

春作バレイショ栽培における マルチコプターを用いた空中散布防除体系

川本 旭，渡邊 亘

キーワード：バレイショ，ドローン，薬剤散布，アブラムシ類，疫病

Examination of an Aerial Spray Control System Using a Multicopter for Spring Potato Cultivation.

Akira KAWAMOTO, Wataru WATANABE

目 次

- 1．緒言
- 2．材料および方法
 - 1）現行の空中散布体系
 - 2）空中散布一貫体系
 - 3）疫病に対する防除効果
 - 4）統計処理
- 3．結果
 - 1）現行の空中散布体系
 - 2）空中散布一貫体系
 - 3）疫病に対する防除効果
- 4．考察
- 5．摘要
- 6．引用文献

Summary

1. 諸言

近年、2枚以上の同径プロペラを有し、高い操作性のマルチコプター（以下ドローン）の開発・普及が進み、大型のドローンは農薬散布にも使用されるようになってきている。

バレイショでは、北海道などで無人ヘリコプターを用いた空中散布の実績があり、水稻・麦類および豆類に次いで空中散布で利用できる農薬数が多い（農林水産省農産局技術普及課，2020）。

しかし、無人ヘリコプターとドローンでは、散布幅やダウンウォッシュといった条件が異なるため、期待通りの防除効果が得られない可能性がある。また農薬の空中散布は、飛行可能時間との兼ね合いから、高濃度の薬液を少水量散布する方法がとられる。この高濃度少水量散布の防除効果と作物における適性を判断するため各地で試験が行われている。

本試験では、西南暖地のバレイショ栽培における防除用ドローンの導入を検討した。春作バレイショ栽培（以下春作）では、虫害ではモモアカアブラムシ *Mysus persicae* (SULZER) やワタアブラムシ *Aphis gossypii* GLOVER などのアブラムシ類、病害ではジャガイモ疫病 *Phytophthora infestans*

とアブラムシ類が媒介するウイルス病が問題となる（村山・小島，1965；吉井，1962；Waleら，2008）。このうち塊茎えそ病は、モモアカアブラムシやワタアブラムシにより非永続的に媒介されるジャガイモYウイルスの1系統PVY^{NTN}によって引き起こされ、塊茎表面および内部に黒～褐色のえそを生じる（小川ら，2008）。

今回は疫病の防除に効果的な防除体系（小川ら，2009）に基づき、ドローン散布時の防除効果を地上防除と比較した。また殺虫剤と混用散布し、アブラムシ類への防除効果と、塊茎えそ病の予防効果を調査した。さらに殺菌剤の単剤散布時の疫病の防除効果を、地上散布と比較した。

本研究は2020年から2021年にかけて新稲作研究会の助成を受けて行った試験および2022年度九州病害虫防除推進協議会受託試験の結果の一部をまとめたものである。なお、試験の実施にあたりヤンマーアグリジャパン株式会社、ヤンマーヘリ&アグリ株式会社および一般社団法人九州病害虫防除推進協議会には多大なるご支援をいただいた。ここに深甚なる感謝の意を表する。

2. 材料および方法

1) 現行の空中散布体系

現在県内の一部地域で行われている無人ヘリを活用した防除体系は、生育中期から後期の防除を空中散布で行っている（長崎県農産園芸課，2017）。これは、生産者ごとに植付時期が異なるバレイショでは、圃場間で初期生育が揃わないため、効率性を重視して生育中期から地域一斉防除を行うためである。この生育中期から後期の防除に、ドローンを用いる散布体系について検討した。

(1) 圃場の設定および耕種概要

2021年2月20日に長崎県農林技術開発センター中山間営農研究室第二圃場（長崎市雲仙市）に「ニシユタカ」を畝幅0.65m、株間0.25m、無マルチで植え付けた。試験規模は、ドローン体系区は120㎡の反復なし、地上散布区および無処理区は1区7.5㎡を3反復とした。ドローン体系区とその他の区は、

10m離して植栽した。

(2) 試験区の設定および散布方法

散布体系および処理薬剤の倍率、散布量および投下成分量を表1に示す。薬剤の選定と散布時期は、小川ら（2009）の疫病の防除体系を参考に3回散布した。ドローン体系区は、2回目（5月8日）と3回目（5月22日）にドローンを用いて散布した。ドローン（DJI JAPAN社製AGRAS MG-1 SA）を用いた。散布直前に薬液を所定量調整後、十分攪拌して薬液タンクに投入した。散布時の設定は、散布高度2.0m、散布幅4.0m、噴口はノズル式噴口を用い、4噴口で散布した。地上散布の処理区は、ドローン散布後、背負い式動噴を用いて所定濃度に希釈した薬液を、所定量散布した。なお、薬液は毎回殺虫剤と殺菌剤を混用して散布した。

(3)調査項目および調査方法

7)生育調査および飛散状況調査

生育調査は、ドローン体系区でドローン散布処理当日の5月14日および25日に実施し、任意の3畦内の連続した10株の茎長を測定した。

飛散状況調査は、ドローン散布処理時に実施した。ドローン体系区内5か所でバレイショの茎の頂部の位置に感水紙（Syngenta製、76×52mm）を上向きに設置後、速やかにドローンで薬液を散布した。感水紙は散布処理後速やかに回収し、スキャナーでデジタル化した後、画像処理ソフト（Image J）を用いて画像分析を行い、液滴1個当たりの大きさ、単位面積当たりの個数および感水紙に占める変色部分の被覆率を算出した。また、散布の前後に機体重量を測定し、実散布量を算出した。

1)病害虫防除効果調査

病害虫の発生調査は、4月22日、26日、30日、5月7日、14日、21日、29日、6月5日に行った。ドローン体系区は、連続した10株を一つの調査区とし、これを3か所設けて偽反復とした。その他の区は、各区から調査株を10株任意に選んだ。各調査日に調査株を全葉見取り調査し、ワタアブラムシ、モモアカアブラムシ、チューリップヒゲナガアブラムシおよびジャガイモヒゲナガアブラムシを、有翅虫および無翅虫の別に虫数を計数し、以下の計算式を用いて補正密度指数を算出した。

補正密度指数＝（処理区の調査時の密度/処理区の処理前の密度）×（無処理区の処理前密度/無処理区の調査時の密度）×100

疫病は以下の発病程度調査基準に基づいて発病指数を記録し、以下の計算式を用いて発病度を算出した。なお、調査株は同一株を追跡調査した。

1：1/4 程度の葉が発病

2：ほぼ1/2 程度の葉が発病、時には一部の葉が枯死する

3：ほとんどの葉（3/4 程度）が発病、枯死葉がかなり多く（1/2 程度）みられる

4：葉はほとんど（3/4 以上）が枯死、時には茎部も枯死する

発病度＝{Σ（各発病指数×発病程度別株数）/4×調査株数}×100

なお、各調査回において調査した株の薬害の有無を見とりで調査した。

ウ)塊茎えそ病発病調査

6月8日に病害虫調査に供した調査株10株の塊茎を掘り取り後、室温の貯蔵庫に一時保管し、その後温度15.5℃の低温庫に移動した。7月13日に塊茎表面の塊茎えそ症状（ミミズ腫れ、黒目、陥没）のある上いも個数を数え、発病塊茎率を算出した。

