
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。

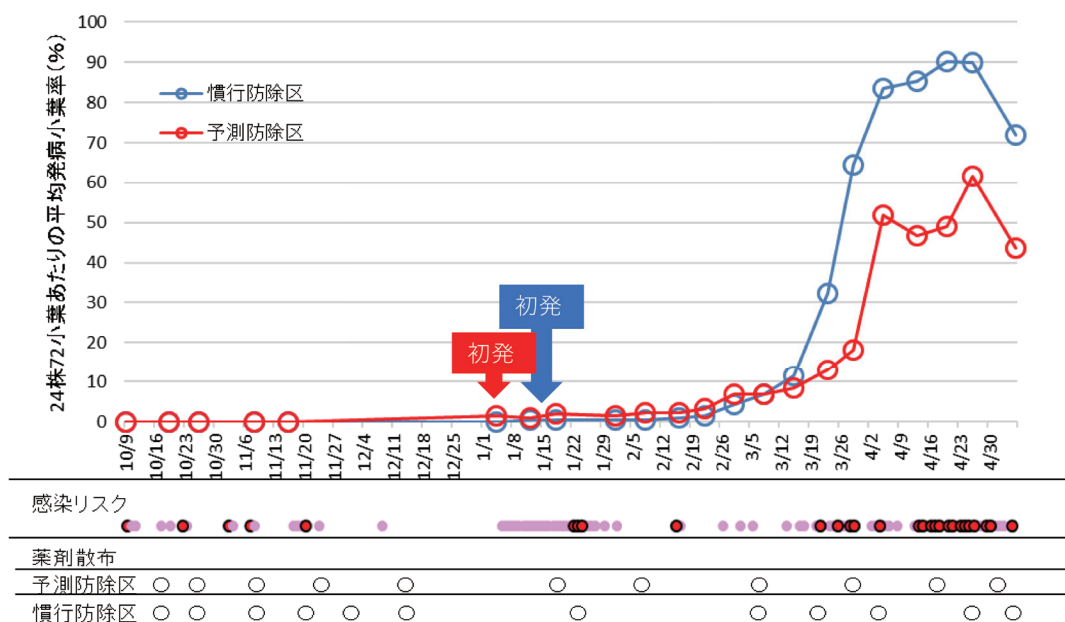


図2. 予測防除区と慣行防除区におけるイチゴうどんこ病の発生推移（2020年作）

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。

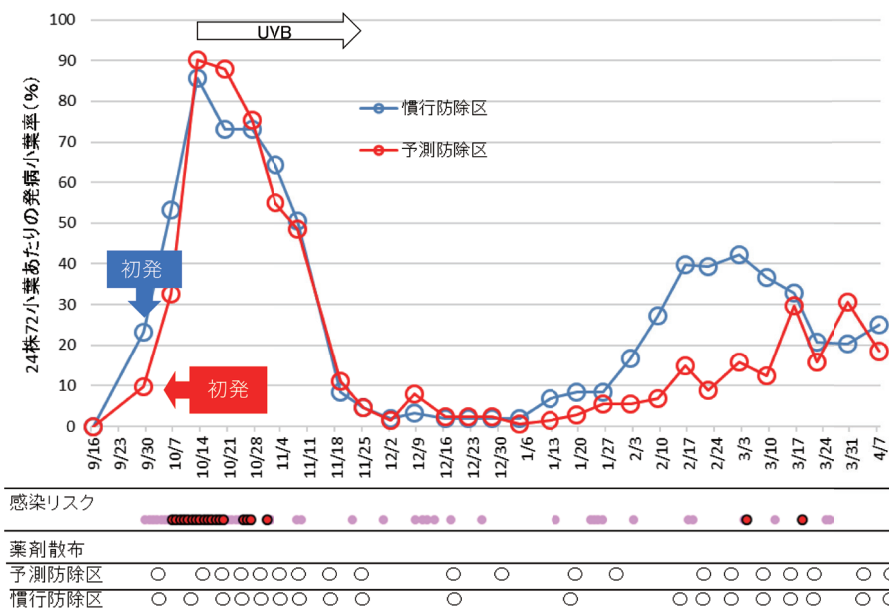


図3. 予測防除区と慣行防除区におけるイチゴうどんこ病の発生推移(2021年作)

