

水稲湛水直播の苗立ちを 安定化するためのべんモリ種子被覆

(国研) 農業・食品産業技術総合研究機構
九州沖縄農業研究センター 水田作研究領域

原 嘉 隆

1. はじめに

国内の水稲作は海外に比べて生産費が高く、高齢化による担い手の減少が深刻となっている。苗を作らずに水田に種子を直接播種する直播は、低コストで省力な技術として期待されてきた。しかし、国内の直播の普及面積は、増加傾向にあるものの、まだ2%を超えない程度である。

直播面積の大半を占めるのは、代かき水田で行う湛水直播で、苗立ち不良が起きやすいことが問題である。この原因は水を張った水田では生育に必要な酸素が不足するためなので、酸素を供給するためにカルパー（過酸化カルシウム粉粒剤）を種子に被覆し、さらに播種後は水田の水を落として空気を入れる落水管理が行われてきた。しかし、被覆の資材費や手間が大きいことから、より低コストで省力な技術が求められている。

近年、種子に鉄粉を被覆して酸素が十分ある土壌表面に播種する鉄被覆直播が開発され、普及し

つつある。鉄被覆種子は、雀に食べられにくく、流されにくい。また、鉄被覆は播種のかかなり前でも実施できる。省力的に安定した苗立ちを確保できる。ただし、被覆後の種子が発熱するので、その対応に手間がかかることや、被覆種子が埋没すると苗立ち不良になるという問題もある。

2. 硫化物イオンによる苗立ちの障害

かつて、湿田などにおいて、暑い夏を経た後に水稲の生育が衰える「秋落ち」と呼ばれる現象が生じた。この現象は、酸素とその代替物も消失してしまう還元的条件において有害な硫化物イオンが生成し、根を傷めることによって生じる。対策として、基盤整備による乾田化に加えて、栽培途中の中干しを励行するとともに、硫化物イオンを不溶化させる鉄資材の施用、および、硫化物イオンの元となる硫酸イオンを含んだ肥料を控える指導がなされた。これらの対策によって、秋落ちはあまりみられなくなった。

本 号 の 内 容

§ 水稲湛水直播の苗立ちを安定化するためのべんモリ種子被覆 …………… 1

(国研) 農業・食品産業技術総合研究機構
九州沖縄農業研究センター 水田作研究領域

原 嘉 隆

〈産地レポート〉 「JAぎふ管内 農事組合法人 巣南営農組合」のご紹介 …………… 8

ジェイカムアグリ(株)「農業と科学」編集部

§ 鹿児島県茶園土壌の地力実態と土づくり …………… 10

ジェイカムアグリ株式会社 九州支店

技術顧問 郡司掛 則昭

硫化物イオンが涼しい春の直播でも生成するのか、そして、水稻の苗立ちを阻害するのかわかりませんでした。硫酸イオンを含む窒素肥料である硫酸アンモニウムを施肥して種子を土壌中に播種すると、出芽はするがその後に萎れて苗立ちしない。このとき種子近傍は局所的に著しく還元的となり、黒い硫化鉄が沈着する(図1)。種子近傍では硫化物イオンが生成し、苗立ちを阻害していると示唆された(Hara 2013a, b)。



図1. 種子近傍に沈着した黒い硫化鉄

3. モリブデンによる硫化物イオンの抑制

植物の微量元素であるモリブデンは、通常、モリブデン酸イオンとして存在し、硫化物イオンの生成を抑制することが報告されている。そこで、モリブデン化合物で種子を被覆すると、苗立ちが改善した(図2)。安価な三酸化モリブデンでも十分な効果が得られた(Hara 2013c)。

4. ポリビニルアルコールによる固着

カルパーや鉄では種子に付着させるために石膏を用いる。石膏(硫酸カルシウム)に含まれる硫酸イオンは還元的条件で硫化物イオンとなって苗立ちを阻害する。ただし、カルパー被覆種子は、過酸化カルシウムが分解して無くなるまで酸化的条件に保たれるので、硫化物イオンは生成しな



