

無代かき表面播種湛水出芽法による水稻直播栽培技術

佐々木 亮*¹ 熊谷 聡*² 稲野 一郎*³

無代かき表面播種湛水出芽法による水稻直播栽培技術を検討した。播種床は逆転ロータリによる碎土作業が適し、耕耘ピッチを20mm程度とすると、苗立ちを確保するための碎土率40%が得られた。慣行の湛水直播落水出芽法とは異なり、播種後の水管理は播種後に3~5cm深の湛水状態で出芽させ、出芽後は不完全葉期から1葉期までに落水を始め、7日後を目安に再入水する芽干しで苗立ちの確保と浮き苗を抑制する。種子は過酸化石灰剤を粉衣する必要がなく、倒伏抑制と収量確保のため、播種量は375粒 m^2 程度が妥当であった。本技術は施肥窒素利用率が湛水直播落水出芽法に比べ高く、施肥資材は速効性窒素肥料が利用でき、窒素施肥量は移植水稻の施肥標準量が妥当であった。

緒 言

水稻の生産現場において労働人口の減少と大規模化が進んでおり、直播栽培は省力栽培技術として期待されている。近年、北海道における水稻直播栽培は面積が増加し、平成28年度で1,977haと直近の5年間で倍増している⁵⁾。反面、市町村ごとの直播面積を見ると、200haを超えて一定の普及に至った市町村に限っては、直播面積が頭打ちとなる様相を呈している。

直播栽培がさらに普及するためには収量の低位性を解消する必要がある。北海道の水稻直播栽培において、収量は幼穂形成期の窒素吸収量と正の相関が認められ、幼穂形成期の窒素吸収量は3葉期の土壌中 NH^4-N 量との密接な関係が指摘されている⁹⁾。

播種後に湛水せず落水状態で出芽させる「落水出芽法」は土中播種した種子の出芽率の向上などに効果がある¹³⁾。一方で、硝酸化成や脱窒量の増大も引き起こす¹⁴⁾。北海道のように播種後の温度が比較的冷涼な条件では、種子の発芽と芽の伸長が遅延し、出芽までの期間が長くなり、落水期間が長くなる。低温条件では硝酸化成の反応が緩

慢になるが、落水期間が長くなるため反応時間が長くなる。出芽までの落水期間が特に長い、乾粕を利用した乾田直播は施肥窒素利用率が低く、複数回の追肥が必須となっている¹⁰⁾。これらの要因から直播栽培の収量が移植栽培水稻の地域平均に及んでいない^{5) 10)}。

収量低位性の解消は施肥窒素利用率を改善する必要がある。この点、湛水出芽法は湛水状態で出芽させるため、硝酸化成や脱窒が落水状態に比べ少なく、施肥窒素利用率と収量の向上が見込まれる。中央農業試験場（以下、中央農試と略記）による過去試験¹⁾において、播種後に湛水管理する無代かき作溝湛水散播法は、過酸化石灰剤粉衣なしで苗立ち確保が期待でき、乗用型粒状物広幅散布機の活用などにより作業能率を更に高められる可能性があり、作業機のコスト・汎用性の課題を解決する有望な技術であるとも指摘されている。しかしながら、この技術は詳細な検討が実施されていない。

そこで「無代かき作溝湛水散播法」は作溝の効果や影響が認められなかったこと、種子が表面播種であることが重要であったことを勘案し、「無代かき表面播種湛水出芽法（以下、湛水出芽法と略記）」として、碎土や播種量、芽干し期間、窒素施肥量を検討した。

2019年1月11日受理

*¹ 地方独立行政法人北海道立総合研究機構農業研究本部
中央農業試験場 北海道岩見沢市上幌向町216
sasaki-makoto@hro.or.jp

*² 地方独立行政法人北海道立総合研究機構農業研究本部
上川農業試験場 北海道上川郡比布町南1線5号

*³ 地方独立行政法人北海道立総合研究機構農業研究本部
中央農業試験場 北海道夕張郡長沼町東6線北15号

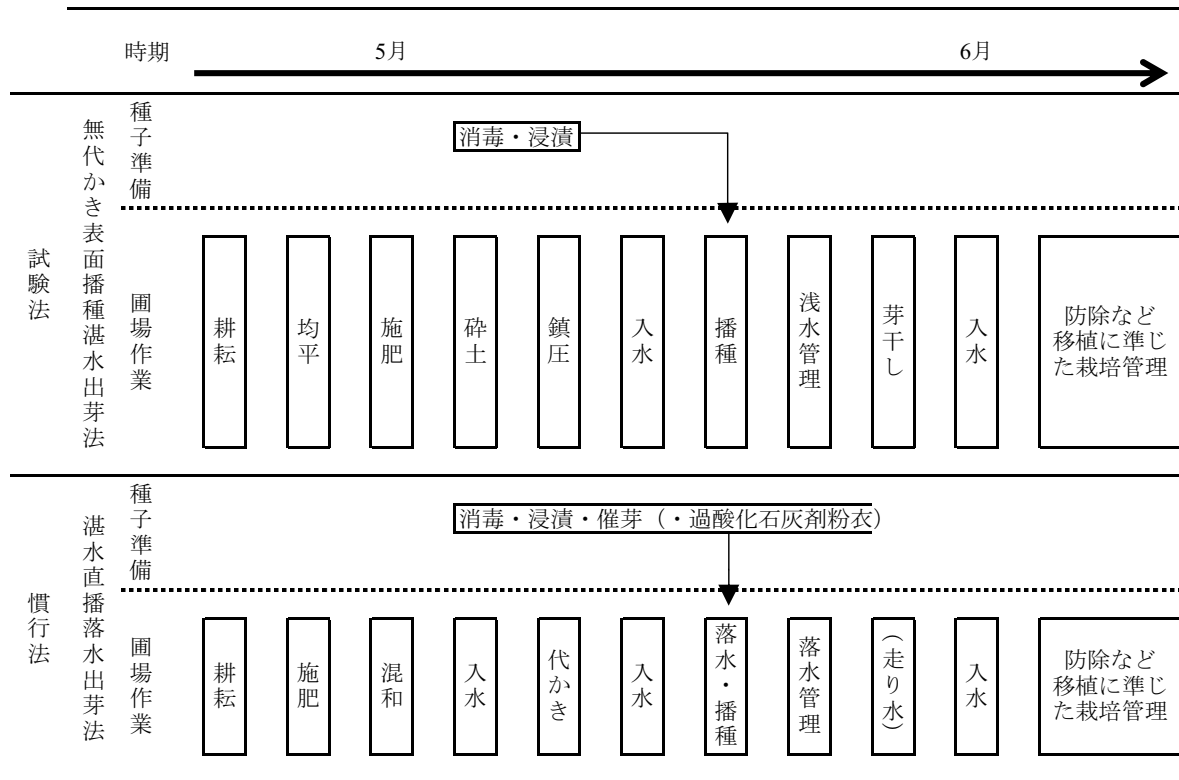


図1 無代かき表面播種湛水出芽法と湛水直播落水出芽法の作業順序の比較

試験方法

圃場試験における湛水出芽法は施肥・砕土後、鎮圧し表面を平坦にした無代かき水田圃場に、入水した後に表面播種し、湛水状態で出芽させる水稻直播栽培である。図1に示した作業順序に準じて、栽培試験を実施した。

