

薬液散布分布からみた農薬散布用ドローンによる 病虫害防除の懸念点

東岱 孝司^{*1} 丸山麻理弥^{*1}

農薬散布用ドローンはXAG P-30を供試した。飛行高度2.5m（散布幅は4m）および飛行速度10.8km/hでの自動飛行ならびに液滴径150 μ mで薬液を自動散布した。ドローン散布の試験を行う際は、3.2L/10aを散布する場合、散布水量を安定させるために3-6mの助走距離を要した。また、ドリフトを考慮して隣接する試験区との間に散布幅の1/2から散布幅分の除外区を設ける必要があると考えられた。機体中心の下方は散布幅の両端の7-10倍の落下水量があり、その違いにより散布幅内で防除効果が異なる懸念がある。テンサイのヨトウガおよびアズキのアズキノメイガに対するドローン散布による防除効果はスプレー散布と比較して同等からやや優った。コムギ赤さび病に対してドローン散布は止葉では防除効果が得られたが、スプレー散布と比較すると劣り、止葉直下葉では効果がさらに劣った。テンサイ褐斑病に対してドローン散布はスプレー散布よりも防除効果が劣った。

緒 言

農薬散布用ドローンは無人ヘリの代替機として、イネの病虫害防除で普及している。道外ではダイズなどの畑作物でも用いられている¹⁾が、道内では秋まきコムギの各種雪腐病防除を除いて、畑作物の病虫害防除での普及は進んでいない。その理由として、農薬散布用ドローンで使用する“無人航空機による散布”の使用方法を有する農薬数が十分でないことが挙げられる。加えて、農薬登録申請にあたり、その効果を担保するため、通常は当該病虫害に対する防除効果を示す試験データが複数必要であるが、使用方法が“無人航空機による散布”の場合、防除効果を示すデータが不要であるため、“無人航空機による散布”による実際の防除効果を示すデータを生産者が参照できない場合もあり、農薬散布用ドローンの導入がためらわれているものと考えられる。

また、農薬散布用ドローンによる農薬の薬効試験について、北海道立総合研究機構農業研究本部では実施事例が無く、今後試験を実施する際にどのような点に注意すべきか整理する必要がある。

そこで、我々は農薬散布用ドローンによる畑作物の病

害虫防除における知見を得るため複数の試験を行うとともに、試験実施の際の注意点を抽出するためにドローン散布における薬液の散布分布の調査を行った。その結果、ドローン散布による病虫害防除の懸念点および試験を実施する際の留意点が見いだされたので報告する。

試験方法

1 供試機体

本研究で供試した農薬散布用ドローンは、XAG P-30（XAG JAPAN, 兵庫県小野市）を用いた。本機は4本のアームに取り付けられたローターにより飛行する。薬液タンクの最大容量は16Lで、薬液散布システムは薬液をディスクの回転によって霧化するアトマイザー方式で、液滴径を任意に設定することが可能である。本研究ではすべて飛行高度2.5m、散布幅4m、液滴径150 μ mおよび飛行速度10.8km/hで試験を実施した。機体と操作端末は帯広市内に設置されたRTK基地局およびGNSS RTK移動局と通信し、飛行および薬液散布は操作端末内のアプリケーションにより自動で行った。すなわち、アプリケーション上で予め測量された飛行区域内に飛行計画が作成され、飛行計画に従って、機体が自動で飛行し、薬液を散布する。薬液散布量は、測量された飛行区域の面積に対してアプリケーション上で計算され、飛行速度に依存して、薬液流量が制御される。飛行区域の測量は、操作端末およびGNSS RTK移動局を用いて「フリールート」で自動散布の開始点および終点、あるいは、「往復モード」

