

# カンキツ防除における産業用無人ヘリコプターの 効果的散布経路

増井伸一<sup>1)</sup>・山根 俊<sup>2)</sup>・中山博典<sup>3)</sup>・溝口俊夫<sup>4)</sup>・河島和幸<sup>4)</sup>  
・土田祐大<sup>1)</sup>・中村浩一<sup>2)</sup>・影山智津子<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>農林技術研究所果樹研究センター, <sup>2)</sup>農林技術研究所,  
<sup>3)</sup>ヤマハ発動機株式会社, <sup>4)</sup>静岡スカイテック株式会社

## Effective Spraying Routes of Industrial Unmanned Helicopters for Pest Control in Citrus Fields

Shinichi Masui<sup>1)</sup>, Suguru Yamane<sup>2)</sup>, Hironori Nakayama<sup>3)</sup>,  
Toshio Mizoguchi<sup>4)</sup>, Kazuyuki Kawashima<sup>4)</sup>, Yuta Tsuchida<sup>1)</sup>,  
Koichi Nakamura<sup>2)</sup>, and Chizuko Kageyama<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Fruit Tree Research Center, Shizuoka Res. Inst. of Agri. and Forest, <sup>2)</sup>Shizuoka Res.  
Inst. of Agri. and Forest, <sup>3)</sup>Yamaha Motor Co., Ltd., <sup>4)</sup>Shizuoka Skytech. Co., Ltd.

### Abstract

In this study, we aimed to establish a pesticide spraying technique using an unmanned helicopter in citrus fields because it is necessary to improve the leaf layer coverage of the three-dimensional structure with sprayed droplets. We used water-sensitive test paper to investigate the droplet adhesion properties and establish an effective flight route for unmanned helicopter spraying. First, we sprayed from 3–4 m above the citrus trees using an unmanned helicopter (L31, Yamaha Motor Co., Ltd.) and evaluated the coverage area rate of four types of single flight routes. As a result, the coverage area rate depended on the flight route. The orientation of the water-sensitive test paper and the installation height also affected the rate. Next, we combined the pluralities of flight routes, sprayed water over citrus fields at a rate of 160–190 L/ha, and performed the same evaluation. The difference in the coverage area rate for each composite flight route was significant but only slightly so, and the interaction between the direction of the water-sensitive test papers and the installation height was observed. The upper surface of the test papers had a high coverage rate at a height of 2 m, while the vertical and bottom surfaces had a relatively high coverage at a position of 0.5 m. The coverage area rate was found to vary greatly depending on the orientation and height of the surface of the test papers. Furthermore, improving the adhesion of the bottom surface when heights over 1 m were used was an issue.

キーワード：カンキツ, 病害虫防除, 無人ヘリコプター, 散布経路, 被覆面積率

## I 結 言

農業就業人口の減少や基幹的農業従事者の高齢化<sup>9)</sup>に対応するために、労働生産性を向上させる対策が必要であり、カンキツ産地の基盤整備やスピードスプレーヤ(SS)等の機械化が進められている<sup>10)</sup>。一方、静岡県の主要品目である温州ミカンには依然として傾斜地で栽培されるケースが多く、園地の36%が斜度15度以上の急傾斜地に立地している<sup>8)</sup>。このようなことから、病害虫防除では地形に影響されずに運用可能な無人航空機の活用による省力化が期待されている。

一方、既に無人航空機防除が普及している水田<sup>2), 11)</sup>と異なり、カンキツ園は立体的な構造をしている。また、無人航空機の少量散布はSSによる慣行散布と比べて、カンキツ樹冠内への薬液の被覆面積率が相対的に低く、変動も大きい<sup>6)</sup>ことから、カンキツ樹冠内への散布均一性を高めた技術として確立する必要がある。筆者らは、これまでに無人ヘリコプター(無人ヘリ)用散布装置の機能向上を目的とした静電散布技術<sup>5)</sup>とともに効果的な機体の運用方法を検討してきた。このうち、本稿では効果的散布経路についての試験結果を報告する。