表1 試験区の設定（2020年）

試験区	処理日											
	散布1回目(4月23日)				散布2回目(5月8日)				散布3回目(5月22日)			
	薬剤名	倍率 (倍)	散布量 (L/10a)		薬剤名	倍率 (倍)	散布量 (L/10a)	投下成分量 (g/10a)	薬剤名	倍率 (倍)	散布量 (L/10a)	投下成分量 (g/10a)
ドローン体系	メタラキシルM・TPN水和剤	1000	200		アメトクトラジン・ジメトモルフ水和剤	32	3.2	27・ 20.3	シアゾファミド水和剤	32	3.2	9.4
	イミダクロプリド水和剤	5000	200		アセタミプリド液剤	64	3.2	9	イミダクロプリド顆粒水和剤	160	3.2	10
地上散布	メタラキシルM・TPN水和剤	1000	200		アメトクトラジン・ジメトモルフ水和剤	1000	200	54・ 40.6	シアゾファミド水和剤	1000	200	18.8
	イミダクロプリド水和剤	5000	200		アセタミプリド液剤	4000	200	9	イミダクロプリド顆粒水和剤	10000	200	10
無処理	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-

2) 空中散布一貫体系

前述の防除体系は、無人ヘリを用いた大面積での防除が前提となっているため、出芽後の生育が揃わない期間は、圃場単位で個別に地上防除を行っていた。一方ドローンは散布可能な面積が無人ヘリよりも狭く、圃場単位での防除が可能のため、出芽後から防除を行うことができる。そこで、春作バレイショにおけるすべての防除をドローンで

行う防除体系での防除効果を検討した。

なお、3回目のドローン散布時に、地上散布区の1区でドローンの薬液が付着したため、以降のデータを欠測値として調査対象から除外した。

(1)圃場の設定および耕種概要

試験は中山間営農研究室第二圃場で実施した。品種は「ニシユタカ」を用い、2022年2月24日に畝幅0.65m、株間0.25m、無マルチで植え付けた。各区

の供試面積は9.1m²(2.6m×3.5m)で3反復とした。各区の配置は、区間1.0m、3×3のランダム配置とした。

(2)散布体系

散布体系および処理薬剤の倍率、散布量および投下成分量を表2に示す。散布は合計3回行い、薬剤の選定と散布時期は、小川ら(2009)の疫病の防除体系を参考にした。ドローンはDJI JAPAN社製AGRAS MG-1Pで、散布はすべて共通の設定で行った。飛行高度は2.0m、飛行幅は4.0m、ノズル式噴口で進行方向の前方2噴口を使用した。地上散布の処理区は、ドローン散布後、背負い式動噴を用いて所定濃度に希釈した薬液を所定量散布した。

ドローン散布時は、対照区と無処理区にFPRポール(ダンポール)で支柱をたて、上から農業用ポリエチレンフィルムで覆いをして、薬液がかからないようにして、試験区全体に様に散布した。薬液は毎回殺虫剤と殺菌剤を混用して散布した。

(3)調査項目および調査方法

ア)生育調査および飛散状況調査

生育調査は、ドローン体系区でドローン散布処理当日の4月21日、5月6日、5月19日に実施し、任意の3畦内の連続した10株の茎長を測定した。

飛散状況調査は、前項と同様の方法で調査した。

イ)病害虫防除効果調査

病害虫の発生調査は、4月21日、30日、5月6日、13日、19日、25日に行った。調査項目および方法は前項と同様である。

ウ)塊茎えそ病発病調査

6月2日に各区中央の24株の塊茎を掘り取り後、室温の貯蔵庫に一時保管し、その後温度15.5℃の低温庫に移動した。7月14日に塊茎えそ症病の発病を調査した。方法は前述と同様の方法である。

(4)その他

疫病は場内圃場および近隣圃場で自然発生が見られなかったことから、5月12日にあらかじめ用意していた罹病塊茎を、同一圃場の隣接したバレイショ圃場内に設置して間接接種を行い、感染および発生を促した。

表2 試験区の設定と散布体系(2021年)

試験区	処理日											
	散布1回目（4月21日）				散布2回目（5月6日）				散布3回目（5月19日）			
	農薬名	倍率 (倍)	散布量 (L/10a)	投下成分量 (g/10a)	農薬名	倍率 (倍)	散布量 (L/10a)	投下成分量 (g/10a)	農薬名	倍率 (倍)	散布量 (L/10a)	投下成分量 (g/10a)
ドローン体系	フルオピコリド・ プロバモカルブ塩酸塩フロアブル	16	3.2	11・55	ベンチアカルブイソプロピル ・TPN顆粒水和剤	32	3.2	5・50	シアゾファミドフロアブル	32	3.2	9.4
	アセタミプリド液剤	64	3.2	9	スピロテトラマトフロアブル	100	3.2	7.2	イミダクロプリド顆粒水和剤	160	3.2	10
	フルオピコリド・ プロバモカルブ塩酸塩フロアブル	1000	200	11・55	ベンチアカルブイソプロピル ・TPN顆粒水和剤	1000	200	10・100	シアゾファミドフロアブル	2000	200	9.4
地上散布	アセタミプリド液剤	4000	200	9	スピロテトラマトフロアブル	4000	200	11.2	イミダクロプリド顆粒水和剤	10000	200	10
無処理	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

3)疫病に対する防除効果

疫病は体系防除試験では少発生で推移したため、中発生以上の防除効果は不明瞭であった。このため、疫病は発病が多い条件下での薬剤効果試験を実施した。

(1)圃場の設定および耕種概要

2022年2月24日に中山間営農研究室の圃場(第二圃場)に「アイマサリ」を畝幅0.60m、株間0.25m、無マルチで植え付けた。試験規模は、ドローン散布区が60m²の反復なし、地上散布区が20m²の3反復とした。また、ドローン散布区には障壁として隣接する区との間にハイオーツを植栽した。

(2)散布体系および処理方法

試験区の設定を表3に示す。供試した5種類の薬剤それぞれに対して、対照区として地上散布区を設けた。投下成分量は、本県の病害虫防除基準の

散布濃度に準じて設定した。

ドローン散布は4月28日に、飛行高度2.0m、飛行間隔4.0m、ノズル式2噴口散布の設定で行った。散布前後に機体重量を測定し、実散布量を算出した。地上散布区は、ドローン散布実施後に、背負い式動力噴霧器を用いて所定濃度に希釈した薬液を、所定量散布した。

