

オオムギのカドミウム吸収の品種間差

中山恵・亀和田國彦・京島理恵¹⁾

摘要 : オオムギの Cd 含有率の実態を把握するため、県内産オオムギの子実中 Cd 含有率を調査した。また、Cd 低水準灰色低地土ほ場ならびに Cd 添加土壌または現地汚染土壌（腐植質黒ボク土）を充填したポットでオオムギを栽培し、Cd 含有率の品種・系統間の特性を検討した。実態調査では、子実 105 検体中 104 検体がオオムギの CODEX 基準値 0.1mgkg^{-1} 未満であった。Cd 低水準灰色低地土ほ場で栽培した 51 品種・系統の子実中 Cd 含有率は、 $0.01\sim 0.07\text{mgkg}^{-1}$ の範囲に分布し、すべての品種・系統で、 0.1mgkg^{-1} を下回った。子実の Cd 含有率は、年次間の変動が大きいものの、Apam およびカシマムギは子実・わらともに Cd 含有率が高く、Spartan, 2727(GRIN)等は子実・わらともに低い傾向だった。これら品種間の傾向は、Cd 添加土壌および現地汚染土壌においても同様であり、土壌の Cd 含有率や種類に関わらず、品種固有のものであると判断した。子実中 Cd 含有率が高い品種として Apam およびカシマムギ、低い品種として RisoM56, 大系 HL138-8-7, Spartan および RisoM86, 極めて低い品種として 2727(GRIN)を分類した。

キーワード : カドミウム, オオムギ, 品種間差

Barley cultivars that differ in cadmium accumulation

Megumi NAKAYAMA, Kunihiko KAMEWADA, Rie KYOUSHIMA

Summary : We investigated the cadmium concentration of barley grain produced in Tochigi Prefecture. In addition, we examined cadmium concentration differences between barley cultivars cultivated in a gray lowland soil field (low cadmium concentration) and pots filled with soil to which either Cd or locally polluted soil (humic Andisol) was added. The cadmium concentration of 104 grain samples out of a total of 105 samples was less than the CODEX standard ($0.1\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$). The grain cadmium concentration of 51 barley cultivars that were cultivated in the low cadmium concentration gray lowland soil field ranged from 0.01 to $0.07\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, and all cultivars were less than $0.1\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Even though annual measurements of cadmium concentration in grain and straw showed high levels of variation, the cadmium concentration of 'Apam' and 'Kashimamugi' were high both in grain and straw and low in the grain and straw of 'Spartan' and '2727'(GRIN). In this study, cadmium concentration in barley cultivars was similar regardless of the type of soil or source of Cd; however, there were cultivar differences in Cd accumulation. 'Apam' and 'Kashimamugi' were classified as cultivars for which the grain cadmium concentration is high. 'Daikai HL138-8-7', 'RisoM56', 'RisoM86' and 'Spartan' were classified as cultivars with low grain [cadmium concentration], and '2727'(GRIN) was classified as a cultivar with an extremely low cadmium concentration.

Key words : cadmium, barley, cultivar differences

I 緒言

カドミウム (Cd) は、土壌中に含まれる重金属の一つであり、Cd を多量に含む食品を長期間摂取し続けると、腎障害等の健康被害を起こす。食品の安全性を高めるといふ点から、食品中の Cd 含有率を低下させることが重要になっており、米、ダイズ、コムギ等多くの作物で、Cd 低吸収品種の検索や Cd 吸収抑制技術開発が進められている。我が国の主な Cd 摂取源とされている米については、ジャポニカ品種はインディカ品種に比べて Cd 吸収量が少ないことが認められている^{5,8,9)}。また、アルカリ資材の施用による土壌 pH の上昇や、出穂期から水田を湛水状態にすることで、水稻の Cd 吸収を抑制できることが明らかにされている^{3,5)}。

食品中の Cd 基準値については、FAO (国連食糧農業機関) と WHO (世界保健機構) の合同組織である CODEX 委員会において策定が進められており、2007 年にオオムギに対し、穀類 (ソバ、コムギ、米を除く) として、 0.1mgkg^{-1} の基準値が採択された。2002 年に農林水産省が実施した、国内産農畜産物等の実態調査⁴⁾によれば、コムギ 381 検体の子実中 Cd 含有率は、 $>0.01 \sim 0.47\text{mgkg}^{-1}$ で、CODEX 基準 (0.2mgkg^{-1}) の超過率は 3.1%、一方、オオムギ等 65 検体 (ハダカムギ、ソバを含む) の子実中 Cd 含有率は、 $>0.01 \sim 0.06\text{mgkg}^{-1}$ であり、CODEX 基準を超過したものは無かった。

畑作物の Cd 含有率の品種間差に関する研究は、コムギが最も進んでおり⁹⁾、コムギの子実の Cd 含有率は、マカロニコムギがパンコムギよりも高いとされている^{2,5)}。オオムギによる Cd 吸収に関する研究として、茎葉 Cd 含有量の生育に伴う変化は少ないが、穂の含有量は増加し、Cd 吸収が生育後期まで継続するという報告⁶⁾はあるものの、オオムギの Cd 吸収に関する知見は、極めて少ない。

そこで、県内産オオムギの子実中 Cd 含有率の実態を把握するとともに、オオムギを Cd 低水準ほ場および Cd 添加土壌または現地汚染土壌を充填したポットで栽培し、オオムギの Cd 吸収の品種・系統間特性について検討した。

