

カキ円星落葉病に対する殺菌剤の濃厚少量散布の防除効果

杉村輝彦・小島 英

Control effect by Small Amount Spraying of Concentrated Fungicides on Circular Leaf Spot of Persimmon

SUGIMURA Teruhiko and KOJIMA Hide

Key Words: aerial application, coverage area ratio, multicopter

キーワード: 被覆面積率, 空中散布, マルチローター

奈良県内のカキ園における農薬散布は、傾斜の緩い生産団地ではスピードスプレーヤーにより行われる。これに対し、傾斜地では依然として動力噴霧機を用いた手散布による防除が行われており、散布に時間と労力を要することから、作業の省力化が求められる。大面積を短時間で農薬散布できる空中散布による病虫害防除は、水稻では1950年代より有人ヘリコプター、1990年から無人ヘリコプター、2016年からはマルチローターで実施されてきた(柳, 2017)。果樹では近年、カンキツで無人ヘリコプターやマルチローターなどの無人航空機を用いた薬液の付着性について検討されている(増井ら, 2020; 増井ら, 2021)。通常、空中散布は搭載できる薬液量に限りがあるため、地上で実施される散布よりも濃厚少量散布で実施され(柳, 2017)、専用の農薬登録が必要になる。カキではマルチローター(以下、ドローン)による散布を検討した事例はなく、空中散布用の農薬登録もない。ここでは、農薬の新規登録拡大を目指してカキ円星落葉病に対する濃厚少量散布の防除効果を検討した。

材料および方法

実験1. 地上からの模擬的濃厚少量散布が防除効果に及ぼす影響

試験は、奈良県果樹・薬草研究センター(五條市西吉野町)内の、数年間無防除で、毎年円星落葉病が多発し、落葉処分を実施していない露地圃場で行った。なお、この圃場は角斑落葉病の発生が少ないことを確認している。試験には5~10年生の‘富有’ポット樹(13号黒色プラ鉢、樹高約1.5~2 m)を供試し、樹間約1 mで直線状に配置した。試験区として濃厚少量散布区、慣行散布区および無散布区を配置し、各区6樹、反復なしとした。殺菌剤散布は、産地で利用されている‘富有’用防除暦を参考に、2020年6月12日、6月29日および7月16日に、第1表に示した殺菌剤および希釈倍率で行った。また、カメムシ被害が多発していたため、7月16日の散布時にエチプロロールフロアブルを濃厚少量散布区は20倍、慣行散布区は2000倍に希釈、混用した。

濃厚少量散布区では、ドローン散布を模擬的に再現するため、ドローンへ装着するために開発中で、扇形に薬液が噴出するSVCノズル(丸山製作所製、粒径100 μm)を長さ1.5 mの棹に取り付け、小型噴霧機(ES-25T, KOSHIN社製)により噴霧圧力を想定ドローンと同一の1 MPaに調節し、棹を樹上約1 mの高さに保持して直線的に移動して薬液を樹上より散布した(約16 m l/樹: 1樹あたり2秒程度)。これに対して慣行散布区では、濃厚少量散布区と同じ小型散布機に、丸型の5頭口ノズルを取り付けて、同じ噴霧圧力で葉の表裏にかかるよう丁寧に散布した。

第1表 カキ‘富有’ポット樹の円星落葉病に対する殺菌剤の種類と希釈倍率

処理区	散布日		
	6月12日	6月29日	7月16日
濃厚少量散布	マンゼブ水和剤5倍	有機銅フロアブル8倍	ジフェノコナゾール顆粒水和剤30倍
慣行散布	マンゼブ水和剤500倍	有機銅フロアブル800倍	ジフェノコナゾール顆粒水和剤3000倍

(約1ℓ/樹).

7月16日の散布前に、濃厚少量散布区ではポット樹の上位葉と下位葉、慣行散布区では中位葉のそれぞれ表側に感水試験紙(26×26mm, スプレーイングシステムジャパン社製)を1枚設置した。これらを回収し、既報の手法(増井ら, 2020)に従って、平均的に変色している約6,000ピクセルの範囲の画像について、ImageJにより二値化し、変色部分のピクセル数を計数して付着薬液の被覆面積率を算出した。なお、慣行散布区については、感水試験紙が全面変色したことから、被覆面積率の算出は実施せず、被覆面積率を100%と推定した。また、散布後に適宜葉害の有無を肉眼により観察した。

9月25日および10月7日に、各区6樹の両端を外した中央部の4樹の全葉について下記の5段階の発病程度別葉数を調査し(JPP-NET, 2022)、発病葉率および発病度を算出した。4樹の平均値より防除価を算出した。