## II 材料及び方法

### 1 供試機種と散布条件

無人ヘリはヤマハ発動機社製 L31 (Fazer-R) を供試し、ノズル TXVK8 を左右3基(合計6基)搭載し、吐出量毎分 3.3L (散布圧力 0.3MPa)、飛行速度時速 8km とし、樹上 3~4m の高度を飛行し、薬剤散布を想定して水を散布した。

### 2 散布経路の設定

静岡市清水区尾羽の緩傾斜(斜度約3度)の17年生青島温州園(樹間 3.5m, 列間 5.0m, 1列あたり 27樹)で、効果的な散布経路を明らかにすることを目的に以下の2通りの試験を行った。

#### (1) 単一経路散布による付着特性(試験1)

評価対象列の樹直上を4行程(2往復)で散布する経路 A, 樹直上から約 1m 左右の通路側にずらして4行程散布する経路 B, 左右の通路上を2行程(1往復)ずつ散布する経路 C, 左右の隣接列上を2行程(1往復)ずつ散布する経路 D の4種の経路を設定した(Fig.1, a)。各経路とも散布水量は4行程で 10L である。なお、散布時の天候は曇り、気温 28℃、風速は

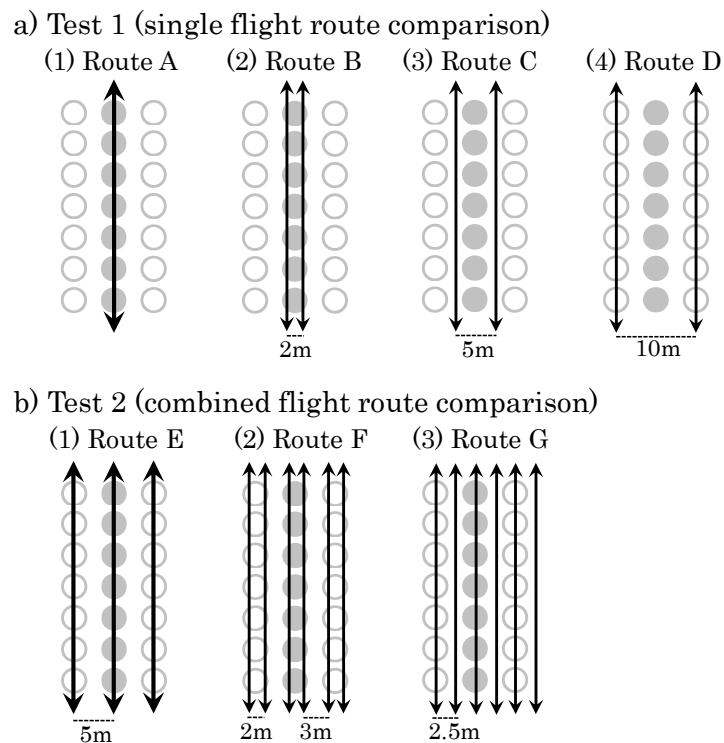


Fig.1. Setting up test plots to study effective spray routes.

The arrows in the figure show the flight routes of the unmanned helicopter, and the thick and thin arrows indicate the four and two strokes, respectively. The circles indicate citrus trees, and the center of the three rows was surveyed (see fig.2).

0~4m/s で、Table 1 に示した条件で実施した。

(2) 複数の経路を組み合わせた面的散布による付着特性 (試験 2)

評価対象列と隣接列の 3 列の樹直上を 4 行程ずつ散布する経路 E, 3 列の各樹直上から約 1m 左右の通路側にずらして 4 行程ずつ飛行させる経路 F, 3 列の樹

直上と隣接する通路上を 2 行程ずつ散布する経路 G の 3 種の複合経路を設定した (Fig.1, b). 各経路ともに合計 12 行程で散布水量は 21.9~26.4L (160~190L/ha) であった。なお、散布時の天候は晴れ、気温 20°C, 風速 2~3m/s で、Table 1 に示した条件で実施した。

Table 1. Spraying condition for evaluating the effective spraying route by unmanned helicopter in citrus field

