

鉄コーティング湛水直播と環境保全

独立行政法人 農業・生物系特定産業技術研究機構 近畿中国四国農業研究センター 山内 稔

1. はじめに

世界のイネは灌漑水田、天水田、深水水田および畑地において栽培されており、栽培面積の比率は53, 27, 8, 12%である。灌漑水田の単位面積当たりの収量が大きいと、コメ生産量に占める比率はそれぞれ75, 18, 3, 4%となる。灌漑水田における稲作は代かきと苗の移植によって特徴付けられるが、最近、タイ、マレーシア、ベトナム、フィリピンを中心に移植栽培から直播栽培への切り替えが広がっている。

代かきは土壌を柔らかく均平にし、移植苗の活着を助ける。また土壌養分や水の保持能を高めるとともに雑草の発生を抑制する。このようなことから代かきは灌漑水田における高い生産性と環境保全の一翼を担っている。一方で、代かきは土壌の酸素不足や還元を引き起こし、イネ種子の発芽や初期生長を阻害することもある。本稿では近畿中国四国農業研究センターにおいて苗立ちを安定化させるために開発された鉄コーティング湛水直播技術について、特に既存の湛水直播技術と比較して環境保全との関係から概説する。

(1) 熱帯アジアの直播

熱帯アジアにおいて直播栽培の普及が進んでいる背景には、急速な経済発展に伴う人手不足がある。機械移植が導入されていないため、人力による移植となり重労働である。情報化が進

み高学歴化してきている社会では人手に頼った移植栽培を継続することは難しいであろう。加えて、近年における除草剤の開発と導入により、散播した水田での除草の省力化が可能になったことも直播栽培が普及した大きな要因である。熱帯アジアの直播技術は農家が経験に基づいて工夫を凝らして作り上げたものであり、さまざまな方法がありまた地域によっても異なる⁴⁾。

広く使われている播種方法では、代かき数日後に水を落とし人手または動力散布機で催芽または発芽した種子を土壌表面に散播する。この方法は英語でWet seedingと呼ばれる。類似した方法として、耕起と代かきを簡略にしたミニムムティレッジやそれらを省略した不耕起下での落水後の表面播種がある。

問題点としては、苗立ちの不安定さが上げられる。種子が地表に播かれるため、土壌との接触が弱ければ水欠乏になり枯死する。鳥害やネズミの害も多い。排水不良部分における浮き苗や高温障害、またジャンボタニシの食害なども原因となる。

雨季の終わりの乾季の初めにおいて排水が難しい水田では湛水条件下での表面播種が行われ、Water seedingと呼ばれている。水深が30~50cmにもなり、移植もできない水田で実施されている場合がある。播種後徐々に水位が下がり、苗立ちが完了する。本法では雑草が効率的に抑え

られるともいわれているが、浮き苗の発生に加えてカニやエビなどの水生動物による攪乱もあり、苗立ちは不安定である。本法は粗放な形態であり、作付け回数の多い集約性の高い地域では普及していない。

Wet seedingとWater seedingにおける播種量は大きく80~300kg/haである。苗立ちを確実にすると共に雑草害を抑制するためといわれている。収量は雑草が管理されていれば、移植栽培と同等かそれ以上である。移植における植え傷みの問題がなくなることおよび密植による穂数の増加が収量の増加に大きく貢献している。

直播栽培の普及に伴って雑草害が大きくなり、また問題となる雑草種が変わってきたといわれている。なかでも雑草イネの出現は重視されている。原因としてイネの雑草競合性が移植栽培の苗に比べて直播栽培の種子では小さいこと、また広く普及している落水播種においては雑草の発芽も活発になり、移植栽培に比べて除草剤の効きも低下していることが考えられる。

苗立ちの改善については、国際農林水産業研究センターとInternational Rice Research Institute（国際稲研究所）の共同研究において表面播種を土中播種にする技術開発が行われた。土中播種に適したイネ品種がスクリーニングされ²⁾、その生理特性が解明された^{3, 5, 6, 7)}。このような特性を持ったイネ品種はイネ遺伝資源のうち数パーセントを占める。改良された高収性品種の中から見出された土中播種に適した品種を使ってフィリピン、ベトナム、ミャンマーで栽培試験が実施され、その有効性が確認されている⁸⁾。

