

# 農作物の重金属吸収低減に向けた土壌のリスクマネジメント

## ーコメのヒ素・カドミウム吸収のトレードオフ関係を中心にー

研究コーディネータ 荒尾知人

### 1.はじめに

過去に行われた鉱山開発等の影響で、わが国にはカドミウム濃度の高いコメが生産される可能性の高い地域が存在し、国民がそのコメを摂取することが懸念されている。また、平成23年2月、食品衛生法に基づいて、コメ中のカドミウム基準値が、1.0 mg/kg未滿から0.4 mg/kg以下に改正された(厚生労働省、2009)。農林水産省が講じてきたコメ中カドミウム濃度低減対策のうち、土壌中のカドミウム濃度低減策の中心的なものに「客土工法」があるが、コストが高く、汚染されていない土壌が大量に必要となるため、周辺の自然環境を破壊することになる。そこで客土工法を代替する安価で環境負荷が少なく、広範囲に適用できる土壌浄化技術の開発が望まれている。そこで、農業環境技術研究所(農環研)ではカドミウム汚染水田土壌の植物(高吸収イネ)または化学物質(塩化鉄)を利用した浄化技術を開発してきた(農業環境技術研究所、2011)。一方、コメ以外の品目は基準値が設定されておらず、農産物の低減対策の推進及び汚染実態把握が進められている。農林水産省の実態調査においては、コムギ、ハウレンソウ、サトイモ、ゴボウ、ニンジン、ネギ、タマネギ、ナス、オクラなどで国際基準値を超過した割合が1%以上であり、低減対策が必要と考えられる。

現在、0.4 mg/kgを超える濃度のカドミウムを含むコメが生産されたことのあるほ場やその周辺のほ場などでは、基本的な低減対策として出穂前後各3週間にわたる湛水管理による吸収抑制対策を実施することを推進している(農林水産省消費・安全局)。水田に水を張った状態(湛水管理)を維持すると土壌は還元状態となり、土壌中のカドミウムはイオウと結合して不溶性の硫化カドミウムが形成されると考えられており、水稻のカドミウム吸収は抑制され、玄米中のカドミウム濃度を60-90%程度引き下げることが可能である。湛水管理の問題点としては、農業用水の不足等から湛水状態の維持ができない場合があること、収穫時のほ場が乾燥しきらずコンバイン収穫に困難が生じる場合があること、土壌中のカドミウム濃度は低減しないので稲以外の作物を栽培した場合は低減効果がないこと、そしてコメ中無機ヒ素増加の可能性などがあることなどがある。本年(2014年)7月のコーデックス委員会総会で精米中の無機ヒ素の最大基準値が0.2 mg/kgとして採択された。

このような状況の中、農作物の土壌由来の重金属吸収低減方法について農環研の成果を中心に紹介する。

### 2.カドミウム汚染土壌浄化技術

#### (1) 塩化鉄を利用した化学洗浄法

化学洗浄によるカドミウム汚染土壌浄化技術では、水稻を対象に、

- ・カドミウム の除去効率が高い化学物質の中から、土壌への影響の少ない塩化鉄を選抜。
- ・塩化鉄溶液を投入して、土壌に吸着しているカドミウム を水中に溶出させて除去する

ことによって、水田土壌の カドミウム 濃度が約 60～80 %、洗浄処理後に栽培した水稲では 70～90 %減少。

- ・排水処理装置を通った処理水の カドミウム 濃度は、環境基準値の 10 分の 1 以下。
- ・本法に必要なコストは間接経費を含めても約 300 万円となり、客土工法と比べて安価で、所要日数は約 80 日と短期間。