令和6年11月5日受理

^{*1} （地独）北海道立総合研究機構十勝農業試験場, 082-0081 河西郡芽室町

E-mail: todai-takashi@hro.or.jp



写真1 供試機体XAG P-30

で試験区の四隅をアプリケーション上に入力することにより行った。

2 農薬散布用ドローンによる薬液散布分布

試験は2023年に河西郡芽室町の十勝農業試験場（以下、十勝農試）場内で行った。直進で自動飛行し、33m長を3.2L/10aの割合で自動散布した。散布液は水道水を用い、散布開始時の積載量は約3.4Lとした。進行方向の散布分布を明らかにするため、地上高10cmに固定した7.5cm×2.5cmの感水紙片を自動飛行および自動散布の開始点（以下、開始点）から進行方向に8mないし15m地点まで、機体中央の下方の両側1mの位置に1m間隔で設置した（図1）。さらに、設定した散布幅内外における散布分布を明らかにするため、開始点から22m、26m、あるいは30mの

位置に機体の進行方向に直交するように1mあるいは2m間隔で感水紙片を設置した（図2）。試験はそれぞれ2回実施した。

散布液の落下による感水紙上の変色部分の面積（以下、被覆面積）割合は、国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構が開発した感水紙被覆面積率測定ソフトウェア（機構 - S08）³⁾を用いて求め、落下水量相対値に変換した。すなわち、進行方向0-15m地点における被覆面積は落下水量が安定すると考えられる開始点から22m、26mおよび30m地点の感水紙の被覆面積の平均値に対する相対値とし（図1）、散布幅内外の散布分布については進行方向に直交して設置した感水紙の被覆面積の総和に対する相対値とした（図2）。

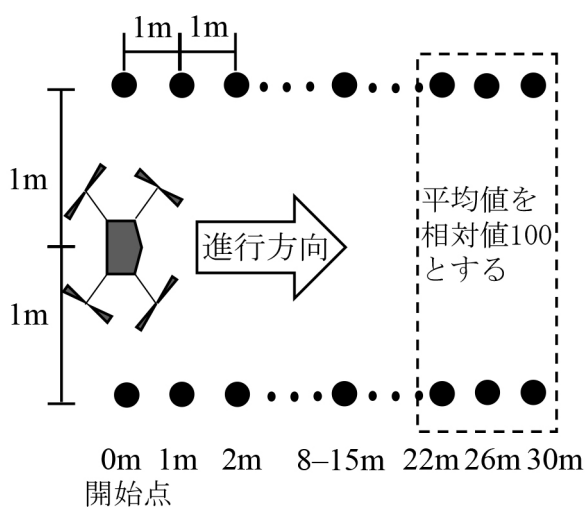


図1 進行方向に対する感水紙の配置位置

●は感水紙を示す。
試験1は8mまで、試験2は15mまで感水紙を配置した。

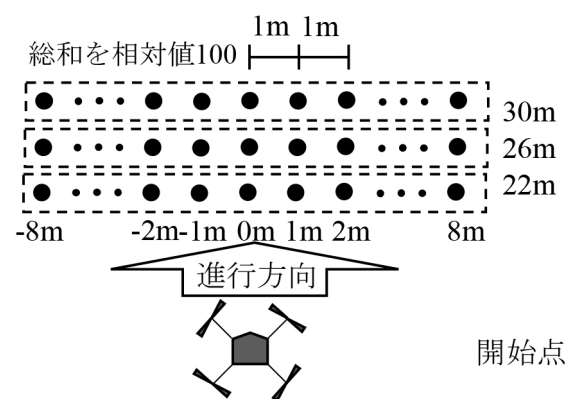


図2 設定した散布幅内外に対する感水紙の配置位置

●は感水紙を示す。
設定した散布幅は4m。
試験3は進行方向22m、26m、30mに感水紙を配置した。
試験4は進行方向26mのみ感水紙を配置し、進行方向に直交する-7m、-5m、5m、7m位置には配置しなかった。

