

かがわ型アスパラガス栽培システムにおける自動防除機を用いた 害虫防除

佐野有季子^{a)}, 川田 千瑛^{a)}, 佃 晋太郎^{a)}, 中西 充^{a)}, 西村 融典^{b)}, 吉田 一史^{b)},
山地 優徳^{c)}, 池内 隆夫^{c)}

キーワード：アスパラガス, 自動防除, ネギアザミウマ, カンザワハダニ

Development of an Automatic Insect Pest Control Machine for Kagawa-type Asparagus Cultivation

Yukiko SANO^{a)}, Chiaki KAWATA^{a)}, Shintaro TSUKUDA^{a)}, Mitsuru NAKANISHI^{a)},
Hironori NISHIMURA^{b)}, Kazushi YOSHIDA^{b)}, Masanori YAMAJI^{c)}, Takao IKEUCHI^{c)}

Key words: asparagus, automatic pests control, onion thrips, kanzawa spider mite

Abstract

1. We built a prototype automatic insect pest control machine for the Kagawa system of asparagus cultivation and evaluated its performance. On investigating the appropriate amount for, we found that 76 L/1000 m² of spray was insufficient and that 125 L/1000 m² or more was required to control Kanzawa spider mites.
2. We found the prototype machine to be as effective as hand-spraying against Kanzawa spider mites but inferior to hand-spraying for controlling onion thrips. Onion thrip survival was particularly conspicuous along the sides of the greenhouse. Residue analysis revealed that the amount of pesticide adhering to pseudo-leaves along the sides was small, indicating that the prototype machine failed to deliver sufficient pesticide to the plants along the sides, resulting in inferior effectiveness.
3. These results indicate that we need to develop and evaluate the performance of a prototype automatic pest control machine that can more effectively control insect pests, with the eventual aim of practical application.

摘 要

かがわ型アスパラガス栽培システムにおける自動防除機を試作し、性能評価を行った。カンザワハダニを対象として適切な吐出量を検討した結果、76L/10aでは防除効果が不足し、125L/10a以上の吐出量が必要であることがわかった。ネギアザミウマとカンザワハダニを対象

とし、作期を通じて試作機散布と手散布の防除効果を比較したところ、カンザワハダニでは手散布と同等の防除効果が認められたが、ネギアザミウマでは試作機散布の防除効果が手散布に劣った。ネギアザミウマの残存は特にサイド側で多く、擬葉の残留分析では試作機散布ではサイド側の付着量が小さかったことから、試作機の吐出量ではサイド側への薬液到達量が不足し、防除効果が劣ったものと考えられた。今後、より防除効果の高い自

動防除機を試作し、実用化に向けた性能評価を行う必要があると考えられた。

緒 言

香川県における施設栽培アスパラガスでは、栽培期間を通じてネギアザミウマ (*Thrips tabaci* Lindeman) やカンザワハダニ (*Tetranychus kanzawai* Kishida) の発生が見られ、収穫部位を加害するため、減収の一因となっている。そのため収穫期間中は定期的に殺虫剤の散布を行う必要があり、防除に要する労力が大きい。

また、國本・井上⁴⁾は、動力噴霧器を使った散布において作業者の技量や経験によって付着量に差が生じることを報告しており、アスパラガスにおいても作業者による付着量の差は大きい(佃⁸⁾)。中西ほか⁶⁾はアスパラガス擬葉へのイミダクロプリド付着量が減少すると死虫率が低下することを報告しており、作業者の経験が浅い場合など、十分量の農薬を付着させることができず、防除効果の低下に繋がる可能性がある。作業者による付着量の違いが小さい防除方法(中西ほか⁶⁾)として、歩行型スピードスプレーヤを用いた防除も普及しているが、施設内で使用するため作業者の暴露量が大きいと考えられる。

そこで、防除の省力化と防除効果の安定化を図るため、かがわ型アスパラガス栽培システムの特徴を生かし、アスパラガスハウス内の収穫台車用レールを利用して走行する自走台車に小型電動噴霧器を搭載した無人防除機を試作した。かがわ型アスパラガス栽培システムとは、ハウス中央部に幅180~200cmの通路を、通路の中心に収穫台車用のガイドレール(直管パイプφ19)を通し、その両側に高さ30~60cm程度の枠板による高畝を設置する枠板式栽培システムである。一定の収量と品質を確保し、作業性に優れた栽培技術であることから、香川県では半促成長期どり栽培の約80%が導入している(佃⁸⁾)。本試験では試作機を用いた散布による防除効果、アスパラガス擬葉への農薬付着量、作業時間について、慣行の手散布と比較し、試作機の性能について検討した。

材料および方法

試作機

試作防除機の写真を図-1に示す。試作機は、ゴムタイヤ式の4輪電動走行台車(駆動は2輪)に市販の散布機、電源、薬液タンク、制御BOXを搭載して構成した。



図-1 試作機による防除の様子

機体寸法は、全長120cm、全幅80cm、機体総重量は148kg(電源重量約22kg含む)である。

散布機は、葉面散布用の小型電動噴霧器(商品名: モーターフォグ, (株)土佐農機社製, 型式: MF100AS, AC100V・モータ出力1050W, 定格吐出量300mL/min, 平均粒子径35μm)を上段, 下段に各1台設置し(通路面からの設置高さは236cmと136cm), さらに吐出量増大のための加圧用自吸式ポンプ(130W, 25L/min), 吐出量調整のための流量制御弁(H₂O用, MAX500mL/min)を追加装備している。電源は、AC100V出力が可能な正弦波発電機(1.8kVA)もしくはポータブル電源(2000Wh)を使用した。薬液タンクの容量は45Lである。

