



施設園芸における空気伝染性病害の 発生予測と病害管理

AI病害発生予測コンソーシアム マニュアル・研究報告

2023年3月

はじめに……AI発病予測を利用した施設栽培の病害管理……

農作物を病害虫・雑草等による害から保護し、安定して十分な量を継続的に生産するために総合防除を実践することが求められています。総合防除を実践する上では病害虫の発生を予測し、これを踏まえた管理を行うことでより合理的な被害回避ができることが期待されます。私たちは、施設園芸作物の主要病害について、近年発達が著しいAI(人工知能)を用いた発病予測システムを開発し、これに基づいた病害管理技術の確立を目指して研究を行いました。この研究は生物系特定産業技術研究支援センターの支援を受け^{注1)}、「AI 病害発生予測コンソーシアム」^{注2)}を結成して実施しました。その成果の一端を、本サイトに掲載した電子書籍「施設園芸における空気伝染性病害の発生予測と病害管理」^{注3)}においてご紹介します。

本書は3編構成となっています。第1編は、施設園芸のAI発病予測システムの構成と開発研究、それに利用法の概略を紹介しています。

第2編では、開発した発病予測システムを利用した病害防除の実践例を病害ごとに紹介しています。

第3編では、発病予測ソフトウェアやシステムを開発する上で参考とするため、改めて検証あるいは調査したそれぞれの病気の発生生態に関する研究成果を紹介しています。ここで得られた成果は、環境制御等による病害管理技術の開発においても今後、役に立つことが期待されます。

なお本研究プロジェクトの成果の一部は、データの新規性(オリジナリティ)を維持するため今回の掲載は見送り、今後の改訂において掲載することとします。

施設園芸で発生する菌類による空気伝染性病害のAIを用いた発生予測はつい最近、世の中にリリースされた新しい技術です。この技術が施設園芸における次世代の病害管理技術の発展に役立つことを期待しています。

古屋 廣光
AI病害発生予測コンソーシアム研究統括者
令和5年3月
令和6年3月追補

注)

- 1)本研究は同センター「イノベーション創出強化研究推進事業」【開発研究ステージ】の支援を受けて、平成30年度～令和4年度に実施しました。
- 2)以下、このコンソーシアムを「AI発病予測コンソ」と略称します。
- 3)本書の要約版を、本書と同じサイトにおいて公開しています。

目 次

第1編

「施設園芸における主要病害発病予測システム:プランテクト[®]」

第2編

「AI発病予測システムを利用した施設栽培における空気伝染性病害管理の事例」

第3編

「施設園芸で多発する空気伝染性病害の発生生態
— トマト・キュウリ・イチゴ病害に対する気象要因の影響を中心として —」

第1編

「施設園芸における主要病害発病 予測システム:プランテクト[®]」

施設園芸における主要病害発病予測システム「プランテクト®」

▶ 佐々 貴洋, 伊藤 聖
(バイエルクロップサイエンス株式会社)

1. プランテクト®の概略

プランテクト®は3つのセンサーと通信機で、温度や湿度などハウス内の環境をハウスから離れた場所からでも確認できる環境モニタリングサービスである(図1)。AIによる感染予測機能を搭載し以下のことが可能である。

1) モニタリング機能

- ・スマートフォン・タブレット・パソコンなどでハウス内環境データをいつでもどこでも確認できる。
- ・外出先でも確認できるので、見回りの回数を削減できる。
- ・家族や仲間、栽培従事者などとデータの共有ができる。

2) 感染リスクを予測する

- ・蓄積されたデータを元に、AIがトマト・ミニトマト、キュウリ、イチゴの主な病気の感染リスクを予測する。
- ・5日先までの感染リスクを予測し、病気の感染リスクが高くなったときに、その病害に登録のある「おすすめ農薬」を表示する(表示される農薬は、使用回数やFRACコードを加味している)。
- ・データの活用とAIの再学習により、ハウスごとに予測精度を向上させていく。
- ・病気の感染リスクが高くなった時には、利用者のアプリやメールに警報が届く。

3) 日々の気象状況をグラフで表示する

- ・気温、相対湿度、二酸化炭素濃度、日射量、露点温度、飽差、積算温度を表示する。
- ・ハウス内の環境をリアルタイム(10分ごと)で取得する。
- ・以上のモニタリング項目はグラフで表示される。複合グラフとすることも可能である。

4) データの蓄積と活用

- ・作物名・品種・栽植密度・作付開始日などをアプリに記録できる。
- ・栽培中に発生した病害と日付を記録し、薬剤散布記録とあわせて振り返ることで、次作の防除計画に活用できる。
- ・モニタリングデータや作付け情報のデータをCSV形式でダウンロードできる。

機器やソフトウェアに関する最新情報は、プランテクト®紹介サイト*を参照のこと。

注*) <https://cropscience.bayer.jp/ja/home/plantect/plantect.html>

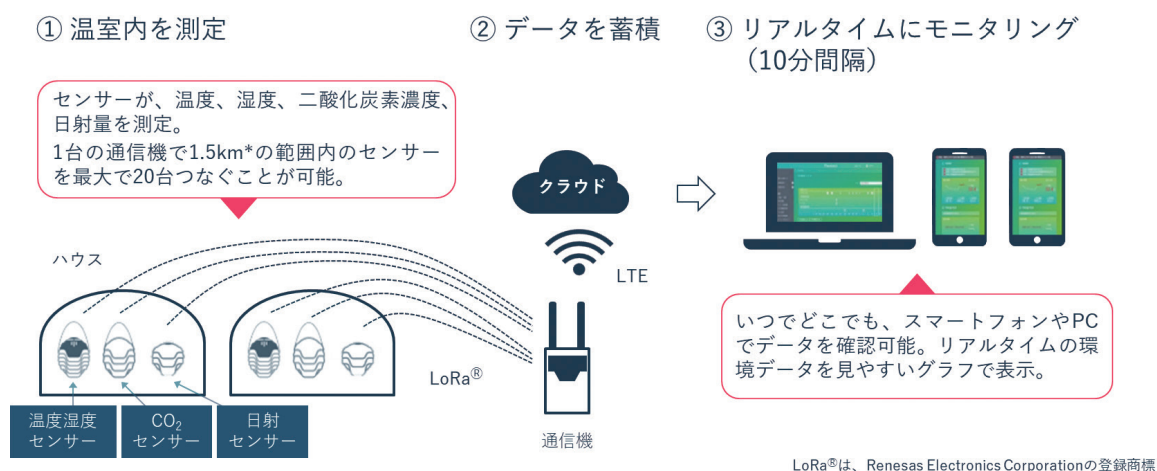


図1. プランテクト®の概要

3. AI発病予測システムとその使い方

1) 感染リスクの見方

植物が病原菌に感染してから、潜伏期間を経て発病し、病斑(病徴)が現れる(図3)。プランテクト[®]が表示している「リスク」は感染のリスクである。これによって発病のリスクを感染のタイミングで示している。病害の被害を効果的に抑えるためには、感染前や感染が起こりやすい環境になったときに対策を実施することが重要である。詳細はプランテクト[®]紹介サイト「病害予測機能」*を参照のこと。

注*) <https://cropscience.bayer.jp/ja/home/plantect/disease.html>

■ 感染から発病まで

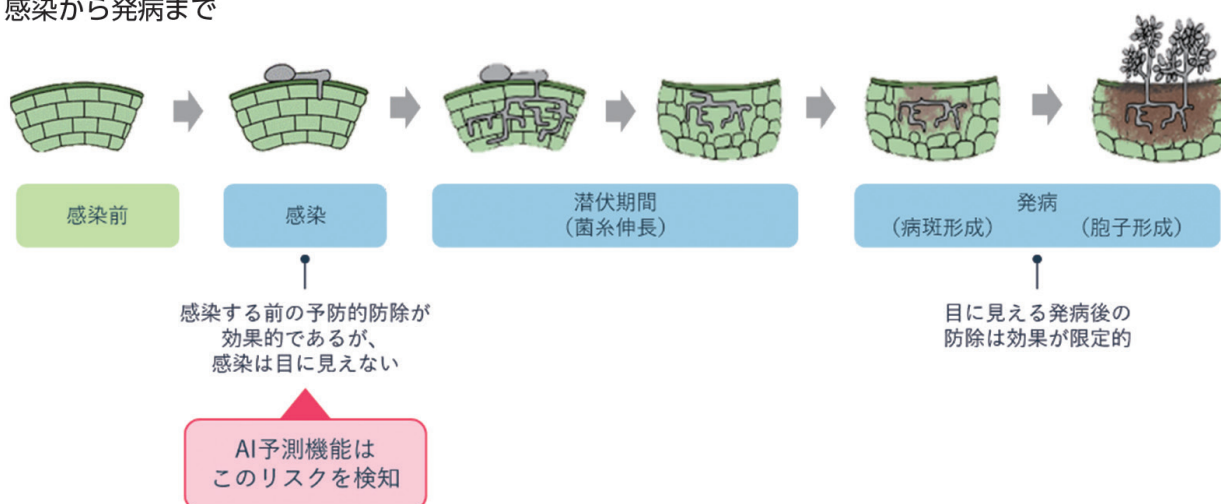


図3. 植物の空気伝染性病害の感染から発病までの経過

プランテクト[®]は、5日先までの感染リスクを3段階(低・中・高)及び発病する確率(病気に感染し、潜伏期間を経て発病する確率)を合わせて表示する(図4)。3段階のリスクレベルは概ね以下の確率を目安に定義しているが、表示頻度なども考慮し病害毎に異なる。

高リスク: 40%以上

中リスク: 20%~40%

低リスク: 20%以下 (2022年7月時点)

病害感染リスクが高くなった時には、利用者のアプリやメールに警報が届く。



図4. 感染リスク画面

2) 作付け情報について

プランテクト®では作付け情報として「作物名・品種・栽培密度・栽培方法・作付け開始日・収穫開始日・収穫終了日」を入力する(図5)。どの項目も感染リスク算出に用いられており、間違った入力では正しい感染リスク算出が出来ないため、正しい入力が必要である。特に、収穫開始日・収穫終了日は変動することが想定されるため、注意が必要である。

今期の作付け情報

以下の情報は、病害感染リスクの予測の精度向上に使用されます。
ハウス: PAA2 Tomato

作物名*: ミニトマト

品種: CFココ

栽培密度: 1800 株/10a

栽培方法: 土耕栽培

より正確な日付を更新してください。

作付け開始日*: 2019/05/27

収穫開始日*: 2019/07/01

収穫終了日*: 2020/04/30

図5. 作付け情報画面

3) 薬剤散布記録について

利用者は散布した薬剤をプランテクト®に記録することができる。過去の防除記録として活用できる。薬剤記録はプランテクト®内の以下の機能でも活用されているため逐次記録することが望ましい。

- ・ 散布した薬剤の耐性菌リスクが表示される。
- ・ 感染リスクが薬剤散布記録を考慮して算出される。
- ・ 「おすすめ農薬」表示機能において、過去の散布農薬として考慮される。

4) 病害発生記録について

利用者は発生した病害をプランテクト®に記録することができる(図6)。薬剤散布記録・病害発生記録を継続的に使用することによりデータが蓄積されるため、過去の作の振り返りや次作の防除計画に役立てることが可能である。また、感染リスクは病害発生記録を考慮して変化するため、栽培期間中に発生した病害をまとめて記録するのではなく、病気の発生を見つけた時に逐次記録することが望ましい。記録は発生した部位に関わらず、新たに病気が発生したとき、及び病斑の数が増えたとき実施することが推奨されている。ただし、感染リスク推定では多くとも1週間に1度程度の記録が想定されており、それより多い頻度で記録しても感染リスクは変化しない。

Plantect			
農薬散布記録			
散布日	農薬名	FRACコード	耐性菌リスク
21/10/14	アミスター20フロアブル	11	⚠
21/8/3	ゲッター水和剤	1, 10	⚠
21/6/8	ポリオキシ剤		耐性菌リスクが高い薬剤です。FRACコードが同じ薬剤の連続散布を避けましょう。
21/4/20	あめんこ10		
21/3/16	ジャストミート顆粒水和剤	12, 17	

Plantect		
病害発生記録		
発生日	病害名	備考
21/10/14	灰色かび病	
21/8/3	すすかび病	
21/6/8	うどんこ病	
21/4/20	灰色かび病	
21/3/15	葉かび病	

図6. 農薬散布記録・病害発生記録画面

5) リスク表示後の対応について

病害は「主因」、「素因」、「誘因」の3つの要因が重なることで発生するが、プランテクト®の発病予測は主に「誘因」（一部「素因」）を用いて感染リスクを算出している。リスクが高まったときは利用者が作物の状態などを観察し、薬剤散布の検討や環境制御実施の判断をする必要がある。慣行防除法は多くの研究と長年の経験を基礎とした体系であることから、慣行防除の考え方とAIによる予測を組み合わせることが有効である。本プロジェクトで実施した実証試験では事前に薬剤散布判断のルールを定め、リスクに従って機械的に薬剤散布を実施し効果を検証することから始めた。実証試験によって事例が積み重なるにつれて、それぞれの地域の慣行防除技術の背景にある病気の発生生態に関する経験や知見（人の判断や過去の発生歴）などを考慮することでより適時的で経済的に効果のある判断が出来るようになることが明らかになった（図7、第2編参照）。以下にその例を示す。

- ・一般に初発発生前に予防的な薬剤散布することが重要であり、初発前にリスクが高まった場合には積極的に薬剤散布を検討する。
- ・地域における例年の初発時期から潜伏期間遡った日を散布開始日と定め、それ以前にリスクが高まっても薬剤散布を実施しない。
- ・作の末期において、病害が発生しても収量に影響を及ぼさないと判断できる場合には薬剤散布を行わない。（経済的許容水準を考慮する）
- ・実証試験における基本的な散布目安は、農薬の残効が失われた場合において、高リスク1回または中リスク累積3回で、散布を推奨することとした。ただし、果実に発生する病害の場合には、主に葉に発生する病害よりも経済的損失が大きいため、一層まん延防止に努めることとした。
- ・プランテクト®は薬剤散布記録で記録された農薬の効果を考慮してリスクを算出しているが、実際の散布の際には利用者自身も前回の薬剤散布の残効期間などを考慮することが必要である。
- ・リスクが高い状態が継続する場合は、環境を整えるか、指導機関や専門家に相談する必要がある。

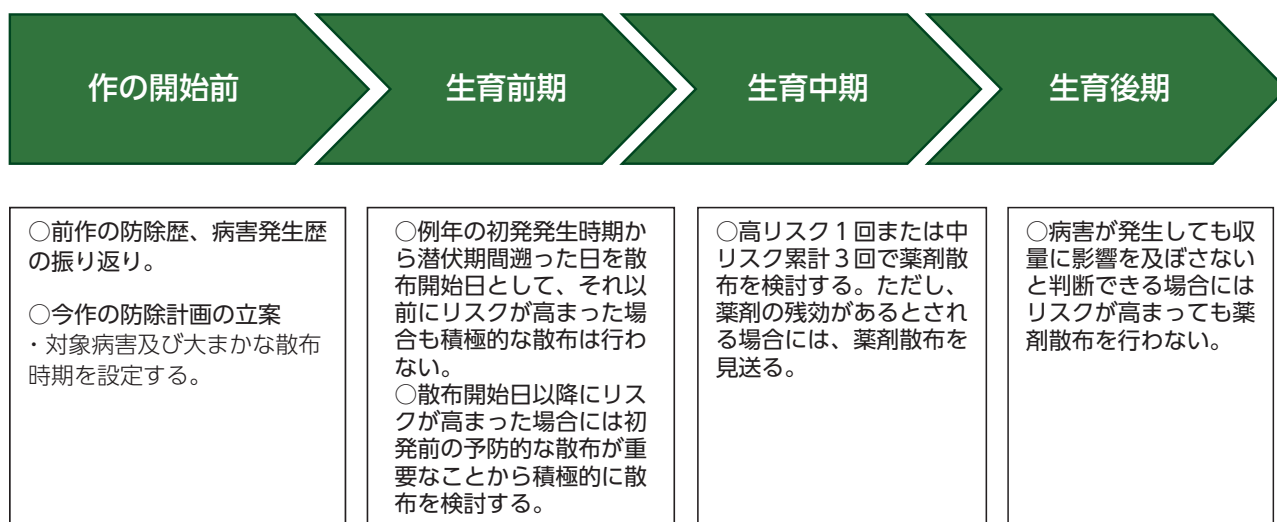


図7. 薬剤防除におけるプランテクト®の活用方法例

6) 「おすすめ農薬」機能について

プランテクト®では病害発生記録・感染リスクをもとに、防除効価及び残効期間を考慮し効果が期待できる農薬を「おすすめ農薬」として情報を提供している(図8)。この「おすすめ農薬」は以下を考慮して表示される。実際の使用にあたっては、利用者が薬剤の注意事項等を確認し薬剤散布を実施する必要がある。

- ・直近の病害発生記録に病害発生記録がある、もしくは感染リスクが高い病気に対応した農薬
- ・薬剤散布記録を参照し、剤および含まれる有効成分の使用回数を超えない農薬
- ・前回散布された農薬とは異なるFRACコードに属する農薬



図8. 「おすすめ農薬」画面

※バイエルクロップサイエンス「おすすめ農薬」機能には次の免責事項がある。参考までに添付する(図9)。

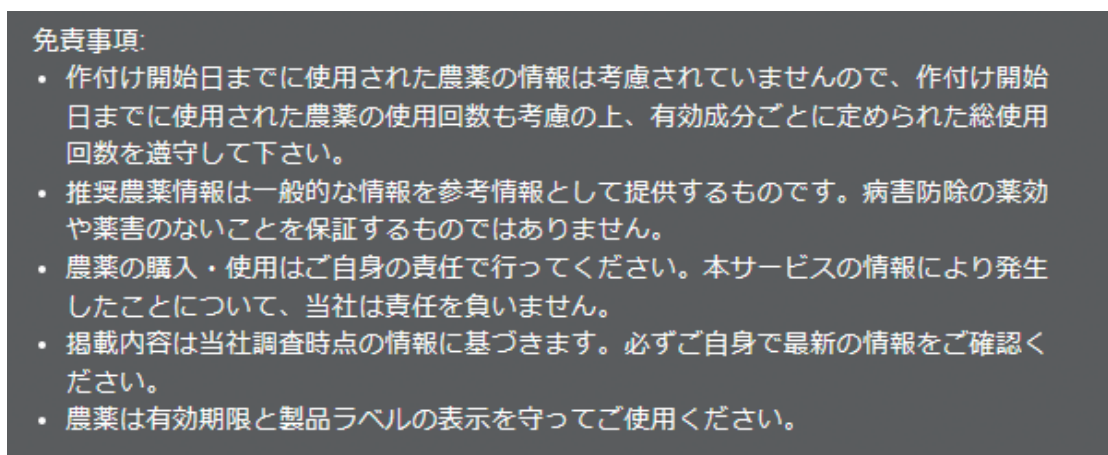


図9. 「おすすめ農薬」免責事項の画面

7) コミュニティでの活用方法

プランテクト[®]の「ハウス情報の共有」機能では、ハウス情報を他の人達と共有することが可能である(図10)。この機能は以下のようなケースを想定している。

- ・地域の生産者のコミュニティでデータを共有し、自身のハウスと他ハウスの環境データを比較する。
- ・農業改良普及員や営農指導員などの農業技術者や指導員とデータを共有し、収量向上や病虫害対策のアドバイスを受ける。

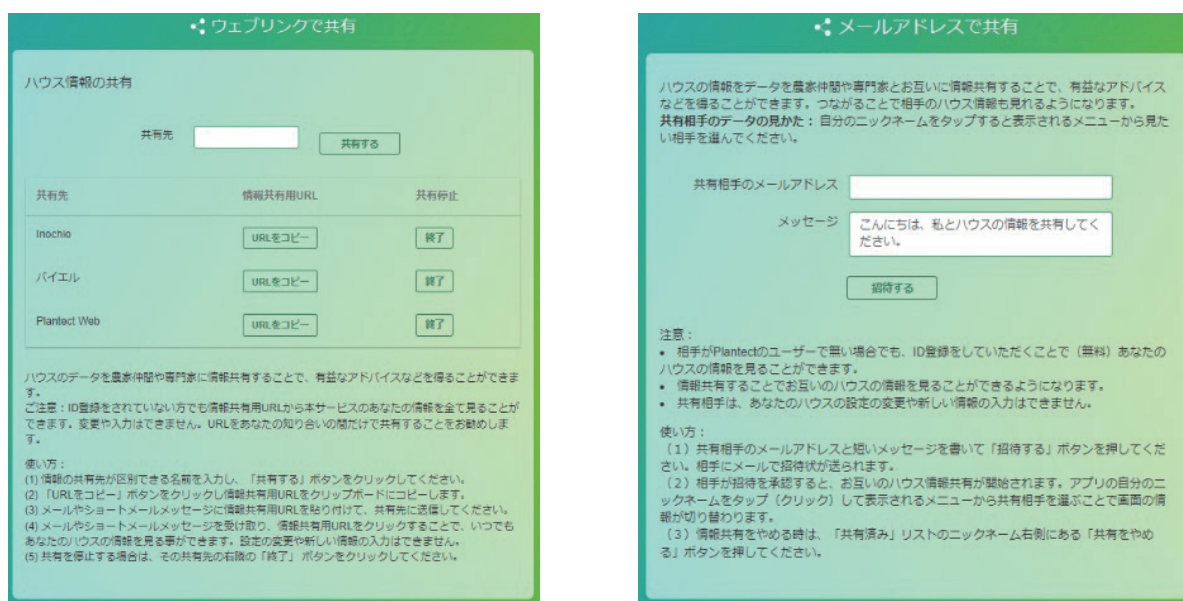


図10. ハウス情報の共有画面

「ウェブリンクで共有」では、共有するリンクを作成することによりデータが閲覧可能である。共有先の相手はプランテクト[®]ユーザーである必要はない。

「メールアドレスで共有」の機能では共有先の相手もID登録が必要になる。この機能を用いることにより、共有先の環境データとの詳しい比較などが可能である。

8) 使用上の留意点として次のことがある。

最大で過去400日までのデータを見てリスクを推定している。また、病害を記録することでモデル更新時にそのデータを学習するため、継続的に利用することで予測精度向上が期待できる。そのため、導入後1～2年間は特にAIの学習期間及び各ほ場に有用な使用方法を検討する期間と位置付けるのが望ましい。

提示される感染リスクは、AIの学習に用いた過去の全データの中の平均的な菌密度、平均的な植物の健康状態を想定したときの、感染の確率を示している。したがって、栽培方法が慣例から極端に外れる場合や、AIの学習に用いられなかったデータ範囲(未学習領域)に対しては、リスクが低すぎるか高すぎるような表示が出る可能性がある。

また、感染リスク予測表示を重視した防除に偏りすぎるがために、予測対象外の病虫害への注意が疎かになることで、それらによる被害を受けることがないよう、留意が必要である。

4. 病害予測の原理

1) 概要

機械学習により、過去の病害発生データを用いて感染したと推定される日の特徴を学習し、モデルを構築する(図11:「病害発生データの収集」)。構築した機械学習モデルを用いてハウス毎に過去の感染リスク推定、将来の感染リスク予測を実施する(図10)。

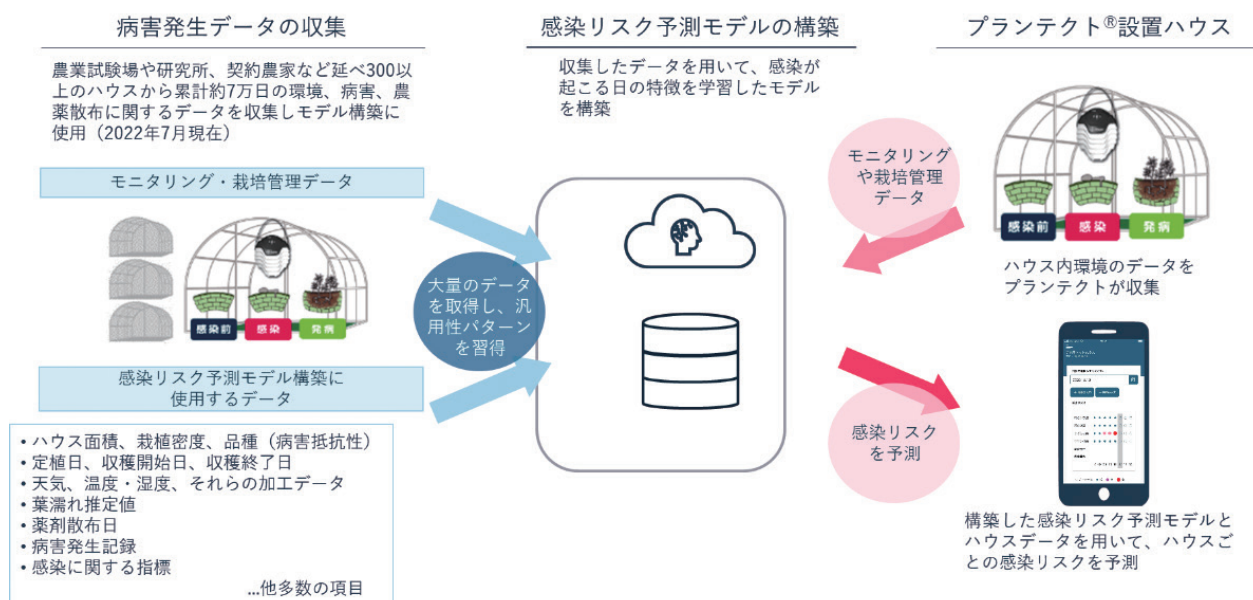


図11. 病害発生予測(感染リスク予測)システムの概要

2) データ収集

機械学習モデル構築のため、作付け情報、薬剤散布記録、病害発生記録、環境データ(温湿度データ)を収集した。品質の高いモデルを構築するためには信頼性の高いデータのみを使用することが重要であるが取得した全てのデータを対象にするのではなく、適切なフィルタリングを実施し、モデル構築に使用するデータを限定している。また、広範囲のハウスからデータを収集することで構築したモデルがいずれの地域でも使用できるよう配慮されている。延べ300以上のハウスから累計約7万日のデータが収集された(2022年7月時点)。

3) 特徴量エンジニアリング

機械学習では、取得したデータのみを用いて機械学習モデルを構築するのではなく、適切なパラメータ(特徴量)を作成しモデル構築に使用することで予測精度が向上することが知られている。本プロジェクトでは、感染の環境(温度、湿度、葉濡れ値など)反応性について実験を行った(第3編参照)。得られた試験データと環境データ(温湿度データ)から新たに感染好適条件下で反応するパラメータ(特徴量)を作成し、機械学習モデルに使用した。図12に示すグラフはキュウリ褐斑病を対象に温度-菌糸生育の関係性を調査したものである。このグラフから温度と菌糸生育の関係を表す近似曲線を作成した。機械学習モデル作成時及び感染リスク推定時には、温度センサーから得られた時系列温度データと近似曲線を用いて感染に好適な温度条件に反応する新たなパラメータ(特徴量)を作成した。

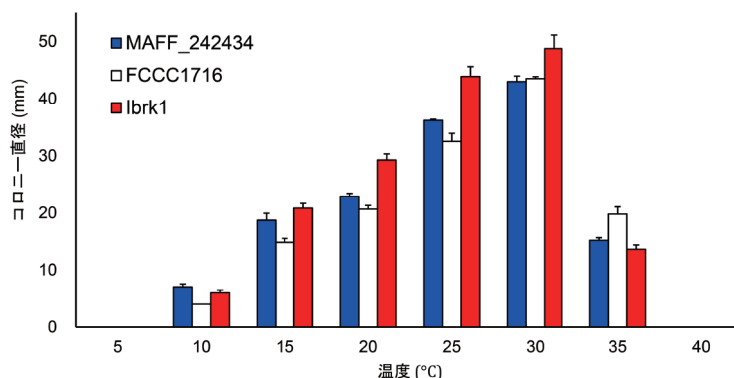


図12. キュウリ褐斑病菌の生育に対する温度応答に関する特徴量作成の例(温度-菌糸生育の関係性より)

図12に示すグラフはキュウリ褐斑病を対象に温度-菌糸生育の関係性を調査したものである。このグラフから温度と菌糸生育の関係を表す近似曲線を作成した。機械学習モデル作成時及び感染リスク推定時には、温度センサーから得られた時系列温度データと近似曲線を用いて感染に好適な温度条件に反応する新たなパラメータ(特徴量)を作成した。

4) 感染日推定

感染リスク値を推定する機械学習モデルを構築するためには、感染日を推定することが必要であるが、感染日を肉眼で確認することは困難である。そこで、収集した病害発生記録日から潜伏期間(病気毎に定義)を遡った日を感染候補日としてラベリングした。その後MISVM(マルチインスタンスサポートベクトルマシン)を用いて感染候補日となる日の特徴を学習させ、各病害発生記録日に対応した感染日を推定した。

5) 感染推定モデル構築

推定した感染推定日及び感染が起きていないと推定される日の感染の有無を目的変数とした予測モデルを構築した。構築したモデルにより、感染推定日とそれ以外の日を、特徴量を用いて類別する方法が学習される。(構築される決定木のイメージを図13に示す。実際の特徴量及びそのしきい値については省略) 実際に使用する感染推定モデルには、XGBoost(決定木勾配ブースティングアルゴリズム)を使用している。

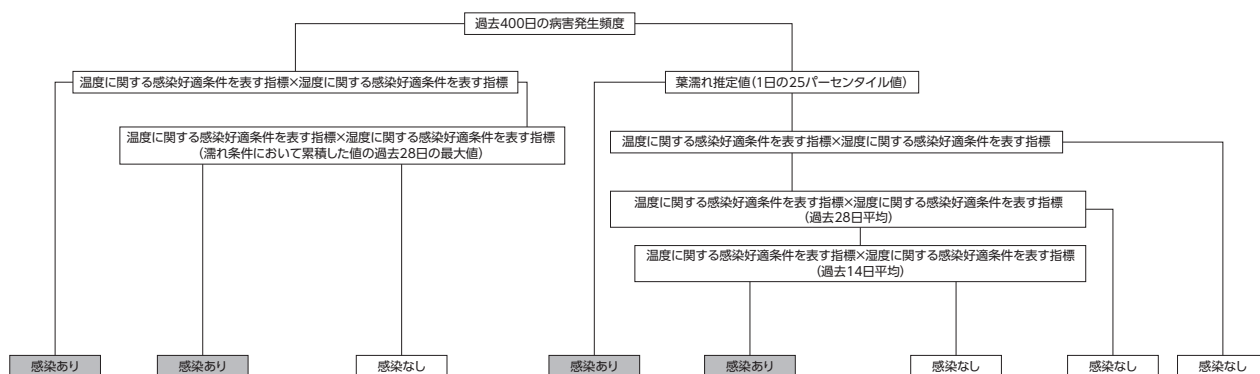


図13. 感染日を分類する決定木の例

6) 過去の感染リスク推定、将来の感染リスク予測

前日までの過去の感染リスク推定には環境データ(温湿度データ)としてセンサーデータの測定値が使用される。一方で、利用者の利便性を考慮すると過去の感染リスクだけでなく、将来の感染リスクが表示されることが望ましい。そこで、個々のハウスに対して過去のセンサーデータと天気予報データの関係性を学習するハウス環境予測モデルを作成した。作成したハウス環境予測モデルと(将来の)天気予報データを用いて将来の環境データ(温湿度データ)の予測値を算出し、それを感染推定モデルの入力値として用いることで将来の感染リスク予測を実施している。

引用文献

- ・農林水産省 「総合的病虫害・雑草管理(IPM)実践指針」(2022年12月2日閲覧)
https://www.maff.go.jp/j/syouan/syokubo/gaicyu/g_ipm/pdf/byougai_tyu.pdf

第2編

「AI発病予測システムを利用した 施設栽培における空気伝染性病 害管理の事例」

内 容

- トマトうどんこ病 ■ トマトすすかび病 ■ キュウリ褐斑病 ■ キュウリべと病
- イチゴうどんこ病 ■ おわりに

香川県 / 福岡県 / 岡山県

本編では、AI発病予測システム(プランテクト[®])を利用した病害管理の実証試験の例を紹介します。対象とした5病害と担当した公設試験研究機関は次のとおりです。

トマトうどんこ病 (岩手県農業研究センター)

トマトすすかび病 (広島県立総合研究所農業技術センター)

キュウリ褐斑病 (福岡県農林業総合試験場)

キュウリべと病 (宮崎県総合農業試験場)

イチゴうどんこ病 (香川県農業試験場、福岡県農林業総合試験場、岡山県農林水産総合センター)

それぞれの病気について、試験は主に令和2年度から4年度にかけての3シーズンで実施しました。試験を行った病害の予測システムは概ね令和2年度にプランテクト[®]に実装され、リリースされました。実証試験はその直後から行いました。試験1年目には低、中、高の3段階で発出される予測に対応してどのようなタイミングで薬剤散布を実施するかあらかじめ散布ルールを定め、それに機械的に従うこととしました。そして翌年以降、その試験結果をもとにこのルールを改訂していきました。初年度はルールに概ね機械的に従いましたが、2年目以降には病害の発生を十分抑制することを第一の目的とした上で、病害防除と散布回数低減を両立する可能性を検証することとしました。本試験で検討を重ねる間に、より効果的に本システムを使用するために話題になったことを「おわりに」に記載していますので参考にしてください。

なお、本システムのAI発病予測ソフトウェアはアジャイル方式によって開発しております。これは、必要なスペックが達成されたと判断された段階で市場にリリースし、実際に使っていただきながらデータを収集するあるいは改良をすすめるという方法で、近年のソフトウェア開発でしばしば使われる手法です。この手法では、一旦リリースされたソフトウェアも年々改良が加えられ、またデータが蓄積されることで進化していきます。そのため、本書で紹介した事例で使われたソフトウェアと最新のソフトウェアは必ずしも全く同じではありません。ここに記載した試験例はそのようなシステムを使って実施したものです。本システムを利用した病害制御技術もシステムとともに今後さらに進化していくことが期待されます。

AI発病予測システムを利用した トマトうどんこ病管理

岩手県農業研究センター

目 次

はじめに

1. 試験方法の概要

2. 2020年度の試験結果

- (1) 無防除区におけるトマトうどんこ病の発生推移
- (2) 慣行防除区におけるトマトうどんこ病の発生推移
- (3) 予測防除区におけるトマトうどんこ病の発生推移
- (4) 2020年度の試験結果のまとめ

3. 2021年度試験結果

- (1) 無防除区におけるトマトうどんこ病の発生推移
- (2) 慣行防除区におけるトマトうどんこ病の発生推移
- (3) 予測防除区におけるトマトうどんこ病の発生推移
- (4) 2021年度の試験結果のまとめ

4. 2022年度試験結果

- (1) 無防除区におけるトマトうどんこ病の発生推移
- (2) 慣行防除区におけるトマトうどんこ病の発生推移
- (3) 予測防除区におけるトマトうどんこ病の発生推移
- (4) 2022年度の試験結果のまとめ

5. 3カ年の試験結果のまとめ

はじめに

トマトうどんこ病は予防的に農薬を散布することで効果的に防除できる。まん延してからの農薬散布では、十分な防除効果を得る事が難しくなるので、発病する前や発病が見られはじめた時期から、予防的に農薬を散布することが重要である。

そこで、プランテクトを用いて日々の感染が起きたリスクを推定し、それをもとに防除を行うことで、慣行の防除法に比べて防除効果や農薬散布回数がどのようになるかを調査した。

試験は、プランテクトを利用した区(予測防除区)と慣行の防除を行う区(慣行防除区)、無防除区をそれぞれハウス1棟ずつ設け、病気の発生程度(推移)を比較する方法で実施した。試験は全て岩手県農業研究センター(北上市成田、標高86.7m)で実施した。

1. 試験方法の概要

- **試験期間**：2020年6月22日～10月26日
2021年6月22日～10月31日
2022年6月21日～10月31日
- **試験概要**(品種:りんか409、台木:B/バリア高接ぎ、Uターン栽培、株間40cm、畦間150cm)
- **試験区**
 1. 予測防除区：リスクが表示された日(大リスクは1回、中リスクは累積3回)、初発確認時に散布した。また、前回の散布から14日間は散布しなかった。定植後約1週間はリスクを無視した。
 2. 慣行防除区：10日～14日程度の間隔で散布。初発確認時は、防除間隔に関係無く散布。
 3. 無防除区：うどんこ病に効果のある薬剤は散布しない。
- **発病調査**：センサー設置箇所を中心に連続5株について1～3日毎に病斑数を調査

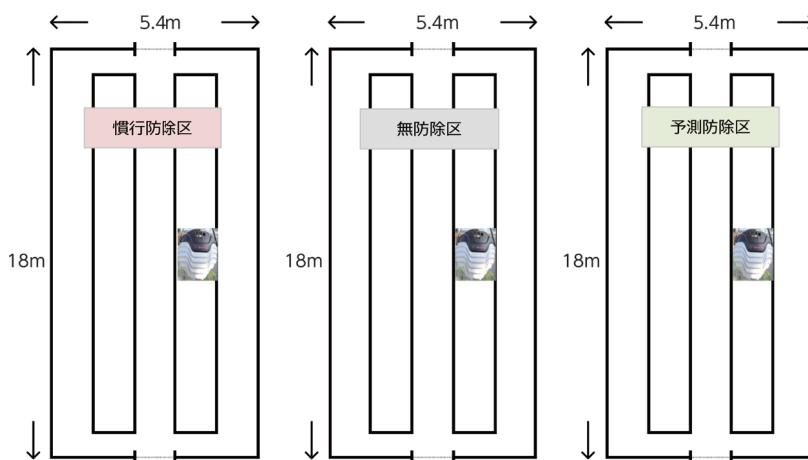


図1. 試験区の配置(3か年とも同一の配置とした)



図2. トマトうどんこ病の病斑

2. 2020年度の試験結果

(1) 無防除区におけるトマトうどんこ病の発生推移

- ・最初の発病は8月19日に認められた。
- ・その後、急激に発病が増加し、調査を終了した10月26日まで新規の発病が確認されない日はなかった。
- ・この間、6月25日に最初のリスク(中リスク)が表示された。ついで7月25日～8月7日にかけて断続的にリスクが表示された。8月27日以降、調査終了時まで継続して感染リスク(中あるいは高リスク)が表示された。
- ・初発の確認は、最初のリスク表示(6月25日)から55日後であった。

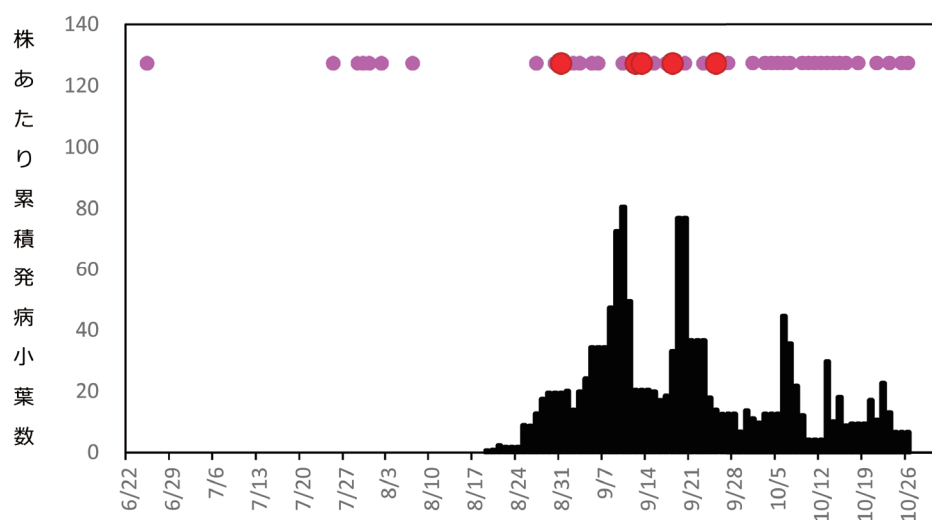


図3. 実証試験(2020年)の無防除区におけるトマトうどんこ病の発生推移

(2) 慣行防除区におけるトマトうどんこ病の発生推移

- ・7月1日から薬剤防除を開始した。
- ・6月24日から断続的にリスクが表示され、8月19日に初発が確認された。発病は無防除区よりも軽微で推移し、9月18日以降、新規の発病は確認されなかった。
- ・薬剤は計9回散布した。

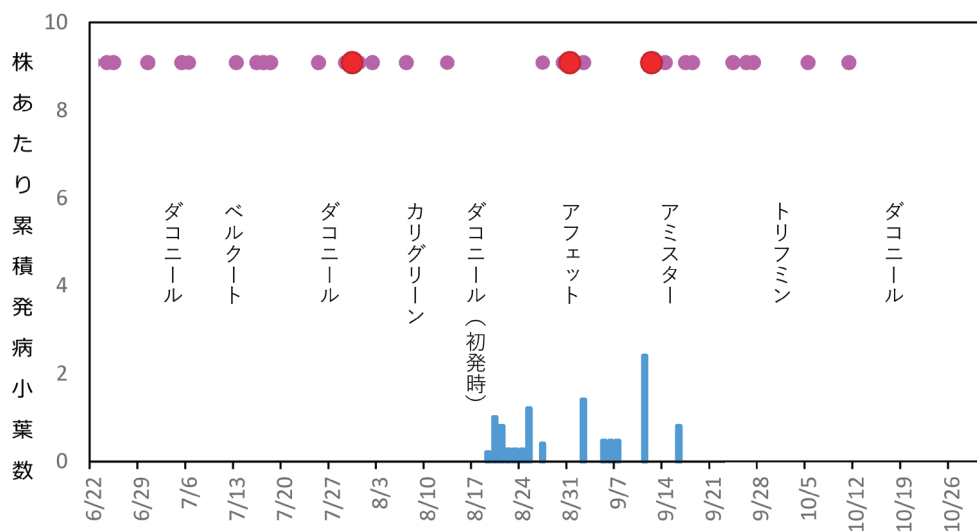


図4. 実証試験(2020年)の慣行防除区におけるトマトうどんこ病の発生推移

(3) 予測防除区におけるトマトうどんこ病の発生推移

- ・6月24日からリスクが表示された。設定した散布ルールに準じて7月12日から薬剤の散布を開始した。
- ・その後、リスクは継続して表示された。
- ・初発は8月19日に確認された。その後の発病の進展は極めて軽微であり、9月18日以降は新規の発病は認められなかった。
- ・薬剤は6回散布した。

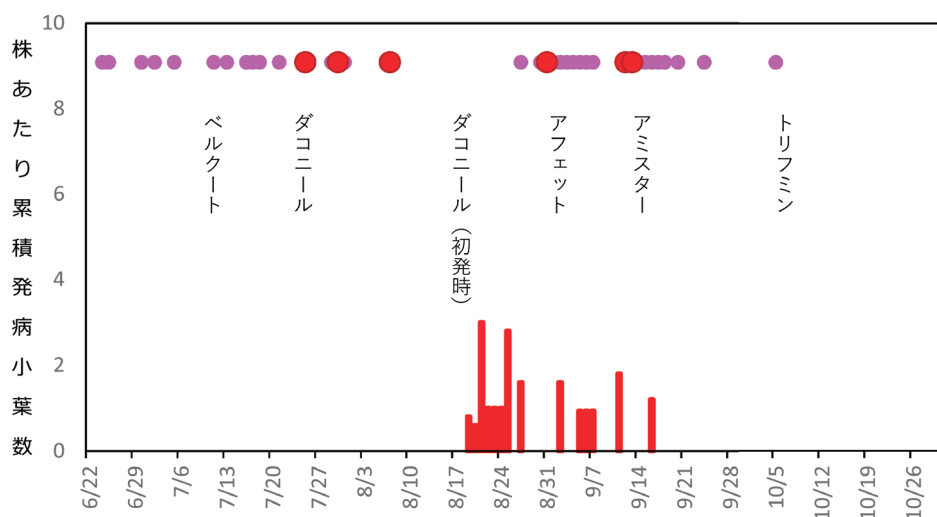


図5. 実証試験(2020年)の予測防除区におけるトマトうどんこ病の発生推移

(4) 2020年作の試験結果のまとめ

- ・予測防除区では、無防除区に比べて明らかに病気の発生が少なく、被害の軽減ができた。
- ・予測防除区の病気の発生程度は、慣行防除区に比べても、より軽微で推移した。
- ・予測防除区の農薬散布回数は6回であり、慣行防除区(9回)よりも3回少なかった。
- ・本システムで初発時期の予測できなかったが、表示されたリスクを参考に、薬剤防除を実施することで農薬散布回数の低減が可能と考えられた。

