

水稻における種子伝染性病害防除の現状と種子無病化への試み

秋田県立大学生物資源科学部 ない とう ひで き
内 藤 秀 樹

近年イネ病害の発生様相が大きく変化した。その最も大きな変化は、種子伝染性病害の大幅増加である。その原因の第一は、1970年以降の機械移植による箱育苗の普及で、多くの病害の発生増加をもたらした。第二に、近年のコシヒカリをはじめとする病害抵抗性が弱い良食味品種の作付け急増、第三に適地適品種作付体系の崩壊、第四に作期の早期化、第五に薬剤耐性菌の発生、第六に種子の広域移動の普遍化、等である。現在、イネの重要病害として、いもち病、紋枯病、ごま葉枯病、ばか苗病、苗立枯病、もみ枯細菌病、苗立枯細菌病、褐条病等があるが、このうち種子伝染性病害でないものは紋枯病、苗立枯病だけで、特に細菌性種子伝染性病害は効果の高い薬剤が少ないこともあり、汚染地域、汚染程度の拡大が進んでいる。これら種子伝染性病害を完璧に阻止するには種子の完全無病化、いわゆるクリーン種子を利用するしかない。現在水稻で実用化している無病種子はないが、最も効果的な環境保全型防除技術として、種子の無病化研究を進めようとする動きは芽生え始めている。ここでは、種子伝染性病害の現段階での最新防除技術、種子の保菌率低減技術、および開発中の無病化技術について概要を述べ、今後の無病化技術開発研究の参考としたい。

I 主要種子伝染性病害の近年の発病状況

イネの種子伝染性病害で最も恐ろしいいもち病は、箱育苗や抵抗性弱品種の急速な普及により、効果の高い防除薬剤が数多くそろっている現在でも、多少の差はあっても毎年発病し、1993年の大冷害年のように、一昔前と同じ大きな被害を被ることもある。また、特に1991年以降、本田持込み罹病・保菌苗によるいもち病初発時期の早期化がますます顕著になり、現在、保菌苗の本田持ち込み阻止が大きな問題となってきた。

ごま葉枯病は、肥料不足で発病が促進される病害であるため、第二次世界大戦後、化学肥料の供給が満たされるにつれ発病は減少し、現在では特殊な地域でのみ発病が見られ、本病による被害はほとんど問題にならない。

ばか苗病は1970年以降、箱育苗が普及するにつれ発病面積が拡大していったが、その後効果が卓越する種子消毒剤（ペノミル剤）の普及につれ激減した。しかし、1980年に岩手県、滋賀県で、1986年には日本全国でペノミル耐性菌の発生が確認され、1989年には発病が最大となった。その後、新薬剤の登場につれ再び減少し、最近では極めて少発生に推移しているが、いまだに本田で本病による徒長株が目につく水田が時に認められる。

細菌性病害として現在問題となっているもみ枯細菌病は、機械移植の普及とともに増加し（茂木、1985）、育苗期には苗腐敗、出穂後にはもみ枯れを生じ、時として大きな被害を引き起こす。本病は最初西南暖地の病害であったが年々分布が拡大し、現在では日本全土に拡大した。関東以北の育苗期に加温する地域では苗腐敗、西南暖地では穂枯れが主として問題になるが、1978年ごろには秋田県大曲市の東北農試圃場で（内藤・関、1979；関ら、1978）、1995年には埼玉県で本病による重症穂の多発が見られ、穂枯れも全国的に生じている可能性がある。苗立枯細菌病、褐条病は主に育苗期で苗立枯れを生ずるが、両病害とも近年全国的な拡大を示した。これらの細菌性病害は、いもち病とともに現在最も防除対策が問題となっている難防除病害である。

II 種子伝染の様式

種子伝染あるいは保菌種子とはどんなものかについては、岸（1976）が“保菌種子をめぐる諸問題”として概説している。それによると、イネの種子は外生型種子で、種子が外部に露出して形成されるため病原菌により直接侵害されやすい。さらに種子伝染の方法を、種子組織に病原菌が侵入している侵入型伝染、種子の表面にだけ病原菌が付着している付着型伝染、菌核や罹病組織片が種子に混入している混入型伝染に分け、侵入型伝染のものを真性の種子伝染とした。イネの種子伝染性病害であるいもち病、ばか苗病、ごま葉枯病、もみ枯細菌病、苗立枯細菌病、褐条病は侵入型伝染であり、墨黒穂病、稲こうじ病は付着型あるいは混入型伝染と見なされる。

