

カドミウム汚染土壌浄化用イネ品種

ファイレメ CD1 号 栽培管理マニュアル

ver.1.0



農研機構 農業環境変動研究センター
2020年3月

はじめに

カドミウムは天然に広く存在する元素であり、農産物や水産物にもごく微量に含まれています。わが国では、食品を通じて一生涯摂取しても健康に悪影響が出ないように、「玄米および精米で 0.4 mg/kg 以下」の基準値を設け、コメに含まれるカドミウム濃度を管理しています。

これまでにカドミウム濃度の高いコメが生産される恐れのある地域では、コメのカドミウム濃度を下げするため、カドミウム濃度の低い土壌を他から運んでくる「客土法」や出穂前後 3 週間の水田を湛水状態で維持する「湛水管理」などの対策に取り組んでいます。また近年、カドミウムをほとんど吸収しない水稻品種「コシヒカリ環 1 号」が育成され、「コメ中のカドミウム低減のための実施指針（農林水産省、2018 年 1 月 12 日改訂）」に基づき、同品種の低カドミウム遺伝子を導入した新規カドミウム低吸収品種の育成が加速化されています。

このような中、農研機構では、新たな対策技術として、「カドミウム高吸収イネを用いたカドミウム汚染水田の土壌浄化技術」（ファイトレメディエーション）を開発しました。この技術は、カドミウム高吸収イネに土壌中のカドミウムを吸収させ、植物体を水田外に持ち出すことで土壌浄化をおこなうものです。この技術の利点は低コストで環境負荷が小さく、栽培現場で取り組みやすいこと、また、農地の土壌カドミウム濃度を低減するため、麦や大豆など水田裏作物にも効果が期待できることです。そして「ファイレメ CD1 号」は、同技術を効率的に実践するため、農研機構がカドミウム汚染水田土壌浄化専用として育成したカドミウム高吸収イネ品種です。

農研機構では、本技術実施の一助となることを目指し、対象地域の実態に応じて技術指導を行う公設農業試験場の担当者や普及員、または実際に栽培を行う農家を対象として、「カドミウム高吸収イネを用いたカドミウム汚染水田の土壌浄化技術」と「ファイレメ CD1 号の栽培管理」について紹介した本マニュアルを作成しました。「植物による土壌カドミウム浄化技術確立実証事業実施の手引き(第 2 版)」(参考文献 2) とともにご活用いただければ幸いです。

目次

はじめに
目次

第1章

カドミウム高吸収イネを用いた

カドミウム汚染水田の土壤浄化技術

- 土に含まれるカドミウムを植物の力で浄化する!.....1
- 「ファイレメ CD1 号」どんなイネ?.....3
- 「ファイレメ CD1 号」の特性.....4
- 「ファイレメ CD1 号」を用いた
カドミウム汚染水田の土壤浄化技術の概要... 5

第2章

「ファイレメ CD1 号」の栽培管理

- 早期落水栽培時における「ファイレメ CD1 号」の栽培管理...6
 1. 耕起・代かき
 2. 種子予措
 3. 播種育苗
 4. 移植
 5. 施肥
 6. 早期落水
 7. 雑草防除
 8. 病虫害防除
- 栽培上の注意点.....10
- 実証栽培における各地の植え付け時期.....12
- 「ファイレメ CD1 号」の栽培ごよみ.....13
- 土壤浄化-栽培例 1~3.....14
- 採種用-栽培例.....17

