トマトの毛茸およびその分泌物がスワルスキーカブリダニの生存に及ぼす影響

坂元 志帆*・坂巻 祥孝**・大迫 昭平・津田 勝男
(鹿児島大学農学部)

Effects of trichomes and glandular trichome exudates of cultivated tomato on survival of the predatory mite, *Amblyseius swirskii*. Shiho Sakamoto*, Yositaka Sakamaki**, Syouhei Oosako and Katsuo Tsuda (Faculty of Agriculture, Kagoshima University, Korimoto 1-21-24, Kagoshima 890-0065, Japan)

We examined the effects of trichomes and the glandular trichome exudate on the survival of the predatory mite *Amblyseius swirskii* on young potted tomato plants. Removing the trichomes from the plant surface increased the survival rate from 0.8% (untreated plants) to 12.2% and decreased the mortality on plants from 63.3% (untreated plants) to 0%. Almost all of the dead mites on untreated plants were observed adhering to the sticky secretions from trichome glands. To evaluate the toxicity of the secretions, we tested the effects of its main components (2-tridecanon and 2-undecanon) on *A. swirskii* by exposing mites to these chemicals for 48 h. All mites survived treatments with either of the chemical concentrations alone or a blend of these two chemicals. These results suggest that the main cause of the mortality of *A. swirskii* on tomatoes is not the toxicity of the secretions, but rather adhesion to the sticky secretions from the glandular trichomes.

Key words : adhesion, glandular trichome, secretions, 2-tridecanon, 2-undecanon

緒 言

天敵製剤スワルスキー[®] (主成分：スワルスキーカブリダニ, *Amblyseius swirskii* Athias-Henriot) は、日本では2008年に農薬登録され、施設栽培の野菜類上のアザミウマ類、コナジラミ類、チャノホコリダニを同時に防除することが可能なことから現在までに利用が拡大している。その一方で、トマトでの利用に向かない (Koppert biological systems, 2005), あるいはトマト株下に放飼すると葉上に移動しない (大矢・二村, 2010) などの報告がある。この要因としてトマト表面を覆っている毛茸およびその中でも分泌物を生じる腺毛がスワルスキーカブリダニの効果に影響する可能性が指摘されている (Koppert biological systems, 2005)。トマト類の茎葉表面に多数生じる毛茸には先端がとがるタイプと、先端の腺細胞から粘性の分泌物

を生じてこん棒状に見えるタイプがあり、毛茸の中でも特に後者を「腺毛」と呼ぶ (Simmons and Gurr, 2005; 田淵ら, 2002)。トマト類に見られる両タイプの毛茸による害虫およびそれらの天敵昆虫への影響を総説した Simmons and Gurr (2005) によれば、特に腺毛はオオタバコガ *Helicoverpa armigera* (Hübner), モモアカアブラムシ *Myzus persicae* (Sulzer), ナミハダニ *Tetranychus urtica* Koch などを含む4目14種の害虫種の死亡率上昇に貢献し、これらのうち4目10種については腺毛上の分泌物を取り除くことで死亡率が下がる。また、シルバーリーフコナジラミ *Bemisia argentifolii* Bellows & Perring, コロラドハムシ *Leptinotarsa decelimiata* (Say) など3目7種においては腺毛上の分泌物中のメチルケトンなどの成分によって、死亡率が上昇することや蛹の奇形が生じることが報告されている。Simmons and Gurr (2005) では同時に天敵昆虫類への影響も総説しており、腺毛上の分泌物を取り除くことで *Trichogramma* 属卵寄生蜂、オオメカメムシ属の一種 *Geocoris punctipes*

* 現在 フェスティバロ社, 鹿屋市

**Corresponding author: ysaka@agri.kagoshima-u.ac.jp

(Say) などを含む5日8種の天敵昆虫の死亡率の低下、寄生率および捕食率の上昇が認められることを示している。一方、ダニ類への影響については、ナミハダニ、ミツユビナミハダニ *Tetranychus evansi* Baker & Pritchard、およびトマトサビダニ *Aculops lycopersici* (Massee) の3害虫種の生存率低下、忌避性、加害減少に腺毛および分泌物が関与していることが示されている。