(3)調査項目および調査方法

ア)生育調査および飛散状況調査

4月16日、25日、5月8日および22日に無処理区の20株の茎長を調査した。

散布薬液の落下分散調査は、前項と同様の方法で調査した。

イ)防除効果調査

4月27日、5月1日、5日、9日、14日、18日、22日、27日、31日および6月3日に各区の配置

した調査株（20 株，3 か所）で，前述の基準で疫病の発病程度を調査し，発病株率および発病度を算出した．また，発病程度の調査と合わせて，散

布 24 日後まで薬害の有無を毎回見取りで調査した．

表3 試験区の設定（2022 年）

区No	薬剤名	散布方法	希釈倍数 (倍)	散布量 (L/10a)	成分量	投下成分量 (g/10a)
①	アミスルブロム・シモキサニル水和剤	ドローン	25	1.6	アミスルブロム 17.0% シモキサニル 30.0%	10.9 19.2
対照①		地上散布	3000	200	アミスルブロム 17.0% シモキサニル 30.0%	11.3 20.0
②	アメトクトラジン・ジメトモルフ水和剤	ドローン	16	1.6	アメトクトラジン 27.0% ジメトモルフ 20.3%	27.0 20.3
対照②		地上散布	1500	200	アメトクトラジン 27.0% ジメトモルフ 20.3%	36.0 27.1
③	マンジプロパミド水和剤	ドローン	12	1.6	マンジプロパミド 23.3%	31.1
対照③		地上散布	1500	200		31.1
④	シアゾファミド水和剤	ドローン	32	3.2	シアゾファミド 9.4%	9.4
対照④		地上散布	2000	200		9.4
⑤	シモキサニル・ベンチアバリカルブ イソプロピル水和剤	ドローン	40	1.6	シモキサニル 60.0% ベンチアバリカルブイソプロピル 10.0%	24.0 4.0
対照⑤		地上散布	3000	200	シモキサニル 60.0% ベンチアバリカルブイソプロピル 10.0%	40.0 6.7
無処理						

(4)疫病菌の接種

疫病の発生を促すために，以下の手順で疫病菌を接種した．

①散布日（4 月 28 日）の夕方

あらかじめ用意をしていた疫病菌罹病塊茎および罹病株（ワグネルポット栽培）を各試験区に均等になるように設置し，間接接種した．設置密度は罹病塊茎：1 個／2m²，罹病株：1 ポット／20m²とした．

②5 月 10 日（散布 12 日後）

疫病の発生がみられなかったため，直接接種を実施した．ライ A 寒天培地上で培養した疫病菌を雨水で懸濁し，濃度 2.2×10^3 個/ml の遊走子のう懸濁液を作製した．各試験区にジョウロを用いて約 30ml/株程度となるように散布した．

③5 月 19 日（散布後 21 日）

残効性を確認するために再度直接接種を実施した．上記と同様に濃度 9.4×10^2 個/ml の遊走子のう懸濁液を作成し，各試験区にジョウロを用いて約 30ml/株程度となるように散布した．

以上により，疫病の発生を促進し，防除効果を適切に評価できる環境を整えた．

4）統計処理

1) 現行の空中散布体系および3) 疫病に対する防除効果の試験は，ドローンで処理した区が1区で偽反復をとり，その他の区が3反復であり，適切な統計処理ができないため，虫数および発病率の統計処理は行わなかった．また2) 空中散布一貫体系の5月25日調査の値は，区を1区除外したため，虫数および発病率の統計処理からは除外した．

統計処理はR commander(ver.4.0.0)を使用した．虫数および発病率は，lme4パッケージで混合モデルによる分散分析をした．区当たりアブラムシ合計虫数および発病率に0.5を加算後，Box-Cox変換により等分散へ近似した．固定効果を各試験区，変量効果を調査日，応答変数を変換後の虫数および発病率として解析し，事後検定として試験区間の有意差をTukey法により比較した．

3．結果

1）現行の空中散布体系

(1)生育調査および飛散状況調査

薬剤散布時の茎長は，5 月 8 日では 34.1 cm，5 月 22 日では 43.3 cm だった．感水紙の画像分析の

結果は5月22日散布時にややばらつきが大きくなった．5 月 8 日の実散布量は，設定散布量よりもやや多かった（表 4）．

(2)病害虫防除効果調査

試験区での疫病の発病確認は5月21日だった。発病株率は地上散布区と比較してドローン体系区でやや高く推移した。発病度は地上散布区と比較してドローン体系区でやや低く推移した(表5)。

ワタアブラムシは、地上散布を行った散布1回目の防除で地上散布防除と同等で、ドローン散布を行った散布2回目と3回目には低密度で推移した(表6)。

モモアカアブラムシは、散布2回目のドローン体系区で散布前と比較して虫数が減少し、地上散布区と比較して同等の防除効果があった。散布3回目には、散布7日後にすべての区で虫数が増加し、防除効果は判然としなかった(表7)。

ジャガイモヒゲナガアブラムシとチューリップヒゲナガアブラムシは、発生が少なく効果は判然としなかった（データ省略）。

散布時は2種類の薬剤を混用して散布したが、各調査回で生育遅延や葉斑などの薬害は認められなかった。

(3)塊茎えそ病発病状況および収量

ドローン体系区の発病塊茎率は、他の 2 区との間に有意差がなかった（表 8）。

収量は、防除体系による差は認められなかった（表 9）。

表4 葦長調査と散布結果（2020年）

散布日	茎長 (cm)	散布 速度 (m/sec)	吐出量 (L/min)	実散布量 (L/10a)	設定 散布量 (L/10a)	超過 散布量 (L/10a)	感水紙分析結果 ^z		
							液滴面積 (mm ² /個)	平均個数 (個/cm ²)	被覆率 (%)
5月8日	34.1±9.2	2.2	1.59	3.7	3.2	+0.5	0.19±0.05 n.s.	86.9±30.1 n.s.	14.9±5.64 n.s.
5月22日	43.3±8.0	2.2	1.59	3.2	3.2	±0	0.24±0.09 n.s.	56.9±53.7 n.s.	16.5±17.9 n.s.

^z各区 5 枚の値, t 検定により各項目に散布日間で有意差なし ($p>0.05$).