(2) 日本の直播

1960年代までは代かき水の中に催芽または発芽した種子を播く湛水表面播種が実施されたが、

安定な苗立ちを達成することができず広く普及しなかった。本播種法は熱帯アジアにおけるWater seedingに相当する。当時はイネ種子が土中に埋められると酸素不足に陥り腐敗すると考えられ、それを避けようとして代かき水が澄んだ状態で播種していたため浮き苗が発生していた。1970年代に機械移植技術が発展したこともあって直播栽培は普及しなかった。

一方、1950年代に過酸化カルシウムと水との反応によって発生する酸素を湛水土壤中に播かれたイネ種子に供給すれば生育が促進されることが見出された。その後技術開発が進展し、1980年代には普及技術になった¹⁾。現在確立されている播種方法ではイネ種子を催芽させ、種子の重さの2倍量の酸素供給剤（主成分は過酸化カルシウム）でコーティングする。代かきをした水田において土壌が柔らかいうちに水を落とし、土中約1 cmの深さに播種する。播種量は30~50 kg/haであり、熱帯アジアに比べて半分である。

出芽するまで落水管理を続け、その後水を入れ除草剤を散布する。播種深度が深いと出芽せず、また浅いと浮き苗になる問題がある。そのため、播種深度の精度を高めた条播および点播の湛水土中播種機が開発された。

酸素供給剤でコーティングした種子は時間がたつと発芽率が低下するため数日のうちに播種する必要がある、これに合わせて水田を代かきする。そのため農繁期に時間を追った作業が必要になる。作業軽減のため自動コーティングマシンが市販されている。

酸素供給剤で催芽種子をコーティングして播く技術は土中播種であり、表面播種に比べて、出芽前はスズメの食害を受けない、水を入れても浮き苗にならない、稲体の基部が土中にあり耐倒伏性を高めるというメリットがある。研究

者や技術者の多くは本技術は確立したと考えているが、現在のところ普及面積は日本の稲作の約1%である。海外では普及していない。

2. 鉄コーティング直播

(1) 開発の背景

日本ではコシヒカリを中心とする良食味品種が普及しているが、どれも土中播種に適していない。普及品種を酸素供給剤を使わずに土中に播いて出芽できる播種深度は種子が薄く泥をかぶる程度までであり、それ以上に深く播かれると出芽できずに死ぬ。そこで、代かき直後の泥水の中や直後に落水した土壌に普及品種の催芽種子を、薄く泥をかぶる程度の深さに播種する「無コーティング湛水直播」技術について検討した⁹⁾。その結果、この技術は試験圃場のように灌水や排水設備の整った良好な条件下で実施するとうまくいくが、水管理などに制約のある現地ではいつも成功するとは限らないことが判明した。また、浅播きであっても種子の生長は不安定になっており土壌の還元が進むと枯死することもある。

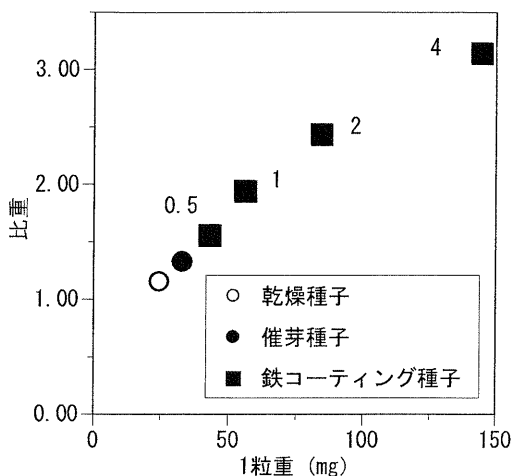
「無コーティング湛水直播」について現地試験を実施した結果、種子が土壌表面や薄く泥をかぶる程度に浅く播かれても浮き苗にならない技術が必要であることが判明した。また、生産者との意見交換により、同じ品種であっても種子源により発芽のスピードに大きな差があることが判明した。そこで、浮き苗にならない技術および発芽速度を高める技術の開発を行った。その結果、発芽速度の大きい乾燥種子を鉄粉でコーティングして土壌表面に播種するという鉄コーティング湛水直播技術が開発された。

(2) 技術の特色

鉄粉をイネ種子に付着させる原理として、金

属鉄粉粒子表面における急速な酸化（錆）を利用している。酸化促進剤として硫酸塩または塩化物を添加する。鉄粉の酸化時に発熱するので、コーティングした種子は薄く広げて放熱させる。

