

令和 6 年 5 月 14 日現在

機関番号：82111

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2023

課題番号：20K15534

研究課題名（和文）アリの共生者に対する意思決定機構を利用した害虫防除技術の開発

研究課題名（英文）Development of pest control methods using the decision-making mechanism of ants towards mutualists

研究代表者

林 正幸（Hayashi, Masayuki）

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・植物防疫研究部門・主任研究員

研究者番号：80837609

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究の目標は、アリの共生者に対する学習行動を利用し土着天敵としての機能を人為的に引き出す害虫防除法を構築することである。そのために、アリの共生者認識や共生者に対する選好性を明らかにすることを目的に、野外調査、行動実験および化学分析を実施した。その結果、トビイロシワアリのワーカーは、アブラムシのもつ体表炭化水素のうちメチル基の位置が異なるメチルアルカンを区別することがわかった。また、アリと共生関係を構築するアブラムシ種は、より複雑な炭化水素組成をもち、炭化水素中のメチルアルカン比率が高い傾向にあることがわかった。また、アリは三糖類を含む甘露を生産するアブラムシ種を好む傾向が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

環境の持続可能性の観点などから、土着天敵などの在来資源を積極的に活用する生物的防除法の発展が期待されている。アリは多様な環境に生息するジェネラリスト捕食者であるため、土着天敵利用の有力候補だが、アブラムシなどの重要害虫と共生関係を構築してしまうという大きな欠点をもつ。本研究では、さまざまなアブラムシ種について、甘露に含まれる糖成分と匂い成分（体表炭化水素）を解析した。また、アリの炭化水素識別能を評価した。これらの結果は、アリの行動変化による害虫密度抑制技術を開発する上で重要な知見である。

研究成果の概要（英文）：The aim of this study was to construct a pest control method that artificially elicits the function of ants as natural enemy by modifying their learning behavior toward their mutualists. Field surveys, behavioral experiments, and chemical analyses were conducted to elucidate the mutualist recognition and ant preference toward mutualistic aphids. Our results showed that workers of *Tetramorium tsushimae* ants distinguish between methylalkanes, which are included in cuticular hydrocarbons possessed by aphids that differ in the position of the methyl branch. Mutualistic aphid species tend to have more complex hydrocarbon compositions and higher methyl-alkane ratios in cuticular hydrocarbons. The results also suggest that ants prefer aphid species that produce honeydew containing trisaccharides.

研究分野：植物保護学

キーワード：土着天敵 アリ アブラムシ 相利共生 炭化水素 糖 学習 甘露

1. 研究開始当初の背景

我が国の農業における害虫防除は、化学農薬の利用が主体となっている。しかし、薬剤抵抗性害虫の出現や農薬散布作業にかかる労力、さらには環境の持続可能性の観点から、土着天敵などの在来資源を積極的に活用する生物的防除法の発展が期待されている。この土着天敵利用においての有力候補のひとつが、多様な環境に生息しジェネラリスト捕食者であるアリだ。アリは汎世界的に分布し、様々な節足動物を捕食し害虫を含め食植性昆虫の密度を低下させる。しかし、アリは多様な作物を加害するアブラムシなどの甘露排出昆虫と共生関係を構築してしまうという大きな欠点をもつ。多くのアブラムシは糖やアミノ酸が豊富に含まれる甘露をアリに提供するかわりに、アリはアブラムシのボディガードをつとめる。化学農薬に頼らない生物的防除法が主体の農業現場では、アリがアブラムシの天敵を排除することでアブラムシが大発生し、難防除害虫化することが多々ある。このため総合的害虫管理の現場では、むしろアリは問題視され防除の対象にすらなる。

