

## 水稲直播栽培の現状と展望

(独)農研機構 中央農業総合研究センター北陸研究センター 古畑昌巳

### 1. はじめに

現在、我が国の水稲栽培では苗箱に水稲種子を播種し、数週間後に苗を水田に移植する移植栽培がほとんどであり、移植栽培における稲作全労働時間は10a当たり27時間を切っている(農林水産省 2013)。移植栽培では育苗および田植え作業が1/4を占めているため、直播栽培導入による育苗の省略が稲作の省力・低コスト化につながるものと期待されている。しかし、直播栽培は一部の先導的農家により行われているのみで一般的な技術として普及しておらず、直播栽培の普及面積は水稲栽培全体の約1%である。その原因として、水田に直接播種するために出芽・苗立ちが不安定であること、移植に比較して登熟期に倒伏しやすいために収量が不安定であることなどがあげられる。全国の水稲の直播栽培面積(農林水産省 2010)は、2009年に乾田直播栽培が約6,805ha、湛水直播栽培が約12,831haであり、湛水直播栽培が約2/3を占めている。また、寒冷地である東北・北陸地域の湛水直播栽培は全国の湛水直播栽培面積の約77%を占めている(農水省 2008)。湛水直播は、その栽培様式によって散播(種子のばらばら播きを行う様式)、条播(条間を一定にして播種を行う様式)、点播(条間・株間を一定として一箇所に数粒をまとめて播種する様式)に分けることができる。また、播種深について、表面播

種では出芽しやすいが、浮き苗や転び苗が生じやすく、その後も倒伏しやすい。一方、土中播種では耐倒伏性を確保しやすいが、種子が土壌中に埋没するために出芽率が低下しやすいという問題がある。現在、比較的倒伏しやすい品種(コシヒカリ等)を利用した直播栽培では、耐倒伏性を持たせる目的で湛水土中直播(土中条播または土中点播)栽培が多く行われており、これら湛水土中直播栽培の面積増加が、これまで直播栽培面積全体の増加に大きく寄与してきた。本稿では、湛水土中直播栽培、品種育成への取り組み、鉄コーティング湛水直播栽培、イタリアにおける湛水直播栽培、湛水直播栽培における播種作業性に関する知見および情報を提供したい。

### 2. 湛水土中直播栽培

(1) 過酸化カルシウムコーティング種子の利用  
現在の湛水土中直播栽培の多くが過酸化カルシウム剤(カルパー粉粒剤16)をコーティングした種子を利用しており、出芽・苗立ち向上効果が認められている。当初、過酸化カルシウム剤のコーティング量は北海道で乾籾重の等倍量、北海道を除いた地域で乾籾重の2倍量で農業登録されていたが、播種時期の気温に留意すれば等倍量でも2倍量と同等の出芽・苗立ちが確保できることが報告され(吉永ら 2007)、現在

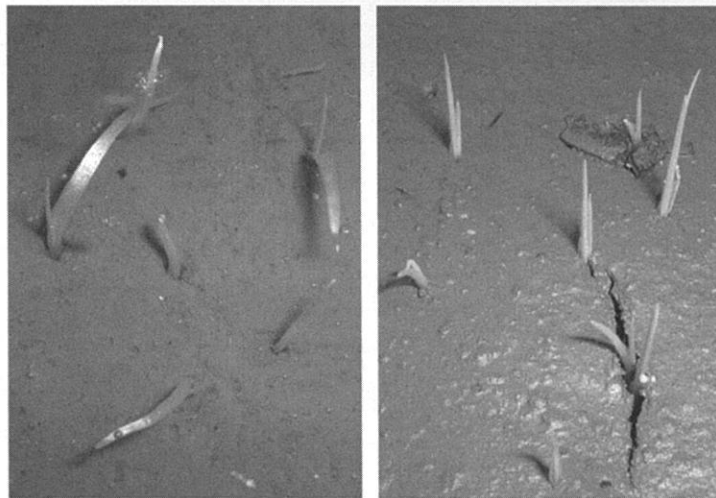
では北海道を除いた地域で等倍～2倍量のコーティング量で農薬登録されている。また、コーティング後加温処理については、過酸化カルシウム剤コーティング後に3日間20～25℃の条件で貯蔵すると土中出芽性が向上すること(吉永ら 2000)が報告され、寒冷地を中心にその効果が確認されている(東北農業研究センター 2002)。

