

# ウンシュウミカンにおけるドローンを用いた夏季の防除体系

下村友季子・松山尚生<sup>1</sup>・衛藤夏葉<sup>2</sup>

和歌山県果樹試験場

## Summer Pest Control Measures by Drone Spraying in Citrus

Yukiko Shimomura, Naoki Matsuyama and Kayo Eto

Wakayama Fruit Tree Experiment Station

### 緒言

和歌山県内のカンキツ栽培ほ場は急傾斜地が多く、防除作業にかかる負担が極めて大きい。特に、夏季には高温下での防除衣やマスクの着用による熱中症のリスクがあり、負担軽減が求められる。そのため、近年は地形の影響を受けず、薬液調製等の準備から散布作業に要する時間を大幅に短縮できる、無人航空機（以下、ドローンと呼称）による高濃度少量散布（以下、ドローン散布と呼称）が注目されている（塩谷，2023）。

これまでの研究により、カンキツの主要病害虫に対応できる農薬の登録が進んできたが、夏季に問題となる病害虫のうち、ミカンハダニに対するドローン散布の効果は報告が少ない。また、舟木（2024）は、有効成分投下量は同等でも、散布水量の違いや対象病害虫によってドローン散布の効果が異なり、カンキツのヤノネカイガラムシと黒点病では、散布水量が多い方が効果は優れると報告している。一方で、その試験事例は10L/10a以下であり、さらに散布水量を増やした試験は実施されていない。しかし、近年は16L/10aで48倍の希釈倍率など、より散布水量が多い濃度でも農薬登録が進んでいるため、それぞれの病害虫に対応した試験を行い適切な散布水量を検討する必要がある。また、前に挙げた病害虫以外では検討はされていない。加えて、ドローンによる薬剤散布を現場で普及するためには、単用の散布ではなく、殺菌剤と殺虫剤の混用散布が求められる。

そこで、本研究では、ウンシュウミカンにおける6月から9月までの夏季のドローンによる防除体系の確立を目的とし、まず、ミカンハダニに対し、ドローン散布で防除効果の高い殺ダニ剤を選定し、散布水量の違いがその効果に及ぼす影響について検討した。さらに、夏季の殺虫剤と殺菌剤を混用した防除体系モデルを作成し、その効果を検討した。

### 材料および方法

#### 試験1. ミカンハダニに対する各種殺ダニ剤のドローン散布による防除効果の比較

2023年5月25日に果樹試験場内の‘田口早生’15年生を用いて、1区1樹3反復で試験を行った。試験期間中の気温および降雨量は場内の気象観測装置で測定した。供試薬剤および散布条件は表1のとおりとし、ドローン散布はXAG社製P20、対照の手散布は背負い式バッテリー噴霧機を使用した。供試薬剤を水道水で所定の希釈倍数に調製し、ドローン散布区には樹上約2mを速度2m/s

<sup>1</sup>現在：和歌山県農林水産部農業生産局鳥獣害対策課

<sup>2</sup>現在：和歌山県農業試験場

で主幹から半径約 0.5m の円を 1 周旋回する飛行により、0.1L/樹 (8L/10a) の割合で散布し、対照区には 5L/樹 (400L/10a) を葉の表裏が十分に濡れるよう散布した。

調査は散布前 (5 月 25 日)、散布 4 日後 (5 月 29 日)、散布 11 日後 (6 月 5 日)、散布 20 日後 (6 月 14 日)、散布 29 日後 (6 月 23 日)、散布 40 日後 (7 月 4 日) に、各樹の任意の 50 葉に生息するミカンハダニ雌成虫を計数し、散布 11、20、29 日後の雌成虫数から次式により防除効率を算出した。

$$\text{防除効率} = (1 - C_b / T_b \times \sum t_{ai} / \sum c_{ai}) \times 100$$

$C_b$ : 無処理区の処理前雌成虫数  $T_b$ : 処理区の処理前雌成虫数

$c_{ai}$ : 無処理区の処理  $i$  日後雌成虫数,  $t_{ai}$ : 処理区の処理  $i$  日後雌成虫数

$i=11, 20, 29$

表 1 散布試験における供試薬剤と処理条件 (試験 1)

