

土壌中に負荷されたカドミウム等のダイズにおける吸収・移行過程の解明

(2) 子実中カドミウム量と主要元素組成との関係

箭田（蕪木）佐衣子^{*1}，荒尾知人^{*1}，川崎 晃^{*1}，織田久男^{*2}，

伊藤じゅん^{*3}，世良耕一郎^{*4}

^{*1} 独立行政法人農業環境技術研究所
305-8604 茨城県つくば市観音台 3-1-3

^{*2} 独立行政法人農業環境技術研究所（現エーザイ生科研（株））
305-8604 茨城県つくば市観音台 3-1-3

^{*3} 日本アイソトープ協会滝沢研究所
020-0173 岩手県岩手郡滝沢村滝沢字留が森 348-58

^{*4} 岩手医大サイクロトロンセンター
020-0173 岩手県岩手郡滝沢村滝沢字留が森 348-58

1 はじめに

食品中のカドミウム（Cd）含量に関する新たな国際基準値の検討が進められており，わが国では，国内基準値の前提となるリスク評価が行われている。その結果によっては，ダイズや野菜にも規制が広げられるなど，リスク管理措置の強化が求められている。

わが国において，ダイズ製品は主要な食品であり消費量が多い。しかし，わが国のダイズは全体の17.3%がCd濃度 0.2 mg kg^{-1} を超えており¹⁾，コメと比較してCd濃度が高いために，ダイズのCd汚染リスクについて消費者の関心が高まっている。また，わが国のダイズは，主要な水田転換作物であるが，畑地化後の初年度に作付けしたダイズ子実中のCd濃度が高くなる現象が問題となっている²⁾。これらの問題について，ダイズにおけるCdの吸収蓄積機構に関する知見が少ないために，有効なCdの吸収抑制対策が見出せない状況にある。

水田転換畑に作付けしたダイズ中のCd濃度が高くなる現象に関連して，著者らは，ダイズ中のCdの主たる汚染源として前作の残根を含む刈株（刈株）を想定して，刈株に由来するCdのダイズによる吸収とCdの可溶化現象について，土耕ポット栽培試験とインキュベーション実験により調べた。その結果，無添加区と比較して刈株添加区の子実のCd濃度は1.8倍高かったが，インキュベーション実験では，刈株添加区と無添加区における水溶性Cd濃度に差異は認められなかった³⁾。従って，本現象において，刈株は土壌に対する直接のCd汚染源では無いが，汚染の原因物質として間接的に機能していることが示された。

水田転換畑における刈株からの Cd 供給について、以下のようなプロセスが考えられる。玄米収穫後に土壤に還元された刈株は、畑地化後に細菌やカビ等の微生物による活発な分解作用を受けて、分解副産物として有機酸が生成される。この有機酸が、土壤中の Cd の溶解性を増大すると考えられる。また、微生物による刈株の餌化に伴い、刈株中の Cd が微生物体内に生物濃縮され、微生物の死後、遺体から Cd が放出されて土壤へ Cd が供給されることが考えられる。ところで、10 アールの畑には、約 140kg (乾燥重量) の微生物が存在するといわれており、微生物が有機物を分解して炭素 100g を吸収する際には、窒素 15g, リン 12g, カリウム 10g を微生物体内に蓄積しており、微生物は一般的な施肥量に匹敵するほど多量の養分を保持する⁴⁾。従って、土壤の養分環境に対する微生物の寄与は大きい。また、微生物による植物のリン吸収の促進⁵⁾が知られているように、植物の養分吸収に対しても微生物は大きく関与している。Cd についてみると、微生物の重金属蓄積能力は植物を超えており⁶⁾、ダイズによる土壤中の Cd の吸収において微生物は大きく関与すると考えられる。これに関連して、土壤有機物は、微生物の餌となり土壤微生物の活性を高めることにより、ダイズによる Cd 吸収を促進する可能性がある。本研究では、このような土壤-有機物(刈株)-微生物とダイズ根との相互作用により、ダイズ中の Cd 濃度が高くなると考えて、Cd とともに移行・吸収する元素に注目してこの現象を解明することを目的とする。この点において、多量元素から微量元素まで広範に同時分析できる PIXE (ピクシー: Particle Induced X-ray Emission) 分析法を用いて、ダイズ根および子実の元素濃度を明らかにする。本研究では、ダイズ根および子実の元素組成を指標として、水田転換畑ダイズにおける Cd 吸収現象に関連する土壤環境要因を明らかにすることを目標とする。

