

チャ栽培における農薬散布量削減に関する研究

鹿子木 聡*

要 約

チャ栽培における農薬散布の標的を新芽が形成される茶樹摘採面付近にスポット化することで、農薬散布量を慣行（200 L/10 a）比の約 1/2 以下にする農薬散布方法（少量スポット散布）および装置（かごしま式防除装置）を著者ら鹿児島県農業開発総合センター茶業部と松元機工株式会社は共同開発した。茶園における「本当に必要な農薬散布量」の解明と新しい農薬散布技術の現場への普及を最終目標に、削減可能な農薬散布量（散布濃度は各農薬の登録濃度と同じ）と農薬散布量を削減した場合の害虫や天敵類、その他の昆虫類の個体数等について研究を行った。なお、かごしま式防除装置を搭載した乗用型防除機を、本研究では少量農薬散布機（少量散布機）とした。

チャ主要害虫のチャノミドリヒメヨコバイに対する新芽被害防止効果は農薬散布量が多いほど安定傾向にあったものの、慣行の 200 L/10 a 散布と少量散布機による 40 L/10 a 散布および 70 L/10 a 散布が同等となった事例が多く得られた。チャノキイロアザミウマの新芽被害防止効果については、40 L/10 a 散布と 200 L/10 a 散布が同等の場合が多く、また、茶樹葉層内におけるチャノキイロアザミウマとヒメグモ上科の相関関係は高く、40 L/10 a 散布では 200 L/10 a 散布よりもアザミウマタマゴバチの個体数も多い傾向にあるなど、チャノキイロアザミウマの防除効果に対する天敵類の寄与の大きさも示唆された。チャノホソガの巻葉抑制効果については、少発生の場合は 40 L/10 a 散布および 70 L/10 a 散布と 200 L/10 a 散布が同等となった事例が多かったが、多発時には、農薬散布量が多いほど効果が高い傾向にあると考えられた。防除効果が 200 L/10 a 散布と同等となったその他の最低限の散布量の事例は、チャノナガサビダニでは一番茶摘採直後の 40 L/10 a 散布、チャハマキおよびチャノコカクモンハマキについては、70 L/10 a 散布であった。

チャ栽培において削減可能な農薬散布量の変動要因としては、害虫の発生量や摘採面から葉層内にかけての農薬被覆程度に影響する農薬散布方法および葉層の状態、被害許容水準が主に挙げられた。また、天敵類への悪影響を避けるために徹底した害虫防除を目指さないことや、収量および品質に影響しない加害（痕）はカウントしない等の虫害判定基準の再検討も、農薬散布量の削減を進めるためには重要と思われた。

少量スポット散布は農薬散布の標的を茶樹摘採面付近にスポット化するため、葉層内に農薬で被覆されない部分が多く残り、天敵類の「巻き添え死」が抑制されることも特徴である。研究茶園の茶樹葉層の成葉表面における農薬被覆面積率は、葉層上部（摘採面から 5 cm 下部）において 200 L/10 a 散布では約 90% 以上であったが、40 L/10 a 散布では約 40~70% であり、葉層最下部（摘採面から 25 cm 下部）の成葉表面では 200 L/10 a 散布で約 20~50%、40 L/10 a 散布は約 0.1~9% であった。新芽加害性害虫に対してこのような農薬散布を年間 4~5 回行ったところ、クモ類、アザミウマタマゴバチ、*Encarsia* spp. およびその他の寄生蜂類の年間個体数は、茶樹葉層内の農薬被覆面積が抑制された 40 L/10 a 散布下において保護される傾向にあった。また、研究茶園ではニセラーゴカブリダニ、チリカブリダニ、コウズケカブリダニ、ニセトウヨウカブリダニおよびフツウカブリダニが確認され、農薬散布から忌避可能な農薬で被覆されないスペースを葉層内に多く残すことは、これらのカブリダニ類の多様性維持を通じたカンザワハダニ発生量の抑制につながると考えられた。一方、40 L/10 a 散布を継続した茶園では 200 L/10 a 散布の場合よりもクワシロカイガラムシの発生量が少ない傾向も認められたことから、茶樹摘採面付近の害虫防除時において葉層内の農薬被覆面積の抑制が図られることで、クワシロカイガラムシの密度がその天敵類によって間接的に抑制される可能性もあると考えられた。なお、茶樹葉層内に生息しているその他の昆虫類の年間個体数に与える農薬散布の影響は、タマバエ科については小さく、キノコバエ科およびクロバネキノコバエ科、トビ

ムシ目とチョウバエ科については判然としなかった。

チャ新芽加害性害虫からチャ芽を守るには、10 a 当たり 200 L の農薬散布量が必要だと鹿児島県内では長年考えられてきたが、農薬散布の標的を茶樹摘採面付近にスポット化することによって、散布量を半量以下に削減できる場合が多いことが確認された。また、農薬で被覆される範囲が茶樹摘採面付近に止まり、葉層内の農薬被覆面積が抑制されるほど、葉層が農薬散布（害虫防除）の巻き添えから天敵類を保護する「シェルター」として機能しやすくなるとも考えられた。これらのことから、チャ栽培における農薬散布において農薬による直接的な害虫防除効果と、天敵類の保護活用による間接的な害虫の抑制効果をバランスよく得るためには、農薬散布の標的を茶樹摘採面付近にスポット化することで農薬散布量を削減し、葉層内の農薬被覆面積を可能な限り抑制する農薬散布方法が有効であると考えられた。

キーワード：IPM, 散布量, 少量スポット散布, 天敵, 葉層

緒言

鹿児島県農業開発総合センター茶業部の茶園（鹿児島県南九州市知覧町 3964）には、1933 年度に 10 a 当たり 12 斗（≒216 L）の「デリス石鹼液」や「マシン油乳剤」等の農薬が散布された記録がある²⁰⁾。その後の鹿児島県内の茶園における農薬散布量の記録をたどると、1956 年の「チャアカダニ」と「コカクモンハマキ」の防除における反当 1 石（≒180 L）²¹⁾ や、「緑茶標準栽培法（1968 年）鹿児島県茶業試験場」に記載があるウンカ類とハマキムシ類の防除における二番茶生育期の 180 L/10 a、三番茶および秋芽生育期の 150 L/10 a²²⁾ 等のように変化がある。現在の鹿児島県では、チャ新芽を加害する害虫に対する農薬散布量は 200 L/10 a が基準となっているが、農薬散布量の変遷の理由を明確に記す資料は鹿児島県農業開発総合センター茶業部に残されていない。さらに現在の福岡県では、チャ新芽加害性害虫のチャノキイロアザミウマ *Scirtothrips dorsalis* Hood (Thysanoptera: Thripidae) やチャノホソガ *Caloptilia theivora* (Walsingham) (Lepidoptera: Gracillariidae) などに対して 200~300 L/10 a の農薬散布が行われる¹³⁸⁾ ように、防除に必要とされる農薬散布量には地域差もある。このように、農薬の散布方法および散布機器、農薬の種類、害虫の発生量、茶樹の仕立て等に各時代や地域による違いはあるとしても、防除効果を得るために「本当に必要な散布量」は明確ではない。

チャ栽培における農薬散布量は、鹿児島県では新芽加害性害虫を対象とする 10 a 当たり 200 L を「標準」に、葉裏に寄生するカンザワハダニ *Tetranychus kanzawai* Kishida (Acari: Tetranychidae) やチャトゲコナジラミ

Aleurocanthus camelliae Kanmiya and Kasai (Hemiptera: Aleyrodidae) には 10 a 当たり 400 L、枝や幹に寄生するクワシロカイガラムシ *Pseudaulacaspis pentagona* (Targioni-Tozzetti) (Hemiptera: Diaspididae) に対しては 10 a 当たり 700~1,000 L が必要とされている。農薬散布量は農作物の生育状況を考慮して適宜変えることが大切であるが⁹⁰⁾、茶生産現場においては害虫の種類や寄生部位別で一律に決められることが多く、害虫の発生量や茶樹の生育状況、チャ品種等に応じて散布量を調整する事例は稀である。「農薬はしたたり落ちる程度まで散布する（ことが望ましい）」との農薬散布作業における目安は、茶生産現場においても一般的な「常識」として生きているが、通常の農薬散布では散布された農薬のうち有効に働いているのは 1% 以下で、飛散や漂流、分解、吸着などの農薬の量を減らせば、施用量を減らしても防除効果は低下しないとの指摘もある¹²⁰⁾。また、チャ栽培においては、農薬散布や天敵類に関する先行研究^{112), 113), 81), 82)} が多くあり、茶園管理に不可欠な農薬散布の影響を天敵類が受けていることは明らかになっている。さらに、葉層下部への農薬到達の抑制が図られれば、天敵類は保護されるとの指摘もあった^{112), 139)}。そこで、植物体から「したたり落ちる」農薬散布量は、少なくとも過剰かつ削減可能であり、天敵類にも悪影響を及ぼすとの仮説を立てた。

チャ (*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze) の新芽収穫は、自然に生育させた枝条からの手摘みによって行われていたが⁵⁹⁾、袋のついた茶摘みはさみが 1915 年頃から普及し、1955 年以降の茶摘み用動力機械の開発⁶⁾に伴う新芽の摘採方法の移行とともに、茶樹の仕立て方も大きく変化した⁶⁶⁾。チャを自然に仕立てた場合は生育した枝条に新芽が立体的に着生するため⁶⁶⁾、自然仕立てのチャの新芽やその害虫に対して農薬を付着させるには、多くの散布量と労力および時間が必要とされたと推測される。し

*熊毛支庁農林水産部 農政普及課経営普及係

(鹿児島大学 学位論文 (2019 年)；一部を和訳等改変)

かし、現在の乗用型茶園管理機械に対応した鹿児島県内の茶樹は、60~100 cm 程度の水平型のうねに仕立てられ、摘採される新芽は摘採面から数 cm の範囲に揃う。さらに、茶うねをまたいで走行する乗用型防除機によって農薬散布を行う場合は、新芽の至近距離からの安定した農薬噴霧も可能であるうえ、虫体に直接付着しなくても防除効果を発揮する農薬が現在が多い。

そこで著者ら鹿児島県農業開発総合センター茶業部と松元機工株式会社は、農薬散布の標的を害虫から守るべき新芽が形成される茶樹摘採面付近へスポット化することで、摘採面付近の病害虫防除に要する農薬散布量を慣行(200 L/10 a)比の約 1/2 以下にする農薬の散布方法(以下、少量スポット散布)および装置(かごしま式防除装置)(特許第 6161037 号)を 2013 年に共同開発し、少量農薬散布機(かごしま式防除装置を搭載した松元機工株式会社製の乗用型防除機)として 2015 年度に普及を開始した(図 1)。

少量農薬散布機は、平均粒子径が約 55 μm や約 75 μm の微粒子の噴霧直後に約 25 m/s の送風を組み合わせることによって、標的とする茶樹摘採面付近への農薬付着を効率的にしながらも、葉層下部への農薬到達は抑えられるように設計が施されている(図 2, 3)。

これは、農薬散布の標的を茶樹摘採面付近にスポット化することで、可能な限り少ない農薬散布量による効率的な害虫防除と天敵類保護の両立を目指したからであり、また、葉層下部への農薬到達を抑制できる少量スポット散布であれば、農薬散布回数は慣行と同じでも、天敵類への悪影響を緩和することが可能になるとの二つめの仮説を立てるに至ったからである。



図 1 少量農薬散布機(かごしま式防除装置搭載)(MCS-KAGO3-2; 松元機工株式会社製)

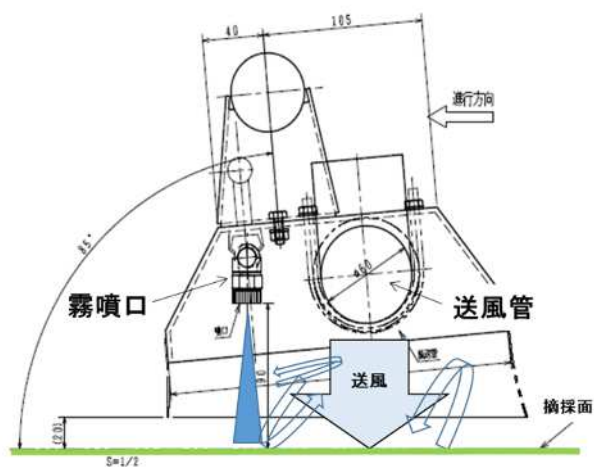


図 2 霧噴口と送風を活用するかごしま式防除装置の構造略図

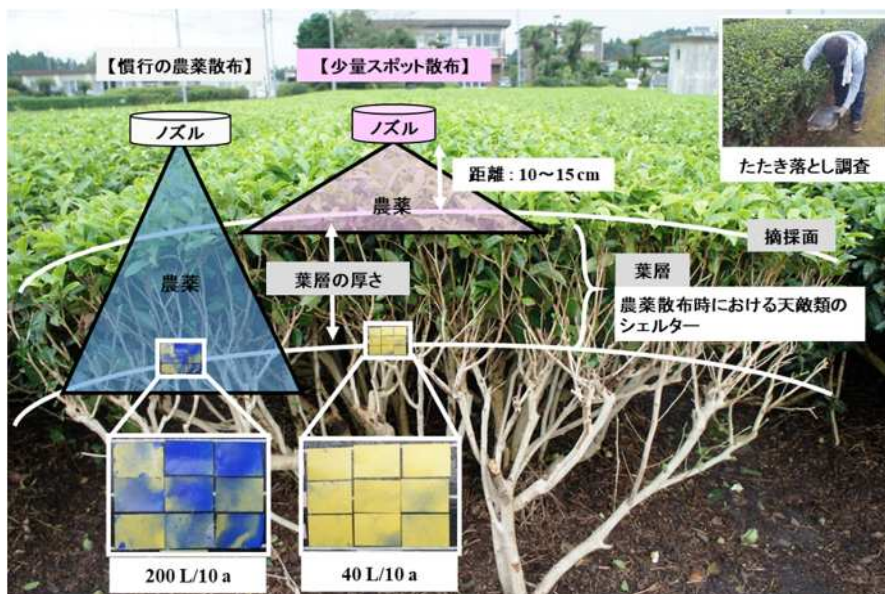


図 3 慣行の農薬散布方法と少量スポット散布のイメージ図

まず着目した天敵類は、農薬に敏感なジェネラリスト天敵で、茶樹葉層内への農薬散布の影響指標となりうるクモ類である。クモ類は茶園管理を無農薬に移行すると著しく増加することや⁷⁾、ダイズ畑でクモ類が農薬散布から一時的に回避できるような人工避難構造物を設けると害虫被害が軽減されることが知られている¹¹⁾。次にカブリダニ類へ目を向けた。カンザワハダニの近年の少発生傾向には天敵類の関与があり⁸⁴⁾、特にカブリダニ類が貢献している可能性が高いとされる¹¹⁶⁾。さらに、小澤⁷¹⁾はハマキガ類対象の殺虫剤散布の削減によってチビトビコバチ *Arrhenophagus albitibiae* Girault (Hymenoptera: Encyrtidae) などの天敵類が保護され、それによってクワシロカイガラムシ対象の薬剤散布も不要になると指摘し、減農薬による様々な土着天敵類の保護によってより大幅な減農薬と環境保全が達成できると述べている。少量スポット散布によって寄生蜂類等の土着天敵類の保護が図られるとするならば、それらの寄主となる害虫の密度に与える影響も大きいと考えた。また、農薬は作物の品質・収量確保の上で必要不可欠な存在である一方、持続的な農業活動に向けて生物多様性を無視することはできない¹⁵⁾とされている。そこで本研究では、茶樹葉層内の害虫やそれらの天敵類とともに生息している、「その他の昆虫類」についても併せて調査を行った。

本研究の目的は茶園における「本当に必要な農薬散布量」の解明に向けて、削減可能な農薬散布量とそれが可能な農薬散布方法について検討し、農薬散布量を変えた場合の害虫や天敵類、その他の昆虫類についての知見を得ることである。また、近年は茶業情勢が極めて厳しい。農薬散布量を削減してもチャ新芽を慣行量(200 L/10 a)の農薬散布と同等程度もしくは許容範囲内に保護することができるになれば、生産コストの削減による茶業経営の改善や、労働負荷の軽減、人手不足対策等も図られる。茶生産農家の経営課題解決を図る一手段としても活用が可能な技術の開発および普及を図ることを本研究の最終目標とした。

そこで、農薬を慣行の散布量(200 L/10 a)より削減しても、慣行量散布と同等程度もしくは経済的に許容できる範囲内にチャ新芽を害虫から保護できることをまずは明らかにし(第1章)、その場合における天敵類やその他の昆虫類への影響(第2章)について示した。総合考察では当初目的に対する少量スポット散布技術の評価を行うとともに、本研究成果の技術が現場に普及し、定着化するために必要な点や今後取り組むべき課題等について総合的に考察した。

なお、本研究では10 a当たりの農薬散布量を処理区に

よって変えたが、散布濃度は各農薬の登録濃度と同じとした。「摘採面」は、新芽が形成される樹木の最上部で枝条の先端部が構成している樹冠が摘採されることでできる面のこと、「葉層」は樹冠面から着葉の最下層部までを示す(図3)。なお、これらの定義については、茶の科学用語辞典(第2版)⁶⁰⁾による。

本論文の一部は、茶業研究報告 120:37-45 (2015)、農林水産省 農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業実用技術開発ステージ 27019C, *Journal of Economic Entomology* 111: 1595-1604 (2018)、茶論 66:p. 15 (2018)、*BIO九州* 222: 9-15 (2018)、*Experimental and Applied Acarology* 77: 27-41 (2019)、*JATAFFジャーナル*第7巻6号: 33-37 (2019)、*Journal of Asia-Pacific Entomology* 22: 826-837 (2019)、日本茶業学会 研究発表会講演(2014, 2015, 2017)、日本応用動物昆虫学会大会 小集会講演(2018)、日本ダニ学会大会講演(2015, 2016)、平成30年度「農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業」研究成果発表会 ポスター発表およびアグリビジネス創出フェア 2018 ポスター発表等において発表した。

第1章 少量スポット散布技術の開発とチャ新芽加害性害虫に対する防除効果

第1節 少量スポット散布の概念と散布置置(少量散布機)の特徴および開発

これまでの間、茶園における農薬散布量についての根本的再検討の必要性提起⁶⁹⁾や、農薬散布量の削減と防除効果の両立をめざす防除機の開発研究が行われてきた。その結果、農薬の減量散布ができる茶園用送風式農薬散布機⁵¹⁾のように市販化された機種もあるが、処理能力等の問題から鹿児島県内茶園への普及には至っていない。

近年は茶の市場価格が低迷しているため、茶生産農家には生産コスト削減と同時に安心・安全で付加価値のある茶づくり等の取り組みが求められており、農薬削減はそのための重要な一課題となっている。少量散布(10 a当たりの散布量が50 L未満)は高能率かつ省力的で稼働面積の拡大や低コスト化などに適した散布技術であること⁵⁰⁾から、茶園において少量散布技術の実用・普及化が図られれば、茶生産農家の経営改善や消費者に対するイメージアップによる茶の付加価値化等が図られると思われる。また、従来の農薬散布は病害虫をほとんど生じさせないことを目的に行われているため⁶⁴⁾、収量品質に影響のない虫害は許容し、許容範囲内に被害が収まる量の農薬散布を目指すことでも、農薬散布量の削減は図られると考えられる。そこで、著者ら鹿児島県農業開発総合センター茶業部と松元機工株式会社は、農薬散布の標的

を害虫から守るべき新芽が形成される茶樹摘採面付近にスポット化し、10 a 当たり 200 L の農薬散布が必要とされてきたチャの病害虫に対する農薬散布を約 1/2 以下の散布量で行う方法(以下全試験共通,少量スポット散布)および装置(「散布装置および散布方法」特許第 6161037 号)を 2013 年度に共同開発し,その装置を「かごしま式防除装置(以下,本装置)」と命名した。

薬液は噴霧粒子を微細化すると少量でも広い面積に付着させることができるので効率的なうえ,気流に乗りやすい¹⁰²⁾。本装置では噴霧粒子の微細化特性を活用するため,1.5 MPa で噴霧した場合に平均粒子径(ヤマホ工業株式会社公表値)が 55 μm となる新広角噴板 S 型 SU-04100MS(ヤマホ工業株式会社)を 8 個,75 μm となる SVC 噴板 SV-07-80C(ヤマホ工業株式会社)を 5 個,それぞれ散布量に応じて使い分けながら,摘採面の上方約 10~15 cm から噴霧し,さらに噴口等を覆うカバー内において約 25 m/s の送風を加える構造を考案した(図 2)。茶樹摘採面へ向けた送風機能によって空気中に浮遊しやすい微粒子の弱点が補われるために,標的とする摘採面付近へ農薬粒子を細やかに付着させながらも,標的外の葉層下部への農薬到達は抑制でき,さらに,向かい風による農薬飛散の抑制や,農薬が付着した直後の新芽や枝条の振動による農薬の展着促進等を図ることも可能となった。茶樹葉層内部への農薬到達の抑制が天敵類の保護につながるとする先行研究の指摘^{112),139)}を特に重視したため,農薬散布の標的を摘採面付近にスポット化し,葉層内部への農薬到達の抑制が可能となる設計を散布装置に施した。

試作した本装置(MCS-KAGO1-1)(全長:170 mm;全幅:1,735 mm;全高:210 mm;重量:5 kg)を松元機工株式会社製の MCS10S 乗用型茶園用防除機(以下,防除機本体)のフレームの後部に装着した。本装置には散布カバー内の進行方向前側に農薬噴出管を 2 本,進行方向後側へ送風管を 1 本配置し,送風管における各吹出口(直径 15 mm;17 口)は垂直下向きとした。本装置を装着した防除機本体(定格出力:14 kW(19PS)/2000 rpm;全長:2,500 mm;全幅:2,260 mm;全高:2,800 mm;重量:1,320 kg)は 4 サイクル水冷立形 4 気筒ディーゼルエンジンとプレートファンを搭載し,油圧駆動でクローラーにより走行し(平均接地圧:0.16 kg/cm²),油圧ギアポンプの最高出力は 10.7 cc/rev である。なお,本装置はアタッチメント式になっており,従来型の乗用型茶園用防除機やトラクター等の農業用作業機への取付けが可能な構造である。本研究では,本装置を搭載した乗用型防除機を少量農薬散布機(以下,少量散布機)と呼ぶ。

農薬を使用する際には最低致死薬量を作物に均一に付着させることが重要であり⁹⁰⁾,農薬の付着率や被覆面積率の高い農薬散布方法は防除効果が高く,農薬の節減に結びつく¹¹⁹⁾。茶樹の摘採面および葉層内における農薬被覆状況が害虫の防除効果や天敵類の保護効果を左右すると考えたため,少量散布機で農薬を散布した場合における茶樹葉層の農薬被覆状況が,設計の想定どおりであるかを調査した。

(1) 試験(実験) 材料および方法

鹿児島県農業開発総合センター茶業部の約 17 cm の葉層がある茶園(31°37'N,130°45'E;品種:‘やぶきた’)に,少量散布機(MCS10-KAGO1-1:松元機工株式会社)により 10 a 当たりの農薬散布量を 40 L(エンジン回転数:2000 rpm;散布圧:1.5 MPa;散布速度:0.7 m/s;噴口から摘採面までの距離:10 cm)とする区(以下,40 L 区),少量散布機により 10 a 当たりの農薬散布量を 70 L(エンジン回転数:2000 rpm;散布圧:1.5 MPa;散布速度:0.8 m/s;噴口から摘採面までの距離:10 cm)とする区(以下,70 L 区),慣行防除機(MCS8A:松元機工株式会社)により 10 a 当たりの農薬散布量を 200 L(エンジン回転数:2500 rpm;散布圧:1.0 MPa;散布速度:0.5 m/s;噴口から摘採面までの距離:15 cm)とする区(以下,200 L 区)をそれぞれ 18 m² 設け,2014 年の二・三番茶および秋芽生育期の農薬散布時における茶樹の摘採面や葉層内の農薬被覆状況を調査した。供試農薬は表 1 のとおりすべて鹿児島県内で慣行的に用いられる農薬から選定した。

二番茶 0.5 葉期(2014 年 5 月 29 日)と三番茶 0.5 葉期(2014 年 7 月 2 日)の農薬散布直前に,各処理区のうね頂部とうねの両端から 40 cm に位置する摘採面を無作為にそれぞれ 1ヶ所選んだ。さらに,選んだそれぞれの摘採面から葉層内へ向かって 5 cm 下部および 10 cm 下部の計 6ヶ所にある成葉表面に,表面を上にした感水紙(WSP:52×76 mm;Syngenta, Basel, Switzerland)をそれぞれ 1枚ずつ,合計 6枚をステープレで固定した。感水紙の固定後は速やかに農薬を散布し,感水紙の変色割合から農薬散布量毎による茶樹摘採面付近および葉層内の農薬被覆面積率を調べた。なお,三番茶 0.5 葉期の農薬散布直前(2014 年 7 月 2 日)には摘採面から 18 cm 下部にある 3ヶ所の成葉表面にも上向き感水紙をそれぞれ 1枚ずつ,合計 3枚を追加固定し,葉層最下部の農薬被覆面積率も調べた。秋芽 3 葉期(2014 年 8 月 21 日)の農薬散布直前は,うね頂部とうねの両端から 40 cm の摘採面上に上向き感水紙(塩ビパイプ(直径 17 mm)で下支え)をそれぞれ 1枚ずつ,合計 3枚を設置し,40 L 区

表1 チャノナガサビダニ, チャノミドリヒメヨコバイ, チャノキイロアザミウマおよびチャノホソガに対する農薬の散布日, 散布量および濃度

散布日	農薬を散布した茶期 (二番茶もしくは三番茶の 摘採日)	散布量 (L/10 a)			感水紙の設置位置 (摘採面下)	農薬の種類 (成分%)	濃度 (ppm)
		スポット散布	慣行 散布	慣行 散布			
5/9	一番茶摘採11日後	40	70	200		スピロメシフェン (30)	150
5/29	二番茶 (6/11)	40	70	200	5 cm	[フロニカミド (10) クロラントラニリプロール (10) ジノテフラン (20)	100
		40	70	200	10 cm		25
7/2	三番茶 (7/18)	40	70	200	5 cm	[フロニカミド (10) クロラントラニリプロール (10) ジノテフラン (20)	100
		40	70	200	18 cm		25
8/11	秋芽-1回目	70	90	200		クロルフェナビル (10)	50
8/21	秋芽-2回目	40	60	200	摘採面上 (40L区のみ)	ピリフルキナゾン (20)	100

注) クロロタロニル(40.0%)を二番茶の農薬散布時(混用)に, カスガマイシン(5.7%)+塩基性塩化銅(75.6%)を三番茶摘採直後に散布した。秋芽防除の1回目にイミノクタジン酢酸塩(2.5%)+塩基性塩化銅(73.5%)を, 2回目にテブコナゾール(20.0%)をそれぞれ混用散布した。殺菌剤の10a当たりの散布量は, それぞれの区の殺虫剤と同じである。

においてのみ摘採面上の農薬被覆面積率を調べた。成葉裏面の農薬被覆状況については, 二番茶 0.5 葉期(2014年5月30日)に約17cmの葉層がある研究茶園の近隣の茶園(品種: 'やぶきた')において, 摘採面から5cm下部の成葉裏面に表面を下にした感水紙をそれぞれ1枚ずつ, 合計3枚をステーブラーで固定し, 40L区および200L区の農薬被覆面積率を調べた。なお, これらの感水紙試験は2反復(二番茶時のみ4反復)を行った。

農薬散布後は感水紙を速やかに回収し, 実験室に持ち帰って自然乾燥を行った。自然乾燥後はスキャナー(DCP-J952N: ブラザー工業株式会社)で感水紙を画像処理し, 感水紙被覆面積率測定ソフトウェア(農業・食品産業技術総合研究機構)を使用して画像データを解析することで農薬被覆面積率を測定した。農薬被覆面積率については, 成葉表面は感水紙における割合データをアークサイン変換し, Kruskal-Wallis 検定で有意差が認められた場合に Steel-Dwass 法にて多重比較を, 摘採面から5cm下部の成葉裏面は, 200L区と40L区を Wilcoxon の順位和検定で解析した。統計解析には JMP®7 software⁹³⁾を用いた。

(2) 結果および考察

茶樹の摘採面および葉層内に設置した感水紙の農薬被覆面積率を図4に示した。40L区の摘採面上における農薬被覆面積率は99.9%で, 摘採面上のほぼ全域が農薬で被覆された。摘採面から5cm下部(摘採面-5cm, 以下全試験共通)の成葉表面における農薬被覆面積率(平均±標準誤差)は, 二番茶時は40L区で71.7±3.0%, 70L区は84.8±4.4%, 200L区は87.6±4.8%で, 40L区は70L区および200L区よりも有意に低く, 70L区は200L区と同等($P < 0.05$), 三番茶時は40L区で85.0±3.4%, 70L区は84.1±4.4%, 200L区は93.7±2.2%で, 40L区は70L区と同等で200L区よりも有意に低く, 70L区は

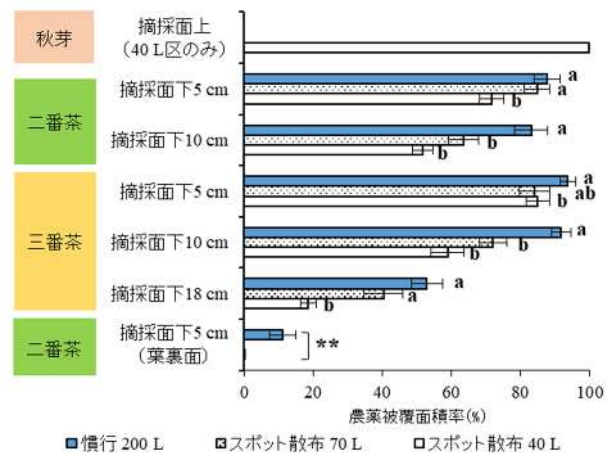


図4 茶樹の農薬被覆面積率の比較(散布時期, 葉層および農薬散布量別)

注1) データとエラーバーは平均±標準誤差を示す。各散布時期の異なる英文字間には, 有意差あり(Steel-Dwass 法, $P < 0.05$)。

注2) 葉裏面(摘採面下5cm): アスタリスクは有意差があることを示す(Wilcoxon の順位和検定, $**P < 0.01$)。

200L区と同等であった($P < 0.05$)。

摘採面-10cmの成葉表面における農薬被覆面積率は, 二番茶時においては40L区で51.7±3.0%, 70L区は63.6±4.4%, 200L区は83.1±4.8%, 三番茶時は40L区で58.9±4.8%, 70L区は72.1±4.0%, 200L区は91.8±2.7%で, 二・三番茶時のいずれも40L区は70L区と同等で, 40L区および70L区は200L区よりも有意に低かった($P < 0.05$)。また, 摘採面-18cm(葉層最下部)の成葉表面における農薬被覆面積率は, 40L区で18.6±2.2%, 70L区は40.4±5.6%, 200L区は52.9±4.5%で, 70L区は200L区と同等で, 40L区は70L区および200L区よりも有意に低かった($P < 0.05$)。摘採面-5cmの成葉裏面における農薬被覆面積率は, 40L区で0.1±0.1%, 200L区は11.3±3.8%で, 40L区は200L区よりも有意

に低かった ($P < 0.05$).

これらの結果から、少量散布機によって 10 a 当たりの農薬散布量を 40 L もしくは 70 L に削減した場合は、摘採面上を農薬でほぼ被覆することができるが、葉層下部に向かうほど慣行量散布 (200 L/10 a) よりも農薬被覆面積率が下がる傾向にあること、また、成葉裏面はほとんど農薬で被覆されない特徴が確認された。病害虫が発生している作物の箇所には農薬を必要量かつ均一に付着させることが重要であるとされるが¹¹⁾、少量散布機による 40 L/10 a 散布でも摘採面上の農薬被覆面積率はほぼ 100% であることから、害虫防除効果を期待できると思われた。このように、微粒子化した農薬の噴霧後に送風を加える農薬の散布方法および装置によって、茶樹摘採面付近を農薬で細やかに被覆しつつも、葉層内や成葉裏面への農薬被覆を抑制することは可能と考えられた。

第 2 節 新芽加害性害虫に対する防除効果

防除効果を左右する大きなポイントは、植物体への薬剤の付着効率と、病害虫などの生息部位 (標的部位) に薬剤を到達させる効率である⁵⁾。十分な防除効果を挙げるためには、病害虫が発生している作物の箇所に対して農薬を必要量かつ均一に付着させることが重要で¹¹⁾、農薬の付着率や被覆面積率の高い農薬散布方法は防除効果が高く、農薬の節減に結びつく¹¹⁾。また、農薬を使用する際には薬剤の特徴や作物の生育状況を考慮して散布量を適宜変え、最低致死量を作物に均一に付着させることが重要であるとされる⁹⁾。しかし、これまでの鹿児島県内の茶園における農薬散布量は「10 a 当たり 200 L」のように一律に設定されることが多く、害虫の発生量や茶樹の状態、チャ品種等に応じて散布量を変える事例は稀である。また、少ない量の農薬を茶樹摘採面付近にスポット散布した場合の害虫の個体数推移やチャ新芽被害程度については不明な点が多い。そこで、鹿児島県内の茶生産現場で慣行的に用いられる農薬の散布量を削減した場合における、チャノミドリヒメヨコバイ *Empoasca onukii* Matsuda (Hemiptera: Cicadellidae)、チャノキイロアザミウマ *Scirtothrips dorsalis* Hood (Thysanoptera: Thripidae) およびチャノホソガ *Caloptilia theivora* (Walsingham) (Lepidoptera: Gracillariidae) の新芽加害性主要 3 害虫と、チャノナガサビダニ *Acaphylla theavagrans* Kadono (Acari: Eriophyidae) の防除効果を先行して調べた。

また、チャハマキ *Homona magnanima* Diakonoff (Lepidoptera: Tortricidae) およびチャノコカクモンハマキ *Adoxophyes honmai* Yasuda (Lepidoptera: Tortricidae) もチャの重要害虫であり、特にチャハマキの多発時には坪状

にチャ葉が食害され、被害が激しくなる⁷⁾。チャハマキおよびチャノコカクモンハマキの幼虫は葉を糸でつづり合わせた巻葉を作るため¹⁸⁾、摘採面上からの農薬散布では新芽加害性の害虫よりも農薬と虫体を接触させにくく、防除効果を得るためには新芽加害性害虫よりも多くの農薬散布量を必要とすると考えた。そこで、農薬散布量の差によるチャハマキおよびチャノコカクモンハマキの防除効果については、新芽加害性害虫を対象とする場合よりもやや多めの散布量設定となる処理区を設けて検討した。

少量スポット散布の茶生産現場への技術普及を図るためには、農薬散布量の削減が害虫、天敵類およびその他の昆虫類へ及ぼす影響や、散布量削減を連年継続した場合の防除効果等についても知見を得る必要がある。そこで、土着天敵相に及ぼす影響を明確にできる非選択性の殺虫剤^{74), 79)}を主に使用し、散布量による差を検出しやすくした非選択性農薬茶園と、茶生産現場と同じ選択性の殺虫剤を主に使用する選択性農薬茶園の 2 ヶ所の研究茶園を設けた。

1 慣行的に用いられる農薬の散布量を削減した場合のチャノナガサビダニ、チャノミドリヒメヨコバイ、チャノキイロアザミウマおよびチャノホソガの防除効果

(1) 試験 (実験) 材料および方法

ア 処理区

第 1 章第 1 節で茶樹の摘採面および葉層内の農薬被覆状況を調査した茶園において、一番茶残葉に寄生しているチャノナガサビダニと二・三番茶芽を加害するチャノミドリヒメヨコバイ、チャノキイロアザミウマおよびチャノホソガに対して農薬散布量を削減した場合の防除効果について検討した。供試農薬には表 1 のとおり研究茶園付近で慣行的に用いられる農薬を選定した。

イ 各種害虫の調査方法と統計解析

一番茶摘採 11 日後 (2014 年 5 月 9 日) にスピロメシフェン水和剤 2000 倍希釈液 (150 ppm) を散布し、農薬散布量が異なる場合におけるチャノナガサビダニの防除効果を調べた。処理区の設定は第 1 節と同様に、40 L 区、70 L 区、200 L 区および農薬を散布しない無処理区の計 4 区を設定した。圃場面積は約 500 m² で、各区の面積は約 18 m²、反復数は 3、処理を行ったうねは隣接しており、うね間に無処理の緩衝うねは設けていない。農薬散布前日と散布 4 日後に各区から無作為に採取した摘採面付近の 10 枚の一番茶摘採残葉の裏面に寄生しているチャノナガサビダニ若虫および成虫数を実体顕微鏡下 (SZ61: オリンパス株式会社) で計数し、次式⁶⁾にてチャノナガサビダニの防除率を求めた。なお、摘採残葉のサンプリ

ング反復数は処理区を6, 無処理区は3とした。1葉当たりのチャノナガサビダニの個体数については, Kruskal-Wallis 検定で有意差を確認後に Steel 法を用いて 200 L 区と 40 L 区および 70 L 区を比較した。

$$\text{防除率 (\%)} = \left(1 - \frac{Cb}{Tb} \times \frac{Ta}{Ca}\right) \times 100$$

