

## 4. 露地野菜の最新技術

露地野菜として、「IPM マニュアル」ではキャベツを取り上げたが、この「最新技術集」ではキャベツに加えてレタスも取り上げた。

### 1. キャベツ

「IPM マニュアル」では、キャベツの IPM に組み込む害虫防除技術の一つとして性フェロモン剤の利用が提示された。性フェロモン剤は、現在、複数種のチョウ目害虫を対象とした複合型の開発が進み、実用段階になっている。そこで「最新技術集」では、複合性フェロモン剤の利用によって害虫密度を一定以下に抑え選択性殺虫剤の使用を可能にし、温存できた土着天敵を有効利用する、大規模露地栽培における新たな害虫防除体系化技術を提示する。

将来 IPM 体系に組み込める病害防除技術として、「最新技術集」では微生物と低分子キチン資材の併用技術およびバクテリオファージの利用技術の2つを取り上げた。

根こぶ病の防除技術として、「IPM マニュアル」では病害抵抗性品種の利用、耕種的防除法としてセル成型育苗、土壌改良資材、対抗植物の利用等が提示されているが、それに加える技術として「低分子量キチンと微生物の併用によるキャベツ根こぶ病の防除技術」において、低分子量キチン資材に非病原性微生物の *Sphingomonas* 属細菌を組み合わせた生物的防除技術を取り上げた。

また、根こぶ病とともにキャベツの重要な細菌病害である黒腐病の防除技術として、「バクテリオファージと非病原性細菌を利用したキャベツ黒腐病の防除技術」において、バクテリオファージに非病原性細菌を組み合わせた生物的防除技術を取り上げた。

将来 IPM 体系に組み込める害虫防除技術として、「最新技術集」では害虫自動計数装置と画像撮影装置を組み合わせた発生予察システム、昆虫病原性ウイルスの利用技術の2つを取り上げた。

害虫の発生予察技術は「IPM マニュアル」では取り上げられていないが、「最新技術集」で

は「フィールドサーバ及び電撃殺虫器を用いた害虫発生予察システム」において、新しい害虫発生予察技術を取り上げた。この技術では、コナガの発生状況の情報に加え、気温、湿度、日射量、土壌水分などの圃場の環境情報と圃場を監視し作物の生育状況を把握できる画像情報を、インターネットでリアルタイムに得ることができる。コナガの発生状況は、フェロモンで誘引したコナガを安価な電撃殺虫器で殺虫しカウントすることで把握する。またフィールドサーバの画像モニタリング機能を活用することでコナガや作物に影響する未知の生物の動態も的確に把握できる。

微生物農薬の利用として「IPM マニュアル」では、細菌の非病原性エルビニア・カロトボラ剤と糸状菌のボーベリア・バッシアーナ剤が取り上げられているが、「最新技術集」では、将来技術として昆虫病原性ウイルスの利用を「昆虫病原性ウイルスを利用したヤガ類の防除技術」において取り上げた。既存の昆虫病原性ウイルスを利用した殺虫剤では、1ウイルスで防除できる害虫が1種に限られる場合がほとんどであるが、本技術はヨトウガから分離された比較的宿主範囲の広い核多角体病ウイルス(NPV)に、NPVの感染力増強作用を持つ顆粒病ウイルス由来のタンパク質を加えることで、複数の害虫に対して安定した防除効果を示す素材の開発を目指している点に新規性がある。

### 2. レタス

レタスは「IPM マニュアル」では取り上げられていないが、「最新技術集」ではレタスの重要な土壌病害である根腐病対策として、レース検定に基づく抵抗性品種の利用、輪作、地温抑制マルチの利用、発病時期を避けた作型の実施、病原菌の伝搬を阻止するための床土消毒や無病培土の使用等を組み合わせた防除体系を取り上げた。

(高橋賢司：中央農業総合研究センター)

## 複合性フェロモン剤と土着天敵を利用したキャベツ害虫の 体系化防除技術

### 1. はじめに

キャベツは全国で広く栽培される代表的な野菜で、葉茎菜類ではタマネギ、ハクサイと並んで生産量は100万トンを超える。栽培地域により作型は多様であるが、春に播種し夏から秋に収穫する夏秋キャベツ、初夏に播種し晩秋から冬にかけて収穫する冬キャベツ、秋に播種し春に収穫する春キャベツの3つに大別される。平成19年度の全国栽培面積は春キャベツが8,720ha、夏秋キャベツが10,000ha、冬キャベツが13,900haで、収穫量は1,348,500tに達する。

キャベツに発生する害虫は多く、農林有害動物・昆虫名鑑(2006)では、アブラナ科野菜の害虫として126種が記載されている。全国で栽培され、栽培時期も多様であるため、害虫の発生状況、防除の対象となる害虫相も地域、時期によって大きく異なる。主要害虫はダイコンアブラムシ、モモアカアブラムシなどのアブラムシ類、コナガ、モンシロチョウやカブラヤガなどのネキリムシ類、キスジノミハムシなどであり、これらに加えて関東以西の暖地においては、ハイマダラノメイガ、オオタバコガ、シロイチモジヨトウ、ハスモンヨトウ、イラクサギンウワバなどが、一方、寒冷地、高冷地ではヨトウガ、タマネギンウワバなどが問題となる。特にコナガは全国的に発生し、年間の発生世代数が多いため殺虫剤抵抗性を発達させやすく、薬剤による防除が困難な害虫である。そのため、害虫防除プログラムとしてはコナガを中心として組み立てられることが多い。

本稿では、複合性フェロモン剤によるコナガを中心とした複数チョウ目害虫の密度抑制を核とした防除体系に土着天敵の有効活用を併用し、化学合成殺虫剤の使用回数を50%以上削減した大規模産地キャベツの総合的害虫管理体系を解説する。

### 2. IPMに組み込む個別技術

#### 1) 現在利用できる技術

#### (1) 生物的防除法

##### a) ボーベリア・バッシアーナ剤

##### (i) 対象害虫及び作用機作

昆虫病原性糸状菌ボーベリア・バッシアーナの感染増殖体である分生子を有効成分とする微生物農薬である。分生子と昆虫の直接接触によって感染する。野菜類のコナガに農薬登録されており、キャベツにおいてもコナガに対して使用できる。

##### (ii) 使用方法

高い効果を得るためには、温湿度条件を適正に保つことが必要で、散布後15時間以上は温度18~28℃、湿度80%以上を維持することが重要である。キャベツにおいては、外葉形成期は葉面上が乾燥しやすいのでコナガに対する感染好適な湿度条件を維持することが難しい。しかし、結球期以降に使用すると結球葉付近の湿度は比較的高く維持されるので、より高い効果が期待できる。散布は日中よりも夕方おこなうと湿度条件を高めやすい。7日間間隔で2~3回散布すると効果が高い。また、本剤を複数回散布する途中にBT剤の散布を組み込むと、防除効果はより安定する。

##### (iii) 使用上の留意点

商品名ボタニガードESとして市販されている。本剤は入手後冷暗所に保存し、開封後は早めに使い切る。有効成分は生菌であるので、散布液調製後はそのまま放置せず、出来るだけ速やかに散布する。本剤に対して高い殺菌活性を持つ薬剤があるので、本剤の使用期間中に他剤を処理する場合には十分に注意する。蚕に対して影響があるので、桑畑が付近にある場所で使用する場合には桑葉にかからないように注意する。ミツバチに対して影響があるので、直接虫体及び巣箱にかからないようにする。

#### (2) 性フェロモン剤

##### a) 交信攪乱剤

##### (i) 対象害虫

コナガとオオタバコガに対しては、ダイアモ

ルア剤(コナガコン)とアルミゲルア・ダイアモルア剤(コナガコンプラス)が利用できる。コナガ、オオタバコガ以外にタマナギンウワバ、ヨトウガ、ハスモンヨトウ、シロイチモジヨトウを対象とする複合性フェロモン剤、アルミゲルア・ウワバルア・ダイアモルア・ビートアーミルア・リトルア剤(コンフューザーV)も利用できる。複合性フェロモン剤を利用することで、キャベツを加害する主要チョウ目害虫のうちモンシロチョウ、ハイマダラノメイガ以外のほとんどの種の交尾阻害が可能である。

#### (ii)使用方法

キャベツ定植前あるいは定植直後の交信攪乱対象害虫の発生密度が低いときから、キャベツ栽培地域全体に処理する。10a 当たりの処理量は、ダイアモルア剤が 200 本、アルミゲルア・ダイアモルア剤、アルミゲルア・ウワバルア・ダイアモルア・ビートアーミルア・リトルア剤が 100 本である。

長さ 60 cm 程度のグラスファイバー製の棒などを支柱として、1 本の支柱にダイアモルア剤は 5 本ずつ、アルミゲルア・ダイアモルア剤は 2 本ずつ、アルミゲルア・ウワバルア・ダイアモルア・ビートアーミルア・リトルア剤 2 本あるいは 4 本ずつ固定する。

ディスペンサーチューブの設置位置は、キャベツが十分に生育したときの作物頂部より高くなる(地上 40~50 cm 程度)ように調節する。あまり高くするとブームスプレーなどの防除機材を使用するときの支障となる。圃場には均等に配置することが望ましい。ダイアモルア剤では 5m 格子に、それ以外の剤については支柱に 2 本ずつ固定した場合は 4m×5m 格子に、4 本ずつ固定した場合は 6m×7m 格子に配置すると規定量を処理できる。

価格は、ダイアモルア剤が 200 本入りで約 10,000 円(10a 単価: 約 10,000 円)、アルミゲルア・ダイアモルア剤が 200 本入りで約 15,000 円(10a 単価: 約 7,500 円)、アルミゲルア・ウワバルア・ダイアモルア・ビートアーミルア・リトルア剤が 100 本入りで約 10,000 円(10a 単価: 約 10,000 円)である。

#### (iii)使用上の留意点

交信攪乱による防除では、ディスペンサーチューブから蒸散する性フェロモン成分が圃場全体に安定して保持されることが極めて重要である。したがって、できるだけ大面積に処理をする。コナガのみを対象とする場合は 3ha 程度の面積でも効果が得られるが、コナガ以外にも交信攪乱する場合は 10ha 以上の面積に処理することが望ましい。ただし、周辺が森林などで取り囲まれているような地域では、これ以下の面積でも安定した効果が得られる場合がある。傾斜地や恒常的に風が吹くような場所では、傾斜地の上部や風上側に処理量を多くするような、圃場条件に合わせた処理方法を工夫する必要がある。

性フェロモン剤を処理してからの効果持続期間は、約 3~3.5 カ月である。ただし、夏の高温期にはチューブからの放出量が多くなるので、高温期を経過する場合は 2.5~3 カ月程度と考えた方がよい。

大面積での処理を前提とするため、地域全体での共同利用となる場合が多い。その際、圃場によって栽培時期が異なる場合は、処理時期をできるだけ早い作型の圃場に合わせることを望ましい。

処理地域内に交信攪乱対象害虫が加害しない作物が栽培されている場合は、その作物の栽培の邪魔にならないように圃場周囲に規定量を処理しておく。葉菜類の栽培地帯では、レタスなどの圃場がパッチ状に混在する場合がある。しかし、レタスではオオタバコガによる被害が発生するため、それを対象害虫として交信攪乱効果を上げることが可能であり、処理圃場のとりまとめの支障とはならない。

性フェロモン剤による交信攪乱は導入初年目から高い防除効果を得られない場合がある。連年使用を続けることで地域全体の密度が徐々に抑制され、安定化していく(図1)。したがって、導入に際して、初年目からの大幅な殺虫剤の削減は困難な場合もある。

### (3)化学薬剤の定植期土壌処理

#### (i)対象害虫及び作用機作

定植期に薬剤を土壌処理することで定植から

1 カ月程度の生育初期の生長点を保護する。また、生育期間中に散布する殺虫剤に比較して天敵に与える悪影響が少ない。処理方法には、定植時植穴土壌混和、育苗期後半株元散布、育苗セルトレイ灌注処理などがある(表1)。薬剤の種類により効果の持続期間には若干の違いがあるが、定植後3~4週間程度は効果が期待できる。

いずれの剤も高い浸透移行性を有し、土壌に処理することで苗が有効成分を根から吸い上げ、植物体全体に広がる。定植時に薬剤を土壌処理しておく、コナガのみでなく、アブラムシ類、ハモグリバエ類、チョウ目害虫の孵化幼虫などの密度を抑制することが可能である。また、土壌処理した薬剤の残効が切れたあとに発生し始めるコナガ幼虫の齢期が若齢に集中し、発育ステージのばらつきが少なくなるのでその後の生育期散布剤による防除効果を高めやすい。

生育期散布剤による防除と異なり、土壌に局所的に処理され、作物体が有効成分を保持しているため、土着天敵などの非標的生物に対する影響は極めて小さい。

#### (ii)使用方法

植穴土壌混和する薬剤では、定植時に規定量の薬剤を苗を定植する植穴に入れ、土壌と十分混和した後にキャベツ苗を定植する。栽培面積が広い場合は、処理に大きな労力がかかる。移植機を利用している場合は、移植機に粒剤処理用のアタッチメントを取り付けることで処理労力を軽減することが可能である。

育苗期後半に株元散布する薬剤では、定植の前日あるいは当日に、規定量の薬剤をセル成型育苗トレイの苗の株上から株元に散布する。苗の葉上に残った薬剤を培土上に軽く払い落とし、その後軽く灌水し、薬剤を株元に落ち着かせる。

定植時にセル成型育苗トレイに灌注処理する薬剤では、定植当日に規定希釈倍数及び規定量の薬剤をジョロなどを用いてセル成型苗の上から灌注散布する。育苗施設に自動灌水装置がある場合は、薬剤を灌水用のタンクに入れて灌水装置で処理することも可能である。土壌処理する薬剤の中では、もっとも省力的な処理方法である。また、この処理方法は高濃度の薬剤を苗

に直接灌注散布することになるので、定植直前の苗に害虫が発生していても防除されることになり、害虫が発生していない苗を定植することができる。

#### (iii)使用上の留意点

有効成分を作物の根から吸収させるため、薬剤によっては葉縁の白化などの薬害が発生するおそれがある。したがって、使用薬量、使用時期は厳密に守る必要がある。また、徒長苗や老化苗に処理すると、薬害が発生しやすくなる場合がある。植穴土壌混和する薬剤では、土壌水分が極端に高い状態で処理すると薬害を引き起こす場合があるので適切な土壌水分時に処理、定植する。また、定植後に乾燥条件が続くと根からの有効成分の浸透が抑制されるので、定植後には灌水することが望ましい。

