

カンキツ園地におけるドローン用肥料の散布方法と 土壌理化学性および樹体への影響

衛藤夏葉¹・下村友季子・中谷章・熊本昌平²

和歌山県果樹試験場

Application Methods of Drone-Specific Fertilizers and Their Effects on Soil Chemistry and Tree Growth in Citrus Orchards

Kayo Eto¹, Yukiko Shimomura, Akira Nakatani and Shohei Kumamoto²

Wakayama Fruit Tree Experiment Station

緒言

和歌山県では果樹生産が盛んであるが、産地では生産者の高齢化が進んでおり（和歌山県，2017）、今後、栽培面積の減少が加速すると見込まれている。栽培面積を維持するためには、担い手への農地集積による農家1戸あたりの経営規模拡大が急務であり、栽培管理作業にかかる負荷の軽減、時間の短縮による省力化が求められる。カンキツ栽培において、施肥作業は身体への負荷が大きいことなどから経営規模拡大の阻害要因の1つとなっており（宮崎ら，1999）、これまで、平坦地では作業道の敷設とそれによって導入できる肥料散布機の活用等により施肥作業の省力化が図られてきた（宮崎ら，2002）。しかし、和歌山県のカンキツ主産地には急峻な傾斜園地が多いため、このような技術の導入が難しかった。

近年、ロボット、AI、IoT等の革新的な技術を農作物の生産に積極的に導入する、いわゆるスマート農業への取り組みが各地で進んでおり（松本，2020）、農業用ドローンは傾斜園地でも活用可能な技術の1つとして注目されている（熊本ら，2021）。本技術は、これまで使用されてきた産業用無人ヘリコプタよりも安価で軽量であるなどのメリットがあり（佐藤ら，2018）、主に農薬散布において活用が進んでいる（舟木，2024）。農業用ドローンの粒剤散布装置を用いれば農薬だけでなく、粒状肥料の散布も可能であるが、既存の肥料をドローンで必要量散布するにはドローンの積載量や飛行時間が十分でなく、何度もバッテリー交換や肥料の充填を行うこととなるため、肥料散布の実用化にあたっては果樹に適したドローン用肥料の開発が必要である。

和歌山県では、果樹栽培における施肥作業の省力化に向けて、OATアグリオ株式会社と共同でカンキツ、カキ、ウメ栽培に適したドローン用肥料の開発に取り組んできた。開発肥料はドローン散布に適した粒状、非プラスチックコーティングの高濃度化成・肥効調節型肥料であり、肥料成分や溶出タイプの異なる中期肥効型（以下、中期型）と長期肥効型（以下、長期型）の2種類がある（表1）。ウンシュウミカンでは、中期型は年2回、長期型は年1回の施用を想定しているが、一方でウンシュウミカン栽培において、これらの肥料を実際にドローンで施用した場合、散布後に肥料が園地内でどのように分布するのかやその肥効等については明らかになっていない。

¹現在：和歌山県農業試験場

²現在：和歌山県果樹試験場かき・もも研究所

そこで、本研究ではウンシュウミカン園地において、ドローンによる中期型、長期型の施用が地表面での肥料粒分布パターン、土壌の理化学性、収量、果実品質等に及ぼす影響を調査した。

表1 供試肥料の特性と施肥設定

肥料の種類	成分組成 (N:P:K)	肥効の種類	肥効期間	年間 施肥回数 ²	1回のN施用量 (N kg/10a)	1回の施用量 (kg/10a)	年間施用量 (kg/10a)
ドローン用 中期肥効型	22:5:10	リニア型	70日	2 (3, 10月)	10	45.5	91
ドローン用 長期肥効型	30:0:5	シグモイド型	180日	1 (10月)	20	66.7	66.7
ペレット状 有機配合	7:4:3	-		2 (3, 10月)	10	142.9	285.8

²施肥日は2023年3月16日、10月18日、2024年3月12日、10月22日、2025年3月24日。

材料および方法

試験1 ドローン散布による地表での肥料粒の分布状況調査

1) ドローンの飛行高度および機種の違いが肥料の散布幅に及ぼす影響

2023年10月18日に肥料の最大積載重量約10kgのP30 (XAG社、吐出量設定値495kg/ha)、2024年10月12日に最大積載重量約50kgのP100 (XAG社、吐出量設定値455kg/ha) で試験を実施した。各試験日に、和歌山県果樹試験場内のアスファルトの平坦地においてドローン飛行経路に対し垂直方向に、真下から1m間隔で4または5m地点までコンテナ (間口52×36cm、内側にポリ袋を敷設) を3反復で設置し (図1、散布幅の半分を調査)、地表から4、6、8mの各高度でドローンを飛行速度1m/秒で片道飛行させ、中期型を散布した。各高度での散布終了毎に、コンテナ内の肥料を回収し、重量を調査した。

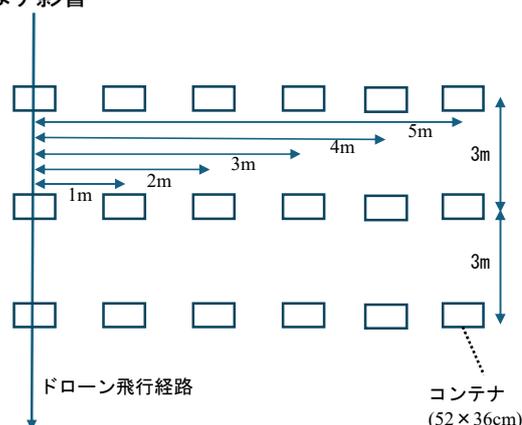


図1 ドローンの飛行経路とコンテナ配置位置

2) ウンシュウミカン緩傾斜園地におけるドローン飛行経路が散布幅に及ぼす影響

2024年3月12日、果樹試験場内緩傾斜のウンシュウミカン園地 (52年生‘宮川早生’、樹高2.5 - 3.0m、10または11樹列、樹間約3.5m) においてドローン (P30) の飛行経路を樹列に対し平行とし、樹列上の直線を片道飛行する区 (樹列上飛行区) と2樹列の間の通路上の直線を片道飛行する区 (樹列間飛行区) とを設けた。樹列上飛行区では中央樹列の樹冠下、樹間各3ヶ所、樹列間飛行区では4ヶ所、樹列に対し垂直にそれぞれコンテナ9個を飛行経路直下から両側に1m間隔で並べて配置した (図2A)。ドローン (P30) により、吐出量495kg/ha、1m/秒、樹上3または4m (地表からは5~7m程度) の設定でそれぞれの経路を飛行させ、散布後、各コンテナから肥料を回収し、重量を調査した。

3) ウンシュウミカン緩傾斜園地におけるドローン散布時の肥料粒分布状況

2023年10月18日、試験1-2) と同じ圃場において、ドローン (P30) の飛行経路を樹列に対し平行に、樹列上、樹列間とする区をそれぞれ1区約5a、3樹列 (約40m/1列、樹列間約3.5m) で設定し、各試験区の中央樹列の地表面に樹冠下、樹間各3ヶ所にそれぞれコンテナ10個を樹列に対し垂直に、コンテナの短辺を互いに密着

