

過熱水蒸気を利用した水稻の種子消毒技術とその将来性

山形県農業総合研究センター
農研機構 生物系特定産業技術研究支援センター

お 越
の 野

ち 智
だ 田

あき 昭
たか 崇

ひこ 彦
ひろ 啓

はじめに

農薬を用いない水稻の種子消毒法として開発された温湯浸法は、種子を60℃の湯に10～15分間浸漬し、病原菌を熱殺菌する手法である（早坂ら，2001）。本法は化学合成農薬と異なり廃液処理が不要で、生産規模に合わせた多様な処理能力を有する装置が開発されたことから普及拡大し、2008年時点の普及率は約10%と報告されている（岡部ら，2009）。現在、山形県では水稻種子消毒法のうち約3割のシェアを占めており、特に有機栽培などにおいて不可欠な技術となっている。

ただし、一部の生産現場からはより簡便で低コストな代替技術が求められている。特に温湯処理後に数箇月程度の長期保存を行う大型施設の場合、発芽率の維持には処理後に種子の乾燥工程を要し、コスト増の一因となっている（洞口ら，2008）。

また、発芽率低下の懸念から、糯品種には適用できないとされており、この改善も求められている。

筆者らは、以上の改善を目的として、殺菌源として過熱水蒸気由来の熱を利用した、新たな種子消毒法の開発に取り組んでいる。本稿では現在までの研究で得られた、新技術のいもち病菌およびばか苗病菌に対する殺菌効果（越智ら，2012）等を紹介する。

I 技術の原理と機械の特徴

1 技術の原理

筆者らは過熱水蒸気を利用した一連の種子消毒処理について「種子表面の温度を高くして種子伝染性病原菌を殺菌し、種子内部の温度を低くして種子の発芽率を維持する」という基本指針を立て、同処理を「蒸気処理」と呼び、研究開発を行っている。

その概要を図-1および以下で説明する。

蒸気処理は、まず、水稻種子伝染性病原菌の主要潜在部位である初殻表層（埼玉県農林総合研究センターら，2001）を対象に、湿熱により高温短時間で加熱殺菌する

ことをねらいとする。同湿熱には、水蒸気の凝縮熱を利用する。水蒸気の凝縮は、冬場の結露などで一般的に見られる現象であるが、本技術を理解するにあたっては、「やかんの水蒸気に手を出すと、手が湿って火傷する」イメージをお持ちいただければ非常に近いと思う。

水蒸気を多量に含んだ加熱気流を種子へ曝露すると、種子表面に高温の凝縮水が付着すると同時に、水蒸気水滴へと状態変化する際に放出される熱（凝縮潜熱）が種子へと伝わり、種子が急速に加熱される。

種子表面に凝縮した水滴の温度は、気流の露点温度となり、水滴が乾ききるまでは、気流の湿球温度付近でほぼ一定となることを確認している（野田ら，2011）。この気流の露点温度、気流の湿球温度は、気流の湿度（水蒸気の割合）が高いほど、その値が大きくなる。つまり、気流の湿度が高いほど、種子表面に凝縮する水滴の温度が高くなり、種子への加熱量が大きくなる。そこで蒸気処理では、水稻種子表面の加熱温度を制御するため、加熱気流の湿度を精密に制御する必要がある。

種子の加熱温度とともに重要となるのが、種子の加熱時間である。本技術では、種子表面の熱が種子の発芽を統べる玄米胚部へと過剰に伝わり、熱損傷を受けないよう、短時間で加熱操作を終えることとしている。

加熱操作を終えた種子は、高温の凝縮水を表面に付着させた状態となる。そこで、蒸気処理の第二の操作として、冷却・乾燥処理を行う。冷却・乾燥処理は、余熱が種子内部へと伝わり、発芽に悪影響を及ぼさないこと、種子を乾燥させ、貯蔵性を確保することを目的としている。本操作では、種子表面に常温の風を当て、付着した凝縮水を蒸発させて乾燥させること、さらに蒸発による潜熱を積極的に活用することで、種子を急速に冷却することをねらいとする。

