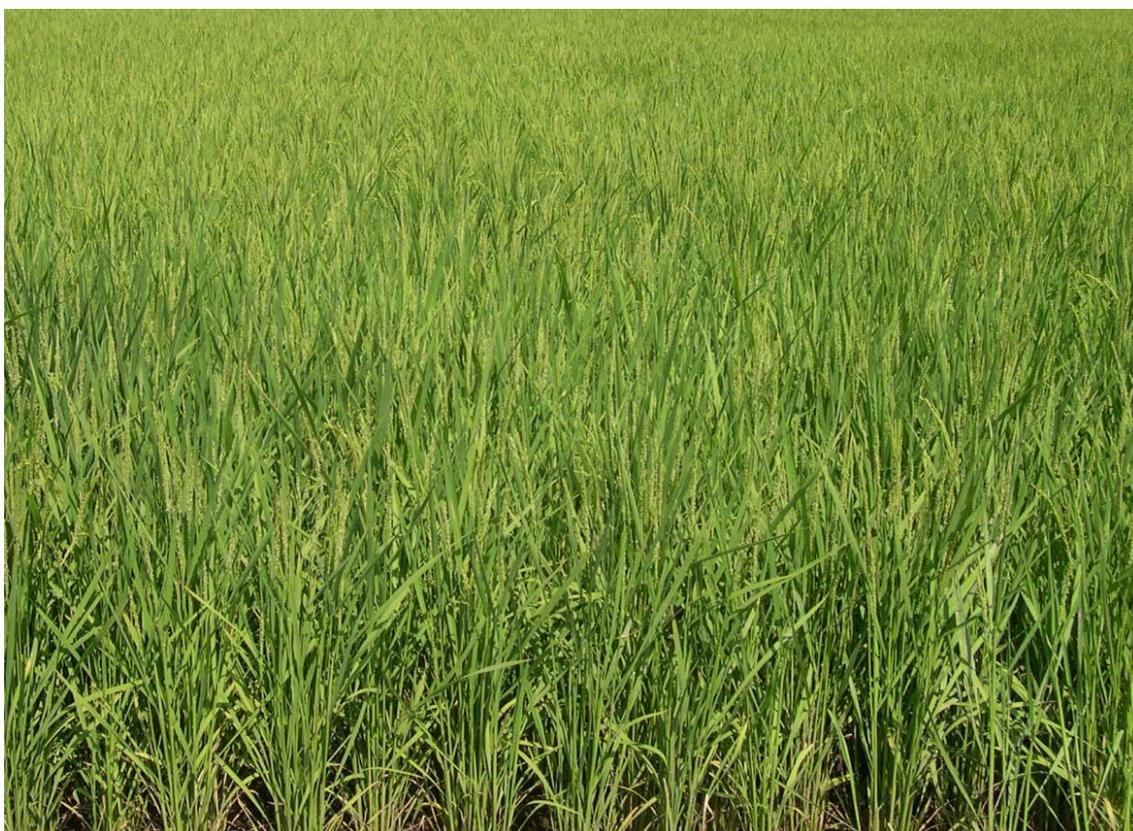


水稻のカドミウム吸収抑制 対策技術マニュアル



平成23年1月
島根県農業技術センター

目 次

I	はじめに	-----	1
II	水稻によるカドミウムの吸収		
	1. 水田土壌のカドミウム濃度	-----	2
	2. 土壌条件とカドミウム吸収	-----	2
III	水稻のカドミウム吸収抑制対策	-----	3
	1. 水管理による吸収抑制対策	-----	3
	2. pH管理による吸収抑制対策	-----	4
IV	カドミウム汚染米流通防止のための技術的対応	-----	6
V	参考資料	-----	7
VI	参考文献	-----	10

I はじめに

カドミウム (Cd) は世界の年間生産量が約 2 万トンであり、そのうちの 15 %弱がわが国で生産されている。その大部分は亜鉛製錬の際の副産物として生産され、主にニッケル-カドミウム電池に利用されている。このように生活や産業活動の役に立つ反面で、「イタイイタイ病」の原因物質であることもよく知られており、体内に蓄積しやすい性質とそれによる健康被害を防止する観点から、コメを始めとする食品中の含有量が問題となっている。