## (2) 播種後落水の効果と問題点

土中播種は表面播種に比べて出芽率が低下しやすいが、播種直後から7～10日間程度の落水管理によって出芽・苗立ちの確保が図られることから(吉永ら 1997)、播種後落水は湛水直播栽培の出芽・苗立ちを確保する基本技術として全国に普及している(大場 1997, 丸山 2001, 2002)。また、出芽は鞘葉が地上部に出現する現象である。この時の湛水土壌では地表数mmを

除いて還元(低酸素)状態であり、地表面(好気的環境)上まで伸長した鞘葉はシュノーケルのような役割を果たし、これによって生長点に送られた酸素を利用して第1葉を抽出する(山内1997)と考えられている。古畑ら(2005a)は、湛水区では表層水の存在によって出芽直後に不完全葉抽出に必要な酸素の供給が十分でなくなり、鞘葉をさらに伸長させること、播種後落水土壌では微細なひび割れが生じると(久保寺・山田 1997)、この孔隙を通じて地表から入った空気によって種子近傍の土壌通気性は向上し、速やかに出芽からイネ1L抽出へと移行することを示した(図-1)。

一方、直播栽培の雑草防除において、全国的に最も問題となっているノビエは、九州などの暖地では播種後10日、東北・北陸などの地域では播種後15日を過ぎると葉令が2.0を越えることが報告されている(森田 1995) ことか



播種後湛水管理

播種後落水管理

図-1 播種後水管理の違いが湛水土中播種した水稻の初期生育に及ぼす影響。

播種後湛水管理(写真左)では、出芽後も鞘葉が伸長している。  
播種後落水管理(写真右)では、早期に鞘葉の伸長を停止し、イネ 1L を抽出する。

ら、除草剤散布時期を見据えた上での播種後落水管理を行うことが重要となる。一般的に、落水期間が長期化すると、入水後の減水深が大きくなり、その状態で除草剤散布を行った場合には、除草効果が低く、残草量が多くなる可能性が考えられる。また、北陸や東北のような播種時期が低温となる地域では、出芽・苗立ちを確保するため、播種後落水管理を導入したことにより、この時期の初期除草剤散布が制限されるために除草剤散布のタイミングを逸する場合があることが報告されている(酒井・佐藤 1998, 山本・菊池 2006)。

### (3) 落水管理における圃場条件と出芽・苗立ち

播種後落水管理を導入することを前提とした場合、播種前の代かきの程度や落水のタイミング、圃場の排水程度によってその効果は異なる。過度の代かきを行うと土壌表層の土壌通気性向上は抑えられ、出芽・苗立ちが低下すること(古畑ら 2005b)、播種後数日間の飽水状態(湛水深2mm～表土湿潤状態)後に落水した場合、飽水期間だけではなく、落水後も播種直後から落水した区に比べて土壌通気性が低く推移する可能性があること(古畑ら 2005c)、播種後落水を行った後でも圃場内で滞水した箇所では苗立ち数が少なく、出芽した個体の生育も悪いこと(古畑ら 2005d)が報告されている。さらに、代かきした水田土壌では地下へ浸透する水の割合は小さく、播種後の落水は主に地表から圃場排水溝への排水で行う必要があるが、地表から排水溝への排水の善し悪しは田面の凹凸によって決まること(田淵 1969)、圃場の均平性が不十分な場合には、圃場内での局所的な水の停滞が起これ、この部分の苗立ち数が減少すること(牧山・山路 1997)、水深が深い場所ではその

後の草丈や低位節での分けつ発生が抑制されること(佐々木ら 2002)が報告されている。

圃場の大区画化は、湛水直播水稲栽培を行う場合でも機械作業の効率向上をもたらし、一層の省力化、低コスト化が期待される(川崎 1989)一方、圃場の大型化によって地表および地下方向への排水性は水田内の位置により大きく異なってくる(多田 1989, 山路 1989)。地表の排水性を高めるためには、圃場に傾斜をつける、または均平精度を向上させる、地表に排水溝を設けることが有効である(丸山 1975, 山路ら 1981)。また、均平精度を高めることは圃場の残留水量、ピークとなる湛水深を浅くすることを可能とする(山路 1987)。現在はレーザー光測量・整地技術の開発(山路 1987)等によって旧来の整地、代かき方式に比べて圃場の高低差をかなり小さくすることが技術的に可能となっている。