スワルスキーカブリダニを施設トマト栽培で利用するにあたっては、植物体上の毛茸が本種の行動や生存に与える影響を調べる必要がある。そこで、本研究ではトマトの毛茸、腺毛および腺毛分泌物がスワルスキーカブリダニに与える影響をポット植えのトマト苗を用いて検討した。さらに、腺毛分泌物の化学特性がスワルスキーカブリダニに与える影響について検討するため、分泌物成分の中で、ナミハダニに対する主要毒成分とされている2種のメチルケトン (Chatzivasilieadis and Sabelis, 1997) のスワルスキーカブリダニに対する影響を調べた。本研究を行うにあたり、材料を提供いただいたアリスライフサイエンス株式会社の桃下光敏博士、実験補助をして下さった飛松諒氏に厚くお礼申し上げる。

材 料 お よ び 方 法

1. トマトの毛茸および腺毛がスワルスキーカブリダニの生存に与える影響

トマトの毛茸、腺毛およびその分泌物の有無がスワルスキーカブリダニの定着に与える影響を、毛茸除去および未除去のトマト苗に本種を放飼して調査した。トマトは3.5～4.5葉期 (草丈10～15cm) の自根ポット苗 (品種「ホーム桃太郎」, ポット内径9cm) を用いた。毛茸、腺毛およびその分泌物の除去は供試虫を放飼する前に苗の茎葉表面にセロハンテープを貼付しては剥がすという作業を繰り返して行った。ポットには脱走するスワルスキーカブリダニを捕獲するために内側が粘着面の壁となるように、ポットの縁に沿ってセロハンテープを貼った。さらに、ポットの下にはプラスチック容器を敷き、容器内には水道水を張った。供試虫のスワルスキーカブリダニは天敵製剤として市販されているもの (商品名; スワルスキー[®], アリスライフサイエンス株式会社) の雌成虫を用いて、各株の完全に展開した下・中位の2あるいは3葉の葉表にそれぞれ15頭ずつ放飼した。トマト葉上における供試餌として、マツ花粉を各葉の1～2小葉上に面相筆を用いて撒いた。

毛茸・腺毛および分泌物未除去のトマト苗は4株供試し (以下、未除去区とする), 放飼6日後にトマト株上, ポットの土上, セロハンテープ上およびプラスチック容器内の成虫数を死亡個体, 生存個体に分けて調査した。さらに, トマト株上については, 株を小葉, 主茎・葉柄・葉軸, 株下 (主茎下部約1/5の長い毛茸が密生する部位) に3区分して成虫を計数した (Fig. 1)。また, 2株については放飼直前に小葉裏面, 主茎・葉柄・葉軸, 株下から, 1cm²の区画を株あたり各3か所選び, 腺毛を含んだ毛茸密度および分泌物を伴った腺毛密度を測定した。毛茸・腺毛および分泌物を除去したトマト苗は2株供試した (以下, 除去区とする)。これらについても, 放飼6日後にトマト株上, ポットの土上, セロハンテープ上およびプラスチック容器内の成虫数を死亡個体, 生存個体に分けて調査した。また, 腺毛を含んだ毛茸密度および分泌物を伴った腺毛密度を, 除去前, 除去直後, 除去3日後, 5日後に, 小葉裏面および葉柄・葉軸で測定した。測定は全株の上中下位からそれぞれ1小葉を無作為に選び, 合計6小葉の裏面, およびそれらの小葉がついた葉軸6本の表面から1cm²の区画を取って測定し, これらを平均して毛茸密度および腺毛密度を算出した。放飼実験は, いずれも25℃に設定された室内で行い, 観察には実体顕微鏡を用いた。観察時にはポット苗のポット部を持って横倒しにし, 茎葉部を実体顕微鏡下に入れた。

