

令和 5 年 5 月 30 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K21304

研究課題名（和文）体表ワックス成分変動で生じる共食い行動の分子メカニズムの解明

研究課題名（英文）Mechanism of insect cannibalism via chemical component of cuticular wax

研究代表者

永田 晋治（Nagata, Shinji）

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・教授

研究者番号：40345179

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、フタホシコオロギを用いて共食い現象と体表ワックス（CHC）の組成の関連性について追究した。まず、CHC生合成経路に関わる酵素遺伝子（FAS、Desat、ELOVL、P450）を同定した。それぞれにはサブタイプがあったため、CHCに関わるか否かを検討中である。

また、フタホシコオロギでは、主に成虫で認められると思われていた攻撃性や共食い行動は、生活環のどのタイミングでも認められることが分かった。特に、幼生期では体サイズの違いによる共食い行動を効率よく再現できるようにになった。この幼生期の共食い行動を検定系にすれば、共食い行動とCHCの関連性の研究がさらに発展することが期待される。

研究成果の学術的意義や社会的意義

昆虫の体表ワックスは個体認識あるいは種を認識するためのセミオケミカルとして機能している。フタホシコオロギを用いた本研究により、体表ワックスが共食い行動においても使用されることが初めて示された。本研究で同定したCHC生合成酵素などは、今後、脂質合成酵素など、共食い研究や化学生態学的研究だけでなく、代謝の生化学的なアプローチを行う研究に貢献することが期待される。

また、昆虫の生態系や代謝に関する研究においてだけでなく、行動学や生理学的な「共食い行動」という本能行動を分子レベルで理解するために貢献すると考えられる。

研究成果の概要（英文）： In this study, we pursued the relationship between the cannibalism and the composition of cuticular wax (cuticular hydrocarbon; CHC) in the two-spotted cricket. The enzymes involved in CHC biosynthetic pathway (FAS, Desat, ELOVL, and P450) were identified. These enzymes had several subtypes, and then we examine currently whether they are involved in CHC.

In addition, aggressive and cannibalistic behaviors, which were thought to be observed mainly in adults, were found to be observed at any time in the life cycle in crickets. In particular, we were able to efficiently reproduce cannibalistic behavior during the nymphal stage due to differences in body size. If this cannibalistic behavior in the larval stage can be used as a bioassay, our researches on the relationship between cannibalism and CHC will be further progressed.

研究分野：分子認識化学

キーワード：昆虫 共食い 体表ワックス

1. 研究開始当初の背景

「共食い」は、哺乳類から昆虫など様々な生物目で見られる一般的な現象である。これまでの研究において、共食い行動についての生理学的、栄養学的な研究による知見は多いものの、その分子メカニズムについてはほとんど明らかになっていないのが現状である。これまでの生理学的な研究や行動学的な研究から、「共食い」行動は、生態系におけるポピュレーションを維持するためのメカニズムであることや、食餌やナワバリを確保するための行動であることなど、それぞれの生物種にとって、種を維持するためのフィードフォワード的なメカニズムであると考えられている。

昆虫の「共食い」行動は、多くの目科で認められている。この昆虫での「共食い」行動は、肉食性種のみならず、植食性昆虫種でも認められることが分かっているが、このような知見の多くは、生理学や生態学などの研究領域から超えた例はほとんどみられない。しかし、昆虫の共食い行動の研究の歴史は意外と古い。例えば、日本では平安時代から鈴虫など鳴く虫を観賞用に飼育する歴史があり、ブリーディングの知識が豊富である。江戸時代には『鯉節や煮干で鈴虫の「共食い」が抑止できる』という栄養学的な知見がある。これは、鳴く虫を愛でる文化や、コオロギを戦わせる闘蟋という遊戯文化が発達していたためでもある。

