

植物防疫

Plant Protection

2017 **2** VOL.71

農業、 それは最も 大切なしごと。



世界の人口は増加する一方で、農地は減少しています。
地球規模のニーズを満たすため、農業従事者の方々は、
収量増加や生産性の向上といったプレッシャーにさらされています。
付加価値のあるサービスを提供し、
日本の農業に貢献することがBASFの使命です。
「ごちそうさまの笑顔のために。」
私たちBASFジャパンの農業事業部の取組みをご覧ください。
<http://www.agriculture.japan.basf.com/>


We create chemistry

明日の「農」を支える力でありたい。

自然の恵みをうけて、大きく育つ農作物。そんなみずみずしい生命を守り、
 支え、確かな実りに結ぶ三井化学アグロの技術。
 自然との調和を基本に、三井化学アグロはより豊かな農業のために、
 より安全性の高い農業の提供をつづけています。

殺虫剤

三井薬匠 **アルバリン**® 顆粒水溶剤・粒剤
 粉剤DL・箱粒剤

トレボンスター® フロアブル
 粉剤DL

コロマイト® 水和剤
 乳剤

スタークル® 顆粒水溶剤
 箱粒剤

トレボン® 乳剤・EW・MC・粉剤DL
 粒剤・エアースカイMC

ミルベノック® 乳剤

スタークルメイト® 1キロ粒剤
 液剤10

アズキ® 乳剤

キックオフ® 顆粒水和剤

殺虫・殺菌剤

サントリプル® 箱粒剤

ガッツスター® 粒剤

殺菌剤・土壌消毒剤

アフエット® フロアブル

フルーツセイバー

ヘジセイバー

タチガレン® 粉剤
 液剤

タチガレエース® M 粉剤
 液剤

タチガレファイト® 液剤

モンガリッド® 1キロ粒剤
 粒剤

サンリッド® 水和剤

テーク® 水和剤

サンブラス® 粒剤

ネビジン® 粉剤

ネビリュウ®

三井薬匠 **クロールピクリン**

三井薬匠 **ソイリーン**®

ドロクロール

除草剤

アールタイプ® 1キロ粒剤・ジャンボ
 フロアブル

シヨイデン 1キロ粒剤・ジャンボ
 フロアブル

アルファプロ® 1キロ粒剤75/51・ジャンボH/L
 フロアブルH/L

クサトリ-BSX 1キロ粒剤75/51
 ジャンボH/L・フロアブルH/L

キクンジャヘ® Z 1キロ粒剤・ジャンボ
 フロアブル

イネキング® 1キロ粒剤・ジャンボ
 フロアブル

クサバルカン 1キロ粒剤・ジャンボ
 フロアブル

オシオキ® MX 1キロ粒剤

フォローアップ® 1キロ粒剤

サンバード® 粒剤

ワイドアタック™ SC

草枯らし MIC®

●使用前にはラベルをよく読んでください。●ラベルの記載以外には使用しないでください。●本剤は小児の手の届く所には置かないでください。



三井化学アグロ株式会社

東京都中央区日本橋1-19-1 日本橋ダイヤビルディング
 ホームページ <http://www.mitsui-agro.com/>

春作ジャガイモにおける無人ヘリ防除体系の実用性

(本文 1 ページ参照, 中村吉秀氏原図)



口絵① 無人ヘリコプターによるジャガイモ防除状況
(諫早市飯盛町, 右端はオペレーター)



口絵② 無人ヘリコプター使用機種 YAMAHA FAZER

ポットを介したイチゴ萎黄病の伝染と防除対策

(本文 14 ページ参照, 稲田稔氏原図)



口絵① イチゴ育苗圃におけるポットでの栽培状況および萎黄病の病徴



タマネギ紅色根腐病—その発生と防除—

(本文 19 ページ参照, 児玉不二雄氏原図)



口絵① 激発圃場定植 4 月 27 日
7 月 10 日現在, 発病株率は 40%
を超えている。



口絵② 萎凋症状を示している発病個体
このような個体は容易に引き抜く
ことができる。



口絵③ 紅色根腐病に罹病したタマネギの主病徴は根
の紅変と枯死である
左から右へ; 重症から軽症



口絵④ 地上部(葉身)が萎凋した個体で
は茎盤に褐変が見られるが, 鱗茎
(葉鞘)には病斑が拡大しない



口絵⑤ 乾腐病では褐変と腐敗が葉鞘にまで
拡大する

植物病原菌の薬剤感受性検定マニュアル 2016

(13) トマト葉かび病菌

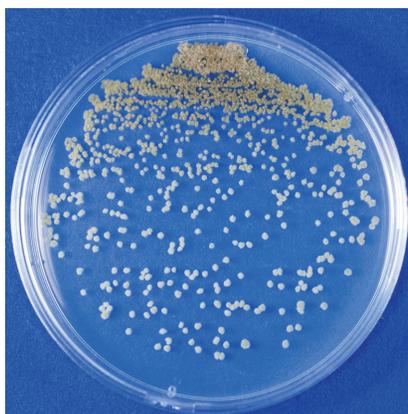
— Qol 剤・ベンゾイミダゾール剤・ジエトフェンカルブ剤・SDHI 剤・DMI 剤 —

(本文 35 ページ参照, 渡辺秀樹氏原図)

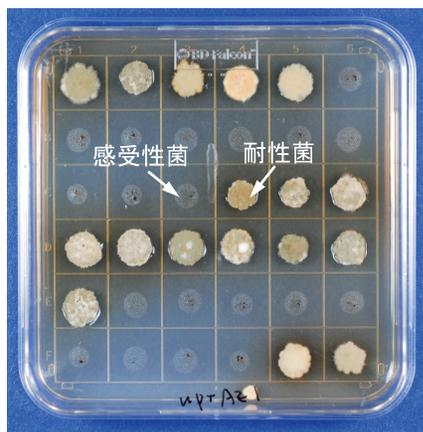


口絵① 葉かび病の病斑

A: 分生子形成が良好で採取に適する, B: 病斑上に寄生菌(矢印)が繁殖して分離に適さない



口絵② 葉かび病菌のコロニー PDA, 25℃, 10日間培養後



0 mg/L

1 mg/L

口絵③ 葉かび病菌のアゾキシストロピン感受性の判定



植物油脂パワー！
サンクリスタル乳剤



チョウ目害虫退治の生物農薬！
**サンケイ
サブリーナフロアブル**



植物保護薬！
**サンケイ
ジーファイン水和剤**



硫黄の力でうどんこ病防除！
**サンケイ
クムラス**



安定した銅の効果！
サンボルドー



キュウリ・カボチャのうどんこ病に！
ハッパ乳剤



硫黄と銅の強力タッグ！
園芸ボルドー



サンケイ化学株式会社

本社 〒891-0122 鹿児島市南栄 2 丁目 9 ☎(099) 268-7588
東京本社 〒110-0005 東京都台東区上野 7-6-11 ☎(03) 3845-7951



カウンシル®
コンプリート

“**除草カ**”の
カウンシル。
高接齡ノビエも、難防除も、

新登場



ノビエ、難防除雑草を「一発処理」で枯らす除草力。鉄コーティング直播栽培にも適応。多角化・大規模化に貢献できる次世代の水稲用除草剤です。



●使用前にはラベルをよく読んで下さい。●ラベルの記載以外には使用しないで下さい。●本剤は小児の手の届く所には置かないで下さい。Ⓢはバイエルグループの登録商標

バイエル クロップサイエンス株式会社

東京都千代田区丸の内1-6-5 〒100-8262 www.bayercropscience.co.jp

お客様相談室 ☎0120-575-078 9:00~12:00, 13:00~17:00 土・日・祝日を除く

植物防疫

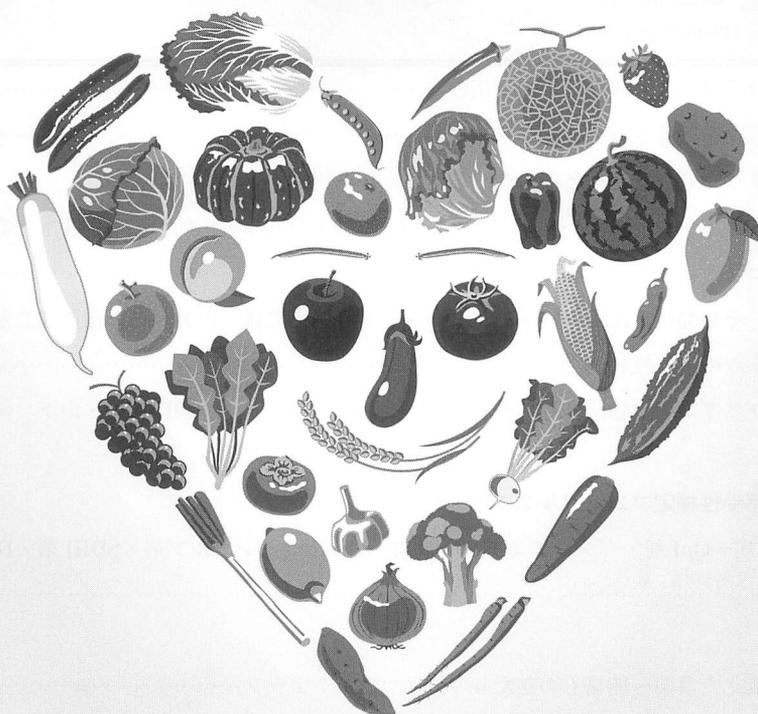
第 71 卷 第 2 号
平成 29 年 2 月号

目 次

Shokubutsu bōeki
(Plant Protection)

春作ジャガイモにおける無人ヘリ防除体系の実用性	中村 吉秀	1	
プラントアクティベーターの探索研究の動向	能年 義輝	5	
九州地域での飼料用トウモロコシ栽培と赤かび病によるかび毒汚染	川上 顕・笹谷孝英・加藤直樹・井上博喜・宮坂 篤	10	
ポットを介したイチゴ萎黄病の伝染と防除対策	稲田 稔	14	
タマネギ紅色根腐病—その発生と防除—	児玉不二雄・山名利一・前川健二郎・丹羽昌信	19	
ダイズシストセンチュウの寄生性判別法	相場 聡	24	
モモ圃場におけるカブリダニの植物餌資源の利用	園田昌司・山下 純・岸本英成	28	
植物防疫基礎講座			
植物病原菌の薬剤感受性検定マニュアル 2016			
(13) トマト葉かび病—QoI 剤・ベンゾイミダゾール剤・ジエトフェンカルブ剤・SDHI 剤・DMI 剤—	渡辺 秀樹	35	
防除の羅針盤			
リレー連載：農薬を変えた農薬～開発ものがたり～⑨イソプロチオラン	大塚 隆	46	
リレー連載：農薬製剤・施用技術の最新動向⑩水性製剤～その特徴と今後の展望～	辻 孝三	52	
植物病害ブドウ根頭がんしゅ病の生物的防除法の開発			
前編「新規拮抗細菌 ARK-1 株の発見から研究、そして実用化に向けた展望」	川口 章	58	
線虫研究の過去・現在・未来 その 2 線虫害の変遷（前編）	水久保 隆之	64	
エッセイ：楽しい“虫音楽”の世界（その 18 鳴く虫を愛でるのは日本人だけ？）	柏田 雄三	70	
農林水産省プレスリリース（28.12.12～29.1.15）		51	
新しく登録された農薬（28.12.1～12.31）	18, 27	登録が失効した農薬（28.12.1～12.31）	4, 13
発生予察情報・特殊報（28.12.1～12.31）			9

私たちの多彩さが、
この国の農業を笑顔にします。



殺虫剤

新規剤 **ロビンフッド** **ディアナ** **プレオ** **スミチオン** **ダントツ**
パダン **アディオ** **エスマルク** **ゴツツA**

殺菌剤

新規剤 **スクレア** **ピクシオ** **ベネセッド** **ベンレート** **フラシン**
スリックス **リンパー** **バリタシン** **スターナ**

殺虫殺菌剤

新規剤 **箱王子** **スタウトバディート**
箱いり娘 **スタウトダントツ**

水稲用除草剤

新規剤 **ゼータタイガー** **ゼータハンマー** **メガゼータ** **忍**
ゼータファイヤ **ブルゼータ** **ズエモン** **カットダウン** **オサキニ**

®は登録商標です。

●使用前にはラベルをよく読んでください。●ラベルの記載以外には使用しないでください。●小児の手の届く所には置かないでください。●空袋、空容器は圃場等に放置せず適切に処理してください。

〒104-8260 東京都中央区新川2丁目27番1号 お客様相談室 ☎0570-058-669
農業支援サイト **農力** <http://www.i-nouryoku.com>



大地のめぐみ、まっすぐ人へ
SCA GROUP

住友化学

春作ジャガイモにおける無人ヘリ防除体系の実用性

長崎県農林技術開発センター（前 長崎県農産園芸課） なか むら よし ひで
中 村 吉 秀

はじめに

長崎県においてジャガイモは主要農産物の一つであり、栽培面積 4,825 ha で北海道について全国第 2 位である（農林水産省大臣官房統計部 編，2016）。主な栽培型として、1～2月に種いもを植付け5～6月に収穫する春作と、9月に種いもを植付け12月に収穫する秋作があり、特に春作は新ジャガイモとしての需要が高い。

春作の主な病害虫管理は4～5月に行うが、特に4月下旬～5月は防除作業と収穫作業が重なるため労力的に過重となり、適期に防除が行われない場合がある。そこで、その時期における主要な病害虫を対象として、水稻防除で使われる産業用無人ヘリコプター（以下無人ヘリ）を利用した防除体系の実用性を検証したので紹介する（口絵①，②）。

なお、内容は筆者が長崎県農産園芸課在籍中に行っていたものであり、長崎県農協同組合馬鈴薯部会飯盛有喜支部、農事組合法人もりやま、全国農協同組合連合会長崎県本部、長崎県農協同組合、長崎県農史振興局等多くの関係機関に協力をいただき実証した。

I 無人ヘリ防除体系の防除効果

長崎県諫早市の基盤整備された現地圃場で無人ヘリによる体系防除を実施し、防除効果を調査した。2014年は12圃場 2.5 ha を、15年は9圃場 2.5 ha と3圃場 1.1 ha を対象に散布（表-1）し、そのうち調査圃場を1～2圃場選んで病害虫発生状況を調べ、農家慣行の動力噴霧機（以下動噴）散布圃場（表-2）と比較した。

春作ジャガイモで問題となる茎葉の病害虫は疫病、軟腐病、アブラムシ類、ハスモンヨトウ等のチョウ目害虫で、本試験では常に問題となる疫病、アブラムシ類を対象に調査した。

1 疫病に対する防除効果

2014年、15年ともに、無人ヘリ散布圃場、動噴散布圃場での疫病的発生は見られなかった（表-3，4）。県病

害虫防除所の調査では、2014年5月下旬の県内発生圃場率は32%（中発生）で、15年は同20%（中発生）であり、他地域では発生が見られていたことから両散布方法とも防除効果があったと考えられた。

なお、調査圃場以外で無人ヘリ防除した圃場も疫病は発生しておらず、無人ヘリ防除で安定した効果が得られると考えられた。

2 アブラムシ類に対する防除効果

2014年、15年は主にモモアカアブラムシが発生した。無人ヘリ散布後、一時的に虫数が増えた場合があったが、慣行の動噴防除と同等に減少し、被害は見られなかった（図-1）。これらから、無人ヘリ散布は慣行の動力噴霧機散布とはほぼ同等の実用性があると考えられた。

3 その他の病害虫の発生状況

現地慣行の防除では軟腐病、ハスモンヨトウの防除も行われることが多いが、両病害虫の被害は2014年、15年ともに大きな問題とならなかった。現在、ハスモンヨトウに登録がある無人ヘリ農薬はない。また、軟腐病に登録がある無人ヘリ農薬は他剤に比べると価格が高く、無人ヘリ散布体系に組入れることは難しい。被害発生時は、当面、動噴散布を臨機的に行うことになるが、農薬登録拡大による体系の充実が必要である。

II 無人ヘリ散布によるジャガイモへの影響

無人ヘリは回転翼が起こす「吹き降ろし下流（ダウンウォッシュ）」を効率よく利用して薬液を下方の植物体へ散布している（芳賀，2013）。この風圧による茎の損傷などが生じるかを調べたところ、いずれの散布時も茎折れや葉のちぎれ等は見られなかった。散布直後に茎が傾くが、数日後には回復し、その後の生育に影響がなかったことから、実用上の問題はないと考えられた。

また、各散布時に殺菌剤と殺虫剤を2～3種混用したが、散布薬液の沈殿や凝集は見られず、散布した茎葉でも薬害は見られなかったため、混用に問題はないと考えられた。

III 無人ヘリ防除体系の実用性

無人ヘリ防除を実際に行うには、水稻防除などを行っている防除組合などに散布委託することが現実的となる。その際には無人ヘリの維持経費などを含む作業委託

Control of Diseases and Pests by Unmanned Helicopter Application in the Spring Season Cropping of Potato. By Yoshihide NAKAMURA

（キーワード：ジャガイモ，無人ヘリコプター，省力，防除）

表-1 無人ヘリコプターによる薬剤散布体系^{a)}

2014年				
対象病害虫	4月24日	5月8日		5月22日
疫病	マンゼブ水和剤	シモキサニル・ファモキサドン水和剤		シアゾファミド水和剤
軟腐病	-	非病原性エルビニア カロトボーラ水和剤		-
アブラムシ類	アセタミプリド液剤	イミダクロプリド水和剤		アセタミプリド液剤
2015年				
対象病害虫	4月23日 (動力噴霧機) ^{b)}	5月8日		5月22日
疫病	マンゼブ水和剤	シモキサニル・ファモキサドン水和剤		シアゾファミド水和剤
アブラムシ類	プロフェノホス乳剤	イミダクロプリド水和剤		アセタミプリド液剤

^{a)} 散布機種：2014年4月 YAMAHA RMAX Type II G, 14年5月および15年 YAMAHA FAZER.
所定濃度に希釈した薬液を3.2 l/10 a 散布。

^{b)} 2015年4月は動力噴霧機で散布。

表-2 動力噴霧機による薬剤散布体系 (農家慣行)^{a)}

2014年				
対象病害虫	4月15日	4月25日	5月7日	5月17日
疫病	メタラキシル M・TPN 水和剤	シモキサニル・マンゼブ水和剤	シアゾファミド水和剤	シモキサニル・マンゼブ水和剤
軟腐病	-	-	オキシロニック酸水和剤	-
アブラムシ類	プロフェノホス乳剤	クロチアニジン水溶剤	プロフェノホス乳剤	プロフェノホス乳剤
ハスモンヨトウなど	(アブラムシ類と同時防除)	ピリダリル水和剤	(アブラムシ類と同時防除)	(アブラムシ類と同時防除)
2015年				
対象病害虫	5月1日	5月11日	5月21日	5月31日
疫病	メタラキシル M・TPN 水和剤	シモキサニル・マンゼブ水和剤	ベンチアバリカルブイソプロピル・TPN 水和剤	アミスルプロム・シモキサニル水和剤
アブラムシ類など	-	プロフェノホス乳剤	クロチアニジン水溶剤	-

^{a)} 動力噴霧機 (5 ps) で約 300 l/10 a を散布。

表-3 無人ヘリコプター防除後の疫病発病株率の推移 (2014年)

調査圃場	1回目散布前日 (4月23日)	1回目散布8日後 (5月2日)	2回目散布前日 (5月7日)	2回目散布13日後 (5月21日)	3回目散布7日後 (5月29日)
無人ヘリ散布1	0%	0%	0%	0%	0%
無人ヘリ散布2	0	0	0	0	0
動力噴霧機散布	0	0	0	0	0

表-4 無人ヘリコプター防除後の疫病発病株率の推移 (2015年)

調査圃場	1回目散布前日 (5月7日)	1回目散布6日後 (5月14日)	2回目散布前日 (5月21日)	2回目散布6日後 (5月28日)
無人ヘリ散布	0%	0%	0%	0%
動力噴霧機散布	0	0	0	0

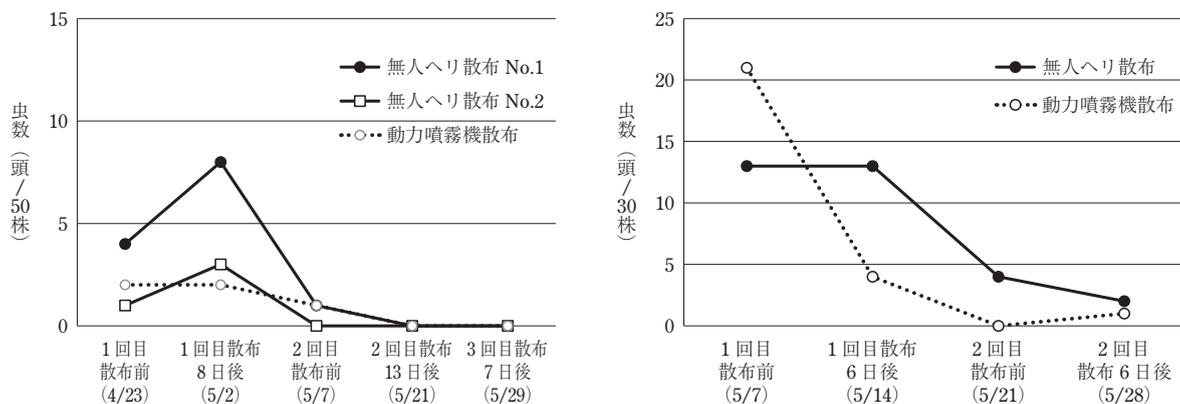


図-1 無人ヘリコプター防除後のアブラムシ類虫数の推移
左：2014年，右：2015年 虫数は無翅虫の合計数。主な発生種はモモアカアブラムシ。

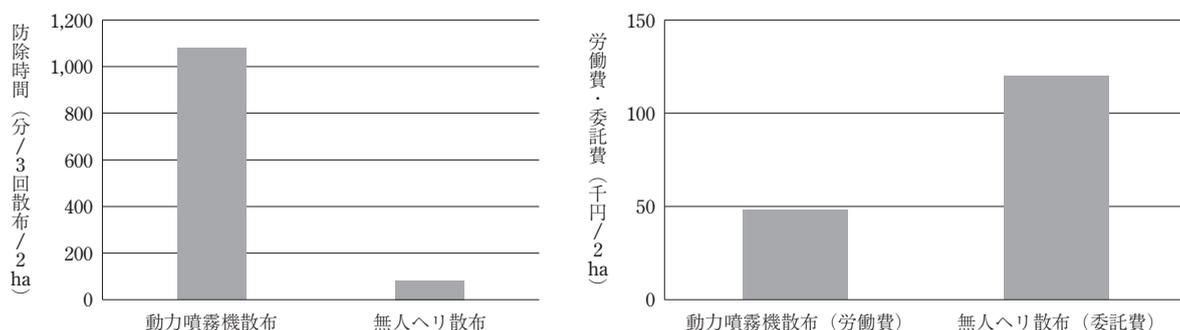


図-2 無人ヘリコプターおよび動力噴霧機散布にかかる防除時間，労働費，委託費
栽培面積 2 ha，防除回数 3 回，労働力 3 名で試算。
労働費は実態調査から，無人ヘリ散布委託費は水稻の標準額から計算。

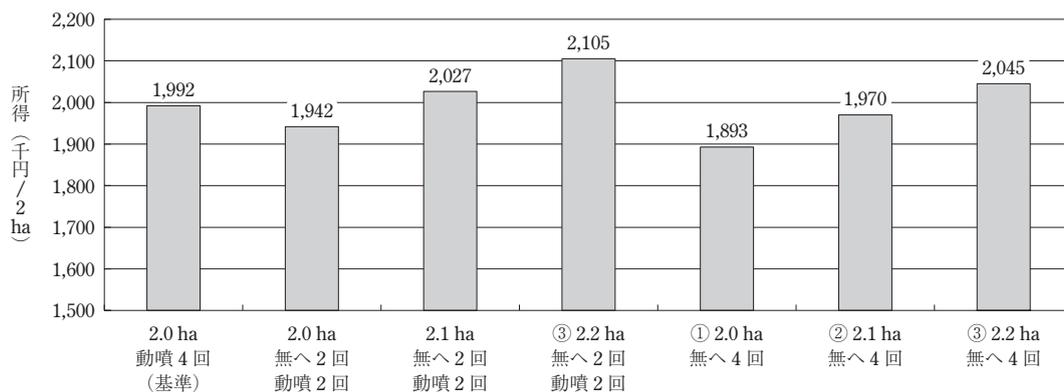


図-3 春作ジャガイモを無人ヘリコプター防除した場合の所得比較
横軸の上段は栽培面積，中段は散布方法（動噴：動力噴霧機 無へ：無人ヘリ）。
基準を栽培面積 2 ha，防除方法：動力噴霧機，防除回数 4 回，労働力 3 名+収穫時雇用ありとして試算
（長崎県農林業基準技術を参考）。

費と農薬代が生じる。現地で代表的な栽培面積の2ha、労働力3名規模、防除回数3回を想定して、無人ヘリおよび動噴防除にかかる時間、コスト等を比較した。防除時間は無人ヘリ利用により動噴防除の1/13となり、大幅な省力化が図られたが、逆に経費は2ha当たり72千円増えた(図-2)。これは委託費の単価が労賃に比べ高いためであるが、水稻での利用のみを考慮し計算されている価格が、ジャガイモでも利用されることで、より低くなることも想定される。

また、防除の省力化により作業に余裕ができるため、栽培面積の拡大による増収が期待できる。栽培面積2ha、防除回数4回を基準に経営評価を行うと、4回のうち2回をヘリ防除した場合、2haを2.1ha以上に、4回すべてをヘリ防除した場合、2haを2.2ha以上に拡大することで、農家所得が向上する結果となる(図-3)。

IV 今後の展望

春作ジャガイモにおける無人ヘリ防除体系は十分な防除効果があり、茎葉の損傷や葉害は見られず、実用性が明らかとなった。また、省力化による栽培規模の拡大と適期防除により農家所得が増加し、経営の向上が期待できる技術と考えられた。

生産現場からは、労力軽減のほか、時間的、労力的制約がある中で防除作業しなければならない状況から開放される安心感も大きいという声を聞いており、無人ヘリ防除の推進に一役買っていると感じている。実証地域では2016年から本格的運用が開始されており、34haでヘリ防除が実施された。

このほかに、慣行の動噴では薬剤散布の際にホースと茎葉が擦れて傷が付き、病害、特に軟腐病の発生が助長される場合がある。無人ヘリ散布による茎葉への影響はほぼ見られないため、副次的な病害抑制効果が期待され

るが、詳細は今後、検証をする必要がある。

おわりに

無人ヘリ推進における当面の課題は登録農薬数を増やすことである。ジャガイモに登録のある農薬は、2016年9月時点で疫病3種類、アブラムシ類2種類、軟腐病1種類であり、特に防除回数が多い疫病防除薬剤は、薬剤耐性菌対策の観点からもさらなる薬剤数拡大が望まれる。長崎県では登録拡大試験を農薬メーカーなどと連携して行っており、2016年10月19日付けで新たに1種類(アメトクトラジン・ジメトモルフ水和剤)が拡大されている。

また、別の課題として、安全飛行の確保がある。一般的な水稻、麦、大豆と異なり、面積が狭い圃場や傾斜地圃場で散布することが多くなるため、散布者、生産者と行政等の指導者が一体となり、安全対策の徹底が必要であると思われる。

2016年は疫病が多発生した年であり、長崎県内でも広く発生が見られ、ヘリ防除地域の一部でも発生が見られた。16年のヘリ防除は5月に2~3回実施された。ヘリ導入地域では防除効果を安定させるため、4月中下旬ころの1回目の防除は動噴による薬剤散布を行うよう申し合わせている。今年のような多発生年は、ヘリ防除開始前の動噴防除の徹底が重要になると思われる。

また、気象などの影響で本病の初発生時期が年により違うため、疫病初発時期予測システムFLABS(長崎モデル)(難波ら、2011)などを利用して防除することで、より効果が安定した体系防除が実施できると考えられる。

引用文献

- 1) 芳賀俊郎(2013):日本農薬学会誌 38(2):224~228.
- 2) 難波信行ら(2011):長崎農林技七研報 2:79~96.
- 3) 農林水産省大臣官房統計部 編(2016):農林水産統計平成27年産指定野菜(秋冬野菜等)及び指定野菜に準ずる野菜の作付面積、収穫量及び出荷量(平成28年8月30日公表).

登録が失効した農薬 (28.12.1~12.31)

掲載は、種類名、登録番号:商品名(製造者又は輸入者)登録失効年月日。

〔殺虫剤〕

- メタルデヒド粒剤
20103:ナメハンター(日本化薬)16/12/11
- ルビトックス乳剤
7247:ホサロン乳剤(CBC)16/12/21
- BPMC・MEP粉剤
14415:ヤシマスミバッサ粉剤20DL(協友アグリ)16/12/26

〔殺虫・殺菌剤〕

- エトフェンプロックス・MEP・フサライド粉剤
18250:ヤシマラブサイドスミチオントレボン粉剤DL(協友

アグリ)16/12/22

〔殺菌剤〕

- 銅粉剤
18239:ベニドー粉剤DL(丸紅)16/12/8

〔除草剤〕

- カフェンストール・ベンゾビシクロン粒剤
21444:テロス1キロ粒剤(エス・ディー・エスバイオテック)16/12/8

(13ページに続く)

プラントアクティベーターの探索研究の動向

岡山大学大学院環境生命科学研究科 のう能 とし年 よし義 てる輝

はじめに

殺菌性農薬と耐病性作物品種は作物の主たる病害防除手段である。安全性向上を目指し、殺菌剤は病原体の特定分子をピンポイントで標的とするものへと移行してきた。耐病性品種の育種に用いられる病害抵抗性遺伝子の多くは、病原体が宿主の免疫システムを抑制するために放出するタンパク質（エフェクター）を特異的に認識するセンサーであることが明らかになってきた。つまり、これらの作用原理はいずれも病原体タンパク質との厳密な相互作用に基づくことから、遺伝子変異によるアミノ酸置換や欠失によりその効果が失われてしまう。これは新剤や新品種を導入した後の耐菌発生事例として農業現場でも実感される。新たな防除策の開発には多大な費用と労力そして時間を要するが、近年では抗菌物質の新規骨格および抵抗性遺伝子資源の枯渇が顕在化しており、現場で使用できる選択肢が減りつつある。この解決として効果が打破されない持続性を持つ防除策の開発が求められるが、化学農薬においてこの条件を満たすのが抵抗性誘導剤（プラント（ディフェンス）アクティベーター）である（有江・仲下，2007）。これは植物が持つ病害抵抗性機構を活性化することで病害防除効果を発揮する薬剤である。病原体に選択圧を掛けないことから薬剤耐性が発達しないことは、実際にアジア地域の水稻栽培におけるいもち病や白葉枯病の防除剤として長年利用されてきた実績がそれを証明している。また、その作用メカニズムから複数種の病原体に対する防除効果や、薬剤使用量や環境微生物への影響を低減する環境負荷低減効果、さらには土壤消毒でしか対処できない難防除土壌病害への効果なども期待される。プラントアクティベーターは農業・農業従事者・農薬会社にとってのメリットに加え、安全・安心を求める社会的要請の高まりにも応えうる。

I 抵抗性誘導剤の実用化事例

プラントアクティベーターの実用は、明治製菓（株）（現 Meiji Seika ファルマ（株））が1974年に農薬登録したプロベナゾール（オリゼメート®）に端を発する（岩田，2007）（図-1）。これはプレートでの殺菌性検定とは異なり、供試薬剤を投与したイネにいち病菌を接種してその防除効果を検定する方法から同定された。抗菌作用がないことから植物への抵抗性誘導効果が明らかになった。プロベナゾールは植物が病害抵抗性反応を通常より強く早く誘導できる状態にするプライミング効果を示す。植物は一度受けた感染刺激を記憶し、さらなる感染時に対しては全身的に鋭敏に反応する仕組み（全身獲得抵抗性）を備えているが、プロベナゾールはこれを活性化していると考えられる。このプライミング機構を含め、現在では植物免疫に関する分子メカニズムが随分明らかになったものの、プロベナゾールの標的は未解明である。

1990年に入り、サリチル酸が植物免疫を司る内生物質であることをチバガイギー（現シンジェンタ）が報告した。同社はサリチル酸様の働きを持つ化学物質を探索し、2,6-ジクロロイソニコチン酸（INA）を単離した（UKNES et al., 1992）（図-1）。INAはサリチル酸アナログとして強く防御応答を誘導するが薬害を伴う。続いてアシベンゾラル-S-メチル（BTH）が見いだされた（GÖRLACH et al., 1996）（図-1）。BTHはBION®, Actigard®, Boost®として商品化され、日本でも1998年に農薬登録されたが、現在は取り消されている。サリチル酸やBTHは低濃度で投与するとプライミング効果が発揮されるが、高濃度では免疫応答が強く誘導される。後者は強力な防除効果を発揮するが、エネルギーを要する病害抵抗性反応の継続的な発動には生長抑制や種子収量の減少、また黄化や老化症状等の薬害が付随する（van HULTEN et al., 2006; WALTERS et al., 2009）。作物種や生育ステージ、また環境条件を踏まえたうえで、コストとベネフィットを両立させた施用を実現するのは難しい。

その点、プロベナゾールはイネの苗床に一度処理するだけで葉いもちを生育期間中抑制できる長期残効性に優れ、省力性と利便性がもたらされる。2012年の原体出荷額が58億円にも上り、その後にはチアジニル（日本農

Trends in Screening and Development of Plant Defense Activator.

By Yoshiteru NOUTOSHI

（キーワード：抵抗性誘導剤、プラントアクティベーター、農薬、病害防除、探索、開発、植物免疫）

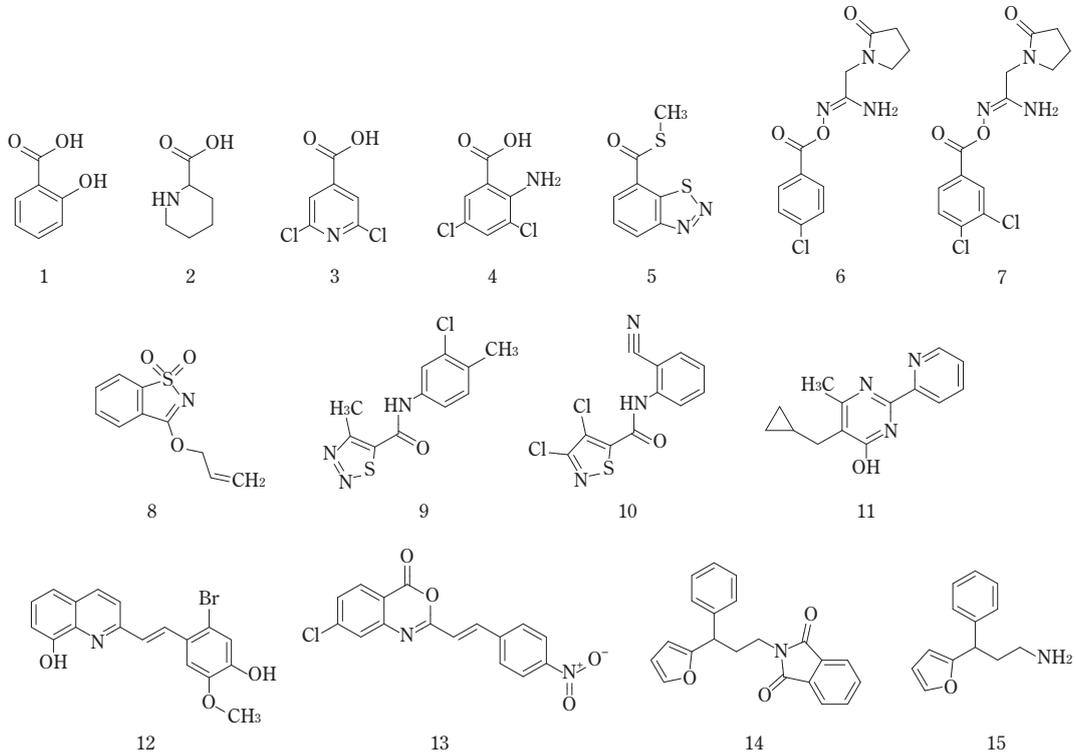


図-1 植物免疫活性化能を有する既報の化合物

1: サリチル酸, 2: ピベコリン酸, 3: 2,6-ジクロロイソニコチン酸 (INA), 4: 3,5-ジクロロアントラニル酸 (DCA), 5: アシベンゾラル-S-メチル (BTH), 6: インプリマリン C1, 7: インプリマチン C2, 8: プロベナゾール, 9: チアジニル, 10: イソチアニル, 11: PPA, 12: インプリマチン A1, 13: インプリマチン A2, 14: インプリマチン B1, 15: インプリマチン B2.

薬 (株), ブイゲット® (津幡ら, 2007) とイソチアニル (バイエルクロップサイエンス (株), ルーチン® (小川ら, 2011) が開発されている (図-1)。

II 抵抗性誘導作用を持つ化合物

SAR は 19 世紀から認識されており, それを誘導する実に多くの化学物質や微生物が存在する (OOSTENDORP et al., 2001; BECKERS and CONRATH, 2007; SCHREIBER and DESVEAUX, 2008)。様々なアミノ酸の添加が植物に抵抗性を誘導したり, 生長を阻害したりすることも古くから知られ, β -アミノ酪酸 (BABA) の抵抗性誘導効果は 1960 年に見いだされている (KUC, 2001)。複数病害に対する圃場レベルでの防除効果が示されてきたが, 生長阻害効果も伴う。最近, BABA に非感受性を示すシロイヌナズナ変異体の化学遺伝学的解析から, BABA はアスパルチル tRNA 合成酵素を阻害することでアスパラギン酸の蓄積を初めとしたアミノ酸内生産バランスの変動を誘導し, それが抵抗性誘導効果の要因となっていることが

示唆された (LUNA et al., 2014)。シロイヌナズナ葉において病害抵抗性誘導時には各種アミノ酸量が大きく変化し, 増加したアスパラギン酸はリジンを經由してアミノ基転移酵素である ALD1 の働きによってピベコリン酸へと変換され, それが SAR の成立に不可欠な内生シグナル物質として働くことが明らかにされた (NAVAROVÁ et al., 2012) (図-1)。BABA は *ald1* 変異体に抵抗性を誘導できないので, おそらく BABA による誘導抵抗性もピベコリン酸を介している。各種アミノ酸による抵抗性誘導効果も, ピベコリン酸の蓄積が要因かもしれない。

アミノ酸発酵液の液体肥料であるアジフォル® (味の素 (株)) には, アミノ酸成分の葉面吸収による肥料としての作用に加えて, 抵抗性誘導効果を含むと考えられる (KADOTANI et al., 2016)。ビール酵母細胞壁抽出成分を含む植物活性資材である豊作物語 (アサヒビール (株)) にも抵抗性誘導効果が報告されている (NARUSAKA et al., 2015)。ただし一部の微生物由来分子パターン受容体の発現にかかわるエチレンのシグナル変異体でもその活性

が維持されることから、含有するアミノ酸成分等も効果に寄与している可能性がある。

市販殺菌剤であるメタラキシル、ホセチル、水酸化第二銅、バリダマイシン A、ピラクロストロピンには抵抗性を誘導する働きがあることが明らかになっている (MOLINA et al., 1998; ISHIKAWA et al., 2005; BECKERS and CONRATH, 2007) (図-1)。また、生長調節剤であるプロヘキサジオンカルシウム塩にもジャスモン酸/エチレン経路を介したキュウリ褐斑病に対する防除効果が認められている (小暮ら, 2011)。実用化はされていないものの抵抗性誘導活性を有する化合物や生物由来成分に関する企業や大学の特許文献も数多く存在する。

秋光らは新規な探索源として希少糖を用い、D-アロース、D-ブシコース、D-タガトースがイネに抵抗性を付与することを発見している (KANO et al., 2010; 2011; OHARA et al., 2010)。D-アロースは植物のヘキソキナーゼによってリン酸化され、グルコース 6 リン酸脱水素酵素を介して NADPH オキシダーゼを活性化することで、抵抗性誘導シグナルとなる活性酸素種を生成する (KANO et al., 2013)。動物ではヘキソキナーゼがグラム陽性細菌の分子パターンであるペプチドグリカンに由来する N-アセチルグルコサミンを認識するセンサーとして働き免疫応答を活性化するが (WOLF et al., 2016)、植物も特定の糖を外敵認識に利用しているのかもしれない。

III 抵抗性誘導物質の新たな探索

化合物ライブラリーの普及に伴い、アカデミアではケミカルバイオロジー研究が盛んになり、植物免疫を対象とした研究事例も増えた (能年, 2016)。これは特定の生命現象を阻害または亢進する生理活性物質を網羅的探索によって同定し、その標的や作用機序の解析から背景にあるタンパク質 (遺伝子) の同定やメカニズムの解明を行う研究手法である。もちろん植物免疫研究を対象とした場合、病害抵抗性反応を活性化する薬剤はプラントアクティベーターの開発シーズになりうる。市販の化合物ライブラリーは一般に多検体プレートで供給され、個々の薬量は微量である。したがって、網羅的探索にはそれに適したアッセイが必要になるが、特にサイズが小さいモデル植物であるシロイヌナズナ幼苗や植物培養細胞を用いた方法が開発・利用されてきた。

1 レポーター遺伝子の利用

鳴坂らは防御関連遺伝子 *PR-1*, *PR-4*, *PDF1.2* のプロモーター::*GUS* レポーター形質転換シロイヌナズナを用い、発現誘導活性を示す薬剤の探索を行った (NARUSAKA et al., 2009)。200 個の天然物から、アピエチン酸、アロ

ース、グリシン、チモールおよび BABA が同定され、方法論の有効性が確認されている。その後、各種ライブラリーを用いた 3 万種以上の化合物の大規模探索が行われ、いちご炭疽病に防除効果を示す低分子化合物や RNA ウイルス病を抑制する低分子化リグニン等が発見されている (鳴坂ら, 2016)。また、PPA (pyrimidin-type plant activator) と名付けられた化合物はシロイヌナズナへ投与すると防御関連遺伝子群の発現を誘導し、黒斑細菌病に対する抵抗性を付与する (SUN et al., 2015) (図-1)。PPA は BTH よりも低濃度域で抵抗性誘導効果を示し、さらに生育阻害効果も伴わずむしろ促進的に作用する特徴を持つ。

EULGEM らは、べと病に対する抵抗性誘導時の後期に発現する遺伝子群の一つである *CaBP22* のプロモーター::*GUS* レポーター形質転換シロイヌナズナを用い、42,000 化合物の探索から遺伝子発現誘導活性を示す 114 個のヒットを同定した (KNOTH et al., 2009)。その一つである 3,5-ジクロロアントラニル酸 (DCA) は、シロイヌナズナにべと病および斑葉細菌病に対する抵抗性を付与した (図-1)。INA は *NPR1* に依存する防御関連遺伝子群を持続的に誘導するのに対し、DCA が誘導する遺伝子群は一過的で *NPR1* に依存するのは一部のみである。この結果は、薬剤の植物体への吸収や代謝といった薬物動態に加えて、標的に対する特異性などに基づいて薬剤が誘導しうる抵抗性の質には違いが生じることを意味する。つまり、スクリーニングに用いる遺伝子の選択の重要性を示している。

KOMBRINK らは *GUS* 活性の検出に蛍光基質である 4-メチルウンベリフェリル- β -D-グルクロニドと蛍光マイクロプレートリーダーを用いれば、シロイヌナズナのプロモーター::*GUS* レポーターアッセイは 96 穴プレートを用いることで、破碎処理なしで定量的に実施可能であり、実際にアスピリンの抵抗性誘導効果が有意に検出されることを報告している (HALDER and KOMBRINK, 2015)。薬剤処理後に一度植物サンプルを凍結保存しても結果に変動がないことも紹介されており、これは大量検体の処理を容易にする。様々な研究で作成されてきた病害関連遺伝子プロモーターの *GUS* レポーター形質転換体を利用されれば、その特性に依存した異なる候補が得られるだろう。ハイスループットスクリーニングにおいて探索指標の定量化は極めて重要であり、*Z'*-ファクターを利用したスクリーニング系の最適化や精度の担保、プレート間での結果の比較、薬剤効果の数値化による活性比較が可能となる (SERRANO et al., 2015)。

