

氏名	伊藤 景子
授与学位	博士 (生物資源科学)
学位授与年月日	令和5年3月23日
学位授与の根拠法規	学位規則第4条第1項 (注 課程博士: 1、論文博士: 2)
研究科専攻	秋田県立大学大学院生物資源科学研究科 博士後期課程 生物資源科学専攻
学位論文題目	水稲代かき同時浅層土中播種栽培における根出し種子の 苗立ちおよび保存に関する研究
指導教員	教授 小川 敦史
論文審査委員	主査 教授 小川 敦史 副査 教授 藤 晋一, 教授 佐藤 孝 学外 上級研究員 松波 寿典 (国立研究開発法人 農 業・食品産業技術総合研究機構)

論文内容要旨

近年、水稲栽培において省力化や低コスト化、作業分散のために直播栽培への関心が高まっている。特に移植栽培と類似した栽培方式である湛水直播栽培は、新規に直播栽培を導入する生産者において取り組みやすく、今後普及が進んでいくものと予想される。湛水直播栽培の一つである代かき同時浅層土中播種栽培は、無コーティング種子を使用するためコーティング資材や労力が不要であり、播種を本代かきと同時にを行うため省力的である。更に、種子は浅層土中に播種されるため、酸素不足による出芽不良や鳥害、転び苗が抑制され、苗立率が低下しにくいという特徴がある。しかし寒冷地においては、圃場内の排水不良箇所では苗立ちが不良となる事例が見られ、本播種栽培の安定化のためには多様な圃場条件における苗立ち安定化技術を開発する必要がある。また、種子処理時には圃場準備等により作業が競合するため、事前の種子処理や処理種子の保存により作業の効率化を図る必要がある。本研究では、既存技術として使用されている無コーティングの鳩胸催芽種子（以下催芽種子）より優れる出芽や苗立ちを示す種子処理方法の開発、および開発された種子処理法で処理した種子の保存条件や保存期間を明らかにすることを目的とした。

1. 種子処理方法の開発

(1) 室内出芽試験

代かき同時浅層土中播種栽培における、無コーティングの鳩胸催芽種子より苗立ちを向上させる種子処理方法を開発するために、催芽程度の違いが苗立ちおよび初期生育に与える影響について検討した。種子処理は、催芽種子、幼芽のみ伸長させた芽出し種子、幼根のみ伸長させた根出し種子（図 1）、更に機械播種時の催芽部

分の損傷を想定して幼芽および幼根を切除した種子(以下芽切除種子、根切除種子)の5処理とした。催芽種子および芽出し種子は、浸漬した種子を30℃に設定した循環式催芽器内で処理した。根出し種子は、浸漬した種子を脱水し、30℃に設定した蒸気式育苗器内で発根させた。種子の処理時間は、催芽種子は24時間、芽出し種子および根出し種子は40時間とした。処理後の種子をアグリポットに浅層土中播種し、播種後21日間の出芽個体数、播種後21日目の苗立率および初期生育を調査した(6反復)。

その結果、根出し種子や芽出し種子は催芽種子より早期に出芽し(図2)、苗立率や初期生育は有意に優れた(表1)。根出し種子は根を切除しても同様の苗立率および初期生育の向上効果が認められたが、芽出し種子は芽を切除すると苗立率は低下した。このことから、損傷の影響を受けにくい根出し種子は、芽出し種子より実用的であると判断した。

(2) 圃場試験

根出し種子の機械播種適性および苗立ち向上効果の確認を目的に、2015~2016年の2年間、秋田県大仙市において圃場試験を行った。催芽種子および根出し種子を、早期(4月下旬)および普通期(5月中旬)に代かき同時浅層土中播種した。試験区の配置は4ブロック乱塊法、圃場の水管理は播種後約7日間湛水後とした。調査項目は、苗立ちおよび初期生育、出穂期、倒伏程度、収量とした。

