

指導者用

# 水稻のカドミウム吸収抑制 マニュアル

～ 安心・安全な農産物の供給と  
生産のリスク管理に向けて ～

平成30年版  
山口県カドミウム対策技術協議会  
山 口 県

## 目 次

|                     |   |
|---------------------|---|
| カドミウムの基準と本マニュアルについて | 1 |
| 水稻のカドミウム吸収特性        | 2 |
| 国産農産物中のカドミウムの実態調査結果 | 3 |

### 対策 1 湛水管理による吸収抑制対策

|                  |    |
|------------------|----|
| 湛水による吸収抑制対策 <概要> | 4  |
| ・ 湛水管理時期の目安図     | 5  |
| ・ 湛水管理のポイント      | 6  |
| ・ 高温時の湛水管理       | 8  |
| ・ 用水不足地域の対策      | 9  |
| ・ 漏水田での湛水管理      | 10 |
| ・ 湿田での湛水管理       | 11 |
| ・ 湛水管理の補足技術      | 12 |

### 対策 2 pHによる吸収抑制対策

|                  |    |
|------------------|----|
| pHによる吸収抑制対策 <概要> | 13 |
| ・ pHによる吸収抑制対策    | 13 |
| ・ 施用時期と方法        | 13 |
| ・ 施用量の目安         | 15 |
| ・ 過剰施用による生理障害    | 16 |

|                    |    |
|--------------------|----|
| 状況把握と対策のためのチェックシート | 17 |
|--------------------|----|

### 〈参考資料〉

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 1 玄米のカドミウム濃度と土壌中のカドミウム濃度の関係 | 18 |
| 2 湛水管理とカドミウムの吸収抑制           | 19 |
| 3 カドミウムの水の対する溶解             | 19 |
| 4 酸化還元状態の変化に伴う土壌中のカドミウムの変化  | 20 |
| 5 出穂後の落水時期と玄米中カドミウム濃度の関係    | 21 |
| 6 出穂後の湛水期間とカドミウム吸収量の関係      | 21 |
| 7 アルカリ資材の効果                 | 22 |

## カドミウムの基準と本マニュアルについて

国際食品規格委員会(codex 委員会)において、農産物を含む食品中のカドミウムの基準値が設定された(下表)。これを受けて食品衛生法に基づくコメ中のカドミウムの基準値が「玄米・精米で 0.4ppm (mg/kg) 以下」に設定された(平成 23 年 2 月 28 日施行)。

基準値を超えた場合、「食品衛生法」に基づきコメの出荷はできない。また、市場流通したものは回収し適正に処分しなければならない。加えて「農用地の土壌の汚染防止等に関する法律」に基づき、県が地元行政機関と連携して土壌・玄米等の細密調査を実施し、県及び市町の公害対策審議会の意見を聴収した上で必要に応じ土壌汚染対策地域として指定することになる。

対策地域として指定された場合は、国の補助を受け客土等の対策事業と、事業効果の確認等が行われる。このような法律に基づく対応とは別に、基準値の超過や土壌汚染対策地域の指定に伴う「風評被害」は避けられないことが容易に想定されるため、コメの販売対策などの対応が必要となる。

このため、安心・安全な農産物の提供と生産・販売のリスク管理面から、水稻のカドミウム対策については、「湛水管理」が有効であることが確認されており、湛水管理の徹底を推進している。

本マニュアルは、基準値が改正された水稻を主体としている。水稻以外の作物の吸収抑制マニュアルは、国や試験研究の状況を見て順次追加するものとする。

国際食品規格委員会(コーデックス委員会)によるカドミウムの基準値

| 食 品 群                                 | 基準値<br>(mg/kg) | 備 考                  |
|---------------------------------------|----------------|----------------------|
| 精米                                    | 0.4            |                      |
| 小麦                                    | 0.2            |                      |
| 穀類(そばを除く)                             | 0.1            | 小麦、米を除く<br>ふすま、胚芽を除く |
| 豆類及び豆科野菜                              | 0.1            | 大豆(乾燥したもの)を除く        |
| ばれいしょ                                 | 0.1            | 皮を剥いたもの              |
| 根菜、茎菜                                 | 0.1            | セロリアック、ばれいしょを除く      |
| 葉菜                                    | 0.2            |                      |
| その他の野菜 (鱗茎類 アブラナ科野菜<br>注、ウリ科果菜、その他果菜) | 0.05           | 食用キノコ、トマトを除く         |
| 海産二枚貝(カキ、ホタテガイを除く)                    | 2              |                      |
| 頭足類(内臓を除去したもの)                        | 2              |                      |

注:「アブラナ科野菜」のうち、葉菜で結球しないものについては「葉菜」に含まれる。

## 水稻のカドミウム吸収特性

土壌中のカドミウム濃度と玄米中のカドミウム濃度との関係は明らかではない。

出穂前後に湛水管理を行って土壌を還元状態（酸素が少ない状態）に保てば、土壌中のカドミウム濃度が非常に高い場合でも、ごく微量しか吸収しないことが判明している（表）。

逆に、出穂前後の一定期間、土壌を乾燥させれば還元状態に保てず、カドミウムの吸収量は増加するため、米の基準値を超える可能性が高くなる。

また、土壌pHを6.5以上にすることで、カドミウムの吸収をある程度は抑制することができる。

このように湛水管理はカドミウムの吸収抑制に必須の技術であり、さらに加えて土壌のpH対策が望ましい。

# 国産農産物中のカドミウムの実態調査結果 (平成 28 年 2 月農林水産省HPより一部抜粋)

農林水産省は、全国から国産の米(平成 21、22 年度)、小麦(平成 24～26 年度)、大豆(平成 23～25 年度)及び野菜 20 品目(平成 21、22 年度)中のカドミウム濃度を調査し、前回の調査データと比較しました。以下、米、麦、大豆のみ抜粋。

普通作 (国産米、国産小麦、国産大豆)

| 国産米                                             |                    | H9, 10 |         | H21,22 |         |
|-------------------------------------------------|--------------------|--------|---------|--------|---------|
| codex<br>精米基準値<br>0.4ppm<br><br>国内基準値<br>0.4ppm | 分析点数               | 37,250 |         | 2,000  |         |
|                                                 | 0.1ppm以下           | 30,346 | (81.5%) | 1,790  | (89.5%) |
|                                                 | 0.1ppmを超え、0.2ppm以下 | 5,457  | (14.6%) | 175    | (8.8%)  |
|                                                 | 0.2ppmを超え、0.3ppm以下 | 1,101  | (3.0%)  | 32     | (1.6%)  |
|                                                 | 0.3ppmを超え、0.4ppm以下 | 250    | (0.7%)  | 3      | (0.2%)  |
|                                                 | 0.4ppmを超える         | 96     | (0.3%)  | 0      | (0.0%)  |

| 国産小麦                                      |                    | H12～14 |         | H24～26 |         |
|-------------------------------------------|--------------------|--------|---------|--------|---------|
| codex<br>基準値<br>0.2ppm<br><br>国内基準値<br>無し | 分析点数               | 227    |         | 1,800  |         |
|                                           | 0.1ppm以下           | 169    | (74.4%) | 1,627  | (90.4%) |
|                                           | 0.1ppmを超え、0.2ppm以下 | 50     | (22.0%) | 149    | (8.3%)  |
|                                           | 0.2ppmを超える         | 8      | (3.5%)  | 24     | (1.3%)  |

| 国産大豆                                  |                    | H12～14 |         | H23～25 |         |
|---------------------------------------|--------------------|--------|---------|--------|---------|
| codex<br>基準値<br>無し<br><br>国内基準値<br>無し | 分析点数               | 419    |         | 1,800  |         |
|                                       | 0.1ppm以下           | 200    | (46.5%) | 916    | (50.5%) |
|                                       | 0.1ppmを超え、0.2ppm以下 | 142    | (36.6%) | 723    | (39.9%) |
|                                       | 0.2ppmを超え、0.3ppm以下 | 49     | (11.7%) | 140    | (7.7%)  |
|                                       | 0.3ppmを超え、0.4ppm以下 | 21     | (4.3%)  | 21     | (1.2%)  |
|                                       | 0.4ppmを超え、0.5ppm以下 | 3      | (0.7%)  | 6      | (0.3%)  |
|                                       | 0.5ppmを超える         | 4      | (1.0%)  | 7      | (0.4%)  |