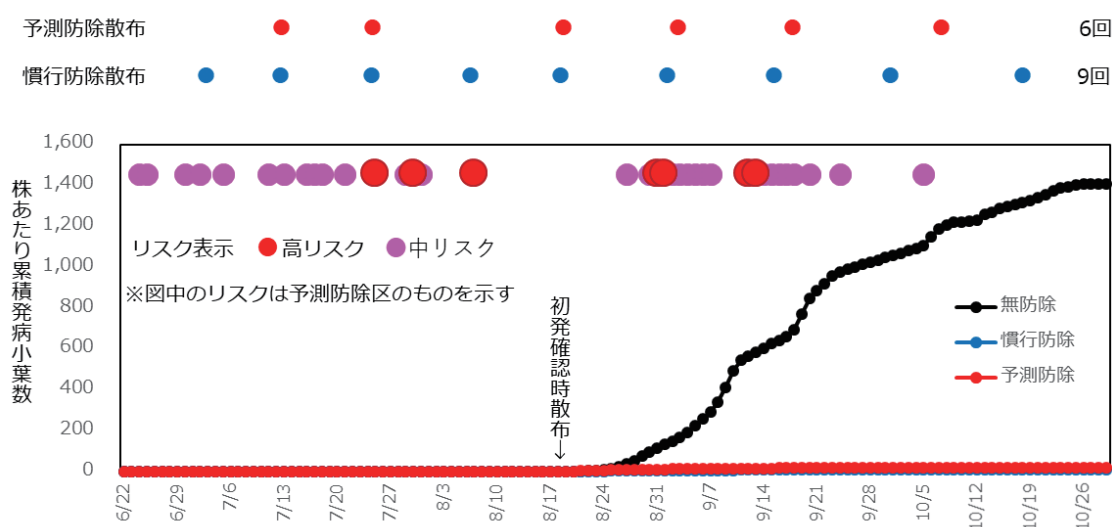


図6. 発病予測を利用したトマトうどんこ病防除の実証試験(2020年)

3. 2021年度試験結果

(1) 無防除区におけるトマトうどんこ病の発生推移

- ・最初の発病は7月18日に認められた。その後、発病は連続して増加し、調査を終了した10月29日まで新規の発病が確認されない日はなかった。
- ・この間、7月1日に最初のリスク(中リスク)が表示された。ついで7月27日～8月2日にかけて断続的にリスクが表示された。8月9日以降、調査終了時まででは継続して感染リスク(中あるいは高リスク)が表示された。
- ・初発の確認は、最初のリスク表示(6月25日)から17日後であった。

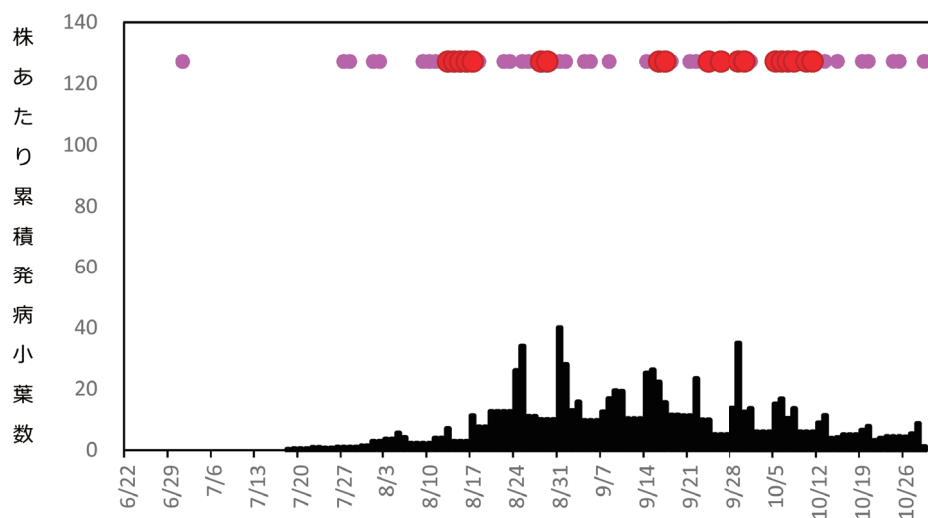


図7. 実証試験(2021年)の無防除区におけるトマトうどんこ病の発生推移

(2) 慣行防除区におけるトマトうどんこ病の発生推移

- ・7月1日から薬剤防除を開始した。
- ・7月1日から断続的にリスクが表示されたが、試験期間中に発病は認められなかった。
- ・薬剤は計10回散布した。

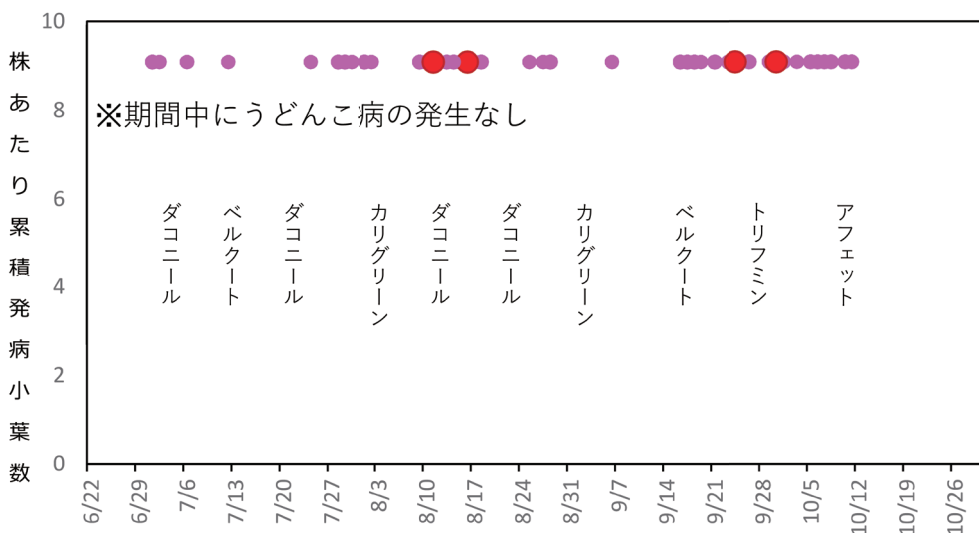


図8. 実証試験(2021年)の慣行防除区におけるトマトうどんこ病の発生推移

(3) 予測防除区におけるトマトうどんこ病の発生推移

- ・7月1日からリスクが表示された。初発確認後の7月21日に薬剤散布を実施し、以後は設定した散布ルールに準じた。
- ・リスクは8月9日以降、継続して表示された。
- ・初発確認後の発病の進展は極めて軽微であり、7月28日以降は新規の発病は認められなかった。
- ・薬剤は5回散布した。

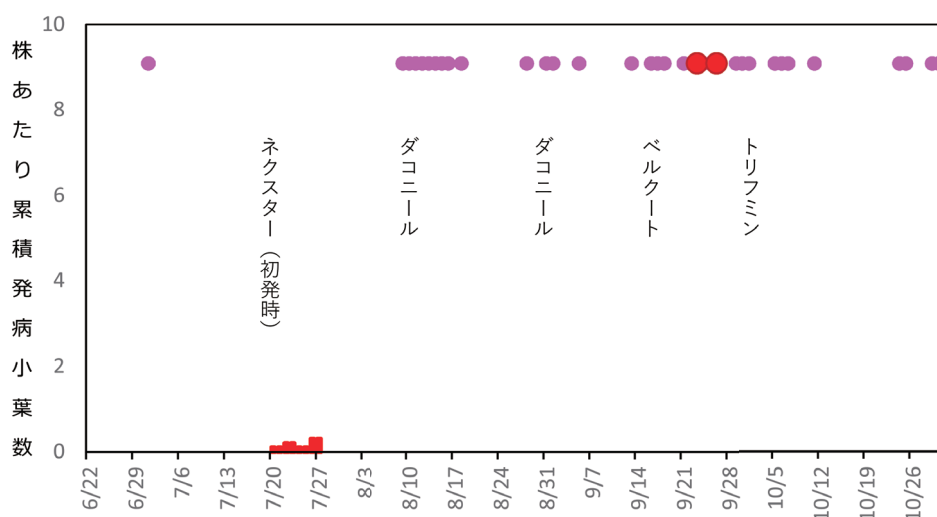


図9. 実証試験(2021年)の予測防除区におけるトマトうどんこ病の発生推移

(4) 2021年作の試験結果のまとめ

- ・予測防除区では、無防除区に比べて明らかに病気の発生が少なく、被害の軽減ができた。
- ・予測防除区の病気の発生程度は、慣行防除区とほぼ同等で軽微に推移した。
- ・予測防除区の農薬散布回数は5回であり、慣行防除区(10回)よりも5回少なかった。
- ・本システムで初発時期の予測できなかったが、表示されたリスクを参考に、薬剤防除を実施することで農薬散布回数の低減が可能と考えられた。

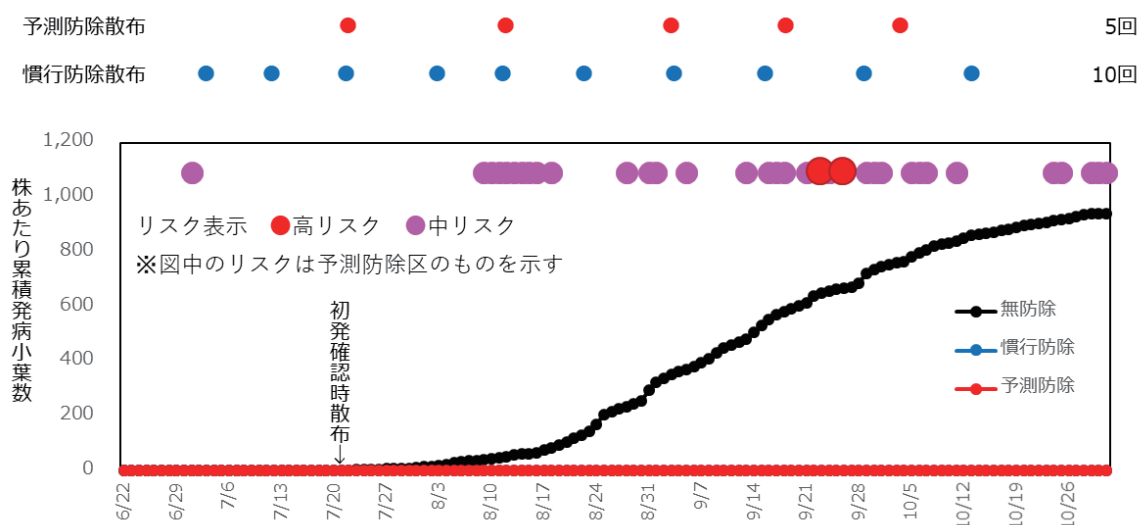


図10. 発病予測を利用したトマトうどんこ病防除の実証試験(2021年)

4. 2022年度試験結果

(1) 無防除区におけるトマトうどんこ病の発生推移

- ・最初の発病は8月29日に認められた。
- ・その後、発病は増加し、調査を終了した10月31日まで新規の発病が確認されない日はなかった。
- ・この間、6月21日に最初のリスク(中リスク)が表示され、10月3日まで断続的に感染リスク(中あるいは高リスク)が表示された。
- ・初発の確認は、最初のリスク表示(6月21日)から69日後であった。

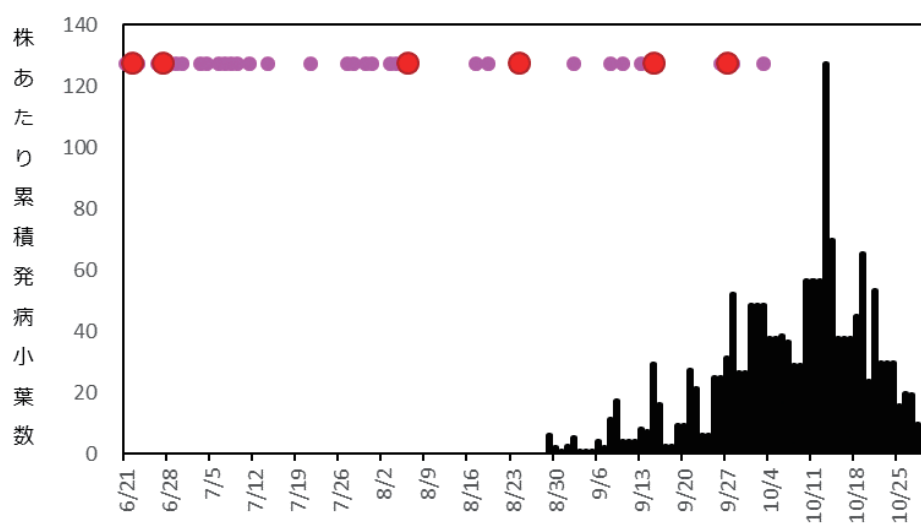


図11. 実証試験(2022年)の無防除区におけるトマトうどんこ病の発生推移

(2) 慣行防除区におけるトマトうどんこ病の発生推移

- ・7月1日から薬剤防除を開始した。
- ・6月21日から断続的にリスクが表示され、断続的にリスクが表示されたが、試験期間中に発病は認められなかった。
- ・薬剤は計10回散布した。

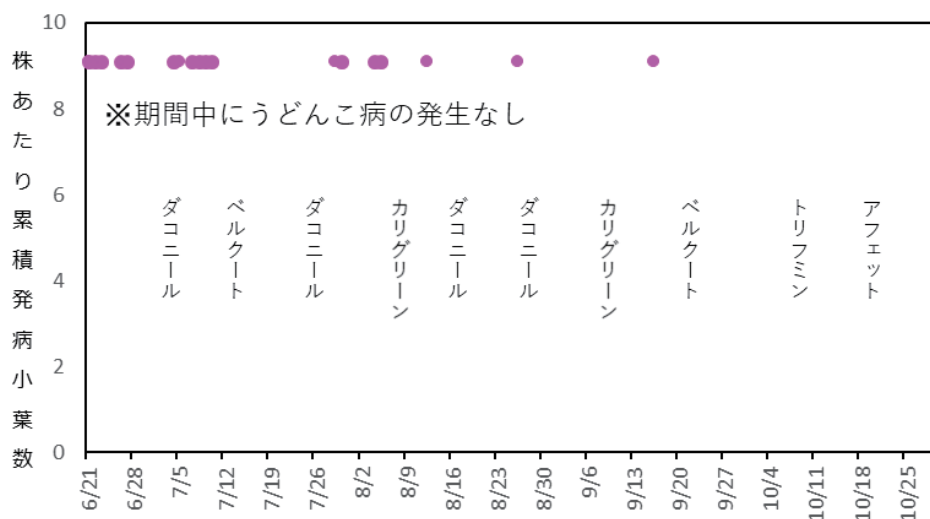


図12. 実証試験(2022年)の慣行防除区におけるトマトうどんこ病の発生推移

(3) 予測防除区におけるトマトうどんこ病の発生推移

- ・6月21日からリスクが表示された。設定した散布ルールに準じて7月12日から薬剤の散布を開始した。
- ・その後、リスクは継続して表示された。
- ・初発は9月1日に確認された。その後の発病の進展は極めて軽微であり、9月9日以降は新規の発病は認められなかった。
- ・薬剤は4回散布した。

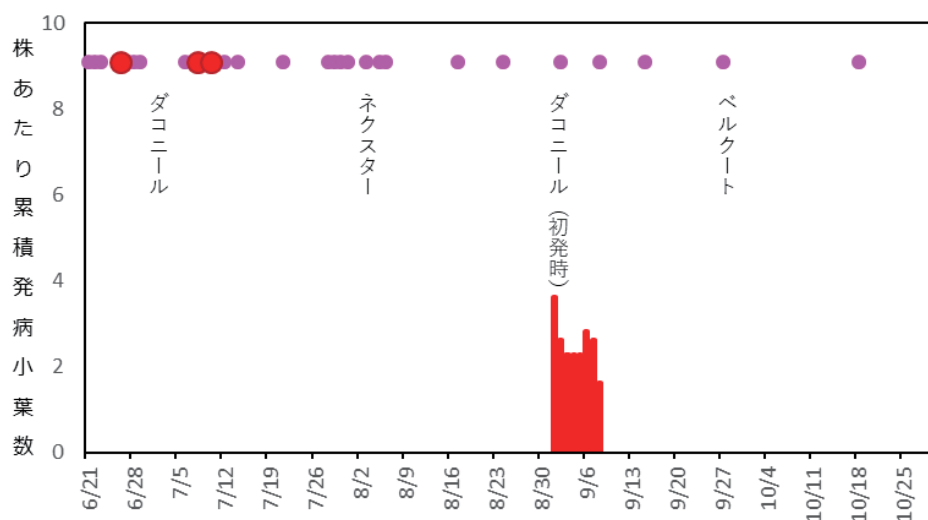


図13. 実証試験(2022年)の予測防除区におけるトマトうどんこ病の発生推移

(4) 2022年作の試験結果のまとめ

- ・予測防除区では、無防除区に比べて明らかに病気の発生が少なく、被害の軽減ができた。
- ・予測防除区の病気の発生程度は、慣行防除区とほぼ同等で、軽微で推移した。
- ・予測防除区の農薬散布回数は4回であり、慣行防除区(10回)よりも6回少なかった。
- ・本システムで初発時期の予測できなかったが、表示されたリスクを参考に、薬剤防除を実施することで農薬散布回数の低減が可能と考えられた。

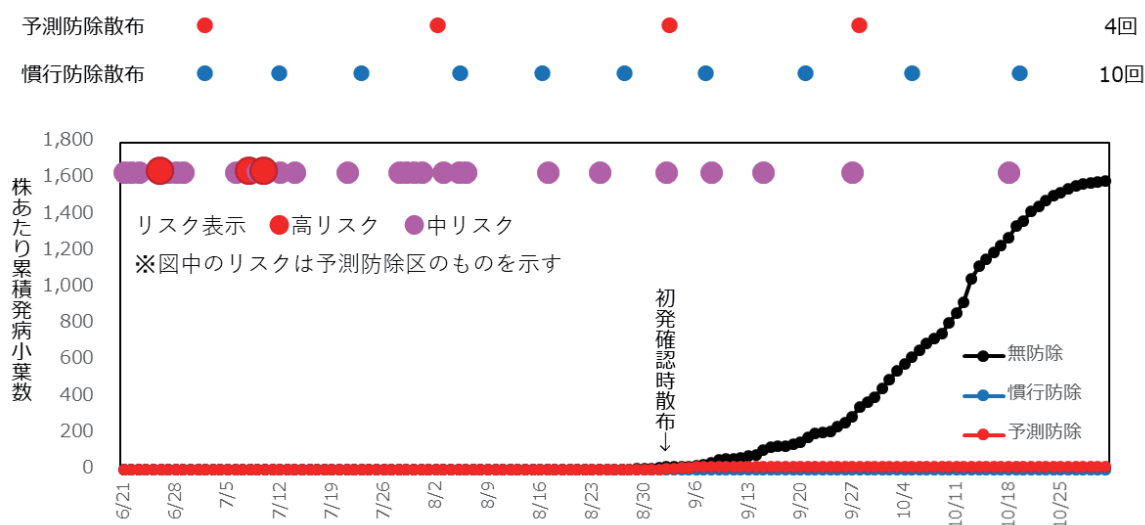


図14. 発病予測を利用したトマトうどんこ病防除の実証試験(2022年)

5. 3力年の実証試験のまとめ

- ・ 2020年～2022年までの3年間の実証の結果、予測防除区は、慣行区と同様にトマトうどんこ病の発病を抑制し、防除回数は慣行区の4割～7割に抑えられた。
- ・ 病害発生予測システムで表示されたリスク表示にもとづき防除要否を判断することで、トマトうどんこ病の発病を抑制しつつ、薬剤防除回数の削減が可能であった。
- ・ 薬剤散布回数
2020年：慣行防除区 9回、予測防除区6回(3回減)
2021年：慣行防除区10回、予測防除区5回(5回減)
2022年：慣行防除区10回、予測防除区4回(6回減)

本試験は開発されて間もないAI発病予測システムを利用した防除試験であったことから、ただ一つの病気を対象として実施しました。しかし実際には、葉かび病とうどんこ病など複数の病気のリスクが重なってあるいは交互に出ることがあります。そのような場合には、リスクが出された病害の全てを考慮して防除(この場合は両病害に効果のある薬剤を選択)することが必要です。

AI発病予測システムを利用した トマトすすかび病管理

広島県立総合技術研究所 農業技術センター

目 次

はじめに

1. トマトすすかび病発生予測(感染リスク推定)の検証(2019年度試験)

1) 試験の概要

2) 試験結果

(1) 薬剤散布をしない区でのトマトすすかび病の発生と温湿度の推移

2. 予測に従ったトマトすすかび病防除の実証(2020-2022年度試験)

1) 試験の目的と方法

2) 試験の概要

3) 試験結果

(1) 予測に従った防除の実証(2020年)

(2) 予測に従った防除の実証(2021年)

(3) 予測に従った防除の実証(2022年)

(4) 予測に従った防除の実証(3か年まとめ)

3. 農薬散布回数, 発病程度, 収量に対するAI発病予測の効果(まとめ)

はじめに

トマトすすかび病は、潜伏期間が10～20日と長いため、発病してからの農薬散布では十分な防除効果を得る事が難しく、発病する前に予防的に農薬を散布することが重要です。

そこで、ハウス内の温湿度から病害の感染リスクをAIが予測するシステムプランテクト®を用いて、農薬を散布しないでトマトを栽培し、すすかび病の感染予測と実際の発病日を比較しました。また、予測をもとに防除を行うことで、慣行の防除法に比べて防除効果や農薬散布回数がどのようになるかを調査しました。

試験は全て広島県立総合技術研究所農業技術センター(東広島市、標高225m)で実施しました。

1. トマトすすかび病発生予測 (感染リスク推定) の検証 (2019年度試験)

1) 試験の概要

- ・栽培期間：2019年5月29日～12月2日
- ・栽培概要：土耕栽培, つり下げ誘引一本仕立て, 株間58cm, 畝間170cm
- ・供試品種：麗容、台木:Bバリア高接ぎ
- ・発病調査：ハウス中央の連続10株の病斑数を1～3日毎に調査



図1. 農薬を散布しないでトマトを栽培



図2. トマトすすかび病の病斑

2) 試験結果

(1) 薬剤散布をしない区でのトマトすすかび病の発生と温湿度の推移 (図3)

- ・最初の発病は、8月3日に認められた。その後は少発生で推移したが、9月6日から急増し、11月中旬まで比較的激しい発病が続いた。
- ・感染リスクは、7月21日に最初のリスクが発生し、その後10月中旬まで継続して感染リスク「中」「高」が発生した。
- ・ハウス内の温湿度は、リスクが発生した日は感染適温(22～30℃)の時間が長い傾向が見られた。
- ・9月以降のすすかび病の急増は、気温が低下して胞子形成適温(18～22℃)の時間が長くなり、病斑上に形成された胞子が飛散して二次伝染が起こったためと考えられます。
- ・最初の発病が見られたのは、最初の感染リスク表示が出てから13日後であった。これは、感染リスク発出時に感染し、潜伏期間を経て発病したものと考えられる。その後の感染リスクは、二次伝染による病気の発生の可能性を示していたと考えられる。

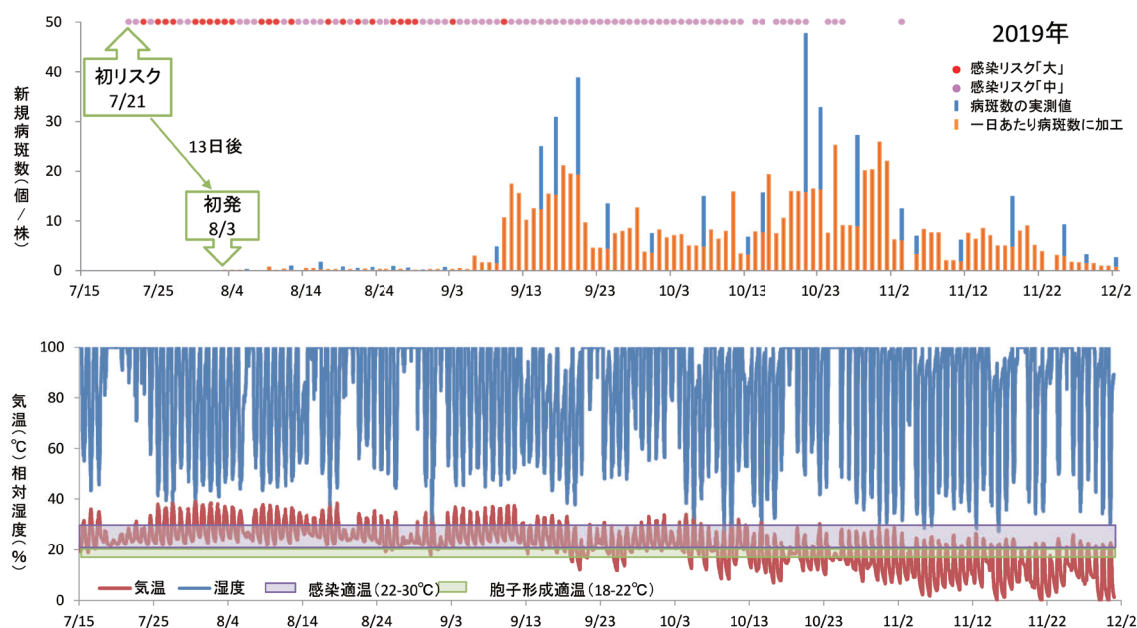


図3. トマトすすかび病の発生推移と感染リスク発出の推移(上図)、及びその間の気温と湿度の状況(下図)

2. 予測に従ったトマトすすかび病防除の実証 (2020-2022年度試験)

1) 試験の目的と方法

発病予測システムプランテクト®を用いて日々の感染が起きたリスクを推定し、それをもとに防除を行うことで、慣行の防除法に比べて防除効果や農薬散布回数がどのようになるか調査した。

試験は、プランテクト®を利用した予測防除区、発病が増えた時に防除を行う慣行防除区、および薬剤を散布しない無防除区を一つのハウスに設け、病気の発生状況も調査した。



トマトを定植し、Plantectを設置(5月下旬)



散布ルールに基づき薬剤散布

図4. 試験区と試験実施のようす

2) 試験の概要

【栽培の概要】

- ・栽培期間：2020年5月29日～12月1日、2021年5月26日～12月5日、2022年5月26日～12月2日
- ・栽培概要：養液土耕栽培、つり下げ誘引一本仕立て、株間45～58cm、畝間170cm
- ・供試品種：麗月、台木：B/バリア高接ぎ

【試験区(図5)】

- ・予測防除区：(初発前)感染リスク「大」あるいは「中」1回でTPN水和剤等を散布。
(初発後)感染リスク「大」は1回、「中」は累積3回でTPN水和剤等を散布。ただし、前回の散布2～3週間までのリスク表示はないものとして扱い散布はしない。
- ・慣行防除区：初発確認後、および前回の散布から2～3週間経過し、発病が増えた日にTPN水和剤等を散布。
- ・無防除区：すすかび病対象外の薬剤(うどんこ病、害虫)は必要に応じて散布(全区とも散布)。

【発病調査】1～3日毎に全株の病斑数を調査、2020年1区7株、2021、2022年：1区6株、3反復

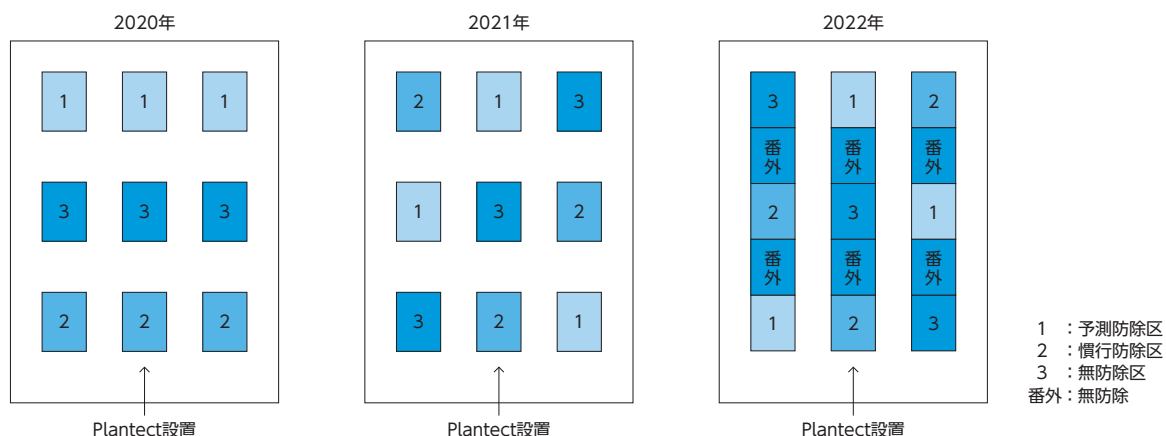


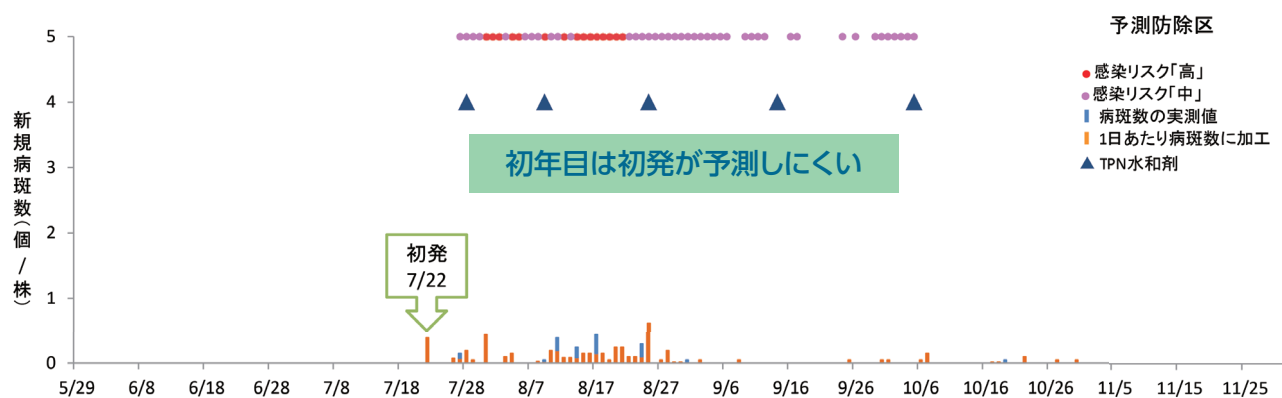
図5. 試験区の配置

3) 試験結果

(1) 予測に従った防除の実証(2020年)

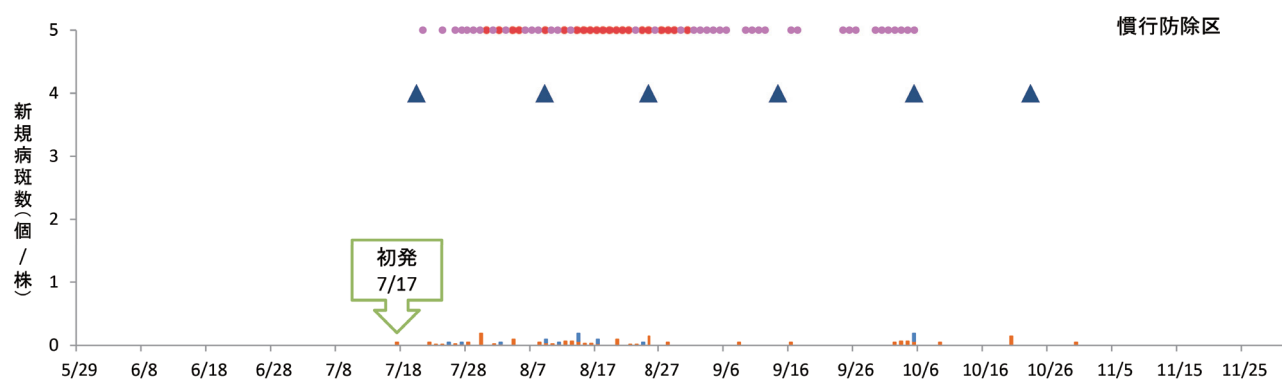
【予測防除区】

- ・すすかび病：7/22初発 ・予測：7/27初リスク(初発の5日後) ・農薬散布：5回
- ・発病は無防除区より少ないが、初発が予測できず慣行防除区よりやや発病が多かった。



【慣行防除区】

- ・すすかび病：7/17初発 ・予測：7/21初リスク ・農薬散布：6回
- ・発病は無処理区より少なかった。



【無防除区】

- ・すすかび病：7/22初発 ・予測：6/5初リスク(初発47日前) 7/14最後のリスク
- ・7/14以降も発病はあったが、感染リスクは発生しなかった。
- ※6月12～28日:センサー故障でデータ欠測、2年履歴あり(予測防除区、慣行防除区はプランテクト®設置初年目)
- ・初発が予測できなかった。 ・履歴によって予測が異なった。

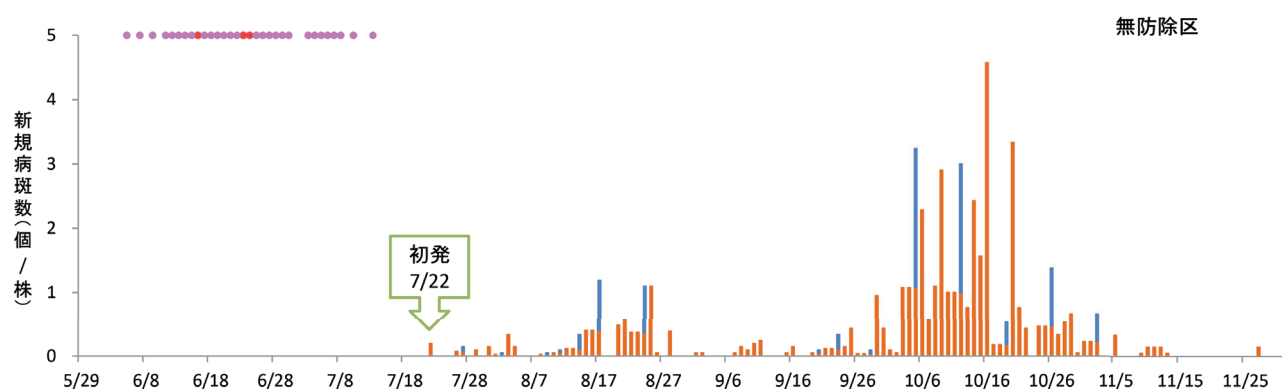
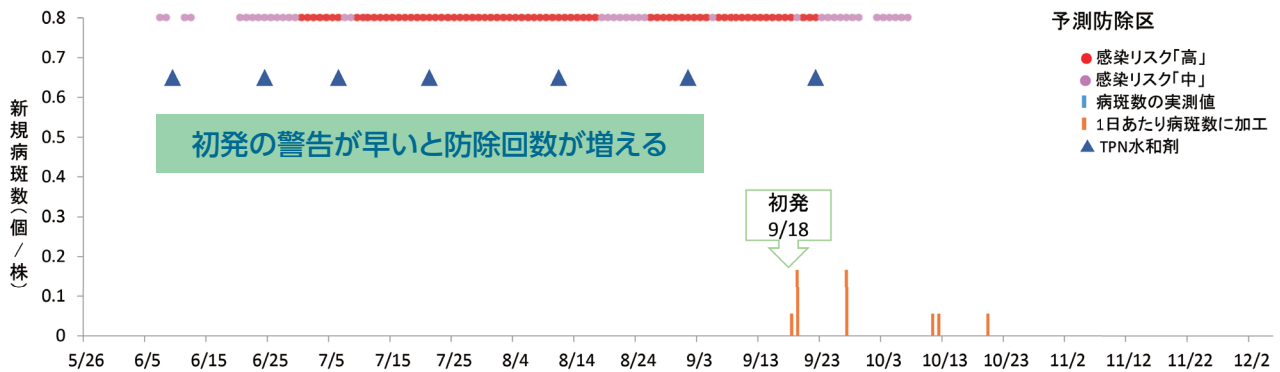


図6. 発病予測に基づいた防除の実証試験(2020年)

(2) 予測に従った防除の実証(2021年)

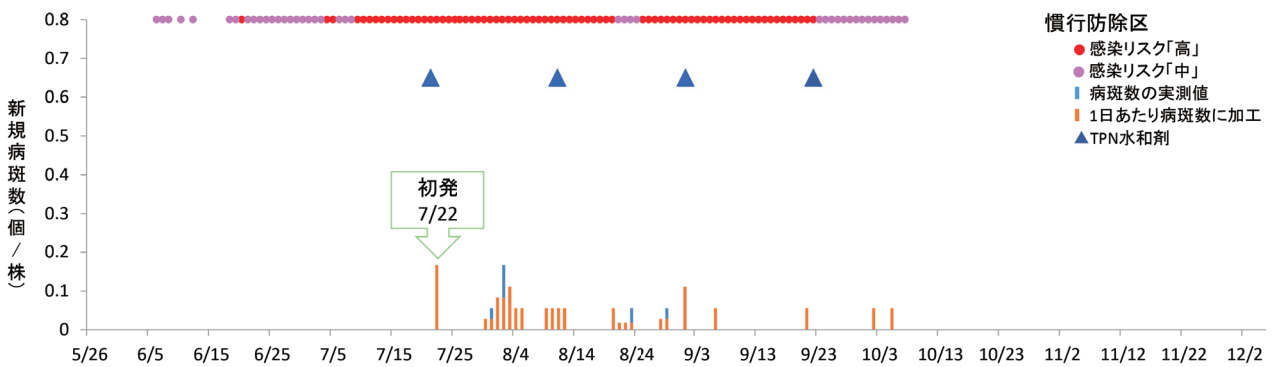
【予測防除区】

- ・すすかび病：9/18初発
- ・予測：6/7初リスク(かなり早い)
- ・農薬散布：7回
- ・発病は無防除区よりかなり少ないが、リスクが早くから発生して散布回数が多くなった。



【慣行防除区】

- ・すすかび病：7/22初発
- ・予測：6/6初リスク(初発46日前)
- ・農薬散布：4回
- ・発病は無処理区より少なかった。



【無防除区】

- ・すすかび病：7/14初発
- ・予測：6/7初リスク(初発38日前)
- ・初リスクがすすかび病の初発よりかなり早かった。
- ・早い時期の予測に従った防除により散布回数が多くなった。

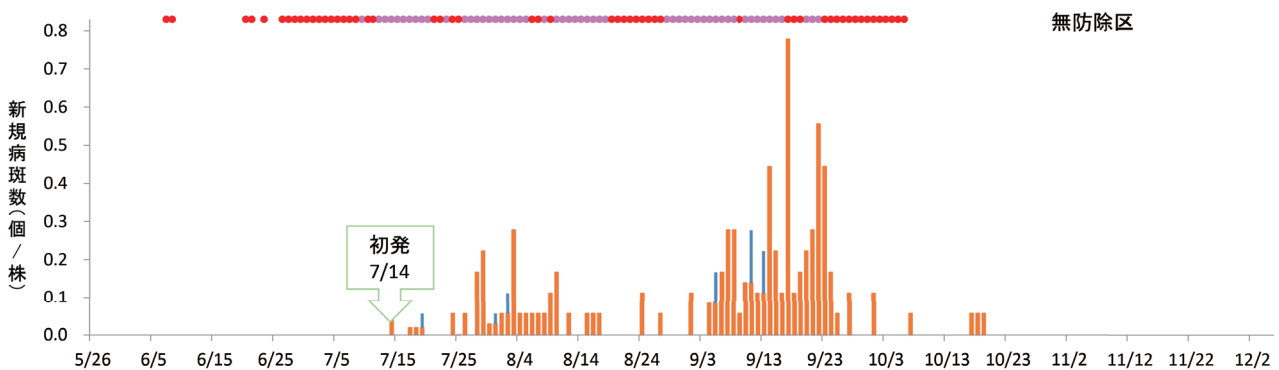
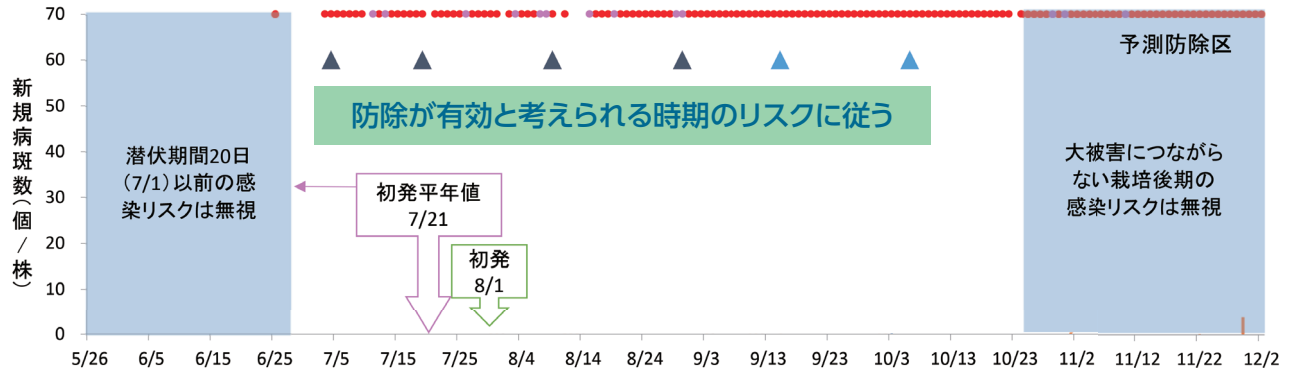


図7. 発病予測に基づいた防除の実証試験(2021年)

(3) 予測に従った防除の実証(2022年)

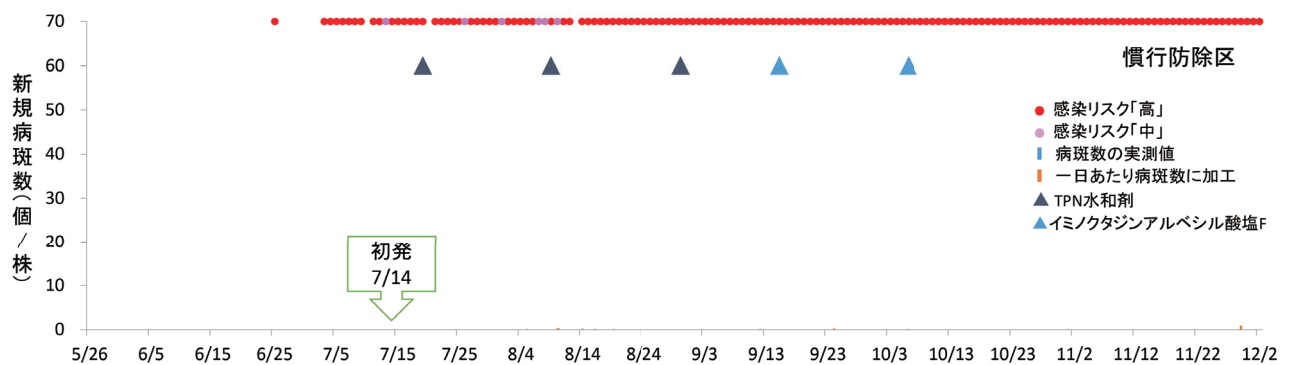
【予測防除区】

- ・すすかび病：8/1初発 ・予測：6/5初リスク ・農薬散布：6回
- ・初発平年値の20日以前や栽培後期(潜伏期間20日+栽培期間残り1か月)のリスクは無視した。
- ・発病はほぼなかった。



