

樹幹害虫防除剤 ロビンフッド®の開発

住友化学株式会社

健康・農業関連事業研究所

佐藤 隆 士

アグロ事業部

佐藤 直 樹

Development of New Insecticide “Robinhood”

Sumitomo Chemical Co., Ltd.

Health & Crop Sciences Research Laboratory

Takashi SATO

AgroSolutions Division-Japan

Naoki SATO

“Robinhood” is a novel insecticide developed to control the wood boring insects which inhabit tree trunks and branches, by spray-injection of the pesticide from the entrance of the pest tunnel to beat them directly. This product contains fenpropathrin, a broad spectrum insecticide, 0.02% as an active ingredient and it has a compact product form so that it can be sprayed easily on the damage points situated at complex structures of living trees.

“Robinhood” was launched in June 2016 and it has shown good efficacy for a wide range of wood boring insects, including serious pests such as *Cossus insularis* and *Anoplophora chinensis malasiaca* in domestic orchards.

The developmental history and insecticidal properties of “Robinhood” are described in this report.

はじめに

除虫菊の殺虫成分ピレトリン (pyrethrins) をリードとし、構造展開されてきた合成ピレスロイド剤は、殺虫スペクトラムが広くかつ速効性に優れる薬剤として農業分野・防疫薬分野で長年にわたり害虫防除に活用されている。住友化学株式会社は国内農業用として fenvalerate (混合剤としてベジホン®乳剤・ハクサップ®水和剤等)、permethrin (アディオオン®乳剤・水和剤・フロアブル剤)、cypermethrin (アグロスリン®乳剤・水和剤)、fenpropathrin (ロディー®乳剤・水和剤) の各剤を開発・農薬登録を取得し、農作物の安定生産に貢献している。fenpropathrinは、一般的な農業害虫に加えダニ類の成虫に対して殺虫効果を示すユニークな性質を持つ当社独自開発の合成ピレスロイド剤であり¹⁾、カンキツなど果樹類のダニ類、チョウ目害虫、カメムシ目害虫を主な防除対象に国内のみならず海外においても広く使用されている。

ロビンフッド® (S-1675エアゾール) は、fenpropathrin 0.02%を有効成分とするエアゾール剤であり、ノズルを樹幹害虫の穿入孔に直接挿入して噴霧し、樹内部の害虫に直接薬液を曝露させ防除するというコンセプトの

元に開発された製品であり、リンゴおよびナシを対象に2016年3月2日に農薬登録された (Fig. 1)。本剤は、多岐にわたる樹幹害虫に対して簡便かつ効率的な処理で高い防除効果を示す特長を備えており、果樹の安定生産に大きく貢献できるものと期待している。

本稿ではロビンフッド®の開発経緯、実用効果、使用上の注意点などについて紹介する。



Fig. 1 “Robinhood”

開発の経緯

1. 国内農業分野の合成ピレスロイド剤の現状

国内農業分野では、抵抗性害虫の出現、天敵・訪花昆虫などの有用生物に影響の低い「選択性殺虫剤」への指向性の高まりにより、1990年代以降合成ピレスロイド剤の使用量は減少傾向にある。しかし、リンゴやナシなどの果実を加害するシンクイムシ類防除など他系統殺虫剤では十分な防除効果が得られない場面もあり、合成ピレスロイド剤が持つノックダウン効果、即効性、残効性などの優れた特性を活かした新たな適用場面を見出すことで既存製品の拡販や販売維持、新製品を開拓できる可能性が残されていた。

2. 樹幹害虫の種類とその被害

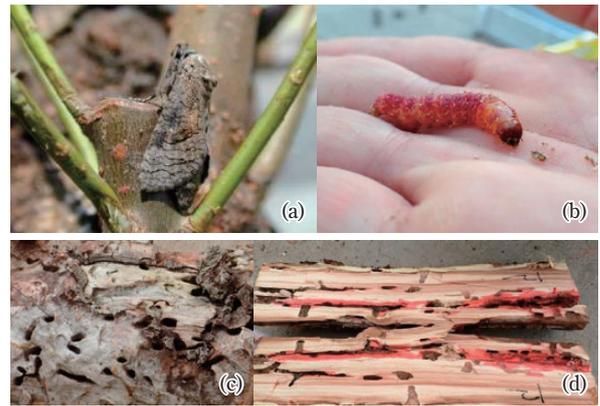
樹幹害虫とは、ボクトウガ科やコウモリガ科、スカシバガ科、メイガ科などのチョウ目やカミキリムシ科、タマムシ科、クイムシ科、ナガクイムシ科、ゾウムシ科などのコウチュウ目、キバチ科などのハチ目などを中心とした樹木の内部を摂食加害する害虫種の総称であり、その多くが森林昆虫に含まれる²⁾。果樹類³⁾以外でも、街路樹・庭木などに対して被害を与えることが知られている^{4), 5)}。

これら樹幹害虫の成虫は、果樹などに飛来して産卵し、孵化した幼虫が樹の内部に潜り込んで幹部・枝などの維管束形成層を摂食する。この穿孔や摂食により、樹木内部に大きな空洞が生じ、樹勢の低下や強風等による幹折れ・枝折れの発生、加害部への病原菌の侵入・発病による二次的被害の発生、さらに維管束からの水分供給が断たれることで樹木自体が枯死するなど、様々な被害を樹木に与える。これら様々な被害は果樹生産者に対して、農産物の減収にとどまらず、病害虫防除回数の増加、枯損木の改植、ひいては樹園地放棄など極めて大きな経済的損害を与える。

3. 国内果樹分野における樹幹害虫の発生状況と防除方法

国内の果樹分野では、ゴマダラカミキリ *Anoplophora chinensis malasiaca* やキボシカミキリ *Psacotha hilaris hilaris* などのカミキリムシ科昆虫が古くから樹幹害虫として知られていた。

最近になり、ナシ、リンゴを中心に急速に被害が拡大し、全国的に問題となっているのがヒメボクトウである。ヒメボクトウ *Cossus insularis* は、ボクトウガ科 Cossidae に属する夜行性のガであり (Fig. 2)、2005年に徳島県で報告されて以降⁶⁾、リンゴ生産地の東北6県、本州中部の長野県や群馬県、ナシ生産地の佐賀県、徳島県、山口県など北海道、沖縄を除く日本各地で甚大な被害を生じさせている⁷⁾。



Many holes and tunnels bored by the larvae were observed on the surface and inside of apple tree, *Malus domestica*.

Fig. 2 Adult (a) and larvae (b) of *Cossus insularis*

一方、樹幹害虫に対する防除法としては、成虫を対象とした樹全体もしくは特定部位への予防的な薬剤散布、成虫の産卵を抑制するための性フェロモンを利用した交信攪乱、害虫の生息部位となる樹幹表面に薬剤を施用する樹幹散布や樹幹塗布、幹部に穿たれた害虫の孔道に対して薬剤を注入する樹幹注入、浸透移行性を利用した根部への粒剤処理などの方法が挙げられるが、登録薬剤が少なく抜本的な解決法がないのが現状である。特に、ヒメボクトウに対しては、本剤開発に着手した2013年時点では、他社ジアミド系殺虫剤が樹幹散布剤として農業登録を取得したのみであり、樹木内に穿入した幼虫そのものを防除するための技術がなかった。加えて、カンキツで問題となっていたゴマダラカミキリについても6-7月の成虫の発生時期に果樹園全体に薬剤散布する予防的防除は広く普及していたものの、一旦樹内に穿入した幼虫を防除するための手段が極めて少なく、生産者や現場を指導する府県の指導者層から樹内の幼虫を防除するための手段や薬剤が渴望されていた。

