

EBC(Evidence-based Control)研究会誌 第16号

-EBC ワークショップ 2021 (オンライン開催) 講演要旨集-

第一部 病害防除研究の基礎と実践

1. 病害研究における圃場試験・データ解析・論文執筆について 1
川口 章 【(国研) 農研機構・西日本農業研究センター】
2. エビデンスメイクに役立つ頻度データの統計解析 8
田代 暢哉 【一般社団法人プラントヘルスケア研究所】
3. タマネギべと病の大発生による産地の危機
共同研究と行政・普及機関が一体となりV字回復に至った取組みの成果 19
井手 洋一 【佐賀県農業試験研究センター】

第二部 ショートトーク

4. 新規殺菌剤インピルフルキサムの特長 34
倉橋 真 【住友化学株式会社】
5. パレード®20 フロアブルのセルトレイ灌注処理による病害防除 35
長谷部 元宏 【日本農薬株式会社】
6. 水稻種子処理剤による病害虫防除技術 36
内田 聡 【バイエルクロップサイエンス株式会社】

本誌に掲載されている要旨の無断転載を固く禁じます

日本植物病理学会 EBC(Evidence-based Control)研究会
PSJ EBC Workshop

Japanese Journal of Evidence-based Control for Plant Protection

CONTENTS

KAWAGUCHI, A.: On-farm research, data analysis, and writing the academic papers in the study of plant disease management	1
TASHIRO, N.: Statistical analysis of frequency data useful for evidence making on EBC	8
IDE, Y.: Crisis of onion production due to outbreak of downy mildew Results of efforts that led to a V-shaped recovery through joint research and Corporate with the government and agricultural extension center	19
KURAHASHI, M.: Properties of Inpyrfluxam, a novel fungicide	34
HASEBAE, M.: Disease control by drench application of Parade 20FL to plug seedlings	35
UCHIDA, S.: SeedGrowth technology for pests and diseases control on rice	36

病害研究における圃場試験・データ解析・論文執筆について

On-farm research, data analysis, and writing the academic papers in the study of plant disease management

国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 西日本農業研究センター

川口 章

kawaguchia240@affrc.go.jp

Abstract

With evolving technologies and changing job descriptions, scientists, agribusinesses, and growers increasingly are conducting on-farm disease management research. But many of them are not equipped with proper training to plan or complete these experiments successfully. Further, after on-farm research, we should perform data analysis and record the results into academic articles. In this session, we discuss these issues for early career plant pathologists.

はじめに

我々が日々取り組んでいる病害防除研究において、その成果は農業生産者自身が活用できるものでなければならない。そのための研究手法として、温室での試験、研究所内の小規模または大規模圃場での試験、そして農業生産者の圃場を利用した現地研究(On-farm research)が重要な研究手法になってくる。得られたデータをそのまま記載して議論するだけでは、組織内の報告書レベルを超えることはできない。科学研究の本質とも言える「観察から仮説を設定し、実験(実証, 介入)でその仮説を検証(反証)する」という原則に基づけば、帰無仮説を棄却する根拠に確率関数を用いる以上、統計解析は必要である。ここでは、On-farm research における試験設計を中心に、統計解析における注意点などを中心に議論する。なお、本稿は主に病害防除研究の経験が浅い研究者に向けた基礎的な内容であり、これまで EBC 研究会で講演してきた内容(川口, 2012; 2014)に一部加筆修正したものである。

1. 研究デザインと得られるエビデンスレベル

ここで言う「研究デザイン」とは得られる研究結果について信頼性のレベルが決まっている研究手法のことである。これに対して、一般的に使われる「試験設計」とはその選択された研究デザインの下で決められる具体的な計画(時期, 場所, 作物, 対象病害虫, 個体数, 処理の種類や処理区の数など)のことを指す。研究デザインから得られたエビデンスには強弱が存在する。「強いエビデンス」には防除法とその結果(病害虫被害の減少)の間に因果関係が成立しているのに対して、「弱いエビデンス」は因果関係が必ずしも成立しておらず、防除法が病害虫の被害を減少させることが保証されない。

研究デザインに基づくエビデンスレベルについては、2000年にアメリカ国立科学アカデミーの医学部会が「疾病予防施策の有効性の判断規準」として、そのことを明記している(坪野, 2002)。この規準を基にした病害防除技術に関するエビデンスレベルについてこれまで様々な提案がされてきた(田代, 2005; 石黒, 2005; 川口, 2012)。臨床医学では、エビデンスレベルの判定はデータの偏り(バイアス, bias; バイアスには選択バイアスや交絡などが含まれる)の排除のしやすさ(介入研究>観察研究>記述研究)に基づいて行われる。しかし、病害防除研究では、生産現場における On-farm research で得られる観察研究によって、小規模の試験圃場における介入研究では得られないような重要な情報が提供される(もたらされる)ことも多い。

農業生産現場における観察研究の重要性が考慮された、病害防除のための研究デザインと得られるエビデンスレベルを図1に示した(川口, 2012)。エビデンスレベルは $I > II A = II B > III > IV > V$ となり、さらにカテゴリー内でも強弱が存在する($II A-1 > II A-2$, $II B-1 > II B-2$)。「疾病予防施策の有効性の判断規準」(坪野, 2002)では $I > II A-1 > II A-2 > II B-1 > II B-2 > III > IV > V$ となっており、II A と II B の関係が異なる。

2. 病害防除研究で主に用いられる研究デザイン

以下、病害防除研究においてよく選択されると思われる研究デザインについて説明する(図1)。

(I) 介入研究の無作為化対照試験(Randomized Controlled Trial; RCT)を複数用いたシステムティック(系統的)・レビュー(総論, 総説, 批評)が最も強いエビデンスであることは前述の臨床医学分野における規準と同様であるが、(II A) 介入研究と

(II B) 観察研究のエビデンスの強さは同等とし、それぞれのカテゴリーの中でさらに細分化される。(II A)では(II A-1)無作為化対照試験の方が(II A-2)非無作為化対照試験よりもエビデンスは強い。図 1 にはないが、On-farm research では現場の事情により試験区の反復が3つ以上とれない場合もあるので、その場合には反復が多い順からII A-3, II A-4といった順位付けになる。

(II B)の観察研究はコホート研究を指す。コホート研究とは、曝露(疫学用語で「原因」のこと)要因の異なる2つ以上の対照群(コホート)を発病前から同じ期間観察し、その後の発病個体数を比較して曝露と発病の関係を推論する研究であり、(II B-1)前向きコホート研究(Prospective cohort study)の方が(II B-2)後向きコホート研究(Retrospective cohort study)よりエビデンスは強い。どちらも発病する前から観察する対照群を決めた後に発病するまで継続して調査を行うが、前向きコホート研究では曝露要因が調査開始時点でわかっているのに対し、後向きコホート研究では曝露要因が調査開始時点では不明である。このため、過去の記録や人の記憶をたよりに時間をさかのぼって調査する必要があり、前向きコホート研究に比べてバイアスが入りやすい。

(III)症例対照研究(Case control study)はコホート研究とは逆に、既に発病した対照群ごとの曝露要因を過去にさかのぼって調査する。症例対照研究は発病していく様子を継続して調査する必要がないため、曝露要因と思われたものが発病の前から存在していたのか、発病株が増加している過程で出現したのかなどを慎重に調査する必要があり、因果関係の時系列(必ず、原因の後に結果が存在する)に反するような解析の間違いを起こす可能性がある。よって、エビデンスレベルは(II B)より低い。

研究デザインから得られるエビデンスレベルを知っていることは、その研究結果を農業現場に適用して良いか、あるいはさらなる試験研究が必要か、という研究者の判断材料になる。このため、研究デザインとエビデンスレベルの関係について、理解しておくことはとても大切なことである。なお、いずれの研究デザインにおいても、単一事例のみの結果より複数事例で同じ結果が得られている方がエビデンスレベルは高いことは言うまでもない。

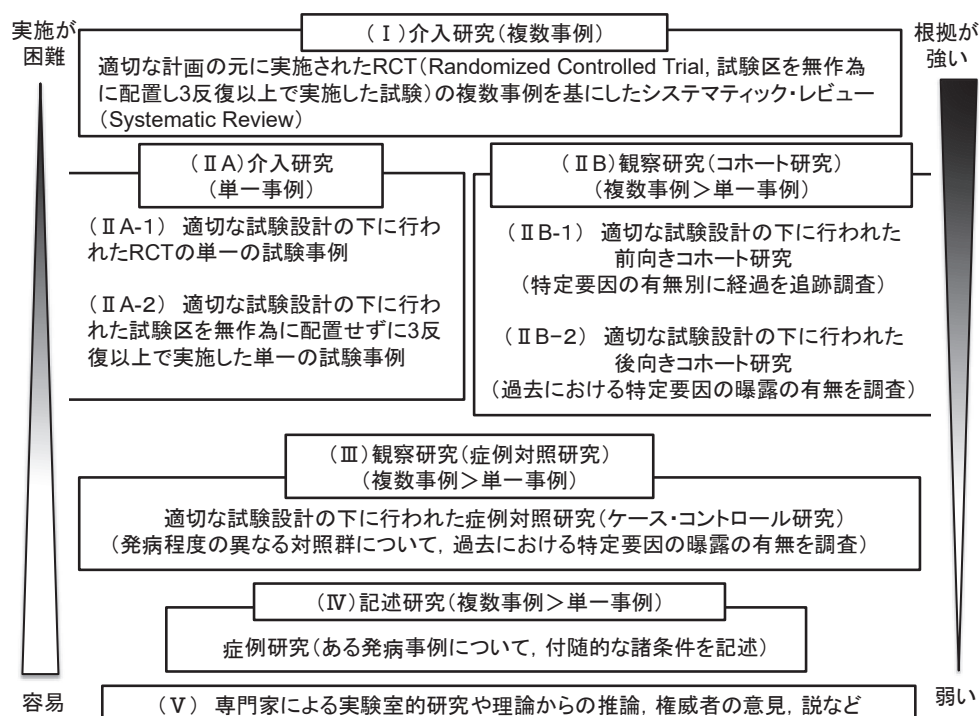


図 1 病害防除技術の有効性の判断するための研究デザインとエビデンスの強さ(川口, 2012)

研究デザインのカテゴリーとして I ~ V に分類し、エビデンスレベルは I > II A = II B > III > IV > V となり、さらにカテゴリー内でも強弱が存在する(II A-1 > II A-2, II B-1 > II B-2)。基準の策定には交絡因子の排除のしやすさと農業生産現場における観察研究で得られるデータの客観性を考慮した。

3. 区の「反復」と試験の「反復」

On-farm research だけでなく、自分の圃場を用いた研究、特に防除試験において「反復(Replication)」を設けることは非常に

重要である。「現代統計学の父」と称される Ronald A. Fisher が 1926 年に発表した「実験計画法」には、圃場試験における様々な注意点や解析の方法、そのための試験設計方法について詳しく記載されている。その後、いわゆる Fisher の 3 原則として以下が提唱された。

- (1) 局所管理化(比較したい要因以外の要因を均一化)
- (2) 反復(実験ごとの偶然誤差を均一化)
- (3) 無作為化(観測者, 測定機器, 測定条件などの誤差(系統誤差)を均一化)

その約 60 年後, Hurlbert(1984)は反復を「同じ処理を行った, 統計的に独立した試験区」と定義した。一見, 同じ処理を行った試験区がいくつかあるように見えるものの実質的には一つの試験区であるのに, そのデータを用いて統計解析を行うことを「偽反復(Pseudo-replication)」と定義した。特に同じプロット内で何回も繰り返して測定することや, 一つの処理区の面積が大きい場合, その中で 3 箇所を無作為に選び, その 3 箇所で行うことは「偽反復」に含まれる。Hurlbert は limnology(陸水学)の専門家で, 自然界の大規模な面積で観察研究を行う生態学者であったため, 本来は試験区(コドラート)のランダム配置の重要性を説いた論文であったが, この「偽反復」という言葉があまりにも鮮烈であったために, その後多くの論文に引用された。著者がこの論文を読んで思うことは, 確かに試験区のランダム配置は重要であり, 介入試験におけるその重要性は Fisher の 3 原則の「(1)局所管理化」と「(3)無作為化」に当てはまる。しかし各試験区が互いに影響を与えない独立した状態を「反復」とした Hurlbert の定義は, 実際の圃場試験で常にその独立状態を維持することは難しい。例えば, ある試験区で病害が初発し, そこが伝染源となって他の試験区に分生子が飛散して発病が拡大したとすれば, 試験区が他の試験区に影響を与えていることになる。実際の問題として, 同じ実験を処理日や場所を変えて複数回行う事が困難である場合が多いため, 同じ処理をした試験区を複数用意し, ランダムに配置した状態を「独立した状態」とし, 「反復」の条件が成立したとして, それらのデータ間の平均値や分散を統計処理して点推定や区間推定を行う事が今日では一般的である。

しかし, これではその 1 回の試験において担保されるのは「得られた結果が, その試験方法から考えて妥当である」=「内的妥当性」だけであり, 「その試験結果には普遍性があり, 広く一般的に通用する」=「外的妥当性」は満たされない。つまり, 試験区の「反復」は内的妥当性を, 試験の「反復」(同じ試験設計の試験を複数回行う)は外的妥当性を満たすために必要である。何回実施しても同じ結果になるという事実, 例えば「A 氏が行っても B 氏が行っても同じ結果になった」, 「A 県で行っても B 県で行っても同じ結果になった」, 「2012 年に行っても 2013 年に行っても同じ結果になった」, ということが重要である。それはつまり, エビデンスの強さで言えば「複数事例>単一事例」の事を指している。

著者が経験した事例であるが, ある防除試験を論文に仕立て, 海外の学術雑誌に投稿した時, 審査結果に書かれていたコメントには「確かに一つの試験内には反復が設けているが, 試験が1回しかないので, 論文に一般性がない」としてリジェクト(Reject)されてしまった。やはり実験自体を複数回行う事は必ずやっておきたい。ちなみに Hurlbert (1984)論文は圃場で仕事をする研究者には一度読むことをお勧めしたい。

4. 「区の反復」を統計解析するために知っておくべきこと

例えば, 一つ圃場の中で, A 剤散布区, B 剤散布区, 無処理区の 3 つの区を設定し, 各区それぞれ 3 つに分け, それを系統的に配置した圃場を考へてみる(図 2)。各処理区内には, 例としてトマト株が 20 株ずつ配置されているとする。多くの場合, これを“処理区あたり 3 反復”として, 薬剤散布後のトマトの発病の有無を記録する。各処理区(A1~C3)における発病株割合が算出される。この発病株割合の数値をアークサイン変換(過分散を矯正)した後, 変換した値を用いて Tukey の多重比較を行って有意差の有無を検定し, 平均値の横にアルファベットを付与して完了, となるのが一般的だろう。

A 剤処理区(A1)	無処理区(C2)	B 剤処理区(B3)
B 剤処理区(B1)	A 剤処理区(A2)	無処理区(C3)
無処理区(C1)	B 剤処理区(B2)	A 剤処理区(A3)

図 2 圃場の試験区の配置例

しかし, Hurlbert 論文にあるように「反復」=「複数の独立した区または実験」と考えた場合, 果たして A1~A3, B1

～B3, C1～C3 は本当に互いに「独立した反復」なのだろうか? 同じ品種のトマトを播種日も定植日の同じ日, 管理作業も全区で同じ, 薬剤散布日も散布量も全区同じであるのなら, 「独立した反復」とは本来言いがたい状況である. 自然発病条件下であれば, どの区から発病が始まるか予測不可能であるため, できるだけ区をランダム配置しておき, どこかの場所から発病した際に, 特定の区がその場所に固まって配置されていないように気をつける程度の意味でしかない. 土壌病害に対する防除試験でも同様であり, 仮に土壌に均一に病原菌を接種したとしても, どこかに偏りがある場合や, 本来存在している土着の病原菌の土壌中での偏り, 昨年の肥料成分の偏り, 傾斜, 日射の偏りなどを考慮して, 図2のような配置にするが, これまた「独立した反復」とは言いがたい. 前項で書いたとおり, これらは「局所管理化」と「無作為化」の制御に当てはまるが, 「この処理方法は何回試験を行ってみても, 同じ効果が得られることを証明する」ことにはならない. 本来「独立した反復」でなければ, 分散分析を行うことはあまり意味がなく, 同一処理における発病株割合はA1～A3の値を合算して計算し, 一般的な Tukey HSD test (連続変数の解析, 分散分析に含まれる多重比較) ではなく Ryan 法 (名義変数の解析, 比率の検定に含まれる多重比較) を用いるべきであろう (田代, 2009).