供試薬剤名 <sup>2)</sup>	希釈倍数	散布水量	散布方法
ミルベメクチン水和剤	24		
エトキサゾール水和剤	24		
スピロメシフェン水和剤	24	8L/10a	ドローン散布
シエノピラフェン水和剤	36		
ピフルブミド水和剤	24		
ピフルブミド水和剤	2000	400L/10a	手散布

2) スピロメシフェン水和剤およびピフルブミド水和剤のみドローン散布に適用あり (2025年12月時点)

## 試験 2. 各種殺ダニ剤の濃度および散布水量の違いによる防除効果の比較

試験 1 で効果の高かった 3 剤を選定し、希釈倍数および散布水量を 24 倍、8L/10a と 48 倍、16L/10a の 2 基準としてドローンによる散布を行った。なお、試験 1 で効果が高かったミルベメクチン水和剤は、県内の一部地域で感受性の低下が確認されたため (松山, 2024)、除外した。2023 年 10 月 13 日に果樹試験場内の '日南 1 号' 30 年生を用いて、1 区 1 樹 3 反復で試験を行った。試験期間中の気温および降雨量は場内の気象観測装置で測定した。供試薬剤は表 2 のとおりとし、ドローン散布は XAG 社製 P20、対照の手散布は背負い式バッテリー噴霧機を使用した。供試薬剤を所定の希釈倍数に調製し、ドローン散布区には樹上約 2m を速度 2m/s で、主幹から半径約 0.5m の円を 24 倍区は 1 周、48 倍区は 2 周旋回する飛行により、24 倍区は 0.1L/樹 (8L/10a)、48 倍区は 0.2L/樹 (16L/10a) を散布し、対照区には 8L/樹 (650L/10a) を葉の表裏が十分に濡れるよう散布した。

調査は、散布前 (10 月 13 日)、散布 3 日後 (10 月 16 日)、散布 10 日後 (10 月 23 日)、散布 20 日後 (11 月 2 日)、散布 31 日後 (11 月 13 日)、散布 41 日後 (11 月 23 日) に、各樹の任意の 50 葉に生息するミカンハダニ雌成虫を計数し、試験 1 と同様の手法で散布 10、20、31 日後の雌成虫数から防除効率を算出した。

表 2 散布試験における供試薬剤と処理条件（試験 2）

供試薬剤名 <sup>2)</sup>	希釈倍数	散布水量	散布方法
エトキサゾール水和剤	24	8L/10a	ドローン散布
エトキサゾール水和剤	48	16L/10a	
スピロメシフェン水和剤	24	8L/10a	
スピロメシフェン水和剤	48	16L/10a	
ピフルブミド水和剤	24	8L/10a	
ピフルブミド水和剤	48	16L/10a	
ピフルブミド水和剤	2000	650L/10a	手散布

2) スピロメシフェン水和剤およびピフルブミド水和剤24倍および48倍のみドローン散布に適用あり  
(2025年12月時点)

### 試験 3. 夏季におけるドローンによる防除体系モデルの作成およびその効果

2024年に果樹試験場内の‘日南1号’31年生を用いて、1区1樹3反復で試験を行った。試験期間中の気温および降雨量は場内の気象観測装置で測定した。ドローン散布はXAG社製P20、対照の手散布は背負い式バッテリー噴霧機を使用した。夏季での主要病害虫に対する防除を体系化するにあたり、2024年6月時点でドローン散布に適用がある薬剤から防除体系モデルを作成し、6月から9月にかけて散布を行った（表3）。各散布日に、供試薬剤を水道水で所定の希釈倍数に調製し、ドローン散布区には樹上約2m、速度2m/sで往復する飛行により散布し、対照区は8L/樹(650L/10a)を葉の表裏が十分に濡れるよう散布した。

