

# 品種選択によるカドミウム吸収抑制技術

農業環境技術研究所化学環境部重金属研究グループ  
土壌生化学ユニット 阿部薫

## 1. カドミウムをめぐる状況

カドミウム (Cd) は、亜鉛鉱石の中に副成分として含まれ、鉱山や製錬所など人の活動によって環境中へ排出されたものが、現在の土壌汚染の主な原因となっている。現在、世界の Cd 年間生産量は約 2 万トンあり、その内、わが国で 15% 弱が生産されている。消費量も世界で 2 万トン近く、わが国が全体の 4 割強を消費しており、消費の 80% 以上はニッケル - カドミウム電池の製造用である。

カドミウムは一定量以上を摂取し続けると腎機能障害やイタイタイ病などの健康障害を引き起こす可能性があることから、国際的な基準値の検討が進められている。2005 年 7 月にローマで開催された第 28 回コーデックス委員会 (FAO/WHO 合同食品規格委員会) 総会で、小麦の 0.2 ppm、除皮ばれいしょの 0.1 ppm、茎菜・根菜 (セロリアック・ばれいしょを除く) の 0.1 ppm、葉菜の 0.2 ppm、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) (キノコ・トマトを除く) の 0.05 ppm がそれぞれ国際基準値として採択された。また、わが国の農業、食品に関連して注目されている精米については、0.4 ppm を国際基準値案として予備採択することとなった。食品中 Cd 濃度の国際規格制定の動きに対応して、我が国でも農産物の実態調査が行われ、様々な作物について基準値や基準値案を超過する事例が明らかになっている (表 1)。

一方、伊藤(2003)は、農地へのカドミウムの出入りを試算し、農産物等として持ち出されるカドミウムは 0.6 g/ha/yr であるのに対し、農地への負荷量は、リン肥料や堆肥等で 2-3 g/ha/yr、その他雨漕水等 1 g/ha/yr とはるかに多く、長期的に見た場合、日本の農地の Cd 濃度が上昇するリスクを指摘している。

いずれにせよ、カドミウムをなるべく作物に吸収させないための技術開発は、現在そして将来の日本国民の健康にとって重要課題の一つと考えられる。ここでは、Cd 蓄積性の品種間差、及び Cd 濃度の低い作物品種の開発等に関する最近の研究成果を中心に紹介したい。

表 1 主な作物のカドミウム国際基準値及び基準値案超過率 (農林水産省の全国実態調査より作成)

| 作物     | 基準値(mg/kg) | 超過率(%) | 作物   | 基準値(mg/kg) | 超過率(%) |
|--------|------------|--------|------|------------|--------|
| 玄米     | 0.4*       | 0.3    | 人参   | 0.1        | 1.5    |
| 小麦     | 0.2        | 3.1    | ねぎ   | 0.05       | 3.9    |
| ほうれんそう | 0.2        | 3.0    | たまねぎ | 0.05       | 1.0    |
| さといも   | 0.1        | 9.9    | なす   | 0.05       | 7.3    |
| ごぼう    | 0.1        | 5.6    | オクラ  | 0.05       | 22.4   |

\*玄米については基準値案

## 2. イネのカドミウム吸収について

日本人の日常食から摂取されるカドミウムの中で、コメ由来のカドミウムは全摂取量の約半分を占める。日本では、米については食品衛生法で玄米 1 ppm の基準があり、これを超えるものは焼却処分される。0.4 ppm を超えるものは国 (2004 年度からは全国米麦改良協会) が買い上げ、非食用 (工業用のり) とされている。米以外の作物については現在、基準がない。1ppm 以上の玄米を生産した水田は客土工事や住宅地への転用などの対策を、また、0.4 mg 以上 1 mg 未満の水田は、水稻の吸収抑制対策を実施している。