一回の圃場試験で「この区は独立した反復だ」と強く主張したいのであれば, 異処理区を1区ずつまとめた「ブロック試験」にすると良い (図3).



図3 ブロック試験の例

ブロック同士は隣接していても良いが, お互いの影響が無いようにしなければならない. 例えば, 隣接するビニルハウス3棟なら, 図3をそのまま適用できる. 地理的な位置が異なる圃場を3つ確保できれば理想的である. こういった試験設計ならば, 発病株割合をアークサイン変換し, 各反復の値の分散を対象とする分散分析, 多重比較なら Tukey 法を用いても良い. ただし, 発病株割合のアークサイン変換は調査個体数を多数確保できている場合, 具体的には300個体程度以上ある場合に適用してもよいとされているが, お勧めはできない. また, 比率の独立性検定である Cochran-Mantel-Haenszel 検定 (多重比較ではない) も使える. 本検定法なら, 各反復の値を合算すること無く用いることができるし, 異なる3処理区までの比較なら閉検定 (Closed testing procedure) を行うことも可能であり, 多重比較を行うこともできる (田代, 2007). 本検定方法はモモせん孔細菌病の防除試験 (Kawaguchi et al., 2014) で既に用いられているので, 参考にして欲しい.

以上, 圃場試験で同じ処理区を複数設ける試験設計において, 本来は「反復」とは違う目的で設定したもの (「局所管理化」と「無作為化」の制御) が, 「反復」(ここでは独立したもの) としての役割を果たしているような誤解を生んでいるのが, 実際のところだろう. しかし, 前項にも記載したとおり, 同じ処理をした試験区を複数用意し, ランダムに配置した状態を「独立した状態」とし, 「反復」の条件が成立したと見なしているのが現状である. 圃場試験を行うにあたり「本来の反復の意味はそうではない」という事だけでも知っておいて欲しい. 「5」の項で後述するが, 実際に論文にするときにはその試験設計における「反復」について誤解を招かないよう「Materials and Methods」を丁寧に記載しなければならないことを強調しておく.

ただし, ブロック試験をうまくデザイン出来たととしても, やはり「一つの試験事例」に過ぎないので, 外的妥当性を満たすためには, 試験を複数行う「試験の反復」が必要であるのは言うまでもない.

5. 「試験の反復」をうまく活かすための統計解析: メタアナリシスの活用

つまり, これまで述べてきた通り, 一つの実験で得られた結果だけでは, それがどんなに入念にデザインされた実験から得られた結果だとしても, 外的妥当性は満たされない. 複数回の独立した実験はやはり必要である. しかしながら, 複数事例の中には結果が異なる事例が含まれてくることがある. 例えば, 防除技術の効果を判定する試験で10の試験事例が得られた時, 効果があった事例が6つ, なかった事例が4つ得られた場合, 本当に効果があるのか, 判断に悩むことになる. そこで, それら複数事例の結果を統計的に統合して一つの結論を導く方法としてメタアナリシス (Meta-analysis) がある. 病害防除研究で

は、ブドウ根頭がんしゅ病の生物防除(Kawaguchi, 2013; Kawaguchi et al., 2015), モモせん孔細菌病の生物防除(Kawaguchi et al., 2014), トマトかいよう病の土壌消毒(川口ら, 2011), キュウリホモブシ根腐病の土壌消毒(岩館ら, 2011), 極早生温州ミカンに発生する緑かび病の薬剤防除(田代・井手, 2008; 田代ら, 2008), ダイズさび病およびリンゴ火傷病に対する薬剤防除(Ngugi et al., 2011; Mila and Ngugi, 2011)の効果判定にメタアナリシスが用いられている。これらの研究では、防除手段の有効性が数字として表されている。このため、その防除手段を採用する判断の際の根拠として、農業現場で強い説得力がある。病害防除試験におけるメタアナリシスの適用についての詳細な説明は田代(2006), 川口(2012)の報告やMadden and Paul(2011)の論文を参照されたい。

6. 圃場試験データを国際誌に投稿する際の注意点: 試験区, 反復の設定の定義を明確にする

圃場試験データを論文にまとめる際に気をつけておくべき点について、ここでは、英文で執筆した論文を国際誌へ投稿する際の注意点について述べる。我が国における植物病理学の専門学術雑誌は、日本植物病理学会が発行する国際誌 *Journal of General Plant Pathology* (JGPP) がある。その他にも世界各国の植物病理学会が発行する国際誌が存在し、分子生物学だけでなく新知見を含む圃場試験のデータも掲載される雑誌が多数ある。自分が一生懸命行った仕事は、日本だけでなく世界中の農業研究者の目に触れて、批判的レビューを経て少しでもより良い研究成果として記録し、農業生産現場の役に立てたいものである。著者も圃場試験データを何度も国際誌に投稿し *Accept* (採択), *Reject* (掲載拒否) をいくつも経験した。さらに、査読者(*Reviewer*)として国際誌に投稿された多くの論文を審査した。その経験から言える事を述べる。

(1) 試験設計 (*Materials and Methods*) を明確に記載する

圃場試験データには統計解析が必須である。「いくつもある統計解析方法の中から、なぜこの解析方法を選んだのか?」を査読者が疑問に思っ、読み返すのは *Materials and Methods* の項である。つまり圃場の条件、サンプルサイズ、一つの試験内での区数(または反復数)、試験自体の反復、調査の基準、数値の質(名義、順序、連続)と統計解析方法を照らしあわせる事により、解析が適正に行われているかが分かる。ここが曖昧だと、まず *Reject* になる。海外の研究者は日本人以上に「偽反復 (*Pseudo-replication*)」に造詣が深く、敏感である。分散分析を行っているのに反復が「偽反復」である印象を与えれば査読者から鋭い質問が来る。論文では何を“*Independent replication*”と定義するのか、を明確にする必要がある。

(2) 試験設計が複雑な場合は図表にする

複数の圃場試験を行っている場合は、その試験設計内容を文字だけで表現すると膨大な文章量になり、同じ表現を何度も使うことになって非常に読みにくい文章になる(*Reviewer* から、“表現がくどい (*abundant, repetitious*)”とコメントされる)。それだけで *Reviewer* に良くない印象を与え、あまりひどいと「方法が非常にわかりにくい」とされて *Reject* になる場合もあるので、読み手にとってもわかりやすい表現に努める。お薦めは、*Materials and Methods* の一部を図表にすることだ。表1がまさにそれで、各試験事例の内容を一枚の表にすればわかりやすい。試験方法が一般的なものでなく、オリジナリティに富んだものであれば、その手順を図にしても良い。図表や写真の方が文字よりも遥かにわかりやすいのは、万国共通である。図表が多くなる場合には、重要度の低いものは *Supplemental Figure/Table* に指定すると良い。

(3) *Introduction* において、どんな仮説を検証するのかを明記する

海外の国際誌では、科学研究は「仮説を検証する」ものだ、というのがスタンダードである。なので、自身のこれまでの試験研究から得られた仮説、または過去の文献調査から得られた仮説を *Introduction* で明記する。そして、本論文ではそれをどのように検証するかということについて記載するのが *Materials and Methods* の項である、という認識をして頂きたい。

おわりに・・・「論文を書くこと」について

実験室、温室、実験圃場、現地圃場など様々なステージで得られた研究成果について、学術論文にして後世に残していくことが重要である。研究者としては至極当たり前のことなのだが、特に公設試験研究機関に所属する研究者にとって、なかなかハードルが高いようである。研究成果を論文にするためには、研究デザインと試験設計を十分に検討した上で、複数の現地圃場、複数年の結果を適切に統計解析しなければならない。著者自身もその点について今でも苦労しているが、不可能ではない。著者の事例を紹介すると、トマトかいよう病の *On-farm research* の論文が 2010 年に *Plant Pathology* 誌に受理されたが (Kawaguchi et al., 2010), その時の査読者のコメント「本論文の結論はこれまで経験的に知っていたものだ。しかしながら、良くデザインされた試験によって、そのことをとてもクリアに証明した」を読んだ時にはそれまでの苦労が吹き飛んだのを今でも覚えている。その論文はその後、*Plant Disease* および *Annual Review of Phytopathology* に掲載されたトマトかいよう病の総説

に引用され(de Leon et al., 2011; Eichenlaub and Gartemann, 2011), その後も同病害に関する論文には必ず引用されている。自分の研究成果が他の国でも活用され、日本の代表的な研究事例として紹介されるのは、研究者として一つの大きな達成感となる。

良質な科学的根拠に裏付けられた新知見、新技術を速やかに農業生産者へ普及していかななくてはならない。その「良質な科学的根拠」は専門家による客観的な評価を受ける必要があり、それには学術雑誌への投稿による査読者(Reviewer)の審査がある。その審査にパスして受理(Accept)された論文には、一定の信頼性が担保される。もちろん、それが英文による国際誌であれば、世界中の専門家による審査があるので、それをパスすることは和文誌以上に価値がある。

著者はこれまでに複数の論文を発表してきた。内容は新病害、同定手法、系統解析、化学防除、生物防除、発生生態、疫学など様々だが、個々の論文にはその当時の自分の仕事ぶりが詳細に記録されている。特に国際誌に掲載された論文は PDFとしてインターネットで簡単に検索し、Open access の場合は無償でダウンロードできる。論文にしておけば、自分の仕事その後、時代を超え、国を超えて生き続け、その時はあまり注目されなかったとしても、自分とは異なる考えを持つ研究者がその足りなかった部分を補って研究を続けてくれたり、自分では気づかなかった応用方法を指摘してくれたり、さらに時代のニーズが変わったため注目を浴びるようになったり、と、利点は尽きることがない。農業生産者により良い研究成果を返せるよう、客観的な評価を受ける手段として、研究成果を現在だけでなく未来でも有効活用してもらおう手段として、論文にすることは非常に重要である。そしてその論文を発表する研究者は、その国籍も立場も全く問われることはない。研究の内容のみが評価される、バリアフリーな場である。

引用文献

- de Leon, L. Siverio, F. Lopes, M. M. and Rodriguez, A. (2011) *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis*, a seed borne tomato pathogen: healthy seeds are still the goal. *Plant Disease* 95:1328-1338.
- Eichenlaub, R. Gartemann K. H. (2011) The *Clavibacter michiganensis* subspecies: molecular investigation of gram-positive bacterial plant pathogens. *Annual Review of Phytopathology* 49:445-464.
- Hurlbert, S. H. (1984) Pseudoreplication and the design of ecological field experiments. *Ecological Monographs* 54:187-211.
- 石黒 潔 (2005) 薬剤散布試験によらないで比較的強い防除効果のエビデンスを得る方法—イネいもち病のコホート研究を例として—. *EBC研究会誌*1:11-17
- 岩館康哉・勝部和則・長谷 修・生井恒雄 (2011) キュウリホモブシス根腐病に対するクロロピクリンくん蒸剤マルチ畦内処理と抵抗性台木クロガネカボチャの併用による防除効果. *日植病報* 77:278-286
- Kawaguchi, A. Tanina, K. and Inoue, K. (2010) Molecular typing and spread of *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis* in greenhouses in Japan. *Plant Pathology* 59: 76-83
- Kawaguchi, A. (2013) Biological Control of Crown Gall on Grapevine and Root Colonization by Nonpathogenic *Rhizobium vitis* Strain ARK-1. *Microbes and Environments* 28:306-311
- Kawaguchi, A. Inoue, K. and Inoue, Y. (2014) Biological control of bacterial spot on peach by nonpathogenic *Xanthomonas campestris* strains AZ98101 and AZ98106. *Journal of General Plant Pathology* 80:158-163
- Kawaguchi, A. Inoue, K. Tanina, K. (2015) Evaluation of the nonpathogenic *Agrobacterium vitis* strain ARK-1 for crown gall control in diverse plant species. *Plant Disease* 99:409-414
- 川口 章・谷名光治・井上幸次 (2011) 雨除け栽培で発生するトマトかいよう病に対する土壌消毒と地上部伝染防止対策の防除効果. *近畿中国四国農業研究* 18:13-1
- 川口 章 (2012) EBC (Evidence-based Control) の概念とその実践—On-farm research におけるその重要性—. *植物防疫* 66:450-455
- 川口 章(2014) —EBC のための統計解析—病害防除研究における「反復」の意味. *EBC 研究会誌* 8:18-24
- Madden, L. V. and Paul, P. A. (2011) Meta-analysis for evidence synthesis in plant pathology: an overview. *Phytopathology* 101:16-30
- Mila, A. L. and Ngugi, H. K. (2011) A bayesian approach to meta-analysis of plant pathology studies. *Phytopathology* 101:42-51.
- Ngugi, H. K. Esker, P. D. and Scherm H. (2011) Meta-analysis to determine the effects of plant disease management measures: review and case studies on soybean and apple. *Phytopathology* 101:31-41

- 田代暢哉 (2005) EBC (Evidence-based Control) の必要性—今, 病害防除研究者に求められていること—. EBC研究会誌1:1-10
- 田代暢哉 (2006) 研究データの取り扱いとメタ・アナリシス—データの新しい評価法—. EBC 研究会誌 2:1-10
- 田代暢哉 (2007) 登録申請データの収集と評価における諸問題とその対応①試験実施とデータ取りまとめの場面—効果比較試験における閉検定手順 (Closed testing procedure) のすすめ. EBC 研究会誌 3:33-45
- 田代暢哉・井手洋一・井上美加乃 (2008) 収穫期のベンゾイミダゾール系薬剤散布前のハウスミカン園および極早生温州ミカン園における同系薬剤耐性緑かび病菌の検出状況と同系薬剤における防除効果の低下. 日植病報 74:89-96
- 田代暢哉・井手洋一 (2008) 極早生温州ミカンの緑かび病に対するベンゾイミダゾール系薬剤とイミノクタジン酢酸塩液剤との混用散布による防除効果の向上. 日植病報 74:297-303
- 田代暢哉 (2009) 統計手法の誤った適用事例に学ぶ—よりよいエビデンスのために—. EBC 研究会誌 5:22-25
- 坪野吉孝 (2002) 批判的合理主義 第2巻 応用的諸問題 (ポパー哲学研究会編), 未来社 pp.160-162

エビデンスメイクに役立つ頻度データの統計解析

Statistical analysis of frequency data useful for evidence making on EBC

一般社団法人プラントヘルスケア研究所

佐賀大学農学部植物病制御学

田代 暢哉

tashirongreen12@gmail.com

Abstract

The evidence for evidence-based control (EBC) must be reliable. Statistical analysis is essential to ensure reliability as evidence. This time, I introduce the minimum analysis sense and method required for evidence making when using frequency data. The key items for the method are the 95% confidence interval (95%-CI), risk ratio (RR), and meta-analysis.