参考文献.....18

第1章

カドミウム高吸収イネを用いた

カドミウム汚染水田の土壌浄化技術

土に含まれるカドミウムを 植物の力で浄化する！

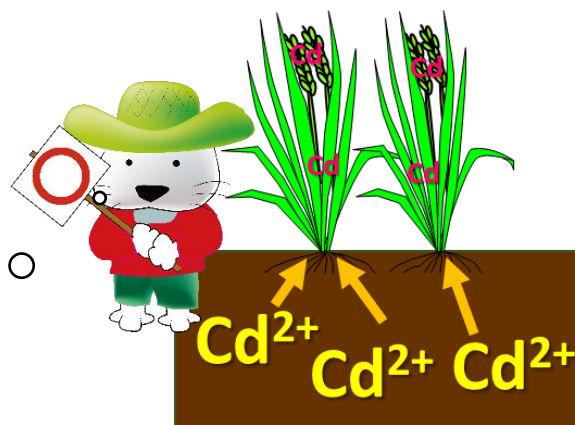
植物の根がカドミウム等の物質を吸収する能力を利用して、土壌を浄化する技術を「ファイトレメディエーション」と言います。水田土壌に含まれるカドミウムの浄化には、「カドミウム高吸収イネ」を用いることが適しています。

水田土壌中のカドミウムは、湛水状態(土壌中の酸素が少ない状態)のとき、イネが吸収しにくい硫化物の形態となります(不可給化： CdS)。しかし、落水し土壌に亀裂が入るなど、土壌中に酸素がある状態のとき、土壌中のカドミウムはイネが吸収しやすいイオン態(Cd^{2+} など)に変化します。



湛水状態

Cd(カドミウム)がS(硫黄)と結合しイネが吸えない形に。

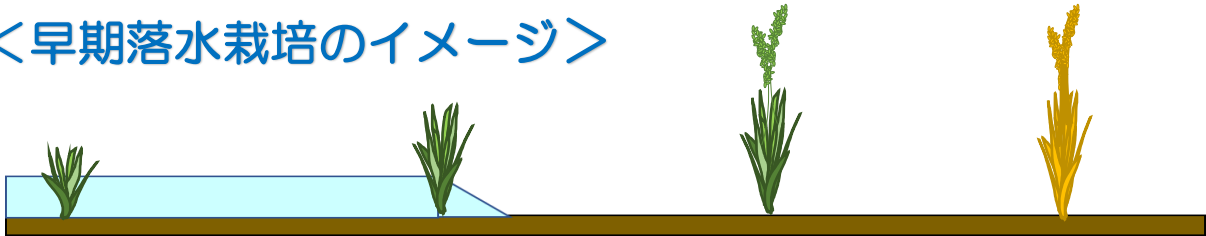


落水状態

Cd(カドミウム)がS(硫黄)から離れイネが吸える形に。

そのため、カドミウム高吸収イネに土壌のカドミウムを吸わせる「ファイトレメディエーション」は、**中干し以降、落水状態を維持する「早期落水栽培」**を行います。

<早期落水栽培のイメージ>



「早期落水栽培」では、移植から中干し開始時期まで湛水栽培を行い、イネの生育量を確保します。その後、収穫期まで落水状態を維持し、土壌中のカドミウムの可給化を促進します。落水期間中、水田への水の供給は基本的に雨水です。

イネでは出穂期前後にカドミウムの吸収が高まります。カドミウム高吸収品種は、落水した水田土壌からカドミウムを吸い上げ地上部（わらと粃）に蓄えます。収穫期に地上部を株元から刈り取り、圃場外に搬出することで土壌中のカドミウムを取り除きます。搬出した地上部は焼却処分し、灰に残ったカドミウムを回収します。

イネによる土壌カドミウムの浄化技術は、
(ファイトレメディエーション)

