

氏名	伊賀 優美
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
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	水稻種子伝染性病害の制御技術に関する研究
指導教員	教授 藤 晋一
論文審査委員	主査 教授 藤 晋一 副査 教授 藤田 直子, 准教授 戸田 武 学外 教授 須賀 晴久 (岐阜大学)

論文内容要旨

イネの主要な病害は種子伝染性の病害である。そのため、水稻栽培においては採種圃等で栽培された健全種子を利用することと、適切な種子消毒を行うことが病害の発生を未然に防ぐことにつながっている。これまでは化学合成農薬による種子消毒が主流であったが、環境保全型農業の推進と有機・減農薬栽培の増加ならびに化学合成種子消毒剤の使用済み廃液の処理にかかる費用の問題から温湯消毒や微生物防除資材を用いた消毒方法が広く取り入れられるようになった。しかしながら、これらの技術は化学合成農薬よりも効果が劣るため、ばか苗病が多発するなどの問題が発生した。

本研究では、化学合成農薬に依存しない新たな種子消毒技術の実用化に向けた取り組みを行うとともに、近年、農家で発生しているばか苗病の発病遅延が、ばか苗病菌が属する *Fusarium fujikuroi* 複合種の重複感染によることを実証した。加えて、結果をもとに今後の水稻栽培の種子消毒における考えを提案した。

1) 事前乾燥を取り入れた温湯消毒 (新技術)

現在普及している温湯消毒 (60°C 10 分) は化学合成農薬よりも効果が劣っているため、より高い防除効果を得るためにはもっと厳しい条件で処理することが必要である。金勝ら (2013) は種子を事前乾燥させ、籾含水率を 10% 以下にすることで温湯消毒時の高温耐性が著しく向上し、65°C 10 分間の温湯消毒を行っても、出芽に影響しないことを見いだした。この技術は、従来の 60°C 10 分間の温湯消毒では発芽不良を引き起こした酒米品種にも利用可能である。本研究では、①各種子伝染性病害に対する効果を明らかにし、②ばか苗病多発農家での実証試験を行った。

① 各種子伝染性病害に対する新技術の効果

ばか苗病、苗いもち、苗立枯細菌病、もみ枯細菌病 (苗腐敗症)、ごま葉枯病および褐条病に対して防除効果の向上が認められるかを調査した。特にばか苗病について

は汚染程度や採種年が異なる複数の種子を用いて検証した。褐条病に対しては醸造酢で効果が得られるため、醸造酢液剤（エコフィット）を用いた温湯消毒との体系処理もあわせて評価した。その結果、ばか苗病に対して開花期接種種子を用いた場合、新技術は従来法よりも防除効果が低い傾向にあったが（図 2-A）、自然感染種子を用いた場合、新技術の防除効果は高かった（図 2-B）。苗いもちに対しては同等かそれ以上の効果を示し、もみ枯細菌病、苗立細菌病に対して従来法よりも防除効果が高かった（図 3）。ごま葉枯病および褐条病に対しては新技術および従来法ともに防除効果が低かった（図 3）。しかしながら、褐条病に対しては本新技術と醸造酢液剤（エコフィット）の併用処理を行なうことで効果の向上が認められた（図 4）。

② ばか苗病多発農家での実証試験

新技術を普及するために、農家での実用性を評価した。農家で種子に 60℃10 分（従来法）または事前乾燥+65℃10 分（新技術）で処理を施し、種子予措（温湯消毒・浸種処理・催芽処理）の各工程で種子を抜き取って本学に持ち帰り育苗してばか苗病の発病調査を行った。その結果、新技術で処理した場合は、ばか苗病の発生はみられなかった（表 1）。実際の農家での発病状況については、農家 A および農家 B いずれにおいても従来法よりも新技術の方がばか苗病を抑えられていた（表 2, 3）。