はじめに

エビデンスは信頼性の高いものでなくてはならない。信頼性を担保するためには統計解析が必須である。今回、頻度データを用いる場合のエビデンスメイクに最低限必要な統計マインドと手法について紹介する。今日から統計解析に対する抵抗感がなくなり、日頃の業務に少しでも役立てていただけることを願っている。

1. エビデンスとは

エビデンスとは、防除の計画立案とその実施にあたって役に立つ信頼性の高い情報のことである。現場の悩みに関係している情報のすべてがエビデンスになり得る。例えば、殺菌剤の効果、殺菌剤の残効期間と耐雨性、複数の殺菌剤を混用散布した場合の効果の変動、散布方法や施用方法と効果の関係、散布適期、病気に対する品種の感受性、使用法の違いによる殺菌剤抵抗性発達程度の違い、抵抗性管理の方法、発生予測方法、耕種的対策の効果などなどである。

しかし、どのような情報でもエビデンスになれるわけではない。情報に必要なことはその信頼性である。信頼性が高くないことには現場に自信を持って適用できない。このため、そもそも信頼性の高くない情報はエビデンスには成り得ない。エビデンスは適切な設計のもとに実施された実験や調査で得られたデータから適切な統計解析によって導き出されたものでなければならない。これらの条件が満たされた場合のみ、エビデンスとしての客観性が担保されることになる。そして、信頼のおける情報に基づくエビデンスが蓄積されていくことで、さらに強固なエビデンスになっていくことが期待される。

2. 統計解析の目的

信頼性の高いエビデンスであると納得してもらうためには、データの恣意的な解釈ではだめである。適切な統計解析の結果に基づいた結論から得られたものでなくてはならない。

統計解析の目的は①データを集め、②解析して、③新しい知識や事実を知り、④その結果に基づいて

行動すること、すなわち、現場に応用することである。これらは日々の仕事を行っていく上で避けて通ることのできないものである。これらの一連の流れは、根拠を見いだして(適切な根拠がない場合には evidence-make), それを現場に適用するという EBC のステップの 2-①, 2-②, 3 および 4 の部分に相当する(図 1)。単なるデータの解析にとどまっていけない。解析から得

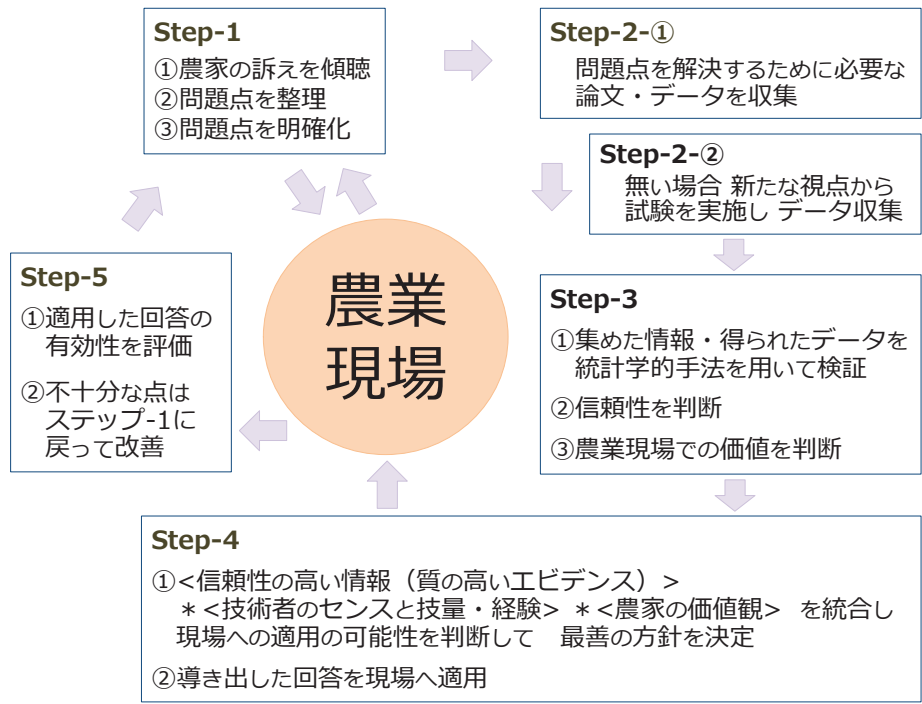


図 1 EBC の 5 つのステップ

られ、明らかになった事実から導き出される理論的根拠を現場の問題解決に役立ててはじめて統計解析の目的が達せられたことになる。

私たちの分野では、処理間の違いを明らかにすることが統計解析の目的であるかのように思われている。しかし、決してそうではない。試験結果から何を知りたいのか、何を普遍化して示したいのか、何を現場に伝えたいのかということが重要である。これらを実現するための統計解析であるべきである。すなわち、新しく開発した技術は現状のものと比較して、どの程度、効果が優って、実用的であるのかということの評価するためのものでなくてはならない。得られたデータを整理して、結果の解析だけで試験の目的が達成されるわけではない。根拠に基づいた行動をとらせるための手段が統計解析であるということを忘れてはならない。

3. 試験成果には生の数字を可能な限り記載する

論文や報告書、成績概要書の結果の項でデータを示す場合に大切なことは、生の数字をできるだけ多く記載することである。図ではもちろんのこと、発病割合や発病度、防除価などの加工された値からでは実施された研究の本当の姿はみえてこない(表 1)。

表1 各種薬剤によるX病害の発病抑制効果

供試薬剤	希釈倍数	発病割合 (%)	発病度	防除価
A水和剤	1,000	14.3	3.0	93.2
Bフロアブル	2,000	43.1	11.3	74.1
無散布	-	85.1	43.7	

注)防除価は発病度の値から算出

また、加工された値だけでは、他の研究者が公表されたデータをもとに後述のメタアナリシスを行おうとしても実施は不可能である。研究担当者に生の数字を問い合わせ、ようやくデータ統合が可能になる。しかし、データが散逸していたり、担当者が替わっていてデータそのものが手に入らないこともある。このような場合はせっかくの貴重な研究が評価の対象からはずされてしまうことになる。大きな損失である。

データを表にまとめる場合、そこに実施した研究のすべてが網羅され、試験結果の概要が理解できるようになっていなくてはならない。少なくとも、調査個体数(表 2)、程度別に調査している場合には、程度別の個体数(表 3)、反復(偽反復)があればそれぞれのデータが必要である(表 4)。そうすることによって研究の内容がより正しく理解されるようになる。そして、種々の方法での解析やメタアナリシスが可能になる。表 1 のようなまとめ方はスマートではある。しかし、利用しづらい点に難がある。「論文や研究報告は調査野帖ではない」といった意見もある。しかし、他の多くの研究者に利用されて技術開発に貢献するという観点からのデータ表現が望まれる。貴重なデータを共有し、EBC をさらに発展させていくために、ぜひ考慮していただきたい点である。

表2 各種薬剤によるX病害の発病抑制効果

供試薬剤	希釈 倍数	調 査 個体数	発病割合 (%)	発病度	防除価
A水和剤	1,000	449	14.3	3.0	93.2
Bフロアブル	2,000	448	43.1	11.3	74.1
無散布	-	450	85.1	43.7	

注)防除価は発病度の値から算出

表3 各種薬剤によるX病害の発病抑制効果

供試薬剤	希釈 倍数	調 査 個体数	発病程度別個体数					発病割合 (%)	発病度	防除価
			0	1	2	3	4			
A水和剤	1,000	449	385	54	5	5	0	14.3	3.0	93.2
Bフロアブル	2,000	448	255	133	41	17	2	43.1	11.3	74.1
無散布	-	450	67	86	143	108	46	85.1	43.7	

注)防除価は発病度の値から算出

表4 各種薬剤によるX病害の発病抑制効果

供試薬剤	希釈 倍数	区画	調 査 個体数	発病程度別個体数					発病割合 (%)	発病度	防除価
				0	1	2	3	4			
A水和剤	1,000	1	150	134	15	0	1	0	10.7	1.9	
		2	149	118	28	2	1	0	20.8	3.7	
		3	150	133	11	3	3	0	11.3	3.3	
		計	449	385	54	5	5	0	14.3	3.0	93.2
Bフロアブル	2,000	1	150	87	51	8	3	1	42.0	9.2	
		2	150	96	38	10	6	0	36.0	9.3	
		3	148	72	44	23	8	1	51.4	15.4	
		計	448	255	133	41	17	2	43.1	11.3	74.1
無散布	-	1	150	23	28	43	36	20	84.7	45.4	
		2	150	18	36	44	40	12	88.0	43.0	
		3	150	26	22	56	32	14	82.7	42.7	
		計	450	67	86	143	108	46	85.1	43.7	

注)防除価は発病度の値から算出

なお、投稿論文の審査過程においてデータはできるだけ簡便にまとめるようにと指摘されることもある。確かに結果を一目で理解するには図が最適である。このような場合には、読者が生データを確認したり、それらを活用したメタアナリシスなどの再解析ができるように、試験条件や生データを Supplemental materials (別表, 別図)として付属させることで対応できる。

4. 95%信頼区間(平均値を区間:線で示したものを)を提示する

100 個体調査して、発病個体が 20 あったとする。この場合の発病割合は $20/100=20\%$ ということになる。しかし、この 20% という値は真実を表しているのだろうか？ 調査した 100 個体 = 母集団であれば 20% は

絶対的なものである。ところが、母集団が 100 個体ということではなく、母集団は無限の集団である。「A 水和剤を温州ミカンに散布したときの緑かび病の発生割合が 20%であった」ということは、たまたま調査した 100 果実について言えることである。しかし、これらとは違う別の 100 果実を母集団から選び出して調べるとどうだろうか。15/100 かもしれないし、30/100 になるかもしれない。100 果実を調べても、そのときの発病個体の数がたまたまそうになっているだけのことである。つまり、発病個体の数にはサンプリングした集団間でバラツキがあるということになる。よって、 $20/100=20\%$ という値は真実を表していないことになる。

私たちが知りたいのは、A 水和剤の散布によって腐敗果実の発生が母集団においてどの程度に抑制されるのか、ということである。このため、調査して得られたデータから母集団の発病割合を推定することになる。このとき、推定値にはサンプルサイズに応じたバラツキの幅が出てくる。そこで、その幅を 95%信頼区間として示すことによって区間推定値とする。「A 水和剤を散布したときの発病割合は 20%」と単なる点推定値だけ示すのでは不十分である。「発病割合は 20%であり、その 95%信頼区間は 12.2%~27.8%である(100 個体調査の場合の区間推定値)」と提示するほうが、現場に対してより信頼性の高い、親切なデータの示し方である。さらに後述するように、95%信頼区間を比較することで処理間の効果差が有意かどうか、わざわざ群間の有意差検定を行わなくても一目瞭然になるという面でもとても使い勝手がいいものである(表 5, 図 2)。すなわち、比較しようとする二つの群のそれぞれの 95%信頼区間に重なりがなく、離れていれば差は有意であり、重なってあれば差は有意ではないということになる。

表5 各種薬剤によるX病害の発病抑制効果

供試薬剤	希釈倍数	区画	調査個体数	発病程度別個体数					発病割合 (%)	発病割合の 95%信頼区間	発病度	防除価
				0	1	2	3	4				
A水和剤	1,000	1	150	134	15	0	1	0	10.7		1.9	
		2	149	118	28	2	1	0	20.8		3.7	
		3	150	133	11	3	3	0	11.3		3.3	
		計	449	385	54	5	5	0	14.3	11.1~17.5	3.0	93.2
AB水和剤	1,500	1	150	123	26	0	1	0	18.0		3.0	
		2	150	112	33	2	2	1	25.3		5.3	
		3	150	117	29	1	2	1	22.0		4.7	
		計	450	352	88	3	5	2	21.8	18.0~25.6	4.3	90.1
Bフロアブル	2,000	1	150	87	51	8	3	1	42.0		9.2	
		2	150	96	38	10	6	0	36.0		9.3	
		3	148	72	44	23	8	1	51.4		15.4	
		計	448	255	133	41	17	2	43.1	38.5~47.7	11.3	74.1
無散布	-	1	150	23	28	43	36	20	84.7		45.4	
		2	150	18	36	44	40	12	88.0		43.0	
		3	150	26	22	56	32	14	82.7		42.7	
		計	450	67	86	143	108	46	85.1	81.8~88.3	43.7	

注)防除価は発病度の値から算出

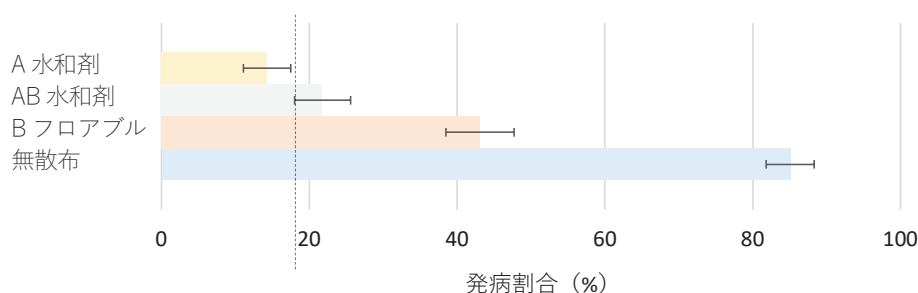


図2 表5の発病割合と95%信頼区間(誤差線)

95%信頼区間の考え方

母集団から例えば20個体を無作為に取り出して発病の有無を調査し、発病割合の点推定値を求める。このことを何回も何回も繰り返していき、点推定の値を横軸に、得られた点推定値がその値をとった頻度を縦軸に示すと、**図3**のような分布図になる。すなわち、母集団の発病割合を中心として、それよりも低い、あるいは高い値はだんだん少なくなっていくはずである。そこで、母集団におけるA水和剤を散布したときの発病割合を提示するために、「最も頻度が高いところを中心としてほしいこのあたりで

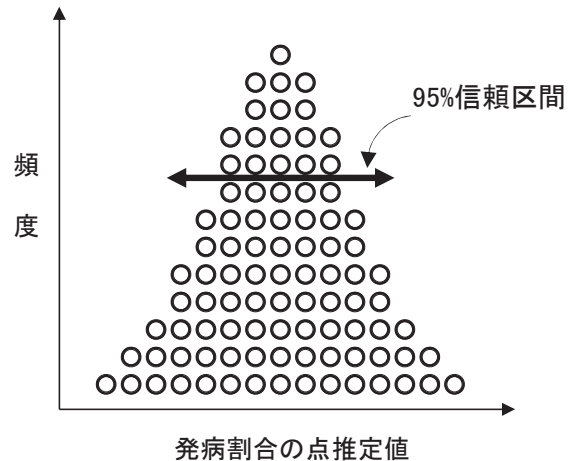


図3 A水和剤区の発病割合の点推定値の分布と信頼区間

あるという区間」を推定する方法が考えられる。これが区間推定の考え方で、この区間が「信頼区間」である。そして、仮に100回試験を繰り返した場合、100回中5回くらいは真値を含まないことがある(95回は真値を含む)、ということの意味しているのが95%信頼区間である。言い換えれば、得られた成績の最も低い可能性(下限値)と最も高い可能性(上限値)がこの95%信頼区間に入っていることを表している。

信頼区間を求めるためには、まず、**図3**に示す発病割合の点推定値の分布がどのようになっているのかを明らかにしなければならない。ある母集団から n 個体を無作為に抽出し、発病しているかどうかを調べる場合、発病割合はそのときどきの抽出したサンプルによって毎回、毎回、違ってくる。そして、得られた発病割合の値は、ある一定の分布に従うことがわかっている。これが二項分布である。このとき、一方の事象が発生する確率を p とすると、もう一方の事象の起きる確率は $1-p$ で表され、分散はこれらの積 $p(1-p)$ になることがわかっている。この二項分布はサンプルサイズが大きくなると左右対称の釣鐘型の線、すなわち正規分布に近似することが中心極限定理によって証明されている。よって、**図3**に示した割合の点推定値の分布は正規分布とみなすことができる。このことを利用して信頼区間を求めることができる。

正規分布における標準偏差 SD は個々の値のバラツキの指標である。このため、正規分布に従っている点推定値では平均値 $\pm 1.96SD$ の範囲の中に95%のデータが含まれているので、その母集団からランダムに一例を抜き出すと、95%の確率で平均値 $\pm 1.96SD$ の範囲の値をとることになる。一方、標準誤差 SE は標本の平均値のバラツキの指標(すなわち、平均値の信頼性を示す指標)なので、平均値の分布である標準誤差 SE がわかると、仮に別の研究者が同じ母集団から別の20個体をランダムに抜き出した場合でも、その値は95%の確率で平均値 $\pm 1.96SE$ の範囲に入るはずである。標準誤差 SE が重要なのは、それによって平均値の95%信頼区間が計算できるところにある。

95%信頼区間の求め方

95%信頼区間を求めるためには、比率(割合)の標準誤差 SE をまず求める。 p を一方のパーセント(例えば発病割合)とするともう一方のパーセント(無発病割合)は $100-p$ になる。これらのパーセントの標準誤差 SE は①両者を同時に掛けあわせ、②その積を標本サイズで割り、③その平方根をとればよい。

$$SE = \sqrt{\frac{p(100-p)}{n}}$$

例えば、A 水和剤 400 倍を温州ミカン果実散布して、100mm の人工降雨処理を実施した後に、カンキツ褐色腐敗病菌 *Phytophthora palmivora* の遊走子懸濁液を接種(供試果実は 10 個、接種部位数は合計 40 か所)したところ、発病部位 8 か所(発病部位割合 20%)、無発病部位 32 か所(無発病部位割合 80%)であったとすると、発病部位割合の標準誤差 SE は

$$SE = \sqrt{\frac{p(100-p)}{n}} = \sqrt{\frac{20(100-20)}{40}} = 6.3\%$$

となる。このことから 95%信頼区間は $20 - (1.96 \times 6.3) \sim 20 + (1.96 \times 6.3)$ 、すなわち、7.6%~32.4%となり、これは発病部位割合のバラツキが 95%の確からしさでこの間に含まれていることを示している。