といった成果を上げてきた。

これらに続き、転換畑における土壌洗浄による カドミウム 汚染土壌の修復技術の開発を行った(牧野ら、2014a、牧野ら、2014b)。転換畑において、土壌 カドミウム、作物体 カドミウム とともに土壌洗浄による低減効果は維持され、最長で 6 年間持続性が確認された。洗浄後オクラ出芽率が低下し物理性劣化との関連が示唆されたが、オクラの出芽率は、物理性の改善を反映して経年的に良化傾向にある。苦土石灰の施用に伴い増収効果や品質の向上が認められた。現地洗浄試験で、ベントナイトを漏水田に適用して漏水防止施工が可能な事を示した。洗浄処理水は 2 倍希釈で生物影響が無い事を確認し、排水の生態系リスクは限定的と推察した。下層土の カドミウム 吸着は強く、浸透はほとんど認められなかった。洗浄強度上昇で、土壌 カドミウム 除去率と可給態窒素上昇、全炭素変化無し、交換性塩基減少、施肥で矯正可能であった。土壌カドミウム 除去率とダイズ・コムギの可食部 カドミウム 濃度に強い相関関係を確認、修復目標の基礎データとして利用が期待される。礫質・細粒質灰色低地土転換畑圃場で洗浄による易耕性の悪化を確認し、粗土塊は耕うん後に多量に存在するが、念入り耕うんで改善した。

## (2) カドミウム 高吸収イネによるファイトレメディエーション

- ファイトレメディエーションによるカドミウム汚染土壌浄化技術では、水稲を対象に
- ・カドミウム をよく吸収する複数のインディカ米の中から長香穀、IR8、モーれつを選抜。
  - ・中干し後、落水を継続して土壌を酸化状態にすると、カドミウム が根から吸収されやすくなり、そのようにして カドミウム 高吸収イネ品種を 2～3 作栽培し、収穫した地上部をその都度水田の外へ持ち出すことで、対照区と比較して、水田土壌の カドミウム 濃度が 20～40 %、浄化後に栽培した玄米中の カドミウム 濃度が 40～50 %減少。
  - ・最初にイネのみだけを収穫し、稲わらを数日間水田に放置して天日乾燥させると、収穫直後の稲わらの水分 (70～80 %) が 40～50 %まで減少。その後ロールベアラーで収穫した稲わらをパレットに載せて上部を透湿防水シートでおおって約 2 ヶ月間放置すると、水分がさらに 20～40 %まで減少。
  - ・稲わらやもみを乾燥によって減量することにより、運搬や焼却のコストを大幅に低減でき、本技術 (3 作栽培) の総コストは、客土工法の 1/7 程度。

といった成果を上げてきた。

これらに続き、各種畑土壌におけるファイトレメディエーションによるカドミウム汚染土壌修復技術の開発を行った(村上、2014、助清ら、2014、村上ら、2014)。カドミウム 高吸収イネおよびソルガムによる修復栽培 4 作後にダイズ、コムギ、コマツナによる検定栽培を行い、検定作物可食部 カドミウム 濃度と各種抽出法による栽培前土壌 カドミウム 濃度との相関分析を行った。検定作物と最も相関の高かった栽培前土壌抽出法は、酢安法か塩酸法であり、それぞれについてコーデックス基準値をクリア可能な土壌修復目

標値を把握することができた。転換畑修復植物としてソルガムを中心に回収農業機械の適性評価、作業効率、輸送コスト低減策として、透湿防水シートを使用した屋外在庫乾燥、減容化としてロールの圧縮、ペレット加工の検討を行い、修復植物の効率的収穫回収処理の一貫技術を開発した。修復植物栽培で問題となった初期生育、除草剤、倒伏、鳥害に対する対応策を明らかにした。4 作修復後の土壌カドミウム濃度は、平均で 25 ~ 32% 低下した。その跡地でダイズ、コムギ、コマツナによる検定栽培を行った結果、4 作修復後のダイズとコムギは平均で約 4 割、同コマツナは平均で約 3 割、3 作修復後のサトイモは約 2 割可食部の カドミウム濃度が低下した。

