

## 水稻の初冬直播き栽培における出芽率に及ぼす種子への薬剤処理と採種年の効果

及川聡子<sup>1)</sup>・鈴木健策<sup>2)</sup>・西政佳<sup>2)</sup>・由比進<sup>2)</sup>・松波麻耶<sup>2)</sup>・下野裕之<sup>2,3)</sup>

(<sup>1)</sup> 岩手大学大学院連合農学研究科, <sup>2)</sup> 岩手大学農学部, <sup>3)</sup> 岩手大学次世代アグリイノベーション研究センター)

**要旨**：寒冷地において、雪解け後の作業制約や春作業の競合がない初冬直播き栽培は、規模拡大やコスト低減を実現する有効な手段の1つである。本研究では、初冬直播き栽培での越冬後の出芽率に与える種子への薬剤処理の効果と採種年の影響を評価した。コーティング資材を含め全26種の薬剤処理の効果を検討した結果、最も効果の高い薬剤はチウラム水和剤（キヒゲン R-2 フロアブル、以下、KG）であり、対照（無コーティング、当年産種子、休眠打破なし）での越冬後の出芽率3～9%より17ポイント向上させた。また、前年産と当年産の種子では前年産の出芽率が低下すること、また種子の休眠打破処理によって出芽率が大幅に低下することを明らかにした。すなわち、初冬直播きにおいてKGが有効な種子薬剤であることを見出すとともに、種子休眠の維持が初冬直播き栽培の出芽率の向上に重要であることを示した。

**キーワード**：乾田直播、寒冷地、休眠、殺菌剤、種子コーティング、初冬直播き、チウラム、鉄コーティング。

水稻の直播栽培は、移植栽培と比べ、資材経費と労力を低減できる省力・低コスト技術である。直播の栽培面積は2003年の1万3千haから2017年の3万3千ha（農林水産省2019）へと、過去15年間で約3倍に急増した。現状では、水稻の栽培面積に占める直播栽培の比率（以下、普及率）は2.3%と低いが、担い手不足による経営体への農地集約の進行を背景として、省力・低コスト技術である直播栽培のさらなる広がりが期待される。

日本の水稻の主要産地は、北海道、東北、北陸地方の寒冷地であり、全国の水稻（子実用）収穫量の51%にあたる394万トン（2019年）を産出している（農林水産省2020）。寒冷地の経営体あたりの耕地面積は、全国平均1.4haよりも63%広い2.3haであり（農林水産省2015）、直播栽培による省力・低コストまた規模拡大の余地の大きい地域に位置付けられる。実際、寒冷地域での直播栽培の普及率は3.5%（北海道2.2%、東北3.0%、北陸5.1%）（2017年）と全国平均より高く（農林水産省2019）、さらなる普及が期待される。しかし、降雪がある寒冷地では、春の耕起や播種作業が圃場の雪解け後から始まるため播種適期が短く、播種が遅れた場合には、秋までに生育期間が確保できず、収量を不安定化させるリスクがある。

下野ら（2012）は、その問題の解決策の1つに、春に行う播種作業を前年の収穫が終わった初冬に行い、イネを種子のまま土中で越冬させて翌年春に出芽させる「初冬直播き栽培」を提案した。初冬直播き栽培は積雪前に播種するため、播種時期の選択幅が大きく広がる。これによって、春作業の競合を軽減するだけでなく、すでに所有している播種機やオペレーターを有効利用して、新たな投資をせずとも規模拡大や作業分散を実現できる。しかし、この技術では初冬に直播きした種子が翌春の出芽まで長期にわたり

土中にあるため、越冬中の種子周辺の地温や水分の急激な変動、さらに病害の影響などにより、出芽率の低下が問題となる。加えて、同一環境においても品種により越冬後の出芽率が異なることから（及川ら2019）、種子が持つ休眠性の影響も想定され、その制御による越冬後の出芽率の向上が期待される。

初冬直播き栽培での出芽率の向上には、種子表面へのコーティングや薬剤処理による種子の保護が有効である。及川ら（2019）は、乾初めの表面に鉄をコーティングする「初冬鉄コーティング」（以下、「初冬鉄コ」）を開発し、それにより越冬後の出芽率が無コーティングの5%から24%にまで向上することを明らかにした。

本研究では、さらなる出芽率の向上を目指して、種子への薬剤処理の効果の評価した。薬剤の処理法には、2通りの使用方法が登録されている。すなわち、高濃度の薬剤を直接、乾初めに処理する方法と、低濃度の水溶液に24時間浸漬させる方法である。初冬直播き栽培での越冬後の出芽率の向上には、種子の生理的な活動をできるだけ抑えることが必要と考えられるため、吸水が少ない前者の高濃度処理が有望と仮説を立て検証した。加えて、相乗効果を期待して、種子表面に殺菌剤を処理したのちに「初冬鉄コ」を組み合わせる方法も試みた。さらに、「初冬鉄コ」の鉄の分量を変えたコーティング、またベンモリ（原2016）とあわせて計19種の方法の中から越冬後の出芽率を高める方法を検討した。

次に、これまで初冬直播き栽培では当年産の種子を用いているが（及川ら2019）、種子コーティングなどの準備時間を考慮すると、前年産種子の利用がより望ましい。しかし、これまで初冬直播き栽培において、前年産の種子を当年産の種子と比較して検討した例はない。大平ら（2015）

は飼料イネ由来の漏生イネの対策を検討した秋田県における研究の中で、種子に対して石灰窒素由来のシアナミド溶液処理または高温処理 (30℃, 17 日間) を施し休眠から覚醒させると、無処理よりも越冬後の発芽率は低下しやすいことを報告している。また、大平・佐々木 (2011) は広島県において、品種による休眠性の違いが、飼料イネ種子の翌年の生存に影響し、休眠が浅い品種ほど越冬後の発芽率は低下しやすいことを指摘した。前年産の種子は、収穫後の貯蔵中に徐々に休眠から覚醒することが知られており (Roberts 1961, 林・日高 1979), 前年産の種子では初冬直播きにおいて越冬後の出芽率が低下すると推察できる。本研究において、前年産の種子でどの程度出芽率が低下するかを評価した上で、種子への薬剤処理やコーティング資材の改良、播種量を増やすことの有効性を議論した。