3 農薬散布用ドローンによる病害虫防除試験

以下の試験はすべて2023年に十勝農試場内圃場で行った。各試験ともドローン散布区、スプレーヤ散布区および無散布区を設置した。スプレーヤ散布は乗用管理機BSA-535（丸山製作所，東京）を用いた。孔径0.8mm噴板を装着したカニ目二頭ロノズルにより，圧力1MPa，走行速度2km/hで約150L/10aの割合で散布した。

(1) コムギ赤さび病

自然発生条件で秋まきコムギ‘きたほなみ’を供試した。畦間30cmとし，195粒/m²で播種した。出穂期は5月29-31日，開花始は6月6-7日であった。各処理3区ずつ設置し，1区あたりの面積はドローン散布が64.8m²，スプレーヤ散布は37.8m²および無散布区は86.4m²とした。6月6日，6月13日および6月23日にフルキサピロキサドフロアブルを畦に沿って散布した。初回散布時には全試験区において病斑が認められなかった。ドローン散布はルート幅（図3）3.6mとし，16倍液を0.8L/10aの割合で散布した。スプレーヤ散布は2,000倍液を散布した。

発病調査は最終散布10日後の7月3日に，各区25茎の止葉および止葉直下葉の病斑面積率を調査した。ドローン散布区は機体直下および掛け合わせ部（図3）を調査した。

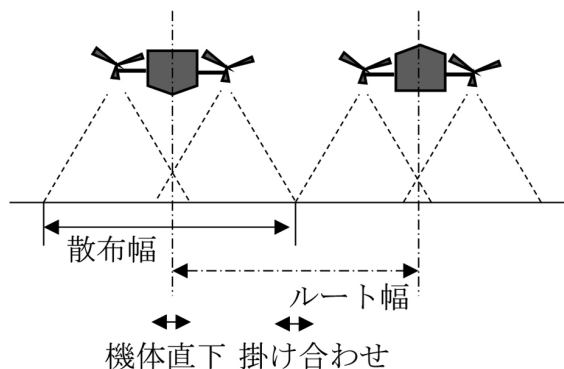


図3 散布幅とルート幅の関係，および，機体直下および掛け合わせの位置

(2) テンサイ褐斑病

自然発生条件で‘カーベ2K314’を供試した。移植は4月28日に行い，畦間60cmおよび株間23.8cmとした。各処理9m×22.8mの試験区を1区設置した。初発を6月27日に認め，6月28日，7月10日，24日，8月10日および23日に展着剤‘グラミンS’（ホクサン株式会社，北広島市）を10,000倍加用したマンゼブ水和剤を畦に直交して散布した。ドローン散布はルート幅3mとし，8倍液を1.6L/10aの割合で散布した。スプレーヤ散布は500倍液を散布した。

発病調査は7月21日，8月1日，17日，30日および9月6日に，処理あたり3畦，1畦あたり連続30株について，‘病

害虫発生予察事業実施要領’²⁾に従って0から5の発病程度指数を調査した。発病度を発病度=Σ（発病程度指数）÷（30株×5）×100により算出した。ドローン散布区については掛け合わせ部（図3）付近について4株×2か所を抽出して発病度を求めた。

(3) テンサイのヨトウガ

‘カーベ2K314’を供試した。移植は4月28日に行い，畦間60cmおよび株間23.8cmとした。各処理9m×22.8mの試験区を1区設置した。8月29日および9月7日にフルベンジアミド顆粒水和剤を畦に直交して散布した。ドローン散布はルート幅3mとし，64倍液を3.2L/10aの割合で散布した。スプレーヤ散布は2,000倍液を散布した。

調査は8月25日，9月4日，12日および19日に処理あたり3か所，1か所あたり25株について，‘病害虫発生予察事業実施要領’²⁾に従って0から4の食害程度指数を調査した。食害程度を食害程度=Σ（食害程度指数）÷（25株×4）×100により算出した。

