

平成 29 年 5 月 31 日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26450065

研究課題名(和文) 鱗翅目幼虫における二次刺毛の被食防衛機能の解明：「ケムシ」に生物的防除は有効か？

研究課題名(英文) Defensive function of caterpillar hairs

研究代表者

杉浦 真治 (Sugiura, Shinji)

神戸大学・農学研究科・准教授

研究者番号：70399377

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題は、二次刺毛をもつ鱗翅目幼虫(ケムシ)について主に以下の2点を明らかにした。(1)大型ケムシでは、発達した刺毛が捕食性昆虫に対して重要な物理的障壁となっていることを示した。(2)生まれたてのケムシは寄生蜂に産卵・寄生されやすいが、1回目の脱皮後に現れる長い刺毛が寄生蜂の産卵を妨げることを示した。これまでケムシの刺毛がどのように捕食を妨げているのかについて詳細に検討されてこなかった。本研究では、刺毛を短く切断することで、刺毛が捕食者の大顎や寄生者の産卵管より長いことが重要であることを初めて明らかにした。

研究成果の概要(英文)：We clarified the defensive function of caterpillar hairs. (1) Long hairs could protect middle and late instar larvae of *Lemyra imparilis* (Lepidoptera: Erebidae) from the insect predator *Calosoma maximowiczii* (Coleoptera: Carabidae). (2) Long and thick hairs of second and later instars of *Lymantria dispar japonica* (Lepidoptera: Erebidae) could function as a physical barrier against the parasitoid *Meteorus pulchricornis* (Hymenoptera: Braconidae).

研究分野：昆虫生態学

キーワード：鱗翅目幼虫 捕食性昆虫 捕食寄生性昆虫 害虫 天敵

1. 研究開始当初の背景

鱗翅目幼虫はしばしば農林業上の被害をもたらすことから、これらを防除するのに天敵を導入する古典的生物的防除が米国を中心に行われてきた。しかし天敵導入が必ずしも成功するとは限らず、天敵による害虫抑制の正否について多くの要因が検討されてきた。Dyer & Gentry (1999 *Ecological Applications* 9:402-408) は、様々な鱗翅目幼虫に対する古典的生物的防除の効果を解析し、捕食性の天敵による防除が失敗する要因の一つとして、標的となる幼虫の二次刺毛の有無が重要だと指摘した。しかし、鱗翅目幼虫の個体群を制御するにあたって、幼虫の二次刺毛がどのような効果を及ぼすかは明らかにされていない。

鱗翅目において、ふ化した時からもつ毛を一次刺毛と呼ぶのに対し、2 齢幼虫以降に発達する毛は二次刺毛と呼ばれる。発達した二次刺毛をもつ幼虫(ケムシ)は鱗翅目の中でも、マダラガ上科、カイコガ上科、カレハガ上科、アゲハチョウ上科、ヤガ上科など複数の分類群で独立に進化してきた (Greeney et al. 2012 *Invertebrate Survival Journal* 9:7-34)。鱗翅目では、植物の内部組織を摂食するグループから、植物体外に進出し外部から葉などを摂食するグループが進化してきたと考えられている (Kristensen et al. 2007 *Zootaxa* 1668:699-747)。この過程で、幼虫期が外部環境にさらされ、生物的・非生物的な要因が生存に強く影響を受けてきたと考えられる。中でも、捕食者や捕食寄生者といった天敵による攻撃は幼虫期の最も重要な死亡要因とされる。このように、一部のグループでは、天敵から身を守るために、被食防衛機能の一つとして極端な二次刺毛を進化させてきたと考えられている (Stehr 1987 *Immature Insects* vol 1; Greeney et al. 2012)。マイマイガ、カシワマイマイ、スギドクガ、キアシドクガ、クワゴマダラヒトリ、アメリカシロヒトリなど多くのケムシはしばしば大発生し、農林業上の問題を引き起こすことが知られている。これらの種が卵塊で産卵するという性質と大発生には深い関係があるが、幼虫期の天敵に対する逃避・防衛戦略についても重要であると考えられる。特に、発達した二次刺毛によって天敵からの捕食を免れ、大発生する可能性がある。

これまで二次刺毛に被食防衛機能があることは強く信じられてきたが、実験的な実証研究はほとんどなされてこなかった (Greeney et al. 2012)。また、二次刺毛に被食防衛機能があった場合、天敵からの攻撃をどのようなメカニズムで防衛することができるか、これについてもほとんど議論されてこなかった (Greeney et al. 2012)。鱗翅目幼虫の体は柔らかいため、二次刺毛は捕食

性昆虫の鋭い大顎や寄生蜂の産卵管が刺さらないような防壁となっている可能性がある。つまり、天敵の武器が体表に届かないくらいの十分な長さが二次刺毛に必要とされるだろう。