わが国では 1970 年に食品衛生法で「玄米は 1.0ppm *以上のカドミウムを含んではならない」と定められ、それを超えるものは焼却処分されている他、0.4ppm 以上 1.0ppm 未満のコメは食用として流通しないよう工業用の糊(のり)等に転用されてきた。これに関して、Codex 委員会**において国際基準値が検討され、2006 年にコメ(精米)は 0.4ppm と採択された。我が国でも国内基準値の改正に向けた検討が進められてきたが、2010 年 4 月に「玄米及び精米に 0.4ppm を超えて含有してはならない」と告示され、平成 23 年 2 月末日から施行されることとなった。

近年の農政事務所の調査結果をみると、島根県でカドミウム濃度が 0.4ppm を超えるコメは生産されていない。また、県が平成 15 年と 16 年に行ったカドミウム含有実態調査でも、376 点の調査試料の大部分が 0.1ppm 以下の低濃度域にあり、0.2ppm を超過したものは全調査試料の約 2%であった (V 参考資料 図 4)。しかし、基準値改正の施行以降、0.4ppm を超えるコメは食品衛生法に違反することとなり厳しい対応が迫られる。県産米の安全性に対する消費者の信頼を確保するためにも、基準値超過のコメを生産しない体制づくりが求められている。

この対策技術マニュアルは、島根県で行った調査、研究を基に、農林水産省の「水稲のカドミウム吸収抑制のための対策技術マニュアル」や他県の研究成果等を参考にして、現地における対策指導の参考資料として取りまとめた。

※ p p m : 濃度を示す単位の一つ。1ppm とは 1kg の物質 (たとえば玄米) 中に 1mg の物質 (たとえばカドミウム) が存在する状態を示す。

※※ Codex (コーデックス) 委員会 : FAO/WHO の合同食品規格委員会。国際的な食品規格などの作成を行う国際機関であり、世界中の消費者の健康を保護し、食品の健全な貿易慣行を保証することを目的に 1962 年に設立され、わが国は 1966 年に加盟した。



II 水稲によるカドミウムの吸収

1. 水田土壌のカドミウム濃度

カドミウムはリン酸、ケイ酸、炭酸、硝酸、イオウなどの化合物として土壌や鉱物中に存在しており農耕地土壌にも含まれている。全国調査の結果をみると、水田土壌のカドミウム濃度の平均値は一般地点が 0.4ppm、汚染地点が 1.0ppm であり、普通畑や樹園地よりもやや高い傾向が伺われる（表 1）。

表 1 全国の農耕地土壌のカドミウム濃度（農林省農蚕園芸局 1974）

		調査点数	土壌中Cd濃度(ppm)	
			平均値	最大値
水田	全地点	3,041	0.4	13.8
	一般地点	2,753	0.4	7.3
	汚染地点	288	1.0	13.8
普通畑	全地点	744	0.3	7.5
	一般地点	720	0.3	4.0
	汚染地点	24	0.8	7.5
樹園地	全地点	308	0.4	2.3
	一般地点	285	0.3	1.2
	汚染地点	23	0.6	2.3

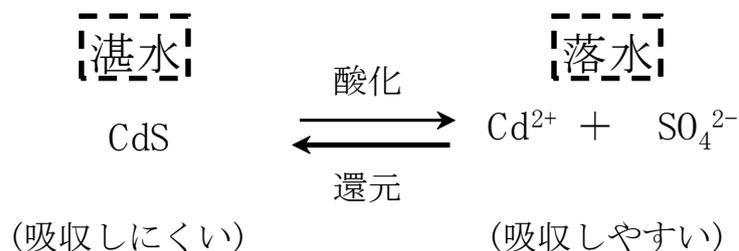
注 1) Cd 濃度：0.1N-HCl 抽出法

注 2) 汚染地点：都道府県がその地点が汚染されているか、その可能性があると認めた地点

2. 土壌条件とカドミウム吸収

1) 土壌の乾湿

土壌中のカドミウムは、土壌の水分状態によって存在形態が変化する。土壌が還元状態（湛水し土壌中に酸素が少ない状態）になると硫黄と結合して水に溶けにくい硫化カドミウム（CdS）になり、作物に吸われにくい。しかし、水分が減って土壌が酸化になると、作物に吸われやすい形態になる。したがって、水稲栽培で行われる一連の水管理や降雨の多少による土壌の乾湿は、水稲のカドミウムの吸収に大きな影響を及ぼす。



