

# 野菜のカドミウム濃度に対するカドミウム 吸収抑制技術の効果<sup>†</sup>

菊地 直・山崎 浩道\*・木村 武\*\*・宮地 直道\*\*\*・村上 弘治

(平成 17 年 11 月 30 日受理)

## Effects of Cadmium Concentration in Soil and Soil Improvement on Cadmium Uptake by Vegetables

Sunao KIKUCHI, Hiromichi YAMAZAKI, Takeshi KIMURA,  
Naomichi MIYAJI and Hiroharu MURAKAMI

### Synopsis

It was shown that Cd content was very different among nine vegetable species planted in Cd-contaminated fields. Especially, Cd contents in the spinach samples were higher than those of the other leaf vegetables.

The vegetable Cd content had an inverse relationship to the soil pH, though it showed no relation with Cd concentration in the soils.

It was indicated that the soil turning method (the depth of 50cm) and dressing soil (40cm thickness) were effective to reduce Cd content in spinach. In addition, it was demonstrated that the insertion of a root-proof sheet between the dressed soil and the Cd-contaminated soil could assist in the reduction of Cd content in spinach.

Key Words: cadmium, vegetable, spinach, soil dressing, root-proof sheet

## I 緒 言

カドミウム (Cd) は原子番号 48, 原子量 112.41 の重金属であり, 主にニッケル-カドミウム電池, 顔料, 合金, メッキなどの工業製品に使用されているが, 人体への毒性が強く, 体内に取り込まれると発がん, 尿管障害, 呼吸器障害, 骨軟化症などの影響を与える (加須屋, 1999). 日本では神通川流域で発生したイタイイタイ病の原因が鉱山より排出された Cd であるとの厚生省見解が 1968 年に発表され, これを受けて, 1970 年に食品衛生法に基づく食品・添加物等の規格基準が改正され, 玄

米に含まれる Cd の基準を  $1.0\text{mg kg}^{-1}$  (風乾重当たり) 未満とすることが決められた. 翌年, 「農用地の土壤の汚染防止に関する法律」が施行され,  $1.0\text{mg kg}^{-1}$  を超える玄米を生産する水田が汚染圃場と指定され, 汚染圃場については客土等の土壤改良対策が施された. 2003 年度末時点で指定地域の 87.3% で対策事業が完了している (環境省, 2004). しかし, 食品中の Cd 濃度について, 近年, 新たな国際基準値の設定が検討され, 野菜では葉菜類  $0.2\text{mg kg}^{-1}$  (新鮮重当たり, 以下同), 根菜・茎菜類  $0.1\text{mg kg}^{-1}$ , その他の野菜 (鱗茎類, アブラナ科野菜, ウリ科果菜, その他果菜 (トマトを除く))  $0.05\text{mg kg}^{-1}$  という基準値案が提案され (朝倉, 2001), 2005 年 7 月

〒305-8666 茨城県つくば市観音台3-1-1  
葉根菜研究部

\* 現 独立行政法人農業・生物系特定産業技術研究機構 東北農業研究センター

\*\* 現 独立行政法人農業・生物系特定産業技術研究機構 中央農業総合研究センター

\*\*\* 現 日本大学

† 本報告の一部は第19回根研究集会において発表した。

に開催されたコーデックス委員会総会において、この案を国際基準値として最終採択することが合意された。野菜に関しては、国内ではこれまで、Cd濃度基準が定められていなかったこともあり、野菜のCd吸収に関する知見は水稻等と比較して極めて乏しい状況にある。「農用地土壌の特定有害物質による汚染の解析に関する研究」(農林水産技術会議, 1976)の中に野菜種間のCd吸収特性を比較した結果がまとめられているが、一部の野菜にとどまっていることや、当時とは栽培条件・品種等が大きく異なっていることなどから、新たに調査・研究を行う必要がある。また、土壌汚染防止法に基づき客土等の土壌改良対策がとられたが、水稻栽培を対象として客土の厚さが設定されているため、土壌環境や根系分布様式等が異なる野菜栽培においても、同様の効果が得られるとは限らない。

本研究では、Cd濃度の異なる汚染圃場で栽培された野菜のCd含量について調査を行うと共に、野菜の中でもCd含量が高い傾向を示すとされるハウレンソウについて、有効な対策技術の確立に資するため、客土等の土木のCd吸収抑制技術の効果について検証を行った。