【慣行防除区】

- ・すすかび病：7/14初発 ・予測：6/25初リスク(初発19日前) ・農薬散布：5回
- ・発病はほぼなかった。



【無防除区】

- ・すすかび病：7/29初発 ・予測：5/25初リスク(初発51日前)
- ・初発平年値よりかなり前のリスクや栽培後期(潜伏期間20日+栽培期間残り1か月)のリスクは無視した薬剤散布で、散布回数は慣行防除区より1回多いが、発病を低く抑制できた。

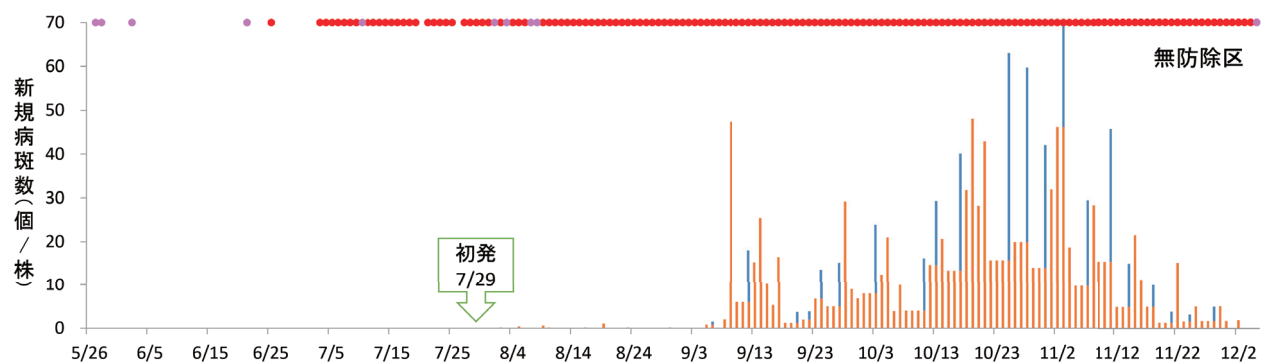
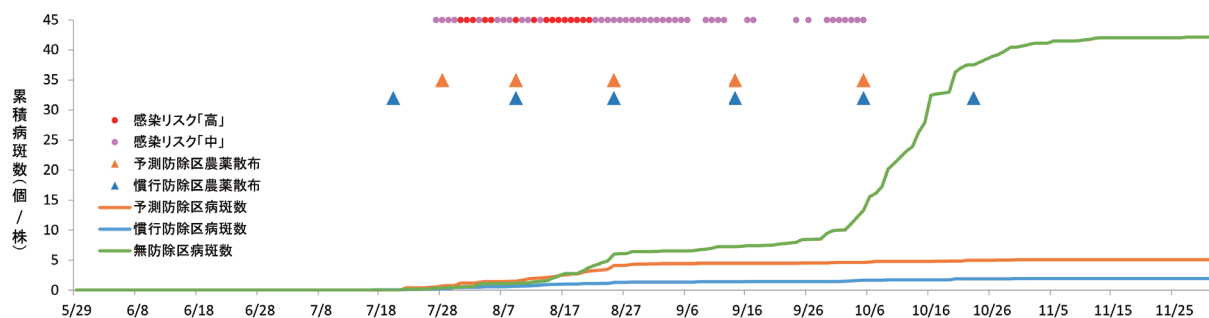


図8. 発病予測に基づいた防除の実証試験(2022年)

(4) 予測に従った防除の実証(3か年まとめ)

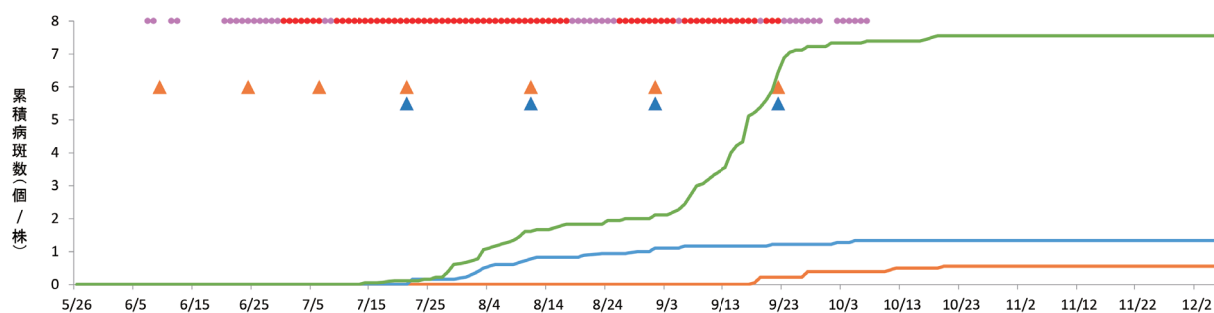
【2020年】

- ・ 初発が予測できなかった。
- ・ 初年目は初発の予測が難しい場合がある。



【2021年】

- ・ 早い時期の予測に従った防除により、散布回数が多くなった。
- ・ 初発の警告が早いと防除回数が増える。



【2022年】

- ・ 初発平年値よりかなり前のリスクや栽培後期のリスクは無視した薬剤散布で、散布回数は慣行防除区より1回多いが発病を低く抑制できた。
- ・ 防除が有効と考えられる時期のリスクに従うのがよい。

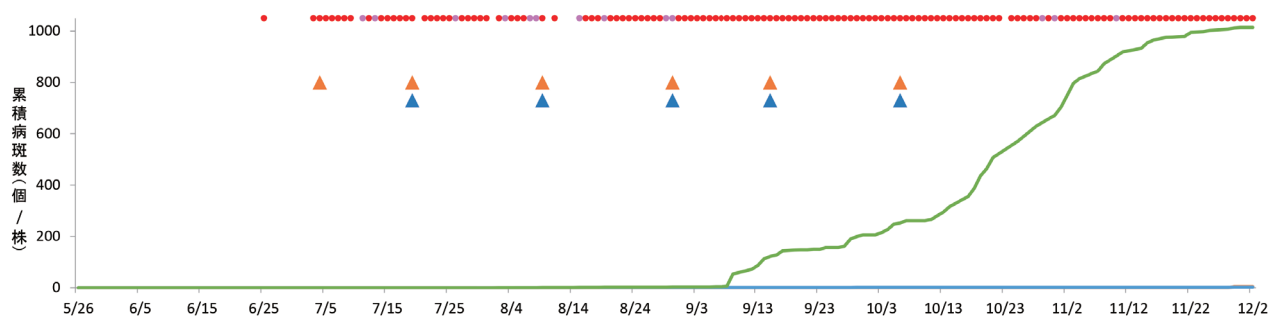


図9. 発病予測に基づいた防除の実証試験(2020～2022年)

3. 農薬散布回数, 発病程度, 収量に対するAI発病予測の効果(まとめ)

- ・散布回数は、防除が有効と考えられる時期のリスクに従うことで、慣行防除区とほぼ同じであった。これは、減農薬栽培の現地慣行と同程度の散布回数であった。
- ・病気の発生は、無防除区よりかなり少なく、慣行防除区とほぼ同程度の防除効果が認められた。
- ・システムを活用し利用者に警告を出すことで、防除を促すことができる。さらに、初発平年値の20日以前や栽培後期のリスクは無視する運用により、県内の生産現場で発病後に農薬散布を実施している圃場では、システムによって発病程度や散布回数を抑えられる可能性がある。
- ・収量は、予測防除区、慣行防除区で同等であった。
- ・本試験において収量に有意差は認められなかったが、現場ではすすび病の発生は収量低下の主な要因となることがあり、発病前の感染のタイミングで防除を行うことは重要であることから、感染のタイミングで警告を出すシステムは有効であると考えられる。

表1. トマトすすび病防除薬剤の散布回数, 発病程度, および収量の比較

	試験区	散布回数(回)	病斑数(個/株)	発病回数	収量(kg/株)
2020年	予測防除区	5	5.0 b	15.0 b	8.8
	慣行防除区	6	1.9 c	9.7 b	8.8
	無防除区	0	43.0 a	41.3 a	9.3
2021年	予測防除区	7	0.6 a	2.0 a	9.3 a
	慣行防除区	4	1.3 a	7.0 a	9.1 a
	無防除区	0	7.4 b	24.0 b	9.8 a
2022年	予測防除区	6	4.7 a	3.3 a	9.5 a
	慣行防除区	5	3.0 a	9.0 a	9.2 a
	無防除区	0	1062.1 b	58.3 b	10.4 a

総病斑数と発病回数は、2020年は1区7株調査、2021、2022年は1区6株調査、いずれも3反復の平均。

収量は、1区2株調査、2020年は1反復、2021、2022年は3反復の平均。

異なる文字は有意差を示す($P<0.05$, 2021年の全項目と2022年の総病斑数と収量はTukey検定で、2020年の全項目と2022年の発病回数はKruskal-Wallis検定)。

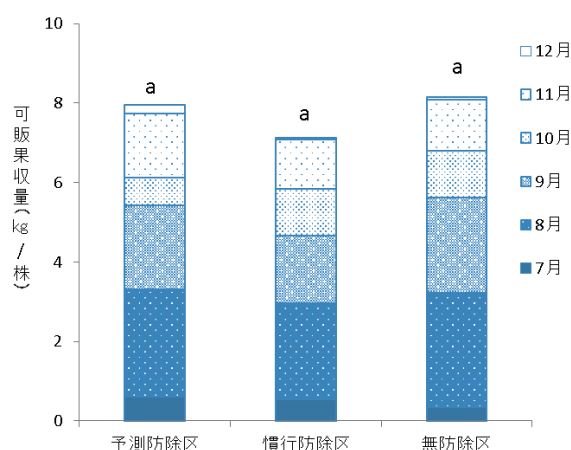


図10. 月別の可販果収量(2022年)

本試験は開発されて間もないAI発病予測システムを利用した防除試験であったことから、ただ一つの病気を対象として実施しました。しかし実際には、葉かび病とうどんこ病など複数の病気のリスクが重なってあるいは交互に出ることがあります。そのような場合には、リスクが出された病害の全てを考慮して防除(この場合は両病害に効果のある薬剤を選択)することが必要です。

AI発病予測システムを利用した キュウリ褐斑病の管理

福岡県農林業総合試験場

目 次

はじめに

1. 試験の概要 [発病程度の調査法]

2. 試験結果

- 1) 無処理区におけるキュウリ褐斑病の感染リスク発出と発病推移
- 2) 感染リスク発出を利用したキュウリ褐斑病の防除試験

3. 試験結果のまとめ

はじめに

キュウリ褐斑病は、多発後の薬剤防除では十分な防除効果を得ることが難しい病害です。そのため発生した後でも少発生に維持することが重要で、発生前から薬剤防除をする必要があります。プランテクト®の発病予測システムは、ハウス内の温湿度データなどを元にAIによって推定した感染リスクを、病気が発生する前に発出するシステムです。ここでは、プランテクト®による感染リスク表示に基づいた薬剤散布ルールで防除を実施する予測防除区と定期的に薬剤散布する定期防除区注)及び無防除区(薬剤無散布)を同一ハウスに設置して、発病の推移を比較しました。さらに、無処理区の新規発病葉率を調査し、本システムの予測を評価しました。

注)福岡県においては本試験で供試した品種「エクセレント節成353」に対する防除暦はないことから、本報告では「慣行防除区」ではなく、「定期防除区」の語を用いる。

1. 試験の概要

・耕種概要

品種：エクセレント節成353(褐斑病抵抗性は中)、ハウス面積:6×10m、畝幅:2m、畝数:2畝
株間：40cm、条数:2条、栽培様式:つる下ろし栽培、畝肩から通路に藁マルチを設置した。

・栽培期間：5月21日～7月31日

・接種方法：5月9日、6月11日、7月5日に緩衝株の上位2葉に孢子懸濁液をハンドスプレーで接種した。また、緩衝株には薬剤を散布しなかった。

・試験区の構成：6株/区、4反復

①予測防除区：AIによって推定された感染リスクに基づき表1のとおり薬剤を散布した。

②定期防除区：14日間隔で薬剤を散布した。

③無防除区：褐斑病以外の病害虫については薬剤散布を実施した。

・温湿度センサー：無処理区とAI予測区にバイエルクロップサイエンスの温湿度センサーを畝上150cmに設置した。

・調査期間：2022年5月23日～7月31日(定植:4月27日)

・発病程度の調査法(下記参照)

表1 本試験で検討した発感染リスクに基づく薬剤散布ルール

時 期	薬剤散布方針
初発まで	中リスク1回、高リスク1回で翌日に薬剤散布 (薬剤散布後14日間のリスク表示は無視する)
初発確認時	前7日間に薬剤散布実績がなければ初発確認後薬剤散布
初発確認後	高リスク1回、7日間に中リスク3回で翌日に薬剤散布 (薬剤散布後7日間のリスク表示は無視する)



図1. キュウリ褐斑病の葉の病徴

[発病程度の調査法]

○感染リスクの発出と発病状況を比較するため、無処理区で新規発病葉率を調査した。

○プランテクト®の発病予測の有効性を検討するため、予測防除区、定期防除区及び無処理区で発病度を調査した。

○病気の発生調査は次の方法で行った。

【新規発病葉率の調査】

無処理区の各反復5株の上位5～10葉について、前回調査後に新たに発病が確認された葉数を調査し、新規発病葉率を算出した。

【発病度の調査】

・あらかじめ定めた発病指数基準(下記)をもとに、各区5株の上位10葉について7日間隔で発病指数を調査し、発病度(下記)を算出した。

・発病指数基準

0：無病斑	1：病斑面積率が5%以下
1.5：病斑面積率6～10%	2：病斑面積率11～24%
3：病斑面積率26～50%	4：病斑面積率51%以上

・発病度の算出

発病度 = $\{ \sum (\text{程度別発病葉数} \times \text{発病指数}) \times 100 \} / (\text{調査葉数} \times 4)$

2. 試験結果

1) 無処理区におけるキュウリ褐斑病の感染リスク発出と発病推移(図2)

- ・初発は6月27日に確認され、初めての中リスクが同日に発出された。
- ・新規発病葉率は初発後から徐々に増加し、その後7月中旬にかけて急増した。その期間高リスクが連続して発出された。
- ・新規発病葉率は7月下旬以降低下し、その期間の中・高リスクは減少した。

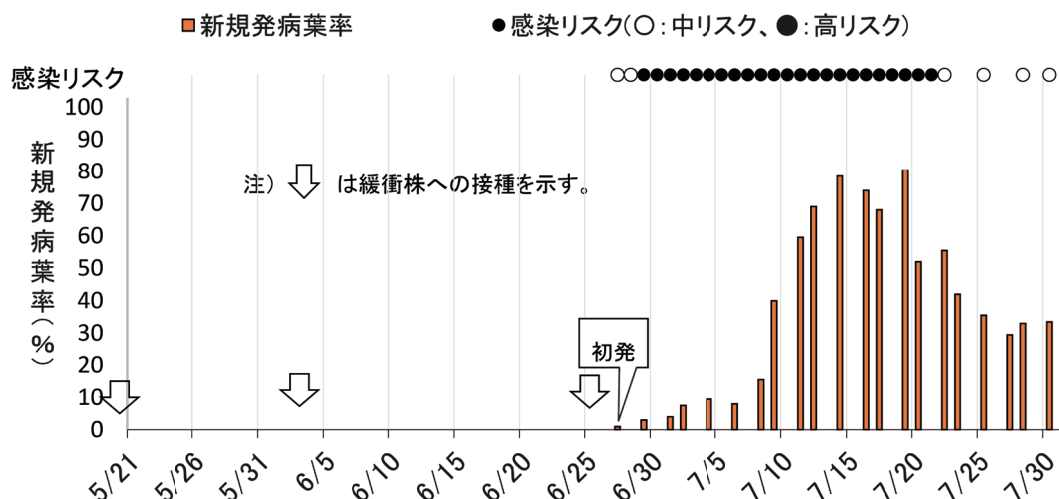


図2. 無処理区におけるキュウリ褐斑病の感染リスクの発出と発病推移

2) 感染リスク発出を利用したキュウリ褐斑病の防除試験(図3)

- ・予測防除区と定期防除区とも6月29日に初発が確認され、7月上旬～中旬にかけて発病が増加した。
- ・定期防除区では初発前に3回薬剤を散布したが、予測防除区では初発前散布は1回のみであった。
- ・予測防除区の発病度は、定期防除区と同程度であった。

本試験ではハウス内に無防除区や緩衝株に生じた罹病葉(伝染源)が多量にあったため、薬剤の防除効果が低下した可能性がある。

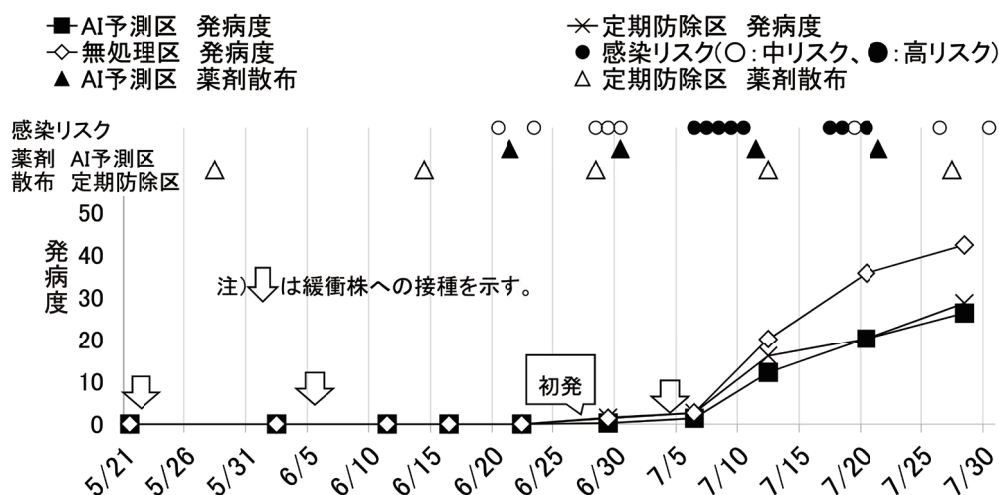


図3. 感染リスク発出を利用したキュウリ褐斑病の防除試験

3. 試験結果のまとめ

- ・初発が確認された日に中リスクが初めて発出され、その後発病が増加した時期に高リスクが連続して発出された。発病が減少した期間に中・高リスクの発出は減少した。このことから、初発の予測は数日遅れたが、プランテクト[®]は、初発後の発病をおおよそ予測したと考えられる。
- ・予測防除区と定期防除区では同じ日に初発が確認された。薬剤の散布回数は調査期間中に予測防除区で4回、定期防除区で5回であった。予測防除区は定期防除区より初発前までの薬剤散布回数を削減することができた。

以上のことから、プランテクト[®]の発病予測システムは、不必要な薬剤散布を省略できる可能性が示唆された。なお、本試験ではハウス内に伝染源が多量にあったため、薬剤の防除効果が低下した可能性があることを付記する。

本試験は開発されて間もないAI発病予測システムを利用した防除試験であったことから、ただ一つの病気を対象として実施しました。しかし実際には、うどんこ病やべと病など複数の病気のリスクが重なってあるいは交互に出ることがあります。そのような場合には、リスクが出された病害の全てを考慮して防除(この場合は両病害に効果のある薬剤を選択)することが必要です。

AI発病予測システムを利用した キュウリベと病管理

宮崎県総合農業試験場

目次

はじめに

1. 2020年度試験

- 1) 試験の概要
- 2) 試験結果
 - (1) 試験期間中のキュウリベと病の発生推移*
 - (2) 無防除区におけるキュウリベと病の発生推移
 - (3) 慣行防除区におけるキュウリベと病の発生推移
 - (4) 予測防除区におけるキュウリベと病の発生推移
 - (5) 2020年度の試験結果のまとめ

2. 2022年度試験

- 1) 試験の概要
- 2) 試験結果:2) 無防除区におけるキュウリベと病の発生推移
 - (1) 試験期間中のキュウリベと病の発生推移*
 - (2) 無防除区におけるキュウリベと病の発生推移
 - (3) 慣行防除区におけるキュウリベと病の発生推移
 - (4) 予測防除区におけるキュウリベと病の発生推移
 - (5) 2022年度の試験結果のまとめ

(注: 2021年度は無防除区においても本病未発生のため省略)

はじめに

キュウリベと病は予防的に農薬を散布することで効果的に防除できます。発病してから農薬散布では、十分な防除効果を得る事が難しくなりますので、発病する前に予防的に農薬を散布することが重要です。そこで、プランテクトシステム[®]を用いて日々の感染が起きたリスクを推定し、それをもとに防除を行うことで、慣行の防除法に比べて防除効果や農薬散布回数がどのようになるか調べました。

試験は、プランテクト[®]を利用した区(予測防除区)と慣行の防除を行う区(慣行防除区)を一つのハウスに設けて行いました。試験を実施した2020年度・2022年度とも、同じハウスに無防除区も設け、農薬散布をしないときの病気の発生状況も調べました(図1)。試験は全て宮崎県総合農業試験場(宮崎県宮崎市、標高8m)において実施しました。

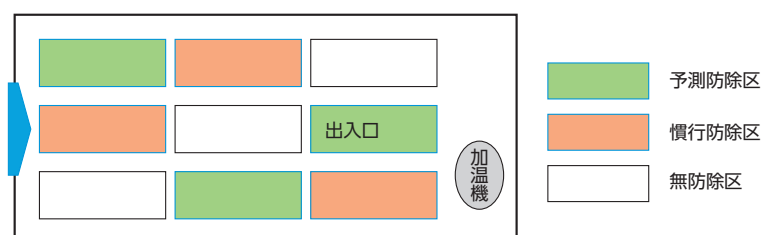


図1. 試験区の配置

1. 2020年度試験

1) 試験の概要

- 栽培期間：2020年10月16日～2021年1月7日
- 栽培概要：品種「千秀2号」・台木「ゆうゆう一輝（黒）」、ハウス内の幅1.6mの畝に株間40cm・1条植え、主枝2本仕立てのつる下ろし栽培とした。
- 試験区：各区10株×3反復
 - 1) 予測防除区：高リスクの場合は1回、中リスクでは累計3回リスク表示が出された時点で散布を行い、いずれも散布後10日間は間隔を空けることとした。
 - 2) 慣行防除区：初発までは7日間隔、初発確認時、緊急防除を行い、その後は10日間隔で防除を行う。
 - 3) 無防除区：べと病を対象とする薬剤散布を行わなかった。

*いずれの区も、べと病以外のうどんこ病と害虫を対象とした防除を実施した。
- 発病調査：11/9、18、25、12/2、9、17、24の計7回調査、各区80～100葉、3反復について発病程度別に調査。



図2. 試験を実施した栽培の状況



図3. キュウリべと病発病の初期の症状

2) 試験結果

(1) 試験期間中のキュウリべと病の発生推移*

*試験区外のキュウリべと病無防除栽培において、キュウリべと病の発生推移を詳細に調査した

- 試験ハウス内での最初の発病は11月17日で、プランテクト®による初回警報(11/9)発生後、8日目であった。
- 11月中下旬に5回(13,16,22,24及び30日)の高リスクを含め14回の警報が発生したが、べと病の新規病斑の発生は少なく蔓延は緩やかであった。
- 12月に入って徐々に病斑数が増加し始め、高リスクの条件が連続したが、薬剤散布により新規病斑の発生は一時的に抑制されたものの12月10日以後急速に病勢が進展した。
- 12月18日以後は薬剤散布の効果がみられ、新規病斑数が減少した。
- 約2ヶ月の試験期間中の警報発生は中リスク表示23回、高リスク表示20回、合計43回であった。

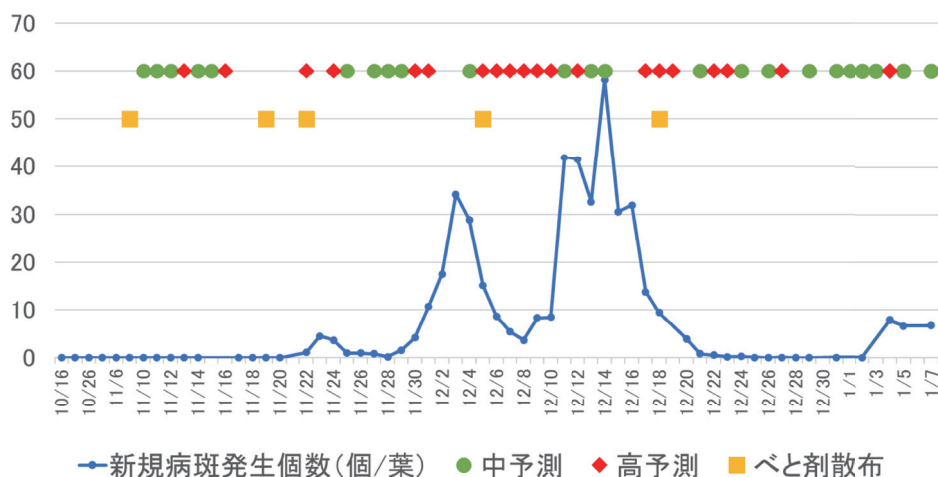


図4. 試験期間中のキュウリべと病の発生推移(2020年度)

(2) 無防除区におけるキュウリベと病の発生推移

- ・試験区での最初の発病は11月25日に認められた。
- ・無防除区におけるべと病の発生は次第に広がり、12/17をピークに次第に収束し、以後は発生が見られなくなった。

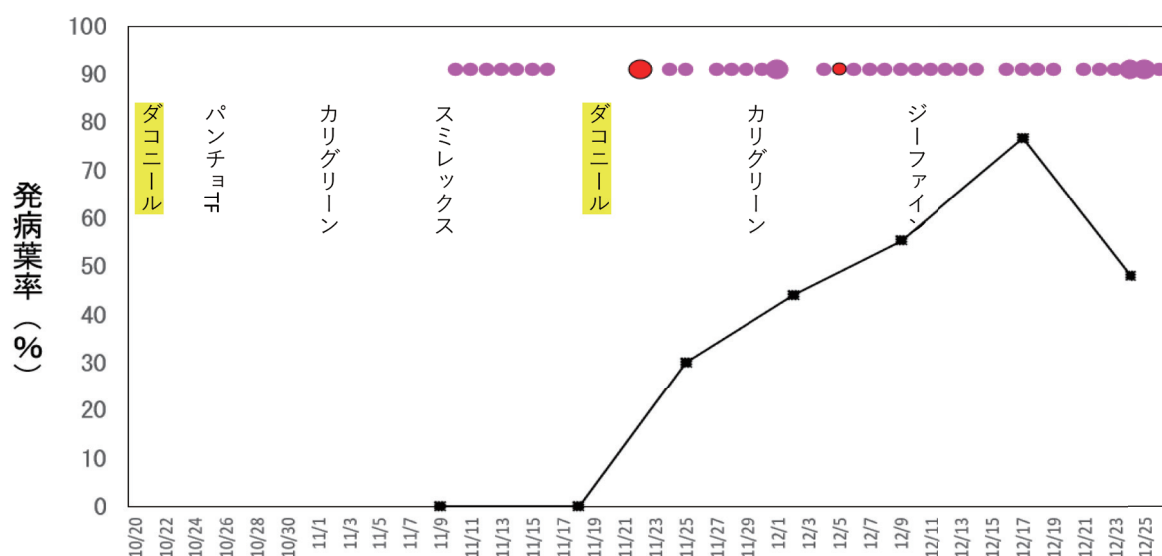


図5. 無防除区のキュウリベと病の発生推移(2020年度)

(3) 慣行防除区におけるキュウリベと病の発生推移

- ・11月9日からリスク表示が出るようになったが、地域の防除暦に従った慣行区の防除日と重なったため、11月9日から防除試験開始となった。
- ・慣行区では初期に治療剤(ランマン、フォリオゴールド)、ついで予防剤(カスミンボルドー、2回)、最後に治療剤(ザンプロDM)の5回散布であった。
- ・べと病の初発生は11月25日に確認され、その後、無防除区と同様の発病経過をたどったが発病度は低かった。

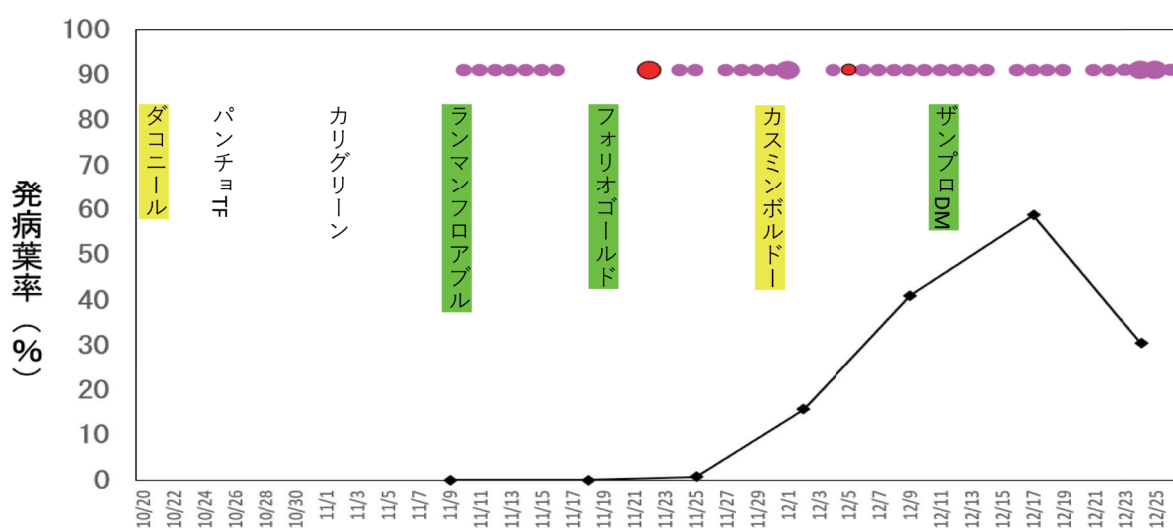


図6. 慣行防除区のキュウリベと病の発生推移(2020年度)

(4) 予測防除区におけるキュウリべと病の発生推移

- ・11月9日に初回のべと病の警報(中リスク)が表示されたため、治療剤(ランマン)を散布した。なお、予測区においては散布回数の低減効果を確認するため、つる枯病の発生を予防する目的でスミレックスを混用した。
- ・11月10日以降も連続してべと病の中リスクが発生したことから11月19日に予防剤(ダコニール)散布を実施したが、3日後(11月22日)にさらに高リスクが発生したことから、当日治療剤(フォリオゴールド)の散布を実施し、中3日での防除となった。
- ・その結果、12月9日までは予測防除区のべと病発生が顕著に抑えられた。
- ・その後、べと病発生リスクの多発条件下で、ルールに従って12月5日の予防剤(カスミンボルドー)を散布したが防除効果は劣る結果となった。

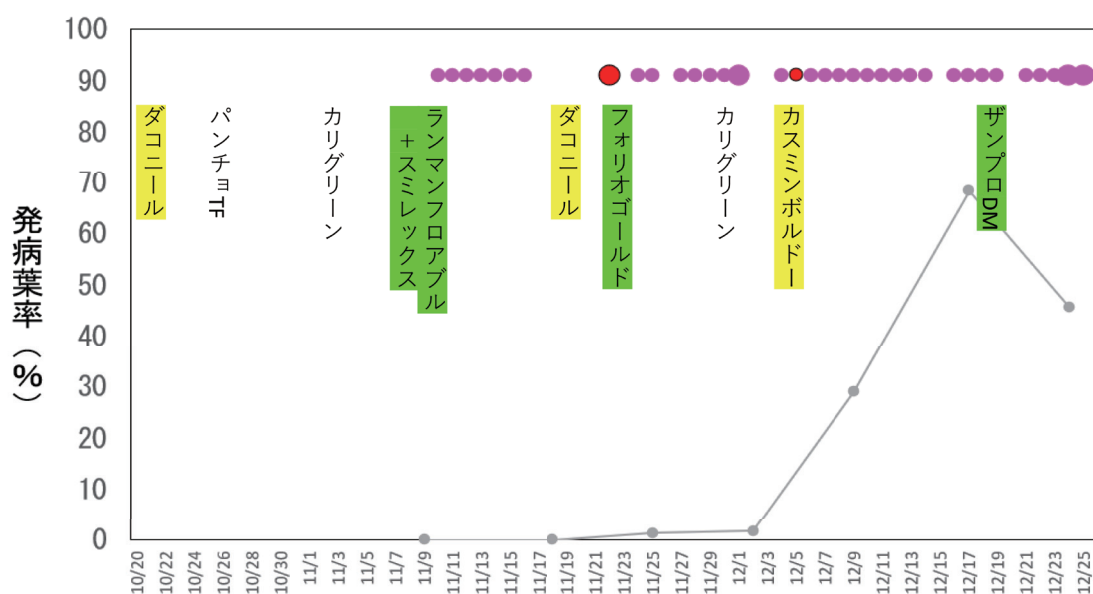


図7. 予測防除区のキュウリべと病の発生推移(2020年度)

(5) 2020年度の試験結果のまとめ

- ・試験の間、プランテクト®の最初のリスク(中)表示が出た後、ほぼ連続してリスクが発出された。
- ・このため、試験期間中の予測防除区の農薬散布間隔は平均で11.8日となり、慣行防除区の平均12.8日とほとんど差が見られない結果となった。
- ・各試験区のべと病の発生推移は、散布薬剤の特性(効果の切れや残効など)により影響される可能性がうかがわれたものの、両区とも、無防除区に比べて明らかに病気の発生が少なく、被害の軽減ができた。

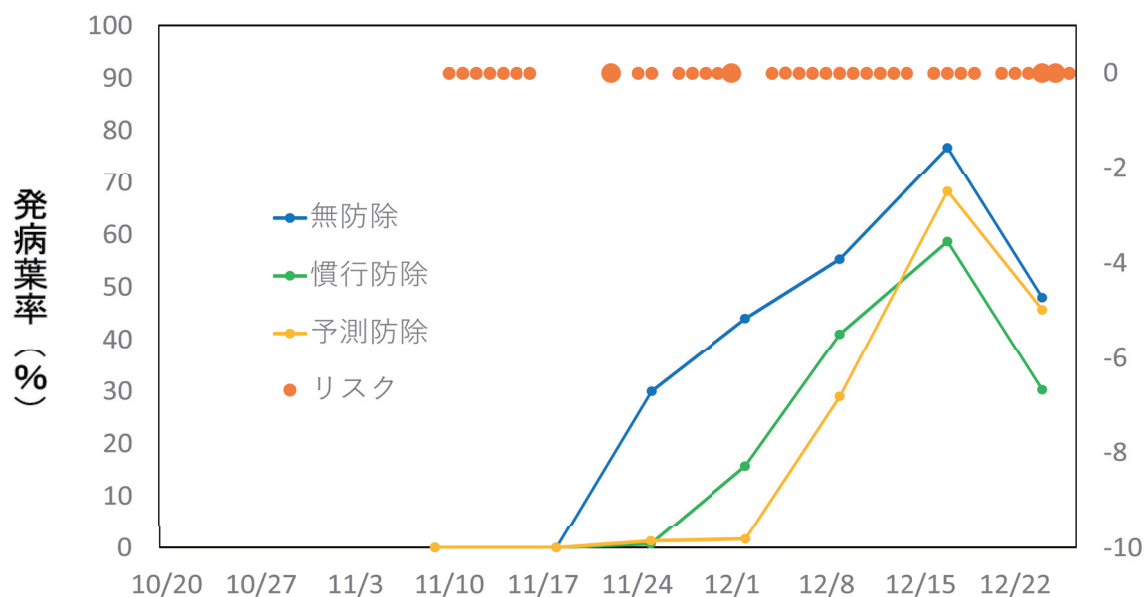


図8. 予測防除区、慣行防除区、無防除区におけるべと病の発生推移(2020年度)

2. 2022年度試験

1) 試験の概要

- **試験場所**：宮崎県宮崎市「宮崎県総合農業試験場」(標高8m)
- **栽培期間**：2022年10月14日～ 2023年1月19日
- **栽培概要**：品種「エクセレント節成2号・台木ゆうゆう一輝 (黒)」、ハウス内の幅1.6mの畝に株間35cm・1条植え、主枝4本仕立ての摘心栽培とした。
- **試験区**：各区10株×3反復
 - 1) 予測防除区：高リスクの場合は1回、中リスクでは累計3回リスク表示が出された時点で散布を行い、いずれも散布後7日間は間隔を空けることとした。
 - 2) 慣行防除区：約7日間隔で定期的に薬剤防除を行った。
 - 3) 無防除区：べと病を対象とする薬剤散布を行わなかった。

*いずれの区も、べと病以外のうどんこ病と害虫を対象とした防除を実施した。
- **発病調査**：概ね7日毎に、各区600葉について、べと病発病葉数を調査した。

2) 試験結果

(1) 試験期間中のキュウリべと病の発生推移*

- 試験ハウス内の温度は最低12℃・最高28℃を基準管理し、11月中旬以降は加温機により最低温度を確保した。11月までは日中の気温が30℃を超える日もあったがその後はべと病発病の好適温度とされる15～25℃がほぼ維持された。
- 湿度については、定植後は比較的乾燥した状況が続いたが、キュウリの生長に伴い晴天時の日中においても湿度の高い時間が長くなり、11月29日以降は終日湿度100%で推移した。
- プランテクト[®]による感染リスクの表示は、定植から1月13日までの92日間に49回表示され、そのうち「高」の表示は40回であった。
- 感染リスクが初めて3日連続して表示されてから8日後の11月4日に、べと病の初発生を確認した。その後11月下旬までべと病の広がりは見られなかった。12月以降は感染リスクが表示される日が続く中で、べと病発病葉の新規発生が続いたが程度は低いまま推移した。

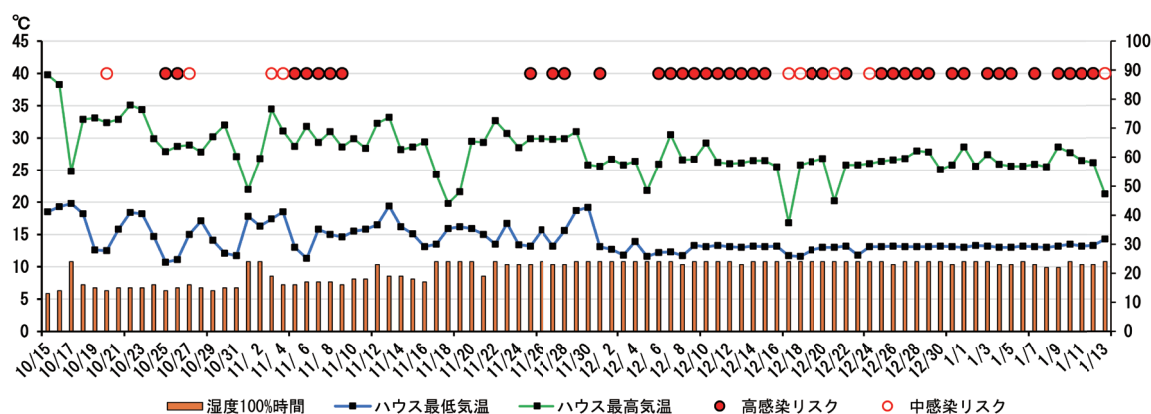


図9. 試験期間中の気象(気温と湿度)とプランテクト[®]による感染リスクの発出(2022年度)

(2) ベと病無防除区におけるキュウリベと病の発生推移

- ・ 11月3日から7日連続して感染リスクが表示された一方で24日まで表示がなかったこの期間は、ベと病の発生はほとんど見られなかった。
- ・ 11月23日以降感染リスクが数値化された中で、11月25日、27日および28日には最も高い数値である80以上の高リスクが表示された。その後12月9日の調査においてベと病新規発病葉が増加したことから、数値の高いリスク表示との関連性がうかがえた。
- ・ 施設内のベと病がある程度増えてきた中で、12月中旬以降も発生拡大が継続した。12月6日以降表示された感染リスク「高」の数値は34～60であったが、高リスクの日が連続したことがベと病の発生推移に反映していると考えられる。

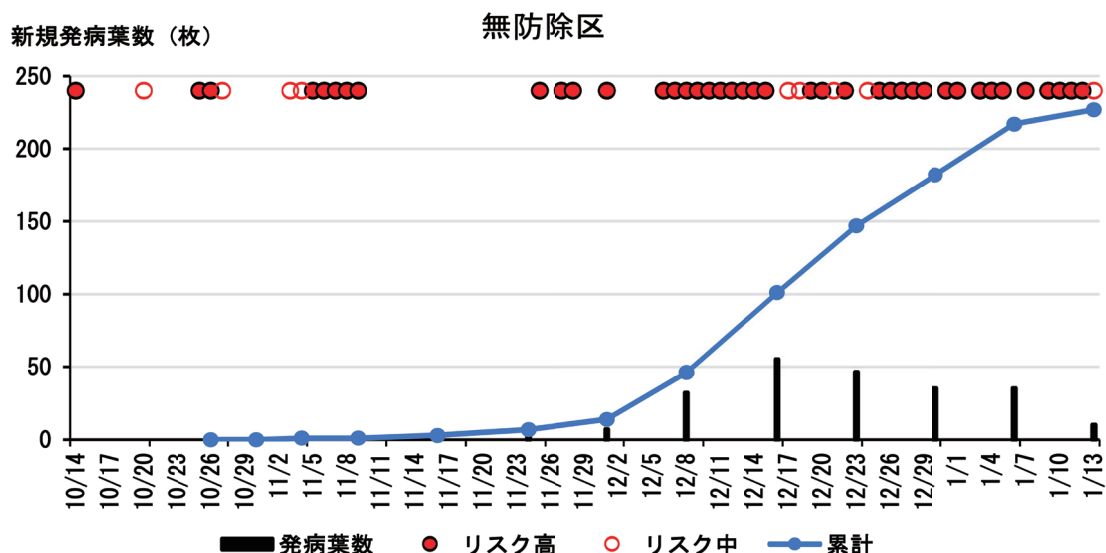


図10. 無防除区のキュウリベと病の発生推移(2022年度)

(3) 慣行防除区におけるキュウリベと病の発生推移

- ・ 感染リスクが連続して表示された10月26日から、ベと病発生や感染リスク表示の有無にかかわらず約7日間隔で定期的に防除を行い、試験期間中の防除回数は11回、防除間隔7.4日であった。
- ・ ベと病の発生がほとんどない時期には、総合殺菌剤(ダコニール)や予防剤(ジマンダイセン等)による防除を行い、ベと病の発生後感染リスク表示日が連続する時期には、治療剤(ランマン、ザンプロDM)による防除を行った。
- ・ ベと病の初発生は12月1日に確認したが12月中旬まで発生はなく、その後も発病度は低いまま推移した。