ただし, Cb=無処理区の散布前生息数, Tb=農薬処理区の散布前生息数, Ca=無処理区の散布4日後生息数, Ta=農薬処理区の散布4日後の生息数を示す。

二番茶 0.5 葉期 (2014 年 5 月 29 日) と三番茶 0.5 葉期 (2014 年 7 月 2 日) はフロニカミド DF 剤 1000 倍希釈 (100 ppm) とクロラントラニプロール水和剤 4000 倍希釈 (25 ppm) の混用液とジノテフラン水溶剤 2000 倍希釈液 (100 ppm) をそれぞれの処理区に散布 (二番茶 0.5 葉期は炭疽病を防ぐために TPN 1000 倍希釈液 (400 ppm) をさらに混用) して, 供試農薬とその散布量の違いによる防除効果について比較した。処理区の設定はチャノナガサビダニの防除と同様に 40 L 区, 70 L 区, 200 L 区および無処理区の計 4 区, 各区の面積は約 18 m², 反復数は 3 とした。二・三番茶摘採前 (3 葉期摘採) に調査枠 (20 × 20 cm) を各処理区の摘採面上 2 ヶ所へ無作為配置し, その枠内における全摘採予定新芽を基部摘みし, 実験室に持ち帰ってチャノミドリヒメヨコバイ, チャノキイロアザミウマおよびチャノホソガの被害芽数を調べた。被害の判定については目視による 1 新芽中の被害痕の確認で行い, 被害が認められない場合の被害指数を 0 とし, チャノミドリヒメヨコバイは 1 ヶ所以上の吸汁痕, チャノキイロアザミウマは 1 ヶ所以上の加害傷があった場合を被害指数 1 とし, チャノホソガについては各処理区内の巻葉数をカウントして, m² 当たり換算した。チャノミドリヒメヨコバイおよびチャノキイロアザミウマによる被害指数については, Kruskal-Wallis 検定で有意差が認められた場合は Steel-Dwass 法にて処理区間を多重比較した。統計解析には R 用プログラムを用いた^{1), 2)}。なお, チャノホソガについては巻葉数が極めて少なく, 処理区

間の差は判然としなかったため, 統計解析を実施しなかった。

(2) 結果および考察

チャノナガサビダニの防除率は, 40 L 区, 70 L 区および 200 L 区ともに約 99% で (表 2), 1 葉当たりの寄生個体数も 200 L 区と 40 L 区および 70 L 区には有意差が認められなかった ($P > 0.05$)。チャノナガサビダニは一番茶後の摘採残葉に集中して寄生する⁵²⁾。前節のように, 少量スポット散布 (40 L/10 a) では成葉裏面は農薬でほとんど被覆されないが, 一番茶後の摘採残葉は着葉角度が茎に対して鋭角であるために, チャノナガサビダニが寄生している葉裏面に対して防除効果を発揮できる程度の農薬が付着し, このことが少ない散布量による高い防除効果につながった要因と考えられる。本種に対する防除時期は一番茶摘採後の他に, カンザワハダニ *Tetranychus kanzawai* Kishida (Acari: Tetranychidae) との同時防除を目的とした早春期もある。しかし, 早春期は少量スポット散布 (40 L/10 a) や 200 L/10 a 散布では農薬でほとんど被覆されない成葉裏面にチャノナガサビダニが寄生しているため, これらの散布方法によるチャノナガサビダニやカンザワハダニに対する防除は, 特に浸透移行性を有しないダニ剤の場合は困難だと考えられる。

チャノナガサビダニの防除における慣行の散布量は 400 L/10 a であり⁴⁾, この量はチャノナガサビダニが寄生している茶樹の成葉裏面へ農薬を付着させるために必要である。そのため, チャノナガサビダニが一番茶摘採残葉に集中して寄生しているタイミングに限っては, 農薬散布量を 40 L/10 a まで削減しても高い防除効果を得ることが可能だと考えられた。チャノミドリヒメヨコバイ, チャノキイロアザミウマおよびチャノホソガによる新芽加害状況を表 3 に示す。二・三番茶いずれの茶期におけるチャノミドリヒメヨコバイの被害指数も 40 L 区と 70 L 区の両区ともに 200 L 区と同程度で, チャノミドリヒメヨコバイに対する農薬散布量の削減は可能と考え

表 2 農薬散布前後のチャノナガサビダニの個体数

処理区 (L/10 a)	調査葉数 (枚)	散布前日 (5/8)		散布4日後 (5/13)		防除率 (%)	
		寄生率 (%)	1葉当たりのチャノナガサビダニ個体数 (頭)	寄生率 (%)	1葉当たりのチャノナガサビダニ個体数 (頭)		
スポット散布 40 L	60	86.7	99.2 ± 89.2	20.0	1.1 ± 2.0	n.s.	98.9
スポット散布 70 L	60	65.0	54.8 ± 47.0	5.0	0.3 ± 0.6	n.s.	99.5
慣行 200 L	60	85.0	139.5 ± 97.7	21.7	0.6 ± 0.6	-	99.6
無処理	30	100	169.3 ± 54.9	100	165.8 ± 46.6	**	-

注 1) 個体数のデータは, 平均 ± 標準偏差を示す。

注 2) アスタリスクは慣行 200 L 区と比較して有意差があることを示す (Steel 法, ** $P < 0.01$; n.s., not significant)。

注 3) 防除率 (%) = $(1 - Cb/Tb \times Ta/Ca) \times 100$

Cb=無処理区の散布前生息数, Tb=農薬処理区の散布前生息数, Ta=農薬処理区の散布後生息数, Ca=無処理区の散布後生息数

表3 チャ新芽に対する各種害虫の加害状況 (2014年)

茶期	処理区 (L/10 a)	農薬の種類と濃度 (ppm)	調査 芽数 (本)	チャノミドリヒメコバエ		チャノキイロアザミウマ		チャノホソガ m ² 当たりの 巻葉数 (平均)
				被害芽数 (被害指数合計)	被害芽率 (%)	被害芽数 (被害指数合計)	被害芽率 (%)	
二番茶	スポット散布 40 L	フロニカミド (100) + クロラントラニプロール (25)	389	9 b	2.3	1	0.3	0.02
		ジノテフラン (100)	413	14 b	3.4	1	0.2	0
	スポット散布 70 L	フロニカミド (100) + クロラントラニプロール (25)	404	12 b	3.0	0	0	0
		ジノテフラン (100)	381	5 ab	1.3	0	0	0.02
	慣行 200 L	フロニカミド (100) + クロラントラニプロール (25)	385	11 b	2.9	2	0.5	0
		ジノテフラン (100)	423	0 a	0	2	0.5	0.02
無処理		413	130 c	31.5	3	0.7	0.14	
三番茶	スポット散布 40 L	フロニカミド (100) + クロラントラニプロール (25)	493	13 b	2.6	0 a	0	0
		ジノテフラン (100)	532	3 ab	0.6	3 ab	0.6	0.04
	スポット散布 70 L	フロニカミド (100) + クロラントラニプロール (25)	443	9 b	2.0	2 ab	0.5	0
		ジノテフラン (100)	475	10 b	2.1	0 a	0	0.04
	慣行 200 L	フロニカミド (100) + クロラントラニプロール (25)	423	0 a	0	0 a	0	0
		ジノテフラン (100)	458	2 ab	0.4	6 ab	1.3	0
無処理		478	99 c	20.7	11 b	2.3	0.12	

注) 各茶期の異なる英文字間には、有意差あり (Steel-Dwass 法, $P < 0.05$; n.s., not significant). チャノホソガについては、巻葉数が少なかったために統計解析対象から除いた。

られた。チャノキイロアザミウマおよびチャノホソガについてはともに被害が少なく、処理区間差は判然としなかった。

2 農薬散布量を削減した場合のチャハマキおよびチャノコカクモンハマキの防除効果

(1) 試験 (実験) 材料および方法

ア 処理区

チャハマキおよびチャノコカクモンハマキに対する農薬散布量を削減した場合の防除効果について明らかにするため、鹿児島県農業開発総合センター茶業部内に3ヶ所の研究茶園 (品種: ‘やぶきた’, ‘くりたわせ’, ‘あさのか’) を設定し、少量散布機 (MCS10-KAGO3-2: 松元機工株式会社) と慣行防除機 (MCS8A: 松元機工株式会社) による農薬散布を前節と同様の機械設定で行った。

‘やぶきた’茶園には、40 L 区、70 L 区、少量散布機により 10 a 当たりの農薬散布量を 90 L (エンジン回転数: 2000 rpm; 散布圧: 1.5 MPa; 散布速度: 0.7m/s; 噴口から摘採面までの距離: 10 cm) とする区 (以下、90 L 区)、200 L 区および無処理区の計 5 区を設定した。圃場面積は約 700 m²、各区の面積は約 23 m²、反復数は 3、処理を行ったうねは隣接しており、うね間に無処理の緩衝うねは設けていない。なお、本茶園は後述の「非選択性農薬および選択性農薬の散布量を連年削減した場合の各種チャ害虫の防除効果」と第 2 章第 3 節の選択性農薬茶園と同じである。

‘くりたわせ’茶園には、40 L 区、200 L 区および無処理区の計 3 区を設定した。圃場面積は約 240 m²、各区の面積は 12.6 m²、反復数は 3、うね間に無処理の緩衝うねを設けた。なお、本茶園は後述の「非選択性農薬および選択性農薬の散布量を連年削減した場合の各種チャ害

虫の防除効果」と第 2 章の非選択性農薬茶園と同じである。

‘あさのか’茶園には、70 L 区、90 L 区、200 L 区および無処理区の計 4 区を設定し、約 420 m²の圃場面積の中に約 30 m²の各区を 3 反復設けた。処理を行ったうねは隣接しており、うね間に無処理の緩衝うねは設けていない。

なお、鹿児島県農業開発総合センター茶業部の茶園ではチャハマキおよびチャノコカクモンハマキの発生量の年較差が大きいと、発生量が最多となった 2015 年 9 月を調査時期に選び、また、その調査には広い処理区を要することから複数の茶園を準備した。

イ チャハマキおよびチャノコカクモンハマキに対する農薬散布時における茶樹葉層内の農薬被覆面積率と防除効果

3ヶ所の茶園ともに、供試農薬をスピネトラム 5000 倍希釈液 (23.4 ppm) に、農薬散布日は 2015 年 9 月 18 日とした。チャハマキおよびチャノコカクモンハマキの巻葉数の調査日については、‘くりたわせ’茶園を散布 11 日後、‘やぶきた’および‘あさのか’茶園は散布 13 日後とした。チャハマキおよびチャノコカクモンハマキの巻葉の調査は、‘やぶきた’ (‘くりたわせ’) 茶園の 40 L 区、200 L 区および無処理区は各区中央の連続した 4 (6) m を 1 m ごとに 4 (6) 分割し、さらにうね中央を境に 2 (2) 分割した範囲、‘あさのか’茶園の全区と‘やぶきた’茶園の 70 L 区および 90 L 区については、各区中央の連続した 3 m を 1 m ごとに 3 分割して、さらにうね中央を境に 2 分割した範囲とした。なお、チャハマキおよびチャノコカクモンハマキの被害巻葉は、巻葉内部に幼虫を確認できた巻葉のみとし、幼虫が確認できなかった巻葉についてはカウントから外した。

農薬散布直前には、各処理区のうち頂部とうねの両端から40 cmに位置する摘採面を無作為にそれぞれ3ヶ所選んだ。選んだそれぞれの摘採面-5 cm（‘あさのか’茶園は二番茶後に深刈りを行った為、新芽の頂芽平均面-5 cm）の計3ヶ所（‘あさのか’茶園:2ヶ所）にある成葉表面に、表面を上にした感水紙（WSP; 52 × 76 mm; Syngenta, Basel, Switzerland）をそれぞれ1枚ずつ、合計9枚（‘あさのか’茶園:6枚）をステーブラーで固定した。なお、‘くりたわせ’茶園においては、摘採面-5 cmおよび摘採面-10 cmの成葉裏面に、表面を下にした感水紙を各1枚ずつ、合計6枚を追加して設置した。

農薬散布後の感水紙の回収および分析手順は前節と同じとし、各処理区内のチャハマキおよびチャノコカクモンハマキの巻葉数は、Kruskal-Wallis検定で有意差を確認後にSteel-Dwass法にて処理区間を多重比較した。感水紙の農薬被覆面積率のデータはアークサイン変換し、40 L区と200 L区の比較にはWilcoxonの順位和検定を、3区以上の処理区の比較となる場合は、Kruskal-Wallis検定で有意差を確認後にSteel-Dwass法にて多重比較した。これらの統計解析には、JMP® 7 software⁹³⁾を用いた。

(2) 結果および考察

‘やぶきた’茶園における摘採面-5 cmの成葉表面の農薬被覆面積率（平均±標準誤差）は、40 L区が65.8±4.16%、70 L区は78.2±3.50%、90 L区は93.6±2.02%、200 L区は94.6±0.99%で、40 L区は70 L区と同等であったが、90 L区および200 L区よりも有意に低く、90 L区と200 L区は同等であった（ $P < 0.05$ ）（表4）. ‘くりたわせ’茶園の農薬被覆面積率は、摘採面-5 cmの成葉表面は40 L区が66.3±3.44%、200 L区は95.2±1.03%で、40 L区は200 L区よりも有意に低かったが（ $P < 0.01$ ）、成葉裏面においては40 L区が3.9±2.27%、200 L区は

2.4±1.64%で40 L区と200 L区間に有意差が認められず（ $P > 0.05$ ）、摘採面-10 cmの成葉裏面でも40 L区は0.5±0.10%、200 L区が2.0±1.45%で40 L区と200 L区間に有意差は認められなかった（ $P > 0.05$ ）. ‘あさのか’茶園の頂芽平均-5 cmの成葉表面の農薬被覆面積率は、70 L区が72.6±5.39%、90 L区は67.9±5.76%、200 L区は97.4±1.08%で、70 L区は90 L区と同等、70 L区および90 L区は200 L区よりも有意に低かった（ $P < 0.05$ ）. ‘やぶきた’茶園におけるチャハマキおよびチャノコカクモンハマキの巻葉数については、90 L区は200 L区と同等で最少、70 L区は90 L区よりも有意に多いが、200 L区および40 L区と同等で無処理区よりも有意に少なく、40 L区は無処理区と同等であった（ $P < 0.05$ ）. ‘くりたわせ’茶園におけるチャハマキおよびチャノコカクモンハマキの巻葉数は、最多は無処理区、最少は200 L区、40 L区はそれらの中間で、全処理区間に有意差が認められた（ $P < 0.05$ ）. ‘あさのか’茶園におけるチャハマキおよびチャノコカクモンハマキの巻葉数は、農薬を散布した区よりも無処理区において有意に多く、70 L区および90 L区と200 L区は同等であった（ $P < 0.05$ ）.

40 L区および200 L区の成葉裏面は農薬でほとんど被覆されていなかったが、成葉表面の農薬被覆面積率が40 L区よりも高かった200 L区においては、チャハマキおよびチャノコカクモンハマキの防除効果も高くなった（表4）. このことは、散布したスピネトラムの葉表から葉裏への移行性によって、チャハマキおよびチャノコカクモンハマキに対して接触毒および食毒のいずれの作用経路でも防除効果が発揮される¹⁰³⁾からと考えられる. また、このような特徴の農薬を散布した場合は葉層内の成葉表面の農薬被覆面積率の程度が防除効果に直結する可能性がある. 一方、前節のとおり摘採面-10 cmの農薬被覆面積率は、40 L区および70 L区は200 L区よりも大幅

表4 茶樹葉層における農薬被覆面積率の比較

茶園	葉層内の感水紙設置位置	農薬被覆面積率 (%)				無処理	備考
		40 L/10 a	スポット散布 70 L/10 a	90 L/10 a	慣行 200 L/10 a		
やぶきた	摘採面下5 cm (表面)	65.8±4.16 b	78.2±3.50 b	93.6±2.02 a	94.6±0.99 a	-	
	防除率 (%)	41.3	60.0	78.0	72.1	-	
	m ² 当たりの巻葉数	12.2±1.57 cd	8.3±0.97 bc	4.6±0.63 a	5.8±0.94 ab	20.7±4.20 d	
くりたわせ	摘採面下5 cm 表面	66.3±3.44	-	-	95.2±1.03	-	** ($P < 0.01$)
	裏面	3.9±2.27	-	-	2.4±1.64	-	n.s. ($P > 0.05$)
	摘採面下10 cm (葉裏)	0.5±0.10	-	-	2.0±1.45	-	n.s. ($P > 0.05$)
あさのか	防除率 (%)	63.8	-	-	83.8	-	
	m ² 当たりの巻葉数	4.7±0.56 b	-	-	2.1±0.44 a	13.0±1.14 c	
	頂芽5 cm下 (表面)	-	72.6±5.39 b	67.9±5.76 b	97.4±1.08 a	-	
あさのか	防除率 (%)	-	62.1	71.4	60.9	-	
	m ² 当たりの巻葉数	-	6.1±1.07 a	4.6±0.96 a	6.3±0.71 a	16.1±2.55 b	

注1) 農薬被覆面積率および巻葉数のデータは、平均±標準誤差を示す。

注2) 各茶園の異なる英文字間には、有意差あり (Steel-Dwass法, $P < 0.05$; n.s., not significant). くりたわせ茶園の農薬散布区における農薬被覆面積率の統計解析については、Wilcoxonの順位和検定で行った。アスタリスクは有意差があることを示す (** $P < 0.01$).

注3) 防除率 (%) = (1 - (農薬を散布した区の巻葉数 / 無処理区の巻葉数)) × 100

に低い。摘採面上から散布された農薬の到達が物理的に妨げられやすい葉層が厚い茶園や、浸透移行性のない農薬の散布時であれば、チャハマキおよびチャノコカクモンハマキに対する少量スポット散布の防除効果は低下する可能性が高いと考えられる。この両種に対する防除は、鹿児島県内では200 L/10 a 散布がこれまで基本とされてきたが、静岡県内にはチャハマキおよびチャノコカクモンハマキの防除で10 a 当たり400 Lの農薬が散布された試験事例¹²⁾がある。慣行量(200 L/10a) 散布時における摘採面-5 cmの成葉裏面の農薬被覆面積率が2~11% (表4, 図4) と低かったことに加えて、食毒作用の高い薬剤がチャハマキへの防除効果を発揮するには、葉裏に薬剤が十分にかかるように散布する必要があるとの先行研究の指摘³⁴⁾を合わせて考えると、チャハマキおよびチャノコカクモンハマキの防除における散布量を400 L/10 a に設定することの方が理にかなっている。チャハマキおよびチャノコカクモンハマキの防除に必要な農薬散布量については、葉層の厚みや散布する農薬の種類との組合せ等について、さらなる検討を行う必要があると思われた。

3 非選択性農薬および選択性農薬の散布量を連年削減した場合の各種チャ害虫の防除効果

(1) 試験(実験) 材料および方法

ア 処理区

2015年の一番茶摘採後に、非選択性農薬を主に用いる茶園(以下、非選択性農薬茶園)と、選択性農薬を主に用いる茶園(以下、選択性農薬茶園)をそれぞれ鹿児島県農業開発総合センター茶業部内に設けた。農薬散布用機械として少量散布機(MCS10-KAGO3-2: 松元機工株式会社)と慣行防除機(MCS8A: 松元機工株式会社)を準備した。なお、葉層の厚みは非選択性農薬茶園で約25 cm、選択性農薬茶園は約30 cmであった。

非選択性農薬茶園(品種: 'くりたわせ')は前節同様に、少量散布機による40 L区(非選択性農薬茶園の40 L区は年間を通じて散布量が同じであるため、40 L区と以下表記する)、慣行防除機による200 L区および無処理区の計3区を設定した。圃場面積は約240 m²、各区の面積は12.6 m²、反復数は3、処理を行ったうねの間には無処理の緩衝うねを設けた。供試農薬はフェンプロパトリン、ペルメトリン、スピネトラム、ピフェントリン、シペルメトリンおよびフルベンジアミドとした(表5)。なお、スピネトラムは選択性農薬であるが、チャハマキおよびチャノコカクモンハマキに対して優れた防除効果があるため、非選択性農薬茶園においても使用した。

選択性農薬茶園(品種: 'やぶきた')は、少量散布機

により10 a 当たりの農薬散布量を40 L(秋芽防除時のみ90 L)(エンジン回転数: 2000 rpm; 散布圧: 1.5 MPa; 散布速度: 0.7 m/s(秋芽防除時も0.7 m/s); 噴口から摘採面までの距離: 10 cm)とする区(選択性農薬茶園の40 L区は秋芽防除時の散布量が増えるため、40 L(秋90 L)区と以下表記する)、少量散布機により10 a 当たりの農薬散布量を70 L(秋芽防除時は110 L)(エンジン回転数: 2000 rpm; 散布圧: 1.5 MPa; 散布速度: 0.8 m/s(秋芽防除時は0.6 m/s); 噴口から摘採面までの距離: 10 cm)とする区、慣行防除機による200 L区および無処理区の計4区を設定した。圃場面積は約700 m²、各区の面積は約23 m²、反復数は3、処理を行ったうねは隣接しており、うね間に無処理の緩衝うねは設けていない。供試農薬は研究茶園付近で慣行的に用いられている、フロニカミドとクロラントラニリプロールの混用液、フロニカミドとメトキシフェノジドの混用液、ジノテフラン、クロルフェナビル、ピリフルキナゾン、スピネトラム、シアントラニリプロール、ジアフェンチウロンおよびフルベンジアミドの各希釈液とし、必要に応じて殺菌剤も混用した(表5)。なお、選択性農薬茶園の'やぶきた'は炭疽病に弱い品種であるため、秋芽防除を無処理とすると炭疽病によってその後の生育が著しく劣り、翌年以降の無処理区における二・三番茶芽の正確な虫害評価が困難となる。そこで、二・三番茶防除時は無処理とし、各年の秋芽防除時のみ殺菌剤(および殺虫剤)の散布(90 L/10 a)を行う臨時無処理区も同じ茶園内に増設した(面積: 23 m²、反復数: 3)。

主とした調査対象は、チャの収量と品質に多大な被害を及ぼす最重要害虫であるチャノミドリヒメヨコバイ¹³⁾、チャノキイロアザミウマおよびクワシロカイガラムシ *Pseudaulacaspis pentagona* (Targioni-Tozzetti) (Hemiptera: Diaspididae) とした。また、チャノミドリヒメヨコバイやチャノキイロアザミウマとともに新芽加害性害虫として位置づけられるチャノホソガ⁷³⁾についても、各処理区の巻葉数を併せて調べ、農薬散布方法および量の違いが二・三番茶芽の保護効果および収量品質へ及ぼす影響(鹿児島県においては、チャノミドリヒメヨコバイ、チャノキイロアザミウマおよびチャノホソガの3種に対する同時防除が基幹防除)について検討を行った。なお、農薬の散布タイミングは鹿児島県の慣行に合わせて、二・三番茶期および秋芽防除1回目は1葉期(新芽の平均開葉数=1枚、以下同様)、秋芽防除2回目は3葉期とした。

イ 白色粘着トラップによる茶樹葉層内の主要害虫の発生状況調査

研究茶園の各区における茶樹葉層の上部(摘採面約-5

表5 非選択性農薬および選択性農薬茶園で使用された農薬の散布日、散布量および濃度

茶園	散布日	農薬を散布した茶期 (二番茶もしくは三番茶 の摘採日)	散布量 (L/10 a)			農薬の種類 (成分%)	濃度 (ppm)
			スポット散布	慣行			
非選択性 農薬	2015年						
	5/8	二番茶 (5/27)	40	-	200	フェンプロパトリン (10)	100
	6/24	三番茶 (7/10)	40	-	200	フェンプロパトリン (10)	100
	8/5	秋芽-1回目	40	-	200	ペルメトリン (20)	100
	8/19	秋芽-2回目	40	-	200	フェンプロパトリン (10)	100
	9/18	秋芽生育期	40	-	200	スピネトラム (11.7)	23.4
	2016年						
	5/13	二番茶 (5/30)	40	-	200	フェンプロパトリン (10)	100
	7/1	三番茶 (7/11)	40	-	200	フェンプロパトリン (10)	100
	8/8	秋芽-1回目	40	-	200	フェンプロパトリン (10)	100
	8/24	秋芽-2回目	40	-	200	ペルメトリン (20)	100
	2017年						
	5/19	二番茶 (6/5)	40	-	200	ピフェントリン (2)	20
	7/3	三番茶 (7/18)	40	-	200	シペルメトリン (6)	60
	8/16	秋芽-1回目	40	-	200	ペルメトリン (20)	100
	8/30	秋芽-2回目	40	-	200	ピフェントリン (2)	20
	10/2	秋芽生育期	40	-	200	フルベンジアミド (18)	90
	選択性 農薬	2015年					
5/20		二番茶 (6/2)	40	70	200	フロニカミド (10) クロラントラニプロール (10)	100 25
7/3		三番茶 (7/16)	40	70	200	ジノテフラン (20)	100
8/7		秋芽-1回目	90	110	200	クロルフェナピル (10)	50
8/21		秋芽-2回目	90	110	200	ピリフルキナゾン (20)	100
9/18		秋芽生育期	70	90	200	スピネトラム (11.7)	23.4
2016年							
5/24		二番茶 (6/8)	40	70	200	フロニカミド (10) メキシフェノジド (20)	100 25
7/5		三番茶 (7/19)	40	70	200	ジノテフラン (20)	100
8/15		秋芽-1回目	90	110	200	シアントラニプロール (10.2)	51
9/2		秋芽-2回目	90	110	200	ジアフェンチウロン (50)	333
9/13		秋芽生育期	90	110	200	スピネトラム (11.7)	23.4
2017年							
6/5		二番茶 (6/19)	40	70	200	フロニカミド (10) メキシフェノジド (20)	100 25
7/7		三番茶生育期	40	70	200	スピネトラム (11.7)	23.4
7/14		三番茶 (7/28)	40	70	200	ジノテフラン (20)	100
8/22		秋芽-1回目	90	110	200	シアントラニプロール (10.2)	51
9/5		秋芽-2回目	90	110	200	ジアフェンチウロン (50)	333
10/2	秋芽生育期	40	70	200	フルベンジアミド (18)	90	

注) 選択性農薬茶園で散布した殺菌剤および展着剤は、上表から除いた(殺菌剤と展着剤は選択性農薬茶園のみで使用した)。二・三番茶期の散布時はクロロタロニル(40.0%)を、三番茶摘採直後はカスガマイシン(5.7%)+塩基性塩化銅(75.6%)を毎年散布したが、カスガマイシン(5.7%)+塩基性塩化銅(75.6%)を除いて、殺菌剤は殺虫剤と混用して散布した。イミノクタジン酢酸塩(2.5%)+塩基性塩化銅(73.5%)はすべての年の秋芽1回目散布時に、テブコナゾール(20.0%)は2015年の秋芽2回目散布時、フェンブコナゾール(22%)は2016年および2017年の秋芽2回目散布時にそれぞれ使用した。展着剤(ソルビタン脂肪酸エステル(70.0%)+ポリオキシエチレン樹脂酸エステル(5.5%))は2016年および2017年の秋芽1・2回目散布時に使用した。殺菌剤の散布量は、それぞれの区の殺虫剤と同じである。

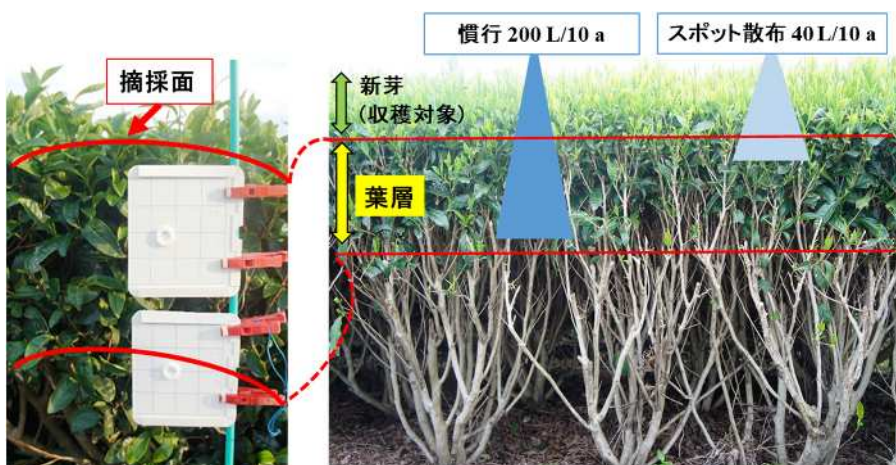


図5 葉層内の白色粘着トラップ(左)と茶樹の断面図(右)

cm) および最下部 (非選択性農薬茶園: 摘採面約-25 cm; 選択性農薬茶園: 摘採面約-30 cm) に白色粘着トラップ (10×10 cm 両面: サンケイ化学株式会社) を直径 7 mm のプラスチック製支柱にピンチで固定して設置し (図 5), トラップで捕獲されるチャノミドリヒメヨコバイ, チャノキイロアザミウマおよびクワシロカイガラムシ雄成虫の個体数を調査した. 調査期間は 2016 年の 5~10 月と 2017 年の 5~11 月初旬までとし, トラップの設置および回収間隔は原則 7 日間, 回収したトラップはポリエチレン袋 (大倉工業株式会社) で包装して実験室へ持ち帰り, 実体顕微鏡 (SZ61: オリンパス株式会社) 下にて同定を行った.

ウ 茶芽の被害および収量品質調査

2015~2017 年の二・三番茶摘採前 (3 葉期摘採) に, 各処理区の摘採面上 2 ヶ所へ調査枠 (20×20 cm) を無作為に配置して, その枠内における全摘採予定新芽を基部摘みし, 新芽におけるチャノミドリヒメヨコバイとチャノキイロアザミウマの被害程度を指数化した. なお, 20 倍ルーペによって加害痕が確認できない場合は指数 0 とした. チャノミドリヒメヨコバイについては, 加害痕が新葉の葉脈 10% 未満の範囲に確認された場合は微被害 (被害指数 1), 同じく 10% 以上 30% 未満は軽被害 (被害指数 2), 30% 以上を重被害 (被害指数 3), 変色・変形したものは甚被害 (被害指数 4) の分類とした. チャノキイロアザミウマは新葉表面から変色・変形が判明しない程度は軽被害 (被害指数 1), 新葉表面から変色・変形が確認できる程度は重被害 (被害指数 2) とした. チャノミドリヒメヨコバイとチャノキイロアザミウマの被害は次式により被害指数を求め, チャノホソガについては, 摘採前に調査枠 (85×100 cm) を各処理区の中央部分の摘採面上 12 ヶ所 (選択性農薬茶園は 10 ヶ所) に配置し, 枠内の巻葉数を調べて, m² 当りに換算した.

$$\text{被害指数(平均値)} = \frac{\sum(\text{各被害指数} \times \text{各被害指数の芽数})}{\text{全調査芽数}}$$

二・三番茶芽の 3 葉期に, 各処理区の反復からそれぞれ乗用型茶摘採機 (MCB-10: 松元機工株式会社) で摘採した生葉を各処理区毎に混合し, 2K 型少量製茶ライン (カワサキ機工株式会社) にて荒茶に加工した. 荒茶の評価については, 官能審査および近赤外分光分析法 (INSTALAB600 NIR PRODUCT ANALYZER: 静岡製機株式会社) を用いた. なお, 官能審査は人間の感覚による茶の品質評価方法で, 外観 (形状・色沢) と内質 (香気・水色・滋味) について点数をつけて評価を行う方法である⁶⁰⁾.

エ 統計解析

白色粘着トラップで捕獲された各害虫の個体数については, 各年の初回農薬散布後から最終調査日までの調査日毎に得られた捕獲数データを log₁₀ (N+0.5) 変換した数値で反復測定分散分析し, 有意差が認められた場合は Tukey-Kramer 法にて処理区間を多重比較した. 同じ処理区における葉層の上部と最下部の個体数は, Wilcoxon の符号付順位和検定で解析し, 各処理区の生葉収量は, 分散分析 (ANOVA) で有意差が認められた場合は Tukey-Kramer 法, チャノミドリヒメヨコバイおよびチャノキイロアザミウマの被害指数とチャノホソガの巻葉数については, Kruskal-Wallis 検定で有意差が認められた場合は Steel-Dwass 法にて処理区間をそれぞれ多重比較した. これらの統計解析には JMP® 7 software⁹³⁾ を用いた. なお, 荒茶加工については, 処理区の 3 反復それぞれから摘採された生葉の合葉を用いて 2 反復製造した. そのため, 官能審査および荒茶成分分析値については荒茶 2 点の平均値で示し, 統計解析は行っていない.

