスク評価、人為起源への政策介入によるヒト健康リスクの低減効果、修復技術の導入に対する持続可能性評価を通じて、環境の統合管理に取り組むための学術的アプローチの確立に貢献している。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。