対象病害虫は、ミカンハダニ、チャノキイロアザミウマ、黒点病とし、被害程度を調査した。

ミカンハダニの調査は、最終散布前（9月4日）、散布4日後（9月9日）、散布10日後（9月15日）、散布20日後（9月25日）に、各樹の任意の30葉に生息するミカンハダニ雌成虫を計数し、試験1と同様の手法で散布4、10日後の雌成虫数から防除効率を算出した。

チャノキイロアザミウマの調査は、本虫に効果のある剤の最終散布日である8月7日から39日後（9月19日）に、各樹の任意の50果について、果梗部および果頂部の被害を以下の基準で調査し、各区の被害果率および次式による被害度を算出した。

果梗部被害 無：被害なし 少：リング状の被害が果梗を中心に1周しておらず、被害程度の軽微なもの 中：リング状の被害が果梗を中心に1周しているが、ガク片に相似形となった被害の軽いもの 多：リング状の被害のみならず、ガク片に相似形となった被害も発現しているもの。

果頂部被害 無：被害なし 少：柱点を中心とした被害の直径が、果実横径の1/5程度の被害 中：同1/2程度の被害 多：同2/3程度の被害

以上の調査基準から、それぞれ次式で被害程度を算出した。

$$\text{被害度} = \left[ \frac{\{(\text{少} \times 1) + (\text{中} \times 3) + (\text{多} \times 6)\}}{\text{全果数} \times 6} \right] \times 100$$

黒点病の調査は 8 月 6 日, 10 月 7 日に各樹の任意の 50 果について, 発生予察事業の調査実施基準(農林水産省生産局植物防疫課, 2001)で調査し, 発病果率および次式による発病度を算出した。なお, 黒点病は全ての区で発病果率 95%以上だったため, 程度別指数 3 以上の果実で発病果率を算出した。

$$\text{発病度} = \Sigma (\text{程度別発病数} \times \text{指数}) \times 100 \div (\text{調査数} \times 7)$$

指数 0: 病斑がないもの, 1: 病斑が散見されるもの, 3: 病斑が果面の 1/4 以下に分布するもの, 5: 病斑が果面の 1/4~1/2 に分布するもの (涙斑の軽いものを含む), 7: 病斑が果面の 1/2 以上に分布するもの (涙斑, 泥塊を含む)

表 3 散布試験における供試薬剤と処理条件 (試験 3)

散布日	薬剤	ドローン散布区 (希釈倍数、散布水量)		手散布区 (希釈倍数、散布水量)	
		希釈倍数	散布水量	希釈倍数	散布水量
6月13日	クロチアニジン水溶剤	48	16L/10a	2,000	650L/10a
	マンゼブ水和剤	20		600	
7月9日	アバメクチン乳剤	24	8L/10a	2,000	650L/10a
	マンゼブ水和剤	10		600	
8月7日	イミダクロプリド水和剤	80	16L/10a	3,000	650L/10a
	マンゼブ水和剤	20		600	
9月5日	ピフルブミド水和剤	48	16L/10a	2,000	650L/10a
	マンゼブ水和剤	20		600	

## 結 果

### 試験 1. ミカンハダニに対する各種殺ダニ剤のドローン散布による防除効果の比較

ドローン散布による防除効率は, 対照の手散布区によるピフルブミド水和剤と比較してエトキサゾール水和剤が 96, ピフルブミド水和剤が 95 と同等, 次いでミルベメクチン水和剤が 89, スピロメシフェン水和剤が 87 でやや劣り, シエノピラフェン水和剤が 59 と低い結果となった (図 1)。全ての区で葉と果実に薬害は確認されなかった。

なお, 試験期間中の気温は 17.8℃から 26.8℃で推移した (図 2)。散布 9 日後の 6 月 2 日に 396mm の多雨があり, 期間中は合計 676mm の降雨がみられた。