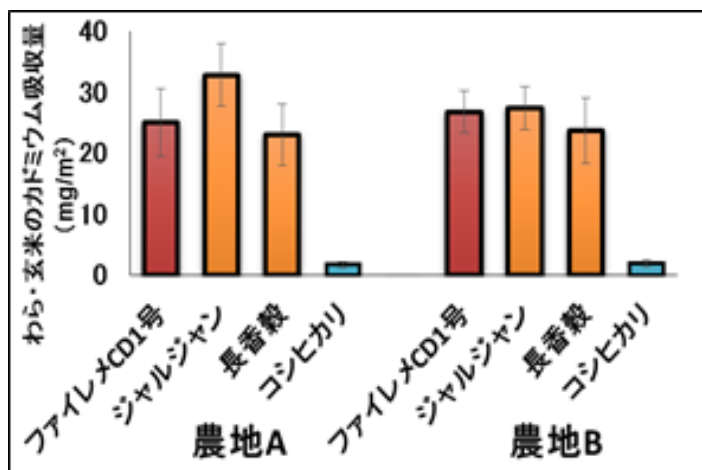
カドミウム高吸収イネ品種と**早期落水栽培**を

組み合わせた手法です。

「ファイレメ CD1 号」

どんなイネ？

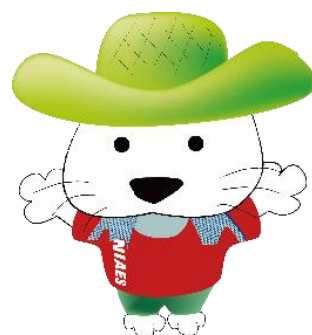
「ファイレメ CD1 号」は、水田に含まれるカドミウムを浄化するのに最適なカドミウム高吸収品種です。カドミウム汚染水田の土壌浄化専用品種として育成されました。



コシヒカリ ファイレメ CD1 号

「ファイレメ CD1 号」などのカドミウム高吸収品種は「コシヒカリ」などと比較して、カドミウムをわらなどの地上部組織に蓄える能力が高い品種です。

早期落水栽培で管理した場合、我が国のカドミウム基準値(玄米・精米で 0.4 ppm)を大きく超過するため、食用には適しません。



「ファイレメ CD1 号」の特性

これまで同技術の栽培試験で使われてきたカドミウム高吸収品種「長香穀」と比較して、カドミウム吸収量はそのまま、「脱粒しにくく」、また「倒れにくく」改良されています。「ファイレメ CD1 号」は、世界で初めて汚染土壌浄化専用イネ品種として品種登録されました。

特 徴：**カドミウム高吸収**

来 歴：ブータン原産でインディカタイプのカドミウム高吸収イネ品種「Jarjan(ジャルジャン)」にガンマ線を照射して作出した難脱粒性および短稈性を持つ突然変異体

出 穂：育成地(茨城県つくば市)での出穂はコシヒカリより6日遅い

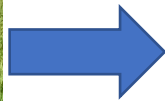
病 害：いもち病圃場抵抗性は「真性抵抗性」
白葉枯病圃場抵抗性は「かなり弱」

登録年：2018年

育 成：国立研究開発法人
農業・食品産業技術総合研究機構



カドミウム高吸収イネを用いた カドミウム汚染水田の土壌浄化技術 (ファイトレメディエーション) の概要



カドミウム高吸収イネ品種
「ファイレメ CD1 号」
早期落水栽培

収穫



乾燥・運搬

焼却処分

カドミウムを大気等の環境
中に拡散させずに回収可能
な施設で実施



機械収穫・乾燥・運搬・焼却等の
詳細については
参考文献2をご覧ください。

第2章

「ファイレメ CD1 号」の栽培管理

早期落水栽培時における 「ファイレメ CD1 号」の 栽培管理

1. 耕起・代かき

漏水防止と均平性が維持できる程度に回数を減らし、省コスト化に努めましょう。

2. 種子^{よそ}予措

種子伝搬性の病害（いもち病、馬鹿苗病、ごま葉枯病、苗立枯病など）や虫害（イネシンガレセンチュウなど）を防ぐために種子消毒を必ず行いましょう。

「ファイレメ CD1 号」は、コシヒカリ等と比較して浸種から鳩胸状態に至るまでの時間が短いです。催芽器を用いて芽出しをする場合は、芽が伸びすぎないように、早めに発芽状況の確認を行ってください(目安：30℃で発芽誘導の場合、36 時間～40 時間)。