(4) アズキのアズキノメイガ

‘きたろまん’を供試した。畦間60cmおよび株間20cm，1株本数は2とした。各処理9m×18mの試験区を1区設置した。7月31日および8月9日にフルベンジアミド顆粒水和剤を畦に直交して散布した。ドローン散布はルート幅3mとし，64倍液を3.2L/10aの割合で散布した。スプレーヤ散布は2,000倍液を散布した。

調査は9月19日に処理あたり3か所，1か所あたり25株について，全莢数および被害莢数を計数し，被害率を算出した。ドローン散布区については1か所あたり10株について掛け合わせ部（図3）も調査した。

結 果

1 農薬散布用ドローンによる薬液散布分布

薬液の自動散布において，進行方向に対して左右で感水紙の被覆面積が異なり（データ省略），さらに，飛行距離が増加しても被覆面積が一定とならなかったが，飛行距離の増加に応じて被覆面積が安定する傾向であった（図4）。進行方向における落下水量相対値は試験1では開始点から3m以降で100に達した。また，試験2では開始点から6m以降で落下水量相対値が80以上となった（図4）。

一方，設定した散布幅内外の薬液散布分布は機体中心の下方がピークとなる著しい一峰性の分布となり，感水紙の被覆面積は，機体中心から左右1m外側の位置でも機体中心と比較して約半分，散布幅の外縁にあたる左右2m位置では機体中心の1/7-1/10であった（図5）。4mの散布幅内に全水量の86-91%が分布し，設定散布幅外にドリフトが認められたが，散布幅の3倍となる12m幅内に全水量の99%，散布幅の2倍となる8m幅内に全水量の95-99%が分布した（図5）。

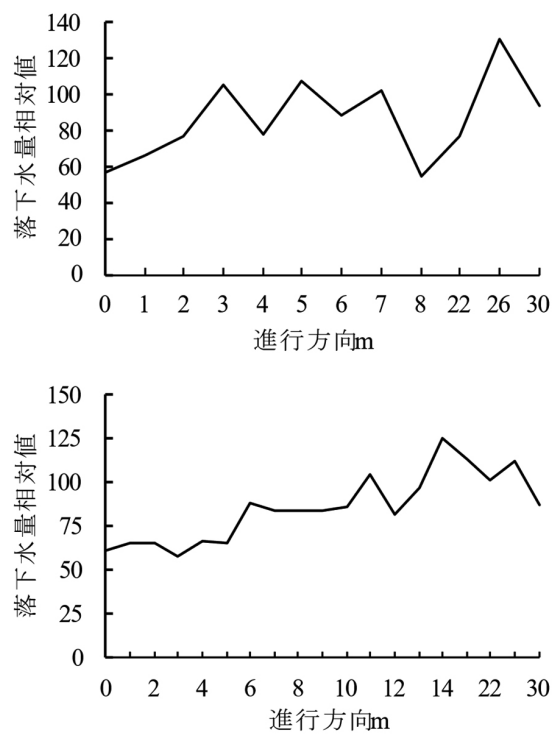


図4 進行方向に対する農薬散布用ドローンによる薬液散布分布（上図：試験1，下図：試験2）

試験1は散布開始点から進行方向の8m位置まで感水紙を設置した。試験2は15m位置まで感水紙を設置した。グラフ縦軸の落下水量相対値は、進行方向22m、26m、および30m位置に設置した感水紙の被覆面積の平均値を100とした時の進行方向各位置における被覆面積の相対値。

