

## ダイズ子実カドミウム濃度の推定に適する土壌抽出法の検討

誌名	日本土壌肥料学雑誌 = Journal of the science of soil and manure, Japan
ISSN	00290610
著者	吉住, 佳与 戸上, 和樹 工藤, 一晃 青木, 和彦 三浦, 憲蔵
巻/号	83巻1号
掲載ページ	p. 52-55
発行年月	2012年2月

## ダイズ子実カドミウム濃度の推定に適する 土壌抽出法の検討\*

吉住佳与・戸上和樹・工藤一晃  
青木和彦・三浦憲蔵

キーワード カドミウム, ダイズ, 土壌抽出法, 塩化カルシウム

### 1. はじめに

コーデックス委員会によって食品中のカドミウム (Cd) の国際規格が策定されたことを踏まえて, 国内では玄米中の Cd の規格基準が  $1.0 \text{ mg kg}^{-1}$  未満から  $0.4 \text{ mg kg}^{-1}$  以下に改正された (厚生労働省, 2010). ダイズについては, 国際規格は設定されていないものの, 日本人の Cd 摂取源として, コメ, コムギ, 野菜類に次いで寄与度が高い (厚生労働省, 2009) ため, ダイズ子実中の Cd 濃度の低減対策の推進が求められる. 一方, 土壌中の Cd 濃度から子実中の Cd 濃度を推定することができれば, リスクの予測が可能になり, それに基づいて吸収抑制などの対策を講じることができる.

畑作物の Cd 濃度を予測するため, ダイズ子実では  $0.01 \text{ mol L}^{-1}$  塩酸 (吉田・杉戸, 2005), コムギ子実では  $0.025 \text{ mol L}^{-1}$  塩酸 (Ibaraki *et al.*, 2005) による抽出法がこれまでに提案されている. また,  $1 \text{ mol L}^{-1}$  硝酸アンモニウム,  $1 \text{ mol L}^{-1}$  酢酸アンモニウムによる抽出法はそれぞれ, ダイコン幼植物, 水稻の Cd 濃度との相関が高いという報告 (久保井ら, 1989; 中川ら, 2005) がある. 一方, 硝酸カルシウム, 塩化カルシウムなどの中性塩は, 土壌中の重金属の存在形態の分別のための逐次抽出法 (定本ら, 1994; Asami *et al.*, 1995) における交換態の抽出剤として用いられ, 作物が吸収しやすい Cd の評価に利用されている (柿内, 2009). しかし, これらの抽出法による交換

態 Cd 濃度と作物体可食部の Cd 濃度との関係は必ずしも明らかではなく, また, 他の抽出法との比較はほとんど行われていない.

そこで, 本研究では, ポット栽培試験において各種の土壌抽出法による Cd 濃度とダイズ子実の Cd 濃度との関係を比較検討し, ダイズの子実 Cd 濃度の推定に利用可能な抽出法を明らかにすることを目的とした.

### 2. 材料および方法

#### 1) ダイズのポット栽培試験

供試土壌として, 鉱山または精錬所付近の Cd 濃度が高い土壌 9 点 (灰色低地土 2 点, 褐色低地土 1 点, グライ低地土 2 点, 多湿黒ボク土 3 点, 黒ボク土 1 点) および東北農業研究センター内の試験圃場の黒ボク土 1 点の合計 10 点を用いた (表 1). これらの土壌は, 東北地域の水田または水田転換畑作土 (深さ 15 cm 以内) から各年次の栽培試験前に採取し, 約 1 cm のふるいを通した後に,  $1/2000 \text{ a}$  のワグネルポットに 25 cm の深さまで充填した (生土あたり 11~14 kg). ポットあたり, ダイズ用配合肥料 ( $\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}=6\text{-}25\text{-}18\%$ ) 2.5 g を供試土壌に混合し, ダイズ (*Glycin max* (L.) Merrill) を 1 株栽培した. 供試品種は東北地域で最も作付面積の大きいリュウホウを用いた. ダイズの Cd 吸収特性は品種による差が大きい (Arao *et al.*, 2003) が, リュウホウは低吸収型に属する (中村ら, 2011). 土壌 pH は 5.8, 6.2, 6.5 となるように, 緩衝曲線法 (千葉・新毛, 1977) により求めた苦土石灰量をそれぞれ加えて調整した. また, グライ低地土は元の土壌 pH が高かったため,  $0.05 \text{ mol L}^{-1}$  硫酸を添加して土壌 pH を調整した. ポット栽培試験は, 2008 年 6 月 2 日~9 月 29 日および 2009 年 5 月 29 日~9 月 25 日の 2 カ年行った. 栽培試験は 3 反復で実施した.