(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。

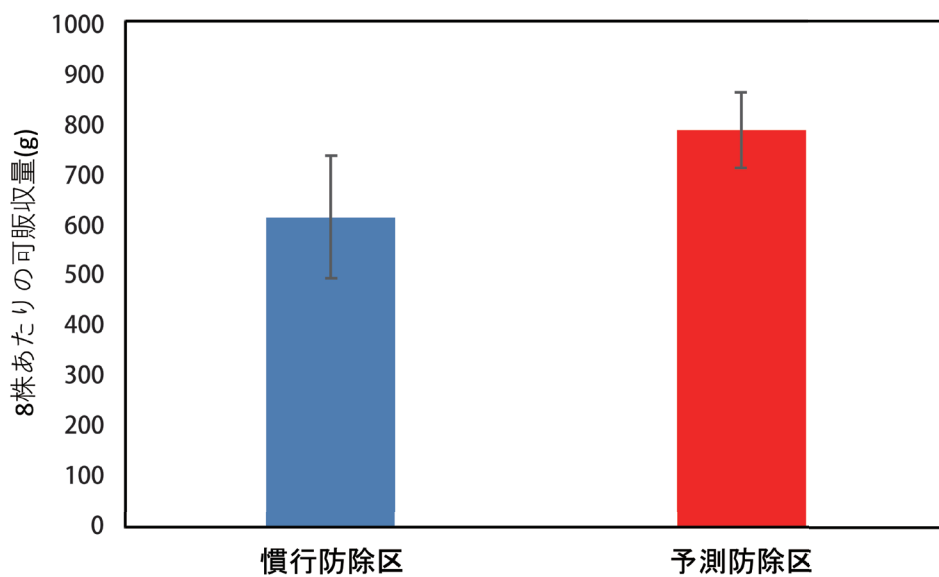


図4. 予測防除区と慣行防除区におけるイチゴ可販果実の収量

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。

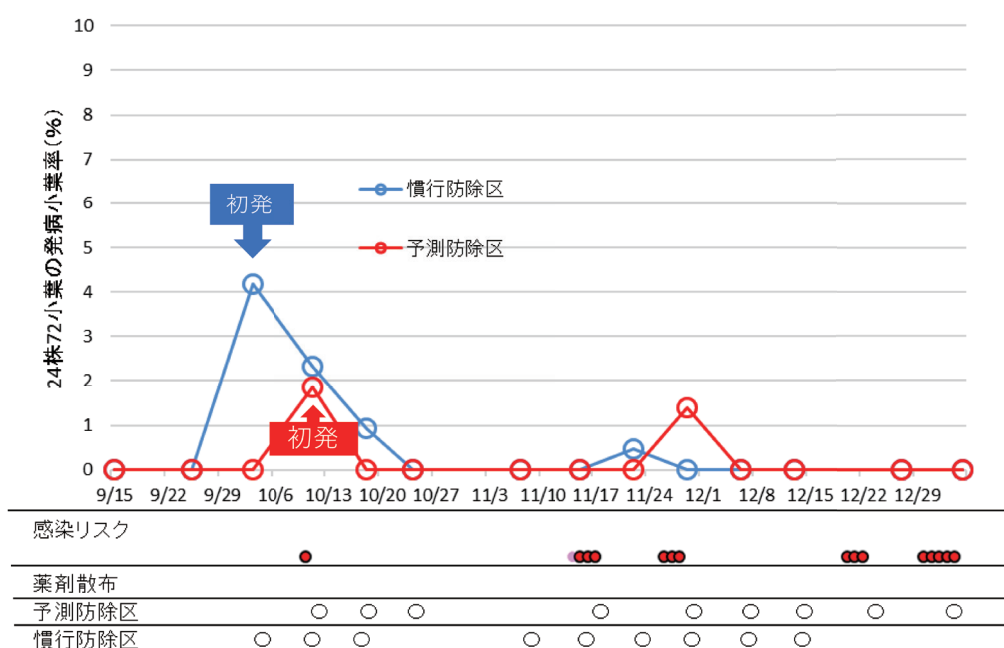


図5. 予測防除区と慣行防除区におけるイチゴうどんこ病の発生推移(2022年作)

(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。

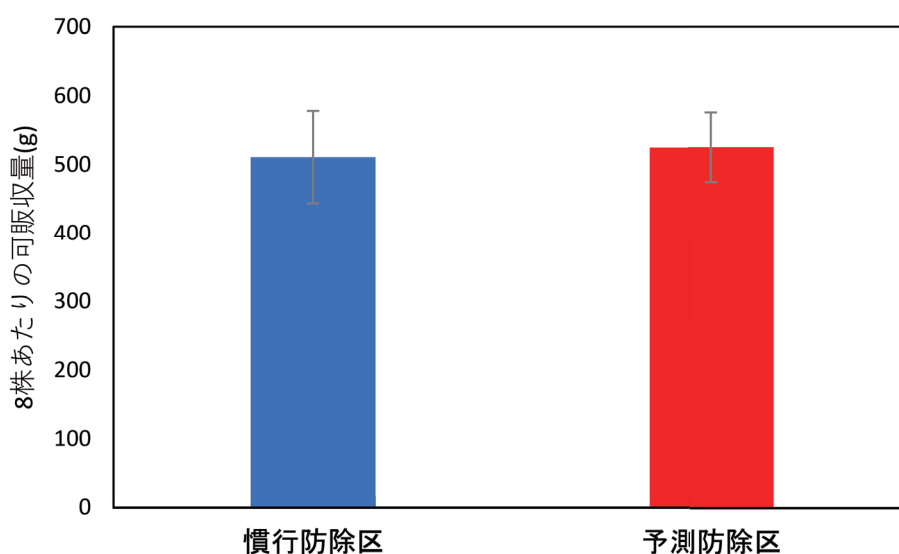


図6. 予測防除区と慣行防除区におけるイチゴ可販果実の収量

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)