### 3. 品種育成への取り組み

近年、耐倒伏性に優れるなどの直播適応性の高い品種が育成されている(農林水産省 2008)。これらの品種には、「ふくひびき(平成5年 東北農試)」、「どんとこい(平成6年 北陸農試)」、「味こだま(平成9年 新潟農試)」、「いただき(平成12年 北陸農試)」、「ミレニシキ(平成12年 農業研究センター)」、「ふくいずみ(平成14年 九州沖縄農業研究センター)」、「萌えみのり(平成18年 東北農業研究センター)」などが含まれているが、必ずしも出芽・苗立ち性の選抜から育成された品種ではないため、土中直播栽培での出芽・苗立ち特性は大幅には改善されていない。

良出芽品種育成のため、多くの出芽・苗立ち検定が行われた結果、「Italica Livorno」,

「ASD1」, 「Arroz da Terra」, 「Ta Hung Ku」などが低温出芽・苗立ち性あるいは土中出芽・苗立ち性に優れる品種として選定され(萩原 1993, Biswas and Yamauchi 1997, Ogiwara and Terashima 2001, 太田ら2003), 良出芽品種育成のための交配母本として利用されている。

Miuraら(2002)は, 「Arroz da Terra」を交配親として試験管を用いた鞘葉の低温伸長性の選抜と戻し交配により, この形質に関する準同質遺伝子系統である「北海PL8」を育成し, この選抜方法が寒地における湛水直播栽培での苗立ち向上に有効であるとしている。また, 太田ら(2003)は, 中国品種である「Ta Hung Ku」の土中出芽・苗立ち性が優れていることを明らかにし, 「Ta Hung Ku」を交配親として土中出芽性に優れた「北陸PL3」, 「関東PL13(和系375)」を育成した(太田ら 2004)。

「北海PL8」では「Arroz da Terra」の収量の低さが改善されているが, 玄米の外観品質は若干劣り, 「北陸PL3」および「関東PL13」では「Ta Hung Ku」の脱粒性, 耐倒伏性等が

改善されているが, 収量性・玄米品質には問題があった。さらに, 古畑ら(2012)は, 寒冷地での湛水直播栽培を想定して, 国内外153品種・系統を供試して育苗箱を利用した低温土中出芽検定を行った結果, 「Ta Hung Ku」および「北陸PL3」が出芽速度, 最終出芽率, 初期生育量に最も優れていることを確認した(図-2)。また, 2010年に福井農試は, 「北陸PL3」を父本とした「越南242号(福系10323)」を育成した。この系統は, 「ハナエチゼン」並の食味を持ちながら, 「北陸PL3」に近い土中出芽性を有している(田野井ら 2011)ため, 北海道～北陸地域で普及している良食味品種に比べて, 低温土中出芽性が顕著に優れる(図-3, 古畑ら 2012)。このように, 優れた土中出芽性および良食味性を併せ持つ直播適応性品種の育成も実用可能な段階に近づいている。