以上、「凝縮による種子の加熱」と「蒸発潜熱を活用した種子の冷却・乾燥」が、蒸気処理の主要技術である。本技術は、加熱操作が短時間であること、加熱中の種子水分増加が少ないというメリットを持つ。加熱操作が短時間であることは、作業の高効率化につなげることができる。種子の水分増加が少ないことは、冷却・乾燥工程の簡略化につなげることができる。それにより、液体中に浸漬させる慣行の薬液消毒や温湯消毒では困難であっ

Effect and Promising of Seed Disinfection Using Superheated Steam. By Akihiko Ochi and Takahiro Noda

（キーワード：過熱水蒸気，イネ，いもち病，ばか苗病，種子消毒）

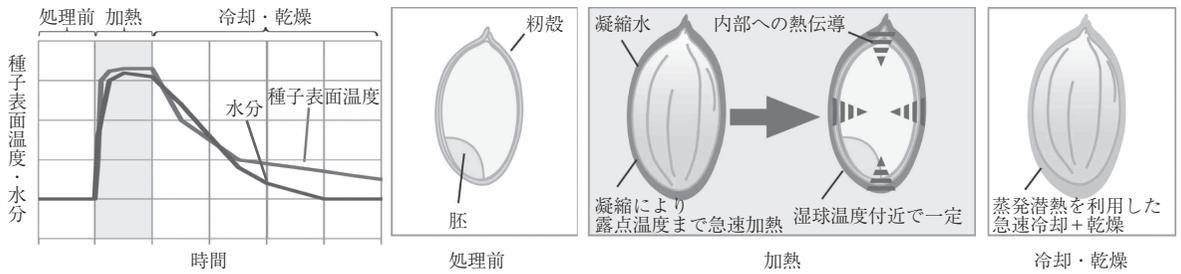


図-1 蒸気処理の概要

グラフは種子の表面温度と水分の変化を示す。

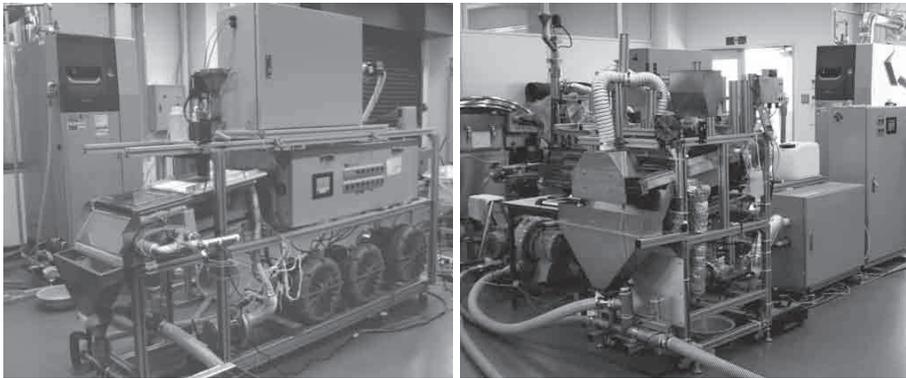


図-2 試験装置1号機(左)と2号機(右)

た、「消毒～乾燥までの1工程作業」も実現できる。さらに、水分増加が少ないことは、種子が濡れることが原因となるハンドリング性の悪化，具体的には，装置内での種子の残留，摩擦等による種子の損傷も軽減できるため，水稻種子のみならず，他の穀物種子消毒への適用も期待できる。

2 機械の特徴

筆者らは，上で述べた蒸気処理を具体化する試験装置を開発中である。装置の開発にあたっては，種子消毒現場での活用を前提に，水稻種子を連続的に処理すること，その種子消毒性能は，慣行の温湯消毒と同程度を目標としている。