コーティング比（＝鉄粉の重さ／種子の重さ）が大きくなれば比重と重さが増し（図－1）、



図－1 乾燥種子、催芽種子、鉄コーティング種子の1粒重と比重の関係。品種：ヒノヒカリ。鉄コーティング種子の記号に付いている数字は鉄コーティング比（＝鉄粉の重さ／種子の重さ）を示す。

湛水条件下での表面播種であっても浮き苗の発生は抑制される¹⁰⁾。また落水播種においては、土壌表面が固めであっても通常の種もみを播いたときのように土壌表面に軽く乗っている状態にならずに、種子は土壌の表層にめり込んで土壌との接触は確実になる。

種子の発芽速度を上げる技術が開発された（写真－1）。種子は吸水という物理的プロセス、次に代謝の活性化という化学的プロセスを経て発芽する。そこで、代謝が活性化された段階で発芽を一時的に停止させた活力の高い乾燥種子の作製について検討した結果、種子を浸種催芽処理し、発芽直前に乾燥処理をすればよいということが判明した¹¹⁾。活性化種子を使うことにより播種から発芽までの時間が短縮される。

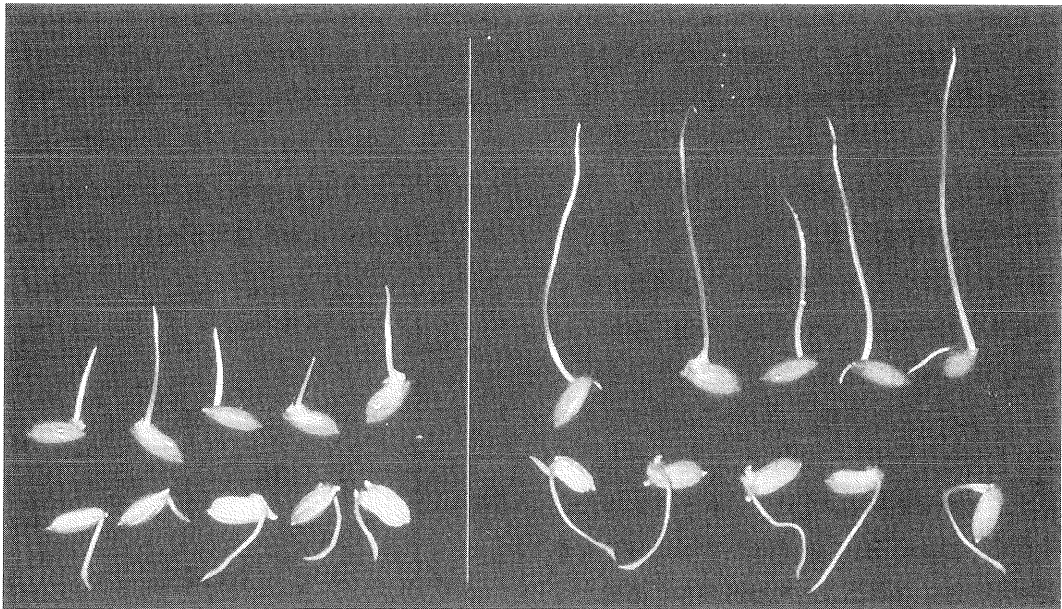


写真-1 普通種子（左）と活性化種子（右）の生育の違い。下側の種子はシャーレー中での生育。上側の種子は水中での生育。

活性化種子を鉄でコーティングして長期間保存できる鉄コーティング種子を作製しておけば、農繁期の作業を軽減できる。地域でコーティング種子をまとめて作製すれば配布でき、また移植苗のように販売も可能になる。

直播栽培において湛水状態ではカモ、落水状態ではスズメの被害があり、鳥害の回避は長年困難であった。ところが、鉄コーティング種子は落水条件下で地表面にあってもスズメの被害にあわないことが観察された¹²⁾。スズメは民家の近くで多くそのようなところでの直播栽培は難しかったが、鉄コーティング直播はそれを可能にしている。

(3) 実施手順^{13,14)}

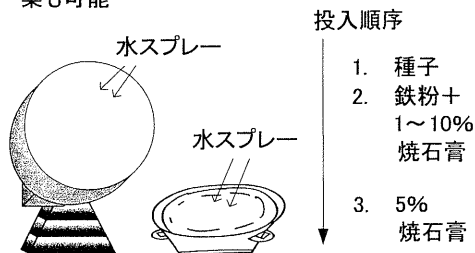
本技術に使われている種子の活性化の手順とコーティングの原理は簡単なものであり、現地状況に応じて様々な形態で実施できる。以下に実施例を示す。