3. 播種育苗

乾粳 130 g~150 g/苗箱程度播種しましょう。ファイレメ CD1 号は、通常の食用品種と異なり、粒が薄く干粒重も軽いです。その分、播種量が多くなりますが、食用品種と比較して苗が弱いため、多めの播種をお勧めいたします。また、立ち枯れ病などの予防のため、播種後、苗箱にタチガレン等の殺菌剤を施用しましょう。

表1 ファイレメ CD1 号の粗玄米干粒重

	粗玄米干粒重 (水分含量 15%換算)
ファイレメ CD1 号	18.6 g
コシヒカリ	21.0 g

注：茨城県つくば市（育成地）2ヶ年平均値

4. 移植

栽植密度は 60~70 株/坪程度。苗は徒長しやすく弱い
ため、田植え機の苗かき取り量を多めにし、欠株をふせぎ
ましょう。



5. 施肥

「ファイレメ CD1 号」の耐倒伏性程度は、コシヒカリ並みです。栽培地域の食用品種の施肥量を基準とし、過剰な施肥を控え、倒伏を防ぎましょう。倒伏は作業効率の低下だけでなく、わらに蓄積するカドミウムの量が伸び悩む原因となります。

分施肥を検討する場合は、早期落水時期までに生育量を確保させるため、基肥の比率を多めに計画してください。また、「ファイレメ CD1 号」は、インディカタイプのため、日本品種より葉色は薄く、分けつ数もコシヒカリと比較して少ない特徴があります（P.17 表 8 を参照）。そのため、追肥量を葉色や分けつ数で判断せず、草丈や分けつ数の増加が認められれば、計画通りの施用量で追肥を行います。



コシヒカリ

ファイレメ CD1 号

日本晴

図 1 移植後、約45日のファイレメ CD1 号
(2012年 茨城県つくば市)

6. 早期落水

中干し以降は、出穂期を含め収穫期まで落水状態を維持します。この落水により、土壤中に酸素が供給され、土壤中のカドミウムが、植物に吸収されやすい形態に変化します。

7. 雑草防除

初期一発除草剤を使用し、適切な防除体系を維持しましょう。ただし、ベンゾビシクロン、メソトリオン、テフリルトリオンのいずれかの成分を含む除草剤に感受性を示すため、使用しないよう十分注意してください。

＜参考資料＞

農研機構プレスリリース（2010年3月26日）

飼料用イネなどが一部の除草剤に弱いことが判明

http://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/press/laboratory/carc/O13033.html



8. 病害虫防除

土壌浄化では省力化栽培行うため、中干し以降の病害虫防除は行いませんが、畦畔より侵入するメイチュウ等の食害により白穂が発生した場合には、倒伏予防を兼ね、殺虫剤の散布を行きましょう。



図2 稈の食害により白化した穂



図3 稈基部の食害痕

栽培上の注意点



1. 落水が十分できたとき、不稔が発生します

土壤浄化の実施において、重要なポイントの一つが、中干し以降の落水の徹底です。

「ファイレメ CD1 号」では、水田の落水が十分に出来た場合、水分ストレス(水不足)を受け不稔が発生します。一方、高い稔性が得られた場合は、落水不足と判断できます(カドミウム収奪量の低下)。

早期落水時に日射量が少なく降雨量が多い年には、排水不良を回避するため溝切りを推奨します。特に土壤浄化 1 年目は、落水後の乾田化の進行が穏やかなため注意が必要です。



図4 早期落水により不稔が発生した「ファイレメ CD1 号」

2. 不稔が発生しても、わらはカドミウムを吸収しています

わらに含まれるカドミウムの濃度は、玄米に比べて高いため、十分な落水により不稔が発生しても、カドミウム収奪量には影響がありません。一方、稔性がある場合は、落水が不十分であり、イネが吸収できる土壤中のカドミウムの量が低くなるため、わらに含まれるカドミウム濃度も低下します(カドミウム収奪量の低下)。