標準誤差 SE は標本サイズに依存する。このため、発病部位割合はそのまま変わらず 20%で、接種部位数が 100 か所に増えた場合、発病部位割合の標準誤差 SE は以下に示すように小さくなる。その結果、95%信頼区間は $20 - (1.96 \times 4.0) \sim 20 + (1.96 \times 4.0)$ 、すなわち 12.1%~27.8%となって先ほどよりも幅が狭くなる。よって、データの信頼性が高まることになる。

$$SE = \sqrt{\frac{p(100-p)}{n}} = \sqrt{\frac{20(100-20)}{100}} = 4.0\%$$

さらに接種部位数が 200 か所にまで増えると、 SE は 2.83%と小さくなる。その結果、95%信頼区間は $20 - (1.96 \times 2.83) \sim 20 + (1.96 \times 2.83)$ 、すなわち 14.5%~25.5%にまで狭くなる。

一般に標本の n 数(調査個体数)が 100 以下と少ない場合には母比率の 95%信頼区間の幅は広い。すなわち、その精度は低い。一方、 n 数が増加するにつれて精度が向上していく。 n 数が 300 以上になると標準誤差 SE の変動は目立たなくなる。すなわち、標本の n 数が少ないと、得られた結果の信頼性に不安がある。しかし、 n 数をむやみに多くしてもそれほど精度が向上するわけでもない。これでは試験に無駄な労力と時間を費やすことになるだけである。このため、目的とする結果(目的とする割合の差、例えば無処理との差が 20%とか、標準薬剤との差が 5%であるとか、が有意であること)を得るための最適な標本サイズ(本稿では説明を省略)を考慮した試験の実施が重要になる。

5. データ解析には生データを使う

i) 頻度データをパーセントに変換して解析してはいけない

パーセントデータの値が同じ 20%でも、10 個体のなかの 2 個体と 500 個体のなかの 100 個体では重みがまったく違う。10 個体の 20%ではその 95%信頼区間は -4.8%~44.8%と著しく広い。これに対して、サンプル数が 500 個体に増えると、16.5%~23.5%と区間幅は大幅に縮まる。データの信頼性が向上していることがわかる。サンプル数によってデータの信頼性が違ってくることをよく理解しておくことが大切である。

このため、サンプル数を考慮しない頻度データの統計処理は不適切である。頻度データをパーセントに変換した時点で、そのデータが持っている情報量が半減してしまう。このため、データの信頼性を評価できなくなる。頻度データをパーセントに変換し、それをさらに逆正弦変換して、数量データとしての統計処理を行うことはできるが、好ましい方法ではない。

頻度データの統計解析では、検定では χ^2 二乗検定(サンプル数が少ない場合はイエーツの補正を加える)、あるいは Fisher の正確確率検定を用いる。推定では得られたデータの 95%信頼区間を記載する、リスク差あるいはリスク比を算出する、のが正しいやり方である。

ii) 発病度を統計解析に使ってはいけない

先に述べた「頻度データをパーセントに変換して統計処理してはいけない」の場合と同じ理由からである。発病度は一種のパーセント表現であり、そこにはサンプルサイズが反映されていない。このことは、発病度から求められた防除価についても同じことがいえる(発病割合から得られた防除価は例外)。

何段階かの発病程度を予め設定しておき、発病程度別の頻度データ(= 順序カテゴリーデータ: 大小関係のある分類データ)をもとに、発病程度別に与えられた指数を掛け合わせ、それらを合算して求めたものが発病度である。しかし、その値が実用場面において何を表しているのかと問われて明確な回答を示すことができる方はまずいないと思う。しいて言えば処理間の比較を行なう場合の指標としては有効なのかもしれない。でも、農業現場で発病度が 10 とか 20 とか言われても、なんのことだか実感としてはわからないだろう。

そこで、実被害をとまなう発病程度以上のものの頻度について検定あるいは推定するということが考えられる。例えば商品価値が低下するのが発病程度 2 以上であれば、その頻度の処理間差を比較するのである。場合によっては発病程度 3、あるいは 4 以上の比較でも意味があるかもしれない。

発病程度別に調査する場合に最も重要なことは、その基準をどのように設定するのかということである。現場で役に立つ基準にすることが大切である。単純に病斑数などの多少で分けるのではなくて、病斑数などをもとに、発生していても商品価値があるもの、商品価値が低いもの(状況によっては流通可能)、商品価値がまったく無いものなど、実被害があるもの、無いものなどに分け、それぞれの頻度について、あるいはある基準以上の頻度について処理間の比較をおこなうことが実用的である。

6. 信頼性の提示方法である推定と検定の違いを理解する

推定は検定を兼ねることができる。しかし、検定が推定を兼ねることはない。

検定では差がある、差がないということだけが示される。その差がどの程度のものであるのかということとは分からない。検定結果だけでは現場が知りたいことへの対応は困難で、現場に役立つ情報の提示が必要になる。リトマス試験紙の判定結果(検定)と pH メーターの値(推定)ではどちらが情報として役に立つかは論を待たない。なのに、統計処理といえば検定であるとこれまで一般には思われてきたのは残念なことである。

すなわち、検定の結果、差があることが明らかになったのなら、次にはその程度がはたしてどれくらいのものなのだろうか? という疑問がわいてこなければいけない。ところが、検定さえ実施すればそれでデータの評価は済んでしまったという安易な考えが一般的である現状では、現場に役立つ情報提供はとてまかなわれない。

これからは処理間の差を具体的な数値として評価できる推定を積極的に取り入れていくべきである。そうすることによって、現場で役立つエビデンスの集積が図られていくことになる。なお、この場合に重要なことは、差の程度が現場にとって意味があるのかどうかということである。もちろん、このことは現場の価値観によって変わってくる。このため、日頃から現場との意思疎通を図っておくことが大切である。また、データを考察する自分の感性を高めておくことも重要である。

推定は効果指標(計量データでは処理間差の具体的な値, 計数データではリスク差; 発生割合の差やリスク比; 発生割合の比など)の 95%信頼区間を示すことで容易に行なうことができる。実に簡便である。

現場で役立つ情報は量的に比較できるものでなくてはならない。効果のある, なしだけでは不十分である。効果差を量的に示すことが重要である。統計解析と言えればこれまでは検定であった。しかし, 検定は質的な比較にとどまっている。このため, 現場の要求を満たすことはできない。二つの防除手段に差があると言っても, その差が大きいのか小さいのか, その程度が明らかになっていなければ, 現場にとって最善の手段を提示できないことになる。現場を納得させ, 現場に行動してもらうためには定量的なデータ解析に基づいた結果の提示しかない。今後は検定ではなくて信頼区間に基づいた推定へのシフトが必要である。医学系分野の学術雑誌においては効果差の指標として, リスク比と 95%信頼区間の記載が推奨されている。後述するメタアナリシスを理解するためにも, 推定の考え方が必要である。

7. 反復データは統合して評価する(ブロック試験でない場合)

反復とは, あくまでも同じ試験条件下で試験を繰り返してバラツキを低く抑えようとするものである。これに対して, ブロック試験とは, 何らかの目的を有したブロック, 例えば, 施肥量が異なる, 樹齢が異なる, 早生種ではあるがそのなかの品種が異なる, あるいは早生, 中生, 晩生などと品種が大きく異なる, 病害抵抗性の程度が異なる, 地力が異なる, 試験開始時点の初期伝染源量が異なる, 水はけが異なる, 風当たりが異なるなどの条件を異にしたブロックを設け, そのなかで処理間の真の差をみようとするものである。

私たちが一般に実施している試験を考えてみる。おそらくは試験圃場内で肥培管理を均一にし, それぞれの処理区において介入要因(薬剤散布など)以外の影響が可能な限り少なくなるようにして, 試験が実施されていると思う。特段の異なる条件が設定されたブロックで実施されている試験ではない。この場合の反復はバラツキを少なくする目的で設けられていることになる。各反復が独立しているとは言えない。いわゆる偽反復である。このような場合には, それぞれの反復ごとの値を単純に合算して, 頻度データの統計処理(推定)を適用して問題ない。

8. リスク比は直感的にわかりやすい

リスク比の説明の前に以下の用語について説明する。

アウトカム: 試験を実施した結果, 最終的に得られる事象のことで, 発病, 枯死, 無発病, 被害の発生, 加害の発生, 菌糸の消滅, 樹勢の回復, 衰弱・・・などのこと。評価を行う際の指標となる。

イベント: アウトカムを含み, アウトカムに至るまでに発生している事象のこと。アウトカムの途中経過に相当し, ある時点におけるイベントの発生状況とは, その時点までの発病状況などのこと。

リスク(危険度): 我々にとって不都合なイベントが発生する確率のこと。イベントの発生割合。

これらの表現を用いることで, 対象が病害でも, 虫害でも「イベントのリスク」という言葉で発生状況を表すことができるという利点がある。私たちがこれまで一般的に用いてきた処理間の比較を行う際に算出してきた差, 例えば(無散布区の発病割合-処理区の発病割合)はそれぞれのリスクの差, すなわち, 「リスク差」として表すことができる。しかし, 「リスク差」はイベントの発生状況の違い(多発生なのか, あるいは少発生なのか)によって, その時々で異なってくる。このため, 普遍性に欠けるという問題がある。

では、「リスク差」の他にリスクをより普遍的に比較する方法はないのだろうか。この場合、二つのリスクの大小関係を比較する方法として、それらの割合を比較することが考えられる。イ

表6 四分表で示した頻度データ

処理区	イベント発生の有無		計	イベントの発生割合
	あり	なし		
処理-1(A剤)	a (16)	b (84)	$n_1 = a+b$	$p_1 = a/(a+b)$
処理-2(B剤)	c (40)	d (60)	$n_2 = c+d$	$p_2 = c/(c+d)$

ベント発生割合(=リスク)の比、すなわち「リスク比 (risk ratio; RR)」である。実際、これまでもこのような表現をしてこなかったわけではない。処理区は無処理区の約 1/2 の発生にとどまっていたとか、無処理区の約 1/4 に発生を抑制していたなどである。しかし、これまでの表現はあくまでも割合の大まかな比較に過ぎず、きちんとした数的な処理を行うレベルの話ではなかった。

リスク比の求め方

大きさ n_1 と n_2 の二つの標本において発生した事象の割合をそれぞれ p_1 および p_2 とすると、二つの標本(表 6)のリスク比 RR は以下ようになる。

$$\text{リスク比 } RR = p_1/p_2 = (a/(a+b))/(c/(c+d)) = (16/(16+84))/(40/(40+60)) = 0.16/0.4 = 0.4$$

実際の値の差ではなくてイベントが生じる割合を比較することで、いったいどのような利点があるのだろうか。この場合の利点として二つのことがあげられる。

一つは効果を感じ易く把握しやすいことである。効果を割合で示しているため、対照区でのイベントの発生が多かろうが少なかろうが、どの程度にまでイベントの発生が小さくなっているのかを直感的につかむことができる。そして、現場で説明する際にも理解されやすい。表 6 では A 剤と B 剤のリスク比は 0.4 となる。これは A 剤では B 剤の 40%にまで発生が抑えられていることを示している。このことから、A 剤と B 剤の力を容易に比較することができる。

A 剤と B 剤のそれぞれの発病割合から得られたリスク比の解釈は以下ようになる。

リスク比 1 の場合	: A 剤と B 剤の発病割合は同じ
リスク比 < 1 の場合	: A 剤の発病割合は B 剤より低い
リスク比 > 1 の場合	: A 剤の発病割合は B 剤より高い

もともと、リスク比が 1 以外の値を取ったとしても、発病割合が統計学的に有意に異なるとはいえない。バラツキがあるからである。そこで、リスク比の 95%信頼区間を求め(図 4)、その区間が 1 を含まない場合、リスク比を次のように解釈する。

リスク比 < 1 の場合	: A 剤の発病割合は B 剤よりも低い。すなわち、A 剤の効果は B 剤に優る(危険率 5%)。
リスク比 > 1 の場合	: A 剤の発病割合は B 剤よりも高い。すなわち、A 剤の効果は B 剤に劣る(危険率 5%)。

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	<リスク比と95%信頼区間>										
2	処理区	発病果数	健全果数	計	発病割合(%)						
3	A 剤	64	385	449	14.3						
4	B 剤	98	352	450	21.8						
5	計	162	737	899							
6											
7											
8	リスク比				0.655						
9	対数リスク比				-0.424						
10	対数リスク比の標準誤差				0.146						
11	リスク比の95%信頼区間の下限値				0.491						
12	リスク比の95%信頼区間の上限値				0.872						
13											
14											
15											
16											

図 4 リスク比の 95%信頼区間の求め方(Excel)

注) 発病割合データは表 5 に示すものと同一。リスク比 0.655 で、その 95%信頼区間は 0.491, 0.872 と 1.0 以下になっているので A 剤の効果は B 剤に優ることが明らかである。表 5 や図 2 における実測値を比較した場合よりも薬剤間の効果差を理解しやすい。

もう一つの利点としては、リスク比を効果指標として用いることで、複数の試験を統合して評価できることである。すなわち、データの統合評価(メタアナリシス)を行う場合には共通の物指しが必要になるが、その際にリスク比はとても有用である。

9. メタアナリシスの結果には説得力がある

ほ場試験の結果には年次や場所によるバラツキがつきものである。このため、一つの試験の結果だけをみて、それが一定の傾向を示しているのかどうかを断言することには不安がつきまとう。誰も得られた結果が予想通りであったとしても、あるいは、良くて悪くても、ほんとうにそうなのだろうかと心配になったはずである。そのために、同一設計の、あるいは前回の試験結果を反映させて発展させた設計の試験を何回か繰り返して傾向をつかもうとすることになる(なかには、一つの試験結果だけをもって、それがあたかも正しいかのように主張する場合もなきにしもあらずだが、それでは信頼性の高いエビデンスとはいえないことは明らかである)。

しかし、試験を繰り返しても、あるいは他場所との複数試験を実施しても、一つ一つの試験結果で有意な差が検出できなかつたり、得られた結果がばらついていてどのように判断してよいのか困ったり、一定の傾向がみられるにしてもそれらをまとめて判断するにはどのようにすればよいのか悩んだり、ということよくあることである。そこで、これらの問題を解決するために役立つのが、サンプルサイズに応じてデータに重みを付け、それを統合するというメタアナリシスの手法である。

筆者らは EBC 研究会の活動を通じてメタアナリシスのすばらしさを紹介してきた。そのこともあって、日本植物病理学会の和文誌(日植病報)、英文誌(JGPP)、地域の病害虫研究会誌、各試験研究機関の研究報告などにメタアナリシスを用いた論文が掲載されるようになった。他学会や諸外国ではまだそのような動きは少ないようである。本学会の先進性を示すものである。今後、より一層の取り組みが望まれる。

メタアナリシスの実際

メタアナリシスを実施するにあたって、初期のころはExcelを用いていた。現在はRを使って誰でも簡単に解析でき、わかりやすいフォレストプロットも作図できる(図 5)。解析の実際にあたっては、フリー統計ソフト EZR(Easy R)を使うのが便利である。ダウンロード後、‘EZR でやさしく学ぶ統計学 改訂 3 版 – EBM の実践から臨床研究まで – (著者 神田善伸, 中外医学社)’を参照して、解析していただきたい。

フォレストプロットとは(木を見て森を知る)

メタアナリシスの結果を図に表したもの。複数の研究結果とそれらを統合した結果を視覚的に確認することができる。フォレスト(森)は個々の研究の集合体であり、個々の研究が森を形作っている木に例えられる。個々の研究の結果は 1 行ずつ並べられ、最下段にこれらを統合した結果が示される。■ は個々の研究で報告されているアウトカムの点推定値(リスク比, 平均値など)を、■ の左右の横棒は 95%信頼区間を示している。95%信頼区間が 1 をまたいでいなければ差は有意でなく、1.0 をまたいでいなければ差は有意である。■ の大きさは結果の精度で決まる(例数の多い研究ほど、イベントの発生が多いほど、■ が大きくなる傾向がある)。■ が大きく、信頼区間が短ければより信頼のおける研究結果といえる。個々の研究を統合した結果は ◆ で示される。◆ の中心が代表値で、その幅は 95%信頼区間を示す。すなわち、◆ をみて、それが 1 をまたいでいなければ、有意差ありという結論になる。