① 活性化種子の準備：前年度に採種された発

芽率95%以上の種子を入手する。種子消毒（薬液に24時間浸漬）後、浸種催芽処理（種子を2倍量の水に漬けて15～20℃で1～2日放置）する。処理を停止する目安は粉殻を透して胚が白く膨れて見えるときから、鞘葉が粉殻から出現し始めるときである。直ちに種子を乾燥させる。乾燥機を使用するときは40℃で約3日間である。設備がないときは風乾する。

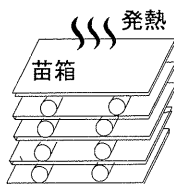
② 鉄コーティング：乾燥した活性化種子を種子重の0.1倍から1倍量の重さの鉄粉でコーティングする。図-2は酸化促進剤として焼石膏（鉄粉重量の1～10%量）を使う手順を示している。コーティング比が0.5倍以上のときはコーティングマシンを使う必要があるが、0.1～0.2倍のときは手作業でも行える。コーティングマシンまたはたらいなどの容器に、表面を湿らせた（約5分間水につけて水を切った）活性化種子を入れ、鉄粉と焼石膏の混合物を投入する。

コーティング作業 コーティングマシンを使用, コーティング比0.1~0.2ならば, たらいなどで手作業も可能

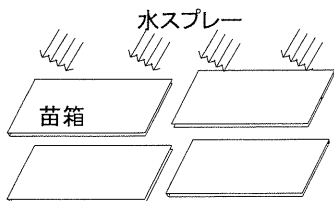


乾燥

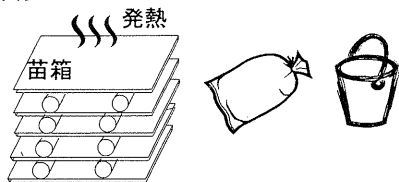
コーティング種子を苗箱に広げ, 一晚放置



コーティングの強化 水量の目安はコーティング種子が水を吸い取る程度



風乾後の保存 約1週間風乾後, そのまま苗箱に, または網袋やバケツなどに入れ密閉せずに保存



長期保存 一晚以上風乾した後, 40℃乾燥機で乾燥させてビニール袋で保存



発芽試験 発芽率90%以上を確認した後で播種

図-2 鉄コーティング種子の作製手順。コーティングの強化は省略可能。

水をスプレーして種子に鉄粉と焼石膏の混合物を付着させ, 造粒する。次に焼石膏を添加し, 造粒した種子の表面に付着させる。水分があると鉄粉の酸化が進み発熱する。そのためコーティングした種子は直ちに薄く広げて熱を逃がしつつ乾燥させる。

コーティングは一晩で固まるが, 播種機の機種によっては壊れることもある。そこでコーティングの強度を高める必要があるときは, 再度水をスプレーして酸化を進める。

コーティング時の発熱により種子が傷む可能性がある。仕上がったコーティング種子の発芽テストは不可欠である。風乾した活性化種子をコーティングに使えば1~2ヶ月は発芽率の大きな低下はない。乾燥機で乾燥させれば室温で1年ほどの長期保存が可能である。

コーティングに使う鉄粉の量については, 生産者が水田の土壌状態や代かき後の播種のタイミングなどを勘案して決める。初めて鉄コーティング直播を実施するときは0.5~1倍コーティングとし, それを播種したときの種子の状態(種子が土中に沈みすぎていないか, 浮き苗が発生しないか)や資材費の削減の観点から次回行うときのコーティング比を決める。

③ 水田の準備: 代かき後に異常還元にならないような土壌管理が重要になる。そのためには, 播種前の未分解有機物や緑肥の施用を避ける。また田面の均平化も図る。草押さえのための耕起を数回行い, 代かきは間隔をあけて2回またはそれ以上実施し, 湛水期間を長くして発芽阻害物質を分解させることが望ましい。

④ 播種と水管理: 表面播種とする。目安とし

て、播いた種子のうち半分が土壌表面に見え、残りが薄く泥をかぶる状態が望ましい。水管理および播種方法（散播または条播）との関係から次の3つの方法に大別できる。

A) カモが飛来しない地域では代かき後5時間～5日の間に湛水状態で散播し、同時に除草剤ピラゾレート粒剤（商品名：サンバード粒剤）を散布する。除草剤の効果が出る播種後5日目に自然減水を利用して、または強制的に落水する。