定植前日あるいは当日にセル成型育苗トレイに粒剤を処理する場合は、処理前に灌水がおこなわれていると処理した粒剤が濡れた葉に付着して株元に落ちにくくなる。苗の葉が乾いてから薬剤を処理するか、薬剤処理後に灌水するようにする。

セル成型育苗トレイに薬剤を灌注する場合は、灌水後に灌注すると薬剤が培土に浸透しにくくなるので、灌水の代わりに薬剤を灌注するようにする。

セル成型育苗トレイに薬剤を処理する場合は、いずれの処理方法においても処理後、定植までの日数を空けない。少ない容量の培土に薬剤が処理されているため、処理後定植されずに、苗のまま時間が経過すると薬害の発生を助長する場合がある。薬剤処理後、降雨などで定植ができずに数日間放置されることがないように、できるだけ定植の直前に処理されることが望ましい。



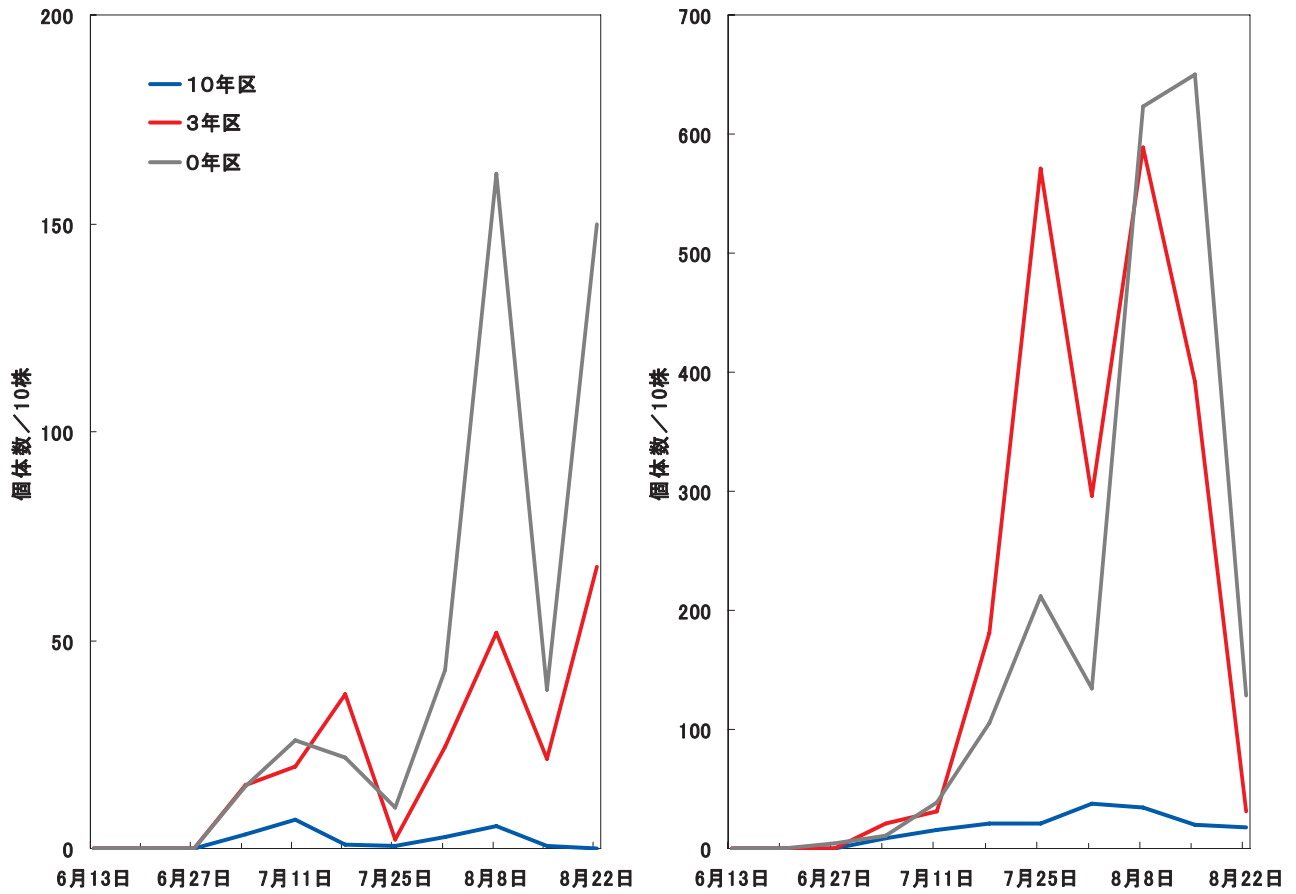


図1 性フェロモン剤による交信攪乱継続年数の違いによるキャベツ株上のコナガ幼虫発生量の違い（左：非選択性農薬散布条件，右：農薬無散布条件）

表1 キャベツに登録のある定植期土壌処理剤

薬剤名	対象害虫	使用量・希釈倍数	使用方法	使用時期
ベンフラカルブ粒剤 5	コナガ, アオムシ, アブラムシ類	1~2g/株	株元散布	育苗期後半
			株元散布又は植穴土壌混和	定植時
カルボスルファン粒剤	コナガ, アオムシ, アブラムシ類	1~2g/株	株元散布	育苗期後半
			株元散布又は植穴土壌混和	定植時
ベンフラカルブ粒剤1	コナガ, アオムシ, アブラムシ類	3~6g/株	植穴土壌混和	定植時
イミダクロプリド粒剤 1	アブラムシ類	0.5g/株	植穴土壌混和	定植時
		1g/株	植穴土壌混和	定植時
		1~2g/株	株元散布	定植時
アセタミプリド粒剤	コナガ, アオムシ, アブラムシ類	0.5~1g/株	株元散布	定植前日~当日
	ハイマダラノメイガ, ハスモンヨトウ	0.5g/株	株元散布	定植前日~当日
	コナガ, アオムシ	1~2g/株	植穴土壌混和	定植時
ベンフラカルブ粒剤8	コナガ, アオムシ	1g/株	株元散布	定植時
ベンフラカルブ マイクロカプセル剤	コナガ	100~200 倍 0.5l/セル成型育苗トレイ	灌注	定植時
ダイアジノン ・ベンフラカルブ粒剤	コナガ, アブラムシ類	1g/株	株元散布	育苗期後半
		2g/株	植穴土壌混和	定植時
チアメキサム水溶剤	アブラムシ類	100 倍 0.5l/セル成型育苗トレイ	灌注	育苗期後半
		アブラムシ類	1~2g/株	
チアメキサム粒剤	コナガ, アオムシ, ハイマダラノメイガ	2g/株	株元散布	育苗期後半
	アブラムシ類	2g/株	植穴処理	定植時
	ハイマダラノメイガ			
フィプロニルフロアブル	コナガ, ハイマダラノメイガ	100 倍 0.5l/セル成型育苗トレイ	灌注	定植前まで
クロチアニジン粒剤	コナガ, アオムシ, ハイマダラノメイガ, ネキリムシ類, アブラムシ類	0.5g/株	株元散布	育苗期後半
	コナガ, アオムシ	2g/株		
	ハイマダラノメイガ	1~2g/株	植穴処理土壌混和	定植時
ジノテフラン粒剤	アブラムシ類	1g/株		
	アブラムシ類	2g/株		
	コナガ, アオムシ	2~3g/株	植穴土壌混和	定植時
ジノテフラン水溶剤(顆粒)	コナガ, アオムシ, アブラムシ類	50~100 倍 0.5l/セル成型育苗トレイ	灌注	定植前日~定植時
	ハイマダラノメイガ	50 倍 0.5l/セル成型育苗トレイ	灌注	定植前日~定植時
イミダクロプリド ・フルベンジアミドフロアブル	コナガ, アブラムシ類	100 倍 0.5l/セル成型育苗トレイ	灌注	定植3日前~定植時

### 3. IPM マニュアルの事例

#### 1) 実施可能な IPM マニュアルの事例

##### (1) 長野県の夏秋どりキャベツにおける IPM マニュアル

長野県における栽培は、4月上旬から定植が始まり、10月上旬まで収穫が続く。中心は4月下旬以降に定植期を迎える作型で、9月下旬までが収穫の最盛期となる夏秋どりキャベツである。夏秋どりキャベツで主に発生する害虫は、コナガ、モンシロチョウ、タマナギンウワバ、ヨトウガ、オオタバコガ、モモアカアブラムシ、ナモグリバエなどである。病害では、根こぶ病、黒腐病、バーティシリウム萎凋病、軟腐病などがあげられる。薬剤による防除は、成分回数で示すと害虫対策で育苗期に2回、外葉形成期に5回(BT剤を含むと6回)、結球始期～結球肥大期に7回(BT剤を含むと8回)、病害対策で育苗期に1回、定植前に1回、外葉形成期に1回(銅剤を含むと2回)、結球始期～結球期に5回(銅剤を含むと6回)、病虫害併せて合計22回(BT剤、銅剤を含むと26回)散布されている。

これらの現状に基づく IPM モデルは次のように組み立てられる。

育苗期にハウス開口部を防虫ネットで被覆すると、ほとんどの害虫の侵入を抑制することが可能であり、コナガ対策として微生物農薬のボーベリア・バッシアーナ剤の利用も可能である。

定植前に、栽培地域全体に性フェロモン剤を処理することで地域のコナガ発生密度を抑制することができ、薬剤による防除が容易になる。また、複合性フェロモン剤を利用することでコナガ、オオタバコガのみならずヨトウガ、タマナギンウワバを含めた密度抑制が可能となる。ただし、長距離飛翔が可能なオオタバコガ、タマナギンウワバなどの交信攪乱を考慮すると、10ha以上のまとまった面積での利用でないと交信攪乱効果が期待できないので、複数の生産者をまたがった圃場のとりまとめが必要である。定植期に殺虫剤を土壌処理することでキャベツ生育初期(定植から3～4週間程度)の生長点の保護が可能となり、その後の害虫の発育ステージも比較的そろっているため、生育期散布剤に

よる防除が容易となる。また、チョウ目害虫の防除を選択性殺虫剤のみでおこなうことでアブラバチ、ヒラタアブ、シヨクガタマバエ、クサカゲロウ、テントウムシなどアブラムシ類の寄生性や捕食性の土着天敵が温存され、アブラムシ類の防除は容易になる。また、結球期以降になると葉枚数が増加してくるため結球部付近の葉と葉の間の湿度が高くなり、微生物農薬ボーベリア・バッシアーナ剤のコナガに対する感染好適条件が整う。

病害については、現状は地上部病害に対するスケジュール的な防除が主体である。将来的には降雨などの気象要因を考慮した適期防除により、主に黒腐病、軟腐病などの細菌性病害に対して効率的な防除が期待できる。さらに、軟腐病に対する非病原性エルビニア・カロトボーラ剤や黒腐病に対する拮抗微生物の活用により、化学合成農薬の削減が可能である。根こぶ病、バーティシリウム萎凋病などの土壌病害については、非寄主作物との輪作体系下で土壌中菌密度の増加を抑制するとともに、抵抗性品種の活用などにより防除が可能となる。

表2 大規模産地キャベツにおけるIPMマニュアル（長野県・露地栽培・夏秋どり）作物・品種：若峰

生育段階	対象病害虫	IPM体系防除(薬剤防除回数)	慣行防除(薬剤防除回数)
育苗期	べと病	TPN水和剤(1)	TPN水和剤(1)
	コナガ	エマメクチン安息香酸塩乳剤(1) ハウス開口部ネット被覆	テフルベンズロン乳剤(1)
	アブラムシ類	ハウス開口部ネット被覆	DDVP乳剤(1)
定植前	根こぶ病	抵抗性品種の利用	フルスルファミド粉剤(1)
	コナガ, (タマナギンウワバ, ヨトウガ, オオタバコガ)	ダイアモルア剤, アルミゲルア・ダイアモルア剤またはアルミゲルア・ウワバルア・ダイアモルア・ビートアーミルア・リトルア剤 1)	
定植期	コナガ, モンシロチョウ, アブラムシ類	ジノテフラン顆粒水溶剤 セルトレイ灌注処理(1)	
外葉形成期	べと病	ジメトモルフ・銅水和剤(1)	ジメトモルフ・銅水和剤(1)
	軟腐病, 黒腐病	塩基性硫酸銅水和剤	塩基性硫酸銅水和剤
	コナガ, モンシロチョウ	フルベンジアミド顆粒水和剤(1)	BT水和剤 フルフェノクスロン乳剤(1) エマメクチン安息香酸塩(1)
	モンシロチョウ, アブラムシ類		アセフェート水和剤(1) DDVP乳剤(1)
	アブラムシ類		アセタミプリド水溶剤(1)
結球始期	軟腐病, 黒腐病	オキシリニック酸水和剤 2) (1) 塩基性硫酸銅水和剤	オキシリニック酸水和剤 2) (1) 塩基性硫酸銅水和剤
	菌核病	イプロジオン水和剤(1)	イプロジオン水和剤(1)
	コナガ, モンシロチョウ	ピリダリルフロアブル(1)	エマメクチン安息香酸塩(1) クロルフェナピルフロアブル(1)
	モンシロチョウ, アブラムシ類		アセフェート水和剤(1)
	アブラムシ類		イミダクロプリドフロアブル(1)
結球期	軟腐病, 黒腐病, 株腐病	オキシリニック酸水和剤 2) (1) バリダマイシン液剤(1)	オキシリニック酸水和剤 2) (1) バリダマイシン液剤(1)
	菌核病	イプロジオン水和剤(1)	イプロジオン水和剤(1)
	コナガ, モンシロチョウ	BT水和剤 ボーベリア・バッシアーナ剤	BT水和剤
	モンシロチョウ, アブラムシ類		DDVP乳剤(1) フェンバレレート・マラソン乳剤(2)※
	薬剤防除合計回数	11	22
防除資材費合計	43,600円	54,800円	

有機農産物で使用が認められている薬剤については、防除回数から除外した。防除資材費は育苗圃 10 m<sup>2</sup>、本圃 10a を想定。

注:1)ダイアモルア剤とアルミゲルア・ダイアモルア剤はコナガ, オオタバコガに対して, アルミゲルア・ウワバルア・ダイアモルア・ビートアーミルア・リトルア剤は, コナガ, オオタバコガ, タマナギンウワバ, ヨトウガ, ハスモンヨトウ, シロイチモジヨトウに対して適用登録を有する。