開発した試験装置1号機と2号機の写真を図-2に，その構成図を図-3に示す。

試験装置は，1号機，2号機ともに種子の加熱気流を生成する「蒸気生成部」，種子を加熱する「加熱消毒部」，そして種子を冷却・乾燥する「冷却・乾燥部」から構成している。各部の役割を以下に記す，なお，2号機は1号機の後に試作した機体である。2号機は1号機に比べ，水稻種子の処理量を高めるために各部の改良を施しているものの，処理の原理や操作はほとんど同じである。

(1) 蒸気生成部

蒸気生成部は，温度，湿度を制御した気流を生成し，同気流を加熱消毒部へ供給する部位である。主要構成部品は，飽和水蒸気を発生させるボイラ，熱風を発生させるブロウと空気加熱器，両者を混合し所定の温度まで昇温させる過熱器(ヒーター)，気流の湿度(気流湿球温度)を検知する湿度センサである。

同部は，気流の湿度を任意に制御できることを特徴としている。気流の湿度は，ボイラからの蒸気量と熱風の風量の比率を調整して制御を行う。なお，本装置では，気流の湿度を表す指標として「気流の湿球温度」を用いている。同湿球温度を検知する湿度センサは，湿らせたガーゼの動的平衡状態における温度から検知している(伊與田ら，2012)。

(2) 加熱消毒部

加熱消毒部は，蒸気生成部からの気流を用いて，種子を連続的に加熱殺菌する部位であり，いわば本装置の心臓部である。本装置では，種子の搬送に振動搬送を用いた。振動搬送は，穀粒の色彩選別機や粒数計測器等，農業場面において特に精緻な搬送が必要な機器に既に活用されており，試験装置へ適応可能と判断した。本装置で

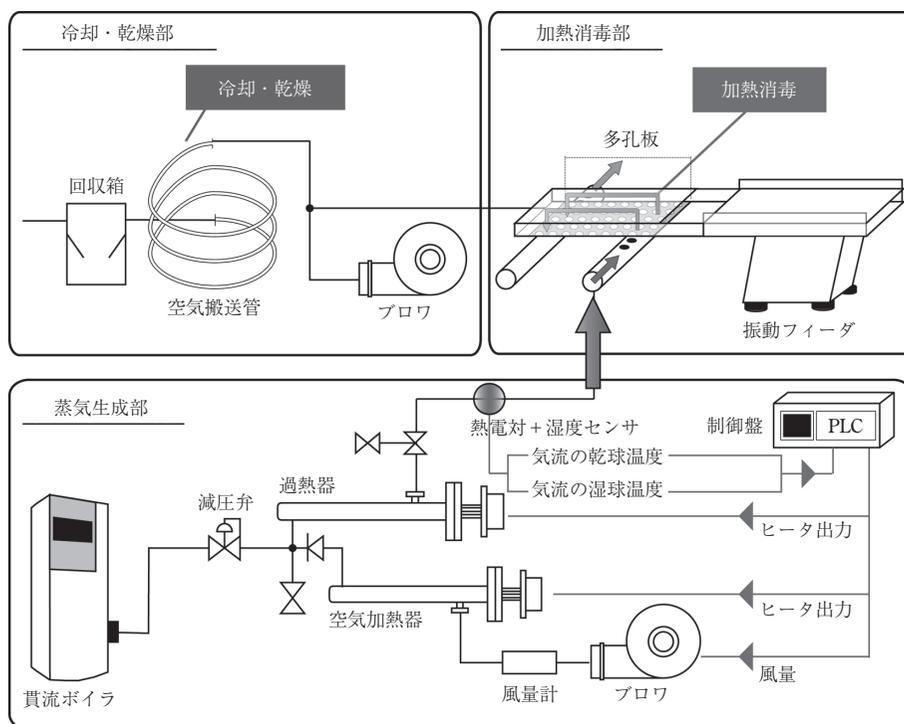


図-3 試験装置 1号機, 2号機の構成

は、種子と気流を接触させて加熱するために振動搬送板の一部を多孔板（パンチングメタル）とし、孔内に気流を通過させる構造とした。すなわち、振動フィーダにて種子を薄い層で搬送しつつ、搬送過程で設けた多孔板上で気流と接触させて加熱を行う構造とした。