3. 少雨年の早期落水栽培について

梅雨明け後、極端に降雨が少なく、図5のように田面に生じた亀裂の深部まで土壌が乾燥した場合には、著しい生育阻害が起きることがあります。

その場合は、^{はしりみず}走水をおこない、土壌水分量の回復を図ります。しかし、この場合も湛水にする必要はなく、田面の隅々まで水が行き渡る程度で良いです。

特に、土壌浄化2年目以降は、初年目と比較して落水後の乾田化の進行が早く、過乾燥が発生する可能性があります。イネは土壌から水を吸収できないと、カドミウムも吸収しません。



図5 過乾燥気味の土壌表面

出穂前に降雨量が少なく用水が枯渇し、約1か月間走水もできない状況。

4. 刈り遅れにご注意ください

「ファイレメ CD1 号」では、黄化期における強風や大雨により、倒伏する可能性が高まります。無駄な倒伏を防ぐため茎葉が黄化した時点で適期収穫を行ってください。

補足 採種圃場では慣行の水管理を行います。

「ファイレメ CD1 号」は、早期落水栽培で不稔を生じますが、慣行の間断灌漑や湛水栽培では、十分な稔性が得られます。原種管理の担当者は、通常の品種同様に倒伏防止、異株と水管理に留意し種子増殖を実行してください。

実証栽培における各地の植え付け時期 (参考情報)

＜土壌浄化：早期落水栽培＞

1. 東北地方



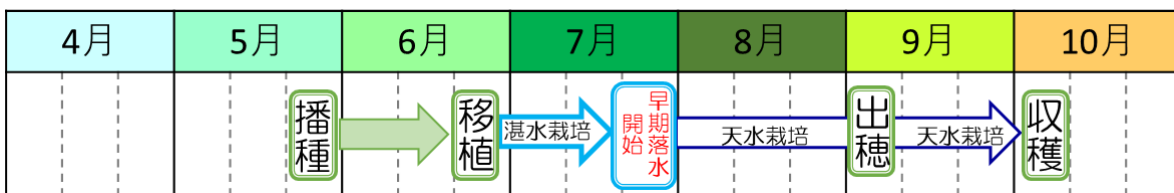
2. 北陸地方



3. 中部地方（山間部）



4. 九州地方(麦2毛作)

