

水稻種子伝染性病害の制御技術に関する研究

2023年3月

伊賀 優実

Hiromi Iga

目次

第1章 緒言	1
第2章 研究史	6
第3章 事前乾燥処理を取り入れた温湯消毒の防除効果	34
第1節 各種種子伝染性病害に対する事前乾燥+65°C, 10分の防除効果	34
第1項 緒言	34
第2項 材料および方法	34
第3項 結果	37
1. ばか苗病	37
2. いもち病（苗いもち）	43
3. 苗立枯細菌病	45
4. もみ枯細菌病（苗腐敗症）	48
第2節 ごま葉枯病および褐条病に対する事前乾燥処理を取り入れた温湯消毒の防除効果	50
第1項 緒言	51
第2項 材料および方法	51
第3項 結果	53
1. ごま葉枯病	53
2. 褐条病	56
第3節 褐条病の事前乾燥処理を取り入れた温湯消毒との体系処理	58
第1項 緒言	58
第2項 材料および方法	58
第3項 結果	59
1. 醸造酢液剤（催芽時処理）との体系処理	59
2. 醸造酢液剤（催芽前処理）との体系処理	60
3. 微生物防除資材（催芽時処理 200倍）との体系処理	61
4. 重曹（催芽時処理 100倍）との体系処理	62

第4節 農家でのはか苗病が発生する原因解明および事前乾燥+65°C, 10分の効果の実証-----	63
第1項 緒言-----	63
第2項 材料および方法-----	63
第3項 結果-----	69
1. 農家種子を用いた小規模（1/6サイズ育苗箱）ではか苗病の発病状況-----	69
2. 農家種子を用いた水稲用育苗箱ではか苗病の初病状況-----	71
3. 農家圃場での発病状況-----	74
4. はか苗病多発農家における発病要因の解析-----	78
第4章 考察-----	83
第5章 弱酸性次亜塩素酸水の各種水稲病害に対する防除効果-----	86
第1項 緒言-----	86
第2項 材料および方法-----	86
第3項 結果-----	90
I. 弱酸性次亜塩素酸水の防除効果-----	90
1. はか苗病-----	90
2. いもち病（苗いもち）-----	93
3. 苗立枯細菌病-----	95
4. もみ枯細菌病（苗腐敗症）-----	98
5. 褐条病-----	99
6. ごま葉枯病-----	100
II. 次亜塩素酸水の比較-----	101
1. はか苗病-----	101
2. いもち病（苗いもち）-----	103
3. 苗立枯細菌病-----	104
4. もみ枯細菌病（苗腐敗症）-----	105
5. 褐条病-----	107
III. 弱酸性次亜塩素酸水の濃度が防除効果に及ぼす影響-----	108
1. はか苗病-----	108
2. いもち病（苗いもち）-----	110
3. 褐条病-----	112
4. ごま葉枯病-----	113
4-1. 種子に対する防除効果-----	113
4-2. 培地上での抗菌試験-----	115

第6章 考察	116
第7章 ばか苗病菌の系統変化による発病遅延現象の解明	118
第1項 緒言	118
第2項 材料および方法	118
第3項 結果	119
1. 小規模試験（接種試験）	119
2. 汚染種子を用いた小規模試験	128
3. 通常育苗箱試験	130
第8章 総合考察	133
摘要	137
引用文献	139
参考文献	149
謝辞	150

第1章 緒言

わが国において水稻は最も広く栽培されている作物であり、世界各国でも幅広く栽培されている。水稻には様々な病害が発生するが、その多くは種子伝染性病害の病害であり、糸状菌病害としては *Pyricularia oryzae* によるいもち病、*Fusarium fujikuroi* によるばか苗病、*Cochliobolus miyabeanus* によるごま葉枯病が、細菌性病害としては、*Burkholderia glumae* によるもみ枯細菌病、*Burkholderia plantarii* による苗立枯細菌病、*Acidovorax avenae* による褐条病が主要な種子伝染性病害である(大畑、1989)。

これらの病害の発生を未然に防ぐためには、種子更新、採種圃場で生産された健全種子の利用、塩水選等による優良種子の選抜に加えて、古くから化学合成農薬による種子消毒を用いた防除が行われてきた。種子消毒の変遷にはばか苗病の発生が大きく影響しており、最初は機械植えと箱育苗が普及するとともにばか苗病の発生が問題となった。化学合成農薬による種子消毒はその簡便性と防除効果の高さから広く利用されてきたが、後述するようにベノミル耐性菌の発生や近年の EBI 系薬剤での耐性菌の発生によってばか苗病が問題視されることがしばしばあった。

このような背景にあって、食品に対する安全・安心志向の高まり、化学合成農薬の継続使用による薬剤耐性菌の出現、化学合成農薬使用後の廃液処理の問題から、今から 20 数年前に、化学合成農薬に依存しない温湯種子消毒機や微生物防除資材が開発されると多くの農家で取り入れられるようになっていった(山下ら、2000;角田ら、2002)。

本研究で取り上げている水稻種子の温湯消毒は、お湯に種子を浸漬するだけの簡単な消毒法である。温湯消毒技術は、風呂の沸かし湯などを使って以前から利用されてきた技術であるが、処理温度、時間についての詳細な試験とともに精密な温度制御が可能な装置が開発されたことによって急速に普及した(江口ら、2000;早坂ら、2001;岡部ら、2009)。現在では 60℃10 分間という処理条件が最も一般的とされている(岡部ら:2009)。温湯消毒法は、化学合成農薬を使用しないため有害な廃液が生じず、熱により病害虫を防除することから薬剤耐性菌に対しても効果的である。また、この方法により苗いもち、ばか苗病、苗立枯細菌病、もみ枯細菌病(苗腐敗症)ならびにイネシンガレセンチュウの防除が可能であることが報告されている(深野・横山、1951;那須ら、1995;林ら、1999;2000;山下ら、2000 a; 2000 b;早坂、2001)。この温湯消毒技術は、無農薬栽培や減農薬栽培を行う農家に急速に広がるとともに、農協に装置が設置され、組合員が共同で利用できる地域も見られるようになった。こういった利点から、一部の県では温湯消毒技術の普及率が 8 割にも達するなど急速に普及していった。温湯消毒法の防除効果を報告した研究は前述した報告も含め複数あり、十分に化学合成農薬の代替技術となりうるとされている(金子、2008)。その一方で、関原ら(2008)は温湯消毒法の温度や浸漬時間に不足がある場合や種子の保菌濃度が高い場合に、その防除効果が低下すると報告している。ばか苗病やもみ枯細菌病については 60℃10 分間という処理条件では完全に防除ができない場合があるとも報告されている(江口ら:2000、林ら:2002)。温湯消毒法は、処理時間が長いあるいは処理温度が高いほど、病害虫の殺菌効果は高まるとされる。一方で、こがねもちやヒメノモチ等の糯米品種および酒造好適米品種は、種子の温湯処理により発芽率が著しく低下することが報告されている(早川ら:2001、林ら:2002)

金勝ら(2013)は種子を事前に乾燥させ、含水率を10%以下にすると温湯消毒時の高温耐性が著しく向上し、60℃より高い温度で処理を行っても出芽に影響しないことを見出した(新技術)。この技術は化学合成農薬を使用せず、種籾を乾燥させるだけの簡単な方法である。特にばか苗病に関しては63℃で温湯処理をすることで完全に防除できることが報告されている(林ら、1999)が、63℃で温湯消毒するためには種子の高温耐性を強化させることが必須条件であり、事前乾燥は欠かせない技術である。また、この処理を行なうことで、発芽不良を回避する(金勝ら、2013)といった相乗効果も期待されている。加えてこの新技術は、糯米品種や酒造好適米品種などの種籾の高温耐性が低く、温湯消毒が行うことができない品種に対しても利用可能である。しかしながら、種子伝染性病害に対する新技術の防除効果の研究は行われていなかった。

微生物防除資材に目を向けてみると、トリコデルマトロピリデ水和剤やタラロマイセスフラバス水和剤が水稻の種子消毒剤として使用されている。これら資材は競合を主な防除活性とするため、対象の病原菌を完全に死滅させることができない。そのため、採種圃周辺や本田での発生が周辺に与える可能性のある圃場への使用は推奨されていない。

これら化学合成農薬に依存しない2つの防除法はイネシンガレセンチュウの防除を除き、化学合成農薬による種子消毒よりも防除効果がやや劣り、農業現場では温湯消毒の取りこぼしによる病害の発生が問題視されるようになった。特に自家採種による栽培に取り組んでいる農家を中心にばか苗病の多発が問題となり、多発圃場近隣で生産された種子の使用を断念する事例も発生した(藤、2013;2018)。高い防除効果を得るために温湯消毒法の利用にあたってはタラロマイセスフラバス水和剤やトリコデルマトロピリデ水和剤といった微生物防除資材との体系的な利用が推奨されてきた。このような対策が講じられている場合であっても、採種圃周辺において温湯種子消毒を行った苗を移植した圃場でばか苗病が発生し、採種が断念される事例も発生している(藤、2013;2018)。加えて、高度に汚染された種子の使用や種子予措環境の影響により、種子伝染性病害であるばか苗病が多発する原因となる場合がある。ばか苗病は、水稻種子生産における重要種子伝染性病害であり、各県では採種圃場から県で定められた範囲内に発病株があった場合は採種できないといった基準が設けられているため、採種圃場周辺では本病の根絶が求められるが、しばしば困難な状況になっている。本病の発病による収量への影響はほとんどないとされたため(鈴木ら 1987)、本病の本田防除に特化した農薬の開発がなされてこなかった。そのため発生が確認された際には抜き取りなど、物理的防除する方法がとられている。さらに、日本だけでなく韓国でも温湯消毒法の普及によってばか苗病の発生が深刻となっている。

そこで本論文の第3章 第1節では、前述した事前乾燥処理を取り入れた温湯消毒について60℃10分間の温湯消毒の防除効果のあるばか苗病、いもち病(苗いもち)、苗立枯細菌病、もみ枯細菌病を対象として防除効果を検討した。第3章 第2節および第3節では60℃10分の温湯消毒の防除効果が低いとされているごま葉枯病および褐条病を対象として防除効果を検討した。第3章 第4節では本新技術の実用性について農家圃場での試験によりその防除効果を検討した。

一方、近年農業分野においては、水道水に塩化ナトリウムを微量添加した食塩水を有

隔膜式電解素液内で電気分解して陽極側から得られる次亜塩素酸を主な有効成分とした強酸性電解水が微生物に対して殺菌効果を有する資材として注目されている。強酸性電解水は、高酸化還元電位、低 pH により微生物に対して高い殺菌活性を示し、主成分の次亜塩素酸の濃度が低く安全性が高いことから、医療、衛生、食品、環境分野で殺菌資材としてすでに利用されている。強酸性電解水は NaCl や KCl などの無機塩の希薄水溶液を有隔膜式電解槽内で電気分解したときに陽極側に生成する水のことを示し、それらを活用した防除試験がイネやキュウリ、イチゴなど多くの植物に対して行われてきた(園田ら、2000、2003;玉置ら、2001;福田ら、2008;草刈ら、2013)。また、植物病原ウイルスや糸状菌、細菌に対しても殺菌効果があることが知られている。また、殺菌活性の中心となる次亜塩素酸は、処理後短時間で消失することから環境に優しい安全な防除資材として早くから注目されてきた。前述した植物の病害防除に関して、具体的にはイチゴ灰色かび病(草刈ら、2013)、トマト灰色かび病(黒田・富川、2002)、キュウリ炭疽病(金磯・大植、1995;草刈ら、2013)、キュウリ、ナスのうどんこ病(草刈ら、1999;富士原ら、2000;草刈ら、2006)、イチゴうどんこ病(黒田・富川、2002)、糸状菌病害(MUELLER et.al、2003;藤井、2006)に対しての防除効果が報告され、作物への障害も少なく、繰り返し散布できる防除資材として注目されてきた(草刈、2014)。また、水稻種子伝染性病害に対しては、玉置ら(2001)が、強酸性水ならびに強アルカリ性水によるいもち病の孢子発芽抑制効果ならびに発病抑制効果があることを明らかにしており、園田らは 40°C の高温酸性水でいもち病、ばか苗病、苗立枯細菌病、褐条病の実用的な防除効果があることを明らかにした(2002、2003)。水稻種子伝染性病害に対しては他にもいくつかの検討が行われてきた(富士原ら、2000;藤井、2006)。一方、高橋ら(1996)は強酸化水(ハード酸化水:pH2.3、酸化還元電位 1100mV 以上、次亜塩素酸濃度 10ppm 程度、電解添加液として KCl を添加)を用いた防除効果試験を行い、もみ枯細菌病、苗立枯細菌病、褐条病に対して殺菌効果が認められるが、有機物や微生物と接触することで還元され原水に戻ってしまい防除効果の持続性がないことから、実用上に問題があると報告している。これまで効果試験が行われてきた強酸性電解水のような次亜塩素酸水では、電気分解によって生成されるため有効塩素濃度は最大でも 80 ppm で、前述した有機物等との接触に加え、有効成分を長期間保持できないことから、実用に当たっては生成機器を購入するなど、生成後直ちに利用できる環境が必要となっていた。さらに、水稻の種子消毒については、浸種前あるいは催芽時に次亜塩素酸水に浸漬することで種粒の消毒が可能となる特許が出願されているが、いずれも学術論文として報告されていない。この問題点を打開する方法として石原ら(2015)は、次亜塩素酸ナトリウム水溶液をイオン交換して弱酸性次亜塩素酸水を製造する技術を確認した。次亜塩素酸ナトリウム水溶液の pH を下げる方法として電解法や二液法が知られているが、電解法では高濃度の次亜塩素酸水を製造することができない。また、二液法では次亜塩素酸ナトリウムに塩酸を混合するという工程により塩素ガスの発生が避けられないという安全面での課題が挙げられる。一方で、イオン交換法は塩酸を使用しないことから塩素ガスを発生させることなく、200 ~1000 ppm の高濃度の次亜塩素酸を製造することができる。この技術により作製した弱酸性次亜塩素酸水は溶液中に含まれるカルシウムおよびマグネシウムなどのミネラル分を吸着する性質を有しているため、不純物が少なく、有効

成分を長期間保持できるとともに安全性が高いことから、現在防菌消臭剤として実用化されている。

そこで本論文第 5 章ではこの有効成分を長期間保持できる弱酸性次亜塩素酸水が水稻の主要種子伝染性病害であるばか苗病、いもち病、苗立枯細菌病、もみ枯細菌病菌による苗腐敗症、褐条病およびごま葉枯病に対して実用性のある防除効果を持つかどうか検討するとともに、強酸性電解水および次亜塩素酸ナトリウム水溶液との防除効果を比較した。

前述したように種子伝染性病害の防除には主に化学合成農薬が使用されている。現在種子消毒剤として普及している薬剤の多くはエルゴステロール生合成剤[EBI(DMI)]剤である。しかしながら、近年 EBI 剤を用いて種子消毒を行ったにも関わらず、ばか苗病が多発した、あるいは育苗期間中に発生せずに本田で発生したといった事例が報告されている。化学合成種子消毒剤においては 1980 年にばか苗病菌のベノミル耐性菌が発見されている(小川ら、1981;北村ら、1982)。ばか苗病は種子更新や種子消毒方法の不徹底、ベノミル耐性菌の蔓延に伴って、1984 年頃から全国的に多発した(天野ら 1986)。また吉野ら(1987)はこのベノミル耐性菌の出現がばか苗病菌の多発の一因となっており、1987年にはベノミル耐性菌が全国 37 道府県において認められていることを報告している。この原因は種子の流通が広域化、活発化したことによるものと考えられている。現在イネばか苗病の消毒剤にベノミル剤は使用されておらず、その代替薬剤として EBI 剤が広く普及している。しかしながら近年は、EBI 剤に対する低感受性菌の発生が増加傾向にあり、全国各地でその報告がされている。秋田県では EBI 系薬剤を使用しているにも関わらず、ばか苗病が多発する事例が 2012 年に顕在化し、その対策が求められるようになった。(藤ら(2019)は、秋田県では EBI 剤のうちペフラゾエート剤が主に使用されており、MIC 値(最小生育阻止濃度)が 25 ppm 以上と感受性低下菌の分離率が高く、プロクロラズ剤を使用していた地域では採取を断念するほどばか苗病が多発しており、その原因はプロクロラズ剤に対する感受性が低下して菌の発生であったことを報告している。山形県では、2015 年からプロクロラズ剤の効果低下がみられ、2019 年の生物検定により県内全域でプロクロラズ剤に対する感受性が低下したばか苗病菌が確認されている(森谷ら 2020)。兵庫県ではペフラゾエート剤に対する感受性低下菌の発生が確認されている(松本 2022)。

EBI 剤については上市された当時から低感受性菌の発生が報告されている。具体的にはトリフミゾールについて濱村ら(1989)は、MIC 値が 1,000 μ g/ml を超えるばか苗病菌の存在と、それら低感受性菌はイネに対する病原性が極めて低いことを、井上ら(1991; 1992; 1995)は、MIC 値 3.12~100 μ g/ml の菌ではトリフルミゾールの効果がやや劣ることを報告している。また、Wada et al.(年)は、ペフラゾエートに関して薬剤の効果に影響しない程度だが、感受性の低い菌株の存在を報告しており Takenaka et al. (1992)はペフラゾエートを含む培地から病原性とジベレリン生合成能が低下した菌株の分離を報告している。加えて、Tateishi et al. (2000)は徒長苗からイプコナゾール剤に対して感受性が低く、ジベレリンを産生しないばか苗病菌あるいは近縁種 *F. proliferatum* が存在することを報告している。しかしながら、いずれの報告も病原性の低い菌の発生であったことから、近年プロクロラズやペフラゾエート耐性菌の発生が確認されるまでは、ばか苗病が発生することなく実

用上問題なく利用されてきた。

Suga, et al. (2019)は、Tateishi et al. (2000)の報告している菌株を精査し、ばか苗病の病原菌である *Fusarium fujikuroi* には、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 系統が存在していることを明らかにした。G 系統は典型的なばか苗病特有の徒長症状を引き起こすが、*Fusarium fujikuroi* 複合種に属するフモニシン産生菌はイネを萎凋させることが報告されている (Niehaus, et al., 2017)。*Fusarium fujikuroi* 複合種は 50 以上の分子系統的菌種で構成された複合種で、トウモロコシやコムギ、イネなど様々な作物の病原菌となっている。*Fusarium fujikuroi* 複合種はフモニシン、ピカベリン、ジベレリンなどの二次代謝産物を産生することが知られている。一方、前述したように Suga, et al. (2019)は *Fusarium fujikuroi* の全てがジベレリンを産生するのではなく、カビ毒として知られているフモニシンを産生する菌株が存在することを報告している。フモニシンやデオキシニバレノールなどはマイコトキシンというカビ毒に分類される。これらマイコトキシンは人や家畜に対しても急性もしくは慢性の生理的あるいは病的に障害を与える有害物質である。フモニシンは 1988 年に南アフリカの研究者グループによって *Fusarium moniliforme* (現在は *Fusarium verticillioides*) から単離された比較的新しいマイコトキシンで、ウマの白質脳症や豚の肺水腫の原因物質と言われている (斉藤 2009)。フモニシンは世界中のトウモロコシから高頻度で検出され、アメリカでは、妊婦の摂取していたトウモロコシ製品中からフモニシンの濃度が高い場合、出生児に神経管閉鎖障害が起こりやすいと報告されている (小西 2006)。フモニシン産生能は *F. verticillioides*、*F. proliferatum*、*F. fujikuroi*、*F. nygamai* などの *F. fujikuroi* 複合種が有していることが明らかになっている (斉藤 2009、須賀 2015)。トウモロコシ赤カビ病の原因菌である *Fusarium verticillioides* については、宿主植物への感染におけるフモニシンの役割が検討されており、フモニシンは 1~50 μ l でトウモロコシやトマト苗の生育を阻害し、また、萎縮やクロロシスを発生させることが報告されている (Desjardins, A.E. 1993、須賀 2015)。

ばか苗病の発生実態に話を戻すと、これまでイネばか苗病が発生した場合、育苗箱に発生した罹病苗を抜き取ることで、本田での発生を回避できたが育苗期間中から本田にかけて次々と発生し、抜き取っても再び発生する現状が続いている。これらの現象は当初、環境保全農業や減農薬・有機栽培の増加による微生物防除資材を用いた場合の特有の現象と思われていたが、EBI 剤を使用した農家においても確認されており、耐性菌の発生が影響している可能性も考えられた。しかしながら、耐性菌が発生していない EBI 剤においても育苗段階では発病が認められず、移植直前あるいは本田移植後にばか苗病が発生する発病遅延の事例が増加している。このことから、発病遅延が生じる原因は EBI 剤の薬剤の効果低下だけが要因ではなく、フモニシン産生菌の増加によるばか苗病菌の系統分布が影響しており、G 系統と F 系統あるいは *Fusarium fujikuroi* 複合種の重複感染によるものと仮説を立てた。これを証明するため、第 7 章では、ジベレリン産生菌とフモニシン産生菌を用いて、接種試験を行い、2 種の混合接種によって徒長苗が減少するか調査した。さらに、本田で再現を行うため、農家規模での試験を試みた。

第2章 研究史

水稲の栽培において、昔から言われる言葉として「苗半作」がある。すなわち、本田での生育や収量・品質などに対して、栽培全体の半分影響をおよぼすことを示した言葉である。言い換えれば、健全苗が育てば、収量は半分保証されたことを示している。病害の側面からみた場合、病気に感染していない健全苗を育てることができ、本田に存在する病原菌の発生や近隣からの病原菌の侵入を防ぐことができれば、病気にかかること無く、収量・品質とも高いお米を生産できることを示している。このように、本田での生育や収量・品質などに対して影響を及ぼす病害のほとんどが、育苗期間中から発生する種子伝染性病害なのである。

種子伝染性病害の発生を防ぐためには、種子更新による健全種子の使用と化学合成農薬による種子消毒が一般に行われるが、廃液処理の問題や無農薬・減農薬栽培に適用可能な温湯種子消毒法や微生物防除資材の普及によって、ばか苗病やもみ枯細菌病の発生が増加している。

本章では、これら病原菌の研究史について概説する。

【ばか苗病 (*Fusarium fujikuroi*)】

大正時代のはじめころ（1912～15）までは、イネばか苗病菌の *Fusarium* 属の 1 種 *Fusarium heterosporum* Nees（堀、1898）と同定された。しかしながら、台湾総督府農事試験場の沢田兼吉氏、藤黒与三郎氏によって、初めてばか苗病菌の子のう胞子世代が発見され、1917 年に *Lisea fujikuroi* Sawada という新種として命名し公表した。沢田（1917）は種子伝染することを明らかにし、防除に大きく貢献した。黒澤（1926）は、ばか苗病菌を収集し、病原菌をろ過除去した液に健全なイネを浸漬したところひょろひょろと伸長したことから、本病の特徴である徒長症状が病原菌の代謝産物によることを発見した。その後、*Gibbrella fujikuroi* (Sawada) S. Ito（伊藤ら、1931）と改名された。藪田ら（1938、1939a、b、c、1941a、b、c）は単離・結晶化に成功し、その代謝産物が「ジベレリン」であることを発見した。

本病は、1955 年ころ畑苗代が急速に普及した北日本を中心に発生が目立つようになった。1965 年に箱育苗が導入され、普及に伴い全国的に発生するようになった。箱育苗での発生は、高温多湿であることや蜜播であるため多くなったと考えられた（小林ら、1988；大畑、1989）。

1. 病徴

(1) 苗代期

緑化開始 1 週間後から認められるようになるが、最も発生が顕著になるのは 2 週間以降である。一般的な徒長苗は全体的に色が淡く、ひょろっと徒長し、葉身が大きく開いている (図 1-1、1-2)。

大畑 (1989) は、畑苗代、保温折衷苗代、箱育苗で発生するが、水苗代ではほとんど発生しない。箱育苗では、保菌もみを播種すると、発芽直後から発生し、出芽間もない苗が枯死することもあるが、苗の黄化・徒長は育苗期の中・後期にみられる。罹病苗は葉身、葉鞘が徒長するとともに黄化して、ひ弱である。汚染もみを無消毒のまま播種すると箱全体が黄化・徒長することもある。枯死苗を抜き取ると苗の基部やもみのまわりに白色ないし紅色のかびが生え、組織は紫褐変していることがあると述べている。

高橋 (1930) は水苗代の発生最も少なく、折衷苗代はこれに次ぎ、陸苗代に発生が最も多いことを報告しているが、瀬戸 (1933) は、乾燥土壌では抑制苗が多くなることを報告している。井口ら (1955) の研究では、保温折衷苗代には水苗代よりもばか苗病の発生の多い傾向を認めている。また、保温折衷苗代は土壌温度の面から、ばか苗病の発生の好適環境であると示唆している。

渡部 (1985) は、苗代期における発生実態を詳細に研究している。育苗様式については、畑苗代、折衷苗代、水苗代の順で発病率が高い。また、播種量では 100 g 播種して保温折衷苗代で行うと発病は少ないとした。

笹原 (2013) は、浸種温度が 5℃、10℃、15℃の順に—催芽温度が 34℃、30℃、26℃の順に発病苗率が高く、出芽温度は無加温の場合に発病苗率が高くなったことを明らかにした。このことはばか苗病の多発は浸種から催芽までの温度の影響が大きく高い温度での浸種、低温での催芽、無加温での出芽が発生を助長することを示唆しており、藤 (2013) の報告と一致する。また、笹原 (2013) は出芽の温度の影響についても試験しており、出芽時の昼間の温度が 25~30℃ 程度に保たれ、夜間が 10~15℃程度の温度条件下では、ばか苗病発生は抑えられているが、日照不足等 により昼間は 20~25℃ までしか温度が上がらず、夜間も 5~10℃のような低温条件下では、ばか苗病の発生が助長されると示唆している。ばか苗病は、浸種温度が 15℃のときに発生が多くなる傾向があることも確認している。猫塚ら (2017) は、緑化期の低温がばか苗の発生に影響していることを報告している。あわせて、生物農薬および温湯浸漬法による消毒済み種子を使用した複数の大規模育苗施設において、緑化期に低温遭遇したハウスではばか苗病の発生が多い事例を複数確認したことから、緑化期の低温が不完全葉の抽出の遅れ、すなわち感受性の高い緑化期の日数が長引いたことにより感染頻度が高まった可能性があると考えしている。加えて、育苗初期の 10℃以下の低温は生物農薬の防除効果を不安定にさせるとしており、緑化期の低温によって生物農薬の防除効果が低下し、温湯消毒でも緑化期の低温で発病が助長することを確認している。

(2) 本田での症状 (図 1-3)

ばか苗病は育苗期に発生することで徒長苗を抜きとることで防除されてきた。発生生態や防除の研究も育苗期に関する報告が多い。本田に持ち込まれた苗は罹病苗であ

り保菌苗となる。本蔵ら（2010）は、育苗期に徒長症状を示した苗は本田移植後 6 月中旬頃まで多くのものが徒長症状を消失して健全な生育を示し、一部のものが枯死に至ること。6 月下旬以降に再び徒長症状を復活したものは多くが収穫期まで徐々に枯死に至ること。そして、移植時には無病徴であっても、6 月中下旬以降になって徒長症状を示し枯死に至るものがあったと報告している。

2. 病原菌の生理および伝染環

(1) 感染と発病

西門ら（1939）は徒長茎では褐変や枯死がみられない稈や葉鞘でもかなり高いところの維管束部に菌糸や小型分生子がみられたと述べている。佐々木（1987）は、苗では菌糸は茎葉部の柔組織中に分布し、上部では維管束中に存在する。病原菌は幼苗の茎葉部柔組織から侵入し、維管束内を上方へ伸展すると推測している。葉では、機動細胞から侵入し、菌糸は細胞間隙を伸展し維管束に達すると述べている。

内藤（2008）は、ばか苗病菌の菌糸は、苗の稈底部から上方葉 1 cm までは胚盤の柔組織にある種子根発生部の維管束周囲、種子根と主稈の維管束が接続する部分の柔組織細胞中、維管束の導管内と維管束周囲の柔組織で認められる一方で、育苗期の苗では葉鞘に菌の分布を認めなかった。イネの成長につれて導管内で増殖し、後期には稈の先端近くまで伸長すると述べている。

本田で枯死上に形成された分生胞子が籾に感染し菌糸伸長したのち、籾の中で越冬する。また開花中に穎内に落ちた分生胞子が種頭や雄ずいから侵入し、花器感染する。菌糸の活動は籾の発芽とほぼ同時にはじまり、産出されたジベレリンにより徒長症状を示す（梅原ら、1977；愛知県病害虫情報 2020）。

(2) 感染の生理

浸種温度については、温度が高くなるほどばか苗病の発生量が多くなる。浸種中に罹病籾が混入していた場合、罹病籾から離脱した分生胞子が他の健全籾に付着する（石井、1975）。

浸種時の水温 5℃では、籾への菌糸の付着が認められず、15℃では付着が認められたことから、15℃以上では籾表面での菌の繁殖が可能であることが明らかにされている（石井、1977）。これより、浸種温度による籾上でのばか苗病菌の繁殖状況の違いがその後のイネと菌の生育に影響し、浸種温度が 15℃では、5℃や 10℃の場合と比較して発病苗率が高くなったと石井（1977）は推察している。

三島（2003）は、発生に関わる要因について検討した。その結果、浸種中の温度が 5℃では 25℃の 2 倍の発生量であった。出芽温度が 32.5℃、35℃でばか苗病の発病が多く、緑化期および硬化期では、30℃に 15 時間あるいは 40 時間保つと発病が増加したことを認めている。

(3) 伝染方法

渡部ら（1980）は、健全種子を播種した育苗箱中に人工的に孢子形成した培養糶あるいは孢子塊を形成した自然感染糶を置床したところ、播種後の健全糶に感染したことを報告している。

金田ら（2011）は、育苗期の発生が、種子予措中の感染が中心であることを証明するために、ハイグロマイシン耐性を付与した組み換え菌を作製し、孢子懸濁液に浸種した。種子予措から育苗期間中のばか苗病菌動態を調査した結果、浸種（15℃）開始6時間後には健全種子の穎と玄米の間に侵入できるが、主な侵入行動は催芽処理時（30℃24時間）に起こっていることを明らかにした。

藤（2013）は、渡部（1980）や金田ら（2011）の報告を受けて、組み換え菌が感染した種子の近くに健全種子を播種しても、発病はみられていないことから、種子予措中の伝染は浸種から催芽の時期に限られているものと推測している。

越智ら（2016）は、温湯消毒で種子消毒を行っている育苗施設では、種子予措および育苗のいずれの工程で生じることを明らかにしている。特に、育苗ハウスで本病が多発生した育苗施設では、出芽から育苗時の感染が共通して認められたことから、これらは防除上、重要な工程であり、さらにばか苗病の多発した育苗施設で使用していた育苗箱および育苗器から病原が検出されたことから、これらが伝染源となることを推測している。

(4) 病原菌の生理的分化

澤田（1912）は イネ苗の伸長が菌糸体の刺激によるとしたが、黒澤（1926）は菌の「毒素」が芽の徒長葉緑体の形成阻害、根の生育抑制を起こすと報告し、1926年、培養液でイネの幼苗を処理してばか苗病と同じ病徴をおこさせることに成功、培養濾液中にイネを徒長させる物質が存在することを示した。のちに「毒素」を「成長促進物質」に換えた（黒澤、1930）。藪田らはばか苗病菌の培養濾過物から純粋に近い非結晶性固体を得てそれをジベレリン、さらに淡黄色結晶を得てジベレリン A、B と命名した（藪田、1935；藪田ら 1939）。加えて、1938年には、藪田らはこの有効成分の単離を試み、2種の生理活性な結晶を単離した（藪田ら、1938、1939；高橋、1966）。

3. 防除対策に関する研究

(1) 各都道府県における防除指導

秋田県

種子消毒、浸種は必ず屋内で行い、開始時に水温が15℃になるように調整している。また、水温10～15℃を確保できるように消毒、浸種の開始は早くても4月上旬から行っている。浸種期間は水温10℃で6日間、水交換は2～3回。薬剤吹付・塗抹種子では、浸種開始2日間は水交換しない。環境衛生の徹底：イネわらやもみ殻、紛じんは伝染源となるため、十分に種子予措を行う作業場の清掃をする（2015）。

岩手県

2011年から実施してきたクリーン作戦（化学合成農薬による消毒済み種子の広域使用）によって少発傾向になったことから、平成28年度から生物農薬タフブロックSP（以下、生物農薬）による消毒済み種子が県中南部で広く使用された。生物農薬は本病に対する防除効果が不安定であることから、大規模育苗施設における多発事例を取りまとめ、効果的な使用法の普及定着に資する緑化期に低温に遭遇すると生物農薬の効果が不安定になるので、ハウス内で緑化する場合には低温に遭遇させないように、被覆資材等により保温に努める（2017）。

山形県

グリーンプロジェクトとして、以下のことに取り組んでいる。

- ① 作業場所やその周辺から伝染源となる稲わら、籾殻、米ぬか、粉塵等を除去し十分掃除をする。
- ② 昨年「ばか苗病」の発生が見られた場合は、種子消毒、浸種、催芽に使用する機器並びに容器（桶、育苗箱）はすべて「イチバン」（500～1,000倍液で瞬時浸漬または散布）等で消毒する。また、マルチや有孔ポリは再利用せず更新する。
- ③ 浸種は、屋内または日陰で行う。
- ④ 育苗施設及び周辺では、生わら、籾殻を使用しない。
- ⑤ 育苗期間中の温度は、出芽時（30～32℃）、緑化期（昼：20～25℃、夜：10℃以上）、硬化期（昼：15～20℃、夜：5℃以上）を目安とする。温度が高くと「ばか苗病」の発生が多くなりやすいので、温度管理を徹底する（「ばか苗病」の発生リスクが最も高い温度は27～30℃）（2017）。

庄内地域でプロクロラズ剤（スポルタック剤）耐性イネばか苗病菌の発生が確認された。プロクロラズ剤の効果が低下している場合は使用を中止し、イプコナゾール剤（テクリード剤）など他の薬剤による種子消毒を行う（2021）。

宮城県

イネばか苗病を出さないための栽培管理の徹底として以下のことに取り組んでいる。

- ① ②～④のほ場での採種を行わないこと。
- ② 採種ほ場でイネばか苗病が発生した。
- ③ 100m範囲内の周辺ほ場でイネばか苗病が発生した。
- ④ 200m範囲内の周辺ほ場でイネばか苗病が多発した。

採種組合やJAが実施する取り組みへの協力。採種ほ周辺ほ場の育苗時や本田生育時におけるイネばか苗病発生状況の見回り、ばか苗病株の抜き取り。

化学合成農薬による防除または生物農薬と温湯消毒の体系防除。温湯消毒の処理量、浸漬、温度・時間のポイント確認。消毒後のポイント確認。（2021）

福島県

種子更新は必ず毎年行う。薬剤消毒済みの種子を使用し塩水選を行う。未消毒種子を購入、自家採種した場合は、必ず塩水選と種子消毒を行う育苗期間に「ばか苗病」に感染した苗は必ず抜き取り、本田に持ち込まない。低濃度浸漬消毒でテクリード C フロアブル、モミガード C 水和剤、モミガード C・DF は 200 倍液に 24 時間浸漬、トリフミン乳剤は、300 倍液に 24 時間。浸漬浸漬後は水洗いせず、直ちに浸種する。福島県内各地でイネばか苗病のプロクロラズ剤（商品名：スポルタック乳剤、スポルタックスターナ S E）への耐性菌が確認されたので、種子消毒には別の剤を使用する（2022）。

長野県

菌粒と健全粒を肉眼では判別できないので、粳種では比重 1.13、糯種は比重 1.08 の塩水選を行い、重症粒を取り除き、さらには種粒消毒を行うこととしている。長野県でもベノミル耐性菌が広範囲に分布しているため、ベノミルの低濃度浸漬処理は控える。

三重県

健全種子を使用する。塩水選で重症もみを除去し、浸種を小分けにして感染拡大を防ぐ。発病苗は除去するとともに、多発した育苗箱の移植は避ける。本田で発病した場合は、枯死する前に株ごと抜き取って焼却する（2012）。

兵庫県

購入種子（消毒済）を使用する。やむを得ず自家採種等の種子を使用する場合は、比重 1.13 の塩水選又は 2.2mm 目合いでふるいをかけた上で、比重選を実施する（一般的なるち種の場合）。また、病原菌を保菌しているリスクが高いことから、ばか苗病、いもち病および細菌性病害が発生したほ場から自家採種しない。

- ① 伝染源となる作業場の籾殻やわらを除去し、作業場や機械類の清掃、整理整頓を行う。
- ② 浸種用の容器、育苗箱、播種機など播種・育苗用の資材は、次亜塩素酸カルシウムで消毒を行ってから使用する。
- ③ 特に温湯消毒に使用する播種・育苗資材は必ず消毒する。また、消毒後の再感染の危険性が高いため、播種作業場に粉じんを発生させる籾殻・わらなどを絶対に置かない。
- ④ 温湯消毒を行う場合は、使用する機械に定められた処理量、温度、時間を守る。処理後はすぐに使用し、保管はしない。
- ⑤ 催芽および出芽時の加温は 30℃を確保する。

温湯消毒による種子消毒：処理条件は 60℃10 分を基本とする。また、効果を高める処理条件として、63℃5 分あるいは事前に 10%以下に水分を落とした種子での 65℃10 分がある。温湯消毒後に生物農薬の催芽時などの処理を行うことで高い防除効果が得られる。

化学農薬への浸漬による種子消毒：種子と処理薬液の容量比を 1：1 以上とした薬

液浸け、袋内に薬液が十分にゆきわたるようによくゆする。薬剤を洗い流さないように種子容量の2倍の水に静かに浸ける。種子の水洗いはしない。その後、2日間は水換えを行わない（1991）。

鳥取県

普及対象は、酒米、糯米等の品種のうち、発芽への影響が懸念されるため温湯種子消毒の時間を60℃ 10分間から6分間へ短縮したものを推奨。その後、微生物防除資材（タフブロックまたはエコホープDJ）200倍液に浸漬する。発芽率が下がらず、60℃ 10分間の温湯種子消毒と同程度の防除効果を示す（2015）。

熊本県

熊本県内におけるイネばか苗病菌は、ほとんどベノミル感性菌であった。トリフルミゾール剤、ペフラゾエート剤及び、プロクロラズ剤は、ベノミル耐性菌に高い防除効果を持っている。これらの薬剤及び従来からのベノミル・チウラム剤は、低保菌率の籾を使用した場合には高い防除効果を持っている。ベノミル感性菌であっても、完全な防除効果は期待できない。本病を完全に抑制するためには、種子更新を行い、さらに種子消毒を実施する必要がある。ベノミル・チウラム剤は、ベノミル感性菌に対しては消毒方法をしっかり守れば新しい薬剤とほぼ同等の効果を持っている（1991）。

（2）薬剤による種子消毒

加藤ら（1992）は、苗立枯細菌病の防除にオキシリニック酸水和剤、カスガマイシン液剤による種子消毒およびカスガマイシン粒剤の育苗培土混和处理が高い防除効果を有することを報告した。しかし、これらの薬剤は育苗期に発生するばか苗病に対し防除効果が期待出来ない。そこで、両病害に対する同時防除法を確立するため、山形県病害虫防除基準に採用されているばか苗病の種子消毒剤を検討した。処理法は、平成3年度山形県病害虫防除基準から以下を選択している。チウラム・ベノミル水和剤は乾籾重0.5%量湿粉衣処理、トリフルミゾール水和剤は乾籾重0.5%量湿粉衣処理と30倍10分間浸漬処理、トリフルミゾール乳剤は30倍液10分間浸漬処理、ペフラゾエート水和剤は乾籾重0.5%量湿粉衣処理と20倍液10分間浸漬処理、プロクロラズ乳剤は1000倍液24時間浸漬処理である。オキシリニック酸水和剤単独の効果は、0.5%湿粉衣処理と20倍液10分間浸漬処理で高かったが、200倍液24時間浸漬処理でやや低かった。また、カスガマイシン液剤1000倍液24時間単独浸漬処理の効果は低かったと報告している。

熊倉ら（2003）は、土壌伝染性病害等の拮抗微生物として研究知見の多い *Fusarium* 属菌および *Trichoderma* 属菌を数種植物の根圏等から分離し、ばか苗病の発病抑制効果の検討を行った。その結果、ノシバ根圏より分離した *Trichoderma sp.* SKT-1 株が化学農薬と同等の発病抑制効果を示した（熊倉ら、2003a）。*Trichoderma sp.* SKT-1 株は、分生子懸濁液の種子浸漬は、ばか苗病に対してイプコナゾール・銅フロアブルの種子消毒とほぼ同等の発病抑制効果で浸種時の各処理と催芽時処理では差がなく、防除価は

99.5～100 と高かったと報告している。

1980 年代末から 90 年代初めころまでベンゾイミダゾール（ベノミル）剤に対する耐性菌の発生により多発していたが、効果の高い種子消毒剤（DMI 剤）の使用で 2000 年代後半までほとんど発生が見られなくなっていた。しかしながら、生物農薬や温湯消毒の普及により、その発生が増える傾向にあり（藤、2013）、国内外で卓効のあった化学農薬に耐性、薬剤感受性低下が発生している事例が散見されるようになった（工藤ら、2014；萬田ら、2019；森谷ら、2020）。さらに、外食・中食用として多様な品種が作付けされるなど、種子の流通が広域化、活発化している現在、兵庫県内でも本病の発生が顕在化し、多発生が懸念されている。そこで、松本（2022）は、長年使用されているペフラゾエート剤およびプロクロラズ剤に対する感受性低下菌の発生した県において高い効果が維持されているイプコナゾール剤について薬剤感受性を調査した。その結果、兵庫県内でイネばか苗病菌に対するペフラゾエートの薬剤感受性低下の存在が明らかとなったため、ペフラゾエートの使用を制限した（高い防除効果が保たれている 銅＋フルジオキシニル＋ペフラゾエート剤は推奨とした）と報告している。



図 1-1.育苗期での徒長苗



図 1-2.育苗施設での発生



図 1-3.本田での症状

図 1.ばか苗病

【いもち病（苗いもち）】

本病は、種子消毒が不十分な保菌種もみを播種することで発生する。その症状は、葉身への病斑形成、萎凋、立ち枯れ、枯死である。育苗箱内では、株間が狭いため接触し多湿となることで、隣接株へ伝染・拡大する。いもち病はイネの病害の中で最も恐ろしい病害といわれている。

1. 病徴

(1) 苗いもち（図 2-1）

箱育苗の発生には 2 つの型がある。1 つは播種 1 週間目頃から鞘葉全体が暗灰色ないし褐変し、ときに菌糸をまとった分生子の形成がみられる。ついで不完全葉や第 1 葉本葉に灰緑色で周縁褐色の紡錘形や不正形の病斑が現れる。病原菌が内外穎や護穎などに侵入あるいは付着している種もみに発生しやすい。もう 1 つは、播種 2 週間目ころ、1.5 葉期ころになって苗が突然萎凋する。地際部は褐変し、のちに苗に枯死する。この症状は病原菌が胚や玄米等に侵入している種もみで発生しやすい（大畑、1989）。

苗いもちは育苗期間が長いほど、発生の確率が高まり、種子の保菌率が高いほど発生が多くなる。苗いもちになると鞘葉は灰色から暗灰色、不完全葉および第 1 本葉の葉鞘は灰緑色となり、その後、褐変し、枯死する（小泉、2018）。

(2) 葉いもち

本田で葉に発生するいもち病を一般に「葉いもち」と呼ぶ。北日本では、分けつ期から出穂期にかけて連続的に発生している。西日本の普通栽培では、本田に移植後から幼穂形成期にかけて発生が多く、盛夏期に入ると高温・多照であるため病勢が衰える。

大畑（1989）によると、はじめ円形あるいは楕円形で灰緑色ないし暗緑色水浸状で、のちに葉脈に沿って拡大し、紡錘形や長菱形の褐色病斑となる。典型的な病斑は中央にできる白灰色の崩壊部であり、さらに病斑を通る葉脈は長く褐変して、壊死線を形成する。

小泉（2018）は、葉に大型の病斑が形成されると、その後に形成される葉鞘と葉身の長さは短くなって展開し、多発時イネ株が萎縮すると述べている。この症状を「ズリコミ」といい、同症状を示す本病を「ズリコミいもち」と説明している（図 2-3）。

また小泉（2018）は、分けつ期から出穂前葉と葉節に主に発生するのは葉身上の葉いもちであると述べている。分けつ期は茎数の増加に伴い①感受性の高い若い葉の量が増加し、②茎葉が繁茂してイネ群落内の多湿が、葉いもちがまん延しやすい原因となる。いもち病菌は若い葉の葉身に感染すると感染後 4～5 日目に初め円形から楕円形の白色または中央灰色、周縁暗緑色～紫色ないし暗緑色の水浸状病斑を形成する。この病斑は葉脈に沿って拡大し、中心部灰白色、周縁紫色～紫褐色の紡錘形や長菱形の病斑となる。この病斑を急性型（進展型）病斑という。病原菌の分生胞子数は進展型が最も多く、1 晩に 1 病斑当たり 3～4 万個の分生胞子が形成される。その後、葉脈にそって褐色のえ死線、周囲に淡黄色の中毒部を形成する慢性型病斑となる。慢性型病斑はほとんど分生胞子を形成しない。

葉いもちは穂いもちの主な伝染源となる。葉いもち上に形成される分生胞子は空気中に飛散し、穂に感染する。これが穂いもちになると述べている。

(3) 穂いもち

穂いもちは発生部位によって「枝梗いもち」「節いもち」「穂首いもち」「籾いもち」とよばれる。

枝梗は節部が感染を受けやすく、感染部位は灰白色から黒褐色に変色し、病斑は上下に伸展する。感染が出穂後の早期の場合、感染部位の上部の籾は枯死し、不稔となる。後期の感染では、登熟不良が起きる。穂軸に本病が発生すると「穂軸いもち」になる。本病の発病経過は枝梗と類似する(山中・山口 編、1987; 日本植物防疫協会、2010)。

穂くび節の潜伏期間は穂の中では最も長い。このため、穂くびいちは穂いもちの中で最も遅く発生する。穂くびいちは、最初穂くび節が紫褐色に変色し、節全体に広がる。その後、この病斑は上下に伸展し、暗褐色となり、時に病斑の外周に不明瞭な黄褐色の中毒部を生じる。穂くび節が早期に感染を受けると穂全体が白穂となり、不稔となる。感染時期が遅いとその被害は少なくなるが、収量・品質に及ぼす影響は大きいといわれている(山中・山口 編、1987)(図 2-4)。

ミゴの病斑は穂首節から下の節間部に形成され、穂くびの病斑と類似しており、早期感染で感染上部の穂は白穂となる。節いちは茎の節が感染することで生じ、最初、円形の褐色病斑を形成し、これが拡大して節全体に広まり、黒変する。また、節いちの病斑の周囲は淡暗褐色に変色し、節部は折れやすく、感染節より上の茎は枯死する(山中・山口 編、1987)。

小泉(2018)はさらに、以下のように詳細に報告している。

出穂以降、籾、枝梗、穂軸、ミゴ、穂くび節等の穂各部に付着した病原菌は侵入・感染後、潜伏期間を経て、穂いもちを生じる。穂各部の感染から発病までの潜伏期間は出穂期の平均的な気温で籾、枝梗、穂首節でそれぞれ 5~8 日、7~10 日、9~12 日で、低温ほど潜伏期間が長くなる。籾いもちの潜伏期間は穂いもちの中で最も短く、発生も早いので、穂いもちの二次伝染源となる。籾が感染すると穎が白化し、これが籾全体、表面に多数の分生胞子を含む菌層を形成する。籾いもちによる白化籾は時に健全部との境目が褐変する。籾いもちから枝梗へ病斑が伸展(枯れ下がり)すると、枝梗いもちとなる。

2. 病原菌の生理および伝染環

(1) 感染と発病

1-1. 葉いもち

いもち病菌はイネ葉や種籾中で冬を越し、春になると、それぞれの場所で活動し始める。適当な温度と湿度にあって胞子が形成される。胞子は空中を飛散してイネ葉の上に落下する。ここで発芽、付着器形成、侵入、病斑形成となる。病斑には、1. 病徴(2)でも既述のとおり、中毒部と壊死部、壊疽線からなる慢性型病斑と、急性型病斑(不整形灰色)がある。後者の病斑は、抵抗性の弱いイネで病気が激発したときにみら

れる。この場合には、無数の孢子が形成される。(小野、1965)。

イネ体に落下した分生孢子はその表面が濡れているとその先端にある粘着物質で付着し、発芽管を出す。発芽管を伸長させる過程で固着し、疎水性基質を認識し先端に付着器を形成する。付着器はその後、周囲や表面に粘着物を分泌して固着を強固なものにするとともに、メラニン化して褐変し、細胞内のグリセロール濃度を高め、高い膨圧(80気圧弱)で、侵入菌糸を出し、パピラを貫通し表皮細胞内に侵入して侵入菌糸となる。病原菌の菌糸はイネの細胞内で伸長と分岐を続け、隣接する細胞へと伸展し感染が成立する(古賀、2003)。

いもち病の発生に最も影響するのは窒素である。窒素肥料を過剰に施用するとイネが軟弱になり、抵抗力が低下する。また、イネが過繁茂となり、湿度が高まり、いもち病菌の侵入・感染・菌糸の伸長、分生孢子の形成が促進される。

1-2. 穂いもち

小野(1960、1965)は、葉いもち病斑に形成された孢子は、他のイネ葉を侵し、次々に伝染すると報告した。この時期が過ぎてイネが穂を出す頃になると、穂いもちは、穂の頭の部分、枝梗あるいは節を侵して、各部位に症状がみられる。これらが進展すると、穂が白穂になったり、茎の途中から折れたり籾の充実を阻害し、ときには収穫皆無となる。これら、藁についた菌はそこで冬を越す。一方、籾についた菌は籾いもちを起こし、翌年の苗代で発生原因になることが多い。自然状態でも苞葉がいもち病に侵されることが多く、苞葉の感染が穂首いもちと密接な関係のあることが示唆されている。枝梗いもちの侵入場所については、主軸の節、第1次および第2次枝梗の節いずれも容易に侵入し、感染時期は止葉、葉鞘の割れ始めた頃から出穂後20日目頃まで続くとされる。

平野ら(1963)は枝梗いもちからの感染場所として籾のほか穂軸節、枝梗節をあげ、節間、各器官の退化部の感染率は低いと述べている。穂の部分枯死量は感染一箇所当りでは穂首節あるいは穂軸に近い部位が感染した場合に大きい。穂全体からみると籾感染が頻繁に起こるため、それに起因する枝梗いもちを軽視できない。籾は内穎より外穎とくに毛先付近から発病するものが多い。枝梗いもちの自然感染は出穂直後から糊熟期におよぶ長期にわたって途切れることなく発生すると報告している。

(2) 感染の生理

栗林ら(1952)は、病斑上での分生孢子の形成は、20~35℃、特に25~30℃で行われ、湿度は90%以上を必要と報告している。水田中での孢子形成は概して夜と早朝に行なわれ、飛散には20.5~21.8℃の比較的低温、90%以上の高湿度が10時間以上持続する場合が最適である。このような条件は夜間に生じる。曇天または雨天で湿度の高い日は日中でも孢子の形成飛散が行なわれるが、風があり乾燥する日は夜間でも孢子形成成熟が進まないと報告している。

吉村ら(1959)は穂の発育期を数段階に分け、17℃の低温処理を行なった結果、生育遅延とともに穂いもちに対する感受性を増大することを認めている。特に幼穂発育の

後半の処理はイネ体のいもち菌に対する抵抗力を著しく低下させ、また、出穂後の処理は抵抗力には顕著な影響がないとした。

いもち病は古くから冷涼条件下に発生が多いとされてきた。しかしながら、後藤ら（1961）は低温（19℃）処理直後のイネは 26℃と比較して抵抗的であるが日を経ると罹病すること、低温処理の影響は 18 日後にはかなり衰えるとしている。

鈴木（1969）は、生育温度 9℃以下では孢子形成は行われず、10℃以上からわずかに始まると報告している。孢子形成は最適温度は 25～28℃、33℃で少なく、35℃以上になると形成しない。湿度は 89%以上で始まり、93%以上では多湿程孢子が多数形成される。そのため、ある程度の乾燥でも、水分が病斑周辺から絶えず補給されている状態であれば、孢子は形成されると述べている。

小泉（2018）も孢子の形成は、湿度 89%以上（93%以上で旺盛）、12～32℃の温度で 6 時間後から始まり、穂いもち病斑上の分子孢子形成能は、粃で 4～8 日、穂くび節では 8～15 日が病斑形成後のピークであること、分生孢子の離脱には水（露・雨）、風、明暗も関与しており、結露や雨の濡れによる分生子柄からの分生孢子の離脱も行われると述べている。