## 対策1 湛水による吸収抑制対策 <概要>

**対策：** 水稻の出穂前20日間、出穂後20日間を湛水管理とすることで、玄米中のカドミウム濃度を大幅に低減できる。

### 湛水管理

#### 原理

土壌中のカドミウムは、酸素の少ない状態（還元状態）で不溶化し、水稻に吸収されにくくなる。水稻が最も盛んにカドミウムを吸収する出穂の前後各20日間を湛水管理することで、吸収量を抑制する方法である。

#### 湛水管理のポイント

湛水管理時期の目安図参照

##### (1) ほ場の均平化

できるだけ不陸のないように丁寧に代かきを行う。

##### (2) 中干し（地耐力確保が目的）

移植後30日から40日ごろに7日程度行う。出穂20日前から湛水管理を行うために、中干し開始時期を逸さないよう注意する。強い中干しはしない。目安は土が湿っていて足跡がつく程度。

##### (3) 溝切り

水はけの悪い水田は、水管理が簡単にできるよう溝切りを行う。

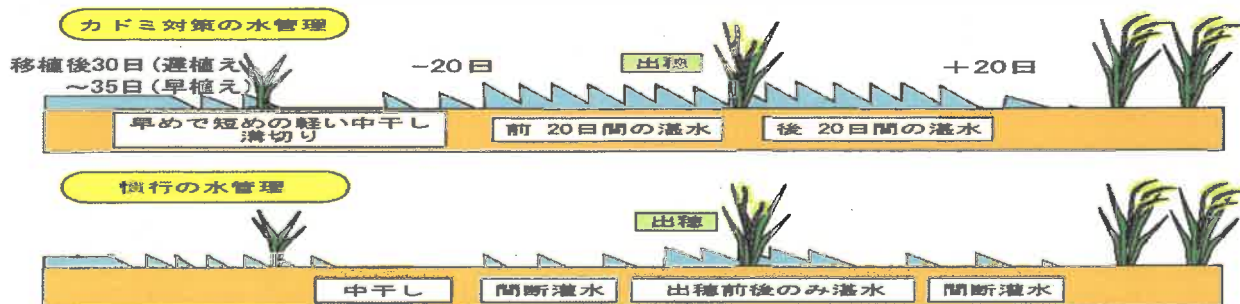
##### (4) 湛水期間及び程度

平年の出穂日の20日前からと出穂が始まってからの20日間の計40日間は、水面から土壌表面が露出しない状態を維持する。

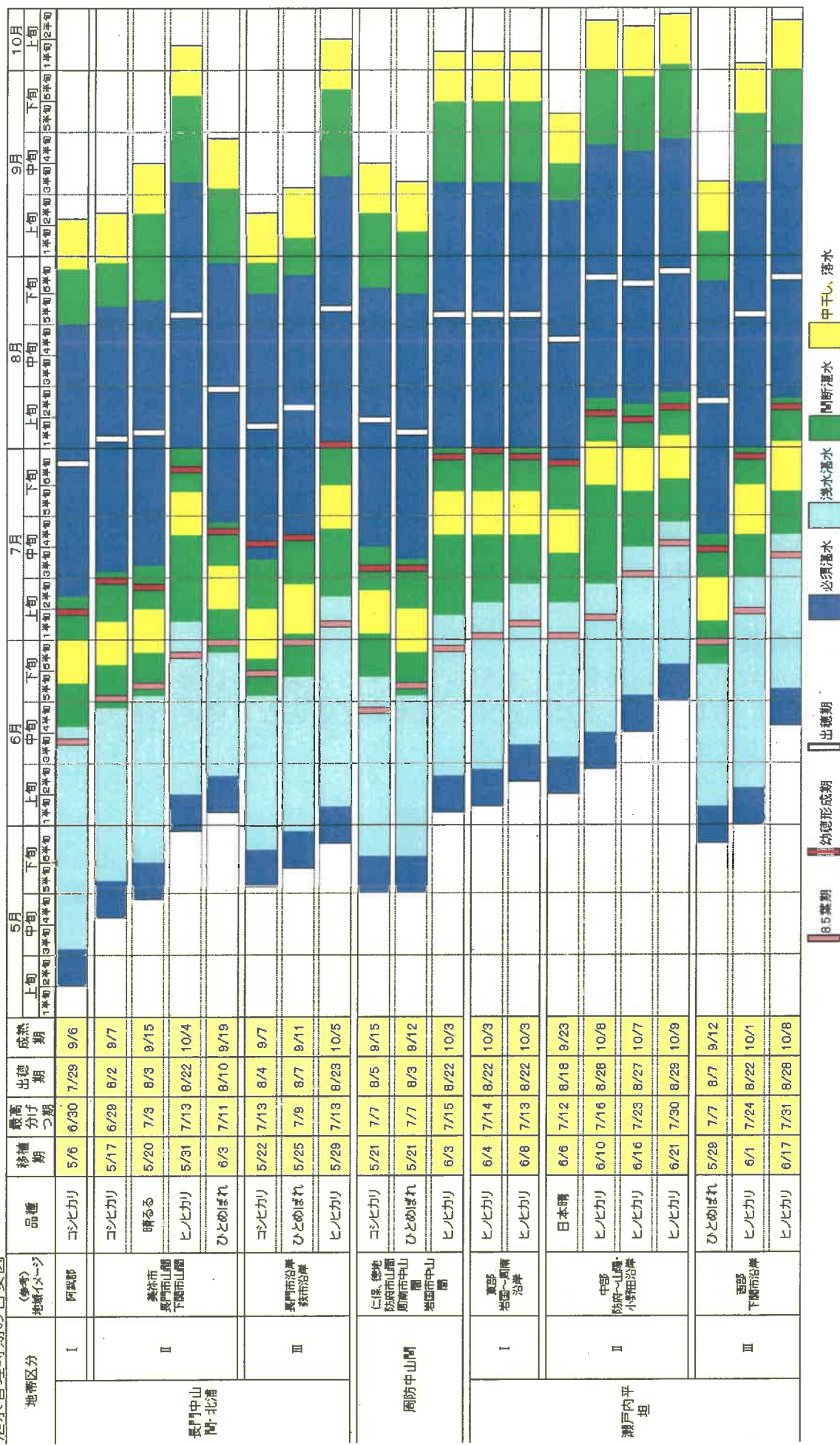
##### (5) 湛水期間終了後も落水までは間断湛水を行い湿った状態を維持

##### (6) 注意点

- ・天候不順年や湿田では、収穫時の地耐力を得るために中干し開始時期を早め、長めの中干しを行う。
- ・品種や移植時期により分けつが少ない場合でも、中干し時期を遅らせることができないので、茎数確保のため適正な栽植密度を確保する。
- ・水田が不均平の場合は、水管理の目安になる棒を設置する。

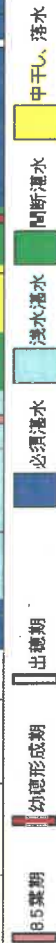


港水管理時期の目安図



注意 圃場が畑田の場合は早めの中干などにより地耐力を高める。 圃場の排水が良好な場合は、収穫の1週間前に落水する。

中干までの分けつ期間が短い場合、茎数が不足する可能性があるため、栽植密度を高め茎数を確保する。



## 湛水管理のポイント

### 1 水系ごとの作付け調整

同じ水系に収穫時期が異なる品種を栽培すると、品種により用水の必要な時期が異なるため適切な水管理が困難になる。作付け前に水系ごとに作付け調整を行うことが望ましい。

### 2 ほ場の均平化

ほ場が不均平では全面的な湛水管理が困難になり、部分的にカドミウム濃度の高い米が生産される可能性があるので、均平化を丁寧に行う。

### 3 栽植密度

従来よりも中干し開始時期が早くなるため、品種や移植時期によっては、分けつ期間が短くなり茎数を確保できない場合があるので、適正な栽植密度により穂数を確保する。

※栽植密度の目安 18 株/㎡以上 (60 株/坪以上)

