

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

熊本昌平・衛藤夏葉¹・武田知明

和歌山県果樹試験場

Control of Citrus Melanose by the Method for Spraying with the Drone Using the Fungicide Mancozeb on Satsuma Mandarin

Shohei Kumamoto, Kayo Etoh¹ and Tomoaki Takeda

Wakayama Fruit Tree Experiment Station

緒 言

和歌山県は果樹生産が非常に盛んな地域であるが、農家の高齢化や減少が急速に進んでおり、担い手農家へ農地を集積し経営規模拡大による経営安定を図ることが産地維持にとって大きな課題となっている（和歌山県，2017）。そのため、和歌山県長期総合計画（和歌山県，2017）では省力化や軽労化を目的に、ICT やロボット等の革新的技術を積極的に導入することとしている。しかし、ウンシュウミカンの主産地では急峻な傾斜地が多い等の理由により機械化が難しいのが現状である。そのような状況の中で、平坦地から傾斜地まで園地の地形に幅広く適応することが期待できる技術の1つとしてドローンによる薬剤散布（以下、ドローン散布）がある（孫ら，2020）。ただし、これまでに果樹におけるドローン散布の知見がなかったため、2017年からウンシュウミカンでドローン散布による防除効果、省力化効果について検討している。

ここでは、これまでに行ったドローン散布による防除効果試験のうち、マンゼブ水和剤（商品名：ジマンダイセン水和剤）散布によるカンキツ黒点病（以下、黒点病）に対する防除効果について検討した結果について報告する。

材料および方法

1. ドローン散布による散布液の付着特性（試験1）

果樹試験場内の平坦地園の‘ゆら早生’（21年生）、1列7樹（樹間3.0m）を供試し、ドローン（P20（2017）、XAG JAPAN社）を用いて樹上2mから水を4L/10a散布した。飛行は①樹列の中央を1回通過（以下、中央1回）、②樹列の中央を往復（以下、中央2回）、③飛行方向に対して樹列の中央から0.75m左の位置を1回ずつ通過するように往復（以下、左右1回）、の3パターンで行った（図1）。それぞれのパターンを2020年11月26日に2回、11月27日に1回の合計3回行った。

散布前に7樹のうち中央の樹（樹高2.2m、樹冠幅3.0m）に感水紙（Syngenta社製、52×76mmを半分に切断した52×38mm）を以下のように設置した。樹冠外周部4方位の10~20cm内側および樹の中心に垂直に支柱を立て、高さ1.5mおよび0.5mの位置に感水紙を水平に上向きと下向きに固定

¹現在：和歌山県海草振興局農林水産振興部農業水産振興課

した(図2)。

散布後, 感水紙を回収し, スキャナー(MP4055, RICOH社)を用いて jpeg形式の画像データ(600dpi)を取得した。得られた画像データから感水紙被覆面積率測定ソフトウェア(窪田ら, 2010)を用いて, 散布液が付着して変色した部分の被覆面積率を測定した。