本研究のCd分析にあたって、畜産草地研究所の須永義人氏に多大な御協力をいただきました。心より感謝いたします。

## II 材料および方法

### 1 Cd汚染圃場で栽培された野菜のCd濃度

東海地区のCd汚染地帯で家庭菜園的に野菜が栽培されている4圃場から土壌を採取(2000年, 作土層より)し、Cd濃度を測定した。また、各圃場で栽培されていた野菜を採取し(葉茎菜6品目: 2000年に4圃場より採取, 果菜3品目: 2001年に1圃場より採取, 全品目3個体採取), 可食部に含まれるCdの濃度を測定した。

### 2 Cd汚染土壌で栽培した葉菜類のCd濃度

Cd汚染地帯より採取したCd汚染土壌(0.1M HCl抽出Cd: 5.75mg kg<sup>-1</sup>, pH 7.5, レキ質黄色土)および対照土壌(同Cd: 0.02mg kg<sup>-1</sup>, pH 6.6, 黄色土)を充填した1/5,000aワグネルポットにコマツナ, ハウレンソウ, シュンギクを播種(2000年9月22日)し、野菜茶業研究所内温室で約1ヶ月間栽培した(1個体/ポット, 各処理区3反復)。基肥は化成肥料で与え、1ポット当たりN-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O: 1.0-0.8-0.7g(500kgN ha<sup>-1</sup>相当)とし、栽培期間中、液肥で適宜追肥を行った。

収穫に適した大きさに生育した段階で地上部を採取し、Cd濃度を測定した。

### 3 葉菜類のCd濃度に対する天地返し処理の効果

東海地区Cd汚染地帯の天地返し施工圃場(転作田, 反転土層50cm, 表層土Cd: 0.17mg kg<sup>-1</sup>, pH 6.0)およびその近傍の天地返し未施工圃場(作土Cd: 1.49mg kg<sup>-1</sup>, pH 7.9)において、コマツナ, ハウレンソウ, シュンギクを約1ヶ月間栽培(各区0.8×4m, 2000年9月19日播種, 施肥: 200kgN ha<sup>-1</sup>相当量)した。収穫に適した大きさに生育した段階で地上部を採取し(各処理区・品目3個体), Cd濃度を測定した。

### 4 客土厚がハウレンソウのCd濃度に及ぼす影響

農ビシートで底を密閉した塩ビ管(直径30cm, 長さ60cm)にCd汚染土壌(Cd: 5.22mg kg<sup>-1</sup>, レキ質黄色土)および非汚染土壌(同: 0.10mg kg<sup>-1</sup>, 黒ボク土)を充填したものに、ハウレンソウを播種し(約10粒/容器), 発芽後2個体/容器となるよう間引きを行い、ビニールハウス内で適宜灌水を行いながら栽培した。施肥は被覆肥料(ロング424-40, 15g/容器(300kgN ha<sup>-1</sup>に相当))を表層20cmの土壌に混和した。汚染土壌区(Cd汚染土壌のみ充填), 20cm客土区(Cd汚染土壌を40cm充填, 非汚染土壌を20cm客土, 床締め処理無し), 40cm客土区(同20cm充填, 40cm客土, 床締め処理無し), 非汚染土壌区(非汚染土壌のみ)の4処理区を設けた(図-1-(1), 各処理区3反復)。最大葉長が25cm程度になった時点で順次収穫し、可食部Cd濃度を測定した。また、塩ビ管を解体し、表層より深さ20cmごとに根を回収し、各層別の根長・根表面積を測定した。

### 5 ハウレンソウのCd濃度に対する客土処理と遮根シートの効果

実験4と同様、Cd汚染土壌と非汚染土壌を用い、非汚染土壌の客土厚を20cmとして塩ビ管に充填した。Cd汚染土壌と非汚染土壌の間に遮根シート(TOYOBO)を敷設した処理区と、遮根シートを敷設しない処理区を設けた(図-1-(2), 各処理区3反復)。施肥は被覆肥料(ロング424-40, 15g/容器)を客土層に混和した。ハウレンソウを播種(約10粒/容器)し、発芽後2個体/容器となるよう間引きを行い、ビニールハウス内で適宜灌水しながら栽培した。最大葉長が25cm程度になった時点で順次収穫し、可食部のCd濃度を測定すると共に、深さ20cmごとに根を回収し、各層別の根長・