2 研究計画および方法

(独) 農業環境技術研究所において、ダイズの栽培試験と ICP-MS による Cd 分析を実施した。ダイズ中の元素分析は、日本アイソトープ協会仁科記念サイクロトロンセンターの PIXE で行った。

2.1 ダイズ栽培

灰色低地土 3.7kg (生土, 全 Cd 濃度 0.2mg kg^{-1}) に刈株 (Cd 濃度 0.6mg kg^{-1}) を 40g (風乾重量) 添加と無添加処理を行い、1/5000a ポットに充填した。各区とも、ダイズ (エンレイ) を一本立ちで成熟期まで 3 ポット栽培した。

2.2 ICP-MS による Cd 分析

ダイズの収穫後には、子実、莢、莖、葉、葉柄、根の 6 部位に分けた。これらを 75°C の通風乾燥機に入れて乾燥して、部位別の乾燥重量を測定した後に、タングステンカーバイド製の粉砕機 (800M Mixer/Mill, SPEX Certiprep) で粉砕した。Cd 測定試料は、粉末試料の 0.5g に硝酸および過酸化水素を加えてマイクロウェーブ分解した後に水で正確に 50mL にした。Cd の測定は、四重極型 ICP-MS (SPQ8000A, エスアイアイ・ナノテクノロジー) で行った。測定時には、分解液を適宜希釈して、内部標準元素として Te を $50\mu\text{g L}^{-1}$ の濃度になるように添加した。

2.3 PIXE による元素分析

PIXE 分析試料は、ダイズ根および子実の粉末試料の 0.25g を分解容器に正確に取り、これに硝酸 3mL および過酸化水素 1mL と内部標準元素として 0.1mL の In 標準液 (1000mg L^{-1}) を添加して、マイクロウェーブ分解装置で加熱分解 (250, 400, 600W で各 5 分間加熱) した。この溶液を $10\mu\text{L}$ 分取して、マイラーフィルムに貼り付けたポリプロピレン製フィルムに滴下して、自然乾燥させたものを PIXE 分析に供した。

表 1 収穫期のダイズの生育状況

単位 : g 株⁻¹

	部位別の乾燥重量						
	子実	莢	茎	葉	葉柄	根	合計
刈株添加区	21.5 ± 3.7	12.1 ± 2.1	11.2 ± 2.1	13.6 ± 0.6	6.5 ± 0.6	1.5 ± 0.1	66.5 ± 7.5
無添加区	22.7 ± 4.6	12.0 ± 1.4	14.9 ± 2.0	14.8 ± 1.5	7.3 ± 0.8	2.1 ± 0.3	73.8 ± 16.5

3 結果および考察

表 1 に収穫期のダイズ乾燥重量（子実，莢，茎，葉，葉柄，根）の平均値と標準偏差を示した。ダイズ 1 個体あたりの乾燥重量は刈株添加区が 67g，無添加区が 74g であり，両者はほぼ等しく成長した（表 1）。

[実験 1] ダイズ根中の元素濃度

PIXE によるダイズ根中の元素濃度を示した（図 1）。NMCC の PIXE 分析では，Na から U までの 82 元素が検出可能であるが，スペクトル解析誤差が 30%未満であり，全試料から検出された元素は Na，Mg，Al，Si，P，S，K，Ca，Mn，Fe，Cu，Sr の 12 元素であった。Cd は PIXE によりピークを検出できなかったため，ICP-MS により測定した。ICP-MS による刈株添加区のダイズ根中の Cd 濃度は 0.13mg kg⁻¹ であり，刈株添加区の値が低く無添加区の 0.7 倍であった。PIXE による Na，Mg，Si，S，Ca，Cu 濃度は，無添加区と比較して刈株添加区で 1.3~2.3 倍高かった。一方，Mn，Fe 濃度は，刈株添加区の値が低く，無添加区の 0.5~0.6 倍であった。Al，P，K，Sr 濃度は，刈株添加区と無添加区の値に有意な差は認められなかった。

刈株添加により，ダイズ根中の Cd，Mn，Fe 濃度が低下したことから，これらの元素のダイズ根における蓄積性が類似することが示された。

[実験 2] ダイズ子実中の元素濃度

PIXE によるダイズ子実中の元素濃度を示した（図 1）。スペクトル解析誤差が 30%未満であり，全試料から検出された元素は Mg，P，S，K，Ca，Mn，Fe，Ni，Cu，Zn，Rb，Sr，Mo の 13 元素であった。Cd は PIXE によりピークを検出できなかったため，ICP-MS により測定した。刈株添加区のダイズ子実中の Cd 濃度は 0.15mg kg⁻¹ であり，無添加区と比較して刈株添加区で 1.8 倍高かった。Cd 以外の元素において，刈株添加区と無添加区との有意な差は認められなかった。