（3）伝染方法

いもち病の第一次伝染源には、保菌種子、被害わら・保菌粃がらおよびイネ以外の植物がある。これらのうち最も主要な第一次伝染源は保菌種子で、被害わら・保菌粃がらがこれに続く。イネ以外の植物が第一次伝染源になることは少ない。葉いもち全般発生の伝染源として、深谷ら（1996）は稲わらマルチされた野菜畑等に隣接する水田で葉いもちが多発したことから、調査を行ったところ風が弱く、気温が高く、結露条件がある程度確保できれば野菜畑に敷かれている稲わらから伝染が起り、藁マルチした畑からの伝染規模は 10～20ha に及ぶと報告している。

鈴木（1974）および内藤・越水（1979）は、いもち病の主要な伝染経路として、保菌種子の播種による育苗期感染、さらに感染苗の移植による本田への持ち込みを挙げている。苗いもちを本田に移植することで、罹病株の周辺の健全株に伝染し、次第に拡大する。また、罹病株内では葉身に形成されていた分生孢子がイネの生育に伴って順次上位葉に移行感染し、止葉とその下位 3 葉までの葉の病斑に形成された孢子の飛散により穂首、枝梗、粃等に伝染して穂いもちを発病し、このようにして汚染された種子が翌年の第一次伝染源となると報告している。

生井ら（2008）は、これらの粃殻からいもち病菌を分離して遺伝子型を解析し、翌年の初発期に粃殻放置地点に近い水田に発生した葉いもちの病斑から分離したいもち病菌を比較した。一部分が一致したことから、野外に放置され、積雪下でも乾燥状態で越冬した罹病残渣がいもち病の第一次伝染源となっていることが強く示唆されたことを報告している。減農薬のいもち病の防除にはこのような罹病残渣の管理が極めて重要であると述べている。

生井（2012）は、また、いもち病の第一次伝染環は、前年度の汚染種子であり、これを用いて育苗した場合、地際部に形成された病斑上の分生孢子が展開葉に感染して苗

いもちを起こすのが始まりとし、野外で放置されている前年度の粃殻の保菌率を調べたところ、高いことが明らかにしたと報告している。

(4) 病原菌の生理的分化

Pyricularia 属菌として最初に記載されたのは、1880年のメヒシバいもち病菌 *Pyricularia grisea* (Cooke) Sacc. である。イネ菌は1892年に Cavara により、*P. oryzae* Cavara と命名された（土佐、2005）。

3. 防除対策に関する研究

(1) 発生予察

いもち病を的確にかつ効率的び防除するには、発生を事前に予察し、適切な防除対策を適期に実施する必要がある。

越水（1983）は気象庁からの地域気象観測網（AMeDAS）から送られる気象データを利用して、葉いもちの発生予察システムを開発した。これは葉面湿潤時間を推定するための基準を作り、次に、①空中飛散胞子の減少、葉面付着胞子の流亡、②菌侵入率の違い、③伝染源の胞子形成に及ぼす5日間の気温の影響などを考慮した10項目から構成されている。

吉田ら（2017）は、予察システムを活用した防除要否・散布適期判断に基づく無人ヘリによるいもち病の効率的防除の有効性を検証するための実証試験を行っている。

菅原ら（2021）は、葉面濡れセンサーを用いたイネいもち病の発生予察技術を開発するために、イネ体における葉面濡れ時間の計測に最適なセンサー設置角度、設置場所、葉面濡れセンサーを用いて計測した葉面濡れ時間といもち病発生の関係について検討している。0°では10時間、45°では4時間以上の濡れ時間で葉いもち病斑数が増加する傾向がある。降水量を考慮した葉面濡れ時間を葉面濡れセンサーで推定することにより、葉いもちの感好適条件の予測精度が向上する可能性を示唆しており、さらなる予測精度向上のため葉面濡れセンサー、雨量、葉いもちの発生の関係について調査している。

日本で広く普及している葉いもち発生予測システム（BLASTAM）は、アメダスデータの気温、日照時間、風速、降水量から葉面濡れ時間を推定して葉いもちの発生を予測している（林・越水、1988）。

(2) ケイ酸質肥料の施用

竹内（1997）は、イネの窒素およびケイ酸の栄養状態の改良により、イネのいもち病に対する抵抗力が高まり、発病を軽減することが可能であることを実証した。

早坂ら（2000）はケイ酸施用による発病抑制技術が開発した。具体的にはシリカゲル（SiO₂ : 99%）を育苗箱当たり250g床土混和することで発病抑制効果の向上が認められている。

一方、前川ら（2001）は6種の資材で試験しており、シリカゲル 200g、250g、試薬ケイカリ 12g は、殺菌剤に匹敵する高い抑制効果があり、殺菌剤の代替になると報告している。

小林ら（2012）は有機圃場土壌を用いたポット試験において、低温燃焼ではケイ酸溶解性の高い籾がら焼却灰 15g/pot 施用により、ケイカル 9 g/pot と同等の葉いもちおよび穂いもち防除効果を得ている。

小泉（2018）は、ケイ酸肥料を施用するといもち病の発生が抑制されると述べている。この要因として、イネ表皮細胞にケイ酸濃度が増えることで侵入抵抗性の増大、イネ内のケイ酸含量の増加に伴う窒素含量の低下、病害防御反応の誘導であると推測している。

（3）種子消毒

種子消毒には化学合成農薬と微生物防除資材による消毒および一般に 60℃の温湯に種籾を 10 分間浸漬する温湯消毒があり、化学合成農薬の処理法として浸漬、湿粉衣（一部生物農薬）、塗沫がある。

化学合成農薬による浸漬消毒は夜温 10℃以下にしないことが重要である。微生物防除資材では、出芽および育苗期の温度管理、温湯消毒は処理温度・時間を厳守し、処理後の再感染しないように注意が必要である。

早坂ら（2002）、山口ら（2004）はイネいもち病菌の籾への感染が、玄米にまで達していることがあり、DMI 剤による通常の種子消毒では十分に防除できないことを指摘しているが、木村ら（2005）は、ベノミル水和剤による種子消毒は籾表面に感染した菌はもちろん、玄米まで感染した菌に対して DMI 剤以上の孢子形成抑制効果および苗いもち防除効果を示したと報告している。

山口ら（2009）は、ベノミル水和剤を DMI 剤であるイブコナゾール・銅水和剤に混用する種子消毒（24 時間浸漬）は、育苗期に発生するいもち病に対し、播種 37～44 日後まで高い効果を示すことを明らかにしている。このことは、種子由来の苗の葉いもちに対しても高い効果を長期間示すことを示している。さらに、その苗を移植した本田において、初発日の遅延は明らかではなかったが、葉いもちの発生を抑制する防除効果が認められたと報告している。

（4）育苗箱施用

東海林ら（1977）は、箱施用剤の効果について検討している。葉いもちの発生は7月中旬ごろからみられ、7月下旬から8月上旬にかけて増加したが、オリゼメート粒剤が最も効果があり、EL-291 水和剤、フジワン粒剤の順に効果があったと報告している。穂いもちについては、オリゼメート粒剤、EL-291 水和剤施用区で発生が少なかったと述べている。また、北日本地域でも田植前の育苗箱施薬による本田いもち病防除が可能であり、罹病種籾に起因する苗いもちや発病苗移植による本田での伝染等を考え合わせると、移植前の箱施薬は有効な防除法と示唆している。

前川ら（2000）は、様々な薬剤で防除効果を検討している。粒剤の試験ではジクロシ

メット粒剤、カルプロパミド粒剤の各 50g/苗箱相当（以下/箱とする）の播種直後覆土前施用が、それぞれ防除価 100.0、99.0 と高い効果を示し、トリシクラゾール粒剤 50g/箱施用では効果は高いが、草丈の低下と発根不良となる薬害が見られた。アゾキシストロビン粒剤は 20g/箱 施用でも防除価 84.1 と効果が認められたことを報告している。水和剤、液剤、乳剤の試験においては、接種 2 日目の散布では、カルプロパミド水和剤、カスガマイシン液剤、フェリムゾン・フサライドフロアブル、カスガマイシン・フサライドゾルが高い効果を示すこと、トリシクラゾール水和剤も効果は高かったが、葉先が黄化する薬害が見られたと報告している。希釈倍数 1000 倍の散布では薬害は発生しなかった。

小泉ら（2009）は、水稻湛水高密度直播栽培（播種方式：散播）における全般発生開始期前のプロベナゾール粒剤（8.0%）の減量施用（2kg/10a）が葉いもちに対して高い防除効果を示すことを報告している。また、藤井ら（2015）は、湛水土中直播栽培において、プロベナゾール剤の減量施用による葉いもち防除効果を検討している。プロベナゾール粒剤の減量施用（2kg/10a）は同剤の通常量施用と同等の防除効果が確認された。特に 2011 年の試験では、葉いもちが多発生条件下でも無処理と比べて高い防除効果が認められている。



図 2-1. 苗いもち



図 2-2. 葉いもち



図 2-3. ズリコミ症状



図 2-4. 穂いもち

図 2. いもち病

【もみ枯細菌病(苗腐敗症)(病原菌:*Burkholderia glumae*, *Burkholderia gladioli*)】

イネもみ枯細菌病は 1955 年に福岡県ではじめて発生が確認された病害で、日本で最初に提唱された病害である(後藤ら、1956)。本病は、1960 年代には西南暖地を中心に発生していたが、1960 年代後半には秋田県で発生が確認された後は全国的に発生が認められるようになった。

1. 症状

(1) 苗(図 3-1)

本病による苗腐敗症は、催芽、出芽、緑化期が高温・多湿になると発生する。育苗箱内の一部に凹んでいる箇所がみられることで発見される。出芽時に感染すると幼芽が褐色・湾曲し、葉身は黄白化する。

植松ら(1976)は、苗齢が進んだのちに感染した場合、葉鞘は褐変し、次いで出葉する新葉とその葉鞘は白色から淡褐色となり、その後しだいに全体が黄褐色となり、腐敗枯死すると報告している。罹病苗は基部が腐敗するため、芯葉は容易に引き抜くことができる。また、罹病した腐敗苗からは悪臭するのが特徴である。緑化期から硬化期にかけて、生き残った苗の葉鞘は淡褐変ないし濃褐変し、芯葉は腐敗した葉鞘を破ってねじれながら抽出する(大畑、1989)。

(2) 穂(図 3-2)

本病の特徴は穎の基部が褐変腐敗しその為先端部の水分が断たれて籾は蒼白色に枯死する。病籾を調査すると幼玄米は基部が濃褐色になって枯死しており、早い時期には護穎は未だ枯れていないものが多い。病変部には多数の細菌が見られる(後藤ら、1956)。

後藤(1980)は、初期病徴は、出穂後 1 週間目頃だと述べている。早朝か降雨後の穂が濡れた状態にある時、感染もみの変色は内外穎でのにぶい黄赤色の輪郭の明瞭でない変色に始まり、激発した場合にはもみ全体がやや蒼白色となる。枝梗や穂軸に変色が見られない。また、後期病徴は出穂後 3 週間目頃で、この時期では他の病虫害と次の点で識別しやすい。1. 穂の形態と変色が健全穂と比較して判別が可能である。2. 重症穂は直立したままであり、軽症穂は 1 次枝梗がばらばらに傾いて、罹病もみだけが変色している。3. 重症の直立した穂はメイチュウによる心枯症状と異なり、容易に引き抜けない。この 3 点が特徴である。

2. 病原菌の生理および伝染環

(1) 感染と発病

遠藤(1980)は、苗の生育時期ごとに接種し感染時期を調査している。発病は第 1 本葉期までの接種で認められている。催芽籾での接種が最も発病しやすく、生育が進むにつれて発病は減少する。浸種籾および催芽籾接種では腐敗枯死苗や葉しょう部の褐変症状の激しい苗が多かったと報告している。しょう葉展開時から第 1 本葉期の接種では、第 2 本葉の葉鞘基部が褐変し、葉身が萎凋後枯死することが多い。このように、

本病は苗の生育時期の限られた期間の接種に引き起こされることを明らかにしている。

病原細菌の気孔からの侵入および柔組織の細胞間隙中における増殖は苗立枯細菌病と同様であるが第1本葉の葉鞘部を腐敗・崩壊させる点が異なる。しかしながら、鞘葉は、腐敗・崩壊することはなく、常に原型を保っている。

(2) 感染の生理

病原菌の生育適温が30℃といもち病やばか苗病と比べ高いため、催芽時の高温・多湿が発病を助長してしまう原因となっている。

遠藤(1980)は、浸種の水温、催芽処理温度、出芽温度、緑化温度が病原菌の増殖を促進する育苗初期の温度条件だと述べている。温湯を使用し、短期間浸種で、浸種時の水温が30℃前後で、発病が増加し、30~32℃の催芽処理は明らかにもち枯細菌病の発生が助長するとした。出芽温度は30および35℃の場合は発病苗率が高く、ほとんどの苗は腐敗枯死し激しい発病となったと報告している。

山下ら(1998)は、催芽・出芽温度を28~36℃で育苗した結果、30℃を超えると発病が急増し、以後高温になると激発するため、28℃に下げることによって発生が減少することを報告している。

(3) 伝染方法

十河(1985)は本病は、種子伝染、種子浸種中や育苗箱内での伝染、圃場に放置された罹病もみやわらからの本田初期の伝染、出穂直後から開花期にかけての伝染と大きく分けられると述べている。

(4) 病原菌の生理的分化

栗田・田部井(1967)は、本病原菌を *Pseudomonas glumae* KURITA et Tabei と命名したが、現在は *Burkholderia gladioli* と変更されている。

對馬ら(1987)は、籾での増殖について罹病籾では穎の下表皮面に多数の細菌の存在が認められ、上表皮面での細菌数が少ない。出穂直前の籾の表面や穎基部に細菌はほとんど見られず、籾基部や副護穎の組織内部にも細菌はみられないことから、開穎時および閉穎直後に籾内に侵入し、出穂後の穎の下表皮面で増殖すると推測されている。

乙藤ら(1988)は、苗や籾での動態については説明が進んできていることから移植時から出穂初期までの本菌のイネ体における生存について調べ、本病原菌の生存は、下位葉鞘、地際部、根等の下位部分に常に存在するが上位部分はその程度は低いこと、葉鞘内への感染は主に、出穂後に起こるとされたことから籾への侵入はイネ体の上位部からであると報告している。

3. 防除対策に関する研究

(1) 育苗方法

勝部ら（1997）は、プール育苗による発病抑制について報告している。十分な発病抑制効果を得るためには緑化期以降から硬化期初期（播種後 5～8 日）に湛水を開始する必要があり、これより遅れると十分な発病抑制効果が得られないことを明らかにしている。抑制効果は育苗温度が 25～35℃の温度範囲であるともしている。

(2) 薬剤による種子消毒

太田（1989）は、健全籾の確保と塩水選、種子消毒が重要だと述べている他、次亜塩素酸カルシウムを種子消毒剤としてあげている。方法としては、次亜塩素酸カルシウム 200 倍液に 24 時間浸漬し、十分に水洗する。また苗腐敗症の防除には、オキシニック酸水和剤が開発されており、200 倍液 5～24 時間浸漬、400 倍液 24 時間浸漬するとしている。

太田ら（1994）は、もみ枯細菌病に対してはコサイド SD やスターナ水和剤による種子消毒、カスミン剤の床土施薬で防除効果が認められ、ベンレート T 水和剤、ヘルシード T 水和剤、テクリード C などによる種子消毒のみでは防除効果が低い場合でもカスミン粒剤と併用処理することで防除効果を上げることができたと報告している。これは種子消毒剤と床土施用剤との相乗効果であると推測している。



図 3-1. 苗での発生



図 3-2. 本田での発生

図 3. もみ枯細菌病

【苗立枯細菌病（病原菌：*Burkholderia plantarii*）】

本病は、はじめ葉身基部および葉鞘の黄白化症状がみられ、次第に萎凋し、帯状あるいは苗全体が赤褐色となって枯死する。また、本病は発根、根の伸長及び緑化を阻害し苗を枯死させる毒素（トロポロン）を産生するため、根の生育が極めて悪い特徴を持つ。もみ枯細菌病と同様に、出芽時の高温条件で発病が助長される。

1. 病徴

畔上（1986）の報告によれば、本病の初期症状はもみ枯細菌病による苗腐敗症と似ており、第3葉（まれに第2葉）基部にクロロシスが現われ、萎凋が始まる（図4-1、4-2）。しかしながら、やがて苗全体が赤褐色に乾燥、枯死し、突っ立ち状態となり、容易に腐敗しない点で、苗腐敗症とは異なっている。早期に感染した場合には、根の生育は悪い。本病は、箱育苗では周囲の苗に伝染し、高温多湿下で激発すると箱全体の苗が枯死する。

加えて、畔上（2009）は、本病に罹病した苗は萎凋し、葉身が針状に巻いて赤褐色になって枯れる。発病苗を水田に移植すると生育不良になり、枯死して欠株となると報告している。

2. 病原菌の生理および伝染環

（1）感染と発病

畔上ら（1988）は、本菌が下表皮および上表皮の気孔から穎内の柔組織中に侵入して増殖し、これが苗立枯れの主たる感染源になるものとしている。

感染は浸種から播種4日後までで、それ以降の二次伝染ないと考えられている。罹病苗の葉鞘部と育苗土に存在し、移植後に菌密度は低下するが、株元で生息しており、出穂期の籾に感染する。

（2）感染の生理

本菌は北海道における標準的な浸種条件である12℃6日間に比べて、これより高い温度の18℃4日間では発病が増加し、24℃3日間ではさらに発病が増加する。高い温度で短期間の浸種を行った場合に発病が増加する傾向が認められている。また、出芽器による蒸気出芽は、ビニールハウス内置床出芽に比べて著しく発病が増加する傾向がある。病原細菌の接種籾の混合率に関わらず、育苗温度が高い場合に発病が多く、灌水が多い場合に発病が増加する。特に灌水が発病に及ぼす影響は大きく、過剰な灌水は発病を著しく増加させる。

竹内（1994）は、浸種が十分に行われないと、発芽が遅れるため、発病に好適な温度となる催芽や出芽の期間が長引くことによって、発病が助長されると述べている。

(3) 伝染方法

本病は種子伝染する。もみの症状ははっきりしていないが、発生地の種類から分離できる。人工接種したもみでは長期間生存可能で、4年経過したもみでも苗の発病がみられる（大畑、1989）。

田中ら（2002）は、コウヤワラビが苗立枯細菌病の伝染環に重要な役割を持っていると示唆している。イネ種子へは、風媒伝染と雨水による水媒伝染が起こることが示されたが、苗立枯細菌病の発生程度は年次によって大きく異なっていたとしている。保菌コウヤワラビは伝染源として重要だが、伝染程度は気象などの外的な条件に大きく影響されることが示唆されている。

(4) 病原菌の生理的分化

苗立枯細菌病菌 (*Betkftolderia plantarii*、旧名 *Pseudomonas plantarii*)は、1982年に千葉県各地で立枯症状を呈した育苗箱中のイネ苗およびその育苗土から初めて分離された細菌であり、1987年に畔上らが新種の植物病原細菌として命名、報告している。

3. 防除対策に関する研究

(1) 育苗方法

林ら（1997）はプール育苗での発病抑制を検討している。プール育苗法は苗立枯細菌病に対して発病抑制効果があり、湛水開始時期は出芽後早い方が抑制効果が高く、途中で湛水を中断することなく常時湛水を保った方がよい。さらに一度育苗箱で発病した場合でも、直ちに湛水すれば病徴は軽減される場合がある。このような苗を本田に移植すると、健全苗と同等の良好な生育をするとし、プール育苗法により発病抑制効果が期待できる条件を明らかにした。常時湛水のプール育苗区における床土内の温度は慣行育苗区に比べて1~2℃低く、病原菌の生育適温とされる32~35℃よりもかなり低い。このことから、病原菌の生育がゆっくりで発病が抑制された可能性を示唆している。また、土壌中の酸素量が少なく嫌氣的であったことを示している。このため、好気性である病原菌が常時湛水したプール育苗区では生育不良となり、そのため発病が抑制された可能性が示唆される。より確実な防除効果を得るためには薬剤処理との組み合わせ等をさらに検討する必要があると述べている。

(2) 種子消毒

清田（2016）が行ったイネ苗立枯細菌病菌接種による薬剤防除効果試験では、オキシリニック酸の感受性が低下している菌株では、オキシリニック酸の単独処理の防除効果は低かった。しかしながら、カスガマイシンに対して感受性と判定された全ての供試菌株において、カスガマイシン粒剤の追加散布処理は、オキシリニック酸の感受性の有無に限らず各薬剤処理区とも防除効果が同程度から高くなり、特にチウラム・ペフラゾエート水和剤処理区への追加散布は防除効果を大きく向上させたと報告している。



図 4-1. 苗での発生

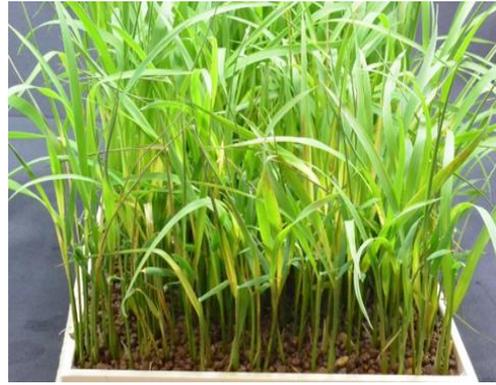


図 4-2. 白化苗

図 4. 苗立枯細菌病

【ごま葉枯病（病原菌：*Cochliobolus miyabeanus* (Ito et Kuribayashi) Drechsler ex Dastur)】

ごま葉枯病は葉と穂に発生し、穂の発病は「穂枯れ」と呼ばれる。穂枯れの発生が著しい場合には、稔実低下により減収するとともに、品質の低下を引き起こす。新潟県において、ごま葉枯病は 1970~80 年代に多発し問題となったものの（大倉ら、1973；渡辺ら、1986）、その後は鎮静化し重要な病害とは見なされなくなったと報告されている。本病は、環境病ともいわれるように水稻の秋落ち現象と密接な関係がある（赤井、1965）。

本病は、保菌種もみを播種すると子葉や本葉で黒褐色短線状の斑点を生じ、葉の湾曲症状を示す。日本において、水稻の秋落ち現象や穂枯れ現象等と関連して植物病理学的な観点から盛んに研究が行われてきた（吉井・松本 1951；馬場、1958；赤井、1965；渡辺ら、1973）。本病が発生すると約 10%が減収するともいわれている。本病に効果を示すストロビルリン系殺菌剤の普及により、被害は少なくなっていた。しかしながら近年、新潟県で多発事例が報告され、その発生が改めて問題視されている（山口ら、2007；新潟県病害虫防除所、2011）。日本の稲作において、いもち病、紋枯病に次いで発病面積が大きい病害である（日本植物防疫協会、2013）。

1. 病徴

本病は、育苗期の苗、本田期の葉および穂に発生する。

(1) 苗での病徴

箱育苗においては、出芽後の葉鞘の褐変や褐色条斑の形成、葉鞘や葉身における褐色小斑点の形成等として認められる。籾の表面には黒褐色の菌糸のまん延が認められる。本病に侵された苗は、生育が遅延して草丈が低くなり、中には新葉が出すくんで曲がり、奇形する場合もある。病勢の激しい苗は立枯れとなる（図 5-1）。緑化期以降では、葉身に褐色の楕円形病斑を形成し、そのために葉身のねじれや曲折を生じることがある。本田では、幼穂形成期ごろから下葉の葉身に長さ 2~3mm、幅 1~2mm 程度の褐色の楕円形病斑を生じ、穂ばらみ期を過ぎから上位葉に進展する。病斑は周囲に黄色の中毒部を伴うが、イネいもち病のような葉脈に沿った壊死線はなく、紡錘形にならないため判別できる（角田、2018）

(2) 穂での病徴

感染が最も早いのは籾で、出穂期から穂揃い期にかけて発病が見られるようになる。その後穂軸や枝梗が発病して、収穫期まで増加する。籾の病原菌に対する感受性は、出穂から穂揃い期にかけて最も高く、その後は急激に低下する（大畑ら、1972）。

発病穂において、穂軸や籾上の大型病斑で孢子形成が確認されており、これらの孢子も収穫期までの感染・発病に関与する（足立ら、1975）。もみでは、出穂後早い時期に侵されると暗褐色で周縁がやや不鮮明な紡錘形ないし楕円形斑点を生じ、のちに中央部が灰白色となる。激しいともみ全体が紫褐変し、のちに黒いビロード状のかびが密生することがある。このようなもみは不稔となる。

みご、穂軸、枝梗では、出穂後 2~3 週間目ごろから、黒い条斑がみられ、長くなり、全体に広がる。淡褐色あるいはあめ色になり枯死する。いわゆる穂枯れとなる（大畑、1989）。

(3) 本田期での病徴

渡辺ら（1973）はごま葉枯病は、よほど激しく発病した苗を移植しない限り、いもち病の「ずり込み症状」のような甚大な被害には至らないと報告している。また、本田での発病は、イネの分けつが進み株間の湿度が高まり始める幼穂形成期ごろから認められる。

足立（1975）は葉の病斑は、穂ばらみ期ごろから増加しはじめ、出穂期以降は直線的に増加するが、胞子形成が可能な大型病斑が上位 3 葉で増加するのは糊熟期以降とされると述べている。また、生葉上での分生胞子の形成、斑点型の病斑では少なく、輪紋を生じるようになって増加し、枯死葉で最も多くなる。葉の病斑で形成された分生胞子は、風で飛散して穂に感染する。

2. 病原菌の生理および伝染環

(1) 感染と発病

本病は種子伝染性で種もみが第一次伝染源となる。栗林（1929 a）の報告によると、病原菌は耐久力があり乾燥状態の被害わらや被害籾殻上でも生存できる。病原菌は、これら収穫後の植物体の表面に胞子の状態で付着するか、組織内に侵入した菌糸の状態越冬する（栗林、1929 a）。

馬場（1958）は、土壌分析結果から本病が発生しやすい条件は、秋落ち減少に伴い、土壌養分、特に窒素、カリ、鉄、ケイ酸、マンガン等が溶脱・欠乏した土壌は発生を助長させることを明らかにしている。感染は菌糸が菌糸束を作って集団的に表皮膜の珪酸層下に入り、細胞間を通過して同化組織内に入る場合も認められている。病原菌がイネ表皮を貫通する際には、少なくとも細胞膜を溶解する酵素が関与すると考えられているが、本菌の菌糸は培養初期にキシラナーゼ、セルラーゼ、ペクチナーゼを分泌することが認められている（赤井、1965）。生育初期には旺盛な生育を示すが後期には下葉が枯れ上り、生育不良となって収穫が低下する。その原因としては、耕土中の活性鉄の不足浅耕土ろう水過多、腐植過多、排水不良などがあげられている（赤井、1965）。

(2) 感染の生理

病原菌のイネへの侵入可能な温度範囲は 5~35℃で、20~30℃が良好であるとされた。分生胞子形成空気湿度は 87%以上を必要とし、高温ほど良好である。分生胞子は速やかに発芽し短時間で侵入する。感染から発病までの潜伏期間は、条件がよい場合には 24 時間以内であり、病斑の成熟とともに新たな分生胞子が形成される（足立ら、1975）。また、病原菌の生育温度は 5~41℃の範囲で、最適温度は 25 ~30℃と明らかにされている。pH2.3~9.9 で生育するが、生育最適 pH は 6.6~7.4 である。分生子は pH2.6~10.9 で発芽するが、発芽最適 pH は 6.7~7.4 である（大畑、1998）。

新潟県農林水産部によると、病原菌の生育温度は 5~41℃ で最適温度域は 27~30℃と報告している。

(3) 伝染方法

育苗期の発病では種籾が主たる第一次伝染源であるが、病原菌は耐久力があり乾燥状態の被害わらや被害籾殻上でも生存できる。病原菌はこれら収穫後の植物体の表面に胞子の状態で付着するか、組織内に侵入した菌糸の状態でも越冬する(栗林、1929a)。被害わらや被害籾が野菜栽培の被覆資材として使用された際、胞子が飛散して周辺のイネに感染する可能性がある。そのほかに、土壌伝染やイネ以外の植物からの伝染が考えられるが、前者に関しては、土壌中の湿潤な状況下における病原菌の越冬が困難なことが証明されている。さらに、栗林(1929b)は、第一次伝染源が汚染種子の場合には、穎などに感染した菌糸が伸長し直接出芽して葉鞘を侵す場合と、籾上に付着した分生胞子あるいは新たに形成された分生胞子が健全個体に感染して発病する場合があると述べている。また、被害わらや被害籾殻に形成された分生胞子が飛散して苗に感染する可能性があること、感染した植物体の病斑上に形成された分生胞子は、飛散して育苗中に二次伝染を起こすと報告している。

イネ以外の植物からの感染については、病原菌が特定のイネ科雑草に感染することは確認されていたが、雑草からイネへの感染は未確認であると報告している(山本ら、1972)。近年の研究で、水田周辺のアシカキの葉枯病菌がイネとの間で相互接種で病原性を示し、雑草が伝染源になることが示された(磯田、2002)。

(4) 病原菌の生理的分化

足立ら(1975)は、病原菌の侵入は、籾では 5~35℃の温度範囲で行われ、20~30℃が良好で侵入までの時間が短く最も侵入率が高いと述べている。また侵入場所については毛茸からが大部分で気孔からわずかに侵入した。穂軸では菌は観察されなかったと述べている。

3. 防除対策に関する研究

(1) 土壌改良

本病は、Fe や Mn などの溶脱が著しい場合にイネの秋落現象がみられる。過マンガン酸カリを施用すると発生を抑制でき(浅田ら 1958)、マンガンの施用は秋落イネへの効果は大きい病斑拡大率は 70%以上低下したという結果を得ている。

珪カルの施用は高い防除効果を得ている(安ら、1962)。堆肥は緩効性で生育後半の肥料切れ対策に有効である(大畑、1989)。

(2) 薬剤による種子消毒

EDDP 乳剤の効果はすぐれており、穂揃～傾穂期の散布がまさり穂ばらみ期では効果が劣る。特に穂揃期と傾穂初期の 2 回散布は効果がある。同時に止葉におけるごま葉枯病の病斑数を調べた結果、無散布ではかなりの病斑がみられたが、EDDP 乳剤の散布された区では病斑数が無散布の 1/2 程度となったことが報告されている（中西ら、1973）。

箱育苗における防除についてはチウラム・ベノミル水和剤、チウラム・チオファネートメチル水和剤、トリフルミゾール水和剤による種子消毒を行う。ヒドロキシイソキサゾール水和剤の播種直後かん注は有効であると報告されている（大畑、1989）。

(3) 耕種的防除

育苗期の耕種的防除は、汚染種子を播種すると、出芽処理時の高温と高湿度によって菌糸が伸長し、葉鞘や不完全葉に感染する。このとき、覆土が不完全な場合は発病が助長され、水分条件が湛水状態よりも畑状態で発病が増加する（堀ら、1983）。このため、播種時の覆土は確実にを行う必要がある。緑化期のプール育苗などは、発病を低減できる。また、圃場衛生の観点から、被害籾殻や稲わらを育苗場所の周囲から遠ざけることも重要である。

本田での耕種的防除で最も重要なのは、生育期後半の肥切れを防ぐための、移植前の土づくりや移植後の施肥管理である。土づくりにおいては、含鉄資材、カリ、ケイ酸、マンガンやマグネシウム等を含む土壌改良資材が効果的である。



図 5-1. 苗での発生



図 5-2. 本田での発生（小斑点）

図 5. ごま葉枯病

【褐条病（病原菌：*Acidovorax avenae*）】

褐条病については、温湯消毒が効果不十分とされ（堀ら、2005）、その対策が重要な課題として残されている。これら病害は、現状化学合成農薬による薬剤防除が一般的とされている。一方、関原らは（2008）、褐条病に対して食酢液中で種粒を催芽させることで高い防除効果が得られることを報告している。

1. 病徴（図 6）

本病は後藤ら（1956）によってはじめて発見された。本病により重症化した場合は幼芽の生育が停止し、芯葉が抽出しないまま枯死する。本病は、前年度の罹病種子かあるいは浸種中の感染や育苗箱内の罹病粒から発病する。本病は二次伝染をしないため、もみ枯細菌による苗腐敗症のように坪枯状になり一箱全部を廃棄するような激甚な被害とはならない（富永ら、1983）。

主な病徴は、葉鞘から葉身にかけて形成される褐色の条斑である（門田ら、1987；富永ら、1983）。門田は（2002）、本病は幼苗期だけに発生し、本田移植後に新たな病斑が形成させることはないと報告している。光学ならびに電子顕微鏡による観察から、病原細菌は宿主組織の通気腔とその周辺の細胞間隙で主に増殖して宿主組織を侵すために褐色条斑が現れることを認めている。

この条斑は不完全葉または第 1 葉鞘にとどまる場合と、第 1 葉身および第 2 葉しょうから第 2 葉身へと進展する場合とがある。このほか、特徴的な病徴として出芽直後にしょう葉が湾曲して腰曲がり症状を示すことも認められている（Itaitis, R.D et al., 1978、門田ら、1983；佐藤ら、1983；矢尾板、1985）。幼病苗中で病原細菌の増殖が盛んなときには、しょう葉および第 1 葉の先端や葉縁に菌泥が観察できる。

2. 病原菌の生理および伝染環

(1) 感染と発病

門田（1993）は葉鞘に潜伏する病原は出穂開花時に穎花に侵入し、病徴を伴うことなく粒に保菌されると推察した。イネ体への接種試験の結果により、侵入時期は出穂日前後の約 6 日間と推定した。粒に潜伏していた病原菌は催芽直後から急速に増殖し始め、浸種液中に逸出することを明らかにしている。

褐条病を人為的に発生させるためには、汚染種子が必要となるが、本菌に感染したもみは外部病徴を示さないため、自然感染種子の入手は困難である。一般には開花期に細菌懸濁液 10^{7-8} CFU/ml を 1/5,000 ポットあたり、約 40-50ml を噴霧接種し、高湿度条件下で 24 時間おいて感染させた人工接種もみが利用されている。また、 10^{7-8} CFU/ml の細菌懸濁液に 1 時間減圧接種し、一晚風乾させた種子も用いることができる。

(2) 感染の生理

本菌は、エンバクを侵す細菌として報告されたのが初めてである（矢尾板、1985）。その後イネ科植物に寄生することが明らかにされた（門田ら、1983）。育苗箱内で発生する主な第一伝染源は保菌種もみである。明らかではないが、温水循環式の催芽器（30～32℃）を使用した場合、催芽中に保菌籾から健全籾への感染によって発病が増えることや育苗資材も伝染原となることもある（矢尾板、1985；門田、2002）。浸種・催芽の過程で増殖した病原細菌は、育苗箱に播種され、32℃前後の温室に静置する（出芽）ことでさらに増殖する。

開花期接種もみや懸濁液に浸漬した籾の場合、すべての苗が発芽障害を引き起こす甚発生となってしまう場合があるため、健全種子を用いて汚染程度を下げる必要がある。育苗は高温・多湿の条件がよく、出芽温度は32℃とする。本病は30～34℃で発病しやすい。農家の育苗時期では温度が低く発病させにくいので、初夏（東北地域では夏期も可）から初秋にかけてのビニールハウスのほか、人工気象器を用いても容易に発病させることができる。

(3) 伝染方法

大畑（1898）の報告では、伝染経路が明らかではなかったが、門田（1993）により、第一次伝染源は汚染籾であることが明らかにされた。比重選による選別は健全籾と汚染籾の稔実が同程度であるため不可能である。

門田（2002）は、シャワー循環式催芽機（ハトムネ自動催芽器）は30～32℃に保った水槽に強制的に空気を循環させながら籾を催芽させるため、本細菌の増殖に最適な環境を与えることになる。浸種・催芽過程で増殖した病原菌は、催芽籾に付着した状態で育苗箱に分散され、32℃前後の温室に2～3日静置する出芽処理によりさらに増殖して出芽苗に侵入すると述べている。

(4) 病原菌の生理的分化

病原細菌は短桿状で孤立するか数個連なり、大きさは0.7～0.9×1.5～3μmで、グラム陰性で芽胞を形成せず、非抗酸性で、単極性のべん毛をもち運動性を有し、塩基性色素に好染する。普通寒天平板培養では、円形、全縁、中高、平滑で湿光を帯びた白色不透明、ついで淡褐色に変化する表生集落を形成し、培地は変色しなかったことを観察している（富永ら、1983）。

3. 防除対策に関する研究

(1) 耕種的防除

循環式の催芽器を使用しないこと。出芽温度32℃で多発する可能性があることから30℃以上に上げないことが重要である。

(2) 薬剤による種子消毒

矢尾板（1985）は2種の薬剤防除について報告している。1つは催芽器を用いる場合には、浸種水中にカスガマイシン液剤 1,000 倍になるように用いる方法がある。循環中に泡がたつため、消泡剤に有機ケイ素化合物を浸漬水に加えること。もう1つは、育苗箱施用である。カスガマイシン粒剤を箱当たり 20～30 g 床土に混和するか、カスガマイシン粒剤を 500～1,000 倍液を箱当たり 500 ml 播種時と出芽揃い期に2回灌注することで効果が得られると報告している。

(3) 食酢による防除

本病は種子伝染性病害であるが、温湯消毒の防除効果が低いことが指摘されている（白井ら、2003；梅沢ら、2003；堀ら、2005）。関原ら（2008）は褐条病に対して食酢中で催芽させると高い防除効果を示すことを明らかにしている。白井ら（2008）は食酢 50 倍液中で催芽処理すると高い防除効果を得ることを明らかにしている。小倉ら（2011）は、トリコデルマアトロビリデ剤と催芽時食酢処理を組み合わせる方法と温湯消毒とタラロマイセスフラバス水和剤を組み合わせる方法、温湯消毒と催芽時食酢を組み合わせる方法は発病抑制効果があると報告している。

藤根（2020）は、食酢を浸種時処理、浸種後半処理、催芽時処理について検討している。その結果、食酢 0%だと発病苗率が 12.7%だが、食酢 3%では、浸種前半処理が 3.5%、浸種中間処理が 0.3%、浸種後半処理が 0.1%の発病苗率であったとしている。また食酢 2%では、浸種前半処理が 1.5%、浸種中間処理が 1.3%、浸種後半処理が 0%の発病苗率であった。食酢 2%は、処理時間 24～72 時間で高い防除効果を示し、発芽率の低下や温湯消毒で見られるような苗立率の低下は見られず、苗形質にも大きな影響は認められ、食酢 3%は防除効果が高いものの発芽率の低下が見られたと述べている。



図 6.褐条病（苗での発生、褐変）

第3章 事前乾燥処理を取り入れた温湯消毒の防除効果

第1節 各種種子伝染性病害に対する事前乾燥+65℃、10分の防除効果

第1項 緒言

現在温湯種子消毒法では60℃10分間の温湯種子消毒が普及している。しかしながら、十分に防除できない病害もあり、ばか苗病は63℃以上で消毒する必要がある。また種子の高温耐性が弱いもち品種や酒米等に対しては、不十分な温度条件で消毒が実施されている例もある。粳の水分含量を10%以下にする（事前乾燥）ことで高温耐性が強化され、60℃よりも高い温度での消毒が可能となるが（金勝ら2013）、それによる防除効果向上の有無は検証されていなかった。そこで、事前乾燥処理を用いて、従来法（60℃10分処理）より5℃高い65℃10分間の処理を行い、*Pyricularia oryzae* によるいもち病、*Fusarium fujikuroi* によるばか苗病、細菌性病害の *Burkholderia glumae* によるもみ枯細菌病（苗腐敗症）、*Burkholderia plantarii* による苗立枯細菌病に対して、事前乾燥を取り入れた温湯消毒が従来法あるいは化学合成農薬より防除効果が高いか調査を行った。特にばか苗病については、種子の汚染程度や採種年が異なる複数の種子を用いて詳細に評価した。

第2項 材料および方法

1. 供試種子 試験には、以下に示した開花期接種種子あるいは自然感染種子を用いた。

(1) ばか苗病

開花期接種種子としては、2005年に宮城県で分離された Nakata gf 菌株、2013年に秋田県の育苗施設で発生した罹病苗から分離した APF13-014A および APF13-050A 菌株の分生孢子懸濁液（ 5×10^5 個/ml）を 150l/10a の液量で 2014年（Nakata gf 菌株）および 2015年（APF13-014A および APF13-050A 菌株）の開花期に接種した3種類の種子（品種：短銀坊主）を用いた。自然感染種子としては、前述の Nakata gf 菌株に罹病した苗を 2014年に移植した発病圃場、2013年に秋田県の育苗施設で発生した罹病苗から分離した APF13-022A 菌株および APF13-011A 菌株に罹病した苗（品種：あきたこまち）を 2016年に移植した発病圃場から収穫した種子を用いた。なお、2014年産種子については試験を2回実施し、その他の種子では1回のみとした。育苗は 2015年産開花期接種種子（APF13-014A 菌株、APF13-050A 菌株）および 2014年産自然感染種子（Nakata gf 菌株由来ばか苗病発病圃場より採種）では、人工光形グロースキャビネット（KG-206SHL: 小糸工業）内 [50、000LX（最大）、15時間明期（4:00-19:00）、9:00-10:00 23℃、10:00-12:00 25℃、12:00-13:00 28℃、13:00-17:00 30℃、17:00-20:00 28℃、20:00-9:00 20℃]、2016年産自然感染種子（APF13-022A 菌株由来ばか苗病発病圃場より採種、APF13-011A 菌株由来ばか苗病発病圃場より採種）では網室で行った。

(2) いもち病

2016年秋田県秋田市のいもち病多発圃場から収穫した自然感染種子（品種：あきたこまち）を用い、試験を2回実施した。育苗は2回の試験とも網室で行った。

(3) 苗立枯細菌病

2016年に秋田県の育苗施設で発生した罹病苗から分離した APBG16-001 菌株培養細菌懸濁液（ 1×10^8 個/ml）を 150l/10a の液量で 2016 年と 2017 年の開花期に接種した種子（品種：あきたこまち）を汚染種子とした。試験はこの汚染種子を健全種子に対して 20%（2016 年産）および 5%（2017 年産）になるように混合して行った。育苗は、試験 1 は網室、試験 2 は人工光形グロースキャビネット（機種および設定条件はほか苗病の試験と同様）で行った。

(4) もみ枯細菌病（苗腐敗症）

2016年に秋田県の育苗施設で発生した罹病苗から分離した APBP17-001 菌株培養細菌懸濁液（ 1×10^8 個/ml）を 150l/10a の液量で 2016 年と 2017 年の開花期に接種した種子（品種：あきたこまち）を汚染種子とした。試験はこの汚染種子を健全種子に対して 20%になるように混合して行った。育苗は2回の試験とも網室で行った。

2. 事前乾燥および消毒方法

試験は各試験区3区制とし、育苗箱の1/6大（W148 mm×D179 mm×H35 mm）のプラスチック製箱を用い、播種量は1区800粒とした。事前乾燥は50℃ 24時間の通風乾燥（DK810: ヤマト科学）により行った。従来法の温湯消毒処理は60℃および58℃の10分間処理とし、事前乾燥後の種子の温湯消毒は60℃および65℃の10分間処理とした。温湯消毒には恒温水槽（SDminiN: タイテック）を使用した。また、対照としての化学合成農薬区にはイプコナゾール・銅水和剤（商品名：テクリード C 【クミアイ化学工業株式会社】200倍24時間浸種前浸漬処理：Ip-Cu 剤）を用い、事前乾燥のみおよび無処理区を設定した。2017年産種子を用いたもみ枯細菌病の試験2、苗立枯細菌病の試験3では、対照区としてタラロマイセスフラバス水和剤（商品名：タフブロック【エス・ディー・エス バイオテック株式会社】200倍24時間催芽時浸漬：Tf 剤）処理区を加えて行った。

新技術の出芽までの作業工程を図1に示す。

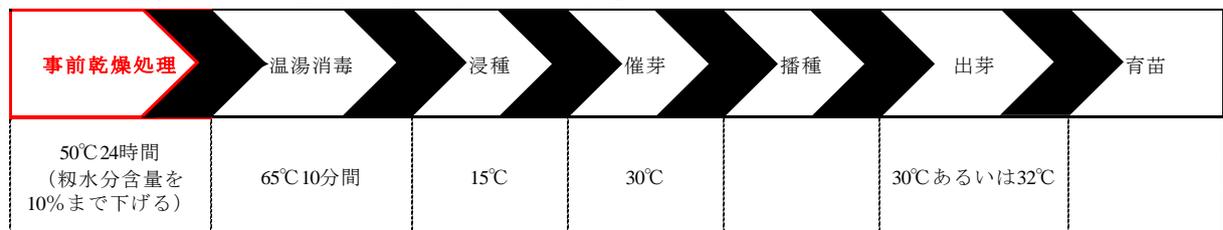


図1. 事前乾燥処理を取り入れた温湯消毒の概要

3. 育苗方法

各処理後の種子は、15℃ 72 時間の浸種処理を行った。水交換後、30℃で 24 時間の催芽処理を行い、前述のプラスチック製箱に散播した。床土は 600 g、覆土は 200 g とし、いなほ培土[N0.5、 P0.8、 K 0.5 (g/kg)、 pH4.5-5.5、 いなほ化工]を用いた。

播種後は 30℃ (苗立枯細菌病、もみ枯細菌病では 32℃) 48 時間の出芽処理を行い、その後は前述したように、人工光形グロースキャビネットあるいは網室で管理した。水管理については、毎日朝夕の散水により行った。

4. 発病調査

ばか苗病では徒長苗を、いもち病では枯死苗と鞘葉、第 1 葉 (不完全葉) および第 2 葉の葉鞘に病斑を形成した苗を発病苗として発病苗率を算出した。もみ枯細菌病および苗立枯細菌病については、健全苗 (指数 0)、白化苗 (指数 1)、萎凋苗 (指数 2)、枯死苗 (指数 3) に分類して発病苗数を調査し、次式： Σ (程度別発病苗数×指数) ×100 / (調査苗数×3) により発病度を算出した。

5. 統計処理

ばか苗病およびいもち病については、発病苗率をアークサイン変換し、各処理区および無処理区との間で Tukey の多重検定を行った。苗立枯細菌病、もみ枯細菌病については、発病度で評価を行ったため、Steel-Dwass 検定によるノンパラメトリックな多重検定を行った。加えて、事前乾燥+65℃10 分間処理区を対照群としてばか苗病、いもち病については Dunnett 検定、苗立枯細菌病、もみ枯細菌病および褐条病の試験については Steel 検定を行った。さらに、ばか苗病の開花期接種種子 (Nakata gf 菌株、APF13-014A/APF13-050A 菌株) での試験、自然感染種子 (Nakatagf 菌株、APF13-022A 菌株、APF13-011A 菌株) の試験およびいもち病の 2 回の試験について、それぞれまとめて Tukey の多重検定および Dunnett 検定を、苗立枯細菌病の 3 試験、もみ枯細菌病の 2 試験、ごま葉枯病の 4 回の試験および褐条病の 2 回の試験についてはそれぞれまとめて Steel-Dwass の多重検定および Steel 検定を行った。Steel-Dwass 検定、Dunnett 検定および Steel 検定には統計処理ソフト JMP13 を用いた。

第3節 結果

1. ばか苗病

開花期接種種子の2014年産種子（Nakata gf 菌株）を用いた試験（2015年実施）では、無処理区の発病苗率54.6%の多発生条件での検討となった。各処理区の発病苗率は、対照となる従来法の60℃10分間処理区が0%（防除価100）、58℃10分間処理区が0.1%（防除価99.9）であったのに対し、事前乾燥+65℃10分間処理区では、0.5%（防除価99.2）と従来法処理区と同様に高い防除効果が認められた（図2）。同じ種子を使用して再試験（2015年実施）を行ったところ、無処理区の発病苗率45.1%の多発生条件での検討となった。各処理区の発病苗率は60℃10分間処理区が3.8%（防除価91.7）、58℃10分間処理区が9.6%（防除価78.6）であったのに対し、事前乾燥+65℃10分間処理区で0.5%（防除価99.0）と防除効果が高い傾向が認められた（図3）。

2015年産種子（APF13-014A 菌株開花期接種）を用いた試験（2016年実施）では、無処理区の発病苗率10.5%の少発生条件での検討となった。各処理区の発病苗率は、60℃10分間処理区が0.3%（防除価97.0）、58℃10分間処理区が1.4%（防除価86.5）、Ip-Cu 剤処理区が1.2%（防除価88.2）であったのに対し、事前乾燥+65℃10分間処理区では3.9%（防除価62.9）と防除効果は低い傾向が認められた（図4）。2015年産（APF13-050A 菌株開花期接種）を用いた試験（2016年実施）では、無処理区の発病苗率9.3%の少発生条件での検討となった。各処理区の発病苗率は、60℃10分間処理区が1.3%（防除価86.1）、58℃10分間処理区が5.3%（防除価42.3）、Ip-Cu 剤処理区が0.9%（防除価90.4）であったのに対し、事前乾燥+65℃10分間処理区では1.6%（防除価83.2）であり、従来法処理区およびIp-Cu 剤処理区に比較して防除効果の向上は認められなかった（図5）。

一方、2014年産自然感染種子（Nakata gf 菌株由来ばか苗病発病圃場より採種）を用いた試験（2016年実施）では、無処理区の発病苗率20.8%の中発生条件での検討となった。各処理区の発病苗率は、60℃10分間処理区が0.1%（防除価99.5）、Ip-Cu 剤処理区が0.1%（防除価99.5）であったのに対し、事前乾燥+65℃10分間処理区では、発病は全く認められなかった（図6）。

また、2016年産自然感染種子（APF13-022A 由来ばか苗病発病圃場より採種）を用いた試験（2017年実施）では無処理区の発病苗率27.0%の中発生条件での検討となった。60℃10分間処理区が0.9%（防除価96.7）、Ip-Cu 剤処理区が0.1%（防除価99.5）であったのに対して、事前乾燥+65℃10分間処理区で0.3%（防除価99.0）と従来法処理区よりも防除効果が高い傾向が認められた（図7）。

2016年自然感染種子（APF13-011A 由来ばか苗病発病圃場より採種）を用いた試験（2017年実施）では無処理区の発病苗率が10.9%の少発生条件での検討となった。各処理区の発病苗率は60℃10分間処理区が0.3%（防除価97.2）、Ip-Cu 剤処理区が0.3%（防除価97.2）であったのに対し、事前乾燥+65℃10分間処理区では0.4%（防除価96.3）と従来法処理区およびIp-Cu 剤処理区とほぼ同等の防除効果が認められた（図8）。すべての処理区に対して Tukey の多重検定および事前乾燥

+65°C 10 分間処理区を対照群とした Dunnett 検定を行ったが、事前乾燥+65°C 10 分処理区と従来法処理区および Ip-Cu 剤処理区の間で有意差は認められた試験はなかった。開花期接種種子および自然感染種子のそれぞれに試験をまとめた同様の検定でも、事前乾燥+65°C 10 分間処理区と従来法処理区および Ip-Cu 剤処理区の間で有意差は認められなかった（データ未記載）。

