

イネ鉄コーティング直播栽培における
出芽・苗立ちに関する研究

博士論文

平成 26 年 3 月
(2014 年)

県立広島大学大学院

総合学術研究科 生命システム科学専攻

地川 侑希

目次	頁
第1章 序論	
1-1 背景	1
1-2 直播栽培について	1
1-3 鉄コーティング種子の発案	2
1-4 鉄コーティング種子	3
1-5 播種方法	5
1-6 本研究の目的	6
第2章 多様な特性を持った品種を用いた発芽および圃場試験における品種特性の検討	
2-1 緒言	7
【実験Ⅰ：多様な特性を持った19品種における品種特性の検討】	
2-2 供試品種	8
2-3 鉄コーティング種子製造法	9
2-4 圃場試験	9
2-5 シャーレ発芽試験	13
2-6 土中出芽試験	16
【実験Ⅱ：日本品種とアメリカ品種との特性比較】	
2-7 材料および種子準備	19
2-8 圃場試験	19
2-9 シャーレ発芽試験	23
第3章 4品種を用いた栽培方法の検討	
3-1 目的	24
3-2 供試品種	24
3-3 圃場試験	
【実験Ⅰ：鉄コーティング量の違いが鳥害に与える影響および播種方法の 違いが倒伏性や収量に与える影響】	24
【実験Ⅱ：圃場において催芽処理が苗立ちに与える影響】	30
3-4 室内試験①（シャーレ発芽試験および土中出芽試験）	
【実験Ⅰ：シャーレ発芽試験】	32
【実験Ⅱ：土中出芽試験】	35
3-5 室内試験②（鉄コーティング量を変えた種子を用いたシャーレ発芽試験 および播種深度を変えた土中出芽試験）	37
3-6 室内試験③（シャーレ発芽試験）	40

第4章	イネ種子の発芽および出芽に対する特殊肥料「ネバルくん」の効果の検討	
4-1	特殊肥料「ネバルくん」について	43
4-2	目的	44
4-3	供試品種およびネバルくん処理の方法	44
4-4	圃場試験	46
4-5	シャーレ発芽試験	48
4-6	播種深度を変えた土中出芽試験	51
4-7	育苗マットを用いた初期生育の検討試験	53
4-8	秋田県農家における調査	58
第5章	浸種催芽処理が鉄コーティング種子の発芽に与える影響についての検討	
5-1	目的	64
5-2	供試品種	64
5-3	浸種処理の方法	64
5-4	シャーレ発芽試験	65
第6章	直播専用播種機による栽培試験	
6-1	目的	69
6-2	材料	69
6-3	方法	
	【播種準備】	70
	【点播】	70
	【散播】	72
	【移植】	72
6-4	結果および考察	73
第7章	総括	75
	謝辞	78
	引用文献	79
	図表一覧	84

第1章 序論

1-1 背景

現在、日本の稲作は移植栽培法が主流になっている。移植栽培法は、苗箱に水稻種子を播種し、数週間後に苗を水田に移植する方法で行われている。水稻移植栽培では、育苗・田植作業が作業全体の1/4程度の割合を占めるため（古畑 2009）、直播栽培の導入が省力・低コスト化につながると期待されている。

わが国では1960年代から、集約的な

移植栽培から省力的な直播栽培への転換の必要性が唱えられてきた。移植栽培では機械化を通じた省力化も限界に達している。近年では米輸入、食料自給率の低下、高齢化に伴う耕作放棄等の問題があり、省力・規模拡大を可能にする直播への転換はいつそう強く求められている（山内 2010 a）。しかし、直播栽培は水田に直接播種するため出芽・苗立ちが不安定であることや倒伏の問題などから、2009年でも水稻作付面積全体の1.2%を占めるにすぎない（農水省 2010）。

播種時の天候に左右されず、特別な資材を必要とせず、また用水や肥料の節約にもなる環境保全型の鉄コーティング直播栽培技術が山内（2002, 2004）によって開発された。本技術はイネ種子を鉄粉でコーティングして比重を高めていること、および浸種または催芽した種子を乾燥処理（以下「浸種乾燥処理」と呼ぶ）することにより、出芽が早まり、しかも保存性が高まるため、播種直前の浸種または催芽処理を省略できることに特色がある。浸種乾燥処理により、浸漬後の発芽までの時間が短縮されるといわれており、活性化処理とも呼ばれている。

鉄コーティング直播栽培技術は、日本北部の寒地北海道から南部の暖地九州地域の広い地域において急速に普及しつつある。農林水産省は普及面積を報告していないが、機械メーカーK社が独自に普及させている面積は、2010年1,100ha、2011年3,000ha、2012年5,500ha、2013年7,700haであると報道されており、生産者や農業団体の独自の取り組みもあることを考えると、普及面積は大きいと思われる。

1-2 直播栽培について

直播栽培には湛水直播栽培と乾田直播栽培がある。

乾田直播栽培は乾田状態で播種し、3~4葉期ころまで畑状態にしておき、その後湛水にする方法である（古畑 2006）。利点はしっかりと根が張るので耐倒伏性に優れていることである。しかしスズメの害を受けやすく、また雨が降ると種子の苗立ち（播いた種子が成長して苗になること）が酸素不足により悪くなるので天候に左右されやすいという欠点がある。

湛水直播栽培には表面播種する方法と土中播種する方法がある。湛水直播栽培の表面播

種は催芽させたイネ種子を、代かき直後に落水した水田の表面にまく方法である。土中播種は過酸化カルシウムなどの酸素発生剤を催芽種子にコーティングして土中 10～15mm に播種する方法である（山内 2006）。湛水直播栽培の利点は水による保温で低温地域でも栽培が可能で、雨に強いことである。表面播種では浮稲になりやすく、カモの被害に安い。土中播種すると表面播種の問題は軽減されるが、土中に埋めるために酸素不足になりやすくなる。

また直播栽培全般では、催芽種子が使われている。催芽種子は水を吸っているため乾燥種子に比べて浮かないことと、初期成長が早い利点がある。しかし、準備が農繁期にかかることと催芽状態の保存が難しいという問題点がある（山内 2006）。

1-3 鉄コーティング種子の発案

省力・低コストである直播栽培を普及するためこれまで様々な研究がなされてきたが、移植栽培の技術が確立しており、普及面積が広がることは困難であった。そのような中、以下のような経緯で鉄コーティング種子を用いた直播栽培が発案された。

1989～1994 年、農林水産省の拠出により実施された国際稲研究所と国際農林水産業研究センターとの共同研究において、酸素発生剤の無い条件下で選抜した品種を用いて土中播種するための研究が実施された（山内 2006）。この共同研究により、イネ全品種のうち 8%程度が土中播種に適していることが見出された。選抜した品種を用いた土中播種試験が、フィリピン、ベトナム、ミャンマーで実施され、熱帯では適した品種を用いれば土中播種できることが確認された。

日本では良食味米品種が普及の主流であり、土中播種適性のある品種の導入は将来のことと想定できる。通常良食味米は土中播種に適していないので、酸素発生剤を使わずに土中播種する場合は播種深度を極めて浅くする必要がある。そこで、代かき直後の水田で泥が舞い上がっている状態で催芽種子を播き、薄く泥で覆う技術が 2000 年に開発された。

この播種方法について近畿中国四国農業研究センター、岡山県農業総合センターおよび石川県農業短期大学の試験圃場で試験した結果、良好であった。次に福山市内の生産者の圃場で試験した結果、浅く泥で覆うことや細かい水管理が難しく、加えて鳥害（スズメとカルガモ）が甚大であった。本播種法は安定性に欠け、生産圃場への導入は難しかった。

代かきをした水田において播種深度を調節することが試されたが、散播ではほぼ不可能であると考えられた。

そこで、種子の比重を調節する方法について検討がなされ、比重の大きい物質として各種の金属が検討された。環境汚染につながらず、また農業における使用実績のある金属として鉄が 2001 年に選定された。近畿中国四国農業研究センターには鉄欠乏が関与する水田の秋落ち問題（根腐れ）について長年の研究の蓄積があったため、コーティング技術の開発は急速に展開した。

素下で早く発芽することが見出された。活力化状態にある乾燥種子を播種することにより催芽種子に匹敵する苗立ちと初期生育が得られる可能性が示された。

活性化種子を鉄粉でコーティングして播種する鉄コーティング直播の技術開発が開始され、その途中で、鉄の皮膜が硬いためスズメの食害を防ぐという、付随的な効果が 2003 年に発見された。その後の研究で、種子伝染性病害虫の抑制効果があることも発見された（井上ら 2009）。

鉄コーティングをすることで、直播栽培の課題点をカバーすることが可能となったのである。鉄コーティングの利点としては、(1) 種子を鉄で覆うことにより、硬くなるので鳥害にあいにくくなる。(2) 種子が重くなり沈むので、流されにくくなり浮稲が少なくなる。(3) コーティングした後すぐに播かなくてもよいので準備を農閑期にでき、作業時期を分けることができる。(4) 播種において特殊な機械を使わなくてもよい。などが挙げられる（山内 2006）。

1-4 鉄コーティング種子

鉄コーティングは造粒、酸化放熱および乾燥の 3 工程から成り立っている（山内 2013）。浸種または催芽した種子を水でスプレーしながら、表 1-1 の割合で鉄粉と焼石膏の混合物で粒造し、薄く広げて酸化放熱させ、もとの水分含量まで乾燥させる。鉄で種子をコーティングできるのは、鉄粉が種子の表面で錆びて（酸化して）、錆が糊の役目をするからである。酸化促進剤として焼石膏を鉄粉に混ぜておき、水をスプレーして酸化を開始後、発熱し、酸素が吸収されるという原理となっている（図 1-1, 山内 2010b）。鉄コーティング種子が完成すると図 1-2 のようになる。種子は 1 年以上保管できるので、農閑期に種子の準備ができる（山内 2012）。

表 1-1 乾粃 5kg の場合の鉄コーティング比と分量 (kg)

鉄コーティング比	0.1	0.5	1.0	備考
混合				
鉄粉 (kg)	0.5	2.5	5.0	
焼石膏 (kg)	0.05	0.25	0.5	鉄粉の 10%
仕上げ焼石膏 (kg)	0.025	0.125	0.25	鉄粉の 5%

鉄コーティング湛水直播マニュアル 2010 (山内 2010b)

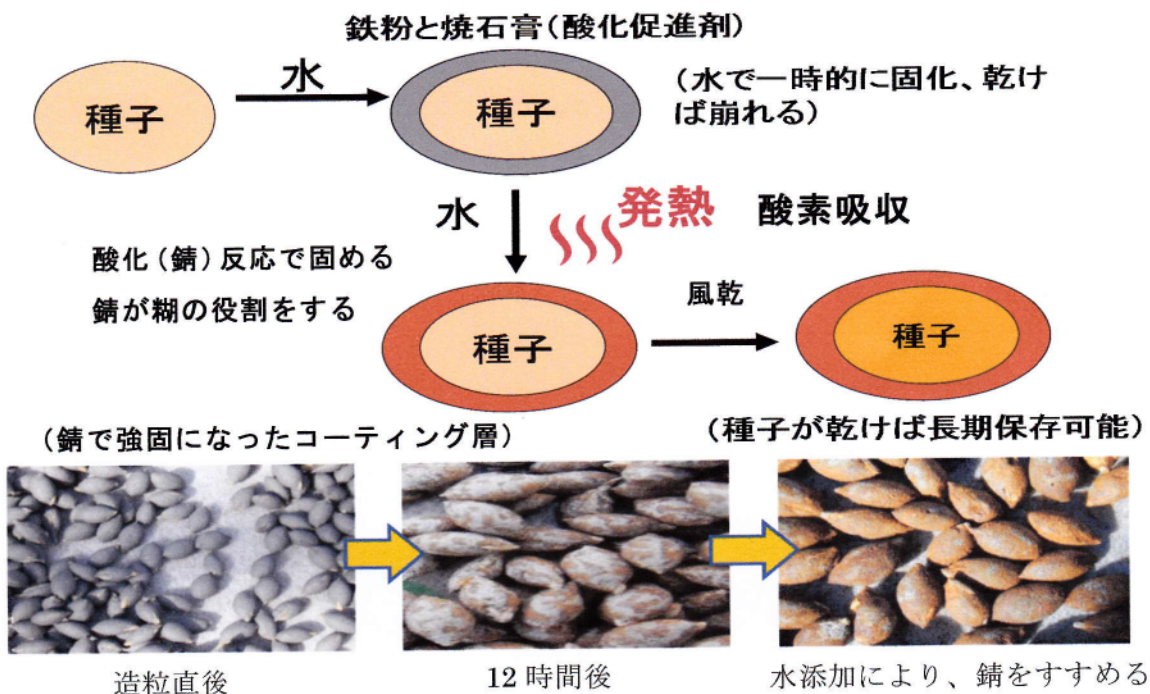


図 1-1 鉄コーティング種子製造の原理 (山内 2010 b)

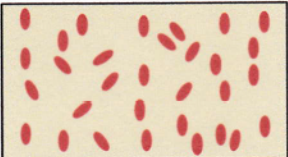






図 1-2 異なる鉄コーティング比のイネ種子の外観 (山内 2010 b)

1-5 播種方法

鉄コーティング湛水直播栽培技術には、現在では散播・条播・点播の3つの播種方法がある（図1-3）。

図1-3 鉄コーティング直播栽培における播種方法

種類	特徴	使用機械	
散播	土壤表面上にばらまいて播種する 	動力散布機	ヘリコプター
			
条播	1ヶ所に1粒ずつ筋状に播種する 		田植え機の側条施肥機を取り替えて播種
点播	条に一定の間隔で点状に播種する(1ヶ所に8~10粒ずつ) 		専用播種機 (鉄まきちゃん)

1-6 本研究の目的

鉄コーティング直播栽培技術の欠点として、出芽・苗立ちの不安定性、すなわち鉄粉を種子にコーティングして被膜を作り、乾燥後に播種するため、出芽・苗立ちに時間がかかるという課題がある。とくに、低温下における出芽・苗立ちの遅延はその後の雑草対策を困難にするだけでなく、著しい苗立ち不良をもたらす場合がある。この解決策として、種子の発芽の過程における発芽準備期間を短縮する目的で、鉄コーティング種子製造前に、浸種乾燥処理を行なっているが、種子予措の条件と出芽・苗立ちとの関係について、最適な処理条件は未解明である（山内 2004；古畑ら 2008；古畑 2010）。新潟県においては、鉄コーティング直播栽培における苗立ち安定化のためには、積算浸種温度は 40℃を目安とし、コーティング量は乾粒重の 0.25 倍量とするのが良いと報告されている（佐藤ら 2011）。

一方、1998 年に始まった農林水産省のプロジェクト研究「需要拡大のための新形質水田作物の開発」（「スーパーライス（新形質米）計画」）の成果もあって、コシヒカリとは異なるタイプの米である有色米、香り米、高・低アミロース米、低アレルギー米などの新品種の育成や利用法の開発も進んでいる（櫛淵 1992；堀末 2010）。変わり種の品種は、地域特産品としての小規模な栽培も期待されている（猪谷 2000）。これらの品種の中には海外からの遺伝資源を用いて育成された品種も多く、従来の日本品種とは発芽特性が異なることが推定される。また、飼料用米あるいはホールクロップサイレージ（発酵粗飼料）用の飼料イネ品種や高アミロース米など米粉加工用の品種は、飼料の国内自給率を高め、余剰水田を活用するものとして、低コストでの栽培が期待されている。

これまで水稲直播栽培に関して多くの基礎的な研究が行われてきており、とくに湛水直播における出芽性の品種間差異に関する多くの報告がある（佐々木 1968, 1974；星野ら 1985；Sasahara and Ikarashi 1989；内村ら 2001；太田 2007）。最近でも、播種法（青木ら 2010）やモリブデン化合物を用いた出芽苗立ちの改善効果（原 2011；Hara 2013a,b）などの新しい研究もなされている。本研究は、鉄コーティング種子を活用した湛水直播栽培において、多様なイネ品種における種子発芽特性の比較と浸種催芽処理の効果を室内試験と圃場試験により明らかにしようとしたものである。

第2章 多様な特性を持った品種を用いた発芽および圃場試験における品種特性の検討

2-1 緒言

鉄コーティング直播栽培では、良食味品種や飼料用品種における栽培試験は多く行われている。しかし、特性の異なる多くの品種を用いた試験の例はない。また、アメリカでは全ての稲作で直播栽培されているにも関わらず、日本の品種とアメリカの品種を直播栽培して比較をした論文は少ない。アメリカでは鉄コーティング直播栽培は行われていないが、アメリカ品種を鉄コーティングし、日本品種との栽培特性の検討を行うことで、更なる知見が得られるのではないかと考えた。今後、直播栽培を普及していくにあたり、より多くの特性の異なる品種を直播栽培することが可能ならば、普及面積はさらに広がると考えられる。本研究では、実験Ⅰでは食用米と飼料米、新形質米など19品種を用い、実験Ⅱでは良食味米や飼料用品種、日本で新たに育成された直播適性品種およびアメリカで直播栽培されている品種を用いて栽培試験を行うことで品種特性の検討を行った。また、種子の発芽特性を検討するために、発芽試験および土中出芽試験を行った。

本試験に用いている新形質米については、デンプンやタンパク質などの米成分を改変した品種や、米の胚芽や表面の色、粒の大きさ、形などを改変した品種などが育成されている(農山漁村文化協会 2004)。また、直播適性品種としては、耐倒伏性に優れ、多収であるといった特性を持っている。

【実験Ⅰ：多様な特性を持った 19 品種における品種特性の検討】

2-2 供試品種

2006 年度県立広島大学産の 19 品種を使用した（表 2-1）。

表 2-1 供試した 19 品種とその特徴

品種群	品種名	熟期	稈長	倒伏性
普通品種	コシヒカリ	早生	長稈	易
	中生新千本	中生	中稈	やや難
	日本晴	中生	中稈	やや難
	タンチョウモチ	中生	中稈	やや難
高アミロース米	ホシユタカ	晩生	中稈	難
	夢十色	晩生	中稈	難
低アミロース米	ミルキークイーン	早生	中稈	易
	柔小町	早生	中稈	易
	LGCソフト	早生	中稈	易
在来	シシクワズ	晩生	長稈	易
	高宮	晩生	長稈	易
赤米	対馬赤米	極晩生	長稈	易
	ベニロマン	極晩生	中稈	中
	つくし赤もち	極晩生	長稈	易
紫黒米	おくのむらさき	極早生	短稈	難
	朝紫	極早生	短稈	難
香り米	サリークイーン	晩生	長稈	易
	ヒエリ	晩生	長稈	易
飼料用	クサノホシ	晩生	中稈	難

* 熟期、稈長、倒伏性は、平成 18 年度卒業論文 熊崎啓介氏による。

熟期：早生とは、早く成熟する品種。極早生とは、早生品種よりさらに早く成熟する品種。中生とは、早生と晩生の間中期に成熟する品種。晩生とは、比較的遅く成熟する品種。極晩生とは、晩生品種よりさらに遅く成熟する品種。

稈長：長稈とは、稈長が 85cm 以上の品種。
短稈とは、稈長が 65cm 以下の品種。
中稈とは、稈長が長稈と短稈の中間の品種。

倒伏性：稲の倒れ具合を示す。倒伏しにくいものほど直播栽培に適しているといえる。

2-3 鉄コーティング種子製造法

鉄コーティング比（鉄粉の重さ／乾粃の重さ）は全て0.5とした。

供試する品種の粃を霧吹きで濡らし、鉄粉が付着しやすいようにした。粃をプラスチック容器に入れ、粃を混ぜながら鉄粉と焼石膏（鉄粉の10%）を混ぜたものを入れ付着させた。最後に仕上げ焼石膏（鉄粉の5%）を付着させた。付着後は発熱するのでプラスチック皿に薄く広げておいた。発熱することで鉄がさび、この鉄の錆がノリの役割をするため、発熱しやすいように霧吹きで水を与え、鉄粉を種子に付着させた。その後乾燥させ、試験まで保管しておいた。

2-4 圃場試験

材料および方法

2006年度産の種子19品種を水選・風乾し、鉄コーティングし、播種日まで乾燥保管した。2007年6月1日、県立広島大学研究水田5号圃において、4.05 m² (2.7×1.5m) に500粒ずつ、2反復で散播した。苗立ち数カウント時に、280本より大の場合は苗を間引いて280本以下になるように調整した。

苗立ち数（播いた種子のうち苗に成長した数、播種日から約3週間後に調査）、出穂日数（播種日=0として、出穂期までの日数）、登熟日数（出穂期から成熟期までの日数）、稈長（根際から穂首までの長さ）、穂長（穂首から穂先までの長さ）、穂数、倒伏程度（成熟期にイネが地面と垂直の状態を0、平行に倒伏している状態を9の10段階で調査、図2-1）、全重（収穫、架干し後の稲体全体の重さ）、粃重（脱穀後、唐箕で精選した粃の重さ、収穫量となる）、茎の太さ（10本の茎を10cm切り取り重量を測り、茎1本当たりの重さから太さを算出）を調査し、また苗立ち数から苗立ち率（播いた種子のうち苗に成長する割合）を算出し、それらの形質間の相関関係を検討した。

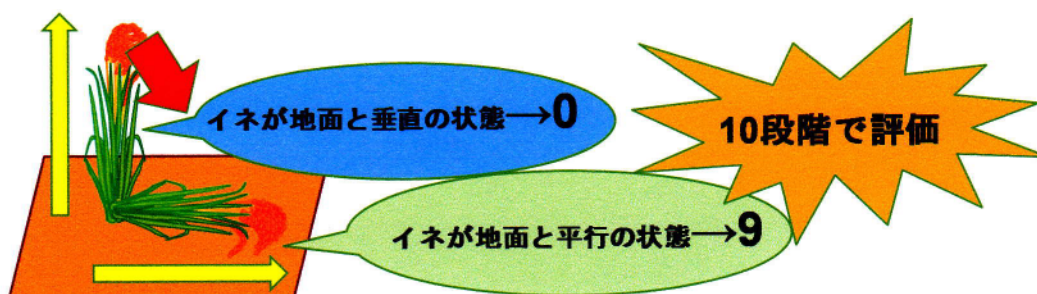


図 2-1 イネ倒伏程度の定義

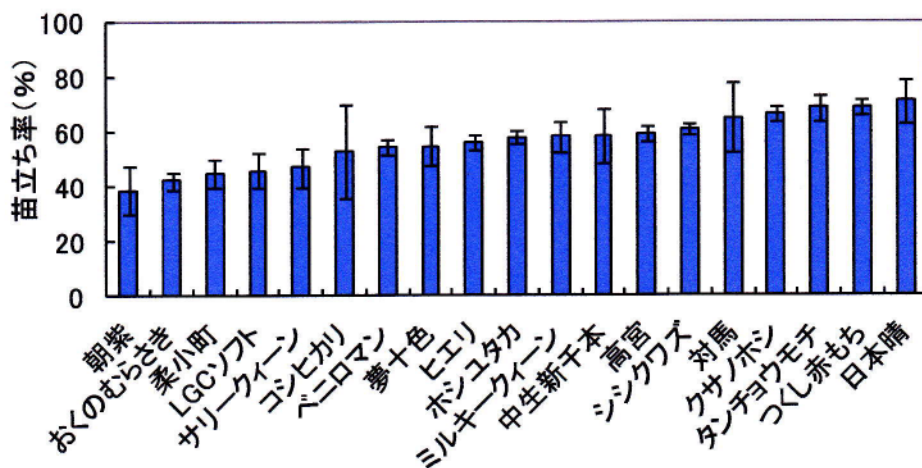
結果および考察

苗立ち率において、38.9～71.2%の変異が認められた（図 2-2）。1 m²あたりの苗立ち数については、苗立ちが悪いのは、低温条件が関係すると考えられる。特に苗立ちが悪かった、おくのむらさきや朝紫は、低温条件での発芽率が悪かったためと考える。

倒伏程度が大きいつくし赤もちや対馬赤米、高宮において、稈長および穂長の結果から草丈が高い品種といえる（図 2-3）。また、ヒエリやクサノホシのように、草丈が高い品種でも倒伏程度が小さい品種がある。これは、茎の太さからみて茎が太い品種であるためと考える。コシヒカリは、倒伏程度が大きくなった。コシヒカリは、草丈が比較的高めで、茎が細いという特徴があるためと考える。

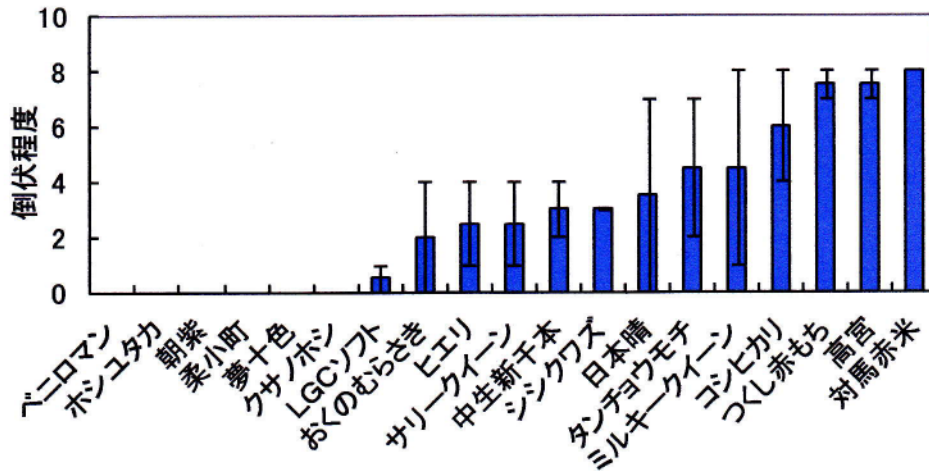
籾重においては、0.37～0.69kg/m²の変異があり（図 2-4）、中生新千本や夢十色、クサノホシは、収量性が高かった。

品種特性表（表 2-2）から、各形質間の相関関係を算出した（表 2-3）。出穂期（A.到穂日数）と成熟期（B.成熟日数）には非常に強い相関関係があり、出穂期が早いと成熟期も早くなっていた。また、出穂期と全重量には強い相関関係があり、晩生な品種ほど全重量が多くなっていた。稈長と倒伏程度には強い相関関係があり、長稈ほど倒伏しやすいことがわかった。穂数と茎の太さには強い相関関係があり、穂数が多いほど茎が細くなっていた。全重と籾重には強い正の相関関係があり、全重が大きいほど籾重が大きくなっており、本栽培条件においては茎葉を繁らせることが重要であるといえた。



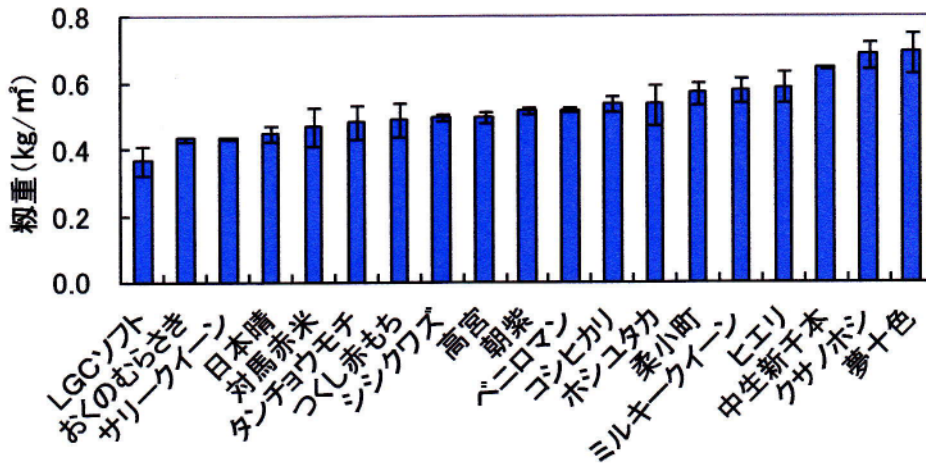
図中のエラーバーは標準偏差を示す

図 2-2 19 品種の苗立ち率の変異



図中のエラーバーは標準偏差を示す

図 2-3 19 品種の倒伏程度の変異



図中のエラーバーは標準偏差を示す

図 2-4 19 品種の粒重の変異

表 2-2 圃場試験における品種特性

品種名	A 到穂日数 (日)	B 成熟日数 (日)	C 倒伏程度	D 茎の太さ (g/10cm)	E 全重 (kg/m ²)	F 籾重 (kg/m ²)	G 稈長 (cm)	H 穂長 (cm)	I 穂数 (本/m ²)	J 苗立ち率 (%)
コシヒカリ	83.0	121.5	6.0	0.31	1.08	0.54	91.3	16.0	295.6	52.7
日本晴	88.5	127.0	3.5	0.38	1.07	0.45	72.9	17.3	263.9	71.2
中生新千本	89.5	131.5	3.0	0.32	1.31	0.65	71.7	16.9	319.6	58.5
タンチョウモチ	89.0	134.5	4.5	0.35	1.21	0.48	85.7	17.3	311.6	68.8
ミルクィーオン	84.0	120.5	4.5	0.34	1.19	0.58	81.7	16.4	251.9	58.3
LGCソフト	85.5	132.5	0.5	0.39	0.85	0.37	66.7	18.1	261.6	46.2
柔小町	94.5	134.0	0	0.30	1.11	0.57	72.0	17.6	236.9	44.9
夢十色	90.0	132.0	0	0.31	1.37	0.69	77.2	23.1	276.9	54.8
ホシユタカ	101.5	141.0	0	0.48	1.25	0.54	80.5	19.6	231.0	58.1
シシクワズ	86.5	132.0	3.0	0.45	1.10	0.50	98.8	16.8	165.6	60.8
高宮	83.5	120.5	7.5	0.43	1.07	0.50	98.4	21.6	217.4	59.3
対馬赤米	99.0	146.0	8.0	0.29	1.32	0.47	106.8	17.7	328.1	65.2
ベニロマン	101.5	148.5	0	0.30	1.13	0.52	66.5	17.3	315.4	54.6
つくし赤もち	95.0	142.5	7.5	0.32	1.15	0.49	88.5	16.7	288.5	69.0
おくのむらさき	81.0	126.5	2.0	0.44	0.84	0.44	70.8	20.7	166.9	42.4
朝紫	80.5	123.5	0	0.39	1.10	0.52	81.1	17.8	335.0	38.9
ヒエリ	91.5	130.0	2.5	0.39	1.26	0.59	108.3	19.3	192.5	56.3
サリークィーン	93.5	141.0	2.5	0.41	1.13	0.44	87.6	19.3	275.6	47.2
クサノホシ	96.5	133.0	0	0.45	1.35	0.68	87.9	16.4	206.1	66.5