(2) 結果

チャノミドリヒメヨコバイの葉層内における個体数推移を図 6 に示した. 2016 年の非選択性農薬茶園におけるチャノミドリヒメヨコバイの個体数は, 葉層上部では処理区間に有意差は認められず ($F = 0.17$, $df = 2, 21$, $P = 0.8485$), 葉層最下部は無処理区が 200 L 区および 40 L 区よりも有意に少なかった ($F = 6.83$, $df = 2, 21$, $P = 0.0027$)

(図 6A). 2016 年の選択性農薬茶園におけるチャノミドリヒメヨコバイの個体数は, 葉層上部においては 40 L (秋 90 L) 区と 200 L 区が同等で, 無処理区はそれらよりも有意に多かったが ($F = 10.61$, $df = 2, 20$, $P = 0.0002$), 葉層最下部では処理区間に有意差が認められなかった ($F = 1.04$, $df = 2, 20$, $P = 0.3644$) (図 6B). 2017 年の非選択性農薬茶園におけるチャノミドリヒメヨコバイの個体数は, 葉層上部 ($F = 4.90$, $df = 2, 22$, $P = 0.0120$) および葉層最下部 ($F = 5.78$, $df = 2, 22$, $P = 0.0059$) とも 40 L 区および無処理区は 200 L 区よりも有意に多かった. 2017 年の選択性農薬茶園におけるチャノミドリヒメヨコバイの個体数は, 葉層上部においては処理区間に有意差が認められず ($F = 0.60$, $df = 2, 20$, $P = 0.5552$), 葉層最下部では 40 L (秋 90 L) 区が最少で, 最多は無処理区, 200 L 区はそれらの中間にあり ($F = 16.83$, $df = 2, 20$, $P < 0.0001$), 全処理区間に有意差が認められた. チャノミドリヒメヨコバイの発生ピークは 5 月中下旬と 6 月下旬で, 7 月中旬以降は個体数が少ない状態で横ばいに推移した. チャノミドリヒメヨコバイの個体数は非選択性および選択性農薬茶園の全処理区において, 2 年間ともに葉層の最下部

よりも上部で有意に多く、最下部は上部比で16~94%であった(表6)。

チャノキアザミウマの葉層内における個体数推移を図7に示した。2016年の非選択性農薬茶園の葉層最下部におけるチャノキアザミウマの個体数については、無処理区は200L区よりも有意に少なく、40L区は無処理区および200L区と同等であった($F=3.88$, $df=2, 21$, $P=0.0284$) (図7A)。しかし、チャノキアザミウマの個体数は、非選択性農薬茶園の葉層上部(2016: $F=1.26$, $df=2, 21$, $P=0.2929$; 2017: $F=0.66$, $df=2, 22$, $P=0.5213$) および2017年の葉層最下部($F=0.004$, $df=2, 22$, $P=0.9955$)、さらに選択性農薬茶園の葉層上部(2016: $F=0.03$, $df=2, 20$, $P=0.9743$; 2017: $F=3.22$, $df=2, 20$, $P=0.0506$) および葉層最下部(2016: $F=0.76$, $df=2, 20$, $P=0.4731$; 2017: $F=1.49$, $df=2, 20$, $P=0.2369$) において、処理区間に有意差は認められなかった(図7B)。チャノキアザミウマの発生ピークについては、2016年は8月

であったが、2017年は明確ではなかった。チャノキアザミウマの個体数は非選択性および選択性農薬茶園の全処理区において、葉層の最下部よりも上部で2年間ともに有意に多く、最下部は上部比で12~38%であった(表6)。

クワシロカイガラムシ雄成虫の葉層内における個体数推移を図8に示した。2016年の非選択性農薬茶園の葉層最下部では、クワシロカイガラムシ雄成虫の個体数に処理区間の有意差が認められなかったが($F=2.22$, $df=2, 21$, $P=0.1214$)、葉層上部においては、無処理区は200L区よりも有意に少なく、40L区は無処理区および200L区と同等であった($F=5.37$, $df=2, 21$, $P=0.0084$) (図8A)。2016年の選択性農薬茶園におけるクワシロカイガラムシ雄成虫の個体数は、葉層上部では40L(秋90L)区が200L区よりも有意に少なく、無処理区は40L(秋90L)区および200L区と同等($F=4.49$, $df=2, 20$, $P=0.0175$)で、葉層最下部では40L(秋90L)区および無

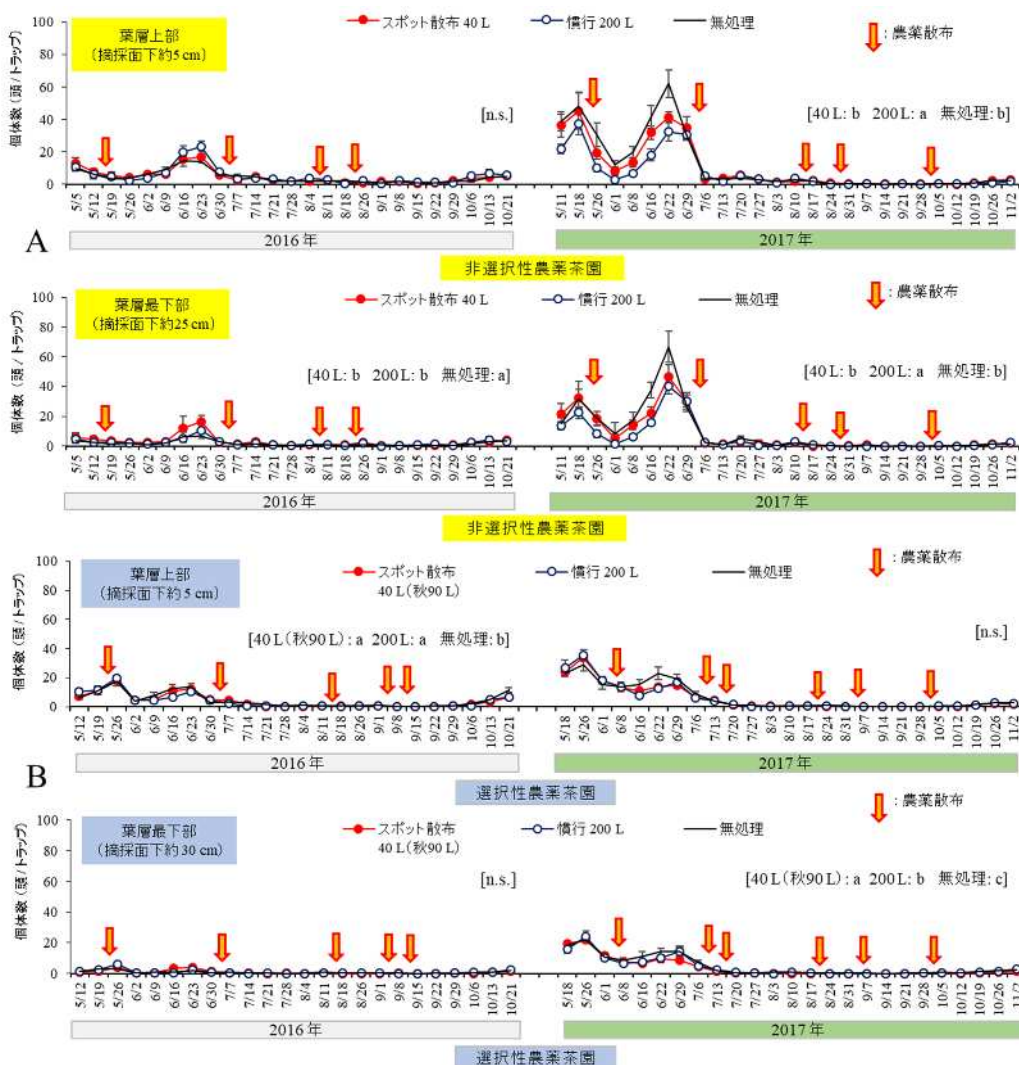


図6 農薬散布前後のチャノミドリヒメヨコバイの個体数推移 (A: 非選択性農薬茶園; B: 選択性農薬茶園)

注) データとエラーバーは平均±標準誤差を示す。各年の異なる英文字間には、有意差あり (Tukey-Kramer法, $P < 0.05$; n.s., not significant)。

表 6 白色粘着トラップで捕獲された主要害虫の合計個体数

茶園	年	処理区(L/10 a)	葉層内の トラップ設 置位置	トラップ当たりの個体数(頭)			
				チャノドリヒメコ バイ	チャノキイロアザ ミウマ	クワシロカイガラ ムシ	
非選択性 農薬	2016 (5~10月)	スポット散布 40 L	上部	95.5 ± 6.2	** 344.8 ± 38.4	** 161.7 ± 16.1	n.s.
			最下部	62.8 ± 10.7	90.5 ± 12.1	136.3 ± 17.9	
		慣行 200 L	上部	110.2 ± 11.8	** 383.3 ± 34.3	** 297.8 ± 37.2	**
			最下部	48.8 ± 5.3	** 147.3 ± 10.6	222.0 ± 35.9	
		無処理	上部	93.0 ± 5.2	** 465.0 ± 37.0	** 133.3 ± 18.9	n.s.
			最下部	38.5 ± 3.3	102.0 ± 8.0	94.5 ± 11.4	
	2017 (5~11月)	スポット散布 40 L	上部	160.7 ± 13.8	** 369.3 ± 32.9	** 40.8 ± 6.0	n.s.
			最下部	136.2 ± 14.9	110.0 ± 11.6	31.3 ± 6.9	
		慣行 200 L	上部	118.8 ± 11.5	** 386.5 ± 25.2	** 64.2 ± 6.3	n.s.
			最下部	111.3 ± 14.4	121.7 ± 10.9	48.3 ± 5.0	
		無処理	上部	193.8 ± 20.6	** 372.3 ± 19.1	** 47.7 ± 17.0	n.s.
			最下部	177.5 ± 23.3	116.5 ± 10.7	32.7 ± 6.0	
選択性 農薬	2016 (5~10月)	スポット散布 40 L (秋 90 L)	上部	58.2 ± 3.1	** 420.2 ± 31.9	** 65.2 ± 4.0	**
			最下部	13.5 ± 0.7	** 52.7 ± 4.1	26.2 ± 2.0	
		慣行 200 L	上部	48.3 ± 4.5	** 506.2 ± 29.0	** 123.2 ± 11.7	**
			最下部	11.7 ± 2.1	74.0 ± 7.9	58.8 ± 5.7	
		無処理	上部	73.7 ± 8.4	** 339.3 ± 41.2	** 72.3 ± 8.1	**
			最下部	11.8 ± 2.4	41.0 ± 4.5	39.7 ± 3.8	
	2017 (6~11月)	スポット散布 40 L (秋 90 L)	上部	60.2 ± 4.5	** 310.8 ± 20.8	** 82.0 ± 12.8	n.s.
			最下部	34.5 ± 2.9	66.3 ± 6.0	58.2 ± 10.2	
		慣行 200 L	上部	58.3 ± 6.4	n.s. 282.7 ± 22.2	** 76.5 ± 8.4	n.s.
			最下部	48.5 ± 6.0	84.8 ± 2.9	72.3 ± 8.7	
		無処理	上部	82.3 ± 12.1	n.s. 301.2 ± 25.3	** 96.7 ± 23.1	*
			最下部	59.7 ± 10.3	n.s. 81.7 ± 8.0	68.7 ± 16.3	

注 1) データは平均±標準誤差を示す。葉層の上部と最下部間における個体数の統計解析は、Wilcoxon の符号付順位と検定で行った。

注 2) アスタリスクは有意差があることを示す (** $P < 0.01$; * $P < 0.05$; n.s., not significant)。

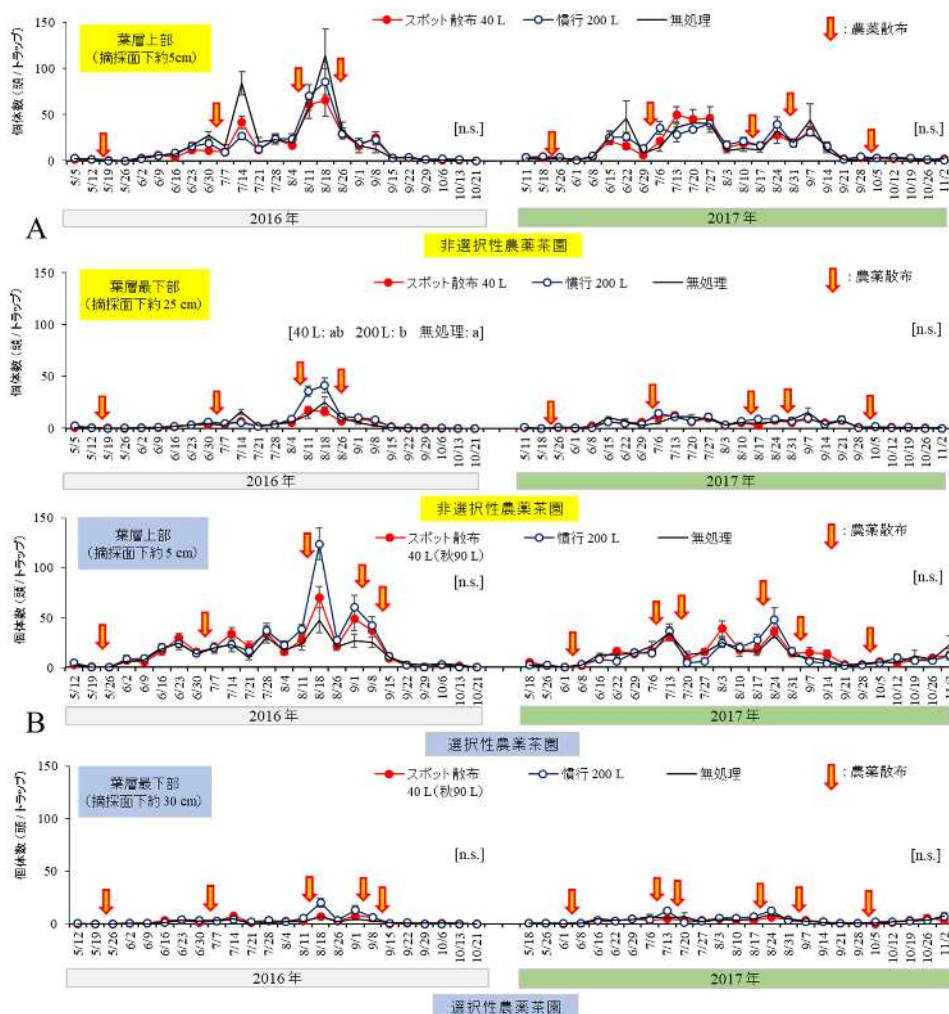


図 7 農薬散布前後のチャノキイロアザミウマの個体数推移 (A: 非選択性農薬茶園; B: 選択性農薬茶園)

注) データとエラーバーは平均±標準誤差を示す。各年の異なる英文字間には、有意差あり (Tukey-Kramer 法, $P < 0.05$; n.s., not significant)。

処理区は200 L区より有意に少なかった ($F=9.68, df=2, 20, P=0.0004$) (図8B). 2017年はクワシロカイガラムシ雄成虫の個体数が2016年よりも少ない状況で推移し、非選択性農薬茶園では葉層上部 ($F=1.58, df=2, 22, P=0.2176$) および葉層最下部 ($F=0.93, df=2, 22, P=0.4040$) ともに処理区間に有意差が認められず、選択性農薬茶園の葉層上部では40 L (秋90 L) 区および200 L区は無処理区よりも有意に少なく ($F=4.94, df=2, 20, P=0.0121$), 葉層最下部 ($F=1.93, df=2, 20, P=0.1580$) では処理区間の有意差は認められなかった. クワシロカイガラムシ雄成虫の発生ピークは6月, 8月, 10月にあり, 40 L区および無処理区よりも200 L区において個体数が多い傾向にあった. なお, クワシロカイガラムシ雄成虫の個体数は葉層の最下部よりも上部で多い傾向にあり, 最下部の個体数は上部比で40~95%であった (表6).

各害虫によるチャ新芽の被害状況を表7に示す. チャ

ノミドリヒメヨコバイの被害指数は40 L区や70 L区と200 L区が同等となった事例が多かったが, 200 L区では被害指数が安定して低かった. チャノキイロアザミウマの被害は処理区間差が判然としない場合が多かったが, 2017年二番茶期の選択性農薬茶園のように, 200 L区の被害指数が無処理区よりも有意に高い事例もあった. チャノホソガの巻葉発生数が最も多かった2017年二番茶期 (選択性農薬茶園) では, 200 L区における巻葉数が最も少なく, 70 L区, 40 L区, 臨時無処理区の順で巻葉数が多くなった. その一方で, チャノホソガの巻葉数は無処理区と農薬を散布した区間の有意差が認められない事例も複数あった.

チャノミドリヒメヨコバイの被害芽率は, 農薬を散布した区よりも無処理区においてほぼ全試験で有意に高くなった. しかし, 無処理区において官能審査の合計点数はやや下がったものの, 収量や品質の処理区間差は不明

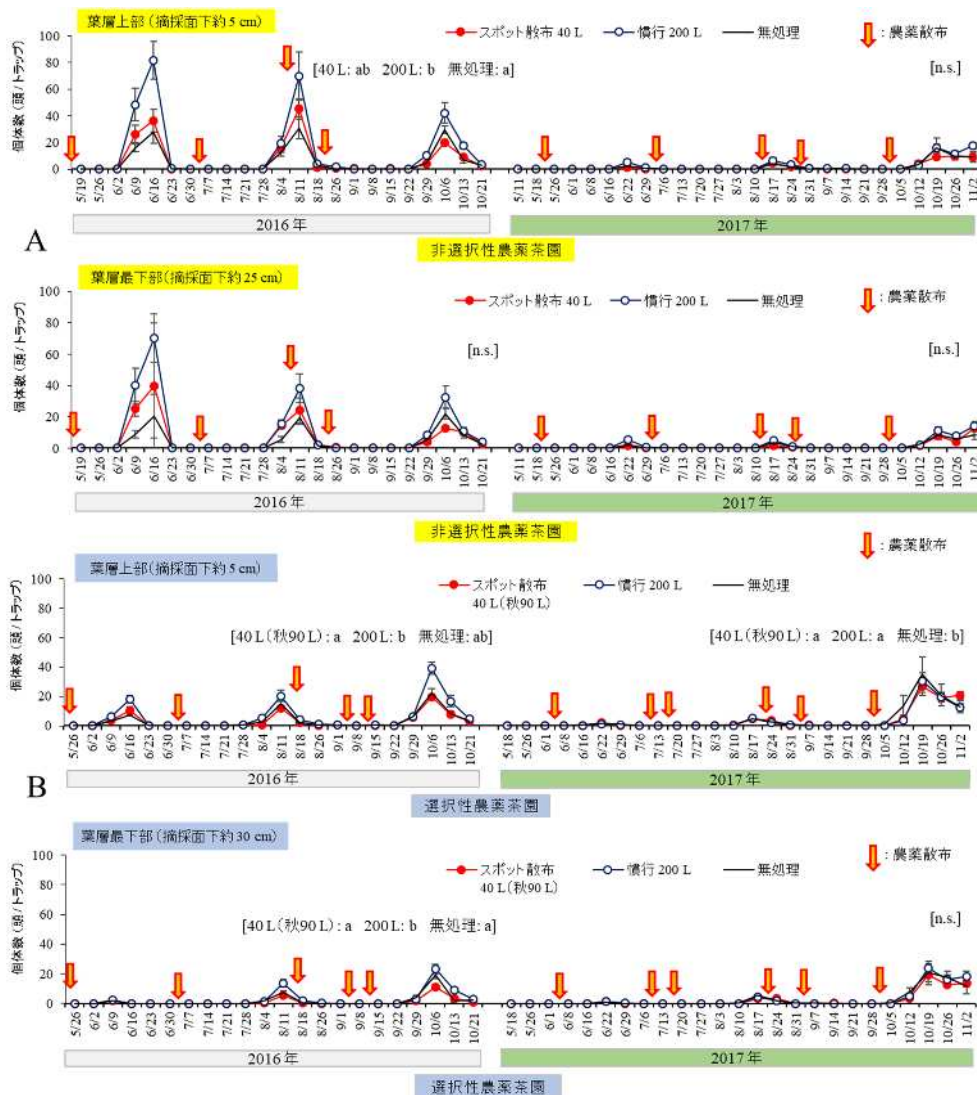


図8 農薬散布前後のクワシロカイガラムシ雄成虫の個体数推移 (A: 非選択性農薬茶園; B: 選択性農薬茶園)
注) データとエラーバーは平均±標準誤差を示す. 各年の異なる英文字間には, 有意差あり (Tukey-Kramer 法, $P < 0.05$; n.s., not significant).

表7 チャの生葉収量と各害虫による新芽の被害状況

茶園	年	茶期	処理区 (L/10 a)	生葉収量 (kg/10 a)	調査芽数 (本)	チャノミドリヒメヨコバイ				チャノキイロアザミウマ		チャノホソガ				
						被害芽率 (%)	重甚被害芽率 (%)	重甚被害防止率 (%)	被害指数	被害芽率 (%)	被害指数	m ² 当たりの巻葉数				
非選択性農薬茶園	2015	二番茶	スポット散布 40 L	502 ± 28.1	n.s.	345	11.0	6.4	17.9	0.39 ± 0.91	a	0	0	0.3 ± 0.1	a	
			慣行 200 L	484 ± 61.9		404	7.7	4.5	42.3	0.28 ± 0.83	a	0.2	0.00 ± 0.05	0.1 ± 0.1	a	
			無処理	498 ± 47.2		358	17.3	7.8	-	0.19 ± 0.68	b	0.8	0.01 ± 0.09	1.0 ± 0.4	b	
		三番茶	スポット散布 40 L	288 ± 31.2	n.s.	264	48.5	34.1	24.1	1.29 ± 1.47	a	0	0	0	a	
			慣行 200 L	302 ± 36.7		288	43.4	29.2	35.0	1.11 ± 1.41	a	0	0	0	a	
			無処理	286 ± 7.4		285	61.4	44.9	-	1.77 ± 1.56	b	0	0	1.3 ± 0.1	b	
	2016	二番茶	スポット散布 40 L	551 ± 56.4	n.s.	376	38.6	26.9	1.5	1.12 ± 1.53	b	0.3	0.00 ± 0.05	0.1 ± 0.0	a	
			慣行 200 L	576 ± 20.3		340	19.4	9.1	66.7	0.48 ± 1.10	a	0.3	0.00 ± 0.05	0	a	
			無処理	585 ± 42.7		407	44.2	27.3	-	1.19 ± 1.49	b	0.2	0.00 ± 0.05	0.9 ± 0.8	b	
		二番茶	スポット散布 40 L	605 ± 52.6	n.s.	439	28.9	6.6	84.2	0.52 ± 0.93	b	0.5	0.00 ± 0.07	0	n.s.	
			慣行 200 L	634 ± 17.6		452	14.2	4.9	88.3	0.28 ± 0.77	a	0.2	0.00 ± 0.05	0		
			無処理	571 ± 86.7		440	70.5	41.8	-	1.87 ± 1.49	c	0.2	0.00 ± 0.05	0.1 ± 0.1		
三番茶	スポット散布 40 L	382 ± 65.1	n.s.	322	29.5	8.7	40.0	0.58 ± 1.06	a	0.3	0.00 ± 0.06	1.8 ± 0.5	b			
	慣行 200 L	450 ± 43.0		382	29.3	9.7	33.1	0.60 ± 1.09	a	0.8	0.01 ± 0.09	0.1 ± 0.1	a			
	無処理	389 ± 51.8		324	43.5	14.5	-	0.91 ± 1.28	b	2.5	0.02 ± 0.14	9.7 ± 2.4	c			
選択性農薬茶園	2015	二番茶	スポット散布 40 L	540 ± 35.8	n.s.	1256	3.4	0.0	100	0.08 ± 0.47	b	0	0	0.01 ± 0.02	a	
			スポット散布 70 L	524 ± 39.0		1184	1.4	0.0	100	0.03 ± 0.30	a	0	0	0	a	
			慣行 200 L	556 ± 59.9		398	0.5	0.0	100	0.01 ± 0.11	a	0	0	0	a	
		三番茶	無処理	556 ± 99.4	383	20.1	0.2	-	0.55 ± 1.12	c	0.3	0.00 ± 0.05	1.2 ± 1.3	b		
			スポット散布 40 L	295 ± 36.8	n.s.	1225	4.2	2.1	93.0	0.10 ± 0.50	a	0.5	0.01 ± 0.07	0.1 ± 0.1	n.s.	
			スポット散布 70 L	310 ± 38.0		1344	8.0	5.0	83.3	0.20 ± 0.76	b	0.5	0.00 ± 0.07	0.1 ± 0.1		
	慣行 200 L	304 ± 47.6	347	1.4		0.1	99.7	0.03 ± 0.30	a	3.2	0.03 ± 0.18	0.1 ± 0.0				
	2016	二番茶	無処理	258 ± 61.6	n.s.	317	37.9	30.0	-	1.18 ± 1.63	c	0	0	0.5 ± 0.3	n.s.	
			スポット散布 40 L	527 ± 96.0		a	417	44.1	15.3	70.5	0.94 ± 1.26	b	0.5	0.00 ± 0.05		2.1 ± 1.1
			スポット散布 70 L	494 ± 84.6		ab	359	42.3	16.7	67.8	0.96 ± 1.28	b	0.3	0.00 ± 0.05		3.4 ± 0.6
		三番茶	慣行 200 L	476 ± 66.9	ab	452	20.4	6.2	88.0	0.38 ± 0.88	a	2.2	0.03 ± 0.19	2.3 ± 1.4	n.s.	
			無処理	281 ± 99.2	b	411	64.2	39.2	-	1.80 ± 1.61	c	1.7	0.02 ± 0.15	4.2 ± 3.3		
臨時無処理			448 ± 91.2	ab	390	80.3	51.8	-	2.32 ± 1.47	d	2.6	0.00 ± 0.05	7.3 ± 1.5			
2017	二番茶	スポット散布 40 L	306 ± 44.8	n.s.	395	3.3	1.3	91.9	0.06 ± 0.37	a	3.5	0.04 ± 0.24	0	n.s.		
		スポット散布 70 L	321 ± 69.5		396	3.0	0.5	96.9	0.05 ± 0.33	a	3.0	0.04 ± 0.21	0			
		慣行 200 L	253 ± 42.4		292	4.5	1.4	91.3	0.09 ± 0.46	a	3.8	0.03 ± 0.16	0			
	三番茶	無処理	190 ± 75.4	n.s.	267	30.0	14.2	-	0.72 ± 1.26	b	4.9	0.05 ± 0.24	0	n.s.		
		臨時無処理	233 ± 20.8		324	34.0	16.0	-	0.84 ± 1.35	b	5.2	0.07 ± 0.32	0.03 ± 0.03			
		スポット散布 40 L	569 ± 15.1		a	481	31.2	9.6	83.1	0.64 ± 1.10	b	0.8	0.01 ± 0.12		8.4 ± 3.3	ab
2017	二番茶	スポット散布 70 L	619 ± 71.5	a	483	29.8	9.5	83.1	0.59 ± 1.04	b	0.4	0.00 ± 0.06	6.1 ± 1.6	b		
		慣行 200 L	482 ± 55.2	a	432	14.4	3.7	93.4	0.27 ± 0.75	a	3.5	0.04 ± 0.19	3.8 ± 0.1	a		
		無処理	192 ± 102.8	b	297	45.1	29.6	-	1.32 ± 1.66	c	1.7	0.02 ± 0.13	-	-		
	三番茶	臨時無処理	369 ± 30.8	ab	439	76.3	56.5	-	2.42 ± 1.63	c	0.7	0.01 ± 0.08	21.8 ± 9.9	c		
		スポット散布 40 L	429 ± 8.0	a	450	1.3	0.2	97.6	0.02 ± 0.23	a	3.1	0.03 ± 0.17	0.1 ± 0.1	n.s.		
		スポット散布 70 L	394 ± 29.2	ab	513	0.2	0	100	0.00 ± 0.04	a	1.9	0.02 ± 0.16	0.04 ± 0.1			
慣行 200 L	293 ± 23.6	ab	374	0.8	0	100	0.01 ± 0.09	a	2.9	0.03 ± 0.17	0					
2017	三番茶	無処理	254 ± 97.3	b	288	23.3	9.4	-	0.53 ± 1.13	b	5.6	0.04 ± 0.20	ab	-		
		臨時無処理	386 ± 42.1	ab	366	10.9	1.4	-	0.17 ± 0.58	b	4.4	0.06 ± 0.27	0.4 ± 0.4	-		

注1) 生葉収量, 被害指数および巻葉数のデータは平均±標準偏差を示す。生葉収量については, 分散分析で有意差が認められた場合は, Tukey-Kramer法で多重比較を行った ($P < 0.05$)。被害指数および巻葉数については, Kruskal-Wallis検定で有意差が認められた場合は, Steel-Dwss法で多重比較を行った ($P < 0.05$)。各茶期の異なる英文字間には, 有意差あり ($P < 0.05$; n.s., not significant)。

注2) 非選択性農薬茶園の2016年三番茶期については, データなし(連日の降雨により, 適期防除ができなかったため)。

瞭であった(表7,8)。なお,炭疽病に対する殺菌剤も散布していない選択性農薬茶園(品種:‘やぶきた’)の無処理区では,1年目の秋芽生育期に感染した炭疽病による落葉,樹勢低下,新芽の生育不揃い等の症状が翌年の二・三番茶期から認められたため,2年目以降の無処理区の新芽被害については,臨時無処理区のデータを代用した。クワシロカイガラムシによる樹勢低下に伴う収量への影響については,判然としなかった。

(3) 考察

チャノミドリヒメヨコバイの被害指数は茶樹葉層内の農薬被覆面積率が低い40L区よりも高い200L区(第1章第1・2節および第2章第1節)において安定して低

く,チャノミドリヒメヨコバイの防除が農薬に頼られている実態¹³⁰⁾を反映する結果となった。一方,各年の調査期間を通じた200L区のチャノミドリヒメヨコバイの個体数は,40L(40L(秋90L))区と同等からやや少ない程度に止まり,さらに,無処理区より多い結果もあった。チャノミドリヒメヨコバイの行動は葉の裏側や茎上での歩行と数十センチ単位の短距離飛翔を主体とし⁵⁴⁾,新梢の葉や茎を加害するが,老齢幼虫や成虫は1つの芽に定着せず,飛び跳ねて他の葉や新芽に移動する³⁷⁾。チャノミドリヒメヨコバイの個体数については,葉層の上部は最下部よりも有意に多かったが,最下部の個体数が上部比で94%に至った事例もあるなど,最下部でも多数の個体が行動していると考えられた。これらのことから,チ

表8 官能審査および近赤外分光分析法による荒茶の分析結果

茶園	年	茶期	処理区(L/10 a)	官能審査(点)					荒茶成分分析(乾物%)							
				形状	色沢	香气	水色	滋味	合計	全窒素	遊離アミノ酸	テアニン	NDFASH	タンニン	カフェイン	ビタミンC
非選択性 農薬茶園	2015	二番茶	スポット散布 40 L	13.0	13.0	11.5	12.5	12.0	62.0	4.5	2.4	1.1	23.4	14.0	2.7	0.47
			慣行 200 L	12.5	12.5	12.5	13.0	13.0	63.5	4.3	2.2	1.0	24.1	14.1	2.6	0.48
			無処理	12.0	11.0	12.5	12.0	12.5	60.0	4.6	2.4	1.1	22.7	14.5	2.6	0.50
		三番茶	スポット散布 40 L	11.0	10.5	11.0	11.5	11.0	55.0	4.2	1.3	0.4	24.0	15.9	2.6	0.42
			慣行 200 L	11.0	11.0	10.5	11.0	11.0	54.5	4.2	1.2	0.4	24.4	15.9	2.5	0.45
			無処理	11.0	10.5	10.0	11.5	10.5	53.5	4.2	1.3	0.5	24.1	15.4	2.6	0.39
	2016	二番茶	スポット散布 40 L	12.0	12.0	12.5	12.5	12.0	61.0	4.5	1.6	0.7	23.0	15.0	2.7	0.33
			慣行 200 L	12.0	12.0	12.0	12.5	12.0	60.5	4.5	1.6	0.7	23.1	15.3	2.6	0.35
			無処理	12.0	12.0	12.0	12.5	12.0	60.5	4.6	1.6	0.7	22.9	15.4	2.8	0.34
		二番茶	スポット散布 40 L	12.3	12.3	12.0	12.8	12.0	61.3	4.6	2.2	0.9	22.6	15.0	2.7	0.41
			慣行 200 L	12.5	12.5	11.8	13.0	12.0	61.8	4.7	2.4	1.1	22.3	14.6	2.7	0.44
			無処理	12.0	12.0	12.0	12.5	11.5	60.0	4.6	2.2	1.0	22.2	15.1	3.0	0.36
2017	三番茶	スポット散布 40 L	9.5	9.0	9.0	9.5	9.0	46.0	3.8	0.8	0.1	25.7	16.5	2.6	0.34	
		慣行 200 L	9.5	9.5	9.5	9.8	9.5	47.8	3.8	0.8	0.1	26.2	15.9	2.4	0.37	
		無処理	9.3	9.3	9.3	9.3	9.0	46.0	3.8	0.8	0.1	25.6	16.6	2.5	0.37	
	二番茶	スポット散布 40 L	13.3	13.0	13.3	12.8	12.8	65.3	4.7	2.1	0.9	22.1	15.0	2.6	0.42	
		スポット散布 70 L	13.2	13.2	13.0	13.2	12.5	65.0	4.7	2.1	1.0	22.2	14.9	2.6	0.44	
		慣行 200 L	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	67.5	4.7	2.1	1.0	22.8	14.6	2.5	0.46	
選択性 農薬茶園	2015	二番茶	スポット散布 40 L	11.8	11.7	11.5	11.8	11.7	58.5	4.3	1.5	0.6	22.5	16.8	2.9	0.46
			スポット散布 70 L	11.7	11.8	11.3	11.5	11.2	57.5	4.3	1.4	0.5	22.8	17.3	2.9	0.49
			慣行 200 L	12.0	12.0	11.5	12.0	12.0	59.5	4.4	1.6	0.7	22.6	16.4	2.8	0.44
		三番茶	無処理	12.0	11.5	11.5	11.0	10.5	56.5	4.5	1.6	0.7	21.7	17.2	3.1	0.43
			スポット散布 40 L	13.0	12.8	12.8	12.8	13.0	64.4	4.2	1.5	0.5	23.0	17.4	2.8	0.46
			スポット散布 70 L	12.8	12.8	12.8	13.3	13.0	64.7	4.3	1.8	0.7	23.4	15.9	2.7	0.44
	2016	二番茶	慣行 200 L	12.5	13.0	12.8	13.0	13.3	64.6	4.3	1.8	0.7	23.1	16.0	2.6	0.46
			無処理	12.5	12.5	13.0	12.5	12.5	63.0	4.1	1.3	0.4	22.6	17.9	2.8	0.45
			臨時無処理	13.0	12.5	12.5	12.0	12.5	62.5	4.1	1.4	0.5	23.6	17.2	2.8	0.45
		三番茶	スポット散布 40 L	10.0	10.0	10.0	9.3	9.5	48.8	3.7	0.9	0.1	26.8	16.4	2.1	0.49
			スポット散布 70 L	10.0	10.0	10.5	10.0	10.5	51.0	3.7	0.9	0.1	26.7	16.3	2.0	0.49
			慣行 200 L	10.0	10.0	10.0	9.3	9.5	48.8	3.6	0.9	0.1	26.7	16.2	2.1	0.48
2017	二番茶	無処理	9.5	10.0	9.8	10.0	10.3	49.6	3.7	0.7	0.0	25.7	17.9	2.3	0.50	
		臨時無処理	9.5	10.0	9.5	9.8	10.0	48.8	3.7	0.8	0.0	26.5	17.1	2.2	0.51	
		スポット散布 40 L	11.8	11.3	11.5	12.0	10.8	57.3	4.0	1.4	0.4	24.1	17.4	2.6	0.53	
		スポット散布 70 L	11.8	11.5	11.3	13.0	11.0	58.5	4.1	1.6	0.5	23.9	16.8	2.6	0.50	
		慣行 200 L	12.0	11.5	11.5	13.5	11.8	60.3	4.3	1.8	0.7	22.7	17.2	2.8	0.50	
		無処理	11.5	10.8	11.3	11.8	10.5	55.8	4.1	1.2	0.2	21.8	20.1	3.1	0.50	
	三番茶	臨時無処理	11.8	11.3	10.8	12.8	11.3	57.8	4.3	1.5	0.6	21.5	18.5	3.1	0.46	
		スポット散布 40 L	10.5	11.0	10.0	10.3	9.5	51.3	3.6	0.7	0.0	25.9	18.4	2.3	0.51	
		スポット散布 70 L	10.5	10.8	9.8	10.3	9.3	50.5	3.6	0.4	0.0	25.7	19.7	2.3	0.57	
		慣行 200 L	10.8	10.5	9.8	10.3	10.0	51.3	3.6	0.7	0.0	25.4	18.7	2.3	0.53	
		無処理	10.5	10.5	9.5	9.8	9.3	49.5	3.6	0.3	0.0	25.0	20.6	2.5	0.56	
		臨時無処理	10.5	11.0	9.8	10.0	9.3	50.5	3.5	0.5	0.0	25.4	19.7	2.4	0.56	

注) 非選択性農薬茶園の2016年三番茶期については、データなし(連日の降雨により、適期防除ができなかったため)。

ヤノミドリヒメヨコバイは葉層内における農薬被覆状況を認知して、農薬被覆面積率が低く安全な葉層最下部や成葉裏等へ回避行動をとっている可能性があり、また、チャ新芽の被害程度は、新葉やその周辺の葉柄、成葉、枝等を被覆している農薬の程度に対するチャノミドリヒメヨコバイの回避行動の差によると推測された。チャノミドリヒメヨコバイの防除については、農薬散布を慣行量(200 L/10 a)から40 L/10 aにまで削減可能な機会が多いと考えられたが、発生量に応じた適切な散布量設定については、チャノミドリヒメヨコバイの農薬に対する回避行動や発生予測に基づいた被害予測等についての研究をさらに深める必要がある。

チャノキイロアザミウマの個体数は葉層の最下部よりも上部において有意に多く、また、チャ新芽の被害が無処理区よりも200 L区で大きかった事例や、200 L区において突発的な個体数の増加が確認されたことが特徴で

あった。さらに、チャノキイロアザミウマの防除効果については、農薬で被覆される範囲が摘採面付近にスポット化される40 L区と、葉層最下部の成葉表面も農薬で約20~50%が被覆される200 L区(第1章第1・2節および第2章第1節)が同等となった事例も多かったことから、チャノキイロアザミウマの密度が低い場合においては、葉層下部まで被覆される量の農薬を散布する必要性は低いと考えられた。

有機栽培や無農薬栽培を長期実践している農業者にはクワシロカイガラムシがさほど問題視されていない¹³⁸⁾。無農薬茶園においては宿主であるクワシロカイガラムシの密度が低いために天敵類の個体数は少ないものの、天敵相の保護によってクワシロカイガラムシの密度抑制が安定化するように²⁴⁾、クワシロカイガラムシの天敵類は潜在的に大きな寄主密度抑制能力を有していると言われている¹¹²⁾。本研究においても、クワシロカイガラムシ雄

成虫の個体数が 200 L 区よりも無処理区や 40 L (40 L (秋 90 L)) 区で少ない傾向にあったが、このことは、無処理区や 40 L (40 L (秋 90 L)) 区のクワシロカイガラムシ天敵類によるクワシロカイガラムシ密度抑制効果が 200 L 区よりも高かったことによると推測される。また、寄生蜂類に悪影響を及ぼす農薬散布の制限はクワシロカイガラムシ雄繭発生程度の低下につながるとされるように¹³⁸⁾、クワシロカイガラムシ雄成虫が少なかった無処理区や 40 L (40 L (秋 90 L)) 区では、200 L 区よりも寄生蜂類の個体数が多い傾向にある (第 2 章第 3 節)。一方、クワシロカイガラムシの有力土着天敵のヒメアカホシテントウ *Chilocorus kuwanae* Silvestri (Coleoptera: Coccinellidae)⁸¹⁾、⁶⁷⁾は処理区間の個体数に有意差が認められず、ハレヤヒメテントウ *Pseudoscymnus hareja* (Coleoptera: Coccinellidae)²⁵⁾、⁶⁷⁾は発生数がわずかであり、処理区間差は判然としない (第 2 章第 3 節)。これらのことから、本研究茶園におけるクワシロカイガラムシ雄成虫の個体数の処理区間差は、天敵寄生蜂類の寄与の大きさによった可能性が高いと考えられた。なお、2017 年のクワシロカイガラムシ第一世代が極少数の確認に止まった要因は明らかではないが、寄生性天敵群集の総寄生率が 70~80% に達した後に次世代のクワシロカイガラムシ密度が激減したとの先例からも⁸¹⁾、クワシロカイガラムシの密度減少は天敵類の関与がその一因であると思われる。少なくとも、チャ新芽を加害する主要 3 害虫 (チャノミドリヒメヨコバイ、チャノキイロアザミウマおよびチャノホソガ) を対象とした慣行量 (200 L/10 a) の農薬散布が、非標的であるクワシロカイガラムシの天敵類へ悪影響を及ぼすとともに、そのことがクワシロカイガラムシの発生量に影響している可能性が考えられた。