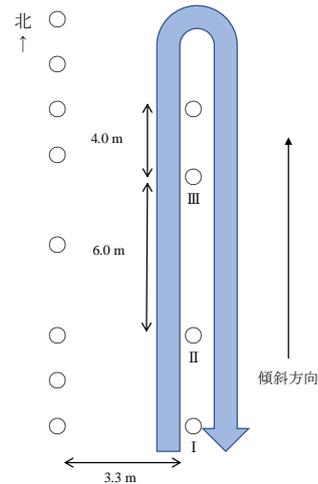
発病程度A: 病斑が葉面の1/2以上に分布, B: 同1/4~1/2に分布, C: 同1/4以下に分布, D: 病斑が散見, E: 病斑なし

$$\text{発病度} = (6A + 4B + 2C + D) \times 100 / (6 \times \text{調査葉数})$$

$$\text{防除価} = 100 - (\text{各試験区の発病度} / \text{無散布区の発病度}) \times 100$$

実験2. ドローンからの濃厚少量散布が防除効果に及ぼす影響

実験1と同じ圃場(緩傾斜)に植栽されている14~16年生の‘富有’(樹高約2.5~3mの立木, 樹間3~6m, 列間3.3m)で直線状に並んだ4樹を供試し、反復なしとした(第1図)。試験区として、濃厚少量散布するドローン散布区、常用濃度を手散布する対照区および無散布区を設けた。対照区、無散布区ともに、ドローン散布区からのドリフトの影響がないと考えられる、10m以上離れた樹を供試した。ドローン散布区では2021年6月7日, 6月18日および6月30日に、散布用ドローン(スカイマスター MMC1501改良型, 丸山製作所社製)にドリフトが少ないエコシャワーノズル(丸山製作所製, 散布幅2.5m, 粒径190μm)を装着し、樹上約2mの高さを保持して、樹の両側を時速約5km/hで直線飛行で往復した(第1図)。薬剤はいずれもジフェノコナゾール顆粒水和剤40倍液を8ℓ/10a相当量散布した。なお、6月18日と6月30日の飛行直前に風速計(Thermo Anemometer TA-361, ASONE社製)により測定した地上2mの瞬



第1図 ドローン散布区の樹の配置と飛行ルート

○はカキ樹(I~IIIは調査樹),
太矢印はドローンの飛行ルートを示す

間風速は、それぞれ0.2~0.5m/sと0.4~0.6m/sであった。対照区は3樹について実験1と同一の小型噴霧機により同剤3000倍液を散布し(約5ℓ/樹)、無散布区では4樹を供試した。

ドローン散布区では樹の上部(地上約2.5m)と下部(地上約1m)の葉の表側に感水試験紙(76×26mm)を設置し、実験1と同様の方法で薬液の被覆面積率を算出した。葉害の調査は、各散布日の10~12日後に肉眼で観察した。8月27日および9月15日に実験1と同じ基準で円星落葉病の発病葉数を発病程度別に調査し、発病葉率、発病度および防除価を算出した。調査は樹の上部(地上約1.8mより上)および下部(地上約1.8mより下)に分け、各部位とも任意の一年生枝15本の全葉について調査した。なお、樹の上部と下部のそれぞれについて発病葉率、発病度および防除価を算出するとともに、上部と下部を合算して算出したものを樹全体とした。

結果および考察

実験1で実施した模擬的散布では、3回目散布である7月16日の葉表側の被覆面積率は、上位葉で13.6%、下位葉で8.9%であり、慣行散布区の推定値100%と比較すると顕著に低くなった(第2表)。一方、発病

第2表 感水試験紙を設置したカキ‘富有’ポット樹葉表側での薬液の被覆面積率

処理区	部位	被覆面積率(%) ^z
濃厚少量散布	上位葉	13.6 ± 7.4
	下位葉	8.9 ± 10.4
慣行散布	中位葉	100

^z 平均値±標準偏差, 慣行散布は全て変色による推定値

度は濃厚少量散布区で 2.2~6.0 と、有意差はないものの無散布区の 10.1~21.7 よりも低い傾向を示した。慣行散布区の発病度は 9 月 25 日の調査では無散布区と有意差はなかったが、10 月 7 日の調査では有意に低くなった。防除価は、濃厚少量散布区では、慣行散布区よりは低いものの 72.4~78.2 と一定程度発病が抑制される傾向が見られた (第 3 表)。なお、葉害は確認されなかった。