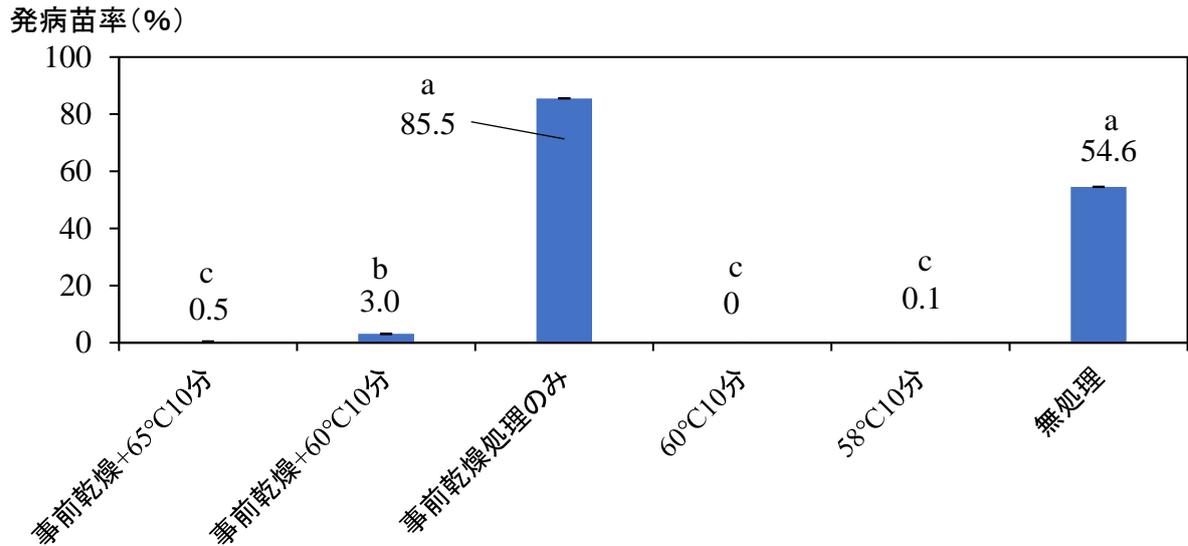


図 2. ばか苗病に対する防除効果
開花期接種種子の 2014 年産種子 (Nakata gf 菌株) を使用。
図中の数値は発病苗率の平均を示す。

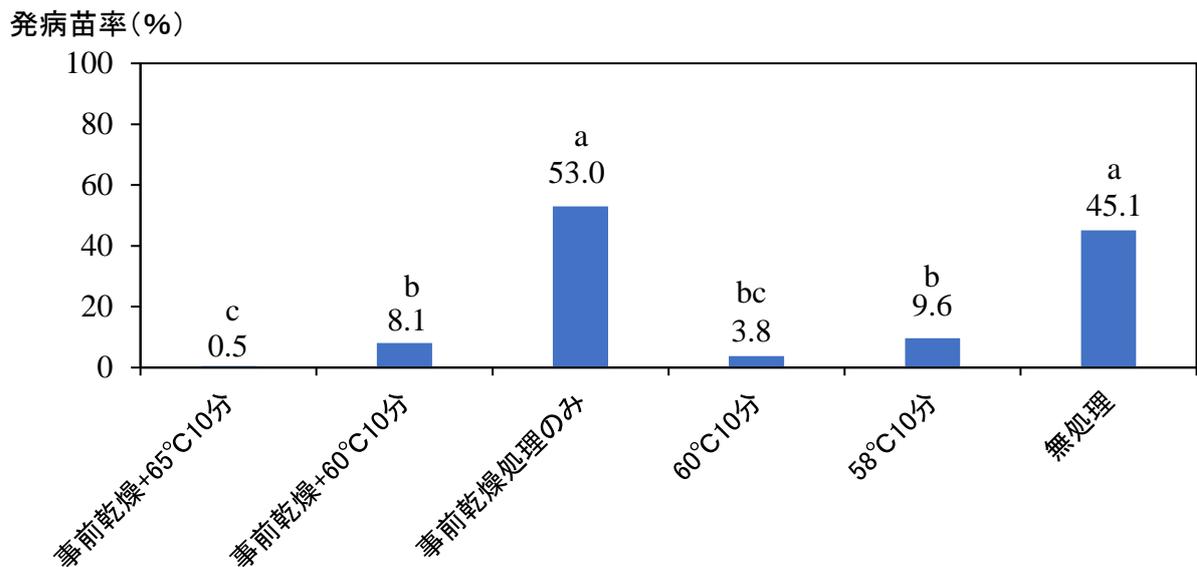


図 3. ばか苗病に対する防除効果
開花期接種種子の 2014 年産種子 (Nakata gf 菌株) を使用。
図中の数値は発病苗率の平均を示す。

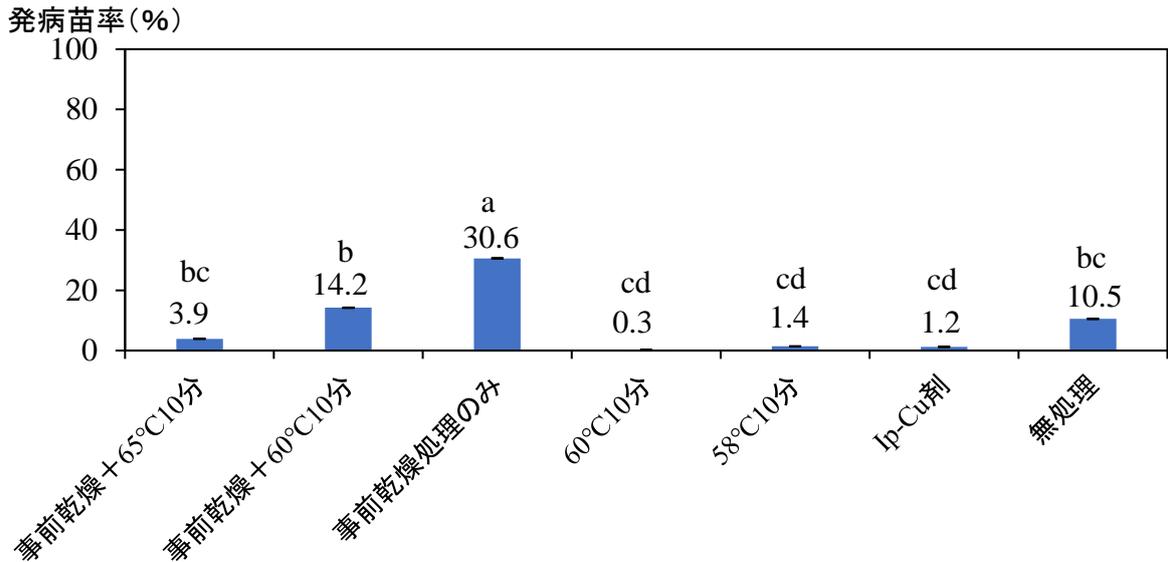


図 4. ばか苗病に対する防除効果

2015 年 (APF13-014A 菌株) の開花期に接種した種子 (品種: 短銀坊主) を使用。図中の数値は発病苗率の平均を示す。

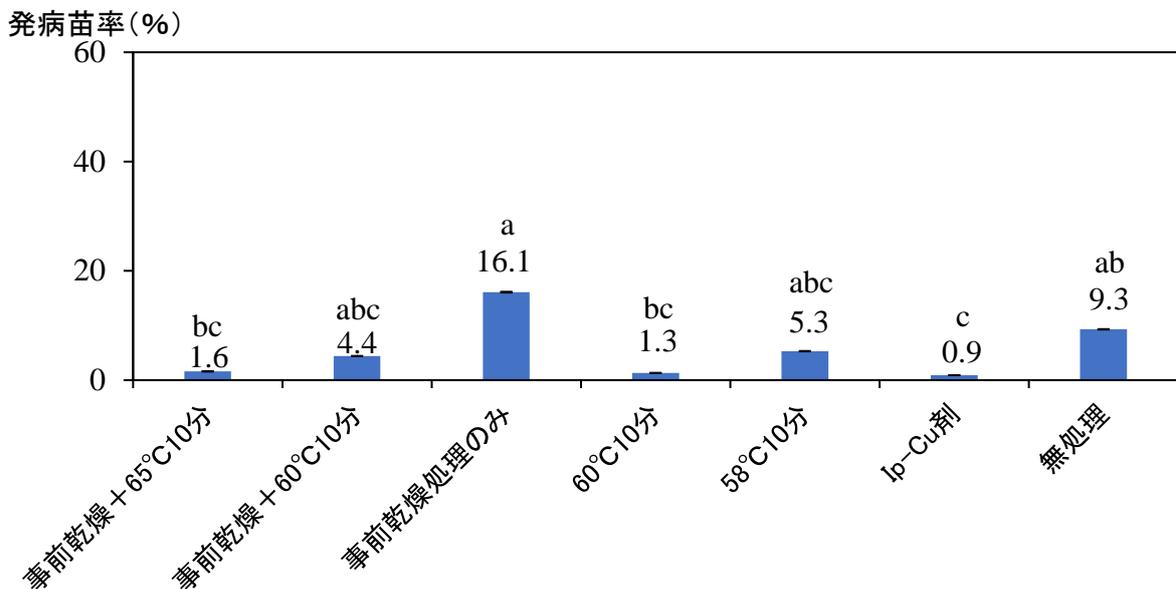


図 5. ばか苗病に対する防除効果

2015 年 (APF13-050A 菌株) の開花期に接種した種子 (品種: 短銀坊主) を使用。図中の数値は発病苗率の平均を示す。

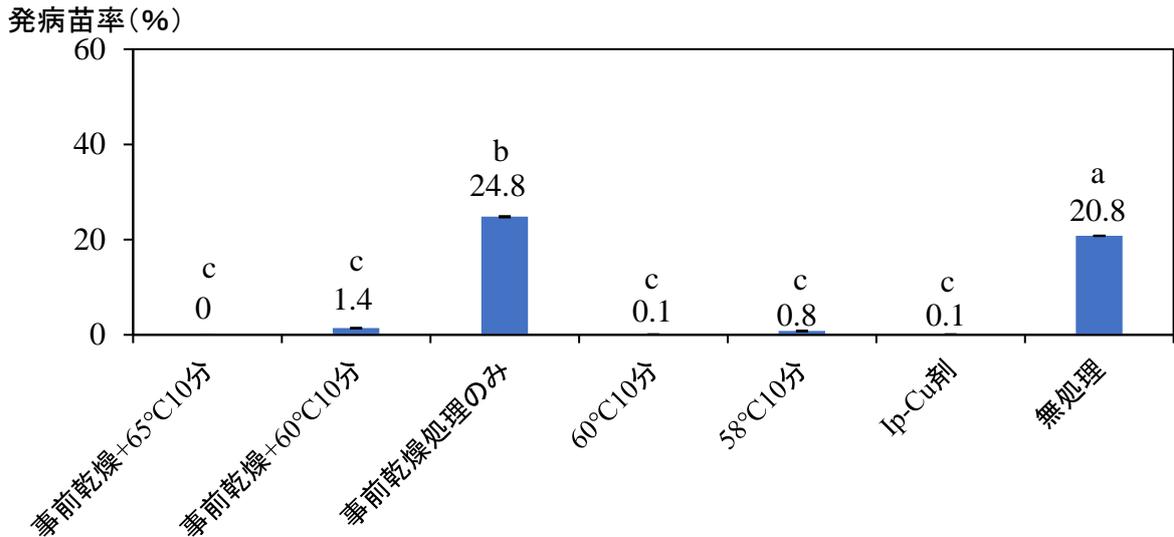


図 6. ばか苗病に対する防除効果

Nakata gf 菌株に罹病した苗を 2014 年に移植した発病圃場から収穫した種子を使用。図中の数値は発病苗率の平均を示す。

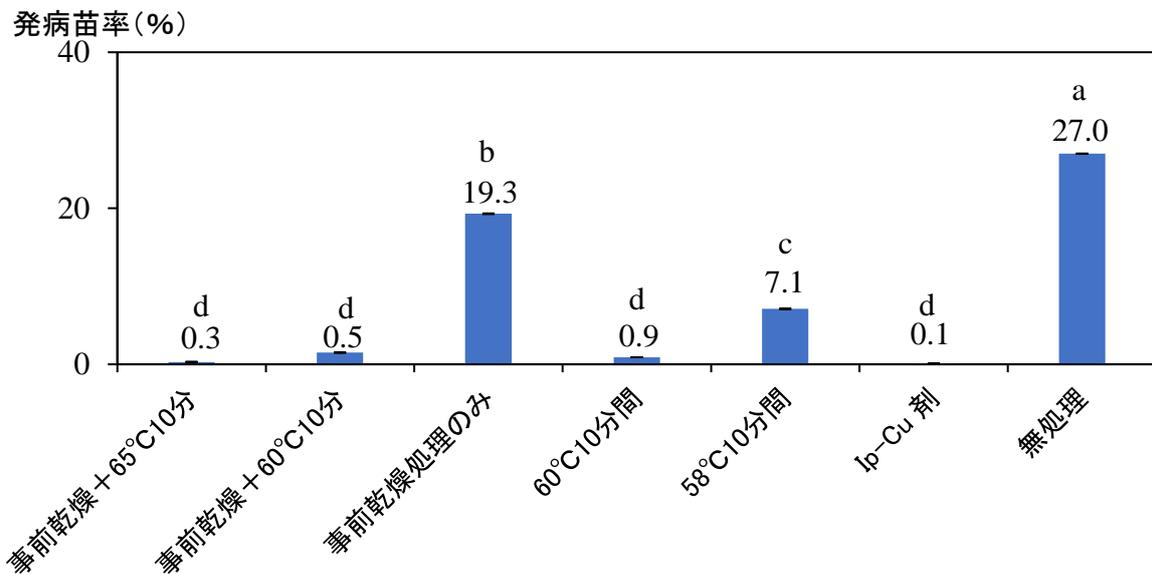


図 7. ばか苗病に対する防除効果

2013 年に秋田県の育苗施設で発生した罹病苗から分離した APF13-022A 菌株に罹病した苗（品種：あきたこまち）を 2016 年に移植した発病圃場から収穫した種子を使用。図中の数値は発病苗率の平均を示す。

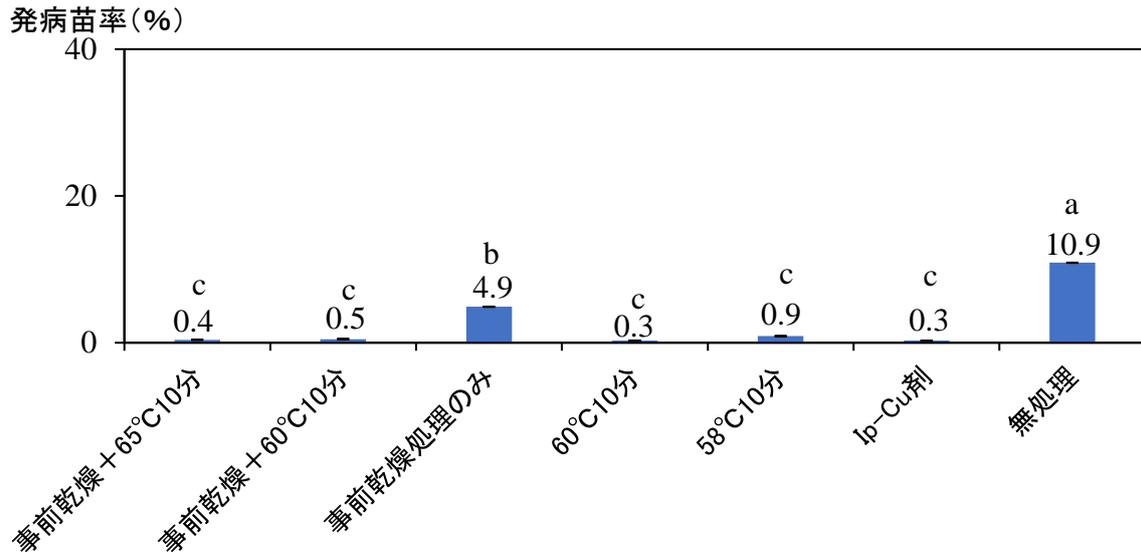


図 8. ばか苗病に対する防除効果

2013年に秋田県の育苗施設で発生した罹病苗から分離した APF13-011A 菌株に罹病した苗（品種：あきたこまち）を2016年に移植した発病圃場から収穫した種子を使用。図中の数値は発病苗率の平均を示す。

2. いもち病

試験 1 (2017 年実施) では、無処理区の発病苗率が 33.3% の多発生条件での検討となった。各処理区の発病苗率は 60°C10 分間処理区で 7.9% (防除価 76.4)、Ip-Cu 剤処理区では 7.3% (防除価 78.0) であったのに対し、事前乾燥+65°C10 分間処理区では 9.5% (防除価 71.4) であり、防除効果はほぼ同等であった (図 9)。試験 2 (2016 年実施) では、無処理区の発病苗率が 12.2% の中発生条件での検討となった。各処理区の発病苗率は、60°C10 分間処理区が 2.5% (防除価 79.8)、Ip-Cu 剤処理区が 2.3% (防除価 81.4) であったのに対し、事前乾燥+65°C10 分間処理区では 0.9% (防除価 92.4) であり、従来法処理区および Ip-Cu 剤処理区よりも防除効果が高い傾向が認められた (図 10)。すべての処理区に対しての Tukey の多重検定および事前乾燥+65°C10 分間処理区を対照群とした Dunnett 検定を行ったが、2 試験とも事前乾燥+65°C10 分間処理区と従来法処理区および Ip-Cu 剤処理区の間で有意差は認められなかった。2 試験をまとめて同様の検定を行ったが、事前乾燥+65°C10 分間処理区と従来法処理区および Ip-Cu 剤処理区の間で有意差は認められなかった (データ未記載)。

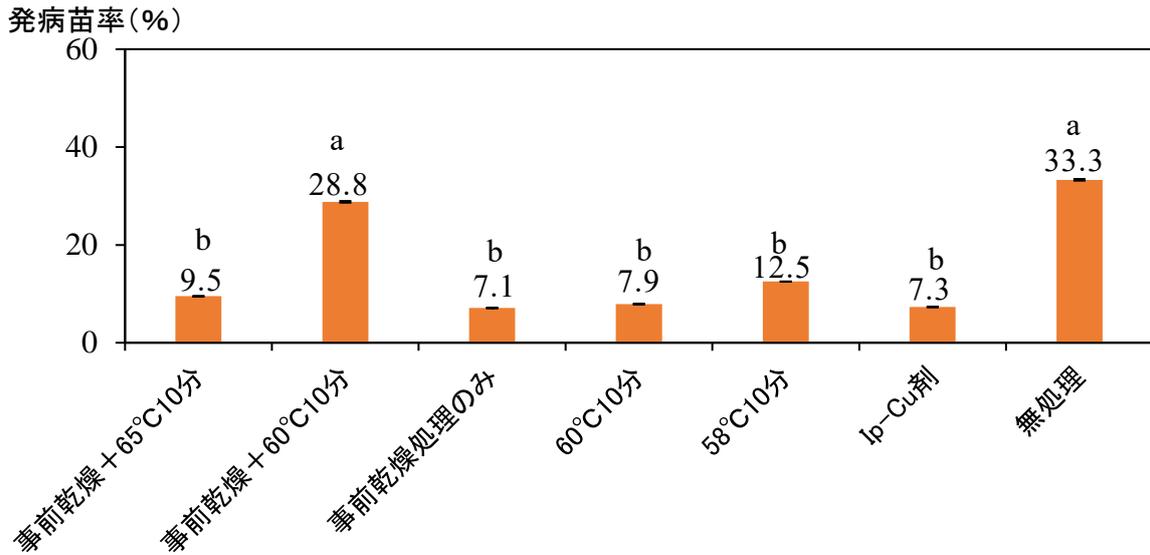


図 9. いもち病に対する防除効果

2016 年秋田県秋田市のいもち病多発圃場から収穫した自然感染種子（品種：あきたこまち）を使用。図中の数値は発病苗率の平均を示す。

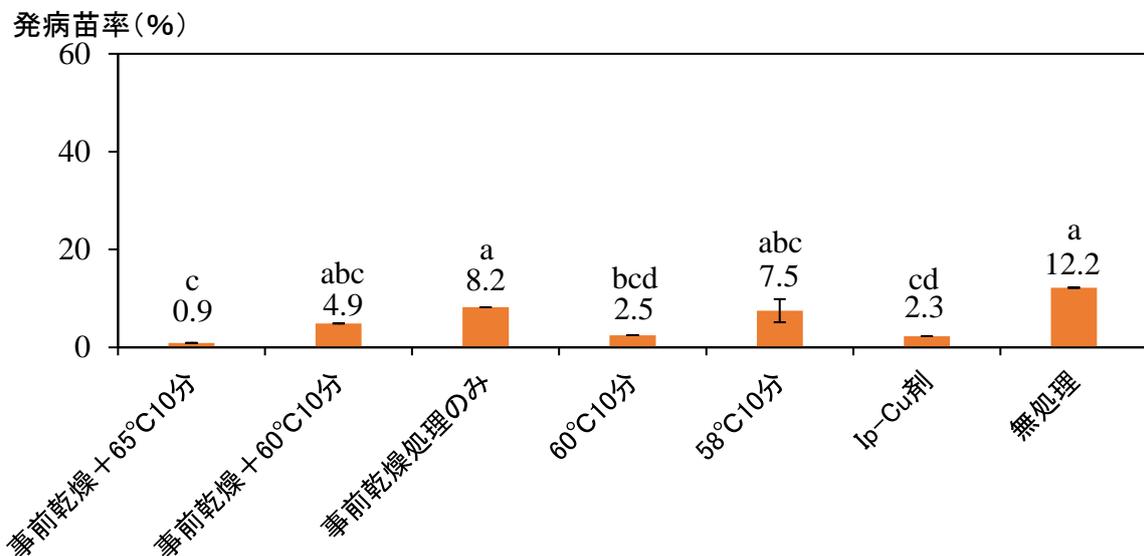


図 10. いもち病に対する防除効果

2016 年秋田県秋田市のいもち病多発圃場から収穫した自然感染種子（品種：あきたこまち）を使用。図中の数値は発病苗率の平均を示す。

3. 苗立枯細菌病

汚染種子混入率を 20%とした試験 1 (2016 年産種子、2017 年実施) では無処理区の発病度が 23.3 の中発生条件での検討となった。各処理区の発病度は、60°C 10 分間処理区が 4.5 (防除価 80.7)、Ip-Cu 剤処理区が 2.9 (防除価 87.8) であったのに対して、事前乾燥+65°C 10 分間処理区では 2.5 (防除価 89.2) であり、従来法処理区および Ip-Cu 剤処理区と同様に無処理区に比較して発病が少ない傾向が認められた (図 11)。本試験では 58°C 10 分間処理区において発病度 0.6 (防除価 97.6) と他の処理区よりも発病が少ない傾向が認められた。汚染種子混入率を 20%とした試験 2 (2016 年産種子、2017 年実施) では無処理区の発病度が 12.0 の中発生条件での検討となった。各処理区の発病度は、60°C 10 分間処理区が 5.9 (防除価 50.9)、Ip-Cu 剤処理区が 4.3 (防除価 64.1) であったのに対し、事前乾燥+65°C 10 分間処理区では 1.6 (防除価 87.1) であり、従来法処理区および Ip-Cu 剤処理区よりも発病が少ない傾向が認められた (図 12)。次に汚染種子混入率を 5%とした試験 3 (2017 年産種子、2018 年実施) では、無処理区の発病度が 15.9 の中発生条件での検討となった。各処理区の発病度は、60°C 10 分間処理区では 4.5 (防除価 71.7)、Ip-Cu 剤処理区では 4.8 (防除価 69.6)、Tf 剤処理区では 5.9 (防除価 63.1) であったのに対し、事前乾燥+65°C 10 分間処理区では 2.3 (防除価 85.7) と、Ip-Cu 剤処理区、Tf 剤処理区および従来法処理区よりも発病が少ない傾向が認められた (図 13)。そこで、Steel-Dwass 検定によるノンパラメトリックな多重比較ならびに事前乾燥+65°C 10 分間処理区を対照群とした Steel 検定を行ったが、事前乾燥+65°C 10 分間処理区はいずれの試験区とも有意差は認められなかった。苗立枯細菌病の 3 試験をまとめて Steel-Dwass の多重検定および Steel 検定を行ったが、同様に有意差は認められなかった (データ未記載)。

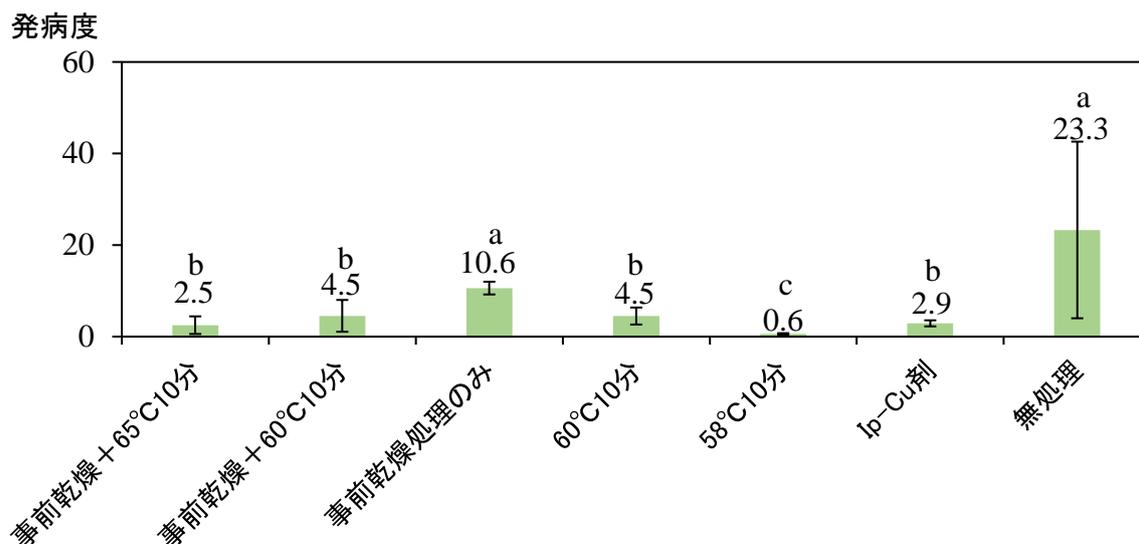


図 11. 苗立枯細菌病に対する防除効果

健全種子（品種：あきたこまち）に対して開花期接種種子（品種：あきたこまち）を20%となるように混入した。図中の数値は発病度の平均を示す。

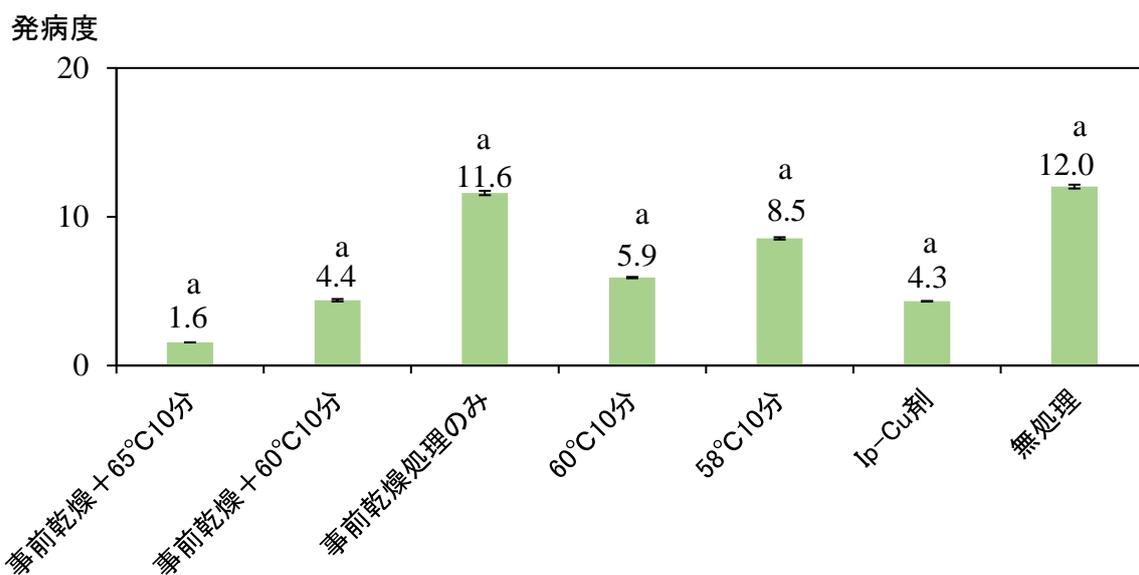


図 12. 苗立枯細菌病に対する防除効果

健全種子（品種：あきたこまち）に対して開花期接種種子（品種：あきたこまち）を20%となるように混入した。図中の数値は発病度の平均を示す。

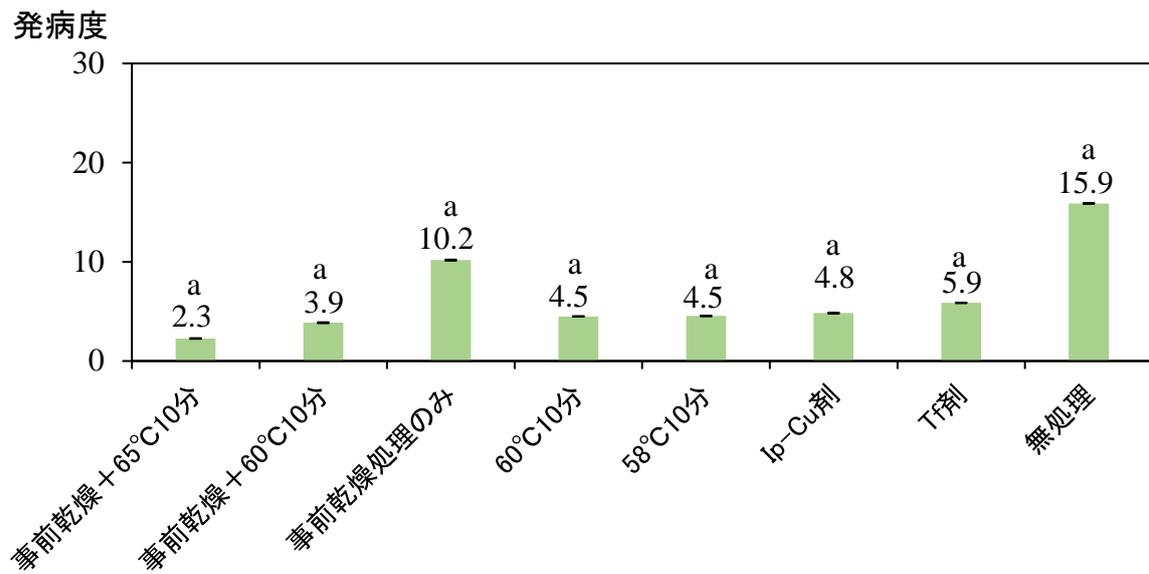


図 13. 苗立枯細菌病に対する防除効果
健全種子 (品種: あきたこまち) に対して開花期接種種子 (品種: あきたこまち) を 5% となるように混入した。図中の数値は発病度の平均を示す。

4. もみ枯細菌病（苗腐敗症）

苗立枯細菌病と同様に、汚染種子混入率を 20%とした試験 1（2016 年産、2017 年実施）では無処理区の発病度が 58.4 の多発生条件での検討となった。各処理区の発病度は、60℃10 分間処理区が 57.1（防除価 2.2）、Ip-Cu 剤処理区では 50.8（防除価 13.0）と防除効果が全く得られなかったのに対して、事前乾燥+65℃10 分間処理区では 18.4（防除価 68.6）と発病が少ない傾向が認められた（図 14）。汚染種子混入率を 20%とした試験 2（2017 年産種子、2018 年実施）では、無処理区の発病度が 21.4 の中発生条件での検討となった。各処理区の発病度は、60℃10 分間処理区が 14.8（防除価 30.9）、Ip-Cu 剤処理区が 14.2（防除価 33.7）であったのに対し、Tf 剤処理区では 3.4（防除価 84.3）、事前乾燥+65℃10 分間処理区では 2.6（防除価 88.1）と両処理区は従来法処理区および Ip-Cu 剤処理区よりも発病が少ない傾向が認められた（図 15）。汚染種子混入率を 5%とした試験 3（2017 年産種子、2018 年実施）では、無処理区の発病度が 8.1 の少発生条件での検討となった。各処理区の発病度は、60℃10 分間処理区が 5.6（防除価 30.9）、Ip-Cu 剤処理区が 3.9（防除価 51.6）であったのに対し、Tf 剤処理区では 3.3（防除価 58.7）、事前乾燥+65℃10 分間処理区では 3.0（防除価 63.3）と両処理区は従来法処理区および Ip-Cu 剤処理区よりも発病が少ない傾向が認められた（図 16）。そこで、Steel-Dwass 検定によるノンパラメトリックな多重比較ならびに事前乾燥+65℃10 分間処理区を対照群とした Steel 検定を行ったが、事前乾燥+65℃10 分間処理区はいずれの試験区とも有意差は認められなかった。もみ枯細菌病の 3 試験をまとめて Steel-Dwass の多重検定を行ったが、有意差は認められなかった。また、事前乾燥+65℃10 分間処理区を対照群とした Steel 検定を行ったが、58℃10 分間処理区以外の処理区とは有意差は認められなかった（データ未記載）。

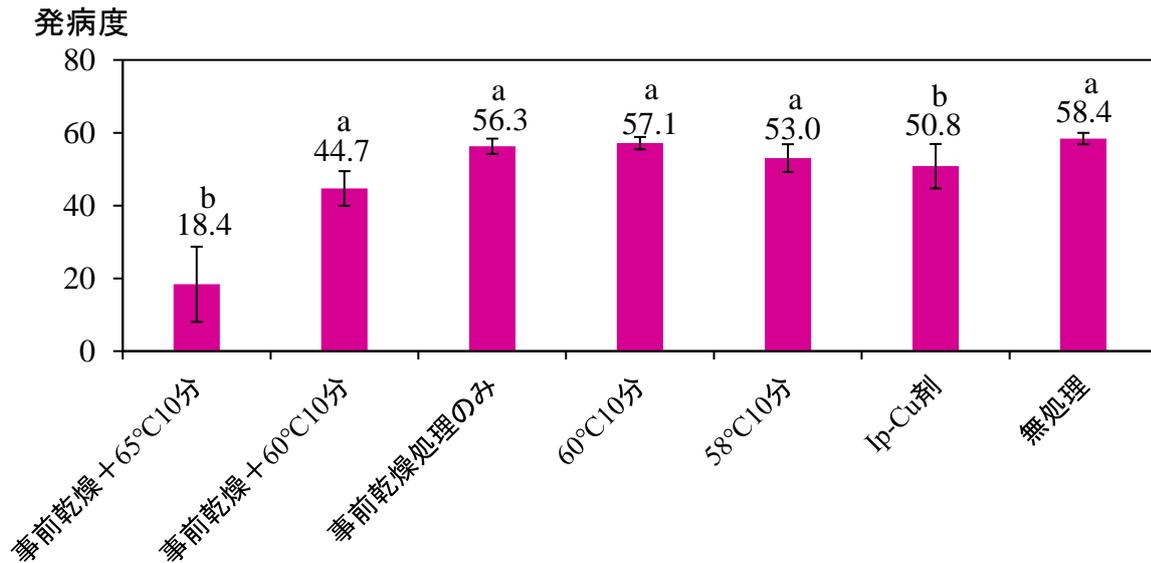


図 14. もみ枯細菌病に対する防除効果
健全種子（品種：あきたこまち）に対して開花期接種種子（品種：あきたこまち）を20%となるように混入した。図中の数値は発病度の平均を示す。

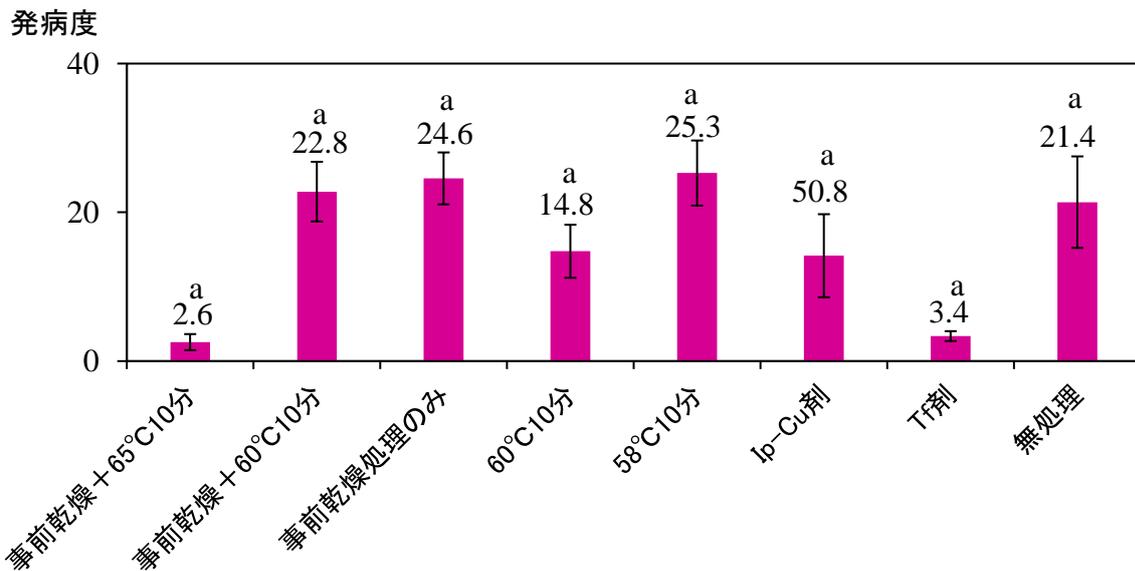


図 15. もみ枯細菌病に対する防除効果
健全種子（品種：あきたこまち）に対して開花期接種種子（品種：あきたこまち）を20%となるように混入した。図中の数値は発病度の平均を示す。

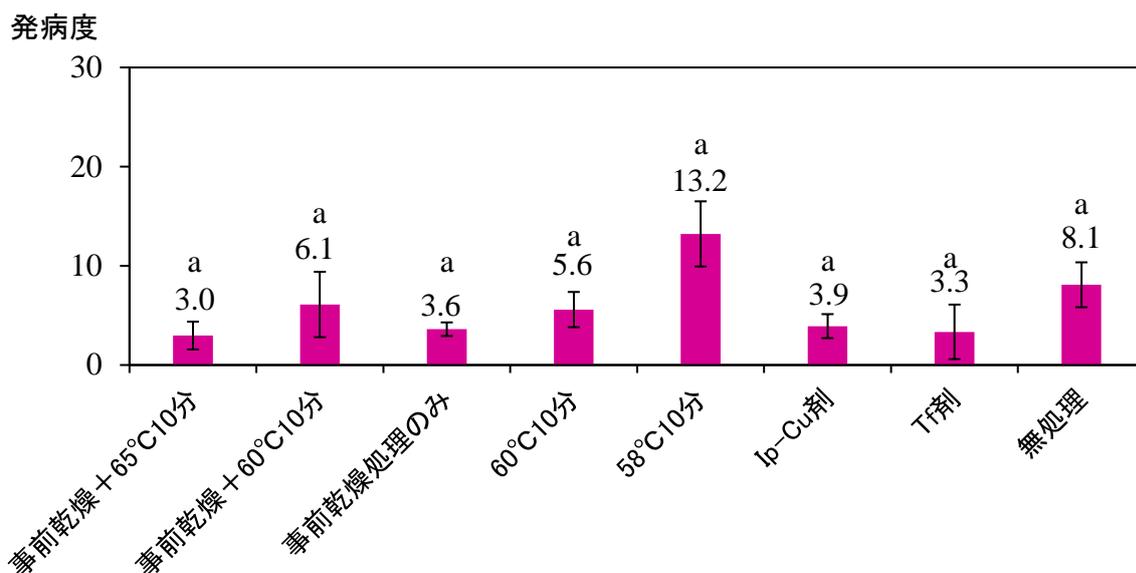


図 16. もみ枯細菌病に対する防除効果
健全種子（品種：あきたこまち）に対して開花期接種種子（品種：あきたこまち）を20%となるように混入した。図中の数値は発病度の平均を示す。

第2節 ごま葉枯病・褐条病に対する事前乾燥+65℃、10分(新技術)の防除効果

第1項 緒言

第1節では、ばか苗病、いもち病、苗立枯細菌病、もみ枯細菌病に対して新技術の防除効果が高いことを明らかにした。本節では、従来法での研究報告がされていない、ごま葉枯病と褐条病を対象として新技術の防除効果を検討した。

第2項 材料および方法

1. 供試種子 試験には、以下に示した開花期接種種子を用いた。

(1) ごま葉枯病

自然感染種子(品種:ミズホチカラ)を用いた。試験は、汚染種子を2018年産健全種子(品種:あきたこまちあるいはミズホチカラ)に対して20%、10%、5%になるように混合した。汚染種子を10%混合した試験については健全種子にミズホチカラあるいはあきたこまちを用いた2試験を実施した。

(2) 褐条病

2016年に秋田県の育苗施設で発生した罹病苗から分離した菌株培養細菌懸濁液(1×10^8 個/ml)を150l/10aの液量で2017年の開花期に接種した種子(品種:あきたこまち)を汚染種子とした。2018年産健全種子(品種:あきたこまち)に対して50%あるいは20%となるように混合した。

2. 事前乾燥および消毒方法

試験は各試験区3区制とし、育苗箱の1/6大(W148 mm×D179 mm×H35 mm)のプラスチック製箱を用い、播種量は1区800粒とした。事前乾燥は50℃24時間の通風乾燥(DK810:ヤマト科学)により行った。温湯消毒には恒温水槽(SDminiN:タイテック)を使用した。従来法の温湯消毒処理は60℃および58℃の10分間処理とし、事前乾燥後の種子の温湯消毒は60℃および65℃の10分間処理とした。対照としての化学合成農薬区にはイプコナゾール・銅水和剤(200倍24時間浸種前浸漬処理)を用い、事前乾燥のみおよび無処理区を設定した。

3. 育苗方法

第2章に準ずる。

4. 発病調査

ごま葉枯病については、健全苗（指数 0）、葉鞘がわずかに褐変し、生育の抑制はほとんど見られない（指数 1）、葉鞘の大部分が褐変あるいは黒変し、生育がやや抑制されている（指数 2）、葉鞘の全面が褐変し、葉にも病斑が見られ、生育が阻害されている（指数 3）、枯死苗（指数 4）に分類して発病苗数を調査し、次式： Σ （程度別発病苗数×指数）×100／（調査苗数×4）によって発病度を算出した。

褐条病は、健全苗（指数 0）、第 1 葉以下の葉身・葉鞘に病徴が認められる（指数 1）、第 2 葉の葉身・葉鞘に病徴が認められる（指数 2）、第 3 葉の葉身・葉鞘に病徴が認められる（指数 3）、枯死苗（指数 4）に分類して発病苗数を調査し、次式： Σ （程度別発病苗数×指数）×100／（調査苗数×4）によって発病度を算出した。また、得られた発病度の平均を無処理区と比較して、次式： $100 - [\text{処理区の発病苗率（度）} - \text{無処理区の発病苗率（度）}] \times 100$ によって防除価を算出した。

5. 統計処理

ごま葉枯病および褐条病については、発病度で評価を行ったため、Steel-Dwass検定によるノンパラメトリックな多重検定を行った。さらに、Steel検定を行った。ごま葉枯病の4回の試験および褐条病の2回の試験についてはそれぞれまとめてSteel-Dwassの多重検定およびSteel検定を行った。Steel-Dwass検定、およびSteel検定には統計処理ソフトJMP13を用いた。

第3項 結果

1. ごま葉枯病

健全種子（あきたこまち）に対して汚染種子が 20%となるように混合した試験 1（2017 年実施）では、無処理区の発病度が 56.0 の多発生条件での検討となった。各処理区の発病度は、対照となる従来法の 60℃10 分間処理区が 51.2%（防除価 8.6）、Ip-Cu 剤処理区が 54.0（防除価 3.6）、事前乾燥+65℃10 分間処理区では 47.2（防除価 15.7）と従来処理区同様防除効果は認められなかった（図 17）。

健全種子（ミズホチカラ）に対して汚染種子が 10%となるように混合した試験 2（2018 年実施）では、無処理区の発病度が 30.7 の中発生条件での検討となった。各処理区の発病度は、対照となる従来法の 60℃10 分間処理区が 25.2（防除価 17.6）、Ip-Cu 剤処理区が 12.8（防除価 58.3）、事前乾燥+65℃10 分間処理区では 31.2（防除価 0）と従来処理区同様防除効果は認められなかった（図 18）。

防除効果が低い要因がミズホチカラの品種特性である可能性も考えられるため、健全種子をあきたこまちに変更し汚染種子が 10%となるように混合した試験 3（2018 年実施）を実施した。本試験は無処理区の発病度 23.6 の中発生条件での検討となった。各処理区の発病苗率は、60℃10 分間処理区が 9.1（防除価 61.6）、Ip-Cu 剤処理区が 5.6（防除価 76.9）であったのに対し、事前乾燥+65℃10 分間処理区では 12.4（防除価 47.5）と従来法と同様防除効果は認められなかった（図 19）。

健全種子（あきたこまち）に対して汚染種子（ミズホチカラ）が 5%となるように混合した試験 4（2018 年実施）では、無処理区の発病度 13.5 の少発生条件での検討となった。各処理区の発病度は、対照となる従来法の 60℃10 分間処理区が 7.8（防除価 42.2）、Ip-Cu 剤処理区が 22.5（防除価 0）、事前乾燥+65℃10 分間処理区では 5.9（防除価 56.7）と従来法処理区と同様の防除効果であった（図 20）。

そこで Steel-Dwass 検定によるノンパラメトリックな多重比較ならびに事前乾燥+65℃10 分間処理区を対照群とした Steel 検定を行ったが、事前乾燥+65℃10 分間処理区はいずれの試験区とも有意差は認められなかった。ごま葉枯病の 4 試験をまとめて Steel-Dwass の多重検定および Steel 検定を行った結果、Steel 検定において事前乾燥+65℃10 分間処理区はいずれの試験区との間で有意差は認められなかった（データ未記載）。

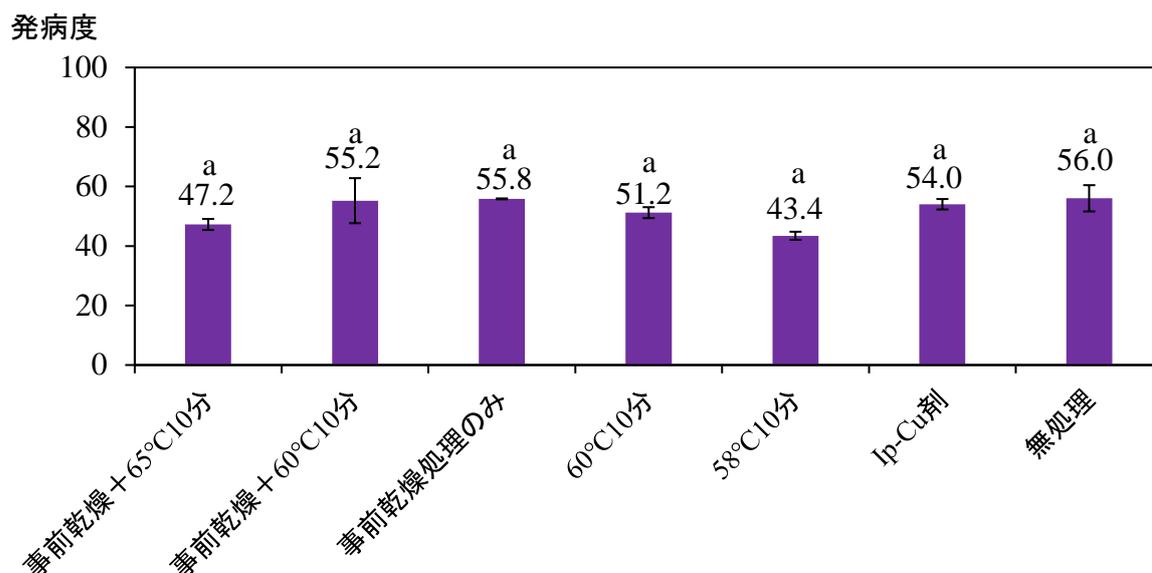


図 17. ごま葉枯病に対する防除効果

健全種子 (品種: あきたこまち) に対して自然感染種子 (品種: ミズホチカラ) を 20% となるように混入した。図中の数値は発病度の平均を示す。

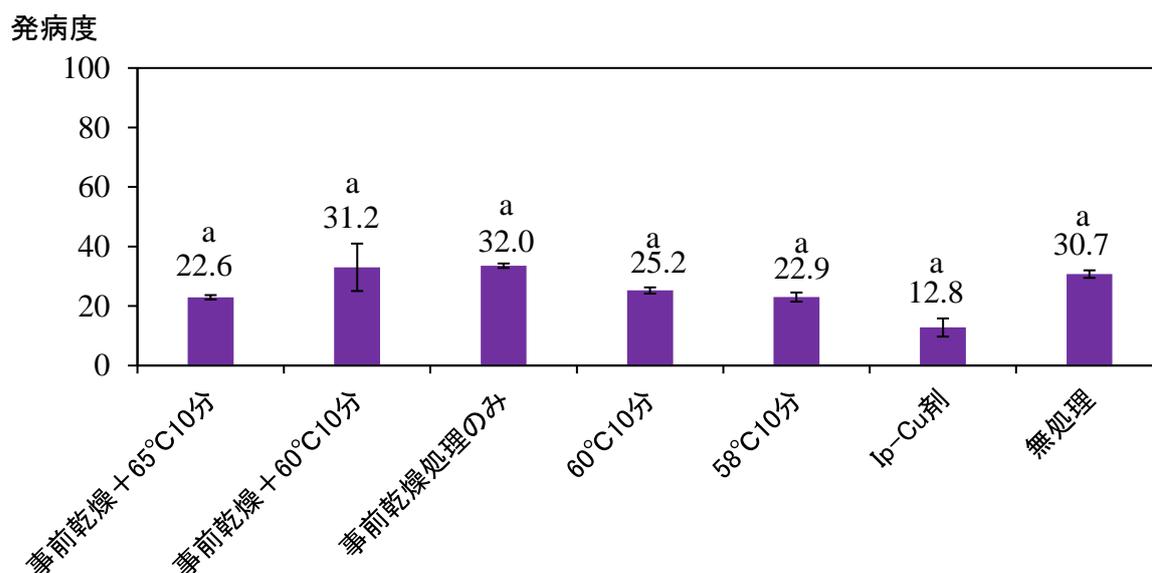


図 18. ごま葉枯病に対する防除効果

健全種子 (品種: ミズホチカラ) に対して自然感染種子 (品種: ミズホチカラ) を 20% となるように混入した。図中の数値は発病度の平均を示す。

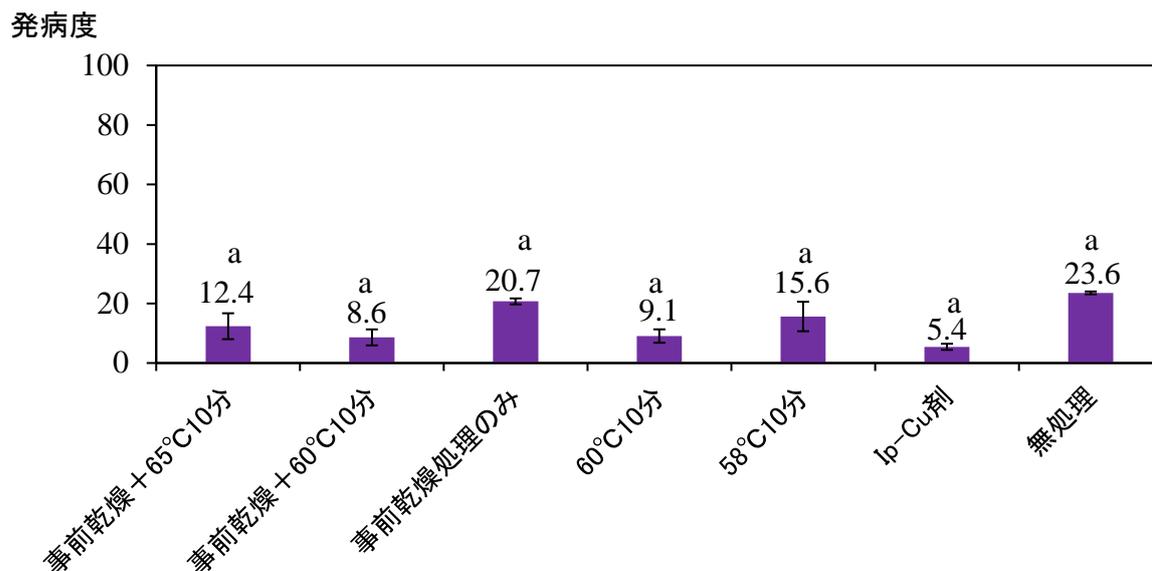


図 19. ごま葉枯病に対する防除効果
健全種子（品種：あきたこまち）に対して自然感染種子（品種：ミズホチカラ）を 10% となるように混入した。図中の数値は発病度の平均を示す。