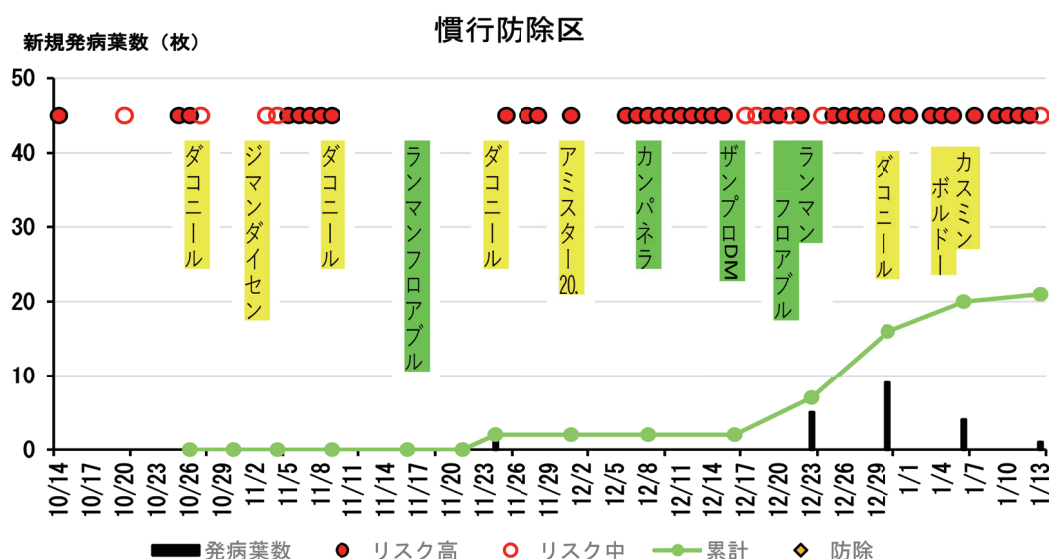


図11. 慣行防除区のキュウリベと病の発生推移(2022年度)

(4) 予測防除区におけるキュウリべと病の発生推移

- ・定植以降初めて感染リスク「高」が表示された翌日の10月26日から、散布ルールに従って防除を開始し、試験期間中のべと病防除回数は9回、防除間隔9.3日であった。
- ・その後12月1日までは、11月5日からの5日連続高リスク表示に対応して2回、11月26～28日の高リスク表示に対応して1回防除を行った。この間の防除回数は慣行防除区より2回少なかった。
- ・12月6日以降リスク表示が断続的に出たことから、防除回数・間隔は慣行防除区と同じとなった。
- ・べと病の発生を最初に認めたのは12月1日、12月上旬に慣行防除区より早く増加したが、その後鈍化し、試験終了時には、慣行防除区とほぼ同等の発生程度となった。

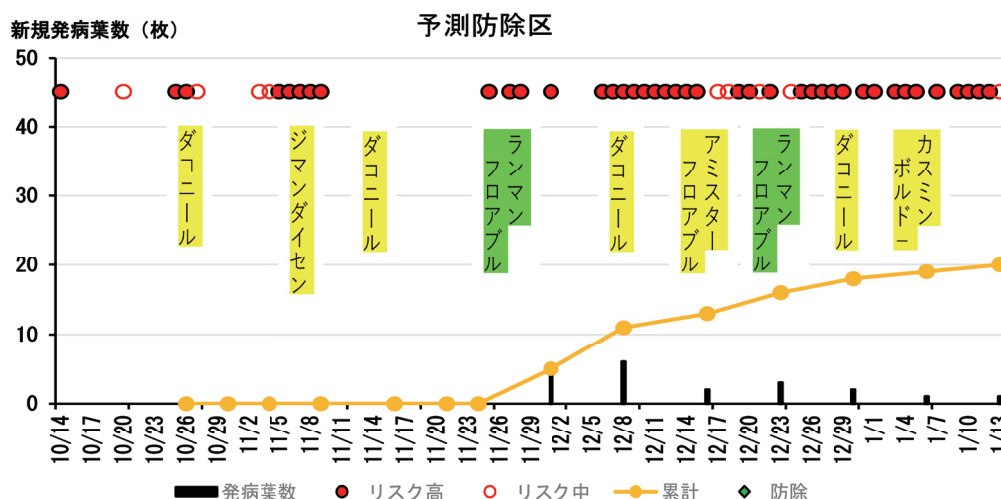


図12. 予測防除区のキュウリべと病の発生推移(2022年度)

(5) 2022年度の試験結果のまとめ

- ・定植後から12月5日まで前半の期間は、感染リスク表示のなかった日が多かったことから、予測防除区の防除間隔は長くなり防除回数は少なかった。その後後半は感染リスクがほぼ毎日表示されたことから7日間隔での防除となった。その結果、慣行防除区と比較して、試験期間中の防除回数は2回少ない9回、防除間隔は約2日長い9.3日となった。
- ・無防除区のべと病の発生は11月下旬から増加し12月は毎週30株に30～50枚程度の新規発病葉が発生していたのに対し、予測防除区ではほとんど発生が見られず推移した。予測防除区と慣行防除区に発生葉数の差はなく、感染リスク表示に基づき防除回数を減らしても同等の効果が得られることを確認できた。
- ・作物の生育状況や環境をはじめ、薬剤の防除効果など様々な要因を含めて精度を上げた病害予測により、安定生産や経費・労力の削減など防除作業の効率化が期待される。

枚/100葉：各区の新規発病葉数（累計）

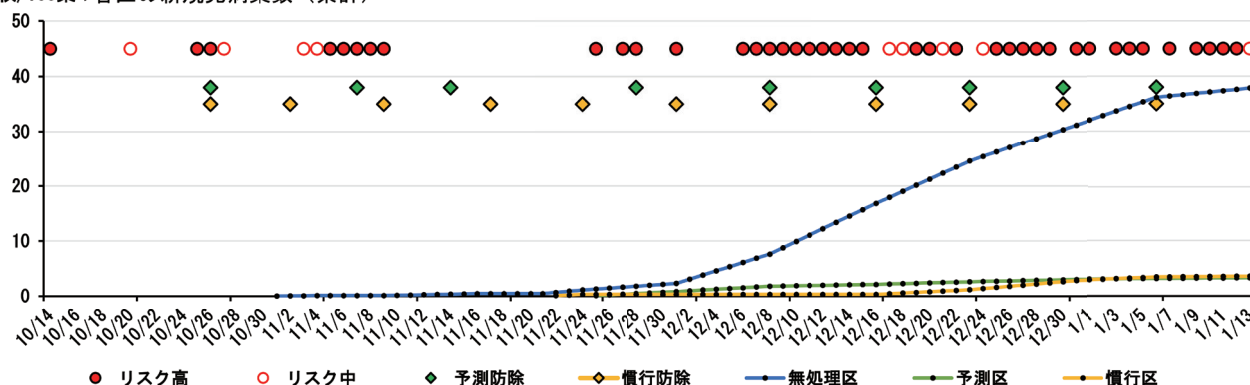


図13. 予測防除区、慣行防除区、無防除区におけるべと病の発生推移(2022年度)

本試験は開発されて間もないAI発病予測システムを利用した防除試験であったことから、ただ一つの病気を対象として実施しました。しかし実際には、うどんこ病や褐斑病など複数の病気のリスクが重なってあるいは交互に出ることがあります。そのような場合には、リスクが出された病害の全てを考慮して防除(この場合は両病害に効果のある薬剤を選択)することが必要です。

AI発病予測システムを利用した イチゴうどんこ病管理

香川県農業試験場

目次

はじめに

1. 2020年度試験

- 1) 試験の概要
- 2) 試験結果: 予測防除区と慣行防除区におけるイチゴうどんこ病の発生推移

2. 2021年度試験

- 1) 試験の概要
- 2) 試験結果:
 - (1) 予測防除区と慣行防除区におけるイチゴうどんこ病の発生推移
 - (2) 予測防除区と慣行防除区における果実収量

3. 2022年度試験

- 1) 試験の概要
- 2) 試験結果:
 - (1) 予測防除区と慣行防除区におけるイチゴうどんこ病の発生推移
 - (2) 予測防除区と慣行防除区における果実収量

4. 3カ年のまとめ

- 1) 予測防除区と慣行防除区におけるイチゴうどんこ病の発生、薬剤散布回数及び果実収量の比較(3カ年)

はじめに

イチゴうどんこ病はわずかでも果実に発生すると商品価値が損なわれます。発生後に薬剤散布を行っても、根絶するには複数回の薬剤散布が求められ、多大なコストが強いられることから予防的に農薬を散布して病原菌に感染をさせないことが重要です。そこで、プランテクトシステムを用いて日々の感染が起きたリスクを推定し、それをもとに薬剤散布を行うことで、慣行の防除法に比べて防除効果や農薬散布回数がどのように変化するか調べました。

試験は香川県農業試験場(綾歌郡綾川町、標高57m)で実施し、プランテクトの感染リスク予測に応じて薬剤散布を行う区(予測防除区)と慣行の防除暦に従って薬剤散布を行う区(慣行防除区)を一つのハウスに設け、適宜病気の発生状況を調査しました。

1. 2020年度試験

1) 試験の概要

- 栽培期間：2020年10月2日～2021年5月6日
- 栽培の概要（供試品種：さめき姫、ピートバック栽培（株間20cm、条間12cm、2条植え、8株/バック）、らくちんシステムによる給液管理）

• 試験区

1. 予測防除区：初発までは感染リスク「中」または「高」1回、発生後は感染リスク「中」3回または感染リスク「高」1回で薬剤散布。薬剤は防除暦の当該時期の近傍から選択し、薬剤散布後7日以内の感染リスクは無視した。
2. 慣行防除区：防除暦（香川県監修）にしたがって薬剤散布。
3. 共通：薬剤散布後7日間及び、前回調査時から発病小葉率が低下していれば追加の薬剤散布は行わなかった。各区256株を供試した。

- 発病調査：7日毎にあらかじめ定めた24株の上位3複葉の病斑の有無について小葉別に肉眼で調査を行い、発病小葉率を算出した。試験は3反復で実施した。前回調査時よりも発病小葉率が増加している日にプランテクト®に「病害発生」を入力した。



図1. 試験区の設定

（各試験区の境界部に農業用ポリフィルムを設置した。）

2) 試験結果：予測防除区と慣行防除区におけるイチゴうどんこ病の発生推移

- 初発を慣行防除区では1月12日、予測防除区では1月4日に認めた。
- 感染リスク「高」は10月9日の定植直後に認め、年内は約10日間隔で認めた。年明け後は1月22日から3日連続で認め、2月15日に一度認めた後、3月21日以降、高頻度で認めた。感染リスク「中」は複数回連続で認める場合が多かった。
- 薬剤散布回数は慣行防除区が12回に対して、予測防除区が11回となった。
- 3月15日以降、慣行防除区の方が発病小葉率が高く推移した。

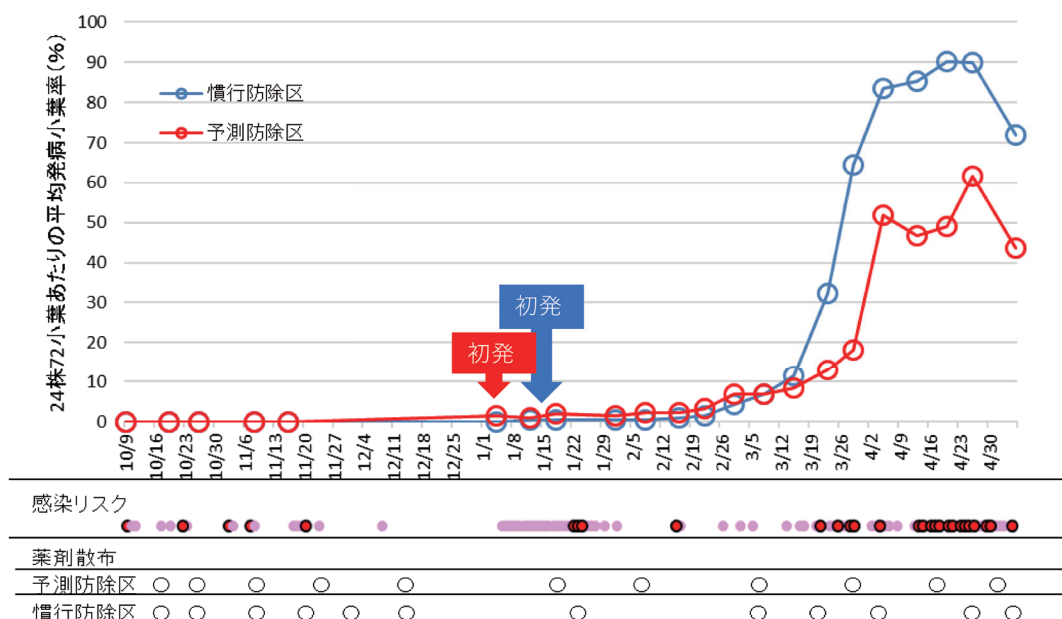


図2. 予測防除区と慣行防除区におけるイチゴうどんこ病の発生推移（2020年作）

2. 2021年度試験

1) 試験の概要

- 栽培期間：2021年9月16日～2022年5月6日
- 栽培の概要(供試品種:さめき姫、ピートバック栽培(株間20cm、条間12cm、2条植え、8株/バック)、らくちんシステムによる給液管理)。
- 試験区
 1. 予測防除区：初発までは感染リスク「中」または「高」1回、発生後は感染リスク「中」3回または感染リスク「高」1回で薬剤散布。薬剤は防除暦の当該時期の近傍から選択し、薬剤散布後7日以内の感染リスクは無視した。
 2. 慣行防除区：防除暦(香川県監修)にしたがって薬剤散布。
 3. 共通：薬剤散布後7日間及び、前回調査時から発病小葉率が低下していれば追加の薬剤散布は行わなかった。各区256株を供試した。
- 発病調査：7日毎にあらかじめ定めた24株の上位3複葉の病斑の有無について小葉別に肉眼で調査を行い、発病小葉率を算出した。試験は3反復で実施した。前回調査時よりも発病小葉率が増加している日に、プランテクト®に「病害発生」を入力した。
- 収量調査：2月4日から3月15日まで、各区あらかじめ定めた8株についてうどんこ病の発生していない果実を収穫し、重量を計測した。

2) 試験結果

(1) 予測防除区と慣行防除区におけるイチゴうどんこ病の発生推移

- 初発を慣行防除区、予測防除区ともに9月29日に認めた。
定植から14日後に初発を認め、急速に圃場全体に蔓延した要因として、育苗期に薬剤散布を行わずUVB照射しか行っていなかったことから、多数の潜在感染株が本圃に持ち込まれたことが考えられた。
- 感染リスク「高」は10月7日以降14日連続で認め、10月25日から3日連続認めた後、10月31日に認め、年明け後は3月3日、3月17日に認めた。感染リスク「中」は複数回連続で認める場合が多かった。
- 薬剤散布回数は慣行防除区が19回に対して、予測防除区が20回となった。
- 1月4日以降、概ね慣行区の方が発病小葉率が高く推移した。
- うどんこ病の発生を抑える目的で、10月16日から11月30日までUVB照射を行った。

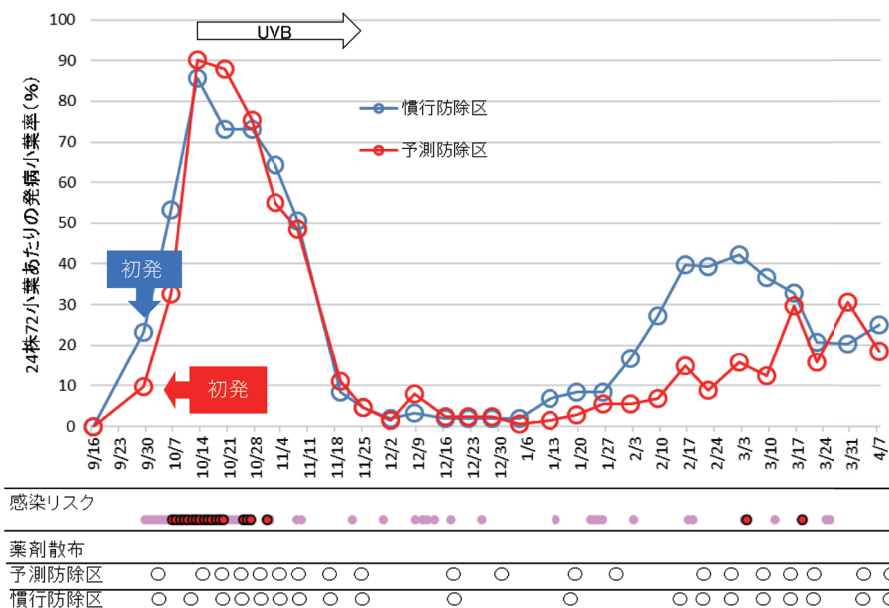


図3. 予測防除区と慣行防除区におけるイチゴうどんこ病の発生推移(2021年作)

(2) 予測防除区と慣行防除区における果実収量

- ・有意差は見られないものの、予測防除区では慣行防除区と比べてうどんこ病未発病の果実が多く、慣行防除区と比較して高い収量が確保された。

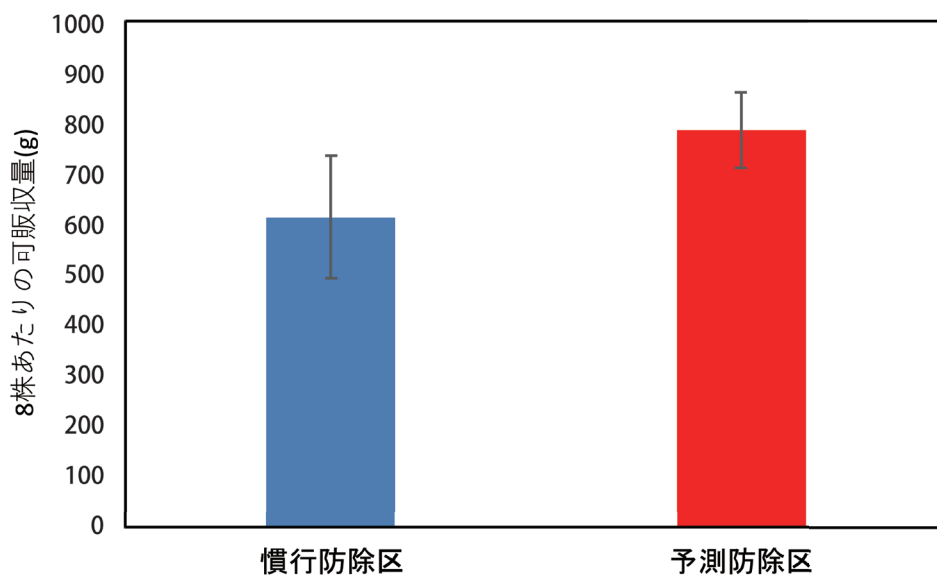


図4. 予測防除区と慣行防除区におけるイチゴ可販果実の収量

2022年2月4日から3月15日の間、あらかじめ定めた8株について、うどんこ病未発生の果実を随時収穫し、重量を計測した。試験は3反復で実施し、エラーバーは標準偏差(S.D.)を示す。

3. 2022年度試験

1) 試験の概要

- 栽培期間：2022年9月16日～2023年5月6日
- 栽培の概要(供試品種:さめき姫、ピートバック栽培(株間20cm、条間12cm、2条植え、8株/バック)、らくちんシステムによる給液管理)
- 試験区
 1. 予測防除区：初発までは感染リスク「中」1回、発生後は感染リスク「中」3回または感染リスク「高」1回で薬剤散布。薬剤は防除暦の当該時期の近傍から選択し、薬剤散布後7日以内の感染リスクは無視した。
 2. 慣行防除区：防除暦(香川県監修)にしたがって薬剤散布。
 3. 共通：薬剤散布後7日間及び、前回調査時から発病小葉率が低下していれば追加の薬剤散布は行わなかった。発病を確認した後、発病を認めなくなるまで原則、3週間連続散布を行った。各区256株を供試した。
- 発病調査：7日毎にあらかじめ定めた24株の上位3複葉の病斑の有無について小葉別に肉眼で調査を行い発病小葉率を算出した。3反復で実施した。前回調査時よりも発病小葉率が増加している日にプラントクト®に「病害発生」を入力した。
- 収量調査：11月22日から12月16日まで、各区あらかじめ定めた8株についてうどんこ病の発生していない果実を収穫し、重量を計測した。3反復で行った。

2) 試験結果

(1) 予測防除区と慣行防除区におけるイチゴうどんこ病の発生推移

- 初発を慣行防除区では10月3日、予測防除区では10月11日に認めた。
- 感染リスク「高」は10月11日に認め、11月16日、27日、12月21日からそれぞれ3日連続で認め、12月31日から5連続で認めた。感染リスク「中」は11月15日のみで認めた。
- 薬剤散布回数は慣行防除区、予測防除区ともに9回となった。
- 両区ともにうどんこ病の発生を認めると3週連続薬剤散布を行っていることから、うどんこ病の発生程度の差はほとんど見られなかった。

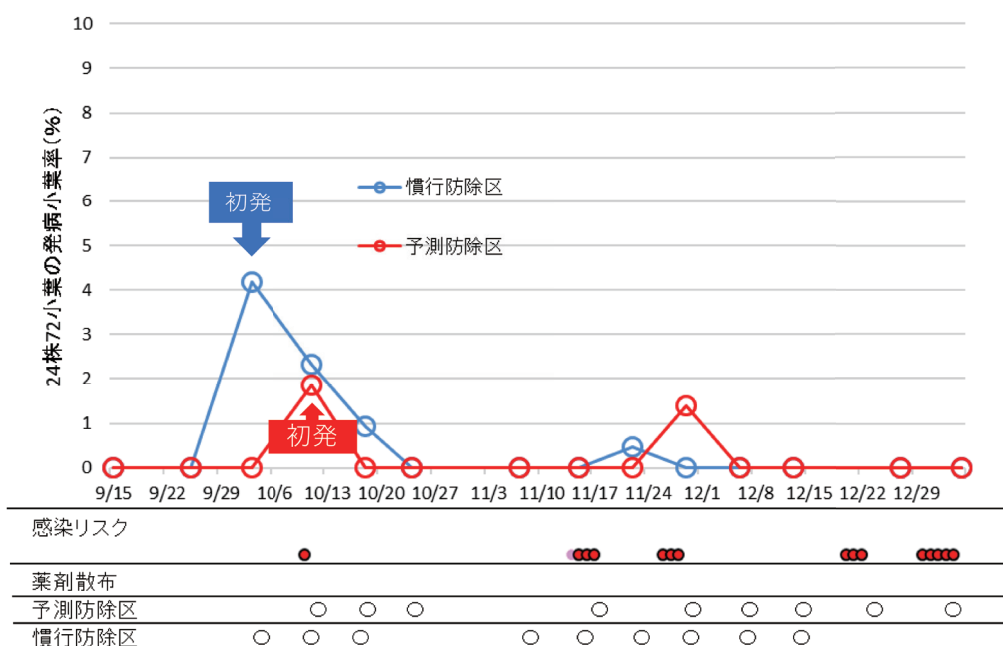


図5. 予測防除区と慣行防除区におけるイチゴうどんこ病の発生推移(2022年作)

(2) 予測防除区と慣行防除区における果実収量

- ・ 予測防除区及び慣行防除区において、同程度の収量が得られた。

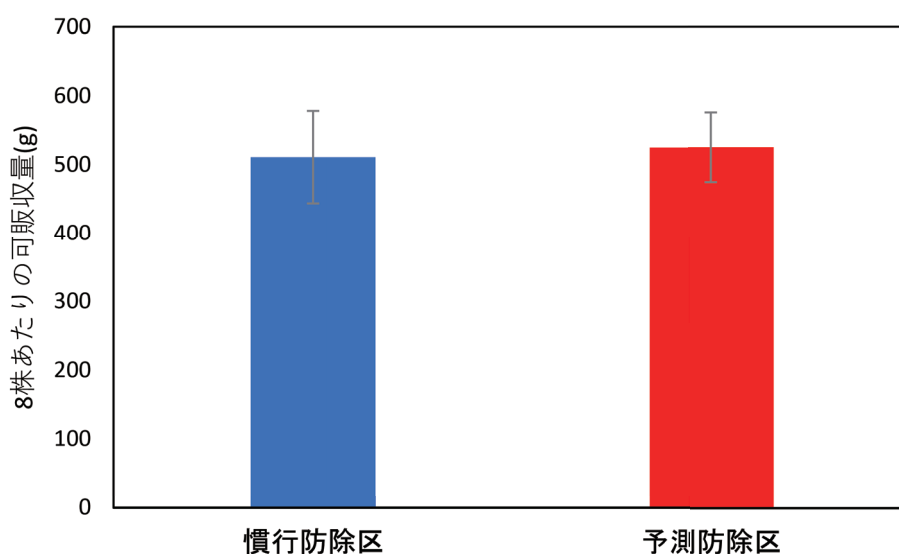


図6. 予測防除区と慣行防除区におけるイチゴ可販果実の収量

2022年11月22日から12月16日の間、あらかじめ定めた8株について、うどんこ病未発生の果実を随時収穫し、重量を計測した。3反復で実施し、エラーバーは標準偏差(S.D.)を示す。

4. 3力年のまとめ

1) 予測防除区と慣行防除区におけるイチゴうどんこ病の発生、薬剤散布回数及び果実収量の比較(3力年)

- ・ 発病小葉数は慣行防除区に対して予測防除区の方が少なかった。
- ・ 薬剤散布回数は予測防除区と慣行防除区でほぼ同様であった。
- ・ 収量は慣行防除区に対して予測防除区の方が多い傾向であった。

表1. 予測防除区と慣行防除区の散布回数、発病程度及び果実収量

試験区	散布回数	発病小葉数*	収量(g)*
2020年作			
予測防除区	11	231 ± 131	
慣行防除区	12	388 ± 90.2	
2021年作			
予測防除区	20	432 ± 222.2	785 ± 74.1
慣行防除区	19	557 ± 262.2	614 ± 122.1
2022年作			
予測防除区	9	2 ± 4.0	525 ± 50.5
慣行防除区	9	6 ± 6.4	511 ± 67.2

発病小葉数：24株72小葉の3反復の平均値

収量：2021年作は2/4～4/5、2022年作11/22～12/16の収量(8株あたり3反復の平均値)

*：平均値±標準偏差

- ・発病小葉数は慣行防除区に対して予測防除区の方が少なかった。
- ・薬剤散布回数は予測防除区と慣行防除区でほぼ同様であった。
- ・可販収量は慣行防除区に対して予測防除区の方が多い傾向であった。
- ・薬剤散布時期が防除暦で固定された慣行防除区に対して、予測防除区では感染リスク予測に基づいた薬剤散布が行われた。
- ・薬剤散布回数の大きな相違は見られなかったが、2020年作、2021年作、特に2～3月頃のうどんこ病の感受性が高まる時期の発病小葉率が大きく低減した。

AI発病予測システムを利用した イチゴうどんこ病管理

福岡県農林業総合試験場

目次

はじめに

1. 2021年度試験

- 1) 試験の概要
- 2) 発病程度の調査法
- 3) 試験結果
 - (1) 無防除区におけるイチゴうどんこ病の感染リスク発出と病害発生の変移
 - (2) 予測防除区と慣行防除区におけるイチゴうどんこ病発生変移
 - (3) 予測防除区と慣行防除区における収量および薬剤散布回数
 - (4) 2021年度の試験結果のまとめ

2. 2022年度試験

- 1) 試験の概要
- 2) 試験結果
 - (1) 無防除区におけるイチゴうどんこ病の感染リスク発出と病害発生の変移
 - (2) 予測防除区と慣行防除区におけるイチゴうどんこ病発生変移
 - (3) 予測防除区と慣行防除区における収量および薬剤散布回数
 - (4) 2022年度の試験結果のまとめ

まとめ

はじめに

イチゴうどんこ病は発生拡大後では防除が難しくなるため、年内はできるだけ発生させないことが重要です。プランテクト[®]はハウス内の温湿度などをモニタリングするシステムで、AIにより感染が起きる確率(感染リスク)を表示し、発病を予測する機能も装備しています。

プランテクト[®]のリスク発出を参考にしたルールに基づいた薬剤防除(予測防除)の有効性を実証するため、2021年度と2022年度で実証試験を実施しました。2021年度では、予測防除区と地域の慣行で薬剤散布をする区(慣行防除区)における発病の変移を比較しました。併せて、同一ハウスに無防除区を設け、本システムのリスク推定を評価しました。2022年度では、同一ハウスに予測防除区と慣行防除区を、また異なるハウスに無防除区を設けて、同様に試験を実施しました。

試験はすべて福岡県農林業総合試験場(福岡県筑紫野市、標高113m)で実施しました。

1. 2021年度試験

1) 試験の概要

- ・試験場所：福岡県筑紫野市農林業総合試験場加温ハウス(6m×10m)
 - ・栽培期間：2021年9月24日(定植)～3月31日、プランテクト®(10月16日設置)
 - ・栽培の概要：供試品種はあまおう(福岡56号)とし、加温ハウス(6m×10m)において畝幅140cm、条間50cm、株間25cmで栽培した。伝染源として、鉢植えのうどんこ病発生株を畝間に10月28日に植え付けた。
 - ・プランテクト®を参考にした薬剤散布のルール
 - 1)予測防除区：リスク表示に基づいて高リスクは1回、中リスクは初発時1回それ以降は累積3回で、薬剤散布を行う。薬剤の残効を考慮し、散布後7日間のリスク表示はないものとして扱う。
 - 2)慣行防除区：地域の慣行防除に準じ、10～20日間隔で薬剤散布を行う。
 - 3)無防除区：うどんこ病を対象とした薬剤散布は実施しない。
- 注)全区ともうどんこ病以外を対象とした病害虫については同じ薬剤を散布した。



図1. プランテクト®を設置した試験圃場



図2. イチゴうどんこ病の症状

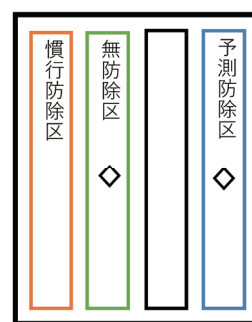


図3. 試験区の配置図

注)各試験区にそれぞれ約60株を栽植
◇はプランテクト®の設置場所

2) 発病程度の調査法

- ・感染リスクの発出と発病状況を比較するため、無防除区で新規病斑小葉率と発病度を調査した。
- ・プランテクト®の発病予測の有効性を評価するため、予測防除区と慣行防除区で発病度と発病果率を調査した。
- ・2021年度では各区60株のうち20株について、また2022年度では、試験区をそれぞれ2反復とし、各反復あたり20株のうち10株について新規病斑小葉率あるいは発病度を調査した。
- ・病気の発生調査は次の方法で行った。

【新新規病斑小葉調査】

各区10あるいは20株を選択し、上位3複葉(発病蔓延後は1複葉)について、3～4日おきに新規に病斑が発生した小葉数を調査し、新規病斑小葉率を算出した。

【発病度の調査】

- ・各区10あるいは20株を選択し、上位3複葉について、7日おきに下記の基準により発病状況を調査し、発病葉率、発病度を算出した。
- ・発病指数基準

0：発病を認めない	1：葉の病斑面積率が葉面積の5%未満	
2：5%以上25%未満	3：25%以上50%未満	4：50%以上
- ・発病度の算出

$$\text{発病度} = (\sum (\text{発病指数別葉数} \times \text{指数}) / (4 \times \text{調査葉数})) \times 100$$

【収穫物の発病果率調査】

- ・試験区内すべての株(約20株)の収穫果について発病の有無を調査し、発病果率を算出した。

3) 試験結果

(1) 無防除区におけるイチゴうどんこ病の感染リスク発出と病害発生推移

- ・伝染源設置前にリスク表示が発出されたが、発病は確認されなかった。
- ・伝染源設置後の11月14日に初発を確認し、リスク表示は初発前の11月6日と8日に「中」が発出された。
- ・初発確認後、2月まで新規病斑が発生し、3月以降に急増した。リスク表示は11月下旬以降、連続して発出され、1～2月に「高」が多い傾向であった。
- ・プランテクト®による感染リスク推定は伝染源がある場合、発病を予測できていたとみられる。一方、その程度については予測できなかった。

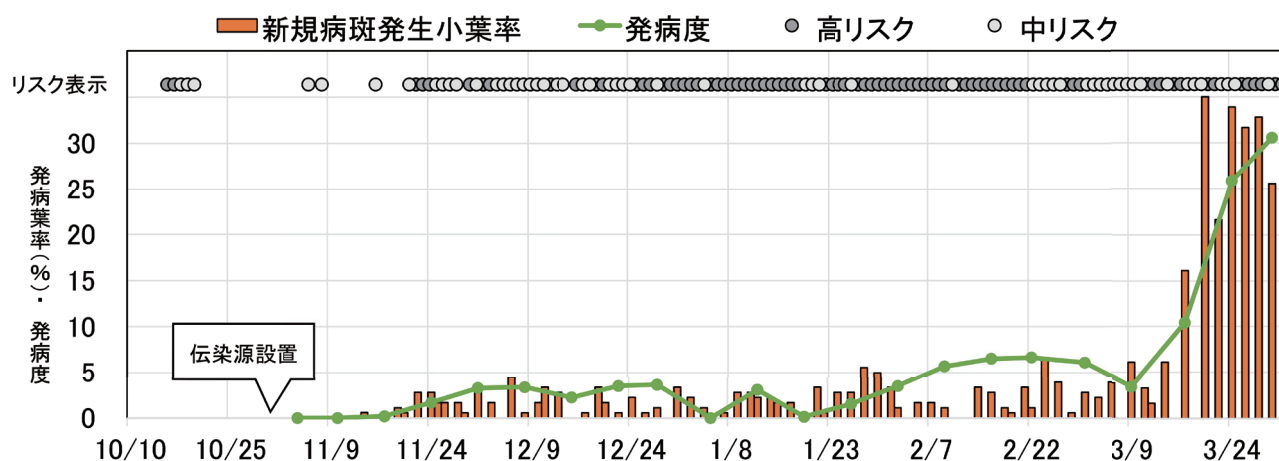


図4. 無防除区におけるイチゴうどんこ病の発生状況とプランテクト®によるリスク表示

(2) 予測防除区と慣行防除区におけるイチゴうどんこ病発生推移

- ・予測防除区では10月16日に初めて「高」が発出され、12月上旬～中旬、1月中旬～下旬に「高」を含む連続的なリスク表示が発出された。3月以降は「高」を中心に断続的に発出された。
- ・リスク表示に応じて12月までに5回、それ以降に8回薬剤散布を行った。
- ・慣行防除区は12月までに4回、それ以降に9回薬剤散布を行った。
- ・予測防除区で12月上旬に発病がみられたが、その後薬剤防除により減少した。慣行防除区はその間発生が少なかった。4月以降は両区とも発生が拡大した。

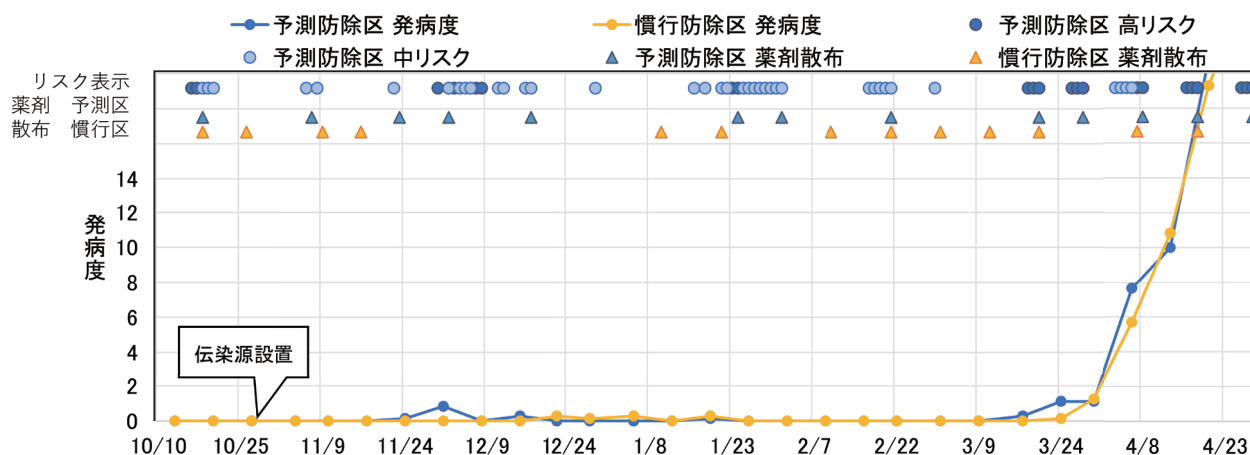


図5. 予測防除区と慣行防除区におけるイチゴうどんこ病発生推移

(3) 予測防除区と慣行防除区における収量および薬剤散布回数】

- ・予測防除区の散布回数は慣行防除区と同等に13回であった。
- ・予測防除区の収獲果の発病果率は3月まで10%程度発生し、慣行防除区と同等～やや多かった。4月は26%発生し、慣行防除区よりやや少なかった。

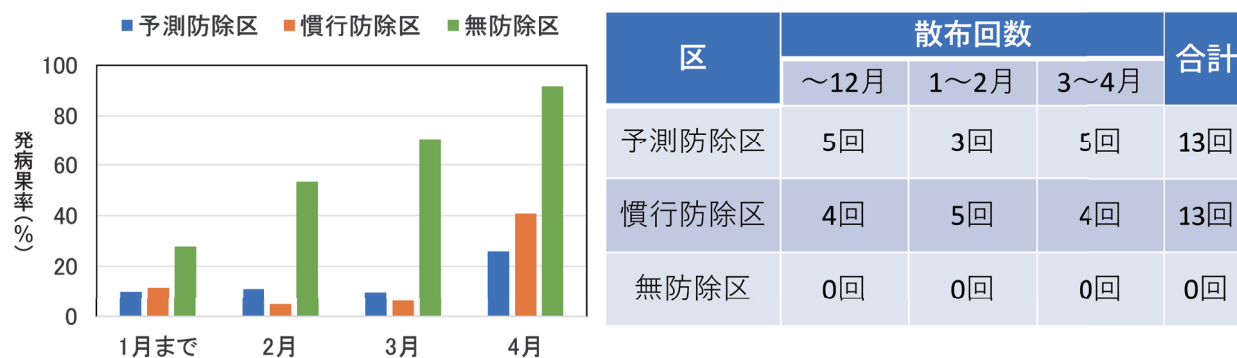


図6. 予測防除区と慣行防除区における収獲果実の被害(左図)および薬剤散布回数(右図)(2021年度試験)

(4) 2021年度の試験結果のまとめ

- ・2021年度の試験では、プランテクト®による感染リスク推定は伝染源がある場合、発病の有無を予測できていたとみられる。一方、発病の程度については予測できなかった。
- ・予測防除区における葉と収獲物の発病程度は慣行防除区と同等で、薬剤散布回数も同等であった。
- ・両防除区の4月の多発は、同一ハウス内にある多発した無処理区の影響を受けたと考えられた。

2. 2022年度試験

1) 試験の概要

- ・栽培期間：2022年9月28日(定植)～4月30日、プランテクト® (9月28日設置)
- ・栽培の概要(供試品種、あまおう(福岡S6号)、畝幅180cm、条間50cm、株間25cm)
- ・伝染源として、うどんこ病発生株を各区2株ずつ定植した。
- ・防除ルール (青字は2021年度からの変更点)

- 1) 予測防除区：リスク表示に基づいて高リスクは1回, 中リスクは初発時1回それ以降は累積3回で薬剤散布を行う。薬剤の残効を考慮し、散布後7日間のリスク表示はないものとして扱う。なお、リスク表示がなくても発病に応じて(発病指数2以上), 発病が見えなくなるまで追加散布する。
 - 2) 慣行防除区：地域の慣行防除に準じ、発病に応じて、発病が見えなくなるまで追加散布する。
 - 3) 無防除区：うどんこ病を対象とした薬剤散布は実施しない。
- 注) 全区ともうどんこ病以外を対象とした病害虫については同じ薬剤を散布した。

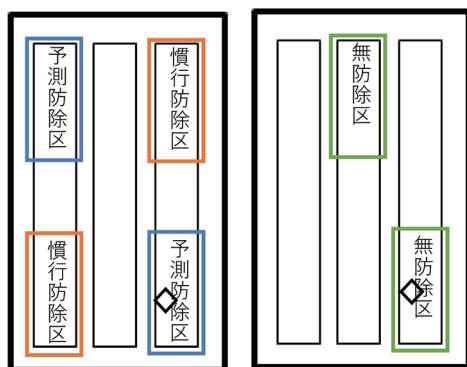


図7. 試験区の配置図

注) 各試験区は2反復とし、各区にそれぞれ20株を栽植した
◇はプランテクト®の設置場所

2) 試験結果

(1) 無防除区におけるイチゴうどんこ病の感染リスク発出と病害発生推移

- ・初発は10月10日に確認され、リスク表示は、初発前の10月4日に初めて「高」が発出された。
- ・10月中旬から12月上旬まで新規病斑発生小葉率と発病度は上昇した。この間、リスク表示は「高」を中心に連続で発出された。プランテクト®による感染リスク推定は発病を予測できていたとみられる。
- ・12月中旬から1月は新規病斑発生小葉率は減少し、新たな展葉が減り、発病度は横ばいとなった。この間、リスク表示はほとんど発出されなかった。プランテクト®による感染リスクの推定は病勢の減少を予測できたが、その後の発病を予測できなかった。甚発生条件では、大量の伝染源の影響を受けたことにより、発病したものと推察される。
- ・2月以降はリスク表示が頻繁に発出され、新規病斑発生小葉率も高い水準で推移した。

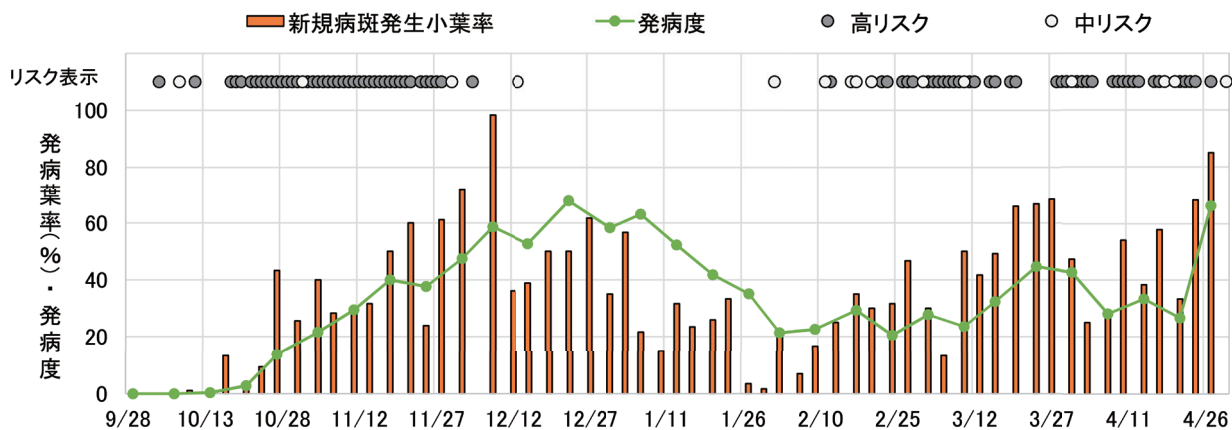


図8. 無防除区におけるイチゴうどんこ病の感染リスク発出と病害発生推移

(2) 予測防除区と慣行防除区におけるイチゴうどんこ病発生推移

- ・予測防除区では10月4日に初めて「高」が発出され、11月24日まで散発的に発出された「高」に応じて薬剤を5回、散布した。その後、「中」が2回発出され、12月8日に発病指数2の病斑が確認されたため、2回の追加散布を実施した。
- ・慣行防除区は10月～11月に10日間隔で6回、薬剤を散布した。12月2日に発病指数2の発斑が確認され、12月まで延長して3回追加散布を実施した。1月に1回、薬剤散布を行った。
- ・両区とも10月下旬と12月に発病がみられたが、1月には発病が減少した。
- ・予測防除区では2月から断続的にリスク表示が発出され、計9回薬剤散布を行った。その間、慣行区では約14日間隔で計6回散布された。
- ・両区とも同様な時期に発病したが、期間を通じて少発生で推移した。