### 4 目安棒の設置

田面が均平でない場合は、水稻が生育すると水面の状態がわかりにくくなるので、あらかじめ水口の近くに入水の目安となる印をつけた棒（目安棒）をさしておく。



(1) 水田の全体が見える時期に目安棒を水口付近に設置する。赤テープより水面が低いと、田のどこかで、田面が露出する。

(2) 赤テープまで水が下がると緑テープまで入水する。

(3) 例えば、3 日で赤テープまで水が下がることがわかれば、降雨がない場合は、3 日ごとに入水する。

左の写真は、割りばしとビニールテープで作った目安棒

## 5 中干し

### (1) 中干しの目的と注意点

中干しは、収穫時の地耐力を確保するために行う。

強い中干しを行うと作土直下の硬盤にもヒビが入り、漏水気味になりカドミウムの吸収抑制ができなくなる恐れがある。

過剰な分けつを止めることを目的に強い中干しは行わない。基肥の窒素量を調整し過剰分けつにならないように注意する。

### (2) 中干し開始時期

出穂 20 日前から湛水管理を行うためには、中干し開始時期が重要になる。遅くとも出穂 30 日前には中干しを開始する。

### (3) 中干しの程度

ほ場条件により最適な中干しの程度は異なる。

一般的に軽く足跡がつく程度から小さなひび割れ程度にとどめ、強度の中干しは行わない。

特に水持ちの悪いほ場(減水深の大きなほ場)では、強い中干しを行うと湛水状態の維持が難しくなるので注意する。

## 6 溝切り (作溝)

湿田や麦作を行う圃場は、排水がすみやかに行えるように、中干しを開始して数日後に田面が固くなったら、2～3 m 間隔で溝切りを行う。

乗用の溝きり機械の例



乗用小型溝きり機

田面ライダー (ためんライダー)  
丸山製作所



古い乗用田植え機に溝きりのアタッチメント  
(株)ホクエツ製) を取り付けた乗用溝きり機

## 7 湛水管理

### (1) 湛水管理の目的

湛水管理により、水稻の出穂前後に、土壌中の酸素を少ない状態（還元状態）にし、カドミウムを不溶化し水稻の吸収を抑制する。

### (2) 湛水管理の方法

水面から土壌表面を出さなければ還元状態は維持できるので、常時深水や一定の水深でなくても良い。

また、根腐れ防止のため、急激な水管理は避ける。

自然に減水させ水面から土壌表面が現れる前に再度入水する。

### (3) かけ流し

水持ちの良い水田（減水深が大きい水田）や湿田では、高温時に掛け流しによる湛水管理を行うことができる。

## 8 湛水管理終了後の水管理

**重要！** 湛水管理終了後にすぐに土壌を乾燥させるとカドミウムの吸収が増加する恐れがある。終了後も間断灌水を行い収穫の1週間前に落水する。特に排水の良い水田では早期落水を行わない。

## 高温時の湛水管理

### 1 湛水管理中の高温の影響

平成22年の高温年には、湛水管理田の一部で葉に障害が見られた。幼穂分化期ごろから土壌表面に形成される上根（ルートマット）は呼吸根の役割を果たし、還元状態の作土層の根に酸素を供給している。22年は異常な高温がルートマットに悪い影響を与え障害が発生したと思われる。

水もちが良いほ場では、田面水が高温になりやすい。水温が高い状態が続く場合には、根傷みを回避するために適宜水を入れ替える。水が十分にある場合は掛け流しによる湛水管理も可能であるが、この場合も土壌表面が水面上に出ない深さで行う。

### 2 掛け流しによる土壌の還元状態への影響

一般的に水田土壌は表面の2 cm までが酸化層でそれ以下が還元層である。酸素の含まれる水を掛け流しても、減水深が大きい場合は、表面の酸化層で酸素が消費され、ほとんどの作土は還元状態に保たれるため、掛け流しによる湛水管理は可能である。

水もちの悪い漏水田では、掛け流しによる湛水管理はできない。

## 用水不足地域の対策

### 1 用水不足地帯での対策

- (1) 用水不足地域では、土壌分析によりリスクを確認する。
- (2) 少ない水で湛水管理を行うために水の利用率の向上を図る。
- (3) 湛水管理の実施が困難な場合に備え、アルカリ資材を施用し水田土壌のpHを6.5以上に高めておく。

### 2 水の利用率の向上

- (1) 水系ごとの作付け調整  
水の有効利用を図るため、水系ごとに作付け調整を行う。
- (2) 水田の保水性の向上  
丁寧な代掻きや畦畔からの漏水の防止、粘土施用や床締めを行う。
- (3) 田面の均平化による水の有効利用  
少量の水で湛水管理可能なように、なるべく田面を均平にする。

### 3 アルカリ資材の施用 目標pH6.5～6.8

湛水管理とアルカリ資材の施用を組み合わせで行う。

pHによる吸収抑制対策(13 ページ)を参照

**注意** 水田土壌中のカドミウム濃度にもよるが、アルカリ資材のみでカドミウムの吸収を抑制することは難しい。  
可能な範囲で湛水管理を行うこと。

### 4 湛水期間の短縮

#### (1) 出穂前の湛水期間の短縮

カドミウムの吸収が活発に行われるのは、出穂前15日からである。

基本的な出穂前の湛水期間は、正確な出穂日の予想が難しいため出穂前20日からにしている。正確な出穂日の予想ができれば出穂前の湛水期間を5日短縮し15日間にできる。

#### (2) 出穂後の湛水期間の短縮

出穂後の湛水期間を20日から14日に変更すると玄米のカドミウム濃度は高まるが、土壌中のカドミウム濃度が低い(0.2ppm以下)水田では、基準値を超える可能性は低い。

**注意** 土壌のカドミウム濃度が0.2ppmを超えて高まるほど、湛水期間の短縮により水稻のカドミウム吸収リスクが高まる。  
事前に土壌分析を行いリスクを把握することが望ましい。

## 漏水田での湛水管理

### 1 漏水田での対策

水持ちの悪い漏水田（減水深が大きいほ場）は、湛水管理を行っても常に水に溶けた酸素が土壌に供給され、カドミウムが溶出するため湛水管理による吸収抑制の効果を得にくい。

このため、以下の対策を行う。

- （１）漏水田を改善するために、丁寧な代掻きや粘土などの施用、床締めを行う。
- （２）大きな亀裂が入るような強い中干しは避ける。
- （３）漏水田では早期の落水やかけ流しは行わない。
- （４）アルカリ資材を施用し、土壌 pH を 6.5 以上にすることで、カドミウムの吸収を抑制する。

### 粘土の施用と床締め

#### 目的

湛水管理で還元状態を維持できるように、漏水田などにおいて、水の地下浸透を抑制するための技術。

砂～砂壤土は、床締めのみでは効果が低い。

#### 方法

##### 1 粘土の施用

耕起または、荒代前に粘土のベントナイトを10a当たり 1～2 t を全面施用しロータリー耕により作土と良く混和する。

##### 2 床締め

床締めは、ブルドーザーなどの機械により土層表面に圧力をかけて締め固める。

#### 注意点

火山灰土でのベントナイトの効果は 3～5 年なので、定期的に行う。

## 湿田の湛水管理

### 1 湿田での湛水管理の考え方

排水が悪い湿田は、土壌中の酸素が少ない還元状態（グライ土壌）になっていることが多いため、カドミウムも不溶化しやすく吸収抑制しやすい水田である。

しかしながら、土壌中に空気が多量に入るとカドミウムが溶け出し水稻が吸収するので、出穂前 20 日と出穂後 20 日の湛水期間中は土壌表面が強く乾かないように注意する。

特に出穂後の 15 日間はカドミウムの吸収が活発なので、湿田といえども注意して湛水管理を行うことが必要である。

### 2 湿田における地耐力確保対策

湿田における重要な課題は、収穫作業が容易になるように地耐力の確保及び表面排水力と湛水管理の両立である。

収穫時の地耐力向上は、長めの中干しが重要である。早期落水は地耐力の向上にはあまり役立たない。

#### （1）湿田の中干し

落水しても乾きにくいので、早期に中干しを開始し長めに継続することで地耐力を確保する。但し、大きなヒビが入るような強い中干しは行わない。

#### （2）溝切り

中干時の降雨による滞水や収穫前の田面の排水を速やかに行うために溝切りを行う。

#### （3）湛水管理

長雨などによって中干期間が長くなり、結果的に出穂前の湛水管理期間を短くせざるを得ない場合でも、湿田（強グライ土壌）の場合は、土壌は酸素のない還元状態にあるためカドミウムの吸収を抑制できる。