表 2-3 19 品種の品種特性における相関関係

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
A. 到穂日数	1.000									
B. 成熟日数	0.873**	1.000								
C. 倒伏程度	-0.149	-0.096	1.000							
D. 茎の太さ	-0.152	-0.208	-0.257	1.000						
E. 全重	0.533*	0.288	0.024	-0.244	1.000					
F. 籾重	0.186	-0.129	-0.270	-0.173	0.757**	1.000				
G. 稈長	0.046	-0.026	0.583**	0.130	0.366	0.059	1.000			
H. 穂長	-0.094	-0.080	-0.167	0.247	-0.024	0.053	0.002	1.000		
I. 穂数	0.159	0.282	0.166	-0.682**	0.259	-0.027	-0.186	-0.271	1.000	
J. 苗立ち率	0.363	0.216	0.502*	-0.071	0.489	0.139	0.350	-0.290	0.053	1.000

*は 5% レベル、**は 1% レベルで有意である

2-5 シャーレ発芽試験

材料および方法

19品種の発芽特性を検討するため、シャーレ発芽試験を行った。鉄コーティングの有無で条件を変えた種子を100粒ずつ、ろ紙を敷いたシャーレに置き、10mLの蒸留水を加え、25℃および15℃に設定したインキュベータ内に入れた。25℃では7日間、15℃においては14日間毎日発芽をカウントし、7日および15日後に発芽率および平均発芽日数を算出した。また、発芽率を平均発芽日数で割り、発芽係数を算出した。これは、値が高いほど発芽率が高く、速く発芽を示すことを示す。

試験は、鉄コーティングなしで25℃を2007年5月23～30日に、15℃は2007年6月25日～7月9日に行い、鉄コーティングありは25℃を2007年8月27日～9月3日に、15℃は2007年9月14～28日の期間で行った。

結果および考察

普通品種で発芽が比較的安定して高いコシヒカリと、代表的な紫黒米品種で発芽率があまり高くない朝紫の置床後の発芽の推移を図2-5に示す。25℃では7日間ではほぼ全ての種子が発芽した。朝紫はコシヒカリよりも発芽が遅く、鉄コーティングによりその遅延は増大した。15℃では、発芽は大きく遅延し、朝紫では7日後から発芽がみられた。その他の品種についても大部分の品種において、7日間での発芽率と14日間での発芽率に大きな差がみられたことから、本試験における発芽試験の期間は、25℃では7日間、15℃では14日間適切であると考えられた。

発芽試験における発芽率および平均発芽日数、発芽係数を表2-4に示す。発芽試験の温度を低温にすると発芽するのに時間がかかり、発芽係数が低下した。また、鉄コーティングをすることで発芽遅延をすることが明確となった。特に低温下での発芽率が低下し、平均発芽日数が増大したことで発芽係数の低下が大きくみられ、低温と鉄コーティングによるストレスを受けていた。低温下での発芽性は、朝紫、おくのむらさき、サリークイーンで極めて低くなった。

鉄コーティングの有無での発芽係数の相関関係を図2-6に示す。鉄コーティングをしない種子と鉄コーティングをした種子の間には $r = 0.700$ と高い正の相関関係がみられ、1%レベルで有意であった。

また、圃場試験における苗立ち率と25℃で鉄コーティングをした発芽試験における発芽係数の関係を図2-7に示す。苗立ち率と発芽係数との間には $r = 0.557$ の正の相関がみられ、1%レベルで有意であった。一方で15℃での発芽係数との相関関係は $r = 0.152$ と低く、水田での温度との関係が示唆された。アメダスによると、2007年の播種後1週間は平均気温、最高気温、最低気温とも平年並みであったが、2週目は低温であり、イネの出芽・苗立ちに影響を与えた可能性が考えられる。圃場における苗立ち率が15℃よりも25℃の

発芽係数と高い相関関係を示した一因は、圃場の温度が発芽係数を測定した 25℃に近かったことにあったと推定できる。

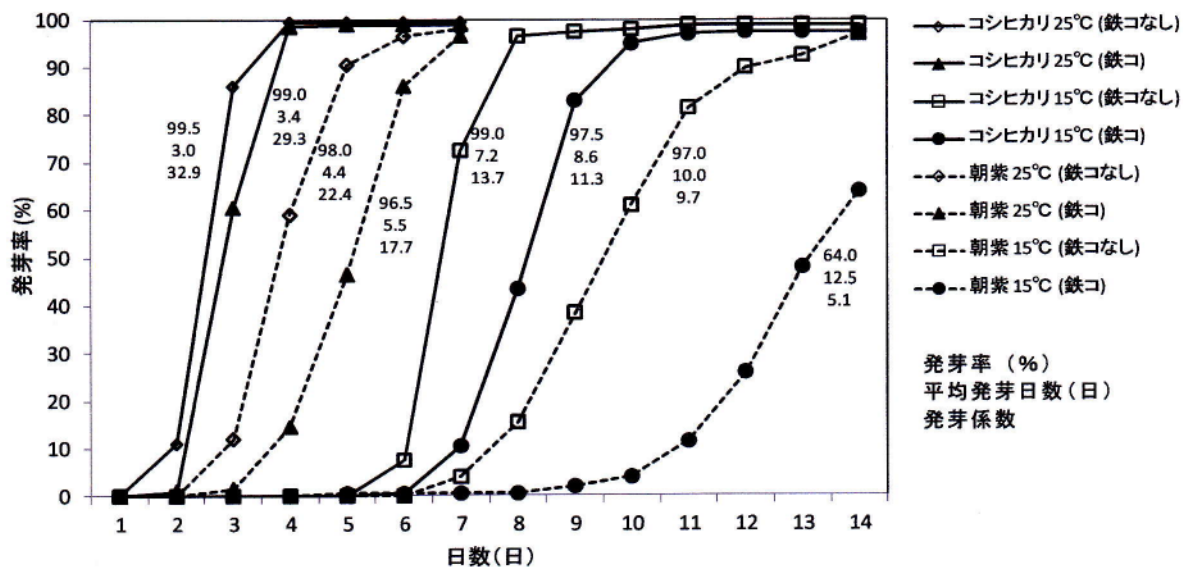


図 2-5 コシヒカリおよび朝紫における発芽の推移

表 2-4 19 品種における発芽特性

No. 品種名	乾粳				鉄コーティング種子							
	発芽率 (%)		平均発芽日数 (日)		発芽係数		発芽率 (%)		平均発芽日数 (日)		発芽係数	
	25℃	15℃	25℃	15℃	25℃	15℃	25℃	15℃	25℃	15℃	25℃	15℃
1 コシヒカリ	99.5	99.0	3.0	7.2	32.9	13.7	99.0	97.5	3.4	8.6	29.3	11.3
2 日本晴	99.5	99.0	3.1	7.5	32.4	13.1	99.5	96.0	3.4	8.4	29.6	11.4
3 中生新千本	100.0	96.0	2.4	6.8	41.4	14.1	99.5	95.0	3.2	8.3	30.8	11.5
4 タンチョウモチ	98.5	93.0	3.1	7.7	31.3	12.1	99.0	88.5	3.5	9.0	28.3	9.9
5 ミルキークイーン	100.0	98.0	3.4	8.1	29.4	12.0	99.5	99.0	3.8	9.5	26.1	10.5
6 LGCソフト	98.0	95.5	3.3	7.5	30.2	12.7	96.0	95.0	3.9	9.7	24.7	9.9
7 柔小町	92.5	92.0	3.2	7.4	28.9	12.5	91.0	84.0	4.1	9.7	22.2	8.7
8 夢十色	99.0	95.0	3.2	7.1	30.6	13.4	98.0	94.0	3.3	7.9	29.7	11.9
9 ホシユタカ	100.0	99.0	2.4	6.8	42.0	14.6	98.0	93.0	3.6	8.5	27.6	10.9
10 シシクワズ	98.5	98.5	2.7	5.8	37.0	16.9	95.0	95.0	3.6	7.9	26.7	12.0
11 高宮	95.5	91.0	2.7	5.9	35.3	15.4	85.5	84.5	3.8	8.9	22.4	9.5
12 対馬赤米	100.0	93.5	2.6	6.5	38.0	14.4	99.0	98.0	3.1	7.5	31.9	13.0
13 ベニロマン	100.0	99.5	2.6	6.6	39.0	15.2	99.5	100.0	3.0	7.5	33.3	13.4
14 つくし赤もち	98.5	99.5	2.6	6.5	37.9	15.4	100.0	97.0	3.2	7.8	31.2	12.5
15 おくのむらさき	97.5	84.0	4.0	9.8	24.3	8.6	97.0	68.0	4.4	10.8	22.0	6.3
16 朝紫	98.0	97.0	4.4	10.0	22.4	9.7	96.5	64.0	5.5	12.5	17.7	5.1
17 ヒエリ	98.0	98.5	2.5	5.0	39.1	19.8	98.0	98.0	3.1	7.0	31.1	14.1
18 サリークイーン	99.0	92.0	3.2	8.7	30.8	10.6	94.0	75.0	4.7	10.9	20.1	6.9
19 クサノホシ	97.0	95.5	3.0	6.4	32.9	14.8	96.0	83.5	4.6	10.8	20.8	7.7
平均	98.4	95.6	3.0	7.2	33.5	13.6	96.8	89.7	3.7	9.0	26.6	10.3
標準偏差	1.9	4.0	0.5	1.3	5.4	2.6	3.6	10.7	0.7	1.4	4.6	2.5
変動係数 (%)	1.9	4.1	17.3	17.5	16.2	18.8	3.7	11.9	17.4	16.1	17.3	24.0

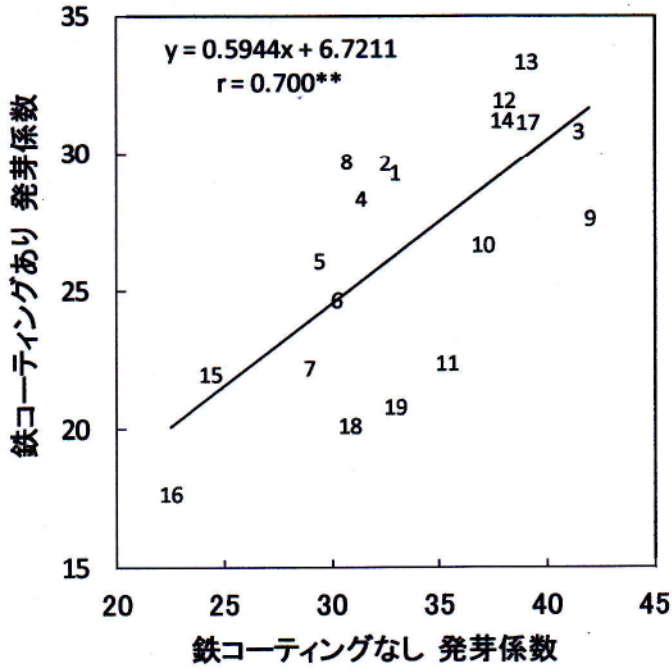


図 2-6 25°C発芽試験における鉄コーティングの有無による発芽係数の相関関係

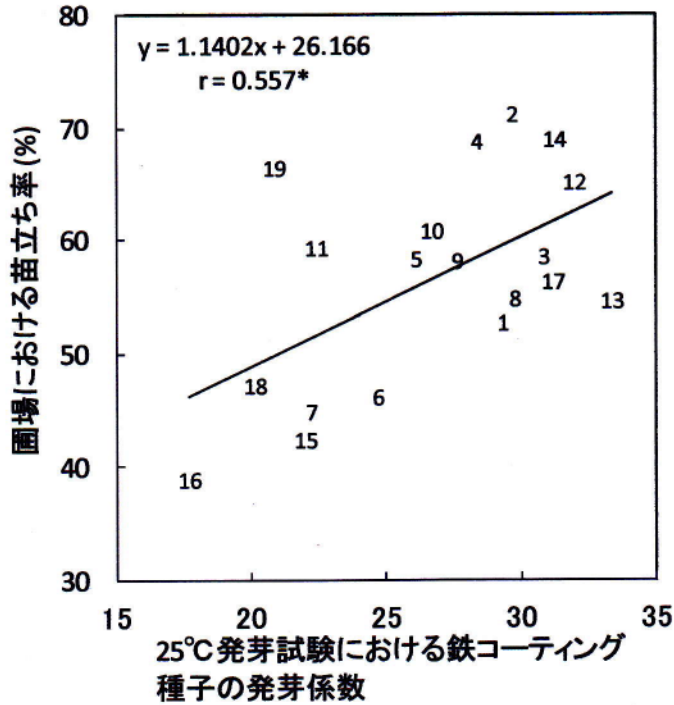


図 2-7 鉄コーティング種子における苗立ち率と 25°Cでの発芽係数における相関関係

2-6 土中出芽試験

材料および方法

播種時の埋没が出芽・苗立ちに影響していることも考えられたので、土中に種子を埋めて試験を行った。バットに風乾した水田土壌を 25mm 入れ、鉄コーティング種子を 20 粒 2 反復播種し、同じ土壌を 20mm 覆土し、常に 10mm の高さまで湛水状態にした。発芽率と平均発芽日数と発芽係数を品種間で比較した。

試験は、実験室前の廊下で行った。1 回目を 2007 年 6 月 1 日に開始し、気温は 20℃ 前後であった。また、2 回目は 2007 年 8 月 30 日に開始し、気温は 25℃ 前後であった。データは、1 回目は 23 日目までのものを、2 回目は 13 日目までのものを載せ、いずれもこの日以降新たな出芽はみられなかった。

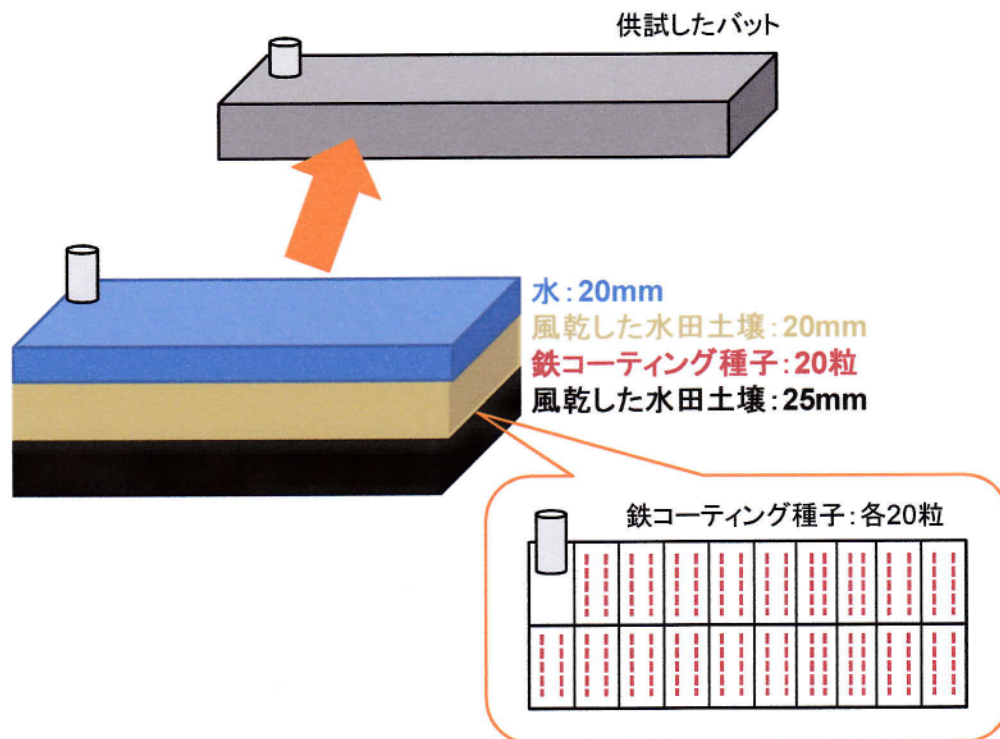


図 2-8 土中出芽試験の方法

結果および考察

土中出芽試験の結果を表 2-5 に示す。出芽率は夢十色の 5.0%、サリークィーンの 7.5% から対馬赤米の 67.5% まで大きな変異がみられた。出芽係数は 0.5 から 10.6 まで大きく変動し、全品種の平均と標準偏差は 6.1 ± 2.8 、変動係数は 46.4% であった。土中出芽性が高かったのは、対馬赤米、ベニロマン、つくし赤もち、朝紫であった。ベニロマンとつくし赤もちは対馬赤米が片親である。阿波赤米をはじめ赤米品種は、土中出芽性が高いとの報告と一致した (星野ら 1985)。出芽係数が顕著に低いのは、夢十色とサリークィーンであり、いずれもインド型品種を交配親に持つ。Sasahara and Ikarashi (1989) は、還元土壌条件下でのイネの出芽と生態種型間の差異を検討し、日本型 > ジャワ型 > インド型の順に還元抵抗性が高いと報告しており、本研究における結論と一致する。

また、圃場試験における苗立ち率と土中出芽試験における出芽係数との相関関係を図 2-9 に示す。苗立ち率と出芽係数の相関関係は $r = 0.271$ とこれらの間には相関はみられなかった。

表 2-5 19 品種における土中出芽性

	出芽率 (%)			平均出芽日数 (日)			出芽係数		
	1回目	2回目	平均	1回目	2回目	平均	1回目	2回目	平均
1 コシヒカリ	20.0	85.0	52.5	19.0	6.1	12.6	1.1	13.9	7.5
2 日本晴	15.0	55.0	35.0	20.3	5.5	12.9	0.7	10.1	5.4
3 中生新千本	20.0	55.0	37.5	16.8	5.8	11.3	1.2	9.5	5.3
4 タンチョウモチ	20.0	60.0	40.0	19.0	6.4	12.7	1.1	9.4	5.2
5 ミルキーQueen	10.0	100.0	55.0	18.0	6.0	12.0	0.6	16.7	8.6
6 LGCソフト	40.0	45.0	42.5	15.4	7.0	11.2	2.6	6.4	4.5
7 柔小町	25.0	55.0	40.0	14.4	6.7	10.6	1.7	8.2	5.0
8 夢十色	5.0	5.0	5.0	12.0	10.0	11.0	0.4	0.5	0.5
9 ホシユタカ	0.0	55.0	27.5	0.0	5.5	2.7	0.0	10.1	5.0
10 シンクワズ	20.0	70.0	45.0	18.5	5.4	12.0	1.1	12.9	7.0
11 高宮	15.0	50.0	32.5	19.7	7.1	13.4	0.8	7.0	3.9
12 対馬	50.0	85.0	67.5	16.4	4.7	10.6	3.0	18.1	10.6
13 ベニロマン	35.0	90.0	62.5	15.6	4.8	10.2	2.2	18.8	10.5
14 つくし赤もち	40.0	80.0	60.0	14.6	4.9	9.8	2.7	16.2	9.5
15 おくのむらさき	0.0	60.0	30.0	0.0	5.4	2.7	0.0	11.1	5.5
16 朝紫	35.0	90.0	62.5	17.7	6.3	12.0	2.0	14.3	8.2
17 ヒエリ	30.0	40.0	35.0	16.0	5.9	10.9	1.9	6.8	4.3
18 サリーQueen	0.0	15.0	7.5	0.0	8.3	4.2	0.0	1.8	0.9
19 クサノホシ	0.0	80.0	40.0	0.0	4.6	2.3	0.0	17.3	8.6
平均	20.0	61.8	40.9	13.3	6.1	9.7	1.2	11.0	6.1
標準偏差	15.4	25.1	17.0	7.4	1.3	3.7	1.0	5.3	2.8
変動係数 (%)	76.8	40.6	41.6	55.2	21.6	38.2	81.0	47.8	46.4

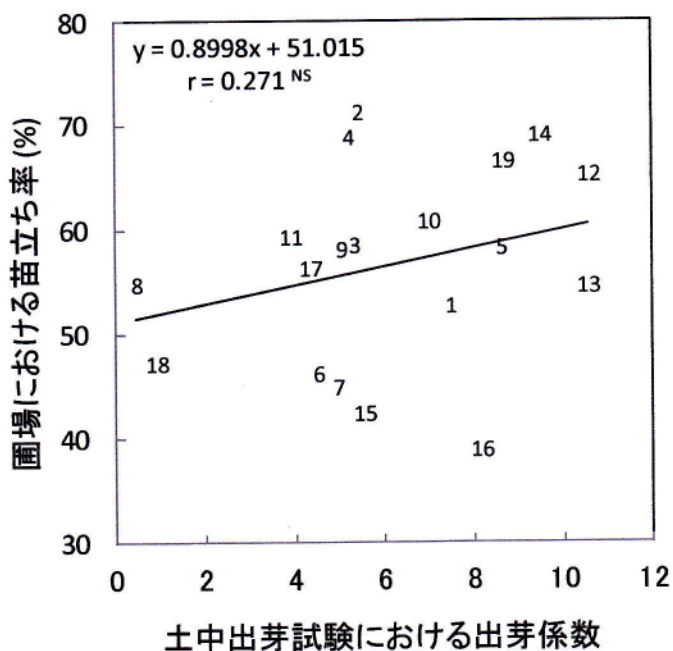


図 2-9 苗立ち率と土中出芽試験における出芽係数との相関関係

【実験Ⅱ：日本品種とアメリカ品種との特性比較】

2-7 材料および種子準備

材料として表 2-6 に示す 15 品種を用いた。

表 2-6 実験Ⅱにおける供試 15 品種

第1表 供試品種

グループ	品種名			
普通品種	コシヒカリ	ヒノヒカリ	タンチョウモチ	中生新千本
直播適性品種	ミレニシキ	もちだわら	ほしじるし	ふくいずみ
飼料用品種	クサノホシ	たちすずか		
アメリカ品種	California Belle	L-202	M-202	Lebonnet Nortai

種子準備

良食味米や飼料イネ、直播適性品種、アメリカの品種など様々な特性を持った 15 品種を供試した(表 2-6)。供試品種を積算温度 50℃となるように 15℃で浸種を行い、乾粒重量 50%の鉄粉をコーティングした(鉄コーティング比 0.5)。

2-8 圃場試験

方法

図 2-10 のように研究水田を波板で仕切り、施肥量の異なる区(N5 および N10)を設けた。そこに、2.1m×1.2m の区画を作り、各品種各施肥量区で 3 反復区画を設けた。2012 年 5 月 31 日、各区画で周囲 0.1m をあけた 1.9m×1.0m の中に 250 粒ずつ播種した。播種日から 3 週間後の 6 月 21 日に苗立ち数をカウントし、その後生育させ、倒伏調査および収量調査を行った。

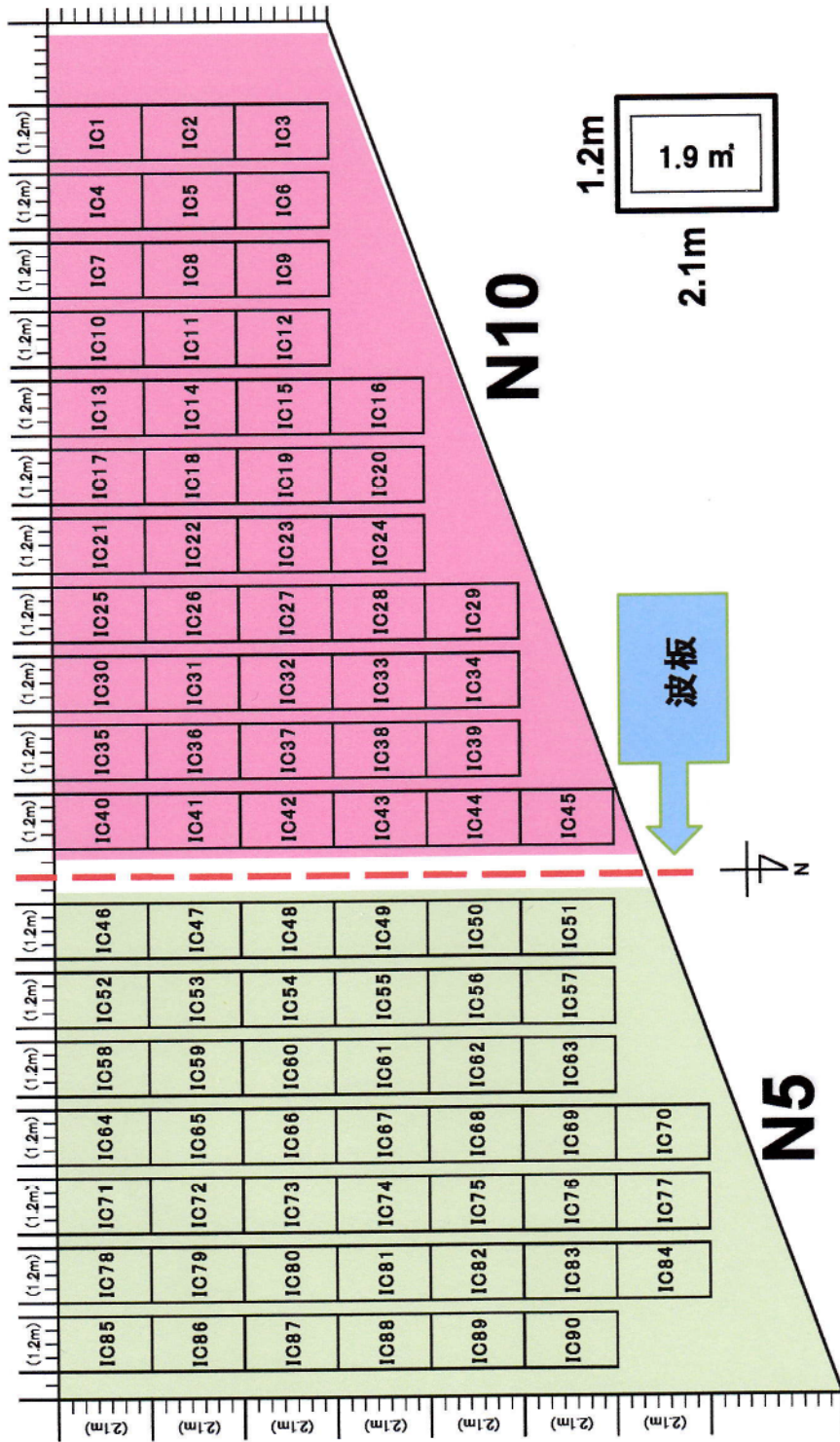
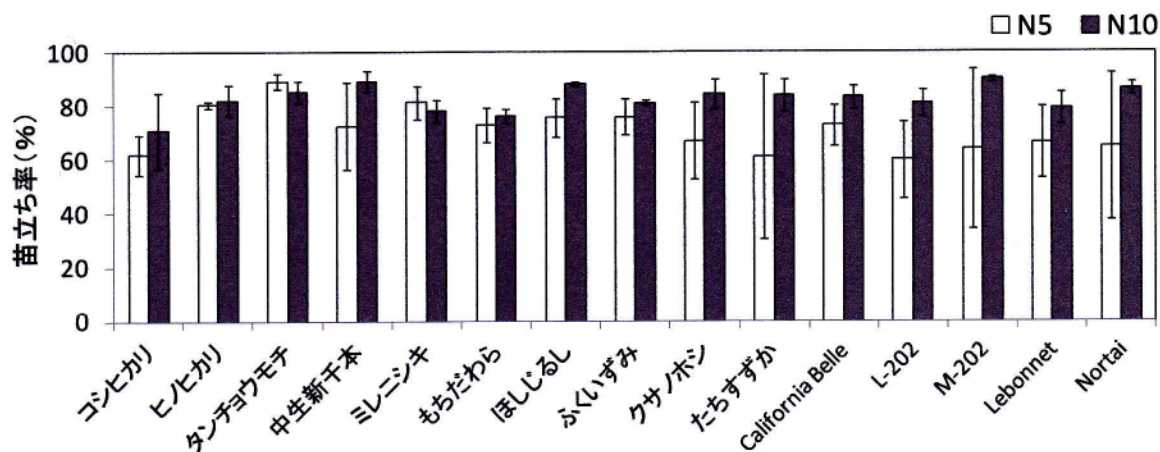