収穫したダイズは  $80^\circ\text{C}$  で通風乾燥させた後, 子実の微粉碎試料を後藤ら (1992) の方法に従って, テフロン製容器に取り, 濃硝酸を加えてステンレスジャケットで密閉し, 加熱分解 (2 時間・ $150^\circ\text{C}$ ) を行った. 分解液を適宜希釈後, ICP 質量分析装置 (ICPM-8500, Shimadzu) を用いて子実中の Cd 濃度を測定した.

#### 2) 土壌分析

2008 年に採取した作土試料 (No.6 は 2009 年) について, ポット栽培前の風乾細土 ( $< 2 \text{ mm}$ ) を用いて理化学性の分析を行った. pH( $\text{H}_2\text{O}$ ) はガラス電極法 (土壌: 溶液比 = 1:2.5), CEC は  $1 \text{ mol L}^{-1}$  酢酸アンモニウム抽出法 (pH 7.0), リン酸吸収係数はリン酸アンモニウム液法, 全炭素および全窒素含量は全自動元素分析装置 (vario MAX CN, Elementar) を用いてそれぞれ測定した. 酸性シウ酸塩抽出ケイ素 ( $\text{Si}_0$ ) 含量は Blakemore *et al.* (1981) の方法で抽出し, ICP 発光分析装置 (iCAP6300, ThermoFisher) で測定した. 粒径分析は過酸化水素で有機物を分解した後, 砂はふるい分け法, シルトと粘土はピペット法を用いてそれぞれ採取し, 国際法に従って土性区分を行った. また, メノウ乳鉢で微粉碎した土壌試料を

Kayo YOSHIKUNI, Kazuki TOGAMI, Kazuaki KUDO, Kazuhiko AOKI and Kenzo MIURA: Comparison of extraction methods for the prediction of cadmium concentration in soybean seeds

\* 本報告の一部は 2009 年度日本土壌肥料学会京都大会および 2010 年度日本土壌肥料学会北海道大会において発表した. (独) 農業・食品産業技術総合研究機構 東北農業研究センター (020-0198 盛岡市下厨川字赤平 4)

Corresponding Author: 吉住佳与

2011 年 6 月 30 日受付・2011 年 10 月 20 日受理

日本土壌肥料学雑誌 第 83 巻 第 1 号 p. 52~55 (2012)