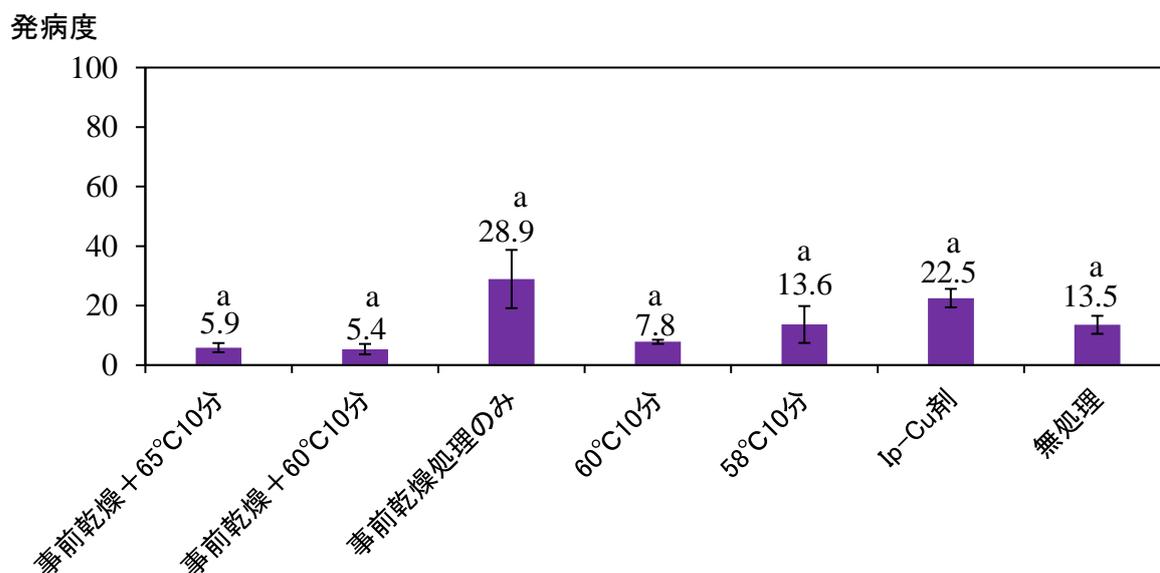


図 20. ごま葉枯病に対する防除効果
健全種子（品種：あきたこまち）に対して自然感染種子（品種：ミズホチカラ）を 5% となるように混入した。図中の数値は発病度の平均を示す。

2. 褐条病

健全種子に対して汚染種子が 50%となるように混合した試験 1 では、無処理区の発病度 6.3 の少発生条件での検討となった。各処理区の発病度は、対照となる従来法の 60°C10 分間処理区が 18.0 (防除価 0)、Ip-Cu 剤処理区 6.2 (防除価 14.7)、Tf 剤処理区が 2.1 (防除価 65.7)、事前乾燥+65°C10 分間処理区では 21.6 (防除価 0) と従来処理区同様防除効果は認められなかった (図 21)。健全種子に対して汚染種子が 20%となるように混合した試験 2 では、無処理区の発病度 12.5 の少発生条件での検討となった。各処理区の発病度は、対照となる従来法の 60°C10 分間処理区が 7.1 (防除価 43.2)、Ip-Cu 剤処理区 7.2 (防除価 42.8)、Tf 剤処理区が 1.9 (防除価 84.7)、事前乾燥+65°C10 分間処理区では 11.5 (防除価 8.3) と従来処理区および Tf 剤処理区よりも防除効果は認められなかった (図 22)。Steel-Dwass 検定によるノンパラメトリックな多重比較ならびに事前乾燥+65°C10 分間処理区を対照群とした Steel 検定を行ったが、事前乾燥+65°C10 分間処理区はいずれの試験区とも有意差は認められなかった。褐条病の 2 試験をまとめて Steel-Dwass の多重検定および Steel 検定を行った結果、Steel 検定において事前乾燥+65°C10 分間処理区はいずれの試験区と Tf 剤との間で有意差は認められたが、他の処理区では有意差は認められなかった (データ未記載)。

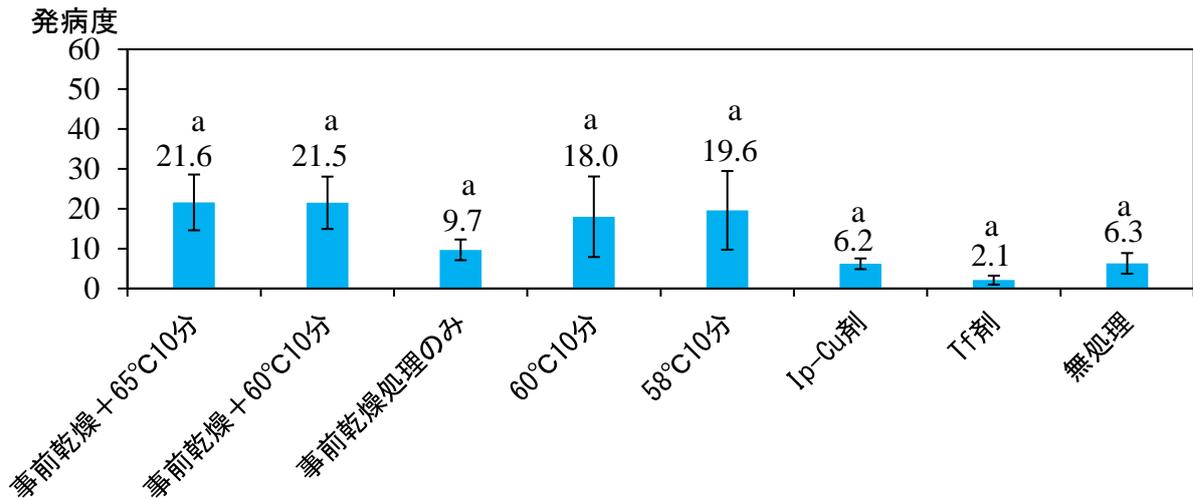


図 21. 褐条病に対する防除効果 (50%汚染種子混入)

健全種子 (品種: あきたこまち) に対して開花期接種種子 (品種: あきたこまち) を 50% となるように混入した。図中の数値は発病度の平均を示す。

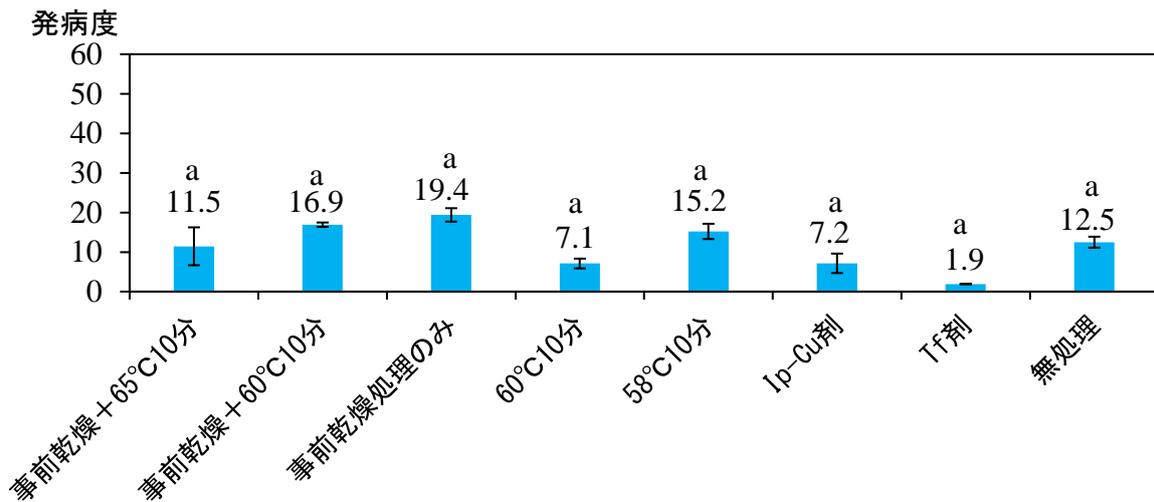


図 22. 褐条病に対する防除効果

健全種子 (品種: あきたこまち) に対して開花期接種種子 (品種: あきたこまち) を 20% となるように混入した。図中の数値は発病度の平均を示す。

第3節 褐条病に対する事前乾燥処理を取り入れた温湯消毒（新技術）との体系処理

第1項 緒言

第2項では、褐条病に対して、従来法および新技術の単独処理の防除効果は低い結果であった。従来法では、穀物酢やタラロマイセスフラバス水和剤との体系処理により防除できることが報告されている(関原ら 2008、)。そこで本項では、新技術と醸造酢液剤、タラロマイセスフラバス水和剤、重曹との体系処理により防除効果が向上するか検討した。

第2項 材料および方法

1. 供試種子

第2章 第2節に準ずる。

2. 事前乾燥および消毒方法

方法は、第2項に準ずる。

対照区として催芽前処理および催芽時処理には、醸造酢液剤（15%酢酸、商品名：エコフィット【クミアイ化学工業株式会社】、100倍24時間催芽前・催芽時浸漬：BI液剤）、タラロマイセスフラバス水和剤（商品名：タフブロック【エス・ディー・エス バイオテック株式会社】200倍24時間催芽時浸漬：Tf剤）処理区、重曹（100倍24時間催芽時浸漬）を設定した。

3. 育苗方法

第2章に準ずる。

4. 発病調査

第2章に準ずる。

5. 統計処理

第2章に準ずる。

第3項 結果

1. 醸造酢液剤 (BI 液剤: 催芽時処理)

健全種子に対して汚染種子が 50%となるように混合した。無処理区の発病度 8.5 の中発生条件での検討となった。各処理区の発病度は、対照となる Ip-Cu 剤処理区 13.7 (防除価 56.9)、BI 液剤(100 倍液)のみで 0.9 (防除価 89.5) に対し、60°C10 分+BI 液剤 (100 倍) 処理区では 1.1 (防除価 87.1)、事前乾燥+65°C10 分間+ BI 液剤 (100 倍) 処理区では 0.3 (防除価 96.8) と高い効果が認められた (図 23)。そこで、Steel-Dwass 検定によるノンパラメトリックな多重比較ならびに事前乾燥+65°C10 分間処理区を対照群とした Steel 検定を行ったが、事前乾燥+65°C10 分処理区はいずれの試験区とも有意差が認められなかった (データ未記載)。

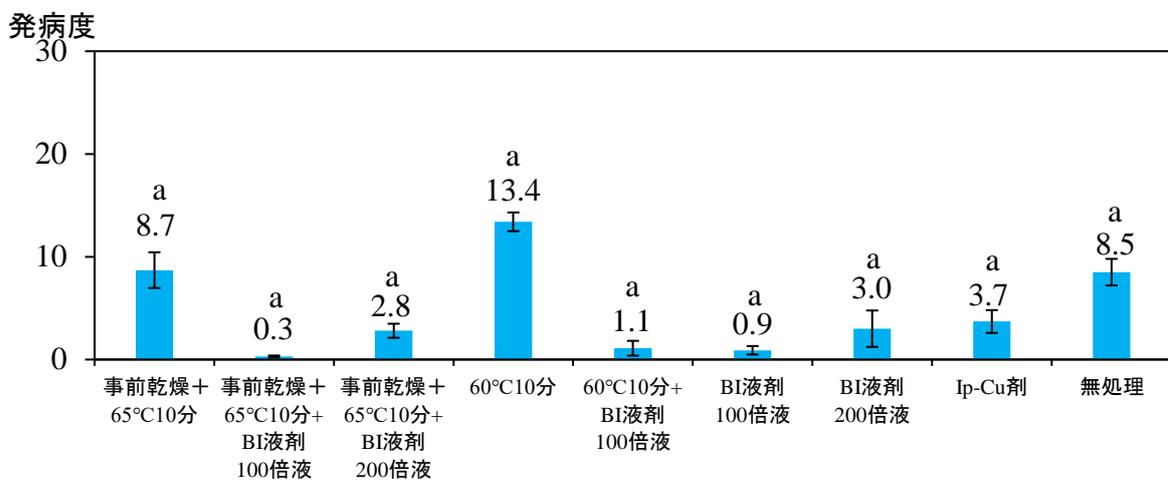


図 23. 褐条病に対する温湯消毒と催芽時 BI 液剤の併用処理による防除効果
図中の数値は発病度の平均を示す。

2. 醸造酢液剤（BI 液剤：催芽前処理）

健全種子に対して汚染種子が 50%となるように混合した。無処理区の発病度 9.2 の少発生条件での検討となった。各処理区の発病度は、対照となる従来法の 60℃ 10 分間処理区が 9.9（防除価 0）、従来法の 60℃ 10 分間処理と BI 液剤（100 倍液）の体系処理区が 1.2（防除価 87.0）、BI 液剤（100 倍液）のみの処理区が 1.2（防除価 87.0）、事前乾燥+65℃ 10 分間処理区が 10.3（防除価 0）、事前乾燥+65℃ 10 分間処理と BI 液剤（100 倍液）の体系処理区では 0.7（防除価 92.8）と事前乾燥+65℃ 10 分間や従来法の単独処理よりも事前乾燥+65℃ 10 分間処理と BI 液剤（100 倍液）の体系処理の方が高い効果が認められた（図 24）。そこで、Steel-Dwass 検定によるノンパラメトリックな多重比較ならびに事前乾燥+65℃ 10 分間処理区を対照群とした Steel 検定を行ったが、事前乾燥+65℃ 10 分間処理区はいずれの試験区とも有意差が認められなかった（データ未記載）。

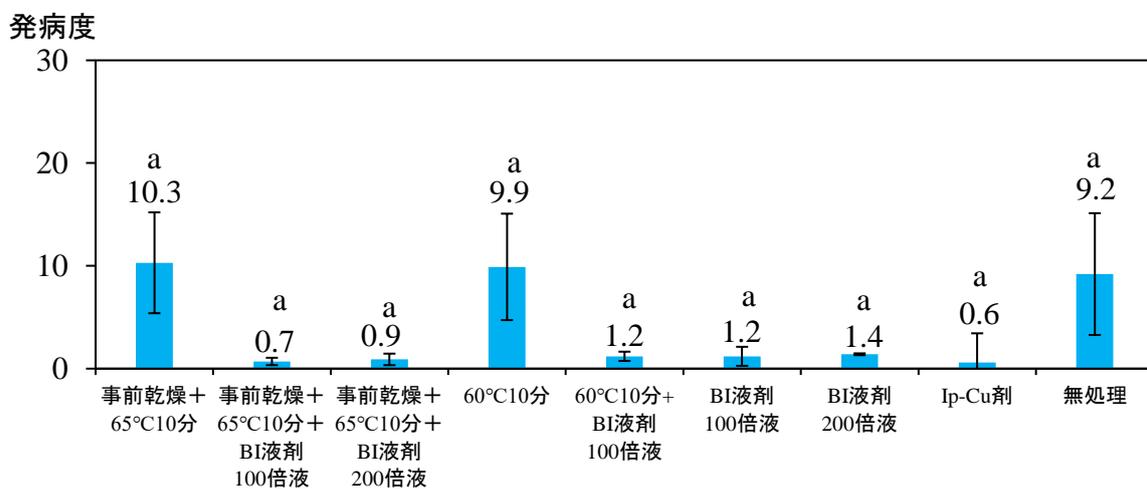


図 24. 褐条病に対する温湯消毒と BI 液剤の併用処理における防除効果
 図中の数値は発病度の平均を示す。

3. 微生物防除資材タラロマイセスフラバス水和剤(Tf 剤: 催芽時処理 200 倍)との体系処理

健全種子に対して汚染種子が 50%となるように混合した。無処理区の発病度 9.6 の少発生条件での検討となった。各処理区の発病度は、対照となる Ip-Cu 剤処理区 10.4 (防除価 0)、Tf 剤処理区が 3.1 (防除価 67.2) に対し、60℃10 分+Tf 剤 (200 倍) では、4.3 (防除価 54.7)、事前乾燥+65℃10 分間+Tf 剤 (200 倍) 処理区では 2.6 (防除価 72.5) と高い効果が認められた (図 25)。そこで、Steel-Dwass 検定によるノンパラメトリックな多重比較ならびに事前乾燥+65℃10 分間処理区を対照群とした Steel 検定を行ったが、事前乾燥+65℃10 分処理区はいずれの試験区とも有意差が認められなかった (データ未記載)。

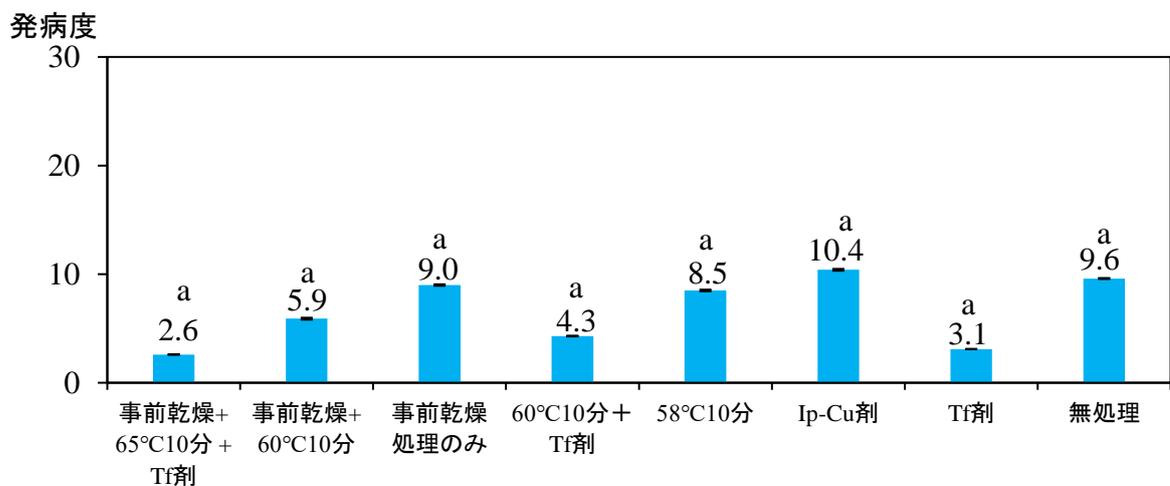


図 25. 褐条病に対する温湯消毒と微生物防除資材 (タフブロック) の併用処理における防除効果 (催芽時処理 200 倍)

図中の数値は発病度の平均を示す。

4. 重曹(催芽時処理 100 倍)との体系処理

健全種子に対して汚染種子が 50%となるように混合した。無処理区の発病度 10.0 の少発生条件での検討となった。各処理区の発病度は、対照となる Ip-Cu 剤処理区 16.3 (防除価 0)、Tf 剤処理区が 11.2 (防除価 0) と効果が認められず、60°C10 分+催芽時重曹 (100 倍) では、8.6 (防除価 14.1)、事前乾燥+65°C10 分間+催芽時重曹 (100 倍) 処理区では 9.5 (防除価 5.7) と防除効果が認められなかった (図 26)。

そこで、Steel-Dwass 検定によるノンパラメトリックな多重比較ならびに事前乾燥+65°C10 分間処理区を対照群とした Steel 検定を行ったが、事前乾燥+65°C10 分処理区はいずれの試験区とも有意差が認められなかった (データ未記載)。

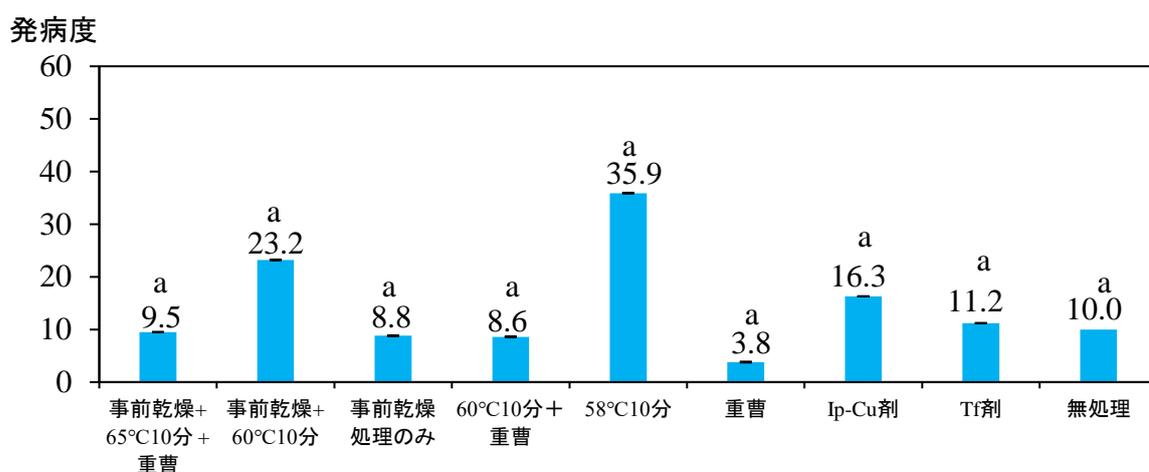


図 26. 褐条病に対する温湯消毒と重曹の併用処理における防除効果 (催芽時処理 200 倍) 図中の数値は発病度の平均を示す。

第4節 農家でのばか苗病が発生する原因解明および本技術の効果の実証

第1項 緒言

第1章 第1項で4種の種子伝染性病害(ばか苗病、いもち病(苗いもち)、苗立枯細菌病、もみ枯細菌病)に対して、従来法および化学合成農薬と比較して同等かそれ以上の防除効果を示すことが明らかとなった。しかしながら、新技術として普及するにあたっては、農家規模(作付面積20ha規模の専業農家で試験を実施)の種子量に対してもこの新技術が適用できるか明らかにする必要がある。そこで本項では、秋田県内のばか苗病多発農家で本新技術の実証試験を行い、事前乾燥を取り入れた水稻種子温湯消毒法が生産現場で十分に実用化できる技術であることを証明するため、その実用性を評価したのでここに報告する。

第2項 材料および方法

1. 品種および種子消毒

2018年と2019年に使用した供試品種と種子消毒方法を第1表に示した。種子は全て農家が購入したものを使用した。事前乾燥処理はS社の試作機を農家に搬入し、農家で実施した。また、温湯消毒はタイガーカワシマ社の湯芽工房を用いて行った(図27)。

I. 農家種子を用いた事前乾燥+65℃、10分の実証試験

各農家を使用した品種と消毒法は以下の通りである(表1)。

1. 供試品種および種子消毒

【2018年】

・農家A

あきたこまち:従来法(60℃,10分間処理),新技術(事前乾燥+65℃,10分間処理)

・農家B

あきたこまち:従来法(60℃,10分間処理),60℃,10分間処理+トリコデルマアトロビリデ水和剤催芽時処理,新技術(事前乾燥+65℃,10分間処理)

ササニシキ:従来法(60℃,10分間処理),新技術(事前乾燥+65℃,10分間処理)

つぶぞろい:従来法(60℃,10分間処理),新技術(事前乾燥+65℃,10分間処理)

ときめきもち:従来法(60℃,10分間処理),新技術(事前乾燥+65℃,10分間処理),イプコナゾール銅水和剤

【2019年】

- ・農家 A
あきたこまち：新技術（事前乾燥+65℃，10分間処理）
- ・農家 B
あきたこまち：従来法（60℃，10分間処理），新技術（事前乾燥+65℃，10分間処理）
ササニシキ：新技術（事前乾燥+65℃，10分間処理）
つぶぞろい：新技術（事前乾燥+65℃，10分間処理），タラロマイセスフラバス水和剤催芽時処理
ちほみのり：タラロマイセスフラバス水和剤処理催芽時処理

表-1 供試品種と種子消毒方法

年	農家	品種	処理区	水分含量	
				乾燥前	乾燥後
2018年	農家A	あきたこまち	60℃10分間処理		
			事前乾燥+65℃10分間処理	15.2	9.4
		あきたこまち + トリコデルマトロピリデ水和剤催芽時処理			
	農家B	ササニシキ	60℃10分間処理		
			事前乾燥+65℃10分間処理	15.2	9.4
		つぶぞろい	60℃10分間処理*		
			事前乾燥+65℃10分間処理	15.9	9.6
2019年	農家A	あきたこまち	60℃，10分間処理*		
			事前乾燥+65℃10分間処理	14.0	8.5
	農家B	あきたこまち	事前乾燥+65℃10分間処理	14.7	7.5
ササニシキ			事前乾燥+65℃10分間処理	14.0	8.7
つぶぞろい		事前乾燥+65℃10分間処理 タラロマイセスフラバス水和剤催芽時処理*	14.8	8.4	

*農家での調査のみ

事前乾燥処理は 50℃で 20 時間行った



図 27. 農家施設での種子予措の様子

- (1) 事前乾燥機の試作機
- (2) 農家施設での温湯消毒の様子
- (3) 温湯消毒機（タイガーカワシマ社の湯芽工房）

2. 種子予措

温湯消毒後の種子予措中の再感染によってばか苗病が発生する可能性を考慮して、農家で温湯消毒した種子を以下の種子予措工程でサンプリングし、秋田県立大学（大学）で育苗試験を行った。各年での試験区は以下の通りとした。

2018 年

- 1. 農家で温湯消毒した種子をサンプリングし、大学で 浸種・催芽を実施
- 2. 農家で温湯消毒・浸種・催芽後にサンプリング

2019 年

- 1. 温湯消毒前にサンプリングを農家で実施し、大学で 温湯消毒・浸種・催芽を実施
- 2. 農家で温湯消毒した種子をサンプリングし、大学で 浸種・催芽を実施
- 3. 農家で温湯消毒・浸種・催芽後にサンプリング

3. 播種および育苗方法

1/6 サイズの育苗箱で行った。培土には床土 600 g、覆土 200 g とし、本学での試験においてはいなほ培土（1.0 kg あたり N: 0.6 kg、P: 0.9 kg、K: 0.6 kg）を用いた。ほとんどの状態となった催芽種子を 25 g 播種し、網室あるいはビニールハウスにて緑化处理し、播種 3 週間後に発病苗数を調査した。

4. 発病調査方法

5 月の中旬と下旬に農家で発病状況を調査した。

II. ばか苗病多発農家における発病要因の解析

1. 供試材料

2018 年および 2019 年に秋田県内の農家種子から採集された苗から分離したばか苗病菌の菌体を解析に用いた。

2. 菌体からの DNA 抽出

(1) 菌の培養

駒田培地（リン酸二水素カリウム 1.0 g、塩化カリウム 0.5 g、硫酸マグネシウム七水和物 0.5g、Fe-EDTA 10.0 mg、L-アスパラギン 2.0 g、D-ガラクトース 20.0 g、寒天（Agar）15g）1 L に対して、高圧蒸気滅菌（121℃、20 分 60℃保温）を行った後、PCNB 剤（タケダコブ粉剤 75% WP） 3 g および 5% ストレプトマイシン硫酸塩 300 mg、コール酸ナトリウム 0.5 g、四ほう酸ナトリウム十水和物 1.0 g を培地の温度が 60℃となったところに添加し、攪拌した。10%リン酸溶液で pH3.8~4.0 に調整した。これをシャーレに分注し、駒田培地とした。イネの先端約 1cm を駒田培地上に置き、イネの周辺に菌が広がるまで培養した。PDA 斜面培地（ジャガイモ煎汁寒天培地：ジャガイモ 200 g の煎汁 1 L、D-グルコース 20 g、寒天 18 g）に対して、高圧蒸気滅菌（121℃、20 分）を行った後、10 mL ずつ試験管に分注し、斜面上に放置し PDA 斜面培地とした。これに、駒田培地より分離された菌体を移植し、25℃で 7 日間培養した。その後、PDB 培地（ジャガイモ煎汁液体培地：ジャガイモ 200 g の煎汁 1 L、D-グルコース 20 g）を高圧蒸気滅菌（121℃、20 分）し、PDB 培地とした。PDA 斜面培地上の菌体を寒天ごと切り取り 60 mm ペトリ皿に分注した PDB 培地に移植した。移植後は 25℃で 7 日間培養した。生育した菌体はろ紙（1:90 mm）でブフナー漏斗を用いて吸引ろ過し回収した。蒸留水で洗浄し回収した菌体はユニパック（MARK-A）に入れて、使用時まで -30℃で保存した。

(2) DNA 抽出 (PEX 法)

PDB 培地より回収した菌体が入った 2 ml 滅菌凍結チューブにメタルコーンを入れ、液体窒素で試料を凍らせビーズ破碎対応多目的スピンドウンミキサー バグクラッシャー (TAITEC) で 30 秒破碎した。その後、300 μ l の PEX solution を入れ再びバグクラッシャーで 30 秒粉碎した。粉碎後、メタルコーンを取り出し、60°C で 30 分置き、15,000 rpm で 5 分間の遠心分離によって沈殿させた。遠心分離後、上清 160 μ l を新しい 1.5 ml チューブに移した。400 μ l の 99.5% エタノールを加え混合し 15,000 rpm で 5 分間遠心分離をした。遠心分離後、チューブ内の液を除去した後、600 μ l の 70% エタノールを加え、軽く混合し 15,000 rpm で 1 分間遠心分離をした。その後、チューブ内の液を除去し、再び 15,000 rpm で 1 分間遠心分離をした。残っている液を完全に取り除き、5 分間乾燥吸引し 50 μ l の RNase-free-water (SDW) を加えて沈殿物を融解させ、使用時まで 4°C で保存した。

3. マイクロサテライト解析 (表-2)

本試験で使用した菌株の分析は、藤 (2014) が報告した 12 種類の個体識別マーカーを 4 種類の蛍光色素 (6-FAM、VIC、NED、PET) のいずれかで標識し、増幅産物のサイズ、ならびに増幅効率を考慮して各 4 マーカーを含む 3 セット (A~C) のマルチプレックス PCR により行った。PCR は、1 サンプルあたり鋳型 DNA 2 μ l に対し、8 μ l (10 \times PCR Buffer 1 μ l、10mM dNTP Mixture 0.2 μ l、Ampli Taq Gold 0.05 μ l、SDW 20 μ M 各種プライマー各 0.05 μ l、SDW 6.35 μ l) を加え、計 10 μ l の反応量で行った。PCR は、94°C、10 分の熱変性の後、94°C、1 分、55°C、1 分、72°C、1 分を 30 サイクル、72°C、5 分を 1 サイクルの反応条件により行った。解析は 1 サンプルあたり PCR 産物 1 μ l に Hi-Di 9.85 μ l、サイズスタンダード 500LIZ 0.15 μ l を加えて、ジェネティックアナライザー (ABI PRISM 3100 Genetic Analyzer) を用いて電気泳動した。その後、GeneMapper™ を用いて波形データを解析し (秋田県立大学生物資源科学部バイオテクノロジーセンターに委託)、得られたピークのサイズの違いにより発生したばか苗病菌の個体判別 (クローンの識別) を GenDive (調べて引用する) で解析、その結果に基づいて発病要因の解析を行った。

表-2. SSR プライマーとその特性

Multiple xset	Chromosome No.	primer	Labeling/lye	primer sequence	Repeat motif	Expected products size		Repeat motif number AFJ06-014p Nakata gf	AFJ06-084C	Japan 254isolate	No. of alleles(Gene diversity) [*]		Total 269 isolate	null rate (%)	Observed peak size range	This studied contig name	Nucleotide position in FFJ genome
						FFJ	NAKATA gf				Korea 15 isolate	Korea 15 isolate					
A	Chr03	N112	FAM	F:ACTATGGTCCCGTCAATCC R:CCAGAAAGTGTCTTCCATC	AAC	217bp	223bp	10	18	11 (0.62)	2 (0.32)	11 (0.60)	0.0	207-242	NODE 240/38479/107.048416	3,132,506-3,132,722	
	Chr02	N1308	VIC	F:TTTCCCGGAAGATCCAGTT R:AATTTCCACATTCGGCTTT	GAA	259bp	261bp	16	22	15 (0.80)	4 (0.68)	15 (0.81)	0.0	228-290	NODE 5748/65115/117.853798	2,745,126-2,745,384	
	Chr04	N43	NED	F:CAAAACACGAGGAGAGG R:ACTCTGTCTATCTGTCGT	GAT	165bp	177bp	12	14	13 (0.82)	5 (0.65)	14 (0.82)	0.0	140-213	NODE 588/14426/123.734161	2,021,046-2,021,210	
	Chr01	N418	PET	F:ACCATCCATGCCAAGGTGAA R:GCTTAGGTAGCGGAGACTG	GAA	224bp	206bp	22	24	28 (0.89)	6 (0.78)	28 (0.89)	0.0	140-290	NODE 101/233960/118.345284	3,823,394-3,823,617	
B	Chr01	N853	FAM	F:CAGTAGCAGACCATGGCTTT R:GAAGTGTGTCGAAACGAGA	GAA	197bp	197bp	14	9	12 (0.74)	4 (0.63)	12 (0.74)	0.0	177-221	NODE 853/52499/120.931046	3,553,486-3,553,682	
	Chr03	N493	VIC	F:GATGATGGTTCGAATCCAG R:ACTGTAGTAAGTAGCAGAA	AAGG	291bp	303bp	14	19	15 (0.81)	4 (0.58)	15 (0.80)	0.0	247-394	NODE 493/66830/118.640488	2,607,173-2,607,463	
	Chr01	N105	NED	F:ACACCTGCAAGCTAGCCATT R:AGTACGAAGCCGTTGACAC	CTA	198bp	204bp	13	12	14 (0.56)	4 (0.58)	15(0.58)	0.0	183-233	NODE 218/22540/109.893211	2,342,683-2,342,880	
	Chr10	N1296	PET	F:AGCTCTCTGCTGCAAGTGG R:CACTCTGCTGCTGCTCTCT	GAA	228bp	231bp	7	13	18 (0.57)	3 (0.34)	19(0.56)	0.0	213-346	NODE 49/10326/118.399666	1,229,463-1,229,690	
C	Chr02	N667	FAM	F:ACCTAGGTTTAGAGGTTTGG R:CTTAAGGGTGTCTGAGTG	CTC	313bp	216bp	14	12	3 (0.50) +null	2 (0.40) +null	3 (0.54) +null	43.1	2074-213	NODE 668/19606/113.834335	3,283,065-3,283,377	
	Chr05	N91	VIC	F:AGATCTAGCCGTAGCAAGT R:ACGGTAGGTCACCTACCGAA	TTC	222bp	237bp	7	11	18 (0.36)	4(0.44)	18 (0.37)	0.0	228-353	NODE 91/29722/123.304558	2,064,246-2,064,467	
	Chr03	N425	NED	F:ACAGGGAGAGTGAAGCAC R:TCAAGCATCAGCATGAGAGA	GAA	216bp	221bp	10	11	12 (0.79)	3 (0.56)	12 (0.79)	0.0	200-250	NODE 425/39883/110.091118	2,410,722-2,410,937	
	Chr03	N319	PET	F:AGAGGGAGAGTGAAGCAC R:TCAAGCATCAGCATGAGAGA	TGT	224bp	209bp	17	10	10 (0.76)	3 (0.50)	10 (0.76)	0.0	186-217	NODE 319/7425/110.284164	1,891,622-1,891,845	
D	Chr6	f06	PET	F:TCGAGCTGGGCATAGTCTCT R:AGCTTCGGAGCTGATCCACC	AAGG	214bp	ND	18	15	19 (0.82) +null	5 (0.68)	19 (0.81) +null	1.9	166-252	ND	2,114,463-2,114,676	
	Chr07	f07	NED	F:CGTGAATCTATTCTGTGT R:ATAACAGAGGCATACCAATGA	GTCT	183bp	ND	12	12	14 (0.83) +null	4 (0.58)	14 (0.83) +null	1.9	141-225	ND	1,581,341-1,581,523	
	Chr08	f08	VIC	F:TTGAAATGGCTGGCCGTAA R:CGCTCAATCATTTGTGTCT	TATG	222bp	ND	12	10	14 (0.84) +null	4 (0.62)	14 (0.85) +null	1.5	150-253	ND	1,186,208-1,186,429	
	Chr09	f09	FAM	F:TCTCTGAGATTGTGTCCA R:GATAGACGGGAGCAGAAG	TTC	221bp	ND	10	8	8 (0.25) +null	1 (0.00) +null	8 (0.23) +null	32.3	209-249	ND	445,322-445,542	
E	Chr06	f06	FAM	F:CGAGAGACATTCGAAGCTG R:ACACTTCAACATGTGTCCCT	GAG	250bp	ND	11	12	14(0.83)+null	4 (0.63) +null	14 (0.85) +null	15.6	212-277	ND	1,128,818-1,129,067	
	Chr11	f11-2	VIC	F:ACTATGCTTACTGAGGTT R:TCTGTGATTTCTTCCAGTT	AAGG	202bp	ND	8	7	2 (0.29) +null	3 (0.60)	3 (0.31) +null	4.1	193-199	ND	2,198,311-2,198,512	
	Chr11	f11-3	PET	F:CAAAATGCAACTTCCACT R:CAATTTGGCTGACTCTCT	AATC	216bp	ND	8	7	7 (0.20) +null	3 (0.34)	8 (0.21) +null	1.1	201-235	ND	1,169,017-1,169,233	
	Chr12	f12-2	NED	F:CTGTGGGAATGTGTGCT R:AGTCTCTCTGATGACTGT	CCA	219bp	ND	5	5	1 (0.00) +null	1 (0.00) +null	1 (0.00) +null	49.0	214	ND	256,508-256,727	

第4節 結果

1. 農家種子を用いた小規模（1/6サイズ育苗箱）でのばか苗病の発病状況

2018年に農家が消毒した種子を用いて発病試験を行った結果、農家Aで温湯消毒し、大学で浸種・催芽した種子では60℃10分の温湯消毒および事前乾燥処理を取り入れた65℃10分の温湯消毒どちらにおいても発病苗の発生はみられなかった。農家Aで全工程を施した種子では60℃10分の温湯消毒では発病苗が、3反復の試験で平均1.7本（合計5本）みられたが、事前乾燥処理を取り入れた65℃10分の温湯消毒で処理した種子ではいずれの品種においても発病苗の発生はみられなかった。農家Bで温湯消毒し、大学で浸種・催芽した種子では、供試したいずれの品種においても発病苗の発生はみられなかった。また、農家Bで全工程を施した種子でも同様に発病苗の発生はみられなかった（第3表）。加えて、2019年の試験では農家で事前乾燥後温湯消毒前にサンプリングし、本学で温湯消毒（65℃10分間処理）・浸種・催芽した種子で試験を実施した。供試したいずれの品種においても発病苗の発生はみられなかった。

表-3. 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ばか苗病の発病状況

農家	品種	播種日	処理区	温湯消毒	浸種～催芽	健全苗数	ばか苗病発病苗数	
A	あきたこまち	4月29日	事前乾燥+65℃10分	I	農家A	本学	638	0
				II			705	0
				III			753	0
		4月28日	60℃10分	I	農家A	本学	686	0
				II			705	0
				III			729	0
	あきたこまち	4月28日	事前乾燥+65℃10分	I	農家A	農家A	681	0
				II			730	0
				III			718	0
		4月18日	60℃10分	I	農家A	農家A	744	3
				II			689	1
				III			717	1
B	あきたこまち	4月18日	事前乾燥+65℃10分	I	農家B	本学	604	0
				II			516	0
				III			575	0
		4月18日	60℃10分	I	農家B	本学	680	0
				II			595	0
				III			655	0
	ササニシキ	4月18日	事前乾燥+65℃10分	I	農家B	農家B	588	0
				II			634	0
				III			611	0
		4月18日	60℃10分+TO処理*	I	農家B	農家B	647	0
				II			624	0
				III			621	0
つぶぞろい	4月18日	事前乾燥+65℃10分	I	農家B	本学	612	0	
			II			588	0	
			III			586	0	
	4月21日	60℃10分	I	農家B	本学	628	0	
			II			635	0	
			III			649	0	
ときめきもち	4月21日	事前乾燥+65℃10分	I	農家B	農家B	645	0	
			II			689	0	
			III			670	0	
	4月18日	60℃10分	I	農家B	農家B	638	0	
			II			376	0	
			III			701	0	
4月18日	事前乾燥+65℃10分	I	農家B	本学	555	0		
		II			621	0		
		III			534	0		
4月21日	事前乾燥+65℃10分	I	農家B	農家B	706	0		
		II			615	0		
		III			684	0		
4月18日	事前乾燥+65℃10分	I	農家B	本学	519	0		
		II			493	0		
			III			497	0	

1箱に25gの種子を播種

*TO処理はトリコデルマトロビリゲ水和剤処理を示す

2. 農家種子を用いた水稲用育苗箱でのばか苗病の発病状況

2018年に農家で温湯消毒後、大学で浸種、催芽した種子を用いた試験では、60℃10分の温湯消毒の農家Aに「あきたこまち」(2反復)で最大3本、農家Bの「ササニシキ」(2反復)で最大2本発病苗が発生した。事前乾燥処理を取り入れた65℃10分の温湯消毒では農家Aの「あきたこまち」(2反復)、農家Bの「あきたこまち」(2反復)ともに最大1本発病苗がみられた。農家で全工程を行った種子を用いた試験では、農家Aの「あきたこまち」は60℃10分の温湯消毒(2反復)で最大72本発病苗が発生したが、事前乾燥処理を取り入れた65℃10分の温湯消毒(2反復)で処理した場合は発生がみられなかった。一方、農家Bの「ササニシキ」では60℃10分の温湯消毒(2反復)で最大2本発病苗が発生したのに対し、事前乾燥処理を取り入れた65℃10分の温湯消毒(2反復)では最大1本の発生であった。「あきたこまち」では、60℃10分の温湯消毒とトリコデルマアトロビリデ水和剤との体系処理(2反復)が無発病であったのに対し、事前乾燥処理を取り入れた65℃10分の温湯消毒(2反復)では最大4本の発病となった。事前乾燥処理を取り入れた65℃10分の温湯消毒のみでの実証試験となった「つぶぞろい」(2反復)では最大3本、「ときめきもち」(2反復)では最大10本の発生であった(第4表)。

2019年の農家で温湯消毒し、本学で浸種・催芽した種子を使用した試験では農家Aの60℃10分の温湯消毒(2反復)および事前乾燥処理を取り入れた65℃10分の温湯消毒(3反復)いずれにおいても発病苗の発生はみられなかった。農家Bでは事前乾燥処理を取り入れた65℃10分の温湯消毒のみでの試験となり、「あきたこまち」(3反復)で3本の発病がみられた。農家で全工程を行い本学に持ち帰って育苗した試験では農家Aの60℃10分の温湯消毒(2反復)、事前乾燥処理を取り入れた65℃10分の温湯消毒(2反復)ともに発病苗の発生はみられなかった。農家Bでは「つぶぞろい」(3反復)で1本の発病がみられた(第5表)。

表-4. 農家種子を用いた水稲用育苗箱でのばか苗病の発病状況（2018年）

農家	播種日	調査日	品種	処理区	温湯消毒	浸種-催芽	発病苗数
A	5月22日	6月13日	あきたこまち	事前乾燥+65℃10分	農家A	本学	0
							1
				60℃10分	農家A	本学	3
							0
B	4月18日	5月28日	あきたこまち	事前乾燥+65℃10分	農家B	本学	0
							1
				60℃10分	農家B	本学	0
							1
B	4月18日	5月28日	ササニシキ	事前乾燥+65℃10分	農家B	本学	0
							0
				60℃10分	農家B	本学	2
							2
A	4月18日	5月28日	あきたこまち	事前乾燥+65℃10分	農家A	農家A	0
							0
				60℃10分	農家A	農家A	72
							40
B	4月21日	5月28日	あきたこまち	事前乾燥+65℃10分	農家B	農家B	4
							2
				60℃10分+TO処理*	農家B	農家B	0
							0
B	4月25日	5月28日	ササニシキ	事前乾燥+65℃10分	農家B	農家B	1
							0
				60℃10分	農家B	農家B	2
							0
A	4月21日	5月28日	つぶぞろい	事前乾燥+65℃10分	農家B	農家B	3
							3
A	4月21日	5月28日	ときめきもち	事前乾燥+65℃10分	農家B	農家B	1
							10

1箱 120g の種子を播種

*TO 処理はトリコデルマアトロビリデ水和剤処理を示す

表-5. 農家種子を用いた水稲用育苗箱でのばか苗病の発病状況（2019年）
の発病状況（2019年）

農家	播種	調査日	品種	処理区	温湯消毒	浸種~催芽	発病苗数
A	4月23日	5月24日	あきたこまち	事前乾燥+65°C10分	農家A	本学	0
				60°C10分	農家A	本学	0
							0
B	4月16日	5月24日	あきたこまち	事前乾燥+65°C10分	農家B	本学	0
							3
			つぶぞろい	事前乾燥+65°C10分	農家B	本学	0
							0
							0
							0
A	4月22日	5月24日	あきたこまち	事前乾燥+65°C10分	農家A	農家A	0
				60°C10分	農家A	農家A	0
							0
B	4月18日	5月24日	あきたこまち	事前乾燥+65°C10分	農家B	農家B	0
							0
							0
			つぶぞろい	事前乾燥+65°C10分	農家B	農家B	0
				TA処理*	農家B	農家B	1
							0
			ササニシキ	事前乾燥+65°C10分	農家B	農家B	0
							0
							0

1箱 120g の種子を播種

*TA 処理はタラロマイセスフラバス水和剤処理を示す

3. 農家圃場での発病状況（図 28、29）

2018年、農家Aでは5月17日と5月28日の2回発病状況を調査した。

5月17日は従来法（60℃10分間処理）では育苗してあるすべての育苗箱でばか苗病発病苗の発生がみられた。従来法ではすべての育苗箱でばか苗病が発生していたが、新技術では調査した128箱中5箱に発病していた（発病箱率3.9%）。

5月28日は639箱中85箱で発病していた（発病箱率13.3%）また、ランダムに20箱ずつ選択して1箱の発病苗の本数を調査した結果、従来法では平均7.25本発生していたが、新技術では平均1.65本であった。

農家Bでは、ときめきもちの新技術では393箱中56箱で各1本、5箱で各2本発生しており（発病箱率15.5%）、イプコナゾール銅水和剤では1528箱中10箱で各1本ばか苗病発病苗が発生していた（発病箱率0.65%）。つぶぞろいは、新技術では576箱中1箱で1本発生しており（発病箱率0.17%）、従来法では584箱中1箱で1本ばか苗病発病苗が発生していた（発病箱率0.17%）。ササニシキは、新技術では800箱中4箱で各1本発生しており（発病箱率0.5%）、従来法では225箱中3箱で各1本ばか苗病発病苗が発生していた（発病箱率1.3%）。

あきたこまちは、5月9日と5月17日の2回調査した。

5月9日は新技術では、640箱中103箱（発病箱率16.0%）で、従来法では247箱中150箱（発病箱率61.0%）でばか苗病発病苗が発生していた。5月17日に2回目の調査を行なった結果、新技術は640箱中82箱（発病箱率13.0%）で、従来法では、247箱中176箱（発病箱率71.2%）でばか苗病発病苗が発生していた。

2019年も前年同様に農家で発病状況を調査した。農家Aのあきたこまちでは、新技術は795箱中8箱で各1本（発病箱率1.0%）ばか苗病発病苗が発生しており、従来法では1599箱中14箱で各1本、2箱で各2本、1箱で3本（発病箱率1.1%）ばか苗病発病苗が発生していた。

農家Bでは新技術の処理を行い、5月9日の調査であきたこまちは886箱中17箱で各1本、3箱で各2本、3箱で各3本、1箱で4本（発病箱率2.5%）であった。

ササニシキでは1485箱中16箱で各1本、1箱で2本、1箱で3本（発病箱率1.2%）であった。

5月21日の調査であきたこまちは886箱中171箱で各1本、17箱で各2本、2箱で各3本、1箱で4本（発病箱率21.5%）であった。

ササニシキでは1485箱中63箱で各1本、4箱で2本、1箱で3本（発病箱率4.6%）であった（表-6）。

表-6. 農家圃場での発病状況

年	調査日	農家名	品種	処理区	育苗箱数	発病箱数	発病箱率(%)	
2018年	5月17日	A	あきたこまち	事前乾燥+65℃10分	128	5	3.9	
				60℃10分	140	140	100.0	
	5月28日		あきたこまち	事前乾燥+65℃10分	639	85	13.3	
				60℃10分	140	140	100.0	
	5月9日		ときめきもち	IP処理 ¹	1528	10	0.7	
				事前乾燥+65℃10分	393	61	15.5	
			つぶぞろい	事前乾燥+65℃10分	576	1	0.2	
				60℃10分	584	1	0.2	
			B	ササニシキ	事前乾燥+65℃10分	800	4	0.5
					60℃10分	225	3	1.3
				あきたこまち	事前乾燥+65℃10分	640	103	16.0
					60℃10分+TO処理 ²	247	150	61.0
	5月17日		あきたこまち	事前乾燥+65℃10分	640	82	13.0	
				60℃10分+TO処理 ²	247	176	71.0	
2019年	5月18日	A	あきたこまち	事前乾燥+65℃10分	795	8	1.0	
				60℃10分	1599	17	1.1	
	5月19日		あきたこまち	事前乾燥+65℃10分	866	24	2.5	
				ササニシキ	1485	18	1.2	
	5月21日		あきたこまち	事前乾燥+65℃10分	866	191	21.5	
				ササニシキ	1485	68	4.6	

¹IP 処理はイプコナゾール・銅水和剤処理を示す

²TO 処理はトリコデルマアトロビリデ水和剤を示す



図 28. 農家 A での育苗状況 (2018 年)



図 29. 農家 B での育苗状況（2018 年）

4. ばか苗病多発農家における発病要因の解析

SSR 解析の結果、125 クローン中農家 A 圃場から 49 クローン、農家 B 圃場から 65 クローンが検出された (表-7)。2018 年は農家 A および農家 B が温湯消毒・浸種・催芽した種子および農家 A が温湯した種子から同じクロンのばか苗病菌が検出された。

農家 B が 2018 年に温湯したときめきもちの種子 4 クローンと 2019 年に温湯消毒・浸種・催芽・育苗したつぶぞろいの種子 1 クローンが同一であった。2018 年に農家 B が 60°C10 分で処理したササニシキと事前乾燥+65°C10 分間で処理したときめきもちで同一のクロンが検出された。これは農家 B が温湯消毒・浸種・催芽した場合と農家 B が温湯消毒した後、本学に持ち帰り浸種・催芽・育苗したものと同一であった。(表-8)。

表-7. 罹病苗から分離したばか苗病菌のクローン解析結果

Clone	サンプルNo.	品種	処理	農家名	温湯	浸種	催芽
1	1803	あきたこまち	乾燥+65℃10分	A	A	A	A
2	1807	あきたこまち	乾燥+65℃10分	A	A	A	A
2	1808	あきたこまち	乾燥+65℃10分	B	B	B	B
2	1811	あきたこまち	60℃10分	A	A	本学	本学
3	1813	あきたこまち	60℃10分	A	A	本学	本学
4	1814	あきたこまち (ばか苗罹病種子)	60℃10分	本学	本学	本学	本学
5	1815	あきたこまち (ばか苗罹病種子)	60℃10分	本学	本学	本学	本学
6	1816	あきたこまち (ばか苗罹病種子)	60℃10分	本学	本学	本学	本学
7	1817	ときめきもち	60℃10分	B	B	本学	本学
8	1819	ときめきもち	60℃10分	B	B	本学	本学
9	1820	ときめきもち	60℃10分	B	B	本学	本学
10	1821	ときめきもち	60℃10分	B	B	本学	本学
11	1822	ときめきもち	60℃10分	B	B	本学	本学
12	1823	ときめきもち	60℃10分	B	B	本学	本学
13	1824	ときめきもち	60℃10分	B	B	本学	本学
14	1825	ときめきもち	60℃10分	B	B	本学	本学
15	1826	ときめきもち	60℃10分	B	B	本学	本学
12	1827	ときめきもち	60℃10分	B	B	本学	本学
16	1828	ときめきもち	60℃10分	B	B	本学	本学
17	1829	ときめきもち	60℃10分	B	B	本学	本学
18	1830	ときめきもち	60℃10分	B	B	本学	本学
19	1831	ときめきもち	60℃10分	B	B	本学	本学
20	1832	ときめきもち	60℃10分	B	B	本学	本学
12	1833	ときめきもち	60℃10分	B	B	本学	本学
12	1834	ときめきもち	60℃10分	B	B	本学	本学
21	1835	ときめきもち	60℃10分	B	B	本学	本学
22	1836	ときめきもち	60℃10分	B	B	本学	本学
23	1837	ときめきもち	テクリードC	B	B	B	B
24	1838	ときめきもち	テクリードC	B	B	B	B
25	1839	ときめきもち	テクリードC	B	B	B	B
26	1840	ときめきもち	テクリードC	B	B	B	B
27	1841	ときめきもち	テクリードC	B	B	B	B
28	1842	ときめきもち	テクリードC	B	B	B	B
29	1843	ときめきもち	テクリードC	B	B	B	B
30	1844	ときめきもち	テクリードC	B	B	B	B
31	1848	あきたこまち	60℃10分	A	A	A	A
32	1849	あきたこまち	60℃10分	A	A	A	A
33	1850	ばか苗2	60℃10分	B	B	B	B
37	1854	ときめきもち	乾燥+65℃10分	B	B	本学	本学
37	1855	ときめきもち	乾燥+65℃10分	B	B	本学	本学
38	1856	あきたこまち	60℃10分	A	A	本学	本学
39	1857	あきたこまち	60℃10分	A	A	本学	本学
40	1858	あきたこまち	60℃10分	A	A	本学	本学
32	1859	あきたこまち	60℃10分	A	A	本学	本学
39	1860	あきたこまち	60℃10分	A	A	本学	本学
41	1861	あきたこまち	60℃10分	A	A	本学	本学
42	1862	あきたこまち	60℃10分	A	A	本学	本学
41	1863	あきたこまち	60℃10分	A	A	本学	本学
41	1864	あきたこまち	60℃10分	A	A	本学	本学
39	1865	あきたこまち	60℃10分	A	A	本学	本学

