露地栽培カンキツの IPM における天敵利用の現状と課題

増井 伸一^{*}・片山 晴喜[†]・金子 修治[‡]

静岡県農林技術研究所果樹研究センター

Status and Use of Biological Control of Insect Pests in Citrus IPM. Shinichi MASUI,^{*} Haruki KATAYAMA^{††} and Shuji KANEKO^{‡‡} Fruit Tree Research Center, Shizuoka Research Institute of Agriculture and Forestry, Mobata, Shimizu-ku, Shizuoka 424-0101, Japan. *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* 62: 137–148 (2018)

Abstract: We summarize the status of the biological control of insect pests in citrus IPM in Japan. Classical biological control against exotic insect pests was used from the 1910s to 1980s. And some species of introduced natural enemies have been maintaining pests at below the economic threshold in the present citrus cultivation. However, the late 1990s, conservation biological control of the citrus red mite *Panonychus citri* (McGregor), with severe pesticide resistance was investigated. As a result, acaricide applications were reduced by two or three times by the late 2000s through insecticide selectivity and cover cropping to maintain the habitat for natural enemies. We also discuss the issues of biological control for the establishment of citrus IPM.

Key words: Citrus; IPM; classical biological control; conservation biological control

はじめに

カンキツ類の栽培は赤道から北緯または南緯 35°付近の範囲で広く行われている (Burke, 1967). わが国で栽培面積の 60% 以上を占めるウンシュウミカン *Citrus unshiu* (Swingle) Marcow. は 1600 年代以前のわが国に起源を持つと考えられている (Hodgson, 1967; Fujii et al., 2016). ウンシュウミカンをはじめとするカンキツ類の栽培は明治時代に本格化し, 海外からの苗木の導入も行われた (古橋・西野, 1984). これに伴って, 明治中期にミカントゲコナジラミ *Aleurocanthus spiniferus* (Quaintance), 1897 年にルビーロウムシ *Ceroplastes rubens* Maskell, 1907 年にヤノネカイガラムシ *Unaspis yanonensis* (Kuwana), 1911 年にイセリヤカイガラムシ *Icerya purchasi* Maskell など, 侵入害虫の発生が確認され, 大きな問題となった (Yasumatsu and Tachikawa, 1949; 古橋・西野, 1994; 古橋, 2010; 上杉・佐藤, 2011). これらの害虫は, 明治から昭和時代にかけて海外から導入された天敵により, 現在は密度が低く抑えられている.

第二次大戦後に化学合成殺虫剤の開発や使用が進み, 農

業の生産性向上に大きく貢献した. その一方で, 害虫の薬剤抵抗性発達, 潜在害虫の害虫化や誘導多発生などの問題を引き起こした (中筋, 2008). このような課題を解決するために 1965 年の国連食料農業機関 (Food and Agriculture Organization of the United Nations; FAO) による提言に基づき, 総合的害虫管理 (Integrated Pest Management; IPM) の概念が構築されていった (桐谷ら, 1971; 中筋, 2008). IPM はわが国の施策にも取り上げられ, 生産現場でも実践されている. カンキツ類の栽培では, 特にミカンハダニ *Panonychus citri* (McGregor) の薬剤抵抗性の問題 (井上, 1986 など) が深刻化するとともに, 化学合成農薬の使用により天敵の活動が抑制されて起こるミカンハダニの誘導多発生の問題も顕在化した (古橋・森本, 1989). これを受けて, 1990 年代後半からミカンハダニに対する土着天敵の活用が検討された.

このように, わが国におけるカンキツ類の栽培の歴史の中で, 各時代の社会情勢や導入技術を背景にした害虫が問題となり, その対策が検討されてきた. その結果, 静岡県内では, JA 静岡経済連が作成しているウンシュウミカンの防除暦において, 主要害虫に対する殺虫剤使用回数は約

^{*}E-mail: shinichi1_masui@pref.shizuoka.lg.jp

[†]現在 静岡県農林技術研究所

[‡]現在 大阪府立環境農林水産総合研究所

^{††}Present address: Shizuoka Research Institute of Agriculture and Forestry, Tomigaoka, Iwata, Shizuoka 438-0803, Japan.

^{‡‡}Present address: Research Institute of Environment, Agriculture and Fisheries, Osaka Prefecture, Habikino, Osaka 583-0862, Japan.

2018 年 5 月 8 日受領 (Received 8 May 2018)

2018 年 6 月 19 日登載決定 (Accepted 19 June 2018)

DOI: 10.1303/jjaez.2018.137

Table 1. Annual changes in pesticide application in the pest control program of satsuma mandarin in Shizuoka prefecture (Modified from Masui, 2011)

Pesticides for pests	Times of pesticide application/year						
	1969	1978	1985	1995	2003	2009	2017
Organosynthetic pesticide							
<i>Unapsis yanonensis</i>	2	1	1	0	0	0	0
<i>Panonychus citri</i>	4	3	3	3	2	1	1
<i>Scirtothrips dorsalis</i> ^a	0	0 (4)	2 (2)	3 (1)	4	4	4
Petroleum oil							
<i>U. yanonensis</i> and/or <i>P. citri</i>	1	2	2	2	2	1	1

^a Numbers in parentheses indicate the times of fungicide application for controlling both *S. dorsalis* and citrus melanose *Diaporthe citri* Wolf.

50年間でTable 1のように変遷している。すなわち、1970年代以降になると園外から飛来するチャノキイロアザミウマ *Scirtothrips dorsalis* Hood を対象とする薬剤の散布回数が多くなった一方で、1990年代以降はヤノネカイガラムシなどのカイガラムシ類を対象とする殺虫剤、2000年代以降はミカンハダニを対象とする殺ダニ剤の使用回数が減少した(増井, 2011)。

本稿では、これらの害虫対策の中で、海外からの天敵導入の経過とともに、薬剤抵抗性が発達した害虫類の対策としての土着天敵利用法の研究の現状や課題を静岡県での例を中心に述べる。なお、ここで紹介する研究成果の一部は、農林水産省委託プロジェクト研究「環境負荷低減のための病害虫群高度管理技術の開発」(2000～2003年度)、「生物機能を活用した環境負荷低減技術の開発」(2004～2008年度)、「農業に有用な生物多様性の指標及び評価手法の開発」(2008～2011年度)、「土着天敵を有効活用した害虫防除システムの開発」(2012～2015年度)、および実用技術開発事業「永年性作物における農業に有用な生物の多様性を維持する管理技術開発」(2009～2011年度)の支援を受けた。

導入天敵の利用

1. 侵入害虫を対象とした捕食者と捕食寄生者の利用

イセリヤカイガラムシに対して1911年に台湾からベダリアテントウ *Rodolia cardinalis* (Mulsant) が、ミカントゲコナジラミに対しては1925年に中国からシルベストリコバチ *Encarsia smithi* (Silvestri) が導入され、増殖配布が行われた。現在、これら2種の害虫は局所的な発生にとどまり、被害はほとんど発生していない(古橋, 2010; Uesugi et al., 2016)。ルビーロウムシに対しても、1946年に九州で中国原産と考えられるルビーアカヤドリコバチ *Anicetus beneficus* Ishii et Yasumatsu が発見、利用され(Yasumatsu and Tachikawa, 1949)、密度が低く維持されている。

ヤノネカイガラムシは1907年に長崎県で発見され、1940年頃までに全国のカンキツ産地に分布を拡大し、最重要害虫となった。土着の捕食者(中尾・大串, 1976;

Nakao et al., 1977) や捕食寄生者(Murakami, 1974) が存在するが、ヤノネカイガラムシに対する密度抑制能力は十分ではない。本種には原産地である中国に有力な天敵が存在すると推測されていたが、わが国との間に国交がなかったことから、長い間、調査は不可能であった。1955年に米国カリフォルニア州から、1973年以降に香港から寄生蜂 *Aphytis lingnanensis* Compere の導入が行われたが(西田・柳井, 1956; 井上・田中, 1977; Tanaka and Inoue, 1977)、露地越冬できない(田中・井上, 1975)ため、定着しなかった。1972年の日中国交正常化後の2国間の交流を経て、中国政府から天敵の探索や採集が許可された。1980年に中国国務院の協力のもと、静岡県柑橘害虫天敵利用技術交流団が四川省などのカンキツ園で2種の寄生蜂を採集し、導入に成功した(西野・高木, 1981)。外部寄生するヤノネキイロコバチ *Aphytis yanonensis* DeBach et Rosen と内部寄生のヤノネツヤコバチ *Coccobius fulvus* (Compere et Annecke) は放飼されたカンキツ園に定着し、ヤノネカイガラムシの密度抑制能力が高いことが確認された(Furuhashi and Nishino, 1983; 高木, 1983)。2種の寄生蜂の生態に関する研究とともに、国庫事業による増殖配布が行われ、全国のカンキツ園で定着が確認されている(氏家ら, 1988; 古橋・西野, 1994)。この結果、静岡県ではそれまでマシン油を含め年間3回行われてきた本種を対象とした殺虫剤散布は1990年代以降には1～2回にまで削減された(Table 1)。ヤノネカイガラムシの生活史パラメーターを組み込んだシミュレーションによると、次世代産子数減少に有効な冬季のマシン油散布(大串ら, 1977)と2種の寄生蜂保護とを組み合わせることで、ヤノネカイガラムシ密度を安定して低く維持できることが示唆されている(Adachi and Korenaga, 1992)。

ここまで述べてきた導入天敵により、対象害虫の密度を低く維持しているが、過去には影響の強い有機塩素系殺虫剤の使用により導入天敵が減少した結果、対象害虫が増加した事例もある(古橋, 2013)。したがって、導入天敵の効果を持続させるためには、天敵への影響のない殺虫剤を

Fig. 1. Compatibility of pesticide applications with natural enemy conservation in citrus IPM. Although diverse natural enemies are effective in controlling resident insect pests, e.g., *P. citri* and *U. yanonensis*, it is necessary to apply pesticides for migrant insect pests such as *S. dorsalis* and *Plautia crossota stali*. A: *Neoseiulus californicus*, B: *Holobus* spp., C: *Stethorus* spp., D: *Aphytis yanonensis*, E: *Coccobius fulvus*. Scale bars: 1 mm.

