

ミツバチの田面水を介した農薬暴露実態の解明

—半野外環境下でのトレーサーを用いた検証—

市原直登*, 加藤貴央*, 高野優美*, 木村 稔**, 石原 悟**

*独)農林水産消費安全技術センター 農薬検査部

**農林水産省 消費・安全局

ミツバチの田面水を介した農薬暴露実態を解明するため、半野外環境下で蜂群を維持し、農薬成分および蛍光物質をトレーサーとして物質の動態調査を行った。農薬成分をトレーサーとした調査では、調査時期を問わずミツバチ幼虫から農薬成分は検出されず、水を介して幼虫が農薬に暴露するリスクは低いことが示唆された。蛍光物質をトレーサーとした調査では、調査時期によって巣材へのトレーサーの付着状況が異なり、水に含まれる物質の巣箱内での動態が、採水の目的の違いによって異なることが確認された。排泄物から農薬成分および蛍光物質が確認されたことから、水に含まれるトレーサーの一部は巣箱内に持ち込まれずに排泄物として巣箱外へ排出されていることが示唆された。

Keywords : ミツバチ, 蜜蜂, ポリネーター, リスク評価, 田面水, 半野外試験, トレーサー

結 言

ミツバチが農薬に暴露する経路は、虫体に直接付着する接触暴露と農薬を含んだ食物などを摂取する経口暴露の2つの経路がある。農薬のミツバチに対するリスク評価では両方の暴露経路を考慮した評価が行われている。ミツバチにとって花粉はタンパク源、花蜜はエネルギー源であり蜂群の維持に必須である。そのため、経口暴露の主な暴露源は花粉・花蜜とされている。ミツバチの摂餌量と花粉・花蜜の残留農薬濃度から科学的根拠に基づく経口暴露量の推定が可能であり、リスク評価が行われている。

水も花粉・花蜜と同様にミツバチの蜂群の維持に必要であり¹⁾、蜂蜜を幼虫に給餌するための希釈、ローヤルゼリーの生産、気化熱による巣箱内の温度調節など多様な目的で使用されている。外勤蜂の主な仕事は餌となる花粉や花蜜の採取であるが、一部の外勤蜂が、水集めを専門の仕事としていることが知られている²⁾。ミツバチの水利用に関しては一定の知見があるが、水を介した農薬暴露実態を定量的に示した知見は少ない。

評価の先行している欧米においても水を介した農薬のミツバチに対するリスク評価手法は完全には確立していない^{3),4)}。しかしながら、日本の農地はおおよそ半分が水田であり、農薬を施用した水田の水をミツバチが利用する可能性が高いため、田面水を介したミツバチに対する農薬暴露実態を把握・解明することは意義深い。また、暴露実態を反映した

水経由の農薬暴露についてリスク評価導入の可否を今後検討する必要がある。

前報⁵⁾では実際の養蜂現場周辺の水田における採水状況の調査のほか、閉鎖空間における蜂群の飼育方法を検討した結果を報告した。本報では、前報で検討した蜂群の飼育方法を用いて、農薬成分および蛍光物質をトレーサーに用いて蜂群内における水を介した物質の動態を2019年および2020年に調査した結果を報告する。

材料および方法

前報で検討した手法⁵⁾で蜂群を閉鎖空間内（簡易テント内）で維持し、トレーサー（農薬成分）を含んだ脱塩素水をミツバチに採水させ、採水蜂、外勤蜂、内勤蜂、幼虫中に含まれるトレーサーを経時的に分析することで階層別にトレーサーの暴露状況を調査した。また、蛍光物質をトレーサーとした調査では、蛍光物質の巣材への付着状況を視覚的に調査した。

1. 供試生物

2019年の調査では花粉交配用のセイヨウミツバチ (*Apis mellifera* L.) 群（巣板4枚群（約8000頭）, 1群）を、2019年7月11日に秋田屋本店（岐阜県岐阜市）から購入し用いた。

2020年の調査においても同様に花粉交配用のセイヨウミツバチ群を2020年3月31日に秋田屋本

店から3群購入し用いた。

2. 飼育方法

巣箱は購入後すぐに農薬検査部敷地内に設置した簡易テント（FIELDOR社製、製品名：スクリーンテント、3.0 m×3.0 m×2.2 m（W×D×H））内に設置し、翌日巣門を開け飼育を開始した。餌として果糖ブドウ糖液糖（Brix 糖度約 70 %、製品名：はちまんま）および代用花粉（製品名：ローヤルビー）を与えた。

3. 給水方法

前報で検討した、脱脂綿で蓋をしたメディウム瓶を天井から逆さまにして吊り下げる方法で給水を行った。

4. トレーサーの暴露

4.1. 使用した農薬成分

表 1 および表 2 に示す農薬成分をトレーサーとして用いた。暴露溶液は表 1 および表 2 に示した濃度となるようアセトンで溶剤として分析用標準品を脱塩素水に溶解して調製した。暴露溶液中のアセトン濃度はミツバチ成虫単回経口毒性試験の OECD テストガイドライン⁶⁾で定められている 1% を超えないよう調製した。暴露溶液の調製は暴露開始日前日に行い、暴露直前までスターラーで攪拌し、不溶物を除去するために濾過した。トレーサーとして用いた農薬成分はミツバチに対する急性毒性が弱いことが明らかな成分を選定した。