すなわち本研究では、初冬直播き栽培において、1) 出芽率を前報 (及川ら 2019) 以上に向上させる薬剤ならびにコーティング資材の探索、2) 前年産種子の利用の可否を検討した。

## 材料と方法

試験は 2017 年 11 月～2018 年 6 月 (以下, 2017/2018 年) と 2018 年 11 月～2019 年 6 月 (以下, 2018/2019 年) の 2 シーズンに、岩手県滝沢市 (岩手大学農学部附属寒冷フィールドサイエンス教育研究センター滝沢農場, N 39.8°, E 141.2°, Alt 291 m) で行った。供試品種は、2017/2018 年は「あきたこまち」、2018/2019 年は「ひとめぼれ」とした。なお、採種年の影響の検討では、同一品種の前年産と当年産を用いた。両品種ともに岩手県の主力品種であり、岩手県の梗米における作付面積に占める割合は「ひとめぼれ」が 68.1%, 「あきたこまち」が 14.8% である (米穀安定供給確保支援機構 2018)。なお、供試種子は収穫後、機械乾燥 (含水率 15%) および脱芒し、充実した種子を唐箕で選別し用いた。両品種とも岩手大学産を用いた。

### 1. 種子の薬剤処理とコーティング

種子へのコーティング処理を、26 種類 (2017/2018 年に 7 種類, 2018/2019 年に 24 種類) を対照に加えて行った (第 1 表)。それぞれの当年に収穫した乾籾種子に 10～11 月にかけて種子処理を行い、その後は室温で 2～3 日間乾燥させた。コーティングした種子は播種までの期間、低温・暗所に保存した。対照は無コーティングの乾籾種子 (以下、無処理種子) とした。

薬剤は、7 種: チウラム水和剤 (キヒゲン R-2 フロアブル, 米澤化学 (株), 京都, 以下, KG), イブコナゾール・銅水和剤 (テクリード C フロアブル, クミアイ化学 (株), 東京, 以下, TD), オキシリニック酸・プロクロラズ水和剤 (スポルタックスターナ SE, 日産化学 (株), 東京, 以下, SS), ベノミル水和剤 (ベンレート水和剤, 住友化学 (株), 東京, 以下, BT), 銅・フルジオキシニル・ペフラゾエー

ト水和剤 (モミガード C 水和剤, 北興化学工業 (株), 東京, 以下, MD), ヒドロキシシソキサゾール・メタラキシル粉剤 (タチガレエース M 粉剤, 三井化学アグロ (株), 東京, 以下, TE), テトラクロロイソフタルオニトリル水和剤 (ダコニール 1000, (株) エス・ディー・エス バイオテック, 東京, 以下, DK) を用いた。それぞれの薬剤の処理方法は、各薬剤で登録された使用方法に従い、2 通りの使用方法が登録されている場合は両方 (種子を高濃度を処理する方法, 低濃度の水溶液に浸漬 (24 時間) する方法) を行った。また、吸水による種子の越冬後出芽率に及ぼす影響を評価するため、水に浸漬 (24 時間) した区を設けた。

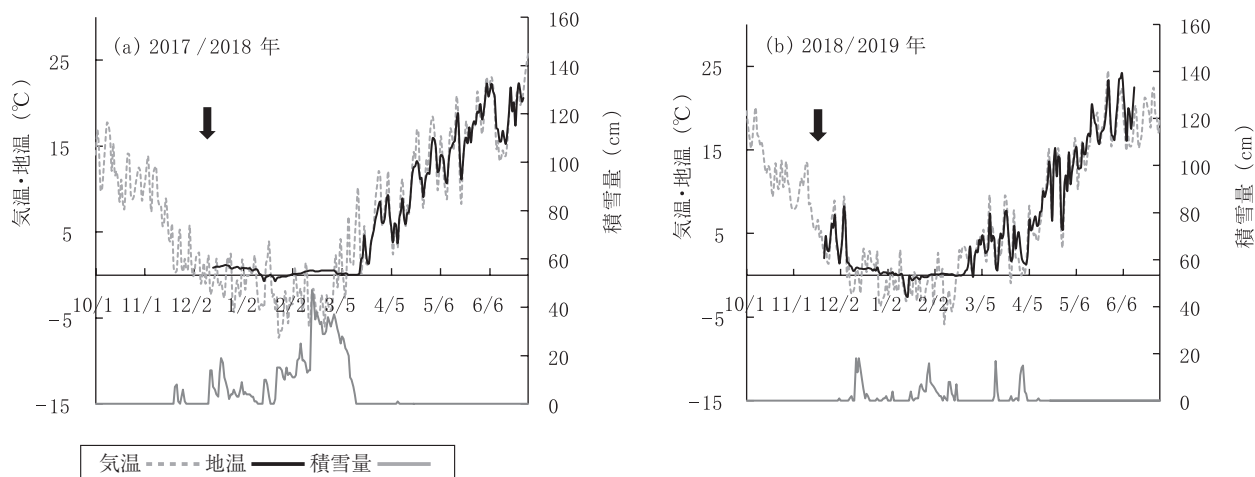
コーティング資材については、「初冬鉄コ」 (及川ら 2019) のコーティング方法に従い、乾籾種子重に対する鉄コーティング比 0.5 倍 (以下, 鉄 0.5) を基準とした。さらにコーティング比を 0.25 倍 (以下, 鉄 0.25), 1.0 倍 (以下, 鉄 1.0), 1.5 倍 (以下, 鉄 1.5) に変えた処理を設けた。べんモリ資材は乾籾種子重の 0.1 倍量をコーティングするべんモリ 0.1 倍重用 (森下弁柄工業 (株), 三重, 以下, べんモリ 0.1), 乾籾種子重の 0.3 倍量をコーティングするべんモリ 0.3 倍重用 (森下弁柄工業 (株), 三重, 以下, べんモリ 0.3), べんモリ 0.3 倍重用よりも作業性を良好にし、粉落ちを少なく改良したべんモリ資材 (商品名: 粉化粧, 森下弁柄工業 (株), 三重, 以下, べんモリ 0.3 改良) の処理区を設けた。さらに、上記薬剤と「初冬鉄コ」0.5 倍を組み合わせ、下層 (種子の表面) に薬剤 (高濃度処理), 上層 (処理した薬剤の表面) に「初冬鉄コ」の 2 重コーティングの処理も設定した。