試作機による散布方法は、ハウス内通路の中央部に設置した収穫台車用のガイドレール(直管パイプφ19)に沿って約2.5m/minで走行しながら、通路側から片側の畝に散布し、ハウス奥に到達した段階で進行方向と散布機の向きを自動反転して反対側の畝に散布する。散布機は14回/minの間隔で上下60度の範囲で首振りを行うため、散布高さは通路面から概ね100cm~260cmの範囲である。

試作機による適正な散布量の検討

1. 散布量の違いによる防除効果の比較

試験は、香川県農業試験場内のかがわ型アスパラガス栽培システム(3~4年生株, 2畝植え)の丸屋根型単棟パイプハウス(間口6m×奥行27m, 162m², 棟高3.5m, 軒高1.8m)で行った。ハウスの東側の畝を76L/10a散布区, 西側の畝を125L/10a散布区とし, 2試験区を設置した。

場内の別ハウスから採取したカンザワハダニ個体群を

表－１ 作期を通じた防除試験における薬剤散布日，供試薬剤，散布量，薬剤感受性検定結果

散布日	農薬名	希釈 倍数	防除対象	散布量 (L/10a)		試作機 散布量 (L/min)	処理時間 (min/10a)		薬剤感受性検定による 補正死亡率 (%)	
				試作機散布区	手散布区		試作機散布区	手散布区	試作機散布区	手散布区
6月2日	チオシクロラム水和剤	1500倍	ネギアザミウマ	92.6	351.9	0.77	120.7	58.8	100%	100%
6月15日	フロメトキン水和剤	2000倍	ネギアザミウマ	120.4	516.7	0.99	121.0	50.0	100%	100%
7月11日	クロロフェナビル水和剤	2000倍	カンザワハダニ	94.4	357.4	0.77	122.3	60.2	100%	100%
7月26日	ジノテフラン水溶剤	2000倍	ネギアザミウマ	114.8	436.1	0.96	119.1	60.6	69.3%	62.3%
	シフルメトフェン水和剤	1000倍	カンザワハダニ						100%	100%
8月31日	トルフェンピラド水和剤	1000倍	ネギアザミウマ	138.3	425.0	1.11	124.0	68.1	100%	100%
	ミルベメクテン乳剤	1000倍	カンザワハダニ						100%	100%
9月27日	スピネトラム水和剤	2500倍	ネギアザミウマ	124.7	463.0	1.05	118.9	60.6	100%	100%
	シフルメトフェン水和剤	1000倍	カンザワハダニ						100%	100%

2021年7月9日に放飼し，供試虫とした。

供試薬剤としてシフルメトフェン水和剤（商品名：ダニサラバフロアブル）1000倍希釈を用い，2021年8月2日に試作機を用いて散布した。展着剤は現地慣行に倣い，ソルビタン脂肪酸エステル70.0%，ポリオキシエチレン樹脂酸エステル5.5%剤を最終濃度5000倍で添加した。試作機は両区ともに2.46m/minで走行し，9 min 10sをかけて散布した。散布量の変更は散布ノズルの開度を絞ることで行った。なお，試験に先立ち供試個体群に対しインゲンマメの初生葉を用いた食餌浸漬法によるシフルメトフェン水和剤の薬剤感受性検定を行ったところ，補正死虫率は100%であり，感受性低下個体群ではないことを確認した（データ略）。

圃場での防除効果の調査は，散布3，9，14日後に擬葉を1箇所当たり5回払落し，10×20cmの白色板に落下したカンザワハダニ雌成虫の生存虫数を調査した。調査地点は各試験区において畝の手前，中，奥でそれぞれ1地点ずつ，計3地点とし，払落し箇所は調査地点あたり7箇所（通路側上部（株元から120cm），通路側中部（株元から80cm），通路側下部（株元から50cm），茎葉群落内部（株元から80cm，通路側から10cm程度内側），サイド側上部（株元から120cm），サイド側中部（株元から80cm），サイド側下部（株元から50cm））とした。

2. 擬葉の成分付着量と殺虫効果の関係の検討

1. で薬剤を散布した擬葉をサンプリングし，擬葉に付着した成分による殺虫効果と薬剤付着量の調査を行った。調査地点は各試験区で3地点とし，サンプリング箇所は調査地点あたり4箇所（通路側（株元から120cm），茎葉群落内部（株元から100cm），サイド側上部（株元から120cm），サイド側下部（株元から50cm））とした。散布1日後にアスパラガス擬葉の先端部から約20cmまでの部分を採取し，供試した。殺虫効果の調査は，長さ4 cmに調整した擬葉を水で湿らせたスポンジに差し込

んでスチロール棒瓶（ラボランスチロール棒瓶10mL：型番S-10，口内径φ23.9×胴径φ29.7×高さ46.3mm，材質ポリスチレン）に入れ，カンザワハダニ雌成虫を10頭ずつ接種して封入し，3日後に死虫率を調査した。同サンプルについてシフルメトフェンの残留分析を行い，薬剤付着量を調査した。

作期を通じた防除効果の検討

試験は，香川県農業試験場内のかがわ型アスパラガス栽培システム（3～4年生株，2畝植え）の2ハウス（丸屋根型単棟パイプハウス）で行った。試作機散布区のハウス（間口6 m×奥行27m，162m²）と手散布区のハウス（間口6 m×奥行18m，108m²，棟高3.5m，軒高1.8m）を設置した。

