異なる作物上における捕食性天敵スワルスキーカブリダニ (ダニ目: カブリダニ科) の定着と増殖の差異

柿元 一樹^{1,*}・松比良 邦彦¹・井上 栄明¹・伊藤 由香²

¹鹿児島県農業開発総合センター

²鹿児島県南薩地域振興局農政普及課

Differences in Establishment and Population Growth of the Predatory Mite *Amblyseius swirskii* (Acari: Phytoseiidae) on Different Commercial Crops. Kazuki KAKIMOTO,^{1,*} Kunihiko MATSUHIRA,¹ Hideaki INOUE¹ and Yuka ITO²
¹Kagoshima Prefectural Institute for Agricultural Development; Kinpou-cho, Minamisatsuma, Kagoshima 899-3401, Japan. ²Kagoshima Prefectural Nansatsu Regional Promotion Bureau Agricultural Promotion and Advisory Division; Juuni-cho, Ibusuki, Kagoshima 891-0403, Japan. *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* 61: 223–232 (2017)

Abstract: Suitability of four commercial crops, sweet pepper, eggplant, kidney bean, and snap pea, against the predatory mite *Amblyseius swirskii* Athias-Henriot were evaluated from its establishment and population growth on each crop at 24°C, suitability of their pollens as a food source, and effect of the phylloplane microscopic structure (presence and morphology of hairy tissue (trichomes and pubescence) and domatia). The number of mites after release per plant significantly differed among the crops, the density on sweet pepper was the highest, followed by kidney bean, eggplant, and snap pea. Based on the suitability of pollen for mites' oviposition rates, oviposition sites, and consumption against *Thrips palmi* Karny on each leaf disc, the causes of less population growth on kidney bean, eggplant, and snap pea in comparison to sweet pepper were considered to be as follows. (1) Kidney bean: lower suitability of pollen as food and unstable provision of pollen caused by flower's fluctuation on the plant. (2) Eggplant: lower suitability of pollen and the obstruction on mite's predation or oviposition behavior by sharp trichomes on phylloplane. (3) Snap pea: lack of phylloplane microscopic structure for oviposition sites and the obstruction on mite's predation or oviposition behavior by epicuticular wax on phylloplane.

Key words: Biological control; phytoseiids; IPM; pollen; domatia

緒 言

スワルスキーカブリダニ *Amblyseius swirskii* Athias-Henriot は、アザミウマ類やコナジラミ類などに対する実用的な捕食性天敵であり (Nomikou et al., 2001; Messelink et al., 2006; Wimmer et al., 2008; Arthurs et al., 2009; Calvo et al., 2011; Doğramaci et al., 2011), 鹿児島県では施設栽培のピーマン *Capsicum annuum* L. やキュウリ *Cucumis sativus* L. での利用が普及している。アザミウマ類やコナジラミ類などが発生する施設園芸において持続性の高い防除技術を確立するためには、今後様々な作物においてスワルスキーカブリダニの実用性の評価および普及拡大に向けた技術確立を図る必要がある。しかし、本県ではピーマンおよびキュウリ以外の作物では一部の検証的導入に限定され、本種の導入に先立ち実用性の検討を要する作物が多いのが

現状である。本県での生産地における導入事例のうち、冬春期施設栽培のナス *Solanum melongena* L. やサヤインゲン *Phaseolus vulgaris* L. では、本種を放飼しても十分に定着が確認できないことなどが生産地での課題となっているが、この要因を十分に考察、特定できていないことも普及に至らない大きな要素である。

ある天敵を導入し、実用効果が得られる作物とそうでない作物では、対象害虫 (餌) の量、代替餌の存在および量、殺虫・殺菌剤の影響、温度などの環境的影響、摘葉などの栽培技術に起因する天敵の生息場所の攪乱、寄主植物 (作物) そのものに対する天敵の適応性などが異なると考えられる。これらの影響を十分に考慮した上で、天敵の定着および増殖を増強する手段の確立、天敵の放飼量の決定、導入する天敵種の選定が必要であると思われる。しかし、天敵の定着および増殖に関与する様々な要因の影響を

*E-mail: kakimoto-kazuki@pref.kagoshima.lg.jp
2017 年 3 月 17 日受領 (Received 17 March 2017)
2017 年 9 月 27 日登載決定 (Accepted 27 September 2017)
DOI: 10.1303/jjaez.2017.223

生産地圃場において検証および考察することは極めて困難である。

捕食性ダニ類をはじめとした天敵と植物との間には密接な相互関係が存在することが知られている (Dicke and Sabelis, 1988; Schmidt, 2014)。具体的には、餌となる花粉の影響および葉の微細構造 (毛状組織 (毛状突起や毛じ) およびそれと葉脈などから形成される domatia (Walter, 1996)) の影響などである。しかし、花粉の餌としての適性と葉の微細構造の両面から捕食性ダニ類の定着と増殖の差異を検討した研究はほとんど見当たらない。そこで著者らは、スワルスキーカブリダニが実用化に至っているピーマンと今後本種の利用が見込まれる作物として、ナス、サヤインゲンおよびスナップエンドウ *Pisum sativum* ssp. *hortense* Asch. の4種作物を材料に、花粉および葉の微細構造が本種の産卵または捕食量に及ぼす影響を調べることで、作物への定着と増殖に及ぼす主な要因について考察するとともに、放飼実験によって各作物に対する本種の適応性を明らかにした。なお、葉面の微細構造がスワルスキーカブリダニの行動 (ここでは、植物体葉面の把持または葉面上での歩行) に影響を及ぼすなら、結果的に餌探索効率や捕食能力に影響し、捕食量の相違として発現されることが推察される。そこで、葉面の微細構造が本種の行動に及ぼす影響を推し量るためのパラメータとして、本研究では間接的ではあるが、各葉面におけるミナミキイロアザミウマ *Thrips palmi* Karny に対する本種の捕食量を用いて評価した。また、放飼実験は、スワルスキーカブリダニの増殖量が餌となる害虫個体数および温度に影響を受けないよう、それぞれの作物に本種の餌となりそうな節足動物類が存在せず、本種の増殖に適した約 24°C (Lee and Gillespie, 2011) の条件で実施した。