B) カモが飛来する地域では、代かき後サンバード粒剤を散布し雑草の発生を抑制しておく。除草剤の効果が出る5日目に落水する。散播は自然減水により水が少なくなってきたとき、または落水後に行い、カモ害を防ぐ。

C) 条播機を用いて表面播種するときはB)と同様な水管理および除草剤の散布をする。湛水状態で水が濁っているときは播種機の走行した位置を確認できないためである。轍が見える状態になったら水の有り無しにかかわらず播種できる。田植え機に装着する側条施肥機を利用した条播機を使って、鉄コーティング種子を土壌表面に自然落下させる。作溝と覆土をしないため、事前にそれらの装置を取り外しておく。

なお、ここに記載した除草剤の散布方法は試験栽培用のものであり、生産水田においては関係機関の指導に基づく。A)、B)、C)いずれにおいても出芽と初期生長期に落水して土壌の異常還元を回避しているが、土壌管理が良好でまた減水深が大きく異常還元が発生しない水田では、播種から苗立ちまで継続して湛水状態とすることができる。

⑤ 苗立ち～収穫：低温下では播種後3週間、温暖な条件では2週間で苗立ちが完了する。

苗立ちの不良部分があれば補植した後湛水し、移植栽培に使っていると同等の除草剤を散布する。収穫まで倒伏に注意して移植栽培と同様な栽培管理を行う。

(4) コスト

鉄粉の単位重量当たりの価格は酸素供給剤の約半分またはそれ以下である。また鉄粉は産業廃棄物としても産出されており、さらに低価格で入手できるであろう。ただし産業廃棄物の利用に当たっては汚染物質が混入していないことを事前に確認しておく必要がある。

コーティング比は資材費に大きな影響を与える。生産者は土壌の特性や作業条件を勘案してコーティング比を主体的に決めることができる。近畿中国四国農業研究センターにおける試験水田の結果では、鉄粉の使用量を種子重の0.1倍まで低減しても浮き苗や鳥害を抑制できている。また、0.1～0.2倍のように鉄粉の使用量が少ないときは手作業でコーティングできるため、コーティングマシンを必要としない。

以上から、鉄コーティングに要する経費は酸素供給剤のコーティングに要する経費に比べて低くなる。コメ生産費の低い国外においても本技術の実用化が期待できるであろう。

3. 環境保全

熱帯アジアおよび日本で実施されている直播栽培では、代かき水を強制的に落とす落水播種が一般的である。一方、鉄コーティング直播では湛水播種が可能であり、また土壌の異常還元やカモ害の回避のために落水しなければならないときは自然減水を利用できる。世界的に水資源の枯渇が危惧されている中で、鉄コーティング直播の導入は節水栽培への糸口となる。

一般に水田作は環境保全効果が高いが、代か

き時の窒素やリンなどの栄養塩類の流出に伴った環境負荷については問題があるといわれている。特に琵琶湖のような閉鎖系水域周辺の水田作では富栄養化につながっていることが指摘されており、その対策が求められている。この原因は窒素やリンを多量に含む代かき水が、機械移植をするために強制的に落水されることにあり、そのような地域では同じように代かき水を強制落水する直播方法は適しない。栄養塩類の流出は作物の生産性の観点からは養分の損失となり、環境保全の観点からは富栄養化となる。琵琶湖の環境保全を考えた滋賀県の生産者が鉄コーティング湛水直播の試験栽培を2003年および2004年に実施し、代かき水を強制的に落とすことなく良好な苗立ちを達成している。

落水播種では除草剤を適期に散布することが難しく、また除草効果も低下しやすいため散布回数が増えやすい。湛水条件下でも播種できる鉄コーティング直播では除草剤の散布適期が広く、またその効果が上がることが期待できる。

試験栽培では代かき水を利用して除草剤を効かす方法を採用している。この方法ではイネの出芽初期生長に害を与える除草剤を使えないため、散布できる除草剤の種類が限られるという欠点はある。しかし、その効果は大きく、現地や試験圃場において雑草が問題になっていない。

湛水播種と落水播種では出現する雑草種やその量に大きな違いがあるといわれている。熱帯アジアにおけるWater seedingのメリットのひとつとして雑草害の抑制が言われているが、苗立ちが不安定なため広く普及していない。鉄コーティングにより苗立ちが安定すれば雑草の生態学的な管理が可能になりうる。