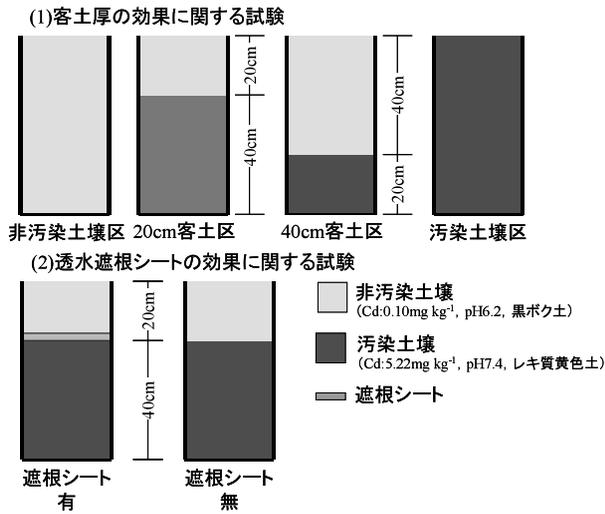


図-1 ホウレンソウ客土試験処理区概要

根表面積を測定した。

## 6 分析方法

### a Cd 濃度

#### 1) 土 壤

風乾し、2mm のふるいにかけて土壌 10g に 0.1M 塩酸（重金属測定用）50ml を加え、恒温振とう器により 30℃ で1時間振とうした。No.5C（Advantec）のろ紙でろ過し、ろ液 0.5ml を超純水（Millipore, Milli-Q Gradient で作成）で 100ml に定容し、Cd 測定に供した。

#### 2) 野 菜

へたや種子等を取り除き、可食部のみに調製した試料を超純水で洗浄し、果菜類は凍結乾燥器を用い（24時間）、その他の品目については、通風乾燥器（70℃、24時間）によって乾燥した。振とう型粉碎器（HEIKO, SAMPLE MILL）で微粉碎した試料 0.5g を試験管（φ25mm）に分取し、硝酸 5ml を加え、適宜過酸化水素を加えながらヒートブロックで加熱分解した。分解液を No.6（Advantec）のろ紙でろ過した後、超純水で 50ml に定容し、Cd 測定に供した。なお、本報告における野菜の Cd 濃度は全て基準に基づき、可食部について新鮮重当たりの濃度で表した。

土壌・野菜試料とも In 標準液を内部標準として加え、ICP 質量分析装置（セイコー電子工業 SPQ8000）を用いて Cd 濃度を測定した。

#### b 根長・根表面積

各土層より土壌ごと根を回収し、2mm のふるいを用いて根と土壌を分離した後、水道水を用いて根を洗浄し

た。回収した根は、水を張った透明アクリル容器上に重ならないように分散させ、フラットベッドスキャナ（EPSON, GT-9000, 透過原稿ユニット使用）を用いて画像（300dpi, 8bit モノクロ）を取り込み、画像解析ソフト（Regent instruments Inc., WinRhizo）を用いて根長および根表面積の測定を行った。

## III 結 果

### 1 Cd 汚染圃場で栽培された野菜の Cd 濃度

Cd 汚染圃場で栽培された葉茎菜類の Cd 濃度は、コマツナ、ホウレンソウで基準値である  $0.2\text{mg kg}^{-1}$  を超える値を示し、特に D 圃場から採取されたホウレンソウは  $3.16\text{mg kg}^{-1}$  と顕著に高い値を示した（表-1）。また、A 圃場、B 圃場から採取したブロッコリーのうち、A 圃場から採取した試料が基準値である  $0.1\text{mg kg}^{-1}$  を超えたが、キャベツ、ハクサイ、ネギはどの圃場からも基準値を超えるものは認められなかった。果菜類の Cd 濃度は、スイートコーンは  $0.02\text{mg kg}^{-1}$  と基準値案である  $0.05\text{mg kg}^{-1}$  を下回ったが、ナスとピーマンでは基準値を超え、特にピーマンは  $0.12\text{mg kg}^{-1}$  と高い値を示した。今回調査した圃場においては、0.1M 塩酸で抽出した土壌 Cd 濃度と作物の Cd 濃度の関係は明確ではなかったが、同一作物での比較では、土壌 pH が高い方が、作物の Cd 濃度が低くなる可能性が示唆された（図-2）。

