

鉄コーティング種子を用いた水稻の直播における 水管理と病害虫・雑草問題

(独) 農研機構 近畿中国四国農業研究センター 山内 稔

1. はじめに

移植栽培を直播栽培に変換することは稲作のコスト低減において避けて通れない課題である。しかしながら、長年の関係者の努力にもかかわらず、我が国の稲作に占める直播面積は1%程度にとどまっている。直播技術が未確立であるため、多くの生産者は機械移植を続けている。アジアの国々では機械移植が普及していないため、直播栽培の普及面積は14%と日本より大きい。一方で、アメリカでは移植の歴史はなく直播が100%である。米の国際化が進みつつある中で、移植から直播への変換は日本のみならずアジアにおいても重要な課題である。

このような状況下で、鉄コーティング種子の直播栽培技術が2004年に技術化され、普及の兆しを見せている。直播は多様な自然条件下の水田において様々な考えや技術を持った生産者によって実施される。そのため、試験研究機関によって開発された技術はそのままでは通用せず、生産者等による試験栽培を通じて改善された後に実用化される。そこで、本稿においては鉄コーティング直播技術について最近の状況を概説するとともに、現在普及現場で最も関係者が苦慮している水管理について、苗立ちの安定化と雑草害の軽減という視点から問題点を整理した。

2. 鉄コーティング種子を用いた直播技術の概要

イネの浸種催芽種子を鉄粉と焼石膏の混合物で覆い、鉄を酸化させ発生した錆で固化した後乾燥して、鉄コーティング種子が出来上がる。保存性があるため農閑期に準備しておき、水田を代かきした後でそのまま土壌表面に播種するのが、鉄コーティング湛水直播である。本技術の詳細についてはマニュアルや動画を近畿中国四国農業研究センターのホームページに載せている。

鉄コーティング湛水直播マニュアル 2010
http://wenarc.naro.affrc.go.jp/tech-i/iron_coating_seed/iron_coating_seed.pdf

鉄コーティング種子のつくり方 http://wenarc.naro.affrc.go.jp/seika/seika_movie/video/07_tetu_coat/07_tetu_coat.html

本技術の開発の背景や普及の状況については本誌（山内2004、宮越2011a）を参照していただきたい。ここでは最近整理された技術のポイントを紹介する。

（1）従来技術との違い

我が国では1980年代から酸素発生剤で催芽種子をコーティングして土中に播種する技術が推奨されてきた。この技術は湛水直播における浮き苗の問題を解決し、また耐倒伏性の向上が期待されているが、酸素がなくしかも還元され

表－１ 湛水直播における土中播種と表面播種の違い

	土中播種	表面播種
メリット	浮き苗の発生を抑制	種子への酸素供給
	耐倒伏性の向上	播種が簡易
デメリット	酸素不足	浮き苗の発生
	土壌還元による障害 精度の高い播種深度	
技術	酸素発生剤によるコーティング	無代かきの湛水播種（アメリカ型）
	土中播種耐性品種の活用	代かき後の落水播種（アジア型）
	落水出芽	種子の比重調節（鉄コーティング種子）
	高精度播種機の使用	

た土中に播くためのデメリットもある（表－１）。土中播種技術で安定な苗立ちを得るためには、次の３条件を満たす必要がある。

- 1) 酸素発生剤で催芽種子をコーティングするまたは土中播種に適した低酸素耐性品種を使う。
- 2) 土壌還元による障害を避けるため、落水出芽を実施する。
- 3) 播種深度を正確に保つ。播種深度が浅いと浮き苗になりまた鳥害を受けやすく、逆に深すぎると出芽不良になるためである。

生産現場においてこれら３条件を満たすことは至難であろう。

一方、表面播種では水中で種子が浮き上がるというデメリットがある。これを解決するために次のような方法がとられている。

- 1) 無代かき湛水表面播種（Water seeding）：乾田耕起したのち湛水して催芽種子を散播する。催芽種子は薄い泥の層で覆われ、また土塊の隙間に固定される。アメリカで普及している。