酸素供給剤のコーティングでは農薬ヒドロキシソキサゾール・メタラキシル粉剤（商品名：

タチガレエース粉剤）やイミダクロプリド水和剤（商品名：アドマイヤー水和剤）の同時コーティングが行われている。一般に酸素供給剤は水と反応した後水酸化カルシウムを生成しコーティング資材はアルカリ性を示すといわれている。一方、鉄コーティング資材のpHは種子の発芽や初期生長期においても中性であり、より多くの種類の農薬を同時コーティングできる可能性がある。農薬の種子コーティングへの使用は、イネにとって効果的であるのみならず、水田への直接の散布に比べて環境に与える影響は小さい。

熱帯アジアや日本の温暖地の水田にはジャンボタニシが侵入してきており、直播栽培では移植栽培より被害が大きい。被害を回避する手法の一つに落水がある。鉄コーティング種子は重いため、落水条件下でも適度に播種深度を調節できる。今後ジャンボタニシの害を回避する視点からの鉄コーティング湛水直播の栽培試験が必要である。

参考文献

- 1) 姫田正美 1998 第1部 課題へのアプローチ p.1-103 水稻直播栽培の新展開 日本の農業—あすへの歩み— 205 農政調査委員会 120p.
- 2) Yamauchi, M., A.M. Aguilar, D.A. Vaughan, and D.V. Seshu 1993 Rice (*Oryza sativa* L.) germplasm suitable for direct sowing under flooded soil surface. *Euphytica* 67:177-184.
- 3) Yamauchi, M., P.S. Herradura, and A.M. Aguilar 1994 Genotype difference in rice postgermination growth under hypoxia. *Plant Science* 100:105-113.

- 4) Yamauchi, M., P.V. Chuong, and N.M. Chau 1995 Ecophysiology of rice-crop establishment in wet direct seeding in Vietnam with emphasis on anaerobic seedling growth. p.89-95. G.L. Denning and V.-T. Xuan eds. Vietnam and IRRI: A Partnership in Rice Research. International Rice Research Institute, Philippines, and Ministry of Agriculture and Food Industry, Hanoi, Vietnam. 353p.
- 5) Yamauchi, M. and P.V. Chuong 1995 Rice seedling establishment as affected by cultivar, seed coating with calcium peroxide, sowing depth, and water level. Field Crops Research 41:123-134.
- 6) Yamauchi, M. and T. Winn 1996 Rice seed vigor and seedling establishment in anaerobic soil. Crop Science 36:680-686.
- 7) Yamauchi, M. and J.K. Biswas 1997 Rice cultivar difference in seedling establishment in flooded soil. Plant and Soil 189 :145-153.
- 8) Yamauchi, M., D.V. Aragones, P.R. Casayuran, P.C. Sta. Cruz, C.A. Asis, and R. T. Cruz 2000 Seedling establishment and grain yield of tropical rice sown in puddled soil. Agronomy Journal 92:275-282.
- 9) 山内稔 2001 鉄毒性の回避に基づいた水稻の無コーティング湛水直播栽培 日本作物学会紀事 70(別1号):10-11.
- 10) 山内稔 2002 湛水直播水稻における種子の鉄コーティングによる比重の増加と浮き苗回避 日本作物学会紀事 71(別1号):150-151.
- 11) 山内稔 2002 水稻の活性化種子の製造と湛水直播における利用 日本作物学会紀事 71(別1号):152-153.
- 12) 山内稔 2003 鉄コーティング湛水直播栽培の概要 日本作物学会紀事 72(別1号):4-5.
- 13) 山内稔 2004 イネ種子の鉄コーティング方法と湛水直播栽培 日本作物学会紀事 73(別1号):10-11.
- 14) 山内稔 2004 水稻の鉄コーティング湛水直播 農業および園芸 79:947-953.

写真で見る植物用語

岩瀬徹・大野啓一／著
A5判
定価(本体2,200円＋税)

図鑑にはさまざまな用語は使われていますが、読んでもよくわからない、といったことがあります。しかし、写真で見ると一目瞭然。本書は一つ一つの用語を実物の写真で表現した、見て分かる植物用語の図鑑です。好評発売中!

全国農村教育協会 〒110-0016 東京都台東区台東1-26-6 ホームページ: <http://www.zennokyo.co.jp>
Tel.03-3833-1821 Fax.03-3833-1665 (お問合せは出版部 03-3839-9160まで)