2) 土壌の pH

カドミウムは土壌が中性からアルカリ性の領域にあると、リン酸イオンや炭酸イオンと結合し、水に溶けにくい形態に変化する。このため、土壌の pH を高くすることで水稲のカドミウムの吸収を抑えることができる。

Ⅲ 水稻のカドミウム吸収抑制対策

これまで述べたように、水稻のカドミウム吸収量は栽培管理や気象条件によって影響を受けるため、生産されるコメのカドミウム濃度は水田によって異なり、また、同じ水田であっても年次変動がある（Ⅴ参考資料 図4、5）。したがって、コメのカドミウム濃度レベルを低く保つためには常に吸収抑制対策を心がける必要がある。ここでは、水管理や土づくり肥料の施用といった現地での対応が可能な技術について取り上げる。

1. 水管理による吸収抑制対策

水田は生育期の前半には湛水されており土壌が還元状態にあるが、中干し期以降は酸化的事になることが多く、カドミウムが稲に吸収されやすい状態にあるといえる。また、出穂期前後は水稻の生育が旺盛であるためカドミウムの吸収量も多く、根から転流したカドミウムは玄米に蓄積する。したがって、この時期の吸収を抑制することが最も重要であり、これまでの調査でも出穂の前後3週間を湛水状態で管理することにより玄米の濃度をかなり低減できることが分かっている（図1、Ⅴ参考資料 表4）。

また、出穂前後2週間または出穂前3週間のどちらか一方であっても、湛水することによりある程度の吸収抑制効果が認められるので、長期間の湛水では水田がぬかるんで根の活性や機械収穫の作業性に対する悪影響が懸念される場合には、湛水期間を短縮するなど水田の状況に応じて適切に対処するのが良い（Ⅴ参考資料 表5、6）。

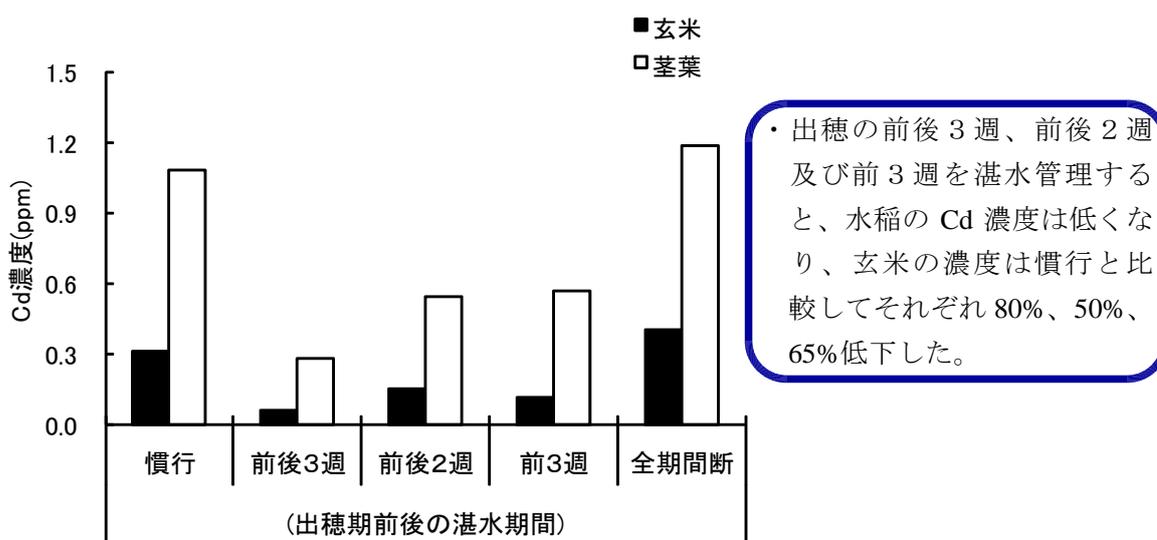


図1 水管理の違いが収穫期のカドミウム濃度に及ぼす影響
(島根農技セ 2004)