- 2) 落水表面播種（Wet seeding）：代かき直後に強制落水して催芽種子を播く。アジアで普及している。日本では潤土直播と呼ばれ一時普及が試みられた。

- 3) 鉄コーティング種子の直播：種子の比重を高めることにより、浮き苗の発生を抑制する。

アメリカやアジアにおいて直播が日本より普及している一因は、土中播種に比べて制約の少ない表面播種が導入されているためとも考えられる。アメリカの湛水直播では、規模が大きいため播種前の浸種催芽処理が作業効率を落とすといわれている（Hill ら 1991）。そのため、一部ではあるが、接着剤でタルクを付着させた乾粉を湛水播種する方法もとられている。一方、アジアで直播面積が伸び悩んでいる一因は雑草害であり、原因は播種前後の長い落水期間である。これらのアメリカおよびアジアにおける問題を克服するために、活性化種子および鉄コーティングの技術が開発され、両者が組み合わせられて鉄コーティング湛水直播技術が出来上がっている。

(2) 活性化種子

一般に種子は吸水後、発芽準備期を経て、発芽する。吸水は物理的過程であり、1日程度を要する。発芽準備期は代謝が活性化される過程であり、温度依存性で数日かかる。一般に種子の発芽速度は採種や保管条件の違いによって影響されることが知られており、その原因は発芽準備期に要する時間の違いであるといわれている。湛水直播において催芽種子が使われる目的は発芽準備期を完了させることにより播種後の初期生育を早めることにある。

鉄コーティング直播で使われる活性化種子とは、浸種催芽処理によって発芽準備期に入った種子を乾燥させたものである。活性化種子は播種後に吸水のための時間を必要とするため、吸水済みの催芽種子に比べて発芽までの日数は1日遅れる。浸種催芽の程度により、発芽準備期における代謝の活性化の程度に違いがあり、発芽速度は影響を受ける。発芽速度の違いは、催芽種子>活性化種子>乾粕の順である。

種子源により、また品種により、活性化処理（浸種催芽後の乾燥処理）後に発芽率が低下する場合がある。種子が傷んでいる場合や、無処理ですでに発芽速度が大きい場合に起こりやすい現象である。活性化処理についてはさらに詳細な研究が必要である。

(3) 鉄コーティング

鉄コーティング種子の製造には数キロから数十キロ程度の少量の種子を手作業で1週間程度の時間をかける方法と機械化して500キロまでの種子を3日で仕上げる大量製造の方法がある。手作業では鉄の酸化発熱により種子が高温にさらされて死滅する事故が発生することがあるが、大量製造においては機械で強制的に放熱するた

め酸化時の種子温度はほとんど上昇しない。加えて、鉄コーティング種子の乾燥の程度は、手作業では自然乾燥であるため生乾きの場合があるが、大量製造では機械乾燥であるため水分は10%以下になっている。大量製造で出来上がる鉄コーティング種子は品質や保存性が手作業によるものに比べて高い。

移植栽培において最近では苗作りをやめて苗を購入する生産者が増えている。これと同様に、直播栽培においても鉄コーティング種子の購入ができれば、生産者は種子コーティングという年に一度の作業から解放され、種子を死滅させる事故も無くなる。鉄コーティング種子の大量製造と流通は中山間地の営農組合、JAの育苗センター、無人ヘリ作業受託等において実用化されている。鉄コーティング種子の流通は規模拡大を目指す担い手や法人のみでなく、過疎、高齢化などの困難に直面している生産者にも恩恵をもたらしている。

(4) 直播方法

鉄コーティング種子は表面播種されるため、土中播種に比べて播種は簡易・迅速であり、また専用の播種機を必要としない。散播は背負い式動力散布機や無人ヘリを使い、条播は側条施肥機や土中播種機を改良して行える。

2010年より鉄コーティング種子専用の点播・条播機が市販されている。本機は鉄コーティング直播の特性を利用してホッパーから鉄コーティング種子を落下させるという単純な構造であるため、土中播種機に比べて安価である。

始まったばかりの限られた試みではあるが、無人ヘリを使った作業受託に鉄コーティング種子の製造と播種が含まれている。これにより生産者は、特別の準備をすることなしに直播に取り組む

ことができ、水田の管理と稲の栽培に専念できる。

3. 直播における水管理

(株)クボタおよび全農は鉄コーティング湛水直播技術の普及に全国的に取り組み、その中で生産者の意見を取りまとめ、水管理と雑草防除が重要な課題であると指摘している(宮越 2011b, 村岡ら 2011)。水条件は直播における様々な側面に影響を与える。一方で、水条件は個別の水田で異なり、また地域の水利や気象等により影響を受けるため、生産者は思い通りに水を管理できないことも多い。そこで水管理が影響する様々な側面についてこれまでに得られている知識を整理し、鉄コーティング直播における水管理の指針を提案する。