#### 4. 鉄コーティング湛水直播栽培

近年, 従来の過酸化カルシウムコーティング種子ではなく, 鉄コーティング種子を利用した湛水直播栽培が提案されている(山内 2012)。

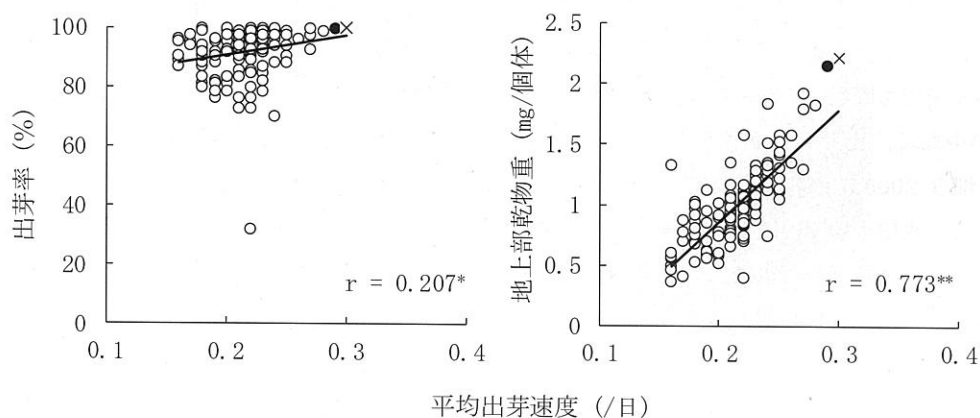


図-2 低温土中出芽検定における平均出芽速度と播種後14日目の出芽率および地上部乾物重との関係。

×: Ta Hung Ku, ●: 北陸 PL3. \*\*, \*は1%, 5%水準で有意な相関関係があることを示す。

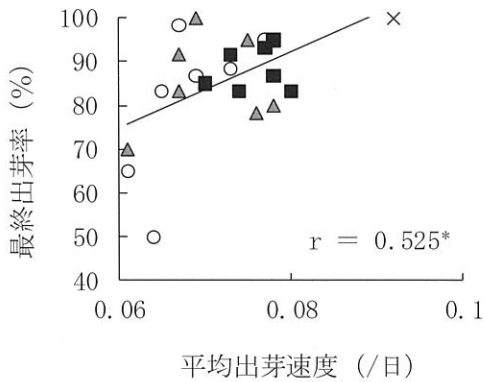


図-3 平均出芽速度と最終出芽率との関係。  
 ■：北海道品種,  
 ▲：東北品種,  
 ○：北陸品種,  
 ×：越南242号,  
 \*は5%水準で有意な相関関係があることを示す。

山内は、かつての稲作では土壌表面に催芽種子が播種されて初期生育が良好であったこと、過酸化カルシウム剤を利用した土壌中への播種では一定の播種深が求められることから、鉄コーティングによって浮き苗を抑制しながら、土壌表面播種によって初期生育量を確保するねらいでこの技術を開発した(注：山内稔 2007. 鉄コーティング湛水直播技術と飼料用稲栽培への適用)。また、後に鳥害を回避する効果もあることが見いだされた(山内 2003)。この鳥害回避効果はコーティングの皮膜が堅いため食べられない物理的効果であると説明されている(山内 2004, 2005a, b)が、酸化鉄としての忌避効果(松村・古畑 2007)やコーティング種子表面の色調によるカモフラージュ効果の可能性が報告されている(図-4, 古畑ら 2009, 2011)。

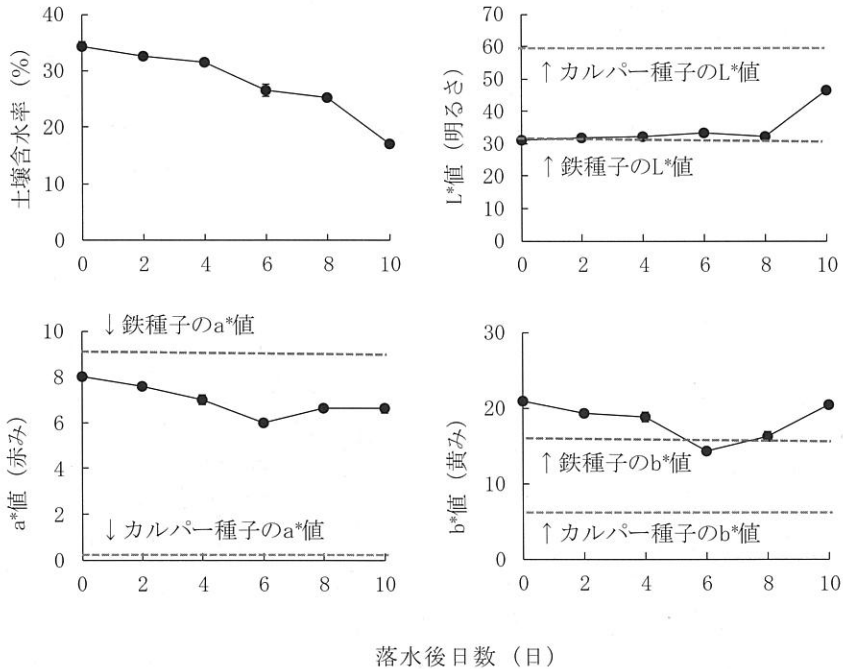


図-4 落水後日数の経過に伴う土壌表層の色差と土壌含水率の推移。(古畑ら 2009)を一部改変。実線は土壌表層の値を示し、点線はカルパー種子および鉄種子表面の色差を示す。縦棒は標準誤差を示す。