III もみにおける病原菌の主な潜在組織

的確な種子消毒およびクリーン種子の開発において、目的とする病原菌が種子のどの組織に存在するかを明ら

Present State of Control of Seed-borne Disease and Attempt to Produce Pathogen-free Seed of Rice Plant. By Hideki NAITO

（キーワード：イネ、種子伝染性病害、病原除去、無病化種子）

かにすることは極めて重要である。もみ殻と玄米でばか苗病菌の分離率を比較したところ、もみ殻では約67%であったが表面無洗浄の玄米では約7.3%と格段に低い(内藤, 1995)。また、いもち病菌もばか苗病と同様、玄米では保菌率が格段に低く、分離されないかまたは極めて低率である。細菌性病害であるもみ枯細菌病では玄米を軽く水洗することにより保菌程度がもみ殻に比較し激減する(芦澤, 1997)。このようにイネの種子で病原菌の存在部位として重要な組織はもみ殻である。この事実は以前からばか苗病等において多くの研究者が指摘しているが、これまでその知見は生かされていなかった。この事実は無病化種子の生産にとって重要な知見であり、注目に値する。

IV イネ種子の病原菌による侵害過程

現在、種子伝染性病害のすべてで汚染機作が解明されているわけではない。ばか苗病を例にとると、罹病枯死株に形成された分生子は主に夜間に飛散し(佐々木, 1987; 山下ら, 1993)、開花期ごろのもみの穎内に侵入、あるいは内外穎組織を貫通して侵入する。また、いもち病では、開花中の穎内への分生子の落下、閉穎後の薬骸からの穎内への侵入、穎表皮の毛茸からの侵入等がある

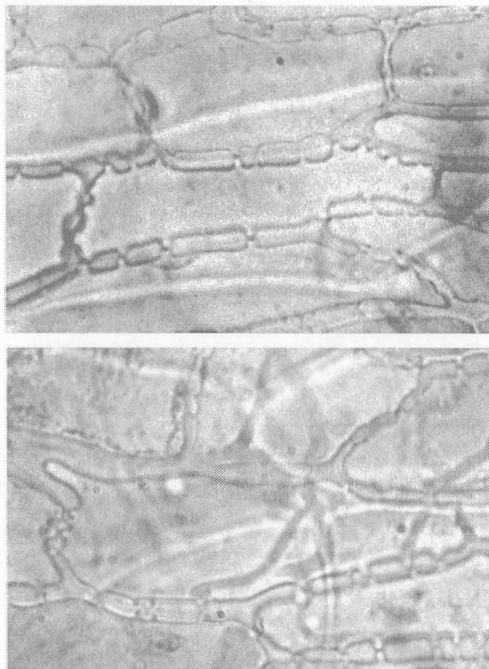


図-1 イネ厚膜細胞壁の壁孔といもち病菌菌糸の進展
—上 厚膜細胞壁と壁孔(くびれた部分)
—下 壁孔を通過し進展するいもち病菌のイネ厚膜細胞内菌糸

が(平野・後藤, 1963; 堀野・進藤, 1986)、分生子の飛散時期は夜間が主体である等のことから、開穎中に分生子が穎中に飛び込む頻度は極めて低いと考えられる。詳細な侵害経過は明らかでない部分が多いが、いもち病菌はイネ表皮に存在する大型のふ毛や毛茸からは侵入しやすいようで、早期に侵入が認められる。毛茸内侵入菌糸は毛茸基部細胞壁が表皮細胞・皮下厚膜細胞と接触している部分や隣接する皮下厚膜細胞間の細胞壁に多数存在する壁孔(pit)を通過することにより、容易に組織内を進展することができる(図-1)。また、もみの表面に付着、残存している薬骸は病原菌のもみ内腔への早期侵入に重要な役割をしている。一例として、イネ褐色葉枯病における不完全粒発生経過を見ると、もみの上部に多い付着薬骸では感染、菌糸の進展が良好で、菌糸はそれに続く花糸を通して容易にもみの内腔へ侵入する(内藤, 1982)。また内外穎に挟まれた状態で残存する薬骸も多く(図-2)、そこでは進展菌糸はさらに容易にもみ内腔へ侵入できる。次いで、もみ内腔に残存する薬骸や内外穎の内面組織も感染し、それらの感染組織では早期に分生子の形成が生じる。柱頭はこれらの感染組織に接触することにより、また分生子が付着することにより感染し、病原菌の菌糸はあたかも花粉管が伸長するように花柱、胚珠へと進展、胚嚢に達する(図-3)。このような侵入経過から、褐色葉枯病では薬骸を早期に洗い落とすと不完全粒の発生が軽減される。ばか苗病や他の種子伝染性病害においても開花、閉穎後の残存薬骸が病原菌の種子内侵入に大きな役割を果たしている可能性がある。細菌性病害のもみ枯細菌病でも、もみの感染は開花と密接な関係にあることが知られている(Tsushima et al., 1995)。