(1) 出芽苗立ち

イネ種子は酸素がなくても鞘葉を伸長して発芽できる。その後の第1葉と種子根の生長を伴う出芽には酸素が必要である。表面播種において出芽に必要な酸素は、落水条件下では大気から直接、湛水条件下では水に溶けた状態で、種子に供給される。しかしながら、土壌に未熟有機物が多く含まれ酸化還元電位が低下する場合には、田面水の酸素濃度が低下し、また還元物質が土中から地表面にしみ出る。このようなときは落水して地表面を大気にさらすことにより、種子へ酸素を供給し、同時に還元物質を分解する。

鉄コーティング種子は乾燥された状態で保管され、そのまま水田に播種される。そのため、播種直後に種子に吸水させる必要があるため、播種時には湛水条件が適している。やむを得ず落水播種するときは、種子が土壌に密着し、表面水がなくなっても種子へ水供給ができる程度の

土壌水分が必要である(山本・貝淵 2009, 佐藤ら 2011)。

表面播種では土中播種に比べてタコ足苗が発生しやすいため、除草剤の葉害が生じ、また成熟期に軽び型倒伏が発生しやすい。鉄でコーティングしている目的は比重を高め水中での苗の浮き上がりを抑えることであり、このような問題は本来発生しないことが期待される。しかしながら、実際の栽培においては、作業効率や資材費の低減の目的で、種子に付着させる鉄粉の量、すなわち鉄コーティング比(鉄の重さ/種子の重さ)を可能な限り低くしている。タコ足苗の発生を抑えるためには出芽時に落水する必要がある。

(2) 鳥害

鳥害は直播における苗立ちに致命的なダメージを与えるため、その回避は最優先事項である。しかしながら、これまでの湛水直播においては落水条件下ではスズメによる食害、湛水条件下ではカモによる食害が発生するため、体系だった鳥害の回避は難しかった。鉄コーティング種子の直播では、コーティング層の強度など物理性に起因すると思われるが、スズメの食害が発生しにくいことが広く認められている。そのため、必要に応じて落水できる。一方で、鉄コーティング種子は湛水条件下ではカモに食べられる。そのため、カモの被害が予測される場合は落水する。

スズメの食害による被害を抑制するためには多くの場合鉄コーティング比0.5が必要である。それより小さいと食害の程度は大きくなる。

全農の秋田県における実証試験地JA鷹巣町において、生産者よりカワラヒワによる食害が指摘された。この指摘に基づいて調査したところ、

近畿中国四国農業研究センター（広島県）の試験水田においてもカワラヒワによる食害を確認できた（写真－1）。カワラヒワの食害を軽減するためには、湛水するか、鉄コーティング比を1.0程度にスズメの場合よりも高める必要があった。スズメとカワラヒワの生態は似ており食害の判別には注意を要する。

鉄コーティング比が小さい場合、播種後の落水時間の経過とともに食害が徐々に大きくなるので、被害を軽減するため湛水が必要な場合がある。鳥害回避のための予定外の湛水は、出芽苗立ちや除草剤の散布にも影響を与え、直播の作業計画を乱す。鉄粉は安価であり、無理をして鉄コーティング比を下げるより必要な時はいつでも落水できるように、適正な鉄コーティング比を保つことを検討すべきであろう。

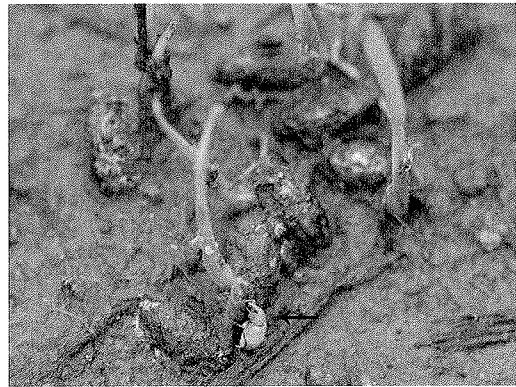
（3）病虫害や水生生物による苗立ち不良

発芽率の高い鉄コーティング種子を代かき後に土壌表面に播種して、時折苗立ちに失敗することがある。この問題は、中山間地の山際や耕作放棄地の近くの水田で発生しやすい。苗立ち不良は畦際に、またスポット状に発生しやすく、場合によっては10～30アールの水田の苗立ちがほとんど皆無になることもある。当初二価鉄や還元などの土壌要因がこのような問題を引き起こしているのではないかと調査したが、関連性は見いだせなかった。最近になって病虫害や水生生物が原因であることが判明している。