なお, 結果の中では, スワルスキーカブリダニの放飼虫数に対する「トマト苗上で生きていた虫数」, 「トマト苗上で死んでいた虫数」, 「トマト苗上, ポット土上, セロテープ上, プラスチック容器内のいずれにも見つけられなかった虫数」の比率をそれぞれ生存率, 死亡率, 行方不明率とした。また, ここでいう腺毛とは, 先端の腺細胞から分泌物を生じてこん棒状に見えるタイプのもので, Simmons and Gurr (2005) で分類されている毛茸の Type I, IV, VI, VII である (ただし, Type IV は供試したトマト上では観察されなかった)。

2. トマト腺毛から分泌される成分がスワルスキーカブリダニの生存に与える影響

供試虫のスワルスキーカブリダニは天敵製剤として市販されているものの雌成虫のみを用いた。供試成分は, Chatzivasilieadis and Sabelis (1997) においてナミハダニへの毒性が示されているトマト腺毛分泌物成分中の2種のメチルケトンである2-tridecanon および2-undecanon を用いた。試験は, 25℃に設定され

た室内で行った。試験区は、2-tridecanon 処理区、2-undecanon 処理区、2-tridecanon・2-undecanon の混合液処理区、対照区を設けた。対照区以外は、それぞれ濃度別に6区を設け、各区に4～7頭のスワルスキーカブリダニを供試した (Table. 1)。

各成分の溶媒は0.1mg/ml の Triton-X を添加した蒸留水に、溶液重量の20%のアセトンを加えたものである。このアセトンに各成分を目的濃度となるようにあらかじめ溶解しておいた。また、対照区ではいずれの成分も加えていない上述の溶媒のみに供試虫を浸漬した。

スワルスキーカブリダニを供試成分に浸漬する際には、Chatzivasilieadis and Sabelis (1997) に準じて、Dennehy et al. (1993) の microimmersion 法を用いた (Fig. 2)。この方法は、まずマイクロピペットチップの先端を短く切り (約17mm)、そのチップ内にスワルスキーカブリダニ 3～4 頭を収容し、ろ紙フィルターを挿んでマイクロピペットの先端に装着する。そのピペットで供試成分を吸引して供試虫を浸漬し、30秒後に供試虫と供試成分の入った短いチップを異なるマイクロピペットのピペットチップ先端に上下反対に取り付けて、短く切ったチップ内の供試虫と供試成分を同時にろ紙上に排出するという手順である (Fig. 2)。

供試成分浸漬後のスワルスキーカブリダニは1頭ずつ円形の穴 (内径2.5cm) を開けた試験用飼育ケージ (高田・柏尾, 2004) に収容し、マツ花粉を食餌として飼育し、48時間後の生死を調査した。本研究で使用した試験用飼育ケージは縦4 cm, 横5 cm, 厚さ0.2cm のプラスチック板上に給水したろ紙を載せ、その上にトマト小葉の裏面を上にして載せ、さらにその上に厚さ0.4cm で中央に内径2.5cm の円形の穴が開いたアクリル板を載せたものである。この穴の中にスワルスキーカブリダニを1頭ずつ収容し、目合い350mesh/

Fig. 1 Definition of plant parts used in this study.

inch の金網を中央にあけた穴 (直径2.5cm) 上に張った縦4 cm, 横5 cm, 厚さ0.2cm のプラスチック板を蓋としてかぶせて両端をクリップで固定した。

なお、今回の実験でそれぞれの供試成分を与え飼育ケージに移動させた直後に死亡したスワルスキーカブリダニは事故死とみなし、供試数から除いた。

結 果

1. トマトの毛茸および腺毛がスワルスキーカブリダニの生存に与える影響

スワルスキーカブリダニを毛茸未除去トマト苗へ放飼した場合には、6日後の生存率が0.8% (1/120頭)、死亡率が63.3% (76/120頭)、行方不明率が35.9% (43/120頭) となり、株上での生存率は極めて低かった (Fig. 3)。一方、毛茸除去をした場合の生存率は12.2% (11/90頭)、死亡率は0%、行方不明率は87.8% (79/90頭) となり、株上での生存率が未除去区よりも有意に高く (Fisher の正確確率検定, $p < 0.01$)、死亡虫も確認されなかった (Fig. 3)。生存虫は上位・中位・下位、それぞれの主茎・葉柄・葉軸上、あるいは葉裏のいずれの場所からも認められた。なお、両区と