Date and Weather	Route	Starting time	Flight time	Wind condition	Total spray amount	Nozzle	Number of nozzle	Discharge amount	Flight speed	Number of flight stroke
2017 Jul. 4 Cloudy 28°C	A	11:24	3 min	S 0-1m/s	10L	TXVK8	6	3.3L / min	8km / h	4
	B	11:57	3 min	S 0-1m/s	10L					
	C	12:24	4 min	S 0-1m/s	10L					
	D	12:49	4 min	S 2-4m/s	10L					
2017 Oct. 26 Fair 20°C	E	10:19	9min 8s	E 2-3m/s	22.8L	TXVK8	6	3.3L / min	8km / h	12
		11:45	9min 1s	NE 2-3m/s	22.2L					
	F	11:15	9min 19s	N 2-3m/s	26.4L					
		13:57	9min 9s	NE 2-3m/s	25.4L					
		10:49	9min 1s	E 2-3m/s	21.9L					
G	13:27	9min 33s	E 2-3m/s	26.3L						
		14:26	9min 2s	E 2-3m/s	25.5L					

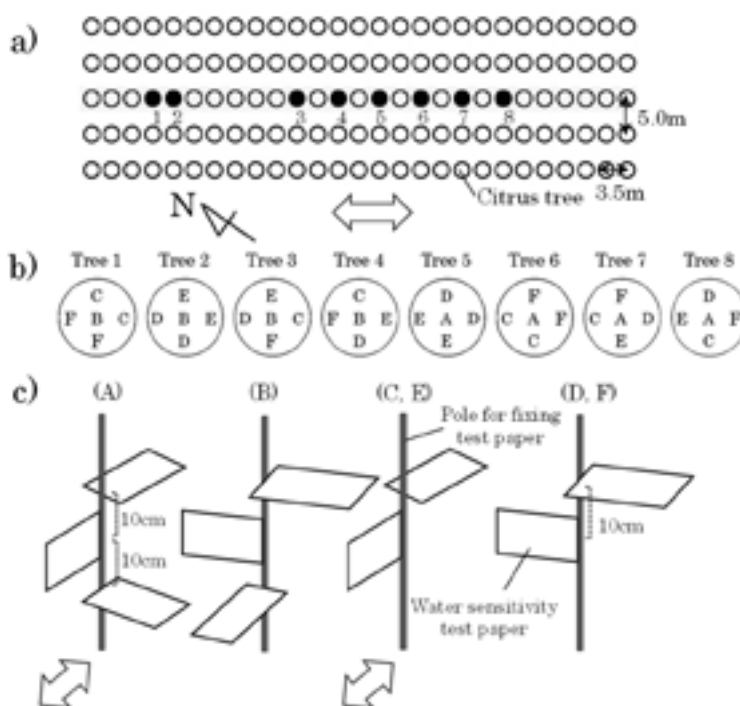


Fig. 2. Setting of the water sensitivity test paper for field evaluation of aerial spraying by unmanned helicopter. a: placement of survey trees, b: placement of the pole to fix the water sensitivity test papers in the leaf layer of citrus trees, c: water sensitivity test papers fixed to the pole. Closed circles in the figure show the citrus trees for survey. The test papers were fixed at 2 m above the ground on the pole of A and B, 1m above on the pole C and D, 0.5m above on the pole E and F. The arrows show the movement direction of unmanned helicopter.

### 3 感水試験紙の設置

評価対象の1列27樹のうち、樹高が2.0~2.4mの8樹を調査樹に設定した (Fig. 2, a). カンキツ樹冠内の各位置や、面の各方向別に葉液の付着特性を明らかにするために、調査樹の中央の2m、樹冠4方向から20~30cm内側の1mまたは0.5mの高さに、支柱に取り付けた76×25mmの感水試験紙(Syngenta製)を設置した (Fig. 2, b). 1mおよび0.5mの高さでは感水試験紙2枚の裏面を合わせて、感水試験紙の面が水平および垂直に、また、2通りの向きになるように支柱に固定し、2mでは水平の感水試験紙を1組追加設置した (Fig. 2, c). 試験1では各経路1回、試験2では各経路で2~3回散布を行い (Table 1), その都度、感水試験紙を設置・回収した。

### 4 感水試験紙データの数値化

感水試験紙はスキャナー (HP社製PSC2355) を用いBMP形式の画像データ (600dpi, 42.3 $\mu$ m/ピクセル) を取得した. これをAdobe社製Photoshopにより1枚ごとに周縁部を除いた1200×450ピクセルの画像に切り出した. 次に画像解析ソフトImageJを用いて8bit変換後に閾値140で2値化し、着色したピクセル数 ( $x$ ) を計数した. 被覆面積率 ( $y$ ) は  $y = 100 \times x / (1200 \times 450)$  により求めた.