本文に先立ち、スワルスキーカブリダニの提供を賜ったアリスタライフサイエンス (株) の山中 聡博士に厚く御礼申し上げる。また、研究の実施にあたって貴重な意見を賜った宮崎大学農学部の大野和朗博士、農業・食品産業技術総合研究機構九州沖縄農業研究センターの水谷信夫博士、同西日本農業研究センターの安部順一朗博士、同野菜花き研究部門の太田 泉博士、同中央農業研究センターの下田武志博士および日本典秀博士、石原産業 (株) の森 光太郎博士、統計処理にあたってご助言をいただいた農業・食品産業技術総合研究機構中央農業研究センターの光永貴之博士に厚く御礼申し上げる。なお、本研究の一部は、それぞれ農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業「登録農業の少ない地域特産作物 (マイナー作物) における天敵利用技術の確立 (27009B)」および「“いつでも天敵” ～天敵増殖資材による施設園芸の総合的害虫防除体系の確立・実証～ (26070C)」により実施したものである。

材料および方法

1. 花粉がスワルスキーカブリダニの産卵に及ぼす影響

ピーマン、ナス、サヤインゲンおよびスナップエンドウの各種の花粉がスワルスキーカブリダニの産卵数に及ぼす影響を調べるため、それぞれの作物の葉面上において同一作物の花粉を与え、以下の方法により飼育実験を行った。また当該実験においては、仮に作物の花粉が餌として適していても、各葉面が産卵場所として適していなければ本種が産卵しない可能性がある。そこで、本種の産卵場所として毛糸を供試した。

供試虫には、アリスタライフサイエンス (株) の「スワルスキー®」を用いた。この製剤ボトルの中から交尾中のスワルスキーカブリダニ雌雄成虫 1 対を無作為に選び、面相筆を用いて後述する実験用の葉片へ移した。後述する飼育方法によって絶食状態で 24 時間の交尾機会を設けた後、雄成虫を除去し、雌成虫を実験に供した。実験は、後藤・天野 (1996) によるリーフディスク法に準じた。直径 9 cm × 高さ 3 cm のプラスチック製シャーレ、4 cm 四方に切除した作物の葉片および同一サイズの脱脂綿を用いた。各作物は殺虫剤および殺菌剤無散布の条件で屋外にて栽培し、各株の中位付近に位置する葉を採取した後、所定の大きさに調整して供試葉片を作製した。シャーレに脱脂綿を敷いた後、供試葉片の葉裏を上にして脱脂綿上に重ね、シャーレには葉片の縁に接する高さまで水道水を注いで供試虫の逃亡を防いだ。また、対照区には植物の葉片の代わりに 4 cm 四方に調整したプラスチックパラフィンフィルム (パラフィルム®; Bemis Flexible Packaging) を用いた。

花粉の供試にあたっては、各作物から開花中の花を採取して他の節足動物が存在しないことを確認した後、葉片上に 2 花分 (但し、サヤインゲンは 3 花分) の葯を置いた。雌成虫 10 個体を 7 日間個別飼育し、飼育開始から 3 日、5 日および 7 日目に本種の生存、産卵数および産卵場所を実体顕微鏡下で観察した。供試虫への給水のために、脱脂綿を直径約 5 mm に丸め、水で湿らせたものを与えた。なお、対照区には水のみを与えた。供試虫の産卵場所として、長さ 2 cm に調整した黒色の毛糸を置いた。産卵数の計数時には、卵の産まれた場所を葉上、毛糸または葯に分けて記録するとともに、調査日毎に供試虫を新たな飼育装置へ移動させることで、葉片、葯、水および毛糸を交換した。実験は温度 25°C および光周期 16L:8D の条件下で行った。

2. 葉面の微細構造がスワルスキーカブリダニの捕食量に及ぼす影響

各作物に寄生可能なミナミキイロアザミウマを材料とし、本種の 2 齢幼虫に対するスワルスキーカブリダニの 3 日間の捕食量を温度 25°C および光周期 16L:8D の条件下で調べた。スワルスキーカブリダニの供試方法は上述の 1

の実験に準じた。ミナミキイロアザミウマは、2012年4月に鹿児島県農業開発総合センターのピーマン圃場から採取し、その後ソラマメ *Vicia faba* L. の催芽種子を用いて累代飼育した個体群を用いた。予備実験により、上述の1で示したリーフディスク法では一部の作物において供試虫のミナミキイロアザミウマが葉を離脱して水没することが確認された。このため、当該実験では3枚の亚克力板を用いたマンジャーセル法(後藤・天野, 1996)に準じて実施した。短辺5cm×長辺10cmおよび厚さ1cmで中央に直径3cmの穴を開けた厚型亚克力板および短辺5cm×長辺10cmで厚さが0.3cmの薄型亚克力板2枚を用い、厚型亚克力板を2枚の薄型亚克力板で挟むことで厚型亚克力板の高さ1cmおよび直径3cmの範囲を飼育空間とした。底面の薄型亚克力板には直径3cmの穴をあけてここに目合い約25 μ mのゴースを張り通気口とした。まず、底面用亚克力板の上に同形のろ紙を敷き、順に同形の供試葉、厚型亚克力板、蓋用の薄型亚克力板を順に重ね合わせた。短辺の双方はダブルクリップで固定した。蓋用の薄型亚克力板には直径約2mmの穴を開けて供試虫の投入口とし、吸虫管を用いてミナミキイロアザミウマ2齢幼虫10頭およびスワルスキーカブリダニ雌成虫1頭を放飼した。供試虫の放飼後にこの投入口を長さ約1cmに調整した綿棒の先端でふさいだ。なお、本種雌成虫は、実験供試前に24時間水のみを与え絶食状態とした。反復は10個体とし、実験開始から24時間毎に餌のミナミキイロアザミウマの死亡個体数を実体顕微鏡下で観察するとともに、餌を全て交換しながら3日間調査を実施した。スワルスキーカブリダニを放飼しない飼育装置も毎回5反復設け、24時間飼育した場合のミナミキイロアザミウマ2齢幼虫の自然死亡個体数を観察した。