Clone	サンプルNo.	品種	処理	農家名	温湯	浸種	催芽	育苗
1	1803	あきたこまち	乾燥+65°C10分	A	A	A	A	本学
2	1807	あきたこまち	乾燥+65°C10分	A	A	A	A	本学
2	1808	あきたこまち	乾燥+65°C10分	B	B	B	B	本学
2	1811	あきたこまち	60°C10分	A	A	本学	本学	本学
3	1813	あきたこまち	60°C10分	A	A	本学	本学	本学
4	1814	あきたこまち (ばか苗罹病種子)	60°C10分	本学	本学	本学	本学	本学
5	1815	あきたこまち (ばか苗罹病種子)	60°C10分	本学	本学	本学	本学	本学
6	1816	あきたこまち (ばか苗罹病種子)	60°C10分	本学	本学	本学	本学	本学
7	1817	ときめきもち	60°C10分	B	B	本学	本学	本学
8	1819	ときめきもち	60°C10分	B	B	本学	本学	本学
9	1820	ときめきもち	60°C10分	B	B	本学	本学	本学
10	1821	ときめきもち	60°C10分	B	B	本学	本学	本学
11	1822	ときめきもち	60°C10分	B	B	本学	本学	本学
12	1823	ときめきもち	60°C10分	B	B	本学	本学	本学
13	1824	ときめきもち	60°C10分	B	B	本学	本学	本学
14	1825	ときめきもち	60°C10分	B	B	本学	本学	本学
15	1826	ときめきもち	60°C10分	B	B	本学	本学	本学
12	1827	ときめきもち	60°C10分	B	B	本学	本学	本学
16	1828	ときめきもち	60°C10分	B	B	本学	本学	本学
17	1829	ときめきもち	60°C10分	B	B	本学	本学	本学
18	1830	ときめきもち	60°C10分	B	B	本学	本学	本学
19	1831	ときめきもち	60°C10分	B	B	本学	本学	本学
20	1832	ときめきもち	60°C10分	B	B	本学	本学	本学
12	1833	ときめきもち	60°C10分	B	B	本学	本学	本学
12	1834	ときめきもち	60°C10分	B	B	本学	本学	本学
21	1835	ときめきもち	60°C10分	B	B	本学	本学	本学
22	1836	ときめきもち	60°C10分	B	B	本学	本学	本学
23	1837	ときめきもち	テクリードC	B	B	B	B	本学
24	1838	ときめきもち	テクリードC	B	B	B	B	本学
25	1839	ときめきもち	テクリードC	B	B	B	B	本学
26	1840	ときめきもち	テクリードC	B	B	B	B	本学
27	1841	ときめきもち	テクリードC	B	B	B	B	本学
28	1842	ときめきもち	テクリードC	B	B	B	B	本学
29	1843	ときめきもち	テクリードC	B	B	B	B	本学
30	1844	ときめきもち	テクリードC	B	B	B	B	本学
31	1848	あきたこまち	60°C10分	A	A	A	A	本学
32	1849	あきたこまち	60°C10分	A	A	A	A	本学
33	1850	ばか苗2	60°C10分	B	B	B	B	本学
37	1854	ときめきもち	乾燥+65°C10分	B	B	本学	本学	本学
37	1855	ときめきもち	乾燥+65°C10分	B	B	本学	本学	本学
38	1856	あきたこまち	60°C10分	A	A	本学	本学	本学
39	1857	あきたこまち	60°C10分	A	A	本学	本学	本学
40	1858	あきたこまち	60°C10分	A	A	本学	本学	本学
32	1859	あきたこまち	60°C10分	A	A	本学	本学	本学
39	1860	あきたこまち	60°C10分	A	A	本学	本学	本学
41	1861	あきたこまち	60°C10分	A	A	本学	本学	本学
42	1862	あきたこまち	60°C10分	A	A	本学	本学	本学
41	1863	あきたこまち	60°C10分	A	A	本学	本学	本学
41	1864	あきたこまち	60°C10分	A	A	本学	本学	本学
39	1865	あきたこまち	60°C10分	A	A	本学	本学	本学

Clone	サンプルNo.	品種	処理	農家名	温湯	浸種	催芽	育苗
79	18125	ばか苗2	60°C10分		本学	本学	本学	本学
80	18129	ばか苗2	60°C10分		本学	本学	本学	本学
81	18130	ばか苗2	乾燥+65°C10分	B	B	B	B	本学
82	18131	ササニシキ	60°C10分	B	B	B	B	本学
83	18132	ササニシキ	60°C10分	B	B	B	B	本学
84	18133	ササニシキ	乾燥+65°C10分	B	B	B	B	本学
85	18136	あきたこまち	乾燥+65°C10分	A	A	A	A	本学
86	18137	あきたこまち	60°C10分	A	A	A	A	本学
87	18138	あきたこまち	60°C10分	A	A	本学	本学	本学
87	18139	あきたこまち	60°C10分	A	A	本学	本学	本学
87	18140	あきたこまち	乾燥+65°C10分	A	A	本学	本学	本学
40	1901	あきたこまち	60°C10分	A	A	A	A	A
88	1902	あきたこまち	60°C10分	A	A	A	A	A
88	1903	あきたこまち	60°C10分	A	A	A	A	A
88	1904	あきたこまち	60°C10分	A	A	A	A	A
89	1909	あきたこまち	乾燥+65°C10分	A	A	A	A	A
90	1910	あきたこまち	乾燥+65°C10分	A	A	A	A	A
91	1911	あきたこまち	乾燥+65°C10分	A	A	A	A	A
92	1912	あきたこまち	乾燥+65°C10分	A	A	A	A	A
93	1913	あきたこまち	乾燥+65°C10分	A	A	A	A	A
94	19114	つぶぞろい	タフブロック	B	B	B	B	B
12	1915	つぶぞろい	タフブロック	B	B	B	B	B
95	1916	つぶぞろい	タフブロック	B	B	B	B	B
96	1917	つぶぞろい	タフブロック	B	B	B	B	B
97	1918	つぶぞろい	タフブロック	B	B	B	B	B
98	1919	つぶぞろい	タフブロック	B	B	B	B	B
99	1920	つぶぞろい	タフブロック	B	B	B	B	B
100	1921	つぶぞろい	タフブロック	B	B	B	B	B
101	1922	つぶぞろい	タフブロック	B	B	B	B	B
102	1923	つぶぞろい	タフブロック	B	B	B	B	B
103	1924	つぶぞろい	タフブロック	B	B	B	B	B
104	1925	つぶぞろい	タフブロック	B	B	B	B	B
105	19273	あきたこまち	乾燥+65°C10分	B	B	B	B	B
106	1928	あきたこまち	乾燥+65°C10分	B	B	B	B	B
107	1929	あきたこまち	乾燥+65°C10分	B	B	B	B	B
108	1930	あきたこまち	乾燥+65°C10分	B	B	B	B	B
109	1931	あきたこまち	乾燥+65°C10分	B	B	B	B	B
110	1932	あきたこまち	乾燥+65°C10分	B	B	B	B	B
111	1933	あきたこまち	乾燥+65°C10分	B	B	B	B	B
112	1934	あきたこまち	乾燥+65°C10分	B	B	B	B	B
113	1935	ササニシキ	乾燥+65°C10分	B	B	B	B	B
114	1937	ササニシキ	乾燥+65°C10分	B	B	B	B	B
115	1938	ササニシキ	乾燥+65°C10分	B	B	B	B	B
116	1939	ササニシキ	乾燥+65°C10分	B	B	B	B	B
117	19422	ササニシキ	乾燥+65°C10分	B	B	B	B	B
118	1NS	あきたこまち	乾燥+65°C10分	B	B	B	B	本学
119	2NS	あきたこまち	乾燥+65°C10分	B	B	B	B	本学
120	3NS	あきたこまち	乾燥+65°C10分	B	B	B	B	本学
121	4NS	つぶぞろい	乾燥+65°C10分	B	B	B	B	本学

表-8. 同一クローンとなった分離菌株の由来

Clone	調査年	品種	処理	農家名	温湯	浸種	催芽	育苗
2	2018年	あきたこまち	乾燥+65°C10分	A	A	A	A	本学
2	2018年	あきたこまち	乾燥+65°C10分	B	B	B	B	本学
2	2018年	あきたこまち	60°C10分	A	A	本学	本学	本学
12	2018年	ときめきもち	60°C10分	B	B	本学	本学	本学
12	2018年	ときめきもち	60°C10分	B	B	本学	本学	本学
12	2018年	ときめきもち	60°C10分	B	B	本学	本学	本学
12	2018年	ときめきもち	60°C10分	B	B	本学	本学	本学
12	2019年	つぶぞろい	タブブロック	B	B	B	B	B
22	2018年	ときめきもち	60°C10分	B	B	本学	本学	本学
22	2018年	あきたこまち	乾燥+65°C10分	A	A	A	A	本学
32	2018年	あきたこまち	60°C10分	A	A	A	A	本学
32	2018年	あきたこまち	60°C10分	A	A	本学	本学	本学
37	2018年	ときめきもち	乾燥+65°C10分	B	B	本学	本学	本学
37	2018年	ときめきもち	乾燥+65°C11分	B	B	本学	本学	本学
37	2018年	ササニシキ	60°C10分	B	B	本学	本学	本学
37	2018年	ときめきもち	乾燥+65°C10分 I	B	B	B	B	本学
37	2018年	ときめきもち	乾燥+65°C10分 I	B	B	B	B	本学
37	2018年	ときめきもち	乾燥+65°C10分 I	B	B	B	B	本学
37	2018年	ときめきもち	乾燥+65°C10分 I	B	B	B	B	本学
37	2018年	ときめきもち	乾燥+65°C10分 I	B	B	B	B	本学
39	2018年	あきたこまち	60°C10分	A	A	本学	本学	本学
39	2018年	あきたこまち	60°C10分	A	A	本学	本学	本学
39	2018年	あきたこまち	60°C10分	A	A	本学	本学	本学
39	2018年	あきたこまち	60°C10分	A	A	本学	本学	本学
40	2018年	あきたこまち	60°C10分	A	A	本学	本学	本学
40	2018年	あきたこまち	60°C10分	A	A	A	A	本学
40	2018年	あきたこまち	60°C10分	A	A	A	A	本学
40	2018年	あきたこまち	60°C10分	A	A	A	A	本学
40	2019年	あきたこまち	60°C10分	A	A	A	A	A
41	2018年	あきたこまち	60°C10分	A	A	本学	本学	本学
41	2018年	あきたこまち	60°C10分	A	A	本学	本学	本学
41	2018年	あきたこまち	60°C10分	A	A	本学	本学	本学
60	2018年	あきたこまち	60°C10分	A	A	A	A	本学
60	2018年	あきたこまち	60°C10分	A	A	A	A	本学
61	2018年	あきたこまち	60°C10分	A	A	A	A	本学
61	2018年	あきたこまち	乾燥+65°C10分	A	A	A	A	本学
87	2018年	あきたこまち	60°C10分	A	A	本学	本学	本学
87	2018年	あきたこまち	60°C10分	A	A	本学	本学	本学
87	2018年	あきたこまち	乾燥+65°C10分	A	A	本学	本学	本学
88	2019年	あきたこまち	60°C10分	A	A	A	A	A
88	2019年	あきたこまち	60°C10分	A	A	A	A	A
88	2019年	あきたこまち	60°C10分	A	A	A	A	A

第4章 考察（第2章～第4章）

水稻の種子伝染性病害に対する温湯種子消毒には、60℃10分間の浸漬方法が広く利用されている。しかしながら、60℃10分間の温湯消毒は苗いもちおよびばか苗病に対して、高度汚染籾の使用や多発条件下では、化学合成農薬と比較して防除効果がやや劣ることが報告されている（藤、2013、2018）。特に農業現場においても温湯消毒の普及が原因の一つとなって、ばか苗病の多発が問題となっている（金子、2008；藤、2013、2018）。一方で、温湯消毒の浸漬時間を長くしたり、処理温度をより高温にすることで防除効果は向上するが、発芽率の低下が問題となることが報告されている（林ら、1999；山下ら、2000c；早坂ら、2001）。この問題に対しては、緒言のとおり事前に種子の含水率を10%以下まで乾燥（事前乾燥）させることで、種子の発芽・苗立ちに影響することなく65℃での消毒が可能となる。そこで本研究では、まず初めに従来の温湯消毒で防除効果が得られる4種〔いもち病、ばか苗病、もみ枯細菌病（苗腐敗症）、苗立枯細菌病〕の種子伝染性病害に対して、事前乾燥+65℃10分間処理により従来法の60℃10分間処理に比較して防除効果が向上するかを検証した。

その結果、ばか苗病について感染圧の高い開花期接種種子では、事前乾燥+65℃10分間処理によって防除効果は向上しなかった。通常ばか苗病菌の潜在部位は主にもみ殻で、玄米での潜在は格段に少ないことが報告されている（内藤ら、2002）。開花期接種種子では、開花期に多量の胞子を噴霧接種したことで玄米内部の深くまで菌が侵入し、温湯消毒温度を65℃に上げてても従来法および化学合成農薬（イプコナゾール・銅水和剤：200倍24時間浸漬処理）と比較して防除効果が向上しなかったと考えられた。一方、ばか苗病発生圃場から採種した自然感染種子を用いた試験では、事前乾燥+65℃10分間処理によりわずかではあるが防除効果が向上する傾向が認められた。従来法において実験的には実用性のある効果が報告され普及にいたったが、実用場面では緒言でも述べたように従来法の普及がばか苗病の発生が問題となった原因の一つとなっている。

苗いもちに対して事前乾燥+65℃10分間処理は、多発生条件の試験では効果が向上しなかった。中発生条件下の試験では、有意な差はないものの従来法および化学合成農薬（イプコナゾール・銅水和剤：200倍24時間浸漬処理）よりも防除効果が高い傾向が認められたことから、本技術が苗いもちの防除に対しても防除効果の向上が期待できるものと考えられる。

苗立枯細菌病については、健全種子に対する汚染種子の混入率を20%と高くした場合でも、事前乾燥+65℃10分間処理では従来法および化学合成農薬（イプコナゾール・銅水和剤：200倍24時間浸漬処理）より発病が少ない傾向が認められた。

もみ枯細菌病（苗腐敗症）については、従来法および化学合成農薬（イプコナゾール・銅水和剤：200倍24時間浸漬処理）では全く防除効果が認められない多発生条件においても、事前乾燥+65℃10分間処理では防除効果が認められた。細菌病に対する有効成分が水酸化第二銅である化学合成農薬では防除効果が認められなかったことから、微生物防除資材のタラロマイセスフラバス水和剤処理区を追加して再試験を行ったところ、事前乾燥+65℃10分間処理は、タラロマイセスフラバス水和剤処理よりも

発病が少ない傾向が認められた。これら 2 種の細菌病に対して事前乾燥+65°C 10 分間処理は、統計的に有意な差が認められる防除効果の向上とはなっていないが、難防除病害である苗立枯細菌病およびもみ枯細菌病（苗腐敗症）を防除する上では、実用性のある技術であると考えられる。

本試験では、いずれも汚染程度の高い条件下で試験を行い、いずれの病害に対しても実用性のある防除効果が認められた。しかしながら、実際に本技術を適用する場合には、健全種子の使用を前提とした技術として利用することが重要である。

本試験では、その詳細について結果で論じていないが、いずれの試験でも乾燥のみの試験区を設置した。これは、50°C 24 時間の乾燥処理が事前乾燥+65°C 10 分間の温湯消毒処理の防除効果に与えている影響を評価するためである。まず、ばか苗病の開花期接種種子を用いた試験では、無処理区以上に発病し効果は全く認められなかった。自然感染種子を用いた場合でも防除効果は認められていない。苗もち、苗立枯細菌病およびもみ枯細菌病（苗腐敗症）においては、無処理と比較し同等あるいはやや少ない傾向があるものの防除効果は認められていない。このことは、事前乾燥を行ったことが防除効果の向上の要因となっていないことを示している。また、ばか苗病では一部の試験において乾燥により、発病が助長されている。この要因としては、50°C 24 時間の通風乾燥処理により、種子表面等に付着している微生物が殺菌されたのに対し、玄米に存在するばか苗病菌が生き残っているため、ばか苗病菌と競合する微生物の密度が低下し、発病が助長されたものと推察された。本研究では、うるち米（あきたこまち、短銀坊主）を用いて試験を行った。従来の温湯消毒では高温耐性が低いもち品種等では、60°C 10 分間の処理で発芽率が低下することが問題点となっていたが（山下ら、2000b；早坂ら、2001；黒田・鈴木、2002）、事前乾燥を行うことで、他の主要食用品種、もち品種でも発芽率の低下が起こらないことが明らかとなっており（村田ら、未発表）、新技術のもち品種への利用拡大が期待される。また、従来の温湯消毒はごま葉枯病および褐条病への効果は認められておらず、褐条病については食酢あるいはそれを有効成分とした製剤との体系防除が推奨されている（関原・向島、2008；小倉ら、2011）。

そこで今回、従来法で効果を示さないごま葉枯病および褐条病に対して新技術の防除効果を検証した。ごま葉枯病については、健全種子に対する汚染種子の混入率を 20% および 10% でも十分な効果は認められなかった。褐条病については、健全種子に対する汚染種子の混入率を 50% および 20% でも十分な効果は認められなかった。このことからこれらの病害には本技術だけの防除は困難である。一方で、本新技術と醸造酢液剤（エコフィット）や微生物防除資材（タラロマイセスフラバス水和剤）の併用処理を行なうことで効果の向上が認められた。特定防除資材および物理的防除法である温湯消毒を利用していることから、有機栽培などの化学合成農薬の使用が懸念されている場面において特に有効活用できると考えられる。今後は、減農薬防除技術の一つとして広く生産現場で利用されることが期待される。

事前乾燥+65°C 10 分間の新たな温湯消毒技術（新技術）については、前述したように従来の温湯種子消毒と同様、採種圃等で生産された健全種子の利用が前提となる。

加えて、化学合成農薬では消毒後に有効成分が種子組織内に浸透しているため持続的な効果が期待できるが、温湯浸漬処理種子では、種子に存在する病原菌を含む微生物を殺菌し無菌状態とする技術であり、種子予措中に侵入する病原菌に対する防除効果は無い。消毒後の種子は、種子表面に存在する微生物相を一度なくしているため、ばか苗病菌が外部から侵入した場合、競合微生物が存在せずむしろ被害が大きくなる（鈴木、2017）。本田でばか苗病を発生させた農家では、種子予措を行う作業場に存在する籾殻や乾燥調整後の籾すりで発生する米ぬかや粉じん等にばか苗病菌が存在することが明らかとなっている（藤ら、2018；鈴木・宮野、2017）。したがって、種子予措環境がばか苗病菌等病原菌で汚染されている場合は再感染のリスクが高くなることから、種子予措を行う作業環境の衛生管理は重要である。また、消毒前に使用した容器、パレットなどには、消毒前の種子に存在した病原菌が付着している可能性があるため、温湯消毒後の種子は、別の容器やパレットを使用して再感染を防ぐ必要がある。加えて、浸種の水の腐敗防止や消毒後に侵入した病原菌を洗い流すためにも浸種期間中の水交換を頻繁に行うことが、本技術で安定した防除効果を得るためには重要と考えられる。

本新技術について、農家での実証試験を行った結果、新技術では、従来法よりもばか苗病の発生を抑制した。しかしながら、完全に防除できなかったためその発生要因について調べるため発生したばか苗病から菌を分離し、SSR解析を行った。その結果、新技術での処理から分離した49菌株は18クローンに、従来法処理区から分離した117菌株中は63クローンに分類された。ごくわずかではあるが、新技術で処理した後、本学に持ち帰り育苗した苗と農家ですべての種子予措を行った苗で同一のクローンが検出されたことからばか苗病の発生は温湯消毒による取りこぼしもあることが明らかとなった。実験規模では高い防除効果を示すが、農家規模になると一度に数十キロ単位の大量の種子を消毒するため温湯投入後の温度低下など起こっている可能性が考えられる。そのため、本技術を普及していくにあたり、適切に温湯消毒を行うことや農家施設の衛生環境に注意すること、加えて新技術は従来法より効果があり、化学合成農薬と同等の効果を示すが、幅広い病害に対してさらに高い防除効果を求める場合は微生物防除資材等との併用が望ましいものとする。また、温湯消毒には、正確な温度管理等が求められるため、丁寧な現地指導を行い、ばか苗病の発生を抑止していく必要がある。加えて、技術普及にあたっては本田でのいもち病や害虫の防除に広く利用されている箱施用剤や土壌伝染性苗立枯病の防除に用いられている育苗箱灌注剤との体系処理についても影響がないことを確認する必要がある。本新技術については、実用的な乾燥装置の開発や農家規模での実証試験も進められており、従来の温湯消毒にかわる技術として、さらにはこの技術が水稻以外の作物にも適用され、広く普及していくことを期待したい。

第5章 弱酸性次亜塩素酸水を用いた種子伝染性病害に対する防除効果

第1項 緒言

現在、化学合成農薬や微生物防除資材、事前乾燥を取り入れた温湯消毒などの種子消毒の選択肢はあるものの、これらの消毒技術にはそれぞれ弱みがある。例えば、化学合成農薬では耐性菌の発生リスクがあることや廃液処理による環境への影響が問題としてあげられる。微生物防除資材では有効成分となる微生物を十分に増殖させる必要があり、特に育苗期間の温度管理がその効果に大きく左右されることから、取り扱いには注意が必要である。温湯消毒技術では消毒のとりこぼしによる再感染のリスクや機器の購入・維持・修理費やすコストの問題などの問題がある。したがって、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ことが、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。

近年、水道水に塩化ナトリウムを微量添加した食塩水を有隔膜式電解素襖内で電気分解して陽極側から得られる次亜塩素酸を主な有効成分とした強酸性電解水が微生物に対して殺菌効果を有する資材として注目されている。

そこで、本章ではこの有効成分を長期間保持できる弱酸性次亜塩素酸水が水稻の主要種子伝染性病害であるばか苗病、いもち病、苗立枯細菌病、もみ枯細菌病菌による苗腐敗症および褐条病に対して実用性のある防除効果を持つことを明らかにするとともに、強酸性電解水および次亜塩素酸ナトリウム水溶液との防除効果を比較したのでここに報告する。さらに、従来次亜塩素酸水の有効塩素濃度は最大でも 80 ppm であるが、本研究で用いた弱酸性次亜塩素酸水は 1000 ppm までの生成が可能であることから、高濃度の防除効果の有無を検討した。ごま葉枯病菌に対しては、温湯消毒（60℃10分）では完全に防除できない報告（栗林、1929）もあるため、弱酸性次亜塩素酸性水の殺菌力を確認するため培地上での抗菌試験も合わせて行った。

第2項 材料および方法（第9表）

1. 罹病種子はすべて水選、健全種子は塩水選を行なって使用した。また、汚染種子の混和は重量比で行った。

(1) ばか苗病

2019年 Nakata gf 菌株を開花期に接種した開花期接種種子（短銀坊主）を用いた。育苗は人工光形グロースキャビネット、網室あるいはビニールハウスで行った。

(2) いもち病（苗いもち）

2018年および2019年秋田県秋田市のいもち病多発圃場から収穫した自然感染種子（品種：あきたこまち）を用いた。育苗は網室あるいは温室（25℃冷暖房室）で行った。

(3) 苗立枯細菌病

2016年に秋田県の育苗施設で発生した罹病苗から分離した APBG16-001 菌株培養細菌懸濁液 (1×10^8 個/ml) を 1.5 l/10 a の液量で 2016 年の開花期に接種した種子 (品種: あきたこまち) を汚染種子とした。また、健全種子は、2019 年産種子 (品種: あきたこまち) を用いた。試験はこの汚染種子を健全種子 (品種: あきたこまち) に対して 20% (2016 年産) および 5% (2016 年産) になるように混合して行った。育苗は網室あるいはビニールハウスで行った。

(4) もみ枯細菌病 (苗腐敗症)

2016年に秋田県の育苗施設で発生した罹病苗から分離した APBP17-001 菌株培養細菌懸濁液 (1×10^8 個/ml) を 1.5 l/10 a の液量で 2016 年の開花期に接種した種子 (品種: あきたこまち) を汚染種子とした。また、健全種子は、2019 年産種子 (品種: あきたこまち) を用いた。試験はこの汚染種子を健全種子 (品種: あきたこまち) に対して 20% になるように混合して行った。育苗は網室あるいはビニールハウスで行った。

(5) 褐条病

2017年に秋田県の育苗施設で発生した罹病苗から分離した APUA18-001 菌株培養細菌懸濁液 (1×10^8 個/ml) を 1.5 l/10 a の液量で 2017 年の開花期に接種した種子 (品種: あきたこまち) を汚染種子とした。また、健全種子は、2019 年産種子 (品種: あきたこまち) を用いた。試験はこの汚染種子を健全種子 (品種: あきたこまち) に対して 20% になるように混合して行った。育苗は網室あるいはビニールハウスで行った。

(6) ごま葉枯病

2018年の自然感染種子 (品種: コシヒカリ) を用いて試験した。試験はこの汚染種子を健全種子 (品種: コシヒカリ) に対して 20% になるように混合して行った。試験は網室で行った。

表-9. 各試験における処理と栽培条件

試験名	対象病害	汚染種子混入率	処理区	処理方法	育苗場所
1. 弱酸性次亜塩素酸水の防除効果	(1)ばか苗病 (2)いもち病(苗いもち)		1弱酸性次亜塩素酸水浸種前処理 2弱酸性次亜塩素酸水催芽時処理 3イブコナゾール銅水和剤浸種前処理 4タラロマイセスフラバス水和剤 5無処理	浸種前 24時間浸漬 催芽時 24時間浸漬 浸種前 200倍液24時間浸漬 催芽時 24時間浸漬	ビニールハウスあるいは温室(25℃冷暖房室)
	(3)もみ枯細菌病 (4)苗立枯細菌病 (5)褐条病	20% 20%あるいは5% 20%	1弱酸性次亜塩素酸水浸種前処理 2弱酸性次亜塩素酸水催芽時処理 3タラロマイセスフラバス水和剤催芽時処理 4無処理	浸種前 24時間浸漬 催芽時 24時間浸漬 催芽時 200倍液24時間浸漬 浸種前	網室あるいはビニールハウス
	(6)ごま葉枯病	20%	1弱酸性次亜塩素酸水浸種前処理 2弱酸性次亜塩素酸水催芽時処理 3イブコナゾール銅水和剤浸種前処理 4無処理	浸種前 24時間浸漬 催芽時 24時間浸漬 浸種前 200倍液24時間浸漬 浸種前	網室
	(1)ばか苗病 (2)いもち病(苗いもち)		1弱酸性次亜塩素酸水 2強酸性電解水 3次亜塩素酸ナトリウム水溶液 4イブコナゾール銅水和剤浸種前処理 5無処理	催芽時 24時間浸漬 催芽時 24時間浸漬 催芽時 24時間浸漬 浸種前 200倍液24時間浸漬 浸種前	ビニールハウスあるいは温室(25℃冷暖房室)
2. 次亜塩素酸水の比較	(3)もみ枯細菌病 (4)苗立枯細菌病 (5)褐条病	20% 20% 20%	1弱酸性次亜塩素酸水 2強酸性電解水 3次亜塩素酸ナトリウム水溶液 4タラロマイセスフラバス水和剤催芽時処理 5無処理	催芽時 24時間浸漬 催芽時 24時間浸漬 催芽時 24時間浸漬 催芽時 200倍液24時間浸漬 催芽時	網室
	(1)ばか苗病 (2)いもち病(苗いもち)		1 20 ppm 2 200 ppm 3 500 ppm 4 1000 ppm 5 イブコナゾール銅水和剤浸種前処理 6 無処理	催芽時 24時間浸漬 催芽時 24時間浸漬 催芽時 24時間浸漬 催芽時 24時間浸漬 浸種前 200倍液24時間浸漬 浸種前	網室
	(3)褐条病	50%	1 20 ppm 2 200 ppm 3 500 ppm 4 1000 ppm 5 タラロマイセスフラバス水和剤催芽時処理 6 無処理	催芽時 24時間浸漬 催芽時 24時間浸漬 催芽時 24時間浸漬 催芽時 24時間浸漬 催芽時 24時間浸漬 催芽時	網室
	(4)ごま葉枯病	20%	1 20 ppm 2 200 ppm 3 500 ppm 4 1000 ppm 5 イブコナゾール銅水和剤浸種前処理 6 無処理	催芽時 24時間浸漬 催芽時 24時間浸漬 催芽時 24時間浸漬 催芽時 24時間浸漬 浸種前 200倍液24時間浸漬 浸種前	ビニールハウス 抗菌試験は無菌室(25℃)

2. 試験規模および種子予措

試験は各試験区3区制とし、育苗箱の1/6大(W148 mm×D179 mm×H35 mm)のプラスチック製箱を用い、播種量は1区乾粃25 g(いもち病の試験は1区乾粃30 g)とした。浴比は1:2(粃:水)、浸種前処理は15℃ 72時間、催芽時処理30℃ 24時間で行った。

弱酸性次亜塩素酸水は、次亜塩素酸ナトリウムと水を原料とし、次亜塩素酸生成キット(株式会社Local Power)を用い、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生成した。作製時の有効塩素濃度は200ppm以上とし、浸種前あるいは催芽時に処理した。種子の浸種処理は、15℃ 72時間とした。催芽処理は水交換後、30℃ 24時間とした。有効塩素濃度はハンディ水質計アクアブ(柴田科学株式会社)で、pHは卓上pH・水質分析計LAQUA(株式会社堀場アドバンスドテクノ)で測定した。

I. 弱酸性次亜塩素酸水の防除効果

弱酸性次亜塩素酸水の作製時の有効塩素濃度は200 ppm以上とし、処理は24時間浸種前浸漬あるいは催芽時浸漬で行った。対照区には対象病害に応じて化学合成農薬区にはイブコナゾール・銅水和剤(200倍24時間浸種前浸漬処理:Ip-Cu剤)を用い、タラロマイセスフラバス水和剤(200倍24時間催芽時浸漬:Tf剤)と無処理区を設定した。

II. 次亜塩素酸水の比較

弱酸性次亜塩素酸水および対照の強酸性電解水および次亜塩素酸ナトリウム水溶液の作製時の有効塩素濃度は 200 ppm 以上とし、処理は 24 時間催芽時浸漬で行った。ばか苗病といもち病の試験の対照区としては、イプコナゾール・銅水和剤（200 倍 24 時間浸種前浸漬処理：Ip-Cu 剤）、苗立枯細菌病、もみ枯細菌病、褐条病の試験の対照区としては、タラロマイセスフラバス水和剤（200 倍 24 時間催芽時浸漬処理：Tf 剤）（200 倍 24 時間浸種前浸漬処理：Ip-Cu 剤）、強酸性電解水、次亜塩素酸ナトリウム水溶液を用いた。

III. 弱酸性次亜塩素酸水の濃度が防除効果に及ぼす影響

弱酸性次亜塩素酸水の作製時の有効塩素濃度は 20 ppm、200 ppm、500 ppm、1000 ppm とし、処理は 24 時間浸種前浸漬あるいは催芽時浸漬で行った。対照区には対象病害に応じて化学合成農薬区にはイプコナゾール・銅水和剤（200 倍 24 時間浸種前浸漬処理：Ip-Cu 剤）を用い、タラロマイセスフラバス水和剤（200 倍 24 時間催芽時浸漬：Tf 剤）と無処理区を設定した。

3. 育苗方法

第 2 章に準ずる。

4. 発病調査

発病調査、発病苗率（発病度）、防除価の算出は第 2 章に準ずる。

5. 統計処理

第 2 章に準ずる。

6. 培地上での抗菌試験

ジャガイモ・デキストロース斜面培地（PDA:ジャガイモ煎汁寒天培地：ジャガイモ 200 g の煎汁 1ℓ、D(+)-グルコース 20 g、寒天 18 g）に対して、高圧蒸気滅菌(121℃、20 分)を行った後、角型シャーレに分注し、1 日放置し PDA 平板培地とした。これに、2018 年のごま葉枯病菌自然感染種子（品種：コシヒカリ）より分離した菌体（1）およびごま葉枯病感染苗から分離したごま葉枯病菌の菌体（2）を移植し、その周辺に滅菌ろ紙（160℃30min 乾熱滅菌、37 mm）を並べ、25℃で菌体が広がるまで無菌室で培養した。

弱酸性次亜塩素酸水を 20 ppm、200 ppm、500 ppm、1000 ppm 調製し、ごま葉枯病菌が付着したろ紙をそれぞれの濃度に調製した弱酸性次亜塩素酸水に 30℃24 時間で浸漬した。24 時間後、処理したろ紙 PDA 平板培地に置き、11 日間培養し菌そう生育状況を調査した。

第3項 結果

I. 弱酸性次亜塩素酸水の防除効果

1. ばか苗病

試験1では、無処理区の発病苗率が27.7%の中発生条件下での検討となった。各処理区の発病苗率はIp-Cu剤処理区0.4%（防除価98.6）、Tf剤処理区1.9%（防除価93.1）であったのに対し、弱酸性次亜塩素酸水催芽時処理区（249 ppm）が2.9%（防除価89.7）とすべての処理区で発病が少ない傾向が認められた（図30）。試験2では、無処理の発病苗率が4.9%の少発生条件下での検討となった。各処理区の発病苗率はTf剤処理区で0.1%（防除価98.6）、Ip-Cu剤処理区で0.04%（防除価99.3）であったのに対し、弱酸性次亜塩素酸水催芽時処理区（200 ppm、pH6.2）が0.5%（防除価90.8）とすべての処理区で発病が少ない傾向が認められた（図31）。浸種前処理を加えた試験3では、無処理区の発病苗率が10.9%の中発生条件下での検討となった。各処理区の発病苗率はIp-Cu剤処理区0.3%（防除価97.1）、弱酸性次亜塩素酸水浸種前処理区（288 ppm、pH3.5）が1.0%（防除価90.9）、弱酸性次亜塩素酸水催芽時処理区（231 ppm、pH3.6）が1.9%（防除価82.7）とすべての処理区で発病が少ない傾向が認められた（図32）。試験4では、無処理区の発病苗率が6.7%の少発生条件下での検討となった。各処理区の発病苗率はIp-Cu剤処理区0.1%（防除価98.9）、弱酸性次亜塩素酸水浸種前処理区（230 ppm、pH6.3）が0.5%（防除価92.6）、弱酸性次亜塩素酸水催芽時処理区（217 ppm、pH6.2）が1.0%（防除価84.6）とすべての処理区で発病が少ない傾向が認められた（図33）。Tukeyの多重検定を行ったが、試験1および試験2では弱酸性次亜塩素酸水催芽時処理区とIp-Cu剤処理区およびTf剤処理区の間で有意差は認められた試験はなかった。試験3および試験4についても同様Tukeyの多重検定を行ったが、無処理区以外の処理区との有意差は認められた試験はなかった。4試験まとめてDunnnett検定を行ったが、無処理区以外の処理区との有意差は認められなかった（データ未記載）。

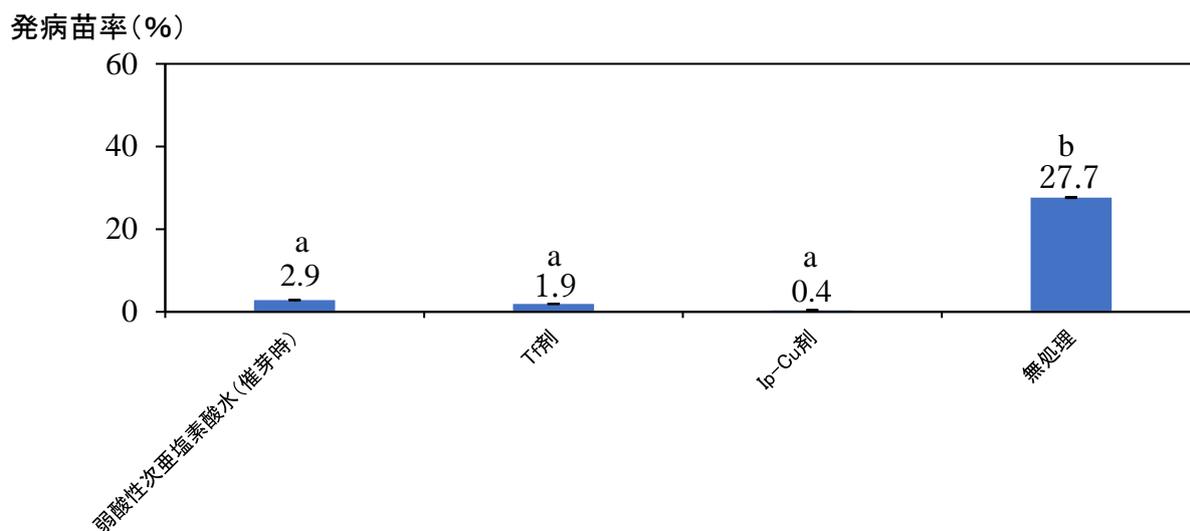


図 30. ばか苗病に対する防除効果

2019年 Nakata gf 菌株を開花期に接種した開花期接種種子（短銀坊主）を用いた。図中の数値は発病苗率の平均を示す。

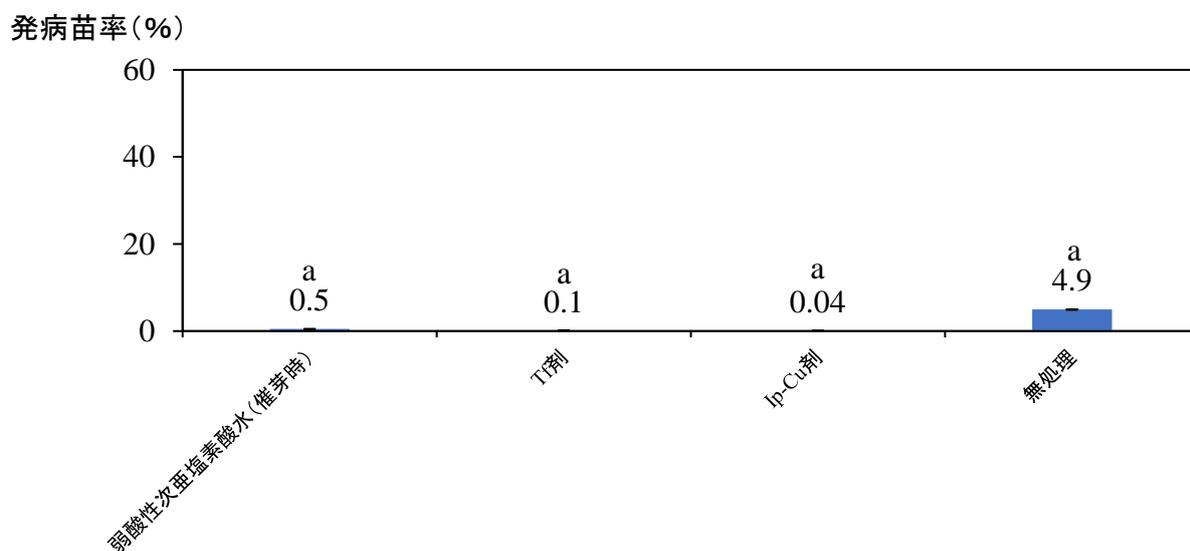


図 31. ばか苗病に対する防除効果

2019年 Nakata gf 菌株を開花期に接種した開花期接種種子（短銀坊主）を用いた。図中の数値は発病苗率の平均を示す。

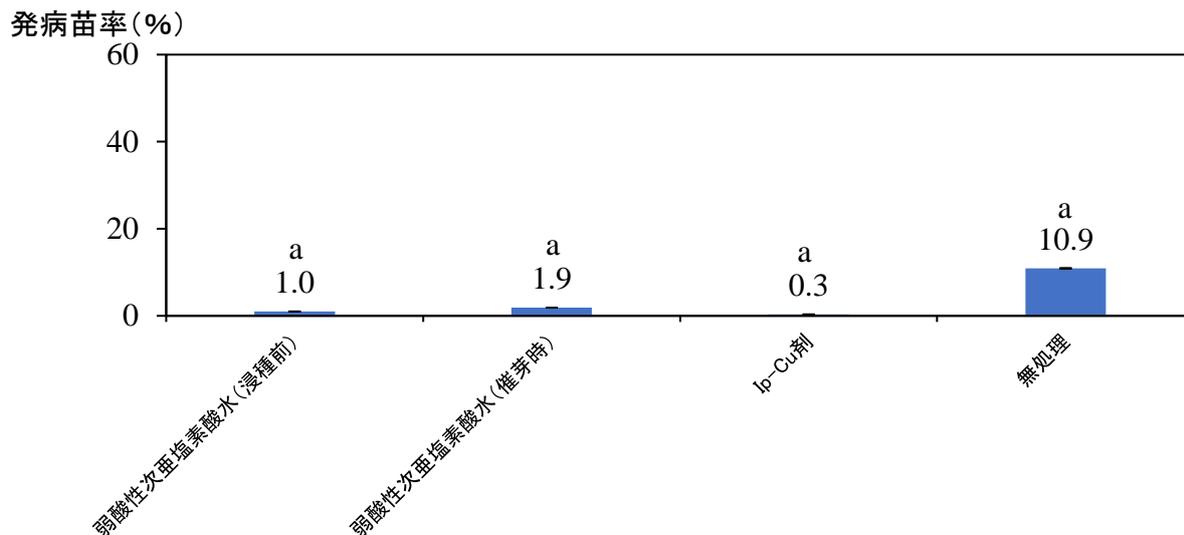


図 32. ばか苗病に対する防除効果

2019 年 Nakata gf 菌株を開花期に接種した開花期接種種子（短銀坊主）を用いた。図中の数値は発病苗率の平均を示す。

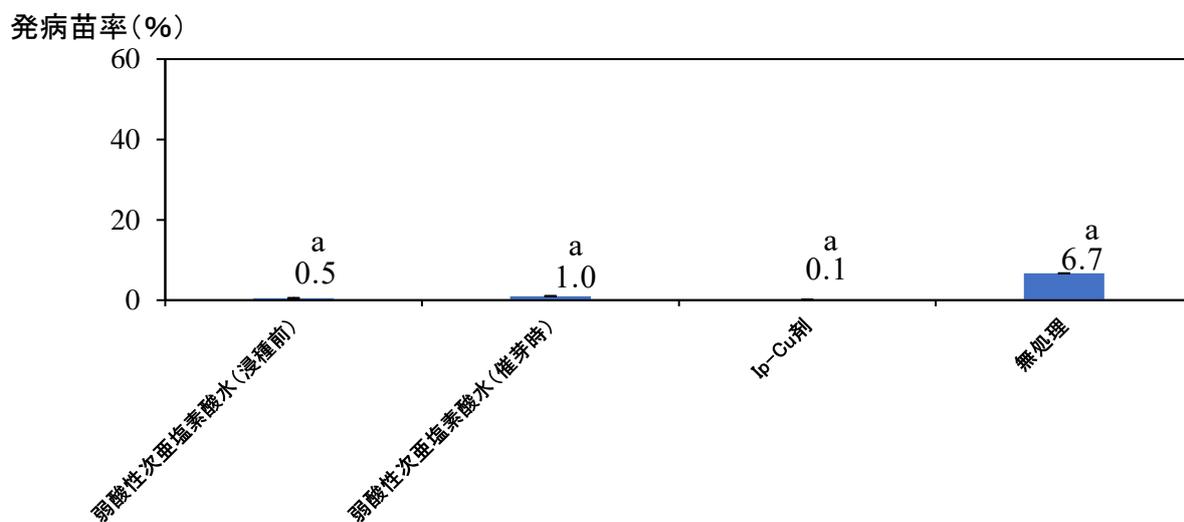


図 33. ばか苗病に対する防除効果

2019 年 Nakata gf 菌株を開花期に接種した開花期接種種子（短銀坊主）を用いた。図中の数値は発病苗率の平均を示す。

2. いもち病

試験 1 では、無処理区の発病苗率が 11.7%の中発生条件下での検討となった(2019 年産、2020 年実施)。各処理区の発病苗率は Ip-Cu 剤処理区 0.2% (防除価 98.5)、Tf 剤処理区 0.7% (防除価 94.3)、弱酸性次亜塩素酸水催芽時処理区 (223 ppm) が 0.6% (防除価 94.9) と全ての処理区で発病が少ない傾向が認められた (図 34)。浸種前処理区を加えた試験 2 では、無処理区の発病苗率が 20.4%の多発生条件下での検討となった。各処理区の発病苗率は Ip-Cu 剤処理区 2.8% (防除価 86.2) であったのに対し、弱酸性次亜塩素酸水浸種前処理区 (288 ppm、pH3.5) が 0.9% (防除価 95.7)、弱酸性次亜塩素酸水催芽時処理区 (231 ppm、pH3.6) が 0.6% (防除価 96.9) と弱酸性次亜塩素酸水浸種前および催芽時の防除効果は Ip-Cu 剤処理区よりも効果がある傾向が認められた (図 35)。すべての処理区に対して Tukey の多重検定を行ったが、試験 1、2 ともに弱酸性次亜塩素酸水催芽時処理区は無処理区以外の処理区との有意差は認められなかった。2 試験まとめて Dunnett 検定を行ったが、弱酸性次亜塩素酸水浸種前処理区および弱酸性次亜塩素酸水催芽時処理区は無処理区以外の処理区との間で有意差は認められなかった (データ未記載)。

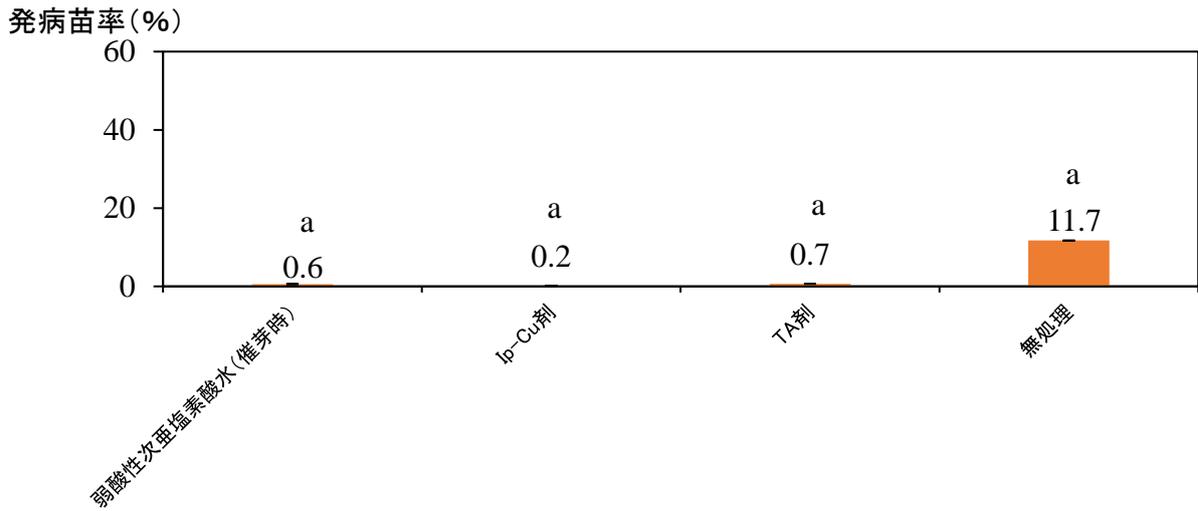


図 34. いもち病に対する防除効果

2018年および2019年秋田県秋田市のいもち病多発圃場から収穫した自然感染種子(品種:あきたこまち)を用いた。図中の数値は発病苗率の平均を示す。

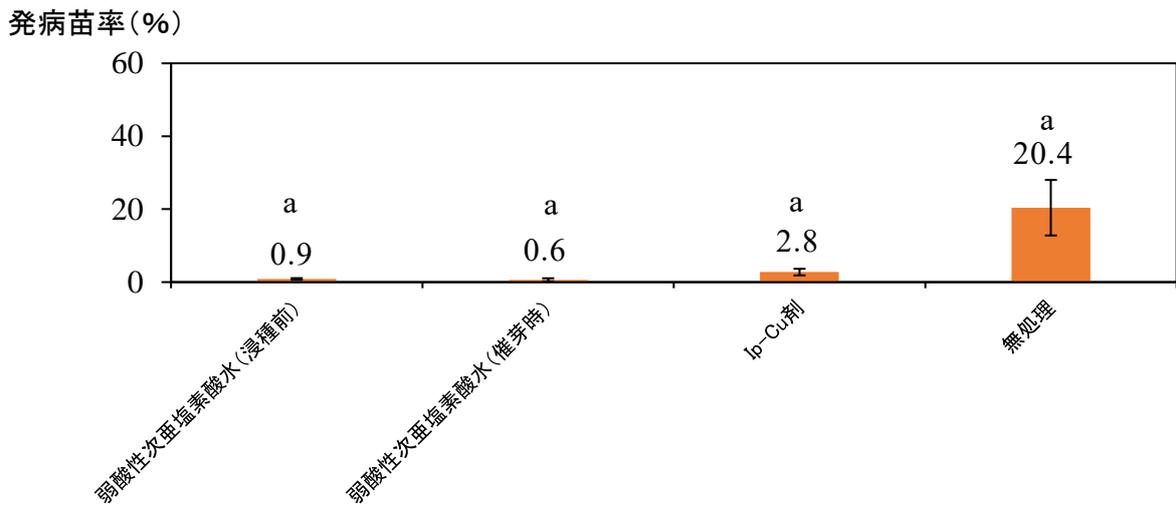


図 35. いもち病に対する防除効果

2018年および2019年秋田県秋田市のいもち病多発圃場から収穫した自然感染種子(品種:あきたこまち)を用いた。図中の数値は発病苗率の平均を示す。

3. 苗立枯細菌病

汚染種子混入率を 20%とした試験 1 では、無処理区の発病度が 13.6 と中発生条件下での検討となった。各処理区の発病度は Tf 剤処理区が 0.6 (防除価 95.5)、弱酸性次亜塩素酸水浸種前処理区が 12.8 (防除価 5.6) と弱酸性次亜塩素酸水浸種前処理区では防除効果が認められず、弱酸性次亜塩素酸水催芽時処理区では 3.4 (防除価 75.2) であった (図 36)。次に汚染種子混入率 5%とした試験 2 では、無処理区の発病度が 11.5 と中発生条件下での検討となった。各処理区の発病度は弱酸性次亜塩素酸水浸種前処理区が 10.5 (防除価 9.0) と防除効果は認められなかったが、Tf 剤処理区が 0.03 (防除価 99.8)、弱酸性次亜塩素酸水催芽時処理区で 2.9 (防除価 75.3) では発病が少ない傾向が認められた (図 37)。汚染種子混入率 5%とした試験 3 では、無処理区の発病度が 7.8 と少発生条件下での検討となった。各処理区の発病度は Tf 剤処理区が 0.2 (防除価 97.7)、弱酸性次亜塩素酸水浸種前処理区が 4.5 (防除価 41.7) と弱酸性次亜塩素酸水浸種前処理区では防除効果は低く、弱酸性次亜塩素酸水催芽時処理区については 0.3 (防除価 96.9) と発病が少ない傾向が認められた (図 38)。Steel-Dwass 検定によるノンパラメトリックな多重比較を行ったが、弱酸性次亜塩素酸水浸種前処理区および弱酸性次亜塩素酸水催芽時処理区は無処理区を含むすべての処理区とも有意差は認められなかった。3 試験まとめて steel 検定を行ったが、弱酸性次亜塩素酸水催芽時処理区および弱酸性次亜塩素酸水浸種前処理区は無処理区を含むすべての他の処理区の間で有意差は認められなかった (データ未記載)。