樹幹害虫防除に向けて—初期検討—

1. 薬剤選抜

これまで述べてきた経緯をふまえ、樹幹害虫に対する新たな防除技術・防除薬剤への要望に応えるべく、当社殺虫剤の樹幹害虫防除への適用可能性について検討を開始した。

薬剤処理方法の検討のための第一段階として、樹幹害虫に対して殺虫効果の高い当社薬剤の選抜を行った。樹幹害虫防除に好適な薬剤としては、重要害虫種が含まれるチョウ目やコウチュウ目の双方に対して高い殺虫効果を有することが好ましいことは言うまでもない。加えて、生きた樹木に直接散布、または、樹幹内に薬液注入する可能性があるため、広い樹木種に対して薬害リスクが低いことも重要な条件となる。

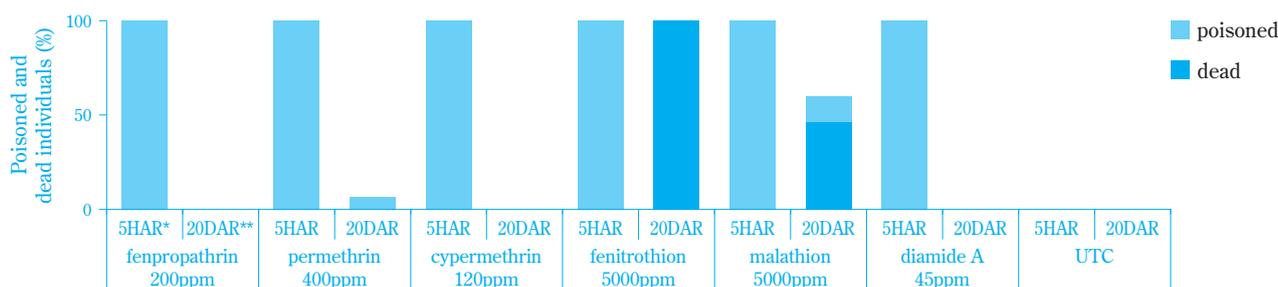
評価害虫種としては、近年果樹生産場面での被害が顕著かつ問題解決が急務とされているヒメボクトウとカミキリムシ類を選択した。ヒメボクトウについては被害が多発している東北地方より幼虫を入手し、カミキリムシ類については当社加西試験農場において冬季に比較的大量に幼虫が得られるマツノマダラカミキリ *Monochamus alternatus* を、枯損したアカマツを伐倒したのちに割材し幼虫を採集して供試した。処理法は、各害虫種ともに薬液が虫体に直接曝露されたときを想定した虫体浸漬（薬液に20秒間幼虫を直接浸漬する）と、孔道内の幼虫の生息場所付近まで薬液が到達した場合を想定した濾紙浸漬（飼育カップ内で薬液を含浸させた濾紙上に幼虫を放飼する）の2通りを試み、それぞれ処理後に幼虫を薬剤に曝露させることなく、人工飼料にて飼育し生死を調査した。

ヒメボクトウの中齢幼虫を虫体浸漬処理した結果、いずれの供試薬剤も処理直後は中毒症状を引き起こしたが、処理20日後までに殺虫効果を示したのは有機リン剤のfenitrothion（スミチオン®乳剤等）、malathion

のみで、合成ピレスロイド剤は200~400ppmの高濃度でも大半の個体が生き残った（Fig. 3）。一方、濾紙浸漬処理では、cypermethrinは処理直後より中毒症状を引き起こしたが、その殺虫効果は120ppmでも80%程度と高くなく、fenpropathrin、permethrin、fenitrothionは、cypermethrinほど速やかに中毒症状を引き起こすことはなかったものの、その後、殆どの幼虫を死亡させた（Fig. 4）。同様の傾向は、一般的に薬剤の感受性が低下する老齢幼虫でも確認され（Fig. 5）、ヒメボクトウの幼虫防除にはfenpropathrin、permethrin、fenitrothionが有望であると判断された。

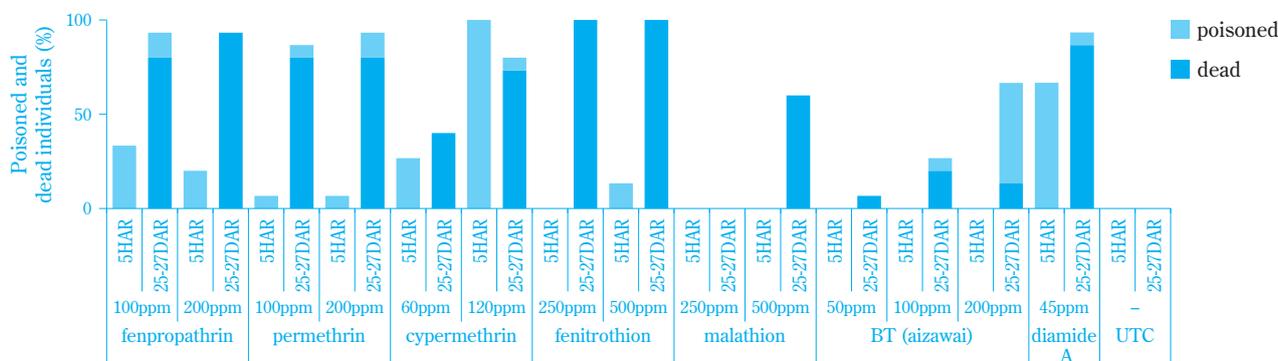
次に、マツノマダラカミキリに対しては、虫体浸漬でclothianidin（ダントツ®水溶剤等）とpermethrinがfenpropathrinに優る殺虫効果を示したが（Fig. 6）、濾紙浸漬ではfenpropathrinも200ppmで100%の殺虫効果を示しており（Fig. 7）、clothianidin、fenpropathrin、permethrinの3剤が有望視された。

それぞれの害虫種に対する殺虫効果から選抜された薬剤について、適用可能な害虫種および樹木種の広さ



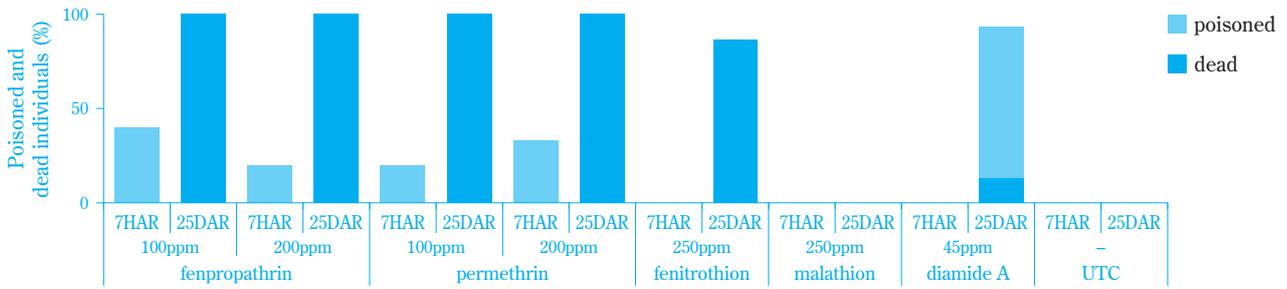
Insect : Carpenter moth (*Cossus insularis*)
 Method: Larvae were dipped into diluted solution of insecticides and mortality of larvae were recorded by rearing with artificial diet.
 *HAR: hours after release, **DAR: days after release

Fig. 3 Insecticidal activity of various insecticides on middle aged larvae of Carpenter moth, *Cossus insularis*, by dipping of larval body



Insect : Carpenter moth (*Cossus insularis*)
 Method: Mortality of larvae were recorded by rearing with filter paper of which was dipped into diluted solution of insecticides and with artificial diet.