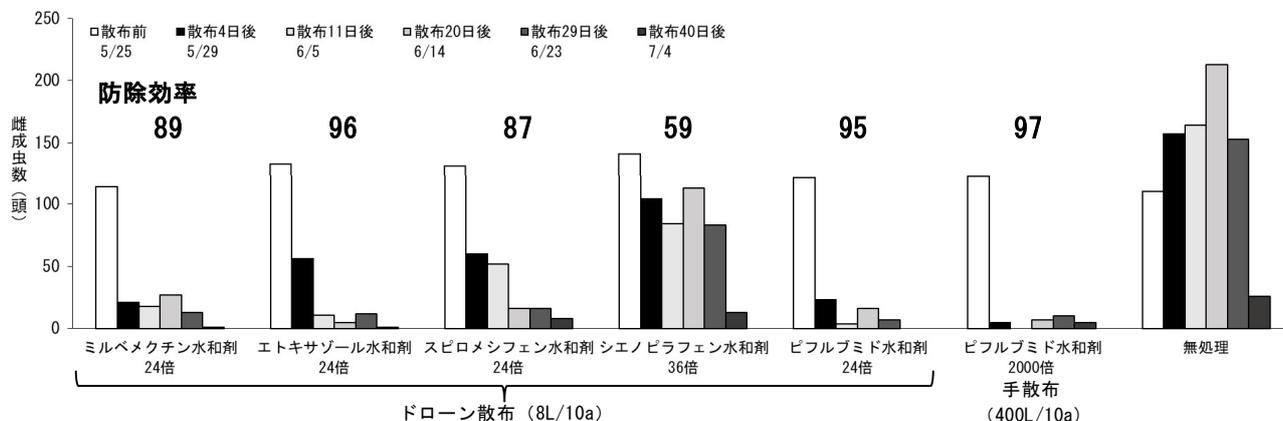


図 1 ミカンハダニの雌成虫数の推移 (試験 1)

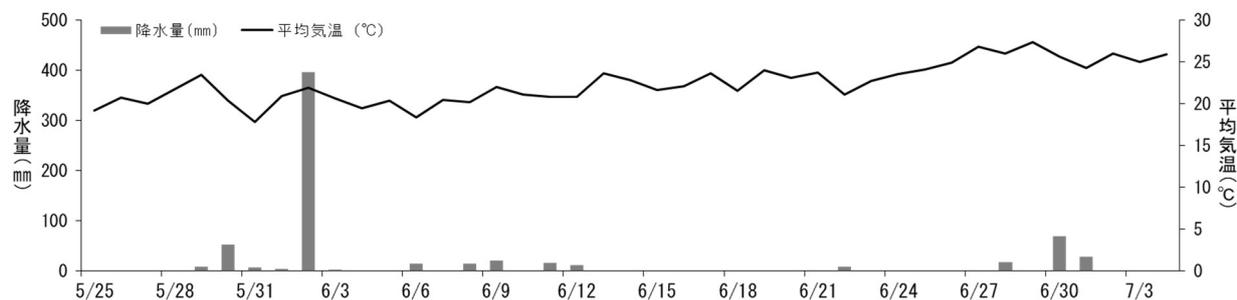


図2 試験期間中の気温および降雨量（試験1）

試験2. 試験1で選定した各種殺ダニ剤の濃度および散布水量の違いによる防除効果の比較

エトキサゾール水和剤 24 倍は 48 倍よりも効果が高く、他のドローン区と比較して防除効率が最も高かった（図3）。スピロメシフェン水和剤は 24 倍と 48 倍で同等、ピフルブミド水和剤は 24 倍の方が 48 倍よりも高かった。全ての区で葉と果実に葉害は確認されなかった。

なお、試験期間中の気温は 7.8℃から 23.3℃で推移した。散布 1 から 2 日後に合計 51mm の降雨があり、期間中は合計 181mm の降雨がみられた（図4）。

