

令和 5 年 6 月 15 日現在

機関番号：82111

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2017～2022

課題番号：17K20074

研究課題名（和文）形質介在効果の害虫防除への応用：捕食者存在下でなぜ害虫の作物被害は減少するのか？

研究課題名（英文）Application of trait-mediated indirect effects to pest control: why does pest crop damage decrease in the presence of predators?

研究代表者

馬場 友希（Baba, Yuki）

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・農業環境研究部門・上級研究員

研究者番号：70629055

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,500,000円

研究成果の概要（和文）：天敵生物の存在自体が害虫の行動を変化させ、農作物に影響を与えるという形質介在効果の仕組みを調べた。水田におけるクモと害虫の個体数調査の結果、アシナガクモ類とイネ害虫の個体数との間に負の関係が見られた。次に室内実験により、クモの糸や排泄物をクモの潜在的な餌昆虫（トビイロウンカ、ヨーロッパイエコオロギ等）に提示し、その行動の変化を観察したが、明確な忌避行動は見られなかった。クモではむしろ体表物質で獲物をおびき寄せる可能性も示唆されているため、カトウツケオグモという種を対象に体表物質を分析した。GS/MS分析の結果、約50近くのピークが検出され、Hexadecanalなど19の化学物質が同定された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

クモを対象とした形質介在効果に関していくつか代表的な既往研究が存在するが、具体的にどのような化学物質が昆虫の行動を変化させているか、その至近的要因は明らかにされていない。本研究では、形質介在効果の存在は明らかにできなかったが、化学分析によって特徴的なクモの体表物質の組成を明らかにできた点は意義深い。また日本ではクモによる害虫の抑制効果を示した事例が限られているため、水田における調査データを基に、クモによる害虫抑制の証拠を提示できた点も意義深いと考えられる。

研究成果の概要（英文）：A trait-mediated effect, whereby the presence of natural enemies itself changes the insect pest's behaviour and affects the crop production, was tested. Field studies in rice paddies showed a negative relationship between the abundance of the spiders and an insect pest, small brown planthopper. Next, laboratory experiments presented spider threads and excrement to potential prey insects of spiders (e.g. brown planthopper and European house crickets), but no clear repellent behaviour was observed. As it has been suggested that spiders may rather lure prey with body surface chemicals, body surface substances were analysed for the crab spider, *Phrynarachne katoi*; GS/MS analysis revealed nearly 50 peaks and 19 chemical substances, including Hexadecanal, were detected.

研究分野：生態学・応用昆虫学

キーワード：形質介在効果 クモ ヒメトビウンカ 化学分析 GS/MS カトウツケオグモ

1. 研究開始当初の背景

クモは農地において最も普遍的な捕食者であり、害虫抑制に中心的な役割を担うことが示唆されてきた。しかしながら、日本の農地においてクモが害虫をどのくらい捕食し、実際にどの程度減らしているのかを明らかにした研究は乏しい。申請者らはこのクモによる害虫抑制機能を明らかにするために、水田において、網羅的にクモの個体数や害虫の個体数を調査し、クモと害虫の関係性の解明を試みてきた。その結果、イネ害虫であるウンカ類の幼虫個体数に対して、造網性(円網性)のクモが負の影響を与えることが示唆された。一方、これらのクモの多くはイネの上部で網を張るため、翅をもたないウンカの幼虫は本来網にかからないはずである。同様の例として、水田のアシナガグモ属と斑点米カメムシ類の関係を調べた研究によると、やはりアシナガグモ属のクモは圃場内の害虫の個体数を減らし、イネの被害率を減らすものの、クモのカメムシ捕食量は少ないことが明らかにされている。そのため、クモが害虫類の個体数や作物被害を減らす仕組みとして捕食以外の相互作用が関係している可能性がある。