- ・ 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

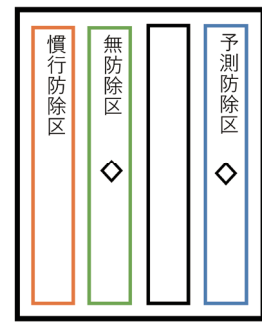


図3. 試験区の配置図

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。

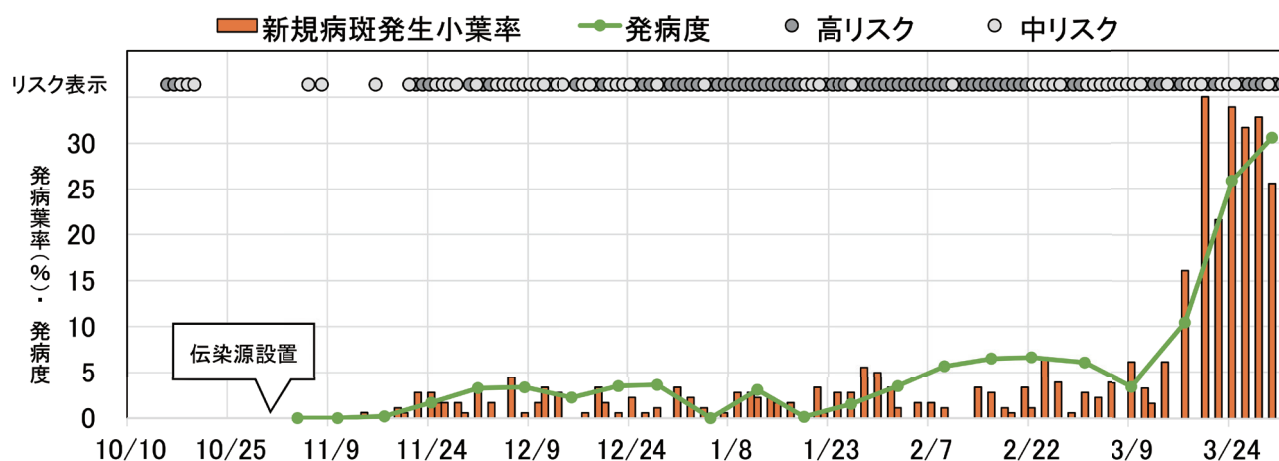


図4. 無防除区におけるイチゴうどんこ病の発生状況とプランテクト®によるリスク表示

(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。

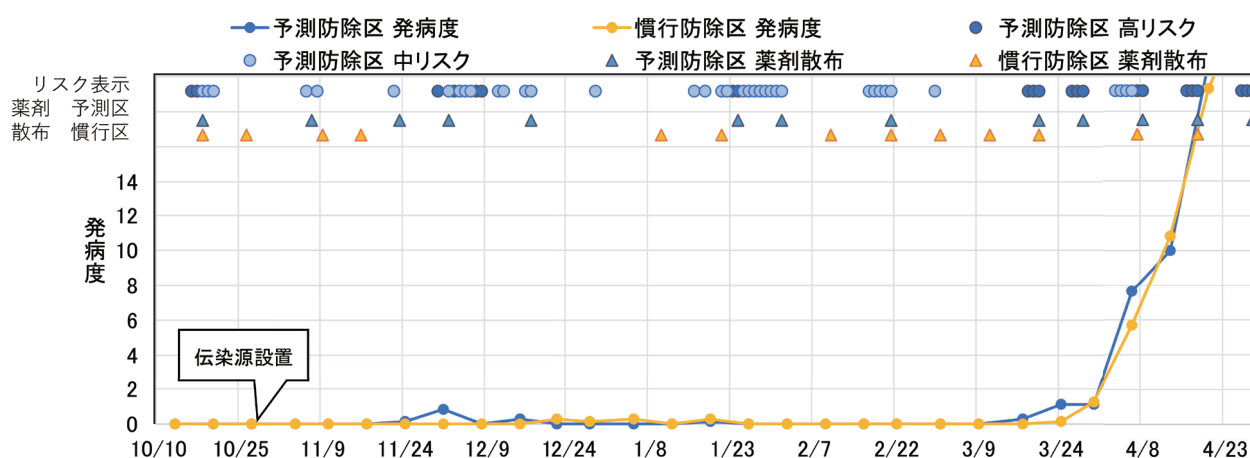


図5. 予測防除区と慣行防除区におけるイチゴうどんこ病発生推移

(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。

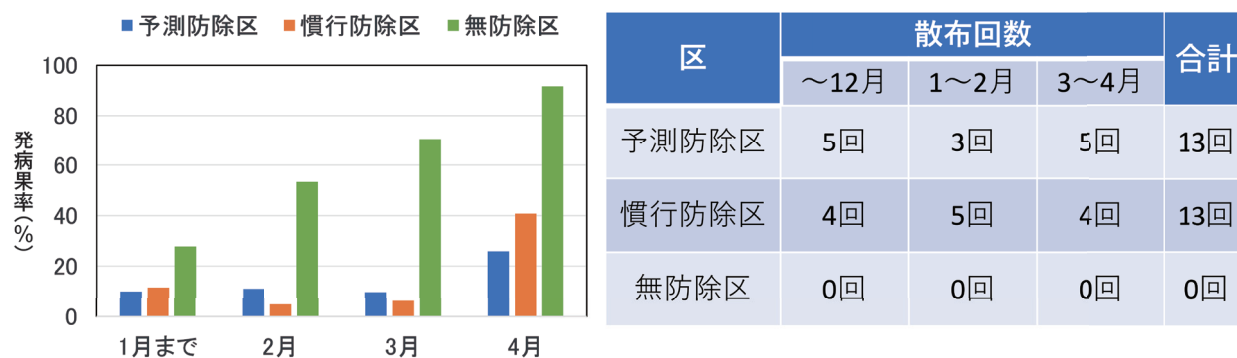


図6. 予測防除区と慣行防除区における収獲果実の被害(左図)および薬剤散布回数(右図)(2021年度試験)