試験ハウスで自然発生したネギアザミウマおよびカンザワハダニを供試虫とした。

試験期間は2022年5月31日から10月31日（収穫終了）までとし，6回の薬剤散布を行った。散布日，供試薬剤，散布量，処理時間を表－1に示す。展着剤はすべての散布で現地慣行に倣い，ソルビタン脂肪酸エステル70.0%，ポリオキシエチレン樹脂酸エステル5.5%剤を最終濃度5000倍で添加した。どちらかの試験区で虫数が増加し，防除が必要と思われたタイミングで，両試験区に同じ薬剤を散布した。手散布区は習熟した作業者が行い，ノズルとして新広角スズラン4頭口（ヤマホ工業（株））を用い，動力噴霧器の圧力を2.0MPaとして散布した。また，供試圃場から採取した個体群を用い，インゲンマメ初生葉を用いた食餌浸漬法により供試薬剤の感受性検定を実施した。7月26日散布のジノテフラン水和剤で薬剤感受性の低下が認められたが，その他の薬剤では薬剤感受性の低下は認められなかった（表－1）。試作機散布区は試作機を用いて通路側からのみ散布，手散布区は動力噴霧器を用いて通路側，サイド側の両方から

散布した。

防除効果の調査は、概ね7日おきに擬葉を1箇所当たり5回払落し、10×20cmの白色板に落下したネギアザミウマ雌成虫（以下、成虫）、幼虫およびカンザワハダニ雌成虫の生存虫数を調査した。調査地点は各試験区において2畝の手前、中、奥でそれぞれ1地点ずつ、計6地点とし、払落し箇所は調査地点あたり7箇所（通路側上部（株元から120cm）、通路側中部（株元から80cm）、通路側下部（株元から50cm）、茎葉群落内部（株元から80cm、通路側から10cm程度内側）、サイド側上部（株元から120cm）、サイド側中部（株元から80cm）、サイド側下部（株元から50cm））とした。

薬剤付着量の調査は、2022年8月31日に散布したトルフェンピラド水和剤（商品名：ハチハチフロアブル）を対象として行った。試作機を用い、展着剤としてソルビタン脂肪酸エステル70.0%、ポリオキシエチレン樹脂酸エステル5.5%剤を5000倍希釈で添加して散布した展着剤あり区、展着剤を加用しない展着剤なし区、ソルビタン脂肪酸エステル70.0%、ポリオキシエチレン樹脂酸エステル5.5%剤を5000倍希釈で添加した手散布区の3区を設置した。散布当日の薬液乾燥後、擬葉の先端部から約20cmまでの部分を1箇所あたり15本採取し、トルフェンピラドの残留分析を行った。調査地点は各試験区で3地点とし、サンプリング箇所は調査地点あたり4箇所（通路側（株元から120cm）、茎葉群落内部（株元から100cm）、サイド側上部（株元から120cm）、サイド側下部（株元から50cm））とした。

防除の所要時間の調査は、散布時に毎回ストップウォッチで散布開始から終了までの時間を計測した。

統計解析

払落し法による防除効果の比較には、一般化線形混合モデル（以下、GLMM）を用いた。GLMMとは、複数の要因の効果の大きさを具体的に数値化でき、その効果は意味があると言えるほど大きいか考察ができる（下野⁷⁾）手法である一般化線形モデル（以下、GLM）に、「人間が測定できない・測定しなかった個体差」を変量効果として組み込んだものである（久保³⁾）。虫害試験では、経時的に調査した虫数データを用い、試験期間を通じた処理区間の虫数の差を比較する場合などに用いられる（貴島ら²⁾など）。今回の試験では、虫数を目的変数、試験区と調査日を説明変数とした。試験区内で払落し箇所別の虫数を比較する際は、試験区に代えて払落し箇所を採用した。また、圃場での虫数調査は各試験区内に調査地点を複数設けたことで疑似反復となっており、調査地点による差を考慮するため（久保³⁾）、調査地点

を変量効果とした。誤差構造はポアソン分布とした。

二群間の比較にはt検定を、三群以上の比較にはTukeyの多重比較またはSteel-Dwassの多重比較を用いた。また、薬剤の付着量と殺虫効果の関係について検討するため、シフルメトフェン付着量の対数値とカンザワハダニ雌成虫の死亡率について、スピアマンの検定を行った。試験区間の死虫率の比較は、死虫率を整列ランク変換（Higginsほか¹⁾）し、試験区と調査箇所を主効果とした二元配置分散分析により行った。統計検定にはEZR version 4.3.2（Kanda⁹⁾）を用いた。