クリーン種子の生産のためには、まず立毛中の本田で

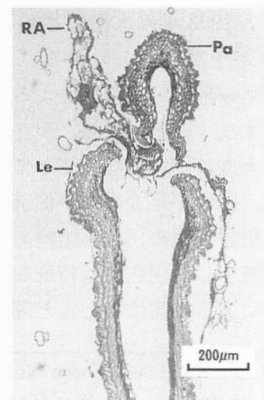


図-2 イネの開花後内外穎に挟まれて残存する薬骸
RA: 残存薬, Pa: 内穎, Le: 外穎

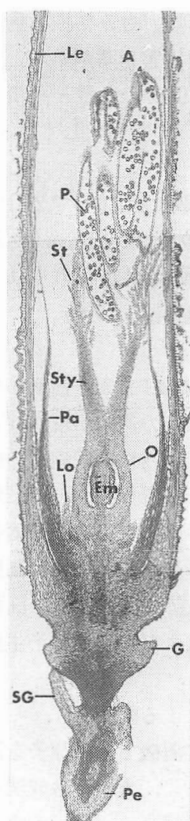


図-3 イネ穎花の構造

A: 葯, Em: 胚のう,
G: 護穎, Le: 外穎,
Lo: 鱗皮, ●: 子房,
P: 花粉, Pa: 内穎,
Pe: 小枝梗, SG: 副
護穎, St: 柱頭,
Sty: 花柱

病種子を直接生産するための技術ではなく、本田で発病を抑止し、種子生産の場である採種圃で可能な限りクリーンな種子を生産するための技術である。これはまた、無病種子生産のための基盤的技術でもある。

(1) 種子消毒と施用技術

① 種子消毒

耐性菌の発生の危険性を低くし、かつ高精度の効果をを得ることを目的とし、いもち病、ばか苗病、ごま葉枯病等糸状菌に対しエルゴステロール生合成阻害剤（EBI剤）が現在の種子消毒剤の主流となっている。また、1990年にはこれまで実用的な効果を有する薬剤がほとんどなかったイネのみ枯細菌病等の細菌病に対し専門薬としてオキシリニック酸剤が登録され、難防除病害としての細菌性病害にも防除対応が可能となった。現在、いもち病等の糸状菌およびみ枯細菌病等の細菌による

いかにきれいな種子を生産するかが第一に重要で、ここで無病種子が生産されれば最も簡単で理想的である。しかし、通常、採種圃といえども完全無病種子の採種は困難で、いかに病原菌による汚染程度が低い種子を生産するかが問題となる。そのためにも種子の病原菌による侵害機作の詳細な研究が必要である。

V 種子における病原低減技術と根絶技術

イネでは種子伝染性病害が現在主流となっており、本病の防除には無病種子、すなわちクリーン種子の活用が最も省力、効果的、環境保全的で、現状に最も適合した望まれる防除法である。ここでは種子伝染性病害に対し、クリーン種子を得るための病原低減法、新しい種子無病化法について概要を述べる。

1 病原低減技術

ここで述べる技術は種子の汚染程度や、処理条件によっては種子の完全無病化が可能の場合もあるが、基本的に無

種子伝染性病害の同時種子消毒剤として、多くはEBI剤とオキシリニック酸剤あるいは銅剤との混合剤が用いられている。処理方法には種子浸漬、粉衣、塗沫、吹き付け処理等がある。

② 種子消毒の効果増進技術

効果の高い種子消毒剤でも十分な量が病原菌存在部位に到達しないとその実力を発揮できない。イネの苗立枯細菌病菌、もみ枯細菌病菌は、もみの穎と玄米の間に多く潜在していることから、浸透移行性のない薬剤ではもみの内腔に薬液が侵入しないと効果が十分発揮できない。そのため、既存の種子消毒剤の効果を安定的に高める方法として真空浸漬法が開発された（太田，1995，1996）。本法によればもみ内腔まで短時間で薬液が浸透し、防除効果が高まる。さらに、大量に処理するため、野菜産地にある大型の真空冷却装置を利用すれば一度に3tのもみを処理できる。ばか苗病に対しても減圧種子消毒で効果が向上することが認められている（岡田，1988）。