3. 作物上におけるスワルスキーカブリダニの定着および増殖の比較

(1) 実験条件

鹿児島県南さつま市金峰町の県農業開発総合センターのガラス温室(約30m²)において、ピーマン(品種:「TM鈴波」;タキイ種苗(株))、ナス(品種:「筑陽」;タキイ種苗(株))、サヤインゲン(品種:「ベストクroppキセラ」;雪印種苗(株))およびスナップエンドウ(品種:「ニムラサラダスナップ」;みかど協和(株))の4種作物をポット栽培し、2015年5月8日から6月5日まで放飼実験を実施した。各作物の空間サイズに違いが生じないように、ピーマンおよびナスは1ポットに1株を、サヤインゲンおよびスナップエンドウは1ポットに3株を1/2,000aのプラスチック製ワグナーポット(「ワグネルポット」;藤本科学工業(株);以下、ポットと略)に植え、この1ポットを1反復としてそれぞれの作物毎に3反復を設けた。ポットは、約1.5mの間隔を設けて温室内にランダムに配置した。

作物の開花開始時期を揃えるため、ピーマンおよびナスは2015年3月18日、サヤインゲンおよびスナップエンドウは2015年4月2日に播種し、その後常温のガラス温室で育苗した。ピーマンおよびナスは、128穴のセルトレイに播種し、14日後の2015年4月2日に直径12cmのビニルポットに鉢上げした後、2015年5月4日まで36日間育苗した。両作物の最初の花が開花した頃(2015年5月4日)に、育苗培土(タキイ種苗(株))を充填したポットへ移植した。一方、サヤインゲンおよびスナップエンドウは、ピーマンおよびナスを植えたものと同一のポットの中央部3か所へ、植穴間の距離を15cmとして1か所当たり1粒ずつを播種した。供試したポットには、試験開始の直前および試験開始から14日後に、1ポット当たり30gの粒状化成肥料(N:P:K=15:15:15)を施用した。灌水は、スワルスキーカブリダニへの影響を避けるため植物体を直接濡らさぬよう留意しながら毎日行った。また、各作物には直径約1cm、長さ180cmの支柱を添えた。温度データについては、温度データロガー(「おんどとり Jr. TR-52i」; (株)ティアンドデイ)を用いて1時間間隔で計測した。温室内の湿度は計測しなかったが、実験期間中に過度に乾燥しないように1日に2回温室内の床面に散水し湿度を保持した。

(2) 供試虫および放飼方法

スワルスキーカブリダニは、アリストライフサイエンス(株)の「スワルスキー®」を供試し、実験室内において以下の手順により供試虫を採集した。すなわち、製剤ボトル内に封入された緩衝材を振り出した後、先端に1ml容量のプラスチック製チップを取り付けた吸虫管を用いて、歩行する個体を成虫および幼若虫を区別せずにランダムに50頭採集した。1本のチップに50頭を収容し、このチップを供試作物の株元に静置した。本種のポット間移動を防ぐため、ポット底面に近い側面に粘着性のポリブテン(ポリオレフィン系樹脂)剤(「ハエトリ粘着剤エアゾール」; (株)ニッソーグリーン)を塗布した。

(3) 調査方法

1ポットを1株とみなし、各作物の株全体に生息するスワルスキーカブリダニの成虫、幼若虫および卵を作物の葉、茎、花および果実または莢の4部位に分けて株毎に目視により計数した。計数に当たっては本種の成虫および幼若虫の発育態は区別しなかった。調査は、放飼日(2015年5月8日)から3, 7, 14, 21, 28日後に実施した。また、調査日毎に各作物の代表的な1ポットの植物体の花数を計数した。花卉が脱落するまでは花としてみなした。果実または莢については、収穫による虫の持ち出しを避けるため、果実または莢に本種の生息が認められた場合にはこれらを供試株の株元に静置することで元の株への移動を促した。これらの果実または莢については、3日後に本種が生息しないことを確認してから取り除いた。さらに、本種の定

着および増殖の考察に資するため、茎頂部から4ないし5節目の展開葉を採取し、葉の微細構造を電子顕微鏡（「VE-8800」；KEYENCE（株））にて50倍の条件下で検鏡した。

4. 統計処理

各作物の花粉または水を与えた場合の7日当たりのスワルスキーカブリダニの産卵数、ミナミキイロアザミウマ2齢幼虫に対する3日間の捕食量は、産卵数または捕食量を応答変数、作物の違いを説明変数として一元配置分散分析により解析した後、TukeyのHSD検定により各水準間の有意差を検出した。作物の花粉または水を与えた場合の7日間の産卵場所については、1個体当たりの総産卵数を N 、葉上に産まれた卵数を Y 、それ以外の場所に産まれた卵数を $N-Y$ とし、葉上に産まれた卵数の割合 Y/N を応答変数、餌の違いを説明変数とし、5種類の餌のそれぞれの組み合わせについて G 検定を行った。ただし、この処理にあたっては10通りの対比較であったため、危険率 p 値(0.05)をHolm法により補正した。