1. 砕土作業条件の検討

播種床の砕土率と苗立ち率の関係について、2009～2012年に中央農試グライ低地土圃場において検討した(表1)。圃場は正転ロータリによって耕起し、一部は砕土前鎮圧を実施し、次に逆転ロータリで1回耕起または正転ロータリで1回ないしは2回耕起を行った。その後、

砕土後鎮圧を行い播種床とした。鎮圧後、0-10cm深の土壌を採取し、20mm未満の土塊重量割合として砕土率を測定した。苗立ち率は「大地の星」または「ほしまる」を播種し、1m²の調査枠内の播種量と苗立ち本数を測定し、算出した。砕土前鎮圧の有無は効果が判然としなかったため、記載がある場合を除き、区分せず反復の一部として扱った。

耕耘ピッチの検討は2010と2011年にグライ低地土圃場で実施した。砕土作業の耕耘ピッチを21.0mm～54.8mmの範囲に設定し、砕土の耕起深をいずれも約13cmとした。砕土率は砕土・鎮圧後に0-10cm深に加え、0-3cm深の土壌を採取し、20mm未満の土塊重量割合として砕土率を測定した。

表1 場内試験処理の一覧

年次	栽培法	品種	土壌	砕土前鎮圧	砕土機	耕耘ピッチ (mm)	播種量 (粒 m ⁻²)	芽干し開始時期	芽干し期間 (日)	施肥資材	窒素施肥量 (g m ⁻²)	対応試験							
2009	無代かき表面播種湛水出芽法	ほしまる	グライ低地土	なし	逆転ロータリ	未調査	400 (手播き)	常時湛水	—	緩効	8	試験2							
								不完全葉期	3, 7										
								1葉期											
							平均360 (機械播種)	不完全葉期	7		4, 8, 12	試験1							
													試験3 (2)						
													試験3 (3), (2)						
湛水直播落水出芽法	大地の星	泥炭土			代かき		375 (過酸化石灰剤粉衣), 400 (無粉衣)	落水出芽		緩効	8	試験3 (3)							
	ほしまる										8								
2010	無代かき表面播種湛水出芽法	ほしまる	グライ低地土	なし	逆転ロータリ	31.4	平均360 (機械播種)	不完全葉期	7	緩効	8	試験1							
				あり		32.6													
				なし	正転ロータリ	46.1													
				あり		54.8													
				あり	逆転ロータリ	未調査													
	湛水直播落水出芽法	大地の星	泥炭土			代かき		375 (過酸化石灰剤粉衣), 400 (無粉衣)	落水出芽		緩効, 速効	6, 8, 12	試験3 (2)						
		ほしまる										グライ低地土	速効	0, 8	試験3 (3)				
	2011	無代かき表面播種湛水出芽法	大地の星	グライ低地土	なし	正転ロータリ	52.0	平均360 (機械播種)	不完全葉期	6	緩効	8	試験1						
						同上2回がけ	53.0												
					あり	正転ロータリ	22.0												
なし					正転ロータリ	49.0													
あり					同上2回がけ	50.0													
湛水直播落水出芽法		大地の星	泥炭土			代かき		平均360 (機械播種)	不完全葉期	6	緩効, 速効	8	試験1, 試験3 (2)						
												あり	逆転ロータリ	未調査					
												あり	逆転ロータリ	未調査					
												あり	逆転ロータリ	未調査					
												あり	逆転ロータリ	未調査					
湛水直播落水出芽法	大地の星	泥炭土			代かき		273~360 (機械播種)	不完全葉期	7	速効	8	試験3 (1)							
											あり	逆転ロータリ	未調査						
											あり	逆転ロータリ	未調査						
											あり	逆転ロータリ	未調査						
											あり	逆転ロータリ	未調査						
無代かき表面播種湛水出芽法	大地の星	グライ低地土	なし	逆転ロータリ	未調査	243~385 (機械播種)	不完全葉期	6	速効	8	試験1								
																	6, 8, 10	試験3 (2)	
																			試験3 (3)
																			試験3 (3)
																			試験3 (3)
湛水直播落水出芽法	大地の星	泥炭土			代かき		243~385 (機械播種)	不完全葉期	7	速効	8	試験3 (1)							
											あり	逆転ロータリ	未調査						
											あり	逆転ロータリ	未調査						
											あり	逆転ロータリ	未調査						
											あり	逆転ロータリ	未調査						
湛水直播落水出芽法	大地の星	泥炭土			代かき		375 (過酸化石灰剤粉衣), 400 (無粉衣)	落水出芽		緩効	8	試験3 (3)							

注1) 無代かき表面播種湛水出芽法は砕土・鎮圧した播種床に、無粉衣の浸漬種子を表面播種し、3~5cm程度の極浅水で管理した後に芽干し処理を行った。
 注2) 湛水直播落水出芽法は代かき圃場に過酸化石灰剤を粉衣した催芽種子あるいは無粉衣の催芽種子を供試し、土中条播し、無粉衣催芽種子の出芽まで落水管理をした。
 注3) 施肥資材の緩効は被覆尿素入り粒状複合BB552LP (15-15-12、窒素成分中30%がLPコート40日) を、速効は塩化磷安一号 (14-14-14) 示す。

2. 芽干し処理の検討

(1) 不完全葉期以降の芽干し処理 (圃場試験)

播種後の水管理が浮き苗の発生や苗立ちに及ぼす影響を整理するため、芽干し処理の開始時期と期間を圃場試験条件で検討した。2009年にグライ低地土圃場において、「ほしまる」を供試し、約400粒 m^2 播種した。播種後の水管理は常時湛水、および湛水と芽干しの組合せとした。芽干しは落水開始時期を不完全葉期または1葉期に設定し、圃場に表面水がほぼ消失する程度まで落水した。芽干し中の土壌表層は湿潤～軽い乾燥状態であった。落水期間は3日および7日間に設定した。6月上旬に苗立ち本数(0.25 m^2)を調査した。基部持ち上がり高の調査は7月上旬、落水中の水稲基部に赤色スプレーを散布した後、引き抜いて着色部分の最短長を測定した。

(2) 鞘葉期芽干し処理 (室内試験)

芽干し処理の開始早限を明らかにするため、鞘葉期落水開始による影響を室内試験で検討した。底面に約1mmの小穴を複数箇所穿ったプラスチック容器に水稲育苗用人工培土を容器の半量ほど充填し、湛水条件で土壌表面に水稲種子を播種した。「大地の星」ならびに「ほしまる」の浸漬種子を供試し、1容器あたり約20粒播種した。温度条件は播種後3日間を30 $^{\circ}C$ の定温、以降を10 $^{\circ}C$ (12時間)+20 $^{\circ}C$ (12時間)の変温条件とした。播種後の水処理は常時湛水処理と、鞘葉期落水(播種後3日、落水中は適量を灌水した)処理の2水準とした。播種25日後に出芽調査を行い、3反復で実施した。