出穂前の湛水管理を短縮できる日数は、土壌の状態により異なる。

出穂後 20 日間は、水田表面を白乾させないような湛水管理を行う。

#### （4）湿田の落水時期

湿田では、水はけと天候に合わせ落水時期を早める。

## 湛水管理の補足技術

土壌中のカドミウムが不溶化すれば、水稻は吸収できない。

カドミウムの不溶化は、湛水管理により水田土壌を酸素の少ない還元状態に置き、硫化カドミウムに変化させることでもたらされる。

このような変化を促進させる技術として以下のものがあるが、あくまでも湛水管理の補足技術である。

### (1) 還元促進材料の投入

#### 目的

有機物により土壌中の酸素を消費させ、還元状態を促進させるために行う。

稲わらを持ち出し、有機物を長年施用しない水田で必要。

#### 方法

堆きゅう肥、わら、草、その他の有機物を投入し、微生物の活動を高め、酸素を消費させ、還元状態を促進させる。

#### 注意点

効果（土壌還元の度合）は、土壌の種類によって異なる。

### (2) 硫黄資材の投入

#### 目的

イオウが不足している水田において、還元状態で硫化カドミウムの生成を促進するために行う。

#### 方法

還元状態（土壌Ehの低下）になっても、硫化水素特有の卵の腐った臭いがしない水田では、硫酸アンモニウム、硫化ナトリウム、硫黄華などの硫黄資材を投入する。

#### 注意点

日本は火山国であるため一般的な土壌では、イオウは0.02～0.3%（200～3,000ppm）とカドミウムの数百倍から数千倍以上含まれる。

このため、硫化水素特有の臭いがすれば、イオウ資材を投入する必要はない。

## 対策2 pHによる吸収抑制対策

### <概要>

**対策：**土壌のpHを中性に近くすることで、カドミウムの吸収を抑制する。 **☆☆ pHの目標は6.5以上 ☆☆**

#### 土壌pHの矯正

##### 原理

カドミウムとその化合物は、pHが高くなると溶解度が低下する。溶解度が低下すると植物が吸収できにくくなるため、カドミウムの吸収を抑制できる。

#### 具体的な施用方法

##### (1) pHを高める代表的な資材（アルカリ資材、肥料）

- |                       |              |
|-----------------------|--------------|
| ・ ケイカル（鉍滓珪酸質肥料）       | [けい酸質肥料]     |
| ・ 含鉄資材（副産、混合石灰肥料、含鉄物） | [石灰質肥料・特殊肥料] |
| ・ 熔リン                 | [リン酸質肥料]     |
| ・ 消石灰、炭酸石灰、苦土石灰、カキ殻など | [石灰質肥料]      |
| ・ 水酸化苦土               | [苦土肥料]       |
| ・ 軽量気泡コンクリート粉末（ALC）   | [けい酸質肥料]     |

##### (2) 施用方法

土壌と十分に混和することが重要である。

- ① 土壌の養分状況も考慮し資材を決める。他県ではケイカルが多い。なるべく粒度の細かい資材が良い。
- ② 中和石灰量の試験やアレニウス表を参考に、資材のアルカリ度などから、施用量を求める。
- ③ 施用時期と移植（播種）までの間隔を十分に開け、全面に散布する。
- ④ 土壌中で均一に分布するようにロータリーで3回以上耕耘する。

##### (3) 注意点

- ① アルカリ資材のみでは効果が弱い。湛水管理と組み合わせて行う。
- ② pHの上昇は、土壌の種類と資材（アルカリ度）により異なる。
- ③ アルカリ資材の正確な施用量は、少量の土壌へ資材を添加する中和滴定試験により求める。
- ④ アルカリ資材を多量施用する場合は、定期的にpHを測定する。
- ⑤ アルカリ資材の施用量によっては、基肥の窒素を3～5割削減する。

## pHによる吸収抑制対策

### 1 目的

湛水管理が行いにくいほ場や、年により水の確保に支障が生じる可能性のある地域などは、湛水管理の補完として土壌 pH を 6.5～6.8 に維持する。

### 2 湛水管理との関係

湛水管理が可能な地域では、土壌の pH にかかわらず、出穂前後各 20 日間、計 40 日間の湛水管理は必ず実施する。

年により水の確保に支障が生じる地域では、アルカリ資材の施用により土壌の pH を 6.5 以上とし、かつ、可能な限り湛水管理に努める。

### 3 資材の種類（アルカリ分、主な成分）

土壌養分の状況、資材価格、散布経費などを考慮して資材を選択する。  
粒度は細かいものが良い。

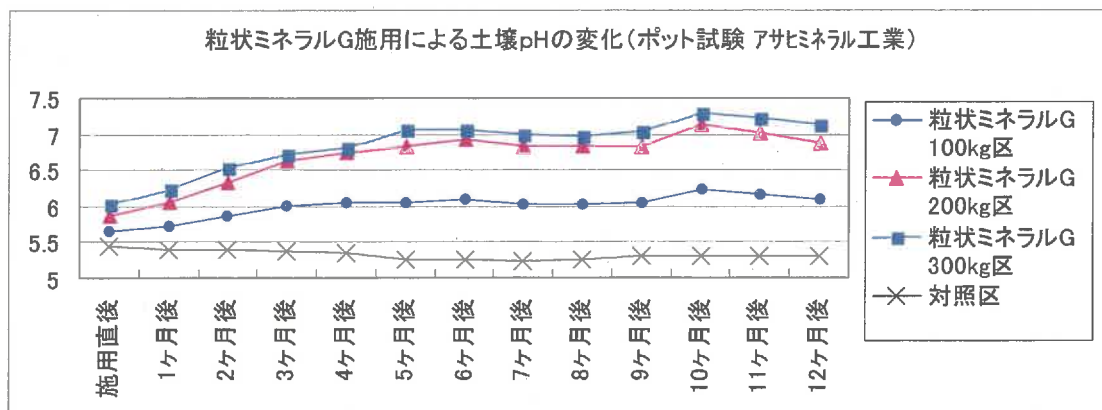
ケイカル(45%、珪酸・石灰) とれ太郎(40%、珪酸・石灰) ミネラル G(40%、珪酸、鉄・石灰) 炭酸石灰・炭酸苦土石灰(50～56%、石灰・(苦土)) サンライム(46%、石灰) マリンカル(48%、石灰・苦土)、熔燐(45～50%、石灰、燐酸、珪酸、苦土) など。

### 4 アルカリ資材の施用時期と施用方法

- (1) 土壌と十分に混和することが重要 ロータリーで 3 回以上耕耘する。
- (2) 散布時期は移植までの間隔を十分に開け、秋から春にかけて行う。
- (3) 施用量が 500kg 以上と多い場合は、複数年に分けて入れる。
- (4) 多量に施用する場合は、窒素が有効化するアルカリ効果に注意し、窒素の施肥を少なめにする。新潟県では、熔燐 500kg を施用する場合は、連用開始から 3 年程度は、基肥 30% から 50% の削減を提示している。

なお、アルカリ効果は一般的に肥沃な水田ほど大きい。

粒状ミネラル G の場合、pH が 1 上昇するのに 2～3 ヶ月必要



## 5 アルカリ資材の施用量の目安

土壌の pH を矯正するためのアルカリ資材の施用量は、土壌により異なるので、中和石灰曲線の試験により求めることが望ましい。しかし、時間がかかるので、pH が低くない場合（アルカリ資材の施用量が多くない場合）は、アレニウスの表を目安として利用できる。