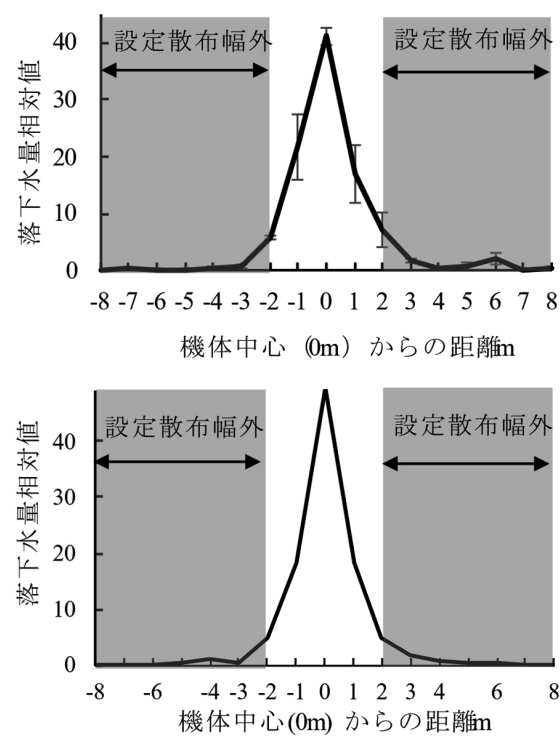


図5 設定した散布幅内外に対する農薬散布用ドローンによる薬液散布分布（上図：試験3，下図：試験4）

試験3は進行方向の22m、26m、および30m位置に感水紙を設置し、観測値とした。バーは標準偏差。試験4は26m位置にのみ感水紙を設置した。落下水量相対値は設置した感水紙の被覆面積の総和を100とした時の各位置に設置した感水紙の被覆面積の相対値。灰色塗り部分は、予め設定した散布幅（4m）の外側部分。

2 ドローン散布による防除効果

(1) コムギ赤さび病に対する防除効果

試験結果を表1に示した。

少発生条件の試験であった。止葉および止葉直下葉の病斑面積率に対する防除価はスプレー散布でいずれも

100で高い防除効果を示したのに対し、ドローン散布では、機体直下の止葉における防除価は84で効果は認められたもののスプレー散布に劣った。止葉直下葉では防除価が67でさらに防除効果は劣った。一方、ドローン散布の掛け合わせ部では防除効果が認められなかった。

表1 コムギ赤さび病に対するドローン散布の防除効果

散布機器	調査地点	病斑面積率%	
		止葉	止葉直下葉
ドローン	機体直下	0.44 (84)	1.17 (67)
ドローン	掛け合わせ	3.13 (0)	5.51 (0)
スプレーヤ		0.01 (100)	0.01 (100)
無散布		2.65	3.54

() 内は防除価

(2) テンサイ褐斑病に対する防除効果

試験結果を図6に示した。

甚発生条件の試験であった。最終散布7日後の防除価はスプレーヤ散布でも32で防除効果は不十分であったが、ドローン散布はスプレーヤ散布よりもさらに防除効果が劣った。8月以降はスプレーヤ散布と比較して、ドローン散布の方が発病程度指数で1程度高く推移し、最終散布7日後の発病度は無処理と同程度で防除効果が認められなかった。また、ドローン散布の掛け合わせ部の発病度はドローン散布全体の発病度よりも高く推移した。

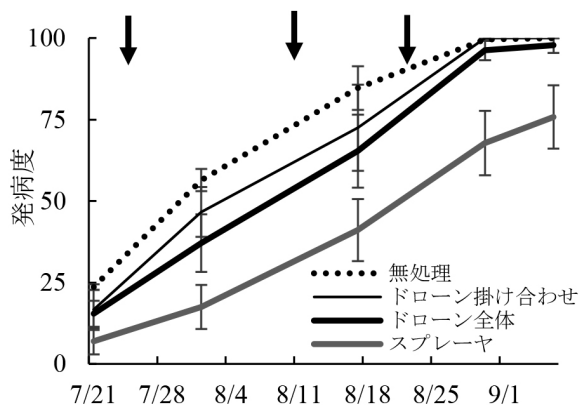


図6 ドローン散布によるテンサイ褐斑病の発病度の推移

ドローン全体はドローン散布下全体の30株の発病度で、ドローン掛け合わせは全体の30株のうち掛け合わせ付近の4株×2ヶ所の発病度。
↓は散布日であることを示す。
バーは標準偏差を示す。