Table. 1 Chemical composition and concentration in microimmersion bioassay for *Amblyseius swirskii*

Chemical composition	Concentration (mg/ml)	Total volume (μ l)
2-tridecanon	1, 2, 3, 5, 10, 20	35
2-undecanon	1, 2, 3, 5, 10, 20	35
Mixture of 2-tridecanon : 2-undecanon (85 : 15)	1, 2, 3, 5, 10, 20	35
Solvent ^{a)} (control)	0	35

a) Solvent composition (distilled water:1ml, TritonX-100:0.1mg, acetone : 0.2ml).

Fig. 2 Procedure of microimmersion bioassay and combination of micropipets and cut disposable tips.

Fig. 3 Effect of tomato trichomes on survival of *A. swirskii* six-days after release on the foliage of tomato seedlings.

Fig. 4 Dead adults of *A. swirskii* adhering to sticky material on the top of glandular trichomes.

も脱走個体把握のためにポット縁に貼ったセロハンテープおよびポット下の水を張ったプラスチック容器での捕獲は認められなかった。未除去区で確認された死亡虫のほとんどは腺毛分泌物に貼り付いて確認された (Fig. 4)。未除去区の死亡部位の内訳を放飼虫数に対する割合で示すと、小葉で $19.2 \pm 1.2\%$ 、主茎・葉柄・葉軸で $43.3 \pm 2.4\%$ 、株下で $0.8 \pm 1.2\%$ であった (Table. 2)。各部位における毛茸密度は、小葉が $1,397.8 \pm 305.5$ 本/cm²、主茎・葉柄・葉軸が $3,555.4 \pm 673.2$ 本/cm²、株下が $2,313.6 \pm 949.1$ 本/cm² であった。また、このうち腺毛の密度は、小葉が 328.5 ± 236.6 本/cm²、主茎・葉柄・葉軸が $2,444.5 \pm 743.3$ 本/cm²、株下が 175.3 ± 41.6 本/cm² で、毛茸のうち腺毛の割合は主茎・葉柄・葉軸が 68.8% で最も高く、小葉が 23.5%、株下が 7.6% で最も低かった (Table. 3)。毛茸密度を測定した未除去区 2 株における部位別死亡数と毛茸密度の間には相関関係が認められなかった (Kendall の順位相関, $\text{Tau}=0.333$, $p=0.348$) が、腺毛密度との間には正の相関が認められた (Kendall の順位相関, $\text{Tau}=0.733$, $p<0.05$)。また、毛茸除去区の小葉裏面と葉軸における平均腺毛密度は、毛茸・腺毛除去処理前には 402.7 ± 305.5 本/cm² で、処理直後に 72.0 ± 79.2 本/cm² となり、3 日目にはまだ 80.0 ± 105.6 本/cm² であったが、5 日後には 664.4 ± 743.3 本/cm² と回復した (Fig. 5)。

Table. 2 Plant parts with dead *A. swirskii* and its ratio to released mites

Plant part	<i>n</i> ^{a)}	Mean ratio (%) of dead mites in each plant part to released mites ^{b)}
Leaflet	4	19.2 ± 1.2
Stem, petiole and rachis	4	43.3 ± 2.4
Stem foot	4	0.8 ± 1.2
Total		63.3 ± 4.7

a) Number of tomato plants used in mite release experiment.

b) Mean ± standardized deviation.

Table. 3 Total and glandular trichome densities on abaxial side of leaflet of untreated tomato

Plant part	Mean ± SD trichome density ^{a)} (/cm ²)		Ratio of grandular trichomes ^{b)} (%)
	Total trichomes	Glandular trichomes	
Leaflet	1,397.8 ± 305.5	328.5 ± 236.6	23.5
Stem, petiole and rachis	3,555.4 ± 673.2	2,444.5 ± 743.3	68.8
Stem foot	2,313.6 ± 949.1	175.3 ± 41.6	7.6

a) Mean of upper, middle and lower leaflets of two plants.

b) (100 × No. of glandular trichomes/No. of total trichomes).