図 2-10 圃場試験における区画設計

結果および考察

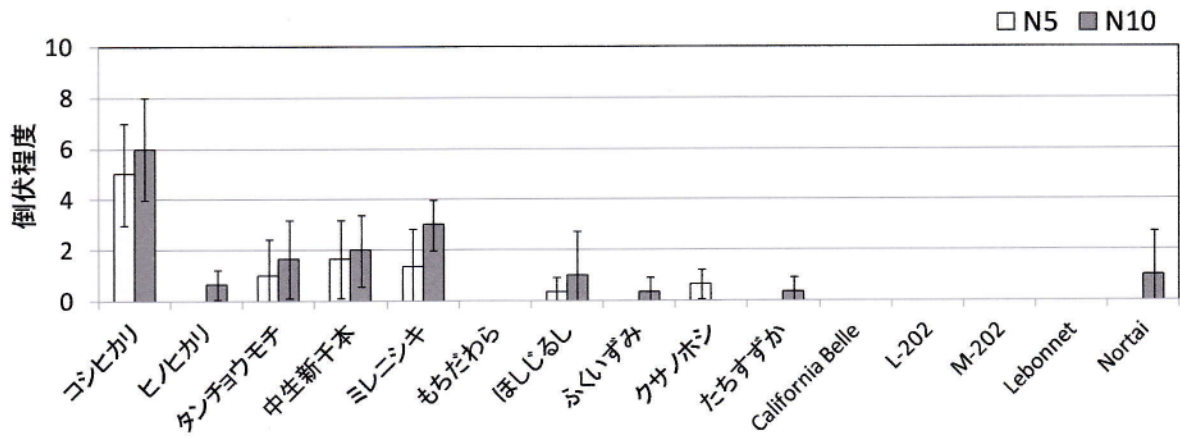
発芽試験における発芽係数が低くても、水田における苗立ち数は栽培環境によっては上がることが明らかになり、ばらつきはあるがどの品種でも60%以上の高い苗立ち率を確保することができた(図 2-11)。苗立ち数は低くても、収穫期の穂数は増加するものもあった。倒伏程度において、品種間差異が明瞭となり、コシヒカリが一番高い値を示した(図 2-12)。本試験においては、最終的な収量性に施肥量の影響はみられなかった。また、倒伏しやすいコシヒカリでもかなりの収量を確保することができた。アメリカ品種において、苗立ちは十分確保できたものの、収量が低くなった(図 2-13)。これは、穂数が少ないというアメリカ品種の特性もあり、最適播種量が日本と異なることが示唆された。また、耐病性がなかったため紋枯病にかかり、収量が低くなったものもあった。

本実験においては、様々な特性を持った15品種を用いて試験を行ったが、直播に向いていないとされている品種でも高い収量を得ることができ、倒伏のしやすい品種でも適用可能であると考えられた。また、品種により分けつ能力に大きな差があるので、播種量および播種法に留意すべきであるとする。



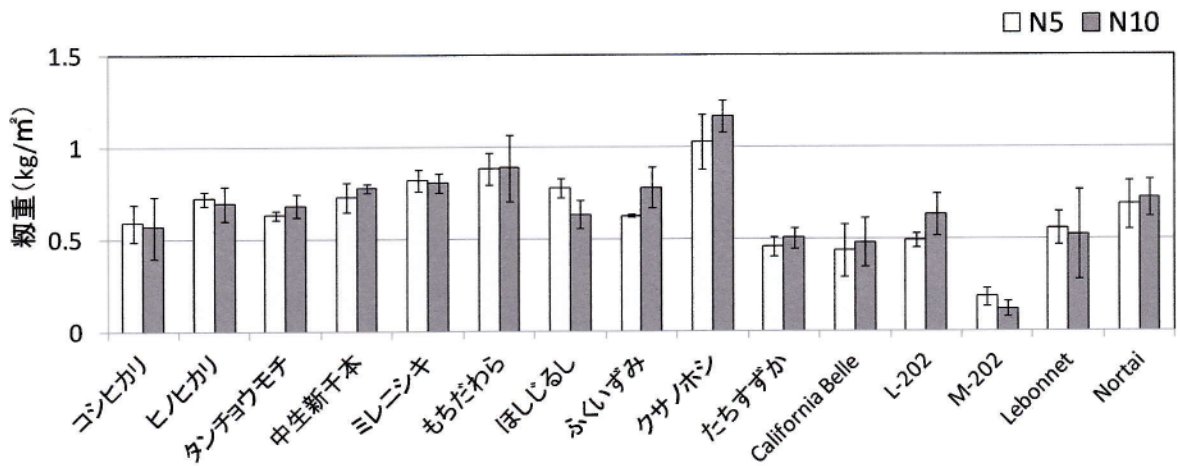
図中のエラーバーは標準偏差を示す

図 2-11 15 品種における苗立ち率



図中のエラーバーは標準偏差を示す

図 2-12 15 品種の倒伏程度



図中のエラーバーは標準偏差を示す

図 2-13 15 品種の粒重

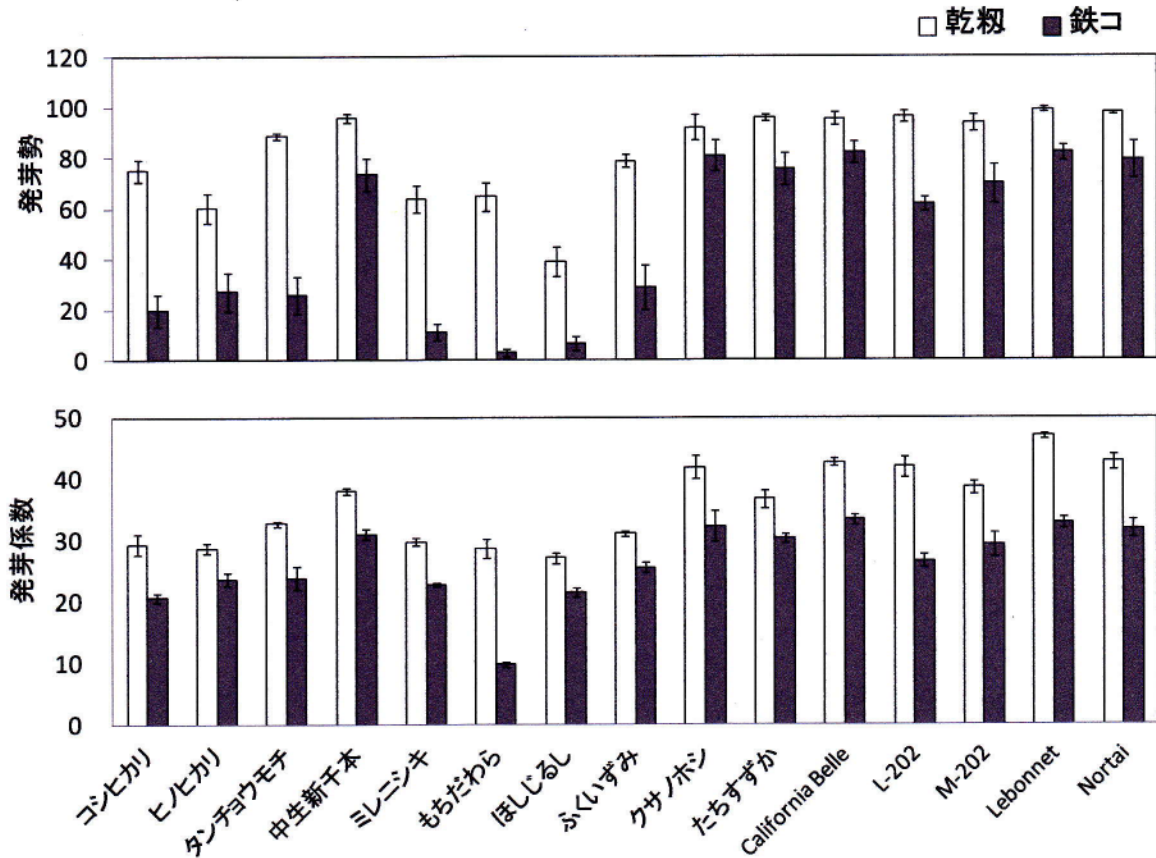
2-9 シャーレ発芽試験

材料および方法

供試する種子を 100 粒ずつシャーレに置床し、25℃のインキュベータ内で 7 日間発芽試験を行った。7 日間毎日発芽をカウントし、3 日目の発芽率から発芽勢、7 日目の発芽率/平均発芽日数の式から発芽係数(値が大きいほど発芽率が高く、発芽するスピードが速い)を算出した。

結果および考察

鉄コーティングの有無を比較すると鉄コーティングをすると全ての品種で発芽が悪くなった(2-14 図)。また、鉄コーティング種子では特に発芽勢において品種間差異が明確となった。アメリカの品種において、日本の品種に比べ発芽係数が高い傾向がみられた。これは、アメリカ品種は日本品種に比べ発芽をするスピードが速いという滝田(1987)の報告と一致した。日本品種の中では、鉄コーティングをしても、中生新千本、クサノホシ、たちすずかが高かった。



図中のエラーバーは標準偏差を示す

図 2-14 15 品種における発芽勢および発芽係数

第3章 4品種を用いた栽培方法の検討

3-1 目的

前章では散播のみ行ったが、本章では播種方法を変えることで倒伏や収量に与える影響の検討を行った。また、鉄コーティング量が鳥害にどのような影響を与えるかを確認するため、圃場試験を行った。さらに、鉄粉衣量と温度が発芽速度に与える影響についての検討を目的とし、室内でシャーレ発芽試験を行った。前章でも行った土中出芽試験で、播種深度を変えることでの出芽に対する影響を検討した。

3-2 供試品種

表 3-1 に示す 4 品種を供試した。

表 3-1 供試した 4 品種の品種名とその特徴

品種群	品種名	熟期	稈長	倒伏性
普通品種	コシヒカリ	早生	長稈	易
	中生新千本	中生	中稈	やや難
高アミロース米	ホシユタカ	晩生	中稈	難
飼料用稲	クサノホシ	晩生	中稈	難

3-3 圃場試験

【実験 I : 鉄コーティング量の違いが鳥害に与える影響および播種方法の違いが倒伏性や収量に与える影響】

材料および方法

2007 年および 2008 年度産の種子を用いて、コーティング方法、播種量、播種方法を変え、県立広島大学研究水田において、それぞれ 2 反復で直播栽培した。また、対照区として、各品種 2 反復で移植栽培も行った。試験は、2008 年および 2009 年の 2 年間行った。2008 年 6 月 9 日、3.6 m² (1.5m×2.4m) の区画に播種した。また、移植栽培は 2008 年 6 月 6 日に行った。2009 年 6 月 9 日、4.2 m² (1.5m×2.8m) の区画内に播種した。また、2009 年 6 月 4 日に移植栽培を行った。

苗立ち数、出穂日数、登熟日数、稈長、穂長、穂数、倒伏程度、全重、籾重、茎の太さを調査した。苗立ち数から苗立ち率を算出したものや調査したものから品種間、直播栽培および移植栽培で比較した。

各品種における鉄コーティング方法および播種量、播種方法を以下のように設定した (表 3-2)。

① 鉄コーティング比

中生新千本は、鉄粉を乾籾重の0、0.1、0.25、0.5、1.0倍量粉衣したもの、他の3品種は、鉄粉を乾籾重の0、0.5倍量粉衣したものをを用いた。

② 播種量

中生新千本において、鉄コーティング比0、0.1、0.25、0.5、1.0の鉄コーティング種子をそれぞれ1区画500粒ずつと、鉄コーティング比0.5の種子を1区画800粒播種した。他の3品種においては、鉄コーティング比0、0.5の種子をそれぞれ1区画500粒ずつと、鉄コーティング比0.5の種子を1区画800粒播種した。

③ 播種方法

中生新千本において、鉄コーティング比0、0.1、0.25、0.5（1区画500粒および800粒）、1.0の種子を散播し、また鉄コーティング比0.5の種子を条播した。他の3品種においては、鉄コーティング比0、0.5（1区画500粒および800粒）の種子を散播し、鉄コーティング比0.5の種子を条播した。

表 3-2 コーティング方法（鉄コーティング比）と播種量および播種方法

品種	コーティング	播種量 (粒/m ²)	播種方法
中生新千本	0.1	120	散播
	0.25	120	散播
	0.5	120	散播
	0.5	190	散播
	0.5	120	条播
	1.0	120	散播
	-	-	移植
コシヒカリ	0.5	120	散播
ホシユタカ	0.5	190	散播
クサノホシ	0.5	120	条播
	-	-	移植

結果および考察

中生新千におけるコーティング量を変えた2年間の苗立ち率を図3-1に示す。

コーティング比0および0.1の区画で苗立ち率が低くなることが認められた。これは、鉄粉の粉コーティング量が少ないため、鳥が種子を見つけやすく食害を受けたと考えられる。また、コーティング比0.5で播種方法を変えた区画を比較すると、800粒播種した区画での苗立ち率が低くなっており、区画間の差異も大きくなっている。これは、各区画の水位や土壌条件が違っていたことや、狭い区画に種子が密集して発芽が悪くなったことが考えられる。また、一般的に鉄コーティング種子での苗立ち率は $50\pm 20\%$ だとされており(山内 2010b)、鉄コーティング比0.25以上の区画での苗立ちが確保できることが明らかになった。

また、2008年の生育データを表3-3に、2009年のものを表3-4に示す。

稈長は移植の方が長くなったが、穂長はどの区画も比較的同じ長さになることが認められた。

鉄コーティング比0.25および0.5で500粒播種の区画では穂数に大きな差異はないが、茎の太さには差異が出ている。また、茎の太さはいずれの直播栽培区でも移植栽培よりも太くなっている。これは、直播栽培はばらまきをしているが、移植栽培は1株3本植えをしているという条件の違いが考えられる。

また、どの区画も倒伏程度は小さくなっていた。コーティング比0.5の区画で、散播と条播での播種方法での違いはないことが明確になった。

一方、鉄粉衣量が少ないほうが個体あたりの穂数が多くなることがわかった。また、コーティング比0.5では、播種量の違いで分けつの仕方が違っていた。播種量が少ないほうが多く分けつしていることがわかった。これら、鉄粉衣量または播種量が少ない区画は、苗立ち率が低く、このため分けつが増加するという補償作用があることが考えられる。

全重と籾重では、鉄コーティング比0.25では移植より高い収量となり、鳥害が少ない場合では鉄コーティング量は少なくても良いことが考えられる。また、鉄コーティング比0.5は移植栽培と比較して明確な差はなかった。これは、短稈で倒れにくいという中生新千本の特性が直播栽培に適しており、収量もとれるので移植栽培と差がないと考えられる。これらから、鉄粉衣量や播種量を少なくしても収量が望めるので、低コストや省力につながると考える。

以上の結果から、苗立ち率は違っていても、最終的な単位面積当たりの穂数は補償作用があることでおおむね変わらないことがわかった。苗立ち率が低い点は播種量でカバーできると考えられる。また、苗立ち率が多すぎると倒伏しやすくなることが明確になった。苗立ち率の許容範囲は、品種や栽培条件によって変わるので、それぞれの条件下で確認する必要がある。

4 品種間での比較

2年間の苗立ち率および籾重を図3-2に示す。

鉄コーティングをしていない区画では、どの品種でも苗立ち率は10%以下であった。これは、種子をそのまま水田に播いたため鳥が種子を見つけやすくなり、鳥の食害を受けたことが考えられる。鉄コーティング比0.5の区画では播種量や播種方法を変えたが、品種および区画間での差異が明確になった。

また、4品種における2年間の生育データを表3-3および表3-4に示す。

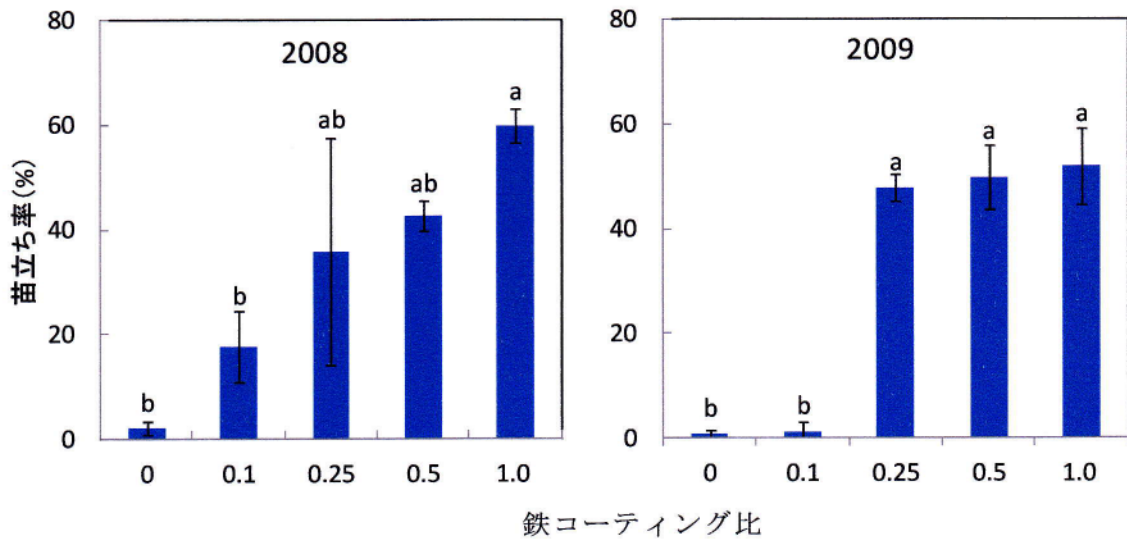
どの品種も直播より移植の方が比較的長稈であったが、穂長にはあまり差異がみられなかった。

コシヒカリはどの区画でも長稈で茎が細いという性質が関係したことで倒伏程度が大きくなることが認められた。ホシユタカとクサノホシはどの区画でも倒伏程度は小さくなった。これは、ホシユタカは稈長が比較的短めで、クサノホシは稈長が長めであるが茎が太いという性質があるためと考えられる。

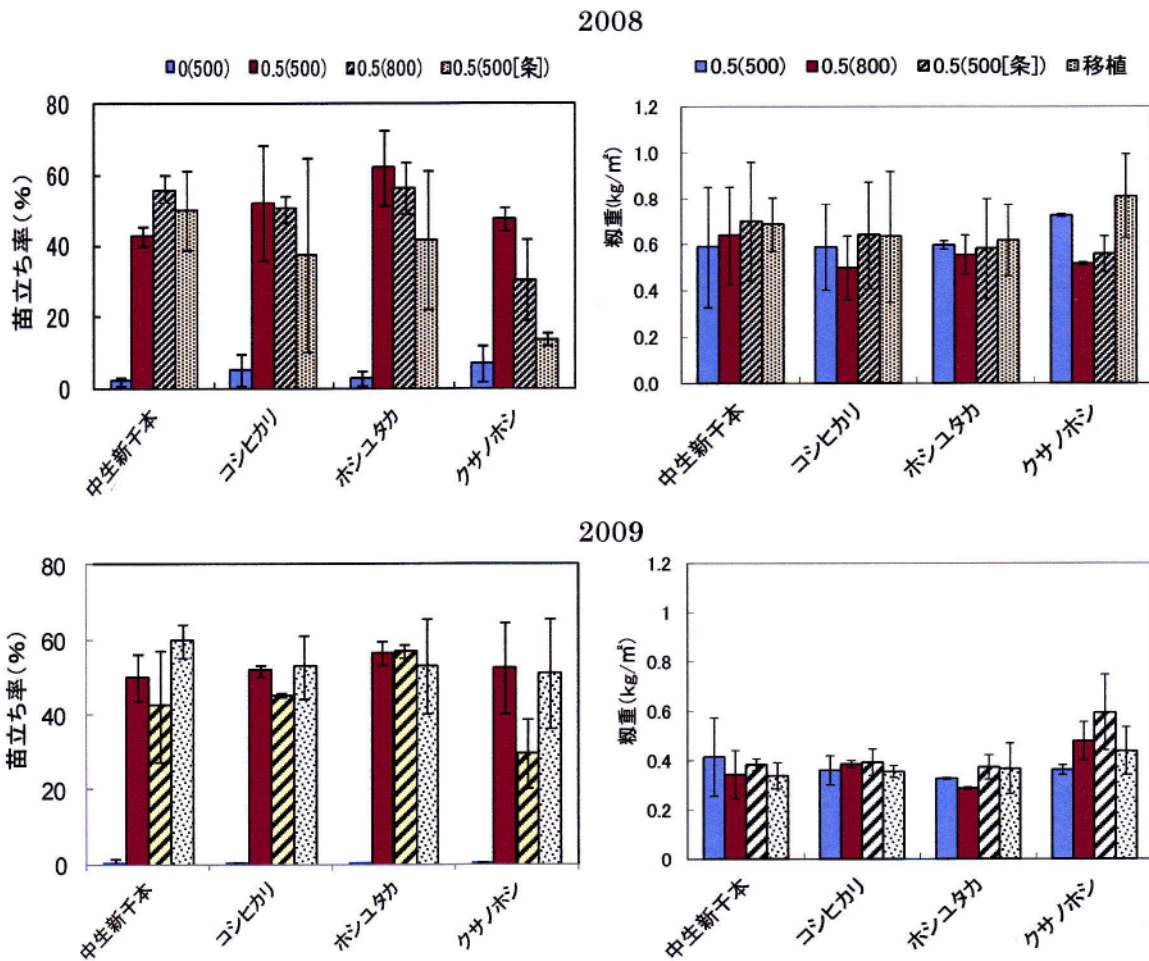
クサノホシについて、播種量が800粒の区画は苗立ちが比較的悪かったが、個体あたりの穂数が増加し、500粒播いた区画と比較して、収量が上がった。

直播栽培は全重、籾重ともにどの品種および区画でも移植栽培と比較して同等または高くなることが認められた。特にホシユタカについては、全重では移植栽培より高い値を示していたが、籾重では同じくらいの値になり、籾ではなく茎葉の生育が良かったことが考えられる。

4品種とも、鉄粉衣量が少ないと鳥の食害を受け、苗立ち率が低下することが認められた。中生新千本において、苗立ち率が低い区画でも、1個体当たりの穂数が増大することで、籾重の差は減少した。4品種とも、移植栽培と比べ、それほど大きな減収はみられなかった。2008年および2009年の2年間で比較をすると年ごとの気温、土壌、水の条件や播種時における技術的な差によって、年次間での差がみられた。



図中のエラーバーは標準偏差、異文字間には5%水準で有意差があることを示す
 図 3-1 中生新千本における 2008 年および 2009 年の苗立ち率



図中のエラーバーは標準偏差を示す
 図 3-2 4 品種における 2008 年と 2009 年の苗立ち率および収量

表 3-3 4 品種における圃場生育データ (2008 年)

品種名	コーティング	播種粒数	到穂日数 (日)	成熟日数 (日)	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/m ²)	苗立ち率 (%)	茎の太さ (g/10 cm)	倒伏程度	全重量 (kg/m ²)	籾重量 (kg/m ²)
中生新千本	0							2.1				
	0.1	500	87	142	67.9	16.9	181	17.7	0.43	0.5	0.66	0.30
	0.25	500	85.5	131	69.6	16.7	355	35.8	0.41	0.5	1.18	0.56
	0.5	500	85.5	132	70.0	16.6	341	42.6	0.31	0.5	1.20	0.53
	0.5	800	84.5	132	72.4	16.7	417	56.2	0.28	0.5	1.35	0.58
	0.5	500(条)	85.5	131	71.6	16.2	404	50.0	0.42	0.5	1.48	0.63
	1.0	500	84.5	131.5	70.3	16.3	351	59.7	0.46	0.5	1.18	0.51
	移植			80	124.5	79.7	17.6			0.24	1	1.61
コシヒカリ	0							5.1				
	0.5	500	72	116	87.2	17.5	323	52.2	0.31	6.5	1.15	0.53
	0.5	800	72	116	84.4	16.1	301	50.5	0.27	5.5	1.01	0.45
	0.5	500(条)	72	116	87.8	16.8	325	37.6	0.35	5.5	1.18	0.58
	移植			66.5	106	95.8	17.8			0.23	6.5	1.61
ホシユタカ	0							3.1				
	0.5	500	95.5	156	74.9	20.2	269	62.2	0.50	0	1.48	0.54
	0.5	800	96	156	74.3	20.2	285	56.3	0.50	0	1.44	0.50
	0.5	500(条)	96.5	157	78.0	20.3	244	41.7	0.46	0	1.51	0.52
	移植			89.5	152	86.8	18.5			0.69	0	1.76
クサノホシ	0							7.0				
	0.5	500	90	154	84.8	19.0	175	47.7	0.42	0	1.46	0.65
	0.5	800	90	154	76.4	18.6	156	30.4	0.67	0	0.93	0.46
	0.5	500(条)	91	154	83.4	19.8	114	13.7	0.85	0	1.04	0.50
	移植			89	148	94.3	18.7			0.67	0	1.86

表 3-4 4 品種における圃場生育データ (2009 年)

品種	コーティング	播種粒数	到穂日数 (日)	成熟日数 (日)	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/m ²)	苗立ち率 (%)	茎の太さ (g/10cm)	倒伏程度	全重量 (kg/m ²)	籾重量 (kg/m ²)
中生新千本	0							0.80				
	0.1	500						1.30				
	0.25	500	88.5	51.5	68.90	17.66	421	47.80	0.38	1.0	1.32	0.53
	0.5	500	89.0	49.5	70.70	18.10	428	49.80	0.51	0.0	1.25	0.44
	0.5	800	88.5	51.5	72.25	17.98	425	42.31	0.35	0.5	1.22	0.36
	0.5	500(条)	89.5	50.5	70.75	18.51	479	59.80	0.39	0.0	1.32	0.40
	1.0		88.5	51.5	71.30	18.35	407	51.90	0.38	0.5	1.16	0.44
	移植			79.5	40.0	79.85	17.42			0.26	0.5	0.84
コシヒカリ	0							0.40				
	0.5	500	79.5	39.5	87.05	18.13	319	51.70	0.21	5.5	0.89	0.38
	0.5	800	79.5	39.5	90.70	17.88	412	45.06	0.27	7.0	0.98	0.41
	0.5	500(条)	79.5	39.5	90.70	18.33	443	52.80	0.24	5.0	1.08	0.41
	移植			62.5	42.5	97.05	18.11			0.25	5.5	0.91
ホシユタカ	0							0.10				
	0.5	500	107.5	56.5	79.85	18.79	312	56.40	0.67	2.5	1.73	0.34
	0.5	800	108.0	56.0	80.45	18.80	366	57.00	0.69	2.5	1.92	0.30
	0.5	500(条)	106.0	58.0	81.35	19.08	303	52.90	0.79	2.5	1.85	0.39
	移植			90.5	61.0	91.00	21.06			0.51	4.0	1.24
クサノホシ	0							0.20				
	0.5	500	93.5	59.5	84.55	18.68	180	52.50	0.50	0.0	1.17	0.38
	0.5	800	93.5	59.5	83.50	18.42	220	29.63	0.60	0.0	1.56	0.50
	0.5	500(条)	93.0	60.0	85.90	18.87	247	51.10	0.50	0.0	1.85	0.62
	移植			84.0	56.0	97.20	19.72			0.48	1.5	1.15

【実験Ⅱ：圃場において催芽処理が苗立ちに与える影響】

材料および方法

2009年度産の種子4品種を供試し、乾籾・催芽種子(17℃で2日間浸種)の条件で、各品種実験1における中生新千本と同様にコーティング方法を変えた。研究水田に塩化ビニルパイプで177cm²の区画をつくり、1区画100粒とし、2010年6月4日、3反復で播種した。苗立ちを調査し、苗立ち率、平均発芽日数、発芽係数を算出し、品種間で比較した。

結果および考察

どの品種も播種後7日前後で30%以上の苗立ち率が認められた(表3-5)。どの品種も播種後7日を過ぎたら発芽率が安定することが明確になった。

コーティング比0.5の発芽は、3日目ではどの条件でも値が高くなっていた。直播栽培は初期生育が重要となる。コーティング比が少ないほど発芽がよくなると考えていたが、今回はコーティング比0.5の発芽が高くなった。

乾籾種子では品種間での差異がかなりあることが認められた。しかし、コーティングをすることで発芽率の推移に品種間の差はあまりみられず、同じような傾向が認められた。

一方、催芽種子を用いると、発芽係数が比較的高くなり、安定した発芽が認められ、どの品種でも発芽率の推移は同じような傾向がみられた(表3-6)。3反復行ったが、各区画の水の条件や、小区画であったため、かなりのばらつきがあったことが要因であると考えられる。条件を均一にできる区画の改善が今後の課題である。