無被覆 モリブデン被覆

図2. モリブデン被覆による苗立ち向上

い。また、鉄被覆種子は、酸化的な土壌表面に播種されるので、硫化物イオンの害は受けない。しかし、なんらかの事情で還元的となった場合、石膏に含まれる硫酸イオンから硫化物イオンが生成することが懸念される。そこで、本技術では硫酸イオンを含まない固着剤として、安価なポリビニルアルコール(PVA)を用いることにした。

5. 酸化鉄による加重

種子に三酸化モリブデンを付着しただけだと、重さはほとんど変わらず、播種時に流されやすい。そこで、種子を加重することにした。

鉄被覆では、被覆層を固めるために、還元鉄を酸化させて錆を成長させる。この過程は発熱するので、種子が障害を受けないように放熱する管理に手間がかかる。そこで、本技術では、既に錆びている酸化鉄をPVAで固着することにした。

また、鉄被覆では、苗立ちが良い表面播種とすするため、種子が流されないように種子の0.5倍重の資材を被覆する。本技術では、資材費を抑制するため、土中播種とし、資材を減らすことにした。種子の表面を酸化鉄で覆う程度でも、種子は水に馴染みやすくなり、流れにくい傾向があった。

6. 被覆資材(べんモリ資材)

これらを踏まえ、三酸化モリブデンは種子の

0.5%重，酸化鉄は種子の0.1倍重または0.3倍重，PVAは酸化鉄の1%重とした。酸化鉄を意味する「べんがら」と「モリブデン」にちなみ，この混合資材を「べんモリ資材」と呼ぶ。

べんモリ資材は農機メーカーなどから購入できる（web公開の「水稲べんモリ直播マニュアル」に購入先を記載）。0.1倍重用と0.3倍重用の2種類がある（図3，4）。0.3倍重用は被覆種子が重くなるため播種が容易であり，0.1倍重用は被覆資材が少ないので，被覆が容易で資材費も安くなる。

7. 種子の被覆（べんモリ被覆）

種子の被覆は，カルパー被覆と同じである。消毒・浸種して5%程が発芽した催芽粉を脱水し，



図3. べんモリ被覆種子（0.1倍重）



図4. べんモリ被覆種子（0.3倍重）



図5. コンクリートミキサーによる被覆

コーティングマシンやコンクリートミキサーに入れて回転させる（図5）。そして，種子に付着する程度（種子の約0.05倍重）のべんモリ資材を入れる。回転によって均一に付着したら，種子が粉っぽければ少しずつ霧を吹きかける。種子表面が湿った状態なら，べんモリ資材を加える。これを繰り返す，すべての資材を付着させる。鉄やカルパーの被覆に比べて資材の量が少ないので，水をかけすぎないように注意する。0.1倍重の場合，コンクリートミキサーを使えば，30kgの種子を一度に5分ほどで被覆できる。

被覆直後の種子は，通気性の良いシートに薄く広げ，表面を乾かす（図6）。ブルーシートは通気性が悪いため，下の種子が乾きにくく，作業性

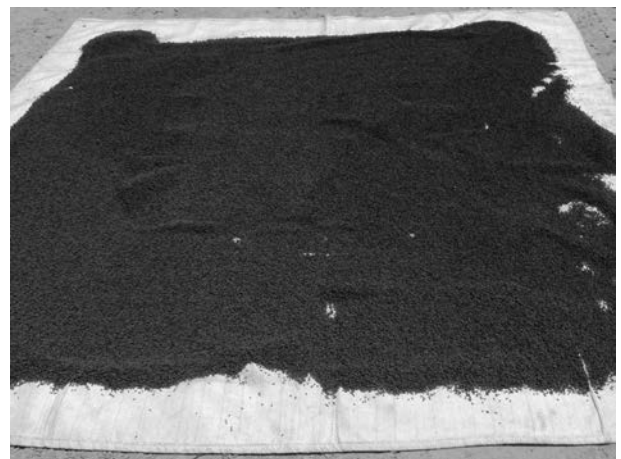


図6. 被覆後に広げて表面を乾かす

が劣る。一晚経っても乾かない場合、カビ発生の原因になるため、熊手などで攪拌するなどして、当日中に乾燥させることが望ましい。乾いたら、集めて網袋など通気性が良い袋に入れる(図7)。

