

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 13 日現在

機関番号：82111

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26450070

研究課題名(和文)「見えない・飼えない」土着天敵を効率的につかまえ、ふやすには？

研究課題名(英文)How to collect and rear efficiently insect natural enemies of spider mites?

研究代表者

下田 武志 (SHIMODA, Takeshi)

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・中央農業研究センター 虫・鳥獣害研究領域・上級研究員

研究者番号：20370512

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：ハダニアザミウマ・ハダニタマバエ・ケシハネカクシ類・クロヒメテントウ類(以下、土着天敵)は、果樹園やチャ園等に発生する害虫ハダニ類の有力な土着天敵であるが、微小(体長約1ミリ)な天敵昆虫を野外で見つけるのは難しく、室内飼育も難しい。本研究では、新たな材料(ハダニを接種したコマツナ株)を用いた天敵トラップを開発し、野外での生態調査に利用できることを示した。また、ハダニ接種コマツナ株を用いた天敵飼育法を開発し、従来よりも効率的かつ簡単に飼育できることを示した。「見えない・飼えない」土着天敵を効率的につかまえ、ふやすことが可能となり、生態解明や害虫防除に向けた研究が進むと思われる。

研究成果の概要(英文)：Indigenous insect predators (*Scolothrips takahashii*, *Feltiella acarisuga*, *Oligota* spp., and *Stethorus* spp.) are important natural enemies of pest spider mites in fruits and vegetables. However, little is known about their ecology in orchards and other agricultural fields, because we cannot investigate efficiently these tiny insect predators (approx. 1 mm in body length). Further, few laboratory studies have made due to the difficulty of their efficient rearing. To solve the first issue, I have established a simple plant trap for collecting insect predators, by using potted komatsuna plants (*Brassica rapa*) infested with spider mites *Tetranychus urticae*. By using this new plant-prey combination, I have also established a simple method for rearing the insect predators in large containers. These methods will contribute further field and laboratory studies to clarify the importance of insect predators as biocontrol agents of spider mites.

研究分野：農学

キーワード：昆虫 生態学 農学 ハダニ 天敵昆虫

### 1. 研究開始当初の背景

ハダニ類は果樹やチャ等の害虫で、薬剤防除が難しく、被害が問題となっている。果樹では土着の捕食性昆虫類（ハダニアザミウマ・ハダニバエ・ケシハネカクシ類・クロヒメテントウ類；以下、「天敵昆虫」と呼ぶ）がハダニの有力天敵となっており、生態解明や防除利用の研究を進める必要がある。しかし、天敵昆虫は微小（体長1ミリ前後）で移動性が高く、目視観察で採集・野外調査することは難しいため、生態には不明な点が多い。また、天敵昆虫は飼育が難しいため、飼育試験や薬剤感受性試験等が十分に出来ず、害虫防除のための応用研究は進んでいない。そこで本研究では、天敵昆虫を効率的に採集・調査するためのトラップを開発し、これを用いた果樹園等での生態調査を行う。また、従来よりも簡易かつ大規模に天敵昆虫を維持可能な飼育技術を開発し、薬剤感受性試験等を通じて応用研究に向けた知見を収集する。

### 2. 研究の目的

本研究は、天敵昆虫の野外採集調査を行うための天敵トラップと、室内での簡易増殖技術をそれぞれ開発し、生態解明や害虫防除に向けた基礎的知見を収集する。具体的には、天敵昆虫の定着・増殖に最適なハダニ（餌）と寄主植物の組み合わせを明らかにし、これを用いたトラップや飼育法を開発する。開発したトラップをチャ園等に設置し、目視では観察が困難な園内外における天敵昆虫の生息場所や移動分散に関する情報収集を行う。室内飼育については、インゲンマメ等を用いた従来の小規模飼育法（小型容器内で数頭程度を維持）との比較を通じて、より簡易かつ大規模な飼育法を開発を進める。