結果

試作機による適正な散布量の検討

1. 散布量の違いによる防除効果の比較

散布後の圃場におけるカンザワハダニ虫数（図-2）は、76L/10a区では、散布3日後には虫数の減少が見られ、散布9日後には払落し箇所平均1頭以下まで減少し

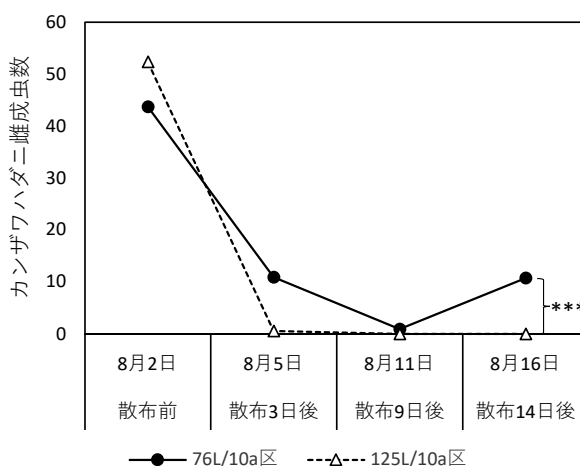


図-2 カンザワハダニ雌成虫数推移（払落し箇所あたり平均）

***：GLMMによる検定で有意差あり（ $p < 0.001$ ）

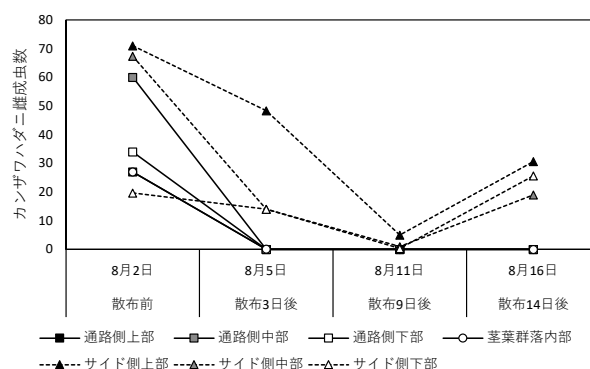


図-3 76L/10a区における調査箇所別カンザワハダニ雌成虫数推移（3地点平均）

たものの、散布14日後には虫数が増加し、防除効果の低下が認められた。125L/10a区では、散布3日後には払落し箇所平均1頭以下に虫数が減少し、散布9日後、散布14日後ではカンザワハダニ雌成虫の発生を認めず、処理14日後まで高い防除効果を維持しており、散布3、9、14日後のすべてにおいて76L/10a区よりも虫数が少なかった。散布3、9、14日後のカンザワハダニ雌成虫数を対象として試験区間の虫数を比較した結果、76L/10a区では125L/10a区より虫数が多かった (GLMM, $p < 0.001$)。

防除後にカンザワハダニの残存が認められた76L/10a区について、調査箇所別の虫数の推移を図-3に示す。通路側、茎葉群落内部では散布3日後に発生が認められなくなり、その後も散布14日後まで発生は認められなかった。一方サイド側では、散布3日後の虫数の減少が十分でなく、特にサイド側上部では3地点平均48頭と多くの残存が認められた。散布9日後にはサイド側の上

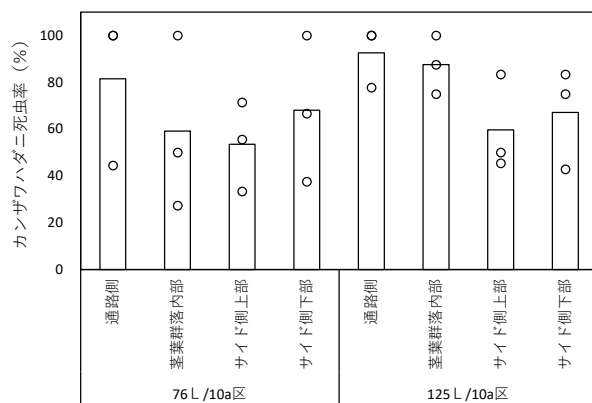


図-4 擬葉採取箇所別カンザワハダニ雌成虫死虫率
棒グラフは平均値、ドットプロットは個別データを示す

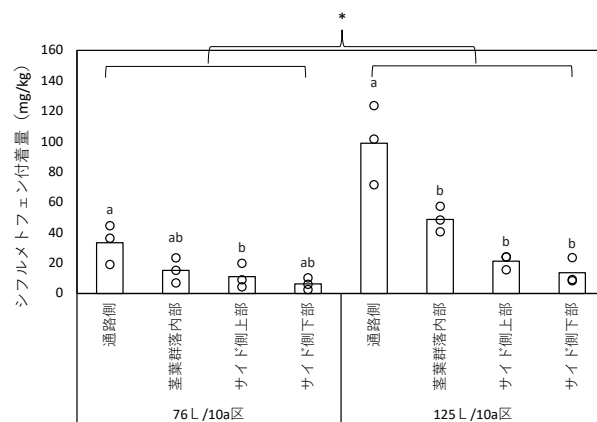


図-5 シフルメトフェン付着量
棒グラフは平均値、ドットプロットは個別データを示す
同一区内において、異符号間にはTukeyの多重比較検定により5%水準で有意差があることを示す
*: t検定による有意差あり ($p < 0.05$)

部、中部、下部の全てで虫数が3地点平均5頭以下まで減少したものの、通路側のように0頭まで減少することではなく、散布14日後には再び虫数が増加した。

2. 擬葉の成分付着量と殺虫効果の関係の検討

サンプリングした擬葉での死虫率を比較すると、試験区間の差は認められなかった (二元配置分散分析, $p > 0.05$) もの、通路側、茎葉群落内部では125L/10a区が76L/10a区より死虫率が高い傾向があった。サイド側上部、サイド側下部では両区で概ね同等の死虫率であった。同一散布量におけるサンプリング箇所による死虫率の差を比較すると、いずれの試験区でも差は認められなかった (Steel-Dwassの多重比較, $p > 0.05$) が、両試験区ともにサイド側より通路側の死虫率が高い傾向があった (図-4)。

擬葉のシフルメトフェン付着量は、試験区間の差が認められ (t検定, $p < 0.05$), 125L/10a区は76L/10a区より2~3倍程度付着量が多かった。サンプリング箇所による差を検討したところ、通路側よりサイド側で付着量が少ない傾向があった。76L/10a区では通路側とサイド側上部の間に、125L/10a区では通路側と茎葉群落内部、サイド側下部、サイド側上部の間に差が認められた (Tukeyの多重比較, $p < 0.05$) (図-5)。