アリとアブラムシの関係は相利共生のモデルケースとして知られるが、実は利害対立を内包していることが徐々に明らかになってきた。例えば、アリは複数のアブラムシ種を利用可能な場合、資源価値の高い種を保護し、価値の低い種への随伴を中断したり、ときにはそれらを捕食する。また、アリは甘露を受け取ることで初めて共生的な振る舞いを示すようになる。これらはパートナーの裏切りを回避する適応戦略であると考えられる。この条件依存的な共生関係を逆手に取り、両者の対立構造を人為的に表面化させることで、農業現場でのアリの保護行動を抑止できる可能性がある。

2. 研究の目的

これまでの研究により、アリは共生者のシグナルと報酬を連合学習することがわかってきた。アリは甘露を貰う経験によりアブラムシをパートナーとして認識するようになり、アブラムシの匂い成分(体表炭化水素、Cuticular hydrocarbon; 以下 CHC)を用いて識別する。複数アブラムシ種が共存するときアリは利用価値の高い種を選択的に随伴し、価値の低い種への保護をやめることから、アリは各アブラムシ種の甘露の質と CHC を関連付けて把握し、各アブラムシ種への意思決定を行っていると言測される。すなわち、アブラムシによる被害が懸念される農耕地に、アリにとってより高価値の蜜源(甘露と CHC のセット)を設置すれば、アリはアブラムシへの保護を中断し、場合によってはアブラムシを捕食し始める可能性がある。本研究では、こういったアリのアブラムシに対する意思決定機構を利用し、アリにとって高価値の蜜源を提供することでアリのアブラムシへの保護を中断させ、捕食性天敵としての機能を強化するという手法を構築することを最終目標とする。この保護中断行動を誘発する条件を探るため、アリのアブラムシに対する選好性や共生者認識因子の識別能を調査した。

3. 研究の方法

1) アリがアブラムシ種を区別する体表炭化水素ブレンドの条件を把握するため、バイオアッセイを実施した。昆虫の体表炭化水素 CHC は通常複数の成分で構成され、アブラムシの CHC はアルカン(直鎖飽和炭化水素)、アルケン(二重結合をもつ不飽和炭化水素)、メチルアルカン(分枝飽和炭化水素)の3つの構造に分類される。これまでの研究により、アリは主にアブラムシのメチルアルカン群を用いてパートナーを認識することが示唆されている。しかし、アリが CHC に含まれる各成分を識別するかどうかは不明である。そこで、アリの炭化水素識別能を明らかにすることを目的に、特に炭化水素の構造に着目し室内実験を行った。飼育環境下のトビイロシワアリのワーカーに特定の炭化水素を塗布したダミーと 20%スクロース溶液を提示し、炭化水素を経験(学習)させた。これらのアリに様々な炭化水素を塗布したダミーを提示し、ダミーに対するアリの攻撃性を比較した。

2) アリのアブラムシ種に対する選好性(随伴性)とアブラムシ CHC に何らかの関係性があるかどうかを明らかにするため、野外における各アブラムシ種のアリ随伴個体数を調査するとともに、アブラムシの CHC をガスクロマトグラフ質量分析装置(GC/MS)により分析・比較した。アリと共生関係を構築する共生型のアブラムシ種とそうでない非共生型のアブラムシ種を対象に調査を実施した。

3) アリはアブラムシの排出する甘露を摂食するが、甘露に含まれる糖が共生関係構築に重要な役割を担っていると考えられている。そこで、アブラムシ種に対するアリの選好性と、各アブラムシ種の排出する甘露中の糖成分について、どのような関係性があるのか明らかにすることを目的に、上記のアブラムシ種について高速液体クロマトグラフィ(HPLC)により甘露を分析・比較した。

4. 研究成果

1) アリにアルカン (n-C25)、メチルアルカン (2-MeC24 もしくは 13-MeC27) のいずれかをスクロース溶液と共に提示した。アルカンを経験したアリの攻撃頻度は、テストした炭化水素の炭素数や構造に関わらず有意な違いが検出されなかった。一方、2-MeC24 を経験したアリは、2-MeC24 と 2-MeC26 に対し、コントロール (hexane 溶媒) や他の炭化水素と比べ攻撃頻度が有意に低下した。また、13-MeC27 を経験したアリは、炭素数が同じメチルアルカンでメチル基の位置が異なる 5-MeC27 に対し攻撃的に振る舞った。これらの結果から、アリはアルカンを学習しにくいこと、メチル基の位置が同じメチルアルカンは炭素数が異なっても区別しないこと、メチル基の位置が異なるメチルアルカンを区別すること等が示唆された。