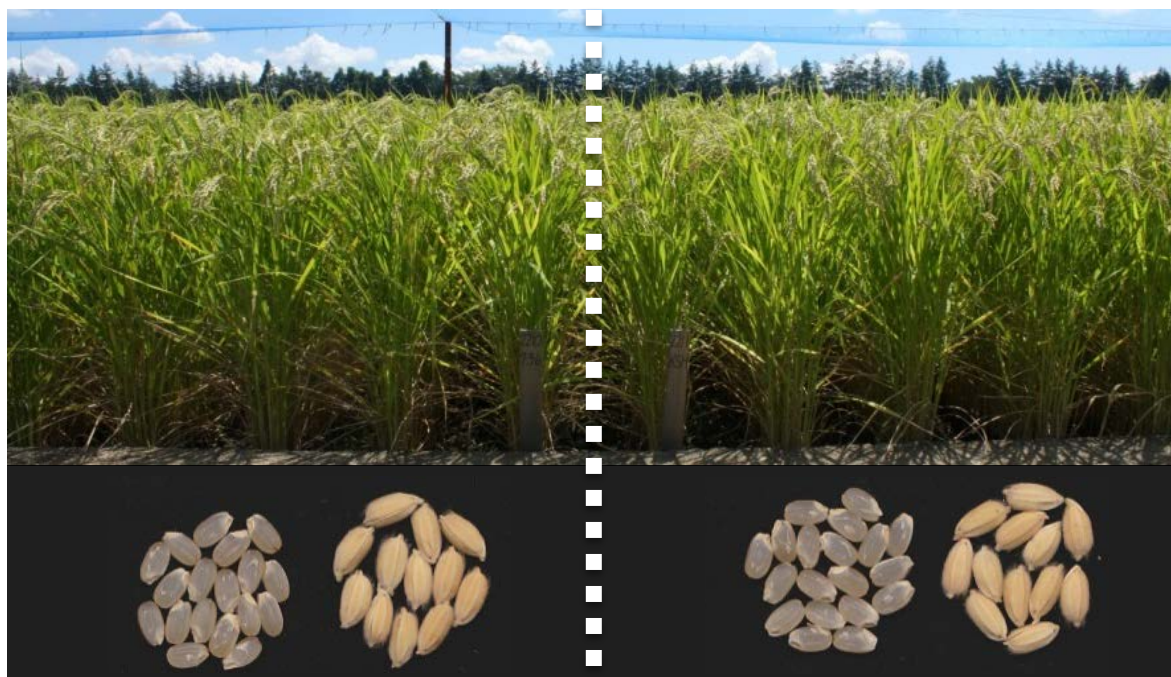
現在ファイトレメディエーションに利用されている水稻品種は易脱粒性、易倒伏性といった栽培上の問題点を有する。このため、難脱粒・耐倒伏性を有する実用性の高い植物浄化用のカドミウム高吸収稲品種・系統の開発を進めている。これまでに、カドミウム高吸収品種である「ジャルジャン」や「アンジャナダーン」にガンマ線を照射し、難脱粒性が付与された変異体「MJ3」と「MA22」を開発した(安部ら、2013)。また、それらの品種が持つカドミウム高吸収遺伝子を多収の飼料イネ品種である「たちすがた」に導入し、DNA マーカー選抜を行い、難脱粒性と耐倒伏性が付与されたカドミウム高吸収性を有する 4 系統を育成した。さらに、「ネパール 555」が持つ別のカドミウム吸収遺伝子も「たちすがた」に導入し、カドミウム吸収量の増大を目指した系統(7 系統)も育成中である。

### 3.カドミウム低蓄積性を利用した農作物中カドミウムの低減

#### (1) コシヒカリ環 1 号

農環研を中心とする研究グループは、イオンビーム照射の手法を使ってカドミウムを土壌からほとんど吸収しないコシヒカリの突然変異体を選抜することに成功した

(Ishikawa et al., 2012)。変異体の玄米中カドミウム濃度は、「コシヒカリ」が 0.4 mg/kg を超える条件で栽培しても、定量限界値未満になる。この変異体の実用性を、カドミウム吸収性試験、各種生育調査、病害等の特性検定試験、食味官能試験等により確認し、「コシヒカリ環 1 号」(図 1)として品種登録出願した(出願番号 第 28455 号、平成 25 年 8 月 23 日)。「コシヒカリ環 1 号」は遺伝子組換え植物ではないので、栽培するのに手続きは不要であり、日本各地で栽培実証試験が実施中である。また、農林水産省の「農業技術の基本指針(26 年 3 月)」にコメのカドミウム対策として「コシヒカリ環 1 号」の導入や、各県の主力品種及び有望品種へ「コシヒカリ環 1 号」が有するカドミウム低吸収性形質の導入に取り組むことが記載され、その実用化が大きく進展しようとしている。「コシヒカリ環 1 号」のカドミウム低吸収性原因遺伝子は OsNRAMP5 遺伝子であることがわかっている。DNA マーカーも既に開発されており、効率的な交配育種ができると期待されている。