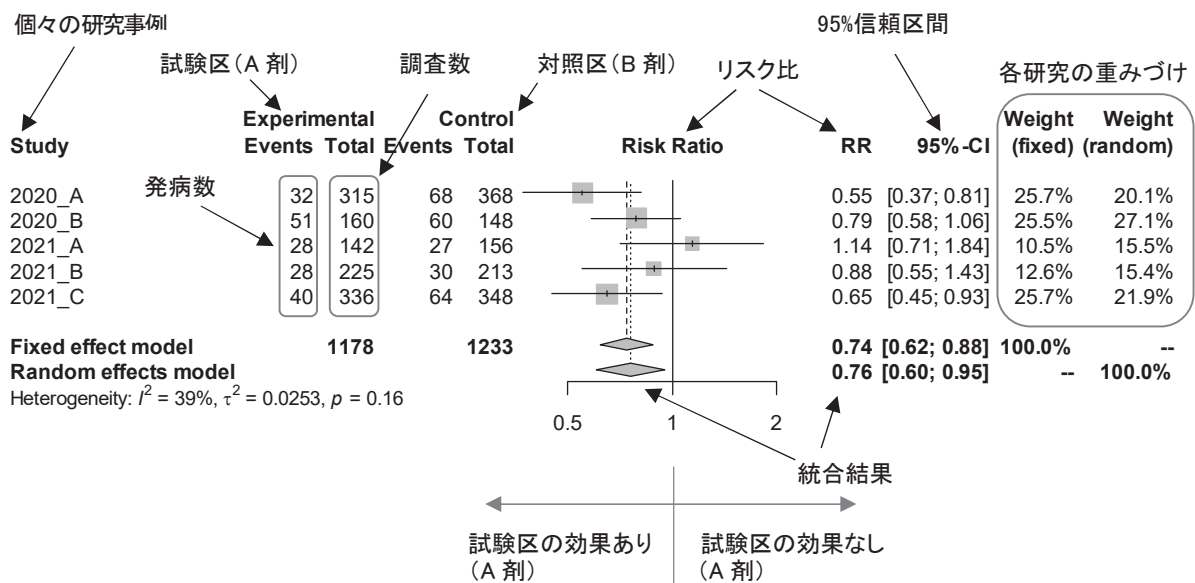


図 5 フォレストプロットによるメタアナリシス結果の表示例(EZR で作成)

おわりに

95%信頼区間とリスク比, そしてメタアナリシスは頻度データ解析の 3 種の神器である。それぞれの意味と基本的な考え方, 手法をよく理解していただければと思う。とは言うても、まずはご自分の実際の仕事に活用されることが大切である。自分で活用して初めて理解できる。使ってみて初めて良さがわかる。使い慣れることが必要である。信頼性の高いエビデンスを創出し、発信していくための統計解析に取り組んでいただけることを願っている。

タマネギべと病の大発生による産地の危機 共同研究と行政・普及機関が一体となり V字回復に至った取組みの成果

Crisis of onion production due to outbreak of downy mildew Results of efforts that led to a V-shaped recovery through joint research and corporate with the government and agricultural extension center

佐賀県農業試験研究センター
病害虫・有機農業研究担当
井手 洋一
ide-youichi@pref.saga.lg.jp

Abstract

In the spring of 2016, onion downy mildew broke out in the onion-producing areas of western Japan and became a major problem. We carried out joint research to elucidate the ecology, develop new control technologies, and work together with the government and agricultural extension center to promote damage reduction. As the result, the damage caused by this disease was reduced in a short period, and production volume was led to a V-shaped recovery.

はじめに

2016年春、本県をはじめ西日本のタマネギ産地が大打撃を受けた年でした。4月に入り、日を迫うごとにタマネギ畑が枯れあがり、収穫量は半減、タマネギの価格は高騰。この惨事はワイドショーでも取り上げられ、タマネギ農家、そして都内の飲食店経営者の悲痛な声が連日にわたって取り上げられた。

この惨劇の原因は、タマネギの代表的な糸状菌病「べと病 (*Peronospora destructor*)」である。古くから知られている病害だが、有効薬「メタラキシル」の普及により、1980年代からはほとんど問題となっていなかったが、2010年頃から産地で問題となるようになり、天候不順となった2016年春に未曾有の大発生となった(善・菖蒲, 2017)。

この大発生をうけ、緊急的に行われた共同研究、そして、行政、普及が一体となって対策に取り組み、べと病の被害を短期間の間に封じこむことができたので、その概要を紹介する。

なお、試験研究の成果については、農研機構生研支援センターから支援を受けた革新的技術開発・緊急展開事業(うち地域戦略プロジェクト)「西日本のタマネギ産地に深刻な被害を及ぼしているべと病の防除技術の開発と普及」の共同研究により得られたものである。また、新規殺菌剤、展着剤関連等の一部の試験については、九州病害虫防除推進協議会の連絡試験の中で得られた成果である。試験研究の実施にあたり支援していただいた関係者の皆様方に厚くお礼申し上げます。

また、後述の二次感染期におけるマンゼブ剤の予防散布については、北海道立総合研究機構において先行して行われた薬剤防除試験結果を参考に当県で適用試験を行い、確立、普及した防除技術である。本技術を御教示いただいた研究員の方々に改めて感謝の意を表したい。

1. 発生生態

西日本のタマネギ産地では、秋期に苗を定植し、翌年の4～6月に収穫する秋植えの作型が主流である。本作型において、べと病菌は、収穫後に土中で被害残渣とともに卵胞子の形態で休眠、越冬する。10～12月の苗床から定植後の植物体が小さい時期に温暖で湿潤な感染に好適な条件が続くと、土中の卵胞子が植物体に感染する(一次感染)。一次感染株は、葉は湾曲し、色あせて黄色っぽくなるのが特徴である。全身的に委縮することも多い。

この一次感染株には多量の胞子(分生胞子)が形成され、3～5月に好適な条件が整うと、周囲の株に短期間のうちに拡散、感染する二次感染が繰り返される。少発生の場合には収量、品質に対する影響は小さいが、症状が進むと鱗茎は小玉化し、貯蔵腐敗を助長する(松崎, 1982)。さらに激しくなると、株そのものが枯れこんでしまう恐ろしい病害である(図1)。



図1 タマネギべと病の病徴と胞子の形態

- A : 一次感染による全身病徴
- B : 二次感染による病斑
- C : 卵胞子(耐久体)
- D : 二次病斑に生じた分生胞子

2. 2016年産タマネギでの多発生要因

西日本の各産地において大発生を招いた2016年産タマネギでのべと病の多発生要因については、以下のように整理している。

- (1) 好適な気象条件：2016年産タマネギでは、定植後の降雨日が多く(一次感染の助長)、4～5月にも断続的な降雨にみまわれた(二次感染助長)。
- (2) 圃場内の菌密度増加：タマネギを毎年連作しており、土中での菌密度が増加。
- (3) 土壌条件の悪化：排水対策の不徹底、作土層の浅さによる生育不良も被害助長要因。
- (4) メタラキシル剤に耐性菌の発生：調査の結果、佐賀県では、これまでの防除の主体であったメタラキシル剤の効果が低下していた(菖蒲・山口, 2017a, 2017c; 菖蒲, 2018)。

3. 研究成果

未曾有の被害の発生と、流通量の激減を招いた本病の防除技術を早急に確立するために、農研機構生研支援センターの支援のもと、佐賀県、佐賀大学、農研機構九州沖縄農研センター、兵庫県との間で、同年10月から3年間の緊急的な共同研究プロジェクトが始まった(令和元年9月まで実施)。また、共同研究事業終了後も、本県では県単事業を継続実施し、以下のような成果が得られた。

(1) 一次感染の生態解明と薬剤防除

- 1) プロジェクト開始当初, 一次感染の過程のメカニズムについては不明な点が多かったが, 渡辺ら (2018a, 2018b) は一次感染が苗床～定植後の長期にわたって感染することを明らかにした. 一次感染株の発生活消長を明らかにした (渡辺・菖蒲, 2019a; 渡辺・菖蒲, 2019c). また, 正司ら (2019) は, マルチ栽培を行うことで一次感染株の発生が少なくなることを示した.
- 2) 移植時期と一次感染株の発生との関係を調査し, 移植時期が早いと発生が多くなることを明らかにした (田代ら, 2018b; 正司ら, 2020a). また, 一次感染発病には植え付け後の降雨よりも気温が影響しており, 植え付け 2 週間後までの平均気温が 6°C 以上であれば発生が多くなることを明らかにした (正司ら, 2020e)
- 3) 除草剤として用いられてきたダズメット (商品名: バスアミド微粒剤) の播種前処理が, 苗床の防除対策として有効. ベと病に対する適用拡大が行われた (田代ら, 2020c).
- 4) 定植の前後 (11~12 月) に使用する殺菌剤として, CAA 系の有効成分を含む殺菌剤 (佐賀県, 田代ら, 2018c; 正司ら, 2020b, **表 1**); 古田・井手, 2021c) や, フルアジナム (商品名: フロンサイド SC) が高い効果を示した (兵庫県).
- 5) CAA 系剤のうち, ジャストフィットフロアブルについては定植後の防除のみでなく, 定植直前の苗床における散布でも高い効果を示した. 本技術は省力防除技術として広く普及した (田代ら, 2020a, 2020d, **表 2**).
- 6) 一次感染における薬剤の効果は, 罹病株抜き取り作業を組み合わせることで高まった (正司ら, 2020d).
- 7) 定植時期を遅くすることでさらに発病が抑制された. 定植を遅くした場合, 露地栽培では鱗茎肥大が抑制されてしまうが, マルチ被覆を行うことで高い収量を得られた (田代ら, 未発表).
- 8) 枯死葉の圃場外への持ち出しは, 一次感染株の発生抑制に有効であった (岩本ら, 2019).

表 1 タマネギベと病の一次感染発病に対する各種殺菌剤の予防効果 (佐賀県上場営農センター, 正司ら (2020b) より引用)

試験薬剤	希釈 倍数	試験 事例数	防除価	防除価の 95%信頼区間
CAA混合剤				
オロンディスウルトラSC	2000	4	81.9	72.7 - 88.0
ジャストフィットフロアブル	3000	9	66.2	59.3 - 71.9
ザンプロDMフロアブル	1500	8	61.8	54.0 - 68.3
保護剤				
ジマンダイセン水和剤	400	4	-20.1	-47.3 - 2.1

注) 2016年~2019年にかけて実施した試験結果のメタアナリシスでの解析値
供試品種はすべてターザン

表 2 CAA 剤の散布時期の違いが一次感染発病抑制効果に及ぼす影響
(佐賀県上場営農センター, 田代ら (2020d) より引用)

散布時期	散布方法	無散布とのリスク比	95%信頼区間
植付前日	トレイ散布	0.2540	0.1806 - 0.3471
植付翌日	本圃散布	0.4291	0.3360 - 0.5479
		本圃散布とのリスク比	95%信頼区間
植付前日	トレイ散布	0.5145	0.3508 - 0.7544

(2) 二次感染対策における効果的な薬剤の使用方法

- 1) 北海道で行われたタマネギべと病に対する各薬剤の防除効果試験の結果 (北海道農政部, 2015) を参考に, 防除薬剤のスクリーニング試験を行った. その結果, 北海道での試験結果と同様に, マンゼブ (商品名: ジマンダイセン水和剤, グリーンダイセン M) の予防散布の効果が最も優れた (菖蒲・渡邊, 2018a, 2018c, **表 3**; 正司ら, 2020c, **図 2**; 田代ら, 2020).
- 2) マンゼブの効果は製剤の種類によって異なり, ジマンダイセン水和剤に比べて, グリーンダイセン Mの方が優れた (正司ら, 2020c).
- 3) ミックスパワー, まくぴか, ニーズ等いくつかの機能性展着剤の加用によって防除効果が向上した (田代ら, 2018a, 2019c).
- 4) 機能性展着剤の加用により, 散布間隔が空いた場合でも高い効果を保持できた (井手ら, 未発表, **図 3**).

表 3 各種薬剤のタマネギべと病に対する予防散布の効果 (二次感染)^{注1}
(佐賀県農業試験研究センター, 菖蒲・渡邊 (2018c) より引用)

供試薬剤 商品名 (成分名)	4月25日 ^{注2)}				
	FRAC コード ^{注3)} (成分1)	FRAC コード ^{注3)} (成分2)	発病 株率 (%)	発病 度	防除価
ジマンダイセン水和剤 (マンゼブ水和剤)	M3	—	9.3	2.3	94
ジャストフィットフロアブル (フルオピコリド・ベンチアパリカルブイソプロピル水和剤)	43	40	16.0	5.3	86
フロンサイドSC (フルアジナム水和剤)	29	—	19.3	6.7	82
ベトファイター顆粒水和剤 (シモキサニル・ベンチアパリカルブイソプロピル水和剤)	27	40	26.0	9.3	75
ペンコゼブ水和剤 (マンゼブ水和剤)	M3	—	31.3	10.5	71
メジャーフロアブル (ピコキシストロピン水和剤)	11	—	34.0	13.7	63
ダイナモ顆粒水和剤 (アミスルプロム・シモキサニル水和剤)	21	27	43.3	18.8	49
ザンプロDMフロアブル (アメクトラジン・ジメトモルフ水和剤)	45	40	50.0	19.0	48
レーバスフロアブル (マンジプロバミド水和剤)	40	—	41.3	19.2	48
リライアブルフロアブル (フルオピコリド・プロバモカルブ塩酸塩水和剤)	43	28	46.0	20.5	44
ランマンフロアブル (シアゾファミド水和剤)	21	—	58.0	23.7	36
フォリオゴールド (メタラキシルM・TPN水和剤)	4	M5	65.3	28.2	23
無散布	—	—	76.0	36.7	

注1) 2017年3月23日 (伝染源の設置前)、30日、4月5日、12日に各薬剤を常用濃度で散布 (感染前からの散布)。品種はスパート (12月2日定植, 5月1日収穫)。なお、各薬剤は試験研究目的で連続散布したが、実際の使用にあたっては、使用回数等の農業使用基準を遵守する必要がある。

注2) 発病株率、発病度は、3反復の平均値。防除価は、発病度より算出 (数値が100に近いほど防除効果が高いことを示す)。

注3) Fungicide Resistance Action Committee (FRAC) による農業用殺菌剤の国際分類。

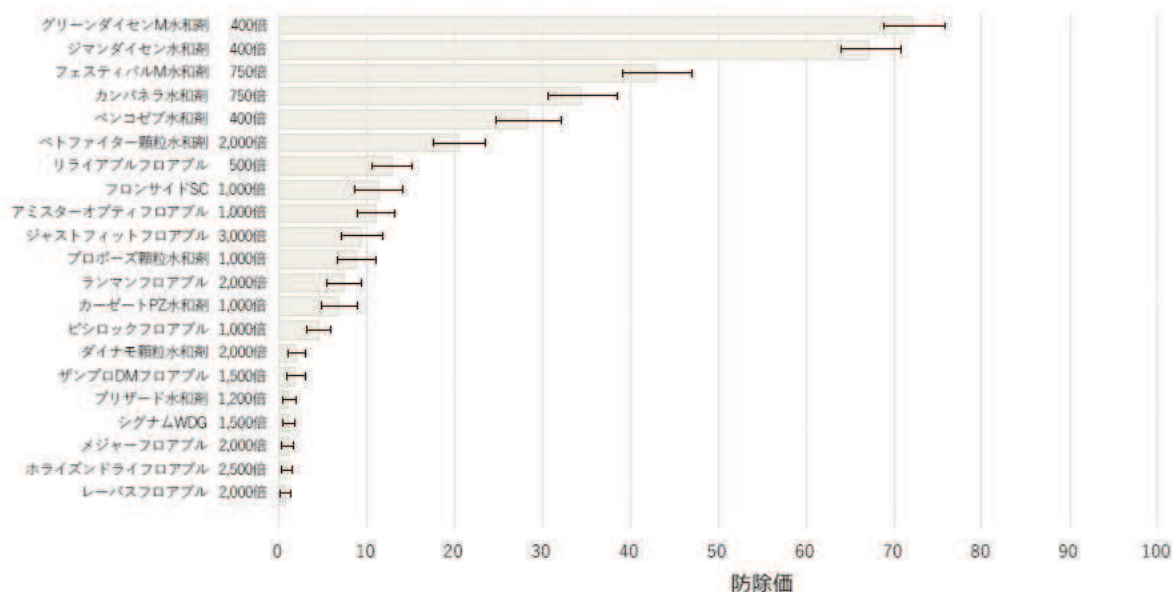


図2 タマネギべと病に対する二次感染発病抑制効果
(佐賀県上場営農センター, 正司ら, 2020c; 田代ら, 2020j)

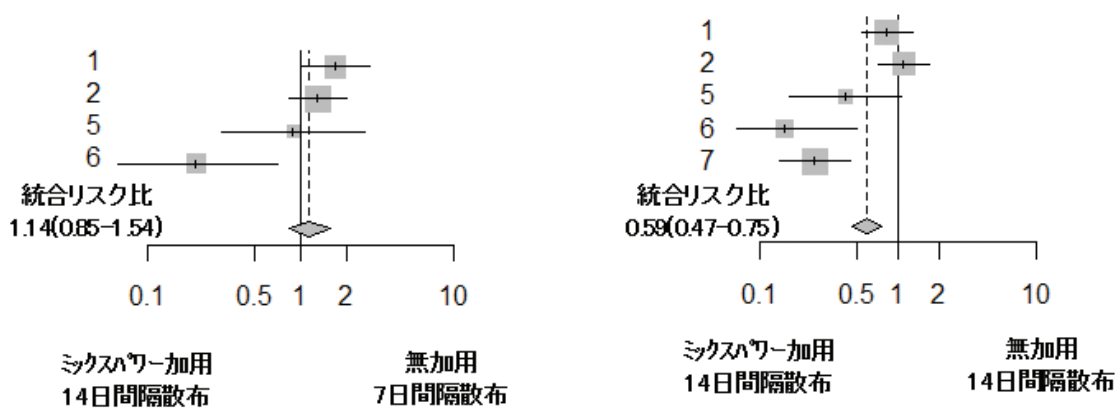


図3 マンゼブ剤に対するミックスパワーの加用と散布間隔がタマネギべと病に対する防除効果(二次感染)に及ぼす影響
(2019~2021年産試験の統合解析)
(佐賀県農業試験研究センター, 井手ら, 未発表)

- 5) 薬剤付着量の調査の結果, 散布後 24 時間以上の間, 降雨が降らないことが望ましいことが明らかとなった(正司ら, 2020f).
- 6) 機能性展着剤の加用効果は, マンゼブ剤のみでなく, フルアジナム剤(井手ら, 未発表; 川内ら, 未発表)においても認められた. フルアジナム剤の場合, ニーズ, ミックスパワーの加用により赤色に変色するが, 防除効果への影響はなかった(井手ら, 未発表).
- 7) 近年の暖冬傾向により, 2 月中旬からの防除が必要となる場合があり, ピカルブトラゾクス(商品名: ピシロックフロアブル)が有効であった(古田・井手, 2021c).
- 8) 薬剤防除により二次感染病斑形成が抑えられると, 茎葉残渣における卵胞子形成や

翌年の一次感染が少なくなる(古田ら, 未発表).