(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。

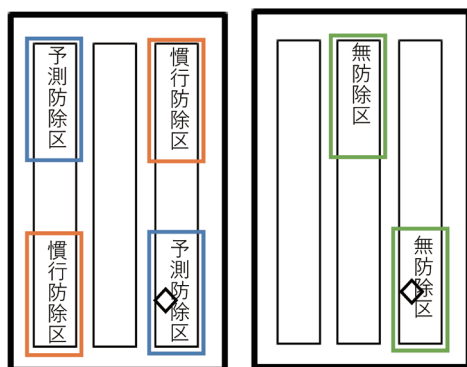


図7. 試験区の配置図

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。

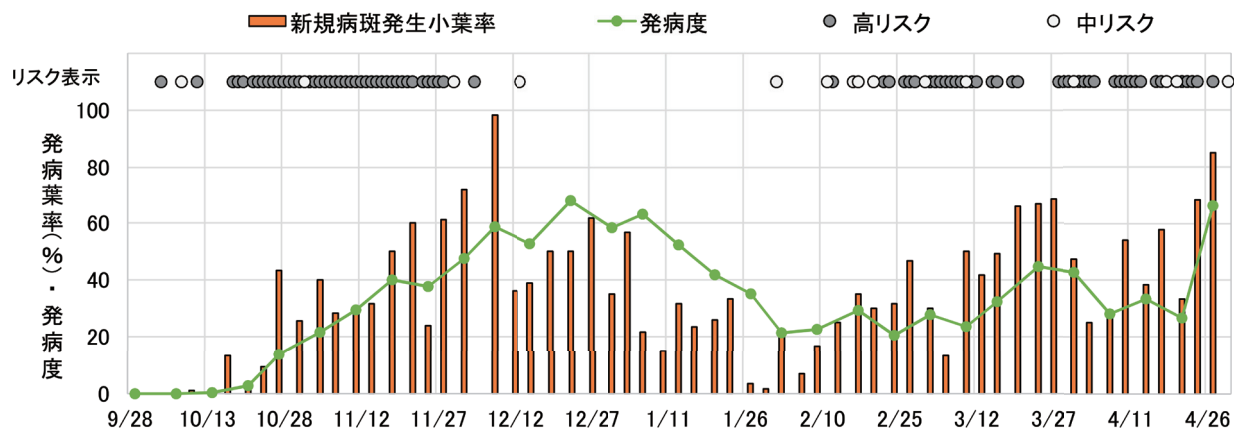


図8. 無防除区におけるイチゴうどんこ病の感染リスク発出と病害発生推移

(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。

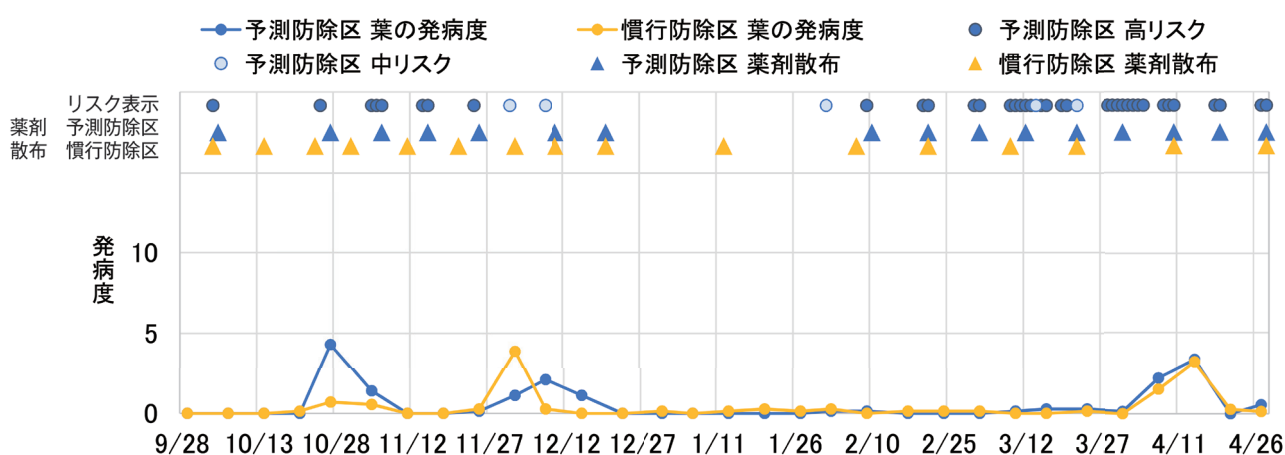
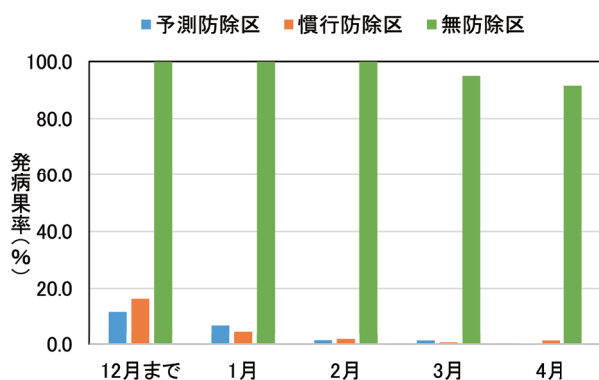


図9. 予測防除区と慣行防除区のイチゴうどんこ病発生推移

(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

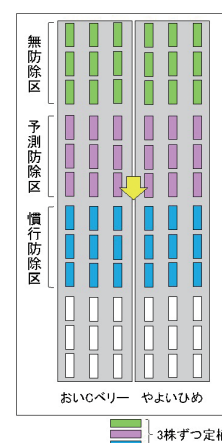
- 試験場所：岡山県加賀郡吉備中央町(標高380m)
- 栽培の概要：供試品種「おいこベリー」および「やよいひめ」、高設栽培、各試験区とも同一ハウスにおいて各品種を27株栽培した(図2)。
- 栽培期間：2021年7月8日～ 2022年5月9日
- 試験区
 1. 予測防除区：高リスクは1回、中リスクが7日以内に3回のリスク表示された日に、うどんこ病に農薬登録のある調合油乳剤を散布した。ただし前回の薬剤散布から7日後までは散布をしなかった。散布後7日間のリスク表示はないものとして扱った。
 2. 慣行防除区：定植から 2週間間隔で調合油乳剤を散布した。
 3. 無防除区：うどんこ病対象外の薬剤(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)。