播種は、前報 (及川ら 2019) と同様にロータリーで約 15 cm の深さに耕起した後、V 字状の突起を付けた播種板 (90 cm × 90 cm, 条間 15 cm × 6 条, V 字条溝深さ 5 cm (2017/2018 年), 2.5 cm (2018/2019 年)) でつけた溝に手で条播きし、育苗用培土 (無肥料培土, (株) いなほ化工, 富山) を 2～3 cm の厚さに覆土した。播種日は 2017 年 12 月 6 日, 2018 年 11 月 20 日であり、播種量は 2017/2018 年が播種溝 90 cm に 86 粒, 2018/2019 年が播種溝 45 cm に 100 粒に設定した。試験は、2017/2018 年が 4 反復, 2018/2019 年が 5 反復とした。出芽調査は、2017/2018 年は 2018 年 6 月 28 日, 2018/2019 年は 2019 年 6 月 14 日に行った。出芽率は播種した種子数に対する出芽した種子数の比率で表した。

播種時点での種子の発芽能力を評価するため、実験室内で発芽試験を行った。ろ紙を敷き 15 ml の滅菌水を注いだシャーレ (直径 90 mm, 高さ 15 mm) 内に種子 100 粒を播種し, 25℃ の恒温機 (2017/2018 年: IC402, ヤマト科学 (株), 東京, 2018/2019 年: LTE-510, EYELA, 東京) で培養した。試験開始から 4, 7, 14 日目に発芽数を調査した。既存の研究で培養下の発芽率は、休眠程度が深いもののほど初期の発芽率が低いことが報告されているため (大平・佐々木 2011), ここでは 4 日目の発芽率を休眠程度の指標と定義

第1表 用いた薬剤、コーティング資材とその処理法および各コーティング種子の播種前状態での発芽率。

処理 No.	処理名	含有資材 (No.2~8), 有効成分 (No.9~27)	方法	2017/2018 年		2018/2019 年	
				出芽率	発芽率 4 日 /14 日	出芽率	発芽率 4 日 /14 日
1	無処理	—	—	○	65.6/97.8	○	50.7/98.7
2	鉄 0.5	酸化鉄	鉄のコーティングは、乾籾種子に鉄粉（乾籾種子重に対し 0.5 倍量）および焼石膏（鉄粉重に対し 0.1 倍量）を混ぜた混合鉄粉をコーティングした後、仕上げ石膏（鉄粉重に対し 0.05 倍量）を付着させ、仕上げに少量の加水を行った。この鉄 0.5 倍重基本量とする。	○	16.7/96.7	○	2.7/90.0
3	鉄 1.0	焼石膏	基本量の 2 倍の混合鉄粉を 2 工程に分けてコーティングした。	○	2.2/91.1	○	0.3/73.7
4	鉄 1.5		基本量の 3 倍の混合鉄粉を 3 工程に分けてコーティングした。	○	0.0/53.3	○	0.7/69.3
5	鉄 0.25		基本量の 1/2 倍の混合鉄粉をコーティングした。	○	46.7/93.3	○	12.3/93.7
6	べんモリ 0.1		乾籾種子重の 0.1 倍量を種子表面にコーティングした。	—	—	○	28.3/96.7
7	べんモリ 0.3	還元鉄 三酸化モリブデン ポリビニルアルコール	乾籾種子重の 0.3 倍量を種子表面にコーティングした。	—	—	○	24.7/97.0
8	べんモリ 0.3 改良		乾籾種子重の 0.3 倍量を種子表面にコーティングした。	—	—	○	25.3/93.0
9	KG	チウラム	乾籾種子重の 0.2 倍量を塗抹処理した。	○	23.3/97.8	○	17.0/86.3
10	TD	イブコナゾール、 水酸化第二銅	200 倍希釈した資材を乾籾種子重 0.1 倍量をコーティングした。	○	64.4/91.1	—	—
11	SS	オキシリニック酸、 プロクロラズ	200 倍希釈した資材を乾籾種子重 0.1 倍量をコーティングした。	○	50.0/96.7	—	—
12	BT	ベノミル	種子表面に水を吹き付け、攪拌して馴染ませた後、乾籾種子重 0.5%の資材を粉衣した。	—	—	○	27.7/93.7
13	MD	塩基性塩化銅、 フルジオキシニル、 ペフラゾエート	種子表面に水を吹き付け、攪拌して馴染ませた。乾籾種子重 0.5%の資材を粉衣した。	—	—	○	16.3/95.7
14	TE	ヒドロキシイソキサゾール、 メトラキシル M	種子表面に水を吹き付け、攪拌して馴染ませた。乾籾種子重 3.0%の資材を粉衣した。	—	—	○	19.3/98.7
15	DK ①		500 倍希釈した資材を乾籾種子 1 g あたり 1 mL 種子表面に吹き付け、攪拌して馴染ませた。	—	—	○	34.3/98.7
16	DK ②	テトラクロロイン ソフタロニトリル	500 倍希釈した資材を乾籾種子 1 g あたり 0.1 mL を種子表面に吹き付け、攪拌させ馴染ませた。	—	—	○	32.3/97.0
17	DK 原液		乾籾種子の表面に資材の原液を乾籾種子重の 0.1 倍量コーティングした。	—	—	○	20.7/92.0
18	水浸漬	水道水	水道水に 24 時間浸漬した。	—	—	○	—
19	BT 浸漬	処理 No.12 と同様	資材を 500 倍希釈し、24 時間浸漬した。	—	—	○	—
20	MD 浸漬	処理 No.13 と同様	資材を 200 倍希釈し、25 時間浸漬した。	—	—	○	—
21	TE 浸漬	処理 No.14 と同様	資材を 300 倍希釈し、26 時間浸漬した。	—	—	○	—
22	DK 浸漬	処理 No.15 と同様	資材を 500 倍希釈し、24 時間浸漬した。	—	—	○	—
23	鉄 +KG	処理 No.9 と 処理 No.2 と同様	薬剤をコーティングした後、初冬鉄コーティングした。	—	—	○	0.7/86.7
24	鉄 +BT	処理 No.12 と 処理 No.2 と同様	水で濡らした種子表面に薬剤を吹付・攪拌した後、初冬鉄コーティングした。	—	—	○	6.0/85.3
25	鉄 +MD	処理 No.13 と 処理 No.2 と同様	水で濡らした種子表面に薬剤を吹付・攪拌した後、初冬鉄コーティングした。	—	—	○	9.7/92.7
26	鉄 +TE	処理 No.14 と 処理 No.2 と同様	水で濡らした種子表面に薬剤を吹付・攪拌した後、初冬鉄コーティングした。	—	—	○	5.7/91.3
27	鉄 +DK	処理 No.15 と 処理 No.2 と同様	資材を 500 倍希釈し、種子 1 g あたり薬液 1 ml を添加しながら初冬鉄コーティングした。	—	—	○	2.7/84.7