- 9) 感受性の低下が認められたメタラキシルであるが, 最近適用拡大された高濃度散布(1000 倍散布とあわせて 500 倍散布が加わった)により, 効果が担保される可能性がある(古田ら, 未発表).
- 10) タマネギべと病が圃場全体に発生した際に, マンゼブ剤(ジマンダイセン水和剤)と CAA 剤, QoI 剤を混用し, さらに拡張効果に優れる展着剤を加用して散布することで, 収量減を軽減できた(田代ら, 2020h, 2020i).
- 11) 有効薬剤のスクリーニング試験等を行うための分生胞子の接種試験においては, 3.3×10^4 個/mi 以上の濃度の分生胞子が必要であることが明らかとなった(田代ら, 2020b). また, 5°C で保管した罹病残渣を 8~9 月に調整し, プランタにタマネギ種子を直接播種することで, 接種試験等を行うための多くの一次感染株を得ることができた(草場ら, 2021). また, FISH 法による分生胞子の検出法を開発した(草場・河野, 2020).

(3) 二次感染の生態解明と感染推定・警告モデルを活用した応用

- 1) 菖蒲らは, 本病の重点防除時期を明らかにするために, 早生, 中生の両品種における二次伝染の重要な感染時期や, べと病の伝染に係る気象条件を明らかにした(菖蒲ら, 2017b, 2018b, 2019a, 2019b).
- 2) 二次感染においては展葉間もない新葉(葉身抽出部)における感染が主体で, 葉身抽出部における薬液付着を高めるために前述の機能性展着剤の加用が有効であること(田代ら, 2019a, 2019d, 2020e, **図 4**), 分生胞子発芽の諸条件(田代ら, 2019b)等が明らかにした.

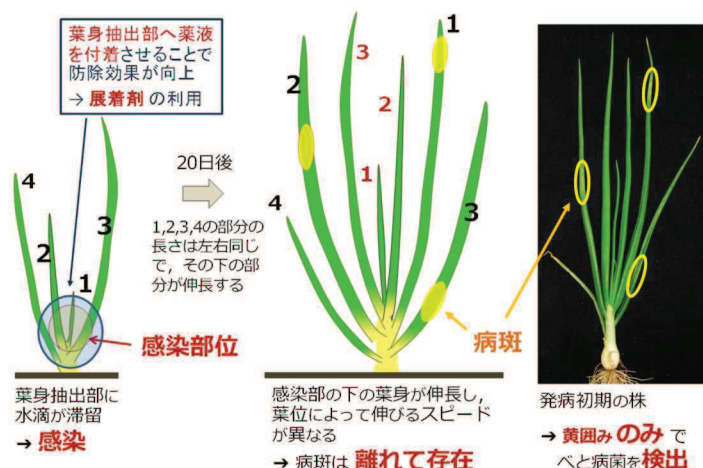


図4 タマネギべと病の病斑形成機構のモデル図(佐賀県上場営農センター, 田代ら, 2020e の図を一部改変)

- 3) 気象庁の観測データを利用した二次感染推定モデル:

菖蒲らは, 気象庁が発表する気温, 湿度, 風速に関する毎時データをもとに, べと病の二次感染が成立しているかを推定する「二次感染推定モデル」を開発した(佐賀県, 2020). このモデルの利用により, べと病がそろそろ発生するかどうかを推測できるようになり, 発生予察情報に活用されている.

なお, この「二次感染推定モデル」については, 表計算ソフト「エクセル」を用いて計算でき, 佐賀県農業試験研究センターのホームページにアップロードしている

ので、参考にさせていただきたい。

参考 URL : <http://www.pref.saga.lg.jp/kiji00370267/index.html>

4) WRF(Weather Research and Forecasting)システムを利用した感染予測(警告)モデル

柴田らは、二次伝染を引き起こす気象条件を解析するとともに(柴田ら, 2017), WRFシステムを活用した「感染予測(警告)モデル」を開発した(柴田ら, 2018a, 2018b). 佐賀県, 兵庫県の両県において, この感染予測(警告)モデルを活用した減農薬防除体系を実践したところ, 慣行防除よりも少ない防除回数で, 慣行散布と同程度の防除効果を担保できることを明らかにした(井手ら, 未発表, **表 4**); 岩本ら, 未発表). また, 兵庫県では海外において導入が進んでいる DACOM 社の病害虫予測システムを用いた減農薬防除体系の有効性を明らかにした(岩本ら, 未発表).

表 4 タマネギべと病に対する感染警告モデルを利用した防除体系の効果 (佐賀県農業試験研究センター, 井手ら, 未発表)

区 防除体系	3月					4月					散布回数	発病株率% 4/26					
	15	22	23	29	31	5	6	8	10	12			14	16	19	20	26
1 約14日毎散布 +感染警告連続2日で追加	○			●						●					○	4	4.6
2 7~10日毎散布①	○		○		○										○	6	35.8
3 7~10日毎散布②	○		○		○									○	○	7	0.9
4 無散布																0	83.1

○予め予定した防除 ●感染警告モデルに基づく臨機防除

感染警告日の状況	3日前	***	**	*	***
	1日前	**	***	*	* **
実際の感染日(事後解析)		*	**		**

(4) 薬剤散布技術

これまでタマネギの分野ではほとんど着手されてこなかった薬剤散布技術について, 以下のような成果が得られた。

- 1) 手散布における薬剤散布: 我々は防除指導する際に, 「たっぷり散布すること」と抽象的な表現で防除指導を行うことが多いが, 手散布で使用するノズルを用いて調査を行った結果, 単に「ゆっくり歩行」して散布量を増やしても薬液付着は高まらない。薬液付着効率を高めるには, 霧状の薬液を噴出する「スズランノズル」, 「中持ちノズル」については往復散布をすることで, 勢いの強い「畦畔ノズル」については, 通常 8 畝ごとに歩行するところを 4 畝毎に歩行し, 株の両側から薬液を散布することで薬液付着が高まる(井手・古田, 2020, 2021a, 2021c)。実際の防除効果への影響については, 現在, 検証中である。
- 2) ブームスプレーヤーによる薬剤散布: ブームスプレーヤー防除については, ノズルバーの高さが影響し, 群落の 30cm 上方から散布すると薬液付着, 防除効果ともに良好であるが, 群落の高さまでノズルバーを下げて散布すると, ノズルとノズルの間に散布むらとなる死角の部分(stripe zone, Lois, 1996)が生じ, 薬液付着, 防除効果ともに低下した(井手・古田, 2021b, **図 5**)。

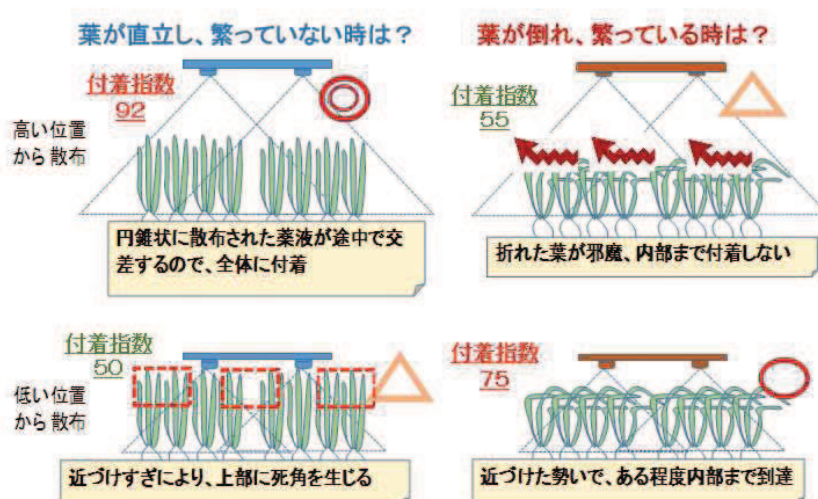


図5 ブームスプレーのノズルバーの高さがタマネギ茎葉における薬液付着とべと病に対する防除効果に及ぼす影響 (佐賀県農業試験研究センター, 井手・古田, 2021b)

- 3) ドローン防除：浸透移行性の高い CAA 剤については高い防除効果が得られ、適用拡大に向けた取り組みが行われている。また、保護殺菌剤の防除効果を高めるための手法として、散布した薬液の分散を抑制するための展着剤の有効利用について検討中である(井手ら, 未発表)。

(5) 土壌中の菌密度低減対策

- 1) 本県のタマネギは水稻の裏作として栽培されるため、土壌中の菌量はある程度は減少するが、佐賀県農業試験研究センター白石分場が実施した一連の試験において、収穫後に水稻を栽培せずに、高温期となる7月下旬～9月上旬の約50日間の湛水処理が、一次感染株の発生防止として有効で、その後の定植の準備作業においても影響がないことが確認された(手塚ら, 2017; 川邑ら, 2018; 國枝ら, 2018, 2019, [図6](#))。現在、多発生圃場における簡易で有効な菌密度低減対策として推進している。
- 2) なお、この夏期湛水による菌密度低減技術は、「最新農業技術・品種2020」に選ばれ、農林水産省のホームページにて公開中である(佐賀県農業試験研究センター白石分場, 2020)。
- 3) ただし、畑作圃場や傾斜地などで物理的に湛水が難しい場合や、隣接した農地への漏水、水利権の問題等の理由で湛水できない場合があることから、湛水が難しい圃場における菌密度低減対策として、米ぬかと灌水を組み合わせた手法を開発した(正司・川内, 2019)。さらに、簡便化を図るために、石灰窒素、微生物資材等を用いた菌密度低減対策について検討中である。



試験区	発生株率 (%)							累計
	2/下	3/上	3/中	3/下	4/上	4/中	4/下	
①湛水34日区	0.5	0.8	1.4	0.5	0.1	0.0	0.0	3.3
②湛水47日区	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
③対照区(無湛水)	0.5	1.0	1.5	6.1	0.1	0.0	0.0	9.3
※湛水34日区の湛水期間: 7/21~8/24								
※湛水47日区の湛水期間: 7/21~9/6								

図6 タマネギべと病の菌密度低減を目的とした夏期湛水処理
(佐賀県農業試験研究センター白石分場)

(6) 卵胞子に関する実験手法およびその生態解明

プロジェクトの開始当初, 本病菌卵胞子に関する実験手法は確立されておらず, 卵胞子の生態には未解明な部分が多かったが, 共同研究を通じて以下の成果が得られた.

- 1) 土壌あるいは罹病葉からの卵胞子抽出法, 原形質分離を指標とした卵胞子の生死判別法 (児玉ら, 2018; 川邑・草場, 2018; 渡邊・菖蒲, 2019c), 詳細な塩基配列情報 (Fujiwara, 2019) を元にした本病菌の定量 PCR 法, 自然発病土を用いた生物検定法 (渡邊ら, 2019) 等の診断技術を開発した.
- 2) これらを利用して卵胞子の生態に関する種々の調査が行われ, 4 月上旬の時点で既に多量に形成されていること (草場・河野, 2020), 春に作られた卵胞子は, 当年夏~秋に野外での生存率が大きく低下すること (川邑・草場, 2018; 菖蒲ら, 2019), その一方で, 当年夏~秋には感染能力を有すること (菖蒲ら, 2019), 一次感染により発病した苗の体内に新たに卵胞子を形成すること (渡邊ら, 2019; 渡邊・菖蒲, 2019c), 卵胞子による感染・発病は 10~20℃前後で起こり, その適温は 15℃前後であること (菖蒲ら, 未発表) などが明らかになった.
- 3) 渡邊らは卵胞子を地下部に接種し, 地上部の全身病徴が再現されることを確認した (渡邊, 2019; 渡邊・菖蒲, 2019b, 2019c).
- 4) 塩飽・松尾 (1972) は一部の枯れた根において卵胞子が少量確認されたことを既に報告しているが, 本研究において, 地下部への接種試験により, 発病苗の見かけ上健全な一部の根において, 卵胞子が多数形成されることを確認した (渡邊, 2019; 渡邊・菖蒲, 2019b, 2019c).
- 5) さらに, 圃場観察と地下部への接種試験による観察を行った結果, 卵胞子が茎葉よりも先に, 根において先行して形成されることが明らかとなった (古田・井手, 2020, 2021b). これらの結果は, 卵胞子が植物体に感染して発病するまでの過程を明らかにするうえで, 有用な知見になると思われる. また, これまで茎葉罹病残渣のみに特化していた耕種的対策の見直しの必要性について, 今後, 検討する予定である.