表 3-5 4 品種における圃場での苗立ち率の推移

品種	コーティング比	催芽種子			乾粒種子		
		3日目	7日目	28日目	3日目	7日目	28日目
中生新千本	0.00	4.3	63.3	71.3	2.0	70.7	77.3
	0.10	2.0	60.7	73.3	2.0	67.7	75.3
	0.25	1.3	69.0	78.7	0.3	65.3	75.7
	0.50	2.0	62.3	76.7	1.0	60.0	67.0
	1.00	0.3	64.3	86.3	0.3	54.7	72.7
コシヒカリ	0.00	1.3	59.3	68.3	0.7	63.3	78.7
	0.10	0.7	61.3	71.0	0.7	48.0	69.3
	0.25	0.3	57.0	65.7	0.3	52.0	68.0
	0.50	0.0	57.0	66.7	0.0	56.0	75.7
	1.00	1.0	52.3	66.7	0.3	51.7	69.0
ホシユタカ	0.00	7.0	67.0	74.7	0.7	64.3	66.0
	0.10	5.0	51.7	57.7	0.3	61.0	66.0
	0.25	2.3	70.3	77.0	0.0	54.0	75.0
	0.50	3.7	77.0	79.0	0.3	51.7	75.7
	1.00	2.3	62.7	68.7	0.3	49.3	58.7
クサノホシ	0.00	4.3	65.3	67.0	0.7	45.7	52.7
	0.10	3.7	67.7	67.7	0.3	29.7	35.0
	0.25	0.7	66.3	67.3	0.0	55.7	67.7
	0.50	2.0	62.3	76.7	1.0	60.0	67.0
	1.00	0.3	64.3	86.3	0.3	54.7	72.7

表 3-6 圃場試験における 4 品種の発芽係数

品種	コーティング比	催芽種子	乾粒種子
中生新千本	0.00	14.69	14.11
	0.10	10.49	11.74
	0.25	12.12	9.77
	0.50	11.23	11.45
	1.00	10.21	10.32
コシヒカリ	0.00	12.73	11.82
	0.10	10.29	10.42
	0.25	8.28	8.48
	0.50	10.74	11.56
	1.00	8.40	8.23
ホシユタカ	0.00	14.11	12.84
	0.10	10.14	10.94
	0.25	11.53	7.51
	0.50	15.12	8.39
	1.00	12.28	8.54
クサノホシ	0.00	12.98	9.52
	0.10	15.06	5.46
	0.25	11.24	9.73
	0.50	10.26	11.35
	1.00	10.21	10.32

3-4 室内試験①（シャーレ発芽試験および土中出芽試験）

【実験Ⅰ：シャーレ発芽試験】

材料および方法

2007年度産の4品種を用い、圃場試験と同様のコーティング方法で試験を行った。シャーレに、供試する種子を100粒ずつ播き、25℃あるいは15℃で1週間毎日発芽数をカウントし、発芽率と発芽係数を比較した。中生新千本のみコーティング比を変えて試験を行った。試験は、25℃発芽試験を2008年12月17～24日、15℃発芽試験を2009年1月13～20日に実施した。

結果および考察

発芽試験の結果を図3-3および図3-4に示す。

中生新千本におけるコーティング条件を変えた種子の発芽率の比較では、25℃では鉄粉の量は関係なく高い発芽率を示した（図3-3）。15℃では、鉄粉の量が多い1.0では発芽率が悪い。これは、鉄粉が多いため芽が出にくくなったためと考えられる。

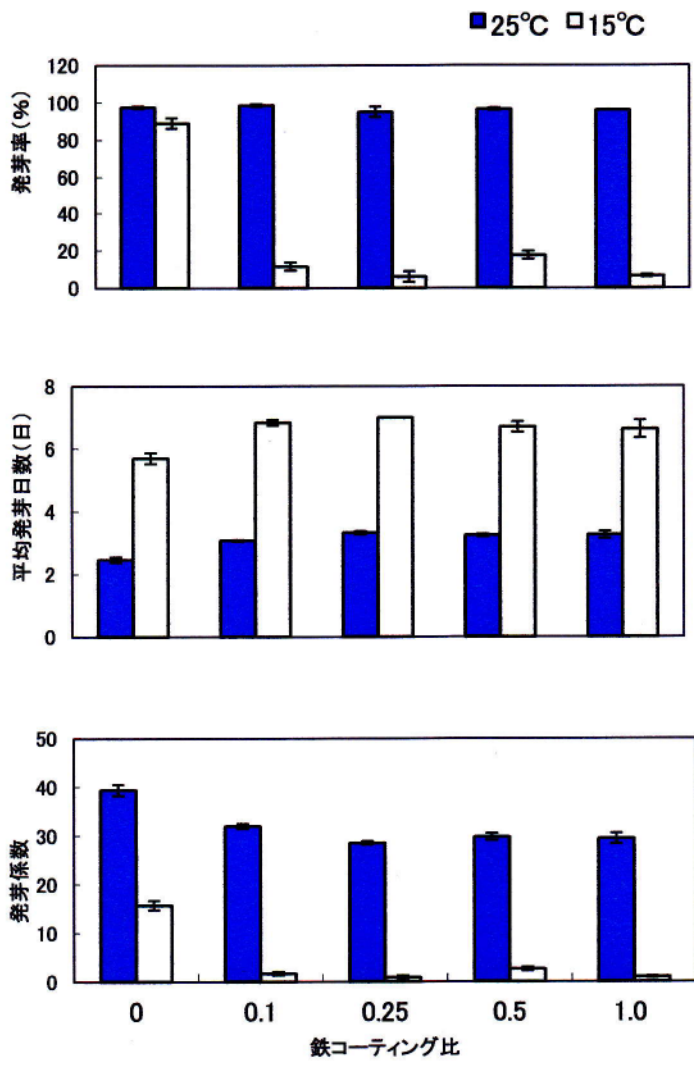
中生新千本におけるコーティング条件を変えた種子の平均発芽日数の比較では、25℃、15℃のどちらも、鉄粉の量を変えても平均発芽日数の値の差はなかった。25℃に比べて15℃の方が発芽するのに時間がかかっていた。

中生新千本におけるコーティング条件を変えた種子の発芽係数の比較では、15℃に比べて25℃は発芽率がよく、早く発芽することがわかった。25℃、15℃のどちらも鉄粉の粉衣量が多いと発芽係数の値が下がっていることから、粉衣量が多いと発芽率が悪くなり、発芽するのが遅くなると考えられる。

25℃、15℃におけるコーティングの有無の各品種の発芽率の比較では、25℃において、各品種コーティングの有無での発芽率の差はみられなかった（図3-4）。15℃において、コーティングしてあると発芽率はかなり低くなった。

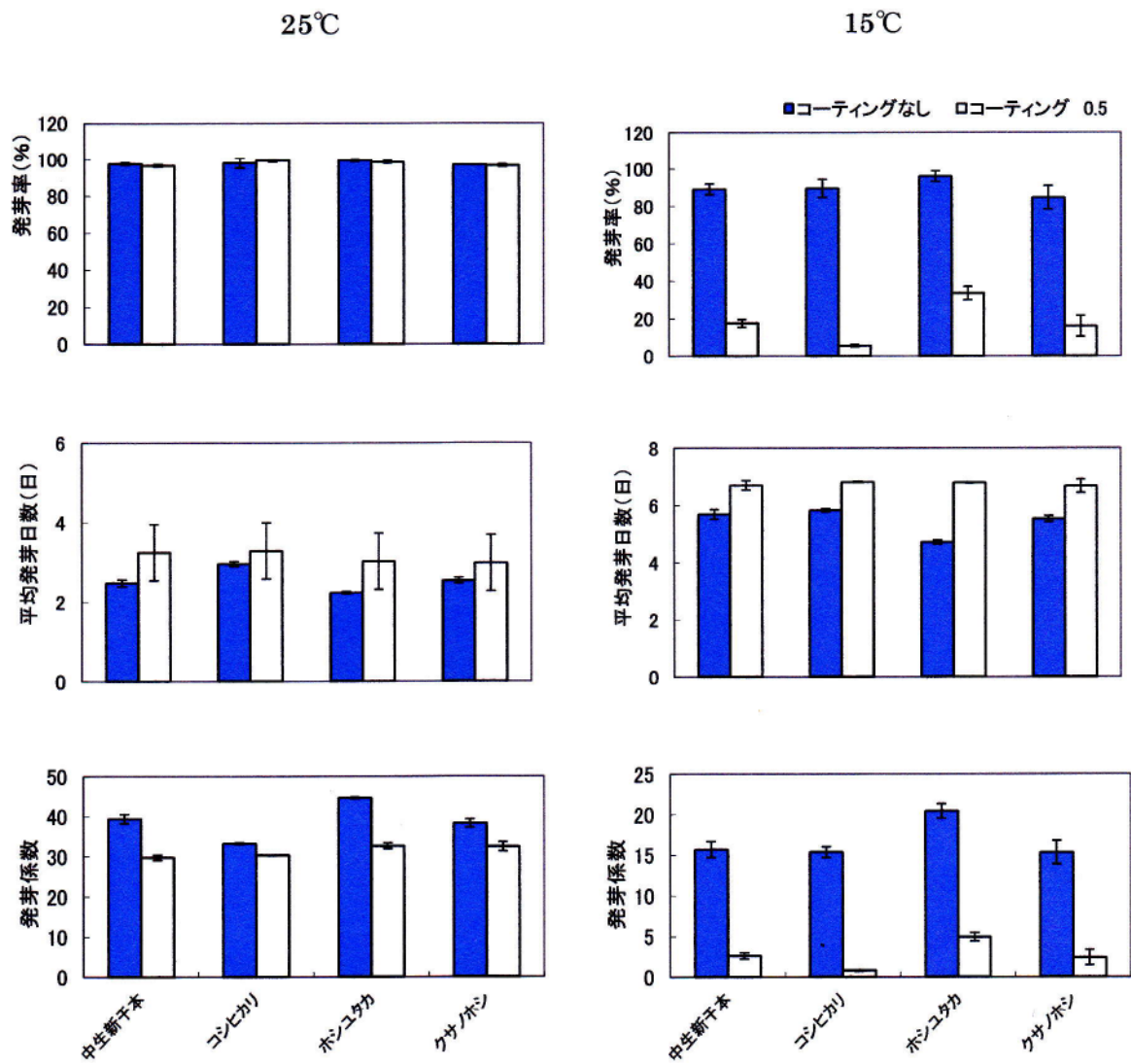
25℃、15℃におけるコーティングの有無の各品種の平均発芽日数の比較では、25℃において、コーティングをしている方の値が若干大きい、あまり差はない。15℃において、コーティングをしている方が発芽するのに時間がかかっている。

25℃、15℃におけるコーティングの有無の各品種の発芽係数の比較では、25℃、15℃のどちらにおいても、コーティングをしているものよりしていない方の値が大きい。特に15℃の差が大きくなっている。これから、コーティングをしているものよりしていない方の発芽率が高く、発芽が早いということが考えられる。



図中のエラーバーは標準偏差を示す

図 3-3 25°Cおよび 15°C発芽試験における中生新千本のコーティング比を変えた場合の発芽率、平均発芽日数および発芽係数



図中のエラーバーは標準偏差を示す

図 3-4 25°Cおよび 15°C発芽試験における鉄コーティングの有無による 4 品種間の発芽率、平均発芽日数、発芽係数の比較

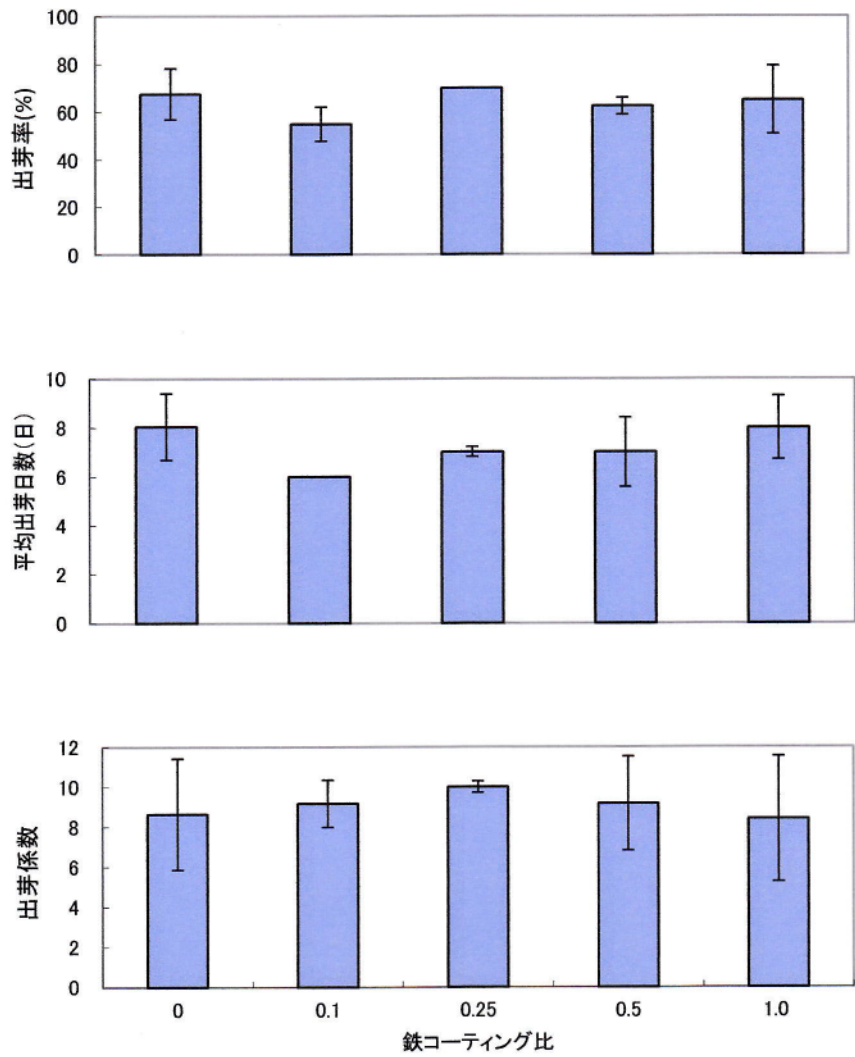
【実験Ⅱ：土中出芽試験】

材料および方法

2007年度産の中生新千本のみを用い、鉄コーティング比を変えて試験を行った。試験方法は2-6と同様、バットに風乾した水田土壌を25mm入れ、種子を20粒2反復播種し、同じ土壌を20mm覆土し、常に10mmの高さまで湛水状態にした。発芽率と平均発芽日数と発芽係数を比較した。試験は、2009年2月10日～3月4日、25℃に設定した人工気象室内で実施した。

結果および考察

鉄コーティング比の違いによる出芽に大きな差はみられなかった(図3-5)。これは、播種深度が関係していることが考えられ、20mm埋まってしまうと鉄コーティング比に関係なく、出芽が悪くなることが考えられる。播種深度と鉄コーティング比との関係を調べる必要があると考える。出芽率は、3週間試験を行ったことで平均的に60～70%と高くなった。出芽し始めるまでに1週間前後かかり、出芽するまでに時間がかかった。また、出芽開始比にコーティング比による差はあまりないが、コーティング比1.0の場合は鉄粉の量が多く、出芽が遅くなる傾向がみられ、出芽速度が遅かったことで出芽係数は低くなった。本試験は人工気象室内で試験を行い、一定の高い温度(25℃)で行っていたため、鉄コーティングによる影響を受けにくかったことが考えられる。



図中のエラーバーは標準偏差を示す

図 3-5 土中発芽試験における鉄コーティング比を変えた中生新千本の出芽率、平均出芽日数および出芽係数

3-5 室内試験②

(鉄コーティング量を変えた種子を用いたシャーレ発芽試験および播種深度を変えた土中出芽試験)

【実験Ⅰ：シャーレ発芽試験】

材料および方法

2008年度産種子4品種を供試し、圃場試験における中生新千本と同様にコーティング方法を変え、シャーレに100粒ずつ播いた。温度を25℃と15℃で条件を変え、それぞれ4反復で行った。7日間毎日発芽をカウントし、発芽率および平均発芽日数から発芽係数を算出し、最適条件(鉄コーティングをせず、25℃での発芽)との相対値で比較をした。

【実験Ⅱ：土中出芽試験】

材料および方法

2008年度産種子4品種を供試し、鉄コーティングの有無で条件を変えた。この時の鉄コーティング比は0.5とした。プラントボックスに風乾した水田土壌を25mm入れ、種子を20粒播種、播種深度を変えるため同じ土壌を10、20、30mmと変えて覆土をし、常に土壌から10mmの高さまで湛水状態にした。鉄コーティング比および播種深度の条件で3反復設け、25℃に設定した人工気象器に入れ、30日間土中出芽試験を行った。毎日出芽数をカウントし、30日後の出芽率および平均出芽日数から出芽係数を算出した。25℃発芽試験におけるコーティングなしの発芽係数を最適条件とし、相対値を算出し比較をした。

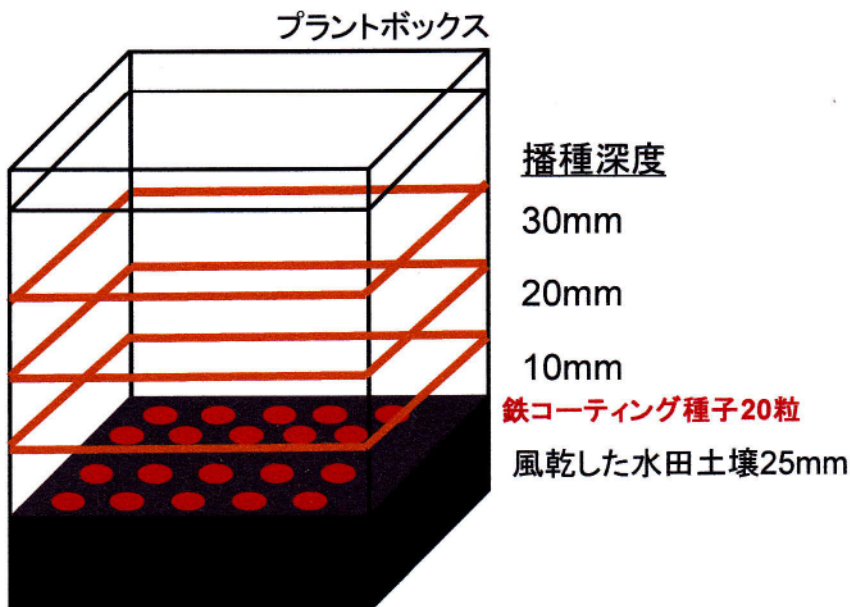


図 3-6 播種深度を変えた土中出芽試験の方法

結果および考察

シャーレ発芽試験における発芽係数の値と土中出芽試験における出芽係数の値を表 3-7 に、25℃シャーレ発芽試験の鉄コーティングなしを最適条件とし低温および鉄コーティング、土中出芽における相対値を表 3-8 に示す。

シャーレ発芽試験において、どの品種もコーティング量を増やす、または低温にすることで発芽係数が低くなった。しかし、25℃での発芽では、コーティング量が増えても値にあまり差がないことから、コーティング量が多くても高い発芽率が求められることが期待できると考えられる。

平均値からみてみると、コーティング比 0.5 の発芽係数が高くなっている。25℃では全品種、15℃ではコシヒカリ以外の品種の値が高くなった。また、15℃での発芽係数は、中生新千本およびホシユタカの値が高く、コシヒカリおよびクサノホシの値が低くなっていることから、低温による品種間差異が明確になった。

25℃を最適条件とし、15℃と比較をすると、3.1~40.5 倍も差がみとめられた。低温やコーティング量の増加が種子にかなりストレスとなることが考えられる。

低酸素条件下の土中発芽試験では、播種深度を深くするほど、発芽係数が低くなることが明確になった。播種深度が 30mm だと、出芽をしないものも多かった。30 日後、土の中を見てみると、発芽はしていても芽が伸びなかったものも多く見られた。水田での播種時の水位が高いことや、土壌表面が均一になっていなければ、種子が埋没し、出芽が遅れることがある。播種時の埋没は、10mm 以上してしまうと出芽・苗立ちに影響があるという指標ができた。ホシユタカは、播種深度 10mm では鉄コーティングの有無で 2.5 倍の差があり、鉄コーティングによる発芽遅延が大きくなることが明らかになった。一方、クサノホシについては、鉄コーティングの有無で 0.6 倍の差となり、鉄コーティングをすると発芽を促進するという結果となった。しかし、シャーレ発芽試験の結果からはこのような結果がみられなかったことから、実験中の条件の差などに原因があることが考えられることから実験方法の改善、また土中での鉄コーティングの有効性を今後検討していかなければならない。

表 3-7 4 品種におけるシャーレ発芽試験での発芽係数および土中出芽試験での出芽係数

品種	コーティング比	シャーレ発芽試験 (発芽係数)		土中出芽試験(出芽係数) 播種深度(mm)		
		25°C	15°C	10	20	30
中生新千本	0	37.44	10.85	10.33	7.11	1.07
	0.1	33.33	8.41			
	0.25	31.14	5.61			
	0.5	32.56	6.47	9.01	4.18	1.06
	1.0	26.09	1.16			
コシヒカリ	0	32.07	4.39	6.52	3.09	1.20
	0.1	29.54	2.15			
	0.25	25.46	1.87			
	0.5	26.30	0.65	5.99	2.70	0.33
	1.0	24.44	0.67			
ホシユタカ	0	39.30	12.69	8.35	1.60	0.38
	0.1	31.54	8.45			
	0.25	29.58	7.28			
	0.5	31.68	8.42	3.40	0.99	0.00
	1.0	26.97	4.75			
クサノホシ	0	31.18	4.30	4.05	1.73	0.00
	0.1	28.56	2.03			
	0.25	26.41	1.11			
	0.5	30.01	2.57	6.60	1.34	0.52
	1.0	24.87	1.00			

表 3-8 4 品種における 25°Cシャーレ発芽試験の鉄コーティングなしを最適条件とした時の相対値

品種	コーティング比	シャーレ発芽試験 (相対値)		土中出芽試験(相対値) 播種深度(mm)		
		25°C	15°C	10	20	30
中生新千本	0	1.00	0.29	0.28	0.19	0.03
	0.1	0.89	0.22			
	0.25	0.83	0.15			
	0.5	0.87	0.17	0.24	0.11	0.03
	1.0	0.70	0.03			
コシヒカリ	0	1.00	0.14	0.20	0.10	0.04
	0.1	0.92	0.07			
	0.25	0.79	0.06			
	0.5	0.82	0.02	0.19	0.08	0.01
	1.0	0.76	0.02			
ホシユタカ	0	1.00	0.32	0.21	0.04	0.01
	0.1	0.80	0.21			
	0.25	0.75	0.19			
	0.5	0.81	0.21	0.09	0.03	0.00
	1.0	0.69	0.12			
クサノホシ	0	1.00	0.14	0.13	0.06	0.00
	0.1	0.92	0.07			
	0.25	0.85	0.04			
	0.5	0.96	0.08	0.21	0.04	0.02
	1.0	0.80	0.03			

3-6 室内試験③（シャーレ発芽試験）

材料および方法

2009年度産の種子4品種を供試し、乾籾・催芽種子(17℃で2日間浸種)の条件で、試験Iにおける中生新千本と同様にコーティング方法を変えた。シャーレに条件の違う種子を100粒ずつ播き、温度を25℃と15℃で条件を変え、それぞれ4反復でシャーレ発芽試験を行った。7日間毎日発芽をカウントし、発芽率および平均発芽日数から発芽係数を算出し、品種間で催芽効果等を比較した。

結果および考察

4品種の発芽試験における発芽係数の結果を図3-7および表3-9、表3-10に示す。

品種間差異が明確となった。また、どの品種も低温またはコーティング比の増加がストレスとなり、発芽遅延が認められた。

催芽種子を用いると、発芽係数が高くなり、比較的早く発芽し、発芽率が高いことが認められた。しかし、乾籾種子より催芽種子のほうが発芽係数の値が低いものもあった。これは、浸種処理条件が最適でなかったことが考えられる。最適な浸種条件を見出すことで浸種の効果を検討していく必要がある。

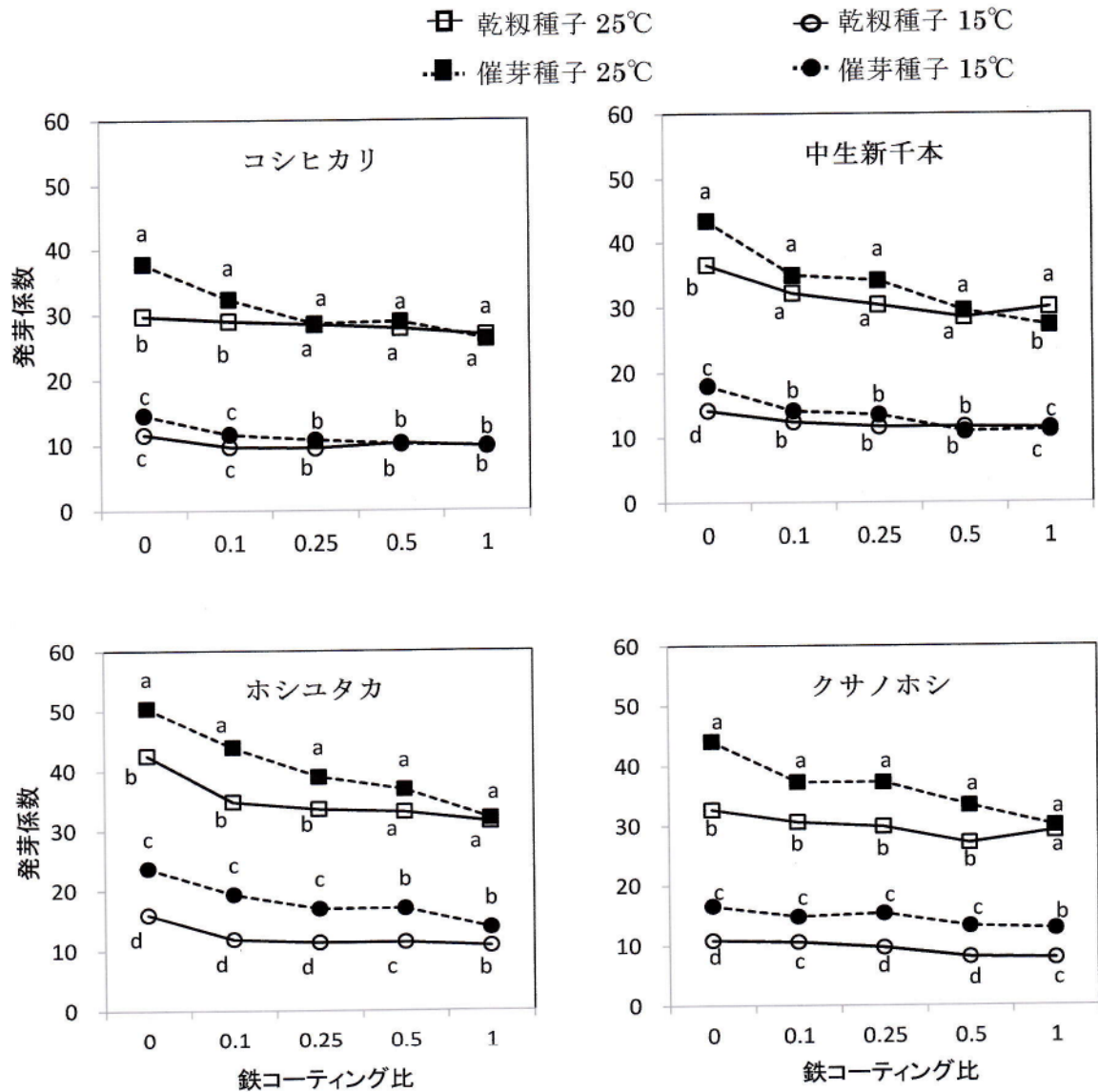
また、表3-9から、25℃では、0.9～1.3倍の、15℃では、0.7～5.0倍の催芽効果が認められた。これから、15℃の低温の場合は催芽をすることで発芽率の増加が期待できるので、催芽の重要性をさらに検討していかなければならない。

中生新千本およびクサノホシは、乾籾の発芽がコーティング量が多くても値が高い品種であった。

中生新千本およびコシヒカリについて、コーティング比1.0での発芽係数は、催芽種子より乾籾種子のほうが値が高くなった。コーティング比が多いことで種子の周りが鉄で覆われ、発芽しにくくなったこと等が原因と考えられる。また、この2品種でコーティングの有無での結果から、15℃での発芽ではコーティング有りのほうが発芽が悪くなることが認められた。

ホシユタカは低温条件を含め全体的に発芽の優れた品種であることが明確になった。

催芽をさせる際、今回は17℃で2日間催芽させたものを試験に用いたが、催芽の期間はどのくらいが良いか明らかになっていない。品種によっては休眠性の関係などから、種子の高温処理など休眠打破処理により発芽係数がさらに高くなる可能性も考えられる。これから、催芽について、品種間差異について追及していかなければならない。