チャノホソガの巻葉数の m² 当たり被害許容目安は 30~40 以下³²⁾であり、大橋⁶⁴⁾は二番茶期における許容水準のチャノホソガの被害芽率を 2.2~2.7% 以下としている。本研究ではチャノホソガの m² 当たりの最多巻葉数は 21.8、最高値の被害芽率は約 1.2% であったように、チャノホソガの被害発生レベルでの検証には至らなかった。しかしながら、チャノホソガの巻葉抑制効果は農薬散布量の多い区ほど高いデータが得られ、また、農薬散布自体が不要と考えられる 200 L 区と無処理区の巻葉数に有意差が認められない事例も確認された。今後、チャノホソガの被害程度が農薬散布前において予測可能になれば、必要な農薬散布量の設定や農薬散布自体を行わない等の判断が可能になるが、チャノホソガのフェロモントラップによる誘殺数と被害巻葉数が同調しないことや⁴⁷⁾、⁴⁶⁾、IGR 剤に対するチャノホソガの薬剤抵抗性個体の出現²³⁾

などの現状課題の解決がまずは必要である。さらに、白木・大橋¹⁰¹⁾は無農薬茶園と農薬散布茶園 (農薬散布量は 400 L/10 a が主体で、一部で 200 L/10 a) におけるチャノミドリヒメヨコバイ、チャノキイロアザミウマおよびチャノホソガの 4 年間の発生量と発生消長が同等であり、かつ、収量と荒茶の官能審査結果にも明確な差が生じなかったとしたうえで、無農薬茶園における数種の天敵類の害虫密度低下への寄与をその理由として考察している。チャノホソガの防除において農薬散布量の削減を図るためには、これらのチャノホソガの生態や天敵類等に関する課題にも取り組む必要がある。

國本・井上³⁹⁾はナス栽培におけるカンザワハダニの防除において、感水紙への農薬付着による変色割合を視覚的に 0 から 8 ヘランク分けし、付着指数 5 以上で 70% 以上の死亡率となる目安を得ている。また、藤田ら⁸⁾はインゲン葉に完全に農薬が付着した場合の農薬付着指数を 10 とした場合に、カンザワハダニに対して防除効果を得るために必要な下限指数を 4 とした。このように、農作物やその害虫の許容水準によっても防除効果を得るために必要な農薬の被覆程度は異なると考えられる。チャノミドリヒメヨコバイおよびチャノキイロアザミウマの被害やチャノホソガの巻葉数が、摘採面-5 cm の成葉表面の農薬被覆面積率が約 40~70% の 40 L/10 a 散布と、90% 以上の慣行量散布 (200 L/10 a) で同等となった事例も本研究 (第 2 章第 1 節) から得られている。害虫の発生量や被害抑制の目標レベルにもよるが、保護対象部位を農薬で完全に被覆する必要は高くはなく、そのことで必要な農薬散布量も少なくできると考えられた。

第 2 章 茶樹摘採面への少量スポット散布が葉層内の天敵類およびその他の昆虫類に及ぼす影響

第 1 節 クモ類

本邦では、チャの仕立てが一般に株状であるために、チャ害虫の天敵類、特にクモ類にとって生息に適した環境が形成されているが、それにはとりわけ厚い葉層の維持管理が重要である²⁶⁾。さらに、天敵類への悪影響を抑えるためには、葉層下部に可能な限り農薬を付着させない農薬散布方法が求められる¹¹²⁾、¹³⁹⁾。国内の一般的な茶園では 10 a 当たり 200 L の農薬が散布され²⁸⁾、無農薬で管理されている茶園よりも天敵類の密度は低い¹¹²⁾。これらのことから、慣行量 (200 L/10 a) の農薬散布では天敵類の生息場所である葉層内に農薬が多く到達するため、天敵類の保護が十分に図られていないとの仮説を立てた。また、農薬散布量を慣行量 (200 L/10 a) の 1/5~1/3 に削減しても、慣行量の農薬散布と同等の害虫防除効果が得

られた事例や(第1章第2節)、葉上の殺虫剤デルタメトリンの有無がサラグモ科の一種の歩行行動に影響すること¹⁹⁾も知られていることから、茶樹摘採面付近への少量スポット散布によれば、少ない農薬散布量によって害虫防除効果が得られるとともに、葉層内においてクモ類の保護も図られる可能性があると考えた。

クモ類は農業生態系において種類が特に豊富な天敵類のグループのひとつであり、様々な害虫の天敵として重要な役割を担っている⁸⁶⁾。クモ類は広食性の天敵類であるために、すべての種が特定の害虫に対して有効ではないものの、クモ類の多様性を保全することは様々な害虫を制御するために大切である^{41), 128)}。茶園においては、ネコグモ *Trachelas japonicus* Bösenberg & Strand (Araneae: Corinnidae) とアサヒエビグモ *Philodromus subaureolus* Bösenberg & Strand (Araneae: Philodromidae) がチャノミドリヒメヨコバイの密度制御を行う事例³⁶⁾が知られているように、クモ類の個体数が多いほどチャノミドリヒメヨコバイとチャノキイロアザミウマが効果的に密度抑制される¹⁰⁾。しかし、クモ類は殺虫剤や殺ダニ剤に対して一般的に感受性が高く^{65), 10), 85), 86)}、クモ類やその他の天敵類は農薬を散布している茶園よりも無農薬茶園において多い¹⁰¹⁾。それゆえに、茶園のクモ類に対する農薬散布の影響が緩和されるならば、生き残ったクモ類による害虫に対する抑制効果が期待できるとの仮説も立てた。さらに、農薬に限られた範囲のみに散布された場合、クモ類は農薬が散布されていない場所へ避難することによって個体数を回復させるとの先行研究⁸⁸⁾もある。そこで本研究では、茶園における少量スポット散布(40 L/10 a)が、葉層内のクモ類の個体数の保護に有効に機能するかを確かめることを目的に、少量スポット散布(40 L/10 a)と慣行量(200 L/10 a)の農薬散布下それぞれにおけるクモ類の個体数および科(上科)構成を比較した。なお、現場の茶園ではIGR剤やネオニコチノイド剤、ジアミド剤のような選択性農薬が使用されるが、本研究では散布量の差がクモ類に及ぼす影響を明らかにするため、天敵類に対して影響が大きい非選択性の殺虫剤^{74), 79)}を主な供試農薬として使用した。

(1) 試験(実験)材料および方法

本研究は第1章第2節と同じ鹿児島県農業開発総合センター茶業部の非選択性農薬茶園(品種: 'くりたわせ')において行い、処理区は、40 L区、200 L区および無処理区の計3区である。農薬散布用機械の設定値も第1章と同じで、圃場面積は約240 m²、各区の面積は12.6 m²、反復数は3、処理を行ったうね間には無処理の緩衝うね

を設け、葉層の厚みは約25 cmである。供試農薬は茶で登録があるフェンプロパトリン、ペルメトリン、ピフェントリンおよびシペルメトリンの4剤である(表9)。農

表9 クモ類の研究で使用した農薬の散布日、散布量および濃度

散布日	農薬を散布した茶期	散布量(L/10 a)		農薬の種類(成分%)	殺ダニ活性	濃度(ppm)
		スポット散布	慣行			
2015年						
5/8	二番茶	40	200	フェンプロパトリン(10)	有	100
6/24	三番茶	40	200	フェンプロパトリン(10)	有	100
2016年						
5/13	二番茶	40	200	フェンプロパトリン(10)	有	100
7/1	三番茶	40	200	フェンプロパトリン(10)	有	100
8/8	秋芽-1回目	40	200	フェンプロパトリン(10)	有	100
8/24	秋芽-2回目	40	200	ペルメトリン(20)		100
2017年						
5/19	二番茶	40	200	ピフェントリン(2)	有	20
7/3	三番茶	40	200	シペルメトリン(6)		60
8/16	秋芽-1回目	40	200	ペルメトリン(20)		100
8/30	秋芽-2回目	40	200	ピフェントリン(2)	有	20

薬散布は二・三番茶芽生育期(チャノミドリヒメヨコバイ、チャノキイロアザミウマおよびチャノホソガが防除対象)の散布適期である1葉期と秋芽生育期の散布適期である1・3葉期(チャノミドリヒメヨコバイおよびチャノキイロアザミウマが防除対象)に行った。2015年の調査は三番茶シーズンとともに7月下旬で終了したが、少量スポット散布のその後の影響についても明らかにするため、2016年および2017年は秋まで調査期間を延長した。平均気温や平均降水量、相対湿度は研究茶園から直線で約18 kmの距離にある気象庁の枕崎特別地域気象観測所のデータを用いた。

ア 茶樹葉層内の農薬被覆面積率

農薬散布時における茶樹葉層内の農薬被覆面積率を測定するため、2016年の農薬散布直前に直径7 mmのプラスチック製ボール上に固定した感水紙(WSP: 52×76 mm; Syngenta, Basel, Switzerland)を茶樹葉層の上部(摘採面-5 cm)および最下部(摘採面-25 cm)にそれぞれ6枚設置した。農薬散布後の感水紙の回収と画像処理方法については、第1章と同じ手順とした。

イ クモ類の調査

クモ類のサンプリング期間は2015年の5~7月と2016年および2017年の5~9月までとした。調査日は農薬散布直前および農薬散布から約7・14・21日後としたが、2016年および2017年は農薬散布2~3日後の調査をさらに追加した。素手による10回のたたき落とし方法にてクモ類を採集するため、12.6 m²の処理区から4ヶ所をランダムに選び、続いて摘採面から約50 cm下の裾下部付近に、表面に粘着剤スプレー(金竜: 株式会社エス・ディ

ー・エス・バイオテック) を吹き付けたプラスチック製シートで包装された A4 版トレイを手で下差えし、その上にクモ類をたたき落とした(図 3)。トレイ上にたたき落とされたクモ類はトレイごと食品用ラップフィルム(日立化成株式会社)で包装し、すべて実験室へ持ち帰って同定した。なお、クモ類の同定は既存の方法のとおり^{3),98)}、科レベルまで分類したが、ヒメグモ科とサラグモ科については同定が困難であるため、これらはヒメグモ上科として分類した。

ウ クモ類とチャノミドリヒメヨコバイおよびチャノキイロアザミウマの相関関係

白色粘着トラップ(10×10 cm 両面: サンケイ化学株式会社)を茶樹葉層の上部(摘採面約-5 cm)および最下部(摘採面約-25 cm)にそれぞれ1枚、各区2ヶ所に設置し、約7日間隔で設置と回収を繰り返した。調査期間は2016年の5~10月と2017年の5~11月初旬までとし、トラップで捕獲されたクモ類とチャノミドリヒメヨコバイおよびチャノキイロアザミウマは前述の食品用ラップフィルムでトラップごと包装して実験室に持ち帰って同定した。クモ類の分類方法はたたき落とし調査と同じである。なお、本調査は第1章第2節と一部重複する。

エ 統計解析

葉層内の農薬被覆面積率の処理区間比較については、感水紙の変色割合データをアークサイン変換した値を Wilcoxon の順位和検定で解析した。クモ類とチャノミドリヒメヨコバイおよびチャノキイロアザミウマについては、各年の初回農薬散布後から最終調査日までに得られた捕獲数データを $\log_{10}(n+0.5)$ 変換した数値で反復測定分散分析し、有意差が認められた場合は Tukey-Kramer 法で、相関関係については Spearman の順位相関係数を用いてそれぞれ解析した。なお、クモ類とチャノミドリヒメヨコバイおよびチャノキイロアザミウマの相関については、同じ調査日に得られた捕獲数の関係性を調べた。これらの統計解析には JMP® 7 software⁹³⁾ を用いた。

(2) 結果

ア 茶樹葉層内の農薬被覆面積率

表 10 に茶樹の葉層上部(摘採面-5 cm)と最下部(摘

採面-25 cm)に設置した感水紙上における農薬被覆面積率(平均±標準誤差)の比較を示す。葉層上部(摘採面-5 cm)における農薬被覆面積率は、200 L 区ではすべての時期において90%を超え、40 L 区の値よりも明らかに高かった($P < 0.01$)。葉層最下部(摘採面-25 cm)の農薬被覆面積率は、200 L 区は $18.7 \pm 3.99\% \sim 48.5 \pm 2.64\%$ 、40 L 区は $0.1 \pm 0.01\% \sim 8.6 \pm 5.48\%$ で、200 L 区は40 L 区よりもすべての時期において有意に高かった($P < 0.01$)。

イ クモ類の調査

(ア) クモ類の個体数推移

図 9 に2015~2017年にかけてのクモ類の個体数推移を示した。各年のクモ類の合計個体数は3年間ともに40 L 区と無処理区には有意差が認められず、200 L 区は40 L 区および無処理区よりも有意に少なかった(2015: $F = 8.07$, $df = 2, 6$, $P = 0.0060$; 2016: $F = 22.72$, $df = 2, 15$, $P < 0.0001$; 2017: $F = 15.04$, $df = 2, 14$, $P < 0.0001$) (表 11, 図 9)。なお、調査期間における平均気温と相対湿度、降水量はそれぞれ、2015年は 22.9°C , 85.9%, 24.4 mm, 2016年は 25.5°C , 83.0%, 9.7 mm, 2017年は 24.9°C , 81.8%, 8.2 mm であった。

二番茶期は3年間ともに全処理区でクモ類の個体数が少なく、処理区間には有意差は認められなかった(2015: $F = 4.15$, $df = 2, 2$, $P = 0.1059$; 2016: $F = 1.82$, $df = 2, 3$, $P = 0.2412$; 2017: $F = 1.28$, $df = 2, 3$, $P = 0.3434$) (表 11, 図 9)。

三番茶期については、2015年のクモ類の合計個体数は200 L 区で少ない傾向にあった($F = 4.00$, $df = 2, 3$, $P = 0.0787$)。2016年三番茶期の農薬散布6日後のクモ類の個体数は、200 L 区では農薬散布直前の20%にまで減少したが、無処理区は農薬散布日前と変わらず、40 L 区においては対照的に増えた(図 9, 10)。2016年三番茶期のクモ類の合計個体数は処理区間に有意差は認められなかったものの、40 L 区は無処理区と同程度で、200 L 区は40 L 区の56%に止まった(表 11, 図 9)。2017年三番茶期のクモ類の合計個体数は、40 L 区と無処理区は同等で、40 L 区および無処理区よりも200 L 区は有意に少なかった($F = 15.88$, $df = 2, 3$, $P = 0.040$)。

2016年秋芽1回目の農薬散布から2日後のクモ類の個体数は、200 L 区では減少したが、40 L 区では増加した

表 10 くりたわせ茶園における葉層内の農薬被覆面積率

処理区 (L/10 a)	n	農薬被覆面積率 (%)							
		葉層上部(摘採面下5 cm)				葉層最下部(摘採面下25 cm)			
		二番茶	三番茶	秋芽-1回目	秋芽-2回目	二番茶	三番茶	秋芽-1回目	秋芽-2回目
スポット散布 40 L	6	59.7 ± 3.97	70.1 ± 3.99	58.9 ± 4.37	41.5 ± 5.47	0.1 ± 0.01	8.6 ± 5.48	0.1 ± 0.03	1.0 ± 0.22
慣行 200 L	6	90.9 ± 2.30	97.7 ± 0.63	95.8 ± 0.93	91.3 ± 2.04	48.5 ± 2.64	36.3 ± 3.01	35.8 ± 3.89	18.7 ± 3.99
統計解析		**	**	**	**	**	**	**	**

注 1) データは平均±標準誤差を示す。処理区間の統計解析は Wilcoxon の順位和検定で行った。

注 2) アスタリスクは有意差があることを示す (** $P < 0.01$)。

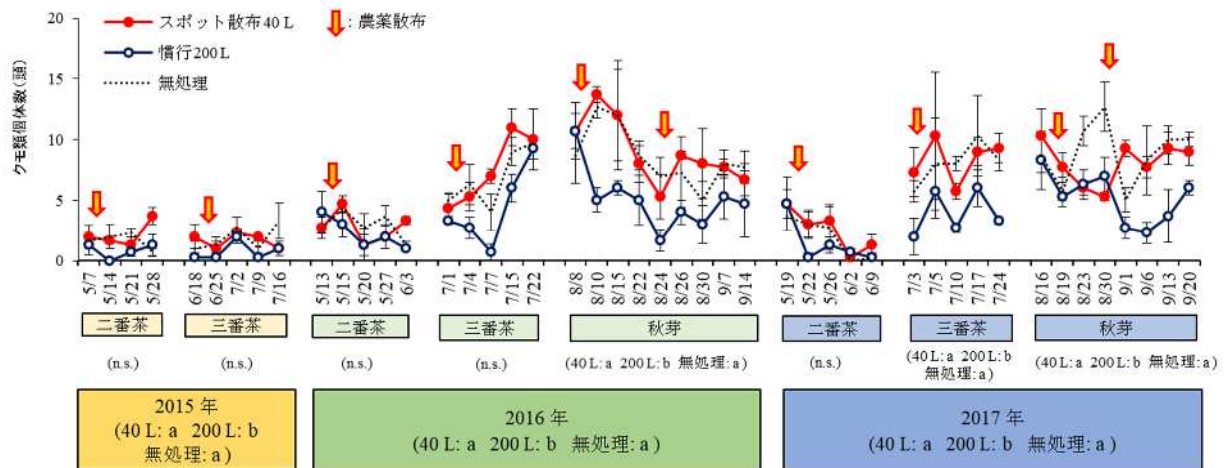


図9 農薬散布前後のクモ類の個体数推移

注) データとエラーバーは平均±標準誤差を示す。各茶期の異なる英文字間には、有意差あり (Tukey-Kramer 法, $P < 0.05$; n.s., not significant)。

表11 農薬散布後3週間以内に確認されたクモ類の合計個体数

農薬を散布した茶期	処理区 (L/10 a)	クモ類個体数(頭)							小計	徘徊性および造網性
		徘徊性								
		ハエトリグモ科	フクログモ科	カニグモ科	キンダグモ科	ササグモ科	アシダカグモ科			
2015年 二番茶	スポット散布 40 L	2.0 ± 0.58	2.3 ± 0.88	0.3 ± 0.33	0	0.3 ± 0.33	0	5.0 ± 0.58	1.7 ± 1.67	
	慣行 200 L	0.7 ± 0.33	0.3 ± 0.33	0	0	0	0	1.0 ± 0.58	1.0 ± 0.58	
	無処理	1.3 ± 0.88	1.7 ± 0.33	0.3 ± 0.33	0.3 ± 0.33	0.3 ± 0.33	0	4.0 ± 1.00	1.0 ± 0.58	
三番茶	スポット散布 40 L	2.0 ± 0.71	1.0 ± 0.71	0.3 ± 0.25	0	0.5 ± 0.29	0	3.8 ± 1.11	0.5 ± 0.29	
	慣行 200 L	1.0 ± 0.71	1.0 ± 0.75	1.0 ± 0.48	0	0	0	3.0 ± 1.19	0.3 ± 0.25	
	無処理	1.5 ± 0.50	2.3 ± 0.63	1.5 ± 1.19	0	0	0	5.3 ± 1.31	0.8 ± 0.48	
2015年 合計 (各区のクモ類 合計個体数)	スポット散布 40 L	14 (35.9)	11 (28.2) a	2 (5.1)	0	3 (7.7)	0	30 (76.9) a	7 (17.9)	
	慣行 200 L	6 (35.3)	4 (23.5) b	3 (17.6)	0	0	0	13 (76.5) b	4 (23.5)	
	無処理	10 (25.0)	14 (35.0) a	7 (17.5)	1 (2.5)	1 (2.5)	0	33 (82.5) a	6 (15.0)	
2016年 二番茶	スポット散布 40 L	3.8 ± 1.11	0.8 ± 0.48	0.5 ± 0.29	0	0.3 ± 0.25	0	5.3 ± 1.11	3.0 ± 1.29	
	慣行 200 L	1.5 ± 0.29	0.3 ± 0.25	0.3 ± 0.25	0	0	0	2.0 ± 0.71	3.3 ± 1.31	
	無処理	3.0 ± 1.08	1.5 ± 0.50	0.3 ± 0.25	0	0	0	4.8 ± 1.49	4.0 ± 1.00	
三番茶	スポット散布 40 L	7.3 ± 1.38	1.0 ± 0.00	5.8 ± 0.63	0.5 ± 0.50	0	0	14.5 ± 2.06	9.8 ± 3.45	
	慣行 200 L	4.8 ± 1.60	0.3 ± 0.25	2.8 ± 1.11	0.3 ± 0.25	0.3 ± 0.25	0	8.3 ± 2.69	5.5 ± 2.96	
	無処理	4.5 ± 1.44	1.0 ± 0.41	7.5 ± 0.87	0	0	0	13.0 ± 2.12	8.3 ± 3.97	
秋芽-1回目	スポット散布 40 L	12.0 ± 1.91	0.3 ± 0.25	3.8 ± 0.85	3.5 ± 1.66 a	0.8 ± 0.75	0	20.3 ± 3.17 a	8.8 ± 2.78 a	
	慣行 200 L	6.0 ± 1.35	0	2.0 ± 0.71	0.5 ± 0.50 b	1.0 ± 0.58	0	9.5 ± 1.94 b	3.8 ± 1.89 b	
	無処理	12.3 ± 1.70	0	3.8 ± 1.11	0.8 ± 0.48 b	1.3 ± 0.95	0	18.0 ± 1.78 a	12.3 ± 3.90 a	
秋芽-2回目	スポット散布 40 L	11.8 ± 1.89	2.0 ± 0.91	3.0 ± 0.71	1.5 ± 1.50	1.8 ± 1.11 a	0	20.0 ± 0.71 a	2.8 ± 1.31	
	慣行 200 L	6.8 ± 1.97	0	1.3 ± 0.25	0.3 ± 0.25	0.3 ± 0.25 b	0	8.5 ± 2.06 b	3.8 ± 1.11	
	無処理	11.0 ± 2.27	3.3 ± 1.18	0.8 ± 0.75	0.8 ± 0.48	0.5 ± 0.50 b	0	16.3 ± 2.43 a	4.3 ± 0.75	
2016年 合計 (各区のクモ類 合計個体数)	スポット散布 40 L	139 (40.4) a	16 (4.7) a	52 (15.1)	22 (6.4) a	11 (3.2)	0	240 (69.8) a	97 (28.2)	
	慣行 200 L	76 (42.0) b	2 (1.1) b	25 (13.7)	4 (2.2) b	6 (3.3)	0	113 (62.1) b	65 (35.7)	
	無処理	123 (37.6) ab	23 (7.0) a	49 (15.0)	6 (1.8) ab	7 (2.1)	0	208 (63.6) a	115 (35.2)	
2017年 二番茶	スポット散布 40 L	2.5 ± 1.32	1.0 ± 0.58	0.8 ± 0.48	0	0.3 ± 0.25	0	4.5 ± 2.22	1.5 ± 0.65	
	慣行 200 L	1.3 ± 0.25	0.3 ± 0.25	0	0	0	0	1.5 ± 0.50	0.5 ± 0.29	
	無処理	1.5 ± 0.65	1.0 ± 0.71	0.5 ± 0.29	0	0.5 ± 0.29	0	3.5 ± 1.76	1.0 ± 0.58	
三番茶	スポット散布 40 L	6.0 ± 1.78	2.3 ± 0.48	14.5 ± 3.33 a	0	0	0	22.8 ± 3.35 a	2.8 ± 0.85	
	慣行 200 L	3.5 ± 0.50	1.5 ± 0.65	6.8 ± 2.50 b	0	0.3 ± 0.25	0	12.0 ± 2.94 b	1.3 ± 0.48	
	無処理	4.8 ± 1.55	2.5 ± 0.65	15.3 ± 3.33 a	0.3 ± 0.25	1.0 ± 1.00	0	23.8 ± 1.80 a	2.0 ± 0.71	
秋芽-1回目	スポット散布 40 L	9.0 ± 2.31	1.3 ± 0.67	3.7 ± 1.20	0.7 ± 0.67	0.7 ± 0.33	0	15.3 ± 3.53	3.7 ± 1.45	
	慣行 200 L	10.0 ± 0.58	0.7 ± 0.67	5.3 ± 0.33	0.3 ± 0.33	0.3 ± 0.33	0	16.7 ± 0.88	1.7 ± 0.67	
	無処理	15.3 ± 4.18	2.0 ± 1.15	4.0 ± 1.15	3.0 ± 1.00	0.7 ± 0.33	0	25.0 ± 6.03	4.0 ± 1.15	
秋芽-2回目	スポット散布 40 L	13.3 ± 1.11 a	1.0 ± 0.71	5.0 ± 0.82	4.5 ± 1.32 a	0	0	23.8 ± 0.63 a	2.5 ± 0.87 ab	
	慣行 200 L	6.5 ± 1.19 b	0.3 ± 0.25	3.8 ± 1.25	0.3 ± 0.25 b	0	0	10.8 ± 2.25 b	0.3 ± 0.25 b	
	無処理	12.0 ± 1.29 ab	1.0 ± 1.00	4.8 ± 0.48	1.8 ± 0.48 a	0.5 ± 0.29	0.3 ± 0.25	20.3 ± 2.10 a	4.8 ± 1.65 a	
2017年 合計 (各区のクモ類 合計個体数)	スポット散布 40 L	114 (39.3)	21 (7.2)	92 (31.7)	20 (6.9) ab	3 (1.0)	0	250 (86.2) a	38 (13.1) a	
	慣行 200 L	75 (46.8)	10 (6.2)	58 (36.0)	2 (1.2) b	2 (1.2)	0	147 (91.3) b	13 (8.1) b	
	無処理	119 (38.5)	24 (7.8)	94 (30.4)	17 (5.5) a	10 (3.2)	1 (0.3)	265 (85.7) a	43 (13.9) a	

表 11 (表の続き)

農薬を散布した 茶期	処理区 (L/10 a)	クモ類個体数(頭)				合計
		造網性				
		ユウレイグモ科	アシナガグモ科	コガネグモ科	タナグモ科	
2015年 二番茶	スポット散布 40 L	0	0	0	0	6.7 ± 2.19
	慣行 200 L	0	0	0	0	2.0 ± 1.15
	無処理	0	0	0	0	5.0 ± 1.53
三番茶	スポット散布 40 L	0.3 ± 0.25	0	0	0.3 ± 0.25	4.8 ± 1.03
	慣行 200 L	0	0	0	0	3.3 ± 1.18
	無処理	0	0	0	0.3 ± 0.25	6.3 ± 1.65
2015年 合計 (各区のクモ類 合計個体数)	スポット散布 40 L	1 (2.6)	0	0	1 (2.6)	39 a
	慣行 200 L	0	0	0	0	17 b
	無処理	0	0	0	1 (2.5)	40 a
2016年 二番茶	スポット散布 40 L	0	0.3 ± 0.25	0	0	8.5 ± 2.22
	慣行 200 L	0.3 ± 0.25	0	0	0	5.5 ± 1.32
	無処理	0	0.3 ± 0.25	0	0	9.0 ± 1.96
三番茶	スポット散布 40 L	0.5 ± 0.50	0.3 ± 0.25	0	0	25.0 ± 3.94
	慣行 200 L	0.3 ± 0.25	0	0	0	14.0 ± 5.72
	無処理	0.3 ± 0.25	0	0	0	21.5 ± 3.75
秋芽-1回目	スポット散布 40 L	0.3 ± 0.25	0	0	0	29.3 ± 5.68 a
	慣行 200 L	0	0	0	0	13.3 ± 2.84 b
	無処理	0	0	0	0	30.3 ± 4.05 a
秋芽-2回目	スポット散布 40 L	0.5 ± 0.29	0	0	0	23.3 ± 1.25 a
	慣行 200 L	0.5 ± 0.29	0	0	0	12.8 ± 1.49 b
	無処理	0.5 ± 0.29	0	0	0	21.0 ± 2.04 a
2016年 合計 (各区のクモ類 合計個体数)	スポット散布 40 L	5 (1.7)	2 (0.6)	0	0	344 a
	慣行 200 L	4 (2.2)	0	0	0	182 b
	無処理	3 (0.9)	1 (0.3)	0	0	327 a
2017年 二番茶	スポット散布 40 L	0	0	0	0	6.0 ± 2.12
	慣行 200 L	0	0	0	0	2.0 ± 0.71
	無処理	0	0	0	0	4.5 ± 2.33
三番茶	スポット散布 40 L	0	0	0.3 ± 0.25	0	25.8 ± 3.04 a
	慣行 200 L	0	0	0	0	13.3 ± 2.50 b
	無処理	0	0.3 ± 0.25	0	0	26.0 ± 1.68 a
秋芽-1回目	スポット散布 40 L	0	0	0	0	19.0 ± 2.08
	慣行 200 L	0.3 ± 0.33	0	0	0	18.7 ± 1.45
	無処理	0	0	0	0	29.0 ± 6.24
秋芽-2回目	スポット散布 40 L	0.3 ± 0.25	0	0	0	26.5 ± 1.19 a
	慣行 200 L	0	0	0	0	11.0 ± 2.48 b
	無処理	0	0	0	0	25.0 ± 3.54 a
2017年 合計 (各区のクモ類 合計個体数)	スポット散布 40 L	1 (0.3)	0	1 (0.3)	0	290 a
	慣行 200 L	1 (0.6)	0	0	0	161 b
	無処理	0	1 (0.3)	0	0	309 a

注 1) データは平均±標準誤差を示す。各茶期の異なる英文字間には、有意差あり (Tukey-Kramer 法, $P < 0.05$)。
 注 2) 括弧内の数値は、各区の全クモ類合計個体数に占める各科 (上科) の割合を示す。

(図 9)。また、2016 年秋芽 1 回目の農薬散布から 1 週間後のクモ類の個体数は、40 L 区と無処理区では増加したものの 200 L 区では減少し、秋芽 1 回目の農薬散布後に確認されたクモ類の合計個体数は、40 L 区と無処理区が同等で、40 L 区および無処理区よりも 200 L 区は有意に少なかった ($F = 23.85$, $df = 2, 3$, $P = 0.0014$) (表 11, 図 9, 10)。一方、2017 年秋芽 1 回目の農薬散布後に確認されたクモ類の合計個体数には、処理区間に有意差が認められなかった ($F = 2.84$, $df = 2, 2$, $P = 0.1705$) (表 11)。

2016 年秋芽 2 回目の農薬散布後に確認されたクモ類の合計個体数は、40 L 区と無処理区が同等で、40 L 区および無処理区よりも 200 L 区は有意に少なかった ($F = 14.81$, $df = 2, 3$, $P = 0.0048$) (表 11, 図 9)。2017 年秋芽 2 回目の農薬散布から 1 週間後におけるクモ類の個体数は、200 L 区において農薬散布直前よりも大きく減少し、40 L 区お

よび無処理区よりも 200 L 区は有意に少なかった ($F = 6.45$, $df = 2, 2$, $P = 0.0320$) (図 9, 10)。2017 年秋芽 2 回目の農薬散布後に確認されたクモ類の合計個体数は、40 L 区と無処理区が同等で、40 L 区および無処理区よりも 200 L 区は有意に少なかった ($F = 16.55$, $df = 2, 3$, $P = 0.0036$) (表 11, 図 9)。

(イ) クモ類の科 (上科) レベルの個体数推移

表 11 に農薬散布後 3 週間以内のクモ類の科 (上科) 別の個体数を、図 10 に農薬散布の直前と約 7 日後における科 (上科) 構成の結果の一部を示した。ハエトリグモ科、ヒメグモ上科、フクログモ科およびカニグモ科の 4 科 (上科) が研究茶園において多数を占め、最も多かったのはハエトリグモ科で、二番目に多かった科 (上科) は、2016 年がヒメグモ上科、2017 年はカニグモ科であった。各処理区で確認されたそれら 4 科 (上科) が、クモ

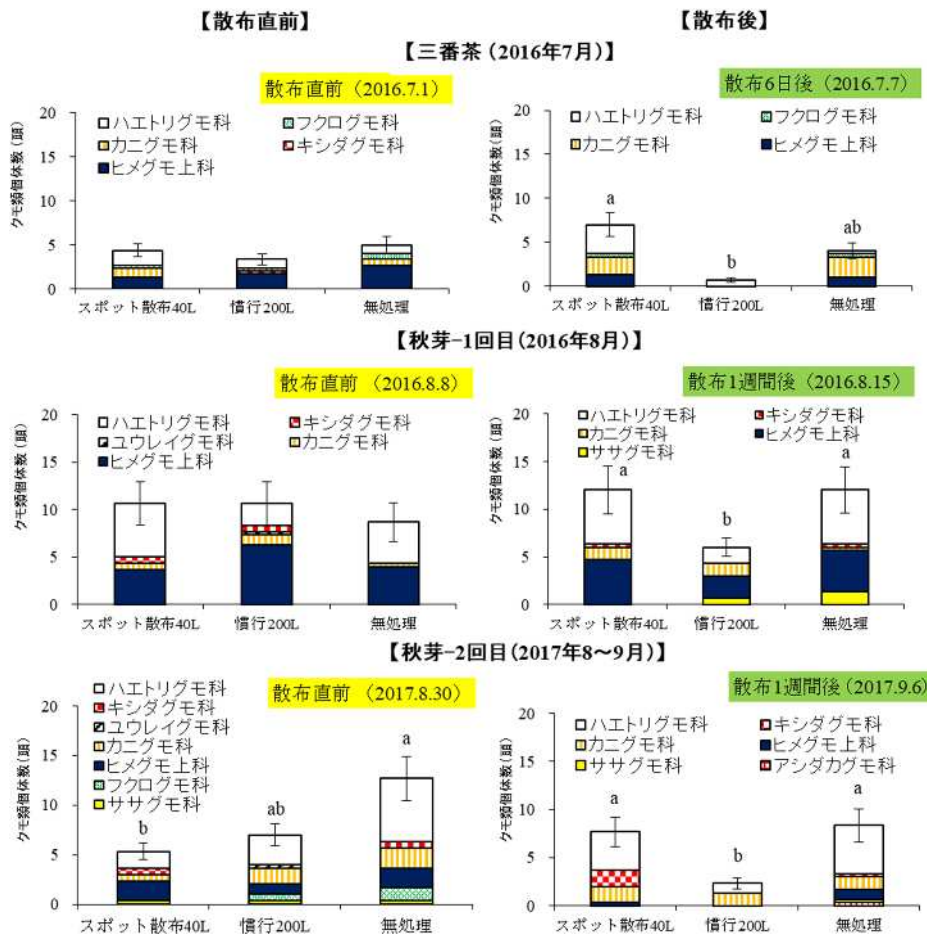


図10 農薬散布直前と約7日後の各科(上科)クモ類の個体数比較

注) データとエラーバーは平均±標準誤差を示す。各調査日の各科(上科)合計個体数における異なる英文字間には、有意差あり(Tukey-Kramer法, $P < 0.05$)。

類全体の個体数に占める割合は、40 L区、200 L区、無処理区の順でそれぞれ、2016年は88.4% ($n = 344$), 92.5% ($n = 182$), 94.8% ($n = 327$)であり、2017年は91.3% ($n = 290$), 97.1% ($n = 161$), 90.6% ($n = 309$)であった。なお、キシダグモ科やササグモ科、アシダカグモ科、ユウレイグモ科、アシナガグモ科、コガネグモ科およびタナグモ科も確認されたが、それらの個体数は少なかった。カニグモ科およびヒメグモ上科の合計個体数については、2016年は40 L区や無処理区よりも200 L区で少ない傾向にあり(カニグモ科: $F = 3.07$, $df = 2, 15$, $P = 0.0614$; ヒメグモ上科: $F = 2.78$, $df = 2, 15$, $P = 0.0780$)、2017年においては40 L区および無処理区よりも200 L区は有意に少なかった(カニグモ科: $F = 3.64$, $df = 2, 14$, $P = 0.0394$; ヒメグモ上科: $F = 6.97$, $df = 2, 14$, $P = 0.0035$)。また、農薬散布直前と約7日後を比較すると、特に200 L区においてはヒメグモ上科が減少する傾向にあった(図10)。

二番茶期のハエトリグモ科およびフクログモ科の合計個体数は、40 L区および無処理区よりも200 L区は少ない傾向にあったが、ヒメグモ上科と同様に処理区間の有

意差は認められなかった($P > 0.05$) (表11)。

三番茶期は40 L区および無処理区よりも200 L区でカニグモ科が少ない傾向にあったが、ハエトリグモ科およびヒメグモ上科については、処理区間に有意差は認められなかった($P > 0.05$)。また、フクログモ科やキシダグモ科、ササグモ科、ユウレイグモ科およびアシナガグモ科が確認されたものの個体数は少なく、処理区間の差は判然としなかった(表11)。2017年三番茶期においては、徘徊性クモ類の合計個体数は40 L区および無処理区よりも200 L区で有意に少なく($F = 12.2$, $df = 2, 3$, $P = 0.0078$)、特にカニグモ科については、200 L区で確認された個体数の倍以上が40 L区および無処理区では確認された($F = 8.79$, $df = 2, 3$, $P = 0.0165$)。なお、3年間ともに三番茶期のヒメグモ上科の合計個体数には、処理区間の有意差が認められなかった(2015: $F = 0.39$, $df = 2, 3$, $P = 0.6951$; 2016: $F = 1.67$, $df = 2, 3$, $P = 0.2660$; 2017: $F = 1.94$, $df = 2, 3$, $P = 0.2246$)。