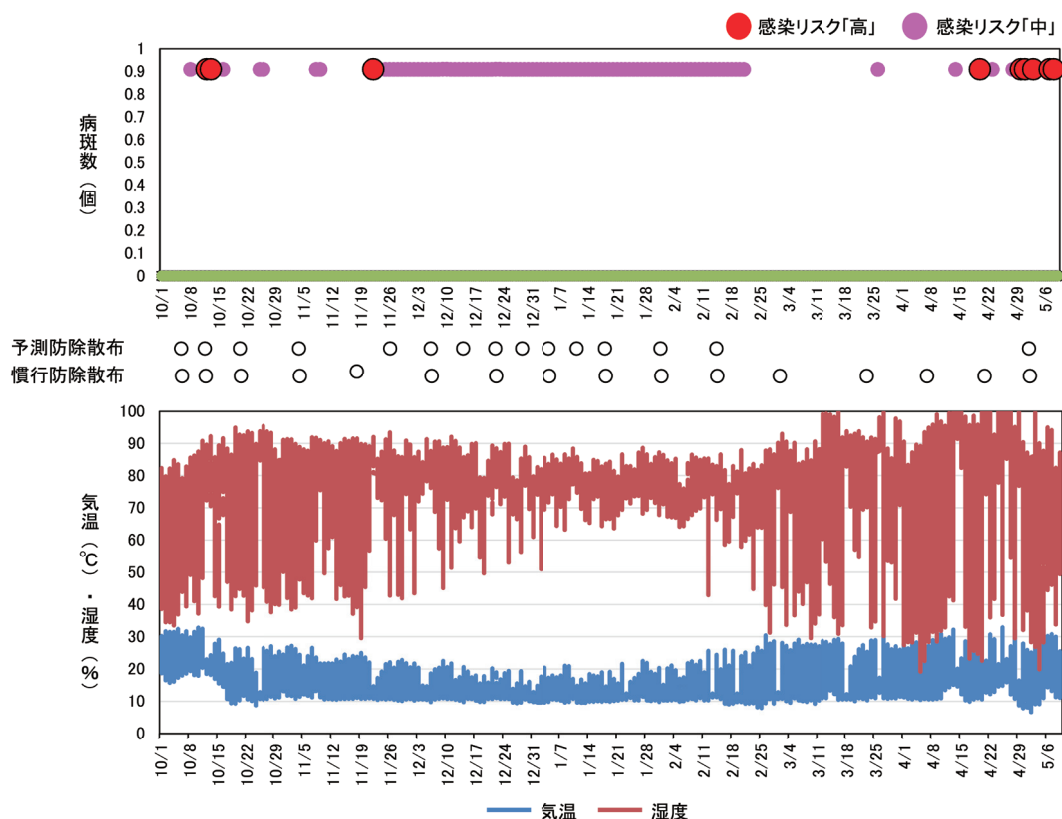


図3. イチゴうどんこ病の発生と感染リスクの推移(上図)
および、その間の気温と湿度の状況(下図)

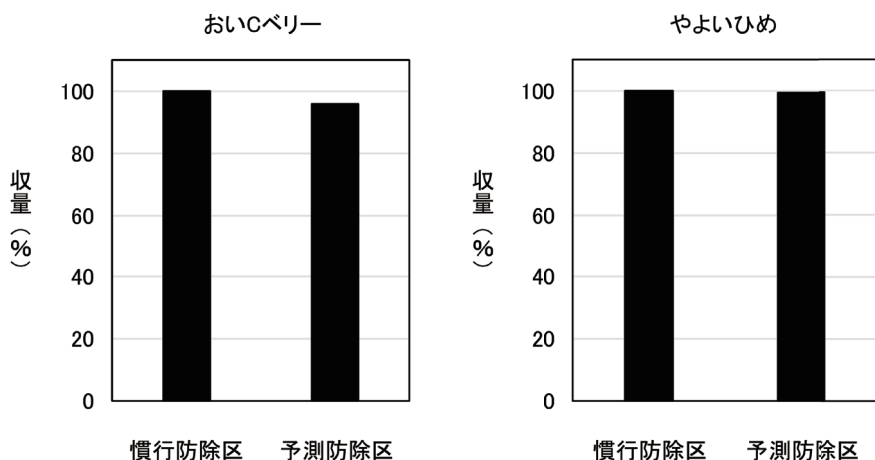


図4. 各試験区におけるイチゴの収量
(慣行防除区の収量を100としたときの予測防除区の収量を示した。)