コシヒカリ環 1 号

コシヒカリ

図 1 コシヒカリ環 1 号とコシヒカリのほ場での生育ともみ・玄米の外観形質

## (2) スズメナスビを台木としてナス果実中カドミウム濃度を低減

農林水産省が行った国内実態調査の結果によるとナスはカドミウム濃度が比較的高いため、カドミウム吸収抑制技術を確立することが必要である。ナスは接木栽培されることが多いので、台木の違いによる果実カドミウム濃度の差を検討した。スズメナスビの台木に接ぎ木した場合、土壌の種類、作型、穂木の種類によらず、自根栽培およびその他の台木に接木した場合に比較して果実中カドミウム濃度を約  $1/2 \sim 1/4$  のレベルに低減できた(竹田ら、2007、Arao et al.、2008)。スズメナスビの市販台木品種はトルバム・ビガー、トナシム、トレロがあり、いずれも同様のカドミウム濃度低減効果を示した。その集積の違いを決定する生理的要因を解析したところ、根に取り込まれたカドミウムを導管に輸送する能力の差異が決め手であることがわかった(Mori et al.、2009)。シンクロトロン放射光源マイクロビーム蛍光 X 線分析法を使って、この台木種の根の内皮近傍でカドミウムが高蓄積していることをマイクロメータースケールで可視化した(Yamaguchi、et al.、2010)。

## 4. コメ中無機ヒ素最大基準値、カドミウム吸収とのトレードオフ

2010 年に The Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (2011) でリスク評価が行われ、「肺がんの発生に係る  $BMDL_{0.5}$  (がんの発生率が 0.5 % 増加する無機ヒ素の摂取量の安全側の 95 % 信頼下限値) を飲料水中の無機ヒ素濃度と肺がんに関する疫学調査をもとに推定したところ、 $3.0 \mu\text{g}/\text{kg}$  体重/日 (  $2.0 - 7.0 \mu\text{g}/\text{kg}$  体重/日 ) となった。従来の PTWI (暫定耐用週間摂取量)  $15 \mu\text{g}/\text{kg}$  体重/週 (  $2.1 \mu\text{g}/\text{kg}$  体重/日に相当) は、今回推定した  $BMDL_{0.5}$  の範囲内にあることから、PTWI としてもはや適当でなく、取り下げる」というものであった。

本年(2014年)7月のコーデックス委員会総会で精米中の無機ヒ素の最大基準値が0.2 mg/kgとして採択された(Codex Alimentarius Commission, 2014)。これは健康リスクの低減効果を考慮した上で、国際的に流通しているコメ中の無機ヒ素濃度のデータに基づいて合理的に達成可能な範囲で低い値を設定(ALARAの原則)されたものである。最大基準値を0.1 mg/kgとすると、約40%のコメが超過すると見積もられるので、合理的に達成可能ではないと考えられる。

コメについては、総ヒ素含有量とそれに占める無機ヒ素(亜ヒ酸、ヒ酸)とメチル化ヒ素(おもにジメチルアルシン酸)の割合は、栽培地域、イネ品種、栽培方法などによって異なることが知られている(Zhao et al. 2013)。コメ中のジメチルアルシン酸については、それが、稲体内で無機ヒ素がメチル化されたものに由来するのか、または土壌から吸収されたものに由来するのかについて、これまで議論されてきたが、以下の研究から、コメ中のジメチルアルシン酸は、土壌から吸収されたものに由来することが明らかとなってきた。イネの水耕栽培で水耕液に無機ヒ素、モノメチルアルソン酸を添加するとコメにジメチルアルシン酸が蓄積するが、水耕液中にもジメチルアルシン酸が検出された。抗生物質を水耕液に添加すると水耕液中のジメチルアルシン酸は劇的に減少した(Arao et al., 2011)。イネを無菌栽培した場合、無機ヒ素やモノメチルアルソン酸を培地に添加しても稲体にジメチルアルシン酸は検出されなかった(Lomax, et al. 2012)。イネを無菌栽培し、無機ヒ素・モノメチルアルソン酸・ジメチルアルシン酸を培地に添加してもトリメチルアルシンの揮散は認められなかった(Jia, et al. 2012)。イネ根圏から新規のArsM遺伝子を持つジメチルアルシン酸合成菌が単離され、無菌イネに接種してイネ体内にジメチルアルシン酸が検出されることが実証された(Kuramata et al. 2014)。