2. 研究の目的

本研究課題では、鱗翅目幼虫の二次刺毛の長さや防衛効果についての実証を主な目的とする。捕食性昆虫(オサムシ)と捕食寄生性昆虫(コマユバチ)を天敵のモデルとして用い、それぞれの武器(大顎や産卵管)の長さや、鱗翅目幼虫の二次刺毛の長さとの関係に注目し、二次刺毛の被食防衛機能を実験的に明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 鱗翅目幼虫の捕食性昆虫に対する防衛行動を明らかにするために、クロカタビロオサムシ(オサムシ科)の成虫(47 個体)に、二次刺毛の長さの異なる5種(テングチョウ、ニトベエダシヤク、シロヘリキリガ、マイマイガ、クワゴマダラヒトリ)の中～老齢幼虫を与え、これらに対する攻撃・捕食行動を解析した。テングチョウ、ニトベエダシヤク、シロヘリキリガは体表に顕著な二次刺毛をもたないが、マイマイガとクワゴマダラヒトリには長い二次刺毛が見られ、とくにクワゴマダラヒトリではマイマイガよりも長い。また、クワゴマダラヒトリの二次刺毛の効果を調べるために、二次刺毛をクロカタビロオサムシの大顎よりも短く(1.5 mm 未満に)カットし、捕食率を調査した。

(2) 鱗翅目幼虫の捕食寄生者(寄生蜂)に対する防衛行動を明らかにするために、内部単寄生蜂ギンケハラボソコマユバチの雌成虫に、ハスモンヨトウ3 齢幼虫とマイマイガ1 齢・2 齢幼虫を与え、これらに対する産卵成功を観察した。ハスモンヨトウ幼虫は体表に刺毛を持たない。一方、マイマイガ幼虫には刺毛がみられ、1 齢から2 齢になると二次刺毛と呼ばれるより長く太い毛がみられるようになる。マイマイガ2 齢幼虫の平均刺毛は、ギンケハラボソコマユバチの産卵管鞘の長さと同程度か、より長い傾向にある。実験は、産卵態勢をとったギンケハラボソコマユバチ雌成虫の目前に、ピンセットで寄主幼虫を配置し、雌成虫が産卵管を使って寄主幼虫に突き刺すかどうかを観察した。また、マイマイガ2 齢幼虫の二次刺毛の効果を明らかにするためにギンケハラボソコマユバチの産卵管鞘よりも短く(0.5 mm 未満に)カットし、産卵成功を調査した。なお、各処理に25 個体のギンケハラボソコマユバチを用いた。

(3) 二次刺毛のコスト査定を行うために、25 °C、明期16 時間/暗期8 時間の条件下で

ケムシ4種(アカゲヒドクガ、エルモンドクガ、クワゴマダラヒトリ、オビカレハ)およびイモムシ6種(カイク、クワコ、オオシモフリスズメ、モモスズメ、ハスモンヨトウ、ホシシャク)の生育期間を測定し、各齢の平均発育期間を求めた。

4. 研究成果

(1) クロカタビロオサムシ成虫は二次刺毛の有無にかかわらず、5種すべての幼虫を攻撃した(各N=47)。しかし、背面の二次刺毛が捕食者の大顎よりも長いクワゴマダラヒトリへの成功率は46.8%(N=22/47)と低かったが、二次刺毛がないか(テングチョウ、ニトベエダシャク、シロヘリキリガ)大顎より短い種(マイマイガ)への攻撃成功率は93.6-100.0%(N=44-47/47)と高かった。クワゴマダラヒトリを捕獲するには大顎による平均6回の攻撃が必要であったが、他4種へは平均1回の攻撃で捕獲に成功していた。ただし、マイマイガ幼虫については、テングチョウ、ニトベエダシャク、シロヘリキリガ幼虫よりも攻撃回数がやや多い傾向にあった。これはマイマイガ幼虫の93.6%が捕食されたが、他の刺毛をもたない種よりも防衛効果があることを示している。さらに、クワゴマダラヒトリ幼虫の二次刺毛を捕食者の大顎よりも短くカットすることで、攻撃成功率は95.7%(N=45/47)に上昇し、捕食成功にいたる攻撃回数は平均1回に減少した。

以上の実験・観察結果により、クワゴマダラヒトリ幼虫のように捕食者の武器よりも長い二次刺毛を持つ場合、十分な物理的防衛機能が働いていることが示された(Sugiura & Yamazaki 2014 Behavioral Ecology 25:975-983)。