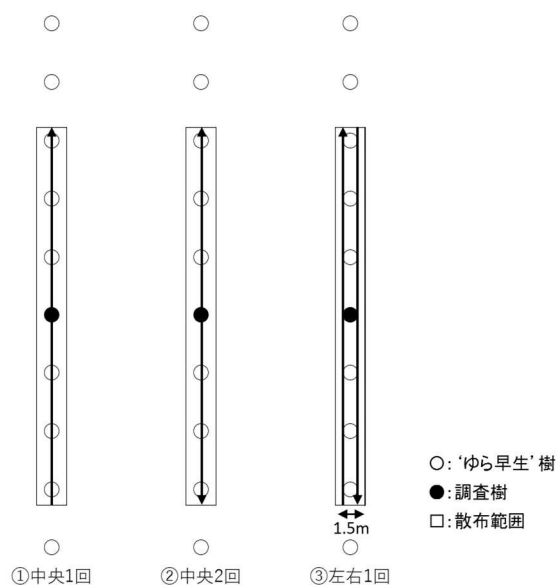


図1 試験1の飛行方法

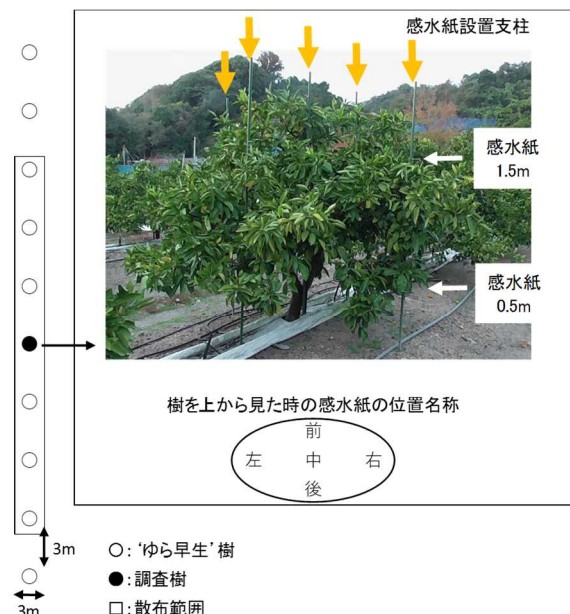


図2 試験1の感水紙設置方法

2. マンゼブ水和剤1回散布によるマンゼブの付着状況および黒点病の防除効果(2017)(試験2)

1) 試験区および散布方法

2017年6月9日に果樹試験場内の緩傾斜地園の‘日南1号’(23年生, 樹間4m, 列間4m, 1列あたり4樹)を供試し, 1区1列4樹に対して, ドローン(Mulsan DAX04, TEAD社)を用いて樹列の中央を樹上2mで2往復飛行する方法で, マンゼブ水和剤5倍希釈液を約6L/10a散布した(図3)。対照として, 同剤600倍希釈液を480L/10a, 動力噴霧機により手散布した。

2) 散布後の果実のマンゼブの付着量

散布日翌日の6月10日に各区3樹の赤道部より上部と下部からそれぞれ4~5果採取した。果実のマンゼブの付着量の測定は, 正司ら(2013)の方法により行った。すなわち, 採取した果実に0.98N塩酸15~20mlを加え, 140rpm/minで10分間振盪し, 抽出液をろ紙(No.2)でろ過した。ろ過液のマンガン濃度をICP発光分析装置で測定し, この値から果実表面積1cm²あたりのマンゼブ量を算出した(マンゼブ分子量: 265.3, Mn原子量: 54.9)。

3) 黒点病に対する防除効果の検討

7月3日, 14日, 28日, 8月21日に1樹あたり任意の100果について, 黒点病の発病を程度別に調査して, 発病果率, 発病度を算出した。発病の程度別の指数は, 0: 病斑がないもの, 1: 病斑が

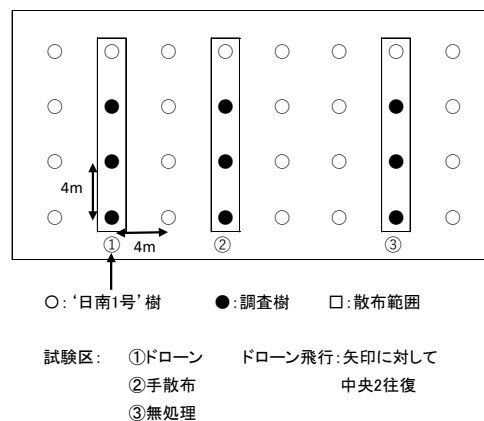


図3 試験2の試験区

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）とした。発病度は、式： Σ （程度別発病数×指数）×100 ÷（調査数×7）を用いて算出した。また、試験期間中の降水量は場内に設置した気象観測装置によって 0.5mm 単位で調査した。