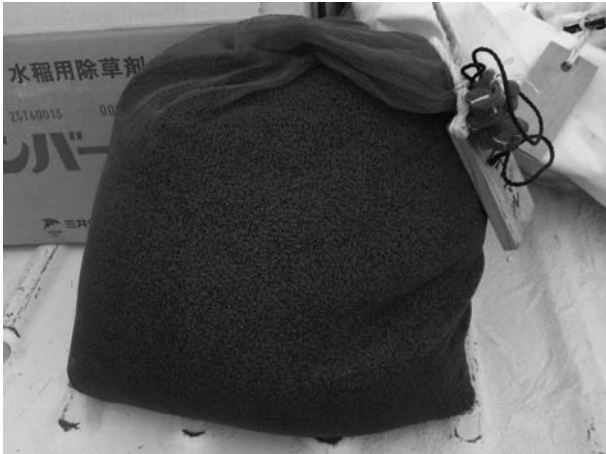


図7. 網袋に入れて保管

種子の内部は湿っているので、蒸れない涼しい場所に保管し、1週間を目安に播種する。米の貯蔵庫など10℃程度の場所では、1ヶ月程度保管できる。保管状態が悪くと、種子が劣化し、苗立ちが不良となるため、早い播種が望ましい。

8. 直播(べんモリ直播)

べんモリ被覆種子は、カルパー被覆種子と同様に、鳥やスクミリンゴガイなどの食害を回避する効果はないので、その直播(べんモリ直播)はこれらの食害を受けにくい水田で行う。直播で重要となる作業はしっかり行う。水田を均平とすることは重要であるが、代かきしすぎると苗立ちが悪くなるので、減水深2cm/日を目安とする。

べんモリ被覆種子は、カルパー被覆種子と同様に土中に浅く播種する。ただし、カルパー被覆種子とは異なり生育促進効果が無く、水に浮かびにくいので、少し浅め(深さ5mm程度)に播種すると良い。カルパー被覆種子用の高精度水田湛水播種機(板で覆土)やショットガン直播機(代かき同時打ち込み)が適している。鉄被覆種子用の播種機は、土壌表面に播種する仕様となっているが、播種溝を作る部品や覆土板を購入すれば、土中播種用として利用できる。それらの部品無しで

も、柔らかい土壌条件で播種すれば、種子の重さで浅く埋没させることもできる。

9. 水管理と除草剤散布

直播では苗立ち確保と雑草抑制を両立するために、播種後の水管理がとても重要になる。気候や圃場や作付け体系などに適した水管理とすることが望ましいので、べんモリ直播では、その地域で先行しているカルパー被覆種子と同じ水管理とすると良い。大まかには、寒い条件や水はけが悪い水田では、苗立ち確保を優先する必要がある、播種後に水を落とす落水出芽法が適すると考えられる。一方、暖かい条件や水はけが良い水田では、雑草抑制を優先する必要がある、播種後湛水して初期除草剤を効かせる方法が適すると考えられる。ただし、現在は、播種と同時に散布ができて、水を入れない落水管理でも使える除草剤(ピラクロニル粒剤)が登場したので、苗立ち確保と雑草防除の両立が期待される。なお、出芽期は落水状態が望ましいが、1葉期になったら湛水して、水位が安定してから2度目の除草剤を効かせる。