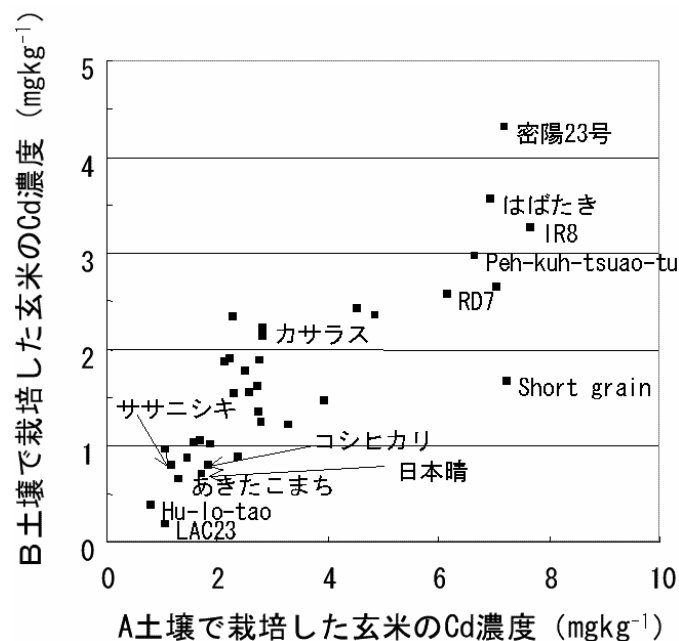
## 2-1 カドミウム吸収に影響する土壌環境要因と吸収抑制対策

カドミウムは湛水状態の還元条件下では硫化カドミウムとなって不溶化し、吸収されにくくなるため、降雨条件や水管理によって玄米中のCd濃度は著しく影響を受ける。水稻のCd吸収抑制のためには、栽培期間を通じて湛水状態（土壌が還元状態になる）に保つことが求められる。しかし、水稻の健全生育や収穫作業の容易さを考慮し、出穂前後3週間を湛水管理することが推奨されている。また、砂質等の漏水型水田では湛水状態を保つため、ベントナイト等の施用により、漏水防止対策を徹底し湛水管理を行うことが重要とされている。また、カドミウムは土壌pHの低下とともに溶けやすくなるので、吸収抑制のためにはアルカリ性の肥料を施用し、土壌の酸性化を防ぐことが大切である。

## 2-2 イネのカドミウム濃度の品種間差

玄米のCd濃度の品種間差異については、森下らが非汚染の土壌で日本型、インド型、ジャワ型合わせて66品種について調査し、インド型品種に比べ日本型品種は低い傾向があると報告している。

荒尾・阿江(2003)は、2種類の汚染土壌を用い、イネがよりカドミウムを吸収しやすい畑条件下で、イネのCd吸収の品種間差異を広範に調べている。その結果、「日本晴」、「コシヒカリ」、「ササニシキ」、「あきたこまち」など従来の日本型イネ品種は玄米Cd濃度が最も低いグループに入り、祖先に日本型イネが交配されているインド型品種の「密陽23号」などは高いと報告しており、森下等の非



汚染土壌の結果と概ね同様な傾向が認められた。また、インド型品種のなかに「LAC23」、「Hu-Lo-Tao」などきわめて玄米Cd濃度が低い品種の存在することも報告している(図1)。一方、「密陽23号」などは、玄米の4-5倍濃度のCdを茎葉に集積していることから、Cd汚染土壌の修復(ファイトレメディエーション)への利用可能性を示唆している。

現在日本で食用に栽培されているイネは、稲品種の中でも玄米へのCd蓄積性の低い品種である。今後、さらに低吸収の品種を効率的に作出していくためには、Cd蓄積性の低い品種の特性を明らかにするとともに、Cd吸収・蓄積のメカニズム並びにそれを制御する遺伝子や遺伝様式を解明していくことが求められる。

図1 汚染レベルの異なる2土壌で栽培した玄米中のCd濃度(荒尾・阿江 2003より作図)

## 2-3 カドミウム吸収遺伝子の検索

石川ら(2005)は、遺伝的背景が「コシヒカリ」で、インド型品種「カサラス」の染色体断片が各々1カ所のみ大きく置換された39系統群(農業生物資源研究所で作出)を材料とし、玄米のCd濃度に係わる遺伝子座の同定を試みた。親品種と染色体置換系統群をCd汚染土壌(灰色低地土、0.1M HCl抽出Cd濃度: 1.8 mg kg<sup>-1</sup>)を充填したポットを用いて、Cd吸収が促進されやすい節水条件下で栽培し、玄米Cd濃度を調べた。その結果、第3, 第8染色体が部分的に置換された系統でコシヒカリよりもCd濃度が有意に低いものがあり、一方、第6染色体が部分的に置換された系統で有意に高いものがあることを明らかにした(図2)。玄米Cd濃度の系統間差異と系統の図式遺伝子型の比較から、第3, 6, 8