その結果、平均根長が5.0 mm以下の根出し種子(表2)は、播種機内での根絡みや詰まりは認められず本播種機の使用において実用的であると考えられた。根出し種子は室内試験同様、催芽種子より苗立率および初期生育が向上した。このような苗立率および初期生育の向上効果は、播種後10日間の平均気温が11.7~18.6℃の幅広い温度条件において確認された。出穂期は、最大で3日根出し処理により早まる傾向が見られた。倒伏程度および収量構成要素は、種子処理間や作期間に有意差は認められなかった。以上より、代かき同時浅層土中播種栽培において平均根長が5.0 mm以下の根出し種子の播種は、機械播種時に悪影響が無く、苗立ち向上に有効であると考えられた。

(3) 現地実証試験

現地生産規模量の根出し種子処理や苗立ち向上効果の実証を目的に、2017年~2019年の3年間、秋田県大仙市と横手市の現地圃場で実証試験を行った。水稻品種「ちほみのり」と「萌えみのり」の種子15~48 kgを30℃に設定した蒸気式育苗器で根出し処理したところ、「ちほみのり」は36~41時間、「萌えみのり」は30~45時間の処理で機械播種に適した根長平均5 mm以下の根出し種子が得られた(表3)。処理後の根出し種子および催芽種子を代かき同時浅層土中播種機を用いて散播するとともに、慣行の直播として鉄コーティング種子を動力散布機で散播した。調査項目は、苗立ちおよび初期生育、出穂期、倒伏程度、収量とした。

その結果、根出し種子は催芽種子や鉄コーティング種子より苗立率や初期生育が向上する傾向にあった。更に、出穂期は 根出し種子 > 催芽種子 > 鉄コーティ

ング種子の順に早く、倒伏程度や収量は催芽種子や鉄コーティング種子と同程度であった(表4)。以上より、根出し種子は、育苗器を用いることで現地生産規模量の種子処理が可能であり、本播種栽培の苗立ち向上に実用可能な技術であることが示された。

2. 根出し種子の保存条件と保存可能期間の解明

(1) 室内出芽試験

根出し種子を長期間保存するための適する低温保存温度を明らかにするために、根出し種子を5、10、15℃に設定した人工気象器内で0(対照区)、5、10、14、21日間保存し、室内出芽試験を行った。処理後の種子をアグリポットに浅層土中播種し、出芽個体数、播種後21日目の苗立ちおよび初期生育を調査した(3反復)。

その結果、苗立率は全保存温度・日数において対照区より低下したものの、10℃保存は、5℃および15℃で保存した種子に比べ苗立率の早期低下(図3)および5℃保存種子で見られた生育低下(図4)が認められなかった。このことから、低温での保存は10℃が適すると判断した。

(2) 圃場試験

根出し種子の常温および低温における保存可能期間を検討するために、根出し種子を常温で0(対照区)、5、10、15日間、10℃の低温で20、29日間保存した。種子は、屋内の常温暗所および10℃に設置した低温室に置いたパレット上に、等間隔に置いて保存した。保存後の種子を、秋田県大仙市の圃場に代かき同時浅層土中播種し、苗立ちおよび初期生育、出穂期を調査した。

保存後の種子は、保存期間中に発芽や発根、幼芽や幼根の伸長が認められた(表5)が播種に支障の無い程度であった。常温で5~15日間、低温で20日間保存した根出し種子の苗立率および初期生育、出穂期は対照区と同等以上であった(表6)。一方、低温で29日間保存した根出し種子は、有意差は認められなかったものの苗立率は対照区より劣る傾向が見られ、今後更なる検討が必要と考えられた。以上より、根出し種子は常温(15.0~18.6℃)では15日間、低温(約10℃)では20日間保存可能であることが明らかとなった。