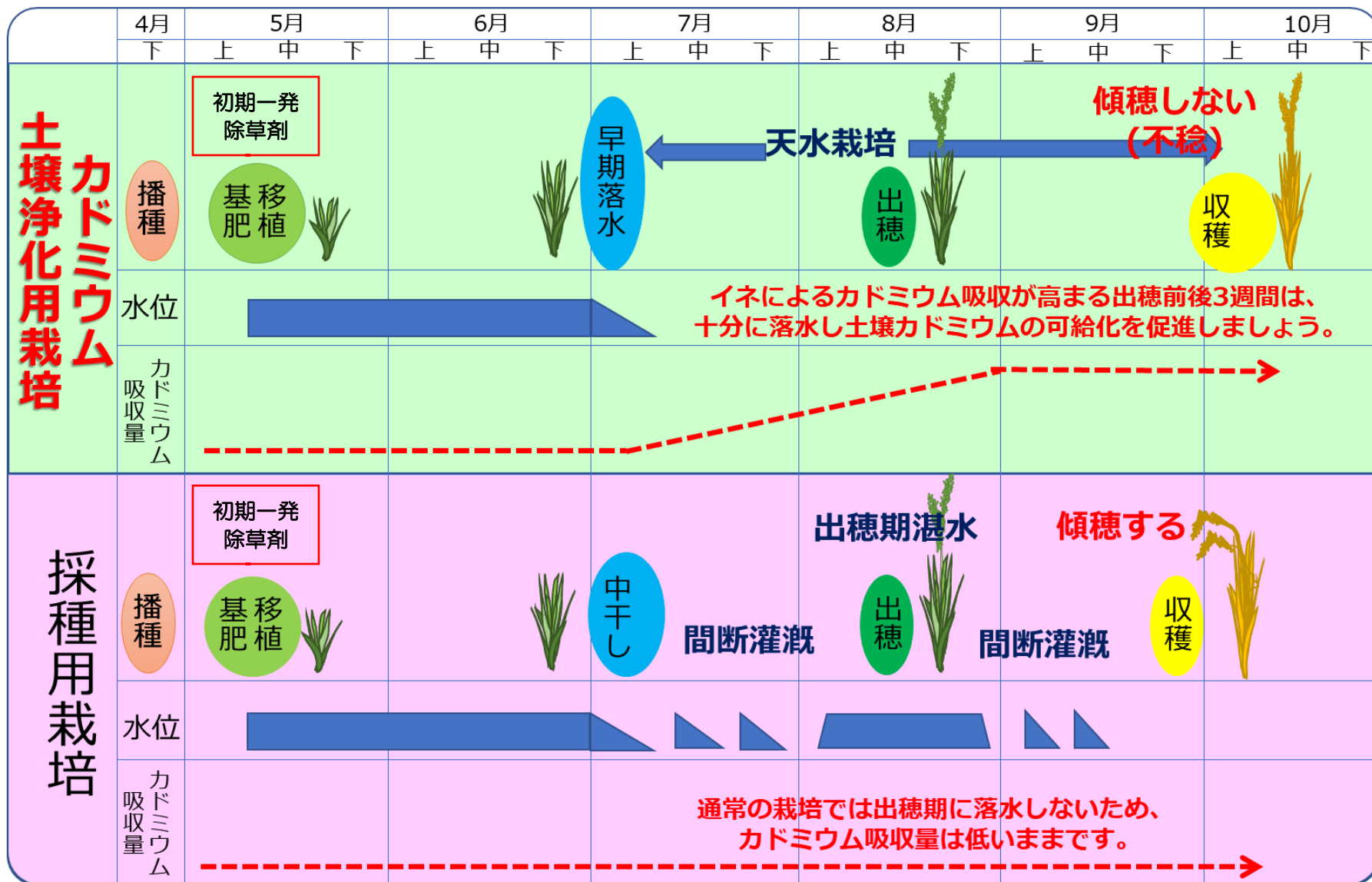


＜採種：中干し+間断灌溉(慣行栽培)＞

1. つくば市



「ファイレメ CD1 号」の栽培ごよみ（育成地：つくば市）



土壌浄化用栽培にはカドミウム可給化促進のための落水により不稔が発生します。採種用栽培では慣行の水管理を行います。

土壌浄化-栽培例 1

(追肥なし)

A 圃場 (東北地方)

<土壌>斑鉄型グライ低地土

<耕種概要>

播種日：4月下旬

移植日：5月下旬

栽植密度：20.7 株/m² (22cm×22cm)

基肥：(N:P:K) = 6.0:9.0:7.0kg/10a

早期落水栽培：7月上旬～

収穫：10月上旬



表2 生育概要

品種名	出穂期 (月/日)	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/m ²)	わら重 (kg/10a)	穂重 (kg/10a)	倒伏程度 ¹⁾ (0-5)
ファイレメCD1号	8/20	91	26.9	234	865	309	0.1
長香穀	8/15	71	23.0	498	576	371	2.8

ファイレメCD1号は2014-2015平均値(穂重は2015のみ)、長香穀は2014-2016平均値(穂重のみ2015-2016)

1) 成熟期の倒伏程度：0(無倒伏), 1(<20%倒伏), 2(<40%倒伏), 3(<60%倒伏), 4(<80%倒伏), 5(≤100%倒伏)