染色体上の玄米 Cd 濃度に係わる遺伝子座を推定している(図 3)。

今後、コシヒカリと 90%以上同一のゲノムを持つ染色体置換系統群を育種材料に利用すれば、玄米 Cd 濃度が低いコシヒカリの育成に必要な期間の大幅な短縮が期待できる。

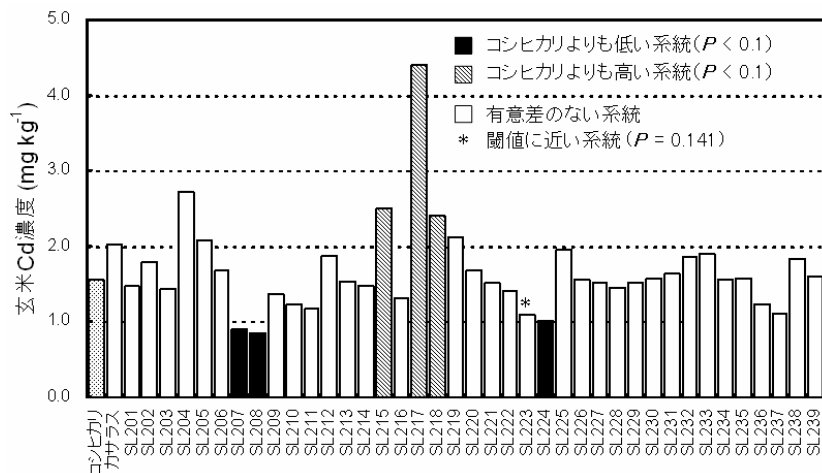


図 2 染色体置換系統群の玄米 Cd 濃度(石川ら、2005 より)

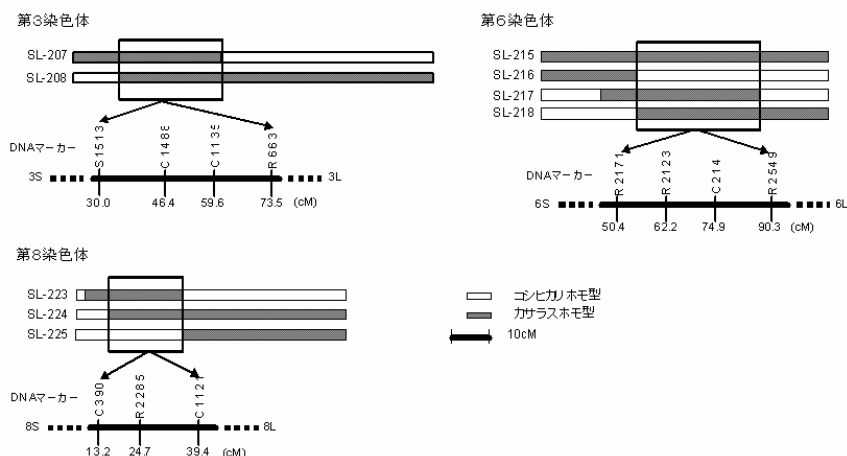


図 3 玄米の Cd 濃度に係わる遺伝子座(石川ら、2005 より)

### 3. ダイズのカドミウム吸収

農林水産省の国内産農畜産物等の全国実態調査では、ダイズのカドミウム濃度は 0.2ppm 以上 17.3%、0.3ppm 以上 6.2%、0.4ppm 以上 1.9%、0.5ppm 以上 0.7% となっており、玄米やコムギよりもカドミウム濃度が高い傾向にある。ダイズについては、当初国際基準値の検討がなされていたが、今回の設定からは外れている。しかしダイズは日本人にとって極めて重要な食物であり、比較的摂取量の多いことを考慮すると、可能な限り子実中の Cd 濃度を低減させる必要がある。

#### 3-1 ダイズカドミウム濃度の品種間差

荒尾ら(2003)により、品種によってダイズ子実の Cd 濃度に違いがあることが明らかにされている。カドミウムレベルの異なる数種類の土壌(0.1M 塩酸抽出濃度: 0.2~6.5 mgkg<sup>-1</sup>)を用いた圃場及びポット栽培試験において、子実の Cd 濃度は「Harosoy」が最も高く、「エンレイ」は低く、根粒超着生の突然変異品種「作系 4 号」は Cd 濃度が最も低く、また交配親が「スズユタカ」と「エンレイ」である「ハタユタカ」の子実 Cd 濃度は、両親の濃度の中間程度であった(表 2)。異なる汚染レベルの土壌において、品種間の Cd 濃度差異が同様の傾向を示したことから、ダイズ子実 Cd 濃度の品種間差異

