

終了課題成果報告書

研究テーマ名	土壌中における有害重金属の存在形態と植物への移行状況の解析
研究担当者(共同研究者含む)	○石山高、八戸昭一、濱元栄起、白石英孝、細野繁雄
実施期間	平成24年度～平成26年度(3か年)
研究区分	自主研究事業
環境基本計画上の位置付	(目標)I 恵み豊かで安心・安全な地域社会の実現 (施策)2 化学物質対策の推進
背景と目的(目標設定)	<p>近年、中国では急速な経済発展に伴い、様々な環境汚染が顕在化している。特に、都市郊外の農業地域では、工場排水や生活排水で汚染された灌漑用水による農用地土壌汚染が大きな環境問題となっている。中国は、農業生産国であると同時に日本をはじめ世界各地に農作物を輸出している。特に、中国から日本への生鮮・冷凍野菜輸量は、年々増加傾向にある。したがって、中国における農用地土壌汚染の実態把握と汚染土壌から農作物への有害物質の移行特性解析は、日本国内の食の安全性を保証・確認する上で喫緊の課題である。</p> <p>本研究では、過去に実施した国際貢献プロジェクト調査事業で入手した中国山西省の農用地汚染土壌を用いて、土壌から植物への有害重金属類の移行特性について解析する。また、抽出実験の結果から、移行特性に影響を及ぼす様々な科学的因子を特定するとともに、得られた知見を基に多くの金属元素を対象として移行特性の類型化を試みる。</p>
研究内容(緊急性・必要性、新規性・独創性)	<p>土壌中の有害重金属類は、間隙水に溶出した後、根から吸収され、茎、葉、実の各部位へ移行する。したがって、植物への移行特性を詳細に解析するには、植物中の金属含有量を部位別に測定するとともに、土壌からの溶出特性に大きく影響を及ぼす土壌中での存在形態(水溶出態、イオン交換態、酸可溶性態、鉄酸化物態、残渣態)を明確にすることが不可欠である。</p> <p>そこで本研究では、逐次化学抽出法を用いて、土壌中重金属類の存在形態を分析した。また、農用地で栽培された試験植物(トウモロコシ、コウリヤン、大豆、マリーゴールド、ヒマワリ)を収穫した後、部位別(根、茎、葉、実)に金属含有量を測定し、土壌中での存在形態と植物各部位への移行特性について解析した。植物への金属移行特性は、土壌中での存在形態と密接に関連すると言われているが、多くの金属元素を網羅的に解析して類型化を試みている研究例はない。</p>
成果の概要(目標達成度)	<p>農用地土壌を用いて存在形態分析を行ったところ、クロム(検出されたクロムはCr^{3+})や鉛は約30%が鉄酸化物態、約70%が残渣態として存在していることが判明した。一方、カドミウムは約40%が酸可溶性態、残りは残渣態として存在することが分かった。砒素やモリブデンは主に鉄酸化物態として存在していたが、中国山西省のような弱塩基性土壌(土壌pH8-9)では水溶出態としても僅かに存在していることが分かった。存在形態の解析結果から、山西省の農用地土壌では、砒素やモリブデン等のオキソアニオン類は植物に移行し易く、鉛や三価クロム等のカチオン類は移行しにくい可能性が示唆された。</p> <p>次に、植物中の部位別金属含有量を測定し、土壌中での存在形態と植物への移行特性との関連性について調べた。植物中の鉄含有量はトウモロコシが最も高く、なかでも根に高濃度で蓄積されていることが分かった。鉄は光合成に不可欠な元素であり、主として葉部で必要とされるが、トウモロコシでは根から葉への鉄移行率が低いため、他の植物に比べ高濃度の鉄を吸収しなければならなかったものと思われる。鉄酸化物態としての存在比率が高かった三価クロム、鉛、コバルト、銅やアルミニウムの部位別含有量は鉄と同様の傾向を示し、トウモロコシの根における蓄積が顕著であった。これらの金属元素は植物が鉄を吸収する際、副次的に取り込まれたものと考えられる。一方、酸可溶性態としての存在比率が高かったカドミウム、ニッケル、亜鉛やマンガンは、マリーゴールド、大豆やヒマワリに蓄積される傾向にあった。イネ科植物であるトウモロコシやコウリヤンはキレート物質を分泌して鉄を溶解するのに対し、マリーゴールド等は水素イオンを放出して鉄を溶解するため、酸可溶性態の金属を効率よく吸収</p>