一般的な製造方法は、常温で浸種した後に乾燥させた種子（活性化種子）を利用し、種子にスプレーしながら、還元鉄粉と焼石膏の混合物で造粒する。その後、苗箱等に薄く広げて放冷しながら、コーティング種子の酸化反応が停止するまで錆びさせる。また、資材のコーティング量は乾粒重の0.5倍量が標準的である。播種は、播種様式によって播種前後の水管理や除草体系が異なるが、いずれも表面播種することを前提としている。

現在、鉄コーティング直播栽培の普及面積は急速に拡大しており、2010年には1000haを超えているが、さらなる普及拡大を図る上で早急な対応が必要な課題として、播種同時初中期除草剤の開発が挙げられている（宮越 2011）。また、鉄コーティング直播栽培は表面播種のため、土中播種に比べて根が露出しやすく、除草剤の薬害によって苗立ち率の低下や生育抑制が起こりやすい可能性がある。これについて、日本植物調節剤研究協会では、技術情報（<http://www.japr.or.jp/gijyutu/014.html>）で「直播水稲表面播種（鉄コーティング粉衣種子）にて実用性が確認された薬剤」を紹介しているので

考にされたい。

## 5. イタリアにおける湛水直播栽培

現在、日本における水田作経営の平均作付面積は2haに満たないが、イタリアにおける稲作経営の平均規模は約50haであり、20倍以上の開きがある。また、平均的な一筆当たりの圃場面積が2haであり、最大で一筆の面積が10ha程度となる圃場も存在する。さらに、イタリアにおける直播栽培の主な特徴として、無代かき湛水直播栽培が主流であり、ブロードキャスター等の播種機を利用して20kg/10aの播種を行っている（図-5、kg当たりの種子購入代金は日本の約1/7のため、10a当たりの種子購入代金は日本とほぼ同額である。）ことが挙げられる。このことから、日本型直播栽培に比べてより大規模条件で行われているイタリア型直播栽培の評価・解析により、今後日本における直播栽培のさらなる省力/低コスト/大規模化に伴い生じうる問題点、解決方法の糸口が示されると考えられる。ここでは、イタリア水稲品種を供試したイタリア型湛水直播栽培の試験結果の一部を紹介したい。



図-5 イタリアにおける播種作業および播種後の初期生育状況（北陸研究センター笹原和哉氏提供）。

写真左：ブロードキャスターを利用した播種作業。写真右：播種後7日目の様子。

表-1 圃場条件における出芽・苗立ちの比較

栽培型	品種	苗立ち 本数 (本/m <sup>2</sup> )	推定苗 立ち率 (%)	茎葉部 乾物重 (g/m <sup>2</sup> )	草丈 (cm)	葉齢
日本	LUXOR	81ab	88.0a	5.8a	16.1a	5.6a
	OPALE	75ab	77.3ab	3.9a	12.9ab	5.6a
	ハナエチゼン	91a	83.4ac	4.0a	12.1b	5.4a
	あきたこまち	91a	75.2ab	5.4a	12.5ab	5.5a
	萌えみのり	75ab	66.9bc	3.5a	13.3ab	5.4a
	夢あおば	65b	65.0b	2.3a	12.6ab	5.2a
イタリア	LUXOR	354a	57.7a	3.8a	16.2a	4.5a
	OPALE	351a	54.4a	4.3a	11.3ab	4.4a
	ハナエチゼン	217ab	30.0ab	2.2a	10.5ab	4.2a <sup>4</sup>
	あきたこまち	203ab	25.2ab	1.7a	10.2ab	4.4a
	萌えみのり	214ab	28.5ab	2.1a	11.4ab	4.4a
	夢あおば	47b	7.0b	0.4a	8.7b	4.0a
	日本型平均	80	76.0	4.1	13.2	5.4
	イタリア型平均	231	33.8	2.4	11.4	4.3
	有意差	*	**	*	*	**