表-1 Cd汚染地帯より採取した野菜および土壌のCd濃度

採取圃場	土壌Cd濃度 <sup>a</sup> ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	土壌pH	品目	可食部Cd濃度 ( $\text{mg kg}^{-1}\text{F.W.}$ )
A	0.62	5.4	コマツナ	0.38
			ハクサイ	0.04
			ブロッコリー	0.13
B	1.49	7.9	キャベツ	0.01
			ハクサイ	0.03
			ネギ	0.05
			ブロッコリー	0.02
C	1.6	5.6	ナス	0.08
			ピーマン	0.12
			スイートコーン	0.02
D	3.24	6.5	コマツナ	0.2
			ネギ	0.18
			ホウレンソウ	3.16
			ネギ	0.17

a 0.1M塩酸抽出Cd

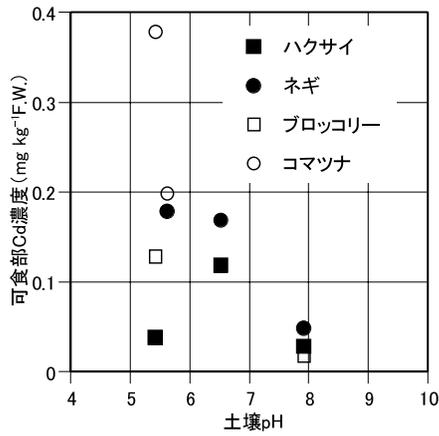
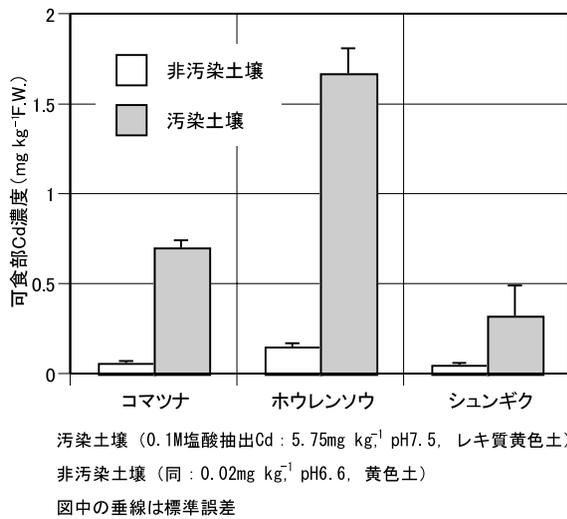
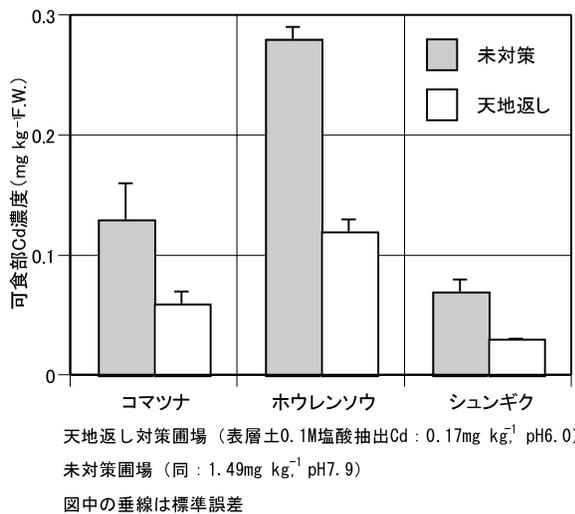


図-2 土壌 pH と野菜の Cd 濃度の関係



汚染土壌 (0.1M塩酸抽出Cd: 5.75mg kg<sup>-1</sup> pH7.5, レキ質黄色土)  
 非汚染土壌 (同: 0.02mg kg<sup>-1</sup> pH6.6, 黄色土)  
 図中の垂線は標準誤差

図-3 Cd 汚染土壌および非汚染土壌で栽培した葉菜類の Cd 濃度



天地返し対策圃場 (表層土0.1M塩酸抽出Cd: 0.17mg kg<sup>-1</sup> pH6.0)  
 未対策圃場 (同: 1.49mg kg<sup>-1</sup> pH7.9)  
 図中の垂線は標準誤差

図-4 天地返し圃場および未対策圃場で栽培された葉菜類の Cd 濃度

2 Cd 汚染土壌で栽培した葉菜類の Cd 濃度

非汚染土壌でポット栽培したコマツナ, ハウレンソウ, シュンギクの可食部 Cd 濃度は, いずれも 0.2mg kg<sup>-1</sup>未満であったが, 汚染土壌区では非汚染土壌区の約6~10倍の値を示し, 最も低いシュンギクで 0.31mg kg<sup>-1</sup>, 最も高いハウレンソウでは1.67mg kg<sup>-1</sup>となるなど, 3品目とも基準値を超える値であった (図-3).

3 葉菜類の Cd 濃度に対する天地返しの効果

天地返し圃場で栽培したコマツナ, ハウレンソウ, シュンギクの Cd 濃度は, 未対策圃場で栽培されたものの50%以下の値を示した. 未対策圃場で栽培されたハウレンソウは 0.2mg kg<sup>-1</sup>を超えていたが, 天地返し圃場では基準値以下 (0.12mg kg<sup>-1</sup>) に低下した (図-4).