3. 播種量および施肥法の検討

(1) 目標苗立ち本数と適正播種量

苗立ち本数や播種量が生育ならびに収量に及ぼす影響を検討した。図1に示す作業順序に準じ、2011、2012年に中央農試泥炭土圃場において「大地の星」の浸漬種子を供試した。窒素施肥量は8 gm^2 とした。播種量は手播き区で150、300、450粒 m^2 の3水準、乗用型粒状物広幅散布機による播種区で平均播種量243~385粒 m^2 とした。いずれの圃場も冷害危険期前の6月下旬に中干しを実施し、登熟期間は間断灌漑とした。1 m^2 の調査枠を設置し、苗立ち本数、生育や倒伏、ならびに収量を調査した。一部は枠内の播種粒数も調査し苗立ち率を求めた。

(2) 適正窒素量と施肥資材

窒素施肥量あるいは施肥資材が生育ならびに収量に及ぼす影響を検討した。窒素施肥量の検討は2009年にグライ低地土圃場ならびに泥炭土圃場において緩効性の被覆尿素入り粒状複合BB552LP(15-15-12、窒素成分中30%がLPコート40日、以下「緩効性肥料」と略記)を利用して4、8、12 gm^2 の3水準とした。2010年は泥炭土圃場で緩効性肥料ならびに速効性窒素肥料の塩化燐安一号

(14-14-14、以下「速効性肥料」と略記)を利用して窒素施肥量0、6、8、12 gm^2 の4水準、2011年は泥炭土圃場で速効性肥料を利用して窒素施肥量0、8 gm^2 の2水準、2012年はグライ低地土圃場ならびに泥炭土圃場において速効性肥料を利用して窒素施肥量6、8、10 gm^2 の3水準とした。リン酸とカリウムの施肥量は未調整とした。

施肥資材の検討は2010年、2011年に速効性肥料と緩効性肥料を比較した。施肥は全量全層に施肥した。なお、播種量は219~400粒 m^2 とした。

(3) 湛水直播落水出芽法との比較

収量性や窒素吸収量、施肥窒素利用率について、湛水出芽法と湛水直播落水出芽法(以降、落水出芽法と略記)を比較した。2009年は泥炭土圃場で「大地の星」と「ほしまる」を、2010年はグライ低地土圃場で「ほしまる」を、泥炭土圃場で「大地の星」を供試した。2011-2012年は泥炭土圃場で「大地の星」を供試した。施肥資材は湛水出芽法が2009年を緩効性肥料、2010-2012年を速効性肥料とした。落水出芽法は緩効性肥料とした。窒素施肥量は8 gm^2 とした。2010、2011年の泥炭圃場には、「大地の星」を供試し、無窒素区を設定した。

湛水出芽法は無粉衣の浸漬あるいは催芽種子を供試し、播種量243~385粒 m^2 とし、播種後は3~5cmの極浅水管理、不完全葉期から1葉期に芽干し、芽干し後は5cm程度に湛水管理した。落水出芽法は代かき条件で、過酸化石灰剤の粉衣有無の異なる催芽種子を供試し、土中条播(平均条間22cm)とした。無粉衣の催芽種子を供試した区は播種量を約400粒 m^2 とし、播種後は落水状態で管理し、出芽を確認した播種後12~14日程度で入水した。過酸化石灰剤粉衣した催芽種子を利用した区は播種量を375粒 m^2 とし、出芽を確認した播種後7~10日程度で入水した。

(4) 現地試験

湛水出芽法の生産現場への適応性を検討するために、試験は石狩管内A町で2011年に実施した。隣接する圃場に湛水出芽法と落水出芽法を設定した。基肥はいずれも乾燥鶏糞を利用し窒素施肥量を6.7 gm^2 とし、追肥は落水出芽法のみ生産者慣行の窒素量9.2 gm^2 を施肥した。いずれも「大地の星」の無粉衣の催芽種子を供試し、約360粒 m^2 播種した。落水出芽法は代かき条件において、条播土中播種(平均条間22cm)し、播種後は落水管理をした。湛水出芽法は乗用型粒状物広幅散布機で表面散布し、湛水状態で出芽させ、芽干しを実施した。

また、A町にける水稲直播栽培の収量水準を把握するために、栽培方法や窒素施肥量が異なる圃場を含む16戸の生産者について精玄米重の実態調査を実施した。

結 果

1. 碎土作業条件の検討

0~10cm深の碎土率と苗立ち率の関係は正転ロータリ2回かけを除くと、碎土率が高いほど苗立ち率が高い傾向であった(図2)。0~10cm深の碎土率が40%未満の範囲では、苗立ち率が40%より低い場合が多かった。また、逆転ロータリは正転ロータリよりも苗立ち率が高い傾向であった。正転ロータリ2回かけとした区は碎土率が比較的高い反面、苗立ち率が比較的低かった。

0~3cm深の碎土率は0~10cm深の碎土率と比較すると、正転ロータリ区ではいずれの条件でも低く、表層に比較的粗い土塊が存在した。一方、逆転ロータリ区はいずれの条件でも0~3cm深の碎土率の方が高い値を示した(表2)。