表2 カドミウム非汚染土壌および汚染土壌で栽培した大豆子実のカドミウム含量

| 非汚染土壌     | mg Cd/kg | 低濃度汚染土壌   | mg Cd/kg | 高濃度汚染土壌   | mg Cd/kg |
|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|
| 作系4号      | 0.12     | 作系4号      | 0.46     | 作系4号      | 1.43     |
| タマホマレ     | 0.13     | 納豆小粒      | 0.59     | ゲテンシラス1号  | 1.72     |
| En-N0-2   | 0.18     | タマホマレ     | 0.70     | En-b0-1   | 1.96     |
| 納豆小粒      | 0.18     | ゲテンシラス1号  | 0.78     | 五葉黒豆      | 1.99     |
| En-b2-110 | 0.18     | En-b0-1   | 0.82     | En-b2-110 | 2.06     |
| エンレイ      | 0.19     | エンレイ      | 0.89     | エンレイ      | 2.09     |
| 五葉黒豆      | 0.20     | En-b2-110 | 0.91     | はや銀       | 2.22     |
| ゲテンシラス1号  | 0.20     | はや銀       | 0.91     | タマホマレ     | 2.52     |
| タチユタカ     | 0.21     | ハタユタカ     | 0.97     | ハタユタカ     | 2.83     |
| En-b0-1   | 0.23     | デウムスメ     | 1.05     | タチナガハ     | 2.88     |
| ハタユタカ     | 0.23     | タチユタカ     | 1.13     | 納豆小粒      | 2.90     |
| タチナガハ     | 0.23     | 五葉黒豆      | 1.16     | タチユタカ     | 3.29     |
| はや銀       | 0.23     | タチナガハ     | 1.17     | En-N0-2   | 4.94     |
| En1282    | 0.24     | Peking    | 1.47     | デウムスメ     | 5.24     |
| デウムスメ     | 0.24     | スズユタカ     | 1.50     | En1282    | 5.33     |
| Peking    | 0.28     | En-N0-2   | 1.91     | スズユタカ     | 7.46     |
| スズユタカ     | 0.33     | En1282    | 2.22     | Peking    | 10.13    |
| Harosoy   | 0.34     | Harosoy   | 2.68     | Harosoy   | 12.68    |

(荒尾ら, 2003より作成)

は、遺伝的要因が関与していることを指摘している。

### 3-2 カドミウム吸収抑制機構

また、荒尾ら(2003)は、Cd 濃度 0.1ppmの水耕液でダイズ4品種を栽培し、子実 Cd 濃度の低い品種である「エンレイ」と「作系4号」では根の Cd 濃度が高く、茎葉の濃度は低いのに対し、子実 Cd 濃度の高い品種である「スズユタカ」や「ハタユタカ」では、逆に、根の Cd 濃度が低く、茎葉の濃度が高くなることを示している(表3)。これにより、子実 Cd 濃度が低い品種には、カドミウムを根に蓄積し地上部への移行を妨げる機構があることが明らかになった。

表3 Cd 含有水耕栽培時のダイズの器官別カドミウム濃度 (mgkg<sup>-1</sup>)

| 品種    | 葉    | 葉柄   | 茎    | 根   |
|-------|------|------|------|-----|
| 作系4号  | 12.3 | 24.6 | 14.0 | 291 |
| エンレイ  | 11.4 | 25.4 | 11.0 | 210 |
| ハタユタカ | 21.6 | 43.7 | 20.0 | 107 |
| スズユタカ | 25.5 | 82.0 | 39.6 | 125 |

(荒尾ら, 2003より)