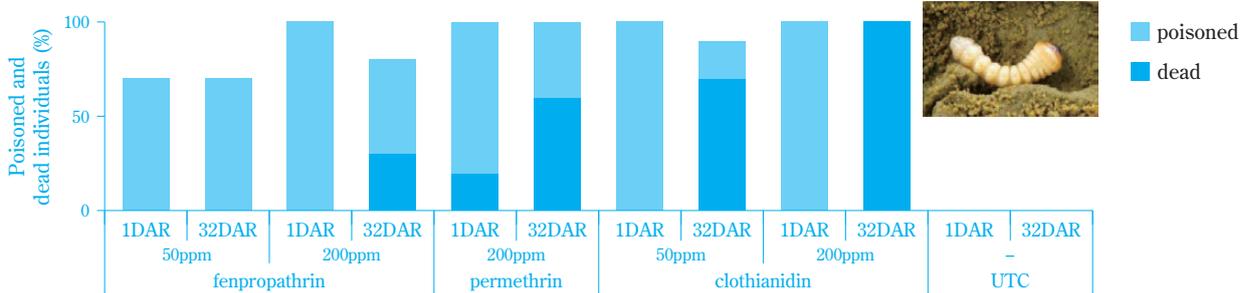
Fig. 4 Insecticidal activity of various insecticides on middle aged larvae of Carpenter moth, *Cossus insularis*, by the dipping of filter paper of rearing cage



Insect : Carpenter moth (*Cossus insularis*)

Method: Mortality of larvae were recorded by rearing with filter paper of which was dipped into diluted solution of insecticides and with artificial diet.

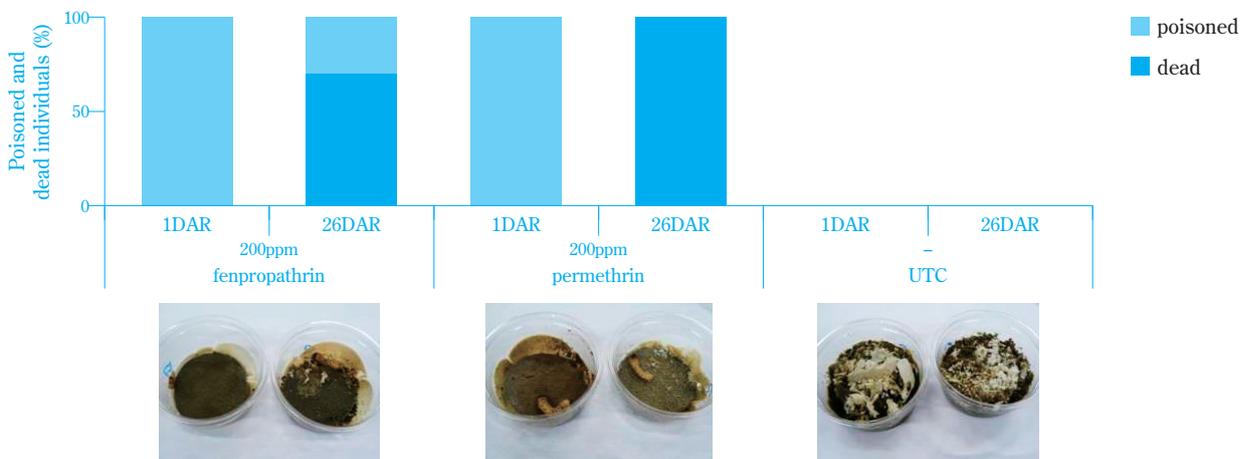
Fig. 5 Insecticidal activity of various insecticides on old aged larvae of Carpenter moth, *Cossus insularis*, by the dipping of filter paper of rearing cage



Insect : Japanese pine sawyer (*Monochamus alternatus*)

Method: Larvae were dipped into diluted solution of insecticides and mortality of larvae were recorded by rearing with artificial diet.

Fig. 6 Insecticidal activity of various insecticides on old aged larvae of *Monochamus alternatus*, by dipping of larval body



Insect : Japanese pine sawyer (*Monochamus alternatus*)

Method: Mortality of larvae were recorded by rearing with filter paper of which was dipped into diluted solution of insecticides and with artificial diet.

Photos were views of rearing cage of the larvae at 18 days after release.

Food and filter paper were broken by the larval feeding in untreated cage.

Fig. 7 Insecticidal activity of various insecticides on old aged larvae of *Monochamus alternatus*, by the dipping of filter paper of rearing cage.

を考慮すると、clothianidinはチョウ目害虫に対して一般的に殺虫効果が高くない、fenitrothionはリンゴ等に対する薬害リスクが低くない、というマイナス点を有

する。従い、実使用場面を想定した薬剤処理法の検討は、fenpropathrinおよびpermethrinの合成ピレスロイド2剤を中心に実施した。

さらに、薬剤選抜試験の結果から、防除効率を高めるための薬剤処理方法に関するヒントが得られた。代表的な樹幹害虫であるヒメボクトウ、マツノマダラカミキリの両種において虫体浸漬処理よりも濾紙浸漬処理の方が高い殺虫効果を示したが、これは樹幹害虫の幼虫が硬い木材の中を穿入するために丈夫な皮膚を持つため、経皮経路では薬剤の取り込みが少なくなるためと思われた。一方、幼虫の生息環境付近に薬剤が存在することを仮定した濾紙浸漬処理では、薬剤への曝露時間が延長することに加えて、経口経路でも薬剤が取り込まれることから、より効果的に殺虫効果が発揮されたものと推察した。このため、樹幹害虫の幼虫防除時には、幼虫の生息部位付近に薬剤を到達させるような処理方法、即ち穿入孔付近に薬剤散布する方法や樹幹注入がより効率的であると推察した。

このため、樹幹害虫防除への適用薬剤としてはpermethrin、fenpropathrinの合成ピレスロイド2剤が有望視されるが、ヒメボクトウに対してはfenpropathrinの方が低濃度でもノックダウン効果や殺虫効果が高い傾向があり、マツノマダラカミキリに対してはpermethrinの方が効果は高い。一方、fenpropathrinもマツノマダラカミキリの幼虫の摂食を完全に抑制することから(Fig. 7)、チョウ・コウチュウの主要2目に対する防除効果は十分期待できると判断される。樹幹害虫防除に向けて重要な対象となる果樹分野では、リサージェンスが生じにくいfenpropathrinの特性はpermethrinよりも好適であると判断されるため、以後、fenpropathrinでの展開を念頭に処理方法の改善を試みた。

2. 樹幹散布

樹幹害虫に対する防除方法として最初に検討したのが樹幹散布である。樹幹散布とは、樹の幹や枝などに対して直接薬液を噴霧することで樹内に穿孔している幼虫や蛹、産卵に飛来した成虫の密度を抑制する、または、

産下された次世代の食入を阻止する防除方法である。当社加西試験農場のモモ樹に重要な樹幹害虫であるスカシバガ科のコスカシバ*Synanthedon Hector*の被害が多発していたため(Fig. 8)、この幼虫に対する各種薬剤の樹幹散布による防除効果について検討した。

基礎的な効力を把握する目的で、加害する幹・枝表面に十分量の薬液を一様に散布し、樹内の幼虫に対する防除効果を調査した。結果、fenpropathrinおよびcypermethrinの2剤は本種の幼虫密度を処理前よりは抑制したものの、3割強の幼虫が生き残った(Fig. 9)。ただし、合成ピレスロイド2剤の防除効果は、比較・対照としたfenitrothionおよび他社ネオニコチノイド系殺虫剤や他社有機リン系殺虫剤よりも高い値を示した。