4 客土厚がハウレンソウの Cd 濃度に及ぼす影響

汚染土壌を充填した塩ビ管で栽培したハウレンソウの Cd 濃度は, 0.98 mg kg<sup>-1</sup>であったのに対し, 20cm 客土区では 0.66 mg kg<sup>-1</sup>と 0.2mg kg<sup>-1</sup>を超えたが, 汚染土壌区の66%に減少した (図-5). 40cm 客土区では 0.11mg kg<sup>-1</sup>となり, 非汚染区と同じ値まで減少した. ハウレンソウの根長および根表面積を深さ別に調査したところ, 20cm 客土区では全根量の50%以上の根が汚染土壌層に存在していたのに対し, 40cm 客土区では汚染土壌層に分布する割合は1~2%で, 根のほとんどが客土層に分布していた (表-2).

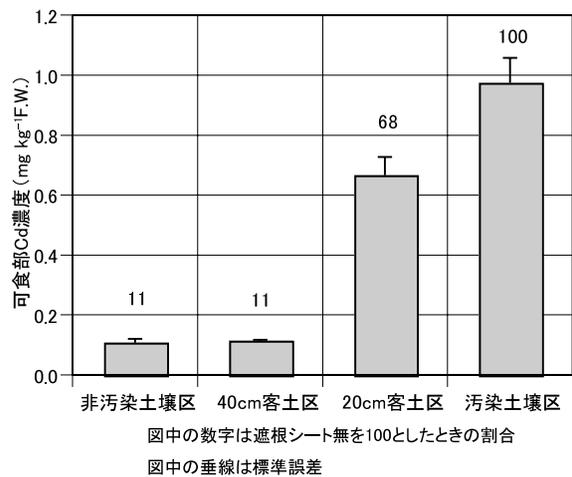


図-5 ハウレンソウの Cd 濃度に対する客土厚の影響

表-2 ホウレンソウの根系分布

	根長 (%)			根表面積 (%)		
	客土層	汚染土層	(%)	客土層	汚染土層	(%)
40cm客土区	98	2	(98) <sup>a</sup>	99	1	(99)
20cm客土区	47	53	(92)	43	57	(94)

a ( )内は0~40cmの根の割合  
 40cm客土区：客土層40cm，汚染土層20cm  
 20cm客土区：客土層20cm，汚染土層40cm

### 5 ホウレンソウの Cd 濃度に対する客土処理と遮根シートの効果

客土厚 20cm における，客土層と汚染土層との境界への遮根シート敷設の影響を調査したところ，遮根シートの有無に関わらず，ホウレンソウの Cd 濃度は 0.2mg kg<sup>-1</sup> を超える値となったが，遮根シートを敷設することによって，Cd 濃度は非設置区の 44% まで減少した (図-6)。

## IV 考 察

野菜可食部の Cd 濃度は作物種により異なり，一般に果菜類よりも葉菜類で高い傾向を示し (農林水産技術会議, 1976)，葉菜類の中でも特にホウレンソウで Cd 濃度が高くなりやすい傾向があることが報告されている (土山ら, 1972; DAVIS, 1984; WIERSMA ら, 1986)。農林水産省が行った実態調査においても，ホウレンソウの Cd 濃度は，他の葉菜類と比べ高い傾向があり，調査したホウレンソウの 3% がコーデックスの基準値案である 0.2mg kg<sup>-1</sup> を超えていた (農林水産省, 2002)。本試験では，Cd 汚染地域における 4 圃場の作物の Cd 濃度を調査したが，同じ圃場で栽培された場合でも，作物の種