表 1. 2019 年の調査で用いた農薬成分

有効成分名	logPow*	水溶解度 (mg/L)	暴露溶液中濃度 (mg/L)	定量下限値 (ng/bee)
トリクラゾール	1.41	596	5.0	1.0
シメトリン	2.14	428	5.0	2.0
プロモブチド	3.46	3.54	3.0	0.4
プロタクロール	4.42	16	3.0	1.0

*農薬ハンドブック（2016）

表 2. 2020 年の調査に用いた農薬成分

有効成分名	logPow*	水溶解度 (mg/L)	暴露溶液中濃度 (mg/L)	定量下限値 (ng/bee)
トリクラゾール	1.41	596	5.0	1.0
シメトリン	2.14	428	5.0	2.0
ピラクロニル	2.18	50	5.0	2.0
ジメタメトリン	3.2	20	5.0	0.4
プロモブチド	3.46	3.54	3.0	0.4
プロタクロール	3.9	74	5.0	0.4
プロタクロール	4.42	16	5.0	1.0

*農薬ハンドブック（2016）

4.2. 使用した蛍光物質

オレンジ色の蛍光塗料（シンロイヒ株式会社製、型番 SW-114）をトレーサーとして用いた。暴露溶液は脱塩素水で蛍光物質を 50 倍に希釈したものをを用いた。

4.3. 暴露方法

暴露溶液を入れた給水器を簡易テント内に設置することで暴露開始とした。農薬成分をトレーサーとした調査では、採水量を測定するために、暴露溶液は午前 9 時に設置し、午後 3 時に回収した。これを 7 日間繰り返し、その後、トレーサーを含まない脱塩素水に切り替えた。

蛍光物質をトレーサーとした調査では、暴露溶液を入れた給水器を簡易テント内に設置することで暴露開始とし、暴露期間が終わるまで設置した。

4.4. 暴露期間

2019 年の調査は、農薬成分をトレーサーとした暴露は 2019 年 8 月 6 日から 8 月 12 日まで行った。蛍光物質をトレーサーとした暴露は 2019 年 8 月 28 日から 9 月 9 日まで行った。

2020 年の調査では、農薬成分をトレーサーとした暴露は 2020 年 5 月 26 日から 6 月 1 日まで行った。蛍光物質をトレーサーとした暴露は 2020 年 8 月 12 日から 8 月 18 日まで行った。

5. 調査項目

5.1. 死虫数および蜂群強度

飼育期間中は休日を除く毎朝巣箱外で確認された死虫数を計測し、日ごとの死虫率を算出した。また、定期的に巣箱内部を確認（内検）し、巣板両面を写真撮影（図 1）して生存成虫総数（蜂群強度）を推定した。巣板片面をミツバチが覆っている状態を 1000 頭と仮定して推定した。蜂群強度と死虫率を蜂群状態の指標とした。



図 1. 生存成虫数推定に用いた写真の一例

5.2. 採水量

採水量は前報で報告した方法と同様に、給水器の設置前後の重量差と、ミツバチが採水できないようにした別の容器を用いて算出した蒸発量との差から、ミツバチが採水した水の量を算出した。また、ミツバチが給水器を訪れる回数(採水回数)を午前・午後の3回それぞれ15分間観察し、暴露時間中の採水回数を推定した。採水した水の総量と採水回数から、1回当たりの採水量を算出し、Visscherら(1996)が報告した採水量(30-58 mg)とと比較した。

5.3. 試験環境

暴露期間中の気象条件および巣箱内温度を測定した。天候および最高最低気温はアメダス(観測地点:東京都府中市)、巣箱内温度は巣箱内に設置した温度計(アズワン株式会社製、型番RX-350TH)を用いて記録した。

5.4. 暴露溶液中の農薬成分濃度

暴露開始時、暴露4日後、暴露終了時に給水器から採水した。採水した暴露溶液をアセトニトリルで100倍に希釈した溶液を測定試料とし、LC-MS/MSを用いて測定した。また、プロモブチドは分解物(プロモブチド-デブロム)も測定対象とした。

5.5. 虫体中の農薬成分量

巣箱内の採水蜂、外勤蜂、内勤蜂および幼虫を、暴露開始前、暴露終了1日後、暴露終了3日後および暴露終了7日後に採取した。採水蜂は、暴露開始前にあらかじめ、給水容器から採水していたミツバチをマーキングすることで識別した。採取後、ミツバチ1頭を試料とした前処理を行い、LC-MS/MSを用いて分析を行った。また、プロモブチドは分解物(プロモブチド-デブロム)も測定対象とした。

5.6. 排泄物中の農薬成分量

2020年の調査では、排泄物中の農薬成分を測定した。暴露終了1日後、4日後、7日後の各日、簡易テント内に直径9cmのろ紙を3枚設置し排泄物を採取した。その後、排泄物の付着箇所(図2)を切り取り、虫体中の農薬成分分析と同様の手順で分析を行った。