選抜する課題が残されている (Fig. 1).

2. 在来害虫を対象とした捕食者の利用と非対象種への影響

コナカイガラムシ類の天敵として知られているオーストラリア原産のツマアカオオヒメテントウ *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant が 1931 年と 1979 年に米国ハワイ州やカリフォルニア州から本州に導入されたが、低温耐性が弱く定着できないとされてきた。ところが、1999～2000 年に大阪府で、2001 年に静岡県露地カンキツ園で定着が確認されている (古橋・伏見, 2001; Ohashi, 2001)。本種は有機栽培園などで導入当初の防除対象ではないミカンワタカイガラムシ *Chloropulvinaria aurantii* (Cockerell) の幼虫を捕食していることも確認されている (Kaneko, 2017)。また、中国などに分布するアブラムシ捕食性のモンクチビルテントウ *Platynaspidius maculosus* (Weise) が沖縄や九州における発生を経て、静岡県でも確認された (Kaneko, 2013)。本種は国内ではアリが随伴するユキヤナギアブラムシ *Aphis spiraeicola* Patch などを捕食し、これを利用する土着天敵とニッチが重なることから、これらの天敵類への影響が懸念されている (Kaneko, 2018)。このように、食性が比較的広い捕食者については、有効性の評価とともに非対象種への影響評価が必要と考えられる。

土着天敵を利用した在来害虫の密度管理

1. ミカンハダニを対象とした天敵の利用

(1) 土着天敵利用の意義

ミカンハダニは高い繁殖能力 (Saito, 1978; 安田, 1982) と薬剤抵抗性発達 (井上, 1986; 古橋, 1994; 口木・村岡, 1996 など) により、カンキツの難防除害虫に位置付けられる。本種の要防除密度 (Matsunaga and Nishino, 1981; 大久保, 1983 など) や園内密度の樹間変動 (古橋・西野, 1980) に関する知見をもとに、静岡県内では 1990 年代まで年間 1～2 回のマシン油に加え 3～4 回の化学合成殺ダニ剤の散布が行われてきた (Table 1)。このような高頻度の殺ダニ剤散布は薬剤抵抗性発達の要因と考えられる (古橋, 1994; 山本ら, 1995) ことから、殺ダニ剤のみに依存しない防除対策、すなわち、殺ダニ剤抵抗性対策としての土着天敵の活用が求められていた。その後、生産現場では土着天敵の利用を進めた結果、2000 年代後半までに化学合成殺ダニ剤の使用が年間 1 回に削減されている (Table 1)。

(2) ミカンハダニの要防除密度と土着天敵の利用場面

ミカンハダニによるカンキツの被害は果実と葉に分けられる。果実では、着色期にあたる秋季の吸汁加害により直接的被害である着色不良を生じることから、要防除水準は

葉あたり雌成虫1頭 (Matsunaga and Nishino, 1981) と低く、着色直前に殺ダニ剤散布が不可欠である。一方、葉では、本種の加害による光合成速度の低下 (金子ら, 2013) や旧葉の落葉助長 (大久保, 1983) が知られており、春～夏季における葉の被害許容水準や要防除密度が議論されてきた (内田ら, 1966; 松尾・関, 1976; 土屋, 2003 など)。果実品質や生産性を維持するためにはミカンハダニによる葉の被害指数 (森, 1964) を 60 以下にする必要があり、葉あたりの雌成虫 3.4～3.7 頭 (大久保, 1983; 金子ら, 2013)、または 4.5 頭 (Matsunaga and Nishino, 1981) が要防除密度である。したがって、土着天敵の利用技術は主に夏季を対象として、ミカンハダニを要防除密度以下に管理することが目標となる。

(3) 土着天敵発生の実態と経過

ミカンハダニには、ケシハネカクシ類 *Holobus* spp., ダニヒメテントウ類 *Stethorus* spp., ニセラーゴカブリダニ *Amblyseius eharai* Amitai et Swirski, コウズケカブリダニ *Euseius sojaensis* (Ehara) など多様な土着天敵が存在する (森, 1964; 浜村ら, 1984; 下田・芦原, 1996; 大西ら, 2003; 金尾ら, 2016 など)。しかし、これらの土着天敵は薬剤散布の影響を受けやすく (森, 1964; 柏尾・田中, 1979; 柏尾, 1983; 行徳・柏尾, 1990; 大西ら, 2003 など)、積極的に利用はされてこなかった。一方、1980 年代後半に顕在化した合成ピレスロイド剤によるミカンハダニの誘導多発生 (古橋・森本, 1989) は、土着天敵の有用性を示している。このため、1990 年代以降のカイガラムシ類を対象とした有機リン剤散布頻度の低下や、移動性害虫を対象とした合成ピレスロイド剤からネオニコチノイド剤への移行を背景 (土屋, 2005b) に、ミカンハダニに対する土着天敵の利用が検討された。その結果、静岡県内の慣行の殺菌剤や殺虫剤の散布条件下で殺ダニ剤の使用回数が半減すると、7～8 月のミカンハダニの一時的増加に同調する土着天敵によってミカンハダニ密度が急速に低下する事例が得られた (土屋, 2005a)。同一地域で継続して行われた研究により、ミヤコカブリダニ *Neoseiulus californicus* (McGregor) が安定して発生していることが初めて明らかになった (Katayama et al., 2006)。また、ミヤコカブリダニはナミハダニ *Tetranychus urticae* Koch と同様にミカンハダニを餌にして繁殖し、ミカンハダニの密度抑制に有効であることも明らかになっている (Katayama et al., 2006)。本種は、同時期に全国のカンキツ園でも発生が確認されている (大西ら, 2006; 岸本ら, 2007)。

一方、静岡県内では従来から知られていたダニヒメテントウ類やケシハネカクシ類などの捕食性昆虫類が主体となる地域も存在し、種構成には地域差が見られている (増井ら, 2018)。現地の 30 園における調査から、ダニヒメテントウ類はミカンハダニが比較的低密度な時から働き、ダニ

ヒメテントウ類が見られないカンキツ園ではミカンハダニの増加に同調してミヤコカブリダニの密度が上昇することが示されている (増井ら, 2018)。また、カブリダニ類の食性に基づく分類 (McMurtry and Croft, 1997) におけるタイプ III (広食性捕食者) のニセラーゴカブリダニとタイプ IV (花粉食の広食性捕食者) のコウズケカブリダニはともにミカンハダニが低密度の時から働くことから (森, 1964; Tanaka and Kashio, 1977; Osakabe et al., 1987; 大西ら, 2003)、ミカンハダニの発生が増減する過程における土着天敵の種構成は時間的にも変動すると考えられる。

(4) 農薬からの土着天敵の保護

複数種の害虫の防除と土着天敵保護を両立するには、一般に殺虫剤に替わる防除法の採用、天敵に影響がある時期の殺虫剤の使用回避、影響のない薬剤の選択 (Ruberson et al., 1998; Johnson and Tabashnik, 1999) などが必要となる。カンキツ園外で繁殖し飛来する果樹カメムシ類 (堤, 2001) やチャノキイロアザミウマ (Masui, 2007) などの防除には飛来時期の殺虫剤散布が必要であり、これらの防除適期とミカンハダニの土着天敵の活動時期が重なることから、土着天敵への影響が小さい殺虫剤を選抜する必要がある (Fig. 1)。

ミカンハダニの土着天敵に対する各種農薬の影響については、慣行防除園で主要種であるダニヒメテントウ類 (Mori and Gotoh, 2001; 増井, 2010b)、ケシハネカクシ類 (行徳・柏尾, 1990)、ミヤコカブリダニ (Amano et al., 2004; 片山ら, 2012) において調査されている。さらに、天敵の発生種が異なる 2 地域のカンキツ園で天敵への影響が異なる数種の殺虫剤を散布し、ミカンハダニの発生に及ぼす影響も検証されている (増井, 2018b)。したがって、地域ごとの土着天敵の発生実態に合わせて薬剤を選択することにより、農薬の影響を最小限にとどめることが可能である。

農薬の使用を低減したカンキツ園で発生するニセラーゴカブリダニやコウズケカブリダニに対しても各種農薬の影響が明らかにされている (岸本ら, 2018)。これらのカブリダニ類はニセラーゴカブリダニ (柏尾・田中, 1979) で知られているようにカンキツ黒点病 *Diaporthe citri* Wolf の主要防除薬剤であるジチオカーバメート系殺菌剤に対する感受性が高いことから、その利用には殺菌剤の体系を含め検討する必要がある。

飛来性害虫であるチャノキイロアザミウマに対しては各世代に対応して多数回の殺虫剤散布が必要 (増井, 2009) である一方で、光反射シートマルチの利用や炭酸カルシウム微粉末剤の散布により本種を対象とした殺虫剤散布を低減できる (多々良, 1992; 土屋ら, 1995a, c; 金子, 2012)。これらの防除法はシートまたは炭酸カルシウムを散布したカンキツ樹体表面からの反射光により、チャノキイロアザ

Fig. 2. Sod culture (A) with *Vulpia myuros* to accelerate the occurrence of *N. californicus* on citrus trees and conventional clean cultivation (B). *Vulpia myuros* are sowed in September and overwintered in the grass stage. The grass withers and becomes straw-like in June.