(2) 育苗箱施薬と薬剤の水面施用

① 播種時処理

もみ枯細菌病、苗立枯細菌病、褐条病にはカスガイシン・メタスルホカルブ粉剤の播種前覆土または床土混和、カスガイシン粒剤の培土混和および播種面散粒、液剤の播種前灌注で効果が高い。本法は種子消毒とともに行うとより効果が上がる。また、最近、いもち病に対しカルプロバミド剤等の長期効果持続型薬剤の播種時施用法が開発されている。

② 緑化期処理

近年のいもち病多発の要因である罹病苗の本田持込みを防ぐため、育苗期に発病した場合には即座にトリシクラゾール水和剤、イソプロチオラン水和剤等の散布剤で防除し、本田持込み伝染源密度の低減に努める。

③ 移植直前処理

種子消毒の補完と本田での早期二次感染防止効果等を目的として、いもち病に対し移植前に育苗箱への長期効果持続性粒剤の施用は極めて効果的である（内藤，1997b）。箱施薬剤の効果持続期間は長く、カルプロバミド、プロベナゾール剤等では施薬後穂ばらみ期ごろまで効果が持続する。そのため、通常年では箱施薬1回のみでも比較的良好な穂もち防除効果が認められ、総じて箱施薬が組み入れてある防除体系では効果が高い。いもち病防除にとって、種子消毒の徹底は基本的に必須条件であるが、育苗箱施薬は種子消毒の補完効果による本田持込み菌密度の低減、補植用置苗での早期発病阻止、本田での発病遅延による発病量の軽減、ひいては穂の保菌量低

減に極めて有効で、特に、いもち病常襲地域での採種栽培には育苗箱施薬の有効活用が望まれる。

④ 発病苗治療のための育苗箱への薬液灌注、罹病苗の根部浸漬処理

ばか苗病に対し、現在登録はないが、育苗箱への種子消毒剤の灌注や、徒長苗の根部浸漬で徒長苗の回復、発病防止効果が認められている。種子消毒剤の出芽期灌注処理(古河, 1989)、移植直前にベノミル水和剤の50~200倍液灌注で(内藤, 1975)、移植後徒長苗が回復し、潜伏感染苗の発病も防止できる。徒長苗の根部を薬液に約1時間浸漬しても治療効果があり、これらの処理苗の生育は無処理と変わらない(内藤, 1975)。また、プロクロラズ乳剤の移植直前育苗箱灌注、浸漬処理でも治療効果がある(長野農事試, 1996)。

⑤ 長期効果持続型粒剤の水面施用

本田移植後、葉いもち対象に初発期ごろ1回施用するプロベナゾール剤等や穂いもち対象に出穂30~10日前ごろに1回施用するピロキロン剤等がある。省力的で効果は高い。箱施薬をした場合には通常施用する必要はない。箱施薬と同様、特に、いもち病常襲地域での採種栽培で利用価値が高い。

(3) 耕種的、物理的防除技術

① 温度による発病抑制

ばか苗病では浸種液温を10℃に下げ、播種密度を下げると、二次伝染が減少し発病が減少する(長野農事試, 1996)。もみ枯細菌病では催芽、出芽温度を28℃に下げると苗腐敗の発病は激減する(山下, 1998)。

② 培土による発病抑制

育苗培土に自然の土を利用すると、ばか苗病の発病は激減し、覆土に自然土を利用するだけでも発病は減少する(内藤, 1994)。苗いもちの発生も播種後覆土が不完全で、もみが露出していると容易となるので覆土は完全に行う。

③ 湛水による発病抑制

育苗箱を出芽後できるだけ早い時期に湛水状態のプールに浸漬し、床土表面が乾燥しないようにしておく(プール育苗法)、もみ枯細菌病等の細菌性病害による苗腐敗や苗立枯の発生が激減する(林ら, 1997; 林・賛田, 1983; 勝部・武田, 1997b)。本法の場合、病原細菌は死滅しないので、細菌病の性質から採種栽培には不向きと考えられる。