第1図 各試験年の気温・地温・積雪量の推移。

日平均気温と日最深積雪量は気象庁 HP より取得した試験地点に最も近い盛岡気象台のデータ。日平均地温は圃場に設置した温度センサーで計測した。矢印は播種日を示す。

した。試験は3反復(100粒/反復)とした。2017/2018年は2017年12月20日、2018/2019年は2018年11月1日に開始した。

地温については、種子と同一の深さ5 cmに温度センサー(TR52S, T&D Corporation, 山梨)を設置して30分間隔で記録し、日平均地温を算出した。日平均気温および日降雪量データは気象庁 HP より取得した。データ取得地は、試験地の最寄りの観測所である盛岡気象台(岩手県)とした。

## 2. 採種年と休眠程度

採種年の影響を評価するため、当年産の種子に加えて、2017/2018年の試験では2016年10月、2018/2019年は2017年10月に岩手大学で収穫した種子を前年産種子に用いた。品種は「ひとめぼれ」を用いた。両年とも、収穫後は機械乾燥、脱芒および唐箕選別した後、ビニル袋に吸湿剤(シリカゲル)を入れ、4℃の冷蔵庫で翌年播種日までの約1年間保管した。

休眠程度の影響を評価するため、休眠打破処理を各年の当年に収穫した乾粒種子に行った。種子を紙封筒に入れ、50℃で7日間の休眠打破処理(Roberts 1961)を恒温機(定温乾燥機, OF-450B, アズワン, 大阪)で行った。その後、播種までの間は低温・暗所にて保存した。試験は、2017/2018年は4反復、2018/2019年は3反復とした。2017/2018年は2017年12月20日に、2018/2019年は、休眠打破種子を2018年11月1日に、前年産種子を2019年1月11日に発芽試験を開始した。それぞれの時期に無処理区を設けた。その他の栽培管理、調査方法は上記1.と同一である。

## 統計解析

発芽率(%)および出芽率(%)は、アークサイン変換した後、JMP ver. 14.0.0 (SAS Institute Inc., USA) を用いて

統計解析を行った。種子への薬剤、コーティング資材およびその処理法の比較では、各年次内において Tukey 法による多重比較検定を行った。種子の休眠打破処理および採種年次の比較では、各年次内において t 検定を行った。