注1) Cd濃度は乾物あたり

注2) 慣行：出穂前1週～出穂後2週の水田、全期間断：中干し後全期間断かん水

水管理のポイント

- ① 中干しの期間は7～10日程度とし、特に排水が良好な水田では軽めに行う。土が湿っており、軽く足跡がつく程度を目安とする。
- ② 出穂前後3週間は湛水管理を行う。これが難しい地域や水田では、少なくとも出穂前後2週または出穂前3週の湛水管理を確実にを行う。
- ③ 収穫前の落水は出穂後3週以降を厳守する。



2. pH管理による吸収抑制対策

カドミウムの吸収を抑制するためには、pH6.5 以上を目標に以下の資材を施用する。なお、pH 調整のみではカドミウムの吸収を十分に抑制できない場合が多いので、前述の水管理を組み合わせることが重要である（表2、3、V参考資料 図6、7）。

1) 吸収抑制に効果のある資材

○ようりん（熔成りん肥）

ク溶性リン酸約 20%、ク溶性苦土約 15%、アルカリ分約 50%を含む塩基性リン酸肥料

○ケイカル（鉱さいケイ酸質肥料）

可溶性ケイ酸 10%以上、アルカリ分 35%以上を含むケイ酸質肥料

○ALC（軽量気泡コンクリート粉末肥料、多孔質ケイカル）

可溶性ケイ酸及びアルカリ分をそれぞれ 15%以上含む多孔質ケイ酸カルシウム肥料

○その他

消石灰、炭酸カルシウムなど土壌 pH 調整に用いられる石灰質肥料

2) 資材の施用量

資材の施用量は土壌の性質により必要量が異なる。施用量が過剰であると微量元素が不溶化し欠乏症が発生する恐れがあるので、施用量には十分注意する。例えば、玄米のカドミウム濃度が0.4ppmを超える恐れのある水田では、初年目によりん、ケイカルまたはALCのいずれかを10aあたり500kg施用し、2年目以降は土壌pHに注意しながら施用量を半量程度に減らす。

表2 資材施用と水管理が土壌 pH とカドミウム濃度に及ぼす影響 (新潟県農総研)

試験区	湛水区			慣行区		
	土壌pH		玄米中Cd濃度 (ppm)	土壌pH		玄米中Cd濃度 (ppm)
	分けつ期	穂揃期		分けつ期	穂揃期	
ALC500kg	6.6	6.0	0.84	6.6	6.1	1.20
ALC1000kg	6.6	6.4	0.43	6.6	6.3	0.82
ケイカル500kg	6.5	6.3	0.72	6.3	6.2	1.26
ようりん500kg	6.7	6.6	0.38	6.6	6.6	0.65
無施用	6.4	6.2	0.87	6.3	6.2	1.49

注1) 幼穂形成期～乳熟期に湛水管理を行う区を湛水区、中干しを行う区を慣行区

注2) Cd濃度は玄米水分15%での値

注3) 供試土壌：中粗粒強グライ土

- ・ pH調整資材の施用だけでは十分な吸収抑制効果が得られない場合もある。
- ・ 資材の施用と湛水管理と組み合わせると効果が高い。

表3 資材施用と水管理がカドミウム濃度に及ぼす影響 (島根農技セ 2005)

試験区 (出穂期前後の湛水期間)	収穫期(ppm)					
	玄米	籾殻	枝梗	葉	茎	全体
出穂前1週～出穂後2週(慣行)	0.04	0.04	0.08	0.17	0.75	0.23
出穂前後3週	0.02	0.02	0.06	0.19	0.24	0.13
出穂前3週	0.02	0.02	0.04	0.24	0.24	0.15
出穂前3週(ALC施用)	0.01	0.03	0.06	0.23	0.51	0.20