秋芽生育期の農薬散布後3週間以内では、ハエトリグモ科、フクログモ科、カニグモ科、キシダグモ科、ササグモ科およびヒメグモ上科のクモ類の合計個体数は、40

表 12 白色粘着トラップで捕獲されたクモ類とチャノミドリヒメヨココバイおよびチャノキイロアザミウマの合計
個体数

年	葉層内の トラップ設 置位置	処理区 (L/10 a)	クモ類(頭)								合計			
			ハエトリグモ科	フクログモ科	カニグモ科	キンダグモ科	ササグモ科	ヒメグモ上科	ユウレイグモ科					
2016	葉層上部 (摘採面下 約 5 cm)	スポット散布 40 L	36.8 ± 5.18	a	3.3 ± 1.26	0.3 ± 0.21	0.2 ± 0.17	0.5 ± 0.50	20.8 ± 2.63	0.2 ± 0.17	62.3 ± 7.69	a		
		慣行 200 L	22.7 ± 2.92	b	2.3 ± 0.71	0.5 ± 0.34	0	0.2 ± 0.17	17.2 ± 1.87	0.5 ± 0.22	43.5 ± 2.78	b		
		無処理	47.0 ± 3.89	a	3.7 ± 0.67	0	0	0.2 ± 0.17	24.2 ± 1.92	0.2 ± 0.17	75.3 ± 4.34	a		
	葉層最下部 (摘採面下 約 25 cm)	スポット散布 40 L	13.3 ± 1.31	a	2.5 ± 0.34	ab	0	0.2 ± 0.17	0	16.0 ± 2.45	0.5 ± 0.22	a	32.5 ± 1.71	ab
		慣行 200 L	8.5 ± 1.09	b	1.7 ± 0.76	b	1.0 ± 0.68	0	0	19.5 ± 3.19	0	b	30.8 ± 3.30	b
		無処理	13.5 ± 2.05	ab	4.5 ± 0.85	a	0.3 ± 0.21	0.2 ± 0.17	0	19.8 ± 1.47	0	b	39.0 ± 3.13	a
2017	葉層上部 (摘採面下 約 5 cm)	スポット散布 40 L	38.1 ± 3.81		7.7 ± 1.31	a	2.2 ± 0.60	0.5 ± 0.22	0	11.8 ± 2.47	0.2 ± 0.17	60.5 ± 5.45	a	
		慣行 200 L	34.3 ± 4.01		4.2 ± 0.83	b	1.3 ± 0.49	0.5 ± 0.22	0.2 ± 0.17	10.8 ± 1.78	0.2 ± 0.17	51.5 ± 4.84	b	
		無処理	38.3 ± 3.18		6.2 ± 1.28	ab	1.8 ± 0.54	0.8 ± 0.17	0.2 ± 0.17	14.5 ± 0.99	0.8 ± 0.48	62.7 ± 3.59	a	
	葉層最下部 (摘採面下 約 25 cm)	スポット散布 40 L	28.8 ± 13.11		8.7 ± 4.59	ab	2.8 ± 1.28	1.0 ± 0.63	a	0.7 ± 0.33	28.3 ± 13.14	2.7 ± 1.12	73.0 ± 33.77	a
		慣行 200 L	24.0 ± 10.48		6.3 ± 2.88	b	1.2 ± 0.83	0	b	1.3 ± 0.67	33.0 ± 14.98	1.0 ± 0.52	67.2 ± 29.92	b
		無処理	23.5 ± 11.57		9.7 ± 5.17	a	2.0 ± 1.00	0	b	1.7 ± 0.71	29.7 ± 12.81	1.8 ± 0.95	68.3 ± 31.62	ab

表 12 (表の続き)

年	葉層内の トラップ設 置位置	処理区 (L/10 a)	チャノミドリヒメヨ コバイ(頭)	チャノキイロアザ ミウマ(頭)		
2016	葉層上部 (摘採面下 約 5 cm)	スポット散布 40 L	95.5 ± 6.20	344.8 ± 38.36		
		慣行 200 L	110.2 ± 11.77	383.3 ± 34.30		
		無処理	93.0 ± 5.22	465.0 ± 37.01		
	葉層最下部 (摘採面下 約 25 cm)	スポット散布 40 L	62.8 ± 10.68	a	90.5 ± 12.07	ab
		慣行 200 L	48.8 ± 5.34	a	147.3 ± 10.60	a
		無処理	38.5 ± 3.33	b	102.0 ± 8.01	b
2017	葉層上部 (摘採面下 約 5 cm)	スポット散布 40 L	160.7 ± 13.81	a	369.3 ± 32.87	
		慣行 200 L	118.8 ± 11.45	b	386.5 ± 25.23	
		無処理	193.8 ± 20.62	a	372.3 ± 19.09	
	葉層最下部 (摘採面下 約 25 cm)	スポット散布 40 L	136.2 ± 14.89	a	110.0 ± 11.64	
		慣行 200 L	111.3 ± 14.36	b	121.7 ± 10.86	
		無処理	177.5 ± 23.33	a	116.5 ± 10.73	

注 1) データはトラップ当たりの個体数の平均 ± 標準誤差を示す。各葉層位置の異なる英文字間には、有意差あり (Tukey-Kramer 法, $P < 0.05$)。

注 2) 合計値には個体数が少ないクモ類 (科) も含む。

L 区および無処理区よりも 200 L 区では少ない傾向にあった (表 11)。

ウ クモ類とチャノミドリヒメヨココバイおよびチャノキイロアザミウマの相関関係

(ア)クモ類とチャノミドリヒメヨココバイおよびチャノキイロアザミウマの個体数

表 12 に白色粘着トラップで捕獲されたクモ類とチャノミドリヒメヨココバイおよびチャノキイロアザミウマの合計個体数を示す。葉層上部におけるクモ類の合計個体数は、40 L 区および無処理区よりも 200 L 区は有意に少なく (2016: $F = 19.34$, $df = 2, 21$, $P < 0.0001$; 2017: $F = 5.26$, $df = 2, 22$, $P = 0.0089$)、その傾向は葉層最下部ではやや弱まったものの同様であった (2016: $F = 3.33$, $df = 2, 21$, $P = 0.0453$; 2017: $F = 4.15$, $df = 2, 22$, $P = 0.0223$)。しかし、白色粘着トラップで捕獲されたカニグモ科およびキンダグモ科の合計個体数は、たたき落とし調査で確認された数よりもかなり少なかった (表 11, 12)。2016 年は葉層最下部よりも葉層上部でクモ類が多い傾向にあったが、2017 年はフクログモ科、ササグモ科、ユウレイグモ科およびヒメグモ上科が葉層上部よりも葉層最下部で多く、ハエ

トリグモ科、チャノミドリヒメヨココバイおよびチャノキイロアザミウマは 2 年ともに葉層最下部よりも葉層上部で多かった (表 6, 12)。また、チャノミドリヒメヨココバイの個体数は、2016 年の葉層上部においては処理区間に有意差が認められず ($F = 0.17$, $df = 2, 21$, $P = 0.8485$)、葉層最下部では無処理区が 200 L 区および 40 L 区よりも有意に少なく ($F = 6.83$, $df = 2, 21$, $P = 0.0027$)、2017 年は葉層上部 ($F = 4.90$, $df = 2, 22$, $P = 0.0120$) および葉層最下部 ($F = 5.78$, $df = 2, 22$, $P = 0.0059$) とともに、40 L 区と無処理区は同等で、40 L 区および無処理区は 200 L 区よりも有意に多かった (表 12, 図 6A)。2016 年の葉層最下部におけるチャノキイロアザミウマの個体数は、無処理区は 200 L 区よりも有意に少なく、40 L 区は無処理区および 200 L 区と同等であった ($F = 3.88$, $df = 2, 21$, $P = 0.0284$) (表 12, 図 7A)。しかし、チャノキイロアザミウマの個体数は葉層上部 (2016: $F = 1.26$, $df = 2, 21$, $P = 0.2929$; 2017: $F = 0.66$, $df = 2, 22$, $P = 0.5213$) および 2017 年の葉層最下部 ($F = 0.004$, $df = 2, 22$, $P = 0.9955$) においては、処理区間に有意差が認められなかった (表 12, 図 7A)。

(イ)クモ類とチャノミドリヒメヨコバイおよびチャノキイロアザミウマの相関関係

表 13 に白色粘着トラップで捕獲されたハエトリグモ科、ヒメグモ上科、クモ類全体とチャノミドリヒメヨコバイおよびチャノキイロアザミウマの個体数の相関関係を示す。

表 13 白色粘着トラップで捕獲されたクモ類とチャノミドリヒメヨコバイおよびチャノキイロアザミウマとの相関関係

年	葉層内の トラップ設置 処理区 (L/10 a) 位置		チャノミドリヒメヨコバイ			チャノキイロアザミウマ		
			ハエトリ グモ科	ヒメグモ 上科	クモ類 全体	ハエトリ グモ科	ヒメグモ 上科	クモ類 全体
2016	葉層上部 (摘採面下 約 5 cm)	スポット散布 40 L	-0.49	-0.48	-0.58	-0.07	0.56	0.06
		慣行 200 L	-0.16	-0.15	-0.16	-0.16	0.59	0.00
		無処理	-0.46	-0.40	-0.55	0.12	0.70	0.27
	葉層最下部 (摘採面下 約 25 cm)	スポット散布 40 L	-0.57	-0.59	-0.73	0.15	0.45	0.35
		慣行 200 L	-0.43	-0.47	-0.44	0.06	0.27	0.20
		無処理	-0.07	-0.73	-0.50	0.17	0.37	0.35
2017	葉層上部 (摘採面下 約 5 cm)	スポット散布 40 L	-0.17	0.04	-0.32	0.41	0.30	0.44
		慣行 200 L	-0.20	-0.03	-0.24	0.25	0.49	0.44
		無処理	0.00	-0.16	-0.13	0.46	0.59	0.54
	葉層最下部 (摘採面下 約 25 cm)	スポット散布 40 L	-0.05	-0.19	-0.27	0.04	0.56	0.43
		慣行 200 L	-0.36	-0.32	-0.42	0.31	0.65	0.61
		無処理	-0.28	-0.16	-0.33	0.12	0.31	0.27

注 1) 表中の数値は Spearman の順位相関係数を示す。

注 2) 合計値には個体数が少ないクモ類(科)も含む。

ハエトリグモ科とチャノミドリヒメヨコバイは、2016年の葉層上部(40 L区: $r = -0.49, P = 0.0253$; 200 L区: $r = -0.16, P = 0.4644$; 無処理区: $r = -0.46, P = 0.0370$)では40 L区および無処理区において弱い負の相関、葉層最下部(40 L区: $r = -0.57, P = 0.0088$; 200 L区: $r = -0.43, P = 0.0464$; 無処理区: $r = -0.07, P = 0.7390$)では40 L区において負の相関、200 L区では弱い負の相関が認められたが、2017年は葉層上部(40 L区: $r = -0.17, P = 0.4142$; 200 L区: $r = -0.20, P = 0.3519$; 無処理区: $r = 0.00, P = 0.9981$)では相関関係が認められず、葉層最下部(40 L区: $r = -0.05, P = 0.7969$; 200 L区: $r = -0.36, P = 0.0835$; 無処理区: $r = -0.28, P = 0.1890$)の200 L区と無処理区で弱い負の相関が認められた。ヒメグモ上科とチャノミドリヒメヨコバイは、2016年の葉層上部(40 L区: $r = -0.48, P = 0.0274$; 200 L区: $r = -0.15, P = 0.4981$; 無処理区: $r = -0.40, P = 0.0636$)では40 L区および無処理区において弱い負の相関、葉層最下部(40 L区: $r = -0.59, P = 0.0064$; 200 L区: $r = -0.47, P = 0.0322$; 無処理区: $r = -0.73, P = 0.0008$)では40 L区と無処理区に負の相関、200 L区では弱い負の相関が認められたが、2017年は葉層上部(40 L区: $r = 0.04, P = 0.8388$; 200 L区: $r = -0.03, P = 0.8855$; 無処理区: $r = -0.16, P = 0.4602$)では相関関係が認められず、葉層最下部(40 L区: $r = -0.19, P = 0.3633$; 200 L区: $r = -0.32, P = 0.1393$; 無処理区: $r = -0.16, P = 0.4535$)の200 L区での

み弱い負の相関が認められた。クモ類全体とチャノミドリヒメヨコバイでは、2016年の葉層上部(40 L区: $r = -0.58, P = 0.0079$; 200 L区: $r = -0.16, P = 0.4624$; 無処理区: $r = -0.55, P = 0.0122$)および葉層最下部(40 L区: $r = -0.73, P = 0.0009$; 200 L区: $r = -0.44, P = 0.0446$; 無処理区: $r = -0.50, P = 0.0233$)では、40 L区および無処理区において負の相関、200 L区は葉層最下部において弱い負の相関が認められ、2017年の葉層上部(40 L区: $r = -0.32, P = 0.1319$; 200 L区: $r = -0.24, P = 0.2678$; 無処理区: $r = -0.13, P = 0.5489$)では40 L区に弱い負の相関、葉層最下部(40 L区: $r = -0.27, P = 0.2048$; 200 L区: $r = -0.42, P = 0.0484$; 無処理区: $r = -0.33, P = 0.1223$)では全区において弱い負の相関が認められた。

ハエトリグモ科とチャノキイロアザミウマの相関関係は、2016年は葉層上部(40 L区: $r = -0.07, P = 0.7445$; 200 L区: $r = -0.16, P = 0.4656$; 無処理区: $r = 0.12, P = 0.5883$)および葉層最下部(40 L区: $r = 0.15, P = 0.4985$; 200 L区: $r = 0.06, P = 0.7779$; 無処理区: $r = 0.17, P = 0.4254$)ともに認められなかったが、2017年の葉層上部(40 L区: $r = 0.41, P = 0.0518$; 200 L区: $r = 0.25, P = 0.2392$; 無処理区: $r = 0.46, P = 0.0317$)は全区において弱い正の相関、葉層最下部(40 L区: $r = 0.04, P = 0.8678$; 200 L区: $r = 0.31, P = 0.1489$; 無処理区: $r = 0.12, P = 0.5882$)では200 L区において弱い正の相関が認められた。ヒメグモ上科とチャノキイロアザミウマでは、2016年の葉層上部(40 L区: $r = 0.56, P = 0.0104$; 200 L区: $r = 0.59, P = 0.0066$; 無処理区: $r = 0.70, P = 0.0013$)は全区において正の相関が認められ、葉層最下部(40 L区: $r = 0.45, P = 0.0396$; 200 L区: $r = 0.27, P = 0.2200$; 無処理区: $r = 0.37, P = 0.0902$)では全区において弱い正の相関が認められた。2017年の葉層上部(40 L区: $r = 0.30, P = 0.1570$; 200 L区: $r = 0.49, P = 0.0216$; 無処理区: $r = 0.59, P = 0.0061$)では40 L区および200 L区で弱い正の相関、無処理区においては正の相関が認められ、葉層最下部(40 L区: $r = 0.56, P = 0.0084$; 200 L区: $r = 0.65, P = 0.0023$; 無処理区: $r = 0.31, P = 0.1424$)では40 L区および200 L区は正の相関、無処理区では弱い正の相関が認められた。クモ類全体とチャノキイロアザミウマでは、2016年の葉層上部(40 L区: $r = 0.06, P = 0.7772$; 200 L区: $r = 0.00, P = 0.9876$; 無処理区: $r = 0.27, P = 0.2179$)では相関関係が認められなかったが、葉層最下部(40 L区: $r = 0.35, P = 0.1089$; 200 L区: $r = 0.20, P = 0.3638$; 無処理区: $r = 0.35, P = 0.1101$)の40 L区および無処理区では弱い正の相関が認められた。2017年の葉層上部(40 L区: $r = 0.44, P = 0.0388$; 200 L区: $r = 0.44, P = 0.0369$; 無処理区: $r = 0.54, P = 0.0111$)では40 L区およ

び 200 L 区で弱い正の相関、無処理区においては正の相関、葉層最下部 (40 L 区: $r = 0.43, P = 0.0456$; 200 L 区: $r = 0.61, P = 0.0039$; 無処理区: $r = 0.27, P = 0.2074$) では 40 L 区および無処理区において弱い正の相関、200 L 区では正の相関が認められた。

(3) 考察

Tanaka et al.¹¹⁰⁾ は天敵類の密度に対する農薬の長期的な影響は直接的な毒性以外にも、農薬が付着していない場所への天敵類の退避行動やエサの減少による増殖率低下の可能性があると指摘している。本研究茶園におけるクモ類の個体数は、40 L 区と無処理区では同様に推移したが、それとは対照的に、葉層内が農薬で広く被覆され、農薬の種類によっては散布後約 2~3 週間の残効があった 200 L 区では、クモ類の個体数が大幅に減少した。また、クモ類の個体数減少は農薬散布後数日間で顕著であった。これらのことは、慣行量 (200 L/10 a) で農薬散布が行われると、農薬の殺虫スペクトラムによっては葉層内に生息しているクモ類が一時的に大きく減少するリスクがあることを示唆している。一方、葉層内の農薬被覆面積を狭めることで、農薬を使用したとしてもクモ類を保護することが可能だと思われた。

本研究で散布した合成ピレスロイド系農薬には神経毒があり、この神経毒に係る物質はクモ類に悪影響を及ぼすことが知られている⁸⁶⁾。また、寺田¹¹⁴⁾は昼間活動性の徘徊性クモ類であるハエトリグモ科は慣行の農薬散布によって大きな影響を受けると報告している。さらに、後藤ら¹⁰⁾は徘徊性クモ類 (フクログモ科、ハエトリグモ科およびカニグモ科) が慣行の農薬散布茶園よりも無農薬茶園において多いものの、造網性クモ類は逆の結果であることを示した。本研究においても徘徊性のフクログモ科の個体数は、200 L 区よりも 40 L 区および無処理区において多い事例が確認された。しかし、徘徊性および造網性の種を含むヒメグモ上科については、2016 年は処理区間に有意差が認められなかったが、2017 年においては 40 L 区および無処理区よりも 200 L 区は有意に少なく、徘徊性と造網性の種を合算して分析したことによる同定面の課題によって、造網性クモ類に対する農薬散布の影響については明らかにできなかった。なお、茶園におけるヒメグモ上科以外の造網性クモ類の個体数については、徘徊性クモ類よりも少ないとされるが^{10), 123)}、本研究もこの傾向は一致した。

茶園のクモ類は多くの種類と量の害虫を捕食するが、そのことは捕食対象とクモ類の遭遇機会にも影響される^{35), 36)}。徘徊性クモ類による獲物の探索行動は、様々な害

虫との遭遇機会の増加につながるように⁶³⁾、茶園の徘徊性クモ類も葉層内を歩き回ることによって獲物との遭遇率を高めていると考えられる。しかし、そのような獲物の積極的な探索行動はクモ類にとって最も優れた生存戦略であるが¹⁴⁰⁾、それはまた逆に農薬で覆われた葉面と遭遇 (接触) する確率を上げてしまう。そのため、獲物である害虫を捕らえる方法や生息場所の選好性、活動時期の異なりをもつクモ類の多様性を維持することは、生物的防除効果を効率的に発揮するために最も必要な要素である⁴¹⁾。また、農薬から一時的に避難できる場所の存在は、天敵類の個体数を増加させる¹¹⁾。徘徊性クモ類を害虫防除の巻き添えによる死から守るには、葉層内を可能な限り農薬で被覆しない農薬散布に努めることが大切であり、また、そのことによってその他の天敵類の保護も併せて図られる可能性がある。また、葉層内部への農薬到達を物理的に妨げる厚い葉層が形成された茶樹を育てる栽培管理も、シェルター機能の強化のために重要であると考えられる。

Tanaka et al.¹¹⁰⁾は天敵類の農薬摂取は直接被ばくおよび植物や土壌の表面に残留している農薬との接触、農薬で汚染されたエサの捕食による経口摂取の 3 ルートによるとしている。茶園のクモ類が致死に至る農薬量やクモ類が捕食する害虫の量は明らかではない。しかし、40 L 区と無処理区のクモ類の個体数が同等であったことから、40 L 区ではクモ類の個体群維持に必要な捕食量に相当する食餌昆虫類もクモ類を致死に至らすような農薬汚染を受けずに維持されたと推測される。そのため、茶樹葉層内の農薬被覆面積が抑制されるほど、農薬の悪影響からクモ類の食餌昆虫類を守るシェルターとしても葉層を機能させやすいと考えられる。また、徘徊性クモ類であるハエトリグモ科、フクログモ科、カニグモ科、キシダグモ科、ササグモ科およびアシダカグモ科は 2017 年の無処理区で確認されたクモ類の合計個体数 ($n=309$) の約 86% を占め、通常茶園管理では 3~4 回程度の農薬が散布される 7~9 月にかけて多かった。クモ類は広食性であるがゆえに、ある特定の種のクモ類よりも多くの種のクモ類の保護に努めることが農業害虫の生物的防除にとってまずは重要と考えられる^{41), 128)}。茶園のクモ類、特にハエトリグモ科およびヒメグモ上科とチャノキイロアザミウマの個体数には相関があることが本研究で明らかになり、クモ類の個体数が年間で最も多くなる 8~9 月にかけては、チャノミドリヒメヨコバイの個体数が大幅に少なくなった。8~9 月のクモ類については、相関関係が強かったチャノキイロアザミウマをはじめ、チャノミドリヒメヨコバイ以外の昆虫類を主に捕食している可能

性が高いと思われたものの、多数のクモ類の存在は、チャノミドリヒメヨコバイの密度上昇に対して抑制的に働くと推察される。このように、クモ類の保護によって害虫に対する捕食圧を維持し、様々な害虫の個体数増加に対するブレーキにつなげる農薬散布方法の実践は、害虫防除効果を安定させるために重要な要素であると考えられた。なお、カニグモ科およびキシダグモ科のクモ類はたたき落とし方法で調査可能であったが、同時期における白色粘着トラップによるこれらの科の捕獲数は、たたき落とし方法と比べると大幅に少なかった。茶園のクモ類について調査を行うためには、調査対象や目的に応じた採集方法の選択や組合せが必要であり、用いる調査方法によって確認できる種や個体数が異なる可能性があることに留意する必要がある。

クモ類は最も重要な天敵類であり⁶²⁾、そのうえ、クモ類は茶園における環境保全効果の指標にもなりうる¹²³⁾。本研究によって、農薬散布時において茶樹葉層はクモ類の「農薬回避シェルター」として機能することが明らかになった。農薬散布の範囲を茶樹摘採面付近にスポット化し、葉層内の農薬被覆を抑えることが、茶園のクモ類の保護活用を図るうえで重要であると考えられた。

第2節 カブリダニ類

カンザワハダニはチャ葉裏に寄生する⁴⁾ために防除に要する農薬散布量が多くなるうえ、被害が著しい場合は落葉に至ることから⁹⁾、チャの重要害虫である。本種に対する防除手段は主に殺ダニ剤の散布であるが、合成ピレスロイド系農薬散布後のリサージェンス様多発生や^{69), 17)}、同一薬剤の継続的な散布による薬剤抵抗性の発達⁶⁸⁾に関する先行研究が示すように、本種は茶園における難防除害虫とされてきた。しかし、近年ではカンザワハダニの少発生によって防除作業自体が省かれる事例もあり、その背景には天敵類の関与があるとされている⁸⁴⁾。カンキツ園においては天敵類の種構成が使用される殺虫剤によって異なり⁴²⁾、また、ケナガカブリダニ *Neoseiulus womersleyi* (Schicha) (Acari: Phytoseiidae) は合成ピレスロイド系農薬に一般的に弱いものの、合成ピレスロイド系農薬に抵抗性をもった系統がカンザワハダニを抑制した茶園における事例も知られている⁵³⁾。

チャ栽培の現場においては、ハダニ防除に加えてチャノミドリヒメヨコバイやチャノキイロアザミウマ、チャノホソガ、チャハマキおよびチャノコカクモンハマキなどに対する防除が年数回行われることが一般的である。合成ピレスロイド系農薬が天敵類へ悪影響を及ぼすことはもはや疑いのない事実とされ¹⁰⁶⁾、新芽害虫への農薬散

布が茶園のカブリダニ相に及ぼす影響も懸念されている⁸⁴⁾。一方、Ullah¹²⁴⁾は果樹園において2種のネオニコチノイド剤（アセタミプリドおよびイミダクロプリド）がカブリダニ類に深刻な影響を及ぼすと指摘している。さらに果樹園では使用される農薬の種類によってカブリダニ類の種構成が異なることも知られている²⁹⁾。これらの先行研究から、茶園においてもカブリダニ類の農薬感受性の違いがその種構成に影響する可能性があると考えた。

一方、前節では茶樹摘採面付近へ標的をスポット化した農薬散布によって、葉層がクモ類のシェルターとして機能するとともに、その他の天敵類の保護効果の可能性についても示唆した。また、その理由については葉層内に農薬で覆われない、安全な場所が残ることにあることを検証した。浜村¹²⁾はフェンプロパトリン、シペルメトリンおよびペルメトリンを含む合成ピレスロイド系農薬12種に対して、ケナガカブリダニが低濃度でも忌避行動を起こすことを明らかにしている。これらのことから、茶園における農薬散布のスポット化がカブリダニ類の忌避行動を助け、また、カンザワハダニの発生状況にカブリダニ類の種構成と個体数が影響するのではないかとの仮説を立てた。

そこで、茶樹摘採面付近の病害虫防除における農薬の散布方法および量の違いによってもたらされる茶樹葉層内の農薬被覆面積の違いが、カブリダニ類の個体数や種構成に及ぼす影響について調査を行った。また、研究茶園で生息が確認されたニセラーゴカブリダニ *Amblyseius eharai* Amitai and Swirski (Acari: Phytoseiidae)、チリカブリダニ *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot (Acari: Phytoseiidae) およびコウズケカブリダニ *Euseius sojaensis* (Ehara) (Acari: Phytoseiidae) のカブリダニ3種については、合成ピレスロイド系農薬（フェンプロパトリン、ペルメトリン、ピフェントリンおよびシペルメトリン）に対する忌避行動を確認するための室内試験も行った。

(1) 試験（実験）材料および方法

供試農薬には天敵類に対する殺虫活性が総じて高い非選択性の殺虫剤^{74), 79)}を主に選び、散布方法や散布量による処理効果が選択性農薬を使用した場合よりも検出しやすい状況下とした。なお、研究茶園付近では必須防除とされるカンザワハダニやクワシロカイガラムシ対象の防除については、カブリダニ類への影響を避けるために実施しない条件とした。なお、カブリダニ類の同定手法は豊島ら¹¹⁷⁾や江原⁵⁾に従った。

ア 茶園のカンザワハダニとカブリダニ類の種構成および個体数（野外試験）

(ア) 処理区および供試農薬

第1章および前節と重複する鹿児島県南九州市知覧町にある鹿児島県農業開発総合センター茶業部の非選択性農薬茶園(品種:‘くりたわせ’)を研究茶園とした。処理区は第1章および前節と同じ、40 L区、200 L区および無処理区の計3区で、圃場面積は約240 m²、各区の面積は12.6 m²、反復数は3、処理を行ったうねの間には無処理の緩衝うねを設けている。チャノミドリヒメヨコバイ、チャノキイロアザミウマ、チャノホソガ、チャハマキおよびチャノコカクモンハマキを対象に農薬散布を行い、これらがカンザワハダニとカブリダニ類へ及ぼす影響を調査した(表14)。

表14 ダニ類の研究で使用した農薬の散布日、散布量および濃度

散布日	農薬を散布した茶期	散布量(L/10 a)		農薬の種類(成分%)	殺ダニ活性	濃度(ppm)
		スポット散布	慣行			
2015年						
5/8	二番茶	40	200	フェンプロパトリン(10)	有	100
6/24	三番茶	40	200	フェンプロパトリン(10)	有	100
8/5	秋芽-1回目	40	200	ペルメトリン(20)		100
8/19	秋芽-2回目	40	200	フェンプロパトリン(10)	有	100
9/18	秋芽生育期	40	200	スピネトラム(11.7)		23.4
2016年						
5/13	二番茶	40	200	フェンプロパトリン(10)	有	100
7/1	三番茶	40	200	フェンプロパトリン(10)	有	100
8/19	秋芽-1回目	40	200	フェンプロパトリン(10)	有	100
8/24	秋芽-2回目	40	200	ペルメトリン(20)		100
2017年						
5/19	二番茶	40	200	ピフェントリン(2)	有	20
7/3	三番茶	40	200	シペルメトリン(6)		60
8/16	秋芽-1回目	40	200	ペルメトリン(20)		100
8/30	秋芽-2回目	40	200	ピフェントリン(2)	有	20
10/2	秋芽生育期	40	200	フルベンジアミド(18)		90

(イ) カンザワハダニおよびカブリダニ類の発消長

カンザワハダニの発消長を2015年8月~2017年10月にかけて調査し、カブリダニ類は2015年5月から調べた。調査間隔は5~10月を約7日、11~4月は約14~20日とした。各処理区の両端0.5mを除いた範囲の摘採面-10cmの成葉をサンプリング対象とし、各区から無作為に100枚ずつ採葉したものをポリエチレン製のチャック袋に入れて持ち帰り、実体顕微鏡(SZ-61: オリンパス株式会社)下でカンザワハダニおよびカブリダニ類を計数した。カブリダニ類は70%エタノール溶液で保存した後にプレパラート標本化し、豊島ら¹¹⁷⁾や江原⁵⁾の手法に従い、位相差顕微鏡(DM750: Leica, Wetzlar, Germany)を用いて種まで同定した。なお、ダニ類の卵のみが確認されたチャ葉については、ダニ類の寄生葉としてのカウントから外した。

イ 合成ピレスロイド系農薬に対するカブリダニ類の忌避能力(室内試験)

研究茶園で多く確認されたニセラーゴカブリダニ、チリカブリダニおよびコウズケカブリダニを供試種とした。ニセラーゴカブリダニは2017年10月および12月に鹿児島県農業開発総合センター茶業部の茶園から採集し、25°C(16L8D)に設定したグロースチャンパー(MLR-352-PJ: パナソニック株式会社)内において、24穴マルチウエルプレート(ビーエム機器株式会社)上でチャ花粉を与えて飼育した個体を使用した。チリカブリダニは2017年5~12月に鹿児島県農業開発総合センター茶業部の茶園から、コウズケカブリダニは2017年11月に鹿児島市内の鹿児島大学郡元キャンパス内の茶園から採集し、インゲン葉 *Phaseolus vulgaris* L. (品種:‘大正金時’)で作ったリーフディスク(2.0×2.0 cm)上で、カンザワハダニを与えて飼育した(25°C(16L8D))。なお、餌のカンザワハダニは2017年5~10月に鹿児島県農業開発総合センター茶業部の茶園から採集し、25°C(16L8D)条件下にてインゲンマメ実生苗を餌として累代飼育⁹⁹⁾した個体を用いた。

研究茶園において散布履歴があるフェンプロパトリン(100 ppm)、ペルメトリン(100 ppm)、ピフェントリン(20 ppm)およびシペルメトリン(60 ppm)を供試農薬に選び、対照には蒸留水を用いた。試験装置は van den Boom et al.¹²⁶⁾を参考に作成し、各試験は以下の手順で行った。まず2 cm四方のインゲンマメ初生葉を2枚用意し、片方を農薬に浸漬した後、風乾させた。次に2枚の葉片の葉表を上にして、T字状(3.5×3.0 cm)に切ったパラフィルムを介して接続した。葉片とパラフィルムの下には脱脂綿を敷き、9 cm シャーレ内に設置して周囲を蒸留水で満たした(図11)。続いてパラフィルムの上に面相

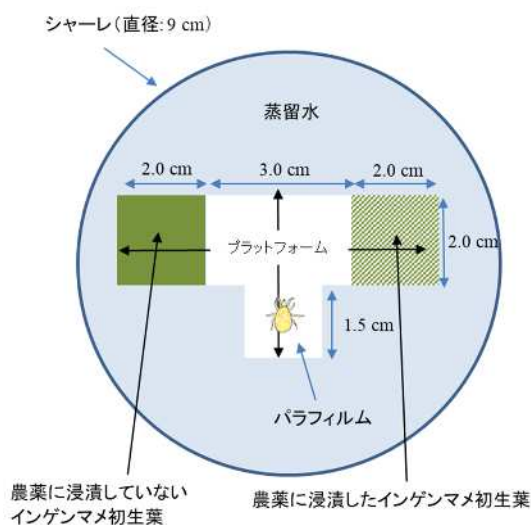


図11 合成ピレスロイド系農薬に対するカブリダニ類の忌避能力試験図

筆を用いてカブリダニ雌成虫1頭（以下、カブリダニ）をパラフィルム上に移し、それから60分後にカブリダニが確認された場所と状態を記録した。状態判定は健全虫、苦悶虫、水没虫のいずれかでを行い、試験前と変わらず正常な動きをするものを健全虫、脚の痙攣や仰向けになりもがき苦しむ様子など行動に異常が認められたものを苦悶虫として判定した。水没虫については、水没を確認した時点で試験を終了とし、また、供試個体数は各農薬ともに25とした。なお、本研究では水没を忌避行動として分類したが、忌避した後のカブリダニの生死が不明であった。そこで水没が確認された時点のニセラーゴカブリダニを回収し、マンジャーセル（4.0×5.0 cm; 孔径: 2.5 cm）を用いた方法⁵⁶⁾にてチャ花粉を餌として個体飼育し、24時間後の状態を健全虫、苦悶虫、死亡虫のいずれかで判定した。これらのカブリダニ類の状態判定（健全、苦悶、逃亡）は先行研究^{127), 12), 53), 14)}に準じた。

ウ 統計解析

忌避能力試験では結果を比率に変換した後、 χ^2 検定で有意差が認められた場合はRyanの方法（ $P < 0.05$ ）にて各区の比率の差を比較した。また、結果に0が含まれている場合は χ^2 検定が不適当である（対照の蒸留水では苦悶虫は発生しない）ので、忌避と生存の2要素についてFisherの正確確率検定で有意差が認められた場合は、Ryanの方法（ $P < 0.05$ ）にて各処理区間の比率の差を多重比較した。

野外試験の統計処理については、各区における1葉当たりのダニ類個体数データを $\log_{10}(N+0.5)$ 変換した数値で反復測定分散分析を行い、有意差が認められた場合はTukey-Kramerの方法にて処理区間を多重比較した。これらの統計解析にはJMP®7 software⁹³⁾を用いた。

(2) 結果

ア 茶園のカンザワハダニとカブリダニ類の種構成および個体数（野外試験）

2015年8月～2017年10月までのカンザワハダニの総合計個体数は、処理区間に有意差は認められなかった（ $F = 2.33$, $df = 2, 79$, $P = 0.1005$ ）（図12）。各年のカンザワハダニの総個体数は、2015年8～12月は40L区が無処理区および200L区よりも有意に多く、200L区と無処理区は同等で、2016年1～12月および2017年1～10月は処理区間に有意差は認められなかった（2015: $F = 9.41$, $df = 2, 12$, $P = 0.0010$; 2016: $F = 1.30$, $df = 2, 33$, $P = 0.2792$; 2017: $F = 0.95$, $df = 2, 32$, $P = 0.3936$ ）。調査期間中におけるカンザワハダニの寄生率の最大値は、200L区が17.3%、40L区は20.0%、無処理区は10.0%であった。

2015年5月～2017年10月までのカブリダニ類の総合計個体数については、処理区間に有意差は認められなかった（ $F = 1.14$, $df = 2, 91$, $P = 0.3218$ ）（図12）。各年のカブリダニ類の総個体数は、2015年5～12月は40L区と無処理区および200L区が同等で、200L区は無処理区よりも有意に少なく（ $F = 4.04$, $df = 2, 24$, $P = 0.0239$ ）、2016年1～12月（ $F = 0.40$, $df = 2, 33$, $P = 0.6725$ ）および2017年1～10月（ $F = 1.71$, $df = 2, 32$, $P = 0.1888$ ）については、処理区間に有意差が認められなかった（図12, 13）。農薬散布後に確認されたカブリダニ種は、ニセラーゴカブリダニ、チリカブリダニ、ニセトウヨウカブリダニ *Amblyseius obtuserellus* Wainstein and Begljarov (Acari: Phytoseiidae)、コウズケカブリダニおよびフツウカブリダニ *Typhlodromus vulgaris* Ehara (Acari: Phytoseiidae) であり、農薬散布前に優占種であったコウズケカブリダニが農薬散布後はほとんど確認されなくなり、代わってニセラーゴカブリダニとチリカブリダニが優占種となるなどカブリダニ相が変動した（表15, 図13）。調査期間を通しての各種カブリダニ類の合計個体数は、ニセトウヨウカブリダニについては、40L区が無処理区および200L区と同等で、200L区は無処理区よりも有意に少なく（ $F = 3.20$, $df = 2, 91$, $P = 0.0429$ ）、ニセラーゴカブリダニ（ $F = 1.07$, $df = 2, 91$, $P = 0.3454$ ）、チリカブリダニ（ $F = 1.22$, $df = 2, 91$, $P = 0.2979$ ）、コウズケカブリダニ（ $F = 1.35$, $df = 2, 91$, $P = 0.2632$ ）およびフツウカブリダニ（ $F = 1.00$, $df = 2, 91$, $P = 0.3699$ ）には処理区間の有意差が認められなかった（表15）。

農薬散布前とその後の各年のカブリダニ類の種構成を図13に示す。2015年の農薬散布前はコウズケカブリダニが優占種であったが、初回農薬散布後の5月から12月のカブリダニ類の総個体数については、ニセラーゴカブリダニは40L区と無処理区および200L区が同等、200L区は無処理区よりも有意に少なく（ $F = 4.49$, $df = 2, 24$, $P = 0.0163$ ）、その他のカブリダニ類については、処理区間の有意差は認められなかった（ $P > 0.05$ ）。2016年のニセトウヨウカブリダニの総個体数は40L区と無処理区および200L区が同等で、200L区は無処理区よりも有意に少なく（ $F = 3.08$, $df = 2, 33$, $P = 0.0526$ ）、その他のカブリダニ類には処理区間の有意差は認められなかった（ $P > 0.05$ ）。2017年に確認されたカブリダニ4種の総個体数については、処理区間に有意差は認められなかった（ $P > 0.05$ ）。

イ 合成ピレスロイド系農薬に対するカブリダニ類の忌避能力（室内試験）

ニセラーゴカブリダニの水没虫数は、ペルメトリンお

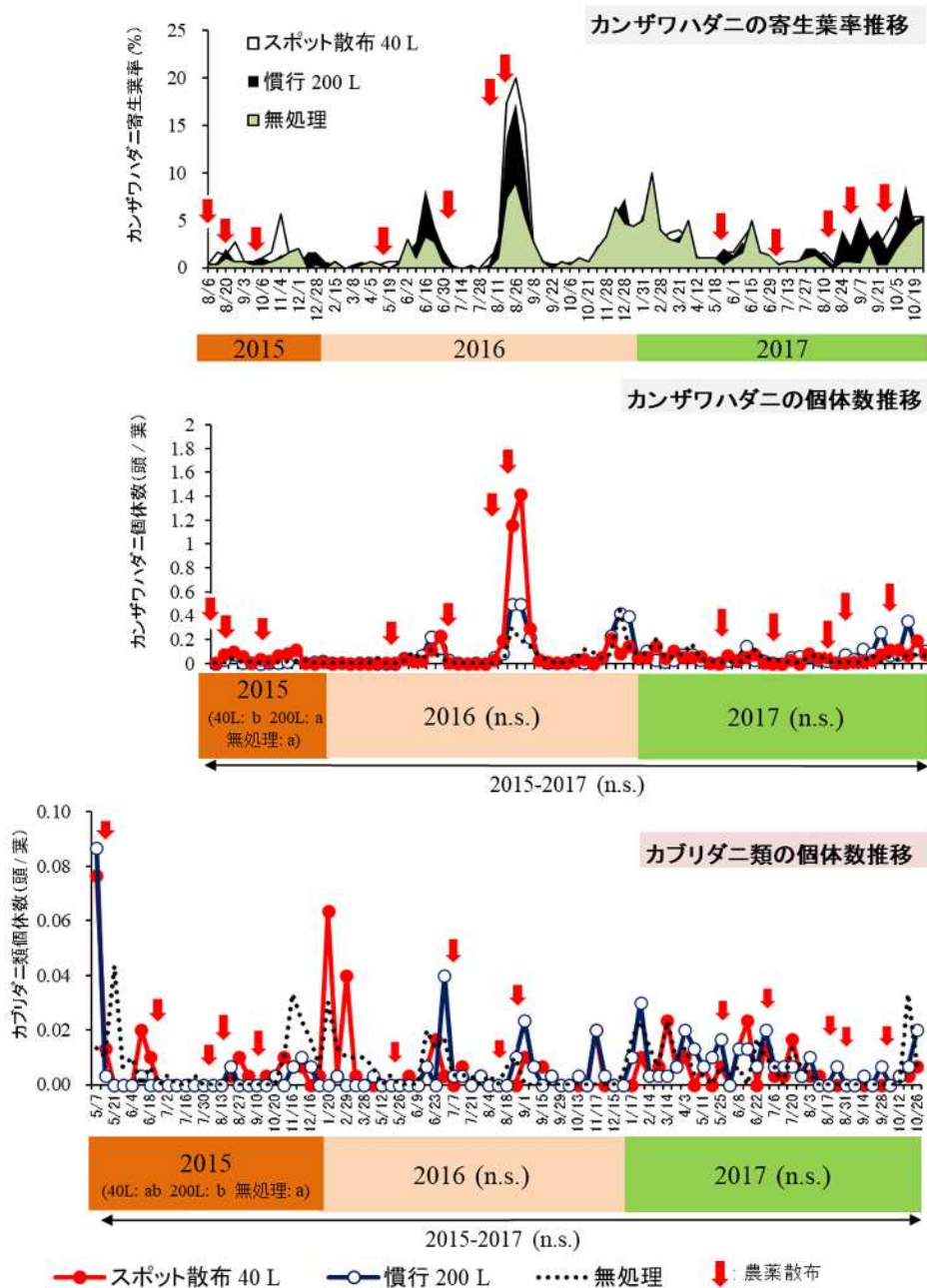


図 12 カンザワハダニ寄生葉率とカンザワハダニおよびカブリダニ類の個体数推移
 注) 各年の異なる英文字間には、有意差あり (Tukey-Kramer の方法, $P < 0.05$; n.s., not significant).