湛水直播で苗立ち不良をもたらす病虫害や水生生物としては苗腐敗病、イネミズゾウムシおよびスクミリンゴガイが知られている（内藤1995, 平井1995）。鉄コーティング湛水直播においてはイネミズゾウムシ（栗久2009, 写真－2）、モノアラガイ類（瀧村・星野2010, 写真－



写真－1 鉄コーティング種子に加害中のカワラヒワ 近畿中国四国農業研究センターの試験水田。播種後6日（2011年6月22日）。



写真－2 鉄コーティング種子の苗に加害するイネミズゾウムシ（矢印） 広島県三原市大和町の実証水田。播種後9日（2011年6月23日）。



写真－3 鉄コーティング種子の苗に加害するモノアラガイ類 広島県世羅町田打の実証水田。播種後20日（2011年5月19日）。

3), スクミリンゴガイ, 苗腐敗病, カブトエビ, ユスリカによる苗立ち不良が確認されている。これらはアメリカの湛水直播で発生している病害虫や水生生物による被害 (Hillら 1998) とほぼ一致しており, 鉄コーティングであるが故に発生したという特殊なものではない。ただし, 栗久 (2009) はイネミズゾウムシが苗立ちに及ぼす危害は表面播種で土中播種より大きいと報告している。これらの病害虫による苗立ち不良は落水により軽減できる。

水田の均平度や降雨, 雑草管理などとの関係から, また寒地では保温による初期生育の促進との兼ね合いもあり, 落水が難しい場合も多い。適正な農薬を散布してこれらの病害虫や水生生物による被害を抑制することにより, 直播の苗立ちを安定化することも必要である。

現地での試験栽培においては殺虫剤としてイミダクロプリド粒剤やエトフェンプロックス粒剤を本田に散布して, 苗立ち不良の発生を抑制している。省力的な散布方法として, 殺虫剤の播種同時散布の有効性を実証している (写真-4, 写真-5, 写真-6)。

苗腐敗病の発生水田においては殺菌剤としてメタラキシル粒剤を試験的に散布して高い効果を上げている。ヒドロキシイソキサゾール・メタラキシル粉剤は適した殺菌剤であるが農薬登録の関係で本田施用の現地試験を実施できない。

麦後に飼料イネを栽培した時に苗立ち不良が発生しやすい。様々な原因が考えられるが, 近畿中国四国農業研究センターの試験水田においても苗立ち不良や初期生育の著しい遅延が発生し, これに対して, メタラキシル剤の散布が効果的であった。麦後の苗立ち不良は旧来より認められており, 還元障害と判断されている場合も多いが, 病害防除の観点からの解析と対策が



写真-4 鉄コーティング種子の播種時における除草剤ピラゾレート粒剤と殺虫剤イミダクロプリド粒剤の同時散布。播種機「鉄まきちゃん」に2台の粒剤散布機を取り付けた実証試験。広島県世羅町田打 (2011年4月29日)。

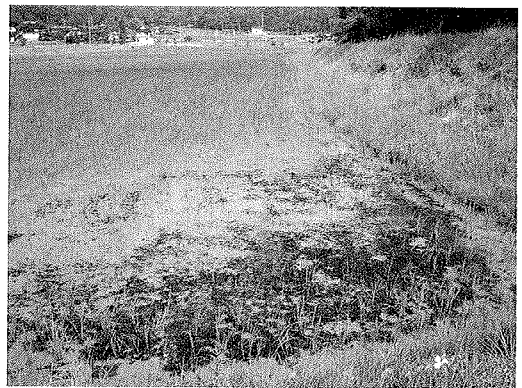


写真-5 鉄コーティング直播したが畦際で苗立ち不良となり人手で補植した水田。広島県世羅町田打の実証水田。播種後54日 (2010年6月24日)。



写真-6 播種時の殺虫剤の散布により畦際まで安定化した苗立ちを示す鉄コーティング種子の湛水直播。広島県世羅町田打の実証水田。写真-5と同一の場所。播種後55日 (2011年6月23日)。