表1 供試土壌の一般理化学性

No.	土壌群 <sup>*1</sup>	pH (H <sub>2</sub> O)	全炭素 (g kg <sup>-1</sup> )	全窒素 (g kg <sup>-1</sup> )	CEC (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	リン酸吸収係数 (g-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg <sup>-1</sup> )	Si <sub>0</sub> <sup>*2</sup> (g kg <sup>-1</sup> )	土性 <sup>*3</sup> (国際法)	全 Cd (mg kg <sup>-1</sup> )	栽培年次 <sup>*4</sup>	
										2008	2009
1	灰色低地土	5.3	23.6	2.0	21.4	10.5	1.8	L	0.47	○	○
2	灰色低地土	5.9	26.4	2.5	18.6	8.2	2.4	SL	1.35	○	●
3	褐色低地土	5.8	19.4	1.8	29.0	12.2	2.2	CL	0.67	●	●
4	グライ低地土	6.1	14.9	1.3	19.4	8.8	0.7	SL	2.46	○	●
5	グライ低地土	6.6	15.0	1.6	24.7	10.1	1.1	L	5.65	●	●
6	多湿黒ボク土	5.6	48.0	3.5	26.0	14.2	1.5	L	1.91	-	○
7	多湿黒ボク土	5.2	50.2	4.0	37.9	16.2	1.5	CL	2.43	○	●
8	多湿黒ボク土	5.4	49.5	4.1	35.0	12.6	1.4	L	2.50	○	●
9	黒ボク土	5.8	80.8	6.9	47.4	23.2	16.5	SL	2.58	○	●
10	黒ボク土	5.8	77.3	6.4	51.1	24.1	19.5	L	0.29	●	●

\*<sup>1</sup>農耕地土壌分類第3次改訂版（農耕地土壌分類委員会，1995）による。

\*<sup>2</sup>酸性シュウ酸塩抽出ケイ素。

\*<sup>3</sup>L：壤土，SL：砂壤土，CL：埴壤土。

\*<sup>4</sup>○：前作は水稲，●：前作は畑作物または野菜。

ダイズ子実試料と同様に、テフロン製容器に取り、濃硝酸で加熱分解（6時間・150℃）後に、ICP質量分析装置で定量し、土壌の全Cd濃度とした。

ダイズ成熟期の土壌については、収穫時に採取して調製した風乾細土（<2mm）を用いて、pH（H<sub>2</sub>O）および表2の抽出方法によるCd濃度を測定した。ダイズ子実のCd濃度は、成熟期の土壌pHと相関があることが報告されている（雄川・稲原，2009）ため、今回は成熟期に採取した土壌を用いて土壌抽出法の検討を行った。0.1 mol L<sup>-1</sup>塩酸抽出法は農用地土壌汚染防止法で用いられる方法（土壌環境分析法編集委員会，1997）に従った。また、0.01 mol L<sup>-1</sup>塩酸抽出法は吉田・杉戸（2005）、1 mol L<sup>-1</sup>硝酸アンモニウム抽出法は久保井ら（1989）、1 mol L<sup>-1</sup>酢酸アンモニウム抽出法は中川ら（2005）の方法にそれぞれ従った。塩化カルシウム、塩化マグネシウム、塩化カリウム、硝酸カルシウムおよび硝酸マグネシウム抽出法の条件は、定本ら（1994）による硝酸カルシウムを用いた交換態の抽出方法に従った。各抽出液については、遠心分離後、適宜希釈してICP質量分析装置でCd濃度を測定した。また、栽培前土壌と同様に、微粉碎土壌試料を濃硝酸で加熱分解して定量し、土壌の全Cd濃度とした。

### 3. 結果および考察

ポット栽培したダイズ子実の1株あたりの乾物重については、2008年は22.8～68.7g（平均52.0g）、2009年は27.0～68.8g（平均49.5g）とほぼ同等な生育であった。表3にポット栽培したダイズの年次別および目標pH別の子実Cd濃度を示した。2008年と2009年の子実Cd濃度の平均値はほぼ同じであった。伊藤（2004）によると、畑転換初年目はダイズ子実のCd濃度が高くなることが報告されている。2008年は転換初年目の土壌が多かった（表1）が、年次別の全試料の平均値からは、年次による子実Cd濃度の差は認められなかった。また、個々の土壌についても転換年数が子実Cd濃度に与える影響は必ずしも明らかでなかった。成熟期における土壌のpH（H<sub>2</sub>O）は、目標pH 6.2および6.5の場合、目標pHよりやや低かつ