また、上記の天敵昆虫以外のハダニの土着天敵（カブリダニ類）を対象にした飼育技術について検討する。チャの害虫チャトゲコナジラミの天敵寄生蜂（シルベストリコバチ）を対象にした飼育技術についても検討を進める。

### 3. 研究の方法

天敵昆虫はハダニ類を主な餌とするスペシャリスト天敵であり、高い捕食能力を持つ。そのため、ナミハダニ寄生インゲンマメを用いた天敵昆虫の小規模飼育の事例を参考に、本研究の目的に合致した新たなハダニ・寄主植物の組み合わせを明らかにする形で各課題を進めた。研究代表者の先行研究により、ナミハダニがコマツナに高密度で寄生可能であることが分かっていたため、この組み合わせを中心に候補の絞り込みを進め、以下の項目を検討した。

#### (1) 天敵トラップの開発と誘引メカニズムの解明

ナミハダニを寄生させたコマツナ（コマツナトラップ）やインゲンマメ（インゲントラ

ップ）を用いたトラップを開発し、これらを用いた天敵捕獲調査を圃場内（チャ園等）や、圃場周辺の環境（クズ群落等）で実施した。捕獲天敵数や回収率（捕獲天敵の生存率）等の視点から、トラップの天敵捕獲効率や実用性を評価した。同時に、目視観察による天敵発生調査を実施し、調査の効率性や作業性の面からトラップ調査と比較した。

誘引メカニズムの解明については、ハダニバエ成虫を主に用いた行動反応試験や、ハダニ寄生植物由来の揮発成分を対象としたGC-MSシステムによる化学分析により、天敵誘引成分の候補を探索した。

#### (2) 簡易飼育技術の開発

研究代表者等の先行研究により、ナミハダニを寄生させたインゲンマメの葉片（リーフディスク）を用い、小型容器内で少数（10頭前後）の天敵昆虫を維持する小規模飼育法が開発されている。そこで本課題では、ナミハダニを寄生させたポット植えのコマツナを用い、大型容器内で多数（100頭前後）の天敵昆虫が飼育可能かどうかを調査した。また、ナミハダニを寄生させたポット植えインゲンマメを比較対象として、一定期間後の天敵増殖数を指標に各植物での飼育効率を評価した。

#### (3) 生態解明と天敵としての特性評価

(1)の研究で得られた知見をもとに、天敵昆虫の野外での生息場所や移動分散性等の生態解析を進めた。また、研究の過程でハダニタマバエ幼虫に寄生する寄生蜂の存在が明らかとなったため、(1)の調査時にコマツナトラップで捕獲された個体を対象に飼育試験を実施し、羽化した寄生蜂の種類や寄生率について調査した。

特性評価については、(2)の研究で簡易増殖した天敵昆虫（ハダニアザミウマ・ケシハネカクシ類・クロヒメテントウ類）を用いた薬剤感受性試験（各種の殺虫剤・殺ダニ剤・殺菌剤）や温室での天敵放飼試験を実施し、天敵保護のための選択性薬剤の絞り込みや各天敵の害虫密度抑制効果の評価を行った。

#### (4) 他の害虫・天敵を対象とした捕獲技術や飼育技術の開発

土着カブリダニ類はハダニの天敵として果樹園等でよく見られるが、簡易飼育技術に関する研究はあまり進んでいない。そこで本研究では、カンザワハダニ（チャ園）やナミハダニ（リンゴ園）の有力天敵であるケナガカブリダニを対象に、雨よけハウスでの簡易飼育技術（ハダニ寄生インゲンマメ株を使用）を検討した。

また、チャ園ではハダニ以外の害虫の発生も見られ、近年ではチャトゲコナジラミの被害が問題化しているが、天敵寄生蜂（シルベストリコバチ）の働きによって密度が抑制さ

れる事例が知られている。本寄生蜂は簡易飼育技術が開発されておらず、生態解明や天敵としての特性評価の研究が進んでいないことから、別の寄主・植物（ミカントゲコナジラミを寄生させたミカン実生）を用いた飼育法を検討する。