平塚らはレポーターにルシフェラーゼを用い、タバコ

の防御関連遺伝子である *PRI-1a* 遺伝子プロモーターと連結した遺伝子をシロイヌナズナに導入した形質転換体を用いることで、多検体プレートでの薬剤探索が可能であることを示し、誘導型とプライミング型の作用を持つ薬剤を選抜している (原ら, 2011)。本手法は非侵襲で長期間に渡る定量検出が行える点が大きな特徴であり、即効性・遅効性・持続性といった薬剤の抵抗性誘導能の時系列プロファイルをその防除効果と関連づけることで有用候補の選抜指針が得られる。また同グループは *VSP1* 遺伝子を用いた同様の探索も実施し、10,000 個の低分子化合物からジャスモン酸/エチレン経路を活性化させる 2 個の薬剤を同定している (草間ら, 2011)。さらなる新指標として、ジャスモン酸受容体でジャスモン酸応答時に即座に分解される JAZ タンパク質の分解過程や遊離サリチル酸量をリアルタイムにモニタリングする系の開発が精力的に進められている (石田ら, 2016; 柴田ら, 2016)。

2 その他の探索系

DESVEAUX らは 96 穴プレートを用い、液体培地中で生育させたシロイヌナズナ幼苗に病原性の斑葉細菌病菌の菌液を添加して感染させ、感染に伴う葉緑素の退色を指標として抵抗性誘導活性を評価する方法を開発した (SCHREIBER et al., 2008)。シロイヌナズナに対する何らかの生物活性を持つ 3,600 個の LATCA 化合物ライブラリーの探索から、緑色を保つ 3 個のスルホンアミド化合物が単離された。その一つであるスルファメトキサゾールは、シロイヌナズナの葉に病原細菌を注入接種する時に同時に添加すると細菌増殖を抑制した。

タバコでは疫病菌 *Phytophthora cryptogea* の分泌性タンパク質エリシチンであるクリプトゲインに応答して細胞死が誘導される。朽津らはタバコ由来の培養細胞である BY-2 にクリプトゲインを添加することで生じる活性酸素種を発光指示薬によって定量検出する方法を開発し、11,000 化合物から活性化剤 56 個と阻害剤 26 個が同定されている (吉川ら, 2014)。これらの中には細胞内膜交通系の制御に関与するホスファチジルイノシトール 3-キナーゼ阻害剤が含まれており、パターン認識受容体のターンオーバーを阻害することで活性増強を示している (大滝ら, 2015)。

CONRATH らはバセリ培養細胞に疫病菌 *Phytophthora sojae* の細胞壁由来する 13 アミノ酸のペプチド性分子パターンを投与することで蛍光性抗菌性物質フラノクマリンが分泌されることを見いだしている (SIEGRIST et al., 1998)。現在、これを指標とした定量的スクリーニングにより、免疫プライミング剤の単離が企業と進められて

いる (CONRATH et al., 2015)。

シロイヌナズナの懸濁培養細胞は非親和性の斑葉細菌病菌と混合すると感染を受け、非病原性遺伝子依存的な過敏細胞死を引き起こす。そこで筆者らは、細胞死を指標として免疫応答をかく乱する薬剤を探索するための定量評価法を開発した (NOUTOSHI et al., 2012 a)。これは 96 穴プレートに分注した培養細胞に供試薬剤と病原細菌とを加え、約 20 時間反応させたものをエバンスブルー染色して取り込まれた色素をプレートリーダーで定量評価する。薬剤のみを投与した実験を並行することで、細胞死誘導剤とプライミング剤を区別して選抜できる。2,000 個の天然物薬理化合物ライブラリーから、スルホンアミド化合物 4 個とスルホンアミド構造を含む利尿剤 3 個をプライミング剤として同定し、これらはシロイヌナズナ植物体に斑葉細菌病抵抗性を誘導した (NOUTOSHI et al., 2012 b; 2012 c)。抗生物質として知られるスルホンアミドだが、プライミング作用を示す濃度域では細菌増殖は抑制されないことから、葉酸合成阻害とは作用が異なると考えている。また、低分子有機化合物 10,000 個の探索からも構造類似性から 5 群に大別されるプライミング剤が多数得られ、インプリマチンと名付けた (NOUTOSHI et al., 2012 a; 2012 d; 2012 e; 能年, 2014) (図-1)。インプリマチン C1, C2 は新規分子構造を持つサリチル酸アナログで、生体内で代謝されて生じる 4-クロロ安息香酸および 3,4-ジクロロ安息香酸がそれぞれ実体として作用することが示唆された (NOUTOSHI et al., 2012 e)。インプリマチン A, B 群は、サリチル酸に糖を付加して不活性化させる配糖化酵素を標的とする (NOUTOSHI et al., 2012 a; 2012 d)。シロイヌナズナの病害抵抗性誘導時にはサリチル酸が生合成され、その主な代謝は配糖化で行われるが、これを阻害すると遊離サリチル酸の蓄積が早まって、通常より強力な免疫応答が誘導される。

サリチル酸配糖化酵素阻害が抵抗性を誘導できることがわかったため、医薬創薬で開発された KUMAGAI et al. (2014) の方法を用いて当該酵素阻害剤の *in vitro* の標的ベース探索を実施した。2 週間弱で 20 万化合物の探索から 1 次ヒットを多数同定した。さらに検出系阻害剤の排除、別の配糖化酵素を使った特異性の検証、そして 5 濃度系列 4 反復プレートを用いた濃度依存性解析を同様の手法で実施し、IC₅₀ で順位付された結果を得た (未発表)。これはインプリマチンよりも 100 倍以上強い阻害活性を示す物質も含んでおり、現在植物体での検証を行っている。

おわりに

植物免疫機構の分子理解や分析手法の進展に伴い、様々な指標を用いたプラントアクティベーターのシーズ探索が行われ、特に我が国での研究実施例は多い。真に強い活性を持つヒット化合物は表に出ずに特許化と企業との共同研究が進められているはずで、新剤開発が期待される。

世界人口増加に伴う食糧不足や開発動機となる市場規模を考慮すると、ムギ、ダイズ、トウモロコシ等に散布で効果を発揮する剤が重要な開発ターゲットになろう。技術的制約からこれまではモデル植物が用いられてきたが、活性化化合物によって抵抗性誘導特性や防除効果は異なり、さらにそれらは植物種や生育環境によっても変わる。実用化に耐える良質な候補を炙り出すには、対象病害に有効となる免疫応答のプロファイリングに基づく探索系の選択やデザインが有効になるだろう。また、プロベナゾールの成功例に倣い、当初から使用実態に即した形で探索する道も遠回りに見えるが必要な手段かもしれない。

医薬創薬で培われた *in vitro* スクリーニング技術の威力は絶大であり、農薬開発にもブレイクスルーをもたらそう。今後解明が進む抵抗性誘導剤の標的や、植物免疫を司る既知因子の中から化学的制御に適したタンパク質を選んでターゲットベーススクリーニングを行うことにより、新たな候補薬剤が得られるだろう。*in vitro* で得られた薬剤は *in vivo* で働かない可能性を伴うが、圧倒的な探索母数は有望な候補導出を可能にするとともに構造活性相関や派生物展開に有用な情報をも含む。

さらに究極的には薬剤の作用メカニズムに習った人為的な免疫活性化機構や、有効薬剤を自ら作って自己免疫活性化するような仕組みを導入した組換え作物の開発なども次世代型の防除策に成り得る。

引用文献

1) 有江 力・仲下英雄 (2007): 植物防疫 61: 531 ~ 536.

2) BECKERS, G. M. and U. CONRATH (2007): Curr. Opin. Plant Biol. 10: 425 ~ 431.
 3) CONRATH, U. et al. (2015): Annu. Rev. Phytopathol. 53: 97 ~ 119.
 4) GÖRLACH, J. et al. (1996): Plant Cell 8: 629 ~ 643.
 5) HALDER, V. and E. KOMBRINK (2015): Front. Plant Sci. 6: 13.
 6) 原 裕芽子ら (2011): 日植病報 77: 259.
 7) 石田浩高ら (2016): 同上 82: 230.
 8) ISHIKAWA, R. et al. (2005): Phytopathology 95: 1209 ~ 1216.
 9) 岩田道顕 (2007): 植物防疫 61: 553 ~ 558.
 10) KADOTANI, N. et al. (2016): BMC Plant Biol. 16: 60.
 11) KANO, A. et al. (2010): Phytopathology 100: 85 ~ 90.
 12) ——— et al. (2011): J. Plant Physiol. 168: 1852 ~ 1857.
 13) ——— et al. (2013): J. Exp. Bot. 64: 4939 ~ 4951.
 14) KNOTH, C. et al. (2009): Plant Physiol. 150: 333 ~ 347.
 15) 小暮篤史ら (2011): 日植病報 77: 158.
 16) KUC, J. (2001): Eur. J. Plant Pathol. 107: 7 ~ 12.
 17) KUMAGAI, K. et al. (2014): Anal. Biochem. 447: 146 ~ 155.
 18) 草間勝浩ら (2011): 日植病報 77: 259.
 19) LUNA, E. et al. (2014): Nat. Chem. Biol. 10: 450 ~ 456.
 20) MOLINA, A. et al. (1998): Plant Cell 10: 1903 ~ 1914.
 21) NARUSAKA, M. et al. (2015): PLoS ONE 10: e0115864.
 22) NARUSAKA, Y. et al. (2009): Plant Biotechnol. 26: 345 ~ 349.
 23) 鳴坂義弘ら (2016): 日植病報 82: 229.
 24) NAVAROVA, H. et al. (2012): Plant Cell 24: 5123 ~ 5141.
 25) NOUTOSHI, Y. et al. (2012 a): ibid. 24: 3795 ~ 3804.
 26) ——— et al. (2012 b): Front. Plant Sci. 3: 245.
 27) ——— et al. (2012 c): PLoS ONE 7: e48443.
 28) ——— et al. (2012 d): Plant Sig. Behav. 7: 1526 ~ 1528.
 29) ——— et al. (2012 e): Sci. Rep. 2: 705.
 30) 能年義輝 (2014): 岡山大学農学部学術報告 103: 31 ~ 36.
 31) ——— (2016): 植物の生長調節 51: 印刷中.
 32) 小川正臣ら (2011): 住友化学 2011-I: 4 ~ 17.
 33) OHARA, T. et al. (2010): WO/2010/021121.
 34) OOSTENDORP, M. et al. (2001): Eur. J. Plant Pathol. 107: 19 ~ 28.
 35) 大滝 幹ら (2015): 日植病報 81: 218.
 36) SCHREIBER, K. et al. (2008): Plant J. 54: 522 ~ 531.
 37) ——— and D. DESVEAUX (2008): Plant Pathol. J. 24: 245 ~ 268.
 38) SERRANO, M. et al. (2015): Front. Plant Sci. 6: 131.
 39) 柴田詩織ら (2016): 日植病報 82: 230.
 40) SIEGRIST, J. et al. (1998): Physiol. Mol. Plant Pathol. 53: 223 ~ 238.
 41) SUN, T. et al. (2015): PLoS ONE 10: e0123227.
 42) 津幡健治ら (2007): 植物防疫 61: 547 ~ 552.
 43) UKNES, S. et al. (1992): Plant Cell 4: 645 ~ 656.
 44) van HULTEN, M. et al. (2006): Proc. Natl., Acad. Sci. USA 103: 5602 ~ 5607.
 45) WOLF, A. J. et al. (2016): Cell 166: 624 ~ 636.
 46) WALTERS, D. et al. (2009): Physiol. Mol. Plant Pathol. 73: 95 ~ 100.
 47) 吉川岳史ら (2014): 日植病報 80: 290.

発生予察情報・特殊報 (28.12.1 ~ 12.31)

各都道府県から発表された病害虫発生予察情報のうち、特殊報のみ紹介。発生作物：発生病害虫（発表都道府県）発表月日。都道府県名の後の「初」は当該都道府県で初発生の病害虫。

※詳しくは各県病害虫防除所のホームページまたはJPP-NET (<http://www.jpnp.ne.jp/>) でご確認下さい。

- 野菜類、水稲：ミナミアオカメムシ（東京都：初）12/21
- キュウリ：灰白色斑紋病（仮称）（神奈川県：初）12/28
- ナシ：さび色胴枯病（秋田県：初）12/22

九州地域での飼料用トウモロコシ栽培と 赤かび病によるかび毒汚染

かわかみ あきら ささや たかひで かとう なおき
川上 顕・笹谷 孝英・加藤 直樹・
いのうえ ひろよし みやさか あつし
井上 博喜・宮坂 篤

農研機構・九州沖縄農業研究センター

はじめに

飼料用（青刈り用）トウモロコシは、他の飼料作物と比較して乾物収量、可消化養分総量、家畜の嗜好性等が優れており、自給飼料増産に向けて生産量増加が望まれる草種の一つである。日本国内では、栽培面積約9万ヘクタールから48万トン以上が生産され（農林水産省大臣官房統計部，2015）、主にサイレージ化されて家畜へ給餌される。北海道がその過半を占めるが、九州地域も主要な生産地となっている。九州地域はその温暖な気候から、3月下旬～8月上旬まで飼料用トウモロコシの播種が可能であり、多様な作付体系が存在する（図-1）。主な作付体系は、3月下旬～4月に播種し7月下旬～8月にかけて収穫する早播き体系、5～7月中旬にかけ播種し9～11月上旬にかけて収穫する遅播き体系、7月中旬～8月上旬にかけ播種し、11～12月上旬に収穫する夏播き体系、そして、早播きトウモロコシを収穫後直ちに夏播きトウモロコシを播種する二期作体系の四つに分類される（加藤，2011）。播種時期により日長、気温等栽培環境が異なることから、病害虫耐性や栽培特性の異なる多様な品種が育成・導入されている。そのトウモロコシには、ごま葉枯病やすす紋病、南方さび病、赤かび病等様々な病害が発生するが、薬剤散布による防除が行われないため、耐病性が収量性や耐倒伏性ととも重要な形質となっている。この中で、赤かび病は複数の病原菌が関与し日本全国で発生する病害で、子実が白色から淡紅色、鮭肉色の菌糸で綿糸状に覆われて腐敗する病徴を示し（図-2A）、激発すると収量に大きな影響を及ぼす。さらに、感染した作物組織に作用の異なる複数のかび毒を蓄積することから、家畜の健康や生産性に対するリスクも考慮する必要がある。特に九州地域は温暖な気候でトウモロコシの栽培可能期間が長いことから、赤

かび病の発病やかび毒蓄積のリスクが高いと考えられた。そこで、九州沖縄農業研究センター（熊本県合志市）内の圃場を利用し、栽培期間中の赤かび病菌菌種や分離頻度、かび毒の種類や蓄積量の変化について得られた知見を紹介する。

I 飼料用トウモロコシから分離される赤かび病菌

トウモロコシの赤かび病は複数種の *Fusarium* 属菌により引き起こされる。*Fusarium* 属菌は近年、そのDNA塩基配列に基づく分子進化学的解析を反映した複数の種複合体 (species complex) に仕分けされている。日本国内でトウモロコシ赤かび病菌として記録されているのは6種で、二つの種複合体にわけられる。*F. graminearum* と *F. asiaticum* (KAWAKAMI et al., 2015) は、*Fusarium graminearum* 種複合体 (FGSC) に属しており *Fusarium* 属菌に特徴的な鎌形の大型分生胞子のみを形成する（図-2B）。*F. concentricum* (月星ら，2012)、*F. fujikuroi*、*F. proliferatum* (月星ら，2011) と *F. verticillioides* (岡部ら，2008) は *Fusarium fujikuroi* 種複合体 (FFSC) に属し、大型分生胞子とともに小型分生胞子を擬頭または（および）連鎖状に形成する（図-2C, 2D）（飼料作物病害図鑑 農研機構，2015）。それらの病原菌は国内各地で分離されているが、主な分布域や発病を助長する要因、感染するトウモロコシ品種の抵抗性などは二つの種複合体間で違いが見られる。FGSCは北海道・東北地方等冷涼で雨が多い地域で、FFSCは本州以南の温暖な地域で子実へのアワノメイガなどの食害が多く見られる地域で、それぞれ発生が多いことが報告されている (PAYNE, 1999; MAIORANO et al., 2009; 岡部, 2010)。そのため海外では、FGSCによる病害を *Gibberella ear rot*、FFGCによる病害を *Fusarium ear rot* と分けて表記しているが (PAYNE, 1999)、日本国内では両複合体による病害はともに「赤かび病」とされている。

赤かび病を引き起こす病原菌の分離頻度に対する作付体系の影響を調査するため、早播き体系と遅播き体系の二つの作付体系でトウモロコシを栽培し、収穫した雌穂から分離した菌種割合を調査した。その際、分離菌の同定は、須賀により報告された方法 (須賀, 2014) に従い、

Incidence of *Fusarium* Species and Mycotoxins Contamination in Maize Produced by Various Cropping Systems in Kyushu Area. By Akira KAWAKAMI, Takahide SASAYA, Naoki KATO, Hiroyoshi INOUE and Atsushi MIYASAKA

(キーワード: トウモロコシ, 赤かび病, かび毒, 作付体系, フザリウム)

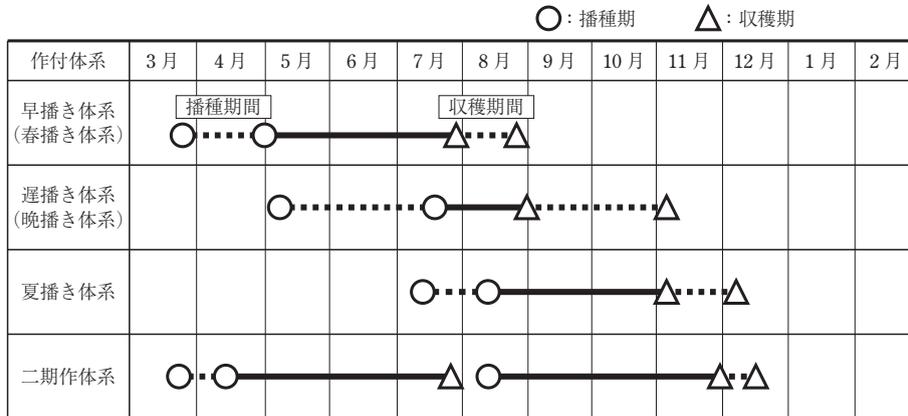


図-1 九州地域での飼料用トウモロコシ作付体系（笹谷ら，2015 から引用）

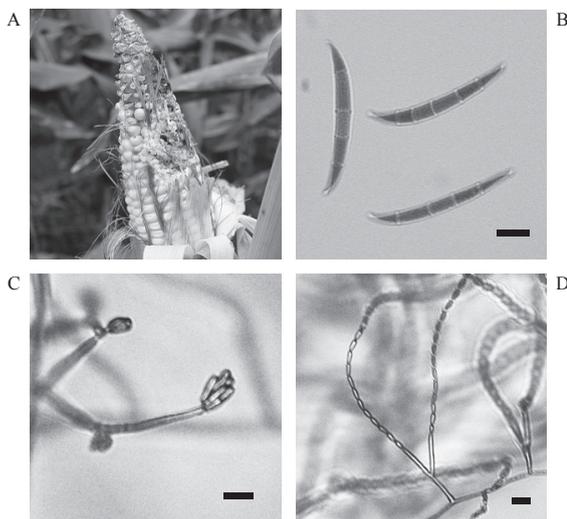


図-2 トウモロコシ赤かび病の病徴 (A) と赤かび病菌の大型分生胞子 (B)、擬頭状に形成された小型分生胞子 (C)、連鎖状に形成された小型分生胞子 (D) の顕微鏡写真。バーは 10 μm を示す。

分生胞子の形状と菌由来のヒストン H3 遺伝子や翻訳伸長因子 EF-1 α 遺伝子の PCR-RFLP によって行った。その結果、FFSC に属する *F. fujikuroi*, *F. proliferatum*, *F. verticillioides* が主に分離される。FGSC に属する赤かび病菌としては *F. asiaticum* が 2012 年に早播き体系で 2% 分離されただけであった (図-3) (笹谷ら，2015)。FGSC に属する病原菌は、麦類赤かび病も引き起こし、九州全域でその被害が報告されている。感染は主に病原菌の子のう胞子や分生胞子の飛散により起こることから、胞子飛散時期がトウモロコシの感染好適期（絹糸抽出期）とずれているため感染の機会が少なくなっていることが原

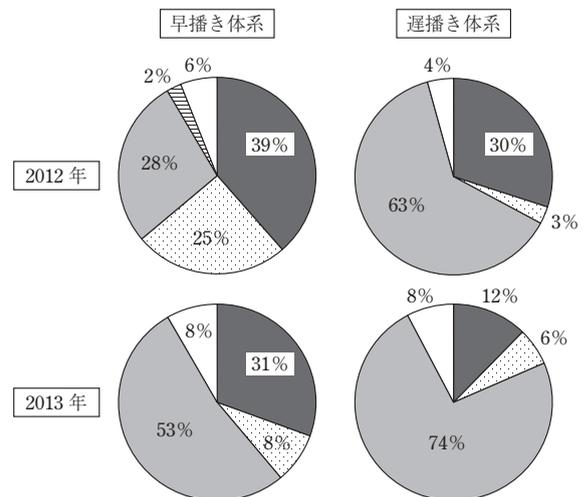


図-3 赤かび病症状を示した飼料用トウモロコシ雌穂から分離した菌種割合
 ■: *F. fujikuroi*, ▨: *F. proliferatum*, ▩: *F. verticillioides*, ▤: *F. asiaticum*, □: その他を示す。
 菌の分離は、早播き体系では 7 月下旬～8 月上旬に、遅播き体系では 9 月上旬に行った。(笹谷ら，2015 から引用)

因の一つではないかと考えられた。また、*F. graminearum* は東北地方以北、*F. asiaticum* は関東以西で麦類赤かび病の主な病原菌として報告されており、トウモロコシでも既報と一致する結果が得られたと考えられる。

FFSC に属する病原菌は栽培体系の違いによって菌種の分離頻度が異なり、早播き体系のトウモロコシ雌穂では *F. fujikuroi* および *F. verticillioides* の分離率が高く、遅播き体系のトウモロコシでは *F. verticillioides* の分離率が高かった (図-3) (笹谷ら，2015)。このことは、当該圃場では作付体系の違いにより、雌穂に感染する菌種が異なることを示しており、各菌種の胞子飛散時期や飛

散量, トウモロコシ品種の抵抗性の違いが影響している可能性がある。

II 飼料用トウモロコシで検出されるかび毒

トウモロコシ赤かび病は上述したように二つの種複合体に属する病原菌により引き起こされるが, 感染組織に蓄積されるかび毒も種複合体により異なる。

FGSCに属する2種の病原菌は, トリコテセン系かび毒のデオキシニバレノール (DON) とニバレノール (NIV), そしてゼアラレノン (ZEN) を産生する。DON自体には発がん性はないが, 高濃度で汚染された穀物を多量に摂取すると, 嘔吐, 腹痛, 下痢等の急性毒性を示す場合がある。さらに, 低濃度でも汚染された穀物を長期間にわたり摂取すると体重低下や免疫力低下等慢性毒性も示すこともわかってきた。また, ZENは豚に生殖障害を発生させる作用があり, 内分泌攪乱物質の一つとなっている。FFSCに属する4種の病原菌は, フモニシン (FUM) を産生する。FUMはウマの白質脳症やブタの肺水腫等家畜への影響のほか, 新生児の神経管への催奇形性を示すとの報告がある。また, 動物試験では肝臓や腎臓に発がん性があることも認められている (農林水産省, 2014)。家畜の健全飼育や生産性向上を図るため, 日本国内ではDONに関して, 生後3か月以上の牛に給与される飼料に対しては4 ppm, それ以外の家畜に給与される飼料に対しては1 ppmの暫定許容値を設けている (14生畜第2267号)。また, ZENについても飼料中濃度が1 ppm以下とされている (生畜第72695号)。一方, NIVとFUMに関しては国内での基準値が設定されていないが, 米国ではFUMのガイドライン値 (乳牛に与えるトウモロコシおよびトウモロコシ由来の飼料で30 ppm未満等) (U.S. Food & Drug Administration, 2001) が定められている。

前項で病原菌の分離に利用した早播き体系と遅播き体系で栽培されたトウモロコシの雌穂と茎葉, さらに, 夏播き体系で栽培されたトウモロコシ雌穂と茎葉を粉碎したサンプルからDON, NIV, FUMの定量を行った (表-1) (笹谷ら, 2015)。その結果, DONおよびNIVは, 早播き体系で栽培したトウモロコシの茎葉部からは検出されたが, DONの国内基準値4 ppmを超えるものではなかった。一方, 全作付体系において雌穂部からはDONとNIVは検出されなかったことは, 雌穂部からDONとNIVの産生菌であるFGSCの菌種の分離率が低い結果と一致する。また, 年による変動はあるものの品種間にかび毒蓄積量に差が見られることがわかった。

雌穂部からはFUMのみが検出されたが, 米国の

表-1 九州地域の飼料用トウモロコシのかび毒の蓄積量

①早播き体系 (4月上旬播種, 7月下旬～8月上旬収穫)

品種	試験年	茎葉部			雌穂部
		DON濃度	NIV濃度	FUM濃度	FUM濃度
A	2011年	0.82±1.43	0.53±0.61	-	0.82±1.43
	2012年	0.12±0.13	-	-	0.83±0.46
	2013年	-	-	-	-
B	2011年	NT	NT	NT	NT
	2012年	-	-	-	2.21±1.34
	2013年	-	-	-	2.82±2.21
C	2011年	-	-	-	0.70±0.70
	2012年	NT	NT	NT	NT
	2013年	0.53±0.75	-	-	0.24±0.20
D	2011年	0.70±1.21	-	-	-
	2012年	0.67±0.98	-	-	0.34±0.10
	2013年	NT	NT	NT	NT
E	2011年	NT	NT	NT	NT
	2012年	-	-	-	4.52±3.96
	2013年	-	-	-	1.20±1.70

②遅播き体系 (5月下旬～6月上旬播種, 9月上旬収穫)

品種	試験年	茎葉部			雌穂部
		DON濃度	NIV濃度	FUM濃度	FUM濃度
F	2011年	-	-	-	0.42±2.18
	2012年	-	-	-	2.63±0.63
	2013年	-	-	0.36±0.51	-
G	2011年	-	-	-	2.59±15.11
	2012年	-	-	-	2.63±0.63
	2013年	-	-	3.83±3.04	-
H	2011年	NT	NT	NT	NT
	2012年	-	-	-	1.13±1.13
	2013年	-	-	2.37±0.74	1.92±2.72

③夏播き体系 (7月下旬～8月上旬播種, 11～12月上旬収穫)

品種	試験年	茎葉部			雌穂部
		DON濃度	NIV濃度	FUM濃度	FUM濃度
G	2012年	-	-	0.26±0.36	-
	2013年	-	-	-	-
I	2012年	-	-	-	-
	2013年	-	-	-	-

検出されたかび毒量の単位はppmで, DONおよびNIVは0.01 ppm以下を, FUMは0.22 ppm以下を-とした。雌穂部からはDONとNIVは検出されなかった。NTは試験未実施を示す。(笹谷ら, 2015から引用)

FUM ガイドライン値を下回る値であった。また、夏播き体系（7月中旬～8月上旬に播種し、11～12月上旬に収穫）で栽培されたトウモロコシ雌穂部からはFUMは検出されなかった。この作付体系では絹糸抽出期が9月下旬ころで、登熟期間中の気温が低くなり、赤かび病菌の感染・増殖が起こりにくかったためと考えられる。

トウモロコシおよびトウモロコシサイレージのかび毒汚染は、今回の調査のみならず日本全国で発生し、DONについては国内基準値をオーバーする数値も報告されている（出口ら, 2005; 平岡, 2007; 湊, 2009; 岡部, 2010; 佐藤ら, 2011; 魚住ら, 2015）。気候温暖化が赤かび病の病原菌の分布やトウモロコシへの感染圧、かび毒蓄積量にも大きく影響を与えることは十分考えられるため、各地域でトウモロコシ赤かび病の発生程度やかび毒蓄積についてモニタリングを定期的に行う必要がある。

おわりに

今回紹介した事例から、九州地域の飼料用トウモロコシ栽培では、FFSCによる赤かび病が主に発生し、FUM汚染が特に問題になると考えられる。FUMは国内での規制値が設定されておらず、得られたデータは米国のガイドライン値を下回っていたが、絹糸抽出期以降の環境や栽培品種の変化等がかび毒蓄積量が顕著に増加する可能性もある。また、魚住ら（2015）は、東北6県での飼料用トウモロコシ品種の赤かび病発病度やかび毒蓄積量の比較試験から、地理的に離れた場所での品種抵抗性情報の共有は難しい場合があるとしている。このことは、赤かび病抵抗性が栽培環境の違いに大きく影響を受けることを示しており、九州地域内でも気候が異なる地域同士でトウモロコシの赤かび病に関して比較試験が必要と考えられた。

近年、北海道を中心としてイヤコーン（トウモロコシ雌穂）をサイレージ化して濃厚飼料を生産する技術が広まりつつある。通常のトウモロコシサイレージが黄熟期のトウモロコシ全体を利用するのに対し、イヤコーンサイレージは完熟期まで栽培した雌穂を収穫して利用する。栽培期間が長くなれば（黄熟期以降の熟期）FUM蓄積量が急激に増加するとの報告があることから（UEGAKI

et al., 2012）、FUMが高濃度に蓄積したイヤコーンが濃厚飼料として利用される可能性もある。九州を含めた本州以西のFFSCが主に赤かび病を引き起こす地域では、トウモロコシ品種の赤かび病抵抗性やかび毒蓄積性を考慮しながら栽培方法を検討する必要がある。

輸入飼料価格の高騰や国内自給率向上のため、近年は国産飼料の増産が望まれてきている。その中で、飼料用トウモロコシ生産も注目され、赤かび病の発生やかび毒汚染状況、赤かび病抵抗性育種に関しても研究が進みつつある。ただ、麦類では赤かび病に関する研究や防除技術開発がトウモロコシに比べかなり進んでおり、日本国内でもかび毒汚染リスク低減のための生産工程管理マニュアルが作成され、農業現場で活用されている（九州沖縄農業研究センター, 2008）。トウモロコシについても、赤かび病防除薬剤の利用が難しいなど麦類に比べ手段は限られるものの、抵抗性育種や耕種の防除手法（栽培時期や輪作等）等今後の試験研究の加速が望まれる。

引用文献

- 1) 出口健三郎ら (2005): 北草研報 39: 49.
- 2) 平岡久明 (2007): 臨床獣医 25(6): 10～17.
- 3) 加藤直樹 (2011): 日草誌 57: 172～175.
- 4) KAWAKAMI, A. et al. (2015): J. Gen. Plant Pathol. 81: 324～327.
- 5) MAIORANO, A. et al. (2009): Crop Protection 28: 243～256.
- 6) 湊 啓子 (2009): 植物防疫 63: 557～614.
- 7) 農研機構九州沖縄農業研究センター (2008): 麦類のかび毒汚染低減のための生産工程管理マニュアル, http://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/files/mugi_kabidoku_man.pdf
- 8) 農研機構畜産研究部門 飼料作物病害図鑑 (2015): <http://www.naro.affrc.go.jp/org/nilgs/diseases/dtitle.html>
- 9) 農林水産省 (2014): いろいろなかび毒, http://www.maff.go.jp/j/syoutan/seisaku/risk_analysis/priority/kabidoku/kabi_iroiro.html
- 10) ——— (2015): 作物統計, <http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat>
- 11) 岡部郁子 (2010): 植物防疫 64: 287～290.
- 12) ———ら (2008): 日植病報 74: 35.
- 13) PAYNE, G. A. (1999): Compendium of Corn Diseases, APS Press, St. Paul, p.44～47.
- 14) 笹谷孝英ら (2015): 日草誌 61: 102～106.
- 15) 佐藤千尋ら (2011): 岩獣会報 37: 181～184.
- 16) 須賀晴久 (2014): 植物防疫 68: 269～273.
- 17) 月星隆雄ら (2011): 日植病報 77: 203.
- 18) ———ら (2012): 同上 78: 187.
- 19) UEGAKI, R. et al. (2012): Grassl. Sci. 58: 121～126.
- 20) 魚住 順ら (2015): 日草誌 61: 115～120.
- 21) U.S. Food & Drug Administration (2001): <http://www.fda.gov/Food/GuidanceRegulation/GuidanceDocumentsRegulatoryInformation/ucm109231.htm>

(登録が失効した農薬4ページからの続き)

- 21445: クミアイテロス1キログラム剤 (クミアイ化学工業)
16/12/8
- イマズスルフロン・プレチラクロール剤
21446: ゴヨウダジャンボ (住友化学) 16/12/8
- イマズスルフロン・ダイムロン・フェントラザミド剤
21448: カルガル1キログラム剤 (バイエルクロップサイエンス)
16/12/8

- プロピリスルフロン剤
22845: 協友ゼータワンジャンボ (協友アグリ) 16/12/13
- ベンスルフロンメチル・ベンゾビスクロン・ペントキサゾン剤
22850: プレステージ1キログラム剤 51 (科研製薬) 16/12/22
- ベンスルフロンメチル・ベンゾビスクロン・ペントキサゾン剤
22851: プレステージ1キログラム剤 75 (科研製薬) 16/12/22

ポットを介したイチゴ萎黄病の伝染と防除対策

佐賀県農業技術防除センター ^{いな}稲 ^だ田 ^{みのる}穂

取組のきっかけ

2011年6月に県内のイチゴ生産者（以下、A氏）が、私の勤務先である農業試験研究センターへ相談にみえた。A氏によれば、毎年、育苗圃および本圃で萎黄病が多発生して深刻な被害を受けており、健全親株や購入床土の利用、本圃の土壤消毒などの対策を講じてきたものの、効果がなく、このままではイチゴ栽培が継続できないため、効果的な防除対策を指導して欲しいとのことであった。

イチゴ萎黄病は、*Fusarium oxysporum* f.sp. *fragariae* による糸状菌病害であり、イチゴのみを侵す。発病株では初め新葉の一部黄化、奇形を生じ、クラウン部が褐変、腐敗して株全体が萎凋、枯死する（岡本，1970）（図-1、口絵①参照）。親株および苗で多発生すると、苗不足になるだけでなく、感染苗の定植により本圃で立枯れが発生し、減収被害を生じるため、防除上の重要病害となっている。育苗圃での第一次伝染源は、感染した親株や病原菌に汚染された土壤とされ（岡本，1984）、感染親株からはランナーを通じ子苗に伝染（森，1998）するとともに、風雨によって汚染土壤が飛散し拡散する（宮川ら，1979；古田ら，2004）。また、本圃では発病残渣とともに

に残存し土壤伝染を行う（岡本，1977）。

本病による育苗圃での被害は、数年前から他圃場でも問題となっており、新たな伝染源が関与する可能性も考えられたため、効果的な防除対策の確立を目的に調査および試験に取り組むこととした。なお、本稿の詳細については、九州病害虫研究会報第62巻（稲田，2016）にも掲載しているので参考としていただきたい。

I 育苗圃場での調査

2011年6月24日に、A氏のイチゴ育苗圃（品種‘さがほのか’）において萎黄病の発生状況を調査した。その結果、親株の発病率は32.5%と多発生であり、親株から伸長したランナー先端の子苗にも発病が認められた。これらの親株は、前年に萎黄病の発生がない他圃場で育成されたものであり、ポットの床土は同地区の他の生産者と同じ購入床土を利用していた。また、親株および苗を植え付けるビニルポット（以下、ポット）は一般的なもの、複数年連続して使用するものの、毎年、資材消毒剤であるケミクロンG（カルシウムハイポクロライト、日本曹達株式会社）500倍水溶液への浸漬処理が実施されており、これらが発病に関与する可能性は低いように思われた。ただし、前年に使用され、野外の架台

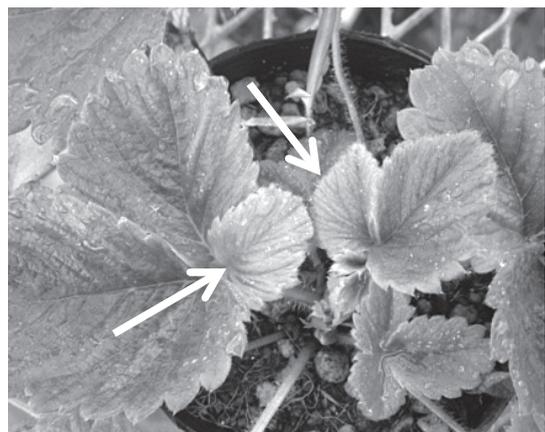


図-1 イチゴ育苗圃におけるポットでの栽培状況（親株および子苗）と萎黄病の病徴

Transmission and Control of Strawberry Fusarium Wilt from Contaminated Pots. By Minoru INADA

（キーワード：イチゴ萎黄病、ポット、伝染源、消毒法）

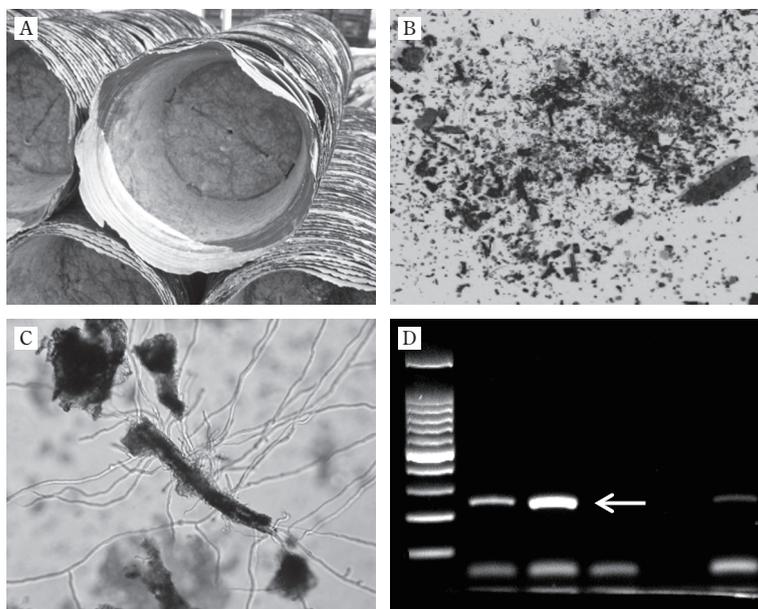


図-2 イチゴ萎黄病発生現場で使用された親株用ポットの付着物からの *Fusarium* 属菌の検出状況

- A：ポット内面の付着物の状況.
- B：かき取った付着物.
- C：Fo-G1 液体培地での付着物からの菌糸の伸長.
- D：イチゴ萎黄病菌特異的プライマーによるバンドの検出.

上に保管されていた親株用のポット（直径 20 cm，深さ 25 cm）を観察すると，図 2-A のように，その内部に床土の一部と思われる白乾した付着物が認められた。

II 現地で使用されたポットからの萎黄病菌の検出

念のため，野外で保管されていたポットを持ち帰り，萎黄病菌の検出を試みた。内面の付着物を葉さじでかき取って *Fusarium* 属菌の選択培地である Fo-G1（西村，2008）液体培地に懸濁し，25℃で 24 時間管理後に顕微鏡下で観察したところ，植物の残骸状のものから菌糸の伸長が認められた。菌糸伸長が認められた残骸物をピンセットで回収し，Fo-G1 平板培地で培養すると赤色の *Fusarium* 属菌のコロニーが形成された。これらから単孢子分離して得られた 9 菌株について，ゲノム DNA を抽出し，イチゴ萎黄病菌を検出するプライマー（SUGA et al., 2013）を用いて PCR（94℃：5 分→（94℃：60 秒→55℃：60 秒→72℃：60 秒）× 30 サイクル）および電気泳動を行ったところ，3 菌株で本病原菌特有のバンドが確認された（図-2 の B, C, D 参照）。さらに，これらの菌株をイチゴ株に接種すると萎黄病の病徴が再現され，褐変したクラウン部から *F. oxysporum* が再分離された。

また，現地から持ち帰ったポットに滅菌土壌を用いて

表-1 イチゴ萎黄病発生現場で使用された親株用ポットの再利用による萎黄病の発生状況

ポット	供試ポット数	イチゴ萎黄病の ^{a)} 発病株数 (株)	発病株率 (%)
現地使用ポット	10	5	50
未使用ポット	10	0	0

^{a)} 2012 年 4 月 10 日に健全株（品種‘さがほのか’）を各ポットに 1 株ずつ植え付け 7 月 30 日まで発病の有無を調査。

健全株を植え付け，ガラス室内で管理して発病状況を調査した。その結果，表-1 に示すとおり，未使用のポットに植え付けた株は発病しなかったが，現地のポットに植え付けた株では萎黄病の発生が認められた（発病株率：50%）。発病株の褐変したクラウン部からは *F. oxysporum* が分離された。

これらの結果から，A 氏が利用したポットの内面の付着物にはイチゴ萎黄病菌が残存しており，これが伝染源となり，今作での発病につながった可能性が考えられた。

III ポットの効果的消毒法の検討

イチゴ萎黄病菌が残存するポットの消毒法をセンター内で検討した。試験には，あらかじめ本病原菌の接種に

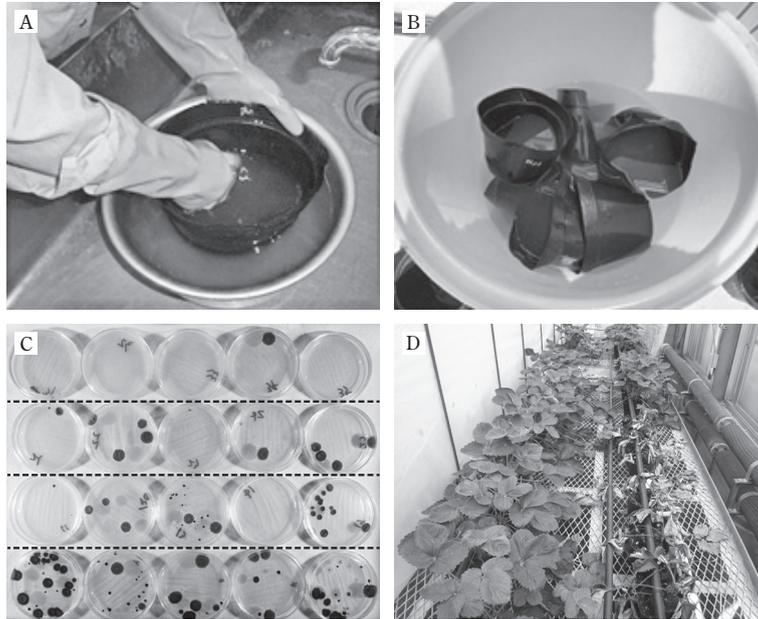


図-3 ポット消毒によるイチゴ萎黄病の防除効果

- A : ポットの洗浄 (写真は大型ポット).
 B : ポットのケミクロン G 水溶液への浸漬.
 C : ポット内面からの萎黄病菌の検出状況 (上から 1 段目: 洗浄 + CH 浸漬, 2 段目: CH 浸漬, 3 段目: 洗浄, 4 段目: 無処理).
 D : ポットに植え付けたイチゴの発病状況 (左側: 「洗浄 + CH 浸漬」, 右側: 無処理).