### 5 統計解析

被覆面積率 ( $y$ ) は対数変換を行って正規分布<sup>9)</sup>を仮定し、これを目的変数として散布経路、感水試験紙面の方向、設置高、およびこれらの交互作用を主要因とする三元配置分散分析を行い、事後検定 (TukeyのHSD検定) により処理区間の比較を行った. なお、被覆面積率が0%のデータがわずかにみられたため、1ピクセルあたりの被覆面積率を加え、対数変換は  $\log(y+0.0002)$  により行った. 統計ソフトはJMP ver.12.1を用いた.

## III 結 果

### 1 単一経路散布の付着特性 (試験1)

単一経路散布の被覆面積率に対する各種要因の分散分析結果をTable 2に示した. 被覆面積率に対し、散布経路、感水試験紙面の方向、設置高の効果が認められ、全ての交互作用も認められた ( $p < 0.01$ ). このため、感水試験紙面の方向別、高さ別に、各飛行経路の被覆面積率をFig.3に示した. 高さ2mでは、感水試験紙の各面ともに樹上を飛行した経路Aや経路Bの被覆面積率が通路上を飛行する経路Cや隣接列上

を飛行する経路Dよりも高く (Fig. 3 a, TukeyのHSD検定:  $p < 0.05$ ), その差は上方面と垂直面で大きかった. 高さ1mの上方面と垂直面では経路A~Cの被覆面積率が経路Dよりも高く (TukeyのHSD検定:  $p < 0.05$ ), 下方面は経路による違いはみられなかった (Fig.3 b). 高さ0.5mの上方面と下方面では経路A~Cの被覆面積率が経路Dよりも高く、垂直面では経路BとCの被覆面積率が経路Dよりも高かった (Fig. 3 c, TukeyのHSD検定:  $p < 0.05$ ).

Table 2. Effects of factors on the coverage area rate of test papers by unmanned helicopter spraying with single flight route (test 1)

Factor	df	MS	F-value	p-value
Flight route (A)	3	53.81	168.15	< 0.01
Direction of test paper surface (B)	2	65.54	204.81	< 0.01
Height of test paper (C)	2	72.11	225.36	< 0.01
A×B	6	4.78	14.93	< 0.01
A×C	6	13.84	43.27	< 0.01
B×C	4	13.71	42.84	< 0.01
A×B×C	12	1.58	4.95	< 0.01
Residuals	662	0.32		

### 2 複数の経路を組み合わせた面的散布による付着特性 (試験2)

複数経路散布の被覆面積率に対する各種要因の分散分析結果をTable 3に示した. 被覆面積率に対して飛行経路、感水試験紙面の方向、設置高の効果がみられ ( $p < 0.01$ ), 各要因の交互作用は感水試験紙面の方向×設置高のみ認められた ( $p < 0.01$ ). 散布経路別の被覆面積率をFig.4に示した. 各列の樹直上を飛行した経路Eの被覆面積率 (中央値, 2.38%) が、樹直上と通路を飛行した経路G (中央値, 1.78) よりも高かった (TukeyのHSD検定:  $p < 0.05$ ) が、E~Gの3種の飛行経路による被覆面積率の差は小さかった. 各飛行経路のデータをプールした上で、感水試験紙面の方向と設置高さ別の被覆面積率をFig.5に示した. 被覆面積率は2mの上方面 (中央値, 25.57%) で最も高く、次に0.5mの垂直面 (6.58%), 1mと0.5mの上方面 (5.73%, 5.17%) が高かった. さらに2mの垂直面 (1.52%), 0.5mの下方面 (1.17%), 1mの垂直面 (1.06%) となり、1m, 2mの下方面 (各0.21%, 0.03%) は最も低かった. 上方面の被覆面積率は相対的に高く、下方面は低かった. また、上方面は高い位置で被覆面積率が高い一方で、垂直面と下方面は低い位置で被覆面積率が高く、その傾向は下方面で顕著であった.