表5 疫病に対する防除効果（2020年）

試験区	散布1回目(4月23日)		散布2回目(5月8日)		散布3回目(5月22日)										
	4月22日	4月30日	5月7日	5月14日	5月21日				5月29日				6月5日		
	発病株率 (%)	発病株率 (%)	発病株率 (%)	発病株率 (%)	程度別株数 0 1 2 3 4	発病株率 (%)	発病度	程度別株数 0 1 2 3 4	発病株率 (%)	発病度	程度別株数 0 1 2 3 4	発病株率 (%)	発病度		
ドローン体系*	0	0	0	0	30 0 0 0 0	0	0	27 3 0 0 0	10	2.5	21 6 0 0 0	20.0	5.0		
地上散布	0	0	0	0	29 1 0 0 0	10	2.5	19 1 0 0 0	3.3	0.8	25 1 1 1 2	16.7	11.7		
無処理	0	0	0	0	30 0 0 0 0	0	0	26 14 0 0 0	46.7	11.7	0 8 11 5 6	100.0	57.5		

^z ドローン体系区は偽反復.

表6 ワタアブラムシに対する防除効果 (2020 年)

試験区	散布 1 回目 (4月23日)												散布 2 回目 (5月8日)						散布 3 回目 (5月22日)						
	4月22日			4月26日			4月30日			5月7日			5月14日			5月21日			5月29日			6月5日 ¹⁾			
	無翅	有翅	合計	無翅	有翅	合計	無翅	有翅	合計	無翅	有翅	合計	無翅	有翅	合計	無翅	有翅	合計	無翅	有翅	合計	無翅	有翅	合計	
ドローン体系 ²⁾	合計虫数	13	4	17	0	4	4	0	3	3	1	8	9	0	4	4	2	0	2	2	0	2	0	0	0
	補正密度指数						7.8			3.0		6.0			1.7		3.5			1.1				0	-
地上散布	合計虫数	23	5	28	1	1	2	1	4	5	4	15	19	4	5	9	20	5	25	5	1	6	9	2	11
	補正密度指数						2.4			3.1		7.7			2.4		26.8			2.0					-
無処理	合計虫数	4	2	6	14	4	18	29	6	35	39	14	53	73	9	82	14	6	20	63	0	63	0	0	0
	補正密度指数						100			100		100			100		100			100					-

^z ドローン体系区は偽反復.

^Y6月5日は無処理区の値が0のため、補正密度指数を算出しなかった.

表7 モモアカアブラムシに対する防除効果（2020年）

試験区	散布 1 回目 (4月23日)									散布 2 回目 (5月8日)						散布 3 回目 (5月22日)									
	4月22日			4月26日			4月30日			5月7日			5月14日			5月21日			5月29日			6月5日 ^{*)}			
	無翳	有翳	合計	無翳	有翳	合計	無翳	有翳	合計	無翳	有翳	合計	無翳	有翳	合計	無翳	有翳	合計	無翳	有翳	合計	無翳	有翳	合計	
ドローン体系 ²⁾	合計虫数	24	1	25	2	5	7	2	2	4	8	56	64	1	11	12	1	0	1	7	0	7	3	0	3
	補正密度指数					18.1			11.3			113.4			18.1			41.3			86.8			-	
地上散布	合計虫数	25	4	29	3	2	5	0	5	5	0	34	34	8	14	22	1	0	1	20	2	22	4	1	5
	補正密度指数					11.1			12.1			51.9			28.7			35.6			235.2			-	
無処理	合計虫数	29	2	31	44	4	48	39	5	44	50	20	70	76	6	82	3	0	3	9	1	10	0	0	0
	補正密度指数					100			100			100			100			100			100			-	

^z ドローン体系区は偽反復.

^Y6月5日は無処理区の値が0のため、補正密度指数を算出しなかった.

表8 10株当たり塊茎えそ病発病塊茎率(2020年)

試験区	全塊茎数 (個)	発病塊茎数(個)				健全塊茎数 (個)	発病塊茎率 ^z (%)	症状別割合(%)		
		陥没	黒目	ミミズ腫れ	合計			陥没	黒目	ミミズ腫れ
ドローン体系	154	8	0	4	12	142	7.8 ab	66.7	0.0	33.3
地上散布	137	19	0	1	20	117	14.6 a	95.0	0.0	5.0
無処理	140	2	0	1	3	137	2.1 b	66.7	0.0	33.3

^zBonferroniの補正によるFisherの正確確率検定により、同列異符号間には5%水準で有意差あり。

表9 収量調査結果(2020年)

試験区	個数(個/10株)						重量(kg/10株)					
	2S	S	M	L	2L	合計	2S	S	M	L	2L	合計
ドローン体系	8.3	16.3	19.3	7.0	0.3	51.3 a ^z	0.4	1.5	2.9	1.6	0.1	6.6 a
地上散布	11.0	14.7	16.0	3.7	0.3	45.7 a	0.6	1.4	2.4	0.7	0.1	5.2 a
無散布	14.7	17.7	10.0	4.0	0.3	46.7 a	0.8	1.7	1.5	0.8	0.1	4.9 a

^zTukey法により、同列同符号間には5%水準で有意差なし。

2) 空中散布一貫体系

(1) 生育調査および飛散状況調査

茎長は1回目の散布時には22cmあり、やや生育が進んだ時点での散布になった。実散布量は、すべての散布日で設定量よりもやや多く散布した(表10)。

感水紙の画像分析の結果、5月6日の液滴面積と被覆率がやや小さい値を取った(表10)。

(2) 病害虫防除効果

バレイショ寄生性アブラムシは4種が発生し、いずれの種も区当たり50頭未満の少発生だった。3回目散布の5月19日には、天敵類の捕食等により無処理区でも個体数が減少した。疫病は、5月13日に地上散布区で初発が確認された。

アブラムシ類の虫数は、モモアカアブラムシとワタアブラムシでドローン体系区と地上散布区が無処理区に対して有意に少なく、チューリップヒゲナガアブラムシはすべての試験区で差がなかつ

た(表11、表12、表13)。いずれの区も3回目散布では、散布後の無処理区の虫数が減少した。ジャガイモヒゲナガアブラムシは期間を通して発生量が少なく、効果は判然としなかった(データ省略)。

ドローン体系区は、地上散布区と比較して疫病の発病株率、発病度ともに5月19日には低く、5月25日には高かったものの、発病株率に試験区間で有意差はなかった(表14)。

散布時は2種類の薬剤を混用して散布したが、各調査回で生育遅延や薬斑などの薬害は認められなかった。

(3) 塊茎えそ病発病状況および収量

塊茎えそ病の発病塊茎は、ドローン体系区で有意に少なかった(表15)。また、いずれの試験区も最も発症が多かったのは陥没症状だった。

収量は、防除体系による差は認められなかった(表16)。

表10 茎長調査と散布結果(2021年)