表2 比較検討した土壌抽出法

No.	抽出剤	固液比	振とう時間 (時間)
1	0.1 mol L <sup>-1</sup> HCl	1:5	1
2	0.01 mol L <sup>-1</sup> HCl	1:5	0.5
3	1.0 mol L <sup>-1</sup> NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	1:10	1
4	1.0 mol L <sup>-1</sup> CH <sub>3</sub> COONH <sub>4</sub>	1:10	1
5	0.05 mol L <sup>-1</sup> CaCl <sub>2</sub>	1:10	24
6	0.05 mol L <sup>-1</sup> MgCl <sub>2</sub>	1:10	24
7	0.05 mol L <sup>-1</sup> KCl	1:10	24
8	0.05 mol L <sup>-1</sup> Ca (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	1:10	24
9	0.05 mol L <sup>-1</sup> Mg (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	1:10	24

抽出温度はいずれも30℃。

たが、概ね目標pHに到達した。ダイズ子実Cd濃度の平均値は、雄川・稲原（2009）や本間ら（2011）の結果と同様に、目標pHの上昇とともに低下する傾向となった。

土壌抽出法によるCd濃度の全Cd濃度に対する抽出率を図1に示した。0.1 mol L<sup>-1</sup>塩酸抽出法（No.1）による抽出率は最も高く、全Cd濃度の42～69%であったが、0.01 mol L<sup>-1</sup>塩酸抽出法（No.2）では1～17%と低かった。中性塩による抽出法を比較すると、塩化物イオンやカルシウムイオンが抽出剤の成分である場合に抽出率が高まり、結果として塩化カルシウム抽出法（No.5）の抽出率が比較的高い傾向となった。Cdイオンは塩化物イオンと錯体を形成し、土壌からのCdの溶出を促進する（飯村・伊藤，1978）ため、塩化物イオンを含む抽出剤では抽出率が高かったと考えられる。一方、土壌の陽イオン交換基による選択性は、一般的に1価陽イオンよりも2価陽イオンの方が強く、2価陽イオンでは、マグネシウムと比較してカルシウムの選択係数が強い（和田，1981）。このため、カルシウムイオンを含む抽出剤では抽出率が高かったと推察される。

各抽出法による抽出率は、土壌群によっても異なり、グライ低地土で比較的高かったが、黒ボク土では1～14%と低かった。表1に示したとおり、供試した黒ボク土は全炭素含量が高いため、Cdは有機結合態として、また、Si<sub>0</sub>含量が高く、アロフェン質とみなされるため、アルミニウ

表3 年次別および目標 pH 別のダイズ子実 Cd 濃度

	年次		目標 pH		
	2008年	2009年	5.8 (5.8±0.3)	6.2 (6.0±0.3)	6.5 (6.4±0.4)
処理区数 (n)	27	30	19	19	19
最大値 (mg kg <sup>-1</sup> DW)	3.24	2.98	3.24	2.82	2.20
最小値 (mg kg <sup>-1</sup> DW)	0.01	0.03	0.02	0.01	0.01
平均値 (mg kg <sup>-1</sup> DW)	0.99	1.04	1.28	1.02	0.74
標準偏差 (mg kg <sup>-1</sup> DW)	0.87	0.93	1.07	0.89	0.64