異なる作物上におけるスワルスキーカブリダニの個体数を比較するため、本種の1株当たり全個体数を応答変数、作物の種類(固定効果)および調査日(変量効果)を説明変数とする二元配置分散分析(混合モデル)により解析した。応答変数についてはBox-Cox変換により等分散正規分布へ近似し、反復測定因子である調査日は変量効果として設定した。事後検定として、調査日毎にそれぞれの水準間の有意差をTukeyのHSD検定により比較した。ただし、この際危険率 p 値は0.05を調査回数5回で除した0.01として設定した。なお、統計処理にあたっては、JMP12(SAS Institute, 2015)を用いた。

結 果

1. 花粉がスワルスキーカブリダニの産卵に及ぼす影響

ピーマン、ナス、サヤインゲンおよびスナップエンドウの4種の葉面において各作物の花粉を与えた場合、スワルスキーカブリダニの産卵数は有意に異なった(Fig. 1a; ANOVA: $F=33.9$, $df=4$, $p<0.01$)。ピーマンおよびスナップエンドウの花粉を与えた場合、7日間当たりの本種の1雌当たり産卵数はピーマンで9.2卵、スナップエンドウで7.8卵であり、この2作物間では有意な差は認められず(TukeyのHSD検定, $p>0.05$)。ナスおよびサヤインゲンの花粉を与えた場合に比べて有意に多かった(TukeyのHSD検定, $p<0.05$)。一方、ナスおよびサヤインゲンでの産卵数はそれぞれ3.3卵および2.8卵で、これら2作物間では相互に有意差は認められなかった(TukeyのHSD検定, $p>0.05$)。水のみを与えた場合には本種の産卵はほとんど認められず(0.2卵)、どの作物の花粉を与えた場合の産卵数よりも有意に少なかった(TukeyのHSD検定, $p<0.05$)。

ピーマン、ナスおよびサヤインゲン葉のディスク上では、それぞれ39.8%、24.2%および46.6%の卵が葉面に産まれており、残りの卵はほとんどが毛糸で確認された(Fig. 1b)。なお、これら3作物葉面での産卵場所はほとんどが葉脈の基部や葉脈間の分岐部、毛状突起の先端部であった。これに対し、スナップエンドウの葉面上およびプラスチックフィルム上での産卵場所は、先の3作物とは大きく異なり、この両者のディスク上では卵は全く確認されず、ほとんどの卵が産卵場所として置いた毛糸に産まれていた。ピーマン、ナスおよびサヤインゲンの葉面上に産まれた卵の割合は相互に有意な差は認められなかった(G 検定, $p>0.025$)。一

Fig. 1. (a) Number of ovipositions in seven days laid by *Amblyseius swirskii* provided with different diets (mean ± SD). (b) Oviposition sites of *A. swirskii* on the different leaf discs. The same small letters indicate non-significant differences of the oviposition numbers among the diets (Tukey-HSD test, $p>0.05$).

方、スナップエンドウ葉面上での産卵割合は、プラスチックフィルムとの間に有意な差はなかったが (G 検定, $p > 0.05$), ピーマン, ナスおよびサヤインゲンに比べて有意に低かった (G 検定, $p < 0.006$).

2. 葉面の微細構造がスワルスキーカブリダニの捕食量に及ぼす影響

マンジャーセル法により実施した各作物葉面でのスワルスキーカブリダニの捕食量を Fig. 2 に示す. 本種を放飼しない各作物でのミナミキイロアザミウマ 2 齢幼虫の死亡率は毎回 5% 未満であったため, ミナミキイロアザミウマ幼虫の死亡は全てスワルスキーカブリダニによる捕食によるものとみなした.

本種の捕食量は作物間で有意に異なった (Fig. 2; ANOVA: $F=30.80$, $df=3$, $p < 0.01$). ピーマンおよびサヤインゲン上での捕食量は, 3 日間でそれぞれ 8.4 頭および 8.2 頭であり, これら 2 種類間では有意な差は認められなかった (Tukey の HSD 検定, $p > 0.05$). 一方, ナスおよびスナップエンドウでの捕食量はそれぞれ 4.0 頭および 2.4 頭であり, これら 2 作物上での捕食量は相互に有意な差は認められなかったが (Tukey の HSD 検定, $p > 0.05$), ピーマンおよびサヤインゲン上での捕食量に比べると有意に少なかった (Tukey の HSD 検定, $p < 0.05$).

3. 放飼実験時の温度変化および供試植物の生育変化ならびに形態観察

放飼実験期間中の施設内温度は, 開始から 7 日間および以後 7 日間隔でそれぞれ平均 23.7°C, 23.4°C, 24.0°C, 24.4°C で, 期間中平均は 23.8°C であった.

作物の花数の変化は作物間で異なり (Fig. 3), ピーマンおよびナスの花数は時間の経過とともに連続的に増加したが, サヤインゲンおよびスナップエンドウの花数には異なる変動が認められた. すなわち, これらの作物の花数はス

Fig. 2. Consumed number of 2nd instar larvae of *Thrips palmi* by *A. swirskii* on the four different leaf discs (mean ± SD). The same small letters indicate non-significant differences of the predation rates among the leaf discs (Tukey-HSD test, $p > 0.05$).

ワルスキーカブリダニの放飼から 7 日後または 14 日後にいったん大きく減少し, 28 日後に再び増加するパターンであった.

Fig. 4 は, 葉面の微細構造を電子顕微鏡 (50 倍) にて撮影した結果である. ピーマン (Fig. 4a) では長形の無腺毛状突起と短形の有腺毛状突起 (Adedeji et al., 2007), ナス (Fig. 4b) では鋭利な放射状無腺毛状突起と短形の無腺毛状突起 (Adedeji et al., 2007) が確認された. サヤインゲン (Fig. 4c) では無腺毛状突起が確認されたが, スナップエンドウ (Fig. 4d) では毛状突起は全く確認されなかった. ピーマン, ナスおよびサヤインゲンの 3 作物では, 明瞭な葉脈の隆起が確認されたのに対し, スナップエンドウでは葉脈の隆起も極めて小さかった.