申請者は、研究開始当初において、フタホシコオロギを用いて、捕食者が空腹の条件で、かつ被捕食者が弱者のときに「共食い」行動が起きることを見出していた。また、昆虫の体表ワックス(体表炭化水素；CHC)の成分は、同種を認識する分子(セミオケミカル)として、「共食い」行動を抑制していることも見出している。

一方、フタホシコオロギにおいては、雌雄の認識にはCHCを触角で行っているということが知られている。このような現象は、多くの昆虫種で認められるが、フタホシコオロギにおいて、CHCがフェロモン様の機能を有するという事は、これまでに決定的な実験証拠が見出されていない。さらに、フタホシコオロギの成虫において、食餌や代謝系の変化により、CHCの組成が変化することが明らかになっており、これにより、食餌が変化した個体や代謝系の活性化の違いにより非捕食者となる可能性が上昇することが予想された。

2. 研究の目的

本申請課題研究では、フタホシコオロギを用いて、次の2点に着目し研究することを目的とした。

フタホシコオロギの共食い行動での被捕食者のCHCが、様々な栄養状態や健康状態で変化するか否かを分析により確認し、さらに様々な生活における個体の表面のCHCの組成を網羅的に化学構造分析、組成分析を行い、統合的に解析する。

被捕食者のCHCの生合成遺伝子を同定し、それらの酵素遺伝子の転写活性が変動するような健康状態や生理学的な条件での代謝系および免疫系について検討する。さらには、フタホシコオロギの栄養状態で変動する様々なCHC成分と代謝系および免疫系との関連性を明らかにすることで、最終的にはフタホシコオロギにおける共食いの分子メカニズムの解明に迫る。

3. 研究の方法

(1)フタホシコオロギのCHCの各栄養状態および健康状態での分析；

これまで、我々の研究によりフタホシコオロギのCHCの98%の成分は、31種のC26からC30の炭化水素から成っていることが分かっている。GCMS(ガスクロマトグラフィー質量分析計)での分析により、これらの炭化水素の組成がどのように変化するかを各栄養状態および健康状態でのCHCを抽出し、網羅的に分析することにより、変動する成分を明らかにする。

(2)フタホシコオロギの CHC 成分の生合成酵素の変化と代謝系、免疫系の発現プロファイルの関連性の探索

一般的な CHC の生合成経路から、これまでに生合成酵素をコードする候補遺伝子は得ている。また、被捕食者になる可能性の高い栄養状態を探索し、その個体の代謝構造をメタボロームおよび RNA-sequencing 解析を行い、CHC の組成変化や生合成酵素の転写レベルの変化などとの関連性を見出す。また、CHC の生合成酵素の転写レベルと関連性のある遺伝子を、RNA 干渉法にてノックダウンし、そのノックダウン個体を用いて非捕食率、CHC の組成変化を分析する。

4 . 研究成果

本研究では、直視目のコオロギなどで頻繁に認められる共食いについて、フタホシコオロギを用いて行った。個体の識別に重要な体表ワックス(クチクラ炭化水素 CHC)の組成に関した成果としては、次の 2 つが挙げられる。

CHC 生合成経路に関わる酵素をコードする遺伝子(脂肪酸合成酵素 FAS、長鎖脂肪酸伸長酵素 ELOVL、脂肪鎖不飽和化酵素 Desat、脱炭酸酵素 P450)を同定した。それぞれにサブタイプが存在したため、すべてのサブタイプをコードしている遺伝子を同定することができた。RT-PCR により、発現解析では体表あるいは翅での発現が認められるサブタイプが存在し現在 CHC の生合成に関わるか否かを確認している。