日本型は、2012年4月19日代かき直後に乾糶3 kg/10 a相当の過酸化カルシウム等倍種子を表面播種。イタリア型は、2012年4月19日に乾糶20 kg/10 a相当の浸種種子を表面播種。播種後35日目の値。同一英文字は、同一栽培型の品種間で5 %水準の有意差が無いことを示す (Tukey法)。\*\*, \* : 対応のあるt検定の結果、日本型およびイタリア型の平均値間で1 %, 5 %水準の有意差があることを示す。

日本型直播栽培 (過酸化カルシウムコーティング種子利用: 代かき圃場に乾糶3kg/10a表面播種) では、イタリア品種 (LUXOR, OPALE) は他品種に比べて明らかな差はないが、イタリア型直播栽培 (1日浸種糶利用: 無代かき圃場に乾糶20kg/10a表面播種) では、イタリア品種は他品種に比べて苗立ち率が顕著に高く、m<sup>2</sup>当たり苗立ち本数が顕著に多かった (表-1, 古畑ら 2013)。この要因として、イタリア品種では、発芽速度が速い特性によって、無代かき圃場に表面播種された条件で出芽・苗立ちが早まることで、苗立ち率が向上すると考えられた。また、

地下部形質について、生育初期の種子根伸長性に優れ、冠根発生時期が早いことによって、表面播種条件で浮き苗が発生しにくくなり、このことが苗立ちの安定に寄与している可能性が考えられた。

## 6. 湛水直播栽培における播種作業性

作業体系の確立に関して、75PS級トラクタに装着した作業幅4.1mの代かきロータリの作業量は0.86~1.5ha/h程度 (農業機械化協会編 2009a)、1日当たりの代かき時間を9時間とした場合、播種前日に仕上げ代 (2回目の代かき)

を行える面積は7.7～13.5ha程度となることから、10ha以上の水田作経営を想定した場合、複数台のトラクタおよび代かきロータリの導入も検討する必要がある。鉄コーティング直播(点播)機の播種可能面積は、移植機並みの4ha/日と報告されており(宮越 2011)、農家が保有する現状の作業機で十分まかなえらと考えられる。一方、北陸研究センターで試作したエアアシスト条播機(帖佐ら 2009)では、現地圃場試験の実測値から算出した圃場作業量は1.12 ha/hであり(古畑ら 2011)、1日9時間稼働した場合、播種可能面積は約10ha/日となる。また、エアアシスト条播機のような圃場作業量が大きい播種機を導入した場合、1台のトラクタでは代かき作業が間に合わず、播種機の性能を生かすためにはシミュレーションの結果、トラクタ複数台体制および4品種利用によって、50 ha以上の水稲直播栽培が可能となった(塩谷ら 2011)。イタリア型直播栽培におけるブロードキャスターの圃場作業量も大きいことが想定されることから、今後、圃場の大規模化や大区画化に対応する圃場作業量の大きい播種機を導入する場合、トラクタ複数台体制による代かき作業体系技術もしくは無代かき作業体系技術を確立する必要があると考えられる。

以上、本稿では、湛水土中直播栽培における過酸化カルシウムコーティング種子と播種後落水管理の利用、直播適応性が高い(出芽・苗立ち性に優れる)品種の育成状況、鉄コーティング直播栽培の概略と課題(対応できる除草剤の選定)、イタリア型直播栽培の特徴、圃場大規模化/大区画化に対応した播種機導入についての知見および情報提供を行った。本稿が水稲直播栽培普及の一助になれば幸いである。