#### 4. 研究成果

##### (1) 天敵トラップの開発と誘引メカニズムの解明

先行研究および後述の(2)の課題で得られた成果を参考にし、ポット植えコマツナに高密度のナミハダニ（ポット当たり雌成虫約500頭）を接種し、これを天敵トラップに利用する方法を開発した（Shimoda et al., 2016; 論文）。具体的には、転倒防止用のワグネルポット等にコマツナトラップを入れ、水を張ったコンテナ（保水と歩行性害虫の侵入防止を兼ねる）の中に設置し、約1週間の間隔でトラップを交換する。飛翔中の天敵昆虫がトラップに誘引され、定着することで、捕獲される仕組みとなる（図1）。

完成したコマツナトラップの効果検証を兼ねた捕獲調査（クズ群落内で実施）では、5月～11月の長期間にわたり多数の天敵昆虫がトラップに捕獲された（図2）。一方、同じ群落内で実施した目視調査では、ハダニ密度が比較的高い7月～9月にクズ葉上で少数の天敵昆虫が観察された。チャ園やナシ園でも同様で、目視観察では確認出来ない時期にトラップで天敵昆虫が捕獲された。以上の結果から、従来の目視調査では観察できない時期や場所においても天敵昆虫が生息している可能性があり、これらの「見えない」天敵昆虫を調査する上でコマツナトラップは有効と考えられた。なお、クズ群落に設置したトラップに捕獲された優占種はハダニタマバエ（1545頭、82.5%）であり、次いでハダニアザミウマ（189頭、10.1%）、クロヒメテントウ類（86頭、4.6%）、ケシハネカクシ類（52頭、2.8%）の順となった。

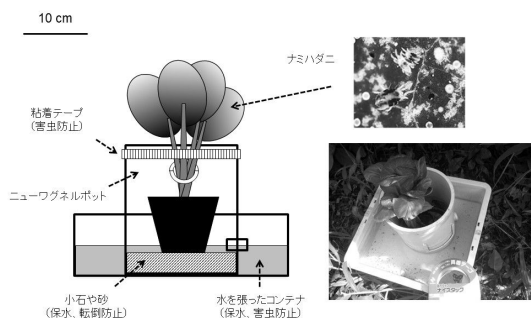


図1 開発したコマツナトラップ

次に、天敵昆虫を生きた状態で効率的に採集し、(2)の簡易飼育につなげるためのコマツナトラップの有用性を検証した。前述のクズ群落やチャ園等に設置したコマツナトラップを室内に持ち帰り、株上の天敵昆虫を

小筆で回収した際の生存率（回収率）を調査した。比較対照として、同時期・同調査場所に設置したインゲントラップを持ち帰り、同様の手順で回収率を調査した。その結果、調査時期や調査場所に関わらず、いずれの天敵でもトラップ間の回収率が異なる傾向が見られた（Shimoda et al., 2016; 論文）。例えば、クズ群落に設置したインゲントラップでのハダニタマバエ幼虫（634頭調査）の回収率は27.3%と低く、コマツナトラップでの回収率は99.2%（1257頭調査）と有意に高かった。同様に、インゲントラップでのハダニアザミウマ成虫（292頭調査）の回収率は31.3%と低く、コマツナトラップでは97.5%（121頭調査）と有意に高かった。インゲントラップの場合、葉裏に密生するカギ状の毛茸に天敵昆虫が捕捉され、死亡するケースが散見された。これらの調査結果から、インゲントラップは天敵昆虫の野外調査（生死は問わず）には利用できるものの、生きた状態で効率的に採集し、室内に回収する目的においてはコマツナトラップの方が好ましいことが分かった。