( ) 内は成熟期における土壌の pH (H<sub>2</sub>O) の平均値±標準偏差。

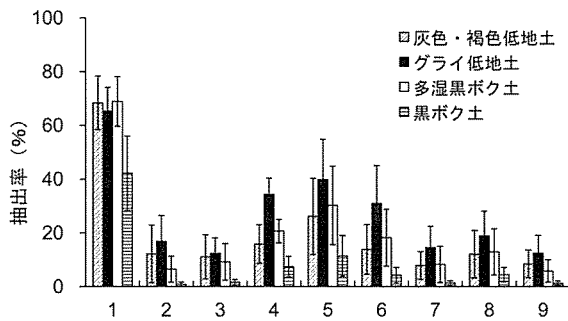


図1 土壌群別の土壌抽出法による抽出率

抽出率 (%) = (各抽出法による Cd 濃度 / 全 Cd 濃度) × 100.  
横軸の番号は表2の抽出方法と対応する。

ム・鉄酸化物吸蔵態として多く存在すると考えられる (定本ら, 1994). このことが黒ボク土における中性塩による抽出率が低かった原因と考えられる. 一方, 多湿黒ボク土は黒ボク土より抽出率が高かった. 供試した多湿黒ボク土は, 全炭素含量やリン酸吸収係数が黒ボク土より低かったため (表1), 有機結合態やアルミニウム・鉄酸化物吸蔵態の Cd が少なく, 中性塩による抽出率が高かったと推察される.

表4に各抽出法による Cd 濃度とダイズ子実 Cd 濃度との2ヵ年合計および栽培年次別の相関係数を示した. 2ヵ年合計において, 各抽出法による Cd 濃度はいずれも1%水準で有意な正の相関が認められたが, 0.1 mol L<sup>-1</sup> 塩酸 (No.1) や 0.01 mol L<sup>-1</sup> 塩酸 (No.2) による抽出 Cd 濃度と比べて, 中性塩 (No.3~9) による抽出 Cd 濃度は子実 Cd 濃度との相関係数が高い傾向であった. また, 7種類の中性塩による抽出法を比較すると, 酢酸アンモニウム抽出法 (No.4) や塩化カルシウム抽出法 (No.5) などで高い相関が認められた. 2008年, 2009年の単年度においても, 2ヵ年合計の結果と概ね同様であった.

各抽出法による Cd 濃度とダイズ子実 Cd 濃度との土壌群別の相関係数を表5に示した. 各抽出法と子実 Cd 濃度との相関係数は土壌群によって異なり, 黒ボク土では0.36~0.68と低いのにに対し, グライ低地土では0.52~0.82, 灰色および褐色低地土では0.49~0.79と高かった. また, いずれの土壌群においても, 0.1 mol L<sup>-1</sup> および 0.01 mol L<sup>-1</sup> 塩酸抽出法 (No.1, No.2) は他の抽出法と比較して相関係数が低く, 特に多湿黒ボク土や黒ボク土ではその傾向が顕著であった.

0.1 mol L<sup>-1</sup> 塩酸抽出 Cd 濃度とダイズ子実 Cd 濃度の相

表4 各抽出法による Cd 濃度とダイズ子実 Cd 濃度の相関係数

抽出法 No.	2ヵ年合計 n=57	2008年 n=27	2009年 n=30
1	0.59**	0.72**	0.61**
2	0.59**	0.64**	0.75**
3	0.67**	0.80**	0.74**
4	0.75**	0.81**	0.75**
5	0.74**	0.79**	0.78**
6	0.73**	0.77**	0.82**
7	0.68**	0.67**	0.76**
8	0.73**	0.70**	0.79**
9	0.68**	0.66**	0.77**
全 Cd 濃度	0.48**	0.50**	0.41*

\*5%水準で有意, \*\*1%水準で有意.

抽出法 No. は表2を参照.

関が低かったこと (表4) は, 吉田・杉戸 (2005) や本間ら (2011) と同様の結果である. また, 0.01 mol L<sup>-1</sup> 塩酸抽出 Cd 濃度もダイズ子実 Cd 濃度と相関が低い傾向であった (表4). 0.01 mol L<sup>-1</sup> 塩酸による抽出液の pH は, 灰色および褐色低地土では平均で 3.73 ± 0.16, グライ低地土では 3.76 ± 0.41 であったのに対し, 黒ボク土では 4.14 ± 0.22, 多湿黒ボク土では 3.98 ± 0.19 と高くなった. 黒ボク土のような酸に対する緩衝能が高い土壤の場合, 0.01 mol L<sup>-1</sup> 塩酸による抽出液の pH が比較的高いため, 土壌 Cd の抽出率が低下し, ダイズ子実 Cd 濃度との相関が低くなったと考えられる. 本試験では, こうした多湿黒ボク土や黒ボク土が供試土壌の全体の約半数を占めたため, 吉田・杉戸 (2004) や本間ら (2011) と異なる結果になった可能性がある.