より枯死した株のビニルポット (直径 10.5 cm) を供試した。処理区として、「洗浄」は、市販の台所用スポンジを用い、タライに溜めた水道水中でポット内面の汚れを除去した後水道水ですすいだ。「CH 浸漬」は、ケミクロン G (以下 CH) の 1,000 倍液を満したポリ容器にポット同士が重ならないよう 20 分間浸漬した。また、「洗浄 + CH 浸漬」は、「洗浄」後に「CH 浸漬」を組合せて行った (図-3 の A, B 参照)。処理による除菌および殺菌効果を明らかにするため、各処理の前後に滅菌水で湿らせた市販の綿棒を用いて各ポット内面の付着物をこすり取り、Fo-G1 平板培地にかく線した。25℃で 10 日間培養した後、*F. oxysporum* のコロニー数を数え、1 cm² 当たりの検出密度を算出した。また、各ポットに滅菌土壌を用いて健全株を植え付け (1 株/ポット、各区 10 株)、ガラス室内で 12 月から翌年 7 月まで管理し、萎黄病の発生状況を調査した。

その結果、表-2 に示すとおり、「無処理」のポットにおける *F. oxysporum* の検出密度は 4.2 ± 0.5 cfu/cm² であり、植付株の発病株率は 50.0% に達した。「洗浄」および「CH 浸漬」処理における処理後の検出密度は、それぞれ 0.9 ± 0.3 および 0.9 ± 0.4 cfu/cm² であり、「無処理」

表-2 ポットの洗浄および資材消毒液浸漬によるイチゴ萎黄病の防除効果

試験区	<i>Fusarium oxysporum</i> ^{b)} 検出コロニー数 (cfu/cm ²)		除菌 ^{c)} および殺菌率 (%)	発病状況 ^{d)}	
	処理前	処理後		発病株率 (%)	防除価
	洗浄 + CH 浸漬 ^{a)}	6.3 ± 2.3	0.0 ± 0.0	99.6	0
洗浄	8.0 ± 1.8	0.9 ± 0.3	89.0	60	0
CH 浸漬	4.3 ± 1.6	0.9 ± 0.4	79.4	30	40
無処理	4.2 ± 0.5			50	

a) スポンジを用いて水道水で付着物を除去した後カルシウムハイポクロライト (商品名: ケミクロン G) 1,000 倍液に 20 分間浸漬。

b) Fo-G1 平板培地で 25℃, 10 日間培養後に生じたコロニー数。

c) $= 100 - (\text{処理後コロニー数} / \text{処理前コロニー数} \times 100)$ 。

d) 各ポットにイチゴを植え付け 12 月～翌年 7 月まで管理し調査 (10 株/区)。

に比べ除菌および殺菌効果を示したものの、植付株の発病株率は 60.0 および 30.0% となり発病を抑制できなかった (防除価: 0 および 40)。それに対し、「洗浄 + CH 浸漬」では、処理後に *F. oxysporum* はほとんど検出され

ず ($0.0 \pm 0.0 \text{ cfu/cm}^2$) 高い除菌および殺菌効果 (除菌および殺菌率: 99.6%) が認められ、また、植付株の発病もなく高い防除効果を示した (防除価: 100) (図-3 の C, D 参照)。

さらに、A 氏の育苗圃場において、現地の汚染ポットを用い 2012 年に同様の試験を実施した結果、「洗浄 + CH 浸漬」処理したポットに健全株 (専用増殖施設で育成した原種苗) を植え付けることで本病の発生を抑えることができた (データ省略)。

IV 現地でのポット更新を主体とした対策による防除効果の検証

ポットを介した伝染の回避による親株での発病抑制効果を検証するため、2012～14 年に A 氏圃場を含む現地の 3 育苗圃場において、ポットの更新 (新品の利用) と圃場全体に被覆された除草シート上の堆積土壌の除去、消毒 (ケミクロン G1,000 倍, 100 l/10 a 散布) を組合せて効果を検討した。親株は各圃場とも前年に自家育苗または他圃場で育苗されたものを利用し、本病を対象とした薬剤処理は実施しなかった。調査は各圃場のすべての親株 (1,438～2,250 株) を対象とし、4～7 月に約 2 週間間隔で萎黄病の発生状況を調査した。

その結果、図-4 に示すとおり、A 氏の圃場では、対策前年 (2011 年) における親株の発病株率が 32.5% であったのに対し、対策 1 年目 (2012 年) には 13.7% に減

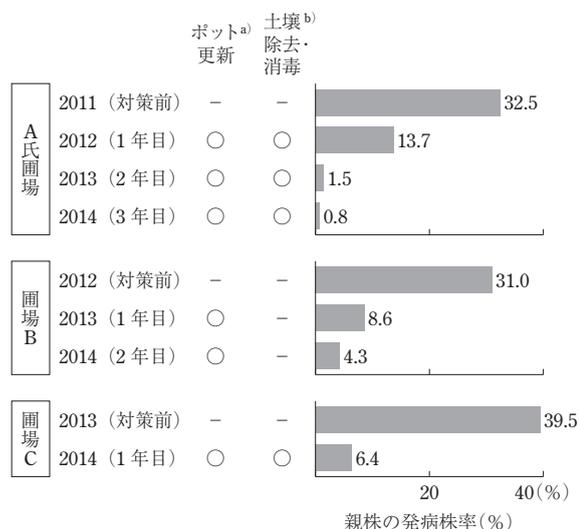


図-4 現地でのポット更新を主体とした対策による親株でのイチゴ萎黄病の防除効果

a) 未使用のポットに親株を植え付け。○: 実施, - : 実施せず。

b) 除草シート上に堆積した土壌を除去した後ケミクロン G 1,000 倍液を 100 l/10 a でシートに散布。

少し効果が認められた。さらに 2 年目 (2013 年) には 1.5%, 3 年目 (2014 年) には 0.8% となり、発病をさらに低減することができた。親株での発生を抑えることで、苗および本圃株での発生も抑制できた。また、他の 2 圃場についても同様に、対策 1 年目から親株の発病株率が低下し効果が認められた。

これらの圃場では、親株自体の感染や除草シート上に堆積した汚染土壌 (平山, 2016) 等、複数の伝染源が発病に関与していたと考えられるが、ポット更新を複数年にわたって継続し親株への伝染を回避することで、被害を実害がないレベルにまで低減できると考えられた。

おわりに

育苗圃での萎黄病の発生程度は圃場間差が大きく、発生圃場では健全な原種苗の導入や床土の消毒を実施しても改善がみられない場合がある。今回の試験の結果から、そのような圃場では、ポットを介して本病原菌が親株および苗に伝染し被害を生じた可能性がある。汚染ポットの消毒法を検討した結果、現地慣行のケミクロン G への浸漬や水道水による洗浄のみでは、除菌および殺菌効果はあるものの不十分であり、植付株の発病を回避できなかった。岡本 (1984) は、本病原菌の厚膜胞子が発病株の根で比較的短期間に形成されることを報告している。イチゴをポットに植え付けると、根がポット内面に密着するように伸長し根鉢を形成するため、本病による萎凋、枯死株では、腐敗した根の残骸とともに厚膜胞子がポット内面に付着し残存すると推察される。このようなポットに再びイチゴを植え付けると、再びポット内面に密着して根鉢が形成され、病原菌の残存がわずかであっても感染が成立し、発病につながると考えられる。これらのことから、ポットの消毒においては、残存する病原菌をほぼ完全に除菌または殺菌する必要があり、資材消毒剤を利用する場合は、あらかじめ、ポットをよく洗浄してから浸漬処理を行うことが重要である。

ポットを介した伝染は、本病の育苗圃における主要な伝染ルートと考えられるため、その伝染ルートを遮断することで発病を低減できると考えられる。しかし、被害を安定して抑えるには、考えるすべての伝染ルートを遮断し、圃場から本病原菌を排除することが重要であり、ポット対策とともに、感染していない健全親株、健全な床土の利用、除草シート上に堆積した土壌の除去および消毒剤散布を合わせて行う必要がある。なお、発生圃場では、これらいずれかの伝染ルートが成立していると考えられるため、生産者に対し、防除指導を行う際は、圃場ごとの伝染ルートを明らかとし、適切な対策を助言

すべきである。なお、本圃での発生については、感染苗の定植のほか、本圃での土壌伝染が関与する可能性があるため、圃場での発病歴を把握し土壌消毒の要否および方法を判断する必要がある。

今回の成果が他産地での安定生産の一助になれば嬉しい限りである。

引用文献

- 1) 古田明子ら (2004): 日植病報 70: 28 ~ 29 (講要).

- 2) 平山喜彦 (2016): 植物防疫 70: 50 ~ 52.
 3) 稲田 稔 (2016): 九病虫研究会報 62: 64 ~ 71.
 4) 宮川寿之ら (1979): 関西病虫研報 21: 54.
 5) 森 充隆 (1998): 農耕と園芸 53: 137 ~ 140.
 6) 西村範夫 (2008): 植物防疫 62: 164 ~ 167.
 7) 岡本康博 (1970): 日植病報 36: 166.
 8) ——— (1977): 岡山農試研報 2: 83 ~ 88.
 9) ——— (1984): 同上 73: 1 ~ 92.
 10) SUGA, H. et al. (2013): Plant Dis. 97: 619 ~ 625.

新しく登録された農薬 (28.12.1 ~ 12.31)

掲載は、**種類名**、登録番号：**商品名**（製造者又は輸入者）登録年月日、有効成分：含有量、**対象作物**：対象病害虫：使用時期等。ただし、除草剤・植物成長調整剤については、**適用作物**、**適用雑草**等を記載。

〔殺虫剤〕

●ピーチフルア剤

23882：シンクイコンーL（信越化学工業）16/12/14

ピーチフルア：89.5%

果樹類：モモシンクイガ：成虫発生初期から終期

●エチプロール水和剤

23883：キラップシード FS（バイエルクロップサイエンス）

16/12/14

エチプロール：29.2%

湛水直播水稲：イネミズゾウムシ：は種前（浸種前）、は種前（浸種後）（鉄コーティング中）、は種前（浸種後）（鉄コーティング後）

●BT水和剤

23884：兼商デルフィン顆粒水和剤（アグロカネシヨウ）

16/12/14

バチルス チューリンゲンシス菌の生芽胞および産生結晶毒素：10.0%

果樹類：ハマキムシ類、ケムシ類

りんご：ハマキムシ類、ケムシ類、シャクトリムシ類

なし：ケムシ類

かんきつ：アゲハ

オリーブ（葉）：ハマキムシ類、ケムシ類

ブルーベリー：イラガ類

野菜類：オオタバコガ、ハスモンヨトウ、ウリノメイガ、アオムシ、コナガ、シロイチモジヨトウ

豆類（種実）：オオタバコガ、ハスモンヨトウ、シロイチモジヨトウ

やまのいも：オオタバコガ、ハスモンヨトウ、シロイチモジヨトウ

いも類（やまのいもを除く）：オオタバコガ、ハスモンヨトウ
とうもろこし：オオタバコガ

茶：チャハマキ、ヨモギエダシャク、チャノココクモンハマキ
たばこ：タバコアオムシ、ヨトウムシ

芝：シバツトガ、スジキリヨトウ、タマナヤガ

きく：オオタバコガ

●ダイアジノン乳剤

23885：日農ダイアジノン乳剤 40（日本農薬）16/12/14

ダイアジノン：40.0%

キャベツ：アオムシ、コナガ、アブラムシ類、キスジノミハムシ

ブロッコリー、カリフラワー：アオムシ、コナガ、アブラムシ類、キスジノミハムシ、キボシマルトビムシ

ほうれんそう：アブラムシ類

ねぎ、わけぎ、あさつき：アブラムシ類、ネギコガ、アザミウマ類、ネギハモグリバエ、タマネギバエ

たまねぎ：アブラムシ類、アザミウマ類、ネギハモグリバエ、タマネギバエ

なす（露地栽培）：アブラムシ類、テントウムシダマシ、ハダニ類

ばれいしょ：アブラムシ類、テントウムシダマシ

さやいんげん、さやえんどう、実えんどう：アブラムシ類、ハダニ類

すいか、メロン：アブラムシ類、ハダニ類、キボシマルトビムシ

きゅうり：アブラムシ類、ハダニ類

芝：コガネムシ類幼虫、シバツトガ、スジキリヨトウ、シバオサゾウムシ

〔殺虫・殺菌剤〕

●シアントラニリプロール・シメコナゾール・トルプロカルブ粒剤

23886：トリプルキック箱粒剤（三井化学アグロ）16/12/22

シアントラニリプロール：0.75%

シメコナゾール：4.5%

トルプロカルブ：9.0%

稲（箱育苗）：イネヒメハモグリバエ：移植当日

稲（箱育苗）：ニカメイチュウ、イネドロオイムシ、イネミズゾウムシ、いもち病、紋枯病、稲こうじ病：移植3日前～移植当日

〔除草剤〕

●プロピリスルフロン・ベントキサゾン水和剤

23878：ゼータハンマーフロアブル（住友化学）16/12/14

プロピリスルフロン：1.7%

ベントキサゾン：3.9%

移植水稲：水田一年生雑草、マツバイ、ホタルイ、ヘラオモダカ、ミズガヤツリ、ウリカワ、ヒルムシロ、セリ、クログワイ、アオミドロ・藻類による表層はく離

●プロピリスルフロン・ベントキサゾン粒剤

23879：ゼータハンマージェンボ（住友化学）16/12/14

プロピリスルフロン：4.5%

ベントキサゾン：10.0%

(27 ページに続く)

タマネギ紅色根腐病

—その発生と防除—

(一社)北海道植物防疫協会 ^こ児 ^{だま}玉 ^ふ不 ^し二 ^お雄
 北海道立総合研究機構 中央農業試験場 ^{やま}山 ^な名 ^{とし}利 ^{かず}一
 ホクレン農業総合研究所 ^{まえかわ}前川 ^{けんじろう}健二郎・^{にわ}丹羽 ^{まさのぶ}昌信

はじめに

タマネギ紅色根腐病は、我が国では1970年代に報告された土壌病害で、根が紅変し腐敗するのが大きな特徴とされる。しかし類似病害である乾腐病とは異なり、鱗茎の茎盤より上部を腐敗させ商品価値を著しく低下させることがないため、生産上あまり重要視されていなかった(児玉ら, 1975)。しかし2003年ころから北海道のタマネギ主産地である北見地方を中心に根の紅変・枯死を伴うタマネギの生育不良が多く発生し、2012年には本病に起因すると思われるタマネギ萎凋・枯死および減収が大きな問題となった(児玉ら, 2013)。近年、病原性の検定、病徴再現、乾腐病との関係、品種間差異等について知見を得た(児玉ら, 2015)ので報告する。

I 病徴ならびに発生状況

1 病徴

本病は根の紅変・枯死を基本的な症状とする(口絵-3)。一般的には地上部に症状が現れず、鱗茎の肥大が抑制されている兆候も見られない。したがって1970年代までは、タマネギ生産者のみならず技術指導者の間でも、タマネギの根は生育の進行に伴い紅変するとされていた。しかし近年各地でタマネギ葉身が激しく萎凋し、さらに黄化や枯死する症状が発生した(口絵-2)。このような発症株の根は紅変するのみならず、生育が著しく不良であり、枯死にいたることも多い。さらに特徴的なのは茎盤が褐変症状を呈していることである(口絵-4)。水分吸収のみならず地上部への水分移行も阻害されていると思われた。茎盤の褐変は生育期間中には顕著であるが、収穫乾燥後には病斑は縮小・乾固する。類似病害の乾腐病とは異なり(口絵-5)、茎盤から症状が拡大して

鱗茎(葉鞘)が崩壊・陥没することはない。注目すべきは、根の紅変部からは病原菌(*Setophoma terrestris*; 旧名 *Pyrenochaeta terrestris*)が分離されるが、茎盤の褐変部分からは分離されないことである。乾腐病の場合は、茎盤部から *Fusarium oxysporum* f. sp. *cepae* が容易に分離される。

2 発生状況

北海道におけるタマネギ栽培面積は約13,000 haであるが、本病はほぼその全域で発生している。しかし軽微な根の紅変症状の場合には、病害と認められることはほとんどない。顕著な萎凋症状は、生育初期が高温・乾燥の年に多く発生し、6月下旬～7月初旬に発病株率が40%を超える事例も認められた(口絵-1)。

II 接種方法の改善とその利用

土壌病害の接種試験では、土壌殺菌に加えて施肥量の調整など、対象作物の生育を保証する試験用土壌の確保が必要である。近年市販されている人工育苗培土は、適切な選択により極めて有効な実験用土壌となる。またタマネギの育苗法も著しく改善されてきているので、これらを用いた接種方法を試みた。

供試病原菌は、2011年7月に北海道長沼町で発生した本病の罹病根より分離・保存した菌株(*Setophoma terrestris*: 菌株番号 Pyr 5-3)である。しょ糖加用ジャガイモ煎汁液体培地を、厚さ2 cm・直径9 cmのプラスチック製ペトリ皿に20 ml注入し、これに供試菌を移植して25℃で30日間培養した。この培養菌体をコーヒーフィルターでろ過後、さらにろ紙を当てて水分を除去し適量の滅菌水を加えてミキサーで磨砕し接種源とした。振盪フラスコで培養すると7～10日の短期間で大量の接種源を作製することができる。

1 カップ接種

水稻育苗用培土(片倉チッカリン社製; パールマットG)と天然乾燥珪砂の混和土(容量比で、1:1)を供試土壌とした。この土壌に接種源(磨砕菌体)を加えて十分混和した接種土壌を220 ml容の紙コップに充てんし、

Etiology and Control of Pink Root Rot of Onion Caused by *Setophoma terrestris*. By Fujio KODAMA, Toshikazu YAMANA, Kenjiro MAEKAWA and Masanobu NIWA

(キーワード: タマネギ, 紅色根腐病, *Setophoma*, 接種法)

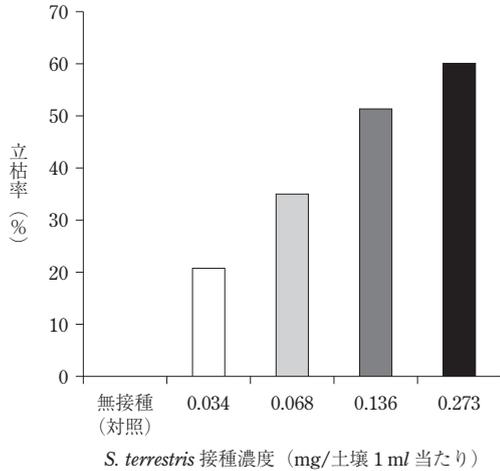


図-1 接種源濃度の違いと発病 (カップ接種, 供試品種: 'スーパー北もみじ', 調査; 接種 16 日後)

タマネギを播種した。アルミホイルで被覆して 20℃・9 日間暗所に置き, 10 日目から 25℃・散光下に移した。現在では, 透明プラスチック製カップを用いている。すなわち 275 ml 容のプラスチックカップに 170 ml の土壌を充てんする。一方, 対照区は接種源を混和しない土壌を充てんした。表面を軽く鎮圧後, タマネギ種子 16~20 粒を播種し, 病原菌を含まない前記の混和土 40 ml を覆土する。1 カップ当たり, 30 ml 灌水後, アルミホイルで被覆する。出芽を確かめた後アルミホイルを除去する。播種 14~20 日後に, カップ底部側面に切り込みを入れ灌水による滞水を回避する。実験全期間を温室内で実施できる。接種区では 11 日目ころから, 生育の抑制が認められるようになった。この時期の根部は紅変症状が見られるほか, 一部が水浸状となり枯死するものもあった。接種菌量の増加につれて発病程度も高くなった。すなわち, 0.034 mg/ml 土壌区の 20.5% から 0.273 mg/ml 土壌区の 60.0% まで立枯率はほぼ直線的に増加した。接種後 16 日程度と比較的短い期間で病原性を量的に判別できることから, 従来の方法と比べて簡便であり抵抗性品種の選抜にも利用できると考えられる (図-1)。

2 浸根接種

50 日間育苗したタマネギの根部を水洗して土壌を除去し, 所定の菌濃度に調整した接種源に 8 時間, 苗の根部を浸漬した。これを園芸用育苗培土 (市販: ポットエース) を充てんしたポリエチレン製ポット (径 10.5 cm) に移植した。接種区では 7 日目ころから生育抑制が見られ始めた。接種した菌体濃度が高い区ほど発病の程度が大きかった。接種 30 日後の根の症状は, 自然発病の紅色根腐病の各種症状をよく再現していた。すなわちはな

表-1 浸根接種による発病が草丈に及ぼす影響

接種源濃度 (mg/ml 土壌)	草丈 (cm)	(±標準誤差)
0.3	26.8	(±0.4)
0.6	24.8	(±0.3)
1.2	15.3	(±0.3)
2.4	12.0	(±0.2)
無接種	33.0	(±0.5)



図-2-1 浸根接種 (地上部; 接種 30 日後)



図-2-2 浸根接種 (地下部; 接種 30 日後)

はだしい発病根は枯死し, 軽症のものでは淡い紅変を示した。カップ接種の場合は, 最終的に立枯症状から個体そのものが枯死に至ったのに比べ, 本接種においては発病の違いが長期間維持された点が異なっていた。また根部の発病状況についても詳細に観察できる利点があった (表-1, 図-2-1, 図-2-2)。

3 セル苗・ポット接種

タマネギ育苗用培土 (オニオンエース, 片倉チッカーン社製) を充てんした「みのる式成苗ポット」(タマネギ育苗用: 448 穴) に播種し, 通常の育苗管理をする。このセル苗を, 直径 10.5 cm のポリエチレン製ポットに 4 株ずつ定植して鱗茎が十分形成されるまで温室内で栽培する。ポットに充てんした土壌は, 園芸培土 (ホクサン

表-2 乾腐病菌との混合接種による発病（セル苗ポット接種）

接種源	品種別発病個体率（1区24個体・3反復）		
	スーパー北もみじ	オホーツク 222	レネゲード
紅色*	81.9 b	2.8 a	0 a
乾腐**	29.2 a	19.4 a	52.3 b
紅色+乾腐	91.7 b	65.3 a	61.1 b
無処理	0	0	0

*紅色根腐病菌 Pyr 5-3 株. **乾腐病菌：Foc-Niho 株.
Tukey の多重検定により符号間に 5%水準で有意差あり。

社製）であり、接種区においては、磨砕菌体を 3.8 mg/g 土壌の割合で土壌混和した。追肥などの必要はなく、小型ではあるが通常の鱗茎を確保することができる。この手法により以下の知見を得た。

（1） 茎盤病徴の再現

ポットで栽培したセル苗は、球径が 1.5～2.0 cm の小型のタマネギに生育した。接種区で発病した個体は茎盤が褐変し、自然発病と同様の症状を認めた。したがって紅色根腐病菌は、根の紅変・枯死のみならず、茎盤部をも褐変させると考えられた。茎盤の褐変部分からは接種した病原菌は再分離されなかった。さらに遺伝子診断による検出を試みたが、病原菌を確認できていない（古屋，兎玉；未発表）。したがって、この部位が一種の過敏死を起こしていると考えるのが妥当のようである。地上部（葉身）の萎凋症状は、この死に起因すると考えられる。なおこの接種試験では、まれに病徴が茎盤にとどまらず葉鞘（鱗茎）に拡大する発病個体も見られた。

（2） 乾腐病菌との混合接種

紅色根腐病菌のセル苗ポット接種に加えて、乾腐病菌 (*Fusarium oxysporum* f. sp. *cepae*; Foc-Niho 株) の孢子懸濁液を生育中のタマネギ株元に注射器で灌注して、混合接種とした。その結果、供試した 3 品種とも両菌の混合接種により発病の促進が認められた (表-2)。本実験においては、紅色根腐病菌接種土壌に移植した 20 日後に乾腐病菌を接種しており、紅色根腐病菌が先行している可能性が高い。実際の圃場においては、新作畑を除けば、ほとんどのタマネギの根が軽症から重症にいたる幅で発病しており、乾腐病の発病を促進している可能性が高い。紅色根腐病菌が乾腐病菌の侵入に先行するとした報告があるが (DAVIS and HENDERSON, 1937), 乾腐病菌の単独侵入が確かめられて以降、両者の相互関係についての報告はない。

III タマネギの生育抑制および鱗茎の肥大阻害

タマネギ紅色根腐病によると思われる生育不良および

減収が問題となっているものの、長年に亘って、実験的にその証明がされていなかった。そこで通常の鱗茎肥大を前提とした接種試験を試みた。底が網目で「園芸培土」(ホクサン社製)を充てんしたプランター(縦×横×高さ=20×65×20 cm)に前記のセル苗 4 株を定植しハウスに設置した。接種区は、このセル苗の基部を、接種源(磨砕菌体)を混和した汚染土(3.8 mg/g 土壌) 90 g で包んだ。

接種区では、移植後 30 日ころから茎葉の生育抑制が見られ始め、日数を経るにつれて無接種との差が顕著となった。収穫時の無接種区での平均 1 球重は 327 g であるのに対し、接種区では 98 g であった。無接種区の 1 球重・327 g は通常のタマネギの大型(規格 2L)に属する。本試験によって初めて紅色根腐病による鱗茎肥大の

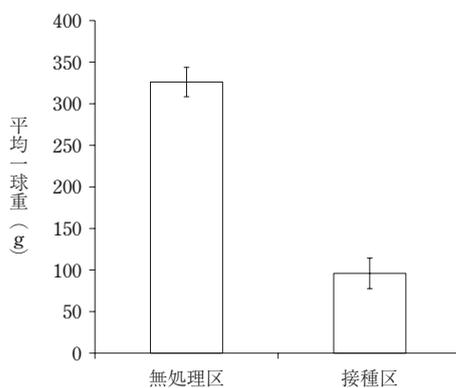


図-3-1 病原菌接種による鱗茎の肥大抑制(縦線は標準誤差; Tukey の多重比較により 5%水準で有意差あり)



図-3-2 病原菌接種による鱗茎の肥大抑制
左：無接種区，右：接種区。

抑制すなわち減収が実験的に確かめられた。したがって本病は実際圃場でもタマネギの減収要因になっていると考えられる (図-3-1, 図-3-2)。

IV 防除対策

1 圃場における品種比較試験

北海道で広く栽培されている主力品種を中心に本病に対する抵抗性を評価した。供試圃場は本病の発生歴がある生産者圃場で、2010～12年の3か年に亘り延べ7圃場で実施した。経時的に発病状況を調査して、本病に対する品種間差を比較した。生育中のタマネギを移植ごてで掘りとり、根の周囲に付着した土壌を取り除いて、発病状況を調査した。根の表面が紅変するが内部組織が崩壊しない「紅変根」と、根が腐敗し組織が崩壊する「紅変枯死根」が見られたが、後者の発病を被害根とした。紅変枯死根数を全根数で除して、紅変枯死根率とした。さらに経時的な発病伸展を示す指標 AUDPC (area under the disease progress curve, SHANER and FINNEY : 1977) を用いて、品種間の発病を比較した。つまり AUDPC が低いほど抵抗性が強い。その結果、年次・圃場により若干の変動はあるものの、品種間の序列は安定しており、早生品種では「レネゲード」が最も抵抗性であり、「オホーツク 222」がこれに次いだ。「北はやて 2号」「バレットベア」は罹病性であった。中・晩生品種では「えぞまる」が抵抗性であった (表-3)。抵抗性品種の選抜・育成は有力な

防除手段と期待される。

2 土壌消毒剤による防除

北海道富良野市および長沼町のタマネギ栽培圃場で、前年秋にダズメット剤 (商品名: ガスタード微粒剤) 30 kg/10 a を施用し、ビニールで被覆した。翌年の春に耕起し、タマネギ苗を定植したあと生育量 (GI 値: 葉長×葉数) および鱗茎重量 (収量) を調査した。その結果、2箇所の生産者圃場ともダズメット剤処理区は、生育中の根の紅変症状が軽微であり、収穫時に至るまでの球の肥大が確保され、鱗茎の収量が増加した (表-4)。なおこの試験を実施した両圃場とも、茎葉の萎凋や茎盤の褐変等の症状は、無処理区においても認められなかった。外国でも本剤の効果についての報告がある (PORTER et al., 1989)。

3 土壌処理剤による防除

本病に対する薬剤防除の可能性を探るため、プランター試験で有効薬剤の選定を行い、さらに発病圃場で防除効果を確認した (丹羽ら, 2017)。

(1) ビニールハウス内試験

中型プランター (縦×横×高さ = 17×60×15 cm) を用いた。園芸培土に病原菌 (Pyr 5-3 株) を 1.0 mg/g 培土の割合で混和し接種土壌とした。各種薬剤について土壌混和、苗の根部浸漬などの処理を行ったが、フルアジナム水和剤 (以下フルアジナム剤) のみ防除効果が認められた。すなわち、フルアジナム剤処理区での生育量

表-3 紅変枯死根*率に基づく各品種の AUDPC ** (山名ら, 2014)

品種名	2010A ***	2010B	2010C	2011A	2011B	2012A	2012B
最終調査日	早生	7月26日	7月27日	7月22日	7月16日	7月29日	7月23日
	中・晩生	7月26日	7月27日	8月2日	8月3日	8月12日	7月30日
北はやて 2号 (極早生)	1,040	471	478	235	146	515	394
バレットベア (早生)	-	-	-	301	173	364	375
オホーツク 222 (早生)	266	134	180	27	47	144	124
レネゲード (早生)	40	56	126	24	24	90	31
スーパー北もみじ (中晩生)	425	287	432	479	712	398	403
イコル (中晩生)	348	111	312	238	368	286	174
北もみじ 2000 (中生)	302	248	478	326	552	374	255
えぞまる (晩生)	112	104	101	51	118	125	110

*紅変枯死根: 紅変して組織が崩壊した根であり、以下のように図示される。



**AUDPC (経時的な発病伸展を示す指標) は以下の式により算出される。

n は総調査回数, Y_i は i 回目の調査による紅変枯死根率, X_i は初回調査から i 回目の調査までの日数を示す,

$$AUDPC = \sum_{i=1}^n \frac{(Y_i + Y_{i-1})(X_i - X_{i-1})}{2}$$

***試験年次に付したアルファベットは調査圃場の違いを示す。

表-4 ダゾメット剤処理がタマネギの球肥大に及ぼす影響

(富良野市；圃場試験，2012年)

圃場	処理区別	球大別・収量 (kg/10 a)					平均 1球重
		2L	L大	L	M	合計	
A	無処理	4	81	237	134	456	168 g
	ダゾメット剤	11	160	245	106	521	187
B	無処理	29	477	203	16	726	250
	ダゾメット剤	192	461	118	9	780	278

表-5 フルアジナム剤*処理とタマネギ生育量 (GI) の推移 (ホクレン長沼研究農場，2014)

定植後日数 (暦日)	15 (5/29)	23 (6/6)	30 (6/13)	44 (6/27)
供試薬剤				
接種・フルアジナム剤	61.5	83.6	121.6	151.4
接種・無処理	55.5	48.0	39.3	18.2
無接種	52.7	80.9	147.0	264.0

*フルアジナム剤：フルアジナム水和剤（商品名フロンサイド SC），GI（生育量）：草丈×葉数，品種：‘北もみじ2000’，土壌処理：5月13日，定植：5月14日。

(GI値)は、無接種には劣ったものの、接種・無処理の18.2を大幅に上回る151.4と発病抑制に伴う顕著な生育の増加を示した(表-5)。

(2) 発病現地における圃場試験

フルアジナム剤の圃場における防除効果を確認するため、本病の発生歴のある富良野市の圃場で試験を行った。タマネギの定植前日に、フルアジナム剤を試験区の土壌全面に混和(500 ml/100 l/10 a)した。その結果、タマネギの倒伏揃期における無処理区での根の発病根率が32.5%であったのに対して、処理区での発病根率は18.3%であり、防除効果が認められた。処理区、無処理区とも地上部の茎葉には萎凋症状は認められず、一見健全な生育を示した。しかし収穫時の調査においては、無処理区の1球重が186.8 gであるのに対して、フルアジナム剤処理区では226.2 gと大幅に増加した(表-6)。この結果は極めて示唆的である。すなわち前述の土壌消毒剤処理同様、ドラステックな症状を示さない場合でも、紅色根腐病による収量低下が推定されるからである。土壌消毒剤以外の薬剤による紅色根腐病の防除法は、現在までのところ報告がない。フルアジナム剤は未登録農薬であり、今後詳細な検討を進めたい。

おわりに

最後に病原菌名について付記しておきたい。タマネギ紅色根腐病の病原菌の学名は長年 *Pyrenochaeta terrestris* (syn. *Phoma terrestris*) が用いられてきた。しかし、近

表-6 フルアジナム剤処理がタマネギの球肥大に及ぼす影響

(富良野市；圃場試験，2016年)

反復	フルアジナム水和剤 (500倍液，100 l/10 a)	無処理
①	226.1 g/球	189.5 g/球
②	231.0	185.2
③	221.7	185.6
平均	226.2	186.8
推定収量	7,464 kg/10 a	6,164 kg/10 a

品種：‘北もみじ2000’，土壌処理：4月28日，定植：4月29日，収量調査：9月22日。

年 GRUYTER et al. (2010) は、形態学的な特徴とリボソーム DNA の塩基配列に基づく系統解析を基に *Setophoma terrestris* を提案しており、筆者らもこれを採用することとした(山名・中島，2012；児玉ら，2013)

引用文献

- 1) DAVIS, G. N. and W. J. HENDERSON (1937): *Phytopathology* 27: 763 ~ 772.
- 2) GRUYTER, J. et al. (2010): *Mycologia* 102: 1066 ~ 1081.
- 3) 児玉不二雄ら (1975): 日植病報 41: 264 (講要).
- 4) ————ら (2013): 同上 79: 64 (講要).
- 5) ————ら (2015): 同上 81: 90 (講要).
- 6) 丹羽昌信ら (2017): 日植病報 83(1): 印刷中 (講要).
- 7) PORTER, I. J. et al. and W. J. HENDERSON (1989): *Aust. J. Agric. Res.* 40 27: 861 ~ 869.
- 8) SHANER, G. and R. F. FINNEY (1977): *Phytopathology* 67: 1051 ~ 1055.
- 9) 山名利一ら (2014): 北農 81: 19 ~ 25.
- 10) ————・中島千晴 (2012): 日植病報 78: 60 (講要).

ダイズシストセンチュウの寄生性判別法

農研機構・北海道農業研究センター **相 場** あい ば **聡** さとし

はじめに

ダイズシストセンチュウ (*Heterodera glycines*) はダイズやアズキ等のマメ類の栽培における重要害虫であり(図-1), 我が国でも古くからその被害が大きな問題となっている。しかし, その防除は大変に困難であり, 有効な防除法が少ないため, 現在は複数の対策を組合せることによって被害を回避することが一般的である。なかでも抵抗性品種の利用はダイズシストセンチュウ対策の中心となっており, 我が国でもこれまでに優れた品種がいくつも育成されてきた経緯がある。ただし, 本線虫にはレースと呼ばれる異なる寄生性を持った個体群の存在が知られており, それぞれのレースによって有効な抵抗性品種が異なるため, 圃場で発生している個体群の寄生性を把握し, それに適合した有効な抵抗性品種を選択して栽培する必要がある。

このことから, 圃場で発生している線虫の寄生性を把握することは本線虫対策の基本と言ってよく, 寄生性判別の手法は極めて重要である。本稿ではダイズシストセンチュウの寄生性を判別する手法について紹介するので, 今後のマメ類栽培指針の策定の一助となれば幸いである。

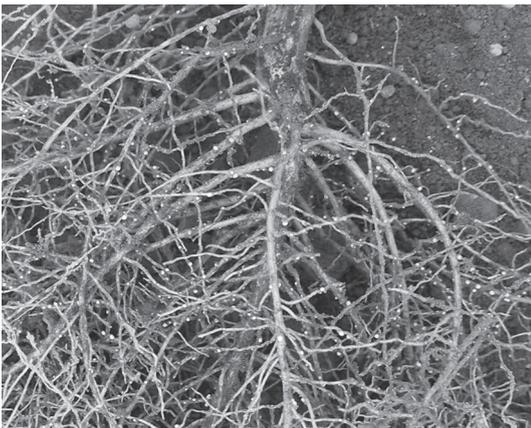


図-1 ダイズ根に寄生したダイズシストセンチュウ

Methods of Distinction of Parasitic Ability of Soybean Cyst Nematode. By Satoshi ARA

(キーワード: ダイズシストセンチュウ, レース, 寄生性, 判別法)

I 国際判別法

本線虫の寄生性判別の方法としては従来から GOLDEN らの提唱による国際判別法 (GOLDEN et al., 1970) が広く用いられてきた。これはそれぞれ抵抗性の異なる米国の飼料用ダイズ4品種, すなわち 'PI88788', 'PI90763', 'Peking', 'Pickett' を栽培して本線虫を接種して増殖し, 形成されたシスト数を計数して感受性品種である 'Lee' において形成されたシスト数と比較して比を求め, 感受性品種の10%以上シストが形成された場合は+, 10%未満であった場合は-と判定した各品種の+と-の組合せによってレースを判別するという方法である。そのレースの判別表を表-1に示す。

抵抗性品種4種類による+と-の組合せは16通りあるため, 理論上は16種類のレースが存在する。ただし, そのすべてが確認されているわけではなく, 実際に存在が確認されているレースはそのうちの一部のみである。我が国ではこれまでにレース1, 3, 5の3種類のレースが圃場で確認されており, 最も寄生性の弱いレース3が最も広く分布している(図-2)。

ただし, この国際判別法は米国の品種の抵抗性に基づく判別法であるため, 必ずしも我が国で用いられている品種の抵抗性には適合していないという問題がある。現在, 我が国の線虫抵抗性ダイズは在来品種である '下田不知 (げでんしらず)' に由来するものが主流となっている。これは下田不知が比較的高い線虫抵抗性を持つうえに品質も良好であったため, 広く線虫抵抗性品種の遺伝資源として用いられて来たため, 現在の実用的なダイズシストセンチュウ抵抗性ダイズ品種は, その大部分が下田不知由来の抵抗性を持った品種である。

従来は国際判別法によってレース3と判別された個体群はこの下田不知系抵抗性品種には寄生できず, レース1もしくはレース5と判別された個体群は下田不知系に寄生可能であるとされてきた。そのため, 国際判別法によってレース3とされた個体群には下田不知系もしくはそれと同等の抵抗性を持つ品種が有効であり, レース1もしくはレース5と判別された個体群にはさらに高度の抵抗性を持った品種が必要であると考えられてきた。

しかし, 近年になって国際判別法によるレース3個体群であっても, 下田不知系抵抗性品種に寄生する系統が

表-1 国際判別法によるレース判別表 (GOLDEN et al, 1970)

判別品種	レース															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Pickett	-	+	-	+	+	+	-	-	+	+	-	-	-	+	+	-
Peking	-	+	-	+	-	-	-	-	+	-	+	+	+	+	-	+
PI88788	+	+	-	+	+	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+	+
PI90763	-	-	-	+	-	-	+	+	-	+	-	+	-	+	+	+

※着生したシスト数が感受性品種‘Lee’の10%以上は+、10%未満は-で表す。

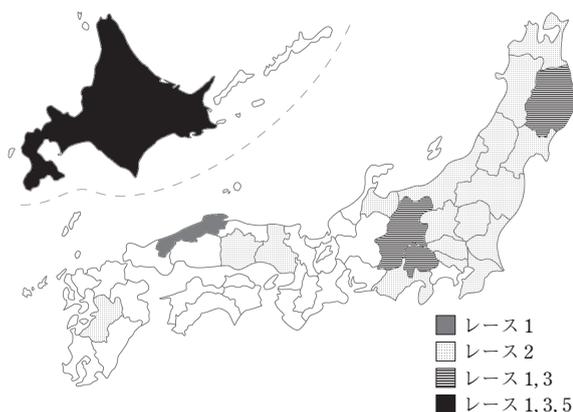


図-2 各県におけるダイズシストセンチュウのレース発生状況

発見され(清水・三井, 1985), その分布を広げつつある。そのため, 国際判別法のレース3には下田不知系が有効な個体群と有効ではない個体群の2系統が存在することになり, 国際判別法のみではこの二つの系統を判別することが困難になっている。そこで, 我が国では今後は国際判別法に替わって国内の主要な抵抗性品種に対する寄生性を判別する新たな方法の開発が強く求められている反面, 国際判別法の重要性は低下していくことが予想される。

II 下田不知系抵抗性品種に対する寄生性の判別法

上記のように我が国において最も広く利用されている線虫抵抗性ダイズ品種は下田不知由来であるため, この系統に対する寄生性を判別する方法が日本におけるダイズ栽培では極めて重要となっている。しかし, 現在までに下田不知系に対する寄生性の判別手法として確立したものは存在しておらず, 各研究者が独自の手法と判断で行っているのが実情である。その多くは国際判別法の手法を応用したものであり, ここではその一つ(相場, 2013)を紹介する。

この寄生性判別法の基本的な考え方は国際判別法に準

じ, 抵抗性品種と感受性品種に判別する線虫個体群を接種して増殖し, それぞれで新たに形成されたシスト数を計数して両者の比率を求め, その数値によって判別するというものである。判別に用いる基準品種としては下田不知系抵抗性品種として‘トヨムスメ’, 感受性品種は‘エンレイ’を使用した。なお, 感受性品種によって線虫の増殖程度に違いが生じる場合があり, 同じ個体群を検定しても用いる品種によっては数値に違いが生じる可能性があるため, 今回の基準品種と異なる品種を判別に用いる場合は, 事前に基準品種と線虫増殖率に違いがないかを確認する必要があるだろう。

また, 本線虫は増殖に用いる土壌によって増殖率が変わる場合もあるため, 常に同品質の土壌を用いることが望ましい。そのため, 今回は市販の人工粒状培土(クレハ粒状培土)を用いた。この培土を9cmポリポットに詰めて基準品種を播種し, 本葉が出始めたころに判別する線虫を接種した。接種は土壌から分離したシストを摩砕して内部の卵を取り出し, 卵懸濁液として接種した。1ポットあたりに接種する卵数の違いによる線虫の接種10週間後の増殖程度を調べた結果を図-3に示す。この結果より, 接種卵数が多いほど抵抗性品種と感受性品種での増殖率の差が広がる傾向があるため, 増殖程度の違いがより明確になって判別が容易になると考えられた。ただし, 接種卵数を増やすためにはそれだけ多くの線虫を確保する必要があることと, 多量に接種すると線虫が増えすぎて計数時の負担が増すこと, また線虫による被害によってダイズが枯死することにより, むしろ線虫の増殖が抑えられる可能性も想定されるので, 1ポットあたり5,000卵程度を接種するのが適当と思われた。

また, 発生している地域によっても異なるが, 本線虫は22~24℃の温度で最もよく増殖する。また, 高温時には抵抗性が打破されて抵抗性品種への寄生が増えるという報告があるため(清水, 1986), 線虫増殖中のダイズは22~24℃の温度内で栽培することが望ましい。なお, この条件では卵接種後, 4週間から5週間程度でシ

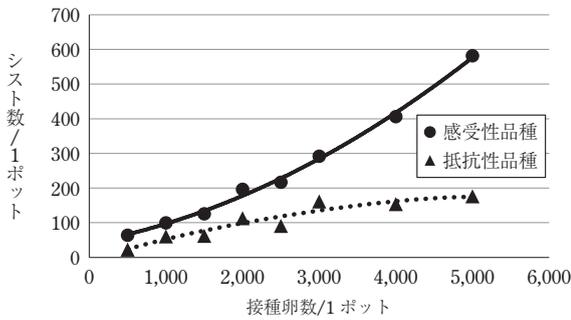


図-3 接種卵数による形成されたシスト数の(接種10週間後)の違い

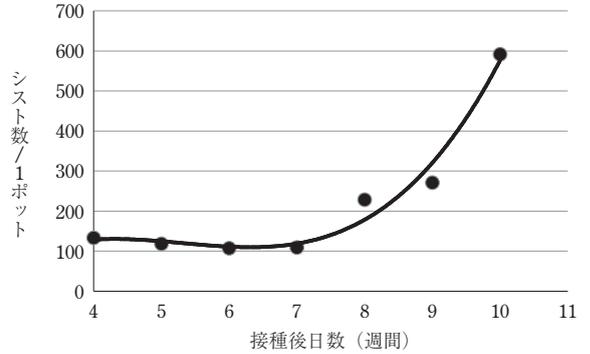


図-4 卵接種後の日数による形成されたシスト数の差異(2,000卵/ポット接種)