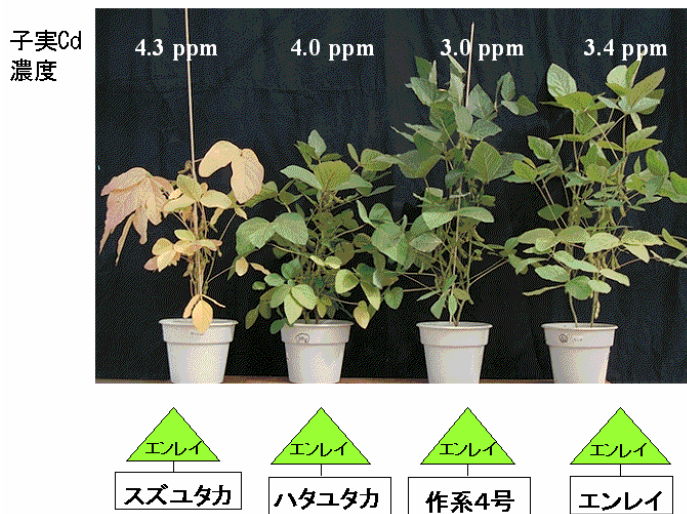


図4 4品種を台木としエンレイを接ぎ木したときの生育状況(杉山、阿江、2002)

さらに、杉山・阿江(2002)は、異なる品種同士を接ぎ木するという手法により、このメカニズムが通常の土耕栽培でも機能していることを確認した。上記4品種を台木に低吸収系統の品種「エンレイ」を接ぎ木すると、「スズユタカ」、「ハタユタカ」の台木では、「エンレイ」のCd濃度は子実だけでなく茎葉濃度も上昇し、Cdの毒性によって生育は劣るが、より低吸収系統の「作系4号」の台木では、「エンレイ」の地上部Cd濃度は一層低下することを報告している(図4)。

阿江ら(2002)は、逐次抽出により根に含まれるCdの形態を調査し、子実Cd濃度の低い品種ほど根の細胞壁にCdが強固に結合している傾向があることから、地上部へのCdの移行抑制機構として、根細胞壁へのCdの固定を示唆している。

### 3-3 遺伝様式

これら品種の遺伝系統樹から判断して、根におけるカドミウムの蓄積能は遺伝的形質であると考えられており、羽鹿ら(2004)は、カドミウム低蓄積性品種×高蓄積性品種のF2集団の調査から、子実の

カドミウム蓄積性は低カドミウム蓄積を優勢とする1個の遺伝子支配である可能性を指摘している。今後、大豆の育種にあたっては、高吸収品種群を交配親としないなどの対応が必要である。

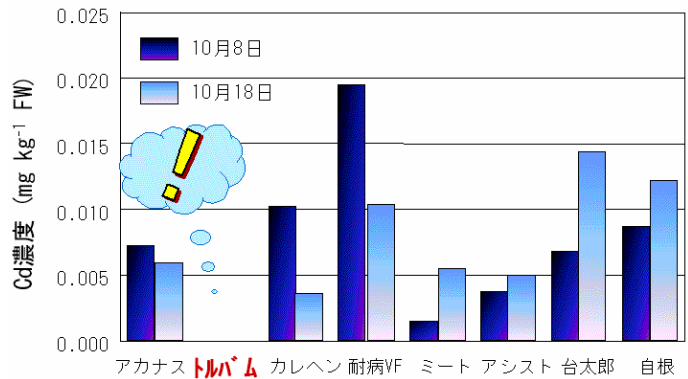
#### 4. 野菜類のCd吸収について

農水省の調査(表1)によると、野菜類については国際基準値を超過する品目が多く、また、超過率のかなり高いものも見受けられ、吸収抑制への取り組みが早急が必要である。しかし、カドミウム吸収の品種間差や吸収抑制対策についての研究は、最近はじまったところである。ここではナスとホウレンソウについての最近の成果を紹介する。

##### 4-1 ナス台木による吸収抑制

ナスは、我が国では作付けの60%程度が接ぎ木栽培を行っているため、台木品種の中に吸収を抑制できるものがあれば、カドミウム濃度低減対策として有望である。竹田ら(2005)は、非汚染土壌において自根栽培の穂木品種「千両二号」を対照として、現在一般に栽培されている台木7品種について、Cd吸収を調査し、トルバム・ビガーを台木にした場合、ナス果実及び茎葉濃度がきわめて低くなることを見いだした(図5)。荒尾ら(2005)は、さらに汚染土壌を用いた試験を行い、トルバムビガー台木で、ナス果実と茎葉のCd濃度が台太郎台木の1/4以下となり、トルバムビガー台木では台太郎台木に比べ穂木へのCdの移行が抑制されることを報告している。これらの成果は、Cd吸収抑制技術として現場ですぐに利用できるものであり、今後、メカニズムの解明等が期待される。