(3) テンサイのヨトウガに対する防除効果

試験結果を表2に示した。

中発生条件での試験であった。ドローン散布において防除効果が認められ、スプレーヤ散布よりも食害指数は低く推移した。ドローン散布における2回目散布後の食害程度の対無処理比は11でスプレーヤ散布の25よりも優れた防除効果であった。

表2 テンサイのヨトウガに対するドローン散布の防除効果

散布機器	食害程度			
	散布前	1回目 6日後	2回目 5日後	2回目 12日後
ドローン	5.3	3.7	4.3 [11]	0.3
スプレーヤ	9.0	13.3	10.0 [25]	1.7
無散布	14.3	21.7	39.3	30.0

[]内は対無処理比

(4) アズキのアズキノメイガ

試験結果を表3に示した。

中発生条件の試験であった。ドローン散布における被害率の対無処理比は機体直下で25とスプレーヤ散布に優った。機体直下よりも効果がやや劣ったものの、掛け合わせ部でも対無処理比36でスプレーヤ散布と同等の防除効果であった。

表3 アズキのアズキノメイガに対するドローン散布の防除効果

散布機器	調査地点	被害率±標準偏差%
ドローン	機体直下	3.3 ± 1.9 [25]
ドローン	掛け合わせ	4.8 ± 1.4 [36]
スプレーヤ		5.0 ± 1.8 [37]
無散布		13.3 ± 0.8

[]内は対無処理比

考 察

農薬散布用ドローンの薬液散布分布について、進行方向では飛行開始からの飛行距離の増加に従って、落下水量が増加し、ある距離以降は一定になると考えられる。本研究では、飛行距離が増加しても感水紙の被覆面積は不安定な推移であったが、開始点から3mで落下水量相対値が100に達した、あるいは、6m以降に落下水量相対値が80以上で比較的安定した（図4）ことから、本研究で供試した機体については落下水量を安定させるために開始点から3-6mの助走距離が必要であると考えられた。機体の性能によりこの助走距離は異なると考えられることから、ドローン散布の試験区を設置する際や調査を行う場合は、機体に応じた散布水量が安定する助走距離を考慮する必要があると考えられた。一方、設定した散布幅内外の薬液散布分布については、落下水量は機体中心下方と散布幅の両端では7-10倍異なっており（図5）、散布幅の両端は往復飛行した際に掛け合わせとなっても、機体中心下方よりも落下水量は著しく少なくなり、散布幅内で防除効果に差異が生じることが予想された。したがって、防除対象の病害虫および散布する農薬によって、散布幅の両端では防除効果が不十分となる懸念がある。実際、本研究では、スプレーヤ散布とほぼ同等の防除効果であったが、アズキのアズキノメイガに対するフルベンジアミド顆粒水和剤のドローン散布では機体直下よりも掛け合わせ部において防除効果がやや劣った（表3）。さらに、テンサイ褐斑病に対するマンゼブ水和剤についても掛け合わせ部の発病度はドローン散布全体の発病度

と比較してやや高く推移し（図6）、コムギ赤さび病に対するフルキサピロキサドフロアブルのドローン散布では掛け合わせ部において防除効果が認められなかった（表1）。機体や霧化装置により散布幅内外の薬液散布分布の傾向が異なることも予想されるが、散布幅内の落下水量の不均一性はドローン散布における懸念の一つであると考えられる。また、本研究では4mの散布幅内に大部分の落下水量が分布したが、散布幅外に落下水量の9-14%がドリフトした（図5）。散布幅外のドリフト分布（図5）から、ドローン散布の薬効試験において試験区を設置する際に、ドローン散布によるドリフトの影響を最小限にするため、隣接する試験区との間に散布幅の1/2から散布幅分の除外区を設ける必要があると考えられた。