したものと思われる。土壌から植物への金属移行特性は土壌中での存在形態だけでなく、植物の持つ金属吸収機構とも密接に関連することが分かった。

オキソアニオン類である六価クロムは、農用地のように腐植物質を多く含む土壌中では時間の経過とともに三価クロムへ還元されることが分かった。六価クロムは砒素やモリブデンと異なり、腐植物質の存在により植物への移行率が大きく低下する可能性が示唆された。大豆は、モリブデンを特異的に吸収することが分かった。大豆のようなマメ科の植物は、根粒菌と共生している。根粒菌は、窒素ガスからアンモニアを合成する能力を有しており、窒素をアンモニアへ変換する際に利用する酵素にはモリブデンが不可欠である。そのため、大豆ではモリブデンの吸収を妨げないような特殊な機能(根圏pHを下げずに、還元剤を分泌して土壌中の必須金属を可溶化)が作用しているものと推察される。セレンは植物に吸収された後、有機物態(ガス成分)へと変換されて系外へ放出されることが知られており、今回の分析結果からも植物の種類に関わらずセレンの蓄積量は非常に低いことが確認できた。

砒素やモリブデン等のオキソアニオン類は根部における補足率が低いため、土壌から吸収された後、効率的に地上部へと移行する傾向を示したが、三価クロムや鉛などのカチオン類の多くは大部分が根に留まることが分かった。ただし、イオン交換態や酸可溶性態の存在比率が高いカチオン類(カドミウムやニッケル等)は、根部から酸を多量に分泌すると思われる植物種(マリーゴールド)では、地上部へ移行し易い傾向にあった。

様々な検討の結果、土壌から植物への金属移行特性には、①土壌中金属の存在形態、②土壌pH、③植物が有する金属吸収機構、④腐植物質の存在、⑤共生微生物の存在等が密接に関与していることが分かった。また、得られた知見を基に各種金属元素の植物への移行特性について類型化を行ったところ、山西省のような弱塩基性土壌が広く分布する地域では、砒素やモリブデン等のオキソアニオン類は土壌から植物地上部へと移行し易く、鉛や三価クロム等のカチオンは植物へ移行しにくい傾向にあることが判明した。

成果の公表(発表・投稿、講演会の開催、報道機関の活用、特許取得等)

【関連競争的資金獲得】

1) 科学研究費補助金(基盤研究(C))「鉄酸化物分別溶解法を利用した土壌から地下水への砒素溶出メカニズム解析手法の開発」、平成 25~27 年度、研究代表

【学会発表】

1) 中国農用地における有害重金属の分布と農作物への移行状況の把握、第 17 回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会、2011 年 6 月 18 日、(川崎市立労働会館)

2) 中国農用地土壌中における有害重金属類の存在形態と植物への移行特性の検討、第 48 回日本水環境学会年会、2014 年 3 月 17 日、(東北大学)

3) 中国農用地土壌における有害重金属類の存在形態分析と植物への移行特性の類型化、第21回地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会、2015年6月19日、(九州大学)

成果の発展性(埼玉県(行政・地域)への貢献、技術発展・実用化、課題等)

本研究で得られた成果は、汚染土壌から農作物への有害重金属類の移行状況を予測する上で大いに役立つ。また、移行特性に影響を及ぼす様々な科学的因子が判明したため、汚染農用地でも栽培可能な農作物の選定、灌漑用水への流入に対して監視や規制が必要な有害重金属元素の抽出に関する貴重な知見を提供することができる。中国山西省は埼玉県と友好省の関係にあり、研究成果の一部については、当センターが推進する国際貢献事業の一環として山西省の行政機関に情報提供を行う。

埼玉県内の中西部地域や北東部地域では、砒素を含む地下水を農業用水として利用している農家が多数存在する。これらの農家からは、有害物質の農作物への悪影響を心配する声が数多く寄せられている。本研究の成果は、農作物への影響の有無を科学的に立証するための知見としても有用であり、県内農業従事者への的確な情報提供や県内で生産された農作物に対する安全性・信頼性を確保する上でも貢献できると考えられる。