よびピフェントリン処理区では対照区 (蒸留水) よりも有意に多くなったが、フェンプロパトリンおよびシペルメトリン処理区は対照区 (蒸留水) よりもやや多かったものの、同等であった ($P < 0.05$) (図 14)。一方、チリカブリダニとコウズケカブリダニは合成ピレスロイド系農薬すべてと対照区 (蒸留水) 間での水没虫数に有意差が認められず、供試した合成ピレスロイド系農薬に対する忌避行動は明確には確認されなかった ($P > 0.05$) (図 14)。

処理 60 分後にカブリダニ類が確認された位置については、ニセラーゴカブリダニの水没を除いてはすべて処理区間に有意な差は認められなかった ($P > 0.05$) (図 14)。

ニセラーゴカブリダニの健全虫は対照区 (蒸留水) よりもすべての合成ピレスロイド系農薬処理区において有意に少なくなった ($P < 0.05$) (図 15)。また、ニセラーゴカブリダニの忌避 (水没) 虫は、ペルメトリンでは対照区 (蒸留水) よりも有意に多かったが、ピフェントリン、フェンプロパトリンおよびシペルメトリンは対照区 (蒸留水) と同等であった ($P < 0.05$)。チリカブリダニは供試した合成ピレスロイド系農薬いずれの場合においてもほとんどが正常に行動しており、対照区 (蒸留水) と比較して有意差は認められなかった ($P > 0.05$) (図 15)。一方、コウズケカブリダニの健全虫数はすべての合成ピ

表15 2015年5月から2017年10月にかけて各処理区から採集されたカブリダニ類の個体数

種名	カブリダニ類個体数(頭)		
	スポット散布40 L	慣行200 L	無処理
ニセラーゴカブリダニ	0.53 ± 0.19	0.43 ± 0.11	0.66 ± 0.13
チリカブリダニ	0.21 ± 0.06	0.12 ± 0.04	0.23 ± 0.06
ニセトウヨウカブリダニ	0.04 ± 0.02 ab	0.01 ± 0.01 b	0.12 ± 0.05 a
コウズケカブリダニ	0.05 ± 0.04	0	0.08 ± 0.06
フツウカブリダニ	0.03 ± 0.03	0	0
カブリダニ類総合計個体数	128	133	174

注1) 各種のカブリダニ類データは、調査日当たりの個体数(平均±標準誤差)を示す。総合計個体数には雄成虫および幼若虫も含む。

注2) 同行内の異なる英文字間には、有意差あり(Tukey-Kramer法, $P < 0.05$)。

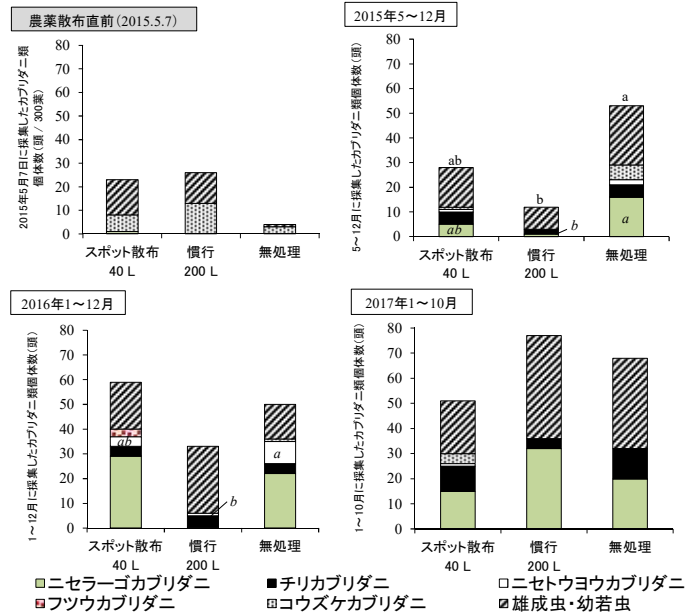


図13 農薬散布前後のカブリダニ類の種構成の違い

注) 調査期間は2015年5~12月、2016年1~12月および2017年1~10月である。各調査期間のカブリダニ類個体数における異なる英文字間と、同種のカブリダニ類における異なるイタリック体間には、有意差あり(Tukey-Kramerの方法, $P < 0.05$)。

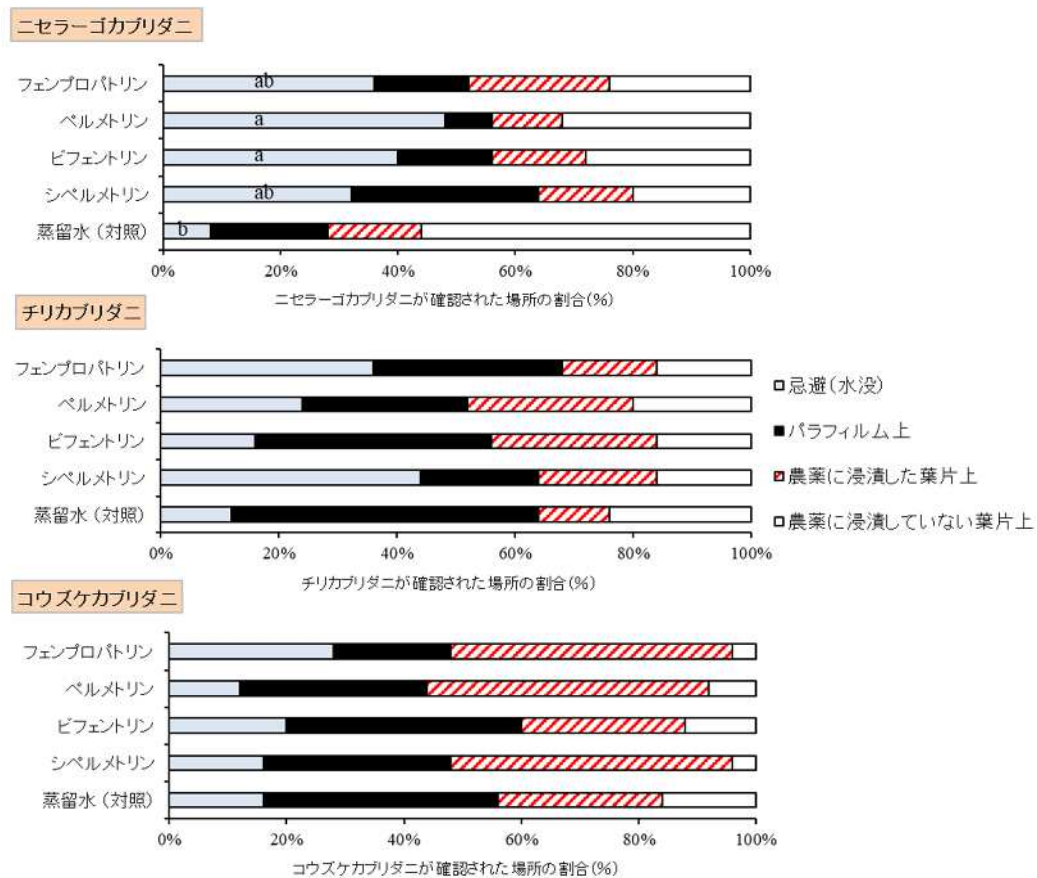


図14 4種類の合成ピレスロイド系農薬に浸漬した葉片で供試したカブリダニ3種の忌避能力(n=25)

注) カブリダニ類が確認された場所における異なる英文字間には、有意差あり(Ryanの方法, $P < 0.05$)。

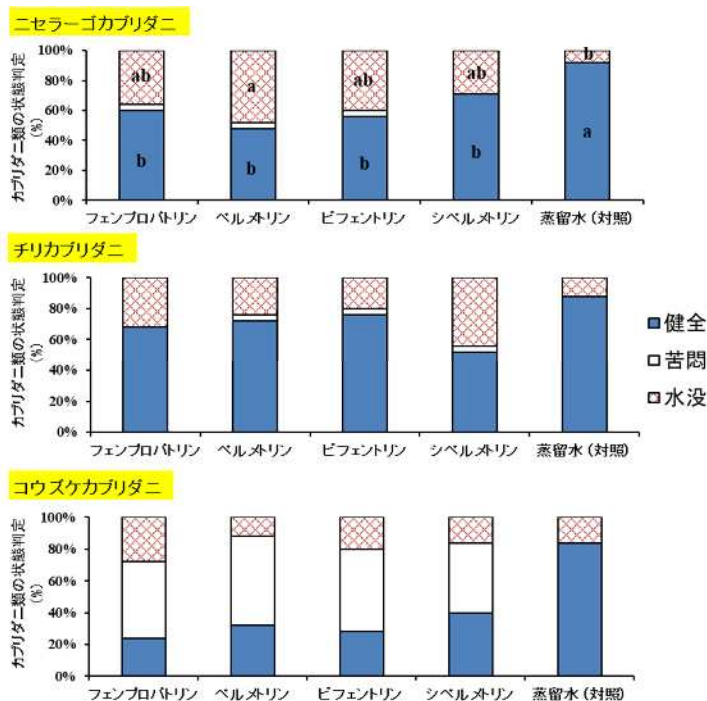


図 15 忌避能力試験の開始から 60 分が経過した時点における 3 種のカブリダニ類の状態 (n=25)

注) カブリダニ類の各状態における異なる英文字間には、有意差あり (Ryan の方法, $P < 0.05$).

レスロイド系農薬と対照区 (蒸留水) に有意差は認められなかったが ($P > 0.05$), 合成ピレスロイド系農薬供試下では苦悶虫が多く、健全虫数も少ない傾向にあった (図 15).

水没直後にマンジャーセルに移されて個体飼育されたニセラーゴカブリダニの 24 時間後の状態を表 16 に示す。ペルメトリンおよびビフェントリンではすべてのニセラーゴカブリダニ水没虫が 24 時間後も正常に行動していた。一方、水没 24 時間後の行動に異常が見られたニセラーゴカブリダニはフェンプロパトリン (n=9) およびシペルメトリン (n=8) とともに 1 頭であり、シペルメトリン (n=8) ではうち 1 頭が死亡していた。

(3) 考察

池田・山本¹⁷⁾は夏期に合成ピレスロイド系農薬を茶園に散布すると秋期に非常に高い確率でカンザワハダニのリサージェンスが発生し、その影響が翌年の二番茶期まで継続する主因として、ケナガカブリダニの減少を挙げた。研究茶園ではケナガカブリダニは確認されなかったが、ハダニの密度上昇を未然に防ぐ役割を果たす広食性カブリダニ⁴⁹⁾であるニセラーゴカブリダニと、ハダニ多発時に対応できるチリカブリダニ^{105), 107)}の両者が優占種として存在していた。長友⁵⁷⁾は 1980 年代に研究茶園付近の茶園で確認されたカブリダニ類はケナガカブリダニであったと記している。本調査ではニセラーゴカブリダ

表 16 水没からの救出より 24 時間が経過した時点のニセラーゴカブリダニの状態

農薬の種類 (成分 %)	濃度 (ppm)	プラットフォームから忌避して水没したカブリダニの個体数 (頭)	水没救出から 24 時間後の状態 (頭)		
			健全	苦悶	死亡
フェンプロパトリン (10)	100	9	8	1	0
ペルメトリン (20)	100	12	12	0	0
ビフェントリン (2)	20	10	10	0	0
シペルメトリン (6)	60	8	6	1	1
蒸留水 (対照)	-	2	2	0	0

ニをはじめ、チリカブリダニ、ニセトウヨウカブリダニ、コウズケカブリダニおよびフツウカブリダニが確認され、カブリダニ類の種構成に大きな変化が生じていた。果樹園のカブリダニ類の種構成はカブリダニ類それぞれの農薬感受性の違いによって変化があり¹²⁴⁾、茶園においてもカブリダニ類の種構成は栽培管理によって異なるとされる⁹²⁾。茶園のカブリダニ相が 1960 年代から変遷している可能性の指摘や¹¹⁸⁾、現場におけるカンザワハダニ防除の省略事例⁸⁴⁾の報告もあるように、カンザワハダニの少発生傾向にカブリダニ類の多様化が貢献している可能性は高い¹¹⁶⁾。

チリカブリダニは室内試験において、フェンプロパトリン、ペルメトリン、ビフェントリンおよびシペルメトリン処理葉に接触した後もほとんどの個体が正常な行動を続けたが、シペルメトリンでは供試虫のうち約 40% が水没 (忌避) した。同様な実験下におけるカブリダニ類の水没を忌避行動とみなす先行研究から^{127), 12), 53), 14)}、チリカブリダニはシペルメトリン等の供試農薬からの忌避行動を行う可能性があると考えられる。さらに、浜村・磯部¹³⁾はチリカブリダニがフェンプロパトリン、ペルメトリンおよびシペルメトリンに対し、実用濃度において極めて高い抵抗性を持つことを発見している。チリカブリダニは室内試験でのビフェントリン接触後も健全な個体が忌避個体と合わせて 96% であり、野外試験の農薬散布区の個体数に無処理区との有意差が認められなかった

結果と傾向が一致した。このことから、フェンプロパトリン、ペルメトリン、ピフェントリンおよびシペルメトリンが茶園に本研究と同条件で散布された場合は、チリカブリダニは農薬抵抗性や忌避行動によって生存可能だと考えられた。なお、チリカブリダニの野外における事例については茶園⁸⁰⁾やナシ園¹³²⁾における他の先行報告例もある。

岸本ら³¹⁾は合成ピレスロイド系農薬がニセラーゴカブリダニに対して強い影響を与えると報告している。しかし、ニセラーゴカブリダニと供試農薬の接触時間が短く、さらに農薬が付着していない場所への忌避も可能な本研究では、岸本ら³¹⁾の結果よりも致死率が低くなった。また、農薬を忌避して水没したニセラーゴカブリダニが多かったが、それらは24時間後もほとんどの個体が正常な行動を示したうえ、茶園におけるニセラーゴカブリダニの2015年5月～2017年10月の総合計個体数についても、農薬を散布した区と無処理区に有意差が認められなかった。茶樹摘採面上から散布された農薬(200 L/10 a)が葉層内部(摘採面-15 cm)に達する量は散布量の約20%であり²⁸⁾、Kawai²⁷⁾は茶樹摘採面上から農薬散布(200 L/10 a)をした場合のケナガカブリダニの個体数は無処理と差がないが、樹冠内部に農薬を散布(400 L/10 a)した場合はケナガカブリダニが減少したと報告している。これらのことから、茶樹摘採面上から供試農薬が散布(200 L/10 a)されても、ニセラーゴカブリダニの活動範囲内に致死に至る量の農薬が付着しにくく、安全なスペースへの忌避によってニセラーゴカブリダニは生存可能だと考えられた。また、本研究では樹冠内部へ多量の農薬が到達するカンザワハダニ(400 L/10 a)とクワシロカイガラムシ(700～1,000 L/10 a)対象の防除を実施していないが、このこともカブリダニ類の保護につながった可能性がある。なお、ニセラーゴカブリダニの総個体数は、2015年においては200 L区が無処理区よりも有意に少なかったが、2016年と2017年は処理区間差が認められなかった。茶樹の生長がニセラーゴカブリダニの農薬からの忌避を容易にしたか、ニセラーゴカブリダニ側の農薬感受性に関する理由等が推測されるが、この点については今後のさらなる検討が必要である。

一方、農薬散布前に優占種であったコウズケカブリダニは、多くの個体が合成ピレスロイド系農薬処理葉に接触するとすぐに苦悶し、正常な行動が不能になった。このことは、ペルメトリン20%水和剤希釈液によるコウズケカブリダニの死亡率が、200 ppm、100 ppm、50 ppmでは100%で、25 ppmでも63%であったとの柴尾ら⁹⁶⁾の報告と傾向が一致し、コウズケカブリダニの供試農薬に対

する感受性の高さが示された。また、非選択性農薬が多く使用される果樹園ではコウズケカブリダニがほとんど観察されなくなるとされる³¹⁾。本研究茶園でもコウズケカブリダニは、農薬散布から約2年半後の研究終了時まで200 L区において確認されず、40 L区および無処理区では若干数の確認となった。摘採面-5 cmの成葉表面における農薬被覆面積率は、40 L/10 a散布が約40%以上、200 L/10 a散布は約90%以上であり、さらに成葉裏面に対する農薬被覆面積率は40 L/10 a散布で0.2%の際に、200 L/10 a散布では11.3%であった事例がある(第1章第1・2節および第2章第1節)。このことから、コウズケカブリダニに対する農薬の悪影響は40 L区においては、200 L区よりも緩和されていた可能性がある。なお、ニセトウヨウカブリダニの個体数については、40 L区および無処理区よりも200 L区で少ない傾向にあった。

これらのことから、茶樹葉層内へ多量の農薬が到達せず、カブリダニ類が忌避できる空間が残る農薬散布方法であれば、農薬を使用したとしてもカブリダニ類の保護と多様性の維持を図ることができると考えられた。ナミハダニ *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) の防除にはミヤコカブリダニ *Neoseiulus californicus* (McGregor) (Acari: Phytoseiidae) とチリカブリダニの組合せが効果的であることが知られるように⁹⁵⁾、茶園においてもカブリダニ類の多様性とそれらの個体数の維持によって、カンザワハダニの低密度安定化が図られる可能性があると考えられた。

第3節 寄生蜂類、テントウムシ類およびその他の昆虫類

小澤⁷¹⁾はハマキガ類対象の殺虫剤散布の削減でチビトビコバチ *Arrhenophagus albitibiae* Girault (Hymenoptera: Encyrtidae) などの天敵類が保護され、それらの活動の活発化によってクワシロカイガラムシ対象の薬剤散布も不要になり、さらに、減農薬の推進とそれによる様々な土着天敵類の保護が図られることで、より大幅な減農薬と環境保全が達成できると指摘している。しかし、ハマキガ類の寄生蜂が殺虫剤散布の影響を受けやすいことは明らかであるが⁷²⁾、茶園に生息する土着天敵類の種類や発生時期などの実態については不明な点が多く¹⁸⁾、土着天敵群集の一角を占めると考えられる寄生蜂類については調査事例が少ない⁷⁸⁾。また、アザミウマタマゴバチ *Megaphragma* sp. は無農薬茶園で主に発生が確認され、チャノキイロアザミウマの卵寄生蜂と考えられている⁶⁷⁾。さらに近年は、全国の茶園へ侵入・増殖しているチャトゲコナジラミ *Aleurocanthus camelliae* Kanmiya and

Kasai (Hemiptera: Aleyrodidae) の密度抑制にシルベストリコバチ *Encarsia smithi* (Silvestri) (Hymenoptera: Aphelinidae) の寄与が大きいとされることから⁷⁶⁾、これからのチャ栽培における防除を考える上で、天敵寄生蜂類等へ配慮した農薬散布方法について検討を深める必要性は高い。また、土着天敵の保護利用に当たっては、天敵類の種構成や発生活長を明らかにした上で、それらの保護技術を開発する必要がある⁷⁹⁾。

クワシロカイガラムシの有力な土着天敵としては、ヒメアカホシテントウ⁸¹⁾、⁶⁷⁾やハレヤヒメテントウ²⁵⁾、⁶⁷⁾も知られている。さらに農薬の散布回数や散布量の低減は、農業における生物多様性の保全・向上のための重要な要素の一つであるが⁹¹⁾、茶園に多く生息しているその他の昆虫類への農薬散布の影響については情報が少ない状況にある。そこで、第1章で害虫の発生状況調査に用いた白色粘着トラップにおいて捕獲された寄生蜂類、テントウムシ類およびその他の昆虫類について調査を行った。

(1) 試験 (実験) 材料および方法

研究茶園や処理区、調査期間は第1章第2節および第2章第1・2節と重複する非選択性および選択性農薬茶園で、チャノミドリヒメヨコバイ、チャノキイロアザミウマおよびクワシロカイガラムシ雄成虫の発生状況調査用として設置した白色粘着トラップ (10 × 10 cm 両面: サンケイ化学株式会社) で捕獲された寄生蜂類、テントウムシ類およびその他の昆虫類を約7日間隔で調査した。寄生蜂類の同定については実体顕微鏡 (SZ61: オリンパス株式会社) で識別と計数を行い、高木¹⁰⁸⁾、Huang and Polaszek¹⁶⁾、Polaszek et al.⁸⁷⁾、高梨¹⁰⁹⁾などの文献を参考にしたが、同定が困難な種も多く含まれた。そこで、寄生蜂類をアザミウマタマゴバチ、*Encarsia* spp.、それ以外の寄生蜂をすべて合算した「その他の寄生蜂類」に分類した。調査対象としたテントウムシ類はクワシロカイガラムシを捕食するヒメアカホシテントウとハレヤヒメテントウ⁸¹⁾、²⁵⁾、⁶⁷⁾、その他の昆虫類は確認された個体数が多かったキノコバエ科、クロバネキノコバエ科、トビムシ目、タマバエ科およびチョウバエ科とした。なお、その他の昆虫類は同定が困難な為、科や目レベルでの集計に止め、キノコバエ科とクロバネキノコバエ科は合算した。

白色粘着トラップで捕獲された寄生蜂類、テントウムシ類およびその他の昆虫類の個体数については、各年の初回農薬散布日後から最終調査日までの調査日毎に得られた捕獲数データを $\log_{10}(N+0.5)$ 変換した数値で反復測定分散分析し、有意差が認められた場合は Tukey-

Kramer 法にて処理区間を多重比較した。なお、同じ処理区における葉層の上部と最下部の個体数については、Wilcoxon の符号付順位と検定で解析した。これらの統計解析には JMP® 7 software⁹³⁾ を用いた。

(2) 結果

白色粘着トラップで捕獲された各年の合計個体数については、寄生蜂類およびテントウムシ類は表17に、その他の昆虫類は表18に示した。2016年のアザミウマタマゴバチの個体数は、非選択性農薬茶園の葉層の上部と最下部ともに40L区と無処理区が同等で、40L区および無処理区よりも200L区は有意に少なかった (葉層上部: $F=19.58$, $df=2, 21$, $P<0.0001$; 葉層最下部: $F=9.61$, $df=2, 21$, $P=0.0004$)。一方、2016年の選択性農薬茶園のアザミウマタマゴバチの個体数については、葉層の上部と最下部ともに処理区間差が認められなかった (葉層上部: $F=2.95$, $df=2, 20$, $P=0.0636$; 葉層最下部: $F=1.61$, $df=2, 20$, $P=0.2134$)。2017年のアザミウマタマゴバチの個体数は、非選択性農薬茶園の葉層上部は40L区と無処理区が同等で、40L区および無処理区より200L区は有意に少なかったが ($F=6.73$, $df=2, 22$, $P=0.0028$)、葉層最下部では処理区間の有意差が認められなかった ($F=2.18$, $df=2, 22$, $P=0.1248$)。一方、2017年の選択性農薬茶園のアザミウマタマゴバチの個体数は、葉層上部の処理区間差がなく ($F=2.44$, $df=2, 20$, $P=0.1005$)、葉層最下部においては、40L (秋90L) 区は無処理区と同等で200L区よりも有意に多く、200L区と無処理区は同等であった ($F=5.27$, $df=2, 20$, $P=0.0093$)。なお、各処理区の葉層の上部と最下部におけるアザミウマタマゴバチの個体数を比較したところ、2017年の非選択性農薬茶園の200L区 ($P>0.05$) 以外はすべて葉層上部において有意に多かった ($P<0.05$)。

2016年の *Encarsia* spp. の個体数は、非選択性農薬茶園では処理区間に有意差が認められなかったが (葉層上部: $F=1.01$, $df=2, 21$, $P=0.3728$; 葉層最下部: $F=1.48$, $df=2, 21$, $P=0.2394$)、選択性農薬茶園の葉層上部では、40L (秋90L) 区は無処理区と同等で200L区よりも有意に多く、200L区と無処理区は同等 ($F=6.92$, $df=2, 20$, $P=0.0026$)、葉層最下部では処理区間に有意差が認められなかった ($F=2.01$, $df=2, 20$, $P=0.1479$)。2017年の *Encarsia* spp. の個体数は、非選択性農薬茶園の40L区および無処理区よりも200L区は有意に少なく (葉層上部: $F=45.99$, $df=2, 22$, $P<0.0001$; 葉層最下部: $F=17.89$, $df=2, 22$, $P<0.0001$)、選択性農薬茶園の葉層上部においては、40L (秋90L) 区は無処理区および200L区と同等で、200L

表 17 白色粘着トラップで捕獲された寄生蜂類とヒメアカホシテントウおよびハレヤヒメテントウの合計個体数

茶園	年	処理区 (L/10 a)	葉層内の トラップ設 置位置	アザミウマタマゴバチ				Encarsia spp.			
				トラップ当 たりの 個体数(頭)	統計解析		トラップ当 たりの 個体数(頭)	統計解析			
					処理区間	上部 vs. 最下部 (同区)		処理区間	上部 vs. 最下部 (同区)		
非選択性 農薬	2016 (5~10月)	スポット散布 40 L	葉層上部 (摘採面下 約 5 cm)	153.2 ± 18.8	a	40L ** 200L *	16.5 ± 4.6	a	40L ** 200L **		
		慣行 200 L		82.3 ± 13.6	b		10.2 ± 1.6	n.s.			
		無処理		165.0 ± 24.5	a		18.2 ± 4.6				
	2017 (6~11月)	スポット散布 40 L	葉層最下部 (摘採面下 約 25 cm)	33.7 ± 5.2	a	No **	6.2 ± 1.9	a	No **		
		慣行 200 L		18.0 ± 3.4	b		3.8 ± 1.2	n.s.			
		無処理		38.2 ± 5.6	a		7.3 ± 1.4				
2017 (6~11月)	スポット散布 40 L	葉層上部 (摘採面下 約 5 cm)	56.3 ± 11.9	a	40L ** 200L n.s.	38.0 ± 13.7	a	40L ** 200L **			
	慣行 200 L		24.3 ± 4.2	b		11.0 ± 1.5	b				
	無処理		62.3 ± 7.2	a		32.8 ± 9.8					
選択性 農薬	2016 (5~10月)	スポット散布 40 L (秋90 L)	葉層最下部 (摘採面下 約 25 cm)	15.5 ± 2.5	n.s.	No *	14.7 ± 4.5	a	No **		
		慣行 200 L		8.7 ± 1.6			b	3.8 ± 0.5			
		無処理		17.0 ± 3.3			a	10.8 ± 4.1			
	2017 (6~11月)	スポット散布 40 L (秋90 L)	葉層上部 (摘採面下 約 5 cm)	450.3 ± 56.4	n.s.	40L ** 200L **	21.5 ± 3.7	a	40L ** 200L **		
		慣行 200 L		368.0 ± 57.6			b	11.3 ± 1.5		b	
		無処理		369.3 ± 20.2			ab	18.0 ± 3.4			
2017 (6~11月)	スポット散布 40 L (秋90 L)	葉層最下部 (摘採面下 約 30 cm)	66.5 ± 2.8	n.s.	No **	5.8 ± 1.4	n.s.	No **			
	慣行 200 L		61.8 ± 6.6				2.8 ± 0.6				
	無処理		52.7 ± 6.5				4.0 ± 1.7				
2017 (6~11月)	スポット散布 40 L (秋90 L)	葉層上部 (摘採面下 約 5 cm)	129.0 ± 11.6	n.s.	40L ** 200L **	20.7 ± 3.7	ab	40L ** 200L **			
	慣行 200 L		82.5 ± 9.5			b	16.5 ± 2.2		b		
	無処理		123.2 ± 6.8			a	27.3 ± 3.8		a		
2017 (6~11月)	スポット散布 40 L (秋90 L)	葉層最下部 (摘採面下 約 30 cm)	37.5 ± 2.8	a	No **	9.7 ± 2.1	n.s.	No **			
	慣行 200 L		24.8 ± 3.9			b	6.7 ± 1.1				
	無処理		36.7 ± 4.4			ab	9.5 ± 1.5				

表 17 (表の続き)

茶園	年	処理区 (L/10 a)	葉層内の トラップ設 置位置	その他の寄生蜂類				ヒメアカホシテントウ	ハレヤヒメテントウ
				トラップ当 たりの 個体数(頭)	統計解析		トラップ当 たりの 個体 数(頭)	トラップ当 たりの 個体 数(頭)	
					処理区間	上部 vs. 最下部 (同区)			
非選択性 農薬	2016 (5~10月)	スポット散布 40 L	葉層上部 (摘採面下 約 5 cm)	91.2 ± 11.5	n.s.	40L ** 200L **	2.8 ± 0.7	0.2 ± 0.2	
		慣行 200 L		75.5 ± 11.2			1.8 ± 0.6	n.s.	0
		無処理		78.5 ± 11.9			3.5 ± 0.7		0.5 ± 0.5
	2017 (6~11月)	スポット散布 40 L	葉層最下部 (摘採面下 約 25 cm)	34.8 ± 7.0	a	No **	3.2 ± 1.0	0.3 ± 0.2	
		慣行 200 L		26.7 ± 2.2			2.8 ± 0.8	n.s.	0.2 ± 0.2
		無処理		30.8 ± 5.5			3.2 ± 0.8		0.3 ± 0.2
2017 (6~11月)	スポット散布 40 L	葉層上部 (摘採面下 約 5 cm)	153.8 ± 16.0	a	40L ** 200L **	0.7 ± 0.3	0		
	慣行 200 L		98.5 ± 9.1			1.5 ± 0.4	n.s.	0	
	無処理		160.5 ± 36.6			1.5 ± 0.5		0	
選択性 農薬	2016 (5~10月)	スポット散布 40 L (秋90 L)	葉層最下部 (摘採面下 約 25 cm)	82.2 ± 12.8	a	No **	1.2 ± 0.4	0	
		慣行 200 L		53.5 ± 5.6			0.5 ± 0.2	n.s.	0
		無処理		65.7 ± 8.4			1.5 ± 0.8		0
	2016 (5~10月)	スポット散布 40 L (秋90 L)	葉層上部 (摘採面下 約 5 cm)	122.2 ± 8.8	ab	40L ** 200L **	4.0 ± 0.5	0.3 ± 0.2	
		慣行 200 L		108.8 ± 3.9			2.5 ± 0.6	n.s.	0
		無処理		129.5 ± 14.2			2.2 ± 0.5		0.2 ± 0.2
2017 (6~11月)	スポット散布 40 L (秋90 L)	葉層最下部 (摘採面下 約 30 cm)	42.7 ± 6.7	n.s.	No **	2.7 ± 0.8	0.2 ± 0.2		
	慣行 200 L		24.7 ± 1.5			3.7 ± 1.0	n.s.	0.2 ± 0.2	
	無処理		33.8 ± 3.1			2.7 ± 0.8		0	
2017 (6~11月)	スポット散布 40 L (秋90 L)	葉層上部 (摘採面下 約 5 cm)	173.3 ± 9.7	b	40L ** 200L **	0.7 ± 0.3	0.2 ± 0.2		
	慣行 200 L		147.0 ± 7.6			1.5 ± 0.3	n.s.	0	
	無処理		211.0 ± 11.3			1.5 ± 0.2		0	
2017 (6~11月)	スポット散布 40 L (秋90 L)	葉層最下部 (摘採面下 約 30 cm)	100.0 ± 7.1	b	No **	2.2 ± 0.5	0		
	慣行 200 L		96.7 ± 10.3			0.8 ± 0.3	n.s.	0	
	無処理		126.2 ± 10.7			1.8 ± 0.5		0.2 ± 0.2	

注 1) データは平均±標準誤差を示す。各葉層内位置の異なる英文字間には、有意差あり (Tukey-Kramer 法, $P < 0.05$; n.s., not significant).