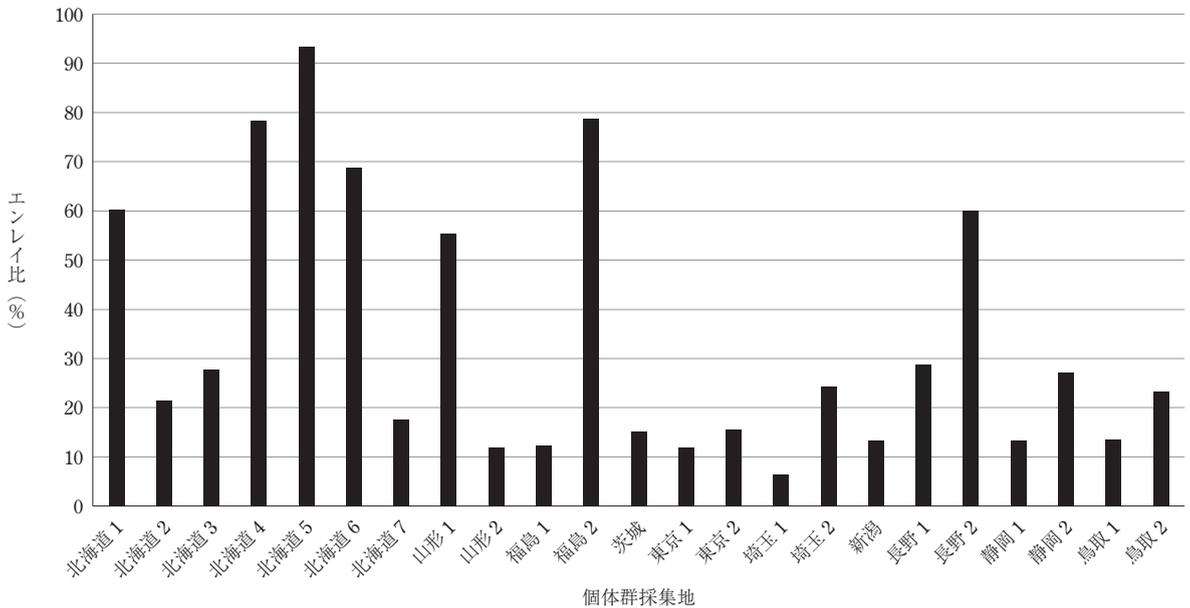


図-5 各地より採集したダイズシストセンチウ個体群の‘トヨムスメ’に対する寄生性

ストが形成され始めるが、さらに7週間以降は第2世代のシストも形成され始めるため、シスト数が増加し、データに影響を及ぼす可能性がある(図-4)。そのため、2世代目が形成される前の接種5週間もしくは6週間後にポット内の土壌よりシストを分離し、シスト数を計数するのが望ましいと思われる。

以上の手法によって日本各地より採集した23個体群の寄生性を調査した結果を図-5に示す。感受性品種で形成されたシスト数を100とした場合の抵抗性品種のシスト数の比率で表しており、数値が高いほど抵抗性品種に対しても感受性品種と同程度の寄生が認められ、その個体群の寄生性が強いことを表している。今回調査した個体群では北海道、東北地方および長野県に寄生性の強い

個体群が多く、関東地方は寄生性が弱い個体群が多いという結果になった。これは下田不知系の抵抗性品種は主にこれらの地域で栽培されており、関東ではそれほど普及していないため、抵抗性品種の栽培地域では下田不知系品種の抵抗性を打破し、これらの品種でも増殖可能な個体群が発生して分布を広げている可能性が考えられる。

また、寄生性が低い個体群であっても若干の抵抗性品種への着生が見られるが、いずれも抵抗性品種でのシスト数が感受性品種の30%以下となっており、およそその目安として抵抗性品種で形成されたシスト数が感受性品種の30%以下であった場合は抵抗性品種が有効な個体群と考えられる。

また、30%を超えてシストを形成した個体群でも感受

性品種とほぼ同程度のシスト数を形成するものから60%程しか形成しないものなど、個体群によって寄生程度に違いが見られることが明らかとなった。

なお、現在は下田不知系抵抗性品種に寄生する個体群に対しても有効な高度の抵抗性を有する品種の育成が進められており、既に育種された有望な品種の栽培が始まっている。これらの新規の抵抗性品種の導入に際しても、発生している個体群の寄生性を判断しながら慎重に進める必要があると考えられるが、そのためにも下田不知系のみではなく、新たな抵抗性品種に対する寄生性も判別可能な手法の確立が今後は重要となるであろう。

III 植物検診による判別法

これまでの手法は温室内のポット栽培のダイズで線虫を増殖し、その土壌から線虫を分離・計数するという手法であったため、線虫研究用設備や器具、専門的な技術等を必要とする。そのため、主に研究者向けの手法であって、生産者が自らこの手法で寄生性の判別を行うことは難しかった。そのため、生産者にも実施可能な簡易な方法もいくつか提案されており、現在実用化されている方法としてシードテープ法がある(田中, 2008)。これは形状と抵抗性が異なる4品種のダイズ種子を用いて作成したシードテープを調査したい個体群が発生している圃場に直接植え、根の表面にシストが視認できる時期にこれを掘り上げて観察するという方法である。肉眼によって根に着生したシストから階級値を判断して+を判定し、それに基づいて寄生性の判別を行う。

品種は‘スズマル’(感受性品種)、『ユキシズカ』、『トヨコマチ』、『スズヒメ』を用い、それぞれを10粒封入したシードテープを作成して6月上中旬に圃場の調査地点に植え付け、8月中下旬に掘り上げて調査する。ただし、本線虫は圃場内で偏在して発生する機会が多いため、圃場内の複数個所に設置して調査を行い、その結果を総合的に判断する必要があること、また調査したい地点に直接設置しなければならず、圃場の中心部の土壌を調べる場合は圃場の中心部に植え付け、調査時にその地点まで移動する必要があるなど、調査にやや労力を要するという問題がある。

そこで本線虫調査の方法として内側の壁面にテープでダイズ種子を貼り付けた透明なカップ状容器に調査する土壌を詰め、それを直接圃場に埋設して2か月後にカップを掘り上げ、カップの外から根に着生したシストを数えることによって寄生程度を判断する手法が提案されている(相場, 2016)。この手法の場合は調査する土壌を事前に採取してそれを詰めるため、設置場所を自由に選べるうえ、採取した土壌を混和して使用することによって少ない設置数で圃場全体の線虫発生状況を調べることが可能となるなど、労力的に有利な点が多い。現在は線虫の発生状況や密度の簡易的な推定法として利用できるが、今後は様々な品種のダイズを用いることによって、それぞれの品種に対する寄生性の違いを判定し、寄生性判別の手法として利用できることが期待される。

おわりに

我が国ではダイズシストセンチュウによる被害は下田不知系抵抗性品種の普及によって一時減少したものの、近年になって再び被害が目立つ地域が増えている。この要因の一つとして抵抗性品種にも寄生する個体群が増加していることが考えられる。

優れた抵抗性品種の育成には長い年月と多大な労力を必要とする。下田不知系の品種の事例から考えて、育成された良い品種であっても、それに頼りすぎて過度の栽培をすることはその抵抗性を打破する線虫個体群を生み出してしまう可能性があるため、回避するべきであろう。そのためにも抵抗性品種の利用は計画的に行う必要があり、発生している線虫個体群の寄生性を把握してそれに基づいて適正な品種を栽培することが大切であり、今後は寄生性の検定手法がさらに重要性を増していくと考えられる。

引用文献

- 1) 相場 聡 (2013): プロジェクト研究成果シリーズ 485 農林水産技術会議事務局発行: 108 ~ 112.
- 2) _____ (2016): 植物防疫 70(7): 6 ~ 9.
- 3) GOLDEN, A. M. et al. (1970): Pl. Dis. Rep. 54: 544 ~ 546.
- 4) 清水 啓 (1986): 日本線虫研究会誌 16: 32 ~ 34.
- 5) _____・三井 康 (1985): 北海道農試研報 141: 65 ~ 72.
- 6) 田中義則 (2008): ニューカントリー 4月号 (649号): 50 ~ 51.

(新しく登録された農薬 18 ページからの続き)

移植水稻: 水田一年生雑草, マツバイ, ホタルイ, ヘラオモダカ, ミズガヤツリ, ウリカワ, ヒルムシロ, セリ, クログワイ, アオミドロ・藻類による表層はく離

●ヘキサジノン・DBN・DCMU 粒剤

23880: ワイドウェイ V2 粒剤 (保土ヶ谷アグロテック)
16/12/14

23881: ネコソギエース V2 粒剤 (レインボー薬品) 16/12/14
ヘキサジノン: 1.0%
DBN: 2.0%
DCMU: 4.0%
樹木等: 一年生雑草, 多年生広葉雑草, 多年生イネ科雑草, スギナ

モモ圃場におけるカブリダニの植物餌資源の利用

宇都宮大学農学部 ^{その}園 ^だ田 ^{しょう}昌 ^じ司
 岡山大学資源植物科学研究所 ^{やま}山 ^{した}下 ^{じゅん}純
 農研機構果樹茶業研究部門 ^{きし}岸 ^{もと}本 ^{ひで}英 ^{なり}成

はじめに

カブリダニはハダニを含む様々な微小害虫の生物的防除因子として認識されている (MCMURTRY and CROFT, 1997; MCMURTRY et al., 2013)。筆者らは岡山県倉敷市のモモ圃場においてハダニとカブリダニの発生を調査してきた (WARI et al., 2014; 2015)。草生栽培の慣行防除圃場ではカブリダニは一般に、ハダニの発生後に現れた (WARI et al., 2014)。一方、ハダニの発生とはほとんど無関係にカブリダニが現れる圃場 (清耕栽培の慣行防除圃場) やカブリダニがハダニの発生前に現れる圃場 (草生栽培の有機栽培圃場) も存在した (WARI et al., 2014; 2015)。そのような圃場でのハダニ未発生時のカブリダニの餌資源は不明であった。

一般にカブリダニは食性にに基づき四つのグループに分類されている (MCMURTRY and CROFT, 1997): タイプ I *Tetranychus* 属ハダニのスペシャリスト捕食者, タイプ II ハダニ科ハダニのスペシャリスト捕食者, タイプ III ジェネラリスト捕食者, タイプ IV 花粉のスペシャリスト摂食者/ジェネラリスト捕食者。

花粉は多くのカブリダニ種の代替餌として認識されており, 動物性の餌資源が減少したときの生存のために利用されていると考えられている (van HOUTEN and van STRATUM, 1995)。KISHIMOTO et al. (2014) は実験室内において, タイプ II (ケナガカブリダニ *Neoseiulus womersleyi*, ミヤコカブリダニ *Neoseiulus californicus*), タイプ III (ニセラーゴカブリダニ *Amblyseius eharai*, ケプトカブリダニ *Phytoseius nipponicus*, ミナミカブリダニ *Chanteius contiguus*, フツウカブリダニ *Typhlodromus vulgaris*), タイプ IV (コウズケカブリダニ *Euseius sojaensis*) のカブリダニ種は程度に差があるが, チャ, イヌマキ, トウモロコシの花粉で発育, 増殖することを示した。上述のモモ圃場でもカブリダニはハダニの未発生時に花粉を餌資源として利用している可能性がある。そこで本研究で

はまず, モモ圃場に飛散する花粉を採集し, 形態学的特徴に基づいて分類した。次に, 野外におけるカブリダニの花粉利用について調べるために, PCR を用いたカブリダニからの植物 DNA の検出を試みた。

本研究は農林水産省委託プロジェクト研究「土着天敵を有効活用した害虫防除システムの開発」(土着天敵プロ) における課題「果樹栽培において土着天敵資源を有効に活用するための植生管理技術の開発」の一部として実施した。

I 調査圃場および調査方法

1 調査圃場

調査を行った岡山県倉敷市のモモ圃場 (いずれも草生栽培) における害虫管理体系は, 圃場 I が JAS 認定有機栽培, 圃場 IV が特別栽培, 圃場 II, 圃場 V, 圃場 VI が慣行栽培である。防除暦などの詳細については, WARI et al. (2016) を参照していただきたい。

2 サンプリング

ハダニおよびカブリダニのサンプリングでは, 各圃場に調査樹を 5 樹設定し, 1 回の調査につき, 1 樹当たり 30 枚の葉を採取した。ハダニとカブリダニは, ハダニ払落調査器 (大起理化工業) を用いて, 調査樹ごとにまとめて, 99.5% エタノールを充てんしたガラスシャーレに回収した。調査は, 2015 年 5 月 11 日から 9 月 18 日まで, 基本的に 1 週間ごとに行った。

サンプリングしたハダニは実体顕微鏡を用いて分類した。カブリダニに関しては, 種, 性, 発育ステージにかかわらず, DNA 抽出まで 99.5% エタノール中で保存した。

モモ圃場に飛散する花粉を採集するために, スライドガラス (76 mm × 26 mm) の一部 (24 mm × 24 mm) にワセリンを塗布し, モモの枝 (地上約 1.5 m) に 24 時間設置した。調査樹当たり 1 枚のスライドガラスを圃場 V と圃場 VI に設置した。採集された花粉は光学顕微鏡を用いて同定した。

3 カブリダニの種構成推定

回収されたカブリダニより DNA を抽出し, WARI et al. (2014) の方法に基づき, 種構成推定を行った。種構

Utilization of Plant Resources by Phytoseiid Mite Species in Peach Orchards. By Shoji SONODA, Jun YAMASHITA and Hidenari KISHIMOTO (キーワード: 葉緑体 DNA, ITS, PCR, マツ科, イネ科, 花粉)

成推定法の詳細については, WARI et al. (2014) に加え, 園田 (2016) を参照していただきたい。

4 カブリダニからの植物 DNA の検出

種構成推定でミヤコカブリダニ (11 サンプル), ニセラーゴカブリダニ (26 サンプル), コウズケカブリダニ (22 サンプル) のみで構成されることが示された DNA サンプルを用いて, メヒシバ *Digitaria ciliaris* とオヒシバ *Eleusine indica* のリボソーム遺伝子の ITS (internal transcribed spacer), アカマツ *Pinus densiflora* の葉緑体 (*trnL intron*) 配列を PCR で増幅した。これらの植物を選んだ理由は, ①メヒシバとオヒシバは岡山県倉敷市のモモ圃場の主要なイネ科植物である (SONODA et al., 2013) ことと, ②調査圃場の周辺にはアカマツ群落が存在したためである。

PCR に用いたプライマーの配列を表-1 に示した。まず, 三つのプライマーセット (Dc-5'-1 と Dc-3'-1, Ei-5'-1 と Ei-3'-1, akamatsu-cd-5'-1 と akamatsu-cd-3'-1) で PCR を行った (WARI et al., 2016)。それぞれの増幅産物を鋳型として, 新たな三つのプライマーセット (-21-Dc-5'-2 と Dc-3'-2, -21-Ei-5'-2 と Ei-3'-2, -21-akamatsu-cd-5'-2 と akamatsu-cd-3'-2) で ITS もしくは葉緑体配列断片を増幅した (WARI et al., 2016)。PCR は Quick Taq HS

DyeMix (Toyobo) を用いて行った。反応条件は, [94°C 15 秒, 50°C 30 秒, 72°C 1 分] を 30 サイクル, 72°C 7 分を 1 サイクルである。増幅産物はアガロースゲル電気泳動および M13-21 プライマーを用いたダイレクトシーケンシングで確認した。

5 カブリダニからのハダニ DNA の検出

種構成推定でミヤコカブリダニ, ニセラーゴカブリダニ, コウズケカブリダニのみで構成されることが示され, かつ PCR で植物 DNA が検出された DNA サンプルを用いて, ハダニの ITS 配列を増幅した。まず, 二つのプライマー (T/P-ITS-5'-2 と T/P-ITS-3'-2) (表-1) を用いて PCR を行った (WARI et al., 2014)。PCR の条件は [94°C 15 秒, 60°C 30 秒, 72°C 1 分] を 40 サイクル, 72°C 7 分を 1 サイクルである。この増幅産物を鋳型として, 新たな二つのプライマーセット (PM-ITS-5' と PM-ITS-3', TK-ITS-5' と TK-ITS-3') を用いてそれぞれ, クワオオハダニ (415 bp), カンザワハダニ (323 bp) に特異的な ITS 配列断片を増幅した (WARI et al., 2014)。反応条件は [94°C 15 秒, 50°C 30 秒, 72°C 1 分] を 40 サイクル, 72°C 7 分を 1 サイクルである。増幅産物はアガロースゲル電気泳動で確認した。

表-1 PCR に用いたプライマー

プライマー名	配列
Dc-5'-1	5'-catcaaagtcgctggccttc-3'
-21-Dc-5'-2	5'-tgtaaacacgacggccagtgctgaagccctcgactcg-3'
Dc-3'-1	5'-ttagggcaacacgctagctca-3'
Dc-3'-2	5'-gctgcaccgagaacaacttg-3'
Ei-5'-1	5'-ccgtgaacatgtcatcctgct-3'
-21-Ei-5'-2	5'-tgtaaacacgacggccagtgccacctctttgtagaagggtg-3'
Ei-3'-1	5'-atgggtccatagagccattg-3'
Ei-3'-2	5'-cacgcctaagcatgagga-3'
akamatsu-cd-5'-1	5'-gacttgatcgaattgagcctt-3'
-21-akamatsu-cd-5'-2	5'-tgtaaacacgacggccagtggtatggaaacctaccaagtga-3'
akamatsu-cd-3'-1	5'-cctcacggctataaagcca-3'
akamatsu-cd-3'-2	5'-acggatttctcctactgc-3'
T/P-ITS-5'-2	5'-cctgcggaagatcattaac-3'
T/P-ITS-3'-2	5'-ggtaattcgagtgatccacc-3'
PM-ITS-5'	5'-atgcaggcacacataccgt-3'
PM-ITS-3'	5'-ccgtgggactttattctc-3'
TK-ITS-5'	5'-caacatgattctattgtg-3'
TK-ITS-3'	5'-gccaccgtgggacttttaa-3'

II ハダニとカブリダニの発生とカブリダニの種構成

四つの調査圃場（圃場I，圃場II，圃場IV，圃場VI）におけるハダニとカブリダニの発生を図-1に示した。圃場Iでは5樹中3樹においてカブリダニがハダニよりも早く発生した。圃場IIと圃場IVのいくつかの調査樹ではカブリダニはハダニの発生後に現れた。圃場VIに

おけるカブリダニの発生はハダニとはほとんど無関係であった。

カブリダニの種構成に関しては一般に、圃場II，圃場IV，圃場VIではニセラーゴカブリダニとミヤコカブリダニが、圃場Iではコウズケカブリダニが優占種であった（図-1）。

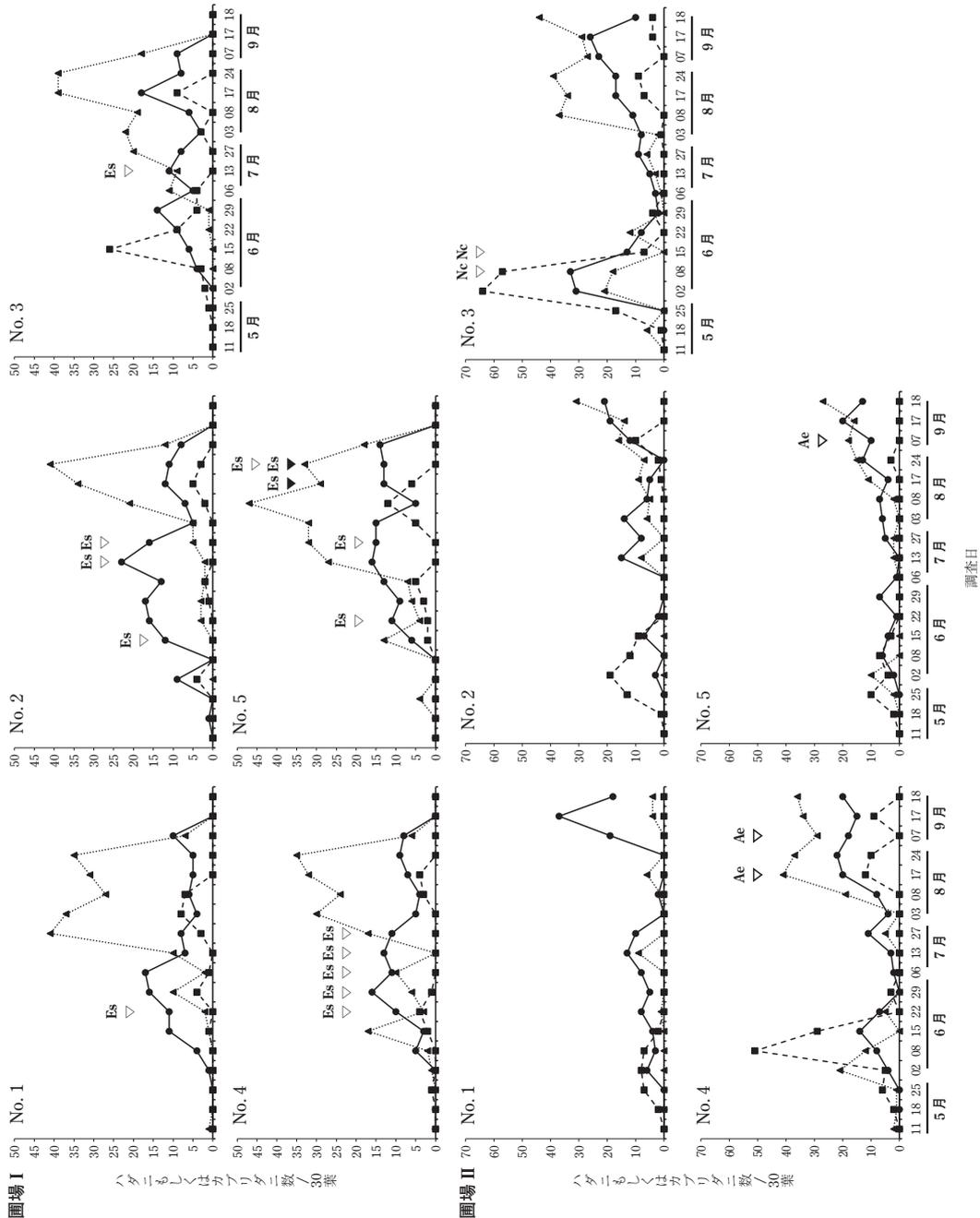


図-1 (その1)

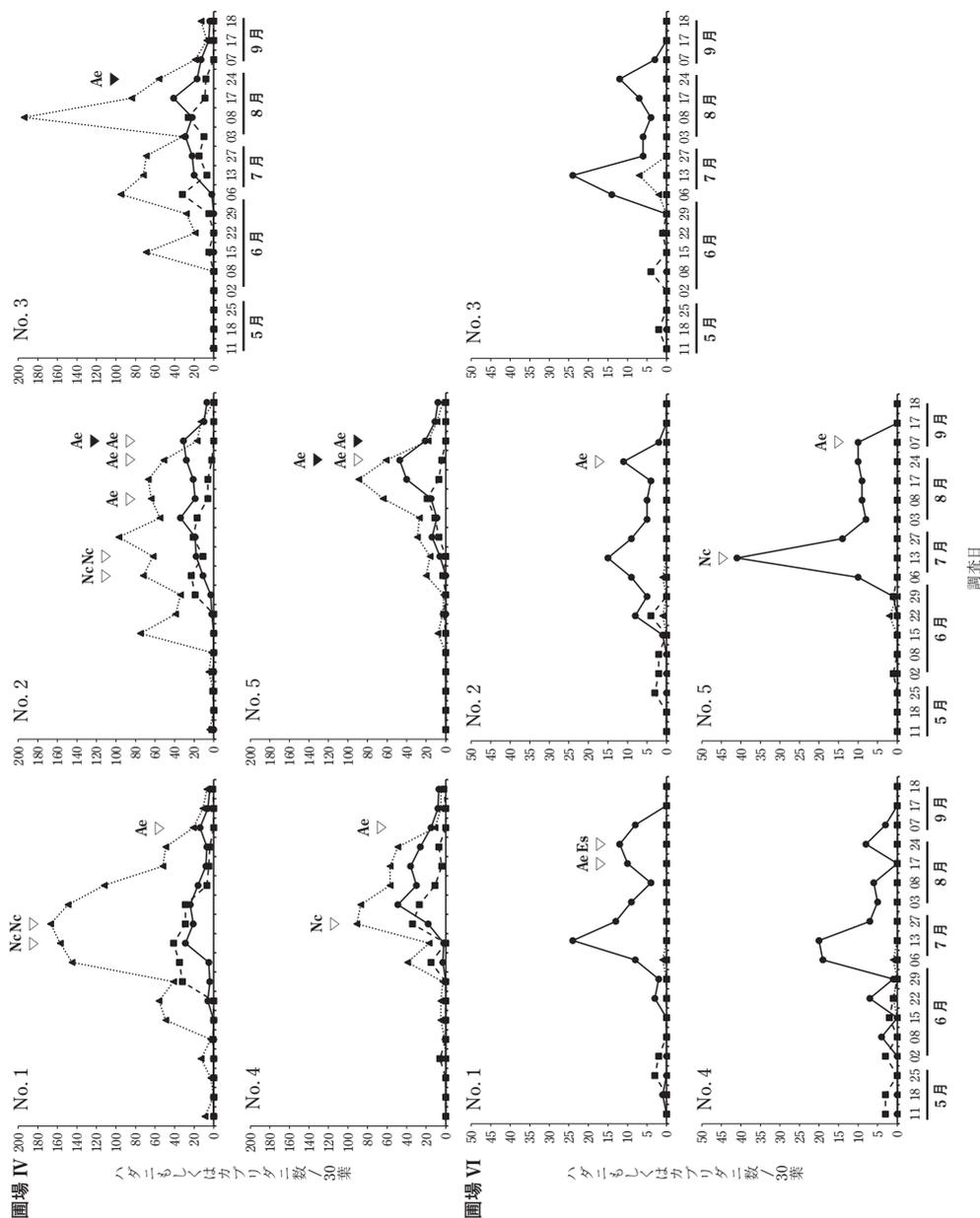


図-1 (その2) モモ圃場におけるハダニとカブリダニの発生消長 (2015年)。実線はカブリダニ、点線はクワオオハダニ、破線はカンザワハダニの発生を示す。白三角と黒三角はそれぞれ、アカマツとメヒシバのDNAが図示したカブリダニ種から検出されたことを示す。Ae ニセラーゴカブリダニ、Nc コウズケカブリダニ、Es コウズケカブリダニ、Nc ミヤコカブリダニ

III モモ圃場に飛散する花粉

2015年5月12日から2015年8月25日にかけて採集された花粉には、形態的な特徴からは同定できないものも多く含まれていたが、マツ科 Pinaceae, イネ科 Poaceae, タデ科 Polygonaceae, トウダイグサ科 Euphorbiaceae, バラ科 Rosaceae が確認された (図-2)。なかでもマツ科とイネ科植物が主要な構成要素となっていた。

IV カブリダニからの植物 DNA の検出

カブリダニの DNA サンプル (合計 59 サンプル) を用いて、メヒシバとオヒシバの ITS 配列, アカマツの葉緑体配列断片の増幅を試みた (表-2)。メヒシバの ITS 配列は、26 のニセラーゴカブリダニサンプル中 4 サンプル, 22 のコウズケカブリダニサンプル中 2 サンプルから増幅された。ミヤコカブリダニについても、筆者ら

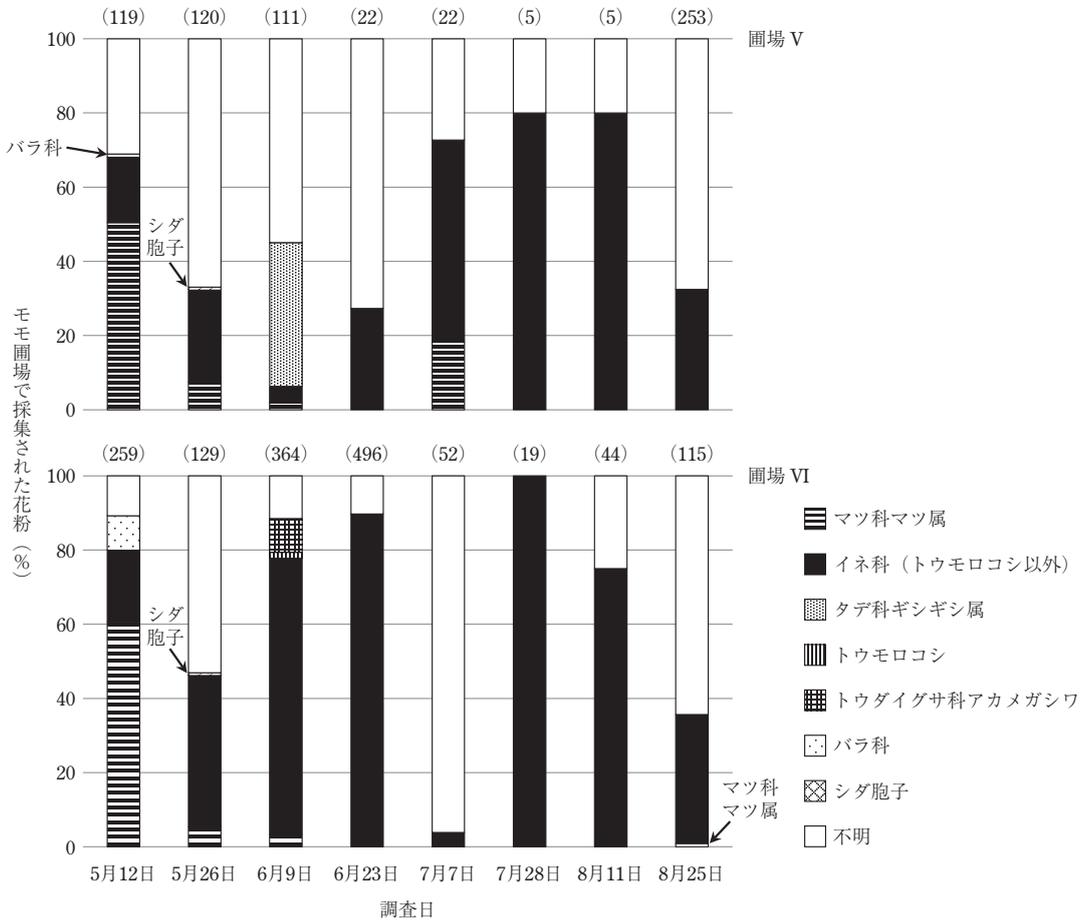


図-2 モモ圃場で採集された花粉構成の変化 (2015年5月12日から2015年8月25日) 括弧内の数値は解析した花粉の数を示す。

の別の研究では、同花粉を利用していることを示すデータが得られている (未発表データ)。アカマツの葉緑体配列は、12のニセラーゴカブリダニサンプル、14のコウズケカブリダニサンプル、11のミヤコカブリダニサンプル中8サンプルから増幅された。オヒシバのITS配列はどのサンプルからも増幅されなかった。

花粉はカブリダニの発育に重要な餌資源であり、タンパク質、遊離アミノ酸、炭水化物、脂質、ビタミン類、フラボノイド、ミネラル等の微量栄養成分の供給を通じて増殖にも影響を与える (GOLEVA and ZEBITZ, 2013)。ニセラーゴカブリダニやコウズケカブリダニのようなジェネラリストは植物の浸出液 (JAMES, 1989; KREITER et al., 2002; NOMIKOU et al., 2003; GNANVOSSOU et al., 2005)、花蜜 (van RIJN and TANIGOSHI, 1999)、花粉 (BROUFAS and KOVEOS, 2000; ABDALLAH et al., 2001; NOMIKOU et al., 2001;

VANTORNHOUT et al., 2005) を摂食することが知られている。自然環境下での代替餌としての花粉利用はスペシャリスト捕食者のミヤコカブリダニにおいても知られている (GONZÁLEZ-FERNÁNDEZ et al., 2009)。これらの結果も含め、本研究でカブリダニのDNAサンプルから増幅された植物DNAは花粉由来である可能性が高い。

V カブリダニからのハダニDNAの検出

植物由来のDNAが増幅された上記37のカブリダニサンプルを用いて、カンザワハダニとクワオオハダニのITS配列断片の増幅を試みた (表-2)。カンザワハダニとクワオオハダニはそれぞれ、5サンプル、32サンプルから増幅された。このことは、3種のカブリダニはハダニと花粉を同時に利用していることを示しているのかもしれない。

表-2 単一のカブリダニ種のみが含まれた DNA サンプルからの植物およびハダニ DNA の検出とハダニの発生

圃場	調査日	樹番号	カブリダニ種	カブリダニ数	植物		ハダニ		ハダニの発生		合計	
					メヒシバ	アカマツ	カンザワハダニ	クワオオハダニ	カンザワハダニ	クワオオハダニ		
圃場 I	6月15日	1	コウズケカブリダニ	11	×	×	nt	nt	1	1	2	
	6月15日	2	コウズケカブリダニ	12	×	○	○	×	0	0	0	
	6月22日	1	コウズケカブリダニ	11	×	○	○	○	0	2	2	
	6月22日	2	コウズケカブリダニ	16	×	×	nt	nt	0	3	3	
	6月22日	5	コウズケカブリダニ	11	×	○	×	×	2	4	6	
	6月22日	4	コウズケカブリダニ	10	×	○	×	○	4	3	7	
	6月29日	1	コウズケカブリダニ	16	×	×	nt	nt	4	10	14	
	6月29日	2	コウズケカブリダニ	17	×	×	nt	nt	1	3	4	
	6月29日	3	コウズケカブリダニ	14	×	×	nt	nt	4	6	10	
	6月29日	4	コウズケカブリダニ	16	×	○	○	○	1	6	7	
	7月6日	4	コウズケカブリダニ	11	×	○	×	○	0	10	10	
	7月13日	2	コウズケカブリダニ	23	×	○	×	○	0	2	2	
	7月13日	3	コウズケカブリダニ	11	×	○	×	○	0	9	9	
	7月13日	4	コウズケカブリダニ	13	×	○	×	○	0	0	0	
	7月13日	5	コウズケカブリダニ	16	×	×	nt	nt	0	27	27	
	7月27日	2	コウズケカブリダニ	16	×	○	×	○	0	5	5	
	7月27日	4	コウズケカブリダニ	11	×	○	×	×	0	17	17	
	7月27日	5	コウズケカブリダニ	15	×	○	×	○	0	32	32	
	8月24日	2	ニセラーゴカブリダニ	11	×	×	nt	nt	3	41	44	
	8月17日	3	コウズケカブリダニ	18	×	×	nt	nt	9	39	48	
	8月17日	5	コウズケカブリダニ	13	○	×	×	○	6	29	35	
	8月24日	5	コウズケカブリダニ	13	○	○	×	○	0	33	33	
	圃場 II	6月8日	3	ミヤコカブリダニ	33	×	○	○	○	57	18	75
		6月15日	3	ミヤコカブリダニ	13	×	○	○	○	7	0	7
6月29日		5	ニセラーゴカブリダニ	7	×	×	nt	nt	0	0	0	
8月24日		4	ニセラーゴカブリダニ	22	×	×	nt	nt	10	37	47	
8月17日		3	ニセラーゴカブリダニ	17	×	×	nt	nt	7	34	41	
8月17日		4	ニセラーゴカブリダニ	20	×	○	×	○	12	41	53	
9月7日		1	ニセラーゴカブリダニ	19	×	×	nt	nt	0	0	0	
9月7日		2	ニセラーゴカブリダニ	12	×	×	nt	nt	0	14	14	
9月7日		3	ニセラーゴカブリダニ	23	×	×	nt	nt	0	27	27	
9月7日		4	ニセラーゴカブリダニ	18	×	○	×	○	0	29	29	
9月7日		5	ニセラーゴカブリダニ	10	×	○	×	○	0	18	18	
圃場 IV	7月6日	2	ミヤコカブリダニ	11	×	○	×	○	23	72	95	
	7月13日	1	ミヤコカブリダニ	29	×	○	×	○	41	157	198	
	7月13日	2	ミヤコカブリダニ	18	×	○	×	○	11	62	73	
	7月27日	1	ミヤコカブリダニ	21	×	○	×	○	29	167	196	
	7月27日	4	ミヤコカブリダニ	18	×	○	×	○	34	91	125	
	8月3日	4	ミヤコカブリダニ	49	×	×	nt	nt	27	87	114	
	8月8日	2	ニセラーゴカブリダニ	19	×	○	×	○	6	64	70	
	8月17日	2	ニセラーゴカブリダニ	21	×	×	nt	nt	6	67	73	
	8月17日	3	ニセラーゴカブリダニ	41	×	×	nt	nt	9	84	93	
	8月17日	5	ニセラーゴカブリダニ	40	×	×	nt	nt	7	89	96	
	8月24日	2	ニセラーゴカブリダニ	28	×	○	×	○	2	51	53	
	8月24日	3	ニセラーゴカブリダニ	17	○	×	×	○	8	56	64	
	8月24日	5	ニセラーゴカブリダニ	47	○	○	×	○	4	61	65	
	9月7日	1	ニセラーゴカブリダニ	14	×	○	×	○	0	21	21	
	9月7日	2	ニセラーゴカブリダニ	31	○	○	×	○	0	17	17	
	9月7日	3	ニセラーゴカブリダニ	13	×	×	nt	nt	0	19	19	
	9月7日	4	ニセラーゴカブリダニ	15	×	○	×	○	0	11	11	
	9月7日	5	ニセラーゴカブリダニ	21	○	×	×	○	0	18	18	
圃場 VI	7月13日	1	ミヤコカブリダニ	24	×	×	nt	nt	0	0	0	
	7月13日	3	ミヤコカブリダニ	24	×	×	nt	nt	0	7	7	
	7月13日	5	ミヤコカブリダニ	41	×	○	×	×	0	0	0	
	7月27日	2	ニセラーゴカブリダニ	9	×	×	nt	nt	0	0	0	
	8月17日	1	ニセラーゴカブリダニ	10	×	○	×	○	0	0	0	
	8月24日	1	コウズケカブリダニ	12	×	○	×	○	0	0	0	
	8月24日	2	ニセラーゴカブリダニ	11	×	○	×	○	0	0	0	
	9月7日	5	ニセラーゴカブリダニ	10	×	○	×	×	0	0	0	

○：検出，×：非検出，nt：未調査。

VI マツ科の花粉がカブリダニに及ぼす影響

ヨーロッパアカマツ *Pinus sylvestris* の花粉はスワルスキーカブリダニ *Amblyseius swirskii* の発育と増殖に好適であった (GOLEVA and ZEBITZ, 2013)。一方、ヨーロッパアカマツの花粉はディジェネランスカブリダニ *Iphiseius degenerans* とククメリスカブリダニ *Neoseiulus cucumeris* の増殖には不適であった (van RIJN and TANIGOSHI, 1999)。また、ラジアータパイン *Pinus radiata* の花粉も *Euseius addoensis* の生存と増殖に不適であった (GROUT and RICHARDS, 1992)。現時点においてアカマツの花粉が3種のカブリダニ種の発育や増殖に好適であるかどうかは不明である。好適ならば、アカマツの ITS 配列は6月2日から9月7日にかけて採集されたカブリダニ3種のDNAサンプルから検出されたことから、モモ圃場において長期間利用可能な有力な代替餌といえる。

VII イネ科の花粉がカブリダニに及ぼす影響

ほとんどのジェネラリストカブリダニにとってイネ科植物の花粉は重要な餌資源である (DUSO et al., 2004; PALEVSKY et al., 2010)。例えば、トウモロコシの花粉はスワルスキーカブリダニや *Neoseiulus baraki* にとって好適な餌資源であることが知られている (NEGLOH et al., 2008; WIMMER et al., 2008; ONZO et al., 2011; ZANNOU and HANNA, 2011)。ニセラーゴカブリダニ、ミヤコカブリダニ、ケナガカブリダニ、ケプトカブリダニ、ミナミカブリダニ、フツウカブリダニを含む多くのカブリダニ種はトウモロコシの花粉を餌として発育、増殖する (KISHIMOTO et al., 2014)。しかしながら、トウモロコシの花粉はコウズケカブリダニには不適であり (KISHIMOTO et al., 2014)、*Typhlodromus pyri* はスズメノカタビラ *Poa annua* の花粉では発育できなかった (BERMÚDEZ et al., 2010)。また、イネ科植物の花粉ミックスはスワルスキーカブリダニにとって栄養的価値は高いが、トウモロコシの花粉には及ばないとの報告もある (van RIJN and TANIGOSHI, 1999; GOLEVA and ZEBITZ, 2013)。

おわりに

KISHIMOTO et al. (2014) は花粉を高い湿度に曝露すると餌としての価値が低下すること、低下速度は植物種間

で異なることを報告した。今後、アカマツやメヒシバの花粉がカブリダニの発育や増殖に好適であることに加え、モモ圃場におけるカブリダニ個体群の維持への貢献を知るために、両花粉の湿度に対する耐性も調べる必要がある。

圃場 VI では調査期間を通じてハダニの発生が非常に少なく、カブリダニだけが採集されることがしばしばあった (図-1)。カブリダニがハダニ未発生時に花粉を摂食して生存しているのであれば、例えば花粉の人工的散布などによってカブリダニを圃場に恒常的に維持することができる可能性がある。今後は、花粉の人工的散布をはじめとするカブリダニのハダニ密度抑制因子としての潜在性を高めるための技術開発も進める必要がある。

引用文献

- 1) ABDALLAH, A. A. et al. (2001): *Exp. Appl. Acarol.* **25**: 833 ~ 847.
- 2) BERMÚDEZ, P. et al. (2010): *Chil. J. Agric. Res.* **70**: 408 ~ 416.
- 3) BROUFAS, G. D. and D. S. KOVEOS (2000): *Environ. Entomol.* **29**: 743 ~ 749.
- 4) DUSO, C. et al. (2004): *Biocontrol* **49**: 397 ~ 415.
- 5) GNANVOSSOU, D. et al. (2005): *Biol. Cont.* **35**: 32 ~ 39.
- 6) GOLEVA, I. and C. P. W. ZEBITZ (2013): *Exp. Appl. Acarol.* **61**: 259 ~ 283.
- 7) GONZÁLEZ-FERNÁNDEZ, J. J. et al. (2009): *Bull. Entomol. Res.* **99**: 433 ~ 444.
- 8) GROUT, T. G. and G. I. RICHARDS (1992): *ibid.* **82**: 317 ~ 320.
- 9) JAMES, D. G. (1989): *Exp. Appl. Acarol.* **6**: 1 ~ 10.
- 10) KISHIMOTO, H. et al. (2014): *Appl. Entomol. Zool.* **49**: 19 ~ 25.
- 11) KREITER, S. et al. (2002): *Environ. Entomol.* **31**: 648 ~ 660.
- 12) MCMURTRY, J. A. and B. A. CROFTS (1997): *Ann. Rev. Entomol.* **42**: 291 ~ 321.
- 13) ——— et al. (2013): *Syst. Appl. Acarol.* **18**: 297 ~ 320.
- 14) NEGLOH, K. et al. (2008): *Biol. Control* **46**: 523 ~ 531.
- 15) NOMIKOU, M. et al. (2001): *Exp. Appl. Acarol.* **25**: 271 ~ 291.
- 16) ——— et al. (2003): *ibid.* **31**: 15 ~ 26.
- 17) ONZO, A. et al. (2011): *J. Insect Sci.* **12**: 7.
- 18) SONODA, S. et al. (2013): *Jpn. J. Entomol. Zool. Chugoku Branch* **55**: 1 ~ 12.
- 19) 園田昌司 (2016): *植物防疫* **70**: 736 ~ 741.
- 20) PALEVSKY, E. et al. (2010): *Bull. SROP/WPRS* **62**: 93 ~ 97.
- 21) van HOUTEN, Y. M. and P. van STRATUM (1995): Control of western flower thrips on sweet pepper in winter with *Amblyseius cucumeris* (Oudemans) and *A. degenerans* Berlese. In: PARKER, B. L. et al. (eds) *Thrips biology and management*, Plenum Press, New York, p.245 ~ 248.
- 22) van RIJN, P. C. J. and L. K. TANIGOSHI (1999): *Exp. Appl. Acarol.* **23**: 785 ~ 802.
- 23) VANTORNHOUT, I. et al. (2005): *ibid.* **35**: 183 ~ 195.
- 24) WARI, D. et al. (2014): *ibid.* **63**: 313 ~ 332.
- 25) ——— et al. (2015): *Biol. Cont.* **80**: 143 ~ 155.
- 26) ——— et al. (2016): *Appl. Entomol. Zool.* **51**: 539 ~ 547.
- 27) WIMMER, D. et al. (2008): *Biocontrol Sci. Technol.* **18**: 541 ~ 550.
- 28) ZANNOU, I. D. and T. HANNA (2011): *Exp. Appl. Acarol.* **53**: 339 ~ 347.