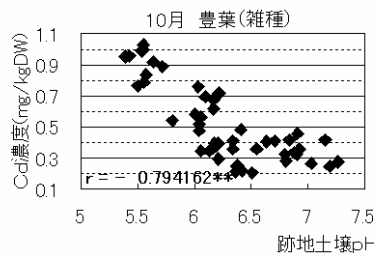
図5 ナスの台木品種の違いによる果実のCd濃度  
(竹田ら、2005 未発表データ)



##### 4-2 ホウレンソウの品種間差

杉沼ら(2005)は、多くのホウレンソウ品種についてCd蓄積を調査し、西洋種は東洋種や雑種に比べCd濃度が高い傾向にあり、西洋種の作付けが多い春から夏まきの作型で、特に高まりやすいと報告している。また、土壌pHを高めるとCd濃度が高い個体が出現しにくくなるが、pHを高めてもCd濃度が低下しない品種のあることを報告しており(図6)、今後、品種によるCd吸収特性の違いを説明するCd吸収機構の解明が必要と考えられる。現在、ホウレンソウについては、各地で研究が進められているところである。

(a) 土壌pHの上昇とともにCd含有量が低下する品種の例



(b) Cd含有量と土壌pHの間に関連性がない品種の例

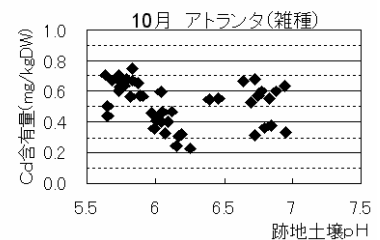
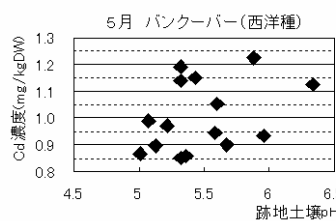


図6 土壌pHの上昇とともにカドミウム含有量が低下する品種と連性がない品種の例 (杉沼ら、2005 未発表データ)

## 5. カドミウム高吸収イネを用いた汚染水田の修復（ファイトレメディエーション）

最後に、先に述べた Cd 高吸収性を示すイネ品種を、畑状態で栽培することにより、カドミウム汚染農地の修復に利用する研究が進められているので紹介する。

村上ら(2003)は、土壌タイプの異なる Cd 汚染土壌を用いてイネ、ダイズ、トウモロコシを畑条件下でポット栽培し、イネが最も多くカドミウムを吸収すること、また土壌の Cd 濃度(0.1M 塩酸抽出)が、栽培前後の比較からイネ栽培区において最も減少することを明らかにした(図 7,8)。これらの結果を踏まえ、九州地方の現地圃場において「密陽 23 号」を栽培し、1 作で 1 ha 当たり約 200g のカドミウムを吸収することを実証している。農地の修復にあたっては、修復用植物は、土壌中のカドミウムを多量に吸収除去するだけでなく、栽培技術の確立していることが必要であり、また修復後は、農地として再利用できなくてはならない。これまでに Cd 高集積植物(多くは山野草)が見つかるが、それらは乾物生産量が小さかったり、また栽培技術も確立されていないため、農地での早急な実用化は難しい。こういった意味で、Cd 汚染水田土壌の修復作物としては Cd 高吸収イネ品種を畑状態で栽培することが最適であると考えられる。現在、各地域の気象特性に適した Cd 高吸収イネ品種の選抜や、カドミウムのファイトレメディエーション効率を向上させるための栽培技術に関する圃場レベルの試験が全国規模で進行中である。

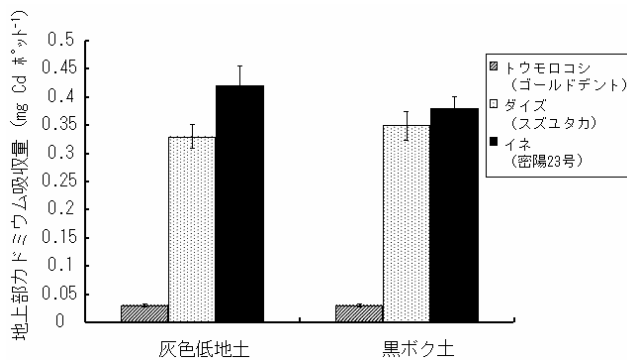


図 7. 各作物地上部のカドミウム吸収量 (村上ら、2003)