3. マンゼブ水和剤 4 回散布によるマンゼブの付着状況および黒点病の防除効果（2018）（試験 3）

1) 試験区および散布方法

2018 年 6 月 5 日、7 月 3 日、31 日、9 月 3 日の 4 回、果樹試験場内の緩傾斜地園の‘日南 1 号’（24 年生、樹間 4m、列間 4m、1 列あたり 4 樹）を供試し、2 列 8 樹に対してドローン（MulSan DAX04, TEAD 社）を用いて、樹上 1～2m からマンゼブ水和剤 5 倍希釈液を 4L/10a 散布した（図 4）。6 月 5 日と 7 月 3 日は各樹列の中央を 1 回ずつ飛行し（中央 1 回）、7 月 31 日と 9 月 3 日は樹列を飛行方向に対して左右に分け、分けた部分の中心を 1 回ずつ通過するように各樹列を往復して飛行した（左右 1 回）。対照として、同剤 600 倍希釈液を 480L/10a、ドローン区と同日に動力噴霧機により手散布した。なお、対照区と無処理区は 1 列 4 樹とした。

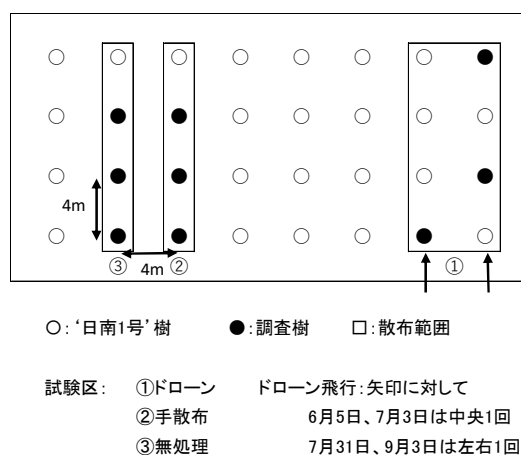


図 4 試験 3 の試験区

2) 散布後のマンゼブの付着量

果実と葉を散布日の翌日（翌日降雨が予想されたときは当日）に各区 3 樹の赤道部より上部と下部から果実（1～4 果）および葉（樹の外周部 4 方位から合計 40cm² 程度の旧葉をハサミで切除）をそれぞれ採取した。果実と葉のマンゼブの付着量の測定は試験 2 と同様に行った。

3) 黒点病に対する防除効果の検討

10 月 3 日に各区 3 樹について、樹の赤道部より上部と下部でそれぞれ 25 果、1 樹あたり合計 50 果について試験 2 と同様に発病を調査し、発病果率、発病度を算出し、防除価は発病度から算出した。また、降水量は試験 2 と同様に調査した。

結 果

1. ドローン散布による散布液の付着特性（試験 1）

試験中における風速は 0～0.5m で無風から微風条件下であった（データ省略）。

感水紙の向きが下向きの被覆面積率は、すべての飛行方法で 0% に近い数値であった（表 1）。また、上向きの感水紙の被覆面積率について高さで比較したところ、すべての飛行方法で高さ 0.5m に比べて高さ 1.5m で被覆面積率が高かった。また、上向きの感水紙の被覆面積率を飛行方法で比較したところ、高さ 1.5m、0.5m とともに中央 1 回、中央 2 回、左右 1 回の順に被覆面積率が高い傾向が認められた。

樹冠の外周部 4 方位と中心の感水紙の被覆面積率は、高さ 1.5m ですべての飛行方法において「前」と「後」で高く、次に「右」がやや高く、「中」と「左」は低かった（表 2）。また、「前」と「後」は中央 1 回、中央 2 回、左右 1 回の順で高かった。高さ 0.5m における感水紙の被覆面積率は、「後」