現在、ヒ素の摂取がヒトの健康に及ぼす影響については、無機ヒ素に対する評価が先行し、ジメチルアルシン酸の摂取がヒトの健康に及ぼす影響については、その毒性に関する情報が乏しいことから、詳細はまだ明らかになっていない。

湛水管理によるカドミウム吸収抑制対策が水稻で行われているが、湛水管理はコメのヒ素濃度を増加させる可能性がある。還元状態の発達に伴うヒ素の可溶化には、ヒ素を吸着した鉄(III)酸化水酸化物およびマンガン酸化物の還元溶解のほか、吸着態ヒ酸の亜ヒ酸への還元による脱離が関わる。山根(1989)によれば、土壌の湛水培養によって溶液中に溶出する二価鉄(鉄(II))濃度とヒ素濃度の間には高い相関があり、溶出したヒ素の大部分(86~91%)が亜ヒ酸であった。水田圃場作土の溶存ヒ素濃度が高いのは、気相率がヒ素不溶化の閾値(0.03~0.10 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>)より低い場合に限られたのに対し、溶存カドミウム濃度は気相率にほぼ比例して増加した。気相率をヒ素不溶化の閾値よりやや高めに保てば、溶存ヒ素濃度とカドミウム濃度をともに低く維持できることが示唆された(加藤ら、2014)。湛水期間を変えて水稻をポット栽培、ほ場栽培した結果、湛水期間が長いほど玄米カドミウム濃度は減少したが、玄米総ヒ素濃度は高まった。また、湛水期間が長いほど玄米総ヒ素中のジメチルアルシン酸の割合が高まった(Arao et al., 2009、川崎ら、2012)。

日本の栽培品種における玄米ヒ素濃度の変異は小さいため、品種選択による汚染リスクの増大は考慮する必要はなく、湛水管理等の栽培管理が大きくヒ素濃度に影響することがわかった。(独)農業生物資源研究所が保有する世界のイネコアコレクション(World Rice Core Collection)の玄米ヒ素濃度には最大で3倍程度の差異が認められた。3年間の調査

を通して安定して玄米ヒ素濃度の低い品種及びジメチルアルシン酸の割合が高い品種を選抜した(Kuramata et al., 2013、石川、2014)。

平成 25 年度から農林水産省委託プロジェクト「水稻におけるヒ素のリスクを低減する栽培管理技術の開発」が開始され、水管理、資材、品種を利用したコメのヒ素低減を目指している。農環研が開発した「コシヒカリ環 1 号」は落水条件で栽培した場合にもカドミウムの吸収が増えることはないため、この品種を用いてコメ中無機ヒ素の低減がどこまでできるか、日本各地では場試験が行われている。水稻を落水条件で栽培した場合、特に夏の気温が高いとコメの収量・品質が低下する懸念があること、コメ中無機ヒ素を低減可能な水田の水管理が現場で実行可能かどうか考える必要があることなどの課題がある。現在、カドミウムのみでなく無機ヒ素のコメへの蓄積が少ない稲品種の開発も進められている。

## 引用文献

安部匡、倉俣正人、岩崎行玄、本間利光、茨木俊行、山本敏央、矢野昌裕、村上政治、石川覚(2013): ガンマ線照射による突然変異育種法を用いた難脱粒性カドミウムフアイトレメディエーション用イネ系統「MJ3」および「MA22」の育成、育種学研究 15、17-24.

Arao T, Kawasaki A, Baba K, Mori S, and Matsumoto S (2009): Effects of water management on cadmium and arsenic accumulation and dimethylarsinic acid concentrations in Japanese rice. *Environ. Sci. Technol.* 43, 9361-9367.

Arao, T.; Kawasaki, A.; Baba, K.; Matsumoto, (2011): Effects of arsenic compound amendment on arsenic speciation in rice grain. *Environ. Sci. Technol.* 45, 1291-1297.

Arao, T., Takeda, H., and Nishihara, E. (2008) : Reduction of cadmium translocation from roots to shoots in Eggplant (*Solanum melongena*) by grafting onto *Solanum torvum* rootstock, *Soil Sci. Plant Nutri.*, 54, 555-559.