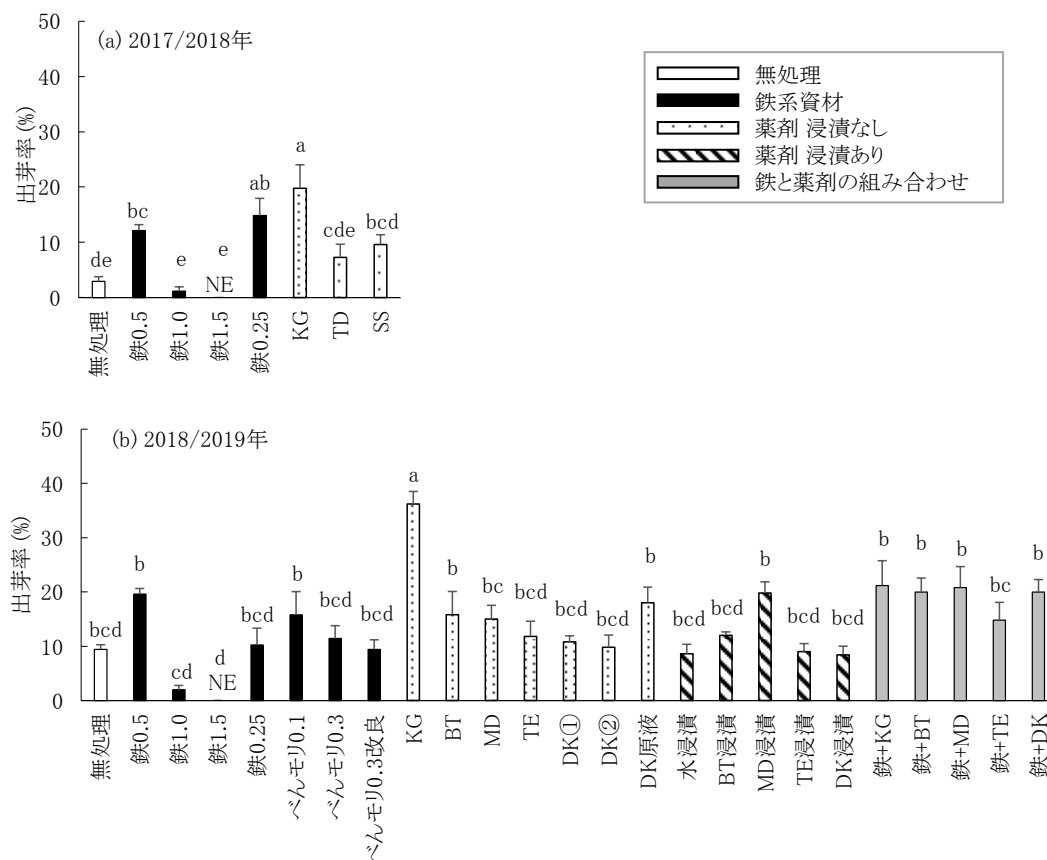
## 結 果

### 1. 気象

第1図に示すように、年次間で積雪量が大きく異なり、2017/2018年は、積雪が早く、播種日の5日前(2017年12月1日)に積雪が観測され、播種日当日に圃場の一部に1 cm未満の積雪がみられた。地温は、播種から雪解けまでは0℃付近で一定に推移し、雪解け後の2018年3月中旬から気温とともに上昇した(第1図a)。積雪日数と積算日最深積雪量について、2017/2018年は141日間と1377 cm、2018/2019年は132日間と298 cmだった(第1図)。2018/2019年の地温は12月上旬から0℃付近で一定になった後、1月中旬と1月下旬に-1~-5℃まで低下し、雪解け後は気温とともに上昇した(第1図b)。

### 2. 種子への薬剤とコーティング処理

無コーティング種子(対照)の越冬後の出芽率は、2017/2018年(あきたこまち)が2.9%、2018/2019年(ひとめぼれ)が9.4%であり(第2図)、積雪が早かった2017/2018年(第1図)が低くなった。薬剤コーティングの効果は、2017/2018年に3つの剤を比較したところ、KGの出芽率が19.8%と最も高く、対照より約17ポイント向上した(第2図a)。他の2剤は出芽率をわずかに上昇させたが、既報の「初冬鉄コ」(及川ら2019)(本論文では鉄0.5と表記)の12.2ポイントを上回るものではなかった。2018/2019年に薬剤の種類と処理方法の組み合わせ25種類を評価した結果を第2図bに示した。2017/2018年と同様にKGが最も高い出芽率で36.2%であり、対照に比べ約



第2図 初冬直播き栽培における薬剤、コーティング資材とその処理法の違いによる越冬後の出芽率。

鉄1.5倍のNE (Not Emergence) は、出芽が確認されなかったことを示す。出芽箇中のバーは標準誤差 (2017/2018年  $n = 4$ , 2018/2019年  $n = 5$ )。各年次内において、Tukey法による多重比較検定を行った。同一アルファベット間には5%水準で有意差がないことを示す。供試品種は2017/2018年が「あきたこまち」、2018/2019年が「ひとめぼれ」。

27ポイント高かった。鉄0.5の出芽率は19.6%で対照に比べ約10ポイント高かった。その他の薬剤には顕著な効果が認められなかった。また、「初冬鉄コ」とKGを含む様々な薬剤とを2重に施した相乗効果を期待したが、すべての組み合わせで対照より出芽率が上がったものの、「初冬鉄コ」単体を超えるものはみられなかった。なお、種子にとって吸水する過程が越冬後の出芽率に作用しないかを評価するため、対照の乾粕と吸水させた種子を比較したところ、乾粕が9.4%、浸漬粕が8.6%とほぼ同じであった。また薬剤の施用方法に着目すると、高濃度の短時間施用と低濃度の長時間浸漬による施用の違いは小さく、BTで15.8% (高濃度) と12.0% (低濃度)、TE浸漬で11.8%と9.0%、DKが9.8~18.0%と8.4%、MDで15.0%と19.8%となった。

「初冬鉄コ」において鉄の分量を変えた場合、鉄の分量を増やした鉄1.0および鉄1.5にすると、いずれの年も鉄の分量が増すほど出芽率が「初冬鉄コ」の対照種子 (鉄0.5) より低下した (第2図)。一方、鉄の分量を半減させた鉄0.25は鉄0.5より2017/2018年で2.6ポイント高かったものの、2018/2019年では9.4ポイント低く、安定しな

かった。なお、べんモリ資材には対照より顕著に出芽率を高める資材はなかった。

播種前の種子を培養して発芽率 (14日目) を調べたところ、鉄0.5では97%、90% (それぞれ2017/2018年、2018/2019年、以下同)、鉄1.0では91%、74%、鉄1.5では53%、69%と、鉄の分量の増加が発芽そのものを抑制していた (第1表)。これら以外の薬剤またコーティング資材また組み合わせ処理の種子の発芽率は85%以上と高く正常であった。興味深いことに、いずれの薬剤処理においても、初期 (発芽試験4日目) の発芽率が対照より低下しており、越冬後の出芽率が著しく高かったKGも他の薬剤処理と同様に4日目発芽率が低かった。

このように、本研究の薬剤とコーティングの組み合わせ26種類による2シーズンにおける試験から、KGを単体で利用することが越冬後の出芽率の向上に有効であることを明らかにした。

### 3. 採種年と休眠程度

前年産種子の出芽率は、2017/2018年は0.3%と当年産種子の2.0%に対して有意に低下した (第2表)。一方、

第2表 初冬直播き栽培における休眠打破と採種年の違いによる越冬後の出芽率および播種前状態での発芽率。

年	処理	出芽率 (%)	発芽率 (%)			
			4 日目	7 日目	14 日目	開始日
2017/2018	無処理	2.0 ± 0.4	42.2 ± 10.6	93.3 ± 3.3	94.4 ± 2.2	12/20
	休眠打破	0.0 ± 0.0 *	73.3 ± 15.0 <sup>ns</sup>	94.4 ± 2.9 <sup>ns</sup>	94.4 ± 2.9 <sup>ns</sup>	
	前年産	0.3 ± 0.3 *	100.0 ± 0.0 *	100.0 ± 0.0 <sup>ns</sup>	100.0 ± 0.0 *	
2018/2019	無処理	9.0 ± 1.3	50.7 ± 3.2	88.7 ± 2.0	98.7 ± 0.9	11/ 1
	休眠打破	2.7 ± 0.7 *	97.0 ± 1.5 *	99.3 ± 0.3 *	99.3 ± 0.3 <sup>ns</sup>	
	無処理	同上	96.7 ± 0.3	99.0 ± 0.6	99.0 ± 0.6	1/11
	前年産	7.7 ± 1.8 <sup>ns</sup>	93.7 ± 1.2 <sup>ns</sup>	97.3 ± 0.3 <sup>ns</sup>	98.0 ± 0.6 <sup>ns</sup>	

表中の値は各試験区内の平均値 ± 標準誤差を示す (出芽率 {2017/2018 年 n = 4, 2018/2019 年 無処理 n = 11, 休眠打破と前年産は各 n = 3}, 発芽率 {全年次および処理 n = 3}).