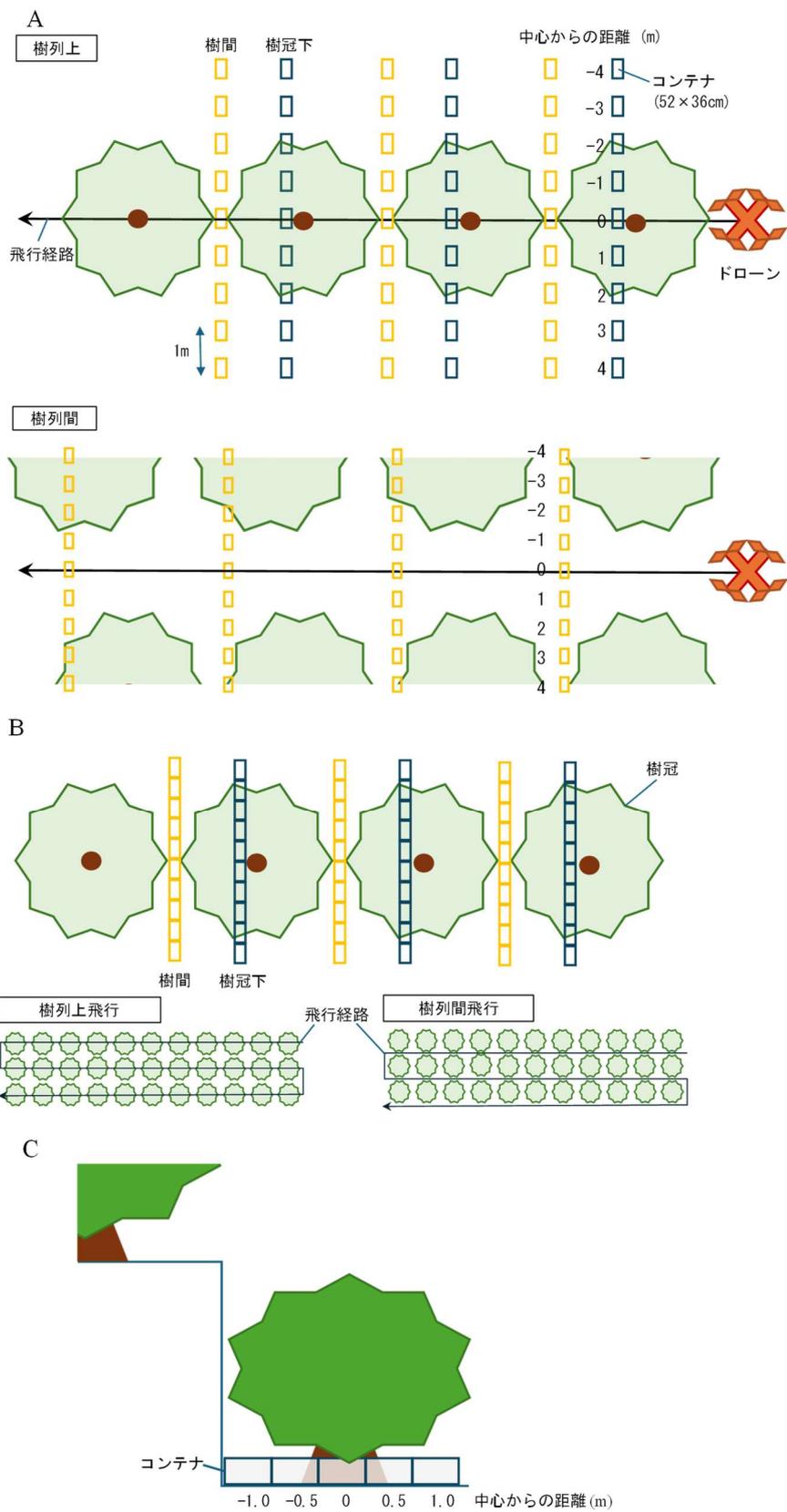


図2 コンテナの配置位置(A, B: 俯瞰図、C: 側面図)

注) Aは1-2), Bは1-3), Cは1-4)の試験におけるコンテナ配置位置および飛行経路を示す。

させて直線上に並べ、5、6番目のコンテナの間が樹幹の中心に位置するように配置した(図2B)。試験1-2と同様の設定で3列の樹列上または樹列間を片道飛行させて中期型を45.5kg/10a散布した。散布後、各コンテナから肥料を回収し、重量を調査した。

4) ウンシュウミカン階段園地におけるドローン散布時の肥料粒の分布状況

2025年3月26日、海南市下津町の約9.5aのウンシュウミカン園(‘林温州’、樹高2.5~3m、樹間約3m)階段園地(段幅約2.5m、高さ約2m、8段)において試験1-2)の樹列上飛行区と同様の条件で、コンテナ設置数は5個/地点(図2C)とした。ドローン(P30)は階段園の上段から1段ずつ樹上を飛行させ、中期型を45.5kg/10a散布した。散布後、各コンテナから肥料を回収し、重量を調査した。

試験2 ドローン用開発肥料が土壌の理化学性およびウンシュウミカンの樹体生育・収量・果実品質に及ぼす影響

果樹試験場内のウンシュウミカン園(30年生‘日南1号’、樹高約2m)において試験を実施した。中期型と長期型の2種類の肥料をそれぞれドローンで散布する区(以下、中期型区、長期型区)とペレット状有機配合肥料を手散布する有機配合区を8樹/区(8×15m/区、4樹×2列、株間4m、畝間4m)となるように設けた。中期型区および有機配合区は2023年3月16日、10月18日、2024年3月12日、10月22日、2025年3月24日に1回10aあたり窒素成分量で10kg、長期型区は2023年10月18日、2024年10月22日に1回10aあたり窒素成分量で20kgを施用した(表1)。ドローンはP30(XAG社)を使用し、樹上約3m、1m/sで飛行させ、肥料を散布した。

1) 土壌理化学性

各処理区の土壌中無機態窒素、可給態リン酸、交換性カリウム含有量を2023年3月から2025年10月にかけて調査した。中期型区および有機配合区で2023年3~9月に概ね3か月に1回、その後全ての区で2023年11月~2025年10月に概ね1月1回、各区3樹の樹冠下各1カ所から約200g/樹採取した土壌を混合し、供試サンプルとした。土壌サンプルは風乾後、2mm目のふるいを通し、無機態窒素、可給態リン酸、交換性カリ含有量をそれぞれ標準的な手法(無機態窒素:プレムナー法、可給態リン酸:トルオーグ法、交換性カリ:原子吸光法)を用いて分析した。

また、各処理区の土壌水溶液を2023年10月から2025年3月にかけて調査した。2023年10~11月は各区1樹、12月以降は各区3樹の樹冠下各1カ所、土壌深度約15cmに設置したミズツール(大起理化工業株式会社)を用い、2023年10月16日から2025年3月7日にかけて5~37日間隔で土壌水溶液を採集し、硝酸態窒素濃度およびECを簡易測定機器(堀場製作所、LAQUAtwinシリーズ)で測定した。

2) 葉色および葉の成分含有率、収量、果実品質

葉色および葉の成分含有率の調査には、2023年8月25日、2024年9月19日、2025年8月13日に1区あたり5樹について不着果新梢の中位葉を1樹あたり10葉採取し、供試した。2023年は中期型区と有機配合区、2024、2025年は全区を調査した。葉色は葉緑素計(SPAD502)でSPAD値を測定した。サンプルを乾燥、粉碎後、窒素含有量はケルダール法、リンおよびカリウム含有量はサンプルを乾式灰化し6N塩酸で溶解後希釈し、リンはモリブデンブルー法、カリウムは原子吸光法で測定した。

収量は2023年10月3、4日および2024年10月25日に3樹/区について樹ごとの全収穫果実重を測定した。樹容積は各区収量調査を行った3樹について、2024年3月27日、2025年3月14日に各樹の縦長、横長、高さを計測し、7かけ法(縦長×横長×高さ×0.7(m³))で算出した。

果実品質は、2023~2025年の各区5樹の収穫果実から平均的な果実を1樹あたり10果選び、糖度およびクエン酸含有率を調査した。

結果

試験1 ドローン散布による地表での肥料粒の分布状況調査

1) ドローン飛行高度および機種の違いが肥料の散布幅に及ぼす影響

ドローン (P30) による肥料散布時、下に樹体のない平坦地において、4, 6, 8mいずれの高度で飛行した場合も片側約2m, 両側約4mの範囲ではコンテナあたり3g以上の肥料粒が落下し, 3, 4m離れた地点への落下量はほとんどがコンテナあたり1g未満と少なかった (図3A). 高度が高い方が経路直下の落下量はやや少なくなる傾向であったが, 経路から1m以上離れると大きな違いはなかった. 大型のP100ではP30よりも散布幅が広く, いずれの高度でも経路から3m離れた地点への落下量がP30で散布した際の2m地点と同程度であった (図3B). 高度8mでは経路から3m以上離れた地点での落下量が他区より多く, 散布幅が4, 6mよりも広がった.