畑作物の病害虫に対するドローン散布の防除効果について、コムギ赤さび病に対して止葉ではスプレー散布には劣るものの許容できる防除効果が得られたが、止葉直下葉では防除効果は止葉におけるそれと比べて劣った（表1）。このことから、止葉には薬液が付着したが、初回散布が開花始であり、茎葉が繁茂している状況で、止葉直下葉には薬液の付着が不十分であったと推察される。したがって、対象とする病害虫によって、薬液を植物体の下位に到達させるために農薬登録の範囲内で散布水量を多くするなどの工夫が必要であると考えられた。マンゼブ水和剤を主体としたテンサイ褐斑病防除において、大竹・佐藤⁴⁾は、ドローン散布とスプレー散布は同様の発病度の推移であったと報告しているが、本研究ではマンゼブ水和剤のドローン散布はスプレー散布よりも防除効果は劣った。要因の詳細は明らかではないが、ドローン散布における散布水量は0.8L-3.2L/10aが一般的で、スプレー散布に比べて圧倒的に散布水量が少なく、植物体を薬液で覆う面積が少ないことから、条件によって期待される防除効果が得られない可能性があるものと推察された。一方、テンサイのヨトウガおよびアズキノメイガに対してドローン散布はスプレー散布と同等からやや優る防除効果であった（表2、表3）。本研究で供試したフルベンジアミド顆粒水和剤64倍液の3.2L/10a散布は無人航空機による散布水量としては比較的多く、防除効果を得るに足る水量であったと考えられた。作業効率の観点から散布水量は少ないことが望ましいが、農薬散布用ドローンによる農薬散布の知見はまだ少ないため、作物と病害虫の組み合わせで適切な散布水量を見極めていく必要があると考える。

謝 辞 本研究を遂行するにあたり、ホクサン株式会社より農薬散布用ドローンの貸与を受けた。記して感謝申しあげる。

引用文献

- 1) 藤井直哉, 松田英樹, 新山徳光. 産業用マルチローターを利用したダイズ紫斑病の防除. 北日本病害虫研究会報. 69, 20-24 (2018)
- 2) 北海道農政部. 病害虫発生予察事業実施手引. 北海道病害虫防除所編. 札幌. 2013. P.82-85
- 3) 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. 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, 16-22 (2010)
- 4) 大竹勝, 佐藤悠子. テンサイの無人航空機登録薬剤を最大限利用した防除試験について. てん菜研究会報. 64, 23-24 (講要) (2023)

Concern of Pest Control Using Pesticide Applying Drone Based on Pesticide Spray Distribution

Takashi TODAI^{*1} and Mariya MARUYAMA^{*1}

Summary

This object is to get experimental and technical know-hows about pest control using pesticide applying drone. Pesticide applying drone XAG P-30 was tested. The drone flew at a flight height of 2.5 m, brought to an applying width of 4 m, and at a flight speed of 10.8 km/h, and applied pesticide or tap water with a droplet diameter of 150 μ m, automatically. In the case of a 3.2 L/10a amount of the pesticide application, it was judged that a runway distance of 3–6 m needed to be a stable application. Based on the distribution of droplet deposition, a distance of half to whole of preset applying width was estimated to avoid the drift from a drone application plot. Because the amount of droplet deposition under the center of drone was 7–10 times more than the edges of applying width, it was concerned that pesticide control efficacy was different between the applying range. For cabbage armyworm on sugar beet and adzuki bean borer, the control efficacy of drone application was equal or superior to boom sprayer application. Rust of wheat on flag leaves was a little at drone application plots, though their control efficacy was inferior to that at boom sprayer application plots. However, a lot of disease occurred on the lower leaves of flag leaves at drone application plots. In the case of *Cercospora* leaf spot disease on sugar beet, the control efficacy at drone application plot was inferior to that at boom sprayer application plot.

^{*1} Hokkaido Research Organization Tokachi Agricultural Experiment Station, Memuro, Hokkaido, 082-0081 Japan
E-mail: todai-takashi@hro.or.jp