で中央1回，中央2回，左右1回の順で高かったが，その他の位置は低かった。

各飛行方法の被覆面積率の標準偏差は，中央1回，中央2回，左右1回の順で高く，散布液の付着のばらつきは左右1回が最も小さかった。

表1 感水紙の位置，向きによる感水紙の被覆面積率の比較

感水紙 の高さ	感水紙 の向き	中央1回				中央2回				左右1回			
		1回目	2回目	3回目	平均	1回目	2回目	3回目	平均	1回目	2回目	3回目	平均
1.5m	上	13.0	14.9	11.8	13.2	9.8	10.2	11.5	10.5	9.5	8.3	9.6	9.1
	下	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1
0.5m	上	2.2	3.3	1.7	2.4	1.3	1.5	2.0	1.6	1.3	1.2	0.9	1.1
	下	0.4	0.4	0.3	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.4	0.3

注) 数値は外周部4カ所と樹の中心の合計5カ所における感水紙の被覆面積率の平均値(%)

表2 樹冠の外周部と中心における感水紙(上向き)の被覆面積率の比較

感水紙 の高さ	中央1回	中央2回	左右1回	位置名称																																				
1.5m	<table border="1"> <tr><td></td><td>24.4</td><td></td></tr> <tr><td>0.8</td><td>2.5</td><td>10.4</td></tr> <tr><td></td><td>28.0</td><td></td></tr> </table>		24.4		0.8	2.5	10.4		28.0		<table border="1"> <tr><td></td><td>21.7</td><td></td></tr> <tr><td>1.3</td><td>2.1</td><td>11.1</td></tr> <tr><td></td><td>16.3</td><td></td></tr> </table>		21.7		1.3	2.1	11.1		16.3		<table border="1"> <tr><td></td><td>14.3</td><td></td></tr> <tr><td>3.4</td><td>3.6</td><td>9.3</td></tr> <tr><td></td><td>15.0</td><td></td></tr> </table>		14.3		3.4	3.6	9.3		15.0		<table border="1"> <tr><td></td><td>前</td><td></td></tr> <tr><td>左</td><td>中</td><td>右</td></tr> <tr><td></td><td>後</td><td></td></tr> </table>		前		左	中	右		後	
		24.4																																						
0.8	2.5	10.4																																						
	28.0																																							
	21.7																																							
1.3	2.1	11.1																																						
	16.3																																							
	14.3																																							
3.4	3.6	9.3																																						
	15.0																																							
	前																																							
左	中	右																																						
	後																																							
標準偏差	12.5	8.9	5.6																																					
0.5m	<table border="1"> <tr><td></td><td>0.8</td><td></td></tr> <tr><td>0.4</td><td>1.1</td><td>0.2</td></tr> <tr><td></td><td>9.4</td><td></td></tr> </table>		0.8		0.4	1.1	0.2		9.4		<table border="1"> <tr><td></td><td>1.6</td><td></td></tr> <tr><td>0.2</td><td>1.0</td><td>0.2</td></tr> <tr><td></td><td>5.1</td><td></td></tr> </table>		1.6		0.2	1.0	0.2		5.1		<table border="1"> <tr><td></td><td>2.3</td><td></td></tr> <tr><td>0.2</td><td>1.3</td><td>0.2</td></tr> <tr><td></td><td>1.6</td><td></td></tr> </table>		2.3		0.2	1.3	0.2		1.6											
		0.8																																						
0.4	1.1	0.2																																						
	9.4																																							
	1.6																																							
0.2	1.0	0.2																																						
	5.1																																							
	2.3																																							
0.2	1.3	0.2																																						
	1.6																																							
標準偏差	3.9	2.0	0.9																																					

注) 数値は飛行3回の感水紙の被覆面積率の平均値(%)

2. マンゼブ水和剤1回散布によるマンゼブの付着状況および黒点病の防除効果(2017)(試験2)