注1) ALC：軽量気泡コンクリート粉末肥料、施用量 500kg/10a

注2) Cd濃度は乾物あたり

- ・ 出穂前後3週及び前3週の湛水管理により玄米のCd濃度は低下し、pH調整資材のALCを施用するとより効果が大きい。

pH管理のポイント

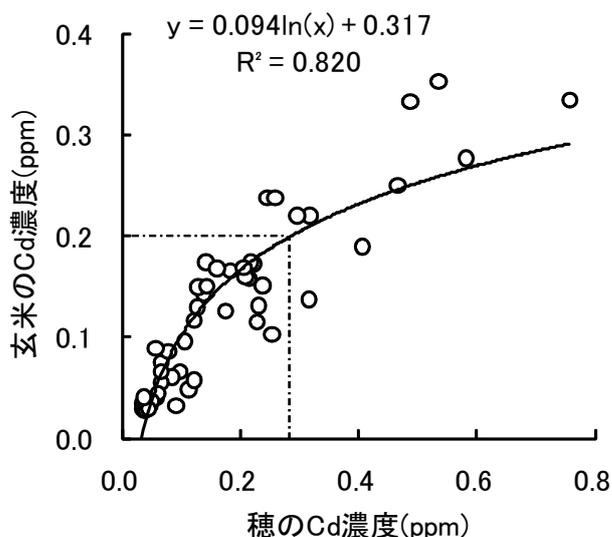
- ① 水管理との併用効果が高く、資材の施用だけでは十分な効果が得られないことに注意する。
- ② pH調整資材の施用量は土壌の性質により異なることや、資材の種類によって調整効果が異なることに注意する。



IV カドミウム汚染米流通防止のための技術的対応

土壌と玄米のカドミウム濃度には必ずしも明確な関係がみられないので、土壌の濃度から汚染米生産の危険性を予測することは難しい（V 参考資料 図 8）。したがって、過去にカドミウム濃度の高いコメが生産されたことのある水田では、水管理や土壌の pH 調整といった吸収抑制対策を必ず実施すると共に、汚染米が流通することのないよう収穫物の濃度検査を行う必要がある。しかし、収穫物の濃度検査には時間がかかり、一定期間の出荷保留が必要であるため経済的影響が少なくない。

図 2 に示したように出穂後 2 週目の穂のカドミウム濃度は収穫物の濃度と関係が高いので、これを分析することで玄米の濃度を予測できる（V 参考資料表 7）。例えば出穂後 2 週目の穂の濃度が 0.2ppm を超えると玄米の濃度も 0.2ppm 以上になる恐れが高いため、その水田では可能な限り湛水期間を延長すると共に、収穫後に再度分析を行って濃度を確認する。



・出穂後 2 週目の穂の Cd 濃度を分析すれば、収穫前に玄米の Cd 濃度を予測できる。



図 2 現地ほ場における出穂後 2 週目の穂のカドミウム濃度と玄米のカドミウム濃度の関係
(島根農技セ 2006)

注 1) Cd 濃度は水分 15%での値

V 参考資料

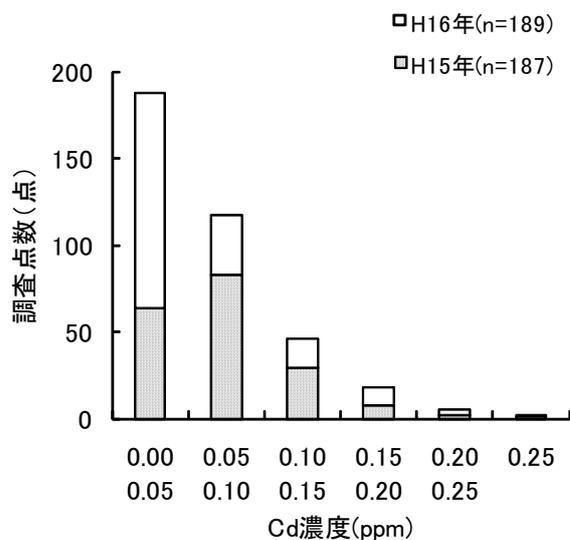


図3 県産玄米のカドミウム濃度
(島根農技セ 2004)

注1) Cd濃度は水分15%の玄米あたり

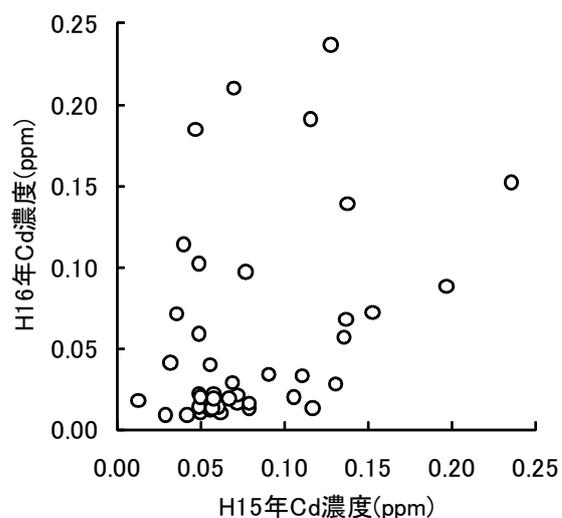


図4 同一水田における玄米のカドミウム濃度の年次比較
(島根農技セ 2004)