ミウマの視覚を介して行動に影響を与える結果、カンキツ樹における密度が低下することによって考えられる(土屋ら, 1995b; 貴志ら, 2014)。これらの防除法の採用により、殺虫剤の使用を削減することでミカンハダニの土着天敵が保護される可能性はあるが、土着天敵に対する影響を詳しく評価する課題が残されている。

(5) 植生の活用による土着天敵の効果の安定化

農生態系において土着天敵の効果の安定化させるための方法として、植生管理などにより代替餌や生息場所を提供し、土着天敵の密度を維持・上昇させる対策が挙げられる(Häni et al., 1998; Nyrop et al., 1998; Letourneau and Altieri, 1999)。

多くの慣行防除園で主要種となっているミヤコカブリダニは下草で越冬する(Kawashima and Jung, 2010)。このため、園地内や周辺の環境条件によっては夏季のカンキツ樹上における発生が遅れ、ミカンハダニの密度抑制効果が不安定になる可能性がある。イネ科のナギナタガヤ *Vulpia myuros* (L.) C. C. Gmel. により秋から翌年の初夏にかけて草生栽培 (Fig. 2) を行うと、園内におけるミヤコカブリダニの越冬密度が高まり、初夏のカンキツ樹上における発生時期を早め(片山ら, 2017)、ミカンハダニの密度抑制効果が安定化する事例が報告されている(片山ら, 2018)。海外のリンゴ *Malus pumila* Mill. 園では、本種が春にイネ科の下草に生息すること(Raworth et al., 1994)やトウモロコシ *Zea mays* L. などの花粉で发育、産卵が可能なこと(Kishimoto et al., 2014)が報告されており、ナギナタガヤが出穂する5月に本草生上で繁殖している可能性がある。本草生栽培はカンキツ園における土壌や肥料成分の流亡防止(吉川・高橋, 2005; 山家ら, 2008)を目的に導入され、6月には枯死して敷き藁状となるため、果実品質への影響は小さいことが確認されている。なお、ミヤコカブリダニはカンキツ園で自然発生する雑草でも確認されるが密度は低く、周辺の樹木にはほとんど見られない(増井・片山,

2017)。

ダニヒメテントウ類は主に静岡県東部のカンキツ園で、ミカンハダニが比較的低密度な時期から発生する(増井ら, 2018)。本種は狭食性のハダニ捕食者であるとともに、餌要求量が多い(Kishimoto, 2003; Gotoh et al., 2004)ことから、カンキツ園と周辺植生の間を移動しながら世代交代している可能性がある。ダニヒメテントウ類の主要種であるハダニクロヒメテントウ *Stethorus pusillus* (Herbst) やキアシクロヒメテントウ *Stethorus japonicus* H. Kamiya はカンキツなどの果樹の他に、キンモクセイ *Osmanthus fragrans* Lour. var. *aurantiacus* Makino, サクラ類 *Prunus* spp., ナナカマド *Sorbus commixta* Hedl., クズ *Pueraria lobata* (Willd.) Ohwi などから採集されている(岸本・北野, 2017)。カンキツ園の防風垣に各種の捕食性昆虫類が生息している知見(井上ら, 1991; 下田・芦原, 1996)もあり、周辺植生がカンキツ園における天敵の発生にどのような影響を与えるのか解明する必要がある。

(6) 土着天敵の利用を前提とした殺ダニ剤の散布適期

非休眠性のミカンハダニは樹上で越冬し、春季の早い時期に増殖を開始する。一方で、ミヤコカブリダニはカンキツ樹上での発生が5月以降になる(片山ら, 2017)ことから、本種が主体のカンキツ園でミカンハダニを要防除密度以下に管理するためには冬季～4月にマシン油乳剤を散布し、越冬密度を低下させる必要がある。夏季はミカンハダニの発生に同調してミヤコカブリダニが増加することから、この間は殺ダニ剤の削減が可能で、4月のマシン油と果実着色期前にあたる9月の化学合成殺ダニ剤の合計2回を基本とする防除でミカンハダニの密度管理が可能である(増井, 2018a)。

ダニヒメテントウ類が発生する地域では合成ピレスロイド剤が使用されなくなった1990年代後半からミカンハダニ密度が低下し、2000年以降は秋季の発生がほとんど見られなくなった(増井・池田, 2003)。その結果、越冬密

度が低く維持され8月を中心とする一山型の発生となっている。この地域における現地実証試験では、6月のマシン油と9月の化学合成殺ダニ剤の合計2回の散布でミカンハダニを要防除密度以下に管理できることが示唆されている(増井, 2018a)。

2. ミカンサビダニを対象とした天敵利用の可能性

ミカンサビダニ *Aculops pelekassi* (Keifer) はこれまでカンキツ黒点病防除で散布されるジチオカーバメート系殺菌剤により密度が低く維持されてきたが、本剤に対する抵抗性(渠ら, 1997)が一因となって被害が拡大している。本剤抵抗性の個体群に対して有効な薬剤(土田・増井, 2018)にはミカンハダニの土着天敵に影響の強い薬剤も含まれることから、本種の防除を薬剤のみに依存するとミカンハダニに対する土着天敵の利用が困難になる可能性がある。

フシダニ類の天敵として、カブリダニ類(Sabelis, 1996)、ナガヒシダニ類(Thistlewood et al., 1996)、捕食性昆虫類(Perring and McMurtry, 1996)、病原性糸状菌(McCoy, 1996)などが知られているが、病原性糸状菌 *Hirsutella thompsonii* Fisherを除きミカンサビダニに対する有効性は明らかでない(芦原, 2001)。モモサビダニ *Aculus fockeui* (Nalepa et Trouessart) の密度抑制にニセラーゴカブリダニとコウズケカブリダニが重要な役割を果たしている(Kondo and Hiramatsu, 1999)が、これら2種のカブリダニ類はミカンサビダニを餌にした場合、幼若虫が発育しないか発育が悪く、雌成虫の産卵数が少なくなる(Kishimoto, 2014)。一方、広食性である2種のカブリダニ類はチャ *Camellia sinensis* (L.) Kuntze などの花粉やスジコナマダラメイガ *Ephestia kuehniella* Zeller の冷凍卵で繁殖が可能であり(Kishimoto et al., 2014; Kishimoto, 2015)、野外でも果樹園内に飛散したアカマツ *Pinus densiflora* Siebold et Zucc. やメヒシバ *Digitaria ciliaris* (Retz.) Koeler の花粉を摂食している(Wari et al., 2016)。したがって、代替餌の供給を組み合わせたカブリダニ類の利用について検討する余地が残されている。なお、これら2種のカブリダニ類はカンキツ園とその周辺の防風垣や樹木に広く生息している(増井・片山, 2017)。

3. チャノキイロアザミウマを対象とした天敵利用の可能性

チャノキイロアザミウマは1960年代後半にカンキツの害虫として初めて認識され、1970年代以降は最も防除頻度の高い害虫となった(Table 1)が、害虫化の原因は未解明である。本種はブドウ *Vitis* spp. やチャで採集された個体群で薬剤による殺虫効果が低下した報告があり(柴尾・田中, 2008; 小杉・芳賀, 2013)、チャ園などカンキツ園外の植物で繁殖した個体がカンキツ園に飛来している(Masui, 2007)ことから、カンキツでも殺虫剤による防除効果の低下が懸念されている。

アザミウマ類の天敵には多種の昆虫類やダニ類が知られており(Sabelis and Van Rijn, 1997)、海外ではカンキツ類を加害する *Scirtothrips* 属の密度抑制に *Euseius* 属のカブリダニ類が有効とされている(Tanigoshi et al., 1985; Grout and Richards, 1992; Grafton-Cardwell and Ouyang, 1995)。わが国では本種の天敵としてコウズケカブリダニ(Shibao et al., 2004)、ニセラーゴカブリダニ(多々良, 1995)、アザミウマタマゴバチ *Megaphragma* sp. (高梨ら, 1996; Shibao et al., 2000)などが知られている。また、カンキツ園の防風垣のイヌマキ *Podocarpus macrophyllus* (Thunb.) Sweet f. *spontaneus* H. Ohba et S. Akiyama におけるチャノキイロアザミウマ密度に地域差が認められ、地域間で上記2種のカブリダニ密度が異なることが報告されている(増井, 2010a)。しかし、これらの天敵類と関連付けたチャノキイロアザミウマの密度変動のメカニズムは明らかにされておらず、解明が望まれる。