1) 散布後の果実のマンゼブ付着量

ドローン散布1日後(6月10日)の果実のマンゼブ付着量は，樹の上部に比べて下部で大幅に少なかった(図5)。また，手散布に比べて樹の上部でやや少なく，下部で大幅に少なかった。

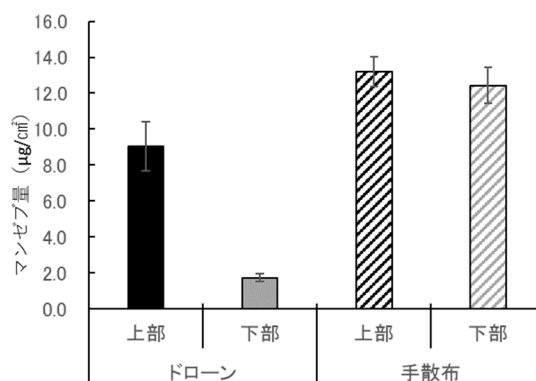


図5 マンゼブ水和剤散布直後の果実のマンゼブ付着量

注) 平均値±標準誤差

2) 黒点病に対する防除効果

発病果率は7月3日（散布24日後，累積降水量166.5mm）に無処理で19.5%であるのに対して，ドローン散布，手散布ともほとんど発病は認められなかった（図6）．ドローン散布はそれ以降急激に増加したのに対して，手散布は7月28日（散布49日後，累積降水量219.5mm）まで低く推移し，8月21日（散布73日後，累積降水量234.5mm）に急激に増加した．発病度は発病果率と同様の傾向であった．

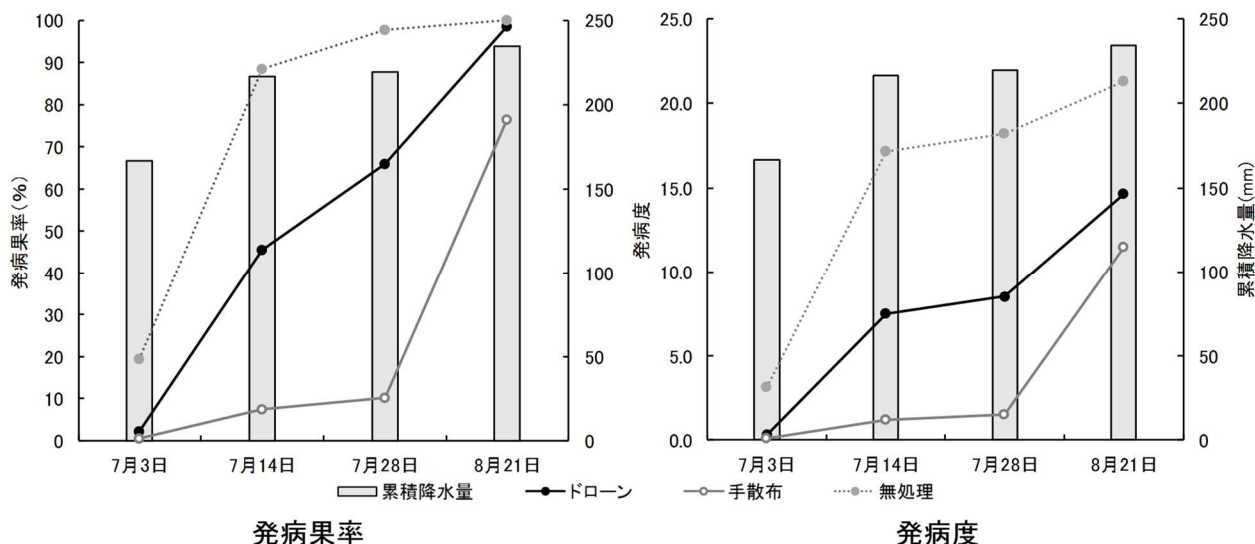


図6 マンゼブ水和剤散布後の黒点病の発病の推移

注) 日付は調査日

累積降水量は6月9日からの積算値

3. マンゼブ水和剤4回散布によるマンゼブの付着状況および黒点病の防除効果（2018）（試験3）

1) 散布後のマンゼブの付着量

散布直後の果実のマンゼブ付着量はドローン散布では樹の上部に比べて下部で少なく，上部は散布日によりばらつきがあった（図7）．ドローン散布は手散布に比べて上部で6月5日散布は同等，7月3日散布と7月31日散布は少なく，下部はいずれの散布日も大幅に少なかった．