LPG や PGD の投与により自然免疫系を惹起させることにより、フタホシコオロギ体内における自然免疫に関わる分子(NF- κ B 様タンパク質である Dorsal、Relish など)の転写レベルが変動し、その影響で被捕食者となる可能性が上昇することが分かった。また、幼生期においても共食いが見られることを見出した。つまり、フタホシコオロギにおいては、共食い行動は孵化直後から成虫までの期間で認められることを明らかにした。また、幼生期の個体を用いると、体サイズの違いによる共食いが再現良く認められるため、この幼生期の共食い現象をもとに、共食いの検定系を作成した。この検定系を通じて今後さらに共食いと CHC の関連性の解明が期待される。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Zhu Zhen, Tsuchimoto Maho, Nagata Shinji	4. 巻 13
2. 論文標題 CCHamide-2 Signaling Regulates Food Intake and Metabolism in Gryllus bimaculatus	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Insects	6. 最初と最後の頁 324 ~ 324
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/insects13040324	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Mochizuki Takako, Sakamoto Mika, Tanizawa Yasuhiro, Seike Hitomi, Zhu Zhen, Zhou Yi Jun, Fukumura Keisuke, Nagata Shinji, Nakamura Yasukazu	4. 巻 14
2. 論文標題 Best Practices for Comprehensive Annotation of Neuropeptides of Gryllus bimaculatus	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Insects	6. 最初と最後の頁 121 ~ 121
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/insects14020121	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Mack YS Isa, Dehari M, Morooka N, Nagata S	4. 巻 12
2. 論文標題 Identification and characterization of 24-dehydrocholesterol reductase (DHCR24) in the two-spotted cricket, Gryllus bimaculatus.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Insects	6. 最初と最後の頁 782
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/insects12090782	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Seike H, Nagata S	4. 巻 86
2. 論文標題 Transcriptional levels of Corazonin, Elevenin, and PDF in the differently colored two-spotted cricket Gryllus bimaculatus	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry	6. 最初と最後の頁 23-30
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1093/bbb/zbab183	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 永田晋治、清家瞳	4. 巻 22
2. 論文標題 昆虫の脂肪酸由来の脂質成分の生合成経路と生体内機能	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 オレオサイエンス	6. 最初と最後の頁 19 - 25
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5650/oleoscience.22.165	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 永田晋治、清家瞳	4. 巻 6
2. 論文標題 雑食性昆虫における栄養分選好性摂食行動の制御メカニズム	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 アグリバイオ	6. 最初と最後の頁 79 - 82
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 無
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8件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 清家瞳、永田晋治
2. 発表標題 フタホシコオロギの体色変化を制御するペプチドホルモンの探索
3. 学会等名 日本分子生物学会2022年度大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 祝貞、永田晋治
2. 発表標題 Allatotropin regulates reproduction behaviors by controlling the physiology of the male accessory gland of the twospotted crickets, <i>Gryllus bimaculatus</i>
3. 学会等名 日本分子生物学会2022年度大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 清家 瞳、永田 晋治
2. 発表標題 フタホシココロギにおいて肉食性餌として認識される化合物の探索
3. 学会等名 日本農芸化学会2023年度大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 宮原 佐季、清家 瞳、永田 晋治
2. 発表標題 フタホシココロギにおける免疫応答に關与するphenoloxidaseの同定
3. 学会等名 日本農芸化学会2023年度大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 南波 竜政、永里 鴻多、永田 晋治
2. 発表標題 昆虫種一斉分析によるステロール組成比と食性の關連性
3. 学会等名 日本農芸化学会2023年度大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Shinji Nagata, Zhou Yi-Jun, Sayuki Oka, Yusuke Tsukamoto, Hitomi Seike, Keisuke Fukumura
2. 発表標題 Nutrient selective behavior under endocrine control in the cricket
3. 学会等名 International congress of entomology 2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hitomi Seike, Shinji Nagata
2. 発表標題 NPF signaling regulates feeding preference in the two-spotted cricket, <i>Gryllus bimaculatus</i>
3. 学会等名 International congress of entomology 2022
4. 発表年 2022年

〔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
研究協力者	清家 清家 (Seike Hitomi)	東京大学・大学院新領域創成科学研究科・特任研究員 (12601)	
研究協力者	祝 貞 (Zhu Zhen)	東京大学・大学院新領域創成科学研究科・大学院生 (12601)	

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