(3) 冷却乾燥部

冷却乾燥部は、凝縮水が付着して高温状態となった種子を常温空気搬送しつつ、冷却と乾燥を行う部位である。同部は、シンプルな構造とすることを前提とした。具体的には、加熱消毒部を通過した種子をホッパーに回収の後、高圧ブロウの圧送によって種子を常温空気搬送し、冷却と乾燥を行う。冷却・乾燥後の種子は、空気搬送管の終端で、固気分離により箱の中に回収する構造とした。

以上が蒸気処理の原理と機械の構造である。

加熱による種子の消毒技術全般に言えることであるが、種子への加熱量を高めることで消毒効果は高められるが、その一方で過度の加熱は発芽率の低下を招くことになる。このように、種子の発芽率と消毒効果は二律背反の関係にある。

そのため、本技術を実用化するためには、水稻種子の発芽率に悪影響を及ぼすことなく、高い種子消毒効果を

得られる最適条件を見いだす必要がある。以降にその内容を述べる。

II 病害防除効果

適正な蒸気処理条件の検討は以下の手順ですすめた。まず、水稻主要病害であるいもち病およびばか苗病の病原菌に対し、現行の温湯浸法と同等以上の殺菌効果を得られる条件を見だし、その後、同条件が種子の発芽に対して影響がないかを確認した。ここでは1号機および2号機の適切な処理条件における殺菌効果などを紹介する。なお、1号機は蒸気処理の温度、2号機は時間当たり処理量を変えた場合の効果を調査した。

1 いもち病に対する殺菌効果

蒸気処理の殺菌効果は、病原の保菌種子を所定条件（表-1）にて処理し、その後の生菌率を温湯浸法と比較して評価した。

保菌種子として、前年度のいもち病多発圃場（品種‘ササニシキ’）より採種した種子を供試した。

試験装置1号機に供試した保菌種子量は、試験区当たり30gとした。また、2号機の場合、より実用的な試験条件とするため、試験規模を拡大し、保菌種子20gと、茶色の耐熱塗料（No.12 ブラウン、オキツモ株式会社

表-1 種子消毒の蒸気処理条件

装置	蒸気条件		処理時間 (秒)	1時間当たり 種子処理量 (kg/h)
	乾球温度 (°C)	湿球温度 (°C)		
1号機	200	90	2	no data
	200	85	2	no data
2号機	200	90	5	30
	200	90	5	55
	200	90	5	80

社)で塗装した健全種子1kg(品種‘つや姫’)を混和し、試験区当たりの種子処理量を約1kgとした。なお、前者は蒸気処理後に汎用色彩選別機(colorex, CLX-502DM, 株式会社山本製作所)を用いて保菌種子を回収した。

病原菌の生菌率は、プロッター法で玄米表面に発生した病原の分生孢子形成率とした。すなわち、滅菌蒸留水を適量添加したろ紙を直径9cmのシャーレに設置し、籾殻をピンセットにて除去した蒸気処理後の玄米を置床した(シャーレ当たり50粒)。その後、25°Cの人工気象器中で2日間培養し、試料表面における分生孢子形成率を実体顕微鏡の検鏡にて算出した。また、対照区の温湯処理は60°C、15分とし、試験は3反復行った。

蒸気処理の結果、1号機の湿球温度が90°C、85°Cの区におけるいもち病菌の生菌率はそれぞれ0%、1%で、いずれも温湯浸法と同等であった。同様に、2号機では1時間当たり種子処理量が30、55、80kgの生菌率はそれぞれ0.3、0.7、0.7%で、いずれも温湯浸法と同等であった(図-4)。以上のように、供試条件の蒸気処理はいずれも、籾内部に存在する病原に対し、温湯浸法と同等の殺菌効果を示した(図-5)。