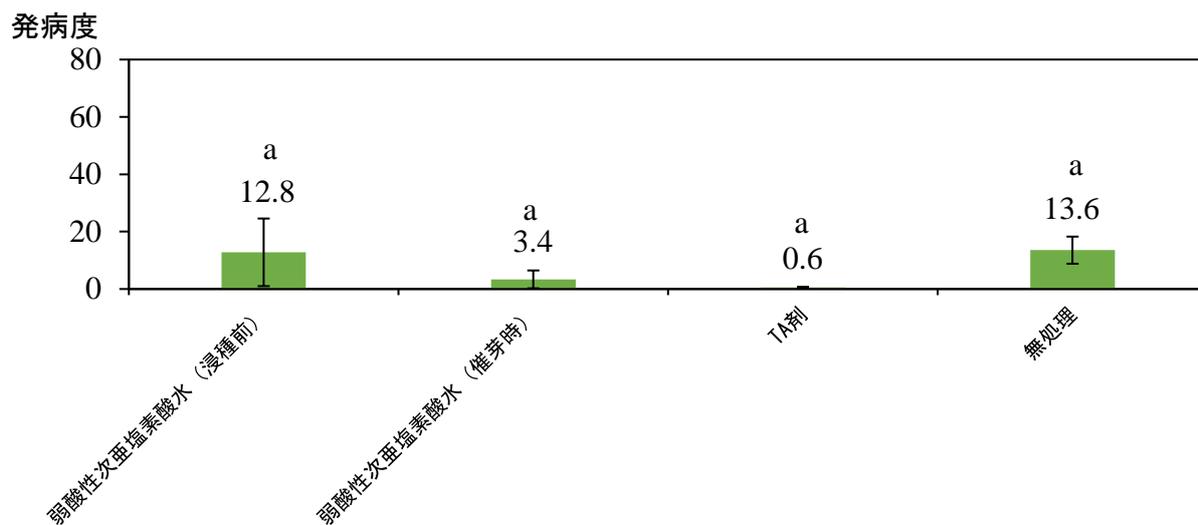


図 36. 苗立枯細菌病に対する防除効果

健全種子（品種：あきたこまち）に対して開花期接種種子（品種：あきたこまち）を20%になるように混合して行った。図中の数値は発病度の平均を示す。

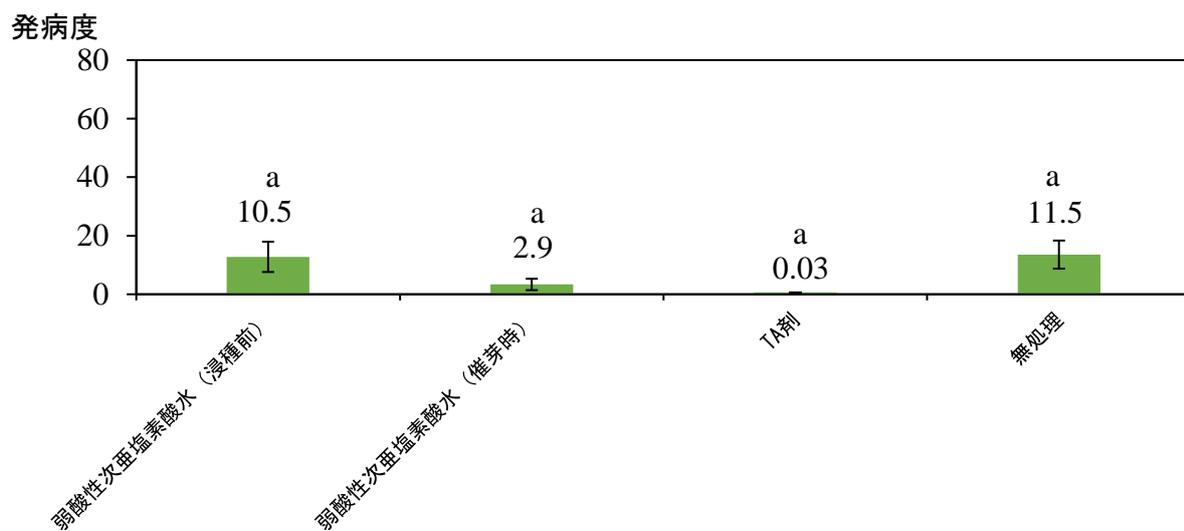


図 37. 苗立枯細菌病に対する防除効果

健全種子（品種：あきたこまち）に対して開花期接種種子（品種：あきたこまち）を5%になるように混合して行った。図中の数値は発病度の平均を示す。

発病度

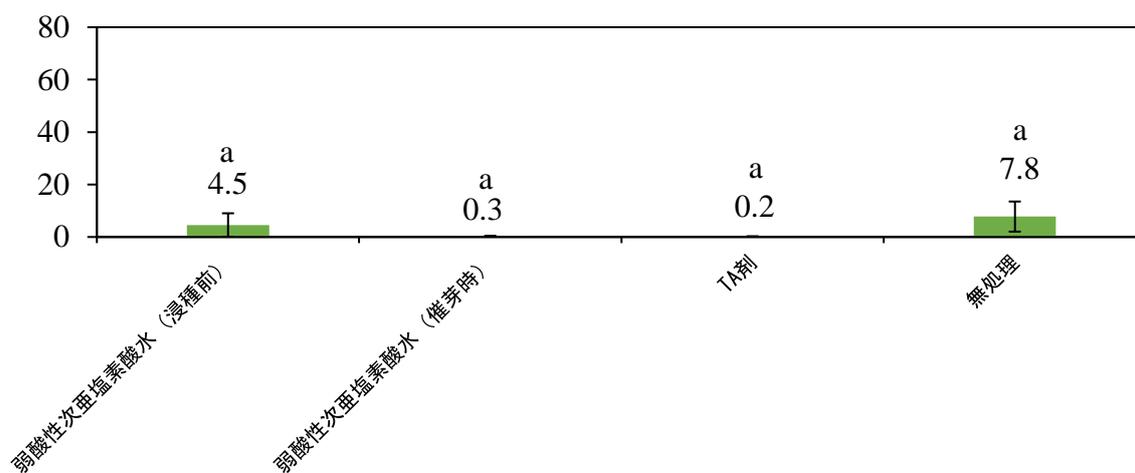


図 38. 苗立枯細菌病に対する防除効果

健全種子 (品種: あきたこまち) に対して開花期接種種子 (品種: あきたこまち) を 5% になるように混合して行った。図中の数値は発病度の平均を示す。

4. もみ枯細菌病

無処理区の発病度が 49.8 の多発生条件下での検討となった。各処理区の発病度は、Ip-Cu 剤処理区が 21.1（防除価 57.6）醸造酢液剤処理区で 14.2（防除価 71.6）、弱酸性次亜塩素酸水催芽時処理区（210 ppm）が 5.7（防除価 88.6）と Ip-Cu 剤処理区および醸造酢液剤処理区より発病が少ない傾向が認められた（図 39）。そこで、Steel-Dwass 検定によるノンパラメトリックな多重比較を行ったが、弱酸性次亜塩素酸水処理区は無処理区を含むすべての試験区とも有意差は認められなかった。

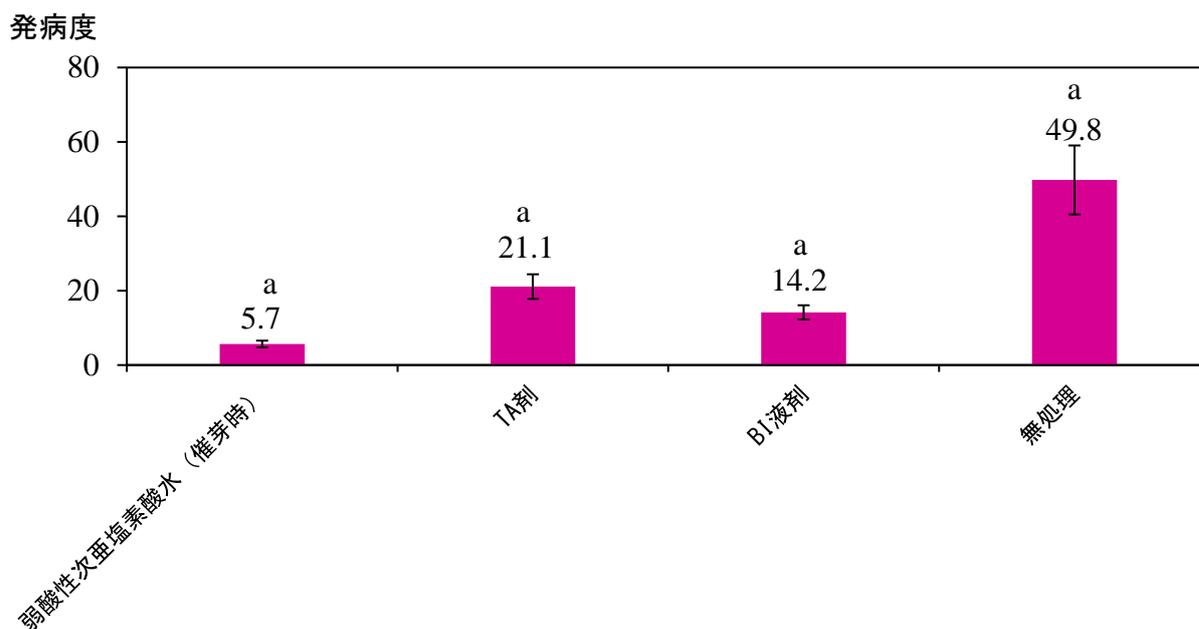


図 39. もみ枯細菌病に対する防除効果

健全種子（品種：あきたこまち）に対して開花期接種種子（品種：あきたこまち）を 20%になるように混合して行った。図中の数値は発病度の平均を示す。

5. 褐条病

無処理区の発病度が 10.7 の中発生条件下での検討となった。各処理区の発病度は、Ip-Cu 剤処理区が 4.5 (防除価 58.2)、醸造酢液剤処理区で 5.8 (防除価 45.7)、弱酸性次亜塩素酸水催芽時処理区(248 ppm)が 2.5 (防除価 76.7) と Ip-Cu 剤処理区および醸造酢液剤処理区より発病が少ない傾向が認められた (図 40)。そこで、Steel-Dwass 検定によるノンパラメトリックな多重比較を行ったが、弱酸性次亜塩素酸水催芽時処理区は無処理区を含むすべての処理区とも有意差は認められなかった (データ未記載)。

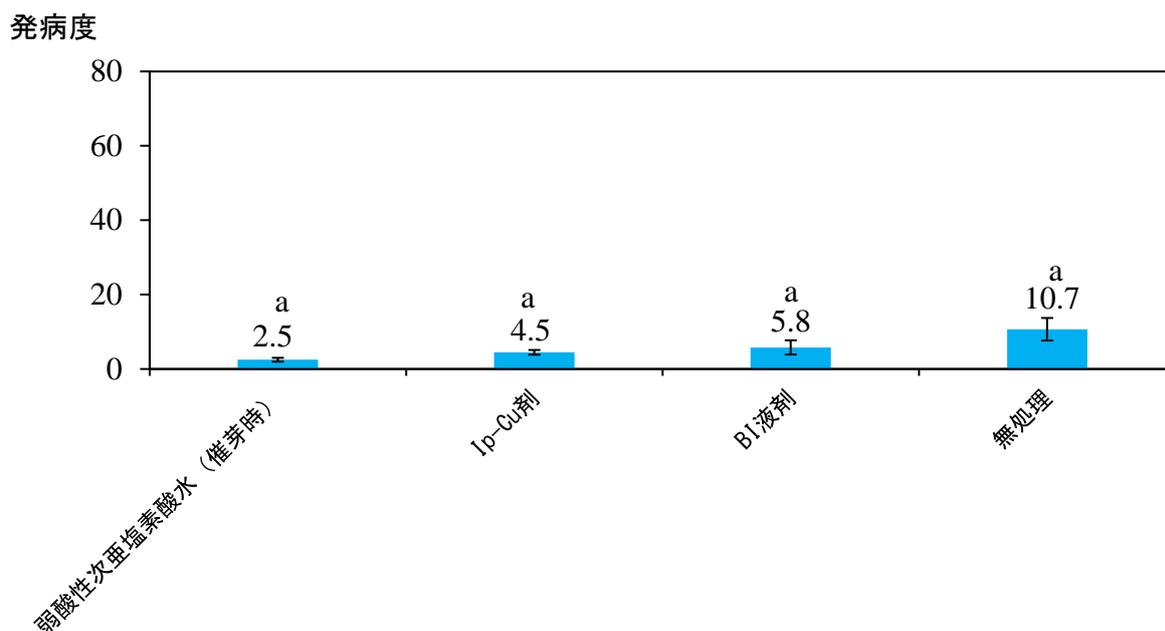


図 40. 褐条病に対する防除効果

健全種子 (品種: あきたこまち) に対して開花期接種種子 (品種: あきたこまち) を 50% になるように混合して行った。図中の数値は発病度の平均を示す。

(6) ごま葉枯病

無処理区の発病度が 17.2 の中発生条件下での検討となった。各処理区の発病度は、Ip-Cu 剤処理区が 3.9 (防除価 77.2)、弱酸性次亜塩素酸水浸種前処理区(288 ppm)が 14.3 (防除価 17.0)、弱酸性次亜塩素酸水催芽時処理区(243 ppm、pH3.6)が 12.5 (防除価 27.1) と Ip-Cu 剤処理区以外で防除効果が認められなかった (図 41)。そこで、Steel-Dwass 検定によるノンパラメトリックな多重比較を行ったが、弱酸性次亜塩素酸水催芽時処理区は無処理区を含むすべての処理区とも有意差は認められなかった (データ未記載)。

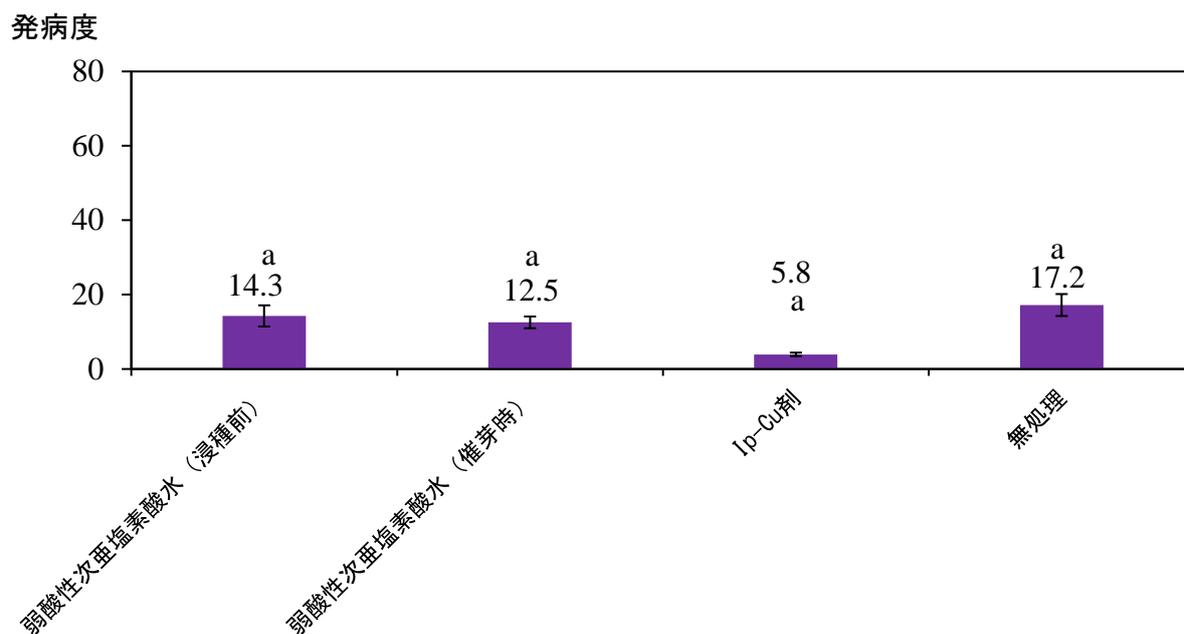


図 41. ごま葉枯病に対する防除効果

健全種子 (品種:あきたこまち) に対して開花期接種種子 (品種:あきたこまち) を 20%になるように混合して行った。図中の数値は発病度の平均を示す。

II. 次亜塩素酸水の比較

1. ばか苗病

試験では、無処理区の発病苗率が 5.4%と少発生条件下での検討となった。各処理区の発病苗率は Ip-Cu 剤処理区で 0.2% (防除価 95.4)、酸性電解水処理区 (261 ppm、pH2.9) で 4.3% (防除価 19.3)、次亜塩素酸ナトリウム水溶液処理区 (234 ppm、pH10.0) で 1.2% (防除価 78.6) であったのに対して、弱酸性次亜塩素酸水処理区 (224 ppm、pH3.7) で 1.9% (防除価 65.2) と酸性電解水処理区よりも発病が低い傾向が認められた (図 42)。

試験 2 では、無処理区の発病苗率が 8.3%と少発生条件下での検討となった。各処理区の発病苗率は Ip-Cu 剤処理区で 0% (防除価 100)、酸性電解水処理区 (144 ppm、pH3.9) で 0.6% (防除価 93.2)、次亜塩素酸ナトリウム水溶液処理区 (245 ppm、pH10.4) で 0.3% (防除価 96.1) であったのに対して、弱酸性次亜塩素酸水処理区 (242 ppm、pH6.1) で 0.2% (防除価 97.1) と発病が低い傾向が認められた (図 43)。すべての処理区に対して Tukey の多重検定を行ったが、すべての処理区の間で有意差は認められた試験はなかった。2 試験まとめて Dunnett 検定を行ったが、弱酸性次亜塩素酸水催芽時処理区は無処理区以外の処理区との間で有意差は認められなかった (データ未記載)。

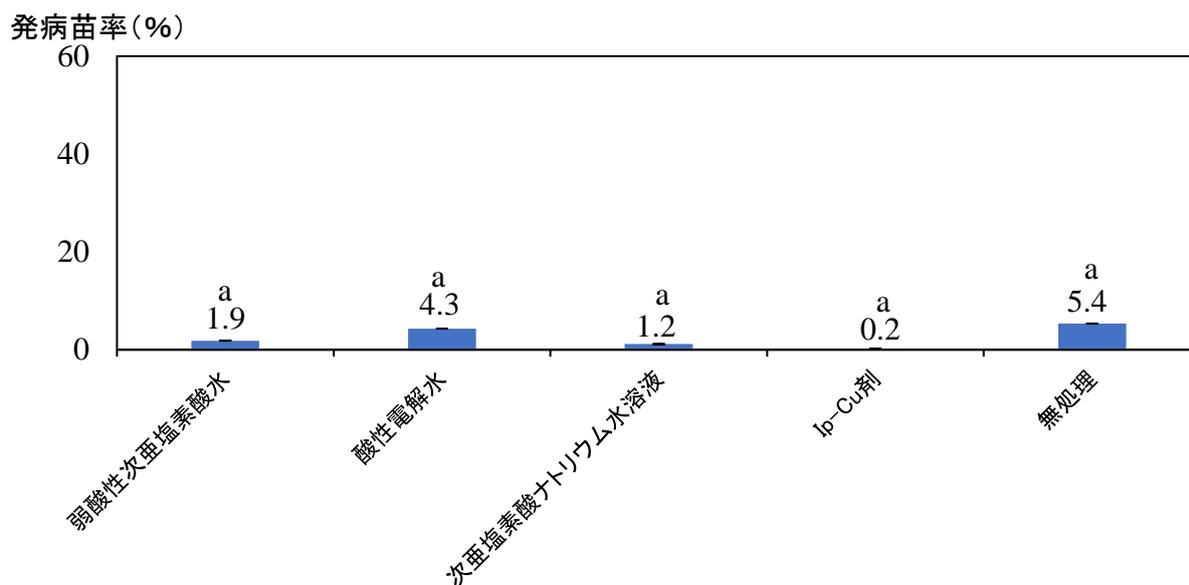


図 42. ばか苗病に対する防除効果

2019 年 Nakata gf 菌株を開花期に接種した開花期接種種子（短銀坊主）を用いた。図中の数値は発病苗率の平均を示す。

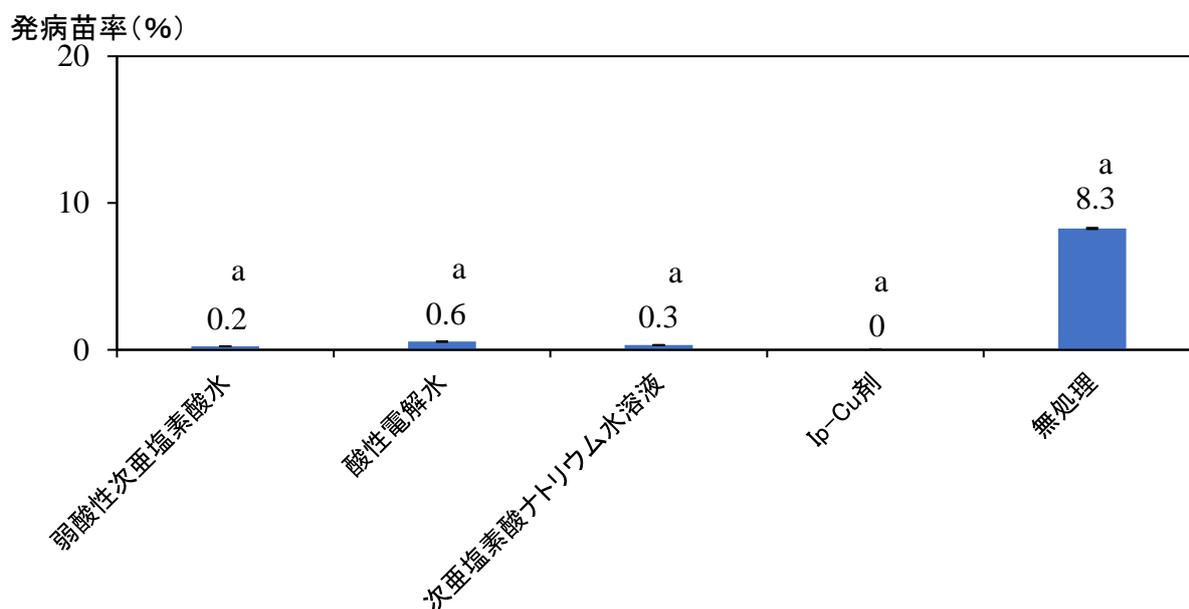


図 43. ばか苗病に対する防除効果

2019 年 Nakata gf 菌株を開花期に接種した開花期接種種子（短銀坊主）を用いた。図中の数値は発病苗率の平均を示す。

2. いもち病

無処理区の発病苗率が 19.5%と中発生条件下での検討となった。処理区の発病苗率は Ip-Cu 剤処理区で 3.6% (防除価 81.3)、酸性解水処理区 (242 ppm、pH2.9) で 1.2% (防除価 93.8)、次亜塩素酸ナトリウム水溶液処理区 (204 ppm、pH10.1) で 11.5% (防除価 41.0)、弱酸性次亜塩素酸水処理区 (229 ppm、pH3.8) で 0.2% (防除価 98.8) であった。弱酸性次亜塩素酸水処理区は酸性解水処理区および次亜塩素酸ナトリウム水溶液よりも発病が少ない傾向が認められた (図 44)。弱酸性次亜塩素酸水処理区は酸性解水処理区と同等の防除効果が認められた。すべての処理区に対して Tukey の多重検定を行ったが、弱酸性次亜塩素酸水処理区は無処理区以外の処理区との有意差は認められなかった (データ未記載)。

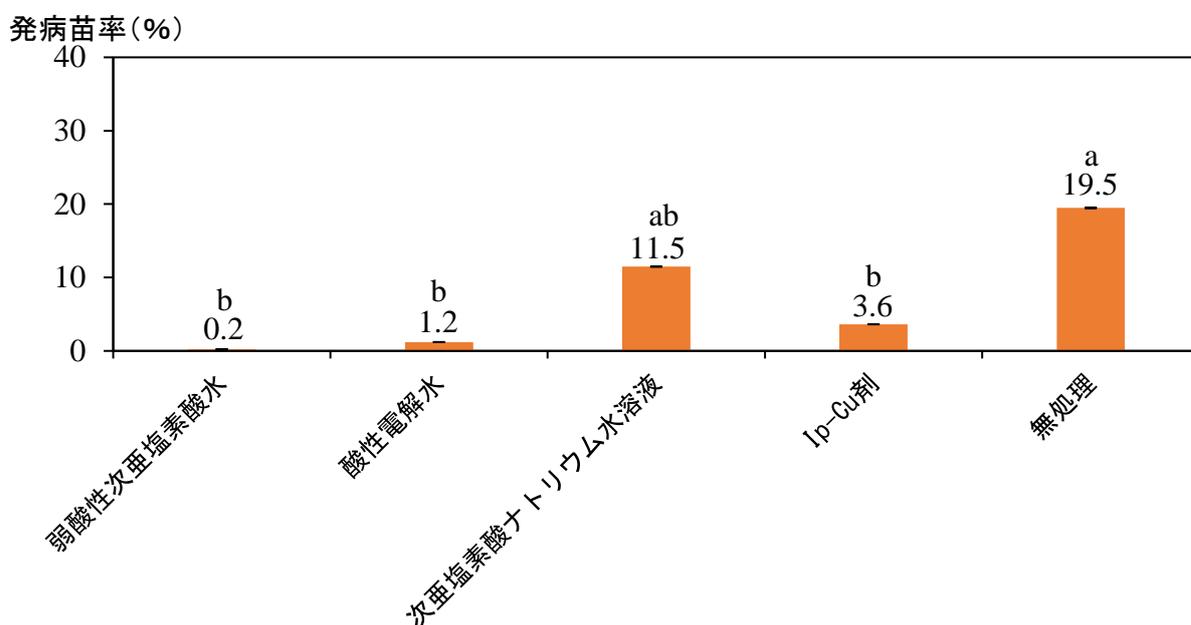


図 44. いもち病に対する防除効果

2018 年および 2019 年秋田県秋田市のいもち病多発圃場から収穫した自然感染種子 (品種: あきたこまち) を用いた。図中の数値は発病苗率の平均を示す。

3. 苗立枯細菌病

汚染種子混入率 20%とした。無処理区の発病度が 4.9 と少発生条件下での検討となった。各処理区の発病度が Tf 剤処理区で 0.4 (防除価 92.6)、酸性電解水処理区 (264 ppm、pH2.8) で 2.8 (防除価 42.6)、次亜塩素酸ナトリウム水溶液処理区 (198 ppm、pH10.6) で 1.3 (防除価 73.3) であったのに対し弱酸性次亜塩素酸水処理区 (224 ppm、pH3.9) で 0.5 (防除価 90.7) と Tf 剤処理区と同等の防除効果が認められた (図 45)。そこで、Steel-Dwass 検定によるノンパラメトリックな多重比較を行ったが、弱酸性次亜塩素酸水処理区はいずれの試験区とも有意差は認められなかった。

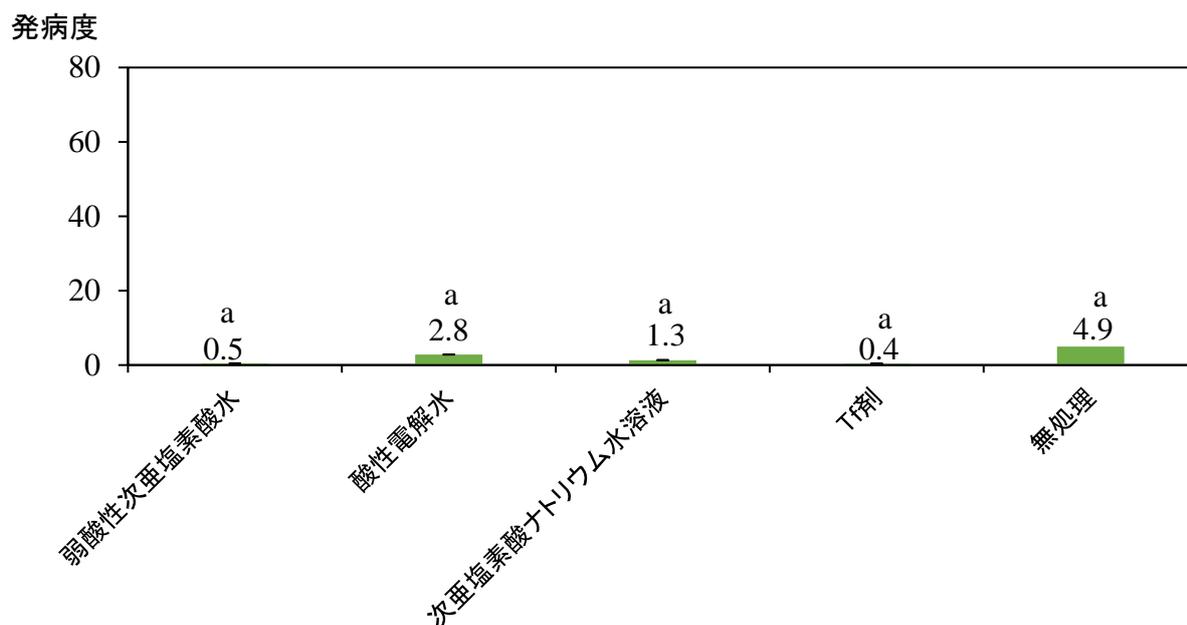


図 45. 苗立枯細菌病に対する防除効果

健全種子 (品種: あきたこまち) に対して開花期接種種子 (品種: あきたこまち) を 20%になるように混合して行った。図中の数値は発病度の平均を示す。

4. もみ枯細菌病

汚染種子混入率 20%とした試験 1 では、無処理区の発病度が 34.9 と多発条件下での検討となった。各処理区の発病度が Tf 剤処理区で 1.5 (防除価 95.7)、酸性電解水処理区 (264 ppm、pH2.8) で 3.7 (防除価 89.4)、次亜塩素酸ナトリウム水溶液処理区 (198 ppm、pH10.6) で 24.0 (防除価 31.3)、弱酸性次亜塩素酸水処理区 (224 ppm、pH3.9) で 16.5 (防除価 52.9) と弱酸性次亜塩素酸水処理区は次亜塩素酸ナトリウム水溶液処理区よりも発病が少ない傾向が認められた (図 46)。

汚染種子混入率 20%とした試験 2 では、無処理区 59.2 と多発条件下での検討となった。各処理区の発病度が Tf 剤処理区で 10.9 (防除価 81.6)、酸性電解水処理区 (242 ppm、pH2.9) で 6.9 (防除価 88.3)、次亜塩素酸ナトリウム水溶液 (204 ppm、pH10.1) で 28.5 (防除価 51.8)、弱酸性次亜塩素酸水処理区 (229 ppm、pH3.8) で 13.1 (防除価 77.8) と弱酸性次亜塩素酸水処理区と酸性電解水処理区は次亜塩素酸ナトリウム水溶液処理区より発病が少ない傾向が認められた (図 47)。そこで、Steel-Dwass 検定によるノンパラメトリックな多重比較を行ったが、弱酸性次亜塩素酸水処理区はいずれの試験区とも有意差は認められなかった。2 試験まとめて steel 検定を行ったが、全ての処理区の間での有意差は認められなかった (データ未記載)。

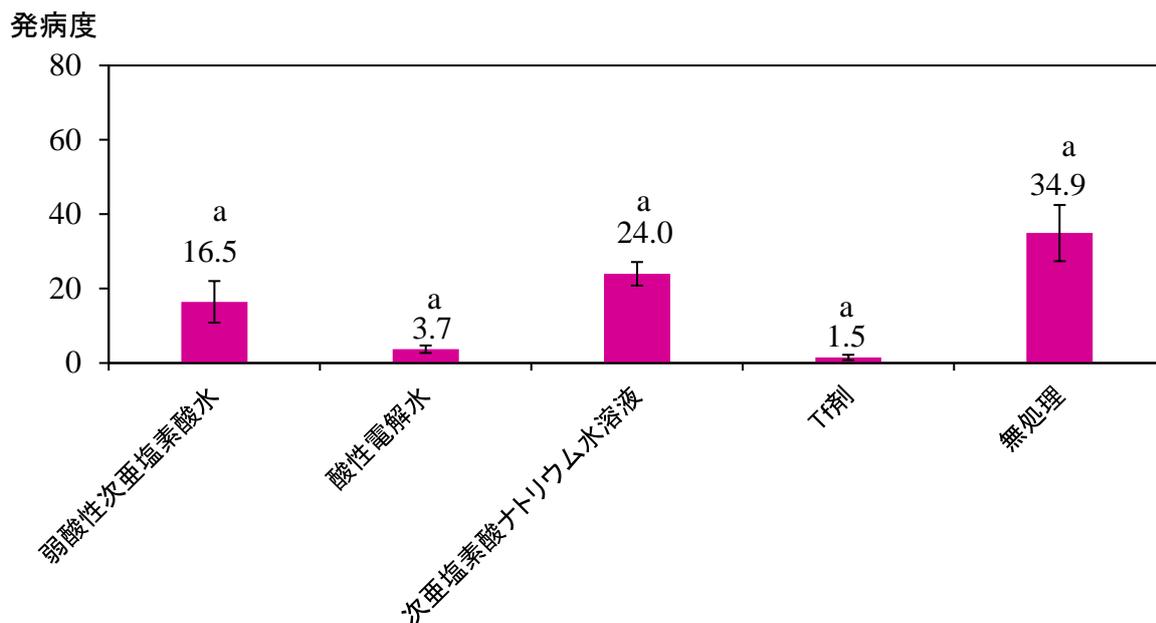


図 46. もみ枯細菌病に対する防除効果

健全種子（品種：あきたこまち）に対して開花期接種種子（品種：あきたこまち）を20%になるように混合して行った。図中の数値は発病度の平均を示す。

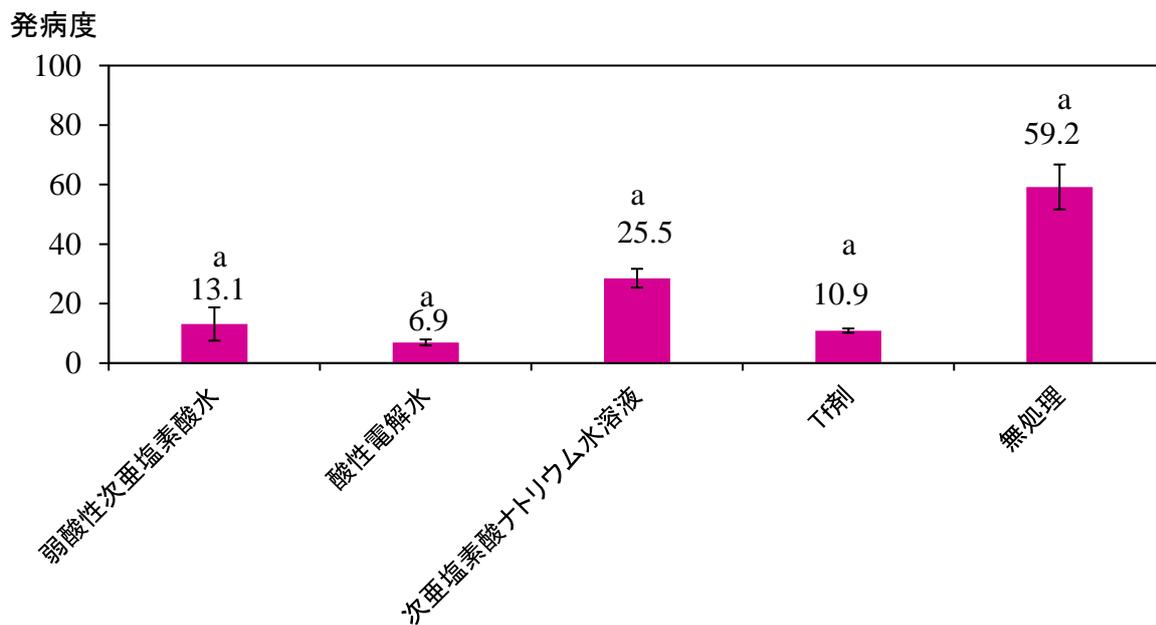


図 47. もみ枯細菌病に対する防除効果

健全種子（品種：あきたこまち）に対して開花期接種種子（品種：あきたこまち）を20%になるように混合して行った。図中の数値は発病度の平均を示す。

5. 褐条病

汚染種子混入率を 20%とした。無処理区の発病度が 4.7 と少発生条件下での検討となった。各処理区の発病度が Tf 剤処理区で 2.1 (防除価 55.7)、酸性電解水処理区 (264 ppm、pH2.8) で 0.5 (防除価 89.3)、次亜塩素酸ナトリウム水溶液処理区 (198 ppm、pH10.6) で 0.3 (防除価 92.7)、弱酸性次亜塩素酸水処理区 (224 ppm、pH3.9) で 0.4 (防除価 91.0) と弱酸性次亜塩素酸水処理区は酸性電解水処理区よりも発病が少ない傾向が認められた (図 48)。そこで、Steel-Dwass 検定によるノンパラメトリックな多重比較を行ったが、弱酸性次亜塩素酸水処理区はいずれの試験区とも有意差は認められなかった。

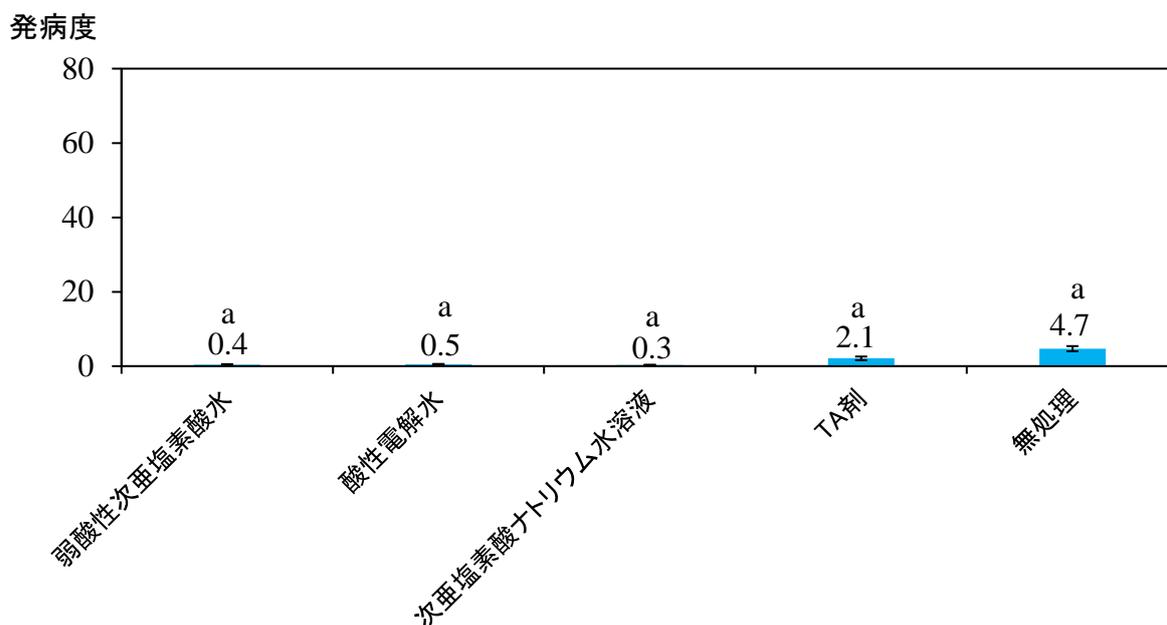


図 48. 褐条病に対する防除効果

健全種子 (品種: あきたこまち) に対して開花期接種種子 (品種: あきたこまち) を 20%になるように混合して行った。図中の数値は発病度の平均を示す。

Ⅲ. 弱酸性次亜塩素酸水の濃度が防除効果に及ぼす影響

1. ばか苗病

試験 1 では、無処理区の発病苗率が 7.5%の少発生条件下での検討となった。各処理区の発病苗率は Ip-Cu 剤処理区 0.07% (防除価 99.1)、弱酸性次亜塩素酸水催芽時処理区 (22 ppm、pH7.3) が 0.9% (防除価 88.3)、弱酸性次亜塩素酸水催芽時処理区 (200 ppm、pH7.0) が 0.4% (防除価 94.8)、弱酸性次亜塩素酸水催芽時処理区 (500 ppm、pH4.6) が 0.3% (防除価 96.4)、弱酸性次亜塩素酸水催芽時処理区 (1000 ppm、pH4.1) が 0.2% (防除価 96.9) と全ての処理区で発病が少ないが、22 ppm 区で若干の効果の低下が認められた (図 49)。

試験 2 では、無処理区の発病苗率が 2.0%の少発生条件下での検討となった。各処理区の発病苗率は Ip-Cu 剤処理区 0.04% (防除価 97.8) であったのに対し、弱酸性次亜塩素酸水催芽時処理区 (27 ppm、pH6.2) が 0.3% (防除価 82.9)、弱酸性次亜塩素酸水催芽時処理区 (223 ppm、pH3.7) が 0.2% (防除価 91.9)、弱酸性次亜塩素酸水催芽時処理区 (500 ppm、pH4.6) が 0% (防除価 100)、弱酸性次亜塩素酸水催芽時処理区 (1000 ppm、pH4.0) が 0.04% (防除価 97.9) と全ての処理区で発病が少ない傾向が認められた (図 50)。すべての処理区に対して Tukey の多重検定を行ったが、試験 1 ではいずれの処理区間で有意差は認められなかった。試験 2 でも 27 ppm 区で若干の効果の低下が認められた。2 試験まとめた同様の検定でも、弱酸性次亜塩素酸水催芽時処理区は無処理区以外の処理区との間で有意差は認められなかった (データ未記載)。

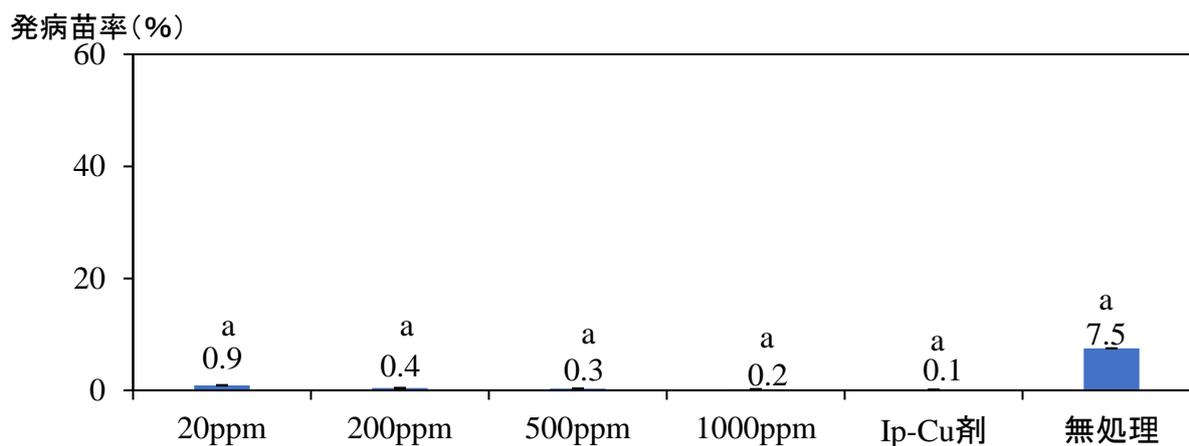


図 49. ばか苗病に対する防除効果

2019年 Nakata gf 菌株を開花期に接種した開花期接種種子（短銀坊主）を用いた。図中の数値は発病苗率の平均を示す。

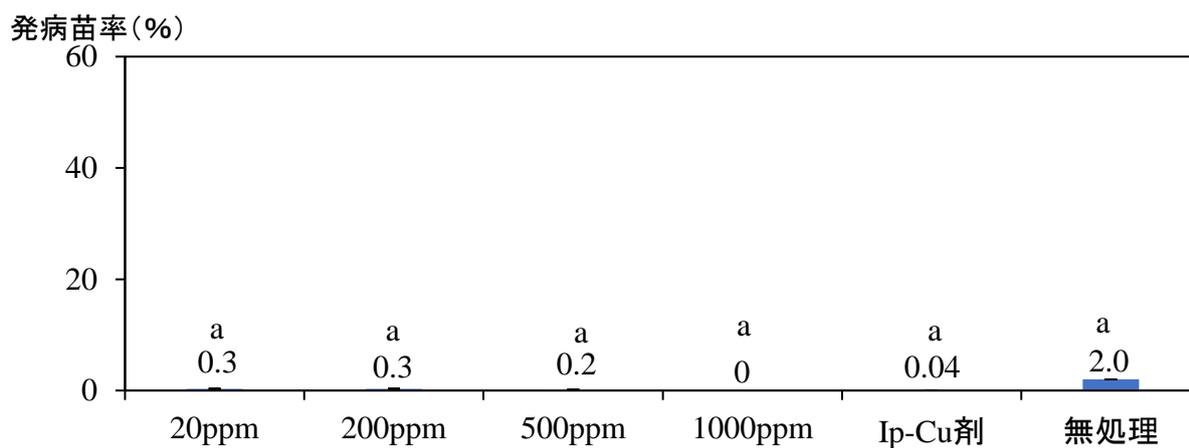


図 50. ばか苗病に対する防除効果

2019年 Nakata gf 菌株を開花期に接種した開花期接種種子（短銀坊主）を用いた。図中の数値は発病苗率の平均を示す。

2. いもち病（苗いもち）

試験 1 では、無処理区の発病苗率が 13.5%の少発生条件下での検討となった。処理区の発病苗率は Ip-Cu 剤処理区 4.6%（防除価 65.6）であったのに対し、弱酸性次亜塩素酸水催芽時処理区（27 ppm、pH6.7）が 5.5%（防除価 59.5）、弱酸性次亜塩素酸水催芽時処理区（240 ppm、pH3.4）が 0.8%（防除価 94.2）、弱酸性次亜塩素酸水催芽時処理区（520 ppm、pH6.0）が 0.3%（防除価 97.7）、弱酸性次亜塩素酸水催芽時処理区（1000 ppm、pH6.1）が 0.2%（防除価 98.3）と 27ppm では防除効果が認められず、200 ppm 以上で発病が少ない傾向が認められた（図 51）。

試験 2 では、無処理区の発病苗率が 4.8%の少発生条件下での検討となった。各処理区の発病苗率は Ip-Cu 剤処理区 0.8%（防除価 82.8）であったのに対し、弱酸性次亜塩素酸水催芽時処理区（27 ppm、pH6.2）が 5.7%（防除価 0）、弱酸性次亜塩素酸水催芽時処理区（223 ppm、pH3.7）が 0.6%（防除価 87.5）、弱酸性次亜塩素酸水催芽時処理区（500 ppm、pH4.6）が 0.05%（防除価 99.1）、弱酸性次亜塩素酸水催芽時処理区（1000 ppm、pH4.0）が 0.05%（防除価 98.9）と試験 1 と同様、27ppm では防除効果が認められず、200 ppm 以上で発病が少ない傾向が認められた（図 52）。

試験 3 では、無処理区の発病苗率が 1.7%の少発生条件下での検討となった。各処理 区の発病苗率は Ip-Cu 剤処理区 0.1%（防除価 92.5）であったのに対し、弱酸性次亜塩素酸水催芽時処理区（24 ppm、pH6.8）が 0.9%（防除価 45.2）、弱酸性次亜塩素酸水催芽時処理区（204 ppm、p3.4）が 0.2%（防除価 89.1）、弱酸性次亜塩素酸水催芽時処理区（500 ppm、pH4.0）が 0.09%（防除価 94.8）、弱酸性次亜塩素酸水催芽時処理区（1000 ppm、pH3.8）が 0.1%（防除価 92.7）と試験 1、2 と同様、24 ppm では防除効果が認められず、200 ppm 以上で発病が少ない傾向が認められた（図 53）。

すべての処理区に対して Tukey の多重検定を行ったところ、試験 1、2、3 では弱酸性次亜塩素酸水催芽時処理区 200 ppm、500 ppm、1000 ppm が無処理区とのみ有意差が認められた。3 試験まとめた同様の検定では、有意差は認められなかった（データ未記載）。

発病苗率(%)

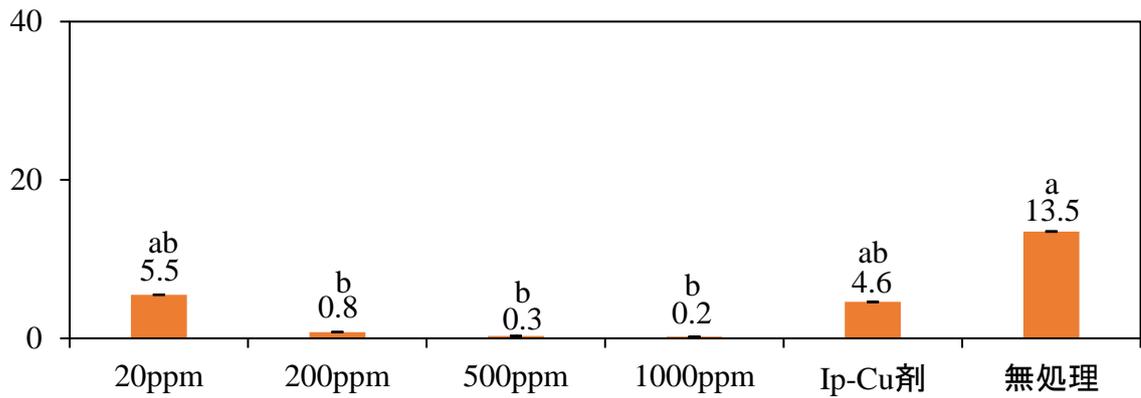


図 51. いもち病に対する防除効果

図中の数値は発病苗率の平均を示す。

発病苗率(%)

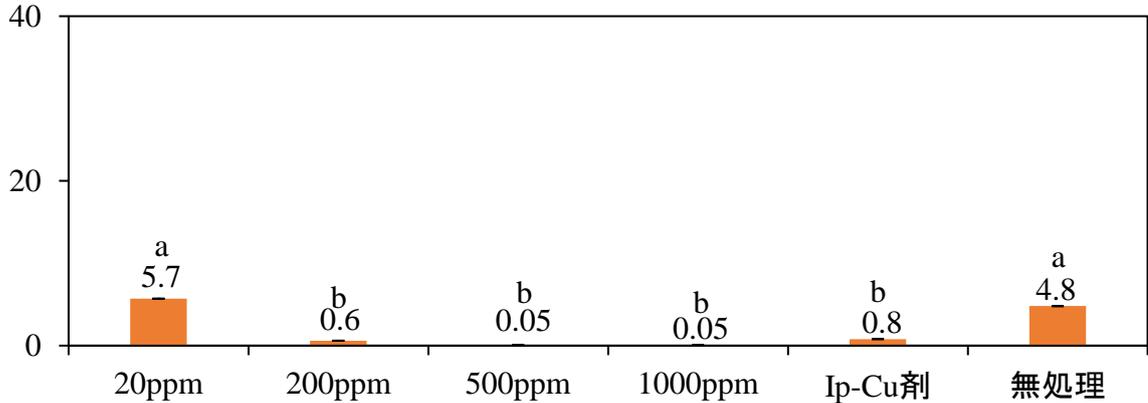


図 52. いもち病に対する防除効果

図中の数値は発病苗率の平均を示す。

発病苗率(%)

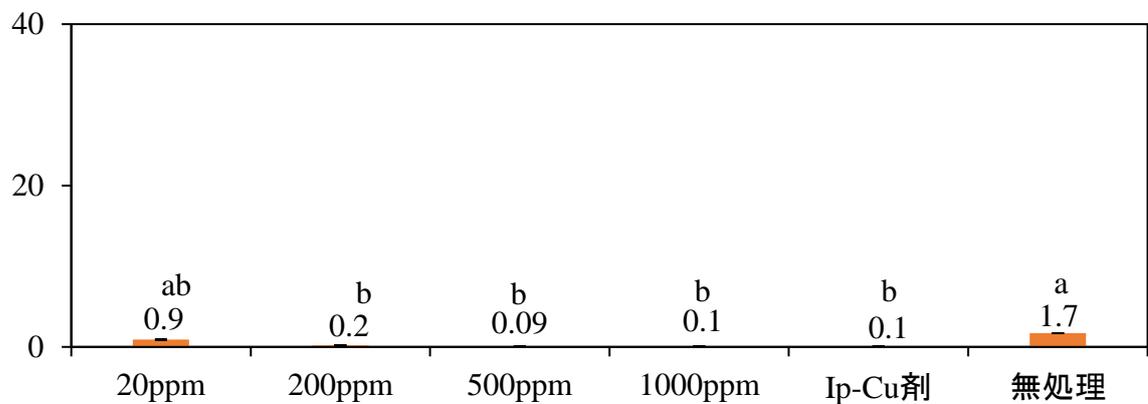


図 53. いもち病に対する防除効果

図中の数値は発病苗率の平均を示す。

3. 褐条病

無処理区の発病度が 2.2 の少発生条件下での検討となった。各処理区の発病度は Tf 剤処理区 0.1 (防除価 96.5) であったのに対し、弱酸性次亜塩素酸水催芽時処理区 (24 ppm、pH6.8) が 1.0 (防除価 55.6)、弱酸性次亜塩素酸水催芽時処理区 (204 ppm、pH3.4) が 0.7 (防除価 65.9)、弱酸性次亜塩素酸水催芽時処理区 (500 ppm、pH4.0) が 0.2 (防除価 90.9)、弱酸性次亜塩素酸水催芽時処理区 (1000 ppm、pH3.8) が 0 (防除価 100) と濃度高いほど発病が少ない傾向が認められた (図 54)。