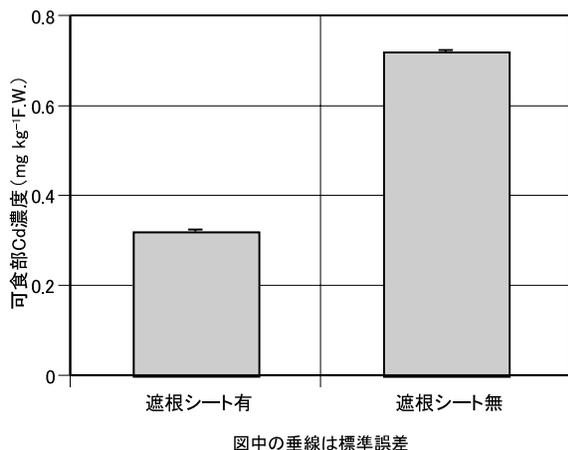


図-6 ホウレンソウの Cd 濃度に対する遮根シート設置の影響

類により Cd 濃度に大きな差が認められた (表-1)。すなわち，土壤 Cd 濃度が 3.24mg kg<sup>-1</sup> である D 圃場では，ハクサイ，ネギが 0.2mg kg<sup>-1</sup> 以下であるのに対して，ホウレンソウでは 3.16mg kg<sup>-1</sup> と非常に高い値を示し，また，土壤 Cd 濃度が 0.62mg kg<sup>-1</sup> と今回調査した中では Cd 濃度が低かった A 圃場においても，コマツナはハクサイの約 10 倍の Cd 濃度を示した。葉菜類の中で結球部のみを可食部とするものと，地上部全体が可食部であるものでは，可食部の Cd 濃度が異なる傾向を示し，栽培期間が長いものほど Cd 含量が低下する傾向があること，ハクサイやキャベツ等の結球野菜では，外葉に Cd が蓄積される割合が高いことが指摘されており (桑名ら, 2005)，これらがホウレンソウで Cd 濃度が高くなりやすいことと関連していると推察される。しかし，栽培期間や形態が似ているコマツナやシュンギクと比べてもホウレンソウの Cd 濃度は顕著に高くなることから (表-1, 図-3, 4)，Cd 吸収・代謝機構がこれらの作物と異なる可能性も示唆されるため，今後の解析を要する。

客土処理は，Cd 汚染圃場の基本対策技術として広く行われており，客土厚 20~45cm で施行され，稲作では十分な効果が得られている。しかし，設定された客土厚は，水稻を対象としたものであり，野菜栽培における有効性については，これまで検討されていなかった。水田では，湛水により土壤が還元状態となるため，Cd が不溶化し，水稻に吸収されにくい条件であること，また，水稻は土壤表面から 15cm 以内に全根重の約 85% が，20cm までに約 95% が存在しており (CHEEMA, 1979)，他のイネ科作物と比べて浅根性であること (IRRI, 1977) などから，水稻の場合はこの客土厚で Cd 吸収抑制効果が得られたと推定される。一方，多様な根系分布様式を持ち，かつ酸化条件のため Cd が可溶化しやすい畑土壌で栽培される野菜の場合は，要求される客土厚は水稻栽培の場合と異なる可能性があり，また，栽培する作物種によっても得られる効果は変わると推定される。塩ビ管を用いた今回のモデル試験では，ホウレンソウの根は表層より 60cm の深さまで伸長していたが，40~60cm における根の割合は 1~2% であり，ほとんどの根が 40cm までの深さに存在していることが明らかとなった (表-2)。汚染土壌の Cd 濃度や品種等，栽培条件により必要な客土厚は異なると推定されるが，本試験における結果では，客土厚が 40cm の場合，汚染土層に展開する根の割合は非常に低く，客土厚 20cm と比べ，ホウレンソウ可食部の Cd 濃度低減効果が高いことが明らかとなった

(図-5). また, 土層 50cm の天地返し対策で, シュンギク, コマツナの Cd 濃度が約 50% 減少しており, これらの作物においても, 深さ 50cm 程度の汚染されていない土層を確保することにより, Cd 濃度を低く抑えることができることが示された(図-4). しかしながら, ダイズとイネでは子実 Cd 濃度に品種間差異が存在し, 遺伝的要因によって制御されていることが確認されており(杉山ら, 2005), ホウレンソウ等においてもダイズ等と同様に, Cd 吸収・代謝や根の分布などにおいて品種間差異が存在する可能性があることから, 客土・反転厚については, 使用品種についても考慮する必要がある.

客土厚 20cm では, ホウレンソウの Cd 濃度は, 汚染土壌区の値の 68% に減少したのに対し, 遮根シートを敷設した場合, 客土厚が 20cm でも Cd 濃度は汚染土壌区の 44% に減少したことから, 客土処理と併用することで汚染土壌への根の侵入が制限され, 抑制効果が高まることが示された(図-5, 6). しかしながら, 遮根シートを用いることによって, Cd 濃度は相対的には半分以下に低下したが, 基準値である  $0.2\text{mg kg}^{-1}$  を超えており, 絶対値としては必ずしも低くはならなかった. 本試験では遮根シートを汚染土壌と密着する状態で設置したため, 汚染土壌と非汚染土壌の境界面に分布した根により Cd が吸収され, 十分な効果が得られなかった可能性がある. また, 根近傍への Cd 移動は主にマスフローによるとの報告があり(後藤ら, 2004), 水の移動に伴い, 汚染土壌から客土層へと Cd が移動し, 将来的に客土層が汚染される恐れもあることから, 汚染土壌と客土層との毛管水を遮断することが望ましいと思われる. 遮根シートと汚染土壌の間の毛管水を透水マット等を設置して遮断することにより, 抑制効果の向上と再汚染防止効果が期待できると推察される. 本試験においては, 遮根シートを用いた根域制限によるホウレンソウ生育への影響は認められなかったが, 圃場条件によっては作土層が過湿となり, 生育や収量へ影響する可能性もあるため, 今後, 圃場栽培試験等による検証が必要である. また, 今回のモデル試験では床締め処理を行わなかったが, 一般的な客土工事では床締め処理も同時に行われている. 水稲では, 床締め処理により根の下層部への伸長が抑制されていることから(原ら, 1977), 野菜畑においても床締め処理の併用により, 遮根シートの設置と同様, 客土処理の効果がより高まる可能性がある.