無コーティング種子を使用した代かき同時浅層土中播種栽培において、種子の根出し処理は苗立ち向上に有効な技術であることが明らかとなった。更に、湛水直播栽培の播種早限である日平均気温13℃未満の場合においても、根出し処理により苗立ちおよび初期生育が向上し出穂が早期化することが明らかとなった。本播種法において根出し種子を播種することで、早期の播種や冷涼な地域での播種が可能となり、播種適期や適地拡大に寄与できる可能性があると考えられた。また、根出し種子は常温で15日、低温で20日まで保存可能であることが明らかとなったことにより、種子処理時の作業分散が可能となり、播種面積の拡大や大量処理による作業効率の向上に寄与できる可能性があると考えられた。

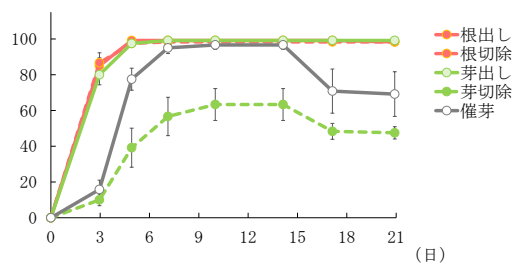
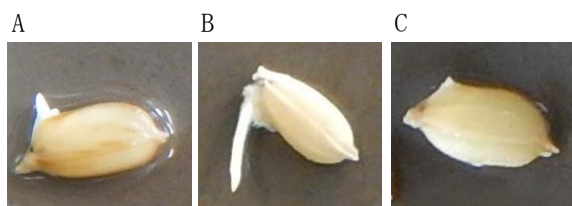


図 1

室内試験における播種時の種子の状態

図 2 室内試験における出芽率の推移

(A:芽出し種子、B:根出し種子、C:催芽種子

図中のバーは標準誤差を示す (n=6)

表 1 催芽程度の違いが播種後 21 日目の苗立率および生育に及ぼす影響

処理	播種時		苗立率 (%)	草丈 (cm)	葉齢	茎葉乾物重 (mg)
	根長 (mm)	芽長 (mm)				
芽出し	0.0	2.0	99 a	5.4 a	2.6 a	4.5 a
芽切除	0.0	切除	48 c	3.9 b	2.5 a	2.7 b
根出し	6.0	0.0	98 a	5.4 a	2.6 a	4.6 a
根切除	切除	0.0	98 a	4.8 ab	2.5 a	4.1 a
催芽	0.0	0.1	69 b	4.1 b	2.2 b	2.9 b

葉齢は不完全葉を1とした。同じアルファベットは処理間に5%水準で有意差がないことを示す (苗立率はRyan法、その他はTukey法)。

表 2 播種条件および播種時の催芽程度、苗立率、初期生育

年	作期	処理	播種後気温 (°C)	播種量 (kg/10a)	根長 (mm)	芽長 (mm)	苗立率 (%)	苗立数 (本 m ⁻²)	草丈 (cm)	葉齢	白化茎長 (cm)	茎葉乾物重 (mg)
2015	早期	根出し2	16.5	6.8	2.3	0.0	85.7 a	212	15.5 a	5.7 a	0.2 a	29 a
		根出し1		6.3	1.0	0.0	74.1 b	170	15.8 a	5.6 a	0.2 a	31 a
		催芽		6.1	0.0	0.0	37.4 c	83	14.4 a	5.5 b	0.2 a	24 a
	普通期	根出し2	15.7	4.4	5.0	0.0	88.8 a	144	20.2 a	6.9 a	0.2 a	106 a
		根出し1		5.7	1.9	0.0	54.2 c	114	19.8 a	6.8 a	0.2 a	115 a
		催芽		7.7	0.0	0.0	63.1 b	177	19.3 a	6.7 a	0.2 a	102 a
2016	早期	根出し2	11.7	9.0	3.8	0.1	55.0 a	154	14.8 a	5.2 a	0.2 a	23 a
		根出し1		8.7	0.3	0.1	22.4 c	63	12.7 b	4.6 b	0.3 a	14 b
		催芽		8.5	0.0	0.0	31.5 b	88	11.6 b	4.3 c	0.2 a	11 c
	普通期	根出し2	18.6	8.1	1.3	0.1	41.7 a	108	24.9 a	6.7 a	0.1 a	96 a
		根出し1		7.9	0.5	0.0	43.4 a	109	25.6 a	6.7 a	0.1 a	101 a
		催芽		8.1	0.0	0.1	23.4 b	61	24.9 a	6.6 a	0.2 a	87 a
平均	根出し2						67.8 a	154	18.8 a	6.1 a	0.2 a	64 a
	根出し1						48.5 b	114	18.5 a	5.9 b	0.2 a	65 a
	催芽						38.9 c	102	17.5 b	5.7 c	0.2 a	56 b