表3 イネ地上部によるCd収奪量と土壌Cd濃度の推移

栽培年	品種名	イネ地上部Cd収奪量 (g/10a)		土壌Cd濃度 ¹⁾ (土壌深度：0-15cm)		
		長香穀比		栽培前 (mg kg ⁻¹)	栽培後 (mg kg ⁻¹)	減少率 (%)
2014 ²⁾	ファイレメCD1号	15.6	1.4	0.45	-	-
	長香穀	11.3	-			
2015	ファイレメCD1号	18.8	1.6	0.64	0.54	15.7
	長香穀	11.7	-	0.63	-	

2014年と2015年は隣接する異なる圃場で栽培

1)0.1M塩酸抽出法。

2)参考値。土壌濃度は試験区全体の平均値。

土壌浄化-栽培例2

(追肥 1 回あり)

B 圃場 (九州地方)

<土壌>

灰色低地土

<耕種概要>

播種日：5月下旬

移植日：6月下旬

栽植密度：22.2 株/m² (30cm×15cm)

基肥：(N:P:K) = 8.0:5.2:4.0 kg/10a

追肥：(N:P:K) = 2.0:0.0:0.0 kg/10a

早期落水栽培：7月下旬～

収穫：10月上旬



表4 生育概要

品種名	出穂期 (月/日)	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/m ²)	わら重 (kg/10a)	穂重 (kg/10a)	倒伏程度 ¹⁾ (0-5)
ファイレメCD1号	9/10	94	27.5	207	713	240	1.0
長香穀	9/2	100	23.6	362	607	384	4.0

2014-2016平均値

1) 成熟期の倒伏程度：0(無倒伏), 1(<20%倒伏), 2(<40%倒伏), 3(<60%倒伏), 4(<80%倒伏), 5(≤100%倒伏)

表5 イネ地上部によるCd収奪量と土壌Cd濃度の推移

栽培年	品種名	イネ地上部Cd収奪量		土壌Cd濃度 ¹⁾ (土壌深度：0-15cm)		
		(g/10a)	長香穀比	栽培前 (mg kg ⁻¹)	栽培後 (mg kg ⁻¹)	減少率 (%)
2014 ²⁾	ファイレメCD1号	27.0	1.5	0.45	-	-
	長香穀	18.5	-			
2015	ファイレメCD1号	16.3	1.7	0.55	0.47	14.5
	長香穀	9.7	-	0.52	0.54	-3.8
2016	ファイレメCD1号	20.2	1.1	0.51	0.44	13.7
	長香穀	17.9	-	0.55	0.44	20.0

各年とも同一圃場内の異なる場所で栽培

1)0.1M塩酸抽出法。

2)参考値。土壌濃度は試験区全体の平均値。

土壌浄化-栽培例 3

(追肥 2 回あり)

C 圃場 (北陸地方)

<土壌>

粗粒質斑鉄型グライ低地土

<耕種概要>

播種日：4月中旬

移植日：5月下旬

栽植密度：22.2 株/m² (2014 年 30cmx15cm)

19.6 株/m² (2015 年以降)

基肥：(N:P:K) = 3.0:3.0:3.0 kg/10a

追肥① (7月中旬)：(N:P:K) = 2.5:0.0:0.0 kg/10a

追肥② (7月下旬)：(N:P:K) = 2.5:0.0:0.0 kg/10a

早期落水栽培：6月中旬～

収穫：10月上旬



表6 生育概要

品種名	出穂期 (月/日)	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/m ²)	わら重 (kg/10a)	穂重 (kg/10a)	倒伏程度 ¹⁾ (0-5)
ファイレメCD1号	8/14	91	32.8	232	704	248	0.0
長香穀	8/5	93	25.8	472	595	460	2.7

ファイレメCD1号は2014-2015平均値(穂重は2015のみ)、長香穀は2014~2016平均値(穂重は2015-2016のみ)

1) 成熟期の倒伏程度：0(無倒伏), 1(<20%倒伏), 2(<40%倒伏), 3(<60%倒伏), 4(<80%倒伏), 5(≤100%倒伏)