2) 弱酸性次亜塩素酸水を用いた種子消毒

これまで報告のある強酸性電解水は有機物や微生物の接触によって容易に分解され、有効成分を長期間保持できないことが実用上の問題となっていた。そこで、本研究では有効成分を長期間保持できる弱酸性次亜塩素酸水に着目し試験を行った。なお、今回使用した弱酸性次亜塩素酸水は、次亜塩素酸ナトリウム水溶液をイオン交換樹脂に通すことにより 200 ppm~1000 ppm の高濃度で生成できる次亜塩素酸水である。はじめに弱酸性次亜塩素酸水の防除効果が認められるかを調査した。その結果、ばか苗病、苗いもち、もみ枯細菌病、褐条病では防除効果が高い傾向が認められた。苗立枯細菌病では催芽時処理を行なうことで高い防除効果が認められた。ごま葉枯病に対する防除効果は低かった（図 5）。次に弱酸性次亜塩素酸水、強酸性電解水、次亜塩素酸ナトリウム水溶液での効果の比較を行った。その結果、弱酸性次亜塩素酸水は、ばか苗病、苗いもち、苗立枯細菌病、褐条病に対して、強酸性電解水よりも防除効果が高かった。一方、もみ枯細菌病ではわずかに強酸性電解水よりもその効果は低かった（図 6）。加えて、弱酸性次亜塩素酸水の濃度の違いが防除効果に及ぼす影響について調査した結果、ばか苗病、いもち病、褐条病いずれの試験も 200 ppm 以上で高い防除効果が認められた（データ未記載）。

3) ばか苗病菌の系統変化による発病遅延現象の解明

近年のばか苗病の増加は、温湯消毒や微生物防除資材の普及が原因と考えられてきたが、種子更新や EBI 系種子消毒剤を使用しているにも関わらずばか苗病が発生する農家が散見されている。このような、農家では育苗期にはばか苗病の発生は見られず、本田に移植直前あるいは移植直後にばか苗病が発生することが多いが、その原因

は主に EBI 系種子消毒剤の影響とその効果低下が原因とされてきた。近年、ばか苗病菌にはジベレリンを産生する G 系統のほかに、フモニシンを産生する F 系統が存在することが明らかにされている。これら 2 系統は、しばしば同じ苗 (株) に重複して感染していることから、近年のばか苗病の発生が単なる EBI 系剤の効果低下ではなく、種子に感染しているばか苗病菌の系統が影響していると推測した。そこで、F 系統の割合が拡大したことによる G 系統と F 系統の重複感染が発病抑止を引き起こすか、G 系統と F 系統を混合接種によって実証した。その結果、G 系統 APF13-053A の単独接種では 30.7% の徒長苗率であったのに対し、F 系統の SLO211 が混合感染することで徒長苗率は 1.1% まで減少した (図 7)。また、G 系統 APF13-053A の単独接種では 20.6% の徒長苗率であったのに対し、*Fusarium fujikuroi* 複合種の *Fusarium proliferatum* が混合感染することで大幅に減少した (図 8)。さらに、重複感染が農家での発病遅延の要因となることを明らかにするため、通常育苗箱で育苗・本田移植し発病様相を調査した。その結果、G 系統単独接種区では育苗箱全体に徒長苗がみられたのに対して、F 系統や *Fusarium fujikuroi* 複合種を混合接種した区では徒長苗の発生が減少した。その苗を本田に移植した結果、移植 2 週間では、混合接種区で徒長苗はみられず枯死株が多くみられた。その後、移植 3 週間、移植 4 週間と徒長苗が増加する傾向にあった (表 4)。この結果により、重複感染は農家圃場での発病遅延現象の要因となることが明らかとなった。

4) 今後の水稻栽培における防除について

現在の種子消毒は EBI 系種子消毒剤に依存しているのが現状である。化学合成農薬に依存しない温湯消毒や微生物防除資材があるが、それらの防除効果は化学合成農薬よりも劣っている傾向にある。本研究で述べた 2 つの種子消毒技術は、いくつかの従来法よりも高い防除効果が期待できる技術である。これらの技術が実用化すれば種子消毒技術の選択の幅を広げることができ、より多くの選択肢の中から農家が実情に合った最適な種子消毒方法を選択できるようになり、結果として種子伝染性病害の効果的な防除につながるものと考えられる。EBI 系剤を中心に行ってきた種子消毒を一度化学合成農薬に頼らない技術に切り替え、低感受性である F 系統や *Fusarium fujikuroi* 複合種の発生密度を低下させることもまた重要である。近年、2050 年までに化学農薬の使用量を 50% 低減させる目標を定める「みどりの食料システム戦略」が策定された。それに伴って、バイオスティミラント肥料や食品添加物、二酸化塩素などの環境にやさしい資材を利用・実用化しようとする研究が増加している。このように、複数の化学合成農薬に依存しない技術を組み合わせた防除体系により、環境にやさしい農業の実現と農薬およびその廃液処理に費やしていたコストの低減が可能となり、農家の負担を減らすとともに消費者へ良質な米を低価格で提供することができるものと考えられる。今後はこれら技術の開発とともに農家自身も農薬を精査し、化学合成農薬に依存せず環境負荷の少ない技術を取り入れながら生産者それぞれにあった生産方法を選択していく必要がある。