10. 病虫害防除

直播では、移植用の箱防除剤が利用できないため、基本的に本田での散布が必要で、防除法が容易でなく、直播普及の障害となっていた。しかし、近年、播種時に土壌に注入する農薬や種子に被覆する農薬が登場し、直播でも簡易な防除が期待できるようになった。特に、鉄被覆時に混和できる農薬(いもち病防除、イネミズゾウムシ防除)は、べんモリ資材の主成分が酸化鉄で、鉄被覆と一致するため、制度上はべんモリ被覆でも利用できる。種子被覆時に混和するだけなので、手間が増えず、機器の追加購入もない。ただし、べんモリ被覆での実施例が少ないので、まだ推奨されておらず、自己責任となる。また、鉄被覆に比べてべんモリ被覆では資材量が少なく、これらの液状の農薬を混和すると水分過多になりやすい点に注意が必要である。

11. 佐賀県上峰町での取り組み

ここでは、20名程の営農組合で、べんモリ直播を行っている。移植はせず、全水田でカルパーを用いた湛水直播を実施してきた。しかし、カルパーは資材費が高いことから、資材費が安いべん



図8. ショットガン直播



図9. 鉄被覆種子用直播機による土中播種

もり直播が検討された。2～3年の試験後、ほぼ全水田でべんもり直播を行っている（2014年は約7ha、2015年は約8ha、2016年は約10ha）。

ここでは、ショットガン直播機で、べんもり被覆種子（0.1倍重）を直播している（図8）。この方法は、代かきしながら柔らかい土壌に種子を打ち込む。安定的に浅く播種できるため、べんもり被覆した種子に適している。分けつが多いため、播種量は約2kg/10aと少なめにしている。過去3年間、カルパーとべんもりの被覆種子を直播し

て比較したところ、苗立ち率も収量も有意な差がなかった（表1、原・秀島 2017）。

12. 福岡県筑後市での取り組み

ここでは、20名程からなる農事組合法人によって、べんもり直播を行っている。元々、全て移植であったが、2012年に省力化のため鉄被覆直播を実施した。しかし、苗立ち不良があったことから、2013年にべんもり直播が試され、問題がなかったことから直播水田は全てべんもり直播で実施している（2014年は約5ha、2015年は約7ha、

2016年は約8ha）。冬作は小麦と大麦を栽培し、収穫が早い大麦の水田でべんもり直播を実施している。前年が大豆作であった水田ではスクミリンゴガイが少なく、食害を受けにくい。そこで、前年が大豆作であった水田で直播を実施するよう、水稻と大豆を交互に栽培するという工夫をしている。

ここでは、鉄被覆直播の導入にあたり、鉄被覆直播も移植もできる多目的播種機が購入された。この播種機は土壤表面に播種される。そこで、カルパー被覆

表1. 種子被覆が苗立ちに及ぼす影響

年	水田	種子被覆	播種量 (kg/10a)	苗立ち本数 (/m ²)	苗立ち率 (%)
2013	A	カルパー	3.2	81	69
		べんもり	4.2	106	67
2014	B	カルパー	3.2	69	59
		べんもり	4.2	91	58
2014	C	カルパー	2.2	49	56
		べんもり	2.0	54	68
2014	D	カルパー	2.2	51	57
		べんもり	2.0	50	64
2015	E	カルパー	0.8	16	58
		べんもり	1.1	20	53
2015	F	カルパー	0.8	23	80
		べんもり	1.1	30	78
平均	平均	カルパー	2.1	48	63
		べんもり	2.4	59	65 ^{ns}

nsは5%の水準で有意差がないことを示す。

種子用のオプションに含まれる作溝器だけを装着し、それでできる溝の中にべんモリ被覆種子(0.1倍重)を播種する(図9)。柔らかい土壌条件で播種して湛水することで溝が崩落し、種子を浅く均一に埋没させることができる。播種量は約2~3kg/10aである。なお、代かき後、直播のために水田の水を落とす前に、乗用溝切り機で水田に梯子状で溝を切る(図10)。この溝によって播種前に素早く水が落とせ、表面に水が無い柔らかい土壌に播種できる(図11)。良好な苗立ちが得られ(図12)、収量も移植と遜色ない。