④ 温湯浸漬法

昔から知られている消毒法で、近年、種子消毒剤の普及によりほとんど省みられなかったが、再び注目されるようになった。イネ種子を60℃の温湯に5~10分浸漬

することにより、いもち病、ばか苗病、もみ枯細菌病による苗腐敗、苗立枯細菌病等の主要病害を薬剤処理とほぼ同等以上に防除できる(山下, 1996)。大量・高精度に処理できる温湯消毒装置も開発され、実用化している。

⑤ 乾熱消毒

イネのもみ枯細菌病による苗腐敗には40℃で2日間予備乾燥後、70℃6日間処理で(牧野, 1981)、ばか苗病に対しては75℃8日間処理で防除効果が認められているが、発芽に影響がある(長野農事試, 1996)。

⑥ 電解酸性水による種子消毒

電気分解により得られる酸性水はpH 2.3と強度の酸性である。この強酸性水の種子消毒への適応が現在検討されている。これまでの結果では、もみ枯細菌病等の細菌性病害に対しては薬剤による種子消毒と同等の高い防除効果が認められるが、ばか苗病等の糸状菌による病害には効果が認められていない(長野農事試, 1996; 高橋ら, 1996)。今後、適切な使用法確立により、特に細菌性種子伝染性病害の種子消毒に、および無病化種子生産過程で実用化の可能性がある。

⑦ 水洗による付着胞子の除去による防除

コムギなまぐさ黒穂病で、電気洗濯機で保菌種子を洗浄すると、付着胞子の除去効果が高く、また、合成洗剤を添加し洗浄するとさらに除去効果が高く、種子消毒と同等の防除効果が認められ(野田, 1995)、イネ病害においても付着性種子伝染病害の種子消毒に利用できる。

(4) 生物的防除技術

イネもみ枯細菌による苗腐敗、苗立枯細菌病に対し、数種の *Pseudomonas* 属菌が高い防除効果を示し、また、やや防除価は劣るがばか苗病に対しても防除効果が認められている(角田, 1996)。また、非病原性もみ枯細菌病菌の菌液への罹病種子浸種(FURUYA et al., 1991)、および蛍光性 *Pseudomonas* 属細菌液の保菌種子播種土中への灌注、あるいは浸漬処理で高い防除効果が認められる(大野ら, 1992)。

2 根絶技術——種子の無病化技術

種子伝染性病害では、種子が無病であれば発病しないはずであり、少なくとも発病を大きく軽減できるはずである。これまで種子消毒は種子消毒剤により対応されてきたが、優秀な種子消毒剤でも完全な殺菌効果を上げることは極めて困難で、わずかに残存した病原菌が箱育苗という特殊環境下で増殖し、育苗箱内や本田での発病の原因となる。そのため、種子伝染性病害を克服するためには種子を何らかの方法でクリーニングし、無病化する以外に方法はない。種子の無病化を達成するためには、まず第一に、5章1節の病原低減技術のいずれか、また

は各種方法の体系化により可能な限り低保菌量の種子を生産することが重要であり、第二に、病原菌が存在する部位を明らかにし、その罹病組織を種子から除去するか、何らかの方法で完全殺菌するか、無病化法を考える。これにより種子の無病化が可能となる。この観点に立って筆者らは、イネ種子で、病原菌類の潜在部位であるもみ殻を除去し、玄米表面を保護膜としてポリアクリル樹脂と粉末活性炭で二重被覆した無病化種子「玄米人工被膜種子」を開発した。この玄米人工被膜種子の、ばか苗病、いもち病、もみ枯細菌病、苗立枯細菌病等の種子伝染性病害防除効果は高い（勝部ら、1997 a；内藤ら、1997 a）。現在、実用化に向け、現地で試験栽培を行っているが、この防除技術が確立されると、いもち病をはじめとする種子伝染性病害の根絶も夢ではない。

VI 種子の無病化における問題点と今後の方向

種子伝染性病害はその伝染源の存在が明確であり、その伝染源を不活性化したり、伝染源潜在組織を除去することにより病原菌がいなくなれば、いかに栽培法が変化しても、またどんな発病好適環境が襲来しても発病してこないはずで、これができれば種子伝染性病害の根絶も可能となる。