表層に粗い土塊が露出している播種床は播種した種子が土塊の隙間に落下し、湛水による土塊の溶解に伴って種子が埋没する場合が多かった(データ略)。

耕耘ピッチは30mm以上の範囲において碎土率が40%に届かなかった一方で、20mm程度に設定すると碎土率が40%を超えた(図3)。

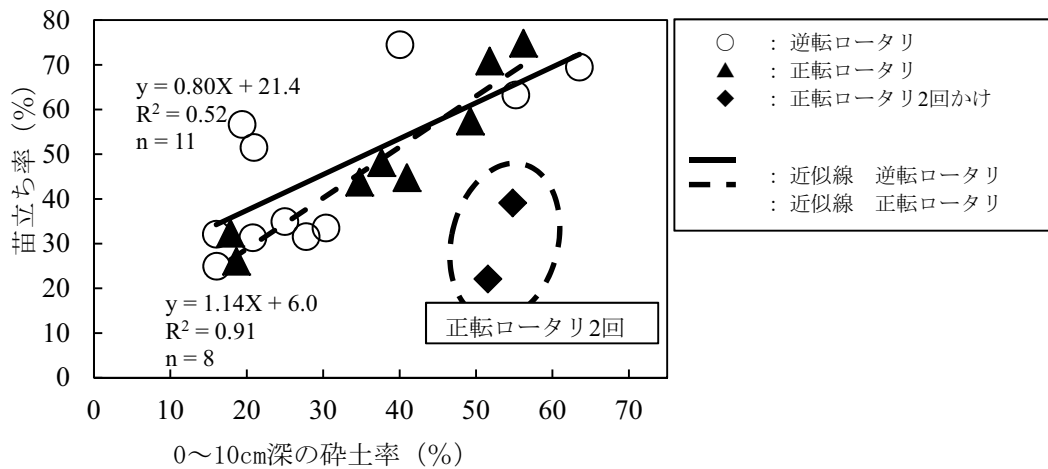


図2 無代かき表面播種湛水出芽法における0~10cm深の碎土率と苗立ち率

注1) 碎土率は土塊径20mm未満の重量割合を示す。

注2) 破線囲み部は正転ロータリ2回がけによる播種床であることを示す。

注3) 試験年次は2009~2012年、品種は「大地の星」ならびに「ほしまる」で、それぞれ無粉衣の浸漬種子を供試した。

表2 層位ごとの碎土率に対する作業機の影響

年次	碎土作業機	碎土前鎮圧	n	碎土率 (% : 土塊径20mm未満)	
				(0~3cm深)	(0~10cm深)
2011	正転ロータリ	あり	2	32.5	42.0
		なし	2	24.8	39.3
2012	逆転ロータリ	あり	2	63.3	47.6
		なし	3	35.4	18.8
分散分析				n.s.	*
碎土前鎮圧				n.s.	n.s.
碎土作業機				*	n.s.

注1) 碎土作業はいずれも一回かけ。

注2) 碎土率はグライ低地土圃場において、鎮圧作業後に測定した。

注3) *は5%以下の確率で有意であることを示す。

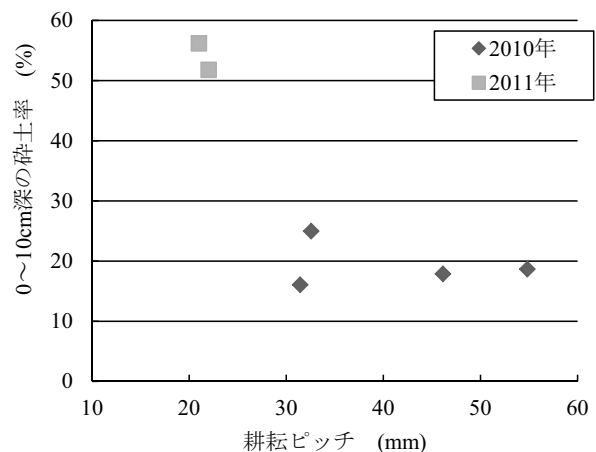


図3 耕耘ピッチと0~10cm深の碎土率の関係

注1) 耕耘ピッチは碎土時の耕耘爪の1回転あたりの前進距離を示す。

注2) 碎土率は土塊径20mm未満の土塊の重量割合を示す。

2. 無代かき条件での芽干し処理の検討

(1) 不完全葉期以降の芽干し処理

表面播種した無粉衣の浸漬種子は、湛水状態で問題ない出芽を得た。しかしその後、常時湛水区では出芽した種子の多くは茎葉の伸長に伴って浮き苗、あるいは基部が持ち上がった状態になった（写真1）。

不完全葉期3日間落水区は常時湛水区に比べ基部持ち上がり高が低かった（表3）。また、観察でも不完全葉期あるいは1葉期から落水を開始した区はいずれも浮き苗や基部の持ち上がりの発生が少なく、落水開始時期の相違は観察されなかった。7日間落水区は3日間落水区よりも苗立ち本数が多く、かつ基部持ち上がりが少ない傾向であった。

観察の結果、出芽後の種子根は湛水状態において水中

に伸長し、多くが土中に貫入しなかった。一方、芽干し処理の落水期間中には種子根が先端付近で屈曲し、土中に貫入した。しかし、落水前に水中に4cm以上伸長していた種子根は、落水状態でも土中に貫入しない場合が散見された。種子根の長さは葉齢と強い正の相関が認められ、最も生育が早い個体の根長が4cmに達する時の葉令は1葉期以降であった（図4）。

種子根の土中への貫入は3日間落水した区に比べ、7日間落水した区の方が多く観察された。また、7日間落水した区では種子根に加え冠根も土中に貫入する個体が多かった。

再入水時に水位が3~5cm深程度の極浅水であった地点の種子、および冠根も土中に貫入していた種子は基部の持ち上がりが観察されなかった。



写真1 水稲基部の持ち上がりの様子
(2009年7月3日 常時湛水区、落水条件で撮影)

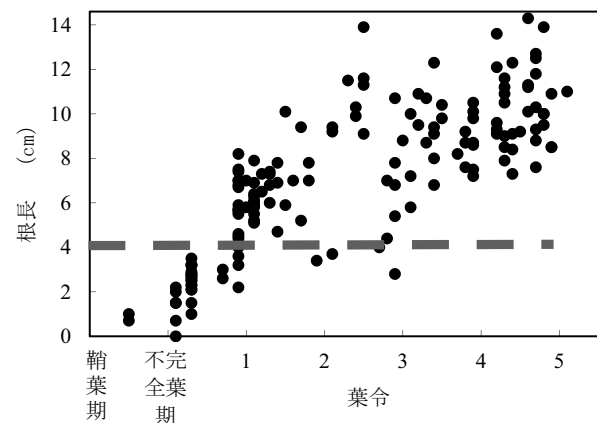


図4 生育初期の葉齢と種子根長の関係（圃場試験）

注) 2009年無代かき圃場において「ほしまる」を供試し、無粉衣の浸漬種子を表面播種し、常時湛水状態で管理した。調査は定期的に採取したサンプルによる。

表3 無代かき表面播種における播種後の水管理が苗立ち本数に及ぼす影響

処理	n	落水始め	入水始め	苗立ち本数 (本 m ⁻²)	基部持ち上がり高 ^{注3} (cm)
常時湛水区	12	-	-	280.0 ± 95.3	2.0 ± 2.3
不完全葉期落水 3日間落水	6	5月26日	5月29日	173.8 ± 104.5	0.7 ± 3.1
不完全葉期落水 7日間落水	6	5月26日	6月2日	216.3 ± 67.2	(-)
1葉期落水 3日間落水	5	6月3日	6月6日	168.4 ± 11.2	(-)
1葉期落水 7日間落水	6	6月3日	6月11日	209.2 ± 76.0	(-)

注1) 試験は2009年に、「ほしまる」を無粉衣の浸漬種子で供試し、無代かき圃場に表面播種した。

注2) 苗立ち本数と基部持ち上がり高の値は平均値と標準偏差を示す。

注3) 基部持ち上がり高は田面から初までの露出根長を測定した。

注4) 表中の(-)はデータ無し

なお、表面播種した種子は、本調査の期間を通して目視ができる状態で、観察が容易であった。

加えて、いずれの圃場も中干し時の田面水の落水は湛水出芽法の圃場の方が、代かきをした落水出芽法の水田圃場に比べて速やかであった。

(2) 鞘葉期芽干し処理

鞘葉期から落水する室内試験において、落水した翌日から葉先が枯れ始め、5~7日後には茎葉部全体が褐変し伸長が止まり、枯死する個体が7割を超えた(図5)。

3. 播種量および施肥法の検討

(1) 目標苗立ち本数と適正播種量

苗立ち本数が300~350本^m²の範囲では、精玄米重が多い傾向を示す反面、稈長が長く、穂数が多い傾向を示し、倒伏指数が大きかった(表4)。また、倒伏は転び型倒伏であることが観察できた。一方、苗立ち本数が150本^m²を下回る範囲では、苗立ち本数が少なくなるほど精玄米重が少なくなる傾向が認められた。