II 試験方法

1. 県内産オオムギの子実中 Cd 含有率の実態調査

2002 年に栃木県内で生産されたオオムギを、県内 13 か所の共同乾燥施設から生産者ごと、または荷受けごとに合計 105 点採取し、子実中 Cd 含有率を測定した。

2. Cd 低水準ほ場における Cd 吸収特性の把握

栃木県農業試験場栃木分場 (栃木市大塚町) の水田ほ場 (細粒質灰色低地土、灰褐系、 0.1_M 塩酸抽出 Cd 含

有率 0.23mgkg^{-1}) (以下、Cd 低水準ほ場という) において、オオムギ 51 品種・系統を 2003~2006 年までの 4 年間栽培し、子実およびわら中 Cd 含有率を測定した。オオムギは、10 月下旬~11 月上旬に、畝間 65cm、株間 5cm、条間 10cm の二条千鳥点播で播種し、翌年 6 月上旬に収穫した。施肥は BB ビール麦エースを用いた。ただし、2006 年産オオムギは、2005 年の夏季に土壌消毒したため、施肥は行わなかった。供試品種・系統および生産年を第 1 表に示す。

また、サチホゴールドン、あまぎ二条、なす二条、大系 HM139、RisoM56、Spartan の 6 品種については、Cd 吸収量の推移を把握するため、2005 年産および 2006 年産は、茎立期、出穂期、収穫期の作物体を採取し、子実およびわら中 Cd 含有率を測定した。

3. Cd 添加土壌における Cd 吸収特性の把握

栃木県農業試験場栃木分場水田ほ場から作土を採取し、4mm 目のふるいに通し、乾土 11.4kg 相当量を $1/2000$ ワグネルポットに充填した。その際、2004 年産および 2005 年産は硝酸カドミウムを 0.31g 、 0.94g 、2006 年産は 0.05g 、 0.09g を添加し、さらに全てのポットに硫酸アンモニウム 4.8g 、リン酸カルシウム 11.7g 、硫酸カリウム 2.2g を添加した。2004 年産は 19 品種、2005 年産は 15 品種、2007 年産は 14 品種を栽培し、子実およびわら中 Cd 含有率を測定した。供試品種・系統は、第 2 表のとおりである。播種は、各年とも 11 月に各ポットに 9 粒ずつ行い、翌年 2 月に 5 株に間引き、6 月に収穫した。これらポットの Cd 添加量は、2004 年産および 2005 年産は無添加、 10mgkg^{-1} 、 30mgkg^{-1} 、2007 年産は無添加、 1.6mgkg^{-1} 、 3.0mgkg^{-1} に相当する。

4. 現地汚染土壌における Cd 吸収特性の把握

現地汚染畑ほ場の作土 (腐植質黒ボク土、 0.1_M 塩酸抽出 Cd 含有率 2.19mgkg^{-1}) を採取し、4mm 目のふるいに通し、乾土 7.3kg 相当量を $1/2000a$ ワグネルポットに充填し、硫酸アンモニウム 4.8g 、リン酸カルシウム 32.0g 、硫酸カリウム 2.2g を添加して、オオムギ 6 品種・系統 (大系 HC-15、西海皮 54 号 a、Spartan、カシマムギ、Apam、Karl) を栽培した。播種は、2005 年 11 月に各ポットに 9 粒ずつ行い、2006 年 2 月に 5 株に間引き、6 月に収穫した。

5. 土壌および作物体の分析方法ならびに供試土壌の Cd 含有率

1) 土壌

土壌は、ほ場またはポットから採取後、風乾し、2mm 目のふるいに通し、分析に供した。供試土壌の Cd 含有率は第 3 表に示した。なお、分析は次の方法によった。

(1) 硝酸一過塩素酸分解法

風乾土 5g を 300ml 容のコニカルビーカーに入れ、硝

酸を 30ml 入れ、ホットプレートで加熱分解後、乾固させた。さらに、過塩素酸を 20ml 入れ、同様に加熱分解、乾固させ、約 10ml の 1_M 塩酸に溶解し、1_M 塩酸で 50ml メスフラスコに定容後、0.45 μm メンブランフィルター（アドバンテック、DISMIC-25）でろ過し、高周波プラズマ発光分析装置（島津 ICPS-7000、測定波長 228.8nm）で測定した。

(2) 0.1_M 塩酸抽出法

風乾土 10g を 100ml 容のプラスチック容器に入れ、0.1_M 塩酸を 50ml 入れ、1 時間振とう後、No.6 ろ紙（アドバンテック）でろ過し、高周波プラズマ発光分析装置（島津 ICPS-7000、測定波長 228.8nm）で測定した。

2) 作物体

オオムギは、成熟期にほ場またはポットの地際から刈り取り、風乾後、脱穀し、収量等を調査した。子実およびわらは、粉碎後、プラスチック容器に保存した。その中から、わらは 5g、子実は 10g を 300ml 容のコニカルビーカーに入れ、土壌と同様に硝酸および過塩素酸で加熱分解して、0.45 μm メンブランフィルター（アドバンテック、DISMIC-25）でろ過し、高周波プラズマ発光分析装置（島津 ICPS-7000、測定波長 228.8nm）で測定した。