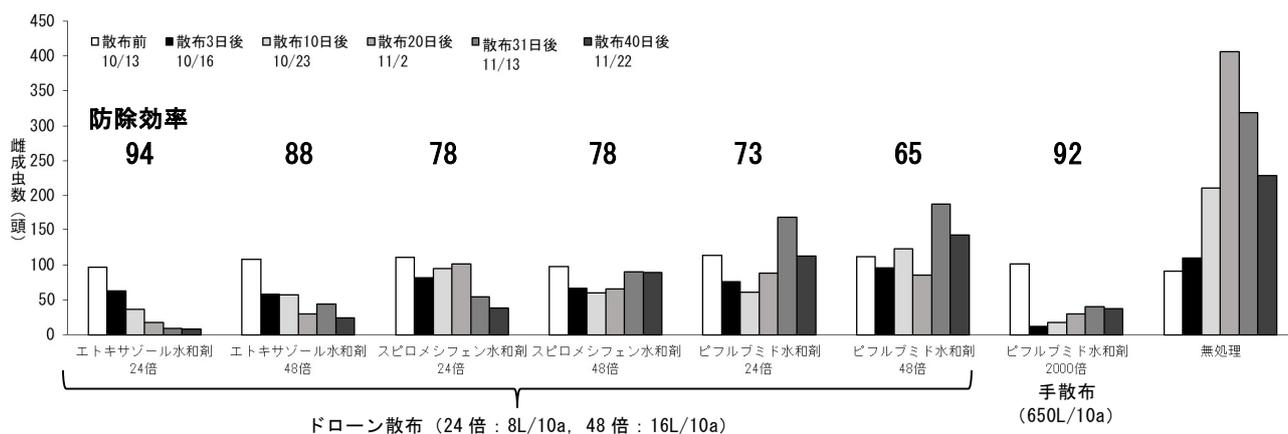


図3 ミカンハダニの雌成虫数の推移（試験2）

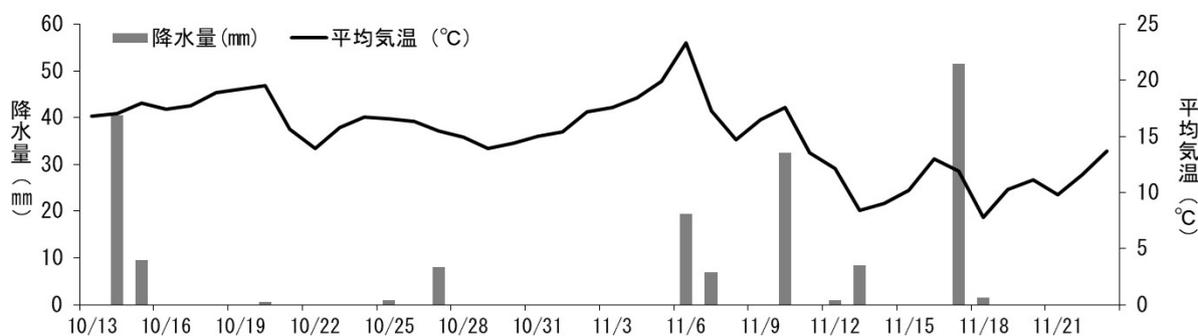


図4 期間中の気温および降雨量（試験2）

### 試験 3. 夏季におけるドローンによる防除体系モデルの作成およびその効果

ミカンハダニの防除効率は、ドローン散布区では 92、手散布区では 81 となり、ドローン散布区の方が効果は高かった (図 5)。チャノキイロアザミウマの被害は果梗部ではみられず、果頂部のみ判定となった。果頂部の被害果率は、ドローン散布区は 18.7%、手散布区は 11.3%、無処理区は 30.7%であった (図 6)。チャノキイロアザミウマの被害度は、ドローン散布区は 3.3、手散布区は 2.3、無処理区は 5.6 となり、ドローン散布区は手散布区より低く、無処理区より高い効果を示した。黒点病の程度別指数 3 以上の発病果率は、8 月 6 日 (2 回目散布からの累積降水量 98.5mm) 時点でドローン散布区が 68.7%、手散布区で 44%、無処理区で 92.7%、10 月 7 日 (3 回目散布からの累積降雨量 104mm) 時点でドローン散布区が 71.3%、手散布区が 34%、無処理区が 97.3%であった (図 7)。発病度は、8 月 6 日時点でドローン散布区が 39.3、手散布区が 28.4、無処理区が 59.9、10 月 7 日時点でドローン散布区が 38.5、手散布区が 24.2、無処理区が 61.1 となり、ドローン散布区は手散布区より低く、無処理区より高い効果を示した。全ての区で葉と果実に薬害は確認されなかった。