次に、コスカシバの幼虫が放出したフラス(木屑、糞等)により樹内での幼虫の生息箇所を特定し、生息部位の樹皮上に集中的に薬剤を散布するスポット処理による防除効果を調査した。結果、被害樹の樹幹全体に散布したときよりも防除効果は向上し、かつ合成



Fig. 8 Feeding damage of Cherry treeborer, *Synanthedon Hector* on peach tree (a, b), Larvae of the species inhabit beneath the bark (c)

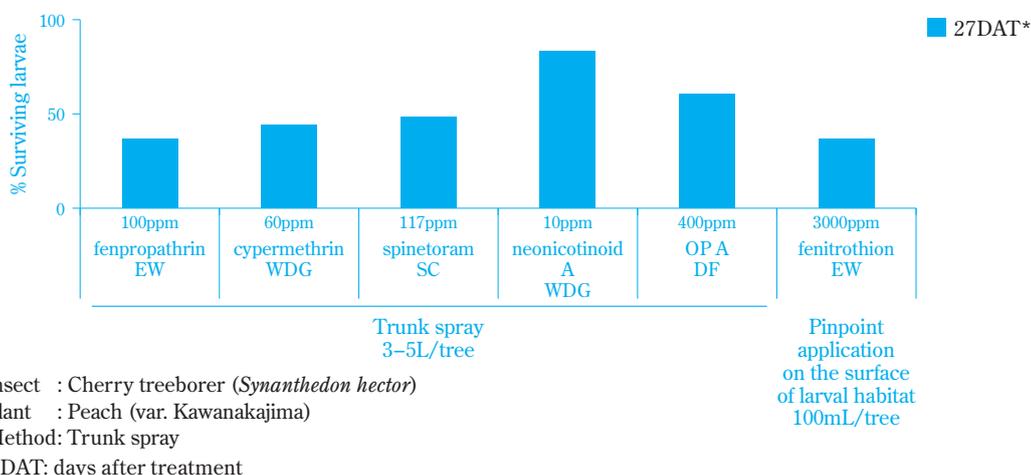


Fig. 9 Efficacy of trunk spray on Cherry treeborer, *Synanthedon Hector*, on peach tree

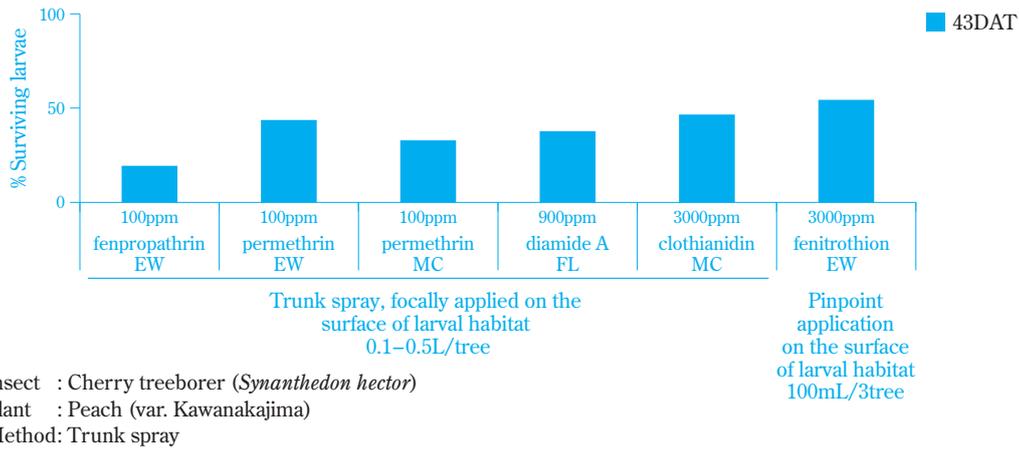


Fig. 10 Efficacy of trunk spray of focally sprayed on the larval habitat of Cherry treeborer, *Synanthedon hector*, on peach tree

ピレスロイド剤2剤の防除効果はfenitrothion・clothianidinや他社ジアミド系殺虫剤よりも高いことが示された (Fig. 10)。ただし、高殺虫活性の薬剤においても、樹皮上スポット処理では、未だ2-3割程度の幼虫が生き残ったことから、幼虫密度を一定のレベルまで抑制することは可能であるが、樹内の幼虫を完全に防除するのは困難であると判断された。このため、樹幹害虫を実用に足るレベルで防除するには、害虫種の孔道内に直接注入するなどして、幼虫の生息部位にまで薬剤を到達させる必要があると考えられた。

3. 樹幹注入

人為的に樹幹害虫を樹木に侵入させ、その孔道内に薬液を注入し、どの程度の防除効果が得られるかを検討した。

ヒメボクトウの中齢幼虫もしくは老齢幼虫をナシの剪定枝に多数穿入させた後に、シリンジにより穿入孔の入口から0.5~1mLの薬液を注入し、枝を解体して幼虫の生死を判別した (Fig. 11)。試験には径の異なる枝 ($\phi 1\sim 1.5\text{cm}$ と $\phi 4\sim 6.5\text{cm}$) を準備し、小径枝の試

験では薬液の注入量を変えた場合の効果差についても調査した。

小径枝での検討結果では、fenpropathrinは50ppmでは殺虫効果は低かったが、100ppmでは大半の幼虫が死亡した (Fig. 12)。また、50ppm処理でのみ検討した薬液量と殺虫効果については、当然ながら薬液量が多いほど殺虫効果は向上した。本試験では、fenpropathrin濃度が100ppmでも死虫率が100%に至らなかったが、こ



(a): larvae infested branch of pear
 (b): dissected branch for evaluation

Fig. 11 Views of branch injection test

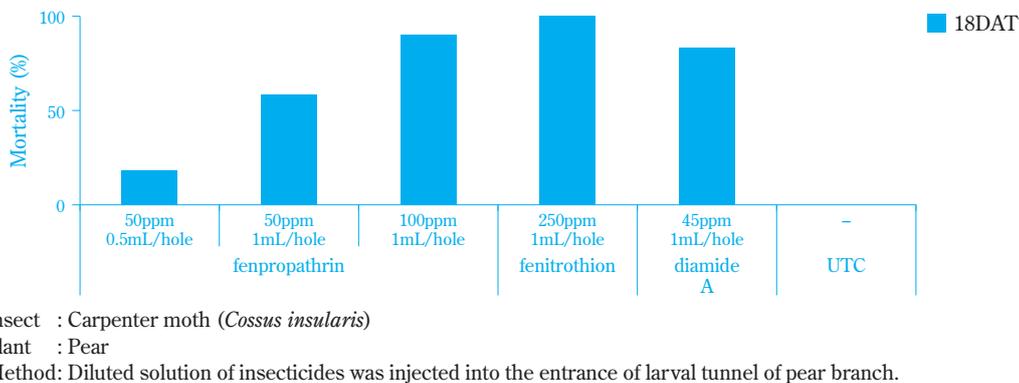
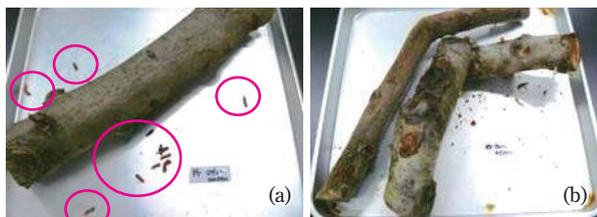
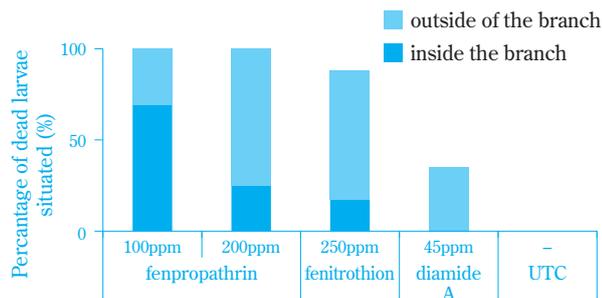


Fig. 12 Insecticidal activity of various insecticides on middle aged larvae of Carpenter moth, *Cossus insularis*, by the liquid injection into the larval tunnel of pear branch ($\phi 1\sim 1.5\text{cm}$)



(a): fenpropathrin 200ppm
(b): diamide A 45ppm

Fig. 13 Flushing out effect of synthetic pyrethroid on Carpenter moth larvae



Insect : Carpenter moth (*Cossus insularis*)
Plant : Pear
Method: One ml of diluted solution of insecticides was injected into the entrance of larval tunnel boring on pear branch.