表7 イネ地上部によるCd収奪量と土壌Cd濃度の推移

栽培年	品種名	イネ地上部Cd収奪量		土壌Cd濃度 ¹⁾ (土壌深度：0-15cm)		
		(g/10a)	長香穀比	栽培前 (mg kg ⁻¹)	栽培後 (mg kg ⁻¹)	減少率 (%)
2014 ²⁾	ファイレメCD1号	2.7	1.0	0.50		
	長香穀	2.7	-			
2015	ファイレメCD1号	29.7	1.2	0.46	0.42	7.8
	長香穀	23.9	-	0.39	0.38	3.3

各年ともに同一圃場内の異なる場所で栽培

1)0.1M塩酸抽出法。

2)参考値。土壌濃度は試験区全体の平均値。

注)2014 年は落水期間中の多雨により土壌の酸化が不十分となりカドミウム収奪量が低下した。

採種用-栽培例

(追肥 1 回あり)

茨城県つくば市 (育成地)

<土壌>

灰色低地土

<耕種概要>

播種日：4 月下旬

移植日：5 月 20 日前後

栽植密度：22.2 株/m² (30cm×15cm)

元肥 NPK=5.0 : 5.0 : 5.0kg/10a

追肥 NPK=5.0 : 5.0 : 5.0kg/10a

表8 慣行栽培における生育概要(2014年～2016年の平均値)

品種名	出穂日 (月/日)	成熟日 (月/日)	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/m ²)	風乾 わら重 (kg/10a)	精もみ重 (kg/10a)	倒伏程度 ¹⁾ (0-5)
ファイレメCD1号	8/11	9/19	111	31	216	761	430	1.8
長香穀	8/4	9/4	107	27	414	596	635	5.0
コシヒカリ(比較)	8/5	9/11	91	20	326	725	697	1.2

¹⁾ 成熟期の倒伏程度：0(無倒伏), 1(<20%倒伏), 2(<40%倒伏), 3(<60%倒伏), 4(<80%倒伏), 5(≦100%倒伏)



コシヒカリ

ファイレメ CD1 号

図6 傾穂期の草姿

(つくば市慣行栽培、2015年9月4日撮影)

<参考文献>

1. 品種登録「ファイレメ CD1 号」、
品種登録番号 第 26846 号、2018 年 5 月 29 日
2. 植物による土壌カドミウム浄化技術確立実証事業実施の手引き(第 2 版)、農林水産省・農研機構農業環境変動研究センター、2018 年 1 月
http://www.maff.go.jp/j/syouan/nouan/kome/k_cd/2_taisaku/attach/pdf/01_tec-9.pdf
3. コメ中のカドミウム低減のための実施指針、農林水産省消費・安全局、2018 年 1 月改訂
<https://www.maff.go.jp/j/press/syouan/nouan/attach/pdf/180112-1.pdf>
4. 安部ら(2013)、育種学研究、15(2)、17-24、(本論文の MJ3 はファイレメ CD1 号の系統名)
https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsbbr/15/2/15_17/_pdf/-char/ja



栽培実証試験やイネを用いたカドミウム汚染土壌の浄化技術等の詳細については、参考文献 2 をご参照ください。

<謝辞>

本マニュアルにおけるデータの一部は、農林水産省の研究委託事業*において実施した研究課題「より効率的な土壌浄化を可能にするカドミウム高吸収稲品種の選抜と栽培技術の確立」(2014~2016 年、課題番号: 2603) によって取得したものである。

* レギュラトリーサイエンス新技術開発事業及び安全な農林水産物安定供給のためのレギュラトリーサイエンス研究委託事業

http://www.maff.go.jp/j/syouan/seisaku/regulatory_science/shuryo.html

執筆担当

農研機構 農業環境変動研究センター
有害化学物質研究領域
作物リスク低減ユニット

問い合わせ先

農研機構
農業環境変動研究センター（研究推進室）
〒305-8604 茨城県つくば市観音台 3-1-3
電話：029-838-8191
メール：niaes_kouhou@ml.affrc.go.jp