散布日	茎長 (cm±SD)	生育段階	散布速度 (m/sec)	吐出量 (L/min)	実散布量 (L/10a)	設定散布量 (L/10a)	超過散布量 (L/10a)	感水紙分析結果 ^z		
								液滴面積 (mm ² /個)	平均個数 (個/cm ²)	被覆率 (%)
4月21日	22±3.2	茎葉伸長～着蕾期	1.6	1.2	4.0	3.2	0.82	0.17±0.048 ab	133.1±29.8 a	22.9±8.0 a
5月6日	39±4.7	開花期	1.6	1.2	3.5	3.2	0.31	0.11±0.061 b	109.8±67.0 a	14.5±13.7 a
5月19日	43±8.1	伸長停止期	1.6	1.2	3.6	3.2	0.38	0.18±0.061 a	109.4±25.8 a	19.8±8.3 a

^z各区9枚の平均値。Tukey法により同列異符号間に有意差あり(p<0.05)。

表11 モモアカアブラムシに対する防除効果(2021年)

試験区		散布1回目(4月21日)						散布2回目(5月6日)						散布3回目(5月19日)					
		散布前(4月21日)			散布7日後(4月30日)			散布前(5月6日)			散布7日後(5月13日)			散布前(5月19日)			散布6日後(5月25日)		
		無翅	有翅	合計	無翅	有翅	合計	無翅	有翅	合計	無翅	有翅	合計	無翅	有翅	合計	無翅	有翅	合計
ドローン体系	合計虫数	19	9	28	0	0	0	2	5	7	11	4	15	4	1	5	0	0	0
	補正密度指数						0			32.7			37.2			121.43			-
地上散布 ²	合計虫数	21	6	27	3	1	4	5	2	7	3	7	10	3	1	4	1	2	3
	補正密度指数						12.9			33.9			25.7			100.74			-
無処理	合計虫数	29	5	34	34	5	39	22	4	26	42	7	49	5	0	5	0	0	0
	補正密度指数						100			100			100			100			-

分散分析(混合モデル): 固定効果: 試験区; df=2, F=12.06, p<0.0001 変量効果: 調査日; var=0.64, Std=0.80

Tukey法: ドローン体系 a, 地上散布 a, 無処理 b (異符号間に5%水準で有意差あり.)

²地上散布区の5月25日調査は2反復の合計値

表12 チューリップヒゲナガアブラムシに対する防除効果(2021年)

試験区		散布1回目(4月21日)						散布2回目(5月6日)						散布3回目(5月19日)					
		散布前(4月21日)			散布7日後(4月30日)			散布前(5月6日)			散布7日後(5月13日)			散布前(5月19日)			散布6日後(5月25日)		
		無翅	有翅	合計	無翅	有翅	合計	無翅	有翅	合計	無翅	有翅	合計	無翅	有翅	合計	無翅	有翅	合計
ドローン体系	合計虫数	2	3	5	0	0	0	1	2	3	7	3	10	0	1	1	0	0	0
	補正密度指数						0			3.3			7.4			-			0
地上散布 ²	合計虫数	7	2	9	0	4	4	0	0	0	2	0	2	0	2	2	0	0	0
	補正密度指数						1.4			0.0			0.8			-			0
無処理	合計虫数	1	0	1	26	5	31	17	1	18	26	1	27	0	0	0	1	0	1
	補正密度指数						100			100			100			-			100

分散分析(混合モデル): 固定効果: 試験区; df=2, F=2.24, p=0.12 変量効果: 調査日; var=0.06, Std=0.24

²地上散布区の5月25日調査は2反復の合計値

表13 ワタアブラムシに対する防除効果(2021年)

試験区		散布1回目(4月21日)						散布2回目(5月6日)						散布3回目(5月19日)					
		散布前(4月21日)			散布7日後(4月30日)			散布前(5月6日)			散布7日後(5月13日)			散布前(5月19日)			散布6日後(5月25日)		
		無翅	有翅	合計	無翅	有翅	合計	無翅	有翅	合計	無翅	有翅	合計	無翅	有翅	合計	無翅	有翅	合計
ドローン体系	合計虫数	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0
	補正密度指数						0			0.0			50.0			0			0
地上散布 ²	合計虫数	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	3	3	0	3	3	0	0	0
	密度指数						33.3			0.0			15.0			150			0
無処理	合計虫数	3	2	5	4	2	6	6	3	9	14	6	20	2	0	2	1	0	1
	補正密度指数						100			100			100			100			100

分散分析(混合モデル): 固定効果: 試験区; df=2, F=9.14, p=0.0006 変量効果: 調査日; var=0.0088, Std=0.093

Tukey法: ドローン体系 a, 地上散布 a, 無処理 b (異符号間に5%水準で有意差あり.)

²地上散布区の5月25日調査は2反復の合計値

表14 疫病に対する防除効果(2021年)

試験区	散布1回目(4月21日)		散布2回目(5月6日)						散布3回目(5月19日)															
	4月21日		4月30日	5月6日		5月13日				5月19日				5月25日										
	発病株率		発病株率	発病株率		程度別株数		発病株率	発病度	程度別株数		発病株率	発病度	程度別株数		発病株率	発病度							
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)		(%)	(%)	(%)		(%)	(%)	(%)		(%)						
	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4				
ドローン体系	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	24	6	0	0	0	20.0	5.0	20	10	0	0	33.3	8.3
地上散布 ²	0	0	0	29	1	0	0	0	3.3	0.8	23	7	0	0	0	23.3	5.8	15	5	0	0	25.0	6.3	
無処理	0	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	21	9	0	0	30.0	7.5	16	14	0	0	46.7	11.7	

分散分析(混合モデル): 固定効果: 試験区; df=2, F=1.0, p=0.38 変量効果: 調査日; var=0.64, Std=0.80

²地上散布区の5月25日調査は2反復の合計値

表15 塊茎えそ病発病率(2021年)

試験区	全塊茎数 (個)	発病塊茎数 (個)					健全塊茎数 (個)	発病 塊茎率 ² (%)	症状別割合 (%)		
		陥没	黒目	ミミズ腫	うち陥没 +ミミズ腫	合計			陥没	黒目	ミミズ腫
ドローン体系	449	14	6	10	0	30	419	6.7 a	46.7	20.0	33.3
地上散布	356	55	2	9	2	64	292	18.0 b	85.9	3.1	14.1
無処理	530	53	0	19	2	70	460	13.2 b	75.7	0.0	27.1

²Bonfferoni 補正による χ^2 二乗検定により, 同列異符号間には5%水準で有意差あり.

表16 収量調査結果(2021年)

試験区	個数(個/10株)							重量(kg/10株)						
	2S	S	M	L	2L	3L	合計	2S	S	M	L	2L	3L	合計
ドローン体系	4.4	12.6	17.4	15.8	9.9	2.2	62.4 a ²	0.2	0.8	1.6	2.3	2.1	0.7	7.6 a
地上散布	3.3	18.3	23.3	20.6	7.3	1.3	74.2 a	0.1	1.0	2.2	3.0	1.5	0.4	8.3 a
無処理	9.3	17.6	20.0	18.6	6.8	1.3	73.6 a	0.3	1.0	1.9	2.7	1.4	0.4	7.6 a

²Tukey 法により, 同列同符号間には5%水準で有意差なし.