7種類の中性塩による抽出法の中では, 塩化カルシウム抽出法 (No.5) がいずれの土壌群でも相関係数が比較的高かったが, 他の抽出法は土壌群によって異なった (表5). 硝酸アンモニウム抽出法 (No.3) は, グライ低地土では塩酸抽出法 (No.1 および No.2) と同様に5%水準で有意な相関は得られなかったが, それ以外の土壌群では塩化カルシウム抽出法と同程度に相関が高かった. 一方, 酢酸アンモニウム抽出法 (No.4) は, 灰色および褐色低地土やグライ低地土で塩化カルシウム抽出法と同程度に相関が高かったが, 多湿黒ボク土や黒ボク土では5%水準で有意な相関は得られなかった. 定本ら (1994) により交換態 Cd の抽出法として用いられた硝酸カルシウム抽出法 (No.8) は, 塩化カルシウム抽出法と比較して灰色および褐色低地土以外の土壌群で相関係数がやや低い傾向となった. また,

表5 各抽出法による土壌群別の Cd 濃度とダイズ子実 Cd 濃度の相関係数

抽出法 No.	灰色・褐色低地土 n= 18	グライ低地土 n= 12	多湿黒ボク土 n= 15	黒ボク土 n= 12
1	0.65**	0.55	0.03	0.48
2	0.49*	0.57	0.13	0.36
3	0.74**	0.52	0.60*	0.63*
4	0.79**	0.82**	0.49	0.51
5	0.77**	0.82**	0.63*	0.68*
6	0.74**	0.73**	0.57*	0.58*
7	0.69**	0.68*	0.52*	0.52
8	0.77**	0.76**	0.58*	0.62*
9	0.79**	0.67*	0.59*	0.64*
全 Cd 濃度	0.78**	0.54	0.13	0.55

\*5%水準で有意, \*\*1%水準で有意.  
抽出法 No. は表2を参照.

全 Cd 濃度は、灰色および褐色低地土で相関係数が高かったが、他の土壌群では低かった。

塩化カルシウム抽出法は硝酸カルシウム抽出法よりも土壌中 Cd の抽出率が高かったことから (図1)、飯村・伊藤 (1978) の指摘のように、塩化カルシウム抽出法の場合、Cd が塩化物イオンと錯化合物を形成するため、交換態以外の Cd が抽出された可能性がある。しかし、本研究で供試した土壌群について、塩化カルシウム抽出法の場合、ダイズ子実 Cd 濃度との高い相関が共通して認められたことから、本抽出法はダイズ子実 Cd 濃度の推定に適すると考えられる。

また、上記の通り、塩化カルシウム抽出法は、供試土壌についての7種類の中性塩による抽出法の中で、抽出率が比較的高かった (図1)。このことは、塩化カルシウム抽出法によれば、他の抽出法と比べて、抽出液中の Cd 濃度が高いため、分析誤差が小さいことを示す。

以上より、塩化カルシウム抽出法はダイズ子実 Cd 濃度の推定に適すると判断されるが、今後、異なる品種や現地圃場での適用性について検証を行うことが必要である。また、本試験では、Cd 濃度が比較的高い土壌を対象としたため、Cd 濃度が低い土壌についての検討が求められる。今後、ダイズの Cd のリスク予測に向け、栽培前土壌からの子実 Cd 濃度の推定方法、さらには転換年数を考慮して検討することなどが必要である。