図 1. 水稻に発生する種子伝染性病害

①ばか苗病（徒長症状）②苗いもち（地際部の褐変）③ごま葉枯病（小斑点および枯死）④もみ枯細菌病（苗腐敗症）⑤苗立枯細菌病（苗の白化および萎凋）⑥褐条病（葉鞘の褐変）

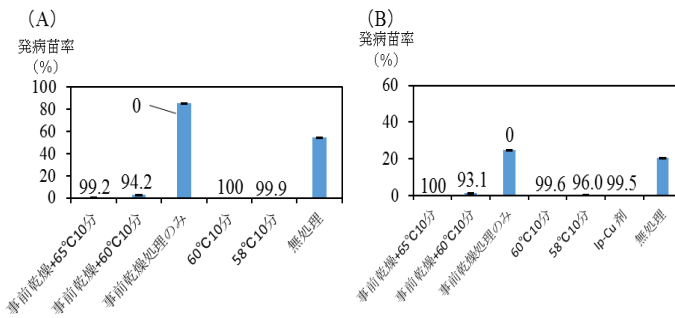


図 2. ばか苗病に対する防除効果

A：開花期接種種子、B：自然感染種子

図中の数値は防除価を示す。Ip-Cu 剤：イプロコナゾール銅水和剤

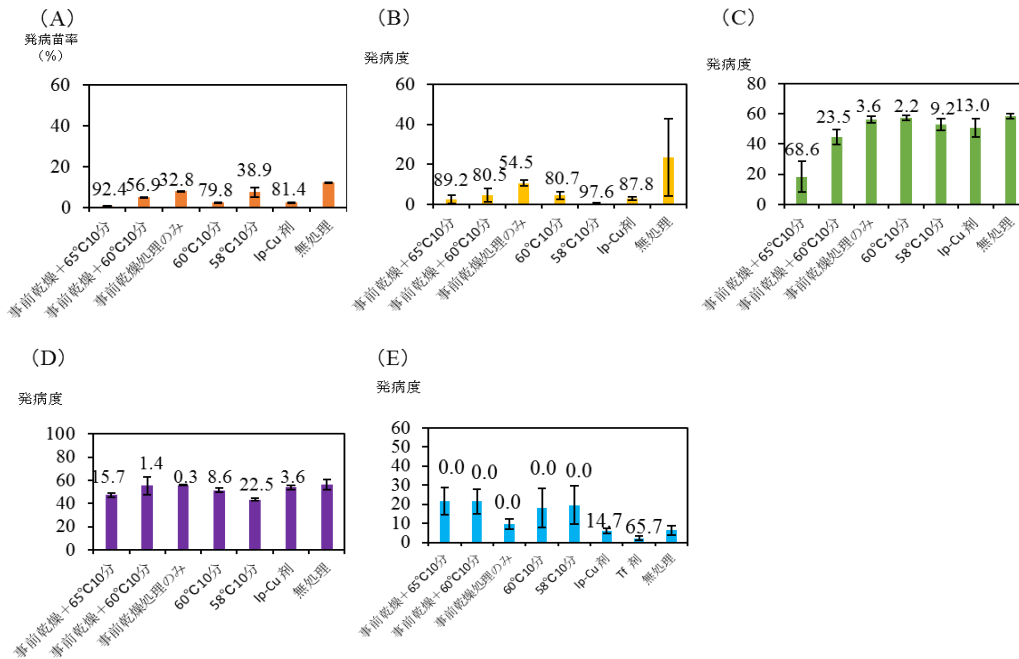


図 3. 各種水稻種子伝染性病害に対する防除効果

A：いもち病、B：苗立枯細菌病、C：もみ枯細菌病、D：ごま葉枯病、E：褐条病

図中の数値は防除価を示す。Tf 剤：タラロマイセスフラバス水和剤

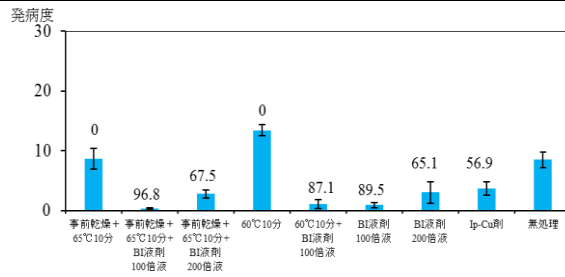


図4. 褐条病に対する醸造酢液剤との体系処理の効果

図中の数値は防除価を示す。BI液剤：醸造酢液剤

表1. 農家種子を用いた小規模（1/6育苗箱）でのばか苗病の発病状況

品種	農家	処理区	温湯消毒	浸種	催芽	発病苗数
あきたこまち	A	事前乾燥+65°C10分 60°C10分	A	本学		0
あきたこまち	A	事前乾燥+65°C10分 60°C10分		A		0
あきたこまち		事前乾燥+65°C10分 60°C10分				0
ササニシキ	B	事前乾燥+65°C10分 60°C10分	B	本学		0
つぶぞろい		事前乾燥+65°C10分				0
あきたこまち		事前乾燥+65°C10分 60°C10分+エコホープ				0
つぶぞろい	B	事前乾燥+65°C10分		B		0
ササニシキ		事前乾燥+65°C10分 60°C10分				0

表2. 農家Aでのばか苗病の発生状況

処理区	育苗箱数	ばか苗病発生箱数
事前乾燥+65°C10分 (1箱当たり1.7本)	639箱	85箱【発病箱率13.3%】
60°C10分 (1箱当たり7.3本)	-	【発病箱率100%】

表3. 農家Bでのばか苗病の発生状況

処理区	育苗箱数	ばか苗病発生箱数	
		発病日	【発病箱率】
事前乾燥+65°C10分 (1箱当たり1.3本)	640箱	5月17日	103箱【発病箱率16.0%】
		5月28日	82箱【発病箱率13.0%】
60°C10分 +トリコデルマトロピリデ水和剤 (1箱当たり18.8本)	247箱	5月17日	150箱【発病箱率61.0%】
		5月28日	176箱【発病箱率71.2%】