5.7. 虫体や巣材に付着した蛍光物質の観察

暴露終了翌日、成虫、幼虫および巣板にブラックライト(アルファーマーラージュ社製、型番:ABL-3Z、波長:375nm)を照射して蛍光物質の付着箇所を確認した。



図2. 採取したミツバチの排泄物

結果

1. 2019年の調査

1.1. 蜂群の状態

農薬成分をトレーサーとして用いた調査において、暴露中(8月6日~8月12日)の日ごとの死虫率は1.6~3.2%であった。

蛍光物質をトレーサーとして用いた調査では、暴露中(8月28日~9月9日)の日ごとの死虫率は、9月6日までは2.4~8.2%で安定していたが、9月7日以降は10~13%となった。

1.2. 採水量

農薬成分をトレーサーとして用いた調査における暴露期間中のミツバチ1匹が1回に採水する水量を図3に示す。

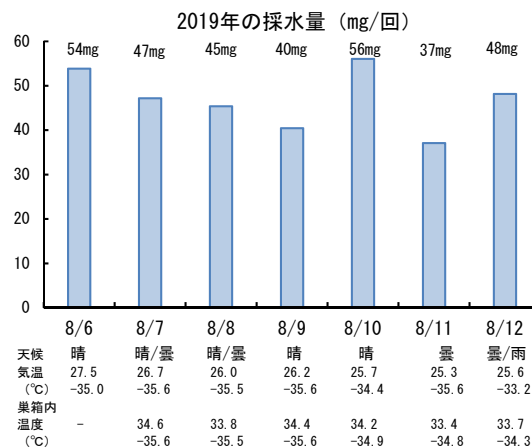


図3. 1回当たりの採水量(2019年)

ミツバチ1匹が1回に採水する水量は37-56mg(平均値±SD: 47±6.3mg)と推定された。なお、暴露期間中の総採水量は693mgだった。

1.3. 暴露溶液中の農薬成分濃度

暴露溶液中の農薬成分濃度を図4に示す。

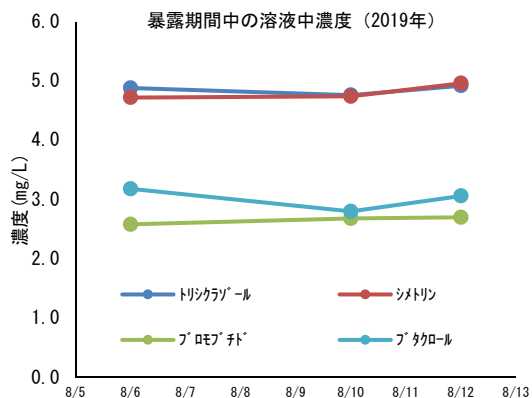


図4. 暴露溶液中の農薬成分濃度 (2019年)

暴露溶液中の農薬成分濃度は暴露期間を通して安定しており、減衰も認められなかった。また、プロモブチド-デブロムは検出されなかった。

1.4. 虫体中の農薬成分量

虫体中のトレーサー残留量を図5に示す。成虫に

関しては、すべての階層から調査に用いた成分が定量下限値以上で検出された。成虫から検出された成分のうち、トリシラゾールおよびブタクロールが高頻度、多量に検出された。すべての階層において、暴露終了1日後の試料で検出される農薬成分が多く、時間経過に伴って減衰する傾向が認められた。なお、外勤蜂に関しては、暴露終了7日後の試料は採取できなかった。一方で、幼虫に関しては、いずれの成分も定量下限値以上の検出はされなかった。また、プロモブチド-デブロムは成虫および幼虫のいずれの試料からも検出されなかった。