そこで、Steel-Dwass 検定によるノンパラメトリックな多重比較ならびに 200 ppm 処理区を対照群とした Steel 検定を行ったが、200 ppm はいずれの試験区とも有意差が認められなかった。褐条病の 2 試験をまとめて Steel-Dwass の多重検定および Steel 検定を行った。Steel 検定で 200 ppm と無処理区で有意差は認められたが他の処理区で有意差が認められなかった (データ未記載)。

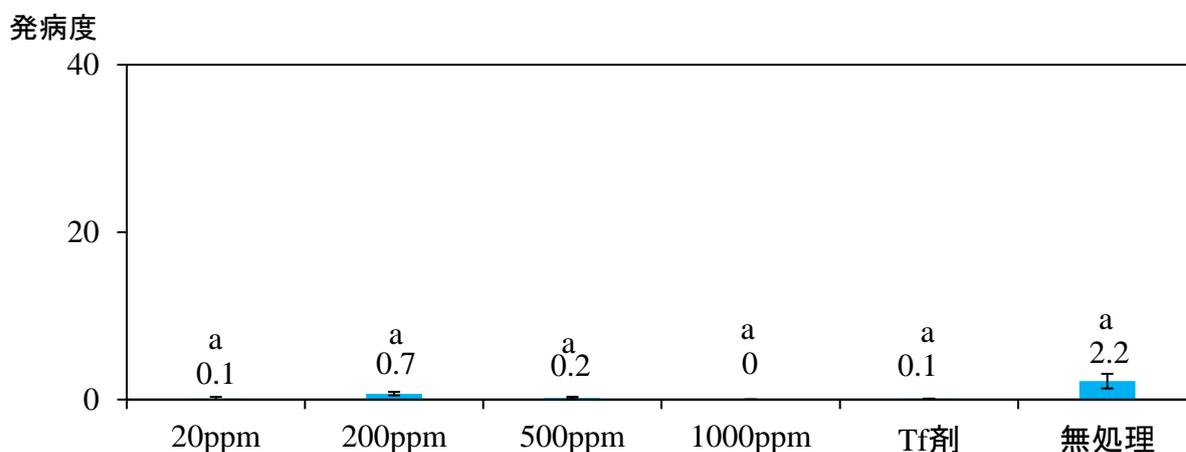


図 54. 褐条病に対する防除効果

図中の数値は発病度の平均を示す。

4. ごま葉枯病

4-1. 種子に対する防除効果

試験 1 では、無処理区の発病度が 6.8 の少発生条件下での検討となった。各処理区の発病度は Ip-Cu 剤処理区 5.3 (防除価 80.3)、弱酸性次亜塩素酸水催芽時処理区 (23 ppm、pH7.4) が 6.7 (防除価 1.6)、弱酸性次亜塩素酸水催芽時処理区 (215 ppm、pH7.2) が 3.5 (防除価 49.0)、弱酸性次亜塩素酸水催芽時処理区 (524 ppm、pH4.3) が 3.2 (防除価 53.4)、弱酸性次亜塩素酸水催芽時処理区 (1000 ppm、pH4.1) が 5.3 (防除価 22.2) と弱酸性次亜塩素酸水の防除効果は認められなかった (図 55)。

試験 2 では、無処理区の発病度が 9.9 の少発生条件下での検討となった。各処理区の発病度は Ip-Cu 剤処理区 0.8 (防除価 92.1)、弱酸性次亜塩素酸水催芽時処理区 (23 ppm、pH6.2) が 11.0 (防除価 0)、弱酸性次亜塩素酸水催芽時処理区 (242 ppm、pH4.0) が 9.7 (防除価 1.7)、弱酸性次亜塩素酸水催芽時処理区 (500 ppm、pH4.0) が 6.0 (防除価 39.7)、弱酸性次亜塩素酸水催芽時処理区 (1000 ppm、pH3.8) が 3.7 (防除価 62.3) と弱酸性次亜塩素酸水の防除効果は認められなかったあるいは低かった (図 56)。

そこで、Steel-Dwass 検定によるノンパラメトリックな多重比較ならびに 200 ppm 処理区を対照群とした Steel 検定を行ったが、200 ppm はいずれの試験区とも有意差が認められなかった。ごま葉枯病の 2 試験をまとめて Steel-Dwass の多重検定および Steel 検定を行った。Steel 検定で 200 ppm とイプコナゾール銅水和剤処理区で有意差は認められたが他の処理区で有意差が認められなかった (データ未記載)。

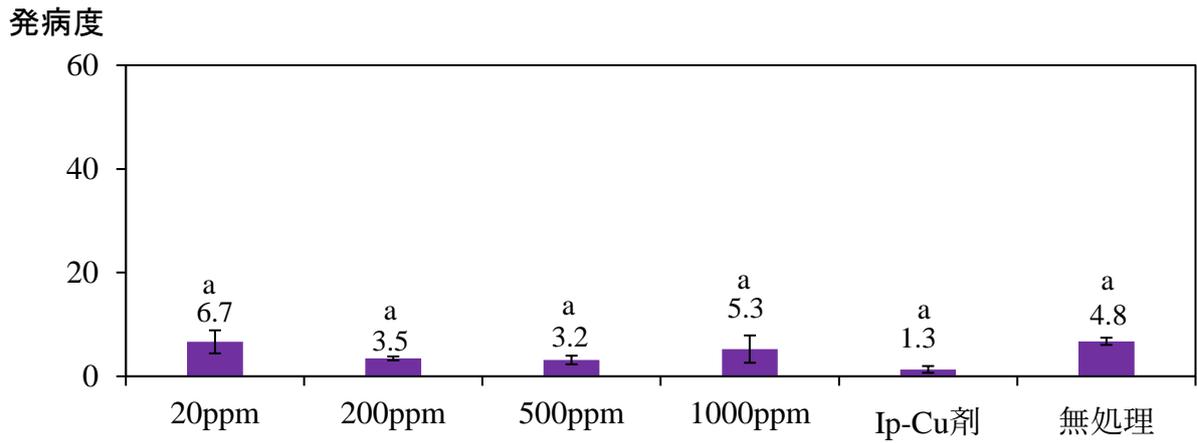


図 55. ごま葉枯病に対する防除効果
 図中の数値は発病度の平均を示す。

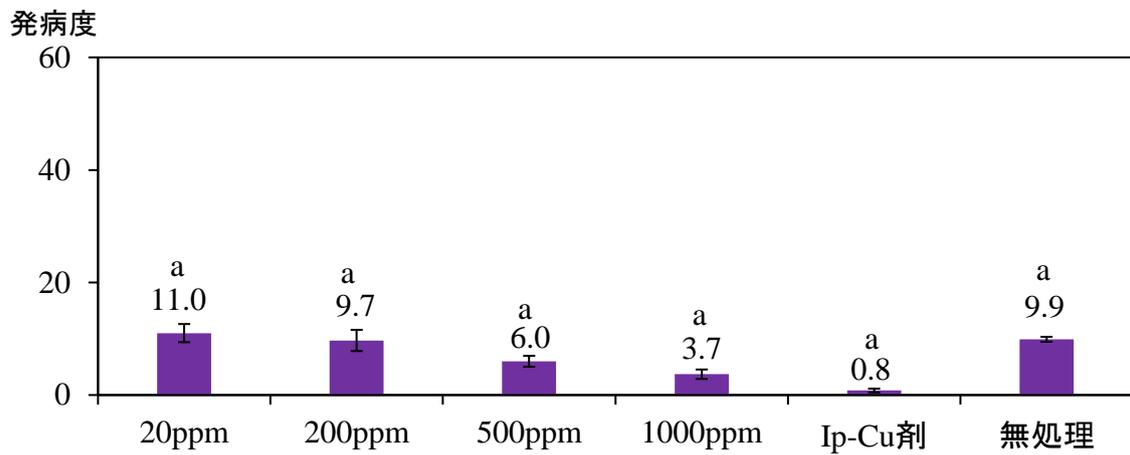


図 56. ごま葉枯病に対する防除効果
 図中の数値は発病度の平均を示す。

4-2. 培地上での抗菌試験

各濃度 10 枚ずつ処理したろ紙を培地にのせ培養した結果、2018 年の自然感染種子（品種：コシヒカリ）より分離した菌体（1）を付着させたろ紙では培養 5 日目で、無処理区で 10 枚、20 ppm で 10 枚、100 ppm で 6 枚に菌相の生育が認められた。200 ppm、500 ppm、1000 ppm では菌相の生育は認められなかった。ごま葉枯病感染苗から分離したごま葉枯病菌の菌体（2）を付着させたろ紙では培養 6 日目では無処理区で 10 枚、20 ppm で 10 枚、100 ppm で 10 枚、200 ppm で 4 枚に菌相の生育が認められた。500 ppm、1000 ppm。200 ppm では菌相の生育は認められなかった。（第 10 表）。

表-10. 培地上でのごま葉枯病菌に対する抗菌試験

培養	1*						2**					
	0ppm	20ppm	100ppm	200ppm	500ppm	1000ppm	0ppm	20ppm	100ppm	200ppm	500ppm	1000ppm
1日目	10	10	6	0	0	0	10	10	6	1	0	0
2日目	10	10	9	0	0	0	10	10	6	2	0	0
5日目	10	10	9	0	0	0	10	10	9	2	0	0
6日目	10	10	10	0	0	0	10	10	10	4	0	0
7日目	10	10	10	0	0	0	10	10	10	5	0	0
8日目	10	10	10	0	0	0	10	10	10	5	0	0
9日目	10	10	10	0	0	0	10	10	10	7	0	0
10日目	10	10	10	0	0	0	10	10	10	8	0	0
11日目	10	10	10	0	0	0	10	10	10	8	0	0

*2018 年のごま葉枯病菌自然感染種子（品種：コシヒカリ）より分離した菌体（1）

**ごま葉枯病感染苗から分離したごま葉枯病菌の菌体（2）

第6章 考察

次亜塩素酸水は有機物の存在で有効成分が容易に分解されることが実用化の妨げとなってきたが、石原ら(2015)はバッファリング技術によって分解の原因となる不純物を取り除き、次亜塩素酸の生成過程においても中和反応によって生じる塩が生じない弱酸性次亜塩素酸水(pH3.7程度、200 ppm以上)の生成に成功している。生成当日の有効塩素濃度が弱酸性次亜塩素酸水で225 ppm、強酸性電解水で135 ppm、次亜塩素酸水ナトリウム水溶液で211 ppmであったものを放置した。その結果、生成後1ヶ月で有効塩素濃度が弱酸性次亜塩素酸水で222 ppm、強酸性電解水で37 ppm、次亜塩素酸水ナトリウム水溶液で183 ppm、生成後2ヶ月には有効塩素濃度が弱酸性次亜塩素酸水で216 ppm、強酸性電解水で6 ppm、次亜塩素酸水ナトリウム水溶液で173 ppmとなった。このように、弱酸性次亜塩素酸水の有効塩素濃度が下がりにくい要因は総イオン量が少ないことにあり、結果として弱酸性次亜塩素酸水は他の次亜塩素酸水と比較して、保存安定性に優れていると言える。

本研究では、5種[ばか苗病、いもち病(苗いもち)、苗立枯細菌病、もみ枯細菌病、褐条病]の種子伝染性病害に対して、弱酸性次亜塩素酸水の防除効果の有無および次亜塩素酸水の比較について検討した。まず、弱酸性次亜塩素酸水の防除効果について調査したところ、ばか苗病、いもち病、もみ枯細菌病、褐条病に対して防除効果がある傾向が認められた。苗立枯細菌病の試験においては、浸種前処理で防除効果が低くなる傾向が認められた。これは、浸種前処理によって種子に存在する様々な微生物が殺菌されるとともに、薬効の持続性がないため、催芽時に浸種前処理で取りこぼした苗立枯細菌病菌が増殖しやすい環境となったことが考えられる。催芽の温度(30℃)は浸種期間中の温度(15℃)に比べて高く、種子の活動だけでなく病原菌も活動的になる。催芽時処理が浸種前処理と比較して効果が高いのは、病原菌が活動・増殖する際に弱酸性次亜塩素酸水と接触することで、高い殺菌力が得られたものと考えられる。

次に次亜塩素酸水の比較では、ばか苗病、いもち病、苗立枯細菌病、褐条病で防除効果がある傾向が認められ、もみ枯細菌病に対しても防除効果が認められた。もみ枯細菌病は、強酸性電解水よりも防除効果がやや低くなる結果となったが、これは強酸性電解水のpHが2.8と弱酸性次亜塩素酸水のpH3.8より低いことから、pHに依存してもみ枯細菌病菌の増殖が抑えられた可能性が考えられる。

強酸性電解水のような次亜塩素酸水では、電気分解によって生成されるため有効塩素濃度は最大でも80 ppmで、有機物等との接触に加え、有効成分を長期間保持できないことから、実用上の問題を抱えていた。本研究で使用した弱酸性次亜塩素酸水はイオン交換法により生成され、塩酸を使用しないことから塩素ガスを発生させることなく、200~1000 ppmの高濃度の次亜塩素酸を製造することができる。そこで、有効塩素濃度の違いが防除効果におよぼす影響を調べることとし、ばか苗病、いもち病、褐条病に対する防除効果調査した。その結果、200 ppm以上の濃度で、いずれの病害に対しても高い防除効果が認められた。有効塩素濃度が高くなると安定的な防除効果が得られるものと考えられるが、500 ppmおよび1000 ppmの弱酸性次亜塩素酸水では衣服が漂白されるなどの問題が生じるため、最も取り扱いやすい濃度は200 ppmだと考えら

れる。ごま葉枯病に対しては、育苗試験では有効塩素濃度を高くしても防除効果は低かったが、培地での試験では 200 ppm 以上で菌の増殖は抑えられていたため、汚染種子におけるごま葉枯病菌の動態や発生生態が他の種子伝染性病害と大きく異なる可能性が考えられた。

本試験から弱酸性次亜塩素酸水は水稻の種子消毒剤として新農薬の実用化試験で実用性があると判定される防除価（細菌病 50 以上、苗いもち 70 以上、ばか苗病 80 以上）よりも勝る効果であったことから、実験的に実用性があることが示されたが、発病程度が高い試験ではその効果が低下する場合があったため、農業現場では健全種子を使用することを前提として考える必要がある。加えて弱酸性次亜塩素酸水を用いた種子消毒は化学合成農薬のような持続性がないため、消毒が不十分な場合、その後の工程で発病を助長させてしまうことが考えられる。したがって微生物防除資材（灌注剤）との併用による防除効果の向上や、温湯消毒との体系処理も視野に入れた利用の可否、コストや消毒可能な粒の量について検討していく必要があると考えられる。使用した弱酸性次亜塩素酸水の有効塩素濃度や pH が安定していなかったため、再現性のある試験データがとれていないため、具体的な試験データは記載していないが、弱酸性次亜塩素酸水でも、既存の技術や資材との体系処理の防除効果を検討してきた。温湯消毒との体系処理によって苗立枯細菌病、もみ枯細菌病、褐条病に対して、60℃10 分の温湯消毒や弱酸性次亜塩素酸水の単独処理が病害や試験時期によって防除効果変動する一方、事前乾燥処理+65℃10 分の温湯消毒後、催芽時に弱酸性次亜塩素酸水で種子消毒する方法で高い防除効果が得られる場合があった。このことから、新技術の事前乾燥処理を組み合わせた温湯消毒と弱酸性次亜塩素酸水の併用が化学合成農薬による種子消毒の代替技術になり得る可能性がある。この点については今後追試や農家での実証試験を行い、体系処理の有効性を明らかにする必要がある。

弱酸性次亜塩素酸水は従来の次亜塩素酸水と同様に、有機物や微生物に触れることで原水に戻る。このことは環境への影響や人体への安全面においてメリットと言える。しかしながら、農業現場での実用化を視野に入れた際に、省力化を推奨する農業現場にとって新たに専用機器を購入することや従来の次亜塩素酸水を生成してからすぐに使用できる環境を整えることは負担が大きい。その上で、保存性に優れ、有効成分を長期間保持できる本弱酸性次亜塩素酸水の実用性は高いと思われる。今後、長期的に保管した状況下でも防除効果が低減しないことが実証できれば、従来の次亜塩素酸水（強酸性電解水）のように生成機器を農家に導入する必要がなく保存可能な容器での普及が可能になるものと考えられる。

第7章 ばか苗病菌の系統変化による発病遅延現象の解明

第1項 緒言

近年農家圃場で育苗期にばか苗病特有の徒長症状がみられず、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現象が発生している。ばか苗病菌にはジベレリンを産生する菌株（G系統）だけでなく、フモニシンを産生する菌株（F系統）の存在が知られている（Suga et. al., 2019）。このF系統はEBI系剤に対して感受性が低いことも明らかにされている（芳澤ら、1994）ことから、単なるEBI系剤の効果低下ではなくF系統の分布が拡大し、G系統とF系統が重複感染したことにより本来徒長するはずの発病苗が抑えられ、健全苗と判別が困難になり抜き取りがされないまま移植されている可能性が考えられた。

そこで本章では農家圃場での発病遅延がG系統とF系統あるいは*F. fujikuroi*複合種が重複感染によるものか明らかにするために試験を行った。

第2項 材料および方法

1. 供試種子

試験には、令和2年産健全種子および令和3年産健全種子を用いた。健全種子はすべて塩水選を行なって使用した。

2. 供試菌株

(1) 催芽時に菌を種子に接種した小規模試験の供試菌株は表に示した（第11表）。試験にはジベレリン産生菌株（G系統）を14菌株（APF06-084A、APF13-019A、AFM06-014A、APF13-050A、APF13-010A、APF13-014A、APF13-003A、APF13-009、APF13-77A、APF13-021A、APF13-053A、AFM06-029C、APF08-092A、APF13-72A）、フモニシン産生菌（F系統）を2菌株（SLO211、SLO271）、*Fusaerium fujikuroi*複合種を6菌株（*Fusarium nygamai* MAFF239069、*Fusarium circinatum* MAFF237756、*Fusarium proliferatum* MAFF410715、*Fusarium proliferatum* MAFF242611、*Fusarium proliferatum* MAFF511522、*Fusarium proliferatum* MAFF237537）使用した。

(2) 汚染種子を用いた小規模試験には、2021年に作成した開花期接種種子〔ジベレリン産生菌株（G系統）を3菌株（APF13-003A、nakata gf、APF13-019A）、フモニシン産生株（F系統）を1菌株 SLO211（東北農業研究センター 今崎氏分譲）〕を使用した。

(3) 通常育苗箱を用いた試験では、ジベレリン産生菌株（G系統）を1菌株（APF13-053A）、フモニシン産生菌（F系統）を1菌株（SLO211）、*Fusaerium fujikuroi*複合種を1菌株（*Fusarium proliferatum* MAFF410715）使用した。

3. 試験規模および種子予措

試験は各試験区 3 区制とした。

小規模試験（接種試験）は育苗箱の 1/15 大（W85 mm×D120 mm×H20 mm）のプラスチック製箱を用い、播種量は 1 区乾粃 12 g とした。G 系統と F 系統あるいは *Fusarium fujikuroi* 複合種の胞子混合比率（胞子濃度 $1=1.0\times 10^6$ 個/ml）が 1 : 1 になるように混合し、催芽時に接種した。汚染種子を用いた小規模試験では育苗箱の 1/8 大（W133mm×D210mm×H35mm）のプラスチック製箱を用い、播種量は 1 区乾粃 16 g とした。G 系統と F 系統あるいは *Fusarium fujikuroi* 複合種の汚染種子は重量比 1 : 1、1 : 2、2 : 1 となるように混合した。通常育苗箱を用いた試験では播種量を 1 区乾粃 4000 g とし G 系統と F 系統あるいは *Fusarium fujikuroi* 複合種の胞子混合比率（胞子濃度 $1=1.0\times 10^6$ 個/ml）が 1 : 1、1 : 5、5 : 1 となるように混合し、催芽時に接種した。浴比は 1 : 2（粃 : 水）、種子の浸種処理は、15°C 72 時間とした。催芽処理は水交換後、30°C 24 時間とした。

4. 育苗方法

小規模試験（接種試験）では、催芽後の種子は前述のプラスチック製箱に散播した。床土（166 g）と覆土（60 g）にいなほ培土[N0.5, P0.8, K0.5 (g/kg), pH4.5~5.5, いなほ化工]を用いた。小規模試験（汚染種子）では、催芽後の種子は前述のプラスチック製箱に散播した。床土（350 g）と覆土（150 g）にいなほ培土[N0.5, P0.8, K0.5 (g/kg), pH4.5~5.5, いなほ化工]を用いた。圃場試験では床土（4000 g）と覆土（1400 g）にいなほ培土[N0.5, P0.8, K0.5 (g/kg), pH4.5~5.5, いなほ化工]を用いた。播種後は 30°C48 時間の出芽処理を行い、その後はビニールハウスで管理した。水管理については、毎日朝夕に散水により行った。

5. 発病調査

徒長苗および萎凋苗数を調査し、徒長苗率または萎凋苗率を算出した。

また、得られた発病苗率の平均を無処理区と比較して、次式： $100 - [\text{処理区の発病苗率（度）} \div \text{無処理区の発病苗率（度）}] \times 100$ により防除価を算出した。

第3項 結果

1. 小規模試験（接種試験）

(1) SLO211 との混合接種の影響

いずれの菌の組み合わせにおいても混合接種によって徒長苗の発生が減少した。例えば、G 系統に AFM06-014A を使用し単独接種した徒長苗率は 14.4% だったのに対して、F 系統の SLO211 と混合接種することで 0.5% まで減少した。また G 系統に APF13-053A を使用し、単独接種した徒長苗率は 30.7% だったのに対して、SLO211 と混合接種すると 1.1% まで現象した。混合接種による徒長苗の減少率は APF08-092A で 98.5%、APF13-053A で 96.4%、AFM06-014A で 96.5% であった。APF06-084A、APF13-010A、APF13-009 では混合接種で徒長苗は発生しなかった（図 57）。

徒長苗率 (%)

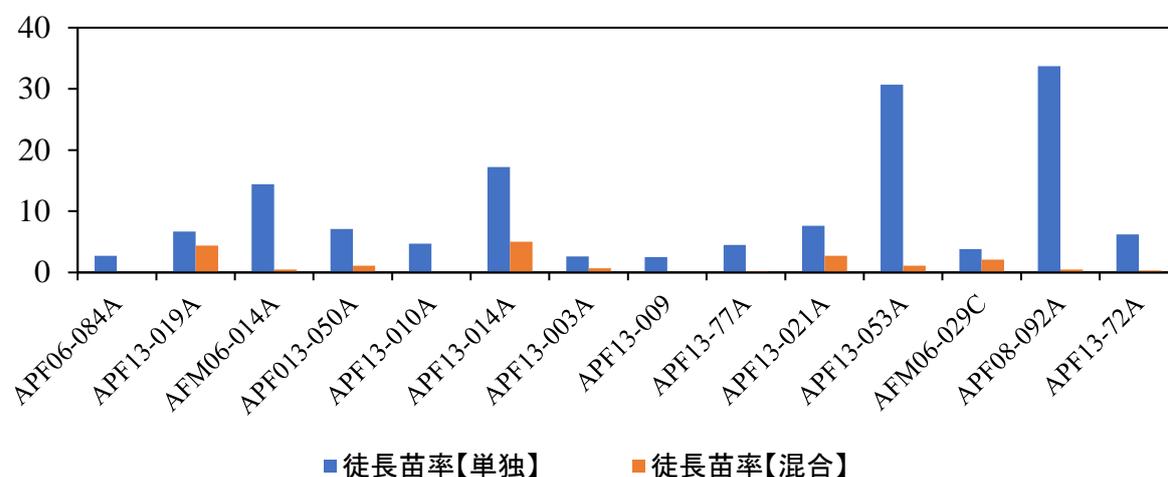


図 57. SLO211 (F 系統) と各 G 系統との単独接種および混合接種の徒長苗率

(2) SLO271 との混合接種の影響

SLO211 の場合と同様に、ほとんどの菌株で混合接種によって単独接種に比べて徒長苗の発生が減少した。例えば、G 系統に APF13-019A を使用し、単独接種した徒長苗率は 9.6% だったのに対して SLO271 と混合接種すると 1.0% まで減少した。G 系統に APF13-021A を使用し、単独接種した徒長苗率は 5.8% だったのに対して、混合接種することで 5.0% とわずかに減少した。混合接種による徒長苗の減少率は、AFM06-029C で 95.8%、APF13-019A で 89.6%、APF13-014A で 85.3% であった。APF06-084A、AFM06-014A、APF13-009、APF13-053A は混合接種で徒長苗は発生しなかった (図 58)。

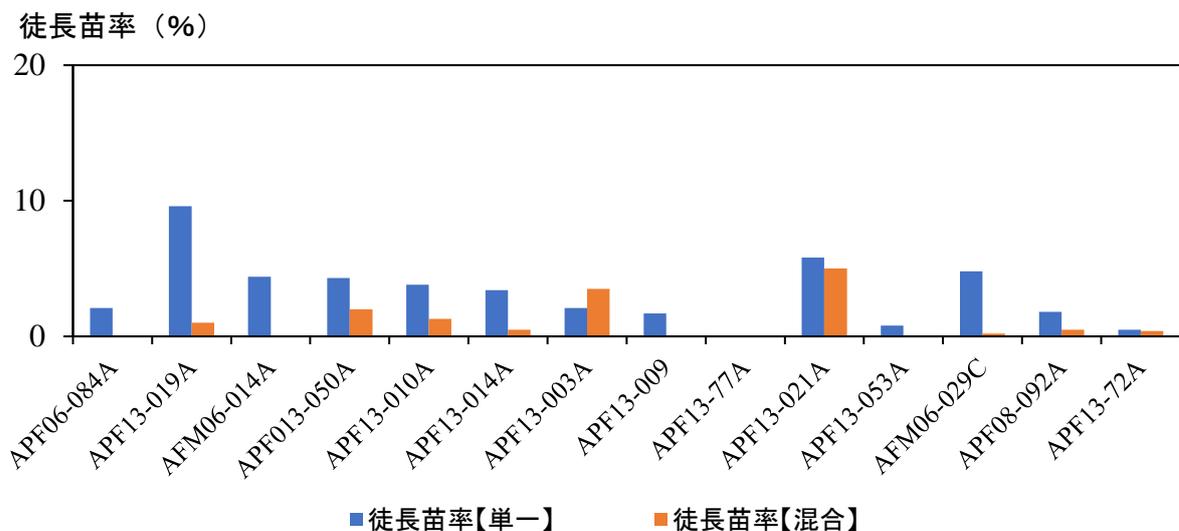


図 58. SLO271 (F 系統) と各 G 系統との単独接種および混合接種の徒長苗率

(3) *Fusarium acuminatum* MAFF242611 との混合接種の影響

SLO211 の場合と同様に、ほとんどの菌株で混合接種によって単独接種に比べて徒長苗の発生が減少した。例えば、G 系統に APF13-053A を使用し、単独接種した徒長苗率は 38.3% だったのに対して *Fusarium acuminatum* MAFF242611 と混合接種すると 4.5% まで減少した。G 系統に APF13-014A を使用し、単独接種した徒長苗率は 18.4% だったのに対して、混合接種することで 0% まで減少した。混合接種による徒長苗の減少率は、APF13-72A で 93.2%、APF13-019A で 91.2%、APF13-010A で 90.2% であった。APF06-084A、APF13-014A、APF13-003A、APF13-009、APF13-021A では混合接種により徒長苗は発生しなかった (図 59)。

徒長苗率 (%)

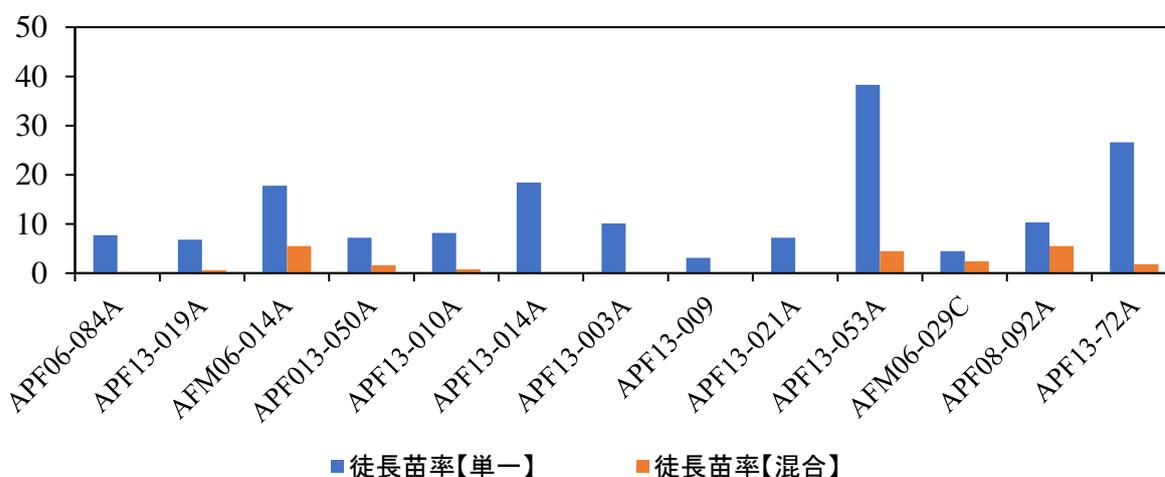


図 59. *Fusarium acuminatum* MAFF242611 (*Fusarium fujikuroi* 複合種) と各 G 系統との単独接種および混合接種の徒長苗率

(4) *Fusarium nygamai* MAFF239069 との混合接種の影響

全体的に単独接種でも徒長苗の発生は少ないが、ほとんどの菌株で混合接種によって単独接種よりも徒長苗の発生が減少した。例えば、G 系統に AFM06-014A を使用し、単独接種した徒長苗率は 5.8% だったのに対し、*Fusarium circinatum* MAFF239069 と混合接種することで 3.7% とわずかに減少した。G 系統に APF13-014A を使用し、単独接種した徒長苗率は 2.6% だったのに対し、混合接種により 0.5% まで減少した。混合接種による徒長苗の減少率は、APF13-014 で 80.8%、APF13-050A で 70.0% であった。APF13-010A、APF13-003A、APF13-021A、APF13-053A は混合接種で徒長苗は発生しなかった (図 60)。

徒長苗率 (%)

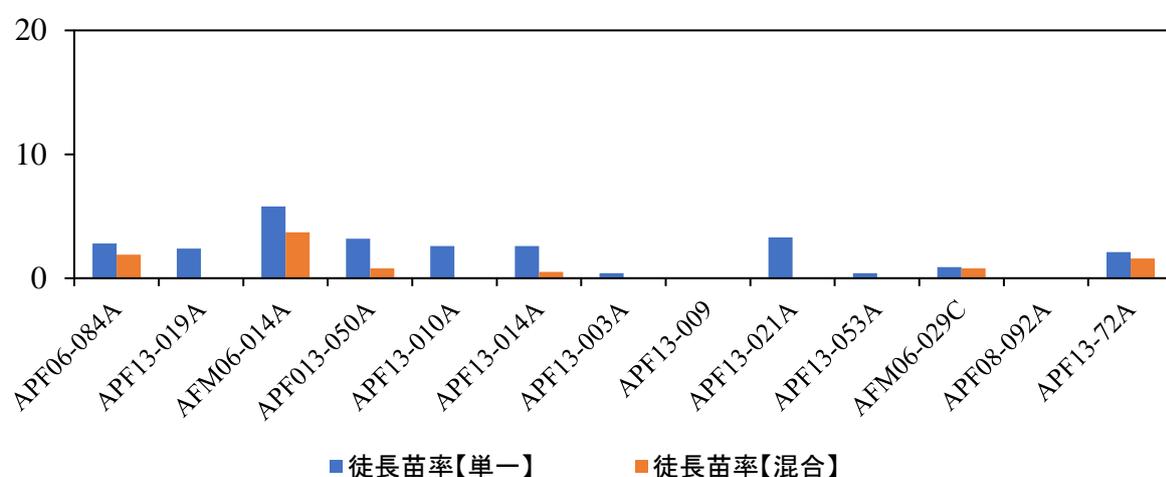


図 60. *Fusarium nygamai* MAFF239069 (*Fusarium fujikuroi* 複合種) と各 G 系統との単独接種および混合接種の徒長苗率

(5) *Fusarium circinatum* MAFF237756 との混合接種の影響

全ての菌株において混合接種によって単独接種に比べて徒長苗の発生が減少した。例えば、G 系統に APF13-053A を使用し、単独接種した徒長苗率は 24.5% だったのに対して *Fusarium circinatum* MAFF237756 と混合接種すると 7.7% まで減少した。G 系統に AFM06-014A を使用し、単独接種した徒長苗率は 23.2% だったのに対して、混合接種すると 2.8% まで減少した。このように、すべての菌株で混合接種によって徒長苗が減少した。混合接種による徒長苗の減少率は、APF13-021A で 96.1%、APF13-014A で 94.9%、APF13-050A で 88.1%、AFM06-014A で 87.9%、AFM06-029C で 85.4% であった。APF06-084A、APF13-003A、APF08-092A では混合接種により徒長苗の発生はみられなかった。(図 61)。

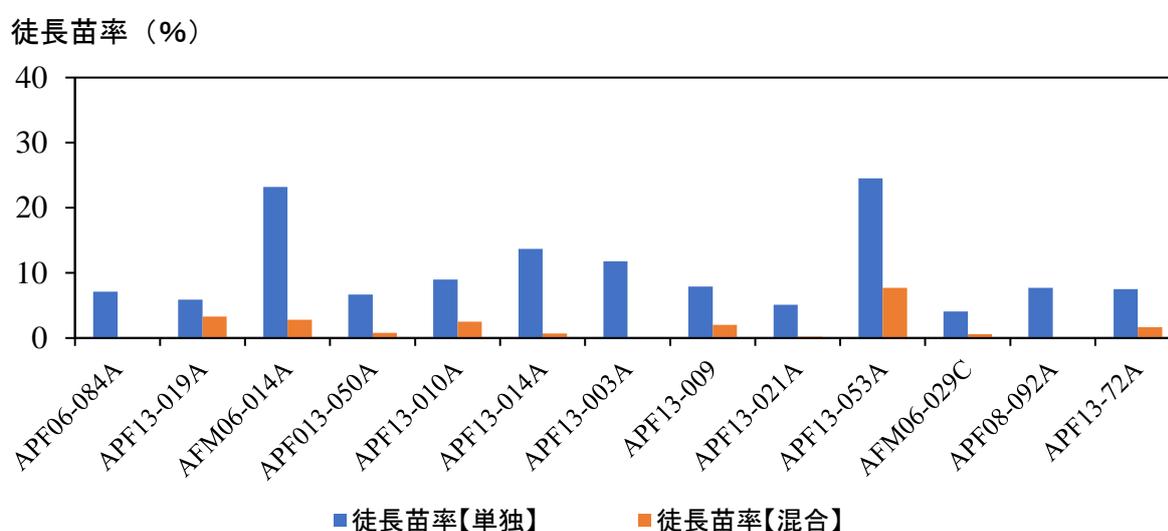


図 61. *Fusarium circinatum* MAFF237756 (*Fusarium fujikuroi* 複合種) と各 G 系統との単独接種および混合接種の徒長苗率

(6) *Fusarium proliferatum* MAFF511522 との混合接種の影響

全体的に徒長苗率は低いが、ほとんどの菌株で混合接種によって徒長苗の発生が減少した。例えば、G 系統に APF08-092A を使用し、単独接種した徒長苗率は 3.9% だったのに対して *Fusarium proliferatum* MAFF511522 と混合接種すると 0% まで減少し G 系統に APF13-014A を単独接種した徒長苗率は 3.8% だったのに対して混合接種すると 0.2% まで減少した。混合接種による徒長苗の減少率は APF13-014A で 94.7%、APF13-72A で 77.8%、APF13-053A で 70.4% であった。混合接種すると徒 AFM06-084A、AFM06-014A、APF13-010A、APF13-003A、APF13-009、APF13-021A、AFM029C、APF08-092A は混合接種で徒長苗は発生しなかった。(図 62)。

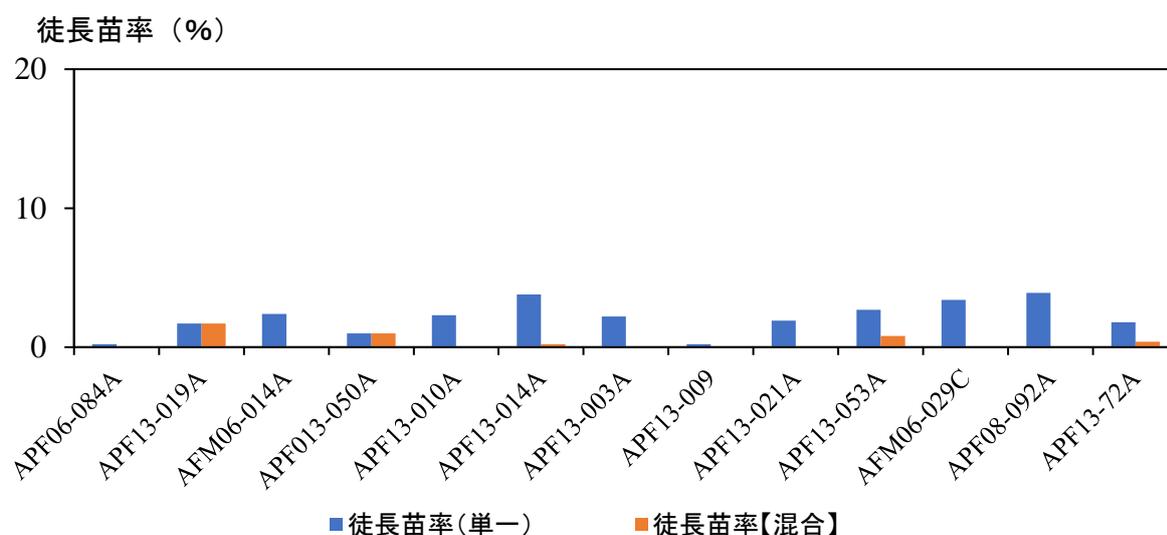


図 62. *Fusarium proliferatum* MAFF511522 (*Fusarium fujikuroi* 複合種) と各 G 系統との単独接種および混合接種の徒長苗率

(7) *Fusarium proliferatum* MAFF237537 との混合接種の影響

SLO211 の場合と同様に、ほとんどの菌株で混合接種によって単独接種に比べて徒長苗の発生が減少した。例えば、G 系統に APF13-010A を使用し、単独接種した徒長苗率は 8.1% だったのに対して *Fusarium proliferatum* MAFF237537 と混合接種すると 0.4% まで減少した。AFM06-029C を使用し、単独接種した徒長苗率は 5.9% だったのに対して、混合接種することで 0.2% まで減少した。混合接種による徒長苗の減少率は AFM06-029C で 96.6%、APF13-010A で 95.1% と、APF13-019A で 91.3%、APF13-009 で 80.0%、APF13-050A で 68.4% であった。APF06-084A、AFM06-014A、APF13-003A、APF13-021A、APF13-053A、APF08-092A、APF13-72A は混合接種で徒長苗は発生しなかった (図 63)。

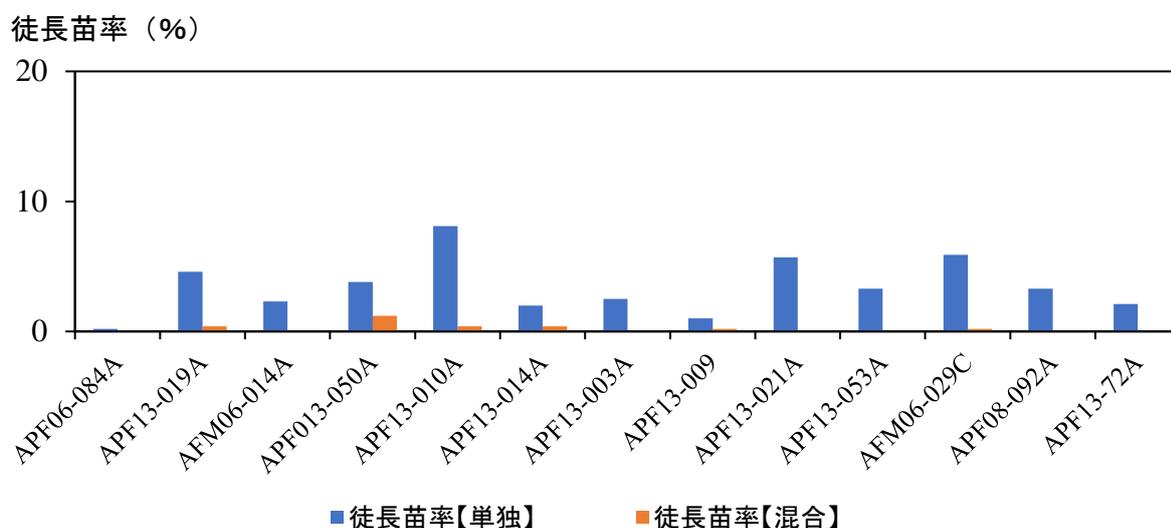


図 63. *Fusarium proliferatum* MAFF237537 (*Fusarium fujikuroi* 複合種) と各 G 系統との単独接種および混合接種の徒長苗率

(8) *Fusarium proliferatum* MAFF410715 との混合接種の影響

全ての菌株で混合接種によって単独接種に比べて徒長苗の発生が減少した。例えば、G 系統に APF13-053A を使用し、単独接種した徒長苗率は 20.6% だったのに対して *Fusarium proliferatum* MAFF410715 と混合接種すると 0.6% まで大幅に減少した。G 系統に APF13-021A を使用し、単独接種した徒長苗率は 13.4% だったのに対して混合接種することで 1.1% まで減少した。混合接種による徒長苗の減少率は、APF13-053A で 97.1%、AFM06-014A で 97.6%、APF13-021A で 91.8%、APF13-014A で 90.1%、APF13-019A で 89.8%、AFM06-084A で 88.8%、APF13-77A で 78.2%、APF13-050A で 20.0% であった。APF13-010A、APF13-003A、AFM06-029C、APF08-092A、APF13-72A は混合接種で徒長苗は発生しなかった (図 64)。

徒長苗率 (%)

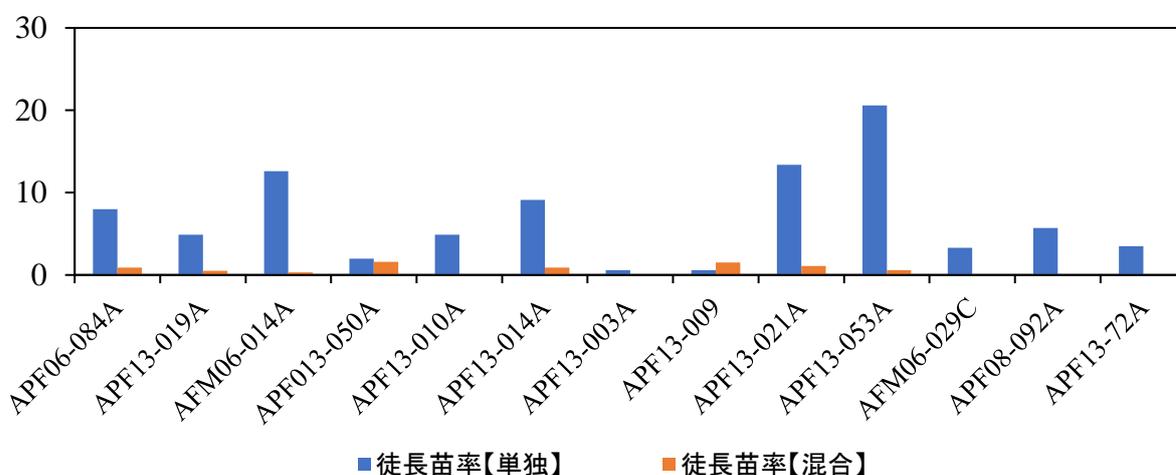


図 64. *Fusarium proliferatum* MAFF410715 (*Fusarium fujikuroi* 複合種) と各 G 系統との単独接種および混合接種の徒長苗率

2. 汚染種子を用いた小規模試験

SLO211 の単独接種での萎凋苗率は 3.7%で、徒長苗は発生しなかった。G 系統の徒長苗率は Nakata gf で 4.2%、APF13-003A で 2.5%、APF13-019A で 3.8%だった。G 系統の萎凋苗率は nakata gf で 0.2、APF13-003A で 0.2%、APF13-019A で 0%だった (図 65-d)。

SLO211 (F 系統) と G 系統の混合比率 1:1 の場合は、SLO211 との混合接種による徒長苗率は Nakata gf で 1.7% (減少率 59.5%)、APF13-003A で 0.8% (減少率 68.0%)、APF13-019A で 1.2% (減少率 68.4) と単独接種に比べて徒長苗率が減少した。一方で SLO211 との混合接種による萎凋苗率は Nakata gf で 3.3% (増加率 93.9%)、APF13-003A で 2.2% (増加率 68.0%)、APF13-019A で 2.1% (増加率 100%) と G 系統の単独接種に比べて萎凋苗率が増加した (図 65-a)。

SLO211 (F 系統) と G 系統の混合比率 1:2 の場合は、SLO211 との混合接種による徒長苗率は Nakata gf で 3.2% (減少率 23.8%)、APF13-003A で 2.3% (減少率 8.0%)、APF13-019A で 3.5% (減少率 8.0%) と単独接種に比べて徒長苗率が減少した。一方で SLO211 との混合接種による萎凋苗率は Nakata gf で 3.5% (増加率 94.5)、APF13-003A で 5.7% (増加率 93.5%)、APF13-019A で 4.8% (増加率 100%) と G 系統の単独接種に比べて萎凋苗率が増加した (図 65-b)。

SLO211 (F 系統) と G 系統の混合比率 2:1 の場合は、SLO211 との混合接種による徒長苗率は Nakata gf で 3.2% (減少率 23.8%)、APF13-003A で 1.4% (減少率 44.0%)、APF13-019A で 1.0% (減少率 73.7%) と単独接種に比べて徒長苗率が減少した。一方で SLO211 との混合接種による萎凋苗率は Nakata gf で 4.8% (増加率 95.8%)、APF13-003A で 2.6% (増加率 92.3%)、APF13-019A で 4.0% (増加率 100%) と G 系統の単独接種に比べて萎凋苗率が増加した (図 65-c)。

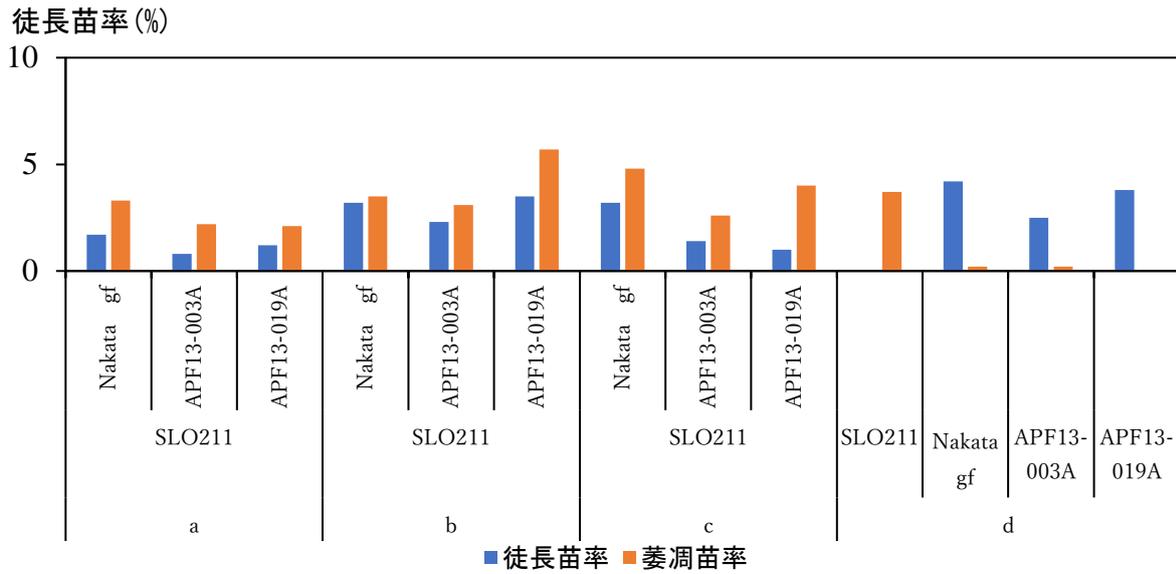


図 65. SLO211 (F 系統) と各 G 系統との混合接種および単独接種による徒長苗率

a:F 系統 : G 系統=1 : 1

b:F 系統 : G 系統=1 : 2

c:F 系統 : G 系統=2 : 1、

d:単独接種

混合接種 $1=1.0 \times 10^5$ 個/ ml

3. 通常育苗箱試験

調査は育苗期、移植 2 週間後、移植 3 週間後、移植 4 週間後に行った。

SLO211 および *Fusarium proliferatum* MAFF410715 の単独接種区では育苗期に徒長苗の発生はみられなかった。APF13-053A を単独接種した区では、育苗箱全体に徒長苗がみられた。SLO211 と APF13-053A を 1:1 の混合比で行った区における徒長苗の 3 区の平均は 154 本、1:5 では 48 本、5:1 では 20.3 本であった。*Fusarium proliferatum* MAFF410715 と APF13-053A を 1:1 の混合比で行った区における徒長苗の 3 区の平均は 84.7 本、1:5 では 157.3 本、5:1 では 24.7 本であった（第 11 表）。

SLO211 および *Fusarium proliferatum* MAFF410715 の単独接種区では本田移植 2 週間後も徒長苗の発生はみられなかった。APF13-053A を単独接種した区では、31 本の徒長苗がみられた。SLO211 と APF13-053A を 1:1 の混合比で行った区では徒長苗を移植前に抜き取りした場合で 0 本（枯死株 39 株）、1:5 では 0 本（枯死株 39 株）、5:1 では 0 本（枯死株 13 株）であった。移植前抜き取りしない場合 1:1 で 0 本（枯死株 50 株）、1:5 では 0 本（枯死株 19 株）、5:1 では 0 本（枯死株 87 株）であった。*Fusarium proliferatum* MAFF410715 と APF13-053A を 1:1 の混合比で行った区では徒長苗を移植前に抜き取りした場合で 0 本（枯死株 70 株）、1:5 では 0 本（枯死株 72 株）、5:1 では 0 本（枯死株 34 株）であった。移植前抜き取りしない場合 1:1 で 0 本（枯死株 38 株）、1:5 では 0 本（枯死株 72 株）、5:1 では 0 本（枯死株 48 株）であった。

SLO211 および *Fusarium proliferatum* MAFF410715 の単独接種区では本田移植 3 週間後も徒長苗の発生はみられなかった。APF13-053A を単独接種した区では、21 本の徒長苗がみられた。SLO211 と APF13-053A を 1:1 の混合比で行った区では徒長苗を移植前に抜き取りした場合で 0 本、1:5 では 3 本、5:1 では 2 本であった。移植前抜き取りしない場合 1:1 で 4 本、1:5 では 3 本、5:1 では 0 本であった。*Fusarium proliferatum* MAFF410715 と APF13-053A を 1:1 の混合比で行った区では徒長苗を移植前に抜き取りした場合で 0 本、1:5 では 0 本、5:1 では 0 本であった。移植前抜き取りしない場合 1:1 で 0 本、1:5 では 0 本、5:1 では 0 本であった。

SLO211 の単独接種区では本田移植 4 週間後も徒長苗の発生はみられなかった。*Fusarium proliferatum* MAFF410715 の単独接種区では 2 本の徒長苗がみられた。APF13-053A を単独接種した区では、35 本の徒長苗がみられた。SLO211 と APF13-053A を 1:1 の混合比で行った区では徒長苗を移植前に抜き取りした場合で 0 本、1:5 では 4 本、5:1 では 2 本であった。移植前抜き取りしない場合 1:1 で 0 本、1:5 では 4 本、5:1 では 3 本であった。*Fusarium proliferatum* MAFF410715 と APF13-053A を 1:1 の混合比で行った区では徒長苗を移植前に抜き取りした場合で 4 本、1:5 では 6 本、5:1 では 7+本であった。移植前抜き取りしない場合 1:1 で 0 本、1:5 では 6 本、5:1 では 8 本であった（第 12 表）。