必要である。

移植においては苗に箱施用剤が広く使われている。直播における出芽途中の種子は移植苗に比べて病虫害や水生生物の被害を受けやすく、また被害の程度は深刻である。しかしながら、これまでの鉄コーティング直播の実証試験は無防除で実施されている。今後は実証試験の実施に当たっては、水管理と農薬の使用を組み合わせ、苗立ちの安定化策を検討するべきであろう。

(4) 雑草害

直播において雑草管理は苗立ちの次に重要な項目である。アメリカで湛水直播が普及しアジアで伸び悩んでいる違いの一因は雑草害であり、背景に Water seeding と Wet seeding における水管理の違いがある。アメリカの乾田直播においては雑草イネが問題となり、この解決策が湛水直播であるといわれている。一方で、アジアでは播種前後に落水管理するため、代かきをしているにもかかわらず雑草イネが問題になっている。鉄コーティング種子の直播では代かき後に湛水播種できるので、アメリカやアジアでの直播より効率の高い雑草管理を期待できる。

直播栽培ではイネと雑草の種子が同時に発芽し生長を始める。そのため、直播栽培における雑草の要防除期間は移植栽培よりも長くなり、温暖地以西では 40～50 日、寒地・寒冷地では 60 日程度を要する。ゆえに、播種時の土壌処理剤と播種後 2～3 週における一発処理剤の組み合わせ、加えて水田の漏水性等の条件により茎葉兼土壌処理剤（中期剤）が必要になるであろう。

ピラゾレート粒剤は播種同時または播種直後に使用でき、しかも薬害を生じないため、鉄コーティング種子の湛水直播における有用な土壌処

理剤である。しかしながら、散布後に落水すると除草効果が低下するため、一発処理剤が欠かせない。直播に登録された一発処理剤は多い。

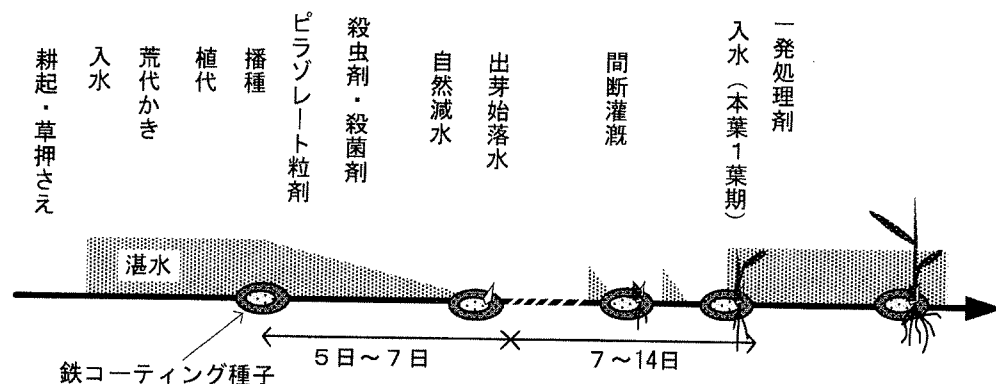
播種前の植代に使用できる土壌処理剤は、落水播種を可能にするため、鳥害、病虫害および水生生物による被害を軽減するうえで有用である。直播の植代に登録されている土壌処理剤としてはブタクロール・ペントキサゾン乳剤およびダイムロン・ペントキサゾン水和剤がある。前者は出芽時に湛水条件になると薬害を生じ、後者も被害の程度は小さいが薬害を生じる。広い直播水田においては田面の高低や、また降雨などにより出芽時に完全に落水するのは難しい場合が多い。ピラゾキシフェン・ベンゾピシクロンフロアブルが農薬登録のため検討され、薬害は生じないと報告されている（山本・貝淵 2010）。播種前、播種同時および播種直後に使用できる安全性の高い土壌処理剤の登録は雑草害の抑制のみならず、水管理の容易さや直播の作業効率の向上の視点から強く望まれる。