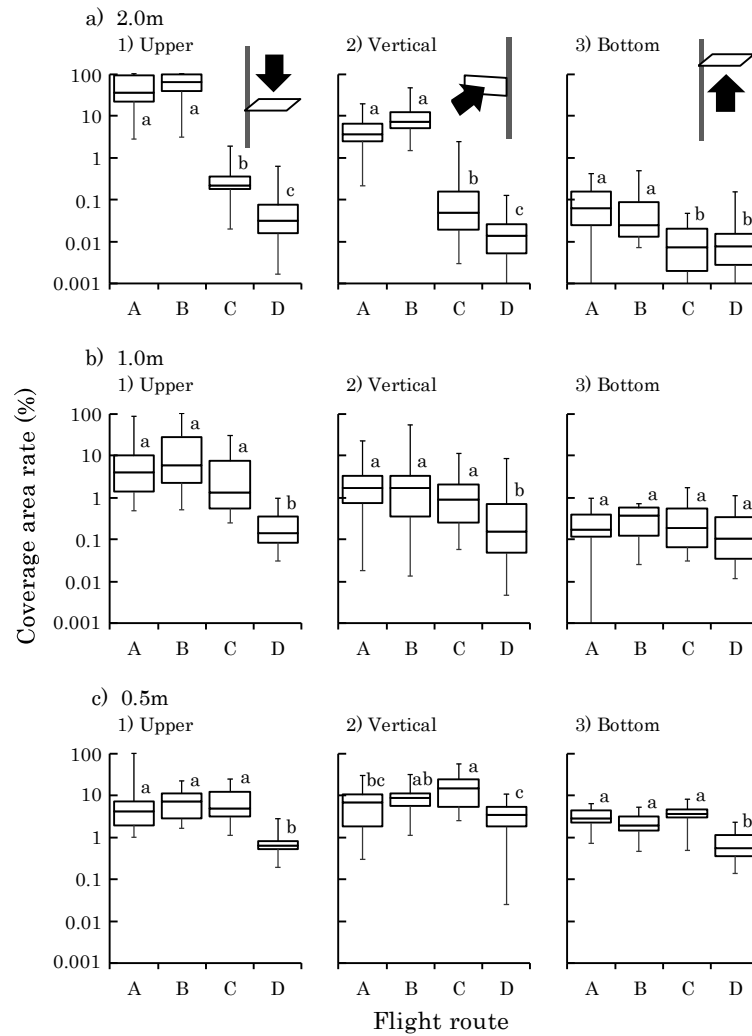


Fig. 3. Distribution of coverage area ratio in citrus canopy by unmanned helicopter spraying with single routes (test 1). The box plots and whiskers show quartiles and range, respectively. The arrows in the figure point to the evaluated surface. Ratios with the same letter within each panel are not significantly different by ANOVA and Tukey's HSD ( $p < 0.05$ ).

Table 3. Effects of factors on the coverage area rate of test papers by unmanned helicopter spraying with combined flight route (test 2)

Factor	df	MS	F-value	p-value
Flight route (A)	2	1.49	5.13	< 0.01
Direction of test paper surface (B)	2	204.26	703.28	< 0.01
Height of test paper (C)	2	41.99	144.57	< 0.01
A×B	4	0.40	1.39	0.23
A×C	4	0.04	0.15	0.96
B×C	4	34.40	118.43	< 0.01
A×B×C	8	0.34	1.16	0.32
Residuals	1199	0.29		

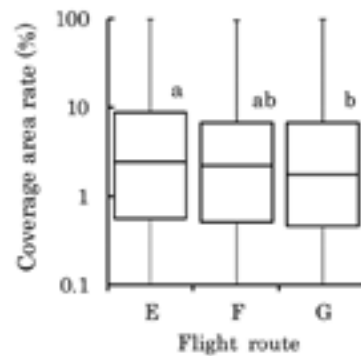


Fig. 4. Coverage area rate in citrus canopy by unmanned helicopter spraying with each combined route (test 2). The box plots and whiskers show quartiles and range, respectively. Ratios with the same letter are not significantly different by ANOVA and Tukey's HSD ( $p < 0.05$ ).