また、シフルメトフェンの付着量の対数値とカンザワハダニ雌成虫の死虫率の間には、正の相関が認められた (スピアマンの検定, $\rho = 0.68$, $p < 0.001$) (図-6)。

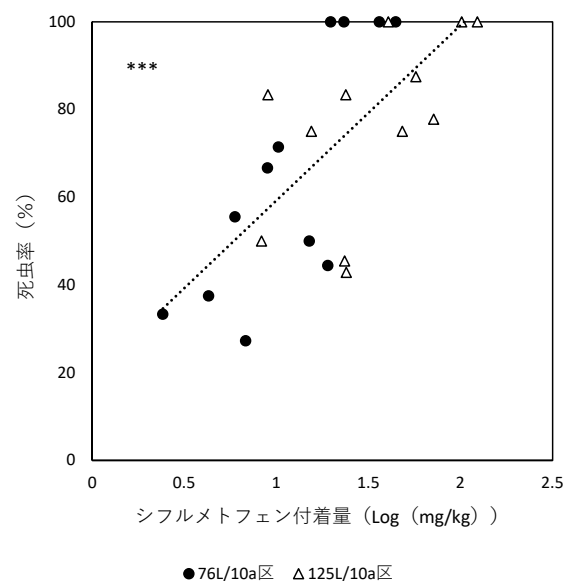
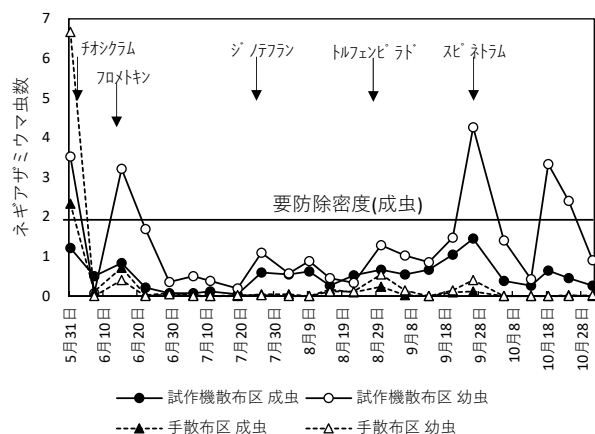
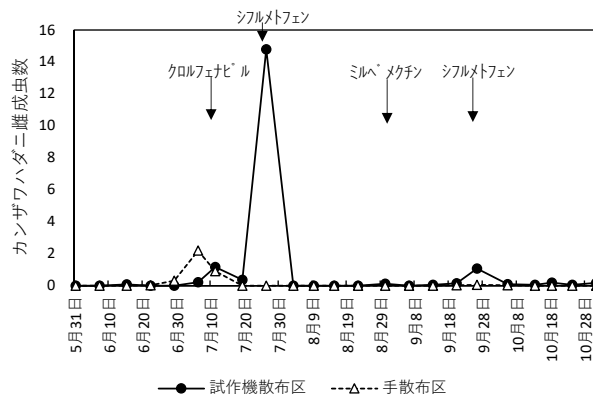


図-6 シフルメトフェン付着量対数値とカンザワハダニ雌成虫死虫率の関係
点線は線形近似
***: スピアマンの検定で相関あり ($p < 0.001$)



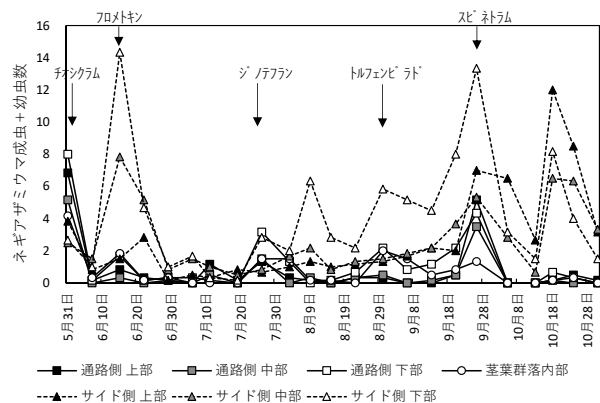
図－7 ネギアザミウマ成虫・幼虫数の推移（払落し箇所あたり平均）
矢印は薬剤散布日と散布薬剤を示す



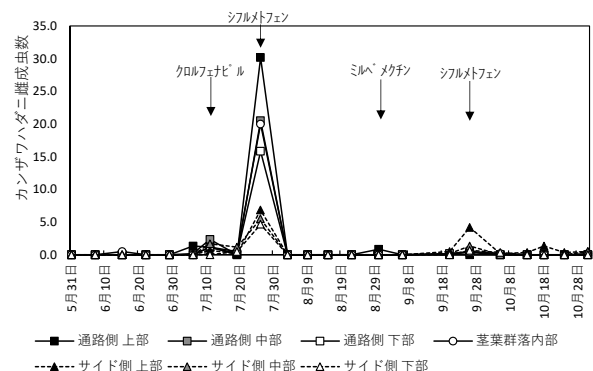
図－8 カンザワハダニ雌成虫数の推移（払落し箇所あたり平均）
矢印は薬剤散布日と散布薬剤を示す

表－2 各虫種を目的変数とした時の虫数に対する処理区による影響（GLMM）

目的変数	説明変数	基準カテゴリ	対照	回帰係数	標準誤差	Z値	P値
ネギアザミウマ成虫数	試験区	試作機散布区	手散布区	-2.34	0.34	-6.80	<0.001***
ネギアザミウマ幼虫数	試験区	試作機散布区	手散布区	-2.64	0.26	-10.01	<0.001***
カンザワハダニ雌成虫数	試験区	試作機散布区	手散布区	-0.24	0.61	-0.40	0.688