異文字間には各コーティング比における処理間において5%水準で有意差があることを示す
 図 3-7 鉄コーティング比および発芽試験温度が発芽係数に与える影響

表 3-9 4 品種における乾籾種子と催芽種子の鉄コーティング比を変えた発芽係数の比較

品種	コーティング比	乾籾種子		催芽種子	
		25℃	15℃	25℃	15℃
中生新千本	0.00	36.49	11.55	43.32	17.64
	0.10	32.13	7.49	34.93	12.10
	0.25	30.35	4.29	34.13	9.37
	0.50	28.44	4.72	29.46	4.34
	1.00	29.98	3.20	27.20	5.18
コシヒカリ	0.00	29.71	6.00	37.75	12.37
	0.10	28.92	2.07	32.28	7.15
	0.25	28.45	2.04	28.57	5.02
	0.50	27.84	3.05	28.88	4.24
	1.00	26.81	2.64	26.20	3.61
ホシユタカ	0.00	42.54	15.19	50.41	23.82
	0.10	34.79	13.74	43.88	19.11
	0.25	33.56	12.29	38.99	16.49
	0.50	33.12	12.96	36.87	16.05
	1.00	31.46	9.52	32.04	10.35
クサノホシ	0.00	32.64	6.41	44.05	15.83
	0.10	30.56	5.30	37.25	13.23
	0.25	29.81	4.06	37.22	13.86
	0.50	27.10	1.87	33.35	9.43
	1.00	29.08	5.06	29.98	8.01

表 3-10 4 品種の発芽係数における平均値

品種	コーティング比	乾籾種子		催芽種子	
		25℃	15℃	25℃	15℃
中生新千本	なし	36.49	11.55	43.32	17.64
コシヒカリ		29.71	6.00	37.75	12.37
ホシユタカ		42.54	15.19	50.41	23.82
クサノホシ		32.64	6.41	44.05	15.83
平均		35.35	9.79	43.88	17.41
中生新千本	あり	30.22	4.92	31.43	7.75
コシヒカリ		28.01	2.45	28.98	5.00
ホシユタカ		33.23	12.13	37.94	15.50
クサノホシ		29.14	4.07	34.45	11.13
平均		30.15	5.89	33.20	9.85
	0.00	35.35	9.79	43.88	17.41
	0.10	31.60	7.15	37.09	12.90
	0.25	30.54	5.67	34.72	11.18
	0.50	29.12	5.65	32.14	8.52
	1.00	29.33	5.10	28.86	6.79
	平均	31.19	6.67	35.34	11.36

第4章 イネ種子の発芽および出芽に対する特殊肥料「ネバルくん」の効果の検討

4-1 特殊肥料「ネバルくん」について

特殊肥料「ネバルくん」は、兵庫県の土壌および長野県の温泉より分離した2種類の微生物をそれぞれタンク内の培地で培養し、その培養溶液をろ過膜により微生物を除いてできた、微生物の産生物質を含む液状発酵堆肥（上澄液）である。タンク内の培地には微生物の栄養成分として、例えばグルコース、酵母エキス、トリプトファン（アミノ酸）、トリプトン、アデニンなどを加え、微生物が繁殖して、その栄養成分を消化し、植物成長に有効な成分を産生したところで、膜ろ過して、特殊肥料を回収する。特殊肥料を生産するために、*Enterobacter cloacae* No.11-5 および *Pseudomonas solanacearum* No.206-4 の2種類の有用微生物を用いている。特殊肥料の生産方法を図4-1に示す。また、特殊肥料に含まれる成分は表4-1のようになる。

特殊肥料「ネバルくん」は、多くの作物で根の生育を促進し、根張りのよい生育をとげることが開発者により確認されている。また、イネについては、根張りがよくなり、顕著な増収効果を示すことが報告されている。さらに、ネバルくんを用いると、初期の活着がよく有効分げつが早くとれ太い茎ができることや、初期生育の向上、根が強く張る効果等が期待されている（(株)ファイトクローム 2003）。

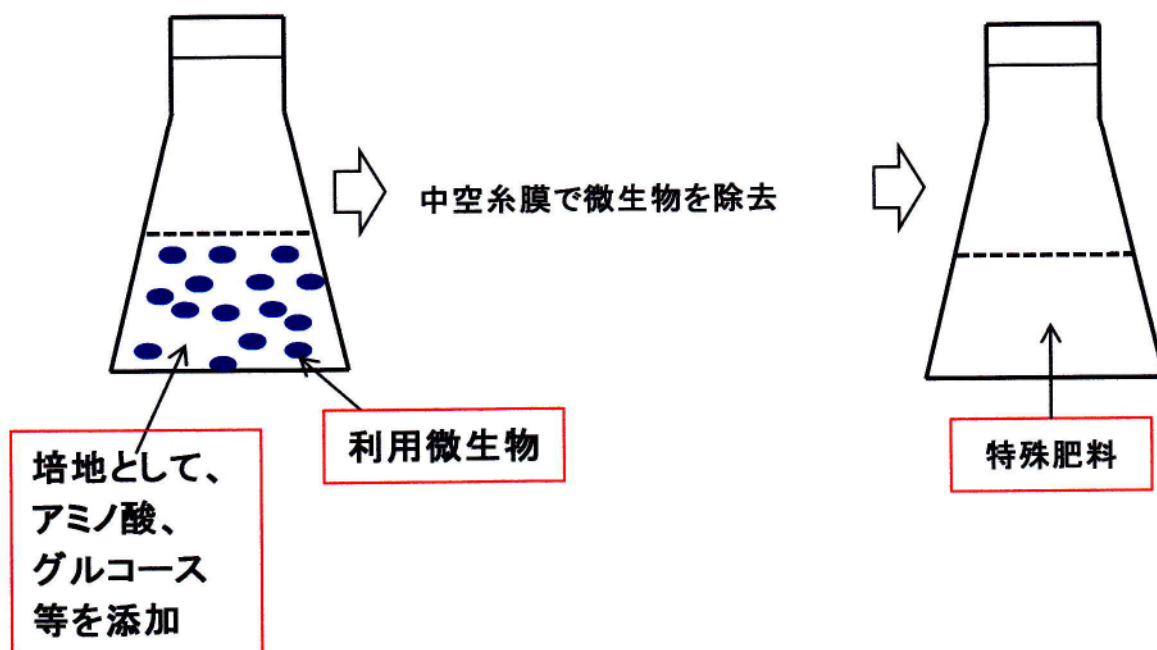


図4-1 特殊肥料「ネバルくん」の生産方法

表 4-1 特殊肥料「ネバルくん」に含まれる成分

	EKKAS 液状発酵堆肥(特殊肥料)	ネバルくん
主成分	インドール酢酸 (IAA)	120~150 μ g/ml
	エチル - 3 - インドールアセテート	1~2 μ g/ml
	トリプトファン	2000~2300 μ g/ml
肥料成分	窒素全体	0.2~0.4%
	リン酸全体	0.3~0.5%
	カリ全体	0.3~0.6%
	苦土全体	0.1~0.2%
	水分	97~98%

* 日本肥糧検定協会による (μ g=100 万分の 1g)

4-2 目的

ネバルくんを用いると、初期の活着がよく有効分げつが早くとれ太い茎ができることや、初期生育の向上、根が強く張る効果等が期待されている。これらの効果は、直播栽培における苗立ち遅延対策や倒伏対策につながると考えた。

本試験では、ネバルくんを用い、圃場試験から、ネバルくんを用いることでの収量性への効果の検討を行った。また、イネに対する初期生育の効果および根張りの効果を検討した。

4-3 供試品種およびネバルくん処理の方法

供試品種は、圃場試験およびシャーレ発芽試験では、2010 年度産のヒノヒカリおよび中生新千本を、土中出芽試験では、2010 年度産のコシヒカリおよびヒノヒカリを、育苗マットを用いた出芽試験では、2010 年および 2011 年度産のコシヒカリおよびヒノヒカリを供試した。また、秋田県の一般農家ではあきたこまちを調査した。

本試験で用いたネバルくん処理の方法を表 4-2 に示す。ネバルくんには、液材と粉末剤があるが、粉末は液材を濃縮乾固させたものになるため、成分は液材と変わらない。液材は、原液を希釈して使用する（本試験では 250 倍希釈）。鉄コーティング前の浸種の段階で希釈液に 24 時間漬ける方法と、鉄コーティングをした後に希釈液に 24 時間浸種する方法をもちいた。また、粉末は鉄コーティング種子製造時に鉄粉と同時に乾粒重量の 0.5% 量のネバルくん粉末を混和する方法を用いた。

表4-2 各試験における種子の処理方法

処理区	発芽試験および圃場試験	土中出芽試験	育苗マットを用いた出芽試験
①浸漬	20℃2日間浸漬【積算温度40℃】 (蒸留水)	15℃3日間浸漬【積算温度45℃】 (蒸留水)	15℃3日間+8h浸漬【積算温度50℃】 (蒸留水)
②ネバブル浸漬	20℃2日間浸漬【積算温度40℃】 (1日目蒸留水 2日目ネバブルくん液)	15℃3日間浸漬【積算温度45℃】 (1日目蒸留水 2・3日目ネバブルくん液)	15℃3日間+8h浸漬【積算温度50℃】 (1日+8h蒸留水 2・3日目ネバブルくん液)
③鉄コ前ネバブル浸漬	②を鉄コーティング	②を鉄コーティング	②を鉄コーティング
④鉄コ後ネバブル浸漬	①を鉄コーティングし、播種前にネバブルくん液に20℃で1日間浸漬	①を鉄コーティングし、播種前にネバブルくん液に15℃で1日間浸漬	①を鉄コーティングし、播種前にネバブルくん液に15℃で1日間浸漬
⑤鉄コ時ネバブル粉衣	鉄コーティング時に種子重量の0.5%量のネバブルくん粉末を同時混和	鉄コーティング時に種子重量の0.5%量のネバブルくん粉末を同時混和	鉄コーティング時に種子重量の0.5%量のネバブルくん粉末を同時混和
⑥水処理	①を鉄コーティングし、播種前に蒸留水に20℃で1日間浸漬		

ネバブルくん液：ネバブルくん250倍希釈液，鉄コーティング比：種子重量の0.5倍量

4-4 圃場試験

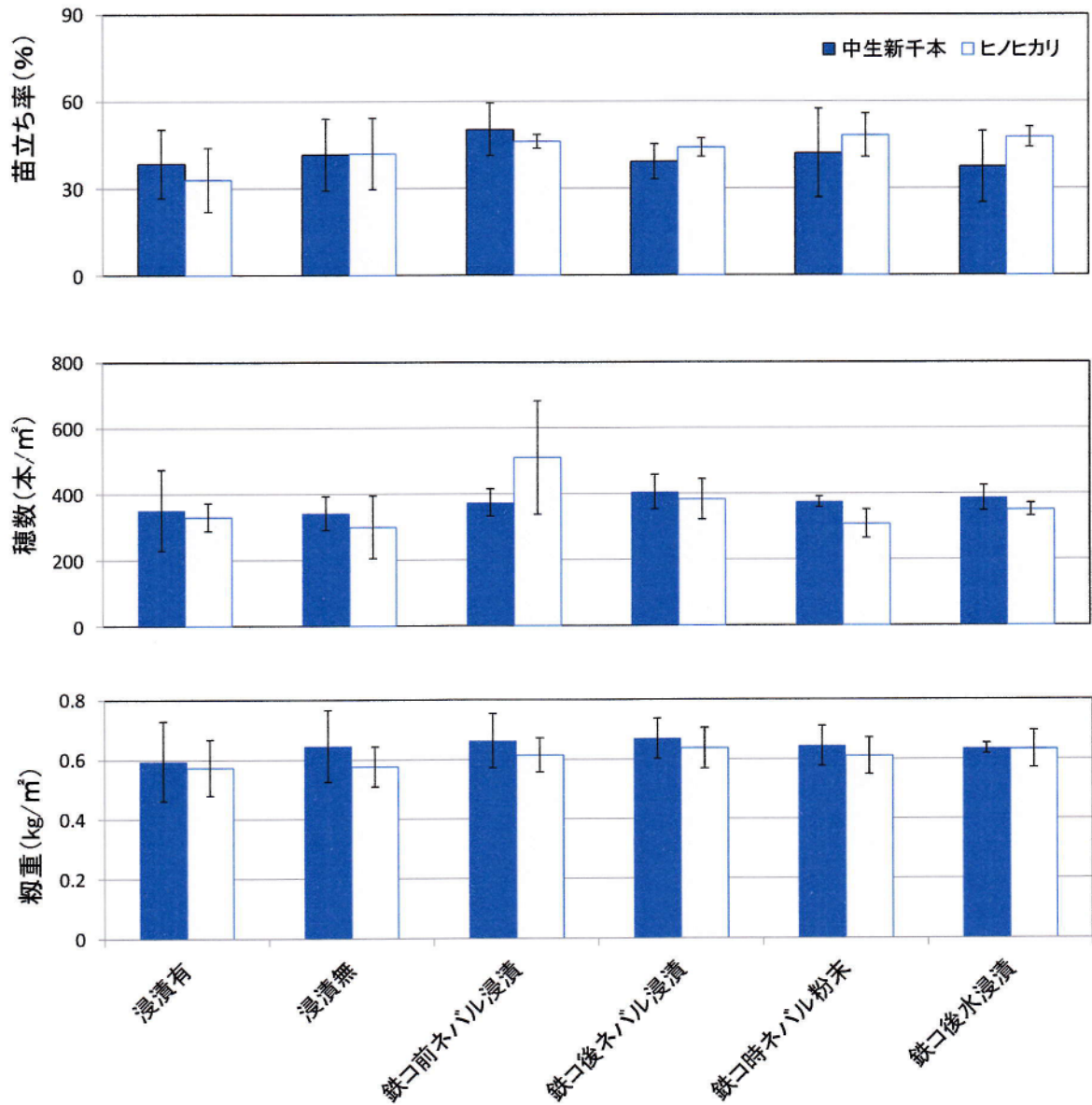
材料および方法

県立広島大学研究水田に 2.1m×1.5m (3.15 m²) の区画を設けた。2011年6月7日、周囲 0.1m 分を除いた 2.47 m²内に、1区画 300粒ずつ、3反復で散播した。3週間後の苗立ちを調査した。成熟期に穂数および収量を調査した。

結果および考察

圃場試験における苗立ち率、穂数、籾重を図 4-2 に示す。苗立ち率は 50%未満のものが多くなり、低い結果となった。ネバルくんで処理を行うと若干ではあるが苗立ちが上がるものもあったが、品種間で最適な処理方法は違った。穂数は処理間および品種間で差がみられた。しかし、収量を比較してみると処理間および品種間での差はみられなくなった。

圃場試験においては、ネバルくんの効果はみられなかった。圃場における微生物がネバルくんの効果を低下させた可能性が考えられる。



図中のエラーバーは標準偏差を示す

図 4-2 ネバルくん処理をした鉄コーティング種子を用いた圃場試験における苗立ち率、穂数および籾重

4-5 シャーレ発芽試験

材料および方法

2010年産の中生新千本およびヒノヒカリを供試し、シャーレ発芽試験を行った。種子の処理方法（表4-2）および温度（25℃、15℃）を変え、種子の発芽特性を検討した。

結果および考察

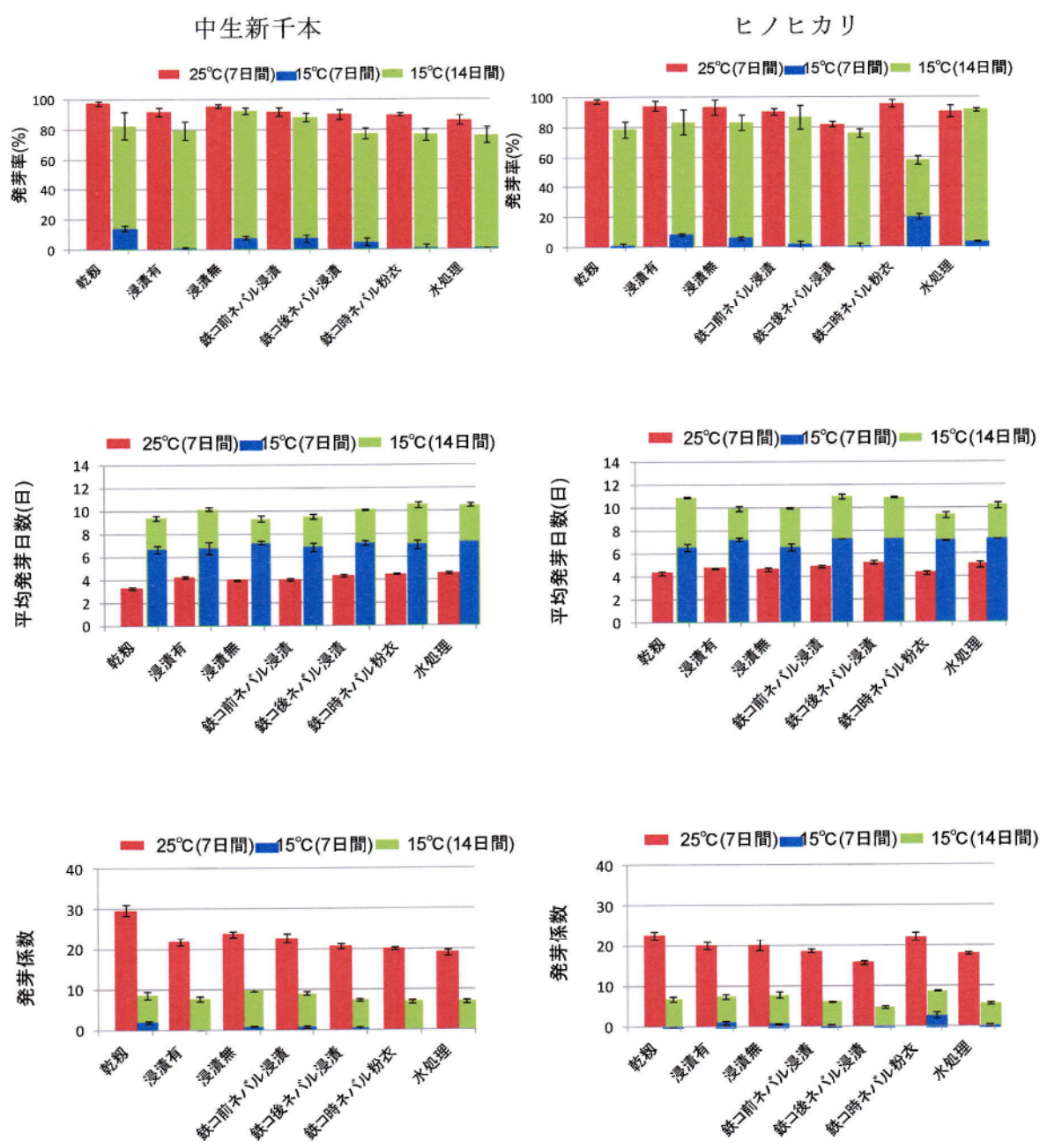
鉄コーティングによって、発芽が低下する傾向がみられた（図4-3）。15℃の低温でネバルくん処理をしたものを比較すると、中生新千本では鉄コーティングの前にネバルくん液に浸漬をしたもの、ヒノヒカリでは鉄コーティング時に粉末を同時混和したものの値が高くなり、これらの処理方法が低温での発芽遅延対策に期待ができると考えた。

中生新千本について、催芽の有無で比較をすると、催芽をしない方が値が高くなっていた。

平均発芽日数は温度での差は明確になったものの、処理間では差はみられなかった。ヒノヒカリにおいて、15℃7日間で鉄コーティング時にネバルくんの粉末を入れたものの発芽係数が高くなったことから、低温下においてはこの処理方法で発芽が良くなることが期待できると考えた。

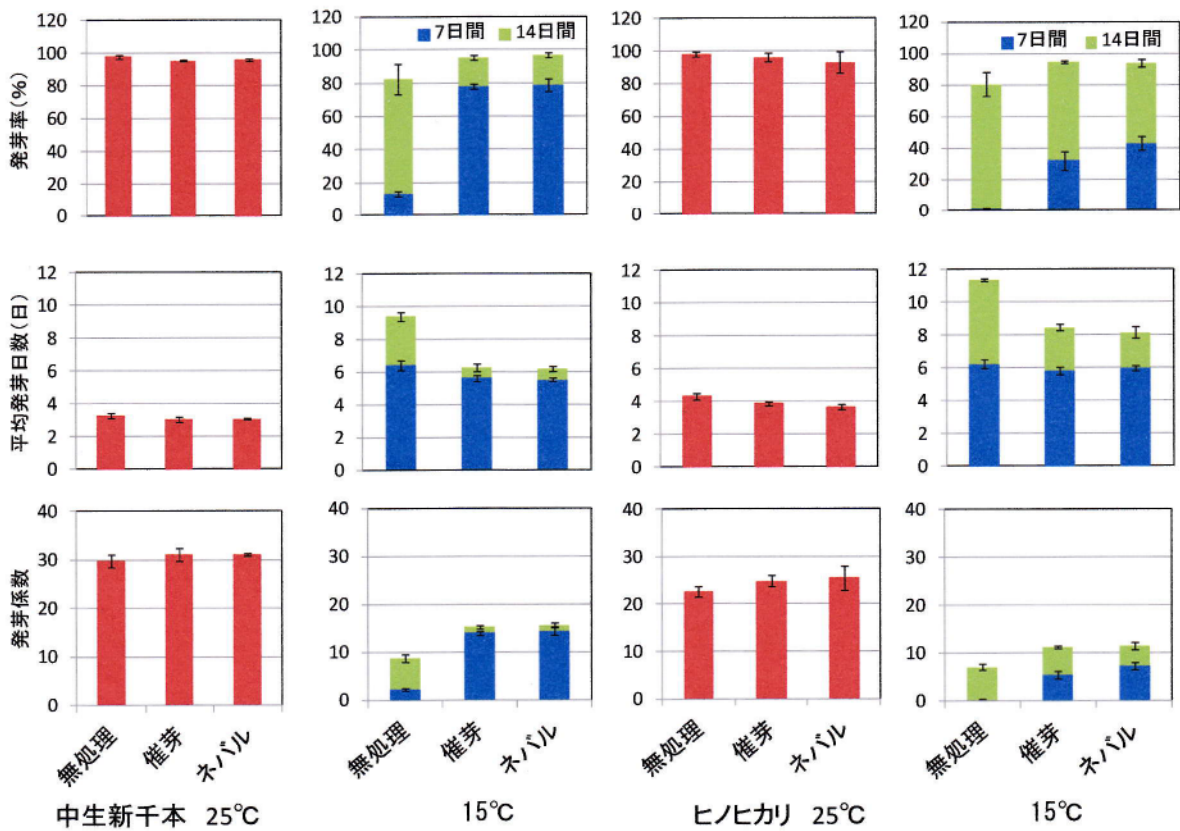
鉄コーティングなしで、無処理（乾粃）と催芽（蒸留水に20℃2日間浸漬）、ネバル（ネバルくん浸漬）を比較したものを図4-4に示す。25℃の発芽試験では水およびネバルくんによる浸漬の効果はみられず、乾粃と同等の発芽係数を示した。15℃の発芽試験では、7日目までの発芽では浸漬による効果は大きくみられた。浸漬の比較では、水浸漬およびネバルくん浸漬には差異はみられなかった。

発芽試験における発芽係数と圃場における苗立ち率の結果を表4-3に示す。圃場における苗立ち率が高い処理条件での発芽係数は高い傾向を明らかにした。コシヒカリにおいては鉄コーティング前にネバルくんに浸漬をしたものの苗立ち率および発芽係数は高くなり、ヒノヒカリにおいてはネバルくんの粉末を鉄コーティング時に同時混和したものの値が高くなった。品種によりネバルくんの感受性は異なると考えられ、最適処理は品種間で異なると考えられる。



図中のエラーバーは標準偏差を示す

図 4-3 各ネバルくん処理間における発芽試験の発芽係数、平均発芽日数、発芽係数



図中のエラーバーは標準偏差を示す

図 4-4 鉄コーティングなし種子におけるネバルくん処理が種子の発芽に与える影響

表 4-3 発芽試験および圃場試験の結果

品種	鉄コ	処理	発芽試験						圃場試験 苗立ち率 (%)	
			25°C(7日間)			15°C(7日間)				
			発芽率 (%)	平均発芽 日数(日)	発芽係数*	発芽勢**	発芽率 (%)	平均発芽 日数(日)		発芽係数
中생新千本	無	乾籾	95.3	3.3	28.7	63.5	21.8	6.3	3.5	
	有	浸漬 有	88.4	4.3	20.8	14.9	4.4	6.5	0.8	38.5
		浸漬 無	94.3	4.0	23.6	24.4	10.4	6.8	1.5	41.6
		鉄コ前 ネバル	92.6	4.1	22.6	22.4	14.5	6.6	2.2	50.3
		鉄コ後 ネバル	89.5	4.4	20.4	8.8	6.0	6.9	0.9	39.2
		ネバル 粉末	87.3	4.5	19.2	8.3	2.9	6.7	0.6	42.1
		水処理	87.5	4.5	19.4	6.3	2.8	7.0	0.6	37.4
ヒノヒカリ	無	乾籾	97.0	4.4	22.3	17.3	4.8	6.4	0.7	
	有	浸漬 有	94.1	4.7	20.0	4.0	5.6	7.0	0.8	32.9
		浸漬 無	93.9	4.5	20.7	11.8	6.4	6.5	1.0	41.9
		鉄コ前 ネバル	92.1	4.9	19.0	3.6	1.8	6.9	0.3	46.2
		鉄コ後 ネバル	82.9	5.2	16.0	1.0	0.3	7.0	0.1	44.1
		ネバル 粉末	97.0	4.3	22.4	10.4	13.1	6.9	1.9	48.3
		水処理	89.9	4.9	18.2	3.1	1.8	7.0	0.4	47.7

*発芽率を平均発芽日数で割ったもの。値が高いと発芽率が良く、早く発芽する。

**3日目までの発芽率で算出したもの。

4-6 播種深度を変えた土中出芽試験

材料および方法

プラントボックスに風乾した水田土壌を 25 mm 入れ、供試する種子を鉄コーティングの有無、活性化の違い、ネバルくん処理の違いで条件を変え、20 粒播種した。播種深度を変えるため同じ土壌を 0、10、20 mm と変えて覆土し、常に土壌から 10 mm の高さまで湛水状態にした。20℃の人工気象器で栽培した。

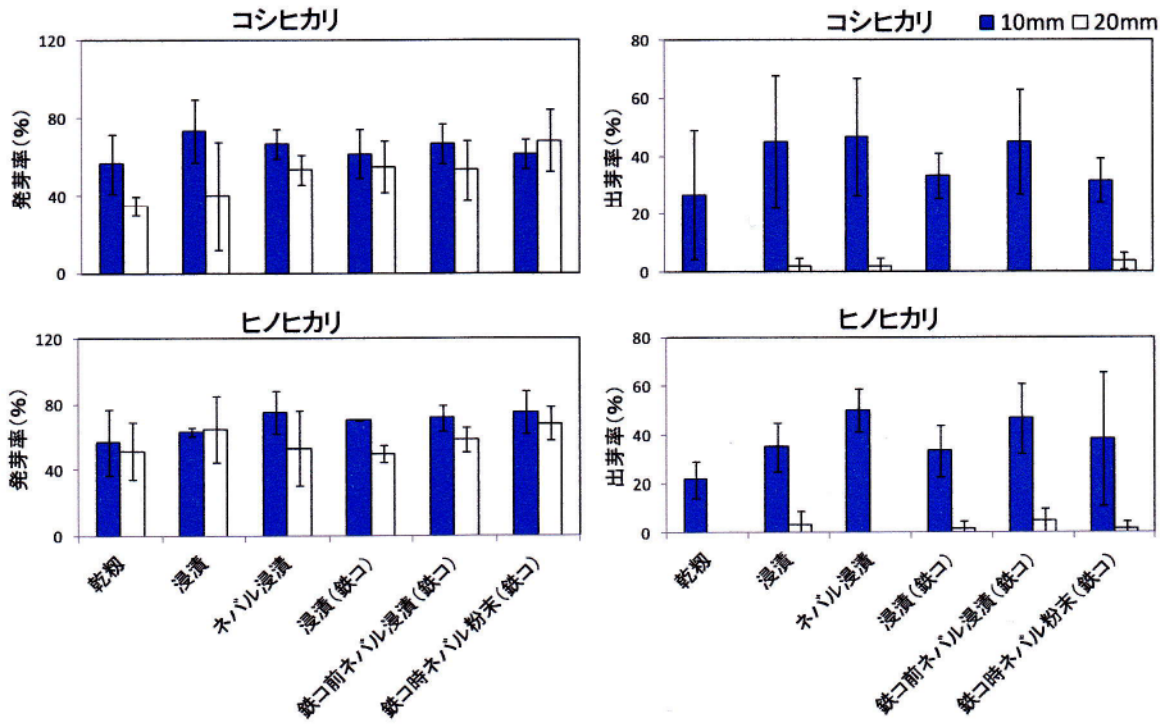
低酸素条件下における、品種および種子の処理の違い、播種深度について出芽試験を行った。14 日間観察し、出芽率および平均出芽日数から出芽係数を算出し、種子の土中出芽性を検討した。また、14 日後における芽および根の伸長を計測した。