その候補として、クモの存在自体が害虫の採餌行動を抑制する、あるいは逃避行動をもたらすなど害虫の行動変化を引き起こす可能性が考えられた。これは群集生態学では「形質介在効果」として知られており(図1)、クモの存在下では植食者がクモの捕食を恐れて、採餌活動を減らし、その結果、植物の生産性の増大をもたらすと考えられる。またクモの糸を付加した葉(処理葉)とそうでない葉を植食性昆虫に提示すると、処理葉では植食性昆虫による加害が減ることから、何らかの化学物質(すなわち、その物質を害虫が感知し、捕食者の存在を認識する)がこの形質介在効果を仲介している可能性がある。これらの状況証拠からクモが害虫密度や作物加害率を減らす仕組みとして、食う—食われるといった直接的な生物間相互作用だけでなく、捕食者の存在自体が害虫の行動に与える影響も重要だと考えられた。

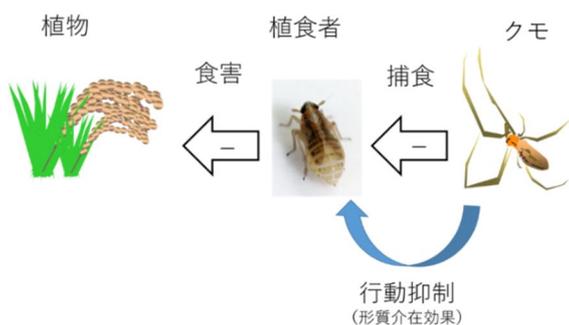


図1: 形質介在効果の概念図。捕食者の存在自体が植食者の行動に影響を与え、間接的に植物に影響を及ぼす。

一方、この植食者の行動変化を通じた捕食者から植物への間接的効果は、普遍性や仕組み(特にどのような物質が植食者の行動に影響を与えているかといった至近的要因)についてはまだ不明な点が多い。本研究で得られた知見は、害虫の活動性を抑えることによって作物収量を高めるなど新たな害虫防除技術に応用できる可能性がある。

2. 研究の目的

本研究では、クモ(捕食者)と様々な植食性昆虫を対象に、形質介在効果の存在を検証し、その至近的な仕組みを野外調査、室内実験、化学分析など多角的なアプローチを用いて解明することを目的とする。

3. 研究の方法

野外調査、室内実験、化学分析の3つの調査項目を設けた。まず野外調査では、既存の野外調査データを活用して、クモが害虫個体数に与える影響を明らかにすると共に、生物相のデータから

室内実験に適した植食性昆虫やクモの候補・組み合わせを抽出する。室内実験では、捕食者の存在を示すキュー（手がかり）を植食性昆虫に提示し、その行動の変化を明らかにする。クモの存在を示唆するキューとして、クモの糸や排泄物に注目する。実際、クモ糸の付加した葉っぱでは、植食者による被害が減少するなど、昆虫類がクモ糸を忌避する可能性が既往研究でも示唆されている。仮に室内実験で、餌生物のクモに対する忌避行動や活動性の変化が見られた場合、どのような物質が昆虫の行動に影響を及ぼしているのかを化学分析により同定する。クモの体表面や糸あるいは排泄物に由来する化学物質については、知見が不足しているため、ここでは、その化学組成を明らかにすることも目的とする。

野外調査データの解析：クモが植食性昆虫の個体数に負の影響を及ぼすという根拠を示すために過去の水田の生物相調査で得られたクモと害虫の個体数のデータを再解析した。2012年と2013年に、栃木県塩谷町の環境保全型水田（殺虫剤無使用）と慣行栽培水田（殺虫剤使用）において、捕虫網を用いた掬い採り法によって得られたクモと害虫データを用いた。当地域の主要な害虫であるヒメトビウンカの個体数を目的変数に、天敵であるアシナガグモ属・コモリグモ類の個体数と、その他の環境要因（水田周囲の景観要因と農法（殺虫剤使用の有無））を説明変数とした一般化線形モデルを用いて解析を行った。また、室内実験に用いる昆虫・クモ種を選ぶために、2015年に茨城県の農地で採集したクモと昆虫類の標本を同定し、農地における主要なクモや植食性昆虫の種構成を明らかにした。