3) 疫病に対する防除効果

(1) 生育調査および飛散状況調査

調査期間中、茎長は順調に伸長し、5月8日調査以降は緩慢となった(図1)。

気象観測値(中山間営農研究室観測データ)で、ドローン散布時刻の天候は晴、風向は北東および北北東、湿度は54.8~60.2%あった。また、デジタル風速計で計測した散布時の風速は0.9m/s~2.4m/sであり、試験区によってはやや風が強い条件での散布となった。

感水紙の被覆率は、散布時に風が強かった試験区①、試験区②および試験区③でばらつきが大きく、散布むらが発生したと考えられた。このため、感水紙によって薬液が付着したことが確認された場所近辺で防除効果と薬害の調査を実施した(表17)。

(2) 疫病の発生状況

5月10日に疫病菌を直接接種した結果、初発生は接種の6日後(5月16日、散布18日後)に確認され、5月22日(散布24日後)には無処理区の発病株率73.3%、発病度19.6と少発生条件での試験となった(表18)。

アミスルブロム・シモキサニル水和剤、アメトクトラジン・ジメトモルフ水和剤およびシモキサ

ニル・ベンチアバリカルブイソプロピル水和剤の処理区は、5月18日(散布20日後)調査、マンジプロパミド水和剤およびシアゾファミド水和剤は5月22日(散布24日後)に発病が認められた。

(3) 疫病に対する防除効果

5月22日(散布24日後)では、防除価で比較してアミスルブロム・シモキサニル水和剤は、地上散布区と比較してやや劣る結果となり、アメトクトラジン・ジメトモルフ水和剤およびマンジプロパミド水和剤、シアゾファミド水和剤はほぼ同等の防除効果を示した。

5月27日(散布29日後)調査時には、アミスルブロム・シモキサニル水和剤、アメトクトラジン・ジメトモルフ水和剤、シアゾファミド水和剤は地上散布に対してやや劣る防除効果を示した。マンジプロパミド水和剤は地上散布に対して同等の防除効果を示した。

シモキサニル・ベンチアバリカルブイソプロピル水和剤は、初発生時から地上散布区よりも防除効果は高かったものの、ドローン散布区と地上散布区ともに他処理と比較して初発生時から発病程度がやや高く、その後も病勢が進展していた。

また、すべての区において、生育遅延や葉斑などの薬害は認められなかった。

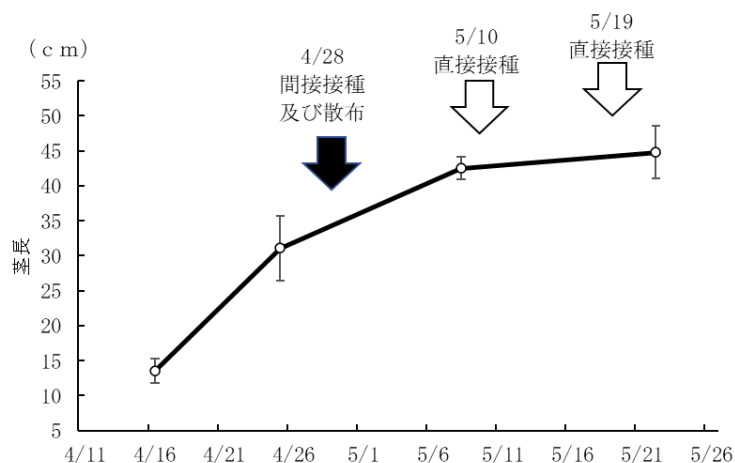


図1 茎長の推移(2022年)

表17 散布結果(2022年)

区No	散布薬剤名	散布速度 (m/sec)	吐出量 (L/min)	実散布量 (L/10a)	設定 散布量 (L/10a)	超過 散布量 (L/10a)	感水紙被覆率 ² (5枚平均、%)
①	アミスルブロム・シモキサニル水和剤	3.1	1.2	3.3	1.6	+1.7	3.7±3.5a
②	アメトクトラジン・ジメトモルフ水和剤	3.1	1.2	2.0	1.6	+0.4	7.1±5.7a
③	マンジプロパミド水和剤	3.1	1.2	4.3	1.6	+2.7	3.3±2.9a
④	シアゾファミド水和剤	1.6	1.2	3.7	3.2	+0.5	12.3±6.4a
⑤	シモキサニル・ベンチアバリカルブイソプロピル水和剤	3.1	1.2	2.5	1.6	+0.9	11.5±8.7a

²Tukey 法により、同列同符号間に有意差なし。

表 18 疫病の防除効果 (2022 年)

薬剤名	区 No	処理方法	4月27日	5月1日	5月9日	5月14日（散布16日後）					5月18日（散布20日後）					5月22日（散布24日後）									
			発病 株率 （%）	発病 株率 （%）	発病 株率 （%）	程度別発病株数				発病 株率 （%）	発病 度	程度別発病株数				発病 株率 （%）	発病 度	防除価	程度別発病株数				発病 株率 （%）	発病 度	防除価
						0	1	2	3			4	0	1	2				3	4	0	1			
アミスルブロム ・シモキサニル水和剤	①	ドローン散布	0	0	0	60	0	0	0	0.0	0.0	54	6	0	0	10.0	2.5	85.7	53	7	0	0	11.7	2.9	85.1
	対照①	地上散布	0	0	0	60	0	0	0	0.0	0.0	59	1	0	0	1.7	0.4	97.6	59	1	0	0	1.7	0.4	97.9
アメトクトラジン ・ジメトモルフ水和剤	②	ドローン散布	0	0	0	60	0	0	0	0.0	0.0	59	1	0	0	1.7	0.4	97.6	58	2	0	0	3.3	0.8	96.7
	対照②	地上散布	0	0	0	60	0	0	0	0.0	0.0	59	1	0	0	1.7	0.4	97.6	59	1	0	0	1.7	0.4	97.9
マンジプロバミド水和剤	③	ドローン散布	0	0	0	60	0	0	0	0.0	0.0	60	0	0	0	0.0	0.0	100.0	59	1	0	0	1.7	0.4	97.9
	対照③	地上散布	0	0	0	60	0	0	0	0.0	0.0	59	1	0	0	1.7	0.4	97.6	59	1	0	0	1.7	0.4	97.9
シアゾファミド水和剤	④	ドローン散布	0	0	0	60	0	0	0	0.0	0.0	60	0	0	0	0.0	0.0	100.0	59	1	0	0	1.7	0.4	97.9
	対照④	地上散布	0	0	0	60	0	0	0	0.0	0.0	59	1	0	0	1.7	0.4	97.6	59	1	0	0	1.7	0.4	97.9
シモキサニル・ベンチアバリカル ブイソプロピル水和剤	⑤	ドローン散布	0	0	0	60	0	0	0	0.0	0.0	46	14	0	0	23.3	5.8	66.7	43	17	0	0	28.3	7.1	63.8
	対照⑤	地上散布	0	0	0	60	0	0	0	0.0	0.0	38	22	0	0	36.7	9.2	47.6	32	28	0	0	46.7	11.7	40.4
	無処理	無処理	0	0	0	60	0	0	0	0.0	0.0	19	40	1	0	68.3	17.5	0.0	16	41	3	0	73.3	19.6	