注1) Cd濃度は水分15%の玄米あたり

・県産玄米の Cd 濃度は大部分が 0.1ppm 以下の低濃度域にあり、0.2ppm を越えるものは 2%程度であった。

・玄米の Cd 濃度は同じ水田であっても年次変動がみられる。

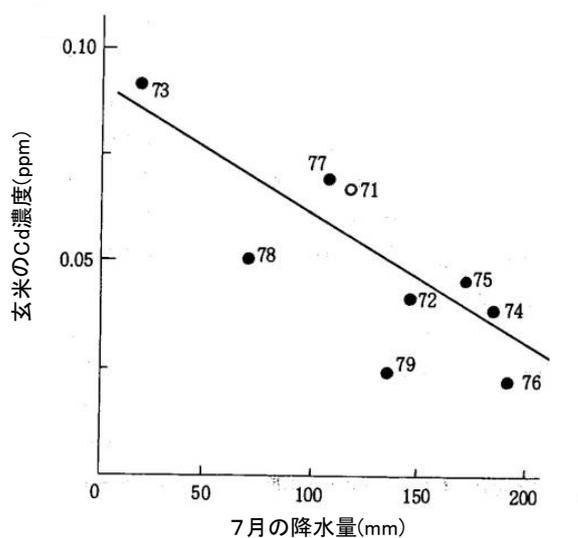


図5 年次別の7月降水量と玄米中カドミウム濃度 (茨城農試 1983)

注1) 図中の数字は調査年次

・7月(幼穂形成期から出穂期頃)の降雨量が多い年は土が乾きにくいため玄米の Cd 濃度が低い傾向にある。

表4 水管理の違いが水稻のカドミウム濃度に及ぼす影響 (島根農技セ 2004)

試験区 (出穂期前後の湛水期間)	出穂期(ppm)				収穫期(ppm)				
	穂	葉	茎	全体	玄米	籾殻	枝梗	茎葉	全体
出穂前1週～出穂後2週(慣行)	0.68	0.67	1.51	0.91	0.31	0.25	1.32	1.08	0.73
出穂前後3週	0.09	0.34	0.22	0.26	0.06	0.06	0.33	0.28	0.18
出穂前後2週	0.14	0.23	0.36	0.25	0.15	0.11	0.71	0.54	0.36
出穂前3週	0.18	0.21	0.22	0.20	0.11	0.08	0.44	0.57	0.35
出穂後3週	0.62	0.53	1.33	0.78	0.31	0.26	1.64	1.35	0.86
中干し後全期間断かん水	0.60	0.47	0.98	0.63	0.40	0.20	1.51	1.18	0.79

注1) Cd濃度は乾物あたり

- ・ 出穂前に2～3週間湛水するといずれの部位でも出穂期のCd濃度が低い。
- ・ 玄米のCd濃度は、出穂前後3週間湛水すると最も低く慣行区の20%程度で、次いで低いのは出穂前3週間湛水で慣行区の35%程度である。出穂後3週だけの湛水では低減効果が見られず、出穂前3週の湛水をより徹底する必要がある。

表5 水管理の違いが収量及び収量構成要素に及ぼす影響 (島根農技セ 2004)

試験区 (出穂期前後の湛水期間)	精玄米重 (kg/m ²)	m ² 当 穂数 (本)	一穂 もみ数	m ² 当 もみ数	登熟 歩合 (%)	玄米 千粒重 (g)
出穂前後3週	0.54	386	75	28769	84.0	22.3
出穂前後2週	0.49	354	71	25234	85.2	22.7
出穂前3週	0.52	374	74	27529	83.9	22.6
出穂後3週	0.53	410	69	28152	82.8	22.7
中干し後全期間断かん水	0.54	458	77	35127	70.6	21.6