4. 作物上におけるスワルスキーカブリダニの定着および増殖の比較

スワルスキーカブリダニの定着状況は供試した 4 種作物間で異なり, 個体数の差は放飼 21 日後以降大きくなった (Fig. 5). なお, 各作物上においては, 調査期間中本種の餌となりうる節足動物類は観察されなかった.

ピーマン (Fig. 5a), ナス (Fig. 5b) およびサヤインゲン (Fig. 5c) におけるスワルスキーカブリダニ個体数は, 成・幼若虫および卵とともに時間の経過とともに増加した. 放飼 3 日後には, 成・幼若虫はいずれの作物上でも約 18 頭であり, 卵は認められなかったが, 放飼 28 日後の成・幼若虫数および卵数は, ピーマンでそれぞれ 518.3 頭および 342.3 個, ナスで 81.0 頭および 60.0 個, サヤインゲンで 350.0 頭および 157.3 個であった. 放飼個体数 (50 頭/株) に対する 28 日後の全ステージ合計個体数を基準とした場合の増殖程度は, ピーマンでは約 17 倍, ナスでは約 2.8 倍, サヤインゲンでは約 10 倍であった. 一方, スナップエンドウ (Fig. 5d) における本種の個体数は大きく増加することなく推移し, 放飼 28 日後の成・幼若虫数および卵数はそれぞれ 27.3 頭および卵で 4.7 個であり, 全ステージ合計個体数は放飼個体数よりも減少した.

スワルスキーカブリダニの成・幼若虫および卵までを含

Fig. 3. Changes in time (days) of flower on four crops.

Fig. 4. Electronic microscope scanning of the leaf surface in four crops: (a) sweet pepper, (b) eggplant, (c) kidney bean, and (d) snap pea.

Fig. 5. Changes in time (days) of *A. swirskii* population densities (mean $\pm$ SD) on four crops: (a) sweet pepper, (b) eggplant, (c) kidney bean, and (d) snap pea.

Table 1. ANOVA for the effects of plant species on the population densities of *A. swirskii*^a

Factors	df	Mean square	F-value	p-value
Plant species (Fixed effect)	3	72001.8	90.06	<0.0001
Time (Random effect)	4	45103.5	56.42	<0.0001
Error	52	799.5		

^aData were transformed by Box-Cox transformation before ANOVA.

めた全ステージの株当たり個体数は、作物の種類により有意に異なった (Table 1). 調査日毎に各作物上の本種個体数を Tukey の HSD 検定により比較すると、時間の経過とともに作物間での差は大きくなった。放飼 3 日後では作物

間に有意な差は認められなかったが ($p > 0.01$), 放飼 7 日後ではサヤインゲンで他の作物に比べて有意に多く ($p < 0.01$), スナップエンドウでは他の 3 作物に比べて有意に少なかった ($p < 0.01$). 放飼 14 日後では、ピーマンおよびサヤインゲンの両者に有意な差はなく ($p > 0.01$), いずれもナスおよびスナップエンドウに比べて有意に多かった ($p < 0.01$). なお、ナスおよびスナップエンドウでの個体数に有意な差はなかった ($p > 0.01$). 放飼 21~28 日後では、ピーマンでの個体数が他の 3 作物に比べて有意に多く ($p < 0.01$), 次いでサヤインゲンで多かった。ナスおよびスナップエンドウでの個体数は有意な差はなく ($p > 0.01$), いずれもサヤインゲンより有意に少なかった ($p < 0.01$).

Fig. 6. Distribution of *A. swirskii* on each part: leaf, branch, flower, and fruit/pod of four crops: (a), (b) sweet pepper, (c), (d) eggplant, (e), (f) kidney bean, (g), (h) snap pea. #: Eggs of *A. swirskii* were not observed on the plants.

5. 作物上でのスワルスキーカブリダニの株内分布

Fig. 6は、各作物上でのスワルスキーカブリダニの成・幼若虫および卵の株当たり個体数に占める作物の各部位(葉、茎、花および果実または莢)での個体数の割合である。ナス(Fig. 6c, d)では一時的に茎での分布割合が高まった時期があったものの、ピーマン(Fig. 6a, b)およびサヤインゲン(Fig. 6e, f)を含むこれらの3作物においては、総じて葉での分布が主体であった。これに対してスナップエンドウ(Fig. 6g, h)での分布は大きく異なり、成・幼若虫の分布変化は花数の変動(Fig. 1)に同調し、放飼3日後にはほとんどの個体が花で確認されたが(約91%)、以後時間の経過とともに低下し、放飼28日後に再び増加が認められた(約60%)。一方、卵については試験期間を通じて終始全ての個体が葉で認められた。ただし、これは全て葉柄と小葉の分岐部であり、葉面上での卵は全く確認されなかった。

考 察

植物の花粉は、スワルスキーカブリダニの餌資源として重要であり(Swirski et al., 1967; Nomikou et al., 2001; Ali and Zaher, 2007; Avery et al., 2014)、ナツメヤシ *Phoenix dactylifera* L.の花粉は、トウゴマ *Ricinus communis* L.よりも餌として好適である(Ali and Zaher, 2007)など、本種の発育と増殖は植物の花粉によって異なることが知られている。本研究で4種作物の花粉を供試した結果、本種の7日間当たりの産卵数(Fig. 1)は花粉の種類によって有意に異なり、ピーマンおよびスナップエンドウの花粉を供試した場合にはサヤインゲンとナスの花粉を与えた場合に比べて有意に多かった。この結果から、各作物上での本種の定着と増殖に及ぼす1つの要因として、餌となる花粉の影響が考えられた。