一般に, 土壌 pH が高いと Cd はリン酸と結合し, 難溶性となるため植物に吸収されにくくなるとされており, 玄米中の Cd 濃度は土壌 pH と負の相関関係を示すこと

や(大竹, 1992), 汚染圃場へのアルカリ資材である多孔質ケイ酸カルシウムの施用により, ハクサイとキャベツの可食部 Cd 濃度を抑制できる(桑名ら, 2005)ことが報告されている. 本試験においても, 汚染圃場で栽培された野菜可食部の Cd 濃度は, pH が高い土壌で低くなる傾向が認められた(図-2). 野菜栽培においても, 土壌 pH を高める土壌管理を行うことにより, 野菜の Cd 濃度抑制が期待できることが示唆されたことから, より効果的な Cd 抑制対策を行うため, 土壌 Cd 濃度と土壌 pH, および野菜の Cd 吸収の関係についても詳細に検討する必要がある. また, 土壌の Cd 濃度は, 公定法では 0.1M 塩酸によって抽出することが定められているが, 必ずしも植物の Cd 吸収量に反映するわけではなく, 相関関係が低い場合が多い. 土壌からの Cd 抽出方法とコムギの Cd 吸収との関係を検討した例では, 0.025M 塩酸で抽出した抽出液の Cd 含量と麦粒中の Cd 含量との相関が非常に高く, コムギ栽培における土壌の可給態 Cd 抽出方法としては, 0.1M 塩酸抽出よりも有効であった(藤田ら, 2005). 本試験でも, 汚染圃場で栽培された野菜の Cd 濃度と 0.1M 塩酸で抽出した土壌 Cd 濃度にも相関関係は認められなかったことから, 土壌の可給態 Cd を正確に把握するための, 土壌 Cd 濃度の評価方法を確立する必要がある.

今回の結果より, ホウレンソウ栽培における Cd 吸収抑制技術として, 客土処理が有効であることが示された. ホウレンソウ以外の野菜についても, 客土処理等によって汚染土壌への根の侵入を少なくすることによって, Cd 低減が可能であると推測されるが, 根系分布様式は作物種により多様であるため, 根系分布に関する情報収集が必要である. また, 客土処理等の土木の対策のみで Cd 吸収抑制を実現するためには, 多大な費用を要するため, アルカリ資材の施用, 低 Cd 品種の利用等の栽培管理技術についても研究を進め, 総合的な対策技術を確立する必要がある.

## V 摘 要

Cd 汚染圃場より採取した野菜の可食部 Cd 濃度は, 0.1M 塩酸で抽出した土壌の Cd 濃度との関連は明瞭ではなかったが, pH が高い土壌で低くなる傾向が認められ, アルカリ資材施用による Cd 抑制の可能性が示唆された.

ホウレンソウの根の約 99% が, 深さ 40cm までの範囲に分布しており, 客土処理や天地返し処理により

40cm～50cmの非汚染土層を確保し、汚染土壌への根の侵入を防ぐことにより、可食部Cd濃度が低減できることが示された。

ホウレンソウ栽培において、40cmの客土厚が確保できない場合でも、遮根シートを汚染土壌との境界に敷設することにより、汚染土壌への根の侵入が阻止され、可食部Cd濃度低減が可能であることが示された。