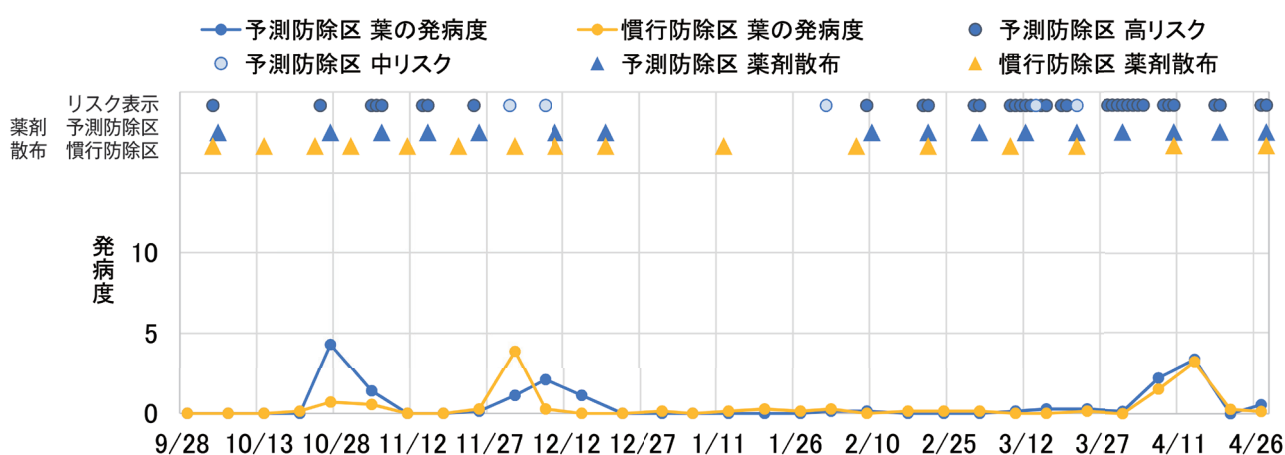
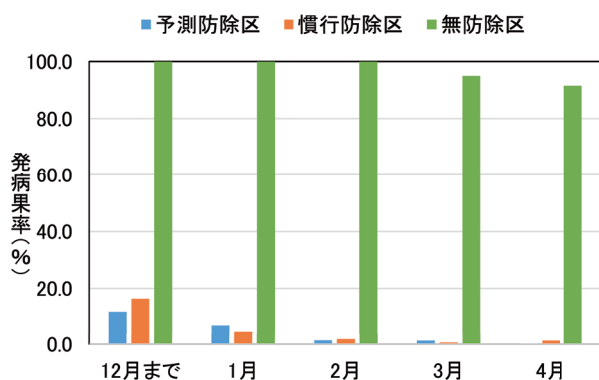


図9. 予測防除区と慣行防除区のイチゴうどんこ病発生推移

(3) 予測防除区と慣行防除区における収量および薬剤散布回数

- ・予測防除区の散布回数は慣行防除区と同等で、16回であった。
- ・予測防除区の12月までの収穫果の発病果率は10%程度であったが、その後減少し、年間を通じて少なく推移した。慣行防除区の発病果率も同様であった。



区	散布回数			合計
	～12月	1～2月	3月	
予測防除区	7回(2)	0回	9回	16回
慣行防除区	9回(3)	1回	6回	16回
無防除区	0回	0回	0回	0回

注) ()の数値は散布回数のうち追加防除回数

図10. 予測防除区と慣行防除区における収穫果実の被害(左図)および薬剤散布回数(右図)(2022年度試験)

(4) 2022年度の試験結果のまとめ

- ・ 本試験において感染リスクが病気の初発前に発出され、発病増加時には連続して発出された。病気が多発した後、リスクの発出がない状態で発病したが、これは多量の伝染源の影響を受けたためと考えられた。
- ・ 予測防除区における葉の発病程度と収穫物の発病果率は慣行防除区と同程度であった。
- ・ 予測防除区の薬剤散布回数は慣行防除区と同じであった。
- ・ 12月の「中」リスク発出後に発病が確認され、追加散布を実施した。
- ・ 2月以降、連続したリスクに応じて定期散布を実施した結果、この期間は慣行防除より散布回数が多くなった。
→ 圃場の発生状況や生育ステージ等を考慮して、リスク表示に対応する必要があると考えられた。

まとめ

- ・ プランテクト[®]が発出する感染リスクはその後の発病を概ね予測できた。
- ・ 本システムを活用した薬剤防除は慣行防除と同等の散布回数で同程度にうどんこ病を抑制した。
- ・ 本システムを効率的に運用するには圃場の発生状況や生育ステージ等を考慮して、リスク表示に対応する必要があると考えられた。

AI発病予測システムを利用した イチゴうどんこ病管理

岡山県生物科学研究所

目次

はじめに

1. AI発病予測システムを利用したイチゴうどんこ病の管理

- 1) 試験事例1: 岡山県加賀郡吉備中央町
 - (1) 試験の概要 / (2) 試験結果 / (3) まとめ
- 2) 試験事例2: 岡山県加賀郡吉備中央町
 - (1) 試験の概要 / (2) 試験結果 / (3) まとめ
- 3) 試験事例3: 岡山県岡山市
 - (1) 試験の概要 / (2) 試験結果 / (3) まとめ
- 4) 試験事例4: 岡山県加賀郡吉備中央町
 - (1) 試験の概要 / (2) 試験結果 / (3) まとめ
- 5) 実証試験のまとめ

(参考)空気中の病原菌分生子検出技術

- (1)技術開発の概要 / (2)試験結果 / (3)まとめ

はじめに

イチゴうどんこ病は予防的に農薬を散布することで効果的に防除できます。発病してからの農薬散布では、十分な防除効果を得ることが難しくなるので、発病する前に予防的に農薬を散布することが重要です。

そこで、プランテクト®(バイエル クロップサイエンス株)を用いて日々の感染が起きたリスクを推定し、それをもとに防除を行うことで、慣行の防除法に比べて防除効果や農薬散布回数がどのようになるか調べました。

試験は、プランテクト®を利用した区(予測防除区)と慣行の防除を行う区(慣行防除区)を一つのハウスに設けて、3シーズン実施しました(試験事例1、2、3、4)。同じハウスに、無防除区も設け、農薬散布をしないときの病気の発生状況も調べました。また、複数の生産者のハウスにプランテクト®を設置し、慣行栽培におけるリスク表示とうどんこ病の発生状況も調べました。

なお、病害の発生を事前に予測するためには、圃場における病原菌の検出あるいは密度の測定が重要であることが強く示唆されたことから、イチゴ栽培施設内で空気中を浮遊する病原菌分生子の高感度検出法について検討し、その方法によって得られたデータをもとに、発病予測技術の評価を行いました(参考研究)。

1. AI発病予測システムを利用したイチゴうどんこ病の管理

1) 試験事例1 (吉備中央町1)

(1) 試験の概要

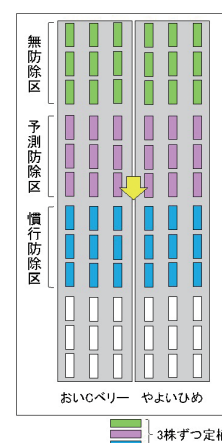
- ・試験場所：岡山県加賀郡吉備中央町(標高380m)
- ・栽培の概要：供試品種「おいこベリー」および「やよいひめ」、高設栽培、各試験区とも同一ハウスにおいて各品種を27株栽培した(図2)。
- ・栽培期間：2021年7月8日～ 2022年5月9日
- ・試験区
 1. 予測防除区：高リスクは1回、中リスクが7日以内に3回のリスク表示された日に、うどんこ病に農薬登録のある調合油乳剤を散布した。ただし前回の薬剤散布から7日後までは散布をしなかった。散布後7日間のリスク表示はないものとして扱った。
 2. 慣行防除区：定植から 2週間間隔で調合油乳剤を散布した。
 3. 無防除区：うどんこ病対象外の薬剤(農薬、天敵など)は必要に応じて散布した。注)各区の概要：
 - ・発病調査：1～3日毎に葉、茎および果実に発生した病斑数を調査した。
 - ・分生子飛散調査：定期的にハウス内のうどんこ病菌の飛散量を測定した(方法は参考試験参照)。
 - ・収量調査：収量は栽培期間中の各試験区の正常果(5g以上)の重量と個数を調査した。



図1. イチゴうどんこ病 (矢印は発病部位)



図2. 試験区の配置とプランテクト®の設置
(矢印はプランテクト®の設置位置)



(2) 試験結果

- ・本作では、無防除区、慣行防除区、予測防除区ともにうどんこ病の発病は認められなかった。
- ・定期的にハウス内でのうどんこ病菌の飛散を調査した結果、いずれの試験区においてもハウス内でのうどんこ病菌の飛散は認められなかった(方法は参考試験参照)。
- ・予測防除区においては、リスク表示に従って農薬を散布した。その結果、全栽培期間における予測防除区(16回)の散布回数は、慣行防除区(17回)よりも1回少なかった。特に、例年うどんこ病が発生する時期(2月以降)における予測防除区の散布回数は慣行防除区よりも約7割少なかった(図3)。
- ・慣行防除区、予測防除区において収量に差は認められなかった(図4)。

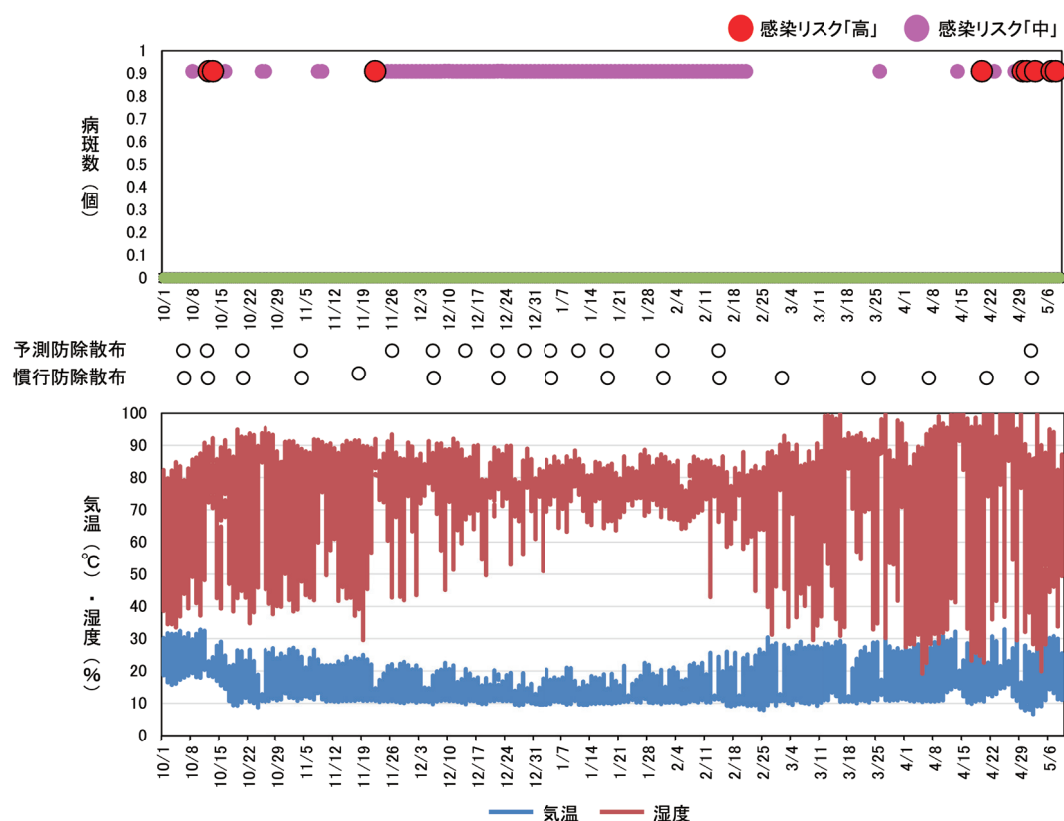


図3. イチゴうどんこ病の発生と感染リスクの推移(上図)
および、その間の気温と湿度の状況(下図)

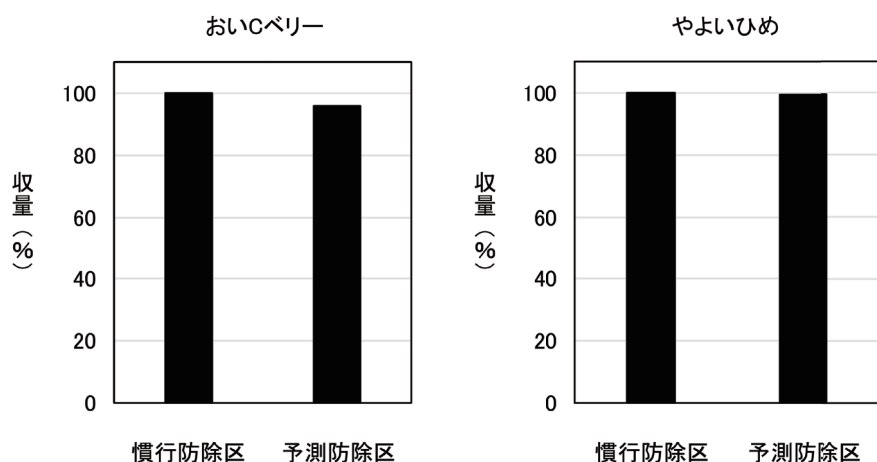


図4. 各試験区におけるイチゴの収量
(慣行防除区の収量を100としたときの予測防除区の収量を示した。)

(3) まとめ

試験事例1 (岡山県加賀郡吉備中央町)

- ・病害は主因(病原体)、素因(植物の感受性)、誘因(環境的要素)の3者が相互に発生に好適な条件にある時、初めて発病する。そのため、3要因のいずれかを各種手段により制御し、病害の発生を許容できるレベル以下にすることが重要である。
- ・プランテクト[®]により誘因(環境的要素)をモニターした結果、予測防除区(16回)は、農薬の散布回数が慣行防除区(17回)よりも1回少なかった。
- ・慣行防除区、予測防除区において収量に差は認められなかったことから、農薬散布回数の減少による収量への影響はない。
- ・本作は主因(病原体:うどんこ病菌)が施設内に全く、あるいは、ほとんど侵入または持ち込まれなかったと考えられる。
- ・以上から、発病は認められなかったが、農薬の散布回数を減じたことで、感染予測システムは有効に機能したと考えられる。

2) 試験事例2 (吉備中央町2)

(1) 試験の概要

- ・試験場所：岡山県加賀郡吉備中央町(標高380m)
- ・栽培の概要：供試品種「章姫」、高設栽培、ハウスは5アール、約5000株を植栽、その内24株を発病調査に用いた(図5)。定植後は農薬、天敵などを必要に応じて散布あるいは使用した。
- ・栽培期間：2021年6月15日～ 2022年5月16日
- ・試験区：試験事例1と同じとした。
- ・発病調査：3～5日毎に葉、茎および果実に発生した病斑数を調査した。
- ・分生子飛散調査：定期的にハウス内のうどんこ病菌の飛散量を測定した(方法は参考試験参照)。



図5. 試験圃場 (矢印はプランテクト[®]の設置位置)

(2) 試験結果

- ・4月20日にプランテクト[®]により感染リスクが発出されてから26日後(5月16日)にうどんこ病の発生を確認した(図6)。
- ・11月29日～4月28日(2週間毎に検定)は、ハウス内でのうどんこ病菌の飛散は認められなかった(方法は参考試験参照)。
- ・5月2日は、ハウス内でうどんこ病菌の飛散が初めて検出されたが発病は認められなかった。
- ・5月9日は、ハウス内でのうどんこ病菌の飛散は認められなかった。
- ・5月16日は、ハウス内でうどんこ病菌の飛散が検出され、うどんこ病の発生を確認した。

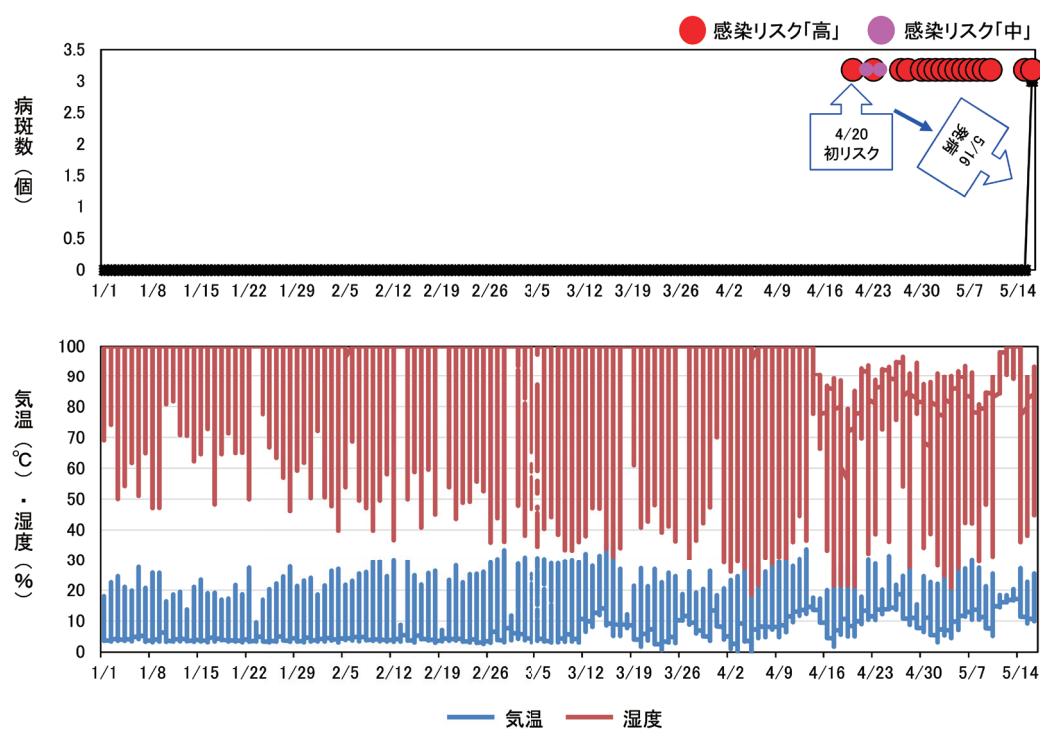


図6. イチゴうどんこ病の発生と感染リスクの推移(上図)および、その間の気温と湿度の状況(下図)

(3) まとめ

試験事例2 (岡山県加賀郡吉備中央町)

- ・栽培期間の多くは発病がみられず、感染リスクの発出もなかった。栽培終期に感染リスクが発出されるようになり、栽培終了直前に最初の発病がみられた。
- ・農薬散布は一度もしなかった。
- ・主因(うどんこ病菌の飛散量)と誘因(環境的要素)が感染好適条件に達したことで、うどんこ病が発生したと考えられる。
- ・うどんこ病の発生を検出できたことで、予防的な防除が可能になることが期待される。

3) 試験事例3 (岡山市)

(1) 試験の概要

- ・試験場所：岡山県岡山市(標高2m)
- ・栽培の概要：供試品種「よつぼし」、高設栽培(図7)、ハウスは227.5m²、1,253株を植栽、定植後は必要に応じて農薬や天敵などを散布あるいは使用した。
- ・栽培期間：2021年6月1日～ 2022年5月31日
- ・試験区：試験事例1と同じとした。
- ・発病調査：1～2日毎に葉、茎および果実に発生した病斑数を調査した。



図7. 試験圃場 (矢印はプランテクト®の設置位置)

(2) 試験結果

- ・4月20日に感染リスクが発出され、4月27日に農薬散布したことで発病を抑制できたものと思われる。その後、感染リスクが連続して発出され、5月11日にうどんこ病の発生が確認された(図8)。

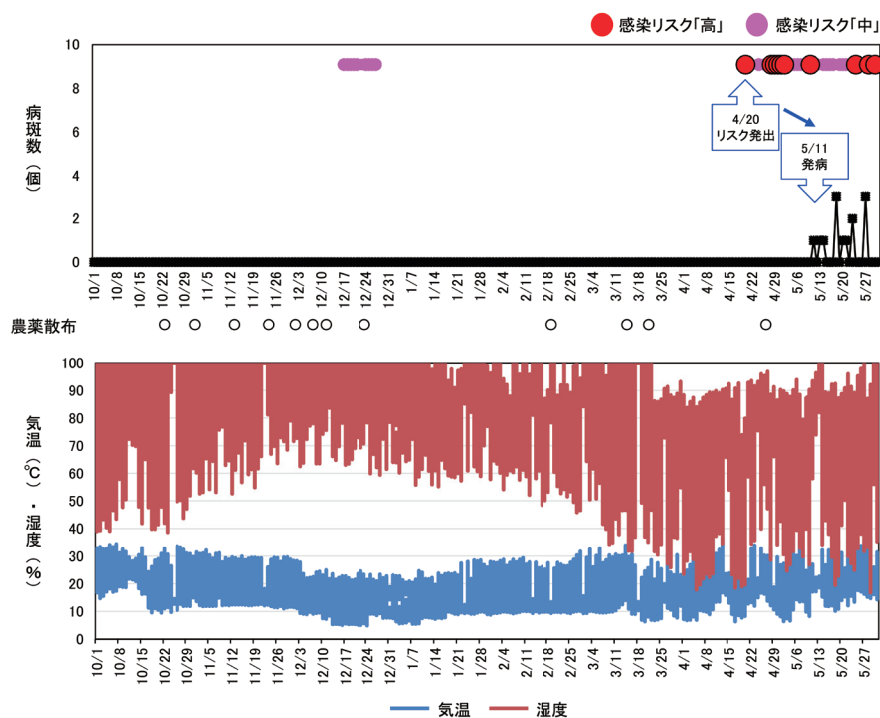


図8. イチゴうどんこ病の発生と感染リスクの推移(上図)および、その間の気温と湿度の状況(下図)

(3) まとめ

試験事例3 (岡山県岡山市)

- ・プランテクト®により感染リスクが発出されてから発生が確認されたことから、感染予測システムが機能したと考えられる。

4) 試験事例4 (吉備中央町3)

(1) 試験の概要

- ・試験場所：岡山県加賀郡吉備中央町(標高380m)
 - ・栽培の概要：供試品種「はるひ」および「よつばし」、高設栽培、各試験区とも同一ハウスにおいて各品種を18株栽培した。
 - ・栽培期間：2022年8月4日～2023年2月11日
 - ・試験区
 1. 予測防除区：高リスクは1回、中リスクが7日以内に3回のリスク表示された日に、うどんこ病に農薬登録のある調合油乳剤を散布した。ただし前回の薬剤散布から7日後までは散布をしなかった。散布後7日間のリスク表示はないものとして扱った。
 2. 慣行防除区：定植から2週間間隔で調合油乳剤を散布した。
 3. 無防除区：うどんこ病対象外の薬剤(農薬、天敵など)は必要に応じて散布した。
- 注)各区の概要：
- ・発病調査：1～3日毎に葉、茎および果実に発生した病斑数を調査した。
 - ・分生子飛散調査：定期的にハウス内のうどんこ病菌の飛散量を測定した(方法は参考試験参照)。
 - ・収量調査：収量は栽培期間中の各試験区の正常果(5g以上)の重量と個数を調査した。

(2) 試験結果

- ・本作では、無防除区、慣行防除区、予測防除区ともにうどんこ病の発病は認められなかった。
- ・定期的にハウス内でのうどんこ病菌の飛散を調査した結果、いずれの試験区においてもハウス内でのうどんこ病菌の飛散は認められなかった(方法は参考試験参照)。
- ・予測防除区においては、リスク表示に従って農薬を散布した。その結果、全栽培期間における予測防除区(5回)の散布回数は、慣行防除区(9回)よりも4回少なかった(図9)。
- ・予測防除区(5回)の農薬散布のうち、12/24、12/30、1/10はハダニの防除を主たる目的としたのである。慣行防除区(9回)の農薬散布のうち、12/30はハダニの防除を主たる目的としたのである。
- ・慣行防除区、予測防除区において収量に差は認められなかった(図10)。

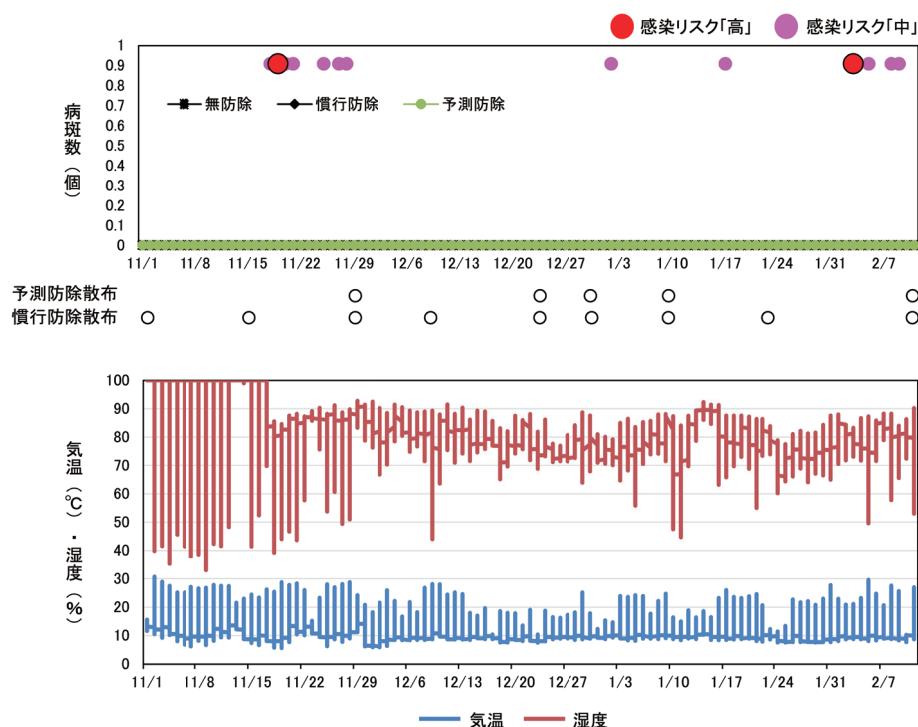


図9. イチゴうどんこ病の発生と感染リスクの推移(上図)および、その間の気温と湿度の状況(下図)

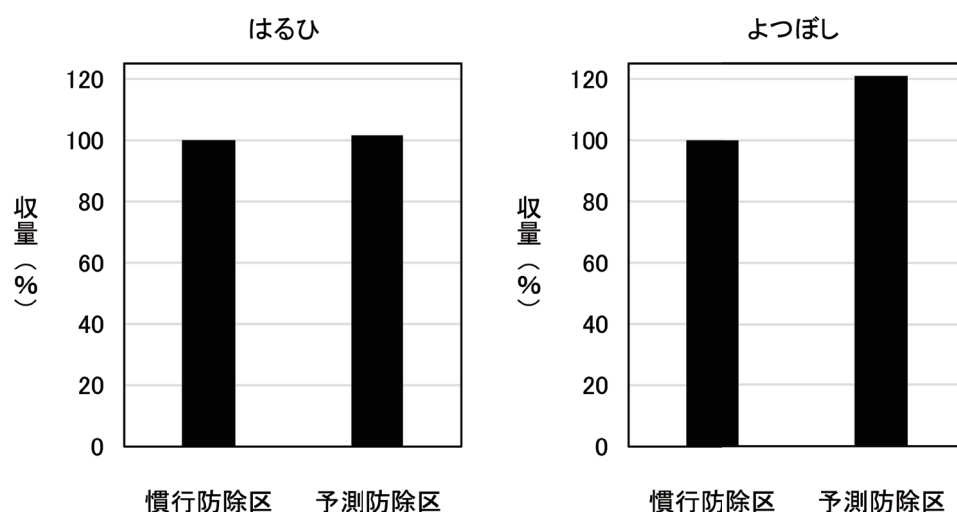


図10. 各試験区におけるイチゴの収量
(慣行防除区の収量を100としたときの予測防除区の収量を示した。)

(3) まとめ

試験事例4 (岡山県加賀郡吉備中央町)

- ・プランテクト®により誘因(環境的要素)をモニターした結果、予測防除区(5回)は、農薬の散布回数が慣行防除区(9回)よりも4回少なかった。
- ・慣行防除区、予測防除区において収量に差は認められなかったことから、農薬散布回数の減少による収量への影響はない。
- ・本作は主因(病原体:うどんこ病菌)が施設内に全く、あるいは、ほとんど侵入または持ち込まれなかったと考えられる。
- ・以上から、発病は認められなかったが、農薬の散布回数を減じたことで、感染予測システムは有効に機能したと考えられる。

5) 実証試験のまとめ

試験事例1 (吉備中央町1)

- ・病害は主因(病原体)、素因(植物の感受性)、誘因(環境的要素)の3者が相互に発生に好適な条件にある時、初めて発病する。そのため、3要因のいずれかを各種手段により制御し、病害の発生を許容できるレベル以下にすることが重要である。
- ・プランテクト®により誘因(環境的要素)をモニターした結果、予測防除区(16回)は、農薬の散布回数が慣行防除区(17回)よりも1回少なかった。
- ・慣行防除区、予測防除区において収量に差は認められなかったことから、農薬散布回数の減少による収量への影響はない。
- ・本作は主因(病原体:うどんこ病菌)が施設内に全く、あるいは、ほとんど侵入または持ち込まれなかったと考えられる。
- ・以上のことから、発病は認められなかったが、農薬の散布回数が少なくなったことで、感染予測システムは有効に機能したと考えられる。

試験事例2（吉備中央町2）

- ・栽培期間の多くは発病がみられず、感染リスクの発出もなかった。栽培終期に感染リスクが発出されるようになり、栽培終了直前に最初の発病がみられた。
- ・農薬散布は一度もしなかった。
- ・主因（うどんこ病菌の飛散量）と誘因（環境的要素）が感染好適条件に達したことで、うどんこ病が発生したと考えられる。
- ・うどんこ病の発生を検出できたことで、予防的な防除が可能になることが期待される。

試験事例3（岡山市）

- ・プランテクト[®]により感染リスクが発出されてから発生が確認されたことから、感染予測システムが機能したと考えられる。

試験事例4（吉備中央町3）

- ・プランテクト[®]により誘因（環境的要素）をモニターした結果、予測防除区（5回）は、農薬の散布回数が慣行防除区（9回）よりも4回少なかった。
- ・慣行防除区、予測防除区において収量に差は認められなかったことから、農薬散布回数の減少による収量への影響はない。
- ・本作は主因（病原体：うどんこ病菌）が施設内に全く、あるいは、ほとんど侵入または持ち込まれなかったと考えられる。
- ・以上から、発病は認められなかったが、農薬の散布回数を減じたことで、感染予測システムは有効に機能したと考えられる。

本試験は開発されて間もないAI発病予測システムを利用した防除試験であったことから、ただ一つの病気を対象として実施しました。しかし実際には、灰色かび病や炭疽病など複数の病気のリスクが重なってあるいは交互に出ることがあります。そのような場合には、リスクが出された病害の全てを考慮して防除（この場合は両病害に効果のある薬剤を選択）することが必要です。

参考：空気中の病原菌分生子検出技術

(1) 技術開発の概要

- ・施設栽培の空気中を浮遊するイチゴうどんこ病菌分生子の高感度検出技術を開発した。
- ・方法の概要は次の通りである。まず、エアサンプラー（空中浮遊菌エアサンプラ：SAS SUPER ISO 180, トランステック(株)）により空間に飛散するイチゴうどんこ病菌分生子を捕捉する。次いで採取した分生子から簡易な方法でDNAを抽出し、これを鋳型として本菌に特異的なプライマーを用いたリアルタイムPCR解析をおこなう。これによって、捕集した分生子を定量的に検出することが可能であった(図11、12)。
- ・本技術を用いて、うどんこ病が発生した圃場と未発生圃場において分生子飛散を調査し、両者を比較した。

エアサンプラーで空気を捕集(3,000L)し、
 1.5-2%寒天プレート(9cm)に菌を吸着
 ↓
 DNA抽出液で濡らした綿棒でプレート表面全体を
 こする
 ↓
 試料の付着した綿棒を100μL DNA抽出液に
 懸濁する
 ↓
 50-100μL 抽出液を0.2mLチューブに移す
 ↓
 95°C, 10min (簡易DNA抽出)
 ↓
 PCR反応またはリアルタイムPCR(0.5μL使用)



図11. エアサンプラーによるイチゴうどんこ病菌分生子の捕集と検出
(左:検出手順、右:エアサンプラー設置の様子)

KOD SYBR (20μL反応)

qPCR mix	10.0μL
Pa-QF primer	0.4μL (10pmol/μL)
Pa-QR primer	0.4μL (10pmol/μL)
DNA	0.5μL
SDW	8.7μL
Total	20.0μL

リアルタイム

PCR



98°C-2min	} 40 cycles
98°C-10sec	
60°C-10sec	
68°C-30sec	

イチゴうどんこ病菌検出用リアルタイムPCRプライマー

Pa-QF 5' - TGTTTCGAGCGTCAGAACATC -3'

Pa-QR 5' - TGTCGCGAGATACGTGACTAC -3'

図12. リアルタイムPCRを用いたイチゴうどんこ病菌の高感度検出法

(2) 試験結果

- ・エアサンプラーにより空間に飛散するイチゴうどんこ病菌を捕捉して検出する方法を確立した。
- ・ビニルハウス内の3,000Lの空気を吸引して捕集し、リアルタイムPCRによりうどんこ病菌のDNA量を測定することで、空間に飛散するうどんこ病菌量を定量できた。
- ・うどんこ病が発生した圃場では未発生の圃場よりも高濃度のうどんこ病菌が検出された(図13)。
- ・うどんこ病菌量が一定数を越えた時期にハウス内でうどんこ病の発病が見られた。

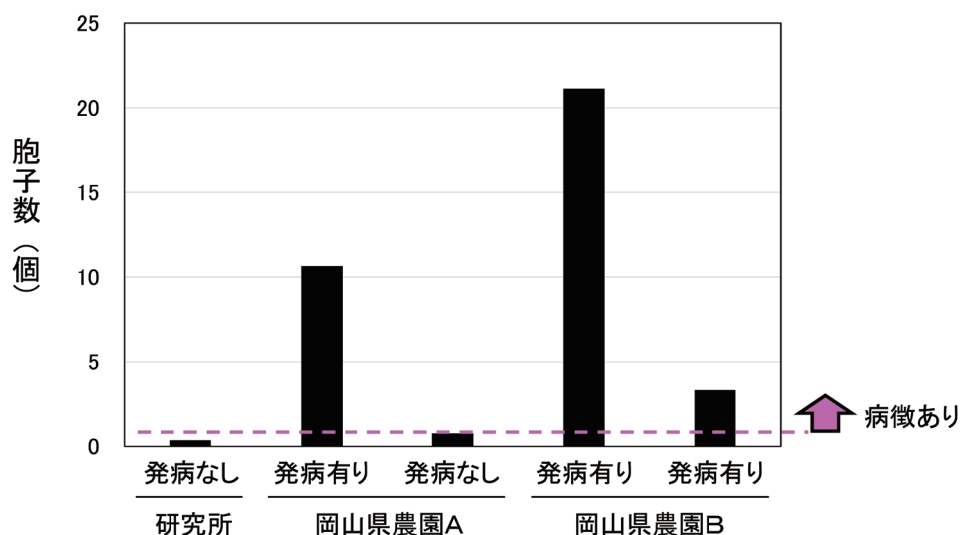


図13. 捕集した空気3,000L中で検出されたイチゴうどんこ病菌の量

(3) まとめ

- ・主因(病原体)、素因(植物の感受性)、誘因(環境的要素)の3要素のうち、イチゴうどんこ病菌の高感度検出技術により、高感度で病原体の検出が可能となった。
- ・イチゴうどんこ病菌において、KOD SYBR(東洋紡(株))を用いることで、簡易調製したゲノムDNAから微量の分生子の高感度検出法を確立した。
- ・エアーサンプラーで捕集した空中孢子から簡易な方法で抽出したDNAを鋳型として、リアルタイムPCRにより検出することで、圃場内のイチゴうどんこ病菌飛散量の測定が可能となった。
- ・プランテクト®などの感染リスク推定技術の検証に利用することができる。
- ・本法によって圃場内の分生子飛散状況を正確にモニタリングすることが可能となれば、精度の高い病害予測を行うことに大いに貢献することが期待される。

おわりに

本編では、発病予測システムがリリースされた直後の3年間にわたって実施した病害防除の実証試験を紹介しました。試験を繰り返すうちに、本システムをより効果的に利用する方法がいくつか考えられるようになりました。ここにその一端を記述します。なお「はしがき」にも書いたように、本システムの感染リスク予測機能は今後とも進化していき、これを用いた防除技術もより発展していくことが期待されます。本項の記載は、あくまでも現時点(R5年3月)での考察であることをご承知おきください。

本研究プロジェクトで延べ19回行った実証試験の主な結果を表1にまとめました。このうちの16例は本マニュアルで紹介されていますので、詳しい内容はそちらで確認してください。試験の多くは自然発生(病原菌を接種しない)条件下で行いましたので、無防除区における病気の発生程度は試験によってまちまちで、激しく発生したこともあれば、ほとんど発生しないこともありました。19例の試験のうち16例(84%)において、AI予測システムを利用した防除試験区(以下、予測防除区)では、慣行法で防除した区(以下、慣行防除区)と同程度かそれ以下に病気の発生を抑えることができました。残りの3例では慣行区よりやや多くの発病が見られましたが、収穫量等への被害としては顕著な差はありませんでした。薬剤散布回数については、11例で予測防除区が慣行防除区よりも少なくなりました。中には慣行法の農薬散布の4・7割を削減できた例(トマトうどんこ病)もありました。慣行区より多かったのが4例ありましたが、このうちの2例は減農薬栽培を慣行区としましたので通常の栽培より散布回数は減りました(トマトすずかび病)し、1例では慣行防除区より発病がやや低減し、有意差は見られませんでした。比較的高い収量が得られました(イチゴうどんこ病)。

本プロジェクトで実施した実証試験は、あらかじめ定めたルールに厳密に従って農薬を散布することから始めましたが、試験例が蓄積されるにつれて慣行防除の技術や背景にある考え方がとても参考になることが明らかになってきました。これらとともにAIによる感染リスクを参考にすることが有効と考えられます。以下にその概要を述べます(関連する記載が具体的な例とともに詳細版 第1編p.10「5」リスク表示後の対応について」にあります)。

- ・ 例年、病気の発生が見られない時期に感染リスクが高まった時には、圃場観察を丁寧に行なって圃場の状況を考慮し、あるいは慣行法を参考にして農薬散布の判断をすることが望めます。気象要因は感染しやすい条件になっていても、病原菌が極端に少ない場合などには病気が発生しないことがあります。本研究プロジェクトでもトマトすずかび病でこのようなことが見られましたが、その地域の慣行法において農薬散布が有効とされる時期にリスク表示を利用することなどにより、不必要な散布を避けることができました。
- ・ 病気によっては、徹底的に防除する必要がある場合(時期)と必ずしもそうではない場合があります。例えば、作物や地域によっては栽培シーズンの前半においては徹底した防除が必要であるのに対し、後期あるいは末期になって収量や収益に影響を及ぼさないと判断できるような場合には薬剤散布の必要性は少なくなることもあります。本試験でもイチゴうどんこ病でこのようなことがありました。慣行技術ではこのようなことも考慮されています。
- ・ 本編で紹介した病気はいずれも発生初期の防除が重要です。シーズンの最初の発生は伝染源の密度など本システムでモニタリングしていない要因の影響を強く受けますが、これらはハウスごとに大きく違うことがあり、ことに学習材料が十分に蓄積されていないうちは正確な予測が難しいことがあります。このことを踏まえて、本編で紹介した試験事例の多くでは、この時期の薬剤散布ルールについて、地域の慣行技術や経験及び発生状況をもとに、より適切と考えられる方法を採用していますので参考にしてください。初発時期の防除にあたっては、感染リスクの発出だけに頼らず、これまでの経験を踏まえるとともに慣行技術を参考にしてより丁寧に対応することが望めます。

本システムにおける感染リスクの計算にあたっては、当該の栽培における耕種概要や栽培条件等も使用していますので、これが十分与えられていない時には予測精度が低下することも考えられます。また、本システムでは長い間に蓄積された科学的知見を利用し、国内の広い範囲で収集された数多くの病害発生記録を学習材料として利用していますが、それで我が国における当該病害の全ての発生実態を踏まえているかはまだ明らかではありません。まだ経験したことのない発生様相に出くわした時には必ずしも正確に予測できないことも想定されます。栽培施設の日々の生育状況などを観察し、それを参考にしながら効果的な病害管理技術を選択して実施することが望めます。AIを用いた発病予測ではこの

表1. AI発病予測を利用した病害防除実証試験の結果一覧

No.	試験年度	予測区の 病害発生状況 (慣行区との比較) ¹⁾	薬剤散布回数		AI予測区と 慣行区との差 (予測区-慣行区)
			慣行区	AI予測区	
トマトうどんこ病 (pp.17-25)					
1	2020	同等	9	6	-3
2	2021	同等	10	5	-5
3	2022	同等	10	4	-6
トマトすすかび病* (pp.28-33)					
4	2020	やや多	6	5	-1
5	2021	やや少	4	7	+3
6	2022	同等	5	6	+1
キュウリ褐斑病 ²⁾ [pp.34-37, 10)のみ記載]					
7	2020(1)	やや多	10	1	-9
8	2020(2)	やや多	7	0	-7
9	2021	無発生**	8	3	-5
10	2022	同等	5	4	-1
キュウリべと病 (pp.38-44)					
11	2020	同等	5	6	+1
12	2022	同等	11	9	-2
イチゴうどんこ病					
香川県 (pp.45-51)					
13	2020	やや少	12	11	-1
14	2021	やや少	19	20	+1
15	2022	同等	16	16	0
福岡県 (pp.52-58)					
16	2021	同等	13	13	0
17	2022	同等	16	16	0
岡山県 (pp.59-69)					
18	2021-2022	同等***	0	0	0
19	2022-2023	無発生**	9	5	-4

(頁数はいずれも詳細版)

1) 詳細及び無防除区における発生状況についてはマニュアル本文参照

2) 定期防除区とAI予測区を比較した(p.35参照)。

* 減農薬栽培を慣行区とした。

** 両区とも対象病害無発生。

*** 農家圃場における試験。両区とも栽培末期に本病が発生したが、できるだけ無農薬としたいとの生産者の意向により、慣行区においても農薬散布を実施しなかった。

トウェアはアジャイル方式によって開発されています。これは、必要なスペックが達成されたと判断された段階で市場にリリースし、実際に利用されるなかでデータを収集しながら改良をすすめるという方法で、近年のソフトウェア開発でしばしば使われる手法です。このため一旦リリースされたソフトウェアも年々改良が加えられ、またデータが蓄積されることで予測精度が向上することが期待されます。プランテクト[®]を設置している施設あるいは地域のデータや栽培記録が蓄積されると、その施設あるいは地域により適合した予測をするようになります。データの蓄積に伴って予測精度の向上が半永久的に続けられることがAI感染リスク予測技術の大きな特徴です。予測精度の向上と、これまで蓄積されてきた慣行技術やその背景にある知識と経験が相まって、個々の圃場や地域に最適化した総合防除(IPM)技術がさらに発展していくことが期待されます。

ようなことを含め、データの蓄積とともに予測精度が改善されていくことが期待されます。

ここまで本システムの利用法として、発出される感染リスクに対応した防除法について述べてきましたが、本システムの利用法として、感染リスクそのものを低減させるという使い方も考えられます。例えば、本システムでは数日後までの感染リスクを予測しますので、明日、明後日のリスク予測が高いのであれば、施設内の気象を制御して当日のリスクを低下させ、これによって病気の発生を抑制することが可能と考えられます。また作期全体を通して発出されるリスクの低下を図ることも考えられます。例えば多くの作物病害は栽植密度が高いと発生しやすくなりますが、そのような栽培で比較的高い感染リスクが出る、あるいはリスクの発出が頻繁であるような時には、以降の作付けにおいて栽植密度を適正に管理(低く)することでリスクの程度や発出頻度が低下することが期待されます。リスクの発出記録を病気の発生のしやすさの指標として使い、病気が発生しにくい栽培管理を行うことができれば、総合防除(IPM)をより高度に実践することにつながります。本プロジェクトではそこまでの開発や実証研究はできませんでしたが、次の段階ではそのような技術の開発も考えられます。

本システムのAI感染リスク予測ソフト

古屋廣光

第3編

「施設園芸で多発する空気伝染性病害の発生生態 — トマト・キュウリ・イチゴ病害に対する気象要因の影響を中心として —」

本編では、発病予測のソフトウェアやシステム及びこれらを使った防除技術を開発する上で参考とするため、改めて検証あるいは調査したそれぞれの病気の発生生態に関する研究成果を紹介しています。ここで得られた成果は、発病予測技術を利用した病害管理においても役に立つことが期待されます。

内 容

- | | |
|--|---|
| I. トマトうどんこ病の発生に対する環境要因の影響 | 岩館 康哉 |
| II. トマトすすかび病の発生に対する環境要因の影響★ | |
| III. キュウリ褐斑病の発生に対する気象要因の影響 | 宇佐見 俊行・園家 結・
荒木 七海・尾崎 梨花 |
| IV. キュウリべと病の発生に対する気象要因の影響 | 宇佐見 俊行・長濱 野乃佳・
佐々木 悠人・宮島 麻岐・
滝沢 友莉子 |
| V. イチゴうどんこ病の潜伏期間及び感染発病に対する湿度と葉面濡れの影響 | 古屋 廣光・奈良 知春・戸田 武 |
| VI. イチゴ炭疽病の感染発病に対する温度および葉面濡れ時間の影響 | 戸田 武 |
| VII. 気象要因に対する空気伝染性病害の感染発病応答のモデル★ | |
| VIII. 施設栽培における日々の気象条件と空気伝染性病害発生の時系列解析★ | |

★ 研究結果のオリジナリティを確保する為、本バージョンでは掲載しません。
今後、本書を改訂する際に掲載します。

I. トマトうどんこ病の発生に対する環境要因の影響

▶ 岩舘 康哉
(岩手県農業研究センター)

1. はじめに

トマトうどんこ病は、おもに葉に発生し、葉の表面が白い粉で覆われる(図1). 多発すると葉柄や茎、へたなども発病する(図2). 発病部位はしだいに黄化し、被害が大きくなると樹勢の衰弱につながる. 国内で報告のあるトマトうどんこ病菌は、1) *Leveillula taurica* (syn. *Oidiopsis sicula*, 内部寄生性), 2) *Oidium* sp. (syn. *Erysiphe cichoracearum*, 表皮寄生性), 3) *Pseudoidium neolycopersici* (syn. *Oidium neolycopersici*, 表皮寄生性)の3種類である(日本植物病理学会編, 2023). なお、内部寄生性うどんこ病菌の *L. taurica* はおもにピーマンに寄生する. 本種がトマトに寄生した場合、葉の裏面に白いかびを生じて、のちに表面が黄化する.