### （１）アレニウスの表から求める。

アルカリ分 53% の炭カル（炭酸カルシウム）の施用量なので、施用する資材のアルカリ分を考慮すること。

アルカリ分 26% なら、約 2 倍量必要

山口県の腐植の量は、「腐植 含む 5% 以下」がほとんどである。

アレニウス表からの炭カル（アルカリ分 53%）の施用量 kg/10a **pH の目標値 6.5**

| 土性（触った感じ） |                                    |          |         | 腐植の量（土の色） |     | pHを0.1矯正するの<br>に必要な<br>炭酸カルシ<br>ウムの量<br>kg/10a | pH  |     |     |     |     |     |     |     |  |  |
|-----------|------------------------------------|----------|---------|-----------|-----|------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|--|
|           |                                    |          |         | 4.6       | 4.8 |                                                | 5.0 | 5.2 | 5.4 | 5.6 | 5.8 | 6.0 | 6.2 | 6.4 |  |  |
| 砂壤土 SL    | 砂を感じ、粘り気は<br>わずかに感じる。              | 含む 5%以下  | 褐色～やや暗色 | 16.9      | 321 | 287                                            | 254 | 220 | 186 | 152 | 118 | 85  | 51  | 17  |  |  |
|           |                                    | 富む 5～10% | 暗色～黒色   | 25.3      | 481 | 430                                            | 380 | 329 | 278 | 228 | 177 | 127 | 76  | 25  |  |  |
| 壤土 L      | ある程度砂を感じ、<br>粘り気も多少ある。             | 含む 5%以下  | 褐色～やや暗色 | 25.3      | 481 | 430                                            | 380 | 329 | 278 | 228 | 177 | 127 | 76  | 25  |  |  |
|           |                                    | 富む 5～10% | 暗色～黒色   | 33.8      | 642 | 575                                            | 507 | 439 | 372 | 304 | 237 | 169 | 101 | 34  |  |  |
| 埴壤土 CL    | 粘りはある。砂はわ<br>ずかに感じる。               | 含む 5%以下  | 褐色～やや暗色 | 33.8      | 642 | 575                                            | 507 | 439 | 372 | 304 | 237 | 169 | 101 | 34  |  |  |
|           |                                    | 富む 5～10% | 暗色～黒色   | 42.2      | 802 | 717                                            | 633 | 549 | 464 | 380 | 295 | 211 | 127 | 42  |  |  |
| 埴土 C      | かなり粘る。指に若<br>干吸い付く感じ。砂<br>はほとんど感じな | 含む 5%以下  | 褐色～やや暗色 | 42.2      | 802 | 717                                            | 633 | 549 | 464 | 380 | 295 | 211 | 127 | 42  |  |  |
|           |                                    | 富む 5～10% | 暗色～黒色   | 50.7      | 963 | 862                                            | 761 | 659 | 558 | 456 | 355 | 254 | 152 | 51  |  |  |

石灰系資材はアルカリ分が袋に表示されているので、使用する資材のアルカリ度によって、使用量を調整すること。

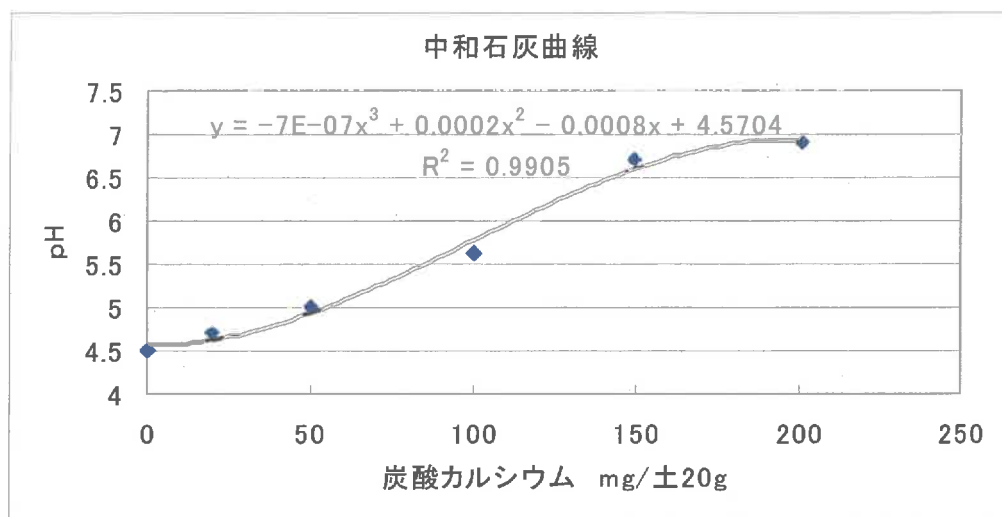
### （２）中和石灰量の試験から求める。

- ① 100ml の広口ポリビン 6 個に土を各 20g 入れる。
- ② 炭酸カルシウムの粉末を 0、20、50、100、150、200mg を加える。
- ③ 水を 50ml 加え、攪拌した後、室温で 24 時間放置
- ④ フタをして 5 時間振とう
- ⑤ 金魚飼育用のエアープンプ等で 2 分間通気し、すぐに pH を測定
- ⑥ グラフを作る。（X 軸炭酸カルシウム量 Y 軸 pH）
- ⑦ グラフから施用量を読み取る。

下記の例では pH 5.0 から pH 6.5 には、約 100mg/乾土 20g 必要

100mg/乾土 20g = 500mg/乾土 100g = 500kg/10a（作土 10cm）

作土が 15cm 比重が 1 ならば炭カルが 750kg 必要



## 6 アルカリ資材の過剰施用による生理障害

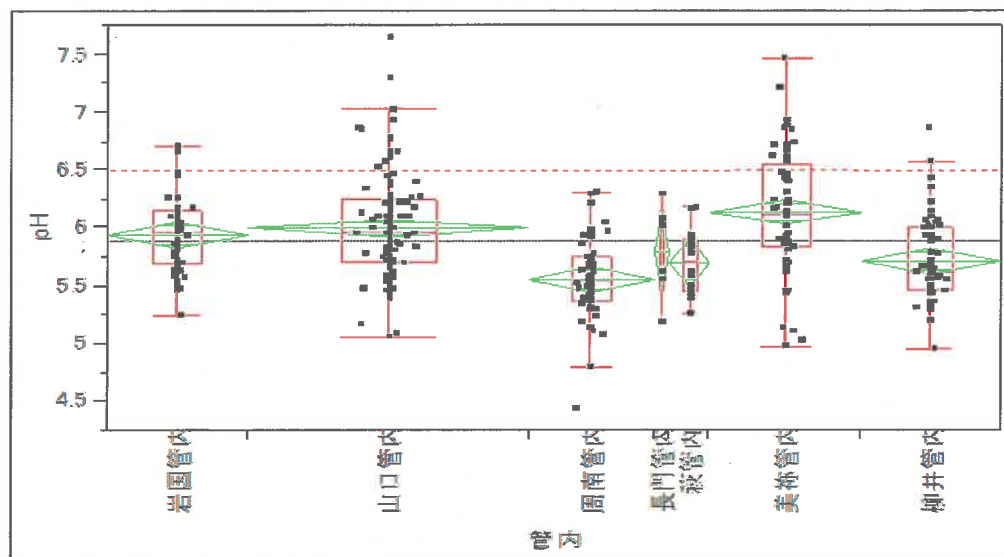
一般的に土壌がアルカリ性になると微量元素の溶解度が下がるため、作物に養分欠乏症が発生しやすくなる。

水田は湛水すると緩衝作用により土壌 pH が 6 ～ 7 付近になるため、微量元素欠乏は発生しにくい。水田へのアルカリ資材 3 t / 10 a 施用の他県の試験例では、土壌 pH は 7.6 に高まるが、生理障害、収量の低下などは発生していない。

しかし、土づくりがされていない水田（微量元素が少ない老朽化水田など）は pH が高くなると微量元素欠乏が発生する可能性がある。また、アレニウスの表から求めた施用量が適切でないことがあるので、pH が低い場合（アルカリ資材の施用量が多い場合）は、中和石灰曲線を求めアルカリ資材の施用量を決めるほうが良い。

## 地域による土壌 pH の分布

ほとんどの水田の pH が目標値より低く、アルカリ資材の施用が必要。  
(点線は改良目標値 実線は平均値 (pH 5.8 露地畑含む)を示す。)



# 状況把握と対策のためのチェックシート

## 1 目的

湛水管理を行えば、玄米のカドミウム濃度は 0.2ppm 未満になる。0.2ppm 以上の場合は、本チェックシートを用い状況の確認と対策を行う。

## 2 対策の流れ

- (1) 玄米調査で対策が必要な対象水田（対象者）を把握
- (2) 対象ごとにチェックシートにより課題を把握
- (3) 対策の明確化と実施
  - ① 湛水管理の改善
  - ② アルカリ資材の施用

## 水稻のカドミウム吸収抑制チェックシート（例）

|  |              |
|--|--------------|
|  | 生産者名 _____   |
|  | 圃場名 _____    |
|  | チェック者名 _____ |

平成 \_\_\_\_ 年の圃場の状況について(該当するところに○をつけてください。)

|                 |        |      |          |
|-----------------|--------|------|----------|
| 水もち             | 良い(湿田) | 普通   | 悪い(漏水田)  |
| 用水について          | 不足しない  | 不足気味 | 慢性的な不足地域 |
| カドミウム吸収抑制対策について | 知っていた。 |      | 知らなかった。  |