Codex Alimentarius Commission.2014. Thirty-seventh Session CIGC, Geneva, Switzerland 14-18 July 2014 REPORT, REP14/CAC para. 82 and Appendix III [http://www.codexalimentarius.org/download/report/807/REP14\\_CACe.pdf](http://www.codexalimentarius.org/download/report/807/REP14_CACe.pdf)

Ishikawa S, Ishimaru Y, Igura M, Kuramata M, Abe T., Senoura T, Hase Y, Arao T, Nishizawa NK, and Nakanishi H. (2012): Ion-beam irradiation, gene identification, and marker-assisted breeding in the development of low-cadmium rice. *Proc. Natl. Acad. Sci. (USA)* 109, 19166-19171.

石川覚(2014): 稲の化学形態別ヒ素吸収パターンの解明ーヒ素吸収の品種間差異の解明ー, 生産・流通・加工工程における体系的な危害要因の特性解明とリスク低減技術の開発[化学物質(第1編)](プロジェクト研究成果シリーズ521), 農林水産省 農林水産技術会議事務局 <http://agriknowledge.affrc.go.jp/RN/2039017313.pdf>, p50-54

- Jia, Y.; Huang, H.; Sun, G. X.; Zhao, F. J.; Zhu, Y. G. (2012): Pathways and relative contributions to arsenic volatilization from rice plants and paddy soil. *Environ. Sci. Technol.* 46, 8090-8096.
- Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (2011) : ARSENIC (addendum) in Safty evaluation of certain contaminants in food  
[http://whqlibdoc.who.int/publications/2011/9789241660631\\_eng.pdf](http://whqlibdoc.who.int/publications/2011/9789241660631_eng.pdf) p153-317
- 加藤英孝, 牧野知之, 前島勇治, 赤羽幾子, 山口紀子, 中村乾, 天知誠吾, 高橋嘉夫(2014): 水田土壌中のヒ素の化学形態別の存在実態の解明, 生産・流通・加工工程における体系的な危害要因の特性解明とリスク低減技術の開発[化学物質(第1編)](プロジェクト研究成果シリーズ 521), 農林水産省 農林水産技術会議事務局 <http://agriknowledge.affrc.go.jp/RN/2039017313.pdf>, p45-50
- 川崎晃, 荒尾知人, 石川覚 (2012): 湛水管理によるカドミウムの米への蓄積軽減とその問題点 日衛誌, 67, 478-483.
- 厚生労働省 (2009): 食品中のカドミウムの規格基準の一部改正について, 薬事・食品衛生審議会食品衛生分科会資料, p2-10  
<http://www.mhlw.go.jp/shingi/2009/12/dl/s1202-2c.pdf>
- Kuramata M, Abe T, Kawasaki A, Ebana K, Shibaya T, Yano M, Ishikawa S. (2013) Genetic diversity of arsenic accumulation in rice and QTL analysis of methylated arsenic in rice grains. *Rice* 6, 3
- Kuramata M, Sakakibara F, Kataoka R, Abe T, Asano M, Baba K, Takagi K and Ishikawa S (2014): Arsenic biotransformation by *Streptomyces* sp. isolated from rice rhizosphere. *Environ. Microbiol.* doi:10.1111/1462-2920.12572
- Lomax, C.; Liu, W. J.; Wu, L. Y.; Xue, K.; Xiong, J.; Zhou, J. Z.; McGrath, S. P.; Meharg, A. A.; Miller, A. J.; Zhao, F. J. (2012): Methylated arsenic species in plants originate from soil microorganisms. *New Phytol.* 193, 665-672.
- 牧野知之, 前島勇治, 赤羽幾子, 神谷隆, 高野博幸, 加藤英孝, 中村乾, 永井孝志, 堀尾剛(2014a): 転換畑における土壌洗浄によるカドミウム汚染土壌の修復技術の開発, 生産・流通・加工工程における体系的な危害要因の特性解明とリスク低減技術の開発[化学物質(第1編)](プロジェクト研究成果シリーズ 521), 農林水産省 農林水産技術会議事務局 <http://agriknowledge.affrc.go.jp/RN/2039017313.pdf>, p69-73
- 牧野知之, 前島勇治, 赤羽幾子, 加藤英孝, 中村乾, 清水雅代, 中田均, 稲原誠, 藤富慎一, 茨木俊行, 竹田宏行, 関谷尚紀(2014b): 各各種畑土壌における土壌洗浄によるカドミウム汚染土壌修復技術の開発, 生産・流通・加工工程における体系的な危害要因の特性解明とリスク低減技術の開発[化学物質(第1編)](プロジェクト研究成果シリーズ 521), 農林水産省 農林水産技術会議事務局 <http://agriknowledge.affrc.go.jp/RN/2039017313.pdf>, p73-77
- Mori, S., Uruguchi, S., Ishikawa, S., and Arao, T. (2009): Xylem loading process is a critical factor in determining Cd accumulation in the shoots of *Solanum melongena* and *Solanum torvum*, *Environ. Exp. Bot.*, 67, 127-132.