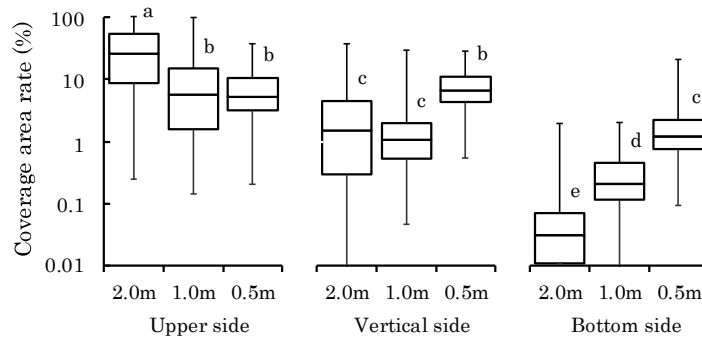


Fig. 5. Effect of direction and height of water sensitive test paper on the coverage rate.

Data from each spray route in test 2 were pooled. See fig.4 for figure description.

#### IV 考 察

水田で普及している無人ヘリによる農薬散布は主回転翼が起こす吹き降ろし下流 (Downwash: ダウンウォッシュ) を利用して散布液滴を効率的に作物に付着させるように各種条件設定がされている<sup>2)</sup>。カンキツ樹に散布を行った本研究でもダウンウォッシュの一定の作用が確認され、散布経路別の被覆面積率の分布は感水試験紙面の方向によって異なる傾向がみられた。すなわち、単一経路散布の付着特性を検討した試験 1 では、調査樹上を飛行する経路 A および B での散布で、通路や隣接列を飛行する経路 C および D と比べて 2m の高さの各面の被覆面積率が高く、両者の差が大きかった (Fig. 3a)。経路 A では、高さ 2m に設置した感水試験紙の直上を、経路 B では水平方向に 1m、経路 C は 2.5m、経路 D は 5m 離れた上空を飛行している (Fig. 1a) ことから、この高度への散布幅は飛行経路から水平方向に 1m には到達し、2.5m には届かなかったことになる。一方で、1m と 0.5m の高さでは各面ともに樹上を飛行した経路 A および B と比べ通路を飛行した経路 C の被覆面積率が劣ることはなく (Fig. 3b, c)、本試験の樹上 3~4m の高度を飛行した条件では、地上 1m 以下には飛行経路から水平方向に左右 2.5m の範囲には均一に散布がされることが確認された。また、隣接列上を飛行した経路 D であっても一定の付着がみられたことから、飛行経路から 5m 程度の範囲にも薬液が飛散することも確認された。

無人ヘリ散布では一定間隔で直線的に飛行しながら面的に散布を行うことが想定されることから、試験 2 で複数の飛行経路を組み合わせる面的な散布を行い、被覆面積率の比較を行った。その結果、5m 間隔の各列上を飛行した経路 E での被覆面積率が、列上と通路

を飛行した経路 G よりも高かったが、その差は極わずかであった (Fig. 4)。この結果から、一定間隔で飛行し面的に散布する場合、飛行経路による被覆面積率の変動は小さいことが明らかになった。また、無人ヘリによる面的な散布では、上方面の被覆面積率は高位置で高くなる一方で、垂直面や下方面では低位置で高くなり (Fig. 5)、これはダウンウォッシュの地表面からの跳ね返った風が作用していると考えられる。

本研究では一部の農薬がカンキツで無人ヘリ散布が登録されている散布水量 (40~100L/ha) よりも多い水量 (160~190L/ha) を散布し、付着性の評価を実施した結果、被覆面積率の中央値は設置高と面の方向により 0.03~25.57% で変動が大きかった (Fig. 5)。すなわち、1m 以上の高さの下方面の被覆面積率が相対的に低く、この部位の付着性向上が課題と考えられる。慣行防除では、被覆面積率の低下により、病害虫に対する防除効果が不安定になることが報告されており<sup>3), 4), 7)</sup>、落葉果樹では病害虫によって 40~90% 以上の被覆面積率が推奨されている<sup>7)</sup>。一方、慣行散布の 50~100 倍の濃厚散布を行う無人ヘリ散布では被覆面積率と防除効果の関係について知見は乏しい。今後は、無人ヘリの濃厚少量散布の効果が確保される被覆面積率を対象病害虫と適用薬剤ごとに明らかにするとともに、本研究で明らかにした樹冠内での被覆面積率の変動を踏まえた総合的な評価手法を確立する必要がある。