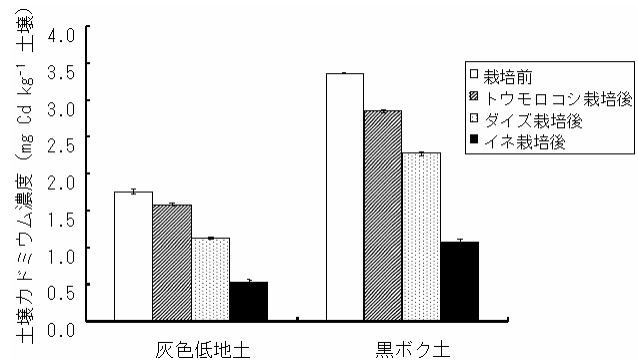


図 8. 栽培に伴う土壌カドミウム濃度 (0.1N 塩酸抽出) の変化 (村上ら、2003)

## 引用・参考文献

浅見輝男(2001) データで示す - 日本土壌の有害金属汚染、アグネ技術センター

農林水産省(2002) 国内産の農畜産物等の全国実態調査、<http://www.maff.go.jp/cd/C-page.htm>

伊藤純雄(2003) 農地におけるカドミウムの出入りとゆくえ、季刊雑誌「肥料」、98、41-46

森下豊昭、西知己、香川邦夫雄、太田安定(1986) 同一圃場からのジャポニカ、インディカ、ジャワ、及び交雑型水稻 66 品種産米中のカドミウム自然賦存濃度、土肥誌、57、293-296

Arao, T. and Ae, N. (2003) Genotypic variations in Cadmium Levels of Rice Grain, Soil Sci. Plant Nutr., 49,437-479

石川覚, 阿江教治(神戸大農), 矢野昌裕(生物研), 杉山恵, 村上政治, 阿部薫 (2004)

[玄米のカドミウム濃度に係わる遺伝子座の検索、農業環境研究成果情報：第 21 集](#)

Ishikawa, S., Ae, N. and Yano, M. (2005) Chromosomal regions with quantitative trait loci controlling cadmium concentration in brown rice (*Oryza sativa*), New Phytologist(in press)

Arao, T., Ae, N., Sugiyama, M. and Takahashi, M. (2003) Genotypic differences in cadmium uptake and distribution in soybeans, Plant and Soil, 251, 247-253

杉山恵、阿江教治 (2002) 低カドミウム子実のダイズ系統のカドミウム転流機構について 接ぎ木による結果、  
土壌肥料学会講演要旨集、第 48 集、p69

阿江教治, 荒尾知人, 杉山恵, 石川覚, 村上政治 (2002) [ダイズの子実カドミウム低蓄積系統における根の役割、  
農業環境研究成果情報：第 19 集](#)

羽鹿ら(2004) 育種学研究 6(別 2):P325

竹田宏行, 本間利光, 西原英治, 中野太佳司(2005)ナスの台木品種の違いによる可食部カドミウム, 日本土壌肥料学  
会講演要旨集、第 51 集、p85

荒尾知人、竹田宏行、西原英治、中野太佳司(2005) ナスの台木品種の違いによる可食部カドミウム濃度(2) - 台木  
品種トルバムビガーを用いたカドミウム濃度の低減 -、日本土壌肥料学会関東支部会発表予定

杉沼千恵子、佐藤賢一、配島雅之、中村幸二(2005)ホウレンソウのカドミウム含有量の品種間差異, 日本土壌肥料  
学会講演要旨集、第 51 集、p104

村上政治, 阿江教治, 杉山 恵, 石川 覚 (2003) [畑条件で栽培するイネはカドミウム汚染水田の修復に最適であ  
る、農業環境研究成果情報：第 20 集](#)

農業環境技術研究所 化学環境部重金属研究グループ(2002)水稻のカドミウム吸収抑制のための対策技術、  
<http://www.niaes.affrc.go.jp/magazine/mgzn030.html#03005>

農業環境技術研究所 化学環境部重金属研究グループ(2004)ダイズのカドミウム吸収抑制のための対策技術、  
<http://www.niaes.affrc.go.jp/magazine/mgzn056.html#05606>