播種後気温は播種後10日間の平均気温を示す。根長および芽長は播種時の平均長を示す。葉齢は不完全葉を1とした。同じアルファベットは処理間に5%水準で有意差がないことを示す (苗立率はRyan法、その他はPLSD法)。

表3 播種条件および播種時の催芽程度、苗立率、初期生育（現地試験）

年次	場所	処理	播種後 気温	播種量 (kg/10a)	根長 (mm)	芽長 (mm)	苗立率 (%)	苗立数 (本 m ⁻²)	草丈 (cm)	葉齢	白化茎長 (cm)	茎葉乾物重 (mg)	
2017	大仙市	根出し	16.7	7.9	2.4	0.0	75.6	213	24.4	5.5	0.5	58.5	
		催芽		7.2	0.0	0.1	66.4	171	19.1	5.2	0.4	45.9	
		鉄		4.9			93.5	161	18.7	5.3	0.3	48.7	
	横手市	根出し	14.4	6.4	1.6	0.0	61.5	132	17.9	5.5	0.2	43.4	
		催芽		5.6	0.0	0.0	53.4	101	17.8	5.0	0.3	23.3	
		鉄		5.2			41.2	72	14.2	4.4	0.3	13.8	
2018	大仙市	根出し	15.1	6.8	2.0	0.0	38.0	93	21.3	6.3	0.4	97.9	
		催芽		6.1	0.0	0.0	40.6	89	23.8	5.8	0.5	78.4	
		鉄		4.9			61.5	107	19.8	5.6	0.3	53.1	
	横手市	根出し	14.8	6.1	2.6	0.0	72.6	147	17.0	5.8	0.2	52.3	
		催芽		7.2	0.0	0.0	44.7	108	16.6	5.0	0.3	34.9	
		鉄		5.2			49.0	84	13.6	4.6	0.1	18.8	
2019	大仙市	根出し	17.7	5.8	0.5	0.0	56.0	115	24.0	6.9	0.2	114.1	
		催芽		6.2	0.0	0.0	37.4	81	20.3	6.6	0.2	115.5	
		鉄		7.3			56.0	144	20.4	6.5	0.1	93.6	
	横手市	根出し	16.2	5.9	0.4	0.0	70.7	144	21.1	6.6	0.2	73.1	
		催芽		6.0	0.0	0.0	68.4	141	16.5	6.4	0.1	62.5	
		鉄		5.2			68.2	121	16.0	6.3	0.1	57.7	
平均	根出し					62.4	a	141	a	20.9	a	73.2	a
	催芽					51.8	a	115	a	19.0	ab	60.1	ab
	鉄					61.6	a	115	a	17.1	b	47.6	b
分散分析	場所					ns		ns	*	ns	ns	*	
	処理					ns		ns	*	**	*	**	
	場所×処理					ns		ns	ns	ns	ns	ns	