散布直後の葉のマンゼブ付着量はドローン散布では上部に比べて下部で同等もしくは少なかった．また，ドローン散布は手散布に比べて樹の上部，下部とも同等もしくは少なかった．飛行方法が6月5日，7月3日と7月31日，9月3日で異なったが，マンゼブの付着量に明確な差は認められなかった．

2) 黒点病に対する防除効果

試験期間中（6月5日～10月3日）の累積降水量は1,410mmであった．この間の無処理の発病果

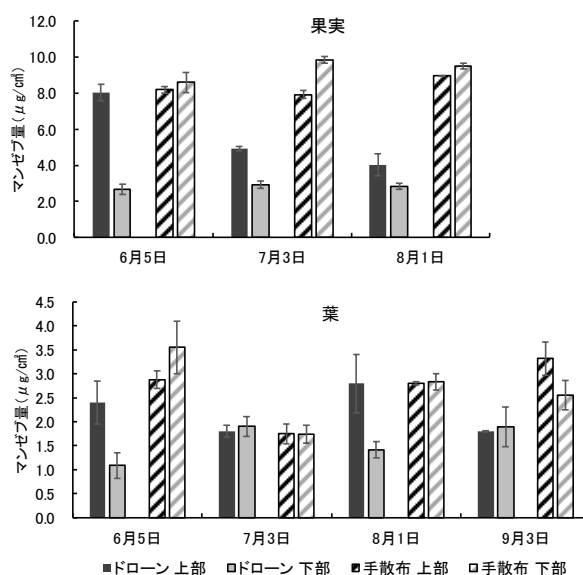


図7 マンゼブ水和剤散布直後のマンゼブ付着量

注) 日付は調査日

9月3日の果実は未計測

平均値±標準誤差

率は100%、発病度は81.5であり、甚発生条件下での試験となった（農林水産省消費・安全局植物防疫課，2016）（表3）。

発病果率はドローン散布で98.7%、手散布で94.0%であった。

程度別指数3以上の発病果率はドローン散布が32.0%で手散布17.3%に比べて高かった。また、樹の上部と下部で比べると、ドローン散布は上部に比べて下部で高かったが、手散布は上部と下部が同等であった。

発病度はドローン散布が25.3で手散布18.8に比べて高かった。また、樹の上部と下部で比べると、ドローン散布は上部に比べて下部で高かったが、手散布は上部と下部が同等であった。

ドローン散布の防除価は68.9で手散布77.0に比べてやや劣った。

表3 ドローン散布によるマンゼブ水和剤の黒点病に対する防除効果

試験区	樹の調査部位	程度別発病果数(果)					発病果率(%)	程度別指数3以上の発病果率(%)	発病度	防除価	
		0	1	3	5	7					合計
ドローン散布	上部	0.7	18.0	5.7	0.7	0.0	25.0	97.3	25.3	21.9	68.9
	下部	0.0	15.3	7.0	2.3	0.3	25.0	100.0	38.7	28.8	
	合計	0.7	33.3	12.7	3.0	0.3	50.0	98.7	32.0	25.3	
手散布	上部	1.3	19.3	4.3	0.0	0.0	25.0	94.7	17.3	18.5	77.0
	下部	1.7	19.0	3.7	0.7	0.0	25.0	93.3	17.3	19.0	
	合計	3.0	38.3	8.0	0.7	0.0	50.0	94.0	17.3	18.8	
無処理	上部	0.0	0.3	3.7	7.7	13.3	25.0	100.0	98.7	81.7	
	下部	0.0	0.3	3.7	8.0	13.0	25.0	100.0	98.7	81.3	
	合計	0.0	0.7	7.3	15.7	26.3	50.0	100.0	98.7	81.5	