2)オキシリニック酸水和剤はキャベツの軟腐病に対して適用登録を有する。

(豊嶋悟郎：長野県野菜花き試験場)



## 将来技術 低分子量キチンと微生物の併用による キャベツ根こぶ病の防除技術

### 1. はじめに

アブラナ科野菜に発生する根こぶ病は *Plasmodiophora brassicae* Wor. によって引き起こされる土壌病害である。本病害の防除は抵抗性品種の利用やフルスルファミド、シアゾファミド等の薬剤を土壌に施用する方法が中心である。しかし、抵抗性品種であってもそれを侵す病原菌の系統の出現により罹病化するなどの問題がある。また、環境保全型農業の推進に伴い、それに適用できる新たな防除技術の開発が強く求められるようになってきた。そこで、発病抑制効果のある天然物由来の資材や微生物の有用機能を効果的に組み合わせた防除技術の開発を行った。

まず、糸状菌細胞壁の構成成分であるキチンが土壌病害に対する抑制効果を示す(Mitchell, 1963)ことに着目し、キチンおよびこれを低分子量化した資材(門田ら, 2003)の発病抑制効果を検討した。次に、キャベツ萎黄病の場合、キチン資材を施用した畑にキャベツ萎黄病菌の病原性喪失株を処理した苗を移植すると、キチン質資材を単独で用いるよりも防除効果が顕著に向上する(吉田ら, 2003)。そこで、この現象をキャベツ根こぶ病の防除に応用するために、健全キャベツ葉から分離される細菌の中からキチン資材の発病抑制効果を向上させる菌株を選抜した。最後に、これらの効果的な施用方法について検討し、圃場における防除効果を検定した。

本稿では、低分子量キチンと細菌を利用したキャベツ根こぶ病の新たな防除技術を将来技術として提示する。

### 2. 本技術の想定される作用機作

本技術の根こぶ病の発病抑制メカニズムは、キチン資材や微生物を処理することで宿主に抵抗性が誘導され、病原菌の植物体への侵入や増殖が抑制されるとともに、根こぶが形成された場合でもその周囲に外観上健全な根の伸長が促進されているものと推察される。

### 3. 技術の概要

#### 1) 資材の特徴

##### (1) 低分子量キチン(Low Molecular Chitin ; LMC)

LMC はカニ殻を原料として調整されたキチン質資材であり、分子量が 3,000~50,000 のキチンを 20~25% 含む。本資材は未分解のキチンと比較して、少量でもキャベツの土壌病害の一種であるキャベツ萎黄病に対する防除効果を発揮する(門田ら, 2003)。その理由として、一定の分子量のキチン断片には強いエリシター活性がある(Yamada et al., 1993)ことから、LMC として加工した分子量のキチンは、未分解のキチンと比較して高い抵抗性誘導能をもつと考えられる。形状は乳白色の粉末である(図 1)。使用時は所定濃度となるように水に懸濁する。なお、LMC の有効成分であるキチンはこの分子量では水に不溶性であるので、使用時は沈殿しないように時々かき混ぜる必要がある。

##### (2) LMC と併用する微生物

LMC と併用する微生物としては、健全キャベツ葉から分離されるグラム陰性細菌の中から、細菌同定キット(ビオメリュー社 ; API20NE)で *Sphingomonas* 属に同定される菌株から選抜し(永坂・門田, 2005), e28 株を供試した。

本細菌株は、普通寒天培地や King B 培地などで培養が可能である。これらの培地上での集落は黄色を呈する(図 1)。使用時は King B 培地で培養した菌体を蒸留水で所定濃度に懸濁する。

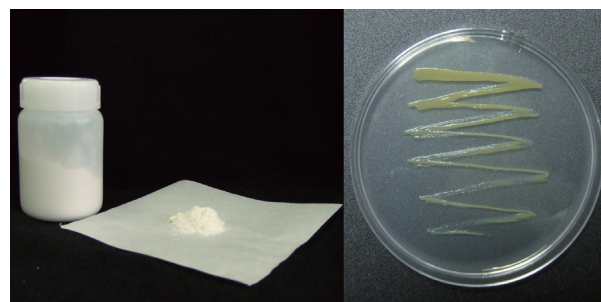


図 1 LMC(左)と選抜した細菌株(右)

## 2) 資材による防除効果の試験例

### (1) LMC の単独使用

LMC の防除効果について圃場試験により検討した。セルトレイで育苗したキャベツ苗(品種: YR 青春 2 号)を根こぶ病菌に汚染された試験圃場に移植し、その株元に LMC 懸濁液を 1 個体当たり 80 mg となるように灌注した。また、これとは別に、移植時の植え穴に約 1 g の純化キチンを施用してキャベツ苗を移植した区、フルスルファミド粉剤を 20 kg/10 a 土壌施用した薬剤区、キチン資材や薬剤を全く施用しなかった無処理区を設定した。その後、慣行に従って栽培し、収穫時に発病程度を調査した。その結果、薬剤防除区は無処理区と比較して明らかに発病度が低かった。一方、純化キチンや LMC を施用した区では、薬剤防除区に比べると防除効果はやや低いものの発病が抑制された(図 2)。

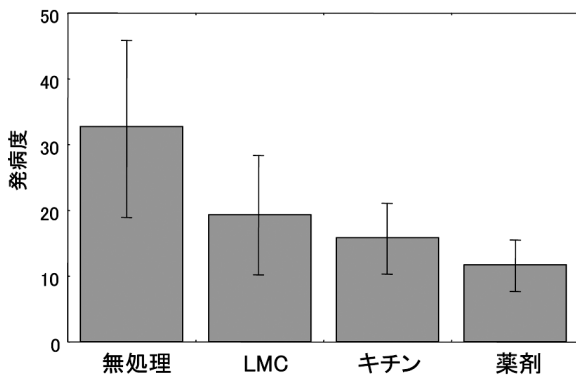


図 2 LMC およびキチンのキャベツ根こぶ病に対する発病抑制効果

### (2) LMC と細菌の併用

LMC と細菌を併用した場合の発病抑制効果についてポット試験により検討した。セルトレイで育苗した子葉期のキャベツ苗(品種: YR 青春 2 号)に選抜した細菌 e28 株の菌体懸濁液(約  $5 \times 10^8$  cfu/ml)を 1 個体あたり 5 ml となるように苗およびその株元土壌に噴霧処理した。その 4 日後に LMC を 1 個体あたり約 80 mg となるように苗およびその株元土壌に噴霧処理した。その翌日に根こぶ病菌休眠孢子混和土( $1 \times 10^5$  個/g 乾土)を詰めたポットに移植した。移植後にも LMC を噴霧処理(1 mg/ml 懸濁液 約 20 ml/個体, 約 7 日間隔で計 4 回)した。対照として無

処理区、細菌単独処理区を設けた。移植後に根部の肥大程度や細根の発根程度を調査した。その結果、細菌単独処理区では、根こぶ病菌の感染により肥大化した主根基部の直径が無処理区と比較して抑制された。また、LMC と細菌を併用した場合、その効果が向上した(図 3)。主根基部の肥大が抑制されたキャベツ苗では、細根の発根が旺盛になった(図 4)。

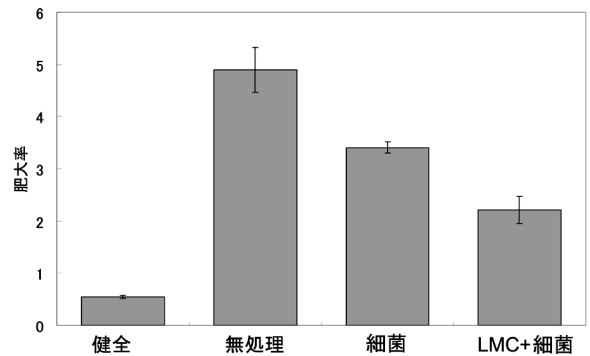


図 3 LMC と細菌が根こぶ病菌によるキャベツ苗の根部肥大に与える影響

$$\text{肥大率} = \frac{(\text{主茎直下約5mmの主根の直径})}{(\text{主茎第1節の中央部の直径})}$$

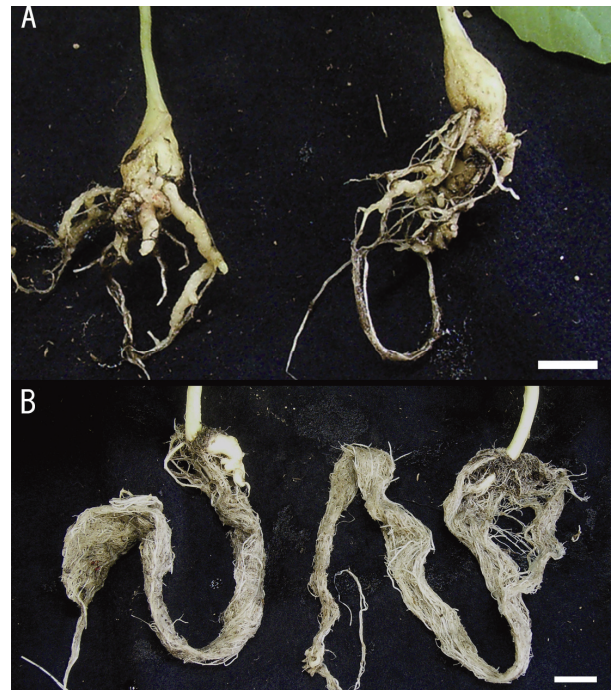


図 4 LMC と細菌の併用が根こぶ病に感染したキャベツ苗の根の発達に与える影響

A: 無処理, B: LMC+細菌, バーは 10 mm。

次に、LMC と細菌を併用した場合の防除効果を圃場試験で検討した。セルトレイで育苗したキャベツ苗(品種: YR 青春 2 号)に移植前日に菌

体懸濁液(約  $5 \times 10^8$  cfu/ml)を1個体当たり5 ml 灌注し, 移植直後の苗の株元に LMC を1個体当たり 200 mg となるように灌注処理した。さらに移植 10 日後から LMC 懸濁液(1 mg/ml)を約 10 日間隔で3回, 葉面に散布した。比較対照としてシアゾファミド剤を移植前日にセルトレイに処理した区と無処理区を設けた。その結果, LMC と細菌を併用した区ではシアゾファミド剤と同等の防除効果が認められた(図5)。

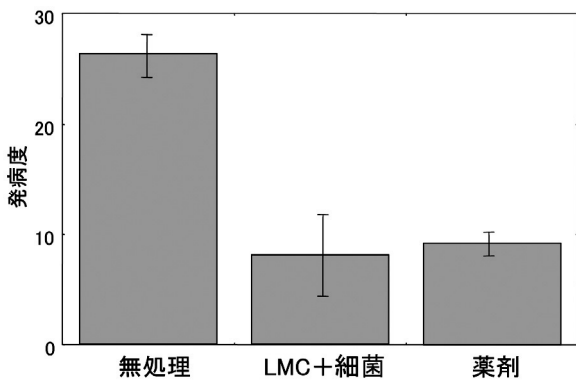


図5 LMC と細菌の併用によるキャベツ根こぶ病の発病抑制効果

ところで, 同じ圃場で同じ資材を用いても, 防除効果が得られない場合があった。図6は図5と同じ圃場における試験結果である。試験時の栽培条件の違いとして, ビニルマルチで畝全体を被覆し, さらに防虫ネットをトンネル状に設置することにより虫害の防除を行った。資材の処理はセルトレイで育苗した苗に対して行い, 移植8日前に細菌懸濁液(約  $5 \times 10^8$  cfu/ml)を1個体当たり5 ml を灌注し, さらに LMC を移植前日に1個体当たり 80 mg となるように灌注した。移植後は, LMC を 0.5 mg/ml に調整した懸濁液を移植 20 日と 46 日後に葉面散布した。

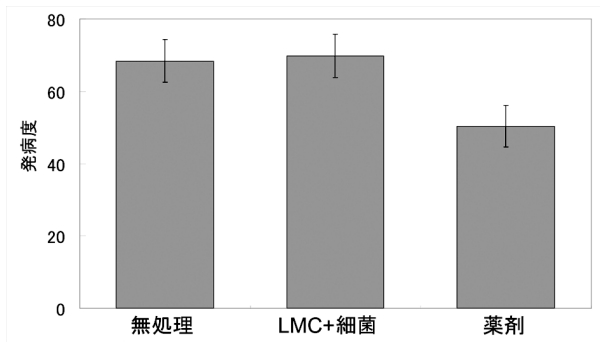


図6 防除効果が得られなかった試験の例

このような条件で試験を行った結果, 無処理区の発病度が約 70 と高く, 対象として用いた薬

剤(シアゾファミド剤のセルトレイ灌注処理)区でも防除効果は十分ではなかった。また, LMC と細菌を併用した区では防除効果が全く得られなかった。この理由として, 土壌をビニルマルチで被覆したことによって土壌水分が栽培期間全体を通じて増加し, 根こぶ病菌が継続的に感染を行って多発生となり, 防除効果が発揮されなかったものと考えられる。

### 3) 想定される利用方法

図7に本防除技術を実施する場合の手順を示す。まず病原菌の感染前に抵抗性を誘導する目的で, 移植前のキャベツ苗に細菌懸濁液を灌注処理し, 移植後の株元に LMC を灌注処理する。さらに, 防除効果を持続させる目的で, 移植 10 日後から 7~10 日間隔で LMC を 3 回茎葉散布する。