#### V 摘 要

カンキツ栽培で無人ヘリコプターによる農薬散布技術を確立するためには立体的構造をした葉層部への薬液の付着性向上を図る必要がある。本研究では、感水試験紙を用いて無人ヘリコプターの効果的散布

経路とともに散布液の付着特性を検討した。調査樹を設置した植栽列に対し、樹上 3~4m の高度で無人ヘリコプター（ヤマハ発動機株式会社製 L31）を用いて 4 種の単一の飛行経路（評価列直上、直上から左右に 1m ずらした経路、通路上、隣接列上）で散布を行った。その結果、飛行経路によって散布薬液による被覆面積率が異なり、感水試験紙面の方向や設置高さも影響した。次に、複数の飛行経路を組み合わせ、160-190L/ha を面的に散布し、同様の評価を行った。その結果、飛行経路別の被覆面積率の差は有意だが極わずかであった。被覆面積率に対して感水試験紙面の方向と設置高さの交互作用がみられ、上方面は高位の被覆面積率が高い一方で、垂直面や下方面では低位の被覆面積率が高かった。感水試験紙面の方向と高度によって被覆面積率の変動が大きく、特に 1m 以上の高さの下方面の付着性向上が課題と考えられた。

## 謝 辞

カンキツ園における試験実施にご協力いただいた JA しみずの関係諸氏に厚くお礼申し上げます。本研究は静岡県経済産業部の新成長戦略研究「無人航空機を活用した樹園地の超省力・精密化管理システムの開発」2016~2018 により実施した。

## 引 用 文 献

- 1) 独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構 (2010) : リンゴとモモ, リンゴとセイヨウナシ複合経営における農薬の効率的散布技術マニュアル, 1~56.
- 2) 芳賀俊郎 (2013) : 航空 (有人ヘリ) 防除及び無人ヘリ防除の歩みと今後の展望. 日本農薬学会誌 38, 224~228.
- 3) 飯塚 亮・嶋田 綾・坂本 彩・加藤綾奈・山口修平 (2018) : 東京都のナシにおけるナミハダニ黄緑型の薬剤感受性と葉の巻きによる薬液付着量の低下が死虫率に及ぼす影響. 関東病虫研報 65, 139~143.
- 4) 國本佳範・井上雅央 (1997) : 感水紙の農薬付着指標と殺虫効果の関係について. 応動昆 41, 51~54.
- 5) 増井伸一・山根 俊・中山博典・溝口俊夫・河島和幸・土田祐大・中村浩一・牧田英一・影山智津子 (2020a) : 産業用無人ヘリコプター用静電散布装置による散布液滴のカンキツ樹における付着性評価. 静岡農技研報 13, 59~68.
- 6) 増井伸一・山根 俊・土田祐大・村田裕行・加藤光

弘 (2020b) : 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. 関東病虫研報 67, 87~89.

- 7) 中野智彦・谷川元一・萩原敏弘・岡山健夫 (1991) : イチゴうどんこ病 (*Sphaerotheca humuli*) に対する薬剤の防除効果と葉面の農薬付着量. 関西病虫害研報 33, 71~78.
- 8) 農林水産省生産局 (2006) : 果樹農業に関する資料, 1~278.
- 9) 静岡県 (2018) : 静岡県の産業ハンドブック, 1~264.
- 10) 静岡県 (2019) : 静岡県果樹園芸の生産と流通, 1~68.
- 11) 柳 真一 (2017) : 農薬製剤・施用技術の最新動向 ⑩, 航空防除 (有人・無人航空機) ~その特徴と展望~. 植物防疫 71, 745~748.