Fig. 14 Insecticidal activity of various insecticides on old aged larvae of Carpenter moth, *Cossus insularis*, by the liquid injection into the larval tunnel of pear branch (ϕ 4–6.5cm)

れは処理時に穿入孔の見落としがあったためであり、樹幹害虫の穿入孔への薬液注入では処理時に穿入孔を見落とさないことが重要であることが判明した。

大径枝を用いた試験では穿入孔に確実に薬液を注入した。結果、fenpropathrin処理区では100、200ppmともに薬剤処理直後より幼虫の多くが苦悶症状を呈して穿入孔から脱出するフラッシングアウト効果が認められ (Fig. 13)、すべての幼虫が速やかに枝の内外で死亡した (Fig. 14)。

以上の結果より、樹幹害虫の幼虫の孔道内への薬液注入処理は少なくともヒメボクトウ防除には非常に有効であること、fenpropathrinの100、200ppmにより確実な幼虫の致死やフラッシングアウト効果が狙えることが判明し、実際の防除現場で使用者に防除実感が得られるアピール度の高い技術として仕上がる事が期待された。

エアゾール剤の開発へ

fenpropathrinの樹幹注入により樹幹害虫を防除する、というコンセプトで防除技術を仕上げることは決まったが、実際の被害現場では樹種や樹齢、樹形などが大

きく異なるため、作業効率のよい汎用性の高い技術に仕上げる必要がある。既に果樹分野で汎用されているfenpropathrinを成分とする「ロディー®乳剤」を動力噴霧器などの散布機を利用して幼虫の穿孔部に注入するといった方法も想定されたが、2014年に他社がヒメボクトウ防除に適用拡大した昆虫寄生性線虫を用いた製品は、樹内で迷路状となったヒメボクトウの孔道内に薬液を注入するため動力噴霧機などに特別なアタッチメントを装着する加圧噴霧の手法を採用していた。この方法では、実際の使用場面では生産者に特別な装置の購入・装着を強いることへの煩雑さがあった。また、既存散布機の使用では、主枝の下面など複雑な部位に発生した被害部に薬剤処理する際にノズルやホース部などが邪魔になる可能性があるなどハンドリング面での懸念が残されていた。これらの懸念に対して、コンパクトな形状のエアゾール剤であれば葉や枝が入り組んだ樹幹部の被害に対しても速やかに到達でき、枝の下面に生じた被害などに対しても適切に処理することが可能となる。こうした製剤型を含めた実際の被害現場で当該技術に求められる製品性能に関しては、ヒメボクトウやゴマダラカミキリの激発地である福島、秋田、山形、徳島、愛媛などの県の試験研究機関の指導者層が当社の試みに強い関心を寄せてくださり、強固なサポート体制のもと、適切かつ有用な情報をいただいた。これら情報は、製品開発の加速化における大きなアドバンスとなった。

結果、当社の防除技術は実際の使用現場で生産者が容易かつ効率的に防除に専念できるように噴霧ノズルを穿孔部に差し込んで噴霧するfenpropathrin 0.02%を有効成分とする480mL缶のエアゾール剤とし、ノズル形状は、①穿入孔にノズルを差し込んで樹内に薬液噴霧を行う場合と、②ノズルを収容したままケムシなどの樹上の害虫種などに対して噴射する場合の2通りの処理方法で使用可能なように2ウェイノズルを採用した (Fig. 1)。

製品製造については、エアゾール剤の開発に造詣が深い住友化学園芸株式会社の協力を仰ぎ、各種エアゾール製剤の製造実績が豊富な東洋エアゾール株式会社にて薬剤の充填、加圧を行い、製品化するという製品開発の方針が決まり、2016年上市という最速の開発スケジュールで被害地からの需要に対応することが決定した (開発コード番号: S-1675エアゾール)。

実用性評価

1. 防除効果

2013年より当初から本剤の重要ターゲットに挙げていたヒメボクトウに対する実用性を各地の試験研究機関に委託評価するとともに、複数の害虫種に対して実

Table 1 Results of contract trials of “Robinhood” by trunk injection

| Crops | Target Pests | No. of trials | Degrees of the test results* | | | | Application method |
|--------|--------------------|---------------|------------------------------|------|----------|-------------|--------------------|
| | | | Excellent | Good | inferior | no efficacy | |
| Apple | Carpenter moth | 6 | 2 | 3 | 1 | 0 | trunk injection |
| Pear | Carpenter moth | 4 | 2 | 2 | 0 | 0 | trunk injection |
| Apple | Cerambycid beetles | 6 | 5 | 1 | 0 | 0 | trunk injection |
| Fig | Cerambycid beetles | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | trunk injection |
| Citrus | Cerambycid beetles | 4 | 4 | 0 | 0 | 0 | trunk injection |
| Loquat | Cerambycid beetles | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | trunk injection |
| Grape | Sesiids moth | 3 | 3 | 0 | 0 | 0 | trunk injection |
| Peach | Sesiids moth | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | trunk injection |
| Grape | Swift moth | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | trunk injection |

Results at March 10th, 2017

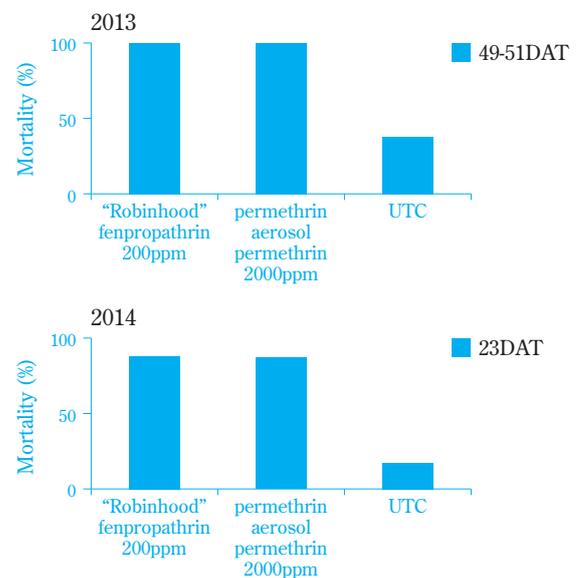
*Degrees of the results was followed on the basis of Japan Plant Protection Association.