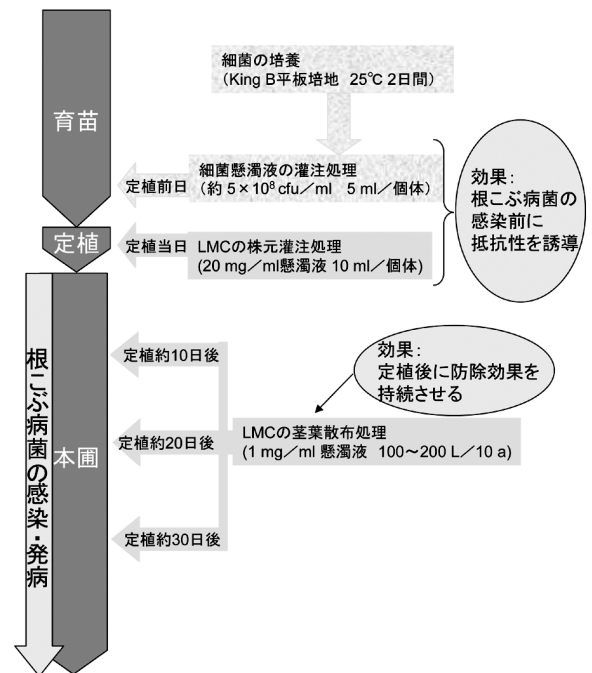


図7 LMC と細菌を併用したキャベツ根こぶ病防除の処理手順

以下に, 市販の 128 穴セルトレイで育苗し, 10 a あたり約 4000 株を移植して栽培する場合の具体的な処理方法を示す。

細菌懸濁液の灌注処理: 選抜した細菌 e28 株をキャベツ苗に定着させるために, 圃場に移植する 24 時間前に処理作業を行う。King B 平板培地で 25 °C, 2 日間培養した同細菌の菌体を蒸留水に懸濁し, 濃度を約  $5 \times 10^8$  cfu/ml に調

製する。これをセルトレイのキャベツ苗の株元に、1個体当たり約5mlずつ灌注する。処理量の目安はおよそ20L/10aである。

LMCの株元灌注処理: LMCは20mg/mlとなるように水に懸濁したものをを用いる。これを移植したキャベツ苗の株元に1個体当たり約10ml処理する。処理量の目安はおよそ40L/10aである。

移植後のLMCの茎葉散布: 移植して約10日後から、7~10日間隔で3回行う。LMCは1mg/mlとなるように水に懸濁し、展着剤を所定量混合したものをを用いる。これを茎葉の全体に十分にかかるように噴霧器等で散布する。散布量の目安は、およそ100~200L/10aである。

なお、同一圃場であっても土壌水分含量の増加による発病程度の上昇が起こった場合に、本技術の防除効果は殺菌剤と比較してより不安定となることが予想される。したがって、激発圃場や発病が激化するおそれのある排水不良の圃場では、本技術の利用を避ける。

#### 4. 今後の技術の開発方向

LMCと細菌は農薬登録していないので、現時点では生産現場で利用することはできない。本技術を実用化するためには、使用するLMCと細菌の製品化が必要である。LMCは現在市販されていないが、その製造方法は確立されている。一方、選抜した細菌については製剤化の検討を行っていないが、グラム陰性細菌を有効成分とした微生物農薬が既に開発・市販されていることから、それらの製剤化技術が応用できると考えられる。

資材のコストについては、現在市販されていないため正確な試算は困難である。参考までに、LMCはその概算価格を1g当たり10円程度とすると、10a当たりのコストは11,000~14,000円と予測される。このLMCに併用する細菌については、市販の微生物農薬(商品名: バイオキパー水和剤あるいはベジキパー水和剤)の価格から試算した場合、10a当たりのコストは2,600円程度と予測される。慣行栽培でキャベツ根こぶ病の防除に利用している薬剤のコスト

は、フルスルファミド剤(商品名: ネビジン粉剤)の全面土壌混和で10aあたり10,000~15,000円程度、シアゾファミド水和剤(商品名: ランマンフロアブル)のセルトレイ灌注では1,600円程度である。

本技術では定植直前から移植後にかけて資材を処理するという煩雑さが難点である。しかし、これらの資材で誘導される抵抗性は根こぶ病以外の病害に対しても防除効果を示す可能性がある。実際、移植後のLMCの葉面散布は、細菌性病害であるキャベツ軟腐病に対して防除効果は低いながらも認められている(門田ら, 2007)。このことから、本技術を根こぶ病を含む複数のキャベツ病害に対して抵抗性を誘導するものとしてとらえ、さらに他の防除資材や防除対策の併用によって防除効果を向上させることにより、本技術を核とした防除体系が開発される可能性がある。

#### 参考文献

- 1) 門田育生ら (2003): キチン・キトサン研究 **9**: 164~165.
- 2) ————ら (2007): 日植病報 **73**: 258.
- 3) Mitchell, R. (1963): *Phytopathology* **53**: 1068~1071.
- 4) 永坂厚・門田育生 (2005): 日植病報 **71**: 285.
- 5) Yamada, A. et al. (1993): *Biosci. Biotech. Biochem.* **57**: 405~409.
- 6) 吉田隆延ら (2003): 東北農業研究成果情報 **17**: 275~276.

(永坂厚・門田育生: 東北農業研究センター)



## 将来技術 バクテリオファージと非病原性細菌を利用した キャベツ黒腐病の防除技術

### 1. はじめに

キャベツ黒腐病（図 1）は、病原細菌 *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* (Xcc) によって引き起こされる病害で、キャベツに限らず、ハクサイ、ブロッコリー、ダイコン、カブなども同じ病原細菌によって同様の病害が起る。本病は主に葉縁の水孔から感染し、感染部位から葉の基部方向に葉の黄化と葉脈の黒変を引き起こしながら進展する。また虫の食害痕や傷口も重要な感染部位となる。

本病は感染してから病徴が現れるまでに1週間以上かかるが、高温期では病徴が出てからの病斑の進展が早いため、病徴を確認してから薬剤を散布しても病気の進展を抑えきれない。このため銅剤を予防的に施用するのが一般的である。しかし、結球期以降の銅剤散布は薬害を生じるため、結球期以降の発病に対する効果的な防除剤の開発が必要である。



図1 キャベツ黒腐病発生圃場（上）と被害株

黒腐病に限らず、植物病原細菌によって引き起こされる病害は難防除のものが多く、効果的

な薬剤も少ない。病原細菌に対して拮抗的に作用するエルビニア・カロトボーラやシュードモナス・フルオレッセンスを用いた生物防除剤も開発されているが、その数は少なく、IPM技術の開発や有機農法の推進において新たな生物防除剤の開発が重要な課題となっている。

本稿では、黒腐病防除の将来技術として、バクテリオファージとを組み合わせた生物的防除技術を紹介する。

### 2. バクテリオファージを用いた防除における、想定される発病抑制機構

バクテリオファージ（ファージ）は細菌に感染するウイルスで、その多くは特定の宿主細菌にのみ感染し、殺菌（溶菌）する特徴を持つ。ファージを用いて植物細菌病を防除する方法は20世紀前半から研究されてきたが、

- ・ 紫外線等の環境要因により、容易に活性を失う
  - ・ 同一種細菌内にもファージの感染を受けるかどうかで異なる系統（ファージ感染型）が存在するため、1種類のファージで同一細菌種すべてを溶菌できるとは限らない
  - ・ ファージ耐性菌が容易に出現する
- などの問題があり、実用化された技術は無かった。

しかし、近年になって環境保全型農業の推進、作物の病害防除に対する考え方の変化（完全に発病を抑えるのではなく、実害の無いレベルに発病をコントロールする）、さらにはファージと細菌に関する知識の蓄積により、ファージを用いた植物細菌病害の防除技術の開発が行いやすい環境となり、実際、ファージを用いた植物病害の防除技術開発の研究が多く見られるようになった（井上，2008）。

ファージを防除に用いる上での問題を解決する手法として、現在、

- ・ ファージ保護剤の探索と利用
- ・ 正確なファージ感染型の調査
- ・ 耐性化した細菌に対して溶菌反応を示すフ

ファージの分離 (h-mutant の作製) が試みられている (畔上・小原, 2003; 畔上ら, 2006, 井上ら, 2008; Iriarte et al., 2007; Jackson, 1989; 塚本ら, 2008)。

ファージを用いた病害の防除において重要なことは、ファージによって病原細菌を殺菌し、感染を阻害することである。この効果を高めるためには、十分量のファージを施用し、それらを環境要因による不活性化から保護し、作用部位で安定して存在できるようにすることが重要である。

そこで、非病原性細菌と病原細菌の両方に感染するファージを準備し、ファージ散布時に非病原性細菌を混ぜて施用することを考えた (畔上・小原, 2003; 畔上ら, 2006)。非病原性細菌を混ぜて施用することによって、非病原性細菌はファージを環境要因から守る保護剤となり、増殖するための培地となる可能性がある。また、非病原性細菌が病原細菌との間で生存場所や養分の競合といった、いわゆる拮抗的な作用が働くことで、防除効果の増強が期待できる。

ここでは、開発中の非病原性細菌とファージを用いたキャベツ黒腐病の防除技術を紹介する。

### 3. 技術の概要

#### 1) ファージおよび非病原性細菌の準備

非病原性細菌として、病原細菌と同種で植物に対する病原性が無いことを確認した *Xanthomonas campestris* 98106 株を用いた。ファージとして、宿主域が広く Xcc と 98106 株を同時に溶菌するファージ (Xocp1, Xop20S) を用いた。広宿主域ファージは形成するプラーク (溶菌斑) が小さいのが特徴である (図 2)。また、98106 株を溶菌せず Xcc の一部の菌株のみ溶菌するファージ (XcpSFC211, XcpGTB311)

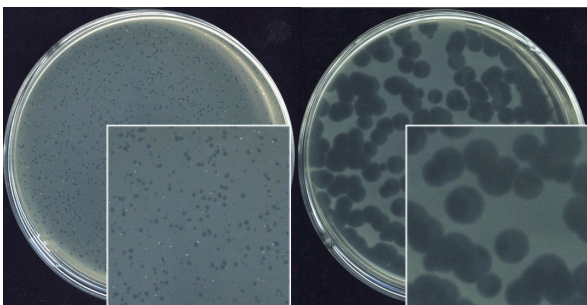


図 2 Xop20S (左) と XcpSFC211 のプラーク

も用いた。これらは Xcc に対して大型のプラークを形成することから Xcc に対する感染・溶菌能が高いと考えられる。

#### (1) ファージ液の調整

高濃度のファージ液は容易に作成できる。まず、YP 液体培地 (酵母エキス 5 g, バクトペプトン 10g, 蒸留水 11, pH6.8) 10ml 中で、宿主となる細菌 (98106 株) を 600nm の吸光度 (OD<sub>600</sub>) が 0.7 になるまで培養する。この時点で各ファージを  $1 \times 10^8$  個程度加え、さらに培養を続けると培養液中の細菌による濁りが薄くなり、OD<sub>600</sub> が 0.2 以下まで減少する (図 3)。

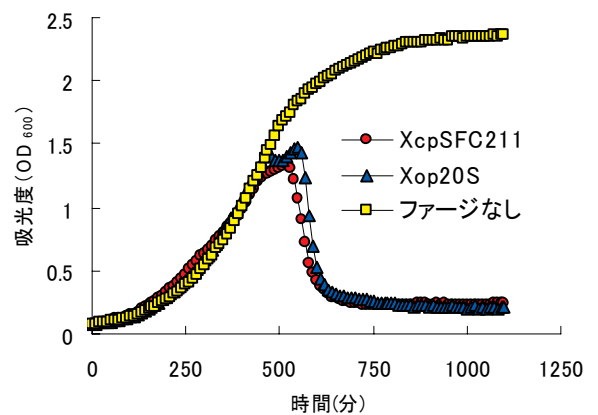


図 3 ファージ添加による細菌培養液の吸光度の変化

矢印はファージを添加した時間を示す

この時点で培養液を遠心分離し、上清を目合いが  $0.22 \mu\text{m}$  のろ過フィルターでろ過するか、または 1/100 量のクロロフォルムを加えることによってファージを回収する。このように作製した溶液中のファージ濃度はファージの種類によってほぼ一定であり、Xocp1 では 1 ml あたり  $5 \times 10^{10} \sim 1 \times 10^{11}$  個、Xop20S では  $1 \times 10^9 \sim 1 \times 10^{10}$  個になる。この溶液中でファージは比較的安定して維持され、冷蔵保存で半年以上活性が保たれる。なお、このように作製したファージ液は培地を多量に含むことから、培地に含まれる成分の影響を排除するためには透析や、一旦ファージを沈殿させてから溶液の交換を行う等の処理が必要となる。また、ファージはスキムミルクと混ぜて凍結乾燥を行うことで活性を維

持したまま乾燥させることができるので、製剤化を行う際にはこのような手法を検討するのが良い。

## (2) 非病原性細菌液の調整

非病原性細菌はジャガイモ半合成培地（ジャガイモ 200g の煎汁 1000ml, 硝酸カルシウム 4 水和物 0.5g, リン酸水素 2 ナトリウム 12 水和物 2g, ペプトン 5g, スクロース 20g, 寒天 15g, pH6.8）で培養を行った。直径 9cm のシャーレで培養した場合、培養 3～4 日目のものを 15ml の滅菌水でけん濁すると 1 ml あたり  $4 \times 10^9$  個の濃度となる。この菌液は作成後 8 時間以内に使用した。

非病原性細菌は、研究段階では培養した細菌をそのまま利用するため、菌濃度および作製から使用するまでの時間等に制約があるが、これまでの生物防除資材作製の凍結乾燥等の手法を応用することで、上記問題は解決されると考えている。

## 2) ファージ単独施用の防除効果

ファージをキャベツ葉面に単独で散布しても防除効果は認められなかった。その 1 例として、2006 年 9～11 月に中央農業総合研究センター内試験枠で行った試験を示す（表 1）。この試験で処理したファージは Xocp1 と Xop20S をそれぞれ 1 ml あたり  $1 \times 10^6$  個であったが、ファージ濃度を 100 倍にしても、ファージを溶菌効果の高い XcpSFC211 に代えても効果は認められず、ファージを紫外線から保護する効果があるといわれているスキムミルクの添加も効果が無かった。この結果は、これまでに他の細菌病の防除でも言われていたとおり、ファージ単独では防除効果が得られにくいことを示している。

表1 ファージ単独施用による防除効果

	発病度	防除価
無防除	55.2	
ファージ処理	53.2	3.6
慣行処理	27.8	49.6

処理したファージはXocp1とXop20Sをそれぞれ1mlあたり $10^6$ 個、慣行処理は銅水和剤500倍処理

## 3) 非病原性細菌単独施用の防除効果

次に非病原性細菌をキャベツ葉面に単独で散布し、防除効果を見たところ、試験で用いた非病原性細菌は単独施用でもキャベツ黒腐病に対して高い防除効果を示した。しかし、安定して効果を出すためには 1 ml あたり  $10^8$  個以上の濃度が必要なが明らかとなった。実際の圃場試験の例として 2006 年 7～8 月に長野県軽井沢町で行った試験を表 2 に示す。この試験では 1 ml あたり  $10^7$  個の非病原性細菌を 3 回施用したが、非病原性細菌単独処理区では試験区によって効果にばらつきが見られた。また、多発生条件下では低濃度の非病原性細菌では防除効果は期待できない。これに対して 2008 年 5～7 月に中央農業総合研究センター内圃場で行った試験では、1 ml あたり  $10^8$  個の非病原性細菌 3 回施用区では非常に高い防除効果が見られた（表 3）。