2 ばか苗病に対する殺菌効果

いもち病と同条件でばか苗病菌保菌種子を蒸気処理し、処理後の種子における病原の生菌率から殺菌効果を評価した。

試験には保菌種子として、前年度産の自然感染種子(品種‘はえぬき’)を用い、蒸気処理後の生菌率は以下の方法にて調査した。蒸気処理後の供試種子は滅菌蒸留水250 μ lを加えた1.2mlチューブに入れ、25°Cで10日間培養後、苗の基部より5mm程度の切片を作成した。切片は表面殺菌後に西村培地(NISHIMURA, 2007)にシャーレ当たり50個置床し、25°Cにて10日間培養後、*Fusarium*属菌特有の鮭肉色のコロニー発生率を調査し、

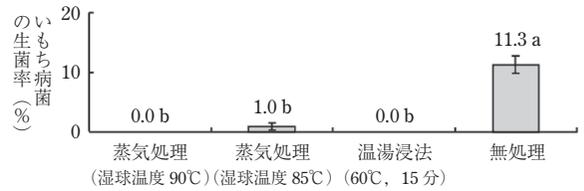


図-4 蒸気処理のいもち病菌に対する殺菌効果(1号機)

数値は3反復平均値, エラーバーは標準誤差。

アルファベットの同文字間には Tukey 法による有意差がないことを示す ($P > 0.05$)。

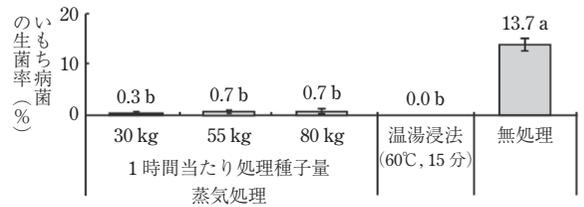


図-5 蒸気処理のいもち病菌に対する殺菌効果(2号機)

数値は3反復平均値, エラーバーは標準誤差。

アルファベットの同文字間には Tukey 法による有意差がないことを示す ($P > 0.05$)。

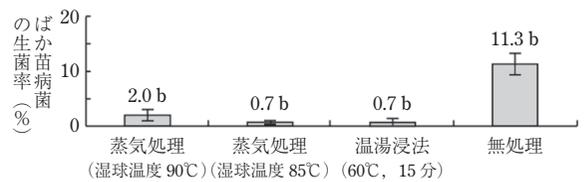


図-6 蒸気処理のばか苗病菌に対する殺菌効果(1号機)

数値は3反復平均値, エラーバーは標準誤差。

アルファベットの同文字間には Tukey 法による有意差がないことを示す ($P > 0.05$)。

生菌率とした。

蒸気処理の結果、1号機の湿球温度が90°C、85°Cの区におけるばか苗病菌の生菌率はそれぞれ2.0%、0.7%で、いずれも温湯浸法と同等であった(図-6)。同様に、2号機では1時間当たり種子処理量が30、55、80kgの生菌率はそれぞれ1.7、4.3、2.3%で、いずれも温湯浸法と同等であった。以上より、供試条件間で殺菌効果に差は認められず、いずれも温湯浸法と同程度の殺菌効果が認められた(図-7)。

3 発芽への影響調査

健全種子を上述の殺菌試験と同条件にて処理し、処理後の発芽率から、蒸気処理が発芽に与える影響を調査した。

試験にはいずれも前年度産の健全種子を用い、1号機

には粳品種‘はえぬき’、‘つや姫’、‘ヒノヒカリ’、‘コシヒカリ’、‘ひとめぼれ’および糯品種‘でわのもち’、‘ヒメノモチ’、‘こゆきもち’の計8品種、2号機には‘はえぬき’を供試した。発芽率は常法にて調査した（早坂ら、2001）。すなわち、蒸気処理後の供試種子を15℃にて6日間浸漬し、ろ紙を設置した直径9cmのシャーレに、試験区当たり100粒を置床し、適量の滅菌蒸留水を添加して30℃の湿室条件下で2日間催芽処理した。その後