結果および考察

土中試験を行う前にシャーレにおいて 25 および 20℃で発芽の確認を行った。両品種とも 20℃での発芽は 25℃と同等の発芽率を確認した。シャーレでは発芽したのに対し、土中深く 20mm 程度埋めるとほとんど出芽を確認することができなかったが、土中では発芽をしていることを確認することができた (図 4-5)。

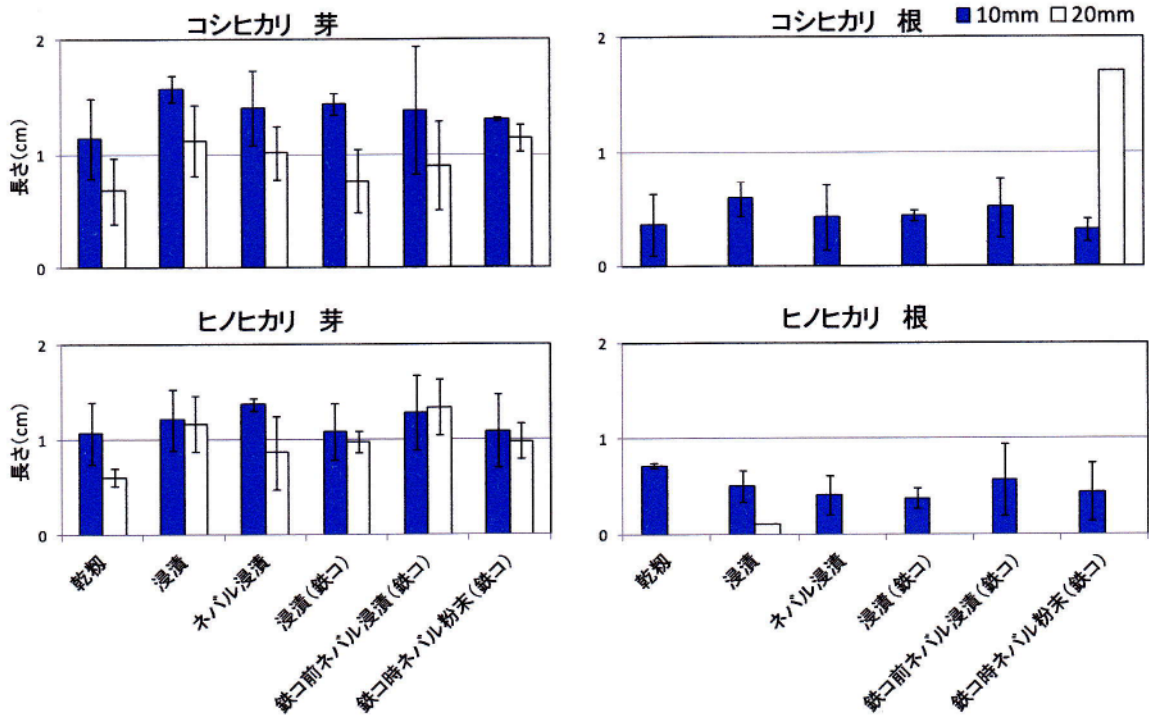
鉄コーティング種子の中では、鉄コーティングする前に種子をネバルくんの液に浸漬をした区が、本実験では一番出芽率がよかった。

芽および根の伸長は、処理間および品種間では差異はみられなかった (図 4-6)。根は播種深度 20mm では伸長をしておらず、確認がほとんどできなかった。



図中のエラーバーは標準偏差を示す

図 4-5 播種深度を変えた場合の土壌中での発芽率および出芽率



コシヒカリおよびヒノヒカリにおける芽伸長

コシヒカリおよびヒノヒカリにおける根伸長

図中のエラーバーは標準偏差を示す

図 4-6 播種深度を変えた土中出芽試験における 14 日後の芽および根の長さ

4-7 育苗マットを用いた初期生育の検討試験

材料および方法

育苗箱に育苗用マット（水稻育苗用成型培地 エースマット：日本ロックウール株式会社）を敷き、供試した種子を播き、鹿沼土を 15mm 覆土した。吸水させ、20℃の人工気象室で栽培した。

毎日苗立ち数をカウントし、3週間後草丈を計測した。また、草丈が中庸な3サンプルを取り、根をクリスタルバイオレット染色液で染色し、根張りの効果を検討した。

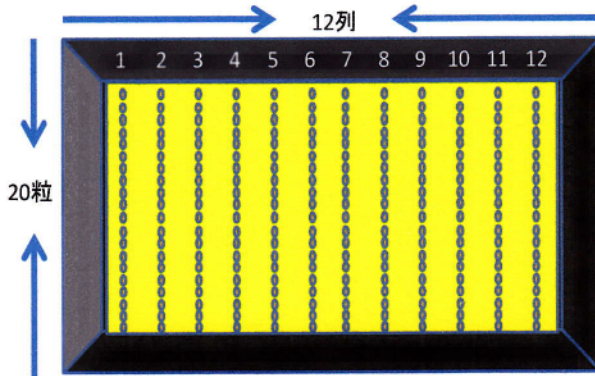


図 4-7 育苗マットを用いた初期生育試験の播種模式図

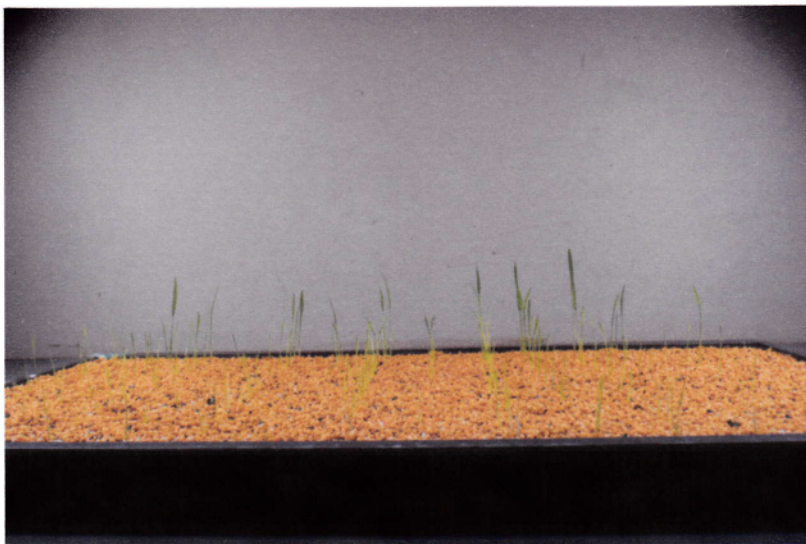


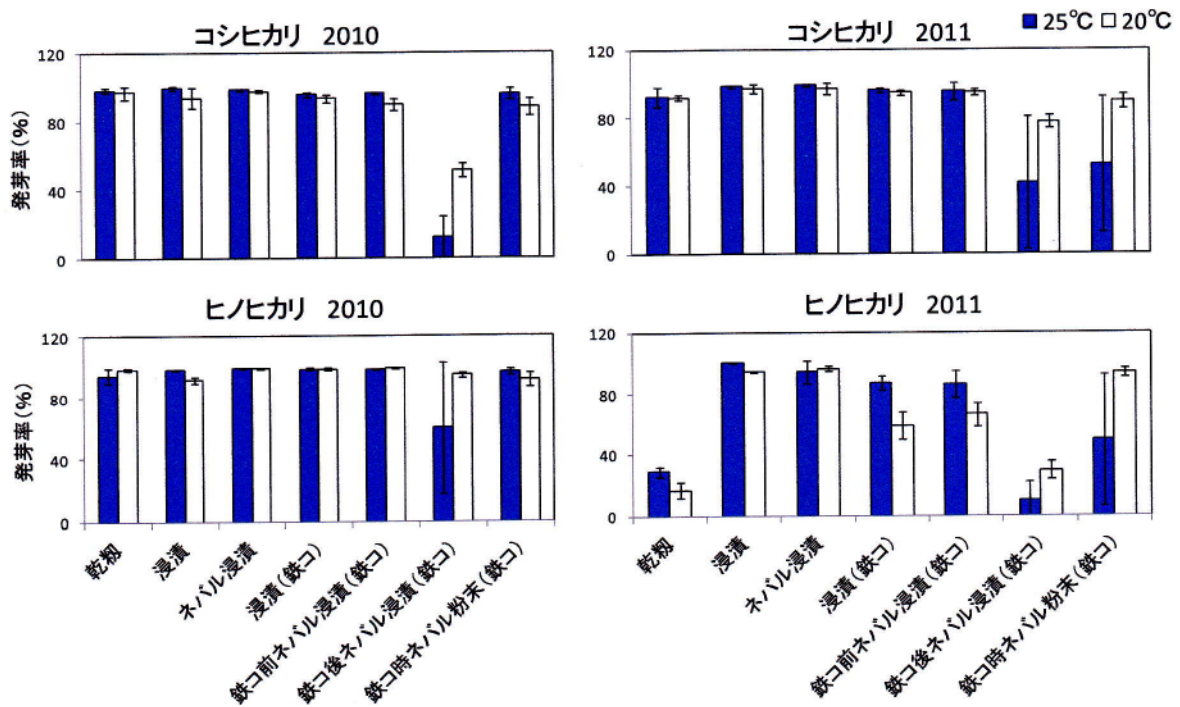
図 4-8 育苗マットを用いた初期生育試験における 14 日後の苗立ちの様子

結果および考察

出芽試験の前に種子のシャーレ発芽試験により発芽の確認を行った。両品種において、パラツキは大きいですが、鉄コーティングの後にネバルくん液に浸漬をしたものの発芽が、25℃で悪くなった(図4-9)。2011年のヒノヒカリにおいて、乾粒は発芽率が悪いが、浸漬またはネバルくん処理を行うと発芽がよくなる傾向があった。

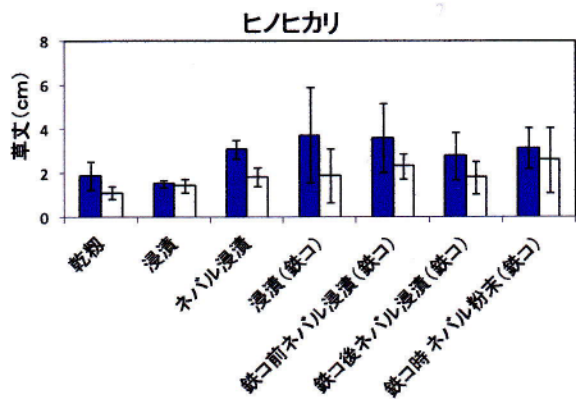
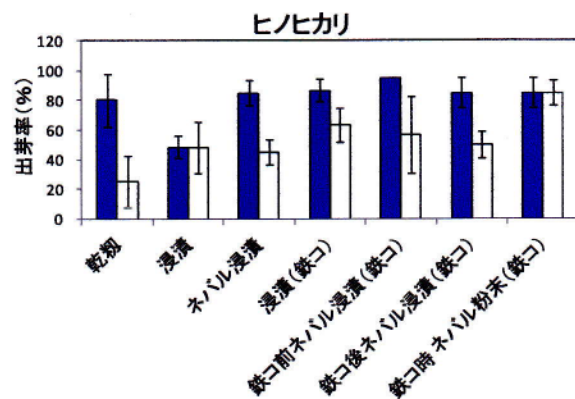
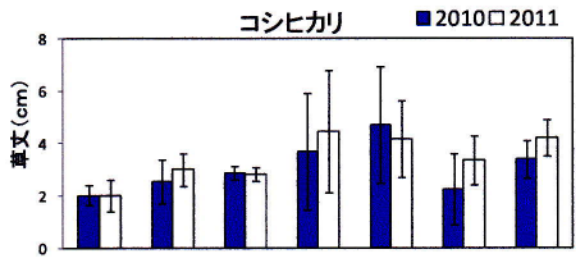
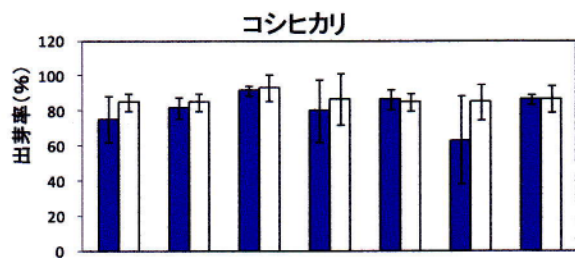
出芽率において品種間での比較では、ヒノヒカリの出芽が悪くなった(図4-10)。ヒノヒカリは、年次間差異がみられた。草丈は、コシヒカリのほうが長い傾向がみられた。

クリスタルバイオレットを用い根を染色してみると、ネバルくん処理を行うと根毛の発達が良くなる傾向がみられることが明らかになった(図4-11、12)。ネバルくん処理を行うと地下部に栄養が行き、地上部の生長を抑制することも考えられるので、検討が必要であると考え。



図中のエラーバーは標準偏差を示す

図4-9 育苗マットを用いた初期生育試験前に行ったシャーレ発芽試験における発芽率



コシヒカリおよびヒノヒカリにおける出芽率

コシヒカリおよびヒノヒカリにおける草丈

図中のエラーバーは標準偏差を示す

図 4-10 育苗マットを用いた初期生育試験における 14 日後の出芽率および草丈

図4-11 クリスタルバイオレット染色液で染色した根の比較（鉄コーティングなし）

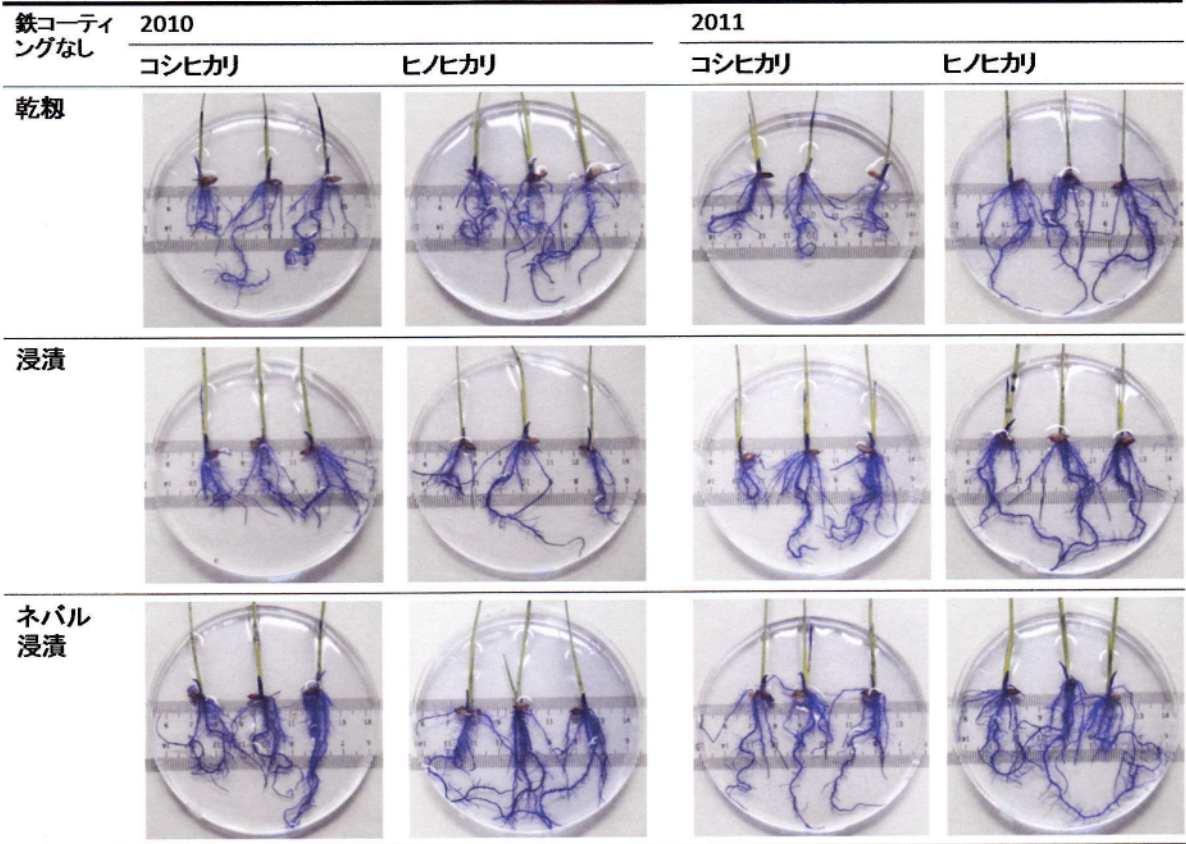
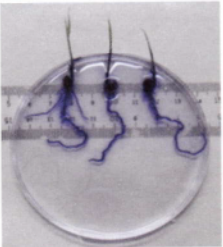
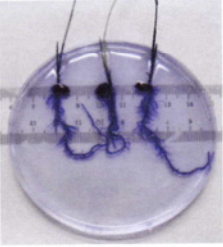
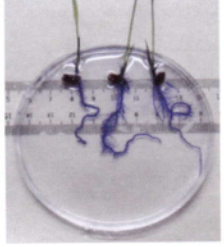
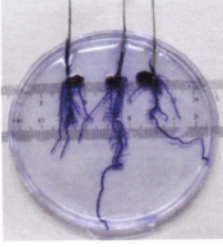
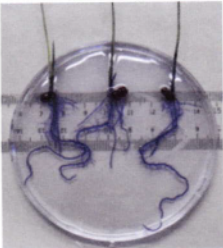
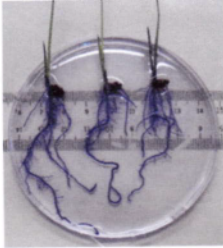
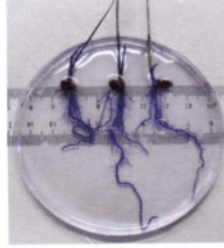
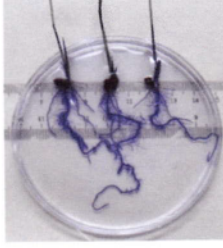
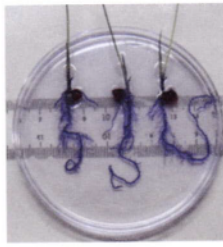
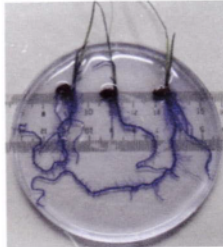
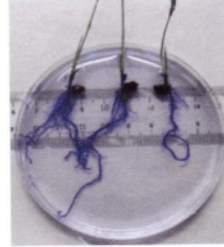
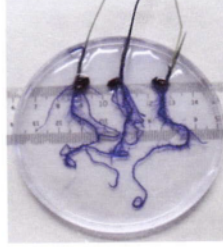

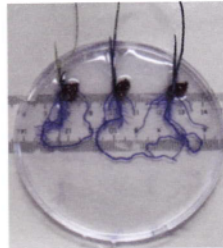
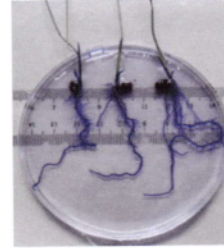
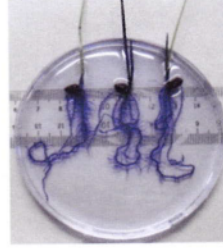


図4-12 クリスタルバイオレット染色液で染色した根の比較（鉄コーティング）

鉄コーティング	2010		2011	
	コシヒカリ	ヒノヒカリ	コシヒカリ	ヒノヒカリ
浸漬				
鉄コ前 ネバル 浸漬				
鉄コ後 ネバル 浸漬				
鉄コ時 ネバル 粉末				

4-8 秋田県農家における調査

供試品種

あきたこまち

種子処理方法：

- (1) 鉄コーティング種子
- (2) 鉄コーティング後にネバルくん（粉剤）を種子重量の 0.3%量粉衣させたものを使用した。

圃場：

圃場は 1 区画(20m×100m)の広さで圃場の種子処理は以下のように行った（図 4-11）。

- ①鉄コーティング種子播種圃場（化学肥料）1 区画
- ②鉄コーティング種子播種圃場（有機肥料）1 区画
- ③鉄コーティング後ネバルくん（粉剤）を粉衣させた種子播種圃場（有機肥料）2 区画

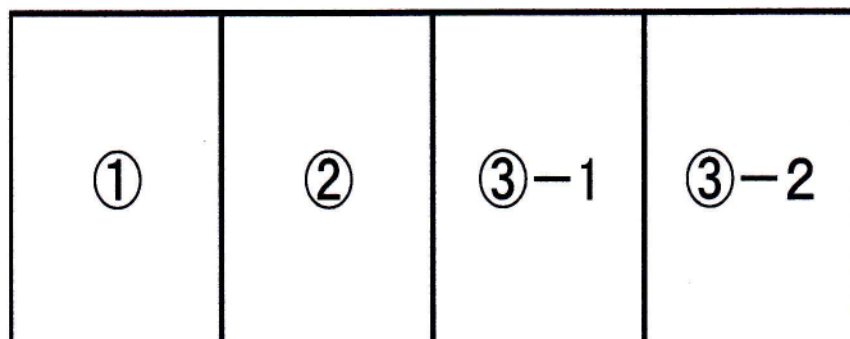


図 4-13 秋田県農家における圃場配置図

材料および方法

秋田県横手市内の水田にて鉄コーティング種子播種圃場(化学肥料・有機肥料)各 1 区画は 6 月 17 日に播種を行い、鉄コーティング後ネバルくん（粉剤）を粉衣させ種子播種（有機肥料）2 区画は 6 月 18 日に播種を行った。播種は点播で行った。また中干しは行わず、播種後湛水状態にし、水の出入りを止め、自然落水となる形にした。圃場面積は 1 区画当たり 20m×100mで行った。

調査項目

①有効茎決定期での調査(調査日：2012.7.18)

鉄コーティング種子播種水田(有機肥料)1区画と、コーティング後ネバルくん(粉剤)を粉衣させた種子播種圃場(有機肥料)1区画から1株ずつ採取したのを使い、全重(生重と乾物重量)を計測した。各処理区画から採取した1株から中庸な長さのイネ(葉を含む茎)を5本ずつ取りサンプル①～⑤とした。このサンプルは、根(地下部)と茎葉部分(地上部)に分け、それぞれの茎1本当たりの重量(生重と乾物重量)と地下部の根の長さ、根の本数を計測した。

また、各区画からランダムにGM値30カ所、草丈10カ所、分けつ数10カ所も調査した。

②成熟期での調査(調査日：2012.9.21)

1区画の水田からランダムに3カ所を選び、株として採取できるものが2m間隔の間にいくつあるか、また2m間隔内の籾重量を調査した。その後、1株当たりの茎数、籾重量を計測した。また、1穂当たりの籾数も計測した。各区画での収穫された株の1000粒重(乾籾・玄米)、茎基部10cmの10本の重量、粒形(長さ・幅・厚み)を測定した。

また1区画から3株をランダムに採取し、根際から2cmの所で切り取った根の重量と地上部の重量を計測した。

結果および考察

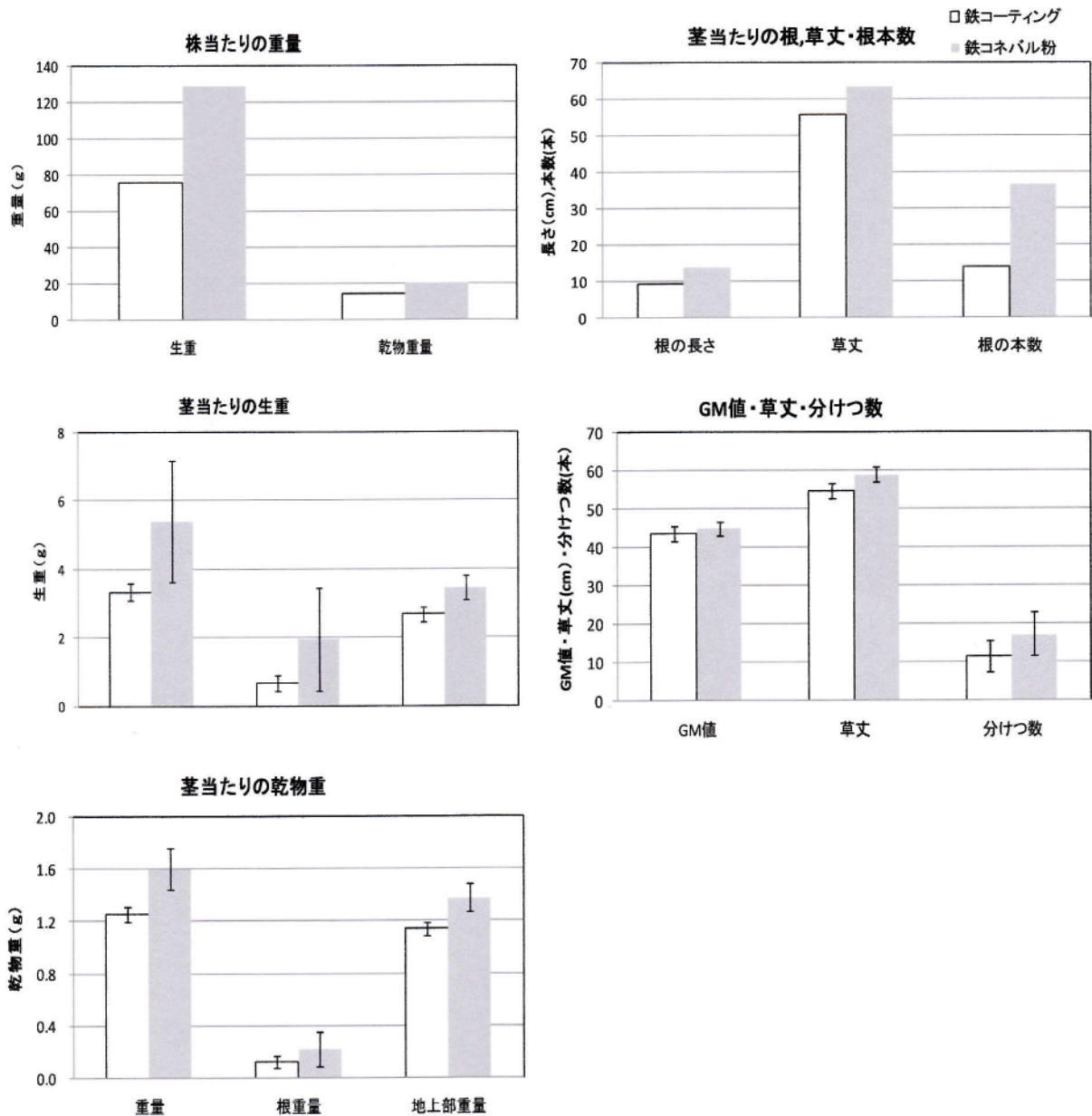
①有効茎決定期における調査から

茎1本当たりの生重、乾物重とも鉄コーティング後ネバルくん(粉剤)粉衣させた処理区画で重量が重い結果となった。乾物重量で比較すると、根の重量が処理区間で最も差があるという結果となった(図4-12)。

また、茎1本当たりの根の長さ、草丈、根の本数においてすべての項目で、ネバルくん処理を行ったものが数値が上がるという結果が得られた。中でも根の本数が対照区である鉄コーティング区より、ネバルくん処理をしたものが最も差がみられた。根の本数が増加したことはネバルくんの効果が表れたと考えられる。