目標の管理がほぼできていれば○を、問題があれば×を、不明な場合は△をつけてください。

| チェック項目     |                 | 目標とする管理                             | 現況と対策  |        | 備考(具体的な管理など) |
|------------|-----------------|-------------------------------------|--------|--------|--------------|
|            |                 |                                     | 今年度の管理 | 来年度の対応 |              |
| 計画<br>土づくり | 作付け計画           | 水系ごとの品種の統一                          |        |        |              |
|            | アルカリ資材散布の有無(注1) | 100kg～200kg/年の散布                    |        |        |              |
|            | 土壌pHの測定の有無      | アルカリ系資材を施用していない場合や麦、大豆作では数年に1回のpH測定 |        |        |              |
|            | 麦などの栽培の有無(注2)   |                                     |        |        |              |
| 中干し<br>注3  | 中干し開始時期         | 移植後30日～35日ごろに中干しを開始                 |        |        |              |
|            | 中干し程度           | 湿田以外は、土が湿っていて足跡がつく程度                |        |        |              |
|            | 中干し日数           | 湿田以外は7日程度実施                         |        |        |              |
| 湛水管理       | 田面の均平化          | ていねいな代かき                            |        |        |              |
|            | 湛水管理の目安         | 水管理のための目安棒の設置                       |        |        |              |
|            | 出穂前<br>湛水期間     | 平年の出穂日前20日間                         |        |        |              |
|            | 出穂前<br>湛水期間中の水位 | 土壌表面が水面から出る前に入水                     |        |        |              |
|            | 出穂後<br>湛水期間     | 穂が出はじめてから20日間                       |        |        |              |
|            | 出穂後<br>湛水期間中の水位 | 土壌表面が水面から出る前に入水                     |        |        |              |
|            | 湛水管理後の間断灌水      | 湛水期間終了後、落水まで間断灌水                    |        |        |              |
|            | 土壌・気象条件に応じた落水時期 | 湿田以外は収穫10日～1週間前に落水                  |        |        |              |

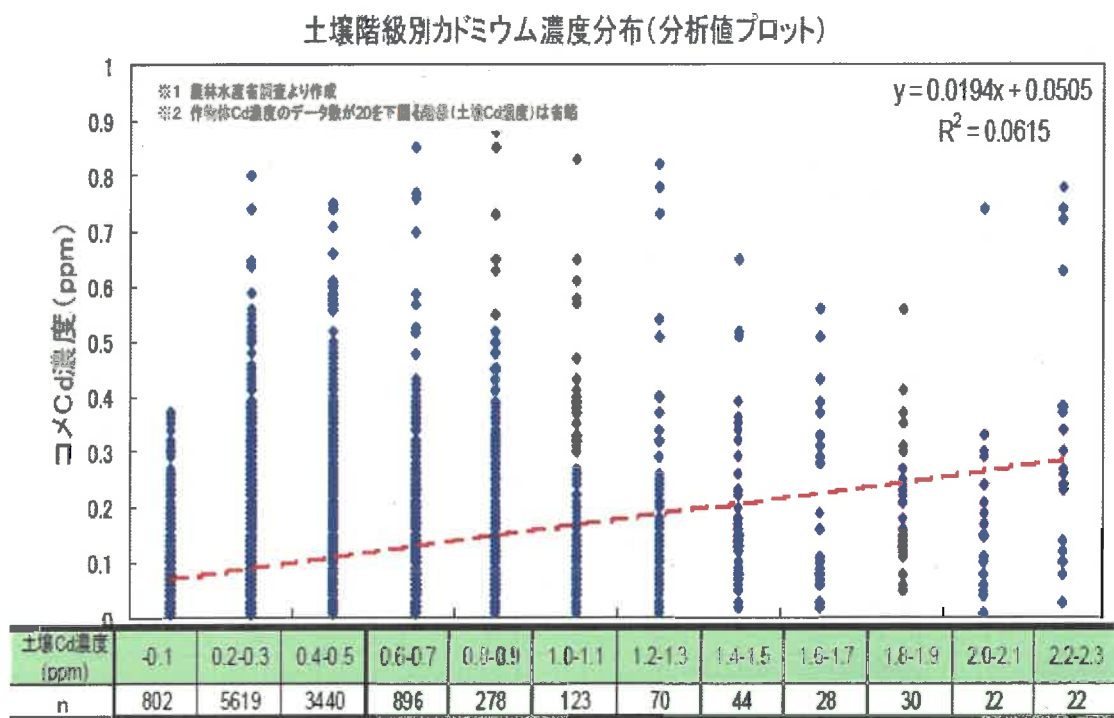
注1 アルカリ資材とは、ケイカル、ミネラル、石灰(炭酸カルシウム)、苦土石灰、サンライム、マリンカル、とれ太郎など  
 注2 麦大豆などの畑作物を栽培すると土壌が酸性化しやすい。アルカリ資材の散布が必要  
 注3 湿田は大きなひび割れを数多く生じさせない限り○とする。

## 〈参考〉

水稻のカドミウムの吸収は、完全には解明されていない。以下の試験データも土壌条件や栽培方法によって異なる可能性があることに十分留意すること。

### 1 玄米のカドミウム濃度と土壌中のカドミウム濃度の関係

土壌中のカドミウム濃度と玄米中のカドミウム濃度は関係がみられない。土壌のカドミウムの平均値は 0.2～0.3ppm である。しかし、下図のように土壌中の値が平均と同程度でも、水管理によっては玄米中のカドミウムが基準値を超える可能性がある。



(注意 土壌 Cd 濃度は、四捨五入されてグラフ化されているため、0.2-0.3 は、0.15-0.34 を示す。)

(環境省ホームページ 公害対策審議会資料より)

## 2 湛水管理とカドミウムの吸収抑制

土壌中のカドミウム濃度が高い場合でも、湛水管理によって玄米中のカドミウム濃度を低くできる。

表 湛水管理による吸収抑制対策の効果（試験）

| 水管理方法              | 玄米中カドミウム濃度 <sup>※1</sup><br>(mg/kg) | 比率   |
|--------------------|-------------------------------------|------|
| 湛水なし <sup>※2</sup> | 0.66                                | 100% |
| 湛水管理 <sup>※3</sup> | 0.18                                | 27%  |

カドミウム濃度 2.4 mg/kg (0.1 mol/L 塩酸抽出) の灰色低地土を用いてポット栽培

※1：3ヶ年の試験での平均値であり、湛水管理によって玄米中カドミウム濃度が有意に低減（5%有意水準、t検定）

※2：出穂21日前から出穂後21日目までの間は間断かん水

※3：出穂21日前から出穂後21日目までにわたって湛水管理を実施

出典：京都府農業総合研究所資料

## 3 カドミウムの水に対する溶解

表 カドミウムの形態と水に対する溶解度

| 化合物                                             | 水に対する溶解度<br>(g/100 g H <sub>2</sub> O) |
|-------------------------------------------------|----------------------------------------|
| 塩化カドミウム CdCl <sub>2</sub>                       | 54.7                                   |
| 塩化アンモニウムカドミウム CdNH <sub>4</sub> Cl <sub>3</sub> | 35.5                                   |
| 硝酸カドミウム Cd(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>       | 61.3                                   |
| 硫酸カドミウム CdSO <sub>4</sub>                       | 43.4                                   |
| 硫化カドミウム CdS                                     | $2.11 \times 10^{-8}$                  |

注：いずれの化合物も水温 25℃における溶解度（出典：化学便覧）

土壌の還元状態が維持されると、土壌中のカドミウムは共存する硫黄と結合し極めて水に溶けにくい硫化物（硫化カドミウム）を形成すると考えられている。一方、土壌が酸化状態となると、カドミウムは硫化物を形成することが困難となる。この結果、土壌溶液中に溶け出すカドミウムイオンの量が増加するため、水稻による土壌中のカドミウム吸収が増大する。