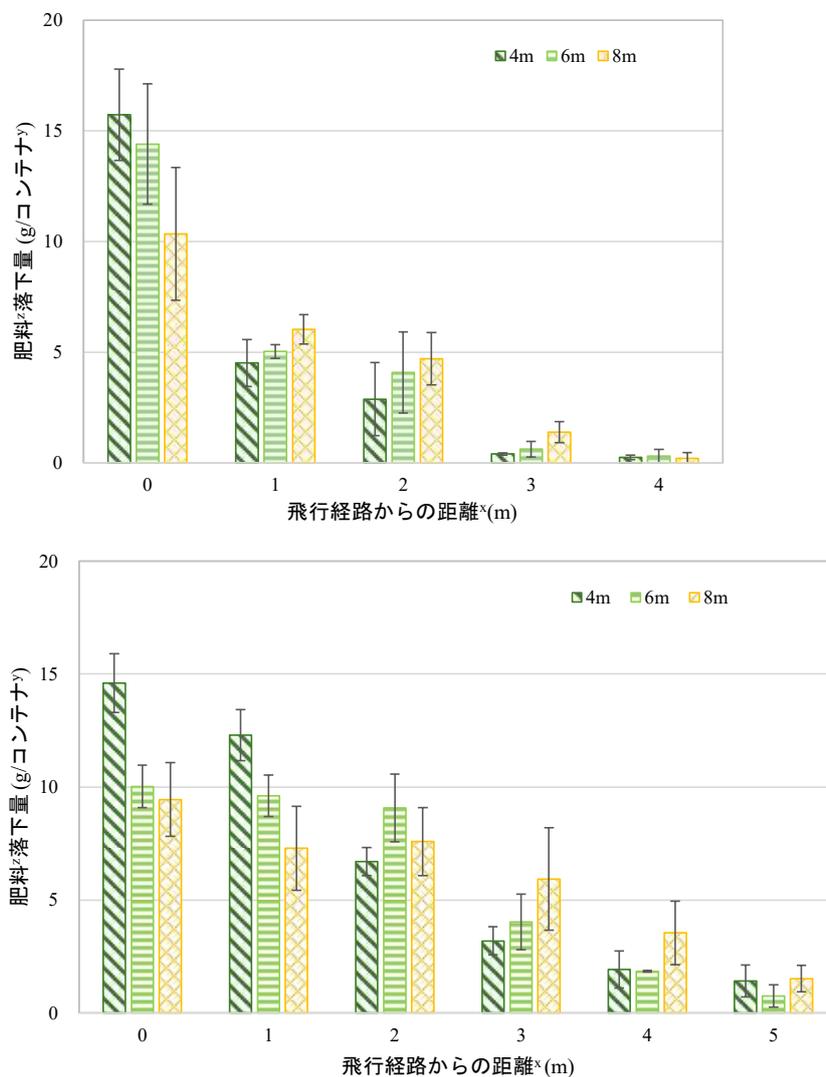


図3 ドローン(P30 : A, P100 : B)の飛行高度別肥料落下パターンの比較

※ 肥料は中期型を使用した。

▽ コンテナの縦、横は36×52cm。縦の辺が経路に水平になるように配置した。

× 飛行経路に垂直の3直線上にそれぞれ、1m間隔でコンテナを配置した。

エラーバーは標準偏差を示す。Aの4mのみn=2, その他n=3。

2) ウンシュウミカン緩傾斜園地におけるドローン飛行経路が散布幅に及ぼす影響

ウンシュウミカン緩傾斜園地において、飛行経路を樹列上または樹列間としてドローン（P30）から中期型を散布した場合の散布幅を比較した。散布幅は樹列上の樹間，樹冠下および樹列間とも約2mであり，樹列上飛行では樹間で樹冠下よりもやや落下量が多く，樹列上飛行時の樹間と樹列間飛行時の肥料落下パターンは近似した。経路による散布幅の明確な違いはなかった（図4）。