しかし、GM値は処理区間で大きな変化は見られず、ネバルくんは葉緑素含量に影響を与えないと考えられた。

全体的にばらつきが大きく、これから反復数が少なかったため、反復数を増やすことや実験の調査方法を確立するなどの検討が必要と考えられる。



図中のエラーバーは標準偏差を示す

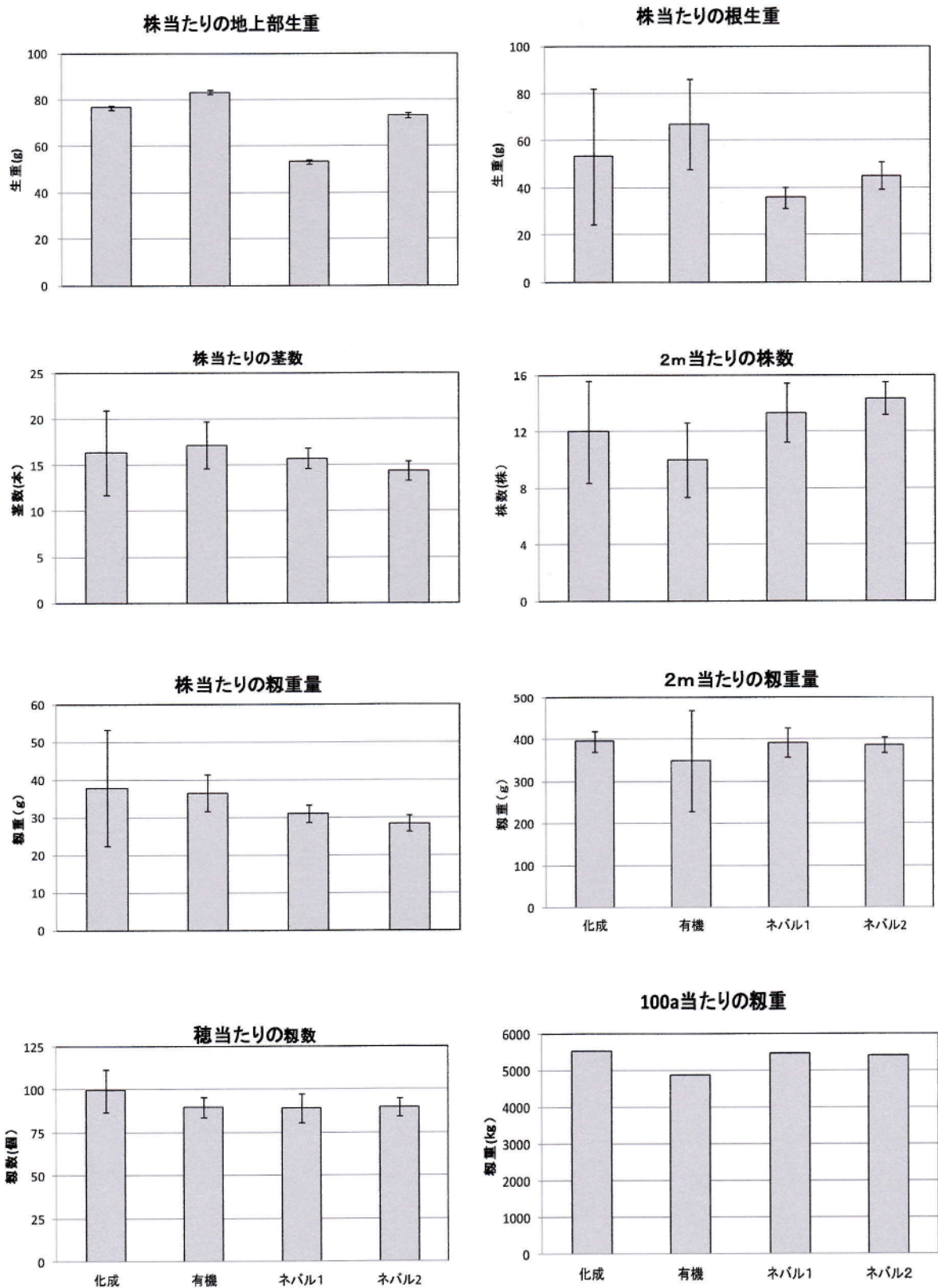
図 4-14 有効茎決定期での株当たりのイネ重量および茎当たりの生重、乾物重、根長・草丈・根本数、GM 値・草丈・分けつ数 (調査日: 2012.7.18)

②成熟期における調査から

株当たりの地上部と根の重量については、鉄コーティング後にネバルくん(粉剤)の処理を行った区が鉄コーティング区(化学肥料、有機肥料)の2区画より低いという結果となった(図4-13)。地上部、根の重量はどちらも化学肥料を与えた鉄コーティング種子の区画が最も高い値を示した。根については総根長を調査することや、解析ソフトを使用するなどさらに詳しく調べる必要があると考えられる。

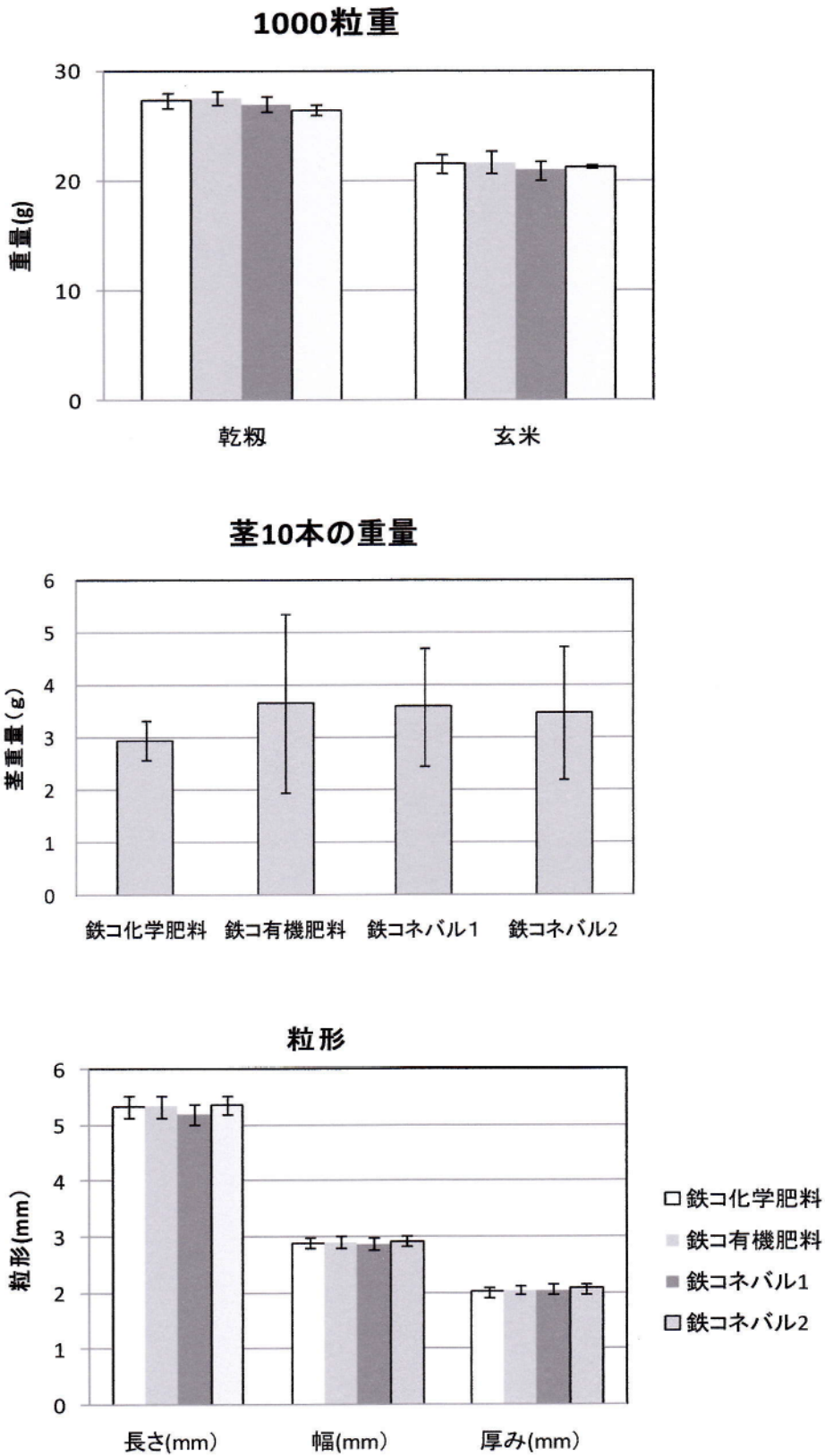
株当たりの茎数、籾重量においては、前述の生重と同様鉄コーティング後にネバルくん(粉剤)の処理を行った区が鉄コーティング区(化学肥料、有機肥料)の2区画より低い値を示す結果となった。しかし、2m間隔内の株数と籾重量はネバルくん(粉剤)の処理を行った区画が高い値を示した。2m当たりの籾重量は対照区である鉄コーティング(有機肥料)区よりネバルくん処理を行ったものの方がわずかではあるが、高い値を示し、収量の違いが確認できた。穂当たりの籾数も各処理区画内で差は見られなかった。

1000粒重(乾籾、玄米)や、粒形(長さ、幅、厚み)についても各処理区画では差は見られず品質は変わらないものとなった(図4-14)。



図中のエラーバーは標準偏差を示す

図 4-15 成熟期での株・面積当たりのイネ生育、収量 (調査日: 2012.9.21)



図中のエラーバーは標準偏差を示す

図 4-16 収穫後粳 1000 粒重、茎 10 本の重量、粒形 (調査日 : 2012.9.21)

第5章 浸種催芽処理が鉄コーティング種子の発芽に与える影響についての検討

5-1 目的

鉄コーティング直播栽培においては、出芽・苗立ちに時間がかかる場合が多いため、鉄コーティング種子製造前に浸種催芽処理（活性化処理）を行う。活性化処理は種子の発芽の過程における発芽準備期間を短縮する目的で実施されているが、最適な浸種処理条件は未解明である。本研究では、最適な処理条件を解明する目的で北海道および本州の奨励品種や島根県の品種を用い、異なる浸種処理条件下で発芽試験を行った。

5-2 供試品種

供試品種を表 5-1 および表 5-2 に示す。

表 5-1 供試品種における収穫年度および産地（実験 I）

品種名	コシヒカリ	ヒノヒカリ	大地の星	ほしまる	ほしのゆめ	ゆめびりか	ななつぼし
産地(収穫年度)	広島県三次市(2010)			北海道(2010)			
産地(収穫年度)	県立広島大学(2011)			県立広島大学(2011)			

表 5-2 供試品種における収穫年度および産地（実験 II）

品種名	コシヒカリ	ヒノヒカリ	大地の星	ゆめびりか	ほしまる	みほひかり
産地(収穫年度)	広島県三次市(2011)			北海道(2011)		島根県(2011)

5-3 浸種処理の方法

実験 I

供試する 7 品種の乾粒に表 5-3 表のように異なる浸種処理を行った。この試験は、鉄コーティングは行っていない。

実験 II

供試する 6 品種の乾粒に表 5-4 のように処理を行った。浸種処理後、鉄コーティング比 0.5 で種子をコーティングした。

表 5-3
7 品種の浸種処理条件（実験 I）

温度(°C)	時間(日)
10	3
10	4
15	3
20	3

表 5-4
6 品種の浸種処理条件（実験 II）

	温度(°C)	時間(日)
一定	13	6
	20	3
変温	20°C 1日→10°C 3日	
	24°C 1日→12°C 3日	

5-4 シャーレ発芽試験

方法

供試する種子を100粒ずつシャーレに置床し、温度を変えたインキュベータ内（実験Ⅰでは15・20・25℃、実験Ⅱでは15・25℃）で発芽試験を行った。実験Ⅰにおいては、2012年1月～2月中に各温度で7日間の発芽試験を行った。また、実験Ⅱにおいては、2012年11月～12月中に試験した。25℃は7日間、15℃では14日間試験を行った。試験終了後、発芽係数を算出した。

結果および考察

実験Ⅰ

2010年産種子を使った発芽試験において、25℃ではコシヒカリおよびヒノヒカリで浸種の効果が大きくみられた（図5-1）。北海道の品種については乾粒で発芽係数が大きく、浸種の効果は小さかった。また、15℃において、コシヒカリおよびヒノヒカリは発芽係数が小さく浸種の効果は認められるが顕著ではなかったのに対し、北海道の品種では発芽係数が大きく浸種処理の効果が大きくみられた。北海道の品種は本州の品種に比べて低温条件下での発芽が優れており、15℃で浸種処理の効果が発現したと考えられる。2011年産種子を用いた試験では、浸種の効果はみられず、休眠性の影響が考えられた。

実験Ⅱ

浸種乾燥処理の効果について処理間を比較すると、本州の主要品種であるコシヒカリやヒノヒカリでは20℃3日間あるいは13℃6日間の浸漬が、無コーティングの25℃および15℃で最も有効で、20℃1日後10℃3日間および24℃日後12℃3日間浸種を行う変温処理では効果が小さかった（図5-2）。鉄コーティング処理を行なうと、15℃のヒノヒカリ以外では、効果は減少した。北海道および島根県の品種については、浸種の効果は小さく、またばらついた。

一方で、北海道3および島根県1品種については、浸種処理の効果は認められなかった。また、鉄コーティング処理により全ての品種で発芽係数は低下した。

15℃の低温条件下では、コシヒカリ、ヒノヒカリで浸種の効果が大きくみられ、また、みほひかりでも効果が認められた。鉄コーティングをすることで、全ての品種で発芽係数は低下した。ヒノヒカリで浸種の効果がみられたが、他の品種では、見られなかった。

浸種乾燥処理は発芽係数を高めることができるが、品種または種子源によっては発芽係数を高めないことを示している。本州の主要品種であるヒノヒカリとコシヒカリについては浸種乾燥処理効果は安定的に認められるが、北海道の3品種と島根県の1品種については安定的には認められない。

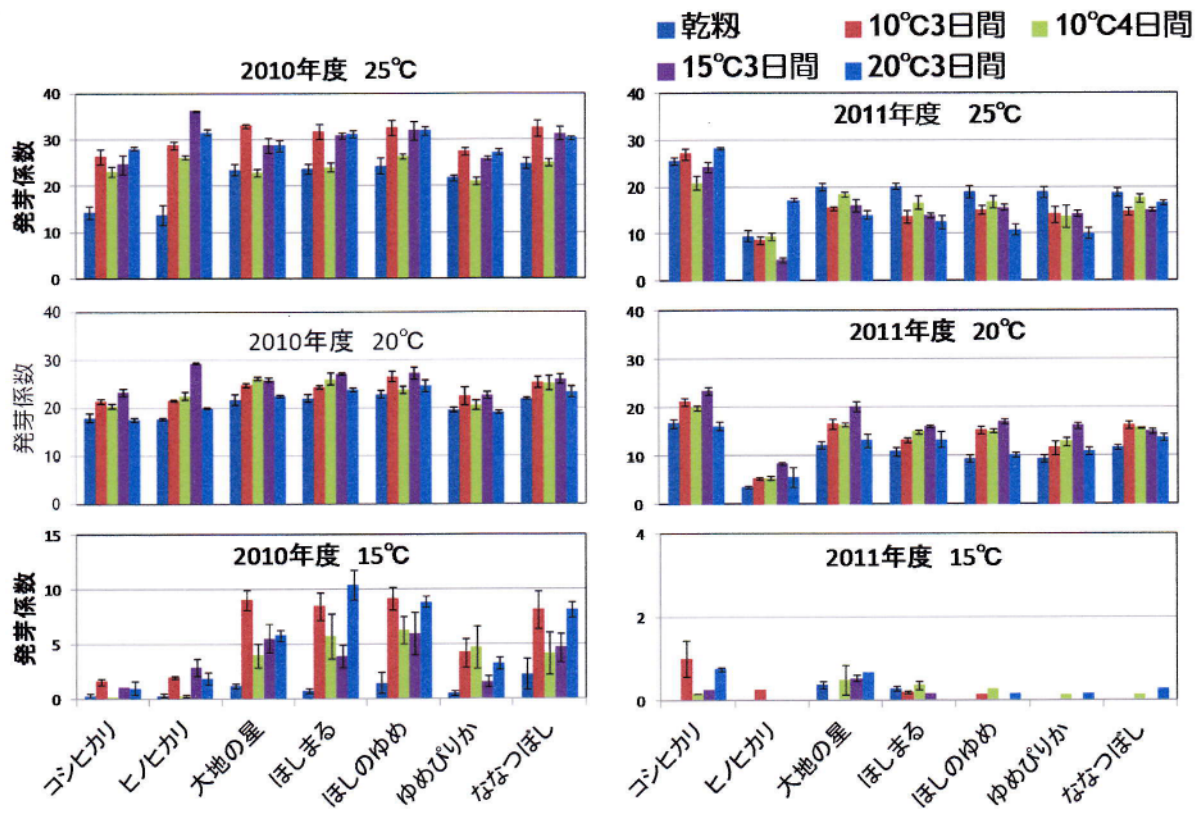
本研究においては、50℃高温処理のような特別の休眠打破処理を行わなかったが、用い

た種子の発芽率はすべて90%以上であり、強い休眠状態ではない。しかし、種籾の栽培環境が異なり微弱ではあるが休眠程度も異なっている可能性があり、そのことが活性化の効果の程度に影響した可能性がある。李・田口(1969)は親植物に対する短日処理、種子登熟期間中の温度条件等が、次代種子の休眠性および低温発芽性に影響を及ぼし、その効果は品種により発芽調査温度により異なることを明らかにした。

野菜類で一般的であるプライミング処理は、人為的に種子を吸水および乾燥させることで種子の発芽勢を高め、均一な発芽を促進する技術である。高分子化合物や無機塩溶液を利用する処理法がある(堀田・猿山 2006; Farooq et al. 2010a, b, Farooq et al. 2011)。プライミング処理は種子内部で発芽に至る様々な生理的反応を起こすと考えられており、その種子は再度の吸水により発芽過程を速やかに再開させる(堀田・猿山 2006)。鉄コーティング種子の予措において用いられている浸種乾燥処理は活性化処理とも呼ばれているが、野菜において一般的に使われているプライミング処理と生理学的に類似している可能性が高い。安藤・小葉田(2002)は播種前のイネ種子を吸水・乾燥処理することにより酵素の活性が発芽直前の状態に保たれる結果、乾燥土壌における出芽が向上すると報告している。本論文は、湛水土壌における出芽の向上を目的にしているが、安藤・小葉田(2002)の報告と同一のメカニズムが想定される。

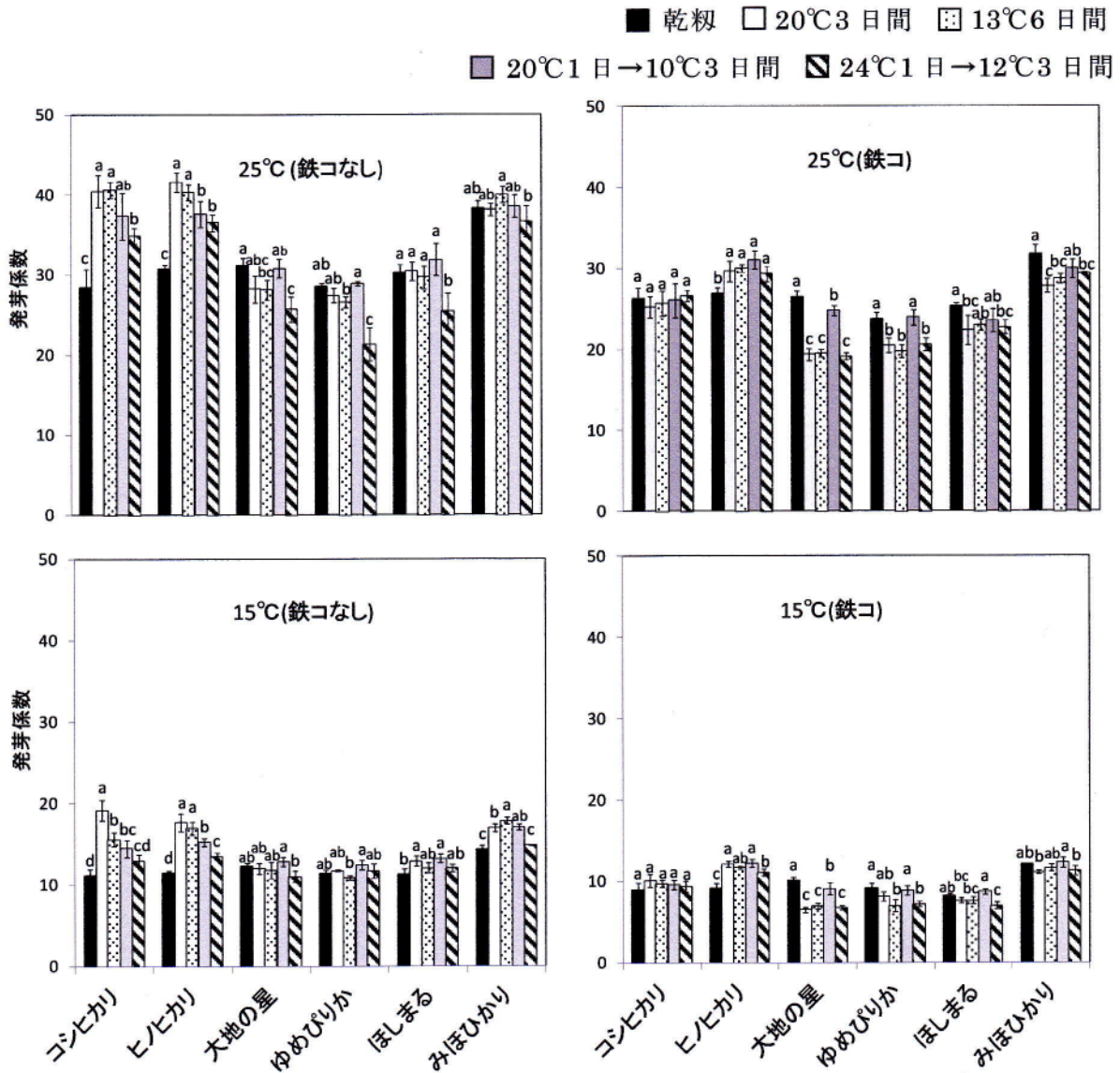
五百万石、こがねもちでは、貯蔵1から3年の種子を水温5℃で5日間浸漬すると発芽率が有意に低下するが、浸種1日目の水温を20℃に保ちその後4日間を5℃で処理した場合、10℃以上で5日間の浸種処理と同様の発芽率が確保できた(板谷越ら 2011)。低水温浸種で発芽率が低下しやすい種子の特性は、休眠が浅い品種や、長期貯蔵により休眠覚醒が進み発芽活性が低下した状態にある種子、休眠覚醒が不十分なため発芽活性が抑制された状態にある種子などのタイプがあると推察されている(北野ら 2010)。浸漬時の変温処理は、種子の休眠性覚醒に有効である可能性がある。

浸種処理すなわち活性化処理の効果は品種により差はあるが、低温長期の浸種以外ではマイナスの影響は認められないこと、また鉄コーティング比が大きいとそれだけ出芽が遅くなるので、実際の栽培に当たっては、広域播種など鳥害があまり考えられない場合は、0.2程度が好ましいことが示唆された。北海道では鉄コーティング比0.1を推奨している(佐々木・熊谷 2011)。種籾の性質に加え、さらにコーティング比や処理時の鉄の酸化熱の影響などもあるので、播種前に必ず鉄コーティング種子の予備的な発芽試験(20℃4~5日間)を行い、種子の発芽率を確認することを普及に当たり強調することが肝要である。



図中のエラーバーは標準偏差を示す

図 5-1 異なる収穫年度の種子における浸種温度および浸種時間の発芽係数に対する影響



図中のエラーバーは標準偏差、異文字間には5%水準で有意差があることを示す

図 5-2 浸種温度および浸種時間を変更した場合の発芽係数に与える影響

第6章 直播専用播種機による栽培試験

6-1 目的

これまで、鉄コーティング直播栽培における適性品種の特性や出芽・苗立ちの向上に向けた基礎的研究を行ってきた。近年では、機械メーカーが直播専用播種機を開発・販売するなど、非常に注目されている。そこで本実験では、鉄コーティング用直播機「鉄まきちゃん（4条）」（株式会社クボタ）を用い、コシヒカリを直播栽培し、実用化が可能であるか検討を行った。専用機では点播種を行うので、同水田に散播区と移植区を設け、栽培方法による違いも検討した。

6-2 材料

供試品種

2012年度県立広島大学産コシヒカリを供試した。

鉄コーティング種子製造

2013年4月30日株式会社中国クボタで種子の製造を行った（図6-1）。種子製造後、鉄コーティングの有無で発芽試験が行われた。30℃で1週間後の発芽率は、乾籾は97%、鉄コーティング種子においても97%と十分な発芽率であった。



図6-1 鉄コーティング製造の様子および発芽確認試験

6-3 方法

【播種準備】

播種1日前（2013年5月27日）、1mの高さからゴルフボールを落とし、水田土壌表面の硬さを確認した。土の硬さは、ゴルフボールが約半分埋まる程度が最適である（図6-2）。



図 6-2 圃場における土壌の硬さ確認の様子

【点播】

5月28日、県立広島大学研究水田において、株式会社中国クボタの協力で鉄コーティング用直播機「鉄まきちゃん（4条）」を用いて播種を行った（図6-3）。播種方法は点播で、1ヶ所に8～10粒落とすよう設定し、条間30cm、株間20cmで播種した。肥料は水稲一発肥料クボタコート1（N17-P14-K16-Mg1）を $30\text{g}/\text{m}^2$ 、除草剤はピラゾレート粒剤（サンバード粒剤）を $3\text{g}/\text{m}^2$ 鉄コーティング種子と同時にまくよう設定した。播種後は除草剤を効かせるため5日間湛水状態にし、その後は自然落水とした。播種から2週間後の6月11日、 1m^2 あたりの苗立ちをカウントした（図6-4）。イネが約1.5葉まで成長した6月12日再び湛水にし、2回目の除草剤をまいた。その後、7月9日には3度目の除草剤を散布した。7月16日から根を張らせるため、中干しを行った。8月13日に出穂し、30日後の9月12日に押し倒し抵抗値を調査した。押し倒し抵抗値は、根際から10cmのところデジタルフォースゲージ（IMADA）を押し当て、水稲が45度に傾いた時点での値を測定した（図6-5）。成熟期にイネを刈り取り、収量を調査した。また、刈り取り後根張りを調査するため、水田から根のサンプルを採取し、乾物重を測定した。

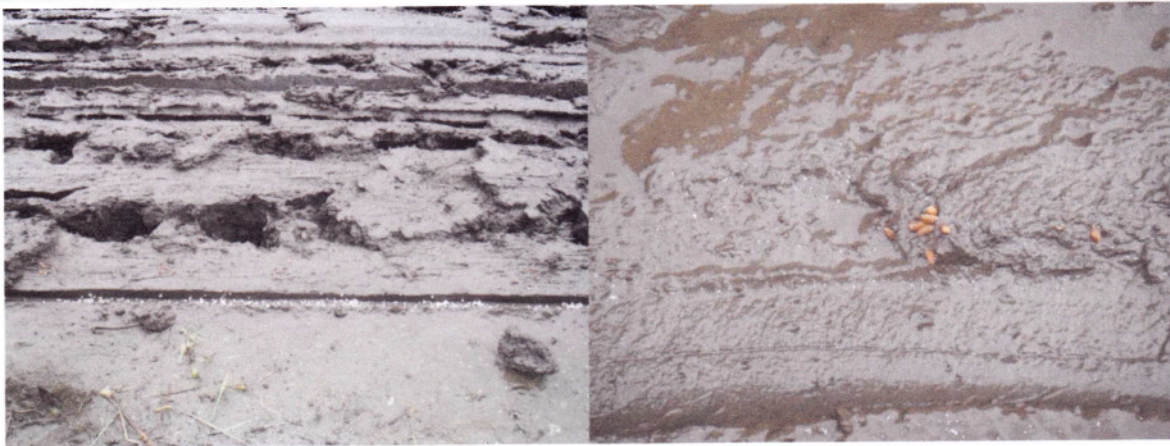


図 6-3 鉄まきちゃんを用いた播種の様子



図 6-4 苗立ちカウント（点播）および苗立ちの様子



図 6-5 押し倒し抵抗値測定の様子

【散播】

点播と同日の5月28日、15 m²および7.5 m²の区画を設け、鉄コーティング種子を散播した。播種量は、7g/m²とした。また、除草剤はピラゾレート粒剤（サンバード粒剤）を3g/m²、水稲一発肥料クボタコート1（N17-P14-K16-Mg1）を30g/m²まいた。播種後は点播区と同様の管理を行った。6月11日には0.25/m²内の苗立ちをカウントした（図6-6）。栽培は点播と同様の管理を行い、出穂30日後の9月12および13日に押し倒し抵抗値を測定した。その後成熟期に収穫し、収量を調査した。刈り取り後、根のサンプルを採取した。

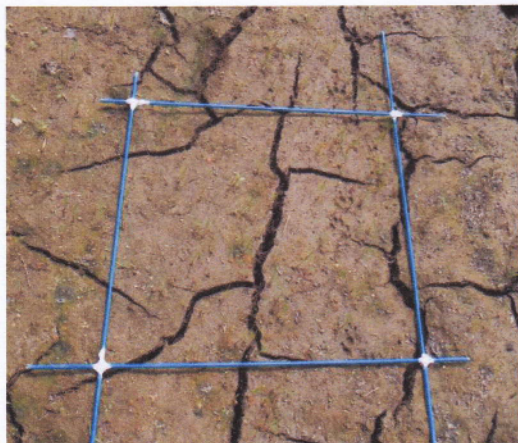


図 6-6 苗立ちカウントの様子（散播）

【移植】

5月31日に播種し、育苗した後6月18日、6.21 m²内のおよび8.55 m²の区画内に条間30 cm、株間15 cmで水田に移植した。水田の管理は直播栽培区と同様に行った。出穂30日後の9月16日には、押し倒し抵抗値の測定を行った。成熟期に収量を調査し、根のサンプルを採取した。