トマトうどんこ病菌の発生生態に関する国内での研究は、*Oidium* sp. (syn. *E. cichoracearum*)に限られる(我孫子, 1978). また、我孫子の報告は1970年代に調査された内容であり、以後かなりの年月が経過している. *L. taurica* (syn. *O. sicula*), *P. neolycopersici* (syn. *O. neolycopersici*)については、海外において感染好適条件や分生子の発芽条件などの報告はあるが(Guzman-Plazola *et al.*, 2003; Jacob *et al.*, 2008), 国内で採集された病原菌を用いた研究事例はない. ここでは、近年発生しているトマトうどんこ病について、岩手県内での発生菌種を確認するとともに、本病の発生に関わる環境要因の影響を調査した.

2. 岩手県におけるトマトうどんこ病菌の発生菌種

2018年、岩手県二戸市、盛岡市、花巻市、奥州市および一関市のハウスまたは露地栽培のトマト(計18圃場)で発生したうどんこ病菌を採集し、形態学的特徴および分子生物学的手法により菌種を特定した. その結果、県内18圃場で採集した菌種は、すべて表皮寄生性うどんこ病菌 *P. neolycopersici* (syn. *O. neolycopersici*)であった. なお、本調査は、周辺にピーマンが栽培されていないトマト圃場を対象としたものである. ピーマン圃場が周辺に存在する環境においては *L. taurica* (syn. *O. sicula*)の発生を別途確認している. また、今回の調査では、我孫子(1978)が報告した *Oidium* sp. (syn. *E. cichoracearum*)は確認できなかった. *P. neolycopersici* (syn. *O. neolycopersici*)は1986年にオランダ、ブルガリア等のトマトに新発生したうどんこ病菌とされ、国内では2001年に初報告された(Matsuda *et al.*, 2001; Kashimoto *et al.*, 2003). 全国的な発生実態は不明であるが、岩手県内では *P. neolycopersici* (syn. *O. neolycopersici*)が優占種と考えられた.



葉の表面の病斑



上位葉まで発病した多発圃場



多発により枯死した下位葉

図1. トマトうどんこ病の葉の病斑(病原菌: *P. neolycopersici* (syn. *O. neolycopersici*))



茎に生じた病斑



へたの発病

図2. トマトうどんこ病の病斑(病原菌:*P. neolycopersici* (syn. *O. neolycopersici*))

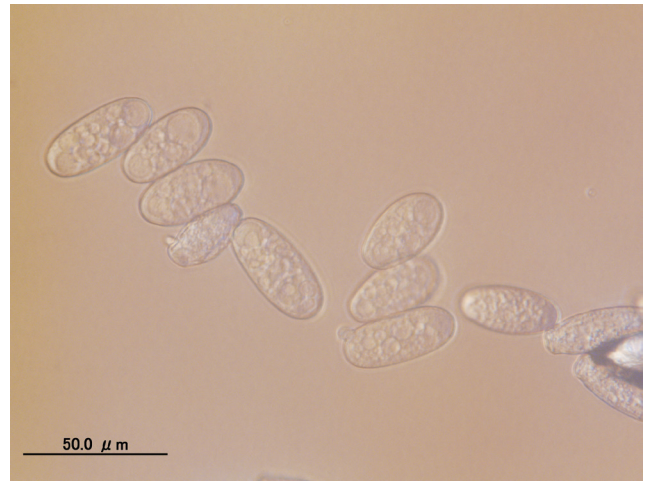


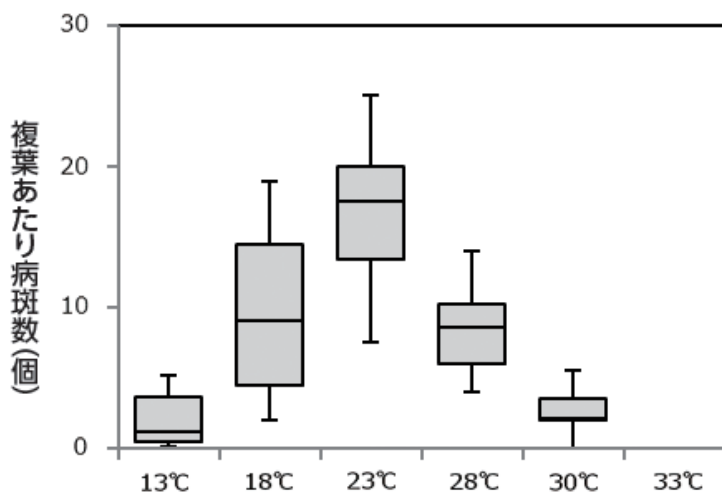
図3. *P. neolycopersici* (syn. *O. neolycopersici*)の分生子柄(左)と分生子(右)

3. トマトうどんこ病菌(*P. neolycopersici* (syn. *O. neolycopersici*))の感染好適条件の検討

P. neolycopersici (syn. *O. neolycopersici*)によるトマトうどんこ病は、国内では2001年に初確認された (Matsuda *et al.*, 2001; Kashimoto *et al.*, 2003). 本病菌の感染好適条件について、国内での研究事例はほぼない. Whipps and Budge (2000)は、本病の発生は相対湿度80%で最大となり、RH80%以上については、湿度が高まるにつれ発病が減少すると報告している. また、Jacob (2008)は、本病は高温側の28℃では発病しないこと、相対湿度70～99%の範囲内では、湿度が高いほど発病程度が低くなることを報告している. これらの報告では、湿度管理が本病の被害軽減に有効であることを指摘しており、このように本病菌の感染好適条件を明らかにすることは、効率的な防除体系の確立につながる. 以上のことから、国内(岩手県盛岡市現地圃場)で採集した、*P. neolycopersici* (syn. *O. neolycopersici*)を用いて、感染・発病に対する各種条件の影響を調査した. 具体的には、ミニトマトを用いた接種試験を実施し、各条件における本病の発病程度を調査した. 試験は5葉期まで育成したミニトマト品種‘レジナ’を用いた. 本病菌の分生子懸濁液(10^4 個/ml, 1ml/株)を均一に噴霧接種し、人工気象器内において規定の条件で管理した. 調査日に複葉毎の病斑数を調査し、複葉あたり病斑数を算出した. 試験は6回以上繰り返し実施した.

4. 病原菌の感染・発病に対する温度の影響

相対湿度を80%に設定した条件において,人工気象器の設定温度13℃,18℃,23℃,28℃,30℃および33℃における本病の発病状況を調査した.その結果,本病の発病は,13℃~30℃の範囲で確認され,33℃では全く発病が認められなかった.18℃~28℃では発病が多い傾向であり,特に23℃での発病が顕著であった(図4).



【試験概要】

接種後,所定の温度に設定した人工気象器内で管理

供試品種:レジナ 1試験8株調査

接種濃度:約 10^4 個/ml,1ml/株

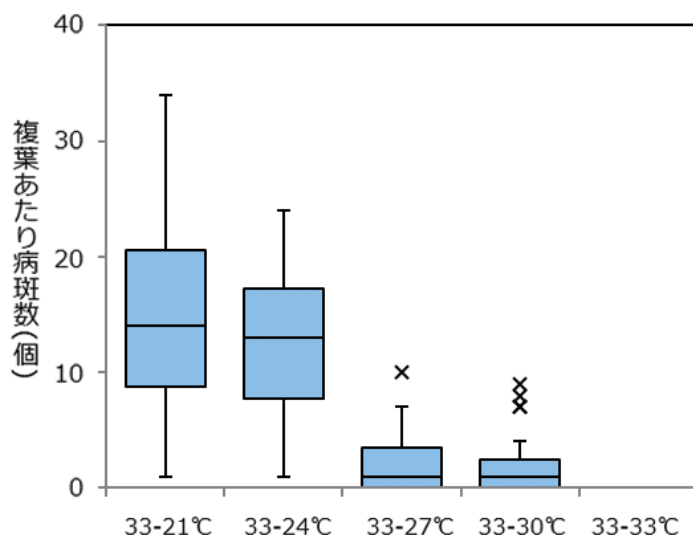
接種後の管理:相対湿度80%,照度5,100Lx

接種10~14日後調査,10回の実験結果

※箱ひげ図の見方:ボックスは四分位範囲,バーは最大値と最小値,横線は平均値,×は外れ値を示す.

図4. 温度に対する感染発病応答

相対湿度を80%に設定した条件において,人工気象器を明条件16時間(33℃固定),暗条件の温度を21℃,24℃,27℃,30℃および33℃とした場合の本病の発病状況を調査した.その結果,本病の発病は,暗条件の温度が21℃~30℃の範囲で確認され,33℃では全く発病が認められなかった.暗条件の温度が21℃および24℃では27℃や30℃に比較して発病が多い傾向であった(図5).



【試験概要】

接種後,所定の温度に設定した人工気象器内で管理

供試品種:レジナ 1試験8株調査

接種濃度:約 10^4 個/ml,1ml/株

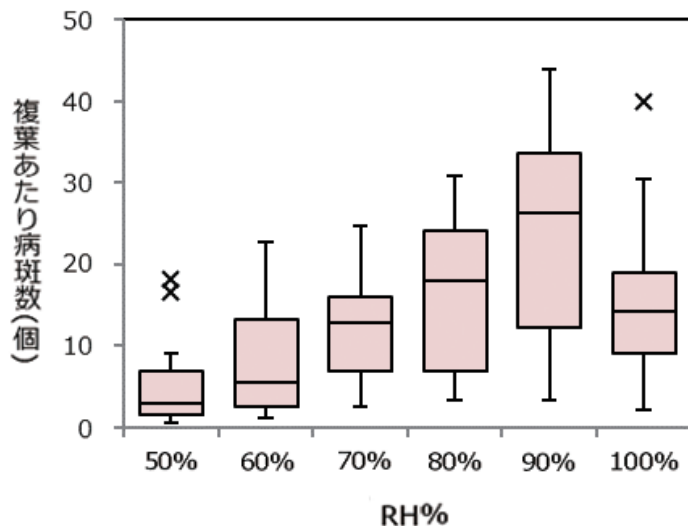
接種後の管理:相対湿度80%,照度5,100Lx

接種10~14日後調査,20回の実験結果

図5. 明条件(16時間)33℃固定時の暗条件(8時間)の温度と感染発病応答

5. 病原菌の感染・発病に対する湿度の影響

温度を23℃に設定した条件において、人工気象器の設定湿度50%、60%、70%、80%、90%および100%における本病の発病状況を調査した。その結果、本病の発病は、RH50～100%のいずれでも確認され、湿度が高まると病斑も多くなる傾向が認められた。好適条件はRH90%付近と考えられ、RH100%では発病がやや減少する傾向であった(図6)。



【試験概要】

接種後、所定の湿度に設定した人工気象器内で管理

供試品種:レジナ 1試験8株調査

接種濃度:約 10^4 個/ml, 1ml/株

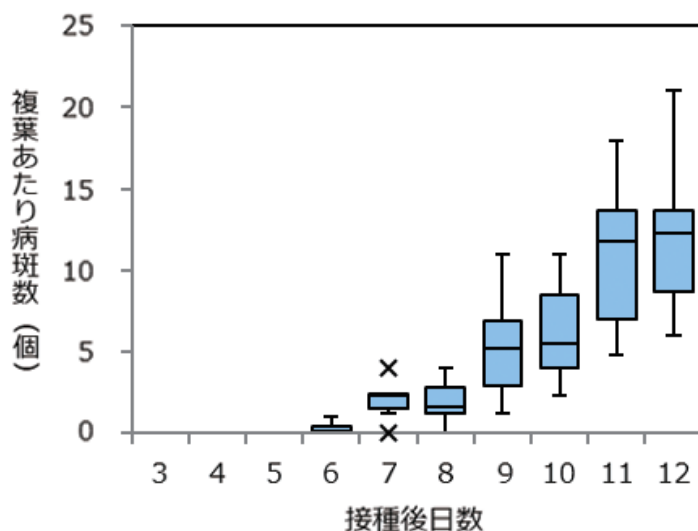
接種後の管理:温度23℃, 照度5,100Lx

接種11～14日後調査, 19回の実験結果

図6. 湿度に対する感染発病応答

6. 感染好適温度条件(23℃)における潜伏期間

温度を23℃, 相対湿度80%に設定した人工気象器において、本病菌の接種から発病までの潜伏期間を調査した。その結果、温度23℃における本病菌の接種から発病までの潜伏期間は最短で6日であった。また、接種6日後から接種12日後まで病斑が増加した(図7)。



【試験概要】

接種後、23℃・RH80%に設定した人工気象器内で管理

供試品種:レジナ 1試験5株調査

接種濃度:約 10^4 個/ml, 1ml/株

接種後の管理:相対湿度80%, 照度5,100Lx

接種3～12日後調査, 6回の実験結果

図7. 感染好適温度条件(23℃)における接種から発病までの潜伏期間

7. まとめ

岩手県盛岡市で採集したトマトうどんこ病菌(*P. neolycopersici*(syn. *O. neolycopersici*))を用い、感染好適条件を検討した。感染に好適な温度は、18℃～28℃の範囲内、最適温度23℃付近であり、33℃では発病しなかった(図4)。明期(16時間)を33℃に固定し、暗期(8時間)の温度を21℃～33℃に設定したところ、暗期の設定温度が低いほど発病が多くなる傾向であった(図5)。相対湿度については、50%～100%の範囲内で発病し、最適条件はRH90%程度と思われた(図6)。感染に好適な温度23℃条件下における接種から発病までの潜伏期間は6日程度であった。また、接種6日後から接種12日後まで病斑が増加する傾向であった(図7)。

我孫子(1978)は、*Oidium* sp.(syn. *E. cichoracearum*)について、1)発病は15～26℃の間で認められ、10℃以下および28℃以上では発病しないこと、2)発病の最適温度は23℃前後であること、3)発病は湿度45～100%の範囲で認めらるること、4)発病に好適な湿度条件は85～95%であり、湿度100%では発病が抑制されることを報告している。海外の*P. neolycopersici*(syn. *O. neolycopersici*)についての報告では、相対湿度が高まるにつれて発病が減少すること、28℃では発病しないことが明らかとなっている(Whipps and Budge, 2000; Jacob, 2008)。今回、国内で採集した*P. neolycopersici*(syn. *O. neolycopersici*)を用いて検討したが、28℃以上での発病が認められ、相対湿度についても、湿度が高まるほど発病が増える傾向にあるなど、既報とは一部異なる結果が得られた。なお、我孫子(1978)の報告は、今回の調査と異なる菌種での試験結果であることを付記しておく。

摘 要

トマトうどんこ病(*P. neolycopersici*(syn. *O. neolycopersici*))の発病に及ぼす温度ならびに湿度の影響について実験を行ない、以下の結果を得た。

- 1) 発病は13～30℃の間で認められ、発病の最適温度は23℃前後と考えられた。
- 2) 常時33℃条件下では発病しないが、明期(16時間)を33℃とし、暗期(8時間)の温度条件を変化させると、暗期の温度条件が低いほど発病は増加した。
- 3) 感染好適温度条件下(23℃)における接種から発病までの潜伏期間は6日程度であった。
- 4) 湿度との関係では、発病は実験を実施した相対湿度50～100%の範囲で認められた。
- 5) 発病に好適な湿度条件は相対湿度90%前後と考えられ、また湿度100%では発病が抑制された。

引用文献

- ・ 我孫子和雄(1978). トマトうどんこ病の発病に及ぼす温度ならびに湿度の影響. 関西病虫研報20: 49-52.
- ・ Guzman-Plazola, R. A., Davis, R. M. and Marois, J. J. (2003). Effects of relative humidity and high temperature on spore germination and development of tomato powdery mildew (*Leveillula taurica*). Crop protection 22: 1157-1168.
- ・ Jacob, D., Rav David, D., Sztjenberg, A. and Elad, Y. (2008). Conditions for development of powdery mildew of tomato caused by *Oidium neolycopersici*. Phytopathology 98: 270-281.
- ・ Kashimoto, K., Matsuda, Y., Matsutani, K., Sameshima, T., Kakutani, K., Nonomura, T., Okada, K., Kusakari, S., Nakata, K., Takamatsu, S. and Toyoda, H. (2003). Morphological and molecular characterization for a Japanese isolate of tomato powdery mildew *Oidium neolycopersici* and its host range. J. Gen. Plant Pathol. 69: 176-185.
- ・ Matsuda, Y., Kashimoto, K., Takikawa Y., Aikami, R., Nonomura, T. and Toyoda, H. (2001). Occurrence of new powdery mildew on greenhouse tomato cultivars. J. Gen. Plant Pathol. 67: 294-298.
- ・ 日本植物病理学会編(2023)日本植物病名目録2023年2月版, 日本植物病理学会, 東京, p. 1451.
- ・ Whipps, J. M., and Budge, S. P. (2000). Effect of humidity on development of tomato powdery mildew (*Oidium lycopersici*) in the glasshouse. Eur. J. Plant Pathol. 106: 395-397.

III. キュウリ褐斑病の発生に対する気象要因の影響

▶宇佐見 俊行・園家 結・荒木 七海・尾崎 梨花
(千葉大学大学院園芸学研究科・千葉大学園芸学部)

はじめに

キュウリ褐斑病は、糸状菌*Corynespora cassiicola*によって引き起こされる病害である。褐斑病菌は主に葉に感染し、感染初期にはハローを伴う小斑点を生じるが、病斑が拡大すると円形あるいは不整形となり、病斑上には多数の分生子が形成されて第二次伝染源となる。本菌の被害は、1980年代以降にブルームレス台木が普及することで顕在化したとされる(挟間, 1993; 挟間ら, 1993)。また、本病害の防除においては殺菌剤が重要な役割を負うが、これまでにベンズイミダゾール系剤, Qol(quinone outside inhibitors) 剤, ボスカリド剤など様々な殺菌剤に対する耐性菌が国内外で報告されている(宮本, 2019)。圃場での感染リスクの推定結果に基づいて適切なタイミングで最小限の殺菌剤散布を行うことは、殺菌剤耐性菌の発生を防止するためにも極めて重要である。そして、感染リスクの正確な推定を行うためには、褐斑病菌の生理や生態に関する正確な情報が必要である。

キュウリ褐斑病の発生生態に関する研究については、国内においては挟間(1993)が様々な角度から精力的に調査を行い、報告している。しかし、挟間の調査研究は1980年代を中心に行われたものであり、それ以来長い年月が経過している。そこで本研究では、近年日本で発生しているキュウリ褐斑病菌について、その生理生態を改めて調査した。なお、本研究結果の一部は、口頭発表(荒木・宇佐見, 2020; 尾崎・宇佐見, 2020; 園家・宇佐見, 2022)および学術誌への投稿(Araki *et al.*, 2021; Sonoke and Usami, 2022)により既に公表した。

1. 分生子発芽および菌糸生育に対する温度の影響

国内の罹病キュウリから分離された褐斑病菌の菌株をPDA平板に植菌し、各温度で1週間培養してコロニー直径を計測した(図1)。その結果、10～35℃で菌の生育が認められ、特に25～30℃で良好に生育したが、生育適温は30℃付近と考えられた。5℃および40℃では生育は認められなかった。これらの結果に、菌株間の差異は認められなかった。

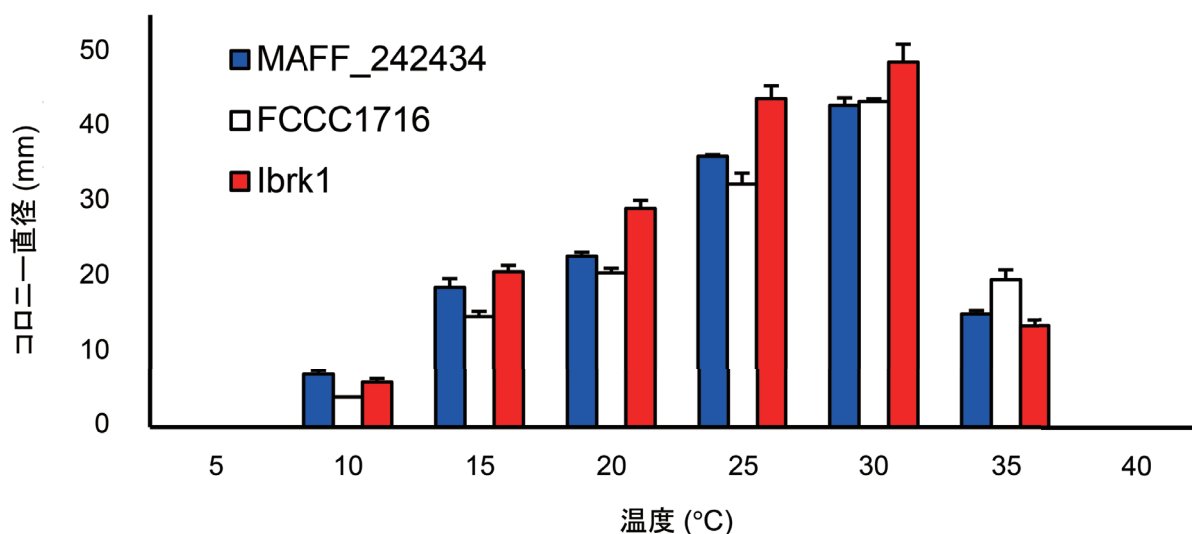


図1. キュウリ褐斑病菌の菌糸生育に対する温度の影響

菌株ごとにPDA平板3枚で1週間培養した平均値。エラーバーは標準誤差を示す。MAFF 242434は高知県、FCCC1716は福岡県、lbrk1は茨城県の罹病株からの分離株。

また、褐斑病菌の分離株FCCC1716およびlbrk1を供試して、各温度下での分生子の発芽率を調査した(図2)。2菌株の実験結果は類似していたため、図にはFCCC1716の結果だけを掲載する。分生子発芽の適温は25～35℃で、この温度範囲ではほとんどの分生子が4時間以内に発芽した。それ以外の温度では発芽が遅延し、5℃では発芽がほぼ抑制された。40℃では6時間以内に40%程度の分生子が発芽したが、その後は横ばいで、24時間経過しても発芽率は上昇しなかった。

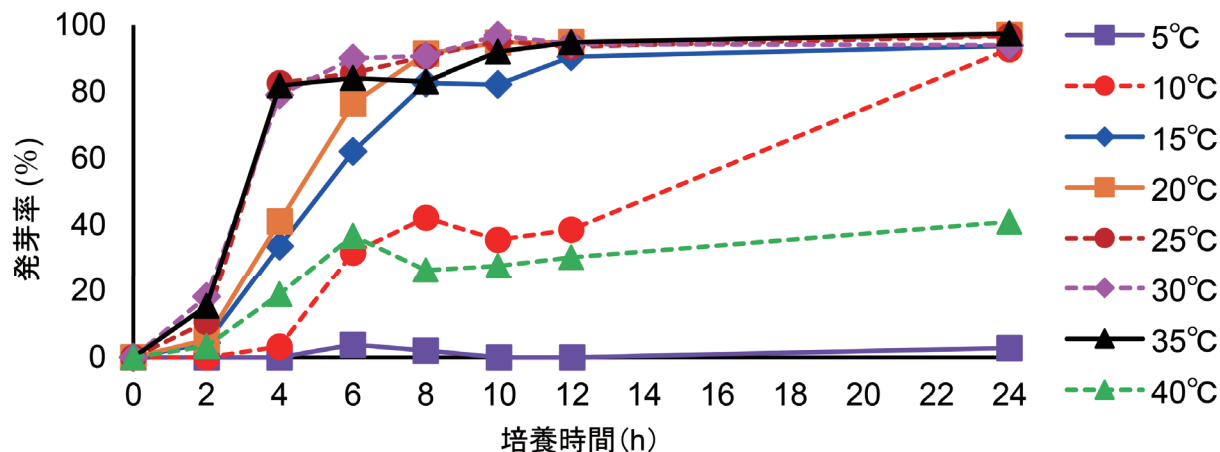


図2. キュウリ褐斑病菌の分生子の発芽に対する温度の影響

キュウリ褐斑病菌(福岡県分離株FCCC1716)の分生子を素寒天培地上に広げて各温度下に置き、暗黒下で24時間まで培養し、100個の分生子を観察して発芽率を算出した。

2. 菌の感染に対する温度および濡れ時間の影響

本葉5葉期のキュウリ(品種:‘つやみどり’)の第2および第3本葉にキュウリ褐斑病菌FCCC1716の分生子懸濁液を噴霧接種し、各温度下で葉の濡れを6～48時間維持した。その後、葉を乾燥させて25℃で栽培し、接種5日後に病斑数を計数した(図3)。その結果、葉が48時間濡れていても、10℃および35℃では褐斑病菌はほとんど感染しなかった。15℃の場合も、感染はわずかであった。一方、褐斑病菌は20～30℃で顕著に感染した。25℃あるいは30℃では、12時間の葉の濡れによりわずかに感染した。しかし、褐斑病菌の顕著な感染のためには、20～30℃の温度で18時間以上の継続的な葉の濡れが必要であった。また、濡れ時間が長くなるに従って菌の感染は増加した。

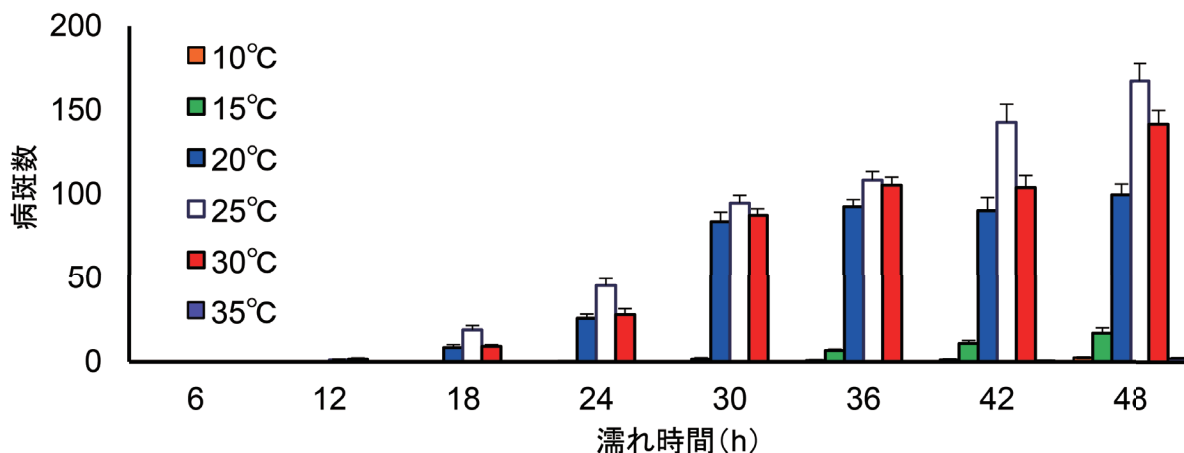


図3. キュウリ褐斑病菌の感染に対する温度および濡れ時間の影響

キュウリの葉に褐斑病菌を噴霧接種した後、各温度下で葉の濡れを6～48時間維持し、乾燥後に25℃で栽培して接種5日後に病斑を計数した。試験区ごとに4株(計8葉)のキュウリを用い、1葉あたりの平均病斑数を示した。エラーバーは標準誤差を示す。

3. 病斑上における分生子形成に対する温度・湿度および病斑の加齢の影響

本葉5葉期のキュウリ(品種:‘つやみどり’)にキュウリ褐斑病の分生子懸濁液を噴霧接種し、25℃で48時間濡れを維持して菌を感染させた。その後は乾燥した条件下で栽培して病斑を形成させた。病斑を形成させた株を各温度下で相対湿度(以下、RHと略す)100%に48時間置いた後に病斑面積あたりの分生子形成数を計数した。あるいは、病斑を形成させた株をRH100%または各種塩類の飽和溶液により湿度を調整した容器内(25℃)に48時間置いた後に病斑面積あたりの分生子形成数を計数した。それらの結果を図4に示す。分生子形成は20～30℃で顕著に誘導されたが、特に30℃付近で多かった。30℃付近の温度を細かく調査した結果、28～30℃付近で分生子形成数が最も多かった。一方、15℃以下あるいは35℃以上ではほとんど形成されなかった。また、RH97%程度では分生子形成数が少なかったが、RH100%では大幅に増加した。

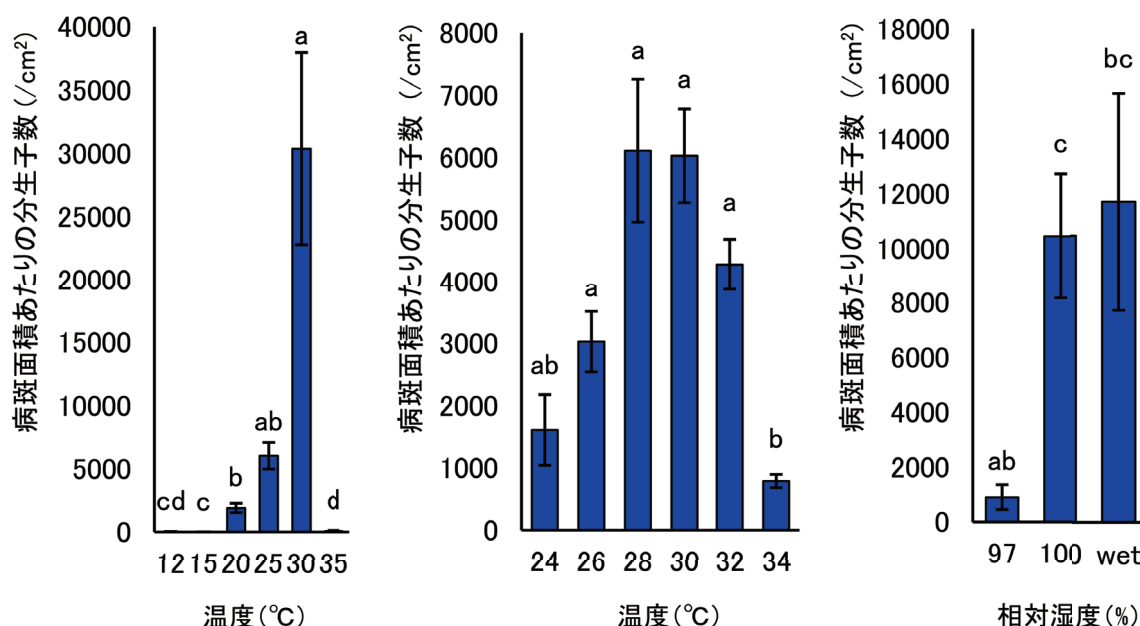


図4. キュウリ褐斑病菌の病斑上での分生子形成に対する温度および湿度の影響

キュウリ褐斑病の罹病株を異なる温度条件(左・中央)および湿度条件(右)に48時間置いて病斑面積あたりの分生子形成数を調査した。湿度の試験における「wet」は、病斑に水を噴霧して塗らした場合を示す。また、相対湿度は試験容器内に設置したデータロガーにて10分ごとに記録した数値の平均値を示す。試験区ごとに6サンプルを供試し、平均値を算出した。エラーバーは標準誤差を示す。異なるアルファベットは、Steel-Dwass検定により有意差($p < 0.05$)があることを示す。

次に、上記と同様にして褐斑病菌をキュウリに感染させ、接種後に異なる日数(2～8日)が経過した株を用意した。これを25℃・RH100%の条件下に2日間置くことで分生子形成を誘導し、病斑面積あたりの分生子形成数を計数した。また、分生子計数時における葉組織中の褐斑病菌DNAをリアルタイムPCRにより定量し、病斑面積あたりの菌バイオマス量を推定した。結果を図5に示す。分生子形成数は、接種4日後の病斑(接種2日後から分生子形成の誘導を開始)では少なかったが、接種5日後の病斑(接種3日後から分生子形成の誘導を開始)になると急増してピークとなり、その後は減少した。この時の葉組織内の褐斑病菌バイオマス量は、接種5日後でも多くはなく、接種後の日数が経過するに従って増加した。すなわち、接種5日後の病斑で面積あたりの分生子形成数が多いのは、組織中の菌が多いためではなく、分生子を形成する活性が高いためと推定された。

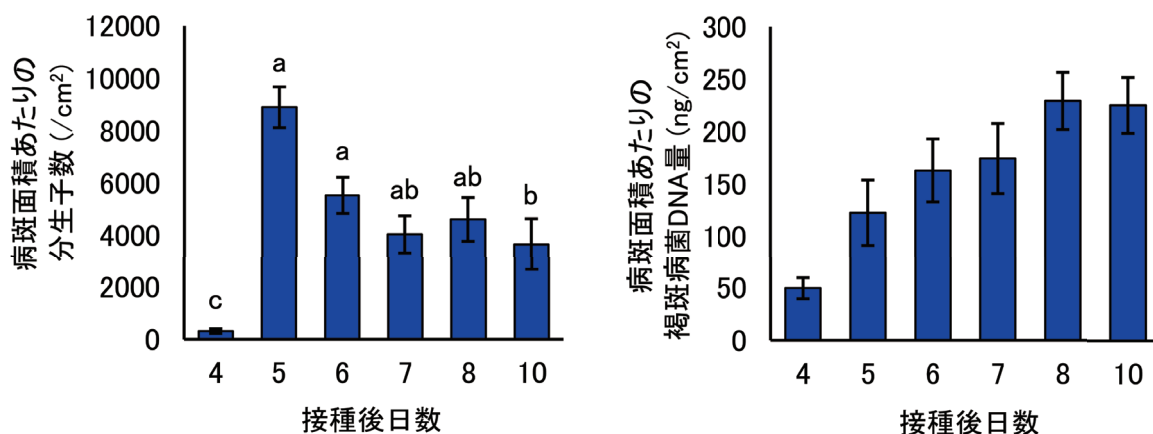


図5. キュウリ褐斑病菌の病斑上における分生子形成に対する病斑の加齢の影響

25℃下で褐斑病菌を接種して異なる日数(2~8日)が経過した病斑を25℃・RH100%の条件下に2日間置くことで分生子形成を誘導し、病斑面積あたりの分生子数を調査した(左)。同時に、葉組織中の褐斑病菌DNAをリアルタイムPCRにより定量した(右)。各グラフには、分生子計数時における接種後日数(分生子形成を誘導した2日間を含む)を示した。試験区ごとに6サンプルを供試し、平均値を算出した。エラーバーは標準誤差を示す。異なるアルファベットは、Steel-Dwass検定により有意差(p<0.05)があることを示す。

4. 病害発生リスクと品種の関係

様々なキュウリ品種を自根栽培で本葉5葉期まで育て、その第2本葉に褐斑病菌の分生子を噴霧接種した。接種後の株を25℃下で栽培し、接種2週間後に病斑数を計数するとともに、葉面積に占める病斑面積の割合を指数(0=病斑なし, 1=5%未満, 2=5~12.5%, 3=12.5~25%, 4=25~50%, 5=50%以上)により評価した。その結果の一部を図6に示す。'相模半白節成'は黒いぼ系(華南系)の伝統的品種で、褐斑病に耐病性を示す。その他は全て国内で生食用キュウリ栽培に用いられる白いぼ系(華北系)あるいはハイブリッド系品種である。いずれの品種でも一定の発病が見られたが、品種によっては黒いぼ系の相模半白節成と同程度の耐病性を示した。特に'ちなつ'は複数の接種試験において安定した耐病性を示した。図6に示したものを含めて70あまりの品種に対して接種試験を行ったところ、'極光607'や'京しずく'も比較的安定した耐病性を示した。それらは本葉5葉期の第2葉においては耐病性を示したが、より大きく育った場合の下位葉(例えば15葉期の第4葉以下)では耐病性が弱くなり、感受性品種と同様に発病した(図7)。

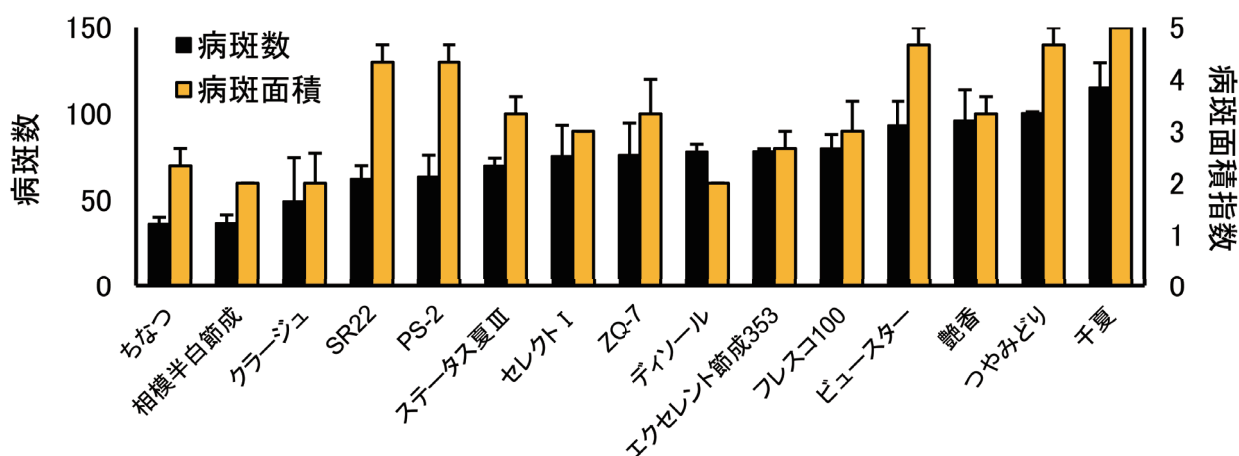


図6. キュウリ品種ごとの褐斑病の発病程度

5葉期の第2本葉に褐斑病菌を接種し、25℃で栽培して接種2週間後に病斑数と病斑面積を評価した。品種ごとに3株供試して平均値を算出した。エラーバーは標準誤差を示す。

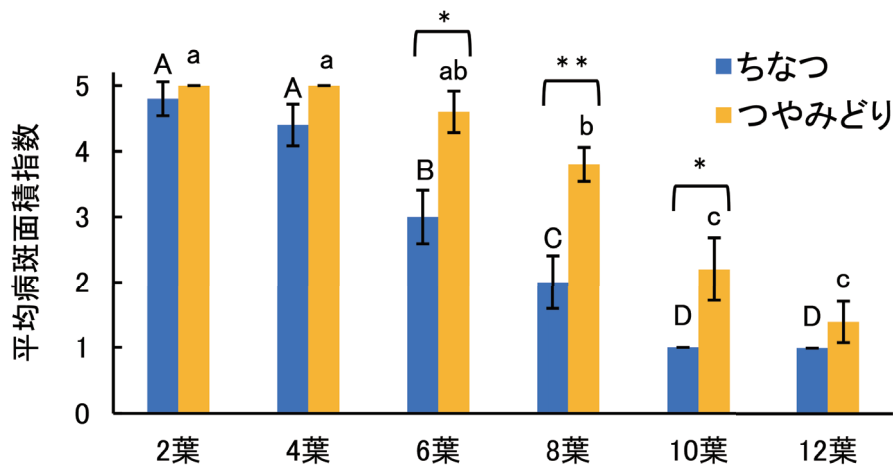


図7. 本葉15葉期のキュウリ品種における各葉位での発病程度

キュウリの品種‘ちなつ’(耐病性)と‘つやみどり’(感受性)を15葉期まで育て、褐斑病菌を接種して葉位ごとに病斑数と病斑面積を調査した。品種ごとに6株供試して平均値を算出した。エラーバーは標準誤差を示す。異なるアルファベットは、Steel-Dwass検定により有意差 ($p < 0.05$) があることを示す。アスタリスクは Mann-Whitney U 検定により有意差 (* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$) があることを示す。

5. 考察

キュウリ褐斑病菌の菌糸生育および分生子発芽と温度の関係について、本研究で得られた結果は、挾間(1993)および西原(1966)によって報告されたものと概ね類似していた。ただし、挾間(1993)の報告では28℃で4時間培養した場合の発芽率は35%程度であったが、本研究の結果では25～35℃のいずれの温度でも4時間の培養で80%程度の分生子が発芽した。さらに、挾間(1993)は39℃において分生子は発芽しないとしているが、本研究の結果では40℃でも24時間以内に約40%の分生子が発芽した。しかしながら、褐斑病菌のキュウリへの感染には20～30℃で12～24時間の葉の濡れが必要である点や、35℃では感染がほとんど認められない点は、本研究結果と挾間(1993)の報告は一致していた。従って、本研究で調査した菌株が過去に報告されたものより素早く感染するとか、あるいは、より高い温度下で感染し得るわけではなかった。

興味深いことに、35℃において分生子発芽や菌糸生育は顕著であったが、キュウリへの感染はほとんど起きなかった。挾間(1993)は、35℃下では付着器様構造の形成が抑制されることを報告しており、侵入器官の形成不全が高温下での本菌の感染を抑制している可能性がある。また、15℃での分生子発芽や菌糸伸長は20℃の場合とそれほど大きく変わらないが、キュウリへの感染頻度(病斑数)においては15℃の方が大きく劣った。このように、培養時と植物感染時では菌の温度感受性が大きく異なる場合もあり、注意が必要である。キュウリ褐斑病を起こす *C. cassiicola* は、トマト褐色輪紋病やピーマン黒枯病、ナス黒枯病を引き起こす病原菌でもある。Jones and Jones(1984)は、適温下で *C. cassiicola* がトマトに感染する際に16～24時間の濡れ時間が必要であることを報告しており、これはキュウリに関する本研究や挾間(1993)の試験結果に一致する。しかし、ピーマンでは24～48時間(下元, 2010)、ナスでは9～13時間(福西・山本, 1975)の濡れ時間で顕著な感染が認められると報告されており、植物の種類によって大きく異なる。このような相違も、前述した培養時と感染時の温度感受性の相違と同様に、植物と菌の相互作用の結果として生じるものと考えられる。

本病害の二次伝染源となる病斑上の分生子は、28～30℃でもっとも盛んに形成された。この結果も、挾間(1993)の報告に一致する。一方、病斑上における分生子形成と湿度の関係については過去に報告がなかった。病斑が水に濡れた場合は48時間以内に多数の分生子が形成されたが、病斑が濡れなくてもRH100%の環境であれば同等の分生子形成が誘導された。しかし、相対湿度が97%程度になると分生子形成数は大きく減少した。従って、多量の分生子が形成されるためにはRH100%に限りなく近い環境が必要であると考えられた。また、病斑が形成されてからの時間の経過(病斑の加齢)も、分生子形成数に影響を与えた。接種4日後の初期病斑においては、分

生子形成がほとんど認められなかったが、接種5日後では病斑面積あたりの分生子形成能がピークとなった。その後は、病斑の加齢に伴って形成能は減退した。接種5日目の若い病斑は概してサイズが小さいが、病斑面積あたりの分生子形成能は非常に高いため、第二次伝染源としては過小評価できないと考えられた。これに対して、加齢した病斑は面積あたりの分生子形成能は劣るが、病斑面積自体は拡大しているため、形成される分生子の絶対数はむしろ多くなる可能性もあり、第二次伝染源としてやはり警戒する必要がある。

黒いぼ系(華南系)のキュウリ品種は褐斑病に対して耐病性を示すことが報告されており(挾間, 1993; 挾間ら, 1981), 本研究で用いた‘相模半白節成’も病斑数および病斑面積ともに数値が小さかった。しかし, ‘相模半白節成’を含めて本研究に供試した70あまりの品種は全て褐斑病に対して一定程度の感受性を有し, 海外で報告されるような単一遺伝子による強力な抵抗性(Abul-Hayja *et al.*, 1978; Wen *et al.*, 2015)を持つような品種は確認できなかった。それでも‘ちなつ’や‘極光607’などの品種は、黒いぼ系の相模半白節成と同程度の耐病性を示した。伊藤(2013)によれば, ‘ちなつ’を育成する際の育種素材には「褐斑病に強い外国産キュウリ」が使用されており, それに由来する遺伝子が耐病性を付与している可能性がある。ただし, 耐病性の認められた品種においても, 株の生育が進んだ場合の下位葉では耐病性の減退が認められ, そのような株や葉では発病リスクは高くなると考えられた。このことは, 耐病性品種では栽培初期の発病が抑えられる(初発が遅い)が, 栽培後期になると急激に発病してくるという栽培圃場での現象(畔柳, 2016)に矛盾しない。

摘 要

本研究では、日本国内で発生しているキュウリ褐斑病菌について、その生理生態的性質を調査した。その結果、10～35℃で菌糸伸長が認められ、特に25～30℃で良好に生育し、生育適温は30℃付近と考えられた。5℃および40℃では生育は認められなかった。分生子発芽の適温は25～35℃で、この温度範囲ではほとんどの分生子が4時間以内に発芽した。それ以外の温度では発芽が遅延し、5℃ではほとんど発芽しなかった。また、植物への感染は20～30℃において顕著で、これらの温度下で葉が12時間濡れていれば感染が認められたが、顕著な感染のためには18時間以上の継続的な濡れが必要であった。また、濡れ時間が長くなるに従って菌の感染は増加した。10℃および35℃ではほとんど感染しなかった。分生子形成は20～30℃で顕著に誘導され、28～30℃付近で病斑面積あたりの分生子形成数が最も多かった。15℃以下あるいは35℃以上ではほとんど形成されなかった。また、RH97%程度では形成数が少なかったが、RH100%または病斑が濡れた場合では大幅に増加した。病斑面積あたりの分生子形成数は、接種5日後(25℃)の若い病斑で多く、病斑が古くなると減少した。調査した全てのキュウリ品種は褐斑病に対して一定の感受性を示したが、黒いぼ系品種の‘相模半白節成’と同程度の耐病性を示す品種もあった。しかし、株が大きく育った場合の下位葉では耐病性が弱くなり、発病するリスクが高くなると考えられた。

引用文献

- Abul-Hayja, Z., Williams, P.H., and Peterson, C.E. (1978). Inheritance of resistance to anthracnose and target leaf spot in cucumbers. *Plant Dis. Rep.* 62: 43-45.
- Araki, N., Ozaki, R., and Usami, T. (2021). Factors associated with occurrence of target leaf spot of cucumber. *Acta Horticulturae* 1312: 431-438.
- 荒木七海・宇佐見俊行(2020). キュウリ品種の褐斑病に対する感受性の相違. *日植病報* 86: 172.
- 福西 務・山本 勉(1975). ナス黒枯病菌の生理, 生態および伝染経路(ハウス栽培のナス黒枯病に関する研究 II). *徳島農試報* 14: 59-73.
- 挾間 渉(1993). キュウリ褐斑病の発生生態と防除に関する研究. *大分県農業技術センター特別研究報告* 2: 1-105.
- 挾間 渉・富来 務・佐藤俊次・安藤俊二(1981). キュウリ褐斑病の防除に関する研究 1. 大分県における初発生並びに品種間差異. *九州農業研究* 43: 88.