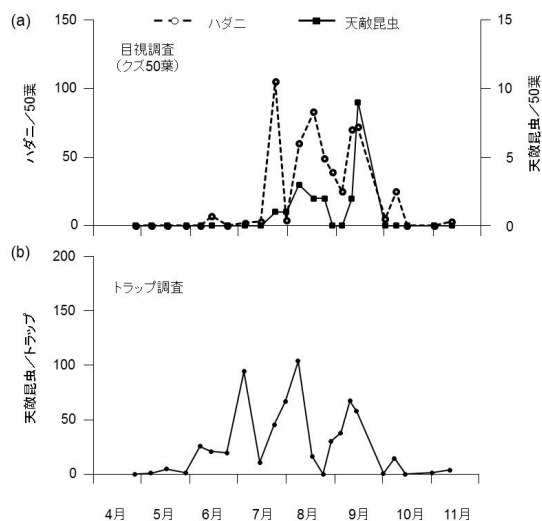


図2 クズ群落での目視調査（クズ50葉；上段図）およびコマツナトラップ調査（下段図）で観察された天敵昆虫数の違い（各天敵の発生割合は本文説明を参照のこと）

誘引メカニズムの解明については、ハダニタマバエ成虫を用いた室内での行動反応観察の結果、健全植物（コマツナまたはインゲンマメ）よりもナミハダニ寄生植物に対して定位する傾向が見られ、害虫被害を受けた植物由来の揮発成分に対する誘引反応があると判断された。ナミハダニ寄生コマツナやインゲンマメを対象としたGC-MSシステムによる化学分析ではサリチル酸メチルが特異的に多く放出される傾向が見られ、天敵誘引成分の一つである可能性が示唆された。

## (2) 簡易飼育技術の開発

本課題では、高密度のナミハダニ（ポット当たり雌成虫約 400 頭）を維持することが可能で、なおかつ、天敵昆虫の発育や増殖に最適な寄主植物の絞り込みを進めた。具体的には、コマツナやハクサイ等のアブラナ科作物や、インゲンマメやリママメ等のマメ科作物、レタス等のキク科作物、その他の様々な作物を対象としたハダニ接種試験や天敵接種試験を実施した。その結果、ナミハダニを寄生させたコマツナを用いることで、4 種類の天敵昆虫を飼育できることが分かった（Shimoda et al., 2015；論文）。具体的には、飼育開始時に数頭の天敵昆虫をナミハダニ寄生コマツナ株に導入し、大型の隔離容器内で一定期間飼育し、1～2 週間毎に新たなハダニ寄生株を追加する（必要時に給水する）だけの比較的簡単な作業により、天敵昆虫を増殖できることが可能となった（図 3）。

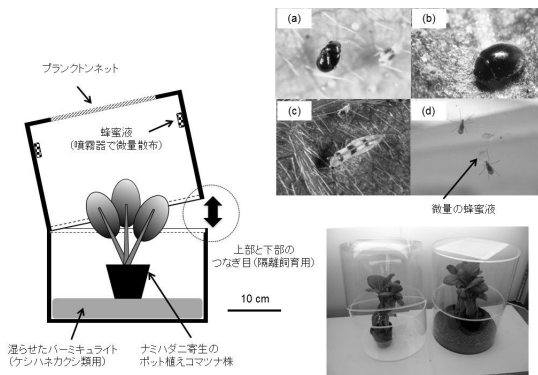


図 3 ナミハダニ寄生コマツナを用いた簡易飼育技術 (a: ケシハネカクシ類、b: クロヒメテントウ類、c: ハダニアザミウマ、d: ハダニタマバエ)