1.5. 巣材等に付着した蛍光物質

蛍光物質をトレーサーとして水を介して暴露した後、成虫を採取し、ブラックライトを照射して観察した(図6)。

虫体の腹部から蛍光が観察され、体内に蛍光物質が取り込まれていることが確認された。一方で、虫体外部への蛍光物質の付着は確認されなかった。

巣板にブラックライトを照射し観察した結果の一例を図7に示す。

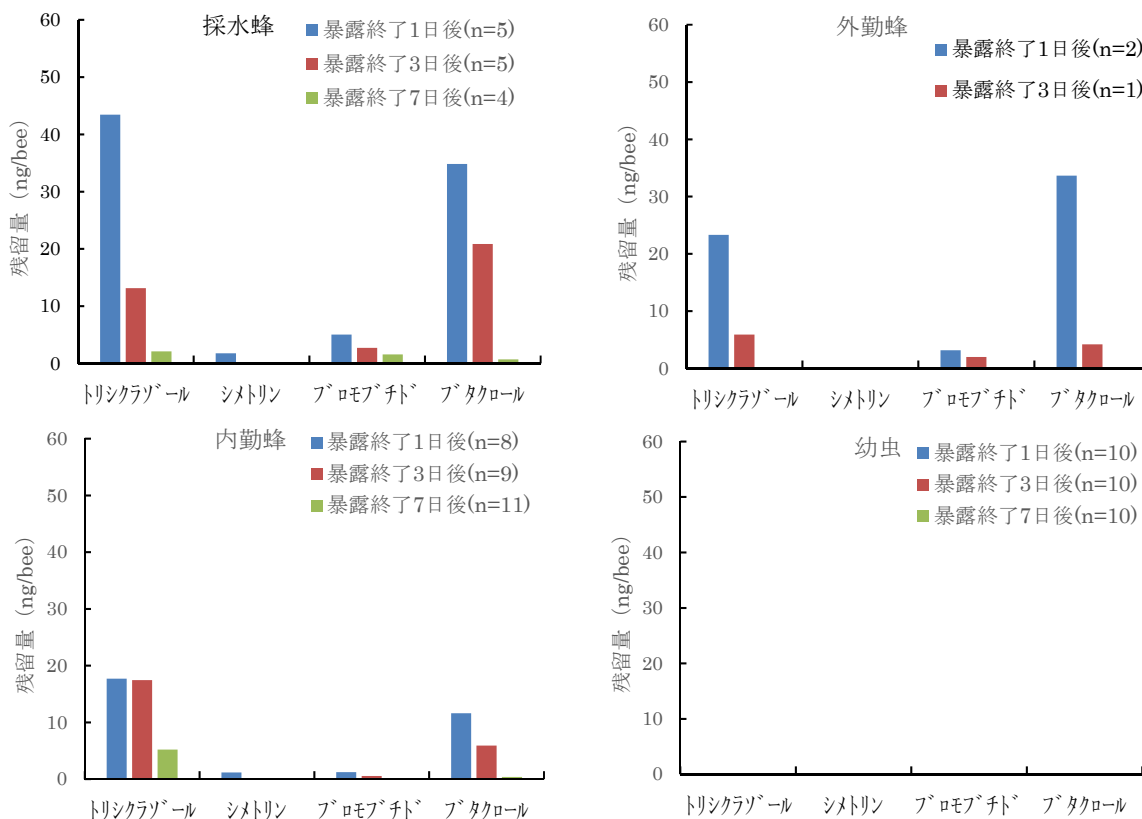


図5. 虫体中のトレーサー平均残留量 (2019年)