なお、試験期間中の気温は 20.5℃から 30.5℃で推移し、累積降水量は 836.5mm であった (図 8)。

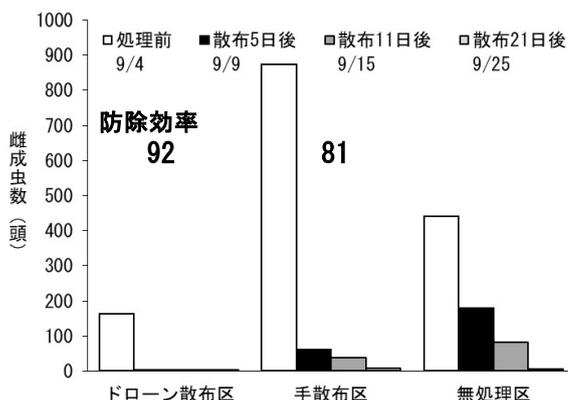


図 5 ミカンハダニの雌成虫数の推移 (試験 3)

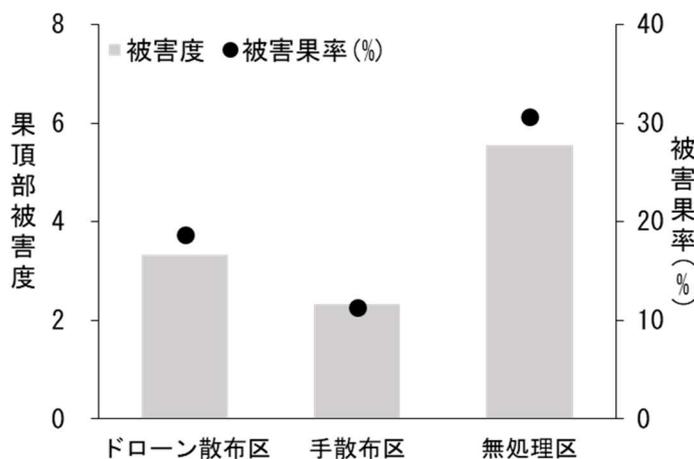


図 6 チャノキイロアザミウマの被害程度

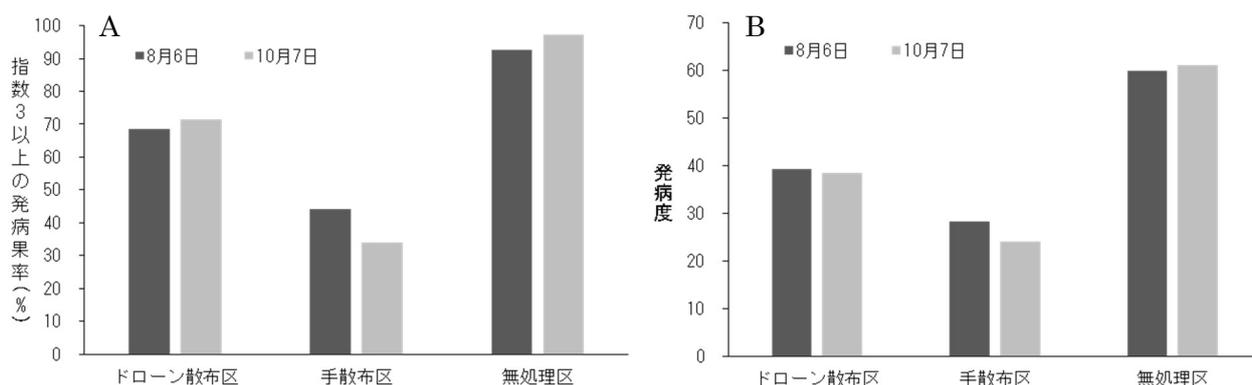


図7 黒点病の被害程度 (A: 指数3以上の発病果率 B: 発病度)