## 4 酸化還元状態の変化に伴う土壌中のカドミウムの変化

水田に水を張った湛水状態を維持すると、土壌は還元状態（酸化還元電位の値は小さくなる）となるが、落水すると土壌は酸化状態（酸化還元電位の値は大きくなる）となる。

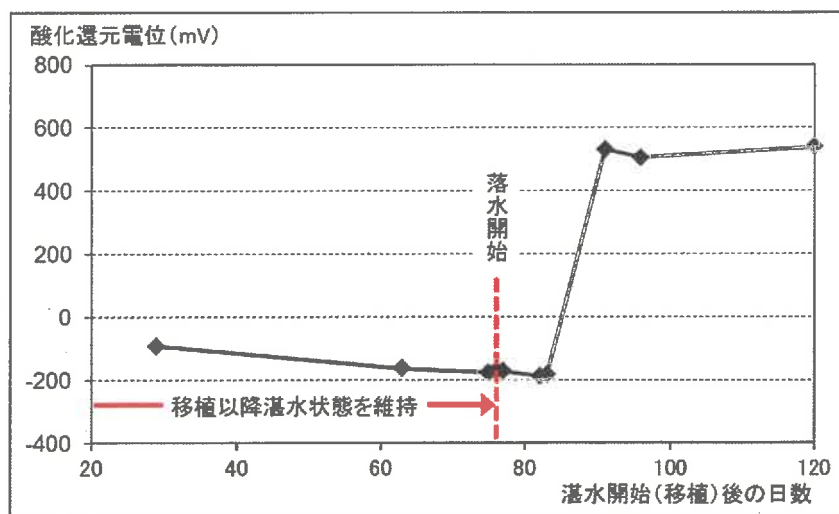


図 湛水状態の変化に伴う土壌の酸化還元電位の変化

注1：水稻をポットで栽培し、定期的に土壌の酸化還元電位を測定。移植以降湛水状態を維持し、移植後75日目に落水。

注2：使用土壌：細粒グライ土、総カドミウム濃度 0.29 mg/kg

出典：農林水産省行政対応特別研究「農用地土壌から農作物へのカドミウム吸収抑制技術等の開発に係る研究」（平成12～14年度）における成果

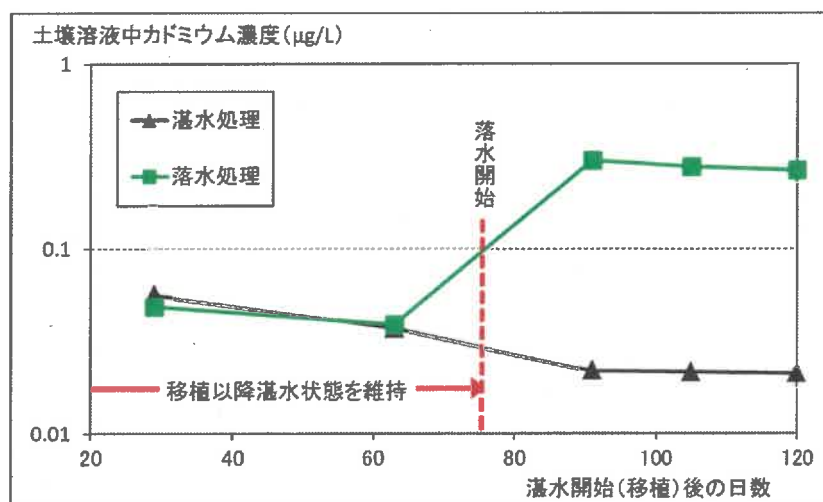


図 湛水・落水状態の変化に伴う土壌溶液中カドミウム濃度の変化

注1：水稻をポットで栽培し、定期的に土壌溶液を採取してカドミウム濃度を測定。落水処理群は移植後75日目に落水し、湛水処理群はそれ以降も湛水状態を維持

注2：使用土壌：細粒グライ土、総カドミウム濃度 0.29 mg/kg

出典：農林水産省行政対応特別研究「農用地土壌から農作物へのカドミウム吸収抑制技術等の開発に係る研究」（平成12～14年度）における成果

## 5 出穂後の落水時期と玄米中カドミウム濃度の関係

| 落水時期※ <sup>1</sup> | 玄米中カドミウム濃度※ <sup>2</sup><br>(mg/kg) | 比率   |
|--------------------|-------------------------------------|------|
| 出穂当日               | 1.4 <sup>a</sup>                    | 100% |
| 出穂後 7 日目           | 1.3 <sup>a</sup>                    | 93%  |
| 出穂後 14 日目          | 0.87 <sup>b</sup>                   | 62%  |
| 出穂後 21 日目          | 0.49 <sup>c</sup>                   | 35%  |

カドミウム濃度 0.78 mg/kg (0.1 mol/L 塩酸抽出) の細粒グライ土を用いてポット栽培

※1: 出穂までは湛水状態で水稻を栽培

※2: 異符号間には有意差あり (5 %有意水準、Tukey 法)

出典: 農林水産省行政対応特別研究「農用地土壌から農作物へのカドミウム吸収抑制技術等の開発に係る研究」(平成 12~14 年度)における成果

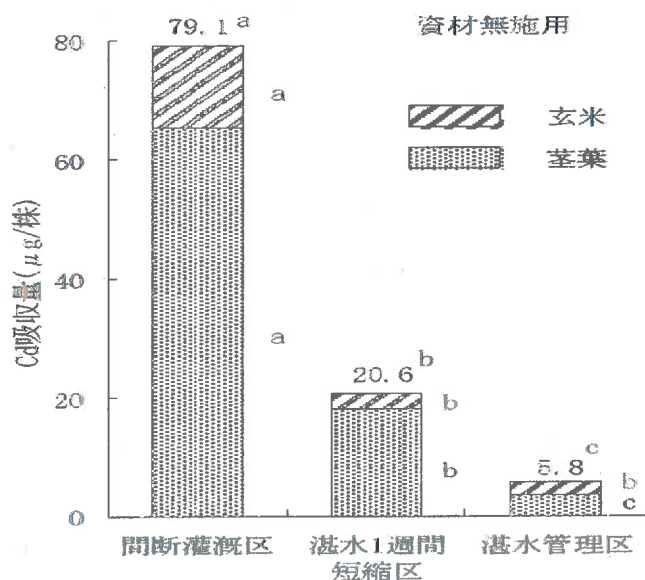
## 6 出穂後の湛水期間とカドミウム吸収量の関係

① 出穂後 20 日間のみ の湛水管理では、出穂前後 40 日間の湛水管理と比べ、玄米中のカドミウム濃度は 2 倍になる。(富山農技センター)

② 出穂後の湛水期間を 1 週間延長し 47 日間にしても吸収抑制に差は無い。(富山農技センター)

③ 出穂後の湛水期間の短縮

出穂後の湛水期間を 3 週間から 2 週間に短縮した試験では、茎葉のカドミウム蓄積量は増加したが、玄米への蓄積量はあまり差がない。



(滋賀農試「水稻に対する湛水处理期間とアルカリ資材施用がカドミウム吸収抑制に及ぼす効果」ポット試験 供試土壌 pH: 5.6、0.1N HCl 浸出カドミウム濃度: 0.9mg/kg)

## 7 アルカリ資材の効果

### (1) アルカリ資材の吸収抑制効果は、湛水管理より効果が小さい

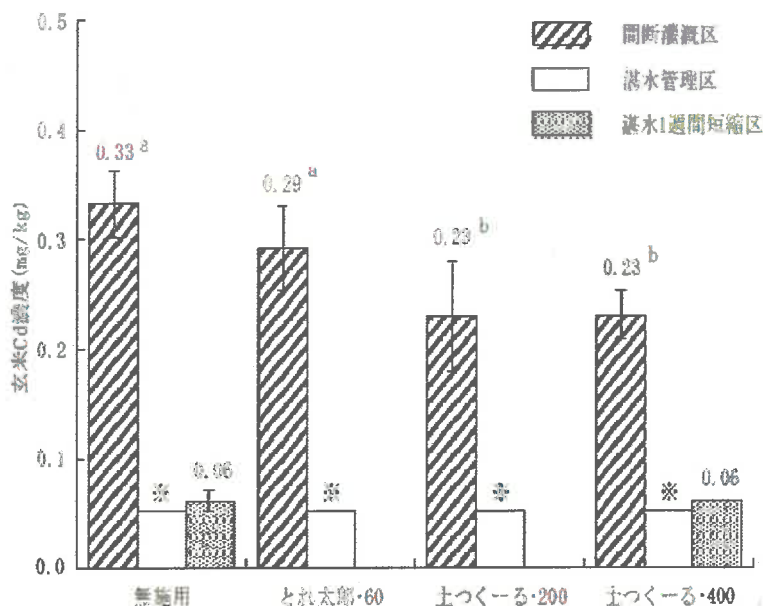


図2 玄米カドミウム濃度

① 湛水管理と比較するとアルカリ資材の吸収抑制効果は小さい。

② 間断灌水ではアルカリ資材の効果は認められる。

③ 資材の量を増やしてもカドミウムの吸収抑制効果は変わらない。

(滋賀農試「水稻に対する湛水处理期間とアルカリ資材施用がカドミウム吸収抑制に及ぼす効果」ポット試験 供試土壌 pH: 5.6、0.1NHCl 浸出カドミウム濃度: 0.9mg/kg)