第 1 表 Cd 低水準ほ場での Cd 吸収特性調査に供試したオオムギ品種および系統

品種・系統	条性	生産年	品種・系統	条性	生産年
ミカモゴールデン	2	2003~2006	四国裸84号lys3a	2	2003
スカイゴールデン	2	2003, 2005, 2006	四国裸84号wxa	2	2003
サチホゴールデン※	2	2005, 2006	四国裸97号	2	2003
タカホゴールデン	2	2005	四国裸84号	2	2003
あまぎ二条※	2	2003~2006	四系9519	2	2003
みょうぎ二条	2	2006	Carlsberg II	2	2003
なす二条※	2	2005, 2006	RisoM56※	2	2003~2006
ニシノチカラ	2	2003, 005	RisoM86	2	2003~2006
ほうしゅん	2	2005	Harrington	2	2003, 2005
イシュクシラズ	2	2003	Spartan※	2	2003~2006
大系HC-15	2	2003~2006	WI-2585	2	2003
大系HL138-8-7	2	2003~2006	M-737	2	2003
大系HM102	2	2003	シュンライ	6	2003, 2006
大系HM139※	2	2003~2006	ファイバースノウ	6	2003
大系H04	2	2003	はがねむぎ	6	2003
大系H098	2	2003	カシマムギ	6	2003~2006
大系H012	2	2003	Apam	6	2003~2006
大系H0105	2	2003	Karl	6	2003~2006
大系H0106	2	2004~2006	2727 (GRIN)	6	2003~2006
関東二条29号	2	2003	DCP-9-9	6	2003
栃系251	2	2003~2006	東山皮94号	6	2003
栃系259	2	2003	東山皮95号	6	2003
西海皮54号a	2	2003~2006	東山皮101号	6	2003, 2006
四国裸48号fra	2	2003	関東皮78号	6	2003
四国裸84号amol	2	2003	会津4号	6	2003
四国裸84号lys1	2	2003			

注. ※は、2005 年産および 2006 年産に Cd 吸収量の推移を調査した品種。

第 2 表 Cd 吸収特性調査に供試したオオムギ品種・系統 (Cd 添加土壌)

2004年産			2005年産			2007年産		
品種・系統	条性	Cd添加量	品種・系統	条性	Cd添加量	品種・系統	条性	Cd添加量
ミカモゴールドン	2	10	ミカモゴールドン	2	0,10,30	ミカモゴールドン	2	0,1,6,3
スカイゴールドン	2	10	あまぎ二条	2	10	スカイゴールドン	2	0,1,6,3
あまぎ二条	2	10	大系HC-15	2	10	サチホゴールドン	2	0,1,6,3
大系HC-15	2	10	大系HL138-8-7	2	10	大系HC-15	2	0,1,6,3
大系HL138-8-7	2	10	大系HM139	2	10	大系HM139	2	0,1,6,3
大系HM139	2	10	大系HO106	2	10	栃系251	2	0,1,6,3
大系HO106	2	10	栃系251	2	0,10,30	西海皮54号a	2	0,1,6,3
栃系251	2	0,10,30	西海皮54号a	2	10	RisoM56	2	0,1,6,3
西海皮54号a	2	10	RisoM56	2	10	RisoM86	2	0,1,6,3
RisoM56	2	10	RisoM86	2	10	Spartan	2	0,1,6,3
RisoM86	2	10	Spartan	2	10	カシマムギ	6	0,1,6,3
Spartan	2	10	カシマムギ	6	10	Apam	6	0,1,6,3
カシマムギ	6	0,10,30	Apam	6	10	Karl	6	0,1,6,3
Apam	6	10	Karl	6	0,10,30	2727(GRIN)	6	0,1,6,3
Karl	6	0,10,30	2727(GRIN)	6	0,10,30			
2727(GRIN)	6	0,10,30						
DCP-9-9	6	10						
東山皮101号	6	10						
会津4号	6	10						

第 3 表 Cd 吸収特性調査に供試した土壌の Cd 含有率

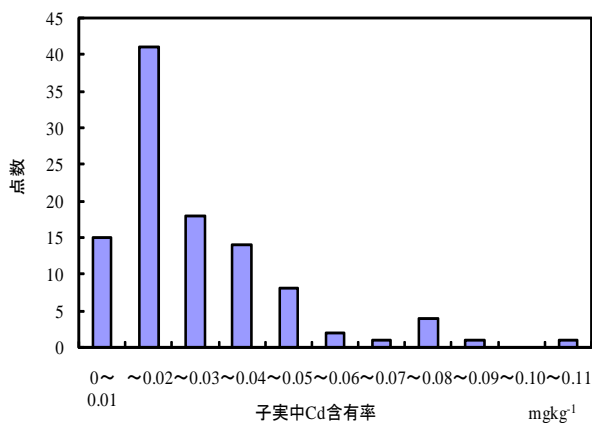
試料	土壌の種類	深さ	硝酸-過塩素酸 分解Cd	0.1M塩酸抽出Cd	pH
		cm	mgkg ⁻¹	mgkg ⁻¹	
Cd低水準ほ場	細粒灰色低地土	0~10	0.40	0.23	6.9
		10~30	0.28	0.19	
		30~50	0.44	0.12	
		50~70	0.40	0.09	
現地汚染土壌	腐植質黒ボク土		4.64	2.19	6.1

Ⅲ 試験結果

1. 実態調査結果

2002 年に栃木県内で生産されたオオムギの子実中 Cd 含有率の分布を第 1 図に、品種ごとの子実中 Cd 含有率を第 4 表に示した。子実中 Cd 含有率は、0.01~0.02mgkg⁻¹