スワルスキーカブリダニに対するピーマンおよびスナップエンドウの花粉の適性は同等と推察されたが、スナッ

プエンドウの葉面上における本種の産卵場所は他の作物とは大きく異なり、卵はスナップエンドウの葉面ではなく、ほとんどが毛糸に産まれていた (Fig. 1b)。また、放飼実験においては、本種の卵はスナップエンドウの複葉でわずかに確認されたものの、産卵場所は葉面上ではなく全て葉柄と単葉の分岐部であった。Rasmy and El-Banhawy (1974) は、捕食性ダニ類の1種である *Phytoseius plumifer* (Canestrini and Fanzago) を用いた実験で、豊富な毛じが存在するイチジク *Ficus carica* L. と平滑なサワーオレンジ *Citrus aurantium* L. の葉面上において、本種の餌である *Tetranychus cinnabarinus* (Boisd.) を与えると、*P. plumifer* の産卵数と捕食量はサワーオレンジにおいて少ないことを示している。しかし、この要因については未解明のままである。葉面の微細構造のうち、毛状組織や domatia は捕食性ダニ類の採餌場所、生息空間の拡大による共食いの回避、上位捕食者からの捕食や不適環境を回避するためのシェルターとなるため、捕食性ダニ類の生存率および増殖率の向上につながると考えられており (Dicke and Sabelis, 1988; Schmidt, 2014)、その存在によりスワルスキーカブリダニを含む複数の捕食性ダニ類の植物への定着個体数が高まることが多く報告されている (Agrawal, 1997; Kreiter et al., 2003; Loughner et al., 2010; Avery et al., 2014; Bresch et al., 2015)。一方、スナップエンドウの葉面は平滑であり、毛状組織および domatia は確認されなかった (Fig. 4d)。すなわち、自然状態のスナップエンドウ葉面ではスワルスキーカブリダニの産卵場所が欠落しているものと推察された。

他方、毛状突起は、昆虫・ダニ類に対する物理的障壁、毒素による化学的影響および粘着性しゅん出物質による捕捉などを通じて負の影響を及ぼすことが報告されている (Duffey, 1986; Gregory et al., 1986; Glas et al., 2012)。例えば、ペラルゴニウム *Pelargonium domesticum* Bailey およびゼラニウム *P. hortorum* Bailey の毛状突起は、オンシツコナジラミ *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) の産卵場所選択および産卵数に影響を及ぼすことが報告されている (Avery et al., 2015)。また、Dicke and Sabelis (1988) はトマトで見られるような有腺毛状突起は有毒で粘着性のあるしゅん出物により捕食性ダニ類に対して悪影響を及ぼすことを論じている。チリカブリダニ *Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot (Van Haren et al., 1987) やリモニカスカブリダニ *Amblydromalus limonicus* (Garman and McGregor) (Van Houten et al., 2013) では、トマトの有腺毛状突起からのしゅん出物がこれらの捕食性ダニ類を捕捉することで死亡率が高まり、トマト上での天敵の増殖や防除効果が低下することが報告されている。

本報告では、葉面の微細構造がスワルスキーカブリダニの行動へ及ぼす影響を知るため、ミナミキイロアザミウマに対する本種の捕食量を検討した。ナスおよびスナップエ

ンドウ葉面上での捕食量は、ピーマンおよびサヤインゲンに比べて有意に少なかった (Fig. 2)。いずれの作物でもトマトのような粘着性物質をしゅん出する有腺毛状突起は確認されなかったが、ナスでは葉面を覆う多数の鋭利な放射状無腺毛状突起 (Adedeji et al., 2007) が確認された (Fig. 4b)。毛状突起の形状や量が捕食性ダニ類に及ぼす影響はこれまでに報告されていない。しかし、コナジラミ類に対する寄生蜂の1種であるオンシツツヤコバチ *Encarsia formosa* Gahan の歩行速度は、毛状突起の多い植物ほど遅く、寄主探索の妨げになることが示されている (Hulspas-Jordaan and van Lenteren, 1978)。また、Lit and Bernardo (1990) は、ナスの鋭利な毛状突起はヨコバイの1種である *Amrasca biguttula* (Ishida) の吸汁および産卵を妨げることを明らかにしている。一方、スナップエンドウの葉面には第一級アルコール類を成分とするエピクチクラワックスが存在することが知られており (Jeffree, 1986)、このワックスは昆虫の歩行を妨げる効果があると報告されている (Woodhead and Chapman, 1986)。Eigenbrode and Jetter (2002) は、キャベツ *Brassica oleracea* L. のエピクチクラワックス結晶体が、捕食者である *Hippodamia convergens* Guérin-Méneville の足を滑らせて葉面の把持を妨げるため、本種の定着性の低下に影響する主な要因であることを明らかにしている。また、同著者はこれと同様の作用はエンドウの1種においても見られると論じている (Eigenbrode and Jetter, 2002)。これらのことから、本実験においては、ナスでは葉面上の鋭利な毛状突起が、スナップエンドウではエピクチクラワックスがスワルスキーカブリダニの行動を妨げ、このことで餌探索効率が低下した、あるいは捕食行動そのものが悪影響を受けたことなどにより本種の捕食量が少なくなった可能性がある。

以上のことを総合的に判断すると、スワルスキーカブリダニの定着と増殖に及ぼす各作物の影響とその要因については以下のとおり推察される。本種の個体数が最も多かったピーマンは、餌としての花粉の適性および葉面の微細構造の面から本種に最も適した作物であると考えられる。これに対して、サヤインゲンでの個体数がピーマンに比べて少なかったのは、花粉の適性がピーマンよりも低いことに加え、本作物では花数が変動していたため (Fig. 3)、餌である花粉の量が不安定であったことが挙げられる。一方、ナスでは、餌としての花粉の適性が低いこと、鋭利な毛状突起が本種の捕食行動に悪影響を及ぼしたと同様に葉での産卵行動などにも悪影響を及ぼした可能性が考えられる。スナップエンドウの花粉の適性はピーマンと同等であると考えられたが、放飼実験における個体数は最も少なかった。これは、本種の産卵場所として重要な微細構造が欠落していること、植物体表面を覆うエピクチクラワックスが本種の捕食行動や産卵行動などに悪影響を及ぼした可能性