用性評価を実施した。処理薬量（噴霧量）については、樹上の害虫種に対しては対象に向けて十分量噴霧することとし、樹内の害虫種に対しては穿入孔から樹内の幼虫の生息部位にまで十分量の薬液を到達させられるよう、「穿入孔からノズルを差し込み、入口から薬液が逆流するまで十分量噴霧する」とした。

結果、ロビンフッド®は、ヒメボクトウ他の各種樹幹害虫に対し、総じて高い防除効果を示し、高い実用性を持つことが示された（Table 1）。当社加西試験農場で実施した試験でもルリカミキリ、ゴマダラカミキリなどのカミキリムシ類やコスカシバやゴマフボクトウなど各種チョウ目害虫に対して高い防除効果を示した（Fig. 15~20）。同様にノズル収容時の通常噴射でも、各種樹木のケムシ類やゲンバイムシ類、各種花卉類へのアブラムシ類に対して概ね高い効果を示した（Table 2）。



Fig. 15 Feeding damage of larvae of *Bacchisa fortunei japonica* on apple tree (a, b), Branches which fenpropathrin was sprayed into larval tunnel were collected from the field (c) and dissected (d: Untreated, e: “Robinhood” treated)

Insect : Pear borer, *Bacchisa fortunei japonica*

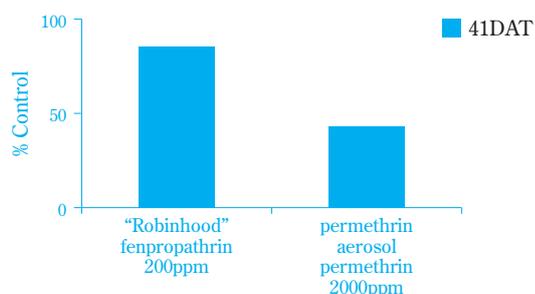
Plant : Apple

Method: Enough volume of insecticides were sprayed into the entrance of larval tunnel of *Bacchisa fortunei* inhabit on the apple trees.

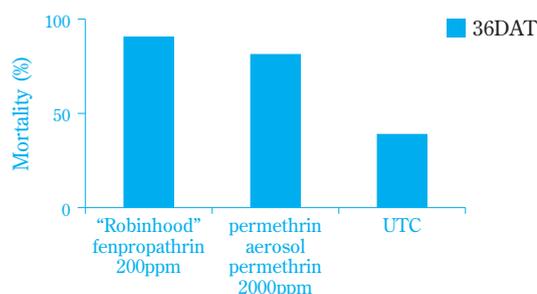
Fig. 16 Efficacy of “Robinhood” against *Bacchisa fortunei* by spray injection from the entrance of larval tunnel on the apple tree



Fig. 17 Adult of *Zeuzera multistrigata leuconota* (a) and feeding damage of the larvae on the trunk of apple tree (b)



Insect : Oriental leopard moth, *Zeuzera multistrigata leuconota*
 Plant : Apple
 Method: Enough volume of insecticides were sprayed into the entrance of larval tunnel.

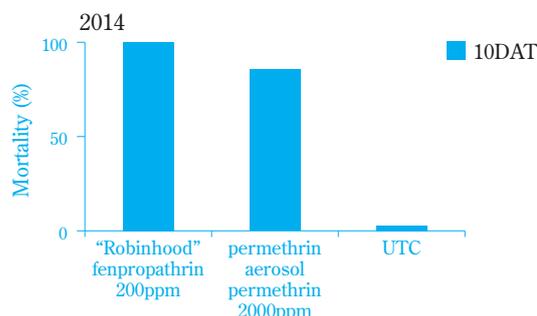


Insect : Cherry treeborer *Synanthedon hector*
 Plant : Peach
 Method: Enough volume of insecticides were sprayed into the entrance of larval tunnel.

Fig. 18 Efficacy of "Robinhood" against *Zeuzera multistrigata leuconota* and *Synanthedon hector*



Fig. 19 Adult of *Anoplophora malasiaca* (a) and feeding damage of the larvae on the trunk of citrus tree (b, c)



Insect : White-spotted longicorn beetle, *Anoplophora malasiaca*
 Plant : Citrus
 Method: Enough volume of insecticides were sprayed into the entrance of larval tunnel of white-spotted longicorn beetle which inhabit on the citrus trees.

Fig. 20 Efficacy of "Robinhood" against *Anoplophora malasiaca* by spray injection from the entrance of larval tunnel on the citrus tree

Table 2 Results of contract trials of "Robinhood" by foliar spray

| Plants | Target Pests | No. of trials | Degrees of the test results* | | | | Application method |
|------------------------|--------------|---------------|------------------------------|------|----------|-------------|--------------------|
| | | | Excellent | Good | inferior | no efficacy | |
| Cherry tree | Moth larvae | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | foliar spray |
| Sycamore | Moth larvae | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | foliar spray |
| Camellia | Moth larvae | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | foliar spray |
| Azalea | Lace bugs | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | foliar spray |
| Sycamore | Lace bugs | 3 | 3 | 0 | 0 | 0 | foliar spray |
| <i>Pieris japonica</i> | Lace bugs | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | foliar spray |
| Chrysanthemum | Aphids | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | foliar spray |
| Salvia | Aphids | 3 | 3 | 0 | 0 | 0 | foliar spray |
| Pansy | Aphids | 3 | 0 | 2 | 1 | 0 | foliar spray |

Results at March 10th, 2017

*Degrees of the results was followed on the basis of Japan Plant Protection Association.

2. 薬害

委託試験を含むすべての試験地で、樹内に薬剤を噴霧した場合には薬害は確認されなかった。

しかし、ノズルを介さず樹上部害虫や花卉害虫に対

して噴霧した時には2例のみ処理葉部に縮れや葉枯れなどが確認され、いずれも処理時に植物体に噴霧穴を近接させたことが明らかとなった。この現象は、本剤がエアゾール剤であるがゆえに植物体に近接した状態で

噴霧すると高圧で噴霧された薬液の氷結により対象作物に「冷害」が生じたものと判断され、使用時には植物体から30cm程度離れた場所から1~3秒間ずつ断続して噴霧することで冷害を回避する必要があることをラベルに明記した。

効力・薬害評価の結果は良好であったものの、委託試験にて実施したヒメボクトウの評価のうちのごく一部では防除効果が十分に得られなかった事例が認められたことから、登録取得・上市までに詳細が不明である樹内での薬剤動態などを明らかにし、使用時に生じる諸問題や不効事例を生じさせる要因を抽出・整理し、それぞれに対する解決法を見出す必要があった。

処理時に発生する問題点と対処法

1. 幼虫の発育ステージと効力

樹幹害虫には、たとえ同一シーズンに産卵された卵であったとしても摂食する樹木の状態や産下された時期などに従い、個体ごとに大きな発育差が生じることが知られている⁸⁾⁻¹⁰⁾。このため、同一被害木の中にも

発育ステージの異なる幼虫が混在している場合が多く、こうした処理木内の幼虫の発育ステージにより防除効果に差が生じる可能性がある。ロビンフッド®をヒメボクトウとマツノマダラカミキリの若齢幼虫と中~老齢幼虫の虫体に直接噴霧し、その後の死亡率を比較した結果、いずれの幼虫に対しても高い殺虫効果を示し (Fig. 21, 22)、樹内の幼虫の発育ステージに拘わらず高い防除効果が期待できると判断された。

2. 樹内への薬液の到達性

樹幹害虫の中にはヒメボクトウのように幼虫の孔道が複雑に入り組んでいるものがあり、こうした種では各孔道の長さには大きな差がある上に、内部に幼虫が排出したフラスや脱皮殻などが蓄積している場合も多い。こうした多様な条件の孔道内に、樹皮表面に開いた穿入孔から薬液噴霧するのみで、幼虫やその生息部位まで薬剤が到達するか否かが、その後の防除効果に大きな影響をおよぼすことが容易に想像できる。