の範囲に最も多く分布しており、105 点の調査検体の最低値は、0.01mgkg⁻¹、最高値は 0.11mgkg⁻¹ で、中央値は 0.02mgkg⁻¹ であった。また、各主要品種の中央値は、0.02~0.04mgkg⁻¹ であった。



第 1 図 栃木県内におけるオオムギの子実中 Cd 含有率の分布 (n=105)

第 4 表 栃木県内におけるオオムギの子実中 Cd 含有率

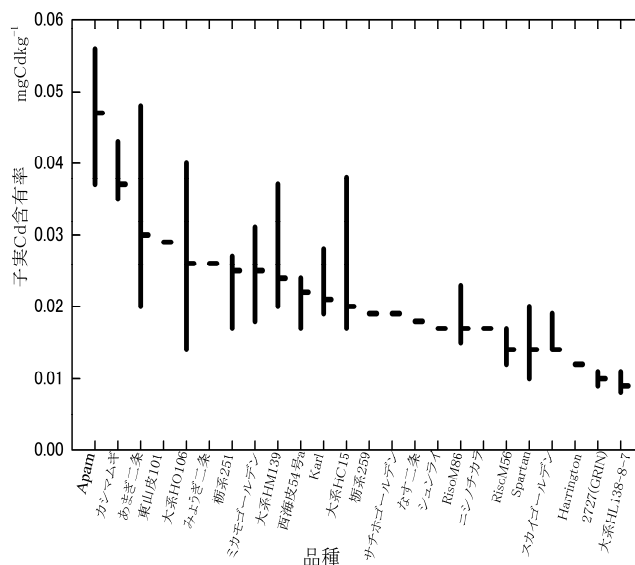
品種	点数	子実中Cd含有率 (mgkg ⁻¹)		
		最低値	中央値	最高値
ミカモゴールドン	36	0.01	0.02	0.08
あまぎ二条	29	0.01	0.04	0.11
タカホゴールドン	17	0.01	0.02	0.03
なす二条	11	0.01	0.02	0.05
みょうぎ二条	5	0.02	0.02	0.06
きぬか二条	4	0.03	0.04	0.05
不明	3	0.02	0.02	0.02

2. Cd 低水準土壌でのオオムギの Cd 吸収特性の品種間差異

Cd 低水準灰色低地土ほ場で、2003～2006 年の 4 年間に栽培したオオムギの子実中 Cd 含有率の分布を、第 2 図に示した。全ての試料の分析値は、0.01～0.07mgkg⁻¹の範囲に分布した。品種ごとの中央値は、Apam が 0.05mgkg⁻¹と最も高く、2727(GRIN)、大系 HL138-8-7 等は、0.01mgkg⁻¹と低かった。4 年間の子実中 Cd 含有率の変動係数は、13～107%と大きかったが、年次ごとの品種間の傾向は、おおむね同様だった。

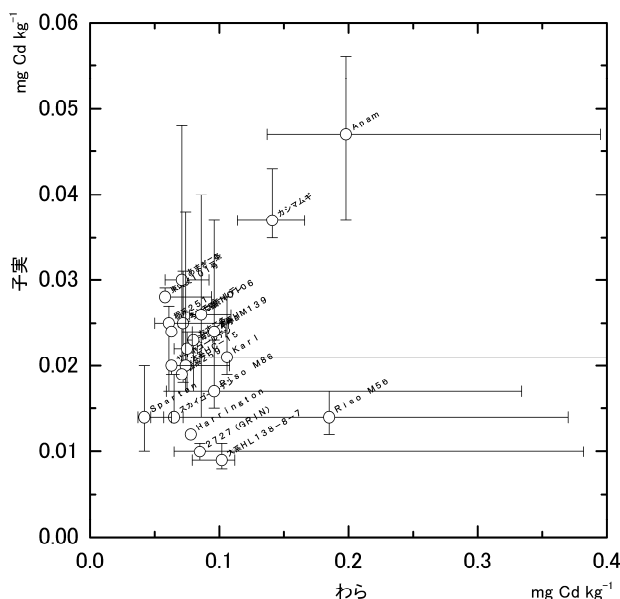
品種ごとの子実中 Cd 含有率およびわら中 Cd 含有率の関係を第 3 図に示した。全ての試料のわら中 Cd 含有率は、0.02～0.76mgkg⁻¹の範囲に分布し、全品種とも子実中 Cd 含有率より高かった。また、品種ごとの中央値は、Apam が 0.20mgkg⁻¹と最も高く、次いで、RisoM56 が 0.18mgkg⁻¹、カシマムギが 0.14mgkg⁻¹と高かった。一方、Spartan は、0.04mgkg⁻¹と最も低かった。Apam およびカシマムギは子実・わらともに Cd 含有率が高く、RisoM56 はわらは高いものの子実は低く、Spartan、2727(GRIN)、Harrington、スカイゴールデン等は子実・わらともに低い傾向であった。

2006 年産の時期別のオオムギの Cd 含有率を第 5 表に、乾物重および Cd 吸収量を第 4 図に示した。わら中 Cd 含有率は、各品種とも茎立期から出穂期に低下し、出穂期以降増加する傾向だった。穂中 Cd 含有率は、出穂期から収穫期にかけて増加する傾向だった。乾物重は、茎立期から出穂期の間急速に増加するのに対し、Cd 吸収量は、概ね一定の速度で増加した。



第 2 図 Cd 低水準水田ほ場におけるオオムギの子実中 Cd 含有率の分布

注. 短横線は 4 年間の中央値, 縦線はヒンジ.