25℃、16L:8D条件の人工気象器にて3日間育苗し、この期間に第2葉と根が生じたものを正常発芽とした。対照として温湯浸法（60℃、15分）区を設置し、調査は3反復で行った。

調査の結果、1号機の湿球温度90℃および85℃の蒸気処理後の発芽率は、それぞれ供試した8品種のいずれも温湯浸法と同等であった（図-8、図-9）。また、2号機の1時間当たり処理種子量が30、55、80kgの蒸気処理後の発芽率は、いずれも温湯浸法と同等であった（図-10）。なお、本試験における蒸気処理後の発芽率はいずれも90%以上で、発芽率低下等の影響は認められなかった。

以上の1号機および2号機を用いた試験から、適切な条件にて蒸気処理を行った場合、発芽に影響することなく、いもち病菌およびばか苗病菌に対して、温湯浸法と同等の殺菌効果が得られることを確認した。また、本消毒法は温湯浸法が不適とされる糯品種に対しても適応できる可能性が示唆された。

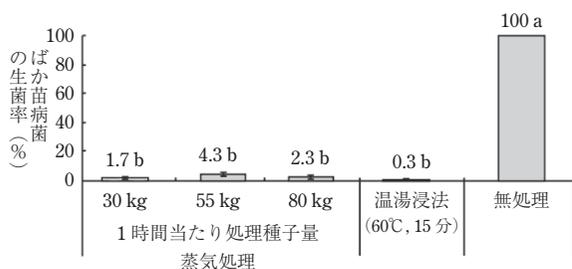


図-7 蒸気処理のばか苗病菌に対する殺菌効果（2号機）
 数値は3反復平均値，エラーバーは標準誤差。
 アルファベットの同文字間にはTukey法による有意差がないことを示す（ $P > 0.05$ ）。