- ・ 慣行及び出穂前後2週の水管理では収量が低い。他は1m²あたりの精玄米重が0.52から0.54kgでほぼ同程度であり水管理による差は明確ではない。

表6 水管理の違いが玄米品質に及ぼす影響 (島根農技セ 2004)

試験区 (出穂期前後の湛水期間)	検査等級	整粒歩合 (%)	未熟粒率 (%)
出穂前1週～出穂後2週(慣行)	1下～2上	69.9	27.4
出穂前後3週	2上～2中	59.7	37.0
出穂前後2週	1下～2中	73.8	21.7
出穂前3週	1下～2中	68.6	28.7
出穂後3週	1下	71.1	26.0
中干し後全期間断かん水	2中	58.8	36.0

注1) 検査等級：中国四国農政局島根農政事務所調べ

注2) 整粒歩合、未熟粒率：米粒判別器RGQI10(サツ製)による

玄米2,000粒中の比率

- ・ 出穂前後3週湛水及び中干し後全期間断かん水で未熟粒率が高く、整粒歩合が低い。出穂前後3週湛水では湛水期間が長く土壌の還元が進み根の活性が劣ったため、また、中干し後全期間断かん水は水分不足により登熟不良を引き起こしたためと考えられる。

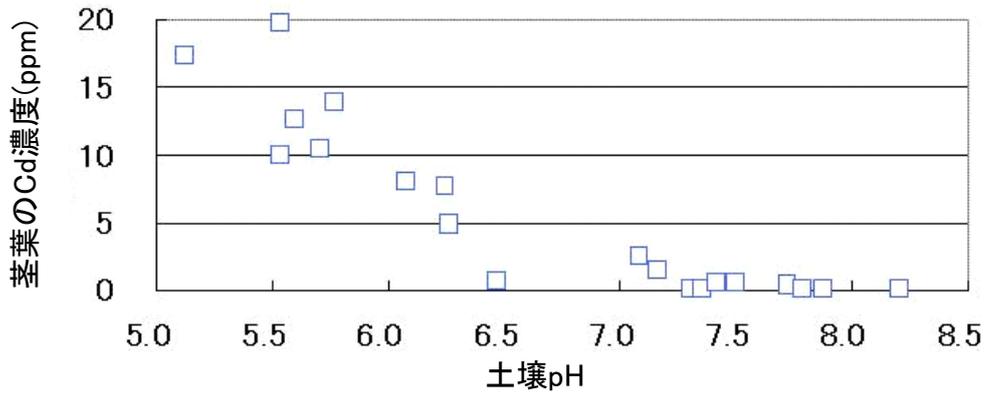


図6 土壌 pH と茎葉のカドミウム濃度 (伊藤ら 1976)

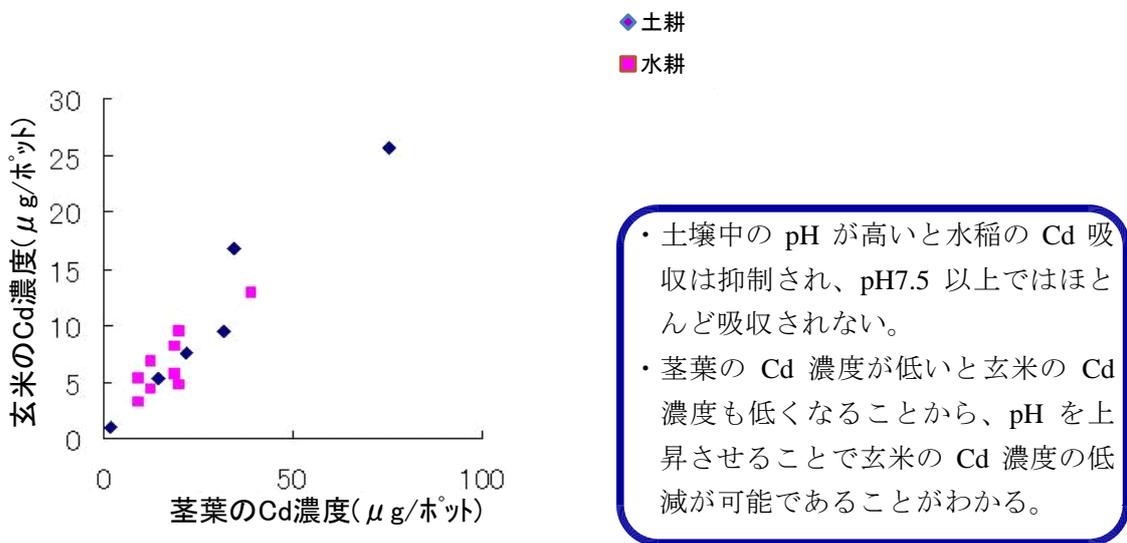


図7 茎葉と玄米のカドミウム濃度の関係 (伊藤ら 1976)