図－9 試作機散布区における調査箇所別ネギアザミウマ成虫・幼虫数の推移（払落し箇所当り）
矢印は薬剤散布日と散布薬剤を示す



図－10 試作機散布区における調査箇所別カンザワハダニ雌成虫数の推移（払落し箇所当り）
矢印は薬剤散布日と散布薬剤を示す

作期を通じた防除効果の検討

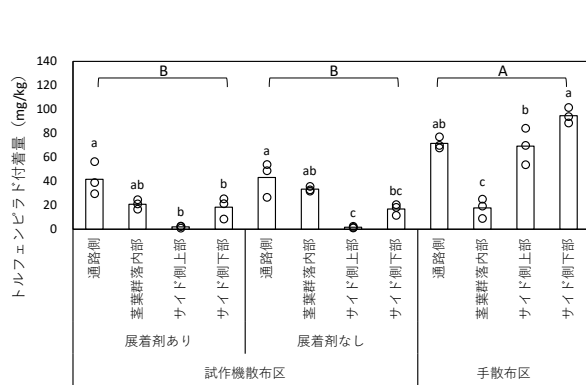
ネギアザミウマは試験期間を通して発生した（図－7）。カンザワハダニは試作機散布区で2回、手散布区で1回虫数が増加した（図－8）。6月2日のネギアザミウマを対象とした散布，7月11日のカンザワハダニを対象とした散布では，散布後に一度は対象害虫の虫数の低減が見られたが，散布約2週間後に虫数が増加した。試作機の吐出量が目標吐出量（1L/min，約120L/10a）に対し0.77L/minと少なかった（表－1）ことが原因と考え，7月26日の散布ではノズルの開度を最大にすることにより0.96L/minの散布量を確保し，以降

の散布では目標吐出量を安定して確保することができた。

GLMMによる散布方法別の虫数の比較は，試作機散布による吐出量の不足が防除効果に与える影響は大きいと考えられた（図－2）ため，吐出量の不足が虫数に影響した可能性がある期間（ネギアザミウマは6月7日と6月15日，カンザワハダニは7月19日と7月26日）のデータを除いた6月7日以降のデータにより行った。ネギアザミウマは成虫数，幼虫数のどちらを目的変数とした解析でも，試作機散布区より手散布区の虫数が少なかった（GLMM， $p<0.001$ ）（表－2）ものの，両区共

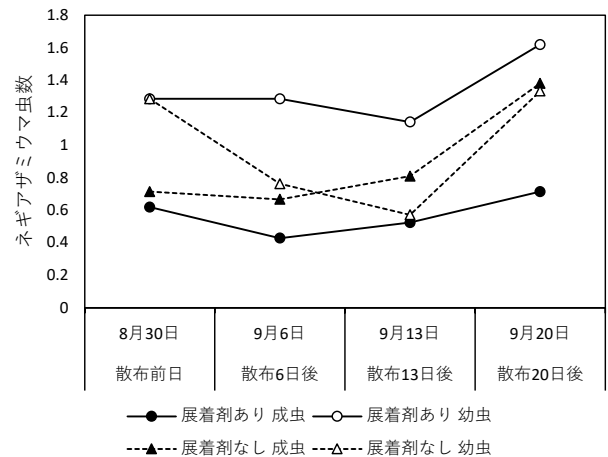
表－3 試作機散布区のネギアザミウマ数に対する調査箇所による影響 (GLMM)

目的変数	説明変数	基準カテゴリ	対照	回帰係数	標準誤差	Z値	P値
ネギアザミウマ成虫数	調査箇所	通路側	茎葉群落内部	0.38	0.24	1.58	0.114
			サイド側	1.38	0.12	11.45	<0.001***
ネギアザミウマ幼虫数	調査箇所	通路側	茎葉群落内部	0.06	0.17	0.34	0.731
			サイド側	1.82	0.09	20.83	<0.001***

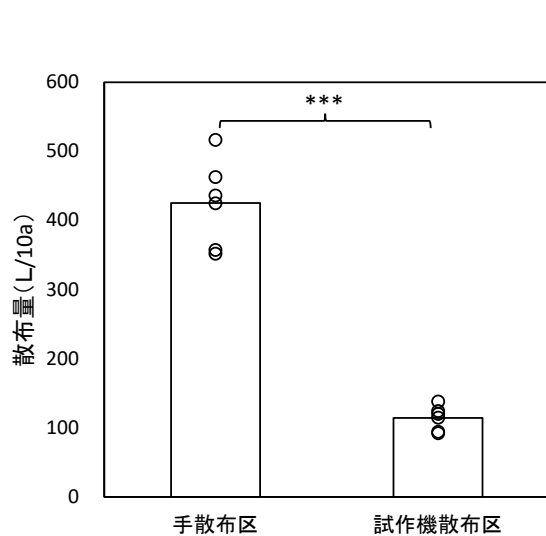


図－11 トルフェンピラド付着量

棒グラフは平均値，ドットプロットは個別データを示す
同一区内において，異符号間にはTukeyの多重比較検定により5%水準で有意差があることを示す

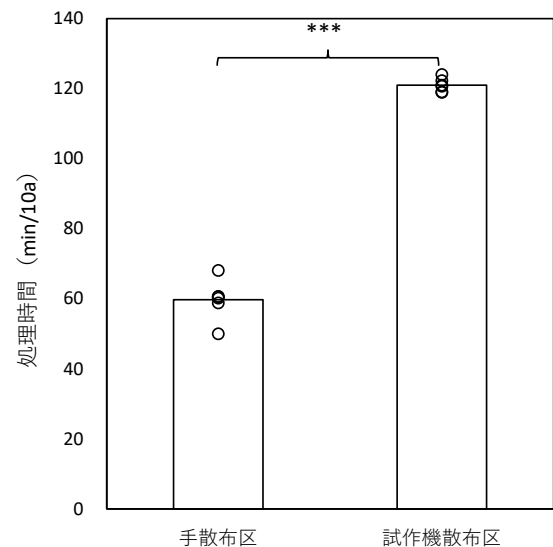


図－12 展着剤の有無別ネギアザミウマ成虫＋幼虫数の推移（払落とし箇所当り）



図－13 散布方法別散布量

棒グラフは平均値，ドットプロットは個別データを示す
***：t検定による有意差あり (p<0.001)