#### 引用文献

- 1) 朝倉健司(2001): カドミウムの国際食品規格の検討状況. 土肥誌, 72, 707.
- 2) CHEEMA, S. S. (1979): *Crop Improvement*, 6, 58-62.
- 3) DAVIS, R.D. (1984): Cadmium - a complex environmental problem. Part II. Cadmium in sludges used as fertilizer. *Experientia*, 40, 117-126.
- 4) 藤田彰・茨木俊行・角重和浩・水田一枝(2005): 転換畑における作物(小麦)のカドミウム吸収抑制技術の開発. 農林水産技術会議, 農用地土壌から農作物へのカドミウム吸収抑制技術等の開発に関する研究, pp75-80, 研究成果シリーズ, 434.
- 5) 後藤茂子・林浩昭・米山忠克・茅野充男(2004): カドミウム汚染土壌および下水汚泥コンポスト連用土壌で栽培したコマツナ根圏でのカドミウムおよび亜鉛の挙動ライゾボックスを用いた一知見. 土肥誌, 75, 601-603.
- 6) 加須屋実(1999): イタイイタイ病を頂点とするカドミウムの人体影響に関する研究の予防と対策における進歩と成果. 能川・倉知・加須屋編, カドミウム環境汚染の予防と対策における進歩と成果, pp115-119, 栄光プリント, 金沢.
- 7) 桑名健夫・桐村義孝・清水克彦・望月証・津高寿和・吉倉惇一郎(2005): 露地畑における野菜のカドミウム吸収抑制技術の開発. 農林水産技術会議, 農用地土壌から農作物へのカドミウム吸収抑制技術等の開発に関する研究, pp71-75, 研究成果シリーズ, 434.
- 8) 原喬・多田敦・守屋貢(1977): カドミウム汚染田の対策工法に関する研究. 客土・転圧工法に関する基礎的試験. 農土試技報. A15, 1-22.
- 9) 大竹俊博(1992): カドミウム汚染土壌における水稲のカドミウム吸収およびその抑制に関する研究. 山形県農業試験場特別研究報告. 20, 1-77.
- 10) 杉山恵・阿江教治・荒尾知人・石川覚・村上政治(2005): カドミウム吸収能の低い作物品種の選定. 農林水産技術会議, 農用地土壌から農作物へのカドミウム吸収抑制技術等の開発に関する研究, pp14-18, 研究成果シリーズ, 434.
- 11) 土山英和・市倉恒七・前田正男(1972): カドミウム濃度を異にした土壌における野菜類のカドミウム吸収について. 大阪府農林技術センター研究報告, 9, 7-12.
- 12) WIERSMA, D., BEREND J. G. and NICOLAAS G. V. (1986): Cadmium, lead, arsenic concentrations in crops and corresponding soils in The Netherlands. *J. Agr. Food Chem.*, 34, 1067-1074.
- 13) IIRI (1977): Annual Report for 1976, IIRI Los Banos.
- 14) 環境省環境管理局水環境部(2004): 農用地土壌汚染防止対策の概要.
- 15) 農林水産省(2002): 農産物等に含まれる野菜のカドミウムの実態調査について.
- 16) 農林水産技術会議事務局(1976): 農用地土壌の特定有害物質による汚染の解析に関する研究. 研究成果シリーズ, 72.

## Effects of Cadmium Concentration in Soil and Soil Improvement on Cadmium Uptake by Vegetables

Sunao KIKUCHI, Hiromichi YAMAZAKI, Takeshi KIMURA,  
Naomichi MIYAJI and Hiroharu MURAKAMI

### Summary

To reveal variations of Cd content in vegetables, Cd content was measured in six leaf vegetables and three fruit vegetables planted in Cd-contaminated fields. Cd content was different among the vegetable species investigated. Especially, Cd content in the spinach samples were higher than those in the other leaf vegetables. Although the vegetable Cd content showed no relation with Cd concentration in the soils (extracted by 0.1M HCl), it had an inverse relationship to the soil pH. This result suggests that the application of alkali materials on fields can be effective to reduce Cd uptake by vegetables.

We verified the effects of soil improvement on Cd-contaminated fields on the suppression of Cd uptake by vegetables. Cd content in three leaf vegetables (spinach, komatsuna, garland chrysanthemum) was reduced to about half the control level, below the CODEX standard ( $0.2\text{mg kg}^{-1}$ ), with the soil turning method (the depth of 50cm). Cd content in the spinach planted on Cd-contaminated soil with soil dressing (40cm thickness) was the same ( $0.11\text{mg kg}^{-1}$ ) as on non-contaminated soil, because spinach roots could not penetrate into the soil below the depth of 40cm. These results indicate that the soil turning method (the depth of 50cm) and dressing soil (40cm thickness) are effective to reduce Cd content in spinach. In addition, it was demonstrated that the insertion of root-proof sheet between the dressed soil and the contaminated soil could assist in reduction of Cd content in spinach.