種子伝染性病害の一つであるいもち病は、イネにとって最も恐ろしい病害で、それはまた米を主食とする人間にとっても最大の敵である。これまで人間は人間の多くの疫病に対し、それを絶滅するために多大の努力をし、そのおかげで我々は安心して生活できるようになった。農業の分野でもウリミバエに見られるように根絶がなされてきた。しかるに、日本人の主食である大切なイネに対し、その最も激烈な被害を与え、飢饉の原因にもなったいもち病は根絶に至っていない。これまで、いもち病による被害を何とか軽減しようと多くの人々の真剣な努力がなされてきたのは事実であるが、恐らく、いもち病は出るものであるという観念に束縛され、根絶の発想が出てこなかったのかもしれない。イネの病害でも、根絶が必要な病害とそれほどの努力をしなくてもよい病害とあることは確かである。しかし、いもち病をはじめとする現在の種子伝染性病害は根絶すべき病害で、また根絶が可能な病害と考える。

この種子の無病化技術を成功させるために重要なことは、まず、その病害の生態を精査し、伝染源が種子のみであるか、その他に伝染源があっても罹病稲わらのように種子が無病化できれば解決できるものか、を確証しな

ければならない。「いもち病は罹病稲わらからもうつる」、というが、この罹病稲わらは罹病種子からできたものであることは因果関係を少し考えればわかることである。要するに、精密な生態研究を行うことと、その結果を正しく理解し、根本的防除対策を考えることが必要である。無病化の方法、その効果的使い方はそれから考えればよいのである。新しい観点に立った柔軟な思想で、根本的防除を目指す新防除技術、クリーン種子開発のため一層の努力を願うものである。

引用文献

- 1) 芦澤武人ら (1997): 関東病虫研報 44: 23~24.
- 2) 古河 衛 (1989): 北陸病虫研報 37: 1~3.
- 3) FURUYA, N. et al. (1991): Ann. Phytopathol. Soc. Jpn. 57: 371~376.
- 4) 林かずよら (1997): 北日本病虫研報 48: 47~49.
- 5) 林 宣夫・賛田裕行 (1983): 関東病虫研報 30: 15~16.
- 6) 平野喜代人・後藤和夫 (1963): 農技研報 C 16: 1~58.
- 7) 堀野 修・進藤敬助 (1986): 北日本病虫研報 37: 21~23.
- 8) 勝部和則ら (1997 a): 日植病報 63: 215.
- 9) ———・武田真一 (1997 b): 北日本病虫研報 48: 43~46.
- 10) 岸 国平 (1976): 植物防疫 30: 27~30.
- 11) 牧野秋雄 (1981): 関東病虫研報 28: 6.
- 12) 茂木静夫 (1985): 植物防疫 39: 393~397.
- 13) 長野農事試 (1996): 主穀作物の健全種子生産供給のための総合管理システムの確立 (地域重要新技術成果報告書), 埼玉農試, 167 pp.
- 14) 内藤秀樹ら (1975): 北日本病虫研報 26: 34.
- 15) ———・関 寛三 (1979): 同上 30: 67.
- 16) ——— (1982): 東北農試研報 66: 101~206.
- 17) ——— (1994): Rice Pest Science and Management, IRRI, Philippines, pp. 71~88.
- 18) ——— (1995): 農業環境研究叢書 9 農林水産業と環境保全—持続的發展をめざして, 農環研, pp. 68~94.
- 19) ———ら (1997 a): 日植病報 63: 214~215.
- 20) ——— (1997 b): いもち病研究と防除, 日本バイエルアグロケム, 東京, pp. 24~30.
- 21) 野田 聡 (1995): 関東東海農業の新技術 11: 265~268.
- 22) 岡田 大 (1988): 九病虫研会報 34: 8~9.
- 23) 大野義文ら (1992): 関東病虫研報 39: 9~11.
- 24) 太田光輝 (1995): 同上 42: 19~21.
- 25) ——— (1996): 同上 43: 53~55.
- 26) 佐々木次雄 (1987): 東北農試研報 74: 1~47.
- 27) 関 寛三ら (1978): 東北農業研究 23: 31~32.
- 28) 角田佳則 (1996): 総合農業の新技術 9: 114~116.
- 29) 高橋義行ら (1996): 関東病虫研報 43: 41~43.
- 30) TSUSHIMA, S. et al. (1995): Ann. Phytopathol. Soc. Jpn. 61: 109~113.
- 31) 山下 亨ら (1993): 関東病虫研報 40: 23~24.
- 32) ——— (1996): 関東東海農業の新技術 12: 254~257.
- 33) ——— (1998): 関東病虫研報 45: 15~17.