播種量は「大地の星」を供試した3水準の範囲において苗立ち本数と正の相関が認められ、150粒^m²区の苗立ち本数の平均が150本^m²を下回った(表5)。一方で、450粒^m²区の苗立ち本数の平均は245本^m²であったが、苗立ち本数が300本^m²を超える場合も見られた。

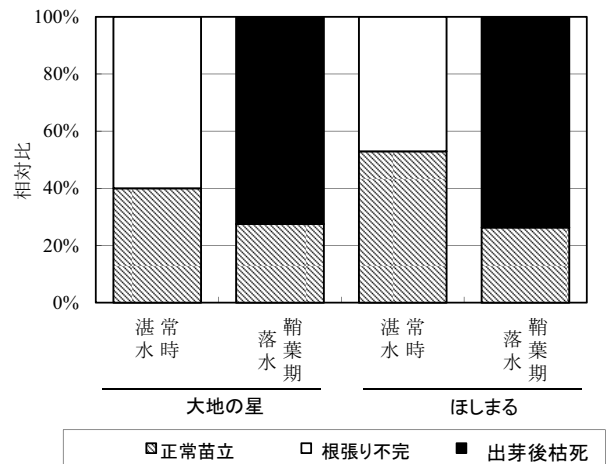


図5 無代かき表面播種における水管理が苗立ちに及ぼす影響(室内試験)

注1) 相対比は水処理後25日の正常苗立ち本数ならびに根張り不完全個体数を水処理開始前の出芽個体数で除した値に100を乗じて算出した値。出芽後枯死は差引き法により算出。

注2) 「根張り不完全」は基部持ち上がり、あるいは浮き苗となった個体を示す。

表4 無代かき表面播種における苗立ち本数が倒伏と収量に及ぼす影響

苗立ち本数区分 ^{注1)}	n	稈長 (cm)	穂数 (本 ^m ²)	倒伏指数 (0:なし~4:全面倒伏)	精玄米重 (g ^m ²)
50-100	8	60.3 b	552 c	0.3 b	531 ± 103 a
100-150	22	63.4 ab	650 bc	0.2 b	571 ± 85 a
150-200	10	63.6 ab	652 bc	0.6 b	597 ± 67 a
200-250	9	67.5 a	781 ab	0.9 ab	628 ± 53 a
250-300	4	63.6 ab	821 ab	0.7 b	605 ± 45 a
300-350	3	68.8 ab	881 a	2.2 a	636 ± 45 a

注1) 「50-100」は、苗立ち本数が50本^m²以上100本^m²未満の区分であることを示し、該当した8区の生育・収量の平均値を右欄に示した。以下同様に区分した。

注2) それぞれ同じアルファベットで繋がっていない区の間には、Tukey-KramerのHSD検定による有意な差が認められることを示す (p<0.05)。

注3) 発生した倒伏は全て転び型倒伏であった。

注4) 精玄米重は平均値±標準偏差を示す。

注5) 試験は2011~2012年に泥炭土圃場において、塩化燐安一号(14-14-14) 8g^m²を施肥した。「大地の星」を供試し、播種量150~450粒^m²で表面播種した。

表5 無代かき表面播種における播種量が倒伏と収量に及ぼす影響

播種量 (粒 ^m ²)	n	苗立ち本数 (本 ^m ²)	苗立ち率 (%)	稈長 (cm)	穂数 (本 ^m ²)	倒伏指数 (0:なし~4:全面倒伏)	精玄米重 (g ^m ²)
150	9	126 ± 57 a	83.9 a	62.7 a	661 a	0.25 b	558 a
300	10	172 ± 65 a	57.2 a	63.5 a	669 a	0.16 b	606 a
450	4	245 ± 144 a	54.3 a	60.9 a	648 a	1.25 a	591 a

注1) それぞれ同じアルファベットで繋がっていない区の間には、Tukey-KramerのHSD検定による有意な差が認められることを示す (p<0.05)。

注2) 苗立ち本数は平均値と標準偏差を示す。他の項目は平均値を示す。

注3) 試験は2011~2012年に泥炭土圃場において、塩化燐安一号(14-14-14) 8g^m²を施肥した。「大地の星」を供試し、表面播種した。

(2) 適正窒素量と施肥資材

窒素施肥量が多くなるにつれ稈長が長くなり、精玄米重は増加する傾向を示した(表6)。倒伏指数は北海道施肥ガイド2015⁸⁾に基づいた窒素施肥標準量との差が+1.0g m⁻²までの範囲では倒伏指数が1未満の低い値であった。ただし、窒素施肥量が10g m⁻²以上、窒素施肥標準量との差が+1.5g m⁻²以上の区は倒伏指数が有意に高かった。

施肥資材を比較すると、泥炭土条件において速効性肥料は緩効性肥料に比べ倒伏指数が低い傾向を示した。

(3) 湛水直播落水出芽法との比較

収量は無粉衣の種子で窒素施肥量が同等の条件において、落水出芽法よりも湛水出芽法の方が多収であった(表7)。

成熟期窒素吸収量は落水出芽法よりも湛水出芽法の方が多かった。また、「大地の星」を供試した泥炭土圃場条件において、施肥窒素利用率は落水出芽法が25.8%であったのに対し、湛水出芽法は47.8%と22ポイント高い値を示した(図6)。

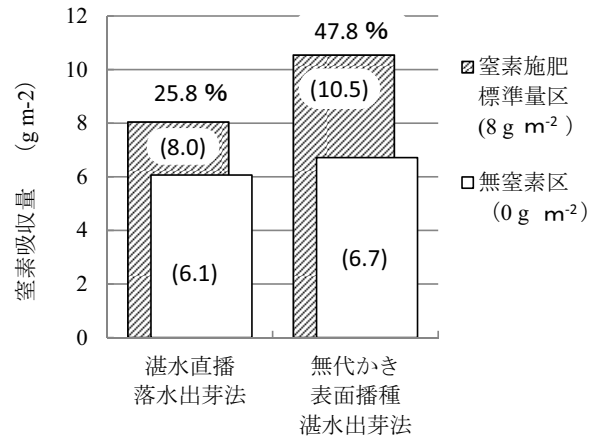


図6 成熟期窒素吸収量と施肥窒素利用率の比較

- 注1) 図中のカッコ内の数値は水稻成熟期窒素吸収量を示す。
- 注2) 棒グラフ上の数値は差引法による施肥窒素利用率を示す。
- 注3) 試験は2010~2011年に「大地の星」を供試し、泥炭土圃場において実施した。
- 注4) 湛水直播落水出芽法は被覆尿素入り粒状複合(15-15-12, 窒素成分中30%がLPコート40日)を利用した。
- 注5) 無代かき表面播種湛水出芽法は2010年が被覆尿素入り粒状複合(15-15-12, 窒素成分中30%がLPコート40日)を利用し、2011年は塩化磷安一号(14-14-14)を利用した。