2018/2019 年の発芽試験は、休眠打破では 2018 年 11 月 1 日に、前年産では 2019 年 1 月 11 日にそれぞれ開始し、無処理もそれぞれ同時に実施した。発芽率の 7 日目と 14 日目の値は、それぞれ 7 日目までの積算、14 日目までの積算発芽率を示す。各年次内で無処理と休眠打破処理、無処理 (当年産) と前年産との間で t 検定を行い、無処理に対して \*\*, \* はそれぞれ 1%, 5% 水準で有意差があることを、ns は 5% 有意差がないことを示す。

試験地は岩手県、品種は「ひとめばれ」。

2018/2019 年は 7.7% と当年産種子が 9.0% に対して低下傾向を示したものの、その程度は有意ではなかった。播種前の発芽試験における 4 日目の発芽率は、2017/2018 年では当年産で 42% であるのに対し、前年産の種子は 100% と完全に発芽し休眠から覚醒していた。また、4 日目の発芽率は、当年産では前述の 42% であったのに対し、休眠打破により 73% に増加した。一方、2018/2019 年では前年産の種子の発芽率は 94% で、その後 7 日目に発芽率がさらに増加することから休眠性がわずかに残っていたことが示唆された (第 2 表)。

なお、休眠打破処理を行ってから越冬させると、出芽率が 2017/2018 年、2018/2019 年ともに無処理に比べ休眠打破処理で著しく低下し、2017/2018 年は 0%, 2018/2019 年は 2.7% となった (第 2 表)。

## 考 察

本研究では初冬直播き栽培の出芽率の向上を目的とした播種前の種子処理法について種子への薬剤とコーティング資材および採種年の影響を 2 カ年にわたり探索した結果、有効な薬剤として KG を見出すとともに (第 2 図)、越冬後の出芽率の向上には休眠性が重要であることを明らかにした (第 2 表)。その要因ならびに、今後の実用化に向けた方向性を議論する。

### 1. 種子の薬剤処理とコーティング

種子のコーティングは湛水直播において、また薬剤による種子消毒は湛水直播、乾田直播ともに、一般的に行われている。湛水直播栽培では土壌表面に播種した際の浮き苗を防止するために鉄コーティングを行うことで種子重を重くしたり (山内 2010, 2012)、鉄にモリブデンを添加することで水稻根の生育不良の原因となる硫化水素の発生を抑制したりするベンモリコーティングが普及している (原・

秀島 2017)。乾田直播においては、種子消毒剤によって種子に付着しているいもち病やばか苗病を殺菌したり、スズメの食害を防ぐために種子消毒剤を処理する (大谷ら 2018)。これら種子に対する処理は春に直播した種子の苗立ちを良好にするために用いられるが、初冬直播き栽培における種子コーティングの目的は播種から出芽までの長期間にわたり種子を外的環境から保護し、越冬後の出芽率を向上させることである。前報 (及川ら 2019) でも議論したように、初冬直播き栽培における出芽率の低下要因は種子の吸水や病害菌、土壌還元といった要因が複合的に関与していると考えられる。これまでの研究からはいまだに出芽率の低下の要因を特定することはできないが、前報 (及川ら 2019) の成果「初冬鉄コ」をさらに上回るコーティング資材「KG」を本研究では見出した。種子消毒剤「KG」の有効成分チウラム水和剤から、今後の出芽率の低下要因の解明に繋がる知見を得られたので議論する。

KG は慣行の春に実施する乾田直播栽培に用いられる薬剤で、有効成分であるチウラム水和剤 40% を含み、いもち病、ばか苗病、ごま葉枯病および苗立枯病 (*Pythium*) に適用がある。姫田 (1973) は、暖地の埼玉県で秋～冬季に播種を行う直播体系を検討したところ、無処理種子に比べてチウラム被覆種子で出芽率が向上することを報告しており、KG が示す越冬後の出芽率の向上効果はチウラムであることが想定される。KG とその他の薬剤の適用病害を比べると、幅広い病害に効果を示す MD や TD では出芽率が向上しなかった。この 2 剤と KG とで適用が被る病害は、いもち病とごま葉枯病、ばか苗病であることから、この 3 つの病害は初冬直播き栽培における出芽率の低下要因の可能性が低いと推察される。

苗立枯病の原因菌の 1 つである *Pythium* 属菌は低温下でも活動できる糸状菌である (鑑谷 1956, 松浦ら 2012)。種子が播種から出芽までの期間に低温に晒される初冬直播き

栽培においても、*Pythium*が出芽率の低下要因に関与していることが考えられた。*Pythium*に対して適用があるのはKGとTEの2剤であるが、TEでは出芽率が向上しなかった。この2剤の違いは、それぞれに含まれる有効成分とコーティング方法の差異が原因だと考えられる。有効成分に関して、TEは、*Pythium*と*Fusarium*による苗立枯病に適用のあるヒドロキシソキサゾール（4.0%）と*Fusarium*による苗立枯病に効果を示すメトラキシルM（0.25%）である。一方、KGの有効成分であるチウラム、別名：テトラメチルチウラムジスルフィド（C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>N<sub>2</sub>S<sub>4</sub>）は、シアン耐性呼吸への作用が報告されており（Blubaugh and Govindjee 1988）、種子そのものの呼吸活性などにも作用し、越冬性を高めた可能性が示唆される。コーティング方法に関して、TEは作物名「稲（湛水直播）」の使用方法として「過酸化カルシウムに添加して種粒に粉衣する」ことが登録されている。本研究では種子に薬剤を均一にコーティングするために、登録されている使用量「乾粒重量の3.0%」の粉剤を種子重比8.0%の水に溶かして水溶液にし、それを吹き付け処理した。一方のKGでは、メーカーが指定する方法に従い、原液の薬剤を種子重比2.0%塗布した。TEは本来の使用法を用いなかったため、*Pythium*を抑制できる十分な薬剤を種子にコーティングできていなかったと考えられる。それに関連し、各薬剤のコーティング方法の違いが薬剤効果の持続期間に影響したことが推察された。今後、初冬直播き栽培における出芽率の低下要因を解明するために、TEおよびKGのコーティング濃度を変えた条件で*Pythium*が及ぼす影響を検討する必要がある。