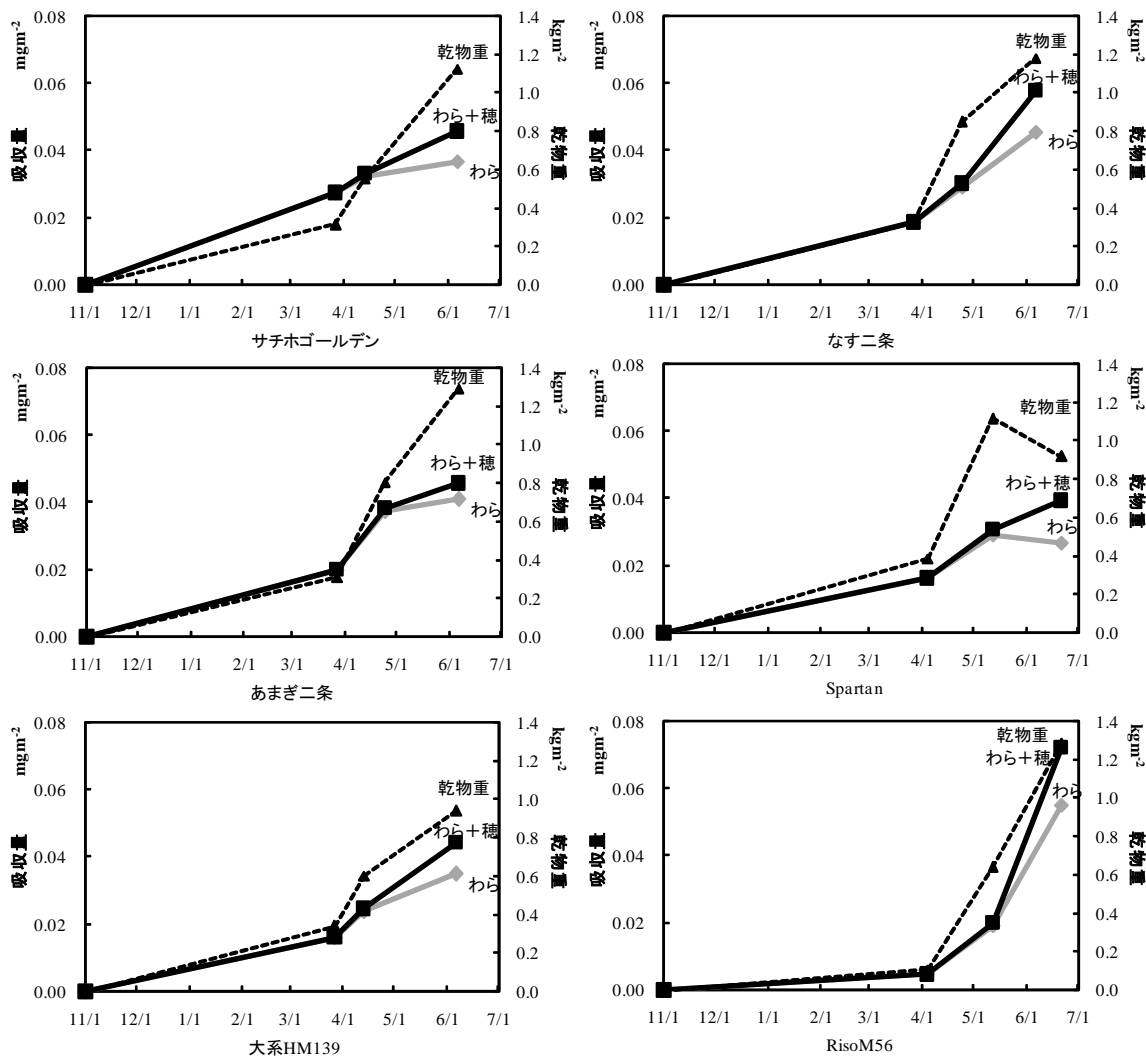


第 3 図 Cd 低水準水田ほ場におけるオオムギの子実およびわら中 Cd 含有率の関係

注. シンボルは 4 年間の中央値, 線はヒンジ.

第 5 表 Cd 低水準水田ほ場におけるオオムギの生育ステージ別 Cd 含有率の推移 (2006 年産)

品種	Cd含有率 (mgkg ⁻¹)				
	茎立期	出穂期		収穫期	
		わら	穂	わら	穂
サチホゴールデン	0.07	0.07	0.01	0.06	0.02
なす二条	0.07	0.04	0.01	0.07	0.02
あまぎ二条	0.06	0.05	0.01	0.06	0.01
Spartan	0.04	0.03	0.01	0.05	0.03
大系HM139	0.05	0.04	0.01	0.06	0.03
RisoM56	0.04	0.04	0.01	0.07	0.03



第4図 Cd低水準水田ほ場におけるオオムギの地上部乾物重およびCd吸収量の推移(2006年産)

注. は種 2005年11月上旬

茎立期採取 3/27(サチホゴールドン, なす二条, あまぎ二条, 大系 HM139), 4/4(Spartan, RisoM56)