表6 無代かき表面播種における窒素施肥量が倒伏と収量に及ぼす影響

年次	土壌	品種	施肥資材	窒素施肥量 (g m ⁻²)	施肥標準量との差 (g m ⁻²)	播種量 (粒 m ⁻²)	n	苗立ち本数 (本 m ⁻²)	稈長 (cm)	倒伏指数 (0: なし~ 4: 全面倒伏)	精玄米重 (g m ⁻²)
2009	グライ低地土	ほしまる	緩効	4	-4.5	400	2	346 a	57.1 b	0.0 a	469 a
				8	-0.5	400	2	310 a	65.3 ab	0.7 a	479 a
				12	+3.5	400	4	252 a	72.2 a	3.0 a	465 a
2009	泥炭土	ほしまる	緩効	4	-3.0	400	2	327 a	55.9 c	0.1 b	415 b
				8	+1.0	400	2	278 a	60.0 b	0.4 b	467 ab
				12	+5.0	400	2	288 a	66.3 a	2.1 a	516 a
2010	泥炭土	大地の星	緩効	6	-1.0	349	7	120 a	64.3 bc	0.3 c	581 a
				8	+1.0	340	18	135 a	66.5 abc	0.9 bc	608 a
				12	+5.0	333	8	110 a	68.9 a	2.8 a	635 a
			速効	6	-1.0	338	9	127 a	63.2 c	0.1 c	556 a
				8	+1.0	328	13	106 a	65.1 bc	0.3 c	580 a
12	+5.0	341	6	117 a	70.2 ab	1.7 ab	621 a				
2011	グライ低地土	大地の星	緩効	8	-0.5	360	6	165 a	66.9 a	0.0 a	545 a
				速効	8	-0.5	360	6	166 a	66.7 a	0.0 a
2012	グライ低地土	大地の星	速効	6	-2.5	294	9	204 a	63.6 a	0.1 b	569 b
				8	-0.5	291	10	169 a	65.9 a	0.3 b	587 ab
				10	+1.5	294	9	190 a	67.7 a	1.0 a	633 a
2012	泥炭土	大地の星	速効	6	-1.0	299	8	148 a	61.4 b	0.0 b	560 b
				8	+1.0	299	8	144 a	63.4 ab	0.1 b	604 a
				10	+3.0	299	8	162 a	64.4 a	0.6 a	618 a

- 注1) 年次ごとにそれぞれ同ジアルファベットで繋がっていない区の間には、Tukey-KramerのHSD検定による有意な差が認められることを示す (p<0.05)。
- 注2) 施肥資材の緩効は被覆尿素入り粒状複合BB552LP (15-15-12, 窒素成分中30%がLPコート40日) を、速効は塩化磷安一号 (14-14-14) を示す。
- 注3) 施肥標準量との差は「北海道施肥ガイド2015」に基づき算出した窒素施肥量とそれぞれの区の窒素施肥量の差を示す。
- 注4) 発生した倒伏は全て転び型倒伏であった。

表7 無代かき表面播種湛水出芽法と湛水直播落水出芽法の比較

年次	栽培法	種子粉衣	施肥資材	n	播種量 (粒 m ⁻²)	苗立ち本数 (本 m ⁻²)	苗立ち率 (%)	穂数 (本 m ⁻²)	総粒数 (千粒 m ⁻²)	千粒重 (g 千粒 ⁻¹)	精玄米重 (g m ⁻²)	倒伏指数 (0:なし~ 4:全面倒伏)	窒素 吸収量 (g mm ⁻²)
2010	湛水直播 落水出芽法	有	緩効	3	370	195	52.5	760	26.5	25.3	563	0.1	11.3
	落水出芽法	無	緩効	4	400	113	28.1	616	22.9	25.9	512	0.0	9.5
	無代かき 表面播種 湛水出芽法	無	速効	24	290	96	34.4	460	16.3	27.1	578	0.3	9.9
2011	湛水直播 落水出芽法	有	緩効	6	375	212	56.6	878	41.5	26.6	585	0.0	8.8
	落水出芽法	無	緩効	6	400	78	19.4	536	26.2	27.6	399	0.0	7.7
	無代かき 表面播種 湛水出芽法	無	速効	32	315	165	55.7	748	33.6	27.5	560	0.8	11.5
2012	湛水直播 落水出芽法	有	緩効	4	370	192	51.7	766	33.7	25.3	622	0.0	11.5
	落水出芽法	無	緩効	4	400	197	49.3	798	34.9	25.2	630	0.0	11.4
	無代かき 表面播種 湛水出芽法	無	速効	72	299	147	49.7	641	26.6	26.1	595	0.3	13.4
平均	湛水直播 落水出芽法	有	緩効	13	372 a	202 a	54.2 a	885 a	35.7 a	25.9 b	591 a	0.0 a	10.5 a
	落水出芽法	無	緩効	14	400 a	122 b	30.4 b	649 b	27.8 ab	26.4 ab	497 b	0.0 a	9.5 a
	無代かき 表面播種 湛水出芽法	無	速効	128	301 b	142 b	48.3 a	710 b	26.4 b	27.0 a	584 a	0.5 a	11.6 a

注1) それぞれ同じアルファベットで繋がっていない区の間には、Tukey-KramerのHSD検定による有意な差が認められることを示す(p<0.05)。
 注2) 試験は2010~2012年に「大地の星」を供試した。湛水直播落水出芽法は催芽種子を、無代かき表面播種湛水出芽法は浸漬種子を供試した。
 注3) 種子粉衣の有は過酸化石灰剤粉衣を、無は無粉衣を示す。
 注4) いずれも泥炭土圃場において8gNm⁻²を全層施肥した。施肥資材の緩効は被覆尿素入り粒状複合BB552LP (15-15-12、窒素成分中30%がLPコート40日)を、緩効は塩化リン安一号 (14-14-14)を示す。
 注5) 窒素吸収量は成熟期の総計(茎葉と穂の合計)を示す。

(4) 現地試験

隣接圃場における比較試験の結果、湛水出芽法は落水出芽法よりも精玄米重が多かった(図7)。また、この湛水出芽法の精玄米重は同地区内の栽培方法や窒素施肥量が異なる圃場を含む16戸の平均精玄米重よりも多かった。