図 6. 虫体中から確認された蛍光成分（2019 年）
左：UV 照射前，右：UV 照射後

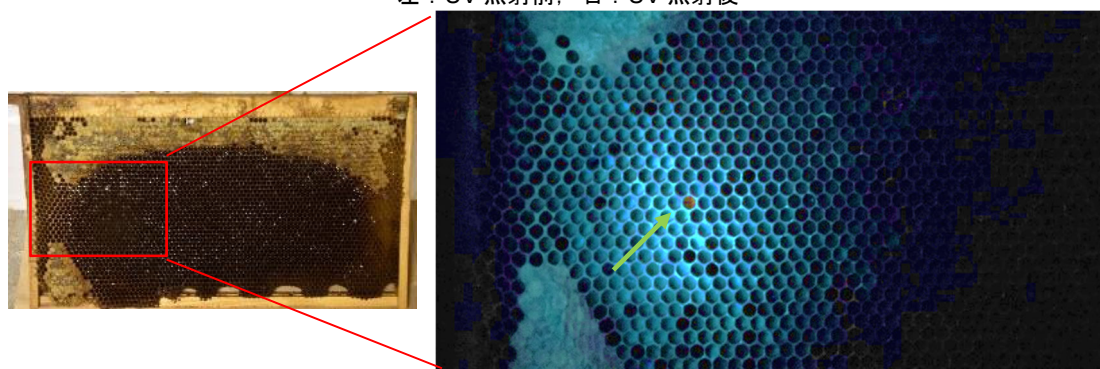


図 7. 巣板から確認された蛍光成分（2019 年）
左：巣板全景，右：拡大・ブラックライト照射

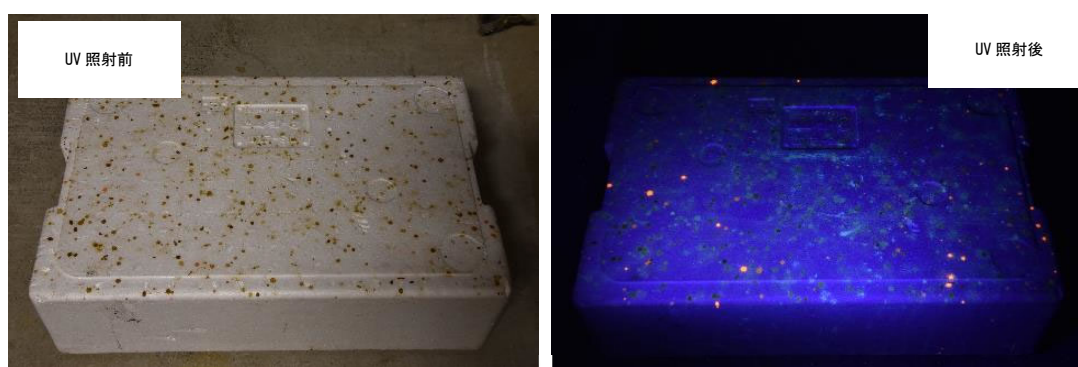


図 8. 巣箱外から確認された蛍光成分（2019 年）
写真は巣箱外に設置した発泡スチロールに付着した排泄物。左：UV 照射前，右：UV 照射後

一部の巣房でのみ蛍光が観察され，その他の場所から蛍光は認められなかった。

巣箱外のミツバチの排泄物にブラックライトを照射した結果，一部の排泄物から蛍光が観察され（図 8），ミツバチが水を介して体内に取り込んだ

蛍光物質の一部を体外へ排出することが確認された。

2. 2020 年の調査

2.1. 蜂群の状態

農薬成分をトレーサーとして用いた調査において、暴露中（5月26日～6月1日）の日ごとの死虫率は2.3～4.7%であった。

蛍光物質をトレーサーとして用いた調査では、暴露中（8月12日～18日）の日ごとの死虫率は1.2～4.9%であった。

2.2. 採水量

農薬成分をトレーサーとして用いた調査における暴露期間中のミツバチ1匹が1回に採水する水量を図9に示す。

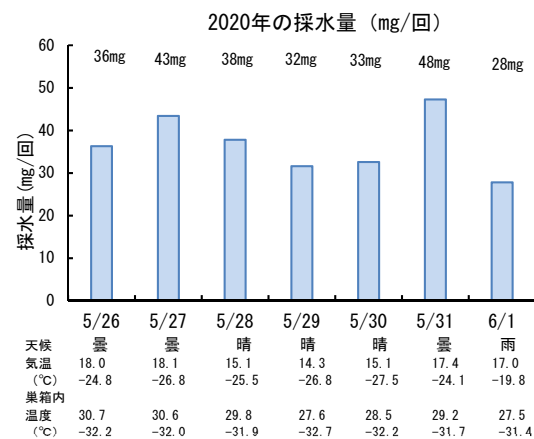


図9. 1回当たりの採水量（2020年）

ミツバチ1匹が1回に採水する採水量は28-48mg（平均±SD: 36.7±6.3mg）と推定された。また、暴露期間中の総採水量は169mgだった。

2.3. 暴露溶液中の農薬成分濃度

暴露溶液中の農薬成分濃度を図10に示す。

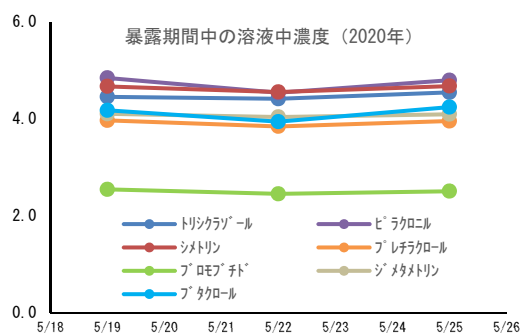


図10. 暴露溶液中の農薬成分濃度（2020年）

暴露溶液中の農薬成分濃度は暴露期間を通して安定しており、減衰も認められなかった。また、プロモブチド分解物は検出されなかった。

2.4. 虫体中の農薬成分量

虫体中の農薬成分量を図11に示す。成虫に関しては、すべての階層から調査に用いた成分が検出された。成虫から検出された成分のうち、ピラクロニルが最も多量に検出されたが、検出されたのは1匹からのみで、検出頻度は低かった。ピラクロニル以外では、トリシクラゾール、ジメタメトリンおよびブタクロールが高頻度、多量に検出された。また、ほとんどの成分で暴露終了1日後の量が多く、時間経過に伴って減衰する傾向がみられた。

幼虫に関しては、2019年の調査と同様、定量下限値以上で検出される成分はなかった。

プロモブチド-デブロムは、成虫および幼虫のいずれの試料からも検出されなかった。

採水蜂に関しては、暴露終了1日後の試料からピラクロニルが最も多量に検出された。外勤蜂に関しては、暴露終了1日後の試料からジメタメトリンが最も多量に検出され、内勤蜂に関しては、暴露終了4日後の試料からトリシクラゾールが最も多量に検出された。また、ブタクロールを除くすべての成分で時間経過に伴い減衰する傾向が認められた。幼虫に関しては、定量下限値以上の検出は認められなかった。プロモブチド-デブロムに関しては、2019年同様、いずれの試料からも検出されなかった。

2.5. 排泄物中の農薬成分量

採取した排泄物に含まれる農薬成分を分析した結果を、図12に示す。排泄物中からは、3成分（トリシクラゾール、ジメタメトリンおよびプレチラクロール）が検出された。最も高い濃度は、暴露終了7日後の試料から検出されたジメタメトリンで、1.4ng/排泄物であった。