13. べんモリ直播の特徴

べんモリ直播の第一の特徴は、三酸化モリブデンによって有害な硫化物イオンの生成が抑制され、それによる苗立ち阻害が生じにくい点にある。この効果は土壌改良材的であり、種子の生育を直接促進しない。したがって、酸素の供給で生育を促進するカルパーと比べて、苗立ちが優れるわけではないので、基本的な技術をきちんと実施する必要がある。なお、生育を促進するカルパーは農薬(植物成長調整剤)に該当するが、べんモリ資材は生育を直接促進しないので、農薬に該当しない。

べんモリ被覆では、資材費が安く、被覆が簡単なことを重視している。カルパー被覆では、種子と同じ重量(1倍重)の資材を被覆する。鉄被覆では基本的に0.5倍重の資材を被覆する。べんモリ被覆では、資材が0.1~0.3倍重と少ないことが、被覆を容易にしている。資材量は資材費にも影響する。カルパーや鉄の資材費は、乾籾1kgあたり数百円かかるが、べんモリの資材費は、0.1倍重と0.3倍重の場合、種子1kgあたりそれぞれ約70円と約200円(流通費用は別)と安価である。

べんモリ直播は普及が始まったばかりで、全国的に2015年は約80ha、2016年は約300haで実施された。2016年は、東北地方(約140ha)、特に宮城県(約70ha)での実施が多かった。宮城県古川農業試験場(2015)を始め、農業機械メーカー、農業資材商社に御指導をいただいた結果である。農家にとっては、被覆が簡易なことが、受け入れられている最大の要因と感じている。べんモリ直播はこれまでどおり湛水直播の基本的な技



図10. 播種前日に溝切り



図11. 溝によって播種前に素早く水を落とせる



図12. 鉄被覆種子用直播機での土中播種による苗立ち

術をしっかり行う必要がある。湛水直播の経験がある農家は容易に取り組めると思うが、経験のない農家にとっては、容易に取り組める技術とはなっていない。今後は、未経験の農家でも取り組めるように、失敗しないための要点の整理をしていきたい。

なお、詳しい情報を記載した「水稻べんもり直播マニュアル」(農研機構 2016)や「べんもり直播の情報」(農研機構 2017)をweb上に公開している。「べんもり直播」で検索いただきたい。

引 用 文 献

- Hara, Y. 2013a. Suppressive effect of sulfate on establishment of rice seedlings in submerged soil may be due to sulfide generation around the seeds. *Plant Prod. Sci.* 16, 50-60.
- Hara, Y. 2013b. Improvement of rice seedling establishment in sulfate-applied submerged soil by application of molybdate. *Plant Prod. Sci.* 16, 61-68.
- Hara, Y. 2013c. Improvement of rice seedling establishment on sulfate-applied submerged soil by seed coating with poorly soluble molybdenum compounds. *Plant Prod. Sci.* 16, 271-275.
- 原嘉隆・秀島好知. 2017. 暖地の農家水田におけるべんもり被覆種子での代かき同時打ち込み点播による水稻湛水直播の苗立ちと収量および収穫物のモリブデン含有率. *日作紀* 86, 201-209.
- 農研機構. 2016. 水稻べんもり直播マニュアル. <http://www.naro.affrc.go.jp/karc/contents/benmori/index.html>
- 農研機構. 2017. べんもり直播 (簡易な水稻湛水直播). <http://www.naro.affrc.go.jp/karc/contents/benmori/index.html>
- 宮城県古川農業試験場. 2015. 苗立がよく省力低コストな水稻湛水直播土中播種法への改善ーべんがらモリブデン被覆種子の利用. https://www.pref.miyagi.jp/soshiki/res_center/91sankoushiryou2.html