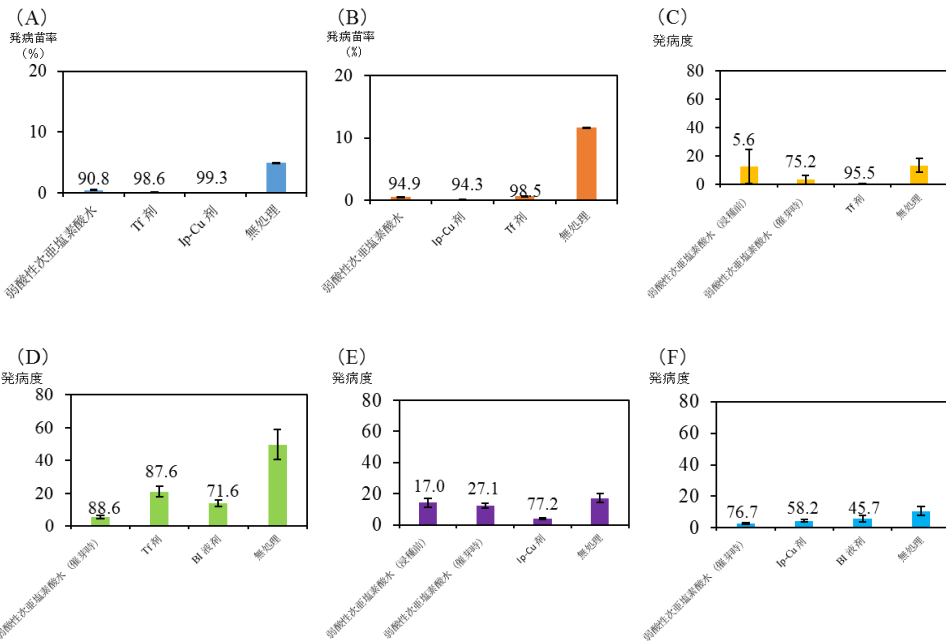


図5. 弱酸性次亜塩素酸水の各種水稻種子伝染性病害に対する防除効果

A：ばか苗病、B：いもち病、C：苗立枯細菌病、D：もみ枯細菌病、E：ごま葉枯病、F：褐条病 図中の数値は防除価を示す。

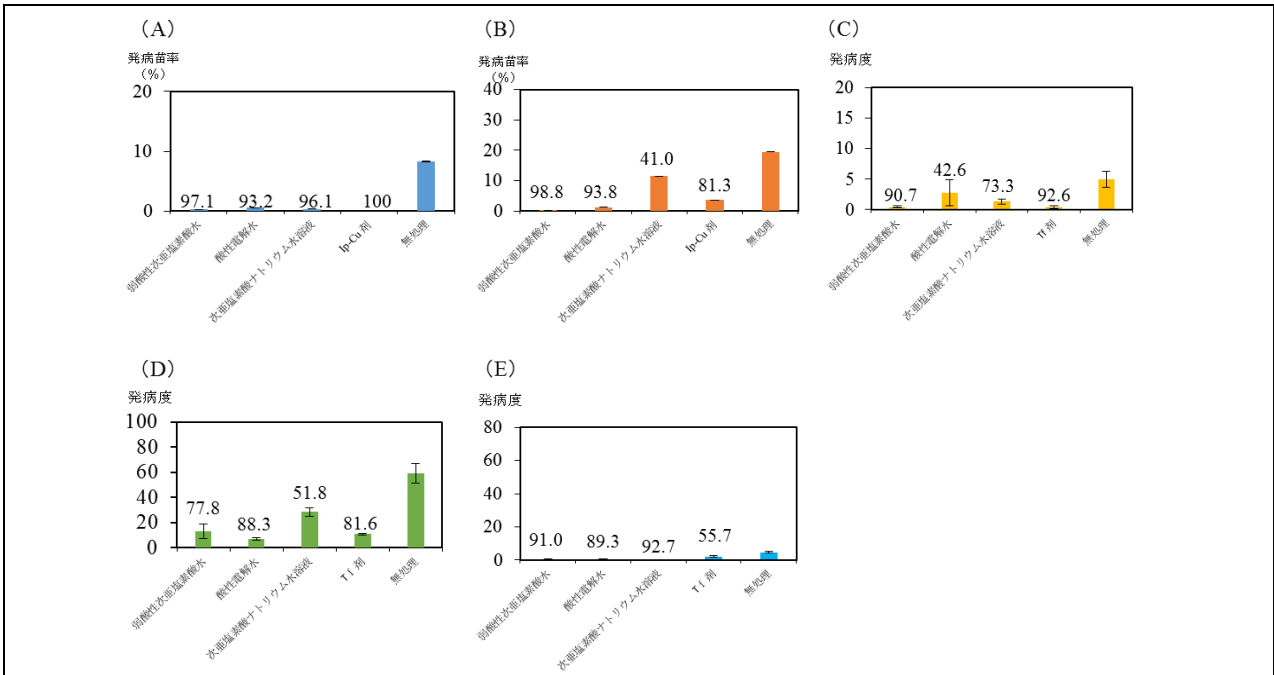


図 6. 次亜塩素酸水の違いが防除効果におよぼす影響

A : ばか苗病、B : いもち病、C : 苗立枯細菌病、D : もみ枯細菌病、E : 褐条病
 図中の数値は防除価を示す。

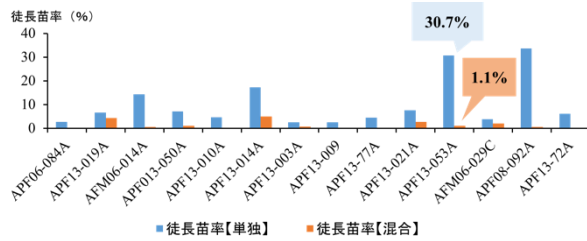


図 7. F 系統との混合接種がばか苗病発生に及ぼす影響

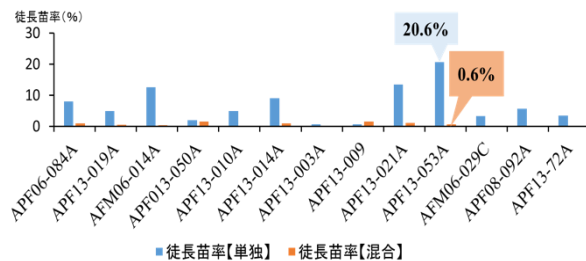


図 8. *Fusarium fujikuroi* 複合種との混合の接種がばか苗病の発生に及ぼす影響

表 4. 混合接種がばか苗病の本田発生におよぼす影響

菌株	混合比率		移植前抜き取りの有無	移植2週間後 (6月5日)			移植3週間後 (6月12日)		移植4週間後 (6月19日)	
	F系統あるいは <i>Fusarium fujikuroi</i> 複合種	G系統		徒長株数	枯死株数	発病苗率	徒長株数	発病苗率	徒長株数	発病苗率
SLO211				0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
<i>Fusarium proliferatum</i> MAFF410715				0	91	51.4	0	0.0	2	1.1
APF13-053A				31	0	17.5	21	11.9	35	19.8
SLO211 × APF13-053A	1	1	有	0	39	22.0	0	0.0	0	0.0