## 参考文献

- Biswas, J.K. and M.Yamauchi 1997. Mechanism of seedling establishment of direct-seeded rice (*Oryza Sativa* L.) under lowland conditions. *Bot. Bull. Acad. Sin.* 38:29-32.
- 古畑昌巳・楠田宰・福嶋陽 2005a. 落水処理による土壌三相構造の変化が湛水直播水稲の出芽と苗立ちに及ぼす影響. *日作紀* 74:1-8.
- 古畑昌巳・楠田宰・福嶋陽 2005b. 代かき程度が湛水直播した水稲の落水条件下における出芽と苗立ちに及ぼす影響. *日作紀* 74:9-16.
- 古畑昌巳・楠田宰・福嶋陽 2005c. 湛水直播・落水栽培における落水時期が水稲の出芽・苗立ちに及ぼす影響. *日作紀* 74:134-140.
- 古畑昌巳・楠田宰・福嶋陽 2005d. 圃場における播種前の代かきおよび播種後の落水程度が打込み点播機を利用した湛水直播水稲の出芽と苗立ちに及ぼす影響. *日作紀* 74:212-217.
- 古畑昌巳・帖佐直・松村修・湯川智行 2009. 鉄資材のコーティングが湛水直播水稲の出芽・苗立ちに及ぼす影響-酸素発生資材との比較-. *日作紀* 78:170-179.
- 古畑昌巳・大角壮弘・帖佐直・松村修 2011. 鳥害回避に関連する鉄コーティング種子の硬さ、種子表面の色差および発芽特性-異なる種子予措程度、コーティング資材およびコーティング量での比較-. *日作紀* 80:302-311.
- 古畑昌巳・帖佐直・塩谷幸治・塚本隆行・関正裕・細川寿 2011. エアアシスト湛水直播栽培の現状と課題・展望. *北陸作報* 46:45-48.
- 古畑昌巳・帖佐直・大角壮弘・松村修 2012. 寒冷地で湛水土中に播種された水稲の初期生育に関連した品種特性の評価. *日作紀* 81:10-17.
- 古畑昌巳・田野井真・富田桂・小林麻子・関正裕 2012. 北海道、東北、北陸地域の良食味品



- 種および越南242号の出芽・苗立ち特性. 日作紀 81(別2):50-51.
- 古畑昌巳 2013. イタリア型湛水直播栽培技術の評価 - 異なる品種と栽培型における出芽・苗立ちの解析 -. 日作紀 82(別1):20-21.
- 萩原素之 1993. 水稻の湛水土壤中直播における出芽・苗立ちに関する研究. 石川農短大特報 20:1-103.
- 川崎健 1989. 水田区画と機械化作業. 農土誌 57:29-34.
- 久保寺秀夫・山田一郎 1997. 極表層土壌の物理性が直播水稻種子の発芽に及ぼす影響. 土肥誌講演要旨集 43:3.
- 牧山正男・山路永司 1997. 直播稲作の現状と農業土木技術から見た湛水直播の問題解決の可能性. 農及園 72:1097-1102.
- 丸山幸夫 2001. 直播水稻の栽培技術 - 水管理 -. 「農業技術体系作物編2 イネ.基礎技術編」追録23号技402の1の8.
- 丸山幸夫 2002. 水稻栽培技術の現状と展望. 食糧月報 7:38-46.
- 丸山利輔 1975. 水田の水収支 - とくに, 水田内における地表残留水量について -. 土壌の物理性 32:11-15.
- 松村修・古畑昌巳 2007. 鉄・過酸化石灰混合粉衣が直播水稻の鳥害と生育に及ぼす影響. 日作紀 76(別2):8-9.
- Miura K., M. Kuroki, H. Shimizu and I. Ando 2002. Introduction of the long coleoptile trait to improve the establishment of direct-seeded rice in submerged fields in cool climates. *Plant Prod. Sci.* 5:219-223.
- 宮越彊 2011. 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.
- 森田弘彦 1995. 水稻直播栽培における雑草防除の現状と問題点. 植物防疫 49:9-15.
- 農業機械化協会編 2009a. 2009/2010 農業機械・施設便覧. 61-65.
- 農林水産省2008. 直播の現状と課題. [http://www.maff.go.jp/j/seisan/ryutu/zikamaki/z\\_genzyo/pdf/all.pdf](http://www.maff.go.jp/j/seisan/ryutu/zikamaki/z_genzyo/pdf/all.pdf) (2013/3/27閲覧).
- 農林水産省2010. 水稻直播栽培技術の普及状況. [http://www.maff.go.jp/j/press/seisan/sien/pdf/100611\\_1-01.pdf](http://www.maff.go.jp/j/press/seisan/sien/pdf/100611_1-01.pdf) (2013/3/27閲覧).
- 農林水産省2013. 農業経営統計調査 平成23年産米生産費 米の作業別労働時間 [http://www.e-stat.go.jp/SG1/ejstat/List.do\\_lid=000001108727](http://www.e-stat.go.jp/SG1/ejstat/List.do_lid=000001108727) (2013/3/27閲覧).
- Ogiwara, H. and K. Terashima 2001. A varietal difference in coleoptile growth is correlated with seedling establishment of direct seeded rice in submerged field under low-temperature conditions. *Plant Prod. Sci.* 4:166-172.
- 大場茂明 1997. 落水出芽法の由来. 農業技術 52:33-34.
- 太田久稔・上原泰樹・井辺時雄・吉田智彦 2003. 水稻の湛水土中直播栽培における土中出芽性の新たな検定方法と土中出芽性の新たな遺伝資源. 日作紀 72:295-300.
- 太田久稔・笹原英樹・小牧有三・上原泰樹・安東郁男・井辺時雄・吉田智彦 2004. 水稻の湛水土中直播栽培における優れた系統の選抜・育成. 日作紀 73:450-456.
- 酒井究・佐藤勉 1998. 水稻湛水直播栽培における除草剤使用適期の推定法. 植調 32:106-109.
- 佐々木良治・柴田洋一・鳥山和伸 2002. 大区画水田における田面の高低が直播水稻の初期生育と分けつに及ぼす影響. 日作紀 71:308-316.
- 塩谷幸治・古畑昌巳・帖佐直 2011. エアアースト水稻湛水条播を核とした作業体系の規模拡大