(5) 簡易な水管理の指針

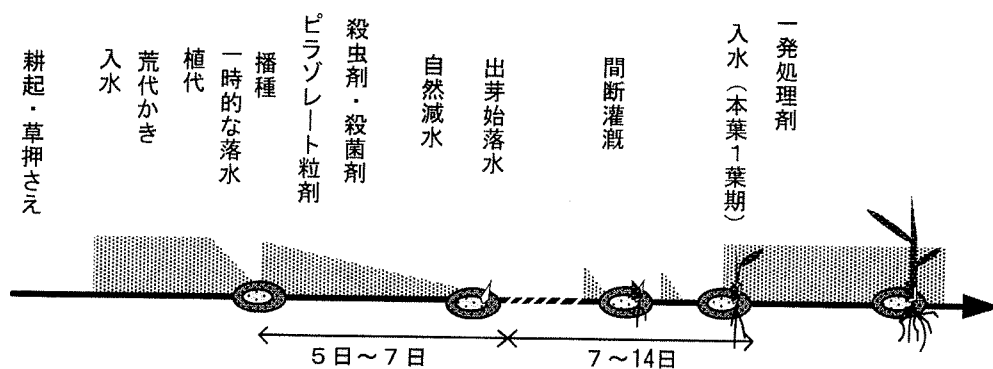
鉄コーティング種子の湛水直播においては、イネの出芽苗立ち、鳥害、病虫害や水生生物による苗立ちへの影響、雑草管理などさまざまな要因を総合的に考えて水管理を行う必要がある。播種後の水管理の違いから湛水播種と落水播種に大別できる（図-1）。湛水播種においては、条播または点播するときは、播種精度を高めるために一時的に落水する必要がある。一時的な落水は雑草管理や水資源の節約の観点から非効率的であり、湛水条件で高精度に条播または点播できる機械の開発が望まれる。

雑草管理を優先した水管理を想定すると湛水播種が望ましい。深刻な被害をもたらす鳥害の

湛水播種(散播)



湛水播種(条播・点播)



落水播種(散播・条播・点播)

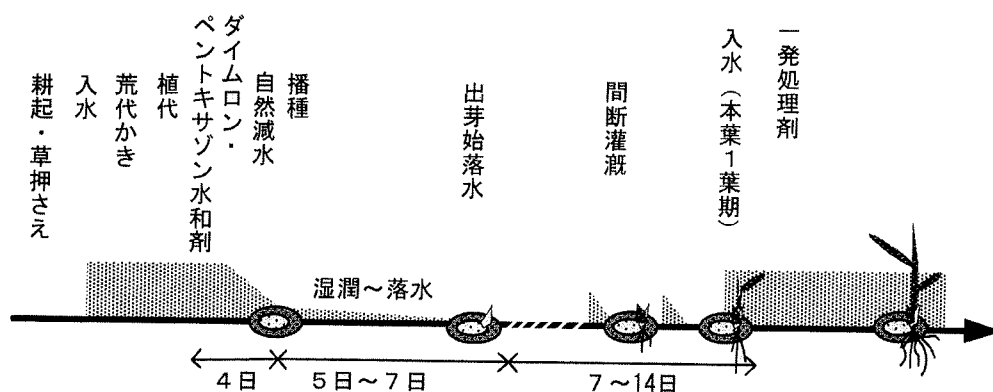


図-1 鉄コーティング種子の直播における播種、殺虫剤、殺菌剤、除草剤の散布と水管理

回避を優先すると、カモによる食害の発生する地域では落水播種となる。湛水播種では病害虫や水生生物の発生による苗立ち不良の可能性があり、防除のため殺虫剤や殺菌剤の使用を検討する必要がある。落水播種では植代に使用できる除草剤が必要であるが、現在登録されている除草剤を使う限り、落水不良に起因する葉害が生じやすいので出芽時には落水する必要がある。

湛水播種と落水播種に共通している必須の作業は出芽始の落水である。その後の間断灌漑と苗立ちが完了するときの入水と一発処理剤の散布も一致しているが、水田の状況や気象条件に合わせて実施できる程度の融通がきく作業である。苗立ちを成功させるためには出芽始の落水を厳守すればよいことになる。

出芽始の落水と土中播種で必須とされている落水出芽は異なる。落水出芽は土中の種子を還元障害から守るものである。一方で、出芽始の落水は、強還元土壌においては土中からしみ出てくる還元物質が土壌表面の種子を傷つけないようにする、タコ足苗の発生を防ぐ、病害虫や水生生物による苗の損傷を防ぐなどの役割を持っている。過去に水苗代に提案されていた芽干しに相当するものであるが、苗代と異なり面積は大きい。