(7) 実証試験の実施と新たな防除体系の実証

佐賀県では、べと病の早急な課題解決のために、国、県(行政、普及、試験研究)、JA、生産者が一体となった「タマネギべと病対策会議」が組織され、「①新技術の開発、②現場での実証・経営評価」の両輪で取り組んだ。

試験研究において得られた薬剤防除試験、夏期湛水处理等の研究成果については、各普及センターが主体となった実証圃試験を県内数か所で必ず実施し、普及適用性を判断したうえで、現地普及を図った。

また、2016年の大発生年のアンケート調査等において、排水対策や土づくりがきちんとしていないタマネギ圃場で被害が大きい傾向にあったことから、普及センターを中心に土壌断面調査や土壌物理性改善試験等が実施され、各種研修会等において耕種的対策の徹底に関する指導が行われた。

さらに、得られた成果をもとに、ワーキンググループチームにおいて、年間を通じた防除体系を作成し、毎年、更新を行っている(図7)。

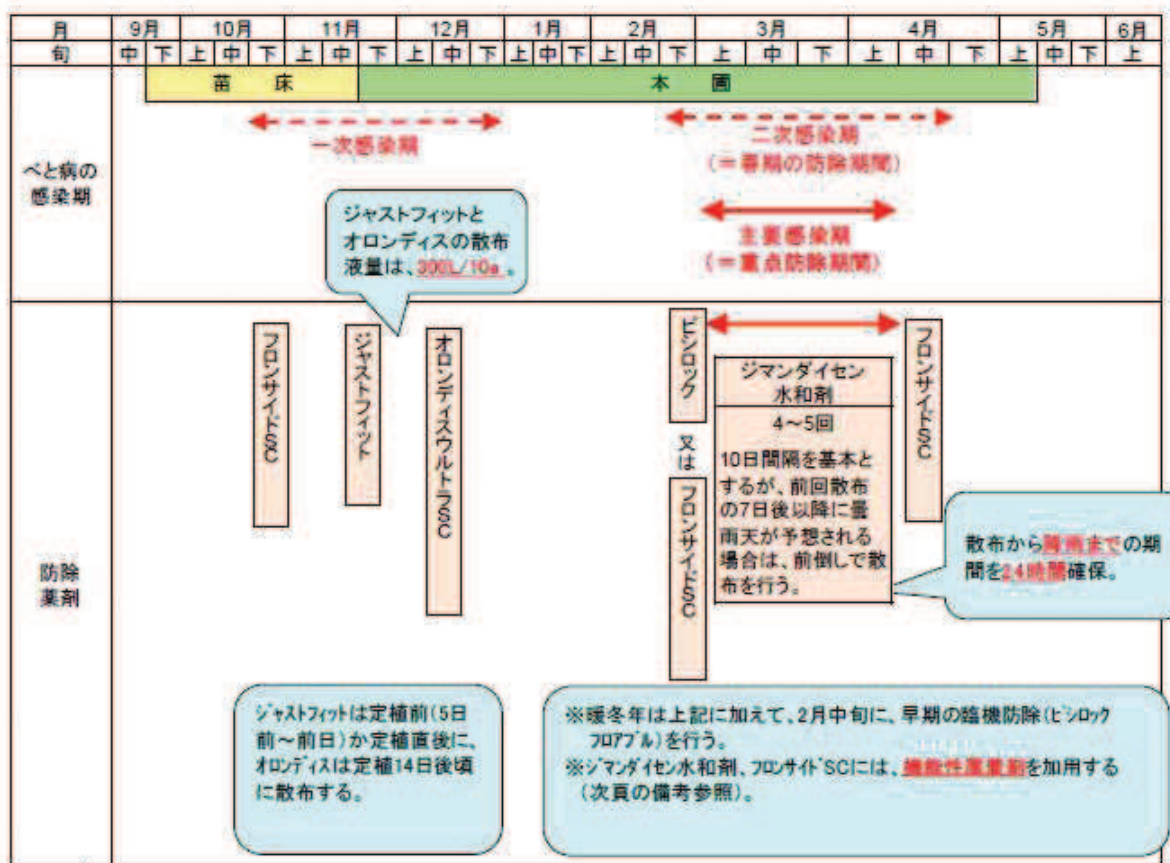


図7 早生タマネギにおけるべと病の感染時期と薬剤防除体系(例)
(令和3年度佐賀県施肥・病害虫防除・雑草防除のてびきより引用)

(8) 成果マニュアルの作成

以上の成果については、対策マニュアルとしてとりまとめ、佐賀県農業試験研究センターのホームページにて公開中である。

参考 URL : http://www.pref.saga.lg.jp/ki_ji00370267/index.html

4. 行政的支援(佐賀県の事例)

得られた新技術の速やかな普及を図るために、補助事業による行政的な支援も行われた。補助事業の例をあげると、マンゼブ剤による予防散布については、試験開始1年目から高い効果が得られことや、前述のとおり、2016年産の大発生前までは、発生後の事後対応的な薬剤散布が主流で予防散布の習慣がなかったこと等から、予防散布への切り替えを農家に促すために、べと病防除で使用するマンゼブ剤の購入に対して、県 1/2、市町 1/10 の助成が行われた。大発生の翌年に当たる29年産タマネギの1年間のみの緊急的な事業であったが、この事業が呼び水となり、マンゼブ剤の予防散布の考え方が広く定着した。

また、農林水産省の産地パワーアップ事業や、各種県単事業を活用し、防除に必要な乗用管理機、土づくりに必要な機械(もみサブロー、堆肥散布機等)の購入に対する助成が行われた。さらに、大発生直後の2017年産以降は、それまでほとんど行われていなかった一次感染株の抜き取り作業を徹底するために、行政機関がJAと協力して抜き取った罹病株を収集し、焼却処分が行われた。この事業の実施と指導の徹底により、多くの農家が一次感染株の抜き取り作業に取り組むようになった。

おわりに

これらの一連の成果とあわせて、関係機関が一体となった指導、行政的な支援、そして、タマネギ農家の皆さんのたゆまぬ努力により、べと病の発生は著しく減少しており、生産量はV字回復をとげている(図7)。

各試験研究機関では引き続き、少回数での防除を目的とした有効な防除体系の開発や、夏期湛水処理のさらなる期間短縮化等について取組んでいる。一方で、畑地で大豆等の畑作物ため湛水ができない圃場もあることから、湛水処理以外の菌密度低減技術の開発等についても着手している。今後、防除技術の省力化と精度向上により、タマネギのさらなる生産性向上に貢献したい。

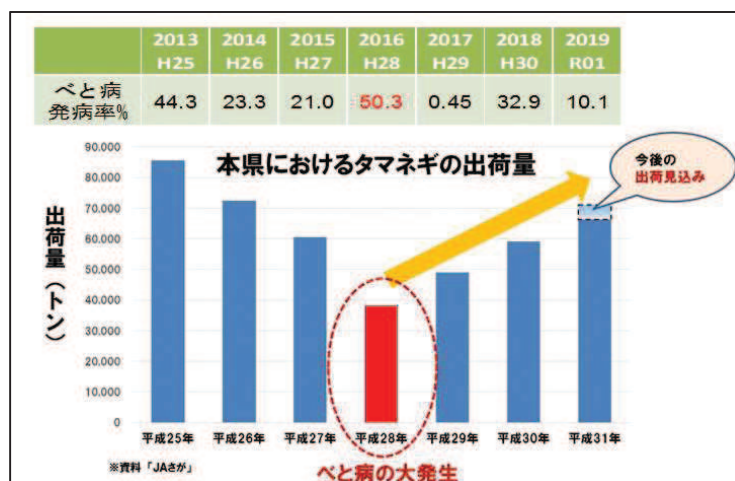


図7 佐賀県におけるタマネギべと病の発生とタマネギ出荷量の推移

引用文献(本研究に関連する論文、学会講演要旨、成果情報等)

本リストの一部は、本文中にて引用した。また、インターネットアクセス関係の文献については、タイトルのテキストにアクセス先のアドレスを埋め込んだ。

Fujiwara K (2019). RNA sequence analysis data of *Peronospora destructor* maintained

- on onions. Data in Brief 22:693-696
- 古田明子・井手洋一(2020). 卵胞子接種によるタマネギベと病感染の経時的観察. 日植病報 86:172(講要)
- 古田明子・井手洋一(2021a). 新規薬剤を組み入れたタマネギベと病の生育初期防除の改良. 日植病報 87:53(講要)
- 古田明子・井手洋一(2021b). タマネギベと病の一次伝染の卵胞子形成は地上部よりも根で先行する. 日植病報 87:印刷中(講要)
- 古田明子・井手洋一(2021c). タマネギベと病薬剤防除体系に組入れ可能な新規有効薬剤. 令和2年度佐賀県研究成果情報. (2021年8月アクセス確認)
- 井手洋一(2021). 西日本のタマネギ産地に深刻な被害を及ぼしているべと病の防除技術の開発と普及. 植物防疫 75:68-71.
- 井手洋一・古田明子(2020). タマネギベと病の防除の効率化を目的とした異なるノズルによる散布での水滴付着程度の評価. 日植病報 86:76(講要)
- 井手洋一・古田明子(2021a). タマネギベと病の薬剤防除において薬液付着向上するための散布方法. 日植病報 87:54(講要)
- 井手洋一・古田明子(2021b). タマネギベと病の防除で用いるブーム・スプレヤーのノズルバーの高さが薬液付着と防除効果に及ぼす影響. 日植病報 87:印刷中(講要)
- 井手洋一・古田明子(2021c). タマネギにおいて薬液の付着程度を高めるための散布方法. 令和2年度佐賀県研究成果情報. (2021年8月アクセス確認)
- 岩本豊・松浦克成・西口真嗣(2019). 被害残さ処理によるタマネギベと病一次伝染抑制効果. 日本植物病理学会関西西部会講演要旨予稿集(講要)
- 川邑菜々美・手塚敏輔・山口純一郎・草場基章(2018). 湛水処理によるタマネギベと病菌卵胞子の殺菌効果の検討. 九病虫研会報 64:106(講要)
- 川邑菜々美・草場基章(2018). タマネギベと病菌卵胞子の土壌中における生存の経時的調査. 日植病報 84:240(講要)
- 草場基章・河野里穂(2020). べと病感染タマネギ株に形成された卵胞子の数. 九病虫研会報 66:73(講要)
- 草場基章・高木里歩(2020). FISH法によるタマネギベと病分生胞子の検出. 日植病報 86:176(講要)
- 草場基章・有田悠花・江下瑞姫・古田明子・田代暢哉・井手洋一(2021). タマネギベと病の卵胞子形成罹病茎葉混和土壌を接種源とした一次感染発病株作出試験法. 九州病害虫研究会報 67:印刷中.
- 國枝栄二ら(2018). タマネギベと病の一次伝染に対する湛水の防除効果—第2報:湛水時期および期間の違いが一次伝染に及ぼす影響—. 園芸学会九州支部第58回大会
- 國枝栄二・手塚敏輔・中島寿亀・福永正照(2019). 夏期高温期の湛水によるタマネギベと病の一次伝染抑制技術. 平成30年度佐賀県研究成果情報. (2021年8月アクセス確認)
- 児玉進之介・高木里歩・草場基章(2018). タマネギベと病菌卵胞子の土壌からの抽出と生死判別法について. 日植病報 84:63(講要)
- 佐賀県(2020). 気象データを指標とした「タマネギベと病二次伝染推定モデル」の作成. 令和元年度佐賀県研究成果情報. (2021年8月アクセス確認)
- 佐賀県農業試験研究センター白石分場(2020). 夏期高温期の湛水によるタマネギベと病の一次伝染抑制技術. 最新農業技術・品種2020. (2021年8月アクセス確認)
- 柴田昇平(2017). タマネギベと病の2次伝染を引き起こす気象条件. 九州の農業気象. 第26号. 40-41(講要)
- 柴田昇平(2018a). タマネギベと病の2次伝染を引き起こす気象条件の予報. 園芸学会平成30年度秋季大会第23回ネギ類研究小集会(講要)
- 柴田昇平(2018b). タマネギベと病2次伝染モデルの構築. 九州の農業気象 27:30-31(講要)
- 菖蒲信一郎・山口純一郎(2017a). 佐賀県内のタマネギベと病菌のメタラキシル剤に対する感受性低下. 日植病報 83(講要):80
- 菖蒲信一郎・山口純一郎(2017b). 2016年の佐賀県におけるタマネギベと病の二次伝染時期

- の推定. 九病虫研会報 63 : 121(講要)
- 菖蒲信一郎・山口純一郎(2017c). 佐賀県におけるタマネギベと病菌のメタラキシル剤に対する感受性低下. 平成 28 年度佐賀県研究成果情報. 佐賀県研究成果情報. (2021 年 8 月アクセス確認)
- 菖蒲信一郎(2018). 佐賀県におけるタマネギベと病の被害と防除対策確立に向けた取り組み. 日本植物病理学会第 28 回殺菌剤耐性菌研究会シンポジウム : 43-53
- 菖蒲信一郎・渡邊幸子(2018a). タマネギベと病に対する各種薬剤の二次伝染抑制効果. 日植病報 84 : 67-68
- 菖蒲信一郎・渡邊幸子(2018b). 2017 年の佐賀県におけるタマネギベと病の二次伝染時期の推定. 九病虫研会報 64 : 105(講要)
- 菖蒲信一郎・渡邊幸子(2018c). ジマンダイセン水和剤の予防散布によるタマネギベと病の二次伝染の抑制. 平成 29 年度佐賀県研究成果情報. (2021 年 8 月アクセス確認)
- 菖蒲信一郎・渡邊幸子(2019a). タマネギベと病の孢子飛散および関連する気象条件. 日植病報 85(講要) : 93
- 菖蒲信一郎・渡邊幸子(2019b). 2018 年の佐賀県におけるタマネギベと病の二次伝染時期の推定. 九病虫研会報 65 : 105(講要)
- 菖蒲信一郎・渡邊幸子・草場基章(2019). 春～秋におけるタマネギベと病菌卵胞子の生存と感染能力. 日植病報 85 : 232-233(講要)
- 正司和之・田代暢哉・浦田貴子・中山伸一・宮崎尚子・浦川綾子・松尾洋一・田中義樹(2019). マルチ栽培によるタマネギベと病一次感染発病株の発生抑制と収量向上. 九州病害虫研究会第 97 回研究発表会講演要旨(病害) : 九病虫研会報 65 : 105(講要)
- 正司和之・川内孝太(2019). 米ぬかを土壌混和し. 灌水することでタマネギベと病一次伝染を抑制できる. 平成 30 年度佐賀県研究成果情報. (2021 年 8 月アクセス確認)
- 正司和之・田代暢哉・松尾洋一(2020a). タマネギの植付時期とべと病一次感染発病との関係. 令和元年度佐賀県研究成果情報. (2021 年 8 月アクセス確認)
- 正司和之・田代暢哉・川内孝太・松尾洋一・田中義樹(2020b). タマネギベと病の一次感染発病に有効な殺菌剤. 令和元年度佐賀県研究成果情報. (2021 年 8 月アクセス確認)
- 正司和之・田代暢哉・川内孝太・松尾洋一・田中義樹(2020c). タマネギベと病の二次感染予防基幹剤. 令和元年度佐賀県研究成果情報. (2021 年 8 月アクセス確認)
- 正司和之・田代暢哉・松尾洋一(2020d). タマネギベと病一次感染株の抜取りによる殺菌剤散布の効果向上. 令和元年度佐賀県研究成果情報. (2021 年 8 月アクセス確認)
- 正司和之・田代暢哉・松尾洋一(2020e). タマネギ植え付け後の気象条件とべと病の一次感染発病との関係. 令和元年度佐賀県研究成果情報. (2021 年 8 月アクセス確認)
- 正司和之・田代暢哉・松尾洋一(2020f). ジマンダイセン水和剤の散布から降雨までの経過時間が成分付着量に及ぼす影響. 令和元年度佐賀県研究成果情報. (2021 年 8 月アクセス確認)
- 善正二郎・菖蒲信一郎(2017). 佐賀県におけるタマネギベと病の発生状況と今後の防除対策. 植物防疫 71 : 264-268.
- タマネギベと病防除技術開発コンソーシアム(2019). タマネギベと病防除対策マニュアル. 1-75
- 田代暢哉・正司和之・川内孝太・松尾洋一(2018a). タマネギベと病の二次感染予防剤に対するカチオン系展着剤の加用効果. 九病虫研会報 64 : 106(講要)
- 田代暢哉・正司和之・松尾洋一・高木里歩(2018b). タマネギベと病の本圃における一次感染時期の推定. 日植病報 84(講要) : 240
- 田代暢哉・菖蒲信一郎・正司和之・中山伸一・松尾洋一(2018c). タマネギベと病全身感染株の発生抑制に有効な殺菌剤. 日本農薬学会第 43 回大会講演要旨集 : 142
- 田代暢哉・川上 顕・高木里歩・浦川綾子・中山伸一・宮崎尚子・園田亮一・藤原和樹・田中義樹・宮坂 篤・草場基章(2019a). タマネギベと病の全身発病症状の再現と病斑形成の規則性. 日植病報 85(講要) : 74
- 田代暢哉・浦川綾子・園田亮一・川上顕・中山伸一・宮崎尚子・藤原和樹・田中義樹・宮