が考えられる。なお、本報告では、各葉面上でのミナミキイロアザミウマに対するスワルスキーカブリダニの捕食量に基づき、微細構造やエピクチクラワックスが本種の行動に及ぼす影響を考察した。しかし、これらの結果だけで作物上での本種の定着および増殖に及ぼす影響を完全に説明することは難しい。これらの要因が本種の捕食行動以外のどのような行動を妨げるのかは今後の解明が必要である。ナスおよびスナップエンドウでは、本種の分布位置もピーマンおよびサヤインゲンとはやや異なり、ナスでは時期によっては茎での分布割合が増加し、スナップエンドウでは花での分布割合が特徴的に他の作物よりも高かった。このことは、葉の微細構造と何らかの関係があるかもしれない。

害虫の発生前あるいは少発生時から天敵を導入する接種的放飼法 (Van Driesche and Bellows, Jr., 1996; Hajek, 2004) では、放飼後の天敵の定着と増殖が重要と考えられる。本報告での実験結果に基づく、生産地圃場での実用にあたってサヤインゲンおよびナスのように作物の花粉が餌として適さない作物では、スワルスキーカブリダニの増殖を促すための代替餌の人為的な供給も検討する必要がある。また、スナップエンドウのように葉の微細構造が欠落していたり、エピクチクラワックスを持つ作物では、本種の定着および増殖場所を提供するような技術も視野に入れるべきであると考えられる。

摘 要

ピーマン、ナス、サヤインゲンおよびスナップエンドウの4種作物に対するスワルスキーカブリダニの適応性を、作物での定着と増殖の相違、花粉の適性、葉面の微細構造(毛状組織(毛状突起や毛じ)およびdomatia)の観点から評価した。平均24℃の条件下で本種を放飼した結果、本種個体数は作物間で有意に異なり、ピーマン、サヤインゲン、ナス、スナップエンドウの順に多かった。各作物の花粉を与えた場合の産卵数、葉面上での産卵場所およびミナミキイロアザミウマに対する捕食量から、ピーマンに比べてサヤインゲン、ナスおよびスナップエンドウでの増殖が劣る要因として以下のことが推察された。(1)サヤインゲン: 餌としての花粉の適性が低いこと、および作物上での花粉の量が不安定であること。(2)ナス: 花粉の適性が低いこと、および葉面に存在する鋭利な毛状突起が本種の捕食行動や産卵行動に影響すること。(3)スナップエンドウ: 葉面の微細構造が欠落していること、および葉のエピクチクラワックスが本種の捕食行動や産卵行動に影響すること。

引 用 文 献

Adedeji, O., O. Y. Ajuwon and O. O. Babawale (2007) Foliar epidermal studies, organographic distribution and taxonomic importance

- of trichomes in the family solanaceae. *Int. J. Botany* 3: 276–282.
- Agrawal, A. (1997) Do leaf domatia mediate a plant-mite mutualism? An experimental test of the effects on predators and herbivores. *Ecol. Entomol.* 22: 371–376.
- Ali, F. S. and M. A. Zaher (2007) Effect of food and temperature on the biology of *Typhlodrompis swirskii* (Athias-Henriot) (Acari: Phytoseiidae). *Acarines* 1: 17–21.
- Arthurs, S., C. L. McKenzie, J. J. Chen, M. Dogramaci, M. Brennan, K. Houben and L. Osborne (2009) Evaluation of *Neoseiulus cucumeris* and *Amblyseius swirskii* (Acari: Phytoseiidae) as biological control agents of chilli thrips, *Scirtothrips dorsalis* (Thysanoptera: Thripidae) on pepper. *Biol. Control* 49: 91–96.
- Avery, P. B., V. Kumar, Y. F. Xiao, C. A. Powell, C. L. McKenzie and L. S. Osborne (2014) Selecting an ornamental pepper banker plant for *Amblyseius swirskii* in floriculture crops. *Arthropod Plant Interact.* 8: 49–56.
- Avery, P. B., V. Kumar, M. S. J. Simmons and J. Faull (2015) Influence of leaf type and density on the host plant selection by the greenhouse whitefly, *Trialeurodes vaporariorum* (Hemiptera: Aleyrodidae). *Appl. Entomol. Zool.* 50: 79–87.
- Bresch, C., G. Ruiz, C. Poncet and P. Parolin (2015) Predatory mites *Neoseiulus californicus* and *Phytoseiulus persimilis* chose plants with domatia. *JME* 13: 13–20.
- Calvo, F. J., K. Bolckmans and J. E. Belda (2011) Control of *Bemisia tabaci* and *Frankliniella occidentalis* in cucumber by *Amblyseius swirskii*. *BioControl* 56: 185–192.
- Dicke, M. and M. W. Sabelis (1988) How plants obtain predatory mites as bodyguards. *Neth. J. Zool.* 38: 148–165.
- Doğramaci, M., S. P. Arthurs, J. J. Chen, C. McKenzie, F. Irrizary and L. Osborne (2011) Management of chilli thrips *Scirtothrips dorsalis* (Thysanoptera: Thripidae) on peppers by *Amblyseius swirskii* (Acari: Phytoseiidae) and *Orius insidiosus* (Hemiptera: Anthocoridae). *Biol. Control* 59: 340–347.
- Duffey, S. S. (1986) Plant glandular trichomes: their partial role in defence against insects. In *Insects and the Plant Surface* (B. Juniper and S. R. Southwood, eds.). Edward Arnold Ltd., London, pp. 151–172.
- Eigenbrode, S. D. and R. Jetter (2002) Attachment to plant surface waxes by an insect predator. *Integr. Comp. Biol.* 42: 1091–1099.
- Glas, J. J., B. C. J. Schimmel, J. M. Alba, R. Escobar-Bravo, R. C. Schuurink and M. R. Kant (2012) Plant glandular trichomes as targets for breeding or engineering of resistance to herbivores. *Int. J. Mol. Sci.* 13: 17077–17103.
- 後藤哲雄・天野 洋 (1996) 飼育法. 植物ダニ学 (江原昭三・真梶徳純 編). 全国農村教育協会, 東京, pp. 314–322. [Gotoh, T. and H. Amano (1996) Rearing method. In *Principles of Plant Acarology* (S. Ehara and H. Amano, eds.). Zenkoku Nounso Kyouiku Kyokai, Tokyo, pp. 314–322.]
- Gregory, P., D. A. Avé, P. Y. Bouthyette and W. M. Tingey (1986) Insect-defensive chemistry of potato glandular trichomes. In *Insects and the Plant Surface* (B. Juniper and S. R. Southwood, eds.). Edward Arnold Ltd., London, pp. 173–183.
- Hajek, A. (2004) *Natural Enemies: An Introduction to Biological Control*. Cambridge University Press, Cambridge. 378 pp.