2. トマト腺毛から分泌される成分がスワルスキーカブリダニの生存に与える影響

トマト腺毛から分泌される2種類のメチルケトン2-tridecanon, 2-undecanon および両者の混合物にスワルスキーカブリダニを浸漬接種した48時間後の生存率はいずれの処理区においても対照区との間に差は認められなかった (χ^2 検定, $df=18$, $\chi^2=17.5$, $p=0.489$) (Table 4)。

考 察

トマト葉上に放飼したスワルスキーカブリダニは、トマト苗上の腺毛密度の高い部位で多くの死亡成虫が確認され、そのほとんどが腺毛分泌物に貼り付いた状態で確認されたことから、この腺毛分泌物の粘着性が、トマト上におけるスワルスキーカブリダニの死亡要因となり、本種が定着できない原因の1つとなっていると考えられた。一方、腺毛を含む毛茸全体の密度と死亡虫数には相関関係が認められなかったため、腺毛でない毛茸（分泌物を放出しない毛茸）は、スワルスキーカブリダニの死亡要因とはならないと考えられた。さらに、腺毛除去によって死亡虫が減少し、行方不明虫の割合が増加したのは、腺毛の分泌物が少量の状態が持続した除去直後～3日目の間に、粘着性分泌物に捕えられることなくスワルスキーカブリダニがトマト上を自由に動き回ることができたためと考えられる。

Fig. 5 Transition of glandular trichome densities during five days before and after trichome removal treatment.

ポットの縁のセロハンテープやプラスチック容器からスワルスキーカブリダニが得られなかったことから、この場合3日目までに多くの成虫が株下から土に降りて土壌間隙に逃げ込んで、行方不明となったと推測される。実際に本研究と同様にポット植えのトマト苗2株に葉あたり5頭のスワルスキーカブリダニを放飼して、6日後に各苗の入ったポット土壌を実体顕微鏡下で精査したところ、約28%の放飼虫が土壌間隙中で死亡しているのが確認されている（大迫・坂巻、未発表データ）。また、除去区でも、除去5日後には除去前と同等以上の腺毛密度になっているものの、除去区ではスワルスキーカブリダニの6日後の生存虫数が、未

Table. 4 Effects of chemical composition and concentration of two methylketones on 48h survival rate of *A. swirskii* in microimmersion bioassay

Chemical composition	Concentration (mg/ml)	<i>n</i>	Surviving individuals	Survival rate (%)
2-tridecanon	1	7	5	71.4
	2	4	4	100
	3	4	4	100
	5	4	4	100
	10	4	3	75
	20	4	4	100
2-undecanon	1	5	4	80.7
	2	4	4	100
	3	4	3	75
	5	3	3	100
	10	4	4	100
	20	4	4	100
Mixture of 2-tridecanon : 2-undecanon (85 : 15)	1	6	6	100
	2	6	6	100
	3	5	5	100
	5	6	6	100
	10	4	4	100
	20	4	3	75
Solvent (control)	—	6	6	100

除去区に比べて有意に多くなった。これは、5日後には各腺毛先端に分泌物が現れるが、腺毛1本当たりの分泌量がまだ不十分なため、トマト表面を歩行するスワルスキーカブリダニを捕らえるにはいたらなかった可能性が考えられる。この点については、腺毛分泌量の定量を行って確認する必要がある。トマトに寄生する節足動物に対して、腺毛先端からの分泌物が死亡率上昇や産卵数減少などに作用を及ぼすことについては多くの先行研究があり、これらを総説した Simmons and Gurr (2005) は腺毛の存在が天敵節足動物類の生存率や増殖について、不利になることも有利になることもあると述べている。本研究ではこの腺毛分泌物の粘着性が天敵カブリダニの死亡要因となったことから、生存に不利に働いたことを示す一例と言える。