このため、薬液を赤色に着色した製剤を試製し、ヒメボクトウの被害地である秋田県と福島県、ゴマダラカミキリの被害地である愛媛県で実際の被害樹（大径

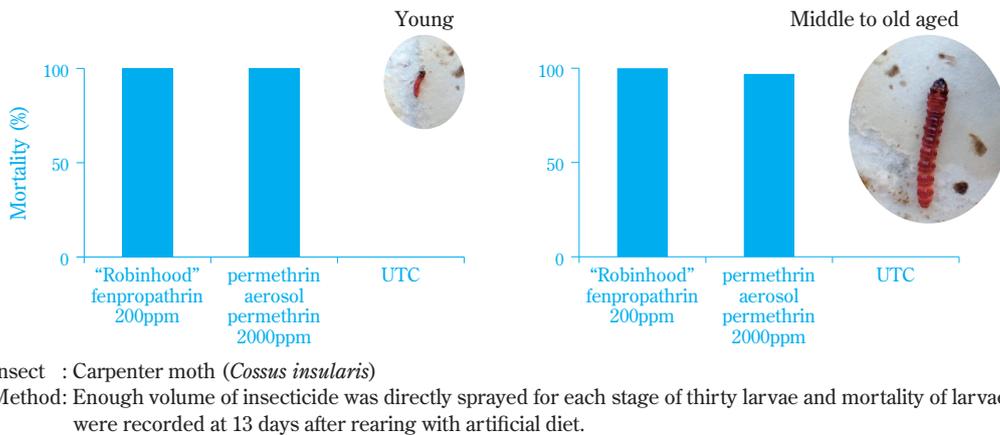


Fig. 21 Efficacy of “Robinhood” on different developmental stages of larvae of Carpenter moth

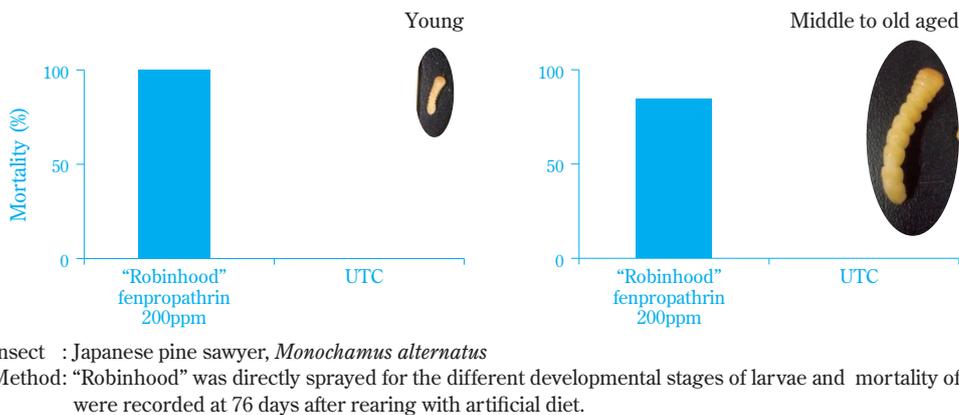


Fig. 22 Efficacy of “Robinhood” on different developmental stages of larvae of Japanese pine sawyer, *Monochamus alternatus*



Enough volume of liquid solution of red-colored products were sprayed in all entrance of the larval tunnel of Carpenter moth, which infested inside apple trees before (a) and after stripping the bark (b), respectively. Treated trees were split by the log cutter (c) and the red-stained portion were investigated focusing on whether the liquid could reach to the larvae or not (d).

Fig. 23 Evaluation method of achievement of “Robinhood” to the larval tunnel of Carpenter moth, *Cossus insularis*

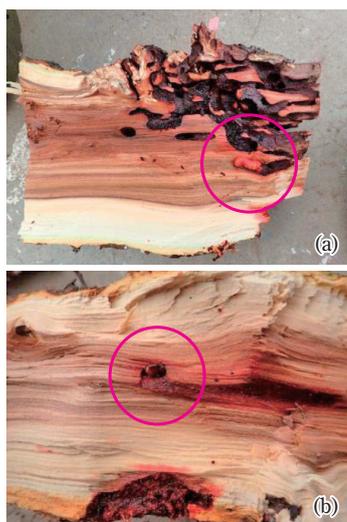
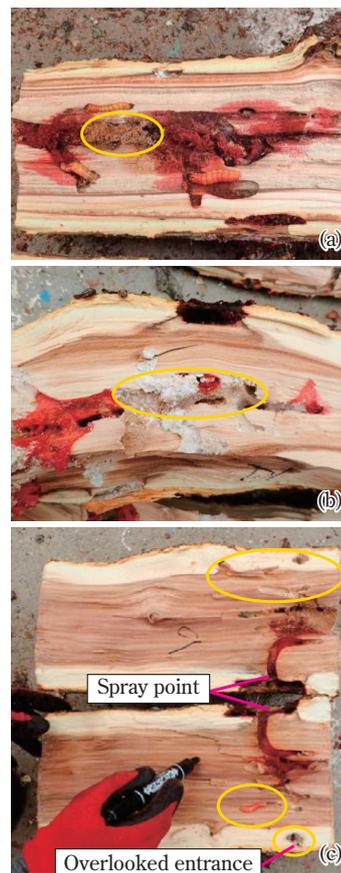


Fig. 24 Achievement of the solution of “Robinhood” to the tunnel of larvae of Carpenter moth which infested in the apple trees (a, b)

木)に薬剤処理を行い、各樹を伐採後に解体して孔道内での染色部位の到達程度を確認した (Fig. 23)。いずれの試験地においても、薬剤処理前に加害部の樹皮剥ぎを行わずに目視で確認できた穿入孔すべてに薬剤を処理した場合と、樹皮剥ぎを行い穿入孔を見やすくした後に薬剤処理した場合の2通りの方法の処理を試みた (Fig. 23)。

リンゴのヒメボクトウでの試験では、穿入孔すべてに十分量の薬剤を噴霧した場合には、薬剤が高確率で幼虫の生息域にまで到達し、直径20cmほどの樹で



(a): Firm frass mass was stacked inside the tunnel.
(b): Wood decaying fungi was infested inside the tunnel.
(c): Entrance of tunnel was overlooked at application.

Fig. 25 Cases of unachievement of solution of “Robinhood” to the larvae of Carpenter moth in apple trees

あっても多岐に分岐した孔道や材の中心部にまで薬剤がまんべんなく行き渡っていることが確認された (Fig. 24)。

一方、ごく一部ではあるが、薬剤が幼虫の生息部位まで達していない事例が数例確認され、これらの要因は、次の通りであった (Fig. 25)。

- (a) 幼虫が排出したフラスが孔道内に固く詰まっていたことにより薬剤処理部から先の孔道にまで薬剤が到達しなかった場合。
- (b) 孔道内に木材腐朽菌などの菌糸が繁茂したことにより薬剤処理部から先の孔道にまで薬剤が到達しなかった場合。
- (c) 穿入孔の見落としによる薬剤未処理部の発生。

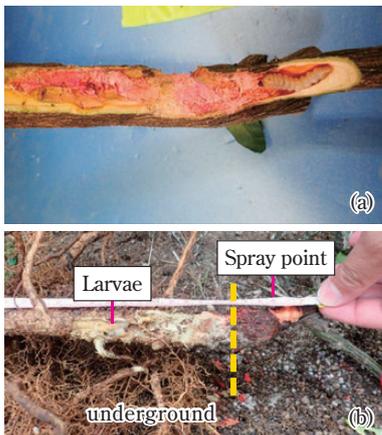
これらのうちの(a)、(b)については樹幹害虫の生態上不可避であるため、抜本的な解決法はなく、幼虫の発育が進み孔道内に大量のフラスが放出される、または、菌糸が蔓延する前の害虫発生初期に防除を行うよう普及を行うことが重要である。(c)については処理前に加害部周辺のみではなく、範囲を広げて樹皮を剥いだ場合には穿入孔の見落としが大幅に軽減できることから、

本剤を処理するには事前に加害部の樹皮剥ぎを行うことが重要である。

カンキツのゴマダラカミキリについても処理前の樹皮剥ぎにより薬剤の幼虫・幼虫生息部位までの到達性が増すことが示され、同分野での使用時にも樹皮剥ぎは重要となる。ただし、ゴマダラカミキリの場合には本種の生態に伴う特有の事例がある。本種はカンキツの莖葉部や幹に産卵を行う場合と地際部に産卵する場合があります (Fig. 19, 26)、地上部に加害した場合には高確率で幼虫に薬液が到達するものの、地際部被害に対しては幼虫が根部にまで食入することもあり、幼虫への薬液到達は期待できない (Fig. 27)。



Fig. 26 Feeding damage of the larvae of White-spotted longicorn beetle, *Anoplophora malasiaca* on basal part of citrus tree



Liquid solution can achieve to the larvae inhabited at stem and/or trunk of the tree (a), but it cannot reach to the larvae which dug to the root from basal part of the tree.