考 察

1. 碎土作業条件

既往の落水出芽法において、無粉衣の種子での苗立ち率は40%を超えており^{3) 6)}、湛水出芽法でも目標苗立ち率を40%として目標碎土率を検討した。

湛水出芽法は、正転ロータリ2回かけ区を除くと、播種床の0~10cm深の碎土率が40%より低い範囲では苗立ち率が40%を下回る場合が認められた。これは0~10cm深の碎土率が低いと表面に大きな土塊と隙間が存在し、土塊の隙間に落下した種子が萌芽前に埋没し、萌芽が阻害される¹²⁾ためと考えられる。したがって、湛水出芽法の目標碎土率は40%以上が必要と考えられる。

また、碎土作業機ごとに0~10cm深の碎土率と苗立ち率の関係を見ると、逆転ロータリは碎土率が40%以下の範囲において、正転ロータリよりも苗立ち率が高い傾向

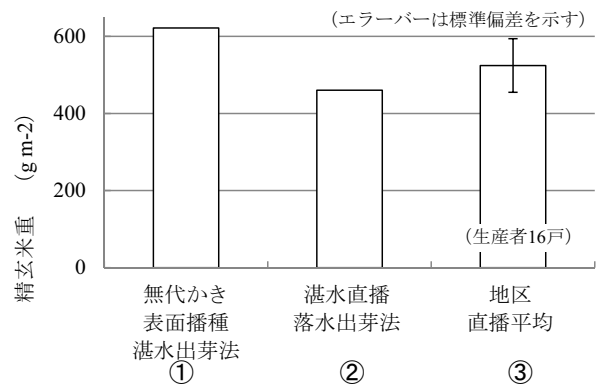


図7 現地Aにおける直播栽培の収量比較

注1) ③の地区直播平均収量は石狩農業改良普及センター調べによる。
 注2) ①と②は同生産者の隣接圃場で「大地の星」の無粉衣の催芽種子を供試し、①は基肥窒素施肥量6.7g^{m⁻²}、②は基肥窒素施肥量6.7g^{m⁻²}に追肥窒素量9.2g^{m⁻²}で栽培された。
 注3) ③は地区16戸の直播栽培水稲の平均収量。窒素施肥量などの栽培法は各農家の慣行。

であった。一般に同じ砕土率でもロータリの形式によって深さごとの土塊径分布は異なり、本試験でも逆転ロータリは0~3cm深の砕土率が正転ロータリよりも高かった。このため、逆転ロータリは播種床の表面に粗い土塊が少なく、土塊の隙間に入り込み出芽が阻害される種子が少なかったものと考えられる。湛水出芽法の砕土作業は砕土率40%以上を確保することで問題のない苗立ちが得られるものの、作業機は逆転ロータリを基本とすることが妥当と判断できる。

この0~10cm深の目標砕土率は既往の土中に播種する乾田直播が目標とする砕土率70%よりも明確に低かった。土中に播種する乾田直播では覆土として細かく砕土する必要がある。一方で、湛水出芽法は砕土後の鎮圧で凹凸を均して土塊の隙間が低減される作業体系であり、種子が埋没しない砕土率で十分なためである。目標砕土率が低い場合、湛水出芽法は圃場の砕土作業が容易である。

2. 芽干し処理

湛水出芽法は落水出芽法とは異なり、種子を土中ではなく播種床上に表面播種した後、湛水状態のまま管理し、無粉衣の浸漬種子でも十分な出芽を確保できた。表面播種と湛水条件での出芽は過去のたこ足直播などでも見られた技術である。しかし、代かき条件では出芽までの期間に浮泥が発生し、表面播種した種子が土壌に埋没することが少なくなかった¹²⁾。このため、無粉衣の種子では苗立ちが不安定で、種子に過酸化石灰剤を粉衣する必要がある。一方、本報の湛水出芽法は無代かき条件とすることにより、播種床表面に播種された種子が出芽までの期間を通して、露出した状態を保つことが可能となったため、無粉衣の浸漬種子でも十分な出芽を確保できると考えられた。

出芽後は浮き苗を抑制する水管理が必要である。出芽した種子は湛水状態のまま生育が進むと、種子根が土中に貫入せず水中を伸ばし、浮き苗になる。浮き苗の対策は、代かき圃場での知見と同様に、浮力の抑制と根の土壌貫入を促進することが有効と考えられる⁷⁾。浮力は茎葉部の徒長を防ぐ観点から播種後の水位が浅い方が抑制できる。ただし、水管理の作業性を勘案すると、播種後の水位は3~5cm程度の極浅水に維持して出芽させることが妥当と考えられる。根の土壌貫入は、代かき水田における表面播種直播と同様に、田面水を一時的に落水する「芽干し」によって促進できた。芽干しは落水期間中に根を土壌へ貫入させることにより浮き苗を抑制する⁷⁾。本報において、芽干しは落水開始時期を「不完全葉期~1葉期」とし、田面水を落水し土壌表層を湿潤~軽い乾燥程度とすることで、種子根の土壌への貫入を促すことができた。また、芽干しの期間は7日間の方が3日

間よりも苗立ち本数が多く、基部持ち上がりが少なく、かつ冠根の土壌貫入も観察できた。芽干しの期間は気象条件などによって変動することが想定されるものの、7日間を目安とすることが妥当と考えられる。

7日間の芽干し期間は過去の代かき水田における表面播種直播の芽干し期間1~2日間⁹⁾に比べ長い。これは鎮圧した無代かき圃場の表面が代かき水田に比べ粗く硬いため、根が貫入しにくいこと、表面播種された種子は代かき水田に比べ、土壌への密着度が弱いことなどが反映した結果と考えられる。

3. 播種量および施肥法

湛水出芽法の目標苗立ち本数は、収量を確保する観点から落水出芽法と同じく^{2) 6)}、150本 m^{-2} 以上が適切と考えられる。さらに倒伏抑制を図る観点から目標苗立ち本数に上限も設定し、300本 m^{-2} 未満とすることが必要だと考えられる。すなわち、湛水出芽法では、種子を表面に播種することから転び型倒伏のリスクがあり、これを軽減するために目標苗立ち本数に上限が必要であり、苗立ち本数が300本 m^{-2} 以上の区において有意に倒伏指数が高くなったことから300本 m^{-2} 未満が上限として適切と考えられる。湛水出芽法の苗立ち本数は播種量と正の相関が認められ、播種量300粒 m^{-2} 区は苗立ち本数が 172 ± 65 本 m^{-2} であり適正な苗立ち本数に達しないことが懸念された。一方で450粒 m^{-2} 区は苗立ち本数が 245 ± 144 本 m^{-2} であり適正な苗立ち本数を超え倒伏を助長する懸念があった。これらから、適正な播種量は300~450粒 m^{-2} の範囲内であると推測でき、落水出芽法と同等³⁾か、約2割少ない⁶⁾約375粒 m^{-2} が妥当と判断される。