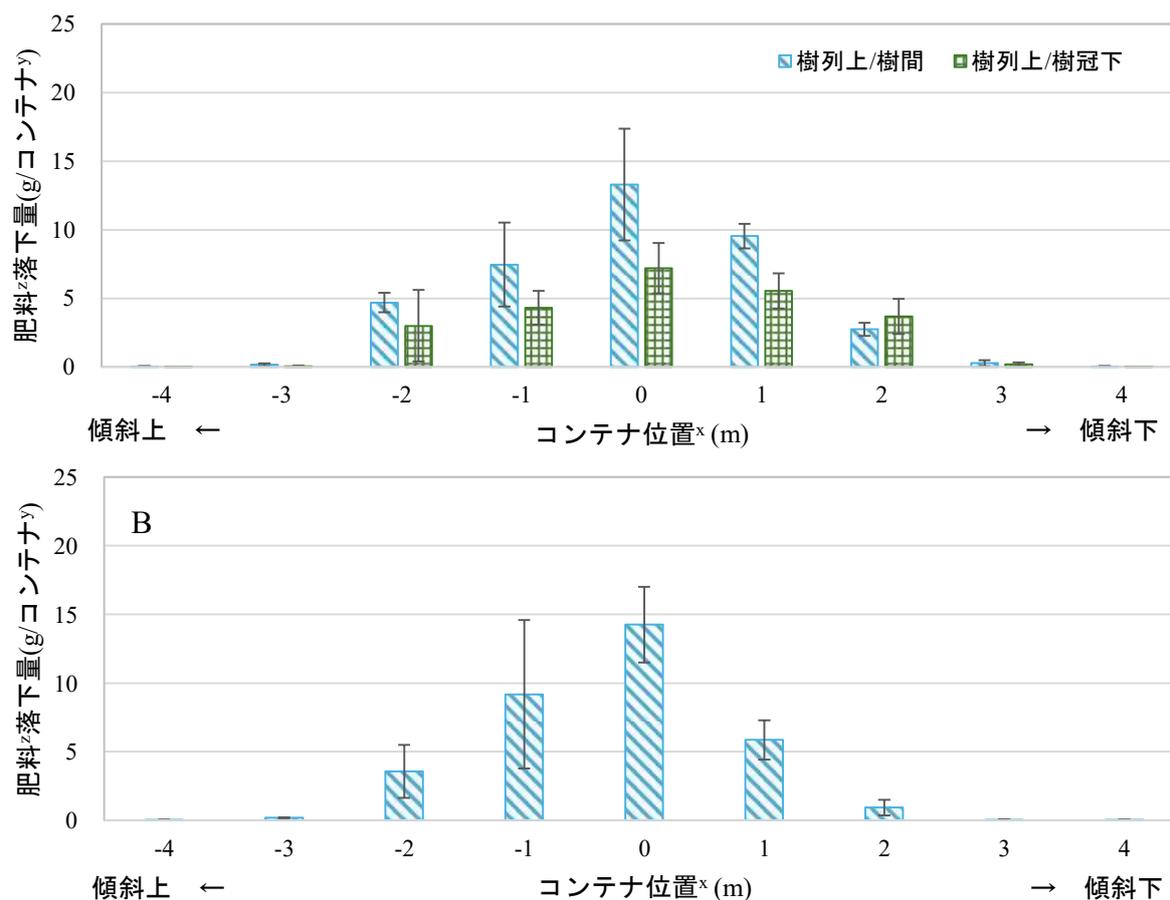


図4 ウンシュウミカン傾斜園地でのドローン肥料散布時の散布幅

A:樹列上飛行, B:樹列間飛行

z 肥料は中期型を使用した。

y コンテナの縦, 横は36×52cm, 縦の辺が経路に水平になるように配置した。

x 飛行経路に垂直の3直線上にそれぞれ, 1m間隔でコンテナを配置した。経路直下を0とした。

エラーバーは標準偏差を示す。n=3。

3) ウンシュウミカン緩傾斜園地におけるドローン散布時の肥料粒分布状況

ウンシュウミカン緩傾斜園地において、飛行経路を樹列上、樹列間として各3樹列、ドローン (P30) から中期型を散布し、中央樹列の経路から幅約2.5m内の肥料落下量を比較した。樹列上から散布した結果、傾斜上側では樹間と樹冠下が同程度、傾斜下側では樹冠下が樹間よりも肥料落下量が少なく、樹間では傾斜の上側が下側よりも少ない傾向となったが、いずれも樹列中心から約2.5mの位置まで落下が認められた (図5A)。樹列間上空から散布した結果、肥料落下量は-1.8および2.3m地点を除き、いずれの地点も樹間、樹冠下の差は小さく、樹列上空からの散布と比較して通路に近い樹列外側で多く、樹列中央側で少なかった (図5B)。樹列上飛行では特に樹列中央に近い部分で樹列間飛行よりも落下量が多く、コンテナの位置による落下量の差は少なかった。

なお、本試験は収穫直前の散布であったが、肉眼での観察では果皮への付傷は認められなかった。

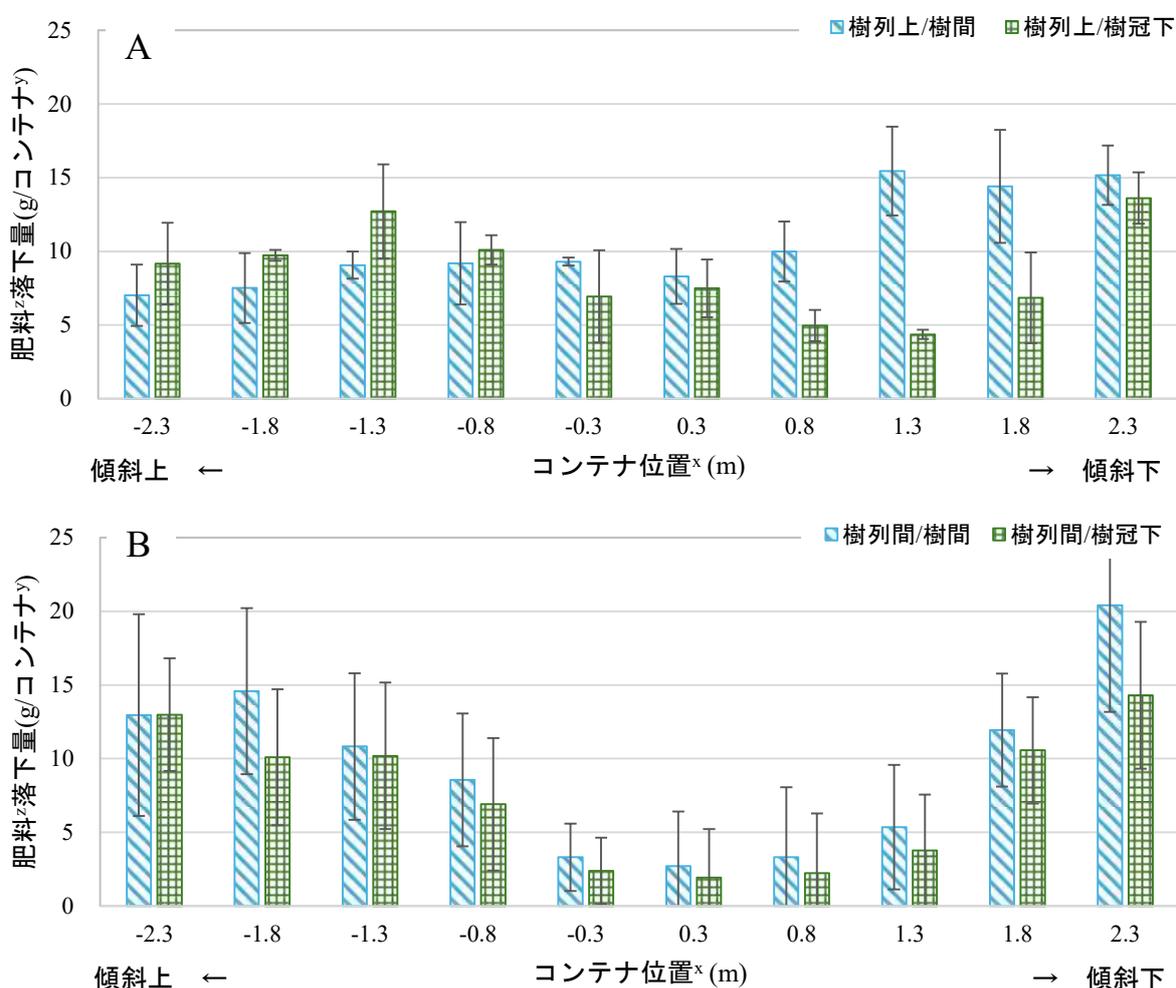


図5 ウンシュウミカン緩傾斜園地でのドローン飛行経路による樹冠下、樹間への肥料落下パターンの違い

A:樹列上飛行, B:樹列間飛行

^z 肥料は中期型を使用した。

^y コンテナサイズは縦×横36×52cm, 縦の辺が経路に水平になるように配置した。

^x 地表面の飛行経路に垂直な3直線上にそれぞれコンテナを10個並べた。数値は樹列の中央から各コンテナの中心までの距離を示す。

エラーバーは標準偏差を示す。n=3。

4) ウンシュウミカン階段園地におけるドローン散布時の肥料粒の分布状況

ウンシュウミカン階段園地において飛行経路を樹列上として中期型を散布した結果、肥料の分布は樹冠下で葉の重なりが多い飛行経路からの距離が-0.5~1.0mのコンテナでは樹間よりも少なかった(図6)。また、樹間、樹冠下とも上段側(壁側)で多い傾向があったものの、その差は小さく、コンテナの位置による落下量の大きな偏りは認められなかった。