室内飼育実験：クモに由来する物質（体表物質・排泄物・糸）が、害虫の捕食回避行動をもたらす、その結果、資源利用を減少させる可能性を室内実験により検証した。まずクモ糸の効果を検討するため、糸採り器を用いてクモの糸を採取し、その糸を植食性昆虫の食草の一部（あるいは採餌容器）に付着させ、無処理の葉っぱと同時に提示し、どちらの処理の葉っぱを食害するかを記録した。また排泄物の効果も検証するため、ろ紙を敷いたシャーレにクモを数日間飼育し、ろ紙上に糞を排出させた。排泄物付きのろ紙を回収し、そのろ紙と無処理のろ紙（コントロール）を半分の割合でプラスチック容器の底に敷き、そこに植食性昆虫を導入し、どちらのろ紙に長く滞在するか、あるいは忌避するかを観察した。

化学分析：植食性昆虫の行動変化をもたらすクモの糸や排泄物、体表面物質をGC/MS測定機を用いて同定した。クモの体表面物質に関しては不明な点が多いため、試行として、体表の化学物質を用いて餌を誘引する可能性が示唆されているカトウツケオグモ *Phrynarachne katoi* という種を対象とした化学分析も行った。

4. 研究成果

野外パターン：一般化線形モデルを用いて、水田のクモとイネ害虫の個体数の関係を解析した結果、ヒメトビウンカの幼虫個体数に対して造網性のアシナガグモ属 (*Tetragnatha* spp.) のクモが負の影響を与えること

が示唆された(図2; Baba et al. 2018)。すなわち、アシナガグモ属の個体数が多い水田ほど、ヒメトビウンカ幼虫の個体数が少なかった。また農地周辺の生物相を同定した

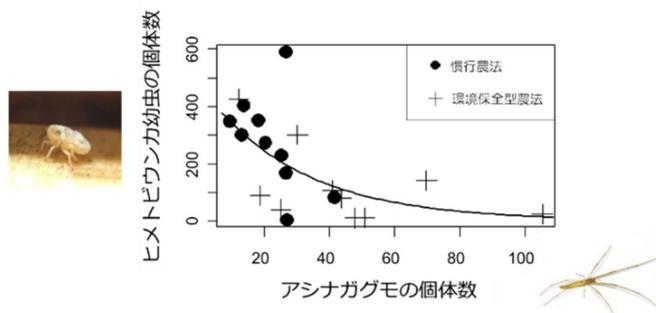


図2: 水田におけるアシナガグモとヒメトビウンカ幼虫の個体数の関係。アシナガグモ属の個体数が多い水田ほど、ヒメトビウンカの個体数が少ない。

結果、植食性昆虫に関しては、ゾウムシ科およびハムシ科(ウリハムシ・クロウリハムシ)が多く、クモに関してはアシナガグモ属、ハシリグモ属やハナグモが多かった。これらの結果を基に室内実験に用いる生物種を選定した。

室内飼育実験：室内実験では、個体と食草を確保しやすいクロウリハムシ(*Aulacophora nigripennis*)を実験対象に選定した。食草となるカラスウリを用意し、オニグモ類から採取した糸をカラスウリの一部の葉に付着させ、採餌行動を観察した。観察の結果、行動を観察した範囲では、糸を付着させた葉っぱも食害しており、明らかに糸を忌避するような行動は観察されなかった。また別の植食性昆虫として、累代飼育を行っているトビイロウンカ(*Nilaparvata lugens*)も実験に用いた。本種は吸汁により植物を加害するため、クロウリハムシのように直接的な食害の程度を評価しにくい。そのため、クモの排泄物に対する忌避反応を調べた。イネの株元に生息するウンカ類はコモリグモと相互作用する機会が多いため、実験にはハリゲコモリグモという種を用いた。