出穂期採取 4/13(サチホゴールドン, 大系 HM139), 4/24(なす二条, あまぎ二条), 5/12(Spartan, RisoM56),

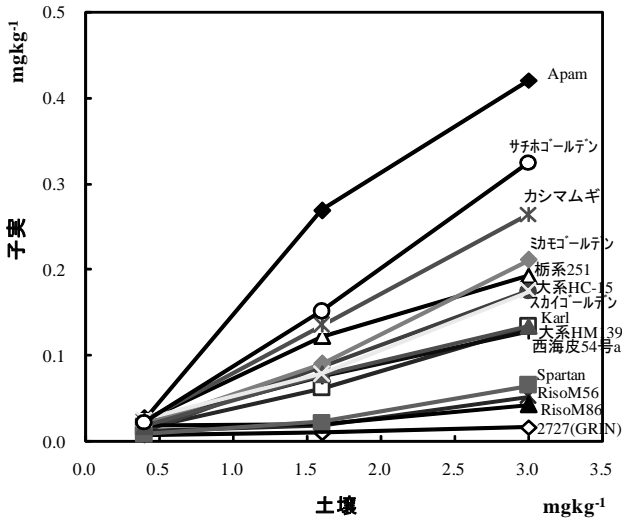
収穫期採取 6/6(サチホゴールドン, なす二条, あまぎ二条, 大系 HM139), 6/21(Spartan, RisoM56).

3. 土壌中Cd含有率の違いに対するオオムギのCd吸収特性の品種間差異

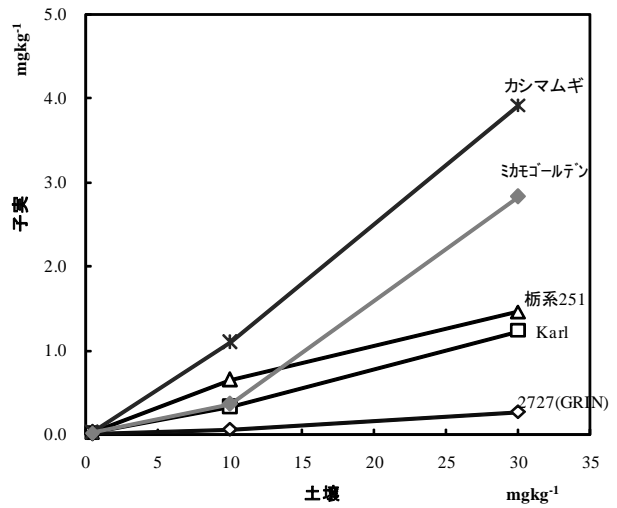
土壌中全Cd含有率(以下, T-Cd含有率という)が $0.4 \sim 3.0 \text{mgkg}^{-1}$ でのオオムギの子実中Cd含有率を第5図に示した. Cd含有率は, 各品種とも, 土壌中T-Cd含有率に応じて直線的に増加した. Apam, サチホゴールドンおよびカシマムギ等では, 他の品種に比較して相対的に高く, Spartan, RisoM56, RisoM86および2727(GRIN)は低かった. 特に, Spartan, RisoM56, RisoM86および2727(GRIN)の子実中Cd含有率は, 土壌中T-Cd含有率 3.0mgkg^{-1} でも, CODEX基準値 0.1mgkg^{-1} を下回った. また, 土壌中T-Cd含有率が $0.4 \sim 30 \text{mgkg}^{-1}$ でも, オオムギの子実中Cd含有率は, 土壌中T-Cd含有率に応じて増加し, カシマムギで高く, 2727(GRIN)で低かった(第6図). 土壌中

T-Cd含有率 $0.4 \sim 30 \text{mgkg}^{-1}$ でのオオムギ子実中Cd含有率の品種間差異は, Cd低水準ほ場での結果と同様の傾向だった.

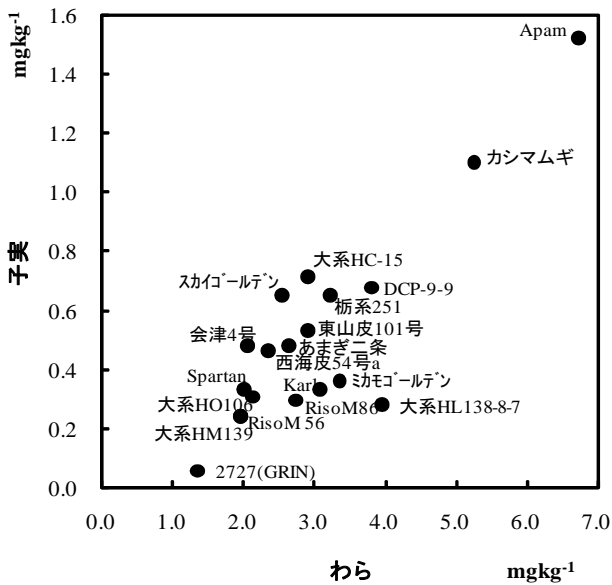
また, $\text{Cd}10 \text{mgkg}^{-1}$ 添加処理での, 子実およびわら中Cd含有率の関係を第7図に示した. Apamおよびカシマムギは子実・わらともに高く, 2727(GRIN)等は子実・わらともに低く, Cd低水準ほ場における傾向とおおむね同様だった.