おわりに

カンキツにおける侵入害虫に対する導入天敵の利用とともに、薬剤抵抗性が発達した在来害虫類の管理手段としての土着天敵の利用技術について、静岡県における成功例を中心に研究の経過や課題を述べてきた。これらの天敵を利用した害虫管理を安定的で持続的なものとし、広く普及するためには、多様な病害虫の防除に必要な薬剤散布などの技術との調和を図るとともに、利用可能な天敵種を増やしていく必要がある。さらに、関東から西南暖地に立地するカンキツ産地の地域ごとに病害虫の発生状況に応じた防除体系の構築が必要である。また、植生などを利用して天敵の繁殖や密度維持を助ける技術についてはカンキツでは研究事例が少なく、今後充実化を図るべき研究分野と言える。一方、これらの技術をIPMの要素技術として生産現場で活用するためには経済的合理性が確保された形で組み立てる必要がある。さらに、土着天敵の利用については、薬剤散布削減による害虫の薬剤抵抗性発達回避の効果についても検証が必要である。

引用文献

- Adachi, I. and R. Korenaga (1992) A simulation model for the arrowhead scale (Hemiptera: Diaspididae) population dynamics on citrus trees in relation to pest-management programs. *Res. Popul. Ecol.* 34: 155–171.
- Amano, H., Y. Ishii and Y. Kobori (2004) Pesticide susceptibility of two dominant phytoseiid mites, *Neoseiulus californicus* and *N. womersleyi*, in conventional Japanese fruit orchards (Gamasina: Phytoseiidae). *J. Acarol. Soc. Jpn.* 13: 65–70.
- 芦原 亘 (2001) ミカンサビダニの生態と防除. 植物防疫 55: 367–370. [Ashihara, W. (2001) Biology and control of the pink citrus rust mite, *Aculops pelekassi*. *Plant Prot.* 55: 367–370.]

- Burke, J. H. (1967) The commercial citrus regions of the world, Chapter 2. In *The Citrus Industry*. Vol. 1 (W. Reuther, H. J. Webber and L. D. Batchelor, eds.). University of California Press, Berkeley, pp. 40–189.
- Fujii, H., S. Ohta, K. Nonaka, Y. Katayose, T. Matsumoto, T. Endo, T. Yoshioka, M. Omura and T. Shimada (2016) Parental diagnosis of satsuma mandarin (*Citrus unshiu* Marc.) revealed by nuclear and cytoplasmic markers. *Breed. Sci.* 66: 683–691.
- 古橋嘉一 (1994) 静岡県におけるミカンハダニの薬剤抵抗性. 関東病虫研報 41: 267–269. [Furuhashi, K. (1994) Development of acaricide resistance in the citrus red mite, *Panonychus citri* (McGregor), in Shizuoka prefecture. *Proc. Kanto Pl. Prot. Soc.* 41: 267–269.]
- 古橋嘉一 (2010) ベダリアテントウムシの導入から百年. 植物防疫 64: 319–324. [Furuhashi, K. (2010) On the one hundred years of vedalia beetle in Japan. *Plant Prot.* 64: 319–324.]
- 古橋嘉一 (2013) 導入天敵の歴史的経過とその意義. 植物防疫 67: 313–319. [Furuhashi, K. (2013) The history and an evaluation of introduced natural enemy in Japan. *Plant Prot.* 67: 313–319.]
- 古橋嘉一・伏見典晃 (2001) コナカイガラムシの天敵ツマアカオテントウムシ (*Cryptolaemus montrouzieri*) の静岡県における定着. 植物防疫 55: 572–573. [Furuhashi, K. and N. Fushimi (2001) The establishment of natural enemy, *Cryptolaemus montrouzieri* of Melybugs in Shizuoka prefecture. *Plant Prot.* 55: 572–573.]
- 古橋嘉一・森本輝一 (1989) ハダニ類の合成ピレスロイド剤によるリサージェンスと防止対策. 植物防疫 43: 375–379. [Furuhashi, K. and K. Morimoto (1989) Resurgence of citrus red mite, *Panonychus citri* McGregor by synthetic pyrethroids and its prevention methods. *Plant Prot.* 43: 375–379.]
- 古橋嘉一・西野 操 (1980) ミカンハダニの簡易密度推定法. 静岡柑試報 16: 13–20. [Furuhashi, K. and M. Nishino (1980) Simple density-estimation methods for citrus red mite, *Panonychus citri* McGregor in citrus orchards. *Bull. Shizuoka Citrus Exp. Stn.* 16: 13–20.]
- Furuhashi, K. and M. Nishino (1983) Biological control of arrowhead scale, *Unaspis yanonensis*, by parasitic wasps introduced from the People's Republic of China. *Entomophaga* 28: 277–286.
- 古橋嘉一・西野 操 (1984) ヤノネカイガラムシの導入天敵とその防除効果. 植物防疫 38: 258–262. [Furuhashi, K. and M. Nishino (1984) Introduced natural enemies of the arrowhead scale, *Unaspis yanonensis* Kuwana, and its control effect. *Plant Prot.* 38: 258–262.]
- 古橋嘉一・西野 操 (1994) 中国からの導入天敵によるヤノネカイガラムシの生物的防除法に関する研究. 静岡柑試報 6: 1–65. [Furuhashi, K. and M. Nishino (1994) Biological control of arrowhead scale *Unaspis yanonensis* Kuwana by natural enemies introduced from the People's Republic of China. *Spec. Bull. Shizuoka Citrus Exp. Stn.* 6: 1–65.]
- Gotoh, T., M. Nozawa and K. Yamaguchi (2004) Prey consumption and functional response of three acarophagous species to eggs of the two-spotted spider mite in the laboratory. *Appl. Entomol. Zool.* 39: 97–105.
- Grafton-Cardwell, E. E. and Y. Ouyang (1995) Augmentation of *Euseius tularensis* (Acari: Phytoseiidae) in citrus. *Environ. Entomol.* 24: 738–747.
- Grout, T. G. and G. I. Richards (1992) *Euseius addoensis addoensis*, an effective predator of citrus thrips, *Scirtothrips aurantii*, in the eastern Cape Province of South Africa. *Exp. Appl. Acarol.* 15: 1–13.
- 行徳 裕・柏尾具俊 (1990) ケシハネカクシ類成虫に対する農薬の影響. 九病虫研会報 36: 155–159. [Gyoutoku, Y. and T. Kashio (1990) Toxicity of pesticides on the *Oligota* spp. (Coleoptera: Staphylinidae). *Proc. Assoc. Pl. Prot. Kyushu* 36: 155–159.]
- 浜村徹三・芦原 亘・井上晃一・真梶徳純 (1984) 新植ウンシュウミカン園の薬剤散布・無散布区における害虫及び天敵相と樹の生育. 果樹試報 E5: 77–106. [Hamamura, T., W. Ashihara, K. Inoue and N. Shinkaji (1984) Annual and seasonal changes of the arthropod fauna and growth of tree in newly planted Satsuma mandarin groves treated and untreated with pesticides during nine years. *Bull. Fruit Tree Res. Stn.* E5: 77–106.]
- Häni, F. J., E. F. Boller and S. Keller (1998) Natural regulation at the farm level. In *Enhancing Biological Control* (C. H. Pickett and R. L. Bugg, eds.). University of California Press, Berkeley, pp. 161–210.
- Hodgson, R. W. (1967) Horticultural varieties of citrus, Chapter 4. In *The Citrus Industry*. Vol. 1 (W. Reuther, H. J. Webber and L. D. Batchelor, eds.). University of California Press, Berkeley, pp. 431–611.
- 井上晃一 (1986) ミカンハダニの薬剤抵抗性の遺伝的特性に関する研究. 果樹試報 E6: 117–180. [Inoue, K. (1986) Studies on resistance to acaricides in the citrus red mite, *Panonychus citri* (McGregor), in relation to population genetics. *Bull. Fruit Tree Res. Stn.* E6: 117–180.]
- 井上晃一・田中 学 (1977) ヤノネカイガラムシの導入天敵 *Aphytis lingnanensis* Compere の生態的特性. 果樹試報 D1: 87–97. [Inoue, K. and M. Tanaka (1977) Ecological characteristics of *Aphytis lingnanensis* Compere introduced from Hong Kong to Japan as a control agent of the arrowhead scale, *Unaspis yanonensis* (Kuwana). *Bull. Fruit Tree Res. Stn.* D1: 87–97.]
- 井上晃一・芦原 亘・刑部正博・浜村徹三 (1991) 果樹用防風樹における天敵相. 応動昆 35: 49–56. [Inoue, K., W. Ashihara, M. Osakabe and T. Hamamura (1991) Predator fauna on windbreaks around citrus groves. *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* 35: 49–56.]
- Johnson, M. W. and B. E. Tabashnik (1999) Enhanced biological control through pesticide selectivity. In *Handbook of Biological Control* (T. S. Bellows and T. W. Fisher, eds.). Academic Press, San Diego, pp. 297–317.
- 金尾太輔・丸山宗利・大野 豪 (2016) ハダニを専食する *Holobus* 属ハネカクシの分類学的知見と種の識別. 植物防疫 70: 742–745. [Kanao, T., M. Maruyama and S. Ohno (2016) Taxonomy and species identification of acarivorous rove beetles, *Holobus* species in Japan. *Plant Prot.* 70: 742–745.]
- 金子修治 (2012) 温州ミカンにおける炭酸カルシウム微粉末剤を用いたチャノキイロアザミウマ防除技術. 植物防疫 66: 629–633. [Kaneko, S. (2012) Control of *Scirtothrips dorsalis* by applying calcium carbonate micro powder on mandarin orange