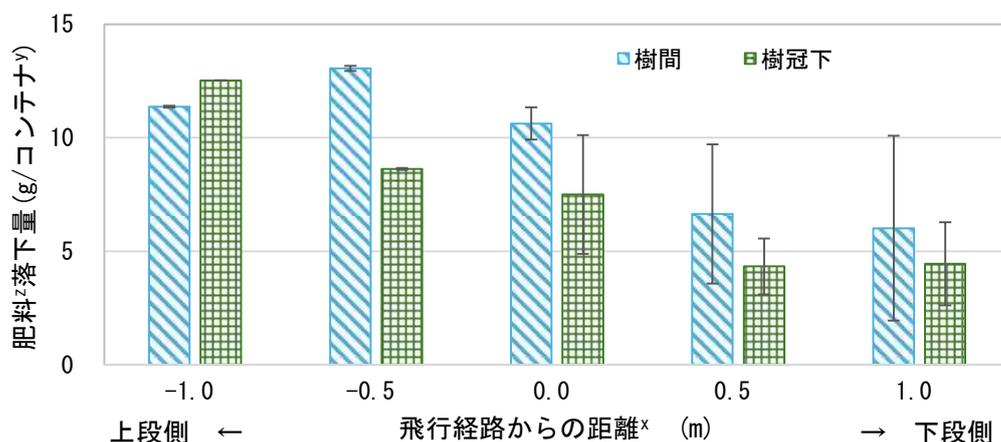


図6 ウンシュウミカン階段園地でのドローン樹列上飛行における肥料散布幅

z 肥料は中期型を使用した。

y コンテナの縦、横は36×52cm。飛行経路に垂直の3直線上にそれぞれコンテナを5個、縦の辺が隣り合うように並べた。

x 中央のコンテナ中心を0とし、各コンテナ中心までの距離を示した。

エラーバーは標準偏差を示す。n=3。

試験2 ドローン用開発肥料が土壌の理化学性およびウンシュウミカンの樹体生育・収量・果実品質に及ぼす影響

1) 土壌理化学性

土壌中の無機態窒素含有量は2024年秋期を除き、全ての区で施肥後に増加する傾向であり、増加量は有機配合区で他の区より大きかった(図7A)。有機配合区で3月施肥後にピークが認められる時点を除くと、2024年以降、概ね3区の含有量は1~3mg/100g乾土で推移した。可給態リン酸含有量は有機配合で増減幅が大きかったが、いずれの区も概ね200~400mg/100g乾土の範囲で推移した(図7B)。交換性カリ含有量はいずれの区も概ね10~35mg/100g乾土の範囲で安定して推移し(図7C)、3区の変動パターンは近似していた。

土壌水溶液のECは、中期型区および有機配合区では2023年10月の施肥後、2024年2月上旬から3月上旬にかけて低下し、3月の施肥後に高まり、有機配合区では2024年5月に中期型区よりも高いピークがあった(図8A)。長期型区は2023年12月中旬から2024年3月にかけて他の区よりも高く推移し、3月から4月にかけて有機配合区と同程度まで低下した。その後は中期型区および有機配合区と近似して推移した。2024年6月以降、3区の推移に明瞭な違いはなく、2024年10月の施肥後にはECは上昇しなかった。硝酸態窒素濃度は2023年11月末、2024年5月初旬、8月末にいずれの区でもピークがあった(図8B)。2023年12月中旬から2024年3月末にかけて、長期型区で中期型区および有機配合区よりも高い値であり、ECと概ね一致するパターンを示した。

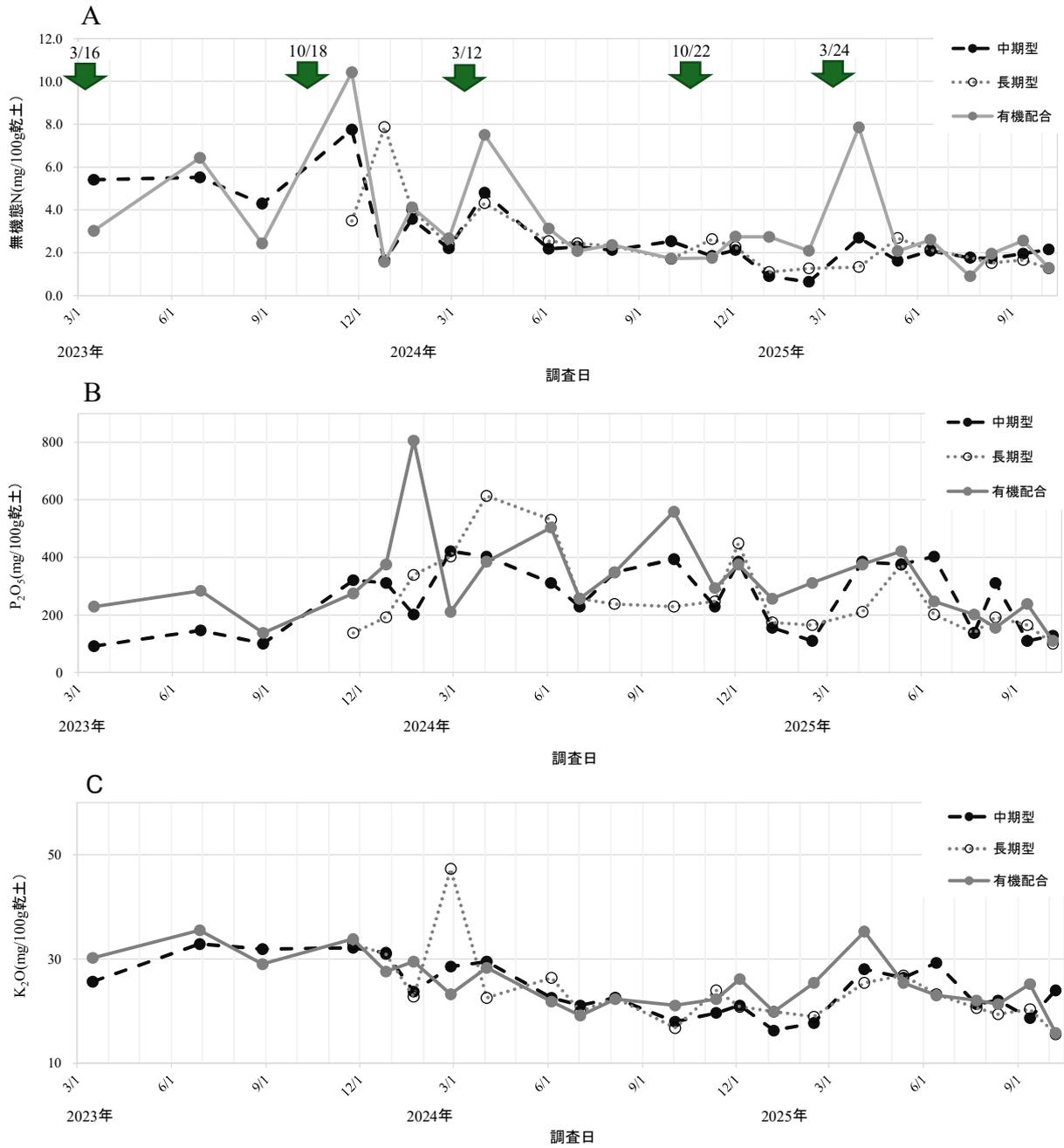


図7 各区の土壤中無機態窒素(A), 可溶態リン酸(B), 交換性カリ(C)含有量の推移
注) 矢印は施肥時期を示す。10月は全ての区で、3月は長期肥効型以外の区で施肥。