実験 2 の濃厚少量散布では、カキでのドローンによる空中散布用の農薬登録に資するため、ジフェノコナゾール顆粒水和剤 40 倍の 3 回散布による防除効果を調査した。葉の表側での被覆面積率は樹の上部で 2.9~6.8%，下部で 1.8~3.8% と、樹の上部で高い傾向を示したが (第 4 表)、実験 1 の模擬的散布と比較すると被覆面積率が 1/2 程度と低かった。ドローン散布区の発病度は、樹の上部で 0.9~3.1 と無散布区の 3.6~34.1 よりも有意に低くなった。一方、同散布区の樹の下部の発病度は、無散布区の発病が少ない 8 月 27 日の調査では無散布区と有意差はなかったが、無散布区の発病が多くなった 9 月 15 日の調査では有意に低くなった。上部と下部を合算した樹全体と比較すると、9 月 15 日の調査ではドローン散布区の発病度が無散布区よりも有意に低くなった (第 5 表)。なお、ドローン散布区と対照区の発病度の比較では、有意差は認められなかった。ドローン散布区の防除価は、8 月 27 日の調査では対照区の 90.2~93.0 と比較すると 49.7~76.2 と低かったが、9 月 15 日の調査ではドローン散布区で 86.3~91.0 と、対照区の 91.7~96.6 と比較してやや劣る、あるいは同等となり、比較的高い防除効果が確認された。なお、葉害は確認されなかった。

実験 1 の模擬的散布では、産地での慣行散布をドローンで実施することを想定して、3 回散布のうちの最初の 2 回を保護殺菌剤としたが、濃厚少量散布区では慣行散布区よりもやや効果が劣る結果となった (第 3 表)。この原因として、保護殺菌剤は浸透移行性がなく、被覆面積率が低い分、葉の表面を保護しきれなかったと推察される。既報で指摘されているように (新藤, 2022)、薬液付着量が少ないドローン散布では実験 2 のジフェノコナゾール顆粒水和剤 3 回散布のように浸透移行性を有する剤を連続散布する方が、より高い防除効果が期待できると考えられる。また、今回供した薬剤の中でマンゼブ水和剤 5 倍希釈や有機銅フロアブル 8 倍希釈の薬液は、放置するとタンク内に沈殿が確認されことから、濃厚少量散

布する場合、調整後すぐに散布することが望ましい。しかし、ドローンで散布する場合は、水和剤ではノズル詰まりも懸念されることから、今後は水溶剤や液剤についても検討する必要がある。

カキ円星落葉病は、潜伏期間が 60 日、長い場合は 120 日以上とされ、主要な感染時期である 5 月中旬~7 月上旬に定期的な薬剤散布をする必要がある (大森, 2005)。感染期間が長いことから、ドローンによる防除が可能になれば、散布作業の省力化に寄与できると考えられる。ナガイモ栽培では 10 a あたりの散布作業時間は、ドローン散布によりブームスプレーヤーの約半分になったとの報告 (新藤, 2022) や、バレイショでは 20 a の圃場で、手散布防除に 2 時間を要するのに対してドローン散布では概ね 10 分と短いとの報告がある (日吉, 2022)。このようにドローン散布により、カキでも散布作業時間の短縮と散布労力を軽減できると期待される。今後は散布作業時間や作業強度の比較も必要である。

第 3 表 カキ‘富有’ポット樹の円星落葉病に対する防除効果に及ぼす濃厚少量散布の影響

処理区	9月25日			10月7日		
	発病率率(%)	発病度 ²	防除価	発病率率(%)	発病度 ²	防除価
濃厚少量散布	11.0	2.2 a	78.2	23.0	6.0 a	72.4
慣行散布	5.0	0.8 a	92.1	7.0	1.8 b	91.7
無散布	42.0	10.1 a	-	60.0	21.7 a	-

² 処理区間で添え字のアルファベットが異なる場合はアークサイン変換後、Tukey の多重検定により 5%水準で有意差あり (n=4)

第 4 表 ドローン散布によるカキ‘富有’葉表面での薬液の被覆面積率

樹の部位	被覆面積率 (%) ²		
	6/7散布	6/18散布	6/30散布
上部	2.9 ± 0.8	5.7 ± 2.1	6.8 ± 7.4
下部	1.8 ± 0.8	3.2 ± 2.7	3.8 ± 1.7