大仙市は「ちほみのり」、横手市は「萌えみのり」を供試した。播種後平均気温は、播種日から播種9日目までの10日間の日平均気温の平均値を示す。葉齢は不完全葉を1とした。*、** は分散分析の結果それぞれ5%、1%水準で有意であること、nsは5%水準で有意でないことを示し、同じアルファベットは多重比較の結果5%水準で有意差が無いことを示す（苗立率はarcsine変換後Fisher's PLSD法、その他はFisher's PLSD法）。

表4 種子処理が出穂期および稈長、倒伏程度、収量構成要素、収量に与える影響（現地試験）

年次	場所	処理	出穂期	稈長 (cm)	倒伏程度 (0無~5甚)	精玄米重 (g m ⁻²)	穂数 (本 m ⁻²)	一穂初数 (粒)	初数 (百粒 m ⁻²)	登熟歩合 (%)	千粒重 (g)	整粒歩合 (%)	全刈収量 (kg 10 a ⁻¹)										
2017	大仙市	根出し	8月6日	72.0	1.6	749	733	52.1	380	79.5	24.8	79.5	655										
		催芽	8月12日	74.4	1.3	639	602	50.5	290	89.8	24.8	81.3	691										
		鉄	8月12日	75.1	2.4	697	646	61.2	393	74.2	24.0	81.9	671										
	横手市	根出し	8月15日	63.4	0.0	621	512	54.8	281	87.5	25.3	83.0	549										
		催芽	8月16日	71.0	0.0	707	592	60.0	355	79.0	25.3	87.0	502										
		鉄	8月18日	70.3	0.0	572	442	66.4	293	76.2	25.5	84.6	527										
2018	大仙市	根出し	8月3日	70.2	0.0	626	573	52.1	297	88.7	23.9	89.8	611										
		催芽	8月6日	72.0	0.8	646	527	57.4	304	87.6	24.2	91.6	603										
		鉄	8月9日	67.7	0.0	553	533	54.5	293	80.8	23.4	91.2	596										
	横手市	根出し	8月7日	63.6	0.0	612	615	51.5	316	79.5	24.3	74.3	547										
		催芽	8月12日	68.4	0.0	299	624	60.6	378	32.4	23.7	65.2	347										
		鉄	8月11日	65.4	0.0	513	591	51.2	295	71.7	24.6	76.6	445										
2019	大仙市	根出し	8月2日	71.8	0.8	707	660	58.8	387	80.0	23.0	79.3	656										
		催芽	8月2日	71.4	0.0	687	588	66.7	390	75.7	23.2	83.6	704										
		鉄	8月2日	68.3	0.0	648	619	53.3	330	83.7	23.2	80.7	674										
	横手市	根出し	8月3日	63.5	0.0	642	638	58.6	368	74.2	24.4	72.5	573										
		催芽	8月5日	62.7	0.0	682	603	54.0	324	84.5	24.9	76.2	636										
		鉄	8月11日	59.0	0.0	607	624	40.7	254	92.2	25.9	78.8	467										
平均	根出し	8月6日	a	67.4	a	0.4	a	660	a	622	a	54.7	a	338	a	81.6	a	24.3	a	79.7	a	599	a
	催芽	8月9日	ab	70.0	a	0.3	a	610	a	589	a	58.2	a	340	a	74.8	a	24.3	a	80.8	a	580	a
	鉄	8月11日	b	67.6	a	0.4	a	598	a	576	a	54.5	a	310	a	79.8	a	24.4	a	82.3	a	563	a
分散分析	場所	*	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns										
	処理	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns										
	場所×処理	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns										

大仙市は「ちほみのり」、横手市は「萌えみのり」を供試した。精玄米の篩目は1.9 mmとし、水分15%換算で精玄米重と千粒重を算出した。2018年横手市の催芽処理は、穂いもち発生により減収した。*、** は分散分析の結果それぞれ5%、1%水準で有意であることを示し、nsは5%水準で有意でないことを示す（登熟歩合と整粒歩合はarcsine変換後Fisher's PLSD法、その他はFisher's PLSD法）。同じアルファベットは多重比較の結果5%水準で有意差が無いことを示す。