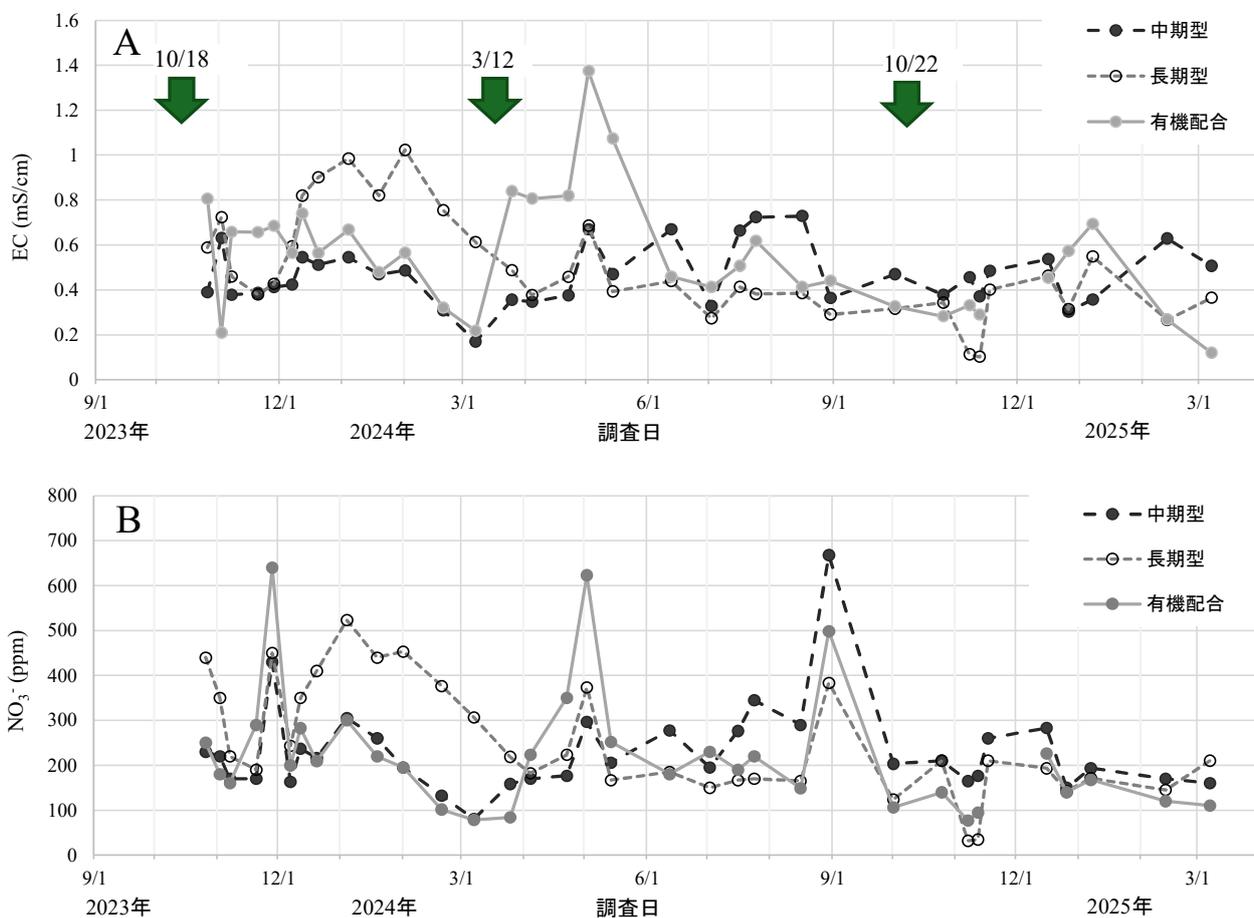


図8 土壌水溶液の電気伝導度(A)および硝酸態窒素濃度(B)の推移(2023.10.26~2025.3.7)

注) 矢印は施肥時期を示す。10月は全ての区で、3月は長期肥効型以外の区で施肥。2023年10月16日から2025年3月7日にかけて、2023年10~11月は各区1樹、12月以降は各区3樹の樹冠下、土壌深度約15cmに設置したミズツール(大起理化工業株式会社)を用い、土壌水溶液を採集した。少降水量、サルの被害等により、一部の値は反復なまたは2反復の平均。

2) 葉色および葉の成分含有率、収量、果実品質

葉色についてはいずれの年も区間の差は小さかった (図9)。葉の成分含有率は、中期型区において2023、2024年に窒素含有率が、2025年にカリウム含有率が有機配合よりも低かった。長期型区では2024、2025年に窒素含有率が有機配合区よりも低かった (図10)。

2023年の樹容積1m³あたりの収量は有機配合区と比較して中期型区は同程度、長期型はやや少なかったが、反復間のばらつきが大きく、有意差はなかった。2024年は3区とも同程度の収量であり、2年間の収量の合計を比較すると区間に差はなかった (図11)。

有機配合区と比較して、中期型区は糖度がいずれの年も低かったがその差は0.4~0.9と小さく、クエン酸含有率が2023年のみ0.21低かった。長期型区は糖度が2025年のみ低かったがその差は0.5と小さく、クエン酸含有率が2023、2024年はそれぞれ0.21、0.17低かった (図12)。

各試験でのドローンによる中期型または長期型散布後、目視により観察した結果、樹体に肥料粒が残ることはほとんどなかったが、肥料の粉が残る部分は散見された。3年間継続して観察した結果、問題になるような障害が樹体に発生する事例は認められなかった。

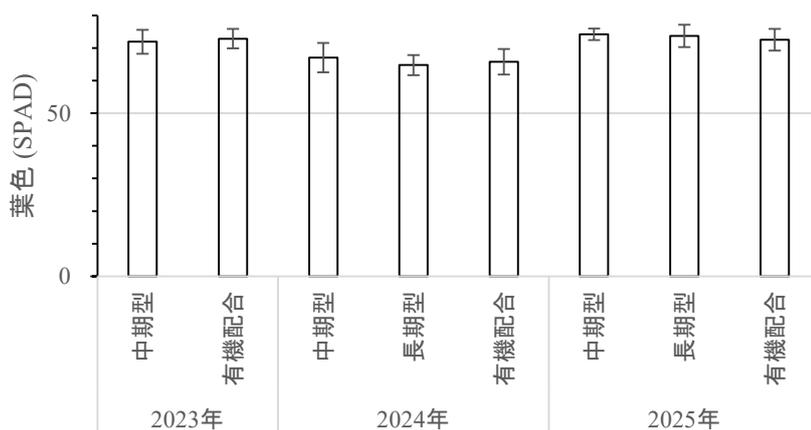


図9 各処理区の葉色 (SPAD)

注) 葉色は各区5樹、10枚/樹の平均値。エラーバーは各樹10葉平均値の標準偏差を示す。同年のいずれの区間にも5%水準で有意差なし (2023年はt検定、2024および2025年はTukeyの多重検定)。