- 坂 篤 (2019b). タマネギべと病の分生子発芽の及ぼす温度. ph. 光の影響. 日植病報 85: 93(講要)
- 田代暢哉・菖蒲信一郎・渡邊幸子・中山伸一・宮崎尚子・浦川綾子・安河内千鶴・宮口邦子・川内孝太・田中義樹 (2019c). タマネギべと病の二次感染予防に用いられる殺菌剤へ加用した各種展着剤の発病抑制効果に及ぼす影響. 日本農薬学会第 44 回大会講演要旨集: 80
- 田代暢哉・浦川綾子・中山伸一・宮崎尚子・川内孝太・田中義樹・草場基章 (2019d). タマネギべと病菌の感染は葉鞘分岐部で生じ. 病斑は連続した葉位の葉身上に規則的に離れて形成される. 日植病報 85: 233(講要)
- 田代暢哉・浦川綾子・中山伸一・宮崎尚子・川内孝太・田中義樹・草場基章 (2019e). タマネギべと病の発生土壌と雨滴発生装置を用いた一次感染発病株の作出による発病ポテンシャル評価. 令和元年度日本植物病理学会関東部会プログラム・講演要旨予稿集: 24
- 田代暢哉・中村吉秀・江頭桃子・中山伸一・宮崎尚子・浦川綾子・田中義樹 (2020a). 定植前のセル成型トレイ苗への殺菌剤散布によるタマネギべと病の一次感染発病予防: 定植前後の体系散布効果の解析から. 九病虫研会報 66: 73(講要)
- 田代暢哉・浦川綾子・中山伸一・宮崎尚子・宮口邦子・田中義樹 (2020b). タマネギべと病の発病条件: 分生子濃度と温度条件. 日植病報 86: 189(講要)
- 田代暢哉・川内孝太・松尾洋一・田中義樹 (2020c). 苗床でのバスアミド微粒剤土壌表層混和処理によるタマネギべと病対策. 令和元年度佐賀県研究成果情報. (2021年8月アクセス確認)
- 田代暢哉・川内孝太・田中義樹 (2020d). セルトレイ苗への殺菌剤散布によるタマネギべと病の一次感染発病予防. 令和元年度佐賀県研究成果情報. (2021年8月アクセス確認)
- 田代暢哉・川内孝太・松尾洋一・田中義樹 (2020e). タマネギべと病の二次感染部位. 令和元年度佐賀県研究成果情報. (2021年8月アクセス確認)
- 田代暢哉・正司和之・川内孝太・松尾洋一・田中義樹 (2020f). タマネギべと病の二次感染予防基幹剤ジマンダイセン水和剤の効果を高める使用法. 令和元年度佐賀県研究成果情報. (2021年8月アクセス確認)
- 田代暢哉・正司和之・川内孝太・松尾洋一・田中義樹 (2020g). タマネギべと病の二次感染予防殺菌剤の効果を高める展着剤. 令和元年度佐賀県研究成果情報. (2021年8月アクセス確認)
- 田代暢哉・川内孝太・松尾洋一・田中義樹 (2020h). タマネギべと病多発時における収量低下抑制対策. 令和元年度佐賀県研究成果情報. (2021年8月アクセス確認)
- 田代暢哉・中山伸一・宮崎尚子・宮口邦子・浦川綾子・川内孝太・田中義樹 (2020i). タマネギべと病の二次感染発病直後からでもアジュバントを加用した殺菌剤併用散布で収量低下を回避できる. 日植病報 86: 76(講要)
- 田代暢哉・正司和之・荷田瑞穂・中山伸一・宮崎尚子・浦川綾子・宮口邦子・田中義樹 (2020j). タマネギべと病の主要登録殺菌剤による二次感染発病抑制効果: 散布間隔の平均が13~17日になった5試験事例のメタアナリシス. 日本農薬学会第45回大会講演要旨集: A224
- 手塚敏輔ら (2017). タマネギべと病の一次伝染に対する湛水の防除効果—第1報: 湛水期間が一次伝染防除効果に及ぼす影響—. 園芸学会九州支部第57回大会
- 渡邊幸子 (2019). タマネギべと病菌卵胞子の生態解明に向けて取り組んできたこと〜糸口をつかむまで〜. 第7回生態と防除研究会: 17-20 (講要)
- 渡邊幸子・菖蒲信一郎・稲田稔 (2018a). タマネギ定植後の本圃でのべと病菌による第一次伝染. 九病虫研会報 64: 105(講要)
- 渡邊幸子・菖蒲信一郎 (2018b). タマネギべと病は苗床だけでなく本圃でも一次伝染する. 平成29年度佐賀県研究成果情報. (2021年8月アクセス確認)
- 渡邊幸子・菖蒲信一郎・福永正照・中島寿亀・田代暢哉 (2019). べと病発生土壌で育成したタマネギ幼苗におけるべと病菌卵胞子の形成. 日植病報 85(講要): 93

- 渡邊幸子・菖蒲信一郎(2019a). 苗床および本圃で感染したタマネギべと病の一次伝染株の発生消長. 九病虫研会報 65 : 104(講要)
- 渡邊幸子・菖蒲信一郎(2019b). タマネギべと病菌卵胞子の地下部接種によるタマネギ苗の全身発病. 日植病報 85 : 233(講要)
- 渡邊幸子・菖蒲信一郎 (2019c). タマネギべと病の第一次伝染に関する最近の研究. 植物防疫 73 : 31-37.

その他の引用文献

- 北海道農政部指導参考事項 (2015). たまねぎのべと病に対する防除対策. (2021年8月アクセス確認)
- Lois L (1996). Early identification of onion disease - the key to their strategic management. :pp31-33
- 松崎正文・菅 正道(1982). タマネギ生育期の薬剤散布が貯蔵腐敗に及ぼす防除効果. 九病虫研会報 (28). 70-73.
- 塩飽邦子・松尾綾男(1972). タマネギべと病菌の生活環における卵胞子の役割について. 兵庫農試研報 20:97-100.

新規殺菌剤インピルフルキサムの特長

Properties of Inpyrfluxam, a novel fungicide

住友化学株式会社 倉橋 真

kurashim@sc.sumitomo-chem.co.jp

はじめに

インピルフルキサムは、住友化学株式会社が開発したコハク酸脱水素酵素阻害剤(SDHI)である。本化合物は幅広い抗菌スペクトラムを示し、特にリンゴ黒星病菌やリゾクトニア属菌等に対し高い抗菌活性を示す。インピルフルキサムを有効成分とする農薬として、わが国ではカナメ®フロアブルが2019年9月に、続いてミリオネア®フロアブルが2020年2月に登録された。

インピルフルキサムの作用特性

リンゴ実生苗ポットを用いたリンゴ黒星病の室内接種試験の結果、インピルフルキサムフロアブル(4000倍)は接種2日前散布で優れた予防効果を示し、接種1~3日後の散布でも高い効果を示した(図1)。同剤を葉裏へ散布した2日後に、葉表へ菌を接種した場合にも高い効果を示したことから、インピルフルキサムは葉裏から葉表へ移行すると考えられた。また、放射性同位体のリンゴ葉における動態観察により、本化合物の葉基部から葉先方向への移行が確認された(図2)。

テンサイポットを用いたテンサイ根腐病残効試験では、散布14日後に接種した場合も高い効果が認められた。本特性はRhizoctonia属菌に対する優れた抗菌活性によるものと推測される。

インピルフルキサムの防除スペクトラム

本剤は幅広い病害に対し高い効果を示す。果樹では、特に先に挙げたリンゴ黒星病、ナシ黒星病の他、ナシ赤星病にも高い効果を示す。野菜等では特に担子菌によって引き起こされる病害に効果が高い。例えばテンサイ根腐病、ジャガイモ黒あざ病、コムギ赤さび病、ネギさび病、ネギ白絹病、キク白さび病等に対し優れた防除効果が確認されている。

おわりに

本剤は、優れた予防効果に加え、菌の潜伏期間初期の進展抑制効果、浸達性、および葉での浸透移行性を有する。また担子菌を中心に優れた抗菌活性による残効性も期待できる。これらの特性によって、本剤は圃場での様々な場面において安定した効果が期待できる。

FRAC(Fungicide Resistance Action Committee)は耐性菌発生リスクを推定する複合要因(殺菌剤・病原菌・栽培)のうち、殺菌剤のリスクにおいてSDHI剤を中~高と分類している。SDHI剤耐性菌の発達リスクを低減させるため、インピルフルキサムの予防的散布や、ローテーション散布など他の作用点を有する殺菌剤との併用を推奨し、本剤を用いた防除体系の事例集積を行うなどして長く活用いただけるよう普及推進していきたい。

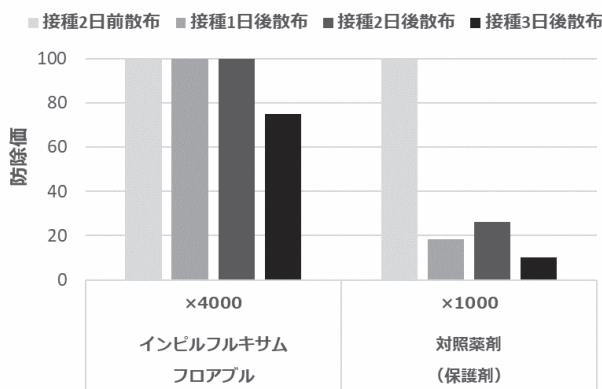


図1. リンゴ黒星病に対する予防効果および潜伏期の発病抑制効果(ポット試験)



図2. インピルフルキサムのリンゴ葉における移行の様子

パレード®20フロアブルのセルトレイ灌注処理による病害防除

Disease control by drench application of Parade 20FL to plug seedlings

日本農薬株式会社 長谷部 元宏

hasebe-motohiro@nichino.co.jp

はじめに

パレード®20フロアブル(以下、パレード 20FL)は日本農薬株式会社によって見出された有効成分ピラジフルミドを含有するSDHI系殺菌剤である。本剤は野菜・畑作・花き用として2018年に上市され、特に各種野菜類の菌核病、また近年問題となっているネギ黒腐菌核病に対して高い防除効果を示すことから現在主要産地で使用されている。

近年、移植作業の省力化や機械化に伴いセル成型トレイを使用した育苗が盛んとなっており、殺虫剤では定植前の灌注処理により生育期間中の害虫防除が可能な製品が多数存在する。一方、殺菌剤では効果持続性、作物安全性、さらに浸透移行性などの点から上記病害に対しニーズに見合った性能を発揮できる薬剤はなかった。パレード 20FLは前述した特性をバランスよく有することから本分野での技術確立を進め2019年以降順次適用拡大を行ってきた。

葉菜類菌核病に対する効果

キャベツ苗にパレード 20FL100倍希釈液をセル成型育苗トレイ1枚あたり500ml灌注処理し、移植後有効成分がどのように移行していくかを経時的に解析した(図1)。その結果、処理1日後には茎部を通して葉に、3~7日後には下位葉を中心に分布することが明らかとなった。その後も地表面に近い下位葉に分布し株元から感染する菌核病菌に対し有効であると考えられた。実際に切葉による接種試験でも下位葉を中心に高い効果が確認された。圃場試験ではレタス菌核病に対し慣行の地上散布体系と同等以上の効果を示すことが明らかとなった。

ネギ黒腐菌核病に対する効果

本病害は地下部で発生する土壌病害であり、土壌中に存在する菌核が伝染源となる。葉菜類での知見を活かし本病害に対しても定植前のパレード 20FL灌注処理により効率的に防除できないか検討を行った(図2)。その結果、被害の大きい春どり、また秋冬どりの作型においてもパレード 20FLの定植前灌注処理で慣行防除体系と同等以上の高い効果が確認された。また定植後のねぎ茎盤部付近の有効成分量を経時的に分析したところ、長期間にわたりネギ黒腐菌核病菌に対し十分な抑制効果を示す濃度で存在しており、前述した高い効果の裏付けになると考えられた。

おわりに

本技術は両病害の発生生態を踏まえ、そこにパレード 20FLの優れた特性を適用し開発を進めてきた。今後、本技術により労働作業軽減、地上散布の回数削減につなげ効率的な作物生産に貢献していきたい。一方、全国ではその地域ごとに各種作型があり、定植前灌注処理のみでは不十分な場合でも地上部散布体系を組み合わせれば更なる生産性向上につながる。今後は産地に合わせた体系処理を指導機関とともに確立し提案していきたい。

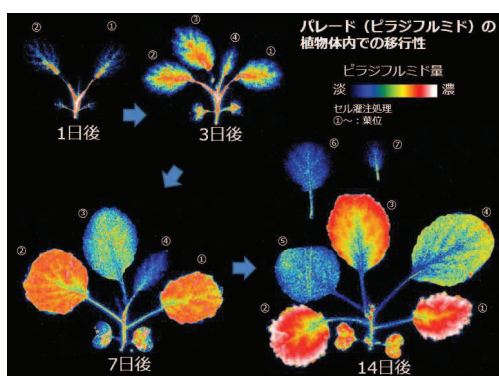
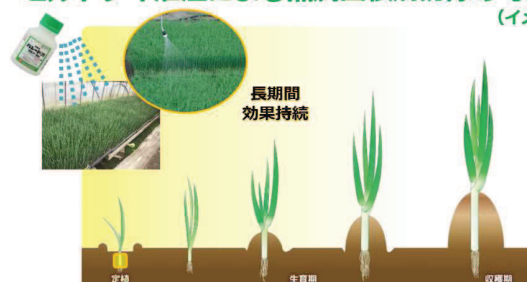


図1. ピラジフルミドのキャベツ体内での移行性

セルトレイ灌注による黒腐菌核病防除の考え方 (イメージ)



■ 定植前の薬剤処理により根部からパレード 20フロアブルが吸収され、生育期の地下部(茎盤部)を効率的にガード

図2. パレード 20FL 定植前灌注処理によるネギ黒腐菌核病防除イメージ

水稻種子処理剤による病虫害防除技術

SeedGrowth technology for pests and diseases control on rice

バイエルクロップサイエンス株式会社 内田 聡

satoshi.uchida@bayer.com

種子処理技術の特長と利点

水稻の種子処理技術とは、種もみに薬剤を直接処理することにより箱処理剤と同等の効果、残効性を発揮し、田植え後に本田で発生する病虫害を防除することができる、省力的かつ画期的な施用技術である。種子処理技術では薬剤を種もみに直接処理するため、短時間で簡便に薬剤処理が可能であり、本田での薬剤防除と比較して大幅な省力化を実現できる。さらに、全てのもみに処理されることにより効果ムラの出にくい処理方法と言える。水稻の種子処理技術の使用場面は移植水稻だけでなく、カルパーコーティングや鉄コーティングなどの直播水稻でも活用できる。種子処理剤を処理した浸種前の種もみは9ヶ月、鉄コーティング種子は6ヶ月の保存が可能であることから、農閑期に薬剤を処理することにより作業の平準化が可能になり、育苗等で忙しい春先の作業を軽減することができる。

近年普及が進んできている高密度播種育苗栽培にも対応が可能な施用技術であり、箱粒剤の処理量が「粒剤の箱当り」であるのに対して本剤は「種子重当り」となるため、高密度播種でも水稻の主要病虫害に対して安定した防除効果を発揮する。

バイエルの種子処理剤の紹介

2021年8月現在、弊社からはルーチンシードFS(イソチアニル 41.7%フロアブル、適用病虫害名:いもち病、白葉枯病、もみ枯細菌病、内穎褐変病、作物:稲)、エバーゴルシードFS(ペンフルフェン 44.6%フロアブル、適用病虫害名:紋枯病、疑似紋枯症(赤色菌核病菌、褐色菌核病菌、褐色紋枯病菌)、作物:稲)、ヨーバルシードFS(テトラニリプロール 40.3%フロアブル、適用病虫害名:イネミズゾウムシ、イネドロオイムシ、コブノメイガ、フタオビコヤガ、ニカメイチュウ、イネツトムシ、イネヒメハモグリバエ、作物:稲)を国内で上市、販売している。

いずれの剤も優れた浸透移行性や長い残効性を有しており、実際の使用場面においては、これまでの病虫害の発生状況に応じて上記3剤を混用して使用していただくことで、各圃場における病虫害の発生リスクに合わせた病虫害防除が可能となる。

高密度播種育苗栽培への適用性

種子処理技術では播種量が変わっても種子に対しての薬量は一定のため、高密度播種育苗栽培において面積当りの投下薬量を一定にすることができ、本圃での防除効果が安定する。2018~2020年に水稻の主要病虫害のいもち病、紋枯病、イネミズゾウムシに対するルーチンシードFS、エバーゴルシードFS、ヨーバルシードFSの防除効果を慣行栽培と高密度播種育苗栽培で比較した。その結果、いずれの対象病虫害に対しても対象の箱処理剤では高密度播種育苗栽培では慣行栽培と比べて同等~劣る結果であったのに対し、供試薬剤3剤は慣行栽培と高密度播種育苗栽培の間で防除効果に差は無く、安定して高い効果が認められた。

まとめ

種子処理技術により、水稻栽培において省力化と作業平準化が期待される。近年、水稻においても顕著になってきている大規模農家の割合の増加や高密度播種育苗栽培の普及、コスト削減等の水稻農業環境の変化に対応し、水稻種子処理剤を将来の有用な基幹防除技術とすべく普及を図りたい。