2.6. 巣材等に付着した蛍光物質

蛍光成分をトレーサーとした調査の暴露終了後に巣板および虫体を観察した結果の一例を図13および図14に示す。

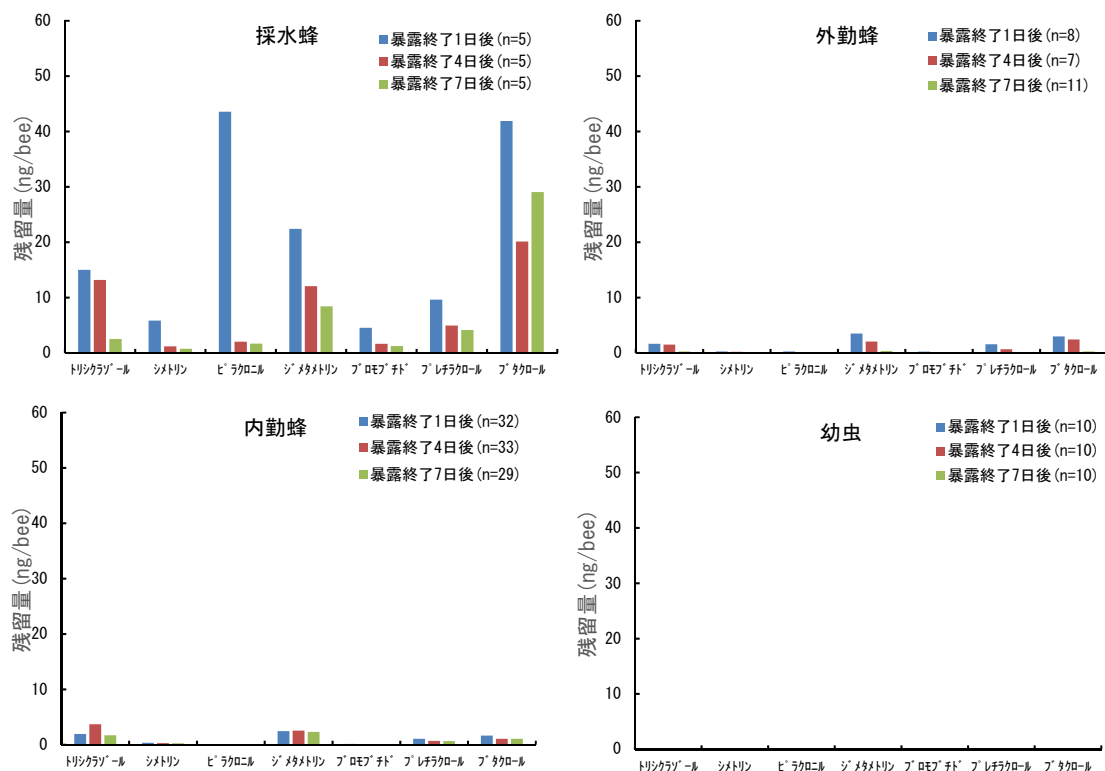


図 11. 虫体中の農薬成分量 (2020 年)

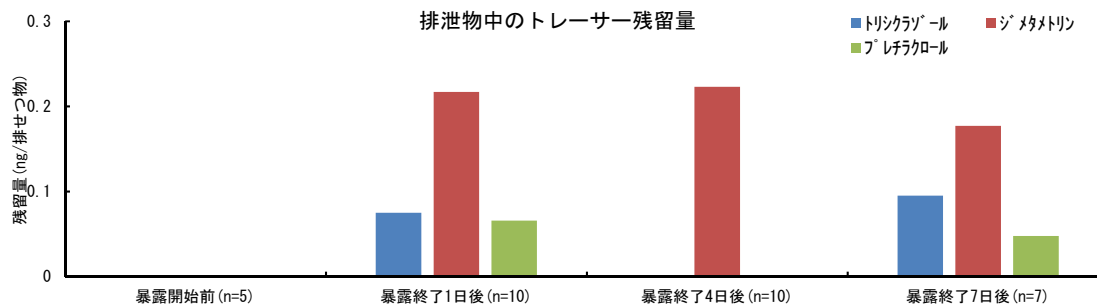


図 12. 排泄物中の農薬成分量 (2020 年)

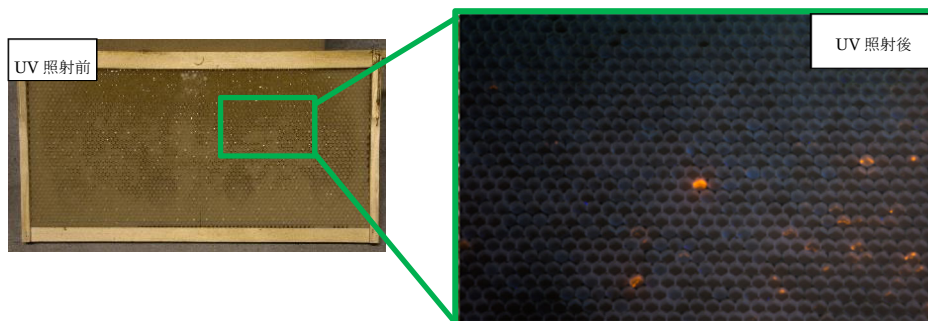


図 13. 巣材から確認された蛍光成分 (2020 年)

左: UV 照射前・全景, 右: UV 照射後・拡大図



図 14. 虫体中から確認された蛍光成分（2020 年）
左：UV 照射前，右：UV 照射後・拡大図，上段：成虫，下段：幼虫

考察

1. 蜂群状態と採水活動

本調査は、トレーサー物質を含んだ水をミツバチに採取させ、蜂群内に持ち込ませた後、成虫、幼虫、巣材などに含まれる成分を分析、観察することでトレーサーの巣箱内における動態を調べることを目的とした。我々はこれまでにミツバチを試料とした残留農薬分析法を確立していることから、定量可能な農薬成分をトレーサー物質として利用した。調査ではミツバチに対する急性毒性が低い成分を選定して用いた。また、農薬成分は一般に環境水中やミツバチの採餌物に含まれる可能性があることから、このような不特定要素を排除するために、閉鎖空間内で調査を行った。一般にミツバチは閉鎖空間内で長期間飼育することは困難だが、短期間であれば蜂群を維持することが可能である⁵⁾。2019 年の調査で、蛍光物質をトレーサーとした調査において、暴露終了前の 3 日間で死虫率が 10%を上回った。これは、前報でも考察しているが、秋に近づくとも雄蜂