ナミハダニ寄生コマツナを用いた際の飼育効率について、比較対照のナミハダニ寄生インゲンマメ株を用いた結果とあわせて図 4 に示す。ケシハネカクシ類やクロヒメテントウ類、ハダニアザミウマについては、試験開始時に 3～5 頭の雌成虫をハダニ寄生コマツナ上に導入し、25 条件下で 30～40 日間飼育することで、約 70～180 頭にまで増えたが、ハダニ寄生インゲンマメを用いた場合には飼育後の天敵数は有意に少なく、寄主植物の違いが天敵昆虫の増殖効率に影響することが分かった。ハダニタマバエの場合も同様で、30 頭の成虫を導入し、2 週間飼育した結果、コマツナでは約 70 頭に増加したが、インゲンマメではほとんど増えなかった。これは、インゲンマメではハダニ食害の影響で落葉が起こりやすいことや、葉上のカギ状毛茸に天敵昆虫が捕捉され、死亡することが主な原因と考えられた。一方、コマツナではハダニ食害の影響による落葉は見られず、カギ状の毛茸がないことから、天敵の増殖に好ましい環境であったと推察された。

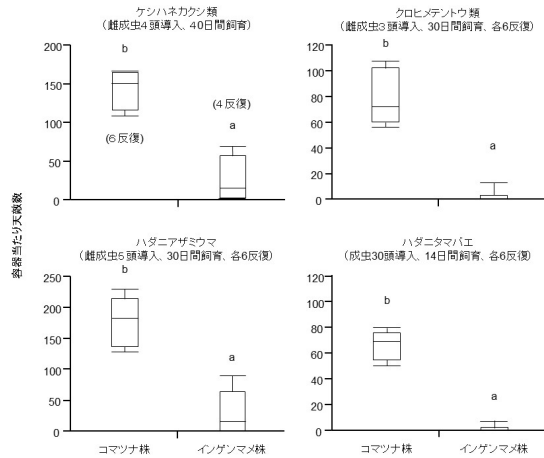


図 4 ナミハダニ寄生コマツナまたはインゲンマメを用いた際の飼育状況 (箱ひげ図)。箱上下の垂線は最大・最小値、箱内部の横線は中央値、箱の上下の横線は第 1・第 3 四分位数をそれぞれ表す。植物間で飼育後の天敵数に有意差がある (U 検定,  $P < 0.01$ )。

次に、ハダニ寄生インゲンマメ葉片を用いた小規模飼育法と、今回開発した大規模飼育法との比較を行った。従来の小規模飼育法では、餌の追加や容器等の交換を頻繁に行う必要があり、飼育手順も複雑なため、飼育には労力や高度な知識が必要であった。一方、今回の飼育法では手順が簡素化され、飼育作業の労力をかなり減らすことができた（下田、2016；論文）。維持可能な天敵数も従来は小型容器当たり 10 頭前後であったが、今回は約 10 倍の 100 頭前後を大型容器で維持できるようになり、全体として、従来よりも簡易かつ効率的な飼育が可能となった。また、従来の飼育法では天敵昆虫の種類ごとに飼育容器や手順等を変える必要があったが、今回開発した飼育法では基本的に同様の容器や手順（ケシハネカクシ類のみ、蛹飼育用のパーミキュライトが必要）で異なる天敵昆虫を飼育でき、この点においても優れた方法であると考えられた。

## (3) 生態解明と天敵としての特性評価

(1) の課題で開発したコマツナトラップを用い、天敵昆虫の生態調査をチャ園内およびその周辺環境で実施した結果、以下の 3 点が明らかとなった。目視観察ではカンザワハダニや天敵昆虫がほとんど観察されない園内でも、トラップには天敵昆虫（ケシハネカクシ類、クロヒメテントウ類、ハダニアザミウマ、ハダニタマバエ）が捕獲された。周辺環境に設置したトラップでも同様の現象が見られ、特に、防風樹（サワラ）付近に設置したトラップで天敵昆虫がよく捕獲された。防風樹を対象にハダニと天敵昆虫の有無を目視調査した結果、ハダニ（*Oligonychus* sp.）とケシハネカクシが低密

度ながら観察された (Shimoda et al., 2016 ; 論文 )。以上の結果から、チャ園内のハダニ密度が低く、天敵昆虫の発生が確認されない時期でも、園周辺環境には天敵昆虫が生息しており、チャ園でのハダニ密度上昇時に周辺環境から飛来移入してくると推察された。