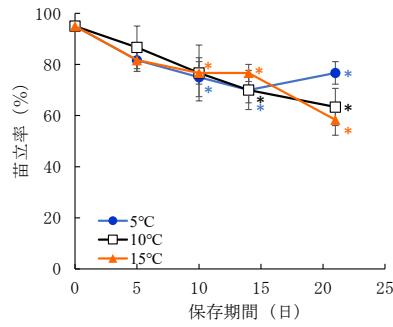


図3 保存温度と期間が苗立率に及ぼす影響

図中のバーは標準誤差を示す (n=3)。* は同一保存温度内の Williams 検定の結果、対照区と 5%水準で有意差があることを示す。出芽率の検定は arcsin 変換後の数値を使用した。

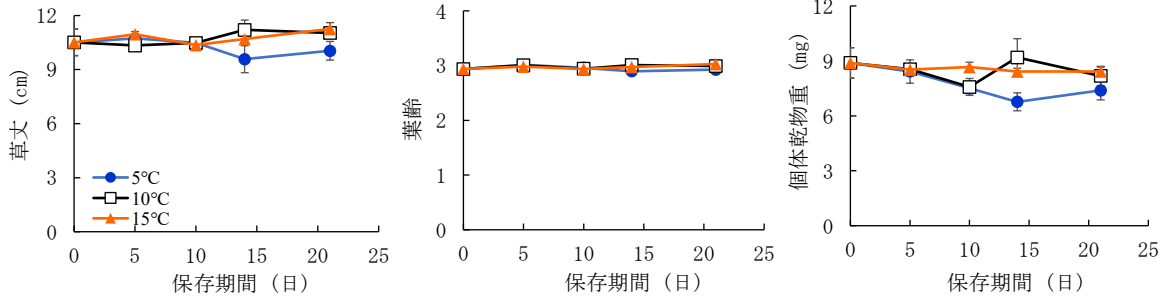


図4 保存温度と期間が播種後 21 日目の生育に及ぼす影響

図中のバーは標準誤差を示す (n=3)。同一保存温度内の Williams 検定の結果、5%水準で対照区と有意差は認められなかった。

表5 根出し種子の保存温度および播種条件、保存前後の催芽程度、含水率

保存条件	保存日数	保存温度		播種量 (kg/10a)	保存前					保存後						
		2020年			2021年		芽長 (mm)	根長 (mm)	発芽割合 (%)	発根割合 (%)	含水率 (%)	芽長 (mm)	根長 (mm)	発芽割合 (%)	発根割合 (%)	含水率 (%)
対照	0	-	-	8.4	-	-	-	-	-	0.0	0.2	96	12	31		
常温	5	15.4	18.6	7.5	0.0	0.4	97	15	31	0.0	0.3	98	11	29		
	10	15.6	18.1	6.8	0.0	0.2	96	8	31	0.0	0.2	95	5	29		
	15	15.0	17.1	7.0	0.0	0.2	93	9	32	0.0	0.3	94	9	27		
低温	20	9.5		7.1	0.0	0.1	91	7	31	0.0	0.2	92	7	28		
	29	9.5		7.0	0.0	0.3	92	12	31	0.0	0.1	88	3	24		

保存温度は、常温は室内暗所気温、低温は人工気象器内における保存期間中の平均値を示す。常温保存温度は、左から2020年、2021年の値を示す。保存温度を除くその他の数値は2020年~2021年の平均値を示す。芽長と根長は播種直前の種子100粒の平均値、発芽割合は鳩胸以上催芽した種子の割合、発根割合は根が1mm以上伸長した種子の割合を示す。