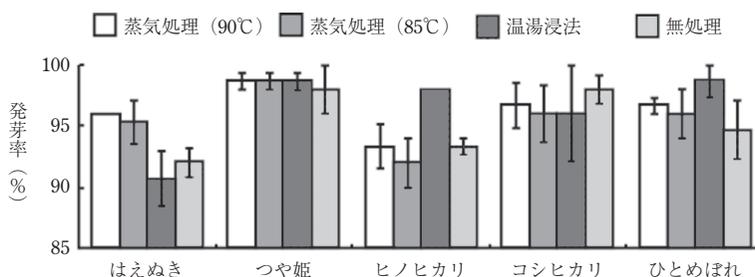


図-8 蒸気処理が発芽に与える影響（1号機：粳品種）
 いずれの試験区間にもTukey法による有意差は認められなかった（ $P > 0.05$ ）。

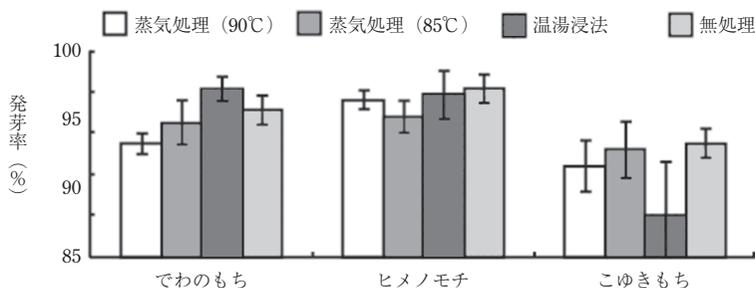


図-9 蒸気処理が発芽に与える影響（1号機：糯品種）
 いずれの試験区間にもTukey法による有意差は認められなかった（ $P > 0.05$ ）。

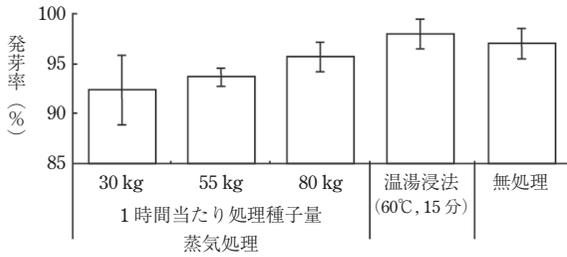


図-10 蒸気処理が発芽に与える影響 (2号機)
いずれの試験区間にも Tukey 法による有意差は認められなかった ($P > 0.05$).

おわりに

本稿は、筆者らが開発中の過熱水蒸気を利用した水稻種子消毒装置について、その消毒操作の原理、機械の構造、そして同機械の水稻種子消毒への適応性について紹介した。

試験装置は現在も改良を続けており、1時間当たり水稻種子 100 kg を処理しつつ、温湯処理と同等の消毒性能を持つ機械の基本構成が完成しつつある。また本装置は、水稻種子のみならず麦類の種子消毒への適応性も示しつつある。

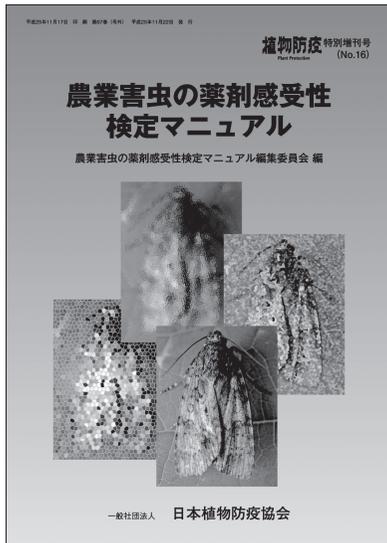
まずは、本装置の実用化、市販化を目指したいと考えている。

引用文献

- 1) 早坂 剛ら (2001): 日植病報 67: 26 ~ 32.
- 2) 洞口博昭ら (2008): 東北農業研究 61: 33 ~ 34.
- 3) 伊與田浩志ら (2012): 日本機械学会論文集 B78(790): 1267 ~ 1278.
- 4) NISHIMURA, N. (2007): J. Gen. Plant Pathol. 73: 342 ~ 348.
- 5) 野田崇啓ら (2011): 日本熱物性学会講演要旨 32: 210 ~ 212.
- 6) 越智昭彦ら (2012): 北日本病虫研報 64: 29 ~ 34.
- 7) 岡部繭子ら (2009): 日本作物学会紀事 78(4): 515 ~ 517.
- 8) 埼玉県農林総合研究センターら (2001): 水稻の種子伝染性主要病害虫防除のための農薬によらない種子無病化技術の確立, 埼玉県農林総合研究センター, 熊谷, p. 1.

植物防疫
特別増刊号 No.16

農業害虫の薬剤感受性検定マニュアル



B5版 179頁, 定価 2,600円 (本体, 税別)

農業害虫の殺虫剤感受性の状況を把握することは、発生予察の重要な情報となります。本書では42種(類)の農業害虫について、感受性検定法の基礎から現在の手法、1990年代から最新の状況まで、広範な情報を1冊にまとめました。あわせて「最近の話題」および「過去10年間に植物防疫誌に掲載された抵抗性関連記事リスト」を収載しました。

感受性検定を初めて行う方から経験者まで、幅広く活用いただけます。農薬の有効成分を作用機構分類別にまとめた「農薬作用機構分類一覧」とともに本書をご活用下さい。

一般社団法人日本植物防疫協会 支援事業部
TEL 03-5980-2183 FAX 03-5980-6753
<http://www.jppe.or.jp/> order@jppe.or.jp