² 平均値 ± 標準偏差

第 5 表 カキ‘富有’立木での円星落葉病に対するドローン散布の防除効果

処理区	部位	8月27日調査			9月15日調査		
		発病率率 (%)	発病度 ²	防除価	発病率率 (%)	発病度 ²	防除価
ドローン散布	上部	2.7	0.9 b	76.2	12.5	3.1 b	91.0
	下部	6.9	2.4 a	49.7	15.6	5.1 b	86.3
	樹全体 ³	4.5	1.5 a	62.7	14.1	4.1 b	88.6
対照	上部	1.7	0.4 b	90.2	9.6	2.8 b	91.7
	下部	1.5	0.3 a	93.0	6.9	1.3 b	96.6
	樹全体 ³	1.6	0.3 a	91.6	8.3	2.0 b	94.2
無散布	上部	6.2	3.6 a	-	80.0	34.1 a	-
	下部	11.0	4.8 a	-	69.1	37.0 a	-
	樹全体 ³	8.3	4.1 a	-	74.9	35.4 a	-

² 処理区の部位間で添え字のアルファベットが異なる場合はアークサイン変換後、Tukey-Kramer の多重検定により 1%水準で有意差あり (n=3-4)

³ 樹全体は、樹上部と下部を合算して算出し直したもの

カンキツにおける無人航空機による薬剤散布では、感水試験紙を上向きに設置した上方面は高い位置ほど被覆面積率が高いと報告されており(増井ら, 2020), 樹の上部で付着面積率の高い本研究と同様の傾向を示した。また, 本試験におけるドローン散布区では上部で2.9~6.8%, 下部で1.8~3.8%とカンキツと比較すると変動が小さかった(第4表)。しかし, カキでは樹の下部(地上約1m)には枝の重なりがあって, 上空からの散布では薬液が付着しにくいと考えられる。ドローン散布による被覆面積率と防除効果の関係についてはこれまで詳細な報告はないが, 本試験で実施した円星落葉病に対する6月散布においてジフェノコナゾール剤を11~12日間隔で3回散布すれば, 被覆面積率が2~7%であっても効果があると考えられる。

ドローンの飛行高度は, ナガイモでは下位葉への薬剤付着を考慮すれば, 植物体上1mが適当で(新藤, 2022), カンキツでは樹上1.5m(増井ら, 2020; 増井ら, 2021)との報告がある。カキでは徒長枝が上方に伸びやすく, 衝突を回避するために本研究では樹上約2mの高さを飛行したが, 植物体より上空側へ離れるほど, 風の影響を受け, 薬液がドリフトしやすいと考えられる(新藤, 2022)。本試験のドローン散布試験では, ドリフト低減ノズルを使用したこともあるが, 瞬間風速が0.2~0.6 m/sと, 無風に近い条件であったため, ドリフトが少なく, 一定の付着量と防除効果が確認された。しかし, 風速1.3~2.5 m/sでは風上での被覆面積率が劣ったとの報告もあり(新藤, 2022), カキにおいてもドローンでの散布を実施する場合, 風が弱い時間帯や日を選択することも重要であると考えられる。

謝辞

本研究は, 平成30年~令和3年度農林水産研究推

進事業委託プロジェクト研究「ドローンやセンシング技術を活用した果樹の病虫害防除管理効率化技術の開発」により実施した。本研究の遂行にあたり, 有益なご助言をいただきました傾斜地ドローンコンソーシアムの皆様に厚く御礼申し上げます。

引用文献

- 日吉 誠. スマート農業を活用した労働力支援と産地振興. 機械化農業. 2022, 3249, 12-16.
- JPP-NET. “発生予察事業の調査実施基準 第2各論 XIIカキの病虫害 D円星落葉病”. 一般社団法人日本植物防疫協会. 2022-08-10. http://www.jppn.ne.jp/jpp/bouteq/hasseyosatu_kijyun.html, (参照2022-08-18).
- 増井伸一, 村田裕行, 土田祐大, 加藤光弘, 小林 泉, 猪俣敏一. マルチローター式無人航空機による薬剤散布時の飛行経路と散布粒径がカンキツ樹冠内における薬液の付着生に及ぼす影響. 関西病虫害研報. 2021, 63, 27-32.
- 増井伸一, 山根 俊, 土田祐大, 村田裕行, 加藤光弘. 無人航空機を用いた少量散布によるカンキツ樹冠内の液滴の付着特性. 関東病虫害研報. 2020, 67, 87-89.
- 大森尚典(棚橋一雄改訂). “円星落葉病”. 原色果樹病虫害百科第2版ブドウ・カキ3. 農文協. 2005, 389-397.
- 新藤潤一. 青森県におけるドローン散布を活用した病虫害防除に向けた取り組み. 植物防疫. 2022, 76, 259-263.
- 柳 真一. 農薬製剤・施用技術の最新動向⑨ 航空防除(有人・無人航空機)~その特徴と展望~. 植物防疫. 2017, 71, 745-748.