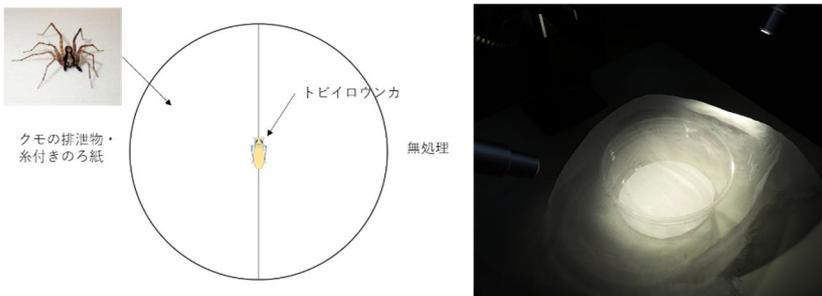


図3: コモリグモの排泄物や糸がトビイロウンカの行動に与える影響を検証するための室内観察。処理を施したろ紙と無処理のろ紙の区画に区切り、滞在時間を比較した。

プラスチックケースにハリゲコモリグモの排泄物がついたろ紙と無処理のろ紙をウンカに提示しその反応を記録した(図3)。観察の結果、ウンカは特にクモの排泄物付きのろ紙を避ける傾向を示さな

かった。この他にも野外の昆虫を対象に実験を試みたが、実験設定や飼育による個体の維持が困難であったため、入手が容易なヨーロッパエコオロギ(*Acheta domesticus*)でも実験を行った。オニグモ類の糸が付着した餌容器と無処理の餌容器を提示し、どちらの容器を選ぶかを調べたが(図4A)、エコオロギはクモの糸に対する忌避反応を全く示さなかった(図4B)。

以上のように、複数の分類群(コウチュウ目・カメムシ目・バッタ目)の昆虫を対象に、クモの糸や排泄物に対する反応を観察したが、明らかな行動の変化は見られなかった。ヨーロッパエコオロギやトビイロウンカは飼育系統を使用したため、そもそもクモとの遭遇経験がないことに起因する可能性があるが、少なくとも野外で採集したクロウリハムシにおいても明らかな忌避行動は見られなかった。実験デザイン、選定した種の組み合わせの妥当性を検討する必要があるが、少なくとも今回調べた種では、クモの排泄物や糸はその行動に対して大きな影響を及ぼさないことが示唆された。

体表面の化学分析：室内実験でクモの排泄物や糸を忌避する証拠が得られなかったため、ここではクモの体表面や糸の表面に存在する化学物質の解明を主目的とした。化学分析の対象として、当初、ゴミグモ、オニグモ、ナガコ