注 2) 同じ処理区の葉層の上部と最下部における個体数の統計解析は、Wilcoxon の符号付順位検定で行った。アスタリスクは有意差があることを示す (** $P < 0.01$; * $P < 0.05$; n.s., not significant)。

区は無処理区よりも有意に少なく ($F = 6.77$, $df = 2, 20$, $P = 0.0029$), 葉層最下部では処理区間の有意差は認められなかった ($F = 1.75$, $df = 2, 20$, $P = 0.1873$)。なお、各処理区の *Encarsia spp.* の個体数は、葉層の最下部よりも上部において有意に多かった ($P < 0.01$)。

その他の寄生蜂類の 2016 年の個体数については、非選択性農薬茶園の葉層上部においては、処理区間に有意

差が認められなかったが ($F = 1.18$, $df = 2, 21$, $P = 0.3178$), 葉層最下部では 40 L 区は無処理と同等で 200 L 区よりも有意に多く、200 L 区と無処理区は同等であった ($F = 3.45$, $df = 2, 21$, $P = 0.0411$)。2016 年の選択性農薬茶園におけるその他の寄生蜂類の個体数は、葉層上部においては 40 L (秋 90 L) 区と無処理区および 200 L 区が同等で、200 L 区は無処理区よりも有意に少なく ($F = 4.50$, $df = 2, 20$,

表 18 白色粘着トラップで捕獲されたその他の昆虫類の合計個体数

茶園	年	処理区 (L/10 a)	葉層内の トラップ設 置位置	キノコバエ科およびクロバネキノコバエ科				トビムシ目			
				トラップ当たりの 個体数(頭)	統計解析		トラップ当たりの 個体数(頭)	統計解析			
					処理区間	上部 vs. 最下部 (同区)		処理区間	上部 vs. 最下部 (同区)		
非選択性 農薬	2016 (5~10月)	スポット散布 40 L	葉層上部 (摘採面下 約 5 cm)	554.2 ± 74.5	b	40L ** 200L **	149.8 ± 13.4	b	40L * 200L **		
		慣行 200 L		663.5 ± 143.2	b		216.2 ± 29.2	a			
		無処理		757.5 ± 124.8	a		174.5 ± 27.7	a			
		スポット散布 40 L	葉層最下部 (摘採面下 約 25 cm)	222.5 ± 34.5	b		70.8 ± 4.6	ab			
		慣行 200 L		289.5 ± 61.8	ab		99.8 ± 8.9	a			
		無処理		302.5 ± 69.0	a		56.0 ± 7.1	b			
	2017 (6~11月)	スポット散布 40 L	葉層上部 (摘採面下 約 5 cm)	482.8 ± 57.5	n.s. 40L ** 200L **	177.2 ± 22.0	b	40L ** 200L **			
		慣行 200 L		500.7 ± 29.5		a	205.2 ± 14.7		a		
		無処理		454.0 ± 50.6		b	171.0 ± 17.9		b		
		スポット散布 40 L	葉層最下部 (摘採面下 約 25 cm)	179.3 ± 15.7		n.s. No **	79.7 ± 8.9		b	No **	
		慣行 200 L		172.0 ± 15.5			a		129.3 ± 15.1		a
		無処理		190.7 ± 25.8			b		78.2 ± 11.3		b
選択性 農薬	2016 (5~10月)	スポット散布 40 L(秋90 L)	葉層上部 (摘採面下 約 5 cm)	1276.5 ± 125.2	40L ** 200L **		178.5 ± 18.8	b	40L n.s. 200L n.s.		
		慣行 200 L		756.0 ± 106.1			b	155.3 ± 30.9			b
		無処理		933.0 ± 92.8			b	311.3 ± 82.1			a
		スポット散布 40 L(秋90 L)	葉層最下部 (摘採面下 約 30 cm)	697.5 ± 76.7		No **	75.5 ± 5.0	b		No **	
		慣行 200 L		311.8 ± 30.4			b	84.3 ± 20.6			b
		無処理		448.3 ± 54.0			b	230.5 ± 96.8			a
	2017 (6~11月)	スポット散布 40 L(秋90 L)	葉層上部 (摘採面下 約 5 cm)	402.3 ± 36.4	40L ** 200L **		195.2 ± 51.3	b	40L ** 200L *		
		慣行 200 L		464.0 ± 26.9			b	167.5 ± 56.2			c
		無処理		577.2 ± 77.8			a	285.2 ± 23.7			a
		スポット散布 40 L(秋90 L)	葉層最下部 (摘採面下 約 30 cm)	178.5 ± 11.2		No **	189.7 ± 51.3	b		No **	
		慣行 200 L		164.5 ± 14.8			b	135.2 ± 45.3			b
		無処理		219.2 ± 28.1			a	188.3 ± 32.3			a

表 18 (表の続き)

茶園	年	処理区 (L/10 a)	葉層内の トラップ設 置位置	タマバエ科				チョウバエ科			
				トラップ当たりの 個体数(頭)	統計解析		トラップ当たりの 個体数(頭)	統計解析			
					処理区間	上部 vs. 最下部 (同区)		処理区間	上部 vs. 最下部 (同区)		
非選択性 農薬	2016 (5~10月)	スポット散布 40 L	葉層上部 (摘採面下 約 5 cm)	16.7 ± 1.5	n.s. 40L * 200L n.s.	93.3 ± 50.6	n.s. 40L n.s. 200L n.s.				
		慣行 200 L		17.2 ± 2.0		36.7 ± 13.0					
		無処理		20.0 ± 3.1		106.2 ± 20.6					
		スポット散布 40 L	葉層最下部 (摘採面下 約 25 cm)	14.2 ± 2.7		n.s. No **		90.3 ± 52.2	a b ab		
		慣行 200 L		11.0 ± 1.0				17.2 ± 6.4			
		無処理		9.0 ± 1.5				46.2 ± 19.3			
	2017 (6~11月)	スポット散布 40 L	葉層上部 (摘採面下 約 5 cm)	21.3 ± 2.9	n.s. 40L n.s. 200L n.s.		6.7 ± 2.2	ab b a			
		慣行 200 L		23.8 ± 1.7			3.2 ± 0.9				
		無処理		20.0 ± 3.4			14.3 ± 8.4				
		スポット散布 40 L	葉層最下部 (摘採面下 約 25 cm)	20.0 ± 2.6		n.s. No n.s.	13.5 ± 6.4		n.s. No n.s.		
		慣行 200 L		21.3 ± 3.9			2.8 ± 0.8				
		無処理		18.0 ± 1.8			17.2 ± 10.8				
選択性 農薬	2016 (5~10月)	スポット散布 40 L(秋90 L)	葉層上部 (摘採面下 約 5 cm)	17.5 ± 0.7	40L ** 200L **		43.7 ± 16.2	n.s. 40L n.s. 200L n.s.			
		慣行 200 L		22.8 ± 1.2			86.5 ± 37.9				
		無処理		19.3 ± 2.0			88.8 ± 48.9				
		スポット散布 40 L(秋90 L)	葉層最下部 (摘採面下 約 30 cm)	6.8 ± 1.1		n.s. No **	2.8 ± 0.8		n.s. No **		
		慣行 200 L		7.2 ± 0.8			5.0 ± 1.7				
		無処理		6.5 ± 1.6			6.7 ± 1.2				
	2017 (6~11月)	スポット散布 40 L(秋90 L)	葉層上部 (摘採面下 約 5 cm)	13.5 ± 1.9	n.s. 40L ** 200L **		4.8 ± 1.3	n.s. 40L * 200L n.s.			
		慣行 200 L		13.5 ± 1.2			4.3 ± 1.1				
		無処理		13.5 ± 1.9			9.5 ± 3.1				
		スポット散布 40 L(秋90 L)	葉層最下部 (摘採面下 約 30 cm)	6.2 ± 1.2		n.s. No n.s.	2.0 ± 0.5		n.s. No n.s.		
		慣行 200 L		8.8 ± 2.0			3.0 ± 0.9				
		無処理		8.5 ± 1.9			3.7 ± 0.9				

注 1) データは平均±標準誤差を示す。各葉層内位置の異なる英文字間には、有意差あり (Tukey-Kramer 法, $P < 0.05$; n.s., not significant)。
 注 2) 同じ処理区の葉層の上部と最下部における個体数の統計解析は、Wilcoxon の符号付順位と検定で行った。アスタリスクは有意差があることを示す (** $P < 0.01$; * $P < 0.05$; n.s., not significant)。

$P = 0.0173$), 葉層最下部では処理区間に有意差が認められなかった ($F = 2.67$, $df = 2, 20$, $P = 0.0815$)。2017 年の非選択性農薬茶園におけるその他の寄生蜂類の個体数は、葉層上部においては 40 L 区と無処理区が同等で、40 L 区および無処理区より 200 L 区は有意に少なく ($F = 22.49$, $df = 2, 22$, $P < 0.0001$), 葉層最下部では処理区間すべてに有意差が認められ、40 L (秋 90 L) 区が最多、200 L 区は

最少となった ($F = 12.29$, $df = 2, 22$, $P < 0.0001$)。2017 年の選択性農薬茶園におけるその他の寄生蜂類の個体数は、葉層上部では処理区間すべてに有意差が認められ、無処理区が最多で 200 L 区は最少 ($F = 20.42$, $df = 2, 20$, $P < 0.0001$), 葉層最下部では 40 L (秋 90 L) 区は 200 L 区と同等、40 L (秋 90 L) 区および 200 L 区は無処理区よりも有意に少なかった ($F = 18.73$, $df = 2, 20$, $P < 0.0001$)。

なお、各処理区その他の寄生蜂類の個体数は、葉層の最下部よりも上部において有意に多かった ($P < 0.01$)。

2016年と2017年のヒメアカホシテントウの個体数は、非選択性農薬茶園の葉層上部 (2016: $F = 1.48$, $df = 2, 21$, $P = 0.2397$; 2017: $F = 0.61$, $df = 2, 22$, $P = 0.5485$) および葉層最下部 (2016: $F = 0.08$, $df = 2, 21$, $P = 0.9257$; 2017: $F = 2.37$, $df = 2, 22$, $P = 0.1058$)、選択性農薬茶園の葉層上部 (2016: $F = 1.74$, $df = 2, 20$, $P = 0.1888$; 2017: $F = 0.44$, $df = 2, 20$, $P = 0.6453$) および葉層最下部 (2016: $F = 0.29$, $df = 2, 20$, $P = 0.7503$; 2017: $F = 2.06$, $df = 2, 20$, $P = 0.1403$) のすべてにおいて、処理区間に有意差が認められなかった。ハレヤヒメテントウは研究茶園における発生が少なく、非選択性農薬茶園の葉層上部 (2016: $F = 1.82$, $df = 2, 21$, $P = 0.1754$) および葉層最下部 (2016: $F = 0.32$, $df = 2, 21$, $P = 0.7304$)、選択性農薬茶園の葉層上部 (2016: $F = 1.000$, $df = 2, 20$, $P = 0.3769$; 2017: $F = 1.000$, $df = 2, 20$, $P = 0.3769$) および葉層最下部 (2016: $F = 0.49$, $df = 2, 20$, $P = 0.6176$; 2017: $F = 1.000$, $df = 2, 20$, $P = 0.3769$) とともに処理区間差は判然とせず、特に2017年の非選択性農薬茶園においては、発生が確認されなかった。

非選択性農薬茶園におけるキノコバエ科およびクロバネキノコバエ科の個体数は、2016年の葉層上部においては、40 L区と200 L区は同等で無処理区よりも有意に少なく ($F = 6.90$, $df = 2, 21$, $P = 0.0026$)、葉層最下部では40 L区は200 L区と同等で無処理区よりも有意に少なく、200 L区は無処理区と同等であったが ($F = 3.65$, $df = 2, 21$, $P = 0.0347$)、2017年の葉層上部 ($F = 0.01$, $df = 2, 22$, $P = 0.9953$) および葉層最下部 ($F = 0.11$, $df = 2, 22$, $P = 0.8979$) はともに処理区間の有意差が認められなかった。選択性農薬茶園におけるキノコバエ科およびクロバネキノコバエ科の個体数は、2016年の葉層の上部 ($F = 12.36$, $df = 2, 20$, $P < 0.0001$) および最下部 ($F = 12.25$, $df = 2, 20$, $P < 0.0001$) とともに40 L (秋 90 L) 区は200 L区および無処理区よりも有意に多く、200 L区と無処理区は同等で、2017年は葉層の上部 ($F = 4.60$, $df = 2, 20$, $P = 0.0159$) および最下部 ($F = 5.37$, $df = 2, 20$, $P = 0.0086$) とともに40 L (秋 90 L) 区は無処理区および200 L区と同等で、200 L区は無処理区よりも有意に少なかった。このように、キノコバエ科およびクロバネキノコバエ科の個体数は、農薬を散布した区において少ない事例が確認されたものの、40 L (40 L (秋 90 L)) 区が無処理区よりも有意に多い、もしくは処理区間の有意差が認められない事例もあるなど判然としなかった。

非選択性農薬茶園におけるトビムシ目の個体数は、2016年の葉層上部においては、40 L区は200 L区および

無処理区よりも有意に少なく、200 L区と無処理区が同等で ($F = 9.57$, $df = 2, 21$, $P = 0.0004$)、葉層最下部では40 L区は200 L区および無処理区と同等、200 L区は無処理区よりも有意に多かった ($F = 13.50$, $df = 2, 21$, $P < 0.0001$)。また、2017年の非選択性農薬茶園のトビムシ目の個体数は、葉層の上部 ($F = 4.67$, $df = 2, 22$, $P = 0.0145$) および最下部 ($F = 9.71$, $df = 2, 22$, $P = 0.0003$) とともに200 L区が40 L区および無処理区よりも有意に多かった。選択性農薬茶園におけるトビムシ目の個体数は、2016年の葉層の上部 ($F = 16.55$, $df = 2, 20$, $P < 0.0001$) および最下部 ($F = 12.11$, $df = 2, 20$, $P < 0.0001$) とともに40 L (秋 90 L) 区は200 L区と同等で、40 L (秋 90 L) 区および200 L区は無処理区よりも有意に少なく、2017年の葉層上部においては全ての処理区間に有意差があり、最多は無処理区で最少は200 L区であったが ($F = 45.55$, $df = 2, 20$, $P < 0.0001$)、葉層最下部では40 L (秋 90 L) 区と200 L区が同等、40 L (秋 90 L) 区および200 L区は無処理区よりも有意に少なかった ($F = 17.61$, $df = 2, 20$, $P < 0.0001$)。このように、トビムシ目の個体数については、200 L区が処理区間で最多もしくは最少となる両ケースがあるなど、農薬による個体数への影響についての傾向は認められなかった。

タマバエ科の個体数については、2016年の非選択性農薬茶園 (葉層上部: $F = 0.82$, $df = 2, 21$, $P = 0.4485$; 葉層最下部: $F = 1.40$, $df = 2, 21$, $P = 0.2585$) と選択性農薬茶園 (葉層上部: $F = 0.11$, $df = 2, 20$, $P = 0.8988$; 葉層最下部: $F = 0.10$, $df = 2, 20$, $P = 0.9044$)、2017年の非選択性農薬茶園 (葉層上部: $F = 0.46$, $df = 2, 20$, $P = 0.6342$; 葉層最下部: $F = 2.06$, $df = 2, 20$, $P = 0.1411$) と選択性農薬茶園 (葉層上部: $F = 0.20$, $df = 2, 22$, $P = 0.8227$; 葉層最下部: $F = 1.03$, $df = 2, 22$, $P = 0.3640$) のすべてにおいて、処理区間の有意差は認められなかった。

チョウバエ科の個体数については、非選択性農薬茶園の2016年の葉層最下部 ($F = 4.21$, $df = 2, 21$, $P = 0.0216$) と2017年の葉層上部 ($F = 3.37$, $df = 2, 22$, $P = 0.0434$) に処理区間差が認められたが、2016年の非選択性農薬茶園の葉層上部 ($F = 3.10$, $df = 2, 21$, $P = 0.0554$) と2017年の非選択性農薬茶園の葉層最下部 ($F = 1.09$, $df = 2, 22$, $P = 0.3454$) では処理区間の有意差が認められなかった。また、選択性農薬茶園におけるチョウバエ科の個体数は、葉層上部 (2016: $F = 1.26$, $df = 2, 20$, $P = 0.2940$; 2017: $F = 0.16$, $df = 2, 20$, $P = 0.8536$) および葉層最下部 (2016: $F = 1.66$, $df = 2, 20$, $P = 0.2033$; 2017: $F = 0.78$, $df = 2, 20$, $P = 0.4652$) とともに処理区間に有意差は認められなかった。

(3) 考察

茶園特有の空間構造は、多種多様な昆虫やダニ類などの節足動物の生息場所として適してはいるものの⁷⁸⁾、一般的な農家の茶園における寄生蜂類の密度は低いことから⁵⁸⁾、天敵寄生蜂類に対する殺虫剤散布の影響は¹¹²⁾、⁷²⁾散布する農薬の種類や回数によっては大きいと考えられる。摘採面-5 cmの農薬被覆面積率は、成葉表面では200 L区が約90%以上、40 L区は約40~85%、成葉裏面においては200 L区が約2~11%、40 L区は約0.1~4%であった(第1章第1・2節および第2章第1節)。このことから、摘採面-5 cmの成葉表面が農薬で90%以上被覆された200 L区の葉層内を寄生蜂類が農薬との接触なしに行動することは困難と予想された。加えて、本研究で供試したペルメトリンには天敵類に対する忌避持続効果があることや¹⁰⁶⁾、農薬暴露によって天敵類の次世代増殖に悪影響が及ぶこと¹³⁸⁾、イミダクロプリド水和剤の付着面を避けるような行動を行うことで知られるチビトビコバチのように¹¹³⁾、散布した農薬の寄生蜂類に対する影響は直接的な殺虫効果のみによらない。農薬に対して一般的に弱いアザミウマタマゴバチ¹²⁵⁾、¹⁰⁹⁾、⁷⁸⁾は、40 L区では200 L区よりも個体数が多く残る傾向にあり、*Encarsia* spp.の個体数も40 L(40 L(秋90 L))区は無処理区と同等に保護された。

一方、*Encarsia* spp.の個体数に200 L区と無処理区の有意差が認められない事例もあった。さらに、200 L区のアザミウマタマゴバチ、*Encarsia* spp.およびその他の寄生蜂類は、40 L(40 L(秋90 L))区よりも個体数を減らす傾向にはありながらも、摘採面約-5 cm(葉層上部)の白色粘着トラップで多くの個体が確認された。このことは、アザミウマタマゴバチ、*Encarsia* spp.およびその他の寄生蜂類が農薬で被覆されていない成葉裏等の葉層内のスペースにて生存できることの示唆であると考えられる。なお、ハマキコウラコマユバチ *Ascogaster reticulatus* Watanabe (Hymenoptera: Braconidae) が茶葉面上を歩行する行動を高木¹⁰⁸⁾や清水ら⁹⁷⁾は観察しているように、茶葉面上を歩行する機会が多いなど、葉面上の農薬と接触しやすい生態の寄生蜂類であるほど、葉層内の農薬被覆面積の差による影響は生じにくいとも推察される。これらのことから、茶樹葉層内の農薬被覆を抑える農薬散布方法によって、天敵寄生蜂類に対する悪影響の緩和を図ることが可能であるが、その程度は農薬の散布方法および量や散布する農薬の種類、寄生蜂類の生態によって異なると考えられた。寄生蜂類が茶園の害虫を取り巻く農生態系の維持安定に大きく寄与していることは明らかであることから⁷⁸⁾、茶樹内部まで農薬を到達させる必要の

ない新芽を加害する病害虫の防除は、農薬散布量をできる限り少なくすることが必要である¹¹²⁾。

ヒメアカホシテントウにはピフェントリン、ジアフェンチウロンおよびジノテフランが悪影響を及ぼす可能性が高いことが屋内試験において明らかにされているが⁷⁷⁾、それらの農薬を散布した本研究茶園では、白色粘着トラップにて確認されたヒメアカホシテントウの個体数には処理区間の有意差が認められなかった。しかし、クワシロカイガラムシ雄成虫数が40 L(40 L(秋90 L))区や無処理区において200 L区よりも少ない傾向にあったことから、その有力な天敵であるヒメアカホシテントウに対して200 L区では何らかの悪影響が生じていた可能性は残る。また、クワシロカイガラムシを捕食するヒメアカホシテントウの幼虫については、白色粘着トラップでは捕獲できていない。本研究を通じて昆虫類にとって茶樹葉層が農薬散布からのシェルターとして機能すること、また、カブリダニ類が農薬から忌避することも確認されている(第2章第1・2節)。茶園における農薬散布がヒメアカホシテントウに及ぼす影響については、葉層のシェルター効果や散布された農薬に対するヒメアカホシテントウの茶樹冠内における行動、ヒメアカホシテントウの生態に十分対応できる個体数調査方法等のさらなる検討が必要であると思われる。なお、ハレヤヒメテントウの密度は多種類の殺虫・殺菌剤散布の影響を受けていると考えられるものの⁷⁰⁾、研究茶園では発生数が少なく、処理区間差は判然としなかった。

キノコバエ科およびクロバネキノコバエ科、トビムシ目とチョウバエ科は、農薬散布による個体数への影響に明確な傾向が認められなかった。ただし、タマバエ科については、非選択性農薬茶園および選択性農薬茶園のいずれにおいても処理区間に有意差が認められなかったことから、供試農薬の散布方法および量の違いによる個体数への影響はほとんどない可能性が高い。これらの理由については、供試した農薬にキノコバエ科およびクロバネキノコバエ科、トビムシ目、タマバエ科とチョウバエ科に対する殺虫効果がそもそもないか、もしくはごく小さいか、農薬に対する抵抗性の獲得、種レベルでの同定を行わずに複数種を合算した分析による影響等の可能性が挙げられる。その他の昆虫類については、同定が困難なうえに生態や飼育方法も現時点では不明な点も多い。そのため、その他の昆虫類に対する農薬散布の影響については、まずはこれらの種名や生態などの基礎的事項を明らかにしたうえでの再調査が必要であると思われる。

総合考察

農薬削減に関するこれまでの研究は、化学合成農薬の代替技術の導入によって農薬の散布回数を減らす方向性にあることが多かった。本研究は農薬散布量の削減に着目して、少ない散布量で経済的被害を生じないレベルに害虫被害を収めつつ、天敵類を「害虫の巻き添え死」から可能な限り保護することと、茶生産現場でも容易に取り組める新しい農薬散布方法の開発および普及を目指した。総合考察では研究目的に対しての総合的な評価を行うとともに、農薬散布量の削減と農薬散布のスポット化研究の今後に向けて重要な課題について検討したい。

1 点目は殺虫剤抵抗性についてである。害虫防除が害虫の淘汰を基本とする限り、どんな防除手段に対しても抵抗性が発達する可能性があるが⁹⁰⁾、殺虫剤抵抗性マネジメントの理論については、必ずしも作物栽培の現場で有効に機能しているとは言い切れない現実がある¹³¹⁾。茶生産現場における害虫の殺虫剤抵抗性発達の問題¹⁰⁰⁾、³³⁾、⁸³⁾、²³⁾、¹²²⁾は絶えることがないことから、各地の慣行の農薬散布方法や防除体系が殺虫剤抵抗性の発達抑制対策として最適であるとは考えにくく、新たな対策のひとつとして少量スポット散布を検討する必要性は高い。圃場への農薬の全面散布から部分散布への切り替えは、羽化場所近傍で交尾する害虫の抵抗性発達抑制に対して有効で実用性が高いことが知られており¹⁰⁴⁾、内山¹²²⁾は茶樹では葉層構造によって殺虫剤の散布むらによる濃度勾配が生まれ、殺虫剤が十分かからなかった低薬量の部位では抵抗性個体が選抜されやすいが、殺虫剤が到達しない部位は感受性個体の保護区として機能すると指摘している。さらに多々良¹¹³⁾は、茶樹は天敵類が農薬から保護されやすい樹型の仕立てであるため、天敵類を保護する防除体系への移行によって天敵類の密度が短期間に高まるとしている。天敵類に害虫防除効果を発揮させるためには農薬の影響を低減させることが重要で⁸⁹⁾、天敵類を利用した害虫管理を安定的で持続的なものとし、かつ、広く普及するためには多様な病虫害の防除に必要な薬剤散布技術との調和を図り、利用可能な天敵種を増やす必要性も高い⁴⁹⁾。茶樹摘採面付近への少量スポット散布では、天敵類が農薬から保護される部位が葉層内に多く残されることが第1・2章で明らかになった。さらに、無処理区や40 L (40 L (秋 90 L)) 区では200 L区よりもクワシロカイガラムシ雄成虫の発生量が少ない傾向にあったことや、チャノキイロアザミウマの個体数が200 L区でのみ突発的に増えた事例が確認された。これらの害虫に対する天敵類の抑制効果については、特に非選択性農薬茶園の40 L区および無処理区で200 L区よりも多い傾向にあるこ

とが確認されたクモ類やアザミウマタマゴバチ、*Encarsia* spp.に加え、その他の寄生蜂類のような本研究では明らかにできなかった種为天敵類による総合的な寄与に起因する可能性が高い。一方、茶樹葉層における農薬被覆面積が狭まることで、天敵類のみならず害虫も生き残りやすくなることは、防除効果にとってマイナスの要素となると思われた。しかし、農薬感受性遺伝子を有する害虫個体の生存が促されることは、害虫が許容できる密度以下であるならば、農薬抵抗性害虫の発生抑制につながる可能性があるとも捉えられる。また、クモ類や寄生蜂類、カブリダニ類等の天敵類が農薬散布によって狭められた安全な範囲に集中することで、天敵類と害虫との遭遇機会が増加する可能性もある。もちろん、少量スポット散布下における害虫の農薬抵抗性発達状況についてはさらに多くの追試結果をもとに議論する必要があることから、現時点では仮説にとどまる面が多い。しかし、農薬散布時に生存する可能性が高い農薬抵抗性遺伝子をもった害虫を抑制する手段としての天敵類の保護促進と、茶樹葉層内に農薬で被覆されない範囲をあえて多く残すことで害虫の生き残りを許容し、農薬感受性遺伝子を個体群に残すことを促す少量スポット散布の戦略には、農薬抵抗性発達に対するブレーキにつながる要素が少なくともあると考えられる。

慣行量(200 L/10 a)よりも削減した農薬散布を3年間継続して行った本研究条件下では、チャノミドリヒメヨコバイ、チャノキイロアザミウマおよびチャノホソガの防除効果は1・2年目と同程度であり、農薬抵抗性の発達を示唆するようなデータは確認されなかった。また、第2章のとおり、ニセラーゴカブリダニおよびチリカブリダニへの農薬の影響が小さい条件であった本研究下(農薬散布量:200 L/10 a, 40 L/10 a)においては、カブリダニ類はハダニ類を低い密度で推移させる本来の役割を果たし¹¹⁵⁾、研究茶園付近で必須防除と位置づけられている殺ダニ剤散布(400 L/10 a)を行わなくても、カンザワハダニによる経済的な被害は生じなかった。ハダニの密度を持続的に低く保つためには、代替餌で飢えをしのげるカブリダニを植物に定着させて、ハダニの発生に先手を打つ必要があるとの矢野ら¹³³⁾の指摘がある。本研究茶園ではニセラーゴカブリダニとチリカブリダニの2種が優占種であったが、このことが被害の生じないレベルでのカンザワハダニの長期的な密度安定につながったと考えられる(第2章第2節)。岸本³⁰⁾はハダニ類に対する生物的防除の利用を考える際には、天敵類群集を集合体として捉えてハダニ類への密度抑制効果を評価し、さらに群集を構成する各種天敵類がハダニ類の密度抑制に及ぼす

役割の違いを解明していくことが必要と述べているが、この考えは茶園の害虫に対する天敵類の保護活用においても共通する。本研究では農薬の散布範囲を摘採面付近にスポット化し、茶樹葉層内の農薬被覆面積を狭くすることで保護されるクモ類や寄生蜂類のような天敵類の存在と、その保護効果の程度は主に散布される農薬の殺虫スペクトラムによることが明らかになった。また、茶園のケナガカブリダニは10 a 当たりの農薬散布量が200 Lの場合には影響が無く、400 Lとした場合に減少した事例でも知られる²⁷⁾。本研究は鹿児島県内のチャ栽培現場において必須とされ、多量の農薬散布量を必要とするカンザワハダニ(400 L/10 a) およびクワシロカイガラムシ(700~1,000 L/10 a)の専用防除を3年間実施しなかったが、このような多量の農薬が葉層内に到達する10 a 当たり400 L以上の農薬散布の省略も、茶樹葉層内の天敵類の保護を介した害虫の許容密度以下における安定化につながった要因と考えられる。茶樹葉層内を殺虫スペクトラムの広い農薬で被覆するような多量の農薬散布を可能な限り行わないことが、天敵類の保護活用を図るための前提であると思われる。

農薬散布量の削減と農薬散布のスポット化に関してもう一つの重要な課題は、害虫の発生量に対応した農薬散布量の設定と、経済的被害許容水準の解明である。本研究において無処理区のチャノミドリヒメヨコバイの被害指数が最も高かったのは2017年二番茶(選択性農薬茶園)であった。この時に葉層上部の白色粘着トラップで捕獲されたチャノミドリヒメヨコバイの個体数は農薬散布4日前に約17頭/枚/7日、農薬散布11日前では約33頭/枚/7日であり、チャ新芽の被害指数は40 L区および70 L区は200 L区よりも高く、品質の評価も40 L区および70 L区はやや低かった。松ヶ谷・磯部⁴⁵⁾は要防除の密度と考えられるチャノミドリヒメヨコバイの黄色粘着板(400 cm²)による捕獲数を「5~6頭/枚/日(萌芽期)」としたが、これを本研究に合わせて単純に7日に乗じると35~42頭/枚/7日、200 cm²当たりでは18~21頭/枚/7日であり、本研究の「農薬散布4日前:約17頭/枚/7日」とおおむね一致する。このことから、萌芽期から農薬散布タイミングである1葉期に至るまでにおいて、白色粘着トラップ(200 cm²)で捕獲されるチャノミドリヒメヨコバイの個体数が「17頭/枚/7日」以上となった場合は、少量散布機による農薬散布量を70 L/10 a以下に設定すると、慣行量(200 L/10 a)散布の場合よりも被害程度が高まる可能性があると考えられた。一方、2017年選択性農薬茶園の葉層上部において、チャノミドリヒメヨコバイの年間個体数が200 L区および40 L(秋90 L)区と無

処理区で同等になった事例があった。さらに、白木・大橋¹⁰¹⁾や小澤・内山⁷⁸⁾もチャノミドリヒメヨコバイとチャノキイロアザミウマの年間個体数が慣行防除と無農薬の茶園で有意差が認められなかった事例を確認していることは興味深い。チャノミドリヒメヨコバイの年間個体数が処理区間で有意差の認められない状況下において、チャノミドリヒメヨコバイの被害指数は農薬散布量が多いほど低く、無処理区では農薬を散布した区よりも常に高かった。このことは、チャノミドリヒメヨコバイがチャ新芽およびその付近の農薬被覆状況や残効等を認知し、それによってチャ新芽への加害行動の程度を異にしていることの示唆であると思われる。なお、萬屋・荻野¹³⁵⁾がチャノミドリヒメヨコバイの吸汁痕数や吸汁量はチャ品種によって異なることも明らかにしていることから、発生量が同程度であってもチャ品種によって被害程度は異なると考えられる。農薬に対するチャノミドリヒメヨコバイの認知や回避行動、チャ品種側のチャノミドリヒメヨコバイの加害に対する耐性等についての検証をより進めることも、農薬散布量の削減に向けた今後の重要な課題であると思われる。一方、本研究では二・三番茶期の農薬散布(1葉期)前におけるチャノキイロアザミウマの最多個体数は、三番茶期の農薬散布前日の約18頭/枚/7日(葉層上部)であり、この期間におけるチャノキイロアザミウマの被害指数については、40 L区は200 L区よりも有意に低い有意差が認められない状況にあり、さらには、無処理でも実害は生じなかった。このことから、二・三番茶期の萌芽から1葉期にかけて白色粘着トラップ(200 cm²)におけるチャノキイロアザミウマの捕獲数が約18頭/枚/7日以下であるならば、農薬を散布しなくても実害が生じない程度の被害に収まる可能性があると考えられる。なお、第1章のとおり慣行量散布(200 L/10 a)と同等の防除効果が得られた少量散布機による最低限の散布量については、チャハマキおよびチャノコカクモンハマキは70 L/10 a、チャノナガサビダニは一番茶摘採残葉に発生している場合に40 L/10 aであった。しかし、チャハマキの殺虫効果は食毒作用を主とする農薬を葉表のみに処理すると、葉裏への処理と比べて効果が劣ることも知られている³⁴⁾。チャハマキおよびチャノコカクモンハマキの防除については、両種幼虫の巻葉形成部位付近への農薬到達を物理的に妨げる葉層の厚みの状態も併せて考慮して、散布する農薬の種類や農薬散布量を調整する必要もあると考えられる。ただし、キイロタマゴバチへ及ぼされる農薬の悪影響はチャハマキの多発につながることから¹⁰⁸⁾、チャハマキおよびチャノコカクモンハマキの防除効果の安定化を図るためには、農薬に

よる徹底防除を目指さないことが重要だと思われる。チャノホソガの巻葉抑制効果については、農薬散布量が多いほど高い傾向にあると考えられたが、無処理区と200L区の巻葉数が同等となった事例も多く確認され、農薬散布自体の必要がない実態もあることが判明した。本研究においては、チャノホソガの㎡当たりの巻葉数が21.8以下では、無処理区においても実害が生じないことを確認できたが、チャノホソガの発生予察に基づいた農薬散布量の設定については、今後の重要課題として残された。

経済的被害水準（EIL: Economic injury level）に基づく防除手段の決定はIPMの原点であり、不必要な防除対策をしないことは農業経営上だけでなく、農業生態系への負荷という観点からも合理的である⁴⁸⁾。また、チャの品種の虫害耐性によってはチャノミドリヒメヨコバイの被害程度が高くても減収幅が少ないため¹³⁷⁾、虫害に強い品種に対しては農薬散布量をより削減しやすいと考えられるほか、虫害の判定基準についても、実害につながる新芽のダメージの状態をより正確に反映できるように検討を深める必要がある。害虫がつかない作物をつくり出すことは害虫防除法のうちで最も理想的な方策であり⁴⁰⁾、これからのチャ害虫防除を考える上での根本的対策である。しかし、チャの育種では病虫害抵抗性を主目的とした品種育成は遅れているため、収量および品質が優れて複数の病虫害に抵抗性をもつ品種育成の重要性は高い¹³⁴⁾。また、農薬散布時における天敵類の保護効果は葉層の厚みと葉層内の農薬被覆程度がキーとなり、散布される農薬の殺虫スペクトラムによってその程度が異なる（第2章）。葉層の厚みについては浅刈り、深刈り、中切りといった茶園の更新作業や整枝、施肥等の栽培管理と密接に関係しており、また、製造される茶種によっても生葉段階における害虫被害の許容レベルはそれぞれ異なると考えられるが、このことは製茶加工との関連が強い。このように、チャ害虫の経済的被害許容水準が十分に解明されず、要防除密度も明示されていないのは⁶⁹⁾、虫害分野に栽培・製茶加工面、さらには農業経営上の要因を加えた検討を要するところが大きい。

平成29年度の全国の茶園面積が平成元年度より約16,600ha減少した³⁸⁾背景には、長期的な茶価低迷とそれに伴う茶業経営の悪化がある。一方、農薬散布機器や農薬の性能は戦前・終戦直後と現在では比較にならないほど多種多様に進化しており、虫体に直接付着しなくても防除効果を発揮できる農薬も現在は多数ある。さらに、茶園用乗用型防除機は新芽が摘採面付近に揃う茶うねをまたいで走行することから、新芽に対する至近距離からの安定した農薬噴霧も可能である。厳しい状況下にある

茶生産農家の経営改善と茶産地の維持発展を図るために、農薬散布上のこれら有利な諸条件を農薬散布量の削減による経営コストおよび労力削減に活かさない手はない。

IPMとは病虫害の発生状況に応じて防除方法を適切に組合せ、環境への負荷を軽減しつつ、経済的被害がもたらされないレベルまで病虫害の発生を抑制する防除体系である⁹⁴⁾。また、農薬を使用する際には薬剤の特徴や作物の生育状況を考慮して散布量を適宜変え、最低致死量を作物に均一に付着させることが重要であるとの斉藤⁹⁰⁾の見解は、応用昆虫学の教科書に記載されている。本研究はこれらの考えをベースに、チャ栽培における少量スポット散布技術と天敵類が融合した新たなIPMの創出を目指した。その結果、少量スポット散布の防除効果は、害虫の多発時には慣行量散布（200L/10a）よりも劣る傾向にあることも明らかになったが、チャ栽培における慣行の農薬散布量は削減可能である場合が多いことと、農薬散布の標的を茶樹摘採面付近へスポット化することによって天敵類の保護も図られることが示された。

チャ栽培における農薬散布量の再検討の必要性や⁶⁹⁾、農薬散布技術の課題を散布した農薬の作物に対する付着効率の向上と、損失率の低下による環境への影響低減¹²⁹⁾とした指摘がなされてから、約30年が経過している。2019年度には九州地方の茶生産現場を中心に150台以上の少量散布機が使用されており、農薬散布量を慣行量（200L/10a）以下にできた事例は多数にのぼる。それだけに、今後は茶生産現場において、害虫の発生量やチャの品種、茶樹葉層の状況、被害許容水準、天敵類の状況等に応じた「適切」な農薬散布量の判断の易化と、新旧それぞれの技術の特徴を活かした上手な使い分けがより求められると思われる。農薬散布技術の発展に向けて、前向きな議論が今後展開されることを期待したい。