本研究で、薬剤の施用方法を高濃度処理、低濃度溶液への浸漬を含めて検討したところ、吸水を伴う低濃度溶液への浸漬は、種子の休眠性などに作用して出芽率に大きなマイナスの影響を及ぼすと想定していた。しかし、水への浸漬でわずか1ポイント、BT浸漬で4ポイント、TE浸漬で3ポイント、DK浸漬で5ポイントの低下であり、一方、MD浸漬で5ポイントの増加と、短時間（24時間）の浸漬による大きなマイナスの効果はみられなかった（第2図）。本知見からは、種子の調整段階における塩水選などの短時間の浸漬は出芽率の低下に対して大きな問題にならないことが示唆される。

種子消毒剤を用いたコーティング種子に関して、今後、KGが越冬後の出芽率を高める作用メカニズムの解明が出芽率のさらなる向上には必要である。また、菌叢や発生歴が異なる様々な条件の圃場において、病害菌による初冬直播き栽培の出芽への影響を検討する必要がある。

前報において出芽率の向上効果が明らかになった「初冬鉄コ」について、混合鉄粉の分量を増やすことで、越冬後の出芽率を高めることができないかを検討したが、越冬後の出芽率は低下することを確認した（第2図）。播種前の発芽調査の時点でも既に発芽率が低下していた（第1表）。混合鉄粉の分量を多くした鉄1.0や鉄1.5において、被

覆の硬さが物理的に発芽の障害になっている可能性が考えられるが、発芽した芽や根がコーティングの内側でぐるぐるを巻いている状況は観察できなかった。鉄1.0と鉄1.5種子とそれらの鉄コーティングを剥がした種子を発芽試験に供した。その結果、鉄剥離の有無に関わらずほぼ同程度の発芽率であったことから（データ略）、コーティング時点での発熱等の障害の影響が示唆された。今後は、コーティング方法を改良することで越冬後の出芽率を改良できるか、検討する必要がある。

## 2. 採種年と休眠性

休眠性の異なる種子の比較試験において、発芽試験における培養初期の発芽率は休眠程度が低いほど高いことが報告されている（林・日高 1979）。前年産種子は、発芽調査4日目の発芽率が当年産より向上する傾向がみられ、休眠が覚醒したため、翌年の越冬後に出芽率が低下したと推察される（第2表）。しかし、当年産の種子に比べた低下程度は、2017/2018年は1.7ポイント、2018/2019年は1.3ポイントにとどまった。このことは、初冬直播き栽培における前年産の種子の利用の可能性を示唆するものであり、今後、異なる品種を用いた年次や地点を超えた解析が求められる。さらに、前年産種子での出芽率の低下を補うための、「初冬鉄コ」や「KG」などの種子コーティングとの組み合わせの可能性についても検討する必要がある。

## 3. 最適な播種量の設定

初冬直播き栽培では、慣行の春の直播に比べて出芽率が低いいため、播種量を増やすことを推奨している（下野ら 2012、及川ら 2019）。種子に係るコストは20 kgで8千円～9千円であり（農林水産省 2017）、慣行法の春の乾田直播における播種量（10 aあたり5 kg）で換算すると、10 aあたり2千円程度である。第3表で、本研究での初冬直播きでの出芽率から必要とされる播種量を面積当たり100本 m<sup>-2</sup>の苗立ちを目標に算出してみると、対照の種子コーティングなしの出芽率では27 kg以上の播種量であり、10 aあ

第3表 初冬直播き栽培における異なる種子条件での越冬後の出芽率と目標出芽数を確保するための必要播種量。

種子条件	年次	出芽率 (%)	必要播種量 (kg 10 a <sup>-1</sup> )
無処理	2017/2018	2.9	86
	2018/2019	9.4	27
初冬鉄コ	2017/2018	12.2	21
	2018/2019	19.6	13
KG	2017/2018	19.8	13
	2018/2019	36.2	7
前年産	2017/2018	0.3	860
	2018/2019	7.7	33

目標出芽数を100本 m<sup>-2</sup>とし、これを確保するために必要な播種量を千粒重25 gとして算出。

たり1万5千円程度の種子代が必要となる。一方、「初冬鉄コ」を行うことで播種量を13~21 kgに、本研究で新たに出芽率の向上効果を明らかにした「KG」では7~13 kgに大幅に減らすことが可能であった。KGの価格は10 kgを処理するのに1415円（小田島商事（株）、岩手）であり、「初冬鉄コ」は2210円（みちのくクボタ（株）、岩手）である（2019年11月現在）。したがって、種子代では「初冬鉄コ」が5千円~9千円、「KG」が3千円~5千円である。ただし、初冬直播き栽培において当年産種子を利用するには、種子収穫から調整・出荷までの期間が1~3カ月間と非常に短く、自家採種を含まない現行の種子供給体制では困難である。初冬直播き栽培向けの種子を供給するため、前年産種子の利用が有効であり、前述した出芽率を高めるための種子コーティングとの組み合わせを検討する必要がある。一方で、暖地において早期採種による当年産の種子の利用可能性についても検討する必要がある。

今後、初冬直播き栽培において、さらに出芽率を安定的に高める手法を開発する必要があるとともに、年次によって出芽率が大きく変動する要因を解明することで、それぞれの地域での気象変動の範囲から適正な播種量の設定につながると期待される。