注) 調査日：10月3日

散布日：6月5日，7月3日，7月31日，9月3日

数値は3樹の平均値

試験期間中の降水量：358.0mm（6月5日～7月2日），216.0mm（7月3日～7月30日），
297.0mm（7月31日～9月2日），539.0mm（9月3日～10月3日）

考 察

本研究では、ドローンを用いたマンゼブ水和剤散布による黒点病に対する防除効果について検討した。

積載量が少ないドローンでは高濃度の薬液を少量散布するのが一般的である(柳, 2017)。しかし、立体物である果樹に対してドローンにより少量散布した時の散布液の付着状況は報告がない。そこで試験1では、樹内における散布液の付着状況を明らかにすることを目的に感水紙を用いて検討し、異なる飛行方法による付着状況の差異についても検討を加えた。試験1で使用したドローンは人工衛星の位置情報による自動航行が可能で散布の再現性は高い。また、散布時は無風から微風条件下であったことから、それぞれの飛行方法における3回の飛行で、樹内の被覆面積率の偏りには同様の傾向が認められた(データ省略)。感水紙の向きと高さで散布液の付着を比較すると、すべての飛

行方法において、上向きは高さ 1.5m の付着量に対して 0.5m で大幅に少なく、下向きは 0.5m ではダウンウォッシュの地表面からの吹き戻しによりわずかに付着が認められるものの、1.5m ではほとんど認められなかった。今回試験した飛行方法ではドローン散布により葉裏や果実の下側に対して散布液を付着させることは困難であると考えられた。

次に水平方向の付着についてみると、地表 1.5m では大きくばらついたが、「中」と「左」は感水紙の上に枝があったため、被覆面積率が著しく低くなったと考えられる。ドローン散布では機体の直下が最も被覆面積率が高く、直下から離れるにつれて被覆面積率が下がる（新藤, 2020）。このため、飛行方法が中央 1 回と 2 回では飛行経路直下の「前」と「後」の被覆面積率が高かった。こうした被覆面積率の偏りを改善するため飛行経路直下を 2 つにした左右 1 回を検討したが、樹冠表面の偏りはやや改善されたものの、樹冠下部（内部）に対しては付着量の増加は認められなかった。

試験 1 の結果から、ドローン散布による散布液の付着特性として、その多くが樹冠表層に留まるが付着に偏りがあり、飛行方法によってその偏りが異なることが明らかとなった。

ところで、マンゼブ水和剤のような保護殺菌剤は、降雨により溶出する有効成分が雨水中に入り、効果を発揮することが明らかとなっており、農薬を樹冠の表面に付着させ、降雨による再分散を待てば十分な効果が期待できることが証明されている（山田ら, 1966）。ただし、山田ら（1966）は殺菌剤の施用方法について検討したところ、雨水によって溶出する有効成分の分布が不均一となる方法は適当でなく、有効成分が樹冠内に均一に分散することが重要であるとしている。ドローン散布による散布液の付着は樹冠表層に多いが、場所により散布液の付着に偏りが認められていることから、保護殺菌剤の有効成分が均一に分散できず、防除効果が十分に発揮できないことが考えられる。試験 2, 3 のマンゼブ水和剤のドローン散布において樹冠表層の薬剤の付着の偏りに関するデータが十分に取得できていないが、肉眼では薬剤の付着に偏りがあることは確認しているため、防除効果が低くなった一因の可能性は十分考えられる。