(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。

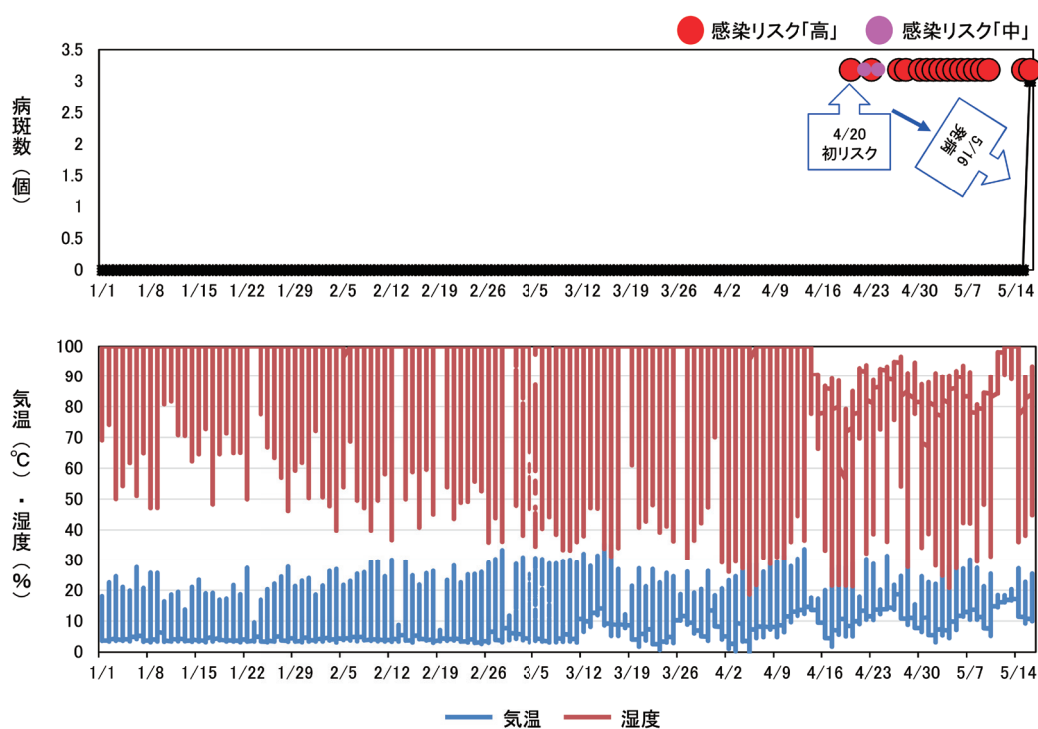


図6. イチゴうどんこ病の発生と感染リスクの推移(上図)および、その間の気温と湿度の状況(下図)

(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)。

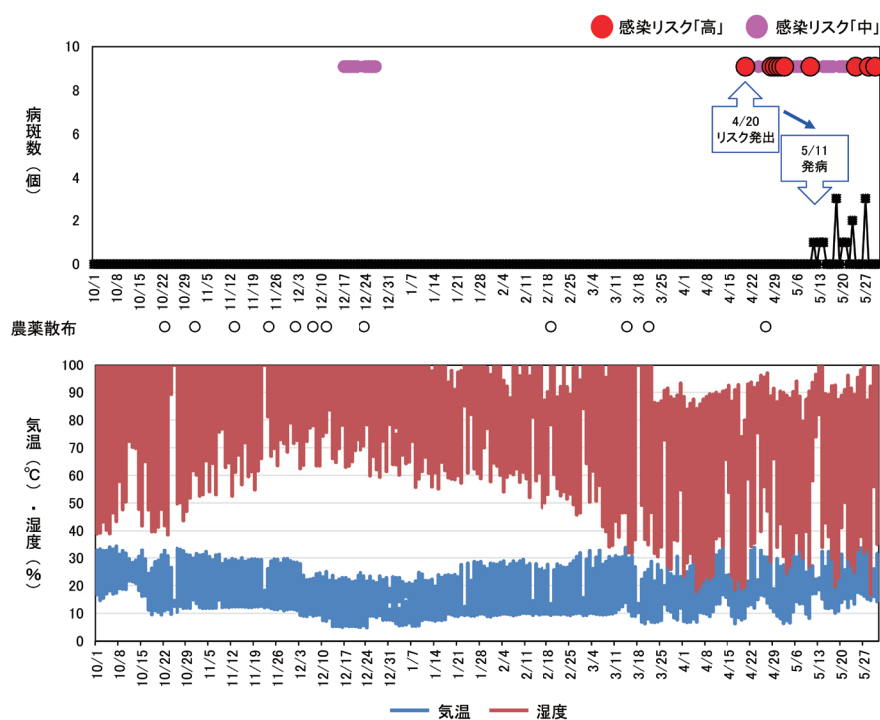


図8. イチゴうどんこ病の発生と感染リスクの推移(上図)および、その間の気温と湿度の状況(下図)