- 挾間 渉・森田鈴美・加藤徳弘(1993). ブルームレス台木接ぎ木キュウリにおける褐斑病抵抗性の低下. 日植病報 59: 243-248.
- 伊東 正(2013). 蔬菜の新品種18(公益財団法人 園芸植物育種研究所編). 株式会社誠文堂新光社, 東京.
- Jones, J.P. and Jones, J.B. (1984). Target spot of tomato: epidemiology and control. Proc. Fla. State Hortic. Soc. 97: 216-218.
- 畔柳泰典(2016). キュウリ褐斑病の効率的な防除報. 平成27年度試験研究主要成果(岡山県農林水産総合センター農業研究所): 71-72.
https://www.pref.okayama.jp/uploaded/life/502548_3749742_misc.pdf
- 宮本拓也(2019). キュウリ褐斑病菌およびうどんこ病菌のコハク酸脱水素酵素阻害剤耐性に関する研究. 茨城県農業総合センター研究報告 1: 1-41.
- 西原夏樹(1966). *Corynespora* 菌によるキュウリ褐斑病について(予報). 関東病虫研年報 13: 40.
- 尾崎梨花・宇佐見俊行(2020). 葉の濡れを維持する時間および温度がキュウリ褐斑病菌の感染に及ぼす影響. 日植病報 86: 171-172.
- 下元祥史(2010). ピーマン黒枯病の発病に及ぼす湿度および温度の影響. 四国植防 45: 1-5.
- Sonoke, Y. and Usami, T. (2022). Environmental effects on the sporulation of *Corynespora cassiicola* in cucumber leaf spots. Acta Horticulturae (in press)
- 園家 結・宇佐見俊行(2022). キュウリ褐斑病の分生子形成に影響を与える因子. 日植病報 88: 226-227.
- Wen, C., Mao, A., Dong, C., Liu, H., Yu, S., Guo, Y.D., Weng, Y., and Xu, Y. (2015). Fine genetic mapping of target leaf spot resistance gene *cca-3* in cucumber, *Cucumis sativus* L. Theor. Appl. Genet. 128: 2495-2506.

IV. キュウリベと病の発生に対する気象要因の影響

▶宇佐見 俊行・長濱 野乃佳・佐々木 悠人・宮島 麻岐・滝沢 友莉子
(千葉大学大学院園芸学研究科・千葉大学園芸学部)

はじめに

キュウリベと病は、卵菌類*Pseudoperonospora cubensis*によって引き起こされる病害である。本菌に感染したキュウリの葉では、葉脈に囲まれた多角形の領域が淡黄色～褐色の病斑となる。高湿度下では病斑上に分生子(遊走子のう)が形成され、これが風などによって運ばれて二次伝染源となる。分生子は水に濡れることで遊走子を放出し、これが遊泳後に被のう胞子となって発芽し、気孔より感染する。本菌による病害の発生は、他の多くの植物病害の場合と同様に、栽培圃場の気象や物理的環境の影響を大きく受ける。そのため、病害発生と気象条件の関係(Granke and Hausbeck, 2011; Granke *et al.*, 2014; Holmes *et al.*, 2015; Pouzeshimiyab and Fani, 2020)や、感染条件などについての数理モデルの構築(Arauz *et al.*, 2010; Neufeld and Ojiambo, 2012; Sun *et al.*, 2017), そして圃場での病害発生予測(Yang *et al.*, 2007)などに関する研究も多く行われてきた。

環境条件などから病害の発生を高い精度で予測するためには、各条件下における病原菌の生理や生態を十分に知る必要がある。キュウリベと病菌の生理生態および疫学的性質に関しては国内外で多くの研究例があるが、海外ではCohenら(Cohen, 1977; Cohen and Eyal, 1977, 1980; Cohen and Rotem, 1969, 1970, 1971; Cohen *et al.*, 1971)を中心として、国内では岩田(1952a;1952b)や稲葉ら(稲葉, 1975; 稲葉・梶原, 1975)を中心として、特に精力的な研究が行われている。しかし、例えば本菌の感染と温度の関係においては、Cohen(1977)が28℃以上では感染しないとする一方で、Neufeld and Ojiambo(2012)は30℃でも十分に感染すると報告するなど、研究調査事例ごとの相違点も散見される。このような相違は、発生している菌の生理や性質が地域ごとに異なるためかも知れない。日本国内に発生した菌については、樋浦(1929)や岩田(1952a;1952b)が発芽や感染、分生子形成に対する温度の影響などを調査して報告しているが、これらの報告からは数十年あるいは100年近くが経過している。そこで本研究では、2019年に日本国内(宮崎県)で発生したキュウリベと病菌について、病害の発生に関わる生理生態的特性を改めて調査した。なお、本研究結果の一部は、口頭発表(滝沢・宇佐見, 2020; 長濱・宇佐見, 2022)および学術誌への投稿(Nagahama and Usami, 2022)により既に公表した。

1. キュウリベと病の発生生態

1) 菌の感染および発病に対する温度の影響

本葉12葉期のキュウリ(品種:‘ハイ・グリーン 21’)の第2, 4, 6本葉の葉裏に、べと病菌の分生子懸濁液(分生子 10^3 個/ml)を噴霧接種($8\mu\text{l}/\text{cm}^2$)し、10, 15, 20, 25, 30℃下で葉が濡れた状態を24時間維持した後、葉を乾燥させて引き続き同じ温度で栽培した。その結果、15, 20, 25℃では接種後3～4日で初期病斑の形成が認められ、その後病斑が発達した。一方で、10℃および30℃では、接種2週間後まで観察しても病斑の形成は認められなかった。

上記の結果では、温度が菌の感染に影響を与えたのか、発病に影響を与えたのかが判別できなかった。そこで、感染時の温度だけをコントロールする試験を行った。本葉5 葉期のキュウリ(品種:‘ハイ・グリーン 21’)の第3本葉の葉裏に、密度を変えたべと病菌の分生子懸濁液(分生子 10^3 個もしくは 10^4 個/ml)を噴霧接種($10\mu\text{l}/\text{cm}^2$)し、5～30℃下で葉が濡れた状態を24時間維持した後に葉を乾燥させた。以降はいずれの試験区の株も25℃下で2週間まで栽培し、形成された病斑を計数した。その結果を図1に示す。5～25℃で接種した場合は菌の感染が認められたが、30℃ではほとんど感染しなかった。グラフにおいては視認できないが、30℃において分生子密度 $100\text{個}/\text{cm}^2$ で接種した際には1葉平均0.7個の病斑が観察された。また、結果は示していないが、 $1000\text{個}/\text{cm}^2$ の場合では1葉平均3.7個の病斑が観察された。

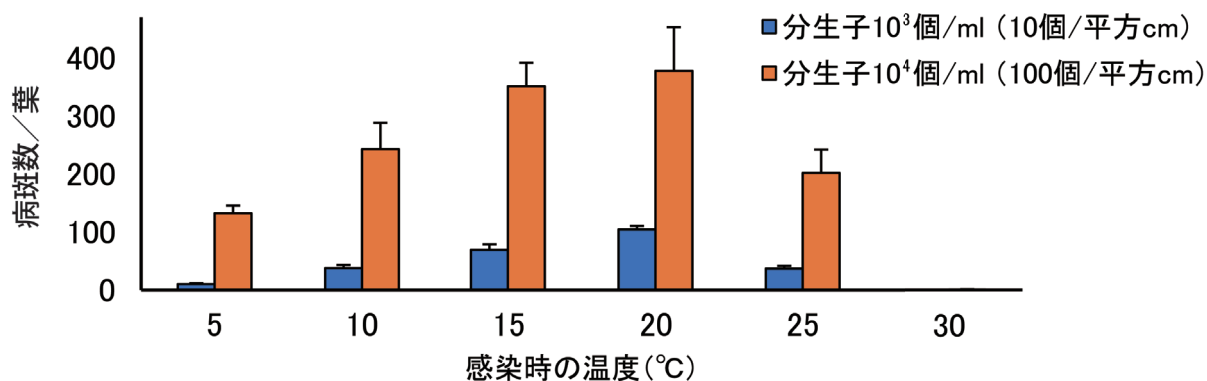


図1. キュウリべと病菌の感染に対する温度の影響

キュウリにべと病菌の分生子懸濁液(分生子 10^3 個もしくは 10^4 個/ml)を噴霧接種($10\mu\text{l}/\text{cm}^2$)し、5~30℃下で葉が濡れた状態を24時間維持した後に葉を乾燥させた。以降は25℃下で2週間まで栽培し、形成された病斑を計数した。試験区ごとに3株(計3葉)のキュウリを用い、1葉あたりの平均病斑数を示した。エラーバーは標準誤差を示す。

2) 菌の感染に対する温度および濡れ時間の影響

本葉5葉期のキュウリ(品種: 'ハイ・グリーン 21')の第3本葉(または第3, 4本葉)の葉裏に、べと病菌の分生子懸濁液を分生子75個または15個/ cm^2 となるように噴霧接種し、10~30℃下で葉が濡れた状態を1.5~24時間維持した後に葉を乾燥させた。以降はいずれの試験区の株も20℃下で2週間まで栽培し、形成された病斑を計数した。その結果を図2に示す。

データのオリジナリティーを維持する為、次のバージョンで掲載します。

図2. キュウリべと病菌の感染に対する温度および濡れ時間の影響

キュウリの葉にべと病菌の分生子を分生子75個/ cm^2 (グラフ上)または15個/ cm^2 (グラフ下)となるように噴霧接種し、10~30℃下で葉が濡れた状態を各時間維持した後に葉を乾燥させた。以降はいずれの株も20℃下で2週間まで栽培し、病斑を計数した。試験区ごとに3株のキュウリを用い、1葉あたりの平均病斑数を示した。エラーバーは標準誤差を示す。

べと病菌は5～25℃下で顕著に感染したが、20℃または25℃で感染させた場合において、特に短い濡れ時間で多くの病斑を生じた。しかし、分生子を75個/cm²の密度で接種した場合でも濡れ時間1.5時間では感染は認められず(図2上)、2時間でわずかに感染した。15～25℃下では3～4時間の濡れ時間で顕著な感染が認められた。より低温では感染に必要な濡れ時間は長くなった。30℃下では、ほとんど感染が認められなかった。

3) 乾燥による濡れの中断が感染に及ぼす影響

上記の研究結果のように、キュウリべと病の感染には一定の温度下で葉の濡れが一定時間維持される必要がある。プランテクトで環境好適条件が検出されるなど、感染リスクが高いと判断された場合に、農薬散布の代替手段として「一時的な乾燥による感染の抑制」が可能かどうかを検証した。本葉6～8葉期のキュウリ(品種:‘ハイ・グリーン 21’)の第2, 4本葉に、べと病菌の分生子懸濁液(分生子10³個/ml)を噴霧接種し、15℃または25℃下で葉が濡れた状態を1～3時間維持した後、葉を乾燥させて乾燥状態を1時間維持した。その後、水を噴霧して再び濡らし、15℃または25℃下で濡れを24時間維持した。対照区は、噴霧接種後に乾燥させることなく濡れを24時間維持した。以降はいずれの試験区の株も20℃下で栽培し、接種7日後に病斑を計数した。その結果、いずれの温度でも、湿潤環境に置かれた菌が感染行動を開始してから一定時間以内に乾燥させると、植物がその後再び濡れたとしても、発病が大きく抑制された(図3)。25℃では、濡れが3時間持続した後の乾燥では発病が十分に抑制されなかったが、それでも乾燥させなかった対照区と比較して病斑数は有意に減少した。

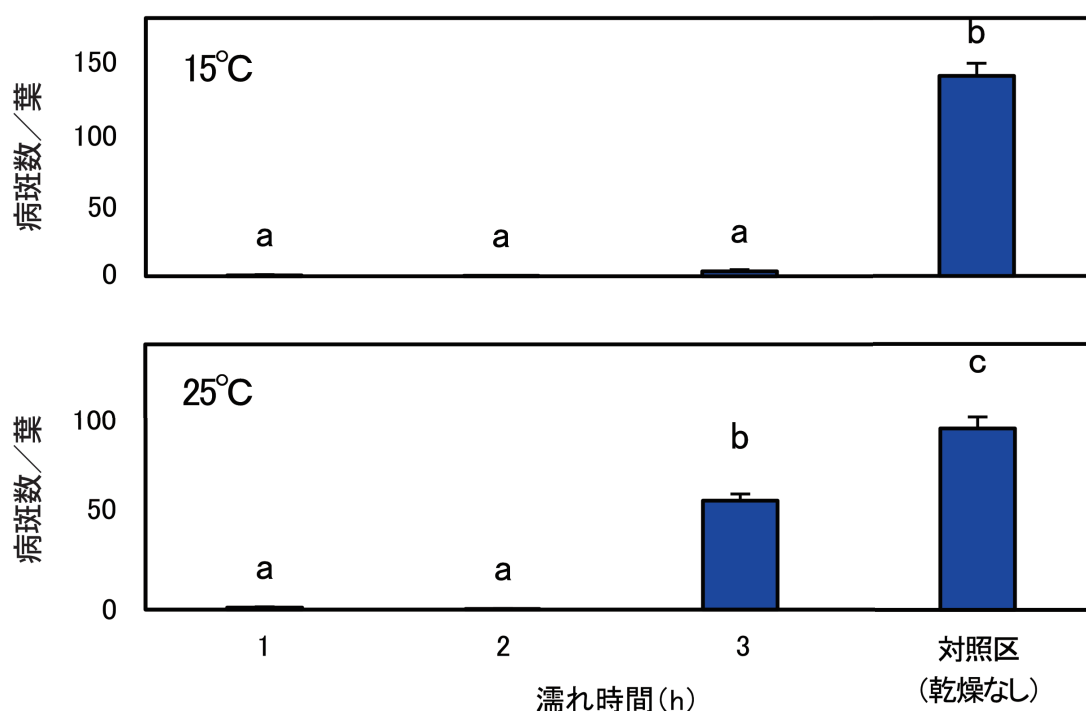


図3. キュウリべと病菌の感染に対する一時的な乾燥の影響

キュウリの葉にべと病菌の分生子を噴霧接種し、15℃(上)または25℃(下)で葉が濡れた状態を1～3時間維持した後、乾燥させ1時間維持した。その後、再び水を噴霧し、15℃または25℃下で濡れを24時間維持した。対照区は、噴霧接種後に乾燥させることなく濡れを24時間維持した。以降は全て20℃で栽培し、接種7日後に病斑を計数した。試験区ごとに3株(計6葉)のキュウリを用い、1葉あたりの平均病斑数を示した。エラーバーは標準誤差を示す。異なるアルファベットは、Steel-Dwass検定により有意差(p<0.05)があることを示す。

また、上記の試験では葉を一旦乾燥させた後に乾燥状態を1時間維持したが、生産圃場で長時間乾燥を維持するのは困難と思われるため、継続的な乾燥が必要かどうかを検証した。本葉5葉期のキュウリ(品種:‘ハイ・グリーン21’)の第3, 4本葉に、上記の試験と同様にべと病菌の分生子を噴霧接種した。25℃で葉が濡れた状態を2時間維持してから葉を乾燥させ、その直後(0分)か、15分あるいは60分乾燥を維持した後に水を噴霧して再び濡らし、25℃下で24時間濡れを維持した。対照区は、噴霧接種後に乾燥させることなく濡れを24時間維持した。以降は全ての株を20℃で栽培し、接種7日後に病斑を計数した。その結果、乾燥を維持する時間に関係なく発病は顕著に抑制された(図4)。すなわち、葉が乾燥した時間を維持する必要はなく、所定の時間内に一旦乾燥すれば、べと病菌の感染は抑制されることが考えられた。

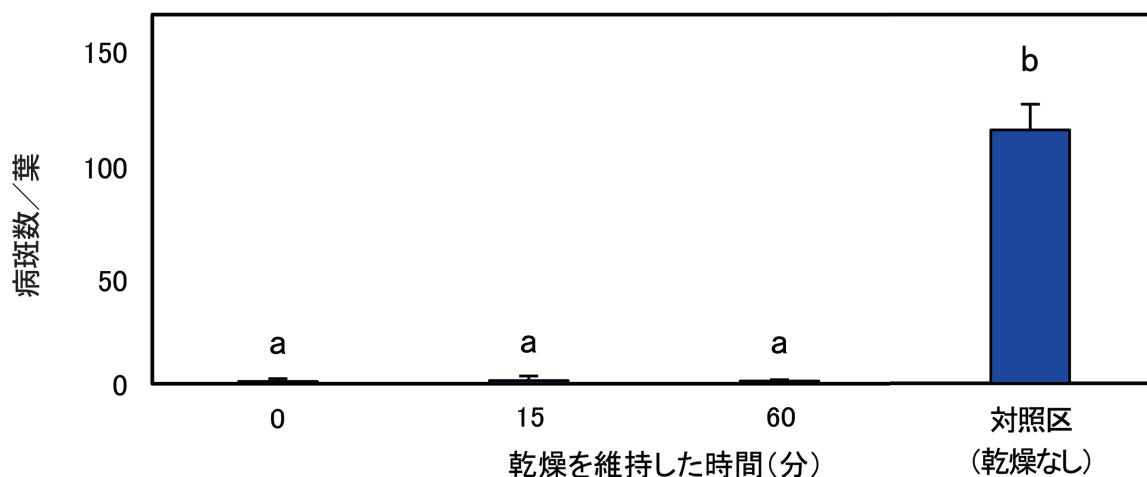


図4. キュウリべと病菌の感染に対する乾燥時間の影響

キュウリの葉にべと病菌の分生子を噴霧接種し、25℃で葉が濡れた状態を2時間維持した。葉を乾燥させ、その直後(0分)か、15分あるいは60分乾燥を維持した後に水を噴霧して再び濡らし、25℃下で24時間濡れを維持した。対照区は、噴霧接種後に乾燥させることなく濡れを24時間維持した。以降は全て20℃で栽培し、接種7日後に病斑を計数した。試験区ごとに3株(計6葉)のキュウリを用い、1葉あたりの平均病斑数を示した。エラーバーは標準誤差を示す。異なるアルファベットは、Steel-Dwass検定により有意差($p < 0.05$)があることを示す。

4) 病斑上における分生子形成に対する 温度・湿度の影響

これまでの試験と同様にしてキュウリ(品種:‘ハイ・グリーン21’)にキュウリべと病菌を接種し、乾燥した条件下で栽培して葉に病斑を形成させた。そして、これを相対湿度(以下RHと略す)100%となるように密閉容器内に入れ、様々な温度の培養器内に24時間置いた後、病斑面積あたりの分生子形成数を計数した。次に、病斑を形成させた株をRH100%または各種塩類の飽和溶液により湿度を調整した容器内に入れ、20℃の暗黒下に24時間置いた後に病斑面積あたりの分生子形成数を計数した。それらの結果を図5に示す。分生子形成は10~25℃で顕著に誘導されたが、特に20℃で多かった。また、RH100%程度では顕著に分生子が形成されたが、高湿度であっても相対湿度が100%に至らない条件では、形成数が抑制された。

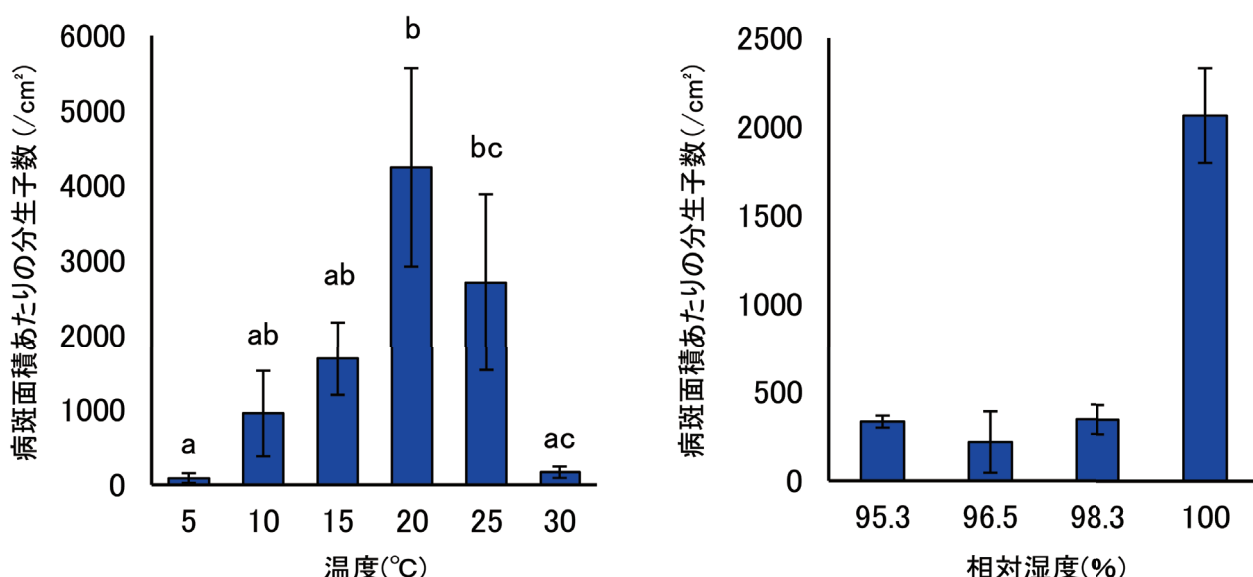


図5. キュウリべと病菌の病斑上での分生子形成に対する温度および湿度の影響

キュウリべと病の罹病葉を異なる温度条件(左)および湿度条件(右)に24時間置いて病斑面積あたりの分生子形成数を調査した。相対湿度は、試験容器内に設置したデータロガーにて10分ごとに記録した数値の平均値を示す。試験区ごとに3葉供試し、平均値を算出した。エラーバーは標準誤差を示す。異なるアルファベットは、Steel-Dwass検定により有意差($p < 0.05$)があることを示す。

2. 考察

本研究において、キュウリの葉にべと病菌を接種してから10～30℃で維持した場合、15～25℃で発病が認められた。一方で、10℃および30℃では接種2週間以内での発病は認められなかった。感染と発病の温度感受性を区別するために、感染時の温度だけを変動させた実験(図1, 図2)では、葉の濡れが数時間以上維持されれば10℃あるいは5℃でも顕著な感染が認められた。一方、30℃ではほとんど感染しなかった。この際、接種する分生子の密度が低い場合(10個/cm², 図1; 15個/cm², 図2下)は一切感染が認められなかったが、高い場合(100および1000個/cm², 図1; 75個/cm², 図2上)の場合はごくわずかに感染した。この結果は、岩田(1952b)およびSun et al. (2017)の結果に準じている。しかし、Cohen(1977)は分生子密度が高い場合であっても28℃では一切感染しないとしている。一方で、Neufeld and Ojiambo(2012)は30℃でも顕著な感染が認められることを報告している。高温下での菌の生理生態については、黒澤(1927)が30℃で発芽が認められないとする一方で、岩田(1952a)は認められるとするなど、報告により結果が異なる場合もある。このような相違は、国や地域ごとの菌の性質や、試験環境の違いに起因するのかもしれない。

図2の結果では、20℃あるいは25℃で菌を感染させた場合に、最も短い濡れ時間で顕著な感染が認められた。また、図1においては15℃での感染頻度は20℃に次いで高く、25℃を凌いだ。これらのことから、本研究におけるキュウリべと病菌の感染好適温度は15～25℃と考えられる。これは、日本における岩田(1952b)の報告や、海外におけるCohen(1977), Neufeld and Ojiambo(2012), Sun et al. (2017)の報告に、概ね一致する。好適温度下において、感染に必要な最短の濡れ時間が2時間程度であることも、岩田(1952b)やCohen(1977), Sun et al. (2017)の報告に一致する。ただし、Cohen(1977)は25℃において分生子10個/cm²で接種した場合にほとんど感染が認められないと報告しているが、本研究で同じ分生子密度で接種した場合、25℃では20℃と同様に短い濡れ時間で多数の病斑が形成され、感染リスクが低いどころか適温に該当すると判断された。この点は大きな相違があるが、Neufeld and Ojiambo(2012)やSun et al. (2017)の報告を鑑みても、25℃での感染・発病リスクは高いと考えられる。

一方、圃場における第二次伝染源の発生リスクを推し量るために、病斑上における分生子形成と温度および湿度の関係を調査した。その結果、分生子形成の最適温度は20℃付近となり、5℃や30℃ではほとんど形成されなかった。これは、樋浦(1929)やCohen(1977), Sun et al. (2017)の報告と一致する。また、RH100%未満にお

ける相対湿度と分生子形成との関係については, Sun *et al.* (2017)がRH90%ではほとんど分生子形成が誘導されないことを報告している以外は, これまで情報がなかった. 本研究において, 塩類飽和水溶液により調湿して調査したところ, RH100%未満では分生子形成数が少ないことが明らかとなった. しかし, 今回調査した温度や湿度以外にも病斑のステージや宿主の光合成量, 光条件など様々な因子が分生子形成に影響を与えると言われるため (Cohen and Eyal, 1977; Cohen and Rotem, 1969; Cohen and Rotem, 1970; Cohen *et al.*, 1971; 稲葉, 1975; 稲葉・梶原, 1975; Perl *et al.*, 1972), 圃場における分生子形成にはそうした諸条件が複雑に影響を与えられられる.

これまで述べてきたようなキュウリべと病菌の生理生態的知見は, 圃場での病害発生リスクを推定するためだけでなく, 病害の発生を抑制するためにも活用できる. 本研究の試験結果から, 菌が感染を成立させるために15℃では4時間程度の, 25℃では3時間程度の濡れ時間が必要であることが明らかとなった. そこで, これらの時間が経過する前に葉を乾燥させることが, 菌の感染にどのような影響を与えるかを調査した. その結果, 15℃および25℃のいずれの場合でも, 分生子が濡れを得て感染行動を開始してから3時間以内に乾燥させることで, 菌の感染が有意に抑制された. 感染のためにより長い濡れ時間が必要な15℃においては, 3時間経過後に乾燥させた場合でもほとんど発病しなかった. さらに, この乾燥の際には長時間の乾燥状態の維持は必要なく, 一旦完全に乾燥させれば, 直後に再び濡らしたとしても感染は完全に抑制された. Cohen and Rotem (1971)およびCohen *et al.* (1971)は, 水に濡れた分生子が発芽前に乾燥した場合, その生存率が大幅に減少することを報告している. 本研究の結果も, それに準じていると考えられる. Cohen and Ben-Naim (2016)は, バジルの施設栽培において夜間にファンを稼働させて葉を乾燥させることで, バジルべと病を抑制できることを報告している. バジルべと病菌を引き起こす*Peronospora belbahrii*は直接発芽により感染するため, 分生子から遊走子が放出されない. それでも乾燥により感染が抑制されることは, 極めて興味深い. 一方で国内では, 暖房機を結露センサーにより制御して促成栽培キュウリのべと病を抑制する試みもされている(牛尾・竹内, 2006). このように, 圃場における発病リスクを高い精度で推定し, それに連動させた機器を用いて植物周辺の物理環境を自動的に改善する仕組みを構築できれば, 効率的かつ省力的に病害を防除できる可能性がある.

摘 要

本研究では, キュウリべと病を引き起こす*Pseudoperonospora cubensis*の国内分離株について, 病害の発生に関わる生理生態的特徴を調査した. まず, 本菌をキュウリの葉に接種して10~30℃で栽培したところ, 15~25℃では接種後3~4日で初期病斑が認められた. 一方, 10℃および30℃では発病しなかった. 次に, 各温度下における感染を調査したところ, 5~25℃では感染が認められたが, 30℃ではほとんど感染しなかった. 接種後の葉の濡れ時間を変えながら各温度下における感染を調査したところ, 20℃または25℃では特に短い濡れ時間で多くの病斑を生じた. 15~25℃では最短2時間でわずかな感染が認められ, 濡れが3~4時間維持されると感染が顕著になった. 各試験の結果から, キュウリべと病菌の感染好適温度は15~25℃と判断された. また, 本菌の感染が成立する前に葉を一旦乾燥させると, 葉が再び濡れた場合でも発病は顕著に抑制されたため, 農薬散布に替わる防除法として活用できる可能性も考えられた. 一方, 病斑上における分生子形成の最適温度は20℃で, 5℃や30℃ではほとんど分生子が形成されなかった. 分生子はRH100%で顕著に形成されたが, 100%未満では形成数が少なかった.

引用文献

- Arauz, L.F., Neufeld, K.N., Lloyd, A.L. and Ojiambo, P.S. (2010). Quantitative models for germination and infection of *Pseudoperonospora cubensis* in response to temperature and duration of leaf wetness. *Phytopathology* 100: 959-967.
- Cohen, Y. (1977). The combined effects of temperature, leaf wetness, and inoculum

- concentration on infection of cucumbers with *Pseudoperonospora cubensis*. Canadian Journal of Botany 55: 1478-1487.
- Cohen, Y. and Ben-Naim, Y. (2016). Nocturnal fanning suppresses downy mildew epidemics in sweet basil. PLoS ONE 11(5): e0155330.
- Cohen, Y. and Eyal, H. (1977). Growth and differentiation of sporangia and sporangiophores of *Pseudoperonospora cubensis* on cucumber cotyledons under various combinations of light and temperature. Physiological Plant Pathology 10: 93-103.
- Cohen, Y. and Eyal, H. (1980). Effects of light during infection on the incidence of downy mildew (*Pseudoperonospora cubensis*) on cucumbers. Physiological Plant Pathology 17: 53-62.
- Cohen, Y. and Rotem, J. (1969). The effects of lesion development, air temperature and duration of moist periods on sporulation of *Pseudoperonospora cubensis* in cucumbers. Israel Botany 18: 135-140.
- Cohen, Y. and Rotem, J. (1970). Rate of lesion development in relation to sporulating potential of *Pseudoperonospora cubensis* in cucumber. Phytopathology 61: 265-268.
- Cohen, Y. and Rotem, J. (1971). Dispersal and viability of sporangia of *Pseudoperonospora cubensis*. Transactions of the British Mycological Society 57: 67-74.
- Cohen, Y., Perl, M., and Rotem, J. (1971). The effect of darkness and moisture on sporulation of *Pseudoperonospora cubensis* in cucumbers. Phytopathology 61: 594-595.
- Granke, L.L. and Hausbeck, M.K. (2011). Dynamics of *Pseudoperonospora cubensis* sporangia in commercial cucurbit fields in Michigan. Plant disease 95: 1392-1400.
- Granke, L.L., Morrice, J.J., and Hausbeck, M.K. (2014). Relationships between airborne *Pseudoperonospora cubensis* sporangia, environmental conditions, and cucumber downy mildew severity. Plant disease 98: 674-681.
- Holmes, G.J., Ojiambo, P.S., Hausbeck, M.K., Quesada-Ocampo, L., and Keinath, A.P. (2015). Resurgence of cucurbit downy mildew in the United States: A watershed event for research and extension. Plant Disease 99: 428-441.
- 稲葉忠興 (1975). キュウリべと病菌の胞子形成. 植物防疫29: 441-446.
- 稲葉忠興・梶原 敏宏 (1975). キュウリべと病の病態生理学的研究. 農業技術研究所報告, C, 病理・昆蟲 29: 65-139.
- 黒澤英一 (1927). 胡瓜露菌病菌の性質に就いて. 台湾博物学会会報17: 1-18.
- 樋浦 誠 (1929). 農業植物の露菌病に関する研究(II) 胡瓜露菌病と気象との関係. 各務研究報告(岐阜高等農林学校) 6: 1-54.
- 岩田吉人 (1952a). 胡瓜露菌病菌分生胞子の発芽と温度との関係に就て. 三重大学農学術報告 5: 35-41.
- 岩田吉人 (1952b). 胡瓜葉の露菌病感染に要する時間に就いて. 三重大学農学部学術報告5: 42-49.
- Nagahama, N. and Usami, T. (2022). Drying leaves suppresses cucurbit downy mildew caused by *Pseudoperonospora cubensis*. Acta Horticulturae (in press).
- 長濱野乃佳・宇佐見俊行 (2022). 温度および湿度がキュウリべと病菌の分生子形成に及ぼす影響. 日植病報 88: 226.
- Neufeld, K.N. and Ojiambo, P.S. (2012). Interactive effects of temperature and leaf wetness duration on sporangia germination and infection of cucurbit hosts by *Pseudoperonospora cubensis*. Plant disease 96: 345-353.
- Perl M., Cohen Y., and Rotemab J. (1972). The effect of humidity during darkness on the transfer

of assimilates from cucumber leaves to sporangia of *Pseudoperonospora cubensis*. *Physiological Plant Pathology*. 2: 113-122.

Pouzeshimiyab, B. and Fani, S.R. (2020). Epidemiology and aerobiology of *Pseudoperonospora cubensis* in northwest Iran. *Italian Journal of Agrometeorology* 2: 109-116.

Sun, S., Lian, S., Feng, S., Dong, X., Wang, C., Li, B., and Liang, W. (2017). Effects of temperature and moisture on sporulation and infection by *Pseudoperonospora cubensis*. *Plant Disease* 101: 562-567.

滝沢友莉子・宇佐見俊行(2020). 葉の濡れを維持する時間および温度がキュウリべと病菌の感染に及ぼす影響. *日植病報* 86: 172.

牛尾 進吾・竹内 妙子 (2006). キュウリ促成栽培における結露センサー付き暖房機制御装置を利用したべと病の発病抑制. *関東東山病害虫研究会報* 53: 51-54.

Yang, X.T., Li, M., Zhao, C.J., Zhang, Z., and Hou, Y.L. (2007). Early warning model for cucumber downy mildew in unheated greenhouses. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 50: 1261-1268.

V. イチゴうどんこ病の潜伏期間及び感染発病に対する湿度と葉面濡れの影響

▶ 古屋 廣光・奈良 知春・戸田 武
(秋田県立大学)

はじめに

イチゴうどんこ病(病原菌 *Podosphaera aphanis* var. *aphanis*, 絶対寄生性) は茎葉だけでなく果実にも発生して大きな被害を与えることから、施設栽培において主要な防除対象の一つとされてきた(米山, 1980; 神頭, 2002; 浅野・国本, 2014). 近年, AIを用いた病気の発生予測技術の開発が行われるようになったが, その開発にあたっては当然のことながら病気の発生生態や疫学に関する知見が必要である. またこれらの知見はそれにとどまらず, 発生予測を利用した総合管理技術を発展させるうえでも重要である. 本病は世界的にも被害が大きいことから, 発生生態について極めて多くの研究報告や総説が公表されている(Schnathorst, 2003; Glawe, 2008; 神頭, 2002). ただしこれまでの研究は必ずしも病気の発生予測を目的としたものではなかったことから, 発生予測技術の開発にあたってはさらに検討が望まれる点もある. 例えば, 本病においても接種後に最初の病斑が現れるまでの期間(最短の潜伏期間)についての報告はいくつかあるが, その後現れる病斑の潜伏期間については必ずしも明らかでない. そこで本研究では, 発生予測技術の開発に資することを主な目的として, 潜伏期間を改めて検討するとともに感染*に対する相対湿度(以下, RHと略す)や葉面の濡れの影響についても改めて検討した(奈良ら, 2023).

*感染の成否や程度を直接観察して評価することは困難であることから, 本研究においては病斑の形成によってこれを評価した. そのため, 「感染」及び「感染数」の意味で本報告ではそれぞれ「感染発病」及び「感染発病数」と呼ぶこととした.

1. 潜伏期間

ポリサイクリックな病気において潜伏期間は病勢の進展に大きな影響がある(Hau and de Vallavieille-Pope, 1998). イチゴうどんこ病については5日前後とする報告が多い(Peries, 1962; Jhooty and McKen, 1965; Amsalem *et al.*, 2006)が, これは言わば最短の潜伏期間である. 葉面に付着した分生子による感染の全てが最短の潜伏期間で発病するのではないが, その後発生する病斑の潜伏期間については必ずしも明らかでない. 発病の予測に当たっては最短の潜伏期間だけでなく, 同一日に葉面に付着した分生子に起因する病斑の発生推移に関する知見も必要とされることがある. そこで本研究では接種後の病斑形成の推移を調査した.

供試品種は「女峰」, 「もういっこ」, 「さぬき姫」, 「さがほのか」の4品種とした. 試験には香川県農業試験場の自然発生圃場(施設栽培)で採取した菌を用いた. 同菌の分生子懸濁液をイチゴの苗に噴霧接種した後, RH100%, 20℃で24時間に保った(肉眼的に葉面の濡れは見られない状態で実施した). なお, 本研究ではいずれの実験においてもこの菌を用いた. その後, 底面灌水により13日後まで栽培を続け, 新たに発生した病斑数を毎日調査した. 調査は, 最も感受性が高いとされる第1葉位(Carisse and Bouchard, 2016)の頂小葉の両面を対象とした.

繰り返し行った実験の結果, いずれの品種においても最短の潜伏期間は5日であり, その後, 13日後まで新たな病斑の形成が見られた(図1). 病斑形成が多かったのは, 「女峰」, 「もういっこ」, 「さがほのか」では6, 7, 8日後であり, この3日間で13日後までに形成された全病斑数のそれぞれ63.2%, 56.8%及び52.4%の病斑が形成された. 「さぬき姫」では5, 6, 7日後の3日間で63.4%の病斑が形成された. 最短の潜伏期間が5日だったことから, 10日後以降には接種によって生じた病斑に形成された分生子の侵入によって病斑が形成された可能性も考えられる. ただし5日後に形成された病斑は少なかったこと, また接種後は比較的感染が少ない湿度条件(RH50%)で栽培を続けたことからその数は多くなく, 10日後以降にも接種した分生子によって新たな病斑が形成されたことが示唆される.