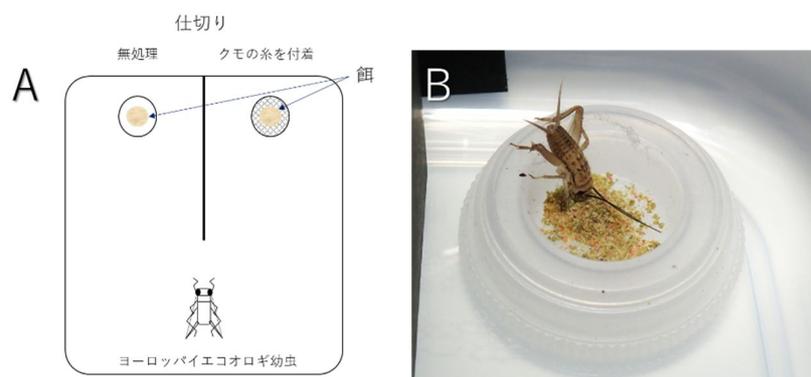


図4: コオロギを用いた餌の選択実験 (A)。コオロギがクモの糸を付着させた餌台を忌避するかどうかを確かめたが、忌避しなかった (B)。

ガネグモ、ヤマシロオニグモなどの複数種を対象に糸を集めたが、化学分析に必要な量を確保するのが困難であったため、クモの体表化学物質の同定に注力した。昆虫による忌避行動を誘発する証拠が得られなかったため、逆に体表物質を利用して昆虫を誘引する可能性が示唆されているカトウツケオグモ *Phrynarachne katoi* (カニグモ科) に注目した(図5)。ツケオグモ属は体表面からにおいを出すこと、獲物を誘引する可能性が指摘されているが(Zhu & Song 2006, Acta Zootaxon Sin) この物質がどのような化学組成かは不明であった。本種の体表面物質の同定を行うために、本種を採集しアセトン抽出物およびヘキサン抽出物に対して高分解能GC/MS測定を行った。しかしながら、どちらも十分なピーク強度が得られなかったため、アセトンとヘキサンをそれぞれ窒素ガスパージにて乾固させた後に再溶解させ、10倍濃縮した上で測定を行った。その結果、約50近くのピークが検出された。多くは化学構造式が特定されなかったが、Hexadecanal, Palmitic acid, Icosadecanal, n-Hentriacontane など19の物質が同定できた(図5)。

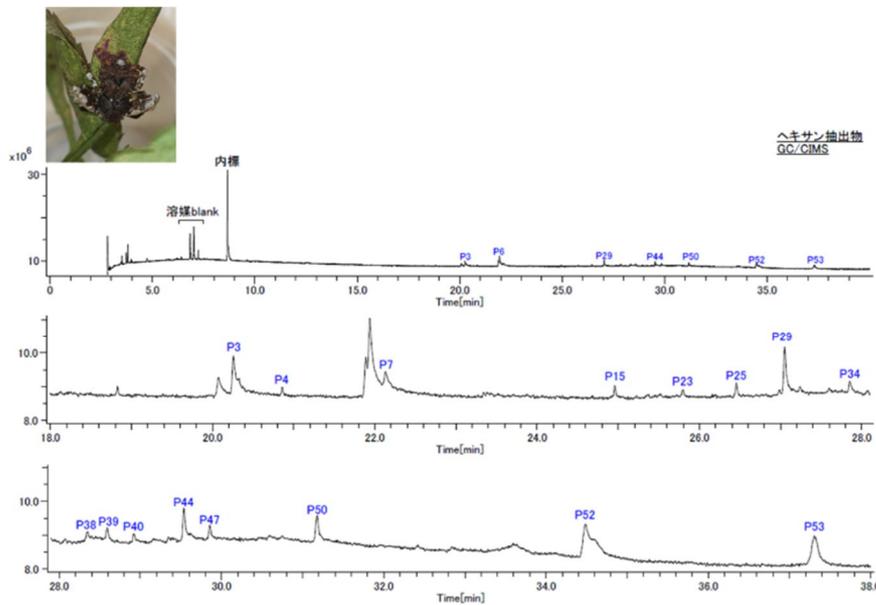


図5: カトウツケオグモメス成体を対象としたヘキサン抽出物のGC/MS測定結果。

まとめ

野外調査により、造網性クモと植食性昆虫(ヒメトビウンカ幼虫)の個体数との間に負の関係がみとめられたが、形質介在効果については、例数は少ないものの、クモの存在に対して害虫が活動性の低下や忌避行動を示すという明確な証拠は得られなかった。一方、一部のクモでは、逆に化学物質を介して餌生物をおびき寄せせる可能性が示唆されているため、当初と異なるシナリオの下で化学分析を行った。その結果、餌誘引を行うと考えられる種(カトウツケオグモ)から複数の化学物質を検出・同定することができた。クモに関しては体表面物質に関する知見が非常に乏しいため、その点で有意義な成果が得られた。今回得られた結果を基に、今後、クモの体表面に存在する化学物質の機能やその応用について、新たな方向性を模索していきたい。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Baba YG, Kusumoto Y, Tanaka K	4. 巻 63
2. 論文標題 Effects of agricultural practice and fine-scale landscape factors on spiders and a pest insect in Japanese rice paddy ecosystems	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 BioControl	6. 最初と最後の頁 265-275
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s10526-018-9869-5	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	坂本 洋典 (Sakamoto Hironori) (70573624)	国立環境研究所・生物多様性領域・研究員 (82101)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------