**謝辞：**本研究の一部は農研機構生研センター「イノベーション創出強化研究推進事業」の支援を受けて行った。相川直子氏はじめ岩手大学作物学研究室の諸氏に補助をいただいた。

## 引用文献

- 鑑谷大節 1956. 防除を目的とした稲苗腐敗病の生態学的研究. 東北農試研報 10: 76-105.
- 米穀安定供給確保支援機構 2018. 平成 29 年産 水稻の品種別作付動向について. <http://www.komenet.jp/pdf/H29sakutuke.pdf> (2020/05/30 閲覧).
- Blubaugh, D.J. and Govindjee, J. 1988. Sites of inhibition by disulfiram in thylakoid membranes. *Plant Physiol.* 88: 102: 1-1025.
- 原嘉隆 2016. 水稻直播栽培における苗立ち安定化に関する研究. 京都大学学位論文 1-86. (京都大学農学部図書室, 学位論文-H29-N5031).
- 原嘉隆・秀島好知 2017. 暖地の農家水田におけるべんモリ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.
- 林満・日高洋一郎 1979. 稲種子の休眠性および発芽性に関する研究: VIII 登熟中並びに収穫後の温度条件が種子の休眠および穎の変性に及ぼす影響. 鹿大農学術報 29: 21-32.
- 姫田正美 1973. 水稻の冬播栽培法に関する研究. 農事試研報 18: 1-70.
- 松浦昌平・竹本一恵・東條元昭・山内稔 2012. 水稻の鉄コーティング湛水直播における *Pythium arrhenomanes* による苗立ち不良. 日植病報 78: 301-304.
- 農林水産省 2015. 農林業コンセンサス, 第 2 巻 農林業経営体調査報告書 - 総括編 - 2015 年農林業センサス, e-Stat. <https://www.e-stat.go.jp> (2020/05/30 閲覧).
- 農林水産省 2017. 1. 生産者の所得向上につながる生産資材価格形成の仕組みの見直し 平成 29 年 4 月 生産局 消費・安全局 政策統括官. [http://www.maff.go.jp/j/kanbo/nougyo\\_kyousou\\_ryoku/attach/pdf/nougyo\\_kyoso\\_ryoku-44.pdf](http://www.maff.go.jp/j/kanbo/nougyo_kyousou_ryoku/attach/pdf/nougyo_kyoso_ryoku-44.pdf) (2020/05/30 閲覧).
- 農林水産省 2019. 水稻直播栽培. 水稻直播面積の推移 (平成 29 年まで). <http://www.maff.go.jp/j/seisan/ryutu/zikamaki/> (2020/05/30 閲覧).
- 農林水産省 2020. 作物統計. 令和元年産 水陸稲の収穫量 (全国農業地域別・都道府県別). e-Stat. <https://www.e-stat.go.jp> (2020/05/30 閲覧).
- 大平陽一・佐々木良治 2011. 飼料イネ種子の休眠程度が越冬後の発芽力に及ぼす影響とその品種間差異. 日作紀 80: 174-182.
- 大平陽一・白土宏之・山口弘道・福田あかり 2015. 東北日本海側地域における水稻収穫後の圃場への石灰窒素散布が漏生イネの出芽・苗立ちに及ぼす影響. 日作紀 84: 22-33.
- 大谷隆二・長坂善禎・齋藤秀文・冠秀昭・関矢博幸・中山壮一・宮路広武 2018. 乾田直播栽培マニュアル Ver3.1 - プラウ耕・グレーンドリル播種体系 -. [https://www.naro.affrc.go.jp/publicity\\_report/publication/files/dry-seeding\\_rice\\_v3.1](https://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/files/dry-seeding_rice_v3.1) (2020/05/30 閲覧).
- 及川聡子・西政佳・由比進・柏木純一・中島大賢・市川伸次・木村利行・大平陽一・長菅輝義・黒田榮喜・松波麻耶・下野裕之 2019. 鉄のコーティングは水稻の初冬直播き栽培における出芽率を向上させる. 日作紀 88: 259-267.
- Roberts, E.H. 1961. Dormancy of rice seed II. *J. Exp. Bot.* 12: 430-445.
- 下野裕之・玉井美樹・濱崎孝弘・佐川了・大谷隆二 2012. 寒冷地における水稻の初冬播き乾田直播栽培が生育・収量に及ぼす影響. 日作紀 81: 93-98.
- 山内稔 2010. 鉄コーティング湛水直播マニュアル 2010. 農研機構近畿中国四国農業研究センター. [https://www.naro.affrc.go.jp/publicity\\_report/publication/files/iron\\_coating\\_seed.pdf](https://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/files/iron_coating_seed.pdf) (2020/05/30 閲覧).
- 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.

**Improvement of Seedling Establishment of Rice Directly Sown in Early Winter by Chemical Treatment of Seeds and Use of Seeds in the Year of Harvest :** Satoko OIKAWA<sup>1)</sup>, Kensaku SUZUKI<sup>2)</sup>, Masayoshi NISHI<sup>2)</sup>, Susumu YUI<sup>2)</sup>, Maya MATSUNAMI<sup>2)</sup> and Hiroyuki SHIMONO<sup>2, 3)</sup> (<sup>1)</sup>*United Grad. Sch. of Agric. Sci., Iwate Univ.*; <sup>2)</sup>*Fac. Agric., Iwate Univ.*; <sup>3)</sup>*Agri-Innovation Center, Iwate Univ., Ueda 3-18-8, Morioka 020-8550, Japan*)

**Abstract :** In cool climates, direct-sowing in early winter is an effective technique to improve rice productivity. We evaluated the effect of chemical treatment of rice seeds and harvest year on the seedling establishments. The most effective chemical was Thiuram (“Kihigen-R2-Furoable”; KG) among 26 combinations of chemical and material applications, which improved the seedling establishment approximately 17 points compared to the percent seedling establishment of non-treated control seeds (3 ~9%). In addition, harvest year strongly affected the seedling establishment; that is, the seeds sown in the year they were harvested gave better establishment than the seeds harvested in the previous year. The seeds sown in the year they were harvested showed greater dormancy than the seeds harvested in the previous year. An artificial dormancy-break treatment severely reduced the seedling establishment. These results showed that “KG” improved rice-seedling establishment, and that seed dormancy was important to attain high seedling establishment in direct sowing in early winter.

**Key words :** Cold region, Direct-sowing on well-drained paddy field, Direct sowing in early winter, Dormancy, Fungicide, Iron-coating, Seed coating, Thiuram.

---