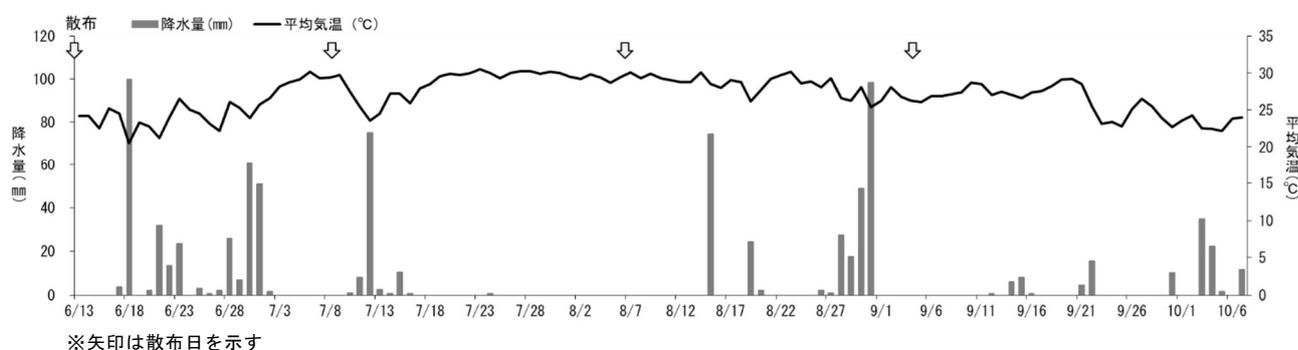


図8 試験期間中の気温および降雨量 (試験3)

## 考 察

試験1, 2の結果, ドローン散布による殺ダニ剤のミカンハダニに対する効果はエトキサゾール水和剤24倍が最も高かった(図1, 3). また, 試験2より, エトキサゾール水和剤およびピフルブミド水和剤では24倍の方が効果が高く, スピロメシフェン水和剤は24倍および48倍で同等の効果がみられた. このことから, ミカンハダニにおいては高濃度で散布水量が少ない方が, 効果が高いことが示唆された. カンキツに対するドローン散布では, 薬液の付着は樹冠表層, 葉表, 果実の上側に集中することが報告されている(熊本ら, 2021). 試験1, 2では降雨により濃度が薄まった可能性があり, そのため, より高濃度である24倍の方が効果が高く, 手散布では葉裏などにも薬液が付着しているため効果が持続したと考えられた. 薬液が葉表に集中するため, 動力噴霧機による通常濃度での散布よりも, ドローン散布の方が降雨による影響を受けやすいと考えられる.

また, 薬液の付着が集中している葉表等にミカンハダニが移動することで, ドローン散布による効果が発揮される. 試験1では散布9日後に約400mmの降雨があり, 多雨条件であったが, ピフルブミド水和剤24倍の防除効率は95であるのに対し, 散布1, 2日後に合計50mmの降雨しかない試験2では, 同じ薬剤, 濃度にも関わらず効果が低下している. 一方で, 手散布のピフルブミド水和剤の防除効率は, 試験1, 2でほぼ同等であった. このことから, ミカンハダニが薬液の付着している箇所へ移動するには, 3日から8日ほど必要となり, 移動までに降雨があった場合は防除効率が低下する可能性が高い. これらのことから, ドローンによる殺ダニ剤散布は, 散布直後に降雨が無