(2) ギンケハラボソコマユバチ雌成虫は、ハスモンヨトウ3齢幼虫すべてで(N=25/25)マイマイガ1齢幼虫の84%の個体で(N=21/25)産卵管を突き刺すのに成功した。一方、マイマイガ2齢幼虫ではわずか24%しか成功しなかった(N=6/25)。マイマイガ2齢幼虫の刺毛を寄生蜂の産卵管よりも短くカットしたところ、94%の寄生蜂が産卵管の突き刺しに成功した(N=23/25)。寄生蜂の雌成虫は、触覚や産卵管、脚などにマイマイガの刺毛が触れると産卵姿勢をやめたり、マイマイガの長い刺毛によって近づくことができなかつたりする行動が観察された。

以上の実験・観察結果により、マイマイガの2齢幼虫から発達する長く太い二次刺毛は、内部寄生蜂であるギンケハラボソコマユバチの産卵を防ぐことで十分な物理的防衛機能があることが示された(Kageyama & Sugiura 2016 The Science of Nature - Naturwissenschaften 103 86)。

(3) ケムシとイモムシでの発育期間を測定したところ、予測に反し、ケムシが必ずしも発育期間が長くなっているわけではなかった。むしろ大型イモムシ(スズメガ類幼虫)ではケムシよりも発育期間が長い傾向が見られた。これは、二次刺毛の発達以外にも体重増加など他の要因が発育期間に重要な影響を与えている可能性が高い。

(4) まとめると、本研究によって、鱗翅目幼虫の二次刺毛は、捕食性昆虫(オサムシ)や捕食寄生性昆虫(寄生蜂)の攻撃に対して物理的防衛機能があることが示された。特に、攻撃者の武器に対する二次刺毛の相対的な長さの重要性を明らかにしたのはこれまでにない点である。さらに、動植物の棘や毛といった物理的防衛形質においてもその相対的な長さが重要な防衛効果をもたらす可能性が高いことを指摘した(Sugiura & Yamazaki 2014)。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計7件)

Daichi Funamoto, Shinji Sugiura,
Fork-tailed caterpillars bite off their long anal prolegs to pupate in fallen branches.
Journal of Asia-Pacific Entomology, 査読有, 20(2), 2017, 395-397
DOI: 10.1016/j.aspen.2017.02.005

Shinji Sugiura, Kazuo Yamazaki,
Scavenging behavior in leaf-feeding caterpillars,
Journal of the Lepidopterists' Society, 査読有, 71(1), 2017, 59-61
DOI: 10.18473/lepi.v71i1.a8

Satoru Matsubara, Shinji Sugiura,
Chemical defence of turnip sawfly larvae against Japanese tree frogs,
Journal of Asia-Pacific Entomology, 査読有, 20, 2017, 225-227
DOI: 10.1016/j.aspen.2017.01.001

Azusa Kageyama, Shinji Sugiura,
Caterpillar hairs as an anti-parasitoid defence,
The Science of Nature -
Naturwissenschaften, 査読有, 103, 2016,
article number 86
DOI: 10.1007/s00114-016-1411-y

前田侑大、杉浦真治
隠岐諸島におけるクワゴマダラヒトリ幼虫

の天敵昆虫,
ホシザキグリーン財団研究報告, 査読無, 19,
2016, 177-179

Shinji Sugiura,
Bagworm bags as portable armour against
invertebrate predators.
PeerJ, 査読有, 4, 2016, e1686.
DOI: 10.7717/peerj.1686
[http://www.lib.kobe-u.ac.jp/infolib/met
a_pub/detail](http://www.lib.kobe-u.ac.jp/infolib/meta_pub/detail)

Shinji Sugiura, Kazuo Yamazaki,
Caterpillar hair as a physical barrier
against invertebrate predators,
Behavioral Ecology, 査読有, 25(4), 2014,
975-983
DOI: 10.1093/beheco/aru080

〔学会発表〕(計3件)

杉浦真治、イモムシハンター・クロカタ
ピロオサムシの得手不得手、日本甲虫学会第
5 回大会公開シンポジウム「甲虫類の知られ
ざる生態 -甲虫生態学最前線-」、2014.11.22、
倉敷市立自然史博物館・倉敷市立美術館（岡
山県）

杉浦真治、イモムシ・ケムシの護身術、
日本蛾類学会平成 27 年度研究発表会特別講
演「蛾類幼虫の興味深い行動と進化」、
2015.1.25、大阪弥生会館（大阪府）

影山梓・杉浦真治、鱗翅目幼虫における
二次刺毛の寄生蜂に対する防衛効果、日本昆
虫学会第 76 回大会・第 60 回日本応用動物昆
虫学会合同大会、2016.3.27、大阪府立大学
中百舌鳥キャンパス（大阪府）

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者

杉浦真治 (SUGIURA, Shinji)
神戸大学・大学院農学研究科・准教授
研究者番号: 70399377

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

前藤薫 (MAETO, Kaoru)
神戸大学・大学院農学研究科・教授
研究者番号: 80346238

(4)研究協力者

なし