コマツナトラップを用いたチャ園での天敵捕獲調査の結果、当初計画にはない、新たな知見も得られた。チャ園内では 7 月～10 月にかけてハダニタマバエ幼虫が捕獲されたが、その期間中の大半において幼虫寄生蜂 (*Aphanogmus* sp. とと思われる) による寄生が見られ、寄生率は最大で 29% に達することが明らかとなった (表 1)。ハダニタマバエ幼虫に寄生する寄生蜂の存在については幾つか報告はあるが、野外での発生時期や生息場所、寄生率についての報告はほとんどなく、貴重な知見を得ることができた。今回の研究ではトラップに捕獲された個体を回収し、ナミハダニ寄生コマツナを与えて飼育することで寄生蜂の羽化を確認できたことから、ハダニ寄生コマツナを用いたトラップや飼育技術を利用することで、両者の相互作用を効率的に研究することができると思われる。



	調査した天敵数	寄生されていた天敵数	寄生率 (%)
July 1- 10	60	8	11.8
Aug. 14- 21	51	4	7.3
Aug. 21- 27	33	1	2.9
Sep. 15- 22	12	0	0
Sep. 23- Oct. 5	125	51	29.0

表 1 チャ園に設置したコマツナトラップで捕獲されたハダニタマバエ幼虫 (写真上) から得られた幼虫寄生蜂 (写真下) と寄生率の推移

天敵としての特性評価については、( 2 ) の研究で増やした天敵昆虫 (ハダニアザミウマ・ケシハネカクシ類・クロヒメテントウ類の成虫) を用いた薬剤感受性試験等を実施し、致死効果に関する知見を得た。例えば、有機リン系や合成ピレスロイド系の殺虫剤 (ダイアジノン乳剤やペルメトリン乳剤) はいずれの天敵に対しても致死効果が高く、殺菌剤 (ジマンダイセン水和剤・ベンレート水和剤等) は致死効果が低い傾向が見られた。また、殺ダニ剤では致死効果が低いもの (マイトコーネフロアブルやバロックフロアブル) や中程度の致死効果があるもの (ダントツ水和剤やコロマイト乳剤) が見られ、剤の種類により影響の程度は異なった。これらの薬剤感受性試験を実施するためには多数の天敵昆虫を準備する必要があり、本研究で開発した天敵トラップと簡易飼育法を活用することで、効果的に試験を実施することができた。

また、( 2 ) の課題で増やした天敵昆虫を用い、温室内で天敵放飼試験を実施した。ナ

ミハダニ雌成虫 100 頭が寄生したナンシ苗木にハダニアザミウマ (幼虫 40 頭、成虫 100 頭) またはクロヒメテントウ類 (幼虫 40 頭) を接種し、ハダニと天敵の密度推移を調査した結果、4 週間後には天敵無放飼区でハダニ密度が著しく上昇した (雌成虫約 300 頭 / 葉) のに対し、ハダニアザミウマ放飼区ではハダニ密度は 1 / 4 程度 (雌成虫約 75 頭 / 葉)、クロヒメテントウ放飼区でも同程度 (雌成虫約 77 頭 / 葉) となり、各天敵の放飼によるハダニ密度抑制効果が確認された。前述したように、天敵昆虫の飼育は難しく、天敵昆虫を用いた放飼試験事例は少ないことから、天敵昆虫の害虫密度抑制能力を評価する上で、貴重な成果を得ることができた。