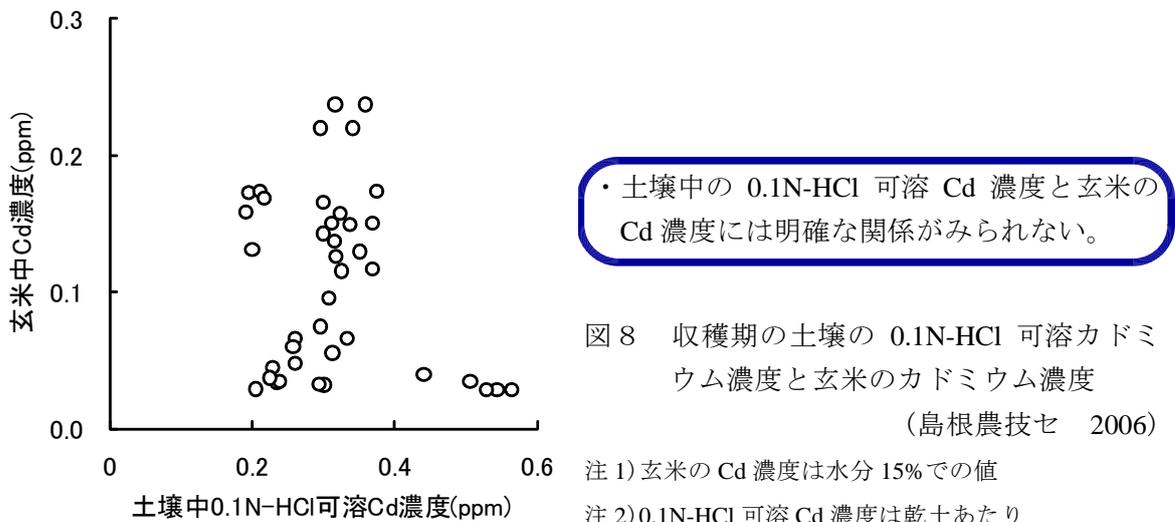


図8 収穫期の土壌の 0.1N-HCl 可溶カドミウム濃度と玄米のカドミウム濃度

(島根農技セ 2006)

注1) 玄米の Cd 濃度は水分 15% での値

注2) 0.1N-HCl 可溶 Cd 濃度は乾土あたり

表7 生育時期別に測定した稲体各部位のカドミウム濃度と玄米の濃度の相関係数
(島根農技セ 2005)

生育時期 器官	出穂前3週	出穂前2週	出穂期	出穂後2週	出穂後3週	収穫期
穂		0.926***	0.921***	0.979***	0.925***	0.994***
葉	0.390	0.771**	0.742**	0.780**	0.913***	0.826***
茎	0.565	0.766**	0.820**	0.872***	0.972***	0.916***

注1) ※※ 1%水準で有意、※※※ 0.1%水準で有意

・出穂前2週以降の水稲各部位のカドミウム濃度は玄米のカドミウム濃度との間に高い相関があり、特に出穂後2週 of 穂では相関係数がきわめて高い。

VI 参考文献

- ・浅見輝男(2001)日本土壌の有害金属汚染. アグネ技術センター.
- ・伊藤秀文・飯村康二(1976)水稲によるカドミウムの吸収・移行及び生理障害—亜鉛との対比において重金属による土壌汚染に関する研究(第1報). 北陸農試報. 19. 71-139.
- ・新潟県農林水産部(2004)水稲におけるカドミウム吸収抑制技術対策.
- ・農業環境技術研究所(2002)水稲のカドミウム吸収抑制のための対策技術. 情報：農業と環境(No.30).
- ・農林水産省・農業環境技術研究所(2005)水稲のカドミウム吸収抑制のための対策技術マニュアル.