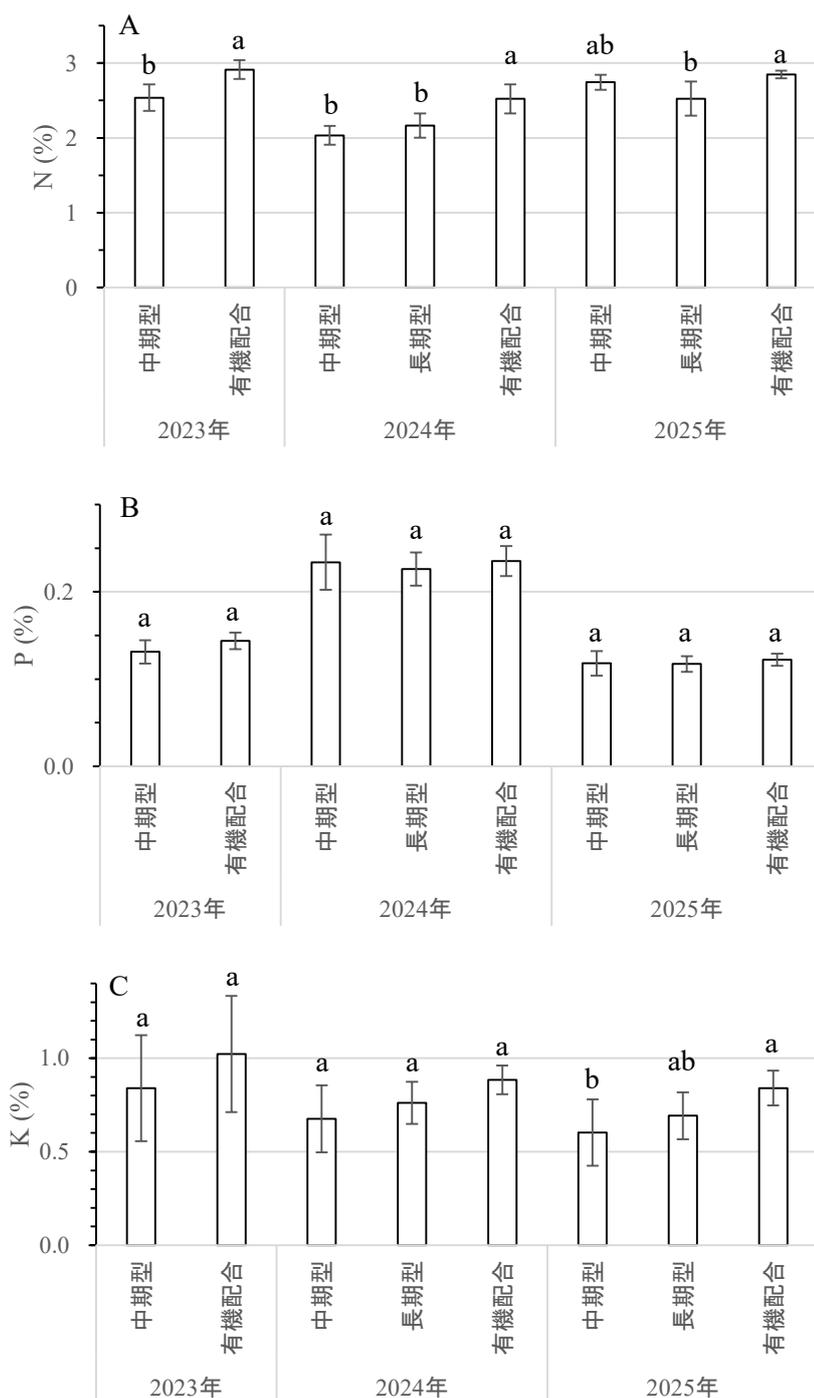


図10 葉の窒素(A), リン(B), カリウム(C)含量(%)

注) 各区5樹, 10枚/樹を供試した. 分析は樹ごとに実施した. エラーバーは標準偏差を示す. 同年の異なる小文字アルファベット間には5%水準で有意差があることを示す(2023年はt検定, 2024および2025年はTukeyの多重検定).

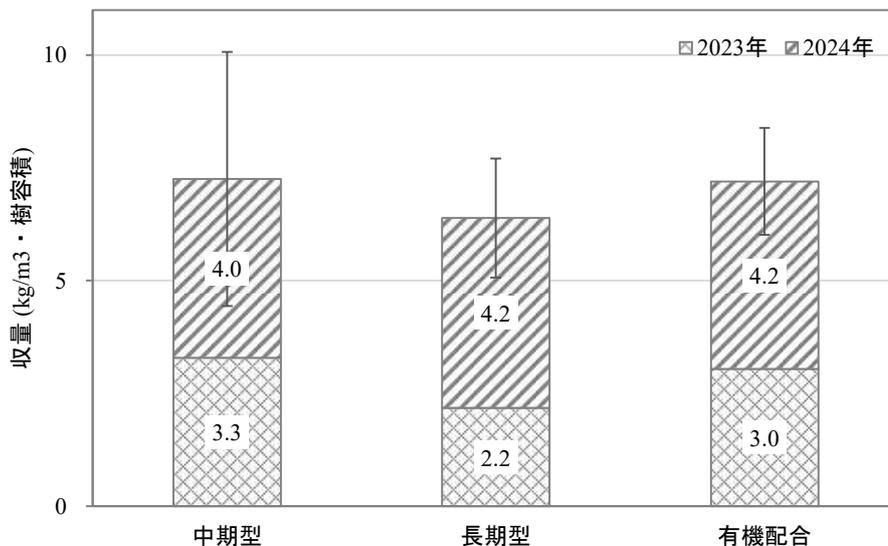


図11 各処理区の果実収量 (kg/m³)

注) エラーバーは樹容積1m³あたり収量の2年間合計の標準偏差を示す。n=3。2023, 2024年ともいずれの区間にも5%水準で有意差なし (Tukeyの多重検定)。

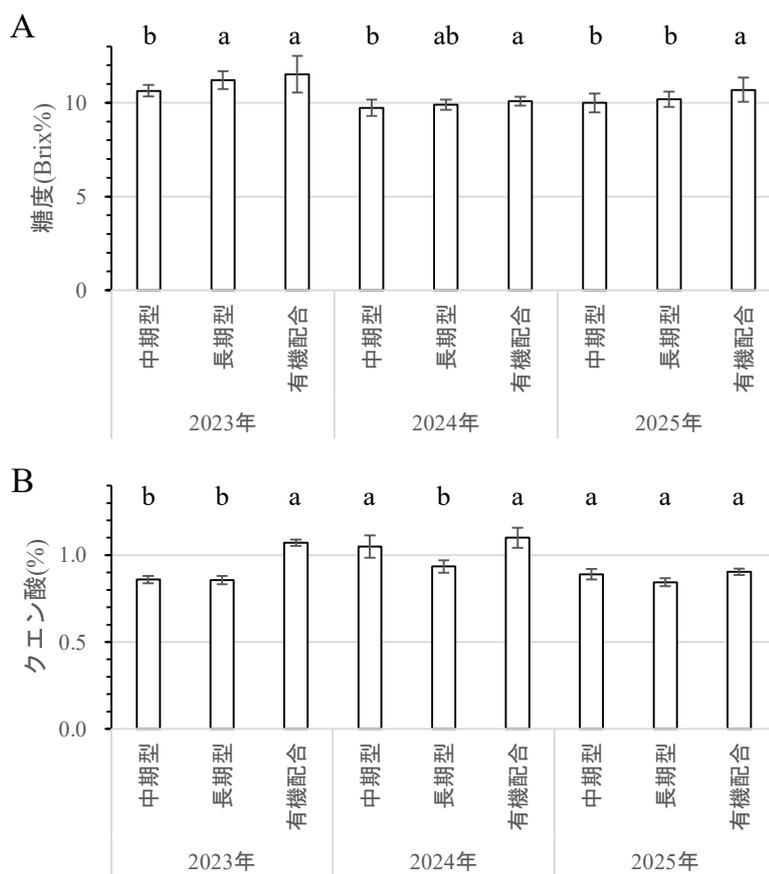


図12 各試験区果実の糖度 (Brix%, A)およびクエン酸 (%、B)

注) 各区5樹から平均的な10果を供試した。エラーバーは標準偏差を示す。同年の異なる小文字アルファベット間には5%水準で有意差があることを示す (Tukeyの多重検定)。

考 察

ドローン (P30) による肥料散布では、4, 6, 8mいずれの高度で飛行した場合も片側約2mの範囲内にほとんどの肥料粒が落下したことから (図3)、高度4~8mの範囲では散布幅の大きな違いはなく、飛行時の枝への接触を回避することなどを考慮すると、飛行高度は樹上3m (樹の高さ+3m) 程度が適すると考えられた。積載重量の異なる2機種と比較において、P100ではいずれの高度でも経路から3m離れた地点への落下量がP30で散布した際の2m地点と同程度であり、両機体の散布幅には片側1m、両側2m程度の違いがあることが示され、機体の違いが散布幅に影響すると考えられた。また、P100は8mの高度では散布幅が広がり、畝幅を大きく上回ったため、この条件では樹列上から散布するよりも樹列を考慮せずに経路を設定する方が散布時間は短縮できる。小型機の場合は1秒あたり散布できる量が少ないため、速度を上げることができないが、大型機の場合は速度を上げることも可能であり、肥料散布に適する飛行高度および経路については今後検討を要する。