表6 保存種子の苗立率および初期生育、出穂期

保存条件	保存日数	苗立率 (%)	苗立数 (本/m ²)	草丈 (cm)	葉齢	白化莖長 (cm)	茎葉乾物重 (mg)	出穂期
対照	0	52	146	19.4	6.2	0.1	75	8月16日
常温	5	59	149	20.1	6.2	0.2	83	8月15日
	10	57	130	20.1	6.2	0.2	82	8月15日
	15	62	148	20.5	6.2	0.2	101	8月15日
低温	20	61	144	19.5	6.2	0.2	66	8月16日
	29	41	98	19.7	6.2	0.2	71	8月16日

値は2020~2021年の平均値を示す。葉齢は不完全葉を1とした。生育調査は、2021年は播種29日目のみ防鳥柵内の個体を調査し、その他は防鳥柵外の個体を調査した。苗立ち調査は防鳥柵内の個体を調査した。保存条件毎にWilliams検定をした結果、対照区と全ての項目において5%水準で有意差が見られなかった。苗立率はarcsin変換後の値を使用した。

論文審査結果要旨

本論文は、水稻湛水直播栽培において、水稻無コーティング種子代かき同時浅層土中播種栽培における苗立ちを向上させるための種子処理技術を開発し、処理種子の保存可能な条件や期間を明らかにすることを目的とした。そこで、「1. 苗立ち向上技術の開発」、「2. 根出し種子の苗立率と初期生育の向上効果の現地実証」、「3. 根出し種子の保存条件と保存可能期間」の3課題に関する研究を中心として構成されており、研究成果の一部は日本作物学会紀事に掲載された。

代かき同時浅層土中播種栽培における、無コーティングの鳩胸催芽種子より苗立ちを向上させる種子処理方法を開発するために、催芽程度の違いが苗立ちおよび初期生育に与える影響について検討した。その結果、根出し種子や芽出し種子は催芽種子より早期に出芽し(図2)、苗立率や初期生育は有意に優れた(表1)。根出し種子は根を切除しても同様の苗立率および初期生育の向上効果が認められたが、芽出し種子は芽を切除すると苗立率は低下した。このことから、損傷の影響を受けにくい根出し種子は、芽出し種子より実用的であることを明らかにした。

根出し種子の機械播種適性および苗立ち向上効果および現地生産規模量の根出し種子処理や苗立ち向上効果の実証を目的に圃場試験を行った。根出し種子は、播種機内での根絡みや詰まりは認められず本播種機の使用において実用的であることが示された。根出し種子は催芽種子や鉄コーティング種子より苗立率や初期生育が向上する傾向にあった。出穂期は 根出し種子 > 催芽種子 > 鉄コーティング種子 の順に早く、湛水直播栽培の播種早限である日平均気温 13℃未満の場合においても、根出し処理により苗立ちが向上し出穂が早期化することを明らかにした。倒伏程度や収量は催芽種子や鉄コーティング種子と同程度であった。これらの結果、水稻無コーティング種子代かき同時浅層土中播種栽培において根出し種子を播種することで、早期の播種や冷涼な地域での播種が可能となり、播種適期や適地拡大に寄与できる可能性があることを示した。

根出し種子の常温および低温における保存可能期間を検討したところ、根出し種子は常温(15.0~18.6℃)では15日間、低温(約10℃)では20日間保存可能であることが明らかにした。このから、種子処理時の作業分散が可能となり、播種面積の拡大や大量処理による作業効率の向上に寄与できる可能性があることを示した。

2023年2月17日(金)10時50分よりおよそ1時間にわたり博士学位論文審査会が行われた。博士論文内容のプレゼンテーションの後、質疑応答を行った。4名の審査員及び参加者からの質問に対して的確な回答で対応を行った。本論文でまとめられた研究成果は学術的な側面だけでなく、水稻湛水直播栽培において水稻無コーティング種子代かき同時浅層土中播種栽培の有効性を実証的に示したことが高く評価できる。

以上の結果を踏まえ、博士の学位を授与するのに妥当であると判断した。