- trees. *Plant Prot.* 66: 629–633.]
- Kaneko, S. (2013) Occurrence of the exotic predatory ladybird *Platynaspidium maculosus* (Coleoptera: Coccinellidae) in citrus groves in Shizuoka City, central Japan: seasonal prevalence of adults captured on sticky traps. *Appl. Entomol. Zool.* 48: 189–194.
- Kaneko, S. (2017) Establishment and yearly/seasonal occurrence of the exotic coccidophagous ladybird *Cryptolaemus montrouzieri* (Coleoptera: Coccinellidae) in citrus groves in Shizuoka City, central Japan: a 5-year survey on adult numbers. *Appl. Entomol. Zool.* 52: 231–240.
- Kaneko, S. (2018) Larvae of the exotic predatory ladybird *Platynaspidium maculosus* (Coleoptera: Coccinellidae) on citrus trees: prey aphid species and behavioral interactions with aphid-attending ants in Japan. *Appl. Entomol. Zool.* 53: 85–91.
- 金子修治・吉川公規・杉山泰之 (2013) ミカンハダニの夏季の多発生が温州ミカンの樹体生育と果実品質に及ぼす影響. 植物防疫 67: 441–444. [Kaneko, S., K. Yoshikawa and Y. Sugiyama (2013) Impact of outbreak of *Panonychus citri* during summer on tree growth and fruit quality of satsuma mandarin. *Plant Prot.* 67: 441–444.]
- 柏尾具俊 (1983) ニセラーゴカブリダニに対する殺虫剤・殺ダニ剤の影響. 果樹試報 D5: 83–92. [Kashio, T. (1983) Toxicity of certain insecticides and acaricides toward *Amblyseius eharai* Amitai et Swirski (Acarina: Phytoseiidae). *Bull. Fruit Tree Res. Stn.* D5: 83–92.]
- 柏尾具俊・田中 学 (1979) ニセラーゴカブリダニに対する殺菌剤の影響. 九病虫研究会報 25: 153–156. [Kashio, T. and M. Tanaka (1979) Effects of fungicides on the predacious mite, *Amblyseius deleoni* Muma et Denmark (Acarina: Phytoseiidae). *Proc. Assoc. Pl. Prot. Kyushu* 25: 153–156.]
- Katayama, H., S. Masui, M. Tsuchiya, A. Tataru, M. Doi, S. Kaneko and T. Saito (2006) Density suppression of the citrus red mite *Panonychus citri* (Acari: Tetranychidae) due to the occurrence of *Neoseiulus californicus* (McGregor) (Acari: Phytoseiidae) on satsuma mandarin. *Appl. Entomol. Zool.* 41: 679–684.
- 片山晴喜・多々良明夫・土井 誠・金子修治・西東 力 (2012) 静岡県のカンキツ園に発生するミヤコカブリダニの薬剤感受性. 関西病虫研報 54: 187–189. [Katayama, H., A. Tataru, M. Doi, S. Kaneko and T. Saito (2012) Pesticide susceptibility of a population of *Neoseiulus californicus* (McGregor) at citrus grove in Shizuoka Prefecture. *Ann. Rept. Kansai Pl. Prot.* 54: 187–189.]
- 片山晴喜・増井伸一・金子修治 (2017) カンキツ栽培における炭酸カルシウム微粉末剤の利用および草生栽培によるハダニ天敵類の保護技術の検証. 静岡農林研報 10: 9–18. [Katayama, H., S. Masui and S. Kaneko (2017) Conserving natural enemies of spider mite with substitute of spraying chemical pesticides and sod cultivation on citrus growing. *Bull. Shizuoka Res. Inst. Agric. For.* 10: 9–18.]
- 片山晴喜・増井伸一・土井 誠・金子修治・多々良明夫・西東 力・土屋雅利 (2018) ナギナタガヤ草生栽培ウンシュウミカン園におけるミヤコカブリダニの発生とミカンハダニの密度抑制. 関西病虫研報 60: 39–45. [Katayama, H., S. Masui, M. Doi, S. Kaneko, A. Tataru, T. Saito and M. Tsuchiya (2018) Presence of *Neoseiulus californicus* (Acari: Phytoseiidae) and suppression of citrus red mite *Panonychus citri* (Acari: Tetranychidae) density in mandarin orange orchards with rat's tail fescue ground cover. *Ann. Rept. Kansai Pl. Prot.* 60: 39–45.]
- Kawashima, M. and C. Jung (2010) Overwintering sites of the predacious mite *Neoseiulus californicus* (McGregor) (Acari: Phytoseiidae) in satsuma mandarin orchards on Jeju Island, Korea. *Appl. Entomol. Zool.* 45: 191–199.
- 桐谷圭治・笹波隆文・中筋房夫 (1971) 害虫の総合防除. 防虫科学 36: 78–98. [Kiritani, K., T. Sasanami and F. Nakasugi (1971) A critical review of integrated control of insect pests. *Scientific Insect Control* 36: 78–98.]
- 貴志 学・若桑基博・間佐古将則・井沼 崇・蟻川謙太郎 (2014) チャノキイロアザミウマ *Scirtothrips dorsalis* Hood (Thysanoptera: Thripidae) における走光性の作用スペクトルと複眼分光感度. 応動昆 58: 13–16. [Kishi, M., M. Wakakuwa, M. Kansako, T. Inuma and K. Arikawa (2014) Action spectrum of phototactic behavior and compound eye spectral sensitivity in the yellow tea thrips, *Scirtothrips dorsalis* Hood (Thysanoptera: Thripidae). *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* 58: 13–16.]
- Kishimoto, H. (2003) Development and oviposition of predacious insects, *Stethorus japonicus* (Coleoptera: Coccinellidae), *Oligota kashmirica benefica* (Coleoptera: Staphylinidae), and *Scolothrips takahashii* (Thysanoptera: Thripidae) reared on different spider mite species (Acari: Tetranychidae). *Appl. Entomol. Zool.* 38: 15–21.
- Kishimoto, H. (2014) Development and oviposition of six native phytoseiid species (Acari: Phytoseiidae) reared on pink citrus rust mite, *Aculops pelekassi* (Keifer) (Acari: Eriophyidae). *J. Acarol. Soc. Jpn.* 23: 71–77.
- Kishimoto, H. (2015) Development and oviposition of eight native phytoseiid species (Acari: Phytoseiidae) reared on eggs of the mediterranean flour moth, *Ephestia kuehniella* Zeller (Lepidoptera: Pyralidae). *J. Acarol. Soc. Jpn.* 24: 71–76.
- 岸本英成・北野峻伸 (2017) ハダニクロヒメテントウおよびキアシクロヒメテントウ (コウチュウ目: テントウムシ科) の北海道から九州における発生状況. 応動昆 61: 28–31. [Kishimoto, H. and T. Kitano (2017) Occurrence of *Stethorus pusillus* (Coleoptera: Coccinellidae) and *Stethorus japonicus* from Hokkaido to Kyushu districts in Japan. *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* 61: 28–31.]
- 岸本英成ら (2007) 九州のカンキツ園におけるミヤコカブリダニの発生状況. 日本ダニ学会誌 16: 129–137. [Kishimoto, H. et al. (2007) Occurrence of *Neoseiulus californicus* (Acari: Phytoseiidae) on citrus in Kyushu district, Japan. *J. Acarol. Soc. Jpn.* 16: 129–137.]
- Kishimoto, H., Y. Ohira and I. Adachi (2014) Effect of different plant pollens on the development and oviposition of seven native phytoseiid species (Acari: Phytoseiidae) in Japan. *Appl. Entomol. Zool.* 49: 19–25.
- 岸本英成・柳沼勝彦・外山晶敏 (2018) 土着広食性カブリダニ 4 種 (ダニ目: カブリダニ科) に対する各種殺虫剤の影響. 応動昆 62: 29–39. [Kishimoto, H., K. Yaginuma and M. Toyama (2018) Effects of pesticides on four native generalist phytoseiid