図－14 散布方法別防除の所要時間

棒グラフは平均値，ドットプロットは個別データを示す
***：t検定による有意差あり (p<0.001)

に松本ほか⁵⁾による要防除密度である払落とし箇所あたり落下成虫数1～2頭以下に管理することができた。カンザワハダニでは，両区の間には虫数の差はなかった（表－2）。虫数増加時も，両区共に農薬散布により払落とし箇所あたり1頭未満に密度を低減させることができた。

払落とし箇所別に虫数を見ると，ネギアザミウマは期間を通じて通路側よりサイド側に薬剤散布後の残存虫数が多い傾向であった（図－9）。カンザワハダニは薬剤散

布後，サイド側と通路側で同様に虫数が減少し，調査箇所による防除効果の差は認められなかった（図－10）。調査箇所による虫数の違いが認められたネギアザミウマについて，試作機散布区の通路側－サイド側の違いによるネギアザミウマ数への影響を検討した結果（表－3），サイド側が通路側より虫数が多かった（GLMM, p<0.001）。通路側と茎葉群落内部の間には虫数の差は認められなかった。

各区における薬剤付着量を図-11に示す。展着剤あり区、展着剤なし区、手散布区を比較したところ、展着剤の有無による差は認められなかった（Tukeyの多重比較, $p>0.05$ ）。展着剤あり区、展着剤なし区ともに手散布区との差が認められ（Tukeyの多重比較, $p<0.001$ ）、手散布区より付着量が小さかった。また、試作機散布区におけるサンプリング箇所別の付着量を比較すると、展着剤あり区、なし区ともに通路側よりサイド側の付着量が小さく、通路側とサイド側上部、通路側とサイド側下部の間には両区共に差が認められた（Tukeyの多重比較, $p<0.05$ ）。

トルフェンピラド水和剤散布前日から散布20日後（8月30日～9月20日）の、展着剤の有無別のネギアザミウマ成虫数と幼虫数を図-12に示す。9月6日、13日、20日のネギアザミウマ数を用い、展着剤の有無による虫数の差について検討したが、成虫、幼虫ともに展着剤の有無による虫数の差は認められなかった（GLMM, $p>0.05$ ）。

10a当たりの散布液量は、試作機散布区が平均114.2L/10aに対し手散布区は平均42.5L/10aであった。試作機散布による散布液量は手散布の4分の1程度であり（表-1、図-13）、両区の間には差が認められた（t検定, $p<0.001$ ）。

防除の所要時間は試作機散布区が平均121min/10aに対し、手散布区は平均59.7min/10aと、試作機散布区では手散布の2倍程度の時間を要した（表-1、図-14）。両区の間には差が認められた（t検定, $p<0.001$ ）。

考 察

試作機による適正な散布量について検討した結果、カンザワハダニを対象とした防除では125L/10a以上の散布量が必要であると考えられた（図-2）。76L/10a区のサイド側でのみカンザワハダニの残存が認められたこと（図-3）と、シフルメトフェン付着量の対数値とカンザワハダニ雌成虫の死虫率の間に強い正の相関が認められたこと（図-6）から、76L/10a区ではサイド側への薬液の到達量が不足したため十分な防除効果が得られなかったと考えられた。この結果をもとに、作期を通じた防除試験では試作機散布区の散布液量が125L/10a前後となるように散布することとした。

次に、ネギアザミウマ、カンザワハダニに対し、試作機を用いて作期を通じた防除を行い、手散布との比較を行った。防除回数は当県の防除暦における6～10月のネギアザミウマおよびカンザワハダニを対象とした基幹防

除回数7回より1回少なく、試作機を使用しても慣行と同程度の防除頻度で害虫管理が可能であった。

ネギアザミウマは、期間を通じて試作機散布区の虫数が手散布区より多く、試作機散布では手散布より防除効果が劣ると考えられる。今回の試験では松本ほか⁵⁾による要防除密度である払落し箇所あたり成虫1～2頭を超える増加は認められず、収穫物について、出荷調整を行っている担当者に聞き取りを行ったところ、試作機散布区において害虫被害による廃棄若茎数が増加する現象は認められなかったとのことであったため、実用上問題なかったと考えられた。これは、概ね7日ごとの払落し調査によりネギアザミウマの増加初期をとらえ、適期防除を行うことができたことも理由のひとつと考えられる。生産現場で防除適期を逃し、ネギアザミウマが多発した場合には十分な防除効果が得られない可能性がある。

試作機散布区におけるネギアザミウマ虫数を調査箇所別にみると、サイド側の虫数が多かった。サイド側に害虫が残存する現象は散布量について検討した際も見られており（図-3）、有効成分付着量がサイド側で小さいこともシフルメトフェン（図-5）、トルフェンピラド（図-11）で共通していた。よって、作期を通じた防除試験においても、サイド側への有効成分の到達量が不足したことでネギアザミウマに対する防除効果が劣ったと考えられる。作期を通じた防除試験では8月以降で特にサイド側の防除効果の低下が顕著であり、これは擬葉が繁茂する時期と一致する。擬葉が込み合うことでサイド側への薬液の到達量が低下し、防除効果が低下したと考えられる。