薬剤名	区 No	処理方法	5月27日（散布29日後）							5月31日（散布33日後）							6月3日（散布36日後）									
			程度別発病株数					発病 株率 (%)	発病 度	防除価	程度別発病株数					発病 株率 (%)	発病 度	防除価	程度別発病株数					発病 株率 (%)	発病 度	防除価
			0	1	2	3	4				0	1	2	3	4				0	1	2	3	4			
アミスルブロム	①	ドローン散布	28	32	0	0	0	53.3	13.3	46.7	24	34	2	0	0	60.0	15.8	40.6	8	38	14	0	0	86.7	27.5	18.5
・シモキサニル水和剤	対照①	地上散布	50	10	0	0	0	16.7	4.2	83.3	50	10	0	0	0	16.7	4.2	84.4	36	24	0	0	0	40.0	10.0	70.4
アメトクトラジン	②	ドローン散布	23	34	3	0	0	61.7	16.7	33.3	16	33	10	1	0	73.3	23.3	12.5	5	29	18	7	1	91.7	37.5	(11.1)
・ジメトモルフ水和剤	対照②	地上散布	58	2	0	0	0	3.3	0.8	96.9	58	2	0	0	0	3.3	0.8	96.9	50	10	0	0	0	16.7	4.2	87.7
マンジプロバミド水和剤	③	ドローン散布	45	15	0	0	0	25.0	6.3	75.0	45	15	0	0	0	25.0	6.3	76.6	26	33	1	0	0	56.7	14.6	56.8
	対照③	地上散布	49	11	0	0	0	18.3	4.6	82.8	49	11	0	0	0	18.3	4.6	82.8	39	20	1	0	0	35.0	9.2	72.8
シアゾファミド水和剤	④	ドローン散布	41	19	0	0	0	31.7	7.9	68.3	40	19	1	0	0	33.3	8.8	67.2	10	23	21	6	0	83.3	34.6	(2.5)
	対照④	地上散布	49	11	0	0	0	18.3	4.6	81.7	49	11	0	0	0	18.3	4.6	82.8	40	20	0	0	0	33.3	8.3	75.3
シモキサニル・ベンチアバリカル ブイソプロピル水和剤	⑤	ドローン散布	24	32	4	0	0	60.0	16.7	33.3	24	32	4	0	0	60.0	16.7	37.5	17	37	5	1	0	71.7	20.8	38.3
	対照⑤	地上散布	16	38	6	0	0	73.3	20.8	16.7	16	30	14	0	0	73.3	24.2	9.4	6	31	22	1	0	90.0	32.5	3.7
無処理	無処理		4	52	4	0	0	93.3	25.0		4	48	8	0	0	93.3	26.7		2	36	21	1	0	96.7	33.8	0.0

4. 考察

近年利用の拡大が著しい農薬散布用ドローンを用いた空中防除時の防除効果を地上散布と比較した。バレイショ栽培では、疫病初発時期予測システムを利用した効率的な体系防除法が確立されている (小川ら, 2012)。ドローン散布がこの体系と合致すれば、その普及が期待できる。

1) アブラムシ類対策

体系防除試験でアブラムシ類は有翅虫の発生が多かったが、ドローン散布を含めた薬剤の散布により密度を減らすことができていた。アブラムシ類が媒介するジャガイモ Y ウイルスの塊茎への移行は、長いものでは 19 日 (井上・坂口, 1986)、最短で 5 日程度 (福家ら, 1991) とする報告がある。今回の調査では、収穫した塊茎を 35 日および 42 日間保管したため、収穫間際に感染し病徴がない潜在感染塊茎も保管期間中に発病したと考えられる。このことから、塊茎えそ病の発病塊茎率は無発症の潜在感染を含まない値と考えられ、その値はドローン防除区で低く、ドローン防除の虫数の密度抑制効果とウイルスの感染予防効果は高いと考えられる。

2) 疫病対策

疫病は 2 か年とも小発生で、発病率は増加傾向だったが、発病度は低く推移した。いずれの年も、地上散布と同等程度の防除効果であった。また、

合計収量も差はなく、ドローン散布による収量への影響は少ないと考えられた。一貫防除体系における薬剤の選定と散布時期は、地上防除での実績を参考にしており、地上防除と同様の防除が有効であることは、技術の普及においても有効性が高いと考えられる。

3) 単剤の防除効果

5 月 18 日および 5 月 22 日の疫病的発病は、5 月 10 日の直接接種によるものであると考えられた。また、5 月 19 日に再度疫病菌を直接接種した結果、5 月 27 日では、すべての試験区で新たな病斑の形成が認められ、2 回目の直接接種による新たな発病であることが考えられた (表 18)。

疫病に対する防除効果の確認のために供試した薬剤は、すべての試験区で散布 29 日後に新たな病斑の形成が認められたため、薬剤の残効は 2~3 週間のものが多いと考えられた。本試験では、いずれの薬剤もドローン散布 12 日後の接種による発病程度から 2 週間程度の薬効は地上防除と同等であることが示され、バレイショの生育と薬剤の特性に基づいた、14 日間隔の 3 回散布体系とも合致すると考えられる。この体系では、生育と薬剤の特性に基づいて薬剤を A から D の 4 グループに分類しており、アミスルブロム・シモキサニル水和剤およびアメトクトラジン・ジメトモルフ水和

剤，シモキサニル・ベンチアバリカルブイソプロピル水和剤がBグループ，マンジプロパミド水和剤およびシアゾファミド水和剤がCグループ剤に類別されている（長崎県，2024；鹿児島県，2022）。これらのグループ分けは，地上防除での試験事例を元に行っている。

4) ドローン散布の特性

散布前後の差し引き重量から算出された実散布量は，設定散布量よりも多く，試験区域外への散布および機体完全停止までの散布の継続によるものと考えられた。一方で試験区内への散布は，感水紙の被覆率に差がなかったこと，飛行中の吐出量は一定であることから，設定どおり行われたと考えられる。