表2 非病原性細菌とファージ処理による防除効果

処理区	試験区1		試験区2	
	発病度	防除価	発病度	防除価
無処理	48.3		45.6	
銅水和剤	43.9	9.2	50.9	-
非病原性細菌	50	-	36.7	19.6
非病原性細菌+ファージ	33.3	31	31.7	30.6

銅水和剤は500倍処理、非病原性細菌98106株は1mlあたり $2 \sim 3 \times 10^7$ 個、ファージXocp1は $1 \times 10^7$ 個の濃度で散布

## 4) 非病原性細菌とファージの混合施用の防除効果

非病原性細菌とファージの混合施用は非病原性細菌の拮抗作用にさらに防除効果を高め、また効果の安定化をもたらした。上記の長野県軽井沢町で行った試験にもみられるとおり、ファージを加えることによって効果が増すと共に安定する傾向が見られる。また、傷口からの感染に対する防除効果が高いことが温室内ポット試験から明らかとなっており、台風や大風による傷、虫による食害が発生した後に散布を行うと効果が高いと考えられた。一方で非病原性細菌と広宿主域ファージの量のバランスが悪いと非病原性細菌による拮抗効果を減少させる傾向がある。これは広宿主域ファージが非病原性細菌



表3 非病原性細菌とファージ処理による防除効果

処理区	試験区1		試験区2		試験区3	
	発病度	防除価	発病度	防除価	発病度	防除価
無処理	64.3	—	50.0	—	52.4	—
有機銅剤(800倍)	59.5	7.4	42.9	14.3	52.4	0.0
高濃度非病原性細菌(4x10 <sup>8</sup> cfu/ml)	33.3	48.1	33.3	33.3	31.0	40.9
高濃度非病原性細菌 +Xop20S	38.1	40.7	35.7	28.6	33.3	36.4
高濃度非病原性細菌 +Xop20S, XcpSFC211, XcpGTB311	28.6	55.6	23.8	52.4	33.3	36.4
低濃度非病原性細菌(4x10 <sup>6</sup> cfu/ml) +Xop20S, XcpSFC211, XcpGTB311	45.2	29.6	50.0	0.0	35.7	31.8

ファージはそれぞれ1 mlあたり約4 × 10<sup>6</sup>個の濃度で施用した

を過剰に殺菌してしまうためと考えられた。非病原性細菌を溶菌しないファージでは加えることにより防除効果が増強される傾向が見られた。

ここまでをまとめると、ファージと非病原性細菌を利用したキャベツ黒腐病の防除において、非病原性細菌は1 mlあたり10<sup>8</sup>個以上の濃度、広宿主域ファージは1 mlあたり10<sup>6</sup>~7個程度の濃度で効果が高いと考えられるが、処理濃度に関してはまだ調査段階であり、今後さらに検討していく必要がある。

#### 5) 非病原性細菌とファージの混合施用による発病進展抑制効果

最後に、発病後に非病原性細菌とファージを混合施用したときの病気の進展抑制効果について記載する。発病を確認後、ファージと非病原性細菌の混合施用を行うと、病徴の進展抑制が見られた(図4)。この結果は結球期以降の発病に対する防除剤として優れた特性を持っていることを示している。発病進展抑制効果について



図4 非病原性細菌とファージの混合施用による発病進展抑制効果  
左：無施用，右：非病原性細菌・ファージ施用区

は今後さらに検討を行う必要がある。日光のきつい昼間は避け、夕方か曇天に行うほうが効果的である。理由は紫外線によるこれら微生物の死滅を防ぐためである。また、ファージ防除では従来から耐性菌の出現が問題とされてきたが、これまでファージ施用区の病斑から分離した菌株の中に、施用したファージに耐性となった菌株は得られていない。しかし、本病原細菌はファージ耐性化がおこった場合でも作物に対する病原性に変化はないため、注意が必要である。

#### 4. 今後の技術開発の方向

ファージを利用した防除法を実用化するためには、安定した効果を得るために最適な非病原性細菌とファージの濃度に関してさらに検討を進める必要がある。また、ファージおよび非病原性細菌の製剤化についても検討が必要である。

#### 参考文献

- 1) 畔上耕児・小原達二(2003)：日植病報 69：286.
- 2) ———ら(2006)：同上 72：39.
- 3) 井上康宏(2008)：植物防疫 62：23~25.
- 4) ———ら(2008)：日植病報 74：264
- 5) Iriarte F.B. et al. (2007)：Appl. Environ. Microbiol. 73：1704~1711.
- 6) Jackson L.E. (1989)：U.S. Patent No. 4,828,999.
- 7) 塚本昇市ら(2008)：日植病報 74：251

(井上康宏・松浦貴之\*・畔上耕児：中央農業総合研究センター，\*現 横浜植物防疫所)



## 将来技術 フィールドサーバ及び電撃殺虫器を用いた 害虫発生予察システム

### 1. はじめに

露地野菜の害虫管理技術として合成性フェロモンを用いた発生予察の導入が各地で検討されている。害虫管理を効率的に行うためには、捕獲数から圃場における発生状況を正確に推定する必要がある。合成性フェロモントラップはフェロモンの種特異性を利用して対象害虫だけを捕獲できる利点はあるが、多地点に設置した場合は、トラップの回収や捕獲数の計数に多くの時間と労力が必要となる。

そこで、回収・計数を自動的に行うための害虫計測ロボットが既に開発されている。この装置では合成性フェロモンで誘引した雄成虫に、高電圧による電撃でショックを与え、さらに機械的なメカニズムで確実に圧殺することで、捕獲した害虫を正確にカウントする。計数データは、携帯電話回線を用いて遠隔地へデータを送信することができる。しかし、機構が複雑であるため、サイズが大きく、設置や移動に手間がかかる。また、価格は1台あたり80万円弱である。携帯電話の端末は安価であるが、データ通信料金は毎月数千円程度となる。

害虫発生予察システムを構築するためには、圃場に多数の害虫計数装置を設置して害虫の個体群密度を多地点でモニタリングする必要がある。そのためには計数精度は多少劣っていても安価な装置が望ましい。また、通信コストを大幅に下げる必要がある。

### 2. 家庭用電撃殺虫器の活用

家庭用の電撃殺虫器はホームセンター等で簡単に入手でき、価格は2,000円程度である。電撃殺虫器の蛍光灯の代わりに合成性フェロモン剤を取り付け、これにフィールドサーバ(後述)を組み合わせた安価で小型の害虫自動計数装置を開発した。

### 3. フィールドサーバ

フィールドサーバは、農場など遠隔地の屋外環境を測定するためにカメラ及び複数のセンサ

(気温・湿度・日射量・CO<sub>2</sub>濃度等)、パワーLED照明、太陽電池等を搭載した小型観測ロボットである。農場や山岳地のような非常に過酷な環境に耐え、庭園灯や街路灯のように屋外に設置することができる(図1)。



日本(茨城県)



米国(ハワイ島)



ネパール(標高3500m)



中国(河北省)

図1 各地に設置されたフィールドサーバの例

### 4. 害虫自動計数装置

電撃殺虫のために必要な電圧は高く(数100V~1,000V以上)、直接、電線で繋いで電撃を測定するのは極めて危険である。そこで、電撃が発生したときに生じた電磁波(電波)を小型のコイル状のアンテナで受信し、簡単な電子回路で増幅し、安価なワンチップマイコンで計数するようにした(図2)。ワンチップマイコンはケーブル(RS-232C)でフィールドサーバと繋がっている。フィールドサーバは、このマイコンが計数した値を気温等の環境データや画像と一緒にして、農水省の計算センターに送信し、データベース化される。このデータはホームページ上で公開可能であり、農家や消費者が自由に閲覧できる(図3)。

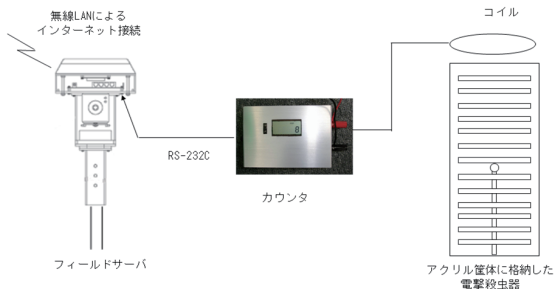


図2 害虫計数システム

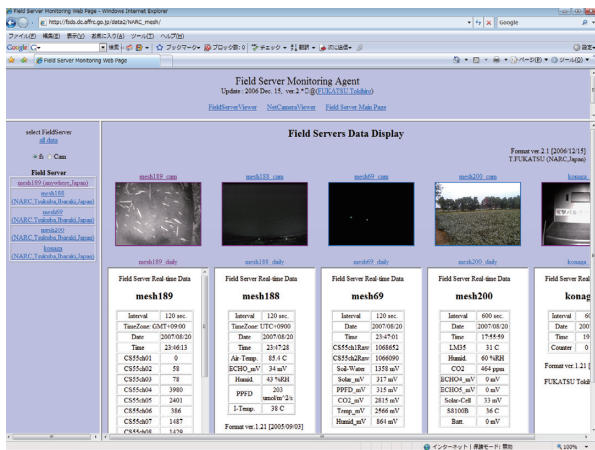


図3 計数值や画像等のデータはデータベース化されホームページ上で閲覧できる

### 5. コナガを対象とした害虫自動計数装置の適用性評価

電撃殺虫器はフィールドサーバと図4左写真のように一体化も、分離して設置することも可能である。コナガは地表 30cm 程度までを飛翔するため、図4右写真のように電撃殺虫器を分離して地上近くに設置した。

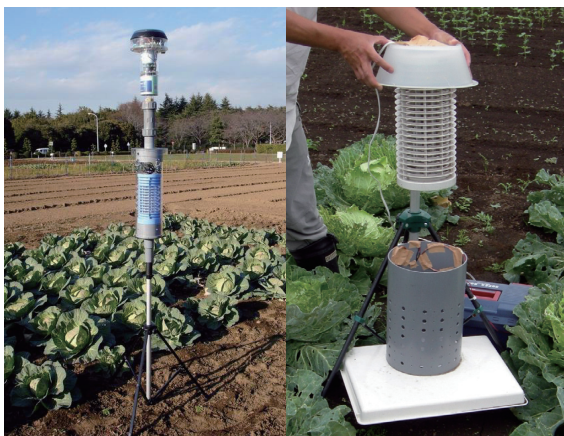


図4 実験に用いたフィールドサーバと電撃殺虫器

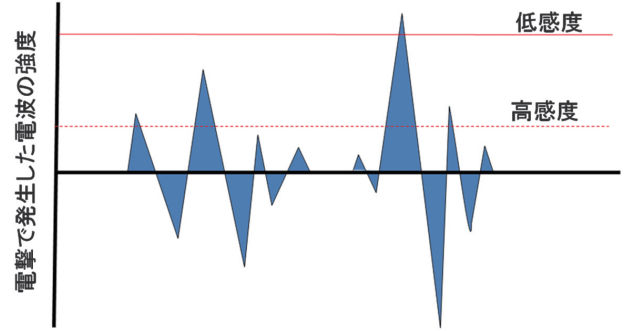


図5 感度の違いでカウント数が異なる

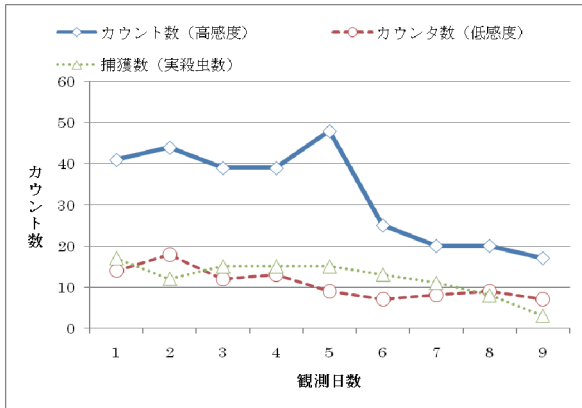
電撃を受けたときの害虫のダメージは、電撃用高電圧電源の電圧、電撃発生用電極の間隔、害虫の大きさ、害虫を構成する組織の電気抵抗、電撃を受けたときの電流の流れる体内部位などの違いによって異なり、電撃を受けても死なない場合もある。また、コイルの巻き数や電撃殺虫器との距離によって検出される信号（電波強度）が異なる。しかも、害虫が死ぬまでに発生する電磁波のパターンは複雑な形となる。そのため、検出感度が低いとカウントし損なうことがあり、逆に検出感度が高いと1個体が死ぬまでの電撃を複数回カウントしてしまうことがある（図5）。そこで、感度を変えた計数システムを2つ用意し、同じ電撃殺虫器に取り付けて実験した。

高感度検出装置と低感度検出装置では計数值に大きな差が見られ、低感度タイプは目視による実誘殺数とほぼ一致した（図6 a）。低感度タイプを使えば実誘殺数を推定できると考えられた。ただし、積算値で正規化すると高感度タイプも実誘殺数と良く一致した（図6 b）。パルスのカウント数と実誘殺数の関係は検出感度が異なってもほぼ正比例しており、カウント数を正規化すれば、昆虫の種の違いや装置の違いによる影響（コイルの巻き数、コイルの設置位置、感度などによる）を除去できると考えられる。

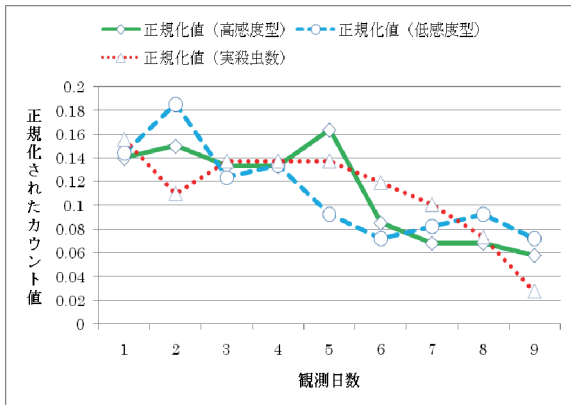
害虫自動計数装置のカウント値を、約 30m 離れた位置に設置した粘着板フェロモントラップの日別誘殺数と比較したところ、空間的に離れているが、調査期間中の捕獲消長はほぼ一致していた（図7）。