一方、カンザワハダニは、試作機散布区で7月と9月に1回ずつ、手散布区で7月に1回発生を認めたが、両区共に虫数増加後の農薬散布により密度を低減させることができ、試作機散布区においても手散布と同等の高い防除効果が認められた。また、散布量を125L/10a前後とすることで、サイド側での防除効果の低下も認められなかった。

サイド側の有効成分付着量が少ないという条件下では、ネギアザミウマでは手散布より防除効果が劣ったが、カンザワハダニでは手散布と同等の防除効果が得られたことから、付着量が少ない箇所において虫種により防除効果が異なることが示された。カンザワハダニはネギアザミウマよりも低濃度での感受性が高く、有効成分付着量が少量となるサイド側においても高い防除効果が得られたと考える。ネギアザミウマは当県のアスパラガス栽培における主要害虫であるため、今後、よりサイド

側への薬剤到達量を増加させ、ネギアザミウマに対する防除効果を安定させるための改良が望まれる。

試作機による散布液量は手散布の約4分の1と少なかった。防除効果向上のための改良策として、より吐出圧力の大きい散布機の搭載が考えられ、散布液量が増大することが予想される。慣行の手散布より少量の散布量で同等の防除効果を得ることができれば、農薬使用量の低減や資材費の低減に寄与できるため、今後の性能評価も散布液量を確認しながら進める必要がある。試作機散布での展着剤の有無による防除効果の差は認められなかったため、手散布で慣行的に用いられている展着剤を省略できる可能性も示唆された。

試作機での防除の所要時間は手散布に比べ2倍程度と長く、防除の時間効率は手散布に劣る。試験では試作機が正常に走行していることを確認するため防除終了まで目視していたが、防除中に作業者がハウスを離れ、他の作業ができるのであれば防除の所要時間によるデメリットは軽減され、省力化に繋がると考えられる。そのためには、安定走行のための機構に加え、スリップや脱輪等のトラブル時にブザーを鳴らして知らせる、自動停止するなどの機能が必要であると考ええる。

なお、本試験では病害の調査は行わなかったが、本県の施設アスパラガス栽培において問題となる褐斑病、斑点病に登録のある薬剤を殺虫剤散布時に毎回同時散布し、作期を通じて発病は認められなかった。発病前から予防的に殺菌剤の散布を行うことで、試作機散布により病害の発生を抑制できる可能性があると考ええる。また、発生が認められなかったシロイチモジヨトウ等の鱗翅目害虫に対する防除効果については未検討であるため、今後の課題としたい。

試作機による防除は、慣行の動噴を用いた手散布に比べ2倍程度の作業時間を要するものの、手散布と比較して防除労力が削減でき、スイッチひとつで高齢者や女性でも簡単に扱え、習熟度を問わず一定の防除効果が得られるというメリットは大きく、現状のアスパラガス栽培における防除の課題を解決する方法として期待が持てると思う。一方、サイド側への薬剤到達量が少なく、特に擬葉が繁茂する時期のネギアザミウマに対する防除効果は手散布に比べて劣ったため、より防除効果を高めるために吐出圧力の増加が必要であると考ええる。また、現地のかかわ型アスパラガス栽培システムのハウスには今回試験区としたハウスより大面積のものも散見されることから、実用化に向け、より大面積を散布するための電源やタンクについても検討が必要である。

今後、より安価、低電力、軽量で、吐出圧力の大きい

自動防除機を試作し、実用化に向けた性能評価を行いたい。

引用文献

- 1) Higgins James J.・Blair R. Clifford・Tashtoush Suleiman (1990)：THE ALIGNED RANK TRANSFORM PROCEDURE, Conference on Applied Statistics in Agriculture, <https://doi.org/10.4148/2475-7772.1443>.
- 2) 貴島圭介・金城聖良・喜久村智子 (2014)：キク圃場におけるクロゲハナアザミウマに対する数種薬剤の防除効果と葉裏への薬剤の付着程度が本種の防除効果に及ぼす影響，九州病害虫研究会報，60：84～89.
- 3) 久保拓弥 (2012)：データ解析のための統計モデリング入門，岩波書店，東京，267pp.
- 4) 國本佳範・井上雅央 (1996)：動力噴霧器による作業者の液剤散布技量の評価，農作業研究，31：175～180.
- 5) 松本英治，三浦 靖，十河和博 (1998)：ネギアザミウマによるグリーンアスパラガス若茎の加害症状および要防除密度，四国農業研究成果情報，1997：38～39.
- 6) 中西充・渡邊丈夫・十川和士・池内隆夫 (2016)：散布方法の違いがイミダクロブリド水和剤のアスパラガス擬葉への付着量とネギアザミウマ防除効果に与える影響，香川県農業試験場研究報告，66：11～18.
- 7) 下野嘉子 (2010)：Rを用いた一般化線形モデル（回帰係数編）：カウントデータを例に，雑草研究，55（4）：287～294.
- 8) 佃晋太郎 (2022)：アスパラガスの枠板式高畝栽培システムにおけるスピードスプレーヤーによる病害虫防除，植物防疫，76（3）：26～29.
- 9) Kanda Y (2010)：Investigation of the freely available easy-to-use software 'EZR' for medical statistics, Bone Marrow Transplantation, 48：452～458.