- 村上政治(2014): 畑作物別のカドミウム汚染土壌修復目標値の策定とその検証技術の開発, 生産・流通・加工工程における体系的な危害要因の特性解明とリスク低減技術の開発[化学物質(第1編)](プロジェクト研究成果シリーズ521), 農林水産省 農林水産技術会議事務局 <http://agriknowledge.affrc.go.jp/RN/2039017313.pdf>, p77-78
- 村上政治, 中本洋, 甲田裕幸, 伊藤正志, 本間利光, 門倉綾子, 松山稔, 茨木俊行, 中川文彦, 矢野真二, 山田哲平, 竹田宏行, 森永茂生, 有村恭平, 長友誠 (2014): 各種畑土壌におけるファイトレメディエーションによるカドミウム汚染土壌修復技術の開発, 生産・流通・加工工程における体系的な危害要因の特性解明とリスク低減技術の開発[化学物質(第1編)](プロジェクト研究成果シリーズ521), 農林水産省 農林水産技術会議事務局 <http://agriknowledge.affrc.go.jp/RN/2039017313.pdf>, p84-85
- 農業環境技術研究所(2011): カドミウム汚染水田の実用的土壌浄化技術—ファイトレメディエーションと化学洗浄法—, 平成23年度主要研究成果, [http://www.niaes.affrc.go.jp/sinfo/result/result28/result28\\_10.html](http://www.niaes.affrc.go.jp/sinfo/result/result28/result28_10.html)
- 農林水産省, 食品中のカドミウムに関する情報 国内産農畜水産物等の実態調査結果, [http://www.maff.go.jp/j/syouan/nouan/kome/k\\_cd/cyosa/index.html](http://www.maff.go.jp/j/syouan/nouan/kome/k_cd/cyosa/index.html)
- 農林水産省消費・安全局(2011): コメ中のカドミウム濃度低減のための実施指針 [http://www.maff.go.jp/j/syouan/nouan/kome/k\\_cd/pdf/cd\\_shishin\\_rice.pdf](http://www.maff.go.jp/j/syouan/nouan/kome/k_cd/pdf/cd_shishin_rice.pdf)
- 助清泰教, 谷口彰, 篠崎陽代, 青木準一(2014): 転換畑における修復植物の効率的収穫・処理技術の開発, 生産・流通・加工工程における体系的な危害要因の特性解明とリスク低減技術の開発[化学物質(第1編)](プロジェクト研究成果シリーズ521), 農林水産省 農林水産技術会議事務局 <http://agriknowledge.affrc.go.jp/RN/2039017313.pdf>, p78-84
- 竹田宏行・佐藤淳・西原英治・荒尾知人(2007): スズメノナスビ (*Solanum torvum*) を台木とした接ぎ木栽培によるナス果実中カドミウムの低減技術. 土肥誌, 78, 581-586.
- Yamaguchi, H., Fukuoka, H., Arao, T., Ohshima, A., Nunome, T., Miyatake, K., and Negoro, S. (2010) Gene expression analysis in cadmium-stressed roots of a low cadmium-accumulating solanaceous plant, *Solanum torvum*, *J. Exp. Bot.*, 61, 423-437.
- 山根忠昭 (1989): 水稲におけるヒ素被害の発生機構と対策. 島根県農業試験場研究報告, 24, 1-95.
- Zhao Fang-Jie, Zhu Yong-Guan and Meharg Andrew A. (2013): Methylated Arsenic Species in Rice: Geographical Variation, Origin, and Uptake Mechanisms. *Environ. Sci. Technol.*, 47, 3957-3966