本研究では，刈株添加によるダイズ根中の元素濃度への影響は認められたが，子実中では Cd 以外の元素濃度には差が認められなかった。従って，子実中の元素濃度に対する刈株施用の影響は小さいが，子実中の Cd 濃度は，刈株施用により特異的に値が高くなることが示された。水稻でも同様に，肥料の種類の違いによる玄米中の P，K，Ca，Mg 濃度に変化が認められない⁷⁾ことから，土壤中に肥料成分が十分あり，作物が通常の生育状態にある場合には，可食部中の主要な元素濃度は作物固有の生理機構の働きにより一定の値になる。しかし，本研究により，Cd とその他の元素とはダイズにおける吸収・移行過程が異なることが示唆された。

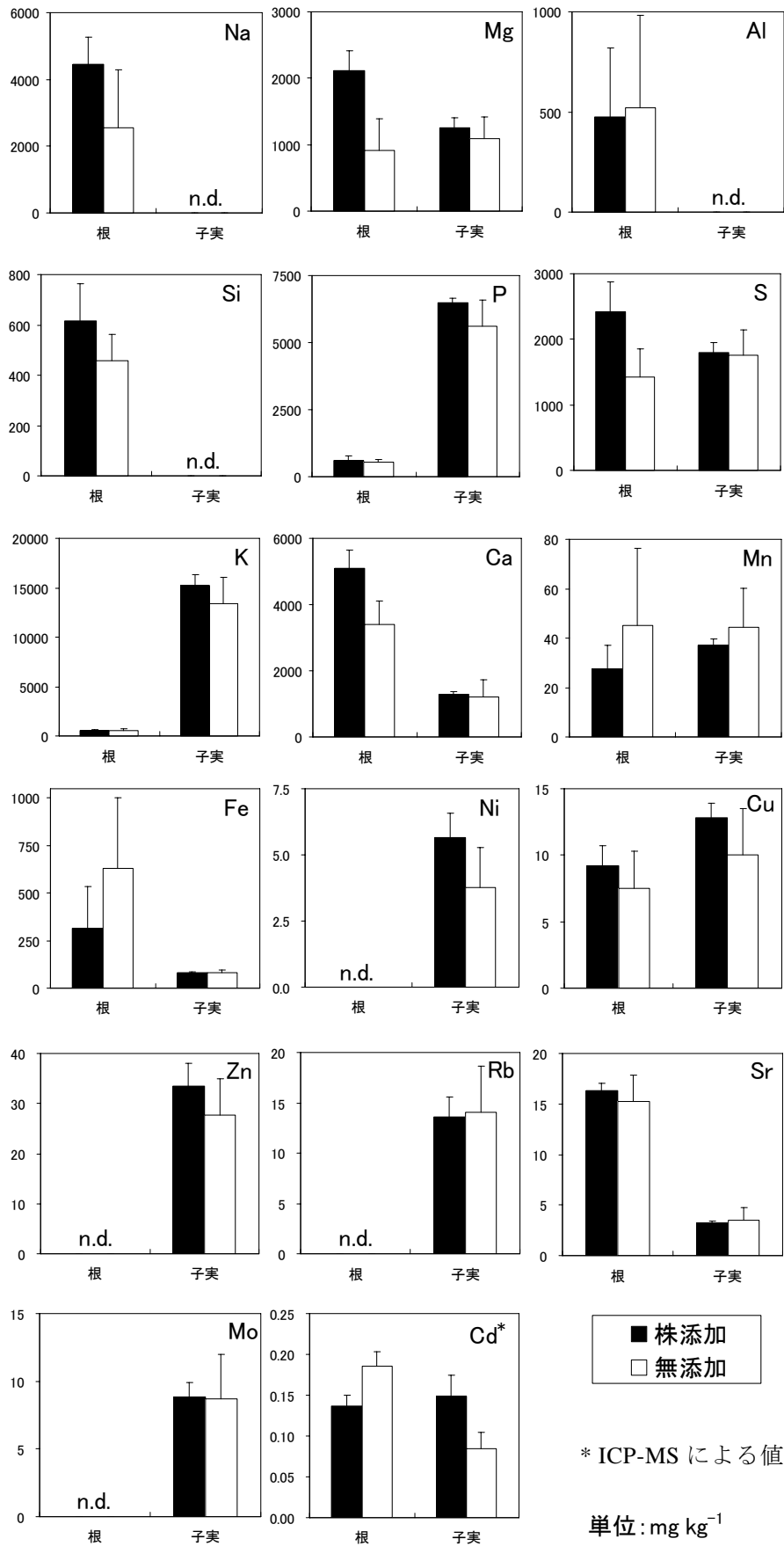


図1 ダイズ根および子実の元素濃度
(データは3個体の平均値と標準偏差)