植物防疫基礎講座：

植物病原菌の薬剤感受性検定マニュアル 2016

(13) トマト葉かび病菌

—QoI 剤・ベンゾイミダゾール剤・ジエトフェンカルブ剤・SDHI 剤・DMI 剤—

岐阜県農業技術センター ^{わた}渡 ^{なべ}辺 ^{ひで}秀 ^き樹

はじめに

葉かび病は、糸状菌 *Passalora fulva* によって引き起こされるトマトの主要病害の一つである。葉裏に褐色ピロード状の病斑を形成し、多発すると薬剤防除が難しく下葉から枯れ上がるため収量低下を引き起こす。岐阜県内の産地では、2007 年ころから本病の多発が問題になり、殺菌剤の効力低下が懸念された。そこで、QoI 剤（アゾキシストロビン）、ベンゾイミダゾール剤（チオファネートメチル）、ジエトフェンカルブ剤、SDHI 剤（ボスカリド、ペンチオピラド）および DMI 剤（トリフルミゾール）に対する感受性を調査した結果、これらの薬剤の多くで耐性菌の存在を確認した（渡辺, 2009；渡辺ら, 2010；渡辺, 2011；渡辺ら, 2012；2013）。本稿では、筆者が行っている培地検定および生物検定の方法を紹介する。

I 菌の分離方法

1 サンプリング

現地から罹病小葉を 1 施設につき 20 枚程度採取する。施設内の複数の地点から採取し、サンプル数は調査目的によって適宜加減する。葉かび病菌は、培地上的生育が遅く雑菌が多いと分離が難しくなるので、できる限り新鮮な罹病葉を採取する。本病が多発している条件下では、葉かび病の病斑上に白色のかびが観察されることがある（図-1、口絵①）。これは葉かび病菌に寄生する *Hansfordia palvinata* [syn. *Dicyma palvinata*] であり（渡辺ら, 2011）、本菌が寄生している罹病葉は分離に適さない。採取した葉は、紙封筒に入れて持ち帰るのがよい。すぐに分離できない場合には、封筒のまま室内で 1～2 日程度自然乾燥させた後、5～10℃前後の冷蔵庫で保存すれば、半年から 1 年程度は保存可能である。ポリ袋で

持ち帰った場合、数日程度は冷蔵庫で保存できるが、すぐに分離作業ができないときにはポリ袋から葉を取り出し、新聞紙などに広げて室内で 1～2 日間自然乾燥させた後、紙封筒に入れて冷蔵庫で保存する。

2 分離手順

ポテトデキストロース寒天培地（PDA）にストレプトマイシン 300 mg/l を添加して作製した分離用平板と滅菌綿棒を準備する。新鮮な病斑に綿棒の先端でほんのわずかに触れて分生子を綿棒先端に付着させたのち、平板培地に粗く画線する。付着量は綿棒の先端に肉眼でわずかに確認できる程度で十分で、多すぎると単胞子分離が難しくなる。シャーレ裏面から顕微鏡観察して単胞子分離可能な分生子を見つけたら、先の細いマーカーペンでシャーレに印を付けておく。25℃で 7～10 日程度培養すると、鶯色から褐色のコロニーが多数形成されるので（図-2、口絵②）、PDA 斜面培地に移植してさらに培養し、菌叢が広がったら冷蔵庫（5～10℃）で保存する。なお、古い病斑から分離すると培地上に雑菌の混入が多くなる。これらの雑菌は葉かび病菌より生育が速いものが多いため、できるだけ早く単胞子分離を行う。

II QoI 剤（培地検定・遺伝子診断）

ここでは、アゾキシストロビン感受性の検定方法について紹介する。

1 菌の前培養

葉かび病菌の QoI 剤に対する感受性検定には菌叢磨砕液を用いた方法が適しており（渡辺, 2009）、ベンゾイミダゾール系剤、ジエトフェンカルブ剤、SDHI 剤にも適用可能である（渡辺ら, 2012；2013）。検定の 2 週間以上前に、保存菌株を PDA 平板に移植して、25℃、暗黒下で前培養しておく。

2 検定培地の作製

QoI 剤感受性を薬剤添加培地で評価する場合、多くの糸状菌で代替酸化酵素（AOX）阻害剤を添加する必要がある。AOX 阻害剤を添加しないと、感受性菌であっても薬剤添加培地上で生育するため薬剤感受性を正確に評価できない場合が多い。石井ら（1999）は、キュウリ

Methods for Detecting Fungicide Resistance in *Passalora fulva*.

By Hideki WATANABE

(キーワード：トマト葉かび病, QoI, ベンゾイミダゾール, ジエトフェンカルブ, SDHI, DMI, 検定法)



図-1 葉かび病の病斑

A: 分生子形成が良好で採取に適する, B: 病斑上に寄生菌 (矢印) が繁殖して分離に適さない。

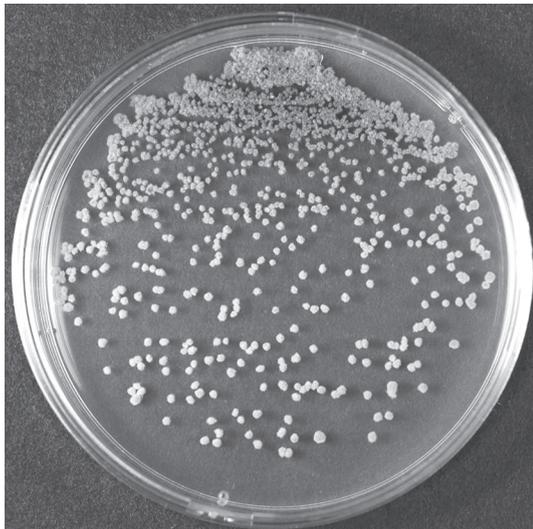


図-2 葉かび病菌のコロニー

PDA, 25°C, 10日間培養後。

褐斑病菌の QoI 剤感受性検定で AOX 阻害剤に没食子酸 *n*-プロピル (PG) を使用しているが、本剤は葉かび病菌のアゾキシストロピン (AZ) 感受性検定においても有効であることを確認している (渡辺, 2009)。PG はジメチルスルホキシド (DMSO) にあらかじめ溶解しておく (DMSO 2.5 ml に PG 212 mg を滅菌チューブ内で溶解。以下 PG 液。)。AZ は、市販の 20% 製剤 (アミスター 20 フロアブル) 100 μ l をメスフラスコで 100 ml になるよう滅菌水で希釈する (AZ 液)。葉かび病菌の AZ に対するベースライン感受性 (最小生育阻止濃度: MIC) は 1 mg/l と考えられたことから (渡辺, 2009), AZ は 1 mg/l の濃度で培地に添加する。200 ml の PDA 培地を溶解して、60°C 以下に冷ましてから PG 液を 1 ml (PG

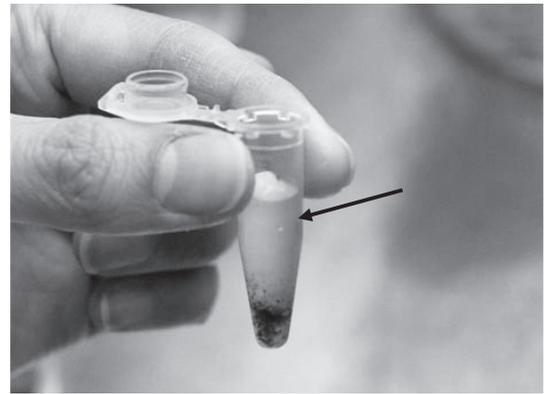


図-3 菌叢磨砕液の調製

ベッセルでよく磨砕する。置床時に菌体が沈殿している場合には、軽くタッピングして上澄みから採取する (矢印)。

最終濃度: 2 mM), AZ 液を 1 ml (AZ 最終濃度: 1 mg/l) 添加してよく混和し、シャーレに約 30 ml 分注する。なお、対照として PG 液 1 ml のみ添加した培地を準備する。シャーレはグリッドが入った正方形のものが便利である (Square Petri Dish, Simport 社)。本シャーレ 1 枚で 36 菌株が検定できる。また、検定の 1 日前に培地を作製しておく、菌液を滴下した後の乾燥が速くなるので作業効率がよい。

3 菌叢磨砕液の滴下

前培養しておいたコロニーの先端部分をメスで無菌的に約 5 mm 角に切り出して、800 μ l の滅菌水を加えた 1.5 ml 容のマイクロチューブ内でベッセルを用いて十分磨砕し、菌叢磨砕液を調製する (図-3)。マイクロピペットで 10 μ l を採取し、AZ 添加培地および無添加培地にそれぞれ滴下する。グリッドが入ったシャーレは 36 マ

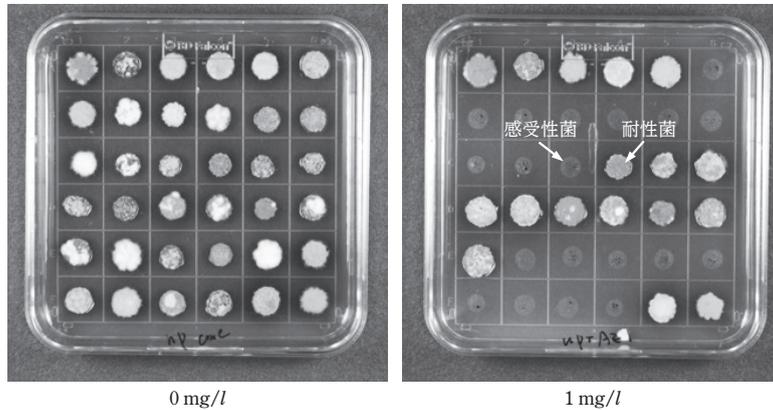


図-4 葉かび病菌のアゾキシストロビン感受性の判定

表-1 トマト葉かび病菌の薬剤感受性検定方法

薬剤	検定培地		菌の接種方法	培養条件	判定基準
	基本培地	薬剤濃度 ^{a)} (mg/l)			
アゾキシストロビン	PDA (没食子酸 <i>n</i> -プロピル 2 mM 添加)	1	菌叢磨砕液 (10 μ l)	25℃ 10日	生育なし：感受性 (S) 生育あり：耐性 (R)
チオファネートメチル	PDA	1, 10			1 mg/l で生育なし：感受性 (S) 1 mg/l で生育, 10 mg/l で生育なし：中等度耐性 (MR) 1, 10 mg/l で生育：高度耐性 (HR)
ジエトフェンカルブ		1, 100			1 mg/l で生育なし：感受性 (S) 100 mg/l で生育あり：低感受性 (LS) または耐性 (R) ※チオファネートメチル感受性により異なる
ボスカリド	YB	1			生育なし：感受性 (S) 生育あり：耐性 (R)
ベンチオピラド		0.5			
トリフルミゾール	PDA	100	菌叢ディスク	25℃ 30日	菌糸伸長量が無添加培地の10%未満：感受性 (S) 同 10%以上：耐性 (R)

^{a)} 薬剤無添加の培地を対照として準備する。

スに境界線が設けられており、菌株ごとに各培地平板の同じ位置に滴下する。多数の菌株を検定する場合には、菌株の磨砕作業をすべて済ませてから培地に滴下するほうが効率的である。磨砕液をしばらく放置するとマイクロチューブの底に菌体が沈殿するため、指で軽くタッピングしてから上澄み液を採取するのがコツである (図-3)。底に沈んだ粗い菌体を採取すると薬剤添加培地上でまばらに生育が認められることがあり、判定しづらくなる。培地上の菌液がおおむね乾燥したら、25℃、暗黒下で10日間培養する。

4 判定方法

AZ 無添加培地で生育が認められ、添加培地で生育し

ない菌株をアゾキシストロビン感受性、AZ 添加培地でも生育する菌株を耐性とする (図-4、口絵③、表-1)。

5 遺伝子診断

QoI 耐性菌は、本剤の作用点であるミトコンドリアのチトクローム *b* の遺伝子に変異が認められる場合が多い。耐性変異型として143番目の推定アミノ酸がグリシンからアラニンに置換した G143A、129番目のフェニルアラニンがロイシンに置換した F129L のほか、G137R が報告されている (ISHII, 2010)。葉かび病菌のチトクローム *b* 遺伝子は、ISHII et al. (2001; 2009) のプライマー Bccy1F (5'-AGAGGTATGTACTATGGATC-3') および RSCBR2 (5'-AACAAATATCTTGTCCAATTCATGG-3')

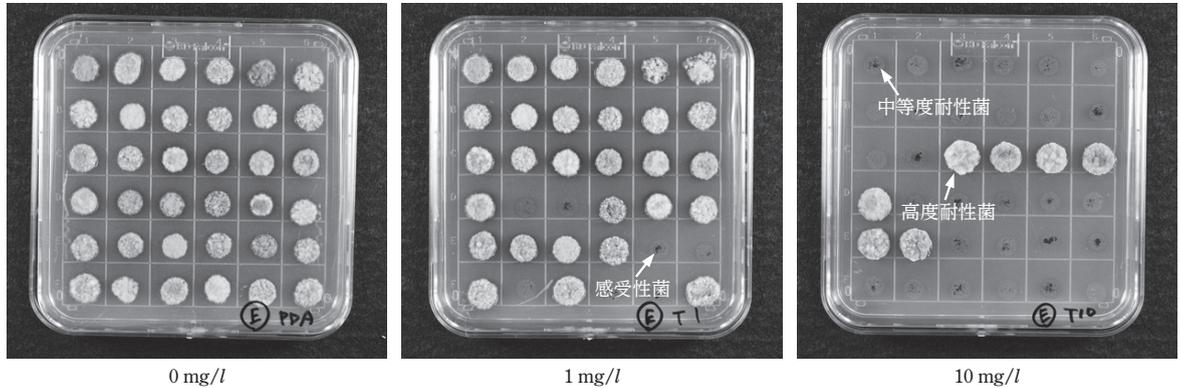


図-5 葉かび病菌のチオファネートメチル感受性の判定

で増幅可能である(渡辺, 2011)。ただし, 実験条件によっては, 本プライマーセットで増幅されにくいことがあるため, 近藤(2014)の報告も参考にされたい。トマト葉かび病菌のアゾキシストロピン耐性菌は, これまで調べた限りすべて F129L 変異株である(渡辺, 2011; 近藤, 2014)。F129L や G137R 変異株は, G143A 変異株と比較して耐性程度がやや低いことが *Pyricularia grisea* (Kim et al., 2003), *Alternaria solani* (PASCHE et al., 2005), 国内では *Pestalotiopsis longisetata* (YAMADA and SONODA, 2012) で報告されている。しかし, 葉かび病菌においても, 今後, より強い耐性を持つ G143A 変異型菌が出現する可能性は否定できない。そのため, 変異部位を簡便に検出する技術が必要であるが, 本菌のチトクローム *b* のコドン 143 直下の塩基にはイントロン様配列が挿入されており(渡辺, 2011), コドン 143 の変異部位を認識できる制限酵素が見当たらないことから, RFLP による耐性菌の検出ができない。このため, シークエンス解析により変異を確認する。

III ベンゾイミダゾール剤(培地検定)

ここでは, チオファネートメチル感受性の検定方法について紹介する。

1 検定培地の作製

PDA を基本培地として用いる。葉かび病菌のチオファネートメチル感受性は, MIC 0.5 mg/l, 10 mg/l および 500 mg/l をピークとする 3 峰型を示し, 接種試験の結果から, それぞれ感受性, 中等度耐性, 高度耐性と考えられたことから(渡辺ら, 2012), チオファネートメチルは 1 mg/l および 10 mg/l の 2 濃度, 対照として薬剤無添加の計 3 種類の検定培地を作製する。ベンゾイミダゾール剤の抗菌活性は熱に安定であり, チオファネートメチルをオートクレーブ前に培地へ添加したほうがカ

ルベンダジムへの変換が起こりやすく抗菌活性が高い(石井・柳瀬, 1983)。このため, 葉かび病の場合も同様にして培地を作製する。具体的には, まずチオファネートメチル水和剤(トップジン M 水和剤, 有効成分 70%) 286 mg と 20 ml のメスフラスコで希釈液を調製する(検定菌株数により作製量は適宜調整)。200 ml 分の粉末 PDA 培地に薬剤希釈液を 20 μ l (最終濃度: 1 mg/l) または 200 μ l (最終濃度: 10 mg/l) を添加し, 蒸留水を加えて 200 ml とし, オートクレーブした後にシャーレに分注する。シャーレは QoI 剤感受性検定の場合と同様にグリッドが入った正方形のものが便利である。

2 菌の前培養および培地への滴下

QoI 剤の項と同様の方法により調製した供試菌の菌叢磨砕液を薬剤添加培地および無添加培地へ 10 μ l 滴下し, 25°C, 暗黒下で 10 日間培養する。

3 判定方法

薬剤無添加培地で生育し, 1 mg/l チオファネートメチル添加培地で生育しない菌をチオファネートメチル感受性, 1 mg/l 添加培地で生育し 10 mg/l 添加培地で生育しない場合を中等度耐性, 1 mg/l および 10 mg/l 添加培地で生育する場合を高度耐性とする(図-5, 表-1)。

IV ジエトフェンカルブ剤(培地検定)

1 検定培地の作製

PDA を基本培地として用いる。葉かび病菌に対するジエトフェンカルブの MIC は, チオファネートメチルに高度耐性を示す菌株の一部に対してのみ 1 mg/l を示し, 本剤の上市前に分離されたものを含むほとんどの菌株に対して 500 mg/l 以上を示した(渡辺ら, 2012)。この結果から, ジエトフェンカルブの添加濃度を 1 mg/l および 100 mg/l とし, 対照として薬剤無添加も加えた計 3 種類の培地を作製して検定を行っている。ジエトフェンカ

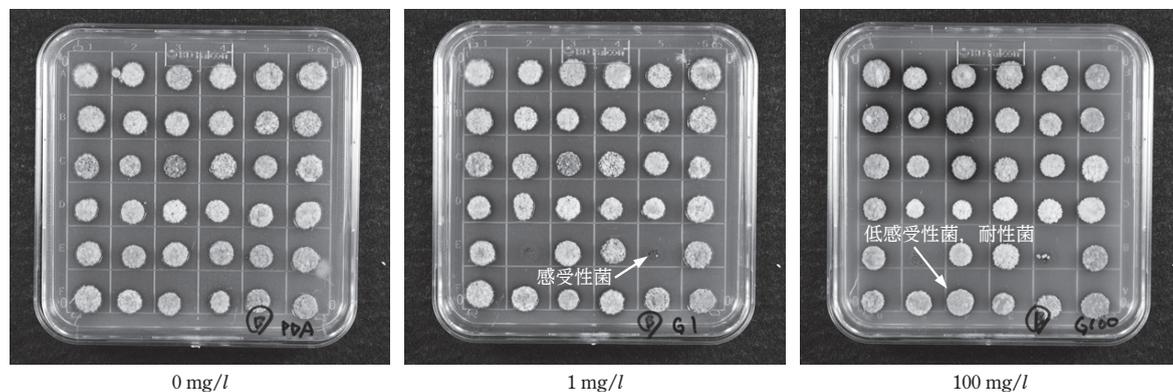


図-6 葉かび病菌のジエトフェンカルブ感受性の判定

ルブ製剤（パウミル水和剤，有効成分 25%）は，現在市販されていないため，製造元である住友化学（株）に分譲依頼する必要がある。具体的には，本剤 800 mg を 20 ml のメスフラスコで希釈液を調製し（検定菌株数により作製量は適宜調整する），200 ml の PDA に 1 mg/l 添加培地には薬剤希釈液を 20 μ l，100 mg/l 添加培地には 2 ml を添加してよく混和し，上記のシャーレに約 30 ml 分注する。

2 菌の前培養および培地への滴下

QoI 剤の項と同様の方法により調製した供試菌の菌叢磨砕液を薬剤添加培地および無添加培地へ 10 μ l 滴下し，25 $^{\circ}$ C，暗黒下で 10 日間培養する。

3 判定方法

薬剤無添加培地で生育し，1 mg/l ジエトフェンカルブ添加培地で生育しない菌はジエトフェンカルブ感受性とする。一方，100 mg/l 添加培地で生育する菌株は，低感受性あるいは耐性とするが（図-6，表-1），これはベンゾイミダゾール剤に対する感受性により異なる。すなわち，ベンゾイミダゾール系薬剤感受性菌および中等度耐性菌は元々ジエトフェンカルブに感受性ではないため，「耐性」とはせず「低感受性」とするが，ベンゾイミダゾール系薬剤高度耐性菌（通常はジエトフェンカルブに負相関交差耐性を示し感受性）でジエトフェンカルブにも感受性が低いものは「耐性」とする。

葉かび病菌のチオファネートメチルとジエトフェンカルブに対する感受性組合せには少なくとも 4 タイプの存在を確認している（表-2）。海外では，中国でベンゾイミダゾール耐性の葉かび病菌が見つかっており，ジエトフェンカルブに負相関交差耐性を示すグループと示さないグループの 2 タイプが確認されている（YAN et al., 2008）。岐阜県で確認されたチオファネートメチル高度耐性菌の中にも，ジエトフェンカルブ感受性に関して同

表-2 トマト葉かび病菌のチオファネートメチルおよびジエトフェンカルブに対する感受性

感受性タイプ ^{a)}	チオファネートメチル	ジエトフェンカルブ
S-LS	感受性	低感受性
MR-LS	中等度耐性	低感受性
HR-S	高度耐性	感受性
HR-R	高度耐性	耐性

^{a)} 感受性タイプの表記：チオファネートメチル-ジエトフェンカルブ。

様の 2 タイプを確認しているが，これらの菌には YAN et al. (2008) の報告と同様の遺伝子変異が起きている可能性があり，今後検討が必要である。

V SDHI 剤（培地検定）

1 検定培地の作製

本剤感受性の検定は，櫻井ら（2011）の方法に準じて行っており，基本培地には YB 培地（酵母エキス 10 g，ペプトン 10 g，寒天 15 g/l）を用いる。筆者は，SDHI 剤としてボスカリドおよびペンチオピラドを供試している。葉かび病菌の両剤に対するベースライン感受性（MIC）は，ボスカリドで 1 mg/l，ペンチオピラドは 0.5 mg/l と考えられたため（渡辺ら，2013），それぞれの濃度で薬剤を添加し，対照として薬剤無添加を加えた計 3 種類の検定培地を作製する。ボスカリドは市販の 50% 製剤（カンタスドライフロアブル）40 mg，ペンチオピラドは 20% 製剤（アフエットフロアブル）50 μ l を 100 ml のメスフラスコ内で滅菌水に懸濁し希釈液を作製する。YB 培地をオートクレーブ後，60 $^{\circ}$ C 以下に冷ましてから培地 200 ml 当たり各薬剤希釈液 1 ml を添加してよく混和し，上記シャーレに約 30 ml を分注する。

2 菌の前培養および培地への滴下

QoI 剤の項と同様の方法により調製した供試菌の菌叢磨砕液を薬剤添加培地および無添加培地へ $10 \mu\text{l}$ 滴下し、 25°C 、暗黒下で 10 日間培養する。

3 判定方法

薬剤無添加培地で生育し、 1 mg/l ボスカリド添加培地で生育しない菌をボスカリド感受性、生育する菌を耐性とする。また、ペンチオピラドの場合も同様である。(図-7、表-1)。

耐性菌に対する各剤の MIC 値は $1,000 \text{ mg/l}$ 以上を示し、接種試験でも耐性菌に対する防除価は著しく低かった(渡辺ら, 2013)。また、ボスカリド耐性菌の中には、ペンチオピラドにも強耐性を示す菌群と弱耐性を示す菌群が認められ、葉かび病菌は SDHI 剤感受性の違いから少なくとも 3 タイプに分けられる。キュウリ褐斑病菌やうどんこ病菌のボスカリド耐性菌(超高度耐性、高度耐性)はペンチオピラドに交差耐性を示すことが認められている(Ishii et al., 2011)が、ナスすすかび病菌のボスカリド耐性菌にはペンチオピラドに交差耐性を示す菌株は見つっていない(岡田・下元, 2016)。一方, AVENOT et al. (2012) は, *Alternaria alternata* のボスカリド超高度耐性菌はペンチオピラドに交差耐性を示すが、高度耐性菌は交差耐性を示さないことを報告している。SDHI 剤耐性菌のコハク酸脱水素酵素 (*sdh*) 遺伝子変異には様々なタイプが報告されており(石井, 2012)、同系統の新規殺菌剤が次々に登録される中、交差耐性の有無やパターンも複雑化している。

VI DMI 剤 (培地)

トリフルミゾールなど DMI 剤の多くは、培地上で病原菌の菌糸生育を抑制する作用があまり強くないため、

DMI 耐性を検定する際の指標として MIC は適さない場合が多く、 EC_{50} を使用することが多い(石井, 1998)。また、薬剤添加培地を用いた DMI 剤感受性の検定は、圃場での防除効果を必ずしも反映しないことがナシ黒星病菌で報告されており(石井, 1995; TOMITA and ISHII, 1998)、薬剤添加培地による検定は十分な検討を必要とする。葉かび病菌においても QoI 剤と同じ方法を用いて DMI 剤の MIC 値を求めたが、生物検定による防除価との整合性は低かった。これに対し菌叢ディスクを用いて EC_{90} 値を算出したところ、防除価との整合性が比較的高い結果が得られた(図-8)。しかし、多数の菌株を検定する際に EC_{90} 値を求めるのは煩雑である。そこで、検定を簡便化するため、ある特定の濃度における菌糸の相対的生育度を求める方法が提案されている(KÖLLER, 1995)。トリフルミゾール剤の防除効果が著しく低下した耐性菌の EC_{90} 値は 100 mg/l 以上を示したことから、トリフルミゾールの添加濃度を 100 mg/l として検定を行っている。

1 検定培地の作製

PDA を基本培地として用い、トリフルミゾールの添加濃度は 100 mg/l 、対照として薬剤無添加培地を作製する。具体的には、トリフルミゾール水和剤(トリフミン水和剤、有効成分 30%) 1.34 g を滅菌水で希釈して 20 ml の薬剤希釈液を作製し、オートクレーブ後に 60°C 以下に冷ました 200 ml の PDA 培地へ薬剤希釈液 1 ml を添加してよく混和し、シャーレに分注する。シャーレは 3~4 分割のものが便利である。

2 菌の前培養および培地への置床

葉かび病菌は、培地上の菌叢生育が遅く、平滑な菌叢表面が得られにくいいため、菌叢ディスクは次のように作製する。まず、通常よりやや薄め ($10 \text{ ml}/9 \text{ cm}$ シャーレ)

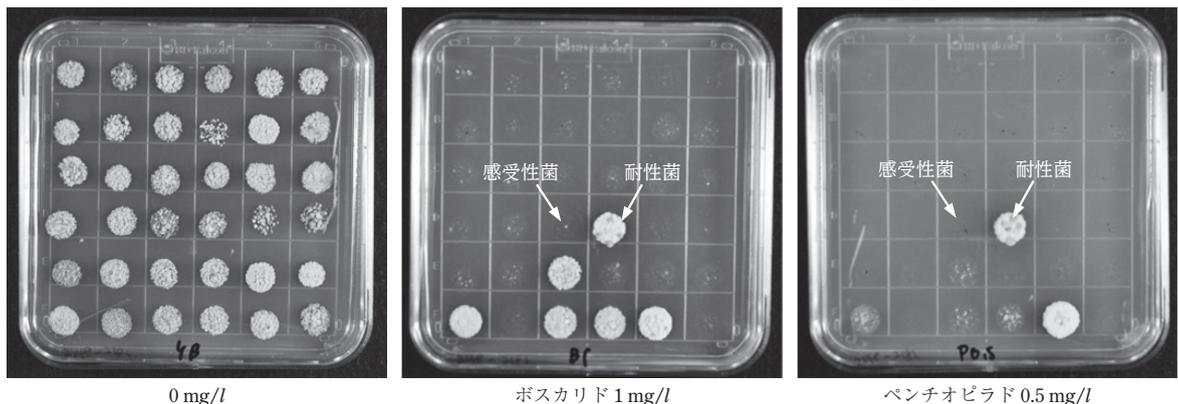


図-7 葉かび病菌の SDHI 剤感受性の判定

に広げた PDA 平板を作製する。次に QoI 剤の項と同様の方法で調製した供試菌の菌叢磨砕液全量を PDA 平板に流し込み、コンラージ棒でシャーレ全面に広げ、25℃、暗黒下で培養する。おおむね 7 日程度培養したのちコルクボーラー（径 6 mm 程度）で菌叢ディスクを打ち抜き、検定培地へ菌叢面を下にして置床し、25℃で

30 日間培養する。

3 判定方法

コロニー直径を計測して、計測値から菌叢ディスク径を差し引いて菌糸伸長量を算出する。筆者は 100 mg/l 添加培地の菌糸伸長量が薬剤無添加培地の伸長量の 10% 以上であれば耐性菌と判断している（図-9、表-1）。

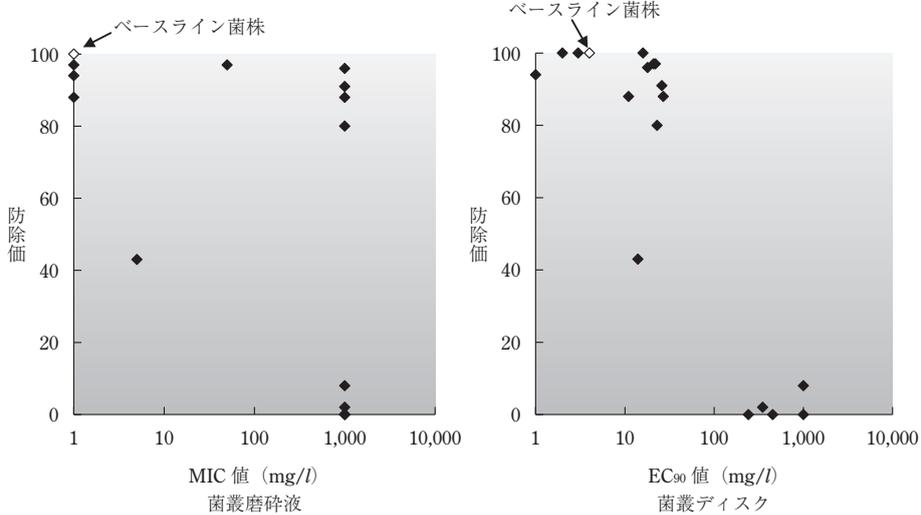


図-8 トリフルミゾール感受性の指標と防除効果の比較

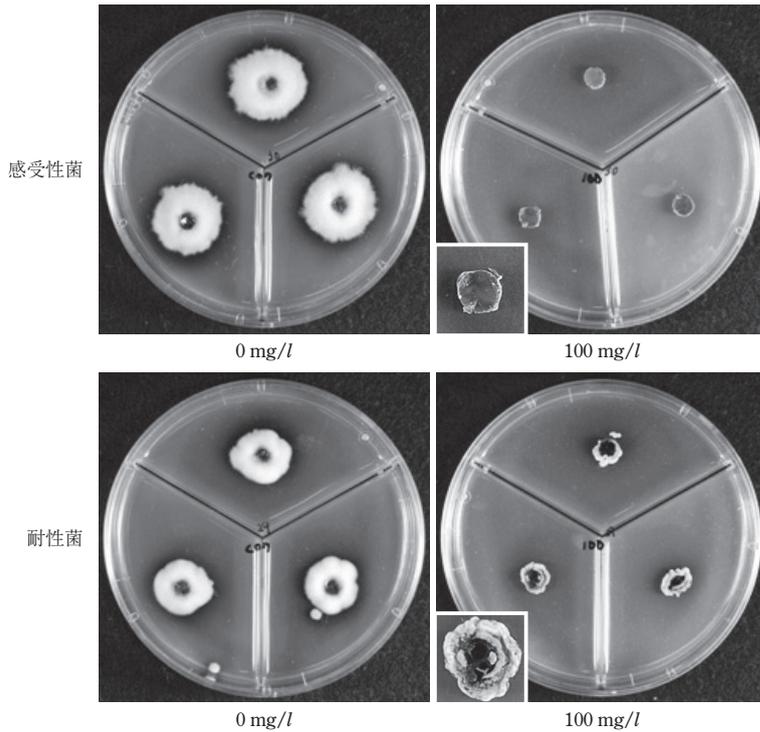


図-9 葉かび病菌のトリフルミゾール感受性の判定

ただし、一般的にDMI剤感受性は連続的に徐々に低下するため、10%という境界値付近では判定に迷う場合がある。このため、本法による結果は目安として捉えて、最終的には後述する生物検定の結果も踏まえて判断することが望ましい。

また、DMI剤間の交差耐性を検討したところ、トリフルミゾール耐性菌は、フェナリモルに交差耐性を示したが、ジフェノコナゾールやトリホリンには交差耐性は認められず、薬剤によって違いが見られた(渡辺・堀之内, 2013)。

VII 生物検定

これまでに記した培地検定によって薬剤感受性を判定することはできるが、判定基準に当てはまらない分離菌株が得られた場合や耐性程度を再確認したい場合等必要に応じて生物検定により薬剤の効果を確認する。

葉かび病菌には複数のレースが存在し、近年国内でも新たなレースが確認されている(ENYA et al., 2009; IIDA et al., 2010; KUBOTA et al., 2015)。このため、供試菌株のレースに罹病性の品種を用いる必要がある。菌を分離した品種と同じものを用いれば確実であるが、供試菌株が多く分離品種が複数の場合には現地で広く罹病性が確認されている品種を用いる。近年は抵抗性遺伝子 *cf-9* を

打破する菌のレースが混在している産地が多く確認されているので、抵抗性遺伝子が明記してありなおかつ *cf-9* を持たない品種を供試したほうがよい。園芸用プランターに3株ずつ定植して接種試験の開始時に本葉が7~8枚となるよう準備する。供試菌をPDA培地で前培養し、前述の方法で菌叢磨砕液を調製する。磨砕液を新たなPDA平板にコンラージ棒で広げ、25℃、暗黒条件下で5~7日程度培養し菌叢が生育してきたところで、BLB照射下でさらに3日程度培養すると、分生子が形成される。培地表面に滅菌水を滴下して分生子を筆で回収し、キムワイプか2重にしたガーゼでろ過する。分生子濃度は、 10^4 個/ml程度に調整して界面活性剤(Tween20)を0.01%添加する。実用濃度に希釈した各薬剤をトマト苗に散布して薬液が乾いたら、葉裏に向けて分生子懸濁液を噴霧接種する。加湿器などで多湿状態を2日ほど維持して感染を促す。管理温度により前後するが、好適条件である20~25℃前後では接種から2週間~20日程度で薬剤無散布区の葉裏に病斑が形成され始めるので、病斑が明瞭になった時点で発病を程度別に調査する。筆者は、以下の基準により発病度を求め、薬剤無散布区と比較して防除価を算出している。なお、各殺菌剤における試験事例を表-3に示すので参考にされたい。発病程度別指数 0: 複葉に病斑を認めない 1: 病斑面積が複

表-3 各薬剤に対する感受性グループと実用濃度における防除効果の事例

薬剤名	供試殺菌剤名(希釈倍率)	薬剤感受性	防除価 ^{a)}	備考
アゾキシストロピン	アゾキシストロピン水和剤 (20%製剤, ×2,000)	感受性(S)	96~100	
		耐性(R)	32~46	
チオファネートメチル	チオファネートメチル水和剤 (70%製剤, ×1,500)	感受性(S)	98	
		中等度耐性(MR)	40~71	
		高度耐性(HR)	0~29	
ジエトフェンカルブ	ジエトフェンカルブ水和剤 (25%製剤)	感受性(S)	-	市販剤がないため未評価
		低感受性(LS), 耐性(R)	-	
ボスカリド	ボスカリド水和剤 (50%製剤, ×1,000)	感受性(S)	83~97	
		耐性(R)	0~38	
ベンチオピラド	ベンチオピラド水和剤 (20%製剤, ×2,000)	感受性(S)	100	ボスカリド耐性菌には、ベンチオピラドに同程度の交差耐性を示す菌株のほか、防除効果がやや低下した菌株(防除価55~79)も一部確認している
		耐性(R)	13~18	
トリフルミゾール	トリフルミゾール水和剤 (30%製剤, ×3,000)	感受性(S)	80~100	
		耐性(R)	0~8	

^{a)} 複葉の病斑面積率に基づく発病度から算出した。発病程度別指数 0: 複葉に病斑を認めない 1: 病斑面積が複葉全体の25%未満 2: 同 25%以上50%未満 3: 同 50%以上75%未満 4: 同 75%以上、発病度 = $\Sigma(\text{発病程度別指数} \times \text{複葉数}) / (4 \times \text{調査複葉数}) \times 100$ 。

葉全体の25%未満 2：同 25%以上50%未満 3：同 50%以上75%未満 4：同 75%以上, 発病度 = Σ (発病程度別指数×複製数)/(4×調査複製数)×100。

VIII 薬剤耐性菌の分布状況

2012年に岐阜県内の57施設からトマト葉かび病菌478菌株を採取し、6薬剤（アゾキシストロビン、チオファネートメチル、ジエトフェンカルブ、トリフルミゾール、ボスカリド、ベンチオピラド）に対する感受性を調べた結果を図-10に示す。チオファネートメチルやトリフルミゾールについては、耐性菌比率がそれぞれ82%（高度・中等度）、50%と高い状況にある。アゾキシストロビン耐性菌の比率は29%であったが、調査を開始した2007～08年に45%であったことと比較すると減少傾向にあり、本剤の使用頻度が大幅に見直されたことも要因の一つと考えている（渡辺, 2011）。SDHI剤のボスカリドやベンチオピラドについては、2011年に県内の3施設で耐性菌を初めて確認したが、2013年には耐性菌が7施設で確認されたことから、今後の動向を注視する必要がある。

おわりに

トマト葉かび病菌の耐性発達リスクは、「中程度」に位置づけられている（殺菌剤耐性菌研究会, 2012）。本

病は、決して新しい病害ではないが、国内では薬剤感受性に関する知見がほとんど見当たらない。海外でもベンゾイミダゾール剤耐性について報告がある程度である（YAN et al., 2008）。

殺菌剤感受性の検定は多くの労力を要するため、毎年継続して実施することはなかなか難しい。産地における薬剤感受性の動向を把握するためには、数年に1回程度実施することが望ましいと考える。特に、新系統の殺菌剤が上市されて現地に普及し始めたころ、あるいは品種構成に変化が生じた場合等は特に注意すべきである。岐阜県では、葉かび病抵抗性のトマト品種の導入によって産地の葉かび病菌のレース構成が大きく変化し、このことがアゾキシストロビンをはじめとした複数の殺菌剤への感受性分布にも大きく影響する事象を確認しているが（渡辺, 2011）、興味深いことに青森県でも同様の現象が確認されている（近藤, 2014）。品種を切り替えた後に、不幸にも一部の圃場で新レースが出現した場合には、伝染環を断ち切ることはもちろんであるが、その菌群が後々に産地内で拡散する可能性があるため、耐性発達リスクが中程度以上の殺菌剤を対象に薬剤感受性を網羅的に把握しておくことは産地全体の防除体系を再構築するうえで重要と考えている。

国内のトマト産地では、葉かび病抵抗性品種の導入が進み、葉かび病による被害は以前よりいったん減少した

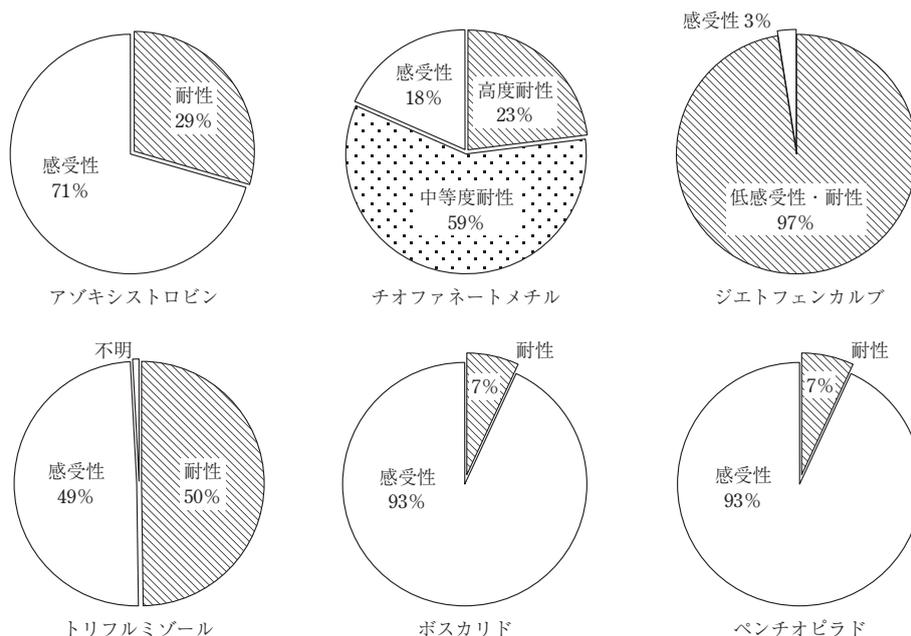


図-10 葉かび病菌の薬剤耐性菌の分布状況

注) 2012年、岐阜県内の57施設から採取した478菌株の検定結果。

ものの、新レースの発生により再び増加してきている状況にある。さらに、すすかび病による被害が急増しているが、本病原菌についても QoI 耐性菌が確認されている(渡辺ら, 2015)。このような状況下では、葉かび病、すすかび病の両方に予防効果が高い TPN 剤等を中心とした保護殺菌剤による防除体系が有効である。

また、防除体系を構築するうえで、多くの薬剤で複数の病害を考慮する必要がある。トマトにおいては、葉かび病、すすかび病のほか、最重要病害である灰色かび病やうどんこ病も薬剤耐性菌が発達しやすく、これらの病原菌の薬剤感受性状況、耐性リスク、防除対象の優先度等を総合的に勘案しながら持続可能な防除体系を構築する必要がある。本県で SDHI 耐性の葉かび病菌を初めて確認した施設では、灰色かび病防除のために SDHI 剤を1作当たり複数回使用していた。他の病害防除の傍らで気付かぬうちに目的外の病害で耐性菌を発達させていた可能性がある。このような場合、例えば灰色かび病で SDHI 耐性菌が発達していなければ本剤の使用を中止するよう農家を説得することは難しい。このような個々のケースへの対応には課題も残されているが、農業現場では病害防除の際に気付かぬまま目的外の病害で耐性菌を発達させてしまうリスクを常に意識すべきである。基本的には伝染源除去、環境改善等の耕種の対策をしっかり行ったうえで、耐性菌発達リスクが低い保護殺菌剤を中心に防除体系を組み立て、QoI 剤や SDHI 剤など耐性リスクが高い殺菌剤はガイドライン(殺菌剤耐性菌研究会, 2012)を遵守して必要に応じて適期使用に努めることに尽きるのではないだろうか。

なお、本研究を行うにあたり石井英夫博士には随所にわたりご助言をいただいた。また、現地サンプリングな

どに協力いただいた関係機関の方々にも末筆ながらお礼申し上げる。

引用文献

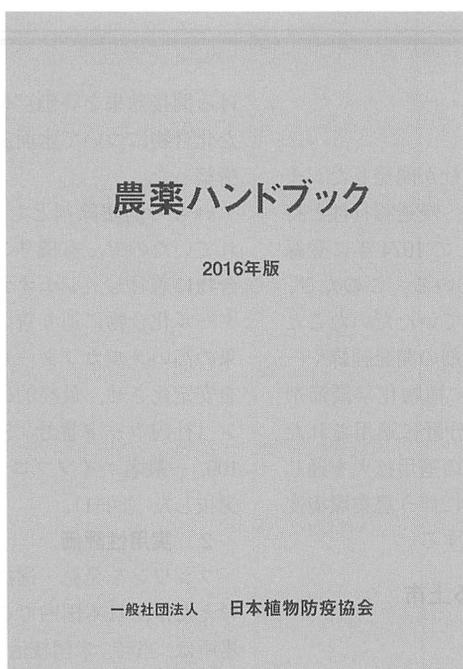
- 1) AVENOT, H. et al. (2012): *Pest Manag. Sci.* **68**: 645 ~ 651.
- 2) ENYA, J. et al. (2009): *J. Gen. Plant Pathol.* **75**: 76 ~ 79.
- 3) IDA, Y. et al. (2010): *ibid.* **76**: 84 ~ 86.
- 4) 石井英夫・柳瀬春夫 (1983): *日植病報* **49**: 134 (講要).
- 5) ——— (1995): 第5回殺菌剤耐性菌研究会シンポジウム講要集: 8 ~ 17.
- 6) ——— (1998): 植物病原菌の薬剤感受性検定マニュアル, 日本植物防疫協会, 東京, p.73 ~ 76.
- 7) ———ら (1999): 日本農業学会第24回大会講要集: 61 (講要).
- 8) ISHII, H. et al. (2001): *Phytopathology* **91**: 1166 ~ 1171.
- 9) ——— et al. (2009): *Pest Manag. Sci.* **65**: 916 ~ 922.
- 10) ——— (2010): Recent developments in management of plant diseases, *plant pathology in the 21st century*: 37 ~ 45.
- 11) ——— et al. (2011): *Pest Manag. Sci.* **67**: 474 ~ 482.
- 12) 石井英夫 (2012): *植物防疫* **66**: 481 ~ 487.
- 13) KIM, Y. S. et al. (2003): *Phytopathology* **93**: 891 ~ 900.
- 14) 近藤 亨 (2014): *北日本病虫研報* **65**: 50 ~ 53.
- 15) KÖLLER, W. (1995): *Proc. 8th Intr. Cong. Pestic. Chem.*: 340 ~ 349.
- 16) KUBOTA, M. et al. (2015): *J. Gen. Plant Pathol.* **81**: 320 ~ 323.
- 17) 日本植物病理学会 殺菌剤耐性菌研究会 (2012)
URL: <http://www.taiseikin.jp> (2016年11月アクセス)
- 18) 岡田知之・下元祥史 (2016): *日植病報* **82**: 87 ~ 92.
- 19) PASCHE, J. S. et al. (2005): *Plant Dis.* **89**: 269 ~ 278.
- 20) 櫻井誠也ら (2011): *日本農業学会誌* **36**: 520 ~ 523.
- 21) TOMITA, Y. and H. ISHII (1998): *Pestic. Sci.* **54**: 150 ~ 156.
- 22) 渡辺秀樹 (2009): 第19回殺菌剤耐性菌研究会シンポジウム講要集: 42 ~ 49.
- 23) ———ら (2010): *日植病報* **76**: 155 (講要).
- 24) ——— (2011): 第21回殺菌剤耐性菌研究会シンポジウム講要集: 2 ~ 12.
- 25) ———ら (2011): *日植病報* **77**: 199 ~ 200 (講要).
- 26) ———ら (2012): 同上 **78**: 200 ~ 201 (講要).
- 27) ———ら (2013): 同上 **79**: 199 (講要).
- 28) ———・堀之内勇人 (2013): *関西病虫研報* **55**: 139.
- 29) ———ら (2015): *日植病報* **81**: 87 (講要).
- 30) YAMADA, K. and R. SONODA (2012): *J. Gen. Plant Pathol.* **78**: 398 ~ 403.
- 31) YAN, L. et al. (2008): *FEMS Microbiol. Lett.* **278**: 242 ~ 248.