第5図 土壤中 T-Cd 含有率が低水準から中水準でのオオムギの子実中 Cd 含有率の関係



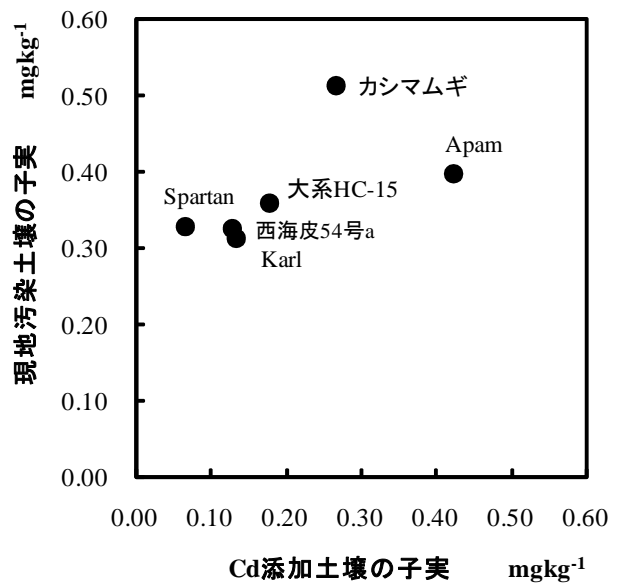
第6図 土壤中 T-Cd 含有率が高水準でのオオムギの子実中 Cd 含有率の関係



第7図 土壤中 T-Cd 含有率 10mgkg⁻¹におけるオオムギの子実およびわら中 Cd 含有率の関係

4. 現地汚染土壌におけるオオムギの Cd 吸収特性の品種間差異

Cd を 4.6mgkg⁻¹ 含有する現地汚染土壌を用いてポットで栽培したオオムギの子実中 Cd 含有率を、灰色低地土に Cd を 3mgkg⁻¹ 添加したポット試験の値とともに第8図に示した。現地汚染土壌で栽培した子実中 Cd 含有率は、0.31~0.51mgkg⁻¹ の範囲に分布した。現地汚染土壌で栽培した各品種の値は、Apam を除いて、Cd を 3mgkg⁻¹ 添加した灰色低地土よりも、0.15~0.25mgkg⁻¹ 程度高かった。子実中 Cd 含有率は、Apam およびカシマムギで高く、Spartan で低いなど、品種間の傾向は Cd 添加土壌で栽培した結果とおおむね同様だった。



第8図 現地汚染土壌と Cd 添加土壌での子実中 Cd 含有率の関係

注. Cd 添加土壌は、土壤中 T-Cd 含有率 3mgkg⁻¹.

IV 考 察

Cd 低水準土壌で、Apam およびカシマムギは、子実中 Cd 含有率が相対的に高く、2727(GRIN), Spartan, RisoM56 および RisoM86 等は相対的に低い傾向があった。この傾向は、Cd を $0.4\sim 30\text{mgkg}^{-1}$ 添加しても同様であり、現地汚染土壌 ($\text{T-Cd}4.6\text{mgkg}^{-1}$) を用いたポット試験でも同様の傾向を示した。現地汚染土壌は、腐植質の黒ボク土であり、これで栽培したオオムギの子実中 Cd 含有率が、灰色低地土に硝酸カドミウムを添加した土壌での結果に相当する値であったことは、添加試験の結果が、現地汚染土壌での結果を予測可能であることを示すものと考えられる。また、灰色低地土と黒ボク土では、Cd の吸着特性が異なると考えられるが、本試験での T-Cd 濃度 $3\sim 5\text{mgkg}^{-1}$ の高濃度では、土壌中 T-Cd 含有率と作物による Cd 吸収の関係に対する土壌間の違いが明確ではなくなることも示された。

Cd 低水準ほ場での各品種の 4 年間の子実中 Cd 含有率の変動係数は、 $13\sim 107\%$ と年次間変動が大きく、気象条件の違いによって、子実の Cd 含有率が大きく変動することが示された。品種間の相対的な関係は、各年ともに同様であった。これらのことから、オオムギには、品種固有の特性として子実の Cd 含有率の違いがあり、この品種間差は、土壌中 Cd 含有率や土壌の種類が異なっても、同様に発現することが示された。本研究における各試験結果から、Cd 吸収に関する品種ごとの特徴を、第 6 表のとおり整理した。

根による Cd 吸収は、溶液の Cd 濃度の変化に応じて 2 種類の反応を示すとされる⁸⁾。低濃度では能動的で、吸収速度は濃度に対して対数的な関係にあり、高濃度では受動的で、吸収速度は濃度に対して直線的な関係になる。この反応は、本来土壌溶液中 Cd 濃度の関係として示されるが、本研究の結果から、 T-Cd が $0.4\sim 30\text{mgkg}^{-1}$ の範囲で、子実中 Cd 含有率はおおむね直線的に上昇することが示された。

子実中 Cd 含有率は、各品種とも土壌の Cd 含有率が高くなるに従って直線的に高くなるが、その勾配は品種間で大きく異なり、Spartan, RisoM56, RisoM86 および 2727(GRIN) は $\text{Cd}3\text{mgkg}^{-1}$ 添加土壌でも CODEX 基準 0.1mgkg^{-1} を下回った。特に、2727 (GRIN) は、 $\text{Cd}10\text{mgkg}^{-1}$ 添加でも 0.1mgkg^{-1} を下回り、極めて高度の Cd 低吸収特性を備えていると評価できる。これら低吸収品種は、Cd 低吸収ムギの品種育成のための遺伝資源として大いに期待される。