謝辞

本論文の取りまとめに際しての懇切丁寧な御校閲と御指導および審査、本研究開始初期からの研究推進への御指導と励ましをいただいた鹿児島大学農学部教授 津田勝男博士と准教授 坂巻祥孝博士に厚く深謝の意を表します。御多忙の中、曜日や時間に関わらず論文等の御指導を常に優先して対応いただいたことは、感謝の限りです。鹿児島県農業開発総合センター大隅支場の上室剛博士には本研究立ち上げ前から研究趣旨に御賛同いただくとともに、研究設計やデータ解析手法、論文作成の基本から書き残すことの重要性やその楽しさについて懇切丁寧に御指導いただきました。上室剛博士の存在なくては、

本研究を始めることも進めることも困難でした。また、本研究の立ち上げから、依頼研究員としての農研機構果樹研究所リンゴ研究拠点（現果樹茶業研究部門リンゴ研究領域（盛岡）、以下同じ）への派遣、国の競争的資金事業への応募、研究遂行、成果の普及に至るまで元鹿児島県農業開発総合センター茶業部長の佐藤昭一氏には始終丁寧な御指導をいただきました。本研究の推進に欠かすことができなかつた農食研究事業 27019C の専門 PO、藤家 梓博士からいただいた御指導や御指南は、博士課程への進学を決断や研究の励みとなるとともに、研究遂行上で大きな困難に直面した際に心の大きな支えとなりました。また、佐賀大学農学部准教授の徳田 誠博士には学位論文審査や中間発表等において研究推進や取りまとめについて御指導いただくとともに、鹿児島大学理事・副学長の岩井 久博士と佐賀大学農学部准教授の吉賀豊司博士からも、学位論文について審査いただきました。心より深謝の意を表します。

本研究成果の一部は農林水産省 農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業実用技術開発ステージ（27019C）により実施し、研究推進にあたっては、長崎県農林技術開発センター果樹・茶研究部門茶業研究室、佐賀県茶業試験場、佐賀県杵藤農林事務所藤津農業改良普及センター、宮崎県総合農業試験場茶業支場、宮崎県児湯農林振興局農業経営課、鹿児島大学農学部害虫学研究室、農研機構果樹茶業研究部門、松元機工株式会社、鹿児島県南薩地域振興局農政普及課、九州バイオリサーチネットの関係者の皆様から多大な御協力をいただき、内野政子研究支援者と農林水産技術会議専門官の兒下佳子氏からは研究推進についての御指導と激励をいただきました。宮崎県児湯農林振興局農業経営課の故土岐星児郎氏からいただいた熱いメッセージは私にとって大きな励みになるとともに、その想いを引き継げるように努力したいと思います。九州お茶まつり長崎大会における研究説明ブースにご来場いただいた上川陽子法務大臣（当時）や、事業終了以降に農林水産技術会議事務局研究推進課の渡邊麻衣子氏をはじめとする方々から、身に余るお褒めのお言葉をいただき、また、農林水産技術会議作成の「産学官連携のススメ」等において本研究をご紹介いただいたことはとても光栄で大きな励みとなりました。依頼研究員としてリンゴ研究拠点で研修させていただいた際は、岸本英成博士にダニ学やカブリダニ同定技術についてご教授いただくとともに、岸本博士の学位論文の別刷も賜りました。リンゴ研究拠点の皆様からも温かく見守られながら学んだことは、その後の競争的資金の採択や研究推進、博士課程進学に大きく活きました。豊島真吾博士

（農研機構野菜花き研究部門 野菜病虫害・機能解析研究領域（安濃））や矢野修一博士（京都大学大学院農学研究科生態情報開発学研究室）、小澤朗人博士（静岡県立農林大学校）、内山 徹博士（静岡県農林技術研究所茶業研究センター）からは研究手法等について御指導や文献等を賜り、柳沼勝彦博士（農研機構果樹茶業研究部門リンゴ研究領域（盛岡））や檜垣守男博士（農研機構果樹茶業研究部門カンキツ研究領域（興津））、小俣良介博士（埼玉県農業技術研究センター）、上和田秀美氏（バイエルクロップサイエンス株式会社）、榎下町鉦敏博士（元鹿児島大学農学部教授）からは温かい激励をいただきました。さらに本研究は、鹿児島大学農学部害虫学研究室の学生諸氏（落田恵梨香氏、瀬戸口和樹氏、秋山晴香氏、八重倉芹奈氏、湯田健太氏、田淵翔伍氏、池之上祐紀氏、猪口真帆実氏、河内雅弘氏、鶴 祐大朗氏、古川あずさ氏、榮村翔矢氏）にも卒業論文や修士論文として御検証いただき、特に害虫学研究室の学部4年生であった池之上祐紀氏には、第2章のカブリダニ類の屋内試験について共同研究で分担実施いただきました。Experimental and Applied Acarology 誌への受理へとつながったのは、池之上氏による研究成果によります。感謝申し上げます。

本研究の立ち上げから論文の取りまとめに至るまで鹿児島県農業開発総合センター茶業部や研究企画課の皆様から様々な御支援をいただき、特に平成29年度鹿児島県農業開発総合センター所長賞を共同受賞した中木末孝氏には、ほぼ全ての試験について御協力をいただきました。研究構想時から御協力くださった松元機工株式会社の松元雄二社長、今西浩二氏、大田博幸氏、里中一富氏、堂蘭正次氏、佃 直人氏や、現地試験を快諾いただいた田原良二氏、西垂水 学氏、山口浩一氏、本研究を事業採択くださった農林水産省の農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業実用技術開発ステージの審査員の皆様、少量散布機の早期普及に御尽力いただいた南九州市役所茶業課の皆様、本研究成果の普及に御協力いただいたJA 鹿児島県経済連や鹿児島県茶業会議所、鹿児島県農政部の皆様のおかげで、本研究は少量散布機として速やかに茶生産現場へと普及（162台）しました。支えてくださった方々に感謝申し上げます。最後に、私の様々な挑戦を長い間応援してくださった元名古屋市立志賀中学校教諭の林眞先生や有本 実氏をはじめとする愛知県立千種高等学校の同級生諸氏、本研究を陰から支えてくれた家族に感謝いたします。

本研究は農林水産省の農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業 実用技術開発ステージ（課題番号 27019C）による成果です。厚く御礼申し上げます。

引用文献

- 1) 青木繁伸 2004a. スティール (Steel) の方法による多重比較. <http://aoki2.si.gunma-u.ac.jp/R/Steel.html>. (2015/6/17 アクセス)
- 2) 青木繁伸 2004b. スティール・ドゥワス (Steel-Dwass) の方法による多重比較. <http://aoki2.si.gunma-u.ac.jp/R/Steel-Dwass.html>. (2015/6/17 アクセス)
- 3) 千国安之輔 2008. 写真・日本クモ類大図鑑. 偕成社, 東京. 309 pp.
- 4) 江原昭三 1993. 日本原色植物ダニ図鑑. 全国農村教育協会, 東京. 298 pp.
- 5) 江原昭三 2007. カブリダニ科の見分け方. 植物ダニ類の見分け方 (社団法人日本植物防疫協会 編), 社団法人日本植物防疫協会, 東京, 植物防疫特別増刊号 10: 78-120.
- 6) 洲之上康元・洲之上弘子 1999. 日本茶全書—生産から賞味まで—. 社団法人農山漁村文化協会, 東京, p. 78.
- 7) 藤川 博 2002. 無農薬移行茶園における害虫の発生消長と収量. 熊本県農業研究センター報告 11: 70-75.
- 8) 藤田剛輝・三瓶尚子・尾形 正・菅野英二・志村浩雄 2010. 感水紙を用いた薬液付着度指数とモモ灰星病およびカンザワハダニに対する防除効果の関係. 北日本病害虫研究会報 61: 232-235.
- 9) 福永晃士・石山正弘 2001. 京都府内のチャにおけるカンザワハダニの薬剤抵抗性について. 関西病虫害研究会報 43: 17-18.
- 10) 後藤昇一・鈴木康孝・小林栄人 1995. 山間地におけるチャの無農薬・有機栽培が病害虫, クモ類等の発生と収量, 品質に及ぼす影響. 静岡県茶業試験場研究報告 19: 25-36.
- 11) Halaj, J., A. B. Cady and G. W. Uetz 2000. Modular habitat refugia enhance generalist predators and lower plant damage in soybeans. *Environmental Entomology* 29: 383-393.
- 12) 浜村徹三 1986. 薬剤抵抗性ケナガカブリダニによる茶園のカンザワハダニの生物的防除に関する研究. 茶業試験場研究報告 21: 121-201.
- 13) 浜村徹三・磯部宏治 1998. チリカブリダニの合成ピレスロイド剤抵抗性. 日本ダニ学会誌 7: 57.
- 14) Hashimoto, T., N. Motoyama, K. Mizutani and G. Shinjo 2000. Repellent and lethal effects of seven chemicals on house dust mites, *Dermatophagoides farinae* Hughes (Acari: Pyroglyphidae) and *Tyrophagus putrescentiae* (Schrank) (Acari: Acaridae). *Medical Entomology and Zoology* 51: 275-281.
- 15) 早坂大亮・永井孝志・五箇公一 2013. 農薬による生物多様性影響評価の重要性: 個体評価から群集評価へ—生物多様性に配慮した農薬管理の在り方—. 日本生態学会誌 63: 193-206.
- 16) Huang, J. and A. Polaszek 1998. A revision of the Chinese species of *Encarsia* Förster (Hymenoptera: Aphelinidae): parasitoids of whiteflies, scale insects and aphids (Hemiptera: Aleyrodidae, Diaspididae, Aphidoidea). *Journal of Natural History* 32: 1825-1966.
- 17) 池田二三高・山本 篤 1989. 広範囲の茶園における合成ピレスロイド剤散布後のカンザワハダニのリサージェンス. 関東東山病害虫研究会年報 36: 187-188.
- 18) 石島 力・佐藤安志・大泰司 誠 2009. 静岡県の無農薬栽培茶園におけるハマキガ類とその天敵寄生蜂類の発生状況. 茶業研究報告 108: 7-18.
- 19) Jagers op Akkerhuis, G. 1994. Effects of walking activity and physical factors on the short-term toxicity of deltamethrin spraying in adult epigeal money spiders (Linyphiidae). In M.H. Donker, H. Eijsackers and F. Heimbach, eds., *Ecotoxicology of Soil Organisms*. CRC press, Florida, pp. 323-338.
- 20) 鹿児島県 1934. 鹿児島県立農事試験場知覧茶業分場 業務彙報. 鹿児島, p. 32.
- 21) 鹿児島県 1958. 鹿児島県農業試験場知覧茶業分場 業務報告. 鹿児島, pp. 52-57.
- 22) 鹿児島県茶業振興連絡協議会 1986. 鹿児島県茶業史. 鹿児島県茶業振興連絡協議会, 鹿児島, pp. 968-969.
- 23) 上室 剛・東垂水昭子・末永 博 2017. 鹿児島県におけるチャノホソガ (チョウ目: ホソガ科) のフルフェノクスロンに対する薬剤抵抗性. 日本応用動物昆虫学会誌 61: 99-107.
- 24) 神谷直人・米山誠一 2006. 茶害虫クワシロカイガラムシ (*Pseudaulacaspis pentagona*) の環境保全型防除に関する研究 (第2報) 主要天敵類とその成虫に及ぼす薬剤の影響. 岐阜県農業技術研究所研究報告 6: 21-24.
- 25) 金子修治・古木孝典 2008. クワシロカイガラムシの捕食性天敵ハレヤヒメテントウの静岡県内の茶園における分布状況. 関西病虫害研究会報 50: 145-147.
- 26) Kawai, A. 1997. Prospect for integrated pest management

- in tea cultivation in Japan. *Japan Agricultural Research Quarterly* 31: 213-217.
- 27) Kawai, A. 2001. Effects of chemicals on the population of *Amblyseius womersleyi* Schicha (Acari: Phytoseiidae) and *Tetranychus kanzawai* Kishida (Acari: Tetranychidae) when the tops and the inside of tea bushes were sprayed. *Tea Research Journal* 92: 9-15.
- 28) Kawai, A., K. Kohata and Y. Yamaguchi 1999. Deposition of chemicals on various parts of tea bushes sprayed on the plucking surface. *Applied Entomology and Zoology* 34: 387-389.
- 29) Kishimoto, H. 2002. Species composition and seasonal occurrence of spider mites (Acari: Tetranychidae) and their predators in Japanese pear orchards with different agrochemical spraying programs. *Applied Entomology and Zoology* 37: 603-615.
- 30) 岸本英成 2003. ナシを加害するハダニ類に対する土着天敵類, 特に捕食性昆虫類の生態に関する研究. 博士論文. 京都大学, 京都. 106 pp.
- 31) 岸本英成・柳沼勝彦・外山晶敏 2018. 土着広食性カブリダニ4種(ダニ目:カブリダニ科)に対する各種殺虫剤の影響. *日本応用動物昆虫学会誌* 62: 29-39.
- 32) 小泊重洋 1975. チャノサンカクハマキの加害が茶の品質および収量に及ぼす影響. *茶業研究報告* 42: 25-30.
- 33) 小杉由紀夫 1999a. 静岡県島田市におけるチャノコカクモンハマキの薬剤感受性低下. *関東東山病害虫研究会報* 46: 123-126.
- 34) 小杉由紀夫 1999b. チャ葉の表裏への薬剤処理がチャハマキの殺虫効果に及ぼす影響. *関東東山病害虫研究会報* 46: 129-131.
- 35) 小杉由紀夫 1999c. ネコグモ及びササグモのチャノミドリヒメヨコバイに対する捕食特性. *静岡県茶業試験場研究報告* 22: 17-22.
- 36) 小杉由紀夫 2003. ネコグモ, アサヒエビグモのチャノミドリヒメヨコバイに対する捕食特性と茶園での捕食状況. *静岡県茶業試験場研究報告* 24: 9-16.
- 37) 小杉由紀夫 2008. 虫害の診断と防除 チャノミドリヒメヨコバイ. *茶大百科II* (社団法人農山漁村文化協会 編). 社団法人農山漁村文化協会, 東京, pp. 556-557.
- 38) 公益社団法人日本茶業中央会 2018. 平成30年度版茶関係資料. 公益社団法人日本茶業中央会, 東京, p. 1.
- 39) 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. *日本応用動物昆虫学会誌* 41: 51-54.
- 40) 久野英二 1998. 耕種的防除. *新応用昆虫学* 三訂版(斉藤哲夫・松本義明・平嶋義宏・久野英二・中島敏夫 著). 朝倉書店, 東京, p. 158.
- 41) Maloney, D., F. A. Drummond and R. Alford 2003. Spider predation in agroecosystems: Can spiders effectively control pest populations? *MAFES Technical Bulletin* 190: 5-32.
- 42) 増井伸一・片山晴喜・土屋雅利 2018a. 静岡県内の慣行防除カンキツ園におけるミカンハダニ(ダニ目:ハダニ科)と土着天敵の発生実態. *日本応用動物昆虫学会誌* 62: 47-53.
- 43) 増井伸一・片山晴喜・金子修治 2018b. 露地栽培カンキツのIPMにおける天敵利用の現状と課題. *日本応用動物昆虫学会誌* 62: 137-148.
- 44) 松田和也・清水信孝・中村晋一郎・森山弘信・塚田輝貴 2001. 福岡県における煎茶園及び玉露園でのチャノナガサビダニの発生消長と防除法. *福岡県農業総合試験場研究報告* 20: 27-30.
- 45) 松ヶ谷祐二・磯部宏治 1997. チャノミドリヒメヨコバイの黄色粘着板を用いたモニタリング結果と茶芽被害程度との関係. *関西病害虫研究会報* 39: 15-16.
- 46) 松比良邦彦・神寄保成 2000. チャノホソガ前翅長の季節変動. *九州病害虫研究会報* 46: 123-126.
- 47) 松比良邦彦・西 八束・神寄保成 1999. 摘採時期が異なる茶園に設置した性フェロモントラップによるチャノホソガの発生消長. *九州病害虫研究会報* 45: 123-129.
- 48) 松倉啓一郎 2018. 害虫の発生要因と予防的害虫管理技術: 国内の飼料作物害虫の発生事例から. *日本応用動物昆虫学会誌* 62: 171-187.
- 49) McMurtry, J. A. 1992. Dynamics and potential impact of 'generalist' phytoseiids in agroecosystems and possibilities for establishment of exotic species. *Experimental and Applied Acarology* 14: 371-382.
- 50) 宮原佳彦 2011. 散布技術の現状と展望. *農林水産技術研究ジャーナル* 34: 37-41.
- 51) 宮崎昌宏・武田光能・鈴木俊司・深山大介・荒木琢也・佐藤安志・山田憲吾・園田亮一・寺田均・影山淳 2005. 減量散布ができる茶園用送風式農薬散布機. 平成16年度野菜茶業研究成果情報: 61-62.
- 52) 水田隆史 2002. チャにおけるチャノナガサビダニ

- の葉位別寄生密度と増殖能力の品種間差異. 日本応用動物昆虫学会誌 46: 7-14.
- 53) 望月雅俊 2003. チャ害虫総合管理のための薬剤抵抗性ケナガカブリダニ *Amblyseius womersleyi* の利用に関する研究. 野菜茶業研究所研究報告 2: 93-138.
- 54) 望月雅俊・大泰司 誠・本間健平 1994. 茶園におけるチャノミドリヒメヨコバイの捕獲消長調査に有用な黄色平板粘着トラップ. 野菜・茶業試験場研究報告 B (茶業) 7: 29-37.
- 55) 守谷茂雄 1990. 薬剤の動きと付着. 農薬の散布と付着 (日本農薬学会 農薬製剤・施用法研究会 編). 社団法人日本植物防疫協会, 東京, pp. 35-51.
- 56) Munger F. 1942. A method for rearing citrus thrips in the laboratory. *Journal of Economic Entomology* 35: 373-375.
- 57) 長友 繁・當 直樹・鬼丸照雄・野中寿之 1991. ケナガカブリダニ利用による茶の害虫カンザワハダニの防除技術. 鹿児島県茶業試験場研究報告 7: 1-76.
- 58) 仲井まどか 2002. ウイルスと寄生蜂利用によるハマキガ類の防除技術. 農業および園芸 77: 1080-1087.
- 59) 中山 仰 1994. チャの形態. 茶の栽培と利用加工 (岩浅 潔 編). 養賢堂, 東京, pp. 19-30.
- 60) 日本茶業技術協会 2007. 茶の科学用語辞典 (第2版) (日本茶業技術協会 茶の科学用語辞典編集委員会 編). 日本茶業技術協会, 島田, pp. 49-126.
- 61) 日本植物防疫協会 2011. 新農薬実用化試験 (茶農薬) 殺虫剤圃場試験法. 社団法人日本植物防疫協会, 東京, pp. 附 8-附 19.
- 62) Nyffeler, M. and K. Birkhofer 2017. An estimated 400-800 million tons of prey are annually killed by the global spider community. *The Science of Nature* 104: 30.
- 63) Nyffeler, M., and K. D. Sunderland 2003. Composition, abundance and pest control potential of spider communities in agroecosystems: a comparison of European and US studies. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 95: 579-612.
- 64) 大橋 透 2000. 茶におけるチャノホソガまたはウスミドリメクラガメの被害許容水準. 神奈川県農業総合研究所研究報告 141: 49-55.
- 65) 大泰司 誠・浜村徹三 1986. 薬剤無散布茶園と散布茶園におけるクモ類の発生動向. 茶業研究報告 63: 20-23.
- 66) 岡野邦夫 2008. 成木茶園の光合成と物質生産. 茶大百科II (社団法人農山漁村文化協会 編). 社団法人農山漁村文化協会, 東京, pp. 17-18.
- 67) 小俣良介 2008. 茶園の天敵. 茶大百科II (社団法人農山漁村文化協会 編). 社団法人農山漁村文化協会, 東京, pp. 592-610.
- 68) 刑部 勝 1973. カンザワハダニの薬剤抵抗性に関する研究. 茶業試験場研究報告 8: 1-95.
- 69) 刑部 勝 1986. チャの害虫防除をめぐる諸問題. 茶業研究報告 64: 1-6.
- 70) 小澤朗人 2005. クワシロカイガラムシの捕食性天敵ハレヤヒメテントウ *Pseudoscymnus hareja* (Weise) に対する数種殺虫剤の影響. 関東東山病虫害研究会報 52: 115-118.
- 71) 小澤朗人 2008. チャの環境保全型防除. 関西病虫害研究会報 50: 65-69.
- 72) 小澤朗人 2011a. 交信攪乱剤設置茶園におけるハマキガ類の幼虫寄生蜂の寄生状況. 関東東山病虫害研究会報 58: 91-93.
- 73) 小澤朗人 2011b. チャノホソガ蛹から羽化した寄生蜂の種構成. 関西病虫害研究会報 53: 105-106.
- 74) 小澤朗人 2013. 茶園の土着天敵類に対する各種殺虫剤散布の影響. 静岡県農林技術研究所研究報告 6: 19-24.
- 75) 小澤朗人・内山 徹 2013. 静岡県の茶園から 2004 年～2008 年に採集されたチャハマキの薬剤感受性. 関東東山病虫害研究会報 60: 139-142.
- 76) 小澤朗人・内山 徹 2014. チャトゲコナジラミに寄生したシルベストリコバチの羽化に及ぼす各種殺虫剤の影響. 関東東山病虫害研究会報 61: 159-162.
- 77) 小澤朗人・内山 徹 2016. 茶園に生息するヒメアカホシテントウに対する各種農薬の影響. 関東東山病虫害研究会報 63: 102-104.
- 78) 小澤朗人・内山 徹 2018. 防除圧の異なる茶園における寄生蜂相 (ハチ目) と発生消長. 静岡県農林技術研究所研究報告 11: 13-32.
- 79) 小澤朗人・内山 徹 2019. 茶園の摘採面上に設置した乾式粘着トラップ (SE トラップ) に捕獲される土着天敵群集, 特に寄生蜂類 (ハチ目) の多様性. 静岡県農林技術研究所研究報告 12: 9-20.
- 80) 小澤朗人・内山 徹・吉崎真紀 2014. 東海温暖地チャ園における環境保全型農法と関連した生物多様性の指標生物の選抜. 農業に有用な生物多様性の指標及び評価手法の開発 (農林水産省農林水産技術会議事務局 編). 農林水産省農林水産技術会議,

- 東京, pp. 113-121.
- 81) 小澤朗人・久保田 栄・金子修治・石上 茂 2008a. 静岡県の茶園におけるクワシロカイガラムシの土着天敵類の発生実態 第1報 天敵の種類および寄生性天敵の種構成. 茶業研究報告 105: 13-25.
- 82) 小澤朗人・久保田 栄・金子修治・石上 茂 2008b. 静岡県の茶園におけるクワシロカイガラムシの土着天敵類の発生実態 第2報 天敵類の発生消長と寄主-寄生者間の相互関係. 茶業研究報告 106: 39-52.
- 83) 小澤朗人・小杉由紀夫・片井祐介・吉崎真紀 2009. 茶園のチャノミドリヒメヨコバイに対するネオニコチノイド系殺虫剤の防除効果の低下. 関東東山病害虫研究会報 56: 107-109.
- 84) 小澤朗人・大石剛裕・古木孝典・石上 茂・吉田礼子・高藤晃雄 2006. 静岡県の茶園におけるカンザワハダニの過去 30 年間の発生動向. 茶業研究報告 102: 31-40.
- 85) Pekár, S. 1999. Foraging mode: a factor affecting the susceptibility of spiders (Araneae) to insecticide applications. *Pesticide Science* 55: 1077-1082.
- 86) Pekár, S. 2012. Spiders (Araneae) in the pesticide world: an ecotoxicological review. *Pest Management Science* 68: 1438-1446.
- 87) Polaszek, A., S. Abd-Rabou and J. Huang 1999. The Egyptian species of *Encarsia* (Hymenoptera: Aphelinidae): a preliminary review. *Zoologische Mededelingen* 73: 131-163.
- 88) Riechert, S. E. and T. Lockley 1984. Spiders as biological control agents. *Annual Review of Entomology* 29: 299-320.
- 89) Ruberson, J., H. Nemoto and Y. Hirose 1998. Pesticides and conservation of natural enemies in pest management. In *Conservation Biological Control* (P. Barbosa, ed.). Academic Press, San Diego, pp. 207-220.
- 90) 斉藤哲夫 1998. 化学的防除. 新応用昆虫学 三訂版 (斉藤哲夫・松本義明・平嶋義宏・久野英二・中島敏夫 著). 朝倉書店, 東京, pp. 125-143.
- 91) 崎山進二・金崎秀司・宮下裕司 2013. 指標生物によるカンキツ園の生物多様性の評価 (第1報) 指標生物の選抜. 愛媛県農林水産研究所果樹研究センター研究報告 4: 9-21.
- 92) Santoso, S., A. Takafuji, H. Amano and A. Ozawa 2004. Species composition of phytoseiid mites (Acari: Phytoseiidae) in tea fields with different management practices in Shizuoka prefecture, Japan. *Journal of the Acarological Society of Japan* 13: 77-82.
- 93) SAS Institute 2007. *Base SAS 7 procedures guide: statistical procedures*. SAS Institute, Cary, NC.
- 94) 澤田 守 2018. IPM の経済的評価の考え方. *植物防疫* 72: 756-758.
- 95) 柴尾 学・井奥由子 2016. ミヤコカブリダニとチリカブリダニのリレー利用による施設イチゴのナミハダニ黄緑型の防除. *関西病虫害研究会報* 58: 73-76.
- 96) 柴尾 学・江原昭三・細見彰洋・田中 寛 2006. ブドウにおけるチャノキイロアザミウマとコウズケカブリダニの個体群密度に及ぼす薬剤散布の影響. *日本応用動物昆虫学会誌* 50: 247-252.
- 97) 清水恵子・戒能洋一・田付貞洋 1991. ハマキコウラコマユバチの野外での探索行動. *日本応用動物昆虫学会誌* 35: 258-260.
- 98) 新海栄一 2010. *日本のクモ*. 文一総合出版, 東京. 335 pp.
- 99) 真梶徳純 1991. ナミハダニ, ニセナミハダニ. 昆虫の飼育法 (湯嶋 健・釜野静也・玉木佳男 編). 社団法人日本植物防疫協会, 東京, pp. 372-374.
- 100) 白井 満・小林久俊・伊藤善文・堀田 柏・竹島節夫 1988. 静岡県におけるチャハマキに対するランネートの感受性低下について. *関東東山病害虫研究会年報* 35: 189-190.
- 101) 白木与志也・大橋 透 1992. 慣行防除茶園と, 無農薬茶園における主要害虫と天敵の発生消長. *神奈川県園芸試験場研究報告* 42: 33-39.
- 102) 角川 修 2008. 防除器具とドリフト対策. *茶大百科II* (社団法人農山漁村文化協会編). 社団法人農山漁村文化協会, 東京, pp. 661-662.
- 103) 住友化学株式会社 2012. 新規殺虫剤スピネトラム (ディアナ®) の開発 (下川床康孝・佐藤直樹・山口尊史・田中仁詞 著). *住友化学技術誌* 2012: 4-16.
- 104) 鈴木芳人 2012. 殺虫剤抵抗性の発達をどう制御するか. *日本農薬学会誌* 37: 405-408.
- 105) Takafuji, A. and Chant D. A. 1976. Comparative studies of two species of predacious phytoseiid mites (Acarina: Phytoseiidae), with special reference to their responses to the density of their prey. *Researches on Population Ecology* 17: 255-310.
- 106) 高藤晃雄・井上雅央 1993. 合成ピレスロイド剤散布によるカンザワハダニの分散および捕食性天

- 敵への影響. 関西病虫害研究会報 35: 19-25.
- 107) 高橋文雄・井上雅央・高藤晃雄 1998. 下草へのチリカブリダニ放飼によるハウス栽培ブドウ園ハダニ管理法. 日本応用動物昆虫学会誌 42: 71-76.
- 108) 高木一夫 1974. 茶園の寄生蜂のモニタリング. 茶業試験場研究報告 10: 91-131.
- 109) 高梨祐明 2004. アザミウマタマゴバチ. 天敵大事典—生態と利用 (下巻) (社団法人農山漁村文化協会 編). 社団法人農山漁村文化協会, 東京, pp. 615-618.
- 110) Tanaka, K., S. Endo and H. Kazano 2000. Toxicity of insecticides to predators of rice planthoppers: Spiders, the mirid bug and the dryinid wasp. *Applied Entomology and Zoology* 35: 177-187.
- 111) 谷川元一・國本佳範 2000. ナスへの農薬散布におけるノズルの動きによる散布むら. 日本農薬学会誌 25: 223-227.
- 112) 多々良明夫 1997. クワシロカイガラムシの天敵類に対する農薬の影響と茶園における寄生蜂の寄生率. 静岡県茶業試験場研究報告 21: 23-29.
- 113) 多々良明夫 1999. チャにおける BT 剤と IGR 剤を基幹とした天敵保護防除体系下での害虫と天敵類の発生. 関東東山病虫害研究会報 46: 119-122.
- 114) 寺田孝重 1987. 茶園におけるクモ類相の研究 (第4報) 慣行防除がクモ類相におよぼす影響. 茶業研究報告 65: 61-64.
- 115) 豊島真吾 2003. 果樹ハダニ類防除における天敵利用. 植物防疫 57: 515-519.
- 116) 豊島真吾 2014. カンザワハダニ少発生茶園におけるカブリダニ類の4種調査法の比較. 茶業研究報告 117: 15-25.
- 117) 豊島真吾・岸本英成・後藤千枝 2015a. カブリダニ識別マニュアル 初級編 第1版. 農業・食品産業技術総合研究機構, つくば. 18 pp.
- 118) 豊島真吾・萬屋 宏・佐藤安志 2015b. 葉採取法とファイトトラップ法による茶園に生息するカブリダニ類の効率的な調査法. 茶業研究報告 120: 17-23.
- 119) 津賀幸之介 1982. 農薬の製剤と施用法 (6) 散布機. 日本農薬学会誌 7: 409-414.
- 120) 辻 孝三 2006. 農薬製剤はやわかり—製剤でこんなことができる—. 化学工業日報社, 東京, p. 115.
- 121) 内山 徹 2012. 各種薬剤のチャノコカクモンハマキに対する残効期間. 関西病虫害研究会報 54: 151-154.
- 122) 内山 徹 2017. チャノコカクモンハマキの殺虫剤抵抗性に関する研究. 静岡県農林技術研究所特別報告 7: 1-54.
- 123) 内山 徹・吉崎真紀・小澤朗人 2011. 薬剤防除圧の異なる茶園におけるクモ類の種構成. 静岡県農林技術研究所研究報告 4: 37-44.
- 124) Ullah, M.S., M. Hanawa and T. Gotoh 2016. Pesticide-mediated displacement of a phytoseiid predator, *Neoseiulus womersleyi*, by another phytoseiid predator, *N. californicus* (Acari: Phytoseiidae). *Experimental and Applied Acarology* 69: 453-464.
- 125) 梅谷献二・工藤 巖・宮崎昌久 1988. 農作物のアザミウマ. 全国農村教育協会, 東京, pp. 333-335.
- 126) van den Boom C.E.M., T. A. van Beek and M. Dicke 2003. Differences among plant species in acceptance by the spider mite *Tetranychus urticae* Koch. *Journal of Applied Entomology* 127: 177-183.
- 127) 若公正義・小田桐真理子 1985. 数種殺ダニ剤のナミハダニに対する防除効果と圃場における捕食性ダニへの影響. 北日本病虫害研究会報 36: 90-93.
- 128) Wang, X. Q., G. H. Wang, Z. R. Zhu, Q. Y. Tang, Y. Hu, F. Qiao, K. L. Heong and J. Cheng 2016. Spider (Araneae) predations on white-backed planthopper *Sogatella furcifera* in subtropical rice ecosystems, China. *Pest Management Science*. wileyonlinelibrary.com/journal/ps. doi: 10.1002/ps.4459.
- 129) 薬丸 薫 1990. 農薬散布技術の展望. 農薬の散布と付着 (日本農薬学会 農薬製剤・施用法研究会編). 社団法人日本植物防疫協会, 東京, pp. 151-163.
- 130) 山下幸司・村松 功・福永晃士 2011. 各種殺虫剤のチャノミドリヒメヨコバイに対する殺虫効果. 関西病虫害研究会報 53: 95-97.
- 131) 山本敦司 2015. ケーススタディから殺ダニ剤抵抗性マネジメントを考える. 農業および園芸 90: 320-330.
- 132) 山崎大樹・糸山 亨 2015. 都市農業ナシ園におけるカブリダニ類の発生消長. 関東東山病虫害研究会報 62: 153-155.
- 133) 矢野修一・小澤 真由子・刑部正博・川崎倫久 2009. カブリダニ類の定着促進技術の生態学的背景—生物的防除の新しい方向性を目指して—. 植物防疫 63: 635-640.
- 134) 萬屋 宏 2015. チャ育種における病虫害抵抗性品種の現状と展望. 植物防疫 69: 58-61.

- 135) 萬屋 宏・荻野暁子 2014. チャ遺伝資源における
チャノミドリヒメヨコバイの甘露排出量と甘露
中のアミノ酸分析. 昆蟲 (ニューシリーズ) 17: 1-
9.
- 136) 萬屋 宏・田中淳一 2012. チャ遺伝資源における
チャノミドリヒメヨコバイの食害被害程度と食
痕数について. 九州病害虫研究会報 58: 93-99.
- 137) 萬屋 宏・谷口郁也・吉田克志・田中淳一・荻野暁
子・根角厚司 2009. 環境保全型防除下における
各チャ品種の虫害程度と虫害特性. 九州病害虫
研究会報 55: 162-167.
- 138) 吉岡哲也 2012. チャの減農薬栽培に関する研究－
八女茶ブランド力の向上を目指して－. 福岡県
農業総合試験場特別報告 36: 1-75.
- 139) 吉岡哲也・武田光能 2006. クワシロカイガラムシ
の天敵寄生蜂ナナセツトビコバチとチビトビコ
バチに対する農薬の影響. 福岡県農業総合試験
場研究報告 25: 145-149.
- 140) Young, O. P. and G. B. Edwards 1990. Spiders in United
States field crops and their potential effect on crop
pests. *Journal of Arachnology* 18: 1-27.

Studies on Lower-Volume Pesticide Spray in Tea Cultivation

Satoshi Kakoki

Summary

I have developed a novel method for reducing pesticide use in tea fields by using a lower-volume sprayer (Kagoshima-style) that specifically targets the plucking surface of the tea plant. The aim of this study was to develop a method of reduced-volume spraying in tea fields for farmers. I reduced the volume of pesticide spray per 10 ares using this lower-volume sprayer, and I have studied the practical possibilities of lower-volume partial spraying.

The prevention of feeding damage caused by *Empoasca onukii* Matsuda to new shoots was more stable when pesticide spraying took place at high volumes than at low volumes. However, there were many cases where the damage index of *E. onukii* was not significantly different between the lower-volume partial spraying (40 L/10 ares or 70 L/10 ares) and conventional spraying (200 L/10 ares). Furthermore, the prevention of feeding damage and the annual number of *Scirtothrips dorsalis* Hood following lower-volume partial spraying (40 L/10 ares) were similar to that in conventional spraying. Reduction of leaf rolling in response to new shoot attack by *Caloptilia theivora* Walsingham tended to be greater in the case of higher-volume spraying than in lower-volume partial spraying. However, I also confirmed that there was no statistically significant difference in the number of rolled leaves caused by *C. theivora* between the 200-L treatment and the no-pesticide control. Therefore, I thought of a possibility that does not require pesticide spraying against *C. theivora* by the degree of their occurrence. There were also other cases where the decrease of pest numbers following conventional spraying (200 L/10 ares) and lower-volume partial spraying were similar (*Acaphylla theavagrans* Kadono at 40 L/10 ares; *Homona magnanima* Diakonoff and *Adoxophyes honmai* Yasuda at 70 L/10 ares). Furthermore, although very high volumes of pesticide (1000 L/10 ares) are usually needed to control *Pseudaulacaspis pentagona* Targioni-Tozzetti, the male adult population of *P. pentagona* in the no-pesticide control and in the lower-volume partial spraying (40 L/10 ares) treatments tended to be lower than that in the conventional spraying. Pesticides (such as those targeting *E. onukii*, *S. dorsalis*, and *C. theivora*) are harmful to natural enemies of *P. pentagona* in tea fields, but these negative effects can be relieved by lower-volume partial spraying.

The numbers of natural enemies (spiders, *Megaphragma* sp., *Encarsia* spp., and other parasitoid wasps) tended to be higher in the lower-volume partial (40 L/10 ares) treatment than in the conventional treatment (200 L/10 ares). Moreover, I found that continuing the method of pesticide spraying, which leaves refuges in the leaf layer exposed to sub-lethal dosages of pesticide, helps phytoseiid mites to evade pesticides, resulting in the maintenance of the composition of the phytoseiid mite populations in terms of diversity and abundance. Maintaining the diversity and abundance of Phytoseiidae may have contributed to the stabilization of the *T. kanzawai* population at low densities in tea fields. Consequently, I found that the tea leaf layer acts as a useful shelter for natural enemies at the time of pesticide application and that the lower-volume partial spraying method targeting the area around the plucking surface can help to improve this sheltering function. In order to achieve the desired balance between the direct effect of pesticides on pest numbers vs. the indirect effect on natural enemies in tea fields, it is ideal to spray pesticides at the lowest possible volume.

Keywords: Integrated pest management, Leaf layer, Natural enemies, Partial spraying, Spraying volume