- と費用低減効果. 農村経済研究 29:36-43.
- 田淵俊夫1969. 土壤物理. 第6章 水田土層と水移動. 第4節 粘土質の水田土層の排水. 養賢堂, 東京. 261-267.
- 多田敦 1989. 大区画水田と水田構造 -排水を中心として-. 農土誌 57:185-190.
- 田野井真・富田桂・小林麻子・林猛 2011. 優れた土中出芽性を有する水稻系統の育成. 北陸作報 46:4-8.
- 帖佐直・古畑昌巳・大嶺政朗・松村修 2009. 水稻湛水直播のためのエアアシスト条播技術の開発 播種機の概要とエアアシストの効果. 農作業研究 44:211-218.
- 東北農業研究センター 2002. 直播の基本技術(湛水直播を中心として). [http://www.naro.affrc.go.jp/tarc/symple\\_blog/files/chokuha4.pdf](http://www.naro.affrc.go.jp/tarc/symple_blog/files/chokuha4.pdf) (2013/3/27閲覧)
- 山路永司・富田正彦・竹中肇・岩淵吉博 1981. 3次元囲い込みモデルによる地表水残留状況の検討 -大区画汎用圃場に関する研究(I) -. 農土論集 94:16-22.
- 山路永司 1987. レーザー光測量の大区画圃場整備への応用. 農及園 62:943-948.
- 山路永司 1989. 大区画水田の均平. 農土誌 57:191-196.
- 山本倫子・菊池晴志 2006. 水稻湛水直播における播種後落水期間中に使用できる初期除草剤の効果. 東北農業研究 59:41-42.
- 山内稔 1997. 湛水土壤中における直播水稻の苗立ち. 土肥誌 68:467-476.
- 山内稔 2003. 鉄コーティング湛水直播栽培の概要. 日作紀 72 (別1):4-5.
- 山内稔 2004. 水稻の鉄コーティング湛水直播. 農及園 80:947-953.
- 山内稔 2005a. 「動散で播く鉄コーティング種子 雑草と鳥害をクリア!」 現代農業84:114-117.
- 山内稔 2005b. 浮き苗と鳥害を防ぎ, いつでもまける鉄コーティング種子. 「農業技術体系作物編 2 イネ.基礎技術編」 追録27号:技402の1の7の2-8.
- 山内稔 2012. 鉄コーティング種子を用いた水稻湛水直播技術. 日作紀 81:148-159.
- 吉永悟志・富樫辰志・脇本賢三・下坪訓次 1997. 水稻の代かき同時土中直播栽培の確立に関する研究. 4. 播種後の水管理が出芽・苗立ちに及ぼす影響. 日作紀 66 (別2):3-4.
- 吉永悟志・脇本賢三・富樫辰志・田坂幸平 2000. 土中出芽性向上のための酸素供給剤被覆水稻種子の乾燥および貯蔵条件. 日作紀 69:146-152.
- 吉永悟志・境谷栄二・吉田宏・山本晶子・若松一幸・菊地栄一・本馬昌直 2007. 東北地域の水稻湛水直播栽培における酸素発生剤被覆量と苗立ちとの関係. 日作紀 76:445-449.