が蜂群からいなくなり、雄蜂を好んで寄生していたミツバチヘギイタダニが、一斉に働き蜂に寄生したため、死虫率が上昇したと考えられた。一方で、暴露終了前の 3 日間以外の暴露期間では死虫率は 10%を下回っており、蜂群は安定していた。2020 年に行った調査においても、日ごとの死虫率は 10%を下回っており、蜂群は維持できていたと考えられた。また、ミツバチ 1 匹の 1 回の採水量についても文献値⁷⁾と同等であったことから、適切にトレーサーを含んだ水を蜂群へ暴露させることができたと考えられた。

2. 農薬成分をトレーサーとした調査における虫体中の農薬成分量

2019 年における調査は、夏期の高温期に調査を行った。暴露期間中に暴露溶液中のトレーサー濃度に減衰が認められず（図 4）、ミツバチに一定の濃度でトレーサーを蜂群内に持ち帰らせることができた。暴露終了後には、採水蜂、外勤蜂および内勤蜂からトレーサーが検出された（図 5）。虫体中のトレーサー量は水を持ち帰る採水蜂で多くなる傾向が

あり、その他の外勤蜂や内勤蜂からは、採水蜂より少なくなる傾向が認められた。一方で、幼虫からは定量下限値以上のトレーサーは検出されなかった。これは、夏期の高温期に調査を行ったため、給餌目的での水利用が少なかった可能性が考えられた。そのため、2020年の調査では、水利用の主目的が幼虫への給餌となる春期に調査を行った。また、2019年の調査では、4種類の農薬成分をトレーサーとして用いたが、水溶解度の高いトリシクラゾールと水溶解度の低いブタクロールが他の成分と比較し高い濃度で検出される傾向が認められ、水溶解度と虫体中濃度に関連は認められなかったことから、より詳細にlogPowと水溶解度の関係性を調べるため、供試成分数を増やして調査した。

2020年の調査においても、暴露期間中に暴露溶液中のトレーサー濃度は一定で減衰は認められなかった(図10)。虫体中のトレーサーは、2019年の調査と同様に採水蜂、外勤蜂および内勤蜂から検出された(図11)。虫体中のトレーサー量についても2019年と同様に採水蜂で多くなる傾向が認められたが、その差は2019年より大きかった。この要因として、2019年の調査は水を巣箱の温度調整のため多く消費する夏期に行ったことから、採水蜂以外の蜂も採水を行っていた可能性が示唆された。

2020年は、幼虫への給餌が主な水利用の目的と考えられる春期において調査を行ったが、2019年の調査と同様に、幼虫からはトレーサーは検出されなかった。調査時期に関わらず、幼虫へトレーサーが移行する可能性は低いことが示唆された。

2019年の調査では4成分をトレーサーとして用いたが、水溶解度と虫体からの検出の傾向に関係は認められなかった。2020年の調査ではトレーサー成分を7成分に増やしたが、水溶解度およびlogPowと虫体からの検出傾向に一定の関係は認められなかった。

また、プロモブチドについてはトリシクラゾールおよびブタクロールと比較して虫体から検出される量は少なかったが、分解物であるプロモブチドデブromoが検出されないことから、虫体から検出される量が少ないのは分解以外が要因と考えられた。

3. 農薬成分の分析値から推定した採水量

検出された農薬成分量からミツバチが蜂群内に持ち帰った水の量を推定した。2019年は採水蜂中に最も多く認められたトリシクラゾール(平均残留

量: 43 ng/bce) から、ワーストケースとして蜂群内の8000頭の成虫が採水したと仮定して推定した水量は71 mLであった。2020年は採水蜂中に最も多く認められたピラクロニル(平均残留量: 44 ng/bce) から推定した水量は75 mLであった。

一方で、暴露期間中に持ち帰った水の総量は、給水器の重量を量ることにより実測しており(図3および図9)、2019年および2020年でそれぞれ693 mLおよび169 mLであり、虫体中のトレーサー分析値から推定した量と大きな差が認められた。持ち帰った水の量について実測値と推定値に差があることから、ミツバチが採水した水に含まれるトレーサーの一部を虫体外へ排出していることが示唆された。

4. 蛍光物質の付着

虫体外に排出される水を観察するために、蛍光物質をトレーサーとして水に含ませ、虫体中の蛍光物質を観察した結果、2019年には成虫の腹部から、2020年には成虫の腹部および幼虫から蛍光が確認された。幼虫から定量下限値以上の農薬成分は検出されなかったが、蛍光物質を用いた試験では確実に視認できるように50倍希釈という高濃度で調査を行ったため、農薬成分を用いた調査とは異なり、幼虫からトレーサーが確認されたと考えられる。

一方で、巣材等への付着状況は、2019年の調査では巣板のごく一部の巣房で蛍光が確認されるのみだったが、2020年の調査では巣板の複数箇所から蛍光が確認された(図6, 7, 13, 14)。