このように本装置による電撃の頻度と従来のフェロモントラップによる捕獲数との間には線

形関係があり、電撃頻度から害虫の個体群密度の相対的な変動を推定できたことからコナガのモニタリング技術として利用可能と考えられる。(図6中のカウンタ数をカウント数にする)



(a) コナガのカウント数



(b) 積算値で正規化したカウント数

図6 電撃パルスカウント数と目視による捕獲個体数(横軸は6月4日からの観測日数) 2007年5月28日~7月30日のほぼ2ヶ月間圃場に設置し、10分間隔でカウント数等のデータを収集した。目視による計数は6月4日~6月21日まで日単位で実施した。

### 6. 画像の利用

栽培に影響を及ぼす生物が未知の場合、フェロモントラップは利用できない。この場合、フィールドサーバに赤外線カメラを外付けし、昆虫等小動物を撮影する手段が有効である(図8)。たとえば、不耕起栽培畑圃場において雑草種子を捕食する生物がいることが予想された。

そこで、図9左図のような外付けカメラで画像を大量に撮影し、画像に大きな変化のあるシ

ーンを検索したところ、雑草種子を捕食する生物が捕らえられ、その生物はエンマコオロギであることが判明した(図9右)。この方法を応用すれば、電撃殺虫器の代わりに画像撮影による計数装置も利用可能と考えられる。

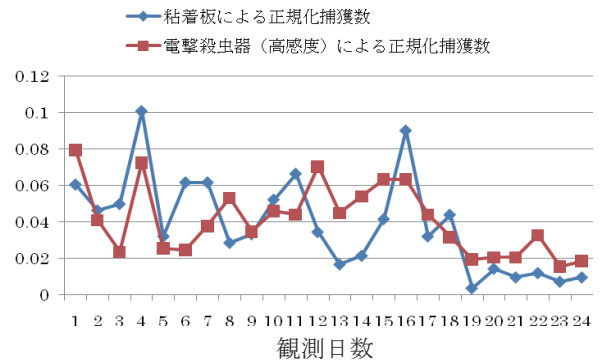


図7 電撃殺虫器 (高感度) によるカウント数と粘着板との正規化された値の比較(横軸は6月4日からの観測日数)



図8 赤外線LED照明を持つ赤外線カメラ

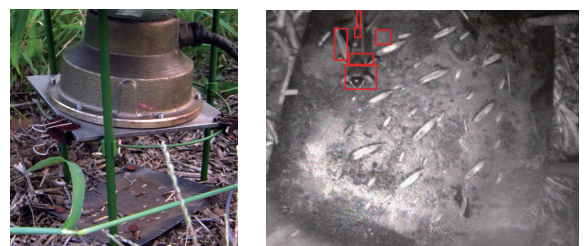


図9 画像認識による種子捕食者の発見

### 7. 害虫発生予察システムとその応用

電撃殺虫器を利用した害虫自動計数装置に画像撮影装置を加えた害虫発生予察システムを、開発・改良し適用性を確認した各装置を組み合わせることで構築した。

害虫の個体数が少ない場合、カウントされた昆虫が害虫なのか他の昆虫による誤計数なのかを識別することは難しい。そこで、図10のように電撃殺虫器による計数と虫見板の画像観測



を同時に行うようにした。これにより、低密度時の誘殺数計数の精度向上が期待される。



図10 電撃殺虫器(右)による計数とフィールドサーバ(中央)に内蔵されたカメラを用いて粘着板(左)の画像観測を同時に行う害虫計数システム

本システムにより、気温、湿度、日射量、土壌水分などの圃場の環境情報と作物の生育状況や監視などを行う画像情報に加えて、害虫発生状況に関する情報をインターネットでリアルタイムに得ることができる。これにより、作物生育状況と害虫発生量を用いた被害発生時期予測や、気象データと組み合わせた次世代発生時期予測などを、ひとつのシステム内で行うことができ、防除の有無の判断、適切な薬剤散布時期の決定などが遠隔地からでも可能となる。

複数のフィールドサーバを広範囲に設置すると無線LANによるセンサネットワークとなり、各地点の環境データや画像をインターネット経由でリアルタイムにモニタリングできる。同時にフィールドサーバの周囲は無線LANホットスポット(無線LANでインターネットが利用できる場所)になる(図11)。広範囲のトラップ誘殺数データの同時収集により、害虫発生量、時期変動の要因解析(気温、地形)が容易になるとともに、長距離移動を行うヤガ類などでは調査地域への侵入経路の推定や発生場所の早期確認による情報通知や、迅速な防除対応など早期警戒システムとしての機能も期待できる。

害虫計数システム専用の電撃殺虫器を作れば安価かつ小型化出来るため、現在試作中である。フィールドサーバはまだ高価であり(1台10

万円~45万円)、フィールドサーバと電撃殺虫器からなる害虫計数システムをメーカーに特注で製作を依頼すると、一番安い場合でも1システムで10数万円程度になる。

害虫発生予察用だけで使う場合には、このコストは高すぎるが、本システムは、気象観測ステーション(1カ所あたり数10万円~数百万円)や防犯カメラ(1カ所あたり10数万円~200万円)の機能を含んでいることから、全体としては大幅なコスト圧縮になっている。気温等の環境データは作物の生育予測や病害発生予察に活用でき、画像データは作物生育や気象災害の把握、トレーサビリティシステム、消費者への情報公開、圃場における盗難・不法投棄防止、産直における消費者へのPR等に広く活用できる。さらに、一般住居や公園等公共空間に設置する高機能で安価な防犯カメラ、庭園灯、屋外インターネット・サービス用インフラ等にも利用できる。電卓やパソコンの価格が半導体技術の向上と量産化によって劇的に下がったように、本システムも今後、大幅に価格が下がることが期待される。

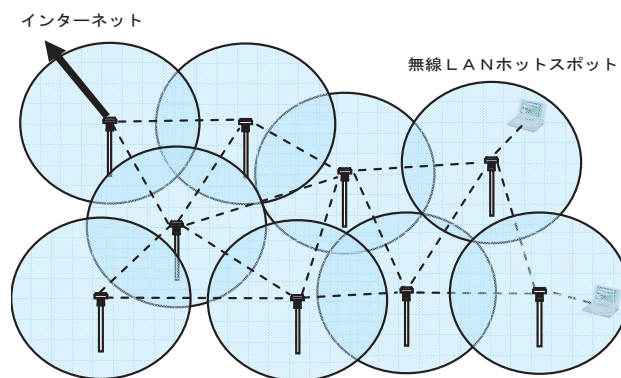


図11 フィールドサーバ・センサネットワークによる広域害虫発生予察のイメージ

#### 参考文献

- 1) Hirafuji, M. et al. (2008) : Real-time Insect Monitoring System by Using Field Server, Proc. of Joint Conference of IAALD, AFITA and WCCA.

(平藤雅之・渡邊朋也：中央農業総合研究センター)



## 将来技術 昆虫病原性ウイルスを利用したヤガ類の防除技術

### 1. はじめに

チョウ目幼虫による加害は野菜をはじめ作物の生産において大きな問題である。現在、チョウ目害虫の防除は化学合成農薬の施用に依存するところが大きいですが、合成性フェロモンによる交信かく乱を利用した防除、黄色蛍光灯による産卵抑制などの物理的防除、捕食性昆虫や寄生性昆虫などの天敵生物を利用した防除といった様々な技術の開発が進められている。また、微生物を利用した防除技術として、昆虫病原性細菌であるバチルス・チューリンゲンシスが製剤化され BT 剤として広く普及している。しかし、チョウ目害虫を対象に農薬登録され使用可能な微生物防除剤は、BT 剤以外ではチャのハマキムシ類 2 種を対象としたウイルス製剤とハスモンヨトウを対象としたウイルス製剤、コナガを対象とした糸状菌製剤に加え、スタイナーネマ属の線虫剤があるのみである。上記のウイルス製剤は、いずれも宿主特異性が著しく高いウイルスを用いているため、病原体である個々のウイルスが効果を示す害虫は 1 種に限られる。しかし、多くの作物では、同時に多様な害虫が発生することが珍しくない。特に野菜類ではヤガ類だけでも数種類に加害を受ける場合もある。そこで、昆虫特異的な病原性ウイルスであるバキュロウイルス 2 種を組み合わせることにより、キャベツの害虫であるヨトウガ、オオタバコガ、タマナギンウワバの 3 種ヤガ科幼虫に高い防除効果を示すウイルス製剤の開発を試みた。本研究により、将来実用化が見込まれる成果が得られたのでその概要を紹介する。

### 2. 昆虫病原性ウイルスの特性

バキュロウイルスは、昆虫からのみ分離される DNA ウイルスであり、チョウ目幼虫に病原性を示すウイルスとしては、核多角体病ウイルス (NPV) と顆粒病ウイルス (GV) の 2 属が知られている。NPV と GV は、感染細胞内に包埋体と呼ばれるタンパク質の塊を形成し、この中に棒状のウイルス粒子が内包される。NPV の包埋体は直径 1~10  $\mu\text{m}$  程度の多面体で、1 個

の包埋体中には多数のウイルス粒子が保持されている。他方、GV の包埋体は  $0.2 \times 0.5 \mu\text{m}$  程度の楕円体で、内包されるウイルス粒子は 1 個である (図 1)。

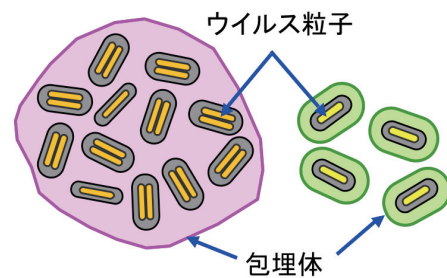


図1 NPV (左) GV (右) の模式図

ウイルス感染は、包埋体で汚染された餌を幼虫が摂食することにより起きる。包埋体のタンパク質は強アルカリ性の消化液によって溶解し、遊離したウイルス粒子が消化管細胞に侵入する。感染は、2、3日間で全身の様々な組織細胞に広がり、体内に多数の包埋体が形成される。致死に要する期間はウイルスによって異なるが NPV の場合、幼虫はウイルス接種後 5~10 日間で死に至る。幼虫はしばしば腹脚で植物体からぶら下がるようにして死亡する (図 2)。死体の内容物はウイルス由来の酵素によって液状化し、流出した包埋体が次の感染源となる。



図2 NPV 感染で死亡したヨトウガ幼虫

今回開発を試みた製剤では、ヨトウガ幼虫から分離された NPV (MabrNPV-T) を主たる病原ウイルスとして用いた。本ウイルス株は、東

京都農業試験場阿久津喜作博士より農林水産省農業研究センター岡田斉夫博士に分譲され、農研機構中央農業総合研究センターで増殖、保存してきた株である。本ウイルス株は遺伝子解析の結果、ヨーロッパでヨトウガから分離された MabrNPV Oxford 株ならびにカナダでヨトウガ近縁種から分離された *Mamestra configurata* NPV B 株と非常に近縁のウイルスであることが明らかにされた (Mukawa and Goto, 2006)。本ウイルスは、ヨトウガ、オオタバコガ、タマナギンウワバの他にもガンマキンウワバなど数種類のヤガ科害虫に感染することが確認されている。一般にウイルスの病原性は宿主によって異なり、分離宿主以外に対する感染力が低い場合があり、複数の宿主を対象に高い防除効果を得るためには、感染力の増強を図ることが重要である。そこで、NPV に対する感染増強作用が知られているシロモンヤガ幼虫由来の GV (XecnGV) の利用技術を合わせて開発することとした (Goto, 1990; 後藤, 1999)。XecnGV は、GV としては例外的に広い宿主域を持つウイルスであるが、感染から死亡までに要する期間が非常に長く (Mukawa and Goto, 2008)、若齢期に感染が始まった場合でも宿主は終齢まで成長し続け、大量の包埋体を蓄積した状態で致死する。この特性は防除効果の面からは望ましくないため、包埋体をアルカリで可溶化してウイルス粒子を除去することによって得たタンパク質画分 (GVPs) として利用することにした。

### 3. MabrNPV-T の病原性と XecnGV 包埋体由来タンパク質の感染増強効果

3 種害虫それぞれに対する MabrNPV の病原性ならびに XecnGV 包埋体から得た GVPs の NPV 感染増強効果を明らかにするため、まず、人工飼料を用いた実験を行なった。段階希釈した NPV 包埋体懸濁液を人工飼料に練り混ぜ、2 齢幼虫に集団で摂食させてウイルス接種を行なったのちに個別飼育して、NPV 感染による死亡率、致死までの期間について調べた。NPV 単独接種の場合の中央致死濃度 (LC<sub>50</sub>) には種間で大きな差は認められなかったが、タマナギンウワバの感受性はオオタバコガとヨトウガよりもやや低い傾向が見られた (表 1)。さらに、NPV 包埋体と GVPs を練り混ぜた人工飼料を用いて同様の接種試験を行なった結果、NPV の LC<sub>50</sub> は 3 種害虫いずれにおいても数十分の一に低下し、GVPs が顕著な NPV 感染増強効果を持つことが明らかになった。

上記試験において、95%程度が致死する濃度で NPV 包埋体のみを接種した場合、ヨトウガでは致死までに 7~8 日かかり、幼虫は 3 齢あるいは 4 齢に達していた。NPV 包埋体に GVPs を添加した場合、同等の致死率が得られる接種濃度では、致死までに要する日数が NPV 包埋体のみを接種した場合に比べて短縮し、3 齢で死亡する個体の割合が高くなった。他方、オオタバコガの場合は、同等の致死率が得られる接種条件間で比較した場合、致死日数や死亡齢期に GVPs の添加による差は認められなかった。