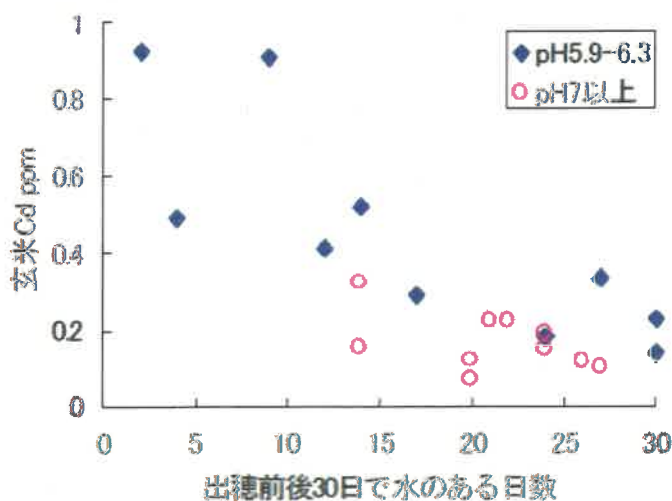


図1 出穂前後の湛水日数と玄米Cd濃度

### (2) 土壌のpHが高いと、湛

#### 水期間を短くできる

pHが高い土壌は、出穂前後の湛水日数が短くても、玄米カドミウム濃度を若干抑制できる。

(宮城県古川農試「多孔質ケイカルによる水稻のカドミウム吸収抑制(第69号追補)水管理による抑制効果の安定化」)

### (3) pH 6.5 と 7.0 の土壌では、カドミウムの吸収量に差がない

カドミウムの吸収抑制に必要な pH は 6.5 であり、資材による差はあまりない。また、熔リンの効果は次年度も継続している。

(新潟県農業総合研究所 水稻の有害重金属類吸収抑制技術の検討

<http://www.ari.pref.niigata.jp/nourinsui/seika03/hukyu/17/030117.html>)

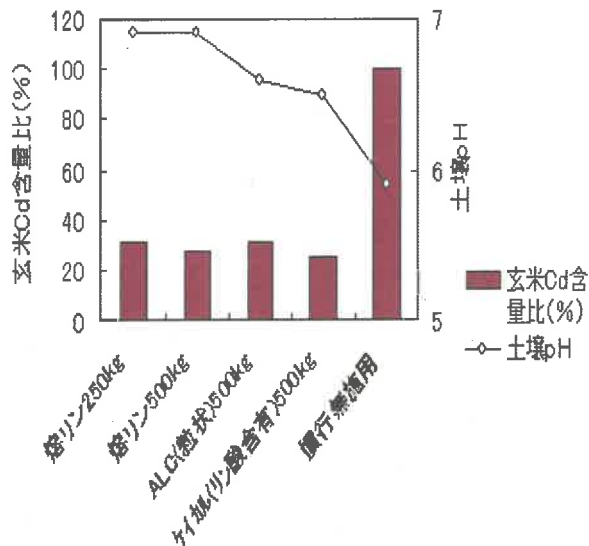


図2 湛水管理と土壌改良資材の玄米カドミウム含量への影響

注) 土壌pHは分げつ期の値である。

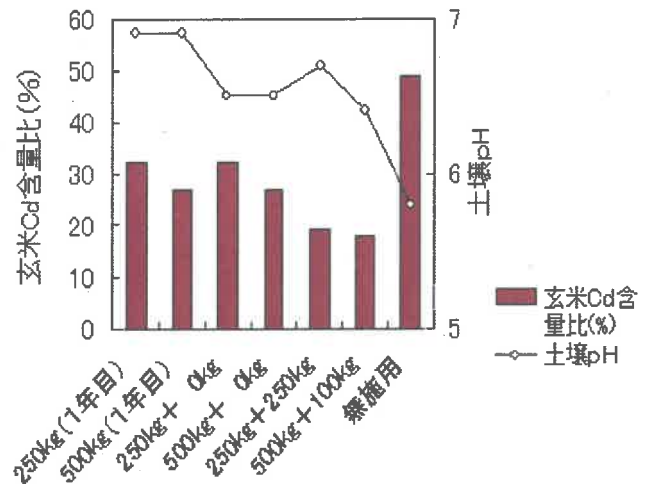


図3 熔リンの2年目の添加量と玄米カドミウム含量への影響

注) 玄米Cd含量比は慣行無施用区に対する指数である。

湛水区の結果である。

土壌pHは分げつ期の値である。

項目軸の+0kg、+100kg、+250kgは2年目の熔リンの添加量(10a当たり)である。

### (4) アルカリ資材の他県の使用事例と基肥の削減

#### ① 他県で推奨されている資材と施用量

|     |           |                               |
|-----|-----------|-------------------------------|
| 滋賀県 | pH 5.5 以下 | ケイカル 420kg/10a + 熔リン 80kg/10a |
|     | pH 6.0 程度 | ケイカル 270kg/10a + 熔リン 80kg/10a |
|     | pH 6.5 以上 | ケイカル 160kg/10a + 熔リン 40kg/10a |
| 秋田県 | ケイカル      | 180kg/10a + 熔リン 60kg/10a      |
| 新潟県 | 熔リン       | 500kg/10a                     |
| 富山県 | ケイカル      | 600kg/10a                     |

#### ② 新潟県では熔リンによるアルカリ効果で窒素の発現が見られるため、連用開始から3年程度は基肥30%から50%の削減を提示している。

アルカリ効果は土壌により異なり一般的に肥沃な水田ほど大きい。

(5) 湛水しても含鉄資材や有機物が少ないと水田土壌のpHは中性付近に変化しないことがある

- ① 水田土壌のpHは湛水により時間経過とともに中性付近に変化することが知られている。
- ② 酸性土壌の場合は、鉄がこの反応に関与するので、鉄の少ない土壌では酸性から中性付近に変化しない恐れがある。
- ③ 山口農試の調査では、県内水田土壌の平均pHは5.7である。  
長年アルカリ資材を投入していない水田や麦等を栽培した後では、pHが低い可能性がある。
- ④ 湛水による土壌pHの変化  
土壌中の鉄の形態変化により酸性が中和される。また、有機物が分解して発生する二酸化炭素によりアルカリ性が中和されるため、湛水すると土壌のpHは中性～弱酸性に徐々に近づく。

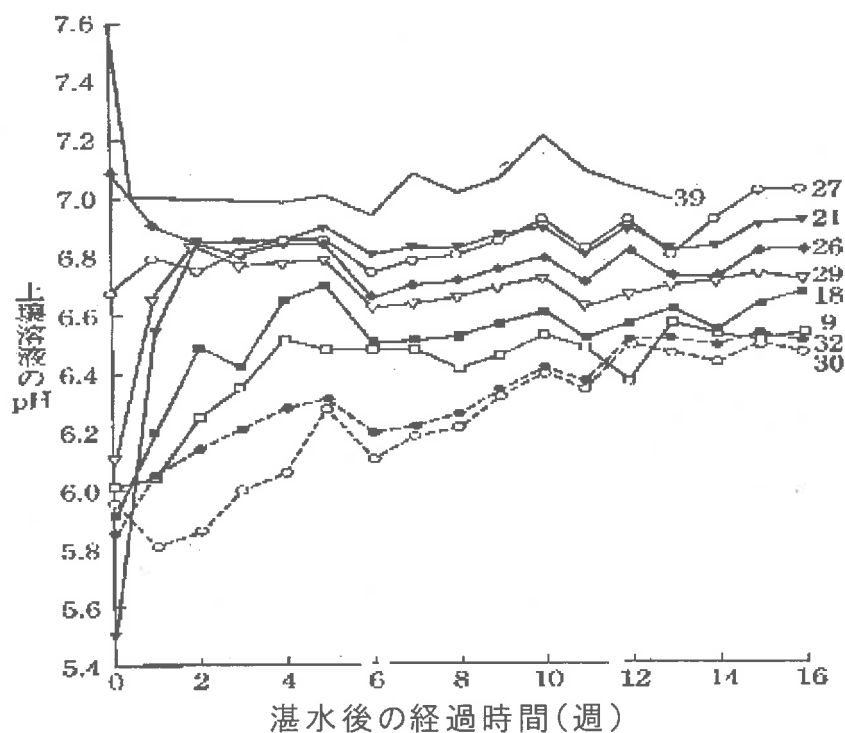


図 湛水にともなう土壌pHの変化(1966)

\* 図中の番号は土壌試料を示す。