Fig. 27 Achievement of solution of “Robinhood” to the larvae of White-spotted longicorn beetle, *Anoplophora malasiaca*

3. ノズル詰まり

樹木内に穿入した幼虫は、穿入時や孔道の拡張時に出たフラスを樹の外に排出する。このフラスの放出が

樹幹害虫の加害部位や穿入孔を特定する際の大きな目印となるが、本剤を処理する際、ノズルが詰まる原因となることが明らかとなった。ノズル詰まりは、事前に行える限りフラスを除去することや、噴霧を行いつつながら穿入孔にノズルを差し込むなどにより軽減できることから、その旨を製品容器に明記した。

推奨処理時期

ヒメボクトウは、成虫が6月～7月にかけて羽化ピークを迎え、樹皮の割れ目などに産下された卵塊から孵化した幼虫が樹内に食入する^{6),7)}。幼虫が樹内深くに潜り込む前に早期防除することが好ましいが、上述したように本剤は樹内深くの穿孔部にも高確率で到達できるうえに幼虫の発育ステージを選ばず効果を発揮することが示されている。このため、ヒメボクトウに対しては農繁期～農閑期を選ばずに、適宜防除することで密度抑制が可能と考えられる。

ゴマダラカミキリは、成虫が5月下旬～7月上中旬にかけて羽化ピークを迎え、各種樹木に飛来し、卵巣を発達させるために葉部や新梢の樹皮を摂食（後食）、交尾を経て、雌は樹皮下に産卵する。幼虫は孵化後に樹内を穿孔しながら盛んに形成層を摂食し、冬季近くなると根部付近にまで到達する個体も存在する。このため、本種の幼虫に対する防除効果を高めるには、幼虫が樹内の深い場所や根部に到達する前に防除することが重要であり、幼虫のフラスを盛夏～初秋までに早期発見し、防除することを推奨している。

登録内容

ロビンフッド®の登録内容（2017年3月10日現在）は、Table 3の通りである。本剤は、各県の指導者層から強い要望を受けていたリングゴヤナシのヒメボクトウ防除分野で早急に使用できるように最速のスケジュールで開発を進めたため、現時点での適用作物および害虫登録内容は少ないが、多岐にわたる樹種を加害する多くのカミキリムシ類の被害に使用できるように、果樹類での検討を進めており、またその他の樹幹害虫に対する新たな検討も試みている。さらに将来的には造林木から庭園木、街路樹に至るまでカミキリムシ類が発生する樹木類のすべてに対して本剤が使用可能となることも目指している。

本剤は収穫前日まで使用可能と使用時期の幅が極めて広いため、繁忙な農作業のスケジュールの合間を縫って樹幹害虫を防除できるという利点があり、各地域で生産者の作業スケジュールに応じた使用適期を推奨できるよう鋭意検討を継続する。

Table 3 Domestic registration of “Robinhood”

| Crops | Target Pests | PHI* | Maximum number of applications per year | Application method |
|-------|--------------------|-------|---|-----------------------|
| Apple | Carpenter moth | 1 day | 2 | trunk injection spray |
| | Cerambycid beetles | | | |
| Pear | Carpenter moth | 1 day | 2 | trunk injection spray |
| Trees | Moth larvae | — | 6 | Foliar spray |

Registration situation at March 10th, 2017

*Pre-harvesting interval

おわりに

ロビンフッド®は、近年被害が深刻な樹幹害虫の樹内の幼虫に対して直接、薬剤を到達させて防除することをコンセプトとするエアゾール剤である。本剤は、製品形状がコンパクトな上に噴霧ノズルを穿孔部に挿し込んで噴霧するのみという取扱い面での簡便さを持つため、繁茂した枝葉内や枝の分岐部や下部といった複雑な加害部位に対しても容易に使用でき、被害発生後は防除が困難であった樹内の樹幹害虫を効率的に狙い打ち、防除することができる。このため、現場で実際に活用される使用者の方々には、その生産基盤である樹木自体を自身の手で守り、長期にわたって栽培できるようになるという利点がある。「大事な樹を樹の内側からも守る」という新たな防除概念が広く生産者の方々に浸透し、生産物の安定的生産に貢献できることを期待している。

今後、更なる適用拡大と適用場面の探索を進め、生産地域の防除事情に合った本剤の活用法を見出し、提案していきたい。

謝辞

ロビンフッド®の開発にあたり、実用性評価試験を実施いただいた一般社団法人日本植物防疫協会、各県の植物防疫協会や試験研究機関の方々に深く感謝いたします。特に樹幹害虫の激発地域である福島、秋田、山形、徳島、愛媛の各県の試験研究機関の方々には、検討初期から貴重なご助言をいただき、各種試験のアレ

ンジや実施、さらに登録までのご支援等、本剤の開発に深く関わって下さり温かい励ましをいただきました。さらに本稿を執筆するに際し、ヒメボクトウ成虫の写真を提供していただいた千葉大学の中牟田 潔教授には、幾度とはなく温かい励ましをいただきました。これらの皆様方に、深く感謝の意を表します。

引用文献

- 1) 笠松 紀美, 松尾 憲忠, 津田 重典, 奥野 泰由, 住友化学, **1989-II**, 19 (1989).
- 2) 小林 富士雄, 竹谷 昭彦 (編著), “森林昆虫 総論 各論”, 普賢堂 (1994).
- 3) 坂神 泰輔, 工藤 晟 (編著), “ひと目でわかる果樹の病害虫 第3巻”, 社団法人日本植物防疫協会 (1995).
- 4) 上住 泰, 鍵渡 徳次, “原色 庭木・盆栽の病害虫診断”, 社団法人農山漁村文化協会 (1972).
- 5) 奥野 孝夫, 田中 寛, 木村 裕, “原色 樹木病害虫図鑑”, 保育社 (1977).
- 6) 中西 友章, 日本応用動物昆虫学会誌, **49** (1), 23 (2005).
- 7) 中牟田 潔, 伊藤 慎一, 佐々木 正剛, 中西 友章, 南島 誠, 植物防疫, **54** (12), 779 (2010).
- 8) I. Adachi, *Appl. Entomol. Zool.*, **29** (4), 485 (1994).
- 9) T. Nakanishi, T. Kaneda and K. Nakamuta, *Appl. Entomol. Zool.*, **52** (1), 29 (2017).
- 10) 富樫 一巳, 日本応用動物昆虫学会誌, **33** (1), 1 (1989).

PROFILE



佐藤 隆士
Takashi SATO

住友化学株式会社
健康・農業関連事業研究所
主席研究員
博士 (学術)



佐藤 直樹
Naoki SATO

住友化学株式会社
アグロ事業部
主任部員