さらに、マンゼブ水和剤の葉面付着量と防除効果には明確な正の相関があることが明らかにされている（山本, 1991）。このことから、散布直後の果実や葉のマンゼブ付着量を測定し、手散布と比較した。試験 2 ではドローン散布の果実のマンゼブ付着量は手散布と比べて樹の下部で大幅に少なかったが、上部においても少なかった。また、試験 3 ではドローン散布の果実と葉の付着量を手散布と比べたところ、いずれも同等か少ないという結果であった。このような状況から、両試験ともドローン散布で手散布と同等の防除効果は得られなかった一因と考えられた。

以上の検討から、ドローン散布によりマンゼブ水和剤の効果を十分に発揮させるためには樹冠表層に均一に散布する方法やマンゼブの付着量を増加、安定させることが課題として挙げられた。散布液を均一に付着させるために、今後は飛行方法に飛行速度、高度、散布量なども加えて検討していく。また、圃場内の風向風速は測定していないが、試験中に散布液が風で流されていたのが目視で確認できた。ドローンではダウンウォッシュが弱いため風の影響を受けやすいとされており（馬門, 2019）、散布に適した環境条件についても明らかにする必要がある。さらに、慣行防除においてパラフィン系展着剤の加用により殺菌剤の付着量が増加し、防除効果を高めることが報告されている（田代, 2009）。展着剤はドローン散布においてマンゼブの付着量を増加し防除効果を高める方法として有望であると考えている。

摘 要

ドローン散布による散布液の付着特性とマンゼブ水和剤の防除効果について検討したところ、次

の結果を得た。

1. ドローン散布による散布液の付着の特徴として、散布液の多くは樹冠表面に留まり、樹冠下部や葉裏、果実の下側への付着は少ない。
2. ドローン散布は樹冠表面の散布液の付着にばらつきがあることが、マンゼブ水和剤の防除効果が十分に発揮できない一因と考えられた。
3. ドローン散布は散布の状況によって、マンゼブの付着量が不安定になることが、マンゼブ水和剤の防除効果が十分に発揮できない一因と考えられた。

本試験を実施するにあたり、ドローンによる農薬散布を行っていただきました株式会社 TEAD、山忠建設、JA 和歌山県農の皆様に厚くお礼を申し上げます。

引用文献

- 馬門克明. 2019. 水稻における農業用ドローンによる薬剤散布技術確立に向けた取り組み. 技術と普及. 56(11): 54-56.
- 窪田陽介・臼井善彦・林和信・水上智道・宮原佳彦・大里大・中野和弘. 2010. 感水紙の薬液付着液斑被覆面積率を簡易かつ高精度に測定する画像処理ソフトウェアの開発. 農業情報研究. 19(2): 16-22
- 農林水産省消費・安全局植物防疫課. 2016. 発生予察事業の調査実施基準.
- 新藤純一. 2020. ニンニクにおける農業用ドローン防除の実用化に向けた取り組み. 技術と普及. 57: 52-54.
- 正司和之・山口正洋・田代暢也. 2013. ICP によるマンガンを指標としたマンゼブの簡易分析. 農薬学要旨. 38: 82.
- 孫雯莉・奥野林太郎・高橋英博. 2020. 中山間地域におけるマルチコプタによる防除作業の作業能率分析. 農作業研究. 55(2): 71-77.
- 田代暢也. 2009. 果樹における展着剤の活用. 植物防疫. 63(4): 212-217.
- 柳真一. 2017. 航空防除(有人・無人航空機)～その特徴と展望～. 植物防疫. 71(11): 49-52.
- 山田峻一・田中寛康・小泉銘冊・山本省二. 1966. カンキツ病害に対する殺菌剤散布方法の合理化ならびに省力化に関する研究 I 殺菌剤有効成分の redistribution とその病害防除効果. 園試報. B5: 75-86.
- 山本省二. 1991. カンキツ黒点病およびそばかす病の生態と防除に関する研究. 和歌山果園試特研報. 1: 1-95.
- 和歌山県. 2017. 第2章和歌山県長期総合計画. pp. 63-65