トマト腺毛から分泌される2-tridecanon, 2-undecanon および両成分混合物にスワルスキーカブリダニを浸漬接種しても生存に影響を与えなかった。本研究で与えた濃度の中で、特に、10mg/ml および20mg/ml という濃度はナミハダニに対する LC50値 (2-tridecanon で1.44mg/ml, 2-undecanon で1.84mg/ml, 混合物 で1.26mg/ml) (Chatzivasileiadis and

Sabelis, 1997) と比較すると非常に高い濃度である。このような高濃度で処理したにも関わらず、スワルスキーカブリダニの死亡は確認されなかったことから、2種の成分がスワルスキーカブリダニに対する毒性を示す可能性は低い。ただし、2種の物質が本研究で供した品種「ホーム桃太郎」にどの程度含まれているのかは分っていない。また、本研究で供試した2成分以外に、腺毛分泌物でスワルスキーカブリダニに対して毒性を発揮する成分が存在する可能性もあることから、腺毛分泌物成分の更なる検討が必要である。同時に、スワルスキーカブリダニが、トマト腺毛分泌物に捕えられ、死に至るまでの過程が不明であることから、分泌物の粘着性とスワルスキーカブリダニの行動特性との関係についても更なる調査が必要である。

佐藤ら (2011) は、トマトサビダニが繁殖したトマト植物体では、スワルスキーカブリダニはトマト上に移動し、さらにトマト上で正常に発育したと報告している。これはスワルスキーカブリダニがトマトサビダニを餌として捕食しただけでなく、Royalty and Perring (1998) が示すようにトマトサビダニがトマト植物体表面を加害して毛茸が減少したため、正常に

発育できたものと考察している。本研究の結果から、佐藤ら（2011）の試験でスワルスキーカブリダニがトマトサビダニの繁殖したトマトに定着できたのは、毛茸の中でも特に腺毛の密度が下がっていたためと推測された。

本研究では、植物体上のスワルスキーカブリダニを見落とさないために、実体顕微鏡下に収まるサイズのトマト苗を供試したが、このような苗は極端に毛茸や腺毛密度が高かった可能性がある。今後は実際の現場でのスワルスキーカブリダニの利用を想定し、ハウス内で栽培されているトマトでの放飼実験を実施することも必要と考えられる。

引用文献

- Chatzivasilieiadis, E. A. and M. W. Sabelis (1997) Toxicity of methyl ketones from tomato trichomes to *Tetranychus urticae* Koch. Exp. Appl. Acarol. 21 : 473-477.
- Dennehy, T. J., A. W. Farnham and I. Denholm (1993) The microimmersion bioassay: A novel method for the topical application of pesticides to spider mites. Pestic. Sci. 39 : 47-49.
- Koppert biological systems (2005) *Amblyseius swirskii* predatory mite for horticulture. Edition13. <http://www.allaboutswirskii.com/vegetables/tomato/introduction/> (2012年4月20日アクセス確認)
- 大矢武志・二村友彬 (2010) トマト栽培での活用は想定できるのか？. 第54回応動昆大会講演要旨 : 231 (講要).
- Royalty, R. N. and T. M. Perring (1998) Morphological analysis of damage to tomato leaflets by tomato russet mite (Acari : Eriophyidae). J. Econ. Entomol. 81 : 816-820.
- 佐藤安紀・坂巻祥孝・津田勝男 (2011) トマト上におけるスワルスキーカブリダニの利用の可能性. 九病虫研会報57 : 109-110 (講要).
- Simmons, A. T. and G. M. Gurr (2005) Trichomes of *Lycopersicon* species and their hybrids: effects on pests and natural enemies. Agric. Forest Entomol. 7 : 265-276.
- 田淵俊人・鳥羽啓子・山内史比古・伊藤信二 (2002) トマト近縁野生種, *Lycopersicon* (*Solanum*) *pennellii* の葉におけるタイプ I V の腺毛の形態的特徴と分布密度の系統間差. 園学雑 別冊71 (1) : 106 (講要).
- 高田裕司・柏尾具俊 (2004) カンザワハダニを餌とした場合のミヤコカブリダニの生物特性とイチゴでの放飼効果. 九病虫研会報50 : 49-54.
(2012年4月29日受領, 7月20日受理)