			無	0	50	28.2	4	2.3	0	0.0
			有	0	39	22.0	3	1.7	4	2.3
			無	0	19	10.7	3	1.7	4	2.3
SLO211 × APF13-053A	5	1	有	0	13	7.3	2	1.1	2	1.1
			無	0	87	49.2	0	0.0	3	1.7
			有	0	70	39.5	0	0.0	4	2.3
			無	0	38	21.5	0	0.0	0	0.0
<i>Fusarium proliferatum</i> MAFF410715 × APF13-053A	1	1	有	0	72	40.7	0	0.0	6	3.4
			無	0	70	39.5	0	0.0	6	3.4
			有	0	34	19.2	0	0.0	7	4.0
			無	0	48	27.1	0	0.0	8	4.5

論文審査結果要旨

近年、化学合成農薬に依存しない技術の開発が求められており、水稻の種子消毒については、温湯消毒（60℃10分）や微生物防除資材の使用・普及が進んでいる。一方で、これらの技術は化学合成農薬による種子消毒と比較してその効果が劣っており、ばか苗病の多発をはじめとしたいくつかの問題を発生させてきた。水稻の種子伝染性病害の発生を抑止していくためには、化学合成農薬と同等の防除効果を持ち、発芽等生育に影響しない防除技術が必要である。本研究では、事前乾燥処理を取り入れた温湯消毒（65℃10分）および弱酸性次亜塩素酸水を用いた種子消毒の防除効果を検証した。さらに、近年エルゴステロール生合成阻害剤（EBI剤）の使用により生じているばか苗病の発生遅延現象について解明した。