オオムギの乾物重が急速に増加する茎立期から収穫までの Cd 吸収量は、あまぎ二条では頭打ちになったものの、他品種では概ね直線的に増加し、オオムギはこの

時期に乾物重の増加や子実の成熟等に関わらず、Cd を一定の速度で吸収していることが示された。子実とわらの Cd の分配比率 (子実/わら比) は、第 3 図から、0.25 程度で一定しているものの、RisoM56 や大系 HL138-8-7 では、Cd の子実/わら比が小さく、Cd がわらまで転流するものの、子実には転流しにくい特性を備えていると考えられる。RisoM56 は、茎立期以降の乾物重の増加の程度が他品種に比べて大きく、Cd 吸収量も同様に増加し、子実への転流は少ないものの、わらへの吸収速度が非常に速いことが示された。他の品種については、上述のとおり、わらと子実の Cd 含有率の比率はおおむね一致しているものの、本研究では根での測定を行えなかったため、品種間差が根の Cd 吸収速度の違いを反映しているのか、根から地上部への転流速度の違いを反映したものかは判断できない。

いずれの試験でも Cd 含有率が高かった Apam およびカシマムギの両品種は、条性が六条で、子実のタンパク質含有率が高く、デンプン含有率が低い特徴を有する。一方、Cd 含有率を極低から低に分類した 2727(GRIN), RisoM56 および RisoM86 は、育種用遺伝資源としてヨーロッパから導入された品種で、低タンパク質の特性を備えている。コムギへの窒素施肥が、子実の窒素含有率とともに、Cd 含有率を上昇させているとの報告⁷⁾もあり、Cd の吸収または転流と窒素の吸収または転流が関連している可能性もある。

前述のとおり、Cd 低水準灰色低地土水田ほ場で、栽培されたオオムギ 51 品種・系統の子実中 Cd 含有率は、 $0.01\sim 0.07\text{mgkg}^{-1}$ の範囲にあり、全試料が CODEX 基準 0.1mgkg^{-1} (その他の穀類) を下回った。当該 Cd 低水準ほ場作土土壌の 0.1M 塩酸抽出 Cd 含有率は、 0.23mgkg^{-1} であり、これは我が国の農耕地の自然賦存量水準と考えられる¹⁾。また、栃木県内のオオムギ子実中 Cd 含有率の実態調査結果がすべて 0.12mgkg^{-1} 未満であったことから、土壌の 0.1M HCl 抽出 Cd が 0.20mgkg^{-1} 程度の Cd 低水準ほ場では、オオムギの子実中 Cd 含有率が CODEX 基準を上回る可能性は小さいものと考えられる。

第6表 オオムギの子実中 Cd 含有率による分類

子実Cd含有率	品種・系統	
高	Apam カシマムギ	
中	あまぎ二条	
	栃系251	
	栃系259	
	西海皮54号a	
	大系H0106	
	大系HM139	
	大系HC-15	
	ミカモゴールド	
	スカイゴールド	
	サチホゴールド	
低	わら含有率高	わら含有率低
	RisoM56 大系HL138-8-7	Spartan RisoM86
	極低	2727 (GRIN)

謝 辞

本研究は、農林水産省委託プロジェクト「農林水産生態系における有害化学物質の総合管理技術の開発」の一部援助を受けたものである。本研究の実施にあたり、(独)農業環境技術研究所小野信一土壤環境研究領域長には、終始、試験方法等についてご指導いただいた。栃木農試環境技術部環境保全研究室星野洋子技査には調査および分析等の補助に協力いただいた。また、オオムギの特性について、栃木分場ビール麦研究室の長嶺敬博士(現 近畿中国四国農業研究センター) および加藤常夫氏(現経営技術課)にご教示いただいた。さらに、試験ほ場の管理には栃木分場の方々のご教示・協力をいただいた。ここに記して厚く感謝の意を表す。

引用文献

1. 浅見輝男(2001) データで示すー日本土壤の有害金属汚染。(株)アグネ技術センター:3-7.
2. Hart J J, Welch R M, Norvell W A, and Kochian L V (1998) Characterization of Cadmium Binding, Uptake and Translocation in Intact Seedling of Bread and Durum Wheat Cultivators. Plant Physiol 116:1413-1420.
3. 稲原誠, 雄川洋子, 東英男(2007) 生育後期の湛水管理による水稻のカドミウム吸収抑制. 土肥誌 78:149-155.

4. 農林水産省(2002) 農産物等に含まれるカドミウムの実態調査について.
<http://www.maff.go.jp/cd/C-page.html>
(2008.4.1)
5. 織田(渡辺)久男, 荒尾知人(2006) 作物におけるカドミウムの吸収・移行と生理作用. 土肥誌 77:439-449.
6. 小野信一, 阿部薫(2007) 農用地における重金属汚染土壌の対策技術の最前線 1. 農耕地土壌の重金属汚染の現状と対策. 土肥誌 78:323-328.
7. Wångstrand H, Erikson J, and Öborn I (2007) Cadmium concentration in winter wheat as affected by nitrogen fertilization. Europ. J. Agronomy 26:209-214.
8. 米山忠克(2007) 植物によるカドミウムとヒ素の集積と人への摂取. 北里大学シンポジウム資料:1-34.
9. 財団法人日本土壤協会(2000) 土壤環境管理対策事業 農用地のカドミウム文献検索に関する報告書. 財団法人日本土壤協会:2-8.