4. おわりに

ここに記載した内容は代かき後の湛水直播栽培における播種と苗立ち期のものに絞っている。病害虫および雑草の防除については生育期間全般についての指針が必要である。また、鉄コーティング直播における収量は移植と同等か10%程度低く、表面播種に適した肥料の供給や施肥法の確立が望まれている。

無代かき湛水直播、乾田直播、不耕起直播に

鉄コーティング種子を利用する技術が現在農林水産省の委託研究において開発されつつある。どのタイプの直播においても鉄コーティング種子は土壌表面に播種している。代かきをしないので苗成ちは安定するが、雑草管理と病害虫の防除が本技術を実用化するうえでのキーポイントである。新たな栽培方法を普及させるうえで、農薬登録の適用拡大が強く望まれている。

謝辞

本研究の実施にあたっては、多くの生産者、道県、関係企業および団体の担当者より貴重なご意見とご指導をいただいている。深く感謝する。本研究は農林水産省の実用技術開発事業「鉄コーティング種子を核とする環境調和型水稻直播技術の確立」(2007～2009) および「鉄コーティング種子を活用した無代かき直播技術の確立」(2010～2012) の成果の一部である。

参考文献

1. Hill, J.E., D.E. Bayer, S. Bocchi, and W.S. Clampett 1991. Direct seeded rice in the temperate climates of Australia, Italy, and the United States. In Direct seeded flooded rice in the tropics. International Rice Research Institute, Manila, Philippines. 91-102.
2. Hill, J.E., S.R. Roberts, D.M. Brandon, S.C. Scardaci, J.F. Williams, and R.G. Mutters 1998. Rice production in California. <http://www.plantsciences.ucdavis.edu/uccerice/PRODUCT/prod.htm> (2011/5/10 閲覧)
3. 平井一男 1995. 直播水稻の害虫管理. 植物防疫 49:221-224.
4. 栗久宏昭 2009. 水稻鉄コーティング直播での

イネミズゾウムシによる苗立ち不良の発生.
平成20年度近畿中国四国農業研究成果情報
生産環境推進部会.

http://wenarc.naro.affrc.go.jp/seika/seika_nendo/h20/02_kankyo/p6/index.html
(2011/5/10 閲覧)

5.宮越彊2011a. 水稻鉄コーティング直播栽培の
現状と今後の方向. 植調 45 : 18-27.

6.宮越彊2011b. 水稻鉄コーティング直播栽培の
機械化と普及. 日作紀 80(別 1):500-501.

7.村岡賢一・東野裕広・阿部浩人・田口稔 2011.
鉄コーティング湛水直播栽培の実証と将来像.
日作紀 80(別 1):498-499.

8.内藤秀樹 1995. 水稻の直播栽培における病害.
植物防疫 49:217-220.

9.佐藤徹・東聡志・市川岳史 2011. 北陸地域に
おける水稻鉄コーティング湛水直播栽培のコー
ティング量, 播種深および播種後の水管理が

出芽・苗立ちに及ぼす影響. 日作紀 80:157-164.

10.瀧村勇二・星野滋 2010. 水稻鉄コーティン
グ直播でのモノアラガイ類による苗立ち不良
の発生. 平成21年度近畿中国四国農業研究成
果情報生産環境推進部会.

http://wenarc.naro.affrc.go.jp/seika/seika_nendo/h21/02_kankyo/p63/12_212.html (2011/5/10 閲覧)

11.山本真之・貝淵由紀子 2009. 湛水播種後の
落水時期および再入水時期が鉄コーティング
種子の発芽・苗立ちに及ぼす影響. 日作紀 78
(別 1):108-109.

12.山本真之・貝淵由紀子 2010. 水稻鉄コーティ
ング直播栽培の苗立ち安定化に適した水管理・
除草体系. 日作紀 79(別 1):240-241.

13.山内稔2004. 鉄コーティング湛水直播と環境
保全. 植調 38 : 322-329.

新装版

原色 図鑑 芽ばえとたね

—植物3態／芽ばえ・種子・成植物—

浅野貞夫／著
A4判 280頁
定価:9,000円+税
ISBN978-4-88137-115-2

芽ばえの細密図・種子のクローズアップ写
真・成植物の生態写真、これら3態セットで
植物の一生を表現。草本類480種、木本類
160種を掲載した他に類のない植物図鑑。



全国農村教育協会

〒110-0016 東京都台東区台東1-26-6
TEL.03-3839-9160 FAX.03-3833-1665

<http://www.zennokyo.co.jp>