#### ( 4 ) 他の害虫・天敵を対象とした捕獲技術や飼育技術の開発

本課題では、チャ園 (カンザワハダニ) 等で見られる土着天敵ケナガカブリダニを対象に簡易飼育技術を開発した。ナミハダニ寄生インゲンマメ株を使用した雨よけハウスでの増殖試験の結果、導入後約 3 週間で天敵は 150～490 倍に増加し、簡易飼育は可能と判断された。さらに、ナミハダニよりも害虫化のリスクが小さいと考えられる種類 (クズに寄生するナミハダニモドキ) を用いた増殖試験の結果、天敵は 37 倍に増加したことから、飼育効率は若干低下するものの、飼育は可能であると判断された。

本課題では、ハダニ以外の害虫と有力天敵との研究を進めるための飼育技術開発にも取り組んだ。チャ園ではハダニ以外の害虫として侵入害虫チャトゲコナジラミの被害が近年問題化しており、天敵寄生蜂 (シルベストリコバチ) による害虫密度抑制が報告されている。本寄生蜂は、チャトゲコナジラミが寄生したチャでは飼育が難しい一方、ミカントゲコナジラミ (柑橘類の害虫) の天敵としても知られる。そのため、ミカン実生 (甘夏またはクズ) にミカントゲコナジラミを接種し、小型の隔離飼育容器内で寄生蜂 1～数頭を導入した結果、比較的容易に累代飼育が可能であることを確認した (屋良ら、2017 ; 論文)。近年の研究により、シルベストリコバチには遺伝的に異なる 2 つの系統 (便宜上、チャ系統とミカン系統と呼ばれる) が知られ、どちらの系統も 2 種類のトゲコナジラミに寄生できるが、チャ系統は主にチャトゲコナジラミに寄生し、ミカン系統は主にミカントゲコナジラミに寄生することが知られている。これらの害虫と寄生蜂 2 系統との間には複雑な相互作用が存在する可能性があり、それを解明する上で、2 系統の累代飼育は不可欠である。今回開発した方法は 2 系統に適用できることから、2 系統の生態解明や天敵特性評価に関する今後の研究に利用できると思われる。

## 5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計5件)

屋良 佳緒利、下田 武志、佐藤 安志  
(2017)柑橘実生とミカントゲコナジラミ  
(カメムシ目:コナジラミ科)を用いたシ  
ルベストリコバチ(ハチ目:ツヤコバチ科)  
2系統の累代飼育法 .日本応用動物昆虫学  
会誌 . 61 : 131-134 .(査読有)

下田武志 (2016) ハダニ類の捕食者であ  
る天敵昆虫類の簡易捕獲法と簡易飼育法 .  
植物防疫 . 70 : 21-25 .(査読無)

下田武志、日本典秀 (2016) 雨よけハウ  
スにおけるハダニ接種インゲン株を用い  
たケナガカブリダニ簡易増殖法 .関東東山  
病害虫研究会報 . 63 : 118-121 .(査読有)

Shimoda T., K. Matsuo, K. Yara, N.  
Hinomoto (2016) A simple plant trap for  
collecting acariphagous insect  
predators and their parasitoids.  
Applied Entomology and Zoology 51:  
233-240. (査読有)

Shimoda T., Y. Kobori, K. Yara, N.  
Hinomoto (2015) A simple method of  
rearing insect natural enemies of spider  
mites. Biological Control 80: 70-76.(査  
読有)

〔学会発表〕(計2件)

Hinomoto N., T. Shimoda. Monitoring  
population dynamics and structure of  
phytoseiid mites in orchards and tea  
fields. The 1st International Workshop of  
IOBC-APRS-Predatory Mites as Biological  
Control Agents Work Group. 2016.5.15-19.  
Beijing (China).

Shimoda T., K. Yara, N. Hinomoto.  
Flight dispersal of specialist insect  
predators to exploit patchily distributed  
spider mites. The 14th International  
Congress of Acarology. 2014.7.15. Kyoto  
(Japan).

## 6 . 研究組織

(1)研究代表者

下田 武志 (SHIMODA, Takeshi)

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合  
研究機構・中央農業研究センター 虫・鳥  
獣害研究領域・上級研究員

研究者番号 : 2 0 3 7 0 5 1 2