改訂新版 農薬ハンドブック 2016版

一般社団法人 日本植物防疫協会 編

A5判 1,089頁
本体12,000円+税
送料サービス

◆我が国の登録農薬*の原体 496 成分について詳しく解説
* 2015年6月10日現在



【掲載内容】

殺虫剤: 187 成分, 殺菌剤: 128 成分, 除草剤: 138 成分, 植物成長調整剤: 33 成分,
その他: 10 成分(展着剤は1成分としてカウント)について以下の内容を詳しく解説しました。
開発会社, 開発の経緯, 登録年月, 物理化学性状, 作用特性, 主な製剤・用途,
主な使用上の注意事項, 安全性(哺乳類, 水生生物, 鳥類, その他有用生物)

【付録】

- ・化学農薬の作用分類及び各種基準値等一覧表
- ・化学農薬の構造式一覧表
- ・毒物劇物の判定基準

◆ お問合せとご注文は下記へお願いします ◆

〒114-0015 東京都北区中里 2-28-10
一般社団法人 日本植物防疫協会 支援事業部
TEL 03-5980-2183 FAX 03-5980-6753
mail order@jppa.or.jp
HP <http://www.jppa.or.jp/>

リレー連載

農薬を変えた農薬～開発ものがたり・日本の創薬力～(9)

イソプロチオラン 殺菌剤から昆虫成長制御剤, 植物成長調節剤, そして環境ストレス耐性付与剤への新たな展開

日本農薬(株) 市場開発本部開発部

大塚 隆(おおつか たかし)

はじめに

イソプロチオランは日本農薬株式会社が開発したジチオラン環を有するオリジナル化合物で、浸透移行性と持続性を有する水稻いもち病防除剤として1974年に登録取得し、本年で上市43年目を迎えている。このたび、このような企画に掲載する機会を与えていただいたことより、これまでの軌跡を振り返り、本剤の開発経緯や一つの化合物が植物の病害虫防除以外に植物化学調節剤(以下、PGR)として非常に広範囲な分野に適用されたエピソードを中心に、さらには、本剤の適用拡大を通じて蓄積した当社ノウハウを地球温暖化に伴う農業環境変化に活かす新しい試みについても紹介する。

I 困難な課題克服による上市

1 理想的ないもち防除剤を求めて

イソプロチオランが開発段階に入った1960年代は、農薬取締法の大幅改正により環境負荷の少ない農薬開発を目指した一段と厳しい登録基準が設定され、農薬の安全性に関する詳細な評価が義務付けられた時期であった。一方、水稻栽培においては減反政策が打ち出され、量より質の時代へ移行するとともに、第二種兼業農家の増加につれて農薬の省力散布技術の開発が強く要望されてきた。

これらの時代の要請を受けて、省力的かつ効果の高い理想的ないもち病防除剤、すなわち浸透移行性があり、かつ持続性のある新規な薬剤で、しかも安全性が高く、環境負荷の少ない薬剤が必須条件と考えて、新たな探索研究を開始した。そのために、従来の試験法に加えて浸透移行性を見出す試験系(現在では目新しい方法ではないが、幼苗の頂葉に薬剤を散布し、次葉展開後にいもち病菌を接種して、薬剤が接触していない次葉にお

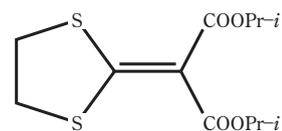
ける間接効果を評価)をつくり、この選抜試験に合格した化合物について水面施用効果をチェックする評価系を構築した。

いもち病防除剤としては、既にキタジンPが上市されていたので、有機リン系や塩素系でもないイオウ系化合物に着目し、ジチオカルバミン酸からケテンメルカプタール化合物に辿り着いた。その中からいもち病防除効果の高いメルカプタール化合物を環状化することで物性を安定化させ、最終的にはジチオラン環を有するフジワン(社内コード番号:SS-11946, 委託試験番号:NNF-109, 一般名:イソプロチオラン)を1968年9月に発見・選抜した(図-1)。

2 実用性評価

フジワンを発見・選抜後、直ちに圃場試験での評価を考えたが、日本国内でこの時期に圃場試験が実施できる場所は、当時、米国統治の沖縄しかなく、琉球農業試験場名護支場近辺の借用圃場で1969年初頭に試験を実施し、穂いもち病防除効果を確認した。その後、各県農業試験場の協力を得て実施した圃場試験で有効性を検証した。

いもち病防除剤として使える用途はついたが、既存剤にはない何らかの特長がなければ企業化は難しい。この当時、既に田水面に施用するキタジンP粒剤の施用技術が確立され、全国的に粒剤が注目されていた。当社も上記のジチオラン系化合物で、根部吸収移行による葉いもち防除効果を調べていたところ、幸いにも本系統化合



diisopropyl 1,3-dithiolan-2-ylidenemalonate (IUPAC)

図-1 イソプロチオラン(フジワン)の化学構造

物が水面施用剤として有望であることが明らかになった。そこで省力化に役立つ農薬を目指し、フジワンの粒剤化研究を行い、水難溶性を克服して粒の崩壊と田水中への溶出を速めて効果の安定した粒剤処方を完成させることができた。

当時、地形・気候の関係から年次変動が少なく確実にいもち病が発生する“いもち病のメッカ”と呼ばれていた愛知県農業試験場稲橋分場（現、山間農業研究所）に無理やりお願いして番外区でフジワン粒剤の試験を実施していただいた。1970年の秋分の日に圃場調査に立ち会った当社関係者によると、遠目から見ても、フジワン粒剤処理区の穂は熟色がよく水面施用剤として十分通用するとの確信を持ったそうである。発病調査結果の数値より、現場での目で見たその迫力と確かな手ごたえが開発を促進させたと言える。

その後、1971年から（一社）日本植物防疫協会を通じた“農薬の新施用法に関する特別研究”，さらに1973～75年は一般委託試験を実施して、いもち病防除剤としての実用化検討を進めた。

3 企業化

上述のような農業の変遷による新しいニーズに対応できるかどうか、フジワンの企業化への大きなキープointであった。社内外各分野の多くの方々との協力をいただき、得られた本剤の特性をあらゆる角度から検討した結果、本剤は新規性、安全性、商品性能ともに高く、さらには防除技術の省力化にも貢献する薬剤であることが明らかにされ、1973年に企業化を決定した。本剤は、原体製造から販売までの一貫体制を備えた企業に変貌したいという当社の願望を叶えた薬剤であり、社運をかけた薬剤でもあった。

その後、第一次オイルショックによる建築資材不足や物価高騰による設備投資費増大などの課題を克服すると同時に、合成反応のための特別な溶媒が不要な画期的合成法の確立やコンパクトな装置で短時間に収率よく反応を進めることが可能となり、1978年に原体製造プラントを無事完成させることができた。これらの成功により、本剤は名実ともに当社が原体メーカーとなった自社独自開発品第一号となり、当社創立50周年記念に花を添えた。

II 多様な作用（殺菌剤から植物成長調節剤へ）

1 いもち病防除剤としての特性

(1) 作用機序

フジワンは上述のように薬剤処理後のいもち病菌接種による発病抑制効果により選抜したため、いもち病菌の

ライフサイクルのどの段階を阻害するかは明らかではなかった。胞子発芽および菌糸生育に対する影響は既に確立されている方法で調べることができたが、付着器形成から侵入段階を調査する方法はなかった。そこで、当社研究員のアイデアにより、従来の作用性検討に用いるセロファン法を改善した方法で侵入過程を調べる試験系を完成させ、透明なセロファン膜を顕微鏡観察することで、本剤が低濃度で侵入段階を阻害して、付着器形成以後の侵入を抑制して防除効果を発揮していることを明らかにした。作用点は解明されたものの、エージを揃えた付着器調整が困難なことから作用機序解明までには至らなかったが、実験材料として準備しやすい栄養菌糸を用いた試験結果から、本剤の第一次作用点は脂肪酸合成阻害であると考えている。

(2) いもち病防除剤としての普及展開

上述の特別研究による試験や一般委託試験の結果から、フジワンは出穂30～10日前の施用で土壌種の影響を受けにくく、安定した効果を発揮することが明らかとなり、本田での穂いもち病防除をターゲットに普及を推進した。一方、1970年ころから、新しい水稲栽培法として稚苗を使った機械移植栽培の研究が本格的に始まり、機械移植と箱育苗も急速に普及した。そこで、本剤の卓越した浸透移行性に着目し、本剤を箱育苗の床土になじませてイネ根部から薬剤を吸収させて効果持続性を持たせ、本田への全面散布ではない、いわゆる“弁当持ち”で省力・薬剤費節約を狙った委託試験を実施した。その結果、フジワン粒剤の育苗箱処理法が確立され、緑化期から田植直前まで使用可能ないもち病防除用箱処理剤として注目された。最近では、フィプロニルやクロラントラニリプロール等の殺虫剤との混合箱処理剤としても普及しており、省力化に貢献している。さらに、これまで本剤の融点が低いために簡便に散布ができる拡散性製剤（バック剤）の実用化は困難であったが、2013年に新しい発想で製剤化に成功しフジワンバックとして上市し、昨今の農業従事者の高齢化や省力化にも対応している。

2 現場で発見された作用から適用拡大へ

フジワンはいもち病防除剤として開発されたが、その後の様々な特性の発見により、当初は全く予期しなかった新しい用途へと展開された。すなわち、従来のいもち病防除以外に、①いもち病防除を目的に本剤を散布した圃場のイネ株元が煤で汚れていなかったことから発見されたトビイロウンカ増殖（密度）抑制効果（なお、本効果の発見により殺虫剤スクリーニング法を変更したことから、本剤をリード化合物としたウンカ類防除剤のアップ

ロードの発見につながった), ②本剤の育苗箱処理での良好なイネ苗生育状況の確認が発端となったムレ苗防止効果(図-2)と健苗育成効果(根の伸長および発根促進, これは新潟県の一農業改良普及所から郵送された1枚の写真が契機であった), ③本剤を処理した水田でイネ刈跡後のヒコバエが多い, 生殖生長期の下葉枯れが少ない, 根張りがよく(図-3)根雪後の田起こしが大変である等の各地からの声を契機に, 5年間実施した(公財)日本植物調節剤研究協会を通じた委託試験で実用判定を取得した籾の登熟歩合向上効果, ④本剤を土壌混和処理したナシ衰弱樹で樹勢が回復したことを契機に見つかった果樹の白紋羽病防除効果, ⑤カーネーションに対する分枝促進効果等の多様な分野に適用拡大されている。そ

の後, 前述の③が低温条件下での登熟歩合向上を主対象としたのに対し, 近年問題となっている高温障害によるイネの白未熟粒発生等による品質低下を本剤で軽減できるのではないかと予測のもと, 当社各支店で実施した現地実証試験で軽減効果が確認できたため, 委託試験を開始し, 2010年の高温障害年で有効事例を確保して, 「高温登熟下における白未熟粒の発生軽減」にも業界で初めて適用拡大した(図-4)。また, 新規製剤である水溶液剤(商品名:ザルト液剤)はキク, カーネーションの発根促進剤として販売している。

以上のようなPGR作用はこれまでに確認された現象や生物検定等から植物の内生ホルモンとの相互作用により発現しているものと考えている(大塚・坂, 1991,



図-2 フジワン粒剤育苗箱処理によるムレ苗防止効果

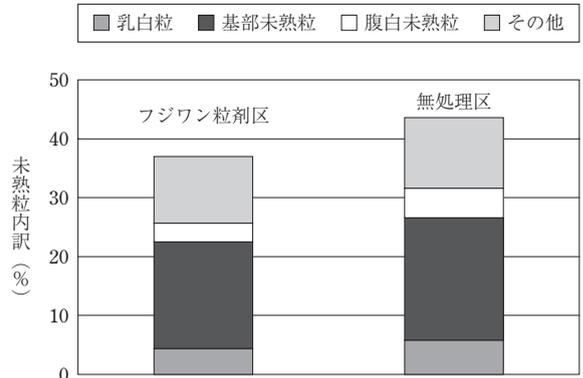
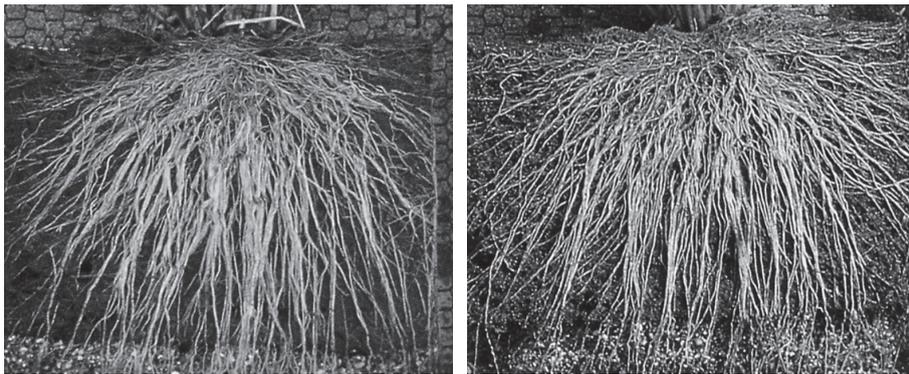


図-4 フジワン粒剤処理による白未熟発生軽減効果(日植調委託試験)
新潟県農業総合研究所作物研究センター(2010年). 品種: '新潟早生', 耕種概要: 移植5月7日. 出穂: 7月22日, 処理日: 7月13日. 処理量: 4kg/10a, 調査日: 8月18日(登熟期).



品種: '日本晴'
土壌: 火山灰土壌 ルートボックス栽培
処理: 出穂22日前 4kg/10a
(日農生研 1979)

図-3 フジワン粒剤処理による生殖生長期のイネ根部

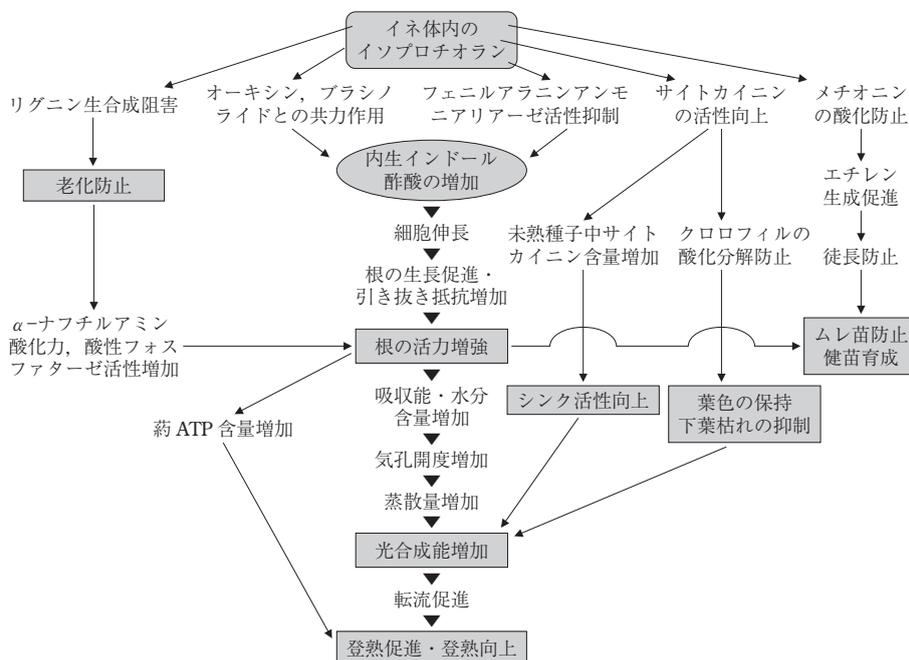


図-5 イソプロチオランとイネの生理作用の関係 (イメージ図)

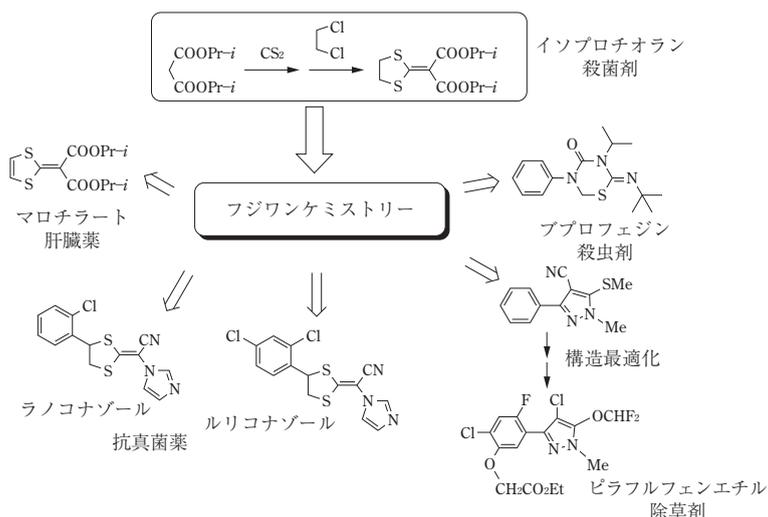


図-6 フジワンケミストリー

図-5)。その後、遺伝子レベルでの作用機序解明が進展し、(国法) 理化学研究所・吉田先生ら (2015) のグループが DNA マイクロアレイによるイソプロチオランの PGR 作用の解析を行い、イソプロチオラン処理と植物ホルモン処理との遺伝子発現パターンの比較により、イソプロチオラン処理はサリチル酸処理と高い相同性を示し、また、イソプロチオラン誘導性遺伝子を mock 処理

の場合と比較すると、タンパクの安定性や還元反応に関係する遺伝子群が強く反応し、その中にフラボノイド合成にかかわる遺伝子 (AtMYB4)、およびアントシアンやクロロフィルの生合成にかかわる遺伝子 (RHLA1) 等が含まれていることも見出した。このことから、前者による紫外線損傷回避、後者による光環境適応等の生理機能がイソプロチオランの植物成長健全化すなわち環境ス

トレス耐性に寄与していることが示唆された。近年では福井県立大学・仲下先生ら (2015) のグループがシロイヌナズナのエチレンシグナル欠損株やジャスモン酸シグナル欠損株を用いた解析結果から、イソプロチオランによるシロイヌナズナ根部伸長促進効果はエチレンとジャスモン酸シグナルのクロストーク関与によることを明らかにしている。

さらに、フジワン乳剤は極早生品種の温州みかんの高温障害である着色障害に対する果皮着色促進剤として2012年より委託試験を開始して、2015年に実用性判定を得ており、新しい分野への拡大も積極的に行っている。

このように、一つの化合物が植物の病虫害防除以外に広範囲の植物成長調節剤分野に適用された農薬はこれまでに例を見ない (図-6)。

なお、イソプロチオランそのものは牛の脂肪肝改善剤として「フジックス」の商品名で、さらには、本剤から合成展開された類縁化合物は肝硬変治療薬や水虫治療薬として医薬分野で販売されている。

III 今後の展望、植物成長調節剤から環境ストレス耐性付与剤を目指して

1 食料生産を取り巻く環境変化への対応

国際連合食料農業機関 (FAO) などによると、世界人口は現在の72億人から2050年には約95億人に急増すると予測されているが、耕作地は地球全体の3%、陸地面積の10%と限定されており、将来の人口増加に対応するためには、単位耕作面積当たりの食料生産能力を現在の約2倍に増加させる必要があると言われている。

食料生産に不可欠な耕作地の大幅増加は見込めない状況下で、限られた耕作地を活用して現在の収量を倍増させることは容易ではない。地球環境の変動 (気候変動、砂漠化、土壌流亡拡大、塩害地拡大等) による諸問題を克服して食料の安定供給を図るためには、作物の生産能力を向上させる技術開発が必須である。各種の環境ストレスが作物収量に与える影響は病虫害や雑草による被害を上回るという調査結果もあり、図-7に示したように米国の主要穀物の平均収量は局地的な過去最大収量の1~2割程度となっているが、病虫害による被害は1割以下であり、その差の7~8割は環境ストレスが原因であると報告されている。これらの食料増産阻害因子の技術的解決法としては、遺伝子組み換え (GMO) や非GMO手法による育種およびPGRの活用が一部の作物で導入・実用化されているが、いまだ十分ではない。

生物学的ストレス (虫、菌、雑草) に対しては殺虫剤、殺菌剤、除草剤、さらにGMOや非GMOを用いて既に

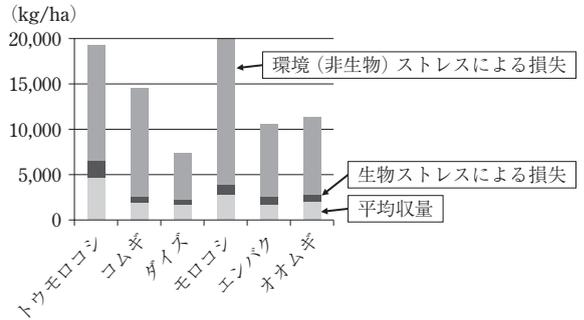


図-7 環境ストレスによる作物別収量

(BUCHANAN, B. et al.: Biochem. and Mol. Biol. of Plants; American Soci. of Plant Physiol, 2000 より作成)

適切に管理されていると考えられるが、非生物学的、すなわち干ばつ、高温、寒冷、塩性土壌のような環境ストレスによる収量減に対応する技術は十分ではない。農作物にそれらの環境ストレス耐性を付与することができれば収量の増加が期待できるほか、従来耕作に適さない土地でも作物が生産できる可能性もある。

PGRや全身獲得抵抗性付与などの生物制御システムに作用する化学物質も知られており、汎用性のあるPGRがあれば、GMOや非GMOを補完する新技術として発展する可能性があり、PGRの環境ストレス耐性付与剤としての新たな市場展開が期待できる。

2 開発動向

環境ストレスに対する取り組みは農業の新領域として近年注目されており、欧米化学メーカーのバイエル、シンジェンタ、国内メーカーでは住友化学等の会社が先行している。すでにGMOや非GMOによって開発された耐性品種がいくつか商品化されており、乾燥による収量低減を軽減する種子が2013年から北米で販売されている。

一方、環境ストレス耐性付与を目的とした化学物質としては、副次的効果としてPGR作用を有するネオニコチノイド系殺虫剤のイミダクロプリドとチアメトキサムが知られている。前者は植物体内でクロロピリジンサイドがはずれて6-クロロニコチン酸に分解し発根促進や環境ストレス耐性付与効果を発揮し、後者はトウモロコシの芽生えの生長促進や大豆の乾燥耐性付与効果を示す。国内では、住友化学が作物自身のストレス耐性を高める化合物の研究や、静岡大・轟先生ら (2012) のグループによるアブシジン酸代謝酵素阻害剤であるアブシナゾールによる乾燥耐性増強効果に関する研究等が行われている。

3 当社の環境ストレス耐性付与剤開発への取り組み

これまで述べてきたように、当社はフジワンの研究・

開発で培った PGR の評価技術ノウハウを基に, 2015 年より新領域分野である環境ストレス耐性付与剤の開発を目指した本格的な探索研究に着手した。従来の農薬探索手法に加えて, これまで紹介した当社コアコンピタンスを活用した環境ストレスに対する耐性付与効果検出を目的とした新たな探索スクリーニング法, すなわち, 農薬候補化合物の可能性の狙いを超えて多面的に評価するオールラウンド・スクリーニングを拡充し, 新規化合物や既存化合物の副次的効果の評価を開始した。

おわりに

フジワンを発見した 1968 年から今日までの半世紀弱におよぶ開発経緯を紹介したが, 本剤の多面的作用発見の原点はすべて圃場から見いだした現象が発端となっている。これは単なる偶然や運ではなく, 自然が与えてくれたヒントを見逃さず, 目的とした対象以外に別の価値ある現象を観察・吟味し, 新たな創造の糸口を見つけ出した関係者の鋭い観察眼と閃きによるものである。

本稿は 1993 年に当社が刊行した「フジワン読本—20 年の歩み—」を参考に執筆したが, その中に「エルニーニョ現象などによる低温, 寡照, 多雨などによる異常気象が続き, 農作物の安定性が危惧されている昨今, フジワンの登熟向上をはじめとするユニークな作用が, 少しでもそれらの役立つことができれば幸いこの上ない。」との一文を見いだした。奇しくも, その 20 年後に地球温暖化問題への貢献を目指した環境ストレス耐性付与剤の探索研究を開始しており, 早期実用化に向けて諸先輩方の期待に応えていきたい。

引用文献

- 1) 郷田秀樹・阿部知子・吉田茂男 (2005): 日本農薬学会第 30 回大会要旨集: p.106
- 2) 草島美幸・宮崎 樹・松本貴嗣・仲下秀雄 (2013): 日本植物化学調節学会第 48 回大会要旨集: p.55.
- 3) 日本農薬 (株) 編 (1993): フジワン読本.
- 4) 大塚 隆・坂 齊 (1991): 植物の化学調節 **26**(1): 25.
- 5) OKAZAKI, M.; KITTIKORN, M.; UENO, K.; MIZUTANI, M.; HIRAI, N.; KONDO, S.; OHNISHI, T.; TODOROKI, Y. et al. (2012): *Biorg. Med. Chem.* **20**: 3162.

農林水産省プレスリリース (28.12.12 ~ 29.1.15)

農林水産省プレスリリースから, 病害虫関連の情報を紹介します。

<http://www.maff.go.jp/j/press/syouan> の後にそれぞれ該当のアドレスを追加してご覧下さい。

- ◆平成 27 年度 農薬の使用に伴う事故及び被害の発生状況について (12/16) /nouyaku/161216.html

リレー連載

農薬製剤・施用技術の最新動向⑩

水性製剤～その特徴と今後の展望～

製剤技研

辻 孝三(つじ こうぞう)

はじめに

液体製剤において、その媒体として有機溶媒を用いずに水を用いているものを水性製剤という(辻, 2013)。水は最も安全な液体であり、有機溶媒を水で置き換えることによって、有機溶媒に起因する毒性や刺激性を取り除くことができる。例えば、デルタメトリンの急性毒性は、次のように変わる。ラットのLD₅₀(半数致死量)は、有機溶媒を用い溶解すると128.5 mg/kgであるが、水分分散系では5,000以上になる。水性製剤の主なものとしては、液剤、フロアブル製剤、エマルジョン製剤があり、各々固体あるいは液体の農薬原体を水中に溶解したり、懸濁分散あるいは乳化分散した製剤であり、主として水で希釈して散布される。また、フロアブル製剤とエマルジョン製剤を混合したサスポエマルジョン製剤や水中に乳化分散した粒子の粒径を0.01～0.1 μmと非常に細かくした透明なマイクロエマルジョン製剤も開発されている。マイクロカプセル製剤も、水に分散されている場合は水性製剤とすることができる。

I 水性製剤の特徴

水性製剤は水を媒体としていることから、次のような優れた特徴がある(辻, 2013)。

- ①人畜毒性、刺激性が低く、環境負荷も小さい。粉塵飛散がないので、作業者への安全性が高く、取扱性に優れる。

Water-based Formulations Characteristics and Future Prospects.

By Kozo Tsuji

(キーワード: 水性製剤, 液剤, エマルジョン製剤, フロアブル製剤, サスポエマルジョン製剤, マイクロエマルジョン製剤, マイクロカプセル製剤, 安全性, 毒性, 刺激性, 効力向上, 省力化, 乳化剤, 湿潤剤, 分散剤, 増粘剤, 防腐剤, 凍結防止剤, 比重調整剤, 消泡剤, DLVO理論, 立体障害理論, ストークスの法則, チクソトロピー, cosurfactant)

- ②有機溶剤に起因する引火性がない。

- ③水和剤より農薬原体の粒径を小さくすることができ、効力的に優れる場合がある。また、薬害が軽減される。

- ④対象作物の汚れがない。

- ⑤見掛け比重が大きく、包装容積が小さい。

このような、優れた特徴を持つ水性製剤は、多くの農薬で開発・上市されている。しかし水中で分解する農薬には適用が難しい。次に各製剤について具体的に説明する。

II 製剤各論

1 液剤 (SL, Soluble Concentrate)

液剤は農薬原体を水に溶解するだけで得られる澄明な溶液の製剤で、希釈して使用される(辻, 2005; 2006a; 磯野, 1997)。農薬原体が水に十分溶解しない場合には、アルコール類、グリコール類等の水溶性有機溶剤が溶解共力剤として加えられる。また必要に応じて界面活性剤、凍結防止剤、安定剤、消泡剤、防腐剤等が加えられる。界面活性剤としては、散布液の湿展性をあげる湿潤剤が用いられる。凍結防止剤は、この製剤が冬季に-5～-10℃になっても結晶析出や凍結を起こさないように加えられるもので、グリコール類、グリセリン、尿素等が用いられる。極端な低温に置かれて凍結しても、常温で解凍して、製剤の物理化学的な性質が変化しなければ問題は無い。また安定剤は有効成分が製剤中で不安定な場合に加えられる。安定性は添加物によって影響を受けるが、製剤のpHの影響を受けることが多い。したがって製剤のpHを適切に調節することが必要である。

消泡剤は製剤を希釈するときに泡立ちが問題になるときに加えられる。通常破泡性と抑泡性の両方に優れたシリコン系の消泡剤が用いられることが多い。またこの製剤には水と界面活性剤などが含まれているので、カビがはえて腐敗することがある。これを防止するために必要に応じて防腐剤が添加される。

この製剤は攪拌しながら水の中へ原体とその他の副資材を加えればよいが、溶解共力剤を用いる場合などは、これらの副資材を加える順序が問題になることがある。

この製剤を作るには、農薬原体が水にある程度溶解し、水中で安定である必要があるので応用が限られるが、この製剤は水や生分解性の有機溶剤等からなっているので、毒性が低く、環境に対する負荷も小さいことが特徴である。農薬原体が水に溶解しているため、効力的にも優れている。

また、農薬原体を水に溶解あるいは可溶化した製剤で、希釈せずにそのまま散布される製剤としてAL製剤(Applicable Liquid)がある。

2 エマルション製剤 (EW, Emulsion, oil in water)

エマルション製剤は水に不溶の液状の農薬原体を水中に微粒子として乳化分散させた水中油型(o/w型)エマルション状態の乳白色の製剤である(辻, 2005; 2006 a; 2006 b; 2013; 佐藤, 1997 b)。この場合農薬原体そのものが液体でもよいし、固体の農薬原体を有機溶剤に溶解して液状にしたものでもよい。組成的には、表-1に示すように、農薬原体、乳化剤、増粘剤、防腐剤、凍結防止剤、比重調整剤、等が用いられる。

この中で最も重要な乳化剤は農薬を水中で乳化させるものである。この場合その乳化に最適なHLB(親水性・親油性バランス)を持つ乳化剤を選択する必要がある。水中油型エマルションの場合、乳化剤は水に溶けやすいHLBが高い乳化剤が使用される。また最適HLBは乳化される農薬の極性にも依存し、極性の高い農薬を乳化させる場合には極性の高いHLBの乳化剤が使用される。また乳化剤はHLBの異なる2種以上の乳化剤を混合して使用されることが多い。これは両者の乳化剤の混合比を変えることによって容易に混合乳化剤のHLBを変え

ることができるからであり、また混合乳化剤の方が水/油界面に生成する界面膜の強度が強くなりより安定なエマルションが得られるからである。

増粘剤は乳化粒子の沈降防止のために加えられるが、主にキサンタンガムなどの天然高分子が用いられる。これについてはフロアブル製剤のところでも、少し詳しく説明するが、天然高分子を用いると製剤中にカビが発生することがあるので、防腐剤を加えなければならないことが多い。通常ベンゾイソチアゾリン系防腐剤が使用されることが多い。場合によってはソルビン酸や安息香酸塩も使用される。

水性製剤の場合、液剤でも述べたが温度が下がると凍結の問題がある。凍結防止剤として毒性が低く、引火点や沸点が高く、分子量の小さいエチレングリコール、プロピレングリコール等のグリコール類を加えて氷点を低下させて凍結温度を低くしている。

エマルション粒子の比重と媒体の比重との間に大きな差があると、エマルション粒子は沈降したり浮いたりして二層に分離することがある。沈降を防ぐために比重調整剤として食塩などの無機電解質を媒体の水に加えて、媒体の比重を大きくしてエマルション粒子の比重に近づけることによって沈降を抑制することが行われる。

エマルション製剤は水と油の不安定な分散系であるため、経時的に図-1に示した種々の変化(クリーミング、凝集、転相、沈降、オストワルド熟成、会合等)が起こるので、その安定性については十分な検討が必要である。

EWの製法としては、機械的強制分散法と転相法がある

表-1 エマルション製剤の組成 (佐藤, 1997 b)

成分	重量%
原体	10 ~ 60
溶剤	0 ~ 25
乳化剤	2 ~ 10
増粘剤	< 2
防腐剤	< 1
凍結防止剤	0 ~ 10
比重調整剤	0 ~ 10
その他の添加剤	0 ~ 15
水	残
	100%

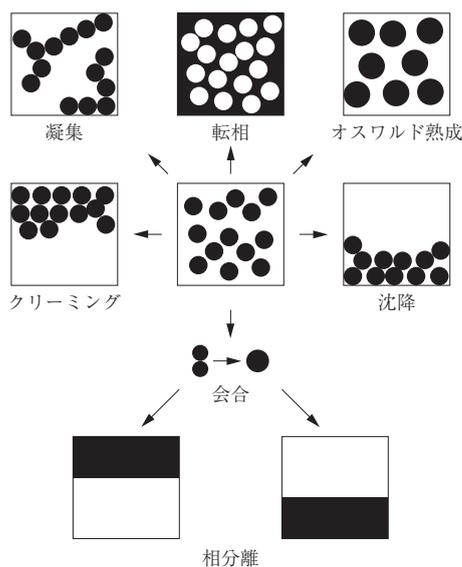


図-1 エマルション製剤の経時変化の形態 (佐藤, 1997 b)

表-2 フェンプロパトリン 10%エマルジョン製剤の粒径とラット急性毒性の関係 (辻, 1997)

平均粒径 (μm)	毒性値 (LD ₅₀ 値 mg/kg)
3.2	< 200
10.4	280
19.8	500
29.1	約 800
52.4	800 ~ 1,600
38.5	1,600 ~ 3,200

る。前者は液状になった農薬原体を高い機械的せん断力によって強制的に水の中に微粒子として乳化させる方法である。したがってこの場合には高いせん断力を持つ分散機が必要である。後者の場合には、最初目的とするエマルジョンとは反対の型のエマルジョンを作り、それを目的とするエマルジョンに転相させる方法である。転相させる方法としては、分散質の濃度を上げる、または温度を上げる方法がある。

EWの毒性は、乳剤(EC)のそれよりも著しく軽減されるが、その程度は乳化剤の種類によっても変化する。毒性の低い乳化剤を用いると、得られるEWの毒性が低下する。フェンバレレートやフェニトロチオンのEWが、通常の乳化剤の代わりにポリビニルアルコール(PVA)やアラビヤガムを乳化分散剤に使用して開発された。この場合、急性経口毒性や目の刺激性は著しく軽減された。例えば、フェンバレレートの10%EWでは、マウスのLD₅₀値は、5,000 mg/kg以上であり、また、目の刺激性もない。さらに、散布粒径は乳剤に比べて大きく、気中濃度も低くなる。フェニトロチオンの10%EWでもマウスのLD₅₀値は、ほぼ2,500 mg/kg以上となっている(辻, 1997; 2007)。

また一般に農薬の粒径を大きくすると、農薬の吸収が遅くなり毒性が軽減する。EWやフロアブル製剤(SC)の場合にも粒径が大きくなると毒性が低下する。例えばフェンプロパトリン10%EWの粒径とラットの急性毒性の関係を表-2に示す。粒径が大きいほど、急性毒性が低下している(辻, 1997)。

またEWの生物効力は、ECのそれとほぼ同等である。

3 フロアブル製剤(SC, Suspension Concentrate, FL)

フロアブル製剤は固体の農薬原体を水の中に微粒子として懸濁した製剤である(辻, 1997; 2005; 2006a; 2006b; 2013)。この製剤は水和剤の希釈時の粉立ちを防止し、希釈水へ速やかに分散するような製剤として開発されたものであり、水に溶解しない農薬原体を流動性

表-3 フロアブル製剤の組成(佐藤, 1997a)

成分	重量%
原体	20 ~ 50
分散剤	2 ~ 10
湿潤剤	1 ~ 5
増粘剤	< 2
防腐剤	< 1
凍結防止剤	0 ~ 10
比重調整剤	0 ~ 10
消泡剤	< 1
水	残
	100%

のある液体の製剤にしたい場合に製剤される。

組成は、表-3に示すように農薬原体、湿潤剤、分散剤、増粘剤、比重調整剤、凍結防止剤、防腐剤、消泡剤等が用いられる。

湿潤剤は原体を水に分散し粉砕するときに、原体の水への濡れをよくし、粉砕を効率的に行うために用いられる。多くの場合、分散剤には湿潤剤としての働きもあるので、湿潤剤を加える必要がないことが多い。しかし特に原体の疎水性が非常に高い場合には湿潤剤が必要になる。この場合には、ポリオキシエチレンアルキルフェニルエーテルやポリオキシエチレンソルビタンエステル等の非イオン性界面活性剤がよく使用される。

分散剤は粉砕された原体粒子の凝集を防ぎ、保存中の分散安定性を保つために使用されるもので、非常に重要である。分散安定性を保つためには、分散粒子間に働くvan der Waals引力にうち勝つ斥力が必要である。この斥力には、静電的な斥力と立体障害的な斥力がある。

静電的な斥力が粒子間に働くvan der Waals引力より大きければ、分散系は安定化される(DLVO理論)。粒子の荷電量はほぼゼータ電位の二乗に比例する。したがって分散安定性は粒子のゼータ電位と、その系に加えられる荷電粒子の関係によって決まる。それでこの目的のためにアニオン性界面活性剤が用いられる。

粒子上に厚い吸着層があると、van der Waals引力圏内への粒子の接近は、立体障害的に妨害され、分散安定性がよくなる(立体障害理論)。この目的のために分散系に高分子化合物や高分子の非イオン性界面活性剤が用いられる。この場合、吸着する高分子の分子量が大きいほうが吸着層が厚くなり、分散安定性がよくなる。

そしてエチレンオキサイド鎖をもつホスフェート型やサルフェート型等のアニオン性界面活性剤、リグニンス

ルホン酸塩、ポリビニルアルコール、アルキルナフタレンスルホン酸塩のホルマリン縮合物等の水溶性高分子が、分散剤として用いられる。前者のアニオン性界面活性剤は、アニオン基による静電的反発力とともにエチレンオキサイド鎖による立体障害により分散系を安定化する。後者の水溶性高分子は立体障害による反発力で分散安定性に寄与する。

希薄な分散系の場合、分散粒子の沈降速度はストークス式で表わされる。

$$v = 2r^2(\rho - \rho_0)g/9\eta$$

ここで、 r ：粒子の半径、 ρ ：粒子の比重、 ρ_0 ：分散媒の比重、 g ：重力の加速度、 η ：分散媒の粘度、である。したがって沈降速度は分散媒の粘度が大きくなるほど小さくなり、粒子径の二乗に比例して大きくなる。また粒子と分散媒の比重差が小さくなるほど遅くなる。

したがって増粘剤は製剤の粘度を高めて、水中に懸濁分散した固体微粒子の沈降を防止している。増粘剤としてはキサントガム、ウエランガム等の有機ポリマーとベントナイト、ホホワイトカーボン等の無機微粒子が用いられる。この場合静止時には粘度が高く、振とうして力が加わったときには粘度が低下するチクソトロピー性があることが好ましい。またこの場合にもEWの場合と同様にカビが発生することがあるので防腐剤が加えられる。

一方、分散系の濃度が高くなると、分散粒子間の相互作用がおこり、粒子がお互いに沈降を妨害するようになり、ストークス式は適用できなくなる。そして沈降速度はストークス式から予想される速度より著しく遅くなる。これを妨害沈降という。この場合上澄層と沈殿層との間に明瞭な境界が見られる。そして沈殿は固いハードケーキとなる。このハードケーキの生成を防ぐには、分散粒子を分散系全体にわたって弱い結合によって、穏やかな網目構造を形成させる。これを制御凝集と言い、この場合には沈殿層をゆるく攪拌することによって、再分散できる。制御凝集させるためには、アクリル酸系ポリマー、セルロース誘導体、キサントガム、等の水溶性高分子やベントナイトやホホワイトカーボンなどの鉱物質微粉末が用いられる。これらの増粘剤で網目構造ができると、構造粘性が高くなり、チクソトロピー性が高くなる。