表 1 3 種ヤガ科害虫に対する MabrNPV 感染力価と GVPs 添加による感染増強効果

ヨトウガ		オオタバコガ		タマナギンウワバ				
処理	LC <sub>50</sub>	処理	LC <sub>50</sub>	処理	LC <sub>50</sub>			
1	NPVのみ	6.0 x 10 <sup>4</sup>	1	NPVのみ	9.6 x 10 <sup>4</sup>	1	NPVのみ	2.5 x 10 <sup>5</sup>
	NPV+GVPs	7.4 x 10 <sup>2</sup>		NPV+GVPs	4.7 x 10 <sup>3</sup>		NPV+GVPs	9.8 x 10 <sup>2</sup>
2	NPVのみ	5.2 x 10 <sup>4</sup>	2	NPVのみ	2.4 x 10 <sup>4</sup>	2	NPVのみ	1.1 x 10 <sup>5</sup>
	NPV+GVPs	7.3 x 10 <sup>2</sup>		NPV+GVPs	6.3 x 10 <sup>2</sup>		NPV+GVPs	1.9 x 10 <sup>3</sup>
3	NPVのみ	1.7 x 10 <sup>5</sup>	3	NPVのみ	2.7 x 10 <sup>4</sup>	3	NPVのみ	2.5 x 10 <sup>4</sup>
	NPV+GVPs	2.3 x 10 <sup>3</sup>		NPV+GVPs	1.9 x 10 <sup>3</sup>		NPV+GVPs	2.0 x 10 <sup>3</sup>

2 齢幼虫を用い、人工飼料混入法で病原接種を行なった。

データの一部は (Mukawa and Goto, 2007; Mukawa et al., 2008) による。

LC<sub>50</sub>: 中央致死濃度 (NPV包埋体数/g飼料); GVPs濃度: 100 μg/g飼料。

次に、NPV 包埋体の濃度を一定にし、GVPs の添加濃度と感染増強活性との関係を調べた。

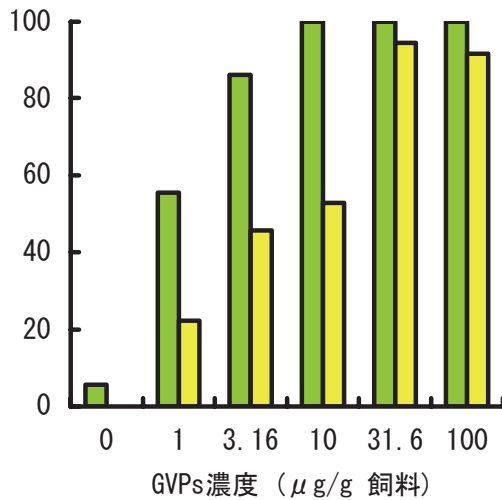


図3 GVPs 濃度と NPV 感染増強効果  
 緑：ヨトウガ；黄：タマナギンウワバ  
 MabrNPV 濃度： $10^4$  包埋体/g 飼料

ヨトウガとタマナギンウワバの2齢幼虫を用い、MabrNPV-T 単独で接種した場合に感染致死率が10%以下になるレベルにNPV包埋体の濃度を定め、これに加えるGVPsの濃度を変えて試験を行なった結果、GVPsの添加濃度の上昇に従ってNPV感染致死率が上昇した。タマナギンウワバよりもNPV感受性が高いヨトウガにおいては、GVPs濃度が $10\mu\text{g/g}$ 飼料程度であっても高い致死率が得られることが明らかになった(図3)。

人工飼料を用いた実験結果をもとに、作物を用いた接種試験も合わせて実施した。展着剤を加えた水にNPV包埋体とGVPsを混ぜ、これにキャベツ苗の葉部分を浸漬し、風乾する方法でウイルスを処理し、NPV包埋体ならびにGVPs濃度と感染致死率の関係について検討した結果、キャベツ苗を用いた場合でもGVPsの添加によりNPV感染致死率を大幅に上昇させることが可能であった。しかし、3種NPVの感受性には差があり、タマナギンウワバを防除対象とした場合には、オオタバコガやヨトウガよりも高い濃度のNPV包埋体とGVPsが必要であることが明らかになった。

#### 4. MabrNPV-Tの安全性ならびに環境影響

NPVとGVの害虫防除剤としての利用には、40年を超える長い歴史がある。この間、ウイルスの人畜に対する安全性について多くの研究が行われ、個々のウイルスは宿主であるごく限られた範囲の昆虫でのみ感染増殖が可能であり、それ以外の生物に対する安全性が極めて高いことが報告されてきた。標的外生物への高い安全性は、NPVとGVの環境影響が非常に低いことを示唆するが、ウイルスの感染宿主に寄生する生物や感染宿主を主な餌とする生物を対象とした場合には、間接的な影響を考慮する必要がある。寄生者にとってウイルスは資源獲得における競合者であるが、捕食者にとっては感染による行動の変化などが餌獲得の頻度を高める場合も考えられ、正負両面の影響について十分な調査を実施し、幅広い観点から評価を行なうことが望ましい。

#### 5. MabrNPV-TとXecnGVの生産ならびに利用方法

NPVとGVはいずれも生きた細胞でのみ増殖可能である。培養細胞を用いたウイルス生産技術の開発も試みられているが、大規模生産のレベルには至っていない。したがって、ウイルスの増殖には宿主昆虫の大量飼育が必須となる。

MabrNPV-Tの分離宿主であるヨトウガは、中央農研において、人工飼料による長期累代飼育系統が維持されており、この系統を用いた幼虫の大量飼育によってウイルス生産を行なうことが可能である。XecnGVの分離宿主であるシロモンヤガは累代飼育が困難であるが、野外においてXecnGVによる感染が確認された宿主であるアワヨトウには人工飼料による長期累代飼育系統があり、これを利用したウイルス生産が可能である。

いずれのウイルスの場合も、包埋体を混入した人工飼料を幼虫に与えることによってウイルスを接種し、感染幼虫体内で増殖させる。死体とともに包埋体を回収し、ろ過や高速遠心によって精製して、ウイルス殺虫剤の原体とする。

包埋体は微小粒子であるため、化学合成農薬と同様に水和剤、粉剤、乳剤などに加工し、既



存の防除機械を用いて施用することができる。

## 6. 散布法・保存法

害虫のウイルス感受性は発育ステージによって異なり、老齢になるに従って感染に要する包埋体数が増加する。また、ウイルス処理から幼虫が致死するまでには短くても1週間程度が必要であるため、その間は作物被害が継続する。そのため、発生時期を把握し、若齢期を狙ってウイルスを施用することが望ましい。

NPV と GV の包埋体を構成するタンパク質はアルカリ可溶性であり、ウイルス粒子は溶解によって遊離すると容易に不活性化される。従って、施用においてはアルカリ性の防除資材との混用を避ける必要がある。

NPV と GV は、包埋体の状態ではアルコールや酸などに対して比較的安定であるが、紫外線と熱による不活性化を受けやすい。冷凍あるいは冷暗所での保存が望ましい。

なお、ウイルスを利用した害虫防除剤は微生物農薬として扱われ、農薬登録されるまでは試験研究以外で防除に使用することはできない。

## 7. 今後の技術開発の方向

GVPs の添加によって MabrNPV-T の感染性を高め、防除効果の安定化を図ることが可能になった。しかし、その実用化のためには NPV と GV の2種類のウイルスの低コスト生産技術の開発が必須である。ウイルスによる防除効果は、NPV と GVPs のそれぞれの濃度によって変わるため、NPV と GV 双方の生産コストを踏まえて成分量を定める必要がある。

遺伝子解析の結果から MabrNPV-T と非常に近縁あるいは同種の変異株として位置づけられる MabrNPV Oxford 株では、4科66種のチョウ目昆虫を用いた詳細な宿主域調査によってヨトウガ以外の32種（うち28種はヤガ科）で感染が確認され、さらにコナガを含むヤガ科以外のチョウ目4種における感染も報告されている(Doyle et al., 1990)。MabrNPV-T は MabrNPV Oxford 株と同様に広い宿主域を持つウイルスである可能性が高く、ヨトウガ、オオタバコガ、タマナギンウワバ以外の害虫防除においても効

果が期待される。今後は、MabrNPV-T の感染宿主域についての調査を進め、各種害虫に対する病原力を明らかにする必要がある。

ウイルス殺虫剤は、化学合成農薬と同じ散布方法による施用が可能であるが、その性質は化学合成農薬と大きく異なる。利用者である農家にこの違いを十分に理解してウイルスの特性を生かした防除を行なってもらうためには、技術の指導、普及が重要である。また、殺虫剤として広く利用されるためには、保存性や安定性の高い製剤の開発も課題である。

## 参考文献

- 1) Doyle, C. J. et al. (1990): Applied Environmental Microbiology 56: 2704～2710.
- 2) Goto, C. (1990): Applied Entomology and Zoology 25: 135～137.
- 3) 後藤千枝 (1999): 植物防疫 53: 303～307.
- 4) Mukawa, S and C. Goto (2006): Journal of General Virology 87: 1491～1500.
- 5) Mukawa, S and C. Goto (2007): Journal of Economic Entomology 100: 1075～1083.
- 6) Mukawa, S and C. Goto (2008): Journal of General Virology 89: 915～921.
- 7) Mukawa, S. et al. (2008): Applied Entomology and Zoology 43: 323～329.

(後藤千枝・務川重之・鈴木芳人：中央農業総合研究センター)

## レタス根腐病の体系化防除技術

### 1. レタス根腐病防除における防除体系の意義

レタスはサラダ等に利用される重要な露地野菜であり、生産量は全国で50万トンを超える。産地は春どり、夏秋取り、冬どりといった収穫期によって関東、中京地帯、中部高冷地、東北、北海道、関西、西南暖地と、温度を背景とする適地を移動しながら完全な周年生産が確立している品目である。平成19(2007)年の生産動向を見ると国内の作付面積は20,890haであり、作期別に見ると夏秋取りが41.2%を占め、次いで冬どり、春どりの順となっている。主産県別の生産量は長野県が全体の約40%を占め、次いで茨城県、群馬県、兵庫県となっている。

レタスは比較的規模拡大が進み、特に夏秋どりの産地では専作化の傾向が強い。これはアブラナ科野菜の連作障害、すなわち萎黄病や根こぶ病等の土壌病害が多発した1970年代から80年代にかけて、ハクサイやキャベツからレタスへの品目転換が進んだことも影響している。アブラナ科野菜の土壌病害対策のために作付けが拡大した夏秋レタスであるが、そのレタスにも土壌病害のレタス根腐病が発生し、栽培上大きな問題となっている。

レタス根腐病は *Fusarium oxysporum* f. sp. *lactucaae* が引き起こす土壌病害であり、レタスやサラダナにおける重要病害となっている。本病が国内で初発生したのは、1955年東京都であるが、長野県で発生が顕在化したのは1995年である。さらに本病は、国内はもとより他国でも発生が報告されており国際的な重要病害となりつつある。

本病の防除対策として、化学的防除である土壌燻蒸剤は根腐病に対する防除効果は認められるが、後作で急速に根腐病菌が蔓延して被害が拡大した現地事例がある。さらに露地圃場では本剤の大量処理が必要となり、環境保全面、コスト面の問題も考えられる。そこで本病の防除対策は、土壌消毒に依存しない総合防除体系を基本として検討されなければならない。

本稿では、過去数十年にわたるレタスの連作が本病の発生を招いたとの推察を前提として構築された体系化防除技術について解説する。この技術では、本病対策のためにレタスは連作せず、各種作物との輪作を実施する。さらにレタス栽培時にも抵抗性品種を作付けし、圃場衛生等の各種耕種的防除対策を組み合わせる。

### 2. 防除体系に組み込む個別技術

#### 1) 根腐病菌のレース検定

レタス根腐病菌は特定の品種に対して異なる病原性を示し、レース分化が生じていることが明らかになっている。現在国内ではレース1~3までの3つのレースが確認されており、判別品種によるレース検定が可能である(表1)。

根腐病対策の基幹となるのが輪作と抵抗性品種の利用である。圃場で発生している根腐病菌のレースを的確に把握し、そのレースに対応した抵抗性品種を用いる必要があるため、まずレース検定を実施することが重要である。現在利用可能なレース検定法には、目的に応じた以下の手法がある。

表1 レタス根腐病菌の各レース菌株に対する判別品種の反応

レース	判別品種(市販品種)		
	晩抽レッド ファイヤー	コスタリカ 4号	パトリ オット
レース1	S	R	S
レース2	R	S	S
レース3	S	S	S

S:感受性、R:抵抗性

#### (1) 圃場でのレース検定

圃場の既発生部位に、レース検定品種である晩抽レッドファイヤー、コスタリカ4号、パトリオットを1品種について10株程度栽培し、発病の有無からレースを判別する(図1)。すなわち晩抽レッドファイヤーおよびパトリオットが発病した場合はレース1で、コスタリカ4号およびパトリオットが発病した場合はレース2



とする。慣行の収穫時に調査基準に従って地上部および根部発病程度を調査する。

低温期の作型では地上部病徴が現れにくいので、検定は少なくともパトリオット地上部に病徴が現れる時期に実施することを基本とする。また地上部病徴による判断が困難な場合は、必ず根部の発病調査を実施し根部発病程度で判断する。本手法は、既発生圃場でレースを確認することが目的であり、既発生圃場内で本病が発生した部分に必ず作付けすることが重要である。新規発生圃場の場合は、病徴の確認と共に組織から病原菌を分離し、次項の接種試験または培養法によるレース検定を実施する。本法はレースの混在が無く、発生部位が把握されている場合に限られるが、農家が直接レースを確認できる利点がある。



図1 圃場でのレース検定(レース1圃場)

## (2) 接種試験

組織分離した菌株を、レース検定品種に接種試験し、根腐病菌のレースを判別するものである。まずレタスから分離した *F. oxysporum* をフスマ培地で培養後、市販の園芸培土で重量比で1/20程度に希釈して病土を作成する。作成した病土に表1の検定品種を少なくとも1品種につき20株播種する。播種後、約30日程度で発病の有無が判定できる。調査基準に基づき発病程度を算出し、感受性(S)もしくは抵抗性(R)を判断する。検定はポットでも可能だが、セルトレイ(200穴程度)を用いると、面積をとらず管理し易い(図2)。



図2 接種試験(左:レース2, 右:レース1)

## (3) 培養法によるレース検定

レース2が有する栄養要求性を利用してレースを判別する。すなわちレタス根腐病に罹病したレタス組織(維管束褐変部)から分離した菌株をMM培地およびビオチン加用MM培地(ビオチン500 $\mu$ g/L:以後BMM培地)で25 $^{\circ}$ Cで4~6日間培養する。菌糸生長がBMM培地と比較してMM培地で劣り、気中菌糸がほとんど認められないものをレース2、MM培地上での生育が良好なものをレース1と判定する(図3)。