い条件下で実施する必要があると考えられた。

試験 3 では、夏季のドローン散布の防除体系モデルを作成し、各種殺虫剤と殺菌剤であるマンゼブ水和剤との混用散布を 6 月から 9 月にかけて行った。ミカンハダニの防除効率はドローン散布区の方が高い結果となった（図 5）。ミカンハダニの防除効率が試験 1 の結果と異なり、ドローン散布区で高くなった理由については、混用の影響や降雨量など、複合的な理由が考えられ判然としないため、引き続き試験を重ねる必要がある。チャノキイロアザミウマおよび黒点病においては、手散布区には劣るものの、無処理区より優れた効果が得られた。黒点病については、熊本ら（2021）や岡崎（2024）のマンゼブ水和剤単剤で行った試験でも同様の結果が得られており、マンゼブ水和剤を殺虫剤と混用しても効果の程度が変わらないことが示唆された。

以上により、ドローン散布において、ミカンハダニに効果の高い薬剤としてエトキサゾール水和剤を選定するとともに、6 月から 9 月における夏季の防除体系の確立に向けた防除効果を確認することができた。しかしながら、殺ダニ剤で最も効果が高かったエトキサゾール水和剤は高濃度での農薬登録がない（2025 年 12 月現在）ため、本剤を含む効果の高い剤の登録が望まれる。また、カンキツの主要病害虫に対するドローンを用いた防除は一定以上の効果がみられたが、対象とする病害虫によっては手散布に比べ効果が劣るため、熱中症のリスクと併せて勘案した上で導入を検討する必要がある。手散布と同等の効果を得るためには、様々な要因が考えられるが、そのひとつとして散布のムラを解消することが重要となる。これまでに、ドローン散布は飛行速度を速くし、吐出量を多くすることで、樹冠下部まで薬液が付着して黒点病の防除効果が高くなるほか、パラフィン成分とした固着性展着剤を加用することでも同様に防除効果が高まることが明らかになっている（岡崎，2024）。また、今回はいずれも緩傾斜園地における試験であったが、急傾斜地では、稜線方向に飛行する場合と斜面を上下方向に飛行する場合では、上下方向に飛行する方が、広範囲に薬液が落下することが報告されている（増井，2024）。これらを考慮した上で、引き続き対象病害虫と薬剤の散布水量について、効果を検討していく必要がある。

## 摘 要

ドローン散布において、ミカンハダニに対する効果が高い薬剤の探索および散布濃度の検討、夏季の防除体系の検討を行った。

- 1 ミカンハダニを対象とした殺ダニ剤 3 剤のドローン散布において希釈倍数 24 倍と 48 倍を比較した結果、エトキサゾール水和剤 24 倍が最も効果が高く、薬剤の違いにより散布水量の少ない 24 倍の方が効果が高いことが示された。殺ダニ剤は散布直後の降雨の影響を受けやすく、散布する際は直近の天候を確認する必要があると考えられた。
- 2 各種殺虫剤とマンゼブ水和剤の混用によるドローンの防除体系モデルを作成し、6 月から 9 月にかけて試行した結果、チャノキイロアザミウマおよび黒点病において、手散布よりは劣るものの、無処理より高い効果が確認された。

## 引用文献

- 舟木勇樹. 2024. ドローンによる農薬散布の適用性に関する検討. 植物防疫. 78: 418-425.
- 熊本昌平・衛藤夏葉・武田知明. 2021. ドローンを用いたマンゼブ水和剤散布によるウンシュウミカンにおけるカンキツ黒点病に対する防除効果. 和歌山県農林水産研報. 9: 47-54.

- 増井伸一. 2024. 傾斜地カンキツ栽培における無人航空機 (UAV) を利用した病虫害防除と今後の展望. 植物防除. 78: 30-36
- 松山尚生. 2024. 県内各地域から採集したミカンハダニに対する各種薬剤の殺卵効果. わかやま果試ニュース. 103: 4
- 農林水産省生産局植物防疫課. 2001. 病虫害発生予察事業の実施について～発生予察事業の調査施基準～. pp.137-158.
- 岡崎芳夫. 2024. 農薬散布用ドローンを活用したカンキツの効率・省力的防除技術体系の確立. 植物防疫. 78: 494-499.
- 塩谷浩. 2023. ドローンを用いた果樹病虫害の効率化. 果実日本. 78: 26-30.