2) GC/MS により、10 種のアブラムシ CHC を分析し、リテンションインデックスとマススペクトルにより各成分を推定し、その結果から各アブラムシ種について炭化水素の構造ごと (アルカン、アルケン、メチルアルカン) の比率を算出した。アルケンはクヌギクチナガオアブラムシなどのごく一部の種以外からは検出されず、アブラムシ全般ではアリの共生者認識因子として用いられている可能性が低いと示唆された。一方、アルカンは共生・非共生型問わず全てのアブラムシ種から検出され、メチルアルカンは共生関係を構築しないエンドウヒゲナガアブラムシ以外の全種から検出された。おもなアリの共生者認識因子と考えられるメチルアルカンとアリの選好性に関係性があるかどうかを調べるため、各アブラムシ種の CHC 中のメチルアルカン比率とアリの随伴個体数の相関関係を検定した。その結果、アリの随伴個体数とメチルアルカン比率のあいだに正の相関関係がみられた。すなわち、アリが好むアブラムシ種には、その CHC 中にメチルアルカンが多く含まれる傾向があることがわかった。

化学分析の結果から、アリと共生関係をむすぶアブラムシ種において、特定の炭化水素成分をもつような化学収斂は生じていないことがわかった。しかし、アリとより強い共生関係を構築する種は、より複雑な炭化水素 (特にメチルアルカン群) 組成をもち、CHC 中のメチルアルカン比率がより高いことがわかった。これらは、よりアリに学習されやすく、また他の蜜源と識別されやすくなるような選択が働いている結果なのかもしれない。

3) 各種のアブラムシから採取した甘露サンプルを HPLC により分析し、標準品とピークのリテンションタイムの一致により各ピークの成分を推定した結果、単糖のフルクトースとグルコース、二糖のスクロースとトレハロース、三糖のエルロースとメレジトースが検出された。甘露中の糖濃度とアリの随伴個体数のあいだには、有意な相関関係は検出されなかった。その一方、アリの選好性に重要な影響を及ぼしていると議論されている三糖 (エルロースとメレジトース) の濃度は、随伴個体数とのあいだに有意な正の相関が検出された。これらの結果から、アリは三糖を多く含む甘露を排出するアブラムシ種を好む傾向があることがわかった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4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 Owashi Yuta, Hayashi Masayuki	4. 巻 146
2. 論文標題 Aphid DNA detection by molecular gut content analysis in a natural enemy consuming honeydew	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Applied Entomology	6. 最初と最後の頁 1036 ~ 1040
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1111/jen.13041	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 -

1. 著者名 Hayashi Masayuki, Abe Junichiro, Owashi Yuta, Miura Kazuki	4. 巻 55
2. 論文標題 Estimation of movement from insectary plants to crop plants in Orius bugs (Heteroptera: Anthocoridae) by molecular gut content analysis	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Entomology and Zoology	6. 最初と最後の頁 361 ~ 365
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s13355-020-00692-9	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 -

1. 著者名 Masayuki Hayashi	4. 巻 26
2. 論文標題 First record of the green lacewing <i>Plesiochrysa ramburi</i> (Schneider, 1851) (Neuroptera: Chrysopidae) in Japan, and its development under culture conditions	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Entomology (New Series)	6. 最初と最後の頁 120 ~ 123
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.20848/kontyu.26.2_120	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 -

1. 著者名 林正幸	4. 巻 68
2. 論文標題 南西諸島におけるクサカゲロウ科（アミメカゲロウ目）の新分布記録	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 日本応用動物昆虫学会誌	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	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
--	---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------