(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)。

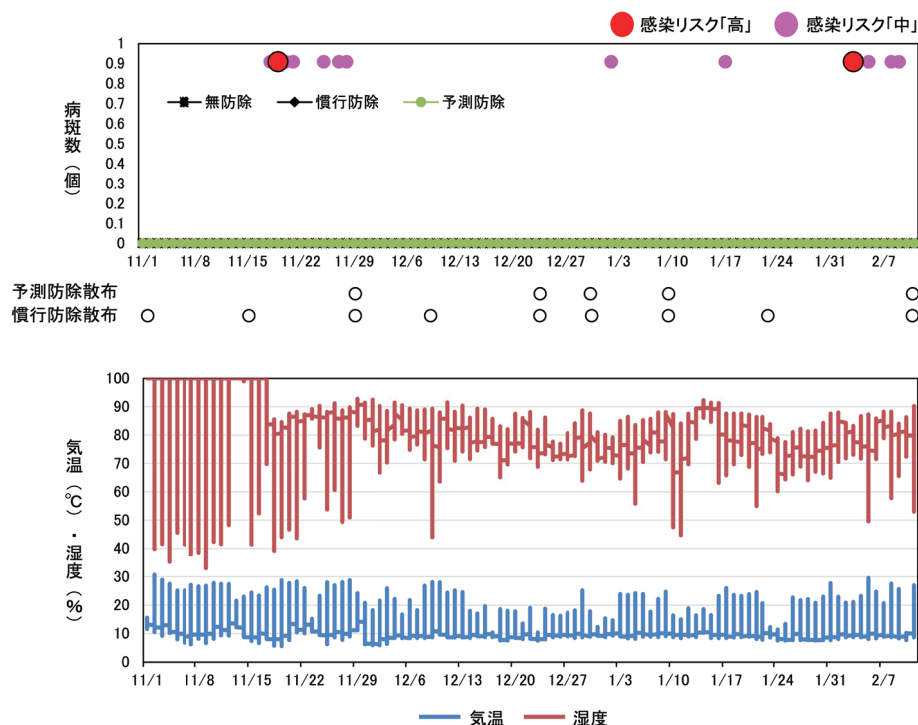


図9. イチゴうどんこ病の発生と感染リスクの推移(上図)および、その間の気温と湿度の状況(下図)

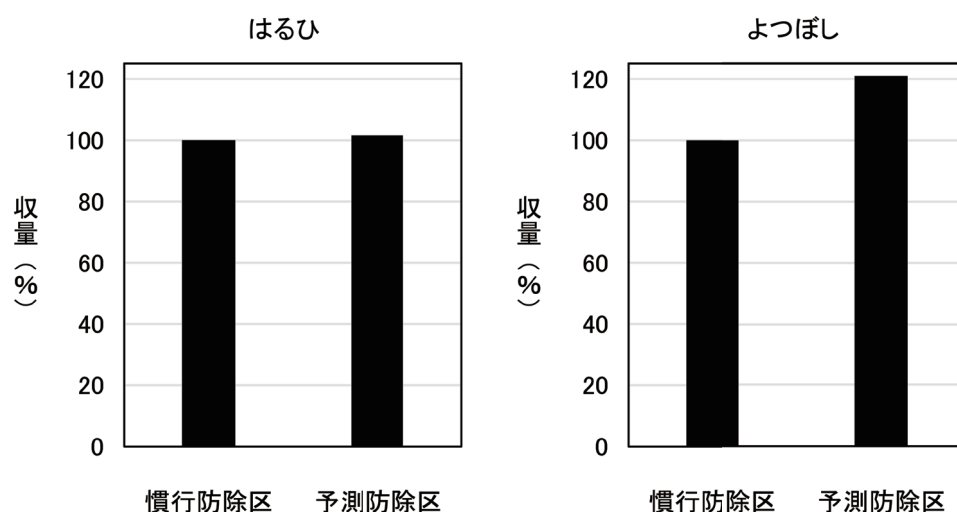


図10. 各試験区におけるイチゴの収量
(慣行防除区の収量を100としたときの予測防除区の収量を示した。)

(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。

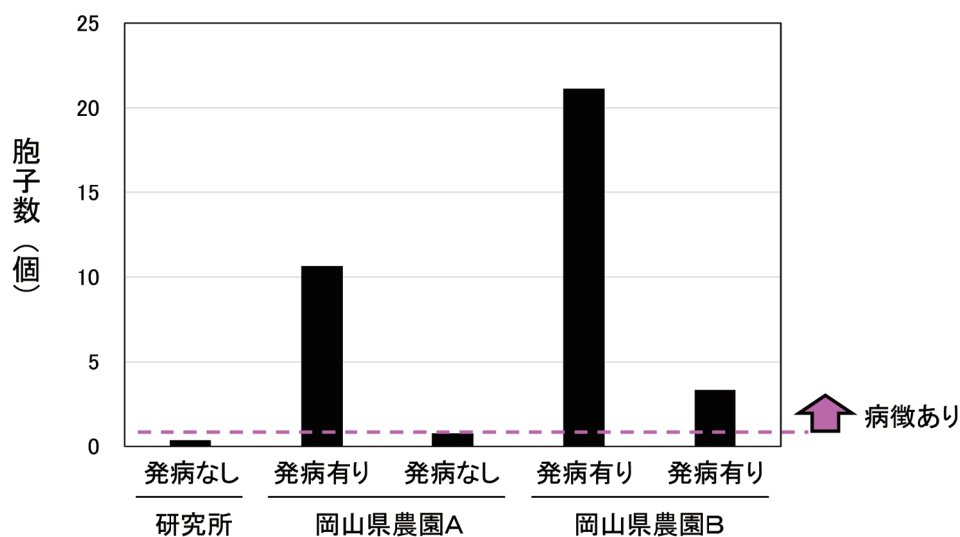


図13. 捕集した空気3,000L中で検出されたイチゴうどんこ病菌の量

(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あります。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