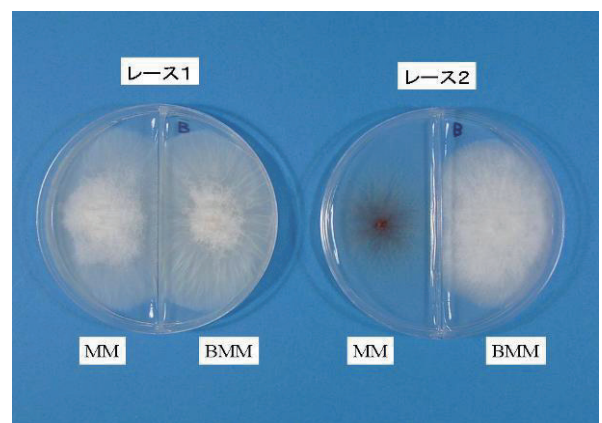


図3 MMおよびBMMにおける各レースの菌叢

## 2) 抵抗性品種の利用

前述の接種試験は抵抗性品種の育種、選抜にも利用できる。すなわち各レースの病土をセルトレイに充填し、検定する種子をその病土に直播した後高温下で管理し、根腐病の発病程度を調査するものである。これは根腐病抵抗性の幼

苗検定法と呼ばれ、本法は圃場における品種の根腐病抵抗性程度と相関することが確認されている。

現状の市場販売品種または販売間近の品種の中で、レース 1 に対し圃場抵抗性を有する（抵抗性幼苗検定で発病指数が 1.0 以下）品種では、シナノホープやシナノスター（図 4）等球レタス 13 品種、非結球レタス 5 品種が実用形質でも優れ、実用性が高いことが確認されている。またレース 2 に対しては長・野 37 号等球レタス品種 7 品種、非結球レタス 7 品種が根腐病に対する抵抗性を有し、一般形質も優れ、実用性が高い。根腐病に対する抵抗性検定の結果および一般形質等に関する情報は、後述の「レタス根腐病防除対策マニュアル」等で提供されている。また情報は毎年実施される抵抗性検定の結果が反映される。

現状の抵抗性品種の多くが、単一のレースに対してのみ抵抗性を有することから、必ず圃場のレースを確認した上で品種選定を行う必要がある。また抵抗性品種の中には圃場抵抗性の品種も含むことから、圃場条件によっては抵抗性品種でも発病する場合がある。さらに抵抗性品種を連作することで土壌中の根腐病菌数の上昇や根腐病以外の病害の発生を助長する可能性がある。従って、抵抗性品種といえども後述の輪作等の耕種的防除とともに利用することが必要である。抵抗性品種はその適用できる作型、圃場条件等を限定した上で、輪作や圃場衛生などの耕種的対策とともに利用する。

さらにレタス品種を利用する上で注意が必要なのは、根腐病感受性品種の作付けの回避である。感受性品種の連作により、土壌中の根腐病菌数および総 *F. oxysporum* に占める根腐病菌数の割合が著しく高まり、根腐病も多発した事例がある。感受性品種は単年の作付けでも根腐病菌数が急激に増加することから、できるだけ早期に、できれば根腐病が顕在化する前から輪作体系下での抵抗性品種の作付けを行うべきである。



図 4 初夏どり用レース 1 抵抗性球レタス品種

### 3) 輪作による発病軽減

輪作は病原菌の宿主と異なる作物を栽培することにより、土壌病害の発生を回避するものである。輪作することで宿主外作物そのもの、もしくは土壌微生物が作用し、土壌中の病原菌数の低減、土壌微生物の多様化等がもたらされる。輪作は抵抗性品種の利用とともに根腐病防除体系の基幹的位置を占める。

ソバ（図 5）またはマリーゴールドの作付けは、いずれもレース 2 菌数が経年的に低減し、さらに総 *F. oxysporum* に占めるレース 2 の菌数の割合も低下することが明らかとなっている。特にソバを 3 年間作付けすると、レース 2 の菌数の割合が当初 10% を超えていたものが約 1.5% にまで減少する。ただし春にソバまたはマリーゴールドを栽培し、夏秋にレタスを栽培した場合では、明らかなレース 2 の菌数の低減および発病抑制効果は認められない。従って根腐病の発生初期からソバまたはマリーゴールドを利用した 2 年以上の輪作を行うことにより、発病抑制効果が期待できる。その際、ソバの種子は必ずしも収穫する必要はなく、残渣を鋤込めばよい。

一般に、輪作は発病程度が高いほど効果が劣るので、根腐病発生前か、発生のごく初期（スポット状発生）から実施する。前述の通り、輪作用作物栽培後にレタスの作付けを再開する場合は、必ず抵抗性品種を作付ける。





図5 根腐病対策のために有効なソバの作付

#### 4) 地温抑制マルチの利用

根腐病の発生は、28～32℃前後の高温で助長される。そこでマルチで地温を抑制することにより根腐病の発生が軽減できる。マルチには各種の色、素材があるが、白、シルバー、生分解、紙マルチは比較的地温抑制効果が高い。地温抑制効果のあるマルチの中で、ミカクール（みかど化工株式会社）は最も地温抑制効果が高く根腐病の発病抑制効果が期待できる。ミカクールの色は白黒ダブルで慣行のポリエチレンマルチと同様であるが、特殊な素材が用いられている。

ミカクール下の地温は、慣行の白黒ポリマルチと比較して低く推移し、晴天時の日中で最大4℃の低下が認められる。寒冷地のように夏季が比較的冷涼な産地では根腐病発病抑制効果が期待できる。ただし温暖地～寒冷地のように、もともと夏季の気温が高い産地では、ミカクール等は地温抑制効果は認められるものの、根腐病発病抑制効果は低い。

#### 5) 発病時期を避けた作型

気温の高い初夏まき～夏まき栽培で根腐病の発病が多くなるので、作型の前進あるいは後退により高温期の作型を避ける。

根腐病は温度の高い時期に最も発病しやすい。早春まき栽培では発病が少ないが、生育後半の気温上昇期には発病しやすくなる。春まき栽培では、平均気温 14℃以下の時期に定植すれば、根腐病の発病が少ない傾向がみられる（標高

700mで4月下旬頃まで)。春まき栽培では、通常凍霜害防止のために、べたがけなどの保温を行っているが、保温の必要性がなくなったら速やかにはずさないと、高温による弊害、変形球や根腐病が発病しやすくなるので注意する。

#### 6) 病原菌の伝播阻止

土壌とともに様々なルートで伝播した根腐病菌は、連作が重ねられると土壌中の菌密度が上昇し、発病に至る。発生圃場の拡散を防ぐため、病原菌の伝播阻止は重要である。

春季に強風で圃場より飛散する土壌から根腐病菌が検出された事例や、育苗施設の床土が根腐病菌に汚染されていた事例がある。これらにより伝播される根腐病菌密度は低いが、中・長期的に産地内の病原菌拡散に果たす影響が大きい。そこで、育苗培土への病原菌伝搬を避けるため、床土の土壌消毒、通路を含めた床土への透水性シート設置、無病培土の使用、高床での育苗を行う。また風雨による汚染土壌の拡散を防止するため、レタス未耕作期に、被覆作物として麦類を栽培したり、レタス栽培期間中も圃場周囲の額縁状にソルガム等の障壁作物を栽培する。特にライ麦とエン麦は、緑肥や風食防止対策として作付を行うことができる。

土壌が湿潤条件下では、トラクターのロータリーや内板に土壌が多量に付着するが、圃場内での移動や他圃場へ移動した際に、移動先で土壌が落下する。既発生圃場を有する農家で、新たに別の圃場で根腐病が発生した場合や、レタスの作付毎に耕耘方向に発病範囲が拡大した場合、機械作業による根腐病菌の伝搬が疑われる。トラクター等の大型機械に付着した汚染土壌の持ち込みには特に注意が必要である。これには圃場での作業時に土壌を道路等に出さない、ロータリー耕などの作業時には道路に出ず圃場内で旋回する、農業機械に付着した土は、作業を行った圃場で充分落としてから、圃場を移動する、等の対策が必要である。特に無発病圃場への移動に充分注意し、作業は無発病圃場から始めるようにする。

産地内にトラクター洗浄施設（図6）がある場合はこれを活用し、作業毎にトラクターのロ

ータリーを中心に、充分洗浄する。



図6 トラクター洗浄施設

### 3. 利用可能な防除体系マニュアルの事例

長野県におけるレタス根腐病の総合防除は、栽培管理（輪作含む）、土壌管理等の耕種的対策を行いながら、抵抗性品種を生かして長期的な産地維持を図ろうとするものである。その総合防除対策は「レタス根腐病防除対策マニュアル」（長野県発行）として体系化され、利用されている。内容は試験研究で得られた技術、情報を総合化・体系化したものである。本体系では、圃場のレースを判定した上で、圃場の栽培履歴、前作の発病程度に応じた輪作体系の中で抵抗性品種を利用する。圃場の病原菌レースに応じて、栽培できる抵抗性品種が限定されることから、まず圃場のレースを確認し、レースが判明したら、前作レタスの発病程度に応じて、次作レタスの作付け可能な時期を判断すると共に、輪作作物を選定する。また、輪作体系下で作付け可能なレタス品種を、抵抗性検定結果の一覧から選定することもできる。レタス品種は、輪作体系下で圃場衛生などの耕種的対策を併用して利用する。

例えばレース1が発生した圃場の場合、シナノホープ（レース1に対する圃場抵抗性品種）の現地実証試験等の結果から、シナノホープは作付け予定年春作に、レタス類を作付けしない圃場で、2年間異科作物を輪作した根腐病既発生圃場、または前年少発生圃場（スポット的発生）で作付け可能と判断された。そこで前年のシナノホープにおける発病程度に応じて、次回の

レタスの作付け可能な時期を判断すると共に、輪作作物を選定する。本体系では、圃場の汚染程度が高くなればなるほど、次回のレタス作付けまでの期間が延びる。

レース2発生圃場の場合も同様に、耕種的防除対策と共に各品種の根腐病抵抗性検定の最新の結果を提示している。農家は、作付けしたい作型から抵抗性品種を選定し、輪作体系下で圃場衛生などの耕種的対策を併用して抵抗性品種を利用する。

防除対策マニュアルは電子媒体であり、わかりやすくするため、インターネットエクスプローラー等のWEBブラウザにより閲覧できるようにになっている（図7～9）。防除体系マニュアルの主構成は次の5項目から成る①レタス根腐病の解説、②レース検定法、③レース1発生圃場の防除対策、④レース2発生圃場の防除対策、⑤耕種的防除対策（すべての防除対策にリンク）。本マニュアルは、現在長野県内の現地へCDで配布されるとともに、長野県内農業関係者用としてWEBサイトに掲載されている。今後内容を充実させ、3年後を目途に県外関係者にも公開する予定である。



図7 レタス根腐病防除対策マニュアル初期画面





図8 レタス根腐病防除対策マニュアル 耕種的防除

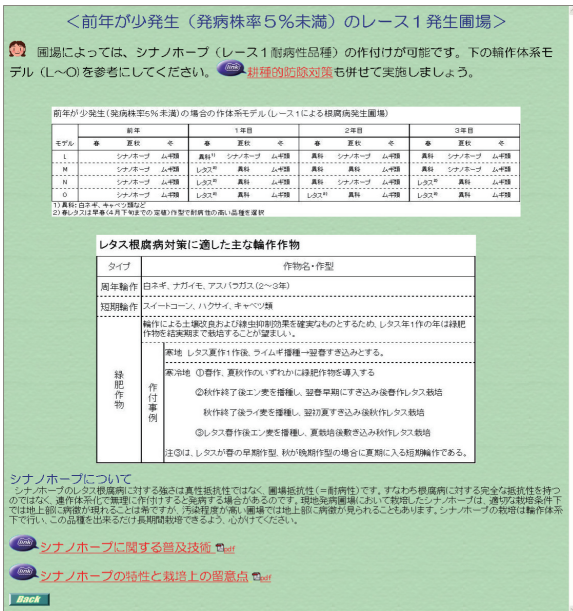


図9 マニュアル 防除対策例の提示

4. 他の病害虫防除の考え方

レタスでは、根腐病以外にすそ枯病、べと病等の糸状菌病や軟腐病、腐敗病、斑点細菌病等の細菌性病害が発生する。特に細菌性病害は初夏～夏秋期に多発し、大きな生産阻害要因にな

っている。軟腐病と腐敗病はそれぞれ生物防除が可能であり、軟腐病に対しては非病原性エルビニア・カロトボーラ剤（商品名：バイオキパー水和剤）、腐敗病に対してはシュードモナス・フルオレッセンス剤（商品名：ベジキパー水和剤）が生物農薬として市販されている。盛夏期には軟腐病防除を主体に非病原性エルビニア・カロトボーラ剤で防除し、梅雨期と秋雨期には腐敗病防除を主体にシュードモナス・フルオレッセンス剤で防除する。両薬剤とも、銅水和剤との体系防除が有効である。すなわち定植後～結球始期までは銅水和剤で防除し、結球期以降は生物農薬を約1週間間隔で3回程度散布する。銅剤で初期防除することにより、生物農薬の効果が安定する上、生物農薬が効果を有しない病害の発生が軽減できる。また結球期以降に生物農薬を利用することで、薬害のリスクが軽減できる。べと病やすそ枯病等の糸状菌病が発生する恐れがある場合には、この体系に専用剤を加える。

なお、軟腐病、腐敗病、斑点細菌病に対する抵抗性品種の利用も有効である。

参考文献

- 1) 藤永真史（2000）：土壤伝染病談話会レポート 20: 152～160.
- 2) 藤永真史・小木曾秀紀（2005）：植物防疫 59: 380～384.
- 3) 小木曾秀紀・藤永真史（2000）：植物防疫 54: 322～326.
- 4) 小木曾秀紀ら（2006）：日植病報 72: 264.
- 5) 小木曾秀紀（2006）：土壤伝染病談話会レポート 23: 80～94.
- 6) 小木曾秀紀（2007）：生物機能プロジェクト成果発表会要旨 7～16.

（小木曾秀紀：長野県野菜花き試験場）