ドローン散布時の散布水量と濃度は，地上散布と比較して高濃度少水量で行われる。このときの投下薬量は地上散布とほぼ等しくなるため，防除効果に差はないといわれている。これは海外の農薬使用量が単位面積当たりの有効成分投下量で規定していることから予想される（杉井，2017）。今回の試験では，投下成分量は地上散布と同等あるいは少ない設定で，ほぼ同等の防除効果を得る結果がある。空中散布における高濃度少水量散布では，茎葉に散布された薬剤は直ちに乾き，地上に流れ落ちることなく多くが茎葉上に留まることから，地上散布よりも茎葉上の薬剤成分は多いと考えられ，より少量の投下量で地上防除と同等の防除効果を得た可能性があるが，証明にはさらなる試験事例の積み重ねが必要である。

疫病に対する単剤の防除効果では，地上散布との間に防除効果で差が見られた。これは，散布薬液の物理的性質と空中散布特有の少水量散布に起因する付着程度に現れると考えられた。疫病に対する防除効果の試験では，シモキサニル・ベンチアバリカルブイソプロピル水和剤，アメトクトラジン・ジメトモルフ水和剤，およびアミスブルーム・シモキサニル水和剤のドローン散布薬液量は，地上散布よりも少ない。しかし防除効果は，地上散布と比較してばらついた。空中散布によって散布された薬剤は，茎葉上にスポット状に付着し，葉全体を覆うことはない。よって，茎葉上で防除効果を発現させるためには，浸達性や浸透移行性

といった薬剤成分が植物体内で拡散する性質を持つ必要がある。今回の報告で使用した薬剤はほとんどがこれらの性質を持った成分を含有し，アメトクトラジン・ジメトモルフ水和剤は水分の作用により拡散する性質を持つ（FAMIC 独立行政法人農林水産消費安全技術センター，2024）。各薬剤の浸透移行性，浸達性および水分による拡散のしやすさなどの性質が，地上散布との効果の差を生じさせていると考えられた。

防除体系試験でも，地上散布との間に有意差はないものの，防除効果に差がみられた。本試験の殺虫剤は，浸透移行性の高いネオニコチノイド系とスピロテトラマト水和剤の薬剤であった。ドローンによる防除では，薬剤の効果の発現が地上散布と比較して1～2日遅れることがある（未公表）。これもドローンから散布された薬液が植物体にスポット状に付着するため，薬効を示す成分が茎葉全体へ浸透移行するには，茎葉全体に付着する地上散布に比べ時間がかかるためと考えられた。以上のことから，薬剤の浸達性・浸透移行性によりドローン防除時の防除効果は，少水量散布でも確保されていると考えられた。

5) ドローン防除研究の今後

今回の試験で課題になったのは，試験規模の設定と散布量の計測である。ドローンによる農薬散布は，処理面積を大きく取る必要があり，反復を取りづらく統計処理が難しい。今後の試験デザインは，処理区をすべてドローン散布に合わせた大面積にし，区内に偽反復を設置して統計処理を行う方法が考えられる。また，散布量を散布前後の差し引き重量で計測すると，実散布量より過大に算出することがわかった。より正確な散布量を計測するには，大面積での誤差の少ない試験デザインの設計，試験区内で散布する実吐出時間の計測および均一な吐出のための機体メンテナンスなどが必要である。

今後求められるドローン防除試験は，作物および対象病害虫ごとの最適散布水量の探索，登録拡大した薬剤の効果検証，ドリフトの最小化などがあげられる。これらの試験結果から各品目での効果を波及させ，ドローン利用の拡大が進むことを願う。

5. 摘要

ドローンによる春作バレイショの防除体系を試験した結果、下記のことが明らかになった。

1)ドローン防除体系は、春作バレイショにおけるアブラムシ類と疫病に対して、地上散布と同等の防除効果である。

2)ドローン防除体系では、塊茎えそ病を地上散布

と同等以上に予防することができる。

3)疫病に対する単剤のドローン散布時の防除効果は、無処理区と比較して効果は高いものの、地上散布と比較してその効果はばらついた。残効は2週間程度のものが多かった。

6. 引用文献

FAMIC 独立行政法人農林水産消費安全技術センター. 2024. 農薬抄録及び評価書.

<https://www.acis.famic.go.jp/syouroku/index.htm>

福家 宏・佐郷勝也・田中 智. 1991. ジャガイモにおけるジャガイモ Y ウイルス(PVY)の塊茎への移行について. 日本植物病理学会報. 57(1): 121

井上 平・坂口荘一. 1986. 暖地の春秋2期作ジャガイモにおける葉巻病及びジャガイモ Y ウイルスによるモザイク病の防除. 長崎県総合農林試験場研究報告 14: 31-59

鹿児島県. 2022. 令和3年度技術情報. 21. 2022 長崎県. 病害虫雑草防除基準. 2024. p44

村山大記・小島 誠. 1965. 3種のアブラムシによるジャガイモ葉巻病ウイルスの伝搬. 日本植物病理学会会報 30(1): 20-23

長崎県農産園芸課. 2017. 平成29年度 新技術導入実証普及事業成績書 高度技術活動事業成績書. p40-58

農林水産省農産局技術普及課. 2020. 令和4年度 農業分野におけるドローンの活用状況.

<https://www.maff.go.jp/j/kanbo/smart/attach/pdf/drone-26.pdf>

小川哲治・仲川晃生・佐山 充・大島一里. 2008. ジャガイモ塊茎えそ病の発生生態と防除. 植物防疫. 62(9): 481-484

小川哲治・平田憲二・西 八束. 2009. バレイショの生育と薬剤の性質を考慮したジャガイモ疫病の効率的な防除体系. 長崎県成果情報.

小川哲治・難波信行・菅 康弘・寺本 健. 2014. ジャガイモ疫病初発時期予測システム長崎モデル利用による効率的な防除. 長崎県成果情報.

杉井信次. 2017. 海外での薬剤施用法の現状と国内への適用における課題. 植物防疫. 71(12): 810-813

Wale, S., H.W.(B)Platt and N.Cattlin. 2008. Diseases, Pests and Disorders of Potatoes. MANSON PUBLISHING. p75-83

吉井 甫. 1962. ワタアブラムシによるジャガイモ Y ウイルスの伝搬. 九州病害虫研究会報. 8: p52-53

Summary

As a result of testing a pest control system for spring potato crops using a multicopter, we found the following.

1)The drone-based pest control system has an equivalent control effect to ground spraying for aphids and late blight in spring-cultivated potatoes.

2)In the drone-based pest control system, potato tuber necrosis can be prevented as effectively as, or even better than, ground spraying.

3)Although the control effect of drone spraying with a single agent against late blight was significantly higher compared to untreated plots, its effectiveness varied when compared to ground spraying.

The residual effect of the treatment generally lasted for about two weeks.