ウンシュウミカン傾斜園地において、飛行経路を樹列上としてP30から中期型を散布した結果、樹冠下において樹間よりもやや落下量が少ない傾向ではあったが大きな差はなく (図5)、樹上から散布された肥料は、葉に当たってやや拡散されながらも地表面まで落下したと思われた。葉上に残る肥料も観察されなかったため、ドローンからの粒状肥料の散布に問題はないと考えられた。飛行経路を樹列上、樹列間としてそれぞれ樹間、樹冠下の肥料落下量を比較した結果から、樹列上飛行の方が地表面での肥料落下量の偏りが少なく、適すると考えられた。階段園における散布では、段に沿って散布することで散布幅に重なりができたことや、石壁に当たって跳ねた肥料が上段側のコンテナに分布したことにより、下段側よりも上段側の壁面近くで肥料分布量がやや多くなった (図6) と推察されるものの、樹単位の施用量に大きな違いはないと考えられ、実用性があると思われた。

今回、供試肥料は中期型のみとしたが、中期型と長期型の形状には大きな違いはないため、長期型でも同様の分布特性を有すると考えられる。

中期型および長期型施用時の土壌の理化学性について、中期型区では土壌中無機態窒素含有量は各年3月施肥前の値を比較すると徐々に減少したが、2024および2025年では3月施肥後から10月までの年次間差は小さかった (図7A)。また、中期型区は有機配合区と比較すると増減幅は小さいが、概ね近似する増減パターンを示した。土壌水溶液のECおよび硝酸態窒素濃度についても同様の傾向であった (図8)。中期型の成分溶出程度は温度によって決まるため、年によって土壌中の成分含有量の推移がやや異なり、緩効性であることにより、有機配合区よりもその増減幅は小さかったと考えられる。中期型区の土壌中可給態リン酸および交換性カリ含有量は調査期間を通して概ね一定であり、有機配合区との明瞭な差はなく (図7B, C)、今回の施用条件では慣行と同程度の溶出であったと考えられた。

長期型区のドローン散布は年1回、10月に実施した。2023年の施用後、土壌中無機態窒素含有量は12月下旬に中期型区および有機配合区から遅れてピークがあったが、それ以外は大きな変動はなく、概ね1~3mg/100g乾土の範囲内で推移した (図7A)。土壌中可給態リン酸含有量は、2024年中は2023、2025年と比較して高い値で推移した (図7B)。2025年7月以降は200mg/100g乾土以下で推移したため、長期型がリンを含まないために土壌中の可給態リン酸が減少した可能性も考えられるが、調査を開始した2023年11、12月も同程度の値であったことからさらに調査の継続が必要であると考えられる。交換性カリ含有量は2024年2月の一時的なピーク以外は中期型区および有機配合区と同様、概ね安定して推移し (図7C)、今回の施用条件では慣行と同程度の溶出であったと考えられた。土壌水溶液のECおよび硝酸態窒素濃度は2023年12月上旬から2024年3月上旬にかけて他の区よりもやや高い値で推移した (図8)。1回の窒素施用量を比較すると中期型区および有機配合区の2倍量であるため、2023年10月の施肥後に肥料成分の溶出に適した条件が続いた可能性がある。その後は中期型区および有機配合区と同程度か、やや低い値で推移し、春から秋の生育量が大きい時期には安定した条件

であったと考えられる。

中期型区，長期型区施用時の樹体への影響について，葉色，葉のN，P，K含有率，果実の糖酸度は年により有機配合区との差が認められたが，その差は小さく，また，収量は有機配合区と比較して差はなかった（図9，10，11，12）。これらのことから，今回供試した2種類のドローン用肥料の成分，施肥時期，施肥量の設定は概ね適切であったことが示唆された。過去にエコログの年1回施肥を検討した事例では，樹冠が小さい圃場では，施用した肥料が畝間に流れ，葉中窒素含有率が低く推移したことが報告されている（静岡県経済産業部，2018）。今回の試験は，1圃場の小規模な試験区における短期間の試験事例であるため，さらに長期間施用を続けた場合や樹齢，環境条件，品種等の異なる圃場で施用した場合などについては，改めて検証する必要がある。また，長期型については年1回の散布であり，省力化効果は高いもののリンを含まないため，施用前に散布予定圃場の土壌分析を行い，土壌中可給態リン酸含有量が少ない場合は中期型を選択するなどの対応が必要である。

今回の供試肥料は高濃度化により，慣行の有機配合の年間施用重量に対し，中期型は約32%，長期型は約23%に削減される。また，散布作業を手散布からドローン散布に変更することにより，圃場内での移動および手散布の作業が不要となることで作業時間が短縮され，身体への負荷も軽減される。省力化の効果は大きく，今後，カンキツ産地での活用が期待される。なお，カンキツと並行してカキ，ウメにおいても研究が実施されており，2025年にOATアグリオ株式会社より当該肥料の販売が開始された。

摘 要

ドローン散布用の高濃度化成肥料のカンキツにおける施用技術を確立するため，ウンシュウミカン園地での肥料散布におけるドローンの飛行条件とドローン用肥料が土壌理化学性およびウンシュウミカンの樹体・収量・品質に及ぼす影響とを検討した。肥料の施用条件は，中期型は3，10月の年2回，N10kg/10a・回，長期型は10月の年1回，N20kg/10aとした。

- 1) 今回使用した小型ドローンでは，飛行高度を樹上約3m，経路を樹列上として緩傾斜園地，階段園地においてドローン用肥料を散布できた。飛行ルートは樹列間よりも樹列上の方が肥料落下量に偏りが少なかった。
- 2) 土壌理化学性は，中期型区，長期型区とも概ね有機配合区と近似した推移を示した。
- 3) 葉色および葉の窒素，リン，カリウム含有率，果実の糖度は，中期型，長期型ともに有機配合との差はなにか，小さい傾向であった。
- 4) ドローン散布による葉，果実への付傷，障害の発生等はなく，悪影響は認められなかった。
- 5) 樹容積あたり合計収量は，中期型，長期型とも有機配合と同程度であった。
- 6) 以上から，ウンシュウミカンにおけるドローン用肥料の散布において，今回の施用条件により，これまでとほぼ同等の生育，収量が確保できると考えられた。

本試験の実施あたりご協力いただきました，OATアグリオ株式会社，株式会社未来図，ながみね農業協同組合（現在：和歌山県農業協同組合ながみね地域本部）の皆様，現地試験圃場の園主様，果樹試験場の皆様に厚く御礼申し上げます。

引用文献

- 舟木勇樹. 2024. ドローンによる農薬散布の適用性に関する検討. 植物防疫. 78: 418-425.
- 熊本昌平・衛藤夏葉・武田知明. 2021. 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. 和歌山県農林水研報. 9: 47-54.
- 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.
- 松本賢英. 2020. スマート農業の社会実装に向けた取り組み. 日本農薬学会誌. 45: 141-145
- 宮崎昌宏・岡崎紘一郎・石束宣明・高辻豊二・猪之奥康治・関野幸二・山本博・長崎裕司・田中宏明・角川修. 2002. 近中四農研センター研報. 1: 1-48.
- 宮崎昌宏・高辻豊二・山本博・猪之奥康治・関野幸二・石束宣明・田中宏明. 1999. 園地改良と小型機械化体系導入による急傾斜地カンキツ園の軽作業化及び省力化. 農作業研究. 34: 203-210.
- 佐藤彰・中西弘明・大川宏久. 2018. 日本航空宇宙学会誌. 66: p. 356.
- 静岡県経済産業部. 2018. 施肥作業を大幅に省力化できる柑橘の年1回施肥法. 新しい農業技術. No. 638.
- 和歌山県. 2017. 和歌山県長期総合計画. 第2章 pp. 63-65.