上述のように本病の潜伏期間については1960年代から繰り返し報告があり, 最短で5日とするものが多いが, 4日あるいは6日とするものもある(青野, 1972; Asalf *et al.*, 2016). Asalf *et al.*, (2016) は品種によって4.1~5.8日の違いがあったことを報告している. 本研究においては最短日数では品種による違いが見られなかったが, 多発までの日数が「さぬき姫」は他の3品種に比べてやや短いことが伺われた. 同一品種でも葉齢によって潜伏期間

には違いがあることも知られている (Asalf *et al.*, 2016). 本研究では最も感受性が高いとされる第一葉で調査しており、これより古い葉ではさらに潜伏期間が長いことが考えられる。また本実験とは別に、分生子を水に懸濁することなく葉にふりかけて接種したところ、分生子懸濁液で噴霧接種した時に比べてやや発病が早い(半日程)傾向があることを経験しており、この点についてさらに検討が必要である。

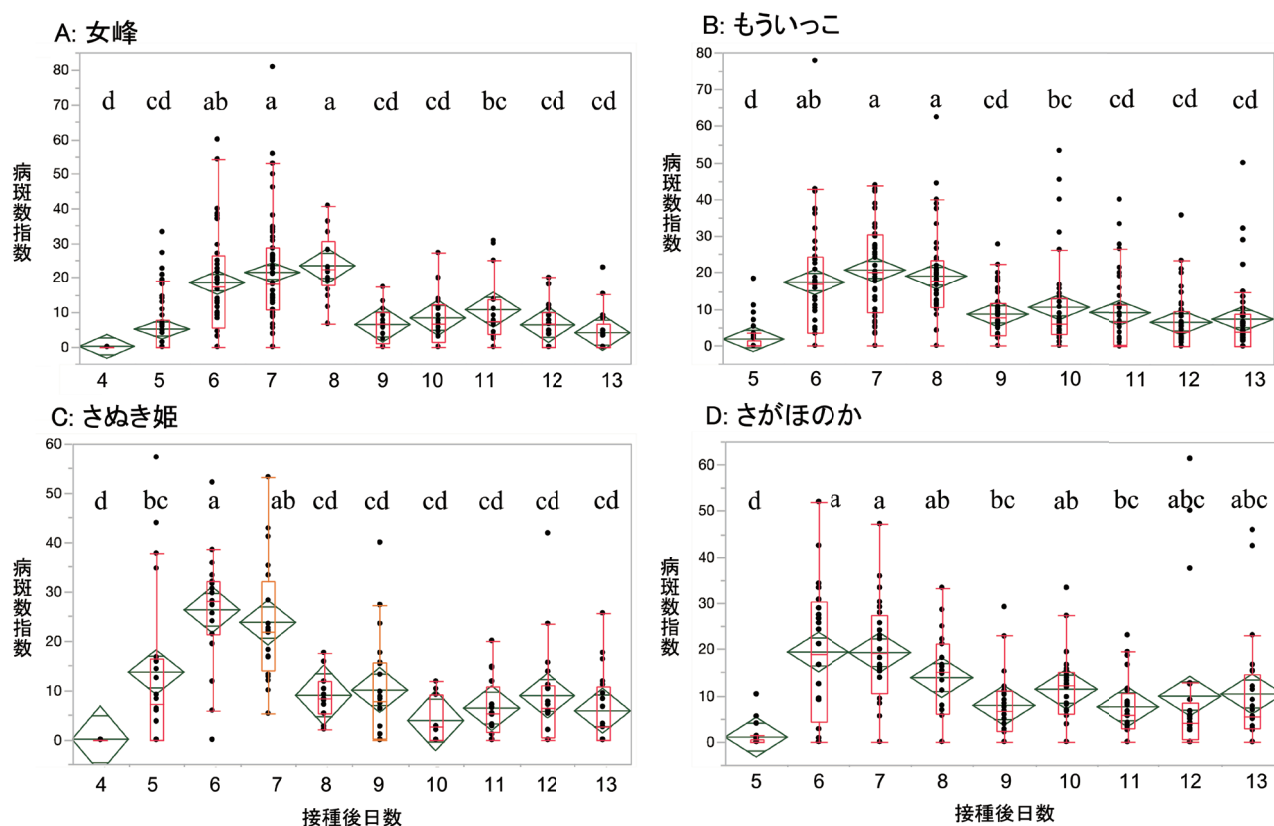


図1. 接種後の各日におけるイチゴうどんこ病の発生

各日における病斑数指数の有意差検定を、全ての日数の組み合わせでTukey-Kramerの方法により行なった($p < 0.05$). 異なる文字の値間には有意差があることを示す。

試験方法

- ・ 接種: 病原菌の分生子懸濁液 (実験によって $4.3 \sim 32.6 \times 10^4$ 個/ml) を、自動回転円盤に載せたイチゴの苗1株あたり1.0あるいは1.5mlずつ噴霧接種した。その後、約60分静置して葉面を乾燥させたのち、20℃、RH100%に設定した人工気象機に24時間置いた。
- ・ 接種後の栽培と発病程度の調査: 20℃、RH50%とした人工気象機において底面灌水によって栽培を続けた。接種の翌日から13日後まで、それぞれの苗の第1葉位頂小葉の両面に、その日新たに発生した病斑数を調査した。
- ・ 供試品種と実験回数: '女峰'で9回、'もういっこ'で11回、'さめき姫'で6回、'さがほのか'で7回、繰り返し実験を行なった。
- ・ 統計解析のためのデータの前処理: 各実験において各苗に13日までに発生した累積病斑数を100として、各日に新たに発生した病斑数の割合を求め日毎の病斑数指数とし、品種ごとに全ての実験の結果をまとめ、JMP12を用いて統計解析を実施した。なお、これ以降の統計解析も全て同ソフトウェアを用いた。

2. 感染発病に対する湿度の影響

本病に対する湿度の影響についても古くから多くの報告がある。本菌の分生子発芽について、Peries(1962)は、イチゴの葉上でRH12%でも24時間後(20℃)の発芽率が17%であったとした。これに対しAmsalem *et al.* (2006)は、切離したイチゴ葉上における調査(20℃)で、RH75%より低湿では発芽率が5%程度であり、RH97~100%では17%程度に上昇したとした。山本・金磯(1983)は、分生子を分散落下させたイチゴ葉上においてRH52%台で維持した時の平均発芽率はRH100%で維持した時と大差なく、いずれも55%前後であったとしている。

本病の感染発病については高湿度であるほど多発するとの報告が多い(Jhooty and McKeen, 1965; 青野, 1972; 山本・金磯, 1983)。Jhooty and McKeen(1965)は、分生子を葉面に付着させた後RH8~100%(20℃)で維持したところ、RHが高いほど感染発病が多く、RH8%あるいは18%とした時の感染発病はRH100%のそれぞれ3.3%及び12.7%であったとした。また山本・金磯(1983)は、それまで感染発病に対する湿度の影響については低湿度の方が多いとの報告も我が国であったが、必ずしもこれを支持する結果は得られなかったとした。

これらの報告ではいずれも、分生子を葉面に接種してから発病調査まで所定のRHで維持し、その影響を病斑の面積によって評価している(Jhooty and McKeen, 1965; 青野, 1972; 山本・金磯, 1983)。そのためこれらの研究では、単に感染だけでなく、発病後の病斑拡大まで含めて湿度の影響を見ていると理解される。そこで本研究では、分生子を葉面に噴霧してから24時間のみ所定のRHに保ち、その後はいずれの区もRH(50%)で栽培することによって、分生子が葉面に付着してから24時間におけるRHの影響を調査した。

前項と同じ方法で本菌の分生子を葉面に噴霧接種したのち、所定の湿度(RH50, 60, 80, 90, 100%)で24時間保ち、その後はRH50%で底面灌水によって栽培を続け、接種後から9日後までに発生した病斑数を調査した。湿度処理後の栽培では、いずれの区においても葉面に自由水は見られないことを肉眼観察によって確認した。接種から発病調査まで気温は20℃で維持した。その結果、供試した4品種のうち3品種(‘女峰’、‘もういっこ’、‘さがほのか’)でRH100%区における発病がRH50%区より多かった(図2)。また4品種のいずれにおいてもRH50~100%の範囲で湿度が高くなるにつれて平均病斑指数が高くなり、接種後24時間の湿度が高いほど感染が進む傾向がみられた。

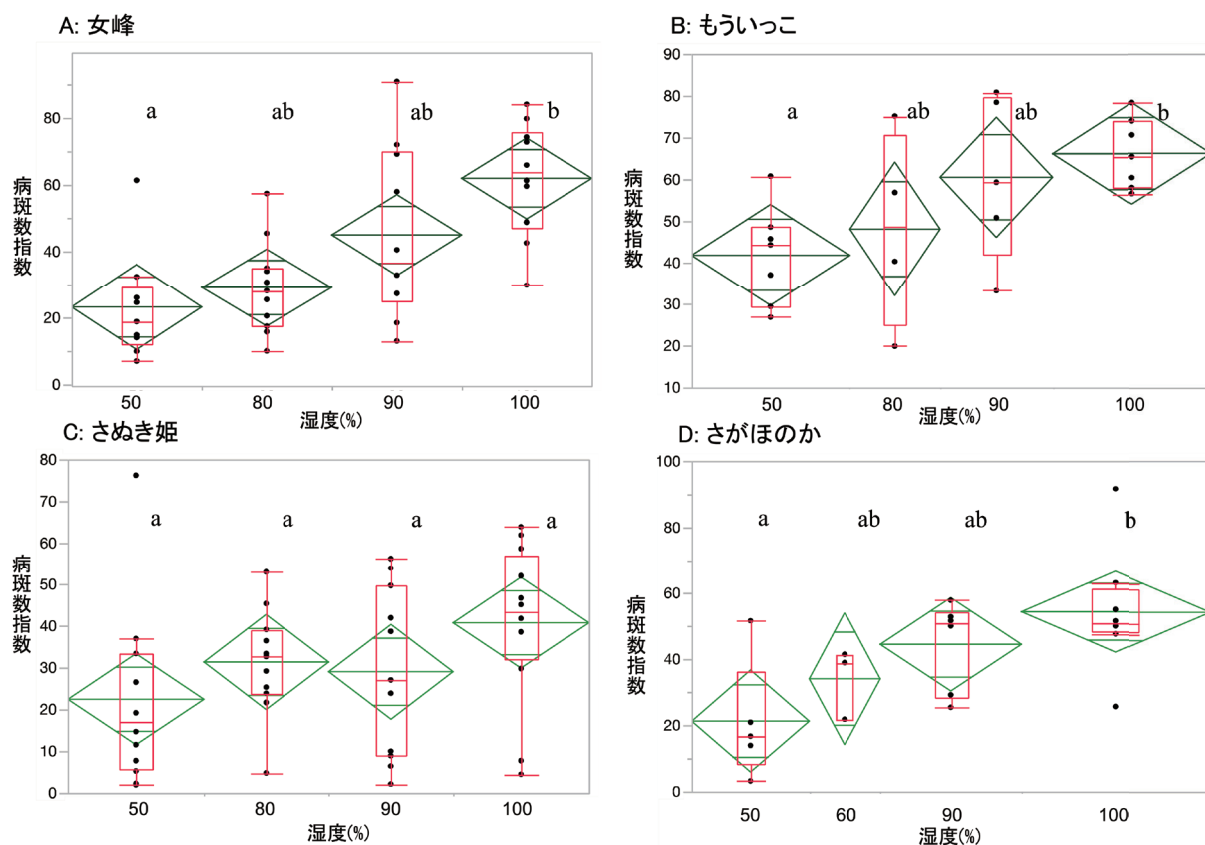


図2. イチゴうどんこ病の感染発病に対する湿度の影響

各苗に9日後までに発生した病斑数(指数)を用いて、品種ごとに全ての湿度の組み合わせについてTukey-Kramerの方法により有意差検定を行なった($p < 0.05$)。異なる文字の値間には有意差があることを示す。

試験方法

- ・接種と湿度処理：前項までと同じ方法で分生子懸濁液を噴霧した供試苗を、RH50、60、80、90及び100%とした人工気象機内(20℃)に置き、24時間保った。分生子懸濁液の孢子密度は実験によって $4.3\sim 32.6\times 10^4$ 個/mlであった。
- ・接種処理後の栽培：RH50%とした人工気象機(20℃)において底面灌水によって栽培した。
- ・供試品種と実験の繰り返し回数：‘女峰’で13回、‘もういっこ’で7回、‘さぬき姫’で11回、‘さがほのか’で8回、繰り返し実験を行なった。
- ・発病調査と病斑数の指数化：接種の翌日から、それぞれの苗の第1葉位頂小葉の両面にその日新たに発生した病斑数を調査し、9日後までの累積病斑数を求めた。各実験における最大の累積病斑数を100としてそれぞれの苗に発生した病斑数を指数化し、統計解析に用いた。

3. 葉面濡れの影響

多くのうどんこ病で自由水は分生子発芽や菌糸生育を阻害することで感染発病に阻害的される(Schnathorst, 2003)。これについてSivapalan(1993)は、うどんこ病菌の水中での分生子発芽は種によって異なり、宿主の葉面に比べて水中では発芽率が低いものと、同程度ものの二つに大別できるとした(この研究報告においてはイチゴうどんこ病菌を用いた実験結果は示されていない)。イチゴうどんこ病ではPeries(1962)が、水に約10時間浸漬した分生子の発芽率は、浸漬しなかった分生子と比べて著しく低下した(ほぼ1/8に低下)ことから、分生子は水に浸かるとその多くが致死的な影響を受けるとした。一方、山本・金磯(1983)は、スライドグラス上に分散落下させた分生子に水を噴霧してRH100%で維持したときには、噴霧しなかったときに比べて僅かに発芽率が低下したが大きな差ではなく、破裂などは見られなかったとした。本病に対する品種抵抗性の評価あるいは薬剤の防除効果の調査においては分生子懸濁液を用いた接種試験が行われている(宇都ら, 2019; Okayama *et al.*, 1995)。本研究では、葉面に分生子懸濁液を噴霧したのち24あるいは48時間、葉面が濡れた状態を保った後直ちに乾燥させ、さらに葉面を濡らさない状態で栽培を続け、9日後に発病程度を調査する方法によって、本菌の感染に対する葉面の濡れ(自由水)の影響を検討した。その結果、繰り返し行ったほとんどの実験において24時間あるいは48時間葉面を濡れた状態で維持した区と濡れ処理をしなかった区の間で顕著な発病程度の差は見られず、全ての実験において濡れ処理による感染発病の明らかな低下は見られなかった(表1)。

接種時に分生子を水に接触あるいは浸漬させても感染発病程度が低下しないという報告は多くない。Yarwood(1978)は、キュウリうどんこ病は、病原菌を接種した葉を20時間水に浸漬してときには、浸漬しなかったものに比べて発病やその後の分生子形成が早くなり、分生子形成も良好であったとした。Yamaoka(1993)は、オオムギうどんこ病菌分生子を接種したのちオオムギの葉鞘を水溶液に浸漬したところ発芽率が低下し異常な徒長発芽管の割合が増加したが、正常な吸器を形成したものは発病まで至るものが見られたとした。本研究では、病原菌の接種にあたって孢子を水に懸濁させた。前述のように、まったく水と接触させずに接種したときには孢子懸濁液を用いて接種したときに比べて潜伏期間が短くなった可能性もあったことから、短時間でも水に接触した時にはその後の感染発病が影響を受けないとも言い切れない。また本研究では、接種に用いた分生子懸濁液の密度が比較的高かった。分生子を一度も水に接触させることなく接種し、葉面に自由水のない状態での感染と比較するなどの検討が必要と思われた。

表1. イチゴうどんこ病の感染発病に対する葉面の濡れの影響

実験 No.	接種9日後までの累積 病斑数/第一頂葉			RH100%(濡れなし)区との比較 ¹⁾			
	RH100%区 (濡れなし)	濡れ24hr 区	濡れ48hr 区	濡れ24hr区		濡れ48hr区	
				Abs(Dif)－ LSD	p値	Abs(Dif)－ LSD	p値
‘もういっこ’							
1	3.3	4.2	1.7	－3.7	0.8675	－3.57	0.6793
2	7.8	10.1	14.3	－4.62	0.6560	－1.58	0.1245
3	21.0	45.1	34.9	0.765	0.0423	－9.43	0.2982
4	2.7	4.0	4.8	－3.86	0.7711	－2.38	0.4483
5	5.5	3.5	7.3	－3.27	0.5781	－3.52	0.6527
6	4.3	1.9	4.6	－2.56	0.4282	－4.56	0.9765
‘女峰’							
1	17.7	38.0	28.8	－2.68	0.0852	－16.4	0.5302
2	4.8	10.0	9.6	－0.31	0.0652	－0.68	0.0893
3	0.5	2.3	4.0	－3.21	0.6191	－0.85	0.1273
4	9.5	11.3	3.1	－9.19	0.9013	－4.57	0.3029
5	7.0	9.4	8.3	－5.68	0.7111	－6.8	0.9067

1) Dunnettの検定, Abs(Dif)-LSD(LSD閾値行列)の値が正となった時, 有意差があることを示す。

試験方法

- ・ 供試品種: 'もういっこ' 及び '女峰'.
- ・ 噴霧接種と葉面の濡れ処理: 前項までと同様の方法で分生子懸濁液を供試苗に噴霧したのち、接種用恒温恒湿機(コイトロン TH-16DCS)に入れ、24hr あるいは48hrの濡れ処理(20℃)を行なった。分生子懸濁液の孢子密度は実験によって $9.4 \sim 15.3 \times 10^4$ 個/mlとした。
- ・ 濡れ処理後の栽培と発病調査: 濡れ処理後の苗はRH50%とした人工気象機(20℃)において底面灌水によって栽培を続けた。翌日から、それぞれの苗の第1葉位頂小葉の両面にその日新たに発生した病斑数を調査し、9日後までの累積病斑数を求めた。
- ・ 統計処理: 実験は'もういっこ'で6回、'女峰'で5回繰り返し行なった。RH100%(葉面濡れなし)区と葉面24時間及び48時間濡れ処理区の間多重比較検定を Dunnettの方法によって行った。

4. おわりに

イチゴうどんこ病の発生生態についてはこれまでに数多くの研究がなされてきた。ここでは発病予測技術の開発に重要と考えられる潜伏期間と感染発病に対する気象要因の影響について改めて調査した。本研究における調査によると、ある日に付着した分生子によって発病するまでの期間(潜伏期間)は最短で5日で、その後少なくともいた。その間、発病が多かったのは、品種によって6-8日後あるいは5-7日後の3日間であった。病気によっては、病原菌を接種してから一定期間後に一斉に病斑が現れる(ネギさび病など)。イチゴうどんこ病はこれとは異なり、最初に発病する日(最短の潜伏期間)の病斑形成は必ずしも多くなく、その後およそ3日にわたって多くの病斑が形成されることが明らかとなった。

イチゴうどんこ病では多湿なほど感染発病が多いことが知られている。本研究においてもこれと同様の結果が得られた。また本研究においては、48時間までの葉面の濡れが感染を強く抑制あるいは阻害することはなかった。ただし本実験では濡れ処理をしなかった区(対照区)においても分生子懸濁液を用いて噴霧接種しており、全く水に接触することなく葉面に付着したものとの比較は行っていない。葉面の濡れの影響については、一度も水と接触していない胞子を用いた接種によって、その後の葉面の濡れの影響を検討することも必要と考えられた。

摘 要

発病予測技術の開発に資することを主な目的として、イチゴうどんこ病の潜伏期間及び感染に対する湿度と葉面の濡れの影響を検討した。同病原菌の分生子懸濁液を供試苗の茎葉に噴霧したのちRH100%で24時間保ち、さらに底面灌水により栽培を続け(RH50%)、第1葉位の頂小葉に新たに発生する病斑数を日毎に調査した。その結果、最短の潜伏期間は多くの場合5日であったが、多くの病斑が形成されたのは品種‘女峰’、‘もういっこ’、‘さがほのか’では6~8日後、‘さめき姫’では6、7日後で5日後にも比較的多かった。分生子懸濁液を噴霧接種後24時間の湿度の影響を調査したところ、供試した4品種のいずれにおいてもRH50%より100%で感染発病が多く、またこの間で湿度が高いほど多い傾向が見られた。分生子懸濁液を葉面に噴霧した後24あるいは48時間の濡れ処理を行なった区と濡れ処理を行わなかった区で発病程度を比較したところ、濡れ処理による感染発病の明らかな低下は見られなかった。分生子懸濁液を用いて接種した本実験において、葉面の自由水が感染に抑制的あるいは阻害的に顕著に作用するとの結果は得られなかった。

謝 辞

本研究を進めるにあたって西村文宏氏(香川県農業試験場)、清水佐知子氏(広島県立総合技術研究所農業技術センター)に実験材料を提供していただくとともに発生生態についてご教示をいただきました。また秋田県立大学 藤 晋一教授には実験を進める上で種々の便宜を図っていただくとともに貴重なアドバイスをいただきました。記して謝意を表します。

引用文献

- Amsalem, L., Freeman, S., Rav-David, D., Nitzani, Y., Sztajnberg, A., Pertot, I., and Elad, Y. (2006). Effect of climatic factors on powdery mildew caused by *Sphaerotheca macularis* f. sp. *fragariae* on strawberry. Eur. J. Plant Pathol. 114: 283-292.
- 青野信男 (1972). ハウス栽培イチゴのうどんこ病の生態に関する研究(第2報). 神奈川園研報 20: 83-87.
- Asalf, B., Gadoury, D. M., Tronsmo, A. M., Seem, R. C., Dobson, A., Peres, N. A., and Stensvand, A. (2016). Ontogenic resistance of leaves and fruit, and how leaf folding influences the distribution of powdery mildew on strawberry plants colonized by *Podosphaera aphanis*. Phytopathology 104: 954-963.

- 浅野俊介・国本佳範 (2014). 特集 施設野菜における主要病害虫の発生と防除. 植物防疫 68: 621-624.
- Carisse, O., and Bouchard, J. (2016). Age-related susceptibility of strawberry leaves and berries to infection by *Podosphaera aphanis*. Crop Prot. 29: 969-978.
- Glawe, D. A. (2008). The powdery mildew: A review of the world's most familiar (yet poorly known) plant pathogens. Annu. Rev. Phytopathol. 46: 27-51.
- Hau, B., and de Vallavieille-Pope, C. (1998). Wind-dispersed diseases. In 'The epidemiology of plant diseases.' Johnes, D. G. (ed.), pp. 323-347, Kluwer Academic Publishers, Boston.
- Jhooty, J. S., and McKeen, W. E. (1965). Studies on powdery mildew of strawberry caused by *Sphaerotheca macularis*. Phytopathology 55: 281-285.
- 神頭武嗣 (2002). イチゴうどんこ病の発生生態と防除法. 植物防疫 56: 247-250.
- 奈良知春・戸田 武・古屋廣光 (2023). *Podosphaera aphanis* var. *aphanis* によるイチゴうどんこ病の潜伏期間並びに感染発病に対する湿度・葉面濡れの影響 北日本病虫研報 74:40-45.
- Okayama, K., Nakano, T., Matsutani, S., and Sugimura, T. (1995). A simple and reliable method for evaluating the effectiveness of fungicides for control of powdery mildew (*Sphaerotheca macularis*) on strawberry. Ann. Phytopathol. Soc. Jpn. 61: 536-540.
- Peries, O. S. (1962). Studies on strawberry mildew, caused by *Sphaerotheca macularis* (Wallr. Ex Fries) Jaczewski, I. Biology of the fungus. Ann. Appl. Biol. 50: 211-224.
- Schnathorst, W. C. (2003). Environmental relationships in the powdery mildews. Annu. Rev. Phytopathol. 3: 343-366.
- 宇都俊介・益田良輔・佐伯由美・奥 幸一郎・末吉孝行 (2019). 噴霧接種によるイチゴうどんこ病の抵抗性評価条件. 福岡農林総試研報 5: 21-26.
- 山本 勉・金儀泰雄 (1983). イチゴうどんこ病の発生生態と防除に関する研究. 徳島農試特報 6号, pp. 1-69.
- Yamaoka, N. (1993) Morphogenesis of the powdery mildew fungus in water. (1) The effect of liquid on infection process of *Erysiphe graminis*. Ann. Phytopath. Soc. Japan 59: 487-491.
- Yarwood, C. E. (1978). Water stimulates *Sphaerotheca*. Mycologia 70: 1035-1039.
- 米山伸吾 (1980). 施設栽培における野菜栽培の病害発生と防除の問題点. 茨城病虫研報 19: 29-35.

VI. イチゴ炭疽病の感染発病に対する温度および葉面濡れ時間の影響

▶戸田 武
(秋田県立大学)

はじめに

イチゴ炭疽病は我が国で多くの品種で被害が拡大しており、イチゴの最重要病害とされている(石川, 2005; 平山ら, 2019). 本病の病原である*Colletotrichum*属菌の分類・同定あるいは伝染源や伝染方法, 発病までの期間などの病害の発生生態について多くの報告がある. 本病における「感染に対する濡れ時間・温度との影響」などは詳しく調べられていない. 本研究では、イチゴ炭疽病の発病予測技術の開発に資することを目的として、本病原菌の一種である*Colletotrichum fructicola*を用いて濡れ時間と温度が葉における感染発病に与える影響を調査した.

1. 病原菌および病気の発生生態

- 1) 病原菌：主に *Colletotrichum gloeosporioides* および *Colletotrichum acutatum* の2種類の種複合体があり、それぞれ30以上の種が報告されている(Han *et al.*, 2016). 国内では*C. gloeosporioides* 種群によるイチゴ炭疽病の発生の報告数が多い(秋田, 1992; 角野, 2009; Suzuki *et al.*, 2010; 奈尾, 2015; 平山ら, 2019). 同種群のうち*C. aenigma*, *C. siamense*, および*C. fructicola*が発病したイチゴの葉から分離され、最も高い頻度で分離される種は、*C. fructicola*とされている(Gan *et al.*, 2017).
- 2) 症状：*C. gloeosporioides* および *C. acutatum* とともに葉および葉柄では小黑斑が発生し、症状が進行すると葉と葉鞘ともに枯死して新しい葉の形成に影響を及ぼす(稲田, 2012; 石川ら, 1992; 他多数). 萼や花びらに発病すると小黑斑を生じて花全体が枯れ、果実に発病すると黒褐色の不整形病斑を伴って果実全体が腐敗する(稲田・山口, 2006). クラウンに潜伏している菌体が増殖するため、苗であれば全体が枯死する. クラウンが炭疽病菌に潜伏感染している無病徴の苗を定植後、本圃で被害が拡大する例もある.
- 3) 発生生態および疫学的知見：イチゴ炭疽病の病原菌における分生子の噴霧による発病評価(石川ら, 1992; 石川, 2005; 片山ら, 2008; 岡山, 1994). 孢子発芽の最適温度(Wang *et al.* 2015), 分生子が発芽してから付着器を形成するまでの時間(Zhang *et al.* 2018)などの報告があり、分生子は本病の感染発病に重要な要因の一つと考えられている. 子のう胞子も伝搬に関わるとされているが、確認される頻度は分生子が多いとされる(稲田, 2012). 葉面、葉柄、花、果実の発病における潜伏場所は全てクラウンであり、分生子または子のう胞子が伝染源となって、雨滴による跳ね上がりで伝搬する(稲田, 2012). さらに、接種後に25℃の湿室で葉の濡れ時間が24時間以上になると発病が激しくなる(石川, 2005)ことも報告されている. これらのことから、分生子が葉に到達してから発病するまでの気温と葉面の濡れ時間との関係を、報告の多い*C. gloeosporioides*を使用して調べることによって、本病を発病予測および防除するために重要な手がかりと考えられる.

2. 感染発病に対する気温・湿度の影響と潜伏期間

1) 実験方法

接種源の炭疽病菌は*C. gloeosporioides* 種群の一種である*C. fructicola*を使用した。接種試験のために菌株をジャガイモ煎汁グルコース寒天(PDA)培地に25℃で5-7日間培養して分生子を形成させ、滅菌水を培地に加えて攪拌、濾過後に分生子を 5.0×10^5 個/mlの調整した懸濁液30mlを準備した。イチゴは感受性品種である「さがほのか」とし、葉齢が約4-6週間まで生育した苗を接種試験に使用した。接種時にイチゴ苗をターンテーブルに置き、分生子懸濁液30mlを準備したエアブラシを苗から70 cm離して噴霧した(図1-a)。接種後のイチゴ苗は湿度100%に設定した高湿度恒温グロースキャビネットおよび人工気象器に静置して、イチゴの葉面を結露させた(図1-b, c)。試験区は葉が濡れる時の温度を15, 20, 25, 30および35℃、濡れ時間を0, 6, 12, 24, 32, 48および56時間に設定した。

発病を確認した日から1日ごとに各ポットで第1葉と第2葉の複葉2枚の病斑を計数し、1複葉あたりの平均値を算出した。各試験において最多の病斑数を100として指数を求め、3回行った実験の値について平均値と標準誤差を求めた。

2) 結果

炭疽病の症状である「ほくろ状の黒色斑点」は、15, 20, 25, 30および35℃のどの温度でも発生した。接種2日後からイチゴの葉に黒色斑点が形成された(図2)。斑点数は6日後まで増加し、7日後以降は増加がごく僅かであった。

葉の濡れ時間が6時間ではどの気温の試験区でも発病は見られなかった。また、予備試験であるが葉の濡れ時間を7, 8, 9時間としても発病は見られなかった。気温20, 25, 30℃の試験区では濡れ時間が10時間以上で発病が見られ、15℃および35℃の試験区も12時間以上で発病したが、どの濡れ時間の試験区も斑点数は少なかった。20, 25, 30℃の試験区は12時間以上で病斑数が多く、20℃では48時間後以降の葉の濡れ時間が最も病斑数が多くなり、25℃では32~48時間、30℃では48時間であった(図3)。なお予備試験において10℃および37℃で濡れ時間の影響を調査した試験区では、48時間以上の葉の濡れ処理を行なっても感染発病は見られなかった。

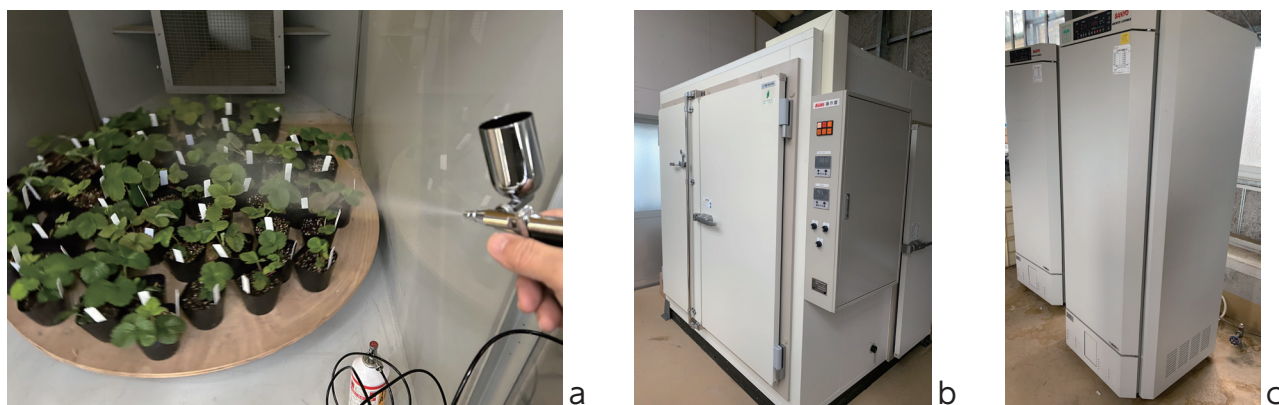


図1. イチゴ苗に分生子懸濁液を噴霧接種した時の様子(a)、噴霧接種後にイチゴ苗葉面に結露を生じさせるために使用した高湿度恒温グロースキャビネット(b)および人工気象器(c)



図2. 分生子の噴霧接種によりイチゴの葉に発生した炭疽病の小黑斑

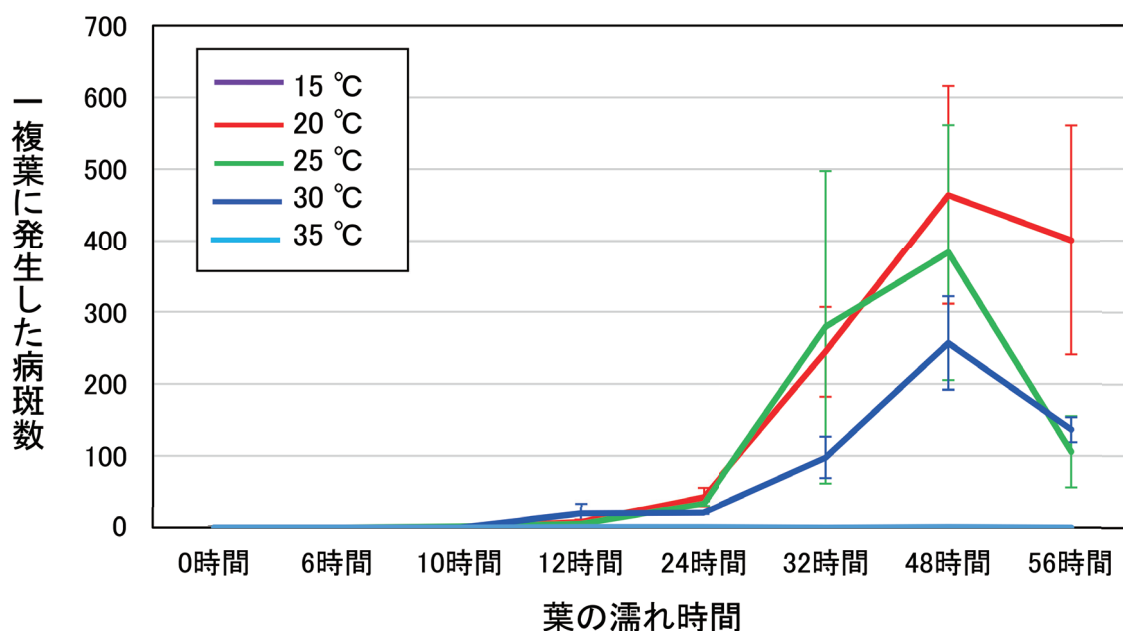


図3. イチゴ炭疽病の感染発病に対する葉面濡れ時間と気温の影響
(噴霧接種から6日後に一複葉あたりに発生した斑点数を調査した.)

3) 考察

以上の接種実験の結果から、本種によるイチゴ炭疽病の潜伏期間は2-6日と考えられた。気温の影響については、接種試験ごとに試験区でばらつきが見られたが、どの試験においても気温20-30℃では発病が激しかったことから、20-30℃が発病に好適であると考えられた。さらに、葉の濡れ時間については、20, 25, 30℃では最短で10時間で感染し、その後20℃では48時間まで、25℃では32-48時間、30℃では48時間までは感染が進むと考えられた。

噴霧試験に使用したイチゴ炭疽病菌 *C. fructicola* は *C. gloeosporioides* 種群であり、*C. acutatum* 種群の炭疽病菌は使用していない。両種群は菌糸の性質や接種後に発生する病斑が類似している(秋田, 1992; Han *et al.*, 2016)。種群の違いから、*C. acutatum* 種群による感染において、葉の濡れ時間と気温が本研究で得られた結果と同様の影響を与えるかについては、今後、改めて検討が必要と考えられる。

以上のことから、本種による炭疽病においては、潜伏期間は2-6日であり、気温20-30℃において降雨や結露によって葉面が24時間以上継続して濡れているような状況で感染発病が著しく進むものと考えられた。

摘 要

イチゴ炭疽病は我が国におけるイチゴの最重要病害とされている。防除の予測のためには、「葉の発病と葉の濡れ時間・温度との関係」などの発病に適した条件を明らかにする必要がある。本研究では、病原菌の一種である *Colletotrichum fructicola* を噴霧試験に使用して葉の発病と葉の濡れ時間・温度との関係を検証した。接種源として *C. fructicola* 分生子懸濁液 (濃度 5.0×10^5 個/ml) 30ml を準備し、葉齢が約4-6週間のイチゴ苗 [品種: さがほのか] に噴霧接種した。接種後のイチゴの葉面を結露させるために、温室に15, 20, 25, 30および35℃を準備し、それぞれの気温に0, 6, 12, 24, 32, 48および56時間葉面を濡れさせる試験区を設定した。接種後から1日ごとに葉の病班を計数したところ、発病が接種2日後から見られ、6日後まで増加したことから、潜伏期間は接種後から2-6日後と考えられた。気温20-30℃では病斑数が多く、さらに、20℃では48時間、25℃では32~48時間、30℃では48時間以上で病斑数が最も多い結果となった。これらの結果から、イチゴの栽培において気温20-30℃の範囲で葉面が24時間以上濡れるまたは結露することがあれば、炭疽病の発生に注意を払う必要があると考えられる。

引用文献

- 秋田 滋 (1992). 静岡県 of イチゴから分離された炭そ病菌の性質. 関東東山病害虫研究会報 39: 135-136.
- 平山 喜彦・杉村 輝彦・浅野 峻介 (2019). 植物防疫講座 病害編-16 炭疽病菌による病害の発生生態と防除. 植物防疫 73: 243-248.
- 角野 晶大・新村 昭憲・成松 靖・松井 梨絵・西村 俊一 (2009). 北海道における *Glomerella cingulata* (*Colletotrichum gloeosporioides*) によるイチゴ炭疽病の発生
- 奈尾 雅浩 (2015). イチゴ小葉における炭疽病による赤色小斑の発生. 愛媛県農林水産研究報告 7: 8-15.
- 石川 成寿 (2005). イチゴ炭疽病の病原菌, 生態ならびに環境に配慮した防除技術の開発. 栃木農試研報 54: 1-187.
- 石川 成寿・中山 喜一・常見 譲史・中澤 靖彦 (1992). 栃木県で発生した *Colletotrichum acutatum* Simonds によるイチゴ炭そ病. 関東東山病害虫研究会報 39: 129-133.
- 片山 貴雄・末信 真二・三井 寿一・浜地 勇次 (2008). 噴霧接種法を用いたイチゴ炭疽病抵抗性の評価方法. 福岡県農業総合試験場研究報告 27: 39-43.
- 稲田 稔・山口純一郎 (2006). 促成栽培イチゴにおけるイチゴ炭疽病菌 *Colletotrichum acutatum* および *Colletotrichum gloeosporioides* による果実腐敗の発生. 九州病害虫研究会報 52: 11-17.
- 稲田 稔 (2012). 潜在感染株からの降雨および灌水によるイチゴ炭疽病菌 (*Glomerella cingulata*) の飛散. 植物防疫 66: 388-392.
- Gan, P., Nakata, N., Suzuki, T., and Shirasu, K. (2017). Markers to differentiate species of anthracnose fungi identify *Colletotrichum fructicola* as the predominant virulent species in strawberry plants in Chiba Prefecture of Japan. Journal of General Plant Pathology 83: 14-22.
- Han, Y.C., Zeng, X.G., Xiang, F.Y., Ren, L., Chen, F.Y., and Gu, Y.C. (2016). Distribution and characteristics of *Colletotrichum* spp. associated with anthracnose of strawberry in Hubei, China. Plant Disease 100: 996-1006.
- 岡山 建夫 (1994). イチゴ炭そ病菌 *Glomerella cingulata* (= *Colletotrichum gloeosporioides*) 分生子の飛散および障壁による防除効果. 日本植物病理学会報 60: 113-118.
- Suzuki, T., Tanaka-Miwa, C., Ebihara, Y., Ito, Y., and Uematsu, S. (2010). Genetic polymorphism and virulence of *Colletotrichum gloeosporioides* isolated from strawberry (*Fragaria x ananassa* Duchesne). Journal of General Plant Pathology 76: 247-253.
- Zhang, L., Huang, X., He, C. Zhang, Q.Y., Zou, X., Duan, K., and Gao, Q. (2018). Novel fungal pathogenicity and leaf defense strategies are revealed by simultaneous transcriptome analysis of *Colletotrichum fructicola* and strawberry infected by this fungus. Frontiers in Plant Science 9: 434.

あとがきにかえて

本書では開発されて間もない施設園芸のAI発病予測システム「プランテクト[®]」を利用した病害防除技術の開発に関する試験・研究成果の概要を紹介しました。前述のように、本研究で使用した発病予測ソフトウェアは、新しいデータを学習して、年々、予測性能を向上させ、それぞれの栽培により対応した予測をするようになることが期待されます。このシステム(第1編)を有効に使うためには、発出されるリスクに対応して適切な防除(農薬散布など)を行うことが重要です。本研究プロジェクトではその技術開発に関する試験をできるだけ多く実施し、その結果を本書の第2編に掲載しました。発病予測の利用法はこれにとどまりません。病気の発生生態を踏まえてさまざまな視点から病害管理が可能です。本プロジェクトで得られた発生生態に関する知見(第3編)は、その際に有用なヒントや手がかりを与えるものと考えています。ここで紹介したAI発病予測システムは、慣行防除やその背景にある考え方・経験を踏まえてあるいは参考にすることでより効果的に利用できます。本研究プロジェクトの成果が、このシステムを利用した合理的な病害防除、ひいては総合防除(IPM)の一層の充実に貢献できれば幸甚です。

執筆分担

第1編

「施設園芸における主要病害発病予測システム:プランテクト[®]」

佐々貴洋・伊藤 聖
バイエルクロップサイエンス社

第2編

「AI発病予測システムを利用した施設栽培における空気伝染性病害管理の事例」

	[実施機関]	執筆者
・トマトうどんこ病	[岩手県農業研究センター]	岩舘康哉
・トマトすすかび病	[広島県立総合技術研究所農業技術センター]	清水佐知子
・キュウリ褐斑病	[福岡県農林業総合試験場]	鍋谷 霞
・キュウリべと病	[宮崎県総合農業試験場]	櫛間義幸
・イチゴうどんこ病	[香川県農業試験場]	西村文宏
	[福岡県農林業総合試験場]	菊原賢次
	[岡山県農林水産総合センター 生物科学研究所]	鳴坂義弘・鳴坂真理

第3編

「施設園芸で多発する空気伝染性病害の発生生態」

	執筆者
I. トマトうどんこ病の発生に対する環境要因の影響	岩舘康哉
III. キュウリ褐斑病の発生に対する気象要因の影響	宇佐見俊行・園家 結・ 荒木七海・尾崎梨花
IV. キュウリべと病の発生に対する気象要因の影響	宇佐見俊行・長濱野乃佳・ 佐々木悠人・宮島麻岐・ 滝沢友莉子
V. イチゴうどんこ病の潜伏期間及び感染発病に対する湿度と葉面濡れの影響	古屋廣光
VI. イチゴ炭疽病の感染発病に対する温度および葉面濡れ時間の影響	戸田 武

施設園芸における空気伝染性病害の発生予測と病害管理

2023年(令和5年)3月20日 初版発行(WEB版)

2024年(令和6年)3月31日 追補

編集発行 AI病害発生予測コンソーシアム

代表機関 公立大学法人 秋田県立大学

研究統括者 古屋廣光

問い合わせ先 〒010-0195

秋田県秋田市下新城中野字街道端西241-438

秋田県立大学

TEL:018-872-1500

email:stic@akita-pu.ac.jp

-
- ・ AI病害発生予測コンソーシアムは、本書に記された技術・情報を利用したときの結果について一切の責任を負いかねますので、あらかじめご了承ください。
 - ・ 本書の内容を許可なく転載する事を禁じます。