## 文 献

- Arao, T., Ae, N., Sugiyama, M., and Takahashi, M. 2003. Genotypic differences in cadmium uptake and distribution in soybeans. *Plant Soil*, 251, 247–253.
- Asami, T., Kubota, M., and Orikasa, K. 1995. Distribution of different fractions of cadmium, zinc, lead, and copper in unpolluted and polluted soils. *Water Air Soil Pollut.*, 83, 187–194.
- Blakemore, L. C., Searle, P. L., and Daly, B. K. 1981. Methods for chemical analysis of soils. New Zealand Soil Bureau Scientific Report 10A.
- 千葉 明・新毛晴夫 1977. 炭酸カルシウム添加・通気法による中和石灰量の測定. *土肥誌*, 48, 237–242.
- 土壌環境分析法編集委員会編 1997. 土壌環境分析法, p.369, 博友社, 東京.
- 後藤逸男・村本稔司・嶋木 翠 1992. テフロン加圧分解容器—ICP 発光分光分析法による植物の無機成分分析. *土肥誌*, 63, 345–348.
- 本間利光・大峽広智・大山卓爾 2011. 0.1M 塩酸抽出カドミウム濃度および土壌 pH からのダイズ子実カドミウム濃度の推定. *土肥誌*, 82, 7–14.
- Ibaraki, T., Kadoshige, K., and Murakami, M. 2005. Evaluation of extraction methods for plant-available soil cadmium to wheat by several extraction methods in cadmium-polluted paddy field. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 51, 893–898.
- 飯村康二・伊藤秀文 1978. 水田土壌中における重金属の行動と収支—重金属による土壌汚染に関する研究 (第2報)—. *北陸農業試験場報告*, 21, 95–145.
- 伊藤純雄 2004. 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, 203–207.
- 柿内俊輔 2009. オガクズ牛ふん堆肥連用黒ボク畑における大豆と小麦および土壌のカドミウム含有量. *土肥誌*, 80, 54–57.
- 厚生労働省 2009. 薬事・食品衛生審議会食品衛生分科会食品規格部会 (平成21年1月14日開催) 配布資料2 カドミウム摂取に対する食品分類別寄与度. <http://www.mhlw.go.jp/shingi/2009/01/dl/s0114-10c.pdf>
- 厚生労働省 2010. 食品中のカドミウムの規格基準. <http://www.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/iyaku/syoku-anzen/cadmium/kikakujun.html>
- 久保井徹・野口 章・矢崎仁也 1989. 硝酸アンモニウムによる可給態カドミウム抽出法の有効性と限界. *土肥誌*, 60, 22–28.
- 中川進平・伊藤千春・伊藤正志 2005. 土壌の交換態カドミウムの変動とイネのカドミウム吸収. *東北農業研究*, 58, 45–46.
- 中村卓司・山本 亮・羽鹿牧太・石川 寛・中山則和・高橋 幹・島村 聡・島田信二・藤森新作・小松節子 2011. 品種、土壌 pH 矯正および耕種条件がダイズ子実カドミウム含有率におよぼす影響. *土肥誌*, 82, 105–113.
- 農耕地土壌分類委員会 1995. 農耕地土壌分類第3次改訂版. 農業環境技術研究所資料, 17, 1–79.
- 雄川洋子・稲原 誠 2009. アルカリ資材を用いた土壌 pH 矯正によるダイズのカドミウム吸収抑制. *土肥誌*, 80, 589–595.
- 定本裕明・飯村康二・本名俊正・山本定博 1994. 土壌中重金属の形態分別法の検討. *土肥誌*, 65, 645–653.
- 和田光史 1981. 土壌粘土によるイオンの交換・吸着反応. *日本土壌肥料学会編 土壌の吸着現象—基礎と応用—*, p. 5–57. 博友社, 東京.
- 吉田光二・杉戸智子 2005. 作物吸収と相関の高い土壌カドミウム (Cd) の測定法. 平成16年度北海道農業研究成果情報, 278–279.