湛水出芽法の施肥法も収量確保と倒伏抑制の観点から、窒素施肥量と施肥資材を設定することが妥当である。湛水出芽法においても一般の水稲栽培と同様に、窒素施肥量が多いほど稈長や収量ならびに倒伏が増加する傾向を示した。湛水出芽法の倒伏は北海道施肥ガイド2015⁹⁾に基づいた窒素施肥標準量までの範囲であれば、「ほしまる」「大地の星」のいずれも問題がなかった。このため、窒素施肥量は倒伏を抑制する観点から移植栽培の施肥標準量が適正であり、窒素施肥効率が高いため増肥や追肥は必要ないと判断される。また、施肥資材は緩効性肥料と速効性肥料を比較すると、生育や収量は両資材で有意な差はなかった。倒伏は速効性肥料の方が少ない傾向であったことと、速効性肥料の方が一般に安価であることも併せると、湛水出芽法において施肥資材は速効性肥料が適すると判断される。これは、落水出芽法では緩効性肥料を配合した施肥資材が適するとされる知見⁹⁾とは異なった。湛水出芽法は湛水状態で出芽させ、芽干し処理中でも土壌表層が湿潤~軽い乾燥程度であるため、施肥

窒素の硝酸化成が少ないことを反映した結果と考えられる。

中干しは転び型倒伏の軽減に対して有効とされていることから^{9) 11)}、本試験では冷害危険期前の6月下旬に中干しを実施した。中干し時の田面水の落水は無代かきである湛水出芽法の圃場の方が、慣行の代かきをした水田圃場に比べて速やかであった。落水が速やかであることは中干しの実施を容易にし、湛水出芽法の長所の一つと考えられる。

4. 技術の普及性

湛水出芽法では碎土に利用する逆転ロータリを畑作物と共通化できる。表面播種であるため専用播種機を必要とせず、本試験で使用した乗用型粒状物広幅散布機は畑作物の施肥や播種にも使用できる(写真2)。碎土機や播種機が転作作物と共通化できるため、専用播種機を必要とする多くの落水出芽法と異なり、導入時に必要な初期費用の負担が抑制できる。加えて、落水出芽法と異なり安価な速効性肥料が利用でき、窒素施肥効率が高いため増肥や追肥が必要ない。また、湛水出芽法は落水出芽法に比べ同じ窒素施肥量であれば場内試験ならびに現地試験のいずれも同等以上であった。本技術はこれらの特長を有しており、生産現場への普及性を有すると考えられる。

反面、播種後の水管理が湛水出芽法の普及に障害とな

りうる懸念される。すなわち、無代かきで整地した圃場は一般の代かきした圃場に比べ減水深が大きい場合が少なくないため、圃場の条件によっては入水が頻繁になり、生産者の負担になりかねない。このため、水位調節が可能な地下かんがい設備、あるいは一部で導入されつつある自動水位制御装置の導入が有効となると考えられる。

引用文献

- 1) 北海道立中央農業試験場. 平成6年度 水稲栽培・土壌肥料に関する試験成績書. 88-93, (1994)
- 2) 北海道農政部. 水稲湛水直播栽培暫定基準—上川中央部における水稲湛水直播栽培法— (1989)
- 3) 北海道農政部. 「ほしまる」の水稲湛水直播栽培指針. (2012)
- 4) 北海道農政部 編. 北海道施肥ガイド2015. 北海道農業改良普及協会, 2016, 246p
- 5) 北海道農政部農産振興課. 「米に関する資料 [生産・価格・需要]」. 2017
- 6) 古原洋, 平石学, 熊谷聡. 水稲「大地の星」における湛水直播栽培のコスト低減. 農業および園芸, 86 (8), 808-813, (2011)
- 7) 三石 昭三. 水稲の湛水直播における土壌中埋没播種に関する作物学的研究. 石川県農業短期大学特別研究報告, 3, 19-23, (1975)



写真2 乗用型粒状物広幅散布機による播種作業の例

- 8) 宮坂昭. 水稻根の物理的強度に関する研究: 第2報
根の強度と倒伏との関係. 日本作物學會紀事, 39(1),
7-14, (1970)
- 9) 岡田 佳菜子, 楠目俊三, 五十嵐俊成. 北海道の水
稲湛水直播栽培における土壌中アンモニア態窒素と窒
素吸収. 日本土壌肥料学雑誌, 85(3), 194-199,
(2014)
- 10) 齊藤義崇. 技術普及事例 北海道岩見沢地域におけ
る水稻乾田直播を活かした水田農業の現状と課題. 北
農, 北農 80(1), 41-48 (2013)
- 11) 寺島一男, 谷口岳志, 萩原均, 梅本貴之. 水管理条
件が湛水直播水稻の耐ころび型倒伏性と収量に及ぼす
影響. 日本作物學會紀事, 72(3), 275-281, (2003)
- 12) 山内 稔. 湛水土壌中における直播水稻の苗立ち.
日本土壌肥料学雑誌, 68(4), 467-476, (1997)
- 13) 吉永悟志, 富樫辰志, 脇本賢三, 下坪訓次. 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. 日本作物
學會紀事, 66(別2), 3-4, (1997)
- 14) 吉永悟志, 西田瑞彦, 脇本賢三, 田坂幸平. 湛水直
播における播種後の落水管理が施肥窒素の動態および
水稻の生育・収量に及ぼす影響. 日本作物學會紀事,
69(4), 481-486, (2000)

Direct Seeding of Rice Crop on Flooded No-puddling Fields

Makoto SASAKI^{*1}, Satoshi KUMAGAI^{*2}, and Ichiro INANO^{*3}

Summary

A new cultivation technique of direct seeding cultivation of paddy field, non-puddling rice direct Seeding in flooded soil method were developed. The problem of the customary direct seeding cultivation of paddy rice by drainage sprouting method was the burden of fertilizer application due to low yield and fertilizer nitrogen utilization rate. Therefore, the purpose of this report is improving the yield and fertilizer nitrogen utilization rate. Technical development was carried out in field tests and partly in field tests and indoor tests. Unlike the popular drainage sprouting method in Hokkaido, this technique germinates in flooded soil conditions after seeding. Emergence in the flooded is obtained by surface seeding on a flattened sowing bed and keeping the low level of water. The problem with surface seedling, such as lodging, can be solved with drainage treatment, which controls short-term falling water after emergence and penetrates roots into the soil, proper sowing amount and fertilizing amount. Since this technology germinates under flooded condition, it does not promote nitrification of fertilized nitrogen. As a result, this technique does not require slow release coated fertilizer or nitrogen dressing, and the fertilizer nitrogen utilization efficiency is 30% higher than traditional direct seeding method by the drainage sprouting method.

^{*1} Paddy-field Farming Group, Production Research Department, Hokkaido Research Organization Central Agricultural Experiment Station, Iwamizawa, Hokkaido, 069-0365 Japan

E-mail: sasaki-makoto@hro.or.jp

^{*2} Hokkaido Research Organization Kamikawa Agricultural Experiment Station, Pippu, Hokkaido, 078-0397 Japan

^{*3} Hokkaido Research Organization Central Agricultural Experiment Station, Naganuma, Hokkaido, 069-1395 Japan