EWの場合と同様に農薬原体微粒子の比重と媒体の比重の差を小さくすると、農薬原体微粒子の沈降が遅くなる。そのために水媒体に無機電解質などの比重調整剤を加えて水媒体の比重を高くし農薬原体の比重に近くしている。またEWと同様に凍結防止剤として、グリコール類などを加える。

フロアブル製剤の製造工程としては、①原体を水に湿

潤させ目的の粒径に粉碎する工程、②増粘剤を調整する工程、③粉碎された原体のスラリーと増粘剤液を混合して、最終的にフロアブル製剤を調整する工程、からなる。原体は乾燥状態では凝集しており、これを粉碎するためには、まず乾燥粒子の表面に吸着している空気を分散媒である水で置換する必要がある。このために用いるのが湿潤剤である。その後湿式粉碎機で粉碎し十分細かい一次粒子にする。これを分散媒中で凝集せず、安定に保つために、分散剤や増粘剤が用いられる。

この製剤は有機溶剤を用いず水を媒体としているので、安全性が高く、引火性、臭気の問題がないことが特徴である。したがって、この製剤の特性はEWと類似しており、毒性は乳剤に比べて低くなる。表-4にトルクロホスーメチルの乳剤、フロアブル製剤、水和剤の毒性を示す。フロアブル製剤と水和剤の毒性が、乳剤や原体のそれに比べて低くなっていることがわかる。

水和剤をフロアブル製剤にすることによって、希釈時の粉塵がなくなり、作業への曝露も軽減される。

通常フロアブル製剤は水で希釈して散布されるが、近年除草剤のフロアブル製剤で省力化を目的として水中拡散性を改良し、ボトルに入った原液を希釈せずにそのまま散布する方法が実用化されている(辻, 2006 d; 森本, 2013)。散布法としては、ボトルに入ったフロアブル製剤原液を、水田の中に入って均一に散布する方法と、水田に入らず畦畔から散布する方法がある。散布量は10 a当たり500～1,000 mlで、散布に要する時間が畦畔散布の場合、表-5に示すように人力散粒機を用いた乳剤

表-4 トリクロフォスメチルの種々の製剤の急性経口毒性(マウス)(辻, 1997)

製剤	媒体	LD ₅₀ (mg/kg)	
		雄	雌
原体	コーンオイル	3,500	3,600
20%乳剤	水	1,970	2,000
20%フロアブル製剤	水	> 5,000	> 5,000
50%水和剤	水	> 5,000	> 5,000

表-5 除草剤散布作業能率の比較(茨城農試)(TAKESHITA, T. 1994)

	畦畔+ 田内歩行散布	畦畔散布	人力散粒機
作業時間(分/10 a)	5.4	2.9	15
作業人員(人)	1	1	1
延労働時間(分/10 a)	5.4	2.9	15
同上比較比率(%)	36	19.3	100

散布に比べて、約5分の1に短縮される。

この場合、製剤の水中拡散性がよくなるように低粘度に設計されているので、薬剤は施用後水中に均一に広がる。たとえ水田土壌表面に滴下跡が生じても数時間後には滴下跡が消失する。また薬害を回避するために、薬剤が稲に付着しないように製剤の表面張力が32～47 mN/m (25℃) と高めに調整されている。また本剤の水口処理も行われている。

4 サスポエマルジョン製剤 (SE, Suspo-emulsion)

サスポエマルジョン製剤はフロアブル製剤とエマルジョン製剤を混合した水性製剤である (辻, 2005; 2006 a; 2006 b; 2013; 佐藤, 1997 d)。二種以上の農薬の混合製剤が増加するなかで、水系の製剤を考えるとサスポエマルジョン製剤になる場合が多い。そのため今後増加する製剤である。

組成は表-6に示すように固体原体、液体原体、湿潤剤、分散剤、乳化剤、溶剤、増粘剤、凍結防止剤、防腐剤、比重調整剤、消泡剤、等である。

この製剤は液体の農薬原体の乳化粒子と固体の農薬原体の懸濁粒子が製剤の中で共存するので、その安定化は非常に難しく、適切な界面活性剤の選択が非常に重要であり、分散剤と乳化剤がお互いに相溶性のあるものでなければならない。仮に分散剤と乳化剤が同じ界面活性剤であっても、固体粒子への吸着特性とエマルジョン粒子への吸着特性が違えば、吸着した界面活性剤の置換が起こり、どちらかの粒子に偏って吸着してしまい、一方の粒子の周りに吸着界面活性剤がなくなってしまうことが

表-6 サスポエマルジョン製剤の組成 (佐藤, 1997 d)

成分	重量%
固体原体	5～20
液体原体	5～20
溶剤	0～10
分散剤	2～10
湿潤剤	1～5
乳化剤	2～10
増粘剤	< 2
防腐剤	< 1
凍結防止剤	2～10
比重調整剤	0～10
消泡剤	< 0.2
水	残
	100%

ある。このようになると吸着界面活性剤がない粒子は不安定になり、凝集またはエマルジョンの破壊が起こる。したがって安定なSEを得るためには、液体原体と固体原体を乳化分散させるために用いる界面活性剤の選択が最も重要であり、親水性で大分子量の多芳香環を含む非イオン性界面活性剤、ホスフェート型、サルフェート型、またはスルホネート型アニオン性界面活性剤を単独または混合して用いるのがよい。

SEの製造法としては、①フロアブル製剤とエマルジョン製剤を別々に作っておき、それらを混合する方法、②すべての成分を混合しておき、その混合液を高剪断力の攪拌機で攪拌し、分散と乳化を同時に行う方法、③最初にエマルジョン製剤を作っておき、その中で固体原体を分散させる方法、④最初にフロアブル製剤を作っておき、その中で液体原体を乳化させる方法、等がある。

このSEも水を媒体にした製剤であり、安全性の面からは優れた製剤である。

5 マイクロエマルジョン製剤 (ME, Microemulsion)

マイクロエマルジョン製剤は農薬原体を水中に0.1 μm以下の微粒子として可溶化した透明あるいは半透明な製剤である (辻, 2005; 2006 a; 2006 b; 2013; 佐藤, 1997 c)。この系は熱力学的に安定であり、長期保存しても沈降やクリーミング等の分離は起こらないのが特徴である。

組成としては、表-7に示すように農薬原体、溶剤、適切な乳化剤とcosurfactantおよび水からなる。農薬原体は常温で液体であるか、あるいは有機溶剤に可溶なものに限られる。この場合用いる乳化剤は特殊なものになり、非イオン性界面活性剤やイオン性界面活性剤、あるいはその混合物が用いられ、その添加量はかなり多い。この場合にもHLBがMEの最適な乳化剤を選択する指標となる。最適なHLBは、油の種類、界面活性剤、cosurfactantの種類等に依存するが、HLBが13以上の強い親水性の分子量の大きい非イオン界面活性剤と、親

表-7 マイクロエマルジョン製剤の組成 (佐藤, 1997 c)

成分	重量%
原体	5～30
溶剤	0～20
cosurfactant	0～50
乳化剤	5～40
水	残
	100%

表-8 殺線虫剤 Hoe36275 の製剤の急性経皮毒性 (雌ラット) (辻, 1997)

製剤	媒体	LD ₅₀ (mg/kg)
20% ME	水	2,000
40% 乳剤	ソルベッソ 200 (芳香族溶剤)	57.5

油性のアニオン性界面活性剤の配合が好ましいと言われている。

Cosurfactant としては、低 HLB の非イオン性界面活性剤や C₄ ~ C₁₀ 程度のアルコールが用いられる。Cosurfactant は乳化剤混合物の HLB を下げるとともに水/油界面に吸着し、その界面張力を下げる働きをする。イオン性界面活性剤の HLB は、一般に ME には高過ぎる場合が多いので、cosurfactant はイオン性界面活性剤との組合せで用いられる。

ME の製造法としては、各成分を混合し、緩やかに攪拌するのみで容易に製造できるので、高い剪断力の攪拌機は不要である。しかし水溶性物質と油溶性物質を同時に可溶化させなければならないので、多量の乳化剤が必要になる。例えば 10% の油分をマイクロエマルジョン化するには 20% 近い乳化剤が必要である。

ME は水で希釈して散布される。製剤そのものは水・油・界面活性剤のバランスで安定であるが、水で希釈されると、その最適バランスが崩れて不安定になり、結晶が析出することがあるので注意を要する。

この ME も、毒性と刺激性が軽減される。例えば表-8 に示すように殺線虫剤 Hoe 36275 の 20% ME の急性経皮毒性は 40% 乳剤よりも非常に低下する (辻, 1997)。

ME は、乳化系が長期間にわたって安定であり、安全性にも優れることを特徴として、最初防疫用に開発されていたが、最近では農業用にも開発されている。

6 マイクロカプセル製剤 (CS, Capsule Suspension)

マイクロカプセル製剤は、農薬を高分子膜で被覆したもので、直径が数 μm から数百 μm の微小球であり、通常水の中に分散されている (辻, 2013)。この意味では水性製剤であり、農薬の放出制御が可能で、安全性の向上 (人畜毒性や刺激性の軽減、環境負荷の低減等)、省力化、効力向上等の特徴がある。マイクロカプセル製剤については、多くの総説があるので、それらを参照していただきたい (辻, 1997; 2003; 2005; 2006 c; 2014; 小川, 2013)。

おわりに

水性製剤について、その概要を説明した。その最も重

要な特徴は、有機溶剤を使わずに水を媒体にしていることで、その安全性が優れていることである。今後、乳剤に使用する溶剤に対する規制がより厳しくなると水性製剤への期待が一層大きくなると考えられる。そして安全な水性製剤の開発の必要性が大きくなっていくと考えられる。加水分解しやすい農薬原体では、水性製剤の開発が難しいこともあるが、種々の安定化技術も進歩することが期待される。また水性製剤の混合剤を開発することも、多くなっていくと考えられるが、原体が固体と液体の場合には SE となり、乳化状態と懸濁状態を同時に共存させなければならない。その技術はかなり難しく開発にはかなりの検討が必要であるが、界面化学の進歩とともに SE の技術も進歩していくと考えられる。

また最近では粉碎技術も進歩しており、ナノサイズまでの粉碎も可能になっている。この技術の進歩によって新しい局面が開けてくることが期待される。水性製剤では、さらに安全性の向上や効力向上、省力化につながる機能性製剤としての技術開発が、一層重要になるであろう。したがって水性製剤の開発は今後より一層発展していくと思われる。

引用文献

- 磯野邦博 (1997): 農薬製剤ガイド, 日本農薬学会 農薬製剤・施用法研究会 編, 日本植物防疫協会, 東京, p.32 ~ 33.
- 森本勝之 (2013): 応用が拡がる DDS—人体環境から農業・家電まで—, 寺田 弘, 中川晋作, 辻 孝三, 牧野公子, 網田精鎮, 西野 敦 編著, 第 2 編 DDS の産業利用, 第 1 章 農薬製剤と施用法, 第 1 節 農薬製剤, 2-8 除草剤フロアブル製剤, NTS, 東京, p.461 ~ 468.
- 小川雅男 (2013): 同上 農薬製剤, 2-1 マイクロカプセル製剤, p.409 ~ 416.
- 佐藤達雄 (1997 a): 農薬製剤ガイド, 日本農薬学会 農薬製剤・施用法研究会 編, 日本植物防疫協会, 東京, p.35 ~ 42.
- (1997 b): 同上, p.43 ~ 49.
- (1997 c): 同上, p.50 ~ 53.
- (1997 d): 同上, p.54 ~ 57.
- TAKESHITA, T. (1994): Agrochemicals Japan, No.64, p.94.
- 辻 孝三 (1997): 農薬製剤ガイド, 日本農薬学会 農薬製剤・施用法研究会 編, 日本植物防疫協会, 東京, p.200 ~ 208.
- (2003): マイクロ/ナノ系カプセル, 微粒子の開発と応用, 小石真純 監修, 応用編 第 5 章 農薬, シーエムシー出版, 東京, p.211 ~ 249.
- (2005): 最新・界面活性剤の機能創製・素材開発・応用技術, 堀内照夫, 鈴木敏幸 編集, 第 4 編第 6 章 農薬用界面活性剤, 技術教育出版社, 東京, p.380 ~ 413.
- (2006 a): 農薬製剤はやわかり—製剤でこんなことができる—, 化学工業日報社, 東京, p.19 ~ 25.
- (2006 b): 同上, p.103 ~ 106.
- (2006 c): 同上, p.57 ~ 97, p.107 ~ 109.
- (2006 d): 同上, p.135 ~ 136.
- (2007): 化学経済, 2007 年 5 月号, p.74.
- (2013): 応用が拡がる DDS—人体環境から農業・家電まで—, 寺田 弘, 中川晋作, 辻 孝三, 牧野公子, 網田精鎮, 西野 敦 編著, 第 2 編 DDS の産業利用, 第 1 章 農薬製剤と施用法, 第 1 節 農薬製剤, 2-5 水性製剤, NTS, 東京, p.445 ~ 450.
- (2014): 粉体技術 6(5): p21 ~ 26.

平成27年度(第12回)日本学術振興会賞・日本学士院学術奨励賞受賞

植物病害ブドウ根頭がんしゅ病の生物的防除法の開発 前編「新規拮抗細菌 ARK-1 株の発見から研究,そして 実用化に向けた展望」

国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構
西日本農業研究センター (前:岡山県農林水産部)

川口 章 (かわぐち あきら)

はじめに

ブドウ根頭がんしゅ病は, 植物病原細菌 *Rhizobium vitis* (Ti) (= *Agrobacterium vitis* (Ti), *A. tumefaciens* biovar 3; 以下, 学名表記はCシステム(澤田ら, 2007; 2015)に従う。Tiは植物にがんしゅを形成させる能力を有する“根頭がんしゅ病菌”であることを示す)によって植物の根や茎等にごんしゅ(癌腫)と呼ばれるこぶを形成する土壌病害(図-1)で, 世界中で発生している。

本病の被害は樹勢の低下, 果実品質の劣化, がんしゅ形成部位より上部の生育不良, 枯死等があり, 特に3年生までの苗木, 若木では症状が見られた翌年に枯死することが多い(BURR et al., 1998)。病原細菌は土壌中のブドウ残渣内に少なくとも2年間は生存可能であることから(BURR et al., 1998), 発病樹を改植する際は, できるだけ残渣を取り除くことが求められるが, その完全な除去は不可能である。圃場の大きさや位置等の関係上, 定植場所を大幅に変える訳にはいかないので, 改植時に発病樹と同じ場所に定植する場合が多い。現在の技術では改植場所だけに限定して土壌消毒を行うことも極めて困難である。そのため, 新しい苗木を改植しても再び発病してしまう, という悪循環を続けている。

本病は日本だけでなく世界のブドウ生産国で問題となっている。特に, 海外ではワインの原料として, ワイン

用ブドウ品種の生産が活発である。我が国における本病による経済的被害の正確な統計はないが, カナダのオンタリオ州では本病の発生によりワイン用ブドウで毎年約200万ドルの経済損失を被っているという統計がある(University of Guelph, 1999)。また, 米国のバージニア州では2014年に本病が大発生し, 今も多くのワイナリーで甚大な被害が出ている(NITA, 2014)。さらに日本においても, 近年, 東日本を中心にブドウ根頭がんしゅ病の発生および被害が再び増加してきており, 防除対策の確立が望まれている。

これまで, 植物根頭がんしゅ病の病原細菌として複数種が報告されており, そのうち *R. radiobacter* (Ti) (= *A. tumefaciens* (Ti), *A. tumefaciens* biovar 1) と *R. rhizo-*



図-1 ブドウ根頭がんしゅ病の症状

Development for the Biological Control Method of Grapevine Crown Gall. The First Volume: Discovering the New Antagonistic *Rhizobium vitis* Strain Named ARK-1, Research and Prospects for the Future. By Akira KAWAGUCHI

(キーワード: ブドウ根頭がんしゅ病, 非病原性 *Rhizobium vitis*, 生物的防除)

genes (Ti) (= *A. rhizogenes* (Ti), *A. tumefaciens* biovar 2) の宿主範囲が非常に広く、93 科 643 種以上の双子葉植物に寄生性があるとされている (後藤, 1990)。世界中で発生しているが、卓効を示す化学農薬はない。生物防除技術の開発は古くから取り組まれており、非病原性 *R. rhizogenes* (= *A. radiobacter* biovar 2) K84 株によるバラ根頭がんしゅ病の生物防除は世界的に有名である (KERR, 1980)。日本でもその防除効果が実証されており (牧野, 1986)、微生物農薬アグロバクテリウム・ラジオバクター剤として市販されている。しかし、*R. vitis* (Ti) は K84 株が産生する抗菌物質であるアグロシン 84 に対して耐性があるため、K84 株はブドウ根頭がんしゅ病には防除効果がない (BURR et al., 1998; KAWAGUCHI et al., 2005; 2007; 2008 a)。これまで世界中の研究者がブドウ根頭がんしゅ病に対する拮抗細菌の探索を行ってきたが、実用化された菌株はいまだ存在しない (WEBSTER and THOMSON, 1986; BURR and REID, 1994; BURR et al., 1997; BURR and OTTEN, 1999; LI et al., 2009)。以上のことから、ブドウ生産現場では発病を防ぐ有効な手段がないのが現状である。

本稿では、日本で発見された新規拮抗細菌を用いたブドウ根頭がんしゅ病の生物的防除法の開発を目的とした菌株の発見から圃場試験、開発の今後の展望について紹介する。なお、本稿の詳細なデータについては既に論文として発表している (KAWAGUCHI et al., 2005; 2007; 2008 a ;

2008 b ; 川口, 2009 ; KAWAGUCHI, 2011 ; KAWAGUCHI et al., 2012 ; KAWAGUCHI and INOUE, 2012 ; KAWAGUCHI, 2013 ; 2014 ; 2015 ; KAWAGUCHI et al., 2015) ので、併せて参照いただければ幸いである。

I 有望菌株の選抜

2002 ~ 06 年にかけて、筆者らは岡山県内のブドウ苗木を生産するための母樹および商品として流通しているブドウ苗木について本病の診断を行ったところ、それらサンプルからがんしゅ形成能を欠く非病原性 *R. vitis* を分離、同定した。これらの菌株のうち、病原性菌と混合して検定植物であるトマト苗の茎に接種した際、がんしゅ形成が起こらない組合せがあった。このことから、非病原性 *R. vitis* の菌株の中にはがんしゅ形成 (発病) 抑制効果を有する菌株が存在する可能性が示唆された。そこで分離された非病原性菌 306 菌株の一部について、生物防除に有望な菌株の選抜を行った。*R. vitis* (Ti) と非病原性 *R. vitis* の各菌株をそれぞれ等量で混合し (混合比率 1:1, 菌濃度 10^8 cells/ml), 播種 1 か月後のトマト苗 (品種: 'ポンデローザ') およびブドウ 1 年生実生苗 (ネオ・マスカット) の茎に単刺有傷接種してがんしゅ形成の有無および程度を調べた (以下、等量混合接種試験とする)。その結果、発病抑制効果の高い VAR03-1 株を選抜した。

その後、VAR03-1 株のブドウその他の植物に対する



図-2 ブドウ実生苗を用いたブドウ根頭がんしゅ病菌と非病原性菌の混合接種
病原細菌のみを接種したブドウ苗 (A) および病原細菌と ARK-1 株を等量混合して
接種したブドウ苗 (B)。白い矢印は形成されたがんしゅを示す。

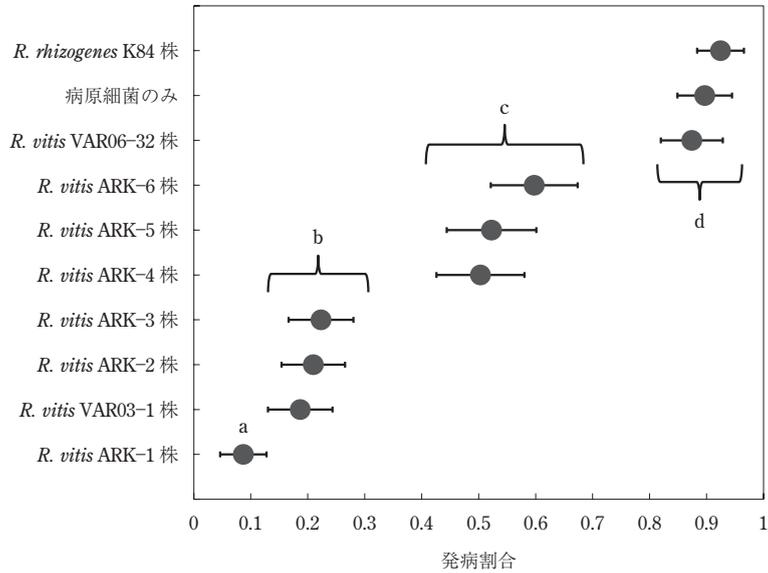


図-3 ブドウ実生苗を用いたブドウ根頭がんしゅ病菌と非病原性菌の混合接種による発病割合の比較
異英文字間はRyan検定により有意差あり ($p < 0.05$). バーは95%信頼区間を示す。

防除効果を明らかにしてきたが (KAWAGUCHI et al., 2005 ; 2007 ; 2008 a ; 2012), さらに防除効果が高く, より安定した新たな菌株の探索も同時に進めていた。その結果, VAR03-1 株とは異なる 6 菌株 (ARK-1 ~ ARK-6) について発病抑制効果が認められた (図-2, 3, 代表的な菌株のデータのみ記載)。これら 6 菌株は, VAR03-1 株より効果の劣るグループ (ARK-4 ~ ARK-6), 効果が同程度のグループ (ARK-2, ARK-3) と, 効果が優れている ARK-1 株に分けることができた。以上より, ARK-1 株を新規拮抗細菌として選抜した。本来, 拮抗微生物を用いた病害の生物防除では, 拮抗微生物を予防的に植物に接種, 定着させるのはもちろんのこと, 自然界で想定される病原菌の密度よりも 10 ~ 100 倍以上高い濃度で処理することが多い。今回の選抜試験では, 病原菌と同濃度, 等量でかつ同時に植物に接種するという非常に厳しい条件で行ったにもかかわらず, 安定的な発病抑制効果を持つ菌株が選抜されたことは, その後の防除試験においても高い効果が期待できると考えられた。

また, *R. vitis* (Ti) は必須遺伝子の塩基配列の違いから, 少なくとも 5 つ (A ~ E) の遺伝子型 (Genotype) に類別され, 日本には主に A および B グループの菌が広く分布している (KAWAGUCHI et al., 2008 b ; KAWAGUCHI, 2011)。このため, それぞれの遺伝子型に属する代表的な *R. vitis* (Ti) 5 菌株を用いて混合菌液を作成し, 前述のブドウ実生苗による等量混合接種試験を行った。その

結果 ARK-1 株はやはり発病を強く抑制したことから, ARK-1 株は現在知られている *R. vitis* (Ti) の主要な系統の菌株に対して効果があることが示唆された。

II 圃場試験における防除効果

拮抗微生物の効果に関する実験室レベルでの報告は現在でも非常に多いが, 圃場レベルでの安定的な効果となると報告数は少ない。その中から生物農薬となって登録, 市販されるものはさらに少ないのが現状である。筆者は圃場での防除効果について, 岡山県農林水産総合センター農業研究所内の三つの異なる実験圃場で防除効果を検討した。処理方法は苗木の根を ARK-1 菌液 (約 10^8 cells/ml) に浸漬する方法で行った。浸漬処理の後, 4 月ごろに上記圃場に定植し, 約 10 ~ 12 か月後に掘り起こして発病の有無を調査した。試験は 2009 ~ 13 年に合計 9 回に分けて実施した。得られたデータはメタアナリシスによって評価した。その結果, ARK-1 株処理区で高い防除効果が認められた (図-4, 統合リスク比 0.18)。また, 本試験以外に他の研究機関で実施された ARK-1 株の圃場試験でも安定した防除効果を示したことから, *R. vitis* (Ti) が感染していない健全なブドウ苗木に対して ARK-1 株を定植前に処理することによって本病害を予防できることが明らかとなり, 今日まで防除が困難であった本病の生物防除技術を確立するための基礎が築けたものと考えられた。

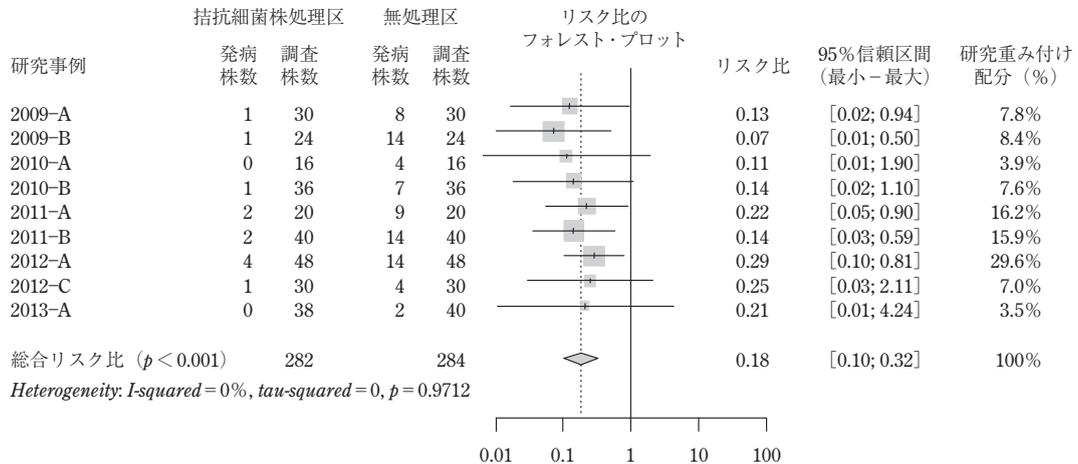


図-4 ブドウ根頭がんしゅ病に対する防除効果 (圃場試験)
それぞれ独立して実施した防除試験 9 事例を変量効果モデル統合方法である DerSimonian-Laird method で解析し、ARK-1 株処理区と無処理区の発病割合の比をリスク比とした。無処理区に対する統合リスク比は 0.18 ($p < 0.001$)。

さらに ARK-1 株は、ブドウに発生する根頭がんしゅ病だけでなく、リンゴ、モモ、ナシ等の根頭がんしゅ病に対しても高い防除効果を示すことを圃場試験で確認しており、ブドウだけに限らず、様々な植物への応用も期待される (KAWAGUCHI et al., 2015)。

III ブドウ根部での定着性

拮抗微生物が高い効果を発揮し、かつその効果を持続させるためには、処理した環境、植物に親和性を有し、効果を発揮するために必要な菌量を保持したまま定着することが求められる。特に、果樹などの永年性作物の場合は防除効果の持続性が重要となることから、ブドウの根における ARK-1 株の定着性について検討した。ブドウ 2 年生苗 (穂木: ピオーネ, 台木: テレキ 5BB) の根部を ARK-1 sc 株 (ストレプトマイシンと硫酸銅に対する耐性を獲得させた ARK-1 変異株) の菌液 (2×10^8 cells/ml) に 1 時間浸漬処理した後ポットに定植して温室で管理し、定期的に 8 株ずつ掘り取って根部に接種された ARK-1 sc 株の菌数を希釈平板法で検出した。その結果、根の表面から分離される菌は接種 24 か月後にはほぼ検出限界まで低下したのに対し、根の内部から分離される菌は接種 18 か月まで緩やかに菌数が低下し、24 か月後でも約 10^5 CFU/g 根の菌数が検出された (図-5)。ARK-1 は根の内部で長期間生存できると考えられ、一種の内生細菌である可能性が示唆された。

IV ユニークな拮抗作用機構の解明に向けて

ARK-1 株の拮抗作用機構についてはまだ不明な点が

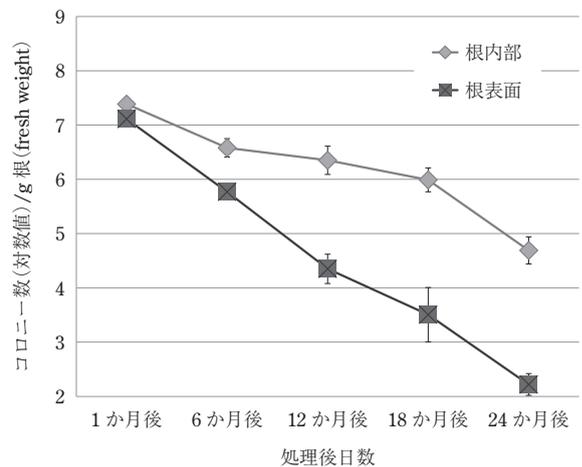


図-5 ARK-1 株のブドウ根部に対する定着性
バーは標準誤差を示す。

多いものの、一部興味深いメカニズムが明らかになってきている。

ARK-1 株をオートクレーブで滅菌した菌液 (菌体、培養物含む) や、液体培養後の上清 (フィルター滅菌して菌体を除去) では、ブドウへの等量混合接種において全く防除効果が認められないことから (KAWAGUCHI and INOUE, 2012)、防除には ARK-1 株の生きた菌体そのものが必要であると考えられた。また、ARK-1 株と *R. vitis* (Ti) をブドウに等量混合接種すると、接種部位において、接種 1~5 日後までは両菌株とも同じように増殖するが、その後 *R. vitis* (Ti) の菌数は ARK-1 株の 1/10 程度に減少していくことが明らかになった (KAWAGUCHI, 2014)。

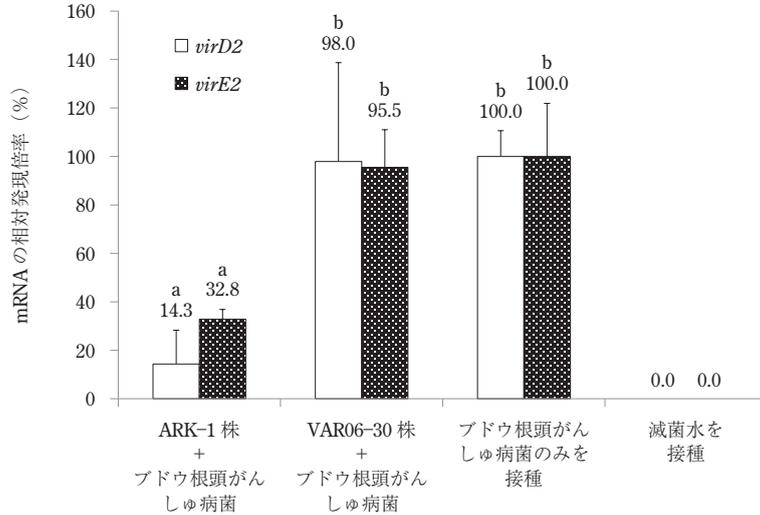


図-6 ブドウ体内における根頭がんしゅ病菌の病原関連遺伝子の発現 (接種1日後)
ブドウ根頭がんしゅ病菌 (*R. vitis* (Ti)) の単独接種時の発現量を100%とした相対比較。VAR06-30株は拮抗能力を有しない非病原性*R. vitis*。エラーバーは標準偏差。異なる英文字間には有意差 ($p < 0.05$) あり (Tukey HSD test)。

このように、ARK-1株はブドウ体内で*R. vitis* (Ti) を完全に駆逐しないにもかかわらず、非常に高い防除効果を発揮するという現象から、ARK-1株はこれまで知られているような抗菌物質による病原菌の抗菌/静菌作用とは異なる、新しい拮抗作用機構を有するのではないかと考えた。そこで、「ARK-1株は*R. vitis* (Ti) の病原性の発現を抑制する」という仮説を立てた。

ARK-1株と*R. vitis* (Ti) をブドウ実生苗の主幹部に等量混合接種した際の接種部位における*R. vitis* (Ti) の病原性関連遺伝子群 (*vir* 領域) の発現量を測定した。接種部位のブドウ主幹部の組織から抽出した全RNAを鋳型とし、RT-qPCRによって*vir* 領域内の*virD2*と*virE2*の発現量を定量した結果、ARK-1株を混合した接種部位の発現量は、*R. vitis* (Ti) 単独接種における発現量の1/3~1/7まで低下していた (図-6, KAWAGUCHI, 2015)。対照として、拮抗能力を有しない非病原性*R. vitis* VAR06-30株でも同じ試験を行ったが、こちらは*virD2*と*virE2*の発現量を低下させることはなかった (図-6, KAWAGUCHI, 2015)。以上より、ARK-1株の拮抗作用機構には、短期的には*R. vitis* (Ti) の*vir* 領域の発現抑制が、長期的には*R. vitis* (Ti) の増殖抑制が関与すると考えられた。

このように、ARK-1株の拮抗作用機構について一定の知見を得ることができたが、ARK-1株による植物の病害抵抗性誘導や、他の*vir* 領域の発現への影響、それらの性能に関係する新規遺伝子の存在等、まだまだ不明

な点が多い。今後も様々な観点から研究を進めていき、防除作用機構の解明を目指したい。

V 実用化に向けて

拮抗微生物を利用した生物的防除技術を一般に普及させるためには、我が国では農林水産省による農薬登録が必須になり、そのためには、農業生産者が使える「製剤」にする必要がある。ここで問題になるのが、拮抗微生物が製剤の形に加工されたときの「保存安定性」である。微生物を粉状または液体の状態にしたときに、その工程で生存菌数が大きく低下するような場合、工業的に製造することが困難になり、製剤の品質を担保することができない。また、製剤が完成してから農業生産者が使用するまでの間に、製剤中の生存菌数が品質保証を超えて著しく低下することもあってはならない。今後、生物的防除の研究を実用化まで持つていくためには、研究の段階において、防除効果だけでなく拮抗微生物の保存安定性について調べておくことが重要になる。

ARK-1株については今回紹介した内容以外にも、実用化に向けた必要なデータの蓄積を行っており、良好なデータが得られつつある。農薬登録が完了して農業生産者が実際に使えるようになるまでには、もうしばらくの月日を必要とするだろうが、それに向かって着実に前進していることをお伝えしておきたい。

おわりに

世界的にブドウは生食用、醸造用として非常に重要な品目であるため、本病に対する防除のニーズは世界中にある。世界的には特に醸造用のニーズが大きい。米国 (NITA, 2014) やカナダ (University of Guelph, 1999) を始めとして、世界中のワイン産業で本病の防除対策が切望されている。

世界における本病の生物防除研究について見てみると、本研究のようにブドウ主幹部を用いた接種試験でがんしゅ形成抑制効果が認められた拮抗細菌として非病原性 *R. vitis* F2/5 株 (BURR and REID, 1994; BURR et al., 1997) と非病原性 *R. vitis* E26 株 (LI et al., 2009) がある。しかし、いずれも圃場試験で安定した効果を示したという事例はなく、本病の防除においては我々の ARK-1 株が世界で最も実用化に近い位置に立っており、本研究分野で先駆的な役割を果たしている。今後も新規拮抗微生物の選抜が世界中で行われるであろう。

本菌株は健全な苗木に予防的に処理し、発生圃場において発病を抑制することを目的とすべきである。つまり、*R. vitis* (Ti) は植物細胞を形質転換させて腫瘍化させるという発病機構であるため、形質転換が完了した細胞に対しては拮抗微生物を投与しても治療効果は期待できない。そのため、根頭がんしゅ病を発生させないように管理することが必要であり、発病樹が発見されたとしても、他の健全樹に感染が拡大しないように、未発病の樹に灌注処理などで ARK-1 株を導入していくような方法も今後検討していく必要がある。

土壌病害には効果のある化学農薬が少なく、土壌消毒

には高い導入コストを必要とする場合が多い。その点からも、生物防除は土壌病害に対する有効な手段として期待され続ける存在だと言える。筆者らが取り組んでいる本研究が、ブドウ根頭がんしゅ病に対する世界初の有効な防除技術として、農業生産者が実施可能な形にするために、今後も実用化に向けた活動を継続していきたい。

引用文献

- 1) BURR, T. J. and C. L. REID (1994): *Amer. J. Enol. Vitic.* **45**: 213 ~ 219.
- 2) ——— et al. (1997): *Phytopathology* **87**: 706 ~ 711.
- 3) ——— et al. (1998): *Plant Dis.* **82**: 1288 ~ 1297.
- 4) ——— and L. OTTEN (1999): *Annu. Rev. Phytopathol.* **37**: 53 ~ 80.
- 5) 後藤正夫 (1990): 植物細菌病学概論, 養賢堂, 東京, p.128 ~ 134.
- 6) KERR, A. (1980): *Plant Dis.* **64**: 25 ~ 30.
- 7) KAWAGUCHI, A. et al. (2005): *J. Gen. Plant Pathol.* **71**: 422 ~ 430.
- 8) ——— et al. (2007): *ibid.* **73**: 133 ~ 138.
- 9) ——— et al. (2008 a): *Phytopathology* **98**: 1218 ~ 1225.
- 10) ——— et al. (2008 b): *Plant Pathol.* **57**: 747 ~ 753.
- 11) 川口 章 (2009): 植物防疫 **63**: 135 ~ 139.
- 12) KAWAGUCHI, A. (2011): *J. Gen. Plant Pathol.* **77**: 299 ~ 303.
- 13) ——— et al. (2012): *ibid.* **78**: 287 ~ 293.
- 14) ——— and K. INOUE (2012): *J. Phytopathol.* **160**: 509 ~ 518.
- 15) ——— (2013): *Microbe. Environ.* **28**: 306 ~ 311.
- 16) ——— (2014): *ibid.* **29**: 296 ~ 302.
- 17) ——— et al. (2015): *Plant Dis.* **99**: 409 ~ 414.
- 18) ——— (2015): *Euro. J. Plant Pathol.* **142**: 789 ~ 799.
- 19) LI, J. Y. et al. (2009): *J. Phytopathol.* **157**: 159 ~ 165.
- 20) 牧野孝宏 (1986): 植物防疫 **40**: 540 ~ 546.
- 21) NITA, M. (2014): *Grape Press, Virginia Vineyards Association, Waterford, VA*, p.11 ~ 12.
- 22) 澤田宏ら (2007): 日本微生物資源学会誌 **23**: 95 ~ 99.
- 23) ———ら (2015): 植物防疫 **69**: 106 ~ 112.
- 24) University of Guelph (1999): *ScienceDaily*. <<http://www.science-daily.com/releases/1999/05/990506153806.htm>>
- 25) WEBSTER, J. and J. A. THOMSON (1986): *Appl. Environ. Microbiol.* **52**: 217 ~ 219.