- species (Acari: Phytoseiidae). *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* 62: 29–39.]
- Kondo, A. and H. Hiramatsu (1999) Predatory ability of two species of phytoseiid mites (Acari: Phytoseiidae) on the peach silver mite, *Aculus fockeui* (Nalepa et Trouessart) (Acari: Eriophyidae). *Appl. Entomol. Zool.* 34: 485–487.
- 小杉由紀夫・芳賀 一 (2013) 静岡県の茶園から採集したチャノキイロアザミウマに対する薬剤の殺虫効果. 関西病虫研報 55: 79–81. [Kosugi, Y. and H. Haga (2013) The effect of insecticides on yellow tea thrips, *Scirtothrips dorsalis* Hood collected from tea fields in Shizuoka Prefecture. *Ann. Rept. Kansai Pl. Prot.* 55: 79–81.]
- 口本文孝・村岡 実 (1996) ミカンハダニのヘキシチアゾクス水和剤抵抗性. 佐賀果試研報 13: 95–103. [Kuchiki, F. and M. Muraoka (1996) Resistance to hexythiazox in the citrus red mite, *Panonychus citri* McGregor (Acarina: Tetranychidae). *Bull. Saga Fruit Tree Exp. Stn.* 13: 95–103.]
- Letourneau, D. K. and M. A. Altieri (1999) Environmental management to enhance biological control in agroecosystems. In *Handbook of Biological Control* (T. S. Bellows and T. W. Fisher, eds.). Academic Press, San Diego, pp. 319–354.
- Masui, S. (2007) Synchronism of immigration of adult yellow tea thrips, *Scirtothrips dorsalis* Hood (Thysanoptera: Thripidae) to citrus orchards with reference to their occurrence on surrounding host plants. *Appl. Entomol. Zool.* 42: 517–523.
- 増井伸一 (2009) カンキツ園におけるチャノキイロアザミウマ成虫の飛来時期と薬剤防除適期の関係. 応動昆 53: 97–103. [Masui, S. (2009) Relationship between the optimum time for chemical control and the adult immigration time of the yellow tea thrips *Scirtothrips dorsalis* (Thysanoptera: Thripidae) in citrus orchards. *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* 53: 97–103.]
- 増井伸一 (2010a) カンキツ園の防風垣イヌマキ樹におけるカブリダニ類とチャノキイロアザミウマ発生量の地域差. 関西病虫研報 52: 11–14. [Masui, S. (2010a) Regional differences in the density of phytoseiid mites and yellow tea thrips *Scirtothrips dorsalis* Hood on the windbreaks of bigleaf podocarp trees surrounding citrus orchards. *Ann. Rept. Kansai Pl. Prot.* 52: 11–14.]
- 増井伸一 (2010b) キアシクロヒメテントウ *Stethorus japonicus* 幼虫に対する各種殺虫剤の影響. 関東病虫研報 57: 129–130. [Masui, S. (2010b) Effects of insecticides on the larvae of the acarophagous ladybird beetle *Stethorus japonicus* H. Kamiya (Coleoptera: Coccinellidae). *Ann. Rept. Kanto Pl. Prot. Soc.* 57: 129–130.]
- 増井伸一 (2011) チャノキイロアザミウマ成虫のカンキツ園への飛来時期予測法に関する研究. 静岡農林研特報 4: 1–63. [Masui, S. (2011) Forecasting the time of immigration of adults of the yellow tea thrips, *Scirtothrips dorsalis* Hood (Thysanoptera: Thripidae), into citrus orchards. *Technical Bull. Shizuoka Res. Inst. Agric. For.* 4: 1–63.]
- 増井伸一 (2018a) 土着天敵の種構成が異なるカンキツ園におけるミカンハダニ (ダニ目: ハダニ科) の殺ダニ剤による防除適期. 静岡農林研報 11: 33–41. [Masui, S. (2018a) Optimum timing of chemical control for *Panonychus citri* (Acari: Tetranychidae) in citrus fields with different predator species compositions. *Bull. Shizuoka Res. Inst. Agric. For.* 11: 33–41.]
- 増井伸一 (2018b) 土着天敵の種構成が異なるカンキツ園における殺虫剤散布後のミカンハダニ (ダニ目: ハダニ科) の密度変化. 応動昆 62: 107–114. [Masui, S. (2018b) Impact of insecticide application on the population density of *Panonychus citri* (Acari: Tetranychidae) in citrus fields with different predator species compositions. *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* 62: 107–114.]
- 増井伸一・池田雅則 (2003) 静岡県のカンキツ園におけるミカンハダニと捕食性昆虫の発生量の産地間差異. 関西病虫研報 45: 11–16. [Masui, S. and M. Ikeda (2003) Regional differences in occurrence of the citrus red mite (*Panonychus citri*) and their predacious insects in satsuma mandarin orchards in Shizuoka Prefecture. *Proc. Kansai Pl. Prot.* 45: 11–16.]
- 増井伸一・片山晴喜 (2017) カンキツ園の下草と周辺樹木におけるカブリダニ類 (Acari: Phytoseiidae) の発生実態. 静岡農林研報 10: 27–36. [Masui, S. and H. Katayama (2017) Occurrence of phytoseiid mite (Acari: Phytoseiidae) on underbrush and trees in the area surrounding citrus orchards. *Bull. Shizuoka Res. Inst. Agric. For.* 10: 27–36.]
- 増井伸一・片山晴喜・土屋雅利 (2018) 静岡県内の慣行防除カンキツ園におけるミカンハダニ (ダニ目: ハダニ科) と土着天敵の発生実態. 応動昆 62: 47–53. [Masui, S., H. Katayama and M. Tsuchiya (2018) Occurrence of *Panonychus citri* (Acari: Tetranychidae) and natural enemies in citrus fields under conventional pesticide application in Shizuoka Prefecture. *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* 62: 47–53.]
- Matsunaga, Y. and M. Nishino (1981) Effect of citrus red mite infestation on fruit quality, yield and trunk growth of satsuma mandarin. Int. Symp. Problems of I.P.M. in Developing Countries. *Trop. Agric. Res. Ser.* 14: 61–72.
- 松尾喜行・関 道生 (1976) ミカンハダニによる被害の解析的研究 (第4報) ミカンハダニの加害がウンシュウミカン果実の収量におよぼす影響. 佐賀果試研報 6: 67–73. [Matsuo, Y. and M. Seki (1976) Analysis of damage by citrus red mite (*Panonychus citri* McGregor) infestation (4) Effect of infestation by the citrus red mite on the fruit yield of satsuma mandarin. *Bull. Saga Fruit Tree Exp. Stn.* 6: 67–73.]
- McCoy, C. W. (1996) Natural enemies of eriophyoid mites, Chapter 2.4. Pathogens of eriophyoid mites. In *Eriophyoid Mites—Their Biology, Natural Enemies and Control* (E. E. Lindquist, M. W. Sabelis and J. Bruin, eds.). Elsevier Science, Amsterdam, pp. 481–491.
- McMurtry, J. A. and B. A. Croft (1997) Life-styles of phytoseiid mites and their roles in biological control. *Annu. Rev. Entomol.* 42: 291–321.
- 森 介計 (1964) ミカンハダニの発生と天敵類の活動およびこれらと薬剤散布との関係. 愛媛果試研報 4: 43–55. [Mori, S. (1964) Effects of the activities of natural enemies, and of the pesticide sprayings on the population density of citrus red mite, *Panonychus citri* McGregor in citrus orchards. *Bull. Ehime Fruit Tree Exp. Sta.* 4: 43–55.]
- Mori, K. and T. Gotoh (2001) Effects of pesticides on the spider mite predators, *Scolothrips takahashii* (Thysanoptera: Thripidae) and