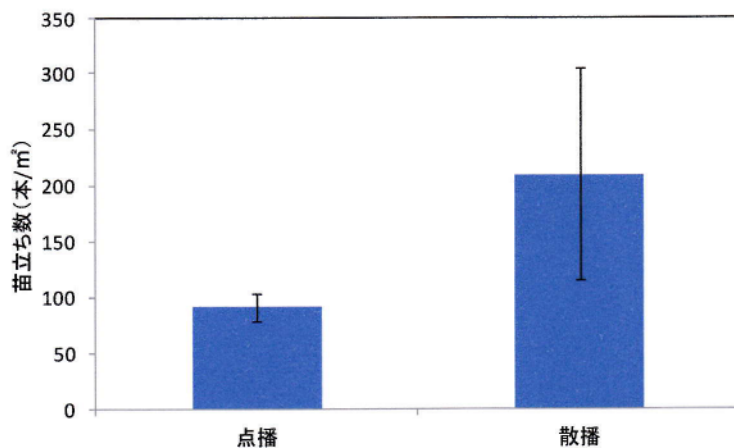
6-4 結果および考察

播種 2 週間後の 1 m²あたりの苗立ち数の結果を図 6-7 に示す。散播と点播を比べると散播の方が高い苗立ちを示したが、バラツキが大きくみられた。これは、点播種は一定間隔で機械で播種をしたのでバラツキは少ないが、散播は人が手で播いたことで均等に播かれていなかったためバラツキが大きくなった。

押し倒し抵抗値の結果を図 6-8 に示す。茎 1 本あたりのデータは有意な差はみられなかったが、全体的にみると栽培方法間で有意な差がみられた。散播<移植<点播の順に押し倒し抵抗値は高くなった。点播は一ヶ所に 8~10 粒播種をしており、しっかりとした株がつくられ、倒れにくくなったと考えられる。根の乾燥重を図 6-9 に示す。根の重量においても他の栽培区に比べ点播区の重量が重くなった。しかし、茎 1 本あたりでは散播と差はなかったことから、株にすることで倒伏しにくくなることが明確になった。

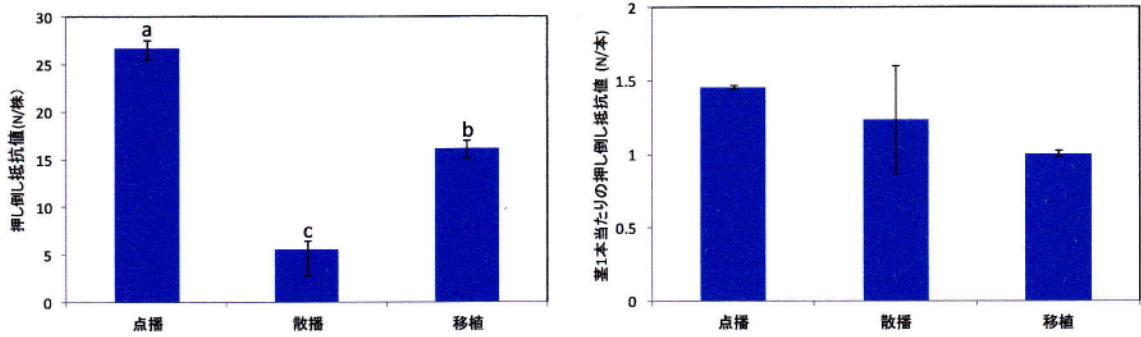
収量のデータを図 6-10 に示す。収量においても点播が一番高くなった。

以上の結果より、直播栽培において、点播をして株をつくることで倒伏しにくい稲ができるので、点播は有効であることが示唆された



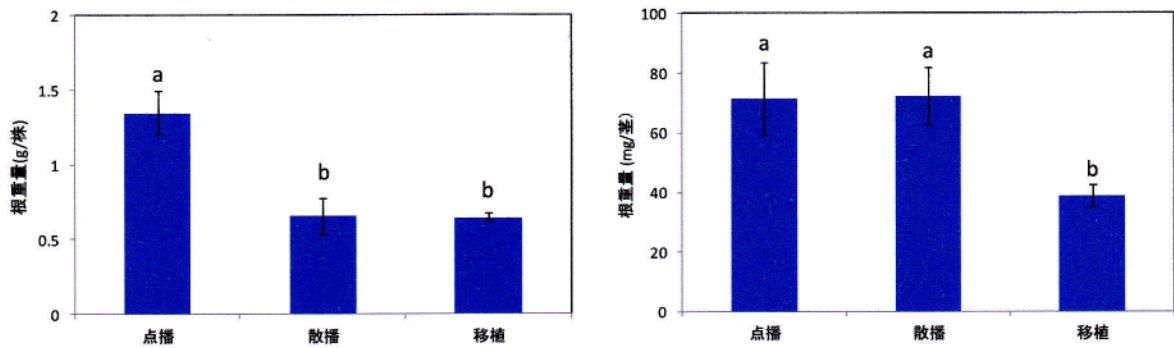
図中のエラーバーは標準偏差を示す

図 6-7 直播栽培における苗立ち数



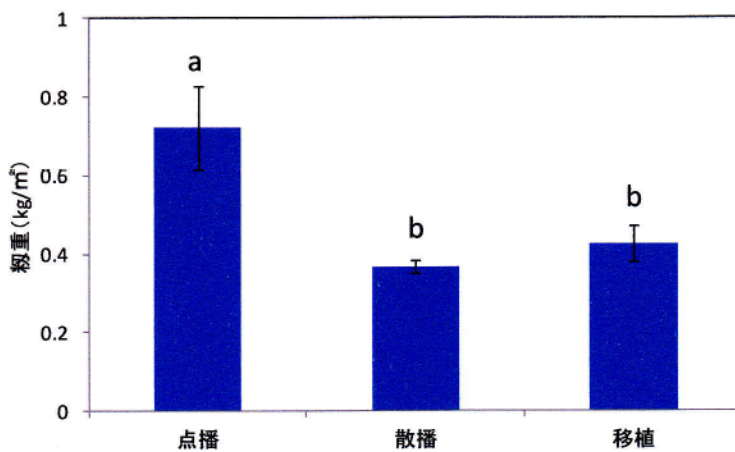
図中のエラーバーは標準偏差、異文字間には5%水準で有意差があることを示す

図 6-8 異なる栽培方法における押し倒し抵抗値の比較



図中のエラーバーは標準偏差、異文字間には5%水準で有意差があることを示す

図 6-9 異なる栽培方法における根重量の比較



図中のエラーバーは標準偏差、異文字間には5%水準で有意差があることを示す

図 6-10 異なる栽培方法における籾重量の比較

第7章 総括

本研究の第1章では、鉄コーティング直播栽培技術の概要を述べた。近年、稲作の省力、低コスト化に向けた取り組みとして、鉄コーティング直播栽培が注目されている。この技術は、水をスプレーしながら、浸種または催芽した種籾を鉄粉と焼石膏の混合物で造粒し、薄く広げて酸化放熱させ乾燥させることで鉄コーティング種子を製造し、湛水または落水表面に播種する。鉄を粉衣することで、鳥害も受けず、水に流されない利点がある。種子は1~2年間は保管できるので、農閑期に種子の準備ができる。普及面積は全国で急増しており、日本の稲作の省力、低コスト化に貢献する技術である。しかし、苗立ちの不安定性を解決することが緊急の課題となっている。水稻直播栽培において出芽・苗立ちが低下する環境要因は、低温、低酸素および土壌還元が明らかにされている。一方で、鉄コーティング処理は、出芽を遅くするが、種子の比重が大きいため浮苗の発生が抑制され、水管理が自由になり、また種子根端が土壌に貫入する力を強め、苗立ちを安定化させる。

第2章においては、多様な特性を持った品種を用いた発芽および圃場試験における品種特性の検討を行った。

実験Ⅰでは、新形質米や飼料用品種を含む多様な特性を持つ19品種を用い、鉄コーティング種子を水田に散播し、苗立ち率および生育収量を調査した。鉄コーティングの有無でシャーレ発芽試験を行った。また、播種時の埋没による苗立ち不良が考えられるので、土中出芽試験を行った。直播栽培の適応性は、品種の低温発芽性、低酸素条件下での土中発芽性により苗立ち率が左右されることを明らかにした。さらに、苗立ち後の稲体の稈長や茎の太さなど、倒伏と関連する品種特性が重要であることを示した。直播栽培と関連して、イネ品種間の低温発芽性に関する報告は多い(佐々木 1968, 1974)。低温発芽性に関しては、実験期間の設定でかなりの評価が違ふことがわかり、実用品種の選定にはさらに研究を必要とする。土中出芽性が高かった対馬赤米、ベニロマン、つくし赤もちについて、ベニロマンとつくし赤もちは対馬赤米が片親である。阿波赤米をはじめ赤米品種は、土中出芽性が高いとの報告と一致する(星野ら 1985)。出芽係数が著しく低いのは、夢十色、サリークイーンであり、いずれもインド型品種を交配親に持つ。Sasahara and Igarashi (1989)は還元土壌条件下でのイネの出芽と生態種型間の差異を検討し、日本型>ジャワ型>インド型の順に還元抵抗性が高いと報告しており、本研究における結論と一致する。圃場における苗立ち率は鉄コーティング種子の出芽係数と高い相関を示したが、土中播種における出芽係数との相関関係は小さかった。一般に鉄コーティング種子は好氣的条件下の土壌表面に播種されるため、嫌氣的条件下の土中への播種における出芽係数と相関関係が小さいことは当然であろう。鉄コーティング種子の直播においては出芽係数は土中出芽性よりも重要な特性である。

実験Ⅱでは、日本品種とアメリカ品種との特性比較を行った。アメリカでは全ての稲作

が直播栽培である。そこで、日本品種の良食味米や飼料イネ、直播向き品種およびアメリカ品種を供試し、品種特性を検討した。施肥量を変えた圃場（N5 および N10 g/m²）で比較を行い、播種3週間後の苗立ち率、倒伏調査および収量調査を行った。また、播種時の発芽を検討するため、25℃での発芽試験も行った。アメリカ品種は日本品種と比べて明らかに発芽が早いことを明らかにした。また、品種により分けつ能力に大きな差があるので、播種量および播種法に留意すべきであることが明らかになった。

第3章では、4品種を用いた栽培方法の検討を行った。コシヒカリ、中生新千本、ホシユタカ、クサノホシを供試し、鉄粉衣量を乾粒重の0、0.1、0.25、0.5、1.0倍量に変えて圃場試験および発芽試験を行った。鉄粉衣量が少ないと鳥害を受け、苗立ち率が低下した。鉄粉量の増加および低温が種子の発芽に影響することを明らかにした。土中出芽試験では播種深度を変えて試験を行い、品種による播種深度の影響を明らかにした。鉄コーティング比と苗立ち率との関係を圃場試験で調べたが、鉄コーティング比0.25以上で鳥害を実用上防ぎうることが示された。鉄コーティング比0.25から1.0における苗立ち率は40～60%であり、この結果は、鉄コーティング種子の直播における苗立ち率が一般的に50±20%であるという報告（山内 2010b）と一致する。また、本結果は現在各地において実施されている鉄コーティング種子の直播における防鳥効果と一致するものである。この防鳥効果は、コーティングの機械的強度の増加によるものと推定されている。類似の技術である酸化鉄粉を使った直播においてはコーティングの色調によるカモフラージュ効果であると推定されている（古畑 2010）。

第4章では、多くの作物において発芽率や初期生育の改善効果が報告されている特殊肥料「ネバルくん」（PHYTOCHROME INC.）を用いて、初期生育や収量性について検討を行った。圃場試験より、ネバルくん処理をすると苗立ち率が高くなる傾向がみられた。また、発芽試験の結果から、鉄コーティング時に粉末のネバルくんを同時混和すると低温条件下での発芽率が高くなることやネバルくん液に浸漬をすると土中出芽が良くなる傾向があることを明らかにした。さらに、育苗マットを用いた試験から、ネバルくん液に浸漬すると根毛の発達が良くなった。また、実際にネバルくんを用いて稲作を営んでいる秋田県の一般農家の調査も行い、初期生育や収穫時の調査を行い、ネバルくんの効果を確認した。

第5章においては、浸種催芽処理が鉄コーティング種子の発芽に与える影響についての検討を行った。種子の発芽過程における発芽準備期間を短縮する目的で、鉄コーティング種子製造前に浸種催芽処理が実施されているが、農家の経験に基づいて実施されているため最適な処理条件は未解明である。本試験では北海道および本州の奨励品種や島根県の品種を用い、異なる浸種処理条件下で発芽試験を行った。浸種乾燥処理が発芽係数を高める効果があることを示したが、品種間差があること、また同じ品種においても種子源による差があることを明らかにした。コシヒカリおよびヒノヒカリにおいて、20℃3日間あるいは13℃6日間の浸種が発芽促進に有効であり、特に低温条件下でその効果が明瞭であっ

た。また、北海道品種および島根県のみほひかりにおいて、浸種の発芽促進効果は一定ではなかった。浸種の効果に関しては、品種のみならず、産地や年度、採種後の貯蔵の影響を受けやすいことを明らかにした。

第6章では、鉄コーティング直播専用機4条鉄まきちゃんを用いて栽培試験を行った。直播専用機は、一ヶ所に8~10粒をかためて播いていく点播という方法で播種していく機械である。播種方法を水田表面に種子をばらまく散播でなく点播とすることで、倒伏性の著しい向上がみられ、点播の実用性が明確となってきた。また、収量も移植および散播に比べて高くなった。点播は株を作ることができるので、耐倒伏性に優れているといえた。この播種方法を用いることで、これまで倒伏しやすく直播栽培は難しいと考えられていた品種においても倒伏がしにくくなり直播栽培が可能となることが考えられる。今後、鉄コーティング直播栽培では点播をすることにより、倒伏しやすい品種でも直播栽培可能となり、さらに普及していくことが期待される。

日本の気象条件および土条条件は変異に富み、それぞれの水田における制約条件も異なる。直播栽培の適応性は、栽培するイネ品種の低温発芽性、低酸素条件下での土中発芽性により苗立ち率が左右され、さらに苗立ち後の初期生育、さらに稲体の稈長や茎の太さなど倒伏と関連する品種特性が重要であることが示唆されている。一方、播種の方法あるいは水管理によってイネの倒伏性を減少させることが、著者らの栽培試験あるいは道府県・民間レベルでの試作(宮越 2011; 小嶋 2012)で明らかになりつつある。すなわち、種子の散播より条播、さらに点播で倒伏が減少すること、播種直後の湛水とその後の落水、無効分けつ期の土用干しなどの水田の水管理技術である。引き続き、品種選定、種子の処理を含め、総合的に本技術の改善に努めて行くことで、経営規模の拡大のみならず、稲作の選択肢が広がり園芸作物や畜産との複合経営も可能になる。

近年では、ホールクroppサイレージ用イネ品種が注目されている。黄熟期すなわち出穂後30日程度で収穫し、倒伏の心配がほとんどない専用品種も開発されている(Sakai et al. 2003; 松下ら 2012)。有色米などの新形質米を含む多様な品種に直播栽培を適応できることが本試験により解明できた。

直播栽培法は大規模な低コスト栽培のみならず地域の特産的品種の小規模栽培にも応用可能であり、今後は、食用品種、飼料用品種のみならず様々なイネ品種で直播栽培を実践していくことで、さらに普及面積が広がることが考えられる。研究の道筋は端緒についたばかりにすぎないが、今後は農家への普及に向けて実践的な成果を上げていきたいと祈念している。

謝辞

本学位論文をまとめるにあたり、多大なる御指導を賜りました県立広島大学生命環境学部猪谷富雄教授に厚く御礼申し上げます。

また、副査として本学位論文への御高見を賜るとともに、御教示を頂きました県立広島大学生命環境学部森永力教授、新美善行教授、入船浩平教授に心より感謝致します。

本研究の遂行に際し、多くの御支援・御助言を頂きました、近畿中国四国農業研究センター（現 全農）山内稔博士、株式会社クボタおよび株式会社中国クボタの皆様に深く感謝の意を表します。

引用文献

青木政晴・帖佐直・酒井長雄・古畑昌巳・齋藤康一・土屋学. 2010. エアーアシスト条播機による水稲湛水直播栽培での出芽特性. 北陸作物学会報 45 : 27-30.

安藤秀俊・小葉田享. 2002. ハードニング処理したコムギと水稲種子における乾燥土壌下の出芽およびアミラーゼ活性の促進. 日本作物学会紀事 71: 220-225.

Farooq, M., Basra, S.M.A., Wahid, A. and Ahmad, N. 2010a. Change in nutrients-homeostasis and reserves metabolism during rice seed priming: consequences for seedling emergence and growth. *Agricultural Sciences in China* 9(2): 191-198.

Farooq, M., Wahid, A., Ahmad, N. and Asad, S.A. 2010b. Comparative efficacy of surface drying and re-drying seed priming in rice: changes in emergence, seedling growth and associated metabolic events. *Paddy Water Environ* 8: 15-22.

Farooq, M., Siddique, K.H.M., Rehman, H., Aziz, T., Lee, D.J. and Wahid, A. 2011. Rice direct seeding: Experiences, challenges and opportunities. *Soil & Tillage Research*, 111: 87-98.

古畑昌巳. 2006. 直播栽培の栽培技術の課題. 農業および園芸 81 : 114-118.

古畑昌巳・原嘉隆・松村修. 2008. 風等の気象条件が湛水直播の出芽苗立ちに及ぼす影響: 異なる気温と気温日較差での解析. 日本作物学会紀事 77 (別 1) : 10-11.

古畑昌巳. 2009. 湛水直播水稲の出芽・苗立ち向上に向けて. 日本作物学会紀事 78 : 153-162.

古畑昌巳・帖佐直・松村修・大角壮弘. 2010. 酸化鉄コーティング種子における種子予措が湛水直播水稲の出芽・苗立ちに及ぼす影響. 日本作物学会記事 79 (3) : 363-371.

古畑昌巳. 2010. 播種後落水が湛水直播栽培の除草効果に及ぼす影響. 北陸作物学会報 45 : 22-26.

古畑昌巳・大角壮弘・帖佐直・松村修. 2011. 鳥害回避に関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. 日本作物学会紀事 80 : 302-311.

原嘉隆. 2011. モリブデン化合物を用いた直播水稻の苗立ち改善効果. 食料と安全 9: 26-32.

Hara, Y. 2013a. Suppressive effect of sulfate on establishment of rice seedlings in submerged soil may be due to sulfide generation around the seeds. Plant Prod. Sci. 16: 50-60.

Hara, Y. 2013b. Improvement of rice seedling establishment in sulfate-applied submerged soil by application of molybdate. Plant Prod. Sci. 16: 61-68.

堀末登. 2010. 新形質米. 地域食材大百科第1巻. 農文協 : 82-90.

堀田貢・猿山晴夫. 2006. トレハロース、ラフィノースによるタマネギ種子の発芽促進. 園芸研 5: 75-78.

星野孝文・岡本正弘・篠田治躬. 1985. 湛水深水条件下における稲籾出芽性の品種間差異. 育雑 35(別 2): 312-313.

井上博喜・山内稔・宮川久義. 2009. 鉄コーティング処理によるイネ育苗期病害の防除. 日本植物病理学会報 75: 164-169.

猪谷富雄. 2000. 赤米・紫黒米・香り米—「古代米」の品種・栽培・加工・利用—. 農山漁村文化協会 : 1-160.

板谷越重人・川上修・加藤武司・阿部聖一. 2011. 水稻貯蔵種子の発芽不良と種子予措技術の改善 (第1報). 北陸作物学会報 46 : 27-29.

北野順一・中山幸則・松井未来生・大西順平. 2010. 低温期育苗における水稻種子の発芽に及ぼす浸種水温の影響. 日本作物学会紀事 79 : 275-283.

株式会社クボタ. 2013. 水稻鉄コーティング直播栽培ガイド Ver.5. : 1-50.

小嶋俊彦. 2012. 水稲湛水直播栽培による低コスト稲作について. 米麦改良 2012. 9: 2-9.

櫛淵欽也監修. 1992. 日本の稲育種—スーパーライスへの挑戦. 農業技術協会.

李弘祐・田口啓作. 1968. 稲種子の低温発芽性に関する研究. 第2報 親植物に対する数種処理が次世代種子の休眠性および低温発芽性に及ぼす影響. 北大農学部邦文紀要 7: 138-146.

松下景・飯田修一・出田収・春原嘉弘・前田英郎・田村泰章. 2012. 茎葉多収で消化性に優れ高糖分含量の飼料用水稲品種「たちすずか」の育成. 近畿中国四国農研センター報告 11: 1-23.

松浦昌平・竹本一恵・東條元昭・山内稔. 2012. 水稲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. 日本病理学会報 78: 301-304

宮越疆. 2011. 水稲鉄コーティング直播栽培の機械化と普及. 日本作物学会紀事 80 (別1): 500-501.

Mori, S., Fujimoto, H., Watanabe, S., Ishioka, G., Okabe, A., Kamei, M. and Yamauchi, M. Physiological performance of iron-coated primed rice seeds under submerged conditions and the stimulation of coleoptile elongation in primed rice seeds under anoxia. Soil Science and Plant Nutrition 58: 469-478, 2012-08-00

農林水産省. 2010. 水稲直播栽培技術の普及状況 (PDF).
http://www.maff.go.jp/j/press/seisan/sien/100611_1.html (2014.1.10 閲覧)

農山漁村文化協会 2004. 稲作大百科第2版 総説／形態／品種／土壌管理: 511.

太田久稔. 2007. 稲における土中出芽性の評価方法の開発と土中出芽性に優れた品種の育成. 農業技術研究機構作物研究所研究報告 8: 1-48.

(株) ファイトクローム. 2003. EKKAS 液状発酵堆肥 (特殊肥料) について.

Sakai, M., Iida, S., Maeda, H., Sunohara, Y., Nemoto H. and Imbe, T. 2003. New rice varieties for whole crop silage use in Japan. Breed. Sci. 53:271-275.

Sasahara, T. and Ikarashi, H. 1989. Differences in seedling emergence and growth among rice (*Oryza sativa* L.) ecospecies under reduced soil conditions. Japan. J. Breeding 39:495-498.

佐々木多喜男. 1968. 水稲品種の低温発芽性と初期生育との関係. 北海道立農試集報 17: 34-45.

佐々木多喜男. 1974. 稲品種の低温発芽に関する育種学的研究. 北海道立農試報 24: 1-90.

佐々木亮・熊谷聡. 2011. 寒地における鉄コーティング種子を活用した直播栽培技術. 日本作物学会紀事 80 (別 1) : 496-497.

佐藤徹・東聡志・市川岳史. 2011. 北陸地域における水稲鉄コーティング直播栽培のコーティング量, 播種深および播種後の水管理が出芽・苗立ちに及ぼす影響. 日本作物学会紀事. 80(2) : 157-164.

滝田正. 1987. アメリカ稲と日本稲の直播苗立ちの差異. 日作九支報 54 : 9-11.

内村要介・佐藤大和・松江勇次. 2001. 酸素発生剤を用いない湛水土壤表面直播栽培の出芽苗立ち評価. 日本作物学会紀事 70 : 393-399.

山内稔. 2002. 水稲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) : 152-153.

山内稔. 2004. 水稲の鉄コーティング種子を用いた湛水直播栽培. 農業および園芸 79: 927-953.

山内稔. 2006. 研究会記録 鉄コーティング直播技術の発案、技術開発および問題点 鉄コーティング種子を用いた水稲の湛水直播技術—技術開発・普及と今後の課題—2006年10月30日 近畿中国四国農業研究センター : 26-32.

山内稔. 2010a. 鉄コーティング湛水直播と種子の大量製造技術による稲作の省力・規模拡大. 農業および園芸. 85 : 70-75.

山内稔. 2010b. 鉄コーティング湛水直播マニュアル (近畿中国四国農業研究センター)
2010 : 1-28.

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. 日本作物学会記事 81 :
148-159.

山内稔. 2013. 鉄コーティング種子を用いた水稻の湛水播種技術. 日本作物学会記事 82
(別 2) : 508-511

図表一覧

第 1 章

- 図 1-1 鉄コーティング種子製造の原理 (山内 2013)
- 図 1-2 異なる鉄コーティング比のイネ種子の外観 (山内 2010b)
- 図 1-3 鉄コーティング直播栽培における播種方法
- 表 1-1 乾粃 5kg の場合の鉄コーティング比と分量 (kg)

第 2 章

- 図 2-1 イネ倒伏程度の定義
- 図 2-2 19 品種の苗立ち率の変異
- 図 2-3 19 品種の倒伏程度の変異
- 図 2-4 19 品種の粃重の変異
- 図 2-5 コシヒカリおよび朝紫における発芽の推移
- 図 2-6 鉄コーティングの有無における発芽係数の相関関係
- 図 2-7 鉄コーティング種子における苗立ち率と 25℃での発芽係数における相関関係
- 図 2-8 土中出芽試験の方法
- 図 2-9 苗立ち率と土中出芽試験における出芽係数との相関関係
- 図 2-10 圃場試験における区画設計
- 図 2-11 15 品種における苗立ち率
- 図 2-12 15 品種の倒伏程度
- 図 2-13 15 品種の粃重
- 図 2-14 15 品種における発芽勢および発芽係数
- 表 2-1 供試した 19 品種とその特徴
- 表 2-2 圃場試験における品種特性
- 表 2-3 19 品種の品種特性における相関関係
- 表 2-4 19 品種における発芽特性
- 表 2-5 19 品種における土中出芽性
- 表 2-6 実験Ⅱにおける供試 15 品種

第 3 章

- 図 3-1 中生新千本における 2008 年および 2009 年の苗立ち率
- 図 3-2 4 品種における 2008 年と 2009 年の苗立ち率および粃重
- 図 3-3 25℃および 15℃発芽試験における中生新千本のコーティング比を変えた場合の発芽率、平均発芽日数および発芽係数

図 3-4 25℃および 15℃発芽試験における鉄コーティングの有無による 4 品種間の発芽率、平均発芽日数、発芽係数の比較

図 3-5 土中発芽試験における鉄コーティング比を変えた中生新千本の発芽率、平均発芽日数および発芽係数

図 3-6 播種深度を変えた土中出芽試験の方法

図 3-7 鉄コーティング比および発芽試験温度が発芽係数に与える影響

表 3-1 供試した 4 品種の品種名とその特徴

表 3-2 コーティング方法（鉄コーティング比）と播種量および播種方法

表 3-3 4 品種における圃場生育データ（2008 年）

表 3-4 4 品種における圃場生育データ（2009 年）

表 3-5 4 品種における圃場での苗立ち率の推移

表 3-6 圃場試験における 4 品種の発芽係数

表 3-7 4 品種におけるシャーレ発芽試験での発芽係数および土中出芽試験での発芽係数

表 3-8 4 品種における 25℃シャーレ発芽試験の鉄コーティングなしを最適条件とした時の相対値

表 3-9 4 品種における乾粒種子と催芽種子の鉄コーティング比を変えた発芽係数の比較

表 3-10 4 品種の発芽係数における平均値

第 4 章

図 4-1 特殊肥料「ネバルくん」の生産方法

図 4-2 ネバルくん処理をした鉄コーティング種子を用いた圃場試験における苗立ち率、穂数および粒重

図 4-3 各ネバルくん処理間における発芽試験の発芽係数、平均発芽日数、発芽係数

図 4-4 鉄コーティングなし種子におけるネバルくん処理が種子の発芽に与える影響

図 4-5 播種深度を変えた場合の土壌中での発芽率および出芽率

図 4-6 播種深度を変えた土中出芽試験における 14 日後の芽および根の長さ

図 4-7 育苗マットを用いた初期生育試験の播種模式図

図 4-8 育苗マットを用いた初期生育試験における 14 日後の苗立ちの様子

図 4-9 育苗マットを用いた初期生育試験前に行ったシャーレ発芽試験における発芽率

図 4-10 育苗マットを用いた初期生育試験における 14 日後の出芽率および草丈

図 4-11 クリスタルバイオレット染色液で染色した根の比較（鉄コーティングなし）

図 4-12 クリスタルバイオレット染色液で染色した根の比較（鉄コーティング）

図 4-13 秋田県農家における圃場配置図

図 4-14 有効茎決定期での株当たりのイネ重量および茎当たりの生重、乾物重、根・草丈・根本数、GM 値・草丈・分けつ数

- 図 4-15 成熟期での株・面積当たりの生育、収量
- 図 4-16 収穫後籾 1000 粒重、茎 10 本の重量、粒形
- 表 4-1 特殊肥料「ネバルくん」に含まれる成分
- 表 4-2 各試験における種子の処理方法
- 表 4-3 発芽試験および圃場試験の結果

第 5 章

- 図 5-1 異なる収穫年度の種子における浸種温度および浸種時間の発芽係数に対する影響
- 図 5-2 浸種温度および浸種時間を変更した場合の発芽係数に与える影響
- 表 5-1 供試品種における収穫年度および産地（実験Ⅰ）
- 表 5-2 供試品種における収穫年度および産地（実験Ⅱ）
- 表 5-3 7 品種の浸種処理条件（実験Ⅰ）
- 表 5-4 6 品種の浸種処理条件（実験Ⅱ）

第 6 章

- 図 6-1 鉄コーティング製造の様子および発芽確認試験
- 図 6-2 圃場における土壌の硬さ確認の様子
- 図 6-3 鉄まきちゃんを用いた播種の様子
- 図 6-4 苗立ちカウント（点播）および苗立ちの様子
- 図 6-5 押し倒し抵抗値測定の様子
- 図 6-6 苗立ちカウントの様子（散播）
- 図 6-7 直播栽培における苗立ち数
- 図 6-8 異なる栽培方法における押し倒し抵抗値の比較
- 図 6-9 異なる栽培方法における根重量の比較
- 図 6-10 異なる栽培方法における籾重量の比較