- Hulspas-Jordaan, P. M. and J. C. van Lenteren (1978) The relationship between host plant leaf structure and parasitization efficiency of the parasitic wasp *Encarsia formosa* Gahan (Hymenoptera: Aphelinidae). *Med. Fac. Landbouww. Rijksuniv. Gent*. 43 (2): 431–440.
- Jeffree, C. E. (1986) The cuticle, epicuticular waxes and trichomes of plants, with reference to their structure, functions and evolution. In *Insects and the Plant Surface* (B. Juniper and S. R. Southwood, eds.). Edward Arnold Ltd., London, pp. 23–64.
- Kreiter, S., M.-S. Tixier and T. Bourgeois (2003) Do generalist phytoseiid mites (Gamasida: Phytoseiidae) have interactions with their host plants? *Insect Sci. Appl.* 23: 35–50.
- Lee, H. S. and D. R. Gillespie (2011) Life tables and development of *Amblyseius swirskii* (Acari: Phytoseiidae) at different temperatures. *Exp. Appl. Acarol.* 53: 17–27.
- Lit, M. C. and E. N. Bernardo (1990) Mechanism of resistance of eggplant (*Solanum melongena* Linn.) to the cotton leafhopper, *Amrasca biguttula* (Ishida) II. Morphological and biochemical factors associated with resistance. *Philipp. J. Crop Sci.* 15: 79–84.
- Loughner, R., K. Wentworth, G. Loeb and J. Nyrop (2010) Influence of leaf trichomes on predatory mite density and distribution in plant assemblages and implications for biological control. *Biol. Control* 54: 255–262.
- Messelink, G. J., S. E. F. van Steenpaal and P. M. J. Ramakers (2006) Evaluation of phytoseiid predators for control of western flower thrips on greenhouse cucumber. *BioControl* 51: 753–768.
- Nomikou, M., A. Janssen, R. Schraag and M. W. Sabelis (2001) Phytoseiid predators as potential biological control agents for *Bemisia tabaci*. *Exp. Appl. Acarol.* 25: 271–291.
- Rasmy, A. H. and E. M. El-Banhawy (1974) Behaviour and biometrics of the predatory mite, *Phytoseius plumifer* (Acarina: Phytoseiidae) as affected by physical surface features of host plants. *Entomophaga* 19: 255–257.
- SAS Institute (2015) *JMP Statistics and Graphics Guide, version 12*. SAS Institute, Cary, NC.
- Schmidt, R. A. (2014) Leaf structures affect predatory mites (Acari: Phytoseiidae) and biological control: a review. *Exp. Appl. Acarol.* 62: 1–17.
- Swirski, E., S. Amitai and N. Dorzia (1967) Laboratory studies on the feeding, development and reproduction of the predaceous mites *Amblyseius rubini* Swirski and *Amblyseius swirskii* Athias (Acarina: Phytoseiidae) on various kinds of food substances. *Isr. J. Agric. Res.* 17: 101–119.
- Van Driesche, R. G. and T. S. Bellows, Jr. (1996) *Biological Control*. Chapman & Hall, New York. 539 pp.
- Van Haren, R. J. F., M. M. Steenhuis, M. W. Sabelis and O. M. B. De Ponti (1987) Tomato stem trichomes and dispersal success of *Phytoseiulus persimilis* relative to its prey *Tetranychus urticae*. *Exp. Appl. Acarol.* 3: 115–121.
- Van Houten, Y. M. et al. (2013) Herbivory-associated degradation of tomato trichomes and its impact on biological control of *Aculops lycopersici*. *Exp. Appl. Acarol.* 60: 127–138.
- Walter, D. E. (1996) Living on leaves: mites, tomentia, and leaf domatia. *Annu. Rev. Entomol.* 41: 101–104.
- Wimmer, D., D. Hoffmann and P. Schausberger (2008) Prey suitability of western flower thrips, *Frankliniella occidentalis*, and onion thrips, *Thrips tabaci*, for the predatory mite *Amblyseius swirskii*. *Biocontrol Sci. Technol.* 18: 533–542.
- Woodhead, S. and R. F. Chapman (1986) Insect behavior and the chemistry of plant surface waxes. In *Insects and the Plant Surface* (B. Juniper and S. R. Southwood, eds.). Edward Arnold Ltd., London, pp. 123–135.