- Stethorus japonicus* (Coleoptera: Coccinellidae). *Int. J. Acarol.* 27: 299–302.
- Murakami, Y. (1974) Seasonal sequence of parasitism of *Unaspis yanonensis* (Kuwana) (Homoptera: Diaspididae). *Appl. Entomol. Zool.* 9: 87–94.
- 中尾舜一・大串龍一 (1976) カンキツ病害虫の共同防除地区における捕食性甲虫類. 応動昆 20: 101–109. [Nakao, S. and R. Ohgushi (1976) Ecological study on the predacious Coleoptera in citrus orchards of collective pest-controlled area. *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* 20: 101–109.]
- Nakao, S., K. Nohara and A. Nagatomi (1977) Studies on pests and their predators at two groves of “Kuroshima-mikan,” a native citrus on Nagashima, Kagoshima pref. *Appl. Entomol. Zool.* 12: 334–346.
- 中筋房夫 (2008) 総合的害虫管理学の確立に向けて. 岡山大農学報 97: 83–86. [Nakasuji, F. (2008) Establishment of science for integrated pest management. *Sci. Fac. Agr. Okayama Univ.* 97: 83–86.]
- 西田久仁穂・柳井昭二 (1956) ヤノネカイガラムシに対する *Aphytis* sp. “A” の適応性について. 九病虫研会報 2: 10–11. [Nishida, K. and S. Yanai (1956) On the applicability of parasitic Hymenoptera *Aphytis* sp. “A” to the arrowhead scale, *Unaspis yanonensis* Kuwana. *Proc. Assoc. Pl. Prot. Kyushu* 2: 10–11.]
- 西野 操・高木一夫 (1981) 中国から導入したヤノネカイガラムシの寄生蜂. 植物防疫 35: 253–256. [Nishino, M. and K. Takagi (1981) Parasites of arrowhead scale, *Unaspis yanonensis* Kuwana introduced from People’s Republic of China. *Plant Prot.* 35: 253–256.]
- Nyrop, J., G. English-Loeb and A. Roda (1998) Conservation biological control of spider mites in perennial cropping systems. In *Conservation Biological Control* (P. Barbosa, ed.). Academic Press, San Diego, pp. 307–333.
- Ohashi, K. (2001) Occurrence of the ladybird beetle *Cryptolaemus montrouzieri* Mulsant (Coleoptera: Coccinellidae) in Osaka, Japan. *Jpn. J. Environ. Entomol. Zool.* 12: 185–186.
- 大串龍一・西野敏勝・蒲生宣郷 (1977) マシン油乳剤の散布がヤノネカイガラムシ越冬個体群の増殖に及ぼす影響. 応動昆 21: 15–22. [Ohgushi, R., T. Nishino and Y. Gamo (1977) On the effects of machine oil emulsifiable concentrate upon the population growth of overwintering arrowhead scale, *Unaspis yanonensis* Kuwana. *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* 21: 15–22.]
- 大久保宣夫 (1983) ミカンハダニの加害がミカン樹の生長に及ぼす影響. 九病虫研会報 29: 142–147. [Ohkubo, N. (1983) Effect of infestation of citrus red mite, *Panonychus citri* McGregor, on the growth process of citrus tree. *Proc. Assoc. Pl. Prot. Kyushu* 29: 142–147.]
- 大西論平・金崎秀司・崎本孝江・荻原洋晶・大政義久・池内 温 (2003) ミカンハダニに対する天敵利用技術の研究 (第1報) 宮内イヨカン園における農薬散布がミカンハダニ及び天敵の発生に及ぼす影響. 愛媛果樹試研報 17: 43–52. [Ohnishi, R., S. Kanazaki, T. Sakimoto, H. Ogihara, Y. Ohmasa and S. Ikeuchi (2003) Studies on the usage of natural enemies in the control of citrus red mite (*Panonychus citri* (McGregor)) (No. 1): The effects of pesticide application on populations of citrus red mite and its natural enemies in citrus orchards. *Ehime Fruit Tree Exp. Sta.* 17: 43–52.]
- 大西論平・金崎秀司・青野光男・崎本孝江・大政義久 (2006) ミカンハダニに対する天敵利用技術の研究 (第2報) ウンシュウミカン園におけるミヤコカブリダニのミカンハダニに対する防除効果. 愛媛果樹試研報 20: 19–32. [Ohnishi, R., S. Kanazaki, M. Aono, T. Sakimoto and Y. Ohmasa (2006) Studies on the usage of a natural enemy in the control of citrus red mite, *Panonychus citri* (McGregor) (No. 2): Effect of control in a satsuma mandarin orchard by *Neoseiulus californicus* (McGregor). *Ehime Fruit Tree Exp. Sta.* 20: 19–32.]
- Osakabe, Mh., K. Inoue and W. Ashihara (1987) Effect of *Amblyseius sojaensis* Ehara (Acarina: Phytoseiidae) as a predator of *Panonychus citri* (McGregor) and *Tetranychus kanzawai* Kishida (Acarina: Tetranychidae). *Appl. Entomol. Zool.* 22: 594–599.
- Perring, T. M. and J. A. McMurtry (1996) Natural enemies of eriophyoid mites, Chapter 2.3. Other predatory arthropods. In *Eriophyoid Mites—Their Biology, Natural Enemies and Control* (E. E. Lindquist, M. W. Sabelis and J. Bruin, eds.). Elsevier Science, Amsterdam, pp. 471–480.
- Raworth, D. A., G. Fauvel and P. Auger (1994) Location, reproduction and movement of *Neoseiulus californicus* (Acari: Phytoseiidae) during the autumn, winter and spring in orchards in south of France. *Exp. Appl. Acarol.* 18: 593–602.
- Ruberson, J. R., H. Nemoto and Y. Hirose (1998) Pesticides and conservation of natural enemies in pest management. In *Conservation Biological Control* (P. Barbosa, ed.). Academic Press, San Diego, pp. 207–220.
- Sabelis, M. W. (1996) Natural enemies of eriophyoid mites, Chapter 2.1. Phytoseiidae. In *Eriophyoid Mites—Their Biology, Natural Enemies and Control* (E. E. Lindquist, M. W. Sabelis and J. Bruin, eds.). Elsevier Science, Amsterdam, pp. 427–456.
- Sabelis, M. W. and P. C. J. Van Rijn (1997) Predation by insects and mites. In *Thrips as Crop Pests* (T. Lewis, ed.). CAB International, Wallingford, pp. 259–354.
- Saito, Y. (1978) Comparative studies on life histories of three species of spider mites (Acarina: Tetranychidae). *Appl. Entomol. Zool.* 14: 83–94.
- 柴尾 学・田中 寛 (2008) ブドウ葉片浸漬法によるチャノキイロアザミウマに対する合成ピレスロイド剤の殺虫効果. 関西病虫研報 50: 171–172. [Shibao, M. and H. Tanaka (2008) Effect of pyrethroid insecticide on yellow tea thrips, *Scirtothrips dorsalis* Hood with grape leaf dipping method. *Ann. Rept. Kansai Pl. Prot.* 50: 171–172.]
- Shibao, M., A. Hosomi and H. Tanaka (2000) Seasonal fluctuation in percentage parasitism of the yellow tea thrips, *Scirtothrips dorsalis* Hood (Thysanoptera: Thripidae) by an egg parasitoid of *Megaphragma* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) on grape. *Entomol. Sci.* 3: 611–613.
- Shibao, M., S. Ehara, A. Hosomi and H. Tanaka (2004) Seasonal fluctuation in population density of phytoseiid mites and the yellow tea thrips, *Scirtothrips dorsalis* Hood (Thysanoptera: Thripidae) on grape, and predation of the thrips by *Euseius sojaensis* (Ehara) (Acari: Phytoseiidae). *Appl. Entomol. Zool.* 39: 727–730.