4 要約

ダイズにおける Cd の移行・吸収現象を解明することを目的として、ICP-MS (Inductively Coupled Plasma Mass Spectroscopy) あるいは PIXE (Particle Induced X-ray Emission) によりイネ刈株 (刈株) 添加あるいは無添加で土壌ポット栽培したダイズ根および子実中の元素濃度を調べた。

PIXE により Na から U までの 82 元素を分析した結果、全試料より検出されたダイズ根中の Na, Mg, Al, Si, P, S, K, Ca, Mn, Fe, Cu, Sr の 12 元素の濃度を明らかにした。Cd は PIXE の検出下限値以下であり、ICP-MS により測定した。刈株添加区のダイズ根中の Cd 濃度は 0.13mg kg^{-1} であり、刈株添加区の値が低く無添加区の 0.7 倍であった。刈株添加により、ダイズ根中の Cd, Mn, Fe 濃度が低下したことから、これらの元素のダイズ根における蓄積性が類似することが示された。

PIXE によりダイズ子実中の元素分析を行った結果、Mg, P, S, K, Ca, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Rb, Sr, Mo の 13 元素の濃度を明らかにした。刈株添加区と無添加区の元素濃度に差が認められなかったが、ICP-MS による刈株添加区のダイズ子実中の Cd 濃度は無添加区の 1.8 倍あり、刈株施用によりダイズ子実中の Cd 濃度が特異的に高くなった。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、研究助成を賜りましたタカノ農芸化学助成財団に心から感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 農林水産省：農産物等に含まれる Cd の実態調査結果の提出について、平成 14 年 12 月 2 日プレスリリース (2002)
- 2) 伊藤純雄：転換畑ダイズのカドミウム濃度を下げる工夫、農業技術, 59, 11-15 (2004)
- 3) 農業環境技術研究所：重金属の動態と制御に関する研究、平成 16 年度研究成果集, 28-29 (2005)
- 4) 西尾道徳：土壌微生物の基礎知識, 農文協, 58-59 (1989)
- 5) Marschner H. and B. Dell: Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis, Management of mycorrhizas in agriculture, Horticulture and Forestry, 89-102, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht (1994)
- 6) 茅野充男：植物による重金属の吸収と除去, 秋田育種談話会記事, 16, 2-5 (2002)
- 7) 安井明美・進藤久美子：玄米中の無機元素組成による産地判別, 分析化学, 49, 540-410 (2000)

Uptake and transport of Cadmium in soybean plants

(2) The relationship between Cd and elemental concentrations in seeds

S.Yada^{*1}, T. Arao^{*1}, A.Kawasaki^{*1}, H.Oda^{*2}, J.Itoh^{*3} and K.Sera^{*4}

^{*1} National Institute for Agro-Environmental Sciences
3-1-3, Kannondai, Tsukuba city, Ibaraki, Japan

^{*2} National Institute for Agro-Environmental Sciences
(Present address: Eisai Seikaken Co.,Ltd.
312-4, Toriko, Nishihara, Aso, Kumamoto, Japan)

^{*3} Nishina Memorial Cyclotron Center, Japan Radioisotope Association
348-58, Tomegamori, Takizawa, Iwate, Japan

^{*4} Iwate Medical University, Cyclotron Research Center
348-58, Tomegamori, Takizawa, Iwate, Japan

Abstract

A pot (1/5,000a) soil culture experiment with soybean plant (*Glycine max*) was performed. Soybean plants were sampled at the full maturity (R8) growth stage, and concentrations of elements in roots and seeds were determined by PIXE. The concentration of Cd in soybean plant was determined by ICP-MS.

The analysis result of 82 elements from Na to U by PIXE, the addition of rice stubble (40g pot⁻¹) resulted in the increase in the concentrations of Na, Mg, Si, S and Ca, and the decrease in the concentrations of Mn, Fe and Cd in soybean roots. The concentrations of Al, P, K, Cu and Sr did not affected by the rice stubble. The concentrations of Mg, P, S, K, Ca, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Rb, Sr and Mo in soybean seeds did not affected by the addition of rice stubble.

The addition of rice stubble resulted in the specifically increase in the Cd concentrations in soybean seeds.