1) 事前乾燥処理を取り入れた温湯消毒（65℃10分）では、ばか苗病、いもち病、難防除病害であるもみ枯細菌病、苗立枯細菌病に対する防除効果が従来法（60℃10分）より高く、化学合成農薬と同等であることを明らかにした。さらに、ばか苗病を多発させている農家圃場でも適用可能か検討した結果、事前乾燥処理を取り入れた温湯消毒は従来法よりも発病苗の発生を減少する技術であることを明らかにした。

2) 除菌消臭剤としてすでに実用化されている弱酸性次亜塩素酸水の農業現場での利用を視野に入れ、水稻種子消毒への適用性を検討した。その結果、ばか苗病、いもち病、難防除病害であるもみ枯細菌病、苗立枯細菌病および褐条病に対して催芽時の処理することで高い防除効果が得られること、有効塩素濃度は200ppm以上で安定した効果が得られることを明らかにした。

3) ばか苗病の発生は一般に育苗期に認められてきたが、育苗期には発生せず本田に移植直前あるいは移植直後に徒長苗が発生する現象が発生している。この現象は使用する薬剤によるジベレリン生合成阻害が影響していることや低感受性菌の発生が考えられてきたが、これらの要因に加え、ジベレリンを産生するG系統とフモニシンを産生するF系統あるいは *Fusarium fujikuroi* 複合種が重複感染すること要因の一つとなることを明らかにした。

博士学位論文発表は2月17日（金）13時00分からおよそ1時間にわたって行われた。発表は研究対象とした病気についてとこれまでの種子消毒とその諸問題についての解説の後、それぞれの試験方法とその結果について順を追って専門外の参加者にもわかりやすいプレゼンテーションとなっていた。質疑応答についても適切な回答がなされた。提出された学位論文についてはこれら研究結果について適切にとりまとめられており、今後の水稻栽培における防除についての提案もされている充実した論文構成となっていた。また、研究成果の一部がすでに農業現場に普及していることは高く評価できる。

以上のことを踏まえ、博士の学位を授与するに妥当であると判定した。