- 下田武志・芦原 亘 (1996) カンキツ園内外におけるハダニ類とケシハネカクシ類の発生動態. 九病虫研究会報 42: 133-137. [Shimoda, T. and W. Ashihara (1996) Seasonal population trends of spider mites and their insect predator, *Oligota kashmirica benefica* Naomi (Coleoptera: Staphylinidae), in Satsuma mandarin groves and in Japanese cedar windbreaks around the orchards. *Proc. Assoc. Pl. Prot. Kyushu* 42: 133-137.]
- 渠 慎春・田代暢哉・衛藤友紀・貞松光男 (1997) 佐賀県におけるジチオカーバメイト系薬剤抵抗性ミカンサビダニの発生と有効薬剤の探索. 九病虫研究会報 43: 125-129. [Shuen, C. Q., N. Tashiro, T. Etoh and M. Sadamatsu (1997) Occurrence of dithiocarbamate resistant strain and its susceptibilities to several chemicals in the pink citrus rust mite, *Aculops pelekassi* (Keifer), in Saga Prefecture. *Proc. Assoc. Pl. Prot. Kyushu* 43: 125-129.]
- 高木一夫 (1983) ヤノネカイガラムシ (*Unaspis yanonesis* (Kuwana)) に対する導入寄生蜂ヤノネキイロコバチ (*Aphytis* sp.) とヤノネツヤコバチ (*Physcus fulvus* Compere et Annecke) の日本における定着. 果樹試報 D5: 93-110. [Takagi, K. (1983) Establishment of *Aphytis* sp. and *Physcus fulvus* (Hymenoptera: Aphelinidae), the imported parasitoids of the arrowhead scale, *Unaspis yanonensis* (Hemiptera: Diaspididae), on citrus orchard in Japan. *Bull. Fruit Tree Res. Stn.* D5: 93-110.]
- 高梨祐明・高木一夫・広瀬義躬 (1996) チャノキイロアザミウマ卵へのアザミウマタマゴバチの寄生とその調査法. 植物防疫 50: 61-63. [Takanashi, M., K. Takagi and Y. Hirose (1996) Egg parasitism by *Megaphragma* sp. of *Scirtothrips dorsalis* and some techniques for determining it. *Plant Prot.* 50: 61-63.]
- 田中 学・井上晃一 (1975) 香港から導入した寄生蜂 *Aphytis lingnanensis* Compere のヤノネカイガラムシに対する野外放飼効果 (予報). 九病虫研究会報 21: 42-46. [Tanaka, M. and K. Inoue (1975) Preliminary field tests of the liberation of *Aphytis lingnanensis* Compere introduced from Hong Kong to control the arrow-head scale, *Unaspis yanonensis* Kunawa. *Proc. Assoc. Pl. Prot. Kyushu* 21: 42-46.]
- Tanaka, M. and K. Inoue (1977) Introduction of efficient parasitic of the arrowhead scale, *Unaspis yanonensis* (Kuwana), from Hong Kong. *Bull. Fruit Tree Res. Stn.* D1: 69-85.
- Tanaka, M. and T. Kashio (1977) Biological studies on *Amblyseius largoensis* Muma (Acarina: Phytoseiidae) as a predator of the citrus red mite, *Panonychus citri* (McGregor) (Acarina: Tetranychidae). *Bull. Fruit Tree Res. Stn.* D1: 49-67.
- Tanigoshi, L. K., J. Fargerlund, J. Y. Nishio-Wong and H. J. Griffith (1985) Biological control of citrus thrips, *Scirtothrips citri* (Thysanoptera: Thripidae), in southern California citrus groves. *Environ. Entomol.* 14: 733-741.
- 多々良明夫 (1992) 反射フィルムによるカンキツ園のチャノキイロアザミウマの防除効果. 静岡柑試研報 24: 39-52. [Tatara, A. (1992) Reflective film as control measures for tea yellow thrips (*Scirtothrips dorsalis* Hood) in citrus grove. *Bull. Shizuoka Citrus Exp. Stn.* 24: 39-52.]
- 多々良明夫 (1995) チャノキイロアザミウマのカンキツにおける生態と防除に関する研究. 静岡柑試特報 7: 1-98. [Tatara, A. (1995) Bionomics, monitoring and control of *Scirtothrips dorsalis* Hood (yellow tea thrips) in citrus groves. *Spec. Bull. Shizuoka Citrus Exp. Stn.* 7: 1-98.]
- Thistlewood, H. M. A., D. R. Clements and R. Harmsen (1996) Natural enemies of eriophyoid mites, Chapter 2.2. Stigmaeidae. In *Eriophyoid Mites—Their Biology, Natural Enemies and Control* (E. E. Lindquist, M. W. Sabelis and J. Bruin, eds.). Elsevier Science, Amsterdam, pp. 457-470.
- 土田祐大・増井伸一 (2018) 静岡県におけるミカンサビダニに対する各種薬剤の殺虫効果. 関西病虫研報 60: 3-7. [Tsuchida, Y. and S. Masui (2018) Pesticide toxicity on pink citrus rust mite, *Aculops pelekassi* (Keifer) in Shizuoka Prefecture. *Ann. Rept. Kansai Pl. Prot.* 60: 3-7.]
- 土屋雅利 (2003) ミカンハダニの加害がウンシュウミカン葉の光合成速度および葉緑素値に及ぼす影響. 静岡柑試研報 32: 15-21. [Tsuchiya, M. (2003) Photosynthesis and chlorophyll values of satsuma mandarin (*Citrus unshiu*) leaves in response to feeding injury by citrus red mite (*Panonychus citri*). *Bull. Shizuoka Citrus Exp. Stn.* 32: 15-21.]
- 土屋雅利 (2005a) ウンシュウミカン園における土着天敵による夏季のミカンハダニの防除効果. 静岡柑試研報 34: 15-27. [Tsuchiya, M. (2005a) The control effect on citrus red mite (*Panonychus citri*) on Satsuma mandarin groves in summer by indigenous natural enemies. *Bull. Shizuoka Citrus Exp. Stn.* 34: 15-27.]
- 土屋雅利 (2005b) カンキツの IPM. 植物防疫 50: 492-495. [Tsuchiya, M. (2005b) Recent advances of the integrated pest management on citrus. *Plant Prot.* 50: 492-495.]
- 土屋雅利・古橋嘉一・増井伸一 (1995a) 光反射シートマルチによるウンシュウミカンのチャノキイロアザミウマ防除. 応動昆 39: 219-225. [Tsuchiya, M., K. Furuhashi and S. Masui (1995a) Control of yellow tea thrips (*Scirtothrips dorsalis* Hood) by reflective sheet in satsuma mandarin (*Citrus unshiu* Marc.) orchard. *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* 39: 219-225.]
- 土屋雅利・古橋嘉一・増井伸一 (1995b) チャノキイロアザミウマの光反射シートマルチ下での行動の変化. 応動昆 39: 289-297. [Tsuchiya, M., K. Furuhashi and S. Masui (1995b) Behavior of yellow tea thrips *Scirtothrips dorsalis* (Hood) on a reflective sheet. *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* 39: 289-297.]
- 土屋雅利・増井伸一・久保山信弘 (1995c) ウンシュウミカン園における白色剤散布と光反射シートマルチによるチャノキイロアザミウマの樹内密度の減少. 応動昆 39: 305-312. [Tsuchiya, M., S. Masui and N. Kuboyama (1995c) Reduction of population density of yellow tea thrips (*Scirtothrips dorsalis* Hood) on mandarin orange (*Citrus unshiu* Marc.) trees by application of white solution with/without reflective-sheet mulching. *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* 39: 305-312.]
- 堤 隆文 (2001) ヒノキ球果における果樹カメムシ類の吸汁調査法. 植物防疫 55: 560-562. [Tsutsumi, T. (2001) A method for inspecting stylet sheaths of stink bugs on the cone of Japanese cypress. *Plant Prot.* 55: 560-562.]
- 内田正人・牛山欽司・大垣智昭 (1966) 温州ミカンの主要病害虫の発生予察法に関する研究 (第 2 報) ミカンハダニの発生量が温州ミカンの生育, 品質に及ぼす影響について. 神奈川園試研報 14: 17-24. [Uchida, M., K. Ushiyama and T. Ogaki (1966) Studies on forecasting the outbreak of principal insects

- and disease in unshiu oranges. II. Infestation on the growth, fruit production and fruit quality of unshiu orange. *Kanagawa Hort. Exp. Stn.* 14: 17–24.]
- 上杉龍士・佐藤安志 (2011) 日本に分布するミカントゲコナジラミ2系統における mtCOI の遺伝的差異. 応動昆 55: 155–161. [Uesugi, R. and Y. Sato (2011) Differentiation of the tea-infesting population of citrus spiny whitefly *Aleurocanthus spiniferus* (Homoptera: Aleyrodidae) from the citrus-infesting population in Japan on the basis of differences in the mitochondrial cytochrome c oxidase subunit I gene. *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* 55: 155–161.]
- Uesugi, R., K. Yara and Y. Sato (2016) Changes in population density of *Aleurocanthus camelliae* (Hemiptera: Aleyrodidae) and parasitism rate of *Encarsia smithi* (Hymenoptera: Aphelinidae) during the early invasion stages. *Appl. Entomol. Zool.* 51: 581–588.
- 氏家 武・高木一夫・柏尾具俊・藤井 浩 (1988) ヤノネカイガラムシの導入寄生蜂 (ヤノネキイロコバチ, *Aphytis yanonensis* およびヤノネツヤコバチ, *Coccobius fulvus*) の九州各地への放飼とその後の経過. 果樹試報 D10: 77–88. [Ujiye, T., K. Takagi, T. Kashio and H. Fujii (1988) Release, establishment and dispersion of *Aphytis yanonensis* and *Coccobius fulvus* (Hymenoptera: Aphelinidae), the introduced parasitoids of the arrowhead scale, *Unaspis yanonensis* (Hemiptera: Diaspididae) in several citrus growing areas of Kyusyu. *Bull. Fruit Tree Res. Stn.* D10: 77–88.]
- Wari, D., J. Yamashita, H. Kishimoto and S. Sonoda (2016) Utilization of plant food resources by phytoseiid mite species with different feeding habits. *Appl. Entomol. Zool.* 51: 539–547.
- 山家一哲・杉山泰之・高橋和彦 (2008) 異なる降雨条件における柑橘園草生栽培の懸濁態リン流出軽減効果. 静岡農林研報 1: 59–63. [Yamaga, I., Y. Sugiyama and K. Takahashi (2008) Effects of sod culture on loss of particulate phosphorus from soil in citrus orchards different rainfall conditions. *Bull. Shizuoka Res. Inst. Agric. For.* 1: 59–63.]
- 山本敦司・米田 渥・波多野連平・浅田三津男 (1995) 柑橘園におけるミカンハダニのヘキシチアゾクスによる圃場淘汰試験. 農薬誌 20: 307–315. [Yamamoto, A., H. Yoneda, R. Hatano and M. Asada (1995) Field selection experiments with hexythiazox in the citrus red mite, *Panonychus citri* (McGregor). *J. Pestic. Sci.* 20: 307–315.]
- 安田 誠 (1982) ミカンハダニの生活史パラメーターに対する温度の影響. 応動昆 26: 52–57. [Yasuda, M. (1982) Influence of temperature on some of the life cycle parameters of the citrus red mite, *Panonychus citri* (McGregor) (Acarina: Tetranychidae). *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* 26: 52–57.]
- Yasumatsu, K. and T. Tachikawa (1949) Investigation on the hymenopterous parasites of *Ceroplastes rubens* Maskell in Japan. *J. Fac. Agric. Kyushu Univ.* 9: 99–122.
- 吉川公規・高橋哲也 (2005) 草生栽培によるカンキツ園の土壌および施肥窒素の流出抑制効果. 静岡柑試研報 34: 7–13. [Yoshikawa, K. and T. Takahashi (2005) Effects of the sod culture on the outflow of soil and fertilizer nitrogen in citrus orchard. *Bull. Shizuoka Citrus Exp. Stn.* 34: 7–13.]