連載

線虫研究の過去・現在・未来

その2 線虫害の変遷 (前編)

丸和バイオケミカル株式会社 技術顧問
(元農研機構 中央農業総合研究センター)

水久保 隆之 (みずくぼ たかゆき)

今回は、線虫研究の現在がテーマであるが、現在を語る前に、今に遡るおよそ30年間の線虫害の変遷を概観したい。その期間は1979年(昭和54年)から2011年(平成23年)までである。かつては線虫防除技術をテーマとした大きなシンポジウムが開催されていた。例えば、1989年には飯田橋の家の光ビルで野菜病害虫防除研究会シンポジウム—土壌線虫を巡る諸問題—(平成元年12月7日)が、農林水産省野菜茶業試験場と社団法人日本植物防疫協会により共催された。その10年後の1999年には、日本植物防疫協会が主催するシンポジウム「線虫防除の戦略と展望」(平成11年9月28日)が東京都西ヶ原の滝野川会館で開催されたことがある。これらのシンポジウムでは、それぞれの時点の過去10年間の線虫問題と対策が紹介されていた。その10年後(平成21年)の全国シンポジウムは計画されなかったので、線虫問題の総括の機会がなかった。再調査が必要だとかねがね思っていたが、幸いにも農林水産省消費安全局の阿部清文専門官(2012年当時)のご協力が得られ、各地方農政局を經由して「線虫防除に関するアンケート調査」を都道府県に配布し、取り纏めることができた。

こうして、国内の線虫害に関する1979～88年の10年間、1989～98年の10年間、そして1999～2011年の13年間に及ぶ併せて33年間の資料が利用できるようになった。家の光ビルのシンポジウムで紹介された期間は昭和最後の10年間、滝野川会館のシンポジウムで触れた期間は平成期最初の10年間に相当する。農水省の協力で実施したアンケートは、ほぼミレニアム(2000年)後の期間である。言及の便宜を考え、これらの調査対象期間を単純に第Ⅰ期、第Ⅱ期、第Ⅲ期と呼ぶ。経済情勢で言えば、第Ⅰ期が安定成長期、第Ⅱ期はバブルとその崩壊後の混乱期、第Ⅲ期は低成長期(失われた20年間)の真っ只中に当たる。なお、第Ⅰ期のアンケートは西日本すなわち中国・四国・九州・沖縄地域を対象に田中福三郎氏(岡山県立農業試験場)と古賀成司氏(熊本県農政部経営普及課)によって実施された(田中・古賀、

1989)。第Ⅱ期と第Ⅲ期のアンケートは、田中・古賀(1989)のアンケートの設問をそのまま踏襲し、調査対象都道府県を全国に広げたものであった。設問を変更しなかった理由は時代(調査期)別の線虫害に関係した変化を通覧し、比較する便のためにほかならない。

第Ⅰ期のアンケート結果はシンポジウムの講演要旨に掲載された(田中・古賀, 1989)。第Ⅱ期のアンケート結果も詳細版はシンポジウムの講演要旨に掲載された(水久保, 1999)が、そのダイジェストは植物防疫に掲載された(水久保, 2000)。第Ⅲ期アンケートは日本線虫学会の創立20周年記念事業として計画されたので、取り纏め結果は日本線虫学会誌に掲載した(水久保, 2015)。発生予察事業では線虫は調査対象から外れている。そのため、発生している線虫の種類、発生の量、消長等の情報や防除の実態の公式の資料は存在しない。農葉の出荷量は線虫害の発生を予想する一つの指標になりそうだが、線虫害対策はほとんど予防的に実施され、土壌燻蒸剤のように多目的用途の薬剤も含まれている。こういう状況なので、農業使用量から線虫発生動向はつかみ難い。線虫の防除や発生の情報把握に都道府県へのアンケートが不可欠な所以である。

I 国内農業生産の動向

農林業センサス累年統計—農業編—(昭和35年～平成22年)などの行政資料を参考に、アンケート調査期間(1979～2011)の背景となる農業生産動向をとりまとめた。5年ごとに実施される農業センサスの1980, '85, '90, '95, 2000, '05, '10の統計が概ね調査期間をカバーしている。

農業生産で収入を得ている販売農家数が農業センサスに現れるようになったのは1985年からである。1985年には販売農家数は331万戸だったが、2010年には163万戸に減った。四半世紀で半減するという凄まじさである(表-1)。この間の減少は加速度的で、1985～90年の5年間は年率2.1%で減少したものが、2005～10年

の5年では年率3.4%の減少だった。

この間農業総産出額も低下した。1985年に11.6兆円だった農業総産出額は2010年には8.1兆円になっていた（表-2）。ここでは、そのうちの米と野菜の産出額に注目したい。米は日本農業の根幹と言われてきただけに、その産出額は昭和30年（1955年）まで農業総産出額の50%を超えていたし、昭和50年（1975年）ころまでは農産物中トップの座を維持していた（その後畜産物に水をあけられることになる）。なお、産出額はデフレなどの物価変動の影響を受けるので、産出額の推移を昨日間で比べる場合、各時点の農業総産出額の構成比を見たほうがわかりやすい。米と野菜の比率の推移を見ると、1985年には米が15ポイント野菜を上回っていたが、その後米の比率が低下し、2005年ころに野菜と並び2010年には野菜が米を9ポイント上回るようになった（図-1）。このとき日本農業は大きな転換点を迎えたのだと考えたい。野菜の病害虫防除資材費はこれ以前から稲のそれを上回っていたはずだ。

次に野菜類の産出額内訳を検討する。いも類も線虫害を被りやすい作目であるので野菜類と並べて産出額の表を作表した（表-3）。これを見ると、1980～2010年の30年間に野菜類といも類を併せた構成比は約10ポイント上昇している。いも類と野菜類の農業総産出額におけ

る構成比の推移は図-2に示したが、ここでも大きな変化が起きていた。従来、生産額は果菜類、茎葉菜類、根菜類、そしていも類の順に多かったが、果菜類の生産がほぼ横ばいである一方で、茎葉菜類の生産が上昇し、2010年ころには茎葉菜類が果菜類を追い越してトップに立った。一般に線虫害は果菜類において茎葉菜類よりも顕著である。その理由の一つは果菜類における半年に及ぶ長い栽培期間である。二つに周年温暖に管理される施設栽培環境がある。これらが線虫の増殖を促して、被害は大きくなる。一方、茎葉菜類は秋冬季の露地などで作られる品目が多く、栽培期間も比較的短いことから果菜類に較べて線虫害が出にくい品目であったが、施設栽培環境ではそうとも言えない。一般的に言えば相対的に線虫害が少ない茎葉菜類に野菜の比重がシフトしているので、野菜類の増加は線虫害防除コスト増大に直結しないといえる。

続いて、野菜類やいも類の栽培面積について見てみよう（表-4）。農業生産規模の縮小は品目間で高低がある。全体に栽培面積は減少しているが、中でもきゅうりににおいて極めて高い減少率（'85年比のマイナス70%）が認められる。代表的な露地野菜のだいこんの生産も1985年次に対し2005年次は54%に低下している。かんしょでも同様の傾向が見られた。

表-1 販売農家数の推移

年次	販売農家	1985年比	各5年の平均減少率/年
1985	3,314,931	100	
1990	2,970,527	90	2.1%
1995	2,651,403	80	2.1%
2000	2,336,909	70	2.4%
2005	1,963,424	59	3.2%
2010	1,631,206	49	3.4%

農業センサスより抜粋して作成。

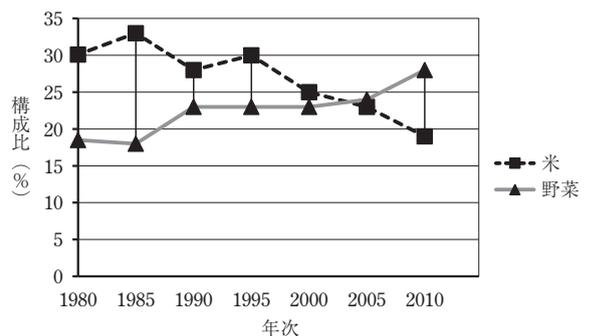


図-1 米と野菜の農業産出額構成比の逆転

表-2 農業総産出額および生産農業所得の推移

(単位：兆円)

年次	計	米	野菜	果実	畜産	その他	所得
昭和 55 (1980)	10.3	3.1	1.9	0.7	3.2	1.4	4.6
昭和 60 (1985)	11.6	3.8	2.1	0.9	3.3	1.5	4.4
平成 2 (1990)	11.5	3.2	2.6	1.0	3.1	1.5	4.8
平成 7 (1995)	10.4	3.2	2.4	0.9	2.5	1.4	4.6
平成 12 (2000)	9.1	2.3	2.1	0.8	2.5	1.4	3.6
平成 17 (2005)	8.5	1.9	2.0	0.7	2.5	1.3	3.2
平成 22 (2010)	8.1	1.6	2.2	0.7	2.6	1.0	2.8

注：その他は、麦類、雑穀、豆類、いも類、花き、工芸農作物、その他作物、加工農産物。

表-3 いも類と野菜類の産出額と農業総産出額における構成比

年次	農業総産出額 (億円)				構成比 (%)				
	いも類	果菜類	茎葉菜類	根菜類	いも類	果菜類	茎葉菜類	根菜類	合計
1980	2,088	8,795	6,723	3,520	2.0	8.5	6.6	3.4	20.5
1985	2,031	10,601	6,912	3,590	1.7	9.1	5.9	3.1	19.8
1990	2,388	12,112	8,981	4,787	2.1	10.5	7.8	4.2	24.6
1995	2,431	11,376	8,298	4,303	2.3	10.9	7.9	4.1	25.2
2000	2,298	9,982	7,713	3,444	2.5	10.9	8.4	3.8	25.6
2005	2,016	9,081	8,193	3,053	2.4	10.7	9.6	3.6	26.3
2010	2,071	9,404	9,585	3,496	2.6	11.6	11.8	4.3	30.3

生産農業所得統計より抜粋して作成。

表-4 線虫害が発生しやすい作物の収穫面積の推移 (販売目的栽培)

(単位: ha)

年次	ばれいしょ	1885年比	かんしょ	1885年比	大豆	1885年比	きゅうり	1885年比	トマト	1885年比	だいこん	1885年比
1985年	102,957	100	39,452	100	91,708	100	9,059	100	5,860	100	42,003	100
1990年	87,743	85	35,075	89	98,197	107	8,560	94	5,680	97	37,572	89
1995年	76,236	74	25,947	66	17,483	19	3,462	38	2,885	49	25,839	62
2000年	73,643	72	23,660	60	56,571	62	3,935	43	3,630	62	25,246	60
2005年	65,273	63	23,112	59	76,574	83	2,723	30	3,381	58	22,657	54
2010年	63,231	61	23,388	59	71,195	78	-	-	-	-	-	-

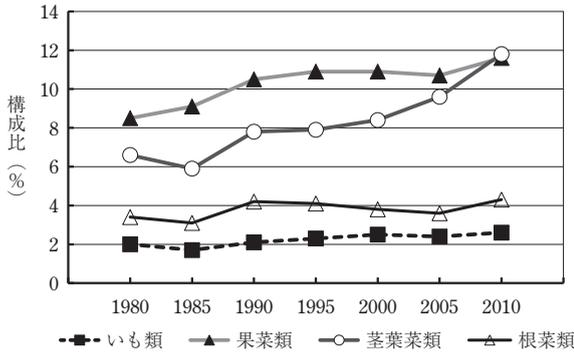


図-2 いも類と野菜類の産出額の農業総産出額における構成比の推移

II 線虫の被害がある作物, 被害の程度

1 主要作物における線虫被害程度の変化 (西日本と近畿以東日本の比較)

ここでいう西日本は中国・四国・九州・沖縄の18県を指す。この地域では10年刻みで33年間の変化を辿ることができる。西日本の線虫害を代表する作物の品目は、トマト、きゅうり、メロン、かんしょ、にんじん、だいこん、きくであった。これらの品目は全国的にも栽培が多いので、線虫害の全国比較で共通の土俵にもなる。なお、後者3品目はネグサレセンチュウを対象にし

ている。

図-3～図-10の指数は、各作物目において都道府県の代表的品目(4程度)の‘被害程度’と‘防除の重要性’の大小、小の回答数の集計表から計算したものである。‘被害程度’も‘防除の重要性’もわかったようで実は曖昧な概念である。指数化した被害程度は指数化した防除の重要性よりほとんど常に低かった。この理由は無防除の場合に経済性を損なう危険度が被害程度より大きく考慮されている結果かとも思われるが、同時に被害程度の「大中小」は無防除の場合の程度ではなく、防除手段を講じたうえで「大中小」を意識して回答された(場合が多い)ことを意味するのかもしれない。

(1) トマト(図-3)では、西日本の被害程度が近畿以東のものより幾分低いこと、防除の重要性では調査の第II期に西と東で大きな開きがあったことが特徴である。西日本では被害程度は変化が小さく調査のI, II, III期を通じて50ポイント強であったが、近畿以東の被害程度は西日本より約10ポイント高かった。西日本の防除の重要性は変動が大きく、調査のI, II, III期にそれぞれ67, 58(9ポイント減), 72(14ポイント上昇)と変動した。近畿以東の防除の重要性は71ポイントで、西日本より23ポイントも高かったが(第II期), 第III期には西日本でポイントが上昇したため、全国的に平準化した。第II期のアンケートでは一部の地域で線虫抵抗性の

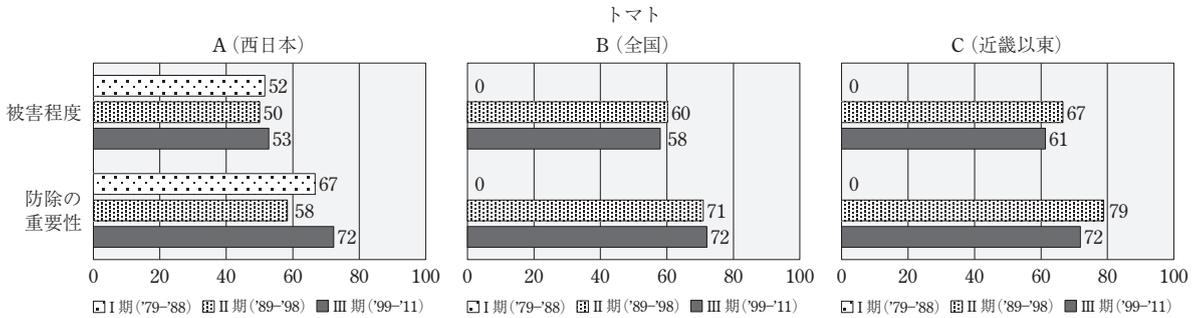


図-3 トマトのネコブセンチュウ害：被害程度と防除の重要性の指数の推移（A：西日本，B：全国，C：近畿以东）
 指数 = [Σ(階級値×該当件数)/全件数×3]×100，階級値：大=3，中=2，小=1。

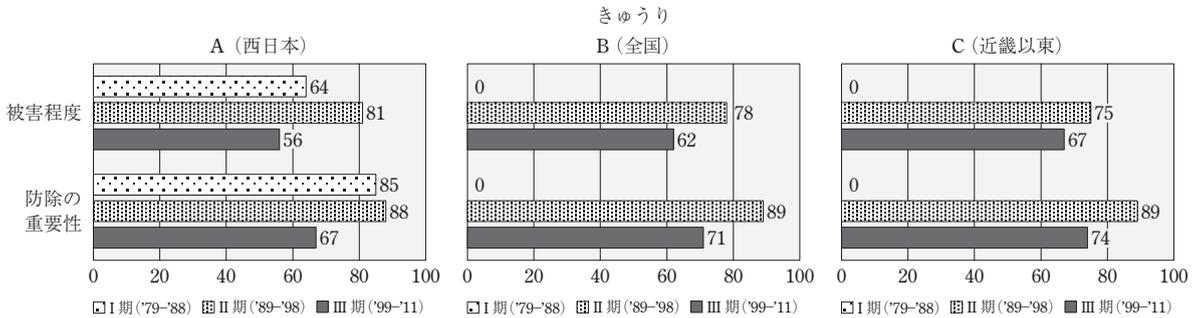


図-4 きゅうりのネコブセンチュウ害：被害程度と防除の重要性の指数の推移（A：西日本，B：全国，C：近畿以东）

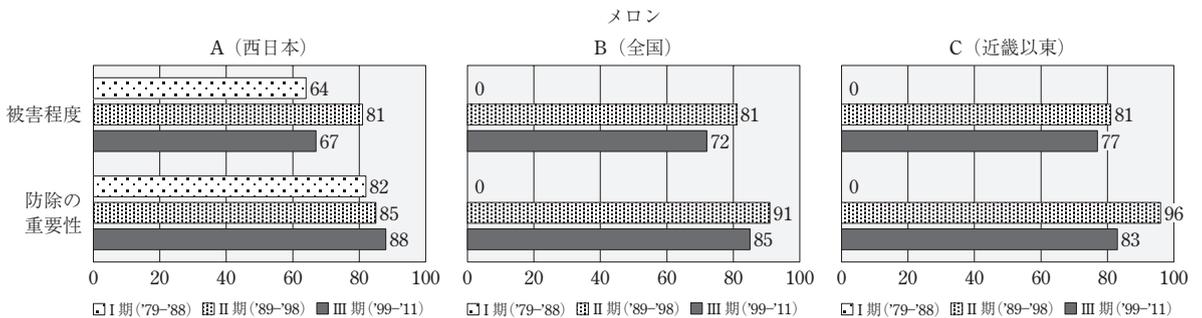


図-5 メロンのネコブセンチュウ害：被害程度と防除の重要性の指数の推移（A：西日本，B：全国，C：近畿以东）

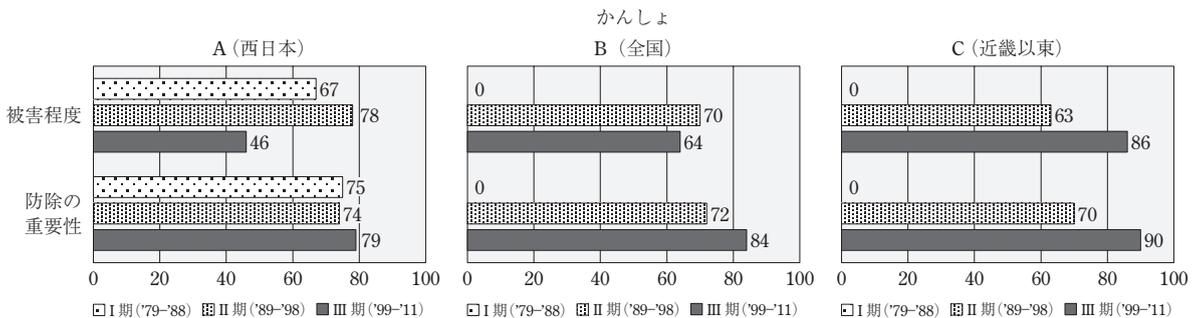


図-6 かんしょのネコブセンチュウ害：被害程度と防除の重要性の指数の推移（A：西日本，B：全国，C：近畿以东）

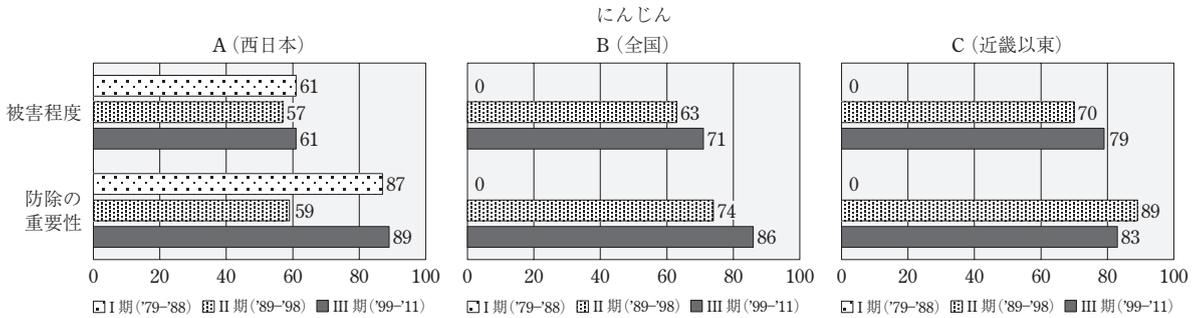


図-7 にんじんのネグサセンチュウ害：被害程度と防除の重要性の指数の推移 (A：西日本, B：全国, C：近畿以東)

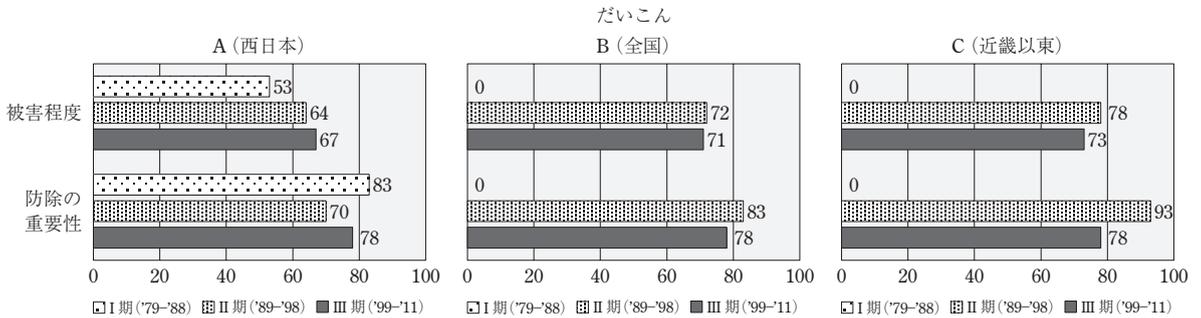


図-8 だいこんのネグサセンチュウ害：被害程度と防除の重要性の指数の推移 (A：西日本, B：全国, C：近畿以東)

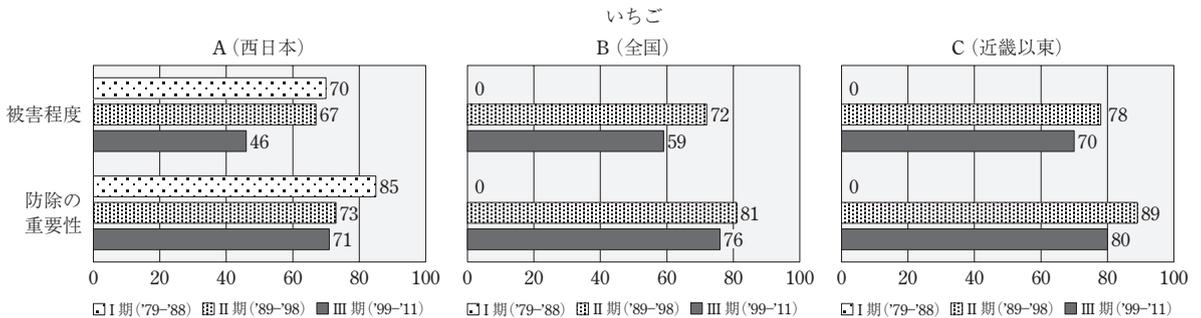


図-9 いちごのネグサセンチュウ害：被害程度と防除の重要性の指数の推移 (A：西日本, B：全国, C：近畿以東)

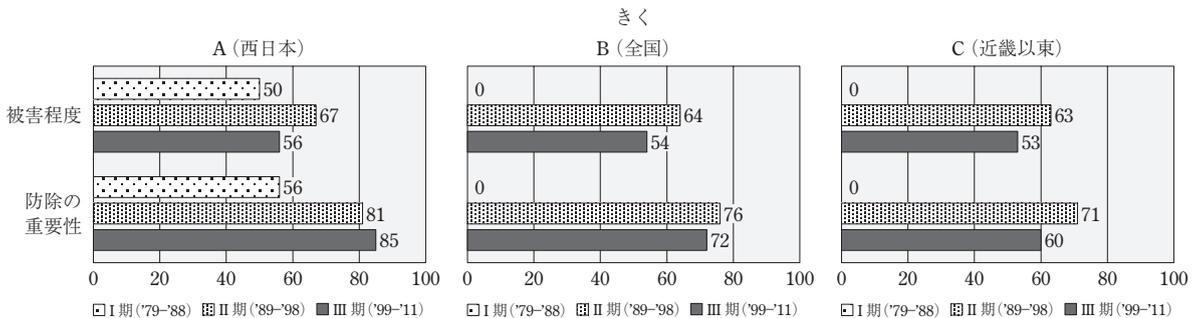


図-10 きくのネグサセンチュウ害：被害程度と防除の重要性の指数の推移 (A：西日本, B：全国, C：近畿以東)

トマト品種の線虫被害発生が報告されていた。抵抗性打破系統ネコブセンチュウの出現頻度の違いや線虫抵抗性もともと効かないキタネグサレセンチュウの発生などが東西のトマトの線虫害の様相を分けたのかもしれない。

(2) きゅうり（図-4）では、調査の第Ⅰ期よりも第Ⅱ期で被害の程度が上昇し、防除の重要性も第Ⅱ期で同様に高かった。しかし、第Ⅲ期になると被害程度も重要性も低下している。この第Ⅲ期の低下傾向は東日本でも同じであり、したがって全国共通の現象である。これはなにも、きゅうりで特別な線虫防除の手段が開発されたからではない。ウリ科には線虫抵抗性品種はなく被害も甚だしいのが普通である。被害程度や防除の重要性が低下したのではなく、作物そのものの栽培面積の縮小（表-4）が防除意識の低下につながっているのかもしれない。

(3) 同じウリ科のメロン（図-5）を見ると、西日本では第Ⅱ期にメロンの被害程度が17ポイントも高まったが第Ⅲ期では14ポイント低下し元に復している。一方、防除の重要性は調査のⅠ、Ⅱ、Ⅲ期を通じて80を超える高い水準にあった。全国的には第Ⅱ期よりも第Ⅲ期で被害程度が9ポイント低下し、また防除の重要性も6ポイント低下していた。この低下傾向は近畿以東の地域でさらに顕著であった。

(4) かんしょのネコブセンチュウ（図-6）では、西日本で大きな動きがあった。調査の第Ⅰ期に比べて第Ⅱ期で被害程度がより高いポイントを示していたが、第Ⅲ期には大きく落ち込んだのである。防除の重要性は全期間を通じて70ポイントを超えており、第Ⅲ期ではむしろ重要性が増加した。全国的に見ると第Ⅲ期の被害程度は、第Ⅱ期より低下したものの、その程度は低かった。近畿以東では第Ⅲ期にかんしょの被害程度が23ポイントも増加し、西日本とは逆の動きが見られた。防除の重要性も20ポイント高まっていた。

(5) にんじんのネコブセンチュウ害（図-7）は、西日本では同程度の61、57、61のポイントで被害程度が推移していた。一方、防除の重要性は第Ⅰ期で87ポイントだったものが、第Ⅱ期では28ポイントも低下し、第Ⅲ期には反発してまた89ポイントに上昇した。全国的な動向では、第Ⅱ期よりも第Ⅲ期で被害程度も防御

の重要性も高くなっており、にんじんにおけるネコブセンチュウ害は東日本で深刻なことが示されていた。

(6) だいこんは今も昔もキタネグサレセンチュウの代表的な被害作物である。西日本ではその被害程度はあまり大きくはないものの、調査時期が下るほど被害程度が上昇していた（図-8）。一方、防除の重要性は第Ⅰ期の83ポイントが第Ⅱ期に13ポイント低下したが、第Ⅲ期には9ポイント上昇して78となった。近畿以東の東日本では逆に、だいこんの防除の重要性が低下した。これは、作物としての大根の重要性が東日本で低下したことを示すのかもしれない。

(7) イチゴで問題になるネグサレセンチュウはもっぱらクルミネグサレセンチュウである。西日本のこの被害程度は70ポイントから67ポイントへと第Ⅰ期、第Ⅱ期の間で大きな変化はなかったものの、第Ⅲ期では46ポイントへ21も低下した（図-9）。防除の重要性は第Ⅰ期とⅡ期の間ですこぶる高い85ポイントから73ポイントに低下したが、第Ⅱ期と第Ⅲ期間では変化がなかった。全国的に見ると被害程度は第Ⅱ期よりも第Ⅲ期で低下した。防除の重要性は80ポイント付近でわずかに低下するにとどまった。

(8) きくもまた代表的なネグサレセンチュウの被害作物であるが、西日本では第Ⅱ期に被害程度が上昇し第Ⅲ期にその程度は減少した（図-10）。全国的にも同様の傾向であり、第Ⅱ期よりも第Ⅲ期において被害程度が減少している。ところが、防除の重要性は西日本で第Ⅰ期よりも第Ⅱ期と第Ⅲ期で上昇した（56→81→85）。この理由には新しい加害線虫種の発生が考えられる。従来、キタネグサレセンチュウが唯一のきく加害種であったが、第Ⅱ期にはきくを加害するニセミナミネグサレセンチュウの発見があった。第Ⅲ期にはクマモトネグサレセンチュウが発見され、広く九州に分布するだけでなく、きくの栽培に猛威を振るっていることが明らかになった。この線虫は山口県から沖縄にまで分布しており、キタネグサレセンチュウよりも病原性が強い。きくのネグサレセンチュウの防除の重要性のポイントが近畿以東で九州四国の西日本よりも低い理由には、クマモトネグサレセンチュウの未発生という地理的条件もあるだろう。（3月号につづく）

エッセイ

楽しい“虫音楽”の世界

(その18 鳴く虫を愛するのは日本人だけ?)

昆虫芸術研究家

柏田 雄三 (かしわだ ゆうぞう)

鳴く虫の声を美しいと感じるのは日本人だけだと書かれているのをときおり目にする。外国人が雑音だと感じたり、全く注意を払ったりしないことを体験として話す人もいる。鳴き声を右脳と左脳のどちらで受け取るのかに起因するとする角田忠信氏の有名な学説に触れている人も多い。彼は日本人とポリネシア人がそのような特性を持つとしたが、先天的なものではなく、日本語の母音の特性が関係し、子供のころに日本語で育った人に備わるものだとしている。

理屈はともかく外国人はすべて虫の鳴く音の美しさをわからないと片づけてよいのだろうか。鳴く虫に関する文章を多く残したラファディオ・ハーン (小泉八雲) は虫の音の美しさを愛するのは日本人とギリシャ人だけだと述べた。因みに彼の母親はギリシャ人だった。

中平解氏は著書「鰻の中のフランス」の随筆「フランス人と虫の音」で、フランス滞在中の経験やたくさんの文学作品を例に「フランス人がコオロギの鳴く音を美しいと感じないと言う粗雑な考えはどこから来るのか自分には想像もつかない」と断じた。「自分が記録しただけでフランスの小説に130回もコオロギが出てくるが、日本の小説にこれほど多くコオロギが出てくるのか日本文学の研究者に尋ねてみたいものだ」とも指摘する。実際にそうなのかは「文化昆虫学事始め」(創森社)の加納康嗣氏による世界各地の鳴く虫文化の著述を読むとわかる。

中平氏に倣い、私もいくつかの実例を引いてみる。映画「悲しみよこんにちは」でジーン・セバーグ演じる多感な少女が「虫の音を聴いているの」と言うし、ベトナムの名画「青いパイアのかおり」では主人公の少女ムイがコオロギを飼って、その鳴き声を愛でるシーンがある。

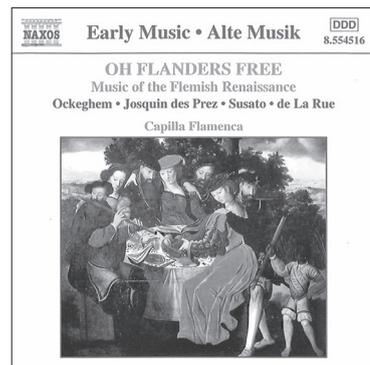
中国ではオスのコオロギを闘わせる「闘蟋^{とうしつ}」が有名だが、今でも鳴く虫文化が盛んだそう。古く唐の時代の杜甫の五言律詩「促織」を記そう。「促織」とはコオロギのことである。

促織甚微細 哀音何動人
草根吟不穩 牀下意相親
久客得無淚 故妻難及晨
悲糸与急管 感激異天真

楽曲をいくつか記す。韓国の描写的な童謡《コオロギの歌合戦》、イタリア民謡《こおろぎは歌う》、鳴く虫ではないが無形文化遺産中国トン族大歌の働き者の象徴セミの美しい声をうたった《蟬の歌》。クラシック音楽にもフランスのジョスカン・デ・プレ (1450/55 ~ 1521) のコオロギの鳴き声を擬したフロットーラ《コオロギは良い歌手》をはじめコオロギや蟬の声を歌った曲がいくつもある。

角田氏の学説では、虫の鳴き声のほか鳥の鳴き声、川のせせらぎ、風の音、和楽器の音なども同じように位置づけられている。それでは外国人が鳥の鳴き声の美しさの曲を作ったのはなぜだろう。例えば夜鶯 (ナイチンゲール) の曲は枚挙に暇がない。

日本には狭い国土に色々な種類の虫がいて、配偶行動の際に相手を間違えないよう鳴く虫やセミの声が多様化したという説を読んだ。そうなるに昆虫側にも原因の一端がある。動物や鳥の鳴き声を表す言葉として日本語は「鳴く」と「啼く」くらいであるのに対し、英語には70ほどの単語があり動物や鳥の種類別に使い分けるそう。日本人が虫の鳴く音を楽しむからと言って感受性が優れていると自慢げに決めつけるのは止めたほうがよいと思うのである。



ジョスカン・デ・プレ作曲の
《コオロギは良い歌手》が収録された CD
NAXOS 8.554516

NEWS

2017年賀詞交歓会を開催

5日、経団連会館で、農業工業会

農業工業会（会長：平田典日産化学工業取締役専務執行役員）は1月5日、東京都千代田区の経団連会館ホールで2017年賀詞交歓会を開催した。

冒頭、平田会長は、政府決定された「農業競争力強化プログラム」に生産資材費の価格形成の仕組みや登録制度の国際調和といった課題が盛り込まれていることを受け、「当協会はこれを真摯に受け止め、継続的に研究開発に投資して、高品質な農業を安定供給していくことで、総合的に農業生産コストの低減に貢献していきたい」とあいさつ。また同工業会は、将来構想『JCPA VISION 2025』の活動の一環として、「食料生産の重要性と農業の役割」を伝えるための新たな情報発信を始めており、「昨年では会員各社が裾野を広げた草の根活動を展開したが、今後とも日本の農業生産を支えている農業の有用性と安全性を幅広く伝えていく」と述べた。

農林水産省の瀬川雅裕農産安全管理課長の祝辞に続き、小池好智副会長（クマイ化学工業代表取締役社長）の発声で乾杯。和やかな新春の歓談の中、西本 麗副会長（住友化学代表取締役専務執行役員）の中締めで、午後1時半過ぎに散会した。



新春のあいさつに立つ平田会長

シンポジウム「薬剤抵抗性管理の新たな展開」を開催
日本植物防疫協会

日本植物防疫協会（上路雅子理事長）は1月12日、都内千代田区の日本教育会館一ツ橋ホールで、シンポジウム「薬剤抵抗性管理の新たな展開」を開催し、国及び都道府県の行政・試験研究機関や普及指導機関、農業メーカーなどから約650名が参集した。

冒頭、上路理事長は、「病害虫による農作物被害の防止に農業が重要な役割を果たす一方で、その背後には薬剤抵抗性・耐性問題が常に潜んでいる。とくに近年は、高活性の薬剤が開発されると、その系統もしくは近い系

統に開発が集中してしまう傾向がある」とした上で、「薬剤抵抗性を発達させない技術や、抵抗性が発現してしまった場合の対策技術の開発が喫緊の課題となっている。本シンポジウムでは薬剤抵抗性リスクの将来像を予測するとともに、薬剤抵抗性対策に向けた最新の検討状況と取り組むべき課題について整理したい。薬剤抵抗性管理を前進させる一助になることを祈念する」などとあいさつした。講演テーマと講演者は次の通り。

「薬剤抵抗性が疑われる事例とその対応に関する全国状況」白石正美氏（農林水産省消費・安全局植物防疫課課長補佐）、「薬剤抵抗性管理を見据えた新規の殺菌剤・殺虫剤の開発と普及」山本敦司氏（日本曹達株式会社小田原研究所研究企画管理部兼創薬解析研究部主幹研究員）、「薬剤抵抗性対策研究の取り組み状況と期待される成果」野田隆志（日本植物防疫協会技術顧問）、「世代間ローテーションを基礎とした新たな殺虫剤抵抗性管理戦略とIRACの活動」鳥克弥氏（デュポン・プロダクション・アグリサイエンス株式会社農業製品事業部研究開発本部殺虫剤マネージャー）、「殺菌剤耐性菌対策に係るFRACの活動」田辺憲太郎氏（JAPAN FRAC代表・日本曹達株式会社普及部マーケティング課主幹）、「生産現場が求める薬剤抵抗性情報と対策ツール」中野昭雄氏（徳島県立農林水産総合技術支援センター上席研究員）。

パネルディスカッションには、講演者に加え小河原孝司氏（茨城県農業総合センター企画情報部専門技術指導員室専門技術指導員）も登壇。薬剤抵抗性対策の新たな展開に向け、予定時間を大幅に超えて活発な質疑応答が行われた。



薬剤抵抗性管理の新たな展開へ向け活発な質疑応答

■訂正：本誌第70巻12月号55頁エッセイ“虫音楽”の世界（その17 シェイクスピアの虫音楽）の記事中、「…アーン等によるオペラがある。」とあったのは、「……アーン等による歌曲がある。」の誤りでした。お詫びして訂正いたします。

学会だより

○第1回日本生物防除協議会シンポジウム

～日本の生物防除を考える。露地 IPM の未来～
日時：2月28日(火) 11:00～17:30
場所：江戸東京博物館ホール 東京都墨田区横網 1-4-1
参加費：3,000円(講演要旨代)、懇親会は別途5,000円
申込み：日本生物防除協議会ホームページ
E-mail: symposium@e-hokuto.co.jp FAX: 03-3643-6538
(基調講演)「農林水産省における IPM 推進に向けた取組状況」藤井達也(農林水産省消費・安全局植物防疫課)
(特別講演)「海外における天敵利用の現状と将来展望」矢野栄二(近畿大学農学部)
(IPM 事例報告)「JA 大樹町でのバイオキパーの取組み」小野拓哉/「長野県におけるコナガのジアミド系殺虫剤抵抗性の実態と対策」北林 聡/「奄美諸島におけるゴマダラカミキリ類の生態とバイオリサによる防除」津田勝男/「群馬県の露地ナスにおける天敵利用防除体系の現状と展望」蓼沼 優/「鹿児島県における天敵利用の現状と今後の展望」柿元一樹/「高知県における IPM 技術と今後の展開について」中石一英/「交信かく乱剤(性フェロモン剤)を用いたコナガ防除の現地試験事例」山戸 潤

○日本農薬学会第42回大会

日時：3月6日(月)～3月8日(水)
会場：松山全日空ホテル 愛媛県松山市一番町3-2-1
愛媛大学城北キャンパス グリーンホール
共通教育講義棟 A 愛媛県松山市文京町3

〔広告掲載会社一覧〕 (掲載順)

- BASF ジャパン(株) ……農業総合
三井化学アグロ(株) ……主要品目
サンケイ化学(株) ……主要品目
バイエル クロップサイエンス(株) ……カウンシル
住友化学(株) ……主要品目
日本農薬(株) ……フェニックス
日本曹達(株) ……アベイル
日産化学工業(株) ……スターマイト
石原バイオサイエンス(株) ……プロパティ
アグロカネショウ(株) ……土壌消毒剤・線虫防除剤

日程：3月6日(月) 総会, 授賞式, 受賞講演, 特別講演
懇親会・受賞祝賀会
3月7日(火), 8日(水) 一般講演, シンポジウム
※6日の会場は松山全日空ホテル
7, 8日は愛媛大学城北キャンパス
事務局：日本農薬学会第42回大会組織委員会
〒790-8566 松山市梅味3-5-7 愛媛大学農学部
担当：西脇寿 TEL: 089-946-9973
E-mail: nishiwaki.hisashi.mg@ehime-u.ac.jp

主な次号予告

次号 29年3号に予定されている掲載記事は次のとおりです。

- 施設内におけるトマト葉かび病の発生生態と発病評価 伊藤博祐 鈴木俊二
輪作等によるパーティシリウム病害の防除の可能性 池田健太郎
粘着トラップで採集されたコナガサンプルを利用した抵抗性遺伝子診断の可能性 上杉龍士
ナミハダニの薬剤感受性検定における簡易な接種法の開発 國本佳範
質量分析を用いたハダニの同定 梶原英之
アカメ®: アカメガシワクダアザミウマの生態とアザミウマ防除技術の開発 森 光太郎
イラクのクルド地域における核果類害虫としてのタマムシ類の生態 藤家 梓
植物防疫基礎講座
植物病原菌の薬剤感受性検定マニュアル 2016
(14) ブドウベと病—CAA剤— (生物・遺伝子検定) 鈴木俊二
(15) ブドウベと病—QoI 剤— (生物検定) 綿打享子
(16) ブドウベと病—メタラキシル剤— (生物検定) 綿打享子
(17) ブドウベと病—QiI 剤— (生物検定) シアゾファミド 阿部ゆずか・瀧井康子
防除の羅針盤
リレー連載：農薬の製剤・施用技術の最新動向
①粒剤～その特徴と今後の展望～ 高鳥尚彦
天敵保護装置「バンカーシート®」を用いた新たな IPM 技術 高嶋庸平
植物病害ブドウ根頭がんしゅ病の生物的防除法の開発 後編「アメリカにおけるブドウ根頭がんしゅ病の発生実態～バージニア州を例として～」 川口 章
エッセイ：やじ馬撮影記 その8 野村昌史

植物防疫

第71巻 平成29年1月25日印刷
第2号 平成29年2月1日発行
(通算 842号)
編集 植物防疫編集委員会
植物防疫編集室
印刷所 三美印刷(株)
東京都荒川区西日暮里5-9-8

定価947円
本体877円

平成29年購読料
前払10,800円, 後払11,364円
(送料サービス, 消費税込み)

発行所
〒114-0015 東京都北区中里2丁目28番10号
一般社団法人 日本植物防疫協会
電話 (03) 5980-2181 (代)
FAX (03) 5980-6753 (支援事業部)
振替 00110-7-177867番

平成29年
2月号
(毎月1回1日発行)

本誌掲載記事の無断転載を禁じます。また、無断複写・複製(コピー等)は著作権法上の例外を除き禁じられています。

野菜、果樹、茶、だいず等の

チョウ目害虫

防除に!

ハスモンヨトウ

チャハマキ

オオタバコガ

モモシクイガ

コナガ

リンゴコカクモンハマキ

● ● ● ●
明日の
農業を
考える



殺虫剤 **フェニックス**[®]
顆粒水和剤

®は登録商標

日本農薬株式会社 東京都中央区京橋1丁目19番8号
ホームページアドレス <http://www.nichino.co.jp/>

●使用前にはラベルをよく読んでください。●ラベルの記載内容以外には使用しないでください。●本剤は小児の手の届くところには置かないでください。●空容器・空袋等は農場などに放置せず、適切に処理してください。

新発売

アセタミプリド・シアントラニリプロール粒剤

農林水産省登録
第23623号

殺虫剤

アベイル[®] 粒剤

Aから始める
害虫防除。



特長

- ◆セル苗やポット苗に対して育苗期後半の株元処理が可能です。
- ◆速効性と残効に優れ、害虫が媒介する病害をも減少させます。
- ◆混合剤の為、薬剤抵抗性害虫の発達抑制も期待できます。
- ◆天敵、訪花昆虫に対して影響の少ない薬剤です。



日本曹達株式会社

本社 〒100-8165 東京都千代田区大手町2-2-1
TEL: 03-3245-6178 FAX: 03-3245-6084
<http://www.nippon-soda.co.jp/nougyo/>

作用点まで しっかり届く!



殺ダニ剤

スターマイト[®]

7077フル



殺ダニ成分「シエノピラフェン」配合

だから…

- **抵抗性ハダニにもきちんと効く**
殺ダニ成分「シエノピラフェン」が、ハダニ体内にある「電子伝達系複合体II」にしっかり届き、その働きを阻害するので抵抗性ハダニにも優れた効果を発揮します。
- **卵から成虫まで、ハダニの全ステージにしっかり効く**
卵・幼虫・若虫・成虫とあらゆる生育ステージが混在して発生するハダニ類。全ステージに効くので、ハダニの様々な発生状況に対応できます。

●ラベルの記載以外には使用しないでください。●使用前にはラベルをよく読んでください。●本剤は小児の手の届くところには置かないでください。

 **日産化学工業株式会社**

商品に関するお問い合わせは 〒101-0054 東京都千代田区神田錦町3-7-1
農業化学品事業部 03-3296-8141 <http://www.nissan-agro.net/>

新規うどんこ病殺菌剤

プロパティ®

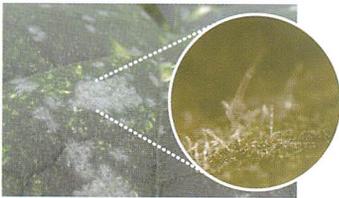
フロアブル

®は石原産業株式の登録商標

うどんこ病防除に2つの効果

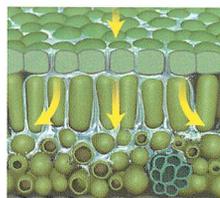
プロパティフロアブルの特長

1 サンテーション効果で 病斑拡大をブロック



胞子形成を著しく
阻害し、次世代の
病原菌密度を低
下させます。

2 マルチスプレッド効果で 病原菌からプロテクト



マルチスプレッド効果により、葉
内のあらゆる方向に広がった有
効成分が、一定期間留まることで
安定した防除効果が得られ、残効
性や耐雨性の向上に寄与します。

●うどんこ病菌の様々なステージに作用

付着器、吸器、胞子の形成、菌糸の伸長に作用し、うどんこ病菌の生育に関わる様々なステージにおいて阻害効果を発揮します。

●各種うどんこ病菌に優れた効果

既存の薬剤とは異なる新しい作用機構を持ち、表皮寄生性のうどんこ病はもとより、防除が困難な内部寄生性のうどんこ病にも高い効果を示します。

●天敵、有用昆虫に対する高い安全性

訪花昆虫や天敵に影響がほとんどなく、総合防除(IPM)に適合した薬剤です。

●使用前にラベルをよく読んでください。●ラベルの記載以外には使用しないでください。●本剤は小児の手の届く所には置かないでください。

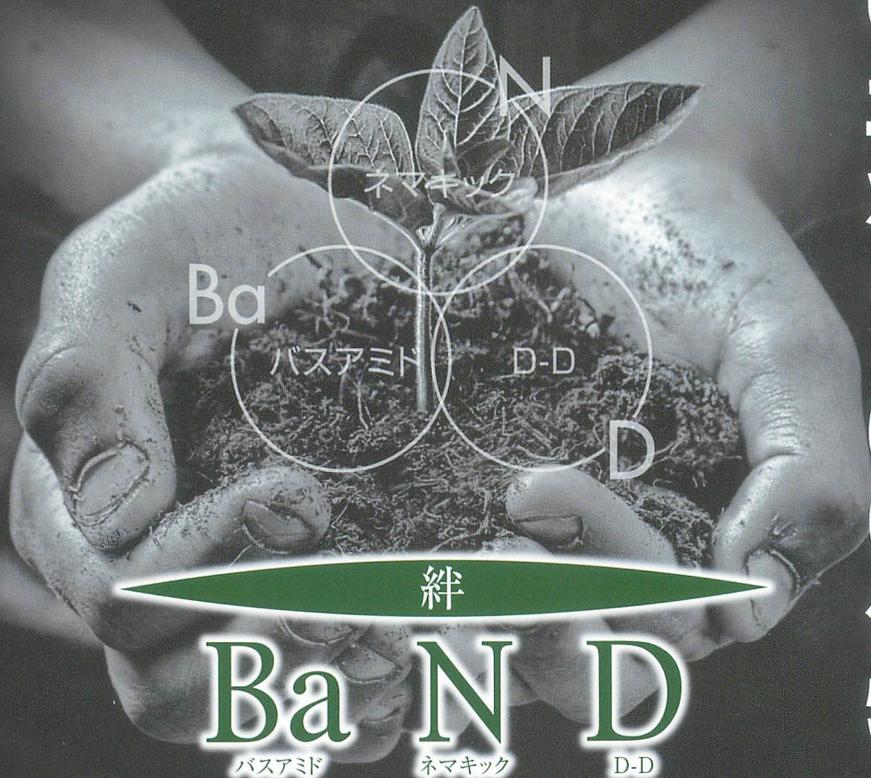


ISK 石原産業株式会社

ISK 石原バイオサイエンス株式会社

〒102-0071 東京都千代田区富士見2丁目10番2号

いい土から、いい作物。



アグロカネショウの土壤消毒剤

絆
Ba N D
バスアミド ネマキック D-D

で土壤を守る。

線虫問題にケリをつける!!

土壤病害・雑草防除に!

土壤センチュウ防除に!



ネマキック
粒剤



バスアミド
微粒剤

D-D

アグロ カネショウ

の
土壤分析

化学性や生物性の土壤診断を行います。

土壤の
養分分析

線虫や
菌の密度

土壤分析の詳細や申込みについては▼

アグロ カネショウ土壤分析室 [0296-21-3108] まで



アグロ カネショウ株式会社

東京都港区赤坂4-2-19
<http://www.agrokanesho.co.jp>

■製品のお問い合わせ

アグロ カネショウ(株) お客様相談係
04-2944-1117