この違いは、調査時の水利用目的の違いによるものと考えられた。一般にミツバチの育児適温は35℃程度であり⁸⁾、巣箱内の温度が育児の適温の超えると水を利用して温度を調節するものと考えられる。2019年の調査時には巣箱内の温度を測定していなかったため、気温からの推察になるが、暴露期間である2019年8月27日から9月8日の間、最高気温が35℃を超えることはなく、30℃前後と比較的低温だったことから、温度調節のための水利用が少なく巣材への付着が少なかったと推察された。2020年の蛍光トレーサーを用いた調査は8月中旬から開始し、巣箱内の温度が育児適温である35℃を超えたことを確認した。従って、温度調節のために巣房内で水を利用したことから、複数箇所でも蛍光が確認されたと考えられた。

5. 排泄物中のトレーサーの分析

2019年の蛍光物質をトレーサーとした調査では、

巣箱外のミツバチの排泄物中から蛍光トレーサーが確認された(図8)。排泄物から蛍光が認められたことはミツバチがトレーサーを体外に排出していることを裏付ける結果であったことから、2020年の農薬成分をトレーサーとした調査では、排泄物中のトレーサー量の分析も行った。

ろ紙を用いて排泄物を採取し分析を行った結果、一部のトレーサーが検出されたが、その最高量はジメタメトリンの1.4 ng/排泄物であった。ろ紙の面積(63.6 cm²×3枚)と1日でろ紙に付着した排泄物の平均個数(9個)から、1日の簡易テント内の排泄物の平均個数を推定すると、4246個/日となり、水の量を推定すると、1.2 mLとなった。しかし、虫体中のトレーサー量から推定される水の量と合わせてもその量は76.2 mLであり、実測した水量(169 mL)とは差が認められた。今回採取した排泄物は、排泄物と認識しやすい黄色い固形物が含まれたものを採取し分析に供した。排泄物の黄色い固形物は花粉に起因するものであり、花粉を食糧とする内勤蜂の排泄物である可能性が高いと考えられた。内勤蜂中のトレーサー量は採水蜂と比較して少なかったことから、排泄物中のトレーサー量から推定した採水量を過小に推定していることが考えられた。水に含まれるトレーサーの排泄について、より精緻な解析を行うには採水蜂の排泄物中に含まれるトレーサー量を明らかにする必要があると考えられた。

まとめ

農薬成分および蛍光物質をトレーサーとして蜂群内における水を介した物質の動態を調査した結果、農薬成分をトレーサーとした調査では、採水蜂、外勤蜂および内勤蜂からトレーサーが検出されたが、幼虫からは検出されなかった。この傾向はミツバチの水の利用目的が異なる時期を問わず同じであり、幼虫へトレーサーが移行する可能性は低く、幼虫への水を介した農薬暴露のリスクは低いことが示唆された。また、成虫から検出されたトレーサーの量は、採水蜂が最も多く、その他の外勤蜂や内勤蜂は採水蜂よりも少ない傾向がみられた。

蛍光物質をトレーサーとした調査では、ミツバチの水の利用目的の異なりにより巣板へのトレーサーの付着状況が異なり、水を巣箱内の冷却に用いる時期に巣箱内の広範にトレーサーが拡散していることが確認された。また、排泄物から蛍光が確認されたこと、農薬成分をトレーサーとした調査で排泄

物中からトレーサーが検出されたことから、ミツバチが巣箱外に水に含まれる農薬の成分を排泄物とともに排出していることが示唆された。

蜂群内に持ち込まれた水の量を、採水蜂および排泄物から検出されたトレーサー量から推定した結果、実測した水の消費量と推定値に大きな差が認められた。採水により採水蜂が体内に取り込んだトレーサーが本調査で確認した経路の他どのような経路で消失しているか明らかにすることが、ミツバチが採取した水に含まれる農薬の巣箱内での動態解明に重要と考えられた。

引用文献

- 1) Seeley, T.D.(1995): THE WISDOM OF THE HIVE. The Social Physiology of Honey Bee Colonies, HARVARD UNIVERSITY PRESS,
- 2) Robinson, G.E., et al.(1984): A highly specialized water-collecting honey bee, *Apidologie* 15:355-358
- 3) EFSA(2013): EFSA Guidance Document on the risk assessment of plant protection products on bees (*Apis mellifera*, *Bombus* spp. and solitary bees). p60
- 4) U.S.EPA(2014): Guidance for Assessing Pesticide Risks to Bees.
- 5) 市原直登, 加藤貴央, 木村穰, 石原悟(2019): 農薬調査研究報告第12号, p12
- 6) OECD(1998): OECD TG 213 Honeybees, Acute Oral Toxicity.
- 7) Visscher, P.K. et al.(1996): How do honey bees (*Apis mellifera*) fuel their water foraging flights?, *Journal of Insect Physiology* 42:1089 - 1094
- 8) フォーガス・チャドウィック, スティーブ・オールトン, エマ・サラ・テナント, ビル・フィツモリス, ジュディー・アール(2017): ミツバチの教科書, 株式会社エクスナレッジ, p42
- 9) 木村 澄, 松山 茂, 中村 純, 浅田研一, 荻原麻理(2019): 養蜂技術指導手引書V 養蜂における衛生管理ダニ防除技術, 一般社団法人日本養蜂協会, p.10
- 10) Visscher, P.K. et al.(1996): How do honey bees (*Apis mellifera*) fuel their water foraging flights?, *Journal of Insect Physiology* 42:1089 - 1094