表-11. 育苗期の徒長苗数

菌株	徒長苗数	
	I	II
SLO211	I	0
	II	0
	III	0
平均	0.0	
F.proli	I	0
	II	0
	III	0
平均	0.0	
APF13-053A	I	全部
	II	全部
	III	全部
平均		
SLO211 × APF13-053A (1:1)	I	206
	II	106
	III	150
平均	154.0	
SLO211 × APF13-053A (1:5)	I	70
	II	38
	III	36
平均	48.00	
SLO211 × APF13-053A (5:1)	I	23
	II	34
	III	4
平均	20.3	
F.proli × APF13-053A (1:1)	I	84
	II	64
	III	106
平均	84.7	
F.proli × APF13-053A (1:5)	I	162
	II	172
	III	138
平均	157.3	
F.proli × APF13-053A (5:1)	I	22
	II	28
	III	24
平均	24.7	

表-12. 本田の発病調査

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

第 8 章 考察

ばか苗病の発生は、2000 年以降わが国で増加傾向にある。近年、EBI 系剤に対する低感受性菌や耐性菌の発生により、効果低下が報告されている一方で、ジベレリン産生菌の他にフモニシン産生菌が存在する (Suga et al. 2018)。このことから、農家圃場で発生している育苗期に徒長苗の発生がみられず、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は、フモニシン産生菌の増加による発病遅延の影響で健全苗との判別が困難となり、抜き取りがされないまま本田に移植されているのではないかと着想に至った。しかしながら、その発病遅延はフモニシン産生菌がジベレリン産生菌に重複して感染することで生じる現象なのか、薬剤の影響によるものか定かではないため、小規模試験で発病抑止が起こるか調べることをはじめに行った。

まず、2 種の小規模試験において、G 系統と F 系統あるいは *Fusarium fujikuroi* 複合種を混合接種した処理区は G 系統を単独接種した処理区に比べて徒長苗が減少した。このことから、G 系統と F 系統あるいは *Fusarium fujikuroi* 複合種の混合感染は徒長苗の発病抑止を引き起こすことが明らかとなった。

続いて、再度通常育苗箱で育苗し、重複感染も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に調査を行った。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。その苗を本田に植えたところ移植 2 週間では混合接種区の徒長苗の発生は見られずほとんどが枯死していた。移植 3 週間では SLO211 と APF13-053A の混合接種区で徒長苗はわずかにみられた。移植 4 週間後には混合接種区の徒長苗は増加傾向にあった。この結果により、重複感染は農家圃場の発病遅延減少の要因となることが明らかとなった。緒言でも述べたようにベノミル剤および EBI 系剤であるプロクロラズ剤やペフラゾエート剤に対する低感受性菌や耐性菌の発生は、ばか苗病の発生が問題となった要因の一つである。低感受性菌や耐性菌が確認されていない地域でも薬剤の効果が低下する事例が散見されていた。この原因としては、①消毒に用いた薬剤の効果が持続するために本来浸種から催芽まで水交換は極力控えるべきであるが実際農家現場では水交換を頻繁に行われていた。②農家施設がばか苗病菌で汚染していたことがあげられる (藤ら、2015)。現在 EBI 剤では、イプコナゾール剤が種子消毒剤として十分な効果を示している。しかしながら、以前から EBI 剤に感受性の低い F 系統や *Fusarium fujikuroi* 複合種の菌密度の増加や分布拡大が懸念されおり (井上、1992 ; 藤ら、2015 ; 森谷ら、2020)、今回の試験でこれら菌株がばか苗病の発病遅延に大きく影響していることがはじめて明らかにされた。今後、EBI 剤の使用に当たっては、単に G 系統の感受性だけでなく、F 系統や *Fusarium fujikuroi* 複合種の発生状況にも注視する必要がある。現状イプコナゾール剤は高い防除効果を示しているが、今後感受性が低くなる可能性も考えられている。そうなった場合、代替薬剤は微生物防除資材と金属銀薬水和剤しかない。したがって、耐性菌発生リスクを減らすためにも、今後は同種薬剤の連用を避けるとともに EBI 剤に頼らない種子消毒方法を考えていく必要がある。

第 8 章 総合考察

本研究では、環境負荷の少ない水稻の種子伝染性病害の種子消毒技術について研究を行った。具体的には第 3 章において、事前乾燥処理を取り入れた温湯消毒の防除効果を、第 5 章で、弱酸性次亜塩素酸水の防除効果について調査した。本研究の成果が今後の農業および作物病害防除の手助けとなることを願い、得られた結果をもとに考察していく。

種子消毒は、種子伝染性病害の防除で最も重要な工程であり、本研究の核となる部分である。種子消毒の歴史は古く、有機水銀殺菌剤が長年使われてきた。いもち病に対しては石灰ボルドーが唯一の防除剤であったが、減収してしまうことがあるという欠点があった（石山、1960）。その代替薬剤となったのは有機水銀であった。しかしながら、米の中に水銀が残留することが判明し、使用制限、使用禁止が定義された（水上、1960）。その後、多くの化学合成農薬が開発・普及し、水稻栽培に大きく貢献してきた。化学合成農薬による防除は、単体での防除効果が大きい。特にわが国は、温暖多雨な気候であるため、病害虫が発生しやすく、病害虫による減収、品質低下を防ぐために化学合成農薬は必須の防除技術である。一方、過剰施用や連続使用による耐性菌が発生するリスクが常に付随する。水稻病害の化学合成農薬に対する耐性菌はこれまでも数多く報告されており、近年発生が確認された EBI 剤の一種であるプロクロラズ剤やペフラゾエート剤に対する耐性菌の発生は今後、分布拡大が危惧されている。種子消毒剤として防除効果の高いこの EBI 剤に代わる薬剤は限られているため、化学合成農薬に依存しない種子消毒体系を早急に考える必要がある。

本研究では、まず事前乾燥処理を取り入れた温湯消毒の防除効果を検討した。本研究を行う前提として、早坂ら（2001）は、コシヒカリを 60°C 15 分間で処理するとあきたこまちと同じ 99% の発芽率を示したと報告している。ところが 60°C 25 分間で処理するとあきたこまちは 94%、コシヒカリは 90% 以下となると示されている。また、ひとめぼれの種子を 62°C 20 分間で処理すると 93% の発芽率を維持したと述べている。このような報告をもとに金勝（2011）は、ひとめぼれを用いて高温耐性の解析について検討している。農業現場で流通している種籾の水分含量は 13~15% であるが、例えば水分含量 14.7% の日本晴の種籾は 66°C 10 分間で温湯処理すると 77.3% の発芽率だが、水分含量 9.1% では 96% まで向上することを見出した。ばか苗病に対して温湯処理は 63°C 以上が必要であることが報告されている（林ら、1999）。現在農家圃場で普及している温湯消毒機「タイガーカワシマ社の湯芽工房」の上限温度が 65°C であることから生産現場で普及していく技術として事前乾燥処理を組み込み 60°C より 5°C 高い「65°C 10 分間で処理する温湯消毒法」の新たな方法を確立した。第 3 章でその防除効果について明らかにしたように、ばか苗病（自然感染種子）、いもち病、もみ枯細菌病、苗立枯細菌病に対して防除効果が化学合成農薬と同等の高い防除技術である。しかしながら、褐条病やごま葉枯病、開花期接種のような汚染程度が高い種子では事前乾燥処理を取り入れた温湯消毒のみでは十分な防除効果が得られない可能性もある。そこで、褐条病に対しては本新技術と醸造酢液剤（商品名：エコフィット）との体系処理を検討した。その結果、事前乾燥処理を取り入れた温湯消毒と醸造酢液剤との体系処理によ

って防除効果が認められたが、出芽率が低下する事例が認められた（データ未記載）。この結果から、醸造酢液剤との体系処理は、褐条病対策として有効であるが、苗立率が低下しないことを確認した上で実施する必要があるものと考えられる。また、従来の温湯消毒と同様に、いったん種子表面に存在する微生物相をなくし無菌な状態にしているため温湯消毒後に外部から病原菌が侵入した場合、競合微生物がないため、管理によっては再感染してかえって発生が多くなる事例が報告されている（関原ら、2008）。温湯消毒では、耐性菌の出現は認められていない。また、前述したように事前乾燥処理を取り入れた温湯消毒は実用上問題ない程度で化学合成農薬と同等の防除効果を得られる傾向があることから、この新たな温湯消毒法は実用的かつ効果のある種子消毒技術となりうるということが期待されている。一方で、農家圃場での事前乾燥処理を取り入れた温湯消毒の実用性の検証により、従来法よりもばか苗病の発生が抑えられたが完全ではなかったことや実際の農家では許容量を超えた量の種子を一度に温湯消毒するなど温湯消毒のやり方に問題があることが明らかとなった。このことから、農家への技術普及においては、きめ細やかな技術指導が重要となる。

第4章では弱酸性次亜塩素酸水の防除効果を検討した。ばか苗病、いもち病（苗いもち）、苗立枯細菌病、もみ枯細菌病、褐条病に対して防除効果を示し、医療の分野だけでなく農業分野での実用性の可能性を得た。電解次亜塩素酸水は特定防除資材に指定されており、キュウリのうどんこ病やイチゴの灰色かび病を対象としている。しかしながら、この弱酸性次亜塩素酸水は、従来のものと製造工程が異なり、現状の特定防除資材には該当しないことから、農業上の実用化に向けた課題として農薬登録あるいは特定防除資材への指定が必要である。弱酸性次亜塩素酸水は、医療の分野で手指消毒や防菌消臭剤として使用されていることから安全性が高く、微生物や有機物に接触すると水に戻ることから今後特定防除資材として指定はされる可能性は高い。しかしながら、そのためにはその根拠となる資料づくりや申請等解決すべきしていく課題も多い。また、本製剤が農薬登録あるいは特定防除資材として登録ができたとしても、これをどのように普及させていくかについての課題は大きい。そのためにも今後は農薬企業等その分野の専門企業との協力が不可欠である。

現在スマート農業の推進や省力化への取り組みが加速している。その中で、高密度播種（以下、密播という。）は育苗箱数の減少と農地集積・集約が増加してきている現代では、育苗施設を新設しなくても田植え面積を増やせること、移植時の欠株を少なくできるメリットがある。一方で、密播は、種子や苗同士の間隔が狭くなるということでもあり、種子伝染性病害やムレ苗の発生に注意が必要である。今回報告した事前乾燥を取り入れた温湯消毒技術や弱酸性次亜塩素酸水を利用した種子消毒についても密播で問題が生じないか検討する必要がある。現状、化学合成農薬を全く使用しないで農作物の安定生産においてすることは現実的に困難である。一方、政府では地球温暖化、生産者の減少などの課題に直面する中、食料の安定供給を図るためには将来を見据えた農林水産行政を推進していく必要があると主張している。農林水産業の脱炭素化や環境負荷の少ない持続可能な食料システムの構築することが「みどりの食料システム戦略」の目標であり、化学合成農薬にのみ依存しない総合的な病害虫管理体系の

確立・普及や化学合成農薬の使用量を 2050 年までに 50%低減し、低リスク農薬への転換することを目標としている。一方で、その後に起きたウクライナ侵攻は日本の農業にも影響しており、化学肥料の原料の調達が不安定になっており、減農薬栽培や有機農業を行うためにはハードルは高い。

化学合成農薬に依存し農業生産を行ってきたわが国にとって、化学合成農薬の使用量の低減は大きな課題となるに違いない。ネオニコチノイド系農薬を含めた化学合成農薬は農業生産で作物の品質や収量を維持するために欠かせないものであったが、近年、人体や生態系に影響するとして懸念されている。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共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える。

現在、既存の化学合成農薬についても再評価が始まっている。今後は農家自身も本当に安全な農薬を精査し、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。

摘要

日本において 60°C 10 分間の温湯消毒技術が水稻種子の消毒方法として広く普及している。しかしながら、本技術の効果が化学合成種子消毒剤の効果よりも劣ることから、ばか苗病の発生が問題視されるようになった。そこで、本研究では、化学合成農薬に頼らない水稻種子伝染性病害の防除技術の防除効果あるいは実用性の評価と農家圃場で発生しているばか苗病の発生実態の解明について検討した。

近年、種子の籾含水率を 10%以下にすると温湯消毒時の高温耐性が向上し、65°C 10 分間の温湯消毒が可能となることが報告された。しかしながら、本技術の種子消毒としての効果は検証されていなかった。そこで、第 3 章では事前乾燥を取り入れた 65°C 10 分間の温湯消毒によってばか苗病、いもち病（苗いもち）、苗立枯細菌病およびもみ枯細菌病（苗腐敗症）に対して種子消毒効果が向上するか検証した。自然感染種子を用いてばか苗病に対する効果を評価した結果、本技術は従来の 60°C 10 分間の温湯消毒よりも防除効果が向上する傾向が認められた。いもち病に対しても本技術は従来の 60°C 10 分間の温湯消毒および化学合成種子消毒剤よりも防除効果が向上する傾向が認められた。加えて、本技術は苗立枯細菌病およびもみ枯細菌病（苗腐敗症）に対しても従来法および銅含有種子消毒剤よりも防除効果が向上する傾向が認められた。これらの結果は、事前乾燥を取り入れた 65°C 10 分間の温湯消毒技術が従来法よりも実用的かつ効果のある種子消毒技術であることを示した。

一方、植物病害に対して強酸性電解水を用いた防除が行われている。イネにおいてもいもち病や細菌病でもその効果が検討されてきた。しかしながら、これまでに使用されている強酸性電解水については主成分である次亜塩素酸が不安定であるため、有機物が存在すると容易に効力が失われてしまうことが課題とされていた。そこで、第 5 章では有効成分の長期保存が可能な弱酸性次亜塩素酸水を用いることでばか苗病、いもち病（苗いもち）、苗立枯細菌病、もみ枯細菌病（苗腐敗症）および褐条病に対して種子消毒効果があるか検証した。その結果、催芽時処理によりばか苗病、いもち病（苗いもち）、もみ枯細菌病（苗腐敗症）、苗立枯細菌病および褐条病に対して防除効果が認められた。浸種前処理については、ばか苗病、いもち病（苗いもち）で効果が認められたものの、苗立枯細菌病では効果が認められなかった。加えて、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の防除効果の比較をいもち病（苗いもち）、苗立枯細菌病、もみ枯細菌病、褐条病に対して行った。その結果、いもち病、ばか苗病、苗立枯細菌病、褐条病に対して、弱酸性次亜塩素酸水は強酸性電解水および次亜塩素酸ナトリウム水溶液と同等かそれ以上の防除効果が認められた。もみ枯細菌病に対しては、強酸性電解水よりも防除効果がやや劣る結果となった。

ばか苗病の防除として EBI 系種子消毒剤が使用されてきた。しかしながら、日本各地でプロクロラズ剤やペフラゾエート剤に対する低感受性菌や耐性菌が発生している。また、農家圃場では育苗期に徒長せずに、本田に移植直前あるいは移植直後に徒長する現象が散見されていた。この現象は耐性菌が発生していない EBI 剤においてもみられたことから薬剤の効果低下だけの原因ではないと考えられた。第 6 章では F 系統や *Fusarium fujikuroi* 複合種の分布拡大による重複感染が影響していることを明らかにするため、小

規模試験と通常育苗箱での育苗と苗を本田に移植してばか苗病の発生推移を観察した。その結果、小規模試験では、G 系統と F 系統や *Fusarium fujikuroi* 複合種が混合感染することで単独感染よりも徒長苗が減少した。各菌株の汚染種子を用い、その混合比率を変えて試験したところ、いずれも F 系統や *Fusarium fujikuroi* 複合種が混合感染すると徒長苗が減少した。通常育苗箱での試験では、育苗期については小規模試験と同様の結果、混合感染すると徒長苗は減少した。本田移植後のばか苗病発生推移については、G 系統単独接種区では、移植 2 週間後の調査で徒長苗の発生がみられたのに対し、混合接種区では移植 3 週間後以降に徒長苗が散見されるようになった。以上の結果から、本田に移植後に徒長苗が出現する現象は F 系統や *Fusarium fujikuroi* 複合種が混合感染の要因の 1 つであることが明らかとなった。

引用文献

1. 畔上耕児 (1986). イネ苗立枯細菌病とその病原細菌の分類・同定に関する研究. 日植病報 52: 382.
2. 足立操・山田員人 (1975). イネごま葉枯病による穂枯れの生態と防除に関する研究. 島根県農業試験場研究報告第 13 号 111-135.
3. 天野徹夫・尾嶋正弘・中沢靖彦・山田芳照 (1986) イネ馬鹿苗病菌の各種種子消毒剤に対する感受性について. 日植病報, 52 : 515-516 (講要).
4. 生井恒雄・堤佳奈子 (2008). 野外におけるイネいもち病の第一次伝染源に関する研究 (1) ビニール袋に被覆され積雪下で越冬したもみ殻におけるイネいもち病菌の生存と第一次伝染源としての役割. 山形大学紀要 15 : 155-164.
5. 生井恒雄 (2012). いもち病菌の生態に関する研究. 北日本病虫研報 63 : 1-6 [特別講演].
6. 石井正義 (1975). 浸種中におけるイネ馬鹿苗病の感染とその後の発病. 日植病報 41(3) : 246.
7. 石井正義 (1977). イネ馬鹿苗病の防除に関する研究第 1 報 浸種中における感染. 四国植防 12 : 1・5.
8. 石山哲爾 (1960). 有機水銀殺菌剤 18 卷 8 号 550-564.
9. 井口真造・伊藤春男・渡辺雄幸 (1955). 保温折衷苗代と稲馬鹿苗病発生との関係. 北日本病害虫研究会年報 2 号 41-45.
10. 伊藤誠哉・木村甚弥 (1931). イネ馬鹿苗病に関する研究. 北海道農事試報告 27 : 1-94.
11. 井上幸次・伊達寛敬・粕山新二・岡本康博 (1991). イネばか苗病菌のトリフルミゾール剤に対する感受性と感受性の異なる菌の保菌糞での消毒効果. 日植病報 57 (3) : 432.
12. 井上幸次 (1992). イネばか苗病菌の E B I 剤に対する感受性と薬剤の防除効果. 第 2 回殺菌剤耐性菌研究会シンポジウム講演要旨.
13. 井上幸次・粕山新二・畑本求 (1992). トリフルミゾール剤に対して感受性の異なるイネばか苗病菌の保菌糞での種子消毒効果. 日植病報 58 (4) : 581.
14. 井上芳次・粕山新二 (1997) イネばか苗病菌のトリフルミゾール剤、ペフラゾエート剤に対する感受性と薬剤の種子消毒効果. 岡山農試研報 15 : 35-43.
15. 井田陽介・北沢健 (2015) 佐賀県における育苗時のイネばか苗病多発の原因と対策. 日本農薬学会誌 40 (1) 8-11.
16. 井上幸次・粕山新二・畑本求 (1995). 岡山県におけるベノミル耐性イネばか苗病菌の発生実態とその防除. 岡山農試研報 (13).
17. 石原雅之・服部秀美・中村伸吾・寺田稔 (2015). 緩衝樹脂法による微弱酸性次亜塩素酸水を用いた対微生物 (B) 防護. 防衛装備庁技術シンポジウム 2015.
18. 植松 勉 (1985). イネもみ枯細菌病の病原細菌. 植物防疫第 39 卷 第 9 号 403-409.

19. 梅沢順子・向嶋博行 (2003) 温湯処理がイネ育苗期における細菌性病害の保菌および発病抑制に及ぼす影響. 北陸病虫研報 52 : 45 (講要).
20. 梅沢順子・前島専行・守川俊幸 (2004) イネ褐条病の催芽時グルコース処理における pH が発病に及ぼす影響. 日本植物病理学会報 70:67.
21. 梅原吉広・河原俊明・小松正彦 (1977). ばか苗病発病ほ場における種子の保菌状態と推移について. 北陸病害虫研究会報 第 25 号 21-23.
22. 江口直樹・山下 亨・赤沼礼一・内藤秀樹 (1999). 種子伝染によるイネ苗いもち発病の実証 1. 関東東山病害虫研究会報 第 46 集.
23. 江口直樹・山下 亨・武田和男・赤沼礼一 (2000). 温湯処理機による水稻種子伝染性病害の防除. 関東東山病虫研報 47: 27-29.
24. 江口直樹・山下亨・武田和男・赤沼礼一 (2000). 温湯処理機による水稻種子伝染性病害の防除. 関東東山病害虫研究会報告 47 : 27-29.
25. 大倉哲夫・岩田和夫・隅田喜代司・遠藤賢治 (1973). 新潟県におけるイネ穂枯れの発生実態について—小黒菌核病菌による穂枯れ. 北陸病害虫研究会報 第 22 号 14-16.
26. 太田光輝・丁 林堅 (1994) 関東病虫研報 41 : 9-11.
27. 太田光輝・丁 林堅 (1994). イネ苗立枯細菌病及びもみ枯細菌病の育苗期における薬剤防除法. 関東東山病害虫研究会年報 第 41 号 9-11
28. 太田光輝 (1996). 真空浸漬法によるもみ枯細菌病苗腐敗症の防除. 植物防疫 50 (4) 157-160.
29. 小川勝美・諏訪正義 (1981). 1980 年岩手県に分布するイネ馬鹿苗病菌のベノミル感受性について. 北日本病害虫研報 32 : 160
30. 小川勝美・武田真一 (1990). ベノミル剤耐性イネばか苗病菌の水田における年次変動. 日本植物病理学会報 56 : 247-249.
31. 大畑貫一 (1989). 稲の病害 -診断・生態・防除-. 全国農村教育協会.
32. 小笠原孝一・吉野嶺一・杉山 稔・榎吉寿夫 (1999) アズキシ ストロビンのいもち病菌およびごま葉枯病菌に対する分生 胞子形成阻害効果. 北日本病虫研報 50 : 28-31.
33. 岡部繭子・馬場 正・陶山一雄 (2009). 日本における水稻種子温湯消毒の普及について. 日作紀 78: 515-517.
34. 奥田充・井上博喜・宮川久義 (2000). イネもみ枯細菌病を抑制する拮抗微生物 CAB- 02 の 16S rRNA の塩基配列の解析
35. 小倉玲奈・美濃健一・白井佳代 (2011). 生物農薬、温湯消毒と催芽時食酢処理を組み合わせた体系処理によるイネ種子伝染性病害の効果的な防除. 北日本病虫研報 62: 18-25.
36. 越智昭彦・横山克至 (2016). 温湯種子消毒を使用した水稻用育苗施設におけるイネばか苗病の感染動態と伝染源北日本病虫研報 67 : 28-32.
37. 乙藤まり・角重和浩・吉田桂輔 (1988). 九病虫研会報 34 : 1-4.

38. 小野小三郎・鈴木穂積 (1960). 稲熱病及び稲少粒菌核病の発生機作並びに発生生態に関する研究. 病害虫発生予察特報 4 : 1-156.
39. 小野小三郎 (1965). いもち病に関する序章. 化学と生物 3 巻 5 号 246-249.
40. 勝部和則・武田眞一 (1997). プール育苗によるイネもみ枯細菌病苗腐敗症およびイネ苗立枯細菌病の発病抑制. 北日本病虫研究会報 48 号 13-46.
41. 門田育生・大内昭 (1983). 幼苗期におけるイネ褐条病の病徴. 日植病報 49 : 561-564.
42. 門田育生・大内昭 (1987). イネ褐条病細菌による籾の病徴. 北陸病虫研報 35:17-20.
43. 門田育生 (1993). イネ褐条病の伝染環究明と発病制御に関する研究. 日植病報 59-242.
44. 門田育生 (2002). イネ褐条病とその病原細菌. 北陸病虫研報 50 : 95-98.
45. 金勝一樹・三田村芳樹・岡崎直人・佐野直人・山田哲也・村田和優 (2013). 水稻種子の水分含量を低下させることによる温湯消毒時の高温耐性の向上. 日作紀 82: 397-401.
46. 金子 誠 (2008). 水稻種子消毒における温湯浸漬処理技術の変遷. 関西病虫研報 50: 29-31.
47. 金田尚也ら (2011) 日植病報 7 : 209 (講要).
48. 北村義男 (1975). イネ馬鹿苗病防除に関する研究 1 種もみ比重選の防除効果におよぼす 影響. 関西病 虫害研究会報第 17 号 32-37.
49. 北村義男・穂積隆夫・田中徳巳 (1982). ベノミル剤耐性イネ馬鹿苗病菌の出現. 日植病報 48 : 380 (講要).
50. 木村教男・小川正臣 (2005). ベノミル水和剤灌注による育苗期イネいもち病の防除. 日植病報 71 : 111-118.
51. 清田裕司 (2016). 福島県におけるイネもみ枯細菌病とイネ苗立枯細菌病の薬剤防除効果. 北日本病虫研報 67 : 24-27.
52. 草刈眞一・阿知波信夫・阿部一博・岡田清嗣 (2013). イチゴ灰色かび病およびキュウリ炭疽病に対する酸性電解水散布の防除効果. 関西病虫研報 55 : 17-21.
53. 栗林数衛 (1929 a). 病虫害雑誌 16 (1) 25~38.
54. 栗林数衛・市川久雄 (1952). 稲熱病の発生予察に関する研究. 長野農試特別報告 13 : 1-229.
55. 黒田克利・鈴木素弘 (2002). イネ種子の温湯消毒に関する研究. 農業電化 55: 17-21.
56. 古賀博則 (2003). イネいもち病の細胞学的研究 I. いもち病菌の感染と発病. 北陸病虫研報 52 : 1-6.
57. 越水幸男 (1983). AMeDAS の利用による葉いもちの発生予察法. 植物防疫 第 10 号 454-457.
58. 後藤和夫・大畑貫一 (1961). 日植病報 25 : 1 -9.

59. 後藤和夫・大畑 貫一(1956) .) 稲の新しい細菌病 (褐条病及び靱枯性細菌病). 日植病報 21 (1) : 46-47.
60. 後藤和夫・大畑貫一・佐藤善司・平野喜代人 (1959). 日植病報 24 : 1.
61. 後藤孝雄 (1980). イネもみ枯細菌病の穂発生の生態と防除. 北日本病虫研報 31: 58-59.
62. 小泉信三・白土宏之・片岡知守・山口誠之 (2009). 水稻湛水高密度散播直播栽培におけるいもち病の発生の様相と薬剤費の低減防除. 北日本病虫研報 60 : 16-24.
63. 小泉信三 (2018). イネいもち病の発生生態と防除. 植物防疫 第 72 巻 第 2 号 112-125.
64. 小西良子 (2006) カビ毒の毒性と作用機序および最近の知見. FFT ジャーナル 211 (2) : p1004-1008.
65. 小林 隆・ 兼松誠司・ 関矢博幸 (2012). 有機栽培に使用できるケイ酸資材の イネいもち病防除効果. 北日本病虫研報 63 : 22-26.
66. 小林次郎 (1984). 発生初期における葉いもちの疫学的研究. 秋田農試研報 26: 1-84.
67. 小林正伸・岩撫才次郎 (1988). 神奈川県におけるベノミ耐性イネばか苗病菌の発生. 関東東山病害虫研究会年報 35 巻 1-8.
68. 小林正伸・米津和恵・金子晃三 (1993) 神奈川県での 1991 年のイネばか苗病菌の発生原因と EBI 剤感受性. 関東東山病害虫研究会年報, 第 40 集 : p15-18.
69. 斉藤初雄 (2009) フザリウム毒素 (フザリウムトキシン). 微生物遺伝資源利用マニュアル (25) : p1-15.
70. 笹原教子 (2013). 育苗管理方法がイネばか苗病の発生に及ぼす影響. 宮城県古川農業試験場研究報告 11 号 85-92.
71. 佐藤幸夫・土橋 茂 (1986). イネごま葉枯病罹病種子の比重選およびチウラム・ベノミル剤湿粉衣 と罹病苗発生との関係 . 北日本病虫研報 37 : 46-47.
72. 白井佳代・丹野久・小倉玲奈・五十嵐俊成・田中文夫 (2003). 北海道における水稻の温湯種子消毒による種子伝染性病害対策. 北海道立農試集報 85 : 29-32.
73. 白井佳代・小倉玲奈・佐々木亮 (2008) 催芽時食酢処理による水稻の褐条病防除対策. 北農 75 : 108- 111.
74. 須賀晴久 (2015) *Fusarium fujikuroi* 種複合体のフモニシン生合成遺伝子クラスターの進化. Japanese Society of Mycotoxicology. 65 (2) : p121-130.
75. 菅原直人・小林 隆・長谷 修 (2021). 葉面濡れセンサーを用いた葉いもちの発生子予察. 生物と気象 21 巻 74-80.
76. 鈴木穂積 (1969). いもち病と気象. 農業気象 第 24 巻 第 4 号 211-218.
77. 鈴木穂積・藤田佳克 (1985). 機械移植培イネにおけるいもち病の発生生態と防除. 東北農試研報 71: 59-74.
78. 鈴木穂積・高橋正二・藤田佳克・関田亮一 (1987). イネばか苗病徒長苗の移植による減収. 北日本病虫研報 38:26-28.

79. 鈴木智貴・宮野法近 (2017). 水稻の種子予措をおこなう作業場環境からのイネばか苗病菌の検出. 宮城古川農試報 12 : 67-72.
80. 鈴木智貴 (2017). 温湯浸漬処理後の水稻種子におけるイネばか苗病感受性と育苗工程のリスク評価. 宮城古川農試報 12 : 73-80.
81. 鈴木穂積・高橋昭二・藤田佳克・園田亮一 (1987) イネばか苗病徒長苗の本田移植後の症状推移. 北日本病虫研報 38 : 181 (講要).
82. 東海林久雄・木村和夫 (1977). いもち病防除剤の育苗箱施用による本田いもち病の防除, 北日本病虫研究会報 第 28 号 57.
83. 角田佳則 (2015). イネもみ枯細菌病の生態解明と防除技術の開発に関する研究.
84. 角田佳則 (2018). イネごま葉枯病の発生生態と防除. 植物防疫 第 72 巻 第 9 号 50-55.
85. 関原順子・向嶋博行 (2008) 温湯浸漬と催芽時食酢添加処理を組み合わせたイネ種子伝染性病害の防除. 北陸病虫研報 57 : 1-9.
86. 瀬戸房太郎 (1928). 稻馬鹿苗病の研究 第一報 馬鹿苗病及び馬鹿苗現象生成に関する考察. 日植病報 2 巻 2 号 118-139.
87. 瀬戸房太郎 (1933). 稻馬鹿苗病の研究 第 4 報 土壌温度と土壌伝染による発病との関係に就いて. 植物病害研究 第 2 巻 138~153.
88. 十河和博 (1985). もみ枯細菌病の四国における発生の現状 特集 : もみ枯細菌病 [2]. 植物防疫 第 39 巻 第 9 号 398-402.
89. 園田亮一・宮坂篤・岩野正敬 (2000). イネいもち病, ばか苗病菌保菌種子に対する電解水の消毒効果. 日植病報 66 (3) : 276.
90. 園田亮一 (2003). 酸性電解水によるイネ種子伝染性病害防除の可能性. 植物防疫 第 57 (5) : 15-18.
91. 富永時任・木村佳世・郷直俊 (1983). 育苗箱におけるイネ褐条病の発生について. 日植病報 49: 463-466.
92. 高橋隆道 (1930). 稻馬鹿苗病予防に関する二三の実験. 三重高農同窓會學術彙報 第 2 巻 2-12.
93. 高橋信孝 (1966). ジベレリンの化学と生化学の最近の進歩. 植物の化学調節. 1 巻 1 号 50-58.
94. 高橋義行・小川 正・石井 秀・河野敏郎 (1996). 電解酸化水を用いたもみ消毒によるイネの細菌病防除. 関東病虫研報 43 : 41-43.
95. 竹内 徹 (1994). イネ苗立枯細菌病の発病に及ぼす育苗条件の影響. 北日本病虫研報. 45 : 17-20.
96. 竹内 徹 (1997). イネの窒素およびケイ酸栄養といもち病抵抗力との関係. 北日本病虫研報 48 : 23-26.
97. 田中 孝・木村和夫・東海林久雄・平山成一 (1982). 水稻箱育苗におけるいもち病の発生と本田葉いもち発生との関係. 山形農試研報 16: 91-105.

98. 田中 孝・加藤智弘・佐藤智浩 (2002). イネ苗立枯細菌病における罹病イネ苗と *Burkholderia plantarii* 保菌コウヤワラビの伝染源としての役割. 日植病報 68 : 283-290.
99. 玉置雅彦・近藤 悟・酒井泰文 (2001). 電気分解水イネいもち病防除の検討. 生物環境調節 39 (2) : 95-101.
100. 田部井英夫 (1990). [特別講演] イネ細菌病の感染と発病—特に寄主体侵入経路を中心とし—. 北日本病虫研報 41 : 1-3.
101. 對馬誠也・津野和宣・茂木静夫・脇本 哲・斉藤初雄 (1987). イネもみ枯細菌病の籾での増殖. 日植病報 53 : 663-667.
102. 角田 巖・中野 学・湯浅和宏 (2002) 滋賀県総セ農試研 報 42 : 8-16.
103. 土佐幸雄 (2005). いもち病菌の分類とその現状. 植物防疫第 59 卷 第 3 号 45-48.
104. 富永時任・木村佳世. 郷 直俊(1983). 育苗箱におけるイネ褐条病の発生について. 日植病報 49: 463-466.
105. 内藤秀樹・越水幸 男 (1979). イネの機械移植栽培におけるいもち病罹病苗の移植と田の葉いもち発生との関係. 東北農試研報 61: 39-57.
106. 内藤秀樹・根本文宏・山下 亨・勝部和則・芦澤武人・丸山清明・有賀 武・林長生・宮坂 篤・園田亮一・藤 晋一・古屋廣光 (2002). 水稻無病化種子「玄米種子」による種子伝染性病害の防除効果. 日植病報 68: 28-35.
107. 内藤秀樹・斉藤健介・古屋廣光・藤 晋一 (2008). イネばか苗病による徒長苗の形態とばか苗病菌の分布およびプール育苗による発病抑制. 日植病報 74 : 321-327.
108. 中西 勇・都築 仁・田辺 潔・小出仁士 (1973). イネ穂枯れの病原菌の種類と発病環境および防除時期について. 関西病虫研究会報 15 卷 13-19.
109. 那須英夫、松田 泉、金本 元、畑元 求 (1995). イネもみ枯細菌病菌感染種子に対する温湯処理の効果. 岡山農試研報、13、1-6.
110. 日本植物防疫協会 (2013) 平成 24 年度県別発生・防除面積、“農薬要覧—2013—”、日本植物防疫協会.
111. 猫塚修一・田村恵里佳・高田 真・菅 広和・中西商量・本田純悦・阿部武美 (2017). 水稻育苗緑化期の低温がばか苗病の発生に及ぼす影響. 北日本病虫研報 68 : 21-24.
112. 馬場 赳 (1958) 水稻の胡麻葉枯病および秋落の発生機構に関する栄養生理的研究. 農技研報 D: 1-158.
113. 馬場 赳 (1958). 水稻の胡麻葉枯病および秋落の発生機構に関する栄養生理的研究. 農技研報 D71-157.
114. 濱村 洋・川原正見・下田進 (1989). トリフルミゾール低感受性 *Gibberella fujikuroi* (*Fusarium moniliforme*) の諸性質. 日植病報 55 (3) : 133.
115. 原澤良栄 (2005) 種子温湯消毒と電解水浸漬処理の組み合わせによるイネの褐条病およびもみ枯細菌病の防除効果. 北陸病虫研報 54 : 7-12.

- 116.早坂 剛・藤井弘志・安藤 豊・生井恒雄 (2000). イネ苗いもちのケイ酸資材シリカゲル育苗土混和による発病抑制. 日植病報 66 : 18-22.
- 117.早坂 剛・石黒清秀・渋谷圭治・生井恒雄 (2001). 数種のイネ種子伝染性病害を対象とした温湯種子消毒. 日植病報 67: 26-32.
- 118.早坂 剛・松浦孝幸・生井恒雄 (2002). イネ種子玄米における侵入いもち病菌の動態と防除. 日植病報 68 : 297-304.
- 119.早坂 剛 (2003). 山形県庄内地域における過去 31 年間(1971 年 ~2001 年)のいもち病発生の特徴. 北日本病虫研報 54 : 7-11.
- 120.林 宣夫・岩崎悦 雄・神保尚 一 (1987). 群馬県におけるイネもみ枯細菌病の n 発生生態. 関東日脚山病害虫研究会年報第 34 集 15-16.
- 121.林かずよ・小山 淳・菊田明実・藤井 薫 (1997). イネ苗立枯細菌病に対するプール育苗法の発病抑制効果. 北日本病虫研報 48 : 47-49.
- 122.林 かずよ・城所 隆・小山 淳 (1999). 種子の温湯浸漬によるイネばか苗病の発病抑制効果. 北日本病虫研報 50: 40-42.
- 123.林 かずよ・小山 淳・城所 隆 (2000). 種子の温湯浸漬によるイネ苗立枯細菌病の発病抑制効果. 北日本病虫研報 51: 31-32.
- 124.林 かずよ・小山 淳・石川 志保・城所 隆 (2002). イネ種子伝染性病害に対する物理的・耕種的防除法. 宮城古川農試 3 : 137-147.
- 125.平野喜代人・後藤和夫 (1963). 枝梗いもちの発病機構並びに生態に関する研究. 農技研報 C16: 1-56.
- 126.深野 弘・横山佐太正 (1951). 稲線虫心病予防種籾消毒法に関する研究. 日植病報 15: 164.
- 127.深谷富夫 (1996). 野菜畑の敷藁からの葉いもち伝染. 北日本病虫研報 47: 156(講要).
- 128.福田富幸・勝山直樹・成田久夫・鈴木隆志・越川兼行 (2008). 弱酸性次亜塩素酸水によるキュウリうどんこ病防除に関する研究. 岐阜県農業技術センター研究報告 8 : 14-21.
- 129.藤 晋一 (2013) 化学農薬を用いない水稻種子消毒法の普及による諸問題とその対策 植物防疫 67 : 223-227.
- 130.藤 晋一・工藤 学・佐々木南海 (2015). イネばか苗病制御技術の開発(1) イネばか苗病菌の薬剤感受性が種子消毒の効果に及ぼす影響と農家施設のモニタリング. 秋田県立大学ウェブジャーナル B vol. 2 181-186.
- 131.藤 晋一 (2018). イネばか苗病の発生生態と防除. 植物防疫 72: 254-258.
- 132.藤 晋一 (2019). イネばか苗病の増加要因とその対策について. 植物防疫 73 : 556-561.
- 133.藤井直哉 (2006). 植物防疫 60 : 547 -551.
- 134.藤井直哉・進藤勇人・佐山 玲 (2015). 秋田県の湛水土中直播栽培におけるプロベナゾール剤の減量施用による葉いもち防除. 北日本病虫研究会報 66 : 31-35.
- 135.堀正太郎 (1898). 稲いもち病. 農商務省農事試験場 特別報告 1 : 1-36.

- 136.堀正太郎 (1901). 稲葉枯病. 農商務省農事試験場 18 : 67-84.
- 137.堀 武志・石川浩司・原澤良栄 (2005). 種子温湯消毒よ電解水浸漬処理の組み合わせによるイネの褐条病およびもみ枯細菌病の防除効果. 北陸病害虫研究会報 54 : 7-12.
- 138.前川和正・相野公孝・岩本 豊 (2000). 各種殺菌剤の育苗箱施用による育苗期のイネいもち病の防除効果. 関西病虫研究報 42 : 75-76.
- 139.前川和正・渡辺和彦・相野公孝・岩本 豊 (2001). 各種ケイ酸資材施用による育苗期のイネいもち病の発病抑制. 日本土壤肥料学雑誌 72 卷 1 号 : 56-62.
- 140.松田 泉・佐藤善司(1983). イネ褐条病菌による育苗箱における幼苗腰曲り症第 3 級イネ幼組織内における病原細菌の動態. 農技研報 C38:169 -180.
- 141.松本純一 (2022) イネばか苗病のペフラゾエート剤に対する感受性低下とその後の対応策. 植物防疫, 第 76 卷第 9 号 p32-36.
- 142.水上武幸 (1968). 稲の重要病害の防除上の問題点. 化学と生物 6 卷 4 号 218-223.
- 143.本藏良三・菅井 達彦・木村 優介・伊藤 達郎・小黒 仁司 (2010) イネばか苗病の本田期における病徴の推移. 北日本病虫研報 61: 26-29.
- 144.森谷真紀子・菅原隆介・本田浩央・菅 太一 (2020) プロクロラズ剤に対する感受性が低下したイネばか苗病菌の山形県内での発生状況. 北日本病虫研報, 71 : 192 (講要).
- 145.三島利夫・多久田達雄 (2003). 島根県におけるイネばか苗病の発生とその防除対策. 島根農試研報 34 : 47-60.
- 146.矢尾板恒雄 (1985). 植物防疫 第 39 卷 採 6 号 239-243.
- 147.山口純一郎・古田明子・宗 和弘・口木文孝 (2004). MBI-D 系統薬剤耐性イネいもち病 菌発生地域における各種薬剤の防除効果. 九州病虫研報 49 : 126 8 講要)
- 148.山口純一郎・稲田 稔・古田明子・鈴木文彦・荒井治喜・武田敏幸 (2009). ベノミル剤と DMI 剤を混用したイネ種子消毒による本田のいもち病発病抑制効果. 九州病害虫研究会報 第 55 卷 1-6.
- 149.山口吉博・中野 潔・齋藤麗子 (2007) 2005、2006 年の新潟県 下越地域におけるイネごま葉枯病の多発生. 北陸病虫研報 56: 50-51.
- 150.山下 亨・酒井長雄・江口直樹・斎藤栄成 (1998). 育苗温度管理によるもみ枯細菌病菌の苗腐敗の発生抑制法. 関東東山病害虫研究会年報 第 45 号 15-17.
- 151.山下 亨・江口直樹・赤沼礼一・斎藤栄成 (2000) 関東病 虫研報 47 : 7-11.
- 152.山下 亨・江口直樹・赤沼礼一・斎藤栄成 (2000a). 水稻種子の温湯浸漬法による種子伝染性病害の防除 (1) 苗いもちおよびばか苗病に対する温湯浸漬処理の防除効果. 関東東山病虫研報 47: 7-11.
- 153.山下 亨・江口直樹・赤沼礼一・斎藤栄成 (2000b). 水稻種子の温湯浸漬法による種子伝染性病害の防除 (2) 温湯浸漬処理の水稻種子の発芽に及ぼす影響. 関東東山病虫研報 47: 13-16.

154. 山下 亨・江口直樹・赤沼礼一・斉藤栄成 (2000c). 水稻種子の温湯浸漬法による種子伝染性病害の防除 (3) もみ枯細菌病 (苗腐敗症) および苗立枯細菌病に対する温湯浸漬処理の防除効果. 関東東山病虫研報 47: 17-21.
155. 山中 達・山口富夫 編 (1987). 稲いもち病
156. 山中 達・本蔵良三 (1978). イネばか百病菌接イネ留に発現する病酸型 日植病報 44:57-58.
157. 藪田貞治郎・神戸勝二・林武 (1938、1939a、b、c、1941a、b、c). 稲の馬鹿苗病菌の生化学 (第一報) 馬鹿苗病菌の一薪生産物 Fusarinsaure に就いて. 日本農芸化学会誌 10 卷 10 号 1059-1068.
158. 吉井 啓・松本益美 (1951) 稲胡麻葉枯病に対する外国稲の抵抗性に関する研究 (第 1 報). 松山農科大学報 6: 24-60.
159. 芳澤宅實・山崎美花・難波 尚規・山下明宏・上田 進・芝田英明 (1994) 薬剤耐性イネばか苗病菌のフモニシン産生能. Japanese Society of Mycotoxicology. 卷 40 号 : p33-37.
160. 吉野嶺一 (1987). 最近のばか苗病の発生の現状と対策. 農薬研究 34 (2) : 9-15.
161. 吉村彰治・斎藤 正・鈴木幸雄 (1959). 北日本病害虫研報 10 : 55-58.
162. 渡辺康正・堀野 修・藤井 溥・江塚昭典 (1973) ごま葉枯病 菌によるイネ穂枯れの発生生態について 1. 穂枯れの病原 菌の種類、ならびに葉のごま葉枯病と穂枯れ発生との関係. 関西病虫研報 15: 1-7.
163. 渡辺康正ら (1973) : 関西病害虫研究会報 15 : 1~7.
164. 渡部茂 (1980). 育苗箱内におけるイネ馬鹿苗病の発生特徴. 岩手農試研報 22 : 31~54.
165. Barnwal, M.K., A. Kotasthane, N. Magculia., P.K. Mukherjee., S. Savary., A.K. Sharma., H.B. Singh., U.S. Singh., A.H. Sparks., M. Variar et al. (2013) .A review on crop losses、epidemiology and disease management of rice brown spot to identify research priorities and knowledge gaps. Eur. J. Plant Pathol. 136: 443– 457.
166. Datnoff, L.E., R.N. Raid, G.H. Snyder and D.B. Jones (1991) .Effect of calcium silicate on blast and brown spot intensities and yields of rice. Plant Dis. 75: 729-732.
167. Desjardins, A.E. (2006) "Fusarium mycotoxins. chemistry, genetics, and biology" St Paul, MN, USA: American Phytopathology Society, pp.79-108. Koji AZEGAMI*, Hideo Tabei* and Tokuji FUKUDA (1988).
168. Entrance into Rice Grains of Pseudomonas plantarii, the Causal Agent of Seedling Blight of Rice. Ann. Phytopath. Soc. Japan 54: 633-636.

169. Eva-Maria Niehaus., Hee-Kyoung Kim., Martin Münsterkötter., Slavica Janevska., Birgit Arndt., Svetlana A. Kalinina., Petra M. Houterman., Il-Pyung Ahn., Ilaria Alberti., Stefano Tonti., Da-Woon Kim., Christian M. K. Sieber., Hans-Ulrich Humpf., Bettina Tudzynski (2017). Comparative genomics of geographically distant *Fusarium fujikuroi* isolates revealed two distinct pathotypes correlating with secondary metabolite profiles. *PLoS Pathogens*,13.
170. Haruhisa Suga (2018) Gibberellin production variability in *Fusarium fujikuroi* and its contributory factor. *Japanese Society of Mycotoxicology*. 68(2):p93-97.
171. MUELLER, D. S. et.al. (2003). Evaluation of Electrolyzed Oxidizing Water for Management of Powdery Mildew on Gerbera Daisy. *Plant Disease* 87 : 965 -969.
172. Suga, H, et al. Genetic Differentiation Associated with Fumonisin and Gibberellin Production in Japanese *Fusarium fujikuroi*, M. *Applied and Environmental Microbiology* 85 : e02414-18 (2019) .
173. Takenaka, M., HAYASHIO, K., Ogawa, T., Kimura, S., Tnaka, T. (1992). Lower virulence ti rice plants decreased biosynthesis of *Gibberella fujikuroi* selected with perfurazote. *J. Pesticide Sci* 17 : 213-220.
174. Take,H. and Chida, T. (2011). Sensitivity of *Fusarium moniliforme* Isolates to Ipcoazole *J. Gen. Plant Pathol* 66 : 353-359.
175. Wada, T., Kazuma, S., Takenaka, M. (1990). Sensitivity of *Fusarium moniliforme* Isolates to Pefurazoate. *Ann. Phytopath. Soc. Japan* 56 : 449-456.

参考文献：

1. 青木孝之・Kerry O'Donnell・David M. Geiser (2014). 植物病原 *Fusarium* 属菌の系統学：その現状と将来への展望. 日植病報 80 特集号：73-80.
2. 安達忠衛・橋本 晃・遠藤頼嗣・平野喜代人 (1979). 水稲箱育苗栽培におけるいもち病の発生経過とその防除について. 福島農試研報 18：11-22.
3. 有坂通展・市川岳史・佐藤 徹・樋口賢治 (1996). 水稲のプール育苗に関する研究 第1報 育苗時の温度と苗質. 北陸作物学会報 31：48-49.
4. 伊賀優実・戸田 武・古屋廣光・金勝一樹・藤 晋一 (2020). 事前乾燥を取り入れた水稲温湯種子消毒のイネ種子伝染性病害に対する効果. 日植病報 86 (1)：1-8.
5. 及川俊雄・大友義視・井上 徹・橋本 保 (1975). 育苗箱内におけるイネ馬鹿苗病発生程度と本田移植後の発生経過および収量. 北日本病虫研報 26：32.
6. 神山知美 (2020). 種子法廃止と2020年度種苗法改正案から考える行政の役割と種子条例・種苗条例の今後 (上). 自治総研通巻 46 巻 501 号 71-106.
7. 神山知美 (2020). 種子法廃止と2020年度種苗法改正案から考える行政の役割と種子条例・種苗条例の今後 (下). 自治総研通巻 46 巻 501 号 19-57.
8. 長谷川優・吉田浩之 (1992). トリフルミゾール導入地域におけるイネばか苗病菌の発生と分離株の薬剤感受性. 日植病報 58 (1)：133.
9. 原澤良栄 (2001). 補植苗の葉いもち病勢進展過程からみた全般発生開始期の予測. 日植病報 67: 87-96.
10. 曳地康史・江上 浩 (1995). オキシリニック酸と種子の塩水選を用いたイネもみ枯細菌病に対する防除体系の確立. 日植病報 61：405-409.
11. 牧野秋雄 (1970). イネもみ枯細菌病菌による苗腐敗症の発生生態. 関東日脚山病虫害研究会年報 第26集 8.

謝辞

研究を遂行し、学位論文をまとめるにあたり、藤 晋一教授をはじめ、多くの方々には多大なるご支援とご指導を賜りました。お世話になった方々に、この場をお借りして感謝の意を申し訳あげます。

はじめに、指導教官および主査である藤 晋一教授には、学部生時代から厳しくご指導いただいたことや自由に研究をさせていただいたこと、また、他大学の先生方、研究機関の方々、企業の方々、農家の方々との出会いに加えて、多くの学会発表や研究会発表経験は内気だった私自身の内面を大きく変えるものとなり、これからも大変貴重な財産となると考えております。また、論文執筆では、丁寧に指導していただきました。令和4年度は嘱託職員として1年間、農薬効果試験の委託業務や農家圃場で発生した罹病植物の分離や同定、企業の方々の補助などを担当させていただきました。研究対象のイネ以外の作物や病原菌を扱わせて頂いたり、接種や分離もさせていただき自分の知識や技術を高める貴重な体験ができました。

これらの多くの貴重な経験は私自身の至らなさを実感することができ、さらに向学心に燃え、知識の向上のための学習意欲を高める後押しとなりました。深く感謝いたします。

また、本研究を進めるにあたり、副査の2名の先生にも感謝申し上げます。藤田直子先生には、日ごろから気にかけていただき悩みがあったときは親身に相談にのっていただきました。新品種育成の補助をさせていただいたことも貴重な体験でした。戸田 武先生には、実験に関する相談や学会発表や論文作成の相談にのっていただきました。ここに深く感謝申し上げます。

他にも、本論文の作成にあたり多くの人に感謝申し上げます。

第2章～第5章で述べた研究は、東京農工大の金勝一樹先生、株式会社サタケの西山恭介氏、株式会社サタケの西川芳幸氏、富山県農林水産総合技術センターの村田和優氏、高崎健康福祉大学（前信州大学農学部）岡部繭子先生、大潟村JAの皆さまには新しい技術が実用化していく過程を近くで見させていただき、私自身の成長に拍車をかける研究テーマでした。

第6章から第10章で述べた研究は、株式会社ローカルパワーの寺田耕也氏、佐藤友子氏、向田裕樹氏には研究を遂行するうえで数々のご配慮を賜りました。

第11章から第12章で述べた研究は、岐阜大学の須賀晴久先生、本研究で用いたSLO211の菌株を譲っていただいた国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構東北農業研究センターの今崎伊織氏、フモニシンおよびジベレリンの分析にお力を貸していただいた野下浩二に心から感謝申し上げます。須賀晴久先生には本論文の外部審査員を快く引き受けてくださり、須賀先生のご厚意に感謝申し上げます。

さらに、日頃より私を気にかけてくださり相談にものっていただいた、古屋廣光先生、川上寛子先生はじめ、秋田県立大学の多くの先生方に深く感謝申し上げます。

次世代シーケンサーの解析で秋田県立大学バイオテクノロジーセンターに大変お世話になりました。心から感謝申し上げます。

植物保護研究室の職員の皆様、学生の皆さんには、試験材料の準備、調査、作物管理の面で数々のご協力をいただきました。また、みなさんのおかげでここまで来ることができました。本当にありがとうございました。

なお、本研究は、農林水産省「農林水産業・食品産業科学技術推進事業」、および農研機構生研支援センター「イノベーション創出強化研究推進事業」課題番号 28030C 「防除効果の高い厳しい条件での水稻種子の温湯消毒を可能にする技術の実用化」による助成を受けて行いました。

最後に、日頃私を励ましてくださった恩師や暖かく見守ってくれた伯父と伯母はじめ親戚の皆様、姉と両親に心からの感謝の意を込めて、謝辞と致します。